بسم الله الرحمن الرحیم

صاحب امتیاز: بنیاد علم و فناوری در ایران
سردبیر: علی‌اکبر موسوی موحدی
مدیر مسئول: عباسعلی زالی
مدیر اجرایی: ابوالفضل کیانی بختیاری

هیات تحریریه:
حسین احمدی نوبری، محسن بهرامی، مهدی بهزاد، جعفر توفیقی، غلامرضا حبیبی، عباسعلی زالی، محمد علی زلفی‌گل، سعید سهراب‌پور، عباس شکروی، مجتبی شمسی پور، علی‌اکبر صبوری، نصرت ا.... ضرغام، محمدرضا عارف، محمدمهدی علویان‌مهر، محمد فرهادی، مهدی محقق، عباس مصلی‌نژاد، رضا ملک‌زاده، حمید میرزاده، جعفر مهراد، علیرضا نوروزی، صادق واعظ‌زاده

نشریه نشاء علم، بر اساس مجوز شماره ۱۲۴۹۹۵ مورخ ۹۱/۶/۱۵ وزارت علوم، تحقیقات و فناوری از نخستین شماره دارای اعتبار علمی-ترویجی است.

* فصلنامه «نشاء علم» توسط بنیاد پیشبرد علم و فناوری در ایران و انجمن بیوشیمی‌فیزیک ایران منتشر می‌شود.
* هدف از انتشار این فصلنامه، فرهنگ‌سازی و کمک در راستای سیاست‌گذاری علم، پژوهش و فناوری، اطلاع‌رسانی، ترویج علم، کمک به مدیران مراکز تصمیم‌ساز و تصمیم‌گیر علمی و همچنین جهت‌دهی به نخبگان، پژوهشگران و علاقه‌مندان به نوآوری‌های علمی، پژوهشی و فناوری در کشور می‌باشد.
* آرا و نقطه‌نظرهای مندرج در مقالات و گزارش‌های منتشر شده در این فصلنامه، لزوماً بازگوکننده رأی و نظر بنیاد پیشبرد علم و فناوری در ایران و انجمن بیوشیمی‌فیزیک ایران نمی‌باشد.
* فصلنامه در ویرایش و حذف مطالب آزاد است و مقاله‌های فرستاده شده به دفتر نشریه، برگردانده نمی‌شود.
* نشریه نشاء علم از حمایت‌های معنوی و مادی بنیاد فرهنگی مصلی‌نژاد سپاسگزار است.
* نشریه نشاء علم از حمایت‌های معنوی و مادی بنیاد ملی علم ایران تقدیر و تشکر می‌نماید.

ISSN: X8003539

ناشر: بنیاد پیشبرد علم و فناوری در ایران و انجمن بیوشیمی‌فیزیک ایران
مسئول وبگاه: زهرا موسوی موحدی
نشانی: دانشگاه تهران- مرکز تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک
تلفکس: ۶۱۱۱۳۳۸۱ (۹۸۲۱+)
وبگاه بنیاد: http://fast-iran.ir
وبگاه انجمن: https://isobc.com
وبگاه نشریه نشاء علم: http://sciencecultivation.ir
نشانی الکترونیک نشریه نشاء علم: info@sciencecultivation.ir

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
سخن نخست : نقشه راه ملی برای ماندگاری استعدادهای علمی	۱۱۷
همگرایی علم نوین و حکمت کهن در تبیین کارکرد قلب/ مهران حبیبی‌رضایی؛ علی اکبر موسوی موحدی	۱۱۸
بانکداری فقرا: رهایی از فقر و توسعه محلی در ایران/ مهدی قربانی	۱۳۱
نگاهی به اقتصاد زیستی پایدار: راه سبز توسعه ملی/ سید مهدی علوی	۱۴۲
انقلاب صنعتی پنجم: از ماشین بخار تا هم‌افزایی دیجیتال/ سیده معصومه احمدی؛ علی خلخالی؛ اسماعیل کاظم پور	۱۵۲
نقش فناوری سنجش از دور در ارزیابی فلرینگ در صنایع نفت و گاز ایران/ سامره فلاحتکار؛ المیرا اسدی فرد؛ مهدی تنها زیارتی؛ سیدکاظم علوی پناه	۱۵۹
استفاده از فناوری بلاکچین در ایمنی غذایی و اصالت سنجی/ منصوره مظاهری	۱۶۶
نگاهی به امنیت و ایمنی غذایی و نقش فناوری‌های نوین/ محمد صادق علیائی؛ فرید نصیری؛ اسدالله اسدی؛ رضا یوسفی	۱۷۳
بلاکچین در گردشگری هوشمند: امنیت، اعتماد و پرداخت‌های امن/ محمدتقی نظری علیداش؛ امین فرجی	۱۸۲
زیست‌تجزیه‌پذیری میکروپلاستیک‌ها با استفاده از باکتری‌ها/ میترا پیرحقی	۱۸۹
بیوپلاستیک‌ها و نقش آنها در اقتصاد چرخشی/ مهرناز شیرمحمدی؛ فرحناز کیان ارثی	۱۹۸
بررسی قابلیت سنتینل-۱ در پایش پدیده فرونشست/ علیرضا محمودی؛ المیرا اسدی فرد؛ سیده زینب صفوی	۲۰۷
هوش مصنوعی و رنسانس نوین در علوم زیستی و زیست پزشکی/ باقر دوائیل؛ احمد امیری؛ علی اکبر موسوی موحدی	۲۱۵

سخن نخست

نقشه راه ملی برای ماندگاری استعدادهای علمی

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
سخن سردبیر

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت
۲۹ آذر ۱۴۰۴
تاریخ بازنگری
۲۹ آذر ۱۴۰۴
تاریخ پذیرش
۲۹ آذر ۱۴۰۴
تاریخ انتشار
۳۰ آذر ۱۴۰۴

کلیدواژه‌ها:
استعداد علمی
حفظ و نگهداشت
نقشه راه
اکوسیستم، زیست‌بوم
مسیرهای شغلی
کیفیت زندگی

در سال‌های اخیر، پایداری و ماندگاری استعدادهای علمی به یکی از موضوعات کلیدی در توسعه علمی کشورها تبدیل شده است. نقشه راه ملی برای ماندگاری استعدادهای علمی نیازمند نگاهی جامع، آینده‌نگر، غیرانتقادی و اخلاق‌محور است؛ نگاهی که بر ایجاد جذابیت، فرصت و انگیزه برای فعالیت علمی در داخل کشور تأکید دارد.

نخست، ایجاد زیست‌بوم حمایتی پایدار اهمیت بنیادین دارد. شکل‌گیری شبکه‌های علمی، آزمایشگاه‌های مرجع و ملی و مراکز نوآوری می‌تواند محیطی پویا برای رشد، خلاقیت و شکوفایی استعدادها فراهم آورد. دوم، تقویت مسیرهای حرفه‌ای و شغلی پژوهشگران ضروری است؛ از جمله ارائه فرصت‌های پژوهشی بلندمدت، حمایت از طرح‌های بین‌رشته‌ای و ایجاد امنیت شغلی در مسیرهای دانشگاهی و صنعتی می باشد. سوم، گسترش تعاملات بین‌المللی می‌تواند جذابیت ماندگاری را افزایش دهد. برنامه‌های تبادل کوتاه‌مدت، همکاری‌های پژوهشی مشترک و دسترسی به زیرساخت‌های علمی جهانی امکان رشد علمی را فراهم کرده و در عین حال پیوند پژوهشگران با کشور را استوار نگه می‌دارد. چهارم، تقدیر و دیده‌شدن از عوامل مهم انگیزش است؛ معرفی الگوهای موفق، جشنواره‌های علمی، فرهنگ قدردانی از دستاوردهای پژوهشی، احترام اجتماعی و نظام ارتقای شفاف و مبتنی بر شایستگی جایگاه اجتماعی دانش را تقویت می‌کند.

در نهایت، توجه به کیفیت زندگی پژوهشگران از خدمات رفاهی و بسته‌های حمایتی مسکن تا بیمه تکمیلی، آموزش فرزندان و ترویج سبک زندگی سالم و بهداشت نقشی اساسی در ماندگاری دارد. همچنین، تسهیل مسیر تحصیلی دانشجویان مستعد و امکان ورود آنان به رشته‌های مورد علاقه بدون آزمون کنکور می‌تواند پایه‌های شکل‌گیری و تداوم استعدادهای علمی را تقویت کند.

چنین نقشه راهی با ایجاد امید، فرصت و هویت علمی و اجتماعی، قادر است مسیر پایداری استعدادها را هموار ساخته و امنیت شغلی و آینده‌نگری را در جامعه علمی ارتقاء دهد.

علی اکبر موسوی موحدی
سردبیر

استناد: موسوی موحدی، علی اکبر ؛(۱۴۰۴). سخن نخست: نقشه راه ملی برای ماندگاری استعدادهای علمی. *نشاء علم*، ۱۵ (۲)، ۱۱۷-۱۱۷.

ناشر: بنیاد پیشبرد علم و فناوری در ایران و انجمن بیوشیمی فیزیک ایران

© نویسندگان حق نشر و کلیه حقوق انتشار را برای خود حفظ می‌کنند.

همگرایی علم نوین و حکمت کهن در تبیین کارکرد قلب

مهران حبیبی رضائی*[۳،۱] و علی اکبر موسوی موحدی[۳،۲]

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله ترویجی

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت
۳۱ خرداد ۱۴۰۴
تاریخ بازنگری
۰۱ مرداد ۱۴۰۴
تاریخ پذیرش
۰۶ مرداد ۱۴۰۴
تاریخ انتشار
۳۰ آذر ۱۴۰۴

کلیدواژه‌ها:
علم، قلب، حکمت، تغییرپذیری ضربان قلب (HRV)، سیستم عصبی ذاتی قلب (ICN)، محور قلب– مغز، هماهنگی قلب–مغز

چکیده

بر اساس شواهد و یافته‌های علمی قابل تأمل و چه‌بسا غیر قابل انکار، امروزه این باور که قلب دارای نقش‌های بسیار گسترده‌تر و عمیق‌تر از تلقی سنتی، مبنی بر نقش آفرینی آن صرفاً به عنوان یک پمپ مکانیکی برای گردش خون است، بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است. در این مقاله، مستند به یافته‌های علوم تجربی نوین و با همراهی دیدگاه حکمت باستانی، ابعاد کمتر شناخته شده قلب معرفی می‌شود و در آن به بررسی شواهد چگونگی تأثیرگذاری این عضو حیاتی، بر فرایندهای عصبی، تصمیم‌گیری و تنظیم عواطف می‌پردازیم. این مقاله سعی دارد، فارغ از نقش بیشتر شناخته شده قلب در پمپ کردن خون، با تلفیق یافته‌های نوروآناتومی، نوروفیزیولوژی، نوروکاردیولوژی و روان‌فیزیولوژی با حکمت باستانی، ضمن طرح مسئله، تا حد ممکن به نقش قلب به عنوان یک مرکز پیچیده عصبی – ترشحی و هوشیار بپردازد. این همگرایی بین علم و حکمت، بر غنای درک ما از نقش تعیین‌کننده قلب در ارتباط با مغز، در هوش شهودی، رهبری عاطفی و تصمیم‌گیری می افزاید. این همگرائی همچنین آشکارکننده اهمیت بازبینی، باز تعریف و تعمیم در تأمین نگرش واقع‌بینانه به جهان هستی و ارتقای کارآمدی انسان معاصر در پیشگیری و کنترل بحران‌های معنایی، اخلاقی و زیست‌محیطی مبتلا به از رهگذر نظارت و رهبری اخلاقی حکمت در جهت‌دهی و کاربست یافته‌های علم نوین و در نتیجه تأمین‌کننده توسعه پایدار جوامع بشری است.

استناد: حبیبی رضائی، مهران؛ موسوی موحدی، علی اکبر ؛(۱۴۰۴). همگرایی علم نوین و حکمت کهن در تبیین کارکرد قلب. *نشاء علم*، ۱۵ (۲)، ۱۱۸–۱۳۰.

ناشر: بنیاد پیشبرد علم و فناوری در ایران و انجمن بیوشیمی فیزیک ایران
© نویسندگان حق نشر و کلیه حقوق انتشار را برای خود حفظ می‌کنند.

* عهده‌دار مکاتبات: استاد. تلفن: ۶۱۱۱۳۲۱۴ (۹۸۲۱+)، دورنگار: ۶۶۹۷۱۹۴۱ (۹۸۲۱+)، آدرس الکترونیکی: mhabibi@ut.ac.ir
[۱] دانشکده زیست‌شناسی، دانشکدگان علوم- دانشگاه تهران، تهران، ایران.
[۲] مرکز تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران
[۳] شاخه شیمی، فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران، تهران، ایران

مقدمه

در سرآغاز سخن بر این باورمندی اذعان می‌داریم که واقعیات جهان هستی و هر آنچه بر وجود موجودات سیطره و در آنها جریان دارند، صرفاً با ابزار و بینش تجربی و در قالب جامع علوم مدرن کنونی، قابل توصیف و تشریح نیستند. از این رو فروتنی عالمانه را پیش‌نیاز ورود به عرصه آگاهی از کنه واقعیات حاکم بر عالم ماده از جمله جنبه‌های مشحون از حکمت و عقلانیت فراتر از توان و علوم تجربی موجود، می‌دانیم. مفهوم **علم** به طور خاص معادل واژه انگلیسی «ساینس[۱]» از ریشه لاتین «ساینتیا[۲]» به معنای دانستن است و آن بخشی از دانش[۳] و دانسته‌های سازمان‌یافته بشری با موضوع گیتی و قوانین حاکم بر آن است که از طریق مشاهده، تجربه و استدلال منطقی مبتنی بر قواعد علوم تجربی و توسعه نظریه‌های علمی فراهم شده است. به بیان دیگر، علم توانائی پدیدار ساختن حقایق ناپیدا در هستی و عالم است [۱]. از طرف دیگر، **حکمت**[۴] معرفتی ژرف و شهودی ناظر بر غایت هستی و کمال انسانی، اغلب مبتنی بر تأملات عقلی و الهام درونی است. عقل را نوری الهی می‌دانند که انسان را به شناخت حق، تمییز بین حق و باطل، و هدایت به‌سوی خیر راهنمایی می‌کند. عقل صرفاً ابزار محاسبه ذهنی نیست، بلکه قوه‌ای معنوی و درونی است که با فطرت پاک انسانی مرتبط است. بر این اساس، در حالیکه علم مدرن بر مشاهده، تجربه، مدل‌سازی و محاسبه استوار است، حکمت بر غایت‌شناسی، اخلاق، معنا و کل‌نگری تأکید دارد. حکمت، دانش استوار و مقید به عقلانیت و خردورزی است که در تباین با لغزش‌ها و تباهی‌ها می‌توان آن را با بصیرت توصیف کرد. در قرآن، حکمت به عنوان موهبتی الهی معرفی می‌شود که پیامد برخورداری از آن در هماهنگی باوجود انسان، سعادتمندی و کمال است[۵].

در عصر کنونی، علوم اعصاب و جهان‌بینی «جمجمه محور[۶]» به‌ویژه با همه‌گیری هوش مصنوعی[۷] (AI) و یادگیری ماشین[۸] (ML)، از رونق فزاینده برخوردار شده است. با یک جستجوی سریع عبارت «قلب – محوری[۹]» به انبوهی از مقالات می‌رسیم که در آنها مفهوم مزبور دربردارنده آنچه باستانیان آن را جایگاه «روح» می‌دانستند، را عمدتاً به سخره می‌گیرند، با این حال، در ۳۰ سال گذشته، تعدادی از دانشمندان، انبوهی از شواهد مبتنی بر پژوهش‌های تجربی را جمع‌آوری کرده‌اند که فراتر از نقش جسمانی و فیزیولوژیک قلب صرفاً در پمپ کردن خون، برای آن اثر هماهنگ سازی[۱۰] وانسجام فیزیولوژیک[۱۱] سیستم‌های عصبی مرکزی، هورمونی و ایمنی و در نتیجه، اثرات شناختی، عاطفی و اخلاقی قائل می‌شوند.

بر اساس ادعای بسیاری از منابع، آغاز تاریخ قلب شناسی[۱۲] از نظر علمی به سال ۱۶۲۸ میلادی (سال ۱۰۰۷ شمسی) برمی‌گردد، زمانی که ویلیام هاروی[۱۳] کتاب انقلابی خود با عنوان «تمرینات کالبدشناسی درباره حرکت قلب و خون در جانوران[۱۴]» را منتشر کرد و در آن گردش خون، عملکرد تلمبه‌ای قلب، سیاهرگ‌ها و سرخرگ‌ها را شرح داد. وی «گردش کوچک» یا «گردش ششی» خون را توضیح داد و به‌عنوان کاشف دستگاه گردش خون شناخته شد. با این حال، در سال ۱۹۲۴ رساله هفتصدساله بسیار مهم ابن نفیس[۱۵] در کتابخانه ایالتی

---

۱ Science
۲ Scientia
۳ knowledge
۴ نزدیک ترین واژه لاتین برای این مفهوم، Sophia است که آنرا از مفاهیم متناظر با واژه های wisdom به معنای بصیرت و توانائی بکار گیری دانش و خرد و نیز philosophy به معنای دوستدار دانائی یا عشق به خرد، متمایز می شود.
۵.... وَمَنْ يُؤْتَ الْحِكْمَةَ فَقَدْ أُوتِيَ خَيْرًا كَثِيرًا..... (آیه ۲۶۹ سوره بقره)
۶ Cranio- Centric
۷ Artificial Intelligence
۸ Machine Learning
۹ Cardio centric
۱۰ Synchronization effect
۱۱ Physiological coherence
۱۲ Cardiology
۱۳ William Harvey (1578–1657)
۱۴ Exercitatio Anatomica de Motu Cordis et Sanguinis in Animalibus.
۱۵ ابن‌نفیس پزشک متولد دمشق سوریه در سال ۱۲۱۳-۱۲۸۰ میلادی.

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

پروس برلین[1] تحت عنوان «شرح تشریح قانون ابن سینا» مربوط به اواسط قرن ۱۳ میلادی کشف شد. این کشف یکی از حقایق علمی را که تا آن زمان ناشناخته مانده بود، یعنی نخستین توصیف از گردش خون ششی را حدود ۴ قرن پیش از کشف هاروی را آشکار کرد [۲،۳].

به طور سنتی، قلب عمدتاً به عنوان یک پمپ مکانیکی شناخته می‌شود که کارکرد آن به گردش در آوردن خون از نخستین مراحل تکوین رویان یعنی تپش قلب در ۲۱ تا ۲۳ روز پس از لقاح (زمانی که اندازه رویان ۱.۵ الی ۳ میلی‌متر است) تا زمان مرگ، در سراسر بدن است. این دیدگاه مرسوم و البته بسیار مهم در توصیف فیزیولوژیکی قلب، موجب مغفول ماندن درک همه جانبه از ابعاد دیگر ماهیت قلب شده است. هر دو دانسته‌های روزآمد و بر آمده از مشاهدات و مطالعات مبتنی بر علوم تجربی و نیز دانش مبتنی بر حکمت باستانی، تقویت کننده این ایده هستند که قلب، این دستگاه رمزآلود، با مشارکت در فرایندهای عصبی، حسی و ترشح هورمون‌ها فراتر از عملکرد آن در گردش خون، می‌تواند در تصمیم‌گیری و تنظیم عواطف و درک حقایق نقش آفرینی کند. بر این اساس اغلب از آن به عنوان «مغز قلب[2]» یاد شده است. سیستم عصبی ذاتی گسترده قلب آن را قادر می‌سازد تا احساس کند، به خاطر بسپارد، خود را تنظیم کند و مستقل از سیستم عصبی مرکزی در مورد کنترل قلب تصمیم بگیرد [۴،۵]. برخی حتی پا را فراتر گذارده و معتقدند که قلب دارای هوشی بی‌نظیر است که ذهن به تنهایی نمی‌تواند به آن دسترسی یابد [۶].

این نوشتار قصد دارد فراتر از دیدگاه صرفاً فیزیولوژیکی به سایر ابعاد و نقش‌های قلب در انسان بپردازد. امروزه به برکت فراهم شدن امکان دسترسی به تجهیزات پیشرفته، شاهد روند فزاینده تسهیل در همگرایی بین علم و حکمت هستیم، رویکرد میان رشته‌ای یعنی تلاش در جهت همراه کردن و بیش از آن، در هم آمیختگی دیدگاه‌های «علم» و«حکمت» مستلزم بهره‌گیری از داده‌های تجربی علوم اعصاب و روان‌فیزیولوژی مدرن همراه با بینش‌های برگرفته از موضوعات فلسفی و معنوی است. چنین در هم آمیختگی می‌تواند به درک ما از در هم تنیدگی و همگرایی‌های ادراکی قلب و مغز کمک کند و از این رهگذر دیدگاهی جامع‌تر از آگاهی و ادراک در انسان را ارائه دهد. قلب، بسیار فراتر از یک پمپ برای گردش خون، به عنوان یک اندام عصبی-غددی پیچیده و یکپارچه با مغز، عمل می‌کند به‌گونه‌ای که قلب و مغز از طریق شبکه‌ای از اعصاب، هورمون‌ها و سیتوکین‌ها به‌صورت دوطرفه با یکدیگر در ارتباط هستند. این ارتباط دوسویه، محور قلب – مغز[3] (HBA) نامیده می‌شود که به‌خودی‌خود پارادایم سنتی مغز-محور را که اغلب مغز را تنها جایگاه آگاهی، عاطفه و شناخت می‌داند به طور اساسی به چالش می‌کشد [۷]. ارتباط دوطرفه مزبور، در شکل‌دهی به واکنش‌های فیزیولوژیک، شناخت و پاسخ‌های عاطفی که به‌صورت علمی قابل اندازه‌گیری است، نقش آفرینی می‌کند. مضمون یاد شده، در حکمت اسلامی و ایرانی به طور پیوسته به عنوان یک اصل مورد توجه قرار گرفته است و با پشتیبانی شواهد و یافته‌های فیزیولوژیکی محدود به دست آمده، بر نیازمندی بازنگری جامع و میان‌رشته‌ای در مورد جایگاه شناخت، شهود، عاطفه و عشق ورزی تأکید می‌کند. امروزه ابزارهای علمی موجود که مدرن تلقی می‌شوند، قادر به اندازه‌گیری کوچک‌ترین رخدادها و تعاملات فیزیولوژیکی مانند تغییرپذیری ضربان قلب[4] (HRV) و پتانسیل‌های برانگیخته از ضربان قلب (HEPs)[5] هستند. یکی از دستاوردهای بنیادی این شرایط تسهیل شده، تغییر پارادایم در مطالعه انسان و ترغیب «فروتنی معرفتی» در میان دانشمندان و فیلسوفان است که ضمن فراهم ساختن امکان تعامل جدی‌تر دیدگاه‌های علمی، فلسفی و حتی متافیزیکی، می‌تواند مفروضات ریشه‌دار از جمله انحصار ادراک مبتنی بر مدل‌های تقلیل‌گرایانه مغز – محور را به چالش بکشد. رویکرد مزبور، ضمن تأکید بر ضرورت توجه بیش از پیش دانشمندان علوم تجربی بر حکمت استدلالی و غیرتجربی در شناخت انسان، می‌تواند فصل جدید و پیشرفته‌ای در ارتباط بین آن دو نظام فکری در گفتمان معاصر ایجاد کند. این مقاله به درک علمی از شبکه عصبی ذاتی قلب[6] (ICN) و ارتباط دوطرفه آن با مغز می‌پردازد و با تأکید بر تأثیر قابل اندازه‌گیری آن بر فرایندهای عاطفی و شناختی، به بررسی چگونگی در نظر گرفتن قلب به عنوان مرکز اصلی عقل، عاطفه و بینش معنوی در آموزه‌های مبنی بر حکمت و فلسفه می‌پردازد. در پایان این مقاله، با ترکیب ادله و روایت‌های علمی و فلسفی در جهت تعدیل نگرش مغز محور و

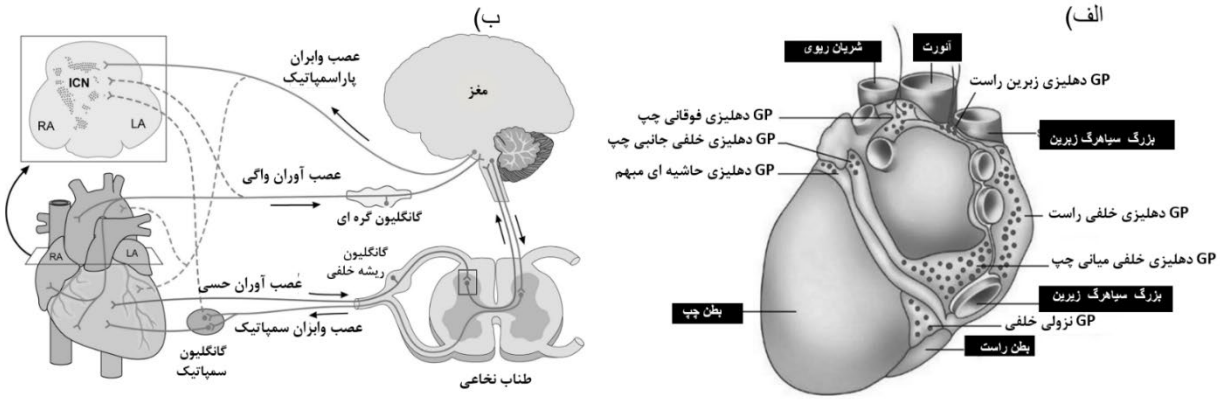
[1] Prussian state library in Berlin
[2] Heart- Brain
[3] Heart- Brain Axis
[4] Heart- Rate Variability
[5] Heartbeat Evoked Potentials
[6] Intrinsic Cardiac Nervous System

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

تأمین امکان درک کامل‌تری از ایفای نقش تعیین‌کننده قلب در تصمیم‌گیری، رهبری عاطفی و شناخت انسان، تلاش خواهیم کرد.

سیستم عصبی ذاتی قلبی

اگرچه قلب در آغاز و پیش از تشکیل و تکوین مغز به‌صورت مستقل شروع به ضربان و فعالیت انقباضی می‌کند، با این حال در ادامه در جهت تأمین نیازمندی‌های متغیر بدن، فعالیت آن به‌صورت پیوسته از طریق اعصاب سمپاتیک و پاراسمپاتیک (عصب واگ) به ترتیب با طناب نخاعی و مراکزی در مغز در یک ارتباط دوسویه قرار دارد. قلب دارای یک سیستم عصبی درون‌زا (ICN) است و از طریق مدار قلب – مغز (HBC) به‌صورت دوسویه با مغز در ارتباط است. ساختار عصبی مزبور، این امکان را می‌دهد که قلب ضمن فعالیت انقباضی تنظیم شده و ضروری، بتواند در فرایندهای تصمیم‌گیری، حافظه کوتاه‌مدت و بلندمدت نیز نقش آفرینی کند [۸] (شکل ۱). در قلب، حدود ۴۰،۰۰۰ سلول به نام نوریت‌های حسی [1] وجود دارند که نقش حیاتی در انتقال پیام‌های عصبی و حافظه ایفا می‌کنند. این سلول‌های عصبی در قلب، در خوشه‌های پراکنده به نام شبکه‌های گانگلیونی [2] در دیواره قلب قرار دارند و مشخصات بیوشیمیایی مشابهی با اعصاب مغزی دارند. آن‌ها از طریق انتقال‌دهنده‌های عصبی مانند استیل‌کولین با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند و درجه قابل توجهی از قابلیت پردازش خودمختار را نشان می‌دهند [۹]. این شبکه عصبی محلی از طریق رشته‌های عصبی آوران [3] و وابران [4]، نقش مهمی در هماهنگی محور قلب – مغز ایفا می‌کند [۸]. ۸۰ درصد از رشته‌های آوران واگ – رشته‌های عصبی که سیگنال‌ها را از قلب به مغز منتقل می‌کنند – اطلاعاتی را که از نورون‌های ذاتی قلبی سرچشمه می‌گیرند را به مغز منتقل می‌کنند. نوریت‌های حسی که اساساً رشته‌های عصبی تخصص‌یافته در سراسر قلب هستند، اثرات خود را در ارتباط دوسویه با مغز از طریق انتقال پیام‌های عصبی از طریق عصب واگ اعمال می‌کنند. سیستم عصبی قلبی از نوریت‌ها (رشته‌های عصبی) و شبکه‌های عصبی گانگلیون شده (خوشه‌های سلول‌های عصبی) برای تنظیم عملکرد قلب استفاده می‌کند. نوریت‌های حسی با توجه به محل قرارگیری خود پیام‌های شیمیایی یا مکانیکی را به پیام‌های عصبی تبدیل کرده و به نورون‌های ثانویه در سلسله مراتب عصبی مرکزی منتقل می‌کنند [5]. در پاسخ قلب پیام‌های عصبی دریافتی از مغز را در فرایند تصمیم‌گیری تغییر می‌دهد به‌گونه‌ای که نوریت‌های حسی بر هر سه نوع فرایند تصمیم – فیزیولوژیکی، رفتاری و روان‌شناختی در قشر مغز تأثیر می‌گذارند.



شکل ۱: الف) سیستم عصبی خودکار قلب مشتمل بر سیستم عصبی ذاتی (ICN) هفت شبکه گانگلیونی (GP) قلب در سطح پشتی قلب نشان داده شده‌اند. ب) مدار عصبی قلب – مغز (HBC): این مدار از یک بازوی حسی تشکیل شده است که از طریق اعصاب آوران واگ و نخاعی یا از طریق گانگلیون‌های ریشه پشتی و نخاع یا از طریق گانگلیون‌های گره‌ای ارتباط پیوسته قلب و مغز برقرار می‌شود (LA نشان‌دهنده دهلیز چپ و RA، دهلیز راست است).

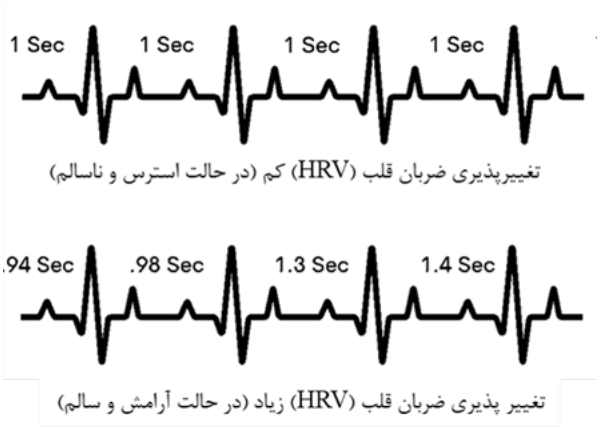
[1] Sensory Neurites
[2] Ganglionic Plexi
[3] Afferent
[4] Efferent
[5] این پیام‌ها بیشتر به آمیگدال، تالاموس، هیپوتالاموس و نهایتاً قشر مغز می‌رسند.

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

تغییرپذیری ضربان قلب

در حالی که مغز بسیاری از عملکردهای قلب را کنترل می‌کند، قلب نیز سیستم عصبی خاص خود را دارد و در مقایسه با پیام‌های عصبی ارسالی از مغز به قلب، قلب حجم بیشتری از اطلاعات و پیام‌های عصبی را به مغز می‌فرستد و از این طریق بر فرایندهای مختلف شناختی و عاطفی تأثیر می‌گذارد [۱۰]. تغییرپذیری ضربان قلب (HRV) به عنوان تغییرات طبیعی و نوسان‌های کوچک در فواصل زمانی بین ضربان‌های متوالی قلب تعریف می‌شود. HRVبالا نشان‌دهنده سلامت جسمی است که بیانگر توانایی بهتر قلب برای سازگاری با شرایط مختلف و عملکرد بهتر سیستم عصبی خودکار است. در مقابل، HRV پایین می‌تواند نشان‌دهنده مشکلات بالقوه سلامتی مانند استرس، اضطراب یا مشکلات قلبی عروقی باشد (شکل ۲). تحقیقات نشان می‌دهند که افزایش HRV با کاهش علایم بیماری آسم، سندروم روده تحریک‌پذیر(IBS) ، ایست قلبی، فشارخون، گرفتگی عروق قلب، فشارخون، اضطراب و افسردگی مرتبط است [۱۱]. از طرف دیگر HRV با کارکردهای شناختی مرتبط است از این رو، امکان تفسیر و مدیریت صحیح اطلاعات محیطی را فراهم می‌کند [۱۱]. HRV همچنین نشان‌دهنده فعالیت سیستم عصبی پاراسمپاتیک[1] (PNS) است که با عملکرد شناختی برتر، شامل عملکردهای اجرایی مانند حافظه فعال، توجه و کنترل بازدارنده، مرتبط است [۱۲]. امروزه ارزش پیش‌بینی‌کننده HRV به عنوان یک نشانگر زیستی برای ارزیابی سلامت شناختی بیش از پیش مورد توجه و تأکید قرار می‌گیرد [۱۳،۱۴].

هم‌ترازی قلب – مغز[2] نشان‌دهنده یک وضعیت بهینه از همگام‌سازی فیزیولوژیکی بین ریتم‌های قلب و فعالیت مغز است که با الگوی صاف و موج سینوسی در HRV مشخص می‌شود. این وضعیت هماهنگ، نشان‌دهنده یک تعامل بسیار کارآمد و متعادل بین سیستم‌های قلبی عروقی، عصبی و عاطفی است [۱۵]. دستیابی به هم‌ترازی قلب – مغز ارتباط قوی با بهبود قابل توجه در تنظیم عاطفی، مدیریت استرس و کاهش سطح اضطراب دارد. این به این دلیل است که احساسات مثبت به طور فعال الگوهای قلبی منسجم و منظم ایجاد می‌کنند، در حالی که احساسات منفی منجر به ریتم‌های نامنظم و نامنسجم می‌شوند. این تغییر مثبت در ریتم قلب، به نوبه خود، نقش مهمی در تسهیل ثبات عاطفی و انعطاف‌پذیری ایفا می‌کند [۱۵].



شکل ۲: تغییرپذیری ضربان قلب (HRV) در شرایط ناسالم و سالم

میدان‌های الکترومغناطیسی قلب

قلب با جریان الکتریکی که توسط گروهی از سلول‌های ضربان‌ساز در گره سینوسی–دهلیزی تولید شده و از طریق گره دهلیزی–بطنی و سامانه هدایتی قلب منتقل می‌شود، خون را با ریتم معین پمپ می‌کند. فراتر از آن، قلب همچنین با برخورداری از شبکه عصبی پیچیده خود، از طریق میدان الکترومغناطیسی نیز در تأمین اثر هماهنگی و انسجام فیزیولوژیک با مغز، غدد درون‌ریز و سیستم ایمنی عمل می‌کند. قلب بزرگ‌ترین میدان الکترومغناطیسی در بدن را از طریق فعالیت‌های یونی داخل سلولی و بین سلولی، و پتانسیل الکتریکی تولید می‌کند. بزرگی میدان مزبور در گستره $۱۰^{-۱۱}$ تسلا و $۱۰^{-۱۴}$ تسلا است که تغییرات آن را می‌توان با روش مگنتوکاردیوگرافی[3](MCG) تشخیص و ثبت کرد [۱۶]. بااین‌حال میدان الکترومغناطیسی مغز در گستره فمتو تسلا ($۱۰^{-۱۵}$ تسلا) است که با روش

[1] Parasympathetic Nervous System
[2] Coherent Heart Brain
[3] Magnetocardiography

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

مگنتوانسفالوگرافی[1] (MEG) قابل ثبت است [۱۷]. در نتیجه با وجود اینکه اندازه قلب کمتر از نصف اندازه مغز است، قلب یک میدان الکترومغناطیسی قابل ثبت با بزرگی ۱۰ الی ۱۰ هزار برابر مغز دارد که به خوبی حتی در خارج از بدن ساطع و در اطراف آن گسترش می‌یابد. از این رو علاوه بر تأثیر روی مغز خود فرد، حتی می‌تواند توسط سیستم‌های عصبی افراد نزدیک تشخیص داده شده و به طور بالقوه آنها را تحت تأثیر قرار دهد [۱۸،۱۹،۲۰]. این موضوع احتمالاً نشان‌دهنده یک ارتباط مبتنی بر انرژی امواج الکترومغناطیسی عمدتاً با منشأ قلب بین افراد است که به طور بالقوه پدیده‌هایی مانند «هم‌ترازی مسری[2]» در گروه‌ها را توضیح می‌دهد [۲۱]. بر اساس نظریه‌های الکترومغناطیسی آگاهی[3]، آگاهی را می‌توان به عنوان یک پدیده الکترومغناطیسی در نظر گرفت. مرتبط با این موضوع، طی دو دهه اخیر تئوری اطلاعات الکترومغناطیس آگاهانه[4] (CEMI) موسوم به تئوری میدان CEMI به‌ویژه توسط مک فادن[5] پیشنهاد شده است [۲۲]. در توجیه نقش آفرینی قلب فراتر از پمپ کردن خون، احتمالاً این تئوری به میدان الکترومغناطیسی قلب نیز قابل تعمیم دادن است.

نقش اندوکرین قلب

قلب، هورمون‌های پپتیدی ناتریورتیک دهلیزی[6] (ANP) و پپتیدی ناتریورتیک مغزی[7] (BNP) را به‌صورت تنظیم‌شده تولید و ترشح می‌کند. همچنین، چندین هورمون اندوکرین و پاراکرین دیگر نیز توسط انواع سلول‌های قلب سنتز و ترشح می‌شوند. از جمله می‌توان به آدرنومودلین[8] (AM)، کاردیوتروفین-۱[9] (CT-1)، فاکتور تمایز رشد ۱۵[10] (GDF-15) و میوستاتین (هر دو از ابرخانواده TGF-β) و فاکتور نوروتروفیک آلفا مانند مشتق از گلیال[11] (GFRAL)، اشاره کرد. یافته‌های علمی اخیر همچنین موید تولید و ترشح هورمون‌های چهارگانه مؤثر در روان و رفتار فردی شامل دوپامین[12]، اکسی‌توسین[13]، اپی‌نفرین[14] و سروتونین[15] ولو تحت مقادیر اندک توسط این اندام شگفت انگیز است که در ادامه به آنها خواهیم پرداخت.

اعمال زیستی ANP و BNP ، مانند سیستم رنین – آنژیوتانسین و سیستم عصبی سمپاتیک، تعدیل عملکرد سیستم‌هایی هستند که تمایل به افزایش حجم مایع خارج سلولی و فشارخون دارند. علاوه بر این، هر دو هورمون دارای خواص قوی تنظیم‌کننده رشد هستند. دو هورمون مزبور همچنین اثرات متعددی بر فعالیت عصبی دارند . ANPفعالیت گیرنده‌های شیمیایی و فشاری قلبی و ریوی را کاهش می‌دهد که منجر به سرکوب جریان وابران سمپاتیک به قلب می‌شود. کاهش فعالیت سمپاتیک همراه با افزایش فعالیت آوران واگ منجر به کاهش ضربان قلب و برون‌ده قلبی می‌شود. ثابت شده است که رفتار و حالات روانی انسان متأثر از هورمون‌های چهارگانه شامل دوپامین، اکسی‌توسین، اپی‌نفرین و سروتونین تعیین می‌شود. هورمون‌های مزبور در یک رویه وابسته به غلظت در خون، روی خلق‌وخوی ما از جمله به ترتیب حس رضایت‌مندی، عشق و مهرورزی، سرکوب درد و پایداری روحی تأثیر می‌گذارند [۲۴،۲۵]. یافته‌های علمی بر نقش آفرینی قلب در آزادسازی چهار هورمون یاد شده در خون ولو در غلظت‌های کم دلالت می‌کنند. محل ساخته شدن اصلی دوپامین مغز است بااین‌حال به دلیل عدم امکان عبور آن از سد خونی – مغزی[16] (BBB)، منشأ دوپامین در خون اندام‌های محیطی عمدتاً غده فوق‌کلیه و دستگاه گوارش است. بااین‌حال در سال‌های اخیر مسیر فرعی تولید دوپامین، در قلب وابسته به حضور سیتوکروم[17] P450-2D6 گزارش شده است [۲۶]. علاوه بر اثرات سیستمیک و برون قلبی محتمل

---

1 Magnetoencephalography
2 Contagious Alignment
3 Electromagnetic Theories or Consciousness
4 Conscious Electromagnetic Information
5 Johnjoe McFadden
6 Atrial Natriuretic Peptide Or ANF
7 Brain Natriuretic Peptide
8 Adrenomedullin
9 Cardiotrophin-1
10 Growth Differentiation Factor 15
11 Glial Derived Neurotrophic Factor Receptor α–Like
12 Dopamine
13 Oxytocin
14 Epinephrine
15 Serotonin
16 Blood-Brain Barrier
17 Cytochrome P450 2d6 این پروتئین عمدتاً در کبد بیان می‌شود. همچنین در مناطقی از سیستم عصبی مرکزی، از جمله جسم سیاه یعنی محل ساخته شدن هورمون دوپامین، به میزان زیادی بیان می‌شود.

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

دوپامین قلب، این هورمون اندوکرین به دلیل وجود گیرنده‌های مربوطه در قلب می‌تواند با اثر مستقیم روی قلب، موجب افزایش نیروی انقباض، افزایش سرعت ضربان و انقباض عروق کرونری شود. مطالعات علمی نشان داده‌اند که اکسی‌توسین نه‌تنها در هیپوتالاموس تولید می‌شود، بلکه توسط قلب نیز سنتز و آزاد می‌شود. هر چهار حفره قلب، به‌ویژه دهلیزها، حاوی مقادیر قابل اندازه‌گیری اکسی‌توسین هستند که غلظت آن با غلظت موجود در هیپوتالاموس قابل مقایسه است [۲۷]. قلب حاوی سلول‌های تخصصی به نام سلول‌های آدرنرژیک قلبی ذاتی[1] (ICA) است که دارای دستگاه آنزیمی کامل برای سنتز اپی‌نفرین هستند. این موضوع در قلب پستانداران جنینی و بالغ نشان داده شده‌است [۲۸] و بالاخره، بر اساس تحقیقات اخیر سلول‌های خاصی در قلب، مانند میوفیبروبلاست‌های قلبی، می‌توانند سروتونین را به‌صورت موضعی تولید و آزاد کنند، این سروتونین قلبی موضعی ممکن است تا حدی بر سطح سروتونین در گردش خون تأثیر بگذارد [۲۷].

فرضیه قلب - محوری

فرهنگ‌های باستانی

مدت‌ها قبل از پدیدآمدن درک مدرن از آناتومی و کارکردشناسی عصبی[2]، بسیاری از تمدن‌های باستانی دیدگاه قلب محور[3] داشتند و قلب را مرکز زیستی و معنوی بدن، جایگاه احساسات، ذهن، اراده، شناخت، آگاهی و روح انسان می‌دانستند. این دیدگاه، در طول هزاره‌ها از شرق تا غرب، نقش ویژه خود را در نگرش دینی و پزشکی حفظ کرده بود. جایگاه نظریه‌ها و شیوه‌های طب باستانی مبتنی بر نگرش مزبور از زمان انتشار مهم‌ترین اثر ویلیام هاروی در سال ۱۶۲۸، با عنوان «رسالهٔ کالبدشناختی در حرکت قلب و خون در جانوران[4]»، به خرافه تقلیل موقعیت پیدا کردند. تا اینکه در سال‌های اخیر بر اساس شواهد عینی مجدداً موردتوجه قرار گرفته است.

وجه مشترک فرهنگ‌های باستانی متنوع در نگرش به موضوع قلب، در نظر گرفته شدن قلب به‌عنوان اندامی فراتر از یک اندام فیزیکی ساده با نقش فیزیولوژیکی بیشتر شناخته شده آن است. در تمامی فرهنگ‌های مزبور، این عضو به‌عنوان هسته وجود انسان، جایگاه مرکزی آگاهی، احساسات، عقل، اخلاق و بینش معنوی شناخته شده است و پیوسته به‌عنوان جایگاه حکمت واقعی، شهود و ارتباط عمیق با واقعیتی عمیق‌تر؛ اغلب الهی، به تصویر کشیده شد و بر ضرورت پاک‌سازی یا پرورش آن تأکید می‌کنند. این همسویی محض که تقریباً در همه فلسفه‌های باستانی مطرح می‌شود، از اهمیت بالایی برخوردار است. به‌گونه‌ای‌که این توافق گسترده درمناطق جغرافیایی و دوره‌های تاریخی بسیار متفاوت، چیزی عمیق‌تر از یک تصادف فرهنگی صرف است. این موضوع به درک مشترک، مبتنی بر تجربه عینی و احتمالاً شهود انتزاعی از فیزیولوژی و آگاهی انسان اشاره دارد که قبل از ظهور ابزارهای علمی مدرن وجود داشته است. مضامین مزبور نشان‌دهنده یک تجربه و آموزه مشترک انسانی است که از مرزهای فرهنگی فراتر می‌رود. این موضوع نشان می‌دهد که این بینش‌های باستانی ممکن است حاوی داده‌های پدیدارشناختی[5] ارزشمندی باشند که علوم جدید تازه شروع به تأیید تجربی آن‌ها کرده است.

در مصر باستان، قلب به‌عنوان ارزشمندترین اندام مورد احترام بود و اعتقاد بر این بود که منبع عقل، شخصیت، احساسات و حافظه فرد است و از همه مهم‌تر، کلید سفری موفق در زندگی پس از مرگ است. این باور آن‌قدر عمیق بود که قلب در طول مومیایی کردن با دقت حفظ می‌شد، برخلاف مغز که معمولاً خارج می‌شد. در نزد مصریان باستان در ۳۰۰۰ سال قبل، لب، هم‌زمان، یک اندام آناتومیک و یک نماد معنوی بود و مرتبط با آن سه مفهوم در نظر گرفته می‌شد: ۱) هتی[6]، پیکره گوشتی قلب ۲) ایب[7]، حفره‌ها و محتوای سینه و شکم، شامل تمام مایعات بدن به جز هتی که توسط

---

1 Intrinsic Cardiac Adrenergic

2 Neurophysiology

3 Cardio centric

4 Exercitatio Anatomica de Motu Cordis et Sanguinis in Animalibus

5 Phenomenologic، رویکرد روان‌شناختی که به مطالعه و توصیف دقیق هرگونه پدیده یا تجربه بدون پیش‌داوری می‌پردازد و هدف آن بررسی پدیده‌ها آن‌گونه که در تجربه زیسته ما رخ می‌دهند، است.

6 Haty

7 Ib

https://www.sciencecultivation.ir شاپا الکترونیکی 2783-0934 شاپا چاپی 2008-935X

شبکه‌ای از رگ‌ها به نام مت[1] با هتی در ارتباط قرار می‌گیرد. به اعتقاد ایشان، ایب اطلاعات حسی را از طریق اندام‌های حسی دریافت می‌کرد و بنابراین جایگاه احساسات و هوش در نظر گرفته می‌شد و در نهایت، ۳) قلب معنوی[2] که نمایانگر مرکز شخصیت، تفکر و حافظه محسوب می‌شد [۲۳].

در ایران باستان، حکمت به‌عنوان جستجوی خرد و حقیقت، نقشی اساسی در فرهنگ و تمدن ایفا می‌کرد و ریشه در آیین‌هایی مانند زرتشتی، مانوی، مزدکی و فرزانگی مغان داشت. این حکمت که بسیاری آن را نخستین اندیشه‌های فلسفی – اخلاقی منسجم بشر می‌دانند با توجه ویژه به ثنویت، اخلاق عملی و اراده آزاد و تأکید بر جایگاه والای خرد واژه «مزدایسنا» را در اشاره به آن بکار می‌برد. میراث منسوب به حکمت ایران باستان بعدها بر فلسفه یونان و مکاتب اسلامی تأثیر گذاشت و سهروردی با احیای حکمت خسروانی در ایران باستان، آن را حکمت اشراق نامید [۳۰]. در حکمت ایران باستان پیش از اسلام، قلب جایگاهی ویژه و چندوجهی داشت که فراتر از عضوی صرفاً جسمانی محسوب می‌شد. قلب محل تجمع و اتحاد روح و جسم، مرکز جمع و ازدواج میان این دو و به عبارتی حقیقتی میانجی بین عالم ماده و عالم معنا به شمار می‌رفت [۳۱]. بازتاب این باور در حکمت اشراقی سهروردی نسبت دادن جایگاه اصیل استدلال و معرفت به قلب است. برخلاف دیدگاه‌های صرفاً مادی یا آناتومیکی، قلب در حکمت ایران باستان نماد یک مقام عالی و واسط میان عقل و روح بود و به‌عنوان مرکز وحدت وجودی انسان شناخته می‌شد [۳۲].

در یونان باستان، فیلسوفان برجسته، به‌ویژه ارسطو، نیز از فرضیه قلب محوری حمایت می‌کرد. مشاهدات او، برگرفته از کالبدشکافی حیوانات، او را به این ادعا رساند که قلب مرکز سیستم روان‌فیزیولوژیکی است و مسئول کنترل حس، فکر و حرکت بدن است [۳۳].

در هند باستان از جمله در فرهنگ یوگا، مراکز انرژی بدن به‌صورت چاکراهای هفت‌گانه[3] توصیف می‌شدند. بر اساس باورهای آنها، چاکرای چهارم (آناهاتا[4]) به قلب نسبت داده می‌شود که مرکز احساسات و عشق‌ورزی، شادی و آرامش درونی را کنترل می‌کند.

بدین ترتیب در فلسفه باستانی هند، قلب، جایگاه روح و هوش در نظر گرفته می‌شد. در فرهنگ و فلسفه یوگای هند، قلب در سطوح عمیق و چندگانه‌ای به‌عنوان اندام فیزیکی، مرکز عاطفی و مهم‌تر از همه، به‌عنوان هریدایا[5] یا قلب معنوی، درک می‌شود. بر اساس نگرش ایشان، هریدایا اغلب به‌عنوان «غار پنهان» (گوها[6])، جایگاه مقدس «خود متعالی» و جایگاه نیروی زندگی یا پرانا[7] است که تمامیت مادی و غیرمادی انسان را حفظ می‌کند [۳۳].

در فلسفه چینی و اندیشه شرق آسیا، مفهوم شین[8] به «قلب» و «ذهن» به‌عنوان یک موجودیت واحد و یکپارچه اشاره دارد. برخلاف دیدگاه دوگانه غربی که اغلب عاطفه را از عقل جدا می‌کند، تائوئیسم و سایر فرهنگ‌های شرق آسیا شین را به‌صورت یکپارچه هم‌زمان با فکر و احساس و بالاتر از آن مرکز عمیق حکمت و بینش معنوی مرتبط می‌دانند [۲۳].

قلب در حکمت و اندیشه اسلامی

در اندیشه اسلامی، قلب برخوردار از دو کارکرد جسمانی و روحانی است و عملکرد آن از یک اندام صرفاً پمپ کننده خون فراتر می‌رود. واژه قلب با ریشه معنائی «حرکت و تحول» بر ماهیت پویای آن اشاره دارد و بر جایگاه محوری کارکرد روحانی آن در حکمت و بینش معنوی که ایمان در آن سکنا می‌گزینند، تأکید می‌شود. در قرآن، کلمات «قلب» و «قلوب» بیش از ۱۵۰ بار به کار رفته است و در آیات متعدد قرآن کریم اوصافی به قلب نسبت داده شده است که با کارکرد جسمانی آن تناسب ندارند و قلب جسمانی در ظاهر نمی‌تواند منشأ آثار عقلانی از قبیل ایمان، کفر، تعقل، فهم، و نظایر آن، باشد. در مقابل، این آثار به کارکرد روحانی قلب نسبت داده می‌شود و طی آن به طور عمیقی بر ظرفیت قلب برای درک معنوی تأکید می‌شود. در قرآن مهربانی، آرامش، هدایت و نیز کوری، مریضی، قساوت، تکبّر، غفلت، وسوسه و... به قلب نسبت داده می‌شود. این ویژگی‌ها با کارکرد روحانی قلب سازگاری دارند، در تفسیر المیزان، عقل متعلق به نفس روحانی را به قلب نسبت می‌دهد [۳۴]. در اینکه قلب جسمانی چه ارتباطی با قلب روحانی دارد؛ در کتاب المیزان گفته شده است: قلب نخستین عضوی است

[1] Met
[2] Spiritual Heart
[3] Chakras
[4] Anahata
[5] Hridaya
[6] Guhā
[7] Prana
[8] Xin

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

که روح به آن تعلق می‌گیرد چرا که در اثر بیهوشی و غش و امثال آن شعور و ادراک انسان از کار می‌افتد؛ ولی ضربان قلب و نبض او هنوز زنده است در صورتی که اگر قلب او از کار بیفتد دیگر حیاتی برایش باقی نمی‌ماند. پس آغاز حیات در آدمی، در دیدگاه کارکردشناسی با شروع عملکرد جسمانی قلب به‌عنوان پمپ و در دیدگاه معنوی و منبعث از حکمت با عملکرد روحانی قلب است، به این معنی که روح به‌وسیله قلب به بدن تعلق می‌گیرد و تجلی روح جاندار، در وهله نخست در قلب است. در قرآن، فهم و ادراک به قلب نسبت داده شده و درک کردن را از شئون قلب می‌داند. همچنین جایگاه آرامش (سکینه) و آسایش روانی قلب پاک است که با تأمین شدن آن امکان رشد فردی و معنوی برای انسان فراهم می‌شود.

مفهوم تزکیه قلب در آموزه‌های اسلامی از جایگاه محوری برخوردار است؛ زیرا تنها یک قلب سلیم؛ یعنی قلبی که از هرگونه شرک، کفر، نفاق و بیماری‌های قلبی پاک باشد، می‌تواند جایگاه حکمت الهی باشد. قلب در یک روایت نبوی (قلب المومن عرش الرحمن)، به‌عنوان «عرش الرحمن» توصیف می‌شود که اهمیت معنوی عمیق آن را نشان می‌دهد. آثار و خواص روحی و روانی (احساسات، شعور و اراده، حب، بغض، امید و ترس و...) همه مربوط به قلب است؛ یعنی روح وقتی حالت‌های روحی و روانی را به‌وسیله مغز درک می‌کند اثر آن در قلب جسمانی ظاهر می‌شود. در نتیجه، ادراک، شعور و هر چه بویی از شعور در آن است را به قلب جسمانی نسبت می‌دهند چرا که آثار این ادراکات در قلب ظاهر می‌شوند.

همگرایی روایت‌های علمی و حکمت

قائل بودن به هریک از ویژگی‌های مهم و حیاتی قلب انسان یعنی جایگاه فیزیکی و جسمانی قلب (به‌عنوان پمپاژ خون، برخوردار از سیستم عصبی ذاتی، میدان الکترومغناطیسی، قابلیت سنتز و ترشح هورمون‌های اندوکرین و پاراکرین و...) و از سوی دیگر، جایگاه غیرفیزیکی و روحانی قلب (مبتنی بر تجربه مشترک و چند هزاره اقوام و فرهنگ‌های متکثر و به‌ویژه صراحت آیات قرآنی و تفاسیر معتبر برآمده از آنها و...)، بر اساس شواهد موجود، به معنی تأیید یکی و نفی دیگری نیست. به عبارت دیگر، دو نگرش مورد بحث دو روی یک سکه‌اند که از دو خاستگاه، امکان فراهم آمدن دیدگاه واقع‌بینانه و کامل ما نسبت به واقعیت قلب را میسر می‌کنند. علی‌رغم پیشرفت‌های جامعه بشری در کشف پدیده‌ها و روابط در عالم مادی و بهره‌گیری از قدرت علم و فناوری‌های برآمده از علم، می‌بایست با فروتنی، بر محدودیت علوم تجربی در توصیف واقعیات غیر جسمانی و مادی، اذعان نمود. ازاین‌رو همراهی و هم‌افزایی دو نگرش علمی و حکمی بر پدیده‌ها می‌تواند مبتنی بر دانش محدود زمان، تصویر موجه‌تری از واقعیات بیرونی از جمله پدیده شگفت‌آور حیات و زیستی را فراهم کند. شباهت‌های چشمگیر بین کشفیات علمی مدرن و فرهنگ‌های حکمت باستانی در مورد نقش‌های غیرپمپی قلب، آن‌قدر مهم هستند که نمی‌توان آن‌ها را صرفاً استعاره یا تصادف دانست. درک علمی از سیستم عصبی ذاتی قلب (ICN)، ارتباط دوسویه در محور قلب – مغز و تأثیر قابل اندازه‌گیری هم‌ترازی قلب – مغز بر عملکردهای عاطفی و شناختی، تأیید تجربی قانع‌کننده‌ای در تأیید برخی از بینش‌های باستانی در مورد جایگاه قلب فراتر از پمپ، ارائه می‌دهد. به عنوان مثال، شناخت علمی قلب و برخورداری آن از «سیستم عصبی ذاتی پیچیده»، به طور قابل‌توجهی، مفاهیم فلسفی و معنوی دیرینه قلب به‌عنوان یک جایگاه مرکزی عقل، آگاهی و حکمت در فرهنگ‌های مختلف را تقویت می‌کند و با آنها همخوانی دارد. بدین ترتیب قلب، جایگاه تجلی عقل و محل دریافت معارف الهی و حقیقی است؛ بنابراین، عقل و قلب پیوندی استوار دارند به‌گونه‌ای که عقل راهبر و قلب، پذیرنده و محل تجلی عقل است. این پیوند، اساس فهم حکیمانه و سلوک ایمانی انسان را شکل می‌دهد [۳۵].

تأثیر قلب بر شهود و تصمیم‌گیری

یافته‌های علمی و مفاهیم برآمده از حکمت، به قلب به عنوان منبع حیاتی شهود و یک عامل تعیین‌کننده مهم در فرایندهای تصمیم‌گیری اشاره می‌کنند. از نظر علمی، بهبود عملکرد شناختی، از جمله تمرکز، حافظه و تصمیم‌گیری بهتر، به طور قابل اثباتی با حالات هم‌ترازی قلب – مغز و تغییرپذیری بالاتر ضربان قلب (HRV)مرتبط است [۱۵]. HRV بالا که نشانه هم‌ترازی است، با عملکردهای اجرایی بهبودیافته شناختی از جمله در قضاوت و تصمیم‌گیری توصیف می‌شوند [۳۶]. این مشاهدات یک چارچوب علمی قانع‌کننده برای درک پدیده‌هایی که اغلب به قلمرو غیر قابل توضیح یا عرفانی نسبت داده می‌شوند، ارائه می‌دهد. پیام‌های

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

عصبی فراوانی که به طور مداوم از طریق اعصاب آوران واگی یا حسی از قلب به مغز ارسال می‌شوند، به احتمال زیاد جریان پیچیده‌ای از اطلاعات غیرخطی را فراهم می‌کنند که به آنچه افراد به عنوان «احساس درونی» یا بینش‌های شهودی درک می‌کنند، کمک می‌کند و انتخاب‌ها را فراتر از تحلیل صرفاً عقلانی هدایت می‌کنند. پس آنچه انسان‌ها به عنوان «شهود»، «احساس درونی» یا «دانستن چیزی در قلب خود» درک می‌کنند، صرفاً پدیده‌های روان‌شناختی انتزاعی نیستند. در عوض، آن‌ها می‌توانند ریشه در این پیام‌های فیزیولوژیکی پیچیده داشته باشند که منشأ آنها قلب است [۳۷،۳۸]. این نشان می‌دهد که «گوش دادن به قلب خود» ممکن است یک پایه فیزیولوژیکی واقعی داشته باشد، جایی که وضعیت منسجم قلب یا الگوهای خاص پیام‌ها، نوعی اطلاعات یکپارچه و غیرخطی را به مغز ارائه می‌دهند. این اطلاعات می‌تواند تصمیم‌گیری سریع و جامع را، به‌ویژه در موقعیت‌های پیچیده یا از نظر عاطفی پربار، با ارائه نوع متفاوتی از «منطق» نسبت به تفکر صرفاً عقلانی را تسهیل کند.

هریدایا هندی با کارکرد مشترک قلب جسمانی و معنوی، امکان «ادراک مستقیم و تجربه بدون واسطه» که منجر به حکمت عمیق می‌شود، نشان‌دهنده نوعی دانستن است که از تفکر عقلانی صرفاً مبتنی بر مغز، فراتر می‌رود. به همین ترتیب، شین شرق آسیا، عاطفه و عقل را یکپارچه می‌کند و منجر به تصمیمات متعادل و اصیل می‌شود. در اندیشه اسلامی، قلب جایگاه روح، ادراک و «قضاوت‌های اخلاقی، عاطفی و احساسی» و آرامش است. این دیدگاه میان‌رشته‌ای نشان می‌دهد که تصمیم‌گیری بهینه یک فرایند صرفاً مغزی نیست، بلکه شامل یکپارچگی عمیق و پویا از هوش قلبی، حالات عاطفی با تأکید بر آرامش و سلامت روانی و عملکردهای شناختی است.

رهبری قلبی

قلب و مغز به‌صورت مستمر از طریق راهکارهای مختلف شامل سیستم عصبی خودکار، سازوکارهای بیوشیمیایی از جمله هورمون‌های اندوکرین و نقش‌آفرینی میدان الکترومغناطیسی مؤثر قلب، با هم در ارتباط هستند. هماهنگی قلب – مغز، تنظیم عاطفی، مدیریت استرس و رفاه کلی را در افراد افزایش می‌دهد و می‌تواند منجر به بهبود عملکرد شناختی، کاهش استرس و افزایش تاب‌آوری در برابر چالش‌های عاطفی در فرد شود [۱۵]. علاوه بر این، میدان الکترومغناطیسی قدرتمند قلب می‌تواند به طور فیزیولوژیکی بر حالات دیگران تأثیر بگذارد به‌گونه‌ای که در هم‌افزایی با هماهنگی قلب – مغز و سرایت آن به دیگر اعضای گروه اجتماعی، بالقوه پویایی تیم و ارتباطات اجتماعی را افزایش می‌دهد [۲۱–۱۸]. این موضوع نشان‌دهنده یک مکانیسم ظریف و درعین‌حال قوی برای تأثیرگذاری بر حالات عاطفی جمعی است. این مشاهده که هماهنگی قلب – مغز می‌تواند «مسری» باشد و بر حالات فیزیولوژیکی دیگران تأثیر بگذارد از اهمیت بالایی برخوردار است [۲۱]. اگر این همگام‌سازی فیزیولوژیکی می‌تواند رخ دهد، به این معنی است که وضعیت عاطفی و برآمده از انرژی قلب یک فرد فراتر از ارتباط کلامی، می‌تواند مستقیماً بر محیط جمعی تأثیر بگذارد و یک مکانیسم ظریف و درعین‌حال قدرتمند برای تأثیرگذاری بین‌فردی محسوب شود. این موضوع همچنین پیامدهای قابل‌توجهی برای زمینه‌های مختلف، از جمله رهبری، درمان گروهی، آموزش و حتی رفاه و آرامش اجتماعی دارد. به عنوان مثال، یک رهبر که به طور مداوم هماهنگی قلب – مغز را در خود پرورش می‌دهد، نه‌تنها خود به «آرامش» و در نتیجه آن به ظرفیت «خردورزی» به دست یابد، بلکه ممکن است به طور فیزیولوژیکی بر هماهنگی و انسجام تیم خود تأثیر بگذارد و منجر به همکاری بهتر، کاهش درگیری‌های بین‌فردی و افزایش عملکرد جمعی شود. این موضوع می‌تواند مبنای علمی برای درک مفاهیم حکمت باستانی در مورد جوامع «قلب – محور» باشد یا تأثیر مبتنی بر انرژی حضور یک رهبر معنوی را توجیه کند. در نتیجه، رهبری واقعی نه‌تنها شامل توانایی فکری یا تفکر راهبردی است، بلکه برخوردار از هوش هیجانی عمیقاً پرورش یافته‌ای است که ریشه در یک قلب منسجم و پاک دارد. چنین رهبر «قلب محوری» قادر خواهد بود نه‌تنها احساسات خود را تنظیم کند، بلکه به طور مثبت بر حالات عاطفی و فیزیولوژیکی کسانی که رهبری می‌کند تأثیر بگذارد و هماهنگی و کارایی بیشتری را در گروه‌ها تقویت کند.

پرورش هماهنگی قلب – مغز

با توجه به مزایای قابل اندازه‌گیری هماهنگی قلب – مغز، پرورش این وضعیت مسیرهای عملی و قابل دسترسی برای افزایش آرامش ذهنی و عاطفی و آسایش شخصی در ابعاد فیزیکی را ارائه می‌دهد.

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

آرامش ناشی از باورمندی و ایمان قلبی، روش علمی تأیید شده در تأمین هماهنگی موردنظر و در نهایت سلامت روحی و جسمانی است که با تغییرپذیری ضربان قلب بالا قابل اندازه‌گیری کمی بوده و در حکمت قرآنی بر آن تأکید شده است. به‌گونه‌ای که قرآن می‌فرماید: او کسی است که آرامش را در دل‌های مؤمنان نازل کرد تا ایمانی بر ایمانشان بیفزایند و یا یاد خدا را موجب آرامش قلبی عنوان می‌کند. همچنین، تکنیک‌های مدرن مانند ۱- تنفس متمرکز بر قلب[1]، ۲- پرورش آگاهانه احساسات مثبت (مانند قدردانی و شفقت)، ۳- ذهن‌آگاهی یا فراآگاهی[2] (پرورش آگاهی و هوشیاری با تکیه بر مراقبت و زیر نظر گرفتن توجه و تجربیات در زمان حال بدون قضاوت کردن)، ۴- آموزش زیست‌بازخورد[3] (روش درمانی است که به افراد کمک می‌کند تا کنترل بیشتری روی عملکردهای فیزیولوژیکی بدن خود داشته باشند) و ۵- غرق شدن در طبیعت و شرکت در فعالیت‌های ریتمی، نیز همگی برای ایجاد و حفظ هماهنگی قلب – مغز مورد استفاده قرار می‌گیرند. این شیوه‌های مدرن موید تأثیر نظریات حکمت و نیز سنت‌های باستانی به‌صورت مدیتیشن و مراقبه هستند که با هدف هماهنگ‌سازی حالات درونی و اتصال به حکمت عمیق در جهت تأمین هماهنگی قلب – مغز انجام می‌شوند، این ترکیب بین یافته‌های علمی و مفاهیم حکمی نشان می‌دهد که تأثیر قلب بسیار گسترده است و آثار هماهنگی قلب – مغز به اشکال بهبود عملکرد شناختی، تنظیم عاطفی، قضاوت اخلاقی، شهود و حتی پویایی‌های اجتماعی با مکانیسم تأمین شرایط فیزیولوژیک و بیوشیمیایی بهبودیافته از جمله کاهش استرس‌های اکسایشی، با یک رویکرد روانی – جسمی[4] منجر به بهبود سلامت جسمی می‌شود. این تأثیر جامع نشان می‌دهد که قلب به عنوان یک «اندام یکپارچه‌کننده» مرکزی، ابعاد مختلف روحانی و جسمانی انسان را هماهنگ و تنظیم می‌کند. به‌عبارت‌دیگر، این عضو به عنوان مرکز همگرایی حیاتی عمل می‌کند که در آن فرایندهای فیزیولوژیکی، حالات روان‌شناختی و بینش‌های معنوی درهم‌تنیده می‌شوند. این موضوع نقش قلب را از یک پمپ مکانیکی ساده به یک هماهنگ‌کننده جامع رشد و شکوفایی انسان تغییر می‌دهد. این بدان معناست که «قلب سالم» که در قرآن با عنوان قلب سلیم از آن یاد شده و با نفس تزکیه شده درهم‌تنیدگی دارند، نه‌تنها برای سلامت فیزیولوژیک، بلکه برای عملکرد بهینه انسان در همه حوزه‌ها، از جمله رشد شخصی، هماهنگی اجتماعی و توسعه معنوی، و در یک کلام رستگاری انسان اساسی است. این دیدگاه جامع می‌تواند به طور قابل‌توجهی بر چارچوب‌های تحقیقاتی و مداخلات درمانی تأثیر بگذارد.

نتیجه‌گیری

یافته‌های تحقیقات علمی به‌ویژه در نوروکاردیولوژی و روان‌فیزیولوژی، از جمله آگاهی از سیستم عصبی ذاتی قلب (ICN)، میدان الکترومغناطیسی قلب، هورمون‌های اندوکرین قلبی و ارتباط دوطرفه قلب با مغز از یک سو و نقش اثرگذار قلب بر حالات شناختی و عاطفی از طریق مکانیسم‌های قابل‌اندازه‌گیری از طریق ارزیابی کمی تغییرپذیری ضربان قلب (HRV) و هماهنگی قلب – مغز، از سوی دیگر، موید نقش‌آفرینی قلب فراتر از یک پمپ ساده گردش خون است. به‌عبارت‌دیگر، بر اساس شواهد علوم تجربی، قلب دارای شبکه‌ای گسترده از ارتباطات عصبی، بیوشیمیایی و الکترومغناطیسی با مغز و سراسر بدن است که بر تنظیم هیجانات، تصمیم‌گیری و درک شهودی تأثیر عمیق می‌گذارد در یادگیری‌های عمیق، پایدار و معنا محور از جایگاه بنیادین و مکمل برای مغز برخوردار است. اگر مغز ماشین منطقی یادگیری است، قلب روح آن است که؛ عمق، جهت، و معنا به آن می‌بخشد. ازاین‌رو فهم هماهنگی قلب و مغز، را کلید نیل به درک عمیق از یادگیری در انسان و هوش انسانی می‌دانیم. جامع فرهنگ‌های مختلف مبتنی بر حکمت‌های کهن از جمله حکمت ایران باستان، هریدایا هندی و شین شرق آسیا و حکمت اسلامی، قلب را به‌عنوان جایگاه مرکزی تنظیم عاطفی، تصمیم‌گیری، شهود و حتی قضاوت اخلاقی و بینش معنوی می‌شناسند. همگرایی حکمت با یافته‌های علمی مدرن، تصویری از قلب به‌عنوان یک اندام چندبعدی ارائه می‌دهد. ترکیب میان‌رشته‌ای ارائه شده در این مقاله، اهمیت حیاتی اتخاذ درک جامع از قلب در پرداختن به سلامت روانی و جسمی

[1] Heart-Focused Breathing
[2] Mindfulness
[3] Biofeedback
[4] Psychosomatic

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

انسان را برجسته می‌کند. شناخت نقش محوری قلب، راه‌های جدیدی را برای مداخلات درمانی و راهکارهای توسعه فردی باز می‌کند. ارمغان تقویت تعادل عاطفی، بهبود عملکرد شناختی و تأمین آرامش درونی و در نتیجه سلامت جسمانی و فیزیولوژیک، پیامد پرورش هماهنگی قلب – مغز، از طریق تقویت باورمندی، اتخاذ شیوه‌های مبتنی بر حکمت باستانی (مانند مراقبه، تزکیه قلب) و شیوه‌های مدرن (مانند تنفس متمرکز بر قلب، بیوفیدبک)، است. این‌همه، شاهدی بر ماهیت ادراکی و معنوی ارتباط بین قلب و مغز در کنار ماهیت جسمانی و فیزیولوژیک اثبات شده این ارتباط در علم مدرن است. باوجود پیشرفت‌های قابل‌توجه که در این مقاله به برخی از آنها اشاره شد، پژوهش‌های آینده می‌تواند با پرداختن بیش از پیش به بررسی مسیرهای عصبی و پیام‌های بیوشیمیایی درگیر در ارتباط قلب – مغز، تأثیر میدان الکترومغناطیسی قلب، و اثرات بلندمدت شیوه‌های قلب – محور بر رفتارهای پیچیده شناختی، عاطفی و اخلاقی، در تأمین درک جامع از نقش محوری قلب در شکل‌دهی سلامت روانی و جسمی انسان، مفید باشد.

با افزایش دغدغه‌های اخلاقی در عرصه‌های فناوری‌های نوین مانند زیست‌فناوری، هوش مصنوعی و بحران‌هایی نظیر تغییرات اقلیمی، ضرورت پیوست و پیوند حکمت با علم نوین، بیش از پیش احساس می‌شود. ازاین‌رو، تشریح شواهد علمی به‌دست‌آمده در پیوند و همگرایی علم نوین با حکمت کهن در مورد نقش قلب، علاوه بر دست آورد تأمین نگرش واقع‌بینانه به جهان هستی، آشکارکننده اهمیت بازبینی، باز تعریف و تعمیم مزایا و دستاوردهای این همگرایی در فراهم شدن امکان کنترل بحران‌های معنایی، اخلاقی و زیست‌محیطی مبتلا به انسان معاصر است. این مهم مستلزم نظارت و رهبری مبتنی بر حکمت در جهت‌دهی و کاربست یافته‌های علم نوین و در نتیجه تأمین‌کننده توسعه پایدار جوامع بشری است.

تقدیر و تشکر

بدین‌وسیله مراتب سپاسگزاری خود را از برگزار کننده گان سلسله نشست های شورای علم و فرهنگ اعلام می داریم. همچنین از سرکار خانم عفت عظیم‌زاده به جهت ویرایش متن اولیه این مقاله سپاسگزارم.

فهرست منابع

[۱] موسوی موحدی، علی‌اکبر (۱۴۰۱). تجلی نور، نشریه نشاء علم ۱۳, ۱, ۹۴.

[۲] سارتون، جرج (۱۳۸۹). مقدمه بر تاریخ علم (جلد سوم، ص. ۱۹۵۸، ترجمه غلامحسین صدری‌افشار). شرکت انتشارات علمی و فرهنگی.

[۳] هونکه، سیگرید (۱۳۹۵). فرهنگ اسلام در اروپا (خورشید الله بر فراز مغرب زمین) (ترجمه مرتضی رهبانی). دفتر نشر فرهنگ اسلامی.

[4] Sands, B. (2022). Overview of the Heart's Intelligence: A Dynamic Perspective into the World of Energetic Wellness, Journal of the American Holistic Veterinary Medical Association, 68, 22–30.

[5] Williamson, A. (2021). Self-regulation, co-regulation and cardio-ception: Parasympathetic ease-and-release in Somatic Movement Dance Therapy, Dance, Movement & Spiritualities 8, 109–161.

[6] Mushtaq, G., Siddiqui, AA. (2006). The Intelligent Heart, The Pure Heart, An Insight into the Heart Based on the Qur'an, Sunnah and Modern Science. Ta-Ha

[7] Hu, J.R., Abdullah, A., Nanna, M.G., Soufer, R. (2023). The Brain–Heart Axis: Neuroinflammatory Interactions in Cardiovascular Disease, Current Cardiology Reports, 25, 1745–1758.

[8] Tendulkar, M., Tendulkar, R., Dhanda, P.S., Yadav, A., Jain, M., Kaushik, P. (2023). Clinical potential of sensory neurites in the heart and their role in decision-making, Frontiers in Neuroscience, 17, 1308232.

[9] Adams, D.J., Ashton, J.L., Montgomery, J.M. (2022). Cardiac vagal ganglia, The Primary Autonomic Nervous System, Fourth Edition, Academic Press, p. 193–198.

[10] Alshami, A.M. (2019). Pain: Is it all in the brain or the heart?, Current Pain and Headache Reports, 23(12), 88.

[11] Petersen, R.C. (2004). Mild cognitive impairment as a diagnostic entity, Journal of Internal Medicine, 256, 183–194.

[12] Lin, F., Heffner, K.L., Ren, P., Tadin, D. (2017). A Role of the Parasympathetic Nervous System in Cognitive Training, Current Alzheimer Research, 14(7), 784–9.

[13] Arakaki, X., Arechavala, R.J., Choy, E.H., Bautista, J., Bliss, B., Molloy, C., Wu, D.A., Shimojo, S., Jiang, Y., Kleinman, M.T., Kloner, R.A. (2023). The connection between heart rate variability (HRV), neurological health, and cognition: A literature review, Frontiers in Neuroscience, 17,1055445.

[14] Agorastos, A., Mansueto, A.C., Hager, T., Pappi,

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

E., Gardikioti, A., Stiedl, O. (2023). Heart Rate Variability as a Translational Dynamic Biomarker of Altered Autonomic Function in Health and Psychiatric Disease, Biomedicines, 11(6),1591.
[15] McCraty, R. (2011). Coherence: Bridging personal, social and global health, Activitas Nervosa Superior Rediviva, 53, 85–102.
[16] Wang, Y., Zhao, Z.G., Chai, Z., Fang, J.C., Chen, M. (2023). Electromagnetic field and cardiovascular diseases: A state-of-the-art review of diagnostic, therapeutic, and predictive values, The FASEB Journal, 37(10), 23142.
[17] Pannetier, M., Fermon, C., Le Goff, G., Simola, J., Kerr, E. (2004). Femtotesla magnetic field measurement with magnetoresistive sensors, Science, 304, 1648–1650.
[18] McCraty, R., Al Abdulgader, A. (2021). Consciousness, the human heart and the global energetic field environment, Cardiology and Vascular Research, 5, 1–19.
[19] Wang, H., Zou, W., Cao, Y. (2025). Bioelectromagnetic fields as signaling currents of life, Radiation Medicine and Protection, 6, 112–118.
[20] R. McCraty. (2015). Science of the Heart: Exploring the Role of the Heart in Human Performance, Heart Institute, 2, 2 1–72.
[21] Anderson, C.L., Monroy, M., Keltner, D. (2018). Emotion in the wilds of nature: The coherence and contagion of fear during threatening group-based outdoors experiences, Emotion, 18, 355–368.
[22] McFadden, J. (2020). Integrating information in the brain's EM field: The cemi field theory of consciousness, Neuroscience of Consciousness, (1):niaa016.
[23] Zampieri, F., Thiene, G., Zanatta, A. (2023). Cardiocentrism in ancient medicines, IJC Heart and Vasculature, 48,101261.
[۲۴] قره‌قومی، سمیه، هارتل، توماس، موسوی موحدی، علی‌اکبر (۱۴۰۱). رضایت از زندگی و آزادسازی اکسی‌توسین (هورمون عصبی شیمیایی در مغز)، نشریه نشاء علم ۱۲, ۲, ۱۵۰–۱۵۸.
[۲۵] نورآذران، مونا، یوسفی، رضا، ضرابی، مهدی، علوی‌پناه، سید کاظم، موسوی موحدی، علی‌اکبر (۱۴۰۲). سبک زندگی علمی و شادی، نشریه نشاء علم ۱۳, ۲, ۱۰۴–۱۱۶.
[26] Neumann, J., Hofmann, B., Dhein, S., Gergs, U. (2023). Role of dopamine in the heart in health and disease, International Journal of Molecular Sciences, 6, 24(5), 5042.
[27] Gutkowska, J., Jankowski, M., Mukaddam-Daher, S., McCann, S.M. (2000). Oxytocin is a cardiovascular hormone, Brazilian Journal of Medical and Biological Research, 33, 625–633.
[28] Ebert, S.N., Thompson, R.P. (2001). Embryonic epinephrine synthesis in the rat heart before innervation: Association with pace making and conduction tissue development, Circulation Research, 88, 117–124.
[29] Tarbit, E., Singh, I., Peart, J.N., Bivol, S., Rose'Meyer, R.B. (2021). Increased release of serotonin from rat primary isolated adult cardiac myofibroblasts, Scientific Reports, 11(1),20376.
[۳۰] اعوانی، غلامرضا (۱۳۹۱). سهروردی و احیاگری حکمت خسروانی، آکادمی مطالعات ایرانی لندن(LAIS) .
[۳۱] ریخته‌گران، محمدرضا (۱۳۹۸). ایران: شرق میانی، نگاهی حکمی به جامعیت وجوه شرقی و غربی ایران، دوفصلنامه جاویدان خرد ۳۵, ۵۵–۶۷.
[۳۲] بابایی، علی (۱۳۹۶). جایگاه وجودی قلب در نفس‌شناسی صدرا، مطالعات معرفتی در دانشگاه اسلامی ۲۱, ۳، (پیاپی ۷۲)
[33] Figueredo, V.M. (2021). The Ancient Heart: What the Heart Meant to Our Ancestors, Journal of the American College of Cardiology, 78, 957–959.
[۳۴] طباطبائی، سید محمد حسین (۱۳۶۳). تفسیر المیزان، در تفسیر آیه ۴۶ سوره حج، جلد ۱۴, ۵۷۷.
[۳۵] موسوی موحدی، علی‌اکبر (۱۳۷۲). عقل، مجله پیوند ۱۶۲–۱۶۳, ۲۴–۲۷.
[36] Fujiu, K. (2024). Brain-heart dialogue — decoding its role in homeostasis and cardiovascular disease, Circulation Journal, 88, 1354–1359.
[37] Perlovsky, L.I. (2006). Toward physics of the mind: Concepts, emotions, consciousness, and symbols, Physics of Life Reviews, 3, 23–55.
[38] Sadler-Smith, E. (2015). The Intuitive Mind: Profiting from the Power of Your Sixth Sense. Wiley, 1–325.

2783-0934 شاپا الکترونیکی https:/www.sciencecultivation.ir 2008-935X شاپا چاپی

بانکداری فقرا: رهایی از فقر و توسعه محلی در ایران

مهدی قربانی*[1]

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله ترویجی

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت
۰۸ تیر ۱۴۰۴
تاریخ بازنگری
۰۷ مرداد ۱۴۰۴
تاریخ پذیرش
۰۸ مرداد ۱۴۰۴
تاریخ انتشار
۳۰ آذر ۱۴۰۴

کلیدواژه‌ها:
بانکداری فقرا، کسب‌وکار اجتماعی، اعتبارات خُرد، توسعه اجتماع–محور، کارآفرینی اجتماعی

چکیده

مطالعه حاضر به بررسی ظرفیت‌های «بانکداری فقرا» به‌عنوان کسب‌وکاری اجتماعی برای فقرزدایی و توسعه محلی در ایران می‌پردازد. با توجه به چالش‌های ساختاری فقر مزمن در ایران، به‌ویژه در مناطق روستایی و کم‌برخوردار، و نیز ناکارآمدی برخی سیاست‌های توزیعی، بهره‌گیری از بانکداری فقرا می‌تواند زمینه‌ساز مشارکت فعال گروه‌های کم‌درآمد در توسعه اقتصادی باشد. این مقاله، ضمن تحلیل تجارب جهانی در کشورهایی نظیر بنگلادش، هند، چین و کشورهای آفریقایی، بر اهمیت سازوکارهایی چون اعتبارات خرد، بانکداری اسلامی، بانک‌های تعاونی و امور مالی دیجیتال تأکید دارد. سپس با بررسی مدل بانکداری خُرد و تجربه پیاده‌سازی آن در شهرستان قلعه‌گنج، نشان داده می‌شود که این الگوی اجتماع‌محور چگونه توانسته است در ابعاد اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و محیط‌زیستی به ارتقای تاب‌آوری جوامع محلی و کاهش فقر پایدار کمک کند. تجربه موفق این مدل در حوزه کارآفرینی اجتماعی، نشان‌دهنده قابلیت انطباق و مقیاس‌پذیری آن در سایر مناطق کشور است. در نهایت، مقاله پیشنهاد می‌دهد که با سیاست‌گذاری هوشمندانه و حمایت نهادی، کسب‌وکار اجتماعی بانکداری فقرا می‌تواند به‌عنوان بخشی از راهبردهای جامع و چندبُعدی توسعه عدالت‌محور محلی و فقرزدایی در ایران مورد بهره‌برداری قرار گیرد.

استناد: قربانی, مهدی ؛(۱۴۰۴). بانکداری فقرا: رهایی از فقر و توسعه محلی در ایران. *نشاء علم*، ۱۵ (۲)، ۱۳۱–۱۴۱.

ناشر: بنیاد پیشبرد علم و فناوری در ایران و انجمن بیوشیمی فیزیک ایران
© نویسندگان حق نشر و کلیه حقوق انتشار را برای خود حفظ می‌کنند.

* عهده دار مکاتبات: استاد. تلفن/ دورنگار: ۳۲۲۳۳۰۱۳ (۹۸۲۶+)، آدرس الکترونیکی: mehghorbani@ut.ac.ir

[1] دانشکده منابع طبیعی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

مقدمه

باوجود کاهش نسبی فقر مطلق در سطح جهانی، فقر همچنان یکی از چالش‌های ساختاری در بسیاری از کشورهای درحال‌توسعه، از جمله ایران است. بیش از ۲/۵ میلیارد نفر با کمتر از ۲ دلار در روز زندگی می‌کنند و حدود ۸۳۶ میلیون نفر در فقر مطلق به سر می‌برند [۱،۲]. درحالی‌که آفریقای جنوب صحرا و جنوب آسیا همچنان سهم بالایی از جمعیت فقیر دارند [۱،۳]، بخش زیادی از فقرا در کشورهای با درآمد متوسط مانند هند و چین ساکن‌اند که نقش سیاست‌های داخلی را در کاهش فقر برجسته می‌سازد [۴،۵]. در ایران نیز، علی‌رغم اجرای برنامه‌های توسعه، فقر در مناطق روستایی و مرزی همچنان گسترده است و باید به ابعاد فرهنگی، امنیتی و زیست‌محیطی آن نیز توجه شود [۶،۷،۸].

با توجه به اینکه فقر تنها مسئله‌ای اقتصادی نیست و ابعاد اجتماعی، فرهنگی و سیاسی نیز در آن نقش دارند، سیاست‌گذاران در سطح جهانی و ملی به سمت رویکردهای جامع‌تر و بومی‌محور حرکت کرده‌اند. در سطح بین‌المللی، استفاده از شاخص‌های فقر چندبُعدی برای سنجش دقیق‌تر محرومیت [۹،۱۰]، توسعه خدمات مالی خرد به‌عنوان ابزاری برای توانمندسازی اقتصادی و کاهش نابرابری جنسیتی [۱۱] و اجرای برنامه‌های مشارکتی مانند اسناد راهبردی کاهش فقر [۱۲]، نمونه‌هایی از رویکردهای ساختاری و مردمی هستند. همچنین، سیاست‌های حمایت اجتماعی و توسعه زیرساخت‌های روستایی در آسیا نتایج مثبتی در کاهش فقر روستایی داشته‌اند [۱۳]. در ایران، شاخص فقر چندبُعدی به‌کار رفته است [۹]، اما تحریم‌ها، ناکارآمدی سیاست‌ها و بحران‌های محیط‌زیستی به استمرار فقر نسبی انجامیده‌اند [۱۴،۱۵]. همچنین، نقش سازمان‌های مردم‌نهاد، توانمندسازی زنان روستایی [۱۶] و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر [۱۷] از راهکارهای تطبیقی مؤثر برای تقویت تاب‌آوری اجتماعی و اقتصادی محسوب می‌شوند.

در این میان، بانکداری فقرا[1] به‌عنوان یکی از راهکارهای کارآمد، اما نسبتاً مغفول‌مانده در نظام‌های مالی رسمی، می‌تواند به‌عنوان پیوندی مؤثر میان اقتصاد خرد و سیاست‌های فقرزدایی ایفای نقش کند. بانکداری فقرا نوعی کارآفرینی اجتماعی است که در اکوسیستم کسب‌وکارهای اجتماعی ظهور یافته است [۱۸]. تجربه کشورهایی مانند بنگلادش و هند نشان داده است که مدل‌های بومی‌سازی‌شده این نوع از کارآفرینی اجتماعی می‌توانند دسترسی گروه‌های کم‌درآمد به اعتبارات و خدمات مالی را افزایش داده، آنها را به بازیگران فعال در توسعه محلی تبدیل کنند. با توجه به زمینه‌های اقتصادی، فرهنگی و نهادی خاص ایران، بررسی قابلیت انطباق و بومی‌سازی این کسب‌وکار اجتماعی ضرورتی مضاعف می‌یابد. پرسش اصلی این پژوهش آن است که چگونه بانکداری فقرا می‌تواند به‌عنوان راهکاری برای توسعه عدالت‌محور محلی و فقرزدایی در ایران عمل کند؟ این مقاله تلاش می‌کند تا با تحلیل مبانی نظری و تجارب مربوط به بانکداری فقرا در سطح جهانی و ملی، فرصت‌های پیشرو برای کاربست مؤثر این نوع از کارآفرینی اجتماعی در توسعه عدالت–محور اقشار محروم و کم‌برخوردار در سطح محلی ارائه دهد.

بانکداری فقرا

بانکداری فقرا و اعتبارات خرد، مفهومی مبتنی بر اندیشه‌ها و اقدامات پیشگامانه دکتر محمد یونس، اقتصاددان و کارآفرین بنگلادشی است. او در سال ۱۹۸۳ با تأسیس «بانک گرامین» موفق شد خدمات مالی خرد را تا دورترین و محرومترین روستاهای بنگلادش گسترش دهد و به قشرهایی که از دسترسی به نظام بانکی سنتی، سرمایه و فرصتهای مالی محروم بودند، امکان داد تا از طریق وام‌های کوچک و ایجاد کسب‌وکارهای خرد، زندگی خود را متحول کنند. این رویکرد نه‌تنها انقلابی در نظام مالی کشورهای درحال‌توسعه پدید آورد، بلکه سبب شد یونس و بانک گرامین در سال ۲۰۰۶ به دریافت جایزه نوبل صلح نائل آیند. تفکر بنیادین دکتر یونس، نقد جدی مدل سرمایه‌داری متعارف است که هدف‌محوری آن را کسب حداکثر سود برای سرمایه‌گذار می‌داند. به باور او، این رویکرد باعث افزایش فقر، نابرابری و حذف اقشار ضعیف از چرخه تولید و رشد اقتصادی می‌شود. یونس معتقد است بانکداری باید به «خدمت اجتماعی» بدل شود، به‌گونه‌ای که همه انسان‌ها صرف‌نظر از دارایی یا موقعیت اجتماعی بتوانند از مزایای مالی بهره‌مند شوند و اثربخشی خود را در جامعه افزایش دهند. او ایده «کسب‌وکار اجتماعی» را مطرح کرد؛ کسب‌وکاری که هدف اصلی آن حل مسائل اجتماعی – مانند فقر و بیکاری – است و سودآوری صرف، در اولویت نیست. یونس بر این باور است که بنیه پایداری اجتماعی، به‌واسطه مشارکت فعال ذی‌نفعان محلی و

[1] Pro-Poor Banking or Banking for the Poor

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

تأمین مالی پایین به بالا تقویت می‌شود و تنها با فاصله گرفتن از تمرکز مطلق بر سودآوری، می‌توان به عدالت، توسعه انسانی و توانمندسازی پایدار محرومان دست‌یافت. رویکرد ضدسرمایه‌داری او، الگویی الهام‌بخش برای توسعه بانکداری فقرا و کسب‌وکارهای اجتماعی در کشورهای مختلف از جمله ایران فراهم ساخته است. در این مدل، اعتماد، شفافیت، مسئولیت اجتماعی و مشارکت اقشار محروم در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند تا بانکداری به ابزاری برای فقرزدایی و توسعه عدالت‌محور تبدیل شود.

بانکداری فقرا که در مجامع بین‌المللی با عنوان «دسترس‌پذیری مالی[1]» نیز معرفی می‌شود، راهبردی کلیدی در جهت کاهش فقر و دستیابی به رشد اقتصادی فراگیر به‌شمار می‌رود که هدف آن، ارائه خدمات مالی مقرون‌به‌صرفه و در دسترس به اقشار کم‌درآمد و محروم است [۱۹]. بانکداری فقرا در چارچوب کسب‌وکار اجتماعی موجب کسب سود برای صاحبان آن، یعنی فقرا می‌گردد [۱۸]. دسترسی به این خدمات، زمینه‌ساز مشارکت اقتصادی گروه‌های آسیب‌پذیر در فرایند توسعه بوده و موجب توان‌افزایی فردی و اجتماعی آنان می‌شود [۲۱،۲۰]. دسترس‌پذیری مالی همچنین نقش مهمی در کاهش نابرابری جنسیتی ایفا کرده و با فراهم‌سازی دسترسی زنان به ابزارهای مالی، استقلال اقتصادی و اجتماعی آنان را تقویت می‌نماید [۲۲]. سازوکارهای بانکداری فقرا متنوع‌اند و شامل افزایش دسترسی به اعتبارات رسمی، ارائه اعتبارات خرد از طریق نهادهای مالی خُرد (MFIs)[2]، ترویج بانکداری اسلامی مبتنی بر اصول مشارکت و بدون بهره، و توسعه امور مالی دیجیتال فراگیر هستند (شکل ۱). این سازوکارها، بستر لازم برای ادغام اقتصادی اقشار محروم در نظام مالی رسمی را فراهم می‌کنند و به تحقق اهداف توسعه‌ای کمک می‌نمایند [۱۸]. در ادامه به طور مختصر هر کدام از این سازوکارها شرح داده می‌شود.

افزایش دسترسی به اعتبارات رسمی

سیاست‌های هدفمند کاهش فقر در چین: سیاست‌های هدفمند کاهش فقر در چین با شناسایی دقیق خانوارهای فقیر و ارائه

شکل ۱: سازوکارهای بانکداری فقرا

حمایت‌های منطقه‌ای، دسترسی و میزان اعتبارات رسمی را افزایش داده و وابستگی به منابع غیررسمی را کاهش داده‌اند. این تأثیرات در طول زمان و به‌ویژه در مناطق کمتر توسعه‌یافته غرب کشور قوی‌تر بوده است. این سیاست‌ها بدون وقوع پدیده «تسخیر نخبگان[3]» اجرا شده‌اند، هرچند برای خانوارهای بسیار فقیر، بهبود بیشتر لازم است [۲۳].

بانک‌های تعاونی در هند: این بانک‌ها با فراهم‌کردن دسترسی به خدمات مالی پایه مانند پس‌انداز، وام، بیمه و اعتبار، سازوکاری مؤثر برای شمول مالی ایجاد کرده‌اند که به طور مستقیم به کاهش فقر کمک می‌کند؛ این بانک‌ها با هدف‌گیری اقشار کم‌درآمد و ارائه حمایت‌های مالی قابل‌دسترس، شرایط اقتصادی خانوارهای فقیر را بهبود بخشیده و آن‌ها را از چرخه فقر خارج می‌کنند [۲۴].

اعتبارات خُرد

بانک گرامین: قحطی گسترده بنگلادش در سال ۱۹۷۴ نقطه آغاز تحولی مهم در نگاه به فقر و توسعه بود؛ محمد یونس، اقتصاددان بنگلادشی، رویکردی نوین با عنوان «کارآفرینی اجتماعی» را جهت پیوند میان اقتصاد، کسب‌وکار و مسئولیت اجتماعی وارد ادبیات توسعه کرد. در امتداد همین نگاه، در سال ۱۹۸۳ بانک گرامین بنیان‌گذاری شد؛ نهادی که باهدف ارائه وام‌های خرد، بدون نیاز به وثیقه، به فقرا به‌ویژه زنان، طراحی شد [۱۸،۲۵].

[1] Financial Inclusion

[2] Microfinance Institutions (MFIs)

[3] اصطلاح **تسخیر نخبگان** (Elite Capture) به پدیده‌ای اشاره دارد که در آن منابع، مزایا یا سیاست‌های عمومی‌ای که قرار است به نفع گروه‌های کم‌درآمد یا آسیب‌پذیر جامعه اجرا شوند، توسط افراد یا گروه‌های بانفوذ و ثروتمند «تسخیر» یا منحرف می‌شوند تا منافع خودشان را تأمین کنند.

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

گروه‌های خودیاری[1] در هند: در هند، اعتبارات خُرد مبتنی بر گروه‌های خودیاری دسترسی وسیع‌تری به خدمات مالی فراهم کرده و تأثیر مثبتی در کاهش فقر داشته است [۲۶].

بانکداری اسلامی

بانکداری اسلامی به‌عنوان جایگزین پایدار در آفریقا: بانکداری اسلامی با اصول بدون بهره و مشارکت در ریسک، جایگزینی پایدار برای نظام‌های مالی سنتی ارائه می‌دهد. این سیستم در کاهش فقر در کشورهای جنوب صحرای آفریقا مؤثر بوده و بدون ایجاد وابستگی اقتصادی عمل می‌کند [۲۷].

امور مالی دیجیتال فراگیر

امور مالی دیجیتال فراگیر[2] (DIF) در چین: این نوع امور مالی با ترویج اشتغال، کارآفرینی و دسترسی آسان‌تر به خدمات مالی، انگیزه درونی خانوارهای روستایی را برای فرار از فقر تقویت می‌کند [۲۸].

بانکداری خُرد و فقرزدایی در ایران

بررسی وضعیت فقر در ایران نشان می‌دهد که فقر مزمن به طور متوسط بیش از ۸۰ درصد از فقر کل را تشکیل می‌دهد و پس از دوره‌ای کاهش تا اوایل دهه ۱۳۹۰، از سال ۱۳۹۷ به دنبال تحریم‌ها به‌شدت افزایش یافته است [۲۹]. این وضعیت به‌ویژه زنان و ساکنان استان‌های محروم و کم‌برخوردار را، به دلیل سطح پایین‌تر آموزش، دسترسی محدود به خدمات عمومی و نابرابری ساختاری، به‌مراتب آسیب‌پذیرتر کرده است [۳۰]. در واکنش به این چالش‌ها، سیاست‌گذاران تلاش‌هایی را در جهت توانمندسازی اقتصادی گروه‌های آسیب‌پذیر به‌ویژه در مناطق محروم و کم‌برخوردار آغاز کرده‌اند که بانکداری خُرد و حمایت از کسب‌وکارهای کوچک از جمله راهبردهای کلیدی محسوب می‌شود. در این راستا، طرح «توسعه کسب‌وکار و اشتغال پایدار (تکاپو)» توسط وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی با هدف توسعه کسب‌وکارهای خرد و متوسط، توسعه خوشه‌های اقتصادی، توانمندسازی سرمایه انسانی و تسهیل دسترسی به منابع مالی و بازار در استان‌هایی مانند کرمانشاه، خراسان جنوبی و سیستان و بلوچستان اجرا شده است که به ایجاد صدها فرصت شغلی منجر شده است [۳۱]. همچنین، صندوق‌های اعتبارات خرد زنان روستایی که از اوایل دهه ۱۳۸۰ توسط وزارت جهاد کشاورزی راه‌اندازی شده‌اند، با بیش از ۴۲۰۰ صندوق فعال و ۹۰ هزار عضو، نقش مهمی در ارتقای دسترسی مالی، افزایش توان چانه‌زنی و تقویت کارآفرینی زنان داشته‌اند [۳۲]. افزون بر این، کمیته امداد امام خمینی (ره) نیز با اجرای طرح‌های اشتغال‌زایی برای زنان سرپرست خانوار، از جمله اعطای وام‌های قرض‌الحسنه، آموزش حرفه‌ای و کمک به بازاریابی، توانسته‌اند بیش از ۱۵۰ هزار زن را تحت پوشش حمایت‌های مالی و آموزشی قرار دهند [۳۳].

در همین چارچوب، الگوی بانکداری خُرد با حمایت مالی صندوق قرض‌الحسنه خُرد علوی نیز با هدف کاهش فقر پایدار در مناطق محروم و کم‌برخوردار، طراحی و پیاده‌سازی شده است [۳۴]. یکی از ویژگی‌های متمایز این صندوق، همکاری مؤثرتر با نهادهای دانشگاهی، به‌ویژه دانشگاه تهران است که موجب مستندسازی دقیق‌تر فرآیندهای اجرایی و ارزیابی علمی‌تر دستاوردهای آن شده است. در ادامه، تجارب اجرایی این نوع از بانکداری در منطقه قلعه‌گنج مطرح شده است.

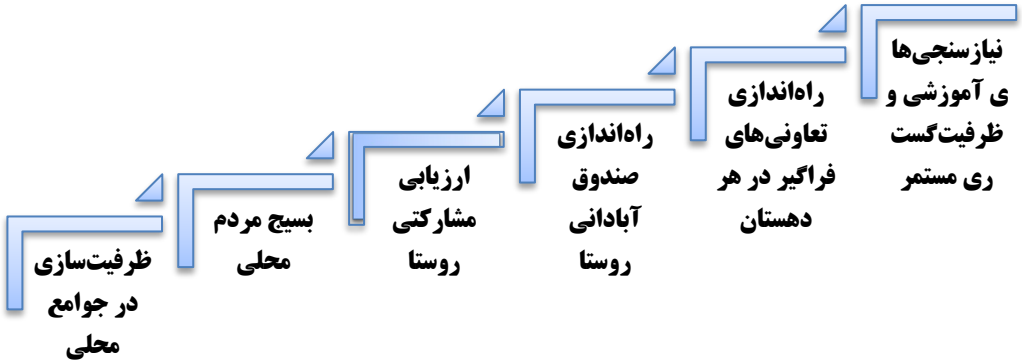
بانکداری خُرد و تجربه قلع‌گنج

فرآیند اجرایی بانکداری خُرد در راستای آبادانی و پیشرفت روستا، بر پایه مشارکت فعال جوامع محلی و تقویت ظرفیت‌های درون‌زا طراحی شده است (شکل ۲). این فرآیند با ظرفیت‌سازی در جوامع محلی آغاز می‌شود. در مرحله بعد، بسیج مردم محلی از طریق نشست‌های روستایی، گفت‌وگوهای چهره‌به‌چهره و اعتمادسازی عمومی انجام می‌شود. سپس، ارزیابی مشارکتی روستا با مشارکت مستقیم اهالی برای شناسایی نیازها، منابع، مشکلات و ظرفیت‌های محلی صورت می‌گیرد [۳۵].

در ادامه، صندوق آبادانی روستا با مشارکت جامعه محلی راه‌اندازی می‌شود تا تسهیلات خرد را در اختیار اعضا قرار دهد. پس از تثبیت صندوق‌ها، گام بعدی راه‌اندازی تعاونی‌های فراگیر در سطح دهستان‌ها برای ایجاد هم‌افزایی منطقه‌ای و بازاریابی مشترک است. در تمام مراحل، نیازسنجی‌های آموزشی و ظرفیت‌گستری مستمر با هدف توانمندسازی اقتصادی و نهادی روستاها انجام می‌شود.

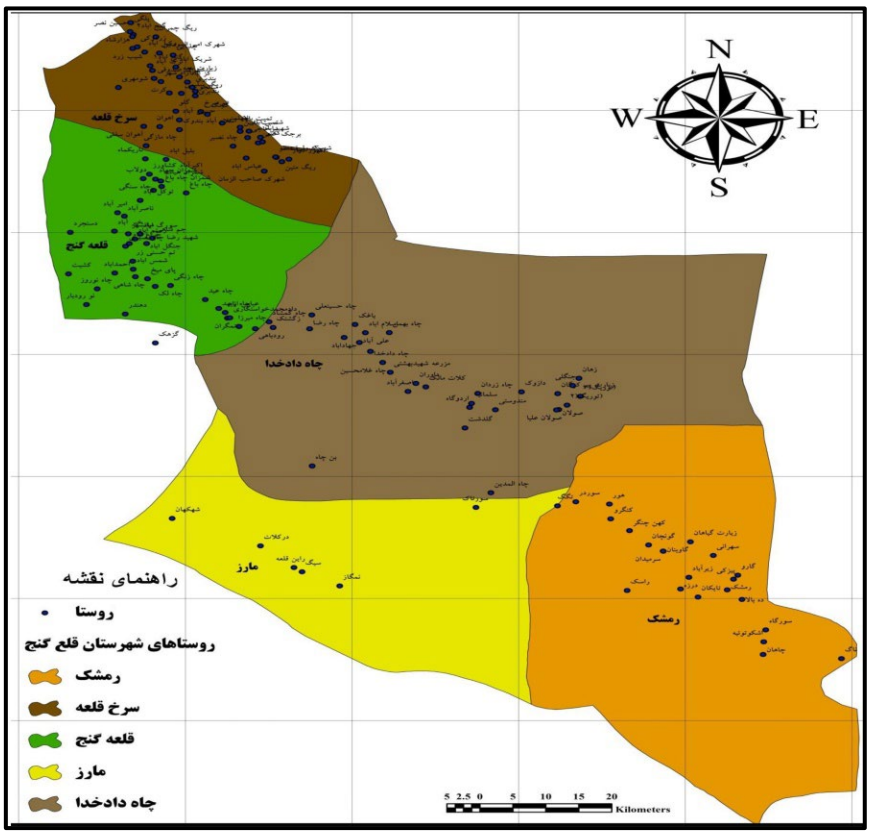
[1] Self-Help Groups
[2] Digital Inclusive Finance (DIF)

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی



شکل ۲: فرآیند اجرایی استقرار بانکداری خُرد در راستای آبادانی و پیشرفت روستا

بانکداری خُرد در ۱۵۵ روستا و طی پنج فاز در شهرستان قلعه‌گنج پیاده‌سازی شد. موقعیت جغرافیایی روستاهای تحت پوشش بانکداری خُرد در شکل (۳) ارائه شده است و دستاوردهای اقتصادی–اجتماعی آن در جدول (۱) ارائه شد. طبق جدول مذکور، با اجرای بانکداری خُرد پویایی اجتماعی و اقتصادی رخ‌داده است. در بُعد مالی، رشد نسبی در میزان تسهیلات و پس‌انداز صندوق‌های خرد جوامع محلی اتفاق افتاده است. همچنین، در بُعد اجتماعی، تعداد اعضاء و گروه‌های مشارکت‌کننده دارای نرخ صعودی است؛ به بیانی دیگر، بانکداری خُرد کارکردی اقتصادی–اجتماعی در جوامع محلی شهرستان قلعه‌گنج پیدا کرده است و زمینه توسعه محلی عدالت–محور را فراهم ساخته است [۳۵].



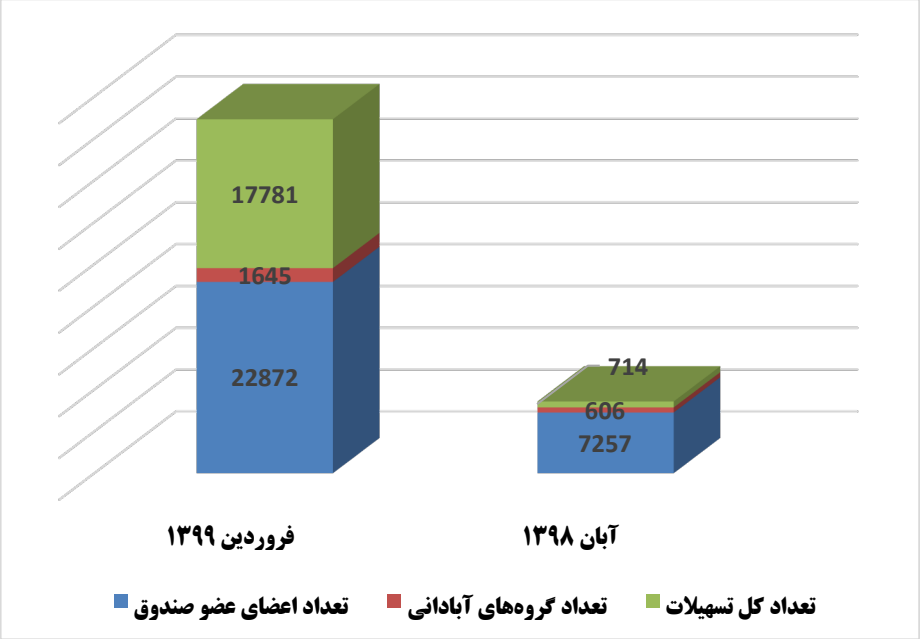
شکل ۳: موقعیت جغرافیایی روستاهای تحت پوشش بانکداری خُرد در شهرستان قلعه‌گنج

https://www.sciencecultivation.ir شاپا الکترونیکی 2783-0934 شاپا چاپی 2008-935X

جدول ۱: دستاوردهای بانکداری خُرد طی پنج فاز در شهرستان قلع‌گنج

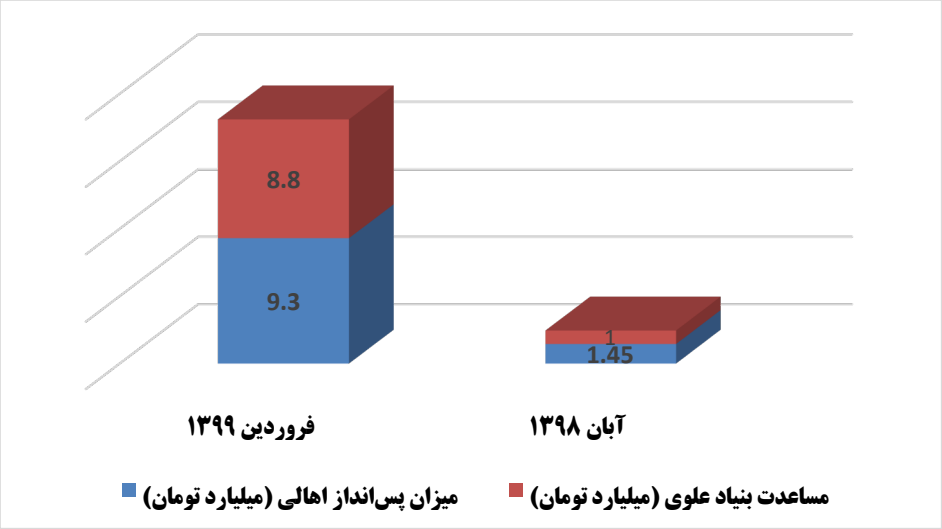
فاز اجرایی	تعداد	پویایی مالی				پویایی اجتماعی			
		شاخص مالی	ابتدای راه‌اندازی‌صندوق (میلیون تومان)	اسفندماه ۱۳۹۸ (میلیون تومان)	نسبت رشد شاخص مالی	شاخص اجتماعی	ابتدای راه‌اندازه صندوق	اسفندماه ۱۳۹۸	نسبت رشد شاخص اجتماعی
اول	۲۰	مبلغ تسهیلات	۴۴/۶	۱۲۷/۸	۲/۸۶	تعداد اعضاء	۲۸۵۷	۶۴۶۲	۲/۲۶
		مبلغ پس‌انداز	۲۰/۲۲	۶۷/۱۸۵	۳/۳۲	تعداد گروه	۲۱۰	۴۴۸	۲/۱۳
دوم	۴۰	مبلغ تسهیلات	۵۲/۲	۱۱۴/۶	۲/۱۹	تعداد اعضاء	۳۳۵۲	۷۲۴۸	۲/۱۶
		مبلغ پس‌انداز	۳۶/۴۱	۶۰/۴۲	۱/۶۶	تعداد گروه	۲۶۷	۵۱۳	۱/۹۲
سوم	۲۰	مبلغ تسهیلات	۳۸	۵۷/۴	۱/۵۱	تعداد اعضاء	۱۶۴۷	۲۷۲۵	۱/۶۵
		مبلغ پس‌انداز	۲۱/۸۸	۳۱/۹۰	۱/۴۵	تعداد گروه	۱۳۱	۲۰۳	۱/۵۵
چهارم	۲۰	مبلغ تسهیلات	۳۰/۸	۹۴/۸	۳/۰۷	تعداد اعضاء	۱۲۱۸	۲۰۰۶	۱/۶۴
		مبلغ پس‌انداز	۱۵/۲۲	۲۶/۹۳	۱/۷۶	تعداد گروه	۹۳	۱۴۳	۱/۵۳
پنجم	۵۵	مبلغ تسهیلات	۱۱۲/۱	۱۴۴/۶	۱/۲۹	تعداد اعضاء	۲۵۲۵	۴۴۳۱	۱/۷۵
		مبلغ پس‌انداز	۳۱/۷۸	۴۳/۵۷	۱/۳۷	تعداد گروه	۲۰۴	۳۳۸	۱/۶۵

برای درک بهتر دستاوردها و پویایی ایجاد شده در ابعاد اجتماعی و اقتصادی، روند این شاخص‌ها در فاصله زمانی آبان ۱۳۹۸ تا فروردین ۱۳۹۹ نشان‌دهنده اثرات مثبت و ملموس این الگوی اجتماع‌محور در جوامع روستایی است (شکل‌های ۴ و ۵). این دستاوردها مؤید پویایی، استقبال محلی و ظرفیت بالای مقیاس‌پذیری این مدل در چارچوب توسعه پایدار روستایی است.



شکل۴: نرخ مشارکت اقتصادی–اجتماعی تجربه بانکداری خُرد در شهرستان قلعه‌گنج

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

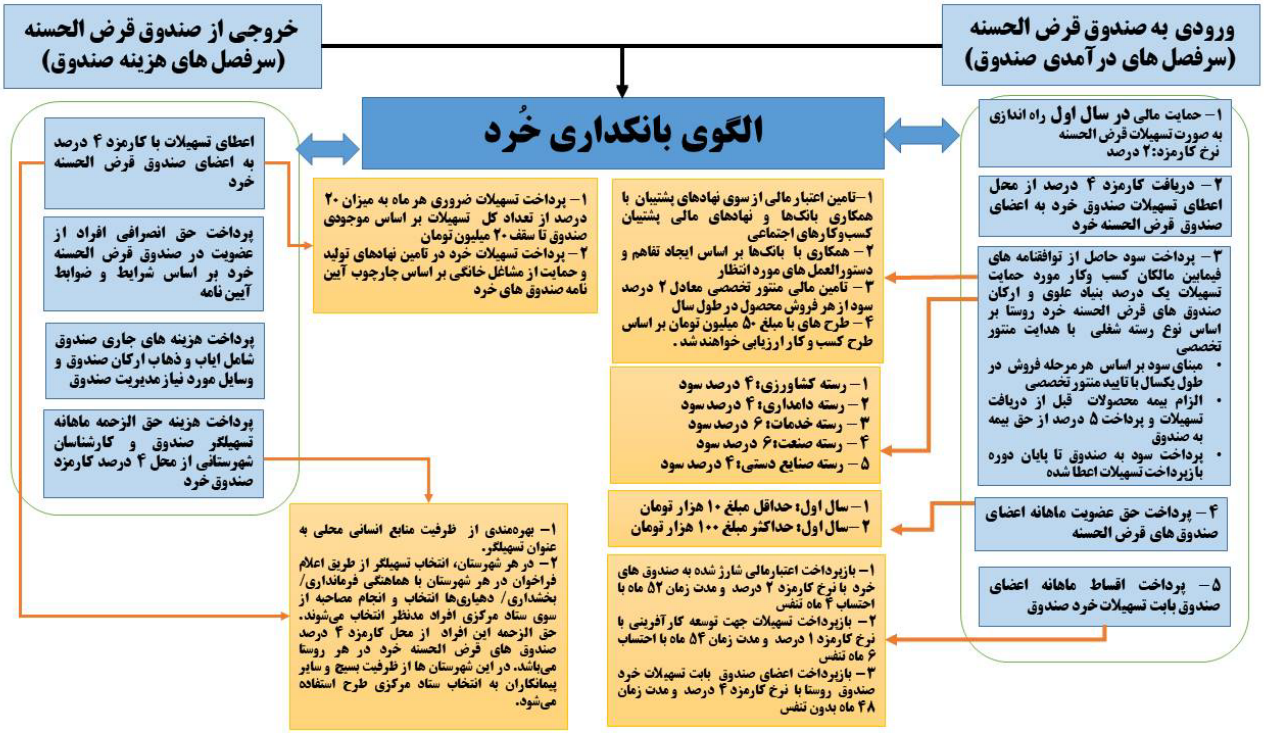


شکل۵: نرخ رشد اقتصادی تجربه بانکداری خُرد در شهرستان قلع‌گنج

همچنین، رشد چشمگیر مالی (شکل ۵)، توان اثرگذاری فعالیت‌های بانکداری خُرد را در توسعه اقتصادی محلی نشان می‌دهد و ظرفیت آن برای الگوسازی در سایر مناطق محروم و کم‌برخوردار کشور را تثبیت می‌کند. این سبک از باعث تقویت روحیه کار و سخت‌کوشی شده است و اعضاء با دریافت تسهیلات به ایجاد و توسعه مشاغلی در زمینه کشاورزی، دامداری، صنایع‌دستی و سایر مشاغل تولیدی و خدمات از جمله کارگاه بلوک‌زنی، نانوایی و فروشگاه لوازم الکترونیکی پرداخته‌اند. تجربه بانکداری خُرد در شهرستان قلعه‌گنج نشان داد که این اقدامات صرفاً یک سازوکار مالی نیست، بلکه با دستاوردهایی در ابعاد اجتماعی، فرهنگی، انسانی و محیط‌زیستی همراه بوده است. این صندوق با تقویت سرمایه اجتماعی، اعتمادسازی و انسجام گروهی، زمینه‌ساز مشارکت‌های پایدار شده و اجرای داوطلبانه اصول «۱۵ تصمیم» نیز به بهبود بهداشت، نظم، سخت‌کوشی، امنیت غذایی، عدالت اجتماعی و حفظ محیط‌زیست انجامیده است. این اصول ضمن ارتقای اخلاق فردی، فرهنگ همیاری، پس‌انداز و مسئولیت‌پذیری را در میان اعضا تقویت کرده‌اند. آموزش کودکان، ترویج ارزش‌های خانوادگی و طرح‌هایی مانند «هر گروه، یک نهال» نیز بیانگر اثرگذاری فرهنگی و زیست‌محیطی این الگوست (شکل ۶).

شکل۶: دامنه دستاوردهای بانکداری خُرد در شهرستان قلعه‌گنج

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی



شکل۷: مدل مفهومی بانکداری خُرد برای مناطق محروم و کم‌برخوردار

با توجه به مباحث مطرح شده، الگوی توسعه بانکداری خرد به‌منظور ارتقای آبادانی و پیشرفت مناطق محروم و کمتر برخوردار که در شهرستان قلعه‌گنج نیز به مرحله آزمون رسیده است، در شکل (۷) ارائه گردیده است [۳۶].

فرصت‌های پیشرو برای کاربست مؤثر بانکداری فقرا در سیاست‌گذاری‌های فقرزدایی

بررسی تجربه بانکداری خُرد در شهرستان قلع‌گنج نشان می‌دهد که این الگو با تأکید بر مشارکت اجتماع‌محور، آموزش و توانمندسازی، و تعامل مؤثر با نهادهای محلی و ملی، در سطوح اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و محیط‌زیستی موفق عمل کرده و می‌تواند به‌عنوان مدلی در راستای توسعه عدالت‌محور محلی مورد توجه قرار گیرد. این مدل دو بُعد کلیدی دارد: نوآوری در ترکیب بانکداری خرد با تقویت پیوندهای اجتماعی و اقتصادی جوامع محلی، و تقویت همکاری گسترده ذی‌نفعان که هر دو برای توسعه پایدار و کسب‌وکارهای اجتماعی ضروری‌اند [۳۵]. دستاوردهای مهم شامل ایجاد اشتغال، افزایش سرمایه اجتماعی، ارتقای تاب‌آوری اقتصادی خانوارها و ترویج فرهنگ مشارکت و پس‌انداز است که نشان می‌دهد این الگو می‌تواند به‌عنوان یک راهکار بومی در راستای فقرزدایی و توسعه مناطق روستایی و محروم کشور به کار رود. با توجه به سازوکار نهادی و اثرات چندلایه آن، این مدل قابلیت دارد در سطح سیاست‌گذاری ملی به‌عنوان بخشی از راهبردهای جامع فقرزدایی و کارآفرینی اجتماعی به کار گرفته شود. البته موفقیت آن مستلزم انطباق‌پذیری و انعطاف‌پذیری با شرایط بوم‌شناختی، اجتماعی و نهادی مناطق مختلف است؛ بنابراین، بومی‌سازی مستمر و مشارکت ذی‌نفعان از شروط اساسی پایداری این الگو خواهد بود. در این بخش تلاش شد تا با بهره‌مندی از مدل بومی کسب‌وکارهای کوچک GHORBANI[1] [۳۷]، فرصت‌های پیش‌روی کاربست الگوی بانکداری خُرد به‌منظور سیاست‌گذاری فقرزدایی در ایران ارائه شده است.

[1] GHORBANI: Government Guaranteed Products, Human Capital, Organization and Methods, Income Generating Procedures, Bank, Activities, Net Costs, and Internal Customers

2008-935X شاپا چاپی 2783-0934 شاپا الکترونیکی https:/www.sciencecultivation.ir

در بعد محصولات تحت ضمانت دولت (G)، تجربه موفق بانکداری خُرد نشان می‌دهد که پیوند مؤثر با نهادهای حاکمیتی، امکان طراحی ابزارهای مالی تضمین‌شده و قابل‌اتکا را برای خانوارهای محروم فراهم کرده است؛ این مزیت می‌تواند به الگویی پایدار برای طراحی حمایت‌های مشروط و هدفمند در سیاست‌های فقرزدایی منجر شود.

در حوزه سرمایه انسانی (H)، تمرکز صندوق‌ها بر آموزش‌های مهارتی، مالی و فرهنگی پیش از ارائه تسهیلات، ضمن ارتقای توانمندی فردی و اجتماعی، زمینه‌ساز توسعه پایدار سرمایه انسانی در نواحی کم‌برخوردار شده است. استمرار و تعمیق این آموزش‌ها از طریق همکاری با دانشگاه‌ها و مراکز رشد می‌تواند به شکل‌گیری نسل جدیدی از کارآفرینان محلی بینجامد.

از منظر سازمان‌ها و روش‌ها (O) ، الگوی اجتماع‌محور و ساختار خودیار بانکداری خُرد، الگویی مبتنی بر اعتماد، شفافیت و مشارکت را تقویت کرده که قابلیت بازتولید در سایر برنامه‌های توسعه روستایی را دارد. این الگوها می‌توانند به نهادهای مردمی و شوراهای محلی شکل دهند و مشارکت را به رکن اساسی سیاست‌های رفاهی بدل کنند.

در روش‌های ایجاد درآمد (R)، حمایت از مشاغل خرد خانگی، زنجیره‌های تولید محلی، و خدمات متکی بر منابع بومی، مسیرهای پایداری برای خروج از فقر ایجاد کرده است. با طراحی مدل‌های متنوع درآمدزایی و پیوند با بازارهای منطقه‌ای و ملی، این ظرفیت می‌تواند به‌صورت خوشه‌ای توسعه یابد.

در مؤلفه بانک وام‌دهنده (B)، تجربه صندوق‌های قرض‌الحسنه مردم‌پایه، الگویی جایگزین برای نظام بانکی رسمی در مناطق فاقد پوشش بانکی معرفی می‌کند. این تجربه می‌تواند مبنای طراحی نهادهای مالی اجتماع‌محور و کم‌هزینه در سیاست‌های توسعه مالی فراگیر باشد.

در حوزه فعالیت‌ها (A) ، مدل بانکداری خُرد با اجرای طیف متنوعی از برنامه‌های اجتماعی، فرهنگی و محیط‌زیستی (از جمله آموزش کودکان، ترویج پس‌انداز، حفاظت محیط‌زیست و توسعه کشاورزی خانوادگی)، نشان داده که کسب‌وکارهای خرد می‌توانند با رویکرد چندوظیفه‌ای، اثرگذاری آبشاری و نظام‌مند بر کیفیت زندگی روستایی داشته باشند.

در بخش هزینه‌های خالص (N)، استفاده از منابع مردمی، وام‌های بدون بهره و حمایت نهادهای عمومی، ضمن کاهش هزینه‌های تأمین مالی، ریسک فعالیت‌های تولیدی را کاهش داده و امکان بازپرداخت تسهیلات را در اقشار کم‌درآمد فراهم کرده است.

و نهایتاً در مؤلفه مشتریان داخلی (I)، تمرکز بر نیازهای واقعی، تقاضامحور بودن خدمات، و نقش‌آفرینی مستقیم ساکنان محلی در همه مراحل طراحی و اجرا، موجب افزایش اعتماد، پذیرش و استمرار مشارکت در سطح اجتماع شده است.

بر این اساس، می‌توان نتیجه گرفت که الگوی بانکداری خُرد با برخورداری از ظرفیت‌های درونی در همه مؤلفه‌های GHORBANI، گزینه‌ای اثربخش و انطباق‌پذیر برای ورود به بدنه سیاست‌گذاری فقرزدایی کشور است؛ مشروط به آنکه فرآیند تنظیم، توسعه و پیاده‌سازی آن در هر منطقه با مشارکت ذی‌نفعان محلی و بازآرایی مستمر انجام گیرد.

نتیجه‌گیری

تجارب جهانی و ملی بررسی‌شده در این مقاله نشان می‌دهد که بانکداری فقرا، به‌عنوان یک کسب‌وکار اجتماعی می‌تواند برای مقابله با فقر ساختاری و مزمن در ایران عمل کند. در واقع، ظهور و پشتیبانی از اکوسیستم کسب‌وکار اجتماعی منجر بر تمرکز بر مشکلات اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی برای توسعه محلی و فقرزدایی می‌شود. ویژگی‌هایی نظیر دسترس‌پذیری مالی، مشارکت اجتماع‌محور، توانمندسازی اقتصادی و تقویت سرمایه اجتماعی از جمله مؤلفه‌هایی هستند که این رویکرد را از مداخلات سنتی و صرفاً حمایتی متمایز می‌سازند. به‌ویژه، الگوی بانکداری خُرد در ایران با رویکرد اجتماع‌محور و مشارکت فعال جوامع محلی، توانسته است آثار ملموسی در بهبود معیشت، افزایش تاب‌آوری، و ارتقای اعتماد و انسجام اجتماعی در مناطق محروم و کم‌برخوردار ایجاد کند.

این الگو علاوه‌بر فراهم‌کردن سبک نوینی از کسب‌وکارهای اجتماعی، بستری برای آموزش، مسئولیت‌پذیری، پس‌انداز و حتی اقدامات فرهنگی و زیست‌محیطی فراهم کرده است که نشان از یک الگوی توسعه جامع دارد. ترکیب رویکردهای مالی اسلامی، اعتماد نهادی و سازوکارهای بومی‌سازی‌شده نیز سبب شده تا این الگو، هم از نظر اقتصادی اثربخش و هم از نظر اجتماعی و فرهنگی قابل‌پذیرش باشد. بنابراین، گسترش این الگو می‌تواند گامی عملی در جهت تحقق عدالت اجتماعی، کاهش فقر چندبُعدی و پیشبرد توسعه پایدار محلی تلقی شود.

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

این مقاله و یا بخشی از آن قبلا در جایی دیگر منتشر نشده است و این مقاله توسط ماشین و هوش مصنوعی نوشته نشده است.

فهرست منابع

[1]. Rice, S. E., Graff, C., & Pascual, C. (Eds.). (2010). Confronting poverty: Weak states and US national security. Rowman & Littlefield.

[2]. Xu, Y., Song, J., Ye, K., Zhao, M., & Wu, W. (2021). 0? Fenbei: Helping the Poor People. Social Entrepreneurship: An Innovative Solution to Social Problems, 149-170.

[3]. Khalid, U. (2015). Poverty in Pakistan and South Asia: Concept, Measurement, and Analysis. In India and South Asia (pp. 196-210). Routledge.

[4]. Taylor, J. G., & Xiaoyun, L. (2012). China's changing poverty: A middle income country case study. Journal of International Development, 24(6), 696-713.

[5]. Sumner, A. (2013). Poverty, politics and aid: is a reframing of global poverty approaching?. Third World Quarterly, 34(3), 357-377.

[6]. Khoshbakht, H., Gagliardi, F., & Asadi, A. (2021). Multi-dimensional and fuzzy poverty at the regional level in Iran. In Analysis of Socio-Economic Conditions (pp. 70-84). Routledge.

[7]. Mahmoudi, V. (2011). Poverty Changes during the Three Recent Development Plans in Iran (1995-2007). African and Asian Studies, 10(2-3), 157-179.

[8]. Torabi Kahlan, P., Navvabpour, H., & Bidarbakht Nia, A. (2022). Missing aspects of poverty: the case of multidimensional poverty in Iran. Journal of Poverty, 26(5), 424-437.

[9]. Barati, A. A., Zhoolideh, M., Moradi, M., Sohrabi Mollayousef, E., & Fürst, C. (2022). Multidimensional poverty and livelihood strategies in rural Iran. Environment, Development and Sustainability, 24(11), 12963-12993.

[10]. Liu, L. (2022). Poverty reduction in a transforming China: A critical review. Journal of Chinese Political Science, 27(4), 771-791.

[11]. Arora, M., & Sharma, R. L. (2024). Analyzing microfinance as a resilience strategy for poverty alleviation and promoting sustainable tourism: A communicative perspective. In Dynamics of the tourism industry (pp. 125-143). Apple Academic Press.

[12]. Cheru, F. (2006). Building and Supporting PRSPs in Africa: what has worked well so far? What needs changing?. Third world quarterly, 27(2), 355-376.

[13]. Sato, S. (2024). The Role of Microenterprises in Reducing Poverty in South Asia: A Comparative Analysis of Women-Led Businesses in Pakistan and Sri Lanka.

[14]. Faryabi, R., Bordbar, S., Amiri, M. M., & Yusefi, A. R. (2025). Future Study of Factors Affecting Economic Poverty in Iran 2043: A Threat to Health. The Open Public Health Journal, 18(1).

[15]. Anbari, M., & Piri, S. (2023). Poverty and Deprivation problems in post-Revolutionary Iran. Middle East Critique, 32(4), 463-471.

Allahdadi, F. (2011). Towards rural women's empowerment and poverty reduction in Iran. Life Science Journal, 8(2), 213-216.

[16]. Piri, S., & Salehpour, N. (2024). The helplessness of non-governmental organizations in breaking the cycle of poverty. SN Social Sciences, 4(10), 182.

[17]. Rouhandeh, M., Ahmadi, A., Mirhosseini, M., & Alirezaei, R. (2024). Economic energy supply using renewable sources such as solar and wind in hard-to-reach areas of Iran with two different geographical locations. Energy Strategy Reviews, 55, 101494.

[۱۸]. قربانی، م. (۱۳۹۹). کسب و کار اجتماعی. (تالیف: محمد یونس). انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دوم. تهران.

[18]. Swamy, V. (2010). Bank-based financial intermediation for financial inclusion and inclusive growth. Banks & bank systems, (5, Iss. 4), 63-73.

[20]. Chitimira, H., & Warikandwa, T. V. (2023). Financial inclusion as an enabler of United Nations sustainable development goals in the twenty-first century: An introduction. In Financial inclusion and digital transformation regulatory practices in selected SADC countries: South Africa, Namibia, Botswana and Zimbabwe (pp. 1-22). Cham: Springer International Publishing.

[۲۱]. قربانی، م. (۱۴۰۰). رهایی از فقر، راهکار بازاریابی اجتماعی. (تالیف فیلیپ کاتلر و نانسی لی).انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

[22]. Jain, R., Panghal, A., & Chaudhary, N. (2024). Financial Inclusion in Rural Areas and Poverty Reduction in India. In E-Financial Strategies for Advancing Sustainable Development: Fostering Financial Inclusion and Alleviating Poverty (pp. 73-88). Cham: Springer Nature Switzerland.

[23]. Zhichao, Y., Peiyao, G., & Linwan, Z. (2021). " The Source of Flowing Water": How Targeted Poverty Alleviation Helps China's Rural Poor Access Credit. China Economist, 16(4), 30-44.

[24]. Lal, T. (2018). Impact of financial inclusion on poverty alleviation through cooperative banks. International Journal of Social Economics, 45(5), 808-828.

[۲۵]. وطن‌دوست، ل. (۱۳۹۳). بانکدار فقرا. (تالیف: محمد یونس). انتشارات گرایش تازه. تهران

[26]. Maity, S. (2019). Financial inclusion and multidimensional poverty reduction through self-help-group-led microfinance: evidence from Bodoland, Assam, India. Enterp Dev Microfinance 30 (3): 152–173.

[27]. Oyamendan, A., Ogundele, A. T., Olutoye, E. A., Ibitoye, O. A., Afolabi, B., Asaolu, A. A., ... & Awodiran, M. A. (2024). Foreign Financial Inflows, Islamic Banking, and Poverty Alleviation in Sub-

2008-935X شاپا چاپی 2783-0934 شاپا الکترونیکی https:/www.sciencecultivation.ir

Saharan African Countries. In 2024 International Conference on Sustainable Islamic Business and Finance (SIBF) (pp. 314-318). IEEE.

[28]. Liu, Q., Wang, M., Wang, Q., & Wei, D. (2025). Mitigating Rural Multidimensional Poverty Through Digital Inclusive Finance: Real Improvement and Psychological Empowerment. Agriculture, 15(9), 954.

[۲۹]. اسلامی، م. حسینی، م. (۱۴۰۲). پویایی فقر در ایران .فصلنامه برنامه‌ریزی و بودجه ۲۹(۳)، ۳–۴۰.

[30]. Kiani, S., Bayanzadeh, M., Tavalaei, M., & Hogg, R. S. (2010). The Iranian population is graying: are we ready?.Archives of Iranian Medicine. 13 (4), 333-339.

[۳۱].گزارش عملکرد طرح تکاپو. (۱۳۹۶). وزارت تعاون، کار و رفاه اجتماعی.

[۳۲]. دفتر توسعه فعالیت‌های زنان روستایی (۱۴۰۰). وزارت جهاد کشاورزی.

[۳۳]. گزارش سالانه کمیته امداد امام خمینی (ره)، ۱۴۰۲.

[۳۴]. ورمزیاری، ح.، امیری میجان، م.، کلانتری، خ.، شایق، م. ا.، و محمد آصف، ش. (۱۴۰۳). تحلیل موانع اثربخشی صندوق‌های تأمین مالی خرد در توسعه کسب‌وکارهای روستایی :*تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران*، ۵۵(۳)، ۴۱۵–۴۲۸.

[۳۵]. قربانی، م. (۱۳۹۸). پروژه توانافزایی جوامع محلی طرح پیشرفت و آبادانی شهرستان قلعگنج. کارفرما: بنیاد علوی. (پاورپونت ارائه).

[۳۶]. قربانی، م. (۱۴۰۳). جهانی با سه صفر (اقتصادی جدید از فقر صفر، بیکاری صفر و انتشار کربن صفر). (تالیف: محمد یونس). انتشارات دانشگاه تهران، چاپ سوم. تهران.

[۳۷]. قربانی، م.، و لطیفی، م.م. (۱۴۰۲). ارائه مدل کسب‌وکار در بنگاه‌های خرد به‌منظور توانمندسازی جوامع محلی .*پژوهش‌های روستایی*، ۱۴ (۲)، ۳۱۰–۳۲۵.

https:/www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

نگاهی به اقتصاد زیستی پایدار: راه سبز توسعه ملی

سید مهدی علوی *[1]

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله ترویجی

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت
۱۸ مهر ۱۴۰۴
تاریخ بازنگری
۱۶ آبان ۱۴۰۴
تاریخ پذیرش
۱۷ آبان ۱۴۰۴
تاریخ انتشار
۳۰ آذر ۱۴۰۴

کلیدواژه‌ها:
اقتصاد زیستی،
دارایی‌های زیستی تجدیدپذیر،
زیست‌توده، زیست‌فناوری، برنامه
هفتم توسعه

چکیده

گذار جهانی به‌سوی اقتصاد زیستی را می‌توان یکی از مهم‌ترین روندهای توسعه پایدار قرن بیست‌ویکم قلمداد کرد. شاهد این مدعا، تلاقی دو جریان عمده است که یکی بر حکمرانی جهانی توسعه پایدار تمرکز دارد، و دیگری از دل تغییر پارادایم اقتصادی مسلط سرچشمه می‌گیرد. جریان نخست را باید در تحول مناسبات سیاستی مرتبط با اقلیم در سه دهه اخیر جستجو کرد، حال آنکه جریان دوم را باید نشات‌گرفته از پیشرفت‌های علمی حوزه اقتصاد و زیست‌شناسی دانست که شکوفایی آن را در اعطای جوایز نوبل ۲۰۱۸ تا ۲۰۲۵ در این دو حوزه شاهد بوده‌ایم. بدین ترتیب، اقتصاد زیستی که به معنای استفاده هوشمندانه و پایدار از دارایی‌های زیستی تجدیدپذیر برای تولید اطلاعات، کالا، خدمات و نوآوری شناخته می‌شود، همان روند تحول‌آفرینی است که می‌تواند توسعه اقتصادی را با اهداف اقلیمی همسو سازد و اکنون در قلب راهبردهای اجرایی مدیریت تغییرات اقلیمی در سرتاسر جهان واقع شده است. ایران با برخورداری از تنوع زیستی گسترده، زیست‌توده فراوان، منابع دریایی متنوع و ظرفیت‌های فزاینده در زیست‌فناوری، می‌تواند سهمی مؤثر در این تحول جهانی داشته باشد. با این حال، ضعف در سیاست‌گذاری، ناهماهنگی نهادی، و کمبود سرمایه‌گذاری فناورانه موجب شده است که این فرصت‌ها در عمل به کار گرفته نشوند. این مقاله با رویکرد تحلیلی و اسنادی، جایگاه ایران را در این گذار جهانی بررسی می‌کند. یافته‌ها نشان می‌دهد که ایران در صورت تمرکز بر زیست‌توده‌ها، پسماند، منابع دریایی و زیست‌فناوری، و تقویت پیوند میان علم، فناوری و طراحی می‌تواند نقش پیشرو در اقتصاد زیستی خاورمیانه کسب کند.

استناد: علوی سید مهدی. (۱۴۰۴). نگاهی به اقتصاد زیستی پایدار: راه سبز توسعه ملی, نشاء علم,۱۵ (۲)، ۱۴۲-۱۵۱.

ناشر: بنیاد پیشبرد علم و فناوری در ایران و انجمن بیوشیمی فیزیک ایران
© نویسندگان حق نشر و کلیه حقوق انتشار را برای خود حفظ می‌کنند.

* عهده دار مکاتبات: دانشیار. تلفن/ دورنگار: ۴۴۷۸۷۴۲۵ (۹۸۲۱+)، آدرس الکترونیکی: mealavi@nigeb.ac.ir

[1] پژوهشکده زیست فناوری کشاورزی، پژوهشگاه ملی مهندسی ژنتیک و زیست فناوری، تهران، ایران

مقدمه

جهان امروز بار دیگر در آستانه تحولی شگرف قرار گرفته و در حال طی‌کردن گذاری تاریخی از اقتصاد فسیلی به اقتصاد زیستی قرار دارد [۱، ۲](۱). اقتصاد زیستی به تعبیر سازمان همکاری اقتصادی و توسعه[1] اقتصادی است که در آن عناصر اساسی برای صنعت، و مواد خام برای انرژی از منابع گیاهی/زراعی (یعنی تجدیدپذیر) به دست می‌آیند و در آن از زیست‌فناوری برای تولید طیف وسیعی از کالاها و خدمات استفاده می‌شود (۲). این گذار، در واقع تلاشی برای پاسخ هم‌زمان به دو فشار بیرونی است: فشار منفی ناشی از تغییرات اقلیمی و انتشار کربن، و فشار مثبت ناشی از پیشرفت دانش و نفوذ فناوری.

بنیاد جایزه نوبل، به‌عنوان نهاد و نماد پیشروی علم جهانی، با انتخاب‌های راهبردی خود، نقش یک راهبر و تسهیل‌گر را در این گذار ایفا کرده است. این نقش‌آفرینی را به وضوح می‌توان در اتخاذ رویکرد این نهاد و توالی و چگونگی اعطای جوایز مشاهده کرد. در سال ۲۰۱۸، نوبل اقتصاد به ویلیام نوردهاوس[2] و پل رومر[3] اعطا شد (۳). نوردهاوس با ادغام تغییرات اقلیمی در مدل‌های رشد اقتصادی، هزینه‌های ملموس اقتصاد «کربنی» را سنجش‌پذیر کرد و رومر با معرفی «دانش» به عنوان موتور درون‌زای رشد اقتصادی، راه‌حل نظری برای تولید واقعی ثروت را ارائه داد. هم‌زمان، نوبل شیمی به فرانسیس آرنولد[4]، جورج اسمیت[5] و گرگوری وینتر[6] برای مهار قدرت «تکامل هدفمند[7]» در پروتئین‌ها و پادتن‌ها رسید که گامی انقلابی در زیست‌فناوری پایدار محسوب می‌شد (۴). این جوایز در کنار هم، یک چارچوب دوقطبی کامل ایجاد کردند: هشدار درباره پایان مدل سنتی و خطی اقتصاد (نوردهاوس) و روشن‌کردن موتور یک مدل نوآورانه و پیچیده از اقتصاد (رومر و برندگان شیمی).

تأکید و تداوم این نگاه راهبردی، هفت سال بعد در نوبل اقتصاد ۲۰۲۵ به اوج جدیدی رسید. اعطای جایزه به جوئل موگیر[8]، فیلیپ آگیون[9] و پیتر هویت[10]، نشان داد که اقتصاد جهانی اکنون از مرحله «تشخیص مشکل» به مرحله «مدیریت فعال راه‌حل» وارد شده است. موگیر با تحلیل‌های تاریخی خود نشان داد که نوآوری‌های بزرگ در بستر نهادها و فرهنگ‌های خاصی متولد می‌شوند. آگیون و هویت نیز با توسعه نظریه «تخریب خلاق» شومپیتر، نشان دادند که چگونه می‌توان مشوق‌های بازار و سیاست‌گذاری را برای هدایت نوآوری به سمت جایگزینی فناوری‌های آلاینده با فناوری‌های پاک طراحی کرد (۵). بدین ترتیب، بنیاد نوبل مسیر تحول اقتصادی را به خوبی ترسیم کرده است: از «چارچوب‌سازی مفهومی» (۲۰۱۸) تا «عملگرایی و عملیاتی‌سازی» (۲۰۲۵)؛ مسیری که توسعه دانش و نوآوری هدفمند را در مرکز حل بحران اقلیمی و تحقق اقتصاد زیستی قرار می‌دهد.

این سیر تکاملی را می‌توان به وضوح در تحولات مربوط به حکمرانی و مدیریت جهانی تغییرات اقلیمی نیز مشاهده کرد. در این عرصه، مسیر تحولات از «چارچوب‌سازی مفهومی» در کنفرانس ریو ۱۹۹۲ (در برزیل) آغاز شد، با «عملگرایی و هدف‌گذاری» در قالب اهداف ۱۷گانه توسعه پایدار[11] در ریو+۲۰ (۲۰۱۲، برزیل) ادامه یافت، و اکنون با تمرکز کنفرانس کوپ۳۰ (۳۰-۲۰ آبان ۱۴۰۴، برزیل) بر گفتمان اقتصاد زیستی در آستانه «عملیاتی‌سازی تخصصی» قرار دارد تا اصول مفهومی اقتصاد زیستی را به اقدامات ملموس، راهبردها و برنامه‌های ملی کشورهای عضو تبدیل کند و از این رهگذر، راه‌حل‌های نوآورانه زیستی را به روشی یکپارچه، به برنامه‌های مدیریت و کنترل بحران اقلیمی، حفاظت از طبیعت و دستیابی به توسعه پایدار پیوند دهد (۶).

همگرایی این دو خط سیر موازی، یعنی تحول در گفتمان حکمرانی جهانی از ریو ۱۹۹۲ تا کوپ۳۰، و تکامل در پارادایم اقتصادی از نوبل ۲۰۱۸ تا نوبل ۲۰۲۵، یک پیام روشن دارد: «اقتصاد زیستی» به عنوان تنها الگوی قابل قبول برای رشد قرن بیست و یکم، از مرحله تئوری و آرمان خارج شده و به یک دستورکار عملیاتی و فوری برای سیاست‌گذاران، صنعتگران و نوآوران تبدیل شده است (۷). این همگرایی، یک نقشه راه جامع را ترسیم می‌کند که در آن، اهداف توسعه پایدار (حکمرانی سیاسی) از طریق ابزارهای

[1] OECD
[2] William Nordhaus
[3] Paul Romer
[4] Frances Arnold
[5] George Smith
[6] Greg Winter
[7] Directed evolution
[8] Joel Mokyr
[9] Philippe Aghion
[10] Peter Howitt
[11] Sustainable development goals (SDGs)

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

اقتصادی نوردهاوس (مالیات کربن)، و با هدایت موتور نوآوری‌های دانش‌بنیان رومر، در بستر نهادی (دانشگاه‌ها و نهادهای حامی مالکیت فکری) که موگیر بر آن تأکید دارد، و از مکانیسم تخریب خلاقی که آگیون و هویت (مبتنی بر مشوق‌های بازار و سیاست‌های عمومی) ترسیم کرده‌اند، محقق می‌شود. بنابراین، گذار به اقتصاد زیستی دیگر یک انتخاب نیست، بلکه مسیر اجتناب‌ناپذیر بقا و رقابت در نظم جدید جهانی است که همگرایی میان حکمرانی سیاسی، حکمرانی بازار و حکمرانی علم آن را هموار می‌سازد. اکنون، پرسش محوری این است: در این گذار جهانی ایران از چه جایگاهی برخوردار است و چه باید بکند؟

مبانی نظری اقتصاد زیستی و روندهای جهانی

در عصر آنتروپوسن[1]، که انسان به نیروی غالب شکل‌دهی سیاره زمین بدل شده، اقتصاد زیستی به عنوان راهبردی برای دستیابی به توسعه پایدار در پاسخ به چالش‌های جهانی ظهور کرده است. این الگوی اقتصادی با بهره‌گیری هوشمندانه از منابع زیستی تجدیدپذیر، در پی کاهش وابستگی به منابع فسیلی و کاهش فشار بر اکوسیستم‌های طبیعی است. تغییرات اقلیمی، کاهش تنوع زیستی و فشار فزاینده بر منابع طبیعی، ضرورت گذار از الگوهای سنتی توسعه اقتصادی را آشکار ساخته است. از این رو، اقتصاد زیستی به عنوان راه‌حلی ساختاری برای مواجهه با این چالش‌ها، پیوندی نوین بین اقتصاد و اکولوژی ایجاد می‌کند [۳].

اقتصاد زیستی بنا به تعریف اجلاس جهانی اقتصاد زیستی در سال ۲۰۲۰ عبارتست از «تولید، استفاده و حفاظت از منابع زیستی از جمله، دانش‌ها، علوم، فناوری‌ها و نوآوری‌های مربوطه، برای ارائه اطلاعات، محصولات، فرآیندها و خدمات در تمام بخش‌های اقتصادی با هدف دستیابی به یک اقتصاد مفید و پایدار(۸). چنانکه از این تعریف برمی‌آید، اقتصاد زیستی متضمن یکپارچگی منابع زیستی است، دارای وجه اکوسیستمی است، و اهمیت همکاری بین بخش‌های مختلف (مانند کشاورزی، صنعت و خدمات) را در تولید پایدار در نظر می‌گیرد. بعلاوه، اقتصاد زیستی بر نقش کلیدی نوآوری‌های پایدار، شامل دانش، علوم و فناوری‌ها –از جمله زیست‌فناوری– در توسعه خود تأکید دارد که می‌تواند به ظهور راه‌حل‌های جدید برای چالش‌های محیطی و اجتماعی منجر شود [۴]. در نتیجه، اقتصاد زیستی را می‌توان بخشی از یک گفتمان اقتصادی امیدبخش دانست که پیرامون وقوع یک «انقلاب زیستی» قریب‌الوقوع، و پتانسیل رشد اقتصادی جدید و پایدار به‌کمک زیست‌فناوری و تلفیق آن با سایر فناوری‌های پیشرفته مثل هوش مصنوعی و فناوری دیجیتال ظهور می‌کند و نوید رقابت‌پذیری در اقتصاد جهانی‌شده کنونی را می‌دهد [۵– ۹].

با استناد به این تعریف، اقتصاد زیستی از طریق چرخش‌پذیری در استفاده از منابع زیستی منجر به کاهش وابستگی به منابع تجدیدناپذیر و افزایش بهره‌وری منابع طبیعی می‌شود که به نوبه خود، مشارکت فعال بخش خصوصی و دولتی در استفاده بهینه از منابع زیستی و توسعه فناوری‌های مربوطه را الزام‌آور می‌سازد. این همکاری می‌تواند به توسعه اقتصادی فراگیر و ایجاد فرصت‌های شغلی متنوع در جوامع، به خصوص در جوامع کمتر توسعه‌یافته، کمک کند. فرآورش زیستی پسماندهای آلی و بازیافت زباله برای تولید محصولات با ارزش افزوده، دسترسی به منابع و کارایی زیست‌محیطی را بهبود بخشیده، گازهای گلخانه‌ای را کاهش می‌دهد، وابستگی به منابع تجدیدناپذیر را کم می‌کند و تحقق‌پذیری اقدامات اقلیمی را ممکن می‌سازد.

چنانکه پیداست، در این پنداره (پارادایم) نو تکیه بر راه‌حل‌های طبیت–محور در تلفیق با دیگر راهکارهای نوین می‌تواند به تغییرات قابل‌توجهی در زنجیره‌های تامین مرسوم منجر شود به‌طوری که ضامن حفاظت از مرزهای سیاره‌ای باشد، خدمات اکوسیستم را پاس دارد و مولفه‌های رشد اقتصادی را بهبود بخشد [۱۰].

روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از نوع توصیفی–تحلیلی است و بر پایه داده‌های اسنادی و تحلیلی از سه منبع اصلی شکل گرفته است:

۱. مفاد رسمی برنامه پنجساله هفتم پیشرفت جمهوری اسلامی ایران (۱۴۰۷–۱۴۰۳)

۲. گزارش‌های رسمی بنیاد جایزه نوبل

۳. مجموعه منابع علمی و گزارش‌های بین‌المللی

تحلیل داده‌ها به روش تفسیر سیاستی[2] انجام شده و محور آن

[1] Anthropocene

[2] Policy Interpretation

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

تعیین جایگاه ایران در گذار جهانی به اقتصاد زیستی و پیشنهاد اقدامات سیاستی است.

یافته‌ها: جایگاه ایران در گذار جهانی به اقتصاد زیستی

تحلیل موقعیت ایران در مسیر تحول به اقتصاد زیستی مستلزم نگاه هم‌زمان به دو لایه است: نخست، فشارهای ساختاری و تهدیدهای زیست‌محیطی-اقتصادی که گذار را به ضرورتی اجتناب‌ناپذیر بدل کرده‌اند؛ دوم، ظرفیت‌های بالفعل و بالقوه‌ای که می‌توانند در قالب راهبردی مدون به مزیت رقابتی زیست‌پایه تبدیل شوند.

الزامات ساختاری گذار

ایران از جمله کشورهایی است که در مرحله بحرانی «تنگنای دوگانه» قرار دارد: تنگنای بوم‌شناختی ناشی از کمبود منابع آب و فرسایش خاک، و تنگنای اقتصادی ناشی از وابستگی به منابع فسیلی پرکربن [۱۱ و ۱۲]. طبق چارچوب نوردهاوس (۲۰۱۹)، اقتصادهای پرکربن رشد خود را بر بدهی زیست‌محیطی بنا کرده‌اند [۱۳]. از سوی دیگر، تحریم‌های چندجانبه و ضعف در دسترسی به فناوری وارداتی (۹)، نیاز به رشد درون‌زا بر پایه دانش بومی را که رومر (۱۹۹۰) توصیف می‌کند، برای ایران به ضرورتی راهبردی تبدیل کرده است.

ظرفیت‌های ملی

• دارایی زیستی

ایران از نظر تنوع زیستی و اقلیمی، یکی از غنی‌ترین کشورهای خاورمیانه بشمار می‌رود [۱۴]. بیش از ۸۰۰۰ گونه گیاهی، صدها گونه پرنده و پستاندار بومی، و موقعیت منحصربه‌فرد دریایی در شمال و جنوب کشور که پناهگاه بیش از ۱۰۰۰ گونه ماهی می‌باشد، دارایی زیستی عظیمی برای کشور است (۱۰). این تنوع گسترده در کنار سطح بالای آموزش علوم پایه و مهندسی، و وفور مواد خام زیستی، می‌تواند پایه‌های یک اقتصاد زیستی نیرومند را در ایران شکل دهد. با این حال، این ظرفیت‌ها تاکنون در اسناد بالادستی، برنامه‌های توسعه و سیاست‌گذاری اقتصادی، کمتر مورد توجه راهبردی قرار گرفته‌اند [۱۴].

برآوردها همچنین نشان می‌دهد که با بازچرخانی و فرآوری پسماندهای کشاورزی، می‌توان سالانه بیش از ۳۵ میلیون تن ماده اولیه برای صنایع زیست‌پایه فراهم کرد و علاوه بر تولید انرژی زیستی، مواد باارزش و کم‌کربنی را از آن استحصال نمود [۱۵]. افزون بر آن، پتانسیل بالای تابش خورشیدی و منابع بادی در مناطق کویری، امکان ایجاد پالایشگاه‌های زیستی با انرژی تجدیدپذیر را فراهم می‌کند که خود، از مولفه‌های بنیادین اقتصاد زیستی بشمار می‌رود [۱۳].

• ظرفیت علوم و فناوری‌های زیستی

ایران، علیرغم مواجهه با چالش‌هایی مانند تحریم‌های بین‌المللی، زیست‌فناوری را به عنوان یک ضرورت راهبردی برای توسعه ملی و کاهش وابستگی به درآمدهای نفتی شناسایی کرده است. این نگاه راهبردی منجر به سرمایه‌گذاری دولتی هدفمند در ایجاد زیرساخت‌های پژوهشی و آموزشی شده است که بخشی از آثار آن را می‌توان در تولیدات علمی کشور در قالب انتشار مقالات علمی در حوزه‌هایی مانند زیست‌فناوری پزشکی، کشاورزی و صنعتی رصد کرد [۱۶]. علاوه بر این، دولت با حمایت از ایجاد و توسعه شرکت‌های دانش‌بنیان در این حوزه، بستری برای تجاری‌سازی نسبی یافته‌های پژوهشی فراهم آورده است [۱۷]. در نتیجه این ظرفیت‌سازی، پیشرفت‌های قابل توجهی نیز در زمینه تولید داروهای زیستی (بیوسیمیلارها)، واکسن‌ها و کیت‌های تشخیصی حاصل شده است. با این همه، وقوع چنین تحولی در حوزه کشاورزی و صنعت با چالش‌های عمیق‌تری روبرو بوده و نتوانسته به موفقیت مشابهی دست یابد. پراکندگی نهادی در این حوزه‌ها مانع شکل‌گیری یک راهبرد یکپارچه شده و این امر، در نبود ارتباط مؤثر با دانشگاه‌ها با بخش خصوصی و کشاورزان از انتقال یافته‌های پژوهشی و فناوری (مانند بذرهای اصلاح‌شده) به مرحله تجاری‌سازی و بازار جلوگیری بعمل آورده است. همچنین، فقدان چارچوب‌های نظارتی شفاف و عدم آگاهی مصرف‌کننده منجر به بروز مقاومت‌ها و نگرانی‌های اجتماعی در خصوص ایمنی فرآورده‌های نوین زیستی گردیده و در نتیجه، مانع توسعه مطلوب در این حوزه شده است [همان منبع].

• ظرفیت نیروی تحصیلکرده

ایران با درک اهمیت راهبردی زیست‌فناوری، سرمایه‌گذاری گسترده‌ای در تربیت نیروی انسانی متخصص از طریق دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی انجام داده است. ایجاد و گسترش رشته‌های تحصیلات تکمیلی (کارشناسی ارشد و دکتری) در گرایش‌های

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

مختلف زیست‌فناوری در دانشگاه‌های سراسر کشور، پایه اصلی این سرمایه‌گذاری بوده است. این امر، به نوبه خود، منجر به شکل‌گیری یک توده بحرانی از نیروی انسانی خلاق گردیده که انجام پژوهش‌های بنیادی و کاربردی در سطح ملی را امکان‌پذیر ساخته و به دنبال آن، خلق دستاوردهای ملموس علمی و فناوری را سبب شده است [۱۸].

با این حال، پس از چند نسل طلایی از نخبگان دانشگاهی حوزه علوم زیستی، وجود برخی نقص‌های مهارتی در آموزش دانشگاهی و تحصیلات تکمیلی، مانند فقدان مهارت‌های نرم، کارآفرینی، و شناختی، تداوم و گسترش موج موفقیت‌های اولیه برای ورود تحصیلکردگان دانشگاهی به عرصه کارآفرینی و بازار زیست‌فناوری را با چالش مواجه ساخت [۱۹]. گرچه این شکاف مهارتی را نمی‌توان منحصر به کشور ایران دانست [۲۰] اما، فراوانی و تواتر وقوع این شکاف آموزشی منجر به وقوع نرخ‌های بالاتری از کاهش کیفیت آموزشی و مهارتی در میان تحصیلکردگان ایرانی شده است.

نتایج یک تحقیق در ۱۰ کشور اروپایی (بلژیک، بلغارستان، استونی، فنلاند، آلمان، ایتالیا، لتونی، هلند، اسلواکی و اسپانیا) نشان می‌دهد که در دهه آینده، بخش‌های سنتی اقتصاد زیستی (مانند صنایع غذایی، کاغذ، و چوب) هنوز به نیروی کار با مهارت‌های متوسط وابسته خواهند بود، در حالی که بخش‌های نوظهور (مانند فناوری زیستی، انرژی زیستی، و پالایشگاه‌های زیستی) عمدتا به نیروی کار با مهارت‌های بالا نیاز خواهند داشت. بنابراین، ضرورت ایجاد جذابیت و کسب مهارت در دوره‌های تحصیلات تکمیلی در علوم زیستی، تطبیق نظام‌های آموزشی و تربیت حرفه‌ای با چالش‌های جهانی، تغییر در محتوای مهارت‌های مورد نیاز، و همکاری بین دانشگاه‌ها و صنعت در توسعه فرآیندهای آموزشی اقتصاد زیستی اکیدا مورد نیاز است. بخصوص، توانمندسازی آموزشی نیروی انسانی تحصیلکرده در حوزه‌های نوظهور و تحول‌آفرین مانند زیست‌شناسی مصنوعی، داده‌کاوی زیستی، هوش مصنوعی، و رباتیک، و نیز هدایت سرمایه‌های انسانی برای پیاده‌سازی مدل‌های کسب‌وکار پایدار و چرخشی مورد تاکید است [۲۰].

بدین ترتیب، ایران اگرچه با سرمایه‌گذاری در «کمیت نیروی انسانی» پایه‌های اولیه اقتصاد زیستی را بنا نهاده، اما برای تحقق کامل این گذار، باید با اصلاح نظام آموزشی و پرورش «نیروی انسانی کارآفرین و چندمهارته»، کیفیت را جایگزین کمیت کند. این تحول آموزشی، شرط لازم برای ایفای نقش پیشروی ایران در اقتصاد زیستی خاورمیانه و رقابت در بازارهای جهانی فناوری‌های زیستی است.

• ظرفیت‌های سیاستی در برنامه هفتم پیشرفت (۱۴۰۷–۱۴۰۳)

برنامه هفتم پیشرفت ایران برای نخستین بار سازوکارهایی را در جهت عملیاتی‌سازی اقتصاد زیستی در دل سیاست‌های بخشی و کلان تعریف کرده است [۲۱]. گرچه سند مذکور هیچ اشاره مستقیمی به واژه «اقتصاد زیستی» یا واژگان مشابه آن –از جمله «اقتصاد زیستی پایدار[1]» [۲۲]، «اقتصاد زیستی چرخشی پایدار[2]» [۲۳]، یا «اقتصاد زیستی دانش‌بنیان[3]» [۲۴]– که در محافل و منابع علمی مورد استناد قرار می‌گیرند ندارد اما، ردپای واژگانی چون «اقتصاد سبز[4]» [۲۵]، «اقتصاد چرخشی[5]» [۲۶]، و «صنعت کم‌کربن[6]» [۲۷] را می‌توان در آن یافت. بعلاوه، این سند راهبردی در بر گیرنده تاکیدات و واژگانی است که در ادبیات اقتصاد زیستی رایج و مصطلح بوده و در بسیاری از راهبردهای سیاستی اقتصاد زیستی، اعم از راهبردهای ملی کشورها یا راهبردهای سازمان‌های منطقه‌ای و بین‌المللی به چشم می‌خورد. این واژگان به‌ترتیب فراوانی عبارتند از پایدار (۳۱ بار)، پسماند (۱۶ بار)، تراریخته (۷ بار)، مدیریت پسماند (۴ بار)، نیروگاه‌های تجدیدپذیر (۲ بار)، انرژی‌های تجدیدپذیر (۲ بار)، امنیت زیستی (۱ بار)، انرژی برق تولیدی از پسماندها (۱ بار)، انرژی‌های نو تجدیدپذیر (۱ بار)، ایمنی زیستی (۱ بار)، برق تجدیدپذیر (۱ بار)، تهدیدات زیستی (۱ بار)، زیست‌فناوری (۱ بار)، زیست‌مهندسی (۱ بار)، سوخت جامد مشتق‌شده از پسماندها (۱ بار)، کودهای آلی حاصل از فرایندهای بازیافت پسماندها (۱ بار)، محصولات زیستی (۱ بار)، منابع زیستی (۱ بار)، مواد سوختی مایع تولیدی از پسماندها (۱ بار)، مواد و انرژی از پسماندها (۱ بار)، و مواد و ساخت پیشرفته (۱ بار) [۲۱].

[1] Sustainable bioeconomy
[2] Sustainable circular bioeconomy
[3] Knowledge-based bioeconomy
[4] Green economy
[5] Circular economy
[6] Low-carbon industry

شاپا چاپی 2008-935X شاپا الکترونیکی 2783-0934 https:/www.sciencecultivation.ir

این سند که مشتمل بر ۲۴ فصل می‌باشد، همچنین، در فصول یکم (رشد اقتصادی)، هفتم (امنیت غذایی و ارتقای تولید محصولات کشاورزی)، هشتم (نظام مدیریت یکپارچه منابع آب)، نهم (انرژی)، دهم (طرح‌های صنعت، معدن و رشد تولید)، دوازدهم (ترانزیت و اقتصاد دریامحور)، چهاردهم (ارتقای نظام سلامت)، و بیستم (ارتقای نظام علمی، فناوری و پژوهشی) بستر موضوعی برای طرح سیاست‌ها و راهبردهای مرتبط با اقتصاد زیستی در ایران را فراهم آورده است (جدول ۱). از این رو، سند برنامه هفتم پیشرفت را می‌توان یکی از مهم‌ترین اسناد سیاستی برای هم‌افزایی علم، صنعت و محیط زیست و تحقق اقتصاد زیستی در دهه آینده دانست.

جدول ۱. تکالیف قانونی برنامه هفتم توسعه در راستای اقتصاد زیستی (تدوین‌شده در همین مطالعه)

ردیف	دسته‌بندی موضوعی	شرح تکلیف	ماده/بند قانونی	دستگاه اجرایی مسئول
۱	مقابله با تغییرات اقلیمی	تدوین "برنامه مدیریت تغییرات اقلیمی کشور"	ماده ۲۲ – ت	سازمان حفاظت محیط‌زیست با همکاری ۵ وزارتخانه
۲	ارزش گذاری اقتصادی محیط‌زیست	ارزش‌گذاری اقتصادی منابع زیست‌محیطی و تعیین هزینه خسارات	ماده ۲۲ – ث (۱)	سازمان حفاظت محیط‌زیست
۳	حفاظت محیط‌زیست و مدیریت پسماند	تدوین "برنامه ملی راهبردی مدیریت پسماندها" با رویکرد اقتصاد چرخشی	ماده ۲۲ – چ (۱)	سازمان حفاظت محیط‌زیست با همکاری ۷ وزارتخانه
۴	حفاظت محیط‌زیست و مدیریت پسماند	ایجاد "سامانه یکپارچه مدیریت پسماندها" برای پایش و نظارت	ماده ۲۲ – چ (۳)	سازمان حفاظت محیط‌زیست
۵	توسعه اقتصادی و زنجیره ارزش	تهیه و اجرای "طرح‌های بزرگ اقتصادی ملی و پیشران"	ماده ۴۸ – الف	سازمان برنامه و بودجه با همکاری وزارتخانه‌های ذی‌ربط
۶	توسعه اقتصادی و زنجیره ارزش	تهیه "سند راهبرد ملی پیشرفت صنعتی و ارتقای زنجیره‌های ارزش"	ماده ۴۸ – ت	وزارت صنعت، معدن و تجارت
۷	اقتصاد دریامحور	توسعه فعالیت‌های اقتصاد دریامحور در سواحل شمالی و جنوبی	ماده ۶۰ – ث	دولت
۸	علم، فناوری و نوآوری	بازنگری در شاخص‌های ارزیابی و برنامه‌های آموزشی برای مأموریت‌گرایی و مسئله‌محوری	ماده ۹۷ – الف	وزارتین علوم و بهداشت
۹	علم، فناوری و نوآوری	تدوین "برنامه جامع رسوخ فناوری‌های چهارگانه" شامل «اطلاعات و ارتباطات»، «زیست‌فناوری»، «ریزفناری» و «انرژی‌های نو تجدیدپذیر»	ماده ۱۱۹ – ۱۹	دولت
۱۰	کشاورزی و امنیت غذایی	کاهش ۵۰ درصدی واردات نهاده‌های دامی و محصولات کشاورزی تراریخته	ماده ۳۵ – ب (۴)	وزارت جهاد کشاورزی
۱۱	انرژی‌های تجدیدپذیر	توسعه احداث نیروگاه‌های خورشیدی و بادی و افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر	ماده ۴۶ – الف (۱)	وزارتخانه‌های نفت، نیرو، صنعت و کشور
۱۲	انرژی‌های تجدیدپذیر	تأسیس "سازمان بهینه‌سازی و مدیریت راهبردی انرژی"	ماده ۴۶ – الف (۲)	دولت (زیر نظر رئیس‌جمهور)

بحث و نتیجه‌گیری: نقشه راه عملیاتی

پاسخ به پرسش «چه باید کرد» مستلزم گذار از سطح گفتمان به سیاست اجرایی است. با اتکا به نظریه تخریب خلاق آگیون و هویت [۲۸]، ایران باید برنامه اقتصاد زیستی خود را به‌صورت مأموریت‌محور طراحی کند تا نوآوری‌های زیستی جایگزین صنایع آلاینده و پرمصرف شود. به استناد هیندرر[1] و همکاران (۲۰۲۱)، مسیر گذار به اقتصاد زیستی را می‌توان به‌صورت یک زنجیره چهارگانه از رخدادهای تحول‌آفرین تعریف کرد (جدول ۲) که هر کدام نقشی

[1] Hinderer

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

بنیادین در تغییر ساختار اقتصادی، نهادی و اجتماعی کشور دارند [۲۹].

- **رخدادهای سیاست‌محور: شکل‌دهی چارچوب‌های کلان و ماموریت‌محور**

موفقیت اقتصاد زیستی با طراحی و اجرای سیاست‌های هماهنگ و بلندمدت آغاز می‌شود. باید راهبرد ملی اقتصاد زیستی به عنوان نقشه راه عملیاتی در سطح فراوزارتخانه‌ای تدوین شود. سیاست‌هایی چون اعمال قیمت کربن و آب در پروژه‌های عمرانی، حمایت مالیاتی و تسهیلاتی برای شرکت‌های دانش‌بنیان زیستی، و گسترش همکاری بین‌المللی در حوزه زیست‌فناوری کلید تحول‌اند. تحقق اهداف برنامه هفتم پیشرفت نیز باید منوط به پیاده‌سازی شاخص‌های اقتصاد زیستی در ارزیابی‌های ملی و محلی باشد.

- **رخدادهای صنعت‌محور: نوسازی و تکامل صنایع زیستی**

تحول صنعتی مستلزم ایجاد خوشه‌های صنعتی زیستی و راه‌اندازی پایلوت‌های فناوری زیستی در مناطقی از کشور است که از ظرفیت زیستی بالا برخوردارند. باید سیاست‌گذاری برای راه‌اندازی پالایشگاه‌های زیستی یکپارچه به منظور بازچرخانی زیست‌توده، تولید مواد زیستی باارزش افزوده بالا، و تولید انرژی‌های سبز در سطح منطقه‌ای فعال شود. نوسازی صنایع سنتی از طریق جایگزین‌کردن مواد اولیه فسیلی با محصولات زیست‌پایه، و ارتقاء سطح بهره‌وری، راه عبور از اقتصاد شکننده و کم‌بهره فسیلی است.

جدول ۲. تبیین رخدادهای چهارگانه به منظور پیاده‌سازی اقتصاد زیستی در ایران (تدوین‌شده در همین مطالعه)

ردیف	رخداد	شاخص‌های کلیدی اجرا (بر اساس اسناد ملی)	نمونه عملیاتی یا مثال پیشنهادی	آثار مورد انتظار سیاستی، اقتصادی و اجتماعی
۱	سیاست‌محور	تدوین بندهای تعهدآور اقتصاد زیستی در برنامه هفتم توسعه، اجرای قانون مدیریت تغییرات اقلیمی کشور مصوب هیات دولت، ارتقاء دیپلماسی فناوری و همکاری منطقه‌ای زیست‌پایه	تدوین و تصویب برنامه ملی راهبردی مدیریت پسماندها با رویکرد اقتصاد چرخشی، راه‌اندازی ستاد ملی هماهنگی اقتصاد زیستی	انسجام نهادی، شفافیت سیاستی، ایجاد زیرساخت پایدار
۲	صنعت‌محور	احداث و گسترش پایلوت‌های صنعتی و پردازش زیست‌توده، حمایت از تاسیس و راه‌اندازی نیروگاه‌های انرژی تجدیدپذیر (زیست‌توده) و پارک‌های تخصصی زیست‌فناوری، الزام به بازچرخانی پسماند کشاورزی و غذایی در صنایع	احداث پالایشگاه زیستی زعفران در خراسان جنوبی، احداث پالایشگاه زیستی یکپارچه در گیلان یا مازندران، با سرمایه‌گذاری مشترک دولت و بخش خصوصی، بازتعریف و توسعه پارک زیست‌فناوری خلیج‌فارس در قشم، تاسیس پهنه نوآوری اقتصاد زیستی در غرب تهران به منظور ایجاد خوشه‌های صنعت زیستی	رشد تولید داخلی مواد زیستی و کم‌کربن، کاهش اتلاف منابع، افزایش رقابت‌پذیری محصولات تولیدشده در کشور در بازارهای جهانی، اشتغال منطقه‌ای
۳	نوآوری‌محور	اجرای قانون جهش تولید دانش‌بنیان و حمایت از تجاری‌سازی محصولات زیست‌پایه، تشکیل صندوق سرمایه‌گذاری سبز، ایجاد کنسرسیوم داده‌های ژنتیکی و شتاب‌دهنده‌های تخصصی	بازتعریف و توسعه شتاب‌دهنده‌های حوزه زیست‌فناوری، تسهیل ثبت مالکیت فکری دستاوردهای زیستی برای شرکت‌های دانش‌بنیان	تحرک اکوسیستم نوآوری، افزایش صادرات فناوری، حمایت و جلب نظر نخبگان و استعدادهای کشور
۴	جامعه‌محور	ارتقاء آموزش و آگاهی‌های جمعی در حوزه اقتصاد زیستی و مصرف پایدار، راه‌اندازی کمپین‌های آگاهی‌بخشی و شبکه تعاونی‌های زیست‌پایه، مشارکت داوطلبانه شهروندی در بازیافت و تولید محلی	طرح ملی مدیریت پسماند شهری در چند شهر بزرگ با حضور نهادها و تشکل‌های مردمی، تشکیل تعاونی فرآوری گیاهان دارویی در استان‌های محروم	تغییر رفتار مصرفی جامعه، ارتقاء رفاه اجتماعی، توسعه مشارکت محلی

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

- **رخدادهای نوآوری‌محور: تسهیل رشد و کارآفرینی فناورانه**

چنانکه پیشتر هم بیان شد، رشد اقتصاد زیستی بر ستون نوآوری متمرکز است. لازمه تحقق این امر نیز، گسترش صندوق‌های سرمایه‌گذاری سبز و حمایت مالی از شرکت‌های نوپا در حوزه زیست‌فناوری است. از دیگر سو، شکل‌گیری کنسرسیوم ملی داده‌های ژنتیکی، تاسیس آزمایشگاه‌های مشترک دانشگاهی–صنعتی، و بازتعریف مجدد شتاب‌دهنده‌های تخصصی در حوزه‌های مرتبط با علوم و فناوری‌های زیستی، می‌تواند زیرساخت نوآوری در اقتصاد زیستی را غنا بخشد.

- **رخدادهای جامعه‌محور: تحول فرهنگ زیستی و مشارکت عمومی**

اقتصاد زیستی بدون مشارکت و همراهی جامعه امکان‌پذیر نیست. باید نظام آموزشی کشور و رسانه‌ها به ترویج فرهنگ مصرف پایدار، تفکیک و بازیافت پسماند، حمایت از محصولات زیستی و حفاظت از زیست‌بوم‌ها بپردازند. راه‌اندازی برنامه‌های آگاهی‌بخشی و توانمندسازی محلی، توجه به اشتغال خانگی و مناطق محروم، و تقویت نهادهای مردمی و تعاونی‌ها برای گسترش اقتصاد زیستی از مهم‌ترین عوامل موفقیت محسوب می‌شوند.

پیشنهادهایی برای ارتقاء جایگاه ایران در نظام جهانی اقتصاد زیستی

در سطح جهانی، اقتصاد زیستی به محور رقابت و همکاری میان دولت‌ها و صنایع در بازار محصولات کم‌کربن بدل شده است [۳۰]. اجرای «مالیات مرزی کربن» توسط اتحادیه اروپا از سال ۲۰۲۶، چالش جدی برای صادرات صنایع پرکربن ایران ایجاد خواهد کرد [۳۱]. در مقابل، بهره‌گیری از ظرفیت‌های برنامه هفتم توسعه در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر و مدیریت پسماند، می‌تواند به عنوان راهکاری برای کاهش وابستگی به اقتصاد فسیلی و تقویت رقابت‌پذیری بین‌المللی مورد استفاده قرار گیرد. این امر، می‌تواند تا حدودی تسهیل‌کننده گذار ایران از اقتصاد فسیلی پرکربن به اقتصاد زیستی کم‌کربن نیز باشد و جایگاه اقتصادی کشور را از تأمین‌کننده مواد خام انرژی به صادرکننده دانش و فناوری زیستی تغییر دهد.

با این حال، ایران در میانه گذار جهانی به اقتصاد زیستی، هنوز در نقطه آغاز قرار دارد. از منظر منابع طبیعی، کشور در موقعیتی ممتاز است، اما از منظر سیاست‌گذاری، سرمایه‌گذاری و نهادسازی، با عقب‌ماندگی مواجه است. به باور برخی محققان، وابستگی به تصمیمات پیشین در سیاست، اقتصاد و اجتماع – که عمدتا مبتنی بر نفت و سوخت‌های فسیلی بوده است – سیستم اقتصادی ایران را به‌گونه‌ای شکل داده که حتی با فرض آن‌که اقتصاد زیستی بتواند دستاوردهای پایدار و قابل‌توجهی به‌همراه داشته باشد، اکنون مانع از توسعه آن می‌شود [۳۲]. به استناد نتایج یک مطالعه که به بررسی نوآوری‌های زیستی ایران در دو حوزه سلامت و کشاورزی پرداخته است [۱۶]، موفقیت در چنین فرآیندی نیازمند نقش فعال، اتخاذ یک راهبرد منسجم و سیاستگذاری آگاهانه از سوی دولت است [۳۳]. برای دستیابی به چنین هدفی، دولت نمی‌تواند تنها در نقش یک ناظر صرف عمل کند و فقط به گفتمان‌سازی اکتفا کند؛ بلکه باید به عنوان یک سرمایه‌گذار اصلی، تنظیم‌گر و هماهنگ‌کننده قدرتمند در «نظام ملی نوآوری» به ایفای نقش بپردازد. دولت همچنین، باید با سرمایه‌گذاری متمرکز در علم و فناوری و ایجاد نهادهای جدید، به هدایت و شتاب‌دهی فرآیند گذار به اقتصاد زیستی همت گمارد. علاوه بر این، ضروری است تا به منظور جبران «تاخیر نسبی» در اقتصاد زیستی ایران، تقویت سایر اجزاء نظام ملی نوآوری، به ویژه بخش خصوصی و شبکه‌های نوآوری نیز مورد توجه قرار گیرد [۱۶].

در مجموع، برای آنکه تاخیر ایران در پیوستن به روند رو به پیش اقتصاد زیستی جبران گردد و از گسترش شکاف‌های موجود کم گردد، پیشنهادهای زیر ارائه می‌شود:

۱. تدوین زیربرنامه «راهبرد ملی اقتصاد زیستی» در چارچوب برنامه هفتم توسعه.

۲. راه‌اندازی پروژه «ژنوم و میکروبیوم ایران» به منظور شناسایی و حفاظت از «دارایی‌های زیستی» کشور.

۳. تقویت زیرساخت‌های علمی و فنی به منظور تولید و تبدیل زیست‌توده، پسماند و زباله.

۴. توسعه سرمایه انسانی چندمهارته و ایجاد پیوند میان دانشگاه، صنعت و جامعه.

۵. فعال‌سازی دیپلماسی زیستی ایران در چارچوب پیمان‌های جهانی و منطقه‌ای.

اقتصاد زیستی آینده، صرفاً یک بخش صنعتی نیست؛ بلکه الگوی جدیدی از رابطه انسان، طبیعت و فناوری است. ایران، اگر بتواند

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

از «دارایی‌های زیستی» خود چونان «سرمایه راهبردی» بهره گیرد، می‌تواند از حاشیه گذار جهانی، به متن آن گام نهد.

این مقاله و یا بخشی از آن در جایی به چاپ نرسیده است و از هوش مصنوعی و ماشین برای نگارش مقاله استفاده نشده است.

وبگاه‌های دیده شده در این مقاله

(1). Sustainable business COP30. (2025). bioeconomy: Working group document. ISBN 978-85-7957-252-4. Retrieved November 8, 2025, from https://sbcop30.com/documents

(2). Organisation for Economic Co-operation and Development. (2012). Recommendation of the Council on Assessing the Sustainability of Bio-based Products (OECD/LEGAL/0395). OECD iLibrary. Retrieved October 30, 2025, from https://legalinstruments.oecd.org/en/instruments/OECD-LEGAL-0395

(3).The Prize in Economic Sciences 2018. (2018, October 8). NobelPrize.org. Retrieved October 30, 2025, from https://www.nobelprize.org/prizes/economic-sciences/2018/summary/

(4).The Nobel Prize in Chemistry 2018. (2018, October 3). NobelPrize.org. Retrieved October 30, 2025, from https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2018/summary/

(5). The Sveriges Riksbank Prize in Economic Sciences in Memory of Alfred Nobel 2025. (2025, October). NobelPrize.org. Retrieved October 30, 2025, from https://www.nobelprize.org/prizes/economic-sciences/2025/summary/

(6). Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2025). Sustainable bioeconomy for agrifood systems transformation. Retrieved October 31, 2025, from https://www.fao.org/in-action/sustainable-and-circular-bioeconomy/resources/news/details/en/c/1743149/

(7). Department of Science, Technology and Innovation, Republic of South Africa. (2025, September 22). G20 Initiative on Bioeconomy meeting charts path to a sustainable bioeconomy. Retrieved October 31, 2025, from https://www.dsti.gov.za/index.php/media-room/latest-news/4812-g20-initiative-on-bioeconomy-meeting-charts-path-to-a-sustainable-bioeconomy

(8). Boldt, C., Kambach, K., Reich, M., & Teitelbaum, L. (2020). Expanding the bioeconomy. Secretariat of the Global Bioeconomy Summit 2020. Retrieved October 01, 2025 from https://www.iacgb.net/lw_resource/datapool/systemfiles/elements/files/1e21d887-42ed-11ec-9c33-dead53a91d31/current/document/GBS2020_IACGB-Communique.pdf

(9). U.S.K. Energy. (2023, November 28). Iran's renewable energy prospects and challenges. Retrieved October 31, 2025 from https://uskenergy.com/irans-renewable-energy-prospects-and-challenges/

(10). Convention on Biological Diversity. (n.d.). Iran (Islamic Republic of) - Country profile. Retrieved October 31, 2025 from https://www.cbd.int/countries/profile?country=ir

فهرست منابع

[۱]. علوی، س. م. (۱۴۰۳). اقتصاد زیستی: مبانی دانشی، راهبردهای سیاستی و نوآوری‌های صنعتی. مرکز نشر دانشگاهی. تهران، ایران.

[2]. Morone, P., D'Amato, D., Befort, N., & Yilan, G. (2023). The circular bioeconomy: Theories and tools for economists and sustainability scientists. Cambridge University Press.

[3]. Rösch, C. (2023). Bioeconomy. In Handbook of the Anthropocene: Humans between Heritage and Future (pp. 1101-1106). Cham: Springer International Publishing.

[4]. OECD. Publishing. (2009). The bioeconomy to 2030: Designing a policy agenda. Organisation for Economic Co-operation and Development.

[5]. Hausknost, D., Schriefl, E., Lauk, C., & Kalt, G. (2017). A transition to which bioeconomy? An exploration of diverging techno-political choices. Sustainability, 9(4), 669.

[6]. Helmreich, S., & Labruto, N. (2018). Species of biocapital, 2008, and speciating biocapital, 2017. The palgrave handbook of biology and society, 851-876.

[7]. Chui, M., Evers, M., Manyika, J., Zheng, A., & Nisbet, T. (2023). The bio revolution: Innovations transforming economies, societies, and our lives (S. M. Alavi, Trans.). Tehran: National Institute of Genetic Engineering and Biotechnology. (Original work published 2023)

[8]. Wydra, S. (2020). Measuring innovation in the bioeconomy–Conceptual discussion and empirical experiences. Technology in Society, 61, 101242.

[9]. Philp, J. (2021). Biotechnologies to Bridge the Schism in the Bioeconomy. Energies, 14(24), 8393.

[10]. Kircher M. (2019). Bioeconomy: Markets, Implications, and Investment Opportunities. Economies 7, 73; doi:10.3390/economies7030073

[11]. Madani, K. (2014). Water management in Iran: what is causing the looming crisis?. Journal of environmental studies and sciences, 4(4), 315-328.

[12]. Wang, F., Wong, W. K., Wang, Z., Albasher, G., Alsultan, N., & Fatemah, A. (2023). Emerging pathways to sustainable economic development: An interdisciplinary exploration of resource efficiency, technological innovation, and ecosystem resilience in resource-rich regions. Resources Policy, 85, 103747.

[13]. Nordhaus, W. (2019). Climate change: The ultimate challenge for economics. American Economic Review, 109(6), 1991-2014.

[14]. Yousefi, M. (2025). Challenges and opportunities for biodiversity governance in Iran. Nature Reviews Biodiversity, 1-2.

شاپا چاپی 2008-935X شاپا الکترونیکی 2783-0934 https:/www.sciencecultivation.ir

[15]. مینایی، س.، مرتضوی، س. م.، و صائبی، ع. (۱۴۰۲). بازیافت ضایعات کشاورزی در ایران: کنکاشی آماری پیرامون دو دهه فعالیت. مدیریت ضایعات و پسماندهای کشاورزی، (۹) ۵، ۲۸–۱۹.

[16]. Saidi, M., EskandarianBrojeni, M., Kini, K. R., Prakash, H. S., & Niranjana, S. R. (2014). Biotechnology in Iran and India: Necessities and capacities for cooperation. Journal of Global Trends in Pharmaceutical Sciences, 5(4), 2145-2150.

[17]. Baghai, Gerannaz (2011). National system of innovation in biotechnology in a developing country – a Gerschenkronian approach to biopharmaceuticals and bioagriculture in Iran. University of Sussex. Thesis. https://hdl.handle.net/10779/uos.23315477.v1

[18]. Mahboudi, F., Hamedifar, H., & Aghajani, H. (2012). Medical biotechnology trends and achievements in iran. Avicenna journal of medical biotechnology, 4(4), 200–205.

[19]. Ahmadieh-Yazdi, A., Imani, B., Jalali, A., Piryaei, F., & Dalirfardouei, R. (2025). Bridging the Skills Gap: Insights and Recommendations for Updating Medical Biotechnology Master's Curriculum in Iran. Avicenna journal of medical biotechnology, 17(2), 147–156. https://doi.org/10.18502/ajmb.v17i2.18566

[20]. de Graaf, I., Papadimitriou, A., van der Peijl, S., Cuartas-Acosta, A., Hüsing, T., Korte, W., ... & Morone, P. (2022). Promoting Education, Training and Skills across the Bioeconomy. Final Report. European Union.

[۲۱]. مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی. (۱۴۰۳). قانون برنامه پنجساله هفتم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران (۱۴۰۳–۱۴۰۷). برگرفته در مورخ ۸ آبان ۱۴۰۴ از https://rc.majlis.ir/fa/law/show/1789682.

[22]. Dale, B. E. (2025). Rethinking the sustainable bioeconomy at a turning point in my life. Biofuels, Bioproducts and Biorefining, 19(1), 7-8.

[23]. Richter, S., Szarka, N., Bezama, A., & Thrän, D. (2025). Enhancing the circular bioeconomy transition in Germany: A systematic scenario analysis. Sustainable Production and Consumption, 53, 125-146.

[24]. Laasonen, V. (2024). Building dynamic capabilities in the transition toward a knowledge-based bioeconomy: a case study of three Finnish regions. Regional Studies, 58(6), 1308-1319.

[25]. Judijanto, L. (2025). transformation towards a green economy: literature review and practical implications. international journal of financial economics, 2(1), 125-135.

[26]. Sarsaiya, S., Jain, A., Shu, F., Jia, Q., Gong, Q., Wu, Q., ... & Chen, J. (2025). Unveiling the potential of dendrobine: insights into bioproduction, bioactivities, safety, circular economy, and future prospects. Critical Reviews in Biotechnology, 1-19.

[27]. He, Z., & Gu, S. (2025). Sustainable development of a low-carbon supply chain economy based on the internet of things and environmental responsibility. International Journal of Sustainable Development, 28(1), 1-23.

[28]. Aghion, P., Antonin, C., & Bunel, S. (2021). The power of creative destruction: Economic upheaval and the wealth of nations. Harvard University Press.

[29]. Hinderer, S., Brändle, L., & Kuckertz, A. (2021). Transition to a sustainable bioeconomy. Sustainability, 13(15), 8232.

[30]. European Commission. (2022). European bioeconomy policy – Stocktaking and future developments: Report from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Publications Office of the European Union. https://data.europa.eu/doi/10.2777/997651

[۳۱]. افشون،ک.، نجاتی، م.، جلائی اسفندآبادی، س.ع.، و صادقی، ز. (۱۴۰۴). ارزیابی اثرات مالیات کربن بر بخش صنعت در کشورهای توسعه‌یافته و درحال توسعه با استفاده از یک مدل تعادل عمومی پویا. پژوهش‌ها و چشم‌اندازهای اقتصادی، (۱) ۲۵، ۶۱–۳۱

[32]. Dietz, T., Jovel, K. R., Deciancio, M., Boldt, C., & Börner, J. (2023). Towards effective national and international governance for a sustainable bioeconomy: A global expert perspective. EFB Bioeconomy Journal, 3, 100058.

[33]. Diakosavvas, D., & Frezal, C. (2019). Bio-economy and the sustainability of the agriculture and food system: Opportunities and policy challenges (OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers, No. 136). OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/d0ad045d-en

شاپا چاپی 2008-935X شاپا الکترونیکی 2783-0934 https:/www.sciencecultivation.ir

انقلاب صنعتی پنجم: از ماشین بخار تا هم‌افزایی دیجیتال

سیده معصومه احمدی[۱]، علی خلخالی[۱،*]، اسماعیل کاظم‌پور[۱]

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله ترویجی

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت
۰۱ خرداد ۱۴۰۴
تاریخ بازنگری
۰۴ تیر ۱۴۰۴
تاریخ پذیرش
۱۷ تیر ۱۴۰۴
تاریخ انتشار
۳۰ آذر ۱۴۰۴

کلیدواژه‌ها:
انقلاب صنعتی پنجم، انسان‌محوری، پایداری، انعطاف‌پذیری، هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، تولید شخصی‌سازی‌شده، اقتصاد چرخشی

چکیده

انقلاب‌های صنعتی از قرن هجدهم میلادی، تحولات عمیقی در ساختارهای اقتصادی، اجتماعی و فناوری جوامع ایجاد کرده‌اند. انقلاب اول با ماشین بخار، تولید مکانیکی و شهرنشینی را رقم زد. انقلاب دوم با برق و تولید انبوه، بهره‌وری را افزایش داد، اما آلودگی و نابرابری را تشدید کرد. انقلاب سوم، اقتصاد دانش‌بنیان را با دیجیتال‌سازی و اتوماسیون پایه‌گذاری نمود. انقلاب چهارم، با فناوری‌های سایبری–فیزیکی، اینترنت اشیا و هوش مصنوعی، کارخانه‌های هوشمند را معرفی کرد، اما نگرانی‌هایی درباره اتوماسیون و نابرابری دیجیتال برانگیخت. انقلاب صنعتی پنجم (Industry 5.0) که در سال ۲۰۲۱ توسط کمیسیون اروپا مطرح شد، به‌عنوان تکاملی از انقلاب چهارم، بر انسان‌محوری، پایداری و انعطاف‌پذیری تأکید دارد. این انقلاب با هدف ایجاد تعادل بین پیشرفت فناوری و ارزش‌های انسانی، به دنبال همکاری انسان و ماشین، تولید مسئولانه و پاسخگویی به نیازهای متغیر بازار است. این مقاله با مروری بر این تحولات، ویژگی‌های انقلاب پنجم را تحلیل کرده و تأثیرات آن بر اقتصاد، نیروی کار و محیط‌زیست را ارزیابی می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که انقلاب پنجم با تأکید بر همکاری انسان و ماشین و پایداری، می‌تواند کیفیت زندگی را بهبود بخشیده و اثرات زیست‌محیطی را کاهش دهد، اما نیازمند سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌ها، آموزش و مدیریت مسائل اخلاقی است.

استناد: احمدی سیده معصومه, خلخالی علی, کاظم پور اسماعیل. (۱۴۰۴). 'انقلاب صنعتی پنجم: از ماشین بخار تا هم‌افزایی دیجیتال', نشاءعلم, ۱۵ (۲)، ۱۵۲–۱۵۸.

ناشر: بنیاد پیشبرد علم و فناوری در ایران و انجمن بیوشیمی فیزیک ایران

© نویسندگان حق نشر و کلیه حقوق انتشار را برای خود حفظ می‌کنند.

* عهده‌دار مکاتبات: دانشیار، تلفن: ۰۹۱۱۱۹۲۶۷۷۳، آدرس الکترونیکی: 1502113554@iau.ac.ir
[۱] گروه مدیریت آموزشی، واحد تنکابن، دانشگاه آزاد اسلامی، تنکابن، ایران

مقدمه

انقلاب‌های صنعتی به‌عنوان تحولات بنیادین و پرشتاب در تاریخ بشر، شکل‌گیری مجدد نظام‌های اقتصادی، اجتماعی و فناورانه جوامع را رقم زده‌اند. این دگرگونی‌ها با ظهور نوآوری‌های کلیدی در هر دوره همراه بوده‌اند که علاوه بر افزایش بهره‌وری و بهبود فرآیندهای تولید، ساختارهای قدرت، نحوه تعاملات انسانی و رابطه با محیط طبیعی را نیز تحت‌تأثیر قرار داده‌اند [۱]. از آغاز انقلاب صنعتی اول با اختراع ماشین بخار در قرن هجدهم تا ظهور فناوری‌های دیجیتال و هوش مصنوعی در قرن بیست‌ویکم، هر دوره با مشخصه‌های منحصربه‌فردی شناخته شده است که آغازگر مراحل تکاملی جدیدی از توسعه بوده‌اند.

انقلاب صنعتی اول (حدود سال‌های ۱۷۶۰ تا ۱۸۴۰) با استفاده از انرژی بخار، پایه‌های تولید مکانیکی را بنا نهاد و نقش انسان به‌عنوان نیروی اصلی تولید را به‌تدریج کاهش داد. این دوره باعث انتقال جمعیت از روستاها به شهرها و ظهور کارخانه‌های صنعتی شد [۲]. انقلاب دوم (حدود سال ۱۸۷۰ تا ۱۹۴۰) با گسترش برق و خطوط مونتاژ انبوه، تولید را در مقیاس گسترده‌تری ممکن کرد و فرآیندهای صنعتی را به‌شدت استاندارد کرد. در این دوره، صنایع بزرگ‌مقیاس به مرکزیت تولید تبدیل شدند و بهره‌وری افزایش چشمگیری یافت[۳].

سومین مرحله تحول (حدود دهه ۱۹۸۰) با ظهور رایانه و خودکارسازی، نوعی اتوماسیون دیجیتال ایجاد کرد که در آن نقش انسان از حالت عملیات مستقیم به حالت نظارت و مدیریت فناوری تغییر کرد. در این دوره، فناوری اطلاعات به‌عنوان عامل اصلی تغییر عملکرد صنایع مطرح شد. انقلاب چهارم نیز با ادغام فناوری‌های سایبری–فیزیکی، اینترنت اشیا و داده‌های بزرگ، فضایی از تولید هوشمند و متصل را رقم زد که در آن انسان به‌عنوان یک تحلیل‌گر و تصمیم‌گیرنده در زنجیره تولید ظاهر شد [۴].

اما باوجود تمام این پیشرفت‌ها، نگرانی‌هایی درباره فقدان تمرکز بر انسان، ابعاد اخلاقی فناوری و تأثیرات منفی بر محیط‌زیست افزایش یافت. به همین دلیل، انقلاب صنعتی پنجم[1] در سال ۲۰۲۱ توسط کمیسیون اروپا به طور رسمی معرفی شد؛ انقلابی که نه‌تنها تکاملی از انقلاب چهارم محسوب می‌شود، بلکه رویکرد بنیادین‌تری نسبت به نقش انسان، مسئولیت‌های اخلاقی و ضرورت پایداری در توسعه فناوری دارد [۵]. در این دوره جدید، هدف اصلی، دستیابی به هم‌افزایی بین انسان و ماشین، تحقق اهداف انسان‌محور و رسیدن به یک الگوی تولید سازگار با محیط‌زیست است. در این چارچوب، فناوری‌های شناختی و اخلاق‌محور به کار گرفته می‌شوند تا ضمن پشتیبانی از نوآوری، هویت انسانی و تعادل زیست‌محیطی نیز حفظ شوند [۶].

این مقاله با هدف ارائه مروری جامع بر تاریخچه انقلاب‌های صنعتی، ویژگی‌های منحصربه‌فرد انقلاب صنعتی پنجم، و مقایسه آن با دوره‌های قبلی، به تحلیل تأثیرگذاری این انقلاب بر ابعاد مختلف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی می‌پردازد. همچنین با بهره‌گیری از منابع علمی معتبر، چالش‌ها و فرصت‌های پیش‌روی توسعه انقلاب صنعتی پنجم را شناسایی کرده و راهکارهایی عملی برای تحقق پتانسیل‌های آن ارائه می‌دهد.

روش تحقیق

این مقاله با استفاده از روش مرور سیستماتیک به بررسی منابع علمی منتشر شده درباره انقلاب‌های صنعتی اول تا پنجم پرداخته و سعی کرده است تا با جمع‌آوری، تحلیل و مقایسه نظام‌مند مقالات و گزارش‌های معتبر منتشر شده بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۵، به پاسخی جامع برای این سؤال دست یابد که انقلاب صنعتی پنجم چه تفاوت‌ها و ویژگی‌های منحصربه‌فردی نسبت به انقلاب‌های قبلی دارد. در این راستا، از پایگاه‌های معتبری مانند Scopus، Google Scholar، ScienceDirect و منابع اروپایی نظیر Horizon 2020 استفاده شده و تنها منابعی انتخاب شدند که به طور مستقیم به موضوع انقلاب‌های صنعتی و به‌ویژه انقلاب پنجم (صنعت ۵.۰) پرداخته باشند. سپس، مفاهیم کلیدی، فناوری‌های اصلی، ویژگی‌های اجتماعی–اقتصادی و روندهای تحولی این انقلاب‌ها استخراج و تحلیل شدند.

مروری بر انقلاب‌های صنعتی

انقلاب‌های صنعتی، نقاط عطفی در تاریخ توسعه فناوری و اقتصادی هستند که هر یک با نوآوری‌های خاص خود، تغییرات

[1] Industry 5.0

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

عمیقی در جوامع ایجاد کرده‌اند. درک این تحولات برای فهم جایگاه انقلاب صنعتی پنجم و تمایز آن از دوره‌های پیشین ضروری است.

انقلاب صنعتی اول: مکانیزاسیون و ماشین بخار

انقلاب صنعتی اول که در اواخر قرن هجدهم در بریتانیا آغاز شد، نقطه شروعی برای صنعتی‌شدن مدرن بود. اختراع ماشین بخار توسط جیمز وات در سال ۱۷۶۵، امکان مکانیزاسیون فرآیندهای تولیدی را فراهم کرد و صنایع نساجی، معدنی و حمل‌ونقل را متحول ساخت [۷]. این دوره با انتقال از تولید دستی به تولید ماشینی مشخص شد که منجر به افزایش چشمگیر بهره‌وری و رشد اقتصادی شد. ماشین‌های بخار، نیروی مکانیکی را جایگزین نیروی انسانی و حیوانی کردند که این امر تولید انبوه پارچه، استخراج زغال‌سنگ و توسعه راه‌آهن را تسریع کرد. بااین‌حال، این انقلاب با چالش‌هایی مانند شرایط سخت‌کاری، افزایش آلودگی و نابرابری‌های اجتماعی همراه بود. کارخانه‌های جدید، نیروی کار را از مزارع به شهرها کشاند و شهرنشینی را تسریع کرد، اما فقدان قوانین کارگری منجر به استثمار کارگران، از جمله کودکان شد. این دوره همچنین پایه‌گذار توسعه زیرساخت‌های صنعتی مانند راه‌آهن و کانال‌های آبی بود که اقتصاد جهانی را به هم متصل کرد و تجارت بین‌المللی را گسترش داد. تأثیرات اجتماعی این انقلاب شامل افزایش جمعیت شهری و ظهور طبقه کارگر صنعتی بود، اما فقر و شرایط غیربهداشتی در شهرها نیز به مشکلات عمده‌ای تبدیل شد [۸].

انقلاب صنعتی دوم: برق و تولید انبوه

انقلاب صنعتی دوم که در اواخر قرن نوزدهم آغاز شد، با معرفی برق و خطوط تولید انبوه مشخص شد. اختراع موتورهای الکتریکی و استفاده گسترده از برق، امکان تولید در مقیاس بزرگ‌تر را فراهم کرد [۹]. هنری فورد با معرفی خط تولید مونتاژ در صنعت خودروسازی در اوایل قرن بیستم، مفهوم تولید انبوه را نهادینه کرد که هزینه‌های تولید را کاهش داد و محصولات را برای مصرف‌کنندگان مقرون‌به‌صرفه‌تر کرد. برق، امکان روشنایی کارخانه‌ها و استفاده از ماشین‌آلات پیچیده‌تر را فراهم کرد که این امر بهره‌وری را به طور چشمگیری افزایش داد. این دوره شاهد رشد سریع شهرنشینی، توسعه زیرساخت‌های حمل‌ونقل مانند راه‌آهن برقی و بهبود استانداردهای زندگی در کشورهای صنعتی بود [۱۰]. بااین‌حال، تمرکز بر تولید انبوه، تنوع محصولات را محدود کرد و اثرات زیست‌محیطی منفی مانند آلودگی هوا، تخریب منابع طبیعی و افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای را به دنبال داشت. این انقلاب همچنین با گسترش استعمار و بهره‌برداری از منابع کشورهای درحال‌توسعه همراه بود که نابرابری‌های جهانی را تشدید کرد. از سوی دیگر، ظهور اتحادیه‌های کارگری و قوانین کار، بهبودهایی در شرایط کاری ایجاد کرد، اما همچنان چالش‌های اجتماعی مانند نابرابری درآمدی پابرجا بود [۱۱].

انقلاب صنعتی سوم: اتوماسیون و دیجیتال‌سازی

انقلاب صنعتی سوم که از دهه ۱۹۶۰ آغاز شد، با ظهور کامپیوترها و فناوری اطلاعات مشخص شد. این دوره با خودکارسازی فرآیندهای تولیدی از طریق استفاده از سیستم‌های الکترونیکی و نرم‌افزارها، بهره‌وری را به طور چشمگیری افزایش داد [۱۲]. فناوری‌های دیجیتال مانند کامپیوترهای شخصی، سیستم‌های کنترلی قابل‌برنامه‌ریزی[1] و نرم‌افزارهای مدیریت تولید، امکان تولید دقیق‌تر و کارآمدتر را فراهم کردند. برای مثال، ربات‌های صنعتی در خطوط تولید خودروسازی، دقت و سرعت تولید را بهبود بخشیدند. این انقلاب پایه‌گذار اقتصاد دانش‌بنیان شد و نقش نیروی کار ماهر را برجسته کرد. بااین‌حال، اتوماسیون منجر به کاهش برخی مشاغل سنتی، به‌ویژه در بخش‌های تولیدی شد و شکاف مهارت‌ها بین کارگران ماهر و غیرماهر را افزایش داد. این دوره همچنین با افزایش وابستگی به فناوری‌های دیجیتال، مسائل جدیدی مانند امنیت سایبری و حریم خصوصی داده‌ها را مطرح کرد. انقلاب سوم، با دیجیتالی‌شدن فرایندها، زمینه را برای انقلاب صنعتی چهارم فراهم کرد که با فناوری‌های پیشرفته‌تر و اتصال‌پذیری بالاتر مشخص شد [۱۳].

انقلاب صنعتی چهارم: همگرایی فناوری‌ها

انقلاب صنعتی چهارم که در اوایل قرن بیست‌ویکم توسط کلاوس شواب[2] (۲۰۱۷) معرفی شد، با همگرایی فناوری‌های دیجیتال،

[1] PLC
[2] Klaus Schwab

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

فیزیکی و زیستی تعریف می‌شود. فناوری‌هایی مانند اینترنت اشیا[1]، هوش مصنوعی[2]، کلان‌داده[3]، بلاک‌چین و چاپ سه‌بعدی، امکان ایجاد کارخانه‌های هوشمند را فراهم کردند که با اتصال‌پذیری بالا و اتوماسیون پیشرفته مشخص می‌شوند [۱]. این انقلاب با بهبود کارایی تولید، کاهش هزینه‌ها و افزایش انعطاف‌پذیری همراه بود. برای مثال، اینترنت اشیا امکان اتصال دستگاه‌ها و جمع‌آوری داده‌های بلادرنگ را فراهم کرد که به بهینه‌سازی زنجیره تأمین و پیش‌بینی نیازهای بازار کمک کرد. بااین‌حال، انقلاب چهارم نگرانی‌هایی مانند ازدست‌رفتن مشاغل به دلیل اتوماسیون پیشرفته، نابرابری‌های دیجیتال بین کشورهای توسعه‌یافته و درحال‌توسعه، و مسائل اخلاقی مرتبط با استفاده از هوش مصنوعی را مطرح کرد [۵]. برای مثال، الگوریتم‌های هوش مصنوعی ممکن است سوگیری‌هایی داشته باشند که به تصمیم‌گیری‌های ناعادلانه منجر شود. این انقلاب، اگرچه پیشرفت‌های چشمگیری به همراه داشت، اما به طور کامل به نیازهای انسانی و پایداری محیط‌زیست توجه نکرد که این کاستی‌ها زمینه‌ساز ظهور انقلاب صنعتی پنجم شد [۱۴].

انقلاب صنعتی پنجم: تعریف و ویژگی‌های کلیدی

انقلاب صنعتی پنجم به طور خاص توسط یک نظریه‌پرداز واحد معرفی نشده است. در عوض، **کمیسیون اروپا** به‌عنوان یک نهاد سیاست‌گذار و برنامه‌ریز، نقش محوری در شکل‌گیری و ترویج مفهوم صنعت ۵.۰ داشته است. این کمیسیون در سال ۲۰۲۱ به طور رسمی این مفهوم را مطرح کرد و اصول و اهداف آن را در اسناد و گزارش‌های خود تبیین نمود. بنابراین، اسناد و گزارش‌های این کمیسیون، منابع اصلی برای درک مبانی و اهداف این انقلاب هستند. بااین‌حال، اندیشمندان و محققان متعددی نیز در توسعه و تبیین ابعاد آن نقش داشته‌اند. به‌عنوان‌مثال، کلاوس شواب، بنیان‌گذار و رئیس اجرایی مجمع جهانی اقتصاد، در کتاب «انقلاب صنعتی چهارم»[4] (۲۰۱۷) به لزوم قرار دادن انسان در مرکز توسعه فناوری و تلفیق نوآوری با ارزش‌های انسانی اشاره کرد [۱]. همچنین، شرودرز، ویلکینسون[5]، انقلاب پنجم را پاسخی به چالش‌های جهانی؛ مانند تغییرات اقلیمی، نابرابری‌های اجتماعی و عدم تعادل زیست‌محیطی به‌شمار می‌آوردند [۱۵]. در این میان، سعید نهاوندی[6] بر انسان‌محوری و اهمیت همکاری انسان و ماشین [۱۶]، لوک داویس زو[7] بر مقایسه‌ی انقلاب‌های صنعتی چهارم و پنجم [۱۴]، مارک برک[8] بر اصول پایداری، انسان‌محوری و انعطاف‌پذیری [۱۷]، و میرکو رادا[9] بر گذر از دنیای مجازی به فیزیکی تأکید داشته‌اند [۱۸].

انقلاب صنعتی پنجم، به‌عنوان تکاملی از انقلاب صنعتی چهارم، بر سه اصل اساسی استوار است: انسان‌محوری[10]، پایداری[11] و انعطاف‌پذیری[12]. این انقلاب به دنبال ایجاد تعادل بین پیشرفت فناوری و ارزش‌های انسانی است و با هدف پاسخگویی به چالش‌های جهانی؛ مانند تغییرات اقلیمی، نابرابری‌های اجتماعی و نیازهای متغیر بازار طراحی شده است. برخلاف انقلاب‌های پیشین که عمدتاً بر افزایش بهره‌وری و کارایی متمرکز بودند، انقلاب پنجم به دنبال ایجاد سیستمی است که فناوری در خدمت انسان و محیط‌زیست قرار گیرد. این رویکرد نوین، صنعت ۵.۰ را به پارادایمی متمایز تبدیل کرده که نه‌تنها بر فناوری، بلکه بر تأثیرات اجتماعی و زیست‌محیطی آن نیز تمرکز دارد [۶].

انسان‌محوری: همکاری انسان و ماشین

یکی از ویژگی‌های بارز انقلاب صنعتی پنجم، تأکید بر انسان‌محوری است. برخلاف انقلاب چهارم که بر اتوماسیون کامل و جایگزینی نیروی کار انسانی متمرکز بود، انقلاب پنجم فناوری را به‌عنوان ابزاری برای تقویت توانایی‌های انسانی در نظر می‌گیرد [۱۰]. برای مثال، ربات‌های همکار[13] طراحی شده‌اند تا در کنار کارگران انسانی فعالیت کنند، وظایف تکراری، سنگین یا خطرناک را انجام دهند و به کارگران اجازه دهند بر فعالیت‌های خلاقانه، تصمیم‌گیری و حل مسئله تمرکز کنند. این ربات‌ها در صنایعی

[1] IoT
[2] AI
[3] Big Data
[4] The Fourth Industrial Revolution
[5] Schröders, Wilkinson.
[6] Saeid Nahavandi
[7] L. Davis Xu
[8] Marc Breque
[9] Mirko Rada
[10] Human-Centricity
[11] Sustainability
[12] Resilience
[13] Cobots

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

مانند خودروسازی و الکترونیک، با کارگران همکاری می‌کنند تا دقت و سرعت تولید را افزایش دهند. سیستم‌های سایبری-فیزیکی[1] نیز با ادغام فناوری‌های دیجیتال و فیزیکی، امکان تعامل بلادرنگ بین انسان و ماشین را فراهم می‌کنند. برای مثال، در یک کارخانه هوشمند، کارگران می‌توانند از طریق رابط‌های دیجیتال با ربات‌ها ارتباط برقرار کنند و فرآیندهای تولید را بهینه‌سازی کنند. این همکاری انسان و ماشین، پتانسیل کاهش نابرابری‌های ناشی از اتوماسیون را دارد و به کارگران فرصت می‌دهد تا مهارت‌های جدیدی مانند برنامه‌ریزی ربات‌ها یا تحلیل داده‌ها بیاموزند. این رویکرد همچنین به بهبود سلامت روانی و جسمی کارگران کمک می‌کند، زیرا وظایف خطرناک به ماشین‌ها واگذار می‌شود [۱۶].

پایداری: تولید مسئولانه و اقتصاد چرخشی

پایداری یکی از ستون‌های اصلی انقلاب صنعتی پنجم است. با توجه به چالش‌های زیست‌محیطی مانند تغییرات اقلیمی، کاهش منابع طبیعی و آلودگی، این انقلاب بر تولید مسئولانه و اقتصاد چرخشی تأکید دارد. فناوری‌هایی مانند چاپ سه‌بعدی، مواد بازیافت‌پذیر و انرژی‌های تجدیدپذیر به کاهش ضایعات و مصرف انرژی کمک می‌کنند [۱۱]. برای مثال، چاپ سه‌بعدی امکان تولید محصولات با حداقل ضایعات را فراهم می‌کند، زیرا مواد تنها در جایی که موردنیاز است استفاده می‌شوند. در صنعت ساخت‌وساز، چاپ سه‌بعدی می‌تواند خانه‌هایی با مواد بازیافتی تولید کند که هم هزینه‌ها را کاهش می‌دهد و هم اثرات زیست‌محیطی را کم می‌کند. مواد بازیافت‌پذیر نیز به کاهش وابستگی به منابع طبیعی کمک می‌کنند و امکان بازیافت محصولات در پایان چرخه عمرشان را فراهم می‌کنند. انقلاب پنجم همچنین با ترویج مدل‌های اقتصاد چرخشی، به دنبال بازیافت و استفاده مجدد از مواد در فرآیندهای تولیدی است. برای مثال، در صنعت مد، برندها می‌توانند از مواد بازیافتی برای تولید لباس استفاده کنند و چرخه‌های بازیافت را در زنجیره تأمین خود ادغام کنند. این رویکرد نه‌تنها به حفظ محیط‌زیست کمک می‌کند، بلکه هزینه‌های تولید را کاهش داده و پایداری اقتصادی را تقویت می‌کند [۱۷].

انعطاف‌پذیری: تولید شخصی‌سازی‌شده و پاسخگویی به بازار

انقلاب صنعتی پنجم با تأکید بر انعطاف‌پذیری، سیستم‌های تولیدی را طراحی می‌کند که قادر به پاسخگویی سریع به نیازهای متغیر بازار هستند. تولید شخصی‌سازی‌شده و انبوه[2] یکی از ویژگی‌های کلیدی این دوره است که امکان تولید محصولات متناسب با نیازهای فردی مشتریان را فراهم می‌کند [۱۹]. فناوری‌هایی مانند هوش مصنوعی و اینترنت اشیا، امکان تحلیل داده‌های مشتریان و تنظیم فرآیندهای تولیدی را به‌صورت بلادرنگ فراهم می‌کنند. برای مثال، در صنعت خودروسازی، مشتریان می‌توانند ویژگی‌های خاصی مانند رنگ، طراحی داخلی یا قابلیت‌های دیجیتال خودرو را انتخاب کنند، و کارخانه‌ها با استفاده از فناوری‌های پیشرفته، این محصولات را در مقیاس انبوه تولید می‌کنند. در صنعت مد، برندها می‌توانند لباس‌هایی با طرح‌ها و اندازه‌های خاص برای هر مشتری تولید کنند. این انعطاف‌پذیری نه‌تنها رضایت مشتریان را افزایش می‌دهد، بلکه به شرکت‌ها کمک می‌کند تا در بازارهای رقابتی مزیت رقابتی کسب کنند. علاوه بر این، انعطاف‌پذیری در زنجیره تأمین، امکان پاسخگویی به اختلالات ناگهانی مانند بلایای طبیعی، بحران‌های اقتصادی یا تغییرات تقاضا را فراهم می‌کند [۱۵].

مقایسه انقلاب صنعتی پنجم با انقلاب‌های پیشین

برای درک بهتر انقلاب صنعتی پنجم، لازم است آن را با انقلاب‌های قبلی از منظر فناوری، نقش نیروی کار، پایداری و انعطاف‌پذیری مقایسه کنیم. انقلاب‌های قبلی بیشتر بر افزایش بهره‌وری و کارایی تمرکز داشتند، در حالی که انقلاب پنجم رویکردی تعادل‌گرا و انسان‌محور با تأکید بر پایداری، همکاری انسان و ماشین و شخصی‌سازی را دنبال می‌کند. جدول ۱ به مقایسه انقلاب‌های صنعتی می‌پردازد [۱۱،۱۲،۱۴،۱۵].

انقلاب صنعتی پنجم: فرصت‌ها و چالش‌ها

انقلاب صنعتی پنجم با بهره‌گیری از فناوری‌های پیشرفته، تحولی عمیق در اقتصاد، جامعه و محیط‌زیست ایجاد می‌کند. این انقلاب با افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌ها از طریق تولید شخصی‌سازی‌شده و تحلیل داده‌های بلادرنگ، زمینه رشد اقتصادی

[1] CPS
[2] Mass Customization

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

جدول ۱: مقایسه انقلاب‌های صنعتی

	تمرکز فناوری	نقش نیروی کار	پایداری زیست‌محیطی	انعطاف‌پذیری و شخصی‌سازی
انقلاب صنعتی ۱	ماشین‌های بخار، مکانیزاسیون	کارگران در نقش اجرایی و تکراری، شرایط سخت	مصرف بالای منابع، آلودگی زیاد (مانند زغال‌سنگ)	تولید انبوه، استانداردسازی، تنوع کم
انقلاب صنعتی ۲	برق، تولید انبوه	ادامه الگوی انقلاب اول	افزایش استفاده از نفت، انتشار گازهای گلخانه‌ای	استانداردسازی بیشتر
انقلاب صنعتی ۳	کامپیوتر، اتوماسیون	کاهش نقش کارگران غیرماهر، افزایش نیاز به مهارت دیجیتال	بهینه‌سازی محدود مصرف انرژی	افزایش تنوع محصولات با دیجیتالی‌شدن
انقلاب صنعتی ۴	فناوری‌های دیجیتال، اینترنت اشیا	جایگزینی بخشی نیروی کار با ربات و الگوریتم	مدیریت بهتر منابع با داده‌ها، اما بدون تمرکز بر پایداری	شخصی‌سازی محدود و هزینه‌بر
انقلاب صنعتی ۵	هوش مصنوعی، بلاکچین، چاپ سه‌بعدی (با تأکید بر تعادل تکنولوژیکی و انسانی)	همکاری انسان و ماشین، تقویت مهارت‌های خلاقانه و تصمیم‌گیری	تأکید بر اقتصاد چرخشی، انرژی‌های تجدیدپذیر و کاهش ضایعات	تولید شخصی‌سازی‌شده در مقیاس انبوه با فناوری‌های دیجیتال

پایدار را فراهم می‌کند؛ بااین‌حال، نیاز به سرمایه‌گذاری‌های کلان و آموزش نیروی کار می‌تواند شکاف اقتصادی بین کشورها را تشدید کند [۱۵].

در حوزه اجتماعی، این انقلاب با تأکید بر انسان‌محوری، وظایف تکراری را کاهش داده و خلاقیت و رضایت شغلی را ارتقا می‌دهد. بااین‌وجود، گسترش شکاف دیجیتال ممکن است نابرابری‌های اجتماعی را افزایش دهد؛ بنابراین برنامه‌های آموزشی برای تطبیق نیروی کار با نیازهای جدید بازار ضروری است [۲۰].

در حوزه زیست‌محیطی، انقلاب صنعتی پنجم با ترویج اقتصاد چرخشی و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، انتشار کربن و ضایعات را کاهش می‌دهد. بااین‌حال، این امر نیازمند سرمایه‌گذاری‌های کلان و سیاست‌گذاری‌های مؤثر است [۱۸].

این انقلاب فرصت‌های بزرگی مانند تولید پایدار، بهبود کیفیت زندگی و افزایش انعطاف‌پذیری در زنجیره تأمین ایجاد می‌کند. همچنین، همکاری انسان و ماشین می‌تواند به ایجاد محیط‌های کاری انسانی‌تر و خلاق‌تر منجر شود. بااین‌حال، چالش‌هایی مانند هزینه‌های بالای فناوری، مسائل اخلاقی مرتبط با هوش مصنوعی و حریم خصوصی داده‌ها نیز وجود دارد. استفاده گسترده از هوش مصنوعی ممکن است نگرانی‌هایی در مورد سوگیری الگوریتم‌ها، نظارت بر کارگران و نقض حریم خصوصی ایجاد کند. علاوه بر این، شکاف دیجیتال بین کشورهای توسعه‌یافته و درحال‌توسعه می‌تواند نابرابری‌های جهانی را تشدید کند. برای موفقیت در این انقلاب، همکاری بین دولت‌ها، صنایع و نهادهای آموزشی ضروری است. دولت‌ها می‌توانند با ارائه مشوق‌های مالی و برنامه‌های آموزشی، پذیرش فناوری‌های جدید را تسهیل کنند، درحالی‌که صنایع باید در توسعه فناوری‌های پایدار و اخلاقی سرمایه‌گذاری کنند. همچنین، تدوین قوانین و مقررات مناسب برای مدیریت مسائل اخلاقی مرتبط با فناوری از اهمیت بالایی برخوردار است [۱۷].

نتیجه‌گیری

انقلاب صنعتی پنجم به‌عنوان تکاملی از انقلاب‌های پیشین، با تمرکز بر انسان‌محوری، پایداری و انعطاف‌پذیری، پتانسیل بازتعریف آینده تولید و جامعه را دارد. در مقایسه با انقلاب‌های قبلی، این پارادایم جدید با تأکید بر همکاری انسان و ماشین، تولید مسئولانه و پاسخگویی به نیازهای متغیر بازار، رویکردی متعادل‌تر به پیشرفت فناوری ارائه می‌دهد. بااین‌حال، برای تحقق کامل پتانسیل آن، باید چالش‌های مرتبط با زیرساخت‌ها، آموزش نیروی کار و مسائل اخلاقی مورد توجه قرار گیرند. همکاری بین بخش‌های مختلف جامعه، از جمله دولت‌ها، صنایع و نهادهای آموزشی، برای موفقیت این انقلاب ضروری است. انقلاب صنعتی پنجم نه‌تنها فرصتی برای پیشرفت فناوری، بلکه فرصتی برای ایجاد جهانی پایدارتر، عادلانه‌تر و انسانی‌تر است. با سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های دیجیتال، آموزش نیروی کار و تدوین سیاست‌های

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

پایدار، می‌توان اطمینان حاصل کرد که این انقلاب به تحقق اهداف خود دست یابد و به بهبود کیفیت زندگی در سطح جهانی کمک کند.

این مقاله توسط ماشین نگارش نشده است و جایی دیگر هم به چاپ نرسیده است.

فهرست منابع

[1]. Schwab, K. (2017). The Fourth Industrial Revolution. Crown Business.

[2]. Ashton, T. S. (1948). The Industrial Revolution, 1760-1830. Oxford University Press

[۳]. احمدی، سید معصومه؛ پورحسین گیلاکجانی، عباس. (۱۴۰۲). تأثیرات انقلاب‌های صنعتی بر نظام مدیریت آموزشی در مدارس. پژوهش‌های برنامه‌ریزی درسی و آموزشی. ۱۳(۱): ۱۷۹- ۱۸۸.

[4]. Toffler, A. (1980). The Third Wave. William Morrow

[۵]. کیانی بختیاری، ابوالفضل؛ موسوی موحدی، علی‌اکبر. (۱۴۰۰). انقلاب صنعتی چهارم و تغییرات بنیادین پیش رو. نشأ علم. ۱۱(۲): ۱۶۳-۱۵۵.

[6]. European Commission (2021). Industry 5.0: A Transformative Vision for European Industry. Publications Office of the European Union.

[7]. European Commission. (2021). Industry 5.0: A transformative vision for European industry. Publications Office of the European Union.

[8]. Wrigley, E. A. (2010). Energy and the English Industrial Revolution. Cambridge University Press.

[9]. Landes, D. S. (1969). The Unbound Prometheus: Technological Change and Industrial Development in Western Europe from 1750 to the Present. Cambridge University Press.

[10]. Braverman, H. (1974). Labor and Monopoly Capital: The Degradation of Work in the Twentieth Century. Monthly Review Press

[11]. Mokyr, J. (1999). The Second Industrial Revolution, 1870–1914. In The Lever of Riches: Technological Creativity and Economic Progress. Oxford University Press.

[12]. Rifkin, J. (2011). The Third Industrial Revolution: How Lateral Power is Transforming Energy, the Economy, and the World. Palgrave Macmillan

[13]. Castells, M. (1996). The Rise of the Network Society. Blackwell Publishers

[14]. Xu, L. D.; Xu, E. L.; Li, L. (2021). Industry 4.0 and Industry 5.0: Advances and Perspectives. IEEE Transactions on Industrial Informatics. 17(8), 5667–5676.

[15]. Schröders P, Wilkinson J. (2023). The fifth industrial revolution: digitalisation and sustainability in the post-COVID-19 era. Sustain Prod Consum. 53:465-72.

[16]. Nahavandi, S. (2019). Industry 5.0—A Human-Centric Solution. Sustainability. 11(16), 4371.

[17]. Breque, M.; De Nul, L.; Petridis, A. (2021). *Industry 5.0: Towards a Sustainable, Human-Centric and Resilient European Industry*. Brussels: European Commission.

[18]. Rada, M. (2020). Industry 5.0: From Virtual to Physical. International Journal of Production Research. 58(15), 4567–4572.

[۱۹]. آراسته، حمیدرضا؛ خباره، کبری (۱۴۰۲). نقش هوش مصنوعی و تحول در آموزش عالی. نشأ علم. ۱۴(۱): ۸-۲.

[20]. European Commission. Industry 5.0: Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2021. Available from: https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/468a892a-5095-11eb-b59f-01aa75ed71a1

نقش فناوری سنجش‌ازدور در ارزیابی فلرینگ در صنایع نفت و گاز ایران

المیرا اسدی فرد[۱]، سامره فلاحتکار*[۱،۲]، مهدی تنها زیارتی[۲،۳]، سید کاظم علوی‌پناه[۴]

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله ترویجی

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت
۱۴ مهر ۱۴۰۴
تاریخ بازنگری
۰۱ آبان ۱۴۰۴
تاریخ پذیرش
۱۵ آبان ۱۴۰۴
تاریخ انتشار
۳۰ آذر ۱۴۰۴

کلیدواژه‌ها:
فلرینگ، ایران، شناسایی، الگوریتم، سنجش از دور.

چکیده

فرایند فلرینگ یا سوزاندن گازهای ناخواسته و بسیار اشتعال‌پذیر در زمان استخراج و فراوری نفت و گاز، پیامدهای زیست‌محیطی و بهداشتی فراوانی دارد. در نتیجه بررسی‌های جامع در این رابطه بسیار حائز اهمیت است. نرخ فلرینگ سالانه در سطح جهان حدود ۱۷۰ میلیارد مترمکعب گاز توسط بانک جهانی گزارش شده است که منجر به انتشار ۴۰۰-۳۰۰ میلیون تن CO_2 و مقادیر قابل‌توجهی از SO_x، NO_x، VOC و ذرات معلق به جو می‌شود. در نتیجه علاوه بر تشدید پدیده تغییر اقلیم و باران اسیدی، سلامت انسان را از طریق بیماری‌های تنفسی، قلبی – عروقی و سرطان تحت تأثیر قرار می‌دهد. در این راستا در این مقاله به ارائه و بررسی توانایی الگوریتم‌های استفاده شده در زمینه شناسایی ناهنجاری‌های حرارتی ناشی از شعله فلرها و برآورد حجم گازهای فلر شده در سطح جهانی و در سطح ملی بر پایه داده‌های سنجش از دور پرداخته است. در یکی از مناطق صنعتی جنوب کشور (منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس)، الگوریتم‌های RXD و NHI در زمینه‌ی شناسایی ناهنجاری‌های حرارتی ناشی از شعله فلرها از خود دقت بالای را نشان دادند. از سوی دیگر در بخش برآورد حجم گازهای فلر شده از سه مدل رگرسیون چند متغیر خطی، شبکه عصبی مصنوعی و درخت تصمیم بر پایه مقادیر رادیانس ماهواره-های مختلفی از جمله لندست ۸ (باند ۶، ۷، ۱۰ و ۱۱)، ماهواره Suomi-NPP (باند M۱۰– سنجنده VIIRS) و محصولات آلودگی ماهواره سنتینل–P۵ استفاده شد که نتایج حاکی از عملکرد بسیار خوب مدل شبکه عصبی در این بخش را داشت. در نتیجه امید است که با بهره‌گیری از روش‌های مناسب مانند یادگیری ماشین بر پایه‌ی اطلاعات جامع سنجش از دوری بتوان خلأهای اطلاعاتی موجود در این حوزه را برطرف کرده و در زمینه مدیریت آن گام مؤثری برداشت.

استناد: فلاحتکار سامره, اسدی فرد المیرا, تنها زیارتی مهدی, علوی پناه سیدکاظم. (۱۴۰۴). 'نقش فناوری سنجش از دور در ارزیابی فلرینگ در صنایع نفت و گاز ایران', نشاء علم,۱۵ (۲)، ۱۵۹-۱۶۵.

ناشر: بنیاد پیشبرد علم و فناوری در ایران و انجمن بیوشیمی فیزیک ایران

© نویسندگان حق نشر و کلیه حقوق انتشار را برای خود حفظ می‌کنند.

* عهده‌دار مکاتبات: دانشیار. تلفن: ۰۱۱۴۴۹۹۸۱۰۸-۰۹۱۲۵۶۷۷۰۶۹، آدرس الکترونیکی: samereh.falahatkar@modares.ac.ir
[۱] دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران
[۲] ایمنی و محیط‌زیست، مؤسسه آموزش عالی فردوس رهجویان دانش، برازجان، بوشهر، ایران
[۳] گروه بهداشت، ایمنی و محیط زیست، منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس، عسلویه، بوشهر
[۴] دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

مقدمه

فرایند فلرینگ[1] (سوزاندن گازهای ناخواسته) از آغاز تولید و استخراج نفت و گاز در تمامی صنایع به‌صورت پیوسته یا دوره‌ای در حال انجام است که نرخ سالیانه آن حدود ۱۷۰ میلیارد مترمکعب توسط بانک جهانی گزارش شده است [۱]. از جمله دلایل آن نیز می‌توان به عدم دسترسی به بازار به جهت فروش یا زیرساخت‌های حمل‌ونقل گاز و هزینه‌های گزاف مرتبط با انتقال گاز از مناطق دورافتاده اشاره کرد [۲].

این فرایند در صنایع توسط یک تجهیز احتراقی یا همان مشعل/ فلر به‌صورت زمینی (ground) یا هوایی (stack) انجام می‌شود [۳] که در برخی منابع از آن‌ها تحت عنوان Open Flame Flare و Enclosed Ground Flare نیز نام‌برده شده است [۴]. متداول‌ترین آن‌ها مشعل‌های هوایی هستند که یک سازه‌ی عمودی فلزی با ارتفاع زیادی است (بیش از ۱۰۰ متر) که در بالای آن شعله‌ای در حال سوختن است که ارتفاع آن تا ۱۰ متر و دمای آن نیز ۲۰۰۰ کلوین نیز در منابع مختلف گزارش شده است [۳].

اثرات منفی فلرینگ بر محیط‌زیست

این فرایند اثرات نامطلوبی بر محیط‌زیست دارد. سالانه ۳۰۰ تا ۴۰۰ میلیون تن CO_2 به جو منتشر می‌کند و عامل تولید و انتشار SOx، NOx، ترکیبات آلی فرار (VOC)، سولفید هیدروژن، مونوکسیدکربن، کربن سیاه و گازهای گلخانه‌ای (مانند کربن‌دی‌اکسید و متان) به جو است که منجر به تغییر اقلیم و گرمایش جهانی شده، از سوی دیگر نیز همراه با رطوبت جو، منجر به باران اسیدی موضعی می‌شود که منجر به مشکلات جدی برای سلامتی محیط اطراف می‌گردد و تأثیرات منفی بر آب شیرین محلی و اکوسیستم‌های اطراف دارد [۱،۵،۶]. این اثر در مناطق مرطوب‌تر مانند مناطق فراساحلی جدی‌تر است. برای مثال در شعاع یک کیلومتری از فلرها، خوردگی قابل‌توجهی در زیرساخت‌ها مشاهده شده است و این میزان خوردگی در فاصله ۵۰۰ متری، در مقایسه با فاصله ۱ کیلومتری دو برابر بود [۱].

از سوی دیگر شایان ذکر است که CO_2 در فرایندهای چرخه حیات جزو خوراک اصلی و جزو یکی از پایدارترین فرایند شیمیایی و بیوشیمیایی در طبیعت محسوب می‌شود؛ اما در وضعیت کنونی همزمان با انقلاب صنعتی سبب برهم خوردن تعادل آن به علت صنایع فعال در سراسر دنیا گردیده و به یک چالش تبدیل شده است. طبق آمار منتشر شده در سال ۲۰۱۰، تولید این گاز در سطح جهانی بیش از ۵۱ میلیارد تن بوده و ارزش اقتصادی هر تن آن ۱۰۰ دلار گزارش شده است؛ بنابراین، ارزش کل اقتصادی این گاز به حدود ۱/۵ تریلیون دلار می‌رسد. با توجه به این ارقام، ارزش اقتصادی این گاز معادل درآمد سالانه صنایع ناشی از فروش محصولات آن‌ها است. در نتیجه ضروری است که در جهان علی‌الخصوص در کشور ما، ایران، با تکیه بر مزیت رقابتی اصلی خود در صحنهٔ جهانی، یعنی منابع غنی گاز و نفت، و با به‌کارگیری هوشمندانهٔ دی‌اکسیدکربن، محور توسعه اقتصادی را بر صنایع و پتروشیمی قرار دهد تا بتواند سطح تولید ناخالص داخلی را بهبود بخشد [۷].

برای کاهش انتشار کربن‌دی‌اکسید، مجموعه‌ای از راهبردهای مدیریتی شامل سیاست‌های نظارتی، اقتصادی و مشوق‌ها طراحی و اجرا می‌شود. ابزارهای اقتصادی آن شامل قیمت‌گذاری کربن و مالیات کربن است که جزو کارآمدترین راهکارها محسوب می‌شود و صنایع کشور را به کاهش انتشار آلاینده‌ها ترغیب می‌کنند. همچنین، ایجاد بازارهای کربن و سیستم اعتبارات کربنی به واحدهای صنعتی این امکان را می‌دهد که با خرید اعتبار از پروژه‌های کاهنده انتشار، تعهدات زیست‌محیطی خود را جبران کنند. در کنار این مکانیسم‌های اقتصادی، بهره‌گیری از فناوری‌های جذب، ذخیره‌سازی و استفاده از کربن‌دی‌اکسید و همچنین توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و افزایش بهره‌وری انرژی در صنایع انرژی‌بر (مانند نیروگاه‌ها، سیمان و فولاد) نقش مکمل و حیاتی در دستیابی به اهداف کربن‌زدایی و تحقق توافق‌نامه‌های بین‌المللی مانند پاریس دارند [۷].

اثرات منفی فلرینگ بر سلامتی

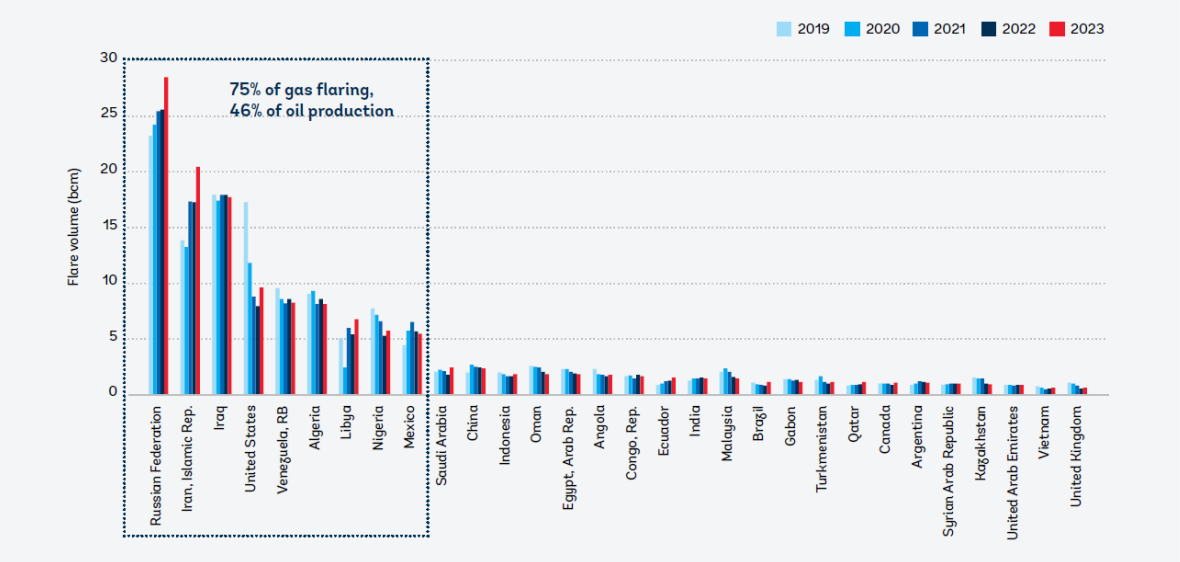
اثرات نامطلوب این فرایند بر سلامت افراد نیز شامل بروز مشکلات و بیمارهای تنفسی (آسم)، قلبی و عروقی ناشی از ذرات معلق و سرطان‌های مختلف از جمله سرطان خون و ضایعات پوستی است [۲،۵]. سایر اثرات منفی این فرایند بر روی عملکرد کلیه‌ها در بدن است. علاوه‌برآن تعداد گلبول‌های قرمز، تعداد پلاکت، غلظت هموگلوبین خون را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد [۸،۹].

گزارش رسمی بانک جهانی در رابطه با میزان فلرینگ

[1] Gas Flaring

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

طبق آخرین گزارش رسمی بانک جهانی بر پایه مطالعات سنجش‌ازدور مشخص شد که میزان فلرینگ در تمام تأسیسات نفتی جهان در سال ۲۰۲۳ نسبت به سال ۲۰۲۲ افزایش ۷ درصدی داشته و این میزان به ۱۴۸ میلیارد مترمکعب رسیده است. روسیه (رتبه اول)، ایران (رتبه دوم)، عراق (رتبه سوم)، ایالات متحده، جمهوری بولیواریانا ونزوئلا، الجزایر، لیبی، نیجریه و مکزیک جزو ۹ کشور اصلی در زمینه‌ی فلرینگ که مسئول ۷۵ درصد فلرینگ جهانی در سال ۲۰۲۳ بودند. جزئیات بیشتر در شکل ۱ ارائه شده است [۱۰].



شکل ۱: آمار جهانی GFMR[1] وابسته به آمار بانک جهانی میزان فلرینگ کشورها [۱۰].

شایان ذکر است که ایران حاوی مخازن نفت و گاز است و صنعت نفت نقشی اساسی در اقتصاد کشور دارد. کشور ما دارای پالایشگاه‌های عظیم نفت و گاز و صنایع پتروشیمی متعدد است که حضور و استقرار آنها عمدتاً در بخش جنوبی کشور مخصوصاً در استان‌های خوزستان، بوشهر، فارس و کرمانشاه است. در این صنایع، فرایند فلرینگ گازها به صورت پیوسته در حال انجام است. به همین علت مدیریت این فرایند حائز اهمیت می‌باشد [۱۱]. ازاین‌رو باید به این موضوع مخصوصاً در استان‌های جنوبی کشور و در مقیاس محلی توجهی ویژه شود.

تعهدات بین‌المللی کشور

ازآنجاکه این فرایند، منبع اصلی تولیدکننده گازهای گلخانه‌ای به‌شمار می‌آید، مشکلات زیستی محیطی فراوانی در مقیاس جهانی و منطقه‌ای ایجاد می‌کند. از سوی دیگر، ایران نیز بر اساس توافق‌نامه پاریس (COP21) به کاهش ۴ الی ۸ درصدی گازهای گلخانه‌ای متعهد شده است [۸]. در نتیجه کنترل و پایش این فرایند و کاهش نرخ فلرینگ جزو اهداف اصلی کشور محسوب می‌شود.

نقش سنجش از دور در فرایند فلرینگ

علم و فناوری سنجش از راه دور این قابلیت را دارد که نگرانی‌های فنی مربوط به تشخیص سایت‌های حاوی فلرها را برطرف کند و روش‌های مشاهده‌ای مستقلی را برای به‌دست‌آوردن اطلاعات جامع در مورد این مناطق، مشخصات فلرها (دما و مساحت شعله فلرها)، حجم فلرینگ و انتشار گازهای مرتبط با آن و همچنین در مورد تغییرات مکانی–زمانی آن‌ها را ارائه دهد [۱۲]. این سیستم یک پوشش جهانی ایجاد می‌کند که توانایی ارائه مشاهدات مستقیم و قابل‌اعتماد منظم از فعالیت‌های فلرینگ در سطح جهانی فراهم می‌کند [۳]. این سیستم به دلیل مشاهدات به‌موقع و مکرر (پیوسته) و قابلیت مشاهده چند طیفی، توانایی بازیابی اطلاعات از مکان‌های خطرناک، برای شناسایی و نظارت بر پدیده فلرینگ و اثرات آن‌ها را دارد [۱۳]. خود فلرها نیز تأسیسات زیر پیکسلی[2] محسوب می‌شوند که اندازه آن‌ها

[1] Global Flaring and Methane Reduction Partnership
[2] Sub pixel

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

در تحقیقات تقریباً ۱۰ × ۱۰ مترمربع یا حتی کمتر گزارش شده است و از سوی دیگر باتوجه به درجه‌حرارت آن‌ها، بیشترین تابش حرارتی خود را طبق قانون جابه‌جایی وین در ناحیه مادون‌قرمز طیف الکترومغناطیسی ساطع می‌کنند [۳،۱۴].

شناسایی سایت‌های حاوی فلر

طی بررسی مختلف در تحقیقات مشخص شده که روش‌های شناسایی و تشخیص ناهنجاری‌های حرارتی ناشی از شعله در چهار دسته طبقه‌بندی می‌شود. روش اول، شناسایی بصری[1]، روش دوم، روش شناسایی بر اساس آستانه و یا حد ثابت[2]، روش سوم، روش شناسایی دوطیفی[3] و آخرین روش، روش شناسایی زمینه‌ای[4] است. طبق روش‌های ذکر شده، محققان الگوریتم‌های خاصی را توسعه داده و از آن‌ها برای شناسایی فلرها بهره گرفتند. برخی از این الگوریتم‌ها بر اساس یکی از ۴ روش و برخی دیگر هیبریدی از آن‌ها هستند (۳).

مروری بر الگوریتم‌های استفاده شده در بخش شناسایی سایت‌های حاوی فلر نیز به شرح زیر است:

الگوریتم‌های مختلفی از سال ۲۰۱۵ تاکنون برای شناسایی ناهنجاری‌های حرارتی ناشی از شعله فلرها توسط محققان مختلف در سراسر جهان مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این الگوریتم‌ها که بر اساس داده‌های شبانه و روزانه (باندهای مادون‌قرمز و مرئی) و سنجش‌گرهای مختلف از جمله OLI[5] و MSI[6] شکل گرفته‌اند شامل: الگوریتم‌های SMACC[7]، TAI[8]، NHI[9] و DAFI[10] هستند [۱۸–۱۵، ۱]. در سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ در ایران نیز به‌منظور شناسایی ناهنجارهای حرارتی در منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس در شهرستان عسلویه واقع در استان بوشهر، از الگوریتم جدید RXD[11] بر اساس باندهای مادون‌قرمز حرارتی با طول‌موج کوتاه (باند ۶ و ۷ و نیز باند ۱۰ و ۱۱)، ماهواره لندست ۸ [۱۹] و از الگوریتم NHI بر اساس باندهای مادون‌قرمز نزدیک و مادون‌قرمز کوتاه (باند ۵، ۶ و ۷) و لندست ۸ استفاده شد [۲۰]. برای در این دو تحقیق نتایج حاکی از این داشت که هر دو الگوریتم در شناسایی فلرها فعال منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس از خود قابلیت بسیار خوبی نشان دادند. مقادیر درصد تشخیص در الگوریتم RXD برای بازه زمانی مذکور در تمامی ماه‌ها، بالای ۷۰ درصد بود و فقط ماه اکتبر سال ۲۰۱۹ به دلیل ابرناکی بودن تصویر، این میزان به ۵۰ درصد رسید. از سوی دیگر الگوریتم NHI نیز با اضافه‌کردن باند مادون‌قرمز نزدیک در فرایند شناسایی از خود دقت بالای ۹۰ درصد را نشان داد. لازم به ذکر است که در طی فرایند شناسایی با استفاده از الگوریتم RXD مشخص شد که باندهای مادون‌قرمز حرارتی ماهواره لندست ۸ قابلیت خوبی در زمینه شناسایی ناهنجاری‌های حرارتی ناشی از شعله فلرها از خود نشان ندادند. نتایج میزان درصد تشخیص هر دو الگوریتم بر اساس باندهای استفاده شده در جداول ۱، ۲ و ۳ ارائه شدند [۱۹،۲۰].

جدول۱: میزان تشخیص ناهنجاری‌های ناشی از فلرها براساس الگوریتم RXD با استفاده از باندهای ۶ و ۷ سنجنده OLI [۱۹].

آشکارسازی ناهنجاری در باندهای مادون قرمز با طول موج کوتاه (B6-B7)					
سال	۲۰۱۸			۲۰۱۹	
ماه‌های میلادی	تعداد فلرهای شناسایی شده	تعداد فلرهای شناسایی نشده	درصد تشخیص	تعداد فلرهای شناسایی شده	تعداد فلرهای شناسایی نشده	درصد تشخیص
ژانویه	۵۵	۹	٪۸۶	۴۹	۱۵	۷۶٪۵
فوریه	۵۵	۹	٪۸۶	۵۲	۱۲	۸۱٪۲۵
مارس	۵۲	۱۲	٪۸۱	۴۸	۱۶	٪۷۵
آپریل	–	–	–	–	–	–
می	۵۱	۱۳	٪۷۹	۵۱	۱۳	٪۸۰
جون	۵۴	۱۰	٪۸۴	۴۷	۱۷	۷۳٪۴
جولای	۵۴	۱۰	٪۸۴	۴۷	۱۷	۷۳٪۴
آگوست	۴۷	۱۷	٪۷۳	۴۷	۱۷	۷۳٪۴
سپتامبر	۵۰	۱۴	٪۷۸	۴۹	۱۵	۷۶٪۵
اکتبر	۵۰	۱۴	٪۷۸	۳۱	۳۳	۴۸٪۴
نوامبر	۵۱	۱۳	٪۷۹	۴۷	۱۷	۷۳٪۴
دسامبر	۵۲	۱۲	۸۱٪۲۵	۵۴	۱۰	۸۴٪۳

[1] Visual Identification
[2] Fixed Thresholding
[3] Bi-spectral Method
[4] Contextual Methods
[5] Operational Land Imager
[6] Multi-Spectral Instrument
[7] Sequential maximum Angle Convex Cone
[8] Tri-Spectral Thermal Anomaly Index
[9] Normalized Hotspot Indices
[10] Daytime Approach for gas Flaring Investigation
[11] Reed-Xiaoli Detector

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

جدول۲: درصد تشخیص ناهنجاری‌های حرارتی توسط اجرای الگوریتم RXD در باندهای مادون قرمز حرارتی

آشکارسازی ناهنجاری در باندهای مادون قرمز حرارتی (B۱۰-B۱۱)						
سال	۲۰۱۸			۲۰۱۹		
ماه‌های میلادی	تعداد فلرهای شناسایی شده	تعداد فلرهای شناسایی نشده	درصد تشخیص	تعداد فلرهای شناسایی شده	تعداد فلرهای شناسایی نشده	درصد تشخیص
ژانویه	۰	۶۴	۰	۰	۶۴	۰
فوریه	۸	۵۶	۱۲/٪۵	۶	۵۸	۹/٪۳
مارس	۰	۶۴	۰	۰	۶۴	۰
آوریل	–	–	–	–	–	–
می	۰	۶۴	۰	۰	۶۴	۰
ژوئن	۰	۶۴	۰	۷	۵۷	٪۱۱
ژوئیه	۰	۶۴	۰	۹	۵۵	٪۱۴
آگوست	۹	۵۵	٪۱۴	۰	۶۴	۰
سپتامبر	۶	۵۸	۹/٪۳	۰	۶۴	۰
اکتبر	۴	۶۰	۶/٪۲۵	۱۵	۴۹	۲۳/٪۴
نوامبر	۰	۶۴	۰	۰	۶۴	۰
دسامبر	۱۰	۵۴	۱۵/٪۶	۱۱	۵۳	۱۷/٪۱۸

برای منطقه مورد مطالعه ذکر شده در بالا، توانایی الگوریتم NHI نیز بر پایه باندهای مادون‌قرمز حرارتی (باند ۲۰ و ۳۱) سنجش‌گر MODIS مورد بررسی قرار گرفت و روش کار در بخش شناسایی، هیبریدی از دو روش دو طیفی و آستانه ثابت بود. نتایج به‌دست آمده نشان دادند که برخلاف باندهای مادون قرمز حرارتی لندست ۸، الگوریتم بر پایه باندهای مادون قرمز حرارتی سنجش‌گر MODIS برای منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس عملکرد بسیار بهتری دارند [۲۱].

برآورد حجم گازهای ناشی از فلرها

طبق تحقیقات مختلف، محدوده مادون‌قرمز (SWIR/MIR/TIR) قابلیت بسیار خوبی در تخمین زدن حجم گاز فلر شده دارند. الگوریتم‌های مختلفی مانند Night Fire، Nighttime Lights (بر اساس باندهای M از VIIRS)، RST -FLARE (بر اساس باندهای مادون‌قرمز حرارتی)، MOVET (بر اساس باندهای مادون‌قرمز حرارتی)، SWIR-radiance FRP (آتش-توان تابشی) و سنجنده‌های DMSP، VIIRS، MODIS، SLSTR، ATSR برای تخمین حجم فلرینگ گاز استفاده شدند (۲۶-۳،۱۳،۲۲). در اکثر تحقیقات ذکر شده در بالا در مرحله آخر یک مدل رگرسیون خطی ساده به‌کار گرفته می‌شود که در آن یک پارامتر ماهواره‌ای با مقادیر

جدول۳: میزان تشخیص ناهنجاری‌های ناشی از فلرها براساس الگوریتم NHI با استفاده از باندهای ۵، ۶ و ۷ سنجنده OLI (۲۰)

سال	۲۰۱۸				۲۰۱۹			
شاخص‌ها	NHI SWNIR	NHI SWIR			NHI SWNIR	NHI SWIR		
ماه‌های میلادی	تعداد پیکسل های با ارزش مثبت	درصد تشخیص	تعداد پیکسل های با ارزش مثبت	درصد تشخیص	تعداد پیکسل های با ارزش مثبت	درصد تشخیص	تعداد پیکسل های با ارزش مثبت	درصد تشخیص
ژانویه	۵۷	٪۸۹	۴۲	۶۵/٪۶	۶۰	۹۳/٪۷	۴۱	٪۶۴
فوریه	۶۱	۹۵/٪۳	۴۵	۷۰/٪۳	۶۳	۹۸/٪۴	۳۵	۵۴/٪۶
مارس	۶۳	۹۸/٪۴	۴۶	۷۱/٪۸	۵۷	٪۸۹	۳۷	۵۷/٪۸
آپریل	–	–	–	–	–	–	–	–
می	۶۲	۹۶/٪۸	۳۷	۵۷/٪۸	۶۳	۹۸/٪۴	۴۱	٪۶۴
جون	۶۳	۹۸/٪۴	۴۴	۶۸/٪۷	۶۱	۹۵/٪۳	۳۷	۵۷/۸
جولای	۶۳	۹۸/٪۴	۳۸	۵۹/٪۳	۶۳	۹۸/٪۴	۳۴	۵۳/٪۱
آگوست	۶۳	۹۸/٪۴	۳۴	۵۳/٪۱	۶۳	۹۸/٪۴	۳۷	۵۷/٪۸
سپتامبر	۶۳	۹۸/٪۴	۳۰	۴۶/٪۸	۶۳	۹۸/٪۴	۳۸	۵۹/٪۳
اکتبر	۶۲	۹۶/٪۸	۴۱	٪۶۴	۴۷	۷۳/٪۴	۳۲	٪۵۰
نوامبر	۶۰	۹۳/٪۷	۴۵	۷۰/٪۳	۶۳	۹۸/٪۴	۴۳	۶۷/٪۱
دسامبر	۶۲	۹۶/٪۸	۴۲	۶۵/٪۶	۵۳	۸۲/٪۸	۳۵	۵۴/٪۶

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

حجم گازهای زمینی گزارش شده جفت می‌شود. از اشکالات اصلی این روش وابستگی آن به داده‌های زمینی با دقت بالا است [۳]. به‌منظور تخمین حجم گازهای فلرشده منطقه ویژه اقتصادی انرژی پارس از سه روش مدل‌سازی با رویکردهای متفاوت و بر پایه تصاویر ماهواره‌ای بهره‌گیری شد، از جمله مدل رگرسیون چندمتغیره خطی (Enter-Stepwise)، شبکه عصبی مصنوعی (MLP -RBF) و درخت تصمیم. داده‌های ماهواره‌ای این بخش شامل مقادیر باندهای ۶ و ۷ سنجش‌گر OLI و باندهای ۱۰ و ۱۱ سنجش‌گر TIRS ماهواره لندست ۸، باند M10 سنجش‌گر VIIRS از ماهواره Suomi-NPP و داده‌های آلاینده‌های NO2، SO2، مونوکسیدکربن و ازن سنجش‌گر TROPOMI و ماهواره سنتینل-۵P بود. در بخش مدل‌سازی، میزان حجم فلرینگ به‌عنوان متغیر وابسته و مقادیر استخراج شده از ماهواره‌ها به‌عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شدند. با توجه به توانایی بالای مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی در شناسایی روابط غیرخطی متغیرها، این مدل با رویکرد MLP در بین سایر مدل ها از خود دقت بسیار بالاتری را نشان داد و میزان R^2 آن ۷۳ درصد بود [۲۷،۲۸].

در تحقیق دیگری در منطقه مورد مطالعه در سال های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۹ ، از دو الگوریتم BTE و MOVET در جهت برآورد حجم گازهای فلر شده بر پایه باندهای ۲۰، ۲۲ و ۳۱ (در محدوده مادون‌قرمز حرارتی) سنجنده MODIS استفاده شد که نتایج حاکی از این بود مدل MOVET نسبت به مدل BTE در بخش برآورد حجم قابلیت بهتری دارد [۲۱].

نتیجه‌گیری

در نهایت، باتوجه به نقش پیامدهای زیست‌محیطی فرایند فلرینگ در زمینه انتشار گسترده گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های محلی، مدیریت همه‌جانبه آن و وضع مقررات کارآمد در راستای کاهش میزان فلرینگ در سطح کشور و جهان بسیار حائز اهمیت است. از سوی دیگر، کشورهای مختلف در جهت پیروی از تعهدات بین‌المللی مانند توافق‌نامه پاریس و به‌منظور حفظ سلامت عمومی و پایداری زیست‌محیطی مستلزم به کاهش نرخ فلرینگ سالیانه خود می‌باشند. در این راستا، فناوری سنجش‌ازدور با ارائه پوشش جهانی، تکرارپذیری بالا و قابلیت چندطیفی، امکان شناسایی به‌موقع و دقیق سایت‌های فلرینگ و ردیابی تغییرات مکانی-زمانی آن‌ها را فراهم می‌کند و توانسته خلأهای اطلاعاتی موجود را تا حدودی بر طرف سازد. در ایران برای شناسایی فلرها در یکی از مناطق صنعتی کشور از دو الگوریتم RXD و NHI استفاده شد که هر دو الگوریتم در جهت شناسایی ناهنجاری‌های حرارتی ناشی از مشعل‌ها از خود دقتی بیش از ۷۰ تا ۹۰ درصد نشان دادند. همچنین برای منطقه موردنظر با استفاده از روش‌های مدل‌سازی مختلف مانند به‌کارگیری مدل‌های یادگیری ماشین-شبکه عصبی MLP حجم گازهای فلرشده برآورده شد که استفاده از این روش‌ها بر پایه اطلاعات ماهواره‌ای می‌تواند وابستگی به داده‌های میدانی را به طرز چشمگیری کاهش دهد. بنابراین، ادغام پایش ماهواره‌ای مستمر با الگوریتم‌های هوشمند و ارتقای زیرساخت‌های انتقال و بهره‌برداری از گاز مازاد، می‌تواند ضمن کاهش مستقیم فلرینگ، به بهبود کیفیت هوا، کاهش اثرات اقلیمی و تحقق اهداف زیست‌محیطی کشور کمک شایانی نماید.

نویسندگان اعلام می‌دارند که این مقاله توسط هوش مصنوعی نگارش نشده است. کل و یا بخشی از آن نیز در هیچ‌کدام از پایگاه‌های اطلاعاتی چاپ نشده است.

فهرست منابع

[1]. Sarkari, M., Jamshidi, B., Khoshooei, M. A., & Fazlollahi, F. (2022). Flare gas reduction: A case study of integrating regeneration gas in flash gas compression network, Fuel, Vol. 318, 1-11.

[2]. Aigbe, G. O., Cotton, M., & Stringer, L. C. (2023). Global gas flaring and energy justice: An empirical ethics analysis of stakeholder perspectives, Energy Research & Social Science, Vol. 99, 1-17.

[3]. Faruolo, M., Caseiro, A., Lacava, T., & Kaiser, J. W. (2021). Gas flaring: a review focused on its analysis from space. IEEE geoscience and remote sensing magazine, Vol. 9, No.1, 258-281.

[4]. Clemente-Reyes, A., Martin-Del-Campo, C., Nelson, P. F., & Duran-Moreno, A. (2023). A comparative assessment of open flame flares and enclosed ground flares for cleaner and safer hydrocarbon production in Mexico, Cleaner Engineering and Technology, Vol.16, 1-16.

[5]. Motte, J., Alvarenga, R. A., Thybaut, J. W., & Dewulf, J. (2021). Quantification of the global and regional impacts of gas flaring on human health via spatial differentiation, Environmental Pollution, Vol. 291, 1-6.

[6]. Orisaremi, K. K., Chan, F. T., Chung, S. H., & Fu, X. (2022). A sustainable lean production framework based on inverse DEA for mitigating gas flaring, Expert Systems with Applications, Vol. 206, 1-13.

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

[7]. شعبانی، احمد. (۱۴۰۳). کربن دی اکسید: مهار، مدیریت و استفاده بهینه از آن. نشاء علم، دوره ۱۵، شماره ۱، ۴۳-۵۹.

[8]. وهاب پور، امیر.، شجاعی، سیدمحمد.، طهماسب زاده، محمد.، رسولی، فاطمه. (۱۳۹۷). بررسی آثار محیط زیستی گاز مشعل در ایران و اهمیت آن در راستای تعهدات کشور در توافق پاریس. فصلنامهٔ مطالعات راهبردی سیاست گذاری عمومی، دوره ۸، شماره ۲۷، ۱۳۳-۱۵۴.

[9]. Egwurugwu, J. N., Nwafor, A., & Ezekwe, S. (2013). Impacts of prolonged exposure to gas flares on some blood indices in humans in the Niger Delta Region, Nigeria. Archives of Applied Science Research, 2013, Vol. 5, No. 1, 98-104.

[10].https://www.worldbank.org/en/programs/gasflaringreduction.

[11]. Saeed, M., Roayaei, E., Jazayeri, M.R., Saboormaleki, M., Minaei, M. & National Emadi, M.A. (2012). Database of CO_2 Emission Sources and Analysis of Geological Structures for a Carbon Sequestration Project in Iran. SPE Middle East Health, Safety, Security, and Environment Conference and Exhibition, Abu Dhabi 2-4 April 2012. Society of Petroleum Engineers, 1-10.

[12]. Wu, W., Liu, Y., Rogers, B. M., Xu, W., Dong, Y., & Lu, W. (2022). Monitoring gas flaring in Texas using time-series sentinel-2 MSI and landsat-8 OLI images, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 114, 1-12.

[13]. Anejionu, O. C., Blackburn, G. A., & Whyatt, J. D. (2015). Detecting gas flares and estimating flaring volumes at individual flow stations using MODIS data, Remote Sensing of Environment, Vol. 158, 81-94.

[14]. Zhang, X., Scheving, B., Shoghli, B., Zygarlicke, C., & Wocken, C. (2015). Quantifying Gas Flaring CH_4 Consumption Using VIIRS, Remote sensing, Vol. 7, No. 8, 9529-9541.

[15]. Chowdhury, S., Shipman, T., Chao, D., Elvidge, C. D., Zhizhin, M., & Hsu, F. C. (2014, July). Daytime gas flare detection using Landsat-8 multispectral data, In 2014 IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium (258-261). IEEE.

[16]. Liu, Y., Zhi, W., Xu, B., Xu, W., & Wu, W. (2021). Detecting high-temperature anomalies from Sentinel-2 MSI images, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 177, 174-193.

[17]. Faruolo, M., Falconieri, A., Genzano, N., Lacava, T., Marchese, F., & Pergola, N. (2022a). A daytime multisensor satellite system for global gas flaring monitoring, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 60, 1-17.

[18]. Faruolo, M., Genzano, N., Marchese, F., & Pergola, N. (2022b). A tailored approach for the global gas flaring investigation by means of daytime satellite imagery, Remote Sensing, Vol. 14, No. 24, 1-18.

[19]. Asadi-Fard, E., Falahatkar, S., Tanha Ziyarati, M., Zhang, X., & Faruolo, M. (2023). Assessment of RXD Algorithm Capability for Gas Flaring Detection through OLI-SWIR Channels, Sustainability, Vol.15, No. 6, 1-20.

[20]. اسدی فرد، المیرا.، فلاحتکار، سامره.، تنها زیارتی، مهدی.، (۱۴۰۳). ارزیابی و مقایسه پتاسیل دو الگوریتم RXD و NHI برای شناسایی ناهنجاری های حرارتی مشعل سوزی با استفاده از باندهای مادون قرمز با طول موج کوتاه ماهواره لندست ۸، پژوهش های جغرافیای طبیعی، شماره ۵۶، دوره ۱، ۱۰۳-۱۲۲.

[21]. رکنی، زهرا. (۱۴۰۳). برآورد حجم گاز مشعل سوزی با استفاده از الگوریتم BTE و MOVET در استان‌های بوشهر و خوزستان. پایانامه ارشد مهندسی محیط زیست گرایش ارزیابی و آمایش سرزمین، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس.

[22]. Elvidge, C.D., Ziskin. D., Baugh, K.E., Tuttle, B.T., Ghosh, T., Pack, D.W., Erwin, E.H., & Zhizhin, M. (2009). A fifteen year record of global natural gas flaring derived from satellite data, Energies, Vol.2, No. 3, 595-622.

[23]. Elvidge, C.D., Zhizhin, M., Baugh, K., Hsu, F., Ghosh, T. (2015). Methods for Global Survey of Natural Gas Flaring from Visible Infrared Imaging Radiometer Suite Data, Energies, Vol. 9, No.14, 1-15.

[24]. Faruolo, M., Coviello, I., Filizzola, C., Lacava, T., Pergola, N., Tramutoli, V. (2014). A satellite-based analysis of the Val d'Agri Oil Center (southern Italy) gas flaring emissions, Natural Hazards and Earth System Sciences, Vol. 14, No.10, 2783–2793.

[25]. Faruolo, M., Lacava, T., Pergola, N., & Tramutoli, V. (2018). On the potential of the RST-FLARE algorithm for gas flaring characterization from space, Sensors, Vol.18, No.8, 1–21.

[26]. Faruolo, M., Lacava, T., Pergola, N., & Tramutoli, V. (2020). The VIIRS-Based RST-FLARE Configuration: The Val d'Agri Oil Center Gas Flaring Investigation in Between 2015–2019, remote sensing, Vol. 12, No. 819, 2-20.

[27]. Asadi-Fard, E., Falahatkar, S., Tanha Ziarati, M., & Zhang, X. (2024a). A new perspective on estimation of gas flaring volume from space: OLI/TIRS, VIIRS, and TROPOMI. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, Vol. 129, No.11, 1-12.

[28]. Asadi-Fard, E., Falahatkar, S., Tanha Ziyarati, M., & Zhang, X. (2024b). A new achievement of satellite-based gas flaring volume estimation: decision tree modeling, Earth Science Informatics, 1-15.

شاپا چاپی 2008-935X شاپا الکترونیکی 2783-0934 https:/www.sciencecultivation.ir

استفاده از فناوری بلاک‌چین در ایمنی غذایی و اصالت‌سنجی

منصوره مظاهری*[1]

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله ترویجی

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت
۰۹ خرداد ۱۴۰۴
تاریخ بازنگری
۰۱ تیر ۱۴۰۴
تاریخ پذیرش
۱۷ تیر ۱۴۰۴
تاریخ انتشار
۳۰ آذر ۱۴۰۴

کلیدواژه‌ها:
بلاک‌چین، ایمنی غذایی،
اصالت‌سنجی، تقلب، حلال

چکیده

امروزه، افزایش نگرانی‌ها در مورد ایمنی غذایی، نیاز به سیستم‌های شفاف و قابل‌اعتماد را دوچندان کرده است. فناوری بلاک‌چین، با ویژگی‌هایی همچون تغییرناپذیری، امکان ردیابی دقیق و شفافیت، فرصت مناسبی برای تحول در زنجیره تأمین غذا فراهم کرده و راه‌حلی نوین برای بهبود ایمنی غذایی ارائه می‌دهد. این مقاله به بررسی کاربرد فناوری بلاک‌چین در ایمنی و اصالت‌سنجی غذا و ادعاها در این خصوص پرداخته و با توجه به ارزش بازار غذای حلال و چالش‌های قابل‌توجه آن، چگونگی افزایش قابلیت ردیابی، اصالت و انطباق با استانداردهای ایمنی و حلال در سراسر زنجیره‌های تأمین جهانی توسط این فناوری نوظهور را بیان می‌کند. همچنین به برخی از استفاده‌های این فناوری توسط برخی از شرکت‌های تولیدکننده مواد غذایی اشاره شده است. اگرچه فناوری بلاک‌چین از طریق قابلیت‌های تغییرناپذیر ثبت سوابق، مکانیسم‌های تأیید توزیع‌شده و شفافیت، راه‌حل‌های امیدوارکننده‌ای ارائه می‌دهد، اما هنوز نوپا بوده و با چالش‌های اساسی روبه‌رو است، لذا تدوین و اجرای مقررات نظارتی در مراحل مختلف پیاده‌سازی آن ضروری به نظر می‌رسد.

استناد: مظاهری منصوره. (۱۴۰۴). 'استفاده از فناوری بلاک‌چین در ایمنی غذایی و اصالت سنجی ,*نشاء علم*,، ۱۵ (۲)، ۱۶۶-۱۷۲.

ناشر: بنیاد پیشبرد علم و فناوری در ایران و انجمن بیوشیمی فیزیک ایران
© نویسندگان حق نشر و کلیه حقوق انتشار را برای خود حفظ می‌کنند.

* عهده‌دار مکاتبات: استادیار. تلفن: ۳۲۸۲۳۷۱۶ (۹۸۲۶+)، آدرس الکترونیکی: m_mazaheri@standard.ac.ir
[1] گروه پژوهشی سم‌شناسی مواد غذایی، پژوهشکده صنایع غذایی و فرآورده‌های کشاورزی، پژوهشگاه استاندارد، کرج

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

مقدمه

وجود آلودگی‌ها و تقلب در صنعت غذا تهدیدات جدی هستند و برای کنترل کیفیت، نیاز به مدیریت دقیق داده‌ها در کل زنجیره غذا وجود دارد. بلاک‌چین فناوری است که اطلاعات را به‌صورت زنجیره‌ای از بلوک‌ها ذخیره می‌کند. هر بلوک شامل اطلاعاتی متصل به بلوک قبلی است و امکان تغییر در آن وجود ندارد؛ لذا داده‌ها در سیستم بلاک‌چین، شفاف و قابل‌اعتماد می‌باشند. در این فناوری، در بازه زمانی مشخصی، داده‌های جمع‌آوری شده از تراکنش‌ها در یک بلوک اطلاعاتی ذخیره شده و با روش رمزگذاری پیوسته، از تغییر محافظت می‌شود [۱]. ویژگی دیگر آن، پخش شدن اطلاعات در شبکه (گره‌ها) است. فناوری بلاک‌چین برای نخستین‌بار در زمینه رمزارزها مطرح شد، اما با پیشرفت‌های فناوری، حوزه کاربرد آن در سطح بین‌المللی گسترش یافت [۲]. فناوری بلاک‌چین امکان ردیابی دقیق محصولات غذایی از مزرعه تا سفره را فراهم می‌کند [۴،۳] و برای ردیابی و شناسایی نقطه تقلب غذایی و احراز هویت ایمنی مواد غذایی ارزشمند است [۵]. در زنجیره تأمین مواد غذایی، غذا از مکان‌های مختلفی شامل تولید، فرآوری، حمل‌ونقل، توزیع و فروشگاه تا مصرف‌کننده عبور می‌کند [۶]. سوابق مربوط به محصولات غذایی در این زنجیره به‌درستی نگهداری نمی‌شوند. بنابراین سیستم فعلی در زنجیره تأمین مواد غذایی ناکارآمد و غیرقابل‌اعتماد است [۷]. استفاده از انواع مختلف حسگرها و فناوری‌های دیجیتال می‌تواند اطلاعات بلادرنگی در مورد شرایط محیطی، تولید، فرآوری، بسته‌بندی، ذخیره‌سازی، حمل‌ونقل و توزیع محصولات غذایی تولید کند [۹، ۸]. این سوابق را می‌توان پس از تأیید و اعتبارسنجی با استفاده از این فناوری به بلوک‌ها منتقل کرد. قراردادهای هوشمند در این سیستم می‌توانند برای مدیریت استانداردهای ایمنی مواد غذایی، گواهینامه‌های کیفیت مواد غذایی، شیوه‌های خوب کشاورزی و تولید در مراحل مختلف معاملات غذایی اجرا شوند [۴،۱۰،۱۱]. اگر رویه‌ها و استانداردهای موردنیاز از تولید تا سبد مصرف‌کننده برآورده نشود، قرارداد هوشمند به طور خودکار فرآیند تأمین مواد غذایی را رد می‌کند و اطلاعات اجازه ورود به بلاک‌چین را ندارند [۱۲]. تمام اطلاعات مربوط به محصول از تولید تا فروشگاه خرده‌فروشی می‌تواند با اسکن یک کد QR برچسب‌گذاری شده روی محصول در دسترس مصرف‌کننده قرار گیرد. افراد مشارکت‌کننده در زنجیره غذایی، هر یک به‌عنوان یک گره عمل می‌کنند و هر گره می‌تواند اطلاعات را در پلتفرم خدمات عمومی بدون دانستن جزئیات خصوصی طرفین مشاهده کند [۱۳،۱۴].

بلاک‌چین با اطلاعات شامل منشأ محصولات، فرایند تولید، شرایط حمل‌ونقل و کیفیت نهایی محصول، می‌تواند چالش‌ها را به حداقل برساند. به عنوان‌مثال، کافی است گوشی خود را روی کد مربعی (QR Code)درج روی بسته گوشت موجود در یخچال سوپرمارکت ببریم تا اطلاعاتی نظیر تاریخ تولد حیوان، استفاده از آنتی‌بیوتیک، واکسیناسیون و نیز موقعیت و تاریخ کشتار را مشاهده کنیم.

کاربرد فناوری بلاک‌چین در ایمنی مواد غذایی

تجارت رو به رشد مواد غذایی، حفظ کیفیت و ایمنی مواد غذایی را دشوارتر کرده است [۱۵]. مسائل ایمنی در محصولات دامی عمدتاً به دلیل استفاده از هورمون‌ها، بقایای آنتی‌بیوتیک‌ها، تقلب، بیماری‌های مشترک انسان و دام، آلودگی میکروبی، خوراک دام با بقایای آفت‌کش‌ها یا علف‌کش‌ها، فلزات سنگین و سایر آلودگی‌ها [۱۶] نیازمند نظارت و ثبت لحظه‌ای دمای جابه‌جایی دام، مواد غذایی و رطوبت نسبی از مزرعه تا سفره، برای پشتیبانی از ایمنی و کیفیت محصولات و همچنین بهبود مدیریت و بهره‌وری است [۴]. فناوری بلاک‌چین امکان ردیابی متغیرهای زیست‌محیطی مؤثر بر اقلام فاسدشدنی را در زمان واقعی فراهم می‌کند و ذی‌نفعان را قادر می‌سازد تا شرایط صحیح ذخیره‌سازی و حمل‌ونقل را تأیید کنند [۱۷]. با استفاده از این قابلیت، موارد آلوده یا خطرناک را می‌توان به‌سرعت شناسایی و در سیستم گنجانده، فراخوان‌های هدفمند را تسریع و شیوع بیماری‌های ناشی از غذا را به حداقل رساند. بنابراین در زنجیره تأمین مواد غذایی، طرفین به‌صورت لحظه‌ای از مرحله‌ای که معیارهای استاندارد فرآیند با آن مطابقت ندارند، مطلع می‌شوند تا فرآیند را اصلاح کنند و فراخوان آن دسته از محصولات که به طور خاص تحت‌تأثیر قرار گرفته‌اند، می‌تواند بسیار سریع و آسان و مقرون‌به‌صرفه انجام شود. این موضوع منجر به حفظ اعتماد خریدار به ایمنی و کیفیت محصول و اعتماد به تولید می‌شود [۱۸، ۱۷]. خوراک دام، تجویز داروهای دامپزشکی و همچنین آنتی‌بیوتیک‌ها و گونه‌ها، نژادها و تعداد دامی که توسط کشاورزان پرورش داده و مدیریت می‌شوند، نیز برای ثبت در بلاک‌چین ضروری است. اگر مقدار داروها، هورمون‌ها و

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

آنتی‌بیوتیک‌های مورد استفاده توسط کشاورزان متناقض و نامناسب یا غیرقانونی باشد، قرارداد هوشمند به طور خودکار تراکنش را خاتمه می‌دهد و داده‌ها در بلاک‌چین مستند نمی‌شوند [۱۹]. ثبت اطلاعات ژنومی و پروتئومیک دام در بلاک‌چین می‌تواند داده‌های تغییرناپذیری در مورد اینکه آیا محصولات دامی تولید شده از حیوانات یکسان یا متفاوت هستند، ارائه دهد [۲۰، ۲۱].

مزایای بلاک‌چین در ایمنی غذایی

سیستم‌های سنتی موجودی کالا و روش‌های دستی ثبت سوابق در زنجیره‌های تأمین می‌توانند منجر به خطا، اختلاف اطلاعات و اطلاعات غیرقابل‌اعتماد شوند [۲۲]. این امر می‌تواند منجر به برچسب‌گذاری اشتباه محصولات، قابلیت ردیابی پایین و مشکل در شروع فراخوان برای اقلام معیوب یا منقضی شده شود. فناوری بلاک‌چین تمام تراکنش‌ها و رویدادها را در سراسر زنجیره تأمین به روشی غیرمتمرکز، شفاف، قابل حسابرسی و غیرقابل دست‌کاری ذخیره می‌کند و دقت و اعتبار اطلاعات را تضمین می‌کند [۲۲] و با اطمینان از رسیدن اقلام غذایی معتبر به دست مصرف‌کنندگان به‌جای اقلام تقلبی، بر امنیت برند تأثیر می‌گذارد. قراردادهای هوشمند بر اساس معیارهای تعیین‌شده می‌توانند شرایطی را برای معامله، شیوه‌های تجاری معقول یا احراز اصالت (مثلاً محصولات ارگانیک و روش‌های کشتار) تعریف کنند که تضمین می‌کند که فقط اقلام واقعی و قانونی به بازار می‌رسند [۲۳]. هر خرید، تغییر مالکیت و تغییر وضعیت محصول می‌تواند به طور ایمن در یک دفتر کل غیرمتمرکز ثبت شود. ذی‌نفعان می‌توانند گردش کالاهای غذایی را در هر سطح از زنجیره تأمین پیگیری و تأیید کنند، لذا شناسایی هرگونه تلاش برای کلاهبرداری یا تغییرات غیرمجاز ساده می‌شود [۲۴]. مزایای استفاده از بلاک‌چین در مواد غذایی شامل موارد زیر است:

- **ردیابی سریع و دقیق**: با بلاک‌چین، در صورت مشاهده آلودگی یا عیب در یک محصول غذایی، مسئولان می‌توانند به‌سرعت منبع مشکل را پیدا کرده و دسته‌ها و مقادیر تولید تحت‌تأثیر را شناسایی کنند. مشتریان نیز می‌توانند اطلاعات جامعی در مورد اقلامی که خریداری می‌کنند، به دست آورند یا بر اساس سلیقه و نیازهای غذایی خود انتخاب کنند [۲۵]. به‌عنوان‌مثال، شرکت Walmart با استفاده از پلتفرم IBM Food Trust توانسته زمان ردیابی منشأ محصولات را از ۷ روز به ۲/۲ ثانیه کاهش دهد [۲۶].
- **شفافیت و اعتماد مصرف‌کننده:** با استفاده از بلاک‌چین، اطلاعات مربوط به هر مرحله از زنجیره تأمین غذا به‌صورت دائمی و غیرقابل‌تغییر ثبت می‌شود و با دسترسی به اطلاعات دقیق درباره منشأ و مسیر محصولات غذایی، مصرف‌کنندگان می‌توانند با اطمینان بیشتری خرید کنند [۲۷]. شرکت‌هایی مانند Carrefour با ارائه اطلاعات دقیق درباره منشأ و مسیر محصولات غذایی، اعتماد مصرف‌کنندگان را افزایش داده‌اند. مصرف‌کنندگان می‌توانند با اسکن کد QR روی بسته‌بندی، اطلاعات کاملی درباره محصول دریافت کنند [۲۸].
- **نظارت و پایش عوامل تأثیرگذار بر فساد مواد غذایی**: نظارت بر عواملی مانند دما، رطوبت، موقعیت مکانی و استانداردهای کیفیت از طریق ترکیب بلاک‌چین با ابزارها و حسگرهای اینترنت اشیا امکان‌پذیر است[۲۹]. لذا هرگونه انحراف از استانداردها به‌سرعت تشخیص داده می‌شود و امکان اصلاح سریع خطا و کاهش مشکلات بعدی فراهم می‌گردد. در سراسر زنجیره تأمین مواد غذایی، دستگاه‌های اینترنت اشیا واحدهای حسگر، قراردادهای هوشمند و بلاک‌چین در حال ثبت و ذخیره اطلاعات در لحظه هستند [۲۹] و در صورت هرگونه انحراف از شرایط موردنیاز، اقدامات یا هشدارهای مربوطه فعال می‌شوند [۲۵].
- **مبارزه با تقلب غذایی**: بلاک‌چین با ایجاد سوابق تغییرناپذیر، امکان تقلب را کاهش می‌دهد و به مقامات نظارتی و حسابرسان این امکان را می‌دهد که انطباق با دستورالعمل‌ها و قوانین غذایی را بررسی کنند [۳۰].
- **اتوماسیون و کاهش واسطه‌ها:** برخی از فرآیندها در زنجیره تأمین مواد غذایی، می‌توانند با کمک توافق‌نامه‌های هوشمند که قراردادهای خوداجرا با قوانین و شرایط از پیش تعیین‌شده هستند، خودکار شوند و نیازی به واسطه‌هایی مانند مؤسسات مالی نیست. این امر خطر تأخیر در پرداخت یا اختلافات را کاهش می‌دهد و نیاز به روش‌های پرداخت مرسوم را از بین می‌برد [۳۱].
- **کاهش هزینه‌ها و بهبود کارایی در زنجیره تأمین مواد غذایی :**این پیشرفت فنی، هزینه‌های مدیریتی مرتبط با کاغذبازی و تطبیق اطلاعات را کاهش داده است و بسیاری از رویه‌ها و فعالیت‌ها در زنجیره تأمین، مانند تأیید خرید و اشتراک‌گذاری داده‌ها، ساده‌سازی می‌شوند و در نتیجه عملیات بهبود یافته و منجر به بهره‌وری هزینه می‌شوند [۳۲].

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

- **پایداری زیست‌محیطی و غذایی:** فناوری بلاک‌چین امکان ردیابی ضایعات، رفتارهای غیراخلاقی و شیوه‌های ناپایدار در صنعت مواد غذایی را از طریق نظارت و شفافیت در لحظه فراهم می‌کند. با دسترسی به اطلاعات معتبر، ذی‌نفعان می‌توانند انتخاب‌های خود در زمینه تأمین، حمل‌ونقل و مدیریت ضایعات را بهینه کنند و اطلاعات مربوط به تولید مواد غذایی سازگار با محیط‌زیست و اخلاقی را در اختیار مشتریان قرار دهند [۳۱].
- **بهبود رفاه حیوانات:** فناوری بلاک‌چین با فراهم کردن امکان ردیابی و تأیید کل چرخه عمر محصولات دامی، از جمله مدیریت در مزرعه و خارج از مزرعه موجب تضمین شفافیت زنجیره تأمین شده و مصرف‌کنندگان می‌توانند با دسترسی به جزئیات مربوط به شرایط پرورش و سوابق پزشکی [۳۳]، تصمیمات آگاهانه‌ای در مورد محصولات دامی بگیرند. استفاده از حسگرها، روش‌های بیومتریک، هوش مصنوعی و تجزیه‌وتحلیل کلان داده می‌تواند برنامه‌های اصلاح نژاد را بهبود بخشد و نژادهای مقاوم در برابر استرس را انتخاب کند [۳۴].
- **مدیریت ضایعات مواد غذایی:** هر ساله تقریباً یک‌سوم از کل تولید مواد غذایی جهان، معادل بیش از یک میلیارد تن و به ارزش ۲/۶ تریلیون دلار هدر می‌رود. با وجود این، بیش از ۸۲۰ میلیون نفر در سراسر جهان به وعده‌های غذایی مغذی دسترسی ندارند. همچنین، ضایعات مواد غذایی در سراسر زنجیره تأمین مواد غذایی تقریباً ۶ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای جهانی را تشکیل می‌دهد و خطرات زیست‌محیطی را به همراه دارد [۳۵،۳۶]. فناوری بلاک‌چین امکان شناسایی و کاهش ضایعات را فراهم می‌کند. مطالعه مجمع جهانی اقتصاد سال ۲۰۲۰ نشان می‌دهد که ادغام بلاک‌چین پتانسیل کاهش چشمگیر ۲۵ درصدی ضایعات مواد غذایی را دارد [۳۷]. این رویکرد، همراه با افزایش طول عمر مفید محصول، ضایعات پس از خرید را به میزان قابل‌توجهی کاهش می‌دهد و همه مشارکت‌کنندگان در زنجیره تأمین مواد غذایی را به اتخاذ تصمیمات مسئولانه به طور مداوم ترغیب می‌کند [۳۸].

ردیابی مواد غذایی مبتنی بر فناوری بلاک‌چین

فناوری بلاک‌چین یک سیستم ثبت داده‌های آنلاین تغییرناپذیر و مبتنی بر مکانیسم اجماع را در زنجیره تأمین در تمام مراحل تولید مواد غذایی ارائه می‌دهد [۱۵]. قابلیت ردیابی مواد غذایی مبتنی بر این فناوری را می‌توان به‌سادگی به‌عنوان یک جریان سه‌لایه نشان داد که در آن لایه جریان فیزیکی برای زنجیره تأمین مواد غذایی فیزیکی است که در آن محصولات غذایی از تولیدکننده به خریدار می‌روند. لایه جریان دوم برای یک سیستم ثبت دیجیتال است که در آن ثبت داده‌های لایه جریان فیزیکی هم‌زمان با استفاده از انواع مختلف حسگرها و یا کد QR و سایر فناوری‌های دیجیتال در حال انجام است. لایه جریان سوم یک شبکه زیرساخت بلاک‌چین دیجیتال است که در آن با استفاده از یک قرارداد هوشمند، داده‌های ثبت شده در لایه جریان دوم توسط همه طرف‌های شرکت‌کننده با یک الگوریتم اجماع تأیید می‌شود و در هر مرحله از زنجیره تأمین یک بلوک داده مجازی تشکیل می‌دهد. این لایه جریان همچنین از لایه جریان فیزیکی پیروی می‌کند و زنجیره‌ای از بلوک‌های داده دیجیتال را تشکیل می‌دهد [۳۳]. اگر هر شخصی سعی در هک کردن یا تغییر اطلاعات ثبت شده داشته باشد، اجازه ورود مقدار تغییر یافته به آن بلاک‌چین خاص را نمی‌دهد، به این معنی که یک پلتفرم ثبت سوابق تغییرناپذیر است.

کاربرد فناوری بلاک‌چین در صنعت غذای حلال

بازار جهانی غذای حلال به دلیل افزایش جمعیت مسلمانان که انتظار می‌رود تا سال ۲۰۵۰ به ۲.۸ میلیارد نفر برسد [۳۹] و افزایش آگاهی از محصولات حلال در میان مصرف‌کنندگان غیرمسلمان که به دنبال گزینه‌های غذایی اخلاقی و سالم‌تر هستند به‌سرعت در حال گسترش است [۴۰]. اما این صنعت با چالش‌های مهمی روبه‌رو است. مصرف‌کنندگان غذای حلال نگران اصالت حلال بودن محصول هستند [۴۱]. بنابراین، اعتماد به اعتبار و انطباق گواهینامه حلال در تمام مراحل زنجیره تأمین به دلیل مشکلات شفافیت، ردیابی و اعتماد، کار دشواری است. کلاهبرداری غذایی در صنعت حلال شامل برچسب‌گذاری اشتباه محصولات غیرحلال به‌عنوان حلال گرفته تا آلودگی در حین پردازش و حمل‌ونقل می‌باشد. سیستم‌های صدور گواهینامه سنتی آسیب‌پذیر بوده و فاقد قابلیت‌های تأیید در زمان واقعی هستند. فقدان یک گواهینامه حلال پذیرفته شده جهانی و تنوع استاندارد گواهینامه حلال به دلیل تفاوت‌های منطقه‌ای و اختلاف‌نظرها در بین مکاتب فکری اسلامی یک چالش است که اطمینان از اصالت و انطباق گواهینامه‌های حلال را زیر سوال می‌برد [۲۱]. اطلاعات مربوط به ردیابی غذای حلال به یک عامل کلیدی برای مصرف‌کنندگان مسلمان تبدیل شده است. مصرف‌کنندگان غذای حلال به اعتماد و شفافیت

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

خاصی از منابع خام، ترکیبات، تولید و توزیع نیاز دارند. پیاده‌سازی بلاک‌چین می‌تواند شرایط مناسبی را برای سازمان و مصرف‌کنندگان فراهم کند تا با ارائه اطلاعات ردیابی، شفافیت حلیت را مشخص نمایند[۴۳].

فناوری بلاک‌چین در صنعت غذای حلال، چالش‌های احراز هویت را از طریق صدور گواهینامه دیجیتال، مکانیسم‌های تأیید و امنیت رمزنگاری برطرف کرده و از طریق بررسی‌های خودکار انطباق، نظارت مداوم، پروتکل‌های استاندارد و حسابرسی شفاف، انطباق با قوانین را افزایش می‌دهد.

چالش‌های پیاده‌سازی بلاک‌چین

توسعه فناوری بلاک‌چین هنوز نوپا بوده و مهارت و آگاهی در مورد آن کافی نیست. برای کارآفرینان جدید یا مشاغل کوچک و متوسط امکان استفاده از این فناوری وجود ندارد. در زنجیره تأمین مواد غذایی برخی شرکت‌کنندگان کشاورزانی هستند که در فناوری‌های پیشرفته مهارت ندارند، در سطح جهانی، عموم مردم این فناوری را به‌عنوان یک فناوری مورد استفاده برای ارزهای دیجیتال می‌دانند و نوسانات زیاد و تغییرات روزانه زیاد در ارزش و سهم بازار ارزهای دیجیتال، تأثیر روانی منفی بر اعتبار آن دارد. محرمانگی اطلاعات نیز یک چالش است، زیرا صنایع در برابر به اشتراک گذاشتن اطلاعات خصوصی خود با رقبا در بازار مقاومت می‌کنند. فقدان استانداردهای مشترک ممکن است به‌عنوان مانعی برای اجرای آن در بخش مواد غذایی واقعی عمل کند. چالش‌های اساسی برای پیاده‌سازی این فناوری شامل هزینه‌های اولیه بالا، نیاز به همکاری زنجیره تأمین، حفظ امنیت و حریم خصوصی و مسائل فنی و مقیاس‌پذیری به دلیل مدیریت حجم بالای داده‌ها و اطمینان از سازگاری سیستم‌ها می‌باشد.

نمونه‌های واقعی از پیاده‌سازی بلاک‌چین

از سال ۲۰۱۹، بسیاری از کسب‌وکارها، از جمله شرکت‌هایی مانند والمارت و نستله، از فناوری بلاک‌چین برای دیجیتالی کردن زنجیره تأمین خود استفاده کرده‌اند. والمارت از این فناوری برای ردیابی و شناسایی سریع‌تر منابع آلودگی در محصولات غذایی بهره می‌برد. این امر ضمن تسریع فراخوان محصولات، هزینه‌ها را نیز کاهش می‌دهد. همچنین، نستله با استفاده از بلاک‌چین، امکان ردیابی منشأ قهوه خود را فراهم کرده و مشتریان می‌توانند با اسکن کد QR بر روی بسته‌بندی، اطلاعات دقیقی درباره منشأ محصول دریافت کنند. شرکت‌هایی مانند Carrefour و Bumble Bee Foods به ترتیب از بلاک‌چین برای ردیابی محصولات دامی در زنجیره تأمین خود بهره می‌گیرند. OwlTing شرکت تایوانی است که با استفاده از پلتفرم OwlChain، امکان ردیابی کامل محصولات غذایی از تولید تا مصرف را فراهم کرده است. برخی از سیستم‌های ردیابی مبتنی بر بلاک‌چین و اینترنت اشیا برای نظارت بر ایمنی مواد غذایی معرفی شده‌اند که داده‌های سنسورها مانند دما و رطوبت در حمل‌ونقل را به‌صورت خودکار در بلاک‌چین ثبت می‌کند. این کار در جلوگیری از فساد مواد غذایی در زنجیره سرد بسیار مؤثر است [۴۴].

نتیجه‌گیری

فناوری بلاک‌چین با فراهم‌کردن شفافیت، ردیابی دقیق و کاهش تقلب، نقش مهمی در بهبود ایمنی غذایی ایفا می‌کند. به‌منظور بهبود ایمنی و قابلیت ردیابی مواد غذایی در زنجیره تأمین مواد غذایی و افزایش اعتماد مصرف‌کننده، فناوری مذکور یک پلتفرم شبکه‌ای قابل‌اعتماد، مقاوم در برابر کلاهبرداری و دستکاری ارائه می‌دهد. تشخیص نقاط خطر در زمان واقعی برای ایمنی مواد غذایی می‌تواند کلاهبرداری و آلودگی مواد غذایی را کاهش دهد و درعین‌حال مکانیسم فراخوان محصولات ناامن را تقویت کند. پروژه‌ها و ابتکارات در مورد استفاده از بلاک‌چین در صنعت غذا هنوز محدود بوده و یا در مراحل آزمایشی هستند. بنابراین، تحقیقات بیشتری برای مطالعه پتانسیل استقرار بلاک‌چین در زنجیره تأمین مواد غذایی و همچنین استقرار گسترده این فناوری در مقیاس واقعی برای مدت طولانی مورد نیاز است. برای کاربرد این فناوری، هماهنگی بین متخصصان فنی و سیاست‌گذاران ضروری است و برای حفظ مشروعیت این فناوری و بهبود عملکرد آن، درک چارچوب قانونی و نظارتی برای بلاک‌چین و قراردادهای هوشمند و همچنین سایر الزامات پیاده‌سازی آن بسیار مهم است. با گنجاندن نوآوری بلاک‌چین، می‌توان مراحل مختلف زنجیره تأمین مواد غذایی را بهبود بخشید و بدین ترتیب تصویری دقیق و جامع از زنجیره تأمین مبتنی بر بلاک‌چین ارائه داد. علاوه بر این، تقویت امور مالی زنجیره تأمین با فناوری بلاک‌چین منجر به بهبود مدیریت ریسک، اعتماد و امنیت در بین مشارکت‌کنندگان در زنجیره تأمین مواد غذایی خواهد شد که به نوبه خود، عملیات را ساده کرده و به کاهش دوره چرخه مواد غذایی کمک می‌کند.

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

شایان ذکر است که این مقاله و یا بخشی از آن در جای دیگر به چاپ نرسیده و از ماشین و هوش مصنوعی برای نگارش مقاله استفاده نشده است.

فهرست منابع

[1]. Zheng, Z., Xie, S., Dai, H., Chen, X., Wang, H. (2017). An overview of Blockchain technology: Architecture, consensus, and future trends. In Proceedings of the 2017 IEEE International Congress on Big Data (BigData Congress), Honolulu, HI, USA, 557-564.

[2]. Zhang, P. White, J. Schmidt, D.C. Lenz, G., Rosenbloom, S.T. (2018). FHIRChain: applying blockchain to securely and scalably share clinical data, Comput. Struct. Biotechnol. J. 16 267–278.

[3].Yadav, V.S., Singh, A.R. (2019). A systematic literature review of blockchain technology in agriculture. In Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Toronto, ON, Canada, IEOM Society International: Southfield, MI, USA, 973-981.

[4]. Casino, F., Kanakaris, V., Dasaklis, T.K., Moschuris, S., Stachtiaris, S., Pagoni, M., Rachaniotis, N.P. (2020). Blockchain-based food supply chain traceability: a case study in the dairy sector. Int. J. Prod. Res 1–13.

[5]. Chandan, A., John, M., Potdar, V. (2023). Achieving UN SDGs in Food Supply Chain Using Blockchain Technology. Sustainability, 15, 2109.

[6]. Lierow, M., Herzog, C., Oest, P. (2017). Blockchain: the backbone of digital supply chains. Oliver Wyman. Available at: https://tinyurl.com/yxye47e5

[7]. Tripoli, M., Schmidhuber, J., (2020). Optimising traceability in trade for live animals and animal products with digital technologies. Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epiz 39, 1; 235–244.

[8]. Epelbaum, F.M.B., Martinez, M.G. (2014). The technological evolution of food traceability systems and their impact on firm sustainable performance: a RBV approach. Int. J. Prod. Econ. 150, 215–224.

[9]. Tamplin, M.L. (2018) Integrating predictive models and sensors to manage food stability in supply chains. Food Mic.robiol. 75, 90–94.

[10]. Tian, F., (2017). A supply chain traceability system for food safety based on HACCP, blockchain & Internet of things, in: International Conference on Service Systems and Service Management, IEEE, 1–6.

[11]. Chen, H., Liu, S., Chen, Y., Chen, C., Yang, H., Chen, Y. (2020). Food safety management systems based on ISO 22000: 2018 methodology of hazard analysis compared to ISO 22000: 2005, Accred Qual. Assur. 25, .1; 23–37.

[12]. Mao, D., Wang, F., Hao, Z., Li, H., (2018). Credit evaluation system based on blockchain for multiple stakeholders in the food supply chain. Int. J. Environ. Res. Publ. Health 15, 8; 1627.

[13]. Kshetri, N., (2017). Blockchain's roles in strengthening cybersecurity and protecting privacy, Telecommun. Pol. 41,10; 1027–1038.

[14]. Li, X., Jiang P., Chen, T., Luo, X., Wen, Q. (2020). A survey on the security of blockchain systems, Future Generat. Comput. Syst. 107, 841–853.

[15]. Creydt, M., Fischer, M., (2019). Blockchain and more -Algorithm driven food traceability. Food Control, 105 45–51.

[16]. Bintsis, T. (2018). Microbial pollution and food safety. AIMS Microbiol. 4, 3; 377.

[17]. Andoni, M., Robu, V., Flynn, D., Abram, S., Geach, D., Jenkins, D., McCallum, P., Peacock, A. (2019). Blockchain technology in the energy sector: a systematic review of challenges and opportunities. Renew. Sustain. Energy Rev. 100, 143–174.

[18]. Ruiz-Garcia, L., Lunadei, L., Barreiro, P., Robla, J.I. (2009). A review of wireless sensor technologies and applications in agriculture and food industry: state of the art and current trends. Sensors 9, 6; 4728–4750.

[19]. N. Kshetri, (2018). 1 Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives. Int. J. Inf. Manag. 39, 80–89.

[20]. Xu, Y., Li, X., Zeng, X., Cao, J., Jiang, W. (2020). Application of blockchain technology in food safety control : current trends and future prospects. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 1–20.

[21]. Levitt, T., (2016). Blockchain Technology Trialled to Tackle Slavery in the Fishing Industry. The Guardian. https://www.theguardian.com/sustainable-business/2016/sep/07/blockchain-fish-slavery-free-seafood-sustainable-technology

[22]. Salah, K., Nizamuddin, N., Jayaraman, R., Omar, M. (2019). Blockchain-based soybean traceability in agricultural supply chain. IEEE Access, 7, 73295-73305.

[23]. Kim, M., Hilton, B., Burks, Z., Reyes, J. (2018). Integrating Blockchain, smart contract-tokens, and IoT to design a food traceability solution. In Proceedings of the 2018 IEEE 9th Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference (IEMCON), Vancouver, BC, Canada, 1-3 November, 335-340.

[24]. Shahid, A., Almogren, A., Javaid, N., Al-Zahrani, F.A., Zuair, M., Alam, M. (2020). Blockchain-based agri-food supply chain: A complete solution. IEEE Access, 8, 69230–69243.

[25]. Feng, H., Wang, X., Duan, Y., Zhang, J., Zhang, X. (2020). Applying Blockchain technology to improve agri-food traceability: A review of

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

development methods, benefits and challenges. J. Clean. Prod., 260, 121031.
[26]. Theodorakopoulos, L., Theodoropoulou, A., Halkiopoulos, C. (2024). Enhancing Decentralized Decision-Making with Big Data and Blockchain Technology: A Comprehensive Review. Applied Sciences. 14. 7007. 10.3390/app14167007.
[27]. Yadav, V.S., Singh, A.R. (2019). A systematic literature review of blockchain technology in agriculture. In Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Toronto, ON, Canada, 23–25 October; IEOM Society International: Southfield, MI, USA, 973–981.
[28]. Eletter, S., Elrefae, G., Yasmin, T., Qasem, A., Alshehadeh, A., Belarbi, A. (2022). Leveraging Blockchain-Based Smart Contracts in the Management of Supply Chain: Evidence from Carrefour UAE. 1-5. 10.1109/ACIT57182.2022.9994083.
[29]. Kaur, A., Singh, G., Kukreja, V., Sharma, S., Singh, S., Yoon, B. (2022). Adaptation of IoT with Blockchain in Food Supply Chain management: An analysis-based review in development, benefits and potential applications. Sensors, 22, 8174.
[30]. Lei, M., Liu, S., Luo, N., Yang, X., Sun, C. (2022). Trusted-auditing chain: A security Blockchain prototype used in agriculture traceability. Heliyon, 8, e11477.
[31]. Rejeb, A., Rejeb, K. (2022). Blockchain and supply chain sustainability. Logforum 2020, 16. 363-372.
[32]. Pakseresht, A., Yavari, A., Kaliji, S.A., Hakelius, K. (2022). The intersection of Blockchain technology and circular economy in the agri-food sector. Sustain. Prod. Consum., 35, 260–274.
[33]. Kampan, K., Tsusaka, T.W., Anal, A.K. (2022). Adoption of Blockchain Technology for Enhanced Traceability of Livestock-Based Products. Sustainability, 14, 13148.
[34]. Alshehri, M. (2023). Blockchain-assisted internet of things framework in smart livestock farming. Internet Things, 22, 100739.
[35]. Dey, S., Saha, S., Singh, A.K., McDonald-Maier, K. (2022). Smart NoshWaste: Using blockchain, machine learning, cloud computing and QR code to reduce food waste in decentralized web 3.0 enabled smart cities. Smart Cities, 5, 162–176.
[36]. FAO. (2019).The state of food and agriculture In Moving Forward on Food Loss and Waste Reduction; FAO: Rome, Italy, 2–13.
[37]. Daghighi, A., Shoushtari, F. (2023). Toward Sustainability of Supply Chain by Applying Blockchain Technology. Int. J. Ind. Eng. Oper.Res., 5, 60–72.
[38]. Yiannas, F. (2018). A new era of food transparency powered by blockchain. Innov. Technol. Gov. Glob., 12, 46–56.
[39]. Statista, S. R. D. (2024). Global halal market—Statistics & Facts. Statista. https://www.statista.com/topics/4428/global-halal-market/
[۴۰]. موسوی موحدی، ع.، مصلحی شاد، م.، الهویی ، د.، سلامی، م. (۱۴۰۲). شیمی، نوآوری و فرایندهای محصولات غذایی حلال، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۲۸۸
[41]. Tan, A., Gligor, D., Ngah, A. (2022). Applying Blockchain for Halal food traceability. International Journal of Logistics Research and Applications, 25, 6; 947–964.
[42]. Alamsyah, A., Hakim, N., Hendayani, R. (2022). Blockchain-Based Traceability System to Support the Indonesian Halal Supply Chain Ecosystem. Economies, 10, 6; Article 6.
[43]. Alourani, A., Khan, S. (2025). Halal Food Traceability System using AI and Blockchain. Journal of Posthumanism. 5. 10.63332/joph. v5i2.437.
[44]. https://builtin.com/blockchain/food-safety-supply-chain

نگاهی به امنیت و ایمنی غذایی و نقش فناوری‌های نوین

محمد صادق علیائی*[1]، فرید نصیری[2]، اسداله اسدی[3]، رضا یوسفی[2]

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله ترویجی

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت
۱۵ آبان ۱۴۰۴
تاریخ بازنگری
۱۵ آذر ۱۴۰۴
تاریخ پذیرش
۲۲ آذر ۱۴۰۴
تاریخ انتشار
۳۰ آذر ۱۴۰۴

کلیدواژه‌ها:

امنیت غذایی، ایمنی غذایی، توسعه پایدار، پروتئومیکس غذایی، فناوری کریسپر.

چکیده

امنیت و ایمنی غذایی، باوجود ارتباط تنگاتنگ با یکدیگر، دو حوزه متمایز در تأمین سلامت و پایداری جوامع انسانی محسوب می‌شوند که فناوری‌های نوین اعم از دیجیتال و غیردیجیتال نقش بسزایی در تحقق آن‌ها دارند. این مقاله با درنظرگرفتن اهمیت و پیچیدگی تعاریف امنیت غذایی در گام نخست به تبیین مفاهیم بنیادین و ابعاد گوناگون این حوزه و نیز بررسی چالش‌های پیش‌رو از قبیل ضایعات و اتلاف مواد غذایی می‌پردازد. در ادامه نقش فناوری‌های نوین در تحول بخشیدن به این عرصه موردتوجه قرار گرفته است. همچنین پیشرفت‌هایی همچون هوش مصنوعی و اینترنت اشیا در مدیریت کلان مسائل امنیت غذایی و نیز ایده شهرهای هوشمند غذایی و کاربردهای آن‌ها بررسی می‌شود. سپس ایمنی غذایی، مسائل مرتبط با آن و اهمیت به‌کارگیری روش‌های هوشمند مانند فناوری بلاک‌چین و همچنین ابزارهای پیشرفته بیوشیمیایی و زیست مولکولی (مانند طیف‌سنجی جرمی، پروتئومیکس غذایی و فناوری کریسپر) در راستای تضمین سلامت مواد غذایی تشریح می‌گردد. سازمان بهداشت جهانی (WHO) و سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO)، روز هفتم ژوئن هر سال را به‌عنوان روز جهانی ایمنی غذایی نام‌گذاری کرده‌اند و شعار این روز در سال ۲۰۲۵ ایمنی غذایی: علم در عمل تعیین شده است. بر این اساس در پایان این نوشتار بر اهمیت سرمایه‌گذاری در پژوهش‌های مرتبط و ترویج آموزش‌های علمی در حوزه ایمنی غذایی تأکید شده است.

استناد: علیائی محمد صادق, نصیری فرید, اسدی اسداله, یوسفی رضا. (۱۴۰۴). 'نگاهی به امنیت و ایمنی غذایی و نقش فناوری‌های نوین', نشاء علم,, ۱۵(۲)، ۱۷۳-۱۸۱.

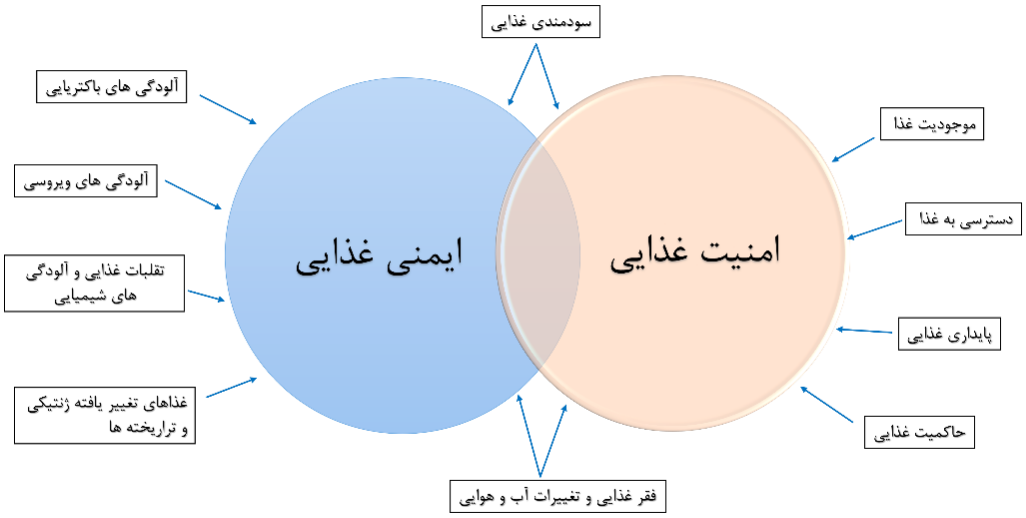
ناشر: بنیاد پیشبرد علم و فناوری در ایران و انجمن بیوشیمی فیزیک ایران

© نویسندگان حق نشر و کلیه حقوق انتشار را برای خود حفظ می‌کنند.

* عهده‌دار مکاتبات: عضو هیئت علمی، تلفن: ۸۲۲۳۳۵۴ (۹۸۲۱) ، آدرس الکترونیکی: m-oliaei@msrt.ir
[1] معاونت پژوهش و فناوری وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، تهران، ایران
[2] مرکز تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران
[3] گروه زیست‌شناسی ، دانشکده علوم پایه، دانشگاه محقق اردبیلی

مقدمه

امنیت و ایمنی غذا دو عنصر مکمل یکدیگر هستند که وجود آن‌ها برای تغذیه جمعیت ۱۰ میلیارد نفری تا سال ۲۰۵۰ و دستیابی به اهداف توسعه پایدار سازمان ملل از جمله ریشه‌کن کردن قحطی، ضروری هستند (شکل ۱). امنیت غذایی به دسترسی همه افراد یک جامعه، در تمام أدوار عمر به غذای کافی برای داشتن زندگی سالم و فعال گفته می‌شود و درآمد خانوار از عوامل مهم برای تأمین آن در یک نظام اجتماعی می‌باشد [۱,۲]. در واقع، امنیت غذایی به معنای دسترسی فیزیکی و اقتصادی به غذای کافی برای تأمین نیازهای تغذیه‌ای است که تحت‌تأثیر عواملی مانند تغییرات اقلیمی، فقر و نابرابری‌های جهانی قرار دارد. از طرف دیگر، غذا یکی از نیازهای اساسی بشر است و تأمین آن به‌صورت ایمن و پایدار حق هر فرد محسوب می‌شود. بااین‌حال، میلیاردها نفر در سراسر جهان به غذای کافی و ایمن دسترسی ندارند. بر اساس گزارش سازمان بهداشت جهانی[1] سالانه ۶۰۰ میلیون نفر به بیماری‌های ناشی از غذای ناایمن مبتلا می‌شوند. کودکان زیر ۵ سال، سالمندان و افراد با سیستم ایمنی ضعیف بیشترین آسیب‌ها را از این بیماری‌ها می‌بینند [۱]. این مقاله نگاهی به ابعاد مختلف امنیت و ایمنی غذایی داشته و به بررسی چالش‌های موجود و راهکارهای نوین برای مقابله با این چالش‌ها می‌پردازد.



شکل ۱: ارتباط متقابل ایمنی غذایی و امنیت غذایی: ایمنی و امنیت غذایی مفاهیمی مرتبط به هم هستند که تأثیری عمیق بر کیفیت زندگی انسان دارند و عوامل بیرونی متعددی بر هر دوی این حوزه‌ها اثر می‌گذارند [۳].

امنیت غذایی و ابعاد آن

امنیت غذایی مفهومی انعطاف‌پذیر است. بسیاری کوشیده‌اند آن را به شیوه‌های مختلف تعریف کنند تا به‌عنوان پژوهشگر یا سیاست‌گذار، اهداف خود را محقق سازند. در حال حاضر، حدود ۲۰۰ تعریف و ۴۵۰ شاخص برای امنیت غذایی وجود دارد [۲]. دراین‌بین، تعریف پذیرفته‌شده در اجلاس جهانی غذا[2] در سال ۱۹۹۶، جامع‌ترین تعریف محسوب می‌شود که توسط سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (فائو[3]) ارائه شده است. بر اساس این تعریف، امنیت غذایی به حالتی اطلاق می‌شود که در آن همه مردم، در تمام اوقات دسترسی فیزیکی، اجتماعی و اقتصادی به غذای کافی، ایمن و مغذی داشته باشند که نیازهای تغذیه‌ای و تمایلات غذایی آن‌ها را برای داشتن یک زندگی سالم و فعال فراهم نماید [۲,۴]. طبق تعریف سازمان کشاورزی ایالات متحده آمریکا[4]، امنیت غذایی برای یک خانوار به معنی دسترسی تمام اعضا خانواده در تمام اوقات به غذای کافی برای داشتن یک زندگی سالم و فعال

[1] World Health Organization (WHO)
[2] World Economic Forum (WEF)
[3] Food and Agriculture Organization (FAO)
[4] United States Department of Agriculture (USDA)

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

است [۲،۵]. همچنین مفهوم امنیت غذایی باگذشت زمان تکامل یافته است. موجودیت غذا[1]، دسترسی[2]، سودمندی[3] و پایداری[4] چهار عنصر کلیدی در امنیت غذایی می‌باشند. موجودیت اشاره به عرضه غذا از طریق تولید، توزیع و تجارت دارد. در واقع، موجود یا کافی بودن غذا اشاره به مقدار غذایی دارد که در کشور یا در یک منطقه (از طریق راه کارهای مختلف تولید داخلی، واردات، ذخایر غذایی و یا کمک‌های غذایی) وجود دارد [۲]. از طرف دیگر، آمارتیا سن[5] (برنده نوبل اقتصاد سال ۱۹۹۸) در سال ۱۹۸۱ میلادی برای نخستین‌بار مفهوم دسترسی به غذا را طرح نمود. او این مفهوم جدید را بر اساس تحقیقات خود در مورد قحطی‌ها ارائه کرد [۲]. در واقع می‌توان دیدگاه وی را بر اساس رابطه زیر نشان داد:

وجود غذا ≠ امنیت غذایی (مسئله دسترسی اقتصادی)

سودمندی غذا به استفاده مناسب از آن، شامل ایمنی غذا، ارزش غذایی و دسترسی به مراقبت‌های بهداشتی اشاره دارد. پایداری غذا نیز به تداوم دسترسی به غذا در برابر ضربه‌های طبیعی، اقتصادی یا سیاسی اشاره می‌کند [۴–۲]. علاوه بر این‌ها، دو بعد دیگر نیز نظیر عاملیت[6] و پایداری زیست‌محیطی[7] در امنیت غذایی اهمیت دارند. عامل بودن به توانایی افراد یا گروه‌ها برای تصمیم‌گیری مستقل درباره غذاهایی که مصرف می‌کنند، غذاهایی که تولید می‌کنند، چگونگی تولید، فرآوری و توزیع غذا در سیستم‌های غذایی و همچنین توانایی آن‌ها برای مشارکت در فرایندهایی که سیاست‌ها و حاکمیت سیستم غذایی را شکل می‌دهند، اشاره دارد. این اصطلاح ارزش‌هایی مشابه با مفهوم مهم دیگری به نام حاکمیت غذایی[8] دارد. از جهتی دیگر، پایداری توانایی سیستم‌های غذایی برای تأمین امنیت غذایی و تغذیه به‌صورت بلندمدت است، به‌گونه‌ای که این کار بدون آسیب زدن به پایه‌های اقتصادی (مانند منابع مالی و معیشت)، اجتماعی (مانند عدالت و دسترسی برابر) و زیست‌محیطی (مانند حفاظت از منابع طبیعی و کاهش اثرات زیست‌محیطی) که امنیت غذایی و تغذیه را برای نسل‌های آینده تضمین می‌کنند، انجام شود [۲،۶].

چالش‌های عمده امنیت غذایی:

پس از انقلاب سبز در دهه ۱۹۶۰ که نوید غلبه بر محدودیت منابع غذایی را می‌داد، جامعه جهانی در قرن ۲۱ با چالش‌های جدی در تأمین امنیت غذایی مواجه است. ازیک‌طرف پیش‌بینی می‌شود جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ به ۱۰ میلیارد نفر برسد که نیاز به افزایش چشمگیر تولید مواد غذایی را ایجاد می‌کند. همچنین عواملی چون دسترسی محدود به غذاهای مغذی و ایمن، قدرت خرید پایین، افزایش قیمت مواد غذایی، شهرنشینی، استفاده از محصولات غذایی برای تولید سوخت زیستی و محدودیت‌های صادراتی امنیت غذایی را تهدید می‌کنند [۷]. افزایش قیمت مواد غذایی همراه با ناکارآمدی نهادهای سیاسی و شبکه‌های ایمنی اجتماعی ناکافی، با ناآرامی‌های اجتماعی مرتبط هستند. گسترش کشاورزی و دامداری صنعتی باعث افزایش گازهای گلخانه‌ای (تولید متان از محصولات کشاورزی و شالیزارهای برنج و همچنین اکسید نیتروژن انتشاریافته از دام‌ها) و تخریب زیستگاه‌های طبیعی می‌شود [۷،۸]. تبدیل جنگل‌ها، مراتع و تالاب‌ها به زمین کشاورزی و همچنین برداشت بیش از حد آب‌های زیرزمینی تنوع زیستی را کاهش می‌دهد، برای نمونه خشک‌شدن دریاچه ارومیه در ایران تا حدی به دلیل استخراج آب‌های زیرزمینی برای آبیاری زمین‌های کشاورزی بوده است [۹]. پیری جمعیت سبب کاهش نیروی کار جوان و افزایش تقاضا برای خدمات بهداشتی می‌شود. این معضل به طور ویژه در مناطق روستایی و مزارع و در کل در صنعت کشاورزی که به‌شدت به نیروی کار فیزیکی وابسته است، تأثیر شدیدتری دارد [۱۰]. این چالش‌ها نشان می‌دهند که تأمین غذا و حفظ محیط‌زیست نیازمند راهکارهای جامع و فوری است.

کاهش اتلاف غذا:

یکی از چالش‌های اصلی برای دستیابی به امنیت غذایی پایدار، حجم قابل‌توجه تلفات و ضایعات غذایی در سطح جهانی است. تلفات غذایی به ازدست‌رفتن مواد غذایی در زنجیره تأمین از تولیدکننده تا بازار اشاره دارد، درحالی‌که ضایعات غذایی به‌دورریختن غذاهای ایمن و مغذی اطلاق می‌شود. حدود یک‌سوم

[1] Availability
[2] Access
[3] Utilization
[4] Stability
[5] Amartya Sen
[6] Agency
[7] Sustainability
[8] Food Sovereignty

شاپا چاپی 2008-935X شاپا الکترونیکی 2783-0934 https:/www.sciencecultivation.ir

غذای تولیدشده تلف یا ضایع می‌شود که معادل ۲۸ درصد از محصولات کشاورزی جهان و ۸ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای جهانی است. حذف این تلفات و ضایعات می‌تواند غذای بیش از یک میلیارد نفر را تأمین کند و مدیریت زمین و آب را (با اثرات مثبت بر تغییرات اقلیمی و پایداری) بهبود بخشد [۱۱]. سازمان حفاظت از محیط‌زیست [1] در ایالات متحده آمریکا، سلسله‌مراتبی از استراتژی‌ها را برای کاهش تلفات و ضایعات غذایی ارائه داده است (شکل ۲).

شکل ۲: هرم سلسله‌مراتبی بازیافت مواد غذایی (به‌منظور کاهش اتلاف و ضایعات غذایی)، از پراهمیت‌ترین استراتژی تا جزئی‌ترین مورد که به ترتیب از بالا به پایین نشان داده شده است [۱۱].

کاهش ضایعات در مبدأ به‌عنوان کارآمدترین راهبرد برای تحقق پایداری و امنیت غذایی شناخته می‌شود. بر اساس مطالعات، سرمایه‌گذاری در کاهش ضایعات غذایی از نظر اقتصادی معادل سرمایه‌گذاری در افزایش ظرفیت تولید مواد غذایی ارزشمند است. در این راستا، فناوری‌های نوین مانند روش‌های هوش مصنوعی شامل شبکه‌های عصبی مصنوعی با بهینه‌سازی پیش‌بینی تقاضا و مدیریت هوشمند موجودی، سهم قابل‌توجهی در کاهش ضایعات غذایی ایفا می‌کنند. رویکردهای هوشمند مانند استفاده از کلان‌داده‌ها، سنجش‌ازدور، اطلاعات ژنتیکی و داده‌های تاریخ تولید می‌تواند به پیش‌بینی عرضه مواد غذایی کمک کند. همچنین گنجاندن ملاحظات ایمنی مواد غذایی در این مدل‌ها ضروری است [۱۱]. از سوی دیگر، بسته‌بندی‌های هوشمند مجهز به حسگرهای پیشرفته نیز نقش به سزایی در این زمینه دارند. یک مزیت اضافی و بسیار مهم دیگر این برچسب‌ها در کنترل تقلبات غذایی است [۱۱،۱۲]. بااین‌همه و باوجود اهمیت بسته‌بندی‌های هوشمند در تأمین امنیت و ایمنی غذایی متأسفانه طراحی این نوع بسته‌بندی‌ها در ایران با موانعی قابل‌توجه روبه‌رو است که نیاز به بررسی‌های دقیق و جدی در این مورد وجود دارد [۱۱]. همچنین در سطح مصرف‌کننده، اپلیکیشن‌های موبایل با ارائه اطلاعات بلادرنگ درباره آلرژن‌ها و مشخصات تغذیه‌ای محصولات از طریق اسکن برچسب‌های غذایی، به کاهش قابل‌توجه ضایعات ناشی از خریدهای ناآگاهانه کمک می‌کنند [۱۱].

شهرهای هوشمند غذایی [2] و فناوری‌های دیجیتال:

مفهوم شهرهای هوشمند غذایی به دلیل رشد فزاینده جمعیت شهری (افزایش ۶۹ درصد تا ۲۰۵۰)، پیری جمعیت و پیش‌بینی نیاز به ۶۰ درصد غذا و ۷۰ درصد آب شیرین بیشتر تا سال ۲۰۵۰، توسط پژوهشگران مطرح شده است. شهرهای هوشمند غذایی، با ادغام نظام‌های کشاورزی-غذایی شهری با مفهوم شهر هوشمند، شهرها را زیست‌پذیرتر می‌کنند و با افزایش مشارکت شهروندان، دموکراسی غذایی را ترویج می‌دهند. همچنین، پیوند شهروندان با طبیعت در این شهرها، استرس و احساسات منفی را کاهش می‌دهد [۱۳،۱۴]. در شهرهای هوشمند غذایی، فناوری‌های دیجیتال متعددی شامل اینترنت اشیا [3] (IoT)، هوش مصنوعی [4] (AI)، تحلیل داده‌های بزرگ [5] و فناوری بلاک‌چین [6]، جریان‌ها و فرایندهای شهری و نظام غذایی را پایش و تنظیم می‌کنند. اینترنت اشیا برای نظارت خودکار پارامترهای محیطی (دما، رطوبت، نور) در سیستم‌های باغبانی عمودی و اتخاذ تصمیم‌های خودکار کاربرد دارد. کشاورزی دقیق با استفاده از حسگرها، پهپادها و تصاویر ماهواره‌ای برای جمع‌آوری داده‌های لحظه‌ای درباره خاک، آب‌وهوا و سلامت محصول، بهینه‌سازی مصرف منابع و افزایش بازدهی انجام می‌شود. سیستم‌های آبیاری هوشمند با استفاده از حسگرها برای بهینه‌سازی مصرف آب صورت می‌گیرد [۱۳،۱۴]. همچنین برای کاهش ضایعات غذایی، حسگرها بر دما، رطوبت و شرایط ذخیره‌سازی در طول زنجیره تأمین نظارت می‌کنند تا از فساد مواد

[1] Environmental Protection Agency (EPA)
[2] Smart food cities
[3] Internet-of-Things (IoT)
[4] Artificial intelligence (AI)
[5] Big Data
[6] Blockchain Technology

شاپا چاپی 2008-935X شاپا الکترونیکی 2783-0934 https:/www.sciencecultivation.ir

غذایی جلوگیری و تازگی مواد غذایی را حفظ نمایند. تحلیل داده‌ها به شناسایی خطرات و پاسخ سریع به آلودگی کمک می‌کند. پلتفرم‌های دیجیتال با ارائه اطلاعات مستقیم بازار (قیمت و روندها) به کشاورزان برای کمک به تصمیم‌گیری و کاهش ضایعات پس از برداشت کمک خواهند کرد. همچنین منابع آنلاین آموزشی، دانش کشاورزان را افزایش می‌دهند. در مجموع، شهرهای هوشمند غذایی با بهره‌گیری از فناوری، نه‌تنها پاسخگوی نیاز فزاینده به غذا و آب هستند، بلکه کیفیت زندگی و سلامت روان شهروندان را نیز می‌توانند ارتقا دهند [۱۳].

چرا ایمنی غذایی مهم است؟

بر اساس گزارش سازمان بهداشت جهانی، سالانه حدود ۶۰۰ میلیون نفر به دلیل مصرف غذای آلوده بیمار می‌شوند و ۴۲۰ هزار نفر جان خود را از دست می‌دهند. این آمار نه‌تنها بار سنگینی بر سیستم‌های بهداشتی تحمیل می‌کند، بلکه به ازدست‌رفتن میلیاردها دلار در بهره‌وری و هزینه‌های پزشکی (عمدتاً در کشورهایی با درآمد کم و متوسط) منجر می‌شود. گزارش سازمان بهداشت جهانی، نه‌تنها تعداد ابتلا به بیماری‌های ناشی از مواد غذایی را از نظر میزان بروز، بلکه تعداد مرگ‌ومیر و سال‌های عمر تعدیل‌شده بر حسب ناتوانی[1] (DALY) را به‌عنوان معیاری از بار ناشی از بیماری و مرگ‌ومیر حاصل از غذا ارائه می‌کند [۱]. DALY یک شاخص کلیدی در بهداشت عمومی است که به ارزیابی میزان سلامت ازدست‌رفته در یک جمعیت به دلیل مرگ‌ومیر زودرس و زندگی با ناتوانی می‌پردازد. داده‌های DALY بر اساس معیارهای تعیین‌شده توسط سازمان بهداشت جهانی است و با پروژه بار جهانی بیماری‌ها مطابقت دارد. عوامل بیماری‌زای ناشی از غذا، در مجموع بار عظیمی به میزان ۳۳ میلیون DALY بر انسان تحمیل کرده‌اند که ۴۰ درصد آن مربوط به کودکان زیر ۵ سال است. با توجه به بار جهانی قابل‌توجه بیماری‌ها و مرگ‌ومیر ناشی از مواد غذایی، این تأثیر به طور ویژه‌ای بر کودکان کم‌سن در مناطق کم‌درآمد که در آن‌ها بهداشت مواد غذایی و بهداشت آب در سطح مطلوب نیست، قابل‌توجه است. این آمارها و شواهد، اهمیت ایمنی غذایی و غذای ایمن را برای داشتن یک جامعه سالم و توسعه یافته به وضوح برای ما نشان می‌دهند [۱].

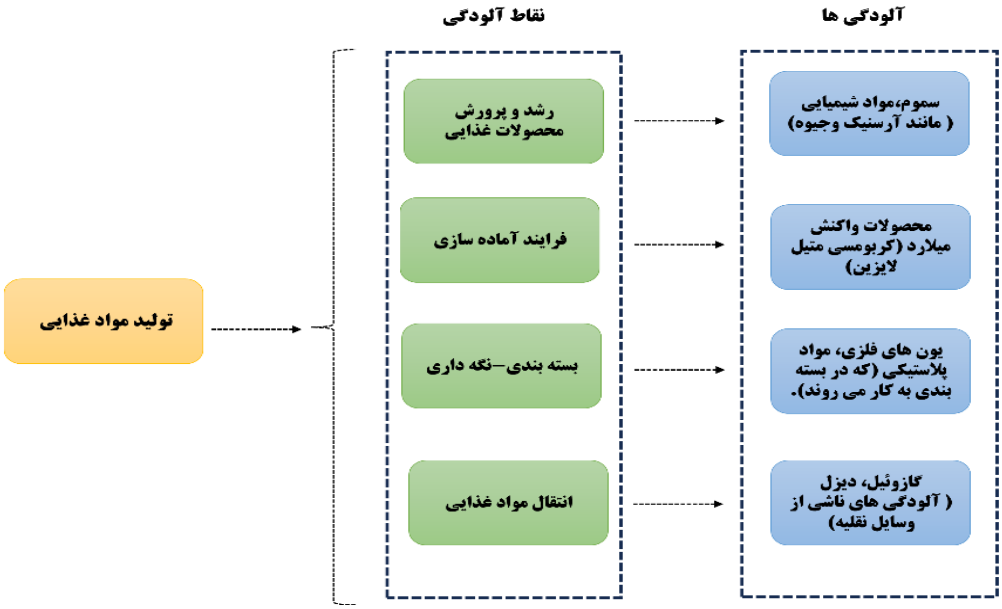
چالش‌های جاری در ایمنی غذایی و نیاز به نوآوری

باوجود پیشرفت‌ها، هنوز چالش‌های متعددی در حوزه ایمنی غذا وجود دارند که نیازمند توجه و راهکارهای نوین هستند (شکل۳). بیش از ۹۰ درصد مسمومیت‌های غذایی به دلیل گونه‌های باکتریایی استافیلوکوکوس، سالمونلا، کلستریدیوم، کمپیلوباکتر، لیستریا، ویبریو، باسیلوس و اشرشیا کلای ایجاد می‌شوند. به‌عنوان‌مثال در ایالات متحده آمریکا و فرانسه، در آخرین دهه قرن بیستم، سالمونلا شایع‌ترین علت بیماری‌های ناشی از باکتری‌های غذایی بود که ۵۷۰۰ تا ۱۰۲۰۰ مورد عامل بیماری را به خود اختصاص می‌داد، به دنبال آن کمپیلو باکتر با ۲۶۰۰ تا ۳۵۰۰ مورد و لیستریا با ۳۰۴ مورد، در آلودگی‌های غذایی نقش عمده‌ای را داشتند. همچنین ویروس‌هایی مانند نورو‌ویروس‌ها جز آلودگی‌های میکروبی مهم در مواد غذایی می‌باشند. همچنین آلاینده‌های شیمیایی مانند فلزات سنگین (سرب، کادمیوم، جیوه)، سموم طبیعی (مایکوتوکسین‌ها)، سموم قارچی (آفلاتوکسین‌ها)، نیتروزآمین‌ها، مواد شیمیایی صنعتی مانند بی‌فنیل‌های پلی‌کلرینه[2] و دیوکسین‌ها خطرات جدی برای سلامت انسان ایجاد می‌کنند. آلودگی‌های شیمیایی می‌توانند در هریک مراحل شامل تولید، آماده‌سازی، حمل‌ونقل و بسته‌بندی مواد غذایی ایجاد شوند (شکل۴)[۱,۱۵].

شکل ۳: چالش‌های محوری در ایمنی غذایی [۱۶].

[1] Deaths and Disability Adjusted Life Years (DALYs)
[2] Polychlorinated biphenyls (PCBs)

شاپا چاپی 2008-935X شاپا الکترونیکی 2783-0934 https:/www.sciencecultivation.ir



شکل ۴: آلودگی مواد غذایی. آلودگی مواد غذایی در مراحل مختلف تولید، آماده‌سازی و توضیع آن می‌تواند رخ دهد. در هریک از این مراحل، آلودگی‌های مختلف شیمیایی می‌توانند در مواد غذایی ایجاد شوند [۱۵].

از طرف دیگر عوامل بیماری‌زای جدید و افزایش مقاومت آنتی‌بیوتیکی در میکروارگانیسم‌ها، تشخیص و درمان بیماری‌های ناشی از غذا را دشوارتر کرده است. علاوه‌برآن، استفاده از فناوری‌های جدید مانند غذاهای اصلاح‌شده ژنتیکی [۱] نیاز به ارزیابی‌های ایمنی دقیق و نظارت مستمر دارد تا اطمینان حاصل شود که این محصولات برای مصرف انسان ایمن هستند. اگرچه غذاهای تراریخته پتانسیل افزایش مقاومت در برابر آفات و بیماری‌ها و بهبود مشخصات غذایی را دارند، اما نگرانی‌هایی در مورد اثرات بلندمدت آنها بر سلامت وجود دارد که نیازمند تحقیقات بیشتر است. در نهایت، *پیچیدگی زنجیره‌های تأمین جهان با* جهانی‌شدن تجارت غذا، ردیابی منشأ آلودگی‌ها و واکنش سریع به حوادث ایمنی غذایی را دشوار می‌سازد [۱،۱۷].

نقش محوری فناوری‌های نوین در ایمنی غذایی

فناوری‌های نوین با ارائه ابزارها و روش‌های پیشرفته قابلیت‌های ما را در تشخیص سریع و دقیق آلاینده‌ها، افزایش ماندگاری محصولات، شفافیت و قابلیت ردیابی در زنجیره تأمین و همچنین کاهش مصرف منابع، سرعت و بهبود می‌بخشد. به‌عنوان نمونه فناوری هسته‌ای برای افزایش ماندگاری و کاهش ضایعات مهم هستند، این فناوری می‌تواند به طور مؤثری میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا و آفات را در محصولات کشاورزی و غذایی از بین ببرد [۱۸،۱۹]. همچنین ابزارهای تحلیلی بیوشیمی–بیوفیزیکی مانند دستگاه‌های طیف‌سنجی جرمی [۲]، طیف‌سنجی رزونانس مغناطیسی هسته [۳]، طیف‌سنجی رامان [۴] و روش‌های کروماتوگرافی گازی [۵] و مایع [۶] در شناسایی انواع آلودگی‌های شیمیایی و میکروبی بسیار مهم هستند (جدول ۱)[۲۲–۱۷].

از طرف دیگر، ابزارهای تشخیص مولکولی مانند واکنش زنجیره‌ای پلیمراز [۷] (PCR) و توالی‌یابی کل ژنوم [۸] (WGS) به‌سرعت در حال تبدیل‌شدن به ابزارهایی استاندارد برای شناسایی و ردیابی پاتوژن‌های غذایی هستند. سیستم‌های مبتنی بر فناوری کریسپر [۹] می‌توانند برای شناسایی ماده ژنتیکی پاتوژن‌ها در عرض چند دقیقه مورداستفاده قرار گیرند [۱۶]. همچنین حسگرهای الکتروشیمیایی و نوری، قادر به شناسایی سریع و حساس آلاینده‌های میکروبی و شیمیایی در مواد غذایی هستند [۲۳]. مضاف بر این، فناوری

[1] GMOs
[2] Mass Spectrometry
[3] Nuclear Magnetic Resonance (NMR)
[4] Raman Spectroscopy
[5] Gas Chromatography (GC)
[6] High-Performance Liquid Chromatography (HPLC)
[7] Polymerase Chain Reaction
[8] Whole Genome Sequencing (WGS)
[9] CRISPR Technology

شاپا چاپی 2008-935X شاپا الکترونیکی 2783-0934 https:/www.sciencecultivation.ir

جدول ۱: بعضی از روش‌های دستگاهی در علوم بیوشیمی-بیوفیزیک و اهمیت هر یک از آن‌ها در تشخیص انواع آلودگی‌ها [۲۲–۱۷]

نام تکنیک	کاربرد در ایمنی غذایی	مزایا در سنجش‌های مربوط به ایمنی غذایی
طیف‌سنجی جرمی	شناسایی و کمی‌سازی طیف وسیعی از ترکیبات، سموم و افزودنی‌های غیرمجاز غذایی مانند مایکوتوکسین‌ها، ترکیبات نیتروژنی؛ پپتیدهای ناشی از تجزیه پروتئین‌ها، ترکیبات فنولی، فیتواستروژن‌ها، فسفولیپیدها، فیتواسترول‌ها، توکوفرول‌ها و پلی‌ساکاریدها.	اختصاصیت و ویژگی بالا در شناسایی آلودگی‌ها.
طیف‌سنجی رامان	تشخیص آلاینده‌ها، شناسایی میکروارگانیسم‌ها و ارزیابی کیفیت مواد غذایی.	سرعت، سادگی، حساسیت و ماهیت غیرتهاجمی.
طیف‌سنجی رزونانس مغناطیسی هسته	شناسایی آلودگی‌های میکروبی و شیمیایی.	چندین آنالیت/مارکر را می‌توان به‌صورت هم‌زمان مانیتور کرد. از اندازه‌گیری یک نمونه واحد می‌توان اطلاعات بی‌شماری را استخراج کرد. همچنین دارای مزیت نسبتا سریع، همه‌کاره، غیرمخرب و سبز بودن است.
تکنیک‌های کروماتوگرافی گازی و کروماتوگرافی مایع با کارایی بالا درترکیب با طیف‌سنجی جرمی	جداسازی و شناسایی دقیق آلاینده‌های شیمیایی مانند آفلاتوکسین‌ها و نیتروزآمین‌ها.	سادگی، غیرتهاجی و کم‌هزینه.

میکرونیدل به‌تازگی برای نمونه‌برداری دقیق، سریع، و غیرمخرب از مواد غذایی برای تجزیه‌وتحلیل ایمنی و کیفیت مواد غذایی، از جمله تشخیص آلاینده‌های میکروبی و شیمیایی، مورد بررسی قرار گرفته است [۲۴]. همچنین پروتئومیکس غذایی می‌تواند برای ارزیابی کیفیت، اصالت و ایمنی مواد غذایی، شناسایی آلرژن‌ها و پاتوژن‌ها، و حتی درک تغییرات ناشی از فراوری یا فساد، مورداستفاده قرار گیرد [۲۵]. در نهایت، فناوری‌های دیجیتال و هوشمند در ایمنی غذایی مانند استفاده از سیستم‌های داده‌های بزرگ و فناوری‌هایی مانند بلاک‌چین به ایجاد شفافیت کامل در زنجیره تأمین غذا کمک می‌کند. پایگاه‌داده‌هایی مانند GEMS/Food[1] از سازمان بهداشت جهانی و پلتفرم FOSCOLLAB به جمع‌آوری و به‌اشتراک‌گذاری داده‌های ایمنی غذا در سطح جهانی کمک می‌کنند که منجر به درک بهتر چالش‌ها و هماهنگی پاسخ‌ها می‌شود [۲۶].

ایمنی غذایی: علم در عمل

سازمان بهداشت جهانی و همچنین سازمان فائو ، هفتم ماه ژوئن در هر سال را به نام روز جهانی ایمنی غذایی نام‌گذاری کرده‌اند. امسال (یعنی در سال ۲۰۲۵) «*ایمنی غذایی: علم در عمل*»، شعار اصلی این سازمان در روز جهانی ایمنی غذایی است. به مناسبت این شعار، سازمان بهداشت جهانی متنی را منتشر کرده است که در آن به اهمیت علم و تحقیقات علمی در ایمنی غذایی اشاره شده است. بر مبنای این متن، علم اساس ایمنی غذایی است. علم مبنای تصمیم‌گیری‌های آگاهانه در مورد غذا است و فعالیت‌های علمی برای حفظ ایمنی غذایی در سراسر زنجیره‌های تأمین غذا ضروری هستند. در این متن شعار *اگر غذایی ایمن نباشد، نمی‌توان آن را غذا تلقی نمود*، موردتوجه قرار گرفته است. ایمنی غذایی به اجرای شیوه‌های خوب و ارتباطات مؤثر در طول زنجیره غذایی، از تولید تا مصرف بستگی دارد و رشته‌های علمی زیادی در حوزه ایمنی غذا فعالیت دارند. علوم میکروبیولوژی و سم‌شناسی نقش مهمی در ایمنی غذا ایفا می‌کنند و در دنیای در حال تغییر ما، علوم اجتماعی و سایر رشته‌ها نیز در توسعه سیاست‌ها و دستورالعمل‌های قابل‌اعتمادتر و یکپارچه‌تر برای حفظ ایمنی غذایی نقش دارند. علاوه‌برآن، در این متن به نقش نهادهای مختلف و مردم در تأمین ایمنی غذایی اشاره و برای هریک نقشی تعریف شده است. به این صورت که دولت‌ها باید در تحقیقات و حمایت از پژوهشگران، جمع‌آوری داده‌ها، توسعه سیاست‌های مبتنی بر علم و ترویج آموزش موضوعات علمی در حوزه ایمنی غذایی

[1] The Global Environment Monitoring System (GEMS/ food) database

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

سرمایه‌گذاری کنند. از طرف دیگر، مشاغل غذایی باید برنامه‌هایی را برای شناسایی خطرات آلودگی و اطمینان از جابه‌جایی، پردازش، توزیع و ذخیره‌سازی ایمن مواد غذایی اجرا کنند، کارکنان را آموزش دهند و از تلاش‌های جمع‌آوری داده‌ها حمایت کنند. همچنین، دانشگاهیان باید تحقیقات متعدد و عمیقی را در مورد ایمنی غذایی انجام داده و آموزش‌هایی را به دولت‌ها و صنعت غذایی ارائه دهند. مدارس باید اصول ایمنی غذایی را آموزش دهند، ایمنی غذایی را به موضوعی جذاب تبدیل کرده و علاقه به علم‌آموزی درباره ایمنی غذایی را، دردانش آموزان تشویق کنند [۲۷].

نتیجه‌گیری

انسان از بدو پیدایش در طبیعت برای حفظ بقای خود در جست‌وجوی غذا بوده و قحطی قرن‌های متمادی بزرگترین دشمن بشریت به‌حساب می‌آمده است. درواقع انسان‌ها در بیشترین دوران تاریخ بر لبه خط‌فقر زیستی [۱] قرار داشته‌اند و بر اثر سوءتغذیه و گرسنگی با مرگ روبه‌رو شده‌اند. در طی سده اخیر، جامعه جهانی و بشری با پیشرفت در حوزه دانش، فناوری و تغییرات سیاسی-اقتصادی توانسته‌اند خود را از خط‌فقر زیستی دور نگه دارند و بر قحطی غلبه نمایند. ولی بااین‌وجود، در قرن بیست‌ویکم هنوز انسان‌ها در تأمین نیازهای اولیه غذایی خود به دلیل عوامل مختلف و ناهمگونی مانند تغییرات اقلیمی، ضایعات و اتلاف مواد غذایی، رشد جمعیت، پیری جمعیت، افزایش شهرنشینی، مسائل سیاسی، تحریم‌های اقتصادی و اپیدمی بیماری‌های میکروبی ناشی از مصرف غذای آلوده با چالش‌های جدی روبه‌رو هستند. بنابراین در این شرایط مفاهیم امنیت و ایمنی غذایی کماکان موضوعات بسیار مهمی در جوامع انسانی هستند. براین‌اساس نهادها، سازمانهای معتبر جهانی، دولت‌ها، مراکز تحقیقاتی و پژوهشگران در حوزه‌های امنیت و ایمنی غذایی بسیار فعال بوده و نوآوری‌های زیادی را برای غلبه بر چالش بازگشت به لبه خط‌فقر زیستی انجام داده‌اند. همان‌گونه که در مباحث گردآوری شده در این مقاله آمده، شهرهای هوشمند غذایی یکی از راهکارها برای تأمین غذای جمعیت روبه‌رشد تا سال ۲۰۵۰ است. در شهرهای غذایی، از شهر و فضاهای شهری برای کشاورزی، تولید مواد غذایی و دست‌یافتن به دموکراسی غذایی استفاده می‌شود. همچنین ادغام فناوری‌های دیجیتال و هوشمند مانند هوش مصنوعی، انواع پلتفرم‌های اینترنتی و اینترنت اشیا در این شهرها، امکان مدیریت هوشمندانه امور را فراهم می‌کنند. همچنین تأکید زیادی بر ایمنی غذایی وجود دارد به صورتی که طی سال‌های اخیر سازمان‌های بهداشت جهانی و فائو، در برجسته‌ترین برنامه مشاوره علمی خود، پژوهشگران مستقل از نقاط مختلف جهان را گرد هم می‌آورند تا خطرات احتمالی ایمنی مواد غذایی را بادقت ارزیابی کنند. آن‌ها مشاوره‌های بی‌طرفانه و مبتنی بر شواهد را به سیاست‌گذاران، مشاغل صنایع غذایی و مصرف‌کنندگان ارائه می‌دهند که مهمترین آن‌ها به کمیسیون کدکس مواد غذایی [۲] است. کدکس استانداردهای بین‌المللی، دستورالعمل‌ها و آیین‌نامه‌های اجرایی مربوط به ایمنی و کیفیت مواد غذایی را بر اساس مشاوره‌های علمی ارائه‌شده توسط این برنامه مشترک تدوین می‌کند. این برنامه مشاوره علمی مشترک، شامل چندین نهاد تأسیس‌شده و موقت است که شامل کمیته مشترک متخصصین در مورد افزودنی‌های غذایی [۳] (JECFA)، کمیته مشترک متخصصین در مورد ارزیابی خطرات میکروبیولوژیکی [۴] (JEMRA) و کمیته مشترک در مورد باقیمانده سموم دفع آفات [۵] (JMPR) هستند [۲۷]. در مجموع امنیت و ایمنی غذایی در قرن حاضر کماکان موضوعات بسیار حیاتی و ضروری برای داشتن زندگی سالم انسانی هستند. علاوه بر این جا دارد که مراکز آموزشی، دانشگاهی و تحقیقاتی در کشورمان شعار امسال روز جهانی ایمنی غذایی با عنوان «ایمنی غذایی: علم در عمل» را موردتوجه قرار داده و بیشتر در حوزه سلامت غذایی و مسائل گسترده مربوط به آن فعال بوده و تمرکز ایجاد کنند.

فهرست منابع

[1]. F. Fung, H.S. Wang, S. Menon, (2018), Food safety in the 21st century, Biomed. J. 41, 88–95.
[2]. A.A. Saikia, F. Ambari, H. Dutta, (2018), Food security: A review on its definition,levels and evolution, Asian J. Multidimens. Res. (AJMR), 7,111-122.
[3]. I.B. Hanning, C.A. O'Bryan, P.G. Crandall, (2012), Food safety and food security, Nat. Educ. Knowl 3(10):9

[1] Biological poverty line
[2] Codex Alimentarius Commission
[3] Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives
[4] Joint FAO/WHO Expert Meeting on Microbiological Risk Assessment
[5] Joint FAO/WHO Meeting on Pesticides Residues

شاپا چاپی 2008-935X شاپا الکترونیکی 2783-0934 https:/www.sciencecultivation.ir

[۴]. محمد حسین عمادی(۱۴۰۳)، ۹ فرمان امنیت غذایی,نشریه دنیای اقتصاد، شماره ۲۶۰۶.

[5]. Brklacich, M., Leybourne, S. (1999). Food Security Concepts. In: Lonergan, S.C. Environmental Change, Adaptation, and Security. NATO ASI Series, Springer, Dordrecht, 65, 97-107.

[۶]. آزاده شوشتری, (۱۴۰۳) ، چهار رکن امنیت غذا در قرن ۲۱، نشریه دنیای اقتصاد، شماره ۶۲۳۴.

[۷]. مهسا مستشار نظامی ،(۱۴۰۳)،امنیت غذایی و توسعه پایدار، نشریه دنیای اقتصاد، شماره ۶۲۲۶ .

[۸] .منصوره مظاهری و معصومه محمودی میمند، (۲۰۱۹)، تنوع زیستی، امنیت غذایی و سلامت، نشاء علم، ۱۰،صفحات۶۱–۵۵ .

[9]. B. Feizizadeh, T. Lakes, D. Omarzadeh, A. Sharifi, T. Blaschke, S. Karimzadeh, (2022), Scenario-based analysis of the impacts of lake drying on food production in the Lake Urmia Basin of Northern Iran, Sci. Rep.12, 6237.

[۱۰]. امین خاقانی ,(۱۴۰۳)، پیری جمعیت، هوش‌مصنوعی و امنیت غذایی, نشریه دنیای اقتصاد، شماره ۶۲۲۶.

[11]. I. Vågsholm, N.S. Arzoomand, S. Boqvist, (2020), Food Security, Safety, and Sustainability—Getting the Trade-Offs Right, Front. Sustain. Food Syst, 4:16.

[۱۲]. منصوره مظاهری و معصومه محمودی میمند، (۲۰۲۳)، مروری بر بسته‌بندی هوشمند و فعال در صنایع غذایی، نشاء علم، ۱۳ ،صفحات ۱۸۹–۱۸۳ .

[13]. Aslan, I., Barbara, S., Aslan, H., Skiba, D., Said, M.M.T. (2025). Sustainable Smart Food Security. In: Abougreen, A.N., Mehta, S., Costa, C., Interdisciplinary Technological Advancements in Smart Cities. EAI/Springer Innovations in Communication and Computing,Springer, Cham, 153-182.

[14]. D. Maye, (2019), smart food city: Conceptual relations between smart city planning, urban food systems and innovation theory, City, Cult. Soc.16, 18–24.

[15]. H. Onyeaka, S. Ghosh, K. Obileke, T. Miri, O.A. Odeyemi, O. Nwaiwu, P. Tamasiga, (2024), Preventing chemical contaminants in food : Challenges and prospects for safe and sustainable food production,155, 110040.

[16]. P. Xue, Y. Peng, R. Wang, Q. Wu, Q. Chen, C. Yan, J. Xu,(2024), Advances, challenges , and opportunities for food safety analysis in the isothermal nucleic acid amplification / CRISPR-Cas12a era, Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 65, 2473-2488.

[17]. F. Barzegar, M. Kamankesh, A. Mohammadi, (2023), Recent Development in Formation, Toxic Effects, Human Health and Analytical Techniques of Food Contaminants, Food Rev. Int. 39, 1157–1183.

[18]. S. Engineers, Role of Food Irradiation in Preventing Foodborne Illness Outbreaks, (2025). ttps://www.symecengineers.com/role-of-food-irradiation-in-preventing-foodborne-illness-outbreaks/.

[19]. M. Hasani-Dabaghi, A. Feizi, K. Ghasemi, F. Zolfagharpour, A. Asadi, M. Jalili-Torkamani, (2025),Microorganism survival curve and food safety of irradiated honey, Appl. Food Res, 5,101283.

[20]. Artavia, Graciela, Carolina Cortés-Herrera, and Fabio Granados-Chinchilla,(2021), Selected Instrumental Techniques Applied in Food and Feed: Quality, Safety and Adulteration Analysis, Foods,10,1081.

[21]. S. Chinedu, N. Great, I. Edo, A. Ngukuran, J. Oghenerume, L. Emakpor, P. Othuke, A. Joy, J. Agbo, (2024), Recent advances in the role of mass spectrometry in the analysis of food : a review, Food Measure 18, 4272–4287.

[22]. N. Li, N. Hussain, Z. Ding, C. Qu, Y. Li, L. Chu, H. Liu,(2024),Guidelines for Raman spectroscopy and imaging techniques in food safety analysis, Food Safety and Health,2, 221–237.

[23]. C. Meliana, J. Liu, P.L. Show, S.S. Low, (2024), Biosensor in smart food traceability system for food safety and security, Bioengineered. 15, 2310908.

[24]. A.M. Khaneghah, (2024), Advancing food quality assurance: Integrating microneedle technology with advanced analytical methods,nanotoday 54, 102-115.

[25]. S. Geisslitz, K.A. Scherf, F.F., (2021),Proteomics in Food Quality, Comprehensive Foodomics 1,699–717.

[26]. H.J.P. Marvin, E.M. Janssen, Y. Bouzembrak, J.M. Peter, M. Janssen, Y. Bouzembrak, P.J.M. Hendriksen, M. Staats, (2017), Big data in food safety : An overview, Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 57, 2286-2295.

[27]. G.E.T.S. Toolkit, (2025), World Food Safety Day Food safety : science in action We all need safe food.
https://www.who.int/publications/m/item/world-food-safety-day-2025-science-in-action

شاپا چاپی 2008-935X شاپا الکترونیکی 2783-0934 https:/www.sciencecultivation.ir

بلاکچین در گردشگری هوشمند: امنیت، اعتماد و پرداخت‌های امن

محمدتقی نظری علیداش[1]، امین فرجی[*،1]

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله ترویجی

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت
۱۵ شهریور ۱۴۰۴
تاریخ بازنگری
۳۱ شهریور ۱۴۰۴
تاریخ پذیرش
۱۷ مهر ۱۴۰۴
تاریخ انتشار
۳۰ آذر ۱۴۰۴

کلیدواژه‌ها:
بلاکچین، گردشگری هوشمند، امنیت و اعتماد، مدیریت داده‌ها، احراز هویت، پرداخت‌های هوشمند.

چکیده

فناوری بلاکچین در سال‌های اخیر به‌عنوان یکی از مهم‌ترین نوآوری‌های تحول‌آفرین در عرصه‌های مختلف شناخته شده و صنعت گردشگری نیز از این روند مستثنی نیست. گردشگری هوشمند که بر پایه فناوری‌هایی همچون اینترنت اشیاء، هوش مصنوعی و کلان‌داده شکل گرفته است، با چالش‌های اساسی در زمینه امنیت داده‌های شخصی و مالی، اعتماد میان ذی‌نفعان و هزینه‌های بالای تراکنش‌ها روبه‌روست. این مقاله نشان می‌دهد که بلاکچین با ویژگی‌هایی نظیر غیرمتمرکز بودن، شفافیت، تغییرناپذیری داده‌ها و استفاده از قراردادهای هوشمند، می‌تواند در رفع این چالش‌ها نقش‌آفرینی کند. کاربردهای آن شامل احراز هویت ایمن گردشگران، حفاظت از اطلاعات حساس، تقویت اعتماد میان ارائه‌دهندگان خدمات و مشتریان، و تسهیل پرداخت‌های بین‌المللی است. در عین حال، محدودیت‌هایی همچون پیچیدگی فنی، مقیاس‌پذیری محدود، مصرف انرژی بالا و نبود چارچوب‌های حقوقی شفاف مانع از پذیرش گسترده این فناوری می‌شوند. این مقاله ضمن مرور مطالعات موجود و تحلیل شرایط ایران، تأکید می‌کند که بهره‌گیری مؤثر از بلاکچین در گردشگری کشور مستلزم سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های دیجیتال، تدوین سیاست‌های حمایتی و ارتقای سواد فناورانه مدیران است. نوآوری این مقاله در آن است که با زبانی روشن، ظرفیت‌های بلاکچین را برای نخستین‌بار در ارتباط با چالش‌های گردشگری ایران معرفی و راهکارهایی عملی برای استفاده از آن پیشنهاد می‌کند.

استناد: نظری علیداش محمدتقی, فرجی امین. (۱۴۰۴). 'بلاکچین در گردشگری هوشمند: امنیت، اعتماد و پرداخت‌های امن', نشاء علم، ۱۵ (۲)، ۱۸۲-۱۸۸.

ناشر: بنیاد پیشبرد علم و فناوری در ایران و انجمن بیوشیمی فیزیک ایران
© نویسندگان حق نشر و کلیه حقوق انتشار را برای خود حفظ می‌کنند.

* عهده‌دار مکاتبات: دانشیار. تلفن: ۳۶۱۶۶۱۵۸ (۹۸۲۵+)، آدرس الکترونیکی: a.faraji@ut.ac.ir
[1] دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشکدگان فارابی، دانشگاه تهران، قم، ایران

مقدمه

صنعت گردشگری به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین و پویاترین صنایع خدماتی جهان، نقشی کلیدی در ایجاد ارزش افزوده، اشتغال‌زایی و توسعه اقتصادی ایفا می‌کند. این صنعت در سال‌های اخیر با شتابی چشمگیر دستخوش تغییرات بنیادین شده و از یک فعالیت سنتی مبتنی بر تعاملات حضوری، به حوزه‌ای متکی بر داده‌های کلان و فناوری‌های نوین بدل شده است [۱, ۲]. رشد سریع جمعیت شهرنشین و افزایش سطح توقعات گردشگران جهانی، به‌ویژه در کشورهای درحال‌توسعه مانند ایران، فشار مضاعفی بر زیرساخت‌های گردشگری و هتل‌داری وارد کرده است. پیش‌بینی‌های سازمان ملل متحد نشان می‌دهد که تا سال ۲۰۵۰ بیش از ۶۸ درصد جمعیت جهان در شهرها زندگی خواهند کرد که این امر تقاضا برای خدمات گردشگری هوشمند و کارآمدتر را دوچندان می‌کند [۳].

در چنین شرایطی، گردشگری هوشمند به‌عنوان راهکاری نوین برای پاسخ به نیازهای متنوع و پیچیده گردشگران مطرح شده است. گردشگری هوشمند از فناوری‌هایی همچون اینترنت اشیا (IoT)، داده‌های کلان، هوش مصنوعی (AI) و رایانش ابری بهره می‌گیرد تا کیفیت خدمات و تجربه سفر را ارتقا دهد. این فناوری‌ها امکان ردیابی مسافران، ارائه پیشنهادهای شخصی‌سازی‌شده، تحلیل رفتارهای گردشگران و مدیریت بهینه منابع را فراهم می‌سازند [۴]. بدین ترتیب، تجربه سفر برای گردشگران دلپذیرتر و صنعت گردشگری پربازده‌تر می‌شود. باوجود این مزایا، یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های گردشگری هوشمند، مسائل امنیتی و حریم شخصی است. رشد سریع دیجیتالی شدن، حجم عظیمی از داده‌های شخصی و مالی را در معرض تهدیدات امنیتی قرار داده و ضرورت راهکارهایی برای حفاظت از این اطلاعات را پررنگ‌تر نموده است [۵].

پژوهش‌های گذشته عمدتاً بر نقش فناوری‌های نوین در بهینه‌سازی تجربه گردشگری تمرکز داشته‌اند و کمتر به ابعاد امنیتی پرداخته‌اند. رویکردهایی همچون اینترنت اشیا، تحلیل کلان‌داده و هوش مصنوعی به طور گسترده برای ارتقای کیفیت خدمات مورداستفاده قرار گرفته‌اند، اما توجه کافی به تهدیدات امنیتی و راهکارهای حفاظت از داده‌ها صورت نگرفته است [۱, ۶]. در همین راستا، فناوری بلاک‌چین به‌عنوان یک نوآوری بنیادین مطرح می‌شود که می‌تواند شکاف امنیتی موجود در گردشگری هوشمند را پر کند.

بلاک‌چین یک فناوری دفترکل توزیع‌شده است که امکان ذخیره، ثبت و تبادل داده‌ها را به‌صورت شفاف، ایمن و غیرقابل‌تغییر فراهم می‌سازد. این فناوری بر پایه زنجیره‌ای از بلوک‌ها عمل می‌کند که هر بلوک حاوی مجموعه‌ای از داده‌ها و هش رمزنگاری شده بلوک قبلی است. بلاک‌چین نخستین‌بار در سال ۲۰۰۸ با معرفی بیت‌کوین توسط «ساتوشی ناکاموتو» مطرح شد [۷]، و در ابتدا به‌عنوان زیرساخت ارزهای دیجیتال شناخته می‌شد. باگذشت زمان، دامنه کاربرد آن فراتر از حوزه مالی گسترش یافت و امروزه در بخش‌هایی چون سلامت، آموزش، حمل‌ونقل و به‌ویژه گردشگری به‌عنوان ابزاری نوآورانه و تحول‌آفرین مورداستفاده قرار می‌گیرد [۸]. بلاک‌چین در ابتدا به‌عنوان زیرساخت ارزهای دیجیتال همچون بیت‌کوین شناخته شد، اما امروزه به صنعتی فراتر از حوزه مالی گسترش یافته است [۹]. این فناوری بر پایه یک دفترکل توزیع‌شده عمل می‌کند که امکان ثبت و ذخیره‌سازی تراکنش‌ها را در قالب بلوک‌های زنجیره‌ای و به‌صورت غیرمتمرکز، شفاف و غیرقابل‌تغییر فراهم می‌سازد [۸, ۱۰].

بلاک‌چین با استفاده از رمزنگاری و سازوکارهای اجماع، امنیت تبادل داده‌ها را تضمین می‌کند و از این طریق قادر است بسیاری از چالش‌های امنیتی گردشگری دیجیتال را برطرف سازد. کاربردهای بلاک‌چین در گردشگری گسترده است و چند محور کلیدی را شامل می‌شود: نخست، در زمینه احراز هویت دیجیتال گردشگران، این فناوری امکان ارائه خدمات بدون نیاز به اسناد فیزیکی را فراهم می‌سازد و ریسک جعل یا سوءاستفاده از مدارک را کاهش می‌دهد. دوم، در حوزه حفاظت از داده‌ها، بلاک‌چین با ذخیره‌سازی غیرمتمرکز، احتمال نشت یا دست‌کاری اطلاعات شخصی و مالی گردشگران را به حداقل می‌رساند. سوم، در بخش پرداخت‌ها و تراکنش‌های مالی، قراردادهای هوشمند و رمزارزها فرایندهای مالی را ساده‌سازی کرده و با حذف واسطه‌ها، هزینه‌ها و زمان تراکنش‌ها را کاهش می‌دهند [۱۱, ۱۲]. چهارم، بلاک‌چین با ایجاد شفافیت و قابلیت ردیابی در زنجیره تأمین گردشگری، اعتماد میان ذی‌نفعان مختلف را تقویت می‌کند و از بروز تقلب و اختلافات می‌کاهد [۱۳, ۱۴]. باوجود این فرصت‌ها، پیاده‌سازی بلاک‌چین در صنعت گردشگری با چالش‌هایی نیز مواجه است. پیچیدگی فنی، مقیاس‌پذیری محدود، مصرف انرژی بالا در برخی

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

سازوکارهای اجماع، نیاز به زیرساخت‌های فناورانه و نبود قوانین و چارچوب‌های حقوقی روشن از جمله موانع اصلی محسوب می‌شوند [۱۵, ۱۶]. علاوه بر این، سطح پایین سواد دیجیتال و مقاومت فعالان سنتی گردشگری در برابر پذیرش فناوری‌های نوین، روند پیاده‌سازی بلاک‌چین را دشوارتر می‌سازد [۱۷].

ایران نیز به‌عنوان یکی از مقاصد گردشگری با پتانسیل بالا، با این چالش‌ها و فرصت‌ها روبه‌روست. در سال‌های اخیر، هتل‌های هوشمند در تهران و دیگر شهرها درحال‌توسعه‌اند، اما استفاده از بلاک‌چین در این حوزه هنوز در مراحل ابتدایی قرار دارد. موانعی همچون فقدان زیرساخت‌های مناسب، ناآگاهی مدیران و نبود قوانین مشخص، پذیرش این فناوری را در کشور کند کرده است [۱۸]. این شکاف، اهمیت پرداختن به موضوع بلاک‌چین و کاربردهای آن در صنعت گردشگری ایران را دوچندان می‌کند. با توجه به آنچه گفته شد، می‌توان نتیجه گرفت که بلاک‌چین با ویژگی‌های منحصربه‌فرد خود، ظرفیت‌های فراوانی برای تحول در گردشگری هوشمند دارد. این فناوری می‌تواند هم‌زمان به افزایش امنیت داده‌ها، تقویت اعتماد، کاهش هزینه‌ها و ارائه خدمات شخصی‌سازی‌شده کمک کند. بااین‌حال، تحقق این پتانسیل‌ها مستلزم سرمایه‌گذاری فناورانه، آموزش و فرهنگ‌سازی، و نیز تدوین سیاست‌های حمایتی و مقررات شفاف است. نوآوری این مقاله در آن است که برای نخستین‌بار به‌صورت یک بررسی جامع و کاربردی، بروی ظرفیت‌ها و محدودیت‌های بلاک‌چین در صنعت گردشگری ایران متمرکز می‌شود و نشان می‌دهد که این فناوری چگونه می‌تواند به حل چالش‌های امنیت، اعتماد و پرداخت کمک کند. مقاله حاضر تلاش دارد به معرفی ابعاد مختلف بلاک‌چین در گردشگری هوشمند پرداخته و ضمن تبیین فرصت‌ها و چالش‌های آن، راهکارهایی برای حرکت به‌سوی صنعتی امن‌تر، شفاف‌تر و کارآمدتر ارائه دهد.

مبانی نظری

گردشگری هوشمند به‌عنوان یکی از شاخه‌های نوین صنعت گردشگری، بر پایه بهره‌گیری از فناوری‌های نوظهور همچون اینترنت اشیا، کلان‌داده، هوش مصنوعی و بلاک‌چین شکل گرفته است. هدف اصلی این رویکرد، ارتقای کیفیت خدمات، افزایش امنیت و فراهم‌کردن تجربه‌ای رضایت‌بخش‌تر برای گردشگران است. بااین‌حال، چالش‌هایی همچون حفظ امنیت داده‌های شخصی و ایجاد اعتماد میان ذی‌نفعان (گردشگران، هتل‌ها، آژانس‌های مسافرتی و پلتفرم‌های آنلاین) همواره مطرح بوده است [۱۹]. در چنین بستری، بلاک‌چین می‌تواند به‌عنوان یک فناوری تحول‌آفرین، با ایجاد زیرساختی غیرمتمرکز و شفاف، پاسخی نوآورانه برای رفع این مسائل ارائه دهد [۱۵].

بلاک‌چین در ساده‌ترین تعریف، یک دفتر دیجیتال توزیع‌شده است که اطلاعات را در قالب زنجیره‌ای از بلوک‌ها ذخیره می‌کند. هر بلوک شامل داده‌هایی است که با استفاده از رمزنگاری به بلوک قبلی متصل شده و بدین ترتیب زنجیره‌ای ایمن و غیرقابل‌تغییر ایجاد می‌شود. به‌جای اتکا به یک سرور مرکزی، داده‌ها میان تمامی اعضای شبکه توزیع می‌شوند و از طریق الگوریتم‌های اجماع، صحت آن‌ها تأیید می‌شود [۱۰]. ویژگی‌هایی همچون شفافیت، تغییرناپذیری، عدم تمرکز و امنیت بالا، این فناوری را از چارچوب رمزارزها فراتر برده و زمینه‌های کاربردی گسترده‌ای در بخش‌هایی مانند سلامت، آموزش، حمل‌ونقل و به‌ویژه گردشگری فراهم ساخته است [۲۰].

یکی از مهم‌ترین کارکردهای بلاک‌چین در صنعت گردشگری، ایجاد و تقویت اعتماد دیجیتال میان کاربران است. در فضایی که تعاملات گسترده میان گردشگران، هتل‌ها، خطوط هوایی و سامانه‌های رزرو آنلاین جریان دارد، اعتماد نقشی حیاتی ایفا می‌کند. نظریه‌های اعتماد دیجیتال و هویت غیرمتمرکز نشان می‌دهند که بلاک‌چین با کاهش امکان جعل داده و افزایش شفافیت، می‌تواند به ارتقای امنیت و اطمینان در این تعاملات کمک کند [۱۶]. برای مثال، امکان بهره‌گیری از هویت دیجیتال مبتنی بر بلاک‌چین می‌تواند جایگزین اسناد فیزیکی شود و فرایندهایی نظیر ورود به هتل یا پرواز را به شکل ساده‌تر و ایمن‌تری ممکن سازد. کاربرد بلاک‌چین در گردشگری صرفاً به مدیریت هویت محدود نمی‌شود، بلکه در مدیریت زنجیره تأمین و تعاملات میان بازیگران مختلف نیز اهمیت زیادی دارد. گردشگری یک صنعت چندوجهی است که ذی‌نفعان متعددی همچون هتل‌ها، آژانس‌ها، خطوط هوایی، مراکز تفریحی و نهادهای دولتی در آن نقش‌آفرینی می‌کنند. بر اساس نظریه‌های مدیریت زنجیره تأمین و تعاملات چندذی‌نفعه، بلاک‌چین با ایجاد کانال‌های شفاف و قابل پیگیری برای ثبت تراکنش‌ها، می‌تواند همکاری میان این بازیگران را تقویت کند و موجب افزایش کارایی و کاهش عدم اطمینان شود. در همین راستا، نظریه شفافیت و نظریه اعتماد نهادی تأکید دارند که ردیابی دقیق

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

فرایندها و پاسخگویی بیشتر در بستر بلاک‌چین، به بهبود عملکرد و هماهنگی میان ذی‌نفعان صنعت گردشگری منجر می‌شود [۲۱]. باوجود این ظرفیت‌ها، پذیرش بلاک‌چین در گردشگری با موانعی نیز همراه است. بر اساس نظریه‌های مرتبط با پذیرش فناوری همچون مدل پذیرش فناوری (TAM) و نظریه انتشار نوآوری راجرز، عواملی چون ادراک کاربران از سودمندی، سهولت استفاده و مزایای نسبی در مقایسه با سیستم‌های سنتی، نقش تعیین‌کننده‌ای در موفقیت یا شکست این فناوری دارند [۱۷]. در همین چارچوب، چالش‌هایی از جمله پیچیدگی فنی، نیاز به زیرساخت‌های تخصصی، مصرف انرژی بالا در برخی الگوریتم‌ها، نبود قوانین و مقررات شفاف و حتی مقاومت فرهنگی و سازمانی در برابر تغییر، به‌عنوان موانع مهم در مسیر پذیرش گسترده بلاک‌چین شناسایی شده‌اند.

در مجموع، مبانی نظری نشان می‌دهد که بلاک‌چین با ویژگی‌های منحصربه‌فرد خود می‌تواند به‌عنوان ابزاری کلیدی در توسعه گردشگری هوشمند ایفای نقش کند. این فناوری قادر است اعتماد میان ذی‌نفعان را تقویت نماید، امنیت داده‌ها را افزایش دهد و کارایی زنجیره تأمین را بهبود بخشد. درعین‌حال، غلبه بر موانع فنی، حقوقی و فرهنگی برای بهره‌گیری کامل از این ظرفیت‌ها ضروری است. این دیدگاه‌ها زمینه را برای بحث و تحلیل گسترده‌تر درباره فرصت‌ها و چالش‌های بلاک‌چین در صنعت گردشگری فراهم می‌سازد.

بحث و تحلیل

فناوری بلاک‌چین فرصت‌های گسترده‌ای را برای تحول صنعت گردشگری هوشمند فراهم می‌آورد. یکی از مهم‌ترین این فرصت‌ها، ارتقای امنیت در فرایند احراز هویت و جلوگیری از تقلب است. در سیستم‌های دیجیتال، به‌ویژه در شبکه‌های مبتنی بر اینترنت اشیا (IoT) که دستگاه‌ها به طور خودکار با یکدیگر در ارتباط‌اند، همواره خطر جعل هویت و دستکاری داده‌ها وجود دارد. بلاک‌چین با فراهم آوردن یک دفترکل توزیع‌شده و غیرقابل‌تغییر، زمینه‌ای ایجاد می‌کند که در آن تراکنش‌ها به‌صورت شفاف ثبت شوند و امکان جعل یا تغییر اطلاعات از میان برود. همین ویژگی باعث می‌شود گردشگران هنگام رزرو خدمات یا استفاده از بلیت‌های الکترونیک، از اصالت فرایند اطمینان بیشتری داشته باشند [۱۱, ۲۲].

در کنار موضوع احراز هویت، حفاظت از داده‌های حساس گردشگران نیز اهمیت ویژه‌ای دارد. اطلاعات مالی، جزئیات هویتی و سوابق سفر مسافران از ارزشمندترین دارایی‌های دیجیتال محسوب می‌شوند و هرگونه افشای آن‌ها می‌تواند پیامدهای جدی در پی داشته باشد. بلاک‌چین با غیرمتمرکزسازی ذخیره‌سازی داده‌ها و بهره‌گیری از رمزنگاری پیشرفته، احتمال نفوذ یا دسترسی غیرمجاز به این اطلاعات را به حداقل می‌رساند. برخلاف سیستم‌های متمرکز که یک نقطه آسیب‌پذیر دارند، داده‌های ذخیره‌شده در بلاک‌چین در سراسر شبکه توزیع می‌شوند و تغییر یا حذف آن‌ها تقریباً غیرممکن است [۱۲, ۲۳]. این ویژگی به طور مستقیم سطح اعتماد گردشگران را افزایش داده و امکان ارائه خدمات دیجیتال ایمن‌تر توسط شرکت‌ها را فراهم می‌سازد [۲۴].

اعتماد میان گردشگران و ارائه‌دهندگان خدمات، یکی از ستون‌های اصلی گردشگری هوشمند است. بلاک‌چین با شفافیت و تغییرناپذیری خود به تقویت این اعتماد کمک می‌کند. ثبت دائمی و غیرقابل‌تغییر تراکنش‌ها موجب می‌شود که هرگونه تعامل مالی یا خدماتی قابل‌پیگیری و بررسی باشد. برای مثال، یک گردشگر می‌تواند مطمئن باشد که هزینه پرداخت‌شده برای رزرو هتل واقعاً در همان چارچوب توافق‌شده هزینه خواهد شد. قراردادهای هوشمند نیز این اعتماد را تقویت می‌کنند، زیرا به طور خودکار شرایط توافق‌شده را اجرا می‌کنند و نیازی به واسطه‌های پرهزینه یا پرریسک باقی نمی‌گذارند [۲۷-۲۵]. این امر نه‌تنها اختلافات احتمالی میان طرفین را کاهش می‌دهد، بلکه فرایندهای پرداخت و تسویه‌حساب را نیز ساده‌تر و شفاف‌تر می‌سازد.

یکی دیگر از ابعاد کاربردی بلاک‌چین، تسهیل سیستم‌های پرداخت است. در شرایطی که پرداخت‌های بین‌المللی همواره با هزینه‌های بالای تراکنش، تبدیل ارز و مشکلات بانکی همراه‌اند، بلاک‌چین امکان انجام تراکنش‌های سریع، ارزان و بدون‌واسطه را فراهم می‌کند [۶, ۲۸]. گردشگران خارجی می‌توانند بدون نگرانی از کارمزدهای بالا یا مشکلات انتقال پول، هزینه‌های سفر خود را مستقیماً از طریق رمزارزها پرداخت کنند. این موضوع به‌ویژه برای کشورهایی که به دنبال جذب گردشگران بین‌المللی هستند اهمیت زیادی دارد و می‌تواند تجربه‌ای راحت‌تر و بی‌دغدغه‌تر برای مسافران ایجاد کند [۱۲].

باوجود تمام این فرصت‌ها، نباید چالش‌های پیش‌روی بلاک‌چین در گردشگری را نادیده گرفت. نخستین چالش، پیچیدگی فنی و

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

نیاز به زیرساخت‌های فناورانه است. بسیاری از سیستم‌ها و دستگاه‌های هوشمند موجود توان پردازش الگوریتم‌های پیچیده بلاک‌چین را ندارند و پیاده‌سازی آن نیازمند سرمایه‌گذاری‌های کلان در سخت‌افزار و نرم‌افزار است [۲۴]. چالش دیگر مربوط به مقیاس‌پذیری و مصرف انرژی است؛ به‌ویژه شبکه‌هایی که از الگوریتم اثبات کار استفاده می‌کنند، با هزینه‌های انرژی بسیار بالا روبه‌رو هستند [۲۱, ۲۹]. علاوه‌برآن، نبود قوانین مشخص و چارچوب‌های حقوقی شفاف در بسیاری از کشورها مانعی جدی برای توسعه بلاک‌چین در صنعت گردشگری محسوب می‌شود [۱۷]. در کنار این موانع فنی و قانونی، مقاومت فرهنگی و سازمانی نیز وجود دارد. بسیاری از فعالان سنتی گردشگری با فناوری‌های نوین بیگانه‌اند و پذیرش تغییر برایشان دشوار است. همچنین، سطح پایین دانش دیجیتال در میان مدیران و کارکنان هتلداری مانع دیگری است که روند پذیرش را کند می‌کند [۴].

در مقایسه با تجربه جهانی، کشورهای توسعه‌یافته به‌ویژه در اروپا و شرق آسیا گام‌های عملی در استفاده از بلاک‌چین در حوزه‌هایی مانند رزرو غیرمتمرکز و برنامه‌های وفاداری مشتریان برداشته‌اند. در ایران اما استفاده از این فناوری هنوز در مراحل اولیه قرار دارد. ضعف زیرساخت‌های فناورانه، نبود قوانین حمایتی و آشنایی محدود مدیران با کاربردهای بلاک‌چین، از جمله دلایل اصلی این عقب‌ماندگی است [۱۸]. بااین‌حال، پتانسیل بالای گردشگری ایران و رشد تقاضای گردشگران خارجی می‌تواند زمینه‌ای برای بهره‌برداری از این فناوری فراهم سازد، به شرط آنکه سرمایه‌گذاری لازم انجام گیرد و آموزش‌های لازم در سطح مدیران و کارکنان ارائه شود.

به‌طورکلی، می‌توان گفت بلاک‌چین با ویژگی‌های خاص خود فرصت‌های بی‌سابقه‌ای برای صنعت گردشگری هوشمند ایجاد می‌کند. این فناوری می‌تواند هم‌زمان امنیت داده‌ها را ارتقا دهد، اعتماد میان ذی‌نفعان را تقویت کند، هزینه‌های تراکنش را کاهش دهد و تجربه سفر را برای گردشگران ساده‌تر و شخصی‌سازی‌شده‌تر کند. بااین‌حال، تحقق این چشم‌انداز نیازمند رفع موانع فنی، قانونی و فرهنگی است. آینده گردشگری هوشمند در گرو آن است که سیاست‌گذاران، فعالان صنعت و پژوهشگران بتوانند از یک‌سو این فناوری را در بسترهای واقعی پیاده کنند و از سوی دیگر، چارچوب‌های حمایتی و آموزشی لازم برای پذیرش گسترده آن را فراهم آورند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

فناوری بلاک‌چین به‌عنوان یکی از نوآوری‌های مهم عصر دیجیتال، ظرفیت بالایی برای ارتقای امنیت، شفافیت و اعتماد در صنعت گردشگری هوشمند دارد. مرور ادبیات و تحلیل‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که این فناوری می‌تواند چالش‌های اساسی همچون جعل داده‌ها، افشای اطلاعات حساس و هزینه‌های بالای تراکنش‌ها را تا حد زیادی کاهش دهد. ویژگی‌های منحصربه‌فرد بلاک‌چین، از جمله تغییرناپذیری داده‌ها، ذخیره‌سازی غیرمتمرکز و قراردادهای هوشمند، بستری فراهم می‌آورد که در آن فرایندهای رزرو، پرداخت و مدیریت هویت با اطمینان بیشتری صورت گیرد [۱, ۱۰]. این ویژگی‌ها در کنار امکان تسریع و تسهیل تراکنش‌های مالی، چشم‌اندازی روشن از آینده‌ای امن‌تر و کارآمدتر برای گردشگری هوشمند ترسیم می‌کنند.

باوجود این فرصت‌ها، موانع و محدودیت‌هایی نیز وجود دارد. چالش‌هایی همچون پیچیدگی فنی، نیاز به زیرساخت‌های تخصصی، مصرف انرژی بالا در برخی الگوریتم‌ها و نبود چارچوب‌های حقوقی شفاف، سرعت پذیرش بلاک‌چین در گردشگری را کاهش داده است [۱۷, ۲۱]. در ایران، این موانع پررنگ‌تر به چشم می‌خورند؛ زیرا علاوه بر محدودیت‌های فنی، آگاهی محدود مدیران صنعت گردشگری نسبت به ظرفیت‌های بلاک‌چین و کمبود قوانین حمایتی نیز مانع مهمی در مسیر توسعه این فناوری است (میر فخرالدینی و همکاران، ۱۴۰۳). بنابراین، اگرچه بلاک‌چین می‌تواند به بهبود امنیت و افزایش اعتماد در صنعت گردشگری کمک کند، تحقق این هدف در عمل نیازمند توجه به ابعاد حقوقی، فرهنگی و فناورانه است.

براین‌اساس، چند پیشنهاد کلیدی قابل طرح است. در سطح سیاست‌گذاری، ضروری است که چارچوب‌های حقوقی و مقررات مشخصی برای استفاده از بلاک‌چین در خدمات گردشگری تدوین شود تا هم از نوآوری‌های فناورانه حمایت شود و هم نگرانی‌های حقوقی و امنیتی کاهش یابد. در سطح سازمانی، هتل‌ها و شرکت‌های گردشگری می‌توانند با سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های دیجیتال و آموزش کارکنان، زمینه پذیرش این فناوری را فراهم کنند. همچنین، ایجاد همکاری میان بازیگران مختلف زنجیره گردشگری و نهادهای فناورانه می‌تواند به هم‌افزایی و استفاده مؤثرتر از ظرفیت‌های بلاک‌چین منجر شود.

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

از منظر پژوهشی نیز، انجام مطالعات تجربی و میدانی درباره میزان پذیرش بلاک‌چین از سوی گردشگران و مدیران هتل‌ها اهمیت زیادی دارد. پژوهش‌های آینده می‌توانند بر مقایسه تجربیات کشورهای مختلف، شناسایی عوامل فرهنگی و اجتماعی مؤثر بر پذیرش فناوری، و طراحی مدل‌های بومی برای پیاده‌سازی بلاک‌چین در ایران تمرکز کنند. چنین پژوهش‌هایی می‌تواند مسیر روشن‌تری برای استفاده عملی از بلاک‌چین در صنعت گردشگری کشور ترسیم کند.

در این میان، پیشنهاد می‌شود کارگروهی مشترک میان وزارت میراث‌فرهنگی، گردشگری و صنایع‌دستی، سازمان فناوری اطلاعات ایران و بانک مرکزی تشکیل شود تا به‌عنوان نهاد مسئول، وظیفه سیاست‌گذاری، تنظیم‌گری و هدایت پروژه‌های پایلوت بلاک‌چین در گردشگری کشور را بر عهده گیرد. چنین ساختاری می‌تواند هماهنگی لازم میان ذی‌نفعان دولتی و خصوصی را ایجاد کرده و مسیر بهره‌برداری ایمن و هدفمند از این فناوری را هموار سازد. به‌طورکلی، می‌توان گفت بلاک‌چین ابزاری بالقوه برای ایجاد تحولی بنیادین در گردشگری هوشمند است. هرچند تحقق کامل این پتانسیل‌ها با موانعی همراه است، اما با سیاست‌گذاری هوشمندانه، آموزش هدفمند و همکاری میان ذی‌نفعان، این فناوری می‌تواند نقش مهمی در آینده صنعت گردشگری ایفا کند و زمینه‌ساز رشد پایدار و امن این صنعت در سطح ملی و جهانی شود.

این مقاله توسط ماشین یا هوش مصنوعی نوشته نشده است و هیچ بخشی از آن قبلاً منتشر یا در جای دیگری ارائه نشده است.

فهرست منابع

[1]. Önder, I., & Gunter, U. (2022). Blockchain: Is It The Future for the Tourism and Hospitality Industry?. Tourism Economics, 28(2), 291-299.

[2]. Liu-Lastres, B., Wen, H., & Huang, W. J. (2023). A Reflection on The Great Resignation in The Hospitality and Tourism Industry. International Journal of Contemporary Hospitality Management, 35(1), 235-249.

[3]. Sofalgar, S. (2023). Platforms for the Application of Blockchain Technology in Order to Achieve the Sustainable Development of Urban Tourism in Iran. Journal of Vision Future Cities, 4(3), 79-102.

[4]. Gretzel, U., Sigala, M., Xiang, Z., & Koo, C. (2015). Smart Tourism: Foundations and Developments. Electronic Markets, 25(3), 179-188.

[5]. Gong, Y., & Schroeder, A. (2022). A Systematic Literature Review of Data Privacy and Security Research on Smart Tourism. Tourism Management Perspectives, 44, 101019.

[6]. Dadkhah, M., Rahimnia, F., & Filimonau, V. (2022). Evaluating the Opportunities, Challenges and Risks of Applying the Blockchain Technology in Tourism: A Delphi Study Approach. Journal of Hospitality and Tourism Technology, 13(5), 922-954.

[7]. Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A Peer-To-Peer Electronic Cash System. Available at Ssrn 3440802.

[8]. Zheng, Z., Et Al., (2018). Blockchain Challenges and Opportunities: A Survey. International Journal of Web and Grid Services. 14(4): P. 352-375.

[9]. Cong, L.W. and Z. He, (2019). Blockchain Disruption and Smart Contracts. The Review of Financial Studies. 32(5): P. 1754-1797.

[10]. Treiblmaier, H. (2018). The Impact of The Blockchain on the Supply Chain: A Theory-Based Research Framework and A Call for Action. Supply Chain Management: An International Journal, 23(6), 545-559.

[11]. Erol, I., Neuhofer, I. O., Dogru, T., Oztel, A., Searcy, C., & Yorulmaz, A. C. (2022). Improving Sustainability in The Tourism Industry Through Blockchain Technology: Challenges and Opportunities. Tourism Management, 93, 104628.

[12]. Prados-Castillo, J. F., Guaita Martinez, J. M., Zielińska, A., & Gorgues Comas, D. (2023). A Review of Blockchain Technology Adoption in The Tourism Industry From A Sustainability Perspective. Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research, 18(2), 814-830.

[13]. Corne, A., Massot, V., & Merasli, S. (2023). The Determinants of The Adoption of Blockchain Technology in The Tourism Sector and Metaverse Perspectives. Information Technology & Tourism, 25(4), 605-633.

[14]. Treiblmaier, H. (2020). Blockchain and Tourism. in Handbook of E-Tourism (Pp. 1-21). Cham: Springer International Publishing.

[15]. Panagopoulos, A., Matika, V., Nikas, I. A., & Paraschi, E. P. (2025). A Comprehensive Structural Framework for Smart Stadiums as Essential Components of Smart Tourism Destinations. Worldwide Hospitality and Tourism Themes, 17(1), 106-119.

[16]. Kumar, A. (2024). Decentralizing Identity With Blockchain Technology in Digital Identity Management. Journal of Current Research in Blockchain, 1(3), 178-189.

[17]. Bolici, F., Acciarini, C., Marchegiani, L., & Pirolo, L. (2024). Innovation Diffusion in Tourism: How Information About Blockchain Is Exchanged and Characterized on Twitter. The Tqm Journal, 36(9), 255-279.

شاپا چاپی 2008-935X شاپا الکترونیکی 2783-0934 https:/www.sciencecultivation.ir

[۱۸]. میرفخرالدینی, فائزه السادات , میرفخرالدینی, سید حیدر و مالکی نژاد, پوریا . (۱۴۰۳). چالش‌های استقرار بلاکچین در زنجیره‌تأمین خدمات گردشگری. گردشگری و توسعه, ۱۳(۲), ۷۳-۸۹. Doi: 10.22034/Jtd.2024.422729.2847

[19]. Xu, J., Shi, P. H., & Chen, X. (2025). Exploring Digital Innovation in Smart Tourism Destinations: Insights From 31 Premier Tourist Cities in Digital China. Tourism Review, 80(3), 681-709.

[20]. Ressi, D., Romanello, R., Piazza, C., & Rossi, S. (2024). Ai-Enhanced Blockchain Technology: A Review of Advancements and Opportunities. Journal of Network and Computer Applications, 225, 103858.

[21]. Baydeniz, E. (2023). Blockchain Technology in Tourism: Pioneering Sustainable and Collaborative Travel Experiences. Journal of Tourismology, 10(1), 1-12.

[22]. Rana, R. L., Adamashvili, N., & Tricase, C. (2022). The Impact of Blockchain Technology Adoption on Tourism Industry: A Systematic Literature Review. Sustainability, 14(12), 7383.

[23]. Puri, V., Mondal, S., Das, S., & Vrana, V. G. (2023). Blockchain Propels Tourism Industry, An Attempt to Explore Topics and Information in Smart Tourism Management Through Text Mining and Machine Learning. In Informatics .10 (1), 9.

[24]. Sharma, M., Sehrawat, R., Daim, T., & Shaygan, A. (2021). Technology Assessment: Enabling Blockchain in Hospitality and Tourism Sectors. Technological Forecasting and Social Change, 169, 120810.

[25]. Tyan, I., Guevara-Plaza, A., & Yagüe, M. I. (2021). The Benefits of Blockchain Technology for Medical Tourism. Sustainability, 13(22), 12448.

[26]. Wei, D. (2022). Gemiverse: The Blockchain-Based Professional Certification and Tourism Platform With Its Own Ecosystem in The Metaverse. International Journal of Geoheritage and Parks, 10(2), 322-336.

[27]. Halkiopoulos, C., Antonopoulou, H., & Kostopoulos, N. (2022). Integration of Blockchain Technology in Tourism Industry: Opportunities and Challenges. in International Conference of The International Association of Cultural and Digital Tourism (Pp. 353-368). Cham: Springer International Publishing.

[28]. Valeri, M., & Baggio, R. (2021). A Critical Reflection on The Adoption of Blockchain in Tourism. Information Technology & Tourism, 23(2), 121-132.

[29]. Balasubramanian, S., Sethi, J. S., Ajayan, S., & Paris, C. M. (2022). An Enabling Framework for Blockchain in Tourism. Inform Ation Technology & Tourism, 24(2), 165-179.

زیست‌تجزیه‌پذیری میکروپلاستیک‌ها با استفاده از باکتری‌ها

میترا پیرحقی*[1]

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله ترویجی

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت
۲۶ مرداد ۱۴۰۴
تاریخ بازنگری
۱۱ شهریور ۱۴۰۴
تاریخ پذیرش
۱۹ شهریور ۱۴۰۴
تاریخ انتشار
۳۰ آذر ۱۴۰۴

کلیدواژه‌ها:
میکروپلاستیک، آلودگی پلاستیکی، تخریب محیط‌زیست، تجزیه زیستی، باکتری.

چکیده

میکروپلاستیک‌ها به‌دلیل پایداری بالا، پراکندگی وسیع در محیط‌های زمینی، آبی و جوی، و همچنین توانایی تجمع زیستی، به‌عنوان یکی از معضلات مهم زیست‌محیطی و بهداشتی شناخته می‌شوند. استفاده از مواد افزودنی مضر در فرآیند تولید پلاستیک و دشواری تجزیه‌پذیری آنها، حذف این آلاینده‌ها را با روش‌های صنعتی سنتی پیچیده کرده است. در این میان، زیست‌تجزیه‌پذیری میکروپلاستیک‌ها با استفاده از میکروارگانیسم‌ها به‌عنوان روشی پایدار و دوستدار محیط‌زیست مورد توجه قرار گرفته است. این مقاله به بررسی فرایند تجزیه میکروپلاستیک‌ها توسط باکتری‌ها می‌پردازد و مراحل تجزیه، آنزیم‌های کلیدی مانند استرازها، لیپازها، لاکازها و دپلیمرازها، و گونه‌های باکتریایی مؤثر را معرفی می‌کند. اگرچه این روش پتانسیل بالایی دارد، اما با چالش‌هایی مانند نرخ پایین تجزیه و زمان‌بر بودن فرآیند مواجه است. بنابراین، بهینه‌سازی سویه‌های میکروبی، بهبود عملکرد آنزیم‌ها و شرایط کشت می‌تواند نقش مهمی در توسعه راهکارهای زیست‌فناورانه برای حذف میکروپلاستیک‌ها ایفا کند.

استناد: پیرحقی میترا. (۱۴۰۴). 'زیست‌تجزیه‌پذیری میکروپلاستیک‌ها با استفاده از باکتری‌ها', نشاء علم، ۱۵ (۲)، ۱۸۹-۱۹۷.

ناشر: بنیاد پیشبرد علم و فناوری در ایران و انجمن بیوشیمی فیزیک ایران
© نویسندگان حق نشر و کلیه حقوق انتشار را برای خود حفظ می‌کنند.

* عهده‌دار مکاتبات: استادیار، تلفن: ۳۳۱۵۳۳۱۱ (۹۸۲۴)، آدرس الکترونیکی: m.pirhaghi@iasbs.ac.ir
[1] دانشکده علوم زیستی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، زنجان، ایران

مقدمه

میکروپلاستیک‌ها به‌عنوان آلاینده‌های نوظهور شناخته می‌شوند؛ زیرا در بخش‌های مختلف محیط‌زیست شامل جو، آب‌ها و خاک یافت می‌شوند. میکروپلاستیک‌ها به ذرات پلاستیکی با اندازه کمتر از ۵ میلی‌متر اطلاق می‌شوند که یا مستقیماً به‌صورت ذرات ریز تولید می‌شوند (میکروپلاستیک‌های اولیه) یا در اثر تجزیه فیزیکی، شیمیایی و زیستی پلاستیک‌های بزرگ‌تر در محیط ایجاد می‌گردند (میکروپلاستیک‌های ثانویه). میکروپلاستیک‌ها به دلیل خاصیت پایداری و تجمع زیستی برای حیات‌وحش و انسان‌ها مضر هستند. این خطر ناشی از افزودنی‌های مختلفی است که هنگام تولید پلاستیک‌ها مانند رنگ‌ها، نرم‌کننده‌ها و بازدارنده‌های شعله به آنها اضافه می‌شود. این ذرات به دلیل اندازه کوچک و پایداری شیمیایی بالا، به‌راحتی در محیط‌های آبی، خاک و حتی هوا پراکنده می‌شوند و وارد زنجیره‌های غذایی می‌گردند [۱, ۲].

اولین پلاستیک ساخته‌شده توسط انسان در سال ۱۸۶۲ توسط شیمیدان انگلیسی الکساندر پارکس[1] با نام پارکزین[2] معرفی شد که از سلولز طبیعی مشتق شده بود؛ اما نخستین پلاستیک کاملاً مصنوعی و غیرمشتق از مواد طبیعی در سال ۱۹۰۷ توسط شیمیدان بلژیکی–آمریکایی لئو بیکلند[3] با نام باکلیت[4] و بر پایه رزین فنول–فرمالدهید ساخته شد، برای سال‌ها در ساخت تلفن‌ها استفاده شد. اختراعات مهم بعدی بین دو جنگ جهانی رخ داد: سلوفان (۱۹۱۳)، پلی‌وینیل کلرید (۱۹۲۷)، پلی‌استایرن و نایلون (۱۹۳۸)، و پلی‌اتیلن (۱۹۴۲). پس از جنگ جهانی دوم، تولید پلاستیک با سرعتی شگفت‌انگیز رشد کرد: بین ۱۹۵۰ تا ۱۹۷۰ بیست برابر شد و به بیش از ۲۵ میلیون تن رسید. این دوران با ورود پلاستیک به زندگی روزمره همراه بود؛ محصولاتی مانند ظروف تاپرور (۱۹۴۶) و وسایل خانگی در دهه‌ی ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ که پلاستیک را به نماد «سبک زندگی آمریکایی» تبدیل کردند. حتی در دنیای مد و مبلمان نیز پلاستیک به اوج محبوبیت رسید. در سال ۱۹۶۸ نخستین بطری‌های پلاستیکی وارد بازار شدند [۳]. تولید پلاستیک سالانه به طور چشمگیری افزایش یافته است؛ به‌طوری‌که در سال ۲۰۱۵ حدود ۳۸۰ میلیون تن در سال رسید. مجموع تولید پلاستیک از سال ۱۹۵۰ تا ۲۰۱۵ بیش از ۷۸۰۰ میلیون تن بوده که حدود ۶۳۰۰ میلیون تن آن به‌صورت زباله پلاستیکی باقی مانده است. پیش‌بینی می‌شود تولید پلاستیک تا سال ۲۰۲۵ به ۵۰۰ میلیون تن در سال برسد. این روند نگرانی‌های زیادی ایجاد کرده است؛ زیرا میکروپلاستیک‌ها عمدتاً از تجزیه پلیمرهای بزرگ‌تر و تحت‌تأثیر عوامل فیزیکی، شیمیایی و زیستی به وجود می‌آیند [۴].

مطالعات متعدد نشان داده‌اند که این ذرات می‌توانند باعث آسیب فیزیولوژیک در موجودات دریایی، تغییرات ژنتیکی، اثرات التهابی و همچنین انتقال آلاینده‌های شیمیایی نظیر فلزات سنگین و ترکیبات آلی سمی شوند. علاوه بر این، ورود میکروپلاستیک‌ها به بدن انسان از طریق آب، غذا و هوا، نگرانی‌هایی جدی در زمینه سلامت عمومی ایجاد کرده است [۱, ۲].

به دلیل گسترش جهانی این آلودگی و توان پایین روش‌های طبیعی در حذف آن، یافتن راهکارهای مؤثر و پایدار برای تجزیه میکروپلاستیک‌ها به یک اولویت مهم در زیست‌فناوری و محیط‌زیست تبدیل شده است. برخی از میکروارگانیسم‌های موجود در اکوسیستم (باکتری‌ها و قارچ‌ها) می‌توانند تأثیر قابل‌توجهی در تجزیه میکروپلاستیک‌ها داشته باشند. یکی از رویکردهای نوین و امیدوارکننده در این زمینه، استفاده از باکتری‌ها و فرایندهای زیستی برای شکستن و معدنی‌سازی این ترکیبات است. باکتری‌ها یکی از اصلی‌ترین گروه‌های موجودات زنده هستند و بیشترین تنوع گونه‌ای را در میان آنها دارند. تاکنون گزارش‌های زیادی درباره توانایی تجزیه میکروپلاستیک‌ها توسط باکتری‌ها منتشر شده است. فارغ از نوع میکروارگانیسم (باکتری یا قارچ)، اصل مهم در تجزیه زیستی میکروپلاستیک‌ها، تبدیل آنها به مواد غیرآلی بی‌ضرر از طریق متابولیسم میکروبی است. پلی‌اتیلن (PE)، پلی‌استایرن (PS) و پلی‌اتیلن‌ترفتالات (PET) از رایج‌ترین پلاستیک‌هایی هستند که به طور گسترده در زندگی روزمره استفاده می‌شوند. میکروپلاستیک‌هایی که پس از خرد شدن این مواد ایجاد می‌شوند، توسط میکروارگانیسم‌ها تجزیه می‌گردند.

این مقاله با هدف بررسی نقش باکتری‌ها در تجزیه میکروپلاستیک‌ها نگارش شده و تلاش دارد ضمن معرفی گونه‌های مؤثر باکتریایی، مکانیسم‌های زیست‌مولکولی تجزیه را تحلیل کرده و عوامل محیطی مؤثر بر کارایی این فرایند را تبیین نماید [۱, ۲]. تمرکز مقاله بر روی موارد زیر است:

[1] Alexander Parkes
[2] Parkesine
[3] Leo Baekeland
[4] Bakelite

شاپا چاپی 2008-935X شاپا الکترونیکی https:/www.sciencecultivation.ir 2783-0934

- تعریف و شناسایی مراحل زیست‌تجزیه میکروپلاستیک‌ها توسط باکتری‌ها؛
- معرفی گونه‌های مهم باکتریایی و آنزیم‌های کلیدی در این فرایند؛
- تحلیل نقش بیوفیلم‌ها در جذب و تخریب ذرات پلاستیکی؛
- بررسی محدودیت‌ها، چالش‌ها و راهکارهای پیشنهادی برای بهبود کارایی تجزیه؛
- مرور مطالعات موردی و دستاوردهای نوین در حوزه زیست‌فناوری پلاستیک‌زدایی

با پرداختن به این محورها، مقاله سعی دارد چشم‌اندازی کاربردی برای پژوهشگران، مهندسان محیط‌زیست و سیاست‌گذاران ارائه دهد تا زمینه‌ساز توسعه روش‌های زیستی مؤثر برای مقابله با بحران جهانی میکروپلاستیک‌ها باشد.

ضرورت تجزیه زیستی میکروپلاستیک‌ها

روش‌های فیزیکی و شیمیایی موجود برای حذف یا کاهش میکروپلاستیک‌ها –نظیر فیلتراسیون پیشرفته، اکسیداسیون شیمیایی، یا لخته‌سازی– معمولاً دارای محدودیت‌هایی از جمله هزینه بالا، مصرف انرژی زیاد، و تولید محصولات جانبی سمی هستند. این روش‌ها اغلب در مقیاس‌های بزرگ صنعتی قابل‌پیاده‌سازی نیستند یا کارایی محدودی در برابر ذرات بسیار ریز و پایدار دارند. همچنین، برخی از این تکنیک‌ها تنها باعث انتقال آلودگی از یک محیط به محیط دیگر می‌شوند (مثلاً از آب به لجن یا خاک)، نه تخریب واقعی آلاینده [۵].

در مقابل، تجزیه زیست[1] به‌عنوان یک راهکار سبز، پایدار و کم‌هزینه مطرح شده است که از ظرفیت موجودات زنده (مانند باکتری‌ها، قارچ‌ها یا آنزیم‌های زیستی) برای تجزیه میکروپلاستیک‌ها به ترکیبات ساده‌تر، غیرسمی و قابل‌جذب در طبیعت بهره می‌برد. این فرآیند با استفاده از آنزیم‌های خاص می‌تواند پیوندهای پلیمری مقاوم در ساختار پلاستیک را شکسته و منجر به تجزیه تدریجی یا حتی کامل مواد شود. همچنین، قابلیت ترکیب‌پذیری این روش با سیستم‌های تصفیه فاضلاب یا بیورآکتورهای زیستی، امکان به‌کارگیری آن را در محیط‌های واقعی افزایش داده است [۵].

چالش‌های موجود در تجزیه زیستی میکروپلاستیک‌ها

میکروپلاستیک‌ها و پلاستیک‌ها به دلیل نداشتن گروه‌های عاملی غنی و پیوندهای قابل هیدرولیز، بستر مناسبی برای چسبیدن میکروارگانیسم‌ها و انجام واکنش‌های آنزیمی نیستند [۶]. ترکیب ذاتی و ویژگی‌هایی مانند پایداری و مقاومت بالا در برابر تخریب، مانعی برای تجزیه زیستی آنها محسوب می‌شود. پلیمرهای مقاوم به‌سختی تجزیه می‌شوند و در نتیجه، جذب آنها در محیط‌زیست دشوار است [۷]. این پلیمرهای مقاوم، به‌ویژه آنهایی که زنجیره‌های بلند و انعطاف‌ناپذیری دارند، فقط در صورت فعالیت آنزیمی گسترده و طی مدت‌زمان طولانی، به مونومرهای کوچکتر تجزیه می‌شوند. این فرآیند نیازمند ایجاد پیوندهای حساس آنزیمی با گروه‌های شیمیایی موجود در زنجیره‌ی جانبی یا اصلی پلیمر و در نهایت شکست آنها است.

در فرآیند تجزیه زیستی، یکی از مشکلات پلاستیک‌های سنتی مبتنی بر نفت، این است که پس از قرارگرفتن در معرض عوامل غیرزیستی نظیر تابش UV، دما و فشار فیزیکی طی زمان طولانی، تنها به قطعات کوچکتر تبدیل می‌شوند؛ اما به طور کامل توسط میکروارگانیسم‌ها تجزیه و جذب نمی‌شوند. پلاستیک‌ها به دلیل ساختار ماکرومولکولی، زنجیره‌های بلند، وزن مولکولی بالا، آب‌گریزی و کریستالی بودن، تجزیه‌پذیری میکروبی بسیار کمی دارند؛ چرا که این ویژگی‌ها در اصل برای افزایش عملکرد صنعتی آنها طراحی شده‌اند. برای مثال، پلاستیک‌هایی که فاقد ترکیبات پرواکسیدان هستند، معمولاً گروه‌های عاملی یا پیوندهای استری حساس به آنزیم ندارند و در نتیجه به‌سختی مورد حمله آنزیم‌ها قرار می‌گیرند. در مقابل، پلاستیک‌های زیست‌تجزیه‌پذیر ممکن است دارای گروه‌های عاملی یا پیوندهای استری حساس باشند که تحت‌تأثیر آنزیم‌ها، نور یا گرما تجزیه شوند [۸، ۹].

پلیمرهای با وزن مولکولی بالا نسبت به پلاستیک‌های نوظهور زیست‌تجزیه‌پذیر، سخت‌تر تجزیه می‌شوند، چرا که این دسته پلاستیک‌های جدید معمولاً زنجیره‌های کوتاه‌تر، وزن مولکولی پایین‌تر و گروه‌های عاملی بیشتر و انعطاف‌پذیرتری دارند؛ بنابراین، مشکل اصلی در تجزیه پلاستیک‌ها، به ترکیب شیمیایی خاص آنها در پلاستیک‌های سنتی برمی‌گردد. در نتیجه، لازم است ظرفیت و

[1] Biodegradation

شاپا چاپی 2008-935X شاپا الکترونیکی https:/www.sciencecultivation.ir 2783-0934

کارایی تجزیه میکروبی ارتقا یابد یا گونه‌های کارآمدتری از میکروارگانیسم‌ها شناسایی و مورد استفاده قرار گیرند [۹, ۱۰].

از سوی دیگر، یکی از دلایل اصلی اهمیت موضوع تجزیه پلاستیک‌ها در پژوهش‌های محیط‌زیستی این است که تبدیل پلاستیک‌ها به ذرات ریزتر (میکروپلاستیک) می‌تواند سمیت آزاد کند. برای مثال، فتالات‌ها (PAEs) که به طور گسترده به‌عنوان نرم‌کننده در محصولات پلاستیکی به کار می‌روند، خواصی نظیر انعطاف‌پذیری، دوام و خاصیت شکل‌پذیری را به پلاستیک می‌دهند. انسان عمدتاً از طریق غذا در معرض PAEs قرار می‌گیرد و این مواد می‌توانند مشکلات جدی‌ای مانند اختلالات غدد درون‌ریز، نارسایی‌های متابولیکی و سمیت‌های تولیدمثل ایجاد کنند [۱۱]. ترکیب دیگری به نام بیسفنول A (BPA) نیز که یک ماده مختل‌کننده غدد درون‌ریز شناخته شده است، بخش بزرگی از پلیمرهای سنتزی و نرم‌کننده‌ها را تشکیل می‌دهد. این ترکیب به‌صورت گسترده در سطح جهانی تولید شده و عمدتاً در تولید پلی‌کربنات‌ها و سایر مواد پلیمری استفاده می‌شود [۱۲]. پلاستیک‌ها در حالت کلی به‌عنوان ماکرومولکول‌های نسبتاً بی‌خطر شناخته می‌شوند که در بدن انسان جذب نمی‌شوند، اما بیشترین خطر مربوط به افزودنی‌های سمی‌ای است که در فرآیند تولید آنها افزوده می‌شود یا به علت واکنش‌های ناقص طی سنتز ایجاد می‌گردند. در این میان، ترکیبات کوچک‌تر مانند مونومرها سمیت بالاتری دارند [۱۳].

ویژگی‌های میکروپلاستیک‌ها و آلاینده‌های آلی پایدار (POPs) و همچنین شرایط محیطی، در میزان جذبPOPها روی سطح میکروپلاستیک‌ها نقش دارند. زمانی که مقدار زیادی ازPOPها روی سطح میکروپلاستیک‌ها جذب شود، در مرحله مونومری سمیت آن افزایش می‌یابد. با اینکه انتقال POPهای بلعیده‌شده در زنجیره غذایی هنوز به طور دقیق مشخص نیست، اما دامنه آن بسیار گسترده است. تماس انسان با مونومرها وPOPها می‌تواند از طریق استنشاق، بلع یا تماس پوستی، تعادل طبیعی میکروبیوتای روده را مختل کند [۱۴, ۱۵].

در مجموع، طیف گسترده‌ای از سمیت و آلودگی میکروپلاستیک‌ها و پلاستیک‌ها، هم محیط‌زیست و هم سلامت انسان را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. ازاین‌رو، یافتن دلایل و مکانیسم‌های زیست‌تجزیه توسط میکروارگانیسم‌ها به طور فوری ضروری است.

امکان‌سنجی در تجزیه زیستی میکروپلاستیک‌ها

تنوع میکروبی یکی از عوامل کلیدی در فرآیند تجزیه زیستی است. میکروارگانیسم‌ها شامل باکتری‌ها، قارچ‌ها و برخی جلبک‌ها هستند که دارای ویژگی‌ها و توانایی‌های برجسته‌ای همچون اندازه‌ی کوچک، جذب و متابولیسم سریع، سازگاری بالا، قابلیت جهش‌پذیری آسان و پراکندگی وسیع هستند. این موجودات میکروسکوپی به‌صورت ذاتی یا اکتسابی قادرند حتی در محیط‌های بسیار نامساعد نیز زنده بمانند. جوامع میکروبی قادرند خود را با محیط‌های جدید تطبیق داده، به آنها بچسبند و آنزیم‌هایی ترشح کنند که به آنها اجازه می‌دهد آلودگی پلاستیکی ماندگار را به‌عنوان تنها منبع کربن مورد استفاده قرار دهند [۱۶, ۱۷].

تجزیه میکروبی پلاستیک‌ها و میکروپلاستیک‌ها تحت‌تأثیر رشد میکروارگانیسم‌ها و شرایط محیطی خارجی قرار دارد. متغیرهای محیطی و نوع زیستگاه تحت مطالعه، از عوامل اصلی تعیین‌کننده‌ی تنوع و غنای میکروبی هستند. علاوه بر خود میکروارگانیسم‌ها، ویژگی‌های سطحی مواد پلاستیکی؛ از جمله زبری، برهم‌کنش الکترواستاتیکی، مورفولوژی سطح، آب‌گریزی و انرژی آزاد سطحی نیز در فرآیند تجزیه زیستی نقش دارند [۱۸–۲۰].

امکان تجزیه مؤثر پلیمرها با استفاده از میکروارگانیسم‌های مختلف در حال افزایش است. در زیستگاه‌های دریایی، بیوفیلم‌هایی که توسط جوامع میکروبی تشکیل می‌شوند، به تجزیه پلاستیک‌ها و میکروپلاستیک‌ها کمک می‌کنند. تشکیل بیوفیلم میکروبی یکی از روش‌های اصلی تجزیه پلیمرها است. ابتدا میکروارگانیسم‌ها به سطح پلاستیک می‌چسبند و بیوفیلم تشکیل می‌دهند که به آن اصطلاحاً پلاستی‌سفر[1] گفته می‌شود [۲۱].

جوامع میکروبی وابسته به بیوفیلم‌ها هستند. این بیوفیلم‌ها حاوی مجموعه‌ای متنوع از میکروارگانیسم‌ها بوده و ممکن است گونه‌های تجزیه‌کننده پلاستیک را در خود جای‌داده باشند. برای مثال، آب‌گریزی PE در تشکیل بیوفیلم اختلال ایجاد می‌کند، اما جمعیت‌های میکروبی با سطح سلولی بسیار آب‌گریز، می‌توانند بهتر به سطح PE بچسبند و بیوفیلم تشکیل دهند [۲۲].

مطالعات مختلف نشان داده‌اند که در طبیعت، باکتری‌ها معمولاً به‌صورت «اجتماع» همکاری می‌کنند. جوامع میکروبی شامل مجموعه‌ای از میکروارگانیسم‌ها هستند که به طور هم‌افزا در تجزیه

[1] Plastisphere

شاپا چاپی 2008-935X شاپا الکترونیکی https:/www.sciencecultivation.ir 2783-0934

مشارکت می‌کنند و در مقایسه با گونه‌ی منفرد، کارایی تجزیه بالاتری دارند. این اجتماعات می‌توانند ترکیبات پیچیده را به مونومرهای ساده تجزیه کنند، چرا که چندین گونه به طور همزمان و در کنار یکدیگر عمل می‌کنند.

مکانیسم تجزیه میکروپلاستیک‌ها توسط باکتری‌ها

باکتری‌ها با ایجاد سوراخ‌ها و ناهمواری‌ها روی سطح میکروپلاستیک‌ها باعث تغییر ساختار، چسبیدن و تخریب آنها می‌شوند. به‌عنوان‌مثال، برخی گونه‌های *Bacillus* توانسته‌اند وزن پلی‌پروپیلن را تا ۶/۴٪ و PE را تا حدود ۶٪ کاهش دهند. همچنین *Pseudomonas aeruginosa* قادر به تجزیه PS و PLA تا ۱۰٪ بوده است. برخی پلاستیک‌ها مانند PVC و PET به دلیل وجود افزودنی‌های زیاد و ساختار پیچیده‌تر، تجزیه زیستی دشواری دارند و در برابر باکتری‌ها مقاوم‌ترند؛ بنابراین، مطالعات روی تجزیه پلاستیک‌های ساده‌تر و قابل‌تجزیه زیستی مانند PS، PE و PLA تمرکز بیشتری دارند [۴]. فرآیند تجزیه میکروپلاستیک‌ها توسط باکتری‌ها یک مسیر چندمرحله‌ای، پیچیده و وابسته به شرایط محیطی و نوع پلیمر است. فرایند تجزیه باکتریایی معمولاً شامل تبدیل پلیمرهای بزرگ به ذرات کوچک‌تر، سپس به اولیگومرها، دایمرها و مونومرها و نهایتاً معدنی شدن توسط میکروارگانیسم‌ها است. این فرایند با کمک آنزیم‌های مختلفی انجام می‌شود که محصولات میانی تولید می‌کنند. این مسیر به‌طورکلی شامل چهار مرحله اصلی می‌شود (شکل ۱):

۱- اتصال اولیه و تشکیل بیوفیلم[1]

پس از ورود میکروپلاستیک‌ها به محیط طبیعی، سطح آنها به‌سرعت توسط میکروارگانیسم‌ها، از جمله باکتری‌ها، اشغال می‌شود. این فرآیند منجر به تشکیل بیوفیلم می‌گردد؛ ساختاری ژلاتینی متشکل از سلول‌های باکتری و ماتریکس خارج سلولی[2] (EPS) که سطح پلاستیک را می‌پوشاند. تشکیل بیوفیلم موجب تسهیل در تجمع آنزیم‌ها، حفاظت باکتری در برابر تنش‌های محیطی، و افزایش تماس مستقیم با پلیمر می‌شود [۲, ۲۳]. بیوفیلم نه‌تنها به باکتری‌ها امکان چسبندگی بهتر می‌دهد، بلکه به‌عنوان یک میکروزیست‌بوم[3] عمل می‌کند که تعامل میان گونه‌ها را تنظیم می‌کند (از طریق quorum sensing).

۲- تخریب سطحی پلیمر[4]

در مرحله بعد، باکتری‌ها از طریق آنزیم‌های خارج سلولی و متابولیت‌های فعال خود (مانند اسیدهای آلی، پراکسیدها و رادیکال‌های آزاد)، موجب اکسیداسیون یا شکستن پیوندهای ضعیف‌تر در سطح پلیمر می‌شوند. این مرحله معمولاً باعث ایجاد ترک‌های سطحی، حفره و کاهش وزن میکروپلاستیک می‌گردد. برخی فرآیندهای فیزیکی-شیمیایی مانند نور UV و دما نیز ممکن است به شروع این مرحله کمک کنند [۲۴, ۲۵].

۳- تجزیه آنزیمی پلیمر[5]

این مرحله هسته اصلی زیست‌تجزیه محسوب می‌شود. در این بخش، باکتری‌ها از آنزیم‌های خاص برای شکستن زنجیره‌های بلند پلیمر به الیگومرها و مونومرهای ساده‌تر استفاده می‌کنند. نوع آنزیم‌ها بسته به نوع پلاستیک متفاوت است [۴, ۵, ۲۵]، از جمله:

- Polyesterases و Lipases برای پلی‌اتیلن ترفتالات (PET)
- Hydrolases و Esterases برای پلی‌یورتان (PU)
- Alkane hydroxylases برای پلی‌اتیلن (PE) و پلی‌پروپیلن (PP)
- Laccases و Peroxidases برای پلی‌استایرن (PS)

این آنزیم‌ها باعث شکستن پیوندهای استری، اتر یا آلکانی موجود در ساختار پلیمر می‌شوند که نتیجه آن تولید ترکیبات ساده‌تر قابل‌مصرف برای باکتری است.

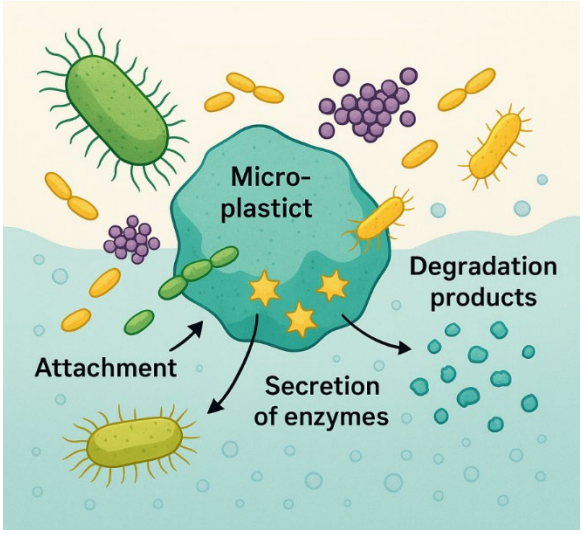
آنزیم PETase که از باکتری *Ideonella sakaiensis* استخراج شده است، توانایی تجزیه PET را دارد. این آنزیم با شکستن پیوندهای استری در PET، آن را به مونومرهای قابل‌جذب مانند هیدروکسی‌اتیل‌تریفتالیک‌اسید (MHET) و بیس‌هیدروکسی‌اتیل‌تریفتالیک‌اسید (BHET) تبدیل می‌کند. در ادامه، آنزیم MHETase این ترکیبات را به ترفتالیک‌اسید و اتیلن‌گلیکول تجزیه می‌کند که می‌توانند توسط باکتری جذب شوند و به انرژی تبدیل شوند. تحقیقات اخیر نشان داده‌اند که با مهندسی ژنتیکی PETase، می‌توان کارایی آن را در تجزیه PET افزایش داد [۲۶-۲۸].

[1] Biofilm Formation
[2] Extracellular Polymeric Substances
[3] plastisphere
[4] Surface Weathering
[5] Enzymatic Depolymerization

شاپا چاپی 2008-935X شاپا الکترونیکی https:/www.sciencecultivation.ir 2783-0934

۴- متابولیزه کردن و جذب نهایی[1]

پس از تجزیه پلیمر به مونومرهای قابل‌استفاده، این ترکیبات توسط باکتری‌ها جذب و وارد مسیرهای متابولیک سلولی می‌شوند. این فرایند منجر به تولید انرژی، رشد سلولی و در نهایت معدنی شدن[2] ترکیبات به آب (H_2O)، دی‌اکسیدکربن (CO_2) یا متان (CH_4) در شرایط بی‌هوازی می‌گردد. در برخی موارد، تجزیه کامل انجام نمی‌شود و فرآورده‌های حدواسط سمی مانند الیگومرها یا مواد اکسید شده تولید می‌شوند که در ادامه نیاز به پردازش بیشتر دارند [۵, ۲۳, ۲۴].



شکل ۱: مکانیزم تجزیه میکروپلاستیک‌ها توسط باکتری

نمونه‌هایی از باکتری‌های مؤثر در تجزیه میکروپلاستیک‌ها

مطالعات متعددی نشان داده‌اند که برخی از باکتری‌ها قادر به تجزیه انواع خاصی از میکروپلاستیک‌ها هستند. این باکتری‌ها با ترشح آنزیم‌های خاص می‌توانند پلیمرهای پیچیده را به ترکیبات ساده‌تر تجزیه کرده و در چرخه متابولیکی خود قرار دهند. آنزیم‌های مهم در این فرایند شامل استرازها، لیپازها، لیگنین پراکسیدازها، لاکازها، دپلیمرازها، کاتینازها و منگنز پراکسیدازها هستند که باعث افزایش آب‌دوستی پلاستیک و بهبود چسبندگی باکتری‌ها می‌شوند [۴]. جدول ۱، خلاصه‌ای از مهم‌ترین باکتری‌های گزارش‌شده و آنزیم‌های کلیدی آنها در تجزیه میکروپلاستیک‌ها را ارائه می‌دهد.

عوامل مؤثر بر کارایی تجزیه زیستی میکروپلاستیک‌ها

فرایند تجزیه میکروپلاستیک‌ها توسط باکتری‌ها به‌شدت وابسته به شرایط محیطی و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی پلاستیک و باکتری است. در ادامه، مهم‌ترین عوامل مؤثر بررسی می‌شوند [۲, ۳۶, ۳۷]:

۱- نوع و ساختار پلاستیک

نوع پلیمر، وزن مولکولی، کریستالینیتی (درصد بلورینگی)، و وجود افزودنی‌ها (مانند پایدارکننده‌ها یا رنگ‌ها) تأثیر مستقیمی بر قابلیت تجزیه زیستی دارد. پلاستیک‌هایی مانند PET و PU دارای گروه‌های قابل هیدرولیز (ester, urethane) هستند و بهتر توسط

جدول ۱: خلاصه‌ای از مهمترین باکتری‌های تجزیه‌کننده میکروپلاستیک‌ها و آنزیم‌های کلیدی آنها.

ردیف	گونه باکتری	نوع پلاستیک هدف	آنزیم‌های کلیدی	شرایط بهینه	منبع
۱	*Ideonella sakaiensis*	PET	PETase, MHETase	۳۰–۳۷ °C، pH خنثی، هوازی	[۲۹]
۲	*Rhodococcus ruber*	PE	Alkane hydroxylase	دمای ۳۰ °C، محیط خاکی	[۳۰]
۳	*Streptomyces sp.*	PLA	Cutinase	شرایط خاکی، دمای ۲۸–۳۰ °C	[۳۱]
۴	*Corynebacterium sp.*	PU	Urethanase	محیط کشت خاص، ۳۰ °C	[۳۲]
۵	*Pseudomonas putida*	PE ،PU ،PS	Monooxygenase, esterase	دمای ۲۵–۳۵ °C، شرایط هوازی	[۳۳]
۶	*Bacillus subtilis*	PLA ،PE	Protease ،lipase	pH قلیایی، دمای متوسط	[۳۳]
۷	*Alcanivorax borkumensis*	PP ،PE	Oxygenase	محیط دریایی، دمای ۲۵°C	[۳۴]
۸	*Thermobifida fusca*	PLA ،PET	Cutinase, esterase	دمای بالا (۵۵ °C)، pH قلیایی	[۳۵]

[1] Assimilation and Mineralization
[2] Mineralization

شاپا چاپی 2008-935X شاپا الکترونیکی https:/www.sciencecultivation.ir 2783-0934

آنزیم‌ها تجزیه می‌شوند. پلیمرهای با زنجیره‌های بلند، بلورین بالا و ساختار غیرقطبی مانند PE و PP، مقاومت بیشتری دارند. پلاستیک‌های آمورف (بی‌شکل) با پیوندهای قابل‌دسترس‌تر، سریع‌تر تجزیه می‌شوند.

۲- گونه و سازگاری باکتری

نوع باکتری، توانایی تولید آنزیم‌های خاص و قدرت تشکیل بیوفیلم از عوامل کلیدی هستند. باکتری‌های گرمادوست مانند *Thermobifida fusca* در دماهای بالا مؤثرتر عمل می‌کنند. باکتری‌های پلاستیک دوست مانند *Pseudomonas spp.* دارای مسیرهای متابولیکی تطبیق‌یافته‌اند. ترکیب چندگونه از میکروب‌ها (کنسرسیوم‌های میکروبی) معمولاً عملکرد بهتری از تک‌گونه‌ها دارند.

۳- دما

دما فعالیت آنزیمی، نفوذپذیری سطح پلاستیک، و رشد باکتری را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. دمای بهینه برای اکثر باکتری‌ها ۳۰ تا ۴۵ درجه سانتی‌گراد است. دماهای پایین سرعت فرآیند را کاهش می‌دهد، درحالی‌که دماهای بالا ممکن است ساختار پلاستیک را نرم و دسترس‌پذیرتر کند.

۴- pH محیط

pH بر پایداری آنزیم‌ها و متابولیسم سلولی تأثیر دارد. دامنه pH بهینه برای بیشتر آنزیم‌های تجزیه‌کننده پلاستی ۶ تا ۸ است. درpHهای اسیدی یا قلیایی شدید، آنزیم‌ها دناتوره شده یا از کار می‌افتند.

۵- دسترسی به اکسیژن

اکثر تجزیه‌های میکروپلاستیکی در شرایط هوازی انجام می‌شود، چرا که اکسیژن برای فعالیت آنزیم‌های اکسیداتیو ضروری است. در محیط بی‌هوازی، برخی مسیرهای متابولیکی فعال نیستند. با این‌حال، برخی باکتری‌های بی‌هوازی نیز توانایی تجزیه دارند، به‌ویژه در محیط‌های گل‌ولای یا لجن فاضلاب.

۶- تشکیل بیوفیلم

بیوفیلم‌ها نقش مهمی در افزایش ماندگاری، تمرکز آنزیم و تحمل تنش‌های محیطی دارند. تشکیل بیوفیلم موجب افزایش تماس مؤثر بین باکتری و سطح پلاستیک می‌شود. گونه‌هایی مثل *Rhodococcus ruber* و *Bacillus subtilis* بیوفیلم‌سازهای قوی هستند.

۷- اندازه و سطح ذرات پلاستیکی

ذرات کوچک‌تر و میکروپلاستیک‌ها (با سطح ویژه بیشتر) سریع‌تر مورد حمله آنزیمی قرار می‌گیرند. پلاستیک‌های صاف و با زبری کم، چسبندگی میکروبی کمتری دارند.

۸- دسترسی به منابع تغذیه مکمل

در محیط‌هایی که مواد آلی دیگر وجود دارند (مثلاً خاک یا فاضلاب)، تجزیه پلاستیک ممکن است کاهش یابد، زیرا: باکتری‌ها ترجیح می‌دهند ابتدا کربن ساده‌تر را مصرف کنند (اثر catabolite repression). بااین‌حال، در شرایط گرسنگی، آنها به سراغ میکروپلاستیک می‌روند. بهینه‌سازی این عوامل، چه در محیط طبیعی و چه در سیستم‌های مهندسی‌شده مانند بیورآکتورها، می‌تواند به شکل چشمگیری سرعت و کارایی تجزیه زیستی میکروپلاستیک‌ها را افزایش دهد.

مزایا، محدودیت‌ها و چالش‌های زیست‌تجزیه میکروپلاستیک‌ها توسط باکتری‌ها

برخلاف روش‌های شیمیایی یا حرارتی که گازهای گلخانه‌ای یا مواد سمی تولید می‌کنند، زیست‌تجزیه معمولاً فرآیندی تمیز و فاقد پساب‌های خطرناک است. بسیاری از باکتری‌ها قادر به رشد در شرایط خاک، آب شیرین، فاضلاب و حتی محیط‌های دریایی هستند. می‌توان از سویه‌های طبیعی یا مهندسی ژنتیکی شده برای افزایش توان تجزیه استفاده کرد (مثلاً باکتری‌های دارای PETase تقویت‌شده). برخی باکتری‌ها قادرند میکروپلاستیک‌ها را تا مراحل نهایی و معدنی شدن (CO_2، H_2O، CH_4) پیش ببرند. امکان پرورش و اعمال کنترل‌شده باکتری‌ها در سیستم‌های صنعتی مانند رآکتورهای زیستی فراهم است.

زیست‌تجزیه میکروپلاستیک‌ها با کمک باکتری‌ها روشی پایدار و سازگار با محیط‌زیست به‌شمار می‌آید، اما با چالش‌های فنی، زیست‌محیطی و اقتصادی نیز مواجه است. زیست‌تجزیه پلاستیک فرآیندی کند است و ممکن است ماه‌ها یا سال‌ها طول بکشد. وجود انواع افزودنی‌ها، رنگ‌ها، فلزات سنگین و ساختار بلورین بالا در برخی میکروپلاستیک‌ها باعث کاهش تجزیه‌پذیری می‌شود. در برخی موارد، محصولات حدواسط مانند الیگومرها یا ترکیبات اکسیدشده می‌توانند برای محیط‌زیست یا سایر موجودات مضر باشند. در حضور مواد آلی ساده‌تر، باکتری‌ها تمایلی به مصرف پلاستیک ندارند. بسیاری از گونه‌های مؤثر در آزمایشگاه، در محیط

شاپا چاپی 2008-935X شاپا الکترونیکی https:/www.sciencecultivation.ir 2783-0934

واقعی زنده نمی‌مانند یا کارایی پایینی دارند (به دلیل تغییرات دما، pH، رقابت زیستی و...). استفاده از میکروارگانیسم‌های اصلاح‌شده ژنتیکی در طبیعت ممکن است با محدودیت‌های قانونی و نگرانی‌های زیست‌اخلاقی مواجه شود.

نتیجه‌گیری

میکروپلاستیک‌ها، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های نوظهور قرن بیست ویکم، تهدیدی جدی برای محیط‌زیست، موجودات زنده و حتی سلامت انسان به شمار می‌آیند. پایداری بالا، فراوانی گسترده در محیط‌های طبیعی و قابلیت انتقال در زنجیره غذایی، اهمیت مقابله با این ذرات ریزپلاستیکی را دوچندان می‌کند. در میان راهکارهای مختلف مقابله با آلودگی میکروپلاستیک، استفاده از میکروارگانیسم‌هایی مانند باکتری‌ها، رویکردی پایدار، زیست‌سازگار و درحال‌توسعه است. باکتری‌ها با ترشح آنزیم‌های خاص مانند PETase، cutinase و alkane hydroxylase، قادر به شکستن زنجیره‌های پلیمری و تبدیل آنها به ترکیبات ساده‌تر هستند. تاکنون گونه‌هایی مانند *Ideonella sakaiensis*، *Pseudomonas putida*، *Bacillus subtilis* و *Rhodococcus ruber* عملکرد مؤثری در تجزیه انواع پلاستیک‌ها از جمله PET، PE و PU از خود نشان داده‌اند. هرچند این رویکرد مزایای قابل‌توجهی دارد، از جمله دوستدار محیط‌زیست بودن، قابلیت به‌کارگیری در شرایط متنوع و پتانسیل استفاده صنعتی، اما با چالش‌هایی نیز همراه است. از جمله این چالش‌ها می‌توان به‌سرعت پایین تجزیه، تأثیر شرایط محیطی، تولید احتمالی ترکیبات سمی میانی و محدودیت عملکرد در مقیاس طبیعی اشاره کرد. بااین‌حال، توسعه سویه‌های مهندسی‌شده، استفاده از کنسرسیوم‌های میکروبی بومی، بهینه‌سازی شرایط رشد و ترکیب زیست‌تجزیه با سایر فناوری‌های مکمل (مثل پیش‌تصفیه نوری یا شیمیایی)، افق‌های روشنی را برای حذف مؤثر میکروپلاستیک‌ها از محیط فراهم کرده است. ناگفته نماند کرم موم بزرگ (*Galleria mellonella*) توانایی شگفت‌انگیزی در تجزیه پلاستیک‌هایی مانند پلی‌اتیلن دارد. بزاق این کرم حاوی آنزیم‌هایی از خانواده اکسیداز فنولی است که می‌توانند پیوندهای شیمیایی پلی‌اتیلن را اکسید کرده و به قطعات کوچکتر تجزیه کنند. در نهایت، استفاده هوشمندانه از توانایی‌های باکتری‌ها، می‌تواند گامی مهم در جهت پاک‌سازی زیستی محیط‌زیست و کاهش آلودگی پلاستیکی جهانی باشد.

این مقاله و یا جزیی از آن در جایی دیگر قبلا به چاپ نرسیده و این مقاله توسط ماشین و هوش مصنوعی نگارش نشده است.

فهرست منابع

[1]. Thakur, B., Et Al. (2023). Biodegradation of Different Types of Microplastics: Molecular Mechanism and Degradation Efficiency. Science of The Total Environment, 877, 162912.

[2]. Cai, Z., Et Al., (2023). Biological Degradation of Plastics and Microplastics: A Recent Perspective on Associated Mechanisms and Influencing Factors. Microorganisms, 11(7), 1661.

[3]. Chalmin, P. (2019). The History of Plastics: From The Capitol to The Tarpeian Rock. Field Actions Science Reports. The Journal of Field Actions, (Special Issue 19), 6-11.

[4]. Da Silva ,M.R.F., Et Al. (2024). Exploring Biodegradative Efficiency: A Systematic Review on The Main Microplastic-Degrading Bacteria. Frontiers in Microbiology, 15, 1360844.

[5]. Gao, W., Et Al. (2024). Microbial Degradation of (Micro) Plastics: Mechanisms, Enhancements, and Future Directions. Fermentation, 10(9), 441.

[6]. Al Hosni, A. S., Pittman, J. K., & Robson, G. D. (2019). Microbial Degradation of Four Biodegradable Polymers in Soil and Compost Demonstrating Polycaprolactone as An Ideal Compostable Plastic. Waste Management, 97, 105-114.

[7]. Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017). Production, Use, and Fate OF All Plastics Ever Made. Science Advances, 3(7), E1700782.

[8]. Urbanek, A. K., Rymowicz, W., & Mirończuk, A. M. (2018). Degradation of Plastics and Plastic-Degrading Bacteria in Cold Marine Habitats. Applied Microbiology and Biotechnology, 102(18), 7669-7678.

[9]. Narancic, T., & O'Connor, K. E. (2019). Plastic Waste As A Global Challenge: Are Biodegradable Plastics The Answer To The Plastic Waste Problem?. Microbiology, 165(2), 129-137.

[10]. Lear, G., Et Al. (2025). Plastic Leachates Alter The Composition of Marine Microbial Communities, Not Functional Potential for Plastic Degradation. FEMS Microbiology Ecology, Fiaf087.

[11]. Zhou, B., Et Al. (2020). Spatial Distribution of Phthalate Esters and The Associated Response of Enzyme Activities and Microbial Community Composition in Typical Plastic-Shed Vegetable Soils in China. Ecotoxicology and Environmental Safety, 195, 110495.

شاپا چاپی 2008-935X شاپا الکترونیکی https:/www.sciencecultivation.ir 2783-0934

Mechanism, Analytical Methods, Innovations, and Omics Approaches. Journal Of Hazardous Materials Advances, 100777.
[26]. Di Rocco, G., Et Al. (2023). A Petase Enzyme Synthesised in The Chloroplast of The Microalga Chlamydomonas Reinhardtii Is Active Against Post-Consumer Plastics. Scientific Reports, 13(1), 10028.
[27]. Sevilla, M.E., Et Al. (2023). Degradation of PET Bottles By An Engineered Ideonella Sakaiensis Petase. Polymers, 15(7), 1779.
[28]. Burgin, T ,.Et Al. (2024). The Reaction Mechanism of The Ideonella Sakaiensis Petase Enzyme. Communications Chemistry, 7(1), 65.
[29]. Yoshida, S., Et Al. (2016). A Bacterium That Degrades and Assimilates Poly (Ethylene Terephthalate). Science, 351(6278), 1196-1199.
[30]. Hadar, Y., & Sivan, A. (2004). Colonization, Biofilm Formation and Biodegradation of Polyethylene By A Strain of Rhodococcus Ruber. Applied Microbiology and Biotechnology, 65(1), 97-104.
[31]. Shalem, A., Yehezkeli, O., & Fishman, A. (2024). Enzymatic Degradation of Polylactic Acid (PLA). Applied Microbiology and Biotechnology, 108(1), 413.
[32]. Nakajima-Kambe, T., Et Al. (1999). Microbial Degradation of Polyurethane, Polyester Polyurethanes and Polyether Polyurethanes. Applied Microbiology and Biotechnology, 51(2), 134-140.
[33]. Shah, A.A., Et Al. (2008). Biological Degradation of Plastics: A Comprehensive Review. Biotechnology Advances, 26(3), 246-265.
[34]. Koike, H., Miyamoto, K., & Teramoto, M. (2023). Alcanivorax Bacteria As Important Polypropylene Degraders in Mesopelagic Environments. Applied and Environmental Microbiology, 89(12), E01365-23.
[35]. Qiu, J., Et Al. (2024). A Comprehensive Review on Enzymatic Biodegradation of Polyethylene Terephthalate. Environmental Research, 240, 117427.
[36]. Bule Možar, K., Et Al. (2023). Potential of Advanced Oxidation as Pretreatment for Microplastics Biodegradation. Separations, 10(2), 132.
[37]. Lin, Z., Et Al. (2022). Current Progress on Plastic/Microplastic Degradation: Fact Influences and Mechanism. Environmental Pollution, 304, 119159.
[12]. Konieczna, A., Rutkowska, A., & Rachon, D. J. R. P. Z. H. (2015). Health Risk of Exposure to Bisphenol A (BPA). Roczniki Państwowego Zakładu Higieny, 66(1).
[13]. Wright, S. L., & Kelly, F. J. (2017). Plastic and Human Health: A Micro Issue?. Environmental Science & Technology, 51(12), 6634-6647.
[14]. Fu, L., Li, J., Wang, G., Luan, Y., & Dai, W. (2021). Adsorption Behavior of Organic Pollutants on Microplastics. Ecotoxicology and Environmental Safety, 217, 112207.
[15]. Andrady, A. L. (2011). Microplastics in The Marine Environment. Marine Pollution Bulletin, 62(8), 1596-1605.
[16]. Yuan, J., Et Al. (2020). Microbial Degradation and Othe
r Environmental Aspects of Microplastics/Plastics. Science of The Total Environment, 715, 136968.
[17]. Wang, G.X., Et Al. (2021). Seawater-Degradable Polymers—Fighting The Marine Plastic Pollution. Advanced Science, 8(1), 2001121.
[18]. Papadopoulou, A., Hecht, K., & Buller, R. (2019). Enzymatic PET Degradation. Chimia, 73(9), 743-743.
[19]. Yang, Y., Et Al. (2020). Microplastics Provide New Microbial Niches in Aquatic Environments. Applied Microbiology and Biotechnology, 104(15), 6501-6511.
[20]. Yang, H., Chen, G., & Wang, J. (2021). Microplastics in The Marine Environment: Sources, Fates, Impacts and Microbial Degradation. Toxics, 9(2), 41.
[21]. Anjana, K., Hinduja, M., Sujitha, K., & Dharani, G. (2020). Review on Plastic Wastes in Marine Environment–Biodegradation and Biotechnological Solutions. Marine Pollution Bulletin, 150, 110733.
[22]. Bardají, D.K.R., Et Al. (2020). A Mini-Review: Current Advances in Polyethylene Biodegradation. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 36(2), 32.
[23]. Ren, S. Y., & Ni, H. G. (2023). Biodeterioration of Microplastics By Bacteria Isolated from Mangrove Sediment. Toxics, 11(5), 432.
[24]. Cao, Y., Et Al. (2024). Progress and Prospects of Microplastic Biodegradation Processes and Mechanisms: A Bibliometric Analysis. Toxics, 12(7), 463.
[25]. Khurana, S., Et Al. (2025). Bioremediation of Microplastic Pollution: A Systematic Review on

شاپا چاپی 2008-935X شاپا الکترونیکی https:/www.sciencecultivation.ir 2783-0934

بیوپلاستیک‌ها و نقش آنها در اقتصاد چرخشی

مهرناز شیرمحمدی*[1]، فرحناز کیان ارثی[1]

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله ترویجی

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت
۲۶ مرداد ۱۴۰۴
تاریخ بازنگری
۲۰ شهریور ۱۴۰۴
تاریخ پذیرش
۲۹ شهریور ۱۴۰۴
تاریخ انتشار
۳۰ آذر ۱۴۰۴

کلیدواژه‌ها:
بیوپلاستیک، اقتصاد چرخشی، پلیمرهای زیست‌تخریب‌پذیر

چکیده

بیوپلاستیک‌ها به‌عنوان جایگزینی پایدار برای پلاستیک‌های سنتی، نقشی کلیدی در اقتصاد چرخشی ایفا می‌کنند. این مواد که از منابع زیست‌پایه مانند ذرت، نیشکر یا سلولز تولید می‌شوند یا زیست‌تخریب‌پذیر هستند، با کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و انتشار گازهای گلخانه‌ای، به کاهش آلودگی پلاستیکی و حفظ منابع کمک می‌کنند. بیوپلاستیک‌ها در سه دسته اصلی شامل زیست‌تخریب‌پذیر مبتنی بر فسیل، زیست‌پایه غیر زیست‌تخریب‌پذیر و زیست‌پایه/زیست‌تخریب‌پذیر طبقه‌بندی می‌شوند. این مواد در پزشکی (مانند بخیه و داربست‌های بافتی)، داروسازی (پرکننده‌های قرص) و مهندسی بافت (بازسازی استخوان و قلب) کاربرد دارند. ویژگی‌هایی مانند زیست‌سازگاری، غیرسمی بودن و تجدیدپذیری، آن‌ها را به گزینه‌ای ایده‌آل برای کاربردهای پایدار تبدیل کرده است. بااین‌حال، چالش‌هایی مانند هزینه‌های بالای تولید، کمبود زیرساخت‌های بازیافت و رقابت با منابع غذایی، پذیرش گسترده آن‌ها را محدود می‌کند. اقتصاد چرخشی با بازیافت مکانیکی، شیمیایی و بیولوژیکی بیوپلاستیک‌ها، امکان استفاده مجدد و تبدیل به کمپوست را فراهم می‌کند. این تحقیق بر نقش بیوپلاستیک‌ها در کاهش زباله و دستیابی به توسعه پایدار به‌ویژه در صنعت مراقبت‌های بهداشتی تمرکز دارد و راه‌حل‌هایی برای غلبه بر چالش‌های موجود پیشنهاد می‌دهد.

استناد: شیرمحمدی مهرناز, کیان ارثی فرحناز. (۱۴۰۴). 'بیوپلاستیک‌ها و نقش آنها در اقتصاد چرخشی ', نشاء علم، ۱۵ (۲)، ۱۹۸-۲۰۶.

ناشر: بنیاد پیشبرد علم و فناوری در ایران و انجمن بیوشیمی فیزیک ایران

© نویسندگان حق نشر و کلیه حقوق انتشار را برای خود حفظ می‌کنند.

* عهده‌دار مکاتبات: دکتری تخصصی ، تلفن/نمابر: ۳۶۵۷۳۱۱۵ (۹۸۶۱)، آدرس الکترونیکی: m.shirmohammadi@areeo.ac.ir

[1] پژوهشکده آبزی‌پروری آب‌های جنوب کشور، مؤسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران

مقدمه

پلاستیک‌ها که در گذشته به دلیل دوام، انعطاف‌پذیری و کاربردهای متنوعشان در صنایع مختلف مورد تحسین قرار می‌گرفتند، امروزه به نمادی از بحران زیست‌محیطی جهانی تبدیل شده‌اند. این مواد مصنوعی که عمدتاً از مشتقات نفت و گاز طبیعی همچنین منابع فسیلی غیر قابل تجدید، تولید می‌شوند، حجم عظیمی از زباله‌های پایدار را در محیط زیست رها می‌کنند و منجر به آلودگی گسترده می‌گردند [۱]. آلودگی پلاستیکی، با تجمع میکروپلاستیک‌ها در اقیانوس‌ها، خاک‌ها و حتی زنجیره غذایی، اکوسیستم‌های دریایی و زمینی را تهدید می‌کند و مشکلات جدی مانند مرگ حیات-وحش، اختلال در تعادل زیستی و ورود مواد سمی به بدن انسان را به همراه دارد [۲]. با افزایش تولید سالانه میلیون‌ها تن پلاستیک، وابستگی به سوخت‌های فسیلی نه تنها منابع محدود زمین را تخلیه می‌کند، بلکه انتشار گازهای گلخانه‌ای را تشدید کرده و به تغییرات آب و هوایی دامن می‌زند [۱]. این وضعیت نگران‌کننده، ضرورت گذار از پلاستیک‌های سنتی به گزینه‌های پایدارتر را برجسته می‌سازد و جوامع جهانی را به‌سوی نوآوری‌های سبز سوق می‌دهد. در پاسخ به این چالش، بیوپلاستیک‌ها[1] به‌عنوان جایگزینی نویدبخش و سازگار با محیط زیست ظهور کرده‌اند. بیوپلاستیک‌ها خانواده‌ای متنوع از مواد پلیمری هستند که با ویژگی‌های زیستی تجدیدپذیر یا زیست‌تخریب‌پذیری مشخص می‌شوند. طبق تعریف استاندارد، یک ماده برای واجد شرایط بودن به‌عنوان بیوپلاستیک باید یا زیست‌پایه[2] باشد، یا زیست‌تخریب‌پذیر[3]، یا هر دو ویژگی را دارا باشد [۳]. اصطلاح زیست‌پایه به موادی اشاره دارد که از منابع گیاهی مانند ذرت، نیشکر یا سلولز مشتق شده‌اند، درحالی‌که زیست‌تخریب‌پذیر به قابلیت تجزیه طبیعی این مواد از طریق فعالیت میکروبی، بدون نیاز به افزودنی‌های مصنوعی، دلالت دارد [۴]. این فرایند تجزیه منجر به تولید محصولات بی‌ضرر مانند دی‌اکسیدکربن، آب و کمپوست می‌شود [۳]. بااین‌حال، طبقه‌بندی بیوپلاستیک‌ها پیچیده است، زیرا مواد زیست‌پایه لزوماً زیست‌تخریب‌پذیر نیستند و بالعکس. برای مثال، یک پلیمر می‌تواند صددرصد زیست‌پایه باشد؛ اما به دلیل ساختار شیمیایی خود، در محیط تجزیه نشود [۴]. این تفاوت‌های ظریف، درک دقیق بیوپلاستیک‌ها را برای ذی‌نفعان صنعتی و مصرف‌کنندگان ضروری می‌سازد .بیوپلاستیک‌ها را می‌توان بر اساس منشأ و ویژگی‌هایشان به سه دسته اصلی طبقه‌بندی کرد [۵]. دسته اول شامل پلاستیک‌های زیست‌تخریب‌پذیر مبتنی بر فسیل است که به طور طبیعی در محیط تجزیه می‌شوند. پلی‌استرهایی مانند پلی‌کاپرولاکتون[4]، پلی‌بوتیلن سوکسینات[5]، پلی‌بوتیلن آدیپات-کو-ترفتالات[6] و پلی‌گلیکولیک اسید[7] در این گروه قرار می‌گیرند، جایی که پیوندهای استری آن‌ها را ناپایدار و مناسب برای تجزیه میکروبی می‌کند. دسته دوم، پلاستیک‌های زیست‌پایه اما غیر زیست‌تخریب‌پذیر، شامل موادی مانند پلی‌اتیلن[8]، پلی‌وینیل کلراید[9]، پلی‌اتیلن ترفتالات[10]، پلی‌آمیدها[11] و پلی‌اورتان‌ها[12] است. این مواد از نظر شیمیایی مشابه پلاستیک‌های فسیلی هستند، اما ردپای کربن کمتری دارند؛ زیرا در فرایند سوزاندن، دی‌اکسیدکربن اضافی آزاد نمی‌کنند. دسته سوم، پلاستیک‌های زیست‌پایه و زیست‌تخریب‌پذیر، از پلیمرهای طبیعی مانند پلی‌ساکاریدها، پروتئین‌ها، پپیدهای گیاهی یا پلی‌هیدروکسی‌بوتیرات[13] تولیدشده توسط میکروارگانیسم‌ها مشتق می‌شوند. مواد کمپوست‌پذیری مانند پلی‌لاکتیک اسید[14]، پلی‌هیدروکسی‌آلکانوات‌ها[15]، پلی‌بوتیلن سوکسینات و مخلوط‌های نشاسته نیز در این دسته جای می‌گیرند [۵]. این طبقه‌بندی نشان‌دهنده تنوع بیوپلاستیک‌ها و پتانسیل آن‌ها برای کاربردهای مختلف است. بر اساس ماده استفاده شده در ساخت بیوپلاستیک‌ها نوعی دیگر از دسته‌بندی وجود دارد که در جدول ۱ ارائه شد.

[1] Bioplastics
[2] Biobased
[3] Biodegradable
[4] Polycaprolactone (PCL)
[5] Polybutylene Succinate (PBS)
[6] Polybutylene Adipate-co-Terephthalate (PBAT)
[7] Polyglycolic Acid (PGA)
[8] Polyethylene (PE)
[9] Polyvinyl Chloride (PVC)
[10] Polyethylene Terephthalate (PET)
[11] Polyamides (PA)
[12] Polyurethanes (PUR)
[13] Poly hydroxybutyrate
[14] Polylactic acid (PLA)
[15] Polyhydroxyalkanaoates (PHA)

شاپا چاپی 2008-935X شاپا الکترونیکی 2783-0934 https://www.sciencecultivation.ir

جدول ۱: دسته‌بندی بیوپلاستیک‌ها بر پایه مواد اولیه [۶]

دسته‌بندی	توضیحات	نمونه‌ها
بیوپلاستیک‌های مبتنی بر نشاسته	پلیمرهای حاوی نشاسته طبیعی یا اصلاح‌شده، شامل مخلوط‌ها و پلیمرهای تخمیری، حدود ۵۰٪ بازار جهانی	**نشاسته-ترموپلاستیک**
بیوپلاستیک‌های مبتنی بر سلولز	مشتق از استرها یا مشتقات سلولز، حاوی گلوکز با پیوند β(1,4)، نیازمند تجزیه میکروبی	**استات سلولز، متیل سلولز**
پلی‌استرهای آلیفاتیک	مقاوم‌تر در برابر تخریب هیدرولیتیک	**PLA ،PHA**
بیوپلاستیک‌های مبتنی بر پروتئین	مشتق از شیر، گلوتن گندم یا پروتئین‌ها	**بیوپلاستیک‌های کازئین**
بیوپلاستیک‌های مبتنی بر لیگنین	پلیمرهای حاصل از محصول جانبی سلولز، با اهمیت در پالایشگاه‌های زیستی	**مخلوط‌های لیگنین-PHA**
بیوپلاستیک‌های مبتنی بر کیتین	بیوپلیمرهای N-استیل-D-گلوکوزامین با پیوند β(1,4)، استخراج‌شده از پوسته سخت‌پوستان.	**کیتوزان**

اهمیت بیوپلاستیک‌ها در پتانسیل آن‌ها برای کاهش مشکلات زیست‌محیطی ناشی از پلاستیک‌های معمولی نهفته است [۷]. تولید پلاستیک‌های مبتنی بر نفت به افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای، انباشت زباله و وابستگی به سوخت‌های فسیلی دامن می‌زند [۸]. بیوپلاستیک‌ها با جایگزینی این مواد، می‌توانند ردپای کربن را به طور قابل‌توجهی کاهش دهند و به اقتصاد چرخشی کمک کنند [۸]. علاوه‌بر مزایای زیست‌محیطی مانند کاهش آلودگی پلاستیکی، بهره‌برداری از ضایعات و تجدیدپذیری سریع، این مواد مزایای اقتصادی نیز ارائه می‌دهند، از جمله ایجاد شغل در اقتصاد سبز و تحریک نوآوری در بخش‌هایی مانند بسته‌بندی، کشاورزی و کالاهای مصرفی [۷]. بااین‌حال، چالش‌هایی مانند رقابت با منابع غذایی، پیچیدگی استخراج و نیاز به استانداردهای بازیافت وجود دارد که بدون حل آن‌ها، بیوپلاستیک‌ها ممکن است چالش‌های جدیدی ایجاد کنند [۳]. در نهایت، این مواد با قابلیت ادغام در سیستم‌های چند چرخه‌ای، مانند تبدیل به کمپوست پس از استفاده، به تعادل چرخه کربن کمک می‌کنند و می‌توانند سالانه تا ۲۰ میلیون تن پلاستیک را از اقیانوس‌ها دور نگه دارند [۸].

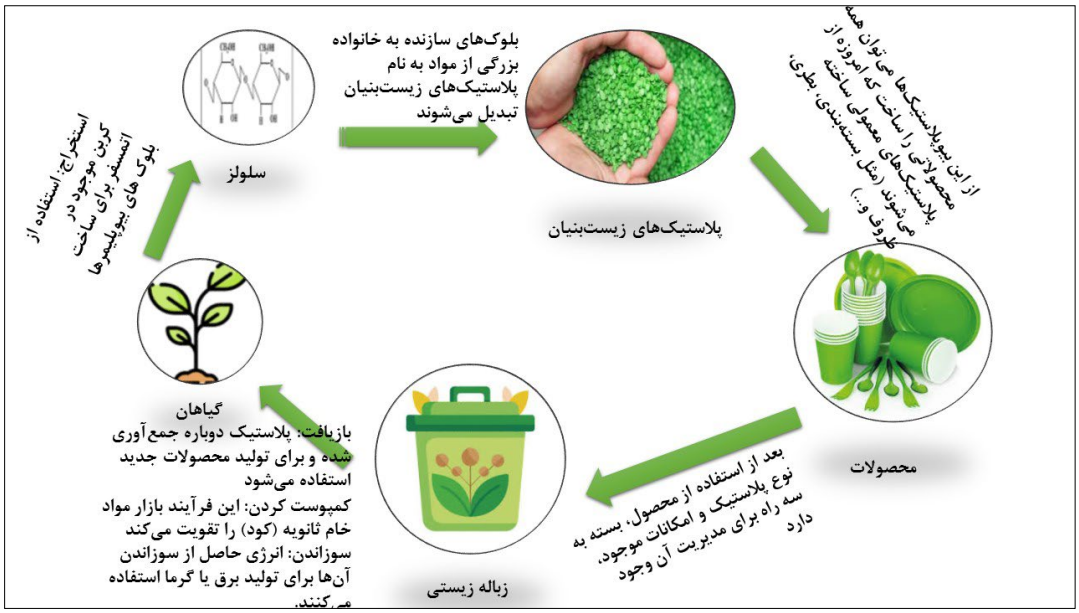
تاریخچه بیوپلاستیک‌ها به هزاران سال پیش بازمی‌گردد، جایی‌که فرهنگ‌های باستانی مانند مایاها و آزتک‌ها از لاستیک طبیعی و لاتکس برای ساخت ظروف و لباس‌های ضدآب استفاده می‌کردند [۹]. بااین‌حال، تولید مدرن بیوپلاستیک‌ها در قرن نوزدهم آغاز شد؛ در سال ۱۸۶۲، الکساندر پارکس اولین بیوپلاستیک دست‌ساز به نام پارکسین [1] را از سلولز تولید کرد. پیشرفت‌های بعدی در قرن بیستم رخ داد، و در سال ۱۹۸۳، شرکت بیوپلیمرهای مارلبورو اولین محصولات تجاری مانند بیوپول [2] را عرضه کرد. اخیراً، در سال ۲۰۱۸، پروژه‌هایی برای تولید بیوپلاستیک از میوه‌ها آزمایش شد [۹]. اگرچه تحقیقات بیش از یک قرن قدمت دارد، اما تولید گسترده هنوز در مراحل اولیه است و نیاز به پیشرفت‌های فناوری برای غلبه بر محدودیت‌ها دارد. این سیر تاریخی نشان‌دهنده تکامل بیوپلاستیک‌ها از کاربردهای سنتی به نوآوری‌های پایدار مدرن است. هدف این مقاله ارائه نمای کلی از بیوپلاستیک‌ها، شامل تعاریف، انواع و کاربردها با تمرکز بر نقش آن‌ها در اقتصاد چرخشی است. همچنین چالش‌ها و راه‌حل‌های پذیرش بیوپلاستیک‌ها بررسی شده و نتیجه‌گیری در مورد پتانسیل آن‌ها در توسعه پایدار ارائه می‌شود.

بیوپلاستیک‌ها و پذیرش آنها در اقتصاد چرخشی [3]

اقتصاد چرخشی رویکردی پایدار است که با هدف حذف زباله و تقویت استفاده مجدد از منابع از طریق جریان‌های چرخشی مواد طراحی شده است [۱۰]. این مدل با جداسازی رشد اقتصادی از تخریب محیط‌زیست، به توسعه پایدار کمک می‌کند و انعطاف‌پذیری بلندمدت، فرصت‌های اقتصادی و بهبود کیفیت محیط‌زیست را فراهم می‌سازد [۱۱]. بیوپلاستیک‌ها، به‌عنوان مواد

[1] Parkesine
[2] Biopol
[3] Circular economy

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی



زیست‌پایه یا زیست‌تخریب‌پذیر، نقش کلیدی در این اقتصاد ایفا می‌کنند، زیرا امکان بازیافت، کمپوست‌سازی و استفاده از منابع

شکل ۱: چرخه زیست‌محیطی بیوپلاستیک‌ها در اقتصاد چرخشی [۱۴]

تجدیدپذیر را فراهم می‌کنند [۱۲]. این مواد، با کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و انتشار گازهای گلخانه‌ای، به ایجاد یک سیستم حلقه بسته کمک می‌کنند که در آن زیست‌توده به مواد اولیه و سپس به انرژی یا کمپوست تبدیل می‌شود [۱۳]. شکل ۱ یک حلقه بسته از فرایند توسعه زیست پلاستیک‌ها را از رشد زیست‌توده تا بازیابی زیست‌توده دیگر نشان می‌دهد که هیچ زباله‌ای تولید نمی‌شود.

مدیریت پسماند بیوپلاستیک‌ها از طریق بازیافت یکی از ارکان اصلی اقتصاد چرخشی است. بازیافت مکانیکی، با ذوب مجدد زباله‌های پلاستیکی برای تولید گرانول یا محصولات نهایی مانند بطری‌ها، و بازیافت شیمیایی، از طریق فرایندهایی مانند پیرولیز برای بازیابی مونومرها یا مواد باارزش، امکان استفاده مجدد از بیوپلاستیک‌ها را فراهم می‌کند [۱۵]. بازیافت بیولوژیکی نیز، به‌ویژه برای بیوپلاستیک‌های مبتنی بر جلبک، از فرایندهای هوازی (کمپوست‌سازی) یا بی‌هوازی (تخمیر) برای تبدیل کربن به گاز یا مواد مغذی استفاده می‌کند [۱۴]. اگرچه این روش‌ها از هدررفت منابع جلوگیری می‌کنند، اما هزینه‌های بالای بازیافت و پیچیدگی فرایندها همچنان چالش‌هایی برای گسترش آن هستند [۱۶]. کمپوست‌سازی، به‌عنوان روشی دیگر، بیوپلاستیک‌های زیست‌تخریب‌پذیر مانند پلی‌لاکتیک اسید را به کمپوست غنی از کربن و مواد مغذی تبدیل می‌کند [۱۷]. این فرایند، به‌ویژه در سیستم‌های هوازی، با تجزیه میکروبی به دی‌اکسیدکربن، آب و مواد گیاهی منجر می‌شود [۱۴]. با این حال، کمپوست‌سازی خانگی به دلیل انتشار کنترل‌نشده دی‌اکسیدکربن و زمان طولانی تجزیه (چندین ماه) محدودیت‌هایی دارد [۱۸]. علاوه بر این، بسیاری از بیوپلاستیک‌ها در شرایط دفن زباله، به‌ویژه در محیط‌های غنی از اکسیژن، تجزیه نمی‌شوند و ممکن است متان، گازی با پتانسیل گرمایش جهانی ۱۵ برابر بیشتر از دی‌اکسیدکربن، تولید کنند [۱۹]. پیچیدگی شرایط کمپوست‌سازی، از جمله نیاز به رطوبت، تهویه و pH مناسب، کاربرد گسترده این روش را محدود کرده است [۱۹].

بیوپلاستیک‌ها با تسهیل بازیافت و کمپوست‌سازی، مدل‌های کسب‌وکار نوآورانه‌ای را از طریق طراحی زیست‌محیطی و هم‌زیستی صنعتی ایجاد می‌کنند [۱۰]. این مواد با استفاده از ضایعات غذایی و بقایای کشاورزی، مانند آنچه در مطالعه Silvia و همکاران ۲۰۲۱ نشان داده شده، امکان تولید غیرمستقیم بیوپلاستیک‌ها و بازیابی انرژی از طریق هضم بی‌هوازی را فراهم می‌کنند. این فرایند حلقه بسته که در آن زیست‌توده به مواد و سپس به انرژی یا کمپوست تبدیل می‌شود، زباله را به حداقل می‌رساند [۱۴]. با این حال، چالش‌هایی مانند هزینه‌های بازیافت، پیچیدگی

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

کمپوست‌سازی و نیاز به زیرساخت‌های مناسب باید برطرف شوند تا بیوپلاستیک‌ها به طور کامل به اهداف اقتصاد چرخشی، از جمله کاهش آلودگی و دستیابی به توسعه پایدار، کمک کنند [۱۴].

کاربرد بیوپلاستیک‌ها در بخش پزشکی

بیوپلاستیک‌ها به دلیل ویژگی‌هایی مانند غیرسمی بودن، زیست‌سازگاری، تجدیدپذیری و زیست‌تخریب‌پذیری، در صنایع مختلف از جمله پزشکی کاربرد گسترده‌ای یافته‌اند. این مواد به‌عنوان جایگزینی پایدار برای پلاستیک‌های سنتی، تقاضای جهانی را در حوزه‌هایی مانند بسته‌بندی، کشاورزی و نساجی افزایش داده‌اند و انتظار می‌رود کاربردشان در مراقبت‌های بهداشتی نیز گسترش یابد [۲۰].

در پزشکی، پلی‌هیدروکسی‌آلکانوات‌ها برای تولید تجهیزات بالینی مانند بخیه و استنت‌های قلبی پیشنهاد شده‌اند، درحالی‌که پلی‌لاکتیک اسید بیشتر در بسته‌بندی استفاده می‌شود [۲۱]. بیوپلاستیک‌های مبتنی بر سلولز در داربست‌های بازسازی استخوان، سیستم‌های گردش خون مصنوعی، جایگزین‌های موقت پوست، غشاهای دیالیز کلیوی و سیستم‌های رهایش کنترل‌شده دارو کاربرد دارند [۲۲]. این پلیمرها با جذب آب، محیطی مرطوب برای بهبود زخم‌های مزمن فراهم می‌کنند [۲۳] و می‌توانند در پانکراس مصنوعی و جداسازی ایمنی پیوند جزایر لانگرهانس استفاده شوند [۲۲]. همچنین، در ارتوپدی و سیستم‌های دارورسانی کنترل‌شده نقش دارند [۲۴]. کامپوزیت‌های نشاسته و سلولز به دلیل زیست‌تخریب‌پذیری، برای سیمان استخوان و دارورسانی مناسب‌اند [۲۵]. سلولز، کیتین و کیتوزان از پلیمرهای طبیعی کلیدی در تولید بیوپلاستیک‌های زیست‌پزشکی هستند [۲۲]. کیتوزان با خواص ضدمیکروبی، به دلیل گروه آمین با بار مثبت، به غشاهای میکروارگانیسم‌ها متصل شده و آن‌ها را مختل می‌کند [۲۶]. بیوپلاستیک‌هایی مانند هیدروکسی بوتیرات متیل استر[1] و مونومرهای هیدروکسی آپاتیت[2] مشتق شده از پلی هیدروکسی آلکانوات باکتریایی، با محافظت از میتوکندری‌ها و فعال‌سازی کانال‌های کلسیم، می‌توانند در بهبود حافظه و مقابله با بیماری‌هایی مانند آلزایمر مؤثر باشند [۲۷]. زیست‌تخریب‌پذیری و پایداری بیوپلاستیک‌ها، آن‌ها را به گزینه‌ای ایده‌آل برای مراقبت‌های بهداشتی تبدیل کرده است [۲۲].

کاربرد بیوپلاستیک‌ها در داروسازی

بیوپلاستیک‌ها به دلیل زیست‌سازگاری و بی‌ضرر بودن هنگام تجزیه در محیط‌زیست، در داروسازی به‌عنوان مواد چندمنظوره کاربرد دارند. سلولز، به دلیل فراوانی و ویژگی‌های منحصربه‌فرد، یکی از اصلی‌ترین مواد اولیه در تولید بیوپلاستیک‌هاست. این پلیمر با توجه به اندازه، شکل و میزان تبلور در کاربردهای مختلف استفاده می‌شود [۲۸]. سلولز به‌عنوان پرکننده در قرص‌ها و کپسول‌ها به دلیل سازگاری، بی‌اثری دارویی و عدم هضم توسط آنزیم‌های گوارشی، برتری دارد و هیچ تحریکی در مخاط معده و مری ایجاد نمی‌کند. مشتقات سلولز و اترهای آن به‌عنوان پرکننده‌هایی با هزینه کم، دسترسی گسترده و سازگاری زیست‌محیطی استفاده می‌شوند [۲۸]. سلولز میکروکریستالی[3]، با نام تجاری Avicel ، یکی از پرکاربردترین چسب‌ها در فشرده‌سازی مستقیم است. این فرایند ساده و کارآمد، با ویژگی‌های اتصال قوی MCC ، چگالی کم، مساحت سطح بالا و رطوبت‌پذیری مناسب، خروجی ثابتی تولید می‌کند [۲۹]. مطالعه‌ای نشان داد که این چسب-های فشرده استخراج‌شده از *Saccharum officinarum* خواص مکانیکی قرص‌های پاراستامول را بهبود می‌بخشد [۲۹]. نانوکریستال‌های سلولز[4] به‌عنوان نانومواد پیشرفته در دارورسانی کاربرد دارند. این مواد به دلیل زیست‌سازگاری، قابلیت بازیافت، اثرات نوروتوکسیک کم و ضریب انبساط حرارتی پایین، برای انتقال داروهای آب‌دوست مناسب‌اند. با وجود محدودیت‌هایی مانند ظرفیت بارگذاری کم و آب‌دوستی، اصلاح CNCها با موادی مانند راراساپونین‌ها[5] از بامبو، آب‌گریزی آن‌ها را افزایش داده و امکان استفاده در حلال‌های غیرقطبی مانند تتراهیدروفوران را فراهم می‌کند. این ویژگی CNC-RS را برای حامل‌های داروی آب‌گریز مناسب کرده و به دلیل استفاده از مواد آلی، برای سلامت انسان و محیط زیست بی‌ضرر است [۳۰].

[1] Hydroxybutyrate methyl ester (HBME)
[2] Hydroxyapatite (HA)
[3] Microcrystalline cellulose (MCC)
[4] Cellulose nanocrystals (CNC)
[5] Rarasaponins (RS)

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

کاربرد بیوپلاستیک‌ها در مهندسی بافت

مهندسی بافت با هدف بازسازی یا بهبود عملکرد بافت‌های آسیب‌دیده از طریق داربست‌های زیست‌سازگار عمل می‌کند. انتخاب مواد مناسب برای داربست‌ها چالش اصلی این حوزه است. بیوپلاستیک‌ها مانند آلژینات، کلاژن، کیتین، کیتوزان و سلولز به دلیل زیست‌تخریب‌پذیری و دسترسی زیستی بالا، گزینه‌های ایده‌آلی هستند [۳۱]. سلولز، پلیمری از زیرواحدهای گلوکز، به دلیل خواص شیمیایی و مکانیکی قابل تنظیم و هزینه کم، در مهندسی بافت کاربرد دارد، اما محدودیت‌هایی مانند استحکام مکانیکی ضعیف و تجزیه سریع دارد. پلی‌هیدروکسی آلکانوات‌ها با سمیت کم و انعطاف‌پذیری مکانیکی، برای بازسازی بافت مناسب‌اند [۳۲]. کیتوزان با بار مثبت سطحی، اتصال سلولی را تقویت کرده و با گلیکوزآمینوگلیکان‌ها و پروتئوگلیکان‌ها تعامل می‌کند. مطالعه اخیر نشان داد که داربست‌های کیتوزان نفوذپذیر برای تمایز سلول‌های بنیادی مزانشیمی به استخوان مناسب‌اند [۳۳]. برای ناهنجاری‌های استخوانی-غضروفی، پلی-۳-هیدروکسی‌بوتیرات-کو-۳- هیدروکسی والریک اسید[1] با کلاژن و فسفات کلسیم استحکام مکانیکی بالایی فراهم می‌کند [۳۴]. داربست‌های متخلخل پلی-۳-هیدروکسی بوتیرات-کو-۳-هیدروکسی هگزانوات[2] نیز برای رشد کندروسیت‌های غضروفی استفاده شده‌اند [۳۵]. در مهندسی بافت قلب، پلی‌هیدروکسی آلکانوات‌ها با زنجیره متوسط با ترکیب فاکتورهای رشد اندوتلیال عروقی، چسبندگی و بقای سلولی را بهبود می‌دهند [۳۶]. این مواد در ساخت دریچه‌های قلبی و جایگزین‌های عملکردی کاربرد دارند [۳۶]. همچنین، پلی‌هیدروکسی آلکانوات‌ها و هیدروکسی بوتیرات-کو-۴-هیدروکسی بوتیرات[3] برای پانسمان زخم و بهبود بافت پوست با استحکام بالا استفاده می‌شوند [۲۷]. در ترمیم اعصاب، لوله‌های پلی‌هیدروکسی آلکانوات‌ها با ویژگی‌های مکانیکی قابل تنظیم، پتانسیل بالایی دارند [۲۷].

چالش‌ها و راه‌حل‌های مرتبط با پذیرش بیوپلاستیک‌ها

بیوپلاستیک‌ها به‌عنوان جایگزینی پایدار برای پلاستیک‌های مرسوم مطرح شده‌اند، اما پذیرش گسترده آن‌ها با چالش‌های متعددی مواجه است که نیازمند راه‌حل‌های ساختاری است. در بخش اقتصادی، یکی از اصلی‌ترین موانع هزینه‌های بالای تولید و کیفیت پایین‌تر نسبت به پلاستیک‌های نفتی است که ناشی از فرایندهای پیچیده و مواد اولیه گران‌قیمت است و رقابت با محصولات سنتی را دشوار می‌کند. راه‌حل این مشکل، سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین و بهینه‌سازی فرایندهای صنعتی برای کاهش هزینه‌ها و بهبود کیفیت است [۳۷]. چالش دیگر، کمبود فرایندپذیری با فناوری‌های رایج و عدم آگاهی کافی در تولید انبوه است که تولید در مقیاس بزرگ را محدود می‌کند؛ توسعه آموزش‌های تخصصی، ارتقای مهارت‌های فنی و استانداردسازی فرایندها می‌تواند این مانع را برطرف سازد. در حوزه زیرساختی، کوچکی بازار، فقدان چارچوب‌های مشخص تولید و نبود زیرساخت‌های کارآمد مدیریت پسماند از عوامل بازدارنده است؛ ایجاد زیرساخت‌های مناسب بازیافت و تشویق سرمایه‌گذاری در زنجیره تأمین می‌تواند این محدودیت‌ها را کاهش دهد [۳۸]. از منظر منابع، رقابت با صنایع غذایی برای مواد اولیه به دلیل استفاده از محصولات کشاورزی قابل‌مصرف، نگرانی دیگری است؛ بهره‌گیری از ضایعات کشاورزی و بقایای غیرخوراکی به‌عنوان راهکاری پایدار پیشنهاد می‌شود. در بعد زیست‌محیطی، ریسک انتشار گازهای گلخانه‌ای در چرخه بازیافت یا نشت مواد مطرح است که با طراحی سیستم‌های بسته بازیافت و نظارت دقیق قابل کنترل است [۴]. همچنین، کمبود زیرساخت‌های هضم بیولوژیکی و عدم اطمینان از اثربخشی کمپوست‌سازی در شرایط متنوع چالش‌برانگیز است؛ توسعه زیرساخت‌های محلی کمپوست‌سازی و پژوهش‌های کاربردی برای تطبیق فرایندها با شرایط محیطی می‌تواند به مدیریت پایدار کمک کند [۴].

علاوه‌برآن، چالش‌های عمیق‌تری وجود دارد که ریشه در جنبه‌های علمی و سیاستی دارند. کمبود مطالعات قابل‌مقایسه ارزیابی چرخه عمر[4] به دلیل استفاده از روش‌شناسی‌ها، واحدهای مرجع و داده‌های متفاوت، به‌ویژه نادیده گرفتن فاز پایان عمر[5] و نتیجه‌گیری نادرست درباره حذف گازهای گلخانه‌ای، یک مشکل اساسی است؛ طراحی مطالعات قابل مقایسه و جامع می‌تواند این نقص را برطرف کند [۳۸]. چالش دیگر، مسائل مرتبط با استانداردها و

[1] Poly-(3-hydroxybutyric acid-co-3-hydroxyvaleric acid) (PHBV)
[2] Poly- (3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyhexanoate) (PHBHHx)
[3] Hydroxybutyrate-co-4-hydroxybutyrate (PHB4HB)
[4] Life cycle assessment (ACV)
[5] End-of-life (EOL)

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

مقررات است که شامل عدم توسعه استانداردهای زیست‌تخریب‌پذیری در شرایط کنترل‌نشده، تنوع شرایط کمپوست‌سازی خانگی، و خطر انتشار گازهای گلخانه‌ای است؛ همچنین، کمبود تکرارپذیری در مطالعات آکادمیک و ناتوانی استانداردها در پوشش تنوع محیط‌های طبیعی، گمراهی مصرف‌کنندگان را به دنبال دارد که با تدوین استانداردها و گواهینامه‌های هماهنگ قابل بهبود است [۳۷]. چالش بعدی، استفاده از زمین و آب است که به رقابت با کشاورزی و مصرف قابل‌توجه آب شیرین مربوط می‌شود؛ استفاده بهینه از منابع غیررقابتی و تحلیل ردپای آب در ارزیابی چرخه عمر می‌تواند این مسئله را مدیریت کند [۳۹]. آخرین چالش، مسائل سیستم دفع پسماند شامل توزیع ناهمگن تأسیسات کمپوست‌سازی، هزینه‌های حمل‌ونقل اضافی، و آلودگی جریان‌های بازیافت است؛ بازسازی زیرساخت‌ها و آموزش مصرف‌کنندگان برای دفع صحیح می‌تواند راهگشا باشد [۳۸].

نتیجه‌گیری

بیوپلاستیک‌ها با ویژگی‌های زیست‌تخریب‌پذیری و زیست‌پایه بودن، راه‌حلی نویدبخش برای کاهش آلودگی پلاستیکی و وابستگی به سوخت‌های فسیلی ارائه می‌دهند. این مواد با ادغام در اقتصاد چرخشی، از طریق بازیافت، کمپوست‌سازی و استفاده از منابع تجدیدپذیر، به حداقل‌سازی زباله و حفظ تعادل کربن کمک می‌کنند. کاربردهای گسترده آن‌ها در پزشکی، داروسازی و مهندسی بافت، از جمله تولید بخیه، داربست‌های بافتی و سیستم‌های دارورسانی، نشان‌دهنده پتانسیل بالای بیوپلاستیک‌ها در توسعه پایدار است. بااین‌حال، چالش‌هایی مانند هزینه‌های تولید بالا، کمبود زیرساخت‌های بازیافت و رقابت با منابع غذایی، موانع اصلی پذیرش گسترده آن‌ها هستند. برای آینده، سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین برای کاهش هزینه‌ها، توسعه زیرساخت‌های بازیافت و کمپوست‌سازی محلی، و استفاده از ضایعات کشاورزی به‌عنوان مواد اولیه غیررقابتی پیشنهاد می‌شود. تدوین استانداردهای جهانی زیست‌تخریب‌پذیری، آموزش مصرف‌کنندگان و انجام مطالعات جامع چرخه عمر نیز ضروری است. این اقدامات می‌توانند پذیرش بیوپلاستیک‌ها را تسریع کرده و به ایجاد اقتصاد چرخشی پایدار و کاهش اثرات زیست‌محیطی پلاستیک‌های سنتی کمک کنند.

این مقاله توسط هوش مصنوعی نوشته نشده است و کل مقاله و یا جزیی از آن قبلاً منتشر نشده است.

فهرست منابع

[1]. MacLeod, M., Arp, H. P. H., Tekman, M. B., and Jahnke, A. (2021). The global threat from plastic pollution, Science, Vol. 373, NO. 6550, 61-65.

[2]. Schmaltz, E., Melvin, E. C., Diana, Z., Gunady, E. F., Rittschof, D., Somarelli, J. A., Virdin, J., and Dunphy-Daly, M. M. (2020). Plastic pollution solutions: emerging technologies to prevent and collect marine plastic pollution, Environment International, Vol. 144, 106067.

[3]. Stanley, J., Culliton, D., Jovani-Sancho, A. J., and Neves, A. C. (2025). The journey of plastics: historical development, environmental challenges, and the emergence of bioplastics for single-use products, Eng, Vol. 6, NO. 1, 17.

[4]. Kouchakinejad, R., Lotfi, Z., and Golzary, A. (2024). Exploring Azolla as a sustainable feedstock for eco-friendly bioplastics: A review, Heliyon, Vol. 10, NO. 20, e39252.

[5]. Ross, G., Ross, S., and Tighe, B. J. (2017). Bioplastics: new routes, new products, In: Gilbert, M. (Ed.), Brydson's Plastics Materials, 8th Edition, Butterworth-Heinemann, 631-652.

[6]. Khatebasreh, M., and Jafarabadi, H. K. (2024). Microplastics: A Boon or a Bane?, Journal of Environmental Health and Sustainable Development. [Note: Details like volume and page are often added later for online-first articles]

[7]. Atiwesh, G., Mikhael, A., Parrish, C. C., Banoub, J., and Le, T. A. T. (2021). Environmental impact of bioplastic use: A review, Heliyon, Vol. 7, NO. 9, e07918.

[8]. Rosenboom, J. G., Langer, R., and Traverso, G. (2022). Bioplastics for a circular economy, Nature Reviews Materials, Vol. 7, NO. 2, 117-137.

[9]. Costa, A., Encarnação, T., Tavares, R., Todo Bom, T., and Mateus, A. (2023). Bioplastics: innovation for green transition, Polymers, Vol. 15, NO. 3, 517.

[10]. Spierling, S., Venkatachalam, V., Behnsen, H., Herrmann, C., and Endres, H. J. (2019). Bioplastics and circular economy—performance indicators to identify optimal pathways, Progress in Life Cycle Assessment, Vol. 16, 147–154.

[11]. Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M., and Hultink, E. J. (2017). The circular economy–a new sustainability paradigm?, Journal of Cleaner Production, Vol. 143, 757–768.

[12]. Confente, I., Scarpi, D., and Russo, I. (2020). Marketing a new generation of bio-plastics products for a circular economy: the role of green self-identity, self-congruity, and perceived value, Journal of Business Research, Vol. 112, 431–439.

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

nanoparticle treated cotton fabric, Cellulose, Vol. 28, NO. 9, 5895-5910.
[25]. Sharma, S., Sudhakara, P., Singh, J., Ilyas, R. A., Asyraf, M. R. M., and Razman, M. R. (2021). Critical review of biodegradable and bioactive polymer composites for bone tissue engineering and drug delivery applications, Polymers, Vol. 13, NO. 16, 2623.
[26]. Atay, H. Y. (2019). Antibacterial activity of chitosan-based systems, in Functional Chitosan: Drug Delivery and Biomedical Applications, Springer, 457-489.
[27]. Chen, G. Q. (2010). Biofunctionalization of polymers and their applications, in Biofunctionalization of Polymers and their Applications, Springer, Vol. 125, 29-45.
[28]. Shokri, J., and Adibkia, K. (2013). Application of cellulose and cellulose derivatives in pharmaceutical industries, in Cellulose: Medical, Pharmaceutical and Electronic Applications, IntechOpen.
[29]. Mousavipazhouh, H., Azadfallah, M., and Jouybari, I. R. (2018). Encapsulation of precipitated calcium carbonate fillers using carboxymethyl cellulose/polyaluminium chloride: preparation and its influence on mechanical and optical properties of paper, Materials and Corrosion, Vol. 20, NO. 4, 703-714.
[30]. Carvalho, R. S., Nelson, D., Kelderman, H., and Wise, R. (2003). Guided bone regeneration to repair an osseous defect, American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, Vol. 123, NO. 4, 455-467.
[31]. Courtenay, J. C., Sharma, R. I., and Scott, J. L. (2018). Recent advances in modified cellulose for tissue culture applications, Molecules, Vol. 23, NO. 3, 654.
[32]. Brigham, C. J., and Sinskey, A. J. (2012). Applications of polyhydroxyalkanoates in the medical industry, International Journal of Biotechnology for Wellness Industries, Vol. 1, NO. 1, 52-60.
[33]. Costa-Pinto, A. R., Correlo, V. M., Sol, P. C., Bhattacharya, M., Charbord, P., Delorme, B., Reis, R. L., and Neves, N. M. (2009). Osteogenic differentiation of human bone marrow mesenchymal stem cells seeded on melt based chitosan scaffolds for bone tissue engineering applications, Biomacromolecules, Vol. 10, NO. 8, 2067-2073.
[34]. Köse, G. T., Korkusuz, F., Korkusuz, P., and Hasirci, V. (2004). In vivo tissue engineering of bone using poly (3-hydroxybutyric acid-co-3-hydroxyvaleric acid) and collagen scaffolds, Tissue Engineering, Vol. 10, NO. 7-8, 1234-1250.
[35]. Deng, Y., Zhao, K., Zhang, X. F., Hu, P., and Chen, G. Q. (2002). Study on the three-dimensional proliferation of rabbit articular cartilage-derived chondrocytes on polyhydroxyalkanoate scaffolds, Biomaterials, Vol. 23, NO. 20, 4049-4056.
[13]. Fernandes, J. L., Sousa-Filho, J. M. D., and Viana, F. L. E. (2021). Sustainable business models in a challenging context: the amana katu case, Revista de Administração Contemporânea, Vol. 25, NO. 3, e200205.
[14]. Senosha, M. P., Matheri, A. N., and Mohamed, B. (2025). Review on application of sustainability, circular and digital economy on bioplastics production, Circular Economy and Sustainability, Vol. 5, NO. 2, 1269-1289.
[15]. Payne, J., Mckeown, P., and Jones, M. D. (2019). A circular economy approach to plastic waste, Polymer Degradation and Stability, Vol. 165, 170–181.
[16]. Li, D., Huang, X., Wang, Q., Yuan, Y., Yan, Z., Li, Z., Huang, Y., and Liu, X. (2016). Kinetics of methane production and hydrolysis in anaerobic digestion of corn stover, Energy, Vol. 102, 1–9.
[17]. Sun, Z., Chen, T., Liu, X., Hong, M., and Luo, J. (2015). Plastic transition to switch nonlinear optical properties showing the record high contrast in a single-component molecular crystal, Journal of the American Chemical Society, Vol. 137, NO. 50, 15660–15663.
[18]. Abraham, A., Park, H., Choi, O., and Sang, B. I. (2020). Anaerobic co-digestion of bioplastics as a sustainable mode of waste management with improved energy production-a review, Bioresource Technology, Vol. 322, 124537.
[19]. Calabro, P. S., and Grosso, M. (2018). Bioplastics and waste management, Waste Management, Vol. 78, 800–801.
[20]. Degli Esposti, M., Morselli, D., Fava, F., Bertin, L., Cavani, F., Viaggi, D., and Fabbri, P. (2021). The role of biotechnology in the transition from plastics to bioplastics: an opportunity to reconnect global growth with sustainability, FEBS Open Bio, Vol. 11, NO. 4, 967-983.
[21]. Philip, S., Keshavarz, T., and Roy, I. (2007). Polyhydroxyalkanoates: biodegradable polymers with a range of applications, Journal of Chemical Technology & Biotechnology, Vol. 82, NO. 3, 233-247.
[22]. Ullah, H., Wahid, F., Santos, H. A., and Khan, T. (2016). Advances in biomedical and pharmaceutical applications of functional bacterial cellulose-based nanocomposites, Carbohydrate Polymers, Vol. 150, 330-352.
[23]. Kamoun, E. A., Kenawy, E. R. S., and Chen, X. (2017). A review on polymeric hydrogel membranes for wound dressing applications: PVA-based hydrogel dressings, Journal of Advanced Research, Vol. 8, NO. 3, 217-233.
[24]. Andra, S., Balu, S. K., Jeevanandam, J., Muthalagu, M., and Danquah, M. K. (2021). Surface cationization of cellulose to enhance durable antibacterial finish in phytosynthesized silver

شاپا چاپی 2008-935X شاپا الکترونیکی 2783-0934 https:/www.sciencecultivation.ir

[36]. Wu, Q., Wang, Y., and Chen, G. Q. (2009). Medical application of microbial biopolyesters polyhydroxyalkanoates, Artificial Cells, Blood Substitutes, and Biotechnology, Vol. 37, NO. 1, 1-12.
[37]. Thakur, S., Chaudhary, J., Sharma, B., Verma, A., Tamulevicius, S., and Thakur, V. K. (2018). Sustainability of bioplastics: Opportunities and challenges, Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry, Vol. 13, 68-75.
[38]. Di Bartolo, A., Infurna, G., and Dintcheva, N. T. (2021). A review of bioplastics and their adoption in the circular economy, Polymers, Vol. 13, NO. 8, 1229.
[39]. Korol, J., Hejna, A., Burchart-Korol, D., Chmielnicki, B., and Wypiór, K. (2019). Water footprint assessment of selected polymers, polymer blends, composites, and biocomposites for industrial application, Polymers, Vol. 11, NO. 11, 1791.

شاپا چاپی 2008-935X شاپا الکترونیکی 2783-0934 https:/www.sciencecultivation.ir

بررسی قابلیت Sentinel-۱ در پایش پدیده فرونشست

علیرضا محمودی*[۱]، المیرا اسدی فرد[۲]، زینب صفوی[۱]

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله ترویجی

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت
۰۹ تیر ۱۴۰۴
تاریخ بازنگری
۳۰ شهریور ۱۴۰۴
تاریخ پذیرش
۱۷ مهر ۱۴۰۴
تاریخ انتشار
۳۰ آذر ۱۴۰۴

کلیدواژه‌ها:
فرونشست، نظارت، تداخل‌سنجی راداری دریچه مصنوعی، Sentinel-۱.

چکیده

فرونشست، این مهمان ناخوانده‌ی زمین‌شناختی، تقریباً همه‌جای جهان را درنوردیده و ردپایی از تخریب بر زیرساخت‌ها و تأسیسات بر جای گذاشته است. این پدیده خاموش اما ویرانگر، ضرورت پایش و نظارت مستمر را بیش از پیش آشکار ساخته است. خوشبختانه، پیشرفت‌های چشمگیری در بخش‌های مختلف ازجمله فناوری سنجش از راه دور، به ویژه در حوزه‌ی تداخل‌سنجی رادار دریچه مصنوعی، پنجره‌ای نوین به سوی تحلیل دقیق شدت، الگوها و روندهای زمانی فرونشست گشوده است. این پژوهش ضمن بررسی مبانی و اصول سیستم‌های راداری و سنجش‌گرهای آن و روش‌های مختلف پایش این پدیده، قابلیت‌های ماهواره‌ی Sentinel-1 را در حالت عملیاتی IW (Interferometric Wide) زیر ذره‌بین برده و توانایی‌های آن را در پایش این پدیده، مورد واکاوی قرار می‌دهد. با توجه به گستردگی فرونشست در سراسر کشور، امید است که با بهره‌گیری از توانمندی‌های این ماهواره و دسترسی آسان و رایگان به تصاویر آن، گام‌های مؤثری توسط نهادهای اجرایی برای مهار و مدیریت این پدیده برداشته شود.

استناد: محمودی علیرضا, اسدی فرد المیرا, صفوی سیده زینب. (۱۴۰۴). 'بررسی قابلیت سنتینل-۱ در پایش پدیده فرونشست', نشاء علم، ۱۵ (۲)، ۲۰۷-۲۱۴.

ناشر: بنیاد پیشبرد علم و فناوری در ایران و انجمن بیوشیمی فیزیک ایران
© نویسندگان حق نشر و کلیه حقوق انتشار را برای خود حفظ می‌کنند.

* عهده‌دار مکاتبات: استادیار، تلفن: ۵۳۶۰۶۲۰۷(۰۷۱)، دورنگار : ۵۳۵۴۶۴۷۶ (۰۷۱)، آدرس الکترونیکی: alirezamahmoodi@saadi.shirazu.ac.ir
[۱] دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، داراب، ایران.
[۲] دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران.

مقدمه

بلایای طبیعی و رویدادهای ناگوار زیست محیطی، خسارت‌های جبران‌ناپذیری را بر جوامع جهانی تحمیل کرده‌اند؛ خسارت‌هایی که گاه با جان انسآن‌ها و گاه با ویرانی‌های گسترده‌ی مالی همراه بوده است. در این میان، فعالیت‌های انسانی بدون ارزیابی و برنامه‌ریزی دقیق، همچون سوختی بر آتش، بر شدت و فراوانی این رخدادها افزوده‌اند. یکی از این پدیده‌های نگران‌کننده، پدیده فرونشست زمین است که به‌عنوان یک خطر ژئومورفولوژیک شناخته می‌شود [۱].

یونسکو این پدیده را به عنوان فروریختن یا پایین آمدن سطح زمین در مقیاس وسیع تعریف کرده است [۲]. از جمله دلایل اصلی این پدیده می‌توان به برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، استخراج نفت و گاز و حتی زمین لغزش‌ها اشاره کرد [۳]. این عوامل، هر یک به‌تنهایی یا در کنار هم، زمین را به سوی فروپاشی تدریجی سوق می‌دهند و آینده‌ی محیط زیست و زندگی انسآن‌ها را با چالش‌های جدی مواجه می‌کنند.

در ایران افزایش جمعیت و به تبع آن افزایش نیاز آبی برای مصارف مختلف (کشاورزی، شرب و صنعت) منجر به برداشت بی‌رویه آب از ذخایر زیرزمینی شده است. این وضعیت باعث افت سطح آب‌های زیر زمینی و بروز پدیده فرونشست در مقیاس ملی شده است [۴]، از سوی دیگر، شرایط خاص هیدرولوژی و ژئومورفولوژی ایران نیز به افزایش شدت این پدیده دامن زده است [۵]. لازم به ذکر است که در گذشته، تنها استآن‌های کرمان و یزد با این معضل مواجه بودند؛ اما در حال حاضر اکثر دشت‌های ایران تحت‌تأثیر این پدیده قرار گرفته‌اند [۶].

پیامدهای زیست‌محیطی و هزینه‌های مرتبط با فرونشست زمین به دلیل خسارات وارده به ساختمآن‌ها، زیرساخت‌ها، شکاف‌های زمین، رواناب سطحی و افزایش خطر سیل و تهدید جان انسآن‌ها بسیار زیاد است [۶,۷]، در نتیجه پایش مستمر این پدیده برای مدیریت بحران و کاهش خسارات ناشی از آن، امری بسیار ضروری و حیاتی است.

پیشرفت‌های اخیر در فناوری سنجش از راه دور علی‌الخصوص سنجش از راه دور به وسیله امواج مایکروویو سبب ارتقا توانایی ما برای نظارت، پایش و تحلیل شدت الگوها و روندهای زمانی فرونشست شده است [۸]. در این راستا تکنیک تداخل‌سنجی رادار دیافراگم مصنوعی[1] (InSAR) و تداخل‌سنجی رادار دیافراگم مصنوعی تفاضلی[2] (DIn-SAR) که توسط محققان مختلفی در سراسر جهان مورد بررسی قرار گرفته است [۸,۹]، این توانایی را دارد که اطلاعات فازی راداری یک منطقه را در دو زمان مختلف کسب کند و با تحلیل آن‌ها هرگونه جابه‌جایی زمینی رخ داده شده را به دقت شناسایی کند [۸].این روش با دقتی در حد میلی‌متر، روشی بسیار توانمند برای اندازه‌گیری فرونشست در تمامی شرایط جوی به شمار می‌آید [۱۰,۱۱] که جزئیات بیشتری از آن در بخش ۲ ارائه شده است.

تاریخچه استفاده از تصاویر راداری به دهه ۱۹۹۰ بر می‌گردد که بدین معناست که حجم داده‌های کافی در این حوزه بایگانی شده و برای پایش، نظارت و تحلیل این معضل، در دسترس عموم قرار گرفته است [۱۲]. ماهواره‌های راداری که از دیرباز تاکنون در این حوزه استفاده شده‌اند عبارت‌اند از: SEASAT، ERS-1[3]، ERS-2، JERS-1[4]، RADARSAT-1، ENVISAT[5]، ALOS-1[6]، ALOS-2، TerraSAR-X، TanDEM-X، COSMO-SkyMed، Sentinel-1، SAOCOM[7]، NISAR[8] [۳-۸،۱۳].

البته شایان ذکر است که Sentinel-1 به دلیل توانایی تصویربرداری راداری، پوشش گسترده و تناوب زمانی نسبتاً کوتاه در حد ۱۲ روز، همراه با قابلیت تداخل‌سنجی (InSAR) دقیق، به عنوان یکی از مؤثرترین ماهواره‌ها برای پایش و نظارت بر فرونشست زمین شناخته می‌شود [۱۱].

در این راستا، پژوهش پیش رو ضمن توضیح مبانی و اصول سیستم‌های راداری و سنجش‌گرهای آن، در بخش آخر به بررسی پدیده فرونشست از طریق روش‌های مختلف و قابلیت‌های ماهواره Sentinel-1 پرداخته و توانایی‌های آن را در شناسایی و رصد این پدیده مورد بررسی قرار داده است. امید است که داده‌ها و یافته‌های سنجش از راه دور ارائه شده در این پژوهش، همچون چراغی،

[1] Interferometric Synthetic Aperture Radar
[2] Differential InSAR
[3] European Remote-Sensing Satellite
[4] Japanese Earth Resources Satellite
[5] Environmental Satellite
[6] The Advanced Land Observing Satellite
[7] Satélite Argentino de Observación COn Microondas
[8] NASA-ISRO Synthetic Aperture Radar

شاپا چاپی 2008-935X شاپا الکترونیکی 2783-0934 https:/www.sciencecultivation.ir

روشن‌گر تاریکی‌های اطلاعاتی این حوزه باشد و راه را برای اقداماتی عملی و اثربخش هموار کند. باشد که این یافته‌ها، انگیزه‌ای برای مدیران و تصمیم‌گیرندگان باشد تا کنترل و مدیریت این چالش بزرگ را در اولویت برنامه‌های خود قرار دهند.

مبانی و اصول سیستم‌های راداری

محدوده‌ای از طیف الکترومغناطیس که به وسیله سنجش‌گرهای راداری پایش می‌شود ناحیه مایکروویو (۱ سانتی‌متر تا ۱ متر) است. این سیستم سنجش از راه دور نسبت به سایر بخش‌های این فناوری، جدیدتر محسوب می‌شود که از اواخر دهه اول قرن ۱۹ بر روی کار آمده است [۱۴,۱۵].

امواج مایکروویو قابلیت بسیار بالایی برای نفوذ در ابر، باران، دود و غبار را دارند. یکی دیگر از مشخصه‌های آن نیز قابلیت کنترل پارامترهای مختلف (از جمله طول موج، بسامد سیگنال ارسالی، پلاریزاسیون و...) آن است [۱۴] و طول‌موج آن به باندهای مختلفی تقسیم می‌شود که جزئیات آن در جدول ۱ ارائه شده است [۱۵].

جدول ۱: باندهای ماکروویو و کاربردهای آن [۱۵]

باند	طول موج (cm)	فرکانس (GHz)	برخی از موارد استفاده
X	۲/۳ -۴/۸	۸ - ۱۲	شناسایی علوم نظامی، نقشه برداری زمینی
C	۳/۷ – ۸/۵	۴ -۸	مطالعات پوشش های کشاورزی
L	۱۵ -۳۰	۱ -۲	استخراج پارامترهای جنگل
P	۷۵ - ۱۳۳	۲۲۵ -۴۰۰	استخراج اطلاعات از کف جنگل، استخراج اطلاعات زیرسطحی

سیستم تصویربرداری راداری

تفکیک این سیستم‌ها بر اساس نوع آنتن آن‌هاست که اغلب طراحی مستطیل شکلی دارد که به آن دریچه یا گشودگی [1] گفته می‌شود. این بخش به دو دسته دریچه واقعی و دریچه مصنوعی تقسیم شده است [۱۶]. در سیستم رادار با دریچه واقعی [2] بر اساس مدت زمان رفت و برگشتی موج، اطلاعات اصلی از جمله فاصله و دامنه موج برگشتی و شدت بار تابش حاصل می‌شود. این سیستم جزو سیستم غیرهمبسته است زیرا به اطلاعات فازی نیاز ندارد. همچنین این نوع سیستم یک سیستم راداری استاندارد است و معمولا بر روی هواپیما نصب می‌شود. آنتن در این سیستم یک طول مشخص دارد و نیاز به هیچ پردازش جانبی ندارد [۱۷].

از سوی دیگر در سیستم رادار با دریچه مصنوعی [3] آنتن‌ها به صورت مجازی بزرگ می‌شوند و به پردازش‌های جانبی فراوانی نیاز دارند. در این سیستم، دید شب بسیار خوبی حاصل می‌شود و در مشاهدات جهانی، زیست‌محیطی، نظامی و امنیتی کارایی دارد [۱۸,۱۹].

سنجش‌گرهای مایکروویو

سنجش‌گرهای این بخش به دو دسته فعال مانند رادار و غیرفعال رادیومترها تقسیم شده که هر دو گروه دارای آنتن، گیرنده و فرستنده هستند. در سنجش‌گر فعال راداری نیز همانند بخش سنجش‌گر اپتیک، امواج رادار به شکل مصنوعی تولید می‌شوند [۱۴]. جزئیات طبقه‌بندی آن‌ها در جدول زیر (شماره ۲) ارائه شده است.

جدول ۲: دسته بندی سنجنده های ماکروویو [۱۴]

دسته بندی سنجنده های ماکروویو		
	فعال (رادار)	غیرفعال (رادیومتر)
دریچه واقعی	SLAR	رادیومتر
	پراکنش سنج	
	ارتفاع سنج	ساندر
	رادار هواشناسی	
دریچه مصنوعی	SAR	یک بعدی
	ISAR	
	InSAR	دو بعدی

تداخل‌سنجی راداری

نوع خاصی از پردازش داده‌های دریچه مصنوعی یا همان SAR است که از آن‌ها در جهت تهیه نقشه توپوگرافی، اندازه‌گیری جابه‌جایی عمودی سطوح استفاده [۱۴] و بر پایه اندازه‌گیری فاصله با طول موج الکترومغناطیس حاصل می‌شود. اگر یک سنجش‌گر SAR یک

[1] Aperture
[2] Real Aperture Radar (RAR)
[3] Synthetic Aperture Radar (SAR)

شاپا چاپی 2008-935X شاپا الکترونیکی 2783-0934 https:/www.sciencecultivation.ir

سیگنال را به سمت یک شی خاص ارسال کند، پالس بازگشت را ذخیره می‌کند و اختلاف زمانی بین این دو پالس، فاصله بین جسم تا سنجش‌گر را نشان می‌دهد [۱۷].

روندهای توسعه سیستم‌های SAR

در نیم قرن اخیر سنجش‌گرهای SAR پیشرفت‌های بسیار چشمگیری داشته‌اند. سیستم‌های SAR جدید، دارای قابلیت تصویربرداری در چند بسامد، چند پلاریزاسیون و چند باند یکپارچه هستند. این فناوری جدید، دامنه اطلاعات دریافتی را ارتقا داده‌اند که همگی در شش دسته طبقه‌بندی می‌شوند که شامل: سیستم‌های SAR با نوار برداشت گسترده و قدرت مکانی بالا، SAR تداخل‌سنجی (InSAR)، SAR پلاریمتری (PolSAR)، SAR پلاریمتری-تداخل‌سنجی (PollnSAR)، SAR سه‌بعدی (3D-SAR)، شناساگر هدف متحرک (MTI) ترکیب شده با SAR [۱۴].

سیستم‌های SAR با نوار برداشت گسترده و قدرت مکانی بالا: این سیستم قدرت تفکیک بالا با محدوده‌ی تصویربرداری وسیعی دارد که با دستیابی به پیشرفت‌های فنی در ایجاد سیگنال‌های پهن باند و باندهای فوق‌العاده گسترده، قدرت تفکیک جانبی آن به دسی‌متر و یا سانتی‌متر رسیده است [۱۴].

SAR تداخل‌سنجی (InSAR):

InSAR یا تداخل‌سنجی رادار دیافراگم مصنوعی، از تفاوت فاز بین دو مشاهده راداری پیچیده (SAR) که از موقعیت‌های کمی متفاوت گرفته شده‌اند بهره می‌برد و اطلاعاتی درباره سطح زمین استخراج می‌کند. یک سیگنال SAR شامل اطلاعات دامنه و فاز است. دامنه نشان‌دهنده قدرت پاسخ رادار است و فاز، کسری از یک چرخه کامل موج سینوسی (یک طول موج واحد SAR) می‌باشد. فاز تصویر SAR عمدتاً توسط فاصله بین ماهواره و اهداف زمینی تعیین می‌شود. با ترکیب فاز دو تصویر می‌توان یک تداخل‌نگاشت تولید کرد که فاز آن به شدت با توپوگرافی زمین همبستگی دارد [۱۱,۱۴].

تکنیک تداخل در این بخش سبب ایجاد تصاویر سه بعدی می‌شود. InSAR اطلاعات ارتفاع زمین را از طریق مجموعه‌ای از جفت تصاویر SAR مختلط مربوط به یک منطقه که از زوایای مختلف مشاهده شده‌اند، دریافت می‌کند. SAR تداخل‌سنج تفاضلی (DInSAR) بر مبنای InSAR ایجاد می‌شود که می‌تواند تغییرات ارتفاع سطح زمین را اندازه‌گیری کند [۱۱,۱۴]. شایان ذکر است این دو حالت در پایش فرونشست توسط محققان داخلی و خارجی استفاده شده‌اند.

SAR پلاریمتری (PolSAR):

در این حالت به‌جای یک پلاریزاسیون، از چندین پلاریزه استفاده می‌شود و در نتیجه تصاویر پلاریزاسیون مختلف با هم ادغام می‌شوند که منجر به بهبود طبقه‌بندی تصاویر SAR می‌شود [۱۴].

SAR پلاریمتری-تداخل‌سنجی (PollnSAR):

در اینجا، پلاریزاسیون و تداخل‌سنجی با هم ترکیب می‌شوند که بیشتر در بررسی پارامترهای مختلف پوشش گیاهی و برآورد زیست‌توده جنگل مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۴].

SAR سه‌بعدی (3D-SAR):

از بعد نظری، هر مد SAR سه بعدی باید یک آرایه نمونه سه بعدی توزیع شده در فضا را تشکیل دهد. در این حالت به‌جای توانایی در اندازه‌گیری ارتفاع، قابلیت تفکیک مکانی ارتفاعی نیز ارائه می‌گردد [۱۴].

شناساگر هدف متحرک ترکیب شده با SAR:

این سیستم در شناسایی اهداف متحرک مخصوصاً در بخش نظامی کارایی دارد. در این بخش تصاویر میدان جنگ به سرعت و با قدرت تفکیک بالایی ارائه می‌گردد [۱۴].

روش‌های مطالعه پدیده فرونشست

بررسی و کمی‌سازی فرونشست به عنوان یک پدیده تدریجی و بزرگ مقیاس، بسیار دشوار است. روش‌های متعددی برای بررسی پدیده فرونشست وجود دارد که جزئیات آن‌ها در جدول ۳ ارائه شده است [۱۹].

جدول ۳: روش های مطالعه پدیده فرونشست [۱۹]

روش های مطالعه پدیده فرونشست	
مستقیم	غیر مستقیم
ترازیابی دقیق	مدلسازی ریاضیاتی
مشاهدات GPS	مدلسازی رستر‌پایه
ابزار تراکم سنج	
روش تداخل سنجی دریچه مصنوعی	

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

روش اول- استفاده از مشاهدات ترازیابی دقیق: این روش جزو قدیمی‌ترین و دقیق‌ترین روش‌های ژئودتیکی در جهت کنترل و بررسی پدیده فروشست به شمار می‌رود. ضمن ثابت درنظرگرفتن ارتفاع نقاط خارج از محدوده پدیده، اطلاعات دقیقی از تغییرات‌ارتفاعی نقاط ترازیابی حاصل می‌شود. به طور معمول بررسی این روش دقت بالایی دارد؛ اما از سوی دیگر هزینه‌بر است [۱۹,۲۰].

روش دوم- استفاده از مشاهدات GPS [1]: این روش جزو یکی از معمولی‌ترین روش‌ها برای بررسی مستقیم فرونشست زمین به حساب می‌آید. استفاده از این دست مشاهدات، پیوسته و درعین‌حال هزینه‌بر است [۲۰].

روش سوم- استفاده از ابزار تراکم‌سنج: این ابزار شامل یک حسگر است که به یک لوله یا کابل متصل می‌شود و به داخل لوله جداره‌ی چاه فرستاده می‌شود. کابل یا لوله مرتبط با این ابزار از سطح زمین تا عمق لایه‌های متراکم پیش می‌رود و از میان این لایه‌ها عبور می‌کند. نمایشگر نصب شده بروی ابزار که در بالای چاه قرار دارد، تغییرات بین سطح زمین و حسگر را نشان می‌دهد، در حالیکه کابل و لوله جداره‌ی چاه به طور کامل از میان لایه‌های متراکم عبور کرده و تراکم رسوبات را به طور هم‌زمان اندازه‌گیری می‌کند. داده‌های به‌دست‌آمده از این طریق می‌توانند برای تحلیل خصوصیات لایه‌ها مورداستفاده قرار گیرند و در پیش‌بینی فرونشست‌های آینده مؤثر باشند [۲۱].

روش چهارم- تداخل‌سنجی دریچه مصنوعی: روش تداخل‌سنجی راداری با دیافراگم مصنوعی (InSAR) یکی دیگر از روش‌های مستقیم است که بر اساس تصاویر راداری طراحی شده است. طبق تصاویر راداری، نقشه‌هایی از مناطق دچار فرونشست با قدرت تفکیک در حد سانتی‌متر حاصل می‌شود [۲۰,۲۱].

روش‌های غیرمستقیم بررسی فرونشست زمین: این بخش بر اساس مدل‌سازی و طبق پارامترهای مؤثر در این فرایند از جمله افت سطح آب زیرزمینی، جنس رسوبات در منطقه اشباع و غیراشباع و... انجام می‌شود که مهم‌ترین آن‌ها شامل مدل‌سازی ریاضیاتی و مدل‌های رستر پایه است [۲۱].

ماهواره Sentinel-1 [2]

مأموریت Copernicus Sentinel-1 به‌عنوان یک مجموعه دو ماهواره‌ای شامل ماهواره‌های Sentinel-1A و Sentinel-1B که هر کدام از آن‌ها دارای یک ابزار راداری پیشرفته برای ارائه تصویر از سطح زمین، به‌صورت شبانه‌روزی و در تمام شرایط آب‌وهوایی می‌باشد. Sentinel-1A در ۳ آوریل ۲۰۱۴ Sentinel-1B، در ۲۵ آوریل ۲۰۱۶ و Sentinel-1C در ۵ دسامبر سال ۲۰۲۴ در مدار قرار گرفتند و پیش‌بینی شده است که در نیمه دوم سال ۲۰۲۵ هم Sentinel-1D به فضا پرتاب خواهد شد. این ماهواره چهار حالت عملیاتی دارد که جزئیات آن در جدول ۴ ارائه شده است [۱۱].

حالت عملیاتی IW در پایش پدیده فرونشست

حالت عملیاتی IW، اصلی‌ترین حالت تصویربرداری از زمین در ماهواره Sentinel-1 است. در این حالت، داده‌ها با عرض ۲۵۰ کیلومتر و وضوح فضایی ۵ در ۲۰ متر جمع‌آوری می‌شوند. حالت IW، سه sub-swath را با استفاده از تکنیک مشاهده سطح زمین با اسکن‌های پیشرفته [3] (TOPSAR) ثبت می‌کند [۱۱].

جدول ۴: چهار حالت عملیاتی سنتینل-۱ [۱۱]

شماره	چهار حالت عملیاتی		مخفف	بزرگنمایی مکانی	بزرگنمایی زمانی	عرض برداشت
۱	حالت نوار عریض تداخل سنجی	Interferometric Wide Swath Mode	IW	۵ متر * ۲۰ متر	۱۲ روز	۲۵۰ کیلومتر
۲	حالت نوار بسیار عریض	Extra Wide Swath Mode	EW	۲۰ متر * ۴۰ متر	۱۲ روز	۴۰۰ کیلومتر
۳	حالت موجی	Wave Mode	WV	۲۰ متر * ۲۰ متر	۱۲ روز	۲۰ متر * ۲۰ متر
۴	حالت نقشه نواری	Strip Map Mode	SM	۵ متر * ۵ متر	۱۲ روز	۸۰ کیلومتر

[1] Global Positioning System
[2] Sentinel-1- Radar vision for Copernicus
[3] Terrain Observation with Progressive Scans SAR

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

مزایایی حالت عملیاتی IW

الف) حالت عملیاتی IW در Sentinel-1 می‌تواند برای تشخیص دقیق حرکات زمین و الگوهای تغییر شکل زمین با وضوح فضایی بالا برای مناطق وسیع استفاده شود [۱۰]. ب) عرض نوار IW حدود ۲۵۰ کیلومتر است که امکان نظارت بر مناطق بزرگ را فراهم می‌کند و از سوی دیگر زمان بازبینی آن نیز کوتاه است که می‌تواند از سطوح بسیار وسیعی پشتیبانی کند و نظارت پیوسته‌ای از سطح زمین ارائه دهد [۱۴]. ج) داده‌های IW با استفاده از روش جدید مشاهده زمین با اسکن‌های پیش‌رونده در آزیموت (TOPS) تکنیک تصویربرداری SAR را اعمال می‌کند [۲۰].

در جدول ۵ نیز خلاصه‌ای از چندین مورد تحقیق صورت‌گرفته در حوزه نظارت و پایش فرونشست با استفاده از روش تداخل‌سنجی دریچه مصنوعی و ماهواره Sentinel-1 ارائه شده است.

جدول ۵: بررسی تحقیقات صورت گرفته

شماره	اسامی نویسندگان	سال	ماهواره	توضیحات
۱	Van der Horst et al	۲۰۱۸	Sentinel-1	در تحقیقشان به بررسی شدت و وسعت خطر فرونشست در یانگون، واقع در حاشیه دلتا ایرراوادی در میانمار، پرداخته اند. با استفاده از تحلیل زمان‌سنجی (PSI)[1] بر روی داده‌های Sentinel-1 در بازه زمانی دسامبر ۲۰۱۵ تا آوریل ۲۰۱۷، چهار منطقه با نرخ جابجایی عمودی بیش از ۲۰ میلی‌متر در سال شناسایی شد[22] .
۲	سعیدی و همکاران	۲۰۱۸	Sentinel-1 Envisat	با استفاده از تصاویر ماهواره‌های Envisat و Sentinel-1 در سال‌های۲۰۱۰ – ۲۰۰۳ و ۲۰۱۷ – ۲۰۱۴ محدوده‌های فرونشست در دشت کاشمر بردسکن در استان – خراسان رضوی و گسترش شکاف‌های آن را بررسی کردند[4].
۳	Azarakhsh et al	۲۰۲۲	Sentinel-1	در این پژوهش، برآورد فرونشست زمین با استفاده از تکنیک PS-InSAR [2] و سپس مدل‌سازی و پیش‌بینی آن از طریق روش‌های یادگیری ماشین صورت گرفت. از تصاویر سری‌زمانی سنتینل-۱ برای استخراج فرونشست زمین از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹ استفاده شد[23].
۴	Navarro-Hern´andez et al	۲۰۲۳	Sentinel-1	در تحقیقشان به بررسی نقش فعالیت‌های تکتونیکی و برداشت آب‌های زیرزمینی در فرونشست زمین پرداخته و از الگوریتم P-SBAS[3] برای تحلیل ۲۲۱ تصویر Sentinel-1 استفاده کرده است[24].
۵	Qiao et al	۲۰۲۳	Sentinel-1	از روش InSAR با نقاط پراکنده پایدار (PS) برای پردازش چهار دسته از تصاویر SAR Sentinel-1 که بین سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۲ ثبت شده‌اند، استفاده کردند و فرونشست‌های بزرگ‌مقیاس را در سواحل تگزاس نقشه‌برداری شد[25].
۶	رجبی و همکاران	۲۰۲۴	Sentinel-1	در تحقیقشان از ۵ تصویر ماهواره Sentinel-1 برای بازه‌ی زمانی ۲۰۱۷ تا ۲۰۲۱ جهت اندازه‌گیری و محاسبه فرونشست زمین در دشت کرمانشاه استفاده شد[26].

نتیجه‌گیری

پدیده فرونشست زمین به‌عنوان یکی از مخاطرات ژئومورفولوژیکی جدی، نه‌تنها در ایران بلکه در سطح جهانی، تهدیدی بزرگ برای زیرساخت‌ها، محیط‌زیست و جان انسان‌ها محسوب می‌شود. این پدیده که عمدتاً ناشی از برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی، استخراج منابع نفتی و گازی، و فعالیت‌های انسانی دیگر است، در ایران به دلیل شرایط خاص هیدرولوژیکی و ژئومورفولوژیکی، شدت بیشتری یافته است. با توجه به گسترش

[1] Persistent Scatterer Interferometry

[2] Permanent scatterers

[3] The parallel solution of the SBAS algorithm

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

این پدیده به اکثر دشت‌های ایران، ضرورت پایش و مدیریت آن بیش از پیش احساس می‌شود. در این راستا، فناوری‌های نوین سنجش از راه دور، به‌ویژه تداخل‌سنجی رادار دریچه مصنوعی (InSAR)، ابزاری قدرتمند برای نظارت و تحلیل فرونشست زمین فراهم کرده‌اند. ماهواره‌های راداری مانند Sentinel-1 با قابلیت‌های تصویربرداری پیشرفته، پوشش گسترده و دقت بالا، امکان پایش مستمر و دقیق تغییرات سطح زمین را در مقیاس‌های بزرگ فراهم می‌کنند. این ماهواره‌ها با استفاده از تکنیک‌هایی مانند DInSAR و PS-InSAR، قادر به شناسایی جابه‌جایی‌های زمینی در حد میلی‌متر هستند که این امر مدیریت بحران و کاهش خسارات ناشی از فرونشست را تسهیل می‌کند. با توجه به پیشرفت‌های فناوری و دسترسی به داده‌های ماهواره‌ای، می‌توان از هوش مصنوعی و Machine learning برای پیش‌بینی و مدل‌سازی فرونشست زمین استفاده کرد. این روش‌ها می‌توانند با تحلیل داده‌های تاریخی و شناسایی الگوی تغییرات، به مدیران و تصمیم‌گیرندگان کمک کنند تا اقدامات پیشگیرانه و اصلاحی را به موقع اجرا کنند. همچنین، ایجاد سیستم‌های هشدار سریع، مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای می‌تواند به کاهش خسارات جانی و مالی ناشی از فرونشست کمک کند. برای مقابله با این پدیده، علاوه بر پایش مستمر، باید به سمت مدیریت پایدار منابع آب و کاهش برداشت بی‌رویه از سفره‌های زیرزمینی حرکت کرد. این امر نیازمند همکاری بین‌المللی، انتقال فناوری و آموزش جوامع محلی است. همچنین، استفاده از فناوری‌های نوین همچون ماهواره Sentinel-1 و سایر ماهواره‌های راداری باید در دستور کار سازمان‌های زیست محیطی و مدیریت بحران قرار گیرد تا بتوان به طور مؤثری با این چالش جهانی مقابله کرد. در نهایت، ترکیب دانش سنتی با فناوری‌های نوین و همکاری بین‌المللی می‌تواند راه‌حلی پایدار برای کاهش اثرات فرونشست زمین و حفاظت از محیط زیست و جوامع انسانی ارائه دهد.

اعلامیه

نویسندگان اعلام می‌دارند که این مقاله توسط هوش مصنوعی نگارش نشده است و کل و یا بخش از آن نیز در هیچ‌کدام از پایگاه‌های اطلاعاتی منتشر نشده است.

فهرست منابع

[1]. کریمی، مرتضی.، قنبری علی اصغر.، امیری شهرام (۱۳۹۲). سنجش خطر پذیری سکونتگاه‌های شهری از پدیده فرونشست زمین مطالعه موردی: منطقه ۱۸ شهر تهران، برنامه ریزی فضایی، دوره سوم، شماره ۱، صص ۳۷-۵۶.

[2]. شریفی کیا، محمد (۱۳۸۹). بررسی پی آمدهای ناشی از پدیده فرونشست در اراضی و دشت های مسکونی ایران، مجله انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران، دوره سوم، شماره ۴-۳، صص ۴۳-۵۸.

[3]. عمادالدین، سمیه.، شاهی، ویدا.، آرخی، صالح.، آق‌آتابای، مریم (۱۴۰۱). تعیین میزان فرونشست زمین در محدوده مخروط افکنه جاجرود با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی تفاضلی راداری، پژوهش های جغرافیای طبیعی، دوره ۵۴، شماره ۲، صص ۱۶۹-۱۸۳.

[4]. سعیدی، حمید.، لشکری پور، غلامرضا.، غفوری، محمد (۱۳۹۸). ارزیابی درز و شکاف‌های حاصل از فرونشست زمین در دشت کاشمر-بردسکن در شمال شرق ایران، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، دوره ۱۰، شماره ۳۵، صص ۷۴-۸۸.

[5]. صفری نامیوندی، مهدی.، اسدی، معصومه.، ایرانی هریس، صیاد، امینی ابوالفضل (۱۴۰۳). تحلیل نقش عوامل انسانی در وقوع فرونشست با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و راداری (مطالعه موردی: شهر پیشوا)، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، دوره ۱۵، شماره ۵۷، صص ۳۹-۲۳.

[6]. Chaussard E., Amelung F., Abidin H., & Hong S. H. (2013). Sinking cities in Indonesia: ALOS PALSAR detects rapid subsidence due to groundwater and gas extraction. Remote sensing of environment, Vol. 128, 150-161.

[7]. Dehghani M., Valadan Zoej M. J., Entezam I., Mansourian A., & Saatchi S. (2009). InSAR monitoring of progressive land subsidence in Neyshabour, northeast Iran. Geophysical Journal International, Vol.178, No.1, 47-56.

[8]. Farías C. A., Lenardón Sánchez M., Bonì R., & Cigna F. (2024). Statistical and Independent Component Analysis of Sentinel-1 InSAR Time Series to Assess Land Subsidence Trends. Remote Sensing, Vol.16, No. 21, 1-28.

[9]. Rafiei F., Gharechelou S., Golian S., & Johnson B. A. (2022). Aquifer and land subsidence interaction assessment using sentinel-1 data and DInSAR

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

Technique. ISPRS International Journal of Geo-Information, Vol. 11, No. 9, 1-29.
[10].https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-1 (1 - February- 2025)
[11]. Cigna F., & Tapete D. (2021). Sentinel-1 big data processing with P-SBAS InSAR in the Geohazards Exploitation Platform: An experiment on coastal land subsidence and landslides in Italy. Remote Sensing, Vol. 13, No.5, 1-25.
[12]. Raspini F., Caleca F., Del Soldato M., Festa D., Confuorto P., & Bianchini S. (2022). Review of Satellite Radar Interferometry for Subsidence Analysis. Earth-Science Reviews, Vol. 235, 104239.
[13]. Sowter A., Amat M. B. C., Cigna F., Marsh S., Athab A., & Alshammari L. (2016). Mexico City land subsidence in 2014–2015 with Sentinel-1 IW TOPS: Results Using the Intermittent SBAS (ISBAS) technique. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Vol. 52, 230-242.
[14]. متکان، علی اکبر.، حاجب، محمد.، آذرخش، زینب. (۱۳۹۹). مقدمه ای بر سنجش از راه دور راداری. انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ۳۸۶ صفحه.
[15]. مقصودی، یاسر.، مهدوی، ساحل. (۱۴۰۳). مبانی سنجش از راه دور راداری. انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی، تهران، ۳۴۰ صفحه.
[16]. Roozban, A. (2017). Subsidence Investigation Using Dinsar Method and the New SENTINEL Sensor Data: Ministry of Science, Research and Technology, Iran, Graduate University of Advanced Technology Faculty of Civil and Surveying Engineering Epartment of Surveying Engineering, A Thesis for Degree of Master of Science (M.Sc.) In Remote Sensing Engineering, P. 110.
[17]. Alibakhshi, H. (2016). An Investigation Evaluation of Varamin Plan Subsidence with Using Geodetic Technique Like-Leveling, Observation GPS And Insar: Islamic Azad University, Science and Research Brach - Shahrood, Faculty of Engineering – Department of Surveying, Thesis for Receiving «M.Sc» Degree on Geodesy, V. 148.
[18]. Maleki, M. (2015). Comparison of Optic and Radar Data for Terrain Feature Extraction: Kharazmi University Fluctory of Geography Science Remote Sensing and Geographic Information Seystem (GIS) Departemant, V. 100.
[19]. نصیری خانقاه، علیرضا.، شریفیان عطار، رضا. (۱۳۹۸). کاربرد تداخل‌سنجی رادار در مطالعه فرونشست. انتشارات مهر جالینوس، مشهد، ۲۹۴ صفحه.
[20]. Amig Pe, M., And Arabi, S. (2009). Report of Research Project of Yazd Subsidence Survey Using Radar Interference and Precision Alignment Technique: National Mapping Agency, P. 46.
[21]. Ravanfar, S. M. (2015) Evaluation of Land Subsidence Using Rastering Model in GIS Environment: Islamic Azad University Marvdasht Branch Faculty of Engineering Department of Civil, Thesis for Receiving (M.Sc) Degree on Civil Engineering, P. 133.
[22]. Van der Horst T., Rutten M. M., van de Giesen N. C., & Hanssen R. F. (2018). Monitoring land Subsidence in Yangon, Myanmar Using Sentinel-1 Persistent Scatterer Interferometry and Assessment of Driving Mechanisms. Remote Sensing of Environment, Vol. 217, 101-110.
[23]. Azarakhsh Z., Azadbakht M., & Matkan A. (2022). Estimation, modeling, and prediction of land subsidence using Sentinel-1 time series in Tehran-Shahriar plain: A machine learning-based investigation. Remote Sensing Applications: Society and Environment, Vol. 25, 100691.
[24]. Navarro-Hernández M. I., Tomás R., Valdes-Abellan J., Bru G., Ezquerro P., Guardiola-Albert C., Elçi A., Batkan E.A., Caylak B., ¨Oren A.H., Meisina C., Pedretti L., & Rygus M. (2023). Monitoring Land Subsidence Induced by Tectonic Activity and Groundwater Extraction in the Eastern Gediz River Basin (Türkiye) Using Sentinel-1 observations. Engineering Geology, Vol. 327, 107343.
[25]. Qiao X., Chu T., Tissot P., & Holland S. (2023). Sentinel-1 InSAR-derived land subsidence assessment along the Texas Gulf Coast. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Vol. 125, 103544.
[26]. رجبی، معصومه.، روستایی، شهرام.، مطاعی، سارا (۱۴۰۲). ارزیابی خطر فرونشست‌زمین در دشت کرمانشاه با استفاده از سنجش از راه دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره ۲۸، شماره ۸۸، صص ۳۲۸-۳۰۸.

شاپا چاپی 2008-935X شاپا الکترونیکی 2783-0934 https:/www.sciencecultivation.ir

هوش مصنوعی و رنسانس نوین در علوم زیستی و زیست پزشکی

باقر دوائیل*[،۱]، احمد امیری[۱]، علی اکبر موسوی موحدی[۲،۳]

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله ترویجی

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت
۲۴ مهر ۱۴۰۴
تاریخ بازنگری
۲۹ آبان ۱۴۰۴
تاریخ پذیرش
۰۷ آذر ۱۴۰۴
تاریخ انتشار
۳۰ آذر ۱۴۰۴

کلیدواژه‌ها:
هوش مصنوعی،
نوزایش (رنسانس)، علوم زیستی،
زیست‌پزشکی، یادگیری ماشین،
کشف دارو، زیست‌صنایع،
علوم پایه

چکیده

همگرایی ژرف هوش مصنوعی و علوم زیستی در حال درنوردیدن مرزهای سنتی علم ویک نوزایش (رنسانس) است. این پیوند تحول‌آفرین، نه‌تنها رویکردهای کلاسیک زیست‌شناسی را به چالش کشیده، بلکه افق‌هایی نو برای فهم سازوکارهای بنیادین حیات، تشخیص بیماری‌ها و توسعه درمان‌های هدفمند و شخصی‌سازی‌شده گشوده است. زیست‌شناسی به‌طور سنتی بر مدل‌های کیفی و توصیفی استوار بوده است؛ رویکردی که اگرچه درک مفهومی پدیده‌ها را ممکن می‌سازد، اما به‌دلیل پیچیدگی ذاتی سامانه‌های زیستی، از توان پیش‌بینی کمی و دقیق برخوردار نیست. در غیاب قوانین جهان‌شمول و قطعی، تحلیل رفتار سامانه‌های زیستی چندسطحی و درهم‌تنیده همواره با محدودیت‌هایی همراه بوده است. در این میان، هوش مصنوعی با توانمندی منحصربه‌فرد خود در تحلیل داده‌های عظیم، چندبعدی و ناهمگون، این خلأ دیرینه را تا حد زیادی جبران کرده است. پیشرفت شتابان الگوریتم‌های یادگیری ماشین و یادگیری عمیق، دامنه کاربردهای هوش مصنوعی را از بیماری‌شناسی مولکولی و زیست‌پزشکی تا طراحی هوشمند دارو، تصویربرداری پیشرفته و مدیریت درمان گسترش داده است. امروزه، هوش مصنوعی به یکی از ارکان اصلی پزشکی شخصی‌سازی‌شده، ویرایش ژنوم و تصمیم‌گیری بالینی بدل شده و نویدبخش دوران نوزایش نوینی است که در آن کشف رازهای حیات با شتاب و دقتی بی‌سابقه تحقق خواهد یافت و مرزهای امکان را در علوم زیستی جابه‌جا خواهد کرد.

استناد: دوائیل باقر, امیری احمد, موسوی موحدی علی اکبر. (۱۴۰۴). 'هوش مصنوعی و رنسانس نوین در علوم زیستی و زیست پزشکی', نشاء علم، ۱۵ (۲)، ۲۱۵-۲۲۳.

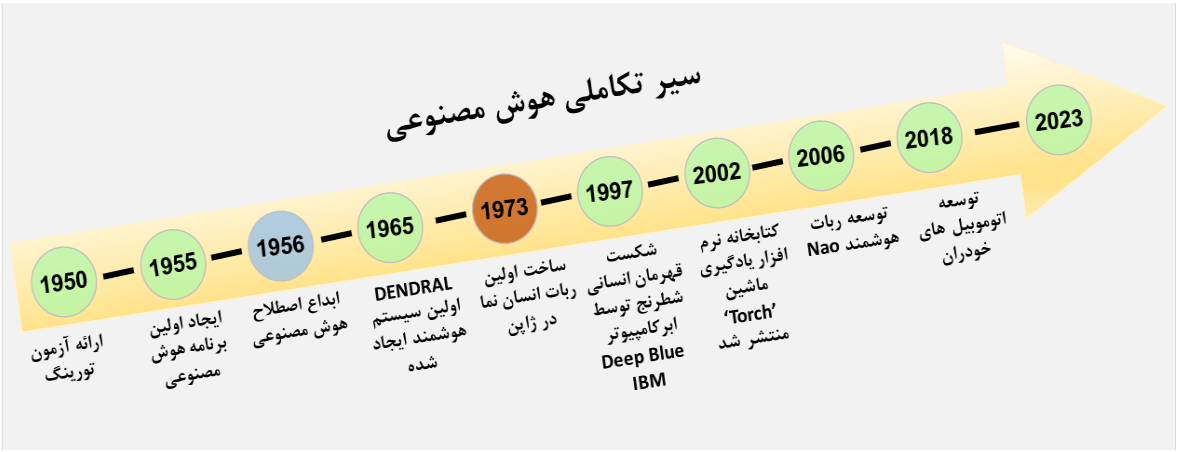
ناشر: بنیاد پیشبرد علم و فناوری در ایران و انجمن بیوشیمی فیزیک ایران
© نویسندگان حق نشر و کلیه حقوق انتشار را برای خود حفظ می‌کنند.

* عهده‌دار مکاتبات: دکتری تخصصی، آدرس الکترونیکی: davaeil.bagher@ut.ac.ir
[۱] مرکز تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران
[۲] کرسی یونسکو در تحقیقات بین‌رشته‌ای در دیابت، دانشگاه تهران، تهران، ایران
[۳] عضو پیوسته فرهنگستان علوم ایران، عضو پیوسته آکادمی جهانی علوم (تواس)، عضو پیوسته آکادمی علوم جهان اسلام

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

هوش مصنوعی

هوش مصنوعی[1] (AI) به‌طورکلی به توانایی هر ماشینی اطلاق می‌شود که بتواند هوش ماشینی بالاتر را شبیه‌سازی کند. هدف هوش مصنوعی توسعه ماشینی است که بتواند شبه‌انسان فکر کند و رفتارهای انسان از جمله درک، استدلال، یادگیری، برنامه‌ریزی، پیش‌بینی و غیره را تقلید کند [۱, ۲].



شکل ۱: هوش مصنوعی در گذر زمان

دانشمندان در سال ۱۹۵۶ اصطلاح هوش مصنوعی را برای یک سیستم ماشین هوشمند در کنفرانس دارتموث[2] مطرح کردند [۲]. سپس تجربیات محققان درباره مفهوم ماشین‌های هوشیار و خودآموز مطرح شد [۳, ۴]. آنها مطرح کردند که مغز انسان اساساً مانند یک کامپیوتر دیجیتال عمل می‌کند [۵, ۶]. شکل ۱ روند توسعه هوش مصنوعی را نشان می‌دهد.

یادگیری عمیق و یادگیری ماشین دو عنصر حیاتی هوش مصنوعی هستند که با جمع‌آوری اطلاعات از داده‌های منابع مختلف که مستقیم یا غیرمستقیم از سیستم هوش طبیعی تولید و آموزش داده می‌شوند. هرچه الگوریتم‌های یادگیری عمیق و یادگیری ماشین با استفاده از داده‌های منابع مختلف آموزش داده شوند، سیستم‌های مصنوعی پیشرفته‌تر، هوشمندانه‌تر و خودآگاه‌تر ممکن است توسعه یابند (شکل ۲) [۶, ۷].

سیستم هوش مصنوعی ایده‌آل می‌تواند خودآگاه، منطقی و قادر به یادگیری از تجربه باشد. همچنین می‌تواند محیط‌های خارجی را درک کرده و نسبت به آن واکنش نشان دهد. زمینه هوش مصنوعی تقریباً در هر شاخه‌ای از تحقیقات از جمله فلسفه، ریاضیات، محاسبات، روان‌شناسی و زیست‌شناسی ریشه‌های مهمی دارد [۱, ۲]. با وقوع بی‌وقفه انقلاب‌های صنعتی، تعداد فزاینده‌ای از انواع ماشین‌ها به طور مستمر جایگزین نیروی انسانی از تمام طبقات زندگی می‌شوند و جایگزینی قریب‌الوقوع نیروی انسانی توسط هوش ماشینی چالش بزرگ بعدی است که باید بر آن غلبه کرد. دانشمندان زیادی بر روی حوزه هوش مصنوعی تمرکز کرده‌اند و این باعث می‌شود تحقیقات در زمینه هوش مصنوعی غنی و متنوع باشد. زمینه‌های تحقیقاتی هوش مصنوعی شامل الگوریتم‌های جستجو، نمودارهای دانش، پردازش زبان‌های طبیعی، الگوریتم‌های تکامل، یادگیری ماشین[3] (ML)، یادگیری عمیق[4] (DL) و غیره است [۸].

شکل ۲: ارائه شماتیک اجزای اصلی هوش مصنوعی و فرآیند یادگیری مستمر آن با کمک هوش طبیعی برای ساخت ماشین‌های هوشمندتر. هوش مصنوعی با پردازش داده‌ها، تنظیم پارامترهای مدل و بهبود عملکرد آن در طول زمان یاد می‌گیرد.

[1] Artificial Intelligence
[2] Dartmouth Summer Research Project
[3] Deep Learning
[4] Machine Learning

https://www.sciencecultivation.ir شاپا الکترونیکی 2783-0934 شاپا چاپی 2008-935X

فرآیند توسعه هوش مصنوعی شامل سه مرحله اصلی است: هوش ادراکی، هوش شناختی و هوش تصمیم‌گیری. هوش ادراکی یعنی توانایی ماشین در دیدن، شنیدن و لمس کردن مانند انسان. هوش شناختی توانایی استدلال، یادگیری و حل مسئله است و از عملکرد مغز انسان الهام گرفته شده است. وقتی ماشین بتواند ادراک و شناخت داشته باشد، می‌تواند تصمیمات بهتری بگیرد و زندگی انسان و تولید صنعتی را بهبود بخشد. هوش تصمیم‌گیری با استفاده از داده‌ها، علوم اجتماعی و تئوری تصمیم، مسیرهای عملی را مشخص می‌کند. لایه زیرساختی شامل داده‌ها، الگوریتم‌ها و قدرت محاسباتی است تا مدل‌ها قوانین داخلی داده‌ها را بیاموزند و برنامه‌های هوش مصنوعی را اجرا کنند. هوش مصنوعی روزبه‌روز در علوم بنیادی، صنعت، زندگی روزمره و فضای اجتماعی نفوذ می‌کند و سبک زندگی و کار ما را متحول می‌سازد [۴, ۵, ۹].

ضرورت و اهمیت ورود هوش مصنوعی در علوم زیستی

هوش مصنوعی نقش بسیار مهمی در پیشرفت علوم زیستی دارد، زیرا علم زیست‌شناسی با چالش‌هایی مواجه است که در فیزیک یا ریاضیات کمتر دیده می‌شوند. در زیست‌شناسی، مدل‌های علمی معمولاً پدیده‌ها را به‌صورت کیفی توضیح می‌دهند و همین باعث می‌شود دقت و قدرت پیش‌بینی آن‌ها محدود باشد [۱۰]. روش‌های محاسباتی مانند شبیه‌سازی و مدل‌سازی دینامیک مولکولی با ساده کردن پدیده‌ها به درک رفتار سیستم‌ها کمک می‌کنند، اما پیچیدگی ذاتی موجودات زنده باعث می‌شود نتایج همیشه دقیق نباشند [۱۱]. به‌طورکلی سه ویژگی اصلی سیستم‌های زیستی اهمیت ورود هوش مصنوعی را روشن می‌کند:

چندبعدی بودن[1]: سیستم‌های زیستی شامل بخش‌ها و سطوح مختلف (مولکولی، سلولی، ارگانیسمی و غیره) هستند. مدلی که در توصیف یک بخش یا سطح، عملکرد موفقی دارد، لزوماً قادر به ارائه پیش‌بینی‌های معتبر در سایر سطوح نیست. برای مثال، مدل بیومکانیکی قلب می‌تواند حرکت جریان خون را با دقت بالایی شبیه‌سازی کند، اما از پیش‌بینی پیامدهای بیماری‌های قلبی که تحت‌تأثیر عوامل ژنتیکی هستند، ناتوان است [۱۱, ۱۲].

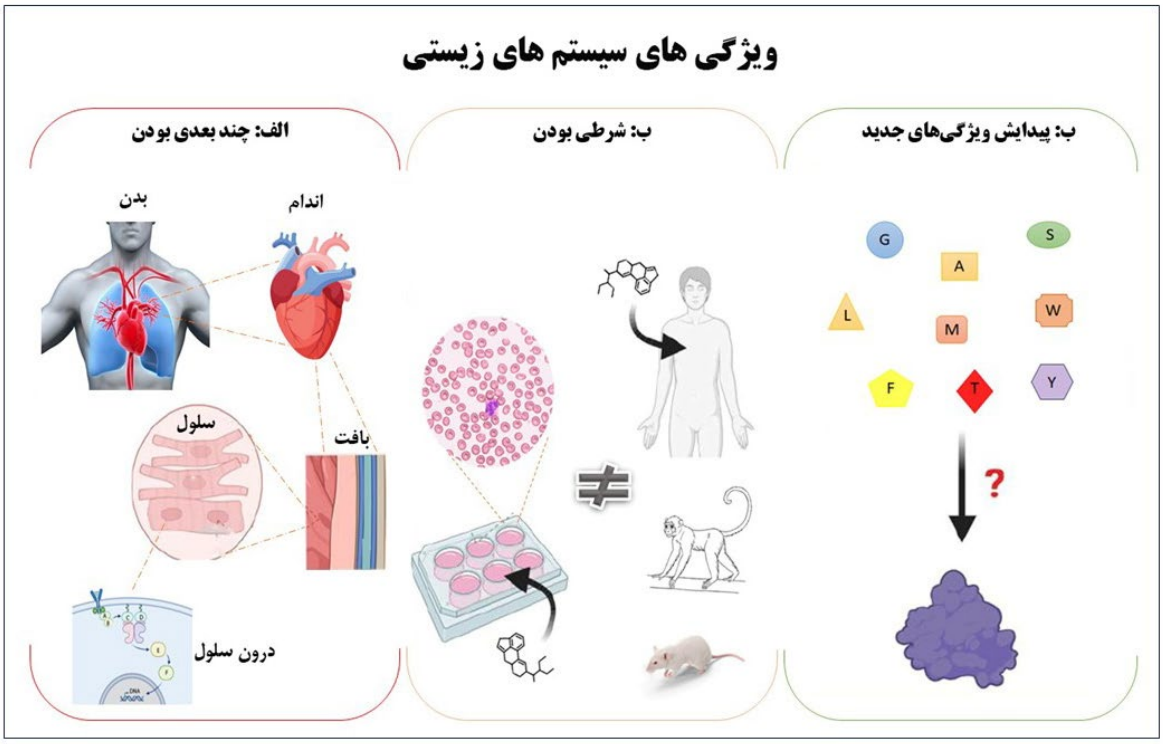
شرطی یا مشروط بودن[2]: رفتار موجودات زنده بسته به محیط تغییر می‌کند. آزمایش‌ها در شرایط آزمایشگاهی ممکن است اثر واقعی داروها در بدن انسان یا حیوان را درست نشان ندهند. زیست‌شناسی اغلب فاقد قوانین کلی و قطعی است که بتوان به‌راحتی از آن‌ها پیش‌بینی کرد و از پیچیدگی‌های بی‌شماری برخوردار است [۱۱, ۱۲].

پیدایش یا ظهور ویژگی‌های جدید[3]: سیستم‌های زیستی گاهی ویژگی‌هایی دارند که پیش‌بینی آن‌ها از روی اجزای تشکیل‌دهنده دشوار است. برای مثال، می‌توان ویژگی‌های شیمیایی یک اسیدآمینه را شناخت، اما پیش‌بینی شکل سه‌بعدی پروتئین حاصل از آن بسیار پیچیده است. بنابراین، هوش مصنوعی با توانایی تحلیل داده‌های بزرگ، شناسایی الگوهای پیچیده و یادگیری رفتار سیستم‌ها، می‌تواند این محدودیت‌ها را کاهش دهد و به درک بهتر و پیش‌بینی دقیق‌تر پدیده‌های زیستی کمک کند [۱۳]. سه ویژگی کلیدی پدیده‌های زیستی در شکل ۳ نشان داده شده است.

در تحقیقات زیستی، دانشمندان معمولاً با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی یا مشاهدات، سعی می‌کنند درباره پدیده‌های بزرگ‌تر مانند بیماری‌ها یا فرایندهای زیستی نتیجه‌گیری کنند. این روش که استدلال استقرایی نامیده می‌شود، محدودیت‌هایی دارد؛ آزمایش‌ها زمان‌بر، هزینه‌بر و گاهی شرایط آن‌ها نمی‌تواند واقعیت پیچیده سیستم‌های زیستی را به طور کامل نشان دهد. همچنین، ماهیت چندبعدی، شرطی و ظهور ویژگی‌های جدید در موجودات زنده باعث می‌شود نظریه‌ها و مدل‌های ساده نتوانند پیش‌بینی دقیقی ارائه دهند. اینجاست که هوش مصنوعی وارد عمل می‌شود. با قدرت تحلیل داده‌های بزرگ و همکاری چندرشته‌ای، هوش مصنوعی می‌تواند الگوها، روابط و مکانیسم‌های پنهان در داده‌های زیستی را کشف کند که قبلاً دسترسی به آن‌ها دشوار بود. این تعامل میان علوم زیستی و هوش مصنوعی نه‌تنها درک ما از سیستم‌های پیچیده بیولوژیکی را افزایش می‌دهد، بلکه به کاربردهای عملی مانند کشف دارو، بیوتکنولوژی و درمان بیماری‌ها نیز گسترش می‌یابد. ترکیب هوش انسانی و هوش مصنوعی زیستی می‌تواند راه‌حل‌های جدید و پایدار برای مسائل علمی ارائه دهد. این نوع هوش که تلفیقی از هوش دیجیتال، فیزیکی و زیستی است، در حال تجربه یک نوزایش (رنسانس) واقعی است و می‌تواند علم را به روش‌های نوآورانه پیش ببرد،

[1] Multidimensionality
[2] Conditionality
[3] Emergence

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی



شکل ۳: سه ویژگی کلیدی پدیده‌های زیستی که درک آنها را با استفاده از تبیین‌های قیاسی، چالش‌برانگیز می‌کند: چندبعدی بودن، شرطی بودن و ویژگی‌های ظهور.

کاربردهای مؤثر، اخلاقی و تأثیرگذار ایجاد کند، و در نهایت کیفیت زندگی و سلامت انسان‌ها را بهبود بخشد [۱۴].

هوش مصنوعی در زیست‌شناسی ساختاری

چگونه هوش مصنوعی و پیشرفت آن در آینده می‌تواند زیست‌شناسی ساختاری را متحول کند؟ درگذشته تعیین ساختار پروتئین‌ها به دلیل پیچیدگی ساختاری آن‌ها، فرایندی زمان‌بر بود. اما امروزه با ظهور ابزارهای هوش مصنوعی، محققان می‌توانند پیش‌بینی‌های سریعی را ارائه دهند و آن‌ها را قادر می‌سازد تا به‌جای ماه‌ها یا سال‌ها در عرض چند دقیقه تا چند ساعت ساختار یک پروتئین را بررسی کنند. جایزه نوبل شیمی سال ۲۰۲۴ که به دمیس هاسابیس و جان جامپر از دیپ‌مایند و دیوید بیکر اهدا شد، دستاوردهای تحول‌آفرین در پیش‌بینی و طراحی ساختار پروتئین مبتنی بر هوش مصنوعی را به رسمیت می‌شناسد. این جایزه آغازگر دوران جدیدی برای شیمی و زیست‌شناسی است، به‌ویژه با اذعان به تأثیر عمیق هوش مصنوعی بر تحقیقات علمی و کاربردهای عملی در رشته‌های مختلف که با جایزه نوبل فیزیک سال ۲۰۲۴ نیز به طور گسترده‌تری مورد تقدیر قرار گرفت. در پس‌زمینه پیشرفت‌های جایزه شیمی، درک محاسباتی از ماده زنده در سطح اتمی، به‌ویژه توسط مدل‌های هوش مصنوعی که قادر به پیش‌بینی، تجزیه‌وتحلیل و طراحی ساختارهای سه‌بعدی پروتئین‌ها هستند، به‌تنهایی یا اخیراً با تشکیل کمپلکس‌هایی با سایر مولکول‌ها مانند اسیدهای نوکلئیک، یون‌ها و لیگاندهای کوچک، قرار دارد. چنین قابلیت‌هایی یکی از پایدارترین چالش‌های زیست‌شناسی را برطرف می‌کند [۱۵]. در حال حاضر، تبدیل داده‌های زیست‌شناسی ساختاری تجربی به یک مدل ساختاری باکیفیت بالا، مستلزم مداخله دستی قابل‌توجهی است که مقیاس‌گذاری آن را دشوار و مستعد خطا می‌کند. پیش‌بینی می‌شود که هوش مصنوعی یک تغییر پارادایم (الگوواره) را در آینده‌ای نزدیک امکان‌پذیر می‌کند و امکان تعیین ساختار کاملاً خودکار از داده‌های تجربی را فراهم می‌نماید [۲]. بااین‌حال، انسان به دلیل خرد و توانایی خود در به‌کارگیری دانش پیش‌بینی پیچیده برای حل مشکلات مدل‌سازی ساختاری، تاکنون ثابت کرده است که در این نوع از جریان‌های فکری، غیرقابل‌جایگزین است [۱۶].

هوش مصنوعی در پزشکی

پیشرفت‌های پزشکی، زیست‌پزشکی و بیوتکنولوژی، راه‌های جدیدی برای کشف داروها و آنتی‌بیوتیک‌ها باز کرده‌اند و هوش مصنوعی نقش مهمی در این مسیر دارد. با استفاده از هوش

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

مصنوعی و یادگیری ماشین، می‌توان مولکول‌های درمانی جدید را شناسایی و تشخیص بیماری‌ها را دقیق‌تر کرد. این فناوری‌ها در پزشکی شخصی، پیش‌بینی شیوع بیماری‌ها و تحلیل تعاملات میزبان و پاتوژن کاربرد دارند و باعث تصمیم‌گیری سریع‌تر و کاهش خطا می‌شوند. هوش مصنوعی می‌تواند اطلاعات ژنتیکی، سوابق پزشکی و سبک زندگی افراد را تحلیل کند و برنامه‌های درمانی و پیشگیرانه شخصی‌سازی‌شده ارائه دهد. همچنین، با پایش داده‌های بزرگ و شبکه‌های اجتماعی، امکان ردیابی و کنترل شیوع بیماری در زمان واقعی فراهم می‌شود [۱۷].

هوش مصنوعی و سرطان

کاربرد هوش مصنوعی در زیست‌شناسی مولکولی با پیشرفت‌های فناوری رایانه رایج‌تر شده است. مطابق با توسعه فناوری هوش مصنوعی، یادگیری عمیق آموزش‌دیده به‌تدریج تکامل یافته است و در حال حاضر نقش مهمی در کاربردهای بالینی، به‌ویژه در تجزیه‌وتحلیل رادیوگرافی [۱۴،۱۵،۱۶] و تصاویر پاتولوژیک [۱۷،۱۸،۱۹] ایفا می‌کند. در همین حال، رویکرد یادگیری ماشین عمدتاً برای تجزیه‌وتحلیل داده‌های omics به دلیل ویژگی‌هایی مانند اندازه نمونه کوچک و داده‌های ابعاد بزرگ استفاده می‌شود [۲۰]. چندین پایگاه داده omics، مانند TCGA و ICGA، به طور چشمگیری گسترش یافته‌اند. علاوه بر این، تجزیه‌وتحلیل‌های omics چندلایه، مانند توالی‌یابی تک‌سلولی، حجم بسیار زیادی از داده‌ها را تولید کرده‌اند که ارزیابی سریع این حجم از داده‌ها فراتر از قابلیت‌های آنالیز دستی است. برای کاهش سطح کار درگیر در تجزیه‌وتحلیل مقادیر عظیمی از داده‌های پیچیده omics، همکاری موفق بین زیست‌شناسان و دانشمندان کامپیوتر موردنیاز است. از طرفی دیگر، هزاران عامل ژنتیکی و اپی‌ژنتیکی در ایجاد سرطان وجود دارد که آن را به یک بیماری پیچیده تبدیل می‌کند [۱۸]. این پیچیدگی باعث می‌شود درمان و تشخیص این بیماری هم پیچیدگی‌ها و سختی‌های مربوط به خود را داشته باشد. استفاده از هوش مصنوعی می‌تواند پزشکان و متخصصان حوزه سرطان را در تشخیص، پیش‌آگاهی و پیش‌بینی نوع درمان یاری نماید. آینده‌ای که پزشکان برای درمان سرطان با کمک هوش مصنوعی برای خود متصور هستند شامل ایجاد یک نقشه‌برداری سریع و فراهم شدن یک درمان جدید برای هر فرد است. این امر با کمک کاربردهای بالینی هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در تشخیص و درمان سرطان صورت می‌پذیرد [۱۹]. با استفاده از این قابلیت، دانشمندان قادر خواهند بود تا در زمان‌های مهم و واقعی، دانش خود را با استفاده از دستگاه‌های مبتنی بر هوش مصنوعی با هم به اشتراک بگذارند که این امر به‌صورت بالقوه می‌تواند در درمان هزاران نفر تأثیرگذار باشد [۲۰]. در نهایت، رویکردهای یادگیری ماشین نقش اصلی را در ایجاد راهبرد های کارآمد برای ارتقای نتایج مثبت تحقیقات سرطان ایفا خواهند کرد. در ادامه به نقش هوش مصنوعی در تحقیقات مربوط به سرطان که شامل داده‌های موجود در مورد این بیماری، پرتودرمانی ، تشخیص، شیمی‌درمانی ، جراحی، ایمونوتراپی و درمان هدفمند است، پرداخته می‌شود.

مرحله تشخیص بیماری:

در اغلب بیماری‌ها و به‌خصوص در مورد بسیاری از انواع سرطان‌ها، نتایج مرگبار به دلیل عدم تشخیص به‌موقع حاصل می‌شود. الگوریتم‌های یادگیری ماشین و هوش مصنوعی برای شناسایی بیماری‌ها، الگوهایی هستند که داده‌های پزشکی را تحلیل می‌کنند تا نشانه‌های بیماری‌ها را قبل از اینکه شدید شوند، پیدا کنند. به طور خاص، با استفاده از هوش مصنوعی می‌توان برای تجزیه‌وتحلیل تصویربرداری، پردازش سیگنال، ارزیابی نشانگرهای ژنتیکی جهش‌ها و همچنین شناسایی آسیب‌شناسی‌های متعدد بهره برد. به‌عنوان‌مثال، در بیماری‌های قلبی عروقی که با حدود ۱۹ میلیون مرگ‌ومیر سالانه عامل اصلی مرگ در سراسر جهان محسوب می‌شود، ابزارهای هوش مصنوعی می‌توانند با بهره‌گیری از تشخیص آریتمی از داده‌های نوار قلب، پیش‌بینی نارسایی قلبی بر اساس سوابق سلامت بیمار و نتایج آزمایش، شناسایی پلاک‌های آترواسکلروتیک در تصاویر شریانی، در تشخیص زودهنگام بیماری کمک کند [۲۱].

در واقع دستگاه‌های تصویربرداری پزشکی مدرن، مانند توموگرافی کامپیوتری[1] (CT) و تصویربرداری رزونانس مغناطیسی[2] (MRI)، با کمک یادگیری ماشین، جزئیات دقیق ساختار بدن را ثبت می‌کنند. CT تصاویر سه‌بعدی از حجم و شکل اندام‌ها ارائه می‌دهد، درحالی‌که MRI برای بررسی بافت‌های نرم و مفاصل

[1] Computed Tomography
[2] Magnetic Resonance Imaging

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

مناسب است و می‌تواند تغییرات بافتی مانند سلول‌های سرطانی را نشان دهد. الگوریتم‌های هوش مصنوعی می‌توانند تصاویر مغز را به بخش‌های سالم و سرطانی تقسیم کنند. به‌طوری‌که در سرطان سینه، الگوریتم‌ها می‌توانند تصاویر ماموگرافی را برای تشخیص تومورها یا الگوهای غیرطبیعی بادقت ۹۴٪ تجزیه‌وتحلیل کنند. مدل هوش مصنوعی گوگل برای تشخیص سرطان سینه در ماموگرافی‌ها، کاهش ۵/۷ درصد در موارد مثبت کاذب و کاهش ۹/۴ درصد در موارد منفی کاذب را در مقایسه با رادیولوژیست‌های انسانی نشان داد [۲۲].

رادیوتراپی:

در طول سال‌ها، پیشرفت‌ها در تصویربرداری تشخیصی، کارایی و اثربخشی پرتودرمانی را به طور قابل‌توجهی بهبود بخشیده است. معرفی هوش مصنوعی، تقسیم‌بندی تومورها و اندام‌های در معرض خطر را بهینه‌تر کرده و در نتیجه زمان قابل‌توجهی را برای متخصصان پرتودرمانی صرفه‌جویی کرده است. هوش مصنوعی همچنین در برنامه‌ریزی و بهینه‌سازی درمان مورد استفاده قرار گرفته و زمان برنامه‌ریزی را از چند روز به چند دقیقه یا حتی چند ثانیه کاهش داده است. علاوه بر این، هوش مصنوعی کاربردهای بالقوه‌ای در کنترل کیفیت و تضمین برنامه‌های درمانی، بهینه‌سازی پرتودرمانی هدایت‌شده با تصویر و نظارت بر تومورهای متحرک در طول درمان دارد. آینده هوش مصنوعی در پرتودرمانی، پتانسیل ایجاد استانداردسازی درمان را با به حداقل رساندن تفاوت‌های بین ناظران در تقسیم‌بندی و بهبود ارزیابی کفایت دوز ارائه می‌دهد. استانداردسازی پرتودرمانی از طریق هوش مصنوعی ممکن است پیامدهای جهانی داشته باشد و حتی در محیط‌های با منابع محدود، درمان استاندارد جهانی را فراهم کند. بااین‌حال، چالش‌هایی در جمع‌آوری کلان‌داده، از جمله اطلاعات پیشینه بیمار و مرتبط کردن برنامه‌های درمانی با پیامدهای بیماری، وجود دارد. اگرچه چالش‌ها همچنان پابرجا هستند، تحقیقات مداوم و ادغام فناوری هوش مصنوعی نویدبخش پیشرفت‌های بیشتر در انکولوژی پرتودرمانی است.

به‌طورکلی هوش مصنوعی در درمان سرطان با رادیوتراپی نقش مهمی ایفا می‌کند. این فناوری به پزشکان کمک می‌کند مرزهای تومور را دقیق تعیین و برنامه درمانی را بادقت بالا طراحی کنند، به‌طوری‌که پرتودرمانی مستقیماً سلول‌های سرطانی را هدف قرار دهد و بافت‌های سالم آسیب نبیند. همچنین هوش مصنوعی امکان نظارت و تنظیم درمان در زمان واقعی را فراهم می‌کند که باعث بهبود نتایج و ارائه مراقبت شخصی و مؤثرتر برای بیماران سرطانی می‌شود. در این مواقع خروجی داده‌های هوش مصنوعی با تأیید نهایی توسط متخصص پرتودرمانی بررسی و اصلاح می‌شود [۲۳, ۲۴].

شیمی درمانی:

هوش مصنوعی با بهره‌گیری از مراحل آموزش با داده‌های عظیم، یافتن الگوهای پیچیده، تولید یک پیش‌بینی یا ریسک‌سنجی (پیش‌بینی مبتنی بر آمار) می‌تواند به‌عنوان یک ابزار قدرتمند در کنار پزشک عمل کند تا وی با اتکا به اطلاعات جامع‌تر و دقیق‌تر، تصمیم نهایی را در مورد نیاز بیمار به شیمی‌درمانی اتخاذ کند [۲۵]. به‌طورکلی با تحلیل داده‌های گسترده بیمار، این فناوری امکان طراحی برنامه‌های درمانی متناسب با ویژگی‌های ژنتیکی و مولکولی هر فرد را فراهم می‌کند، شانس موفقیت را افزایش می‌دهد و عوارض جانبی را کاهش می‌دهد. همچنین، مدل‌های پیش‌بینی مبتنی بر هوش مصنوعی پاسخ بیمار به داروها را تخمین می‌زنند که درمان شخصی‌تر و هدفمندتر، کم تهاجمی‌تر و مؤثرتر را ممکن می‌سازد [۲۶].

ایمونوتراپی:

ایمونوتراپی یکی از روش‌های اصلی درمان سرطان است که همراه با شیمی‌درمانی، رادیوتراپی و جراحی عمل می‌کند. هدف آن بازیابی پاسخ طبیعی سیستم ایمنی بدن برای شناسایی و نابودی سلول‌های سرطانی است. در این فرایند، آنتی‌ژن‌های تومور ارائه می‌شوند، سلول‌های T فعال می‌شوند و به بافت تومور مهاجرت می‌کنند تا سلول‌های سرطانی را تخریب کنند. هوش مصنوعی می‌تواند الگوهای پاسخ ایمنی را شناسایی و پاسخ بیمار به ایمونوتراپی را پیش‌بینی کند. تحلیل داده‌های ژنتیکی و تصاویر پزشکی با هوش مصنوعی به بهینه‌سازی درمان، انتخاب درمان مناسب بیمار و پیش‌بینی نتایج کمک می‌کند [۲۷].

۶- هوش مصنوعی و مدیریت دیابت

شیوع روزافزون دیابت و عوارض ناشی از آن، همراه با مرگ‌ومیر قابل‌پیشگیری و بار اقتصادی قابل‌توجه، دیابت را به یکی از چالش‌های بزرگ بهداشتی جهان تبدیل کرده است. کنترل ضعیف قند خون در بیماران دیابتی اغلب ناشی از کمبود متخصصان، توزیع نابرابر منابع پزشکی، پایبندی پایین به داروها و مدیریت نامناسب

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

خود بیمار است. فناوری‌های سلامت دیجیتال، به‌ویژه هوش مصنوعی، فرصت‌های جدیدی برای بهبود مراقبت از بیماران دیابتی و کاهش هزینه‌های مرتبط فراهم کرده‌اند.

روش‌های سنتی پزشکی حضوری با چالش‌های متعددی روبه‌رو هستند. نخست، تشخیص زودهنگام دیابت هنوز دشوار است، زیرا بسیاری از بیماران برای سال‌ها از بیماری خود اطلاع ندارند. دوم، مدیریت دیابت نیازمند پیگیری منظم سطح قند خون و عوارض جانبی آن است و همکاری میان متخصصان مختلف مانند غدد درون‌ریز، تغذیه، نفرولوژی، پاپزشکی و چشم‌پزشکی ضروری است. این امر موجب کمبود منابع و توزیع نابرابر مراقبت‌ها می‌شود. سوم، دیابت یک بیماری مزمن است که به رژیم غذایی، ورزش و پایش مداوم بیمار وابسته است و نیازمند نقش فعال و مستمر خود بیمار در مدیریت بیماری است. هوش مصنوعی می‌تواند بسیاری از این موانع را کاهش دهد. الگوریتم‌های هوش مصنوعی قادر به تحلیل داده‌های گسترده متابولیک و پزشکی هستند و می‌توانند بیماران پرخطر را شناسایی و استراتژی‌های پیشگیرانه شخصی‌سازی شده ارائه کنند. علاوه بر این، این فناوری‌ها امکان مدیریت از راه دور بیماران را فراهم می‌کنند، اطلاعات سلامت و متابولیک را در زمان واقعی ارائه می‌دهند، خودمدیریتی بیمار را تقویت می‌کنند و نیاز به حضور مداوم در مطب‌های پزشکی را کاهش می‌دهند. به‌این‌ترتیب، بهره‌گیری از هوش مصنوعی در مراقبت از بیماران دیابتی نه‌تنها کیفیت زندگی و سلامت آن‌ها را ارتقا می‌دهد، بلکه می‌تواند کارایی سیستم‌های درمانی را افزایش داده و هزینه‌های مرتبط با مدیریت دیابت را کاهش دهد. این رویکرد، ترکیبی از مراقبت شخصی، پیشگیری مؤثر و مدیریت بهینه منابع است که می‌تواند تحولی پایدار در مراقبت از بیماران دیابتی ایجاد کند [۲۸].

فرصت‌ها و چالش‌های هوش مصنوعی و علوم زیستی

همگرایی هوش مصنوعی و علوم زیستی فرصت‌های بی‌نظیری برای پیشرفت علم و بهبود کیفیت زندگی انسان‌ها فراهم کرده است. از جمله مهم‌ترین فرصت‌ها می‌توان به تسریع تحقیق‌وتوسعه، بهبود کشاورزی و حفاظت از محیط‌زیست اشاره کرد. هوش مصنوعی می‌تواند حجم عظیمی از داده‌های بیولوژیکی و پزشکی را تحلیل کرده و الگوها و ارتباطاتی را شناسایی کند که ممکن است انسان‌ها از دست بدهند که این موضوع در توسعه دارو، تشخیص بیماری و مهندسی ژنتیک تحول ایجاد می‌کند. در کشاورزی، هوش مصنوعی با تحلیل داده‌های خاک، آب و ژنتیک گیاهان می‌تواند بهره‌وری محصول را افزایش دهد، مصرف کود و آفت‌کش‌ها را کاهش دهد و شیوه‌های کشاورزی پایدار را ترویج کند. همچنین در حفاظت از محیط‌زیست، این فناوری با تحلیل داده‌های ماهواره‌ای و حسگرها می‌تواند گونه‌های در معرض خطر را شناسایی، جنگل‌زدایی را پیگیری و اثرات تغییرات آب‌وهوایی را کاهش دهد.

باوجود این فرصت‌ها، نگرانی‌ها و چالش‌هایی نیز وجود دارد. برخی نگرانی‌ها شامل سوءاستفاده احتمالی از بیوتکنولوژی توسط هوش مصنوعی است، اما باید توجه داشت که هوش مصنوعی تنها می‌تواند از داده‌های موجود استفاده کند و کنترل یا محدودیت دسترسی به داده‌ها، سوءاستفاده انسانی را متوقف نمی‌کند. همچنین هوش مصنوعی اغلب خطا دارد و نمی‌تواند جایگزین خرد و تخصص انسانی شود؛ هر تصمیم یا تحلیل می‌باید توسط کارشناسان بررسی شود. تجربه واکسن‌های مرتبط با کووید-۱۹ نشان می‌دهد که همگرایی هوش مصنوعی و زیست‌شناسی می‌تواند نوآوری را سرعت بخشد و در تولید داروها و واکسن‌ها تحولی ایجاد کند. برای بهره‌برداری مؤثر از این فناوری‌ها، چند اقدام عملی پیشنهاد می‌شود:

۱. **آموزش و داده‌های صحیح**: اطمینان از آموزش مدل‌های هوش مصنوعی با داده‌های معتبر و استفاده از رویکردهای مناسب برای تحلیل سیستم‌های بیولوژیکی.

۲. **نظارت انسانی**: هر تصمیم یا خروجی هوش مصنوعی باید توسط متخصصان انسانی بررسی شود تا از خطا و سوءاستفاده جلوگیری شود.

۳. **استفاده اخلاقی و مسئولانه**: ایجاد چارچوب‌های اخلاقی برای کاربرد هوش مصنوعی در تحقیقات بیولوژیکی و بیوتکنولوژی، همراه با آموزش فرهنگ تعامل مسئولانه با فناوری.

٤. **تمرکز بر حل مسائل جهانی**: استفاده از هوش مصنوعی و علوم زیستی و زیست‌پزشکی برای مقابله با چالش‌های مهم مانند تغییرات اقلیمی، امنیت غذایی و سلامت عمومی.

در نهایت، با برخورد متعادل و مسئولانه، هوش مصنوعی می‌تواند توانمندی‌های علوم زیستی را به حداکثر برساند، دانش علمی را ارتقا دهد، مراقبت‌های بهداشتی را بهبود بخشد و راهکارهای پایدار برای چالش‌های جهانی ارائه کند. جوامع علمی و عمومی

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

باید از این پیشرفت‌ها آگاه باشند و از آن حمایت کنند تا مزایای آن برای رفاه بشر تحقق یابد [۶, ۲۹-۳۲].

نتیجه‌گیری

هوش مصنوعی را می‌توان پلی ناپیدا میان داده‌های خام و فهم عمیق پدیده‌های پیچیده دانست. این فناوری باتکیه بر مدل‌های ریاضی و الگوهای محاسباتی، به‌تدریج وارد قلمروهای دشوار علوم زیستی و پزشکی شده و امکان شناسایی قوانین ظریف و ناملموسی را فراهم می‌کند که با روش‌های سنتی به‌سختی قابل‌مشاهده بودند. آنچه این ارتباط را «ناپیدا» می‌سازد، نه در پیچیدگی فنی آن، بلکه در ماهیت تدریجی و خاموش تأثیرگذاری آن است؛ جایی که الگوریتم‌ها بدون دخالت مستقیم انسان، معنا را از دل حجم عظیمی از داده‌ها استخراج می‌کنند. با گذر زمان، هوش مصنوعی بالغ‌تر و دقیق‌تر می‌شود و می‌تواند در شناخت پدیده‌های زیستی از سطح اتمی و مولکولی تا سلولی و اندامی نقشی اساسی ایفا کند. این لایه‌های عمیق شناخت، بنیانی برای درک بهتر سازوکار حیات فراهم می‌آورند و به تصمیم‌گیری‌های آگاهانه‌تر در پزشکی، کشاورزی و علوم مرتبط منجر می‌شوند. در نهایت، این پیوند آرام اما بنیادین میان هوش مصنوعی و علوم زیستی، زیرساختی دانشی ایجاد می‌کند که هدف نهایی آن ارتقای سلامت، پایداری و رفاه جامعه انسانی است. البته بسیار مهم است که این موضوع ذکر شود که هوش مصنوعی برای ارتقا خود همیشه نیاز به عقل انسان دارد. عقل جایگاه پیوند انسان با پروردگار است که اگر انسان عقل را شفاف نماید زایش علم نو می کند و هوش مصنوعی را توسعه و ارتقا می‌دهد [۳۳-۳۵].

فهرست منابع

[1]. K. Chowdhary, Fundamentals of artificial intelligence, Springer(2020): 978-81.
[2]. Y. Xu, X. Liu, X. Cao, C. Huang, E. Liu, S. Qian, X. Liu, Y. Wu, F. Dong, C.-W. Qiu, Artificial intelligence: A powerful paradigm for scientific research, The Innovation 2(4) (2021).
[3]. B.G. Buchanan, A (very) brief history of artificial intelligence, Ai Magazine 26(4) (2005) 53-53.
[4]. A.M. Turing, Computing machinery and intelligence, Springer2009.In: Epstein, R., Roberts, G., Beber, G. (eds) Parsing the Turing Test. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6710-5_3
[5]. V. Akman, P. Blackburn, Alan turing and artificial intelligence, Journal of Logic, Language, and Information (2000) 391-395.
[6]. A. Bhardwaj, S. Kishore, D.K. Pandey, Artificial intelligence in biological sciences, Life 12(9) (2022) 1430. https://doi.org/10.3390/life12091430
[7]. K. Razzaq, M. Shah, Machine learning and deep learning paradigms: From techniques to practical applications and research frontiers, Computers 14(3) (2025) 93.
[8]. M. Adnan, B. Xiao, M.U. Ali, S. Bibi, H. Yu, P. Xiao, P. Zhao, H. Wang, X. An, Human inventions and its environmental challenges, especially artificial intelligence: New challenges require new thinking, Environmental Challenges 16 (2024) 100976.
[9]. C. Collins, D. Dennehy, K. Conboy, P. Mikalef, Artificial intelligence in information systems research: A systematic literature review and research agenda, International Journal of Information Management 60 (2021) 102383.
[10]. Y. Lazebnik, Can a biologist fix a radio?—Or, what I learned while studying apoptosis, Cancer cell 2(3) (2002) 179-182.
[11]. McCammon, J.A., B.R. Gelin, and M. Karplus, Dynamics of folded proteins. Nature, 1977. 267(5612): p. 585-590.
[12]. M. Herman, B. Aiello, J. DeLong, H. Garcia-Ruiz, A. González, W. Hwang, C. McBeth, E. Stojković, M. Trakselis, N. Yakoby, A unifying framework for understanding biological structures and functions across levels of biological organization, Integrative and Comparative Biology 61(6) (2021) 2038-2047.
[13]. F. Eisenhaber, Prediction of protein function: Two basic concepts and one practical recipe, Discovering biomolecular mechanisms with computational biology, Springer2006, 39-54.
[14]. C. Lancellotti, P. Cancian, V. Savevski, S.R.R. Kotha, F. Fraggetta, P. Graziano, L. Di Tommaso, Artificial intelligence & tissue biomarkers: advantages, risks and perspectives for pathology, Cells 10(4) (2021) 787.
[15]. L.A. Abriata, The Nobel Prize in Chemistry: past, present, and future of AI in biology, Communications Biology 7(1) (2024) 1409.
[16]. N. Echols, N. Morshed, P.V. Afonine, A.J. McCoy, M.D. Miller, R.J. Read, J.S. Richardson, T.C. Terwilliger, P.D. Adams, Automated identification of elemental ions in macromolecular crystal structures, Biological Crystallography 70(4) (2014) 1104-1114.
[17]. Y. Kumar, A. Koul, R. Singla, M.F. Ijaz, Artificial intelligence in disease diagnosis: a systematic literature review, synthesizing framework and future research agenda, Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing 14(7) (2023) 8459-8486.
[18]. A.M. Sebastian, D. Peter, Artificial intelligence in cancer research: trends, challenges and future directions, Life 12(12) (2022) 1991.
[19]. Z. Ahmad, S. Rahim, M. Zubair, J. Abdul-Ghafar, Artificial intelligence (AI) in medicine,

https://www.sciencecultivation.ir 2783-0934 شاپا الکترونیکی 2008-935X شاپا چاپی

current applications and future role with special emphasis on its potential and promise in pathology: present and future impact, obstacles including costs and acceptance among pathologists, practical and philosophical considerations. A comprehensive review, Diagnostic Pathology 16 (2021) 1-16.
[20]. M.J. Iqbal, Z. Javed, H. Sadia, I.A. Qureshi, A. Irshad, R. Ahmed, K. Malik, S. Raza, A. Abbas, R. Pezzani, Clinical applications of artificial intelligence and machine learning in cancer diagnosis: looking into the future, Cancer Cell International 21(1) (2021) 270.
[21]. F. Jiang, Y. Jiang, H. Zhi, Y. Dong, H. Li, S. Ma, Y. Wang, Q. Dong, H. Shen, Y. Wang, Artificial intelligence in healthcare: past, present and future, Stroke and Vascular Neurology 2(4) (2017).
[22]. S. Siddique, J. Chow, Artificial intelligence in radiotherapy. Report Practical Oncology and Radiother apy25 (4): 656–666, 2020.
[23]. K.A. Wahid, E. Glerean, J. Sahlsten, J. Jaskari, K. Kaski, M.A. Naser, R. He, A.S. Mohamed, C.D. Fuller, Artificial intelligence for radiation oncology applications using public datasets, Seminars in radiation oncology, Elsevier, 2022, 400-414.
[24]. M. Kawamura, T. Kamomae, M. Yanagawa, K. Kamagata, S. Fujita, D. Ueda, Y. Matsui, Y. Fushimi, T. Fujioka, T. Nozaki, Revolutionizing radiation therapy: the role of AI in clinical practice, Journal of Radiation Research 65(1) (2024) 1-9.
[25]. Y.A. Fahim, I.W. Hasani, S. Kabba, W.M. Ragab, Artificial intelligence in healthcare and medicine: clinical applications, therapeutic advances, and future perspectives, European Journal of Medical Research 30(1) (2025) 848.
[26]. B.K. Kashyap, V.V. Singh, M.K. Solanki, A. Kumar, J. Ruokolainen, K.K. Kesari, Smart nanomaterials in cancer theranostics: challenges and opportunities, ACS Omega 8(16) (2023) 14290-14320.
[27]. R.F. Thompson, G. Valdes, C.D. Fuller, C.M. Carpenter, O. Morin, S. Aneja, W.D. Lindsay, H.J. Aerts, B. Agrimson, C. Deville Jr, Artificial intelligence in radiation oncology: a specialty-wide disruptive transformation?, Radiotherapy and Oncology 129(3) (2018) 421-426.
[28]. Z. Guan, H. Li, R. Liu, C. Cai, Y. Liu, J. Li, X. Wang, S. Huang, L. Wu, D. Liu, Artificial intelligence in diabetes management: advancements, opportunities, and challenges, Cell Reports Medicine 4(10) (2023).
[29]. A. Nolan, Artificial intelligence in science: challenges, opportunities and the future of research, (2024).
[30]. P.P. Groumpos, Artificial intelligence: Issues, challenges, opportunities and threats, Conference on Creativity in Intelligent Technologies and Data Science, Springer, 2019, 19-33.
[31]. E.V. Bernstam, P.K. Shireman, F. Meric-Bernstam, M. N Zozus, X. Jiang, B.B. Brimhall, A.K. Windham, S. Schmidt, S. Visweswaran, Y. Ye, Artificial intelligence in clinical and translational science: Successes, challenges and opportunities, Clinical and Translational Science 15(2) (2022) 309-321.
[32]. H. Montazeri, A. Ghaffari, A.A. Moosavi-Movahedi, Applications Of Chatgpt in Scientific Research and Ethical Considerations of Its Use, Science Cultivation 13(2) (2023) 148-156.
[۳۳]. علی‌اکبر موسوی موحدی، «عقل» مجله پیوند مجلد ۱۶۳-۱۶۲، صفحات۲۷-۲۴ (۱۳۷۲)
[۳۴]. علی‌اکبر موسوی موحدی «تجلی علم» مجله فرهنگ و دانش، مجلد ۱،صفحات ۷۲-۶۹ (۱۳۷۳)
[۳۵]. علی اکبر موسوی موحدی، سمیه قره قومی، ناهید دانش، سید حسن مقدم نیا "علوم، سبک زندگی و نوآوری های معنوی" نشریه فرهنگ و ارتقای سلامت فرهنگستان علوم پزشکی، دوره ششم ، شماره اول، صفحات۳۴-۳۹، بهار ۱۴۰۱

شاپا چاپی 2008-935X شاپا الکترونیکی 2783-0934 https:/www.sciencecultivation.ir

Science Popularization

Artificial Intelligence and the New Renaissance in Life Sciences and Biomedicine

Bagher Davaeil[1,*], Ahmad Amiri[1], Ali Akbar Moosavi-Movahedi[1,2,3]

Article Info

Article type:
Popularization of Science

Article history:
Receive Date
16 October 2025
Revise Date
20 November 2025
Accept Date
28 November 2025
Available online:
21 December 2025

Keywords:
Artificial intelligence; Renaissance; Life sciences; Biomedicine; Machine learning; Drug discovery; Bioindustries; Basic sciences

The deep convergence of artificial intelligence (AI) and the life sciences is rapidly transcending the traditional boundaries of science and heralding a new renaissance. This transformative synergy has not only challenged classical approaches in biology but has also opened new horizons for understanding the fundamental mechanisms of life, disease diagnosis, and the development of targeted and personalized therapies. Traditionally, biology has relied on qualitative and descriptive models, which approach that, while enabling conceptual understanding, lack robust quantitative and predictive power due to the intrinsic complexity of biological systems. In the absence of universal and deterministic laws, analyzing the behavior of multilevel, highly interconnected biological systems has long been constrained. In this context, artificial intelligence, with its powerful capability to analyze massive, high-dimensional, and heterogeneous datasets, has substantially bridged this longstanding gap. Rapid advances in machine learning (ML) and deep learning (DL) algorithms have expanded AI applications from molecular pathology, biotechnology, and biomedicine to intelligent drug design, clinical trial analysis, advanced imaging, and therapeutic management. Today, artificial intelligence has become a central pillar of personalized medicine, genome editing, and clinical decision-making, ushering in a new renaissance that promises unprecedented speed in uncovering the secrets of life and is pushing the boundaries of possibility in biological science.

Cite this article: Davaeil B., Amiri A., Moosavi-Movahedi A. A. (2025). 'Artificial Intelligence and the New Renaissance in Life Sciences and Biomedicine', Science Cultivation, 15 (2), 215-223.

© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.
Publisher: Foundation for the Advancement of Science and Technology in Iran (FAST-IRAN) and Iran Society of Biophysical Chemistry (ISOBC)

* Corresponding Author. Ph.D., E-mail: davaeil.bagher@ut.ac.ir
[1] Institute of Biochemistry and Biophysics, University of Tehran, Tehran, Iran
[2] UNESCO Chair on Interdisciplinary Research in Diabetes, University of Tehran, Tehran, Iran
[3] Fellow, the Academy of Sciences of the Islamic Republic of Iran; Fellow, the World Academy of Sciences (TWAS); Fellow, the Islamic World Academy of Sciences

Print ISSN 2008-935X Online ISSN 2783-0934 https:/www.sciencecultivation.ir

Science Popularization

Investigating the Capability of Sentinel-1 in Monitoring the Land Subsidence Phenomenon

Alireza Mahmoodi[1,*], Elmira Asadi-Fard[2], Seyedeh Zeynab Safavi[1]

Article Info

Article type:
Popularization of Science

Article history:
Receive Date
30 June 2025
Revise Date
21 September 2025
Accept Date
09 October 2025
Available online:
21 December 2025

Keywords:
Land Subsidence, Monitoring, Synthetic Aperture Radar Interferometry, Sentinel-1.

Land Subsidence (LS), this uninvited geological phenomenon, has affected nearly every corner of the globe, leaving a trail of destruction in infrastructure and facilities. This silent yet devastating event has increasingly highlighted the necessity for continuous monitoring and surveillance. Fortunately, significant advancements in all sections including remote sensing technology, particularly in the field of Synthetic Aperture Radar (SAR) interferometry, have opened new windows for the precise analysis of the intensity, patterns, and temporal trends of subsidence. This study, while examining the fundamentals and principles of radar systems and their sensors, also scrutinizes the capabilities of the Sentinel-1 satellite in the Interferometric Wide (IW) operational mode and explores its potential in monitoring this phenomenon. Given the widespread occurrence of subsidence across the country, it is hoped that by leveraging the capabilities of this satellite and the easy, free access to its imagery, effective steps will be taken by executive bodies to control and manage this phenomenon.

Cite this article: mahmoodi A., Asadi-Fard E., Safavi S. Z. (2025). 'Investigating the Capability of Sentinel-1 in Monitoring the Land Subsidence Phenomenon', Science Cultivation, 15 (2), 207-214.

© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.
Publisher: Foundation for the Advancement of Science and Technology in Iran (FAST-IRAN) and Iran Society of Biophysical Chemistry (ISOBC)

* Corresponding Author. Assistant professor, Tel: (071)53606207, Fax: (071)53546476, mail: alirezamahmoodi@saadi.shirazu.ac.ir
[1] Department of Range and watershed management, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Darab, Iran.
[2] Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran.

Print ISSN 2008-935X Online ISSN 2783-0934 https:/www.sciencecultivation.ir

Science Popularization

Bioplastics and Their Role in the Circular Economy

Mehrnaz Shirmohammadi[1,*], Farahnaz Kianersi[1]

Article Info

Article type:
Popularization of Science

Article history:
Receive Date
17 August 2025
Revise Date
11 September 2025
Accept Date
20 September 2025
Available online:
21 December 2025

Keywords:
Bioplastics, Circular Economy, Biodegradable polymers

Bioplastics, as a sustainable alternative to conventional plastics, play a pivotal role in the circular economy. Derived from bio-based sources such as corn, sugarcane, or cellulose, or being biodegradable, these materials contribute to reducing plastic pollution and conserving resources by decreasing reliance on fossil fuels and mitigating greenhouse gas emissions. Bioplastics are classified into three main categories: fossil-based biodegradable, bio-based non-biodegradable, and bio-based/biodegradable. They are utilized in medical applications (e.g., sutures and tissue scaffolds), pharmaceuticals (tablet fillers), and tissue engineering (bone and cardiac regeneration). Characteristics such as biocompatibility, non-toxicity, and renewability make them an ideal choice for sustainable applications. However, challenges including high production costs, insufficient recycling infrastructure, and competition with food resources limit their widespread adoption. The circular economy facilitates the reuse and composting of bioplastics through mechanical, chemical, and biological recycling. This study emphasizes the role of bioplastics in waste reduction and the achievement of sustainable development, particularly in the healthcare industry, and proposes solutions to overcome existing challenges.

Cite this article: shirmohammadi M., Kianersi F. (2025). 'Bioplastics and their role in the circular economy', Science Cultivation, 15 (2), 198-206.

© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.
Publisher: Foundation for the Advancement of Science and Technology in Iran (FAST-IRAN) and Iran Society of Biophysical Chemistry (ISOBC)

* Corresponding Author. Ph.D., Tel/Fax:(9861)36573115, E-mail: m.shirmohammadi@areeo.ac.ir
[1] South of Iran Aquaculture Research Institute, Iranian Fisheries Science Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran

Print ISSN 2008-935X Online ISSN 2783-0934 https:/www.sciencecultivation.ir

Science Popularization

Bacterial Biodegradation of Microplastics

Mitra Pirhaghi[1,*]

Article Info

Article type:
Popularization of Science

Article history:
Receive Date
17 August 2025
Revise Date
02 September 2025
Accept Date
10 September 2025
Available online:
21 December 2025

Keywords:
microplastics, plastic pollution, environmental destruction, biodegradation, bacteria.

Microplastics, due to their persistence, ubiquity, and potential to bioaccumulate, have emerged as a significant environmental and public health concern. Their widespread distribution across terrestrial, aquatic, and atmospheric compartments, coupled with the use of harmful additives in plastic manufacturing, complicates their degradation and removal using conventional industrial methods. In light of these challenges, microbial biodegradation has gained increasing attention as a sustainable and eco-friendly approach to mitigate microplastic pollution. This article explores the current understanding of bacterial degradation of MPs, highlighting the mechanisms, degradation stages, and the key role of microbial enzymes such as esterases, lipases, laccases, and depolymerases. Several bacterial genera have demonstrated promising degradative capabilities against common polymers such as PE, PET, PS, and PP. Despite its potential, microbial degradation faces limitations, including low degradation rates and lengthy processing times. Addressing these challenges through strain optimization, enzymatic enhancement, and improved culture conditions is essential for advancing biotechnological solutions for microplastic remediation.

Cite this article: Pirhaghi M. (2025). 'Bacterial Biodegradation of Microplastics', Science Cultivation, 15(2),189-197.

© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.
Publisher: Foundation for the Advancement of Science and Technology in Iran (FAST-IRAN) and Iran Society of Biophysical Chemistry (ISOBC)

* Corresponding Author. Assistant professor, Tel: (+98 24) 3315 3311, E-mail: m.pirhaghi@iasbs.ac.ir

[1] Department of Biological Sciences, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS), Zanjan, Iran

2783-0934 https:/www.sciencecultivation.ir Online ISSN 2008-935X Print ISSN

Science Popularization

Blockchain in Smart Tourism: Security, Trust, and Secure Payments

Mohammad Taghi Nazari Alidash[1],Amin Faraji [*,1]

Article Info

Article type:
Popularization of Science

Article history:
Receive Date
06 September 2025
Revise Date
22 September 2025
Accept Date
09 October 2025
Available online:
21 December 2025

Keywords:
Blockchain; Smart Tourism; Security and Trust; Data Management; Authentication; Smart Payments

Blockchain technology has recently been recognized as one of the most significant transformative innovations in various fields, and the tourism industry is no exception. Smart tourism, which is based on technologies such as the Internet of Things (IoT), artificial intelligence (AI), and big data, faces fundamental challenges related to the security of personal and financial data, trust among stakeholders, and the high costs of transactions. This article demonstrates that blockchain, with features such as decentralization, transparency, immutability of data, and the use of smart contracts, can play a key role in addressing these challenges. Its applications include secure identity verification of tourists, protection of sensitive information, strengthening trust between service providers and customers, and facilitating international payments. At the same time, limitations such as technical complexity, limited scalability, high energy consumption, and the absence of clear legal frameworks hinder the widespread adoption of this technology. By reviewing existing studies and analyzing the context of Iran, this article emphasizes that effective utilization of blockchain in the country's tourism sector requires investment in digital infrastructure, the formulation of supportive policies, and the enhancement of digital literacy among managers. The novelty of this article lies in its clear presentation of blockchain's potential for addressing the challenges of tourism in Iran and in proposing practical solutions for its implementation.

Cite this article: Nazari Alidash M. T., Faraji A. (2025). 'Blockchain in Smart Tourism: Security, Trust, and Secure Payments', Science Cultivation, 15 (2),182-188

© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.
Publisher: Foundation for the Advancement of Science and Technology in Iran (FAST-IRAN) and Iran Society of Biophysical Chemistry (ISOBC)

* Corresponding Author. Associate Professor, Tel: (+9825) 36166158, E-mail: a.faraji@ut.ac.ir
[1] Faculty of Management and Accounting, Farabi Campus, University of Tehran, Qom, Iran.

Print ISSN 2008-935X Online ISSN 2783-0934 https:/www.sciencecultivation.ir

Science Popularization

An Overview of Food Security and Safety and the Role of Modern Technologies

Mohammad Sadegh Oliaei[1,*], Farid Nasiri[2], Asadollah Asadi[3], Reza Yousefi[2]

Article Info

Article type:
Popularization of Science

Article history:

Receive Date
06 November 2025

Revise Date
06 December 2025

Accept Date
13 December 2025

Available online:
21 December 2025

Keywords:

Food security, Food safety, Sustainable development, Food proteomics, CRISPR technology.

Food security and safety despite their close association, are considered two distinct areas in ensuring the health and sustainability of human societies, where novel technologies, both digital and non-digital, play a significant role in their realization. Considering the importance and complexity of defining food security, this article first elaborates on the fundamental concepts and various dimensions of this field, as well as examining major challenges such as food waste and loss. Subsequently, the role of novel technologies in transforming this ground is addressed, and advancements like Artificial Intelligence and the Internet of Things in the macro-management of food security issues, along with the concept of "smart food cities" are introduced and their applications studied. Then, food safety and its related issues are specifically investigated, and the importance of employing smart methods such as blockchain technology, along with advanced biochemical and biomolecular tools (e.g., mass spectrometry, food proteomics, and CRISPR technology) to ensure food safety is elaborated. The World Health Organization (WHO) and the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) have designated June 7 of each year as World Food Safety Day. The theme for the 2025 observance is “Food Safety: Science in Action”. Accordingly, we also emphasize the importance of investing in research and promoting education on scientific topics related to food safety.

Cite this article: Oliaei M. S., Nasiri F., Asadi A., Yousefi R. (2025). 'An Overview of Food Security and Safety and the Role of Modern Technologies', Science Cultivation, 15 (2), 173-181.

© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.
Publisher: Foundation for the Advancement of Science and Technology in Iran (FAST-IRAN) and Iran Society of Biophysical Chemistry (ISOBC)

* Corresponding Author. Faculty Member, Tel: (+9821 8223354), E-mail: m-oliaei@msrt.ir
[1] Department of Research and Technology, Ministry of Science, Research and Technology, Tehran, Iran
[2] Institute of Biochemistry and Biophysics, University of Tehran, Tehran, Iran
[3] Department of Biology, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Print ISSN 2008-935X Online ISSN 2783-0934 https:/www.sciencecultivation.ir

Science Popularization

Using Blockchain Technology in Food Safety and Authenticity

Mansooreh Mazaheri[1,*]

Article Info

Article type:
Popularization of Science

Article history:

Receive Date
30 May 2025

Revise Date
22 June 2025

Accept Date
08 July 2025

Available online:
21 December 2025

Keywords:

blockchain, food safety, authentication, fraud, halal.

Today, increasing concerns about food safety have increased the need for transparent and reliable systems. Blockchain technology, with its features such as immutability, precise traceability and transparency, provides an opportunity to transform the food supply chain and offers a new solution to improve food safety. This article examines the application of blockchain technology in food safety and authenticity and the claims in this regard. Considering the market value of halal food and its significant challenges, it explains how this emerging technology can increase traceability, authenticity and compliance with safety and halal standards across global supply chains. It also highlights some of the uses of this technology by some food manufacturing companies. Although blockchain technology offers promising solutions through its immutable record-keeping capabilities, distributed verification mechanisms and transparency, it is still in its infancy and faces significant challenges. Therefore, it seems necessary to develop and implement regulatory regulations at different stages of its implementation.

Cite this article: Mazaheri M. (2025). 'Using blockchain technology in food safety and authenticity', Science Cultivation, 15 (2), 166-172.

© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.
Publisher: Foundation for the Advancement of Science and Technology in Iran (FAST-IRAN) and Iran Society of Biophysical Chemistry (ISOBC)

* Corresponding Author. Assistant professor. Tel: +98 26 32861207, E-mail: m_mazaheri@standard.ac.ir

[1] Food Toxicology Department, Research Center of Food Technology and Agricultural Products, Standard Research Institute, Karaj

Print ISSN 2008-935X Online ISSN 2783-0934 https:/www.sciencecultivation.ir

Science Popularization

The Role of Remote Sensing Technology in Flaring Assessment in Iran's Oil and Gas Industries

Elmira Asadi-Fard[1], Samereh Falahatkar[*,1], Mahdi Tanha Ziyarati[2,3], Seyed Kazem Alavipanah[4]

Article Info

Article type:
Popularization of Science

Article history:

Receive Date
06 October 2025

Revise Date
23 October 2025

Accept Date
06 November 2025

Available online:
21 December 2025

Keywords:

Flaring, Iran, Detection; Algorithm; Remote Sensing.

The flaring process or burning unwanted gases with highly flammable during oil and gas extraction and processing has numerous environmental and public-health consequences. Therefore, comprehensive investigations in this field are important. According to a Global worldwide report, the annual flaring rate is approximately 170 billion cubic meters, which leads to the emission of 300–400 million tons of CO_2 and air pollutants such as SO_x, NO_x, and volatile organic compounds (VOCs), and particulate matter into the atmosphere. As a result, beyond exacerbating climate change and acid rain, these emissions adversely affect human health through respiratory and cardiovascular diseases and cancer. In this paper, we presented and investigated the various algorithms applied for detecting thermal anomalies from flares and estimating flared-gas volumes at both global and national scales based on remote-sensing data. In one of the industrial regions in southern Iran (the Pars Special Energy Economic Zone), the RXD and NHI algorithms demonstrated high accuracy in detecting the thermal anomalies due to flame if flare. For estimating the volumes of gas flare, we compared three multivariable linear regression, artificial neural network, and decision-tree models, using data from the radiance of several satellites including Landsat 8 (bands 6, 7, 10, and 11), Suomi-NPP /VIIRS (M10 band), and Sentinel-5P pollution products. The results showed that the neural-network model outperformed the others. We conclude that by applying appropriate methods such as machine learning in comprehensive remote-sensing information, it is possible to fill existing data gaps in this field and take effective steps toward improved management.

Cite this article: Falahatkar S., Asadi-Fard E., Tanha Ziyarati M., Alavipanah S. K. (2025). 'The Role of Remote Sensing Technology in Flaring Assessment in Iran's Oil and Gas Industries', Science Cultivation, 15(2), 159-165

© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.
Publisher: Foundation for the Advancement of Science and Technology in Iran (FAST-IRAN) and Iran Society of Biophysical Chemistry (ISOBC)

[*] Corresponding Author. Associate professor. Tel: 01144998108, E-mail: samereh.falahatkar@modares.ac.ir
[1] Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran
[2] Department of Health, Safety and Environment Engineering, Ferdous Rahjoyan Danesh Higher Education Institute, Borazjan, Bushehr, Iran
[3] Department of Health, Safety and Environment, Pars Special Economic Energy Zone, Bushehr, Iran
[4] Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran

Print ISSN 2008-935X Online ISSN 2783-0934 https:/www.sciencecultivation.ir

Science Popularization

The Fifth Industrial Revolution: From Steam Engine to Digital Synergy

Seyedeh Masoumeh Ahmadi[1], Ali Khalkhali[*,1], Esmaeil Kazempour[1]

Article Info

Article type:
Popularization of Science

Article history:

Receive Date
22 May 2025
Revise Date
25 June 2025
Accept Date
08 July 2025
Available online:
21 December 2025

Keywords:

Fifth Industrial Revolution, Human-centricity, Sustainability, Resilience, Artificial Intelligence, Internet of Things, Personalized Production, Circular Economy.

Since the 18th century, industrial revolutions have brought profound changes to the economic, social, and technological structures of societies. The First Industrial Revolution introduced mechanized production and urbanization through the steam engine. The Second Industrial Revolution boosted productivity through electricity and mass production but intensified pollution and inequality. The Third Industrial Revolution laid the foundation for a knowledge-based economy by driving digitalization and automation. The Fourth Industrial Revolution introduced smart factories through cyber-physical systems, the Internet of Things, and artificial intelligence, yet raised concerns regarding automation and digital inequality. The Fifth Industrial Revolution (Industry 5.0), introduced by the European Commission in 2021, represents an evolution of the Fourth, emphasizing human-centricity, sustainability, and resilience. Aiming to balance technological progress with human values, this revolution focuses on human-machine collaboration, responsible production, and responsiveness to dynamic market demands. This article reviews these transformations, analyzes the key characteristics of the Fifth Industrial Revolution, and evaluates its impacts on the economy, labor force, and environment. Findings indicate that Industry 5.0, by prioritizing human-machine collaboration and sustainability, has the potential to improve quality of life and reduce environmental impact; however, it requires significant investment in infrastructure, workforce training, and ethical governance.

Cite this article: Ahmadi S. M., Khalkhali A., Kazempour E. (2025). 'The Fifth Industrial Revolution: From Steam Engine to Digital Synergy', Science Cultivation, 15 (2), 152-158.

© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.

Publisher: Foundation for the Advancement of Science and Technology in Iran (FAST-IRAN) and Iran Society of Biophysical Chemistry (ISOBC)

[*] Corresponding Author. Associate professor, Tel: 09111926773, E-mail: 1502113554@iau.ac.ir
[1] Department of Educational Management, To.C., Islamic Azad University, Tonekabon, Iran

Print ISSN 2008-935X Online ISSN 2783-0934 https:/www.sciencecultivation.ir

Science Popularization

A Look at a Sustainable Bioeconomy: The Green Path to National Development

Seyed Mehdi Alavi[1,*]

Article Info

Article type:
Popularization of Science

Article history:

Receive Date:
10 October 2025

Revise Date:
06 November 2025

Accept Date:
08 November 2025

Available online:
21 December 2025

Keywords:
Bioeconomy, Renewable Biological Assets, Biomass, Biotechnology, Seventh Development Plan

The global transition towards a bioeconomy can be considered one of the most important trends in 21st-century sustainable development. Evidence for this claim lies at the intersection of two main streams: one focusing on the global governance of sustainable development, and the other originating from the paradigm shift of the dominant economic model. The first stream can be traced to the evolution of climate-related policy frameworks over the past three decades, while the second must be seen as stemming from scientific advances in the fields of economics and biology, whose flourishing we have witnessed through the Nobel Prizes awarded from 2018 to 2025 in these two fields. Thus, the bioeconomy—understood as the smart and sustainable use of renewable biological assets to produce information, goods, services, and innovation—is precisely the transformative trend that can align economic development with climate goals and is now at the heart of operational strategies for managing climate change worldwide. Endowed with extensive biodiversity, abundant biomass, diverse marine resources, and growing capacities in biotechnology, Iran can play an effective role in this global transformation. However, weaknesses in policymaking, institutional misalignment, and a shortage of technological investment have prevented these opportunities from being utilized in practice. Using an analytical and documentary approach, this article examines Iran's position in this global transition. The findings indicate that by focusing on biomass, waste, marine resources, and biotechnology, and by strengthening the link between science, technology, and design, Iran can assume a leading role in the Middle Eastern bioeconomy.

Cite this article: Alavi, Seyed Mehdi. (2025). A Look at a Sustainable Bioeconomy: The Green Path to National Development, Science Cultivation, 15 (2). 142-151.

© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.
Publisher: Foundation for the Advancement of Science and Technology in Iran (FAST-IRAN) and Iran Society of Biophysical Chemistry (ISOBC)

* Corresponding Author. Associate Professor. Tel/ Fax: +982144787425, E-mail: mealavi@nigeb.ac.ir

[1] Department of Agricultural Biotechnology, National Institute of Genetic Engineering and Biotechnology, Tehran, Iran

Print ISSN 2008-935X Online ISSN 2783-0934 https:/www.sciencecultivation.ir

Science Popularization

Banking for the Poor: Poverty Alleviation and Local Development in Iran

Mehdi Ghorbani[1,*]

Article Info

Article type:
Popularization of Science

Article history:

Receive Date:
29 June 2025

Revise Date:
29 July 2025

Accept Date:
30 July 2025

Available online:
21 December 2025

Keywords:
Pro-Poor Banking, Social Business, Microfinance, Community-Based Development, Social Entrepreneurship

This study explores the potential of pro-poor banking as a form of social business for advancing local development and poverty alleviation in Iran. Given the structural challenges of chronic poverty in the country, particularly in rural and underprivileged areas, and the inefficiency of certain redistributive policies, pro-poor banking offers opportunities for enhancing the active participation of low-income groups in the economy. Drawing on global experiences from countries such as Bangladesh, India, China, and various African nations, this article emphasizes the significance of mechanisms such as microfinance, Islamic banking, cooperative banks, and digital finance. Through an examination of Iran's Micro-Credits Funds model, this research demonstrates how such community-based approaches have contributed to enhancing the economic, social, cultural, and environmental resilience of local communities while reducing persistent poverty. The successful implementation of this model in regions like Ghaleh-Ganj highlights its adaptability and scalability to other parts of the country. Finally, the article argues that with intelligent policymaking and institutional support, pro-poor banking as a social business can be effectively integrated into Iran's comprehensive and multi-dimensional strategies for justice-oriented local development and poverty alleviation.

Cite this article: Ghorbani, Mehdi. (2025). Banking for the Poor: Poverty Alleviation and Local Development in Iran, Science Cultivation ,15 (2).131-141.

© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.
Publisher: Foundation for the Advancement of Science and Technology in Iran (FAST-IRAN) and Iran Society of Biophysical Chemistry (ISOBC)

* Corresponding Author. Professor. Tel/ Fax: +982632233013, E-mail: mehghorbani@ut.ac.ir

[1] Campus of Agriculture and Natural Resources / faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Print ISSN 2008-935X Online ISSN 2783-0934 https:/www.sciencecultivation.ir

Science Popularization

Converging Modern Science and Ancient Wisdom in Elucidation of the Heart Function

Mehran Habibi-Rezaei [*,1,3], **Ali Akbar Moosavi-Movahedi**[2,3]

Article Info

Article type:
Popularization of Science

Article history:

Receive Date:
21 June 2025

Revise Date
23 July 2025

Accept Date:
28 July 2025

Available online:
21 December 2025

Keywords:
Science, Heart, Wisdom, Heart Rate Variability (HRV), Intrinsic Cardiac Nervous System, Heart - Brain Axis, Heart - Brain Alignment.

Contemporary scientific evidence and research increasingly support the idea that the heart plays far more complex and significant roles than its traditional function as a mechanical pump for blood circulation. Today, more attention is being given to the broader and deeper contributions of the heart. This article aims to introduce the lesser-known dimensions of the heart by drawing on both modern experimental science and the insights of ancient wisdom. We review evidence showing how the heart influences neural processes, decision-making, and emotional regulation. The article highlights the heart's role as a sophisticated neuro-secretory and conscious center by integrating findings from neuroanatomy, neurophysiology, neuroradiology, and psychophysiology with perspectives from ancient wisdom. Bridging scientific discoveries with timeless wisdom enriches our understanding of the heart's determining role in connection with the brain, intuitive intelligence, emotional leadership, and decision-making. This convergence suggests the need to review, redefine, and expand our understanding to develop a realistic view of the universe. It also highlights ways in which modern humans can address semantic, moral, and environmental crises through wisdom-guided supervision and ethical leadership. In doing so, this approach may foster the sustainable development of human societies.

Cite this article: Habibi-Rezaei, Mehran, Moosavi- Movahedi, Ali A. (2025). Converging Modern Science and Ancient Wisdom in Elucidation of the Heart Function. Science Cultivation, 15 (2).118-130.

© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.
Publisher: Foundation for the Advancement of Science and Technology in Iran (FAST-IRAN) and Iran Society of Biophysical Chemistry (ISOBC)

* Corresponding Author. Professor. Tel: +982161113214, Fax: +982166971941, E-mail: mhabibi@ut.ac.ir
[1] College of Science, School of Biology, University of Tehran, Tehran, Iran
[2] Institute of Biochemistry and Biophysics (IBB), University of Tehran, Tehran, Iran
[3] Division of Chemistry, Academy of Sciences I.R. Iran, Tehran, Iran

Print ISSN 2008-935X Online ISSN 2783-0934 https:/www.sciencecultivation.ir

Editorial

National Roadmap for Sustaining Scientific Talent

Article Info

Article type:

Editorial

Article history:

Received
20 December 2025

Revise Date
20 December 2025

Accept Date
20 December 2025

Available online
21 December 2025

Keywords:

Scientific Talent,
Retention,
Roadmap,
Ecosystem,
Career Pathways,
Quality of Life

In recent years, the sustainability and retention of scientific talent have become key issues in the scientific development of nations. A national roadmap for sustaining scientific talent requires a comprehensive, forward-looking, non-critical, and ethically grounded perspective—one that emphasizes creating attractiveness, opportunity, and motivation for scientific activity within the country.

First, establishing a sustainable supportive ecosystem is fundamental. Building scientific networks, national and reference laboratories, and innovation centers can create a dynamic environment for growth, creativity, and the flourishing of talent. Second, strengthening professional and career pathways for researchers is essential, including long-term research opportunities, support for interdisciplinary projects, and the establishment of job security across academic and industrial sectors. Third, expanding international collaboration can enhance the attractiveness of staying in the country. Short-term exchange programs, joint research collaborations, and access to global scientific infrastructure enable academic growth while preserving researchers' ties with their home country. Fourth, recognition and visibility are important motivational factors; showcasing successful role models, organizing scientific festivals, fostering a culture of appreciation for research achievements, strengthening social respect, and ensuring transparent, merit-based promotion systems all reinforce the social standing of knowledge.

Finally, supporting the quality of life of researchers including welfare services, housing support packages, supplemental insurance, education for their children, and the promotion of a healthy lifestyle plays a crucial role in retention. Likewise, facilitating academic pathways for talented students and enabling their entry into desired fields of study without entrance examinations can strengthen the foundations for developing and sustaining scientific talent.

Such a roadmap, by cultivating hope, opportunity, and a shared scientific and social identity, can pave the way for the long-term sustainability of talent and enhance job security and forward-looking capacity within the scientific community.

Ali A. Moosavi- Movahedi
Editor-in-Chief

Cite this article: Moosavi- Movahedi, Ali A. (2025). National Roadmap for Sustaining Scientific Talent (Editorial). Science Cultivation, 15 (2), 13.

© Author(s) retain the copyright and full publishing rights.
Publisher: Foundation for the Advancement of Science and Technology in Iran (FAST-IRAN) and Iran Society of Biophysical Chemistry (ISOBC)

Print ISSN 2008-935X Online ISSN 2783-0934 https:/www.sciencecultivation.ir

Contents

Editorial: National Roadmap for Sustaining Scientific Talent
Ali Akbar Moosavi-Movahedi 13
Converging Modern Science and Ancient Wisdom in Elucidation of The Heart Function
Mehran Habibi-Rezaei; Ali Akbar Moosavi-Movahed..... 14
Banking For the Poor: Poverty Alleviation and Local Development in Iran
Mehdi Ghorbani..... 15
A Look at A Sustainable Bioeconomy: The Green Path to National Development
Seyed Mehdi Alavi..... 16
The Fifth Industrial Revolution: From Steam Engine to Digital Synergy
Seyedeh Masoumeh Ahmadi; Ali Khalkhali; Esmail Kazempour..... 17
The Role of Remote Sensing Technology in Flaring Assessment in Iran's Oil And Gas Industries
Samereh Falahatkar; Elmira Asadi-Fard; Mahdi Tanha Ziyarati; Seyed Kazem Alavipanah.....18
Using Blockchain Technology in Food Safety and Authenticity
Mansooreh Mazaheri..... 19
An Overview of Food Security and Safety and the Role of Modern Technologies
Mohammad Sadegh Oliaei; Farid Nasiri; Asadollah Asadi; Reza Yousefi..... 20
Blockchain In Smart Tourism: Security, Trust, And Secure Payments
Mohammad Taghi Nazari Alidash; Amin Faraji..... 21
Bacterial Biodegradation of Microplastics
Mitra Pirhaghi..... 22
Bioplastics And Their Role in The Circular Economy
Mehrnaz Shirmohammadi; Farahnaz Kianersi 23
Investigating The Capability of Sentinel-1 In Monitoring the Land Subsidence Phenomenon
Alireza Mahmoodi; Elmira Asadi-Fard; Seyedeh Zeynab Safavi..... 24
Artificial Intelligence and the New Renaissance in Life Sciences and Biomedicine
Bagher Davaeil; Ahmad Amiri; Ali Akbar Moosavi-Movahedi..... 25

Print ISSN 2008-935X Online ISSN 2783-0934 https:/www.sciencecultivation.ir

Science Cultivation

Editor-in-Chief:
A.A. Moosavi-Movahedi
Manager Editor:
A. Zali
Executive Director:
A. Kiani-Bakhtiari
Editorial Board:

H. Ahmadi Noubari, M.M Alavian-Mehr, M. R. Aref, M. Behzad, M. Farhadi, Gh. Habibi, J. Towfighi, R. Malekzadeh, J. Mehrad, H. Mirzadeh, M. Mohaghegh, A. Mossalanejad, A.R. Noruzi, A.A. Saboury, M. Shamsipur, A. Shockravi, S. Sohrabpour, S. Vaezzadeh, A. Zali, N. Zargham, M.A. Zolfigol

Science Cultivation "Journal" is published by Foundation for the Advancement of Science and Technology in Iran (FAST-IRAN) and Iran Society of Biophysical Chemistry (ISOBC).
This journal aims at advancing and accelerating the science and technology policy in Iran.
License Holder : Foundation for the Advancement of Science and Technology in Iran. (FAST-IRAN)

ISSN: X8003539

Publisher: Foundation for the Advancement of Science and Technology in Iran and Iran Society of Biophysical Chemistry (ISOBC).
Web Coordinator: Zahra Moosavi-Movahedi
Address: Institute of Biochemistry and Biophysics, University of Tehran,Tehran, Iran
Post Code: 1417614335 **Tel/Fax:** (+9821) 61113381
Foundation Website: www.fast-iran.ir
Society Website: www.isobc.com
Website of Journal: www.sciencecultivation.ir
Email: info@sciencecultivation.ir

In the Name Of

God