

نامه علوم پایه

۱۵
بهار و تابستان ۱۴۰۴

فصلنامه تخصصی گروه علوم پایه فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

نامه علوم پایه

فصلنامه تخصصی گروه علوم پایه فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران

شماره پانزدهم، بهار و تابستان ۱۴۰۴

صاحب امتیاز: فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران

مدیر مسئول: مهدی زارع

سردبیر: علی فرازمنند

هیئت تحریریه: مسعود آراین نژاد، مهدی زارع، احمد شیخی، احمد شعبانی، علی فرازمنند

ویراستار: علی فرازمنند

کارشناس: هانیه ستوده

مسئول پشتیبانی سایت: آتنا فرخ

گرافیک و صفحه آرایی: یلدا آراین نمازی

چاپ و صحافی: عارف آریافر

فصلنامه «نامه علوم پایه» نشریه تخصصی گروه علوم پایه فرهنگستان به نشر مسائل آموزشی و پژوهشی قلمروهای علوم پایه (ریاضی، زمین‌شناسی، زیست‌شناسی، شیمی و فیزیک) اختصاص دارد. اولویت انتشار در این مجله با مقالاتی است که به مسائل و چالش‌های اساسی این قلمروها، سیاست آموزشی و پژوهشی، ارتقای سطح دانش و پژوهش در کشور، ارتقای سطح ارتباط میان دانشمندان علوم پایه و سایر قلمروهای علمی و نیز کل جامعه بپردازند. توسعه نگرش علوم یکپارچه و فعالیت‌های بین رشته‌ای و ترارشته‌ای و تبیین اهمیت این نگرش‌ها در حل مسائل جامعه و توسعه پایدار از اولویت‌های مهم دیگر نشریه است. در نگارش یا ترجمه مقالات علمی نیز شایسته است که کانون توجه، گزارش و معرفی یافته‌های نوین علمی و سرمشق‌هایی باشد که برای گسترش دانش و معرفت علمی جامعه نقش بنیادی دارند.

نشانی: تهران، بزرگراه شهید حقانی، خروجی فرهنگستان‌های جمهوری اسلامی ایران و کتابخانه ملی، فرهنگستان علوم

کد پستی: ۱۵۲۸۶۳۳۱۱۱ صندوق پستی: ۱۹۳۹۵-۵۳۱۸ تلفن و دورنگار: ۸۸۶۴۵۵۹۵

رایانامه: basic@ias.ac.ir

تارنما: www.ias.ac.ir

«مسئولیت صحت مطالب بر عهده نویسندگان است»

شاپا ۲۷۸۳-۳۶۶۶

۱۵۰ هزار تومان

تک تک مقالات و نسخه رنگی کامل مجله از تارنمای فرهنگستان علوم، رایگان قابل دریافت است.



راهنمای نگارش مقالات

۱. مقالات از نوع مروری، دربارهٔ موضوعات مطرح علوم پایه، نقد و معرفی برنامه‌ها و سیاستگذاری‌های کلان علمی، آموزشی و پژوهشی در تمام سطوح، نقد کتاب و معرفی نوآوری‌های علمی و فنی در زمینهٔ علوم پایه باشند.
۲. پیشنهاد تألیف مقاله با ارائه خلاصه‌ای شامل هدف و مفاد اصلی آن، برای داوری و تأیید اولیه به دفتر مجله ارسال شود.
۳. در نگارش مقالات شئون تألیف اصیل و شایسته، و نیز ارجاع دقیق و درست و بهره‌برداری از داده‌های آثار دیگران رعایت شود.
۴. مقالات مربوط به آموزش و پژوهش بین و ترا رشته‌ای و دیدگاه‌های مرتبط با آموزش یکپارچهٔ علوم و توسعه پایدار اولویت دارند.
۵. مجله از انتشار نوشته‌ها و یادداشت‌های مربوط به زندگی دانشمندان و نامداران علم و صنعت در ایران و جهان، معرفی و نقد آثار و احوال آنان استقبال می‌کند.
۶. انتشار ترجمه مقالات دارای اولویت و ضرورت با سفارش و تأیید سردبیر و هیئت تحریریه امکان‌پذیر است.
۷. در صفحهٔ نخست عنوان، نام مولفان، آدرس محل کار، همراه با آدرس ایمیل نویسنده مسئول آورده شود.
۸. مقالات دارای چکیده فارسی و انگلیسی - شامل نکات اصلی و کلیدی در حداکثر ۲۵۰ کلمه - به همراه چند کلیدواژه باشند.
۹. ارجاعات به منابع در داخل متن فقط با شماره‌بندی از ۱ الی آخر (در پرانتز) آورده شوند. منابع فارسی و انگلیسی هر دو در طول متن با در طول خود متن به شماره‌گذاری پیاپی آورده شوند. منابع اینترنتی صرفاً شکل پانوش در صفحهٔ مرتبط بیاید.
۱۰. نسخهٔ دیجیتال عکس‌ها و تصاویر آمده در متن در فایل جداگانه ارسال شوند.
۱۱. در ضبط منابع ادواری به ترتیب نام نویسنده/نویسندگان، عنوان، سال انتشار، نام نشریه، شمارهٔ آن و شمارهٔ صفحات بیاید. در مورد کتاب، نام نویسنده/نویسندگان، سال انتشار و سپس نام ناشر و بعد صفحات ارجاع می‌آید.
۱۲. هر گونه استفاده از هوش مصنوعی در نوشتار و یا بازآفرینی اشکال و غیره، باید در داخل متن در جای مربوطه یا زیرنویس اشکال قید شود.

فهرست

- ۵ سخن سردبیر
- ۷ «سرمقاله» بیوفیزیک استرس و رادیکال‌های آزاد: نگاهی ساده به یک پدیده پیچیده
علی اکبر موسوی موحدی
- ۸ سخن ثبوتی در سلسله سخنرانی‌های آزاد حکمی و فلسفی
- ۱۱ ارتقا و اعتلای جایگاه علوم پایه: موفقیت‌ها و آسیب‌ها احمد شعبانی، سعید سمنانیان
- ۲۷ پوشش باور در برابر علم، رمزگشایی از اسطوره‌های ریاضی و هوش مصنوعی غلامرضا رکنی لموکی
- ۵۴ خواب و بیدار آموزش در ایران: منزل یا منزلت؟ خسرو منصف شکری
- ۶۷ بحران آب در ایران، تقسیم مسئولیت‌ها میان دولت و مردم اسکندر زند، فرشته بت‌وخته
- ۷۸ نقش تاریخ ریاضیات در آموزش ریاضی محمدقاسم وحیدی اصل
- ۸۵ معرفی تفکر محاسباتی انسان محور و تبیین آن از دیدگاه نظریه رسته‌ها آرتا امیر جمشیدی، نقی اسدی لمعه‌دشت
- ۱۰۶ دیدگاه، ابتکار، و ترفندهای خلاقانه اوپلر، لاگرانژ و پوانکاره مثال‌های مفهومی ملموس سعید رنجبر
- ۱۲۱ جدول تناوبی و سرگذشت مندلیف علی اکبر موسوی موحدی، بهاره احمدی، رضا یوسفی
- ۱۲۹ نگاهی به تاریخچه باغ‌های گیاه‌شناسی و فلور ایران مصطفی اسدی
- ۱۳۹ همگرایی هوش مصنوعی و زیست‌فناوری: چشم‌انداز نوین برای تحول علوم زیستی آراین نوحی، شکبیا درویش علیپور آستانه
- ۱۵۴ علم، پژوهش و دانشگاه ایرانی در «دنیای قشنگ نو» مسعود آراین نژاد

پاسخ به «سخن سردبیر» شماره ۱۴ نامه علوم پایه

اشاره:

سخنرانی استاد ثبوتی و بحث‌هایی که روز سخنرانی به دنبال آن در باب موضوع پاگرفت بهانه‌ای شد تا در سخن سردبیر شماره ۱۴ در مورد این موضوع و اهمیت «روش علمی» به عنوان چارچوبی که دانشوران علوم تجربی را تا حد زیادی مقید به کار درست می‌سازد نکاتی را یادآور شویم؛ در پایان هم درخواست شد چون این بحثی مهم و دامنه‌دار است جا دارد هر دو دسته دانشمندان علوم انسانی و تجربی بدان بپردازند. البته در همان سخن به لزوم همکاری و یکپارچگی دانشمندان علوم انسانی و علوم تجربی در توسعه و پیشبرد جوامع تأکید شدند و با اشاره به یک منبع صراحتاً گفتیم که «علم به تنهایی کافی نیست». بدون تردید در کنار روش علمی، مراعات اصول و اخلاق پژوهشی جای خود دارد و چه بسا بدون این ملاحظات، علی‌رغم رعایت ضروریات «روش علمی» دانشمندان همچنان ممکن است در سمت و سوی دیگری دستخوش خطاهائی شوند. در این شماره متن درخور تامل یکی از همکاران اندیشمند جای سخن سردبیر نشسته است و به لحاظ اهمیت موضوع، سخنرانی دکتر ثبوتی نیز که در کتابی تحت عنوان «سخن ثبوتی» اخیراً منتشر شد با اجازه ایشان در همین شماره بازنشر می‌شود تا خوانندگان مجله مطلبی را که انگیزه طرح این مباحث بوده است به آسانی در اختیار داشته باشند.

جناب آقای دکتر علی فرازمنند

سردبیر محترم دوفصلنامه علوم پایه

با سلام و احترام

مقاله «سخن سردبیر» درباره «تقوای علوم تجربی» از جهات گوناگون، به‌ویژه در تأکید بر ضرورت صداقت پژوهشگر، مقابله با کژاطلاعات و دژاطلاعات، و یادآوری مسئولیت اخلاقی دانشمندان، نوشته‌ای ارزشمند و تأمل‌برانگیز است. با این حال، به نظر می‌رسد برخی مبانی فلسفی نهفته در این نوشتار، به‌ویژه در باب ماهیت علم، روش علمی و مفهوم تقوای علمی، شایسته گفت‌وگوی انتقادی بیشتری باشد.

در متن، «روش علمی» علوم تجربی به منزله معتبرترین راه دست‌یابی به شناخت معرفی شده است. این تلقی، هرچند در سنت علم‌باوری مدرن و برخی قرائت‌های پوزیتیویستی سابقه‌ای دیرینه دارد، امروزه در فلسفه علم با پرسش‌های جدی مواجه است. از منظر رئالیسم نو، واقعیت منحصر به آن بخش از جهان نیست که بتوان آن را صرفاً از طریق مشاهده، آزمایش و اندازه‌گیری تجربی مطالعه کرد. جهان انسانی نیز مشتمل بر ساحت‌هایی از واقعیت است که هرچند به‌سادگی قابل سنجش تجربی نیستند، اما از حیث وجودی کمتر از پدیده‌های طبیعی واقعی نیستند؛ از جمله ارزش‌های اخلاقی، نهادهای اجتماعی، معانی فرهنگی، تجربه‌های زیسته و ساختارهای هنجاری.

بر این اساس، نمی‌توان روش علوم تجربی را معیار یگانه اعتبار همه اشکال معرفت دانست. هر قلمرو از واقعیت، متناسب با موضوع خود، روش‌های شناختی ویژه‌ای را اقتضا می‌کند. از همین رو، اعتبار علوم انسانی را نیز نمی‌توان صرفاً با معیارهایی چون تکرارپذیری آزمایشگاهی یا سنجه‌های رایج علوم طبیعی ارزیابی کرد.

نمونه‌ای روشن‌نگر در این زمینه، تاریخ روانکاوی است. زیگموند فروید کوشید روانکاوی را در چارچوب علوم تجربی صورت‌بندی کند و آن را امتدادی از علوم طبیعی نشان دهد. اما بخش مهمی از نقدهای بعدی به روانکاوی دقیقاً از همین ادعا ناشی شد؛ زیرا مفاهیمی چون ناخودآگاه، مقاومت و سازوکارهای دفاعی بیش از آنکه موضوع آزمون تجربی باشند، در قلمرو معنا، تفسیر و فهم انسان قرار می‌گیرند. شاید بتوان گفت یکی از دشواری‌های تاریخی روانکاوی آن بود که به جای تثبیت جایگاه خود در حوزه علوم انسانی و تفسیری، کوشید مشروعیت خویش را با معیارهای علوم تجربی به دست آورد. این مثال نشان می‌دهد که تعمیم یک الگوی واحد روش‌شناختی به تمامی حوزه‌های شناخت، الزاماً به پیشرفت معرفت نمی‌انجامد.

از متن چنین برمی‌آید که نویسنده محترم برای علوم تجربی جایگاهی ممتاز در تولید معرفت قائل‌اند و بر مشاهده، آزمون تجربی، رابطه علت و معلول و داوری مبتنی بر داده‌های عینی تأکید دارند. در عین حال، ایشان علم و فناوری را پدیده‌هایی اجتماعی و فرهنگی می‌دانند که آثار و پیامدهای آنها فراتر از قلمرو آزمایشگاه است. این ترکیب، از یک سو یادآور نوعی اعتماد معرفت‌شناختی به علم تجربی و از سوی دیگر حاکی از توجه به ابعاد اجتماعی و فرهنگی علم و فناوری است.

با این همه، از منظر رئالیسم نو می‌توان پرسید که آیا اعطای جایگاه ممتاز به علوم تجربی، ناخواسته به نوعی تقلیل‌گرایی معرفتی نمی‌انجامد؟ رئالیسم نو بر آن است که واقعیت دارای ساحت‌های متکثر است و هر ساحت منطق، مفاهیم و شیوه‌های شناخت خاص خود را دارد. در این چارچوب، علم تجربی یکی از راه‌های معتبر شناخت واقعیت است، نه یگانه راه آن. هنر، اخلاق، حقوق، دین، فرهنگ و تجربه زیسته نیز هر یک میدان‌هایی مستقل از واقعیت را آشکار می‌کنند که به‌طور کامل در چارچوب روش‌های علوم طبیعی قابل فروکاستن نیستند.

نکته دیگر به مفهوم «تقوای علمی» بازمی‌گردد. در مقاله، تقوای علمی عمدتاً در قالب پرهیز از جعل داده، خطا، کژاطلاعات و دژاطلاعات تبیین شده است. بی‌تردید این موارد از مهم‌ترین مصادیق بی‌تقوایی علمی‌اند، اما به نظر می‌رسد مفهوم تقوا در علم دامنه‌ای گسترده‌تر داشته باشد. تقوای علمی صرفاً یک الزام فنی یا روش‌شناختی نیست، بلکه فضیلتی معرفتی و اخلاقی است.

پژوهشگری ممکن است هیچ داده‌ای جعل نکند، اما در انتخاب مسئله، نحوه طرح پرسش، تفسیر نتایج، نادیده گرفتن شواهد ناسازگار، یا به کارگیری دانش در خدمت منافع قدرت و ثروت، از تقوای علمی فاصله بگیرد. از این رو، تقوای علمی مستلزم فضیلت‌هایی چون فروتنی معرفتی، آگاهی از محدودیت‌های روش‌های پژوهش، آمادگی برای تجدیدنظر در باورهای خود، احترام به دیگر سنت‌های معرفتی و حساسیت نسبت به پیامدهای اجتماعی دانش است.

همچنین، هرچند علم تجربی به واسطه روش علمی دارای سازوکارهای خوداصلاح‌گر است و این ویژگی یکی از مهم‌ترین دستاوردهای علم جدید به شمار می‌آید، تجربه معاصر نشان داده است که روش علمی به‌تنهایی ضامن حقیقت نیست. بحران تکرارپذیری در برخی رشته‌ها، نفوذ منافع اقتصادی و سیاسی در جهت‌دهی به پژوهش‌ها و سوگیری‌های ساختاری در نظام تولید و انتشار دانش نشان می‌دهد که اعتبار علم تنها محصول روش نیست، بلکه به کیفیت نهادهای علمی و فضایل اخلاقی دانشمندان نیز وابسته است.

از این منظر، شاید بتوان گفت مهم‌ترین جلوه تقوای علمی آن است که هیچ روش پژوهشی، حتی موفق‌ترین روش‌های علوم تجربی، خود را معیار مطلق حقیقت نپندارد. تقوا در دانش صرفاً پرهیز از کژاطلاعات و دژاطلاعات نیست؛ بلکه پرهیز از خودبسندگی معرفتی، فروتنی در برابر پیچیدگی واقعیت، و پذیرش این حقیقت است که جهان طبیعی و جهان انسانی هر دو واقعی‌اند، اما لزوماً با یک زبان و یک روش واحد فهمیده نمی‌شوند.

این یادداشت صرفاً با هدف مشارکت در گفت‌وگویی علمی و فلسفی پیرامون موضوع مهم «تقوای علمی» نگاشته شده است و نویسنده ضمن احترام کامل به جناب آقای دکتر ثبوتی و تلاش‌های ارزشمند ایشان، امیدوار است این مباحث زمینه‌ای برای تعمیق بحث و گسترش گفت‌وگو میان صاحب‌نظران علوم تجربی و علوم انسانی فراهم آورد.

با تقدیم احترام

عباس پورخصالیان

«سرمقاله»

بیوفیزیک استرس و رادیکال‌های آزاد: نگاهی ساده به یک پدیده پیچیده

علی اکبر موسوی موحدی
مرکز تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک، دانشگاه تهران
عضو پیوسته فرهنگستان علوم
moosavi@ut.ac.ir

نامه علوم پایه شماره ۱۵، بهار و تابستان ۱۴۰۴

نشان می‌دهد که سلامت انسان فقط به یک عضو یا یک آزمایش محدود نمی‌شود، بلکه نتیجه تعادل پیچیده میان بدن، محیط و سبک زندگی است.

در این میان، نقش آنتی‌اکسیدان‌ها بسیار مهم است. بسیاری تصور می‌کنند آنتی‌اکسیدان‌ها فقط در میوه‌ها و سبزیجات یافت می‌شوند، در حالی که بخش مهمی از دفاع آنتی‌اکسیدانی بدن از درون خود بدن تولید می‌شود. یکی از مهم‌ترین نمونه‌ها «ملاتونین» است؛ هورمونی که در تاریکی شب و هنگام خواب ترشح می‌شود. ملاتونین علاوه بر تنظیم خواب، توان بالایی در مقابله با رادیکال‌های آزاد دارد و از سلول‌ها محافظت می‌کند. ملاتونین از ماده‌ای به نام سروتونین ساخته می‌شود؛ مولکولی که با احساس شادی، آرامش و تعادل روانی ارتباط دارد. نکته جالب آن است که بخش بزرگی از سروتونین توسط میکروبیوم روده تولید می‌شود. به همین دلیل، میان سلامت روده، آرامش روان و خواب باکیفیت ارتباطی عمیق وجود دارد.

علم امروز بیش از گذشته نشان می‌دهد که «سبک زندگی سالم» یک انتخاب تجملی نیست، بلکه بخشی از زیست‌شناسی بدن انسان است. خواب منظم، تغذیه طبیعی، کاهش مصرف غذاهای فرآوری‌شده، فعالیت بدنی، دوری از هیاهوی صوتی، کاهش استرس‌های روانی و حفظ روابط اجتماعی سالم می‌توانند تعادل مولکولی و سلولی بدن را حفظ کنند.

در حقیقت، انسان سالم کسی نیست که فقط بیمار نباشد؛ بلکه فردی است که میان ذهن، بدن، محیط و ریتم طبیعی زندگی خود تعادل برقرار کرده باشد. شاید بتوان گفت مهم‌ترین پیام علم بیوفیزیک امروز این است که سلامت، نتیجه هماهنگی و تعادل میان زیست مولکول‌ها و سلول‌های بدن و سبک زندگی انسان است.

وقتی واژه «استرس» را می‌شنویم، بیشتر به فشارهای روحی و روانی فکر می‌کنیم؛ اما در علم امروز، استرس تنها یک احساس ذهنی نیست. از نگاه بیوفیزیک و زیست‌شناسی مولکولی، استرس به هر عاملی گفته می‌شود که تعادل طبیعی سلول‌ها و سامانه‌های حیاتی بدن را بر هم بزند. یکی از مهم‌ترین جلوه‌های آن «استرس اکسایشی» است؛ پدیده‌ای که با افزایش رادیکال‌های آزاد و کاهش توان دفاعی بدن ارتباط مستقیم دارد.

رادیکال‌های آزاد مولکول‌هایی بسیار فعال و ناپایدار هستند که به طور طبیعی در بدن تولید می‌شوند. بدن انسان برای خنثی کردن این مولکول‌ها از سامانه‌های دفاعی و آنتی‌اکسیدان‌ها استفاده می‌کند. اما زمانی که تعادل میان تولید رادیکال‌های آزاد و توان دفاعی بدن از بین برود، استرس اکسایشی شکل می‌گیرد و زمینه آسیب به سلول‌ها فراهم می‌شود.

امروزه منابع استرس بسیار گسترده‌تر از نگرانی‌های روانی هستند. مصرف غذاهای صنعتی، مواد نگهدارنده، نوشیدنی‌های مصنوعی، آلودگی هوا، امواج و برخی پرتوها، صداهای ناهنجار شهری، کم‌خوابی، مصرف دخانیات و حتی استفاده بیش از حد از مواد خوشبوکننده شیمیایی می‌توانند در افزایش استرس اکسایشی نقش داشته باشند. به همین دلیل، بدن انسان مدرن دائماً در معرض فشارهای مولکولی پنهان قرار دارد.

پژوهش‌های بین‌رشته‌ای نشان می‌دهد که استرس اکسایشی می‌تواند در شکل‌گیری بسیاری از بیماری‌های مزمن نقش داشته باشد؛ از جمله در بروز بیماری‌های قلبی، اختلالات عصبی، پیری زودرس و به‌ویژه دیابت نوع ۲ اهمیت می‌یابد. تحقیقات انجام شده در کرسی یونسکو در تحقیقات بین رشته‌ای در دیابت، مستقر در دانشگاه تهران، تأکید دارد که دیابت نوع ۲ تنها بیماری قند نیست، بلکه تا حد زیادی بیماری ناشی از سبک زندگی و استرس سلولی و مولکولی و نقش رادیکال‌های آزاد غیر متعادل است. این نگاه جدید

سخن ثبوتی در سلسله سخنرانی‌های آزاد حکمی و فلسفی (نشست ششم: تقوای علوم تجربی)

۱۳ اردیبهشت ۱۴۰۵

بار فرهنگی دانش‌ها و فناوری‌های نوین^۱

به اعتبار آراء صاحب‌نظران در علوم اجتماعی، ابن‌خلدون از اولین متفکرینی است که در مبانی دانش جامعه‌شناختی تأمل کرده و از اصول حاکم بر آن سخن به میان آورده است. ابن‌خلدون در «مقدمه» (۱) خود، عامل تحول‌های اجتماعی در اقوام مختلف را «عصیبت» می‌نامد. با کلمات امروزی، عصیبت گونه‌ای آمادگی اجتماعی است که در یک قوم برای پذیرش یک نظر یا رفتار به‌وجود می‌آید و به‌صورت ارزشی قومی و ملی برای نیل و تعالی بخشیدن به آن تجلی می‌کند.

دو مثال ابن‌خلدون از پذیرش اسلام توسط جامعه جاهلی عرب و سقوط جامعه اشرافی ساسانی آموزنده و قابل‌توجه است. به نظر او عرب جاهلی، بسیار پیش از آنکه رسول اله ندای توحید سر دهد، خود را به وفای عهد و احترام به قول و قرارهای قبیله‌ای و میان‌قبیله‌ای متعهد کرده بود. تجلی این تعهد نیز در مراعات ماه‌های حرام و اداب حج جاهلی متجلی می‌شد که اقالاً به مدت چند روز هیچ عمل تخریبی حتی در حد آزدن حشرات مودّی از وی سر نمی‌زد. وجود چنین آمادگی و عصیبت به عرب امکان داد که آموزه‌های اجتماعی و اخلاقی حضرت رسول را بتواند درک و جذب کند و در فاصله زمانی بسیار کوتاه که در قیاس با زمان‌های تاریخی به چشم بر هم زدن باید تعبیر شود خود را به یک جامعه صاحب اصول و معیارهای نو و از نظر فرهنگی مهاجم متحول سازد. به نظر ابن‌خلدون سقوط جامعه ساسانی نیز درست به این خاطر بود که آنچه را عرب سعی می‌کرد بزرگ بدارد، یعنی احترام به تعهدات و به کلمات امروزی گونه‌ای قانون‌گرایی، ایران ساسانی سال‌ها بود از خود دور کرده بود.

ابن‌خلدون در ۸۰۶ یا ۸۰۸ هجری هم‌زمان با شروع قرن پانزدهم میلادی دیده فرو بست. رنسانس اروپا و پیامدهای فرهنگی و اجتماعی و علمی و صنعتی آن را ندید. اگر می‌دید شاید در قالب عصیبت «تعهد به جستجوی علت و معلول» و «دوری جستن از تفکر عبودی» نوزایی اروپا را توجیه و تعلیل می‌کرد. اروپا در آستانه گذر از قرون تاریک در یک فاصله زمانی کوتاه تفکر ارسطویی را از خود تکاند، آموزه‌های دستوری کلیسا را با شدت و وسواس از خود دور کرد. به دنبال علت آنچه که می‌دید گشت. به مرحله ابداع رسید. از نوآوری به وجد آمد و جستجوگری و تأمل در ظرایف و

دقایق همه شئون زندگی‌اش را به‌صورت خواست همگانی درآورد. در حوزه حکمت طبیعی، یعنی علوم پایه رایج زمان ما همانند فیزیک و شیمی و بیولوژی و غیره، متعهد شد هر آنچه را که حکم می‌کند به رأی‌العین نشان دهد و اگر چنین کرد آن وقت ادعای اعتبار کند. چنین است که غرب توانسته است دانش‌ها و تکنولوژی‌های نو را بیافریند و متناسب با آن نهادهای اجتماعی، اقتصادی و مدیریتی امروزی را بنا نهد. از قبیل قدرتی که از این راه بدست آورده در جوامع غیرغربی صاحب نفوذ جامع‌الاطراف شده است. نه فقط دانش و فناوری، بلکه همراه با آن، فرهنگ تاریخی و آداب و عادات روزمره خود را نیز به غیره غربی عرضه می‌کند و او هم طوعاً و کرهاً پذیرا است

غرض از این مقدمه مبسوط بر «مقدمه» ابن‌خلدون این است که نتیجه‌گیری کرده باشم که اولاً هرگونه تحول تأثیرگذار و همه‌جانبه در شئون اجتماعی یک قوم نخست باید به صورت خواست همگانی در آید و تکاپوی همگان را در رسیدن به آن پشتوانه داشته باشد. تشبّه به دیگران و نسخه‌برداری از رفتار و کردار آنها و خرید دانش‌ها و فناوری‌های جوامع پیشرفته، جامعه خودی را به کمال نخواهد رساند. ثانیاً دانش‌ها و فناوری‌های نوین از نظر ارزش‌های فرهنگی و اجتماعی خنثی نیستند. بر آداب و عادات و سنت‌های جامعه مصرف‌کننده سنگینی می‌کنند و تجدید نظر در آنها را می‌طلبند. به کارگیری کارآ و مقتصدانه و عاری از تنش از دانش‌ها و فناوری‌های نو نیز در گرو دو شرط خواهد بود. نخست آنکه جامعه در خلق جهانی آنها سهیم باشد تا بتواند بر تکنولوژی مسلط شود، در بروز نارسایی‌ها به هنگام چاره‌بینی‌شد و مالا خود صاحب‌نظر و سندیت شود. دوم آنکه الزامات فرهنگی و ارزشی آنها را بشناسد و برای کنار آمدن با آنها آماده باشد. در مورد اول، در اینکه خلاقیت علمی و تکنولوژیکی برای پویایی جامعه از ضرورت‌هاست سخن بسیار گفته شده است. تأکید در باقیمانده این مقاله بر نکته دوم خواهد بود که تکنولوژی و دانش نوین از نظر ارزش‌های فرهنگی و سنت‌های اجتماعی خنثی نیست و تبعات خوش‌آیند دارد. برای روشن شدن مطلب به ذکر چند مثال مبادرت می‌شود.

۱- علی‌الظاهر دارو و درمان نوین مطلوب است و هیچ منع اخلاقی، فرهنگی و اعتقادی از دید هیچ کس اعم از خواص و عوام ندارد. در ایران ما هم از یک‌صدوپنجاه سال پیش کم‌وبیش بدون مقاومت مورد استقبال قرار گرفته است. ولی در همین مدت سبب شده

۱. مجموعه مقالات همایش علم و فناوری - آینده و راه‌بردها، انتشارات مرکز تحقیقات استراتژیک، جلد ۱، صفحات ۴۴-۴۲، ۱۳۷۹. چهره‌های ماندگار: دکتر یوسف ثبوتی، ۱۳۸۳، صفحات ۸۳-۷۷

تاریخی ما اعم از اعتقادی و غیر آن وجود ندارد. حتی صاحب‌نظران در موارد اختلاف از تکفیر و تفسیق هم‌ترازان خود ابا نداشته‌اند و ندارند. تکفیر ابوعلی سینا و فارابی توسط امام غزالی (۲) به‌خاطر نظرات فلسفی آنها، بدگویی ابوریحان بیرونی از محمد ذکریای رازی (۳) به‌سبب (به نظر ابوریحان) بدباوری‌های رازی، حکم‌الحاد و مهدورالدم بودن شیخ اشراق، سهروردی توسط علمای حلب (۴) به‌خاطر مغایرت حکمت اشراق وی با نظرات آنها مشتبی از خروار در این مقوله است. از این نظر دانشجوی دانشگاه با طلبه حوزه در مقابل هم قرار می‌گیرند. اولی آموزش دیده است که پرسشگر باشد و هیچ قول و حکمی را نهایی و غیرقابل تغییر نداند و دومی متعهد شده است که متعبد باشد و حریم باورها را پاس بدارد. هم از این نظر است که حوزه و دانشگاه علی‌رغم همه حسن‌نیت‌ها و پیش‌گامی‌ها از هر دو طرف نتوانسته‌اند توفیق چشم‌گیری در نزدیک شدن به همدیگر داشته باشند. و باز به همین خاطر است که در ماه‌های اخیر بعضی از بزرگان و پاسداران حریم باورها به زبان آورده‌اند که در هدایت و سوق جوانان به سمت ایده‌آل‌های موردنظر توفیق حاصل نشده است. اکنون اجازه می‌خواهم از آنچه تاکنون گفته‌ام نتیجه‌گیری کنم:

خلاقیت علمی و تکنولوژیکی به معنای کلمه یعنی نوآوری نواندیشی و نوجویی. دست‌یابی به فناوری جدید یعنی به‌کار بردن ابزارها و روش‌هایی که در گذشته تاریخی و یا بلافاصل جامعه سابقه ندارد. اجتماعی که پذیرش نوآوری و تحمل سنت‌شکنی را ندارد و ترجیح می‌دهد در چارچوب عادات و آداب مرسوم خود عمل کند مشکل بتواند به خلاقیت علمی و تکنولوژیکی دست بیابد و مشکل‌تر بتواند از تکنولوژی خریداری شده‌اش، استفاده مقصدانه و درست بکند. جامعه ما از اوان آشنایی با غرب، کم‌وبیش از حدود یک‌صدوپنجاه سال پیش، شیفته و مسحور علوم و فنون جدید بوده است. در تحصیل آن سرمایه می‌گذارد، برنامه می‌ریزد. وقت صرف می‌کند و رنج می‌برد ولی آخر سر می‌بیند آن‌طوری که دلش می‌خواهد شاهد مقصود را در آغوش نمی‌کشد. ناکام است، از خودی ملامت می‌شود و از بیگانه وهن می‌بیند. به نظر این کم‌ترین همه اینها به خاطر این است که به تبعات و الزامات نوآوری‌ها و نوجویی‌ها بی‌توجه است. چاه‌نکننده منار می‌دزدد. می‌توان ناکامی‌ها و بروز تنش‌ها را از این منظر هم دید و از متهم کردن همدیگر به الحاد، خودفروختگی، خودباختگی، خیانت به تاریخ و ملت و معتقدات، جمود فکری و عوام‌فریبی و انواع نام‌های دیگر پرهیز کرد. می‌توان ریشه مشکلات را در خارج از انسان‌ها، اعم از بیگانه و باگانه، هم جستجو کرد و فارغ از حب و بغض و عواطف له و علیه انسانی در رفع آنها گام برداشت

است که جمعیت چند میلیونی کشور به شصت‌وچند میلیون افزایش یابد. در جهت کنترل جمعیت تجویز و عملاً تحمیل شده است که جوانان تا سنین بیست‌وچند سالگی دور و بر انتخاب همسر نگردند. ولی فراموش شده است که جوانی نیازهای خدا آفریده دارد و برآوردن آنها را می‌طلبد. از سوی دیگر جامعه بر آداب و عادات و باورهای یکصد سال پیش پافشاری می‌کند. جدایی زن و مرد را می‌خواهد و آمادگی مصالحه را ندارد.

۲- مشارکت زن و مرد در محیط‌های تجاری و صنعتی و اداری و آموزشی لازمه زندگی امروزی است. بالطبع دیدن و دیده شدن زن و مرد را بدنبال دارد. با سنت محصور بودن زن در چاردیواری خانه در تعارض است. مشارکت زن و مرد در خارج از خانه در کشور ما تحقق پذیرفته است. ولی هنوز که هنوز است در مورد لباس و نحوه برخورد زن و مرد الگوی عاری از تنش پیدا نشده است و چه توانی که صرف آن نمی‌شود.

۳- آموزش همگانی در هر مقطع سنی و در هر موضوع علمی، فنی و اجتماعی، اعتقادی و فرهنگی مطلوب است و از سوی همه مقامات دولتی، قضایی و مذهبی تجویز می‌شود. ولی تکثیر مکاتبات فکری را به دنبال دارد که جامعه در پذیرش بخش‌هایی از آن تردید دارد.

۴- تکنولوژی‌های اطلاع‌رسانی و ارتباط جمعی از خدمات پستی و تلفن و تلگراف گرفته تا رادیو و تلویزیون و ماهواره و پست الکترونیکی و اینترنت و تا روزنامه و کتاب و نشریات ادواری هر کدام که در غرب به‌وجود آمده‌اند اندک زمانی بعد در کشور ما نیز به‌کار گرفته شده‌اند. ولی آمیختن با فرهنگ‌های دیگر و مخصوصاً فرهنگ‌های غربی را در پی داشته‌اند که در موارد بسیار مطلوب جامعه نبوده است. در کشورهایی همانند ما همیشه چاره در این دیده شده است که سازوکاری بر جریان اطلاعات نظارت کند و آنچه را خوشایندش نیست جلو بگیرد.

۵- در این میان به نظر این کمترین بحث‌انگیزترین عامل تنش‌ها در جوامعی نظیر جامعه ما اصول رایج در دانش‌های بنیادی است. دانش‌ها و فناوری‌های جدید که ریشه در معارف سنتی ما ندارند از محسوسات صحبت می‌کنند. بر رابطه علت و معلول تأکید دارند. احکام نهایی خود را با میزان تطابق آنها با مشاهدات ارزیابی می‌کنند. نه تنها از جزمیت‌گریزانند بلکه در هر حکمی تشکیک و تردید را ترجیح می‌دهند. در موارد بروز اختلاف بین صاحب‌نظران منطق ریاضی و اگر نشد مشاهدات عینی مستقیم و غیرمستقیم به داوری خواسته می‌شوند. چنین خصوصیتی در معارف سنتی و

منابع

۱. ابن خلدون، ابوزید عبدالرحمن، کتاب العبر و دیوان المبتد و الخبر فی ایام العرب و العجم و البربر - جلد اول مقدمه
۲. غزالی، ابوحامد محمد، المنقذ من الضلال
۳. بیرونی، ابوریحان محمد، فهرست کتب رازی به نقل از غضنفر تبریزی، تصحیح و تعلیق دکتر مهدی محقق، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۶۶
۴. معین، محمد، فرهنگ فارسی، بخش اعلام، مدخل سهروردی

ارتقا و اعتلای جایگاه علوم پایه: موفقیت‌ها و آسیب‌ها

احمد شعبانی^{۱*} و سعید سمنانیان^۲

۱. استاد دانشکده شیمی دانشگاه شهید بهشتی

و رئیس کمیسیون تخصصی علوم پایه و فناوری‌های همگرا شورای عالی عتف، تهران، ایران.

۲. عضو هیات علمی دانشگاه تربیت مدرس

و عضو کمیسیون تخصصی علوم پایه و فناوری‌های همگرا شورای عالی عتف، تهران، ایران.

a-shaabani@sbu.ac.ir

نامه علوم پایه شماره ۱۵، بهار و تابستان ۱۴۰۴

چکیده

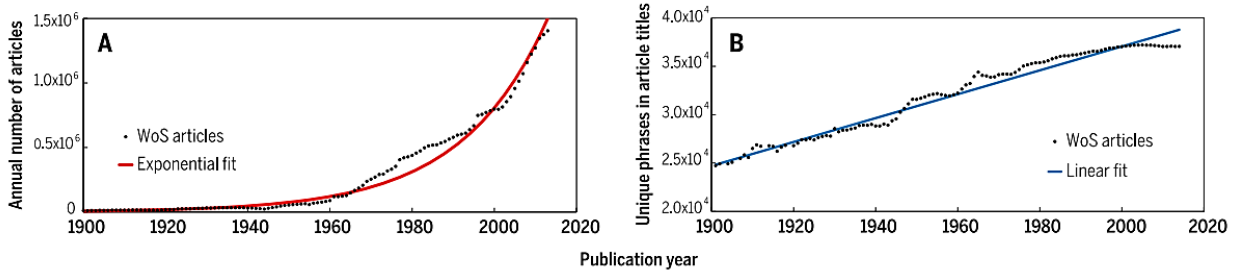
در این مقاله جایگاه علوم پایه در دو حوزه پژوهشی و دانشجویی در ایران بررسی شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد، رتبه جهانی ایران در رشته‌های پنجگانه علوم پایه شامل ریاضی، فیزیک، شیمی، زیست‌شناسی، و زمین‌شناسی، و زمین‌شناسی به ترتیب ۱۶، ۱۹، ۱۴، ۲۰ و ۲۱ است و ریاضی و شیمی به ترتیب ۳ و ۵ رتبه نسبت به رتبه کشوری ۱۹ پیشگام تر می‌باشد. میانگین جهانی پژوهشگران پراستاد در علوم پایه از کل پژوهشگران کشورها ۲۳٫۶ درصد است؛ این میانگین در ایران بیش از ۲۵ درصد می‌باشد که نشان از جایگاه متعالی علوم پایه در کشور دارد. در سال ۱۴۰۲، تعداد کل دانشجویان علوم پایه ۲۰۵ هزار نفر بوده که از این تعداد ۱۴۹ هزار در مقطع کارشناسی (۷۲ درصد)، ۴۰ هزار در مقطع کارشناسی ارشد (۲۰ درصد) و ۱۶ هزار نفر در مقطع دکتری (۸ درصد) به تحصیل اشتغال داشتند که با اهداف برنامه‌های توسعه و پیشرفت کشور که نسبت دانشجویان تحصیلات تکمیلی به کل دانشجویان باید ۳۰ درصد باشد، نسبتاً مطابقت دارد. در مقابل این دستاوردها و موفقیت‌ها، مشاهده می‌شود که در سه دهه‌ی گذشته، سهم دانشجویان علوم پایه از کل دانشجویان کشور ۵۰ درصد کاهش یافته، از ۱۴ درصد به کمتر از ۷ درصد رسیده است. بیش از ۵۰ درصد از کل دانشجویان علوم پایه و ۷۰ درصد از دانشجویان تحصیلات تکمیلی آن در وزارت علوم، تحقیقات و فناوری (عتف) تحصیل می‌کنند، که این تمرکز، مزیتی برای علوم پایه در کشور محسوب می‌شود. تعداد کل شرکت‌کنندگان کنکور مقطع دکتری در دو سال متوالی ۱۴۰۳ و ۱۴۰۴ حدود ۱۷۰ هزار نفر بوده که سهم داوطلبان علوم پایه از این تعداد به ترتیب حدود ۶٫۵ و ۴ درصد است؛ که کاهش ۲٫۵ درصدی معنا دار و جای تامل جدی دارد. یکی از شاخص‌های کیفی مراکز آموزشی، میزان پذیرش دانش‌آموختگان هر زیر نظام در مقاطع بالاتر است، توزیع پذیرفته‌شدگان از مقطع کارشناسی به کارشناسی ارشد در زیرنظام‌های مختلف به این ترتیب است: وزارت عتف ۶۶٫۵، دانشگاه آزاد اسلامی ۲۱، پیام نور ۷٫۳ و غیر انتفاعی ۴٫۵ درصد و در دکتری وزارت عتف ۸۶ درصد، دانشگاه آزاد اسلامی ۹ درصد، پیام نور ۵ درصد و موسسات غیر انتفاعی کمتر از ۱ درصد. این آمار نشان می‌دهد کیفیت آموزش و پژوهش در وزارت عتف با اختلاف معنا دار، به ویژه در پذیرش مقطع دکتری، بالاتر از سایر زیرنظام‌هاست. بر اساس نتایج این بررسی، و با توجه به اهمیت این حوزه در کشور و با عنایت به نگرانی‌هایی که در افت رویکرد جوانان به این رشته‌ها ملاحظه می‌شود، پیشنهاداتی در جهت ارتقا و اعتلای جایگاه علوم پایه ارائه شده که امید است بتواند مبنایی برای تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری در سطوح مختلف حکمرانی علم و فناوری کشور در حوزه علوم پایه قرار گیرد.

کلید واژگان: علوم پایه، دانشجو، آموزش، پژوهش، اشتغال، برنامه سیاست‌گذاری علمی - اجرایی، آزمون سراسری

مقدمه

است و کشورهای ناتوان از تولید دانش [پایه] محلی، نمی‌توانند صرفاً با اتکا به دانش وارداتی، مسائل پیچیده و بومی خویش را حل و فصل کنند. دانش، برخلاف داده و اطلاعات، امری اکتشافی است و نه کالایی وارداتی یا قابل کپی‌برداری. آمار نشان می‌دهد که اگرچه رشد تولید مقالات علمی روندی نمایی دارد و هر ۱۵ سال دو برابر می‌شود، اما تولید ایده‌های نو و بنیادین ماهیتی خطی داشته، تقریباً هر ۳۰ سال دو برابر می‌شود (شکل ۱).

نقش علوم در تحولات فرهنگی، اجتماعی، اقتصادی، سیاسی، نظامی و بین‌المللی بر کسی پوشیده نیست. توسعه همه‌جانبه علوم، یکی از ارکان بنیادین پیشرفت پایدار هر کشور به شمار می‌آید. کشورهاییکه از ظرفیت‌های مؤثر در پژوهش و تولید دانش برخوردار نیستند، به تدریج از چرخه اثرگذاری بر علوم آینده خارج شده، به مصرف‌کننده دانش دیگران تبدیل می‌شوند. بهره‌برداری و انتقال مؤثر دانش، مستلزم درک عمیق مبانی نظری و عملی علم



شکل ۱. نمودار رشد تولید مقالات علمی (سمت چپ) و تولید ایده‌های نو و بنیادی (سمت راست) (۱)

طبیعت و به عبارتی به نا پیدها که شناخت و فهم آنها انسان را به فهم و درک سایر پدیده‌ها رهنمون می‌سازد، می‌پردازد (۲).

۲-۱ - علوم پایه، مؤثر در شکل‌گیری فرهنگ

علم و فرهنگ در یکدیگر عجین‌اند و از هم جدایی‌ناپذیر. علم صورت‌بندی قانونمندی‌های عالم هستی است و بنابراین بستر ساز جهان‌بینی انسان است. انسان عالم با ابزار علم بر طبیعت چیره می‌شود و از دیگر سو، علم، قالب و چهارچوب شناختی روش‌مند، قانونمند و نظامندی را به انسان نشان داده، نگرش‌ها و باورهای متفاوت در ابعاد مختلف فرهنگی، اجتماعی، هنری و حتی اقتصادی را در حیات انسانی سبب می‌شود. با علم است که شب و روز، سرما و گرما، انسان و حیوان و نباتات شناخته می‌شوند و از دیگر سو با علم است که می‌توان از خودشناسی به جهان‌شناسی و سپس به خداشناسی رسید و چون خود و جهان را شناختیم، خداشناختی نیز آسان می‌شود. به عبارت دیگر، علم به‌طور همزمان، آفریده و آفریننده فرهنگ‌ها، باورها، اعتقادات و موجد جهان‌شناسی، خودشناسی و جهان‌بینی است. به‌طوری‌که تعصب‌های ناآگاهانه و خشک، باورهای غلط، سحر و جادوگری، همه و همه با سلاح علم و دانش از جوامع بشری رخت برمی‌بندند و حضور رویکردهای علمی موجب شکل‌گیری فرهنگ‌های جدید می‌گردد. پیشرفت‌های علوم و به تبع آن علوم پایه در دو سده اخیر، سبب پدید آمدن فرهنگ علمی مشترک بین‌المللی در میان جوامع شده است.

۲-۲ - علوم پایه، پایه اغلب فناوری‌ها و پیشرفت‌های صنعتی

مرور تاریخ علم نشان می‌دهد که کشفیات معتابه علوم پایه خاستگاه بنیادی انقلاب‌های علمی، صنعتی و اقتصادی بوده است. گرچه دویست سال پیش نیز اختراع یک داروی مسکن برای درمان دندان‌درد اهمیت کاربردی بیشتری نسبت به کشف سیارات داشته است، اما دانشمندان بدون توجه به نیازهای کاربردی و ضروری جامعه بشری هر روزگار، به دنبال شناخت و کشف ماهیت اتم، مولکول و ده‌ها مسئله علوم پایه‌ای از این دست بوده‌اند و با اینکه این دغدغه‌های ذهنی هیچ یک به ظاهر کاربردی نبودند، نتایج این تأملات بنیادی در درازمدت منجر به کشفیات بزرگ و انقلاب‌های علمی و صنعتی شگرفی شدند.

با عنایت به بحث‌های فلسفی و نظری دیرینه پیرامون نسبت علم و فناوری، اجماع غالب جامعه علمی بر این است که علوم پایه، زیربنای اصلی توسعه فناوری محسوب می‌شوند. هرچند فناوری می‌تواند به پیشرفت علوم کمک کند، اما بدون پشتوانه‌ای قوی از علوم پایه، دستیابی به فناوری پایدار امکان‌پذیر نخواهد بود. علوم پایه با کشف قوانین طبیعت، شناخت نظم حاکم بر آن و تعمیم این شناخت در توسعه فناوری‌های صنعتی، همچنین با تقویت تفکر منطقی، عقلانیت، فرهنگ و اخلاق علمی، نقشی بنیادین ایفا می‌کنند. علوم پایه و علوم کاربردی در تعامل و امتداد یکدیگر قرار دارند و برآیند این تعامل، نوآوری، حل مسائل و توسعه فعالیت‌های دانش‌بنیان است. از این‌رو، انتظار کاربرد سریع و مستقیم بدون سرمایه‌گذاری مستمر در پژوهش‌های نظری و بنیادی، انتظاری واقع‌بینانه نیست. نگاه به علوم پایه باید راهبردی و بلندمدت بوده، به مثابه ذخیره راهبردی برای سایر علوم و فناوری‌ها تلقی شود.

توسعه هیچ حوزه‌ای بدون برنامه‌ریزی امکان‌پذیر نیست و علوم پایه نیز از این قاعده مستثنی نیست. هر برنامه‌ریزی مؤثر مستلزم ترسیم وضعیت موجود، تعریف وضعیت مطلوب و تدوین راهبردها، سیاست‌ها و برنامه‌های اجرایی برای گذار هدفمند میان این دو وضعیت است. فعالیت‌های علمی ماهیتی سازمان‌یافته و هدایت‌شده دارند و از طریق سیاست‌گذاری صحیح، برنامه‌ریزی منسجم و تخصیص منابع مالی کافی به آموزش و پژوهش در علوم پایه، علاوه بر افزایش تولید علم، می‌توان به نهادینه‌سازی فرهنگ علمی در جامعه دست یافت. از این‌رو، در مقاله حاضر با هدف تبیین جایگاه راهبردی علوم پایه در نظام علم و فناوری کشور، تحلیل وضعیت موجود، شناسایی چالش‌ها و فرصت‌ها و ارائه پیشنهادها و سیاستی و اجرایی تدوین شده و امید است نتایج آن مبنایی برای تصمیم‌سازی و تصمیم‌گیری در سطوح مختلف حکمرانی علم و فناوری کشور مورد استفاده قرار گیرد.

۲- اهمیت علوم پایه

علوم پایه از جنبه‌های مختلف حائز اهمیت است، به این سبب که این علوم به بررسی موضوعات پایه‌ای و محوری از قبیل حرکت، ماده، خلقت، حیات و به طور کلی پدیده‌های بنیادین عالم و کشف

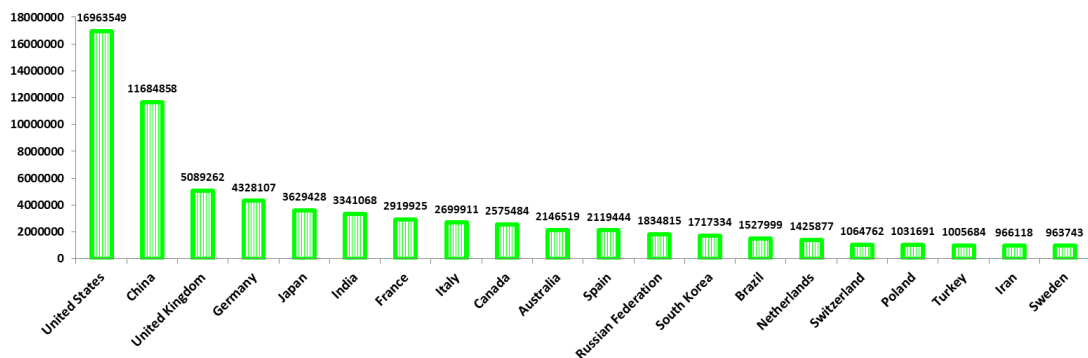
۲-۳- نقش علوم پایه در آموزش

علوم پایه، شالوده نظام آموزشی در سطوح دبستان، دبیرستان و دانشگاه را تشکیل می‌دهند و خوشبختانه در کشور ما نیز گرایش عمومی به فراگیری آن‌ها قابل توجه است. آموزش علوم پایه صرفاً انتقال مجموعه‌ای از مفاهیم نظری نیست، بلکه بسترساز شکل‌گیری تفکر منطقی، قدرت تحلیل، حل مسئله و پرورش خلاقیت در افراد است. به بیان دیگر، دستیابی به سطحی معین از سواد در ریاضیات، فیزیک، شیمی، زیست‌شناسی و زمین‌شناسی برای تکامل رشد شناختی انسان ضروری است؛ چنان‌که بدون آشنایی مقدماتی با این حوزه‌ها، فهم منسجم پدیده‌های طبیعی و فناوری‌ها امکان‌پذیر نخواهد بود.

فناوری‌های نوین از قبیل نانو، زیست‌فناوری، کوانتم، هوش مصنوعی و مواد پیشرفته که زمینه‌ساز موج تازه‌ای از تحول علمی-صنعتی با ماهیت دانش‌بنیان هستند، ریشه‌های عمیق در رشته‌های علوم پایه دارند. پیشرفت در این عرصه‌ها بدون اتکای نظری بر مفاهیم ریاضی، اصول فیزیکی، بنیان‌های شیمیایی، سازوکارهای زیستی و دانش مواد امکان‌پذیر نیست. پیچیدگی و میان‌رشته‌ای بودن این فناوری‌ها ایجاب می‌کند که نظام آموزشی کشور، پشتیبانی علمی و برنامه‌ریزی منسجم برای تربیت نیروی انسانی توانمند در این حوزه‌ها فراهم آورد. لذا، تقویت علوم پایه نه‌تنها سرمایه‌گذاری بر آموزش، بلکه سرمایه‌گذاری بر آینده علمی، صنعتی و اقتصادی کشور است؛ زیرا هرگونه جهش فناورانه پایدار، ناگزیر بر بنیان‌های مستحکم علوم پایه استوار خواهد بود.

۳- جایگاه علوم پایه در ایران در میان بیست کشور شاخص در تولید مستندات علمی در فاصله زمانی ۲۰۲۴-۱۹۹۶

رتبه بیست کشور برتر در تولید علم بر اساس داده‌های سایمگو^۷ در فاصله زمانی ۲۰۲۴-۱۹۹۶ در شکل ۲، نشان می‌دهد آمریکا و چین در تولید اسناد علمی به ترتیب رتبه اول و دوم و ایران با رتبه ۱۹ پس از ترکیه قرار گرفته است.



شکل ۲. رتبه بیست کشور برتر در تولید علم بر اساس داده‌های سایمگو در فاصله زمانی ۲۰۲۴-۱۹۹۶.

اختراع کامپیوتر با پیشرفت‌های الکترونیک مدرن و منطق ریاضی و پس از دستیابی فیزیک هسته‌ای به شیوه شمارش ذرات (سال ۱۹۳۰ م) محقق شد و امروز یکی از بزرگ‌ترین انقلاب‌های علمی و فناوری مبتنی بر علوم پایه قلمداد می‌شود. ترانزیستور را دانشمندانی اختراع کردند که در شکل‌گیری نظریه کوانتوم جامدات سهیم بودند. انرژی هسته‌ای توسط دانشمندان علوم پایه که به دنبال کشف خصوصیات هسته اتم بودند حاصل شد. صنعت برق بدون کشف الکترون توسط دانشمندانی چون تامسون^۱ و لورنتز^۲، امکان‌پذیر نبود. فیزیک‌دان بریتانیایی جی.جی. تامسون کاشف الکترون در مراسم اهداء جایزه نوبل در سال ۱۹۰۶ میلادی با اشاره به کشف الکترون، می‌گوید: این کشف صرفاً یک پژوهش پایه‌ای و بدون توجه به کاربردهای الکترون بوده است. او اضافه می‌کند هرگز به کاربردهای الکترون فکر نمی‌کرده است. جالب اینکه گردش مالی سالیانه کاربردهای الکترون (در صنایع الکترونیکی، پزشکی و ...) پس از یکصد سال از کشف آن، ۳×۱۰^{۱۸} دلار تخمین زده می‌شود. چنانچه اشاره شد عکس‌برداری با اشعه ایکس نیز مدیون پژوهش‌های دانشمندان علوم پایه درباره ماهیت الکتریسته است. البته باید متذکر شد، بعضاً فاصله زمانی بین کشفیات علوم پایه تا دستیابی به نتایج کاربردی، بسیار طولانی است^۳ و به همین دلیل کشفیات علوم پایه به سرعت منجر به تولید ثروت نمی‌شوند، چرا که کاربردی کردن آنها گاهی ممکن است سال‌ها طول بکشد. داستان کشف تفلون موید این ادعاست. پلانکت^۴، شیمی‌دان و کاشف جوان تفلون هرگز تصور نمی‌کرد محصول پژوهش او روزی در ظروف آشپزخانه، لباس‌های فضانوردان، درچه‌های قلب مصنوعی، استخوان‌های جایگزین برای چانه، بینی، جمجمه، مفاصل ران و زانو، دندان‌های مصنوعی و ... و حتی به عنوان واشر در بمب اتم به کار رود. تفلون نام تجاری پلی‌مرترافلورواتیلین^۵ است و یکی از فرآورده‌های پر درآمد شرکت دوپون^۶ (یکی از بزرگ‌ترین شرکت‌های تولیدکننده مواد شیمیایی) است (۳).

1. George John Thompson

2. Lorentz

۳. در قرن نوزده طول زمان تبدیل اکتشافات علمی به فناوری‌های نوین، ۵۰ سال و در قرن بیستم ۲۰ سال و امروز به ۵ الی ۱۰ سال تقلیل پیدا کرده است.

4. Plankett

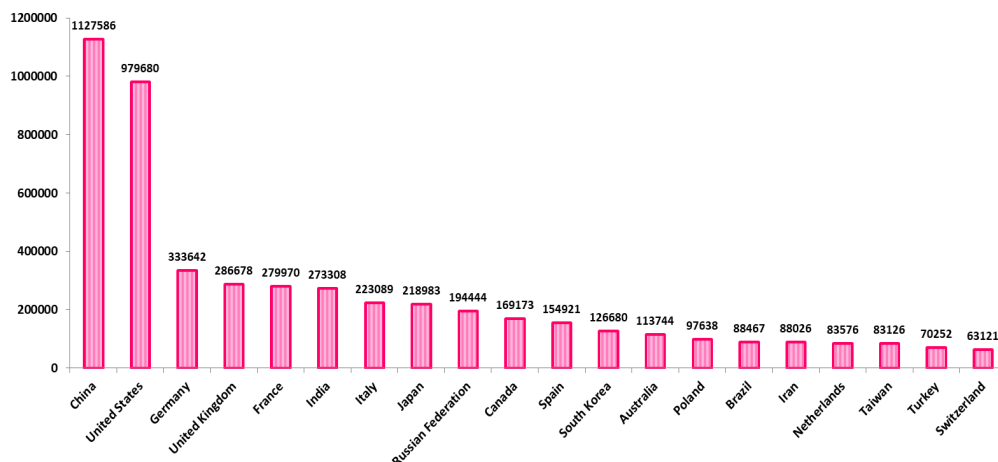
5. Tetrafluoroethylene

6. DuPont

7. Scimagojr (<https://www.scimagojr.com>)

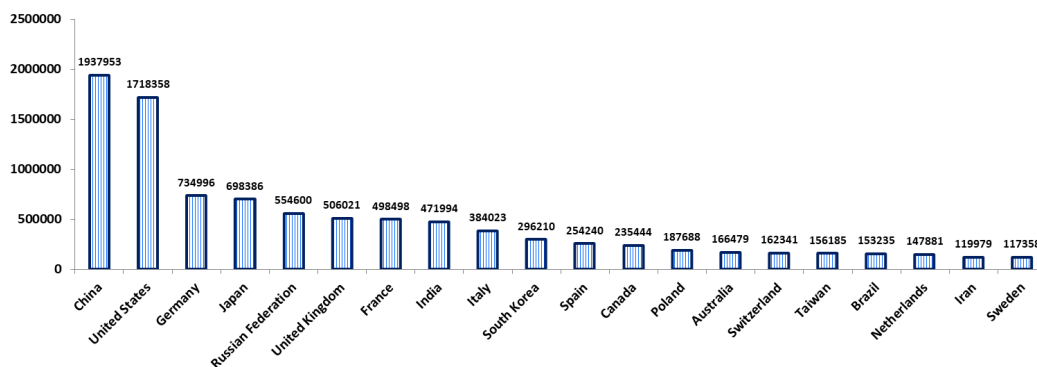
شده است. در ریاضی، چین و آمریکا به ترتیب رتبه اول و دوم و ایران رتبه شانزدهم را دارد (شکل ۳).

تولید علم رشته‌های پنجگانه علوم پایه شامل ریاضی، فیزیک، شیمی، زیست‌شناسی، و علوم زمین در نمودارهای ۲ الی ۶ آرایه



شکل ۳. رتبه بیست کشور برتر در تولید علم در رشته ریاضی بر اساس داده‌های سایمگو در فاصله زمانی ۲۰۲۴-۱۹۹۶.

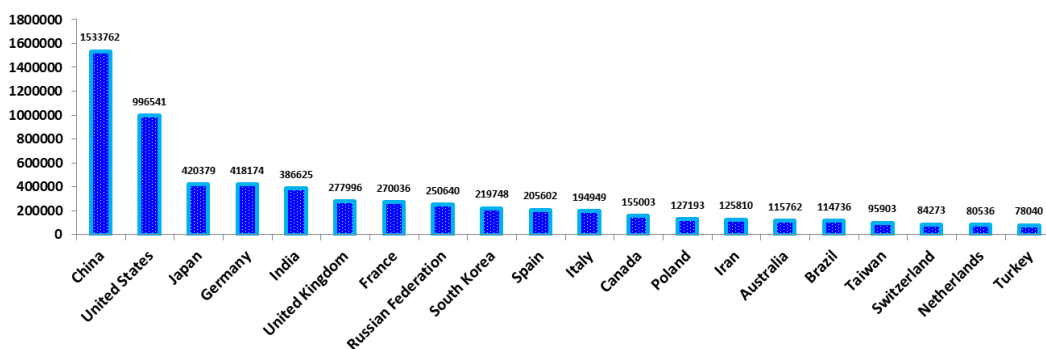
در فیزیک نیز، چین و آمریکا به ترتیب رتبه اول و دوم و ایران از رتبه نوزدهم برخوردار است (شکل ۴).



شکل ۴. رتبه بیست کشور برتر در تولید علم در رشته فیزیک و نجوم بر اساس داده‌های سایمگو در فاصله زمانی ۲۰۲۴-۱۹۹۶.

و ترکیه در رتبه بیستم قرار گرفته است (شکل ۵). این جایگاه نشان می‌دهد شیمی یکی از حوزه‌های نسبتاً توانمند و برتر علوم پایه در کشور محسوب می‌شود و ظرفیت بالقوه‌ای برای ارتقا به سطوح بالاتر دارد؛ مشروط بر آنکه حمایت‌های هدفمند، توسعه زیرساخت‌های پژوهشی و تقویت پیوند با صنعت به صورت مستمر دنبال شود.

در حوزه شیمی، بر اساس داده‌های علم‌سنجی بین‌المللی، چین و ایالات متحده آمریکا به ترتیب رتبه‌های اول و دوم را به خود اختصاص داده‌اند و ژاپن با قرارگیری در رتبه سوم، جایگاهی پیشروتر نسبت به آلمان دارد؛ کشوری که در حوزه‌های ریاضیات و فیزیک رتبه سوم را کسب کرده است. در این میان، ایران در حوزه شیمی رتبه چهاردهم جهان را داراست

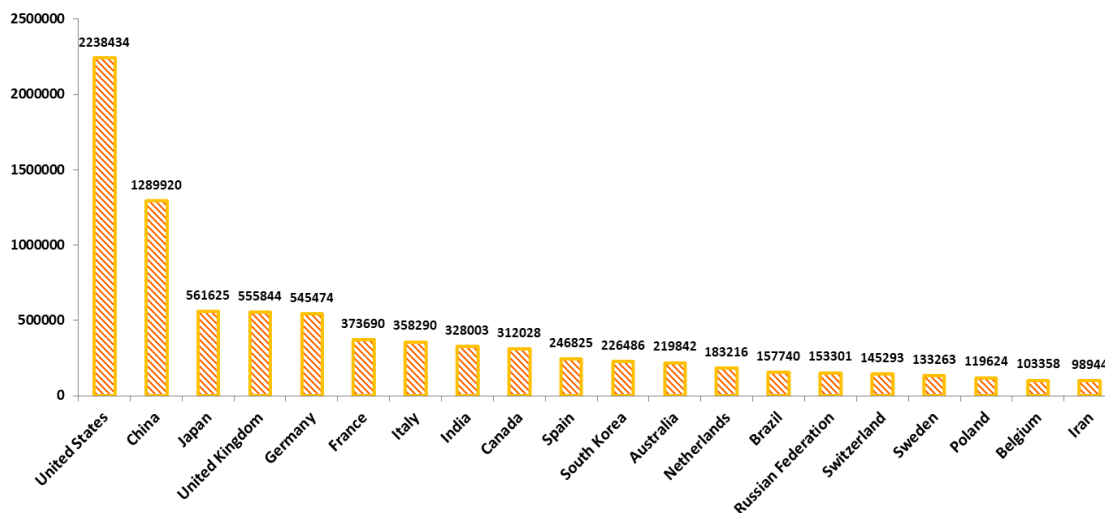


شکل ۵. رتبه بیست کشور برتر در تولید علم در رشته شیمی بر اساس داده‌های سایمگو در فاصله زمانی ۲۰۲۴-۱۹۹۶.

در حوزه زیست‌شناسی، ایالات متحده آمریکا و چین به ترتیب رتبه‌های اول و دوم جهانی را به خود اختصاص داده‌اند و ژاپن در رتبه سوم قرار دارد؛ جایگاهی که آن را در این حوزه پیشگام‌تر از آلمان -با وجود رتبه سوم این کشور در ریاضی و فیزیک- نشان

می‌دهد.

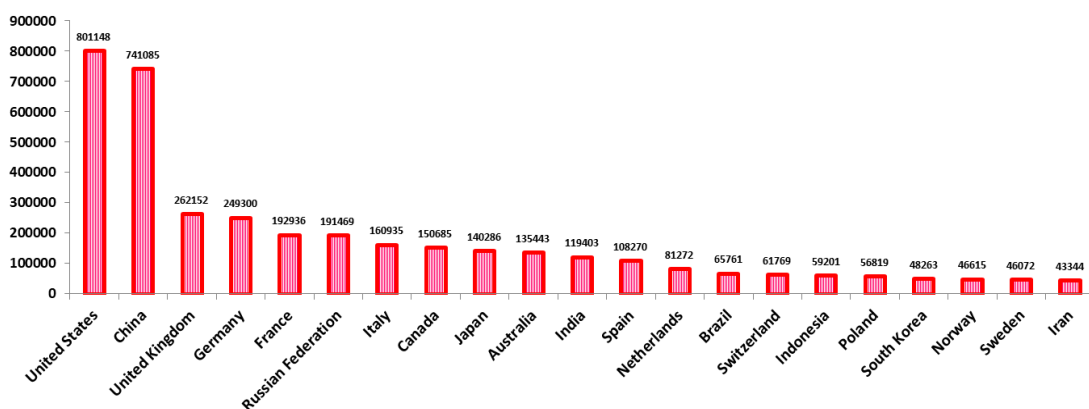
در این میان، ایران در حوزه زیست‌شناسی رتبه بیستم جهان را داراست و از این منظر، پیشروتر از سایر کشورهای منطقه ارزیابی می‌شود (شکل ۶).



شکل ۶. رتبه بیست کشور برتر در تولید علم در رشته شیمی بر اساس داده‌های سایمگو در فاصله زمانی ۱۹۹۶-۲۰۲۴

در حوزه زمین‌شناسی، چین و ایالات متحده آمریکا به ترتیب رتبه‌های اول و دوم جهان را به خود اختصاص داده‌اند و آلمان در رتبه سوم قرار دارد. ایران در این حوزه رتبه بیست‌ویکم و ترکیه رتبه بیست‌ونجم را به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۷).

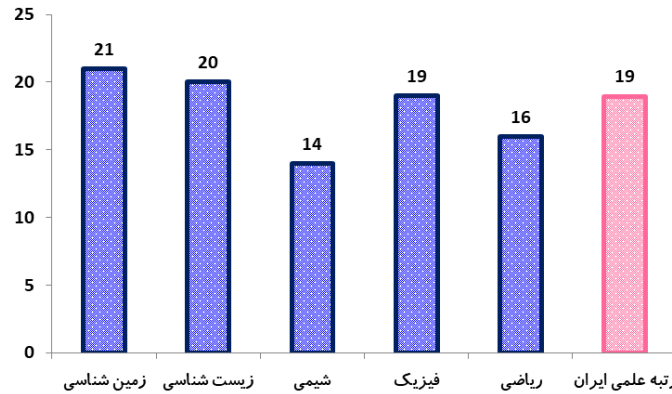
این جایگاه برای علوم زمین -با توجه به برخورداری ایران از منابع غنی مواد و کانی‌های معدنی شایسته کشور نیست- فاصله قابل توجهی با کشورهای پیشرو دارد و فرصت‌های توسعه و تقویت پژوهش‌های زمین‌شناسی کشور برای ارتقای جایگاه علمی جهانی باید توجه جدی شود.



شکل ۷. رتبه بیست کشور برتر در تولید علم در رشته شیمی بر اساس داده‌های سایمگو در فاصله زمانی ۱۹۹۶-۲۰۲۴

به طور خلاصه، رتبه جهانی ایران در کل اسناد علمی و به ویژه در پنج رشته اصلی علوم پایه شامل ریاضی، فیزیک، شیمی، زیست‌شناسی و زمین‌شناسی در شکل ۸ ارائه شده است. این نتایج بیانگر این نکته است که با وجود پیشرفت‌های قابل توجه ایران در علوم پایه، همچنان فاصله‌هایی میان رشته‌های مختلف وجود دارد

و توجه ویژه به زیست‌شناسی و زمین‌شناسی برای ارتقای جایگاه علمی کشور ضروری است. هم‌زمان، جایگاه مناسب شیمی و ریاضیات نشان‌دهنده ظرفیت بالقوه و توانمندی‌های موجود برای پیشبرد تحقیقات بنیادی و توسعه فناوری‌های مرتبط است.



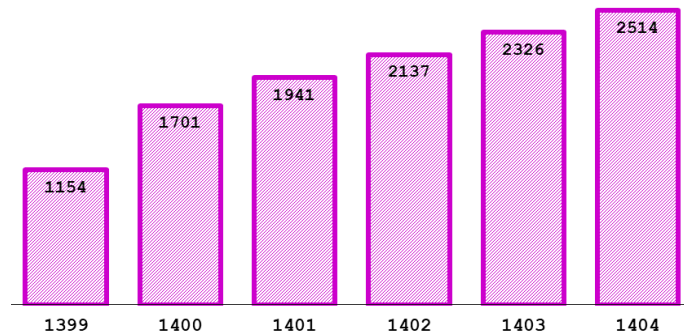
شکل ۸. رتبه جهانی ایران در کل اسناد علمی و رشته‌های پنجگانه علوم پایه شامل ریاضی، فیزیک، شیمی، زیست شناسی، و زمین شناسی بر اساس داده‌های سایمگو در فاصله زمانی ۲۰۲۴-۱۹۹۶.

را به خود اختصاص داده است و پس از آن، کشورهای عربستان سعودی، ترکیه، مصر و پاکستان به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار دارند (شکل ۱۰).

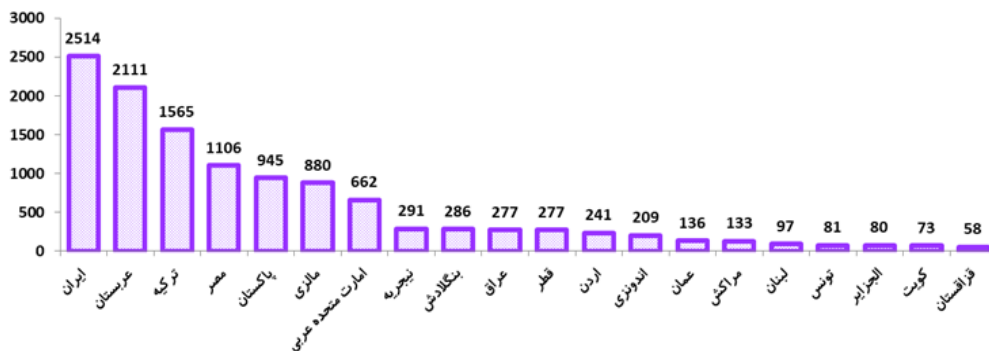
این روند صعودی نشان‌دهنده ارتقای کیفیت پژوهش‌های کشور و حضور قابل توجه پژوهشگران ایرانی در سطح بین‌المللی است و بیانگر توان بالقوه نظام علمی ایران در تولید علم تأثیرگذار و رقابت با کشورهای پیشرو است (۴).

۴- جایگاه پژوهشگران علوم پایه پراستناد دو درصد در ایران و جهان

بر اساس داده‌های عملکرد استنادی یکساله، فراوانی پژوهشگران ایرانی پراستناد دو درصد برتر جهان، در فاصله زمانی ۱۴۰۴-۱۳۹۹ در شکل ۹ ارائه شده است (۴). این آمار نشان می‌دهد که طی این پنج سال، تعداد پژوهشگران بیش از دو برابر افزایش یافته است. علاوه بر این، ایران در میان بیست کشور اسلامی رتبه اول



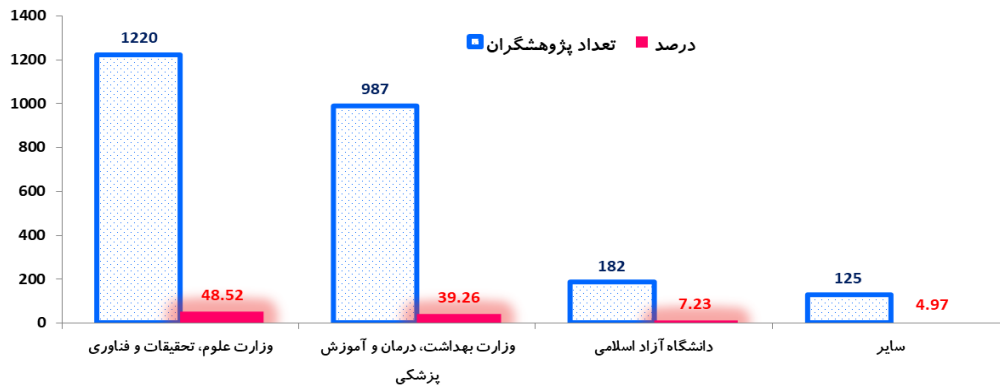
شکل ۹. فراوانی پژوهشگران ایرانی پراستناد دو درصد جهان براساس عملکرد استنادی یکساله



شکل ۱۰. فراوانی پژوهشگران پراستناد دو درصد بیست کشور اسلامی براساس عملکرد استنادی یکساله - سال ۲۰۲۴

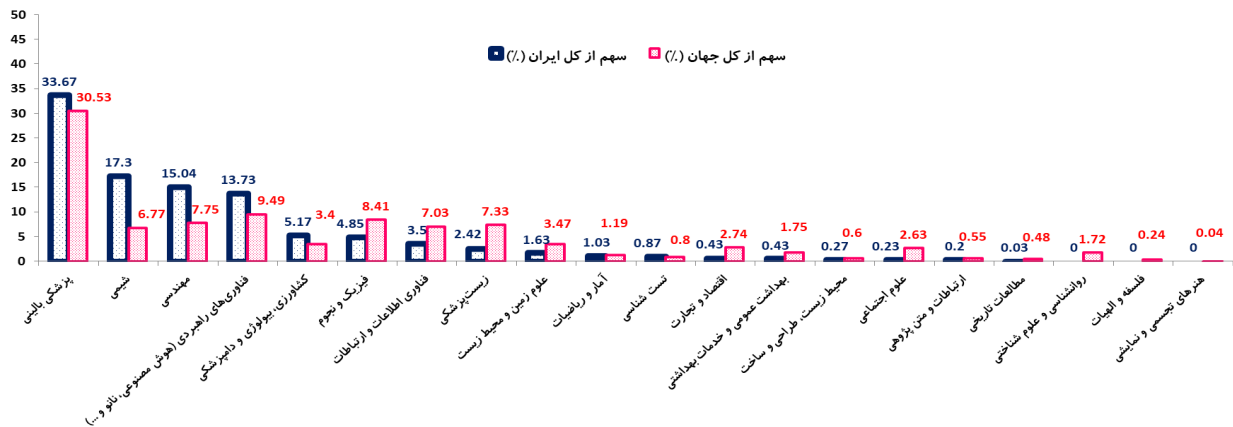
دانشگاه آزاد اسلامی با سهم ۷ درصد در رتبه‌های بعدی قرار دارند. این توزیع نشان می‌دهد بخش عمده پژوهشگران پر استناد کشور در دانشگاه‌ها و مؤسسات تحت پوشش وزارت عتف فعالیت می‌کنند و نقش این وزارتخانه در ارتقای کیفیت و تأثیرگذاری پژوهش‌های ایران برجسته و کلیدی است.

در ضمن توزیع فراوانی پژوهشگران پر استناد ایرانی بر اساس عملکرد استنادی یکساله در وابستگی‌های سازمانی در شکل ۱۱ ارائه شده است (۴). طبق این داده‌ها، حدود ۵۰ درصد از پژوهشگران پر استناد در وزارت علوم، تحقیقات و فناوری اشتغال دارند، پس از آن، وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی با سهم ۳۹ درصد و



شکل ۱۱. توزیع فراوانی پژوهشگران پر استناد ایرانی بر اساس عملکرد استنادی یکساله در وابستگی‌های سازمانی کلان در سال ۲۰۲۴

توزیع فراوانی پژوهشگران پر استناد ایران و جهان بر اساس عملکرد استنادی یکساله و وابستگی‌های سازمانی کلان در سال ۲۰۲۴ در شکل ۱۲ ارائه شده است (۵).



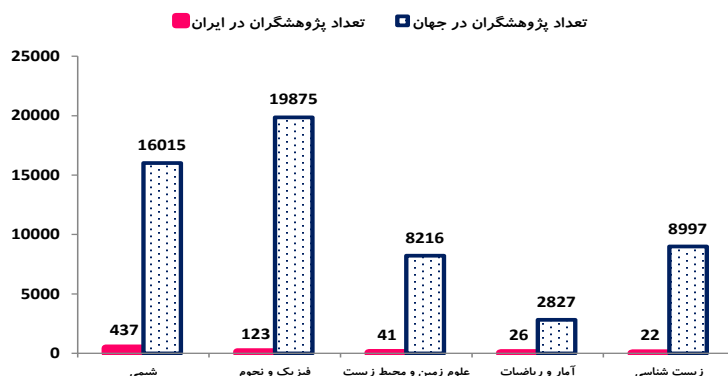
شکل ۱۲. فراوانی و سهم پژوهشگران پر استناد دو درصد کشور بر اساس عملکرد استنادی یکساله به تفکیک حوزه موضوعی

جهان به ترتیب ۱/۱۹، ۸/۴۱، ۶/۷۷، ۳/۸۰ و ۳/۴۷ درصد است. به بیان دیگر، ۲۳/۶ درصد پژوهشگران پر استناد جهان در حوزه‌های علوم پایه فعالیت دارند. سهم ایران در پنج رشته علوم پایه در میان پژوهشگران پر استناد به ترتیب ۱/۰۳ درصد ریاضی، ۴/۵۸ درصد فیزیک، ۱۷/۳ درصد شیمی، ۰/۸۷ درصد زیست‌شناسی و ۱/۶۳ درصد علوم زمین‌شناسی است. جایگاه شیمی دو برابر متوسط جهانی است، و سایر رشته‌های علوم

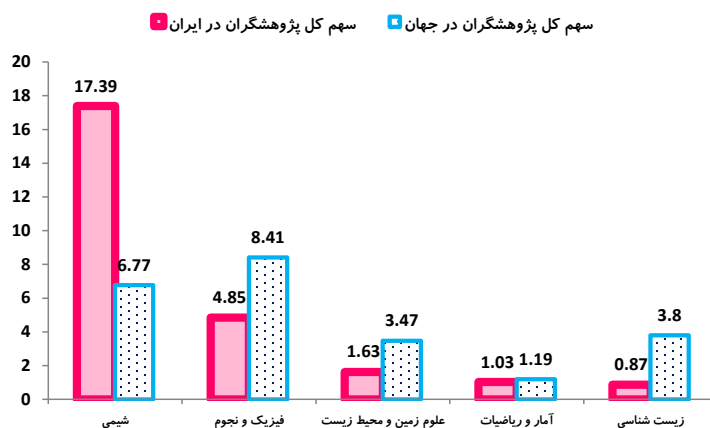
درصد پژوهشگران پر استناد دو درصد برتر ایران در مقایسه با جهان، بر اساس عملکرد استنادی یکساله و به تفکیک حوزه‌های موضوعی علوم پایه شامل شیمی، فیزیک و نجوم، علوم زمین و محیط زیست، آمار و ریاضیات، و زیست‌شناسی، در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ ارائه شده است. این نتایج نشان می‌دهد، سهم رشته‌های پنجگانه علوم پایه شامل ریاضی، فیزیک، شیمی، زیست‌شناسی و علوم زمین‌شناسی در سطح

متوسط جهانی است. لذا، علوم پایه در تولید دانش نقش تأثیرگذاری در کشور ایفا می‌کند و حضور آنها در جامعه جهانی چشمگیر است

پایه از متوسط جهانی پایین‌تر است. اما برآیند علوم پایه در ایران، بیش از ۲۵ درصد پژوهشگران پر استناد ایرانی است که بیش از



شکل ۱۳. فراوانی پژوهشگران پر استناد دو درصد کشور براساس عملکرد استنادی یکساله به تفکیک حوزه موضوعی علوم پایه (شیمی، فیزیک و نجوم، علوم زمین و محیط‌زیست، آمار و ریاضیات و زیست‌شناسی)



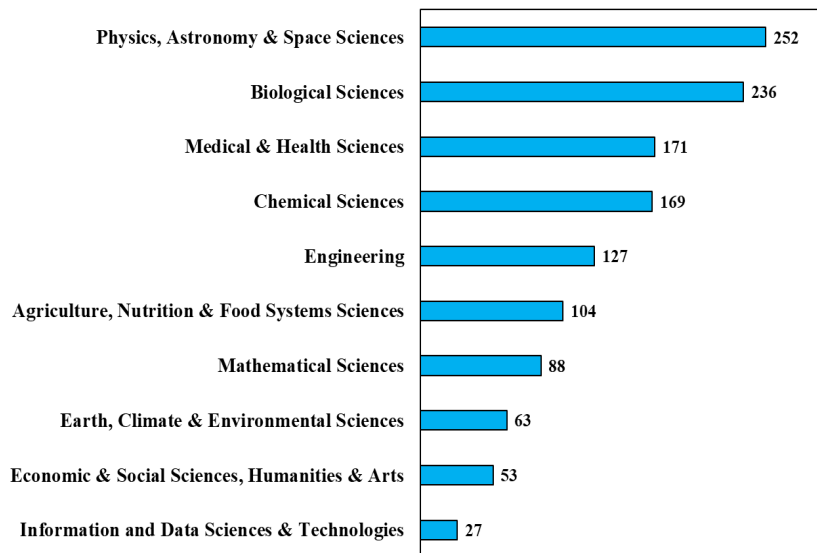
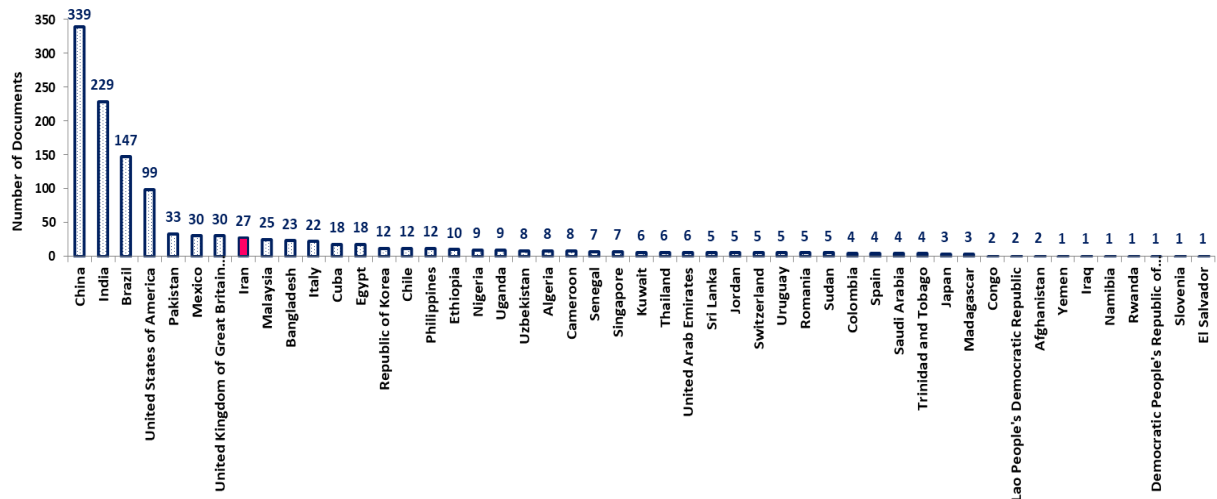
شکل ۱۴. سهم پژوهشگران پر استناد دو درصد کشور براساس عملکرد استنادی یکساله به تفکیک حوزه موضوعی علوم پایه (تعداد پژوهشگران در ایران - تعداد پژوهشگران در جهان)

عنوان فرهنگستان علوم جهان سوم آغاز به کار کرد. فرهنگستان علوم جهان سوم، در سال ۱۳۶۴/۱۹۸۵ طی مراسمی با حضور خاویز پرز دکوئیاریا^۱، دبیر کل سازمان ملل متحد، به طور رسمی افتتاح شد. ابتدا، TWAS عضو منتخب داشت که ۹ تن از میان آنها برنده جایزه نوبل بودند. در میان ۴۲ عضو منتخب اولیه نام علی جوان فیزیک‌دان برجسته ایرانی مقیم آمریکا نیز به چشم می‌خورد. در حال حاضر این فرهنگستان ۱۲۹۰ عضو در ۱۰ رشته تخصصی از بیش از ۶۰ کشور دارد (۶ و ۷) (شکل ۱۵).

۵- سهم دانشمندان ایرانی علوم پایه در فرهنگستان علوم جهان (TWAS)

فرهنگستان علوم جهان (TWAS)^۱ توسط گروهی از دانشمندان برجسته کشورهای جنوب با رهبری استاد عبدالسلام^۲، فیزیک‌دان فقید پاکستانی برنده جایزه نوبل، با هدف ارتقاء ظرفیت‌های علمی این کشورها بنیان‌گذاری و تاسیس شد. این سازمان مستقل بین‌المللی در سال ۱۳۶۲/۱۹۸۳ در شهر تریست^۳ ایتالیا ابتدا با

1. The Third World Academy of Sciences
2. Abdus Salam
3. Trieste
4. Javier Pérez de Cuéllar
5. United Nations



شکل ۱۵. توزیع اعضای فرهنگستان علوم جهان (TWAS) بر اساس کشور (نمودار بالا) و ده رشته تخصصی (نمودار پایین)

و مسیر نوآوری را هموار می‌سازند. بنابراین، سرمایه‌گذاری در پرورش و نگهداشت استعدادهاى برجسته دانشجویی، تضمین‌کننده پیشرفت پایدار و اثرگذار علوم پایه است و کیفیت نیروی انسانی بر کمیت آن ارجحیت دارد. یک پژوهشگر شاخص می‌تواند مسیر علم را تغییر دهد، نسل‌های بعدی محققان را تربیت کند و اثر علمی‌ای ایجاد کند که ده‌ها محقق معمولی به تنهایی قادر به آن نیستند.

سوق دادن دانشجویان مستعد به رشته‌های علوم پایه نیازمند سیاستی جامع و بلندمدت است که امنیت شغلی، حمایت مالی، کیفیت آموزشی، پیوند با جامعه و منزلت اجتماعی علم را هم‌زمان در بر گیرد. تنها در چنین شرایطی علوم پایه می‌تواند به انتخابی آگاهانه و جذاب برای نخبگان جوان تبدیل شوند و نقش واقعی خود را در پیشرفت علمی و توسعه پایدار کشور ایفا کنند. تجربه کشورهای موفق نشان می‌دهد، سوق دادن دانشجویان مستعد به تحصیل در رشته‌های علوم پایه، مستلزم بسته حمایتی متشکل

ایران در میان کشورهای جهان رتبه دهم را در تعداد اعضای فرهنگستان علوم جهان سوم داراست و با ۲۳ عضو، حدود ۲ درصد از کل اعضای این نهاد بین‌المللی را به خود اختصاص داده است. از این تعداد، ۱۳ نفر معادل ۵۶ درصد، از حوزه علوم پایه هستند. توزیع اعضای علوم پایه ایران در فرهنگستان به تفکیک رشته‌ها عبارت است از ریاضیات: ۲ نفر، فیزیک: ۴ نفر، شیمی: ۵ نفر، زیست‌شناسی: ۲ نفر و رشته‌های علوم زمین فاقد عضو می‌باشد.

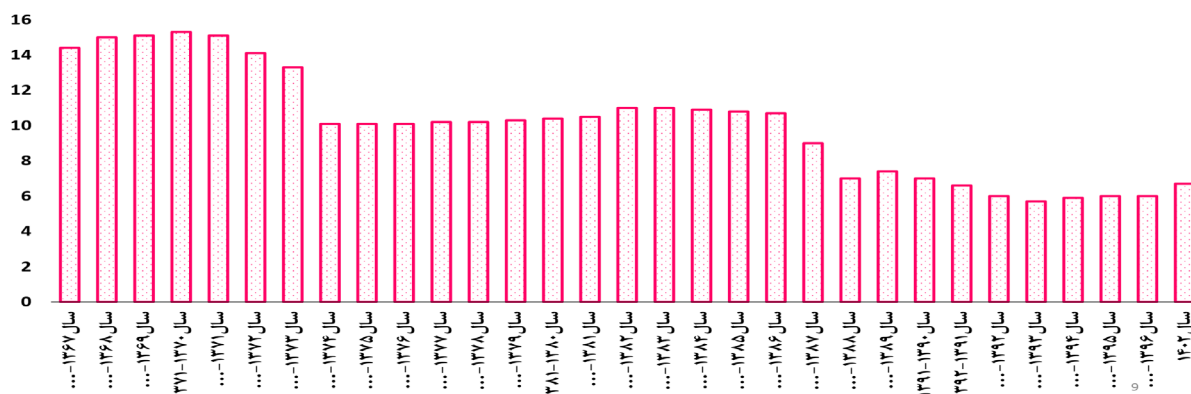
۶- جایگاه دانشجویی علوم پایه

پیشرفت علوم پایه بیش از هر چیز به کیفیت نیروی انسانی بستگی دارد. وجود دانشجویان شاخص با دانش عمیق، خلاقیت علمی و توان هدایت تحقیق در علوم پایه، ارزشمندتر از انبوهی از دانشجویان ضعیف و کم‌تجربه است. این افراد نه تنها خود دستاوردهای علمی بنیادین ایجاد می‌کنند، بلکه نسل جدید پژوهشگران را تربیت کرده

۶-۱- سهم دانشجویان علوم پایه از کل دانشجویان در سه دهه گذشته

روند نزولی درصد دانشجویان علوم پایه از کل دانشجویان در سه دهه گذشته در شکل ۱۶ ارایه شده است که کاهش ۵۰ درصدی از ۱۴ درصد در سال تحصیلی ۱۳۶۸-۱۳۶۷ به کمتر از ۷ درصد در سال تحصیلی ۱۴۰۳-۱۴۰۲ نشان می دهد (۸).

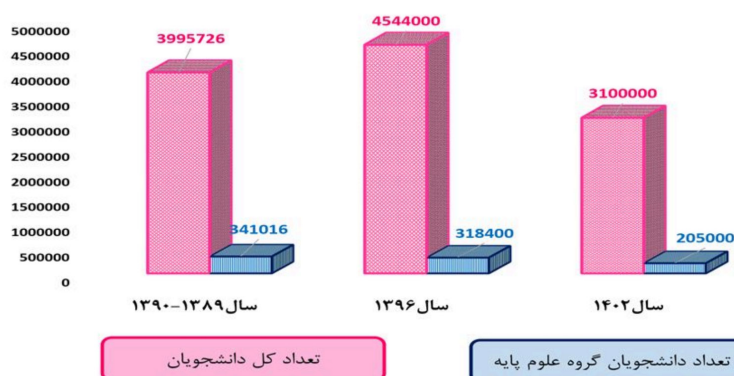
از اجرای سیاست‌های آموزشی، اقتصادی و اجتماعی می باشد. ایجاد امنیت شغلی و مسیر حرفه‌ای شفاف، حمایت مالی هدفمند از دانشجویان برتر، ارتقای کیفیت آموزش پیش‌دانشگاهی، ایجاد محیط دانشگاهی پویا و پژوهش‌محور و دسترسی به آزمایشگاه‌ها و امکانات و ارتباط فعال با پژوهشگران برجسته داخلی و خارجی زمینه را برای جذب دانشجوی مستعد در علوم پایه فراهم می‌کند.



شکل ۱۶. روند نزولی درصد دانشجویان علوم پایه از کل دانشجویان در سه دهه گذشته

شیب کاهش دانشجویان علوم پایه تندتر از شیب کاهش کل دانشجویان در کشور می‌باشد و از سهم ۸/۵ درصد به ۶/۶ درصد تقلیل یافته است (۹ و ۱۰).

در ضمن، تعداد کل دانشجویان و دانشجویان علوم پایه و درصد دانشجویان علوم پایه از کل دانشجویان طی سال‌های ۱۳۸۹، ۱۳۹۶ و ۱۴۰۲ در شکل ۱۷ ارایه شده است. نتایج نشان می‌دهد



سال تحصیلی	درصد دانشجویان علوم پایه
۱۳۸۹-۹۰	۸/۵
۱۳۹۶	۷/۰
۱۴۰۲	۶/۶

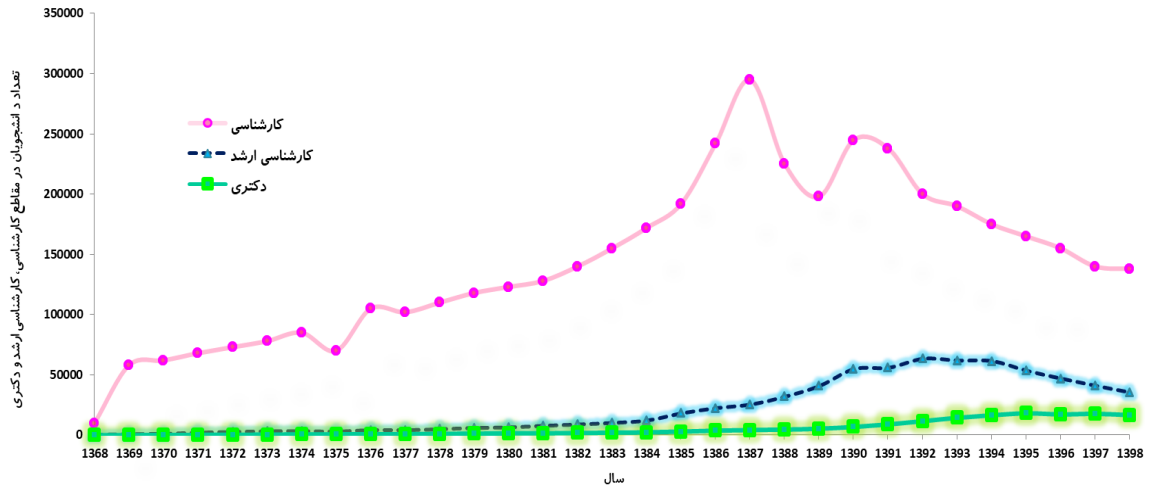
شکل ۱۷. مقایسه تعداد کل دانشجویان و تعداد و درصد دانشجویان گروه علوم پایه

۱۳۸۶، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۶ رشد نمایی داشته است؛ به عبارتی این سال‌ها نقطه عطفی برای علوم پایه از نظر تعداد دانشجو محسوب می‌شود.

پس از سال‌های مذکور، در همه‌ی مقاطع سیر نزولی مشاهده می‌شود که این شیب برای مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد شدید و برای مقطع دکتری بسیار ملایم است (۸).

۶-۲- روند تغییرات رشته‌های علوم پایه به تفکیک در سه مقطع کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری در دوره ده ساله ۱۳۶۸-۱۳۹۸

روند تغییرات دانشجویان علوم پایه در مقاطع مختلف تحصیلی در شکل ۱۸ ارایه شده است. نتایج نشان می‌دهد تعداد دانشجویان به ترتیب در مقاطع کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری تا سال‌های

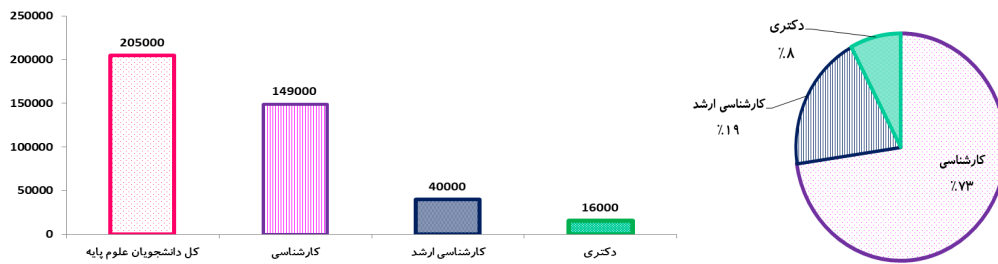


شکل ۱۸. روند تغییرات تعداد دانشجویان رشته‌های علوم پایه به تفکیک در سه مقطع کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری در دوره ده ساله ۱۳۶۸-۱۳۹۸

به ترتیب ۱۴۹ هزار نفر در مقطع کارشناسی (حدود ۷۳ درصد)، ۴۰ هزار نفر در مقطع کارشناسی ارشد (حدود ۱۹ درصد) و ۱۶ هزار نفر در مقطع دکتری (۸ درصد) به تحصیل اشتغال داشتند (شکل ۱۹).

۳-۶- توزیع دانشجویان مقاطع تحصیلی علوم پایه در سال ۱۴۰۲

در سال ۱۴۰۲ تعداد کل دانشجویان علوم پایه ۲۰۵ هزار نفر بوده که

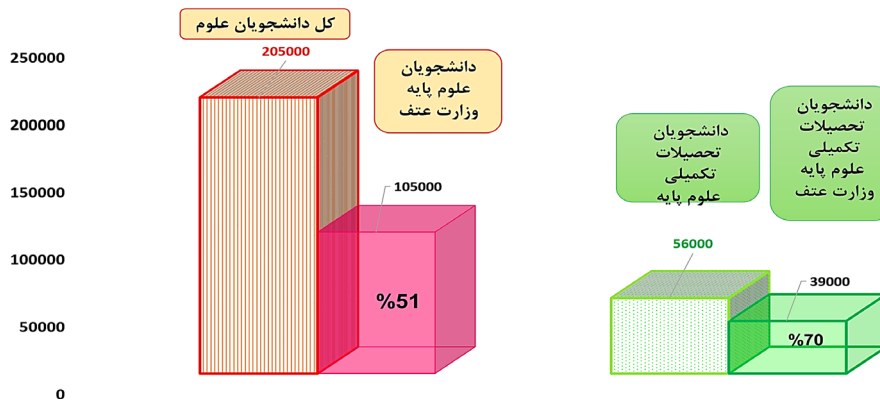


شکل ۱۹. روند نزولی درصد دانشجویان علوم پایه از کل دانشجویان در سه دهه گذشته

آسیب جدی به شمار می‌آید، اما خوشبختانه بخش بزرگی از دانشجویان علوم پایه در وزارت عتف به تحصیل اشتغال دارند. برخی از دلایل اصلی کاهش دانشجویان، سیاست‌های انقباضی دولت در پذیرش دانشجویان، کاهش نرخ رشد جمعیت، بیکاری دانش‌آموختگان، پایین بودن دست‌مزد، و مهاجرت می‌باشد (۹).

۴-۶- تعداد دانشجویان علوم پایه در وزارت عتف

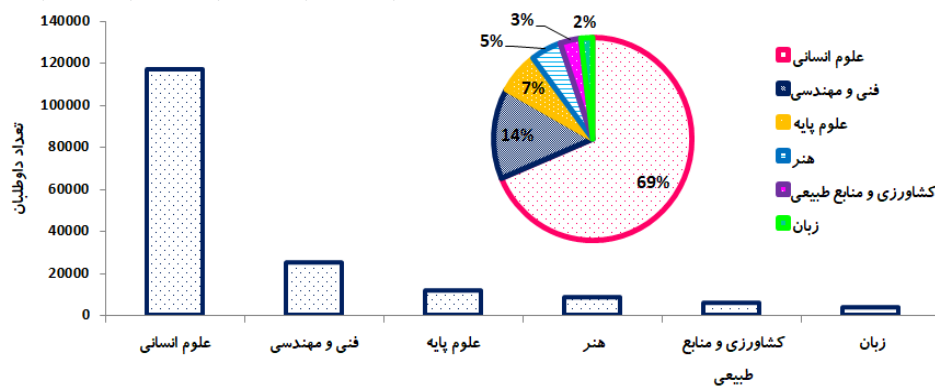
پنجاه و یک درصد از کل دانشجویان علوم پایه یعنی ۱۰۵ هزار از ۲۰۵ هزار دانشجویان و ۷۰ درصد از دانشجویان تحصیلات تکمیلی علوم پایه (۳۹ هزار از ۵۶ هزار دانشجویان) در وزارت عتف تحصیل می‌کنند (شکل ۲۰).



شکل ۲۰. تعداد دانشجویان علوم پایه در وزارت عتف

۵-۶- تعداد شرکت کنندگان علوم پایه در کنکور مقطع دکتری ۱۴۰۳

تعداد کل شرکت کنندگان کنکور مقطع دکتری در سال تحصیلی ۱۴۰۳-۱۴۰۴ برابر با ۱۷۳۵۲۴ نفر بوده که سهم علوم پایه با ۱۱۲۵۸ نفر معادل ۷ درصد می شود (۱۱) (شکل ۲۱).

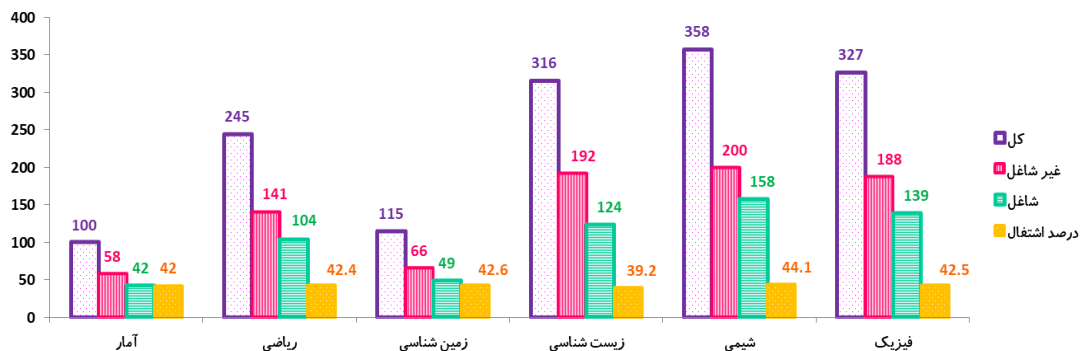


شکل ۲۱. تعداد کل شرکت کنندگان کنکور مقطع دکتری در سال تحصیلی ۱۴۰۳-۱۴۰۴

۶-۶- درصد اشتغال دانش آموختگان رشته های مختلف علوم پایه

بر اساس گزارشی که به سفارش کمیسیون علوم پایه و علوم همگرایی وزارت عتف، مؤسسه پژوهش و برنامه ریزی آموزش عالی کشور تدوین نموده است، درصد اشتغال دانش آموختگان علوم پایه بر اساس جامعه آماری ۳۹ الی ۴۴ درصد می باشد (۸)، که کمترین در شیمی و بیشترین در زیست شناسی می باشد (شکل ۲۲).

آزمون دکتری تخصصی سال ۱۴۰۴-۱۴۰۵ با ۱۷۲ هزار متقاضی برگزار شد که از این تعداد ۴۷ درصد زن و ۵۳ درصد مرد بودند. سهم شرکت کنندگان در هفت گروه آزمایشی، گروه علوم انسانی با ۶۷ درصد بیشترین متقاضی را داشته و گروه فنی و مهندسی با ۱۵ درصد متقاضی در رتبه دوم جای گرفته و تعداد داوطلبان گروه علوم پایه ۷ هزار نفر بوده که حدود ۴ درصد می باشد که نسبت به سال قبل ۳ درصد کاهش نشان می دهد که جای تامل دارد (۱۲).



شکل ۲۲. درصد اشتغال دانش آموختگان رشته های مختلف علوم پایه بر اساس بررسی میدانی

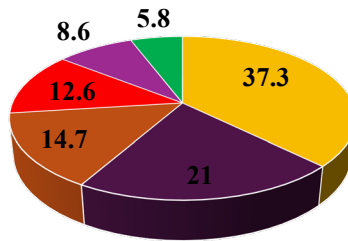
۲/۷۵ درصد از شرکت کنندگان است در مقطع کارشناسی در علوم پایه پذیرفته شدند. توزیع پذیرفته شدگان در رشته های علوم پایه، به ترتیب زیست شناسی با بیشترین تعداد ۳۷/۳ درصد، شیمی ۲۱ درصد، فیزیک ۱۴/۷ درصد، ریاضی ۱۲/۶ درصد، آمار ۸/۶ درصد و زمین شناسی ۵/۸ درصد در رتبه های بعدی قرار می گیرند. در ضمن ۶۵ درصد پذیرفته شدگان در وزارت عتف (۵۹/۳) بدون شهریه و ۵/۹ (با شهریه)، ۲۲/۴ در پیام نور و ۱۲/۳ در دانشگاه آزاد اسلامی ثبت نام کردند.

۶-۷- بررسی متقاضیان رشته های علوم پایه در کنکور سراسری^۱

۶-۷-۱- متقاضیان علوم پایه در کنکور سراسری کارشناسی ۱۴۰۴

از میان ۱۱۶۴۷۷۱ شرکت کننده در کنکور سراسری (۴۱/۵) درصد علوم تجربی، ۲۸ درصد علوم انسانی، ۱۶ درصد علوم ریاضی، ۸/۷ درصد زبان های خارجی و ۵/۵ درصد هنر، ۳۲۰۳۵ نفر که معادل

۱. کلیه آمار و داده ها مبتنی بر پاسخ سازمان سنجش آموزش کشور که طی نامه شماره ۶۶۳۸۹ مورخ ۱۴۰۴/۱۱/۱۸ در بازگشت به نامه ۳/۱۲/۰۴۱۱۹۱ مورخ ۱۴۰۴/۱۱/۱۸ کمیسیون علوم پایه و فناوری های همگرایی شورای عالی عتف ارائه شده است.

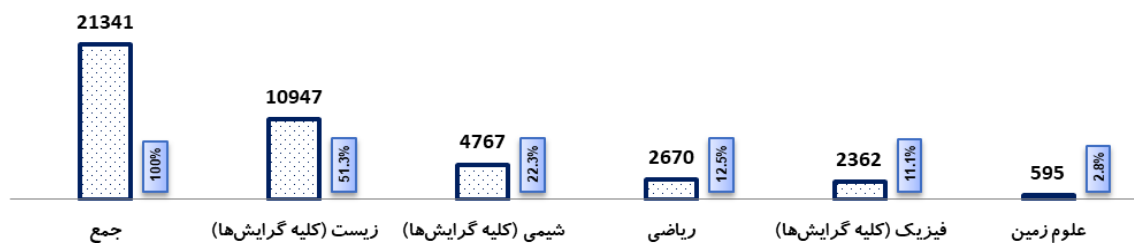


شکل ۲۳. توزیع پذیرفته شدگان در رشته‌های علوم پایه در کنکور سراسری کارشناسی ۱۴۰۴

۱۵۳۳۱ نفر با درصد نسبتاً بالای حدود ۷۲ درصد پذیرفته شدند. شاید با این درصد قبولی بالا ضرورتی برای برگزاری کنکور در علوم پایه نباشد. بیش از ۵۰ درصد شرکت‌کننده‌ها در علوم زیستی (کلیه‌گرایش‌ها) و سهم علوم زمین کمترین و ۲/۸ درصد بوده است (شکل ۲۴).

۶-۷-۲- متقاضیان علوم پایه در کنکور سراسری کارشناسی ارشد ۱۴۰۴

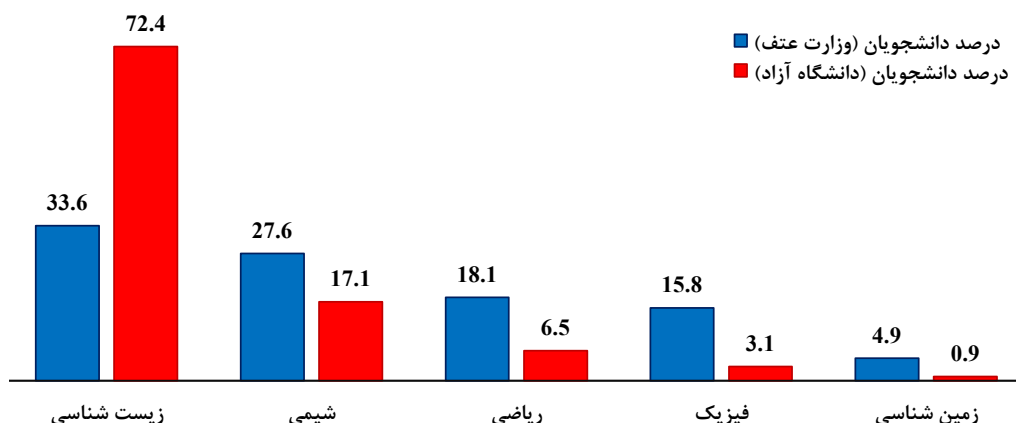
تعداد شرکت‌کننده‌ها در مقطع کارشناسی ارشد علوم پایه در کنکور سراسری ۲۱۳۴۱ نفر بوده (توزیع هر یک در کلیه‌گرایش‌ها: ۵۱/۳ درصد زیست‌شناسی، ۲۲/۳ درصد شیمی، ۱۲/۵ درصد ریاضی، ۱۱/۱ درصد فیزیک و ۲/۸ درصد زمین‌شناسی) که از این تعداد



شکل ۲۴. تعداد شرکت‌کننده‌ها (۲۱۳۴۱ نفر) به تفکیک نوع رشته فارغ‌التحصیلی مقطع کارشناسی در آزمون کارشناسی ارشد سال ۱۴۰۴

کردند. در دانشگاه آزاد اسلامی ۵۵۳۲ نفر معادل ۳۶ درصد پذیرفته شدند که توزیع آنها به ترتیب در زیست‌شناسی ۷۲/۴ درصد، شیمی ۱۷/۱ درصد، ریاضی ۶/۵ درصد، فیزیک ۳/۱ درصد و علوم زمین ۰/۹ درصد می‌باشد (شکل ۲۵).

از ۱۵۳۳۱ پذیرفته شده، ۶۴ درصد آنها (حدود ۵۹ درصد بدون شهریه و ۵ درصد با پرداخت شهریه) یعنی ۹۷۹۹ نفر در وزارت عتف به ترتیب در زیست‌شناسی ۳۳/۶ درصد، شیمی ۲۷/۶ درصد، ریاضی ۱۸/۱ درصد، فیزیک ۱۵/۸ درصد، و علوم زمین ۴/۹ درصد ثبت‌نام



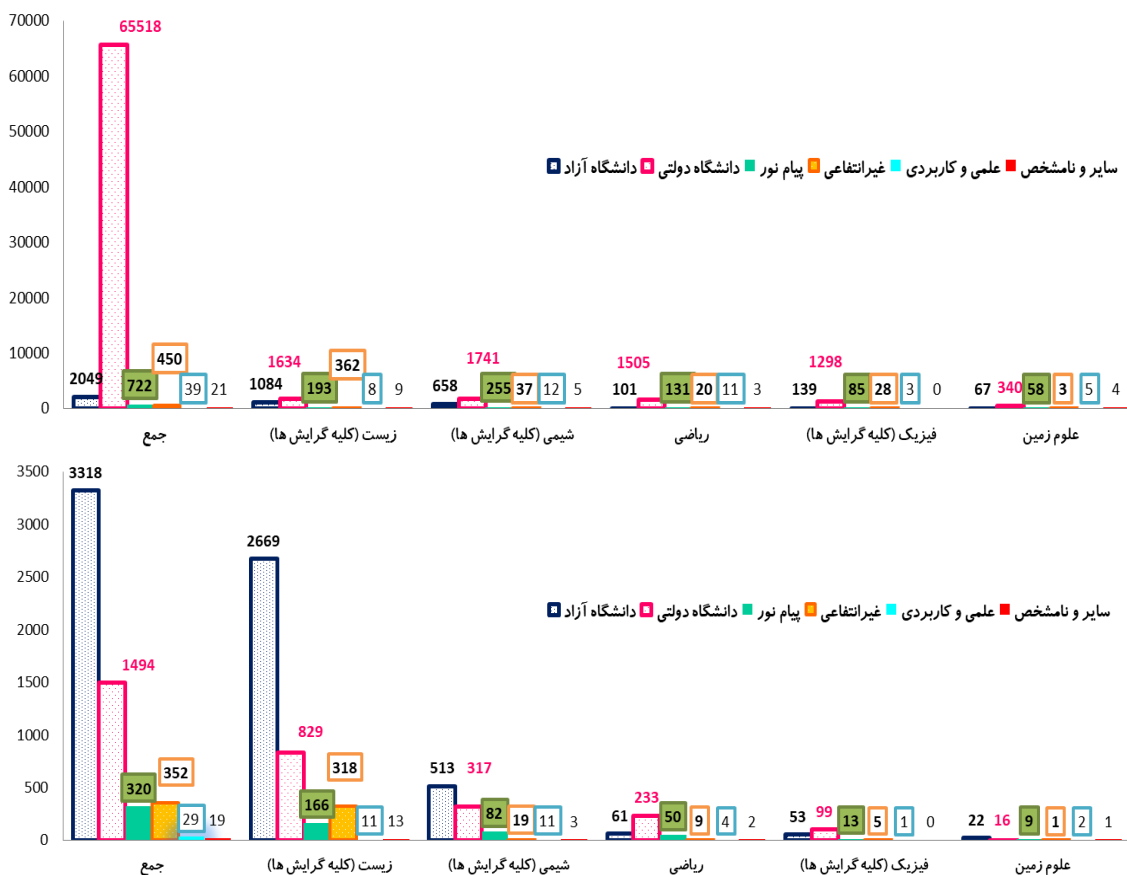
شکل ۲۵. توزیع درصد پذیرفته شدگان در آزمون کارشناسی ارشد علوم پایه به تفکیک رشته در دو زیر نظام وزارت عتف و دانشگاه آزاد اسلامی

شدگان در وزارت عتف از میان دانش‌آموختگان زیر نظام‌های مختلف عبارتست از: وزارت عتف ۶۶/۵ دانشگاه آزاد اسلامی

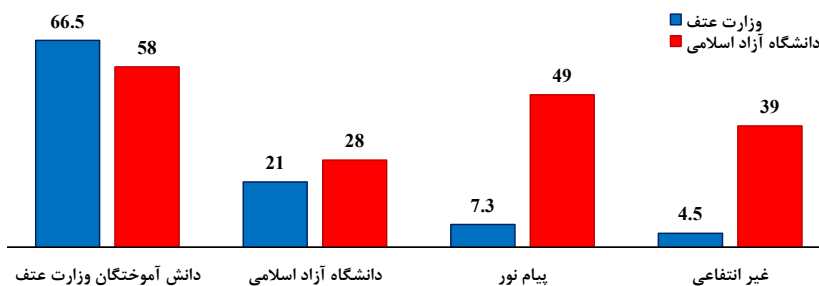
یکی از شاخص‌های کیفی مراکز آموزشی در زیر نظام‌ها، تعداد پذیرفته‌شدگان هر زیر نظام در مقاطع بالاتر است. توزیع پذیرفته

پذیرفته شدگان دانشگاه آزاد اسلامی در مقطع کارشناسی ارشد از دانش آموختگان وزارت عتف می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد دانش آموختگان دانشگاه‌های وزارت عتف از شاخص کیفی بسیار مناسبی نسبت به سایر زیر نظام‌ها برخوردار است.

۲۱، پیام نور ۷/۳ و غیر انتفاعی ۴/۵ درصد می‌باشد. توزیع پذیرفته شدگان در دانشگاه آزاد اسلامی، از میان دانش آموختگان زیر نظام‌های مختلف عبارتست از وزارت عتف ۵۸، آزاد اسلامی ۲۸، پیام نور ۴۹ و غیرانتفاعی ۳۹ درصد (شکل‌های ۲۶ و ۲۷). به عبارتی ۶۶/۵ درصد پذیرفته شدگان وزارت عتف و ۵۸ درصد



شکل ۲۶. تعداد پذیرفته شده در وزارت عتف (بالایی) و دانشگاه آزاد اسلامی (پایینی) به تفکیک نوع زیر نظام‌ها (دانشگاه فارغ التحصیلی مقطع کارشناسی) در آزمون کارشناسی ارشد سال ۱۴۰۴

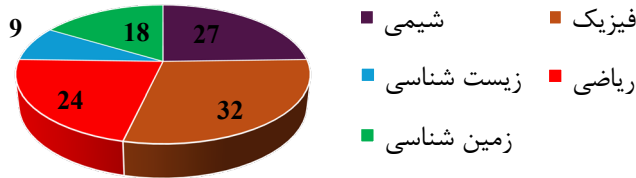


شکل ۲۷. درصد پذیرفته شدگان در وزارت عتف و دانشگاه آزاد اسلامی به تفکیک نوع زیر نظام‌های دانش آموختگی در مقطع کارشناسی ارشد سال ۱۴۰۴

نفر معادل ۳۴ درصد در دانشگاه آزاد اسلامی ثبت‌نام کردند. توزیع درصد پذیرفته شدگان نسبت به شرکت کنندگان در هر رشته در وزارت عتف به ترتیب شیمی ۲۷ درصد، فیزیک ۳۲ درصد، ریاضی ۲۴ درصد، زیست‌شناسی ۹ درصد و علوم زمین شناسی ۱۸ درصد می‌باشد (شکل ۲۸).

۶-۷-۳- متقاضیان علوم پایه در کنکور سراسری دکتری ۱۴۰۴

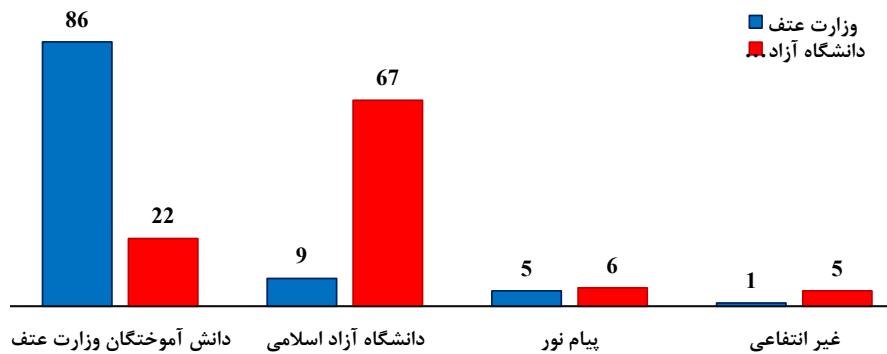
تعداد شرکت کننده جمعا در کنکور سراسری دکتری علوم پایه ۸۴۱۵ نفر بوده که ۳۰۱۷ نفر معادل ۳۶ درصد از آنها پذیرفته شدند. از این تعداد ۱۹۹۱ نفر معادل ۶۶ درصد در وزارت عتف و ۱۰۲۶



شکل ۲۸. توزیع درصد پذیرفته شدگان نسبت به شرکت کنندگان در هر رشته در وزارت عتف

دانشگاه آزاد اسلامی عبارت است از: دانش آموختگان وزارت عتف ۲۲ درصد، دانشگاه آزاد اسلامی ۶۷ درصد، پیام نور ۶ درصد و غیر انتفاعی ۵ درصد می‌باشد. این آمار نشان می‌دهد سطح کیفی دانش آموختگان وزارت عتف نسبت به سایر زیر نظام‌ها بصورت معناداری بالا و غیر قابل مقایسه است، به عبارتی ۸۶ درصد پذیرفته شدگان در وزارت عتف و ۲۲ درصد پذیرفته شدگان دانشگاه آزاد اسلامی در مقطع دکتری دانش آموختگان وزارت عتف می‌باشد (شکل ۲۹).

یکی از شاخص‌های کیفی مراکز علمی، درصد پذیرش دانشجویان آن مراکز در مقاطع بالاتر است. توزیع درصد پذیرفته شدگان در هر رشته از میان دانش آموختگان زیر نظام‌های مختلف (دولتی، پیام نور، دانشگاه آزاد اسلامی و غیر انتفاعی) در وزارت عتف عبارت است از: دانش آموختگان وزارت عتف ۸۶ درصد، دانشگاه آزاد اسلامی ۹ درصد، پیام نور ۵ درصد و غیر انتفاعی کمتر از ۱ درصد و توزیع درصد پذیرفته شدگان از میان دانش آموختگان هر زیر نظام در



شکل ۲۹. درصد پذیرفته شدگان در وزارت عتف و دانشگاه آزاد اسلامی به تفکیک نوع زیر نظام‌های دانش آموختگی در مقطع کارشناسی ارشد در آزمون دکتری سال ۱۴۰۴

۷-۱- اصلاح و تحول در ساختار حکمرانی علوم پایه

- ایجاد «دفتر رصد، پایش و اعتلای علوم پایه» در وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، در حوزه معاون آموزشی؛
- استقرار نظام جامع صلاحیت حرفه‌ای در علوم پایه، همانند آزمون‌های برد در وزارت بهداشت و یا انجمن شیمی آمریکا؛
- تقویت نظام پایش و ارزیابی تحقق شاخص‌های کمی و کیفی اسناد بالا دستی، از جمله برنامه هفتم پیشرفت و نقشه جامع علمی کشور، با تمرکز ویژه بر علوم پایه.

۷-۲- فرهنگی و فرهنگ‌سازی

- اولویت‌بخشی به دیپلماسی علمی در حوزه علوم پایه در سطح منطقه‌ای و بین‌المللی؛
- ترویج و برجسته‌سازی دستاوردهای علوم پایه از طریق رسانه‌های عمومی و تخصصی؛
- معرفی دانشمندان برجسته علوم پایه به‌عنوان الگوهای ملی و مرجع الهام‌بخش برای نسل جوان؛
- حمایت ویژه از جشنواره‌ها، رویدادها و اعطای جوایز علمی معتبر

۷- پیشنهادهایی در جهت ارتقا و اعتلای جایگاه علوم پایه

اجرای برنامه سیاستی - اجرایی جامع به‌منظور ارتقای جایگاه علوم پایه در ایران، مستلزم اتخاذ رویکردی بلند مدت، برخورداری از حمایت‌های نهادی پایدار و ایجاد هماهنگی نظام‌مند میان اجزای مختلف نظام آموزشی، پژوهشی و اقتصادی کشور است. علوم پایه تنها در صورتی قادر خواهد بود نقش بنیادین و راهبردی خود را در توسعه علمی کشور و تقویت استقلال فناورانه ایفا کند که از جایگاهی تثبیت‌شده، اثربخش و جذاب در فرایندهای سیاست‌گذاری کلان برخوردار باشد. تحقق این رویکرد، مستلزم سرمایه‌گذاری هدفمند و راهبردی در سرمایه انسانی، زیرساخت‌های پژوهشی و سازوکارهای حمایتی بوده و می‌تواند به‌عنوان یکی از الزامات کلیدی پیشرفت پایدار علمی کشور تلقی شود. بدیهی است اجرای موفق و اثر بخش مجموعه پیشنهادها ارائه‌شده، منوط به وجود عزم نهادی و هماهنگی عملیاتی میان معاونت‌های آموزشی، پژوهشی، مالی و پشتیبانی، سازمان سنجش آموزش کشور، معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری، بنیاد علم ایران و سازمان برنامه و بودجه خواهد بود.

در حوزه علوم پایه.

۷-۳- آموزش و نظام آموزشی

- شناسایی و هدایت استعداد های علمی از دوره متوسطه از طریق آزمون های هدفمند و برنامه های نظام مند هدایت تحصیلی؛
- اعطای بورسیه های ویژه علوم پایه به دانش آموزان و دانشجویان مستعد و ممتاز؛
- تخصیص کمک هزینه های پژوهشی از مقطع کارشناسی به دانشجویان برتر علوم پایه؛
- توجه ویژه به اشتغال و به کارگیری متخصصان علوم پایه، به ویژه در نظام آموزش و پرورش و مدارس؛
- اعطای تسهیلات مالی، رفاهی و حمایتی ویژه به دانشجویان و پژوهشگران برتر علوم پایه؛
- بازنگری و تحول در برنامه های درسی علوم پایه با رویکرد مفهومی، مسئله محور و پژوهش محور؛
- تربیت و جذب معلمان نخبه علوم پایه از میان دانش آموزان برتر دانشگاه های شاخص کشور.

۷-۴- پژوهش و نظام پژوهشی

- تدوین و اجرای برنامه های هدفمند در راستای دستیابی به مرجعیت علمی و سرآمدی جهانی در علوم پایه؛
- اختصاص حداقل ۱۵ درصد از بودجه پژوهشی کشور به علوم پایه (به منظور مقایسه، در ایالات متحده حدود ۱۵ درصد از بودجه تحقیق و توسعه ۱۰۰۰ میلیارد دلاری و در چین حدود ۶ درصد از

منابع

1. FORTUNATO, S. ET AL., SCIENCE OF SCIENCE, SCIENCE, 359, EAAO (2018) 10.1126/SCIENCE.AAO0185
۲. سند و برنامه راهبردی علوم پایه در کشور در دو جلد. با مشارکت گروه های آموزشی علوم ریاضی، فیزیک، شیمی، علوم زیستی و علوم زمین، شورای برنامه ریزی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری. تهران: انتشارات دانشگاه شهید بهشتی ۱۳۹۰.
۳. احمد شعبانی (۱۳۹۸)، «خلاقیت و اکتشاف»، نشریه نشاء علم، سال نهم، شماره دوم، ص ۶۲-۵۴.
4. [HTTPS://ISC.AC/FA/NEWS/2443](https://isc.ac/fa/news/2443)
5. [HTTPS://ISC.AC/FA/NEWS/2621](https://isc.ac/fa/news/2621)
۶. احمد شعبانی (۱۴۰۱)، «فرهنگستان علوم جهان (تواس) و جایگاه ایران در آن» فصلنامه نامه علوم پایه فرهنگستان علوم، شماره پنجم، صفحات ۱۴۱-۱۳۵.
7. FELLOWS_NAME-TWAS.PDF (TWAS FELLOWS BY NAME WITH COUNTRY OF RESIDENCE AND MEMBERSHIP SECTION, UPDATED ON: 2026-01-7)
۸. یعقوب انتظاری، تحلیل و توسعه سرمایه انسانی اشتغال پذیری در علوم پایه. سفارش دهنده: کمیسیون علوم پایه و فناوری های همگرای شورای عالی عتف. مجری: مؤسسه پژوهش و برنامه ریزی آموزش عالی، ۱۴۰۱.
۹. احمد شعبانی (۱۴۰۳). بررسی عملکرد برنامه ششم توسعه در حوزه آموزش عالی. نشریه نشاء علم، سال پانزدهم، شماره اول، صفحات ۱۶-۱.
۱۰. احمد شعبانی (۱۴۰۰)، بررسی طرح آمایش آموزش عالی با تاکید بر آسیب شناسی گروه آموزشی علوم پایه. نشریه نشاء علم، مجلد ۱۱، شماره ۲، صفحات ۱۳۳-۱۲۴ (پیرو تفاهم نامه وزارت عتف و فرهنگستان علوم مبنی بر آسیب شناسی دو سالانه علوم پایه).
۱۱. تعداد شرکت کنندگان کنکور مقطع دکتری در سال تحصیلی ۱۴۰۳ [HTTPS://WWW.MEHRNEWS.COM/NEWS/6385043](https://www.mehrnews.com/news/6385043)
۱۲. آزمون دکتری تخصصی سال ۱۴۰۴ با ۱۷۲ هزار متقاضی [HTTPS://WWW.MEHRNEWS.COM/NEWS/6741793](https://www.mehrnews.com/news/6741793)
13. TOLLEFSON, J. AND VAN NOORDEN, R., HOW LONG WILL BE THE US BE A SCIENCE SUPERPOWER? NATURE, 634, 771-774, 2024.

بودجه ۸۵۰ میلیارد دلاری تحقیق و توسعه به علوم پایه اختصاص می یابد) (۱۳)؛

- نوسازی، توسعه و تقویت زیرساخت های آزمایشگاهی علوم پایه؛
- ایجاد آزمایشگاه های مرجع ملی و فراملی در حوزه علوم پایه، در چارچوب اسناد بالا دستی؛
- تأسیس مراکز علمی و پژوهشی بین المللی در حوزه علوم پایه با مشارکت کشورهای همسایه و اسلامی؛
- حمایت هدفمند از پژوهش های بنیادی مسئله محور در علوم پایه
- حمایت از پروژه های کلان، راهبردی و میان رشته ای در حوزه علوم پایه.
- حمایت ویژه از فعالیت های علمی بین المللی در حوزه علوم پایه

تقدیر و تشکر:

از همکار محترم سرکار خانم دکتر مهسا باغبان صالحی عضو هیات علمی پژوهشگاه شیمی و مهندسی شیمی ایران که نسخه ی تهیه شده را مطالعه و با ارائه پیشنهادات ارزنده در ارتقای کیفی مقاله کمک شایسته کردند و همچنین از استاد محترم جناب آقای دکتر علی فراز مند سردبیر محترم مجله نامه علوم پایه که نسخه نهایی را ویرایش کردند، تشکر می کنیم. همچنین از مؤسسه پژوهش و برنامه ریزی آموزش عالی کشور بابت ارائه آمار و داده های دانشجویی و از سازمان سنجش آموزش کشور بابت ارائه آمار و داده های آزمون های سراسری کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری، کمال تشکر و امتنان داریم.

پویش باور در برابر علم، رمزگشایی از اسطوره‌های ریاضی و هوش مصنوعی بخش ۱

غلامرضا رکنی لموکی
دانشکده ریاضی، آمار و علوم کامپیوتر، دانشکده‌گان علوم، دانشگاه تهران
rokni@ut.ac.ir
نامه علوم پایه شماره ۱۵، بهار و تابستان ۱۴۰۴

چکیده

نقش باور و دینامیسم آن در شکل‌گیری دانش و موقعیت مفهوم ایمان در برابر دانش، در یک چارچوب معقول مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای رسیدن به هدف اصلی این مقاله که تحلیل باورهای مرتبط با علوم ریاضی و هوش مصنوعی است، لازم است که به کلیت ارتباط باور و دانش بپردازیم. از طرف دیگر، نبرد دنباله‌دار ایمان و علم، ریاضیات را نیز درگیر می‌کند، زیرا ساختارهای اجتماعی و شخصی ریشه‌های محکمی در گسترش دانش بشری به طور عام و ریاضی به طور خاص دارند. در این راه، با تمرکز بر مفهوم اسطوره‌های ریاضی، نقش چند جنبه آنها را بررسی خواهیم کرد. نفوذ فزاینده هوش مصنوعی و علم داده‌ها در سطح اجتماعی و آکادمیک، پرسش‌های جدیدی را در مورد ماهیت باور، ریاضی، خودکارسازی، و کاربرد آنها در سیستم‌های پیچیده مبتنی بر داده، پیش می‌کشد و ما را با جریانی از اسطوره‌های نوپدید و بازخوانی اسطوره‌های کهن روبرو می‌کند که زاینده‌گی و یا بازدارندگی آنها به ما بستگی دارد.

کلیدواژه‌گان: ایمان، باور، اسطوره، خرافه، باورهای علمی، اسطوره‌های علمی، باورهای ریاضی، اسطوره‌های ریاضی، هوش مصنوعی

این مقاله به دلیل طولانی بودن نوشته، و بنا بر پیشنهاد سردبیر، در دو بخش تنظیم شده است. بخش ۱ در این شماره (۱۵) و بخش ۲ در شماره بعدی (۱۶) منتشر می‌شود.

۱. پیشگفتار

با پاسخ‌های از پیش معین شده بدون تلاش برای کنکاش یافتن توضیحاتی بهتر به پیش روند. در نهایت این یک گفتار رادیکال است که: «هر کس که ایمانی دارد و فلسفه را به خوبی می‌شناسد، یا فلسفه را اساسا رد می‌کند و یا ایمانش واقعی نیست.» در واقعیت آنچه که رخ می‌دهد این است که حضور همزمان فلسفه و ایمان در اندیشه یک انسان، بسته به اینکه کدامیک زودتر واقع شده باشد، موجب اختلال در دیگری می‌شود به این معنا که ممکن است برخی از جنبه‌های ایمان دچار چالش شود و یا برخی از استنباط‌های فلسفی معطل ماند^۲. کنجکاوای بشر در اینکه کدامیک از باور-علم و ایمان بر دیگری مقدم بوده، هر چند، ممکن است نتیجه غیر تعینی^۳ داشته باشد، گریز ناپذیر است زیرا پرسشگری و تلاش برای فهمیدن از ویژگی‌های انسان خردمند است^۴ [۱]. ولی این ویژگی یعنی پرسشگری آدمی، همانگونه که نوام چامسکی [۲] متذکر

مقابله علم و ایمان شکل دهنده بخش مهمی از تاریخ بشر بوده است، که همچنان نیز ادامه دارد. شاید نتوان نقطه آغاز دقیقی برای این کارزار یافت، ولی در هم تنیدگی باستانی دوگانه باور-علم با ایمان در هزاره اخیر، و شاید هزاره پیش رو، به رزم چندگانه میان آنها بدل گشته است. این نبرد چندگانه از پذیرش رسمی علمی بودن چیزی و معتبر بودن روش خاصی برای کنکاش علمی تا ضدیت با آزمایشات عقلانی و نیاز به تاکید بر اهمیت عقل کشیده شده است. مخاطرات حضور در مکتب برادران همراه (اخوان‌الصفا) در هزار سال پیش، فشارهای اجتماعی و جانی بر مکتب نام پرستان روسیه در صد سال گذشته، و نیز ضدیت با ریاضی^۱ در سال‌های اخیر، همگی گویای گرم بودن تنور چنین کارزاری هستند. ایمان و فلسفه در برابر هم یک دینامیسم پیچیده می‌سازند. انتظار می‌رود که فلسفه بدون هیچ پیش فرضی برای پاسخ پرسش‌هایش و ایمان

۱. ضدیت با ریاضی در سال‌های اخیر، عجیب است ولی واقعیت دارد.

۲. یک نمونه (به ظاهر تاریخی- به معنا معاصر): رد نظریه معاد جسمانی توسط پورسینا در چارچوب فلسفه و پذیرش معاد جسمانی توسط او در چارچوب ایمان. نکته مهم در اینجا نبوغ بالای پورسیناست که این دو را به هم نمی‌دوزد. او نمی‌گوید که بالاخره فلسفه معاد جسمانی را ثابت خواهد کرد یا نمی‌گوید که معاد جسمانی استعاریست. پورسینا ساحت این دو را به دور از هم نگه می‌دارد با این هزینه که مومنانی او را کافر بخوانند و اندیشمندی او را غیرفلسوف بنامند. اگر پورسینا در یک سمت این دوگانگی می‌ایستاد انتظار دیدن پدیده‌های مانند بیرونی و یا سهروردی را داشتیم. شاید آثاری چون «زنده بیدار» و «قانون» محصول چنین دوگانگی‌ای بوده باشند. پورسینا با این میاندا ریش هم ماندگار شد و هم مسئله دار!

3. Non-Deterministic or Stochastic

4. Homosapience (آدمیزاد)

فرهنگ واژگان

جنبش (Dynamics): پویایی چیزی در طی زمان به گونه‌ای که تابع قانون حرکت ویژه‌ای باشد.

باور (Belief): درست انگاشتن چیزی بر پایه شهود، تجربه، و یا انتزاع.

علم (Science): یک سازوکار سامان یافته که در قالب فرضیه‌های قابل آزمون دانش بشری را سازماندهی می‌کند.

اسطوره (Myth): نوعی معناپردازی روایی، بر اساس عناصری واقعی یا فرهنگی، که لزوماً بر حکمی اثبات‌شده یا گزاره‌ای علمی مبتنی نیست، اما از طریق نمادها و الگوها می‌تواند فهمی ایجاد کند. این فهم، بسته به کسی که روایت را می‌سازد، بیان می‌کند، یا می‌شوند، می‌تواند سازنده یا ویرانگر باشد و بنابراین تأثیر آن بر ذهن و عمل انسان متغیر و وابسته به زمینه است.

افسانه (Legend): نوعی معناپردازی روایی، بر اساس عناصری واقعی و غیر واقعی، با اغراق در چیزی غیرواقعی و ملموس نگهداشتن چیزی واقعی، و ایجاد رابطه میان این دو با هدف انتقال سریع و جذاب یک پیام فرهنگی.

خرافه (Superstition): نوعی معنادایی روایی که بر حکم، باوری نادرست و یا گزاره‌ای رد شده استوار است. مستقل از کسی که آن را می‌سازد، بیان می‌کند، یا می‌شوند، ویرانگر است.

سازوکار پیچیده (Complex System): وضعیتی که دسته‌ای از اجزای متنوع و به هم پیوسته با رابطه‌های زیاد کاری را به انجام رسانند که با حذف برخی از آن اجزا و یا رابطه‌ها، چنان هدفی محقق نشود. زیاد بودن تعداد اجزا و یا تعداد رابطه‌ها در داشتن این وضعیت اساسی است.

خودکار بودن (Automation): وضعیتی که یک سازوکار هدف خود را بدون نیاز به سرپرستی یک انسان محقق کند.

بازدارنده (Inhibition): وضعیتی که یک عامل در صورت حضور و یا افزایش دامنه موجب کاهش فعالیت و یا خروجی یک سامانه گردد.

پیشران (Promotion): وضعیتی که یک عامل در صورت حضور و یا افزایش دامنه موجب افزایش فعالیت و یا خروجی یک سامانه گردد.

پذیرش و وفاداری به آن شایسته‌تر خوانده می‌شود^۹. تاجایی که تناقض میان تجربه‌های آموخته شده با ریزه‌کاری‌های ایمان به محکی برای استواری ایمان فرد تعبیر می‌گردد و گاهی پافشاری بر ایمان و نادیده گرفتن شواهد، نوعی ارزش ایمان مدار خوانده می‌شود [۹]. با یک رویکرد و اندیشه کاملاً طبیعی، ایمان و باور بخشی از فرایند بقای انسان بوده‌اند ولی با ترتیبی متفاوت نسبت به دانش [۱۰]. بخشی از فرایندهای باور محور بر پایه انسجام گروهی و اجتماعی، و در نتیجه آن بخت بیشتر بقا در اثر حفاظت اجتماعی، برقرار می‌گردد. خانواده به عنوان امری تاریخی، از جمله کهن‌ترین باورهای همراه با قداست، برای روزگار درازی، از موجبات

می‌شود، ممکن است در سیستم آموزشی مدرن به درستی تحقق نیافته باشد^۱. برخی پرسش‌های مرتبط با شناخت انسان ستاکی دوگانه^۲ دارد، مانند ظاهر چیزی (آن طور که ما تصور می‌کنیم) در برابر حقیقت/واقعیت (آن طور که هست/واقع است)^۳ [۳]. دوگانگی‌های دیگری مانند علم در برابر ایمان، دانش در برابر باور، و علم در برابر شبه علم^۴ اندیشه بشر را با چالش‌های ژرفی درگیر کرده‌اند. تا جایی که دانش جاری یاری می‌دهد، انسان خردمند سرآغازی نزدیک به سیصد هزارسال پیش دارد، و گونه انسان خردمند مدرن^۵ [۴] از پنجاه هزار سال پیش، در سایه ابزار، تکنولوژی و هنر، درگیر رشد سریع پیچیدگی‌های فرهنگی و اجتماعی بوده است [۵]. دریافت دانش نسبت به پیرامون و داشتن توان تطبیق با شرایط پیرامونی، عامل ماندگاری آدمیزاد بوده است. در این مسیر پرسش‌های بسیاری درباره دانش، ذهن، اراده، خویش، آفرینش، عقل، جهان و مانند آنها، آدمی را به خود مشغول ساخته‌اند [۳]. توشه اندوزی و به کاربردن این تجربه‌ها، چارچوب دانش و علم^۶ را می‌سازند. در عین حال، وجود مناسک و شکل گرفتن آئین‌ها نشان از ایمان و یا باور داشته است. باید توجه داشته باشیم که تفاوت معناداری میان باور انتزاعی و پذیرش ایمانی وجود دارد. پذیرش آن چیزی است که هسته ایمان را شکل می‌دهد و طبیعتی متفاوت با انتزاع دارد که باور را نهایی می‌کند. حصول ایمان، فرایندی وفادارانه در پذیرش چیزی و تداوم گرایش در درون آن همراه با تعهد است و لزوماً متصل به مفهوم ذهنی باور نیست. گائولتیر [۶] دقیقاً بر این نکته از خرد معمول تاکید می‌کند که باور برای ایمان نه لازم است و نه کافی. قرارگرفتن ایمان در برابر علم به مانند قرار گرفتن وفاداری در پذیرش یک چیز، به عنوان یک حالت عاطفی یا اجتماعی، در برابر یافتن تصدیقی ذهنی درباره آن چیز است. شارما «واکنش انسان به وحی را ایمان و یا فقدان ایمان می‌خواند»^۷، یعنی درباره ایمان می‌توان از مقوله پذیرش و وفاداری فردی یا اجتماعی گفتگو کرد. به عبارت دیگر «ایمان مقدم بر اثبات با امکان نادیده گرفتن ناکافی بودن دلایل»^۸ است [۷]. ولی علم از فرایندی می‌گوید که چیزی را به‌طور موقت تا حصول مشاهدات و دریافت‌های بعدی، با رد یا اثبات، به یک باور تبدیل می‌کند [۸]. بر این اساس، باور به عنوان یک حالت ذهنی با ایمان به عنوان یک حالت عملی متفاوت است. در تاریخ بشر، هر چه احتمال درستی چیزی کمتر باشد، عمل ایمانی مورد نیاز برای

1. https://www.youtube.com/watch?v=e_EgdShO1K8 (Noam Chomsky, Education For Whom and For What)

2. Dualism

3. Appearance vs. Truth/Reality

4. Pseudoscience

۵. انسان خردمند مدرن را از این پس به طور معادل، آدمی، آدمیزاد، بشر، یا انسان می‌خوانیم.

6. Knowledge and Science

7. "The human reaction to revelation is faith, or lack of it." (Sharma, 2006: p. 111)

8. "Thus they create a predisposition to belief, which precedes proofs, which leads the mind to overlook the insufficiency of the logical reasons, and which thus prepares it for the proposition whose acceptance is desired." (Sharma, 2006: p. 111)

9. "... from the tradition in theology that the more unlikely a belief is to be true, the more meritorious is the act of faith required to believe it." (blackburn, 2001: ch. 5)

رپیثوین^۴، به عنوان یک نظریه زمین-حرارتی کهن ایرانی، به یک اسطوره نمادین و مظهری برای مفاهیم ذهنی فرهنگی بدل شد. در صورتی که رپیثوین [۱۴] ایمان محور بود، قطعاً چنین دینامیسمی را نمی‌توانست تجربه کند همانگونه که ارداویراف^۵ دینامیسم تبدیل به یک اسطوره نمادین را طی نکرد و در قالب ایمان و پذیرش باقی ماند. در این مقاله بر دینامیسم میان باور و علم بیش از تعادل ایمان محور تمرکز می‌کنیم. باور می‌تواند بر پایه قضاوتی با ارزیابی یا بدون ارزیابی، بر اساس مشاهدات فیزیکی، دریافت‌های انتزاعی، استدلال، تجربه، یا حتی پذیرش گفته‌های معقولانه دیگران شکل گیرد [۳]. در نتیجه، فرآیند شکل‌گیری و ارزیابی باورها بسیار پیچیده و متنوع است. در کنار علم به چیزی، باور به آن چیز را داریم. علم فعالانه و نقادانه به دنبال درک جهان از طریق ارزیابی شواهد و پذیرش موقت یافته‌ها است. از یک دید، باور، گاهی همراه علم، گاهی پیش از علم، و گاهی حاصل علم است. از دیدی دیگر، گاهی باور پیش‌رسان علم و گاهی بازدارنده علم است. یادآوری این نکته لازم است که، علم و باور هر دو حالت‌هایی ذهنی هستند. به طور خلاصه، باور یک حالت ذهنی است که در آن فرد یک گزاره، یک ایده، یک شخص، یا هر چیز دیگری را درست یا واقعی می‌پندارد^۶. علم نیز یک حالت ذهنی است که در آن فرد یک گزاره، یک ایده، یک شخص، یا هر چیز دیگری را برای درست یا واقعی بودن مورد ارزیابی و قضاوت قرار می‌دهد و تنها تا شواهد و قضاوت‌های بعدی درست یا نادرست بودن آن را معتبر می‌شناسد^۷. دانش علمی^۸ از راه مشاهده، نظریه، ارزیابی، و اصولاً آنچه که روش علمی خوانده می‌شود حاصل می‌گردد [۱۵]. در پاسخ به این پرسش که علم چیست می‌توان به نیاز بشر به دانستن رابطه علت و معلول، که طبیعی، غیر شخصی، پیشرو، فروگاه، و عام است [۱۶] اشاره کرد. به علاوه، دسته بندی اشیاء و مفاهیم برای فهم اینکه چگونه دانش بشری در ذهن انسان خردمند عمل می‌کند بسیار مهم است [۱۷]. در علم، ارزیابی و قضاوت فعالانه و بی‌طرفانه، همراه با تفکر انتقادی، با اعتبار موقت، و تکیه بر شواهد بسیار پر رنگ است [۳]. این رویکردها، علم را از نظام‌های فکری ایمان محور که ممکن است بر پایه سنت، یا اقتدار بنا شده باشند، متمایز می‌کند و در حوزه شناخت^۹، علم را در کنار باور و در نقطه مقابل ایمان قرار می‌دهد. از اینجاست که نزاع سه‌گانه ایمان، باور، و علم

بقا و گسترش قدرت، ثروت، نفوذ، و اتحاد بوده است [۱۱]، [۱۲]. بسیاری از فرهنگ‌ها، در چارچوب چنین قداستی، خانواده را در جایگاه مشروعیت‌بخشی به نظم اجتماعی و انتقال دهنده میراث قرار داده‌اند. در بسیاری از جامعه‌های پیشرفته امروزی مفهوم قداست خانواده جای خود را به کلید واژه‌های دیگری مانند اخلاق، کارایی، سلامت روانی، و حقوق اجتماعی، بدون ارجاع به قداست، داده است. ولی در برخی از آنها خانواده در کنار مولفه‌های سکولار غیر مقدس مآبانه، به عنوان یک ارزش بنیادین اجتماعی نگه‌داشته شده است. برخی جوامع به طور کلی در مسیری هستند که صورت سنتی خانواده به یک نهاد اختیاری بدل شده و در سطح عمومی، در سیاستگذاری و یا تجربه زیسته افراد به عنوان مفهومی مقدس با ارزشی بنیادی مطرح نمی‌گردد. انسان به شیوه‌های مختلف و ایمان-باور محور، مانند میتراپیسم، برای تداوم بقا، اقدام به بزرگداشت طبیعت می‌کند، البته نه لزوماً از برای بهره برداری بلکه دیدن طبیعت به عنوان یک هم‌پیمان [۱۳]. از این رهگذر می‌توان به آیین‌های رایج در زمان‌های قدیم اشاره کرد که در آن حیوان، گیاه، کوه و یا چیز خاصی که آرمیزاد در طبیعت تجربه نموده، به بخشی از مناسک تکراری و تقویمی او تبدیل شده است. در حوزه‌هایی مانند توجیه رخدادهای طبیعی و نیز تلاش برای دخالت و کنترل آنها^۱، باورها حضور پررنگی داشته‌اند. برخی باورها حاصل نظریه‌پردازی‌های منتج از مشاهدات طبیعی، و برخی دیگر نیز حاصل دینامیسم درونی اجتماع یا جامعه^۲ در حال شکل‌گیری بوده‌اند. با اینکه، ایمان می‌تواند در شکل‌گیری برخی باورها نقش داشته باشد و باورها نیز در طی زمان می‌توانند شکل دهنده صورتی از ایمان باشند، از دیدگاه نظری، میان باور و ایمان شکاف ژرفی وجود دارد که از جنس تضاد نیست بلکه به تفاوت‌های بنیادین میان شهود-تجربه و پذیرش-تعهد مربوط می‌گردد^۳. اصولاً درستی ایمان چالش پذیر نیست و در برابر تحلیل درستی-نادرستی ایمن است. ولی باور در برابر تحلیل درستی-نادرستی ایمن نیست و به چالش کشیده می‌شود. در این میان اسطوره جایگاه ویژه‌ای دارد. برای قالب‌های باورمندانه مسیر دینامیسم تبدیل شدن به اسطوره باز است ولی برای قالب‌های ایمان محور چنین مسیری هموار نیست و بیشتر به تعادلی پایدار می‌انجامد و در نتیجه ممکن است که از مزیت خلق اسطوره جا بمانند. به عنوان مثال، قالب باورمندانه

۱. زمین لرزه، سیلاب، خشکسالی، ناپیش باران

۳. باور به راه تجربه- شهود-انتزاع می‌رود، ولی راه ایمان گرایش-پذیرش-وفاداری است

2. Either Community or Society

4. "Rapithwin, in Zoroastrianism, personification of summer and noonday, the time of the midday meal. The New Year festival, Noruz, is celebrated in Rapithwin's honor as a solemn and joyful celebration of new life in nature and the anticipated resurrection of the body at the end of times." Quoted from 'The Editors of Encyclopaedia Britannica. «Rapithwin». Encyclopedia Britannica, Accessed 4 May 2025.'
5. The Book of Arda Viraf, The Ardā Wirāz-nāmag, 'Ph. Gignoux, ARDĀ WĪRĀZ, Encyclopaedia Iranica, Vol. II, Fasc. 4, pp.356-357, Published December 1986, 15, Last Updated February 2013, 14.'
6. Schwitzgebel, Eric, «Belief», in Edward N. Zalta & Uri Nodelman (eds.), The Stanford Encyclopedia of Philosophy, Spring 2024 Edition.
7. Hepburn, Brian and Hanne Andersen, «Scientific Method», in Edward N. Zalta (ed.), The Stanford Encyclopedia of Philosophy, Summer 2021 Edition.
8. Scientific Knowledge
9. Epistemology

عنوان یک نیروی محرکه و چالش برانگیز، به طور قابل توجهی تاریخ بشر را شکل داده است. یعنی علم و باور، هر یک با شیوه‌ای خاص در مواجهه با تجربه، نقش‌آفرین مسیر تحول ذهنی بشر بوده‌اند. علم، با تکیه بر پرسشگری و آزمون‌پذیری، دست به گسترش افق‌های شناخت زده است. و باور، با فراهم کردن پیش‌فرض‌های اولیه و انگیزه‌های درونی، زمینه آغاز حرکت به سوی ناشناخته‌ها را فراهم کرده است. اما هرگاه یکی از این دو، به تنهایی و بدون تعامل با دیگری، مبنای شناخت قرار گیرد، مسیر فهم مختل می‌شود.

همراه و همزمان با دیدگاه هندسی مشهور تالس «خودت را بشناس»، در سنت فیثاغورثی، باور به نظم عددی جهان قدرتمند بود. عبارت فیثاغورثی «همه چیز عدد است» [۲۴] نشان دهنده باور مکتب او به عدد بوده است.^{۱۲} بر این اساس هر کشف جدید چون کشف عددهای گنگ، مانند نسبت قطر مربع یک به ضلع آن، چالش برانگیز بود. این چالش‌ها، اگرچه در برخی روایت‌ها رنگ افسانه به خود گرفت، نشان‌دهنده تنش میان باورهای تثبیت شده و داده‌های نوظهور و گشاینده باورهای نو و گسترش دانش بود. به عنوان یک نکته مهم در چگونگی تحول و تطور باورها به مفهوم نسبت طرفین-وسطین اشاره می‌کنیم.^{۱۳} در مکتب فیثاغورث، عبارت «همه چیز عدد است»، که احتمالاً از آموزه‌های مصری و بابلی گرفته شده، نقشی مهم داشته است. برای یافتن برش‌های یک پاره‌خط با چنین نسبتی نیاز به حل یک معادله درجه دو است که فیثاغورث می‌توانست آن را حل کند ولی پاسخ چنین معادله‌ای، برای یک پاره‌خط که طولش عددی گویا باشد، فاصله نقطه برش به عنوان یک عدد تا سر پاره‌خط است که عددی گویا نخواهد بود. با توجه به عدم شناخت عددهای گنگ در زمان فیثاغورث، این

تاریخ بشر را شکل داده است [۱۸]، [۱۹]. این دو منبع اخیر نشان‌دهنده خیزش بازنگری در فهم انسان از این نزاع سه‌گانه در آغاز سده بیست و یکم هستند. پرداخت گذشته محور انسان، [۱۸]، [۱۹]، به تقابل علم و ایمان، و نیز رویکرد نظری آن، در گذار و گذار نظریه آینده نگری‌اش، [۲۰]، به مرزبندی برای مصداق محوری با رویکردی عملگرایانه تبدیل شده است. این نزاع نه تنها در سطح ایده‌ها و نظام‌های فکری، بلکه در تحولات اجتماعی، سیاسی، فرهنگی و حتی فناوریانه از طریق ایجاد تحول در فکرت آدمی^۱ تأثیرگذار بوده است [۲۱]. از جمله می‌توان به تبعات چنین نزاعی در تفسیر جهان^۲، اقتدار و قدرت^۳، پیشرفت و نوآوری^۴، تأثیر بر فرهنگ و هنر^۵، و تکامل اندیشه^۶ پرداخت. برونسکی و مزلیش [۲۲] با بررسی تحولات در رشد ایده‌های اندیشه از دوره رنسانس تا اوایل قرن نوزدهم با مطالعه تاریخ روشن‌فکری غرب و با تأکید بر تعامل ایده‌ها در زمینه‌های مختلف فکری، تأثیر متقابل رویدادها و ایده‌ها، و دیدگاه‌های افراد و گروه‌های کلیدی در این دوره اذعان می‌دارند که انقلاب علمی در طی دو سده ۱۵۰۰ تا ۱۷۰۰ در خلق تمدن مدرن بشری، و پیرو آن جهان انسانی نوین، نقشی اساسی داشته است [۲۳]، [۲۴]. در این راستا، برونسکی و مزلیش [۲۲] در سه قالب کلی «جهان در حال گسترش»^۹ از لئوناردو تا گالیله (۱۶۳۰-۱۵۰۰)، «دوران مخالفت‌های منطقی»^{۱۰}، از کرامول تا رسو (۱۷۶۰-۱۶۳۰) و «انقلاب‌های بزرگ»^{۱۱} از اسمیت تا هگل (۱۸۳۰-۱۷۶۰) نظریه خود را ارائه می‌دهند. درگیری با باورهای رایج و ایمان (پذیرش، گرایش، کنش، وفاداری، تعهد) جوهره این سه قالب بوده است. گذشته از ایمان، علم و باور در کنار یکدیگر، مکمل هم و یا در تضاد با هم، دینامیسم دیالکتیکی مسیر تاریخ را به طرق مختلف تحت تأثیر قرار داده‌اند. تقابل/تعامل باور و علم، به

1. Human Mindset

۲. در طول تاریخ، باورهای مختلف (اعم از مذهبی، اسطوره‌ای، فلسفی و غیره) چارچوب‌های اولیه‌ای را برای تفسیر جهان، پدیده‌های طبیعی و جایگاه انسان در آن ارائه داده‌اند. با ظهور علم و توسعه روش‌های مبتنی بر مشاهده، آزمایش و استدلال منطقی، این تفاسیر به چالش کشیده شدند که اغلب منجر به تنش و درگیری بین طرفداران باورهای سنتی و رویکردهای علمی جدید شده است.

۳. وقتی باورهای غالب با ساختارهای قدرت اجتماعی و سیاسی گره خورده باشند، ظهور علم و ارائه توضیحات جایگزین برای پدیده‌ها می‌تواند اعتبار ساختارهای قدرت را به خطر بیندازد و در نتیجه علم با مقاومت قدرت در سایه ایمان روبرو شود. نمونه‌های تاریخی مانند محاکمه برونو و گالیله یا درگیری‌های مربوط به نظریه تکامل داروین گواه این موضوع هستند.

۴. نزاع با باورهای غیرقابل اثبات و تکیه بر روش‌های علمی، منجر به پیشرفت‌های شگرف در فناوری، پزشکی، کشاورزی و سایر زمینه‌ها شده است. این پیشرفت‌ها به نوبه خود، دیدگاه‌های انسان نسبت به جهان و امکانات خود را تغییر داده و در نهایت، تاریخ را شکل داده‌اند.

۵. نزاع بین علم و ایمان بر فرهنگ و هنر نیز تأثیر گذاشته است. هنرمندان و نویسندگان در طول تاریخ به این تقابل پرداخته‌اند و آثار آن‌ها اغلب بازتاب‌دهنده تنش‌ها و تحولات ناشی از این نزاع بوده است.

۶. نزاع بین علم و ایمان، به تکامل مفهوم حقیقت و چگونگی دستیابی به آن کمک کرده است. علم با تأکید بر شواهد تجربی و استدلال منطقی، معیارهای جدیدی برای ارزیابی ادعاها ارائه داده است که با روش‌های مبتنی بر ایمان یا سنت متفاوت است.

۷. در کشوری مانند ایران، خوانش مدرنیسم (یا همان نوگرایی) بدون توجه به خاستگاه‌های آن می‌تواند به سوء برداشت منجر شود و برخی از آنچه که با برجسب مدرنیسم ساخته می‌شود، بدون پایه و اساس بوده و لرزان باشد. جایگزین این خوانش، به بیان طباطبایی [۲۳]، [۹۲]، آفرینش نوگرایی از درون سنت ایرانی است.

۸. نوگرایی (مدرنیسم) نه یک مقصد است و نه یک سکوی پرتاب، بلکه مسیری است از سنت موجود به جایی نوین که در زمانه خود به ناکجاآباد رود. در حرکت از سنتی به سنت دیگر، اینجا عامل مهمی است. اگر در زمانه مقصد، ظرفیت تعامل با مصادیق نوین وجود نداشته باشد، حرکت صورت گرفته ممکن است به ناکجاآباد رود. در حرکت از سنتی به سنت دیگر، مولفه‌های مبدا، مقصدهای احتمالی، مسیر نوگرایی و عقلانیت آن، مردمان، زمان، طول زمانی، گذار و گذار ما و جهان، همگی در نتیجه نهایی فرایند و رخداد موثرند. به همین دلیل، نوگرایی در هر جا موفق بوده، حاصل اندیشه‌های ژرف و زمان‌بر و زیرساخت‌های فکری بوده. تصور اینکه مدرنیسم یک مقصد است که می‌توان به درون آن پرید، دستاورد درخشانی نخواهد داشت. از آن طرف، تصور اینکه بدون نوگرایی و تنها بر پایه سنت می‌توان برای همیشه پیش رفت، موجب ناامیدی و پسرفت خواهد بود.

9. The Expanding World

10. The Age of Reasoned Dissent

11. The Great Revolutions

12. "Know Thyself" & "All is Number" (Boyer, 1968, pp.49)

ناتوانی پذیرش تغییر در باورها ممکن است ساختاری بسیار پیچیده داشته باشد. زمیگراد^۱ [۲۸] در یک قالب شناختی این پدیده را داریی ایدئولوژیک^۲ می‌خواند. می‌توان دریافت که انعطاف‌ناپذیری شناختی به انعطاف‌ناپذیری باور تبدیل می‌شود که نیازمند نپذیرفتن واقعیت‌های مغایر با باور جاری/رایج است. زمینه جمود شناختی از دیدگاه زمیگراد ترکیبی از استعداد عصب شناختی اولیه^۳ و نتایج ثانویه است که می‌توان آن را اپی‌ژنتیک جمود خواند. از این دیدگاه، زمیگراد (۲۰۲۵) نقطه آغاز را بیرون از مسئله مرغ و تخم‌مرغ تفسیر می‌کند و به مسئله پیامدها می‌پردازد. این دیدگاه نشان می‌دهد که دینامیسم باور در برابر داده‌های نو یک توانایی دینامیکی ترکیبی زیستی-اجتماعی از نوع داشتنی-یافتنی^۴ است. چکیده اینکه، بازنگری در باورها و بیان اهمیتش در پیشرفت‌های علمی جایگاهی فراتر از یک توصیه اخلاقی دارد و گاهی یک امر کاملاً زیست‌شناختی است.

امری دیگر از نوع زیستی وجود دارد که دینامیک باور را شکل می‌دهد. اگر تاثیر پذیری زیستی دو عضو از یک گروه (که می‌تواند خانواده، کلاس، جامعه و مانند اینها باشد) از یکدیگر به فاصله فیزیکی-عاطفی آنها بستگی داشته باشد، این امکان وجود دارد که در صورت باور یک عضو به چیزی، عضو دیگر بر حسب نزدیکی و یا دوری به متضاد آن باور و یا مشابه آن روی آورد.^۵ این امر، اصولاً از نوع شناختی نیست و جنبه زیستی دارد. به این ترتیب، دینامیک باور به یک موضوع اجتماعی تبدیل می‌گردد [۲۹]. در میان حیوانات، نزدیکی زیاد موجب درگیری فیزیکی و تمایز قلمرو می‌گردد ولی در انسان‌ها، ممکن است این امر استعاره‌ای گردد و به تمایز حوزه اندیشه و باورمندی برای نوداشت و نگه‌داشت قلمرو فکری بینجامد. برای هم‌نوایی^۶ در دینامیک باورمندی، که نوعی همراستا شدن در باور است، یک فاصله فیزیکی-عاطفی بهینه وجود دارد.

گاهی ژن مانند یک اسم رمز وارد می‌شود. در برابر ایده ژن خودخواه^۷ از جانب ریچارد داوکینز^۸، دنیس نوبل^۹ بر تداوم اثر اپی‌ژنتیک و بر هم کنش ژنوتیپ و فنوتیپ^{۱۰}، شبکه‌های تنظیم ژنی، تعامل چندسطحی و لایه‌ای میان ژن، سلول، بافت، ارگانیسم، و محیط تاکید دارد و نگره ژن خودخواه را ناکافی دانسته و آن را نیازمند بازیابی می‌داند^{۱۱}. تفاوت این دو دیدگاه را می‌توان در عنوان و محتوای دو نوشته «ژن خودخواه» [۳۰] و «موسیقی زندگی، زیست‌شناسی در ورای ژن» [۳۱] به عنوان بازتاب دو فرهنگ علمی متفاوت به خوبی نمایان دید [۳۲]، [۳۳]. باورمندی به ژنتیک

باید یک چالش جدی بوده باشد. اقلیدس، این برش را با کمک ترسیم‌های هندسی بیان می‌کند و پاسخ چنین برشی را بدست می‌آورد. ارشمیدس، محاسبه عددی مساحت یک برش از سهمی را با ویژگی‌های هندسی تقریب می‌زند و بدست می‌آورد. باور به این که همه چیز عدد است، در آغاز نوگرایی اندیشه یونانی، در زمان اقلیدس به بیان هندسی عددهای جبری بدل شد. این یک نوع تحول در باور است. بوی (۱۹۶۸ و ص. ۵۷) این پرسش را مطرح می‌کند که چه زمانی این ایده که همه چیز عدد است راهش را به هندسه ناب یافت. در ورای این پرسش ما این نکته را در می‌یابیم که تغییر پارادایم، تنها امری تکنیکی نبوده است، بلکه تغییر در شهود، تجربه، و انتزاع و یافتن باور جدید بوده که ریاضیات اولیه یونان را از جبری-عددی به هندسی متحول ساخت. داستان عددهای غیر جبری موجب متوقف شدن یافتن پاسخ معادلات به شیوه هندسی (با خط کش و پرگار غیر مدرج) شد. به عنوان مثال می‌توان به تریب دایره اشاره کرد.

از سوی دیگر، تکیه‌ی صرف بر استدلال‌های صوری، بدون پذیرش هیچ پیش‌باوری، می‌تواند به بن‌بست‌های شناختی منجر شود. پارادوکس‌های زنون [۲۵]، که در آن حرکت به‌ظاهر ناممکن می‌نماید، نمونه‌ای از این وضعیت‌اند. عقل تحلیلی، بدون تکیه بر تجربه یا شهود، ممکن است به نتایجی برسد که با واقعیت زیسته ناسازگارند. از این رو، پیشرفت در شناخت، نه با حذف باور یا علم، بلکه با گفت‌وگوی میان آنها ممکن می‌شود. گاه یک کنجکاو آغازین، یا باوری قابل بازیابی، می‌تواند فروغ حرکتی به سوی افق‌های تازه باشد که تنها با ترکیب جسارت طرح پرسش و فروتنی پذیرش، قابل دست‌یابی‌اند. با تامل در تاریخ علم [۲۶]، [۲۷]، در می‌یابیم که میانگین کیفیت دینامیسم میان باور و علم از نوع زاینده بوده است. قاب‌های علمی مهم مانند مدل کوپرنیکی، تکامل داروینی، نظریه نسبیت و فیزیک کوانتوم، تنها پیشرفت دانش نیستند، بلکه نشان می‌دهند که چگونه باورهای عمیق اجتماعی و فکری درباره جهان و واقعیت به چالش کشیده شده و زاینده می‌شوند. باورهای تثبیت‌شده (سنت، مذهب، پیشینه) اغلب با ایده‌های علمی نو مخالف هستند. برای انسان، پیش کشیدن باور جدید (که حاصل پیشرفت و توسعه علم است) و کنار گذاشتن باورهای کهنه (که حاصل خوی گرفتن است) ممکن است زمان بر باشد. روش علمی با تکیه بر شواهد و منطق، همراه با زمینه‌های فرهنگی و مذهبی، باورها را تغییر می‌دهد و با داده‌های تازه باورهای بی‌اساس را تضعیف می‌کند و بر جهت‌گیری علم اثر می‌گذارد.

۱. نسبت تقاطع قطرها در یک پنج ضلعی منتظم.
 2. Ideological Possessions. <https://castbox.fm/episode/id4051782id857225060?country=us> (آذخش مکری)
 3. Genetic Predisposition and Outcomes of Ideological Beliefs
 4. Granted-Acquired
 5. Phase Lucking & Phase Drift
 6. Synchronization

7. Selfish Gene vs. Unselfish Gene
 8. Richard Dawkins (-1941) British Evolutionary Biologist, Zoologist, and Science Communicator
 9. Denis Noble (-1936) British Physiologist and Biologist
 10. Genotype vs. Phenotype
 11. The unselfish gene, Denis Noble challenges Richard Dawkins, <https://www.youtube.com/watch?v=wL۸۶۲Dm-tps>

به عنوان سازوکار وراثت زمانی به دانشی علمی و نوعی باورمندی تبدیل شد. ولی روش‌های علمی راه تجربه‌های نوین و تجدید نظر در باورها را باز می‌گذارند. درک اینکه، ژنتیک راهی برای تبادل داده‌های زندگی با نسل بعد است، بسیار مهم بوده است، و هم چنان مهم است، ولی نقطه توقف درک زیست‌شناسی بشر نیست. این دقیقاً همان چیزی است که دنیس نوبل بر آن تأکید دارد. مسئله این نیست که هم اکنون در ورای ژنتیک، چه چیزی می‌بینیم، این مهم است که راه دریافت‌های نوین را باز گذاریم تا تجربیات بشری بوسیله باورهای رایج بازدارنده محدود نگردند.

۲. عقل-علم و باور-ایمان

اندیشیدن به رابطه عقل-علم با ایمان-باور به دوران باستان بازمی‌گردد. ارسطو در کتاب «درباره روح» [۳۴] به بررسی عقل می‌پردازد و آن را قوه‌ای مستقل و متمایز می‌داند که قادر به درک حقایق است. این دیدگاه پایه‌ای برای تفکر عقلانی و فلسفی نسل‌های بعدی شد که در نهایت در دنیای معاصر به توسعه روش‌های علمی انجامید. ارسطو همچنین به اهمیت مشاهده و تجربه حسی، که از عناصر مهم روش‌های مدرن علمی است، در کسب دانش اشاره می‌کند. ارسطو به دوگانه دوکسا-اپیستمه^۱ می‌پردازد. از دید ارسطو، دوکسا، که به معنای باور، عقیده یا نظر است، نوعی شناخت است که از یقین کمی برخوردار است و اغلب مبتنی بر تجربه حسی یا پذیرش گفته‌های دیگران است. در مقابل [۳۵]، اپیستمه دانشی یقینی و مبتنی بر استدلال و درک علل است. بررسی تمایزات ارسطو بین این دو نوع شناخت، نشان می‌دهد که تفکر در مورد «سطوح مختلف پذیرش و یقین» از دوران باستان وجود داشته است. ارسطو معیاری باستانی برای تمایز ریشه‌های تفکر فلسفی در مورد قوای عقلانی و حسی انسان (که مبنای پژوهش‌های علمی شدند) در مقابل اشکال دیگر پذیرش و شناخت (مانند باور و عقیده) ارائه داده است. از دیدگاه ارسطو، «ممکن است یک دوکسا دارای هیچ پایه و توضیح اقصایی نباشد ولی شناخت و توضیح و اقصاء از ملزومات اپیستمه است [۳۵]». آگوستین [۳۶]، [۳۷]، [۳۸] در اعترافات^۲، با زبانی شاعرانه و گیرا، به بررسی رابطه بین عقل و ایمان، و جستجوی حقیقت می‌پردازد، که براساس آن، ایمان مذهبی مقدم بر عقل است و برای درک حقایق الهی ضروری است. جمله مشهور قدیس انسلم کانتربری^۳ «ایمان بیابوریم تا بفهمیم» [۳۹] برگرفته از آثار آگوستین و بیانگر این دیدگاه است که ایمان مقدم و لازمه فهم عقلی است. او استدلال می‌کند که انسان بدون پذیرش ایمان، قادر به درک ژرفای الهی نخواهد بود.

با وجود تقدم ایمان، آگوستین برای عقل نیز نقش مهمی قائل می‌شود و از عقل و فلسفه برای تبیین و دفاع از آموزه‌های مسیحی استفاده می‌کند. در تلاش برای یافتن هماهنگی بین عقل و ایمان، آگوستین حقیقت را یگانه و سازگار^۴ با خودش، و پالوده از تضاد درونی می‌بیند. بنابراین، اگر به نظر برسد که بین عقل و ایمان تعارضی وجود دارد، پیشنهاد آگوستین این خواهد بود که باید در فهم عقلی تجدید نظر کرد. آگوستین با پافشاری بر تجربه شخصی خود در یافتن ایمان مسیحی، شرح می‌دهد که چگونه اندیشه‌های مختلف مانند مانوی‌گری [۴۰] و نوافلاطون‌گرایی نتوانستند او را به آرامش و حقیقت نهایی برسانند و تنها از طریق ایمان مسیحی است که به این مهم دست یافته است [۳۷]. این تأکید بر تجربه دینی می‌تواند در مقابل تکیه صرف بر استدلال عقلی و مشاهده علمی قرار بگیرد. آگوستین به محدودیت‌های عقل بشری در درک کامل ذات الهی و امور ماوراءالطبیعه قایل است، به طوری که، برخی حقایق را تنها از راه وحی و ایمان قابل دستیابی می‌بیند و عقل را به تنهایی قادر به فهم آن‌ها نمی‌داند. بنابراین، آگوستین بیشتر به رابطه بین ایمان و عقل می‌پردازد تا نزاع بین ایمان و علم به معنای مدرن. هرچند از دید او، ایمان راهنمای اصلی برای رسیدن به حقیقت است، اما عقل نیز جایگاه ویژه خود را در تبیین و فهم این حقیقت دارد. با این حال، در نهایت، آگوستین برای ایمان در برابر عقل اولویت قایل است و عقل را در خدمت فهم آموزه‌های دینی قرار می‌هد. تلاش برای تمایز و درک رابطه بین این دو نوع رویکرد در شناخت، سابقه‌ای طولانی در تاریخ اندیشه دارد. در نقطه مقابل آگوستین، اپیکور^۵ قرار دارد که بر اساس اصول چهارگانه‌اش، وجود الهی را تهدید آمیز دیده، زندگی پس از مرگ را نفی می‌کند، و بر اهمیت شادی و سادگی رسیدن به آن و بر اهمیت دوری از رنج و آسانی پرهیز از آن تأکید می‌کند. اپیکور در انگاره دوگانگی خیر و شر، بر اساس باور به وجود شر مطلق (اهریمن) منطبق وجود خیر مطلق و توانمند بی‌حد (یزدان) را به چالش می‌کشد.

رابعه عدویه^۶ در نگاهی نزدیک ولی متفاوت با آگوستین، به تقدم ایمان بر عقل قایل نیست بلکه ایمان را میوه شناخت می‌شمارد^۷. اگر به معنای مدرن، شناخت را با عقل همذات بگیریم، رابعه تاج‌الرجال با شهود، عرفان، و سلوک باطنی عقل را مقدم بر ایمان می‌بیند به طوری که رویاننده ایمان است در حالی که آگوستین ایمان را چراغ راه شناخت می‌خواند. از این نظر، اگر عقلی به ضد ایمان گواهی دهد، قاعدتاً رابعه ام‌الخیر آن را عقل نشمرده و احتمالاً در دسته شبهه قرار می‌دهد. در مقایسه با رابعه، حسن

1. Doxa vs. Episteme

۲. در زبان لاتین، واژه «اعترافات» علاوه بر اقرار به گناهان، به معنی اذعان به قدرت، رحمت و ستایش خداوند نیز بود. آگوستین به ضعف‌های پیش از مسیحیتش اعتراف می‌کند و خداوند را سپاس می‌گوید تا او را از تاریکی به نور هدایت کند، که نشان‌دهنده تحولی درونی و عظمت بخشش الهی در دید اوست.

3. Credo ut intelligam (St. Anselm of Canterbury, The Proslogion, 1077 AD)

4. Unique and Consistent

5. Epicurus (341 BCE – 270 BCE), Ancient Greek philosopher

۶. رابعه عدویه با لقب تاج‌الرجال و با کنیه ام‌الخیر، بانوی صوفی و شاعر عرب در سده دوم هجری

۷. «و گفت: ثمر معرفت روی به خدا آوردن است»، تذکره الاولیاء عطار نیشابوری، بخش ۹، ذکر رابعه، نشر اساطیر، ۱۴۰۲، ص. ۱۳۷.

از یک شبکه به هم پیوسته از انتظارات هستند، نه صرفاً رخداد منفعلانه در پذیرش حقیقت. در دوره معاصر، دیدگاه‌های دیگری مانند کلارک، [۴۳]، نیز هستند که کل فعالیت ماشین اندیشه یعنی مغز را در یک پارادایم یکپارچه مانند فرایند پیش بینی خلاصه می‌کنند. بدین ترتیب، دانش، علم، ایمان، و باور همگی در راستای «فرضیه اصالت فرایند پیش بینی» جای می‌گیرند. اندی کلارک [۴۳] برای پیش‌بینی بهتر محرک، به فرایندی سلسله مراتبی قایل است که بر اساس آن عملکرد مغز بر محور شناختن بهتر پدیده‌ها استوار است. این دیدگاه، در تاکید بر فرایند پیش‌بینی کنندگی مغز به عنوان اصلی‌ترین وظیفه آن، با دیدگاه مکتب راشفسکی-روزن^۴ در قراردادن «دستگاه پیش بینی کننده» [۴۴] به عنوان شرطی لازم برای تحقق زندگی هماهنگ است.

بصری^۱ زهدگراست و پیوندی میان شناخت و ایمان برقرار نمی‌کند. از دید او، ایمان نه محصول شناخت است و نه مقدم بر آن، بلکه شناخت ممکن است موجب غرور و نفس‌گرایی گردد ولی ایمان انسان را فروتن می‌سازد. فلسفه «همه چیز در جریان است»^۲، به تلاشی برای معنا بخشیدن به زندگی انسان بدل گشت. باور بسیار اطمینان‌بخش است و نادیده گرفتنش گاهی مایه‌ی ناراحتی و ناکامی است و گاهی فعال‌کننده کنجکاوی و دانش‌اندوزی. به عنوان یک مثال از شیوه باورمندی، اُوید در فروغ عشق [۴۱] اذعان می‌دارد که «وجود خدایان مایه آسودگی است، و چون مایه آسودگی است، پس بیایید چنین فرض کنیم»^۳. برخلاف ایمان، باور یک شیوه پذیرش حقیقت نیست، بلکه یک فرایند ذهنی با ساختاری شبکه‌ای است [۴۲]. باورها بخشی



بودن و دوری جستن از باورها». نیچه به نقد دوگانگی نیک-بد می‌پردازد [۴۶] و آن را امری تاریخی و مانع تحقق اراده و رشد می‌خواند که باید با اراده‌ای قدرتمند از آن گذر کرد [۴۶] و برون رفت از آن راه، راه آفرینش ارزش‌های نوین می‌داند [۴۷]. درست انگاشتن دستور نیچه و نیز کاربست آن بر شبکه باور-علم، به درک ما از مفهوم باور بستگی دارد.

۳. دوگانگی ایرانی

دوگانگی خوب-بد ایرانی که در قالب اهورا-اهریمن [۴۵] شکل یافته، و زمانی دینامیسم اجتماعی مورد نیاز را باز تولید نمود، و در دوران معاصر نیز هنوز پتانسیل نوزایی را دارد، ممکن است در زمینه دینامیسم باور-علم ایستا فهمیده شود و یکی را در برابر دیگری قرار دهد: «روی آوردن به باورها و دوری از علم» در برابر «علمی



۱. تذکرة الاولیاء عطار نیشابوری، بخش ۳، ذکر حسن بصری، نشر اساطیر، ۱۴۰۲.

2. πάντα ρει (Everything Flows)-Heraclitus -Ancient Greek Philosopher

3. For gods to exist is convenient, and since it's convenient, let's think it. [41]: pp. 86, sec. 637.

4. Robert Rosen (1934 – 1998), Nicolas Rashevsky (1899 – 1972)

عمل‌گرایانه است. گرچه ایمان اغلب شامل پذیرش بدون شواهد قطعی است، اما اگر پذیرش چیزی بیش از اطاعت یا تقلید باشد، به درجاتی از باور یا اعتقاد نیز منجر می‌شود. ایمان به چیزی ممکن است موجب تلاش برای علمی نشان دادن اجزای آن گردد، ولی عدم تحقق اهداف چنین تلاشی لزوماً تأثیری کاهنده بر ایمان نخواهد داشت. باور از یک‌طرف تلاش‌هایی را برای درست‌انگاری خود فعال می‌کند و پایه‌های فرایندهای علمی را می‌سازد و از طرف دیگر، ممکن است خود دستخوش تحول گردد. در نتیجه، «باور» و «ایمان به باور» دو چیز مجزا هستند. در علم، باور نقشی محوی دارد، ولی ایمان به باور چنین نقشی ندارد. این نقطه آغاز نزاع «ایمان به چیزی» با «علم به آن چیز» است. به علاوه، گفتگو و طرح پرسش‌هایی پیرامون عادت به علم، عادت به باور، و عادت به ایمان در یک فرد یا جامعه، و یا یک اندیشه سرچشمه چالش‌هایی جدی در عادت‌های ذهنی^۲ است [۵۲]، [۵۳].

در مقوله باور-علم نیز دوگانگی «رد» و «پذیرش» می‌تواند مانع رشد باشد و خود به گونه‌ای دیگر ذهن ایستا را شکل دهد. این پرسش که «آیا در علم مفهومی باور-محور داریم» و نیز این که بپرسیم «آیا در باور مفهوم علم-محور داریم» جای تامل بسیار دارد. این پرسش‌ها و دشواری در پاسخ و فهم کامل آنها، آشکار کننده ساختار پیچیده دینامیسم دیالکتیکی علم-باور است [۴۸]، [۴۹]، [۵۰]. باید موقعیت ایمان را در برابر باور بهتر بشناسیم و به تفاوت میان باور و ایمان توجه کنیم. گاهی ایمان به گونه‌ای متفاوت مانند سال پایانی زندگی پاسکال^۱ در گرویدن به دینی طبیعی رخ می‌دهد [۵۱]. اینکه ایمان را عبارت از وفاداری به پذیرش و یا گرایش به چیزی بدون نیاز به حصول هیچ مرتبه‌ای از باور و یا علم بدانیم، برای آغاز ایمان کافی نظر می‌رسد، ولی برای ادامه آن محدود کننده است. در واقع، ایمان امری ذهنی و مبتنی بر اعمال اراده در پذیرش چیزی یا گرایش به چیزی با پیامدهای

منبع تصویرها: فرهنگ بریتانیکا (Encyclopedia Britannica)



طبیعت می‌انجامند. از طرف دیگر، به کارگیری درست علم می‌تواند انسان را از بند باورهای گمراه کننده آزاد نماید. در اینجا علم نقشی آزادی بخش^۳ دارد. درک اثر باور بر علم و پیشرفت‌های علمی کمی پیچیده‌تر از اثر علم بر دینامیسم باور است. انسان در کسوت یک دانشمند، اقدام برای شناخت علمی خود را از هیچ آغاز نمی‌کند. ترکیب احساس و ادراک و شواهد، ایده‌هایی را در اختیارش قرار می‌دهند که آنها را درست می‌پندارد، هر چند امکان رد کردن آنها را نیز در نظر دارد. بدین ترتیب، فرضیه‌ها (به عنوان دوکسا-یک باور اولیه قابل تجدیدنظر) شکل می‌گیرند و پژوهش علمی برای درک بهتر ماهیت فرضیه و درستی و یا نادرستی و یا دقت آن انجام می‌پذیرند. این باورها و فرضیه‌های اولیه وابستگی معنی داری به مولفه‌های اجتماعی، فرهنگی، و نیز چارچوب سایر باورهای آن اجتماع دارند. بدین ترتیب ممکن است اولویت‌ها، جهت‌گیری پژوهش‌های علمی، و تفسیر نتایج علمی ارباب شده و تحت تأثیر شرایط اجتماعی قرار گیرند. حتی ممکن است واقعیت‌های پذیرفته شده اجتماعی، پیش از هر گونه پژوهش علمی و جمع‌آوری شواهد

چنین پرسش‌هایی، که پرداختن به آنها بسیار ظریف و نیز روشنگرانه است، به خوبی پیچیدگی تعامل بین علم و باور را نشان می‌دهند و عمق ارتباط و وابستگی متقابل این دو حوزه را آشکار می‌کنند و نشان می‌دهند که درک آن‌ها بدون در نظر گرفتن دیگری ناقص خواهد بود. تلاش در فهم این ساختار پیچیده، پویایی دیالکتیکی علم-باور را به زیبایی به تصویر می‌کشد. باورها با نقش اجتماعی و معرفت‌شناسی خود شکل دهنده پژوهش‌های علمی و چارچوب‌ها، و نیز تفسیرهای علمی آنها هستند. در مقابل، علم به چالش کشنده باورها، به‌ویژه توهمات بین‌الذهانی، است. این رابطه دو سر، که سازنده تعاملی پویا و پرتنش است، مولفه‌ای مهم در پیشرفت واقعی بشر است [۵۴]. به عنوان مثال، علم با بررسی ساختارها و سازوکارهای جهان مانند تکامل یا کیهان‌شناسی شواهدی ارایه می‌دهد که ممکن است باورهای سنتی در مورد منشأ حیات یا جهان را تغییر دهند ولی تأثیری بر ایمان فرد در پذیرش منشاء مذهبی حیات ندارند [۱۸]. روشن است که باورهای نادرست و یا منجر شده به توهمات بین‌الذهانی، به سرکوب شناخت انسان از

1. Blaise Pascal (1623 – 1662) French mathematician, physicist, inventor, philosopher, and Catholic writer

2. Habits of Mind
3. Emancipation Role

۴. باور، اسطوره، خرافه

هنگام گفتگو درباره باور و علم، به مفهوم‌های دیگری با عنوان اسطوره [۵۷] و خرافه [۵۸] برخورد می‌کنیم که در مجموع سه‌گانه باور-اسطوره-خرافه را می‌سازند [۵۹]. باور و تعامل آن با علم را تا اندازه‌ای شناخته‌ایم. لازم است که اسطوره و خرافه را نیز در برابر آن تا اندازه‌ای بشناسیم. به عنوان مثال، در یونان باستان، باورها و مناسک دینی جنبه‌هایی اسطوره‌ای داشتند که بعدها مولد خرافات شدند [۶۰]، [۶۱] [۶۲]. به عنوان مثال، جغد با آتنا مرتبط بوده و نماد خرد و بینش و پیشگویی بود که با عناصری مانند تاریکی شب و دنیای مردگان و سرای هادس خدای جهان زیرین و نیکس^۴ ایزد بانوی شب ترکیب گردید. بعدها شب‌گرد بودن جغد، دیدن جغد را، که زمانی نماد بینش و پیشگویی بود، در ساعتی نامتناسب مانند روز بدشگون جلوه داد. ارتباط میان این اجزا در ابتدا نمادین و مثبت بود ولی، شاید، انتزاع ناشی از گذر زمان و رخداد‌های طبیعی و اجتماعی مانند فوران آتشفشان، زمین لرزه، همه‌گیری‌های وبا و طاعون، نوعی ارتباط نو ساخته بین ال‌ذهانی یعنی خرافه «بدشگونی دیدن جغد در روز» را ایجاد نموده باشد.

باورها نیازمند اسطوره‌ها هستند و آنها را با اجزای باورمدارانه، هنرورانه، و اجتماعی-سیاسی خلق می‌کنند. سپس در طی زمان خرافه‌ها از روی دینامیسم درونی و احساس-ادراک بیرونی انتزاع می‌شوند. به همین دلیل بسیاری از خرافه‌های یک جامعه در جامعه‌ای دیگر ممکن است کاملاً بی‌معنی باشند، دقیقاً به این دلیل که تحول نمادی-اسطوره‌ای به آن خرافه تجربه نشده است. پس با فرایندی روبرو هستیم که در آن، باور نیازمند به اسطوره برای انسجام و معنا بخشی است و اسطوره‌ها بستری روایی را برای شکل‌گیری و انتقال باورها فراهم می‌کنند. لازم است بدانیم که اسطوره‌ها تنها داستان نیستند، بلکه با عناصری از باورها، هنر ترکیبی، بیان روایی و ساخت تصویری، و ساختارهای اجتماعی-سیاسی شکل می‌گیرند، سپس جزئیات را در خود جای می‌دهند و تقویتشان می‌کنند. خرافات از تحولات درونی نظام‌های باوری و همچنین واکنش به رویدادها، احساسات بیرونی و ادراک درونی آنها، مانند ترس و عدم اطمینان ناشی از وقایع طبیعی یا اجتماعی انتزاع می‌شوند.

با مثال «خرافه دیوانگی زیر نور ماه کامل»^۵ این دینامیک را نشان می‌دهیم. آدمی در تجربه‌های خود، مسحور تماشای ماه کامل می‌شده است و چه بسا آیین‌ها و برخی جشن‌ها را به چنین زمانی اختصاص می‌دهد [۶۳]. این پدیده، به عنوان یک تجربه زیسته، به راحتی می‌تواند خواب فرد را که محو تماشای این پدیده است مختل کند و سپس در فردای فرد تأثیری گذارد که روزش

بر اساس شرایط اجتماعی ساخته شده باشند [۵۵]. گاهی باور بین ال‌ذهانی به درستی چیزی، راه را بر گزینه دگراندیشی می‌بندد و تخصیص امکانات پژوهشی مورد نیاز در زمینه به چالش کشیدن آن باور را مسدود می‌کند. به عنوان مثال، می‌توان به باور جمعی به معتبر بودن ترکیب «هوش و استعداد تحصیلی» و نیز به شواهد تاریخی و نقش ایمان مذهبی در تحریم تشریح پیکر انسان، تحریم انتقال خون، خلقت‌گرایی دفعی و تحریم مطالعه تکامل در منشاء حیات، تحریم امکان مطالعه علمی ساختار قدرت، باورهای نژادی و طبقاتی و تحریم مطالعات برابری حقوق جهانی انسان‌ها، تحریم مطالعات زیست محیطی ناشی از خودبرتربینی انسان، باور به الزام اقتصادگرایی در آموزش و تحریم عملی مطالعات آموزش فراگیر^۱ و گسترش گسست/تبعیض آموزشی^۲ اشاره کرد. از آنجایی که طرح پرسش، نقطه آغاز پژوهش علمی است، ممکن است، در سنگینی سایه باورها، برخی پرسش‌ها اصولاً امکان طرح شدن را نداشته باشند. به‌طور مشخص، گاهی مطالعات مربوط به جامعه‌شناسی، علوم سیاسی، حقوق و مطالعات زنان اغلب با در نظر گرفتن چارچوب‌های ارزشی و هنجارهای سنتی یا مذهبی انجام می‌شوند. ممکن است برخی موضوعات که با این چارچوب‌ها در تضاد باشند، و یا تحقیقاتی که ممکن است دیدگاه‌هایی انتقادی نسبت به سیاست‌های حاکم داشته باشند، کمتر مورد حمایت قرار گیرند و یا با محدودیت‌ها و چالش‌هایی روبرو شوند. در سراسر جهان، باورهای فرهنگی و ارزش‌های جاری بر برخی جنبه‌های تحقیقات پزشکی و زیستی مانند باروری و استفاده از فناوری‌های کمک‌باروری، و غربالگری و جهت‌گیری تحقیقات در این زمینه‌ها تأثیرگذاراند. اصولاً، نظام‌های باوری، از باورهای مذهبی و سیاسی گرفته تا باورهای فرهنگی و اقتصادی، ممکن است به‌طور فعالانه بر اولویت‌ها، موضوعات مورد تحقیق، و تخصیص منابع در جامعه علمی یک کشور تأثیر گذارند و فرایند دانش در کشورها را، به صورتی اریب، شکل دهند. حتی ممکن است جهان‌بینی غالب در یک کشور بر ساختار مطالعات منطقه‌ای و بین‌کشوری پژوهشگران آن تأثیر گذارد [۵۶] و مخاطرات امنیت ملی ناخواسته‌ای را رقم زند و اما بعد! در اندیشه ایرانی، دانش همیشه چراغ راه بوده است. هر چند که ممکن است کلیت ملت ایران در برش‌هایی نفس‌گیر از گذار و گذار از توجه به ژرفای این چراغ دور مانده باشد، ادبیات ایران از دیر باز بر این امر گواهی می‌دهد:

تا جهان بود از سر آدم فراز - کس نبود از راز دانش بی‌نیاز
مردمان بخرد اندر هر زمان - راز دانش را به هر گونه زبان
گرد کردند و گرامی داشتند - تا به سنگ اندر همی بنگاشتند
دانش اندر دل چراغ روشن است - وز همه بد بر تن تو جوشن است^۳

1. Inclusive Education: Theory & Practice.

2. Segregation

۳. رودکی، مثنوی، ابیات به جا مانده از کلیله و دمنه و سندبادنامه، بخش ۱۳

4. Νύξ

5. Lunar Lunacy Effect, Encyclopedia Britannica, Accessed 26 August 2025

آغاز شد، در بخش بعدی بازتر می‌شود. در اینجا نخست به ارتباط علم و خرافه و سپس به ارتباط علم و اسطوره می‌پردازیم. چنین انتظار می‌رود که علم سراسر مخالف خرافه باشد. از جمله مثال‌های مشهور می‌توان به خرافه مار-زمرد اشاره کرد که در آن بیرونی^۴ در کتاب سنگ‌های گرانبها [۷۱] در این باره آن چنین گفته است:

کوری یا کم‌سویی چشم مار پس از دیدن زمرد، قوی است که جملگی برآند، اما تجربه، چنین چیزی را نشان نمی‌دهد. من خودم در این زمینه بسیار کوشیدم. چنان‌که آزمودن آن، بیش از ممکن نبود. من جایگاه مارا قوی را با زمرد فرس کردم؛ سپس گردن‌بندی از زمرد به گردنش بستم و رشته‌ای از زمرد در برابر چشمش آویختم، اما پس از نه ماه در فصل گرم و فصل سرد، دیدم که اگر زمرد بر میزان بینایی او نیافزوده باشد، چیزی هم از آن نکاسته و آسیبی به آن نرسانده است.

بیرونی در همین کتاب سنگ‌های گرانبها در باره برخی نظریات پیشین رویه‌ای آزمودنی و سراسر مدرن را در پیش می‌گیرد.

در اینجا برخی از اشارات بیرونی در این رابطه (به جز آنچه در بخش شخصیت علمی ابوریحان آمد) نقل می‌شود [۷۲]:

۱. در مورد تأثیر آتش بر لعل بدخشان: من این تأثیر را به چشم ندیده‌ام و امکان امتحانش را نیز نداشتم.

۲. پیش نیامد که تفاوت وزن (در واقع چگالی) بیجادی و یاقوت اکهب را بسنجم.

۳. پذیرش بزرگ شدن حجر القمر (نام دیگر بلور) و موارد مانند آن موقوف به تجربه است.

۴. و برای من در این مورد (یکی از خواص اسپید روی) شبهاتی وجود دارد که جز به تجربه و آزمایش‌های پی در پی حل نخواهد شد و این روزها امکان چنین کاری فراهم نشد.

۵. وی همچنین نظر کنندی درباره‌ی چگالی اندک زمرد را با تکیه بر آزمایش رد می‌کند و در جاهای دیگر نیز بر اهمیت تجربه و آزمایش تأکید می‌ورزد.

بدین ترتیب رویه علم در برابر خرافه و نیز در برابر ادعاهای تجربه نشده کاملاً روشن است. دیدگاه بیرونی، به رویه جاری علم امروزی بدل شده است. برای آشنایی با آثار بیرونی و رازی به [۷۳]، [۷۴]، [۷۵] و [۷۶] مراجعه کنید. شیوه نامه رازی در نوین‌نگری همچون کتابی است که هنوز گشوده نشده است. برای ما ایرانیان نگرستن به رازی، که دیدگاه‌های ویژه خود را در زمینه‌های جهان، باور، و خردمندی دارد، الهام بخش پویشی نوین در پرداختن به دانش، اسطوره و خرافه است [۷۶].

را با روزهای پیشین متمایز سازد. این امری ذهنی و شهودی است ولی می‌تواند در گذر زمان به یک باور که عصاره‌ای از حقیقت در آن هست تبدیل شود، و زاینده این باور باشد که «ماه کامل زاینده خواب است و مختل کننده تمرکز در روز بعد» [۶۴] است. در طی زمان این باور توسط هنرمندان به قالب تصویر، کلام، و بیان‌های ذهنی دیگری کشیده می‌شود که نتیجه آن خلق اسطوره است [۶۵]. پیوند شبه علمی میان این اسطوره و رخداد‌های طبیعی، در اثر واکنش‌های احساسی و کج‌فهمی، بافنده گلیم خرافه «دیوانگی در ماه کامل» است. پس از استواری، چنین خرافه‌ای، در واکنش‌های مدرن اجتماعی، موضوع مطالعات بسیار شده است تا آن را رد یا اثبات کند و یا به نوعی از آن برای یادگیری، استفاده [۶۶] یا سوءاستفاده کند و یا با دیدی هنری به نظم درآورد و یا احساسات رمانتیک را طرح کند [۶۷]، [۶۸]. استفاده از روش‌های آماری و همبستگی‌های گمراه کننده بدون رجوع به خاستگاه تاریخی و دینامیسم زنجیره زایش خرافه، ممکن است به نتایج شگفت‌انگیزی بینجامد [۶۹]. گاهی این چرخه بازگشت، هر چند با نتیجه رد کردن درستی خرافه، به بازخوانی، بازتولید، و تقویت حضورش و یا گسترش جغرافیایی آن می‌انجامد. شاید بهترین شیوه برای مقابله با خرافه بازگشت دادن دینامیسم از خرافه به اسطوره باشد. نمونه‌هایی از این پدیده در ریاضی نیز دیده می‌شوند که به آنها خواهیم پرداخت.

در نهایت، معنا داشتن خرافات بین جوامع امری نسبی است. یک خرافه در یک جامعه ممکن است در یک جامعه دیگر عجیب و غریب و دور از ذهن یا مضحک به نظر برسد. دینامیک اسطوره و تجربه انتزاع خرافی از آن در هر فرهنگ رخدادی منحصربه‌فرد است. در نتیجه، خرافه‌ها طبیعتی عینی و مستقل از زمان و مکان ندارند بلکه ذهنی‌اند و به شدت در طی گذر زمان یا جابجایی مکان دچار تحول می‌گردند. این نکته نیز حائز اهمیت است که تکرار پی‌درپی خرافه‌ای رایج وارده، از زمان و مکانی دیگر، می‌تواند آن خرافه را در زمان و مکان جاری رایج کند. اسطوره‌ها و باورها چنین قابلیت تطبیق سریعی را ندارند. به عنوان مثال، علی‌رغم حضور پرتکرار چنگیز و یا هرکول، این شخصیت‌های تاریخی و نمادین در ایران هیچ وجه اسطوره‌ای نیافته‌اند ولی خرافه شوم بودن جغد در اثر تکرار در فرهنگ ایرانی وارد شده است^۲. بررسی نقش اساسی اسطوره‌ها در شکل‌دهی باورها و چگونگی ظهور خرافات از دل این نظام‌های باوری در طول زمان، تحت تأثیر تجربیات فرهنگی مختلف، بازتاب دهنده بخشی از ناخودآگاه اجتماعی^۳ [۷۰] است.

رابطه علم با زنجیره باور-اسطوره-خرافه نیازمند بازبینی شایسته‌ای است. ارتباط باور و علم و تحول این ارتباط که در بخش پیشین

1. "Alleged relations between phases of the moon and behavior can be traced to inappropriate analyses, a failure to take other (e.g., weekly) cycles into account, and a willingness to accept any departure from chance as evidence for a lunar effect" (Rotton & Kelly, 185)

۲. کس نرود به زیر سایه بوم، ورمهای از جهان شود بیرون

۴. ابوریحان محمد بن احمد بیرونی (۴۴۲ - ۳۶۲ هـ.ق)



و مبتذل، و تمایز دادن بین خیال و حقیقت است. پورسینا [۸۶] و خیام^۱ اسطوره‌های میدان خیال و خلاقیت هستند. در این مسیر، بدور از تعصب و پیش داوری و با آگاهی کامل از محدودیت‌ها و چالش‌های پیش رو، می‌توان با برقراری ارتباط با ناخواه‌گانه جمعی، روایت‌های معناداری ساخت و فرایند آفرینش و نوآوری را پرمغز نمود [۸۷]، [۸۸].

فراخواندن اسطوره‌ها، برای پیوند خوردن به آفرینش علمی و نوآوری، نیازمند ظرافت نقادانه و هوشمندی است. عملکرد ریاضی‌دانان و نوع اثر ریاضیات بر پژوهش‌های علمی سده گذشته، این اندیشه را تقویت کرده است که علمی مانند ریاضی نوعی جهان بینی و ایدئولوژی با خود به همراه دارد [۸۹]. چنین تجربه‌ای، در سده‌های پیشین با سایر بخش‌های علوم امکان پذیر بوده است. شناخت حاصل از ریاضی در سده نوزدهم مورد نقد و هجمه شدید فیلسوفی چون هگل، با «بی‌هدف خواندن» و «نیازمند نیروی بیرونی بودن» و بسیاری دیگر از صفات‌های نقادانه^۲، قرار گرفت [۹۰]. در [۹۱] چنین دیده می‌شود که مدل‌های ریاضی دقیق، بدون تکیه بر پیش‌فرض‌ها، سامان دهنده تصمیم‌گیری جمعی نیستند^۳. آنچه که علم را در مجموعه دانش بشری متمایز می‌سازد، الزام آن به روش‌شناسی و تبادل آرا با دیگران است. بدین ترتیب، علمی چون ریاضی به اسطوره‌ای برای دانش بشری تبدیل می‌گردد. این اسطوره اثر ژرف خود را بر تاریخ جهانی انسان و درک این جهانی او گذارده است، به گونه‌ای که چنان جلوه می‌کند که بدون در نظر گرفتن ریاضیات، آدمیزاد حرفی برای گفتن در ساختن این جهانی ندارد، همان طور که بدون معنا راهی برای زندگی این جهانی ندارد. هنگام گفتگو پیرامون اسطوره، این جنبه از اسطوره نیز جای گفتگوی بسیاری دارد. پرداختن به مقوله تلفیق و مثال‌های عینی مرتبط، نقطه تاکید دیگر این گفتار است. در اندیشه‌های علوم انسانی، نقش اسطوره‌ها در ساخت ادبیات و هنر کاملاً پرتنگ است.

ارتباط علم با اسطوره دارای ابهام‌ها و پیچیدگی‌هایی است که نیازمند روشن شدن است. ممکن است که از این رابطه منظوره‌های گوناگونی داشته باشیم. نخست باید این انواع را درست بشناسیم. پرداختن علم به اسطوره ممکن است به معنی استفاده از روش‌های علمی برای مطالعه و دسته‌بندی اسطوره‌هایی باشد که در یک جامعه یا یک جمعیت رواج دارند. این جنبه تنها چالشی که ممکن است ایجاد کند این است که برخی از جنبه‌های اسطوره‌ای در بسته‌بندی‌های پذیرش و گرایش [۷۷]، [۷۸]، [۷۹] در وفاداری‌های ایمان‌گونه نقشی پر رنگ دارند. این جنبه، که منظور این نوشته نیست، در جایگاه خود نیازمند ژرفکاوی است [۸۰]. افسانه مفهومی نزدیک به اسطوره است و نظر به آن از پنجره اسطوره سازنده است، به همان اندازه که اسطوره ممکن است سرچشمه نوزایی و نوگرایی باشد. ولی پرداختن بی‌خردانه (خرافه‌ای و غیر اسطوره‌ای) به افسانه‌ها می‌تواند بازدارنده اندیشه باشد. از این دید، علم خود سرچشمه زایش افسانه‌هایی درباره خود بوده است [۸۱]. این جنبه تفاوتی اساسی با راز و رمزهای علمی دارد که انگیزه بسیاری از کاوش‌ها هستند [۸۲]. گاهی خرافه‌های افسانه‌ای، به شبه علم نزدیک‌اند و نمونه‌هایی از آن را می‌توان در [۸۳] دید. از دریچه سومی [۸۴] نیز می‌توان به رابطه میان اسطوره و علم نگاه کرد که در آن اسطوره‌ها الهام بخش هستند [۸۵]. دیدی شبه علم گونه راه، که در آن اسطوره‌ها تحقق عینی علمی بیابند، باید کنار گذاشت. دریچه مورد نظر ما، که روی به سوی اسطوره باز می‌شود، دیدی است مدرن و امروزی، که از شکاف آن می‌توان به تلفیق علم و اسطوره پرداخت تا با روایتی جدید به فهم «جهان انسانی» بپردازیم. این ادعا که «هر فرهنگی که اسطوره‌هایش را در این راه فراخوانده باشد، پیروز میدان خلاقیت است» فرضیه‌ای است که ارزش پژوهش را دارد. چنین پیشروی پیروزمندانه‌ای نیازمند مراقبت از تعبیرهای نادرست و دور ماندن از تفسیرهای سطحی

۱. این چرخ فلک که ما در او حیرانیم - فانوس خیال از او مثالی دانیم - خورشید چراغ دان و عالم فانوس - ما چون صوریم کاندرا او حیرانیم

2. Preface: On Scientific Knowledge, in Hegel's Phenomenology of Mind

3. General Possibility Theorem (Arrow, 2012)

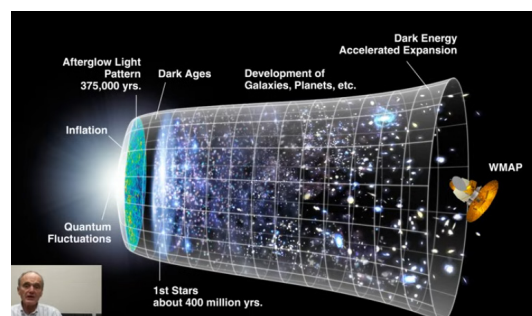
نیستند، اما بر فیزیک اثر می‌گذارند و قدمت آن‌ها از جهان بیشتر است» [۹۳]. یکی نمونه دیگر دیوید بوهم^۴ و نظریه فلسفه ذهن و خودآگاهی اوست که تحت تاثیر رشته بلندی از اندیشه‌ها [۹۵] مانند متافیزیک و معرفت‌شناسی [۹۶]، [۹۷] و عرفان شرقی [۹۸]، [۹۹] بوده است. نقش قدرتمند اسطوره‌های یهودی در جوامع آنها، پایه‌های نظری نقش پرنکشان را در تداوم اسطوره‌های اکتشافات علمی در طول تاریخ می‌سازد. بررسی آمار برندگان جایزه‌های علمی سده بیستم، نوبل، آبل، فیلدز، ولف، و تورینگ و هموردان همسنگ پیش از سده بیستم آنان می‌تواند روشنگر باشد، که ممکن است به غنای گنجینه اسطوره‌ای، ناشی از قدمت آموزه‌های یهودی، و تمایل دایمی آیین یهود به بازخوانی به‌روز اسطوره‌ها نسبت داده شود. زدلاچک [۱۰۰] توصیفی از این پدیده را در اقتصاد تشریح کرده است. لزوماً اسطوره‌ها به درستی به کار گرفته نشده‌اند. به عنوان مثال، در نگاهی انتقادی و اسطوره‌گون، مارکس، روح حاکم بر جهان را دین سود و تجارت می‌خواند و پول را خدای واقعی نماد سرمایه‌داری و سودجویی می‌خواند. بازخوانی تاریخی و تکنیکی پیرامون این دیدگاه مارکس، دسته‌بندی‌های مرتبط با آن، ناگفته‌ها و خسارت‌های چنین دیدگاهی بسیار دامنه‌دار هستند و موضوع این نوشته نیستند. یک نمونه دیگر از ردپای اسطوره در علم، نگره مونا‌های لاینیتس [۱۰۱]، [۱۰۲] است که جوهر یا مونا را دارنده نوعی کمال و خودکفایی می‌بیند که به ماشین‌های غیر مادی تبدیل می‌شوند. لاینیتس، سپس، گامی فراتر می‌نهد و همه جوهرهای ساده و مونا‌های آفریده شده را روح می‌نامد. او دیدگاه چالمرز از آگاهی نیز به نوعی زیربنایی اسطوره‌ای دارد. او مسئله آگاهی را به دو بخش آسان و دشوار تقسیم بندی می‌کند [۱۰۳]، سپس آگاهی را یک ساختار بنیادین طبیعی می‌خواند و مانند هر پدیده بنیادین برای آن قانونی طبیعی قایل می‌شود. این دیدگاه چالمرز، نوعی نگرش متمایز به هوش مصنوعی را برای ما به ارمغان می‌آورد.

اسطوره‌ای والاتر از آفرینش در ذهن انسان ساخته نشده است. بر همین اساس، نهایت اسطورگی یک انسان ظاهر شدن در پیکر یک آفریننده است. اثر اسطوره‌ها بر ژرفای پژوهش‌های علمی را می‌توان اثر «تجربه والاترین دستاورد» نامید. هر ملتی برای تجربه این اثر نیازمند داشتن اسطوره و بازخوانی به‌روز آنست. هیچ جمعیتی بدون بازخوانی اسطوره‌های گذشته (چه از خودش و چه وام گرفته از دیگران) امکان بازآفرینی اسطوره‌های نوین را ندارد. ایران نیز از نظر غنای اسطوره‌ای و ژرفای نفوذ آن بسیار غنی است [۱۰۴]، و این ژرفا به منظور آفرینش اسطوره‌های مدرن جای بازخوانی بسیاری دارد [۱۰۵]. برای آشنایی با برخی اسطوره‌های

یکی از پرنک‌ترین این مفاهیم در اسطوره‌های ایران، اسطوره افسانه‌ای «سیمرغ»^۱ است که به راه‌های گوناگون توسط فردوسی، عطار، نظامی، مولوی، حافظ، سعدی و دیگران دستمایه ساخت اثر و آرایه هنروارانه بوده است. در همین باره می‌توان به فهرستی بلند بالا شامل ققنوس، شمشیر دو شاخ، ماردوش، درفش کاویانی، گرزگاوسر، سوشیانت، و نخستین شاه انسان ایرانی کیومرث اشاره کرد. یکی از ژرف‌ترین اسطوره‌های ایرانی ققنوس است که زندگی از آتش خاکسترش برمی‌خیزد. جواد طباطبایی در کتاب *تاملی بر ایران* به این اسطوره به طور ضمنی اشاره می‌کند [۹۲]:

... ایرانیان، پیوسته، در وضعیتی استثنایی به اندیشه جدی روی آورده‌اند... و چنان که از تاریخ ایران می‌توان دریافت، ایرانیان، پیوسته، در چنین شرایطی، دریافت خود از بحران ژرف را به ژرفای خودآگاهی تبدیل کرده‌اند.

بنابراین، در نقش اسطوره‌ها در شکل دادن ادبیات، هنر و حتی علوم انسانی جای مناقشه نیست. پرسش اصلی این است که آیا در حوزه فلسفه طبیعی، یعنی آن بخش از دانش بشری که در طی چند سده گذشته علوم تجربی و نظری خوانده شده است، چنین طرحواره‌ای وجود دارد یا نه. در فیزیک مفهوم «اتر»^۲ به عنوان محیطی بدون هیچ نشانه‌ای از وجود برای انتشار امواج ممکن است از بن مایه‌های اسطوره‌ای و اساطیری نشأت گرفته باشد و یا زبان استعاره نام گذاری در فیزیک ذرات مانند «ذرات حامل نیرو» و «کنش از راه دور» و مانند آنها نیز ممکن است از نظر روایی و زبانی ریشه‌هایی اسطوره‌ای و یا اساطیری داشته باشند. تلفیق اسطوره و علم در اندازه‌های ژرف‌تر مد نظر ماست. یکی از حلقه‌های مرتبط‌تر، کیهان‌شناسی و اسطوره‌های آفرینش است.



جرالد شرودر و تصویر کیهانی‌اش. منبع تصویر ویدئوی مرجع [۹۳]

یکی از مثال‌های بارز این موضوع نظریه فیزیکدان جرالد شرودر^۳ است که به طور مشخص به تفسیرهای کلاسیک ارجاع می‌دهد [۹۴]. نظریه وجود قوانین فیزیک پیش از خلقت کیهان یک تلفیق روشن از اسطوره‌های عهد عتیق با نظریه‌های علمی جاری است [۹۳]. شرودر چنین می‌اندیشد که «قوانین طبیعت فیزیکی

۱. از سی‌مرغ تا سیمرغ، پایگاه کتاب‌گویی فارسی ایران

2. Ether

3. Gerald Lawrence Schroeder (1938-)

4. David Bohm (1917-1992)

می‌کند که هیچ روش علمی یکسان و جهان‌شمولی وجود ندارد که برای همه علوم در همه زمان‌ها معتبر باشد. فیرابند در برخورد با «باورهای اولیه»، روش‌های علمی سختگیرانه را نقد می‌کند و گفتار خود را چنین آغاز می‌کند [۱۱۶]:

علم اساساً یک امر آنارشستی است: آنارشسیسم نظری، انسان‌دوستانه‌تر است و احتمال بیشتری دارد که پیشرفت را تشویق کند تا جایگزین‌های مبتنی بر نظم و قانون.


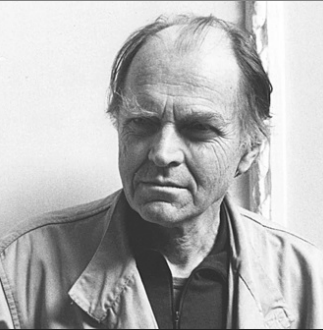
دیدگاه او، به طور ضمنی، این سوال را به ذهن می‌رساند که آیا علم واقعاً می‌تواند کاملاً عاری از پیش‌فرض‌ها و باورهای اولیه باشد. از منظری دیگر، چالمرز^۳ دیدگاه‌های دیگری از ماهیت علم، از جمله نقش مشاهده، آزمایش و نظریه، را به تصویر می‌کشد، محدودیت‌های دیدگاه‌های تجربه‌گرایی را نشان می‌دهد و به طور ضمنی به نقش پیش‌فرض‌ها و چارچوب‌های نظری، به عنوان نوعی باور، در شکل‌گیری علم اشاره می‌کند [۱۱۷]. هر کدام از این سه دیدگاه، از منظری متفاوت، به پرسش ما مربوط می‌شوند و نشان می‌دهند که موضوع بنا کردن علم بر پایه باورهای اولیه، یک امر جاری در علم است. کوهن بر نقش چارچوب‌ها به عنوان باورهای جمعی تأکید می‌کند، فیرابند به عوامل غیرمنطقی می‌پردازد، و چالمرز محدودیت‌های تجربه‌گرایی محض را نقد می‌کند. ترکیب این دیدگاه‌ها، فهمی ژرفتر از درک باورها و جایگاه‌شان در فرایند علم ورزی به ما ارائه می‌دهد. مهمترین دریافت این گفتمان این است که باور موضوع یک دینامیسم همه جانبه است که با دینامیسم علم و دانش بشری درگیری ریشه‌داری دارد.

قدرتمند و زاینده ایرانی به مینوی‌خرد [۱۰۶] در اخلاق، بندهش [۱۰۷] در آفرینش، گزارش گمان شکن [۱۰۸] در فلسفه تحلیلی و جهان بینی نقادانه، دینکرد [۱۰۹] در دانشنامه مزدیسنا، کتاب مناظره [۱۱۰] در نقد، رساله‌های برادران همراه (اخوان الصفا) [۱۱۱] در دانشوری، به ادبیات کلاسیک در نشانه شناسی، و به فرهنگ هزاره‌های اساطیر ایران [۱۱۲] و [۱۱۳] و [۱۱۴] بنگرید.

۵. علم و باور

آیا در حوزه شناخت نیز، علم در کنار باور قرار می‌گیرد. آیا ممکن است که علم را بدون هیچ گونه باور اولیه‌ای بنا کنیم. از دیدگاه کوهن^۱، علم در یک چارچوب فکری به عنوان مجموعه‌ای از مفاهیم، ارزش‌ها و روش‌های پذیرفته‌شده توسط جامعه علمی در یک دوره خاص که بازتاب دهنده نوعی باور یا توافق جمعی در مورد نحوه درک و تحقیق در مورد جهان هستند پیش می‌رود. بنا بر دیدگاه کوهن، گذار و گذار علم شامل دوره‌های ثبات و تغییر در چهارچوب است. تغییرات اساسی در علم، یا همان انقلاب‌های علمی، زمانی رخ می‌دهند که جهان بینی موجود دیگر قادر به ارائه توضیح قانع کننده و برآورده سازی نیازهای جاری نباشد. در نتیجه اندیشه‌ای نو جایگزین کهنه می‌شود [۱۱۵]. این نیز خود یک باور از نوع دوکسا و نه یک یقین از نوع اپیستمه، در مسیر علم است. بر این اساس، علم بدون نوعی باور اولیه نمی‌تواند شکل بگیرد. دیدگاه‌های دیگری نیز نسبت به رابطه علم و باور وجود دارند. به عنوان مثال، فیرابند^۲، ضمن تأکید بر نقش عوامل اجتماعی، سیاسی و حتی تصادفی در پیشرفت علم، این دیدگاه را مطرح

منبع تصویرها

فرهنگ بریتانیا	بنیاد پاول کارل فیرابند	انتشارات دانشگاه کوئینزلند استرالیا
		
Thomas Samuel Kuhn	Paul Karl Feyerabend	Alan Francis Chalmers

یا نرسیده‌ایم. در این گام، پیش از هر حرکتی باید منظور خود را از علم بیان کنیم. هر تعریفی که از علم ارائه دهیم، گمان خواهیم داشت که «علم شناختی از جهان به ما می‌دهد» و «انسان امکان دریافت این شناخت را دارد». هر دوی این دریافت‌ها نوعی باور و

طرح پرسش آغازین این بخش، بر این اساس رخ داده است که ما گفتگو را برای فهم متقابل مناسب دانسته‌ایم هر چند برای این مناسب بودن اثبات پیشینی نداریم. تنها در ادامه گفتگو است که ما درمی‌یابیم که واقعا با گفتگو به فهمی نسبی و متقابل رسیده‌ایم

1. Thomas Samuel Kuhn (1922 – 1996), American historian and philosopher of science
 2. Paul Karl Feyerabend (1924 – 1994), Austrian philosopher and philosopher of science
 3. Alan Francis Chalmers (1939-), British Australian philosopher of science

باور به «وجود جهان»، «وجود علیت»، و «وجود پایداری در قوانین طبیعی» اشاره کرد. این باورها سوگیری تحقیقات را تحت تأثیر قرار می‌دهند. هریس^۵ در بررسی پیش‌فرض‌ها^۶ استدلال می‌کند که هر پژوهش علمی پیش‌فرض‌هایی اساسی در مورد ماهیت واقعیت، مانند وجود جهان مستقل از ذهن و نیز وجود علیت و نظم در طبیعت، دارد [۱۲۱]. چنین پیش‌فرض‌هایی امکان تحقیق را فراهم می‌کنند و سپس بر انتخاب مسائل و جهت‌گیری و چارچوب مفهومی تحقیق و تفسیر نتایج تأثیر می‌گذارند. در کل، هریس علم را یک فعالیت عینی محض و عاری از هرگونه پیش‌فرض نمی‌بیند [۱۲۱]، [۱۲۲].

باورهای نظری و زبانی^۷: پیش از انجام پژوهش در حوزه‌ای خاص، باورهای اولیه‌ای در ذهن پژوهشگر در مورد چگونگی کارکرد جهان در آن حوزه شکل می‌گیرد که از نظریه‌های قبلی، شهود، و حدس‌های اولیه نشأت گرفته می‌شوند. پژوهنده، به گونه‌ای پویا و در چارچوب علم، این باورهای نظری را از راه شواهد مورد ارزیابی قرار می‌دهد و در صورت لزوم آن‌ها را تأیید، اصلاح، یا رد می‌کند. این نظریه‌ها، پارادایم‌های شکل گرفته‌شده و مدل‌های ساخته شده، در پژوهش‌های علمی نقشی محوری دارند. در پاسخ این پرسش که مدل علمی چیست و چگونه در پژوهش‌های علمی برای معرفت‌شناسی و هستی‌شناسی به کار می‌رود، می‌توان به قیاس، تشبیه، نحو، معنا، نمایش، و بازنمایی^۸ اشاره کرد [۱۲۳]. به علاوه، علم یک فرآیند پویا است که در آن باورهای نظری به‌طور مداوم از طریق شواهد تجربی، برای ایجاد تغییر، مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. در صورتی که شواهد با باورهای موجود مغایرت داشته باشند، این باورها اصلاح یا رد می‌شوند. در کنار باورهای نظری، علم برای توصیف و تبیین جهان و تبادل دریافت‌ها با دیگران از زبان و مفاهیم کلامی استفاده می‌کند که بر اساس باورهای رایج و مشترک شکل گرفته‌اند. به عنوان مثال، مبانی اولیه یک علم، بر نوعی باور رایج در مورد معنادار بودن آن مبانی استوار است. شاپره^۹ در بررسی نقش بنیان‌های معنا و زبان در ساختار نظریه‌های علمی، بیان می‌کند که مفاهیم علمی و زبان در علم، ابزاری برای توصیف جهان هستند [۱۲۴]، [۱۲۵]. این ابزار بر اساس توافقات و باورهای مشترک در یک جامعه شکل می‌گیرند و نیز شکل دهنده معنای اصطلاحات، نحوه دسته‌بندی پدیده‌ها و زیربنای ارتباطات علمی و تبادل دریافت‌ها هستند. از دید شاپره، انتخاب یک تعریف برای یک

پیش‌فرض هستند^۱. چیزی که این باورها را تداوم می‌بخشد، اصرار و پافشاری بر درست شمردن آنها نیست، بلکه طبیعت آنهاست که آنها را پابرجا نگه داشته است. اگر علم را و دریافت‌های علمی را بی‌اثر بدانیم و دستاوردهای آن را نامعتبر یا خطرناک بدانیم، آنگاه نوعی دیگر از باور شکل می‌گیرد که از نوع بازدارنده است. در این زمینه به آثار بوستروم^۲ مراجعه کنید [۱۱۸]. این گفت‌وگو ما را به این نکته مهم می‌رساند که در مسیر علم، حضور باور - چه اولیه و چه ثانویه - اجتناب ناپذیر است. در زیر برخی از بخش‌های بند باورهای پایه را برمی‌شمریم.

باورهای روش‌شناختی و هستی‌شناختی^۳: در آغاز فرایند علمی، پذیرش برخی باورهای اساسی درباره‌ی روش تحقیق ضروری است. برای مثال، می‌توان به باورهایی مانند «قابلیت فهم‌پذیری جهان»، «کارایی مشاهده و تجربه»، «وجود نظم و الگوهای تکرارپذیر در طبیعت»، و «ارزشمندی استدلال منطقی و عقلانی» اشاره کرد. همه این‌ها نوعی باور بنیادی به‌شمار می‌آیند. بدون داشتن این باورها چارچوبی برای پژوهش و دریافت علمی نخواهیم داشت. سالمن [۱۱۹] استدلال می‌کند که علم، همراه با نوعی اعتماد به حس، عقل و انسجام جهان طبیعی، نیازمند مجموعه‌ای از باورهای ضمنی پذیرفته‌شده است که پیش‌نیاز به‌کارگیری روش‌های علمی و تفسیر داده‌ها هستند. این باورهای بنیادین برای آغاز و پیشبرد پژوهش‌های علمی ضروری‌اند. به طور مشخص، سالمن ادعا می‌کند که [۱۱۹]:

همه انواع علم، مبانی معرفت‌شناختی یکسانی دارند. علم در جستجوی حقیقت (مطلق) نیست، بلکه در جستجوی دانش (وابسته به زمینه) است. تنها عینیت موجود، از نوع تفسیری است. نسخه‌ای از پراگماتیسم می‌تواند به بهترین شکل به همه پرسش‌های معرفت‌شناختی پاسخ دهد. این پراگماتیسم خاص را باید به عنوان پراگماتیسم رابطه‌ای در نظر گرفت.

پاول [۱۲۰] مقوله عینیت و ذهنیت^۴ را در دانش و رابطه‌اش با طراحی سیستم‌ها مطرح کرده است و بیان می‌دارد که علم در تعامل بین ذهن شناسنده و جهان شناختنی ساخته می‌شود. بنابراین، علم را ذهنی مطلق و یا عینی مطلق نمی‌بیند. پس از گفتگوی روش‌شناختی، ورود به عرصه علم با مجموعه‌ای از باورها در مورد ماهیت واقعیت امکان‌پذیر می‌شود. برای مثال، می‌توان به

۱. این پیش‌فرض‌ها به‌طور بدیهی درست نیستند. این ایده نیز توسط برخی مطرح شده است که اصولاً فهم انسان محدود است و یا گذر از سطح ویژه‌ای از فهم جهان، سازوکار انقراض بشر را رقم می‌زند [۱۱۸].

2. Nick Bostrom (1973-) Philosopher, Director of "Future of Humanity Institute" at the University of Oxford

3. Methodological and Ontological Beliefs

4. Objective-Subjective Issues

5. Errol Eustace Harris (1908 – 2009), American South-African Philosopher

6. Presuppositions

7. Theoretical and Lingua Beliefs


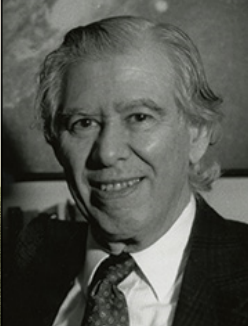

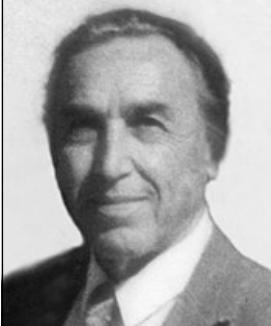
8. Analogical, Metaphorical, Syntactic, Semantic, Representation, Presentation

9. Dudley Shapere (1928 - 2016), American Philosopher- Philosopher and History of Science

پدیده علمی یا توافق بر سر استفاده از یک واحد اندازه‌گیری خاص، و یا به کار بستن یک ایده ذهنی که عینیت یافته، بر نوعی باور رایج در مورد معنادار بودن و کارآمدی آن تعریف یا واحد در چارچوب

نظری و تجربی موجود استوار است.^۱ در سایه این باورهای مشترک زبانی و مفهومی، ایجاد یک بدنه منسجم از دانش علمی و انتقال آن بین دانشمندان امکان‌پذیر خواهد بود.

منبع تصویرها

روزنامه نیویورکر	آکادمی فلسفه علم	دانشنامه ویکیپدیا	دانشنامه ویکیپدیا
			
Richard Rorty	Dudley Shapere	Edmund L. Gettier	Errol E. Harris

انسان در فرایندهای علمی، از به چالش کشیدن باورها و ارزیابی همیشگی آنها دست بر نمی‌دارد و در این راه شواهد و استدلال را به خدمت می‌گیرد تا باورها را بر پایه‌های محکم‌تری استوار کند. مهم‌ترین ویژگی فرایندهای علمی این است که در گذار و گذار آنها، انسان برای هر گونه بازنگری و تغییر در باور آمادگی دارد. چنین به نظر می‌رسد که آغاز فرآیند علمی نیازمند پذیرش برخی باورهای اولیه، چه در سطح روش‌شناسی و چه در سطح هستی‌شناسی، نظری، و زبانی است. این باورهای اولیه، نقطه شروع و چارچوبی را برای پرسش‌گری و پژوهش فراهم می‌کنند. در زمینه باور و علم، انسان تا اندازه زیادی انعطاف‌پذیر و روشن بین است، و این با نزع دائمی و تاریخی علم و ایمان کاملاً متفاوت است. اینجاست که ما باید به رابطه علم و باور نه از دریچه سلبی/ایجابی، بلکه از دریچه دیالکتیکی بنگریم.

انسانی «نقشی اساسی دارند، هم از جهت انگیزه و پیشرانی برای پرسش و جستجو و هم از جهت شیوه پاسخ دادن و تفسیر نتایج. از دیدگاه گتیه^۲، باور صادقی که موجه نیز باشد لزوماً دانش نیست، و با یک تحلیل منطقی صوری نشان می‌دهد که چگونه سه تعریف منطقی معمول بر پایه «باور صادق موجه» به دانش منجر نمی‌گردند [۱۲۷].

۶. نقش باورها در علم

باورها در عرصه علم، با نقش‌های پیشران یا بازدارنده، سازمان دهنده مسیر پژوهش‌ها و شکل دهنده «جهان انسانی» اند. به علاوه در ساخت واقعیت و تعیین مسیر حرکت جوامع حضوری تعیین‌کننده دارند. افلاطون در خصوص باورها و نقش آنها در شکل‌دهی جامعه و درک افراد از واقعیت، بین دانش واقعی و باور بی‌پایه تفاوت قائل می‌شود [۱۲۶]. افلاطون بر استدلال عقلی تأکید دارد، و از دید او، باورهای نادرست می‌توانند به ساختارهای اجتماعی معیوب بینجامند. بر این اساس، باورها در ساختن «جهان

از نظر کوهن، باورهای جمعی دانشمندان شکل دهنده دانش است. در دیدگاهی کاملاً متفاوت، رورتی^۳ باور و دانش هر دو را نوعی گفتمان فرهنگی می‌خواند و مرزی بین باور و دانش قائل نیست [۱۲۸]. این موضوع، یعنی شکل یافتن دانش با باورهای جمعی دانشمندان، را از دیدی عمل‌گرایانه مورد بررسی قرار می‌دهیم تا دریابیم که یک باور در این شکل‌دهی چه نقشی از خود به جای می‌گذارد. باورها را می‌توانیم در سه سطح دسته بندی کنیم. باورهای بازدارنده، باورهای بی‌تفاوت، و باورهای پیشران. این دسته‌بندی سه سطحی، قدرت باورها را در هدایت یا مهار پیشرفت و شکل‌دهی درک ما از واقعیت به خوبی نشان می‌دهد. بی‌تفاوت، باورهایی هستند که تأثیر چندانی بر عمل یا شناخت ندارند. ارسطو در بررسی اصول بنیادین هستی به نقش باور در برابر دانش^۴ اشاره می‌کند، [۱۲۹] در بندهای (۹۸۱b-۹۸۰a). ارسطو در متافیزیک، «باور به علت‌های نخستین» و «اصول بنیادین هستی» را بیان می‌کند. در نتیجه، باور را به عنوان فهم اولیه از جهان به عنوان نقطه آغاز برای رسیدن به دانش حقیقی معتبر می‌داند. ارسطو در

۱. به عنوان مثال، در فیزیک رنگ مفهوم عینی ندارد. در نتیجه نمی‌توان از اتم رنگ آبی یا اتم رنگ قرمز صحبت کرد. ولی برای مدتی دراز، این یک قرارداد پذیرفته شده بود که رنگ کاغذ تورنسل (قرمز و یا آبی) برای تشخیص اسیدی بودن و یا بازی بودن یک محلول در آزمایشگاه به کار رود.

2. Edmund Lee Gettier, American philosopher (1927-2021)

3. Richard Rorty, American Philosopher (1931-2007)

4. doxa vs. episteme

آزاد عقلانی مشترک میان انسان‌ها»، «سیر درونی و تجربه‌های شخصی»، و «تقلید از کسی یا ایمان به چیزی» امکان‌پذیر است. او تأکید دارد که گذرهای این سه راه از یکدیگر جدا شده و غیر قابل ترکیب هستند و به ترتیب به فلسفه، عرفان، و الهیات می‌انجامند.^۳ به علاوه، ایدئولوژی را از نوع پیروی از یک اندیشه یا راهبرد، بدون تحلیل و چالش عقلانی، و پادزهر آن را فلسفه، یعنی از نوع سیر آزاد اندیشه، می‌داند.^۴ در برابر این ایده، حسن‌زاده‌آملی^۵ به این پایبند است که عقل، عرفان و ایمان یکپارچه‌اند و از هم جدا شده نیستند [۱۳۲]. مصطفی ملکیان این یکپارچگی را به عنوان یک مقوله که عرضه شده است و برای آن درخواست پذیرش صادر شده است نقد و رد می‌کند. تجربه‌های بشری یکپارچگی سه‌گانه فلسفه-عرفان-الهیات را تأیید نمی‌کنند بنابراین انتزاعی هم در پی آن رخ نداده است. این ایده حسن‌زاده آملی را نمی‌توان در قالب باورمندانه دید و بیش از هر چیزی مانند یک پذیرش و ایمان است که توان طی کردن مسیر باور را ندارد. درکنار چنین پذیرش‌های بدون تجربه فیزیکی می‌توان پذیرش‌هایی را نیز دید مورد تأیید تجربه‌های بشری قرار نگرفته‌اند، مانند «دموکراسی مترادف آزادی است»، «کمونیسم مترادف عدالت اجتماعی است»، و «حکومت دینی مترادف اخلاق است» که همچنان مومنان پایبند به خود را دارند. هرمان هوپ^۶، دگرگونی شهریاری به هریک از این دو ساختار را از عوامل زوال تمدن می‌داند^۷ [۱۳۳] و پیشنهاد سازنده خود را «نظم طبیعی» می‌خواند.

در ادامه به چهار نمونه از باورهای بازدارنده و سرنوشت آنها در حوزه‌های «شیمی و نظریه جنبشی واکنش‌ها»، «تبعیض زن-مرد و کیهان‌شناسی»، «آفرینش و ژنتیک»، و «روان‌نژندی در روانشناسی» اشاره می‌کنیم. سرنوشت سه عنوان اول مشخص شده است ولی سرنوشت چهارمی در دست شکل‌گیری است.

نوسان در واکنش‌های شیمیایی

یک باور بازدارنده که تنها پشتوانه آن درازای زمان باورمندی به آن است می‌تواند موجب نادیده گرفتن یک دستاورد مهم گردد. تا نیمه سده بیستم در واکنش‌های شیمیایی امکان تجربه نوسان مطرح نمی‌شد. زیرا شیمی‌دان‌ها پذیرفته بودند که واکنش‌های شیمیایی به‌طور یکنواخت و در یک جهت پیش می‌روند و در نتیجه نوسان در غلظت واکنش‌دهنده‌ها و فرآورده‌های مربوطه امکان ناپذیر تصور می‌شد. این پذیرش تنها یک باور رایج و به‌نوعی بازدارنده بود و براساس فرض خطی بودن و تعادل یافتن واکنش‌ها

باورهایی که نادرست خوانده می‌شوند، نیز نشانه‌هایی از حقیقت را حاضر می‌داند و آنها را آغازگر مسیر اندیشه‌های فلسفی می‌بیند. تا جاییکه اشتباهات پیشینیان را به‌طور مطلق رد نمی‌کند، بلکه آنها را گام‌هایی در رسیدن به حقیقت می‌خواند. ارسطو حکمت را در شناخت علل دیده و بر تجربه به عنوان شناخت اولیه تأکید دارد. اگر باور نوعی تجربه ناشی از تکرار ادراکات حسی بدانیم و آن را نخستین گام شناخت بخوانیم، ارسطو آن را برای انجام کارها مفید می‌داند ولی در پاسخ دادن به چرایی و علت‌یابی، آنها را ناکافی می‌خواند. بدین ترتیب، باور برای آغاز کار علمی مفید و ضروری است، ولی برای درک علت غایی نیازمند دانش یقینی هستیم. به این ترتیب، اگر با دید ارسطویی بنگریم، باورهایی که از تجربه حسی و عادت‌های روزمره سرچشمه می‌گیرند ممکن است مانع ارتقای دانش شوند، زیرا از دید ارسطو عادت بدون تامل عقلی یک رفتار ذهنی است که می‌تواند، با تضعیف فهم و دقت و منحرف کردن مسیر، مانع پیشرفت و جستجوی علمی شود. ولی پذیرش برخی اصول اولیه به عنوان نوعی باور مبتنی بر عقل شهودی، به عنوان باورهای پیشران، نقطه شروعی برای استدلال و کسب دانش هستند. نکته بسیار مهم این است که باورها ذاتاً در یکی از سه دسته بالا قرار نمی‌گیرند، بلکه برحسب زمان ممکن است جایگاه شان از بازدارندگی تا پیشرانی جایجا گردد. بنابراین، چنین جایگاه‌هایی وابسته به گذار و گذار عقلی هستند. پویایی باورها و تغییر جایگاه‌شان در گذر زمان، نشان از سیال بودن واقعیت و ضرورت بازنگری مداوم در بنیان‌های فکری دارد. افلاطون از سقراط [۱۳۰] نقل می‌کند که سقراط با پرسشگری باورهای رایج را به چالش می‌کشید و نشان می‌داد که بسیاری از باورهایی که افراد با اطمینان به آن‌ها پایبند هستند بنیان‌های استواری ندارند. چنین فرایند انتقادی باورهای بازدارنده را تضعیف می‌کند و باورهای پیشران را به عنوان محرک جستجوی حقیقت تقویت می‌کند. تغییر دیدگاه افراد در طول گفتگوی سقراطی نمونه‌ای از جایجایی جایگاه باورها برحسب زمان و استدلال است. اصولاً، روش سقراط در متافیزیک بر سه پایه استوار است که عبارت‌اند از بررسی تاریخی مسئله، شکاکیت و ایجاد گمان و تردید، و پرداختن به حقایق بنیادین^۱. چکیده اینکه، علم ابزار سنجش واقعیت است و باور چارچوب ورود، تفسیر و معنا بخشیدن به آنها. آموزه‌های مکتب سه محوری سقراط-افلاطون-ارسطو و فلسفه رواقیان [۱۳۱] تأثیر ژرف و به‌سزایی بر باورهای شکل گرفته پس از خود گذاشته‌اند. مصطفی ملکیان^۲ به این اصل پایبند است که شناخت جهان از سه راه «سیر

1. Aristotle's Metaphysical, Doctrine, The Method of Metaphysics, ([129], Ixxvi).

۲. مصطفی ملکیان (۱۳۳۵-) فیلسوف، مترجم، ویراستار و استاد دانشگاه ایرانی

3. <https://www.youtube.com/watch?v=9XvGGBJc7c> (مصطفی ملکیان)

4. https://www.youtube.com/watch?v=8Cl_T4ySymo (مصطفی ملکیان)

۵. حسن حسن‌زاده طبری آملی (۱۴۰۰-۱۳۰۷) فیلسوف متأله، فقیه و عارف ایرانی

6. Hans-Hermann Hoppe (1949-), German-American academic associated with the Austrian School of economics

7. (Hoppe, 2001: Page 69)

از تحلیل کامل ژابوتینسکی، با تکرار مستقل واکنش و توضیح مکانیسم آن و انتشار نتایج در ژورنال‌های پخواننده، اهمیت این کشف آشکار شد و به تدریج به مثالی کلاسیک بدل شد. در واقع، کار ژابوتینسکی کشف بلوسف را زنده کرد و آن باور رایج در مورد واکنش‌های شیمیایی نوسانی را برای همیشه برچید.

پرونده سسیلیا هلنا پین-گاپوشکین و دیگران

بازبینی این پرونده نشان می‌دهد که چگونه ترکیبی پیچیده از باورهای بازدارنده می‌توانند تا مرز نابودی بزرگ‌ترین دستاورد کیهان‌شناسی پیش رود. سسیلیا پین^۳ در دهکده وندموث در باکینگهام‌شایر، انگلستان به دنیا آمد به آمریکا مهاجرت نمود و تابعیت آمریکایی را نیز پذیرفت. بنابراین، یک ستاره‌شناس بریتانیایی-آمریکایی بود و بخش عمده‌ای از زندگی و فعالیت علمی برجسته‌اش را در ایالات متحده آمریکا سپری کرد. البته، تحصیلات دانشگاهی خود را در کمبریج انگلستان آغاز کرد ولی درخواستش برای دوره دکترا در کمبریج، به علت محدودیت‌های موجود برای تحصیل زنان در دانشگاه کمبریج در آن زمان، رد شد. زیرا، در بریتانیای آن زمان (حدود سال‌های ۱۹۰۰)، زنان اجازه حضور در دوره‌ها و گذراندن امتحانات دانشگاهی را داشتند، اما به طور رسمی مدرک دانشگاهی، به ویژه در سطوح بالاتر مانند دکترا، به آن‌ها داده نمی‌شد. در واقع، شرایط برای زنان در کمبریج در آن زمان، وضعیت پیچیده‌ای داشت [۱۳۷]. در اوایل قرن بیستم، دانشگاه کمبریج برای زنان مدرک لیسانس علوم (کارشناسی در علوم) صادر نمی‌کرد، هر چند زنان اجازه داشتند در کلاس‌ها شرکت کنند و در امتحانات نهایی قبول شوند و در تحصیلات خود پیشرفت کنند، با این حال، زنان به طور رسمی عنوان و مدرک لیسانس را دریافت نمی‌کردند. به جای آن به آنها گواهی قبولی در امتحانات^۴ داده می‌شد که نشان‌دهنده اتمام موفقیت‌آمیز تحصیلات بود، اما ارزش و اعتبار قانونی مدرک رسمی لیسانس را به ویژه برای استخدام‌های آتی نداشت [۱۳۸]. این وضعیت تا نیم قرن بعد نیز ادامه داشت. سرانجام، دانشگاه کمبریج، در سال ۱۹۴۸ آغاز به صدور مدرک رسمی لیسانس و بالاتر برای زنان کرد. بنابراین، در زمان تحصیل سسیلیا پین، مدرک داده شده به زنان از جمله خود او، غیررسمی و بدون جایگاه قانونی یا عنوان حقوقی بود [۱۳۹]. از زنان پیشگام در کمبریج می‌توان به مارجری استفنسن^۵ (نخستین زن عضو پیوسته انجمن سلطنتی^۶، ۱۹۴۵) و دوروثی مولینیدهام^۷ (عضو پیوسته انجمن سلطنتی، ۱۹۴۸) هر دو در بیوشیمی، مارجارت مسترمن^۸

در ترمودینامیک شیمیایی و سینتیک واکنش‌ها بنا شده بود. در دهه ۱۹۵۰، بلوسف^۱ و ژابوتینسکی^۲، یک واکنش شیمیایی را طراحی و مطالعه کردند که برخلاف باور رایج، غلظت‌های مواد شیمیایی در آن نوسان دوره‌ای داشتند. این واکنش که با عنوان بلوسف-ژابوتینسکی شناخته شده است، یکی از مشهورترین و از نخستین نمونه‌های شناخته‌شده نوسان شیمیایی غیرخطی است [۱۳۴].

بلوسف در دهه ۱۹۵۰ نوعی نوسانات شیمیایی را در حین تلاش برای یافتن یک مدل غیرآلی از چرخه کربس (یک فرایند مهم در متابولیسم سلولی) به طور اتفاقی کشف کرد و نتایج خود را، به علت باور عمومی جامعه علمی به غیر ممکن بودن آن و عدم اقبال دانشمندان، در سال ۱۹۵۱ در یک ژورنال غیرتخصصی [۱۳۵] و با تیراژ محدود منتشر کرد. در نتیجه، کار او در آن زمان به طور گسترده مورد توجه شیمی‌دان‌ها قرار نگرفت و همچنان باور رایج به عدم امکان نوسانات شیمیایی برقرار بود. سال‌ها بعد، در دهه ۱۹۶۰، ژابوتینسکی، که در آن زمان دانشجوی تحصیلات تکمیلی بود، به کار بلوسف علاقه‌مند شد و موفق شد که این واکنش را به طور مستقل تکرار کند، و سپس با انجام آزمایش‌های دقیق‌تر، مکانیسم آن را بیشتر مورد مطالعه قرار داد و نتایج خود را در یکی از معتبرترین نشریات علمی [۱۳۶] با دسترسی گسترده‌تر در اتحاد جماهیر شوروی منتشر کرد که بر پایه آن جامعه علمی بین‌المللی به پدیده نوسانات شیمیایی توجه جدی نشان داد. اصولاً دیدگاه بلوسف در زمان خودش مورد پذیرش جدی قرار نگرفت زیرا در آن زمان، اینکه واکنش‌های شیمیایی در سیستم‌های بسته به سمت تعادل پیش می‌روند و رخداد نوسان در غلظت‌ها غیرممکن است مگر در سیستم‌های باز با ورودی و خروجی مداوم، باوری قدرتمند بود. بلوسف از بازدارندگی این باور گذر کرد و با آزمایش خود آن را به چالش کشید. البته عدم تغییر همه جانبه باور دانشمندان آن زمان تنها از ایراد باورگونه شیمی‌دان‌ها نبود. بلوسف نتوانسته بود سازوکار دقیق و پذیرفتنی برای این نوسان‌ها بیابد و بدون توضیحی نظری و استوار، بسیاری از شیمی‌دان‌ها به نتایج او با شک و تردید نگاه می‌کردند و نیازی به بازبینی در باورهای خود نمی‌دیدند. از طرف دیگر، ما می‌دانیم که نوسان مورد نظر بلوسف، در اثر انشعاب هوف در محدوده ویژه‌ای از پارامترها رخ می‌دهد. در نتیجه امکان تکرار آزمایش برای هر کسی در هر شرایطی مقدور نبود. این موجب شد که درستی آزمایش مورد تردید قرار گیرد. تا سال‌ها پس از مقاله بلوسف، اهمیت کارش دیده نشد و به طور گسترده در جامعه علمی شیمی‌دان‌ها مورد توجه قرار نگرفت. پس

1. Boris Pavlovich Belousov (1893-1970), Chemist and Biophysicist, Soviet Union.
2. Anatoly Zhabotinsky (1938-2008), Biophysicist and Mathematician, Soviet Union.
3. Cecilia Payne-Gaposchkin (1900-1979) British-born American astronomer and astrophysicist
4. Certificate of having passed the examinations
5. Marjory Stephenson (1885 – 1948) British Biochemist
6. Fellow of the Royal Society (FRS)
7. Dorothy Mary Moyle Needham (1896 – 1987) English Biochemist
8. Margaret Masterman (1910 – 1986) British Scientist, Computational Linguistics and Machine Translation

پیشرو به تحصیل و پژوهش بپردازند، در حالی که هنوز ساختارهای جداگانه‌ای برای آموزش زنان و مردان وجود داشت. این حرکتی بود برای تغییر یک باور رایج و بازدارنده به ساختاری جدید برای تغییر. در نهایت، سیسیلیا پین، ستاره‌شناس و اخترفیزیک‌دان، کشف بزرگی در کیهان‌شناسی انجام داد، اینکه ستاره‌ها در کیهان ما، عمدتاً از هلیوم و هیدروژن ساخته می‌شوند. کشف سیسیلیا در ابتدا با مخالفت و تردید جدی از سوی ستاره‌شناسان برجسته آن زمان از جمله راسل^۵ روبرو شد که به یافته‌های پین با تردید می‌نگریست با این استدلال که این نتایج با باورهای رایج در مورد ترکیب شیمیایی خورشید و ستارگان که تصور می‌شد مشابه زمین باشند، مغایرت دارد. راسل حتی تلاش کرد که سیسیلیا را متقاعد کند که در تز دکترای خود، در بخش نتیجه‌گیری، احتیاط بیشتری به خرج دهد و کشف خود از فراوانی بسیار زیاد هیدروژن و هلیوم در ستارگان را با عنوان «احتمالاً واقعی نیست» ختم به خیر کند. ولی، سیسیلیا پین با اطمینان به تحقیقاتش ادامه داد. در نهایت، در سال ۱۹۲۹، خود هنری نوریس راسل با انجام تحقیقات مستقل و با استفاده از روش‌های دیگر، به همان نتایج رسید و در مقاله‌ای اذعان کرد که پین درست می‌گفته و باورهای پیشین اشتباه بوده‌اند. این اعتراف راسل، اهمیت کشف پین را در جامعه علمی استوار کرد. چکیده اینکه، حضور خود سیسیلیا پین در جامعه علمی و نیز کشف بزرگ او در ابتدا با مقاومت روبرو شد، اما در نهایت صحت آن به اثبات رسید و دیدگاه جهانی انسان را نسبت به ترکیب شیمیایی ستارگان برای همیشه تغییر داد و درکی مدرن از ساختار و تکامل ستارگان و کیهان ارایه نمود. در سال ۱۹۵۶، سیسیلیا پین اولین زنی بود که به عنوان پروفیسور در دانشگاه هاروارد منصوب شد، و در ادامه رییس دانشکده نجوم هاروارد شد [۱۴۳].

(بنیان‌گذار واحد پژوهش زبان کمبریج و یکی از بنیان‌گذاران کالج لوسی کاوندیش) در فلسفه و زبان‌شناسی، دوروثی گارود^۱ (اولین زن پروفیسور در کمبریج) در باستان‌شناسی، لوسی کاوندیش (کسی که کالج لوسی کاوندیش نام خود را از او گرفته است) در حقوق زنان و حامی آموزش زنان، آنا مک‌لارن^۲ (عضو پیوسته انجمن سلطنتی، ۱۹۷۵، معاون رئیس انجمن و مسئول امور خارجی برای ده سال، و نخستین زن رئیس انجمن سلطنتی) در زیست‌شناسی و بسیاری دیگر اشاره کرد [۱۴۰]، [۱۴۱]. این مسیر پر فراز و نشیب گواه تحول و دینامیسم تحول باورهای تبعیضی به باور به حقوق قانونی و یکپارچه زنان در برابر مردان است. این مسئله باعث شد تا سیسیلیا پین برای ادامه تحصیل در رشته مورد علاقه‌اش، یعنی ستاره‌شناسی، به دنبال فرصت‌های دیگری بگردد و در نهایت به ایالات متحده آمریکا مهاجرت کند، که در آن زمان، فراهم کننده فرصت‌های بهتری برای تحصیل زنان در علوم بود. در ابتدا، به دلیل پیشینه تحصیلی او در انگلستان که منجر به دریافت مدرک رسمی نشد، تردیدهایی در مورد پذیرش او در مقطع دکترا در هاروارد وجود داشت. برای همین نخست به کالج زنانه رادکلیف^۳ در ماساچوست (که ارتباط نزدیکی با هاروارد داشت) رفت. در نهایت، به لطف توصیه‌نامه‌های قوی و استعداد آشکاری که از خود نشان داد، به عنوان دانشجوی دکترا در رصدخانه دانشگاه هاروارد پذیرفته شد و تحت نظر هارلو شاپلی^۴ به کار خود ادامه داد. در واقع، ورود سیسیلیا به رصدخانه هاروارد از طریق کالج رادکلیف امکان پذیر شده بود. در حین اینکه به‌طور رسمی دانشجوی رادکلیف بود، پژوهش‌های خود را در رصدخانه هاروارد انجام می‌داد و در نهایت مدرک دکترای خود را نیز از رادکلیف دریافت کرد [۱۴۲]. این همکاری بین دو موسسه به زنان این امکان را می‌داد که رها از تبعیض در یک محیط علمی

منبع تصویرها

دانشنامه ویکیدیا	مرجع [۱۴۴]	دانشنامه بریتانیکا
		
Boris Pavlovich Belousov	Anatol Zhabotinsky	Cecilia Payne-Gaposchkin

1. Dorothy Annie Elizabeth Garrod, (1892 – 1968) British Archaeologist
2. Anne Laura Dorinthea McLaren (1927–2007) British Scientist in Developmental Biology
3. Radcliffe women's Liberal Arts College in Cambridge, Massachusetts.
4. Harlow Shapley (1885 – 1972) American scientist, head of the Harvard College Observatory (1921–1952)
5. Henry Norris Russell (1877–1957), American astronomer

مهره‌داران که اندام‌های متعدد دارند نسبت به جانداران ساده مانند تک سلولی‌ها، لزوماً از ظرفیت بالاتری برای بقا برخوردار نیستند. توجه به این نکته مهم است که لزوماً گونه جدید بهتر و یا حتی بهبودیافته‌تر نیست. این پیچیدگی‌ها، نظریه تکامل را از یک دیدگاه علمی صرف به یک فکرت فلسفی بدل ساخت. لامارک^۱، داروین^۲، مندل^۳، ابن خلدون^۴، و نیز برادران همدل (اخوان الصفا) چهره‌های تاریخی پر مراجعه‌ای در تاریخ نظریه‌های تکامل هستند. از اهم این ایده‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

- ۱) صفت‌های اکتسابی قابل توارث هستند (لامارک).
- ۲) تکامل زیستی بر پایه اصل انتخاب طبیعی استوار است (داروین)
- ۳) اصول سه‌گانه وراثت عبارت‌اند از: قانون غالبیت، قانون تفکیک، قانون جور شدن مستقل (مندل).
- ۴) در فرایند تعدد و تکثر جانداران، تیره نخستینیان و سپس از تحول آنها انسان ظهور یافت و به عنوان کامل‌ترین نوع به تکامل رسید (ابن خلدون: برگرفته از برادران همدل [۱۵۰]).
- ۵) نظریه سه عالمی جماد، نبات، و حیوان (برادران همدل- اخوان الصفا)

مقایسه دیدگاه‌های کلی لامارک، مندل، و داروین چندان ساده نیست [۱۵۱]. توارث صفت‌های اکتسابی لزوماً بر پایه ژنتیک مدرن قابل رد یا پذیرش نیست. یک صفت اکتسابی ممکن است والد/والدین را وادار کند که فرزندان را که از نظر ژنتیک ظرفیت ایجاد و یا کسب آن را در محیط موجود ندارند از ادامه حیات یا حمایت لازم محروم کند و تنها فرزندان با پتانسیل اکتساب آن را حمایت کند. در نتیجه، همچنان به مفهومی غیر از ژنتیک، و در تقابل با محیط از نوع اپی ژنتیک، صفتی در نسل بعد هویداتر گردد. در مسیر غایت‌گرایی ارسطو راه همواری برای تغییر در گونه‌ها باقی نمی‌ماند. این تصویر که طبیعت همواره هدفی دارد راه را بر رخدادهای تصادفی بست و در مدتی طولانی توصیفی از فرم حیات و عملکردگونه‌ها ارائه داد. این امر، زیست‌شناسی پسا داروینی را از زیست‌شناسی پیشا داروینی متمایز می‌سازد [۱۵۲]. در برابر دیدگاه ارسطویی، داروین دیدگاه تبارشناسی را در برابر علت‌گایی بنا نهاد [۱۵۳]. این دیدگاه داروین چالش ژرفی را در برابر چیرگی غایت‌گرایی ارسطویی قرار داد. باور ارسطویی که منتج از شهود و انتزاع در

گاهی ترکیبی از باورها به صورتی بازدارنده عمل می‌کنند. آفرینش نخستین کیهان، بیرون از اسطوره‌ها، توصیفات و توضیحاتی در علم فیزیک دارد که در اندازه‌های جزئی با کمک نظریه‌ها آزموده می‌شود. ولی سرچشمه زندگی با فرضیاتی کلی همراه است که گاهی کاملاً آزموده نشده‌اند، و گاهی تنها شواهدی برایشان وجود دارد [۱۴۵]. از دریافت پیام زندگی، در قالب پراکنش کیهانی و کدهای زندگی^۱ (بسته‌های دی‌ان‌ای یا میکروارگانیزم‌های اولیه) تا ساخته شدن این اجزای اولیه در دوران‌های نخست زمین‌شناختی [۱۴۶]. هر کدام از این توصیفات و توضیحات، با مشاهداتی همراه هستند (مانند رصدهای کیهانی و مشاهدات بیوشیمیایی) ولی در نهایت این فرضیه‌ها، تا این زمان، محتمل هستند و نه دقیق و کاملاً آزموده شده. در نهایت وقتی به زمانی حدود سه میلیارد و هشتصد میلیون سال پیش می‌نگریم، از هرجایی که آمده باشد، زندگی در زمین وجود داشته است، زمینی که پیش از آن و در فرایند تشکیل شدن، احتمالاً میزبان چنین حیاتی نبوده است. پرسش مهم در اینجا این است که زمین چگونه از آن زندگی نخستین (با هر منشاء اولیه‌ای)، به تنوع کنونی رسیده است. این پرسش دارای فهرست متنوعی از پاسخ‌هاست. سه دسته کلی از این فهرست عبارت‌اند از آفرینش دفعی و متنوع موجودات (دسته نخست)، آفرینش دفعی و اولیه چند موجود و تحول و تکامل آنها (دسته دوم)^۲، دریافت پیام اولیه زندگی توسط زمین و یا تشکیل پیام اولیه زندگی در زمین، در چند میلیارد سال پیش، و تبدیل آن به تنوع کنونی از راه تحول و تکامل (دسته سوم). بیرون از محدوده دسته نخست، در دو دسته دیگر مقوله تکامل موضوع مباحثه و مشاجرات بسیاری در فلسفه زیست‌شناسی بوده است [۱۴۵]. آیا^۳، نظریه داروین را یک انقلاب علمی می‌شمارد و تکامل را یک حقیقت می‌خواند^۴. درک بشر از تکامل در قالب فرضیه هم‌افزایی، سیستم‌های پیچیده، ابرجاندار، و مفهوم اقتصاد تکاملی^۵ به منشاء زندگی گره خورده است [۱۴۷]. در تکامل (یا آنچه که برخی فرگشت می‌خوانند [۱۴۸])، سطوح خرد و کلان از هم متمایز می‌شوند. مندل از تکامل خرد که از نوع تطبیقی است صحبت می‌کند. ولی داروین از تکامل کلان که از نوع رشدی است می‌گوید^۶. در گذر از نوع خرد به کلان یک شکاف ژرف توصیفی در سطح هستی‌شناسی و معرفت‌شناسی وجود دارد [۱۴۹]. جانداران پیشرفته‌تر مانند

1. Panspermia

۲. لویی پاستور در سخنرانی مشهور خود در سال ۱۸۶۴ بر اساس آزمایش‌هایی به این باور رسید که زایش دفعی، یعنی دسته نخست و دسته دوم، قابل رد شدن هستند. (Pouchet) (Pasteur Controversy)

3. Francisco José Ayala Pereda (1934-2023), Spanish-American Evolutionary Biologist and Philosopher

4. Evolution is a "Fact" ([145], Chapter 2)

5. Synergism Hypothesis, Complex System, Superorganisms, Evolutionary Economics

6. Adaptive versus Progress

7. Jean-Baptiste Lamarck (1744-1829), Pioneering French Biologist

8. Charles Robert Darwin (1809-1882), English Naturalist, Geologist, and Biologist

9. Gregor Johann Mendel (1822-1884), Austrian Biologist, Meteorologist, Mathematician, and Augustinian Friar

10. Abd Ar Rahman bin Muhammed ibn Khaldun (1332-1406), Arab Tunisian Scholar, Historian, Philosopher, and Sociologist

فلسفه وی بوده نقش بازدارندگی خود را نشان داد ولی در صحنه نوین باورهای داروینی در ماند. هر چند همچنان در ذهن بسیاری از زیست‌شناسان غایت‌گرایی ارسطویی و مخالفت با نظریه تکامل داروین پررنگ است^۱. تصور این که ایده نو ظهور داروین در سده نوزدهم میلادی، به نوعی باور بازدارنده در سده بیستم تبدیل گردد، در سایه ژنتیک مدرن و اپی ژنتیک، دور از انتظار نبود. این نکته مهمی است که ارجاع به بازدارندگی نگاه داروینی به خود داروین و دستاوردهای وی اشاره ندارد، بلکه گاهی استعاره‌ایست که به گسترش توصیف داروینی در خارج از زیست‌شناسی، با این هشدار که نیازمند دقت و نقد است، باز می‌گردد [۱۵۴]. طبیعت اصل انتخاب طبیعی داروین در زمینه‌هایی مانند ژنتیک جمعیت، روانشناسی تکاملی، و دیگر مسائل اجتماعی نیز به کار گرفته شده است [۱۵۵]. هر چند مسافرت داروین با کشتی و نظریه تکامل وی دو نقطه عطف در تاریخ علم محسوب می‌شوند [۱۵۶]، ولی هیچگاه نباید از بازدارندگی باورهای انتزاعی منتج شده یا گسترش داده شده غافل شد. باورهای بازدارنده، در زمان خود نوعی مخالفت منطقی و یا گاهی مقابله با بدعت محسوب می‌شوند. در زیست‌شناسی، گوناگونی توصیفات و نظریه‌ها سابقه‌ای طولانی دارد [۱۵۷]. به عنوان نمونه می‌توان به دیدگاه‌های نوین از نظریه‌ای پایه‌ای مانند اصل انتخاب طبیعی اشاره کرد [۱۵۸] که در شش بخش در جستجوی گفتمان نوین است از گسترش و توسعه زیست‌شناسی تکاملی تا آموزش نظریه تکامل و پرداختن به تصورات نادرست از اصل انتخاب طبیعی. به عنوان نمونه‌ای دیگر می‌توان به فلسفه زیست‌شناسی در دوران پسا داروینی، اینکه زندگی چیست، طبیعت زیست‌شناسی تکاملی، همانستگی (هومولوژی)، وراثت غیر ژنتیکی و تکامل اشاره کرد [۱۵۹]. نگرش مدرن به تکامل لزوماً در قالبی تصادفی چون جهش نمی‌گنجد، بلکه نیازمند نوعی واگشایی از مفهوم زندگی و تحقق آن در فرایندی پایان‌ناپذیر است [۱۶۰].

در چارچوب سنت علمی ایرانی، بیرونی با تأکید بر رفتار انتخاب مصنوعی کشاورزان در تکثیر گیاهان و جانوران با صفتهای مورد پسند و ریشه‌کن کردن آنهایی که صفتهای مورد نظر را ندارند، طبیعت را نیز واجد اصل انتخاب می‌داند با این تفاوت که رویکرد طبیعت نسبت به همه یکسان است. در [۱۶۱] سه دیدگاه تکاملی بیرونی، ابن مسکویه، و اخوان‌الرضا در کنار نظریه داروین با دیدگاه‌هایی از پرویز اذکایی، حسین نصر، و دیگران مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته‌اند.

چکیده اصل انتخاب طبیعی در نظریه داروین، که از همه نظریه‌ها سرشناس‌تر است، بر تکامل جانوران متمرکز است. هر چند به طور موضعی، این ایده توجیه‌کننده برخی انواع تنوع است ولی دلایل بسیاری وجود دارد که سازوکار تکامل بسیار پیچیده‌تر از تصورات

داروینی باشد. می‌توان مسیر سازوکارهای تکاملی را نیز به عنوان یک فرا مفهوم موضوع نوعی تکامل دانست که از پیشا سقراطی تا پسا داروینی امتداد یافته است [۱۶۲]. توجه داشته باشیم که منظور از سازوکارهای تکامل، رخدادها و فرایندهای طبیعی نیست، زیرا آنها در جای خود استوارند، منظور ما تکامل مدل‌های مفهومی انسان از فرایندهای طبیعی است. مسیر آزاد اندیشی در تکامل، با چند باور بازدارنده روبرو می‌باشد. نخست، انکار وجود سازوکار تکامل توسط پیروان دسته نخست، یعنی باورمندان به خلقت دفعی و متنوع هر موجود. از دریچه این دیدگاه، مستقل از نوع نظریه تکامل و شواهد موجود، اصولاً هیچ گفتگویی در باب درستی تکامل پذیرفتنی نیست. از دریچه‌ای دیگر، برخی از پیروان نظریه داروین، اصل انتخاب طبیعی را، نه برای حوزه خاصی از حیات در ظرفی زمانی، بلکه آن را به طور کامل جاری و ساری در همه گونه‌ها و همه تنوع‌ها می‌دانند و راه بدیلی برای آن نمی‌بینند. این دیدگاه‌ها، در دنیای مدرن کنونی، برای رشد نظریه تکامل و بالندگی آن به یک نظریه همه‌جانبه‌نگر برای توضیح تنوع گونه‌های حیات و یافتن صورت‌های دیگر در کیهان، بسیار بازدارنده هستند. به عنوان مثال، یکی از جنبه‌های مدرن در فهم تنوع حیات نقش گرانش در شکل‌گیری و تنوع زندگی است تا جاییکه برخی تکامل انسان به شکل کنونی را مرهون گرانش می‌دانند [۱۴۶]. بدین معنا که هنگام تشکیل کیهان، اگر نیروی گرانش با شرایط فعلی آن زاده نمی‌شد، خبری از انسان و خردمندی‌اش! نبود و شاید زمینی و کهکشان‌های هم نبود. دیدگاه دیگری نیز هست که در تفاوت با همه نظریه‌های پیشین، نور و نقش آن در رهگیری شکار-شکارچی را عامل تشکیل چشم و منشاء تنوع فیلوم‌ها می‌داند [۱۶۳]. وراثت وراثت ژنتیک ایده دیگریست که نظریه‌های پیشین را پشت سر می‌گذارد [۱۶۴]. دنیس نوبل^۲، باورمند به «نوی زندگی» از دریچه زیست‌شناسی در وراثت ژنتیک است [۳۱]. این دیدگاه‌های مدرن بسیار پیشروتر از باورهای بازدارنده مرسوم هستند. آینده زیست‌شناسی آنطور که دنیس نوبل تصویر می‌کند، آزاد از بازدارندگی‌های مرسوم خواهد بود، سرنوشتی که در حال شکل‌گیری است. به این دلیل که باورهای پیشین، زمانی به عنوان علم تحقق یافته آن زمان گام‌هایی برداشتند ولی بسیاری از جزئیات هست که توسط آنها به درستی توضیح داده نمی‌شود. اگر اندیشه‌های گذشته و حال را ترکیبی ببینیم، دینامیسم فنوتیپ-ژنوتیپ تحت تاثیر تداخلات میکروارگانیزم‌ها قرار می‌گیرد. موجودات متکامل‌تر توسط میکروارگانیزم‌ها به عنوان میزبانان مناسب‌تر تکامل یافته‌اند (یا تکامل داده شدند!). آنگونه که اندازه میکروبیوم انسانی از تعداد سلول‌های با ژنتیک مختص انسان فراتر می‌رود. به علاوه اینکه، تداخلات فنوتیپ با ژن‌های میکروبیوم انسانی کاملاً مشهود است.

در حوزه مکانیک، نظریه مکانیک کلاسیک، تلاشی زیبا و

1. https://tavil.quran.ac.ir/article_130997.html

2. Denis Noble (1936-), British Physiologist and Biologist

رایج شاکله موضوع باورهای بازدارنده در این بخش است.

به پشتوانه این باور که سیستم اعصاب مرکزی انسان، بر پایه زنجیره سه‌گانه «بقای فرد، بهبودگی، و بقای گونه»^۵ تکامل یافته و کار می‌کند، روان‌تنی به عنوان امری زیست‌شناختی-تکاملی فهمیده می‌شود. در چنین رشته‌ای از اولویت‌های بقا، که روان به عنوان موضوع روانتنی نقشی بنیادی در کیفیت این زنجیره دارد، تناظر دوجهی بالا کیفیت تندرستی و بیماری را به باوری رایج حول محور دو برچسب عادی و غیرعادی فرو می‌کاهد. بر اساس این باور رایج، غیرعادی بودن متناظر با یک بیماری عینی بوده و نیازمند درمانی عینی است. ولی این همه روایت مدرن نیست؛ زیرا دیدگاهی دیگر نیز وجود دارد که بر پایه آن، روان‌تنی بیش از آنکه یک امر زیست‌شناختی-تکاملی در خدمت بقا باشد، یک پدیده مرتبط با پیوندهای فرد-به-اجتماع است [۱۶۵]. بر پایه این زنجیره از دیدگاه‌های روان‌شناسی مدرن، از یک طرف روان‌درمانی یک امر درمانی فردی-زیستی محسوب گردد، ولی از طرف دیگر تشخیص آن یک امر فردی-اجتماعی بوده و محصول انقلاب صنعتی است. فردی که به گونه‌ای خواها در خدمت شرایط صنعتی و کاری اجتماع جاری باشد، عادی خوانده می‌شود؛ و در غیر این صورت غیرعادی است و نیازمند درمان فردی-زیستی است. این باور رایج دارای دو وجه متمایزی است که از دو دیدگاه متفاوت و جمع‌نشده در یکجا کنار هم قرار می‌گیرند. برای نمونه می‌توان به برچسب‌های بیش‌فعالی، بی‌تمرکزگی، دوقطبی، و شخصیت مرزی^۶ اشاره کرد.

از نشانه‌های یک فرد بیش‌فعال این است که به جای نشستن و تمرکز بر موضوع درس در طی کلاس درس و نیز به جای تمرکز بر فعالیت‌های درسی، تحرک‌های فیزیکی و ذهنی سریع و گذرایی دارد و به گونه‌ای است که کاملاً مشهود (البته بسته به شدت‌های متفاوت) است. اگر این ویژگی روانتنی یک کیفیت عینی زیست‌شناختی تکاملی باشد، باید در بقا و تکامل انسان ردپایی داشته باشد، به‌گونه‌ای که حفظ و یا اصلاح آن برای زنجیره سه‌گانه بقا^{۱۲۹} مهم بوده، و کیفیت غیرعادی بودن آن باید درمانی فردی-زیستی داشته باشد. اگر چنین فردی را در دوره شکارچی‌گری انسان در دید آوریم، نشستن و تمرکز بر موضوعات انتزاعی و به سادگی گسسته نشدن این تمرکز بر اثر اختلالات فیزیکی بیرونی می‌توانست مرگبار و منقرض‌کننده باشد. در عوض فعالیت‌های فیزیکی ذهنی سریع و متنوع برای بقایش کارساز می‌توانست باشد و کاملاً عادی خوانده می‌شده است. دانش آموز متمرکز و پیشرو امروز که عادی خوانده می‌شود، در گذشته در میان انسان‌های شکارچی غیرعادی

موفق برای توضیح جهان بود. نیوتن در بخشی از کتاب *اصول ریاضی فلسفه طبیعی* چنین می‌گوید: «اکنون به سیستم جهان خواهیم پرداخت». نظریه مکانیک کلاسیک، از پاسخ به چگونگی پدیده‌هایی مانند ایبراهی بازماند، ولی بازدارنده عمل نکرد. حاصل پرداختن به پرسش‌های بی‌پاسخ، بالندگی مکانیک در چارچوب نوگرایی نظریه‌نسبیت بود. در زیست‌شناسی نیز، نظریه‌های کلاسیک (انکار یا اثبات)، نمی‌توانند نقش بازدارندگی دائمی داشته باشند. در نهایت، دینامیسم نوینی برای تکامل ساخته خواهد شد که نشانه‌های آن کاملاً هویداست [۳۳]. در مکتب زیست‌شناسی نظری راشفسکی-روزن، مبنای زیست‌شناسی بر پایه روابط است و نه بیوشیمی. در نتیجه تکامل نیز در این مکتب در چارچوب یک نگاشت تصویر می‌شود. ترکیب دیدگاه دنیس نوبل و مکتب راشفسکی-روزن، می‌تواند طرحواره مدرنی از تکامل بدست دهد.

روانشناسی بردگی و بردگی روانی^۱

بنا بر اسطوره‌شناسی ایرانی، آفرینش آدمی پنج بخش مینوی (تن، جان، روان، آب، فروهر) دارد [۱۰۷]. هر کدام از این بخش‌ها، نقشی در اسطوره جاودانگی آدمی در برابر اهریمن میرایی دارند. بر پایه آموزه‌های اوستایی، تن به خاک، جان به باد، روان به فروهر می‌پیوندد، و آب، مانند آینه، بازتاب دهنده نور از فروهر اهورایی به درون آدمی است، روان شکل دهنده هسته احساس و ادراک و فهم و شعور آدمیزاد، و جان برپادارنده پیکر است. تن آن چیزی است که به این ترکیب مینوی معنایی گیتوی می‌بخشد. روان‌تنی^۲ را می‌توان به وضعیت روان آدمی در این زنجیره نسبت داد. تجربه بشر درباره روانتنی به گذشته‌های دور بر می‌گردد. نخستین پزشکی که بخش تخصصی بیماری‌های روان را بنا نهاد، ذکریای رازی است [۷۴]. رازی نتیجه گیری‌هایی در این زمینه انجام داده است که مجال و زمینه مناسب طرح آنها در این نوشته نیست. بازخوانی دیدگاه‌های روان‌نژندی رازی نیازمند مطالعه کاملاً جداگانه‌ای است.

از دیدگاه رازی که بگذریم، در دنیای مدرن برای وضعیت روانی یک انسان کیفیت‌هایی چون عادی، و غیرعادی شامل بی‌عملی، بد عملی، و آسیب‌زا^۳ به کار می‌روند. یک باور رایج این است که ترکیب دو وجهی (عادی، غیرعادی) در برابر ترکیب دو وجهی (تندرستی، بیماری)^۴ تناظری یک به یک دارد. معنای این باور رایج این است که (۱) تندرستی آن چیزی است که عادی خوانده می‌شود و هر آنچه که عادی خوانده می‌شود تندرستی محسوب می‌گردد، (۲) بیماری آن چیزی است که غیرعادی خوانده می‌شود و هر آنچه که غیرعادی خوانده می‌شود بیماری محسوب می‌گردد. این باور

۱. این بخش به هیچ روی، جنبه تخصصی روانشناسی ندارد و تنها برای طرح نمونه‌هایی از باورهای بازدارنده است.

2. Human Psyche

3. Normal, Abnormal (dysfunctioning, malfunctioning, detrimental)

4. Health, Patient

5. Self-Survival, Well-Being, Species-Survival

6. Attention Deficite Hyperactive Disorder (ADHD), Attention Deficite Disorder (ADD), Bipolar (BP), Border Line Personality (BLP)

که وجود این باور رایج که بردگی یک وضعیت روان‌تنی عادی برای یک فرد، به علت نژادی یا قومیتی، به عنوان برده است و هر برده‌ای که از شرایط این عادی‌نگر دور شود بیمار است، نقش بازدارندگی ژرفی در فهم مسئله بردگی و فرار بردگان داشته و طرح موضوع لغو برده‌داری و در پی آن نژادپرستی را به تاخیر انداخت^۴. باور رایج برده و برده‌دار به دراپتومانیا، برای هر نوع درک نوین بازدارنده بوده است. مورد مشابه چنین باور بازدارنده‌ای در اتحاد جماهیر شوروی رخ داده است. رییس جمهور خروشچف^۵ بر این باور بود که «کیفیت روان‌تنی مخالفان کمونیسم غیرعادی است» و بر این پایه، مخالفان خود را نوعی بیمار با اختلال روانی می‌انگاشت.

فهرست باورهای بازدارنده که موجب مشکلات جدی فردی-اجتماعی می‌گردند شامل موارد دیگر بسیاری مانند «برتری داروهای گیاهی-طبیعی بر داروهای شیمیایی-صنعتی»، «کفایت خواستن برای توانستن»، «منطقی بودن دانشمند در امور غیر تخصصی‌اش»، «توسعه عامل بی‌ثباتی سیاسی»، «دموکراسی یعنی حاکمیت اکثریت»، و «دروغ بودن فرود انسان بر ماه» می‌شود.

در بخش ۱ از این مقاله به تشریح پویای باور در برابر علم و نظریه‌های مربوط به آن از دوران باستان تا زمان حال پرداختیم. سپس دوگانه‌های عقل-علم و باور-ایمان را مورد بررسی قرار دادیم. به علاوه، دوگانگی نیک-بد ایرانی را مطرح نمودیم. سه‌گانه باور-اسطوره-خرافه را همراه با مثال‌های متنوع مورد دقت قرار دادیم. در مقوله باور-علم، دیدگاه پیش‌رانی و بازدارندگی و نمونه‌های تاریخی باورهای بازدارنده را تشریح کردیم. در بخش ۲ این مقاله، شاکله اسطوره‌گی‌ها و باورمندی‌ها در علم و نیز در ریاضی به اجمال توضیح می‌دهیم و به طور ویژه به هوش مصنوعی و جریان فعلی و آتی اسطوره‌گی در آن می‌پردازیم.

بدرد نخور محسوب می‌شده است. در اینصورت در زنجیره سه‌گانه بقا^{۱۲۹} کیفیت بیش فعالی روان‌تنی برحسب رابطه فرد با اجتماع می‌تواند یک کیفیت اجتماعی مطلوب یا نامطلوب باشد. در این صورت دخالت (و نه لزوماً درمان) هنگام دیدن این نشانه‌ها باید فردی-اجتماعی باشد. شواهدی وجود دارد که بیش فعالی ریشه‌هایی در شبکه اعصاب مرکزی دارد و شواهدی وجود دارد که بیش فعالی امری فردی-اجتماعی است. بنابراین اگر بیش فعالی در امری اجتماعی غیرعادی محسوب می‌گردد، آنگاه درمانی کاملاً زیست‌شناختی ندارد و نیازمند اصلاح شرایط اجتماعی برای تجربه وضعیت عادی است. تحلیل‌های مشابهی می‌تواند جنبه‌های زیست‌شناختی و اجتماعی را برای دیگر برجسب‌های غیرعادی روان‌تنی روشن سازند. تاریخچه‌های از بیماری‌های ذهنی و روان‌نژندی در [۱۶۶] آمده است.

در اینجا به یک مورد ویژه از این موضوع که به دوران برده‌داری بر می‌گردد اشاره می‌کنیم. در دوران برده‌داری، به ویژه در ایالات متحده آمریکا، پدیده فرار بردگان مشاهده می‌شد که متخصصین آن زمان آن را «سندروم برده فراری»^۱ می‌خواندند و به عنوان یک روان‌نژندی با نام دراپتومانیا^۲ در پی تشخیص و درمان آن بودند. کارترایت^۳ برای این بیماری هم نام یافت هم روش تشخیص و هم راه درمان. در اینجا بحث چندانی پیرامون اینکه چنین برجسی بی‌معنا بوده است وجود ندارد زیرا اصولاً بردگی با هر گونه انسان‌زیستی مغایرت دارد و هر تلاشی برای رهایی از بردگی کاملاً طبیعی است و به هیچ عنوان بیماری و یا سندروم تلقی نمی‌گردد. از این نیز می‌گذریم که برخی پژوهشگران، این نام‌گذاری بر برده‌های فراری را ریشه‌دار در سوءاستفاده قدرت‌های سیاسی-اقتصادی از تشخیص‌های روان‌پزشکی دانسته و بسیار به آن پرداخته‌اند. با روش‌های تشخیصی و درمانی آن دوره نیز در اینجا کاری نخواهیم داشت. آنچه که در اینجا موضوع بحث می‌تواند باشد این است

منابع

1. T. Nagel, What Does It All Mean?: A Very Short Introduction to Philosophy, Oxford University Press, 1987.
2. N. Chomsky, Chomsky on Miseducation, Rowman & Littlefield Publishers, 2000.
3. S. Blackburn, Think: A Compelling Introduction to Philosophy, Oxford University Press, 2001.
4. Y. N. Harari, Sapiens: A Brief History of Humankind, Harper, 2015.
5. K. Chan, Modern Homo sapiens, in *Explorations: An Open Invitation to Biological Anthropology*, B. Shook, K. Nelson and K. Aguilera, Eds., American Anthropological Association, 2019, pp. 1-46.
6. M. B. Gaultier, On the Nature (and Irrationality) of Non religious Faith, *Erkenntnis*, vol. 90, pp.1721-1741, 2025.

1. Runaway Slave Syndrome

2. Drapetomania (نوعی بیماری که برده ناسپاس میل به گریز از محل زندگی خود داشت)

3. Samuel Adolphus Cartwright (1799-1869), American Physician and Psychiatrist

۴. دستور پایان دادن به برده داری توسط آبراهام لینکلن در نهم ژوئن ۱۸۶۲ میلادی داده شد ولی به قانون جیم کرو سال ۱۸۷۷ انجامید و پایان جداسازی نژادی علیه آفریقایی تبارها تا سال ۱۹۵۰ به درازا کشید.

۵. نیکیتا سرگی یوویچ خروشچف (۱۹۷۱-۱۸۹۴)، رهبر اوکراینی اتحاد جماهیر شوروی، استالین زدا، و پدر اصلاحات سیاسی و اقتصادی شوروی

7. A. Sharma, *Theories of Faith, in A Primal Perspective on the Philosophy of Religion*, Springer, 2006, pp. 111-119.
8. R. W. P. Luk, A Theory of Scientific Study, *Foundations of Science*, vol. 22, pp. 11-38, 2017.
9. A. Boncompagni, Religious Hinges: Some Historical Precursors, *Topoi*, vol. 41, pp. 955-965, 2022.
10. Z. Marek and A. Walulik, What Morality and Religion have in Common with Health? Pedagogy of Religion in the Formation of Moral Competence, Vol.:(1234567890) *Journal of Religion and Health*, vol. 60, pp. 3130-3142, 2021.
11. M. J. Maynes and A. Waltner, *The Family: A World History*, New Oxford World History, Oxford University Press, 2012.
۱۲. ج. هاوتینگ، کتاب انگاره‌ی بت پرستی و پیدایش اسلام (ترجمه اعظم پویا)، نشر حکمت، ۱۴۰۲.
13. M. Eliade, *The Sacred and The Profane: The Nature of Religion*, Harcourt Brace, 1963.
۱۴. م. میرشکرایی (شبان)، نوروز، سال جشن کهن، نشر افکار، ۱۳۹۶.
15. A. Chalmers, *What Is This Thing Called Science?* 4th ed., Open University Press, 2013.
16. P. S. Agutter and D. N. Wheatley, *Thinking about Life, The History and Philosophy of Biology and Other Sciences*, Springer, 2008.
17. B. E. Goldstein, *Cognitive Psychology: Connecting Mind, Research, and Everyday Experience*, Cengage Learning, 2018.
18. J. H. Brooke, *Science and religion: some historical perspectives*, Cambridge University Press, 1991.
19. T. Dixon, *Science and religion: A very short introduction*, Oxford University Press, 2008.
20. T. Dixon, G. Cantor and S. Pumfrey, *Science and religion: New Historical Perspectives*, Cambridge University Press, 2010.
21. C. Wang, *The Effect of Scientific Revolution on Society, Science, Technology, and Society*, A Colby Community Website for ST112, Fall 2020 .03 /9/12 Scientific Revolution, Retrieved on May 2025.
22. J. Bronowski and B. Mazlish, *The Western Intellectual Tradition*, Dorset Press, 1986.
۲۳. ج. طباطبایی، ا. صدری، م. صدری، و ر. جهانبگلو، *ایران امروز، سنت، مدرنیته یا پست مدرن؟*، نشر کیان، ج. ۳، ش. ۱۵، صص. ۱-۱۴، ۱۳۷۲.
24. C. B. Boyer, *A History of Mathematics*, Wiley, 1986.
25. E. T. Bell, *Men of Mathematics*, Touchstone, 1986.
26. Book series, *Springer Briefs in History of Science and Technology*, Springer, 2014-2025.
27. S. P. Marrone, *A History of Science, Magic and Belief: From Medieval to Early*, Red Globe Press, 2014.
28. L. Zmigrod, *The Ideological Brain: The Radical Science of Flexible Thinking*, Henry Holt and Co., 2025.
29. R. M. Raafat, N. Chater and C. Frith, Herding in humans, *Trends in Cognitive Sciences*, vol. 13, no. 12, pp. 420-428, 2009.
30. R. Dawkins, *The Selfish Gene*, Oxford University Press, 1989.
31. D. Noble, *The Music of Life: Biology beyond genes*, Oxford University Press, 2008.
32. J. d. Mul, Human Nature after Neo-Darwinism, *Eidos, A Journal for Philosophy of Culture*, vol. 1, pp. 5-17, 2017.
33. D. Noble, *Dance to the Tune of Life*, Cambridge University Press, 2016.
34. Aristotle, *De Anima*, 350 BC..
35. L. Angioni, Aristotle's Contrast Between Episteme and Doxa in its Context (Posterior Analytics I.33), *Manuscrito –* , 42 ,4 ,2019., *Rev. Int. Fil. Campinas*, vol. 42, no. 4, pp. 157-210, 2019 .
36. Augustine, *Confessions*, 397-400 AD.
37. A. C. Outler, *Augustine: Confessions and Enchiridion*, Westminster John Knox Press, 2006.
38. J. K. Ryan, *The confessions of Saint Augustine*, Image Book, 1960.
39. S. Anselm, *Proslogium and Monologium, in Behalf of the Fool by Gaunilon and Reply by Anselm*, Translation by, The Catholic Primer, 2005.

۴۰. م. باقری، *دین‌های ایرانی پیش از اسلام*، انتشارات دانشگاه، تبریز، ۱۳۷۶.

41. J. D. Hejduk, Ovid, *The offence of love, Ars Amatoria, Remedia Amoris, and Tristia 2, A verse translation*, (Publius Ovidius Naso, *Ars Amatoria*, Book 1, lines 637-638.), The University of Wisconsin Press, 2014.
42. W. V. O. Quine and J. S. Ullian, *The Web of Belief*, 2nd ed., McGraw-Hill, 1978.
43. A. Clark, *Surfing Uncertainty: Prediction, Action, and the Embodied Mind*, Oxford University Press, 2015.
44. R. Rosen, *Anticipatory Systems: Philosophical, Mathematical and Methodological Foundations*, Pergamon Press, 1985.
45. J. Duchesne-Guillemin, *Ormazd et Ahriman, l'aventure dualiste dans l'antiquité* (Translated into Persian by A bagheri, Nashre Farzan, 1386), Presses Universitaires de France, 1953.
46. F. Nietzsche, *Thus Spoke Zarathustra: A Book for Everyone and No One*, Penguin Classics, 1961.
47. F. Nietzsche, *Beyond Good and Evil, Create Space*, 2018.
48. A. E. McGrath, *Science and Religion: A New Introduction*, Wiley-Blackwell; 2nd ed., 2010.
49. R. Hooykaas, *Religion and the Rise of Modern Science*, Regent College Publishing, 2000.
50. G. B. Ferngren, *Science and Religion: A Historical Introduction*, Johns Hopkins University Press, 2nd ed., 2017.
51. R. Hooykaa, *Pascal: His Science and His Religion*, *Free University Quarterly*, *Free University Quarterly*, vol. 2, pp. 106-137, 1952.
52. H. Margolis, *Paradigms and barriers: How habits of mind govern scientific beliefs*, University of Chicago Press, 1993.
53. R. K. Coll, N. Taylor and M. C. Lay, *Scientists' Habits of Mind as Evidenced by the Interaction Between their Science Training and Religious Beliefs*, *International Journal of Science Education*, pp. 725-755, 2009.
54. R. Bhaskar, *Dialectic: The Pulse of Freedom*, Verso, 1994.
55. P. L. Berger and T. Luckmann, *The Social Construction of Reality: A Treatise in the Sociology of Knowledge*, Anchor, 1967.
56. S. M. Hoshisadat, *Iranian dialectics, analytical history of Iran's foreign relations, in the Middle East*, University of Tehran Press, 2019.
57. A. Cotterell and R. Storm, *The Ultimate Encyclopedia of Mythology*, Anness, 2001.
58. I. A. Opie and M. Tatem, *A Dictionary of Superstitions*, Oxford University Press, 1989.
59. C. Geertz, *Myth, Symbol, and Culture*, Norton, 1974.
60. S. Instone, *Greek Personal Religion: A Reader*, Liverpool University Press, 2009.
61. W. Burkert, *Greek Religion*, Harvard University Press, 1985.
62. J. Lindow, *Norse Mythology: A Guide to Gods, Heroes, Rituals, and Beliefs*, Oxford University Press, 2002.
۶۳. ح. ا. مهدوی، *کتاب جشن‌ها و آیین‌های ایرانی، با تکیه بر اسطوره و مردم‌شناسی*، نشر ابریشمی، ۱۴۰۱.
۶۴. س. نصیری راد، *خواب خوب، نشر کلید آموزش*، ۱۳۸۸.
۶۵. ط. محمدخان، و ع. رضایی، *نماد ماه: بررسی واقعیت، اسطوره، باورها، ماه - اساطیر ماه - در هنر ماه - فرهنگ عامه*، نشر سامان دانش، ۱۳۹۶.
66. J. Hanford, *Werewolf Moon (Science Solves It!)*, Kane, 2009.
67. C. Bhattacharyya, *The Lunatic Moon*, Ukiyoto Publishing, 2024.
۶۸. ح. مافی، *کتاب مهتاب، نشر سایه گستر*، ۱۳۹۰.
69. J. Rotton and I. W. Kelly, *Much Ado About the Full Moon. A Meta-Analysis of Lunar-Lunacy Research*, *Psychological Bulletin*, vol. 97, no. 2, pp. 286-306, 1985.
70. E. Hopper and H. Weinberg, *The Social Unconscious in Persons, Groups and Societies*, Routledge, 2019.
۷۱. ابوریحان محمد بن احمد بیرونی، به کوشش یوسف هادی، *الجواهر فی الجواهر*، تهران: شرکت انتشارات علمی و فرهنگی، ۱۳۷۴.
۷۲. آ. آقامیرزا، *نادره‌ی دوران (مروری بر زندگی و آثار ابوریحان بیرونی)*، تهران: نشر همشهری، ۱۳۸۹.
۷۳. ع. فرازمنده، *مروری بر آثار ابوریحان بیرونی (۳۶۲-۴۴۰ خورشیدی)*، شکوه یکپارچگی نخبگی و پختگی، نامه علوم پایه فرهنگستان علوم ایران، ج. ۹ و ۱۰، ش. بهار و تابستان، صص. ۱۳۳-۱۴۳، ۱۴۰۲.

۷۴. ع. فرازمنند، مروری بر احوال و آثار محمد بن زکریای رازی (۳۰۴-۲۴۳ خورشیدی)، شکوه یکپارچگی نخبگی و پختگی در علم، طبابت و اخلاق پزشکی، نامه علوم پایه فرهنگستان علوم ایران، ج. ۱۱ و ۱۲، ش. پاییز و زمستان، صص. ۱۴۰-۱۱۹، ۱۴۰۲.
75. E. Güvenç, The Moral Philosophy of Abu Bakr Razi as a Life Guide for the Modern Individual, 27,1, *Cumhuriyet Theology Journal*, vol. 27, no. 1, pp. 221-233, 2023.
۷۶. پ. ادکایی، حکیم رازی، نشر طرح نو، ۱۳۸۴.
77. I. G. Smith, Faith and Philosophy: Essays on Some Tendencies of the Day, (1867), Kessinger Publishing, 2008.
78. J. Kellenberger, Kierkegaard and Nietzsche: Faith and Eternal Acceptance, Palgrave Macmillan, 1997.
79. M. McFarlane, Sacred Myths: Stories of World Religions, Sibyl Pubns, 1996.
80. C. G. Jung and C. Kerényi, The Science of Mythology: Essays on the Myth of the Divine Child and the Mysteries of Eleusis, 2nd ed., Routledge Classics, 2001.
81. W. Smith, Science and Myth: What We Are Never Told, Soffia Enterprises, 2010.
82. Scientific American Editors (Editor), Science's Greatest Mysteries (Scientific American Explores Big Ideas), Scientific American Educational Publishing, 2004.
83. K. Kruszelnicki, Great Mythconceptions: The Science Behind the Myths, Andrews McMeel Publishing, 2006.
84. G. Schrempf, The Science of Myths and Vice Versa, Prickly Paradigm Press, 2016.
85. S. Chakraborty, Imagination is the Power of Myth, the Rest is Painted with a Touch of Science Fiction: A Study of Mythology and Science Fiction, *Comparative Literature: East & West*, vol. 6, no. 2, pp. 130-138, 2022.
۸۶. م. نجفی افرا، و ف. مرتجعی، خیال خلاق از نظر ابن سینا، پژوهش‌های معرفت‌شناختی، ج. ۱۲، ش. ۲، صص. ۷-۲۴، ۱۳۹۵.
87. W. B. Masse, E. W. Barber, L. Piccardi and P. T. Barber, Exploring the nature of myth and its role in science, *Geological Society London Special Publications*, vol. 273, no. 1, pp. 9-28, 2007.
88. Z. Zeng, Impact of Classical Mythology on the Modern Science, *Scholarly Review Online, Summer*, pp. 23-33, 2014.
89. J. Blommaert, Mathematics and its ideologies: An anthropologist's observations, *Tilburg Papers in Culture Studies*, no. 168, 2016.
90. G. W. F. Hegel, *Phenomenology of mind: Preface on scientific knowledge*, 1807.
91. K. J. Arrow, *Social Choice and Individual Values*, 3rd ed., 2012.
۹۲. ج. طباطبایی، تاملی درباره ایران، جلد اول، دیباچه‌ای بر نظریه انحطاط ایران، تهران: نشر نگاه معاصر، ۱۳۸۹.
93. G. Schroeder, Believe in God in 5 Minutes (Scientific Proof), <https://www.youtube.com/watch?v=eQVm8RokoBA>, 2014.
94. G. Schroeder, *Genesis and the Big Bang Theory: The Discovery of Harmony Between Modern Science and the Bible*, Bantam, reprint edition, 1991.
95. D. Bohm, *Thought as a System*, 2nd ed., Routledge, 1994.
96. D. Bohm, *Wholeness and the Implicate Order*, Routledge, 1980.
97. D. Bohm, *Science, Order, and Creativity: A Dramatic New Look at the Creative Roots of Science and Life*, Random House, 1987.
98. J. Krishnamurti and D. Bohm, *The Ending of Time: Dialogue*, Harper One, 1985.
99. J. Krishnamurti and D. Bohm, *The Limits of Thought: Discussions*, Routledge, 1999.
۱۰۰. ت. زدلاچک، اقتصاد خیر و شر از گیل گمش تا وال استریت (ترجمه احد علیقلیان)، نشر نو، ۱۳۹۷.
101. G. W. Leibniz, The Monadology (English translation by Robert Latta, 2024), Independently published, 1898.
۱۰۲. م. صانعی دره بیدی، فلسفه لایب نیتس، نشر ققنوس، ۱۴۰۰.
103. D. J. Chalmers, *The Conscious Mind: In Search of a Fundamental Theory*, Oxford University Press, 1997.

۱۰۴. ژ. آموزگار، *اسطوره زندگی زرتشت*، نشر چشمه، ۱۴۰۳.
۱۰۵. و. سرخوش کرتیس، *اسطوره‌های ایرانی* (ترجمه عباس مخبر)، نشر مرکز، ۱۴۰۳.
۱۰۶. ا. تفضلی، *مینوی خرد* (سده سوم تا نهم میلادی)، برگردان از پهلوی پازندی به فارسی دری، نشر توس، ۱۴۰۳.
۱۰۷. ف. دادگی، *بندهش* (سده سوم تا دهم میلادی)، برگردان از پهلوی پازندی به فارسی دری توسط مهرداد بهار، نشر توس، ۱۴۰۲.
۱۰۸. م. ف. *پسر اورمزد داد*، (آذر فرنیغ)، *شکند گمانیک و یچار*، برگردان از پهلوی پازندی به فارسی دری توسط پروین شکیبا، نشر کیومرث، ۲۰۰۱.
۱۰۹. آ. فرنیغ فرخزادان، و آ. امیدان، *دینکرد (دینکرت)*، به تصحیح فریدون فضیلت، سده نهم تا دهم میلادی، نشر برسم، ۱۳۹۹.
۱۱۰. آ. فرنیغ فرخزادان، *ماتیگان گجستک ابالیس* (سده نهم تا دهم میلادی) برگردان از پهلوی پازندی به فارسی دری توسط ابراهیم میرزای ناظر، نشر هیرمند، ۱۳۷۵.
۱۱۱. م. ع. عسگری (مترجم)، *متن کامل رساله‌های اخوان الصفا* (۴ جلد)، مولی، ۱۴۰۳.
۱۱۲. س. فضایی، *کتاب فرهنگ هزاره‌های اساطیر ایران و افسانه‌ها و باورهای عامه ایران* (سه دفتر)، نشر کتاب سرای نیک، ۱۴۰۴.
۱۱۳. س. عربان، *کتاب راهنمای کتیبه‌های ایرانی میانه (پهلوی-پارتی)*، نشر علمی، ۱۴۰۳.
۱۱۴. ف. فرشته حکمت، *افسانه رستا*، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۹۸.
115. T. S. Kuhn, *The Structure of Scientific Revolutions*, 3rd ed., University of Chicago Press, 1996.
116. P. K. Feyerabend, *Against Method: Outline of an Anarchistic Theory of Knowledge*, 3rd ed., Verso Books, 1993.
117. A. F. Chalmers, *What Is This Thing Called Science?*, Hackett Publishing Company, 1999.
118. N. Bostrom, *The Vulnerable World Hypothesis*, *Global Policy*, vol. 10, no. 4, pp. 455-476, 2019.
119. G. Saalman, *The Epistemological Foundations of Scientific Knowledge*, *Transcience: A Journal of Global Studies*, vol. 11, no. 2, pp. 106-122, 2020.
120. R. J. Paul and R. D. Macredie, *Objective and Subjective Views of Knowledge and Their Implications for System Design*, *AI & Society*, vol. 11, pp. 1-5, 1997.
121. E. E. Harris, *Hypothesis and Perception: the Roots of Scientific Method*, Routledge, 2002.
122. E. E. Harris, *The Foundations of Metaphysics in Science*, Routledge, 2013.
123. A. Gelfert, *How to Do Science with Models*, A Philosophical Primer, Springer, 2016.
124. D. Shapere, *The Concept of Observation in Science and Philosophy*, *Philosophy of Science*, vol. 49, no. 4, pp. 485-525, 1982.
125. D. Shapere, *Evolution and Continuity In Scientific Change*, *Philosophy of Science*, vol. 56, no.3, pp. 419-437, 1989.
126. Plato, *The Republic*, Penguin Classics, 2007.
127. E. L. Gettier, *Is Justified True Belief Knowledge?*, *Analysis*, vol. 23, no. 6, pp. 121-123, 1963.
128. R. Rorty, *Philosophy and the Mirror of Nature*, Princeton University Press, 1981.
129. W. D. Ross, *Aristotle's Metaphysics*, 2 Volumes, Oxford University Press, 1924.
130. Plato, *The Last Days of Socrates: Euthyphro, the Apology; Crito; Phaedo*, Penguin Classic, 1985.
۱۳۱. م. اورلیوس، *تأملات* (ترجمه عرفان ثابتی)، نشر ققنوس، ۱۴۰۱.
۱۳۲. ح. حسن زاده آملی، *قرآن و عرفان و برهان از هم جدایی ندارند*، انتشارات قیام، ۱۳۷۹.
133. H. H. Hoppe, *Democracy – The God That Failed: The Economics and Politics of Monarchy, Democracy and Natural Order*, Routledge, 2001.
134. A. Pechenkin, *The History of Research on Chemical Periodic Processes*, Springer, 2018.
135. B. P. Belousov, (Б. П. Белоусов), *A periodic reaction and its mechanism* (Периодически действующая реакция и ее механизм), *Sbornik Referatov po Biokhimmii* (Сборник рефератов по биохимии), 1951.
136. A. M. Zhabotinsky, (А. М. Жаботинский), *Periodic course of oxidation of malonic acid in solution* (Периодическое течение реакции окисления малоновой кислоты в растворе), *Doklady Akademii Nauk SSSR* (Доклады Академии наук СССР), *Reports of the Academy of Sciences of the USSR*, vol. 157, no. 2, pp. 392-395, 1964.
137. F. Hunt and C. Barker, *Women at Cambridge: A Brief History*, Cambridge University Press, 1998.

138. A. Morley, *The Gatekeepers: Women at Cambridge*, Cambridge University Press, 2018.
139. P. Levine, *A History of Women at Cambridge*, Cambridge University Press, 2016.
140. G. Sutherland, *In Search of the New Woman: Middle-Class Women and Work in Britain, Cambridge University Press, p. 1870-1914*, 2015.
141. G. Sutherland, *No Ordinary Women: Seven Pioneering Women of Cambridge*, Cambridge University Press, 2020.
142. C. H. Payne, *Stellar atmospheres: A contribution to the observational study of high temperature in the reversing layers of stars*, PhD Thesis, Radcliffe College, 1925.
143. K. Haramundanis, (editor), *Cecilia Payne-Gaposchkin: An Autobiography and Other Recollections* Second Edition, 2nd ed., Cambridge University Press, 1996.
144. N. Manz, Z. Rewinski, F. Ataulakhanov and V. Gáspár, Finding the eponym for the Belousov–Zhabotinsky reaction, *Cahso*, vol. 35, no. 7, p. 3151, 2025.
145. F. J. Ayala, *Evolution, Explanation, Ethics, and Aesthetics*, Academic Press, 2016.
۱۴۶. ا. شیخی، گرانش، حیات و فرگشت، *نامه علوم پایه فرهنگستان علوم ایران*، ج. ۱۱ و ۱۲، ش. پاییز و زمستان، صص. ۶۳-۷۲، ۱۴۰۲.
147. P. A. Corning, *Holistic Darwinism, Synergy, Cybernetics, and the Bioeconomics of Evolution*, The University of Chicago Press, 2005.
۱۴۸. ع. کالیراد، قیاس ناپذیری، معنای واژه و زبان علم، *نامه علوم پایه فرهنگستان علوم ایران*، ج. ۱، ش. بهار، صص. ۲۲۱-۱۱۶، ۱۴۰۰.
149. B. Rosslenbroich, *On the Origin of Autonomy, A New Look at the Major Transitions*, Springer, 2014.
۱۵۰. م. اسماعیل، *پایان یک اسطوره، اقتباس نظریات ابن خلدون از رسائل اخوان الصفا (عبدالوحید نویدی)*، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۴۰۱.
151. D. J. Galton, *Standing on the Shoulders of Darwin and Mendel, Early Views of Inheritance*, CRC Press, 2018.
152. M. Solinas, *From Aristotle's Teleology to Darwin's Genealogy, The Stamp of Inutility (Translated from the Italian by James Douglas)*, Palgrave Macmillan, 2015.
153. C. Darwin, *On the Origin of Species by Means of Natural Selection or the Preservation of Favoured Raees in the Structure for Life*, D. Appelton and Company, 1859.
154. M. Rampley, *The Seductions of Darwin, Art, Evolution, Neuroscience*, The Pennsylvania State University Press, 2017.
155. E. A. Lloyd, *Science, Evolution, and Politics*, Cambridge University Press, 2008.
156. C. A. Pickover (editor), *The Science Book From Darwin to Dark Energy, 250 Milestones in the History of Science*, Sterling, 2018.
157. P.-A. Braillard and C. Malaterre, *Explanation in Biology, An Enquiry into the Diversity of Explanatory Patterns in the Life Sciences*, Springer, 2015.
158. R. G. Delisle (Editor), *Natural Selection, Revisiting its Explanatory Role in Evolutionary Biology, Evolutionary Biology– New Perspectives on Its Development, Volume 3*, Springer, 2021.
159. K. Kampourakis (Editor), *The Philosophy of Biology, A Companion for Educators*, Springer, 2013.
160. F. Capra, *The Web of Life, A New Scientific Understanding of Living Systems*, Anchor Books, 1996.
۱۶۱. ح. میاندری، *اخوان الصفا، ابن مسکویه، بیرونی و نظریه تکامل زیستی، متافیزیک*، ج. دوره جدید، ش. ۱ و ۲ بهار و تابستان، صص. ۴۶-۲۵، ۱۳۸۸.
162. M. von Sydow, *From Darwinian Metaphysics, towards Understanding the Evolution of Evolutionary Mechanisms, A Historical and Philosophical Analysis of Gene-Darwinism and*, Göttingen University Press, 2012.
163. A. Parker, *In the Blink of an Eye: How Vision Kick-Started the Big Bang of Evolution*, Free Press, 2004.
164. M. C. Maurel and C. Kanellopoulos-Langevin, *Heredity: venturing beyond genetics, Biology of Reproduction*, vol. 79, pp. 2-8, 2008.
165. P. Dickens, *Society and Nature, Polity*, 2004.
166. G. E. Berrios, *The History of Mental Symptoms: Descriptive Psychology since the Nineteenth Century*, Cambridge University Press, 1996.

خواب و بیدار آموزش در ایران: منزل یا منزلت؟

خسرو منصف شکری
دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه شهید بهشتی
k_shokri@sbu.ac.ir
نامه علوم پایه شماره ۱۵، بهار و تابستان ۱۴۰۴

چکیده

تاسیس دارالفنون، ایجاد مدارس جدید، آموزش عمومی اجباری و تاسیس دانشگاه تهران از ارکان تجدد در ایران معاصر قلمداد شده است. اما اهدافی که در ذهن موسسان این نهادهای مدرن بوده پس از گذشت قریب به صد سال تجربه آموزش، از نظر بسیاری با کاستی‌های فراوان همراه بوده که نتایج آن امروزه آشکار است. با توجه به مستندات تاریخی و تحقیقات موجود در این مقاله، به ریشه‌های این ناکارآمدی، به ویژه در دوره پهلوی، خواهیم پرداخت و نشان خواهیم داد که از یکسو تلقی نادرست مردم از این دانش جدید و از سوی دیگر تصمیمات شتابزده و خواسته‌های مدیران مانع آن شد که این نهاد دانش جدید نه آرزوی معنوی موسسانش یعنی «کارخانه انسان سازی» و نه ثمرات مادی خود یعنی «دانش-قدرت» را محقق سازد.

دردم نهفته به ز طیبیان مدعی
باشد که از خزانه غیث دوا کنند

بر در مدرسه تا چند نشینی حافظ
خیز تا از در میخانه گشادی طلبیم

۱. مقدمه

نوع فلسفی ندارد و به راه ناکجای خود خواهد رفت. این واقعیت این است که قریب صد سال تلاش برای آموزش عمومی در ایران انتظارات خوش و امیدی در همگان ایجاد کرد که نسل به نسل از اعتبار آن کاسته شد، امیدها بر زمین سرد واقعیت نشست و انتظارات چون برفی در آفتاب واقعیت آب شد، اما اگر چه تا همین دیروز همچنان به اقتدار رؤیافروشی و کسب منزلت خود را چون ضرورتی گریزناپذیر نشان می‌داد، اما امروز لختی شاهانه‌اش حتی پیش کودکان نیز عیان شده است و فرزند امروز حق هم دارد که در برابر امر و نهی‌های پدر برای تحصیل، به سادگی با گفتن صریح حقیقت «تو که تحصیل کردی چی شدی؟» پدر را سرافکننده و بی‌جواب بگذارد. و طرفه آنکه این «چیزی نشدن» سرنوشت مقدر آموزش ما از آغاز تا به امروز بوده است. در زیر به ذکر دو نمونه از این تقدیر مشترک اشاره می‌کنیم.

در خاطرات خلیل‌خان اعلم‌الدوله، پزشک مظفرالدین شاه در بازدید ظل‌السلطان از مدرسه دارالفنون آمده است که، موسیو ریشارد استاد زبان فرانسه دارالفنون که دیگر به سن پیری رسیده بود، وقتی در برابر عکسی توقف کرده بودند رو به ظل‌السلطان گفت:

«این یحیی خان معتمدالملک بود، این نایب‌السلطنه بود. این

نخستین و پایه‌ای‌ترین چیز در فهم یک پدیده تاریخی، احساس انسان‌هایی است که محمل آن بوده‌اند، خاصه در بحث آموزش نوین در ایران که یک سوی آن سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان آموزشی قرار دارند و در سوی دیگر مردمانی از کودک خردسال گرفته تا انسان بالغ که هدف برنامه‌های آموزشی گروه نخست بوده‌اند؛ اگر بخواهیم احساس هر دو گروه را موجز کنیم، متفق‌القول هستیم که در این صد و اندی سال آموزش جدید در ایران، حسی از نارضایتی، ناکامی، شکست، بر همگان مستولی است. مدیران از یک سو سیاست‌های خود را شکست‌خورده دیده‌اند، اهدافی که در سر می‌پرورانده‌اند به ثمر ننشسته است و مردمی هم که در فرایند این آموزش عمومی و تخصصی قرار گرفته‌اند، تجربه‌های ناخوشایندی از تحقیر و ناکامی، سرگردانی، هراس، یأس و تبعیض و بی‌عدالتی داشته‌اند. درباره‌ی چرایی این احساس شکست از هر دو سو دلایل فراوانی هست که از آغاز همواره در بحث منتقدان طرح‌های آموزشی مطرح بوده است و با گسترش نظام آموزش عالی، تحقیقاتی دانشگاهی هم در این زمینه‌ها صورت گرفته است، اما غالباً این تحقیقات موضوع علم جامعه‌شناسی تلقی شده است [۱] و همچنان جای تأمل فلسفی درباب چرایی این شکست، خالی است.^۱ هر چند واقعیت امروز کاری به استدلال آن هم از

۱. با توجه به اطلاعات اندک نگارنده، اثر استاد داوری اردکانی [۲] تنها کتابی است که سعی شده است دیدگاهی فلسفی در این زمینه اتخاذ کند.

تو بودی.

ها، من چطور بودم؟ خوب درس می‌خواندم؟

ای. این یحیی‌خان یک چیزی شد، این نایب‌السلطنه هم بد نبود چند تا کلمه طوطی‌وار یاد گرفت، اما تو هیچ ... نشدی.

از شنیدن این حرف صدای قاه‌قاه ظل‌السلطان و دو سه نفر دیگر که از اجزای او بودند در فضا طنین‌انداز گردید. مخبرالدوله قدری دستپاچه شد و خواست ماستمالی کند. گفت:

قربان موسیو ریشارد خان خیلی پیر شده و بعد از چهل سال اقامت در ایران هنوز فارسی را خوب یاد نگرفته، می‌خواسته چیز دیگر عرض کند، زبانش تپق زد.

ظل‌السلطان گفت:

خیر، خیر. صحیح گفت. درست گفت. واقعا من پیش موسیو هیچ ... نشدم.

و از اتاق بیرون رفت.

قریب به صد و سی سال بعد در انتهای دوره‌ای از مدرنیزاسیون در فیلم هامون، اثر زنده‌باد داریوش مهرجویی، حمید هامون در مطب روانکاوش می‌گوید:

«من مرتب شیلنگ تخته میندازم ولی به هیچ جایی نمی‌رسم دکتر! دارم فرو میرم، به هیچی اعتماد ندارم، به هیچی اعتقاد ندارم، دارم هدر میرم، این یعنی چی؟ دکتر! من به زمانی فکر می‌کردم به ... میشم، اما هیچ پخی نشدم، چهل و خورده‌ای ازم گذشته، بدتر آویزونم، ما آویخته‌ها به کجای این شب تیره بیاویزیم، قبای ژنده و کپک‌زده خودمونو؟» [۴]

دو موقعیت فوق‌الذکر هر دو بازنمایی تجربه شکست ما ایرانیان در متجدد شدن هستند. ظل‌السلطان نماینده‌ای از طبقه حاکمه و حمید هامون نماینده‌ای از طبقه مترقی هر دو به اعتراف خود هیچ چیزی نشدند. هر دو در واکنش به آن به شکلی فرافکنانه به تخریب روی آوردند. ظل‌السلطان دستش از پادشاهی کوتاه مانده، باقی عمر را به تخریب بناهای تاریخی اصفهان و منقرض کردن حیوانات جنگل میانکاله گذراند و حمید هامون زیر فشار مشکلات از روی استیصال خود را در آب دریا رها کرد. او نماینده تلاطم روح ایرانی بود که در برابر تغییراتی که شاهدش بود و زندگی‌اش را متأثر کرده بود، پرسش‌هایی داشت که برایشان پاسخی نمی‌یافت. طرفه آنکه او در همین نظام آموزشی مورد بحث، در حال نوشتن رساله‌ای دکتری در فلسفه با موضوع جدال ایمان و عقل بر پایه ترس و لرز کیرکگور بود، در همان زمان که رابطه عاطفی با همسرش به مرحله بحرانی رسیده، از تأمین اقتصادی زندگی‌اش بر نمی‌آید، شاهد تضاد طبقاتی و فرهنگی میان خانواده او و همسرش بوده، به خواسته‌های زن متجددش دیگر پاسخ مناسبی نمی‌تواند بدهد،

کارمند و بازاریابی ناموفق که به دنبال مرشدی است که راه به او بنماید، و چون نمی‌یابدش، از روی استیصال تن به خودکشی می‌دهد. اگر او که خود نتوانسته بود پاسخی به خویشتن دهد، چگونه می‌توانست امروز اگر فرزندی می‌داشت، پاسخی به او بدهد؟ اگر بر این باوریم که احساس‌ها دروغ نمی‌گویند، آن هم احساسی تا این اندازه مستمر و تا این حد مشترک که روز به روز حادثر هم شده است و اگر به دنبال راه چاره‌ای می‌گردیم و به قولی در جستجوی جایی برای منزل کردن در این شب تیره هستیم، نخست می‌باید به دنبال توضیحات و چرایی این احساس خسران باشیم. هر چند هر کس که در این نظام آموزشی «چهار کلاس» خوانده باشد، می‌تواند بر اساس تجربیاتی دست‌اول دلایلی را عنوان کند. اما برای پرهیز از سوءتفاهمات مربوط به پرسپکتیوی که هر کس به واسطه آن واقعیات مربوطه را می‌بیند، نخست لازم است، روایتی پایه‌ای از تاریخ آموزش نوین در ایران ارائه کنیم و بعد بر اساس آن دست به تفسیرهایی بزنیم و تدبیرهایی ببندیم. در ادامه برای بازگویی این روایت پایه‌ای، نخست نگاهی خواهیم داشت بر تحولاتی که منجر به تغییرات ساختاری در ایران شد که از ثمرات آن یکی مسأله آموزش عمومی بود.

۱. تجدد و آموزش

بنیانگذاران هر نهادی قصدیتی از تأسیس آن نهاد دارند، و در آغاز شکل و شمایی به آن می‌دهند که سرنوشت آن نهاد را برای آینده تعیین می‌کند. این نهادها از آنجا که دستکار آدمیان هستند، به مبتلایات آدمیان نیز دچارند. عادت‌های فردی، چرخه‌های تکرارشونده‌ای در انسان شکل می‌دهد که ناخودآگاه فعالیت‌های او را هدایت می‌کند. گاه پی بردن به ریشه بعضی رفتارهای پسند و ناپسند در انسان، بسیار دشوار است، زیرا این زنجیره علی‌گانه چنان طولانی است که علت‌العلل آن گاهی عادت‌های چنان ساده و در آغاز قابل اصلاح بوده، که مایه شگفتی است.

با این وصف نخستین پرسشی که می‌تواند قصدیت نهادهای آموزش نوین در ایران را بر ما رمزگشایی کند، ابراز نظرهای کسانی است که در این راه تلاش کرده‌اند. آنان کوشیدند میان وضعیت اسفناک ایران و تحقق آرزوهای دور و دراز خود در راه اصلاح امور، همواره تدبیر پیشه کنند، اما این تدابیر گاه چنان برجسته می‌شد که خود به جای هدف می‌نشست و تحقق آن دستاوردی واقعی محسوب می‌شد. آنچه از اقدامات عباس میرزا و نظرات نخبگان آن دوران بر می‌آید، این است که آنان در جستجوی راز عظمت مهیب غرب برآمدند، و به پاسخی رسیدند که هر چند لازم می‌نمود اما اصلا کافی نبود و آن مسأله آموزش بود. ملکم می‌گوید: «چنین مدارسی کودکان بی‌سواد را تحویل می‌گیرند و مهندسان و متفکران کاملی تحویل می‌دهند. راه‌اندازی چنین کارخانه‌های ایران را قادر خواهد ساخت راه سه‌هزار ساله را در سه ماه ببیند.» [۵]

در جستجوی راز مسحورکننده قدرت و عظمت غرب برآمدند و سرانجام سودا و آرزوی غربی شدن را در دل آنان کاشت. عباس میرزا که بسیار شیفته ناپلئون بود و حتی پرتره او را در اتاقش داشت، از ژوبر، سفیر فرانسه می‌پرسد: «آیا ایرانیان هرگز نمی‌توانند با اروپاییان یکسان و برابر باشند؟ آیا بالاخره ما از توپخانه، سرنیزه و تمام وسایلی که اروپا برای بدست آوردن فیروزی به دست می‌آورد، سر در نخواهیم آورد؟» [۶]

آنچه از این گفته بر می‌آید، این تصور ساده بود که آنچه عامل برتری اروپا شده است، همانا فنون و تجهیزات نظامی است. بر این اساس بود که نخستین دانشجویانی که عباس میرزا برای تحصیل به انگلستان فرستاد برای این هدف بودند. همین طرز فکر بود که نخستین مدرسه عالی در ایران نیز با تمرکز بر فنون نظامی، به نام مدرسه نظامیه که بعدها به دارالفنون تغییر نام داد، تأسیس شد. واژه دارالفنون، گرته‌ای است از واژه پلی‌تکنیک، که بر وجه خاصی از آموزش عالی که معطوف به دستاوردهای تکنیکی و مادی است، دلالت دارد. تشخیص‌های نابجا، حاصلش درمان‌های نابجا است و این درمان نابجا خود عامل عود بیماری‌های تازه‌ای است که به نوبه خود با تشخیص و درمان‌های نابجا توأم است و این زنجیره تا لاعلاجی کامل امروز استمرار یافته است. تجربه دارالفنون تأثیرات عمیقی بر نظام آموزش در ایران ایجاد کرد که تا به امروز همچنان باقی است. از این رو بررسی عوامل ناکارآمدی این مدرسه که می‌توان آن را نسخه آزمایشی آن چیزی دانست که بعدها نام دانشگاه و مدرسه نام گرفت، تا حد خوبی راهگشا باشد.

با تأسیس دارالفنون، به تدریج گروه‌های بیشتری از فارغ‌التحصیلان به اروپا اعزام می‌شدند. اینان در رشته‌ای که دربار تعیین می‌کرد تحصیل می‌کردند. آموزش‌های نظامی و امور مفید به ارتش نظیر مهندسی و ریاضیات و حتی یادگیری طب هم عمدتاً برای خدمت به ارتش یا دربار بود. تمام آنانی که دولت اعزام کرده بود به ایران باز می‌گشتند که عمده دلیل آن حس بیگانگی در محیط فرهنگی بود. آنها در بازگشت بهترین مشاغل و مناصب را اشغال می‌کردند. با این همه این تنها مزیت آنها نبود. بلکه شیفتگی نسبت به علوم و فناوری غربی، این تازه از فرنگ برگشته‌ها را کانون توجه اجتماعی قرار می‌داد. آنها راویان رازهای غرب شدند. به قول ملکم: «هر آن کس که چند روز خیابان‌های اروپا را سیر و سیاحت کرده باشد، یک متخصص و یک منبع علم دیده می‌شد.» [۵]

سرعت پیشرفت شغلی و منزلت اجتماعی و کانون توجهات واقع شدن آنها باعث رنجش دولتمردان کمتر تحصیل کرده آن زمان بود. در مجموع نسبت به آنها بی‌اعتمادی وجود داشت و وزرای با تحصیلات سنتی «هر چه در توان داشتند به کار بستند تا مانع دستیابی این گروه تحصیل کرده جدید به فرصتی شوند که آنچه آموخته بودند را به کار گیرند و با این کار، کار و بار دیگران را از

این خوشبینی، آفتی همراه خود داشت که در گفته مستانه ملکم مستور است؛ «راه سه هزار ساله را در سه ماه پیمودن» ترجیع‌بند تمام اقداماتی شد که از آن پس تا به امروز بر نهاد دانش و بالتبع بر رفتار پرشتابی که حاکمان در پیش گرفتند، حکمفرما بوده است. در حالی که اگر به آغازهای راستین عظمت و قدرت غرب بیندیشیم آنها را همه در قالب انسان‌هایی می‌بینیم که به حکم دل خود، در کار تفکر و تأمل بر هستی، جهان و انسان‌اند. عظمت غرب بیش از آنکه در چکمه‌های ناپلئون بوده باشد چنان که عباس میرزا می‌پنداشت، در خیالات موهوم سروانتس یا طرح‌های بازیگوشانه داوینچی از پرندگان، و یا در بازخوانی‌های ماکیاولی از تاریخ روم و یونان آن هم پس از کار طاقت‌فرسا در مزرعه و در خلوتی شبانه و یا در تأملات «کنج کتابخانه‌ای» مونتینی که به طرز جنون‌آمیزی خود را موضوع تأملات و نوشته‌های خود قرار داده بود، است و این چیزی نبود جز این که یک بار دیگر انسان داشت دیدن را دوباره می‌آموخت و از این عظمت در هستی دچار حیرت می‌شد و مدرنیته سیلی بود که از آن حیرت نخستین به راه افتاد. اما آنچه در آموزش ما تماماً غایب است همان حیرت است، آنچه غایب است انسان است. زیرا تا انسانی نباشد، حیرتی در کار نیست و تا حیرتی نباشد، تحولی در راه نیست.

در بخش بعد روایت این تاریخ بی‌حیرت اما شگفت را از در دو دوره قاجار و پهلوی پی می‌گیریم. منبع اصلی ما برای دوران پهلوی کتاب بسیار ارزشمند دیوید مناشری [۵] است، هر چند به ناگزیر این شرح گاه از عبارت‌های مستقیم منبع مورد نظر و منابع مورد اشاره در آن منبع و گاه با نقل به مضمون و گاه در صورت لزوم با نکاتی تکمیلی همراه است، اما تلاش می‌کنیم شرح موجز و تا حد امکان امانت‌دارانه‌ای از آن ارائه کنیم. هر چند بحث آموزش در دوره جمهوری اسلامی، موضوع تحقیق مناشری نبوده است، اما با توجه به روایت آنچه در دوره پهلوی انجام گرفته و تجربیات مستقیمی که احتمالاً خواننده از دوره معاصر به شکل مستقیم داشته است، می‌تواند خود تأیید کند که آموزش در دو نیمه قرن چهاردهم هجری به سان پوزتیو و نگاتیو یک فیلم واحد هستند. از این رو از جزئیات خاص که بگذریم، می‌توانیم در نگاهی کلی‌تر روایت زیر را روایتی پایه‌ای برای آموزش در قرن چهاردهم هجری در ایران بدانیم.

۲. روایت پایه‌ای: قاجار

همگان بر این نکته اتفاق نظر دارند که نخستین رویارویی تأثیرگذار ایرانیان با پدیده‌ای که با اغماض به تجدد ترجمه شده است، در جنگ‌های ایران و روس بر ذهن نخبگان ایرانی فرود آورد. شکست‌های بی‌سابقه نظامی و متعاقب آن قراردادهای خفت‌باری که بر ایران تحمیل شد، این نخبگان را از «حالت از خودراضی بی‌اعتنایی» به حیرت وا داشت و سپس به وحشت انداخت و بعد

قدرت غرب واقف نبودیم بلکه چون همچنان به نزد ما، نظام قدرت بر پایه سنت-زور بود، این آموزش جدید نمی‌توانست تغییری در نظم امور ایجاد کند و در این مسأله عدم درک انضباط در آموزش امری کلیدی بود. بی‌اهمیتی چنین موضوع مهمی را می‌توان بلافرض از ترتیب نمرات مندرج در کارنامه مدارس دید، جایی که ورزش و انضباط در آخر فهرست نمرات کارنامه دانش‌آموزان بوده و انتظار می‌رفت نمراتی صوری باشند. در حالی که انضباط روح آموزش جدید بود، و چون مادی نیست، در هیچ کتابی هم نیامده تا در محتوایی درسی «برای شب امتحان از بر شود.» اگر که سقراط در جدل با پروتاگوراس می‌گفت هدف از آموزش کسب فضیلت است [۹] باید این را هم اضافه می‌کرد که در میان فضیلت‌ها، انضباط فردی مقدمه همه فضایل است و اگر درباره باقی فضیلت‌ها تردید داریم که اکتسابی‌اند، اما همگان باور دارند که انضباط فردی امری اکتسابی و آموختنی است.

سومین مسأله مربوط به حمایت پادشاه بود. در دوره خلافت ناصری، ناصرالدین شاه علاقه و توجه ویژه‌ای به دارالفنون داشت و گاه هفته‌ای دو بار برای بازدید به آنجا سر می‌زد و به شاگردان ممتاز جوایز سخاوتمندانه‌ای می‌بخشید. اما پس از اینکه با تلاش و تشویق میرزا ملکم‌خان که خود از استادان دارالفنون بود، عده‌ای از استادان و شاگردان آن مؤسسه فراماسون شدند شاه نسبت به کارکنان مدرسه بدگمان شد و از حمایت و عنایت خود از دارالفنون کاست. پس از مرگ او نیز، مظفرالدین شاه به دلیل مرضی مزمن، توجه چندانی به این مدرسه نداشت و دوره رونق آن رو به افول گذاشت.

این معضل نیز بعدها به پدیده‌ای تکرارشونده در رابطه حاکمیت و نهاد دانش تبدیل شد. رابطه متناوب شیفتگی و سرخوردگی، حمایت و بی‌توجهی. که خود را در نهایت به شکل سوءظن و مقابله برمی‌انگیخت. در دوره ناصری فراماسونری دغدغه حاکمیت بود و در دوره پهلوی کمونیسم و قس‌علی‌هذا.

اما فارغ از این نبرد جدید و قدیم، یکی از پیامدهای نامبارک این رویکرد جدید تصویر نادرستی بود که از دانش جدید در ذهن جامعه شکل گرفت: «تحصیل در خارج پیام اطمینان از دستیابی به شغلی عالی و منزلت اجتماعی را به جامعه مخابره کرد.» [۵] از اینجا به بعد بود که این دو خواسته یعنی شغل عالی و منزلت، هدف اصلی جامعه برای تحصیلات جدید بود. نخست این خواسته تکاپویی در طبقات بالای جامعه به راه انداخت و کم‌کم با اصلاحات ساختاری در نظام حکمرانی ایران، به طبقات متوسط و بعد در نهایت به

رونق بیندازند.» و این نشان از این داشت که آن خوشبینی آغازین برای تحول شگرف از طریق آموزش، مصداق «آسان نمود اول، ولی افتاد مشکل‌ها» بود.

به قول عبدالله مستوفی «وزرا در چارچوب اوضاع زمان خاقان، تخته‌بند بودند و حرف این عده قلیل را که از مدرسه دارالفنون بیرون می‌آمدند نمی‌فهمیدند و از این طبقه تشویق بسزایی نمی‌شد و روز به روز پایه دانش آنها تنزل می‌کرد تا بالاخره در آینده این مدرسه صرفاً محل معاش عده‌ای می‌شود و روح بیش و دانش، این مؤسسه سی‌چهل ساله را بدرود می‌گوید.» [۷]

همانطور که تجربه صد ساله دو سلسله حکومت‌های پس از قاجار نشان داده، این مشکل با ضریب تجانسی با ابعادی فراگیر همچنان پابرجا مانده است. هر چند به ظاهر کم‌کم در دوره‌های بعدی وزرا نیز به این آموزش‌ها دست‌کم برای عنوان منزلت‌بخش آن روی آوردند، اما همچنان آنچه در این میان مهم نبود، واقعیت دانش مربوطه بود. میرزا ملکم نسبت به تمایل ایرانیان به خلط عقل و علم و ترجیح «عقل طبیعی» بر آموزش اکتسابی اعتراض داشت و می‌گفت: «آنچه اروپاییان خردمند با هزاران مشکل در مدارس می‌آموزند، دولتمردان ایرانی می‌خواهند در حال پرسه زدن در اطراف در چند دقیقه فرا بگیرند.» و تجربه حکمرانی صد ساله اخیر نشان از همین وضعیت ترجیح عقل طبیعی بر آموزش اکتسابی دارد، هر چند که وزیرایش مدرک دکترا هم داشته باشند.

اما دومین مشکل این بود که بیشتر شاگردان دارالفنون از آغاز اعیان‌زاده بودند و چون عادت به اطاعت از مقررات مدرسه نداشتند و به آن تن نمی‌دادند. وقتی خبر سرپیچی این گروه به گوش شاه رسید، دستور داد ده نفر فراش قرمز پوش هر روز در تمام مدتی که مدرسه دایر بود با چوب و فلک آماده باشند تا هر شاگردی گردنکشی کرد و نظم مدرسه را بهم زد به فرمان رییس یا ناظم فلک کنند و چوبش بزنند.

به این ترتیب از همان آغاز در محیط آموزشی میان «انضباط فردی و جمعی»^۱ و «انضباط نظامی»^۲ خلط شد و این نشان از آن داشت که نظم کهن مکتبخانه، اراده خود را نامحسوس بر مدرسه حاکم کرده است. حتی گذشت صد و اندی سال نشان داد که این روحیه انضباط نظامی در مدارس و دانشگاه‌های امروزی هم ساری است.^۳ به تعبیر فوکویی [۸] از آنجا که تمایز «قدرت نرمال‌ساز»^۴ یا همان اقتدار بدون خشونت و «قدرت سرکوبگر»^۵ یا همان زور همراه با خشونت برای ما ناشناخته بود زیرا هنوز به ساز و کار نظام دانش-

1. Self and social discipline

2. Military discipline

۳. دست‌کم در دورانی که نگارنده تحصیل می‌کرد، صف صبحگاهی در مدرسه نشانه‌های چنین انضباط نظامی را با افتخار در فرمان پرچبروت مدیر و ناظم فریاد می‌زد: «از جلو نظام!» و با تنبیه و توبیخ‌های ناموجه اش، خاطره جمعی چوب الف بر سر و چوب فلک بر پا را چون ژنی خودخواه میان نسل‌های پیاپی تکثیر می‌کرد و آنچه بر جا می‌نهاد به قول مستوفی این بود که «روح بیش و دانش این نهاد دانش را بدرود می‌گفت».

4. Normalize Power

5. Repressive Power

عنوان تنها راه نجات طبقه فقیر مصرانه دنبال شد، بی‌آنکه اینان واقعا در پی آن باشند که بدانند معنای این دانش جدید چیست و اساسا اگر آن منزلت و شغل عالی فرضا با بدون دانش هم حاصل می‌شد، آیا کسی رغبتی به آن دانش جدید نشان می‌داد؟ به تعبیری آنان در این آموزش نوین نه در جستجوی منزل که در جستجوی منزلت بودند و ظاهرسازی ایرانی در جعل واژه «خانه دوم» برای مدرسه، اتفاقا از خانه نبودن چنان مکانی خبر می‌دهد.

۳. روایت پایه‌ای: مدرسه در دوره پهلوی^۱

تأسیس سلسله پهلوی، همزمان با کشف گسترده‌تر نفت همراه شد و این پارامتر مهم داستان تحولات را در مسیری کاملا متفاوت به جریان انداخت، زیرا حکومت‌ها دارای ثروت و قدرتی بی‌پشتوانه شدند و این به آنان امکان برنامه‌ریزی‌هایی می‌داد که اولا مردم در آن مداخله نداشتند و ثانیا هیچ تناسبی با واقعیات موجود نداشت. حاصلش این بود که هر چه تضادها بیشتر می‌شد، حاکمیت به جبران آن، تصمیماتی اشتباه‌تر اتخاذ می‌کرد و این چرخه هر بار تا شکست کامل ادامه می‌یافت و چرخه‌ای دیگر به همان اندازه محتوم به شکست از نو به راه می‌افتاد. در آغاز در دوره رضاشاهی با اجرای طرح‌هایی در راستای آموزش عمومی و تأسیس نهادی همچون دانشگاه، سنگ بنای اشتباهات پی در پی در آموزش ریخته شد و بزرگترین اشتباه و میراث این دوره ایدئولوژیک شدن توأمان حکومت و آموزش بود. برای رضا شاه، هدف آموزش تربیت شهروند وفادار به دولت بود. وطن، میهن، ملت، دولت-ملت، ارزش‌هایی بود که باید به آن خدمت می‌شد. طبعاً در دوره‌ای این مباحث مطرح می‌شد که در اثر ضعف حکومت مرکزی همه نخبگان به دنبال نیروی وحدت‌بخشی بودند. بنابراین این رویکرد با موافقت عده‌ای از روشنفکران و سیاسیون آن زمان دنبال شد، هر چند مخالفان لیبرالی نظیر حسن تقی‌زاده هم بودند که هدف آموزش را اساسا پرورش افراد آزاد تلقی می‌کردند. اما در نزد رضا شاه، شکوفایی فردی از طریق آموزش جایگاهی نداشت و این طبیعی بود زیرا شکوفایی فردی لزوماً به تبعیت از اجرای برنامه‌های حاکمان نمی‌انجامد. رضاشاه در سخنرانی‌هایش مدام بر مقولات مورد نظرش تأکید داشت. برای مثال به دانشجویانی که در آستانه ترک ایران به مقصد فرانسه بودند می‌گوید: «دلیل آنکه ما شما را از نظامی سلطنتی به تحصیل در جمهوری می‌فرستیم این است که ما از شما می‌خواهیم که از فرانسه الهام بگیرید و از روحیه میهن‌پرستی فرانسوی الگو بگیرید ... من امیدوارم که شما فرزندان من بازگردید در حالی که به دو امتیاز مهم مجهز شده‌اید: اول حب وطن، احساس تکلیف و وظیفه‌شناسی و دوم تخصص در رشته علمی‌ایی که برای شما تعیین شده است.»

چنان که از این گفته بر می‌آید، ارجحیت حاکمیت از این پس همواره غلبه تعهد (ایدئولوژی) بر تخصص (دانش) بود. این طرز

فکر در کتاب‌های درسی آن دوره اشاعه پیدا کرد. شیوه‌ای که در میان زمامداران بعدی همواره به پدیده‌ای تکرارشونده بدل شد. رضا شاه آموزش را قوی‌ترین نیرو برای انسجام ایران به عنوان یک ملت می‌دانست. نیرویی که می‌توانست «در راه مبارزه با نفوذ روحانیون به کار رود، تعهدات فراملیتی به اسلام را کند و وفاداری محلی و قومیتی را محو کند.» پس مدارس باید میهن‌پرستی، وظیفه‌شناسی نسبت به ملت، وحدت ملی، و استقلال ملی را تقویت کند. گسترش آموزش و کاهش وابستگی به بیگانگان نیز یکی دیگر از اهداف آموزش بود. اما تاریخ نشان داد که این خواسته‌ها تا چه اندازه با واقعیات موجود ایران همخوانی نداشت. عیسی صدیق که خود سال‌ها در غرب تحصیل کرده بود گفته اکثر فارغ‌التحصیلان آن دوره همچنان پیوندهای محکمی با اسلام داشته‌اند. هراس از دست رفتن هویت ایرانی هم، کم‌کم در نزد روشنفکر-سیاستمدارانی نظیر محمد علی فروغی مطرح شد. او در سخنرانی افتتاحیه دانشگاه تهران می‌گوید: «تعامل میان تمدن‌ها لازمه پیشرفت است و درون‌گرایی و انزواطلبی به انحطاط منجر خواهد شد. اما تعامل با غرب نباید فرهنگ و هویت ملی یگانه ایران را به خطر اندازد این تعادلی است که این دانشگاه باید برقرار کند.»

در نهایت مدارس تأکید اصلی خود را بر آموزش به جای پرورش قرار دادند و همین آموزش هم متکی بر حفظ کردن مطالب بود که میراث نظم کهن مکتب بود. و این باز نشان می‌داد هنوز معنای علم جدید که نامتعیّن، گشوده، بی‌مرز است در مقابل علم قدیم که متعیّن، بسته و کرانمند بود درک نشده است و حتی اگر به نزد عده قلیلی درک شده بود، هیچ تناسبی با خواست عملی حاکمانی نداشت که گُل استبداد موروثی‌اش دیگر به سبزه ایدئولوژی هم آراسته شده بود. پرسیدن، مخالفت کردن، فکر کردن، فهمیدن که لازمه دانش نامتعیّن جدید بود از همان آغاز در نظام آموزشی نوین امری مذموم بود و به شیوه‌های مختلف دانش‌آموز علاقه‌مند سرکوب می‌شد. گویی که نظام مدرسه چیزی را به دانش‌آموز می‌آموخت که قرار بود بعدها در جامعه نیز با آن روبرو شود. انضباط در کلاس معنای ساکت نشستن بود.

کم‌کم مشکلات در عمل خودش را نشان می‌داد. نگرانی از نحوه آموزش در نظر عده‌ای از روشنفکران دیده می‌شود و بحث‌هایی شکل می‌گیرد، از کیفیت پایین آموزش، کمبود معلمان با صلاحیت و آموزش‌های صرفاً نظری بدون هیچ تجربه عملی. این دسته از روشنفکران کم‌کم به این نتیجه رسیدند که مدارس به تنهایی برای تغییر جامعه کارایی ندارد و گسترش آن بی‌فایده است. این بود که علی دشتی در مقاله‌ای نوشت: «ما مدرسی نمی‌خواهیم که ما را از درودگران و کشاورزان و آهنگران و تاجران محروم کند و اینها را به یک مشت علاف طفیلی تبدیل کند.» به نظر می‌رسید دیپلم ابزاری برای کسب یک موقعیت مورد احترام در

۱. نقل قول‌ها در این بخش و بخش بعد، همه از مأخذ [۵] نقل شده است.

در راستای حل این معضل، هر چند از همان آغاز در دوره رضاشاه به آموزش فنی و حرفه‌ای برای تربیت نیروی کار ماهر تأکید می‌شد، اما اصلی‌ترین دلیل عملکرد ضعیف آنها این تلقی سنتی در نزد مردم بود که «آموزش مترادف با رها شدن از کار یدی و نه آموزش دیدن برای انجام آن است. آموزش فنی و حرفه‌ای به نظر تناقضی درون خود داشت. به این معنی که کار یدی در کارگاه و فضای کار آموخته می‌شد. در حالی که مدارس جایی برای فرار از آنجا قلمداد می‌شد. در تشویق مطالبه تحصیلات برای همه، نظام آموزشی به اشتباه چنین تصویری ایجاد کرده بود.» برای رفع این معضل شاه در برنامه انقلاب سفیدش اقداماتی عملی گنجانده بود. ایجاد مقطع تحصیلی راهنمایی برای تشویق افراد برای ورود به مدارس فنی و حرفه‌ای. اما انتظارات مثل همیشه برآورده نشد. وزیر انتظار داشت چهل درصد دانش آموزان راهنمایی وارد فنی و حرفه‌ای شوند، اما نگرانی‌هایی از سوی خانواده‌ها و دانش‌آموزان در مورد این مدارس همچنان وجود داشت. ثروتمندان مخالف رفتن فرزندشان به چنین مدرسی بودند و از هر راهی برای جلوگیری از این اقدام دست می‌زدند. «در نهایت مدارس راهنمایی عملاً به سطح ۱ و ۲ تقسیم شد و همچنین با اجازه دولت مدارس خصوصی فعالیت خود را شروع کردند که با شهریه بالا از طبقات متوسط به بالا دانش‌آموز می‌گرفتند و بدون استثناء آنها را به مدارس متوسطه نظری می‌فرستادند.» به زودی بر همگان آشکار شد که طرح مدارس راهنمایی شکست خورده است. مهمتر از همه شکست آموزش کشاورزی بود. کشوری که یک سوم کل نیروی کار آن در کشاورزی فعال بود و قرار بود انقلاب سفید، کشاورزی مکانیزه را به عنوان بخشی از اصلاحات به همراه داشته باشد، در حالی که در سال ۱۳۵۱ تنها ۹ درصد دانش‌آموزان فنی و حرفه‌ای کشاورزی می‌خواندند. شکست کیفی آن هم دست کمی از شکست کمی نداشت: داوطلبانی با نمرات پایین، با سطح آموزش پایین، کمبود تجهیزات مناسب، و انگیزه پایین فارغ‌التحصیلان به کار در محیط‌های آموزش دیده. همچنین مشکل در توقعاتی بود که آموزش نظری به بار آورده بود. یک فارغ‌التحصیل مدرسه معمولی سه برابر یک کارگر ماهر باتجربه در نیروگاه صنعتی درآمد داشت. با این همه جای شگفتی نبود که جوانان ترجیح می‌دادند که به جای تحصیلات فنی و حرفه‌ای آموزش نظری ببینند. مدیران صنایع هم تمایلی به استخدام فارغ‌التحصیلان مدارس فنی و حرفه‌ای نداشتند. به گفته یکی از صاحبان صنایع «در حالی که ایران به دست‌های کاری نیاز دارد، نظام آموزشی ما مغزهای نظردهنده تولید می‌کند.» مدیران صنایع دادن حقوق بالا به این افراد را بی‌فایده می‌دانستند در عوض ترجیح می‌دادند از مهاجران به شهر، نیروی کار ارزان استخدام کنند و برای کار مورد نیاز آنها را آموزش دهند. طبق آمار فقط ۲ درصد نیروی کار ماهر و نقشه‌کش‌ها از فنی و حرفه‌ای بودند. دوباره سیکل معیوبی شکل می‌گرفت. هشدارهایی از سوی سازمان برنامه و بودجه برای نیروی کار ماهر داده می‌شد و با

دولت و ادارات عمومی است. پس منطقی این وظیفه دولت بود که برای فارغ‌التحصیلان شغل مهیا کند. عبارت گواهینامه دیپلم نیز به این تصور دامن می‌زد: «متذکر است که این متن به فارغ‌التحصیل اجازه می‌دهد که از مزایای قانونی ملازم با آن برخوردار شود.» دانش‌آموز با گرفتن دیپلم گویی به وظیفه خود عمل کرده بود و حال این نوبت دولت بود که به وظیفه خود عمل کند. از دیدگاه مردم مدارس دو وظیفه دارند: شکل‌دهی شخصیت دانش‌آموزان و آماده کردن آنها برای استخدامی محترمانه. اولی به معنای آموزش اصول و ارزش‌های اخلاقی مبتنی بر مذهب، دومی به معنای رها شدن از کارهای پیش‌پاافتاده و آموزش امور اداری. از دیدگاه عموم آموزش به معنای کشاورز بهتر شدن یا کارگر صنعتی بهتر نبود، بلکه به معنای جلوگیری از دچار شدن به چنین مشاغلی بود. طبقه متوسط آن را ابزاری برای ترقی اجتماعی می‌دانست. حاصل چنین دیدگاهی ایجاد تقاضایی فزاینده برای آموزش بود که به گسترش سریع آن مخصوصاً تا پیش از دانشگاه منجر شد. این روند فارغ‌التحصیلانی به دنبال داشت که انتظار استخدام داشتند و دولت قادر به تأمین آن نبود. اما مشکل فقط این نبود. کمبود جدی معلمان خوب مستقیماً به تنزل منزلت شغل معلمی مربوط بود که از دوره قاجار آغاز شده بود که با شهری شدن و صنعتی شدن، اصلاحات اجتماعی و توسعه نظام بروکراتیک تازه، مشاغلی با پرسیژ تازه برای طبقه تحصیلکرده فراهم کرده بود. حقوق یک معلم بسیار کمتر از یک کارمند دولتی با همان رده تحصیلی بود. در ایران و باقی کشورهای در حال توسعه، طبقه تحصیلکرده، به معنای به دیده تحقیر می‌نگرند. دوره باطلی به وجود آمد: غالباً فارغ‌التحصیلان کم استعداد دبیرستان‌ها، معلم می‌شدند و برای استخدام آنها به ناگزیر شرایط صلاحیت مورد نیاز تنزل پیدا می‌کرد و از این رو اعتبار معلمی آسیب می‌دید و این چرخه هر بار ادامه می‌یافت. بودجه‌های ناکافی هم مزید علت بود. نتیجه این مشکلات این شد که طباطبایی نویسنده شفق سرخ گفته بود: «انبوه جماعتی از نیمه‌بی‌سوادان به شهرها هجوم خواهند آورد که شغل آسان با درآمد خوب طلب می‌کنند.» او ادامه می‌دهد که «در حال حاضر مدارس در ایران فارغ‌التحصیلان را با خود دادن به تنبلی و خودستایی به نیروهای نامناسب برای مشاغل مولد مبدل می‌کنند.» سعید نفیسی همچنین مدعی شد که «مدارس موجود طبقه کارگر را نابود می‌کند و جای آن هیچ چیز نمی‌سازد جز عده‌ای منشی و کارمند.» وحید نیز در همین راستا گفته بود «اگر همه جوانان از چنین مدرسی فارغ‌التحصیل شوند ایران به مملکت غربی بدل می‌شود که در آن هیچکس مهارتی برای کار کردن در جایی جز ادارات دولتی ندارد.» پیشگویی‌هایی که واقعیت آن امروز بر همگان معلوم و محرز شده است. البته شاه از این مشکلات آگاه بود. در جایی می‌گوید «نباید هر کسی که دیپلم می‌گیرد، خواه توانایی داشته باشد خواه یا نه، به صورت خودکار به دانشگاه برود و در آخر پشت‌میزنشین شود.»

ادامه همان روند برنامه اقتصادی با بحران مواجه می‌شد. تلاش می‌کردند تا ارزش اجتماعی کار یدی را بالا ببرند، اما ناموفق بودند

۴. روایت پایه‌ای: دانشگاه در دوره پهلوی

چنان که گفتیم تا پیش از تأسیس دانشگاه تهران در ۱۳۱۳، حکومت برای نیروی متخصص خود، دانشجویان را به کشورهای مختلف اروپایی از جمله انگلستان و فرانسه و آلمان اعزام می‌کرد. صرف‌نظر از هزینه سنگینی که این اقدام بر دوش دولت داشت، نحوه نظارت بر این دانشجویان نیز به تدریج معضلی شد. در ۱۳۰۵ دانشجویان اعزامی در آلمان «کمیته انقلابی جمهوری خواهی ایران» را تأسیس کردند. این کمیته تبلیغات و تظاهرات ضد شاهی را سامان داد. در ۱۳۰۸ حزب کمونیست ایران در آلمان تأسیس شد. این واقعات به شدت رضاشاه را مأیوس کرد. او به کابینه خود گفت: «به این گروه مردان جوانی نگاه کنید که با قلبی پر از امید به خارج فرستادیم و سال‌ها از شان پشتیبانی کردیم تا به میهنشان بازگردند و خدمت کنند. حالا که برگشته‌اند ... در چمدانشان برایمان بولشویسم سوغات آورده‌اند»

این عوامل باعث شد که در نهایت مقدمات طرح تأسیس دانشگاه تهران، با درخواست وزیر دربار، تیمورتاش، توسط عیسی صدیق که در رشته تعلیم و تربیت از امریکا فارغ‌التحصیل شده بود، به مرحله اجرا در آید. تأسیس دانشگاه تهران بلافاصله انتظارات عظیمی را برای پیشرفت آموزش در ایران به ارمغان آورد. اما از همان آغاز تلقی یکسانی از این مکان دانش وجود نداشت. مردم باور داشتند که دانشگاه تجلی تمام دستاردهای غرب است. خود صدیق که طراح اصلی آن بود اشاره کرده که «دانشگاه باید به عنوان اولویت اول خود بکوشد که پیشوایان و رؤسای قوم را بسازد و در وهله دوم در پژوهش و تحقیق وارد شود». افرادی نظیر حکمت، دانشگاه را مکانی برای تربیت نیروی انسانی ماهر می‌دانست، اما افرادی مثل سید نصرالله تقوی رییس دانشکده معارف و الهیات، دانشگاه را هسته ترقی فرهنگی می‌دانستند. اما در نهایت به نظر می‌رسید که همگان به پیشرفت از طریق این تأسیس باور داشتند و نمی‌دانستند که «ظهور دانشگاه‌های غربی علت پیشرفت نیست، بلکه خود معلول شرایط اجتماعی و رشد آنهاست.»

اما پیوند میان حکومت و دانشگاه به مانند دارالفنون، دانشگاه را بازچینه امیال خواسته‌های حکومت کرد و از همان آغاز استقلال و آزادی دانشگاه که شرط لازم حیات چنین نهادی بود، دستخوش دست‌اندازی مداوم حاکمان ایدئولوژیک شد. دانشگاه تهران در دوره رضا شاهی طوری مدیریت می‌شد که گویا یک اداره از وزارت فرهنگ است. استادان توسط وزارتخانه عزل و نصب می‌شدند و برای گرفتن حقوقشان باید شخصا به وزارتخانه می‌رفتند. علی‌اصغر حکمت هم‌زمان رییس وزارت فرهنگ و رییس دانشگاه تهران هم بود. شوربوختانه استادان دانشگاه از این یکی بودن مزایایی

می‌دیدند. آنها بر این باور بودند که اینگونه منافع دانشگاه تأمین و آزادی تضمین خواهد شد؛ این نیز یکی از عادات‌های نامبارکی است که در تاریخ آموزش عالی در ایران به شیوه‌های گوناگون تکرار شده است: پیوند مودت با فرد قدرتمندی در حاکمیت برای پیشبرد امر آموزش و پژوهش، سپری کردن دوره کوتاه ماه عسلی و بعد دوره طولانی ماه تلخی تن دادن به امر و نهی حاکمیت و نهایتاً ناکارآمدن شدن و از تاریخ درس نیاموختن و همچنان این چرخه عاطل و باطل را تکرار و «در این خیال که اکسیر کردن!» یکی از موارد در این زمینه که طنز تلخی است مربوط به دوره پس از رضاشاه است. با آزادی نسبی برقرار شده در دوره پس از شهریور ۱۳۲۰، استادان و مطبوعات با شدت و حدت علیه استقلال نداشتن دانشگاه‌ها داد سخن دادند. به عنوان نمونه در بخشی از سر مقاله کیهان در ۱۱ آذر ۱۳۲۱ آمده: «از همان روزهای اول برخی عناصر ارتجاعی و خودکامه در امور دانشگاه دخالت می‌کردند ... دانشگاهی که بنیان‌های آن هر روز با وزرایی که می‌آیند و می‌روند، به لرزه در می‌آید نمی‌تواند وظایف خود را به درستی انجام دهد. دانشگاهی که رئیس آن با تغییر هر دولتی تغییر کند ... نمی‌تواند بر اساس برنامه‌ای مؤثر و مناسب عمل کند.» طرفه آن که گام‌هایی واقعی برای تأمین خودمختاری دانشگاه من جمله ایجاد شوراهای دانشکده‌ها توسط علی‌اکبر سیاسی که هم‌زمان ریاست وزارت فرهنگ و ریاست دانشگاه تهران را بر عهده داشت، برداشته شد. اما همین شورای دانشکده‌ها که می‌بایست در راستای خودمختاری دانشگاه، رئیس جدید دانشگاه تهران را انتخاب می‌کردند، دوباره به خود سیاسی رأی دادند. خود سیاسی از شورا درخواست تجدید نظر کرد، اما شورا در رأی‌گیری مجدد، به بهانه این که ریاست او در این دو مقام، باعث مزایایی برای دانشگاه خواهد بود، دوباره به او رأی دادند و او به ناچار پذیرفت.

«مزایای» این تصمیم در دو دهه بعد خود را در دخالت‌های ناروای حاکمیت بر دانشگاه نشان داد. تمرکز قدرت در وزارت تازه‌تأسیس علوم در دهه پنجاه، باعث نقض اختیارات دانشگاه از جمله اختیار شروع، گسترش و تعطیلی مؤسسات آموزش عالی، اتخاذ سیاست جذب دانشجوی، معرفی رؤسای دانشگاه که توسط شاه معرفی می‌شد و برخی حتی هیأت علمی هم نبودند. مخرب‌تر از آن مداخله غیررسمی نهادهای امنیتی بود. در سال‌های آخر دوره پهلوی، بازرسی‌های شدید امنیتی توسط نیروهای امنیتی در ورودی‌های دانشگاه تهران اولین نشانه خارجی بود. با این تصور که دانشگاه یک محل حساس سیاسی است، امنیتی‌ها فقط ورود افراد مجاز (دانشجو و استاد و یا دارای اجازه‌نامه) را راه می‌دادند، بازرسی‌ها برای کشف اسلحه یا مطالب تبلیغاتی ضد رژیم بود. در روزهای حساس و سالگردها کامیون‌های سرباز و پلیس داخل و اطراف دانشگاه دیده می‌شد. به گفته یکی از ژنرال‌های ساواک، دفتر مخصوصی در ساواک به امور دانشگاه رسیدگی می‌کرد.

متمم اصلاحی چندین شورای جدید به آنها اضافه شد از جمله شورای مرکزی دانشگاه‌ها برای هماهنگی این شوراها، شورای پژوهش‌های عالی و سازمان امور جوانان. اما این شوراها در عمل هیچ نقش مؤثری نداشتند، عموماً منفعل بودند و سیاست‌های ابلاغی را تصویب می‌کردند. این شوراها نمی‌توانست تناسب رشته‌های مطالعاتی را ارزیابی کند، نمی‌توانست نیازهای کشور را در برنامه‌ها بگنجانند، درباره صلاحیت سرمایه‌گذاران خصوصی و اعضای هیأت علمی تحقیق و بررسی انجام نمی‌داد. درباره این کالج‌ها، تحقیقات نشان می‌داد بیشتر به هدف انتفاع تأسیس شده‌اند و در رشته‌هایی که نیازمند بودجه کمی هستند، متمرکز شده‌اند و همین عامل به هم خوردن توازن و تنوع در رشته‌های مختلف شده بود. از نظر این تحقیق رخ ندادن بحران به دلیل توسعه سریع اقتصادی بود که موقتاً توانسته بود شغل‌هایی تأمین کند. اما وقتی در سال ۵۶ رشد اقتصادی کاهش پیدا کرد، این فارغ‌التحصیلان کالج‌ها به معضلی بدل شدند. از سوی دیگر ارزش حقوق استادان مدام کاهش می‌یافت. اصلاحات حقوق و دستمزد اساتید به تأمین مالی دانشگاه گره خورده بود که با توجه به تغییرات اندک بودجه، علی‌رغم وعده‌ها عملی نمی‌شد و بر نارضایتی می‌افزود. و همین در تنزل کیفیت دانشگاه به لحاظ استخدام استادان خوب موثر بود. دیدگاه رایج این بود که منزلت اساتید به میزان قابل توجهی تنزل پیدا کرده است. در اواسط دهه ۵۰ به سختی استاد تک شغله پیدا می‌شد. پزشکان کلینیک خصوصی خود را داشتند. استادان دانشکده مهندسی شغلی در صنعت داشتند یا کسب و کار خصوصی خود، یا در کالج‌های پرشمار تازه تأسیس تدریس می‌کردند. استادان حقوق و علوم انسانی، یا دارای پست مدیریتی بودند یا کسب و کار خصوصی داشتند و یا نهایتاً در کالج‌ها تدریس می‌کردند.

تقاضای تحصیل به طور چشمگیری افزایش یافت. طبقات پایین، آموزش عالی را به چشم تنها راه نجات برای فرار از فقر و فلاکت می‌دانستند و دقیقاً در این نقطه تعادل عرضه و تقاضا شکست. کیفیت آموزش متوسطه طوری شده بود که در پایان حکومت شاه، دیپلم داشتن به تنهایی دیگر نمی‌توانست فرد را از «مزایای آن برخوردار کند.» اینطور بود که مدرک تحصیلی در ایران از قانون تورم پیروی می‌کرد. حال این فرد دیپلمه در آموزش عالی مزایایی می‌جست که با زحمتی که برای دیپلم کسب شده قابل جبران است. قبولی در دانشگاه برای دانش‌آموزان و خانواده‌ها در اواخر حکومت شاه به مهمترین مسأله تبدیل شده بود. موفقیت مدارس متوسطه به تعداد قبولی‌های در دانشگاه سنجیده می‌شد. خانواده‌ها به دنبال ثبت‌نام فرزندان‌شان در این گونه مدارس بودند. آدم‌های زیادی بودند که چندین بار پشت کنکور مانده بودند. در یک تحقیق دوره مورد نظر، ۲۶ درصد از داوطلبان گفته بودند که سه بار یا بیشتر پشت کنکور مانده‌اند. در اواخر حکومت شاه، سالانه دویست هزار دیپلمه در کنکور قبول نمی‌شدند، آرزوی دانشگاه بر باد می‌رفت و

برخی از خبرچین‌ها توسط مأموران پول دریافت می‌کردند، اما دانشجویانی هم بودند که برای تأمین شهریه همکاری می‌کردند. چندین خبرچین در هر دانشکده وجود داشت تا با تطبیق اطلاعات راستی‌آزمایی شود. دسترسی به دستگاه کپی آزاد نبود. استفاده از آن باید توسط مسئول مجاز تأیید می‌شد. با این روند چندان عجیب نیست که در چهار ماه آخر سلطنت شاه، چهار وزیر برای آموزش انتخاب شدند.

از منظر کمی آموزش عالی در دوران محمدرضا شاه، در سه دوره قابل بررسی است. نخست در دوره ۱۳۲۰-۱۳۳۲ که به دلیل مشکلات اقتصادی و بی‌ثباتی شاه تازه به قدرت رسیده، اقدامات عملی کمتری صورت گرفت. این بی‌ثباتی چنان بود که از ۱۳۲۰ تا ۱۳۲۶، عیسی صدیق وزیر آموزش پنج بار برای پست خود انتخاب شد و هر بار به مدت کمتر از پنج ماه بر سر کار بود. هر وزیری قبل از آنکه سیاستی را عملی کند، دوره وزارتش به پایان می‌رسید و هنگامی که دوباره باز می‌گشت با کارکنانی جدید روبرو بود که با طرح‌ها موافقتی نداشتند. در دوره دوم که از ۱۳۳۲ تا ۱۳۴۶ است، شاه با توجه به نظرات کارشناسان، جلوی رشد آموزش عالی را گرفت. او برای اولین بار در اعتراضات دانشجویی سال ۴۰ با نقش دانشجویان و استادان در وقایع سیاسی علیه خود مواجه شد و داستان مشابهی که در عهد ناصری و پهلوی اول رخ داد، برای شاهی که در حال تثبیت قدرت خود بود، نسبت به فعالیت دانشگاهیان بدگمانی برانگیخت. اما در دوره سوم از سال ۴۶ به بعد که دوره اقتدار شاه محسوب می‌شود، او دیگر دانشگاهیان را به چشم تهدید خطرناک نمی‌دید. در این دوره او دست به گسترش آموزش عالی می‌زند و طرح‌های اغلب از پیش موجود در شهرستان‌ها به بهره‌برداری می‌رسد. به موازات دانشگاه‌ها، کالج‌ها (یا همان مؤسسات غیرانتفاعی فعلی) نیز با رشد چشم‌گیری روبرو است و تعداد آنها از ۵۷ کالج در سال ۴۶ به ۲۳۱ واحد در ۱۳۵۵ رسیده بود. این کالج‌ها خصوصی بودند و با توجه به تقاضای فزاینده تحصیلات عالی، تجارت پرسودی بود. این کالج‌ها، برای کسانی بود که از رفتن به دانشگاه باز مانده بودند، اما همچنان در جستجوی نوعی دانشجو بودن و کسب مدرکی برای شغل بهتر بودند. توسعه اجتماعی و اقتصادی آن قدر سریع رخ می‌داد که بخشی از تحقیقات و مطالعه درباره توسعه آموزش عالی پیش از به نتیجه رسیدن از اعتبار، ساقط و بایگانی می‌شد. از یک سو مؤسسه تحقیقات و برنامه‌ریزی درگیر برنامه‌ریزی بلندمدت بود، اما کنفرانس‌های سالیانه آموزشی، سیاست‌های فوری را تدوین و اجرا می‌کردند و این دو در تضاد بودند. دخالت حکومت، ساز و کار دیوان سالاری را چون سرطانی در نهاد دانش گسترش می‌داد و انواع شوراها شکل می‌گرفت: شورای نظام آموزش، شورای هماهنگی دانشگاه‌ها، شورای تأسیس و توسعه و انحلال مؤسسات آموزش عالی، شورای رفاه دانشجویان و شورای آموزش روستایی که در

سودجویان و دلسوزانش، نگرانی‌های به حق و نابه‌حقی که در لحظه‌های آغازین تنها آینده‌ای مبهم و هنوز نانوخته بوده است، خود را به صورت ضرورت و تقدیر بر ما نمایان کرده است. باید درباره ضرورت خواست آموزش عمومی، نیت‌های پیدا و پنهانش، شیوه‌های صواب و ناصوابش، اهداف رسیده و نارسیده‌اش بیندیشیم

یکی از شیوه‌های مرسوم برای پی بردن به نیت‌های آغازین مفاهیم تاریخی، تأمل درباره واژگان برساخته آن مفاهیم است. برای مثال با مقایسه واژه «دانشگاه» در برابر «اونیورسیتیه» لاتین به تفاوت‌های فکری بنیانگذاران این دو نهاد پی می‌بریم. اونیورسیتیه، که ظاهراً از دو مفهوم لاتینی «استادیوم جنرال»^۱ «یونیورسیتاس»^۲ مشتق شده است [۱] بر دو مفهوم کلیدی «وحدت» و «اجتماع» تأکید دارد، از این رو در ذهن بنیانگذارانش اونیورسیتیه محل اجتماع دانشمندانی بود که منطق «وحدت در کثرت» بر روح این جامعه حاکم است. اما در ساخت واژه دانشگاه، نه خبری از وحدت هست و نه کثرتی و نه وحدت در کثرتی. نظریه قصدیت بر ما روشن می‌کند، که ساده‌انگاری است اگر گمان کنیم واژه‌ها صرفاً نشانه‌هایی خنثی برای نامیدن واقعیت‌ها هستند، و اگر در ابتدا به جای دانشگاه، فرضاً از کلمه «باهاماد» هم استفاده می‌کردیم، تغییری در وضع تاریخی این نهاد رخ نمی‌داد. بلکه باید گفت، از آنجا که واژه دانشگاه بدون هیچ بحثی میان نخبگان پذیرفته شده، یعنی که بنیانگذاران این نهاد اصلاً به ماهیت این نهاد در غرب واقف نبوده‌اند، و گرنه واژه‌ای که هیچ نشانی از منطق ماهوی اونیورسیتیه در آن نیست را به صرف فارسی سره بودنش بر پیشانی این نهاد نمی‌نهادند، و چون چنین نیست، فلسفه وجودی آن نیز ماهیتاً گنگ و بدون اصالت باقی می‌ماند. یک متفکر غربی هرگاه احساس کند که اونیورسیتیه‌ای که با آن سر و کار دارد، به نحوی دچار بحران است، می‌تواند همواره به آغازها بازگردد و معنا و ذات دانشگاه را به معاصرانش یادآوری کند و خواهان اصلاح امور باشد، اما درباره دانشگاه در ایران داعیه استقلال و آزادی دانشگاه، چنان که در مثال‌های تاریخی دیدیم دال تهی از معناست، زیرا دانشگاه چنین معنایی را به خود حتی در آغاز خود-چنان که دیدیم- به خود ندیده بود. از این رو می‌توان گفت اساساً برقراری شباهت میان نهاد دانشگاه در ایران و اونیورسیتیه در غرب، خطاست و میان این دو تفاوت ماهوی وجود دارد که به سادگی قابل ترمیم نیست، زیرا هر نهادی، تاریخ خود را نیز با خود حمل می‌کند و قصدیت‌های آغازین نسل به نسل به صورت عادت‌های رفتاری و کرداری تکثیر می‌شود. بررسی واژه دانشگاه می‌تواند نکات دیگری را هم به ما بیاموزد. برای مدت‌های مدیدی علم در ایران مجموعه علوم متعینی بوده که حتی علوم تجربی‌اش همچون طبیعیات هم تجربه کردنش در زمانی ازلی صورت پذیرفته بود و دیگر به شکل متقن آموزش داده می‌شد و عالم و علامه کسانی بودند که هر چه

چون برای کاری آموزش ندیده بودند و دیپلم دیگر برای استخدام کافی نبود، این محرومیت خودشان و خانواده‌شان را دچار عصبانیت می‌کرد و بر خشم علیه رژیم شاه می‌افزود. صدیق به شاه گفته بود که خطر فارغ‌التحصیلان متوسطه‌ایی که در کنکور رد شده‌اند به نسبت بسیار بیشتر از خطر فرضی مخالفت‌های دانشجویان و فارغ‌التحصیلان است. این جوانان بیکار به صف مبارزان علیه شاه در می‌آمدند. بیشتر طرفداران نظریه تضاد در آموزش و کارشناسان هشدار داده بودند که آموزش در شرایط خاصی به جای استحکام سیاسی دولت باعث تهدید می‌شود. اعتراضات و آشوب‌های دانش‌آموزی از مهر ۱۳۴۹ از جایی آغاز شد که وزارت آموزش برای افزایش استاندارد مدارس متوسطه، تصمیم به برگزاری آزمون‌های ورودی گرفت که با اعتراض دانش‌آموزان بعداً مجبور به عقب‌نشینی شد. پیوستن دانش‌آموزان به اعتراضات منتهی به سال‌های ۵۶ و ۵۷ نیز بخشی مربوط به این بن‌بست مسیر -زندگی در صورت راه نیافتن به دانشگاه- بود. قانون‌هایی که همگی با نیت‌های خیری از سوی حاکمیت به تصویب می‌رسید، با واکنش‌های اعتراضی مواجه می‌شد، زیرا قانونگذار در شتاب همیشگی‌اش به همه جوانب آن برای اجرای طرح‌ها فکر نکرده بود. برای مثال اجبار به کار در ازای شهریه رایگان دانشگاه که قانون مصوب ۱۳۵۵ بود، در نهایت باز هم باعث نارضایتی شد. هم فقرا و هم ثروتمندان از جنبه‌های مختلفی ناراضی بودند. زیرا در آن سال‌ها، فرصت‌های شغلی بهتری در بخش خصوصی فراهم شده بود که دیگر مشاغل دولتی در اولویت نبود. دولت تأثیر چنین تغییری را در ترجیح شغلی نادیده گرفته بود. از سوی دیگر با توجه به بالا رفتن قیمت نفت و درآمد نفتی جدید، دانشجویان حق آموزش رایگان بدون هیچ قید و شرطی را برای خود مسلم می‌دانستند. به طرز شگفتی قانون که بیشتر برای حمایت طبقه پایین بود، نارضایتی بیشتری در آنها به همراه داشت. زیرا شهریه‌ها بالا رفته بود و اینها دیگر به شخصه امکان پرداخت شهریه نداشتند و در ضمن گمان می‌کردند طبقات بالا به نوعی می‌توانند از زیر اجبار تعهد شانه خالی کنند و عملاً دست آنها در پوست گردوی دولت است. حق هم داشتند، زیرا در نهایت هر چقدر طبقات پایین می‌کوشیدند با تحصیل و گرفتن مدرکی خود را بالا بکشند، طبقات مرفه، با داشتن مدارک بالاتر و دانشگاه‌های معتبرتر بین خود و آنها فاصله می‌انداختند. و این حکایت از آن داشت که در هر صورت صرف تحصیلات برای منزلت شرط کافی نبود، اگر که لازم بوده باشد.

۵. نتایج و قضایا

بحران کنونی آموزش، یک بار دیگر بحثی را درباره آغازها طلب می‌کند. زیرا آغازها به ما می‌آموزد که مسیر طی شده تنها یک مسیر از میان فراوان بدیل‌های ممکن بود که در میان بحث‌های داغ و جنجالی موافقان و مخالفانش، خوشبینان و بدبینانش،

حکومت منطق سلسله‌مراتبی و فرمان دادن و فرمان بردن است. دیوان‌سالاری مکانیسمی است که حکومت‌ها می‌توانند بدون اعمال زور مستقیم، فرمان خود را تا دور دست‌ترین کرانه‌های حاکمیت خود اعمال کنند. اما منطق دانشگاه چنان که گفتیم و چنان که باید، منطق وحدت در کثرت و کثرت در وحدت است. این نهاد جای فرمان بردن و فرمان دادن نیست؛ اندامواره است. از این رو دانشگاه سازمان نیست، این خطا که نهاد دانشگاه را سازمان پنداشتن، چنان در اذهان مدیران دانشگاهی نهادینه شده است که اصلاً به آن لحظه‌ای شک نمی‌کنند، چنان که علی‌اکبر سیاسی می‌پنداشت. هر چند در سخنرانی آخر خود در شورای دانشگاه در فروردین ۱۳۳۳ که به قولی وصیت‌نامه او بود، گفت که «دانشگاه را از سیاست دور نگه دارید.» اما بلافاصله تناقض‌گویی خود را آشکار می‌کند: «بی‌هیچ شکی برای من آشکار است که این سازمان فقط وقتی می‌تواند مستقل باشد و در رویارویی با هر رویداد یا توسعه‌ای سر پای خود بایستد، که همواره از سیاست دوری کند و تمام تلاش‌های خود را وقف پژوهش کند.» [۵] کاش کسی آنجا به او می‌گفت که میان «سازمان بودن» و «وقف پژوهش شدن» تناقض است، هر چند چنین انتظاری از کسانی که او را در عین داشتن سمت وزارت دوبار به ریاست دانشگاه برگزیدند، انتظاری بیهوده بود. سازمان‌ها به ناگزیر نیازمند ارزیابی عملکردی برای بودجه‌بندی سالانه خود هستند. از این رو زمان سازمانی با زمان پژوهشی از دو منطق متفاوت پیروی می‌کند. اولی بوروکراتیک و ثابت است، دومی ارگانیک و متغیر است. از این رو مشکل گزارش‌های آماری سازمانی این است که در گزارش‌های سالیانه همیشه ضروری است که آمارها در جهت پیشرفت باشد؛ چون هنر این آمارها این است که منحنی‌هایی را پیدا کنند که عملکردی را صعودی نشان می‌دهد. از این رو در دراز مدت منطقی تصنعی و ریاکارانه بر آن «سازمانی» که به قول سیاسی «خود را وقف پژوهش می‌کند» حاکم خواهد شد که نمودارهای بولتنی نشان از دستاوردها و پیشرفت‌ها در فتح قله‌ها را دارد، اما سقوطش بر همگان آشکار است.

از آنجا که در چنین سیستمی، سیاست‌های آموزشی و پژوهشی ابلاغی و از بیرون صادر می‌شود، بنابراین رشد و افول آن نه تابع منطق درونی علم، بلکه تابع تصمیمات سیاسی پارامترهایی است که به انگیزه‌های علمی افراد شدیداً لطمه می‌زند و چنین است که با فراز و فرود حاکمیت، نهاد دانش هم بلاتکلیف و سرگردان می‌ماند تا منتظر چرخ حوادث باشد، تا دوباره ساز و کار جدیدی بر آن حاکم شود و این خود باعث تجدید آرایش‌های سیاسی و نه علمی در نهاد تصمیم‌گیری است. از این رو مقوله «احترام علمی» ذیل «احترام حکومتی» قرار می‌گیرد و از سلسله‌مراتب اداری ناشی می‌شود. از آنجایی که این نهادها بدون حمایت حکومت‌ها، یک‌شبه

بیشتر از این علم متقن بهره‌مند بوده باشند. همان طور که در لفظ «دانشمند» هم این وجه مستتر است. اما آنچه در Scientist برجسته است، دارا بودن نیست، بلکه بر فعل و فاعلیت شخص دلالت دارد. اما در افعال مربوط به واژه «دانش» هیچ فاعلیتی دیده نمی‌شود و این نشان از آن دارد که دانش جدید بر منطق دانش قدیم در ایران فهم، پیگیری و اجرا شد و همین سبب‌ساز عدم پرورش مناسب افراد در این راه شد. نظام مدرسه و دانشگاه همچنان بر اساس منطق قدیم یادگیری مطالب فراوان با کارایی مشکوک است که در غیاب ارزیابی درست از توانایی و استعداد دانش‌آموزان، به شیوه مضر و آسیب‌زای از بر کردن می‌رسد که در نهایت بی‌ثمری آن بر همگان محرز شده است. زیرا هنوز که هنوز است، ماهیت نامتعیّن علم جدید نتوانسته است به شیوه درستی به محصلان آموزش داده شود، همان طور که هیچ زبان‌آموزی بدون فهم خاصیت «ترکیبی»^۱ زبان - یعنی قابلیت ترکیب حروف برای ساخت کلمه و معنا - و به صرف یادگیری جملات و کلمات، سواد خواندن و نوشتن و زبان دوم را نمی‌آموزد، زیرا حافظه انسان برای چنین شیوه‌ای مناسب نیست و بعد از مدتی از یادگیری باز می‌ماند. علم جدید را نیز نمی‌توان به شیوه علم قدیم آموخت، بلکه باید ماهیت «ترکیبی» آن را شناخت و آموزش داد تا شاگردان «سواد» بیاموزند. و طرفه آنکه هر مدرسه و دانشگاهی در ایران چه آنها که «پرورش استعدادهای درخشان» بودند و چه آنها که «هوشمند» شدند، همه بر همان خط جهالت گذشتگان پیش رفته‌اند.

از نیت‌های پنهانش به شیوه‌های ناصوابش می‌رسیم. مهمترین دلیل این که دانشگاه علی‌رغم آرزوی بنیانگذاران صدیقش، در تحقق همان نیت‌های بی‌اصالتش ناکام مانده - و این نهاد دانش برای ما نه گاهواره دانش شده و نه گاهنامه دانش - این است که همواره میل حاکم بر میل عالم ارجح بوده است. این میل از آنجا که ماهیتا مقاصدی دارد که کمتر با ماهیت علم همسو است، همواره نهاد دانشگاه را پس از مدتی دچار بحران می‌کند. یکی از خصلت‌های آسیب‌زای این میل حاکمان این است که خواستار تحول در کوتاه‌ترین زمان است، زیرا هر حاکمی خواهان افتخاری است و خود را همواره با پادشاهان تاریخی ایران مقایسه می‌کند و خواهان جای گرفتن در صفوف نخست است. رضاشاه به گودار^۲ معمار دانشگاه تهران گفته بود که در کار شتاب کند چون «ما برای پایان یافتن این پروژه‌ها واقعا عجله داریم.» [۵] دومین خصلت این میل، ایدئولوژی‌های هویت‌بخش حاکمان است که دوره به دوره رنگ عوض می‌کند و این برای دانشگاه که می‌باید سامان حقیقت و سامان سخن گفتن از حقیقت باشد، زیانبار است. در ادامه اختصاراً به دلایل زیانبار بودن این دو اشاره می‌کنیم.

دخاله حاکمیت در نهاد دانشگاه زیانبار است زیرا منطق وجودی دانشگاه با منطق وجودی حکومت تفاوتی بنیادی دارد. منطق

در فضای فرهنگی روسیه برانگیخت که حاصلش همان ادبیات درخشان قرن نوزدهمی روسیه شد. پرسش‌های آنان قاعدتا باید پرسش‌های ما نیز بوده باشد، اینکه ما کیستیم و در برابر جهان جدید چه گونه می‌خواهیم بر جا بمانیم.

دومین آسیب جدی دخالت حاکمیت در نهاد دانش، ایدئولوژیک شدن آن است. زیرا به دلیل ساختار سخت ایدئولوژیک و نظارت دائمی حاکمیت، نهاد دانش به تدریج ارتباط خود را با واقعیت که همواره منعطف و در حال تحول است از دست می‌دهد. دانش‌آموز و دانشجو واقعیاتی را زیست می‌کند که ارتباطی با محتوای آموزشی خود نمی‌بیند و به مرور نسبت به معلمان و استادان بی‌اعتماد و بی‌اعتقاد می‌شود. چنین آموزشی چیزی جز اتلاف و سرکوب استعدادهایی نیست که می‌توانستند خود را در شکل‌های متنوع زندگی پرورش دهند. چنین آموزش عمومی‌ایی به رفتار آن راهزن غول‌پیکر^۲ در اسطوره‌های یونانی می‌ماند که رهگذران در راه آتن را به مهمانی به خانه خود می‌کشاند و آنان را بر روی تختی می‌خواباند و اگر پایشان از تخت درازتر بود، پا را می‌برید و اگر پاها کوتاه‌تر بود، پاها را آنقدر می‌کشید تا به اندازه تخت برسد.

این ایدئولوژی‌های هویت‌بخش از آنجا که همواره نیاز به ضدی هم دارند تا تعریف شوند در نهایت بر منطق ستیزه استوارند و گرفتار پدیده «چرخه بازخورد^۳» و «پیشگویی‌های تلقینی^۴» می‌شوند. رابرت مرتون^۵ کاشف این پدیده، مثال معروفی دارد و آن دانش‌آموزی است که نگران قبول نشدن در امتحان است و مدام وقت خود را به جای آمادگی در درس، به اضطراب عدم قبولی و مکافات بعد از آن می‌گذراند، اتفاقاً چون در امتحان هم قبول نمی‌شود، گمانش را بر پیش بینی درست خود می‌گذارد و نه عدم تلاش خود. [۱۱] حاکمان ایدئولوژیک چون بر اساس این ستیزه و ضدیت مدام نگران آشوب و جنگی هستند که در آینده رخ خواهد داد، دست به اقداماتی می‌زنند که اتفاقاً آنها را در مسیر آشوب و جنگ خواهد برد، در حالی که اگر از چنین منطقی پیروی نمی‌کردند، چه بسا به گونه‌ای دیگر رفتار می‌کردند و گرفتار جنگ نمی‌شدند. در مورد ایدئولوژیک کردن آموزش، مورد آلمان نیز به دلیل شباهتهایی با تجربه ایران، قابل تأمل است. تا پیش از اتحاد آلمان توسط بیسمارک، مدارس و دانشگاه‌های ایالت‌های مختلف تا حد زیادی خودمختار بودند و حکومت‌هایی همچون پروس یا هانوفر در امر آموزش دخالتی نداشتند اما با تأسیس کشوری به نام آلمان به رهبری بیسمارک و گسترش نظام آموزش عمومی اجباری در کل آلمان، مفاهیمی همچون هویت ملی، وفاداری به وطن، اطاعت از دولت، به ارزش‌های بدل شد که حکومت تازه تأسیس آلمان، این ایدئولوژی ناسیونالیستی را با دخالت در برنامه‌های درسی، در آموزش مدارس گنجانده نظرات

فرو می‌ریزند، بنابراین در قبال بودجه اندکی که حاکمیت در اختیار طبقه نخبه دانشگاهی قرار می‌دهد، قادر به اقدامی نیست و باید بسوزد و بسازد، زیرا در نهایت حاکمیتی که درآمد خود را از پستان دایه نفت می‌دوشد و نه از پژوهش‌های ISI-نشان، دانشمندان نیازی به پر و بال دادن به طبقه‌ای ندارد که میزان وفاداری‌اش به حاکمیت همواره مورد تردید بوده است. از این رو نظام آموزش عالی به دلیل نداشتن قدرت خود-بنیاد هیچگاه نقش تعیین‌کننده‌ای در تحولات نخواهد داشت و شکاف هر دم فزاینده‌تری با نامی که یک می‌کشد، پیدا خواهد کرد. در این باره مثال تاریخی روسیه قابل تأمل است. کشور روسیه نیز در مواجهه با مدرنیته غربی، در راه‌هایی گام برداشته که برای ما آشنا می‌نماید. نخست شیوه فرمایشی مدرن‌سازی روسیه در زمان پتر کبیر خاصه در بحث علم جدید، نتوانست زمین بایر روسیه را برای بذره‌های تازه علم بارور کند، و حتی ساختن فرهنگستانی نظیر آنچه در فرانسه بود و آوردن بزرگترین دانشمند زمان، اوپلر^۱ نیز گرهی از کار فروبسته روسیه نگشود، چنان که داستایوسکی در میانه قرن نوزدهم در این باره گفت: «تا امروز علم با جامعه ما پیوند نخورده است و فقط گل تزئینی و گران‌قیمتی برای ما بوده است. جامعه ما تا به حال نه در تئوری دستاورد خاص و ویژه علمی‌ای داشته است و نه در عمل، که از غیبت حلقه وصل‌کننده‌ای میان خاک وطن و علم نشات می‌گیرد. به همین خاطر، در شرایط ضعیفی قرار داشته و دارد. این فقط خزانه بوده است که جاده و پل درست کرده است. آن هم در بیشتر موارد به لطف مهندسان وارداتی. اما علم در نهایت با ساقه وطن پیوند خواهد خورد. همه این فرایندها تکمیل خواهند شد، شاید زمانی که ما دیگر روی زمین نیستیم. ما حتی نمی‌توانیم حدس بزنیم که در آن زمان چه اتفاقاتی خواهد افتاد و چه چیزهایی پدید خواهد آمد، اما این را می‌دانیم که زیاد هم بد نخواهد بود. سهم نسل ما بخشی از گام اول و سخن اول خواهد بود» [۱۰]

در این راه نخست باید انسان روسی پس از صد و اندی سال تقلید بیهوده، تن سپردن به تشریفات اداری، وقت تلف کردن و ناکام ماندن، همزمان در تلاش صادقانه برای فهم خویشتن، و عریان کردن خویش از همه رذایل و فضایلش می‌کوشید تا سرانجام روح روسی از ایمانی نو دوباره لبریز شود و همین ایمان نو بود که منشأ آن همه تحولات در قرن بیستم، خاصه در علم و دانش شد. داستایوسکی به درستی بر شرایط چنین تحولی اشاره می‌کند. بر خلاف برنامه‌ریزی‌های مصنوعی مدیران، تحولات بزرگ بدون برنامه رخ می‌دهند و دوم اینکه آرام رخ می‌دهند و سوم اینکه با خاک وطن پیوند می‌خورد. برای شکوفایی علمی دانشمندان روسی، به مدت صد و اندی سال از پوشکین تا چخوف بر سر این که انسان روسی چیست و چه می‌خواهد، مجادلات و تأملات فراوانی

1. Euler
2. Procrustes
3. Feedback Loop

4. Self-fulfilling Prophecy
5. Robert Merton

یعنی یک بدنه قدرتمند اما صرفاً متکی به خود او. همین نقطه ضعف چنین حکومت‌هایی است، زیرا درست در وقت بحران که شاه به کمک این طبقه نیاز داشت، آنها توانایی کمک به او را نداشتند. در اینجا بود که مشخص شد نسبت به نخبگان مدرن که در پوسته تحصیلات مدرن اما سطحی فرو رفته بودند، روحانیون از قدرت و نفوذ بسیار بیشتری بر مردم برخوردار بودند. این نشان می‌داد که مردم در اعماق از این روند سکولاریزاسیون پرشتاب ناراضی هستند و چاره بی‌چاره‌شان را در همان ارزش‌های دینی و سنتی می‌جستند.

اکنون قریب دو قرن از آن تاریخ حیرت‌مهبیب گذشته است، که گر چه پر از هیاهو بوده است اما به عبارتی «دو قرن سکوت» بوده است. در نبرد استعاره‌ها در عصر مشروطه میان «بیداری ایرانیان» و «عقب‌ماندگی ایرانیان» دومی دست برتر را پیدا کرد. این استعاره ناگهان ما را از آن «از خودراضیان بی‌تفاوت» به خودباختگانی بدل کرد که مثل آن دانش‌آموز مثالی مرتون، همواره در اضطراب شکست، در مسیر شکست قدم برمی‌داشت. علاوه بر آن این استعاره به همراه خود مفهومی از «پیشرفت و توسعه» را ملازم تصمیمات مدیران کرد که خطایش هر چه بیشتر گذشت، بیشتر نمایان شد و ثمره‌اش برای ما «چند تن خواب‌آلود» این «میهن‌انخانه» مهمان‌کش روزه تاریک» چیزی جز از این دنده به آن دنده شدن در این غوغا نبوده است. پس چه باید کرد؟

عملاً دو راه پیش روی مانده است. راه نخست که راه همیشگی این تمدن بوده است. راهی که می‌توان آن را زیست تجربی دانست. زیرا اگر که در نهایت مسئله اصلی زیستن بر این خاک اجدادی است، ایرانیان که همچنان بزرگترین ملت آری‌گو به زندگی هستند، پس آن زندگی را هم به شیوه‌ای تجربی می‌آموزند. این فرهنگ تنها آن چیزی را درونی می‌کند که به کارش بیاید و هر چه را معده تاریخی‌اش نپسندد، در نهایت تف می‌کند. او با ذائقه قوی‌اش خوب فهمیده است که علم مدرن به قول نیچه، «پنهانی‌ترین همدست آرمان زهد» [۱۳] یعنی نه‌گویی به زندگی است و در نتیجه ناخودآگاه ایرانی گره از کار فروبسته خود را به او نسپرد. این تمدن بر عکس حاکمان عجولش آنقدر صبور است که اجازه می‌دهد هر تازه از راه رسیده‌ای هر چه خواست دستور بدهد و امر و نهی کند، نسل‌هایی را قربانی برنامه‌های دو روزه‌اش کند. همه آن ایدئولوژی‌هایی که روزی «سخت و استوار» بودند، به قدر دو نسل، «دود می‌شوند و به هوا می‌روند». این تمدن خاموش بدون ترسی، نظاره می‌کند تا دوباره از بسترش ویرانه‌ای دیگر از یاد‌های سینه‌اش جوانه بزند.

کنت دوگوبینو^۳ که سه سال در ایران ماند و از نزدیک با این خصلت روح ایرانی آشنا شد، در عباراتی این وجه خوب و بد را

فراوانی از سوی سیاستمداران آن زمان حتی لیبرال‌هایی همچون یولیوس فروبل^۱ در تأیید آن وجود داشت: «ملت آلمان از اصول و آموزه‌ها، عظمت ادبی و نظریه‌های وجودی خسته شده است. آنچه که آنها خواستار آن هستند، قدرت، قدرت، قدرت است، و هر کس که به آنها قدرت بدهد، برای او ارزش و افتخاری فراتر از حد تصور قائل خواهند شد.» [۱۲] اگر که آموزش عمومی یکی از مؤلفه‌های مهم در ساختن جهان جدید بوده، نمی‌توان تأثیرات چنین آموزشی را در تغییر چهره آلمان و نهادینه کردن این خواست قدرت در اذهان محصلانش نادیده گرفت. پیامدهای آن در طی دو نسل در جنگ‌های جهانی که آلمان آغازگرش بود و برآمدن فجایی که آلمان نازی رقم زد، آشکار شد.

در نهایت می‌رسیم به هدف‌های بی‌ثمرش که از آن رو بحران‌ساز است که برای جامعه رؤیاهای کاذبی می‌سازد که به وقتش حباب آن در ذهن فرد می‌ترکد. خود را در سنی می‌بیند که عجلالتا باید گذران زندگی و فکر معیشت باشد و از سوی دیگر برای فعالیت‌های مولد اصلاً آرموده نیست. از این رو کارمندپروری و دلال‌پروری دو عارضه شوم چنین آموزش عمومی ناموفقی است که صف ناراضیانش تهدیدی برای حاکمیت خواهند شد و بدتر از آن نسلی به وجود می‌آورد که نه مولد ثروت است و نه مولد خلاقیت و تحول. از این رو چنین جامعه‌ای همواره در چرخه باطلی در باتلاق خود فروتر می‌رود و بی‌معناتر و هویت‌باخته‌تر می‌شود. جیکوبز^۲ در تحقیق خود در دهه ۴۰ درباره پیامدهای آموزش نوین در ایران با لحنی صریح چنین نتیجه گرفته است:

«نظام کنونی آموزش ایران خط تولید مردان تحصیل‌کرده‌ای است که اساساً هر چند با وجود استثنائاتی، جانورانی سیاسی بیش نیستند که خوب چاکری اهل قدرت را بلدند، کسانی که دوست دارند که بیش از آنکه عمل کنند، حرف بزنند، از اینکه خود تصمیم بگیرند متنفرند، موجوداتی که فایده‌گرا نیستند، هدفی ندارند، نمی‌توانند در شرایط بحرانی به طور کارآمد عمل کنند، کسانی که الزاماً نمی‌فهمند که زیر بار چه چیزهایی رفته‌اند و چه چیزهایی را امضا کرده‌اند و از مسئولیت‌های خود عاجزند ... در نهایت کسانی‌اند که از پایه نامطمئن و در نتیجه غیرمولد و بی‌فایده‌اند. خلاصه بگویم آنها دقیقاً نقطه مقابل تحصیل‌کردگانی هستند که قادر باشند یک نظام اقتصادی عقلانی و خودکفا را پدید آورند و توسعه دهند.» [۵]

مناشری نیز در پایان تحقیق خود چنین نتیجه می‌گیرد:

«در دوره شاه این تحصیلات مدرن نه تنها خطی میان نخبگان و انبوه مردم می‌کشید، بلکه قسمتی از نخبگان سنتی که به تشکیلات دینی وابسته بودند را نیز به انزوا می‌کشید. این طبقه نخبه جدید، نتوانست خود را در بدنه زنده مردم جای دهد و در نتیجه بدون پشتوانه واقعی ماند. این چیزی بود که شاه می‌خواست،

1. Julius Fröbel
2. Norman Jacobs

3. Arthur de Gobineau

ادبیات سامان داده است؛ فیلسوف بزرگش، سهروردی، داستان‌گوی بزرگی است و خیام ریاضیدانش، شاعر بوده است. او به این نکته واقف بود که این فرهنگ آگاهانه مکتوبات تاریخی‌اش را توسط بزرگانی چون بلعمی، بیهقی، جوینی صورتی ادبی بخشیده است، سیاستش را وزیران فرزانه‌اش در کلیله و دمنه و اصول تربیتش را در *مرزبان‌نامه* گرد آورده و حتی آنگاه که دست به تفسیر قرآن زده است، متنی ادبی چون تفسیر عتیق نیشابوری آفریده است.

فروغی در مقدمه *گلستان چین* می‌گوید: «سعدی مانند فردوسی و مولوی و حافظ نمونه کامل انسان متمدن حقیقی است که هر کس باید رفتار و گفتار او را سرمشق قرار دهد. اگر نوع بشر روح خود را به تربیت این رادمردان پرورش می‌داد دنیا که امروز جهنم است، بهشت می‌شد. آثار این بزرگواران خلاصه و جوهر تمدن چند هزارساله مردم این کشور است و ایرانیان باید این میراث‌های گرانبها را که از نیاکان به ایشان رسیده است قدر بدانند و چه خوب است که هر ایرانی آن‌ها را در عمر خود چندین بار بخواند و هر چه بیشتر بتواند از آن گوهرهای شاهوار از بر کند و زیب خاطر نماید. معلوماتی را که از آن‌ها به دست می‌آید همواره به یاد داشته باشد و به دستورهایی که داده‌اند رفتار کند که اگر چنین شود ملت ایران آن ملت متمدن حقیقی خواهد بود که در عالم انسانیت به پیشقدمی شناخته خواهد شد.»

پس اگر که می‌خواهیم بار دیگر در وطن منزلی نو بنا کنیم، باید از نو در زبان منزل کنیم و برای چنین منزل‌گزینی، باید نخست به آن طبیبان واقعی یعنی به آن حکیمان، ادیبان و شاعران بزرگ رجوع کنیم.

چنین توصیف کرده است: «همان طور که ماهیت میهن‌پرستی ایرانی مافوق یا به قول بعضی‌ها مادون هرگونه تغییرات سیاسی قرار دارد، ولی در هر حال قادر است، بدون از دست دادن موجودیت بالقوه‌اش همه آزمایش‌ها را تحمل کند و از سر بگذراند. در امور مذهبی نیز ایرانیان در نتیجه برخوردهای شگفت‌انگیزی که با عقاید جزمی داشته‌اند، انبوه بسیار عظیمی از عقاید مزبور را در مغزهایشان انباشته‌اند که هیچکس قادر به تخلیه و پاکسازی آن نیست و همیشه مانع خواهد شد که یک عقیده واحد و کامل در این سرزمین مستقر شود. این کشور شباهت به باتلاق بزرگی دارد که هیچ پایه چوبی مستحکمی را نمی‌توان در آن فرو کرد، ولی برعکس می‌تواند هر بنایی را که روی آن بسازند، در اعماق خود فرو برد.» [۱۳]

اما راه دوم راه بیداری و نوزایی است که محمدعلی فروغی آن را در مقام آموزگار همچون وصیتی ذکر کرده است. اهمیتش صدچندان است، چرا که در بحبوحه جنگ جهانی دوم نوشته شده است و در زمانه اشغال فرانسه «مهد تمدن» به دست آلمانی که قرار بود متخصصان در آبادانی ایران ما سهیم باشند. این تناقض‌ها از چشم بزرگمردی همچون فروغی پنهان نمانده بود و او شاید در آخرین سال‌های عمرش به خوبی می‌دید که چگونه برنامه‌های آموزشی چنان که باید نتیجه مطلوب نداده است، زیرا آنچه باید در کانون آموزش حقیقی قرار بگیرد انسان است و این مهم تنها به دست ادبیات و پیوندی حقیقی با سرمایه‌های معنوی آن امکان پذیر است. تلخ آنکه این وصیت آن بزرگوار همچنان پس از گذشت قریب یک قرن بر زمین مانده است، و دنیا نیز همان جهنمی هست که بود. او به خوبی می‌دانست که این فرهنگ همه چیز را حول

منابع

۱. فراستخواه، مقصود، گاه و بی‌گاهی دانشگاه در ایران، آگاه، ۱۳۹۵
۲. داوری اردکانی، رضا، *تعلیم و تربیت در ایران*، انتشارات سخن، ۱۳۹۰
۳. یغمایی، اقبال، *مدرسه دارالفنون (۵)*، مجله یغما، سال بیست و دوم، شماره ۱۰، ۱۳۴۸
۴. مهرجویی، داریوش، هامون (فیلم)، تهیه‌کننده: داریوش مهرجویی، هارون یشایایی، ۱۳۶۸
۵. مناشری، دیوید، *نظام آموزشی و ساختن ایران مدرن*، ترجمه: محمد حسین بادامچی، عرفان مصلح، نشر سینا، ۱۳۹۷
۶. ژوبر، پ.ا، *مسافرت به ارمستان و ایران*، ترجمه: محمود مصاحب، علمی و فرهنگی، ۱۳۹۵
۷. مستوفی، عبدالله، *شرح زندگانی من؛ تاریخ اجتماعی و اداری دوره قاجار*، نشر هرمس، ۱۳۹۹
8. Foucault, Michel, *On Power*, (1981), <https://michel-foucault.com/2013/01/22/michel-foucault-le-pouvoir-video-interview>
۹. افلاطون، پنج رساله: پروتاگوراس، ترجمه: محمود صناعی، هرمس، ۱۳۸۲
۱۰. داستایوسکی، فتودور، *تأملات و مجادلات*، ترجمه عبدالمجید احمدی، نشر برج، ۱۴۰۰
11. Merton, R. K. (1968). *Social Theory and Social Structure* (Enlarged ed.). New York, NY: The Free Press
۱۲. هافنر، زباستیان، *از بیسمارک به هیتلر (نگاهی به تاریخ امپراتوری آلمان)*، ترجمه: سیدامین‌الدین ابطحی، نشر پبله، ۱۴۰۰
۱۳. نیچه، فردریش، *تبارشناسی اخلاق*، ترجمه داریوش آشوری، نشر آگه، ۱۳۹۵
۱۴. دو گوینو، کنت، *سه سال در آسیا*، ترجمه عبدالرضا هوشنگ مهدوی، نشر قطره، ۱۳۸۳
۱۵. فروغی، محمدعلی، *گلستان سعدی*، انتشارات ققنوس، ۱۳۹۷

بحران آب در ایران، تقسیم مسئولیت‌ها میان دولت و مردم

اسکندر زند

استاد، موسسه تحقیقات گیاه پزشکی کشور، تهران، ایران

فرشته بنوخته

گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران

eszand@yahoo.com

نامه علوم پایه شماره ۱۵، بهار و تابستان ۱۴۰۴

چکیده

در دهه‌های گذشته، نظام مدیریت آب در ایران دگرگونی عمیقی را تجربه کرده است. تا پیش از تمرکزگرایی اداری در نیمه قرن بیستم، حکمرانی آب عمدتاً بر پایه نهادهای محلی و سازوکارهای عرفی همچون میرآبی، تقسیم سنتی آب قنوت و شوراهای روستایی استوار بود؛ ساختاری که حاصل چند هزار سال تجربه زیسته جوامع بومی در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور بود. با گسترش دولت مدرن و شکل‌گیری سازمان‌های متمرکز در حوزه آب، این الگوی مردمی جای خود را به مدیریتی دولتی داد که با وجود دستاوردهای فنی، به تدریج فاصله‌ای میان دولت و جامعه در تصمیم‌گیری‌های آبی ایجاد کرد. امروز بحران آب در ایران، تحت تأثیر اقلیم خشک، توسعه ناپایدار کشاورزی، رشد جمعیت و ضعف در مدیریت تقاضا، به یکی از چالش‌های اصلی توسعه پایدار و امنیت ملی تبدیل شده است. بازگشت به الگوهای سنتی امکان‌پذیر نیست، اما بازتعریف رابطه میان دولت و مردم از طریق تقسیم مسئولیت در حکمرانی آب ضرورتی انکارناپذیر است. این مقاله با مرور تحلیلی وضعیت منابع آب کشور و تجارب موفق جهانی، چارچوبی برای توزیع نقش‌ها میان دولت و شهروندان ارائه می‌دهد. یافته‌ها نشان می‌دهد که دولت باید در سیاست‌گذاری کلان، توسعه زیرساخت‌ها و تنظیم‌گری نقش راهبری ایفا کند، در حالی که مردم نه به‌عنوان مصرف‌کنندگان منفعل، بلکه به‌عنوان کنشگران فعال حکمرانی، در چهار عرصه کلیدی نقش‌آفرینی می‌کنند: اصلاح الگوی مصرف و ارتقای فرهنگ آب، مشارکت در تصمیم‌گیری‌های محلی، نظارت و مطالبه‌گری اجتماعی، و همکاری در اجرای طرح‌های احیای منابع. چنین تعامل دوسویه‌ای، بنیان حکمرانی مشارکتی و پایدار آب را در ایران شکل می‌دهد.

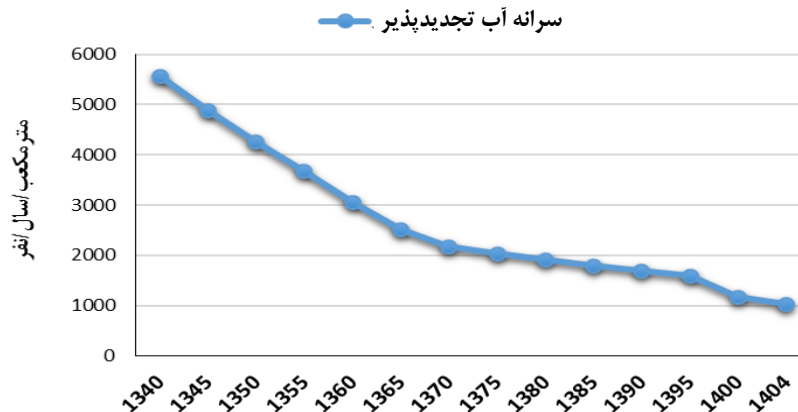
کلیدواژه‌گان: الگوی مصرف، توسعه پایدار، فناوری‌های نوین، حکمرانی مشارکتی، سیاست‌گذاری آب، مشارکت اجتماعی، مدیریت منابع آب

۱. مقدمه

بحران آب به‌عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های قرن بیست‌ویکم، پیامدهای اجتماعی، اقتصادی، سیاسی و محیط زیست گسترده‌ای دارد و در پیوند مستقیم با تحقق اهداف توسعه پایدار، به ویژه SDG6 (آب پاک و بهداشت) قرار می‌گیرد. (UNESCO, 2025) ایران به‌عنوان کشور واقع در منطقه خشک و نیمه‌خشک جهان با یکی از پیچیده‌ترین و جدی‌ترین بحران‌های آب در سطح جهان مواجه است؛ این بحران ریشه در تداخل عوامل طبیعی و انسانی دارد. از یک سو، کاهش بارش‌های بلندمدت، تغییرات اقلیمی، و افت قابل توجه منابع آب تجدیدپذیر در دهه‌های اخیر چشمگیر بوده است. از سوی دیگر، سیاست‌گذاری ناکارآمد، ضعف در مدیریت منابع، توسعه نامتوازن کشاورزی و برداشت بی‌رویه از سفره‌های زیرزمینی موجب تخلیه سریع منابع آب و فرونشست گسترده زمین در بسیاری از مناطق کشور شده است (Kashani, 2025; Ketabchy, 2021). پیامدهای این وضعیت بسیار گسترده‌اند؛ شامل خشکسالی‌های پی‌درپی، از بین رفتن تالاب‌ها و دریاچه‌هایی مانند دریاچه ارومیه، فرونشست زمین که به ویژه در تهران و استان‌هایی مانند کرمان و اصفهان، باعث ایجاد ترک‌های عمیق، آسیب به زیرساخت‌ها، آثار باستانی و تهدید زندگی شهری و همچنین مهاجرت گسترده روستاییان به شهرها به دلیل نابودی منابع کشاورزی و معیشت شده است. این بحران نه تنها چالش محیط‌زیستی است، بلکه به بحرانی امنیتی، اجتماعی و اقتصادی تبدیل شده است که استمرار آن می‌تواند به ناپایداری سیاسی و اجتماعی منجر شود (Hamidifar, 2024; Madani, 2014). شکل ۱ نشان می‌دهد که سرانه منابع آب تجدیدپذیر ایران طی پنجاه سال گذشته از بیش از ۴۰۰۰ مترمکعب در سال به کمتر از ۱۰۰۰ مترمکعب کاهش یافته و کشور را در آستانه ورود به شرایط «تنش آبی شدید» قرار داده است (Our World in Data, 2025).

بحران آب به‌عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های قرن بیست‌ویکم، پیامدهای اجتماعی، اقتصادی، سیاسی و محیط زیست گسترده‌ای دارد و در پیوند مستقیم با تحقق اهداف توسعه پایدار، به ویژه SDG6 (آب پاک و بهداشت) قرار می‌گیرد. (UNESCO, 2025) ایران به‌عنوان کشور واقع در منطقه خشک و نیمه‌خشک جهان با یکی از پیچیده‌ترین و جدی‌ترین بحران‌های آب در سطح جهان مواجه است؛ این بحران ریشه در تداخل عوامل طبیعی و انسانی دارد. از یک سو، کاهش بارش‌های بلندمدت، تغییرات اقلیمی، و افت قابل توجه منابع آب تجدیدپذیر در دهه‌های اخیر چشمگیر بوده است. از سوی دیگر، سیاست‌گذاری ناکارآمد، ضعف در مدیریت منابع، توسعه نامتوازن کشاورزی و برداشت بی‌رویه از سفره‌های زیرزمینی موجب تخلیه سریع منابع آب و فرونشست گسترده زمین در بسیاری از مناطق کشور شده است (Kashani, 2025; Ketabchy, 2021). پیامدهای این وضعیت بسیار گسترده‌اند؛ شامل خشکسالی‌های پی‌درپی، از بین رفتن تالاب‌ها و دریاچه‌هایی مانند دریاچه ارومیه، فرونشست زمین که به ویژه در تهران و استان‌هایی مانند کرمان و اصفهان، باعث ایجاد ترک‌های عمیق، آسیب به زیرساخت‌ها، آثار باستانی و تهدید زندگی شهری و همچنین مهاجرت گسترده روستاییان به شهرها به دلیل نابودی منابع کشاورزی و معیشت شده است. این بحران نه تنها چالش محیط‌زیستی است، بلکه به بحرانی امنیتی، اجتماعی و اقتصادی تبدیل شده است که استمرار آن می‌تواند به ناپایداری سیاسی و اجتماعی منجر شود (Hamidifar, 2024; Madani, 2014). شکل ۱ نشان می‌دهد که سرانه منابع آب تجدیدپذیر ایران طی پنجاه سال گذشته از بیش از ۴۰۰۰ مترمکعب در سال به کمتر از ۱۰۰۰ مترمکعب کاهش یافته و کشور را در آستانه ورود به شرایط «تنش آبی شدید» قرار داده است (Our World in Data, 2025).

شکل ۱. روند تغییرات سرانه آب تجدیدپذیر در ایران (۱۳۴۰-۱۴۰۴)



ترکیب قواعد نهادی روشن، نظارت جمعی و کنش‌های مشارکتی امکان دستیابی به پایداری فراهم می‌شود (Forsyth and, 2014). در همین راستا، آلن (Allan, 2001) با طرح مفهوم «هیدروپولیتیک» بیان می‌کند که بحران آب تنها یک مسأله فنی یا مهندسی نیست، بلکه در بطن ساختارهای سیاسی، اقتصادی و فرهنگی جامعه ریشه دارد و بدون اصلاح سیاست‌ها، روابط قدرت و الگوهای مصرف، مدیریت پایدار منابع آب امکان‌پذیر نخواهد بود. در ادامه این خط نظری، رویکرد مدیریت یکپارچه منابع آب (IWRM) به‌عنوان چارچوبی کلاسیک، بر توسعه و مدیریت هماهنگ آب، زمین و سایر منابع مرتبط برای حداکثر رفاه اقتصادی-اجتماعی تأکید می‌کند، به شرط آنکه پایداری بوم‌سامانه‌ها حفظ شود. (Abdel-Magid and Ahmed, 2002) این رویکرد اگرچه به‌طور گسترده در سیاست‌گذاری بین‌المللی پذیرفته شده، اما منتقدان آن بر پیچیدگی‌های اجرایی و ضعف در بومی‌سازی آن در کشورهای در حال توسعه تأکید کرده‌اند (Biswas, 2004). افزون بر این، نظریه حکمرانی تعاملی^۲ به نقش گفت‌وگوی رودررو، اعتمادسازی میان ذی‌نفعان، قواعد شفاف و تصمیم‌گیری‌های اجماعی میان دولت، بخش خصوصی و جامعه مدنی اشاره دارد. این نظریه تأکید می‌کند که بدون فرآیندهای تعاملی و مشارکتی، حتی سیاست‌های صحیح نیز با شکست مواجه می‌شوند. (Emerson and Nabatchi, 2015) به موازات این دیدگاه‌ها، استروم با طرح مفهوم حکمرانی چندکانونی^۳ نشان می‌دهد که وجود مراکز متعدد تصمیم‌گیری در سطوح محلی، ملی و منطقه‌ای، نه تنها تضاد ایجاد نمی‌کند بلکه به انعطاف‌پذیری، تاب‌آوری و نوآوری بیشتر در مدیریت آب می‌انجامد (Ostrom, 2010). این رویکرد در بحران‌های پیچیده‌ای مانند کم‌آبی ایران می‌تواند بستر مناسبی برای تقسیم مسئولیت‌ها میان دولت، نهادهای محلی و شهروندان

بخش کشاورزی به‌عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب در ایران با سهمی بیش از ۹۰ درصد از برداشت کل منابع تجدیدپذیر، یکی از اصلی‌ترین کانون‌های بحران به شمار می‌رود (Karandish, 2017). با وجود سرمایه‌گذاری‌های گسترده در توسعه شبکه‌های آبیاری و سدسازی، بازدهی مصرف آب کشاورزی همچنان پایین است و برخی الگوهای کشت ناسازگار با اقلیم منطقه، فشار مضاعفی بر منابع آبی وارد کرده است (Farid et al, 2020). از سوی دیگر، رشد شتابان شهرنشینی و توسعه صنایع بدون ملاحظات زیست‌محیطی نیز بر ابعاد بحران افزوده است (Abbaspour et al, 2015).

مرور ادبیات علمی داخلی و خارجی نشان می‌دهد که بحران آب در ایران بیش از آنکه صرفاً ناشی از محدودیت‌های طبیعی باشد، محصول ترکیب عوامل ساختاری، مدیریتی و اجتماعی است. به‌عنوان نمونه، مدنی (۲۰۱۴) در تحلیل خود، ناکارآمدی نهادی و سیاست‌های ناپایدار را عامل اصلی تشدید وضعیت کنونی معرفی می‌کند. همچنین گوهری و همکاران (۲۰۱۳) نشان داده‌اند که سیاست‌هایی مانند انتقال بین‌حوضه‌ای آب و سدسازی گسترده، در بلندمدت نه تنها بحران را حل نکرده بلکه وابستگی و آسیب‌پذیری منابع آبی را افزایش داده است. در همین راستا، پژوهش‌های داخلی مانند قاسمی و همکاران (۱۴۰۱) نیز بر ضرورت بازنگری در حکمرانی آب، افزایش شفافیت و تقویت سازوکارهای مشارکت اجتماعی تأکید دارند.

حکمرانی آب در ادبیات علمی معاصر بر ضرورت افزایش شفافیت، پاسخگویی و تقویت سازوکارهای مشارکت اجتماعی تأکید دارد. از منظر نظریه‌های جهانی، الینور استروم (۱۹۹۰) در نظریه «مدیریت منابع مشترک» نشان می‌دهد که منابعی همچون آب را نمی‌توان صرفاً از طریق دولت یا جامعه به‌تنهایی مدیریت کرد؛ بلکه تنها با

1. Integrated Water Resources Management
2. Collaborative Governance

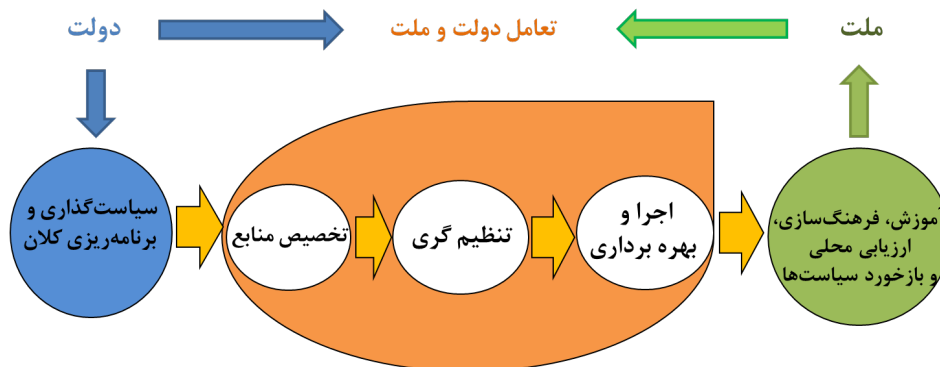
3. Polycentric Governance

که ادراک خطر در میان کشاورزان جنوب شرق ایران، محرک مؤثری در تغییر رفتارهای مصرفی است (Ataei et al, 2024). در زمینه مشارکت محلی، بررسی‌ها در خوزستان نشان داده‌اند که حضور فعال کشاورزان در انجمن‌های محلی آبی (WUAs) موجب ارتقای مدیریت تقاضا و اصلاح الگوهای مصرف شده است (غنیان و همکاران، ۱۳۹۲). افزون بر این، پروژه پایاب سد سهند (قربانی و همکاران، ۱۴۰۱) نشان‌دهنده آن است که نهادهای سازشی ساختارهای مشارکتی در سطح محلی، ابزار مؤثری برای بهره‌برداری بهینه منابع آبی فراهم می‌آورد. سازمان‌های بین‌المللی مانند UNDP تأکید دارند که بحران آب در کشورهای در حال توسعه بیش از آن که ناشی از کمبود منابع باشد، ناشی از ضعف در سازوکارهای حکمرانی است؛ در نتیجه، بدون حکمرانی قوی همراه با مشارکت اجتماعی و دیدگاه چندذی‌نفعی، مدیریت مؤثر تقاضا و عرضه منابع آبی محقق نخواهد شد. در این راستا، راهنمای UNDP برای ارزیابی حکمرانی آب تأکید می‌کند که ارزیابی مستمر حکمرانی به همراه مشارکت ذی‌نفعان در همه مراحل، پیش‌شرطی برای اصلاح موفق سیاست‌هاست (UNDP, 2015).

برآیند مرور منابع نشان می‌دهد که در شرایط کنونی ایران، حل بحران آب مستلزم تقسیم کار روشن میان دولت و مردم است؛ دولت باید نقش سیاست‌گذار، قانون‌گذار و فراهم‌کننده بسترهای نهادی و فناوریانه را ایفا کند، در حالی که مردم نه تنها از طریق اصلاح الگوی مصرف و تغییر شیوه‌های تولید، بلکه با مشارکت در تصمیم‌سازی‌های محلی، حضور در نهادهای بین‌سطحی حکمرانی و نظارت بر اجرای سیاست‌ها، نقشی فعال در فرآیند حکمرانی آب دارند. این همان نقطه‌ای است که پژوهش حاضر بر آن تمرکز کرده و می‌کوشد الگوی بومی مشارکت مؤثر مردم در حکمرانی آب ایران را ارائه دهد. شکل ۲ نقش سیاست‌گذاری و قانون‌گذاری دولت، مشارکت فعال مردم در تصمیم‌سازی و نظارت، و نقاط تعامل میان این دو بازیگر را نشان می‌دهد و چارچوب تحلیل پژوهش حاضر را برای ارائه الگوی بومی مشارکت مؤثر مردم روشن می‌سازد.

فراهم آورد. همچنین، نظریه هم‌مدیریت تطبیقی^۱ بر آزمون‌وخطا، یادگیری اجتماعی، و تنظیم انعطاف‌پذیر قواعد در مواجهه با شرایط متغیر اقلیمی و اجتماعی تأکید دارد (Pahl-Wostl, 2009) این رویکرد با توجه به ماهیت پویا و نامطمئن تغییرات اقلیمی و تنوع شرایط محلی در ایران، می‌تواند مبنای مناسبی برای طراحی سیاست‌های منعطف و بومی باشد. بدین ترتیب، مجموعه این نظریه‌ها نشان می‌دهد که مدیریت بحران آب نیازمند ترکیب چند سطحی از سیاست‌های کلان، سازوکارهای مشارکتی و یادگیری اجتماعی است؛ به گونه‌ای که دولت و مردم هر دو در قالب یک نظام حکمرانی چندبعدی و تعاملی ایفای نقش کنند. تجارب بین‌المللی نیز بر اهمیت تقسیم مسئولیت‌ها میان دولت و مردم صحنه می‌گذارند (Karimi et al, 2021). در استرالیا، اصلاح نظام تخصیص آب در حوضه ماری-دارلینگ و مشارکت جوامع محلی در تصمیم‌گیری‌ها توانست بخشی از بحران را مدیریت کند (Grafton et al, 2013). هم‌راستا با این ادبیات، سازمان همکاری و توسعه اقتصادی (OECD, 2015) «۱۲ اصل حکمرانی آب» را صورت‌بندی کرده که سه محور کارایی، اثربخشی و اعتماد-مشارکت را در کانون قرار می‌دهد و ابزارهای اجرایی و محلی آن نیز منتشر شده است.

در ایران نیز پژوهش‌های اخیر بر اهمیت آموزش عمومی، ارتقای سواد آبی و نقش رسانه‌ها و سازمان‌های مردم‌نهاد تأکید دارند (ایران پور و همکاران، ۱۳۹۹). مطالعات اخیر داخلی نشان می‌دهند که هنگامی که فرهنگ صرفه‌جویی در مصرف آب در سطح جامعه نهادینه شود و کشاورزان به‌عنوان ذی‌نفعان اصلی در تصمیم‌گیری‌های محلی مشارکت فعال داشته باشند، تأثیر مستقیمی در کاهش مصرف منابع آبی دارد. به‌طور مثال، پژوهش ولی زاده و همکاران با استناد به نظریه فعال‌سازی هنجاری نشان می‌دهد که تقویت نگرش‌های اجتماعی و شخصی نسبت به حفظ آب، رفتار صرفه‌جویانه را در کشاورزان افزایش می‌دهد (2021 Valizadeh et al). همچنین، عطایی و همکاران تأکید می‌کنند



شکل ۲. نمای شماتیک مسئولیت‌ها و تعاملات دولت و مردم در فرآیند حکمرانی آب

مسئولیت‌های دولت در مدیریت بحران آب

ورود دولت به عرصه حکمرانی آب در ایران از میانه قرن بیستم و هم‌زمان با شکل‌گیری نهادهای مدرن دولتی و سازمان‌های تخصصی در حوزه آب آغاز شد. پیش از آن، مدیریت منابع آب عمدتاً در چارچوب نهادهای محلی، میرآبی‌ها و سازوکارهای عرفی جریان داشت که مبتنی بر اعتماد اجتماعی و تجربه تاریخی جوامع محلی بود (نوری اسفندیاری، ۱۴۰۱؛ کریمی و شرافتی، ۱۳۹۹) با گسترش دولت متمرکز، مسئولیت تصمیم‌گیری و تخصیص آب به تدریج از سطح محلی به سطح ملی انتقال یافت؛ این روند هرچند موجب پیشرفت در توسعه زیرساخت‌ها و اجرای پروژه‌های بزرگ آبی شد، اما در عین حال فاصله‌ای میان دولت و مردم در فرآیند تصمیم‌گیری ایجاد کرد و ظرفیت‌های حکمرانی بومی را تضعیف نمود (راهدان و جوانمردی، ۱۴۰۱). از این منظر، بررسی تجربه کشورهای مختلف نشان می‌دهد که نقش دولت در حکمرانی آب، نه در تصدی‌گری مستقیم بلکه در تنظیم‌گری، سیاست‌گذاری کلان، و ایجاد بستر مشارکت ذی‌نفعان تعریف می‌شود؛ رویکردی که می‌تواند مسیر گذار از مدیریت دولتی به حکمرانی مشارکتی و پایدار را هموار سازد.

یکی از نمونه‌های برجسته، استرالیاست که با اجرای «طرح بازتخصیص آب حوضه ماری-دارلینگ» و ایجاد بازارهای رسمی آب، توانست فشار بر منابع آبی را کاهش داده و تعادل میان نیازهای کشاورزی، محیط‌زیست و صنعت برقرار کند (Grafton et al, 2013). این رویکرد با مشارکت دولت، کشاورزان و نهادهای محلی، الگویی نوآورانه برای استفاده از ابزارهای اقتصادی در مدیریت منابع محدود آب فراهم کرد. در هلند نیز تمرکز بر حکمرانی مشارکتی و مدیریت یکپارچه منابع آب موجب شد تا این کشور با وجود تراکم بالای جمعیت و تهدیدهای ناشی از تغییر اقلیم، سیستمی کارآمد برای کنترل سیلاب، مدیریت سطح آب زیرزمینی، و حفاظت از منابع حیاتی ایجاد کند. (Brugge and Rotmans, 2007) در سنگاپور، کشوری با محدودیت شدید منابع طبیعی، دولت راهبردی جامع تحت عنوان «چهار منبع ملی آب» را تدوین کرده است: واردات آب از مالزی، جمع‌آوری سیستماتیک آب باران، استفاده گسترده از فناوری شیرین‌سازی آب دریا، و پروژه پیشگامانه NEWater که مبتنی بر بازیافت و بازچرخانی فاضلاب شهری برای تأمین آب شرب است. دولت با سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین و آموزش گسترده شهروندان، موفق شد تا وابستگی تاریخی کشور به واردات آب را به طور چشمگیری کاهش دهد و سطح بالایی از امنیت آبی پایدار ایجاد کند (Tortajada and, 2017; PUB, 2018). (Buurman).

نمونه‌های دیگری نیز شایان توجه‌اند. در ژاپن، سیاست‌های دولت بر کاهش تلفات شبکه‌های توزیع و ارتقای بازیافت و بازچرخانی

فاضلاب شهری متمرکز است. برای مثال، در شهر توکیو بیش از ۸۰٪ فاضلاب تصفیه شده و بخش عمده‌ای از آن برای آبیاری فضای سبز، استفاده صنعتی و سایر کاربردهای غیر شرب به کار گرفته می‌شود، که نمونه‌ای موفق از مدیریت پایدار منابع آب در مناطق شهری با تراکم جمعیت بالا به شمار می‌رود (OECD, 2015). (Takeuchi and Tanaka, 2020). این رویکرد نشان‌دهنده تمرکز دولت بر بهره‌وری از منابع محدود آب و کاهش فشار بر منابع آب شیرین است. در کره جنوبی، برنامه‌های ملی دولت بر توسعه فناوری‌های نوین مانند پایش هوشمند منابع و ایجاد سدهای چندمنظوره برای ذخیره‌سازی و تأمین نیازهای کشاورزی و شهری متمرکز است (Choi et al, 2017; OECD, 2017). در فرانسه، دولت با تنظیم تعرفه‌های آب و حمایت از سازوکارهای محلی و سازمان‌های حوضه‌ای، تلاش کرده است تا مدیریت منابع آب را به صورت چند سطحی و با مشارکت ذی‌نفعان پیش ببرد. این رویکرد با هدف تضمین استفاده پایدار از منابع آب و ارتقای همکاری میان بخش‌های مختلف جامعه، از جمله کشاورزان، صنعتگران، مقامات محلی و سازمان‌های غیردولتی، طراحی شده است. در این چارچوب، نهادهایی مانند کمیته‌های حوضه‌ای و آژانس‌های آب، نقش کلیدی در تدوین و اجرای برنامه‌های مدیریت منابع آب ایفا می‌کنند و منابع مالی حاصل از تعرفه‌های آب را برای حمایت از پروژه‌های مرتبط با حفاظت از منابع آب و کاهش آلودگی محیط زیست اختصاص می‌دهند این رویکرد چند سطحی و مشارکتی در مدیریت منابع آب، الگویی موفق از حکمرانی منابع طبیعی را ارائه می‌دهد که می‌تواند برای کشورهای در حال توسعه، از جمله ایران، به عنوان یک مدل الهام‌بخش در نظر گرفته شود (WWC, 2017).

با وجود این تجارب موفق، ایران همچنان با چالش‌های ساختاری و حکمرانی جدی مواجه است. سیاست‌های دولت در چند دهه گذشته عمدتاً بر سدسازی گسترده متمرکز بوده که هرچند در ابتدا با هدف کنترل سیلاب و تأمین آب شرب و کشاورزی طراحی شد، اما در عمل به دلیل تبخیر بالا، پیامدهای اجتماعی (مانند جابه‌جایی جمعیت) و زیست‌محیطی (خشک شدن تالاب‌ها، افت سطح آب زیرزمینی)، و هزینه‌های اقتصادی سنگین، نه تنها به پایداری نینجامیده بلکه خود به عاملی برای تشدید بحران بدل شده است. (Madani, 2014; Gohari et al, 2013). علاوه بر این، در سیاست آب ایران، ضعف‌های جدی در عدالت تخصیص منابع و وجود نفوذ شبکه‌های قدرت محلی - که به شکل پروژه‌های انتقال آب بین حوضه‌ای، اعطای مجوز چاه‌های متعدد و دخالت ذی‌نفعان پرنفوذ در تصمیم‌گیری‌ها نمود پیدا کرده است - به موانع اساسی اصلاحات ساختاری بدل شده است (Hassaniyan, 2024).

کمبود شفافیت داده‌ها، ضعف نظام حقوقی در مدیریت تقاضا، و ناهماهنگی نهادی میان وزارت‌خانه‌ها و سازمان‌های مرتبط نیز

نفر)، به دلیل مدیریت بهینه، مصرف نسبتاً کنترل شده‌ای داشته و در عین حال از تولید ناخالص داخلی بالایی برخوردار هستند. این الگو حاکی از مدیریت صحیح و فرهنگ‌سازی مؤثر در مصرف آب است. در مقابل، کشورهایی با منابع محدود مانند ایران (۱۱۹۰ مترمکعب سرانه آب) و عربستان سعودی (۷۰ مترمکعب سرانه آب)، سرانه مصرفی بسیار بالاتر از سطح پایداری خود دارند (به ترتیب ۱۰۹۲ و ۷۵۸ مترمکعب). این نشان‌دهنده فشار بیش از حد بر منابع موجود و خطر ناپایداری است. نکته مهم این است که کشورهایی با تولید ناخالص داخلی بالا (مانند آلمان، هلند و ژاپن) توانسته‌اند با وجود توسعه اقتصادی و استاندارد بالای زندگی، الگوی مصرفی متعادل حفظ کنند. این وضعیت بیانگر آن است که رفاه و توسعه اقتصادی لزوماً با مصرف بیشتر آب همراه نیست؛ بلکه با بهینه‌سازی مصرف، فناوری‌های نوین، و مسئولیت‌پذیری شهروندان می‌توان همزمان هم توسعه یافت و هم منابع طبیعی را حفاظت کرد.

از دیگر چالش‌های عمده به شمار می‌روند (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۶؛ 2020 Nouri et al, 2023; Kalantari et al, 2018; Charbit, این عوامل باعث شده‌اند که سیاست‌های عرضه‌محور، کوتاه‌مدت و غیرپایدار همچنان بر نظام مدیریت آب کشور حاکم باشند.

جدول (۱) نمایی کلی از ارتباط بین منابع آبی تجدیدپذیر سرانه، الگوی مصرف و سطح توسعه اقتصادی در تعدادی از کشورها ارائه می‌دهد. مقایسه کشورها نشان می‌دهد که میزان دسترسی به منابع آبی به‌تنهایی تعیین‌کننده الگوی مصرف یا سطح توسعه اقتصادی نیست. برای مثال، کشورهایی مانند اتریش (۹۳۰۰ مترمکعب سرانه آب) و استرالیا (۲۰۱۲۳ مترمکعب سرانه آب) با وجود برخورداری بالا از منابع آبی، سرانه مصرفی کمتر از ۷۰۰ مترمکعب دارند و یا کشورهای اروپایی مانند آلمان، فرانسه و هلند با وجود برخورداری متوسط از منابع آبی (حدود ۲۰۰۰ تا ۵۰۰۰ مترمکعب به‌ازای هر

جدول ۱. مقایسه سرانه آب تجدیدپذیر و تولید ناخالص داخلی (GDP) در کشورهای منتخب و ایران (اسفندیاری و همکاران، ۱۴۰۳)

کشور	سرانه آب تجدیدپذیر (مترمکعب در سال)	سرانه مصرف آب (مترمکعب در سال)	سرانه تولید ناخالص داخلی (دلار بر نفر)
آلمان	۲۲۶۵	۳۱۲	۵۲۰۰۰
فرانسه	۲۷۷۶	۴۵۱	۴۴۹۹۵
هلند	۵۰۰۰	۵۲۴	۵۸۰۰۰
اتریش	۹۳۰۰	۴۱۸	۵۰۰۰۰
اسپانیا	۲۳۰۰	۷۰۳	۳۲۰۰۰
استرالیا	۲۰۱۲۳	۶۶۳	۶۴۸۰۰
کره جنوبی	۱۴۸۰	۶۱۰	۳۵۰۰۰
عربستان سعودی	۷۰	۷۵۸	۲۳۰۰۰
آفریقای جنوبی	۸۳۶	۲۸۴	۶۸۶۰
آرژانتین	۱۷۶۹۵	۹۰۵	۹۸۹۰
ترکیه	۲۵۴۰	۷۲۲	۹۳۲۷
اوکراین	۳۳۰۰	۲۱۶	۴۳۸۰
ایران	۱۱۹۰	۱۰۹۲	۴۷۶۱
مصر	۵۵۸	۷۴۸	۳۸۳۲
ژاپن	۳۳۷۳	۶۳۵	۳۳۷۰۰

پیچیده، چندبعدی و درهم‌تنیده دارد و مستلزم بازتعریف نقش‌های دولت در چهار بعد اصلی است:

بنابراین، مسئولیت دولت در ایران دیگر نمی‌تواند صرفاً به ایجاد زیرساخت‌های فیزیکی محدود شود. مدیریت بحران آب ماهیتی

رفته و به عنوان بازیگر فعال در مدیریت تقاضا، ارتقای بهره‌وری، و شکل‌دهی به الگوهای مصرف پایدار شناخته می‌شود. در این میان، آموزش و آگاهی‌بخشی عمومی و ایجاد سازوکارهای مشارکت در تصمیم‌گیری محلی، مهم‌ترین پیش‌شرط‌های تحقق مشارکت واقعی به شمار می‌روند (UNDP, 2019).

در عرصه جهانی، مشارکت فعال مردم در مدیریت بحران آب نقش تعیین‌کننده‌ای در پایداری منابع دارد. به‌عنوان مثال، یکی از مطالعات میدانی در منطقه Galicia اسپانیا نشان می‌دهد که جوامع روستایی مالک تأمین آب با خودمدیریتی کامل در طراحی، نگهداری و بهره‌برداری زیرساخت‌ها، نقش محوری در مدیریت محلی منابع آب ایفا می‌کنند. این مدل توانسته است با کاهش وابستگی به نهادهای متمرکز و افزایش مشارکت ذی‌نفعان محلی پایداری را تقویت کند (Naves and, 2021; José Varela-Álvarez, 2020). در ژاپن، انجمن‌های محلی آبیاری شناخته شده به‌عنوان Land Improvement Districts با ساختارهای نهادی کارا، شفافیت در تصمیم‌گیری، و مشارکت گسترده کشاورزان، مسئولیت‌نگهداری و مدیریت کانال‌های آبیاری را بر عهده گرفته‌اند؛ پژوهش‌ها نشان می‌دهند که سرمایه اجتماعی و تنوع ترکیب کشاورزان در ترکیب ساختاری این انجمن‌ها، نقش مؤثری در موفقیت خودگردانی محلی ایفا کرده است (Sarker et al, 2014). این نمونه‌ها نشان می‌دهند که مردم بعد از دولت، بازیگران اصلی در حکمرانی منابع آب هستند. در کشورهایی مانند اسپانیا و ژاپن، مشارکت واقعی اجتماعی توانسته فاصله بین سیاست‌های عالی و اجرای مؤثر را کاهش دهد. چنین الگوهایی می‌تواند برای ایران الهام‌بخش باشد، جایی که بازسازی مشارکت مردم -ضمن تقویت نهادهای محلی و اعتماد عمومی- می‌تواند مکمل ضروری حکمرانی اثربخش در مواجهه با بحران آب باشد.

در ایران، سابقه‌ای طولانی از مشارکت محلی در مدیریت آب وجود دارد؛ نظام قنات، شیوه‌های سنتی تقسیم آب، و تشکل‌های بهره‌برداری مانند بنه‌ها و کنه‌ها نمونه‌های بارز آن است (علی‌پور و همکاران، ۱۳۹۶). با این حال، در دهه‌های اخیر این نقش به‌دلیل غلبه نگاه متمرکز دولتی، تضعیف اقتدار نهادهای محلی، و بی‌اعتمادی به ظرفیت مشارکت عمومی به‌شدت کم‌رنگ شده است. ضعف شفافیت داده‌ها، پایین بودن سطح آگاهی عمومی و وضعیت مبهم حقوقی انجمن‌های کاربران آب نیز مشارکت واقعی مردم را محدود ساخته است (فرهودی و قربانیان، ۱۴۰۴). برای برون‌رفت از این وضعیت، دو مسیر مکمل ضروری است: نخست، توانمندسازی جوامع محلی از طریق آموزش، ارتقای آگاهی عمومی، شفاف‌سازی داده‌ها، و فراهم‌سازی سازوکارهای مشارکتی؛ دوم، بازسازی اعتماد عمومی با مبارزه با فساد و منافع رانتی در بخش آب. در چنین بستری، توسعه شبکه‌های اجتماعی محلی و جلب

۱- نقش سیاست‌گذار: دولت باید با طراحی سیاست‌های جامع و میان‌بخشی که ابعاد زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی را به‌طور هم‌زمان در بر گیرد، مسیر حرکت از مدیریت بخشی به حکمرانی یکپارچه و مشارکتی را هموار سازد.

۲- نقش تنظیم‌گر: با تقویت هماهنگی نهادی، تدوین قوانین کارآمد و نظارت بر اجرای آن‌ها، دولت می‌تواند تعادل میان بخش‌های مختلف مصرف‌کننده را برقرار کرده و زمینه عدالت آبی را فراهم آورد.

۳- نقش تسهیل‌گر: دولت موظف است بسترهای فناورانه و نهادی لازم برای مشارکت ذی‌نفعان محلی را فراهم کرده و از طریق تمرکززدایی در تصمیم‌گیری، ظرفیت‌های محلی را در فرآیند حکمرانی فعال کند.

۴- نقش نوآور: توسعه ابزارهای نوین حکمرانی از جمله بازار آب، ارتقای شفافیت داده‌ها، مقابله با فساد، و سرمایه‌گذاری در فناوری‌های پایش هوشمند، بازچرخانی و شیرین‌سازی پایدار، از جمله اقدامات کلیدی برای گذار از مدیریت واکنشی به مدیریت پیش‌نگرانه است.

در مجموع، بهره‌گیری از تجارب جهانی و بومی‌سازی آن‌ها می‌تواند ایران را در جهت کاهش آسیب‌پذیری منابع آب و دستیابی به امنیت و پایداری آبی یاری رساند.

نقش و مسئولیت‌های مردم در مدیریت بحران آب

از منظر تاریخی، مدیریت آب در ایران برای قرن‌ها بر پایه مشارکت مردمی و نهادهای محلی خودگردان استوار بوده است؛ ساختارهایی مانند میرآبی، انجمن‌های قنات، و شوراهای محلی آب، نقش اصلی را در توزیع، نگهداری و حل‌وفصل اختلافات ایفا می‌کردند (امینی و فتح‌اله پورکامی، ۱۳۹۹؛ عقیقی و احمدوند، ۱۴۰۳). این الگو تا پیش از گسترش دولت مدرن در قرن بیستم، موجب شکل‌گیری نوعی حکمرانی اجتماعی آب بود که در آن مسئولیت مدیریت و بهره‌برداری به‌طور مستقیم بر عهده جامعه محلی قرار داشت. با ملی شدن منابع آب و گسترش سیاست‌های دولتی در دهه‌های اخیر، تمرکز تصمیم‌گیری به تدریج از سطح محلی به سطح ملی انتقال یافت و نقش مردم به مصرف‌کننده‌ای منفعل کاهش یافت (Madani, 2014). در نتیجه، گسست میان جامعه و نظام حکمرانی آب، موجب کاهش اعتماد عمومی و افت اثربخشی سیاست‌های مدیریت منابع آب گردید. در شرایط کنونی، بازگشت به مشارکت فعال و معنادار مردم ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. تجربه‌های جهانی نشان داده است که بدون همراهی و تعهد اجتماعی، سیاست‌ها و برنامه‌های دولت‌ها در حوزه آب اغلب با شکست یا کارایی محدود مواجه می‌شوند (OECD, 2015). در بسیاری از کشورها، نقش مردم از سطح مصرف‌کننده منفعل فراتر

کشورهایی مانند هلند و استرالیا نشان داده است که شفافیت اطلاعاتی و جلب اعتماد عمومی، نقش مهمی در تقویت مشارکت واقعی جامعه دارد (OECD, 2015; Pahl-Wostl, 2019).

همچنین نظام آموزشی و رسانه‌ای کشور در زمینه ارتقای سواد آبی و تغییر رفتار مصرفی کارآمد عمل نکرده است. بسیاری از برنامه‌های آموزشی در این حوزه به صورت کوتاه‌مدت، شعاری و هشدارمحور طراحی می‌شوند و کمتر به ارائه مهارت‌های عملی و راهکارهای کاربردی در زمینه مدیریت مصرف آب می‌پردازند. به عنوان نمونه، به جای ارائه آموزش‌های مشارکتی و عملی در مدارس و جوامع محلی، عمدتاً به بخش پیام‌های هشداردهنده در رسانه‌ها اکتفا شده است. بر اساس پژوهش‌های انجام شده، یکی از دلایل این ضعف، عدم توجه کافی به مؤلفه‌های نگرشی و مهارتی در برنامه‌های آموزشی است. در حالی که آموزش‌های مؤثر باید به گونه‌ای طراحی شوند که علاوه بر افزایش دانش، نگرش‌ها و رفتارهای مرتبط با مصرف آب را نیز تغییر دهند. برای نمونه، در پژوهشی که توسط پریشانی و همکاران (۱۳۹۵) انجام شده است، به بررسی تطبیقی عنصر محتوا در برنامه درسی آموزش محیط‌زیست در مقطع متوسطه دوم ایران پرداخته شده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که در برنامه‌های درسی موجود، به مؤلفه‌های نگرشی و مهارتی کمتر توجه شده است و بیشتر بر جنبه‌های دانشی تأکید شده است. این وضعیت نشان‌دهنده نیاز به بازنگری در رویکردهای آموزشی و رسانه‌ای کشور در زمینه مدیریت منابع آب است. طراحی برنامه‌های آموزشی مشارکتی و عملی، استفاده از رسانه‌ها برای ترویج رفتارهای صحیح مصرف آب، و توجه به مؤلفه‌های نگرشی و مهارتی می‌تواند به ارتقای سواد آبی و تغییر رفتار مصرفی در جامعه کمک کند.

از منظر نهادی، تعدد سازمان‌های متولی و ناهماهنگی میان آنها یکی از موانع کلیدی تعامل مؤثر بین دولت و جامعه در مدیریت بحران آب ایران است. مطالعات اخیر نشان می‌دهد که ساختار پراکنده‌ی وظایف (از وزارتخانه‌ها تا سازمان‌های استانی و شوراهای محلی) و فقدان سازوکارهای تصمیم‌گیری مبتنی بر حوضه آبریز، موجب تداخل مسئولیت‌ها، تضاد سیاست‌ها و سردرگمی ذی‌نفعان شده است؛ نتیجه‌ای که اعتماد عمومی را تضعیف و ظرفیت‌های مشارکتی محلی را محدود می‌سازد (Nouri et al, 2023; Ghafari et al, 2024). برای نمونه، گزارش‌ها و مطالعات موردی در حوضه‌هایی مانند زاینده‌رود نشان می‌دهد که تلاش برای ایجاد نهادهای حوضه‌ای^۱ بدون اصلاح پایه‌ای روابط قدرت و مکانیزم‌های هماهنگ‌کننده، کمکی به حل مشکل نکرده است (ورجاوند ناصری و همکاران، ۱۳۹۹). در عین حال، اسناد و دستورالعمل‌های بین‌المللی درباره مدیریت یکپارچه منابع آب (IWRM) بر ضرورت هماهنگی نهادی و تمرکز بر حوضه آبریز به عنوان سطح مناسب

همکاری میان مردم و نهادهای دولتی می‌تواند مردم را از جایگاه مصرف‌کننده منفعل به شریک واقعی در حکمرانی آب ارتقا دهد. مطالبه‌گری اجتماعی نیز بخشی جدایی‌ناپذیر از مسئولیت شهروندان است. پیگیری شفافیت در تخصیص منابع آبی، مقابله با برداشت‌های غیرمجاز و درخواست اجرای سیاست‌های عادلانه می‌تواند دولت را به پاسخگویی بیشتر وادارد. مطالعات و تجربیات در هند نشان می‌دهند که تقویت تشکل‌های کشاورزان و انجمن‌های محلی در مدیریت منابع آب، می‌تواند به تغییر رویکرد سیاست‌گذاران به سمت مشارکت بیشتر جوامع محلی در فرآیندهای تصمیم‌گیری و سیاست‌گذاری‌های دولتی منجر شود (Gandhi and Johnson, 2020). در ایران نیز افزایش دسترسی به داده‌ها و تقویت نهادهای مدنی می‌تواند بستر مطالبه‌گری مؤثر را فراهم آورد.

فرهنگ و اخلاق ایرانی-اسلامی، پشتوانه‌ای ارزشمند برای تقویت مشارکت عمومی و مسئولیت‌پذیری اجتماعی در حکمرانی آب به شمار می‌آید. آموزه‌های دینی و سنت‌های تاریخی، از جمله نظام قنات و تقسیم عادلانه آب، نشانگر آن است که مردم در گذشته نه تنها مصرف‌کننده بلکه تصمیم‌گیرنده و ناظر بر توزیع و بهره‌برداری از آب بوده‌اند. در چارچوب حکمرانی نوین آب نیز، نقش مردم صرفاً به اصلاح الگوی مصرف محدود نمی‌شود، بلکه در سه سطح قابل تبیین است:

۱. سطح تصمیم‌سازی: مشارکت در فرایندهای محلی تصمیم‌گیری، از طریق شوراهای انجمن‌های آب‌بران و نهادهای مردمی؛
۲. سطح نظارت و مطالبه‌گری: پیگیری شفافیت، عدالت در تخصیص و پاسخ‌گویی نهادهای دولتی؛
۳. سطح کنش فرهنگی و رفتاری: بازتولید ارزش‌های دینی و اجتماعی در مصرف مسئولانه، انتقال دانش بومی و ترویج فرهنگ حفاظت از منابع آب.

تعامل دولت و جامعه در مدیریت بحران آب ایران

یکی از ابعاد اساسی حکمرانی پایدار آب، تعامل سازنده و دوطرفه میان دولت و جامعه است. در ایران، این تعامل با چالش‌های جدی مواجه است. از یک سو، ضعف شفافیت در سیاست‌گذاری‌ها، گزارش‌دهی ناقص و محدودیت دسترسی عمومی به داده‌های آبی موجب کاهش اعتماد عمومی نسبت به اقدامات دولت شده است. تجربه‌های منفی از طرح‌های پرهزینه و پیامددار همچون سدسازی گسترده یا انتقال‌های بین‌حوضه‌ای، بدبینی جامعه نسبت به سیاست‌های رسمی را تشدید کرده است (Madani, 2014). از سوی دیگر، مشارکت مردمی نیز اغلب به سطح مصرف‌کننده منفعل محدود شده و به ندرت در فرآیندهای تصمیم‌گیری و اجرا نقش فعال ایفا می‌کند. در حالی که تجربه

شده است. در حالی که تجربه‌های تاریخی همچون نظام قنات و شوراهای محلی آب‌بران نشان می‌دهد که مردم در گذشته نه صرفاً مصرف‌کننده، بلکه بازیگران اصلی در تنظیم و حفاظت از منابع آب بوده‌اند. بر این اساس، عبور از وضعیت بحرانی کنونی نیازمند بازتعریف حکمرانی آب بر مبنای تقسیم عادلانه و کارآمد مسئولیت‌ها میان دولت، بخش خصوصی و جامعه است. دولت باید نقش خود را از تصدی‌گری و تمرکزگرایی، به سمت تنظیم‌گری هوشمند و مدیریت تقاضا سوق دهد. این تحول از طریق بازنگری در سیاست‌های کشاورزی پرمصرف، شفاف‌سازی حقوق بهره‌برداری، مقابله با برداشتهای غیرمجاز و اصلاح نظام پارانهای آب امکان‌پذیر است. همچنین، بخش خصوصی می‌تواند با توسعه فناوری‌های نوین همچون بازچرخانی فاضلاب، آبیاری هوشمند و پایش دیجیتال منابع، نقشی مؤثر در ارتقای بهره‌وری و کاهش هدررفت ایفا کند.

از سوی دیگر، جامعه و بهره‌برداران محلی باید از جایگاه مخاطب سیاست‌ها به جایگاه شریک حکمرانی (Co-governance) ارتقا یابند. این امر مستلزم تقویت نهادهای محلی آب‌بران، آموزش عمومی و ایجاد سازوکارهایی برای مشارکت واقعی مردم در تصمیم‌سازی، نظارت و اجرای سیاست‌ها است. در این چارچوب، مردم می‌توانند از طریق نقش‌های سه‌گانه خود - آموزشی، نظارتی و فرهنگی - به ارتقای پاسخ‌گویی دولت، شفافیت و بازسازی اعتماد اجتماعی کمک کنند. تجربه کشورهای موفق در حکمرانی آب نشان می‌دهد که شفافیت داده‌ها، دسترسی آزاد به اطلاعات، سیاست‌های قیمتی واقع‌گرایانه و تقویت سرمایه اجتماعی، عناصر کلیدی در شکل‌گیری حکمرانی مشارکتی و پایدار هستند. بنابراین، آینده مدیریت پایدار منابع آب در ایران در گرو تعامل مستمر دولت و جامعه، بهره‌گیری از نوآوری‌های فناورانه بخش خصوصی، و احیای ارزش‌های فرهنگی و اخلاقی ایرانی-اسلامی در مصرف و حفاظت از آب است.

برنامه‌ریزی تأکید دارند (UNEP, 2021; OECD, 2015). اما ادبیات انتقادی نیز نشان می‌دهد که پیاده‌سازی IWRM در عمل با چالش‌های سیاسی، نهادی و کمبود ظرفیت مواجه است، بنابراین انتقال از اصول به اجرا نیازمند سازوکارهای بومی‌سازی شده و توجه به روابط قدرت است (Mao et al, 2020).

فقدان مشوق‌ها و ابزارهای اقتصادی مناسب و اجرای ناقص سیاست‌های تعرفه‌ای از مهم‌ترین موانع اصلاح الگوی مصرف آب در ایران است؛ بررسی‌ها نشان می‌دهد که در بسیاری از موارد طراحی و اعمال تعرفه‌ها با کاستی‌های نهادی و اجرایی همراه بوده و در غیاب یارانه‌های هدفمند یا مکانیسم‌های جبرانی، تعرفه‌گذاری خود به تنهایی اثربخش نبوده است؛ از این رو مطالعات پیشنهاد می‌کنند که ترکیب سیاست‌های قیمتی با سازوکارهای حمایتی و سیاست‌های تطبیقی بومی (همچون یارانه‌های هدفمند، بازارهای آب یا ابزارهای تبادلی و مشوق‌های فناوری) برای تغییر پایدار الگوهای مصرف ضروری است. (Zamani et al, 2021 Momeni, 2019)

بنابراین، مدیریت بحران آب در ایران تنها زمانی امکان‌پذیر است که دولت و جامعه به‌عنوان دو بازیگر مکمل، در چارچوبی شفاف، پاسخگو و مشارکتی تعامل کنند. چنین رویکردی می‌تواند اعتماد متقابل را بازسازی کرده و مسیر حرکت به سوی حکمرانی پایدار آب را هموار سازد.

جمع‌بندی و پیشنهادها

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که بحران آب در ایران ریشه‌ای چند وجهی دارد؛ از یک سو محدودیت‌های طبیعی و اقلیمی، و از سوی دیگر ضعف در ساختار حکمرانی، ناهماهنگی نهادی و فاصله میان سیاست‌های دولتی و رفتارهای اجتماعی. در دهه‌های اخیر، با تمرکز کامل مدیریت آب در نهادهای دولتی، پیوند تاریخی جوامع محلی با سازوکارهای تصمیم‌گیری و تخصیص منابع تضعیف

منابع

۱. اسفندیاری، ا.، باقری، ع.، بزرگ زاده، ع.، ترابی، ص.، جانباغ، ح.، زهرایی، ب.، کشاورز، ع.، مرید، س. و مکتون، ر. ۱۴۰۳. چارچوب راهبردی برای حکمرانی، سیاست‌گذاری و مدیریت پایدار منابع آب در دولت چهاردهم.
۲. ایران پور، پ.، تقی پور، ف. و سروری نژاد، س. ب. ۱۳۹۹. ارتقاء سوادآبی مبتنی بر عملکرد رسانه در شهر اصفهان. فصلنامه‌ی مطالعات جامعه‌شناختی شهری. ۹۰-۵۹: (۳۷): ۱۰
۳. امینی، س. ج. و فتح اله پور کامی، ف. ۱۳۹۹. کنکاش و تحلیلی سیاستی بر حکمرانی آب در ایران. فصلنامه پژوهش‌های برنامه و توسعه. ۱۹۵-۱۶۶: (۲): ۱
۴. براهیمی، م.، شاهوردی، ک.، غازی، ا.، طالب بیدختی، ن. ۱۳۹۶. تدوین نمودار سازمانی مناسب برای مدیریت تقاضای آب کشاورزی در ایران. مجله مهندسی منابع آب. ۸۲-۷۳: (۳۴): ۱۰
۵. پریشانی، ن.، میرشاه جفری، س. ا.، شریفیان، ف. و فرهادیان، م. ۱۳۹۵. بررسی تطبیقی عنصر محتوا در برنامه درسی آموزش محیط‌زیست متوسطه دوم ایران و چند کشور منتخب و پیشنهاد رویکرد و محتوای مغفول در برنامه درسی آموزش محیط‌زیست ایران. مجله‌ی علوم تربیتی دانشگاه شهید چمران اهواز. ۱۵۲-۱۲۷: (۲): ۶
۶. عقیقی، ف. و احمدوند، ع. ۱۴۰۳. پیشینه تاریخی ایرانیان در حکمرانی آب: بررسی موردی کستیزود / دیوان الماء. پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی پرتال جامع علوم انسانی. فصلنامه علمی سخن تاریخ. ۱۰۰-۷۹: (۴۶): ۱۸

۷. علی‌پور، ا.، داوری، ک.، و وحدانی، ک. ۱۳۹۶. یک تجربه موفق مدیریت مشارکتی منابع آب زیرزمینی در نیشابور. سومین کنگره مهندسی و مدیریت آب و خاک ایران.
۸. فرهودی، ج. و قربانیان، م. ۱۴۰۴. ارائه سازوکارهای موثر بر مشارکت بهره‌برداران در مدیریت آب کشاورزی. *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*. ۲۲۷-۲۰۹: ۵۶(۱).
۹. قاسمی، ا.، علویان، م. و حسینی، م. ۱۴۰۱. واکاوی تعاملات دولت و جامعه در حکمرانی آب ایران: دلالت‌های راهبردی. فصلنامه علمی پژوهش‌های راهبردی سیاست. ۲۲۰-۱۸۱: ۱۱(۴۲).
۱۰. قربانی، ف.، بهبودی، د.، ضرغامی، م. ۱۴۰۱. راهبرد مدیریت مشارکتی منابع آب با رویکرد تحلیل نهادی و کنش جمعی (اراضی پایاب سد سهند). *مدیریت آب و آبیاری*. ۱۳۷-۱۲۱: ۱۲(۱).
۱۱. کریمی، ل. و شرافتی، ناهید. ۱۳۹۹. ارزیابی سیستم حکمرانی منابع آب با توجه به بحران آب در ایران. سومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران. دانشگاه شیراز. آذرماه
۱۲. راهدان، ع. و جوانمردی، م. ۱۴۰۱. حکمرانی آب در ایران و لزوم تمرکززدایی و حرکت به سمت حکمرانی محلی آب. کنفرانس ملی شهرسازی، معماری، عمران و محیط‌زیست. SID. <https://sid.ir/paper/1022691/fa>
۱۳. نوری اسفندیاری، ا. ۱۴۰۱. حکمرانی محلی آب. نشریه آب و توسعه پایدار. ۹(۱): سرمقاله
14. Abbaspour, K.C., Faramarzi, M., Ghasemi, S.S., Yang, H. 2009. Assessing the impact of climate change on water resources in Iran. *Water Resour. Res.* 45:10434.
15. Abdel-Magid, I.M. and Ahmed, S.E. 2002. Integrated Water Resources Management and Global Water Partnership. Conference: Global and National Water Partnership Workshop, 13 August 2002, KhartoumAt: Khartoum, Sudan. DOI:10.13140/RG.2.1.4444.4647.
16. Allen, J.A. 2001. *The Middle East Water Question: Hydropolitics and the Global Economy*. I.B. Tauris.
17. Ansell, C. and Gash, A. 2008. Collaborative Governance in Theory and Practice. *Journal of Public Administration Research and Theory*, 18(4): 543-571.
18. Ataei, P., Karimi, H., Hallaj, Z. and Mottaghi Dastenaeei, A. 2024. Risks and farmers' behavior change towards water conservation: a study in the Southeast of Iran. *Water Supply*. 24(3): 723-737. <https://doi.org/10.2166/ws.032.2024>.
19. Biswas, A.K. 2004. Integrated water resources management: A reassessment. *Water International*. 29(2): 248-256
20. Brugge, R. and Rotmans, J. 2007. Towards transition management of European water resources. *Water Resources Management*. 21(1): 249-267.
21. Choi, I.-C., Shin, H.-J., Nguyen, T. T., & Tenhunen, J. 2017. Water Policy Reforms in South Korea: A Historical Review and Ongoing Challenges for Sustainable Water Governance and Management. *Water*. 9(9): 717. DOI: 10.3390/w9090717
22. Charbit, C., 2020. From «de jure» to «de facto» decentralised public policies: the multilevel governance approach. *Br. J. Polit. Int. Relat.* 1-11. <https://doi.org/10.1177/1369148120937624>.
23. Emerson, K., and Nabatchi, T. 2015. *Collaborative Governance Regimes*. Georgetown University Press. ISBN: 9781626162549.
24. Forsyth, T. and Johnson, C. 2014. Elinor Ostrom's Legacy: Governing the Commons and the Rational Choice Controversy. *Development and Change* 00(0): 1-18. DOI: 10.1111/dech.12110.
25. Ghafari, S., Ghorbani, M., Salajegheh, A. and Salajegheh, O. 2024. Tracing water governance across different levels in Iran. *Environmental Science & Policy* 162(2): 103933.
26. Gandhi, V.P. and Johnson, N. 2020. Enhancing Performance of Participatory Water Institutions in the Eastern Indo-Gangetic Plains: What Can We Learn from New Institutional Economics and Governance Theories? *Water*. 12:70. doi:10.3390/w12010070.
27. Gohari, A., Eslamian, S., Mirchi, A., Abedi-Koupaei, J., Massah Bavani, A. and Madani, K. 2013. Water transfer as a solution to water shortage: A fix that can Backfire. *Hydrology*. 491(2013): 23-39.
28. González-Pavón, C., Arviza-Valverde, J., Balbastre-Peralta, I., Carot Sierra, J.M. and Palau-Salvador, G. 2020. Are Water User Associations Prepared for a Second-Generation Modernization? The Case of the Valencian Community (Spain). *Water*. 12:2136. doi:10.3390/w12082136.
29. Grafton, R.Q., Pittock, J., Davis, R., Williams, J. et al., 2013. Global insights into water resources, climate change and governance. *Nature Climate Change* 3(4): 315-321. DOI:10.1038/nclimate1746.

30. Hamidifar, H. 2024. Water Crisis in Iran: Causes, Consequences, and Solutions. In book: Water Crises and Sustainable Management in the Global South (pp.85-109). DOI:10.1007/978-981-97-4966-9-3.
31. Hassaniyan, A. 2024. Iran's water policy: Environmental injustice and peripheral marginalization. *Progress in Physical Geography*. 48(3): 420-437. <https://doi.org/10.1177/03091333241252523>.
32. Karandish, F. and Hoekstra, A.Y. 2017. Informing National Food and Water Security Policy through Water Footprint Assessment: The Case of Iran. *Water*. 9: 831. doi:10.3390/w9110831.
33. Kalantari, K., Maknoon, R. and Karimi, D. 2018. Developing Sustainable Legal Framework for the Establishment of Integrated Water Resources Management in Iran. *International Journal of Environmental Research*, 12: 223-231.
34. Karimi, N., Azadi, H. and Boussauw, K. 2021. The Water Management Regime in Western Iran: A Retrospective Analysis through a Hybrid Transitions Framework. *Sustainability*. 13: 3323. <https://doi.org/10.3390/su13063323>.
35. Kashani, A. 2025. What is the volume of water and water capacity in Iran?. <https://www.researchgate.net/publication/390748633>.
36. Ketabchy, M. 2021. Investigating the Impacts of the Political System Components in Iran on the Existing Water Bankruptcy. *Sustainability*. 13: 13657. <https://doi.org/10.3390/su132413657>.
37. Madani, K., 2014. Water management in Iran: what is causing the looming crisis? *J. Environ. Sci. Stud*. 4: 315-328. <https://doi.org/10.1007/s-13412-014-0182z>.
38. Mao, K., Zhang, Q., Xue, Y., & Weeks, N. (2020). Toward a socio-political approach to water management: successes and limitations of IWRM programs in rural north-western China. *Frontiers of Earth Science*, 14(2): 268-285.
39. Momeni, M., Zakeri, Z., Esfandiari, M., Behzadian, K., Zahedi, S. and Razavi, V. 2019. Comparative analysis of agricultural water pricing between Azarbaijan Provinces in Iran and the state of California in the US: A hydro-economic approach. *Agricultural Water Management*. 223: 105724. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.105724>.
40. Naves, A. and Varela-Alvarez, E.J. 2021. Community-owned rural water supplies in Galicia (Spain): supporting role in the groundwater self-management. *Mediterranean Geoscience Reviews*. 3: 379-387. <https://doi.org/10.1007/s42990-021-00068-3>.
41. Nouri, M., Homae, M., Pereira, L.S. and Bybordi, M. 2023. Water management dilemma in the agricultural sector of Iran: A review focusing on water governance. *Agricultural Water Management*. 288: 108480. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108480>
42. OECD. 2015. *Water and Cities: Ensuring Sustainable Futures*. OECD Publishing.
43. OECD. 2017. *Enhancing Water Use Efficiency in Korea: Policy Issues and Recommendations*.
44. Ostrom, E. 1990. *Governing the Commons: The Evolution of Institutions for Collective Action (Political Economy of Institutions and Decisions)*. Cambridge University Press
45. Ostrom, E. 2010. Polycentric systems for coping with collective action and global environmental change. *Global Environmental Change*. 20(4): 550-557.
46. Our World in Data. 2025. Renewable freshwater resources per capita. <https://ourworldindata.org/grapher/renewable-water-resources-per-capita?tab=chart&country=IRN>.
47. Pahl-Wostl, C. 2009. A conceptual framework for analysing adaptive capacity and multi-level learning processes in resource governance regimes. *Global Environmental Change*. 19(3): 354-365
48. Pahl-Wostl, C. 2019. The role of governance modes and meta-governance in the transformation towards sustainable water governance. *Environmental Science and Policy*. 91: 6-16.
49. PUB (Public Utilities Board). 2016. *Our Water, Our Future*. Singapore National Water Agency Report. Tortajada, C and Buurman, J. 2017. *Water Policy in Singapore*. <http://global-is.asian.nus.edu.sg/index.php/water-policy-singapore/>
50. Sarker, A., Itoh, T., Kada, R., Abe, T., Nakashima, M. and Herath, G. 2014. User self-governance in a

- complex policy design for managing water commons in Japan. *Journal of Hydrology*. 510: 246-258.
51. Takeuchi, H. and Tanaka, H. 2020. Water reuse and recycling in Japan — History, current situation, and future perspectives. *Water Cycle*. 1: 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.watcyc.2020.05.001>.
52. UNDP, 2015. Users Guide on Assessing Water Governance. <https://www.undp.org/publications/users-guide-assessing-water-governance?>
53. UNESCO, UN-Water, 2020: United Nations World Water Development Report 2020: Water and Climate Change, Paris, UNESCO.
54. UNEP. 2021. Progress on Integrated Water Resources Management. Tracking SDG 6 series: global indicator 6.5.1 updates and acceleration needs.
55. Valizadeh, N., Bijani, M. and Abbasi, E. 2020. Farmers' participatory-based water conservation behaviors: evidence from Iran. *Environment, Development and Sustainability*. 23: 4412-4432.
56. WWC (World Water Council). 2003. the French Water Stakeholders are mobilizing. https://www.worldwatercouncil.org/fileadmin/wwc/Library/Publications_and_reports/Visions/French_stakeholders_en.pdf?utm_source=chatgpt.com.
57. Zamani, O., Azadi, H., Mortazavi, S. A., Balali, H., Moghaddam, S. M. and Jurik, L. 2021. The impact of water-pricing policies on water productivity: Evidence of agriculture sector in Iran — Hamadan-Bahar Plain case. *Agricultural Water Management*. 245:106548.

نقش تاریخ ریاضیات در آموزش ریاضی

محمد قاسم وحیدی اصل
گروه آمار، دانشگاه شهید بهشتی
m-vahidi@sbu.ac.ir

نامه علوم پایه شماره ۱۵، بهار و تابستان ۱۴۰۴

چکیده

این مقاله به بررسی جایگاه تاریخ ریاضیات در آموزش ریاضی می‌پردازد و استدلال می‌کند که تاریخ، نه به عنوان یک عنصر زینتی روایی، بلکه به منزله چارچوبی معرفت‌شناختی و آموزشی، نقشی بنیادین در تعمیق فهم مفهومی، تقویت انگیزش و ارتقای کیفیت تربیت معلم ایفا می‌کند. مقاله با تکیه بر نوشتگان پژوهشی معاصر در حوزه تاریخ و آموزش ریاضیات (HPM) و تحلیل کتاب «آشنایی با تاریخ ریاضیات» هاورد ایوز، نشان می‌دهد که ادغام سنجیده تاریخ در آموزش می‌تواند سازمان‌دهی مفهومی درس را بهبود بخشد و تصویری انسانی‌تر و پویاتر از ریاضیات را ارائه دهد.

واژگان کلیدی: تاریخ ریاضیات، آموزش ریاضی، تربیت معلم، روش ژنتیکی، HPM

۱. مقدمه

نه به منزله نسبی‌گرایی، بلکه به معنای تاریخی بودن صورت‌بندی‌ها و مسیرهای اندیشه ریاضی است. تاریخ ریاضیات نشان می‌دهد که حتی صوری‌ترین شاخه‌های آن نیز از زمینه‌های تاریخی و فرهنگی جدا نیستند. (گری، ۲۰۰۸).

تاریخ ریاضیات صرفاً زیرمجموعه‌ای از تاریخ علم یا فلسفه علم نیست، بلکه شاخه‌ای مستقل از تاریخ اندیشه انسانی است. ریاضیات در بسیاری از دوره‌ها نقشی محوری در شکل‌گیری جهان‌بینی‌ها، تصور از عقل، یقین، برهان، و حتی الاهیات ایفا کرده است. تاریخ ریاضیات نشان می‌دهد که پیشرفت علمی همواره تدریجی و انباشتی نبوده، بلکه اغلب با گسست‌های مفهومی، انقلاب‌ها و بازتعریف‌های بنیادین همراه بوده است (برای مثال: ظهور حساب دیفرانسیل، هندسه‌های ناقلیدسی، نظریه مجموعه‌ها).

تاریخ ریاضیات فی‌نفسه ابزاری نیرومند برای نقد روایت‌های ساده‌انگارانه از «پیشرفت خطی علم» است. بسیاری از ایده‌ها در تاریخ ریاضیات بارها فراموش شده، کنار گذاشته شده، یا تنها در بسترهای خاصی معنا یافته‌اند. بدون تاریخ، ریاضیات به روایتی پیروزمندانه و تقلیل‌یافته بدل می‌شود؛ تاریخ، پیچیدگی، شکست، و مسیرهای بدیل را آشکار می‌کند.

در نهایت، تاریخ ریاضیات دارای ارزش ذاتی فرهنگی است. همان‌گونه که تاریخ هنر یا تاریخ فلسفه را نه صرفاً برای کاربرد، بلکه برای فهم میراث انسانی مطالعه می‌کنیم، تاریخ ریاضیات نیز بخشی از سرمایه نمادین و فکری تمدن بشری است. نادیده گرفتن تاریخ ریاضیات، به معنای حذف یکی از عمیق‌ترین صورت‌های

یکی از بنیادی‌ترین کارکردهای تاریخ علم، آشکار کردن ماهیت واقعی معرفت علمی است. علم - و ریاضیات به طور خاص - در روایت‌های درسی و رسمی اغلب به صورت مجموعه‌ای از گزاره‌های قطعی، بی‌زمان، و بی‌مناقشه عرضه می‌شود؛ حال آنکه تاریخ نشان می‌دهد دانش علمی حاصل فرایندهایی پیچیده، تدریجی، خطاپذیر، و مناقشه‌آمیز است.

در تاریخ ریاضیات، مفاهیمی که امروز بدیهی می‌نمایند (مانند عدد منفی، صفر، بی‌نهایت، تابع، یا برهان صوری) قرن‌ها محل تردید، مناقشه، و حتی طرد بوده‌اند. این آگاهی، نه برای کاربرد آموزشی، بلکه برای درک فلسفی چپستی ریاضیات، اهمیتی اساسی دارد. به عقیده لاکاتوش (۱۹۷۶، ص. ۵) «رشد ریاضیات از طریق افزایش یکنواخت قضیه‌ها نبوده، بلکه از طریق بهبود حدس‌ها به کمک گمانه‌زنی و نقد، با منطقی‌اثبات و ابطال، است.» لاکاتوش هرچند مستقیماً به درس تاریخ ریاضیات نمی‌پردازد، اما تحول تاریخی مفاهیم ریاضی را به مثابه ابزار آموزشی تفسیر می‌کند و در پژوهش‌های آموزش ریاضیات، اغلب در پیوند با استعاره‌های بازپیدایی مورد بحث قرار می‌دهد.

تاریخ ریاضیات با این تصور رایج مقابله می‌کند که ریاضیات دانشی صرفاً کشف‌شدنی، فراتاریخی، و مستقل از فرهنگ است. بررسی تطور مفاهیم ریاضی در تمدن‌های مختلف (بابلی، یونانی، هندی، دوره اسلامی، اروپایی) نشان می‌دهد که ریاضیات در بسترهای زبانی، نمادین، فلسفی، و اجتماعی خاص شکل گرفته است. این امر

کنش عقلانی انسان از روایت تاریخ فرهنگ است.

به‌طور خلاصه، می‌توان سودمندی‌های زیر را برای تاریخ ریاضیات -از یک دیدگاه عام- برشمرد:

- روشن کردن ماهیت معرفت علمی و ریاضی،
- نشان دادن تاریخی بودن صورت‌های عقلانیت،
- فهم عمیق‌تر خلاقیت و تحول اندیشه،
- نقد روایت‌های ساده‌انگارانه از پیشرفت،
- حفظ و تفسیر میراث عقلانی بشر.

از این رو، مطالعه تاریخ ریاضیات، افزون بر ارزش ذاتی و معرفتی آن، جایگاهی مهم در حوزه آموزش ریاضی دارد. تاریخ ریاضیات با نمایاندن روند شکل‌گیری مفاهیم و منطق درونی آنها، بستری معنابخش برای آموزش فراهم می‌آورد و امکان می‌دهد ریاضیات نه به صورت مجموعه‌ای ایستا از نتایج نهایی، بلکه به مثابه دانشی انسانی، تاریخی، و در حال تکوین فهم شود. از همین رو، در این نوشتار، به بهره‌گیری از تاریخ، عمدتاً در آموزش ریاضیات، پرداخته خواهد شد. برای این منظور در بخش ۲ مقاله، مروری کوتاه بر دیدگاه‌های متخصصان و برخی نهادهای حوزه آموزش به عمل خواهد آمد. در بخش سوم (به دلایلی که ذکر خواهد شد)، تمرکز بحث بر مروری بر ویژگی‌های کتاب *آشنایی با تاریخ ریاضیات* نوشته ایوز (۱۳۹۰ و ۱۴۰۲) معطوف خواهد شد. بخش ۴ به نتیجه‌گیری خواهد پرداخت.

۲- آموزش ریاضی حول محور تاریخ آن

استعاره زیست‌شناختی «تکوین فردی، بازگوی تکوین تبار است»^۱ گاهی در بحث‌های مربوط به آموزش ریاضی به کار گرفته شده است تا چنین وانمود شود که روند یادگیری فردی دانش‌آموز و دانشجو هم‌راستا با مسیر تاریخی شکل‌گیری ایده‌های ریاضی یا قابل توضیح به کمک آن است. بر اساس این دیدگاه، تحول مفهومی در ذهن یادگیرنده الزاماً امری تصادفی یا صرفاً روان‌شناختی نبوده، بلکه می‌توان آن را در پرتو تاریخ اندیشه ریاضی فهم کرد. در اهمیت این گفته همین بس که یکی از نخستین اسناد کمیسیون بین‌المللی آموزش ریاضیات^۲ (آی‌سی‌ای‌ام^۳) ضمن بررسی استفاده از تاریخ در کمک به دانش‌آموزان و معلمان برای درک «گسست‌های معرفت‌شناختی» در تکوین مفاهیم می‌پردازد و به‌صراحت به این ایده اشاره می‌کند که «تکوین فردی بازگوی تکوین تبار است».

بحثی از این استعاره در بافتار آموزش ریاضیات در پژوهش‌های آلمانی و ایتالیایی درباره آموزش ریاضیات، از جمله در آثار کلاین

(۱۹۰۸) و توپلیتس (۱۹۲۷) هم دیده می‌شود. آنها نیز متأثر از ایده‌های مشابه بودند با این مضمون که یادگیرندگان، زمانی فهم عمیق‌تری به دست می‌آورند که شاهد توسعه تدریجی مفاهیم ریاضی در بستر تاریخی باشند؛ نه اینکه صرفاً با نتایج نهایی و صیقل‌یافته آن‌ها مواجه شوند. روش ژنتیکی (توپلیتس، ۱۹۶۴) به طور صریح از تحول تاریخی مفاهیم به عنوان یک تأمل آموزشی^۴ برای افزایش انگیزش و شفافیت مفهومی استفاده می‌کند و آن را با ارائه‌های صرفاً اصل‌موضوعی یا ایستا از ریاضیات مقایسه می‌کند. (فرید و یانکه، ۲۰۱۵).

در پژوهش‌هایی که در دانشگاه صنعتی چالمرز انجام شده است، بحثی آموزشی مطرح می‌شود که نشان می‌دهد اصل «بازگویی» چگونه بر دیدگاه‌های اوایل قرن بیستم در امر آموزش ریاضیات اثر گذاشته است. (پیلاره و براتینگ، ۲۰۱۵). در این چارچوب، این ایده که تکامل مفاهیم نزد افراد، بازتابی از تکامل تاریخی آن مفاهیم است، بخشی از تفکر دانشمندانی مانند پوانکاره و کلاین به آموزش را تشکیل می‌دهد. در واقع می‌توان گفت که هدف این روش، حفظ انگیزه و جنبه مفهومی است، نه صرفاً انتقال ساختارهای صوری و انتزاعی.

در تأکید بر این مطلب، می‌توان گفت که یک حوزه پژوهشی مقبول (که معمولاً با عنوان «تاریخ و آموزش ریاضیات»^۵ یا *اچ‌پی‌ام*^۶ از آن یاد می‌شود)، به بررسی این موضوع می‌پردازد که چگونه ادغام مطالب تاریخی، بر درک، انگیزش، و تهیه درس^۷ معلم تأثیر می‌گذارد. پژوهش‌های حوزه *اچ‌پی‌ام* نشان داده‌اند که وارد کردن روایت‌های تاریخی و منابع دست‌اول در آموزش ریاضیات، انگیزش، بینش مفهومی، و تأمل آموزشی دانش‌آموزان و معلمان آینده را تقویت می‌کند.

نمونه‌هایی از این پژوهش‌ها به شرح زیرند:

- یک مقاله مروری منتشر شده در مجله *زِددی‌ام-آموزش ریاضیات* (کورلای و همکاران، ۲۰۲۲)، شرحی از پژوهش‌های مربوط به نقش تاریخ در یاددهی و یادگیری ریاضیات را ارائه می‌کند. این مقاله به‌ویژه نشان می‌دهد که، از اواخر قرن نوزدهم، چگونه تاریخ به عنوان ابزاری برای کمک به دانش‌آموزان در درک ریاضیات - به مثابه فعالیت انسانی، پویا و در حال تحول، و نه مجموعه‌ای از حقیقت‌های ایستا و ازهم‌گسسته- مورد توصیه قرار گرفته است. این مقاله، همچنین مروری جامع بر رشد و بلوغ پژوهش‌ها درباره رابطه تاریخ ریاضیات و آموزش ریاضیات در حدود چهار دهه گذشته ارائه می‌دهد. نویسندگان این جریان پژوهشی را در چارچوب آنچه دیدگاه *اچ‌پی‌ام* را به عنوان حوزه‌ای میان‌رشته‌ای در محل تلاقی

1. Ontogeny Recapitulates Phylogeny
2. International Commission on Mathematical Instruction
3. ICMI
4. didactic

5. History and Pedagogy of Mathematics
6. HPM
7. preparation

می‌خواهد نشان دهد که ریاضیات به‌منزله دانشی زنده است که ایده‌های آن در طول زمان پدید می‌آیند، با دشواری‌هایی مواجه می‌شوند و به‌تدریج قوام می‌یابند. همین جهت‌گیری است که کتاب را به‌طور خاص برای تدریس و برای آماده‌سازی معلمان آینده ریاضیات مناسب می‌سازد.

۳-۱ تاریخ به مثابه ابزار آموزشی^۱ نه زینت حاشیه‌ای

یکی از مهم‌ترین نقاط قوت آموزشی کتاب آشنایی با تاریخ ریاضیات ایوز آن است که تاریخ در آن صرفاً نقش غنابخشی حاشیه‌ای یا مکمل روایی ندارد؛ بلکه تاریخ در این کتاب به مثابه چارچوبی برای تأمل آموزشی برای فهم مفاهیم ریاضی به کار گرفته شده است. مفاهیم ریاضی غالباً به شیوه‌ای معرفی می‌شوند که یادآور مسیر تاریخی شکل‌گیری آن‌هاست: آغاز از مسائل عینی، روش‌های ابتدایی یا پاسخ‌های ناقص، و سپس پیش‌روی تدریجی به سوی صورت‌بندی‌های انتزاعی‌تر و نظام‌مندتر.

از منظر آموزش ریاضیات، این رویکرد با دیدگاه‌های ساخت‌گرا^۲ در یادگیری هم‌خوانی دارد و نیز -به‌صراحت یا به‌طور ضمنی- با این ایده که در نوشتگان آموزش ریاضیات دیده می‌شود یعنی اینکه: فهم عمیق‌تر متعلمان، زمانی حاصل می‌شود که مسیر یادگیری آنان شباهتی ساختاری با مسیر تاریخی تکوین مفاهیم داشته باشد. از این حیث، کتاب ایوز ساختاری آماده در اختیار آن دسته از معلمان قرار می‌دهد که تاریخ را نه به عنوان امری زینتی، بلکه به مثابه ابزاری برای سازمان‌دهی شناختی یادگیری^۳ به کار گیرند.

۳-۲ تأکید بر «ریاضیات واقعی» و درک مفهومی

برخلاف بسیاری از بررسی‌های تاریخی که از ورود به محتوای فنی پرهیز می‌کنند، ایوز استدلال‌های ریاضی، محاسبات، برهان‌ها، و مسائل واقعی را منظم‌اً در متن کتاب گنجانده است. این ویژگی از لحاظ آموزشی بسیار مهم است. در این کتاب، ریاضیات به شرح حال دانشمندان یا گاه‌شناسی وقایع فروکاسته نمی‌شود؛ بلکه ایده‌های ریاضی به عنوان موضوعاتی برای درک، کاوشگری، و کار فعال با آنها ارائه می‌شوند. این نکته برای معلمان آینده، اهمیت ویژه‌ای دارد. مدل ارائه مطلب توسط ایوز به‌طور ضمنی به این گونه است که چگونه می‌توان مطالب تاریخی را در آموزش گنجانده بی‌آنکه از دقت کاسته شود. در این کتاب، دانشجویان در دوره تعلیم خود، نمونه‌هایی می‌بینند از اینکه چگونه می‌توان:

- جبر را از رهگذر مسائل تاریخی معرفی کرد،
- دستگاه‌های عددی را از منظر ضرورت‌های تاریخی آن‌ها توضیح داد،
- هندسه را از ریشه‌های کلاسیک آن آغاز کرد،

ریاضیات، تاریخ، و آموزش که از مرحله‌ای اکتشافی عبور کرده و به حوزه‌ای با بنیان‌های نظری و تجربی استوارتر تبدیل شده است، صورت‌بندی می‌کنند.

• کتاب ریاضیات، آموزش و تاریخ: به سوی شراکتی هماهنگ (کلارک و همکاران، ۲۰۲۲) شامل چندین مقاله درباره این موضوع است که چگونه می‌توان مضامین تاریخی را در طراحی درس‌ها گنجانده و به‌طور تجربی آن‌ها را مورد بررسی قرار داد.

• یک مطالعه تجربی در مجله علوم آموزشی (کارالامبوس و همکاران، ۲۰۰۹) به واری این موضوع پرداخته است که مداخلات آموزشی مبتنی بر تاریخ ریاضیات چگونه بر نگرش‌ها و باورهای دانشجویانی که در آینده معلم ریاضی می‌شوند، اثر می‌گذارد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که قرار گرفتن در معرض چنین زمینه‌های تاریخی، دیدگاه معلمان آینده را به سوی درک ریاضیات به عنوان دانشی انسانی‌تر و وابسته به فرهنگ سوق می‌دهد و استدلال می‌کند که تاریخ به خودتنظیمی و پایداری شناختی - دو مؤلفه مهم انگیزش و فهم - کمک می‌کند.

• برخی اسناد کمیسیون بین‌المللی آموزش ریاضیات و پژوهش‌های وابسته استدلال می‌کنند که تاریخ ریاضیات باید در آموزش معلمان منظور شود، زیرا این امر به فهم عمیق‌تر موضوع و افزایش اشتیاق حرفه‌ای می‌انجامد و در نهایت کیفیت تدریس در کلاس درس را بهبود می‌بخشد. (اتحادیه بین‌المللی ریاضی). (فائوول و مانن، ۲۰۰۰).

• الگوهای بنیادین آموزشی، مانند روش ژنتیکی، به‌طور صریح تحول تاریخی را در فرایند آموزش ادغام می‌کنند تا به جای صورت‌گرایی صرف، فهم و درگیری فعال یادگیرنده را ارتقا دهند. (توپلیتس، ۱۹۶۳).

• پژوهش‌های تربیت معلم نشان می‌دهند که آشنایی با تاریخ ریاضیات، باورهای حرفه‌ای و راهبردهای آموزشی معلمان را بهبود می‌بخشد، به‌ویژه از طریق برجسته کردن ابعاد انسانی و فرهنگی ریاضیات. (کارالامبوس و همکاران، ۲۰۰۹).

۳- کتاب آشنایی با تاریخ ریاضیات و اهمیت آموزشی و تربیتی آن در آموزش ریاضیات

کتاب آشنایی با تاریخ ریاضیات نوشته هاورد و. ایوز، جایگاهی متمایز و اثرگذار در میان آثار مربوط به تاریخ ریاضیات، به‌ویژه از منظر کاربرد آموزشی دارد. برخلاف بسیاری از کتاب‌ها که تاریخ ریاضیات را عمدتاً به مثابه تاریخ فرهنگی یا فکری بررسی می‌کنند، ایوز آگاهانه این موضوع را از درون آموزش ریاضیات می‌نگرد. هدف او صرفاً گزارش رویدادهای تاریخی نبوده، بلکه

• و مفاهیم مدرن را با ارجاع به صورت‌بندی‌های پیشین آن‌ها معنا بخشید.

از این منظر، کتاب ایوز خود به‌منزله الگویی آموزشی^۱ عمل می‌کند و نشان می‌دهد چگونه مطالب تاریخی را می‌توان به‌طور معنادار در تاروپود آموزش جدی ریاضیات گنجانند.

۳-۳ مطالعه‌های مسئله‌ای و درگیرسازی فعال یادگیرندگان

یکی از ویژگی‌های شاخص کتاب ایوز، وجود بخش‌های «مطالعه مسئله‌ای» و موضوعاتی برای مقاله‌نویسی در پایان فصل‌هاست. این موارد، صرفاً برای سؤال‌هایی برای درک بهتر مطلب نیستند، بلکه دانشجویان را به کارهایی چون:

• بازسازی استدلال‌های تاریخی،

• مقایسه روش‌های ریاضی در دوره‌های مختلف،

• تأمل در تغییرات مفهومی،

• و مواجهه مستقیم با ریاضیات در اشکال تاریخی آن،

دعوت می‌کنند.

از دیدگاه آموزش ریاضیات، این امر نقطه قوت مهمی است؛ زیرا این تکالیف، یادگیری فعال، تفکر تاریخی، و فهم ریاضی را به‌طور هم‌زمان تقویت می‌کنند. برای آموزش معلمان نیز این بخش‌ها نمونه‌هایی عینی از طراحی فعالیت‌های کلاسی هستند که تاریخ را به شکلی جدی و ثمربخش وارد تدریس می‌کنند.

۳-۴ روایت‌پذیری و قابلیت استفاده در کلاس درس

سبک نگارش ایوز عمداً روایی، روشن، و جذاب است. او از حکایت‌ها، شرح‌حال‌های کوتاه و داستان‌پاره‌های تاریخی فراوان بهره می‌برد. اگرچه این عناصر خواندن کتاب را دل‌نشین می‌کنند، ارزش آموزشی ژرف‌تر آنها در کارکرد انگیزه‌بخشی آنهاست.

برای معلمان آینده، کتاب ایوز نشان می‌دهد که روایت تاریخی چگونه می‌تواند:

• ریاضیات را انسانی‌تر جلوه دهد،

• با طرح این مطلب که بزرگ‌ترین ریاضیدانان نیز دشواری‌هایی در

درک و درافتادن با مسائل ریاضی داشته‌اند، اضطراب یادگیرندگان

را در تعامل با ریاضیات، کاهش دهد،

• با این تصور که ریاضیات دانشی تمام‌شده، بی‌نیاز از تکمیل

کردن، و بی‌خطاست، مقابله کند،

• کنجکاوی فکری یادگیرنده را برانگیزد.

همین ویژگی روایی است که کتاب را برای برنامه‌های تربیت معلم بسیار کارآمد می‌سازد؛ جایی که هدف تنها انتقال محتوا نیست،

بلکه پرورش تخیل آموزشی نیز مدنظر است.

۳-۵ مناسب‌بودن برای تربیت معلم

در مجموع، می‌توان کتاب *آشنایی با تاریخ ریاضیات ایوز* را پلی میان ریاضیات، تاریخ، و آموزش دانست. این کتاب معلمان آینده را با موارد زیر تجهیز می‌کند:

• توضیح‌هایی با مبانی تاریخی برای مفاهیم،

• مثال‌هایی از اینکه ایده‌های ریاضی چگونه بر اثر ارتکاب خطا، بازنگری، و مباحثات، تطور می‌یابند،

• راهبردهایی ملموس برای ادغام تاریخ در امر تدریس.

نکته مهم آن است که ایوز این هدف را بدون نیاز به آموزش تخصصی در تاریخ‌نگاری دنبال می‌کند. کتاب، به دست یک ریاضیدان و برای دانشجویان و معلمان ریاضی نوشته شده است؛ و همین امر، علت ماندگاری و محبوبیت آن در برنامه‌های آموزش ریاضیات است.

۳-۶ محدودیت‌ها و استلزامات آموزشی آن‌ها

شایان ذکر است که ایوز اغلب ریاضیات تاریخی را با نمادگذاری و تفسیرهای مدرن ارائه می‌کند که از دیدگاه تاریخ‌نگاری سخت‌گیرانه، این امر ممکن است به عنوان یک محدودیت تلقی شود. با این حال، از دیدگاه آموزشی، این انتخاب مسلماً عمدی و از نظر آموزشی توجیه‌پذیر است: این امر باعث می‌شود که مطالب تاریخی در کلاس درس، به‌ویژه برای مقاطع متوسطه و سال‌های اول دوره کارشناسی، در دسترس و قابل استفاده باقی بمانند.

در چارچوب رویکردهای مبتنی بر تاریخ در آموزش ریاضیات، کتاب *آشنایی با تاریخ ریاضیات ایوز* یکی از موفق‌ترین و اثرگذارترین آثار از حیث کاربرد آموزشی است. پیوند سنجیده میان تحول تاریخی مفاهیم، محتوای واقعی ریاضی، فعالیت‌های مسئله‌محور و روایت جذاب، این کتاب را به منبعی بسیار مناسب برای آموزش و تربیت معلمان ریاضیات بدل کرده است.

۳-۷ ایوز و فلیکس کلاین: تاریخ به مثابه راهنمای سازمان‌دهی آموزشی

فلیکس کلاین (۱۹۰۸)، در اثر کلاسیک خود، *ریاضیات ابتدایی از دیدگاهی پیشرفته* بر این نکته تأکید می‌کند که آموزش ریاضیات باید بازتابی معنادار از تکوین تاریخی و منطقی مفاهیم ریاضی باشد و نه صرفاً بازنویسی صورت‌بندی‌های نهایی. تاریخ از دیدگاه کلاین، ابزار تشخیص «مسیرهای طبیعی فهم» است؛ مسیرهایی که می‌توانند سازمان‌دهی محتوای درسی را هدایت کنند.

1. pedagogical exemplar

2. episode

کتاب ایوز را می‌توان تحقق عملی این دیدگاه دانست. نحوه ترتیب‌بندی فصل‌ها، معرفی تدریجی مفاهیم، و حرکت از مسائل تاریخی به صورت‌بندی‌های نظام‌مندتر، همگی نشان می‌دهند که تاریخ در این اثر نقش اصل سازمان‌دهنده آموزشی دارد، نه صرفاً نقش روایی یا تزئینی. از این حیث، کتاب ایوز را می‌توان مفسری آموزشی برای اندیشه‌های کلاین دانست، بی‌آنکه مستقیماً وارد مباحث نظری او شود.

۳-۱/ ایوز و توپلیتس: روش ژنتیکی در آموزش ریاضیات

همان‌گونه که در بالا گفتیم، توپلیتس در اثر بنیادین خود حساب دیفرانسیل و انتگرال: رویکردی ژنتیکی (۱۹۲۷، ۱۹۶۳) از روشی دفاع می‌کند که در آن مفاهیم ریاضی از مسیر تاریخی زایش خود بازسازی می‌شوند. توپلیتس معتقد است که فهم واقعی تنها زمانی حاصل می‌شود که یادگیرنده، مراحل تدریجی شکل‌گیری مفاهیم را «به صورتی بازسازی‌شده»، تجربه کند.

این رویکرد در کتاب ایوز به صورت ضمنی اما نظام‌مند حضور دارد. بسیاری از مفاهیم ابتدا در قالب‌های تاریخی ناقص، شهودی، یا پیشاصوری عرضه می‌شوند و سپس به بیان‌های دقیق‌تر و مدرن می‌رسند. از این منظر، کتاب آشنایی با تاریخ ریاضیات ایوز را می‌توان نمونه‌ای موفق از کاربست آموزشی روش ژنتیکی در سطح آموزش دانشگاهی و تربیت معلم دانست.

۳-۹/ ایوز و هانس فرویدنتال: ریاضیات به مثابه فعالیت انسانی

هانس فرویدنتال با طرح ایده «ریاضیات به مثابه فعالیت انسانی»^۱ و مفهوم «بازاختراع هدایت‌شده»^۲، تاریخ را عنصری کلیدی در طراحی مسیرهای یادگیری می‌داند (فرویدنتال، ۱۹۷۳). از دید او، تاریخ نه برای بازگویی دقیق گذشته، بلکه برای ایجاد موقعیت‌هایی به کار می‌آید که در آن یادگیرندگان بتوانند مفاهیم را به صورتی فعالانه و معنادار بازسازی کنند.

مسائل تاریخی، مطالعات مسئله‌محور، و تأکید ایوز بر خاستگاه‌های واقعی مفاهیم، دقیقاً چنین بستری را فراهم می‌آورد. در کتاب ایوز، تاریخ به منبعی برای کنش ریاضی بدل می‌شود، نه صرفاً دانشی توصیفی؛ امری که کاملاً با رویکرد فرویدنتال هم‌خوان است.

۳-۱۰/ ایوز و ویکتور کاتز: تاریخ در خدمت آموزش ریاضیات

ویکتور کاتز، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین نظریه‌پردازان معاصر در پیوند تاریخ و آموزش ریاضیات، به‌صراحت بر این نکته تأکید می‌کند که تاریخ باید در خدمت فهم مفهومی، انسجام آموزشی، و تربیت معلم قرار گیرد (کاتز، ۱۹۹۳؛ کاتز و میخالوویچ، ۲۰۰۵). در

آثار او، تاریخ ابزار آموزشی است، نه هدفی مستقل.

در این چارچوب، می‌توان کتاب ایوز را نمونه‌ای پیشگام و عملی از همان رویکردی دانست که کاتز بعدها آن را به صورت نظری و پژوهشی صورت‌بندی می‌کند. ایوز نشان می‌دهد که چگونه تاریخ می‌تواند در قالب یک متن آموزشی، به‌طور مستقیم در خدمت یادگیری قرار گیرد.

۴ - جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

این نوشتار با تأکید بر این نکته آغاز شد که تاریخ ریاضیات، فراتر از مجموعه‌ای از رویدادها، آینه‌ای تمام‌نما از چیستی و چگونگی تحول معرفت ریاضی است. در بخش‌های نخست، استدلال شد که رویارویی با تاریخ، تصویر رایج و رایج‌شده از ریاضیات به‌عنوان دانشی ایستا، قطعی، و فراتاریخی را به چالش می‌کشد و از رهگذر این مواجهه، وجوهی بنیادین از این علم را آشکار می‌سازد.

تاریخ، ماهیت پویا و خطاپذیر معرفت ریاضی را عیان می‌کند، جدال‌های دیرپا بر سر مفاهیمی که امروز بدیهی می‌نمایند (مانند صفر یا اعداد منفی)، بر ملا می‌کند؛ تاریخ نشان می‌دهد که ریاضیات نه از انباشت خطی حقایق، که از طریق پرسش‌گری، نقد و حتی خطا بالیده است. این دیدگاه که در چارچوب‌های نظری لاکاتوش نیز بازتاب یافته، به‌خوبی گویای این پویایی است.

تاریخ، ابعاد انسانی و فرهنگی ریاضیات را برجسته می‌کند: تتبع در مسیر رشد ریاضیات در تمدن‌های گوناگون، نشان‌دهنده تأثیرپذیری این دانش از بسترهای زبانی، فلسفی، و اجتماعی است. این آگاهی، بدون افتادن در دام نسبی‌گرایی، به تاریخی‌بودن صورت‌بندی‌ها و مسیرهای اندیشه ریاضی اذعان دارد و ریاضیات را از انزوای فرهنگی‌اش خارج می‌کند.

تاریخ، نقشی بنیادین در نقد روایت‌های ساده‌انگارانه و حفظ میراث عقلانی بشر دارد: تاریخ، به مثابه روایتی جایگزین، از مسیرهای ناپیموده، ایده‌های فراموش‌شده و شکست‌هایی می‌گوید که در کامیابی‌های نهایی علم نادیده گرفته می‌شوند. این روایت، به‌جای تحویل ریاضیات به گزاره‌های نهایی، آن را به مثابه کنشی عقلانی، عمیقاً انسانی و بخشی جدایی‌ناپذیر از میراث فکری تمدن بشری معرفی می‌کند.

این ارزش‌های معرفتی و فرهنگی، زمینه‌ساز نقشی بی‌بدیل برای تاریخ در آموزش ریاضیات است. مرور دیدگاه‌های صاحب‌نظران و مستندات بین‌المللی در بخش دوم، نشان داد که پیوند تاریخ و آموزش ریاضی، یک حوزه پژوهشی بالنده به نام «اچ‌پی‌ام» را شکل داده است. ایده‌هایی چون «بازگویی»، «روش ژنتیکی» توپلیتس، و «ریاضیات به مثابه فعالیت انسانی» فرویدنتال، همگی

از منظر کاتز: کتاب ایوز، اثری پیشگام در به‌کارگیری تاریخ «در خدمت آموزش» است و نشان می‌دهد که چگونه می‌توان تاریخ را بدون نیاز به تخصص تاریخ‌نگاری، در قالب متنی آموزشی برای معلمان و دانشجویان طراحی کرد.

بنابراین، اهمیت کتاب فراتر از محتوای تاریخی صرف آن است. این کتاب با تلفیق سنجیده و آگاهانه تحول تاریخی مفاهیم را آموزش منظم ریاضی، الگویی عملی برای تحقق ایده‌هایی است که نظریه‌پردازان این حوزه بر آن تأکید داشته‌اند. کتاب ایوز نشان می‌دهد که تاریخ، هنگامی که به‌درستی به کار گرفته شود، می‌تواند از حاشیه‌ای تزئینی، به عنصری ساختاری و بنیادین در آموزش ریاضیات و تربیت معلمان تبدیل شود و تصویری زنده، پویا، انسانی، و فرهنگی از این علم را در ذهن یادگیرندگان و مدرسان آن ترسیم کند.

درنهایت، می‌توان جایگاه آشنایی با تاریخ ریاضیات ایوز را چنین صورت‌بندی کرد: این اثر در تقاطع سنت کلاسیک سازمان‌دهی مفهومی، روش ژنتیکی توپلیتس، نگاه انسان‌محور فرویدنتال، و رویکرد آموزشی کاتز قرار می‌گیرد. اهمیت کتاب نه در نوآوری نظری، بلکه در تحقق عملی این دیدگاه‌ها در قالب متنی آموزشی و قابل‌استفاده برای معلمان است.

از این رو، کتاب ایوز شاهدهی قوی بر این مدعاست که تاریخ، هنگامی که به‌درستی و آگاهانه به کار گرفته شود، می‌تواند نقشی بنیادین در آموزش ریاضیات و تربیت معلم ایفا کند.

در این باور مشترک‌اند که تاریخ می‌تواند مسیر طبیعی فهم را برای یادگیرنده بازآفرینی کند، انگیزش او را افزایش دهد و تصویری ژرف‌تر و به‌هم‌پیوسته‌تر از مفاهیم ارائه دهد. پژوهش‌های متعدد، تأثیر این رویکرد را بر باورها، نگرش‌ها، و آمادگی حرفه‌ای معلمان آینده تأیید کرده‌اند.

در چنین چشم‌اندازی، کتاب *آشنایی با تاریخ ریاضیات ایوز* صرفاً یک منبع تاریخی نیست، بلکه پاسخی عملی و ملموس به این دغدغه‌های نظری است. تحلیل این کتاب در بخش سوم، نشان داد که اثر ایوز را می‌توان نقطه‌ی تلاقی و تجسم عینی مهم‌ترین جریان‌های فکری در این حوزه دانست:

از منظر کلاسیک: کتاب ایوز، «سازمان‌دهی مفهومی» محتوای ریاضی را بر مبنای سیر تاریخی آن به دست می‌دهد و عملاً نشان می‌دهد که چگونه می‌توان از تاریخ برای تشخیص و هموار کردن «مسیرهای طبیعی فهم» بهره جست.

از منظر توپلیتس: این اثر، نمونه‌ای موفق از کاربرد «روش ژنتیکی» در سطحی گسترده است، جایی که مفاهیم در بستر تاریخی تکوین خود بازسازی و ارائه می‌شوند تا یادگیرنده، فرایند پویای شکل‌گیری آن‌ها را تجربه کند.

از منظر فرویدنتال: ایوز با بهره‌گیری از مسائل تاریخی و خاستگاه‌های واقعی مفاهیم، زمینه‌ای را برای «بازآفرینی هدایت‌شده» فراهم می‌آورد و تاریخ را از دانشی توصیفی به منبعی برای «کنش ریاضی» بدل می‌کند.

منابع

۱. ایوز، هاورد و. *آشنایی با تاریخ ریاضیات*، جلد ۱. ترجمه محمدقاسم وحیدی اصل، ویراسته محمدهادی شفیعی‌ها. چاپ چهاردهم. مرکز نشر دانشگاهی، تهران، ۱۴۰۲.
۲. ایوز، هاورد و. *آشنایی با تاریخ ریاضیات*، جلد ۲، ترجمه محمدقاسم وحیدی اصل، ویراسته محمدهادی شفیعی‌ها، چاپ پنجم. مرکز نشر دانشگاهی، تهران، ۱۳۹۰.
1. Charalambous, C.Y., Panaoura, A. and Philippou, G., 2009. Using the history of mathematics to induce changes in preservice teachers' beliefs and attitudes: insights from evaluating a teacher education program. *Educational Studies in Mathematics*, 71(2), pp.161-180. doi: 10.1007/s10649-008-9170-0.
2. Chorlay, R., Clark, K.M. and Tzanakis, C., 2022. History of mathematics in mathematics education: Recent developments in the field. *ZDM – Mathematics Education*, 7(54), pp.1407-1420. doi: 10.1007/s11858-022-01442-7.
3. Clark, K.M., Kjeldsen, T.H., Schorcht, S. and Tzanakis, C. (eds.) (2018). *Mathematics, education and history: towards a harmonious partnership*. ICME13- Monographs. Cham: Springer.
4. Clark, K. M., T. H. Kjeldsen, S. Schorcht, and C. Tzanakis. History of Mathematics in Mathematics Education: Recent Developments in the Field. *ZDM – Mathematics Education* 54, no. 1(2022):1–. <https://doi.org/10.1007/s11858-022-01442-7>.
5. Fauvel, J., and J. A. van Maanen, eds. *History in Mathematics Education: The ICMI Study*. New ICMI Study Series, Vol. 6. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000.
6. Fried, M. N., and H. N. Jahnke. «Otto Toeplitz's 1927 Paper on the Genetic Method in the Teaching of Mathematics.» *Science in Context* 28, no. 2(2015), 285–295. <https://doi.org/10.1017/S0269889715000034>.

7. Freudenthal, H. (1973). *Mathematics as an educational task*. Dordrecht: Reidel.
8. Furinghetti, F. Works on historical epistemology and teaching of mathematics. *Educational Studies in Mathematics / ZDM – Mathematics Education*. 51(6)(2020),967–994 .
9. Gray, J. (2008). *Plato's Ghost: The Modernist Transformation of Mathematics*. Princeton University Press.
10. Jahnke, H. (2018). *Chapters in Mathematics, Education and History— Theoretical Frameworks for Integrating History*. Springer.
11. Katz, V. J. (1993). *A history of mathematics: An introduction*. HarperCollins.
12. Katz, V. J., & Michalowicz, K. D. (2005). *Historical modules for the teaching and learning of mathematics*. Mathematical Association of America.
13. Klein, Felix. (1908). *Elementary Mathematics from an Advanced Standpoint*. Translated by A.S.Hald. Springer.
14. Pejlare, J., and K. Bråting. On the Relations between Historical Epistemology and Students' Conceptual Developments in Mathematics. *Educational Studies in Mathematics* 89, no. 2(2015) 251–265. <https://doi.org/10.1007/s10649-015-9600-8>.
15. Toeplitz, Otto. «Das Problem der Universitätsvorlesungen über Infinitesimalrechnung und ihrer Abgrenzung gegenüber der Infinitesimalrechnung an den höheren Schulen.» *Jahresbericht der Deutschen Mathematiker-Vereinigung* 36(1927), 88–99. <https://eudml.org/doc/145749>.
16. Toeplitz, O., 1949. Die Entwicklung der Infinitesimalrechnung: Eine Einleitung in die Infinitesimalrechnung nach der genetischen Methode. G. Köthe, ed. Berlin: Springer
17. Toeplitz, Otto. *The Calculus: A Genetic Approach*. Chicago: University of Chicago Press, 1963.
18. Bressoud, David, and Otto Toeplitz. «The American Mathematical Monthly.» *The American Mathematical Monthly* 71, no. 5 (May 1964). <https://doi.org/10.2307/2312634>.

معرفی تفکر محاسباتی انسان محور و تبیین آن از دیدگاه نظریه رسته‌ها

آر تا امیر جمشیدی^{۱*} و نقی اسدی لمعه‌دشت^۱
۱. آزمایشگاه تحقیقاتی علوم داده و مدل سازی
دانشکده ریاضی، آمار و علوم کامپیوتر، دانشکده‌گان علوم، دانشگاه تهران.
arta.jamshidi@ut.ac.ir
نامه علوم پایه شماره ۱۵، بهار و تابستان ۱۴۰۴

چکیده

با ورود هوش مصنوعی، ابزارهای دیجیتال و سیستم‌های هوشمند محاسباتی در زندگی بشر، نحوه تعاملات انسان با محیط پیرامون خود دچار تغییرات بنیادی شده است. در سال‌های اخیر به دلیل نقش مهم سیستم‌های محاسباتی در تمامی بخش‌های زندگی، نوعی از تفکر به نام تفکر محاسباتی^۱ مورد توجه قرار گرفته است. تفکر محاسباتی شامل فرآیندهای فکری درگیر در فرمول‌بندی مسائل و راه‌حل‌های آن‌ها است؛ به گونه‌ای که راه‌حل‌ها به شکلی نمایش داده می‌شوند که می‌تواند به طور مؤثر توسط یک عامل پردازش کننده اطلاعات اجرا شود. بزرگ‌ترین مزیت این نوع تفکر، توانایی آن در حل مسائل دنیای واقعی است. در این مقاله، نخست به تفکر محاسباتی و سیر تاریخی مؤلفه‌های اصلی و ضرورت آن‌ها پرداخته شده است. در ادامه مؤلفه‌های اتوماسیون و تعمیم را به مؤلفه‌های مشترک تفکر محاسباتی (انتزاع، تجزیه، الگوریتم و اشکال زدایی) اضافه کرده، با در نظر گرفتن ویژگی‌های هوشمندی و محاسبه‌گری انسان، به معرفی تفکر محاسباتی انسان محور می‌پردازیم. با تبیین رسته تفکر محاسباتی از دیدگاه تئوری رسته‌ها^۲ به بررسی ارتباط آن با سایر رسته‌ها از جمله مسائل دنیای واقعی در فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی می‌پردازیم. روابط میان ذهن، زبان و دنیای واقعی (خارج) را به کمک تفکر منطقی^۳ و رسته تفکر محاسباتی انسان محور بررسی می‌کنیم. با بررسی روابط متقابل انسان و مسائل دنیای واقعی به نحوه ایجاد و رشد تکنولوژی اشاره کرده، نقش تفکر محاسباتی انسان محور را در نحوه شکل‌گیری و جهت‌دهی این روابط تبیین می‌کنیم. در ادامه رابطه متقابل و کنشگری تفکر محاسباتی انسان محور، هوش مصنوعی و آموزش مورد بررسی قرار گرفته است. در پایان نتیجه می‌گیریم که تفکر محاسباتی انسان محور به عنوان یک مهارت ضروری، تأثیر قابل توجهی بر تحولات فردی و اجتماعی در جوامع دارد؛ لذا نیازمند تدابیر آموزشی و توجه خاص است.

کلید واژگان: هوش مصنوعی، تفکر محاسباتی، تفکر منطقی، نظریه رسته‌ها، تفکر محاسباتی انسان محور، سیستم‌های هوشمند، آموزش.

۱. مقدمه

از جمله شواهد مبنی بر کارکردهای تفکر محاسباتی در زمینه‌های مختلف می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

• تفکر محاسباتی در شیمی و زیست‌شناسی: با الگوریتم توالی شاتگان^۴ (روشی که برای توالی‌یابی رشته‌های بلند DNA به کار می‌رود)، توانایی بشر در توالی‌یابی ژنوم انسان تسریع یافته است [۳۸,۴۷]. به عنوان جدیدترین کاربرد تفکر محاسباتی در زمینه بیوشیمی، می‌توان به اعطای جایزه نوبل شیمی در سال ۲۰۲۴ به تحقیقات صورت گرفته توسط بیکر^۵، حسابیس^۶ و جامپر^۷ در زمینه طراحی محاسباتی پروتئین و پیش‌بینی ساختار پروتئین اشاره کرد [۳۳].

در عصر حاضر، سبک زندگی افراد به واسطه ورود سیستم‌های هوشمند و صنعتی شدن جوامع دچار تغییرات فراوان شده است. بشر امروزی با مسائل و مشکلات متفاوتی نسبت به گذشته روبرو است. به عنوان مثال در زمینه‌های اقتصادی، نظامی، پزشکی و آموزشی، مسائل پیش روی بشر امروزی با گذشته تغییر فراوانی کرده است [۲۰,۵۳].

امروزه محاسبات و تفکر محاسباتی به طور گسترده در بین محققان و دانشمندان مورد توجه و استفاده قرار گرفته است [۴]. به طوری که رایانه‌ها و سیستم‌های هوشمند در همه زمینه‌ها، از مهندسی گرفته تا پزشکی و آموزش، مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۳۵,۵۳].

1. Computational thinking
2. Category theory
3. Logical thinking
4. Shotgun sequencing

5. Baker
6. Hassabis
7. Jumper

حل مسائل دنیای واقعی پرداخت. همچنین با ارائه مثال‌هایی نشان می‌دهیم که بهره‌گیری از تفکر محاسباتی انسان محور به ایجاد رویکردهای نوآورانه در علوم مختلف منجر شده، پلی میان علوم مختلف برای دستیابی به راه‌حل‌های جامع‌تر فراهم می‌کند. نوآوری سوم، بررسی رابطه‌های میان ذهن، زبان و دنیای خارج از نظر تفکر منطقی و مقایسه آن با رابطه‌های موجود میان ذهن، ابزار هوشمند و مسائل دنیای واقعی از دیدگاه تفکر محاسباتی انسان محور است.

به کمک تحلیل روابط، نقش تفکر محاسباتی انسان محور در حل مسائل دنیای واقعی نمود بیشتری پیدا می‌کند. با بررسی کنشگری میان انسان و مسائل دنیای واقعی به نحوه شکل‌گیری، رشد و توسعه تکنولوژی می‌پردازیم. قسمتی از مقاله به بررسی و تحلیل ارتباط متقابل انسان، تکنولوژی و مسائل دنیای واقعی به همراه تبیین نقش تفکر محاسباتی انسان محور در نظارت بر برقراری تعاملات صحیح میان آن‌ها اختصاص یافته است. در این مقاله فرآیند آموزش به عنوان بازخورد کنشگری میان انسان، تکنولوژی و مسائل دنیای واقعی مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین تأثیر آموزش صحیح و اصولی بر رشد آگاهی افراد مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به این نوآوری‌ها، امید است که این نوشته بتواند نقش مؤثری در معرفی تفکر محاسباتی انسان محور، در پیش‌برد دانش و بهبود عملکرد در زمینه‌های مرتبط با آن - با هدف تربیت افراد آگاه و منطقی - ایفا کند.

در بخش دوم این مقاله با اشاره به سیر تاریخی تفکر محاسباتی، به تبیین ریشه‌های این نوع تفکر در میان اندیشه‌های دانشمندان گذشته می‌پردازیم. در بخش سوم با استناد به تعاریف متخصصان و پژوهشگران فعال در علوم مختلف، تعاریف گوناگون از تفکر محاسباتی تحلیل و بررسی می‌شوند. بخش چهارم را به تشریح مؤلفه‌های مشترک تفکر محاسباتی از دیدگاه‌های مختلف اختصاص داده، به سایر مؤلفه‌های مرتبط با تفکر محاسباتی اشاره می‌کنیم. بخش پنجم را به تعریف رسته تفکر محاسباتی اختصاص داده‌ایم. در بخش ششم رسته تفکر محاسباتی انسان محور معرفی شده است. بخش هفتم به روابط میان ذهن، زبان و دنیای واقعی (خارج) در تفکر منطقی و تفکر محاسباتی انسان محور، و بخش هشتم به ارتباط رسته تفکر محاسباتی با زیست‌شناسی اختصاص یافته است. در بخش نهم ارتباط مستمر و پیوسته انسان، تکنولوژی و مسائل دنیای واقعی و نقش تفکر محاسباتی انسان محور در نحوه ارتباطات آن‌ها بررسی شده‌اند. در بخش دهم، نقش تفکر محاسباتی انسان محور در به وجود آمدن و توسعه هوش مصنوعی و ارتباط متقابل آن‌ها را بررسی می‌کنیم. در بخش یازدهم به نقش تفکر محاسباتی انسان محور در فرآیند آموزش و افزایش آگاهی افراد می‌پردازیم. در بخش پایانی به بحث و گفتگو و نتیجه‌گیری از مطالب بیان شده می‌پردازیم.

• تفکر محاسباتی در اقتصاد: تفکر محاسباتی اقتصاد را متحول می‌کند و زمینه جدیدی از اقتصاد خرد محاسباتی را با کاربردهایی مانند نحوه قرار دادن تبلیغات هوشمند، مزایده‌های برخط و خدمات اعتباری ایجاد کرده است. در ضمن نقش این تفکر در عملکرد بانک‌ها، بیمه‌ها و بازارهای معاملاتی (بورس و رمز ارزها) و تصمیم‌گیری‌های کلان در زمینه‌های مرتبط با اقتصاد انرژی و منابع طبیعی به وضوح دیده می‌شود.

• تفکر محاسباتی در آمار: تفکر محاسباتی در حال دگرگونی مطالعات آماری است. به طوری که با استفاده از یادگیری ماشین و بهره‌گیری از مدل‌های گرافیکی احتمالی، شناسایی الگوها و ناهنجاری‌ها در مجموعه داده‌های حجیم به کار رفته در زمینه‌های گوناگون مانند شبکه‌های مخابراتی و مطالعات نجومی امکان‌پذیر شده است [۳۱].

کارکرد و نقش تفکر محاسباتی را به فراخور، می‌توان در رشته‌های مهندسی، علوم انسانی، هنر و سایر علوم نیز مشاهده و تبیین کرد [۵۳]. لذا حرکت در مسیر یادگیری بیشتر در حوزه‌های تکنولوژی با هر میزان امکانات و توانایی ضروری است. در این میان دستیابی به روش‌های تعامل مناسب میان انسان و سیستم‌های هوشمند، ضرورتی غیرقابل انکار است [۸،۵۲].

در این مقاله به ارائه نوآوری‌های کلیدی در زمینه تفکر محاسباتی می‌پردازیم. این نوآوری‌ها نه تنها به بهبود فرآیندهای موجود کمک می‌کنند، بلکه می‌توانند تأثیرات قابل توجهی بر شناخت و توسعه مهارت‌های مرتبط با تفکر محاسباتی داشته باشند. یکی از نوآوری‌های اصلی این مقاله معرفی رسته تفکر محاسباتی است. مسائل دنیای پیرامون ما اغلب از نوع مسائل فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی هستند و ابزار ما برای حل آن‌ها محاسبه است. هر مسأله در زمینه‌های ذکر شده یک مسأله تابع‌گون^۱ می‌باشد. این موضوع به این معنی است که باید رابطه‌ای میان محاسبات و هر یک از مسائل ایجاد شده توسط تابع‌گون‌ها برقرار شود. در این مقاله ما با شناسایی اجزای تفکر محاسباتی و ارتباطات آن‌ها، رسته^۲ تفکر محاسباتی را معرفی می‌کنیم. نشان می‌دهیم با کمک دیدگاه رسته‌ای می‌توانیم به مدل‌سازی دقیق‌تر فرآیندها و درک بهتر روابط و ساختارهای پیچیده در مسائل متنوع دست پیدا کنیم. به عنوان نوآوری دیگر، در این مقاله به تعریف تفکر محاسباتی انسان محور اقدام شده است. با توجه به این که در تعریف تفکر محاسباتی تمرکز بر حل مسائل به کمک ابزارهای محاسبه‌گر است، در کاربرد آن در حل مسائل محدودیت‌هایی وجود دارد. ما با معرفی تفکر محاسباتی انسان محور که در آن انسان به عنوان اصلی‌ترین ابزار هوشمند و محاسبه‌گر می‌باشد، نشان می‌دهیم که به کمک تفکر محاسباتی انسان محور می‌توان با نگاهی جامع‌تر به

۲. سیر تاریخی تفکر محاسباتی - یک سوال اساسی

تفکر و اندیشیدن، قدمتی به اندازه حضور بشر در این کره خاکی دارد و تفکر محاسباتی در مفهوم ذاتی خود از همان ابتدا با اندیشه انسان قرین بوده است. وجود یک نظم منطقی و حساب شده در میان پدیده‌های جهان پیرامون ما کشف روابط موجود در طبیعت را به کمک تفکر محاسباتی و منطقی ممکن می‌سازد. در طول تاریخ، در واقع این خود انسان بوده که به کمک تفکر، در محیط اطراف خود تغییر ایجاد کرده، در اقدامی هوشمندانه برای حفظ ارتباط و همسویی با این تغییرات، نحوه تفکر خود را به‌روز رسانی نموده است. این همان قدرت انسان هوشمند است که در دنیای پیرامون خود دست به تغییر می‌زند و از بررسی و تجزیه و تحلیل نتایج همین تغییرات به دستاوردهای تکنولوژیک دست می‌یابد. پس پاسخ این پرسش اساسی که «آیا تفکر محاسباتی با ورود کامپیوترها و سیستم‌های هوشمند به زندگی بشر، به وجود آمده؟» منفی است.

ریشه‌های تفکر محاسباتی را می‌توان در تفکر منطقی و تفکر فلسفی یافت. با نگاهی به تألیفات و اثرات فاخر دانشمندان و فیلسوفان نامی ایران و جهان، ریشه‌ها و بنیان تفکر محاسباتی را می‌توان در جای جای تفکر، بینش، آثار و تألیفات آنان مشاهده کرد. اگرچه در اعصار گذشته، از کامپیوترها و دستگاه‌های هوشمند به معنای امروزی، اثری نبود، ولی اساس و بنیان تفکر محاسباتی در فعالیت‌ها و تألیفات به جا مانده از گذشتگان به وضوح دیده می‌شود. مؤلفه‌های تفکر محاسباتی را می‌توان در اندیشه‌های والای خوارزمی، فارابی، بیرونی، ابن سینا، سهروردی و دیگر دانشمندان ایرانی دید. شاهد و گواه روشن این امر، قرار داشتن این دانشمندان در زمره فیلسوفان و متفکران بزرگ در طول تاریخ است. خوارزمی (۱۸۵-۲۳۳ ه ق) که آوازه او در عالم ریاضیات و فلسفه، طنین انداز شده است، بنیان گذار علم جبر می‌شود و یکی از دانشمندان شناخته شده در علوم فلسفی و ریاضی به شمار می‌رود. واژه الگوریتم که امروزه فراگیر و مستعمل گردیده است، در واقع بر گرفته از نام خوارزمی، دانشمند پرآوازه ایرانی است. فارابی (۲۵۹-۳۳۹ ه ق) دانشمند دیگری است که از بزرگان فلسفه، ریاضیات و منطق به شمار می‌آید. فارابی در مبحث الفاظ و اصطلاحات منطق به زبان عربی، کتاب الألفاظ المستعمله فی المنطق را به رشته تحریر درآورده است [۶۰]. این کتاب، هم از نظر تحول تاریخی و صنعت منطق اهمیت دارد و هم از جهت مباحث و شیوه بیان آن‌ها ارزشمند است. فارابی به حدی در زمینه فلسفه و منطق اعتبار دارد که به دلیل فعالیت‌های فاخرش لقب معلم ثانی را به خود می‌گیرد [۶۱]. بیرونی (۳۶۲-۴۴۲ ه ق) شاع کره زمین را با نزدیکی فوق العاده به محاسبات امروزی حساب کرده است. ابن سینا (۳۷۰-۴۲۸

ه ق) دیگر دانشمند سرشناس ایرانی است که در رساله منطق دانشنامه علایی، بیش متعالی خویش را در زمینه منطق به رخ می‌کشد [۵۶]. در دیگر اثر فاخر ابن سینا که شفا نام دارد، وی پس از مباحثی که در باب منطق بیان کرده، درباره ساختن آلات رصدی و در بخشی هم درباره ریاضیات که شامل هندسه، علم حساب، موسیقی و هیئت می‌باشد، مطالب گران‌بهای ارائه کرده است [۶۲]. سهروردی (۵۴۹-۵۸۷ ه ق) فردی است که در منطق دیدگاه‌هایی نو عرضه کرده که از این دیدگاه‌ها با عنوان قواعد اشراقی در منطق یاد می‌شود. هدف او در منطق حکمه الاشراقی، بیان قواعد منطق به صورت بسیار مختصر و کاهش دادن قواعد منطقی به چند قاعده اصلی است.

در این مسیر و در سده‌های بعدی هم شاهد حضور مستمر و پیوسته دانشمندان و متفکران پرآوازه ایرانی در زمینه‌های مختلف، فلسفی و منطق هستیم. با مطالعه آثار و بررسی اختراعات دانشمندان چون خواجه نصیرالدین طوسی (۵۹۷-۶۷۲ ه ق)، قطب‌الدین شیرازی (۶۳۳-۷۱۰ ه ق)، شیخ بهایی (۹۵۳-۱۰۳۰ ه ق) و بسیاری دیگر از بزرگان، می‌توان تأثیر تفکر محاسباتی را در زمینه‌های مختلف مشاهده کرد. با بررسی سیر تاریخ علم در ایران در کتاب مقدمه بر تاریخ علم نوشته جرج سارتن^۱، تعداد پرشماری از دانشمندان ایرانی به چشم می‌آیند که فعالیت‌های هر کدام نشان دهنده توانایی آن‌ها در استفاده از مهارت‌های تفکر محاسباتی است [۳۰، ۵۹]. از سوی دیگر در دوران قبل از میلاد، دانشمندان و متفکران غربی مانند ارسطو، افلاطون، سقراط و بقراط در یونان و کنفوسیوس در چین، به بررسی و تحلیل مسائل مختلف پرداخته و پایه‌گذاران اصول منطقی و تحلیلی شده‌اند. این اندیشمندان با استفاده از روش‌های محاسباتی و منطقی، به درک عمیق‌تری از جهان و پدیده‌های آن دست یافتند. با گذر زمان و در سال‌های بعد از میلاد تا اوایل قرن ۱۶، با افول علم در غرب، شاهد دوران طلایی رشد و پیشرفت دانشمندان در عالم اسلام و به ویژه در ایران هستیم. دانشمندان ایرانی و مسلمان با استفاده از روش‌های تحلیلی و محاسباتی، به پیشرفت‌های قابل توجهی در علم دست یافتند و میراث علمی غنی را برای نسل‌های آینده به جا گذاشتند. از اوایل قرن ۱۶ به تدریج، شاهد ظهور دانشمندان و عالمان نام‌آشنا در غرب هستیم که با اتکا بر مهارت‌های تفکر محاسباتی به بررسی مسائل علمی و فلسفی و پیشرفت دانش بشری اهتمام ورزیده‌اند.

توجه به تاریخ رشد بشر، ردپای بسیاری از تفکر محاسباتی را در زمینه‌های مختلف شامل علوم ریاضی، طبیعی و انسانی و جنبه‌های هنری و ادبی را نشان می‌دهد. به واقع، اگر مؤلفه اتوماسیون را به معنای صرف آن، نادیده بگیریم، نقش و تأثیر تفکر محاسباتی در طول تاریخ و در زمینه‌های ذکر شده به وضوح قابل مشاهده



شکل ۴: ماشین انیگما

ماشین حساب مکانیکی، دستگاهی مکانیکی است که اعمال اصلی حساب را به صورت خودکار انجام می‌دهد (شکل ۵).



شکل ۵: ماشین حساب مکانیکی

در ادامه تفکر محاسباتی را به صورتی جامع مورد نقد و بررسی قرار می‌دهیم و به معرفی تعاریف متنوع تفکر محاسباتی توسط محققان عصر حاضر می‌پردازیم.

۳. تفکر محاسباتی

دکتر سیمور پاپرت^۳ (۲۰۱۶-۱۹۲۸)، نخستین فردی است که از تفکر محاسباتی به شکلی که در سال‌های اخیر متداول شده، سخن به میان آورده است. وی در جریان تحقیق خود در مورد استفاده از کامپیوتر و نرم افزار در حل مسائل هندسی ادعا کرد که «تفکر محاسباتی می‌تواند در تعریف رابطه بین یک مسئله و راه‌حل آن و ساختار موجود در داده‌ها به کار رود.» مطالب زیر مربوط به گوشه‌هایی از سخنرانی او در سال ۱۹۷۸ درباره نقش رایانه در آموزش مدارس و نیز نقش تفکر محاسباتی در فرآیندهای یادگیری دانش‌آموزان می‌باشد. برای مشاهده متن کامل سخنرانی، می‌توانید به [۳۶] مراجعه کنید.

پاپرت امیدوار بود که به کمک رایانه‌ها تغییر بزرگی در آموزش مدارس به وجود آید. او و همکارانش شروع به ایجاد مجموعه‌ای از تمام ویژگی‌های خوب زبان‌های برنامه‌نویسی شناخته شده کردند و سپس بر اساس فعالیت‌های انجام شده، نتیجه‌گیری کردند که افراد، در هر سنی می‌توانند برنامه‌نویسی کنند. به نظر آن‌ها دلیل اصلی عدم اقبال افراد به تعامل با رایانه‌ها به عدم جذابیت زبان‌های

است. استفاده از وسایل محاسباتی آنالوگ مانند چرتکه و ماشین حساب‌های مکانیکی و ابزار مهندسی مانند اسطرلاب و سایر ابزار مورد استفاده در طول تاریخ، همگی نشانه‌هایی از وجود تفکر محاسباتی در گذر زمان می‌باشند.

چرتکه اولین رایانه شناخته شده و پیشرفته‌ترین سامانه محاسباتی شناخته شده تا ۲۰۰۰ سال پیش است (شکل ۱).



شکل ۱: چرتکه

ماشین آنتیکیترا^۱ یک رایانه آنالوگ باستانی مربوط به اوایل قرن یکم پیش از میلاد مسیح که به منظور انجام محاسبات مربوط به اخترشناسی و کسوف و خسوف طراحی شده است (شکل ۲).



شکل ۲: ماشین آنتیکیترا

اسطرلاب وسیله‌ای در نجوم رصدی بوده و اکنون بیشتر برای کاربردهای آموزشی به کار می‌رود (شکل ۳).



شکل ۳: اسطرلاب ایرانی

ماشین انیگما^۲ دستگاهی برای رمزگذاری بود که از اوایل تا اواسط قرن بیستم، برای محافظت از ارتباطات تجاری، دیپلماتیک و نظامی توسعه یافت و مورد استفاده قرار می‌گرفت (شکل ۴).

1. Antikythera
2. Enigma

3. Seymour Papert

[۱۶،۲۲]. محققان از زوایای مختلف به تفکر محاسباتی نگریسته، تعاریف متنوعی از آن ارائه کرده‌اند. بنابراین، مفاهیم اساسی و گستره این رشته به شیوه‌های گوناگون توسط افراد مختلف ترسیم شده است. توجه گسترده به تفکر محاسباتی در سال ۲۰۰۶، توسط مقاله وینگ^۲ جلب شد [۵۱]. وینگ، تفکر محاسباتی را اینگونه تعریف می‌کند: «تفکر محاسباتی شامل حل مسائل، طراحی سیستم‌ها و درک رفتار انسان با استفاده از مفاهیم اساسی در علوم کامپیوتر است [۵۱]». با این حال، پس از بررسی‌های بیشتر و بازنگری‌های تفصیلی جنبه‌های مختلف تفکر محاسباتی، تعریف جدیدی در سال ۲۰۱۱ ارائه شد. به عقیده وینگ، «تفکر محاسباتی مجموعه‌ای از فرآیندهای فکری است که در فرمول‌بندی مسائل و یافتن راه‌حل‌های آن‌ها نقش دارد، به طوری که راه‌حل‌ها به شکلی نمایش داده می‌شوند که می‌توانند به طور مؤثر توسط یک عامل پردازش اطلاعات اجرا شوند [۵۲]». به عبارتی دیگر، تفکر محاسباتی، فرآیند شناخت جنبه‌های محاسباتی در دنیای پیرامون ما است و ابزارها و شیوه‌های علوم کامپیوتر را برای درک و استدلال در مورد سیستم‌ها و فرآیندهای طبیعی و مصنوعی به کار می‌گیرد. وینگ در تعریف تفکر محاسباتی به اهمیت فرمول‌بندی مسائل اشاره دارد که یک مرحله کلیدی در حل مسئله است. فرمول‌بندی صحیح می‌تواند به شفافیت و وضوح در درک مسئله و راه‌حل کمک کند. اشاره به این که راه‌حل‌ها باید به شکلی نمایش داده شوند که توسط یک عامل پردازش کننده اطلاعات قابل اجرا باشند، نشان‌دهنده توجه به جنبه عملی بودن راه‌حل‌ها است. این نکته برای توسعه الگوریتم‌ها و سیستم‌های هوش مصنوعی بسیار مهم است. در مقابل، تعریف به نقش خلاقیت در فرمول‌بندی مسائل اشاره نمی‌کند. همچنین در این تعریف منظور از فرآیندهای فکری به طور مشخص بیان نشده است و به زمینه‌های مختلفی مانند علوم اجتماعی، مهندسی و هنر که این فرآیندها در آن‌ها به کار می‌روند، اشاره نشده است.

یادا^۳ و همکاران تفکر محاسباتی را فرآیند ذهنی برای انتزاع مسائل و ایجاد راه‌حل‌های خودکار تعریف کرده‌اند [۵۴]. این تعریف بر اهمیت توانایی انتزاع و تجزیه و تحلیل مسائل تأکید می‌کند که یکی از مهارت‌های کلیدی در علوم کامپیوتر و ریاضیات است. اشاره به ایجاد راه‌حل‌های خودکار نشان‌دهنده اهمیت کارایی و بهینه‌سازی در حل مسائل است که در دنیای مدرن بسیار حائز اهمیت است. توجه به برخی از جنبه‌های مهم تفکر محاسباتی، مانند خلاقیت و تفکر انتقادی در تعریف ارائه شده توسط یاداو وجود ندارد. این تعریف بیشتر بر نتایج راه‌حل‌های به دست آمده خودکار تمرکز دارد و فرآیندهای فکری و مراحل حل مسأله را به خوبی منعکس نمی‌کند. از طرفی بر طبق این تعریف به نظر می‌رسد

برنامه‌نویسی باز می‌گشت. به همین دلیل گرافیک را وارد زبان برنامه‌نویسی کردند.

اکنون کودکان می‌توانستند عکس بسازند و کارهایی را با تصاویر کامپیوتری انجام دهند که با مداد و کاغذ نمی‌توانستند انجام دهند. آن‌ها می‌توانستند دقت کنند، تکرارپذیری داشته باشند، حرکت را به تصویر بکشند، رنگ را تغییر دهند و انواع کارهای دیگری را که با مداد و کاغذ قابل انجام نبود، انجام دهند. به نظر آن‌ها کامپیوتر به دلیل این که تکنولوژی بالایی داشت، می‌توانست ارتباط جدیدی را بین زبان آموز و جهان ایجاد کند.

پاپرت و همکارانش برای آموزش هندسه به کودکان، از روشی استفاده کردند که به آن «لاک‌پشت» می‌گفتند (شکل ۶). کودکان به کمک لاک‌پشت می‌توانستند اشکال مختلف را رسم و مفاهیم هندسی را یاد بگیرند.



شکل ۶: ربات لاک پشت بر پایه زبان برنامه نویسی لوگو^۱.

پاپرت اعتقاد داشت که کودکان قبل از اینکه به کلاس درس وارد شوند، مقدار زیادی از دانش ریاضی و سایر انواع دانش را کسب می‌کنند. به نظر او این دانشی نبود که به صورت مجزا به دست آید. او اعتقاد داشت که این دانش نوعی یادگیری است که بدون آموزش، بدون برنامه درسی، آزمون یا نمره انجام می‌شود و مطمئناً به میزان قابل توجهی محتوای آموزشی وجود دارد که از این طریق آموخته می‌شود.

فرآیند یادگیری از طرق گوناگون انجام می‌پذیرد. در نتیجه برای یادگیری مفاهیم مختلف به روش‌های متفاوتی نیاز داریم. اکنون رایانه زیرساخت‌های فن‌آوری را برای ما به ارمغان آورده است که می‌تواند تنوع قابل توجهی در محیط یادگیری را ایجاد کند. این محیط منعطف آموزشی، بستر گسترده‌ای را برای یادگیری مطالب گوناگون فراهم می‌سازد.

به دلیل گستردگی زمینه‌های کارکردی تفکر محاسباتی، ارائه یک تعریف واحد و جامع مورد پذیرش همگان بسیار دشوار است

1. Antikythera
2. Enigma

3. Seymour Papert

که تفکر محاسباتی تنها در زمینه‌های فنی کاربرد دارد و به دیگر زمینه‌ها و جنبه‌های انسانی توجه کافی نشده است.

از نظر فاربر^۱، تفکر محاسباتی فرآیند شناخت جنبه‌های محاسبات در دنیایی است که ما را احاطه کرده است و ابزارها و تکنیک‌های علوم کامپیوتر را برای درک و استدلال در مورد سیستم‌ها و فرآیندهای طبیعی و مصنوعی به کار می‌گیرد [۱۷]. جنبه‌های محاسباتی به ویژگی‌ها، ساختارها و رفتارهایی اشاره می‌کند که می‌توانند با استفاده از مفاهیم و ابزارهای علوم کامپیوتر تحلیل، مدل‌سازی یا شبیه‌سازی شوند. این جنبه‌ها در سیستم‌های طبیعی (مانند فرآیندهای زیستی یا فیزیکی) و در سیستم‌های مصنوعی (مانند نرم‌افزارها، شبکه‌ها یا ماشین‌ها) قابل مشاهده است. این تعریف به وضوح دامنه وسیع تفکر محاسباتی را پوشش می‌دهد و به درک سیستم‌ها و فرآیندهای طبیعی و مصنوعی اشاره می‌کند. این امر نشان‌دهنده اهمیت استفاده از تفکر محاسباتی در زمینه‌های مختلف است. اشاره به ابزارها و تکنیک‌های علوم کامپیوتر نشان‌دهنده کاربرد عملی آن‌ها در فرآیند استفاده از تفکر محاسباتی در حل مسائل دنیای واقعی است. این نکته می‌تواند به یادگیری و آموزش این مهارت‌ها کمک کند. تعریف فاربر بر اهمیت درک عمیق سیستم‌ها و فرآیندها تأکید دارد و نشان می‌دهد که تفکر محاسباتی می‌تواند به تحلیل و بهبود این سیستم‌ها کمک کند. این تعریف به نقش تفکر انتقادی و خلاق در تفکر محاسباتی اشاره نمی‌کند در حالی که تفکر محاسباتی تنها به استفاده از ابزارها محدود نمی‌شود، بلکه شامل توانایی تحلیل و ارزیابی نیز هست.

دنینگ^۲ در تعریف تفکر محاسباتی بیان می‌دارد که تفکر محاسباتی، جهت‌گیری ذهنی برای فرمول‌بندی مسائل، به صورت تبدیل برخی ورودی‌ها به خروجی و جستجوی الگوریتم‌هایی برای انجام تبدیل‌ها است [۱۴]. این تعریف به وضوح به فرآیندهای منطقی و سیستماتیک پرداخته، نشان می‌دهد که تفکر محاسباتی شامل تجزیه و تحلیل ورودی‌ها و خروجی‌هاست. استفاده از این روش به ویژه در حل مسائل پیچیده بسیار مفید است. تأکید بر جستجوی الگوریتم‌ها نشان‌دهنده اهمیت روش‌های سیستماتیک و قابل تکرار در حل مسائل است که می‌تواند به یادگیری و آموزش روش‌های حل مسئله کمک کند. همچنین، این تعریف به حوزه‌های مختلفی از جمله برنامه‌نویسی، ریاضیات و علوم کامپیوتر اشاره دارد که به استفاده از تفکر محاسباتی کمک می‌کند. با این حال، این تعریف به طور کلی بر جنبه‌های منطقی و الگوریتمیک تأکید دارد و کمتر به جنبه‌های انسانی، خلاقیت و شهود در فرآیند حل مسئله اشاره می‌کند. خلاقیت در حل مسئله به معنای توانایی تولید ایده‌ها و راه‌حل‌های نوآورانه برای مشکلات است. شهود به توانایی تجزیه و تحلیل سریع بر اساس تجربه، دانش ضمنی و درک ناخودآگاه ما

اشاره دارد. این مهارت به ویژه در موقعیت‌هایی که نیاز به قضاوت و تصمیم‌گیری فوری وجود دارد، اهمیت دارد. شهود می‌تواند به عنوان یک روش حل مسئله در زمینه‌هایی نظیر تفکر خلاق و حل مسائل پیشرفته به کار گرفته شود. در حالی که تبدیل ورودی‌ها به خروجی ممکن است به نظر ساده بیاید، اما در بسیاری از مسائل واقعی انجام این کار بسیار پیچیده است. باید در نظر داشت که در فرآیند حل مسئله، بازخورد و اصلاح مداوم بسیار مهم است. این تعریف به این جنبه به طور مستقیم اشاره ندارد.

از دید همندینگر^۳، تفکر محاسباتی این است که به مخاطبان بیاموزیم، چگونه مانند یک اقتصاددان، یک فیزیک‌دان و یک هنرمند فکر کنند و بفهمند چگونه از محاسبات برای حل مشکلات خود استفاده کنند و سؤالات جدیدی را کشف کنند که به کمک تفکر محاسباتی پاسخ مناسب را پیدا کنند [۲۳]. این تعریف به تنوع روش‌های تفکر اشاره کرده و نشان می‌دهد که تفکر محاسباتی می‌تواند شامل رویکردهای مختلف از نظر افراد در رشته‌های گوناگون باشد. این جنبه می‌تواند به یادگیری عمیق‌تر و گسترده‌تر کمک کند. تأکید بر استفاده از محاسبات برای حل مشکلات و کشف سؤالات جدید، اهمیت خلاقیت و نوآوری را در تفکر محاسباتی نمایان می‌سازد و می‌تواند به ترغیب افراد به تفکر خلاقانه کمک کند. اشاره به کاربردهای عملی تفکر محاسباتی در رشته‌های مختلف مانند اقتصاد، فیزیک و هنر به مخاطبان این امکان را می‌دهد که ارتباط بیشتری با دنیای واقعی برقرار کنند و چگونگی استفاده از تفکر محاسباتی را در حل مسائل مختلف مشاهده کنند. با این حال، تعریف به اصول بنیادین تفکر محاسباتی، از جمله تجزیه و تحلیل داده‌ها، الگوریتم‌سازی و مدل‌سازی اشاره نکرده است. تعریف همندینگر از تفکر محاسباتی اگرچه به زمینه‌های خلاقانه در تفکر محاسباتی اشاره دارد ولی به جنبه‌های پیاده‌سازی و نحوه اجرای آن توسط ماشین محاسبه‌گر نپرداخته است.

تعاریف بالا نشان‌دهنده تنوع بالای نحوه نگرش افراد به تفکر محاسباتی است، با این حال یک وجه مشترک در میان همه آن‌ها به چشم می‌آید. تمامی تعاریف بالا تفکر محاسباتی را در تعامل انسان و ماشین محاسبه‌گر برای حل مسائل در نظر گرفته‌اند و به طور ضمنی بر عملکردها و فرآیندهای شناختی اشاره دارند ولی به طور مشخص به نحوه حل مسئله به کمک تفکر محاسباتی نپرداخته‌اند. فرآیندهای شناختی به فعالیت‌های ذهنی اشاره دارند که شامل درک، یادگیری، تفکر، حل مسئله، تصمیم‌گیری و حافظه می‌شوند. این فرآیندها به ما کمک می‌کنند تا اطلاعات را دریافت، پردازش و ذخیره کنیم و همچنین به ما امکان می‌دهند تا با محیط اطراف خود تعامل کنیم.

واقعی اهمیت زیادی دارد. ما باید بتوانیم مسائل واقعی را به صورت محاسباتی مدل‌سازی کنیم تا بتوانیم راه‌حل‌های مؤثری برای آن‌ها پیدا کنیم. این مدل‌سازی می‌تواند شامل شبیه‌سازی، تحلیل داده‌ها و استفاده از الگوریتم‌ها باشد. در ریاضیات، انتزاع به معنای جدا کردن ویژگی‌ها و روابط اصلی از جزئیات خاص است. این مفهوم به ریاضی‌دانان کمک می‌کند تا الگوها و اصول کلی را شناسایی کرده، در حل مسائل به کار ببرند. به عنوان مثال، در نظریه مجموعه‌ها، انتزاع به ما این امکان را می‌دهد که مجموعه‌ها را مستقل از اعضای خاص آن‌ها بررسی کنیم. در جبر، انتزاع امکان کشف الگوهای مشترک در سیستم‌ها را می‌دهد. انتزاع می‌تواند به ایجاد ساختارهای کلی مانند گروه‌ها و حلقه‌ها منجر شود که در زمینه‌های مختلف قابل استفاده‌اند.

در دوران باستان ریاضیدانانی مانند فیثاغورث^۲ و اقلیدس^۳ مفاهیم انتزاعی را در قالب اصول موضوعه هندسه و عددشناسی معرفی کردند. از نظر ارسطو^۴، انتزاع به معنای حذف کیفیات از تجربه ملموس است. در قرون وسطی، ریاضیدانان اسلامی مانند خیام و ابن هیشم به توسعه نظریه‌های انتزاعی پرداخته، به گسترش جبر و هندسه کمک کردند. در قرن‌های بعدی و در دوره رنسانس، ریاضیدانانی مانند دکارت و فرما با معرفی مختصات دکارتی و اصول جبر، مفهوم انتزاع را در ریاضیات به سطح جدیدی ارتقا دادند. دکارت^۵ در فلسفه خود بر اهمیت تفکر انتزاعی تأکید کرده، آن را به عنوان پایه‌ای برای شناخت حقیقت و واقعیت مطرح کرده است. او اعتقاد داشت: «من فکر می‌کنم، پس هستم»، که نشان‌دهنده اهمیت تفکر انتزاعی در شناخت وجود است. در قرن نوزدهم، انتزاع به طور گسترده‌تری وارد ریاضیات شد. ظهور نظریه مجموعه‌ها توسط جورج کانتور و توسعه جبر انتزاعی توسط هیلبرت، انتزاع را به عنوان ابزاری اساسی در ریاضیات مدرن تثبیت کرد. با شروع قرن بیستم ریاضیات به سمت انتزاعی‌تر شدن حرکت کرد و ساختارهای پیچیده‌تری مانند نظریه رسته‌ها و توپولوژی توسعه یافتند. اینشتین^۶ که از بزرگترین دانشمندان قرن بیستم به حساب می‌آید بر این باور بود که انتزاع و تفکر انتزاعی به ما کمک می‌کند تا مفاهیم پیچیده را ساده کنیم و با استفاده از مدل‌های ریاضی، پدیده‌های طبیعی را بهتر درک کنیم. او می‌گفت: «تفکر انتزاعی می‌تواند ما را به درک عمیق‌تری از واقعیت برساند [۲]». انتزاع نه تنها در ریاضیات، بلکه در بسیاری از جنبه‌های دیگر علوم مورد استفاده قرار می‌گیرد. هانا آرنت^۷، فیلسوف سیاسی، به تأثیر انتزاع بر تفکر انسانی اشاره کرده و آن را ابزاری برای تحلیل مسائل اجتماعی و سیاسی می‌داند. او بر این باور است که انتزاع می‌تواند به ما در درک بهتر ساختارهای اجتماعی و روابط انسانی کمک کند. نیکلاوس ویرت^۸، دانشمند

می‌توان نتیجه گرفت که هدف اصلی از مطالعه تفکر محاسباتی، آموختن مهارت‌هایی به افراد است که بتوانند به شیوه‌های بهینه و مؤثر به حل مسائل پرداخته و به ارتقاء سطح زندگی خود، اقدام نمایند. از نظر ما بهتر است تفکر محاسباتی به گونه‌ای تعریف شود که ضمن تأکید بر تفکر الگوریتمی که شامل اجزای فهمیدن، مدل کردن، طراحی و اعمال الگوریتم است، قابلیت استفاده توسط همه افراد با زمینه‌های فکری مختلف را داشته باشد. در ادامه به معرفی مؤلفه‌ها و ارائه تعریف جدید با در نظر گرفتن ویژگی‌های ذکر شده می‌پردازیم.

۴. مؤلفه‌های تفکر محاسباتی

تفکر محاسباتی از نظر محققان دارای مؤلفه‌های مختلفی است که هر یک از آن‌ها در فرآیند تفکر محاسباتی نقش بخصوصی دارند. این مؤلفه‌ها شامل انتزاع، تجزیه، الگوریتم، اشکال زدایی، اتوماسیون و تعمیم است که در ادامه توضیح داده می‌شوند (شکل ۷).



شکل ۷: مؤلفه‌های مشترک تفکر محاسباتی از دیدگاه‌های مختلف..

۱) انتزاع^۱

انتزاع فرآیندی است که با کاهش جزئیات غیرضروری یک موضوع، بدون از دست دادن کلیات، به درک بهتر آن موضوع کمک می‌کند. این مفهوم به افراد امکان می‌دهد تا با کاهش اطلاعات و جزئیات، مسائل و روابط پیچیده را بهتر درک کرده و با آن‌ها ارتباط برقرار کنند. در واقع، انتزاع به ما کمک می‌کند تا پیچیدگی‌ها را به‌طور مؤثرتری مدیریت کنیم. در تفکر محاسباتی، مدل‌سازی دنیای

1. Abstraction
2. Pythagoras
3. Euclid
4. Aristotle

5. Descartes
6. Einstein
7. Arendt
8. Wirth

کرد که شامل تجزیه معادلات بود. سپس در دوران رنسانس با توسعه جبر و ظهور ریاضی‌دانانی مانند کاردانو^۲ و فرما^۳، تجزیه معادلات درجه سوم و چهارم مورد توجه قرار گرفت. این دوره به پیشرفت‌های مهمی در حل معادلات و تجزیه آن‌ها انجامید. قرن هفدهم مصادف با استفاده از تجزیه در جبر خطی است. در این دوره با ظهور ماتریس‌ها و نظریه‌های مربوط به آن‌ها، تجزیه به عنوان یک ابزار کلیدی در جبر خطی مطرح شد. دکارت^۴ با استفاده از سیستم مختصات دکارتی، توانست اشکال هندسی را به معادلات جبری تبدیل کند، که این امر به تجزیه مسائل هندسی به معادلات جبری کمک کرد. در قرن نوزدهم گاوس^۵ به تجزیه اعداد صحیح و تحلیل خواص آن‌ها پرداخت. نظریه اعداد به عنوان یک شاخه مهم ریاضیات شناخته شد و مباحث مرتبط با تجزیه به اعداد اول در این دوره به طور جدی بررسی شد. در قرن بیستم و بیست و یکم با پیشرفت‌های جدید در علوم مهندسی و به ویژه مخابرات و کنترل، استفاده از تجزیه فوریه و تجزیه لاپلاس گسترش بیشتری پیدا کردند. تجزیه در ریاضیات به عنوان یک مفهوم بنیادی، همواره در حال توسعه و گسترش بوده و نقش مهمی در پیشرفت‌های علمی و ریاضی ایفا کرده است.

۳) الگوریتم

الگوریتم، مجموعه‌ای متناهی از دستورالعمل‌هاست که به ترتیب خاصی اجرا می‌شوند و مسأله‌ای را حل می‌کنند. به عبارتی دیگر، الگوریتم ساختاری هدفمند از مراحل مرتب شده است که با ارائه راه‌حل‌هایی برای تمام اجزای تشکیل دهنده یک مسأله، منجر به حل مسأله اصلی می‌گردد. الگوریتم از نظر ساختاری یک رابطه ریاضی است. البته باید میان الگوریتم و تابع تفاوت قائل شد. الگوریتم و تابع هر دو متغیرهایی را به عنوان ورودی دریافت کرده، پس از انجام یک یا چند پردازش بر روی ورودی‌ها، نتیجه را به صورت خروجی ارائه می‌دهند. در حالی که الگوریتم ممکن است با دریافت یک ورودی مشخص، چندین خروجی متفاوت داشته باشد، از نظر ریاضی در تابع چنین چیزی امکان پذیر نیست.

الگوریتم به اشکال مختلف در بسیاری از زمینه‌ها توسط جوامع بشری در طول تاریخ مورد استفاده قرار گرفته است. در دوران باستان استفاده از الگوریتم‌های محاسباتی در تمدن‌های باستانی مانند بابل و مصر به وفور به چشم می‌آید. به عنوان مثال بابلی‌ها از الگوریتم‌هایی برای حل معادلات ریاضی استفاده می‌کردند. در یونان باستان ریاضی‌دانانی مانند ارشمیدس، اقلیدس و اراتستن^۶ الگوریتم‌هایی برای حل مسائل هندسی و عددی توسعه دادند. از مشهورترین کارهای ارشمیدس، محاسبه مقدار عدد پی و روش‌هایی برای یافتن جذر تقریبی بود. او از روش‌های هندسی و

علوم کامپیوتر و طراح زبان‌های برنامه‌نویسی، انتزاع را به عنوان یک اصل کلیدی در طراحی نرم‌افزار معرفی کرده، بر این باور است که انتزاع به ما اجازه می‌دهد تا پیچیدگی‌ها را کاهش دهیم و سیستم‌های نرم‌افزاری را به گونه‌ای سازماندهی کنیم که قابل فهم و نگهداری (به‌روز رسانی و ارتقاء) باشند.

۲) تجزیه

تجزیه، روشی برای تفکر در مورد مصنوعات، از نظر اجزای سازنده آن‌هاست. به کمک تجزیه می‌توان اجزای یک مسأله را به طور جداگانه درک، حل و ارزیابی کرد. این امر علاوه بر آسان‌تر کردن حل مسائل پیچیده، درک موقعیت‌های جدید و طراحی سیستم‌های بزرگ را آسان می‌نماید. تجزیه مسأله، روشی برای تفکیک مسائل و شکستن آن‌ها به اجزای کوچک‌تر و ایجاد درک عمیق‌تر است. این روش با نام «تقسیم و تسلط» نیز شناخته می‌شود. تجزیه و تحلیل در بسیاری از زمینه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در پردازش سیگنال‌ها، برای تحلیل توپولوژیک و هندسی سیگنال‌ها، تجزیه طیفی به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. در تحلیل داده‌ها و یادگیری ماشین، تجزیه ماتریس‌ها مانند تجزیه مقادیر تکین برای کاهش ابعاد و استخراج ویژگی‌ها کاربرد دارد. در شبکه‌های گرافی، تجزیه و تحلیل‌های گراف در یافتن روابط بین داده‌ها، نقش اساسی دارد. الگوریتم‌های پردازش گراف و پایگاه‌های داده‌ای در زمینه‌هایی متنوع مانند شبکه‌های اجتماعی و موتورهای جستجوگر مورد استفاده فراوان قرار می‌گیرند. تجزیه اعداد به عوامل در رمزنگاری امری رایج است. تجزیه چندجمله‌ای‌ها به عوامل ساده‌تر برای حل معادلات و تحلیل رفتار آن‌ها صورت می‌گیرد. در مدل‌سازی ریاضی، سیستم‌های پیچیده به زیرسیستم‌های ساده‌تر برای تحلیل و شبیه‌سازی تجزیه می‌شوند. در مهندسی کنترل، سیستم‌های دینامیکی به زیرسیستم‌های مستقل برای طراحی و کنترل تجزیه می‌شوند.

تجزیه در طول تاریخ و در زمینه‌های گوناگون به ویژه در مباحث ریاضی مورد استفاده بشر قرار گرفته است. در دوران باستان و در تمدن‌های مصر و بابل، اعداد و روابط بین آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گرفت. مصریان و بابلی‌ها از روش‌های ابتدایی برای تجزیه اعداد و حل معادلات استفاده می‌کردند. در یونان باستان، ریاضی‌دانانی مانند اقلیدس و ارشمیدس به تجزیه و تحلیل هندسی و عددی پرداختند. اقلیدس در کتاب عناصر خود به بررسی خواص اعداد و تجزیه آن‌ها پرداخته است. در قرون وسطی، با پیشرفت چشم‌گیر ریاضیات اسلامی، ریاضی‌دانان مسلمان مانند خوارزمی و ابن هیثم به توسعه علم جبر و تجزیه معادلات کمک کردند. خوارزمی در *الکتاب المختصر فی حساب الجبر و المقابله*، مبانی جبر را معرفی

1. Decomposition
2. Cardano
3. Fermat

4. Descartes
5. Gauss
6. Eratosthenes

در این دوره، ابزارهای مکانیکی مانند ساعت‌ها و آسیاب‌های آبی به کار گرفته شدند. با اختراع ماشین بخار توسط جیمز وات در قرن ۱۸، انقلاب صنعتی آغاز شد و ماشین‌آلات بخار و دستگاه‌های بافندگی مکانیکی به کار گرفته شدند که موجب افزایش تولید و کارایی شدند. سپس ماشین‌هایی مانند ماشین‌های بافندگی ژاکارد^۶ و ماشین‌های دوخت اتوماتیک توسعه یافتند. این ماشین‌ها از الگوهای قابل برنامه‌ریزی استفاده می‌کردند. در ادامه استفاده از سیستم‌های کنترل مکانیکی برای بهبود کارایی و دقت در تولید آغاز شد. با پیشرفت فناوری، اتوماسیون صنعتی به شکلی گسترده وارد عرصه شد. در دهه ۱۹۵۰، استفاده از کامپیوترها برای کنترل فرآیندهای تولید شروع شد. در دهه ۱۹۶۰، کنترل‌کننده‌های منطقی برنامه‌پذیر^۷ معرفی شدند که امکان کنترل اتوماتیک ماشین‌آلات را فراهم کردند. همچنین نرم‌افزارهای اداری و سیستم‌های مدیریت اطلاعات نیز به وجود آمدند که به اتوماسیون فرآیندهای اداری کمک کردند. در سال‌های بعد روبات‌های صنعتی به خطوط تولید وارد شدند و اتوماسیون در سطح گسترده ایجاد شد. این روبات‌ها قادر به انجام وظایف پیچیده‌تر و دقیق‌تر بودند. نرم‌افزارهای طراحی و ساخت^۸ به اتوماسیون فرآیندهای طراحی و تولید کمک کردند. با ظهور فناوری‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین، اتوماسیون به مرحله جدیدی وارد شد به طوری که سیستم‌های هوشمند قادر به یادگیری و بهبود عملکرد خود بودند. امروزه اتصال دستگاه‌ها به اینترنت و جمع‌آوری داده‌ها به اتوماسیون در صنایع مختلف کمک کرده است. سیستم‌های مبتنی بر اینترنت اشیاء^۹ امکان بررسی ویدیویی و کنترل از راه دور را فراهم کرده‌اند. در سال‌های اخیر اتوماسیون به خانه‌ها نیز راه یافته و سیستم‌های هوشمند خانگی مانند ترموستات‌های هوشمند، روشنایی خودکار و سیستم‌های امنیتی اتوماتیک رایج شده‌اند.

۵) اشکال زدایی

اشکال زدایی، کاربرد سیستماتیک تجزیه و تحلیل و ارزیابی نتایج به دست آمده از آزمایش‌ها و تفکر منطقی برای رفع ایرادات برای دستیابی به نتایج دقیق است. اشکال زدایی یکی از اساسی‌ترین مؤلفه‌های تفکر محاسباتی و به طور کلی در فرآیند حل مسئله است. انسان به طور پیوسته در ساده‌ترین فعالیت‌های روزانه تا مسائل پیچیده از اشکال زدایی برای بهبود نتایج استفاده می‌کند. به عنوان مثال امروزه اشکال زدایی به طور گسترده در مباحث مرتبط با شبکه‌های عصبی مصنوعی که الهام گرفته از ساختار مغز انسان هستند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. اشکال زدایی فرآیند تشخیص و رفع مشکلات و خطاها در عملکرد این شبکه‌ها تعریف می‌شود.

الگوریتم‌های تکراری برای نزدیک شدن به مقدار عدد پی استفاده کرد. اقلیدس در کتاب عناصر که به عنوان یکی از نخستین منابع ریاضی شناخته می‌شود نمونه‌هایی از روش‌های الگوریتمیک برای حل مسائل عددی و هندسی ارائه کرده است [۱۵]. به عنوان مثال روش غربال اراتستن برای تعیین اعداد اول و یا روش اقلیدس برای تعیین بزرگترین شمارنده مشترک از نمونه‌های استفاده از الگوریتم در حل مسائل ریاضی است. در ادامه و در قرون وسطی ریاضی‌دانانی مانند خوارزمی الگوریتم‌هایی برای حل معادلات خطی و درجه دوم توسعه دادند. وی در کتاب الجمع و التفریق به معرفی روش‌های محاسباتی پرداخت. در دوره رنسانس با پیشرفت‌های ریاضی و ظهور محاسبات عددی، الگوریتم‌ها به تدریج پیچیده‌تر شدند. ریاضی‌دانانی مانند لایبنیتز^۱ و نیوتن^۲ به توسعه روش‌های جدید محاسباتی پرداختند. در قرن نوزدهم با ظهور ماشین‌های محاسباتی، الگوریتم‌ها به طور جدی‌تری مورد توجه قرار گرفتند. بایج^۳، با طراحی ماشین تحلیلی، به توسعه الگوریتم‌های محاسباتی کمک کرد. در قرن بیستم با ظهور کامپیوترها، الگوریتم‌ها به عنوان یکی از ارکان اصلی علوم کامپیوتر شکل گرفتند. تورینگ^۴ با معرفی ماشین تورینگ به تعریف رسمی الگوریتم و محاسبه کمک کرد. در قرن بیست و یکم و با پیشرفت فناوری، الگوریتم‌های پیچیده‌تری برای مسائل بزرگ و پیچیده، از جمله یادگیری ماشین و هوش مصنوعی، توسعه یافتند [۱۵].

۴) اتوماسیون

اتوماسیون به معنای تنظیم و پیکربندی الگوریتم‌های نرم‌افزاری بر روی رایانه‌ها و دستگاه‌های تکنولوژیکی است، به گونه‌ای که این سیستم‌ها بتوانند به‌طور خودکار و مؤثر به حل مشکلات مشابه بپردازند. این تعریف از اتوماسیون، با ورود رایانه‌ها به زندگی بشر مورد استفاده قرار گرفته است. مزیت اصلی اتوماسیون صرفه‌جویی در زمان و انرژی لازم برای انجام کار است که در آن به رایانه دستور داده می‌شود تا مجموعه‌ای از وظایف تکراری را به سرعت و به صورت بهینه انجام دهد. البته تاریخچه اتوماسیون به چند قرن پیش باز می‌گردد. اتوماسیون قبل از ظهور ماشین‌های دیجیتالی، به عنوان فرآیندی برای قادر ساختن ماشین‌ها به انجام عملیات‌های ترتیبی از پیش تعیین شده بدون دخالت یا با دخالت کم انسان شناخته می‌شد. استفاده از ابزار جهت ضرب سکه، ماشین چاپ و دستگاه‌های تراش صنعتی تا رایانه‌های پیشرفته امروزی همگی به نوعی به اتوماسیون اشاره دارند.

اتوماسیون با اختراعاتی مانند چرخ‌دنده‌ها و ابزارهای ساده آغاز شد.

1. Leibniz
2. Newton
3. Babbage
4. Turing
5. Automation

6. Jacquard
7. Programmable Logic Controller
8. Computer-Aided Design (CAD) and Computer-Aided Manufacturing (CAM)
9. Internet of Things

یک کلاس کامل از مسائل مشابه سازگار می‌شوند. استفاده از تعمیم در موارد گوناگون امری رایج است. یادگیری انسان از دوران کودکی با تعمیم همراه است. در زمینه هوش مصنوعی و یادگیری ماشین نیز استفاده از تعمیم به طور گسترده صورت می‌پذیرد. در ریاضیات و یادگیری ماشین، الگوریتم‌های یادگیری ماشین مانند شبکه‌های عصبی، درخت‌های تصمیم و ماشین‌های بردار پشتیبان^۱ برای تعمیم الگوها از داده‌های آموزشی به داده‌های جدید طراحی شده‌اند.

در زمینه آمار، تعمیم به فرآیند گسترش نتایج یا استنباط‌های به دست آمده از مجموعه‌ای از نمونه‌ها به یک جامعه بزرگ‌تر اشاره دارد. تعمیم یکی از پایه‌های اصلی تحلیل آماری است و برای پیش‌بینی‌ها یا تصمیم‌گیری‌هایی که بر اساس داده‌های محدود انجام می‌شوند، استفاده می‌شود. به جز موارد ذکر شده، مؤلفه‌های دیگری در تفکر محاسباتی مؤثر هستند که در شکل ۸ به آن‌ها اشاره شده است [۱۸].

هنگامی که یک شبکه به درستی عمل نکند یا مشکلی در ارتباطات شبکه به وجود آید، اشکال زدایی برای پیدا کردن علت مشکل و رفع آن انجام می‌شود. در حال حاضر، شبکه‌های عصبی مصنوعی در زمینه‌های مختلفی مانند پردازش تصاویر، پردازش زبان طبیعی و حل مسائل پیچیده مورد استفاده قرار می‌گیرند. شبکه‌های عصبی قادر به یادگیری از داده‌ها و تشخیص الگوها هستند. اشکال زدایی جزئی جدایی ناپذیر در فعالیت‌های مرتبط با علوم کامپیوتر و سایر علوم است.

۶) تعمیم

تعمیم را می‌توان فرآیند تطبیق راه‌حل‌ها یا الگوریتم‌های فرمول‌بندی شده در حل یک مسأله، برای حل مسائل مشابه در نظر گرفت. تعمیم با شناسایی الگوها، شباهت‌ها و ارتباطات در حل مسائل و بهره‌برداری از آن ویژگی‌ها همراه است. به کمک تعمیم، الگوریتم‌هایی که برخی از مسائل خاص را حل می‌کنند، برای حل



شکل ۸: مؤلفه‌های تفکر محاسباتی.

تجزیه شود. الگوریتم‌های پردازش سیگنال شامل نویز زدایی، فیلتر کردن و بازسازی سیگنال می‌باشند که از نتایج به دست آمده از تجزیه در جهت اهداف خاص استفاده می‌کنند. اتوماسیون بر مبنای الگوریتم‌های تولید شده به صورت خودکار دستورات داده شده را بر روی سیگنال‌ها اعمال می‌کند و نقش مهمی در افزایش سرعت محاسبات دارد. اشکال زدایی در این فرآیندها به شناسایی و اصلاح مشکلات در الگوریتم‌ها و مدل‌ها کمک می‌کند. مؤلفه تعمیم، الگوریتم‌هایی را که برای یک نوع سیگنال خاص طراحی شده‌اند

پس از معرفی مؤلفه‌های مؤثر در تفکر محاسباتی، برای درک بهتر از چگونگی کاربست این مهارت در حل مسائل مختلف، در این قسمت به ارائه یک مثال عملی از نحوه کارکرد تفکر محاسباتی و نقش هر یک از مؤلفه‌های آن در زمینه پردازش سیگنال می‌پردازیم. انتزاع در مدل‌سازی سیگنال‌ها به معنای ساده‌سازی داده‌های خام به ویژگی‌های کلیدی مانند فرکانس‌ها است. با استفاده از تکنیک‌های تجزیه، سیگنال‌ها به اجزای فرکانسی مختلف تفکیک می‌شوند تا الگوهای خاص شناسایی و سیگنال

در نظر بگیریم، روابطی مانند زیر را می‌توانیم میان اشیاء مشاهده و تعریف کنیم.

$f: A1 \rightarrow A3$: انتزاع به الگوریتم (ایجاد الگوریتم‌ها از طریق انتزاع)
 $g: A2 \rightarrow A4$: تجزیه و تحلیل به اشکال زدایی (تحلیل زیرمسائل برای شناسایی خطاها).

$h: A3 \rightarrow A6$: الگوریتم به تعمیم (تعمیم الگوریتم‌ها برای کاربردهای مختلف).

$i: A4 \rightarrow A5$: اشکال زدایی به اتوماسیون (خودکار کردن فرآیندهای اشکال زدایی).

$J = h \circ f: A1 \rightarrow A3$: انتزاع به تعمیم (استفاده از انتزاعات در تعمیم)

روابط بین این رسته با سایر رسته‌ها به وسیله تابع‌گون تعریف می‌گردند. در واقع تابع‌گون‌ها به مثابه یک پل ارتباطی میان رسته تفکر محاسباتی با سایر رسته‌ها عمل می‌کنند و در فرآیند استفاده از تفکر محاسباتی در زمینه‌های مختلف علوم و حل مسائل دنیای واقعی راه‌گشایی می‌کنند. این رویکرد می‌تواند به توسعه نرم‌افزار و طراحی سیستم‌های پیچیده کمک شایانی کند.

۶. رسته تفکر محاسباتی انسان محور

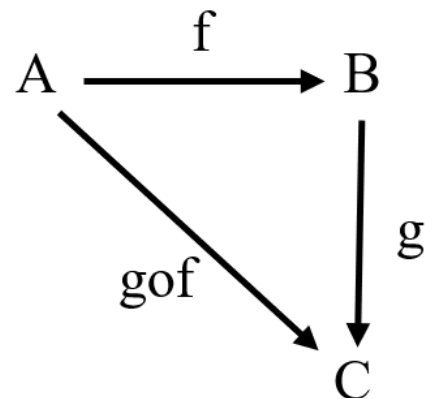
در سال‌های اخیر، تفکر محاسباتی از زوایای مختلفی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است که تمامی این دیدگاه‌ها با الزام بر وجود ماشین محاسبه‌گر (محاسبه پذیر) بیان شده‌اند. در نگاه تفکر محاسباتی انسان محور، انسان نقش ماشین محاسبه‌گر (محاسبه ناپذیر) را ایفا می‌کند. لذا در این نوع تفکر گستره عملکردی تفکر محاسباتی افزایش می‌یابد.

یکی از ارکان خلقت جهان پیرامون ما بر اساس محاسبات و منطق است. تفکر محاسباتی انسان محور و تفکر منطقی پیشینه‌ای به اندازه حضور انسان دارند. انسان به کمک تفکر محاسباتی انسان محور و استفاده از آن در علوم مختلف می‌تواند به کشف روابط پدیده‌های دنیای پیرامون خود بپردازد. در نتیجه حتی در عدم حضور ماشین محاسبه‌گر، خود انسان به عنوان هوشمندترین موجود، به عنوان عامل محاسبه‌گر در نظر گرفته می‌شود [۵۷]. در واقع تفکر محاسباتی انسان محور با در بر گرفتن تفکر محاسباتی به جنبه‌های گسترده‌تری از تفکر محاسباتی اشاره دارد (شکل ۱۰). تلفیق خلاقیت انسان و قدرت محاسباتی ابزار محاسبه‌گر منجر به حل مسائل پیچیده‌تر و نوآوری در حل مسائل می‌شود. در تفکر محاسباتی انسان محور افراد می‌توانند با توجه به شرایط و نیازهای موجود، راه‌حل‌های منعطف و متنوعی ارائه دهند و به کمک ابزارهای محاسباتی این راه‌حل‌ها را بهینه‌سازی کنند. این

را در شرایط مشابه قابل استفاده می‌کند.

۵. معرفی رسته تفکر محاسباتی

نظریه رسته‌ها، به مطالعه ساختارهای ریاضی و روابط بین آن‌ها می‌پردازد. به دلیل قابلیت‌های تجربیدی آن، نظریه رسته‌ها در زمینه‌های مختلفی از جمله نظریه گروه‌ها، نظریه توابع، نظریه مجموعه‌ها، برنامه‌نویسی و منطق کاربرد دارد. در نظریه رسته‌ها می‌توان ساختارهای مختلف را مقایسه و تحلیل کرد. این نظریه به ریاضی‌دانان و دانشمندان امکان می‌دهد تا الگوهای مشترک را در زمینه‌های مختلف شناسایی کنند و روابط بین آن‌ها را بهتر درک کنند [۴۸، ۴۶، ۵].



شکل ۹: طرح‌واره یک رسته.

برای شناخت اولیه از نظریه رسته‌ها ابتدا به طور مختصر به معرفی مفاهیم اصلی نظریه رسته‌ها می‌پردازیم.

رسته: یک رسته شامل مجموعه‌ای از اشیاء^۱ و مجموعه‌ای از ریختارها^۲ است که بین این اشیاء وجود دارد. هر ریختار یک نوع تابع است که ارتباطی بین دو شیء برقرار می‌کند. پس ریختارها می‌توانند به عنوان توابع یا نگاشته‌ها بین اشیاء در نظر گرفته شوند که دارای شرایط زیر هستند (شکل ۹).

۱- برای هر دو شیء A و B در یک رسته، یک ریختار $f: A \rightarrow B$ وجود دارد.

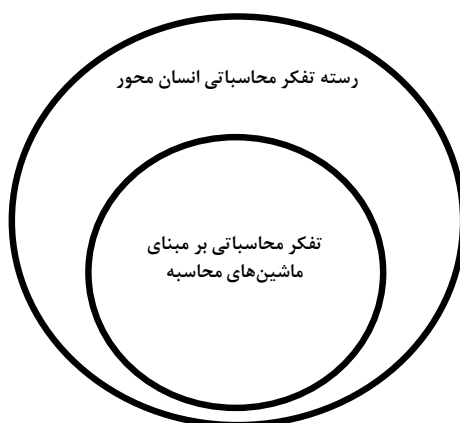
۲- اگر $f: A \rightarrow B$ و $g: B \rightarrow C$ دو ریختار باشند، می‌توان آن‌ها را ترکیب کرد تا یک ریختار جدید مانند $g \circ f: A \rightarrow C$ ایجاد کرد. این رویکرد می‌تواند به ما کمک کند تا روابط میان اجزاء را بهتر درک کنیم و ارتباط آن‌ها را به صورت ساختاری تحلیل کنیم.

در بررسی تفکر محاسباتی از دیدگاه رسته‌ای، مؤلفه‌های تفکر محاسباتی به عنوان اشیاء در نظر گرفته می‌شوند.

برای مثال: اگر انتزاع ($A1$)، تجزیه و تحلیل ($A2$)، الگوریتم ($A3$)، اشکال زدایی ($A4$)، اتوماسیون ($A5$)، تعمیم ($A6$) را اشیاء

تفکر محاسباتی انسان محور هدف به اختیار در آوردن ماشین‌های محاسبه‌گر در جهت کمک به افراد برای حل مسأله است و این ماشین محاسبه‌گر است که باید در اختیار انسان باشد. در حالی که تفکر محاسباتی ماشین محور می‌کوشد افراد را به گونه‌ای آموزش دهد که بتوانند به مانند یک ماشین محاسبه‌گر رفتار کنند. این امر در ادامه می‌تواند به عنوان یک عامل محدود کننده در توانایی ذهن انسان در حل مسائل متنوع خود نمایم کند. ذهن انسان به عنوان یک عامل هوشمند محاسبه‌گر، از نظر توانایی محاسباتی، محاسبه ناپذیر است در حالی که هر ماشین محاسبه‌گر از این منظر، محاسبه پذیر و دارای توانایی‌های محدود است (شکل ۱۰).

تفکر به جای تمرکز صرف بر فناوری، نیازها و محدودیت‌های ابزار محاسبه‌گر و انسان را در نظر می‌گیرد و راه‌حل‌هایی ارائه می‌دهد که برای کاربران قابل درک و استفاده باشند. با حضور انسان در فرآیند حل مسأله، خطاهای احتمالی ناشی از محدودیت‌های الگوریتم‌ها یا داده‌های ناقص کاهش می‌یابد. این ترکیب به طراحی محصولات و مانند هوش مصنوعی کمک می‌کند که به واقع نیازهای انسان‌ها را در نظر می‌گیرند و به بهبود کیفیت زندگی کمک می‌کنند. با گسترش دامنه کاربردی تفکر محاسباتی با رویکرد انسان محوری، این نوع تفکر در ارتباط انسان با سایر علوم از جمله علوم انسانی، با نگاه منطقی و الگوریتمی حضور گسترده‌تری پیدا می‌کند. در



شکل ۱۰: ارتباط میان رسته تفکر محاسباتی انسان محور با تفکر محاسباتی بر مبنای ماشین‌های محاسبه.

کاربرد دارند. او توضیح داد که چگونه عبارات ریاضی می‌توانند به صورت نمادی کدگذاری شوند. علاوه بر این، گودل بر تفکر انتقادی و تحلیل عمیق مسائل ریاضی و منطقی تأکید داشت. این رویکرد شامل تجزیه و تحلیل مسائل و یافتن راه‌حل‌های منطقی است که از عناصر کلیدی تفکر محاسباتی محسوب می‌شوند. به طور کلی، اگرچه گودل به طور خاص به مفهوم تفکر محاسباتی نپرداخته است، اما آثار او تأثیر عمیقی بر درک ما از محدودیت‌های محاسبات و منطق داشته و به توسعه این مفهوم کمک کرده است.

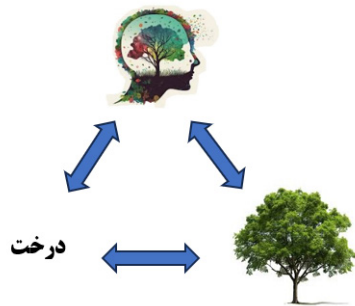
۷. روابط میان ذهن، زبان و دنیای واقعی (خارج) در تفکر منطقی و تفکر محاسباتی

درک روابط میان ذهن، زبان و دنیای واقعی در تفکر منطقی و تفکر محاسباتی به بهبود فرآیندهای شناختی و ادراک ما از مسائل پیرامون می‌شود. ذهن به عنوان اساسی‌ترین عامل در تفکر منطقی و تفکر محاسباتی نقش دارد. در منطق، مفهوم، لفظ و مصداق مطابق با شکل ۱۱ دو به دو در ارتباط هستند. وظیفه منطق، برقراری رابطه درست میان آن‌ها و رفع خطا در اندیشه است. تفکر منطقی به فرایند تحلیل اطلاعات و استدلال برای رسیدن

کورت گودل^۱ فردی است که می‌توان به عنوان مثالی از تفکر محاسباتی انسان محور به او اشاره کرد. کارهای گودل در زمینه منطق و نظریه محاسبات تأثیر زیادی بر علوم کامپیوتر مدرن داشته است. او نشان داد که یک سیستم منطقی ممکن است دچار ناتمامیت یا سازگاری باشد. این نکته به ویژه در بررسی‌های او در خصوص نظریه‌های ناتمامیت و قضایای مربوط به آن، چالش‌های اساسی در حوزه محاسبات و قابلیت محاسبه را مطرح می‌سازد. قضیه ناتمامیت گودل یکی از مهم‌ترین دستاوردهای اوست که بیان می‌کند در هر سیستم منطقی، برخی حقایق وجود دارند که نمی‌توان آن‌ها را با قواعد و اصول موجود در آن سیستم اثبات کرد. این قضیه به محدودیت‌های محاسبات و توانایی الگوریتم‌ها در حل مسائل اشاره دارد و درک عمیق‌تری از طبیعت ریاضی ارائه می‌دهد. گودل همچنین به ارتباط بین زبان‌های رسمی و محاسبات توجه داشت. ارتباط میان زبان‌های رسمی و محاسبات به تئوری‌ها و روش‌هایی اشاره دارد که در آن‌ها زبان‌های رسمی و سیستم‌های محاسباتی به هم مرتبط می‌شوند. زبان‌های رسمی، مانند زبان‌های منطقی، قواعد مشخصی دارند که برای توصیف زبان‌های انسانی یا زبان‌ها و الگوریتم‌های موجود در علم رایانه

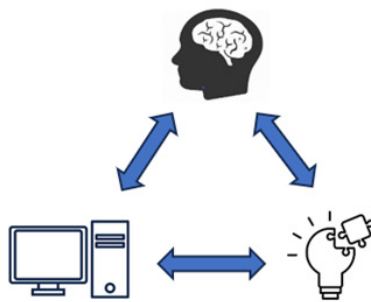
1. Godel Kurt

وقتی از شجره‌نامه یک خانواده سخن می‌گوییم، به کمک منطقی متوجه می‌شویم که منظور از شجره گیاه نیست



شکل ۱۱: روابط میان ذهن، لفظ و مصداق در تفکر منطقی.

اشکال‌زدایی و تعمیم) جهت مواجهه و حل مسائل دنیای واقعی از تفکر منطقی برای برقراری ارتباط میان «مفهوم و لفظ» و «مفهوم و مصداق» استفاده می‌کند.

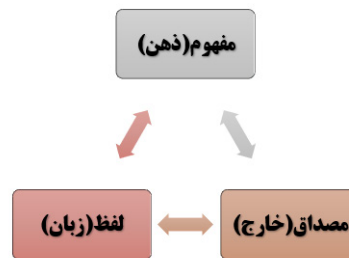


شکل ۱۲: روابط میان ذهن، ابزار هوشمند و مسائل دنیای واقعی در تفکر محاسباتی.

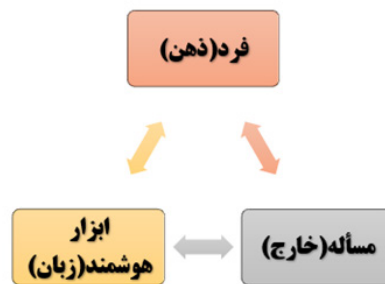
منطقی بهره می‌برد. استدلال‌های منطقی می‌توانند به طراحی الگوریتم‌های مؤثر کمک کنند. در تفکر محاسباتی، زبان ابزاری برای بیان الگوریتم‌ها و فرآیندهای محاسباتی است. در تفکر محاسباتی ماشین محور، زبان‌های برنامه‌نویسی و نمادهای ریاضی به ما این امکان را می‌دهند که فرآیندهای محاسباتی را به صورت دقیق و قابل فهم برای ماشین‌ها بیان کنیم.

آگاهی از نحوه عملکرد ذهن و توانایی‌های آن مسأله‌ای است که در طول تاریخ همواره مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. هگل^۱ از جمله افرادی است که در این زمینه به مطالعه و تحقیق پرداخته است. او در کتاب پدیدارشناسی روح، به بررسی سیر تکامل آگاهی انسان از ساده‌ترین شکل‌های ادراک تا رسیدن به آگاهی مطلق می‌پردازد. هگل در این اثر، تاریخ نگاری آگاهی را به عنوان فرآیندی دیالکتیکی و تکاملی ترسیم می‌کند که در آن آگاهی از طریق تضادها و تعارض‌ها به سمت تکامل پیش می‌رود. او بیان می‌دارد که مفهوم دیالکتیک شامل سه مرحله تر، آنتی‌تر

به نتیجه‌گیری‌های معتبر اشاره دارد. به عنوان مثال، زمانی که صحبت از درخت می‌شود در ذهن ما یک گیاه متبادر می‌شود ولی



وظیفه برقراری ارتباط صحیح میان سه جزء ذهن، ابزار هوشمند و مسائل دنیای واقعی بر عهده تفکر محاسباتی است. این ارتباط در شکل ۱۲ نشان داده شده است. انسان با ذهن خود در مراحل مختلف تفکر محاسباتی (انتزاع، تجزیه و تحلیل، الگوریتم،



این ذهن آدمی است که مسائل دنیای واقعی را دریافت و انتزاع می‌کند و پس از تجزیه و تحلیل به ایجاد الگوریتم‌های منطقی دست می‌زند. سپس در صورت امکان الگوریتم‌ها را به ابزار محاسبه‌گر می‌دهد و به اشکال‌زدایی و اصلاح الگوریتم‌ها اقدام می‌کند. در پایان نتیجه به دست آمده را ارزیابی کرده و به یادگیری و حل مسائل مشابه و جدید می‌پردازد. این رویکرد نشان می‌دهد که تفکر محاسباتی انسان محور مشتمل بر تفکر منطقی است.

در تفکر منطقی، ذهن انسان مسئولیت تحلیل و پردازش اطلاعات را دارد و استدلال‌های منطقی را تولید می‌کند. این فرایند شامل استفاده از قواعد منطقی و استدلال‌های معتبر پیشین است. برای آن که تفکر منطقی به خروجی‌های معتبر داشته باشد، استدلال‌ها باید بر اساس مشاهدات و داده‌های واقعی بنا شوند. در تفکر منطقی زبان وظیفه بیان و انتقال استدلال‌ها و تفکرات را دارد. ساختارهای زبانی به شکل‌گیری استدلال‌های منطقی معتبر کمک می‌کنند.

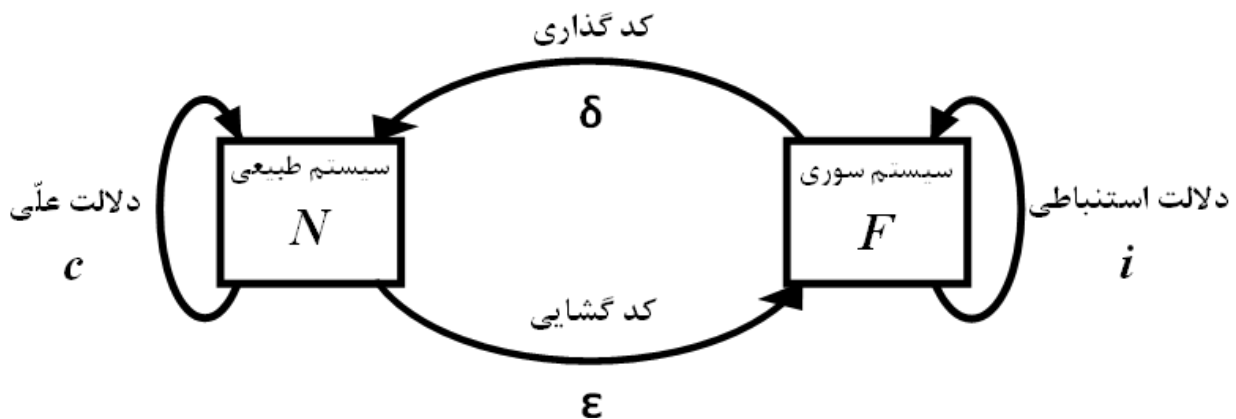
تفکر محاسباتی برای حل مسائل پیچیده از الگوریتم‌ها و روش‌های

انسان محور با مسائل دنیای واقعی به کاربرد آن در زمینه زیست‌شناسی اشاره می‌کنیم. زیست‌شناسی در چند دهه اخیر به طور گسترده از ریاضیات و تفکر محاسباتی بهره برده است. زیست‌شناسی محاسباتی و سیستمی می‌تواند تأثیر زیادی بر آینده این علم داشته باشد. موتور محرک زیست‌شناسی محاسباتی، همگرایی علوم کامپیوتر و علوم زیستی است [۳۸]. استفاده از مدل‌سازی برای درک و بررسی سیستم‌های زیستی پیچیده در زمینه‌های گوناگون مانند پزشکی، مهندسی ژنتیک و محیط زیست در زیست‌شناسی امری رایج است. مفهوم مدل‌سازی به فرآیند تبدیل یک سیستم طبیعی (مانند یک موجود زنده یا یک پدیده طبیعی) به یک مدل ریاضی و سوری اشاره دارد (شکل ۱۳). این مدل‌ها به ما کمک می‌کنند تا رفتار سیستم‌ها را پیش‌بینی کنیم و آن‌ها را بهتر درک کنیم.

و سنتز است که نشان‌دهنده پیشرفت آگاهی از طریق تضادها و تنش‌هاست. در این فرآیند، خودآگاهی از طریق تعامل با دیگران و شناخت دیگری به وجود می‌آید. در نهایت، هگل به مفهوم آگاهی مطلق می‌رسد که نمایانگر تحقق کامل آگاهی و شناخت است و به معنای هم‌سویی فرد با کل حقیقت و واقعیت می‌باشد. تجربیات انسانی از جمله تاریخ، فرهنگ و هنر، نقش مهمی در شکل‌گیری این آگاهی دارند. فرآیند حل مسأله به ویژه در مباحث ریاضی یک نمونه عملی از نظریات هگل درباره آگاهی و دیالکتیک است که در آن فرد از طریق تعامل با چالش‌ها و تجربیات، به درک عمیق‌تری از مفاهیم و راه‌حل‌ها دست می‌یابد.

۸. ارتباط میان رشته تفکر محاسباتی با زیست‌شناسی

در این بخش به عنوان مثالی عملی از ارتباط رشته تفکر محاسباتی



شکل ۱۳: مدل‌سازی یک فرآیند زیستی.

داده‌اند. نیکولاس راشفسکی (۱۸۹۹-۱۹۷۲) بیوفیزیک‌دان و ریاضیدان برجسته‌ای بود که به خاطر کارهای پیشگامانه‌اش در زمینه زیست‌شناسی نظری شناخته شده است. او به عنوان یکی از بنیان‌گذاران آنچه که اکنون «زیست‌شناسی رابطه‌ای» نامیده می‌شود، شناخته می‌شود. زیست‌شناسی رابطه‌ای بر اهمیت روابط و تعاملات در سیستم‌های زیستی تأکید دارد. راشفسکی اصول ریاضی را به مسائل زیستی اعمال کرد و به ایجاد چارچوبی کمی برای درک فرآیندهای زیستی کمک کرد [۱،۳۹]. او در زمینه بیوفیزیک و زیست‌شناسی ریاضی به بررسی الگوهای ریاضی در زیست‌شناسی پرداخت و با استفاده از مدل‌های ریاضی، رفتار و ویژگی‌های سیستم‌های زیستی را توضیح داد. این موضوع به پژوهشگران کمک کرد تا پیش‌بینی‌هایی درباره رفتار موجودات زنده و تعاملات آن‌ها با محیط انجام دهند. او نظریه سیستم‌ها را برای تحلیل سیستم‌های پیچیده و تعاملات درون آن‌ها معرفی کرد. کارهای راشفسکی به توسعه زمینه‌های جدید مانند زیست‌شناسی

فرآیندهای کد گذاری و کد گشایی پل ارتباطی سیستم‌های طبیعی و سیستم‌های سوری در مدل‌سازی پدیده‌های زیستی است که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌کنیم.

کدگذاری (ε): این فرآیند شامل تبدیل ویژگی‌های یک سیستم طبیعی به ویژگی‌های یک سیستم ریاضی است. به عنوان مثال، می‌توانیم رفتار یک موجود زنده را به معادلات ریاضی تبدیل کنیم کدگشایی (δ): این فرآیند معکوس کدگذاری است و به ما اجازه می‌دهد تا از مدل ریاضی به ویژگی‌های واقعی سیستم طبیعی بازگردیم.

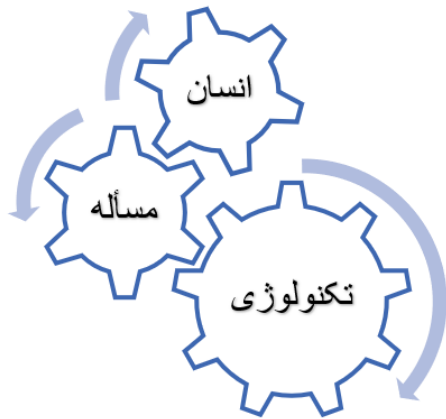
این فرآیندها توسط انسان به کمک توانایی‌های ذهنی و استفاده از تفکر محاسباتی انجام می‌پذیرد. ماشین محاسبه‌گر در انجام این کار نقش یاری‌رسان را دارد.

راشفسکی^۱، روزن^۲ و لویی^۳ از جمله محققانی هستند که در زمینه مدل‌سازی پدیده‌های زیستی تحقیقات قابل توجهی انجام

1. Rashevsky
2. Rosen

3. Louie

موقعیت‌ها را تعریف و نتایج را تعیین می‌کنند [۴، ۱۵، ۴۵]. جامعه و اجزای آن در این رویکرد ساخت‌گرا به جای داشتن ساختارها یا معانی ثابت ذاتی، توسط تعاملات بین بازیگران در شبکه‌های متنوع شکل می‌گیرند.



شکل ۱۴: تاثیر متقابل انسان، تکنولوژی و مسئله بر یکدیگر.

در سیستم مورد نظر در این بخش که متشکل از فرد (عامل انسانی) و ماشین محاسبه‌گر (عامل غیر انسانی) و مسایل دنیای واقعی می‌باشد، روابط بین اجزاء با توجه به شرایط مختلف به طور دائم در حال تغییر است. انسان در طول تاریخ با توجه به نیازها و در نظر گرفتن اقتضاعات زمانی و مکانی به انتزاع از مسائل دنیای واقعی پرداخته است و در کنشگری با دنیای واقعی به سطح آگاهی بالاتر دست یافته است. ماحصل این کنشگری‌ها و آگاهی‌های به دست آمده تکنولوژی است. پس از به وجود آمدن تکنولوژی و تغییر دینامیک حاکم بر روابط انسان و دنیای واقعی، تکنولوژی به عنوان یک عامل کنشگر در سیستم مورد نظر و ارتباطات میان اجزای آن تأثیر گذاشته و به طور متقابل تأثیر می‌پذیرد. این تغییر در هر یک از اجزا به تغییر در نحوه ساختار و ارتباط سایر اجزا منتج می‌گردد و بدین سان شبکه‌های متنوعی از روابط ایجاد می‌شود.

با توجه به این‌که هر تکنولوژی برای حل مسائل در حوزه مشخص کاربرد دارد، موجودیت و پیشرفت هر مجموعه تکنولوژیک وابسته به انسان و توانایی تفکر او است. در تعاملات اجزای سیستم، توجه به وزن اثرگذاری هر یک از اجزا در نحوه عملکرد کلی سیستم امری مهم است. برقراری تعادل مناسب میان انسان، مسئله و تکنولوژی همواره به صورت یک چالش مطرح بوده است. ذهن با استفاده از تفکر محاسباتی انسان محور به تجزیه و تحلیل روابط پرداخته و به جهت‌دهی هدفمند عملکرد سیستم برای رسیدن به اهداف نظارت دارد.

در طول تاریخ حس کنجکاو و علاقه بشر به یادگیری باعث گردیده تا با روش‌های مبتکرانه و بعضاً شگفت‌انگیز به مواجهه با مسائل بپردازد. در ابتدا انسان‌ها با استفاده از ابزارهای ساده توانستند

سیستم‌ها و زیست‌شناسی محاسباتی کمک کرد که در ادامه به تجزیه و تحلیل سیستم‌های زیستی و درک بهتر عملکرد آن‌ها در مقیاس‌های مختلف انجامید [۱].

رابرت روزن (۱۹۹۸-۱۹۳۴) در زمینه مدل‌سازی زیستی به توسعه فهم ما از سیستم‌های پیچیده و دینامیک موجودات زنده کمک کرد. دینامیک موجودات زنده به مطالعه و تحلیل رفتار و تعاملات داخلی و خارجی موجودات زنده و چگونگی عملکرد آن‌ها در سیستم‌های پیچیده اشاره دارد. این مفهوم به بررسی تغییرات در شرایط موجودات زنده از نظر فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی در گذر زمان می‌پردازد. روزن بر این باور بود که موجودات زنده به عنوان سیستم‌های پیچیده‌ای عمل می‌کنند که اجزایشان مانند سلول‌ها و بافت‌ها به طور متقابل با یکدیگر تعامل دارند. برای توصیف این تعاملات، روزن از مدل‌های ریاضی شامل معادلات دیفرانسیل و الگوریتم‌های شبیه‌سازی استفاده کرد که به پژوهشگران کمک می‌کند تا رفتار این سیستم‌ها را پیش‌بینی کنند. او همچنین مفهوم پیش‌بینی را معرفی کرد و نشان داد که موجودات زنده می‌توانند با استفاده از اطلاعات موجود، رفتار آینده خود را تنظیم کنند. از نظر رابرت روزن، پیش‌بینی به معنای استفاده از مدل‌های ریاضی یا مفهومی برای پیش‌گویی رفتار یا نتایج آینده یک سیستم است. او به بررسی پیچیدگی و فرآیندهای خودسازمان‌دهی در سیستم‌های زیستی پرداخته است. از نظر او، خودسازمان‌دهی فرآیندی کلیدی در سیستم‌های زیستی است که به آن‌ها اجازه می‌دهد بدون نیاز به کنترل خارجی، ساختارها و رفتارهای پیچیده را ایجاد کنند. این فرآیند ناشی از تعاملات داخلی و پیچیدگی ذاتی سیستم‌های زنده است و یکی از ویژگی‌های اساسی آن‌ها محسوب می‌شود. نظریه جامع او به پژوهشگران ابزارهای جدیدی برای تحقیق در زمینه سیستم‌های پیچیده ارائه داد و به توسعه رشته‌های مختلفی از جمله زیست‌شناسی نظری و فلسفه علم کمک کرد [۴۵-۴۱، ۲۷].

آرتور هوئی لویی از دیگر محققان برجسته در زمینه زیست‌شناسی و مدل‌سازی بیولوژیکی است. او به توسعه مدل‌های ریاضی برای درک فرآیندهای بیولوژیکی، مدل‌سازی اکولوژیکی و ترویج نظریه سیستم‌ها پرداخته است. لویی بر ویژگی‌های کلیدی موجودات زنده مانند تغییر و تکامل، تعاملات اکولوژیکی، تولید مثل، پاسخ به محرک‌ها، ساختار سلولی، متابولیسم و تنوع ژنتیکی تأکید دارد [۲۸]. کارهای او به پژوهشگران کمک کرده تا رفتار سیستم‌های زیستی و تعاملات آن‌ها را بهتر درک کنند.

۹. اثرات متقابل بین فرد، مسئله و تکنولوژی

در نگاهی جامع سه عامل فرد، تکنولوژی و مسئله به صورت اجزای یک سیستم کلی، با یکدیگر تعامل دارند و از یکدیگر تأثیر می‌پذیرند (شکل ۱۴). نظریه شبکه کنشگر بیان می‌کند که بازیگران انسانی و غیر انسانی، شبکه‌های متغیری از روابط را تشکیل می‌دهند که

هوش مصنوعی به مجموعه‌ای از سیستم‌ها و نرم‌افزارها اطلاق می‌شود که رویکردی مشابه هوش انسانی دارند. این تشابهات شامل یادگیری، استدلال، حل مسأله و درک زبان طبیعی می‌باشند. هوش مصنوعی با پیشرفت الگوریتم‌ها و افزایش قدرت پردازش سیستم‌های محاسبه‌گر به ابزاری مؤثر در انجام فعالیت‌های مختلف تبدیل شده است. مباحث مرتبط با یادگیری ماشین از جنبه‌های شاخص در بحث هوش مصنوعی هستند. یادگیری ماشین به ابزارهای هوشمند محاسبه‌گر این امکان را می‌دهد که عملکردشان به مرور زمان و با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده، بهبود یابد [۹]. در سال‌های اخیر و با رشد فزاینده هوش مصنوعی، ارتباط و تعامل آن با تفکر محاسباتی رشد فزاینده‌ای داشته است [۱۸]. در آموزش مدل‌های هوش مصنوعی توانایی تحلیل داده‌ها و شناسایی الگوها که از لوازم اصلی در تفکر محاسباتی هستند نقش بسیار ضروری و حیاتی دارند.

مطابق آنچه در قسمت قبل بیان شد، تفکر محاسباتی انسان محور عامل به وجود آورنده هوش مصنوعی (تکنولوژی) است. تفکر محاسباتی انسان محور در جهت رفع محدودیت‌های تکنولوژی هوش مصنوعی به عنوان یک ضرورت برای توسعه و بهبود الگوریتم‌های آن به حساب می‌آید. لذا افراد با توانایی تفکر محاسباتی به صورت مؤثرتری می‌توانند مسائل را تجزیه و تحلیل کنند و راه‌حل‌های بهتری برای رشد و توسعه هوش مصنوعی ارائه دهند.

از طرفی ویژگی کنشگری هوش مصنوعی به تقویت و تسهیل فرآیند تفکر محاسباتی کمک می‌کند. سیستم‌های هوش مصنوعی می‌توانند به افراد در حل مسائل پیچیده کمک کنند و به آن‌ها ابزارهایی ارائه دهند که باعث افزایش کارایی و دقت در فرآیندهای حل مسأله به کمک تفکر محاسباتی گردد. به عنوان مثال، نرم‌افزارهای هوش مصنوعی می‌توانند در شناسایی الگوها و تحلیل داده‌ها به افراد کمک کنند. هوش مصنوعی دستاورد تفکر محاسباتی انسان محور و نمود بارز توانایی بشر در خلق ابزارهایی است که می‌تواند از آن‌ها در حل مسائل استفاده کرده و برای پیشرفت توانایی‌هایش بهره‌بردار شود.

در نهایت، ارتباط متقابل هوش مصنوعی و تفکر محاسباتی نشان‌دهنده اهمیت و تأثیر این دو حوزه بر یکدیگر است. با توجه به پیشرفت‌های روزافزون در فناوری، درک و بهره‌برداری از این ارتباط می‌تواند به بهبود فرآیندهای یادگیری، حل مسائل و توسعه فناوری‌های نوین منجر شود.

۱۱. تفکر محاسباتی، آموزش و جامعه آگاه

توسعه مهارت‌ها و توانایی‌های افراد به ویژه دانش‌آموزان در طراحی راه‌حل‌های محاسباتی، تفکر الگوریتمی، کدنویسی و بهره‌برداری از ابزارهای هوشمند و محاسباتی برای حل مسائل، امری ضروری به

به شکار و کشاورزی پردازند. این ابزارها به افزایش تولید غذا و بهبود شرایط زندگی که مهم‌ترین مسائل پیش روی بشر بودند، کمک کردند. سیستم آبیاری مورد استفاده در شوشتر و یا استفاده از قنات برای تأمین آب در مناطق کویری از نمونه‌های جالب توجه اقدامات بشر برای مرتفع ساختن نیازهای خود در کشاورزی است. در قرن‌های ۱۸ و ۱۹ با اختراع ماشین بخار توسط جیمز وات و ظهور انقلاب صنعتی، تغییرات عمده‌ای در ساختار اقتصادی و اجتماعی جوامع پدیدار شد. ماشین‌آلات جدید به تولید انبوه و کارآمدی بیشتر منجر شدند. در ادامه اختراعاتی مانند ماشین چاپ و دستگاه تلگراف به گسترش اطلاعات و ارتباطات کمک کردند. این تحولات باعث شکل‌گیری جنبش‌های اجتماعی و فرهنگی جدیدی شدند. امروزه با ظهور اینترنت و تکنولوژی‌های دیجیتال، نحوه ارتباطات و دسترسی به اطلاعات به طرز چشمگیری تغییر کرده است. در حالی که این تغییرات به تسهیل یادگیری و تبادل اطلاعات کمک بسیاری کرده‌اند به موازات آن باعث بروز مسائلی پیرامون حریم خصوصی و امنیت داده‌ها شده‌اند. در حالی که اتوماسیون و هوش مصنوعی به تغییرات عمده‌ای در بازار کار منجر شده‌اند، برخی مشاغل از بین رفته و مشاغل جدیدی ایجاد شده‌اند که نیاز به مهارت‌های فنی و دیجیتالی ویژه‌ای دارند. این تغییرات به نابرابری‌های اقتصادی و اجتماعی دامن زده‌اند. از طرفی استفاده مفرط از تکنولوژی‌های دیجیتال به مشکلاتی مانند اضطراب، افسردگی و انزوا منجر شده است. پیشرفت‌های آینده در زمینه‌هایی مانند هوش مصنوعی، بیوتکنولوژی و رباتیک می‌تواند به تغییرات عمده‌ای در زندگی انسان‌ها منجر شود [۳۷]. این تکنولوژی‌ها می‌توانند به بهبود کیفیت زندگی و حل مسائل جهانی مانند بیماری‌ها و تغییرات اقلیمی کمک کنند.

ایجاد تعامل مناسب میان انسان، تکنولوژی و مسائل دنیای واقعی، مستلزم شناخت کافی و درست از اکوسیستم حاصل از آن‌ها است؛ تحقق کارکرد مناسب این اکوسیستم زمانی حاصل می‌شود که هر یک از اجزاء، بدون داشتن خلل و مشکل در ساختار درونی، به عنوان یک جزء مستقل دارای کارکرد مناسب در کل مجموعه باشند.

۱۰. تفکر محاسباتی و هوش مصنوعی

تفکر محاسباتی انسان محور در کنار انجام وظیفه ذاتی خود در جهت حل مسأله، در مواقع لزوم از ابزار محاسبه‌گر (تکنولوژی) بهره می‌گیرد. اهمیت این کار در این است که ابزار محاسبه‌گر در انجام وظایفی مانند محاسبات ریاضی، ذخیره حجم بزرگی از داده‌ها و تکرار دقیق دستورات از انسان بهتر عمل می‌کنند. در سوی مقابل در زمینه درک تعاملات اجتماعی، اتخاذ تصمیمات از یک دیدگاه کل‌نگر و برخورد با موقعیت‌های مبهم، عملکرد انسان بهتر از ابزارهای هوشمند محاسبه‌گر است. در نتیجه با ترکیب قابلیت‌های ذکر شده می‌توانیم در حل مسائل به توانایی‌های بیشتری دست پیدا کنیم.

نقش این مهارت در رشته‌های فنی و مهندسی برجسته‌تر است، اما تعریف انسان‌محور از تفکر محاسباتی نشان می‌دهد که این مهارت می‌تواند در تمامی زمینه‌ها از جمله علوم انسانی و اجتماعی مورد استفاده قرار گیرد. از طرفی بررسی تفکر محاسباتی از طریق نظریه رسته‌ها و دیدگاه انسان محوری کمک شایانی به آموزش تفکر محاسباتی برای حل مسائل دنیای واقعی و توسعه روش‌های آموزشی و یادگیری خواهد داشت. بدین منظور پژوهشی برای بررسی عوامل مؤثر در سطح و رشد تفکر محاسباتی و توانایی حل مسأله صورت پذیرفت. در این پژوهش با ارائه محتوای آموزشی و استفاده از یک محصول طراحی شده تحت عنوان (آزمایشگاه همراه ریاضی)^۱ به آموزش منطق ریاضی به کمک آزمایش‌های ساده و بدون استفاده از مباحث مرتبط با کد نویسی به افراد پرداخته شد. نتایج نشان دهنده رشد سطح مهارت‌های تفکر محاسباتی و توانایی حل مسأله افراد شرکت کننده در مطالعه بود [۵۵].

در آینده نزدیک، مباحث مرتبط با تفکر محاسباتی به طور فزاینده‌ای در برنامه‌های درسی کشورهای صنعتی و رشته‌های علوم، فناوری، مهندسی و ریاضیات گنجانده خواهد شد [۱۷،۴۹]. همچنین ابزارهای آموزشی آنلاین امکان یادگیری این مهارت را در هر زمان و مکانی فراهم خواهند کرد. استفاده از فناوری‌های پیشرفته نظیر واقعیت مجازی و افزوده برای شبیه‌سازی مسائل پیچیده و ایجاد تجربیات یادگیری تعاملی نیز نقش بسزایی در آموزش این مهارت خواهد داشت. در سایه گسترش هرچه بیشتر تفکر محاسباتی میان جوامع و توجه به اهمیت آن، این مهارت می‌تواند افراد را در توسعه مهارت‌های بین رشته‌ای یاری رسانده و آنان را قادر سازد تا مسائل پیچیده را در زمینه‌های مختلف حل کنند [۱۳،۵۰]. با آموزش تفکر محاسباتی به شیوه‌ای کاربردی و مؤثر به افراد، بسیاری از چالش‌های موجود در سیستم‌های آموزشی و نحوه تربیت نسل‌های آینده مرتفع خواهد شد. به عنوان مثال افزایش مهارت‌های حل مسأله، تسهیل یادگیری بین رشته‌ای، افزایش انگیزه و مشارکت در یادگیری و توسعه تفکر انتقادی و خلاقیت از مهمترین عوامل اثر گذار در حل چالش‌های آموزش است [۸،۲۵،۲۶،۳۴]. آینده تفکر محاسباتی در آموزش به سمت گنجاندن آن در برنامه‌های درسی، استفاده از فناوری‌های نوین و توسعه مهارت‌های اجتماعی تعامل حوزه‌های تخصصی مختلف با یکدیگر حرکت خواهد کرد. پیاده‌سازی مؤثر این رویکرد می‌تواند کیفیت آموزش را ارتقا داده و افراد را برای آینده‌ای موفق آماده سازد [۱۲].

۱۲. بحث و نتیجه‌گیری

فناوری‌های مبتنی بر علوم کامپیوتر و هوش مصنوعی در عصر حاضر به سرعت در حال توسعه هستند و بر فرآیندهای حل مسأله

نظر می‌رسد [۲۶]. تفکر محاسباتی یکی از نیازهای اساسی برای جامعه‌ای هوشمند و کارآمد به حساب می‌آید. در حالی که تفکر محاسباتی انسان محور به توسعه فردی و اجتماعی منجر می‌شود؛ توسعه فردی و اجتماعی به رشد و بلوغ تفکر محاسباتی انسان محور کمک می‌کند. این کنشگری میان تفکر محاسباتی انسان محور و دنیای واقعی به صورت تکنولوژی نمود پیدا می‌کند و بازخورد تکنولوژی به دست آمده در قالب آموزش به خود انسان و محیط اجتماعی باز می‌گردد. لذا آموزش حاصل از این کنشگری‌ها می‌تواند به تربیت افراد آگاه و منطقی منجر شود. مطابق با آنچه پیش‌تر اشاره شد، طیف گسترده‌ای از افراد جامعه، از دانش‌آموزان و دانشجویان گرفته تا صاحبان مشاغل و کارآفرینان، می‌توانند از این مهارت بهره‌مند شوند [۲۰]. به همین دلیل در سال‌های اخیر تلاش‌های بسیاری برای ترویج اهمیت تفکر محاسباتی و نقش آن در بهبود توانایی‌های فردی و اجتماعی صورت گرفته است [۳،۷]. تفکر محاسباتی به علت ماهیت ذاتی خود با نظام آموزشی درهم تنیده شده است و تقریباً در تمامی حوزه‌ها اثری از خود بر جای می‌گذارد. با توجه به تحولات سریع فناوری و نیازهای روزافزون جامعه، نظام آموزش و پرورش به عنوان بزرگ‌ترین سیستم آموزش رسمی کشور می‌تواند به تفکر محاسباتی به‌عنوان یک مؤلفه کلیدی توجه ویژه داشته باشد. بسیاری از کشورها این مهارت را در سیستم‌های آموزشی رسمی و غیررسمی خود گنجانده‌اند به گونه‌ای که تفکر محاسباتی و کدنویسی به بخشی جدایی‌ناپذیر از برنامه‌های درسی آن‌ها تبدیل شده است [۲۴]. با این حال جای خالی آموزش مستقیم این مهارت در مباحث آموزشی به شدت احساس می‌شود [۳،۱۷]. عوامل متعددی بر سطح و رشد تفکر محاسباتی تأثیرگذارند که توجه به آن‌ها می‌تواند راه‌گشای طراحی برنامه‌های آموزشی مؤثر باشد [۲۱]. از جمله این عوامل می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- تدوین سیاست‌های کلان آموزشی در راستای گسترش آموزش تفکر محاسباتی [۱۶].
- توسعه ابزارهای سخت‌افزاری و نرم‌افزاری [۱۶،۳۲].
- تربیت معلمان و مربیان متخصص [۱۹].
- تولید محتوای آموزشی مناسب.
- ایجاد بستر فرهنگی و اجتماعی مساعد [۶،۳۲].
- ارزشیابی مهارت‌های تفکر محاسباتی [۲۹،۴۰].

یکی از موانع اصلی در بهره‌گیری از تفکر محاسباتی در علوم مختلف، نوع نگرش افراد به این مهارت است [۳۲]. بسیاری بر این باورند که تفکر محاسباتی تنها در حوزه‌های علوم کامپیوتر و رشته‌های فنی و مهندسی کاربرد دارد و نمی‌توان از آن در سایر علوم نظیر علوم انسانی یا هنر استفاده کرد [۲۰]. هرچند

۱. تصمیم‌گیری در سیستم‌های هوشمند: یادگیری عملی و آسان منطق ریاضی به کمک آزمایش‌های ساده، تهیه شده توسط شرکت آینده‌سازان مبتکر پویا، دارای مجوز رسمی از وزارت آموزش و پرورش.

و زندگی اجتماعی افراد و جوامع تأثیر می‌گذارند. دنیا به سرعت به سمت استفاده از ادوات هوشمند حرکت می‌کند و ما در زندگی خود شاهد تشکیل یک اکوسیستم هوشمند در محیط اطرافمان هستیم [۳۲]. تفکر محاسباتی به عنوان یک مهارت با ابعاد متنوع شامل انتزاع، تجزیه، الگوریتم، اتوماسیون، اشکال‌زدایی و تعمیم نه تنها در مباحث مرتبط با علوم کامپیوتر و هوش مصنوعی دارای نقش اساسی است، بلکه در بسیاری از حوزه‌های دیگر از مصادیق پزشکی تا شبکه‌های اجتماعی کاربرد دارد. تفکر محاسباتی به ما کمک می‌کند تا پیچیدگی‌های دنیای مدرن را بهتر درک کنیم و در حل مسائل علمی، مهندسی و اجتماعی کارآمدتر عمل کنیم [۴۹]. علاوه بر موارد ذکر شده، تفکر محاسباتی به عنوان یک ابزار کلیدی در توسعه مهارت‌های حل مسئله و نوآوری در عصر دیجیتال اهمیت زیادی دارد. در سال‌های اخیر روش‌های علمی دانشمندان تحت تأثیر فزاینده علوم کامپیوتر قرار گرفته است. دانشمندان علوم طبیعی مدت‌هاست که آزمایش‌های محاسباتی را به عنوان پایه سوم روش علمی در کنار تئوری و آزمایش‌های تجربی قرار داده‌اند و تفکر محاسباتی را به عنوان یک موضوع ضروری و حیاتی در جهت انجام هرچه بهتر و کامل‌تر کارهای تحقیقاتی خود پذیرفته‌اند [۱۶]. این ضرورت به حدی فراگیر شده است که به جز پژوهشگران حوزه‌های علوم ریاضی، تجربی، محققان و نظریه‌پردازان علوم انسانی نیز به استفاده از آن پرداخته‌اند. در سال‌های اخیر، علاوه بر چهار مهارت اساسی قرن ۲۱ (تفکر انتقادی، خلاقیت، همکاری و ارتباطات)، تفکر محاسباتی به عنوان یکی دیگر از مهارت‌های اصلی مورد توجه ویژه قرار گرفته است [۱۰]. توجه به سیر تاریخی تفکر محاسباتی و منطقی نشان می‌دهد که در اعصار مختلف، انسان با استفاده از تفکر محاسباتی و منطقی، به تعامل با محیط اطراف و بهبود سطح زندگی خود اقدام کرده است. همچنین مشاهده کردیم که گسترده‌گی زمینه‌های کاربردی تفکر محاسباتی سبب شده است که محققان از زوایای مختلفی به آن پرداخته و تعاریف متنوعی ارائه کنند. با این حال، یک وجه مشترک در تمامی این تعاریف وجود دارد. در تمامی آن‌ها تفکر محاسباتی به گونه‌ای تعریف می‌شود که در آن فرد باید آنچه در ذهن خود در رابطه با مسئله و راه حل انتزاع نموده است را به نحوی بیان کند که توسط ماشین محاسبه‌گر قابل دریافت باشد. این امر باعث به وجود آمدن یک محدودیت اساسی در حل مسائل خواهد بود. چرا که توانایی ذهن انسان که محاسبه ناپذیر است به توانایی ماشین محاسبه‌گر که محاسبه‌پذیر است، محدود می‌گردد. ما با افزودن دو مؤلفه اشکال‌زدایی و تعمیم به بهبود ساختار تفکر محاسباتی پرداخته‌ایم. در ادامه به بررسی تفکر محاسباتی با دیدگاه رسته‌ای (با مشخص کردن مؤلفه‌های اصلی و ارتباط میان آن‌ها)، برای حل مسائل در زمینه‌های علوم ریاضی، تجربی و انسانی پرداختیم. در ادامه به محدودیت‌های تفکر محاسباتی ماشین محور در چالش‌های علوم انسانی، پدیده‌های نو ظهور، تحلیل‌های اقتصادی و پدیده‌های اقلیمی توجه نمودیم. این

مسائل به علل مختلف مانند پیچیدگی، کمبود داده‌ها و یا نیاز به ابزار محاسبه‌گر خاص که در دسترس همگان نیست، به سادگی قابل مدل‌سازی دقیق نیستند. در گامی رو به جلو، رسته تفکر محاسباتی با رویکرد انسان محور را معرفی کردیم. این دیدگاه نوین به طور همزمان، ضمن بهره‌مندی از توانایی‌های ذهن انسان به عنوان یک ماشین محاسبه‌گر، مشتمل بر تفکر ماشین محور است. علاوه بر بهره‌مندی از ویژگی‌های مثبت این نوع از تفکر مانند افزایش توانایی حل مسئله و تقویت تفکر منطقی در حل مسائل دنیای واقعی، رابطه بین انسان هوشمند و ماشین محاسبه‌گر را به صورت ساختاری نظام‌مند و مشخص تعریف کردیم؛ بدین صورت که در تفکر محاسباتی انسان محور، این ماشین هوشمند است که در اختیار انسان قرار می‌گیرد و تمامی روابط و تعاملات میان انسان و ماشین هوشمند محاسبه‌گر، توسط ذهن انسان مدیریت می‌گردد. با این دیدگاه فرد به عنوان مهم‌ترین عامل در این ساختار به جایگاه خود واقف خواهد بود.

در بررسی تفکر محاسباتی و منطقی مشاهده کردیم که این دو نوع تفکر در حل مسائل و پردازش اطلاعات برای درک بهتر از چالش‌های دنیای واقعی دارای نقش اساسی هستند. نشان دادیم که تفکر منطقی از ملزومات تفکر محاسباتی است و تفکر محاسباتی انسان محور مشتمل بر تفکر منطقی است. همچنین عملکرد تفکر منطقی در مدیریت روابط میان ذهن، زبان و دنیای واقعی را تشریح نموده و نقش آن را در رفع خطای اندیشه و ذهن بیان نمودیم. با بررسی روابط میان ذهن، ابزار هوشمند محاسبه‌گر و مسائل نشان دادیم که روح حاکم بر این روابط، تفکر محاسباتی انسان محور است. مجهز بودن به تفکر محاسباتی انسان محور نه تنها به آگاهی افراد از کل فرآیند حل مسئله منجر می‌شود بلکه به آن‌ها تسلط و مهارت لازم نسبت به انجام فعالیت‌های مورد نیاز را می‌بخشد. به همین دلایل افرادی که دارای صلاحیت‌های مرتبط با تفکر محاسباتی هستند در شناخت و حل مسائل به خوبی عمل می‌کنند. مشاهده کردیم که تعامل و کنشگری انسان با مسائل دنیای واقعی به ظهور تکنولوژی‌های متنوع منجر شده است. تکنولوژی، انسان و مسئله به عنوان اجزای یک سیستم کلی، تأثیرات عمیق و گسترده‌ای بر زندگی انسانی و ساختارهای اجتماعی دارند. بررسی سیر تاریخی زندگی بشر نشان می‌دهد که این اجزا به صورت متغیر و پویا با یکدیگر در ارتباط هستند و تغییر در هر یک از آن‌ها می‌تواند بر دیگر عوامل تأثیر بگذارد. ایجاد تعاملی سازنده میان انسان، تکنولوژی و مسئله مستلزم درک عمیق از روابط و تأثیرات متقابل آن‌ها است. این درک که توسط توانایی‌های ذهن و با کمک تفکر محاسباتی انسان محور حاصل می‌شود به ما یاری می‌رساند تا به حل مسائل پیچیده دنیای واقعی بپردازیم و از فرصت‌های جدید برای پیشرفت تکنولوژی بهره‌برداری کنیم.

هوش مصنوعی یکی از مهم‌ترین ابزارهای مورد استفاده بشر

محاسباتی در آموزش می‌باشد [۱۰]. تجهیز افراد به توانایی تفکر محاسباتی، به توسعه روش‌های آموزشی و یادگیری کمک شایانی خواهد کرد [۳۴].

در پایان تأکید اصلی بر این است که تمامی فعالیت‌های مرتبط در جهت افزایش سطح و رشد تفکر محاسباتی در میان افراد جامعه باید به گونه‌ای باشد که هدف تمامی آن فعالیت‌ها، ارتقای سطح زندگی انسان باشد [۵۴]. توجه به این امر مهم، راهنمای سودمندی است تا با یاری از آن نسبت به برنامه‌ریزی مدون و اصولی اقدام کنیم و به تقویت این مهارت در میان تمام سطوح افراد جامعه اقدام کنیم. همچنین لازم است این نکته را متذکر شویم که هدف نهایی نباید این باشد که به همه بیاموزیم مانند یک دانشمند کامپیوتر فکر کنند، بلکه باید به آن‌ها آموزش دهیم که از این مهارت برای حل مسائل و کشف سوالات جدیدی استفاده کنند که می‌تواند در همه رشته‌های تحصیلی و جوانب مختلف زندگی استفاده شود [۶۸، ۱۱، ۵۴].

در سال‌های اخیر است که حاصل تفکر محاسباتی انسان محور می‌باشد. مقبولیت هوش مصنوعی به دلیل تشابه آن با عملکرد هوش انسانی است. به واقع هوش مصنوعی را می‌توان تلاش بشر برای ایجاد شباهت بین تفکر ماشینی با تفکر انسانی در نظر گرفت. کنشگری میان انسان، تکنولوژی و مسائل دنیای واقعی در قالب آموزش به انسان و محیط اجتماعی بازخورد می‌یابد. این موضوع در دو جنبه شامل نحوه آموزش تکنولوژی‌های نوین به افراد و تأثیر تکنولوژی‌های نوین در فرآیند آموزش قابل مشاهده و بررسی است. با توجه به محدودیت‌های هر تکنولوژی در حل مسائل زمینه‌های مختلف، ذهن انسان با استفاده از تفکر محاسباتی انسان محور می‌تواند به این محدودیت‌ها فائق آمده و به حل مسائل در گستره وسیع‌تر بپردازد. همه موارد ذکر شده مستلزم این است که مهارت تفکر محاسباتی به روشی صحیح و مؤثر به افراد آموزش داده شود. ارتقاء کیفیت آموزش و تربیت افراد برای آینده‌ای موفق در زندگی روزمره و حرفه شغلی از نتایج پیاده‌سازی اصولی تفکر

منابع

1. Abraham, T.H., 2004. Nicolas Rashevsky's mathematical biophysics. *Journal of the History of Biology*, 37(2), pp.333-385.
2. Aleksandrov, A. D., Kolmogorov, A. N., Lavrent'ev, M. A., 2012. *Mathematics: Its content, methods and meaning*. United States: Dover Publications.
3. Angeli, C. and Giannakos, M., 2020. Computational thinking education: Issues and challenges. *Computers in Human Behavior*, 105, pp.106-185.
4. Astrachan, O., Hambrusch, S., Peckham, J. and Settle, A., 2009. The present and future of computational thinking. *ACM SIGCSE Bulletin*, 41(1), pp.549-550.
5. Barr, D., Harrison, J. and Conery, L., 2011. Computational thinking: A digital age skill for everyone. *Learning & Leading with Technology*, 38(6), pp.20-23.
6. Barr, V. and Stephenson, C., 2011. Bringing computational thinking to K-12: What is involved and what is the role of the computer science education community?. *ACM Inroads*, 2(1), pp.48-54.
7. Barcelos, T.S., Muñoz-Soto, R., Villarroel, R., Merino, E. and Silveira, I.F., 2018. Mathematics learning through computational thinking activities: A systematic literature review. *J. Univers. Comput. Sci.*, 24(7), pp.815-845.
8. Bers, M.U., Flannery, L., Kazakoff, E.R. and Sullivan, A., 2014. Computational thinking and tinkering: Exploration of an early childhood robotics curriculum. *Computers & Education*, 72, pp.145-157.
9. Brynjolfsson, E. and Mitchell, T., 2017. What can machine learning do? Work force implications. *Science*, 358, pp.1530-1534.
10. Buitrago-Flórez, F., Danies, G., Restrepo, S. and Hernández, C., 2021. Fostering 21st century competences through computational thinking and active learning: A mixed method study. *International Journal of Instruction*, 14(3), pp.737-754.
11. Cansu, F.K. and Cansu, S.K., 2019. An overview of computational thinking. *International Journal of Computer Science Education in Schools*, 3(1), pp.17-30.
12. Constantinou, V. and Ioannou, A., 2018. Development of computational thinking skills through educational robotics. *Education and Information Technologies*, 28(11), pp.14987-15009.

13. CSTA, & ISTE., 2011. Operational definition of computational thinking for k–12 education. Available at: www.iste.org. Last accessed: 2/27/2025.
14. Denning, P.J., 2009. The profession of IT beyond computational thinking. *Communications of the ACM*, 52(6), pp.28-30.
15. Denning, P. J. and Tedre, M., 2019. *Computational thinking*. United Kingdom: MIT Press.
16. Durak, H.Y. and Saritepeci, M., 2018. Analysis of the relation between computational thinking skills and various variables with the structural equation model. *Computers & Education*, 116, pp.191-202.
17. Furber, S., 2012. *Shut down or restart. The way forward for computing in UK schools*. London (UK): The Royal Society.
18. Gadanidis, G., 2017. Artificial intelligence, computational thinking, and mathematics education. *The International Journal of Information and Learning Technology*, 34(2), pp.133-139.
19. Gadanidis, G., Cendros, R., Floyd, L. and Namukasa, I., 2017. Computational thinking in mathematics teacher education. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 17(4), pp.458-477.
20. Grover, S. and Pea, R., 2018. Computational thinking: A competency whose time has come. *Computer Science Education: Perspectives on Teaching and Learning in School*, 19(1), pp.19-38.
21. Guggemos, J., 2021. On the predictors of computational thinking and its growth at the high-school level. *Computers & Education*, 161, p.104060.
22. Haseski, H.İ., İlic, U. and Tuğtekin, U., 2018. Defining a new 21st century skill-computational thinking: Concepts and trends. *International Education Studies*, 11(4), pp. 29-42.
23. Hemmendinger, D., 2010. A plea for modesty. *ACM Inroads*, 1(2), pp.4-7.
24. Hunsaker, E., 2020. Computational thinking. *The k–12 educational technology. handbook*, pp.130-156.
25. Ioannidou, A., Bennett, V., Repenning, A., Koh, K.H. and Basawapatna, A., 2011. Computational thinking patterns. *Annual Meeting of the American Educational Research Association*.
26. Kong, S.C. and Abelson, H., 2019. *Computational thinking education*. Singapore: Springer Nature Singapore.
27. Leinster, T., 2014. *Basic category theory*. vol. 143. Cambridge University Press.
28. Louie, A.H., 2013. *The reflection of life: Functional entailment and imminence in relational biology*. Germany: Springer New York.
29. Maharani, S., Kholid, M.N., Pradana, L.N. and Nusantara, T., 2019. Problem solving in the context of computational thinking. *Infinity Journal*, 8(2), pp.109-116.
30. Merzbach, U. C., Boyer, C. B., 2011. *A history of mathematics*. United Kingdom: Wiley.
31. Mike, K., Ragonis, N., Rosenberg-Kima, R.B. and Hazzan, O., 2022. Computational thinking in the era of data science. *Communications of the ACM*, 65(8), pp.33-35.
32. Montiel, H. and Gomez-Zermeño, M.G., 2021. Educational challenges for computational thinking in k–12 education: A systematic literature review of “scratch” as an innovative programming tool. *Computers*, 10(6), p.69.
33. Nobel prize chemistry 2024, <https://www.nobelprize.org/uploads/10/2024/advanced-chemistryprize2024.pdf>. Last accessed: 10/31/2024.
34. Nouri, J., Zhang, L., Mannila, L. and Norén, E., 2020. Development of computational thinking, digital competence and 21st century skills when learning programming in k–9. *Education Inquiry*, 11(1), pp.1-17.
35. Özgür, H., 2020. Relationships between computational thinking skills, ways of thinking and demographic variables: A structural equation modeling. *International Journal of Research in Education and Science*, 6(2), pp.299-314.
36. Papert, S., 1980. Personal computing and its impact on education. *The Computer in the School: Tutor, tool, tutee*, pp.197-202.

37. Poli, R., 2017. Introduction to anticipation studies. Germany: Springer International Publishing.
38. Priami, C., 2007. Computational thinking in biology. Transactions on Computational Systems Biology VIII, pp. 63-76. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
39. Rashevsky, N., 1951. Mathematical biology of social behavior. University of Chicago Press.
40. Román-González, M., Pérez-González, J.C. and Jiménez-Fernández, C., 2017. Which cognitive abilities underlie computational thinking? Criterion validity of the computational thinking test. Computers in Human Behavior, 72, pp.678-691.
41. Rosen, R., 1958. A relational theory of biological systems. The Bulletin of Mathematical Biophysics, 20, pp.245-260.
42. Rosen, R., 1968. Turing's morphogens, two-factor systems and active transport. The Bulletin of Mathematical Biophysics, 30, pp.493-499.
43. Rosen, R., 1972. Some relational cell models: the metabolism-repair systems. In: R. Rosen, ed. Foundations of Mathematical Biology. vol. 2. New York: Academic Press, 217-253.
44. Rosen, R., 1974. Planning, management, policies and strategies: four fuzzy concepts. International Journal of General Systems, 1, 245-252.
45. Rosen, R., 1985. Anticipatory systems. Oxford: Pergamon Press.
46. Rydeheard, D.E. and Burstall, R.M., 1988. Computational category theory. vol. 152. Englewood Cliffs: Prentice Hall.
47. Schatz, M.C., 2012. Computational thinking in the era of big data biology. Genome Biology, 13, pp.1-3.
48. Simmons, H., 2011. An introduction to category theory. Cambridge University Press.
49. Swaid, S.I., 2015. Bringing computational thinking to STEM education. Procedia Manufacturing, 3, pp.3657-3662.
50. Swanson, H., Anton, G., Bain, C., Horn, M. and Wilensky, U., 2019. Introducing and assessing computational thinking in the secondary science classroom. Computational Thinking Education, pp.99-117.
51. Wing, J.M., 2006. Computational thinking. Communications of the ACM, 49(3), pp.33-35.
52. Wing, J., 2011. Research notebook: Computational thinking-What and why. The Link Magazine. 6, pp.20-23.
53. Wing, J.M., 2014. Computational thinking benefits society. 40th Anniversary Blog of Social Issues in Computing, p.26.
54. Yadav, A., Mayfield, C., Zhou, N., Hambrusch, S. and Korb, J.T., 2014. Computational thinking in elementary and secondary teacher education. ACM Transactions on Computing Education (TOCE), 14(1), pp.1-16.
۵۵. اسدی لمعه‌دشت، نقی. (۱۴۰۳). رویکرد هندسی داده محور برای تشخیص الگوهای مؤثر بر تفکر محاسباتی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران.
۵۶. ابن سینا، حسین بن عبدالله. (۱۳۸۳). رساله منطق دانشنامه علائی. (تصحیح معین، محمد؛ مشکوه، محمد). تهران: انتشارات انجمن آثار و مفاخر فرهنگی.
۵۷. جمشیدی، آرتا امیر؛ اسدی لمعه‌دشت، نقی. (۱۴۰۳). نگرشی نوین به تفکر محاسباتی و هوش مصنوعی در آموزش ریاضی. ۵۵ امین کنفرانس ریاضی ایران. مشهد. صص. ۹۹-۹۵.
۵۸. زارع پور، محمد صالح؛ حجتی، محمدعلی. (۱۳۸۹). نقد سه استدلال گودلی در فلسفه ذهن، حکمت و فلسفه. سال ششم. شماره ۲۱. صص. ۳۳-۴۷.
۵۹. سارتن، جرج. (۱۳۸۸). مقدمه بر تاریخ علم. (ترجمه صدری افشار، غلامحسین). تهران: انتشارات علمی و فرهنگی.
۶۰. فارابی، محمد بن محمد. (۱۳۶۲). الألفاظ المستعملة فی المنطق. (تصحیح و تعلیق مهدی، محسن). تهران: انتشارات مکتبه الزهراء.
۶۱. موسی وند، محسن. (۱۳۸۷). منطق فارابی (نیم‌نگاهی به کتاب المنطق عندالفارابی). کتاب ماه فلسفه. شماره ۱۷. صص. ۲۲-۱۶.
۶۲. نبوی، لطفاله. (۱۳۸۹). منطق سینوی، ابداعات و نوآوری‌ها. نشریه مشکوه النور. دوره ۱۴. شماره ۴۳. صص. ۲۴-۵.

دیدگاه، ابتکار، و ترفندهای خلاقانه اوایلر، لاگرانژ و پوانکاره مثال‌های مفهومی ملموس

سعید رنجبر

دکترای ریاضی و پژوهشگر ریاضی محض، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی،
پژوهشگر مؤسسه تحقیقات قلب و عروق بیمارستان مدرس و مرکز پزشکی دانشگاه ماستریخت، ماستریخت، هلند
sranjbar28@gmail.com

نامه علوم پایه شماره ۱۵، بهار و تابستان ۱۴۰۴

چکیده

در این مقاله به بررسی برخی از دیدگاه‌های ویژه، ایده‌های ابتکاری و خلاقانه اوایلر، لاگرانژ و پوانکاره حول سه مساله ملموس و پرمحتوا می‌پردازیم. اوایلر یک ترکیب جبری ارایه می‌کند که در بسیاری از زمینه‌ها در حوزه‌های گوناگون علوم و مهندسی کارایی دارد. لاگرانژ مسئله بسیار دشوار چند جرمی را در قالب تکین‌های تابع پتانسیل قرار می‌دهد و در نهایت پوانکاره راهی برای کاهش و ساده‌سازی دینامیک و مطالعه پایداری بدست می‌دهد. در این مقاله نشان داده می‌شود که گونه این سه دیدگاه و خلاقیت ریاضی در مطالعه دینامیک قلب در کنار هم قرار می‌گیرند.

کلیدواژگان: اوایلر، لاگرانژ، پوانکاره، آنالیز بی‌نهایت‌ها، مسئله سه جسم، نگاشت برشی، تصویرسازی از قلب

۱. مقدمه

رویت اول حاصل ضرب نامتناهی‌ایی از فاکتورهای خطی از درجه اول است که اوایلر^۱ با نگاه به فرمت مجموع توانی این حاصل ضرب و بررسی دقیق ضرایب موجود در آن سری توانی، نتایج بسیار عمیق و شگرفی را به دست می‌آورد. مسئله دوم موضوع سه جسم مشهور است. اگر سه جرم M^1 و M^2 و m داشته باشیم و m جرمش نسبت به M^1 و M^2 خیلی خیلی کوچک باشد و در مدارهای میدان جاذبه‌ی جرم‌های M^1 و M^2 قرار گیرد، در چه نقاطی جرم m در حالت سکون و پایدار قرار خواهد گرفت. این نقاط به نقاط تعادل لاگرانژ^۲ معروفند. لاگرانژ وجود این نقاط و وضعیت آنها را بعنوان نقاط تکین «تابع انرژی پتانسیل» بررسی نمود و سطوح تراز آن تابع پتانسیل را با دقت، شرح و بسط داد. اوایلر نیز کوشش‌های بسیاری در حل مساله سه جسم دارد اما دیدگاه لاگرانژ یعنی توجه به نقاط بحرانی تابع پتانسیل، کلید حل مساله است. در مساله سوم به بررسی مفهوم بسیار جدی، عمیق و ژرف نگاشت پوانکاره^۳ می‌پردازیم که اولین بار توسط هانری پوانکاره معرفی و مورد مطالعه قرار گرفت. اگر یک شیء هندسی دینامیک داشته باشیم و حرکت آن را در گذر زمان نگاه کنیم و به دنباله‌ای پیوسته از خمینه‌های هموار می‌رسیم. اولین خمینه در این دنباله، مقطع پوانکاره نام گذاری می‌شود که خود یک خمینه است. نقطه‌ای را از مقطع پوانکاره در نظر بگیرید و آن نقطه را در پی خمینه‌های ذکر شده دنبال کنید تا وقتی که شکل شیء هندسی

رویت شود. در این هنگام است که نقطه ما دوباره بروی مقطع پوانکاره است. این همان نگاشت پوانکاره است. در انتها اشاره‌ای به بررسی نگاشت پوانکاره برای سیستم دینامیک بطن چپ قلب انسان داریم. و با نگاهی دقیق به میدان‌های برداری بروی یک خمینه هموار با کرل^۴ صفر در صفحه مختصات دکارتی سه-بعدی، و ارتباط آن را با گروه نخست دورام کوهمولوژی^۵ و تعداد حفره‌های یک-بعدی بروی همین خمینه هموار، روشن می‌کنیم.

۱. مساله اول و نگاه اوایلر به آن

سری‌های توانی، توابع جبری، و توابعی که موضعی جبری هستند حاصل ضرب نامتناهی زیر را در نظر بگیرید:

$$(1 + x^a z)(1 + x^b z)(1 + x^c z)(1 + x^d z)(1 + x^e z) \dots$$

این حاصل ضرب که دقیقاً به صورت ضرب عوامل خطی از درجه یک به روی خط مختلط و یا دایره مختلط هستند را به فرمت زیر نگاه می‌کنیم: در این بسط که به صورت مجموعی نامتناهی است،

$$1 + Pz + Qz^2 + Rz^3 + Sz^4 + Tz^5 + \dots$$

نگاه نخست و دقیق اوایلر، به فرمت توابع به شکل سری‌های توانی بر روی دایره مختلط دوخته شده است. نگاه دیگر اوایلر، که در موازای نگرش نخست وی است، به ضرایب آن سری‌های توانی و

1. Leonardo Euler
2. Joseph-Louis Lagrange
3. Henry Poincare

4. Curl
5. De Rham Cohomology

محاسبه دقیق ضرایب و تحلیل آنها معطوف شده است.

در این بسط که به صورت مجموعی نامتناهی است، نگاه نخست و دقیق اویلر، به فرمت توابع به شکل سری‌های توانی بر روی دایره مختلط دوخته شده است. نگاه دیگر اویلر، که در موازای نگرش نخست وی است، به ضرایب آن سری‌های توانی و محاسبه دقیق ضرایب و تحلیل آنها معطوف شده است.

در این بسط، ضریب P برابر با مجموع توان‌های $x^\varepsilon, \dots, x^\sigma$ ، $x^\lambda, x^\beta, x^\alpha$ می‌باشد. ضریب Q به صورت مجموع آن توان‌هایی از x هستند که به صورت مجموع دو جمله نابرابر $\varepsilon, \alpha, \beta, \lambda, \sigma, \dots$ هستند. و همین طور ضریب R مجموع آن توان‌هایی از x را دربرمی‌گیرند که به صورت مجموع سه ترم نابرابر از دنباله $\varepsilon, \alpha, \beta, \lambda, \sigma, \dots$ هستند و ضریب S به صورت مجموع آن توان‌هایی از x مرتب می‌شوند که مجموع ۴ ترم نابرابر از $\varepsilon, \alpha, \beta, \lambda, \sigma, \dots$ هستند. به عبارتی ضرایب سری توانی فوق از کنار هم قرار دادن توان‌های x به صورت مجموع دو جمله نابرابر، سه جمله نابرابر، چهار جمله متفاوت از $\varepsilon, \alpha, \beta, \lambda, \sigma, \dots$ به دست می‌آیند.

اویلر با نگاه کردن و توجه به آنچه که در کنار توان‌های Z و x در بسط فوق ظاهر می‌شوند به نتایجی عمیقی دست می‌یابد.

اویلر آنچه را که کنار Z, Z^2, Z^3, Z^4, \dots ظاهر می‌شوند، به طور دقیق محاسبه و تحلیل می‌کند.

کنار Z^1 ، آن توان‌هایی از یکس هستند که تنها به یک طریق با حروف $\varepsilon, \alpha, \beta, \lambda, \sigma, \dots$ نمایش داده می‌شوند. و کنار Z^2 ، هر توان یکسان از x ، معادل با مجموعی از دو جمله نابرابر از $\varepsilon, \alpha, \beta, \lambda, \sigma, \dots$ هستند. و کنار Z^3 ، هر توان یکسان x متناظر با مجموعی از سه ترم نابرابر از حروف $\varepsilon, \alpha, \beta, \lambda, \sigma, \dots$ می‌باشد. و همین طور کنار Z^4 ، هر توان یکسان x متناظر با مجموعی از چهار ترم نابرابر از حروف $\varepsilon, \alpha, \beta, \lambda, \sigma, \dots$ هست. و کنار Z^5 ، هر توان یکسان x متناظر است با مجموع پنج ترم نابرابر از حروف $\varepsilon, \alpha, \beta, \lambda, \sigma, \dots$ قرار دارند.

برای مثال در سری توانی فوق کنار Z^{11} ، هر توان یکسان x که ظاهر می‌شود با مجموعی از یازده جمله نابرابر از $\varepsilon, \alpha, \beta, \lambda, \sigma, \dots$ معادل می‌شود (نتیجه‌ای غیر منتظره).

اینک به این نتیجه بسیار عمیق و شگرف توسط اویلر می‌رسیم که اگر در مقدار $Q, N \times n$ مشاهده و پیدا شود بدین معناست n را به N طریق مختلف می‌توان به صورت مجموع دو جمله نامساوی از $\varepsilon, \alpha, \beta, \lambda, \sigma, \dots$ نوشت. و اگر در مقدار $R, N \times n$ مشاهده گردد بدین معنا است که n را می‌توان به N طریق مختلف که به صورت مجموع سه ترم نابرابر از حروف $\varepsilon, \alpha, \beta, \lambda, \sigma, \dots$ نمایش داد. اگر در مقدار $S, N \times n$ مشاهده گردد بدین معناست که n را

می‌توان به N طریق مختلف به صورت مجموع چهار ترم مختلف از $\varepsilon, \alpha, \beta, \lambda, \sigma, \dots$ نوشت. در فرمت بسط سری توانی حاصلضرب نامتناهی فوق، کنار Z^m ، ضریب N ایی که در جمله $N \times n$ ظاهر می‌شود بدین معناست که n را می‌توان به N طریق مختلف به صورت مجموع m ترم نامساوی $\varepsilon, \alpha, \beta, \lambda, \sigma, \dots$ نمایش داد (یک نتیجه شگرف و دیدگاهی ویژه از اویلر).

در ادامه برای اینکه این نتیجه عمیق را روشن‌تر ببینیم حاصلضرب نامتناهی زیر، بر گرفته از [۱]، را در نظر می‌گیریم:

$$(1+xz)(1+x^2z)(1+x^3z)(1+x^4z)(1+x^5z)\dots$$

اویلر این حاصل ضرب را به طور دقیق به صورت جبری بسط داد [۱]. از سری‌هایی که در باز کردن این حاصل ضرب نامتناهی فوق به دست می‌آیند، تعداد طرق مختلف را نتیجه می‌گیرد که می‌توان یک عدد دلخواه را به صورت مجموع m ترم مختلف از اعداد یک، دو، سه، چهار، پنج و الی آخر نوشت. این امر با نگاه کردن به آنچه که کنار Z^m ظاهر می‌شود نتیجه گرفته. در حقیقت به ضریب توان Z^n توجه باید کرد. برای مثال در می‌یابیم که عدد سی و پنج را به چند طریق می‌توان به صورت مجموع هفت عدد متفاوت نوشت. در بسط فوق در وهله اول به آنچه که کنار Z^7 ظاهر می‌شود نگاه می‌کنیم و در وهله دوم به آنچه که کنار x به توان سی و پنج نمایان می‌شود. جواب سوال همین است، یعنی به پانزده شکل می‌توان عدد سی و پنج را با مجموع هفت عدد مختلف توصیف کرد (این نگاه و این نتیجه و متدولوژی اویلر حیرت‌انگیز، قابل تعمیم و بنیادین است).

اویلر با در نظر گرفتن $Z=1$ در حاصل ضرب نامتناهی فوق به حاصلضرب زیر رسید [۱]:

$$(1+x)(1+x^2)(1+x^3)(1+x^4)(1+x^5)\dots$$

باز کردن این حاصل ضرب به صورت مجموع و کنار هم قرار دادن توان‌های یکسان x و محاسبه ضرایب آنها، اویلر را به این نتیجه رساند که ضریب توان خاصی از x مشاهده شده در سری بالا، تعداد راه‌های مختلفی که می‌توان آن توان را بصورت مجموع‌های با ترم‌های مختلف ۱، ۲، ... مانند زیر [۱] نوشت، بیان می‌کند.

$$1 + x + x^2 + 2x^3 + 2x^4 + 3x^5 + 4x^6 + 5x^7 + 6x^8 + \dots$$

برای مثال ضریب x^8 در بسط فوق که بصورت یک سری نامتناهی است، شش است و این بدان معنا است که عدد هشت را به شش طریق ممکن می‌توان به صورت مجموع ترم‌های متفاوت یک، دو، سه، پنج، شش، هفت و هشت نمایش داد:

$$8 = 7 + 1 = 6 + 2 = 3 + 5 = 1 + 2 + 5 = 1 + 3 + 4$$

پیشرفته کنونی نیز بسیار حائز اهمیت هستند و مصداق‌های بسیار مفهومی و معناداری در تعامل مفاهیم بسیار مجرد ریاضی با شاخه‌های علوم دیگر مانند فیزیک، زیست‌شناسی، کامپیوتر و پزشکی دارند (در بخش مربوط به هانری پوانکاره در همین مقاله دوباره به ارزش این موضوع که در تشکیل تصاویر قلبی و عروقی بهره گرفته می‌شود، اشاره می‌کنیم).

۲. مسأله دوم و نگاه لاگرانژ به آن

سه جسم و نقاط تکین تابع پتانسیل لاگرانژ یا همان نقاط تعادل لاگرانژ

سه جرم M_1 و M_2 و m را در نظر بگیرید: جرم m بسیار نسبت به اجرام M_1 و M_2 کوچک است (تداخلی در مدارهای میدان جاذبه‌ی M_1 و M_2 با انتقال کوچک جرم m به وجود نمی‌آید)؛ و جرم m در مدارهای جاذبه‌ی جرم M_1 و M_2 قرار می‌گیرد. سوال این است که جرم m در کدام نقاط در میدان‌های جاذبه M_1 و M_2 در حالت سکون و پایدار خواهد بود.

به عنوان مثال کره زمین و کره ماه را به عنوان دو جرم سنگین در نظر بگیرید و جرم سوم ماهواره‌ای باشد که قرار است در این نقاط تعادل قرار داده شود. آیزاک نیوتن مسأله بررسی و تعیین معادلات حرکت دو جرم بزرگ مثل کره زمین و خورشید را به طور دقیق انجام داد. در مسأله دو جسم، معادله حرکت مرکز جرم‌ها و معادله حرکت هر کدام از دو جرم نسبت به نیروی گرانش که به هم وارد می‌کنند بررسی می‌شوند. به عبارتی مسأله دو جسم را می‌توان چنین بیان کرد که حرکت هر کدام از این دو جرم تحت تاثیر میدان جاذبه مرکز جرم‌ها چگونه است. در واقع مسأله دو جسم، به تعیین معادله حرکت جسمی که در مرکز جرم‌های دو جسم M_1 و M_2 با جرم $(M_2+M_1)/(M_2 M_1)$ قرار دارد، کاهش می‌یابد. مسأله سه جسم نیز، بررسی معادله حرکت جرم m وقتی که در میدان جاذبه مرکز جرم دو جسم دیگر قرار می‌گیرد، است. پس جرم m تحت تاثیر میدان گرانش دو جسم دیگر قرار می‌گیرد. دو جسم با اجرام بزرگ M_1 و M_2 را در صفحه دستگاه مختصات XOY ، بروی محور X ساکن فرض می‌کنیم. و نیز سرعت زاویه ای دستگاه مختصات را حول مرکز جرم M_1 و M_2 در راستای محور Z ، عدد ω در نظر می‌گیریم. در اینجا باید معادله حرکت جرم m را در این دستگاه مختصات به دست آوریم. همه مولفه‌هایی را که داریم یکبار دیگر با جزییات می‌نویسیم و بازبینی کنیم. جرم کوچک m ، جرم‌های بزرگ M_1 و M_2 ، مرکز جرم M_1 و M_2 (با جرم M_1) $(M_2+M_1)/(M_2 M_1)$ ، مختصات M_1 و M_2 که بروی محور X ثابت فرض شدند (مرکز جرم، مسافت بین دو جسم M_1 و M_2 را به قسمت‌هایی تقسیم می‌کند که با اجرام M_1 و M_2 تناسب است) و سرعت زاویه‌ایی که مقدار آن امگا است، (شکل ۱).

در ادامه اویلر برای اینکه شرط نوشتن مجموع‌ها را با ترم‌های متفاوت بردارد، آن حاصلضرب نامتناهی را در مخرج قرار می‌دهد. به عبارت دیگر به آن حاصلضرب نامتناهی به صورت یک تقسیم نامتناهی نگاه می‌کند. در این ترفند هوشمندانه، اویلر توان‌های یکسان x را در این تقسیم نامتناهی کنار هم قرار می‌دهد و مقدار به دست آمده برای توان‌های ظاهر شده x در بسط تقسیم نامتناهی آن، نشان دهنده تعداد طریق‌هایی است که آن توان را به صورت مجموع اعداد یک، دو، سه و ... بیان می‌کند. تمام آنچه که در بالا صحبت شد را می‌توان بروی حاصل تقسیم نامتناهی زیر به طور کامل و دقیق اجرا کرد [۱].

$$1$$

$$(1-x^\alpha z)(1-x^\beta z)(1-x^\gamma z)(1-x^\delta z)(1-x^\epsilon z)\dots$$

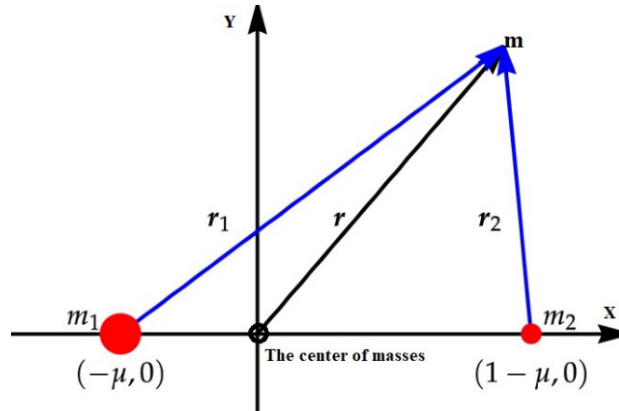
بحثی حول مسأله اول

دیدگاه اساسی اویلر در این مسأله همان طور که اشاره شد در نظر گرفتن توابع، به صورت سری‌های توانی بروی خط مختلط و یا دایره مختلط است. در آن زمان و حتی در حال حاضر، توابع، به صورت چند جمله‌ای و توابع گویا (تقسیم دو چند جمله از درجه‌های یکسان یا مختلف با ضرایب مختلط)، تابع‌های سینوسی، کوسینوسی، تانژانت و توابع ارک سینوس و ارک تانژانت و توابع نمایی و لگاریتمی در نظریه توابع و مطالعه توابع و رفتار آنها چه در حالت موضعی و چه در حالت سراسری نقش اساسی دارند. اینکه بتوان تابعی را به صورت یک چند جمله‌ای با تعداد متغیرهای متفاوت نوشت مفهوم جبری بودن آن تابع را می‌رساند. اگر بتوان تابعی را به صورت موضعی به صورت یک چند جمله‌ای با چند متغیر نشان داد بیانگر این است که این تابع موضعی-جبری است. اگر بتوان تابعی را به طور موضعی به صورت سری‌های توانی و نامتناهی نوشت همان مفهوم نوشتن بسط سری تیلور آن تابع حول یک نقطه (مخصوصاً حول نقاط تکین) است.

اویلر در بررسی توابع جبری و یا توابعی که موضعا جبری هستند، دیدگاه اصلی‌اش این است که آن توابع به صورت سری‌های توانی و یا بسط حاصلضرب‌های نامتناهی با عامل‌های خطی درجه یک و یا درجه دو بروی دایره نمایش داده شوند و نیز بررسی ضرایب به دست آمده در آن مجموع‌های نامتناهی است.

اویلر این توابع را به طور دقیق بروی خط مختلط و نیز دایره مختلط بررسی می‌کند و به نتایج بسیار شگرفی می‌رسد. وی در حالت‌ها و نقطه‌های خاص بروی یک دایره مختلط، مقادیر توابع ذکر شده را با دقت بسیار بالا محاسبه می‌کند.

نکته عمیق جالب توجه این است که مطالعه و نگاه به چنین توابعی (دارای نمایش سری توانی) در همسایگی یک نقطه در حسابان



شکل ۱. دو جسم بزرگ با جرم‌های زیاد و یک جسم کوچک با جرم کم.

جرم M_1 و M_2 در با جرم در مبدا مختصات قرار دارد. و جرم‌های M_1 و M_2 با جرم $\frac{M_1 M_2}{M_1 + M_2}$ در مبدا مختصات قرار دارد. و جرم‌های M_1 و M_2 را بروی محور ایکس‌ها در نقاط زیر در نظر می‌گیریم:

در شکل شماتیک فوق اجرام M_1 و M_2 بروی محور مختصات در حالت سکون هستند و دستگاه مختصات با سرعت زاویه‌ای ω حول محور زی عمود بر این دستگاه در حال حرکت است. مرکز

$$-\mu = x_1 = -\left(\frac{M_2}{M_1 + M_2}\right) a$$

$$1 - \mu = x_2 = \left(\frac{M_1}{M_1 + M_2}\right) a$$

عمومی نیوتن، قانون دوم نیوتن و نیروی جانب به مرکز عبارت‌اند از:

که a فاصله بین اجرام M_1 و M_2 است. مولفه‌های نیرو، در معادله حرکت جرم m در صفحه مختصات بالا، براساس قانون جاذبه

$$\ddot{x} = -\left(\frac{M_1 G(x-x_1)}{[x-x_1]^2 + y^2 \frac{3}{2}}\right) - \left(\frac{M_2 G(x-x_2)}{[x-x_2]^2 + y^2 \frac{3}{2}}\right) + ((M_1 + M_2)Gx/a^3) + 2\omega y \dot{y}$$

$$\ddot{y} = -\left(\frac{M_1 G(x-x_1)}{[x-x_1]^2 + y^2 \frac{3}{2}}\right) - \left(\frac{M_2 G(x-x_2)}{[x-x_2]^2 + y^2 \frac{3}{2}}\right) + ((M_1 + M_2)Gx/a^3) + 2\omega x \dot{x}$$

نقاط، به طور کامل ذخیره شود! به عبارتی دیگر انرژی پتانسیل در این نقاط باید در حالت قرینه^۱ باشد. برای حل مساله سه جسم، دیدگاه خلاقانه و زیبای لاگرانژ به جای اینکه به ریشه‌های تابع نیرو فکر کند، جستجوی نقاط اکسترمم تابع انرژی پتانسیل بود.

همان طور که مشاهده می‌کنید معادله حرکت m برحسب مختصات آن در صفحه ایکس و وای و دیگر مولفه‌هایی است که در بند قبل ذکر شدند (G ثابت گرانش عمومی نیوتن است).

در چه نقطاتی از صفحه ایکس و وای، جرم m در حالت سکون است؟ (یا به عبارتی دیگر مولفه‌های نیرو در فرمول بالا در این نقاط صفر خواهند بود). برای چه مقادیری از ایکس و وای دو معادله فوق صفر می‌شوند؟ ریشه‌های معادله حرکت جرم m کدام‌اند؟

بحث حول مساله دوم

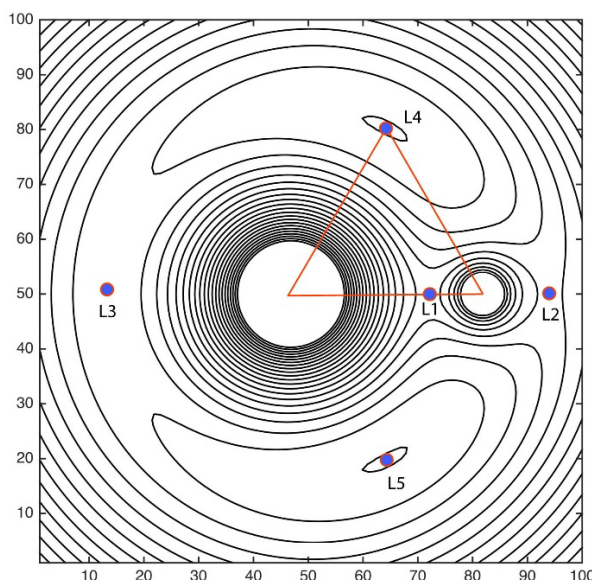
ترفند ماهرانه و پرمعنا لاگرانژ، در بررسی نقاط بحرانی (نقاط تکینه یا همان سینگولار) تابع انرژی پتانسیل است. در این نقاط علامت‌های ژاکوبین^۲ تابع انرژی پتانسیل فوق عوض می‌شوند. تابع انرژی پتانسیل جرم m ، بر حسب انرژی‌های پتانسیل ذخیره شده توسط نیروی ثقل M_1 و M_2 و نیز نیروی جانب مرکز توسط مرکز جرم M_1 و M_2 بروی جرم m (قانون دوم کپلر) به صورت زیر در صفحه ایکس و وای فرمولایز می‌شود:

در نقاط تعادل، معادله حرکت فوق باید صفر باشد. به عبارتی دیگر نیروی وارد بر جرم m در این نقاط باید صفر باشد. این مقدار نیرو که در معادله حرکت فوق نیز صدق می‌کند باید در جرم m در این

$$P(x, y) = -\left(\frac{M_1 G}{[x-x_1]^2 + y^2 \frac{1}{2}}\right) - \left(\frac{M_2 G}{[x-x_2]^2 + y^2 \frac{1}{2}}\right) - ((M_1 + M_2)G(x^2 + y^2)/a^3)$$

1. Extremum
2. Jacobian

از نقاط لاگرانژ بروی محور ایکس قرار می‌گیرند که نقاط زینی تابع پتانسیل هستند و سطوح تابع پتانسیل حول این نقاط، به صورت هذلولی در می‌آیند. دو نقطه دیگر لاگرانژ بیرون از خط محور ایکس، نقاط ماکزیمم و مینیمم موضعی تابع پتانسیل هستند و سطوح تابع پتانسیل حول این نقاط، بیضی‌وار هستند. به شکل ۲ و منحنی‌های تراز تابع پتانسیل حول نقاط تعادل لاگرانژ توجه کنید، [۲] و [۳].



شکل ۲: نقاط لاگرانژ L^1 ، L^2 و L^3 بر روی خطی قرار می‌گیرند که جرم‌های M^1 و M^2 را به هم وصل می‌کنند و نقاط زینی تابع پتانسیل $P(x,y)$ هستند. به ترازهای هم پتانسیل حول این نقاط توجه کنید. نقاط دیگر لاگرانژ L^4 و L^5 به عنوان نقاط اکسترمم موضعی تابع پتانسیل لاگرانژ هستند. ترازهای هم پتانسیل برای این نقاط نیز در شکل نشان داده شده‌اند.

فرض کنید تابع هموار f از ناحیه Ω (از فضای R^3) به R^3 باشد و p نقطه‌ای در فضای R^3 باشد که تابع f در نقاط فایبر p سینگولاریتی داشته باشد. درجه تابع در نقطه p بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$\text{degree}(f)_p = \sum_{x \in f^{-1}(p)} \text{sgn}(\text{Jacobian}(f)_x)$$

همان طور که مشاهده می‌شود، درجه تابع f برای مقادیر تکین p به صورت تغییرات علامت ژاکوبین تعریف می‌شود. شاخص تابع f به صورت مجموع این درجه برای تمام مقادیر تکین f تعریف می‌شود:

$$\text{index}(f) = \sum_{\text{singular } p} \text{degree}(f)_p$$

برای مثال تابعی را بروی کره S^2 در نظر بگیرید که به هر نقطه بروی کره یک بردار مماس در همان نقطه تصویر می‌کند. شاخص این میدان برداری مماس بر کره، همان شاخص اویلر برای کره می‌شود که مقدار آن ۲ است. چون شاخص این تابع برابر ۲ است، در مجموع بالا در تعریف شاخص یک جمله باید ناصفر باشد و این

دیدگاه لاگرانژ برای به دست آوردن نقاط تعادل جرم m ، بررسی نقاط بحرانی یا سینگولار تابع انرژی پتانسیل است. وی مشتقات جزئی تابع انرژی پتانسیل رو محاسبه می‌کند و آن‌ها را برابر صفر قرار می‌دهد. لاگرانژ ریشه‌های مشتقات جزئی تابع پتانسیل را به طور دقیق محاسبه می‌کند. تعداد این نقاط پنج تا هستند که به نقاط تعادل لاگرانژ مشهورند. نگاه لاگرانژ در مسأله سه جسم، بروی سطوح انرژی پتانسیل حول این نقاط است. سه تا

بحثی کوتاه در مورد گسترش دیدگاه لاگرانژ در مسأله سه جسم

توجه به نقاط تکین ۱ تابع پتانسیل: نقاطی که مشتقات جزئی تابع پتانسیل لاگرانژ در آنجا تغییر علامت می‌دهند و میدان برداری پتانسیلی حول این نقاط، در حال انقباض یا انبساط هستند، که همان خواص نقاط بحرانی را دارند. بررسی رفتار این میدان برداری حول نقاط تکین آن، مفهوم عمیق تاب خوردن، پیچیدن و تغییر جهت را در ریاضی معرفی می‌کنند. این دیدگاه لاگرانژ نکته‌های مهم و عمیقاً مرتبطی را آشکار می‌کند. مفهوم تغییر علامت مشتقات جزئی یک تابع حول نقاط که همان، تغییر علامت ژاکوبین آن تابع در آن نقاط است. توجه کنید که چنین تغییر علامتی دقیقاً برای نقاط تکین معنا دارد.

معرفی درجه یک میدان برداری به عنوان یک شاخص توپولوژیک و ارتباط آن با شاخص اویلر

برای یک تابع هموار، تغییر علامت تنها برای نقاط تکین معنا دارد و به صورت مجموع علامت‌های دترمینان ماتریس ژاکوبی تابع (یا همان ژاکوبین تابع) به صورت زیر تعریف می‌شود.

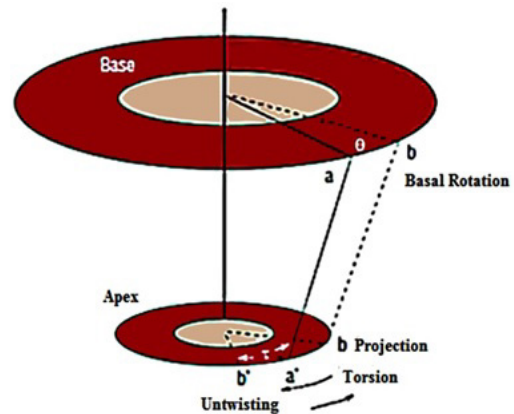
یک منحنی بیضوی شکل را به‌طور جبری انتگرال‌پذیر گویند، به شرطی که مساحت ناحیه اشتراک آن با یک خط را بتوان به صورت یک چند جمله‌ای ناصفر براساس پارامترهای آن خط نمایش داد. آیزاک نیوتن در حین بررسی «جبری انتگرال‌پذیری خم‌های هموار بیضوی شکل» به نتیجه فوق‌العاده‌ای که زیر می‌آید دست پیدا کرد.

قضیه‌ای از نیوتن در باب بطور جبری انتگرال‌پذیری خم‌های هموار بیضوی شکل

هر خم هموار بیضوی شکل که به‌طور جبری انتگرال‌پذیر باشد حتما دارای نقطه‌ای تکین است. به عبارت دیگر، خم‌های هموار بیضوی شکل، به‌طور جبری انتگرال‌پذیر نیستند [۴]. به عنوان مثال، طبق قانون دوم کپلر یک سیاره در منظومه شمسی در یک مدار بیضی شکل^۳ حرکت می‌کند که مساحت ناحیه‌ای که توسط بردار شعاعی این سیاره جارو می‌شود متناسب با زمان است. نیوتن معادله حرکت کپلر^۴، بیانگر موقعیت یک نقطه (سیاره)، را به عنوان تابعی از زمان بررسی می‌کند و نشان می‌دهد که این تابعی غیر جبری است که معادله مسیر حرکت آن را نمی‌توان از راه جبری بیان کرد. نیوتن از این مثال به حالت کلی قضیه فوق می‌رسد و این مطلب واقعا شگفت‌انگیز و کاملا غیر بدیهی^۵ به دست می‌آورد، [۴] و [۵]. مفاهیم عمیق و پرمحتوای سری‌های فوریه، مفهوم شاخص یک میدان برداری، توابع بسط و همچنین مباحثی اصولی و بنیادین در نظریه توابع مختلط، همگی مطابق آنچه در اینجا بیان شد از معادله کپلر سرچشمه می‌گیرند.

در ادامه، ایده‌های ناب و اصلی آیزاک نیوتن در اثبات قضیه فوق را شرح می‌دهیم. نقطه‌ای را داخل سطح محصور شده توسط خم هموار بیضوی شکل در نظر بگیرید. اگر این خم هموار جبری-انتگرال‌پذیر باشد، با توجه به شکل ۴، باید بتوان ناحیه مورد نظر داخل خم بیضوی شکل را به‌صورت یک چندجمله‌ای ناصفر بر حسب $\tan t$ نوشت. با حرکت مداوم بروی این خم، در هر بار دور زدن، این ناحیه، مقدار جدیدی پیدا می‌کند. به عبارتی دیگر این ناحیه، بی‌نهایت مقدار جدید را در هر دور به خود می‌گیرد بنابراین چندجمله‌ای فوق در صورت وجود باید بی‌نهایت ریشه داشته باشد، در صورتی که یک چندجمله‌ای ناصفر تعداد ریشه‌هایش بیشتر از درجه آن نیست. در نتیجه ناحیه نشان داده شده در شکل جبری نیست و همین‌طور ثابت شد که یک خم هموار بیضی شکل نیز به طوری جبری انتگرال‌پذیر نخواهد بود.

بدان معنا است که این تابع حداقل دارای یک مقدار تکین است. یعنی هر میدان برداری مماس بروی S^2 حتما یک جا صفر می‌شود. به عبارت دیگر، نمی‌توان بردارهای مماس بروی کره S^2 را به صورت پیوسته حرکت داد، یا میدان برداری هموار مماس همه جا ناصفر بر S^2 وجود ندارد. این قضیه‌ای از هانری پوانکاره است. به عنوان مثالی دیگر در حوزه پزشکی، میدان برداری نیرو را برای عضله داخلی بطن چپ در یک سیکل قلبی در نظر بگیرید، درجه این میدان برداری، تعداد پیچ و تاب خوردن آن نسبت به محور اصلی قلب است (محور اصلی قلب، خطی است که سر قلب^۱ را به وسط دریچه میترال متصل می‌کند، شکل ۳).



شکل ۳. تصویری شماتیک از نحوه بررسی پیچ خوردن سر قلب حول محور بطن چپ قلب است.

حضور اویلر، لاگرانژ و ژاکوبی در این مفاهیم مشهود است. تعاملی که افکار آنها با هم دارند قابل توجه است. البته بسیاری از افکار بزرگانی چون کپلر، نیوتن، آیزاک بارو، کوشی و پوانکاره در این مفاهیم بنیادین و نیز مدرن دیده می‌شوند.

معادله تابع پتانسیل جرم m که در بالا صریحا آورده شد گویای عمق همین مطالب است. در هر ترم در معادله پتانسیل فوق، هم نام این بزرگان دیده می‌شود و هم گویای مفاهیم حائز اهمیت هستند که سال‌های سال، کوشش و تراوشات هوش بشری و ارتباطات این دیدگاه‌های بی‌نظیر را نشان می‌دهند. از گذشته تاکنون، ارتباطات هندسی، جبری، آنالیز مدرن، اصول، تعریف‌ها و قضیه‌های اساسی و بنیادی، وحدتی در عین کثرت را نشان می‌دهند. دل هر ذره را که بشکافی آفتابیش در میان بینی^۲. آیا لاگرانژ قبل از محاسبه نقاط تعادل و بررسی آنها چطور از وجود نقاط تعادل در مساله سه جسم آگاه بود؟

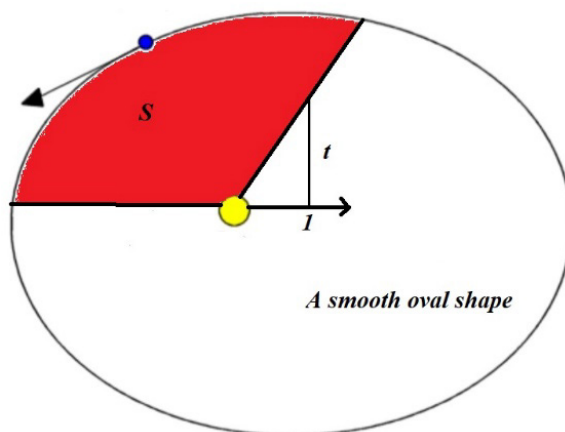
1. Heart Apex

3. Ellipse orbit

۴. معادله کپلر به فرم $x \varepsilon \sin x = t$ است. در زمان نیوتن x یعنی جواب این معادله بصورت سری‌های توانی با شعاع همگرایی ε مورد مطالعه و بررسی قرار می‌گرفتند کوشی بررسی‌های عمیقی در آنالیز مختلط درباره این ثابت عجیب انجام داده است.

۵. ارتباط جبری انتگرال‌پذیری با نقاط تکینی

۲. هانف اصفهانی، دیوان اشعار، ترجیع بند - که یکی هست و هیچ نیست جز او



شکل ۴. ناحیه قرمز رنگ که توسط نقطه‌ای داخل منحنی مسیر معادله کپلر جاروب می‌شود، به طور جبری انتگرال پذیر نیست.

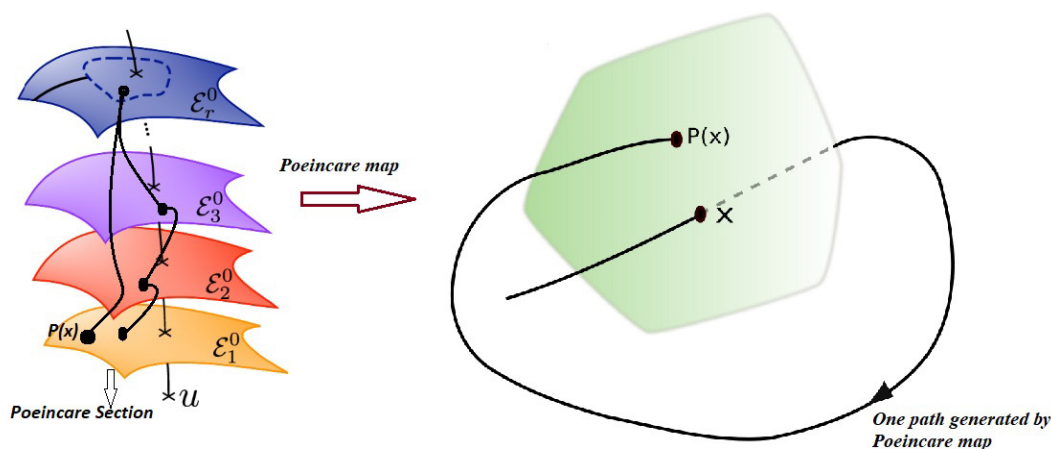
می‌شود. نقطه‌ای را روی مقطع پوانکاره در نظر بگیرید مانند x و این نقطه را در خمینه‌های دیگر در یک سیکل، ردیابی کنید. در انتها، این نقطه با گذر از خمینه‌های دیگر دوباره به نقطه‌ای بروی مقطع پوانکاره می‌رسد؛ این نقطه را $p(x)$ می‌نامیم. این همان نگاشت پوانکاره است. به دست آوردن خم‌های ایجاد شده از این ردیابی، برای هر نقطه در مقطع پوانکاره، ضابطه نگاشت پوانکاره را برای آن سیستم دینامیکی به دست می‌دهد. اهمیت بررسی نگاشت پوانکاره برای یک سیستم در حالت حرکت در یک دوره تناوب مشخص، این است که برای دنبال کردن هر نقطه از مقطع پوانکاره، تنها نباید تصویر (سایه) حرکات این نقاط را بروی صفحه‌های عمود بر هم نگاه کنیم، زیرا در صورت تاخیر در حرکت، از یک خمینه به خمینه دیگر ممکن است سایه‌های ایجاد شده در آن صفحات دکارتی با آشفتگی بالا باشند و اطلاعات چندانی از نحوه و معادله حرکت نقاط، در بر نداشته باشند (شکل ۵).

بالعکس، معادله تابع انرژی پتانسیل لاگرانژ جرم m در صفحه XOY به طور جبری انتگرال پذیر است، زیرا سطوح تراز تابع انرژی پتانسیل لاگرانژ هموار و پیوسته می‌باشند و خم‌های جبری انتگرال پذیرند. در نتیجه، بنابر قضیه فوق از نیوتن، این تابع پتانسیل لاگرانژ باید دارای تکینگی باشد. لاگرانژ با توجه به بررسی سطوح تراز تابع انرژی پتانسیل، شکل، و آگاهی از این قضیه نیوتن از وجود چنین نقاط تعادلی کاملاً با خبر بوده.

۳. نگاشت برشی و دیدگاه پوانکاره

گسسته سازی، فروگاهی دینامیک و محاسبات

خمینه‌های همواری را پشت سر هم، با مشخصه یک شکل هندسی دینامیک در یک سیکل زمانی، در نظر بگیرید. اولین خمینه، تصویر اولیه شیئی هندسی متحرک ماست که مقطع پوانکاره نام گذاری



شکل ۵. خمینه‌های پشت سر هم و مقطع پوانکاره (سمت چپ تصویر)، مسیر طی شده توسط یک نقطه در مقطع پوانکاره (سمت راست). منحنی‌های به دست آمده از نقشه پوانکاره علاوه بر ساخت ضابطه پوانکاره در مطالعه هندسه شیئی متحرکی که از کنار هم قرار دادن خمینه‌های پشت سر هم ظاهر می‌شود، اهمیت دارند.

۴. نگاهت پوانکاره و تصاویر قلبی و عروقی

نگاشت پوانکاره و کل مکانیک و ریاضیات برای تصویر سازی دینامیک قلب

قلب انسان به عنوان یک شیء سه بعدی در حال تپش و حرکت پیوسته در یک سیکل مشخص است. سیستم‌های تصویر برداری متفاوتی برای نشان دادن تصاویر قلبی و حرکت آن در حین انقباض و انقباض قلب، مانند: سیستم‌های اکوکاردیوگرافی و ام آر آی وجود دارند. در این مقاله، قلب، به عنوان یک سیستم دینامیکی، توسط تصاویری که براساس امواج التراسوند (فراصوتی) ساخته می‌شوند، در نظر گرفته می‌شود. اولین تصویری که از قلب مشاهده می‌شود مقطع پوانکاره ماست.

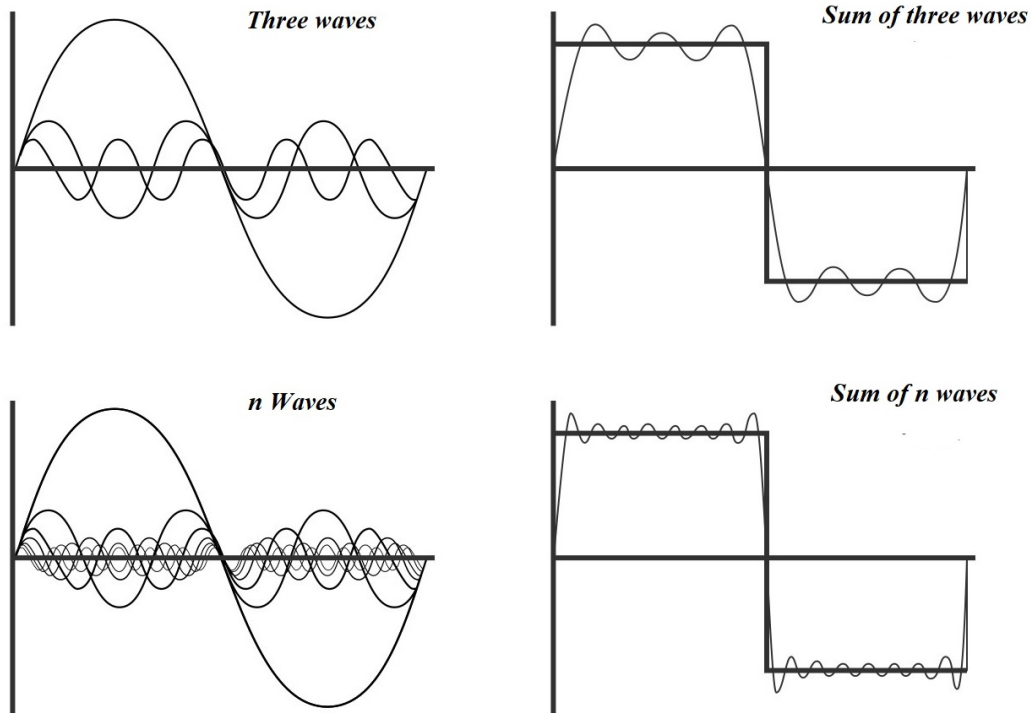
گام‌های هفت گانه: گام به گام با نگاهت پوانکاره برای بازسازی کامل حرکت قلب، نقطه به نقطه

۱.۴. گام اول

امواج فراصوتی با فرکانس f_0 به ناحیه‌ای از بخش عضلانی داخلی بطن چپ فرستاده (پراکنده) می‌شوند. امواج با برخورد به آن ناحیه با زاویه θ و با فرکانس f_{Dop} باز می‌گردند. داپلر ریاضی‌دانی فرانسوی، سرعت آن ناحیه را پس از بازگشت امواج التراسوند بصورت فرمول زیر محاسبه می‌کند:

$$v = \left(\frac{2f_{Dop}c}{f_0 \cos \theta} \right)$$

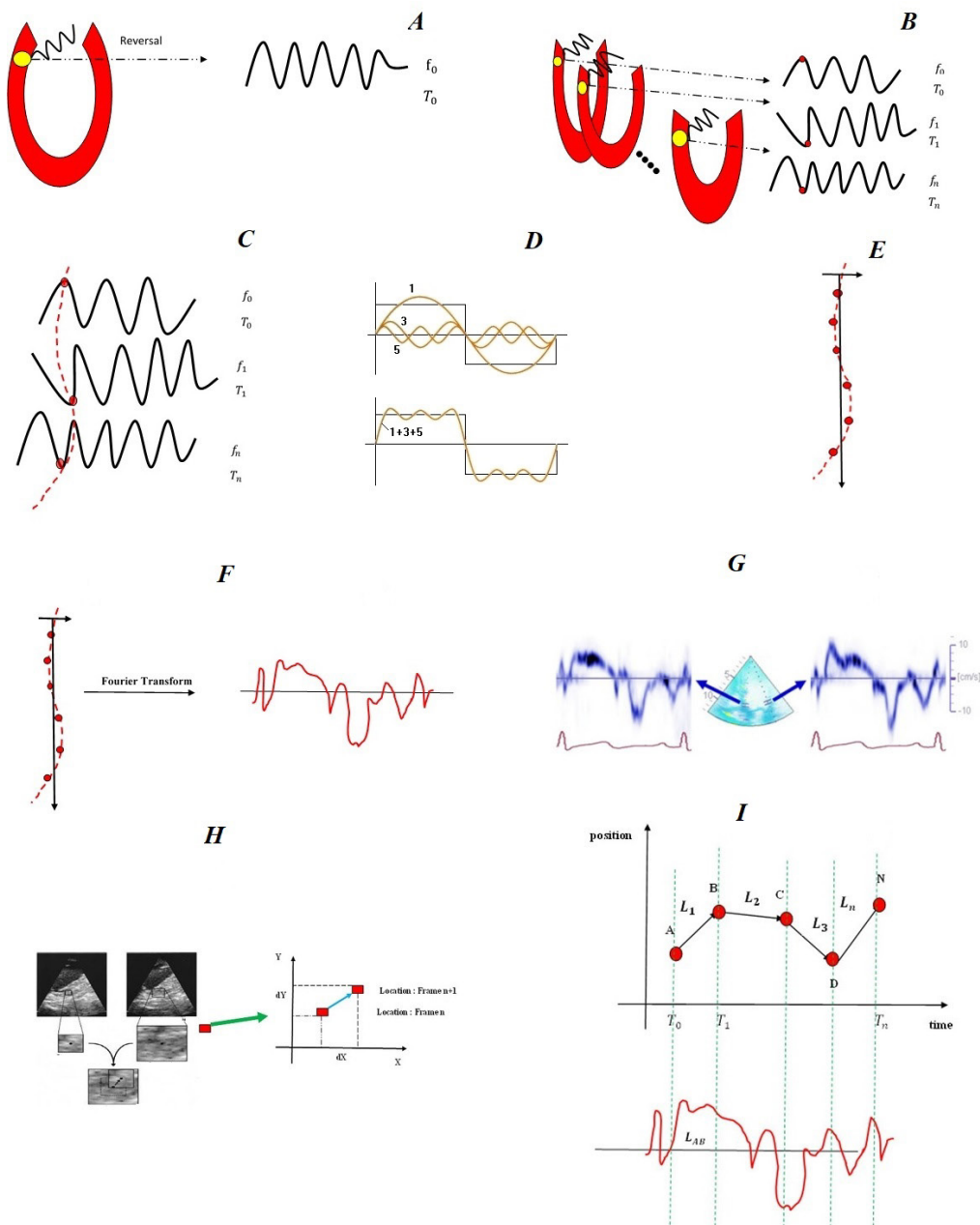
f_{Dop} فرکانس امواج بازگشتی و f_0 فرکانس موج پراکنده شده و θ زاویه بین امواج رفت و برگشتی است. با تغییر θ (تغییر زاویه بازگشتی امواج) و سرعت محاسبه شده توسط معادله داپلر، برای هر نقطه از بطن چپ در یک سیکل قلبی، سری‌های توانی (بسط‌های فوریه) سرعت هر نقطه بطن چپ به دست می‌آیند (شکل ۶) که منجر به ساخت تصاویر اولیه (اوربجینال) بطن چپ می‌شوند (شکل ۷)



شکل ۶. امواج سینوسی و کوسینوسی با فرکانس‌های متفاوت نشان دهنده حرکت بروی دایره واحد و چند بار چرخیدن به دور آن (سمت چپ تصویر)، و مجموع این امواج با یک سری توانی یا همان بسط فوریه مورد نظر (سمت راست).

فوریه برای نقطه مورد نظر (C و D نیز نشان داده شده است. سپس موج فوریه نقطه مورد نظر (E)، نمودار سرعت-زمان نقطه مورد نظر با استفاده از نقشه به دست آمده از موج فوریه نقطه مورد نظر (F و G)، ردیابی و جابه‌جایی نقطه مورد نظر با انتگرال‌گیری سرعت به دست آمده از موج فوریه آن (H و I) نشان داده شده است.

در شکل ۷، نمایی شماتیک از ارسال موجی فراصوتی به سمت یک نقطه (A)، امواج بازگشتی و دنبال کردن همان نقطه در سه فاز مختلف، معادل با ترکیب موجی سینوسی و کوسینوسی با سه فرکانس متفاوت (B) نشان داده شده است. در نظر گرفتن مقادیر امواج سینوسی و کوسینوسی با فرکانس‌های متفاوت برای ساخت ترم‌های سری



شکل ۷. خمینه‌های پشت سر هم و مقطع پوانکاره (سمت چپ تصویر)، مسیر طی شده توسط یک نقطه در مقطع پوانکاره (سمت راست). منحنی‌های به دست آمده از نقشه پوانکاره علاوه بر ساخت ضابطه پوانکاره در مطالعه هندسه شیء متحرکی که از کنار هم قرار دادن خمینه‌های پشت سر هم ظاهر می‌شود، اهمیت دارند.

۴.۲. گام دوم

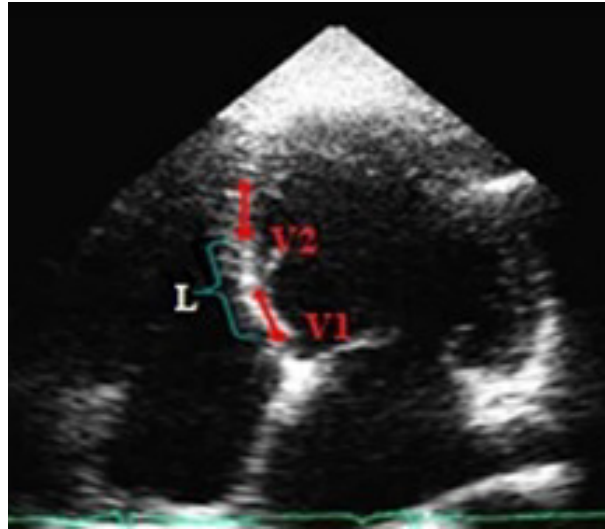
برای محاسبه استرین نقطه‌ای در یک بازه زمانی $[t_1, t_0]$ ، اگر سرعت آن نقطه در زمان t_0 براساس فرمول داپلر V_1 باشد و V_1 سرعت همان نقطه در زمان t_1 و جابه‌جایی این نقطه در این بازه زمانی L باشد (شکل هشتم) با انتگرال‌گیری کسر اختلاف سرعت (در زمان‌های مختلف) بر میزان جابجایی، به مفهوم استرین می‌رسیم:

$$\text{Strain} \diamond \varepsilon = \int_{t_0}^{t_1} \frac{\nabla V}{L} dt$$

منحنی‌های سرعت هر نقطه در طول زمان به دست می‌آیند. با توجه به این منحنی‌های سرعت و میزان سرعت هر نقطه در زمان، میزان جابه‌جایی و تغییر شکل^۱ (استرین^۲) نقاط بدست می‌آیند. نمودارهای جابه‌جایی نقاط توسط انتگرال‌گیری منحنی‌های سرعت به دست می‌آیند. میزان دفورماسیون یا کشیدگی نقاط در زمان، با انتگرال‌گیری از میزان سرعت افزایش و کاهش این جابجایی‌ها (معروف به جابه‌جایی‌های لاگرانژ) در طول زمان به دست می‌آیند (شکل ۸).

1. Deformation

2. Strain: a force tending to pull or stretch something to an extreme or damaging degree.

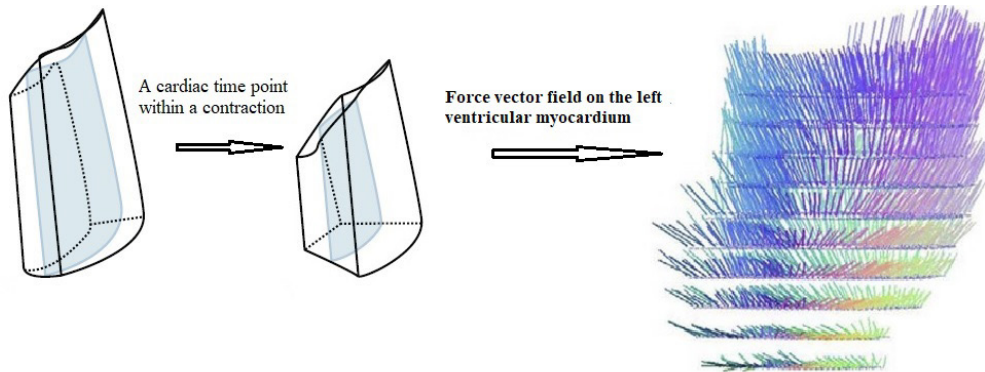


شکل ۸. یک تصویر اکوکاریوگرافی از بطن چپ قلب، نقطه‌ای از دیواره بین بطنی در دو فاز مختلف

گام سوم ۳،۴

در زمان است و شتاب موضعی میزان تغییرات سرعت در جهت‌های X, Y و Z مشتق مولفه‌های سرعت در جهات مختلف است (شکل ۹).

معادله نیرو هر نقطه براساس شتاب کلی و شتاب موضعی آن نقطه فرمول‌بندی و محاسبه می‌شوند. شتاب کلی، میزان تغییرات سرعت



شکل ۹. انقباض یک نقطه اناتومیکیال بروی عضله داخلی بطن چپ قلب و میدان برداری نیرو بروی آن (از چپ به راست). این نیرو بر حسب حرکت و دفورماسیون در زمان و در راستای گرادیان بردار سرعت است.

دست آمده از معادلات لاگرانژین بررسی و محاسبه می‌گردد و به صورت حاصلضرب زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$FC_{Lag} = (1 + A_{lagz})(1 + B_{lagz})(1 + C_{lagz}) \dots$$

گام پنجم ۵،۴

جریانی که توسط بردارهای ویژه لاپلاسین سرعت به دست می‌آیند (شکل ۱۰)، و بررسی بسط فوریه این جریان و محاسبه دقیق ضرایب آن از رابطه زیر:

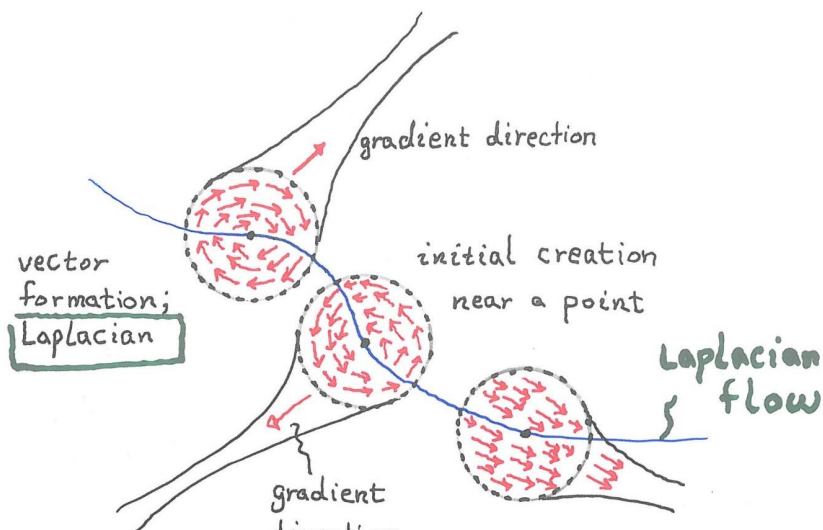
$$FC_{Lap} = (1 + A_{lapz})(1 + B_{lapz})(1 + C_{lapz}) \dots$$

بسط فوریه معادله حرکت به دست آمده از امواج بازگشتی را به صورت حاصلضرب نامتناهی زیر به طور دقیق بررسی می‌کنیم:

$$FC_{RW} = (1 + A_{rwz})(1 + B_{rwz})(1 + C_{rwz}) \dots$$

گام چهارم ۴،۴

منحنی‌های مسیرهای حرکتی نقاط، براساس معادلات لاگرانژین. طبق اصل لاگرانژ خم به دست آمده توسط یک نقطه، بروی مسیری است که آن نقطه کم‌ترین انرژی را حین حرکت مصرف کند. نقاط تکین تابع انتگرال لاگرانژی، همین منحنی‌ها هستند که با حل معادلات لاگرانژی به دست می‌آیند. بسط فوریه منحنی به



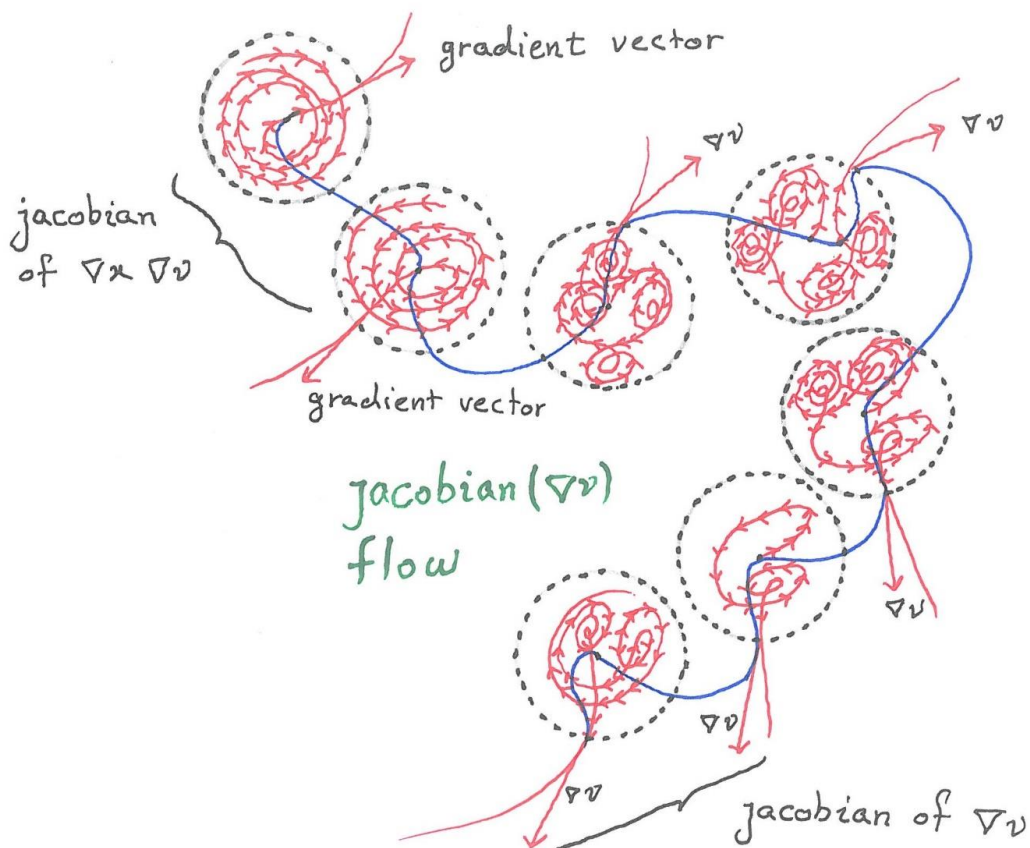
شکل ۱۰. جریان به دست آمده توسط مقادیر ویژه لاپلاسیان میدان برداری سرعت.

۶,۴. گام ششم

ضرایب آن از رابطه زیر:

$$FC_{JG} = (1 + A_{JGZ})(1 + B_{JGZ})(1 + C_{JGZ}) \dots$$

جریانی که توسط بردارهای ویژه ژاکوبین گرادیان سرعت به دست می‌آیند (شکل ۱۱). بررسی بسط فوریه این جریان و محاسبه دقیق



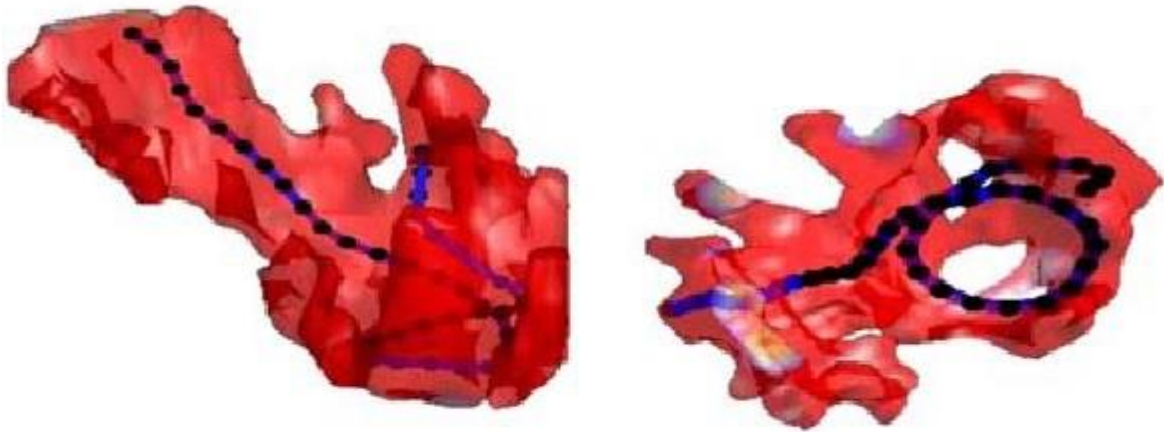
شکل ۱۱. جریان به دست آمده توسط مقادیر ویژه ژاکوبین گرادیان میدان برداری سرعت که خمیدگی بردارهای سرعت را بیان می‌کنند.

۷.۴. گام هفتم

حاصلضرب نامتناهی رابطه زیر به طور دقیق بررسی و تحلیل می‌کنیم، شکل ۱۲.

بسط فوریه حاصل از تعامل منحنی‌های به دست آمده از گام‌های قبل را در نظر می‌گیریم و ضابطه نگاشت پوانکاره را به صورت

$$FC_{Poincare Map} \square (1 + A_{rw}z)(1 + B_{rw}z)(1 + C_{rw}z) \dots (1 + A_{lag}z)(1 + B_{lag}z)(1 + C_{lag}z) \dots (1 + A_{lap}z)(1 + B_{lap}z)(1 + C_{lap}z) \dots (1 + A_{JG}z)(1 + B_{JG}z)(1 + C_{JG}z) \dots$$



شکل ۱۲. نگاشت پوانکاره بروی نقطه‌ای از دیواره بین بطنی قلب. منحنی مورد نظر از سری فوریه به دست آمده در گام هفتم؛ حرکت از نقطه‌ای در دیواره سپتوم بین بطنی شروع شده، در ناحیه آبی‌کال قلب حرکتی چرخشی می‌کند و به سمت دیواره آزاد بطن چپ به حرکت خود ادامه می‌دهد.

۸.۴. کوهمولوژی

فرض کنیم V فضای میدان‌های برداری با کرل صفر بروی خمینه سه-بعدی $X \setminus \mathbb{R}^3$ و W زیر فضای توابع پتانسیل پذیر بروی $X \setminus \mathbb{R}^3$ باشند.

اینک به بررسی فضای میدان‌های برداری با کرل صفر و زیر فضای پتانسیل پذیر آنها بروی نواحی خاصی در صفحه مختصات ۳-بعدی دکارتی و مطالعه فضای خارج قسمت به دست آمده می‌پردازیم.

$$V = \{F = \mathbb{R}^3 \setminus X \rightarrow \mathbb{R}^3 ; \text{Curl } F = \nabla \times F = 0\}$$

$$W = \{F = \mathbb{R}^3 \setminus X \rightarrow \mathbb{R}^3 ; F = \nabla \cdot g \text{ for some smooth real valued function on } \mathbb{R}^3 \setminus X\}$$

$$X_0 = \{(x, y, z); x = y = 0\}$$

میدان برداری F_0 را بر روی خمینه مورد نظر با رابطه زیر تعریف می‌کنیم:

$$F_0 = \left(\frac{-y}{x^2+y^2}, \frac{x}{x^2+y^2}, 0 \right);$$

براحتی می‌توان نشان داد که کرل میدان برداری فوق صفر است ولی یک میدان برداری پتانسیل پذیر نیست چون کار انجام شدن توسط آن بروی دایره واحد در صفحه X و Y ناصفر و مقدار آن 2π است.

به راحتی می‌توان نشان داد که W یک زیر فضای برداری V است. در ادامه هدف اصلی ما در این مقاله بررسی بعد فضای خارج قسمتی V/W است و معرفی اعضای پایه آن است. می‌دانیم که کار انجام شده توسط یک میدان برداری پتانسیل پذیر به مسیر بستگی ندارد یا به عبارتی کار انجام شده آن روی هر لوب توسط آن میدان برداری، صفر است (تعریف پتانسیل پذیری). نشان خواهیم داد که فضای خارج قسمتی V/W کاملاً وابسته به X در خمینه $X \setminus \mathbb{R}^3$ است. اگر X تهی باشد بنا بر قضیه استوکس فضای خارج قسمتی V بروی W صفر-بعدی خواهد بود. این فضای خارج قسمتی را در برخی از مثال‌های خاص بررسی می‌کنیم. فرض کنیم X محور حقیقی Z باشد.

کنید مسیر P_X یک مسیر هموار داخل خمینه فوق از X_0 به X باشد.

ب: تابع $g(x)$ را کار انجام شده توسط میدان برداری F بروی این مسیر تعریف می‌کنیم.

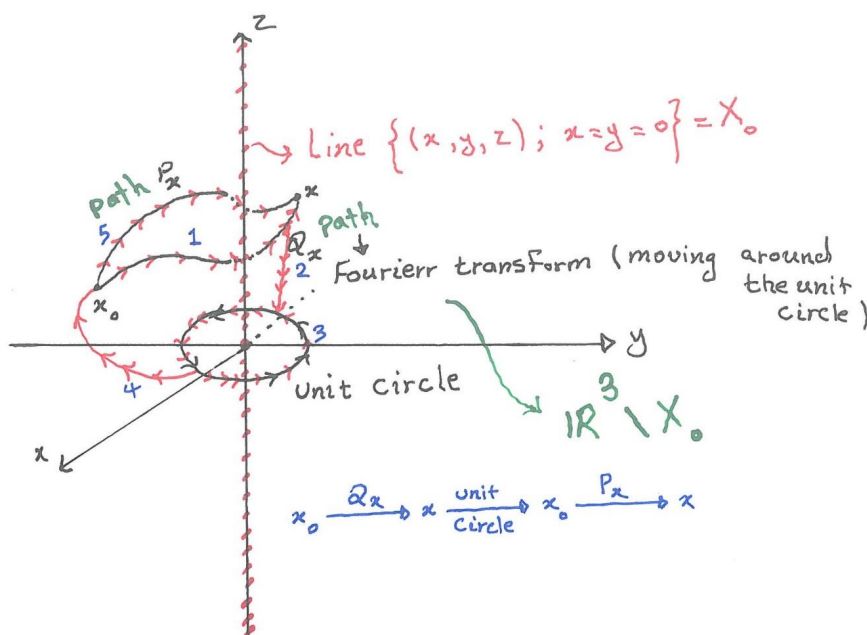
میدان برداری F گرادیان تابع g است. به عبارت دیگر کار انجام شده توسط میدان برداری F مستقل از مسیر است. برای اثبات این ادعا فرض کنید که Q_X مسیر دیگری باشد که X_0 را به X وصل می‌کند. مسیر Q_X را به طور پیوسته به صورت زیر به مسیر P_X تغییر شکل می‌دهیم. با چند بار چرخیدن (فرکانس) روی دایره واحد در صفحه X و Y (سایه‌های نقاط روی خم Q_X را روی موج‌های سینوسی و کوسینوسی با فرکانس‌های مختلف در نظر بگیرید: بسط سری فوریه Q_X) و با طی کردن مسیر P_X ، می‌توان از X_0 به X رسید. به عبارت دیگر با نوشتن بسط فوریه خم Q_X حرکت بروی مسیر P_X این کار را می‌توان انجام داد، شکل ۱۳.

حال فرض کنید F یک میدان برداری بروی خمینه فوق باشد که کرل آن صفر و کار انجام شده توسط آن بر روی دایره واحد در صفحه ایکس و وای (چه در جهت عقربه‌های ساعت چه در جهت خلاف عقربه‌های ساعت) نیز صفر است. نشان خواهیم داد که در این صورت، میدان برداری F پتانسیل پذیر است. همچنین نشان خواهیم داد که میدان برداری F به صورت گرادیان یک تابع هموار بروی خمینه معرفی شده است.

تابع g را بروی خمینه فوق که با برداشتن محور Z را از \mathbb{R}^3 ساخته شده بدین صورت می‌سازیم: الف: X_0 را یک نقطه دلخواه خارج از محور Z در این خمینه ثابت در نظر می‌گیریم.

ب: تابع هموار حقیقی مقدار g را بروی این خمینه به صورت زیر تعریف می‌کنیم.

ب:۱: نقطه دلخواه X را بروی این خمینه در نظر بگیرید و فرض

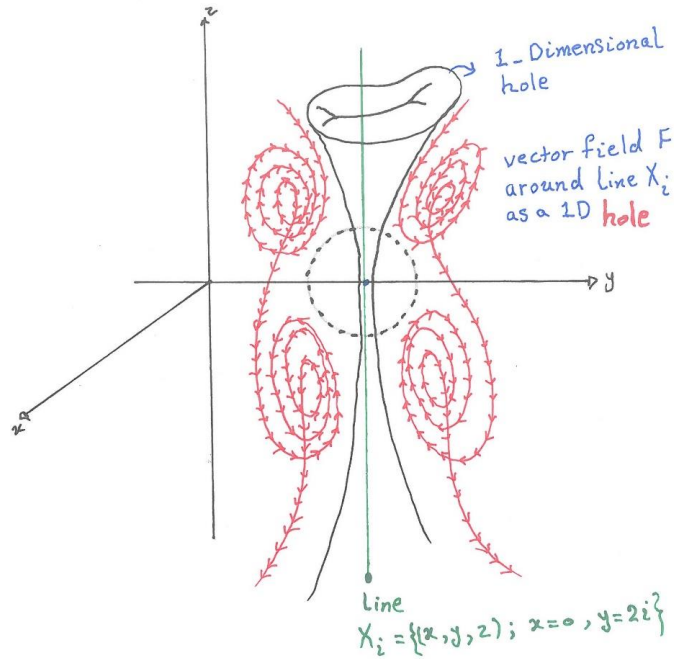


شکل ۱۳. کار انجام شده توسط میدان برداری F .

W خواهد بود. بنابراین فضای خارج قسمتی V بروی W یکریخت با خط حقیقی خواهد بود و در نتیجه یک-بعدی است و توسط میدان برداری F_0 تولید می‌شود.

با کمی دقت نظر متوجه می‌شویم که بعد فضای خارج قسمتی V بروی W بستگی به همان یک خطی دارد که از \mathbb{R}^3 برداشیم و خمینه \mathbb{R}^3 منهای آن خط را ساختیم. این یک خط در خمینه ما یک حفره یک-بعدی ایجاد کرده است. به عبارتی دیگر خمینه ما یک خمینه هموار در \mathbb{R}^3 با یک حفره یا یک چاله یک-بعدی است (شکل ۱۴).

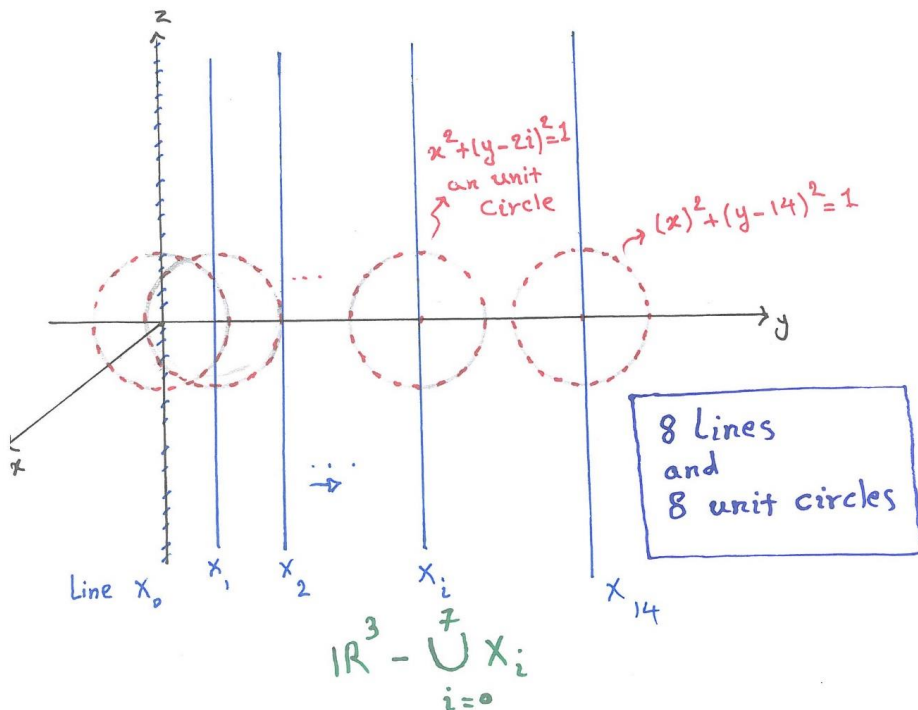
چون کار انجام شده توسط میدان برداری F ، فرض شده بر روی دایره ای واحد، صفر است پس کار انجام شده میدان برداری F بر روی مسیر Q_X همان کار انجام شده بروی مسیر تغییر شکل داده شده بالا است؛ این نیز همان کار انجام شده توسط F بروی خم P_X است. در نتیجه اثبات کردیم که میدان برداری F پتانسیل پذیر و برابر با گرادیان تابع g است. حال عملگر خطی f را بروی فضای برداری V به صورت کار انجام شده بروی دایره واحد در صفحه مختصات دکارتی X و Y تعریف می‌کنیم. بنا بر آنچه بالا ادعا کردیم و ثابت کردیم هسته عملگر خطی f همان فضای برداری



شکل ۱۴. خمینه R^3 منهای یک خط و ایجاد یک حفره یک-بعدی.

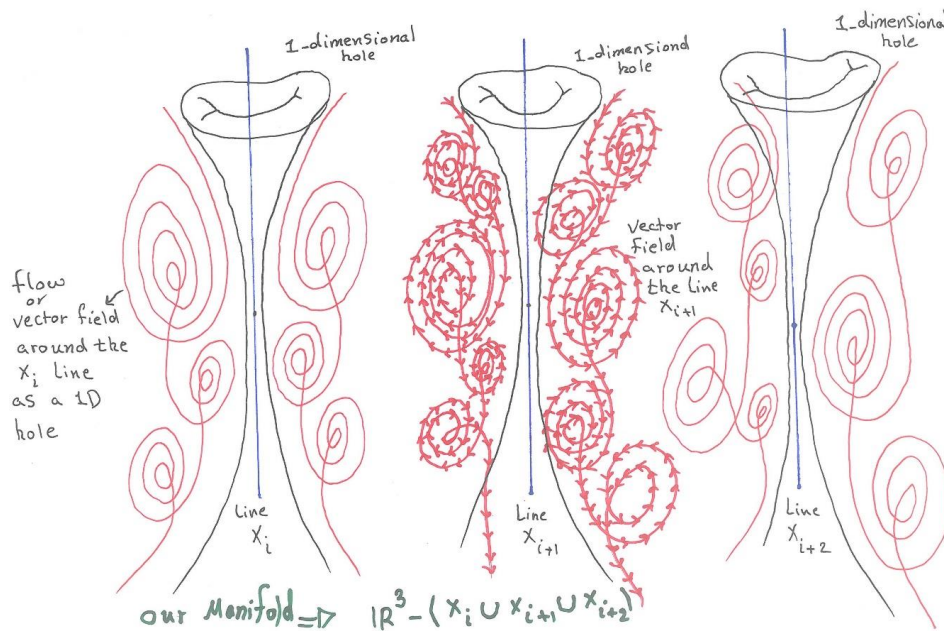
اعضای پایه آن فضای خارج قسمتی توسط میدان‌های برداری ساخته می‌شوند که کار انجام شده آنها بر روی دایره‌ای در صفحه XOT که آن خط‌ها از مرکز آن می‌گذرند، صفر باشند (شکل ۱۵)

حال اگر خمینه‌ای را در R^3 طوری در نظر گیرید که از برداشتن هشت خط به موازای با محور Z به دست آمده باشد. به راحتی توسط ترفند فوق می‌توان نشان داد که بعد فضای خارج قسمتی V بر روی W، ۸ است.



شکل ۱۵. خمینه R^3 منهای هشت خط و ایجاد هشت حفره یک-بعدی.

همان طور که مشاهده می‌کنیم بعد فضای خارج قسمتی V بر روی W روی خمینه‌های مورد نظر ما همان تعداد حفره‌های یک-بعدی خمینه مورد نظر است (شکل ۱۶).



شکل ۱۶. فضای خارج قسمتی مورد مطالعه، همان گروه درام کوهومولوژی اول

به چکه‌ای از سه چشمه بی‌نظیر یعنی اویلر، لاگرانژ و پوانکاره پرداختیم. در ظاهر هر یک از این سه دیدگاه در جهان خود سیر می‌کند. یکی در عبارت‌های جبری، یکی در مکانیک آسمانی، و دیگری در سیستم‌های دینامیکی. ولی وقتی به یک مسئله مهم در فناوری امروز، یعنی دینامیک قلب، می‌نگریم و قرار است که با حداقل داده‌ها رفتار آن را بیازماییم، می‌بینیم که این سه دیدگاه به گونه‌ای عجیب‌انگیزی در هماهنگی با هم، رازهای بسیاری را آشکار می‌سازند. ترکیبی از عدد، دینامیک، و برش، ایده‌ای خلاقانه درباره استنباطی محاسباتی با کاربرد بالینی وسیع به ما می‌دهد.

در حقیقت این فضای خارج قسمتی مورد مطالعه، همان گروه دورام کوهومولوژی^۱ اول (فرم‌های بسته بر روی فرم‌های دقیق که همان گرادیان توابع همواراند) روی خمینه ما است. به عبارتی دیگر همزمان، اطلاعاتی از هندسه خمینه مورد نظر ما در این فضای خارج قسمتی از میدان‌های بُرداری با کرل صفر دیده می‌شوند. این نگاه هانری پوانکاره است.

گفتار پایانی

در این مقاله به برگی از سرچشمه خلاقیت‌های ریاضی مربوط

منابع

1. Euler, *Introduction to analysis of the infinite*, Book 1, Springer, 1988.
2. Keith, R. Symon. *Mechanics*. Addison Wesley, 1971.
3. Laplace, P. S., *A treatise of celestial mechanics*. Translated from French and elucidated with explanatory notes. By the Rev, Henry H. Harte, F.T.C.D M.R.I.A, 1822.
4. Newton, Isaac, *The mathematical principals of natural philosophy*. Translated into English by Andrew Motte. New-York. Published by DANIEL ADEF. 1846.
5. Arnold V.I., Hugnes And Barrow, Newton And Hooke, Birkhauser Verlag, Basel. Boston. Berlin, 1990.

جدول تناوبی و سرگذشت مندلیف

بهاره احمدی^۱، رضا یوسفی^۱، علی اکبر موسوی موحدی^۲
۱. مرکز تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۲. عضو پیوسته فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران،
عضو پیوسته آکادمی جهانی علوم (تواس)، عضو پیوسته علوم جهان اسلام
moosavi@ut.ac.ir
نامه علوم پایه شماره ۱۵، بهار و تابستان ۱۴۰۴

چکیده

جدول تناوبی به عنوان یک آرایش منظم از عناصر شیمیایی بر اساس عدد اتمی و ویژگی‌های مشابه، به عنوان پایه‌ای برای شیمی نوین شناخته می‌شود. از دوران باستان تا دوره کیمیاگری و در نهایت، شکل‌گیری جدول تناوبی در قرن نوزدهم، تحولات مهمی در درک عناصر و خواص آن‌ها رخ داده است. البته دانشمندان قدیم ایرانی نیز با استفاده از روش‌های تجربی و ساخت ابزارهای دقیق، نقش مهمی در شناسایی مواد و عناصر شیمیایی ایفا کردند. آثار آنان پایه‌گذار تحول از کیمیاگری به شیمی علمی نوین در تاریخ علم شد. مندلیف با پیش‌بینی خواص عناصر ناشناخته و ایجاد الگوی منسجم، تأثیر عمیقی بر علم شیمی و صنایع مختلف گذاشت. امروز، جدول تناوبی شامل ۱۱۸ عنصر است و تحقیقات برای کشف عناصر جدید همچنان ادامه دارد. در این مطالعه به بررسی تاریخچه و اهمیت جدول تناوبی عناصر، به‌ویژه نقش دیمتری مندلیف^۱ در ایجاد آن پرداخته شده است. مندلیف، اولین کسی نبود که جدول تناوبی عناصر را کشف کرد اما جدول مندلیف به دلیل توانایی در پیش‌بینی خواص کشف نشده و ساختار واضح و سازمان یافته‌اش، شناخته شده‌ترین و تأثیرگذارترین جدول دسته‌بندی عناصر است. این مقاله همچنین به چالش‌ها و پیشرفت‌های علمی در زمینه ساخت عناصر سنگین‌تر و ناپایدار می‌پردازد و به اهمیت و کارکردهای آینده جدول تناوبی در علم و فناوری اشاره می‌کند.

کلید واژگان: جدول تناوبی، عناصر شیمیایی، آرایش نظام‌مند، عناصر جدید، تاریخ علم، کیمیاگری، خواص و توسعه عناصر، دیمتری مندلیف

۱. مقدمه

تلاش برای درک ماهیت بنیادی عناصر به دوران باستان برمی‌گردد، جایی که فیلسوفان نظریه‌های مختلفی را در مورد آنچه که اجزای سازنده اصلی جهان را تشکیل می‌دهند، ارائه کردند. در ابتدا گمانه‌زنی‌هایی در مورد یک عنصر وجود داشت که به آن‌ها، نظریه‌های تک‌عنصری می‌گویند. فیلسوفان مختلف نظرات متفاوتی داشتند؛ به عنوان مثال، تالس^۲ (۶۴۰-۵۴۶ قبل از میلاد) پیشنهاد کرد که آب عنصر اولیه است. آناکسیمس^۳ (۵۶۰-۵۰۰ قبل از میلاد) اعتقاد داشت که هوا عنصر اساسی است. هراکلیتوس^۴ (۵۳۶-۴۷۰ قبل از میلاد) نیز استدلال می‌کرد که آتش، اصل همه چیز است. امپدوکلس^۵ (۴۹۲-۴۳۲ قبل از میلاد) با معرفی مفهوم چهار عنصر (هوا، خاک، آتش و آب)، ایده عناصر را گسترش داد. عنصر پنجمی به نام اتر، توسط فیلولائوس^۶ (حدود ۴۶۰-۴۰۰ قبل از میلاد) و یا افلاطون^۷ (۴۲۷-۳۴۷ قبل از میلاد) معرفی شد که به عنوان ماده تشکیل‌دهنده کیهان تصور می‌شد.

جدول تناوبی عناصر، یک آرایش سیستمی از تمام عناصر شیمیایی است که با افزایش عدد اتمی سازماندهی شده است. این ترتیب، یک الگوی تکرار شونده به نام «قانون تناوبی» را نشان می‌دهد، که در آن عناصر یک ستون (گروه)، ویژگی‌های مشابهی دارند. دیمتری مندلیف، پیشنهاد دهنده آرایش سیستمی جدول تناوبی، در سال ۱۸۶۹، شروع به جمع‌آوری و دسته‌بندی ویژگی‌های شناخته شده عناصر کرد. او مشاهده کرد که گروه‌های خاصی از عناصر خواص مشابهی نشان می‌دهند، اگرچه چندین استثنا را نیز برای روندهای نوظهور تشخیص داد. او همچنین وجود عناصر کشف نشده‌ای را پیش‌بینی کرد که در این الگوها قرار می‌گیرند و با گذشت زمان، فضاهای خالی جدول به تدریج پر می‌شد. تا به امروز، این جدول به عنوان یکی از ضروری‌ترین مراجع در علم شیمی عمل می‌کند و به طور سیستمی در سازماندهی سایر عناصر شناخته شده کاربرد دارد.

1. Dmitri Mendeleev
2. Thales
3. Anaximenes
4. Heraclitus

5. Empedocles
6. Philolaus
7. Plato

جیوه^۳ (روح) و گوگرد^۴ (گوهر) تشکیل شده‌اند [۳].

زکریای رازی (۹۲۵-۸۶۵)، این نظریه را با هدف طبقه بندی مواد شیمیایی توسعه داد. او متوجه شد که گوگرد ویژگی‌های خاصی دارد و در فرآیندهای سوختی و شیمیایی نقش حیاتی ایفا می‌کند و در مقالات خود به خواص گوگرد در پزشکی و درمان بیماری‌ها اشاره کرده است. همچنین وی برای اولین بار استفاده از جیوه در برخی از داروها و فرآیندهای شیمیایی را بررسی کرد. در آن زمان جیوه به عنوان یک عنصر سمی شناخته می‌شد، ولی زکریای رازی از آن برای آزمایش‌های شیمیایی و دارویی استفاده می‌کرد [۴]. اگرچه زکریای رازی نتوانست جزئیات عناصر شیمیایی را به‌طور دقیق طبق سیستم نوین جدول تناوبی طبقه بندی کند، اما تحقیقات او در زمینه خواص و کاربردهای این عناصر به‌شدت بر علم شیمی تأثیر گذاشت. در کتاب *الاسرار*، رازی به گونه‌ای نظام‌مند به معرفی موارد معدنی، گیاهی و حیوانی می‌پردازد و به این صورت، نخستین گام‌ها را در جهت طبقه بندی مواد بر پایه خواص فیزیکی و واکنش پذیری آن‌ها برمی‌دارد [۵]. وی در کتاب *المدخل التعليمی*، به تبیین مفهوم عنصر و ماهیت ترکیبات مادی می‌پردازد و تلاش می‌کند رابطه میان جوهر و تغییرات شیمیایی را به صورت عقلانی توضیح دهد [۶]. این دو اثر نشان می‌دهند که رازی از بنیان‌گذاران نگرشی بوده که زمینه را برای تدوین جدول تناوبی عناصر فراهم کرده است.

در اواخر عصر کیمیاگری، تمایل به مشاهده ماده از دریچه اصول متافیزیکی کاهش یافت. این تغییر نشان دهنده حرکت به سمت رویکردهای تجربی و علمی برای درک عناصر بود و راه را برای شیمی نوین هموار کرد. ایجاد جدول تناوبی مشروط به چهار تحول مهم بود: (۱) عقاید عرفانی عصر کیمیاگری باید کنار گذاشته می‌شد، چرا که کیمیاگران برای آن‌ها شواهد علمی نداشتند. (۲) تعریف واضحی از عنصر مورد نیاز بود که تعریف رابرت بویل^۵ (عناصر به عنوان مواد ساده‌ای که از اجسام دیگر ساخته نشده‌اند) زمینه را برای این درک فراهم کرد. (۳) توسعه روش‌های شیمی تجزیه که امکان جداسازی عناصر را فراهم می‌کند. آنتوان لوازیه^۶ با تأکید بر آنالیز کمی در شیمی، نقش اساسی در این پیشرفت ایفا کرد. (۴) روشی برای مرتبط کردن هر عنصر با یک عدد طبیعی ویژه (جرم اتمی) ضروری بود. هنگامی که این پیش نیازها برآورده شد، ایده جدول تناوبی به سرعت در دهه ۱۸۶۰ گسترش یافت و چندین دانشمند در تدوین آن سهیم شدند. یوهان ولفگانگ دوبراینر^۷، الکساندر-امیل بگویر دو شان کورتو^۸، جان نیولندز^۹، ژولیوس لوتار مایر^{۱۰} و دیمیتری مندلیف از زمره دانشمندانی هستند که نقش

افلاطون این پنج عنصر را با پنج چند وجهی منظم مرتبط کرد. در نظر افلاطون، آتش با چهار وجهی، هوا با هشت وجهی، آب با بیست وجهی، زمین با مکعب و اتر با دوازده وجهی مرتبط بود. این تفسیر هندسی، درکی ساختاری از عناصری که تا قرن هفدهم تداوم داشت را ارائه کرد [۱].



نمایش عناصر به شکل‌های چند وجهی از نگاه افلاطون [۱]

ارتباط ایرانیان و کشف عناصر نیز قابل توجه است، اگرچه منابع اصلی مرتبط با این موضوع از بین رفته‌اند اما نشانه‌هایی از تأثیر این مکتب در سنت‌های فلسفی یونان به‌ویژه از طریق فیثاغورث^۱ و افلاطون دیده می‌شود. همان‌طور که بسیاری از دانشمندان یونانی نیز اذعان داشته‌اند، آن‌ها بیشتر نقش انتقال‌دهنده‌ی دانش را داشته‌اند تا آغازگر آن.

در متون مزدایی، روایاتی درباره عناصر جهان مادی ارائه شده است. نخستین تلاش برای ترکیب نظریه کیهان‌شناسی یونانی با اسطوره‌های سنتی ایرانی، در بندهشن دیده می‌شود که بیان می‌کند اهورامزدا از نور بی‌پایان، آتش را آفرید، از آتش هوا را، از هوا آب را و از آب زمین را خلق کرد. در همین منبع، نظریه‌ای کاملاً جدید و یادآور نظریات تالس مطرح می‌شود که «اصل اولیه همه چیز، یک قطره‌ی آب است» (۱).

افلاطون که از او به عنوان یکی از موثرترین نظریه‌پردازان در مورد عناصر سازنده جهان یاد می‌شود، در رم با جریان‌های فکری فیثاغوری آشنایی یافت. فیثاغورث و اصحاب او پرورش فکری‌شان را مدیون دانشمندان و اندیشمندان ایرانی می‌دانسته‌اند. اسارت فیثاغورس در بابل سبب شد تا او با مذهب و فلسفه خردمندان ایرانی، از طریق زارتاس که یک متفکر پیشتاز ایرانی بود، آشنا شود [۲].

در رابطه با تأثیر دانشمندان ایرانی در شناخت عناصر، هولمیارد^۲، یکی از پژوهشگران برجسته تاریخ کیمیاگری به وضوح اشاره کرده است که جابر بن حیان (حدود ۷۲۱-۸۱۵) معتقد بود که فلزات از

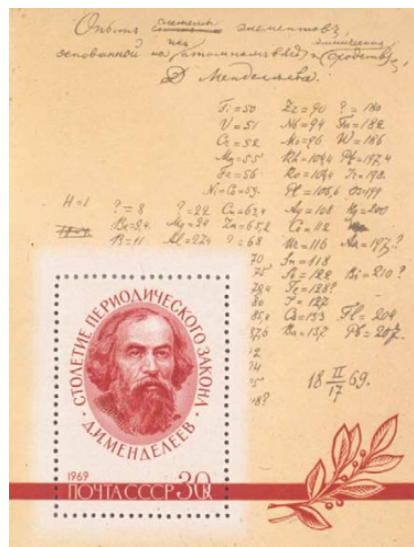
1. Pythagoras
2. Eric John Holmyard
3. Mercury
4. Sulfur
5. Robert Boyle

6. Antoine Lavoisier
7. Johann Wolfgang Döbereiner
8. Alexandre-Émile Béguyer de Chancourtois
9. John Newlands
10. Julius Lothar von Meyer

از شماره ۱۱۸، یعنی ۱۱۹ و ۱۲۰ دست یابند. به نظر می‌رسد یک مسابقه جهانی که ژاپن، از شانس بیشتری برای پیروزی برخوردار است، در جریان است [۹]. البته ژاپن در این زمینه سابقه خوبی دارد، یکی مربوط به کشف عنصری جدید در سال ۱۹۰۸ با نام نیپونیوم^۱ که در اصل متعلق به موقعیت ۷۵ جدول تناوبی بود ولی اشتباهاً در موقعیت ۴۳ قرار داده شد. دانشمندان زمانی متوجه این خطا شدند که عنصر ۷۵ با نام رنیم^۲ توسط آلمانی‌ها به ثبت رسیده بود و دیگری، اعلام نیپونیوم^۳ در سال ۲۰۱۲ به عنوان عنصر ۱۱۳ می‌باشد [۱۰]. البته رقیب اصلی برای اعلام عناصر ۱۱۹ و ۱۲۰ آزمایشگاه ملی لارنس برکلی (LBNL^۴) است اما به دلیل از بین رفتن همکاری‌های بین‌المللی علی‌الخصوص با موسسه مشترک تحقیقات هسته‌ای (JINR) روسی به دلایل سیاسی، شانس ژاپن در این خصوص بیشتر شده است. در این راستا، ژاپن از ابزارهای پیشرفته‌ای مثل دستگاه تولید کننده پرتوهای یونی از عنصر با تبدیل آن به پلازما بوسیله شرایط دمایی فوق‌العاده بالا شامل فناوری ابررسانا جهت ایجاد میدان مغناطیسی قوی و شتاب دهنده پرتوی یون تولیدی برای برخورد موثر با هدف و در نتیجه شانس بالا جهت غلبه بر دافعه بین هسته‌ای استفاده می‌کند که قدرت آن‌ها نسبت به ابزاری که برای تولید رنیم به کار بردند، رشد ۵ برابری داشته است. این بدین معنی است که سرمایه‌گذاری هنگفتی روی این موضوع توسط ژاپنی‌ها صورت گرفته است.

با وجود این تلاش‌ها، این هدفی بسیار سخت است چون هر قدر عنصر سنگین‌تر باشد، تعداد پروتون بیشتری دارد یعنی دافعه الکترواستاتیکی بسیار قوی بین آنها برقرار است. پس لازمه این برخورد، شتابی در حد سرعت نور پرتوهای یونی است تا دو هسته بتوانند کنار هم قرار گیرند و همجوشی هسته‌ای صورت گیرد تا عنصر سنگین‌تر ایجاد شود که البته، شانس این برخورد نیز پایین است. در همین ارتباط ادعا شده است که در هر ۲۰۰ روز تنها دو هسته بر این دافعه غلبه کرده و اتم فوق سنگینی را می‌سازند، اتمی بسیار ناپایدار که بعد از گذشت زمانی در حد میلی ثانیه، دچار فروپاشی می‌شود و نیمه عمر بسیار پایینی دارد. بنابراین باید ردیاب دقیقی وجود داشته باشد تا همین عنصر ناپایدار را شناسایی کند [۹]. حال فرض کنیم عناصر ۱۱۹ و ۱۲۰ و موارد مشابه سنتز شدند، با وجود این ناپایداری، انتظاری برای استفاده از آن‌ها در زندگی روزمره و فناوری نمی‌رود اما با یادآوری مفهوم جزیره پایداری، می‌توان به دنبال ایزوتوپ‌هایی از آن عناصر بود که در این محدوده قرار داشته، پایدارند و به این ترتیب قابل استفاده خواهند بود. برای نمونه زمانی که تکنسیوم^{۱۱} با طول عمر ۶ ساعت ساخته شد،

اساسی در ایده جدول تناوبی و گسترش آن داشته‌اند (۲). در این میان، جسارت مندلیف در پیش بینی خواص عناصر ناشناخته، او را از هم عصرانش متمایز ساخت. او در جدول تناوبی خود برای عناصری با وزن اتمی خاص، شکاف‌هایی باقی گذاشت و وجود و ویژگی‌های آنها را پیش بینی کرد. زمانی که عناصر اسکاندیم^۱، گالیوم^۲ و ژرمانیوم^۳ در سال‌های پس از پیش‌بینی‌اش کشف شدند، هر کدام چارچوب نظری او را تأیید می‌کرد و شهرت او به میزان قابل توجهی افزایش یافت [۱،۷].



تمبر پستی روسی از تصویر دیمیتری مندلیف که در پس زمینه آن، نسخه دست‌نویس جدول تناوبی او مربوط به سال ۱۸۶۹ قرار دارد [۱]

آینده جدول تناوبی

جدول تناوبی امروزی، ۱۱۸ عنصر دارد که ۹۲ مورد ابتدایی آن طبیعی و ۲۶ مورد انتهایی مصنوعی است. آخرین عنصر ساخته شده، اوگانسون^۵، در موسسه مشترک تحقیقات هسته‌ای (JINR) در روسیه، توسط یک تیم مشترک از دانشمندان روسی و آمریکایی سنتز شد و به افتخار فیزیکدان هسته‌ای، یوری اوگانسیان^۶ که نقش اصلی را در کشف آن داشت، در سال ۲۰۱۶، نام‌گذاری شد. او کسی است که روش‌های پیشگامانه‌اش، از جمله «همجوشی سرد» و «همجوشی گرم»، به کشف چندین عنصر از جدول تناوبی منجر شد [۸].

در حال حاضر شیمی‌دان‌ها در تلاش هستند تا جدول تناوبی را وسعت ببخشند. ژاپن، آمریکا، روسیه، چین و آلمان در حال به روزرسانی و تجهیز کردن مراکز تحقیقاتی خود هستند تا به عناصر سنگین‌تر

1. Scandium
2. Gallium
3. Germanium
4. Oganesson
5. Joint Institute for Nuclear Research
6. Yuri Oganessian

7. Neptunium
8. Rhenium
9. Nihonium
10. Lawrence Berkeley National Laboratory
11. Technetium

هیچ نظری درباره کاربرد آن وجود نداشت اما امروزه در تشخیص پیشرفت سرطان استخوان و ارزیابی جریان خون مغزی و عملکرد تیروئید، قلب و کبد استفاده می‌شود.

دیمیتری ایوانویچ مندلیف

دهه ۱۸۵۹-۱۸۳۴: آغاز راه

دیمیتری ایوانویچ مندلیف^۱، در ۲۷ ژانویه سال ۱۸۳۴، در روسیه، در خانواده‌ای پرجمعیت با ۱۳ خواهر و برادر، متولد شد. پدر او، ایوان پاولویچ^۲، یک معلم و مدیر مدرسه محلی بود که علوم سیاسی و فلسفه تدریس می‌کرد و از همان دانشگاهی دانش آموخته شده بود که دیمیتری در آن مشغول به تحصیل می‌شود. در ۹ سالگی دیمیتری، پدرش بینایی خود را از دست می‌دهد و به دنبال آن، خانه نشین می‌شود. به این ترتیب مسئولیت خانواده به مادر او، ماریا دیمیترینا^۳، محول می‌شود و کارگاه شیشه‌گری اجدادی خود را احیا می‌کند. با مرگ پدر و آتش سوزی کارگاه، دیمیتری ۱۳ ساله به مدرسه شبانه روزی می‌رود و پس آن برای ادامه تحصیل، به همراه مادر و خواهرانش، راهی مسکو می‌شود. او ابتدا برای تحصیل در دانشگاه مسکو اقدام می‌کند اما دانشگاه او را نمی‌پذیرد. به همین جهت در سال ۱۸۵۰ به پترزبورگ رفتند و نهایتاً وارد موسسه آموزش اصلی^۴، جایی که پدرش نیز در آن تحصیل کرده بود شد. مندلیف خود اعتراف کرده است «من پیشرفت‌هایی که داشته‌ام را به طور کلی مدیون این موسسه هستم». مدتی از شروع تحصیل نگذشته بود که او، مادر و خواهرش را به دلیل بیماری سل از دست داد. تنهایی و غربت، او را آسیب پذیرتر از همیشه کرده بود و مدام بیمار می‌شد. رفته رفته او به شرایط جدید عادت کرد و تحصیلات را با جدیت آغاز کرد. او در این دوران، به هر موضوعی علاقه نشان می‌داد، زیست‌شناسی، تاریخ، علوم تربیتی و دانش‌های دیگر. در نوشته‌های دانشجویی مندلیف، نشانه‌هایی از تفکر خلاق او مشهود بود. او کنجکاو و زیادی داشت و از پرداختن به مسائل پیچیده علمی نمی‌ترسید. از طرفی، نوعی دیدگاه فلسفی داشت که در آن فرآیند تحقیق به همان اندازه یا بیشتر، از نتایج به دست آمده ارزش دارد. در پایان نامه کارشناسی ارشد، او به رابطه شکل بلورها با خواص فیزیکی و شیمیایی آن‌ها پرداخت که موضوعی چالش برانگیز در آن زمان بود و حتی امروز نیز همچنان دشوار است. یکی از خصوصیات او، این بود که درس خواندن برای امتحان را کاری بی‌معنی می‌دانست. او خود اشاره می‌کند که شب‌های امتحان، با دوستانش مشغول بازی بوده و کسانی که درس می‌خواندند را درک نمی‌کرده است.

دهه ۱۸۶۱-۱۸۵۹: شکل‌گیری شخصیت علمی

مندلیف در سال ۱۸۵۹، تحقیقات خود را در زمینه اثر مویبندی آغاز کرد. او این شانس را به دست آورد که این کار را در کشور آلمان، با کمک هزینه‌ای که از جانب دانشگاه سن پترزبورگ پرداخت می‌شد، دنبال کند. به این ترتیب راهی آلمان و وارد دانشگاه هایدلبرگ شد، جایی که شیمیدانان نامداری چون رابرت بونزن^۵ (کاشف عناصر سزیم^۶ و روبیدیم^۷ - به همراهی کیرشهف)، گوستاو کیرشهف^۸ (مبدع اصطلاح جسم سیاه) و امیل ارلن‌مایر^۹ (مخترع ابزار آزمایشگاهی) مشغول به فعالیت بودند. او شانس همکاری با هر کدام را داشت و نهایتاً به آزمایشگاه بونزن رفت که در نامه‌ای به دوست خود از امکانات ضعیف (نبود ترازی دقیق)، محیط آشفته و نبود پرسنل مجرب شکایت می‌کند و اعلام می‌کند که تصمیم گرفته تا محیط کاری خود را ایجاد کند، جایی که بتواند کنترل بهتری روی آزمایش‌های خود داشته باشد. حضور در هایدلبرگ بر رشد شخصیت علمی او موثر بوده است. در سال ۱۸۶۰، او به کنگره بین‌المللی شیمی رفت و آنجا توانست با دانشمندان در سراسر دنیا آشنا شود و ارتباطی وسیع با جامعه علمی آن زمان ایجاد کند. دانشگاه سن پترزبورگ که حامی مالی او بود و پیشرفت‌های او را رصد می‌کرد، به این نتیجه رسید که تحقیقات مندلیف در روسیه نیز قابل پیگیری است. به همین سبب از حمایت مالی او دست کشید و او ناچار، به روسیه بازگشت.

دهه ۱۸۶۹-۱۸۶۱: پیشرفت‌های علمی و ایجاد جدول تناوبی

مندلیف پس از بازگشت به روسیه، به تدریس مشغول شد. همچنین به تدوین دایره المعارف پرداخت که موفقیت آمیز نبود، چرا که از نظر ناشران، این کار سودی نداشت. او در این دوران در مقطع دکتری نیز تحصیل می‌کرد و نهایتاً توانست با ارائه پایان‌نامه‌ای بسیار موفق در سال ۱۸۶۵، تحت عنوان «گفتمانی درباره ترکیبات الکل و آب» این دوره را به پایان برساند. پایان‌نامه دکتری او نیز مورد جدیدی بود و برای اولین بار بود که سیستم آب-الکل، مورد مطالعه قرار می‌گرفت. پس از آن به سمت استادی شیمی دانشگاه پترزبورگ درآمد. یکی از مواردی که همیشه او را آزار می‌داد، نبود منبع یادگیری مناسب به زبان روسی بود. همین مسئله بود که او را به نگارش کتابی تحت نام *اصول شیمی*^{۱۰} به زبان روسی واداشت. هنگام نگارش کتاب، زمانی که داشت عناصر را دسته‌بندی می‌کرد، متوجه خواص شیمیایی مشابه گروهی از عناصر، مخصوصاً هالوژن‌ها شد. او ۶۳ عنصر شناخته شده زمان خود را در ردیف‌هایی به ترتیب افزایش جرم اتمی مرتب کرد و عناصری که دارای ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی مشابه بودند

1. Dmitri Ivanovich Mendeleev
2. Ivan Pavlovich Mendeleev
3. Maria Dmitrievna Mendeleeva
4. Main Pedagogical Institute
5. Robert Bunsen

6. Cesium
7. Rubidium
8. Gustav Kirchhoff
9. Emil Erlenmeyer
10. The Principles of Chemistry

دهه ۱۹۰۰-۱۸۷۰: علوم بین رشته‌ای

مندلیف شخصیتی چند وجهی داشت که بر بینش او در شیمی و اقتصاد، تأثیر ماندگاری بر جای گذاشته است. بخش بزرگی از علاقه او در زمینه تولید و پالایش بهتر نفت در روسیه بود. صنعت نفت در ایالات متحده آمریکا، پس از اینکه ادوین دریک^{۱۱} چاه نفت تجاری را در پنسیلوانیا در سال ۱۸۵۹ حفر کرد، به سرعت رو به رشد بود. این سرآغاز تولید مقادیر زیاد نفت، به ویژه نفت خام سبک بود که در مقایسه با نفت خام سنگین‌تر موجود در روسیه، پالایش آن آسان‌تر بود. در آن زمان، صنعت نفت روسیه توسعه نیافته بود و قادر به رقابت با واردات نفت سفید آمریکایی نبود که بر بازار روسیه تسلط داشت و تا ۱۸۷۰، ۹۰ درصد عرضه را به خود اختصاص می‌داد. مندلیف به نفت آمریکا علاقه داشت که در درجه اول، بحث اقتصادی آن بود. او به دنبال بهبود توانایی تولید نفت روسیه و رقابتی ساختن آن در برابر واردات آمریکا بود. در همین راستا، در سال ۱۸۷۶ به عنوان بخشی از هیئت دولت روسیه به ایالات متحده سفر کرد که همزمان بود با برگزاری یک نمایشگاه بین‌المللی بزرگ در فیلادلفیا که پیشرفت‌های این کشور را در زمینه‌های مختلف به نمایش می‌گذاشت. بازدید او شامل مطالعه پالایشگاه‌های نفت محلی برای درک بهتر چگونگی تقویت صنعت نفت روسیه بود. مندلیف همچنین یافته‌های خود را از صنایع نفت در پنسیلوانیا مستند کرد. این نشان می‌دهد که چگونه تلاش‌های علمی مندلیف با منافع اقتصادی کشورش گره خورده است. (۴) او همچنین علاقه شدیدی به شیمی فیزیکی داشت، علی‌الخصوص مطالعه برهم‌کنش‌های مولکولی در گازها و مایعات از طریق خواصی مانند چگالی، انبساط حرارتی، کشش سطحی. یکی از کشفیات او این بود که بالاتر از یک دمای معین که توسط او به عنوان «نقطه جوش مطلق» نام گذاری شده است، کشش سطحی و گرمای تبخیر برابر با صفر می‌شود؛ در این دما، مایع بدون توجه به فشار و حجم به بخار تبدیل می‌شود و برعکس، در زیر آن دما هر گازی در یک ظرف می‌تواند تنها با اعمال فشار به مایع تبدیل شود. از آن زمان این پدیده به طور گسترده‌ای برای مایع کردن گازهایی مانند اکسیژن^{۱۲}، نیتروژن^{۱۳}، هلیوم^{۱۴} و ... مورد استفاده قرار گرفت [۱۲]. مطالعات او در زمینه رفتار گازها تحت فشار بالا، مورد توجه ارتش روسیه قرار گرفت و به او بودجه‌ای برای تحقیق در این زمینه اختصاص دادند که با وقوع جنگ بین روسیه و دولت عثمانی، این حمایت مالی قطع شد. فعالیت‌ها و نظریه‌های او در زمینه بهبود اوضاع اقتصادی روسیه مخالفانی داشت، چرا

را در ستون‌های عمودی کنار هم قرار داد. برای مثال، لیتیم^۱، سدیم^۲ و پتاسیم^۳ که همگی واکنش‌پذیری شدیدی با آب داشتند را در یک گروه جای داد، در حالی که کلر^۴، برم^۵ و ید^۶ را که همگی نافلزهای واکنش‌پذیر بودند، در گروه جداگانه‌ای قرار داد. به این شکل، در سراسر یک ردیف، ویژگی‌ها به تدریج از فلزی به نافلزی تغییر می‌کردند؛ و در امتداد هر گروه، ویژگی‌ها مشابه باقی می‌مانند اما شدت آن‌ها بیشتر یا کمتر می‌شد. مندلیف همچنین در جدول خود جاهای خالی گذاشت، جایی که هیچ عنصر شناخته شده‌ای در آن نمی‌گنجید و پیشبینی می‌کرد که در آینده شناسایی خواهند شد، عناصری چون گالیوم^۷، اسکاندیوم^۸ و ژرمانیم^۹ که درستی نظام او را تأیید کردند. (جدول تناوبی نوین بر اساس افزایش عدد تناوبی توسط هنری موزلی^{۱۰} مرتب شده است) [۳]. به همین سبب، مقاله‌ای تحت عنوان «ارتباط بین خواص عناصر و وزن اتمی آن‌ها» را در ۱۷ فوریه سال ۱۸۶۹ منتشر کرد. این روز، به عنوان روز ملی جدول تناوبی ثبت شده و در آن «قانون تناوبی» را جشن می‌گیرند. انتظار می‌رود وقتی کسی دستاوردی به این بزرگی دارد، خود آن را ارائه دهد اما مندلیف این مسئولیت را به یک دوست محول کرد و خود برای بررسی سودآوری محصولات لبنی به خارج از شهر رفت. او که پس از دریافت سمت استادی دانشگاه، مزرعه‌ای خریداری کرد تا به آرزوی دیرینه خود، سکوت و آرامش، برسد، به تولید لبنیات علاقه‌مند شد و حتی پس از بازگشت نیز به جای ارائه گزارش درباره جدول تناوبی، گزارشی از بازدید خود تدوین کرد [۱۱].

по нь вид, ніж вається, уже ясно виражається принаближеність ви сталогом знаку начал до всей совокупности элементов, для которых известно с достоверностью. На этот раз я в желаньи предпринял вывести общую систему элементов. Вот эта таблица.

		TI=50	Zr=90	?=150.
		V=51	Nb=94	Ta=152.
		Cr=52	Mo=96	W=156.
		Mn=55	Ru=104,4	Pt=197,4
		Fe=56	Ni=104,4	Ir=198.
		Ni=Co=59	Pi=106,6	Os=199.
		Cu=63,5	Ag=108	Hg=200.
H=1				
Be=9,4	Mg=24	Zn=65,2	Cd=112	
B=11	Al=27,4	?=68	U=116	Au=197,7
C=12	Si=28	?=70	Su=118	
N=14	P=31	As=75	Sb=122	Bi=210
O=16	S=32	Se=79,6	Te=128?	
F=19	Cl=35,5	Br=80	I=127	
Li=7	Na=23	K=39	Rb=85,4	Cs=133
		Ca=40	Sr=87,6	Ba=137
		?=45	Ce=92	
		Th=90	La=94	
		Y=72,6	Er=162	
		Th=72,6	Th=139?	

в которой предположили в разных рядах видеть различие величин равностей, что было не лишним ввиду произвольной таблицы. Не во всем я проследил при составлении системы очень много недостатков чужих. То в другом мне нечего. Мне кажется, однако, наиболее естественным считать в таблице поперек (горизонтально ось горизонтальной), но в вертикали для обозначения не только в выделенных результатах. Следующие две таблицы могут показывать по разному образам основателей, какие возможны при допущении основного начала, поставленного в этой статье.

Li	Na	K	Ce	Rb	Ag	Cs	—	Tl
B	Al	—	—	—	—	—	—	—
C	Si	—	—	—	—	—	—	—
N	P	—	—	—	—	—	—	—
O	S	—	—	—	—	—	—	—
F	Cl	—	—	—	—	—	—	—
19	35,5	39	80	85	108	133	137	204

یکی از اولین جدول‌های تناوبی از کتاب «اصول شیمی» مندلیف سال ۱۸۶۹

- Lithium
- Sodium
- Potassium
- Chlorine
- Bromine
- Iodine
- Gallium

- Scandium
- Germanium
- Henry Moseley
- Edwin Drake
- Oxygen
- Nitrogen
- Helium

مهمی داشته‌اند. علم اندازه‌شناسی یا مترولوژی نقش بسیار مهمی در پیشرفت علمی و افزایش دقت در اندازه‌گیری‌ها دارد؛ به گونه‌ای که دانشمندان برجسته به اهمیت آن پی برده‌اند و حتی در نهادهایی مانند دفتر بین‌المللی اوزان و مقیاس‌ها^۲ مسئولیت‌های مدیریتی بر عهده داشته‌اند.

علم اندازه‌شناسی شامل تعریف پارامترها، توسعه، نگهداری و کاربرد استانداردهای اندازه‌گیری است و به سه شاخه‌ی اصلی تقسیم می‌شود [۱۳، ۱۴]:

مترولوژی علمی (یا بنیادین)

به تعیین واحدهای اندازه‌گیری، تعریف ثابت‌های فیزیکی، و توسعه روش‌های نوین اندازه‌گیری می‌پردازد.

مترولوژی صنعتی (یا کاربردی)

دقت اندازه‌گیری‌ها را در فرآیندهای تولید، مهندسی و کنترل کیفیت تضمین می‌کند.

مترولوژی قانونی

مربوط به اندازه‌گیری‌هایی است که بر تجارت، سلامت عمومی، ایمنی و اجرای قوانین تأثیر می‌گذارد؛ مانند ترازوهای فروشگاهی، پمپ‌های سوخت، و تجهیزات پزشکی

مندلیف در طول زندگی خود، جوایز متعددی کسب کرد: جایزه دمیدوف^۳ (۱۸۶۲)، مدال دیوی^۴ (۱۸۸۲) و مدال کاپلی^۵ (۱۹۰۵). اما سوالی ایجاد می‌شود؛ دانشمند برجسته‌ای که به دلیل تدوین آرایش تناوبی عناصر شیمیایی و ایجاد جدول تناوبی مشهور است، چرا هرگز جایزه نوبل را دریافت نکرد؟ او که در زمان اهدای شش جایزه اول نوبل شیمی زنده بود، در سال ۱۹۰۵ نامزد جایزه نوبل شد اما آدولف فون بایر^۶ این جایزه را دریافت کرد. در سال ۱۹۰۶، بار دیگر نامزد شد، اما علی‌رغم حمایت شدید برخی از اعضای کمیته، آنری مويسان^۷ این جایزه را دریافت کرد. بررسی‌ها نشان می‌دهند که بعضی از دانشمندان مانع مهمی برای دریافت جایزه نوبل مندلیف بوده‌اند زیرا معتقد بودند دستاورد مندلیف بسیار قدیمی است. طبق وصیت‌نامه آلفرد نوبل^۸ «کسانی که در سال گذشته بیشترین سود را به بشریت رسانده‌اند» واجد شرایط دریافت این جایزه‌اند لذا بنیاد نوبل، این اجازه را می‌دهد تا اکتشافات قدیمی در صورتی که اهمیتی جدید کسب کنند نیز در نظر گرفته شوند. اکتشاف گازهای نجیب در سال ۱۹۰۴ و تعیین جایگاه آن‌ها در جدول تناوبی، اهمیت جدول تناوبی را بیش از پیش روشن کرد. تناوب خواص شیمیایی و فیزیکی حتی برای این گروه از عناصر

که آن‌ها معتقد بودند جای یک دانشمند در آزمایشگاه است اما او اینگونه به آن‌ها پاسخ داد «اولا شیمی‌دان بودن، لزوماً به معنای دوری از گیاهان و کارخانه‌ها و نقش آن‌ها در کشور و در نتیجه مشکلات اقتصادی مرتبط نیست. دوم، راه‌حل واقعی و درست مشکلات اقتصادی در آینده تنها از طریق به‌کارگیری روش‌های تجربی استفاده‌شده در علوم طبیعی، که شیمی یکی از مهم‌ترین محورهای آن است، قابل انتظار است. سوم، نه تنها باید نظرات اقتصاددانان شنیده شود بلکه نظرات سایر کارشناسان نیز می‌باید در نظر گرفته شود.»

دهه ۱۹۰۷-۱۹۰۰: سال‌های پایانی

در سال‌های ۱۷۹۰-۱۹۰۰، اوضاع سیاسی در روسیه باعث ناآرامی‌هایی در فضای دانشگاهی یعنی اعتراضات یا جنبش‌های دانشجویی شد که می‌توانست فضای استرس‌آوری را ایجاد کند. بنابراین او در مارس ۱۸۹۰ تصمیم گرفت از سمت خود استعفا دهد. یکی از علوم مورد توجه مندلیف، اندازه‌گیری و مترولوژی بود. او معتقد بود «علم از لحظه‌ای آغاز می‌شود که مردم شروع به اندازه‌گیری می‌کنند. علم دقیق بدون اندازه‌گیری غیرقابل تصور است.» در نوامبر ۱۸۹۲، او توسط وزیر دارایی وقت روسیه، مسئول نظارت بر اندازه‌گیری‌ها شد. این نقش بسیار مهم بود زیرا در اواخر قرن نوزدهم، مترولوژی برای دولت روسیه، به ویژه برای تجارت، صنعت و علم اهمیت فزاینده‌ای پیدا کرده بود. مندلیف پس از تصدی سمت خود، بر ایجاد نمونه‌های جدید برای اندازه‌گیری، مانند طول و وزن، تمرکز کرد. او با دقت این استانداردهای جدید را با استانداردهای اروپایی موجود مقایسه کرد تا از دقت و سازگاری آن‌ها اطمینان حاصل کند. در سال ۱۸۹۳ مدیر اداره‌ی بین‌المللی اوزان و مقیاس‌ها شد و تا پایان عمر در این پست باقی ماند [۱۱].



مندلیف در اتاق کار خود در دفتر اوزان و مقیاس‌ها

شایان ذکر است دانشمندان متعددی در قلمرو علم اندازه‌گیری اوزان و مقیاس‌ها (مترولوژی) از جمله ایزاک نیوتون^۱، دستاوردهای

1. Isaac Newton

2. Bureau International des Poids et Mesures

3. Demidov Prize

4. Davy Medal

5. Copley Medal

6. Adolf von Baeyer

7. Henri Moissan

8. Alfred Bernhard Nobel

ویلهم شیله^{۱۰}، شیمیدان دارویی سوئدی که در کشف چندین عنصر از جمله کلر^{۱۱}، مولیبدن^{۱۲}، تنگستن^{۱۳} و اکسیژن^{۱۴} نقش داشت، یونس یاکوب برسلویس^{۱۵}، شیمیدان سوئدی، کاشف سلنیوم^{۱۶}، سیلیسیوم^{۱۷}، توریم^{۱۸} و سریم^{۱۹} و از بنیان‌گذاران روش‌های نوین نام‌گذاری شیمیایی. ویلیام رمزی^{۲۰}، شیمیدان اسکاتلندی نیز گازهای نجیب آرگون^{۲۱}، کریپتون^{۲۲}، نئون^{۲۳}، زنون^{۲۴} و رادون^{۲۵} را کشف کرد که البته این کشف، بعد از نشر جدول تناوبی توسط مندلیف رخ داد.

در دوران اسلامی، کیمیا به‌عنوان دانشی معتبر مورد مطالعه قرار گرفت و دانشمندان ایرانی مانند زکریای رازی، تکنیک‌های پیشرفته‌ای برای شناسایی مواد و ترکیبات شیمیایی ابداع کردند. آنان همچنین تجهیزات دقیق آزمایشگاهی برای تجزیه و تحلیل مواد ساختند. با گذشت زمان و کاهش نفوذ مکتب کیمیاگری، روش‌های علمی جدید جایگزین باورهای سنتی شد، اما میراث علمی ایرانیان در این حوزه تأثیر خود را در پیشرفت دانش شیمی باقی گذاشت. ابن سینا در رساله خود، دیدگاه انتقادی نسبت به کیمیاگری داشت و عقیده داشت که فلزات قابل تبدیل به یکدیگر نیستند. خواجه نصیر الدین طوسی نیز یکی از دانشمندان بود که نظریه تکوین فلزات از گوگرد^{۲۶} و جیوه^{۲۷} را پذیرفته و در آثار خود به بررسی ویژگی‌های مواد پرداخته است (۵). ابوریحان بیرونی در کتاب *الجماهر فی الجواهر* به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی فلزات مختلف اشاره کرده و اطلاعات دقیقی از خواص آن‌ها به دست آورده و نقش این عناصر را در فرآیندهای شیمیایی مورد بررسی قرار داده است. او در فصل دوم این کتاب به شرح زئبق (جیوه) پرداخته و به بررسی فلزات هفت‌گانه یعنی طلا^{۲۸}، نقره^{۲۹}، مس^{۳۰}، آهن^{۳۱}، قلع^{۳۲}، سرب^{۳۳} و خار صینی (نام باستانی عنصر روی^{۳۴} که بیرونی آن را برخلاف باور آن دوران به عنوان یک فلز خالص نام برد) می‌پردازد [۱۵].

سهم تمدن‌های مختلف، از جمله ایران، در توسعه دانش شیمی و شناخت عناصر انکارناپذیر است. در تاریخ، ایران یکی از مراکز مهم علم و دانش بوده است و بازگشت به جایگاه علمی تمدنی آن، نیازمند ایجاد گفتمانی عمیق در جامعه است که به گسترش مرزهای دانش و توسعه علمی ملی و بین‌المللی منجر شود.

که در زمان فرموله شدن قانون تناوبی کاملاً ناشناخته بودند، برقرار بود. با این حال، انتقادات قبلی مندلیف از نظریه‌های آرنیوس^۱، به خصوص نظریه تفکیک نیز ممکن است در این مخالفت نقش داشته باشد [۷].

نهایتاً مندلیف در دوم فوریه‌ی سال ۱۹۰۷ در سن ۷۲ سالگی بر اثر بیماری آنفولانزا از دنیا رفت. بیاس خدمات علمی مندلیف، هم اکنون جایزه بین‌المللی مندلیف با همکاری یونسکو-روسیه در علوم پایه تعریف شده است^۲.

این جایزه برای بزرگداشت میراث دیمتری مندلیف، مبدع آرایش سیستمی جدول تناوبی عناصر، در سال ۲۰۲۱ میلادی از طریق همکاری بین یونسکو (سازمان آموزشی، علمی و فرهنگی ملل متحد) و فدراسیون روسیه با هدف ارتقاء برتری در علوم پایه و علوم بنیادی و گرامیداشت تأثیر مندلیف بر علم، به‌ویژه در توسعه جدول تناوبی، و تشویق تحقیقات علمی پیشرفته، تاسیس شده است؛ این جایزه به دانشمندی از سراسر جهان که دستاوردهای برجسته و اصیلی در علوم پایه داشته‌اند اعطا می‌شود. این دستاوردها می‌باید به پیشبرد درک ما از قوانین طبیعی و توسعه علمی جهانی کمک کنند. جایزه مندلیف شامل جایزه نقدی، مدال و گواهی می‌باشد که مشارکت دریافت‌کننده در علوم پایه را تأیید می‌کند. جایزه‌ای که به‌ویژه به اهمیت همکاری‌های علمی جهانی در قلمرو علوم پایه توجه دارد.

جمع‌بندی

دیمتری مندلیف، دانشمندی است که به دلیل معرفی آرایش سیستمی جدول تناوبی عناصر شهرت دارد. کار مندلیف در سال ۱۸۶۹ پیشگامانه بود، زیرا روشی سیستمی برای سازماندهی عناصر شیمیایی شناخته شده بر اساس خواص آنها ارائه کرد. این جدول نه تنها امکان درک عناصر موجود را می‌داد بلکه پیش‌بینی کشفیات آینده را ممکن می‌ساخت. کشف عناصر شیمیایی نتیجه تلاش جمعی دانشمندان در سراسر جهان، از دوران باستان تا به امروز است. برخی از مهم‌ترین آنها عبارت‌اند از همفری دیوی^۳، الکترو شیمیدان بریتانیایی که عناصر سدیم^۴، پتاسیم^۵، کلسیم^۶، منیزیم^۷، استرانسیم^۸ و باریم^۹ را با استفاده از الکترولیز کشف کرد، کارل

1. Svante Arrhenius	11. Chlorine	23. Neon
2. UNESCO-Russia Mendeleev International Prize in Basic Science	12. Molybdenum	24. Xenon
3. Humphry Davy	13. Tungsten	25. Radon
4. Sodium	14. Oxygen	26. Sulfur
5. Potassium	15. Jöns Jakob Berzelius	27. Mercury
6. Calcium	16. Selenium	28. Gold
7. Magnesium	17. Silicon	29. Silver
8. Strontium	18. Thorium	30. Copper
9. Barium	19. Cerium	31. Iron
10. Carl Wilhelm Scheele	20. William Ramsay	32. Tin
	21. Argon	33. Lead
	22. Krypton	34. Zinc

1. Encyclopaedia Iranica. (n.d.). Elements.
<https://iranicaonline.org/articles/elements>
2. Scerri, E. (2007, April 12). Mendeleev's legacy: The periodic system. Science History Institute.
<https://www.sciencehistory.org/stories/magazine/mendelevs-legacy-the-periodic-system>
3. Dizdaroglu, M. (2024, February 7). Henry Moseley: A patriotic scientist who changed the periodic table — and then went off to war. National Institute of Standards and Technology (NIST).
<https://www.nist.gov/blogs/taking-measure/henry-moseley-patriotic-scientist-who-changed-periodic-table-and-then-went-war>
4. Pelta-Heller, Z. (2018, January 19). Braving the elements: Why Mendeleev left Russian soil for American oil. Science History Institute.
<https://www.sciencehistory.org/stories/magazine/braving-the-elements-why-mendeleev-left-russian-soil-for-american-oil/>
5. Beigbabapour, Y. (n.d.). Post No. 75. Retrieved from <https://yosefbeigbabapour.blogfa.com/post/75/>
6. Bureau International des Poids et Mesures (BIPM)
<https://www.bipm.org>
7. National Institute of Standards and Technology (NIST)
<https://www.nist.gov>

منابع

1. Rouvray, D. H. (2004). Elements in the history of the periodic table. *Endeavour*, 28(2),69-74..
2. Hagi, A., Javarashkian, A., & Bolkhari Ghehi, H. (2017). The historical roots of the concept and instance of “Materia Prima” and the “First Emanation” in Greek philosophy. *History of Philosophy*, 7(4),1-20.
3. Holmyard, E. J. (1990). *Alchemy*. Dover Publications.
4. Pormann, P. E. (2013). Qualifying and quantifying medical uncertainty in 10th-century Baghdad: Abu Bakr al-Razi. *Journal of the Royal Society of Medicine*, 106(9),370-372..
5. Rāzī, M. b. Z. (1970). *Al-Asrar* (H. Sheibani, Trans.). Tehran: University of Tehran.
6. Rāzī, M. b. Z. (1967). *Al-Madkhal al-ta'limī: A guide to the art of alchemy* (H. Sheibani, Trans.). Tehran: University of Tehran.
7. Giunta, C. J. (2017). Dmitri Mendeleev's Nobel-prize-losing research. In *The posthumous Nobel prize in chemistry, volume 1: Correcting the errors and oversights of the Nobel Prize Committee* (pp. 31–49). American Chemical Society.
8. Chapman, K. (2018). The oganesson odyssey. *Nature Chemistry*, 10(7),796.
9. Nelson, F. (2024). How Japan took the lead in the race to discover element 119. *ACS Central Science*,10(9),1669-1673.
10. Hisamatsu, Y., Egashira, K., & Maeno, Y. (2022). Ogawa's nipponium and its re-assignment to rhenium. *Foundations of Chemistry*, 24(1),15-57..
11. Dmitriev, I. S. (2012). The soul's despairing cry. *Science First Hand*, 32(2),52-70..
12. Shiltsev, V., & Shiltseva, E. V. (2020). Dmitrii Ivanovich Mendeleev (1834–1907): The periodic table and beyond (No. FERMILAB-CONF-031-20-AD-APC). Fermi National Accelerator Laboratory (FNAL), Batavia, IL, United States.
13. Davis, R. (2003). The SI unit of mass. *Metrologia*, 40(6),299-305..
14. Pavese, F. (1981). The use of triple point of gases in sealed cells as pressure transfer standards: Oxygen (146.25 Pa), methane (11,696 Pa) and argon (68,890 Pa). *Metrologia*, 17(2),35-43..
15. Foundation for the Islamic Encyclopedia. (n.d.). *Encyclopaedia of the World of Islam*, entry “Mineralogy (Abu Rayhan al-Biruni),” No. 2455.

نگاهی به تاریخچه باغ‌های گیاه‌شناسی و فلور ایران

مصطفی اسدی

بخش تحقیقات گیاه‌شناسی مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور

assadi@rifr-ac.ir

نامه علوم پایه شماره ۱۵، بهار و تابستان ۱۴۰۴

چکیده

تاریخچه باغ‌های گیاه‌شناسی به زمان‌های قدیم و قبل از میلاد مسیح برمی‌گردد، به زمانی که تئوفراستوس در یونان قدیم در محوطه‌هایی به نام لیستوم گیاهان را به عموم آموزش می‌داد و در ضمن خود روی آنها تحقیق می‌کرد. در ایران اولین باغ گیاه‌شناسی در سال ۱۳۱۰ توسط ژولین گوتیه فرانسوی در دانشکده کشاورزی فعلی دانشگاه تهران احداث شد که بعد با همت دکتر اروین گائوبا، مرحوم دکتر اسفندیار اسفندیاری و مرحوم دکتر حبیب‌الله ثابتی در مقاطع مختلف توسعه و تکمیل یافت. این باغ در حال حاضر مورد استفاده آموزشی دانشجویان قرار می‌گیرد. بعد از آن باغ‌های گیاه‌شناسی چندی در دانشگاه تهران، در نوشهر، در محله وصف نار تهران، در منطقه چیتگر و اخیراً در کاشان و خرم‌آباد احداث شده که در حال حاضر باغ گیاه‌شناسی ملی ایران و باغ گیاه‌شناسی نوشهر توسعه یافته و با باز شدن به عموم طبقات مردم به وظایف خود به عنوان باغ گیاه‌شناسی عمل می‌کنند. فلور ایران نیز مثل باغ‌های گیاه‌شناسی تاریخچه‌ای طولانی دارد و به سال ۱۸۸۸ میلادی بر می‌گردد، زمانی که ادموند بواسیه فلور شرقی (Flora Orientalis) را در پنج جلد و یک متمرک به چاپ رساند، که ایران را نیز در می‌گرفت. بعد از آن فلور ایران به زبان فرانسه توسط دکتر احمد پارسا چاپ شد و سپس فلورا ایرانیکا (Flora Iranica) به زبان لاتین به مدیریت پروفیسور کارل هاینز رشینگر چاپ شد که ایران را نیز شامل می‌شود. فلورهای دیگری نیز چاپ شده که در قالب فلورهای امروزی نیست و یا ناتمام مانده است. در سال ۱۳۶۷ طرح نگارش فلور ایران در موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور به تصویب رسید. در این طرح که مجری مسئول و سر ویراستار آن دکتر مصطفی اسدی بود، طرح طوری تنظیم شد که همه پژوهشگران شامل دانشجویان بتوانند در آن مشارکت کنند. این طرح در سال ۱۴۰۴ بعد از ۳۶ سال به سر انجام رسید. در کل ۹۳ نفر در طرح مشارکت داشتند و مجموعه فلور در ۱۸۴ شماره اصلی و یک متمرک به چاپ رسید. در مجموعه فلور ایران که به زبان فارسی است، ۱۷۷ تیره گیاهی، ۱۳۰۳ جنس، ۷۳۷۱ گونه، ۶۸۱ زیرگونه و ۴۸۱ واریته در جمع ۸۵۳۳ آرایه از کشور ایران تشخیص داده شده که ویژگی‌ها، منطقه انتشار در ایران و دنیا به همراه نقشه‌های انتشار آنها در ایران، توضیح داده شده است. در فلور ایران ۱۹ جنس و در مجموع ۲۳۹۰ آرایه انحصاری شامل گونه، زیرگونه و واریته از ایران معرفی شده است. با این ترتیب ۲۸ درصد آرایه‌های شناخته‌شده در ایران انحصاری ایران اند بدین معنی که از جای دیگر دنیا شناخته نشده‌اند.

کلید واژگان: ایران، باغ‌های گیاه‌شناسی، باغ گیاه‌شناسی ملی ایران، هرباریوم، فلور ایران

باغ‌های گیاه‌شناسی

مقدمه

تئوفراستوس به پیروی از ارسطو که اقدام به احداث باغ آموزشی به نام لیستوم نمود، با کاشت گیاهان در محوطه باغ، آموزش گیاهان را به صورت اختصاصی و عمومی برای عموم طبقات مردم انجام می‌داد. بنابراین از همان ابتدا برای آموزش توده مردم اهمیت خاصی قایل بودند. خوب است که اهمیت چنین دوره‌های آموزشی را در رفتار توده مردم به طبیعت در گذر زمان مد نظر داشته باشیم و از آنجایی که در نهایت توده مردم هستند که بایستی حافظ منابع طبیعی باشند، اهمیت چنین آموزش‌هایی در گذر زمان در رفتار انسان نسبت به طبیعت تاثیر گذار است. در این لیستوم‌های تاسیس‌یافته علاوه بر این، پژوهش در خصوص گیاهان نیز مد نظر بود و شخص تئوفراستوس به ریخت‌شناسی گیاهان، قرابت گیاهان، اکولوژی،

باغ‌های گیاه‌شناسی در طول تاریخ بسته به نیاز به شکل‌های مختلف و با اهداف مختلفی تاسیس شده‌اند و بنابراین در دوره‌های مختلف وضعیت آنها متفاوت بوده است. تاریخ احداث باغ‌ها به مصر و میان‌رودان (بین‌النهرین) باستان برمی‌گردد. در بابل کتیبه‌ای موجود است که طراحی باغی را نشان می‌دهد با احداث استخر ذخیره آب در بالا و درختکاری در پائین که درختان آن به نخل و سرو شیراز شبیه است و به صورت ردیفی مثل باغ ارم شیراز کاشته شده‌اند. در یونان باستان و در دوره قبل از میلاد مسیح دانشمندانی مثل ارسطو و تئوفراستوس پدیده‌های طبیعی را بررسی می‌نمودند. تئوفراستوس که به پدر علم گیاه‌شناسی شهرت یافته را می‌توان از پایه‌گذاران علم گیاه‌شناسی و باغ‌های گیاه‌شناسی معرفی نمود.

در مدرسه عالی فلاحت در کرج را عهده‌دار بود، اقدام به احداث باغ گیاه‌شناسی نمود و دکتر اسفندیار اسفندیاری با او همکاری داشت (شکل ۱). در سال ۱۳۱۱ دکتر اروین گائوبا به ریاست مدرسه عالی فلاحت منصوب که تخصص گیاه‌شناسی داشت و به توسعه باغ گیاه‌شناسی همت گماشت؛ همچنان دکتر اسفندیاری با ایشان همکاری داشت. ایشان در سال ۱۳۱۴ جهت تکمیل تحصیلات به اتریش اعزام شده، و دکتر حبیب‌الله ثابتی زیر نظر دکتر گائوبا به توسعه باغ ادامه دادند. دکتر ثابتی به همراه دکتر گائوبا طی مسافرت‌های زیاد به نقاط مختلف ایران، گیاهان زیادی به مجموعه باغ اضافه کردند. در سال ۱۳۱۵ مهندس عین‌الله بهبودی مسئولیت باغ را عهده‌دار شده، همراه با دکتر ثابتی زیر نظر دکتر گائوبا همچنان به توسعه و تکمیل باغ همت نهادند. در سال ۱۳۲۴ مدرسه عالی فلاحت با نام دانشکده کشاورزی از وزارت کشاورزی جدا شده، به دانشگاه تهران ملحق شد. دکتر اسفندیاری و مهندس بهبودی در وزارت کشاورزی باقی ماندند و از این به بعد تا سال ۱۳۴۶ مسئولیت باغ در دوره‌های مختلف بر عهده دکتر ثابتی بود. باغ مذکور، مشهور به باغ بوتانیک، در تمامی دوره‌ها پس از تأسیس به عنوان یک باغ آموزشی مورد استفاده دانشجویان بوده، هم اینک نیز ورود برای دانشجویان آزاد است و به فعالیت‌های خود ادامه می‌دهد.

فیزیولوژی و تکثیر گیاهان توجه خاصی داشت، بنابراین او اولین فردی است که طبقه‌بندی خاصی برای گیاهان ارائه نمود. بعد از تئوفراستوس تا حدود ۵۰۰ سال بعد از میلاد مسیح، مطالعه گیاهان بیشتر از نظر مصرف دارویی مد نظر بود و سپس به تدریج این قبیل مطالعات برای مدت طولانی متوقف شد تا این که به هنگام افول پیشرفت‌های علمی در اروپا در ایران، ترکیه و اسپانیا با احداث باغ‌های گیاهان دارویی و زینتی معرفی گیاهان و مصارف آنها رونق یافت و در این دوره چهارباغ‌های ایرانی در کشورهای اسلامی توسعه پیدا کرد. در دوره رونسانس مجدد آموزش و پژوهش در خصوص گیاهان در کشورهای اروپایی رونق یافت و اولین باغ گیاه‌شناسی که تا حدودی شبیه باغ‌های گیاه‌شناسی امروزی بود در سال ۱۵۴۴ در پیزا تأسیس شد. به دنبال احداث باغ‌های گیاه‌شناسی اولین هرباریوم نیز در همین دوره در شهر پیزا تأسیس شد. در سایر کشورهای اروپایی به تدریج باغ‌های گیاه‌شناسی شکل گرفت و از طرف دیگر کتاب‌هایی در خصوص گیاهان بنام هربال چاپ می‌شد که در آنها گیاهان معرفی می‌گردیدند.

باغ‌های گیاه‌شناسی در ایران

باغ بوتانیک دانشکده کشاورزی

در سال ۱۳۱۰ ژولین گوتیه فرانسوی که تدریس درس گیاه‌شناسی



شکل ۱: نخستین استادان مدرسه عالی فلاحت و صنایع روستایی ۱۳۰۸ شمسی
نشسته ها از راست به چپ: دکتر جلال افشار (بنیان‌گذار موزه ی جانور شناسی و حشره شناسی پردیس)، دکتر پرالما فرانسوی، احمد حسین عدل (جغرافیای فلاحی و اقلیم)، مصطفی قلی بیات (معلم زراعت بنیان‌گذار کشاورزی نوین و بانی الحاق مدرسه به وزارت فواید عامه با کشاورزی)، لویی فرانسوی (داروساز و رئیس موسسه سرم سازی)، محمد معظاظر صدیقی (معلم اقتصاد و قانون)، دکتر مرتضی گلبرخی (معلم درس دامپزشکی)، ایستاده ها از راست به چپ: دکتر محمود معاضد (معلم شیمی)، دکتر تقی پیرامی (معلم درس دامپزشکی)، میر خانی، دکتر اسفندیار اسفندیاری (گیاه شناس) فاشناس و رحمت ا... شیبانی.

باغ گیاه‌شناسی نوشهر

در سال ۱۳۳۶ دکتر ثابتی به عنوان رئیس سازمان اکولوژی نوشهر، قطعه زمینی را در نوشهر برای احداث آربروتوم^۱ جهت کاشت درختان اختصاص داد. درختان زیادی در این باغ کاشته شد و کارهای زیر بنایی ضروری به مرحله اجرا در آمد. با انتقال

باغ گیاه‌شناسی دانشگاه تهران

در سال ۱۳۲۵ در دانشگاه تهران در محل فعلی مسجد دانشگاه قطعه زمینی جهت احداث باغ گیاه‌شناسی اختصاص یافت و دکتر ثابتی به کاشت تعدادی از گونه‌های گیاهی اقدام کردند، لیکن به دلایل مختلف توسعه آن متوقف و مسجد دانشگاه در آن برپا شد

باغ گیاه‌شناسی ملی ایران

در تاریخ ۱۳۴۷/۷/۱۷ فرمان احداث باغ گیاه‌شناسی به منظور آشنا ساختن مردم به خصوص نوباوگان، دانش‌آموزان و دانشجویان به گیاهان کشور و جهان توسط شاه صادر شد تا هیئت امنای باغ با شرکت وزیر منابع طبیعی، وزیر علوم و آموزش عالی، رئیس دانشگاه تهران و ۵ نفر از صاحب‌نظران تشکیل شود. باغ گیاه‌شناسی زیر نظر وزارت منابع طبیعی اداره شود. فاطمه پهلوی به عنوان رئیس هیئت امنای انتصاب یافتند. بدنبال تشکیل هسته اولیه هیئت امنای، دکتر محمد حسین جزیره‌ای به عنوان دبیر هیئت امنای و ۵ نفر از صاحب‌نظران شامل آقایان دکتر اسفندیار اسفندیاری، دکتر حبیب‌الله ثابتی، دکتر علی زرگری، دکتر زین‌العابدین ملکی و لیلا امامی بعنوان اعضای هیئت امنای برگزیده شدند. هیئت امنای محل باغ را در زمین‌های چیتگر به مساحت ۱۰۰ هکتار مشخص کرده، دکتر ثابتی به عنوان رئیس باغ منصوب شدند. عملیات عمرانی باغ در سال ۱۳۴۸ آغاز گردید. همچنین از این نظر که تصور می‌شد هرباریوم جزء جدانشدنی باغ است، هرباریوم مرکزی ایران نیز از سال ۱۳۴۹ پایه‌گذاری گردید. هم‌اکنون باغ گیاه‌شناسی ملی ایران با وسعت ۱۵۰ هکتار به فعالیت‌های خود ادامه می‌دهد و بازدیدکنندگان زیادی همه روزه از آن بازدید می‌کنند و باغ نقش خود را به عنوان محل آموزش گیاهان به عموم مردم مثل همه باغ‌های گیاه‌شناسی دنیا به خوبی ایفا می‌نماید. علاوه بر این محیط مناسبی در جهت اعتلای دانش گیاهان فراهم شده و از این نظر نیز رسالت خود را بخوبی انجام می‌دهد (شکل ۲ و ۳). از دیگر باغ‌های اقماری باغ گیاه‌شناسی ملی ایران می‌توان از باغ گیاه‌شناسی کاشان به مساحت ۲۵ هکتار نام برد که در حال حاضر برای گروه‌های دانشجویی، دانش‌آموزی و غیره قابل استفاده است؛ همچنین باغ گیاه‌شناسی زاگرس به مساحت ۱۲ هکتار در شهر خرم‌آباد (شکل ۶) که در مرحله آماده‌سازی و توسعه و تکمیل است (۱). علاوه بر باغ‌های یاد شده باغ‌های گیاه‌شناسی دزفول، یزد و همدان نیز از باغ‌های اقماری باغ گیاه‌شناسی ملی ایران هستند.



شکل ۴: گل‌های داوودی در باغ گیاه‌شناسی ملی ایران.

دکتر ثابتی به دانشگاه تهران افراد چندی مسئولیت آربورتوم را عهده‌دار گردیدند که گاهی با به کارگیری افراد غیرمتخصص، توسعه باغ را کم می‌شد. نام آربورتوم متعاقباً به باغ اکولوژی نوشهر و سپس باغ گیاه‌شناسی نوشهر تبدیل یافت. در حال حاضر باغ جزو مجموعه شبکه باغ‌های گیاه‌شناسی کشور است و زیر نظر مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور اداره می‌شود. در چند سال اخیر پیشرفت‌های خوبی با همت دکتر حبیب زارع (گیاه‌شناس) و همکاران ایشان در جهت توسعه و تکمیل باغ انجام یافته، باغ گیاه‌شناسی بر روی عموم طبقات جهت بازدید باز است و علاوه بر این گاهی در زمان مناسب نمایشگاه گل‌های ثعلب برپا می‌شود که در جذب عموم طبقات مردم به باغ، نقش موثری دارد. مساحت باغ حدود ۳۵ هکتار بوده، حدود ۲۰۰۰ گونه گیاهی دارد.



شکل ۲: باغ گیاه‌شناسی نوشهر.



شکل ۳: باغ گیاه‌شناسی نوشهر.

باغ نباتات محمد ولی فرمانفرمایان

در سال ۱۳۴۴ قطعه زمینی در محله نزدیک یافت‌آباد توسط بانو گلناز فرمانفرمایان جهت احداث باغ نباتات وقف دانشگاه تهران شد. این محل که فاصله زیادی از دانشگاه تهران داشت، در سال ۱۳۴۴ پیشرفت خوبی نداشت تا این که در سال ۱۳۴۵ دکتر ثابتی به عنوان مسئول آن انتخاب شد. در فاصله کوتاهی درختان زیادی در باغ کاشته شد، لیکن در سال ۱۳۴۸ به دلیل این که نیاز دانشگاه تهران را تأمین نمی‌کرد، توسعه آن متوقف و گیاهان آن در سال ۱۳۴۹ با موافقت دانشگاه تهران به محل فعلی باغ گیاه‌شناسی ملی ایران منتقل شد.

۱- فلور شرق (Flora Orientalis)

این فلور توسط ادموند بواسیه^۱ (۲) در سال‌های ۱۸۶۷ تا ۱۸۸۸ در هرباریوم ژنو آماده و چاپ شد و شامل ۵ جلد و یک متمم است. فلور بطور عمده کشورهای جنوب غرب آسیا را شامل می‌شود که ایران را نیز در بر می‌گیرد. این فلور به زبان لاتین است و در واقع با انتشار آن سنگ بنای گیاه‌شناسی کشورهای جنوب غرب آسیا پایه‌ریزی گردید. فلور کلیدهای شناسایی مطابق فلورهای امروزی را ندارد، لیکن نوعی دسته‌بندی گونه‌ها در آن دیده می‌شود که امر شناسایی را آسان می‌سازد.

۱- فلور ایران (Flore de l'Iran)

فلور ایران توسط دکتر احمد پارسا اولین استاد گیاه‌شناسی دانشگاه تهران تهیه و ۵ جلد اصلی آن در سال‌های ۱۹۴۲ تا ۱۹۵۰ توسط دانشگاه تهران چاپ شد (۳). به دنبال آن متمم‌های چندی نیز آماده و به زیور طبع آراسته گردید. فلور فقط محدوده سیاسی ایران را در بر می‌گیرد و به زبان فرانسه است. فلور در واقع اساس آن ترجمه فلور شرق است، لیکن فقط گونه‌های معرفی‌شده از ایران و گونه‌هایی را که در فاصله زمانی چاپ فلور شرق تا زمان تهیه این فلور از ایران معرفی شده بود، به مجموعه فلور اضافه شده است. علاوه بر این دکتر پارسا گونه‌های چندی را خود معرفی و به فلور اضافه کرده است. کلید شناسایی گونه‌ها مثل فلور شرق است.

۳- فلورا ایرانیکا (Flora Iranica)

فلورا ایرانیکا در سال ۱۹۶۳ توسط پروفیسور کارل هاینتز رشینگر^۲ رئیس موزه تاریخ طبیعی وین پایه‌ریزی و آخرین شماره آن یعنی شماره ۱۸۱ در سال ۲۰۱۵ چاپ شد (۴). این فلور علاوه بر ایران کل کشور افغانستان، جنوب پاکستان، شمال عراق، قسمت کوچکی از تالش و شمال کوه کپت‌داغ در ترکمنستان را در بر می‌گیرد. فلور به طور عمده به زبان لاتین است و فقط چند شماره آن به زبان انگلیسی است، بطور معمول هر شماره فلور یک تیره گیاهی را شامل می‌شود. نویسندگان فلور اغلب از بین متخصصین اروپایی انتخاب شده که امروزه نیز تهیه فلور معمولاً کار گروهی است و سعی می‌شود تا آنجا که ممکن است از تخصص‌های مختلف استفاده شود.

۴- رستنی‌های ایران

رستنی‌های ایران توسط دکتر صادق مبین استاد دانشگاه تهران در سال‌های ۱۳۵۴ تا ۱۳۷۵ تهیه و در ۴ جلد دانشگاه تهران آنها را چاپ نمود (۵). فلور کامل نشد و از طرف دیگر فقط شامل کلیدهای شناسایی به زبان فارسی است که محدوده ایران را فقط در برمی‌گیرد.



شکل ۵: نمایی از دریاچه کاسپین در باغ گیاه‌شناسی ملی ایران.



شکل ۶: باغ گیاه‌شناسی زاگرس در حال ساخت.

فلور ایران

مقدمه

کلمه فلور در یونان باستان نام الهه حافظ گل‌ها و گیاهان بوده است ولی در مفهوم فعلی آن به کتاب یا مجموعه کتاب‌هایی گفته می‌شود که گیاهان یک منطقه را توضیح می‌دهد (شکل ۷). کشورهای مختلف دنیا جهت معرفی گیاهان خود اقدام به انتشار فلور می‌نمایند. کشور ایران نیز مستثنی نبوده است و در طول تاریخ فلورهایی منتشر شده که ایران بوده، و یا محدوده وسیع‌تری را شامل می‌شد. در ذیل مختصری به آنها پرداخت می‌شود.



شکل ۷: فلور ایران.

1. arboretum
2. arboretum

۵- فلور رنگی ایران

کار فلور رنگی ایران از سال ۱۳۵۷ توسط دکتر احمد قهرمان شروع شد (۶) و هر جلد آن شامل ۱۲۵ برگ مربوط به ۱۲۵ آرایه شامل گونه و یا زیرگونه و واریته است. یک طرف هر برگ تصویر گیاه و طرف دیگر مشخصات گیاه است. از ویژگی این فلور آن است که با تهیه این قسمت می‌توان برگ‌ها را به هر شکل مثلاً سبیم رده بندی، فلور استانی، گونه‌های درختی و درختچه‌ای، گیاهان داروئی و غیره تنظیم نمود. این فلور بعد از فوت دکتر قهرمان ادامه دارد و تاکنون ۱۹ جلد آن چاپ شده است.

۶- فلور ایران (Flora of Iran)

علی رغم فلورهایی که برای ایران چاپ شده بود، فلور کاملی به زبان فارسی وجود نداشت، بنابراین در سال ۱۳۶۷ طرح تهیه فلور ایران را نویسنده این مقاله به عنوان مجری مسئول ارائه و در موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور به تصویب رسید. در این طرح پیش‌بینی شد که کلیه پژوهشگران واجد پایه لازم جهت فلورنویسی بتوانند در اجرای طرح مشارکت داشته باشند. در ابتدا بنظر رسید چاپ شماره‌ای جهت انجام یکنواخت طرح ضروری است بنابراین یک شماره تحت نام راهنمای فلور ایران منتشر شد (شکل ۸). در کتاب راهنما مشخص گردید فلور به زبان فارسی است ولی سیستم نامگذاری گیاهان به زبان لاتین است. در کتاب راهنما، ریز جزئیات مثل طبقه‌بندی گیاهان به زبان لاتین و مترادف‌ها، شرح گونه‌ها، کلیدهای شناسایی، پراکنندگی جغرافیایی در دنیا و ایران، نمونه‌های دیده شده، مناطق رویشی، بحث و غیره توضیح داده شده است، علاوه بر این برخی ویژگی‌های گیاهان بطور مصور توضیح داده شده که تا حد ممکن فلورها یکنواخت شود (۷).

نیازمندی‌های تهیه فلور

الف: گیاه‌شناس

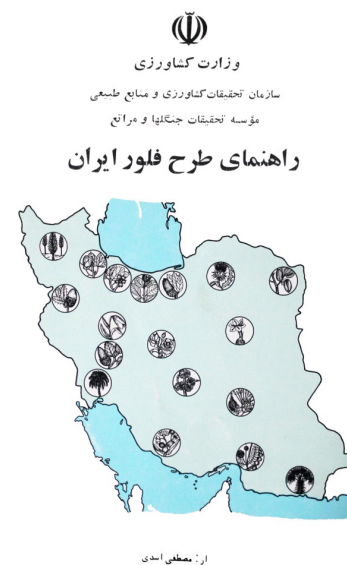
در شروع طرح ۶ نفر گیاه‌شناس از هرباریوم موسسه تحقیقات شرکت داشتند ولی با توجه به ضرورت استفاده از دانش سایر موسسات پژوهشی و آموزشی در تهیه فلور در پایان اجرای طرح در جمع ۹۳ نفر مشارکت داشتند. توضیح این که تعدادی از مشارکت‌کنندگان دانشجویان مقاطع ارشد و دکتری بودند که پایان‌نامه‌های خود را در موضوع فلور انتخاب کرده، سپس تحقیقات خود را ادامه داده تا به اجرای بخشی از فلور منتهی شود. در زیر نام نویسندگان گروه‌های مختلف گیاهی در جدول آورده می‌شود.

ب: هرباریوم

در زمان شروع اجرای طرح فلور هرباریوم مرکزی ایران حدود ۸۵۰۰۰ نمونه گیاهی داشت که به نظر رسید از نظر شروع کافی است. شکل ۷ نمونه شماره ۱ را که در تاریخ ۳۰ فروردین ۱۳۴۹ با نام *Cousinia belangeri* DC. توسط مهندس فروغی مسئول وقت هرباریوم جمع‌آوری شده نشان می‌دهد. شکل ۸ تصویر ۴ نفر از قدیمی‌ترین و موثرترین افراد در توسعه هرباریوم مرکزی ایران را نشان می‌دهد.



شکل ۹: اولین نمونه شماره‌گذاری شده در هرباریوم مرکزی ایران.



شکل ۸: راهنمای طرح فلور ایران.



شکل ۱۰: موثرترین گیاه شناسان در توسعه و تکمیل هرباریوم مرکزی ایران. از راست به چپ دکتر علی اصغر معصومی، دکتر مصطفی اسدی، دکتر زیبا جمزاد و دکتر ولی الله مظفریان.

هرباریوم ایران، هرباریوم دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران دکتر اروین گائوبا و دکتر اسفندیار اسفندیاری بوده‌اند. توضیح این که در مجموع تعداد ۵۴ هرباریوم در بین فهرست هرباریوم‌های ایران ثبت شده است (۱۶) (Index herbariorum on line).

جدول ۱ معروف‌ترین و قدیمی‌ترین هرباریوم‌های ایران را با سال شروع و تعداد نمونه‌ها در حال حاضر نشان می‌دهد. بنیان‌گذاران دو هرباریوم بزرگ ایران شامل هرباریوم مرکزی ایران و موسسه تحقیقات گیاه پزشکی کشور به ترتیب آقای دکتر حبیب‌الله ثابتی و دکتر اسفندیار اسفندیاری بوده‌اند. بنیان‌گذاران قدیمی‌ترین

جدول ۱: هرباریوم‌های غنی و قدیمی ایران.

تعداد نمونه	سال تأسیس	نام هرباریوم
	۱۳۱۲	دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران
۲۰۰۰۰۰	۱۳۲۴	موسسه تحقیقات گیاه پزشکی
	۱۳۳۸	دانشگاه خوارزمی
	۱۳۴۱	دانشکده داروسازی دانشگاه تهران
	۱۳۴۴	دانشگاه اصفهان
۲۲۰۰۰۰	۱۳۴۹	مرکزی ایران (موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور)
	۱۳۶۰	دانشگاه مشهد
	۱۳۶۴	مرکزی دانشگاه تهران

مذکور تصویر برخی نمونه‌های تیپ و یا از نمونه‌هایی هستند که توسط گیاه‌شناسان مختلف شناسایی و در منابع معتبر از آنها ذکر شده است، بنابراین می‌توانند در مقایسه‌ها مورد استفاده قرار گیرند

برخی ویژگی‌های فلور ایران (ضمیمه ۱)

در قسمت ضمیمه ۱ چند صفحه از فلور ایران نشان داده می‌شود که نشان می‌دهد نظم فلور مطابق مطالب زیر است.
- نام تیره‌ها، جنس‌ها و گونه‌ها در کل به زبان انگلیسی و لاتین؛
- توصیف تیره‌ها، جنس‌ها، گونه‌ها و در صورت وجود نام‌های تحت

ج: وجود کتابخانه

در زمان شروع اجرای طرح و هم اکنون غنی‌ترین کتابخانه اختصاصی گیاه‌شناسی در موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع شکل گرفته بود که نیاز گیاه‌شناسان را تامین می‌کرد.

د: تهیه میکروفیش از نمونه‌های گیاهی برخی هرباریوم‌های دنیا

توضیح این که در انجام مطالعات گیاه‌شناسی مطالعه نمونه‌های تیپ که در واقع معیار شناسایی آرایه‌های گیاهی هستند، در شناسایی آرایه‌های صحیح بر کیفیت کار می‌افزاید. میکروفیش‌های

- در مجموعه فلور ایران تعداد ۱۷۷ تیره، ۱۳۰۳ جنس، ۷۳۷۱ گونه، ۶۸۱ زیرگونه و ۴۸۱ واریته تشخیص داده شده است که در جمع ۸۵۳۳ آرایه می‌شود.
- در مجموعه فلور ایران وضعیت ۵۳۸ آرایه مشکوک است.
- در مجموعه فلور ایران تعداد ۱۹ جنس و ۲۳۹۰ آرایه شامل گونه، زیرگونه و واریته انحصاری ایران تشخیص داده شده است.
- در مجموع ۲۸ درصد آرایه‌های گیاهی ایران انحصاری ایران‌اند.
- حدود ۵۰۰ آرایه جدید به علم گیاه‌شناسی اضافه گردید.

گونه به زبان فارسی.

- کلید شناسائی برای کلیه آرایه‌ها
- تعیین محدوده انتشار آرایه‌ها در ایران و دنیا
- ذکر نمونه‌های گیاهی مطالعه شده
- نقشه انتشار گیاهان در ایران

برخی نتایج مرتبط با فلور ایران

- فلوردر ۱۸۴ شماره اصلی و یک جلد متمم منتشر شده است (۸ و ۹)

جدول ۲: جنس‌های انحصاری ایران به همراه نام تیره، استان‌های محل انتشار و ارتفاع از سطح دریا.

نام جنس و گونه	نام تیره	نام استان	ارتفاع از سطح دریا متر
<i>Alococarpum erianthum</i>	Apiaceae	آذربایجان و تهران	۱۲۰۰ تا ۲۴۸۰
<i>Azilia eryngioides</i>	Apiaceae	لرستان و خوزستان	۱۸۲۰ تا ۲۴۰۰
<i>Dicyclophora eryngioides</i>	Apiaceae	فارس، کرمان، خوزستان، بوشهر و هرمزگان	۱۴۰۰ تا ۲۵۰۰
<i>Elburzia fenestrata</i>	Brassicaceae	تهران	۲۲۰۰ تا ۲۲۵۰
<i>Festuca sclerophylla</i> × <i>Lolium sp.</i>	Poaceae	آذربایجان، کرمان، خراسان و تهران	۱۶۰۰ تا ۲۳۰۰
<i>Haussknechtia elymaitica</i>	Apiaceae	بختیاری، کهگیلویه و بویراحمد	۱۵۰۰ تا ۲۵۰۰
<i>Heliocarya monandra</i>	Boraginaceae	اصفهان	۱۵۵۰ تا ۲۰۰۰
<i>Hymenocephalus rigidus</i>	Asteraceae	اصفهان و فارس	حدود ۲۱۰۰
<i>Hypericopsia persica</i>	Frankeniaceae	فارس	۱۳۰۰ تا ۱۷۰۰
<i>Kelussia odoratissima</i>	Apiaceae	بختیاری و اصفهان	۲۵۰۰ تا ۲۸۸۵
<i>Mozaffarinia insignis</i>	Apiaceae	خوزستان و ایلام	۴۰۰ تا ۵۰۰
<i>Opoidea galbanifera</i>	Apiaceae	خراسان	حدود ۱۵۰۰
<i>Opsicarpium insignis</i>	Apiaceae	کردستان	۱۴۵۰ تا ۲۰۰۰
<i>Pseudofortuinya leucoclada</i>	Brassicaceae	اصفهان، یزد و فارس	۲۰۵۰ تا ۳۰۰۰
<i>Sclerochoton haussknechtii</i>	Apiaceae	کردستان	۳۶۰۰ تا ۳۹۰۰
<i>Strassia purpurea</i>	Brassicaceae	اصفهان، تهران و همدان	۱۶۰۰ تا ۲۳۰۰
<i>Zerdana anchonioides</i>	Brassicaceae	اصفهان، یزد و کهگیلویه بویراحمد	۳۰۰۰ تا ۳۴۰۰
<i>Zeugandra iranica</i>	Campanulaceae	کرمانشاه	۱۰۲۰ تا ۲۱۰۰
<i>Zhumeria majdae</i>	Lamiaceae	هرمزگان	۵۰۰ تا ۱۲۰۰

بین زمان تکمیل فلورهای ایران و برخی کشورهای همجوار ذکر می‌شود.

در مجموع، تکمیل فلور ایران ۳۶ سال زمان برد، توضیح این که امروزه طرح‌های تهیه فلور بلندمدت است. در جدول ۳ مقایسه‌ای

جدول ۳: مدت زمان، سال شروع و خاتمه، مجری و سرویراستار برخی فلورهای ایران و کشورهای همجوار.

نام فلور	سال شروع و خاتمه	سال	مجری و سرویراستار
Flora of Turkey (10)	۱۹۶۵-۱۹۸۵	۲۰	P. H. Davis
Flora of the USSR (11)	۱۹۳۴-۱۹۶۰	۲۶	V. L. Komarov
فلور ایران (۸)	۱۳۶۷-۲۰۰۴	۳۷	مصطفی اسدی
Flora of Pakistan (13 و 12)	۱۹۷۰-۲۰۱۴	۴۴	E. Nasir and S. I. Ali
Flora Iranica (4)	۱۹۶۳-۲۰۱۵	۵۲	K. H. Rechinger
Flora Armenia (14)	۱۹۵۴-۲۰۱۰	۵۶	A. Takhtajan
Flora of Iraq (15)	۱۹۶۶ ادامه دارد	۵۹	E. Guest and A. Al-Rawi

تیره فندق

گیاهان درختچه‌ای یا درختی، یکپایه، با جوانه‌های فلس‌دار. برگ‌ها متناوب، ساده، در حاشیه دندانه‌ای، ریزان، با رگه‌های پرماند، گوشوارک‌دار ریزان. گل‌آذین شامل شاتون‌های نر و ماده. شاتون نر آویزان، شامل برگه‌های فلس‌مانند و پرچم‌های قرارگرفته در محور آنها، بدون گلپوش. پرچم‌ها شامل میله خیلی کوتاه اغلب دوشاخه‌ای و بساک؛ بساک یک حجره‌ای، در انتها کرکی. شاتون ماده افراشته یا آویزان، با برگه‌های زیاد و گل‌های ماده قرارگرفته در محور برخی برگه‌ها. تخمدان تحتانی، دوحجره‌ای ناقص، دو تخمکی؛ خامه کوتاه؛ کلاله‌ها بلند و نخی. میوه فندقه، در بر گرفته‌شده با یک برگه گریبانی؛ برگه گریبانی به طور کامل پیوسته، در انتها با بریدگی و یا از یک یا دوطرف به طور کامل تا قاعده شکافته‌شده. فندقه بزرگ یا کوچک، منفرد، کروی یا تخم‌مرغی. دانه کروی یا تخم‌مرغی کشیده، بدون سپیده؛ لپه‌ها بزرگ.

1. Carpinus

۱- برگه گریبانی یکطرف میوه را می‌پوشاند. میوه به طول حدود ۵ میلی‌متر. برگ‌ها با ۱۰ جفت یا به تعداد بیشتر رگه کناری

2. Corylus

۲- برگه گریبانی به طور کامل میوه را می‌پوشاند. میوه به قطر حدود ۱۰ میلی‌متر یا بیشتر. برگ‌ها با حدود ۴ جفت رگه کناری

1. Carpinus L.

درختی یا درختچه‌ای، یکپایه. برگ‌ها متناوب، با گوشوارک ریزان، در حاشیه دو بار دندانه‌ای. جوانه‌های گلدار تخم‌مرغی تا سرنیزه‌ای، قهوه‌ای. شاتون نر آویزان، استوانه‌ای، کرکی، در تمام طول شامل فلس‌های تخم‌مرغی تا سرنیزه‌ای و با حاشیه‌مژه‌ای، در محور فلس‌ها با تعداد زیادی پرچم بدون گلپوش. میله پرچم‌ها کوتاه، دوشاخه و هر شاخه حامل یک بساک؛ بساک‌ها دولوبه‌ای،

تحقیقات پیش‌رو در خصوص فلور ایران

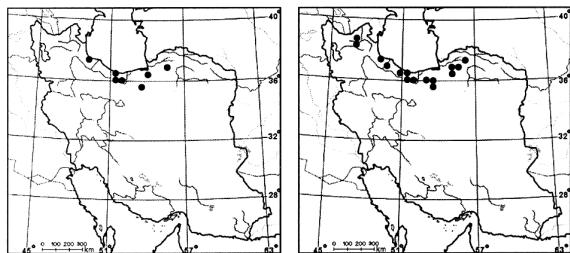
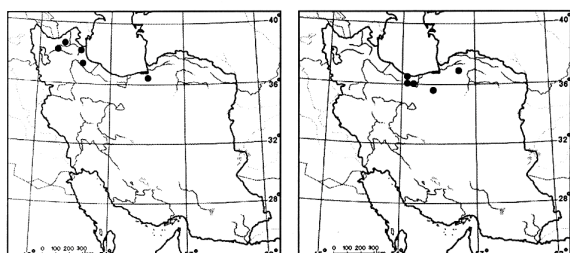
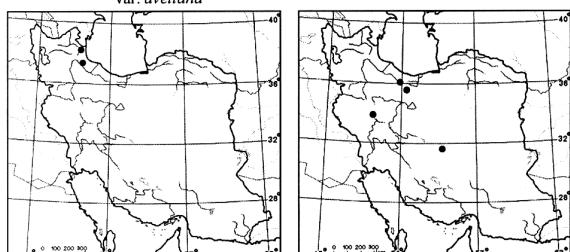
علی‌رغم این که فلور ایران نوشته شده ولی تحقیقات در زمینه فلور ایران باید ادامه پیدا کند. با این که هر بار یوم‌های چندی در ایران تاسیس شده، لیکن هنوز به خصوص در مناطق سخت‌گذر جمع‌آوری نمونه‌های گیاهی باید ادامه پیدا کند، بدیهی است ناشناخته‌های زیادی وجود دارد که بایستی کشف شود. بسیاری از گروه‌های گیاهی است که نیاز به مطالعه و بررسی بیشتر دارند و حداقل در برخی از شماره‌های فلور اشاره شده که گروه نیاز به تحقیقات بیشتر دارد. مطالعات مولکولی که در سال‌های اخیر رایج شده، زمینه‌های پژوهش بیشتر را با این روش فراهم نموده است، لیکن باید در نظر داشت با یک یا چند مطالعه همه حقایق روشن نخواهد شد، به خصوص اگر مطالعات مولکولی همراه با مطالعاتی از قبیل ریخت‌شناسی، کروموزومی، گرده‌شناسی، آناتومی و غیره نباشد. امروزه وبگاه (POWO) Plant of the World on Line بر اساس یک یا چند مقاله فهرستی از نام‌های پذیرفته‌شده و نام‌های مترادف را ذکر می‌نماید. طبیعی است که این فهرست بر خلاف نظر برخی حرف آخر نیست، چه اگر بود نیازی به تحقیقات بیشتر نبود، و بنابراین، همواره باید به فهرست اسامی POWO نگاهی جستجوگرانه داشت. همچنین است در خصوص نام تیره‌ها که تا کنون ۴ نسخه با تغییرات جدی در مورد نام تیره‌ها منتشر شده و نام Angiosperm Phylogeny Group (APG) را دارد.

ضمیمه ۱. نمونه‌ای از فلور ایران.

CORYLACEAE

M. Assadi

Winkler H. 1904: Betulaceae, Tribus I. Coryleae in H. G. A. Engler Das Pflanzreich IV, 61: 19-56
Browicz, K. 1972: Corylaceae in K. H. Rechinger Flora Iranica no. 97.

نقشه ۲: *Carpinus orientalis*نقشه ۱: *Carpinus betulus*نقشه ۴: *Corylus avellana*
var. *avellana*نقشه ۳: *Carpinus C. Aschuschaensis*نقشه ۶: *Corylus maxima*نقشه ۵: *Corylus avellana*
var. *pontica*

درخت به ارتفاع تا حدود ۳۰ متر، با پوست خاکستری مایل به سبز و شیدار؛ شاخه‌های جوان قهوه‌ای، کرکی. برگ‌ها دمبرگ‌دار؛ پهنک به طول ۶ تا ۱۳ و عرض ۳ تا ۶ سانتی‌متر، بیضوی، تخم‌مرغی تا سرنیزه‌ای، نوک‌تیز یا نوک‌باریک، در قاعده گرد یا فرورفته و گاهی مورب، در حاشیه دوبار اره‌ای، در سطح پشتی کرکی و با تراکم بیشتر روی رگه‌ها، سبز کم‌رنگ، در سطح بالائی با کرک کمتر و بدون کرک‌شونده، سبز پر رنگ، ۱۰ تا ۱۵ جفت رگه‌ای، بدون فرورفتگی بین رگه‌ای؛ دمبرگ‌ها به طول ۷ تا ۲۰ میلی‌متر. شاتون نر به طول ۳ تا ۱۰ و عرض حدود ۱ سانتی‌متر؛ برگه‌های فلسی به طول ۵ تا ۶ میلی‌متر، تخم‌مرغی، نوک‌تیز، در حاشیه مزه‌ای. شاتون ماده با میوه رسیده به طول تا ۱۵ سانتی‌متر، آویزان، تا ۱۵ گلی. برگه گریبانی به طول ۲ تا ۴/۵ سانتی‌متر، ۳ لوبی با حاشیه صاف تا دنداندار، با ۳ رگه واضح و ۲ رگه بین لوبی غیرواضح؛ لوب‌های کناری به طول ۰/۷ تا ۲/۵ سانتی‌متر. میوه فندقه، به طول حدود ۶ میلی‌متر، تخم‌مرغی پهن، با حدود ۸ رگه طولی. دانه به طول حدود ۴/۵ میلی‌متر، سرنیزه‌ای، قهوه‌ای.

زمان گلدهی: اسفند و فروردین و رسیدن دانه اوائل تابستان. منطقه خزری.

پراکندگی جغرافیائی: اروپا، ترکیه، ایران و قفقاز. تیپ از اروپا.

پراکندگی در ایران: شمال، شمال غرب و شمال شرق.

گرگان: ۲۲ کیلومتری آزادشهر به شاهرود، ۳۰۰ متر، اسدی و

تک‌حجره‌ای، در انتها با یک دسته کرک، شکوفا با شیار طولی. شاتون ماده کوتاه، ابتدا افراشته، پوشیده با فلس‌های زیاد و در محور فلس‌ها با گل ماده. کاسه پیوسته به تخمدان و در انتها دندان‌های. تخمدان دو حجره‌ای؛ خامه کوتاه؛ کلاله‌ها دوتائی، نخی، در طول غده‌ای. شاتون با میوه‌های رسیده آویزان یا افراشته؛ برگه گریبانی با حاشیه لوبدار، دندان‌های یا صاف. میوه فندقه‌ای، در محور برگه‌های گریبانی، تخم‌مرغی، با رگه‌های طولی و در انتها دندان‌های. دانه کشیده.

1. *C. betulus*

برگه‌های گریبانه‌ای ۳ لوبه‌ای، لوب میانی بلند، چند برابر بلندتر از دو لوب کناری، با ۳ رگه واضح در محل لوب‌ها و ۲ رگه غیرواضح بین لوبه‌ای. پهنک برگ‌ها به طول ۶ تا ۱۳ و عرض ۳ تا ۶ سانتی‌متر

2. *C. orientalis*

۲- برگه‌های گریبانی ساده یا با یک یا دولوب کناری کوتاه و در حاشیه دندان‌های یا لوبدار دندان‌های، با ۵ تا ۱۱ رگه واضح. پهنک برگ‌ها به طول ۵ تا ۷ و عرض ۲/۵ تا ۴ سانتی‌متر - برگه‌های گریبانی ساده، در حاشیه دنداندار، به طول ۱/۷ تا ۲/۵ سانتی‌متر. فاصله بین رگه‌ها در سطح پشتی برگ‌ها غیر فرورفته

3. *C. × schuschaensis*

۳- برگه‌های گریبانی با دو یا یک لوب جانبی کوتاه یا در حاشیه دندان‌های لوبدار، به طول تا ۳ سانتی‌متر. فاصله بین رگه‌ها در سطح پشتی برگ‌ها فرورفته و تا حدودی ناودانی؛ رگه‌ها برجسته

1. *C. betulus* L., Sp. Pl. 998 (1753).

ممرز



شکل ۱: *Carpinus betulus* (×۰/۶۶): میوه با برگه (×۱/۲): گل (×۳): پرچم و مادگی (×۶).

اسدی ۸۹۳۹۵ و ۸۹۳۹۸؛ پل سفید، سنگده، اشک، ۱۶۰۰ تا ۲۶۰۰ متر، اسدی ۷۳۵۷۲؛ سنگده، چشمه تالار سربند، حدود ۱۶۸۰ متر، مظفریان ۷۷۳۵۷؛ بین فیروزکوه و قائمشهر، کتول چرا، ۳۰۰ متر، آسفی ۲۳۹۵۶. -گیلان: هشتپر، لیسار، ۱۰۰ متر، صالحی نیا ۵۶۷۵۷؛ هشتپر، جوکندان، ۷۰ متر، روشن ۵۹۴۰؛ اسالم، پیلمبرا، پارک جنگلی دکتر درستکار، ۹-۹۰ متر، مظفریان ۱۰۲۶۱۵؛ اسالم، ۴۰ متر، رحمانیان ۵۹۴۹؛ رشت، لاکان، عزیزکیان، ۹۲ متر، مظفریان ۱۰۲۰۰۶؛ شفت، ۱۲۰ متر، ریاضی ۵۹۵۱؛ چابکسر، سیاهکل رود، ۳۳۰ متر، مظفریان ۱۰۲۳۶۸. -آذربایجان: منطقه حفاظت شده ارسباران، جنوب شرق مکیدی، ۱۶۰۰ متر، رونه‌مارک و اسدی ۲۲۱۱۲؛ ۲۰ کیلومتری غرب کلیبر به قلعه بابک، ۱۴۵۰ متر، مظفریان ۶۴۲۹۸.

آزادی ۷۶۱۱۸؛ جنوب شرق آزادشهر، ۲۸۰ متر، پابو ۲۶۷۱۴؛ گرگان، زرین گل، ۴۵۰ متر، ریاضی ۵۹۴۷ و ۹۵۰ متر، امینی ۵۹۴۴؛ جنگل گلستان، دره گلستان، ۱۳۰۰ متر، وندلیو و کبهام ۱۴۳۳۸؛ جنگل نزدیک گلیداغ، ۱۰۸۰ متر، هیور ۳۸۶۰؛ گلیداغی، ۱۰۰۰ متر، هیور، ۳۶۲۹. -مازندران: جنوب شرق رامسر، ۱۳ کیلومتر به جنت رودبار، ۷۰۰ متر، رونه‌مارک و معصومی ۲۱۵۶۶؛ نوشهر، ۱۰ متر، اسدی ۸۹۳۱۷؛ نوشهر، ۲۰ متر، ثابتی ۲۸۹۷؛ نوشهر، جنگل خیرودکنار، ۲۰۰ متر، اسدی ۳۳۴۳۸ و ۱۰۰ متر، اسدی ۳۳۵۰۱؛ نزدیک ویسر، ۱۵۰۰ متر، وندلیو و شیردلپور ۱۱۷۲۷؛ سیاه بیشه، ۲۵۰۰ متر، اسدی ۷۶۶۹۲؛ پارک نور، ۵ متر، اسدی ۸۹۴۴۴؛ ۲۴ کیلومتری چمستان به طرف جنگل واز، ۱۴۰۰ متر، اسدی b۸۹۳۹۱؛ ۳۰ کیلومتری چمستان به طرف جنگل واز، ۱۷۰۰ متر،

منابع

۱. بی‌نام ۱۳۵۱: باغ‌های گیاه‌شناسی کشور در دوران برنامه عمران پنجم کشور (گزارش).
2. Boissier, E. (1867). *Flora Orientalis* vol. 1. Basileae and Genevae.
3. Parsa, A. (1942-1950). *Flore de l'Iran* vols. 1-5. University of Tehran Presss.
4. Rechinger, K. H. (ed.) 1963-2015: *Flora Iranica*, nos. 1-181. -Graz (1-174)
- ۵- مبین، صادق (۱۳۵۷-۱۳۵۴). *رستنی‌های ایران*، ۴ جلد. انتشارات دانشگاه تهران.
- ۶- قهرمان، احمد (۱۳۵۷-۱۳۵۷). ادامه دارد. *فلور رنگی ایران*. ۱۹ جلد. انتشارات سازمان محیط‌زیست (جلد ۱) و انتشارات موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور (جلد ۲ تا ۱۹).
۷. اسدی مصطفی (۱۳۶۷). *راهنمای طرح فلور ایران*. انتشارات موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور.
- ۸- اسدی مصطفی و همکاران (۲۰۰۴-۱۳۶۷). *فلور ایران*، شماره‌های ۱ تا ۱۸۴. انتشارات موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور.
- ۹- اسدی مصطفی و حیدرنیا نوشین ۲۰۰۴. *متمم فلور ایران*. انتشارات موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور.
10. Davis, P. H. (ed.) 1965-1985: *Flora of Turkey and the East Aegean Islands* vols. 1-9. - Edinburgh University Press.
11. Komarov, V. L. (started as chief editor) 1934-1960: *Flora of the USSR* vols. 1-30. -Leningrad.
12. Ali, S. I. & Nasir Yasin J. 1981-1991: *Flora of Pakestan* nos. 191-193. -Islamabad.
13. Ali, S. I. & Qaiser, M. 1993-2012: *Flora of Pakistan* nos. 194-219. -Karachi.
14. Thkhtadjan, A. L. 1954-2010: *Flora Armenia* vols. 1-11. -Erevan (1-8) and A.R.G. Ganter Verlag KG Ruggel/Leichtenstein (9-11).
15. Guest, E. & Al-Rawi, A. 1966: *Flora of Iraq* vol. 1. -Ministry of Agriculture of the Republic of Iraq.
16. Thiers, B. 2016: [continuously updated]. *Index herbariorum: A global directory of public herbaria and associated staff*. New York Botanical Garden, Bronx, NY. Available from: <http://sweetgum.nybg.org/ih/> (accessed 1 January 2026).

همگرایی هوش مصنوعی و زیست‌فناوری: چشم‌انداز نوین برای تحول علوم زیستی

آرین نوحی، شکیبا درویش علیپور آستانه
دانشکده زیست‌فناوری، پردیس علوم و فناوری نوین، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران
Darvishalipour@semnan.ac.ir
نامه علوم پایه شماره ۱۵، بهار و تابستان ۱۴۰۴

چکیده

پیشرفت فناوری‌های پرسرعت در علوم زیستی، مانند توالی‌یابی نسل جدید (NGS) و طیف‌سنجی جرمی، حجم زیادی از داده‌ها تولید می‌کند. هدف اصلی، کمی‌سازی داده‌های دی‌ان‌ای، آر‌ان‌ای، پروتئین‌ها و متابولیت‌ها است؛ مولکول‌هایی که در تعیین ساختار، عملکرد و پویایی سامانه‌های زنده مانند سلول و بافت نقش دارند. تحلیل این داده‌ها مستلزم به‌کارگیری ابزارهای پیشرفته است، زیرا مدیریت، ذخیره‌سازی و استخراج مفاهیم زیستی از این حجم گسترده اطلاعات، چالش‌برانگیز است. با ظهور هوش مصنوعی و ترکیب آن با زیست‌فناوری، چشم‌انداز پژوهش‌های زیستی دگرگون شده است. کاربردهای یادگیری ماشین در تحلیل داده‌های حجیم، امکان درک دقیق‌تر عملکرد اجزای سامانه‌های زیستی و تعاملات میان آن‌ها را فراهم می‌سازد. هم‌افزایی میان هوش مصنوعی و زیست‌فناوری، نقشی مهم در تسریع کشف دارو، پزشکی فردمحور، مهندسی زیستی و ویرایش ژن ایفا می‌کند و در حوزه‌هایی مانند ژنومیکس و پروتئومیکس نیز کاربرد گسترده‌ای دارد. افزون بر این، این همگرایی با ارائه راهکارهای سازگار با محیط زیست، مانند بیوپلاستیک‌ها و بیودیزل، می‌تواند در رفع چالش‌های جهانی مؤثر باشد.

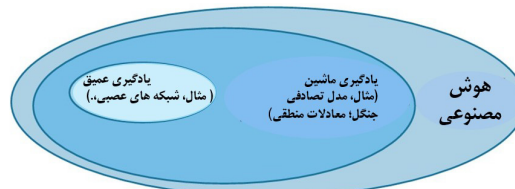
کلیدواژه‌گان: زیست‌فناوری، علوم زیستی، فناوری پرسرعت، هوش مصنوعی، یادگیری عمیق، یادگیری ماشین

مقدمه

نخستین کاربردهای یادگیری ماشین در زیست‌شناسی به اوایل دهه ۱۹۸۰ برمی‌گردد. این فناوری برپایه الگوریتم‌هایی است که از روش‌های آماری برای کشف الگوهای داده و تحلیل آن‌ها با سطحی از اطمینان استفاده می‌کند. با گسترش اطلاعات در پایگاه‌های داده و گذر زمان، قابلیت استنتاج و دقت این الگوریتم‌ها ارتقا یافته و سامانه پیشرفته‌تر، هوشمندتر و خودآگاه‌تر شده است. روش‌های یادگیری ماشین در یکی از سه دسته زیر قرار می‌گیرند

- یادگیری نظارت‌شده^۵ به الگوریتم‌هایی متکی است که توسط برنامه‌نویس انسانی تنظیم میشود و هدف آن‌ها تحلیل اطلاعات مشخص و شناخته‌شده برای رسیدن به نتیجه‌ای معین است.
- یادگیری بدون نظارت^۶ به تحلیل اطلاعات ناشناخته توسط الگوریتم اشاره دارد؛ هدف این روش، شناسایی الگوهای در پایگاه داده است که از پیش مشخص نیست.
- یادگیری تقویتی^۷ را می‌توان ترکیبی از یادگیری نظارت‌شده و بدون نظارت دانست. هدف این روش، آزمودن الگوریتم پایه برای ارزیابی دقت پیش‌بینی‌های آن است.

جان مک‌کارتی^۱ در سال ۱۹۵۶، در کنفرانس دارتموث، برای نخستین بار اصطلاح «هوش مصنوعی^۲» (AI) را به کار برد تا به حوزه‌ای اشاره کند که هدف آن شبیه‌سازی فرایندهای هوشمند در ماشین‌ها بود. هوش مصنوعی به توانایی سامانه‌ها برای انجام وظایفی مانند یادگیری از تجربه، استدلال، و واکنش مناسب به محیط اطراف اشاره دارد. یادگیری ماشین^۳ (ML) و یادگیری عمیق^۴ (DL) از عناصر مهم هوش مصنوعی (شکل ۱)، بر استفاده از داده‌های متفاوت تکیه دارند، داده‌هایی که مستقیم یا غیرمستقیم از هوش طبیعی استخراج شدند (۱).



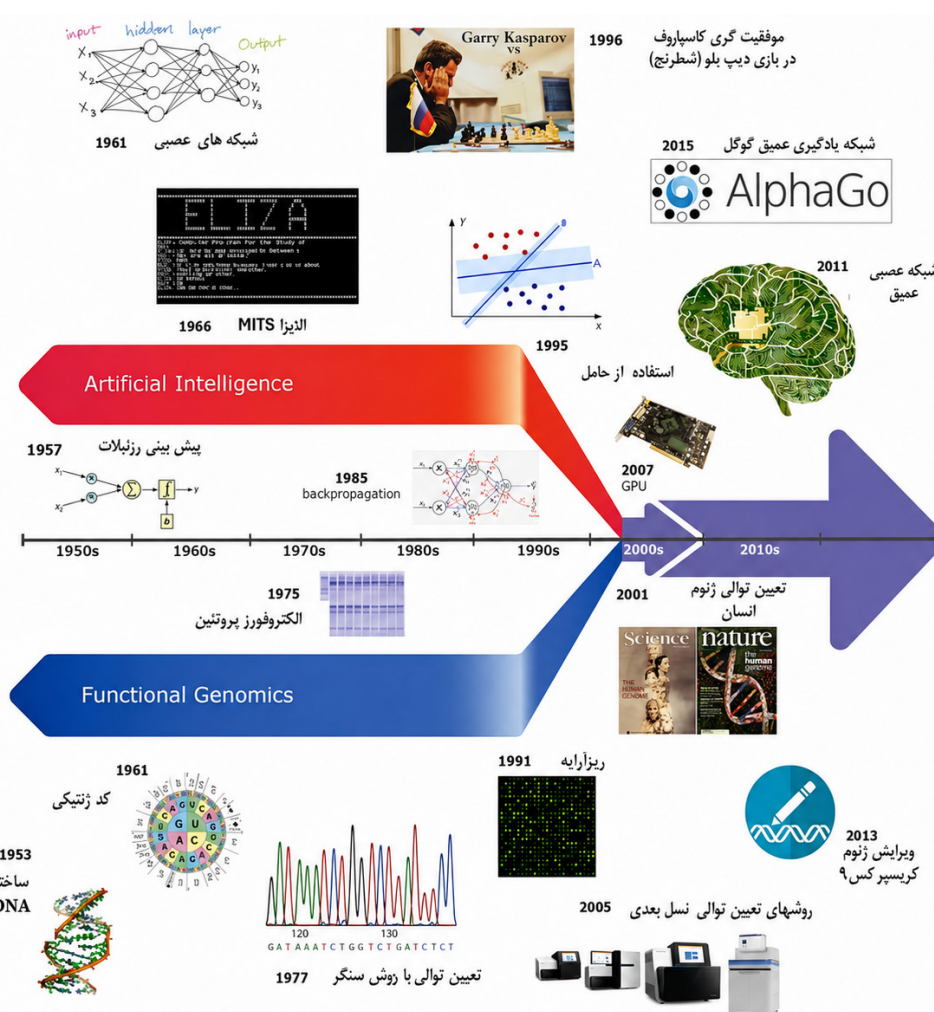
شکل ۱. یادگیری ماشین و یادگیری عمیق به عنوان بخشی از هوش مصنوعی (۲۶).

1. John McCarthy
2. Artificial intelligence
3. Machine learning
4. Deep learning

5. Supervised learning
6. Unsupervised learning
7. Reinforcement learning

لایه‌هایی که ساختار و عملکرد مغز را تقلید می‌نمایند تا الگوهای شناخته‌شده یا ناشناخته را تشخیص دهند. بطورمثال، هر لایه ممکن است ویژگی خاصی از یک شیء را تحلیل کند و پس از آن، نتیجه را به لایه بعدی ارسال کند تا با ویژگی‌های دیگر ترکیب یا پالایش شود. این روند تا زمانی ادامه می‌یابد که شیء به طور قاطع شناسایی یا دسته‌بندی شود. اخیراً، این فناوری در تمام حوزه‌های پژوهشی مرتبط با فعالیت‌های ژنگان در شرایط زیستی مختلف، مانند ژنومیکس، ترانسکریپتومیکس، پروتئومیکس و متابولومیکس، به کار گرفته می‌شود تا با انجام عملیات ریاضی، داده‌ها را در چندین لایه و متصل به یکدیگر (مانند شبکه عصبی) پردازش کنند (شکل ۲).

مرحله بعدی، «یادگیری عمیق» به استفاده از الگوریتم‌هایی به نام شبکه‌های عصبی مصنوعی^۱ اشاره دارد. «پرسپترون»^۲ اولین معماری شبکه عصبی، که در سال ۱۹۵۸ توسط فرانک روزنبلات معرفی شد، محدودیت‌هایی در یادگیری داشت. علاوه بر این، کامپیوتری که الگوریتم پرسپترون را اجرا می‌کرد، گرچه بزرگ بود، توانایی پردازش نسبتاً کمی داشت و به دلیل هزینه‌های بالا مالی و محاسباتی، غیرقابل نگهداری بود. در دهه اخیر، از واحدهای پردازش‌دهنده گرافیک (GPUs)^۳ در یادگیری عمیق استفاده شده است، بنابراین امکان گسترش عملکرد برای پردازنده‌ها در محاسبات وسیع فراهم گردید. این شبکه‌ها فرآیندهای پردازش اطلاعات و تصمیم‌گیری در انسان را شبیه‌سازی می‌کنند، مانند



شکل ۲. جدول زمانی از اطلاعات مهم فعالیت ژنگان در شرایط زیستی مختلف و هوش مصنوعی از زمان پایه‌گذاری تاکنون (۴).

از تجربیات انسان‌ها است. عملکرد این سامانه‌ها با گذر زمان و بدون نیاز به برنامه‌ریزی خاص برای وظایف مشخص، بهبود می‌یابد. بنابراین، در برابر برنامه‌های مختلف بسیار انعطاف‌پذیر هستند (۲).

سومین مرحله هوش مصنوعی، «رایانش شناختی»^۴ است. این حوزه چند نوع یادگیری ماشینی را کنار هم قرار می‌دهد تا پرسش‌ها را بدون نیاز به راهنمایی مستقیم برنامه‌نویس پاسخ دهد. یکی از ویژگی‌های کلیدی آن، توانایی برقراری ارتباط مستقیم و یادگیری

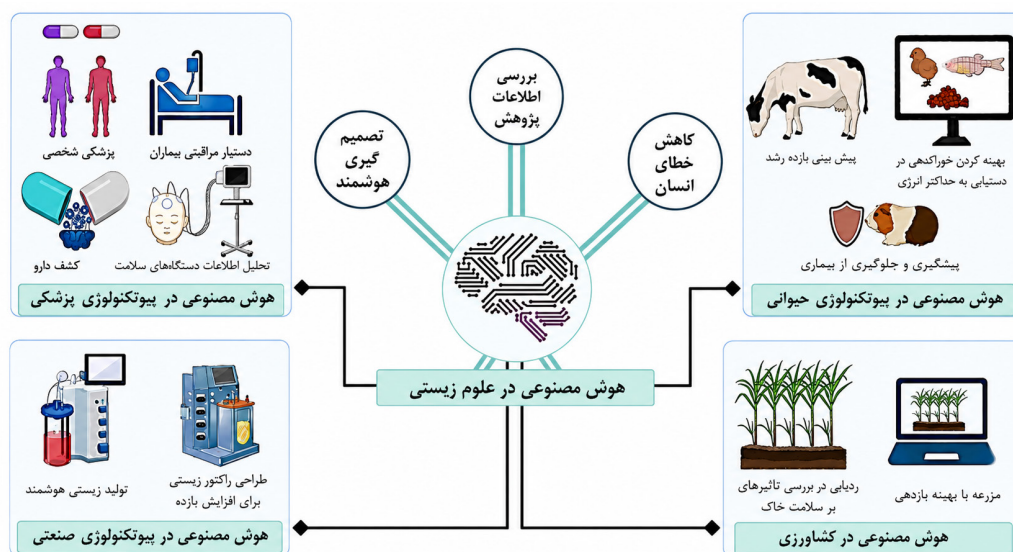
1. Artificial neural network
2. Perceptron

3. Graphical Processing Units
4. Cognitive computing

قابلیت ردیابی مسیر استخراج ویژگی‌ها، می‌شوند. افزایش پیچیدگی معماری‌های یادگیری عمیق و وجود لایه‌های پنهان متعدد، هرچند برای استخراج ویژگی‌ها در سطوح بالا مؤثر است، اما به دلیل ماهیت این مدل (جعبه‌سیاه)^۲، تفسیرپذیری آن کاهش می‌یابد و ممکن است، مشکلات اخلاقی و حقوقی ایجاد کند. همچنین، به دلیل تعدد پارامترهای قابل تنظیم و نیاز به تنظیم دقیق و زمان‌بر بودن آن‌ها، این مدل‌ها در فرآیند آموزش با چالش‌هایی مواجه است. در نهایت، نیاز به منابع محاسباتی قابل توجه و زمان طولانی آموزش می‌تواند محدودیت‌هایی در کاربردهای عملی این روش‌ها ایجاد کند (۴). در ادامه، نقش هوش مصنوعی در روش‌های زیست‌فناوری برای حل مسائل پیچیده بررسی می‌شود.

هوش مصنوعی و نقش آن در زیست‌فناوری

ترکیب هوش مصنوعی با ابزارها و فناوری‌های زیستی، کارایی و اثربخشی در پاسخ به چالش‌های جهانی و مسائل زیست‌محیطی را افزایش داده است. این هم‌افزایی، مسیرهای نوینی برای مدیریت پایدار و نوآورانه محیط زیست در شاخه‌های مختلف زیست‌فناوری، در حوزه‌های پزشکی، دامپزشکی، گیاهی، صنعتی، غذایی، بهداشتی، کشاورزی، محیط‌زیست، دریا و نانوزیست‌فناوری^۳ فراهم کرد (شکل ۳).



شکل ۳. یک مدل مفهومی از کاربردهای هوش مصنوعی در رشته‌های سلامت، کشاورزی، علوم دامی و زیست‌فناوری صنعتی (۱).

نیز با بهره‌گیری از هوش مصنوعی در بهبود سامانه‌های تحویل دارو و فناوری‌های تشخیصی، تحولی نوآورانه ایجاد کرد و آینده‌ای بسیار امیدوارکننده دارد. علاوه بر این، ورود هوش مصنوعی در زیست‌فناوری صنعتی نقش مهمی در بهینه‌سازی فرآیندهای تولید و توسعه ترکیبات جدید ایفا می‌کند. سامانه‌های نظارتی و مدیریتی مبتنی بر این فناوری تأثیر

این نوع فناوری‌ها در مدیریت چالش‌های مرتبط با داده‌های زیستی با ابعاد بالا، روشی مؤثر ارائه می‌دهند که راه‌حل‌های سریع‌تر، دقیق‌تر و مقیاس‌پذیرتری انتخاب شود. زیرا در روش‌های سنتی، به دلیل نیاز به مداخله دستی در حجم بالای محاسبات، تحلیل داده‌های بزرگ با محدودیت‌های همراه بود. برای نمونه، الگوریتم‌های یادگیری ماشین در تحلیل داده‌های ژنی، پیش‌بینی ارتباط بین ژن‌ها و بیماری‌ها، بهینه‌سازی مسیرهای متابولیک در زیست‌فناوری مصنوعی، یا پیش‌بینی تاشدن پروتئین‌ها نیاز به آزمایش‌های آزمون و خطا را کاهش می‌دهند (۳).

مزیت اصلی یادگیری عمیق نسبت به روش‌های سنتی این است که امکان دریافت نتایج به صورت طبقه‌بندی یا پیش‌بینی به صورت مستقیم از داده‌های خام را فراهم می‌کند. هرچند در این فرآیند احتمال سوگیری^۱ وجود دارد، اما با عدم نیاز به مداخله دستی در مراحل پیش‌پردازش داده، از بروز سوگیری ناشی از این مداخله تا حد زیادی جلوگیری می‌شود. همچنین، یادگیری عمیق امکان ترکیب انواع مختلف اطلاعات ورودی -از جمله متنی، عددی، تصاویر و فایل‌های صوتی- را به طور یکپارچه و کارآمد فراهم می‌آورد. از سوی دیگر، این رویکردها در استخراج ویژگی‌های پیچیده از چنین داده‌هایی، نسبت به روش‌های سنتی یادگیری ماشین توانمندتر هستند ولی موجب کاهش شفافیت مدل و محدودیت در

در زیست‌فناوری پزشکی، هوش مصنوعی نقش کلیدی در توسعه پزشکی شخصی و بهبود سامانه‌های تشخیصی دارد؛ و امکان طراحی درمان‌هایی که دقیقاً با پروفایل ژنتیکی هر فرد تطابق دارند را فراهم می‌کند (۱). همچنین، در نظارت بر بیماری‌ها با توسعه روش‌های بهداشت عمومی، تحلیل‌های پیش‌بینی‌کننده در زیست‌فناوری سلامت به کار گرفته شده است. نانوزیست‌فناوری

1. Biased
2. Black-box

3. Nanobiotechnology

بهبود و به حفظ محیط زیست کمک می کنند. این امر منجر به افزایش بهره‌وری، کاهش مصرف انرژی، بهبود و ارتقاء کیفیت محصول نهایی می شود. همچنین، مدل‌های یادگیری ماشین برای پیش‌بینی کیفیت بیودیزل تولید شده از مواد اولیه مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند تا اطمینان حاصل شود که استانداردهای لازم رعایت می‌شوند (۶).

در انتخاب و توسعه تکنیک‌های ویرایش ژن و پیش‌بینی نتایج حاصل از تغییرات ژنتیک، ابزارهای ویرایش ژن کریسپر-کس ۹ مورد استفاده محققان است. مهندسی ژنتیک و فناوری کریسپر، امکان معرفی ارقام گیاهی دارای مقاومت بیشتر در برابر آفات، بیماری‌ها و شرایط اقلیمی نامساعد را فراهم می‌سازند. این امر سبب کاهش وابستگی به آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی، کاهش رواناب کشاورزی^۶ و توسعه روش‌های سازگار با محیط زیست مانند استفاده از کودها، آفت‌کش‌های زیستی و افزایش سلامت اکوسیستم می‌شود. روش‌های یادگیری ماشین با تجزیه و تحلیل سریع‌تر داده ژنتیک، به شناسایی ژن‌های مؤثر بر مقاومت به انواع استرس کمک کرده و تولید محصولات مقاوم به آفات، بیماری‌ها و تغییرات اقلیمی^۷ را سرعت می‌بخشد (۷). سامانه‌های هوش مصنوعی سلامت محصول و وضعیت خاک را تحلیل می‌کنند، خطرات مرتبط با روان‌آب در روش‌های مختلف کشاورزی را پیش‌بینی کرده و پیشنهاداتی برای استفاده دقیق‌تر از آفت‌کش‌ها و کودهای زیستی جهت کاهش روان‌آب‌ها و نشت مواد مغذی ارائه می‌دهند. همچنین، با بهره‌گیری از یادگیری ماشین، روش‌های بهینه چرخش محصولات را برای حفظ سلامت خاک و کاهش مصرف مواد شیمیایی تخمین می‌زنند.

توسعه پلیاستیک‌های زیست‌تخریب‌پذیر^۸، با استفاده از مواد سازگار با محیط زیست نقش کلیدی در مبارزه با آلودگی پلاستیکی جهانی دارند. هوش مصنوعی در توسعه و ارزیابی بیوپلاستیک‌های جدید، بررسی قابلیت تجزیه، دوام و ویژگی‌های مختلف آن‌ها برای تعیین بهترین گزینه‌ها برای استفاده در صنعت، مفید است. این سامانه‌ها با مدل‌سازی و پیش‌بینی ویژگی‌های بیوپلاستیک‌ها، فرآیند جست‌وجوی پلیمرهای جدید و پایدار را سرعت می‌بخشند. همچنین ابزارهای هوش مصنوعی اثرات زیستگاه بیوپلاستیک‌ها را در طول چرخه زیستی (LCA)^{۱۰} ارزیابی می‌کند و راهنمایی‌هایی برای روش‌های تولید پایدار ارائه می‌دهند.

زیست‌فناوری با تبدیل ضایعات آلی به منابع ارزشمند مانند کمپوست و بیوسوخت، کمک می‌کند نیاز به محل‌های دفن زباله

زیادی در محیط‌زیست و کشاورزی داشته‌اند، و منجر به صرفه‌جویی در مصرف منابع، افزایش کارایی محصولات و بهبود شاخص‌های کلیدی شده است. توسعه سوخت‌های زیستی از جلبک‌ها یا دیگر زیست‌توده‌ها، با کمک زیست‌فناوری، به تأمین منابع پایدار و تجدیدپذیر انرژی کمک کرده و وابستگی به سوخت‌های فسیلی و انتشار کربن را کاهش می‌دهد. مدل‌های پیش‌بینی مبتنی بر یادگیری ماشین با استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی با دقت بالا، بهینه‌سازی شرایط رشد در فرآیندهای تولید سوخت‌های زیستی، زمان برداشت و شرایط فرآیند را بهبود می‌بخشند و با افزایش بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها، این سوخت‌ها را به گزینه‌ای رقابتی‌تر تبدیل می‌کنند (۵).

در زمینه زیست‌پالایی^۱، برخی باکتری‌ها و گیاهان می‌توانند فلزات سنگین را از خاک‌ها و آب‌های آلوده جذب کرده و آن‌ها را غیرسمی سازند، به طوری که مناطق آلوده به مواد صنعتی مجدداً برای جانداران و انسان‌ها ایمن شوند. مدل‌های هوش مصنوعی اثربخشی میکروارگانیسم‌ها یا گیاهان خاص در جذب فلزات سنگین را پیش‌بینی می‌کنند و فرآیند زیست‌پالایی در مناطق آلوده را بهینه می‌سازند. علاوه بر این، یادگیری عمیق برای شناسایی فلزات سنگین و پیش‌بینی تعاملات آن‌ها با عوامل زیست‌پالایی خاص به کار می‌رود تا کارایی سامانه را در جذب و تجزیه فلزات افزایش دهد.

سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی^۲ (GIS) یکپارچه‌شده با هوش مصنوعی برای شناسایی و پایش آلاینده‌های هوا، جهت انجام واکنش زیستی با استفاده از مواد زنده نظیر میکروارگانیسم‌ها و گیاهان به عنوان فیلترهای زیستی^۳ رواج یافته است. هدف از کاربرد این فناوری، کنترل انتشار صنعتی^۴ و در نتیجه کاهش سطح مواد مضر آزاد شده به اتمسفر است. هوش مصنوعی با بهینه‌سازی در طراحی، عملکرد و حفظ کارایی مطلوب فیلترها نقش کلیدی دارد. این فناوری با کنترل پارامترهایی مانند سرعت جریان هوا و رطوبت، اجزای تشکیل‌دهنده آلاینده‌های خاص را مشخص می‌کند. فیلترهای زیستی که با نرم‌افزارهای شبیه‌سازی مبتنی بر هوش مصنوعی ساخته شده‌اند، در مدل‌سازی جریان هوا و تجزیه آلاینده‌ها بهینه می‌شوند. همچنین، یادگیری ماشین برای انتخاب و ترکیب میکروارگانیسم‌ها به منظور حذف آلاینده‌های خاص به کار می‌رود.

الگوریتم‌های هوش مصنوعی با تنظیم پارامترهای شیمیایی، تبدیل روغن‌های ضایعاتی نباتی و چربی‌های حیوانی را به بیودیزل^۵ را

1. Bioremediation
2. Geographic Information System
3. Biofilters
4. Industrial emissions
5. Biodiesel
6. Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats-CRISPR-associated protein 9 (CRISPR-Cas9)

7. Lowering agricultural runoff
8. Climate change
9. Biodegradable plastics
10. Lifecycle Analysis

می‌کنند. استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشینی در تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از حسگرهای^۶ تجهیزات و بیوراکتورها، امکان تشخیص زودهنگام اختلالات و برنامه‌ریزی برای نگهداری را فراهم می‌کند و با استفاده از مدل‌های ریاضی و آماری، بهینه‌سازی برای انجام فرآیندهای زیستی را با ترکیب داده‌های حسگرها، دوربین‌ها، پروب‌ها و توالی‌یاب‌ها تسهیل می‌نماید. این مدل‌ها توانایی پیش‌بینی تأثیر عوامل مهم، مانند دما، pH و غلظت مواد مغذی، بر عملکرد سامانه‌های زیستی را دارند. به‌کارگیری یادگیری ماشینی در بهبود فرآیندهای زیستی، کاهش نیاز به آزمایش‌های گران و زمان‌بر را ممکن می‌سازد و منجر به تولید زیستی کارا تر و اقتصادی‌تر می‌شود. این ابزارها، همچنین در نظارت و کنترل فرآیندهای زیستی در زمان واقعی^۷ به کار می‌روند. تحلیل داده‌های حسگرها و سامانه‌های کنترل به بهبود شرایط داخلی بیوراکتورها کمک می‌کند و سبب افزایش راندمان و کیفیت محصول نهایی می‌شود (۳).

الگوریتم‌های یادگیری ماشینی در بهینه‌سازی مسیرهای متابولیک و تولید ترکیبات مورد نظر در زیست‌شناسی مصنوعی، می‌توانند تأثیر تغییرات ژنتیکی بر مسیرهای متابولیسم در میکروارگانیسم‌ها را پیش‌بینی کرده و امکان طراحی سوبه‌های تولیدکننده بهینه را فراهم سازند. این رویکرد برای افزایش تولید سوخت‌های زیستی^۸، داروها و سایر محصولات زیستی با ارزش بالا به کار گرفته شده است و مزایایی مانند توسعه سریع‌تر محصولات جدید، افزایش بهره‌وری، کاهش زمان چرخه تولید و ضایعات را به همراه دارد. علاوه بر این، تحلیل داده‌های حجیم آزمایش‌ها توسط هوش مصنوعی می‌تواند به کشف‌های نوین و راه‌حل‌های ارزشمند منجر شود و با رفع چالش‌ها و گسترش همکاری بین حوزه‌های مختلف، هوش مصنوعی، فرآیندهای تولید زیستی را کارآمدتر، مقاوم‌تر و اقتصادی‌تر کند و در نهایت تولید داروهای حیاتی، درمان‌ها و دیگر محصولات زیستی را افزایش دهد (۹).

قابلیت هوش مصنوعی در بررسی فعالیت ژنگان در شرایط زیستی متفاوت

پروژه‌های تحقیقاتی در ژنومیکس بر شناسایی لوکوس‌های مرتبط با یک ژنوتیپ خاص از طریق هوش مصنوعی تمرکز دارند. محققان در حال بررسی روش‌هایی هستند که قابلیت اطمینان، تفسیرپذیری و تبیین‌پذیری الگوریتم‌ها را بهبود بخشند. در تفسیرپذیری، اطمینان حاصل می‌شود که دقت مدل بر اساس نمای صحیح مسئله است و ناهنجاری‌های داده‌های آموزشی تأثیر منفی ندارند. در واقع، ممکن است سامانه هوش مصنوعی دقت آزمایش را نه بر اساس «درک واقعی»، بلکه با شناسایی روابط

و انتشار گازهای گلخانه‌ای کاهش یابد. هوش مصنوعی توانایی نظارت مداوم و تنظیم شرایط در فرآیندهای کمپوست‌سازی و هضم بی‌هوازی را دارد، تا بهترین عملکرد میکروارگانیسم‌ها برای تجزیه سریع‌تر زباله تضمین شود. سامانه‌های بیوراکتور هوشمند، با بهره‌گیری از سنسورها و الگوریتم‌های پیشرفته، شرایط محیطی را در زمان واقعی تطبیق می‌دهند، فعالیت میکروارگانیسم‌ها را افزایش داده و روند تجزیه زباله را تسریع می‌کنند. ماشین‌های با قابلیت‌های پیشرفته مبتنی بر هوش مصنوعی (ماشین‌های مرتب‌سازی زباله)^۱ برای جداسازی مؤثر ضایعات آلی از سایر مواد به کار گرفته می‌شوند، این امر کارایی کلی فرآیندهای زیست‌تخریب را افزایش می‌دهد.

نوآوری در فناوری زیستی به‌طور مؤثر دی‌اکسیدکربن را از جو جذب و ذخیره می‌کند، بنابراین با کاهش گازهای گلخانه‌ای نقش مهمی در مقابله با تغییرات اقلیمی بر عهده دارد. هوش مصنوعی با تحلیل داده‌های زیستی و محیطی، بهترین روش‌ها را برای جذب زیستی کربن شناسایی می‌کند و به استفاده از مشارکت‌کننده‌های زیستی در مواجهه با تغییرات اقلیمی اشاره دارد. تحقیقات در زمینه اصلاحات ژنتیکی برای بهبود فرآیند فتوسنتز و افزایش جذب کربن، با بهره‌گیری از هوش مصنوعی، در حال انجام است. سامانه‌های هوشمند بهینه‌سازی‌شده جذب و ذخیره‌ی کربن (CCS)^۲، فرآیندهای جذب دی‌اکسیدکربن و ذخیره‌ی آن در زیرزمین یا در مواد را شبیه‌سازی و بهینه می‌کنند (۸).

کاربرد هوش مصنوعی در توسعه و بهینه‌سازی فرآیندهای زیستی

هم‌افزایی ماشین^۳ و هوش مصنوعی، کاربردهای گسترده‌ای در خودکارسازی آزمایشگاه‌ها، مدیریت نمونه‌ها و انجام آزمایش‌های با توان عملیاتی بالا^۴ دارد. بنابراین، این توسعه باعث ارتقای قابل توجه در کارایی، دقت و تکرارپذیری فرآیندهای زیست‌فناوری شده است. بسیاری از وظایف آزمایشگاهی که قبلاً نیازمند کارهای دستی و تکراری بودند، اکنون با دقت بالا توسط ماشین‌ها انجام می‌شوند. این وظایف شامل پیپت‌کردن دقیق، مدیریت هوشمند نمونه‌ها برای دستیابی به نتایج پایدار و قابل تکرار، و اجرای روش‌های خودکار مانند آماده‌سازی DNA است. عملکرد این ماشین‌ها در انجام این فعالیت‌ها، از نظر دقت و ثبات، نسبت به انسان‌ها برتری دارند. خودکارسازی فرآیندها، با ساده‌سازی مراحل و کاهش نیاز به نیروی کار دستی، ریسک خطای انسانی و مواجهه مستقیم با مواد خطرناک را کاهش می‌دهد.

یادگیری ماشینی با استفاده از ابزارهای قدرتمند در تجزیه و تحلیل داده‌های پیچیده، نقش مهمی در پیشرفت زیست‌فناوری^۵ ایفا

1. Waste Sorting Robots

2. AI-optimized Carbon Capture and Storage

3. Robotics

4. High-Throughput

5. Biotechnology

6. Sensor

7. Real-time

8. Biofuels

ابزار توسعه یافته توسط هوش مصنوعی گوگل، از تکنیک‌های یادگیری عمیق برای طبقه‌بندی توالی‌های ژنگان و شناسایی پلی‌مورفیسیم‌های تک‌نوکلئوتیدی (SNPs)^۴ و درج‌ها/حذف‌ها (indels)^۵ با دقت بیشتری نسبت به روش‌های سنتی استفاده می‌کند. توانایی یادگیری عمیق در پردازش داده‌های ژنگان در مقیاس بزرگ، ضمن افزایش سرعت و دقت، راه‌حل‌های جدیدی در مورد علل ژنتیکی بیماری‌ها ارائه می‌دهد (۱۰).

حوزه دیگری که هوش مصنوعی در آن تأثیر قابل توجهی دارد، ویرایش ژن مبتنی بر کریسپر است. مدل‌های هوش مصنوعی در حال توسعه‌اند تا دقت و کارایی سیستم‌های کریسپر را بهبود بخشند و به این ترتیب، ویرایش ژن را متحول کنند. با استفاده از هوش مصنوعی، دانشمندان می‌توانند RNAهای راهنمای مؤثر برای هدف‌گیری ژن‌های خاص پیش‌بینی کنند و تأثیرات خارج از هدف را به حداقل برسانند. به عنوان مثال، مدل‌های کریسپر مبتنی بر هوش مصنوعی، مانند کریسپر دیپ^۶، از یادگیری عمیق برای پیش‌بینی فعالیت هدف و خارج از هدف RNAهای راهنما^۷ استفاده می‌کنند، بنابراین ایمنی و اثربخشی آزمایش‌های ویرایش ژن را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهند (۳).

کاربرد هوش مصنوعی در طراحی و بررسی فعالیت پروتئین‌ها

رویکرد طراحی «پروتئین از نو»^۸ به جای اصلاح یا بازمهندسی پروتئین‌های طبیعی، بر ساخت پروتئین‌هایی کاملاً جدید و قابل برنامه‌ریزی مبتنی بر اصول مهندسی تمرکز دارد. اگرچه استفاده از روش‌های بهینه‌سازی پروتئین‌های طبیعی موفق بوده‌اند، طراحی از نو مزایای منحصر به فردی از جمله؛ امکان ایجاد عملکردهایی از پروتئین که در طبیعت وجود ندارند و همچنین طراحی سامانه‌هایی با ویژگی‌های قابل تنظیم، کنترل پذیری ماشین‌های مولکولی دارد (۱۱).

در روش‌های سنتی، طراحی پروتئین‌ها با چالش‌های فنی متعددی همراه است. ابتدا ساختار سه‌بعدی پروتئین مشخص می‌شود، سپس توالی مناسب آن طراحی می‌گردد. برای رسیدن به عملکرد مطلوب، دقت در نحوه شکل‌گیری جایگاه فعال اهمیت زیادی دارد؛ حتی انحراف کم‌تر از یک آنگستروم در جایگاه اتم‌ها، در عملکرد پروتئین اختلال ایجاد می‌کند. علاوه بر این، مطالعه دینامیک ساختاری و زمانی پروتئین‌ها نیز از عوامل پیچیده و ضروری هستند. بررسی ساختارهای پروتئین نیز وابسته به تکنیک‌های تجربی مانند کریستالوگرافی اشعه X^۹، طیف‌سنجی NMR^{۱۰} و کرایو میکروسکوپ الکترونی^{۱۱} است که زمان‌بر و پرهزینه هستند (۱۲).

پنهان و ناآشنا بین داده‌های آموزشی و آزمون ارزیابی کند. عدم وجود چنین روابطی ممکن است منجر به کاهش دقت و کاربرد نادرست فناوری‌های مبتنی بر داده شود.

تبیین‌پذیری اغلب با مفاهیمی مانند شفافیت و تفسیر همراه است، یعنی حق هر فرد برای آگاهی از دلایل تصمیمات الگوریتم که بر زندگی او تأثیر می‌گذارد. این اصل برای بسیاری از قوانین اهمیت دارد، بطور مثال، در ایالات متحده، در بخش‌هایی مانند امور مالی به رسمیت شناخته شده است. در حالیکه در اتحادیه اروپا، با حمایت از مقررات حفاظت اطلاعاتی عمومی (GDPR)^۱، به تمامی حوزه‌ها تعمیم یافته است. علاوه بر اعطای حقوق شخصی، تبیین‌پذیری می‌تواند از روش‌های مورد استفاده توسط هوش مصنوعی در اتخاذ تصمیمات خاص و استخراج دانش جدید از آن‌ها برای انجام تحلیل‌های پس از وقوع^۲ مفید باشد. شفافیت در این حوزه همان توضیحات مدل است. این ویژگی در مورد طبقه‌بندی‌کننده‌های ساده بر اساس قواعد و مدل‌های خطی که تفسیرپذیر هستند، صدق می‌کند. در این حالت، توضیح دلایل یک تصمیم خاص و بررسی روند تصمیم‌گیری آسان است. مزیت این مدل‌ها، تفسیرپذیری و توضیح‌پذیری ذاتی آن‌ها است. اما این مدل‌های ساده قابلیت یادگیری روابط غیرخطی را ندارند و در برخی کاربردهای پیچیده ممکن است مناسب نباشند. اکثر سامانه‌های هوش مصنوعی بیش از حد پیچیده هستند که بتوان به مکانیسم آنها بطور مستقیم آگاهی یافت. در این حالت، باید به عنوان جعبه سیاه در نظر گرفته شوند و توضیحات آن‌ها از طریق تحلیل‌های پس از وقوع به دست آید. این کار می‌تواند به دو روش اصلی انجام شود: استفاده از روش‌های مستقل از مدل (یعنی روش‌هایی که صرفاً بر ورودی و خروجی تکیه دارند) یا روش‌های وابسته به مدل. مزیت روش اول، قابلیت استفاده همیشگی آن است، در حالیکه روش دوم می‌تواند از ویژگی‌های خاص سامانه هوش مصنوعی بهره‌مند شود (۴).

کاربرد هوش مصنوعی در بررسی توالی‌یابی DNA

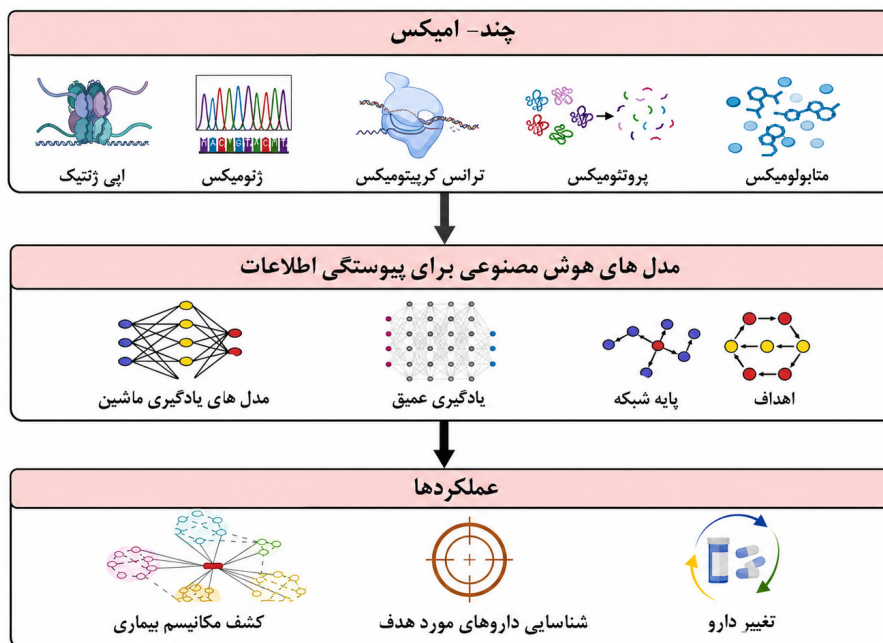
فناوری‌های هوش مصنوعی با سرعت بخشیدن به توالی‌یابی و تفسیر اطلاعاتی ژنگان در مقیاس بزرگ، فرآیند تجزیه و تحلیل آن را متحول کردند. فرآیند سنتی توالی‌یابی DNA، اگرچه بسیار مؤثر است، اما برای ژنگان بزرگ و پیچیده در موجودات بالاتر زمان‌بر و پرهزینه است. هوش مصنوعی توانایی غلبه بر این محدودیت‌ها را دارد، توالی‌یابی سریع‌تر و دقیق‌تری را فراهم می‌آورد. ابزارهای مبتنی بر هوش مصنوعی، مانند واریانت دیپ گوگل^۳، با خودکار کردن فرآیند شناسایی تغییرات ژنتیکی از اطلاعات توالی‌یابی، تجزیه و تحلیل ژنگان را تسهیل کردند. این

1. General Data Protection regulation
2. Ex-post
3. Google Deep Variant
4. Single nucleotide polymorphisms
5. Small nucleotide insertions or deletions
6. Deep CRISPR

7. Guide RNAs
8. De novo
9. X-ray crystallography
10. Nuclear Magnetic Resonance
11. Cryo-Electron Microscopy

امروزه، رویکردهای مبتنی بر یادگیری عمیق در پیش‌بینی ساختارهای پروتئین، امکان طراحی هم‌زمان ساختار، توالی، و عملکرد را فراهم کرده‌اند و پیشنهادهایی برای تولید ساختارهای متنوع از یک الگو یا طراحی پروتئین حول یک جایگاه خاص را مطرح می‌کنند (شکل ۴). اگرچه طراحی کامل و خودکار پروتئین‌های عملکردی با هوش مصنوعی همچنان در حال توسعه است، اما چشم‌اندازی روشن برای دستیابی به آن در آینده نزدیک وجود دارد (۱۲).

یادگیری ماشین با استفاده از نرم‌افزار آلفا‌فولد^۱، از تکنیک‌های یادگیری عمیق برای پیش‌بینی ساختار پروتئین با دقت بالا بهره می‌گیرد. این الگوریتم بر اساس توالی‌های اسیدآمین، ساختارهای پروتئین را مدل‌سازی می‌کند. با آموزش بر روی داده‌های ساختاری شناخته شده، ساختارهای جدید را با دقت قابل توجهی پیش‌بینی کند. این پیش‌بینی‌های ساختاری دقیق، به محققان کمک می‌کند تا مسیرهای نوینی در زیست‌شناسی مصنوعی، مهندسی آنزیم و طراحی پروتئین کشف کنند (۱۳).



شکل ۴. استفاده از چند-امیکس در مدل‌های مختلف هوش مصنوعی برای کاربردهای گوناگون (۳).

مولکولی دارو را بهبود می‌بخشد. نرم‌افزار آلفا‌فولد برای پیش‌بینی ساختار پروتئین و «هوش مصنوعی در شیمی»^۲ برای پیش‌بینی ویژگی‌های مولکولی و طراحی دارو، مورد استفاده هستند.

الگوریتم‌های یادگیری ماشین با تحلیل داده‌های موجود؛ مانند غربال‌گری مجازی برای کشف خواص و ارزیابی سمیت داروها با استفاده از ابزارهایی مانند ایکس جی باکس^۳ و جنگل تصادفی^۴ در طبقه‌بندی و رگرسیون، الگوهای قابل اعتماد را شناسایی و پیش‌بینی‌های دقیقی ارائه می‌دهند. شبکه‌های عصبی کانولوشنی^۵، شبکه‌های عصبی بازگشتی^۶ و شبکه‌های مولد عمیق^۷ در حوزه یادگیری عمیق با بهره‌گیری از داده‌های حجیم و قدرت محاسباتی بالا، در مدل‌سازی ساختار پروتئین، تحلیل داده‌های ژنومی، شناسایی اهداف دارویی (شکل ۵) و طراحی مولکول‌های جدید پیشرفت‌های وسیع داشته است (۸، ۱۳).

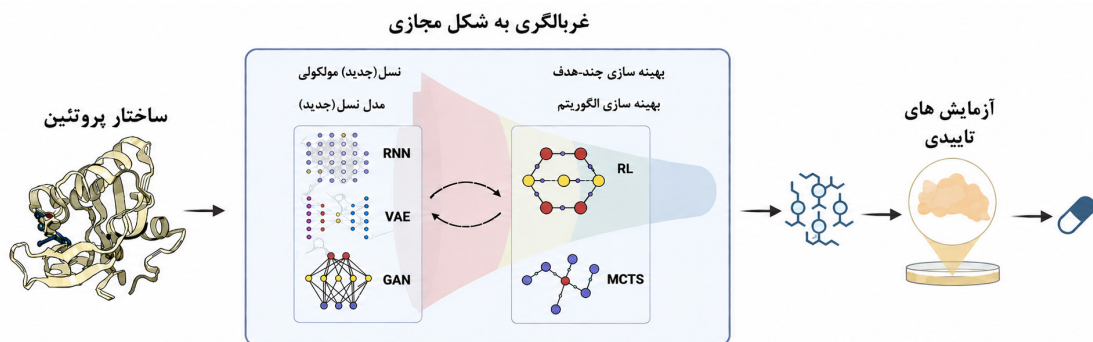
کاربرد هوش مصنوعی در کشف و توسعه داروها

در زیست‌شناسی ساختاری و توسعه دارو، یادگیری ماشین در پیش‌بینی ساختار پروتئین نقش کلیدی دارند. پروتئین‌ها که در بسیاری از فرآیندهای حیاتی نقش دارند، باید به شکل‌های سه‌بعدی مشخص تا شوند، تا عملکرد صحیح خود را نشان دهند. بررسی ساختار یک پروتئین، دیدگاه‌هایی در مورد عملکرد آن ارائه می‌دهد و برای طراحی داروهایی که با آن تعامل دارند، ضروری است و نیازمند آزمایش‌های گسترده برای اثبات اثربخشی و ایمنی است.

فرایند سنتی توسعه دارو با مشکلاتی مانند هزینه و زمان بالا، و محدودیت‌های استفاده از فناوری‌های پیشرفته مواجهه است، هوش مصنوعی با مدیریت فرایند تولید محصول، چالش‌ها را برطرف و با شناسایی ترکیبات هدفمند، روند تأیید را تسریع و طراحی

1. AlphaFold
2. DeepChem
3. XGBoost
4. Random Forest

5. CNN
6. RNN
7. GDN



شکل ۵. فرآیند مبتنی بر هوش مصنوعی برای کشف داروهای کوچک مولکول. فرآیند کشف داروهای کوچک مولکول مبتنی بر هوش مصنوعی از اطلاعات ساختاری پروتئین شروع می‌شود و از مدل‌های یادگیری عمیق مانند شبکه‌های عصبی بازگشتی (RNN)، آواتور کدر متناظر متفاوت (VAE) و شبکه‌های عصبی تولیدکننده متقابل (GAN) برای تولید مولکول‌ها استفاده می‌کند. این مدل‌ها با استراتژی‌های بهینه‌سازی مانند یادگیری تقویتی (RL) و جستجوی درخت مونت کارلو (MCTS) ترکیب می‌شوند تا امکان کاوش چند هدف شیمیایی فراهم شود. سپس ترکیبات نامزد حاصل از غربالگری مجازی، مورد تأیید آزمایشگاهی قرار می‌گیرند. شبکه عصبی تولیدکننده متقابل GAN؛ جستجوی درخت مونت کارلو MCTS؛ یادگیری تقویتی RL؛ شبکه عصبی بازگشتی RNN؛ آواتور کدر متناظر متفاوت VAE (۱۳).

هوش مصنوعی و پزشکی فرد-مدار

در مطالعه ژنومیکس، هوش مصنوعی نقش مهمی در پیشرفت پزشکی فردی ایفا می‌کند و توانایی زیادی در ارتقای فرآیندهای تشخیص و درمان دارد. جایی که درمان‌ها براساس ساختار ژنتیکی هر بیمار تنظیم می‌شوند. هوش مصنوعی امکان تجزیه و تحلیل سریع ژنگان بیماران و شناسایی جهش‌های مرتبط با بیماری و پیش‌بینی پاسخ به داروهای خاص را فراهم می‌کند. با تحلیل داده‌های ژنتیکی، بالینی و سبک زندگی بیماران، این فناوری امکان توسعه راهبردهای درمانی شخصی‌سازی شده را فراهم می‌آورد. استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین در این حوزه کمک می‌کند تا پاسخ بیماران به درمان‌ها پیش‌بینی شده و عوارض جانبی احتمالی شناسایی شوند. در چند سال اخیر، روش‌های هوش مصنوعی، به‌ویژه شبکه‌های عصبی، در پزشکی فردی گسترش یافته است. این مدل‌ها با تحلیل داده‌های پیچیده، مثل داده‌های طیفی و شاخص‌های تشخیصی، توانایی تشخیص بیماری‌هایی مانند ملانوما بدخیم، اختلالات چشمی و سرطان‌های مختلف را نشان دادند. ترکیب داده‌های چندمنبعی، که شامل اطلاعات ژنتیکی، سوابق پزشکی و عوامل سبک زندگی است، امکان ارائه درمان‌های هدفمند و دقیق‌تر را فراهم می‌کند. این رویکرد منجر به بهبود نتایج درمانی، افزایش اثربخشی مداخلات و کاهش عوارض ناخواسته می‌شود و در نتیجه کیفیت خدمات پزشکی را ارتقا می‌دهد (۱۴).

مدیریت اطلاعات در هوش مصنوعی برای بررسی فعالیت ژنگان در شرایط مختلف زیستی

بیشتر الگوریتم‌های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق ورودی خود را در قالب یک ماتریس می‌گیرند؛ در این ماتریس، هر

ستون نشان‌دهنده‌ی یک نمونه و هر سطر، یک ویژگی مربوط به آن نمونه است. ماهیت این ماتریس‌ها نیز به کاربرد مورد نظر و زمینه‌ی خاص آن بستگی دارد. در بیوانفورماتیک، برای بررسی فعالیت ژنگان در شرایط زیستی مختلف^۱، این نوع نمایش بسیار کارآمد است، چون بیشتر داده‌ها به این شکل ارائه می‌شوند. به عنوان نمونه، اطلاعات توالی RNA معمولاً در قالب ماتریس‌هایی ساخته می‌شود که در آن‌ها، میزان ژن یا رونویسی (در ردیف‌ها) در مجموعه‌ای از نمونه‌ها با شرایط مختلف (در ستون‌ها) اندازه‌گیری شده است.

ارتباط بین ماتریس‌ها و حوزه‌های یادگیری ماشین و بیوانفورماتیک، براساس زبان‌های برنامه‌نویسی مانند آر^۲ و پایتون است که از ماتریس‌های اطلاعات به عنوان ساختار اصلی استفاده می‌کنند. ولی در بسیاری از موارد، این ماتریس‌ها ممکن است ناقص و/یا دارای خطا باشند. روش‌های مختلف، شرایط تجربی متفاوت و دستگاه‌های مختلف می‌توانند باعث ایجاد سوگیری‌ها و دستکاری‌های مصنوعی^۳ شوند، علاوه بر این، ممکن است در برخی نقاط، اطلاعات برای برخی نمونه‌ها از بین رفته باشد. با توجه به این، اجرای یک رویکرد جامع برای درک عملکرد هر عنصر ژنگان نیازمند در نظر گرفتن داده‌هایی با انواع مختلف است. در این شرایط، جایگذاری داده‌های گمشده، حذف اطلاعات نامرتبط^۴ و یکپارچه‌سازی اطلاعات باید بعنوان جزئیات ضروری و لاینفک طراحی الگوریتم‌های یادگیری ماشین و هوش مصنوعی در حوزه فعالیت ژنگان در شرایط زیستی مختلف محسوب شوند (۴).

جایگذاری اطلاعات

مواجهه با اطلاعات ناقص غیرعادی نیست. دلایل این نوع مقادیر گمشده متعدد هستند، از جمله: در دسترس نبودن اطلاعات،

1. Functional genomics
2. R

2. Artefacts
3. Data denoising

نباشند. برای رفع این مشکل، روش‌های تخصصی پیشنهاد شده‌اند. پژوهشگران روشی را ارائه کردند که در آن‌ها با «قرض گرفتن»^۲ ستون‌های گمشده از نمونه‌های دیگر، مجموعه‌ای از جایگزین‌های ممکن را تولید می‌کنند، سپس تحلیل را به طور مستقل انجام می‌دهند و جایگزین‌هایی را که بیشترین تطابق را با نتایج اجماع دارند، انتخاب می‌کنند (۱۵).

حذف اطلاعات نامرتب

اطلاعات آمیکس به کاهش فراوانی ویژگی‌های خاص در یک سلول یا گروه سلولی در اثر عوامل مختلفی مانند تغییرپذیری زیستی اشاره دارد. همچنین، تعداد صفات اندازه‌گیری شده اغلب بیش از حجم نمونه‌ها است. فناوری‌های پیشرفته و دسترسی به تکرارها می‌توانند در برآورد و اصلاح خطاهای اندازه‌گیری مؤثر باشند، اما در مواجهه با تغییرپذیری زیستی که نقش مهم‌تری دارد، تأثیر کمتری دارند (۹). پیش‌شرط اصلی برای اجرای برنامه‌های یادگیری ماشین و هوش مصنوعی، داده‌های صحیح^۸ است (چیزی که نرم‌افزار برای آموزش نیاز دارد). حذف اطلاعات غیرمربوط شامل دو مرحله است: اصلاح داده‌ها (نرمال‌سازی) و حذف اندازه‌گیری‌های نادرست یا بی‌ربط (براساس ویژگی). دو روش کلاسیک برای حذف اطلاعات نادرست وجود دارد که برپایه دانش تجربی قرار دارند و بسته به اینکه از کدام مدل استفاده شود، متفاوت هستند. روش اول، بطورمثال برای نرمال‌سازی پروفایل بیان توالی RNA است، که در آن داده‌ها به صورت توزیع دو جمله‌ای منفی مدل‌سازی می‌شوند. برعکس، روش‌های بدون مدل که برای حذف اطلاعات بی‌ربط، بر تنظیم آستانه‌ها تمرکز دارند. این روش‌ها به جای اصلاح داده‌ها، سیگنال‌های ضعیف و ویژگی‌های نامعتبر را فیلتر می‌کنند. هر دو روش دارای مزایا و معایب خاص خود هستند. حذف اطلاعات نامرتب مبتنی بر مدل می‌تواند دست‌سازها را تصحیح کند و در نتیجه امکان ترکیب مجموعه‌های ناهمگن اطلاعات را فراهم سازد. این امر، به عنوان مثال، در هنگام نرمال‌سازی اطلاعات بیان ژن به‌دست‌آمده با فناوری ریزآرایه رخ می‌دهد. چالش اصلی، وابستگی کاربرد و اثربخشی روش به میزان انطباق مدل با مجموعه داده‌های مورد نظر است. از سوی دیگر، روش‌های بدون مدل همواره قابل اجرا هستند. ولی آستانه‌ها به مقیاس اطلاعات وابسته‌اند و انتخاب نامناسب آن‌ها می‌تواند منجر به حذف ویژگی‌های مرتبط شود که به طور تصادفی از رسیدن به مقدار حد آستانه باز می‌مانند. برای رفع این مشکل، فیلترهایی با چند مقیاس^۹ پیشنهاد می‌گردد.

رویکرد نوین در حذف داده‌های نامربوط، استفاده از یادگیری عمیق است. در رایج‌ترین روش پیشنهاد می‌گردد؛ ویژگی‌ها به‌عنوان

نقص در اندازه‌گیری، و ناسازگاری طرح‌واره^۱ پایگاه‌های اطلاعات مختلف. با توجه به روش‌های مختلف از دست رفتن داده، در برخی از مطالعات سه نوع دسته‌بندی پیشنهاد گردید: کاملاً تصادفی گمشده^۲ (MCAR)، تصادفی گمشده^۳ (MAR)، و غیرتصادفی گمشده^۴ (NMAR) اول، گمشده کاملاً تصادفی، وضعیت را شرح می‌دهد که در آن احتمال گم شدن برای تمامی اندازه‌گیری‌ها برابر است؛ این حالت ممکن است، در داده‌های ریزآرایه^۵ رخ دهد، موقعیتی که احتمال از دست دادن اطلاعات در هر نقطه آن وجود دارد. اگر احتمال گم شدن داده‌ها فقط درون یک گروه به شکل یکنواخت توزیع شده باشد، این داده‌ها به عنوان اطلاعات تصادفی گمشده محسوب می‌شوند. دسته سوم شامل مواردی است که در آن‌ها اصطلاح «کاملاً تصادفی گمشده» و «تصادفی گمشده» صحیح نیستند. قبل از به کارگیری الگوریتم‌های یادگیری ماشین یا هوش مصنوعی، باید مشخص شود کدام رویکرد برای استفاده از داده‌های گمشده مناسب‌تر است. از نظر برخی از پژوهشگران همراستا با این مطالعات دو رویکرد اصلی می‌تواند مدنظر قرار گیرد: (۱) حذف متغیرها یا نمونه‌های دارای مقادیر گمشده و (۲) جایگزینی داده‌های گمشده. حذف داده‌ها به دلیل احتمال سوگیری توصیه نمی‌شود. روش جایگزینی شامل پرکردن شکاف‌های داده با بهترین مقدار پیش‌بینی شده برای هر داده گمشده است، اغلب هدف این است که مقداری پیدا شود که بهترین برآورد برای مقدار گمشده باشد. بررسی این مفهوم به صورت تجربی در برخی مطالعات مشخص کرد که در خوشه‌بندی و طبقه‌بندی، روش‌های پیچیده‌تر جایگزینی نسبت به روش‌های ساده‌تر مانند میانگین برتری چندانی ندارند. این سری از مطالعات بر اهمیت حفظ معنا و مفهوم داده‌ها در فرآیند جایگزینی تأکید می‌کنند، به این صورت که جایگزینی نباید به صورت «جعبه سیاه» انجام شود، بلکه بر اساس هدف خاص باید صورت گیرد. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که در مجموع، روش‌های چندمتغیره در پیش‌بینی مقادیر گمشده، دقت بالاتری دارند.

مسئله‌ای مرتبط، در یکپارچه‌سازی اطلاعات چند-اومیکس^۶ وجود ستون‌های گمشده است. در این حالت، چندین جدول حاوی اطلاعات موجود است که هر کدام ویژگی‌های مربوط به گروهی از نمونه‌ها را شرح می‌دهند. برخی الگوریتم‌ها، مانند ترکیب موارد مشابه برای یکپارچه‌سازی این داده‌ها، به تطابق دقیق با گروه‌های نمونه نیاز دارند؛ بنابراین، حتی نبود یک ستون در یک جدول می‌تواند منجر به عدم اجرای این روش‌ها شود. افزودن یک ستون کامل بسیار دشوارتر از وارد کردن مقادیر جداگانه است و ممکن است روش‌های سنتی استفاده از آمار برای این کار مناسب

1. Schema

2. Missing Completely At Random

3. Missing At Random

4. Not Missing At Random

5. Microarray

6. Multi-omics

7. Borrowing

8. Clean Data

9. Multi-scale filters

و تنبل^۴ طبقه‌بندی کرد. در روش مشتاق، اطلاعات معمولاً در یک مرکز ذخیره‌سازی متمرکز کپی می‌شوند. در روش تنبل، اطلاعات در منابع اصلی خود باقی می‌مانند و در صورت نیاز و بنا به درخواست^۵ یکپارچه می‌شوند. هر دو روش برای دسترسی، به رابط‌های ماشین برای قابلیت خواندن تکیه دارند، چون دریافت^۶ و سازماندهی حجم زیادی از داده‌ها به صورت دستی مشکل و اغلب ناممکن است. بسیاری از پایگاه‌های داده، که به عنوان سرویس‌های وب شناخته می‌شوند، این اطلاعات را ارائه می‌دهند و به کاربران امکان می‌دهند، درخواست‌های خود برای دریافت اطلاعات بفرستند. سپس، این اطلاعات می‌توانند با رویکردهای مشتاق یا تنبل در فرآیند ادغام قرار گیرند. سرویس‌های وب می‌توانند از روش‌های مختلفی از جمله REST^۷، AJAX^۸ یا SOAP^۹ استفاده کنند. اطلاعات مبادله‌شده توسط ماشین به یکی از زبان‌های استاندارد مانند XML^{۱۰} یا JSON^{۱۱} در قالب قابل خواندن منتقل می‌شوند.

مشکل دیگر این است که پروتئین‌ها در موجودات زیستی مختلف توسط پژوهشگران با نام‌های متفاوتی مورد اشاره قرار می‌گیرند که این امر منجر به عدم استانداردسازی و دشواری در یکپارچه‌سازی اطلاعات می‌شود. در مواردی که رابط‌های قابل خواندن توسط ماشین در پایگاه‌های اطلاعات، قابلیت دسترس عمومی ندارند، پژوهشگران از نویسندگان پایگاه، درخواست رونوشت اطلاعات^{۱۲} می‌کنند یا می‌توانند از خزنده‌های وب^{۱۳} اطلاعات را از وب‌سایت‌ها در قالب HTML^{۱۴} استخراج کنند. این داده‌ها سپس برای استخراج اطلاعات مرتبط پردازش می‌شوند. اما استفاده از خزنده‌ها و رونوشت‌ها در پایگاه داده ممکن است مسائل حقوقی مربوط به مالکیت فکری به وجود آورد، که معمولاً با ارائه داده‌ها از طریق سرویس‌های وب در قالب شرایط از پیش تعریف‌شده برطرف می‌شود (۹).

برای بهتر فهمیدن فرآیند یکپارچه‌سازی، می‌توان خطوط مختلف داده‌های اومیکس مانند ژنومیکس، پروتئومیکس، ترانسکریپتومیکس و دیگر موارد را همچون عناصر یک ارکستر سمفونیک تصور کرد. فنوتیپ سلول‌های مشاهده‌شده نتیجه نواختن همزمان این عناصر است. گوش دادن به تنها یک عنصر (تحلیل یک ردیف اومیکس) تصویری از مولودی ارائه می‌دهد، اما جزئیات ناپیدا هستند. منطق یکپارچه‌سازی داده‌ها در فعالیت ژنگان در حالات زیستی مختلف بر تحلیل جامع تمامی داده‌ها و تعاملات آن‌ها تأکید دارد (شکل ۶)، زیرا می‌تواند دید کامل‌تری از وضعیت سلول نشان دهد. رابطه

بخش‌هایی از مدل یادگیری ماشین محاسبه شوند. کدگذارهای خودکار، به خصوص آن‌هایی که بر پایه شبکه‌های عمیق ساخته شده‌اند، اطلاعات غیرمرتبط را حذف می‌کنند. تفاوت این شبکه‌ها با کدگذارهای خودکار استاندارد در این است که برای بازسازی ورودی از نمونه‌های ناقص آن آموزش می‌بینند. این کدگذارهای خودکار -چه نوع استاندارد و چه حذف‌کننده‌های اطلاعات غیرمرتبط- قابلیت ترکیب با فناوری‌های دیگر را دارند. به عنوان مثال، کدگذارهای خودکار حذف‌کننده اطلاعات نامرتبط می‌توانند به صورت «نباشته‌شده»^{۱۵} استفاده شوند تا شبکه‌های پیچیده‌تری ایجاد شود، یا با مدل‌های بیزی ترکیب گردند تا اطلاعات مربوط به توالی‌یابی تک‌سلول از داده‌های نامرتبط پاک شوند (۱۶، ۴).

یکپارچه‌سازی اطلاعات

هدف اصلی مراحل یکپارچه‌سازی داده، سازماندهی اطلاعات به گونه‌ای است که به راحتی قابل استفاده، بهره‌برداری و در صورت امکان، توزیع مجدد باشند. همان‌طور که در شماره‌های دسترسی پایگاه اطلاعات اسید نوکلئیک^۲ به وضوح قابل مشاهده است. اطلاعات تنها زمانی مفید هستند که بتوان آن‌ها را به طور موثر جستجو کرد تا دانش جدید کسب شود. بنابراین، اطلاعات باید یا به صورت عمومی در دسترس باشند یا توسط مالکین‌شان به روشی کامل مورد بررسی قرار گیرند.

مرحله اول در تجزیه و تحلیل داده‌ها جمع‌آوری اطلاعات از منابع مختلف و ادغام آن‌ها با داده‌های تولیدشده در محل است. هرچند کاوش و یکپارچه‌سازی داده‌های عمومی می‌تواند به کشف نتایج جدید و مهم کمک کند، افزودن داده‌های جدید بر اساس پیشینه و تجربه پژوهشگر، ارزش مجموعه داده‌ها را افزایش می‌دهد. فرآیند یکپارچه‌سازی، شامل بازیابی، تمیزکاری و سازماندهی داده‌ها از منابع متفاوت است. در بسیاری موارد، بخش قابل توجهی از داده‌های مرتبط را می‌توان از پایگاه‌های داده موجود یا محلی دریافت نمود. این پایگاه‌ها حاوی اطلاعاتی مانند توالی‌های DNA، RNA و پروتئین، بیان ژن، داده‌های فنوتیپ، ساختارهای پروتئین، تعاملات پروتئین-پروتئین و ترجمه پروتئین هستند. علاوه بر آن، داده‌های مربوط به مسیرهای پیام‌رسانی و متابولیک، تصویربرداری سلولی و منابع دیگر نیز می‌تواند به مجموعه داده‌ها افزوده شود. تمامی این داده‌ها باید به صورت منسجم و یکپارچه سازمان‌بندی شوند تا برای اهداف خاص مورد استفاده قرار گیرند.

روش‌های یکپارچه‌سازی اطلاعات را می‌توان به دو دسته مشتاق^۳

1. Stacked
2. Nucleic Acids Research
3. Eager
4. Lazy
5. On-demand
6. Download
7. Asynchronous JavaScript And XML

8. RE presentational State Transfer
9. Simple Object Access Protocol
10. Extensible Markup Language
11. JavaScript Object Notation
12. Dump
13. Web crawlers
14. Hyper Text Markup Language

است. هدف این است که یک ماتریس جدید ساخته شود که روابط چندسطحی در آن نشان داده شده باشد. در حالت اول، خروجی یک ماتریس مربعی است که می‌تواند به عنوان مجاورت یک ماتریس تفسیر شود؛ هر ردیف و ستون مربوط به ژن است و مقادیر میزان ارتباط هر رابطه را نشان می‌دهد. مزیت این روش، امکان تحلیل مسیر و الگوریتم‌های شناسایی برای تحلیل‌های بعدی است. رویکرد دوم، یک ماتریس با ردیف‌هایی که ویژگی‌های ژنگان را نشان می‌دهد، ایجاد می‌کند. این نوع الگوریتم‌ها امکان تحلیل تفاضلی یا خوشه‌بندی را برای تحلیل‌های زیرین فراهم می‌کنند، اما در فضای نمونه یا ویژگی محدودیت دارند. برای نمونه، روشی که بر اساس ترکیب خطی پروفایل‌های مرتبط، امتیازی به هر ژن می‌دهد، نیازمند این است که ماتریس‌های ورودی در یک فضای ویژگی مشترک قرار داشته باشند (۴، ۱۷).

بین متیلاسیون DNA و بیان ژن نمونه‌ای از آن است (۴). سه نوع کلی یکپارچه‌سازی وجود دارد: اول، یکپارچه‌سازی افقی که شامل مجموعه‌های جداگانه‌ای از یک نوع اومیکس است؛ دوم، یکپارچه‌سازی عمودی که داده‌ها را در یک نمونه دسته‌بندی می‌کند؛ و سوم، یکپارچه‌سازی موازی که این دو نوع را ترکیب می‌کند. نوع اول برای ترکیب داده‌های منابع مختلف مفید است و هدف آن کاهش ناسازگاری بین تعداد نمونه‌ها و ویژگی‌های ژنگان است. نوع دوم بیشتر برای شناسایی ویژگی‌هایی است که فنوتیپ مشاهده‌شده را شکل می‌دهند. در نهایت، نوع سوم زمانی مناسب است که داده‌ها ناهمگن باشند.

از نظر ریاضی، ورودی‌های الگوریتم‌های یکپارچه‌سازی مجموعه‌ای از ماتریس‌ها هستند (هرکدام مربوط به نوع خاصی از داده‌های اومیکس)، که هر ردیف نشانگر یک ژن و هر ستون نشانگر نمونه

	منابع	فناوری	ترتیب اومیکس
اطلاعات ژنتیکی	Anderson 1981; Margulies et al 2005; Metzker 2010; Blejorn 2016 Rivera et al 2013; Stricker et al 2017	تعیین توالی شات گان تعیین توالی نسل دوم تعیین توالی نسل سوم توالی بای بی سولفتیت Immunoprecipitation کروماتین به دنبال آن توالی بای سایت‌های حساس به DNase1	ژنومیکس مطالعه اطلاعات ژنتیک در یک ارگانسم یا سیستم ای بی ژنومیکس مطالعه تغییرات خونش ژن تغییر باید
انتخاب بیان بر اساس اطلاعات ژنتیک	Prijicova et al 2017 Motorin et al 2019	ریزآبه تحلیل سریالی بیان ژن، توالی پای RNA برجسب خورده با ۴- تیوریدین، توالی پای نسل جدید کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا کروماتوگرافی فاز مایع-جرمی، کروماتوگرافی مایع همراه با طیف سنجی جرمی تاندوم، کروماتوگرافی لایه نازک، توالی پای با توان بالا.	ترانس کریپتومیکس مطالعه رونوشت از RNA ای بی ترانس کریپتومیکس مطالعه تغییر شیمیایی در رونوشت‌های متفاوت RNA
اطلاعات ژنتیک	Yates 2011; van Aghoven et al 2019; Zhang 2014; Hilkenkamp 1991; Gogicheva 2007	اسپکترومتری جرمی اسپکترومتری جرمی / جرمی پونیزاسیون/دسریشن لیزری کمکی ماتریسی همراه با زمان پرواز تاندوم	پروتئومیکس مطالعه پروتئین‌های اختصاصی تولید شده توسط سیستم‌های زیستی (سلولی، بافت، اندام) همزمان با تغییرات شیمیایی و تعامل ساختاری و عملکردی
نوع خونش	Wang 2019	کروماتوگرافی فاز مایع جرمی اسپکترومتری جرمی	متابولومیکس مطالعه بر روی متابولیتها در یک ارگانسم یا بافت در یک شرایط معین در زمان بیماری و فیزیولوژی

شکل ۶. جنبه‌های مختلف فعالیت ژنگان در شرایط متفاوت زیستی شامل رشته‌های «اومیکس» مشارکت‌کننده، ویژگی‌های زیستی هدف، و فناوری‌های اصلی با توان بالا برای تولید اطلاعات (۳).

جستجوی اطلاعات

هدف از جستجوی اطلاعات، کشف دانش جدید و ناشناخته است که می‌تواند در توسعه فرآیندها و محصولات نوآورانه کاربرد داشته باشد. کاوش داده‌ها ممکن است به روش سنتی، بر پایه شهود و جستجوی دستی، انجام شود، اما با توجه به رشد سریع حجم داده‌ها، این رویکرد در حال زوال است. به همین دلیل، پژوهشگران

باید از مجموعه‌ای گسترده از تکنیک‌های آماری و هوش مصنوعی مرتبط با یادگیری ماشین بهره‌مند شوند. اطلاعات را می‌توان به روش‌های متنوعی از طریق یادگیری ماشین جستجو کرد، اما به طور کلی، دو روش مستقل و مکمل وجود دارند: نظارت‌شده^۱ و بدون نظارت^۲.

1. Supervised

2. Unsupervised

پنهان و دانش جدیدی را آشکار کنند، مانند دسته‌بندی خودکار پروتئین‌ها بر اساس ویژگی‌هایشان مثل آب‌دوستی یا آب‌گریزی، یا گروه‌بندی انواع پروتئین در مجموعه‌های مختلف که منجر به کشف ویژگی‌های نوین می‌شود. به دلیل اینکه کشف دانش در این روش‌ها غیرمستقیم است، احتمال کشف اطلاعات جدید نسبتاً کمتر است. بنابراین، الگوریتم‌های یادگیری ماشین نظارت‌شده بیش‌ترین پتانسیل را در کشف دانش جدید دارند (۹،۱۸).

مقابله با چالش‌های استفاده از نرم‌افزارهای بیوانفورماتیک

کاربردهای هوش مصنوعی در بیوانفورماتیک متفاوت است؛ زیرا از حجم بالای نرم‌افزارها و اطلاعات عمومی در طراحی الگوریتم‌ها و تولید دانش جدید استفاده می‌شود. ولی ماهیت داده‌ها و کاربردهای هوش مصنوعی، سؤالاتی درباره مزایا و معایب اشتراک‌گذاری داده‌ها و همچنین تداخل احتمالی بین ملاحظات اقتصادی و اخلاقی ایجاد می‌کند. مجموعه‌های نرم‌افزاری یکپارچه و فرمت‌های استاندارد فایل، مکانیسم تحلیل را ساده‌تر کردند و برنامه‌های کاربردی وب، دسترسی به ابزارهای تحلیلی را برای آزمایشگاه‌های با منابع محاسباتی محدود ممکن ساخته‌اند. این اشتراک‌گذاری، اثرات اقتصادی مثبتی نیز دارد، زیرا پروژه‌های تحقیقاتی می‌توانند با استفاده از ابزارهای عمومی، آزمایش‌های پرهزینه و زمان‌بر برون-تن^۴ را محدود کنند. ولی موفقیت این پروژه‌ها به قابلیت اعتماد نرم‌افزار مورد استفاده بستگی دارد. اکثر نرم‌افزارهای بیوانفورماتیک تحت مجوز عمومی همگانی (GPL)^۵ یا مجوز MIT منتشر می‌شوند که امکان استفاده مجدد از کد را فراهم کرده و توسعه ابزارهای جدید را تسریع می‌کنند. در عین حال، این مجوزها شامل سلب مسئولیت‌هایی هستند که مسئولیت و ضمانت را محدود می‌کنند و در نهایت، کاربر نهایی را مسئول هرگونه نقص یا عملکرد نادرست نرم‌افزار می‌دانند. هرچند این رویکرد در بسیاری موارد رایج است، اما در برنامه‌های که نیازمند تضمین هستند، نبود ضمانت‌ها باید با احتیاط صورت گیرد. بنابراین، استفاده از روش‌های برنامه‌نویسی برای ارتقاء کیفیت نرم‌افزار ضروری است و با توجه به اهمیت ابزارهای قابل اعتماد، انجام آزمایش‌های دقیق پیش از انتشار نرم‌افزار لازم است (۴).

بازنگری در فرآیند بازیافت اطلاعات:

مزایا و چالش‌های حقوقی، اخلاقی، و اقتصادی

این رویکرد، ژنگان را به‌عنوان یک سامانه یکپارچه می‌بیند که امکان به اشتراک‌گذاری و بازیابی داده‌های فناوری‌های اومیکس برای پروژه‌های تحقیقاتی جدید را فراهم کرده است. اشتراک‌گذاری و بازیابی اطلاعات، علاوه بر مزایای اخلاقی، از نظر اقتصادی هم مقرون به‌صرفه است. از نظر اخلاقی، اشتراک‌گذاری داده‌ها ممکن

در یادگیری ماشین نظارت‌شده، هدف استنباط قوانین کلی از مجموعه‌ای برچسب‌خورده از نمونه‌ها است. در ساده‌ترین شکل، الگوریتم‌های یادگیری ماشین با جداولی از نمونه‌ها ارائه می‌شوند که هر کدام نشان‌گذاری شده‌اند. بنابراین الگوریتم‌ها معادلاتی را نشان می‌دهند که امکان استخراج برچسب‌ها از داده‌ها را فراهم می‌سازد. به عنوان مثال، نویسندگان از کدگذارهای خودکار برای ترکیب اطلاعات اومیکس در سرطان کبد و الگوهای موثر بر پروفایل‌های بیان متفاوت ژن استفاده می‌کنند. کاربردهای یادگیری نظارت‌شده در زیست‌فناوری بسیار متنوع است. داده‌های بیان ژن، تنها داده‌ای نیست که در برچسب‌گذاری سلول به کار می‌رود. اطلاعات مورد نیاز برای این برچسب‌گذاری می‌تواند شامل داده‌های بیان ژن، توالی DNA یا پروتئین، تصاویر گرفته شده، یا هر نوع گزارش آزمایش دیگری باشد. روش‌های یادگیری ماشین نظارت‌شده بسیار انعطاف‌پذیر هستند و امکان برچسب‌گذاری این سلول‌ها را در صورت وجود مجموعه‌ای از نمونه‌های قبلاً برچسب‌خورده، فراهم می‌کنند. با توسعه روش‌های یادگیری عمیق، پردازش خودکار داده‌های با ابعاد بالا مانند تصاویر و ویدئوها به صورت سریع‌تر و کارآمدتر انجام می‌شود. این روش «برای طبقه‌بندی داده‌ها استفاده می‌شوند»^۱، تا نمونه‌ها را در مجموعه‌های گسسته طبقه‌بندی کنند. روش‌هایی که در مدل‌سازی قابل استفاده هستند، برچسب‌های گسسته نیستند بلکه پیوسته‌اند. در شرایط کنونی، نیازی نیست که پژوهشگران، این روش‌ها را پیاده‌سازی کنند، چون بسیاری از بسته‌های نرم‌افزاری به صورت عمومی در دسترس هستند که مستقیماً از تکنیک‌های یادگیری ماشین نظارت‌شده برای تحلیل اطلاعات کاربران بهره‌برداری شوند. از جمله این بسته‌ها می‌توان به بسته‌های منبع باز همچون کراس^۲ اشاره کرد. برخی از این بسته‌ها نیازمند برنامه‌نویسی با استفاده از زبان‌هایی مانند آر، مطلب^۳ یا (پایتون) هستند، در حالی که برخی دیگر را می‌توان با حداقل آشنایی در دستکاری داده‌ها استفاده کرد، بسیاری از شرکت‌ها نرم‌افزارهای خاص و یکپارچه برای کاربردهای زیست‌فناوری و توسعه داده‌ها ارائه می‌دهند.

روش‌های یادگیری ماشین بدون نظارت توانایی جستجو و کشف اطلاعات دارند، اما معمولاً کمتر از روش‌های نظارت‌شده کارآمد هستند. این روش‌ها شامل تصویربرداری فضای اومیکس در ابعاد کوچک‌تر و ترکیبی از داده‌های کای و انتخاب ویژگی‌ها می‌شوند، که به‌ویژه در خوشه‌بندی مؤثر است. این رویکردها برچسب نمی‌خواهند و به‌جای آن، نمونه‌ها را بر اساس شباهت‌ها و ویژگی‌هایشان دسته‌بندی می‌کنند. در حالیکه خوشه‌بندی یکی از رایج‌ترین روش‌ها در یادگیری بدون نظارت است، رویکردهای دیگری هم وجود دارند که هدف مشابهی دارند. این فرآیندها می‌توانند الگوهای

3. Classifiers
4. Keras
5. MatLab

1. in vitro
2. General Public Licence

دلیل، اشتباه در طبقه‌بندی عمدتاً به مشکلات اقتصادی و حقوقی می‌انجامد. پیامدهای متفاوت این دو خطا باعث شده است برخی محققان پیشنهاد دهند که ارزیابی عملکرد طبقه‌بندی‌ها بر اساس هزینه انجام شود. اما اجرای چنین رویکردی پیچیدگی‌هایی دارد؛ درحالی‌که هزینه مرتبط با مثبت‌های دروغین را می‌توان بر اساس هزینه‌های آزمایش‌های غربالگری برآورد کرد، کمی‌سازی هزینه‌های منفی‌های دروغین دشوارتر است، زیرا نیازمند ارزیابی ارزش مالی جان انسان است. برای کاهش این خطاها و بهبود دقت در طبقه‌بندی، دو روش پیشنهاد می‌شود: (۱) بهره‌گیری از دستورالعمل‌هایی که شامل بازبینی موارد مشکل‌دار توسط متخصصان است؛ و (۲) توسعه روش‌های هوش مصنوعی، که برای تشخیص و اصلاح خطاهای طبقه‌بندی آموزش دیده‌اند. علاوه بر دقت، یکی دیگر از چالش‌های مهم در کاربرد هوش مصنوعی در شرایط زیستی و پزشکی، مسئله انصاف در ارائه اطلاعات است. این موضوع غالباً بر اثر آموزش الگوریتم‌ها بر داده‌های مبتنی بر سوگیری یا نابرابری ناشی می‌شود. برای مثال، آموزش بر روی داده‌های جمعیتی با سوگیری می‌تواند منجر به شناسایی نشانگرهای زیستی مربوط به اقوام خاص شود، که ممکن است در شناسایی نادرترین بیماری‌ها مفید باشد، اما همزمان خطر نابرابری بین جمعیت‌های کم‌نماینده و پرناماینده نیز وجود دارد (۲۱، ۲۲).

بحث

با رشد داده‌های زیستی و پیچیدگی آن از منابع مختلف، استفاده از زیرساخت‌های محاسباتی اهمیت زیادی یافته‌اند. پیشرفت‌های اخیر در فناوری‌های توالی‌یابی و روش‌های با توان عملیاتی بالا، تغییرات مهمی در علوم زیستی و زیست‌فناوری ایجاد کرده است. الگوریتم‌های هوش مصنوعی که قادر به ذخیره‌سازی و پردازش داده‌های خام و بدون ساختار در مقیاس وسیع هستند، امکان استخراج سریع اطلاعات را فراهم می‌کنند و در توسعه سامانه‌های هوشمند با تصمیم‌گیری پیچیده نقش حیاتی دارند. این دستاوردها در تولید، نگهداری و تحلیل داده‌ها، مسیر را برای توسعه محصولات و خدمات متنوع در حوزه‌هایی مانند زیست‌شناسی هموار کرده است. انقلاب صنعتی سوم با پیشرفت‌های محاسباتی و اینترنت آغاز شد و زیرساخت‌های لازم برای ظهور هوش مصنوعی را فراهم ساخت، در حالی که حجم عظیم داده‌ها و تحلیل آن‌ها، توانایی‌های شناختی انسان را به سطوح جدیدی رساند (۹). اکنون، هوش مصنوعی به عنوان عنصر مرکزی در انقلاب صنعتی چهارم شناخته می‌شود. آزمایش‌هایی که قبلاً ماه‌ها یا سال‌ها طول می‌کشید، با فناوری‌های نوین جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها، نه تنها ممکن، بلکه غالباً ارزان‌تر شده‌اند. تحلیل‌های آزمایشی منجر به تولید داده‌های خام در قالب‌های متنوع شده و ذخیره‌سازی و تحلیل این داده‌ها با ابزارهای هوش مصنوعی، فرصت‌های جدیدی برای محققان، دانشگاهیان و صنعت زیست‌فناوری به وجود آورده

است نیاز به آزمایش‌های حیوانی را کاهش دهد، مخصوصاً زمانی که این آزمایش‌ها به حیوانات رنج و درد وارد می‌کند. از دیدگاه اقتصادی، هزینه نگهداری، ذخیره‌سازی و به اشتراک‌گذاری داده‌ها با فناوری‌های جدید، بسیار کمتر از تولید داده‌های نوین است. همچنین، این فرآیند، دسترسی آزمایشگاه‌های کوچک با بودجه محدود را به منابع داده گسترش می‌دهد (۱۹).

یکی دیگر از مزایای مهم، ایجاد مجموعه‌های داده بزرگ است؛ این مجموعه‌ها برای آموزش و بهبود الگوریتم‌های هوش مصنوعی ضروری هستند. این موضوع، انگیزه‌ای قوی برای جذب سرمایه‌گذاری و ترغیب ناشران به ترویج اشتراک‌گذاری داده‌ها به وجود آورده است. اما در مسیر اشتراک‌گذاری، خطراتی نیز وجود دارند؛ نشت اطلاعات، ممکن است ناشی از سوءاستفاده یا خطا، حریم خصوصی افراد را تهدید کرده و منجر به تبعیض شود. برای کاهش این خطرات، در حوزه امنیت پروژه‌های بزرگ سرمایه‌گذاری می‌شود و از فناوری‌های ناشناس‌سازی و روش‌های دقیق برای کنترل دسترسی استفاده می‌شود (۲۰). هم‌اکنون، اطلاعات عمومی در قالب ویژگی‌های کمی‌سازی شده ژنگان ارائه می‌شود، در حالی‌که داده‌های خام تنها در اختیار موسسات مجاز است. با این حال، تضمین کامل امنیت و حریم خصوصی بیماران، همچنان چالش‌برانگیز است. با افزایش حجم داده‌ها، روش‌های ناشناس‌سازی با انجام یکپارچه‌سازی داده، ممکن است آسیب‌پذیر شوند. همچنین، اصل «انصراف»، که حق توقف مشارکت و حذف داده‌ها است، در پروژه‌های بزرگ بین‌المللی، به دلیل پیچیدگی پیگیری، ممکن است عملی نباشد.

نگرانی دیگر، نفوذ و نقض حریم خصوصی با پیشرفت‌های الگوریتم‌های هوش مصنوعی است، بدون اینکه فرآیند رضایت آگاهانه در نظر گرفته شود. با این حال، نباید بین حریم خصوصی و فناوری‌های هوشمند، یکی را بر دیگری ترجیح داد. در حال حاضر، تلاش‌هایی انجام می‌شود تا راه‌حلی پیدا شود که هر دو نیاز را مانند حذف انتخابی اطلاعات برآورده کند (۱۹).

در ارزیابی مراقبت‌های بهداشتی، هوش مصنوعی معمولاً بر شناسایی الگوهای خاص تمرکز دارد که در فرآیندهای تشخیص و درمان توسط پزشکان استفاده می‌شود. البته این نوع طبقه‌بندی کامل نیست و می‌تواند دو نوع خطا ایجاد کند: اشتباه در تخصیص عناصر به یک کلاس (مثبت دروغین) و ناتوانی در شناسایی عناصر مربوطه (منفی دروغین). وقتی هدف، تشخیص «بیماری» است، مثبت‌های دروغین ممکن است منجر به اضطراب و نگرانی بی‌مورد در افراد شوند و با افزایش نیاز به آزمایش‌های غربالگری پرهزینه و غیرضروری، بار مالی سامانه بهداشتی را افزایش دهند. برعکس، منفی‌های دروغین می‌توانند منجر به تأخیر در تشخیص صحیح شوند و در بیماری‌هایی مانند سرطان که زمان تشخیص در اثربخشی درمان اهمیت دارد، عواقب جدی دارند. به همین

برنامه‌های جاری و کاربردی هوش مصنوعی باید خطرات احتمالی، مانند سوءاستفاده در سلاح‌های بیولوژیکی یا برنامه‌های مخرب، را در نظر داشته باشند. ارتباط مؤثر میان خطرات و مزایای هوش مصنوعی در زیست‌فناوری برای جلب اعتماد عمومی بسیار حیاتی است. ساده‌سازی مفاهیم پیچیده به زبان قابل فهم، بدون اغراق در نتیجه‌گیری‌ها، می‌تواند فاصله دانش بین متخصصان و مردم عادی را کاهش دهد و چارچوب‌های نظارتی مؤثر و متعادلی توسعه دهد که همزمان نوآوری را ترویج داده و خطرات را کاهش می‌دهد (۲۵).

نتیجه‌گیری

هوش مصنوعی، با بهره‌گیری از اطلاعات متنوع، در تمام جنبه‌های فعالیت‌های تحقیقاتی تأثیرگذار است. معماری‌های یادگیری عمیق به دلیل توانایی در پردازش داده‌های حجیم، متنوع و پیچیده به‌طور سلسله‌مراتبی، قادرند الگوهای پنهان در داده‌ها را استخراج و تفسیر کنند. اما این معماری‌ها اغلب توضیح‌پذیر نیستند و نمی‌توانند فرآیند شفاف نتیجه‌گیری را توضیح دهند. این ابهام در انتخاب ویژگی‌های پایه می‌تواند ارزش کاربردی نتایج را کاهش دهد. همچنین، دشواری در انتخاب معماری مناسب برای مسائل خاص، به‌ویژه در محیط‌های حساس، مربوط به نبود تفسیرپذیری در برخی مسیرهای یادگیری عمیق است. در این فضا، اشتراک‌گذاری رایگان نرم‌افزار، منابع آموزشی و پایگاه‌های داده معتبر، که پایه توسعه کاربردهای هوش مصنوعی در علوم زیستی و حوزه‌های پیچیده‌تر هستند، اهمیت می‌یابد. به‌ویژه در بخش‌هایی که هوش مصنوعی می‌تواند شناخت دقیق‌تری از مکانیسم‌های زیستی ارائه دهد، استفاده از این ابزارها ترجیح داده می‌شود. در واقع، تقویت دانش زیستی با نتایج هوش مصنوعی به یک نیاز علمی و عملی تبدیل شده است. این امر نیازمند امکاناتی برای اعتبارسنجی و ساخت مدل‌های نظری با توانایی پیش‌بینی بالا در رفتارهای استاتیک و دینامیک سامانه‌های زیستی با سطوح مختلف پیچیدگی است. افزایش کمی و کیفی اطلاعات معتبر و تلفیق آن‌ها با مدل‌سازی نظری، در آینده اعتماد بیشتری به پیش‌بینی‌ها و تصمیمات مبتنی بر هوش مصنوعی ایجاد خواهد کرد.

است. آینده هوش مصنوعی در زیست‌شناسی دو رویکرد اصلی پیش رو دارد: رقابت یا همکاری بین رویکردهای اطلاعات‌محور و مدل‌محور. همکاری این دو رویکرد، شناخت دقیق‌تر از روابط و مکانیسم‌های سامانه‌ها را تسهیل می‌کند. روش‌های مبتنی بر مدل می‌توانند محدودیت‌های دانشی را تعریف و کنترل کنند، در حالیکه نتایج هوش مصنوعی در تعیین پارامترهای مدل‌های زیستی مؤثر است (۴).

کاربردهای گسترده هوش مصنوعی در زیست‌شناسی شامل تشخیص دقیق ساختار سه‌بعدی مولکول‌های زیستی مانند پروتئین‌ها است، که در تحقیقات زیستی نقش اصلی دارند. علاوه بر این، هوش مصنوعی، فراتر از محدودیت‌های آزمایشگاهی بر تمامی مراحل چرخه عمر یک محصول دارویی یا شیمیایی اثر می‌گذارد. ابزارها و برنامه‌های هوشمند، فرآیندهای تولید پیچیده را خودکار می‌کنند و نیاز روزافزون به داروها، مواد شیمیایی صنعتی و مواد خام زیستی را برطرف می‌سازند. در زیست‌فناوری، هوش مصنوعی دوگانگی است که بر توازن بین نوآوری و اقدامات حفاظتی تأکید دارد. نظارت زیاد ممکن است مانع پیشرفت، در حوزه‌هایی مانند کشف دارو و زیست‌شناسی مصنوعی شود، جایی که فناوری‌های پیشرفته می‌تواند منجر به پیشرفت‌های قابل توجهی گردد (۲۳). در کنار آن، نبود تدابیر امنیتی ممکن است منجر به سوءاستفاده‌هایی مانند توسعه سلاح‌های زیستی یا تولید عوامل آسیب‌زا به صورت تصادفی شود. دستیابی به این توازن نیازمند سیاست‌های انعطاف‌پذیر است که در برابر فناوری‌های نوظهور مقاوم باشد و تهدیدات جدید را در نظر گیرد (۲۴). رویکرد فعال و بین‌رشته‌ای در مواجهه با چالش‌های هوش مصنوعی در زیست‌فناوری ضروری است. همکاری میان پژوهشگران هوش مصنوعی، مهندسان زیستی و متخصصان امنیت، می‌تواند درک جامع‌تری از خطرات دوگانه ایجاد کند و امکان طراحی اقدامات حفاظتی عمل‌گرایانه را فراهم آورد. در مراحل اولیه، مشارکت ذینفعان مختلف موجب می‌شود که نگرانی‌های ایمنی و اخلاقی در کنار پیشرفت‌های علمی لحاظ شوند. برخلاف تلاش‌های اولیه،

منابع

1. Bhardwaj A, Kishore S, Pandey DK. Artificial Intelligence in Biological Sciences. *Life* 2022; 12(9):1430.
2. Wanerman RE, Javitt GH, Shah AB. Artificial Intelligence in Biotechnology: A Framework for Commercialization:419–27.
3. Jarallah SJ, Almughem FA, Alhumaid NK, Fayez NAL, Alradwan I, Alsulami KA et al. Artificial intelligence revolution in drug discovery: A paradigm shift in pharmaceutical innovation. *International Journal of Pharmaceutics* 2025;680;125789.
4. Caudai C, Galizia A, Geraci F, Le Pera L, Morea V, Salerno E et al. AI applications in functional genomics. *Computational and Structural Biotechnology Journal* 2021;19: 5762-90.
5. Holzinger A, Keiblinger K, Holub P, Zatloukal K, Müller H. AI for life: Trends in artificial intelligence for biotechnology. *New Biotechnology* 2023; 74: 16-24.

6. Gul I, Adil M, Lu H, Lu S, Li H, Liu F et al. AI-Driven Omics for Smart Remediation of Heavy Metal Contaminated Soils. *Physiol Plant* 2025; 177(6):e70611.
7. Jaganathan D, Ramasamy K, Sellamuthu G, Jayabalan S, Venkataraman G. CRISPR for Crop Improvement: An Update Review. *Front Plant Sci* 2018;9 :985.
8. Ali M, Shabbir K, Ali S, Mohsin M, Kumar A, Aziz M et al. A New Era of Discovery: How Artificial Intelligence has Revolutionized the Biotechnology. *Nepal J Biotechnol*; 2024; 12(1): 1-11.
9. Oliveira AL. Biotechnology, Big Data and Artificial Intelligence. *Biotechnology Journal* 2019; 14(8).
10. Du Lee H, Park EG, Lee YJ, Jeong H-S, Roh H-Y, Jeong G-R et al. Advances in Artificial Intelligence (AI) Models and Generative Algorithms Represent a New Paradigm for Genomics Research. *Int J Mol Sci* 2025; 26(22)
11. Kortemme T. De novo protein design-From new structures to programmable functions. *Cell* 2024; 187(3): 526-44.
12. Kuhlman B, Bradley P. Advances in protein structure prediction and design. *Nat Rev Mol Cell Biol* 2019; 20(11): 681-97.
13. Liu Y-T, Zhang L-L, Jiang Z-Y, Tian X-S, Li P-L, Wu P-H et al. Applications of Artificial Intelligence in Biotech Drug Discovery and Product Development. *MedComm* 2025; 6(8).
14. Topol EJ. High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. *Nat Med* 2019; 25(1): 44-56.
15. Flores JE, Claborne DM, Weller ZD, Webb-Robertson B-JM, Waters KM, Bramer LM. Missing data in multi-omics integration: Recent advances through artificial intelligence. *Front Artif Intell* 2023;6 ;1098308.
16. Love MI, Huber W, Anders S. Moderated estimation of fold change and dispersion for RNA-seq data with DESeq2. *Genome Biol* 2014; 15(12): 550.
17. Conesa A, Madrigal P, Tarazona S, Gomez-Cabrero D, Cervera A, McPherson A et al. A survey of best practices for RNA-seq data analysis. *Genome Biol*; 2016;17:13.
18. Ritchie MD, Holzinger ER, Li R, Pendergrass SA, Kim D. Methods of integrating data to uncover genotype-phenotype interactions. *Nat Rev Genet* 2015; 16(2): 85-97.
19. Kaye J. The tension between data sharing and the protection of privacy in genomics research. *Annu Rev Genomics Hum Genet* 2012; 13: 415-31
20. Vayena E, Blasimme A, Cohen IG. Machine learning in medicine: Addressing ethical challenges. *PLoS Med* 2018; 15(11):e1002689.
21. Char DS, Shah NH, Magnus D. Implementing Machine Learning in Health Care - Addressing Ethical Challenges. *N Engl J Med* 2018; 378(11): 981-3.
22. Haro LP de. Biosecurity Risk Assessment for the Use of Artificial Intelligence in Synthetic Biology. *Appl Biosaf* 2024;29(2): 96-107.
23. Sanders LM, Scott RT, Yang JH, Qutub AA, Garcia Martin H, Berrios DC et al. Biological research and self-driving labs in deep space supported by artificial intelligence. *Nat Mach Intell* 2023; 5(3): 208-19.
24. O'Brien JT, Nelson C. Assessing the Risks Posed by the Convergence of Artificial Intelligence and Biotechnology. *Health Security* 2020; 18(3): 219-27.
25. Wheeler NE. Responsible AI in biotechnology: balancing discovery, innovation and biosecurity risks. *Front. Bioeng. Biotechnol.* 13 ;2025.
26. Sahner D, Spellmeyer DC. Artificial Intelligence: Emerging Applications in Biotechnology and Pharma:399-417.

علم، پژوهش و دانشگاه ایرانی در «دنیای قشنگ نو»

مسعود آریین نژاد
دانشگاه زنجان، گروه ریاضی
arian@znu.ac.ir

نامه علوم پایه شماره ۱۵، بهار و تابستان ۱۴۰۴

چکیده

گاهی نگاهی از آنسوی دیگر، تصویرهای متفاوتی را نشان می‌دهد که برای فهم و شناخت بهتر هر پدیده‌ای، یک فرصت تازه و مغتنم است. از این رو شاید برای بهتر دیدن و فهمیدن مسئله پیچیده‌ای چون «علم، پژوهش و دانشگاه» در ایران، بی‌مناسبت نباشد که گاهی هم از آنسوی همه فرض‌ها و مقبولیت‌های رایج به آنها نظر کنیم شاید که با پرسش‌ها و چالش‌هایی مواجه شویم که بازنایشی‌های متفاوتی را طلب کنند.

واژگان کلیدی: علم، پژوهش، دانشگاه، توسعه.

بسیاری از دیگر تازه واردها نمی‌توانست بازپچه و ابزار دست هر رهگذر کوچه و بازاری بشود و انتظار می‌رفت که این از راه رسیده متفاوت در دست آدم‌های خاصی و در سازمان‌های خاصی، محمل و راه‌گشای ورود با افتخار و سربلند ما به قلب نوآور و پیشرفته دنیای امروز باشد و سربل اصلی و غفلت شده‌ی گذر تاریخی ما به قلب دنیای مدرن! این یعنی قرار بود که ضعف یا قصور دیگر ره‌آوردها برای رساندن ما به دنیای مدرن را این یکی، سربلند و بکه و تنها جبران کند و بعد از آن همه تلخکامی، سرانجام ما را به وصال یک دنیای توسعه یافته و پیشرفته برساند!!

دنیای قشنگ نو

برای ما، همه این‌ها، سوغاتی‌های خوش آب و رنگی از یک «دنیای قشنگ نو» [۶] در آن «دور دست»‌هایی بودند که در تمام بیش از یک و نیم قرن گذشته همیشه آرزو و شوق و حسرت رسیدن به آن را داشته‌ایم و هنوز هم داریم اما دریغ که بعد از این همه سال و این همه تلاش و سردرگمی و اشتیاق، نه تنها هنوز حض وصال چندانی از مهتاب رویش ندیده‌ایم بلکه روز به روز در برابر جلوه‌ها و زرق‌وبرق‌های جذاب و فریبنده‌اش، بیگانه‌تر و بلاتکلیف‌تر و حتی در گمانی از هر روز دورافتادگی و جدا افتادگی و جا ماندگی بیشتر و بیشتر هستیم [۱،۲].

علت چیست؟! این یکی از مهم‌ترین و بحرانی‌ترین پرسش‌های رو در روی چند نسل ماست. چرا هنوز به جایی نرسیده‌ایم و چرا به جایی نمی‌رسیم؟! آیا می‌دانیم که هر یک از آن همه ره‌آورد پُرشمار و متنوع «عصر جدید» واقعا چیستند و ماهیت و کارکرد واقعی‌شان چیست و خواستن و داشتن آنها چه ربط روشنی به آینده سهم ما

بی‌مقدمه است اما برای مایی که بعد از چندین و چند قرن خوابگردی، هنوز خیلی نیست که به «دوران» رسیده‌ایم یا «تازه به دوران رسیده‌ایم» (اگر رسیده‌ایم؟! «علم، پژوهش و دانشگاه» هم کمابیش ره‌آورد تازه‌ایست که عمر چندانی از آن در میان ما نمی‌گذرد و ریشه و خاستگاهی در تاریخ چند قرن اخیر ما ندارد [۳،۴،۵]. این یعنی دانشگاه هم برای ما یک کالای کاملاً وارداتی است درست مثل کالاهای وارداتی دیگری چون اتول، عکاسخانه، توپ جنگی، دموکراسی، رادیو، گرامافون، تلگراف، لکوموتیو، سینماتوگراف، روزنامه، مدرسه، درشکه و مانند آن که در نیمه دوم قرن سیزده خورشیدی یک به یک از راه رسیدند و هر یک به نوبه خود غافلگیرمان کردند و البته همگی هم جالب بودند و به دردمان خوردند و خیلی زود کار با آنها را یاد گرفتیم و هر یک را در جایی از جامعه و زندگی مان به کار گرفتیم. در قرن بعد هم ورود غافلگیرانه این ره‌آوردها همچنان ادامه یافت و واقعیت این است که هنوز هم و با سرعت خیلی بیشتری ورود آنها ادامه دارد و همچنان نیز هر یک ما را غافلگیر و حتی شگفت زده می‌کنند و همچنان هم همگی را جذاب و جالب و مفید می‌یابیم و پس از اندکی، زندگی را بدون آنها سخت و حتی ناممکن می‌بینیم. از آن جمله‌اند، با تقریبی از تقدم و تاخر زمانی: سجد، قطار، جاده شوسه، اتوبوس، ماشین سواری، دانشگاه، ایروپلین، قانون مدنی، دادگستری، رادیو، سینما، تئاتر، تلویزیون، ماشین حساب، کامپیوتر، پی سی، سی دی، اینترنت، ایمیل، لب تاپ، فلاش مموری، موبایل، رسانه اجتماعی و مانند آن. اما شاید یکی از غافلگیرکننده‌ترین این از راه رسیده‌ها، چیزی با نام پژوهش و پییر و مقاله علمی در دانشگاه بود که متعلق به همین دو سه دهه اخیرند. از راه رسیده‌هایی که برخلاف

نشان به نشان آن همه آزمون و خطایی که خرج میانبرهای نیل به «خودکفایی غذایی» کردیم و به جایی نرسیدیم و نشان به نشان آن همه همت و غیرتی که خرج نیل به «تمدن نوین اسلامی» کردیم و به جایی نرسیدیم.

میانبرها

همین گونه آزمون و خطاهای تعجیلی و آرزوهای وصال میانبری را در میدان «علم، پژوهش و دانشگاه» هم به کار بستیم و در طی دو سه دهه اخیر درگیر جد و جهد بلیغی شدیم اما هر چه بیشتر گذشت فاصله خود را با علم و پژوهش و دانشگاه‌های روز دنیا بیشتر و بیشتر یافتیم!! جد و جهد بلیغی که بعد از چند دهه امروز به بحران‌های عمیق تودرتویی در علم و پژوهش و دانشگاه‌های ما، بی هیچ چشم انداز برون رفت و گشایشی انجامیده است. بحرانی‌هایی ناشی از تبدیل دانشگاه به کارخانه صدور انبوه مدارک عالی تحصیلی کم ارزش و حتی بی‌ارزش و تبدیل پژوهش به خط تولید انبوه مقاله‌های طاقچه پر کن و تبدیل علم و دانش به رتبه‌های نمایشی مراکز علمی و دانشمندان ویرینی و بی‌تفاوتی به همه چیز! در بستر این بحران‌هاست که هم اکنون علم و پژوهش و دانشگاهی داریم که درگیر هیچ بخش روشنی از توسعه و حل مسئله‌های دور و نزدیک جامعه خود نیست و خیل دانش‌آموختگان بی‌تقاضا و بی‌انگیزه‌ای را روانهٔ جامعه می‌کند که در رشته خود دانش موجه و کارآمدی نیاموخته‌اند و به هیچ کجای کار توسعه کشور نمی‌آیند و استادان بسیاری را در خود دارد که درگیر هیچ دغدغه و شور و اشتیاق آموزشی و پژوهشی روشنی جز کسب امتیازهای ترفیع و ارتقاء و حقوق و حق التثویق و پژوهانه و پُست مدیریتی و آمار مقاله و شاخص پی‌پی‌اچ و مجله نیستند و دانشگاهی که انگیزه‌های عالی دانش‌پوروری در آن دُر کمیاب و نادری است و قریب به اتفاق متعلقینش در معرض و پیگیر هیچ رتبهٔ شاخص و برجسته‌ای تقریباً در هیچ شعبه و تخصص و تجربه‌ای نیستند. این از خود بیگانگی و بر کناری و نمایشی بودن، واقعیت پنهان نشدنی بزرگ و تلخی از هویت امروز نهاد علم، پژوهش و دانشگاه ایرانی است و یکی از روایت‌های واقعی امروز شخصیت و هویت علمی ما!

یقیناً مداخله سیاست در همه چیز علم و دانشگاه ایرانی قصه‌ها و غصه‌های غم‌انگیز خود را دارد اما این هم قدری راست است که ما دانشگاهیان هنوز «علم، پژوهش و دانشگاه» را به درستی نمی‌شناسیم و به ضرورت‌ها، ایجابات و اقتضاهای وجود و حضور خلاق و مولد و موثرش آگاه نیستیم و از همه مهم‌تر «مسئله داری کانونی» نهاد علم، پژوهش و دانشگاه چه در حوزه خدمات آموزشی و تربیتی و چه در حوزه پژوهش برای ما هنوز معنی کال و نارسیده‌ای است و جایگزین ناپذیری این آب‌خوار اصالت بخش و ارزش آفرین را به درستی در نمی‌یابیم.

دارند و قرار است چه «دنیای قشنگ نو»یی برای ما بسازند؟! آیا در به کار بستن این دستاوردها کاربران دانا و خالقی بوده‌ایم؟ آیا راه و طریق درست و بجایی برای رسیدن به این «عصر جدید» انتخاب کرده‌ایم؟ آیا از عهدهٔ طی طریق مستقل و بی‌یار و یاور این راه ناشناخته برمی‌آییم که هر روز منزوی‌تر و جدا افتاده‌تر در مسیر آن هستیم؟ و آیا اصلاً درضمن اقدامات و تلاش‌های پراکنده و متفرقمان، برنامه و تدبیر راهنمای روشنی داشته‌ایم و داریم؟!

مآنده‌های آسمانی

راست این است که ما همهٔ این راه‌وردها را در قاب دورنماهایی از آن دوردست‌ها می‌بینیم و می‌سنجیم، دورنماهایی که از این فاصله، جز در شمایل صورتک‌هایی ایستا، کارپذیر و گسسته دیده نمی‌شوند با ظاهری مستقل و بی‌رنگ و لعاب، چون مآنده‌هایی آسمانی، منزّه، بی غل و غش و بی‌آلایش. از این رو هربار به هنگام ورود این سوغاتی‌ها، خود را در معرض انتخاب‌های متنوع رنگارنگی می‌دیدیم، انتخاب‌هایی که در بدو امر خیلی خوب و عالی بودند و حال و روزمان را خوش‌تر و آسوده‌تر می‌کردند و نیازهای رو به افزایش روزمره‌مان را برطرف می‌ساختند اما از نقطه‌ای به بعد دیگر یا چندان خوب و عالی به نظر نمی‌رسیدند و یا چندان خوشی و آسودگی کم هزینه‌ای برآیمان نمی‌آوردند. یکی چون خودرو و صنعت که امروز بدون آنها هیچ چیزمان نمی‌گذرد ولی از نقطه‌ای به بعد آنقدر تباهی و آسیب به جان سرزمین و آب و هوا و سلامتمان زدند که از عهده چاره‌جویی و علاجش بر نمی‌آییم. دیگری رسانه است که روزآمدی شگفتی از اخبار و اطلاعات و سرگرمی برآیمان فراهم ساخت اما به تدریج در مقابل استیلا جویی فکری و فرهنگی‌اش خود را کاملاً بی‌پناه و منفعل یافتیم. دیگری اینترنت و موبایل و رسانه اجتماعی است که ارتباطاتمان را به طرز شگفتی سرعت و گسترش بخشیدند اما به تدریج آنچنان روح و روانمان را دگرگون و ملتهب ساختند که آرام و قرار نداریم.

گاهی آنقدر مفتون و دلدادۀ این مآنده‌های آسمانی می‌شویم که گمان می‌کنیم خود نیز می‌توانیم حتی بهترش را بسازیم یا بیافرینیم! پس در پی راه میانبر سریع الوصولی برای استقلال و پیشتازی در هر یک برمی‌آییم و برای این کار هم هزینه‌های گزافی خرج می‌کنیم. جالب آنکه اغلب هم میانبرهای کوتاه در دسترسی می‌یابیم و یک چندی روزگار و سرمایه و سرنوشت نسل‌هایی را صرف آزمون و خطای طی طریق آن می‌کنیم. اما دیری نمی‌گذرد که متوجه می‌شویم در انتهای این میانبرها، تنها یک ایستگاه بین راهی فراموش شده در انتظارمان است! نشان به نشان آن همه آزمون و خطای بی‌پایانی که خرج میانبرهای نیل به «صنعت و فناوری» مستقل در این یا آن زمینه کردیم و به جایی نرسیدیم. نشان به نشان آن همه آزمون و خطایی که برای نیل به «پیشرفت و استقلال اقتصادی» صرف کردیم و به جایی نرسیدیم.

با این اوصاف

وقتی که «صنعت و فناوری» برای ما چیزی از جنس یک کالای وارداتی و مونتاژی یا حداکثر، مهندسی معکوس است، «علم و دانش» هم برای ما معقولاتی محفوظاتی، کتابخانه‌ای، آوردنی، بردنی، خریدنی و وارد کردنی می‌شود و پژوهش هم خط تولید انبوه مقاله‌های مشابه سازی شده از مسیر نوعی تقلید از کالای اصل می‌گردد. در این شرایط طبیعتاً «علم» هم از جنس اقلامی خواهد بود که یا در قفسه خاک خورده کتابخانه‌ها یافت می‌شود یا در جیب و امضای مدرک داران دانشگاهی، کالایی که به سادگی جابجا می‌شود یا تغییر مالکیت و تعلق می‌دهد و به سادگی هم ثبت و ضبط و تثبیت و نگهداری و انبار می‌شود یا موزه‌ای و تماشایی و سرگرم کننده و تشریفاتی می‌گردد. به این ترتیب، مضمون پیچیده‌ای چون «پژوهش، مقاله و پیپر» هم اغلب جز انباشتی از درک و گمان‌های خام و شخصی پر از شکاف و خطاهای آسیب‌زای ناشی از دورافتادگی و محروم زیستی جهان سومی نمی‌شود!

برای همین گونه تلقی‌ها و گمان‌هاست که با همه تصور یا توهمی که از شبهه بیداری یک و نیم قرن اخیر خود داریم («بیداری» ادعای خیلی بزرگیست؟! «علم و دانش» هنوز نقش چندانی در تحولات و حتی مدیریت مسئله‌های جاری و روزمره ما ندارد و اگر در دنیایی پر از لاجرم‌های عصری و جهانی شده و نزدیک و پر از پیوندهای آنی روزمره (حسب مقتضیات چاره‌ناپذیر پیوندهای جهانی) زندگی نمی‌کردیم حتی ظاهر پیشرفت‌ها و امور جاری‌مان هم همچنان بسیار بطلی و کند و فراموش شده بود و بیش از این درجا می‌زدیم! با این اوصاف، تکلیف «علم و پژوهش و پیپر» هم که از میوه‌های متاخر علم و دانشگاه آرزومندانه در میان ما هست نیز معلوم است! «مقاله و پیپر نویسی» که روزگاری نه چندان دور گمان می‌شد مرکب تیزرو تازه نفسی برای میانبرهای علم جویی‌های رُو یا پرداز ما خواهد بود اکنون سخت درگیر توجیه اصالت و حقانیت و ضرورت و چرایی ناباروری و نازایی خود در همه چرایی‌های صحنه واقعیت‌های امروز زندگی و توسعه ما شده است تا در عین حال، از جمله پاسخ گوید که چرا در استیلای تفسیری خود، بود و نبود همه چیز علم را فقط به قابی فرو کاسته است که جلوه فروشی و نمایش و بازی، از مهم‌ترین شیوه‌های رایج آن در میان ماست.

راه چاره‌ها

دلایل و راه چاره دردهای دانشگاهی ما حتماً که فراوانند اما بی‌تردید

۱. یکی از دلایل مهم آن، جدایی و انزوای نهاد علم و دانشگاه ما از نهاد جهانی علم و دانشگری است چرا که علم نمی‌تواند در بستر منزوی و جدا افتاده‌ای رشد کند و بارور و زاینده شود. از سر

همین دوری و انزوا هم هست که هنوز معانی و میوه‌های بدیعی چون پیپر و مقاله علمی در کام اغلب دانشگران ما کارکردی جز پرکردن سیاهه امتیازهای شبهه اداری ندارد و از مراوده و مبادله دستاوردهای علمی با همتایان جهانی اثر چندانی در کار و کارنامه ایشان دیده نمی‌شود.^۱

۲. یکی از مهم‌ترین مأموریت‌های دانشگاه، تربیت نیروی انسانی اندیشه ورز و مسئله حل کن است و نه تولید خیل مدرک داران کم صلاحیت برای فربه‌تر کردن انتظارات و ناکارآمدی‌های نظام دیوان‌سالار.

۳. علاج آوار مضایق متنوع نظام اقتصادی (از ضیق فرصت‌های شغلی تا ضیق رونق اقتصادی و استغنائی درآمدی) بر عهده دانشگاه نیست و اگر چنین انتظاری به نحوی بر او تکلیف و تحمیل شود به مانند آنچه در چهار دهه اخیر رخ داد زوال تدریجی استانداردهای علم، آموزش و پژوهش لاجرم و گریزناپذیر است. از همین رو است که طلب وسیع تحصیلات دانشگاهی حتی برای جوانان، مدرک جویی وسیع و گسترده همه اقشار جامعه از کارمند و روحانی و نظامی و اشتیاق به مدارک هرچه عالی‌تر دانشگاهی مانند فوق لیسانس و دکتری از سوی بسیاری از جوانان به بن بست رسیده تنها بخش‌های کوچکی از پی آمدهای ناصواب این وضعیت است که در دانشگاه جلوه می‌کند و دشنامش فقط نثار دانشگاه می‌شود بی‌آنکه مسئولیتی در ایجاد آنها داشته باشد. علاج اقتصاد و عوارض عظیم و گسترده آن در همه بخش‌ها فقط بر عهده اقتصاد است نه دانشگاه یا هر بخش دیگری.

۴. صرف اصالت آفرینش علم و کشف عرصه‌های ناشناخته در مرزهای دانش، به ویژه در حوزه‌های کاربردی، توجیه پذیری چندانی در تناسب با ظرفیت و بنیه علمی کشور ما ندارد. این روند باید به نحوی و به تدریج تصحیح و تقویت گردد که انگیزه چاپ مقاله و تولید علم و پیپر بر صرف صدور مدرک و کسب امتیازهای ترفیع و ارتقاء و حق التثویقی و حتی توسعه مرزهای علم محدود نشود و به سوی اهداف ملموس قابل درک و تبیین توسعه کشور اصلاح گردد.

۵. اگر سیاست هم دست از سر دانشگاه بردارد و اهداف کوتاه مدت و گذرای خود را بر نهاد دانش و دانشگاه تحمیل نکند سلامت علم و آموزش و دانشگاه به تدریج با خود پالایش تدریجی باز خواهد گشت.

رودررو

• درگردونه جهانی و پُرونق «پیپر» نویسی، در فاصله بلندی که از اصالت و علم ناب تا تجارت و ابتذال امتداد دارد، ما پیپر نویسان دانشگاهی ایران دقیقاً در کجا هستیم و برای خود چه نقش خلاق یا پیشرانی در ترسیم هندسه و محتوای زندگی و زمانه جهانی یا

۱. انصاف باید داد که راه همواری هم برای چنین مراوداتی موجود نیست و مسئولیت اصلی گشایش آن بر عهده سیاست و اقتصاد است و نه علم و علم ورزان.

اینجایی قائلیم؟

مغفول نیست. این یعنی نقد و نظر منتقدانه حاضر در این کلام، فقط متوجه آفت‌های پراسیب نگاه رسمی و غالب حاضر به علم و خلاقیت‌های فناوری، پژوهش و پیپرنویسی در شرایط ادراک و تفسیر ما از توسعه علمی جهان معاصر است. بنابراین واضح است که حرمت علم و دانش و خلاقیت و پژوهش و پژوهشگر و مقاله‌ها و پیپره‌های اصیل و راهگشای ما که ناشر خرد، دانایی، تخصص و پیشقراولی‌های هرچند محدود اما سربلند ما هستند نکوهش پذیر نیستند و چنین گمانی هم در این نوشته مطرح نگشته است. تمام امید هم همین اصالت‌ها، حقانیت‌ها و راهبری‌های اصیل و پیشرو حاضر در صحنه علم و فناوری امروز کشور است که البته موجب مباحثات و افتخار همه ماست.

آلدوس هاکسلی

رمان «دنیای قشنگ نو» (۱۹۳۲) نوشته آلدوس هاکسلی نویسنده انگلیسی (۱۹۶۳-۱۸۹۴) است. وی یکی از پیش‌قراولان رمان‌های ضد آرمانی (پاد آرمانی) درباره آینده نامطلوب احتمالی برای تمدن است و مضمون اصلی این رمان هم در چنین فضایی است. در این رمان، آلدوس هاکسلی آینده‌ای را ترسیم می‌کند که دانش ژنتیک و روانشناسی پیشرفته در خدمت یک دیکتاتوری جهانی، نسل بشر را به نحوی به خدمت می‌گیرد که هر چند رنج‌هایی چون جنگ و فقر از بین می‌روند اما بنیاد خانواده و اصالت و اعتقاد به آن مضمحل می‌شود، انسان‌ها با شادی‌ها و رفاه‌های تنظیم شده‌ای تنها به لذت طلبی و اخلاق دم‌غنیمتی روزگار می‌گذرانند و شور و عشق و خانواده و هنر و مذهب که همگی محرک و انگیزه بخش تنوع و تکثر و رقابت و حس زندگی در جامعه و تاریخ بشری است فراموش می‌شوند. کارخانه‌های تولید و تکثیر ماشینی انسان، تولیدات خود را بر حسب سنجش هوشی، به دسته‌های تفکیک شده متنوعی و هر دسته‌ای را برای کارکردها و رضایت‌مندی‌های ماشینی پیش‌بینی شده‌ای تربیت و شرطی‌سازی می‌کنند. به این ترتیب روح آزاد شورمند عصیانگر خلاق بشر در چارچوب یک پادآرمان‌شهر نفرت انگیز اما در ظاهر برخوردار و منظم، منحل و مضمحل می‌شود.

• آیا خودآگاهی‌های انسانی و اجتماعی، موقعیت و جایگاه روشنی در میدان فعالیت‌های مورد انتظار از «پژوهشگران» و «پیپر نویسندگان» ما دارد تا بخشی از قدر و قیمت این زحمت و همت، در میدان پر نزاع و گسترده «فرهنگ علم» به صحنه آید و جبهه‌ای از نقد و نظر درباره چند و چون پیپرنویسی را در چارچوب نقشه و تدبیری برای توسعه و آینده کشور شکل دهد؟

• آیا در هیجان رقابت تولید و تکثیر بی‌وقفه «پیپر» و برخی از خود فریبی‌های صوری و آماری پیوسته شده به آن در دانشگاه ایرانی، از خود بیگانگی غریب و وسیعی که «اخلاق»، «شور و شوق تجلیات انسانی» و «هوشیاری و هوشمندی عصری و نسلی» را در جایگاه دست چندی می‌گذارد جا خوش نکرده است؟

• چرا پیپرنویسان پُرشمار و حتی پُرشاخص ما در سمت و سوی مکتب آفرینی علمی، موفق و کامیاب نیستند تا نقش‌های محیطی و جهانی روشنی را بدست گیرند؟ چرا پیپرنویسان ما در سیاهه ویراستاران مجلات علمی خوب دنیا یا همکاری با سازمان‌های علمی بین‌المللی تقریباً هیچ نقشی ندارند؟

• آیا شکل پژوهشگری و پیپرنویسی‌های مسلط جاری در ایران امروزه در سمت و سویی از شکل‌گیری «دنیای قشنگ نو» کاذبی نیست که در آن فرهنگ، اخلاق و هوشمندی عمومی و اجتماعی و تاریخی مورد غفلت است؟

• آیا در میدان این دایره‌از علم و پژوهشگری، بیداری، هوشیاری و روابط انسانی ستوده‌ای در حال نشو و نماست یا محلی از اعراب و اعتنا دارد؟

• آیا این مدل دانشوری، جایگاه دانشوری‌های متفاوت و ممتاز دیگری چون «غلامحسین مصاحب»‌ها و «مریم میرزاخانی»‌های ممکن و مورد نیاز ما را تحدید و حتی تحقیر نمی‌کند یا فرصت و مجال برای بروز و ظهورشان باقی می‌گذارد؟

ترجیح مُرجح

خوشبینی، به قول علما، ترجیح مُرجح است. این معنی در این نوشته

منابع

۱. آزاد ارمکی، تقی، عقب‌ماندگی و توسعه در ایران، فصلنامه برنامه ریزی رفاه و توسعه اجتماعی، بهار ۱۳۹۴، شماره ۲۲، ۷۸-۵۱.
۲. الیاسی، حمید، واقعیات توسعه نیافتگی، شرکت سهامی انتشار، ۱۳۷۷.
۳. صدری افشار، غلامحسین، سرگذشت سازمان‌ها و نهادهای علمی و آموزشی در ایران، تهران، وزارت علوم و آموزش عالی، ۱۳۵۰.
۴. فراستخواه، مقصود، سرگذشت و سوانح دانشگاه در ایران، موسسه خدمات فرهنگی رسا، ۱۳۸۸.
۵. منصور، رضا، نقش نهاد دانشگاه در جامعه نوین ایران، ره‌یافت، ۱۳۷۴، ص ۷۱-۵۰.
۶. هاکسلی، آلدوس، دنیای قشنگ نو، ترجمه حمیدیان، سعید، انتشارات نیلوفر، ۱۳۷۸.

Convergence of AI and Biotechnology: A New Perspective on the Transformation of the Life Sciences

Aryan Nouhi, Shakiba Darvish Alipour Astaneh*

Dep. for Biotechnology, Faculty of New Sciences and Technologies, Semnan University, Iran

Darvishalipour@semnan.ac.ir

Abstract

Rapid advances in life science technologies, including next-generation sequencing (NGS) and mass spectrometry, have produced high-throughput, large-scale biological datasets. These platforms enable the quantitative and qualitative characterization of key biomolecules-DNA, RNA, proteins, and metabolites-that underpin the structural organization, functional activity, and dynamic regulation of biological systems across multiple scales. However, analyzing these complex datasets poses substantial challenges for data storage, integration, and the extraction of biologically meaningful insights. The integration of artificial intelligence (AI), particularly machine learning algorithms, with biotechnology has significantly reshaped modern biological research. These approaches enable efficient analysis of multidimensional data, improving the modeling of biological processes and the characterization of molecular interactions and regulatory networks. This convergence is driving innovation in drug discovery, precision medicine, bioengineering, and genome editing, with widespread applications in genomics, proteomics, and metabolomics. Furthermore, AI-enabled biotechnological strategies hold considerable promise for addressing global challenges by developing sustainable, environmentally friendly solutions, such as bio-based materials and renewable biofuels.

Keywords: Artificial intelligence, Biotechnology, Biology, Deep learning, High-throughput technologies, Machine learning

Science, Research and Iranian University in “Brave New World”

M. Ariannejad

Department of Mathematics, University of Zanjan

arian@znu.ac.ir

Abstract

Sometimes, a look from another side shows new images and perspectives, which may be a new and valuable opportunity for better understanding and recognition of any phenomenon. Therefore, perhaps in order to better grasp and understand the complex issues, such as «science, research and university» in Iran, it is appropriate to look at them beyond the conventional assumptions and common beliefs. Doing so may raise new questions and challenges that call for thoughtful rethinking.

Keywords: Science, Research, University, Development.

and finally to the formation of the periodic table in the 19th century, significant advancements occurred in understanding elements and their properties. Early Iranian scientists played a crucial role in identifying substances and chemical elements through experimental methods and the development of precise instruments. Their works laid the foundation for the transformation of alchemy into modern scientific chemistry. Dmitri Mendeleev had a profound impact on chemistry and various industries by predicting the properties of unknown elements and establishing a coherent pattern. Today, the periodic table includes 118 elements, and research continues in the discovery of new ones. This study examines the history and significance of the periodic table of elements, with a particular focus on Dmitri Mendeleev's role in its development. Although he was not the first to propose a periodic arrangement of elements, his version remains the most recognized and influential due to its ability to predict undiscovered elements and its clear as well as organized structure. The article also discusses the scientific challenges and advancements related to the creation of heavier and unstable elements, and highlights the future importance and applications of the periodic table in science and technology.

Keywords: Periodic Table, Chemical Elements, Systematic Arrangement, New Elements, History of Science, Alchemy, Properties and Development of Elements, Scientific Significance, Dmitri Mendeleev

A review on the history of Botanical Gardens and Flora of Iran

Mostafa Assadi

Botanical Department of Research Institute of Forests and Rangelands

Assadi1950@yahoo.com

Abstract

The history of botanical gardens goes back to Before Christ where Theophrastus in Greece was teaching to the public and investigating plants in places named Lyceum. In Iran, the first botanical garden was established in 1931 by Julien Gauthier in the present Faculty of Agriculture, University of Tehran. This garden developed later by Dr. Ervin Gauba in collaboration with Esfandiar Esfadiari and Habibollah Sabeti. The garden is visited by students at present. Later, some botanical gardens were established in Tehran University, Vaf-e Nar in SW Tehran, Nowshahr, Chitgar area and recently Kashan and Khorramabad. At present National Botanical Garden of Iran in Chitgar area and Nowshahr Botanical Garden are open to the public, Kashan Botanical Garden is open to the students and pupils and Zagros Botanical Garden in Khorramabad is under construction. Flora of Iran has a long history and it goes back to 1888 at the time when Edmond Boissier prepared *Flora Orientalis* in 5 volumes and a supplement. This Flora is in Latin and covers SW Asia including Iran and adjacent areas. Dr. Ahmad Parsa prepared the main part of the *Flore de l'Iran* in 5 volumes in 1950-1942. This Flora is in French and covers Iran. K. H. Rechinger started to prepare *Flora Iranica* in 1963 that finished in 2015 by 181 numbers. Many authors prepared different parts of *Flora Iranica* which are mainly in Latin and covers Iran, Afghanistan, S. part of Pakistan, S. part of Turkmenia, northern Iraq and part of Talysh adjacent to Iran. Plan of Flora of Iran prepared by Mostafa Assadi in 1988 and improved by the Research Institute of Forests and Rangelands. The plan prepared in a way that many other researchers may contribute to the Flora. This Flora completed in 2025 by 184 numbers plus a supplement and altogether 93 researchers contribute to it as the author of different parts. According to the Flora of Iran 177 families, 1303 genera, 7371 species, 681 subspecies and 481 varieties are known from Iran. In total, 8533 species and subspecific taxa are known from Iran and descriptions, distributions, specimens seen by the author and for the main part distribution maps were prepared. In Flora of Iran, 2390 taxa including species, subspecies and varieties are known as endemics, that means 28% of taxa known from Iran are endemics and are known from any other parts of the world.

Keywords: Botanical Gardens, National Botanical Garden of Iran, Herbarium, Flora of Iran.

necessities are discussed. We add the automation and generalization components to the major elements of computational thinking (abstraction, decomposition, algorithm, debugging) and define the human-centric computational thinking which considers the characteristics of human intelligence and its computational ability. We then introduce the category of computational thinking using the category theory principles and illustrate its relationships with other categories, which include real-world problems in physics, chemistry, and biology. We investigate the relationships among the mind, language, and the external real-world with the help of logical thinking and the category of human-centric computational thinking.

By examining the mutual relationships among humans and real-world problems, we demonstrate how new technologies are developed and explain the role of human-centric computational thinking in this process. We then examine the mutual relationships and interactions among human-centric computational thinking, artificial intelligence and education. We conclude that human-centric computational thinking, as an essential skill, has a significant impact on individual and social level transformations in various societies, and therefore it requires special educational measures.

Keywords: artificial Intelligence, computational thinking, logical thinking, category theory, human-centered computational thinking, intelligent systems, education.

The Vision, Ingenuity, and Creative Tricks of Euler, Lagrange, and Poincaré: Concrete Conceptual Examples

Saeed Ranjbar

PhD in Mathematics and pure mathematics researcher, Shahid Beheshti University of Medical Sciences,
Tehran/IRAN

Cardiovascular Research Institute of Modares Hospital and Maastricht University Medical Center,
Maastricht, Netherland

sranjbar28@gmail.com

Abstract

In this article, we will examine some of the unique perspectives, innovative and creative ideas of Euler, Lagrange and Poincaré around three concrete and meaningful problems. Euler presents an algebraic combination that is useful in many fields in various fields of science and engineering. Lagrange puts the very difficult N-body problem in the form of singularity of potential function, and finally Poincaré provides a reduction of dynamics and the study of stability. This article shows how these three perspectives and mathematical creativity come together in the study of cardiac dynamics.

Keywords: Euler, Lagrange, Poincaré, Analysis of Infinities, Three-Body Problem, Section Mapping, Visualization of the Heart.

The Periodic Table and the Story of Mendeleev

Bahareh Ahmadi¹, Reza Yousefi¹, Ali A. Moosavi-Movahedi^{1,2*}

1. Institute of Biochemistry and Biophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

2. Fellow of the Academy of Sciences of the Islamic Republic of Iran,

Fellow of The World Academy of Sciences (TWAS), Fellow of the Islamic World Academy of Sciences

moosavi@ut.ac.ir

Abstract

The periodic table, a systematic arrangement of chemical elements based on atomic number and similar properties, is regarded as the foundation of modern chemistry. From ancient times to the age of alchemy,

international experiences to propose a framework for redistributing roles between government and citizens. The findings indicate that the government should play a leading role in macro-level policymaking, infrastructure development, and regulation, whereas citizens—rather than being passive consumers—should act as active agents of governance in four key domains: improving water-use patterns and culture, participating in local decision-making, exercising social oversight and accountability, and collaborating in resource restoration initiatives. Such a reciprocal interaction forms the foundation for participatory and sustainable water governance in Iran.

Keywords: water-use patterns, sustainable development, innovative technologies, participatory governance, water policy, social participation, water resources management

Iran's Water Crisis: Toward Shared Responsibilities between Government and Citizens

Mohammad Ghasem Vahidi Asl

Department of Statistics, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

m-vahidi@sbu.ac.ir

Abstract

This paper examines the role of the history of mathematics in mathematics education and argues that history should function not as a decorative narrative element but as an epistemological and pedagogical framework. Drawing on contemporary research in History and Pedagogy of Mathematics (HPM) and an analysis of Howard Eves' *An Introduction to the History of Mathematics*, the study demonstrates that a systematic integration of historical materials enhances conceptual understanding, strengthens motivation, and improves teacher education. The findings suggest that history can serve as a powerful organizing principle for mathematics instruction.

Keywords: History of Mathematics, Mathematics Education, Teacher Education, Genetic Method, HPM

Introducing human-centered computational thinking and its category theoretic elucidation

Arta Amir Jamshidi* and Naghi Asadi Lomehdasht

Data Science and Modeling Research Laboratory,
School of Mathematics, Statistics and Computer Science, College of Science, University of Tehran.

arta.jamshidi@ut.ac.ir

Abstract

In the present era, with the introduction of artificial intelligence, digital tools, and intelligent computing systems in human life, the way humans interact with their surrounding environment has undergone fundamental changes. In recent years, due to the important role of computing systems in all aspects of life, a type of thinking known as computational thinking has gained attention. Computational thinking involves the thought processes involved in formulating problems and their solutions, in a way that the solutions can be effectively executed by an information processing agent. The greatest advantage of this type of thinking is its ability to solve real-world problems.

In this article, computational thinking and the historical evolution of its core components and their

Dynamics of Belief versus Science Unfolding of Math Myths and Artificial Intelligence Part I

Khosrow Monsef Shokri

Faculty of Mathematical Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

k_shokri@sbu.ac.ir

Abstract

The establishment of the Darolfonun, the creation of new schools, mandatory public education, and the establishment of the University of Tehran are considered pillars of modernization in contemporary Iran. However, the goals that the founders of these modern institutions had in mind, after nearly a hundred years of educational experience, are believed by many to have been accompanied by numerous shortcomings, the results of which are evident today. In this article, we address the roots of this inefficiency, based on available historic records and existing research, especially in the Pahlavi period. We show that, on the one hand, the public's incorrect perception of this novel knowledge, and on the other hand, the hasty decisions and demands of administrators, prevented this new knowledge institution from realizing either the spiritual aspiration of its founders, i.e., the « human-making factory », or its objective achievement, namely power-knowledge».

Iran's Water Crisis: Toward Shared Responsibilities between Government and Citizens

Eskandar Zand^{1*}, Fereshteh Batoukhteh²

1. Professor, National Plant Research Institute, Tehran, Iran

2. Department of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences
and Natural Resources University, Mazandaran, Iran

eszand@yahoo.com

Abstract

Over the past decades, Iran's water management system has undergone profound transformations. Prior to administrative centralization in the mid-20th century, water governance was largely based on local institutions and customary mechanisms such as mirabi (traditional water masters), communal allocation of qanat water, and village councils—structures that reflected thousands of years of lived experience among local communities in the country's arid and semi-arid regions. With the expansion of the modern state and the establishment of centralized water organizations, this community-based model was gradually replaced by a state-led management approach which, despite its technical achievements, created a growing gap between government and society in water-related decision-making.

Today, Iran's water crisis—driven by its dry climate, unsustainable agricultural development, population growth, and weak demand management—has become one of the main challenges to sustainable development and national security. While a return to traditional systems is not feasible, redefining the relationship between the state and citizens through shared responsibility in water governance is an undeniable necessity.

This paper analytically reviews the current status of Iran's water resources and draws upon successful

(MSRT). This concentration may be regarded as a structural advantage for the development and advancement of the basic sciences in Iran. However, recent trends in doctoral admissions raise concerns. In both 1403 and 1404, the total number of doctoral applicants remained approximately 170,000. Nevertheless, the share of applicants in the basic sciences declined sharply from about %6.5 to %4, a significant decrease that warrants careful attention from policymakers and academic leaders. Another important indicator of educational quality is the extent to which graduates from different higher education subsystems gain admission to advanced levels of study. At the master's level, admissions were distributed as follows: MSRT institutions (%66.5), Islamic Azad University (%21), Payame Noor University (%7.3), and non-profit institutions (%4.5). At the doctoral level, the corresponding shares were %86 for MSRT institutions, %9 for Islamic Azad University, %5 for Payame Noor University, and less than %1 for non-profit institutions. These patterns suggest that the educational and research quality of MSRT-affiliated institutions is considerably stronger than that of other subsystems, particularly in preparing students for doctoral studies. Based on these findings, the study proposes a set of recommendations aimed at strengthening and enhancing the position of the basic sciences in Iran. It is hoped that these recommendations will provide a foundation for evidence-based policymaking and decision-making at various levels of science and technology governance in the country.

Keywords: Basic sciences; Higher education; Research performance; Student enrollment; Employment; Science policy; National entrance examination.

Dynamics of Belief versus Science Unfolding of Math Myths and Artificial Intelligence Part I

Gholam Reza Rokni Lamouki

School of Mathematics, Statistics and Computer Science, College of Science, University of Tehran
rokni@ut.ac.ir

Abstract

The role of belief and its dynamism in the formation of knowledge, and the position of the concept of faith relative to knowledge, are examined within a reasonable framework. To achieve the main goal of this article, which is to analyze beliefs related to mathematical sciences and artificial intelligence, it is necessary to address the totality of the relationship between belief and knowledge. On the other hand, the ongoing battle between faith and science involves mathematics. Because social and personal structures have deep roots in the expansion of human knowledge, in general, and in mathematics in particular. In this way, by focusing on the concept of mathematical myths, we will examine their multilateral role. The increasing presence of artificial intelligence and data science at the social and academic levels raises new questions about the nature of belief, mathematics, automation, and their application in complex data-based systems, and confronts us with a road of emerging mythologies and reinterpretations of ancient myths, the generativity or inhibition of which depends on us.

Keywords: Faith, Belief, Myth, Superstition, Scientific Beliefs, Scientific Myths, Mathematical Beliefs, Mathematical Myths, Artificial Intelligence

Because of its length, as proposed by the Chief-Editor, this paper is published in two parts. Part 1 in this issue (15) and Part II in the next issue (16).

This new perspective highlights that human health is not limited to a single organ or test result, but is the outcome of a complex balance among the body, environment, and lifestyle.

Among the body's protective mechanisms, antioxidants play a critical role. Many people assume antioxidants come only from fruits and vegetables, yet a significant portion of the body's antioxidant defense is produced internally. One of the most important examples is melatonin, a hormone secreted in the dark during sleep. Melatonin not only regulates sleep but also has strong antioxidant properties that help protect cells. It is synthesized from serotonin, a molecule associated with happiness, calmness, and emotional balance. Interestingly, a large portion of serotonin is produced by the gut microbiome. This reveals the deep connection between gut health, mental well being, and high quality sleep.

Modern science increasingly demonstrates that a healthy lifestyle is not a luxury but an inherent part of human biology. Regular sleep, natural nutrition, reduced consumption of processed foods, physical activity, avoidance of noise pollution, stress management, and maintaining healthy social relationships can help preserve the molecular and cellular balance of the body.

In truth, a healthy person is not merely someone without disease, but someone who maintains harmony among mind, body, environment, and the natural rhythms of life. Perhaps the most important message of contemporary biophysics is that health results from the coordination and balance between the biomolecules and cells of the body and the lifestyle of the individual.

Rationality and Scientific Lifestyle for Health (Book edited by A. A. Moosavi-Movahedi, Springer, 2021)

Enhancing and Advancing the Status of Basic Sciences: Achievements and Challenges

Ahmad Shabani¹ and Saeed Semnanian²

1. Faculty of Chemistry, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Member of the Chemistry Branch of the Academy of Sciences of the Islamic Republic of Iran.

2. Dept. of Physiology, Tarbiat Modares University

a-shaabani@sbu.ac.ir

Abstract

This article examines the status of the basic sciences in Iran through two main dimensions: research performance and student enrollment. The findings indicate that Iran ranks 16th, 19th, 14th, 20th, and 21st globally in mathematics, physics, chemistry, biology, and geology, respectively. Among these disciplines, mathematics and chemistry outperform Iran's overall global scientific ranking of 19th by three and five positions, respectively. In addition, while the global average share of highly cited researchers in the basic sciences is %23.6, the corresponding figure in Iran exceeds %25, reflecting the relatively strong national standing of these fields. Despite this favorable research performance, enrollment in the basic sciences has declined substantially over the past three decades. The share of students enrolled in these disciplines has fallen by approximately %50, decreasing from %14 of the total student population to less than %7. In 1402, approximately 205,000 students were enrolled in the basic sciences, including 149,000 undergraduate students (40,000, (%72 master's students (%20), and 16,000 doctoral students (%8). This distribution is broadly aligned with national development goals, which envision graduate students comprising %30 of the total student population. More than half of all students in the basic sciences, and nearly %70 of graduate students in these fields, study at institutions affiliated with the Ministry of Science, Research and Technology

Abstract of Contents

Biophysics of Stress and Free Radicals: A Simple Look at a Complex Phenomenon

Ali A. Moosavi-Movahedi

Institute of Biochemistry and Biophysics (IBB), University of Tehran, Tehran, Iran
Fellow, The Academy of Sciences of the Islamic Republic of Iran

moosavi@ut.ac.ir

Abstract

When we hear the word "stress," we often think of psychological pressure. However, in modern science, stress is not merely a mental feeling. From the perspective of biophysics and molecular biology, stress refers to any factor that disrupts the natural balance of cells and the vital systems of the body. One of its most important manifestations is oxidative stress, a condition directly linked to increased free radicals and reduced defensive capacity of the body.

Free radicals are highly reactive, unstable molecules naturally produced in the body. To neutralize them, the human body relies on its defense systems and antioxidants. But when the balance between the production of free radicals and the body's defensive ability is lost, oxidative stress develops, creating the conditions for cellular damage.

Today, sources of stress extend far beyond psychological concerns. Consumption of industrial foods, preservatives, artificial beverages, air pollution, electromagnetic waves and certain types of radiation, urban noise pollution, poor sleep, tobacco use, and even excessive use of synthetic fragrances can contribute to increased oxidative stress. As a result, the modern human body is constantly exposed to hidden molecular pressures.

Interdisciplinary research shows that oxidative stress can play a major role in the development of many chronic diseases, including heart disease, neurological disorders, premature aging, and especially type 2 diabetes and its complications. Studies conducted at the UNESCO Chair on Interdisciplinary Research in Diabetes at the University of Tehran emphasize that type 2 diabetes is not merely a "sugar disease," but to a great extent a disorder related to lifestyle, cellular and molecular stress, and imbalanced free radicals.

Nāme-ye-Oloom-e Pāye

Quarterly Review of Basic Sciences

The Academy of Sciences (Islamic Republic of Iran)

Director in Charge: Zare, Mehdi
Editor in Chief: Farazmand, Ali

Editorial Board:

Ariannejad, Masoud. Professor, Mathematics, University of Zanjan, Zanjan, Iran
Farazmand, Ali. Professor (retired), Genetics, University of Tehran, Tehran, Iran
Sheykhi, Ahmad. Professor, Physics, Shiraz University, Shiraz, Iran
Shaabani, Ahmad. Professor, Chemistry, University of Shahid Beheshti, Tehran, Iran
Zare Mehdi. Professor, Geology, International Institute of Earthquake Engineering & Seismology, Tehran, Iran

Editor: Farazmand, Ali
Executive Management: Sotoudeh, Hanieh
Website Management: Farrokh, Atena
Layout & Graphics: Ariannamazi, Yalda

Nāme-ye-Oloom-e Pāye, the quarterly Journal of Iran's **Academy of Sciences** focuses on publishing articles on fundamental sciences topics, including biology, chemistry, geology, mathematics and physics, with the priority given to studies dealing with main educational and research issues on these fields. The journal aims at promoting the communication between basic science authorities with scholars of other academic fields and the public. Articles with integrative, inter-, multi-, and trans-disciplinary views in science education and research with respect to sustainable development are also considered with primacy. The journal welcomes manuscripts highlighting broad aspects of basic sciences' formal and informal education, concerned with the advancement of scientific knowledge and attitude in the society

Mailing Address: The Academy of Sciences, Shahid Haqani Highway, Tehran, Iran,
ZIP code: 1538633111, **P O Box:** 19395-5318, **Tele Fax:** 88645595

Website: www.ias.ac.ir

Email: basic@ias.ac.ir

ISSN 2783-3666



با توجه به مقاله ارزشمند «پویش باور در برابر علم، رمزگشایی از اسطوره‌های ریاضی و هوش مصنوعی» (صفحات ۲۷ تا ۵۳ این شماره) روی جلد تصویری از مجسمه آرش کمانگیر، به عنوان نمادی از اسطوره‌های ایرانی، نقش بسته است. این مجسمه اخیراً در میدان ونک تهران نصب شده است.

نامه علوم پایه

فصلنامه تخصصی گروه علوم پایه فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران

ISSN 2783-3666