



انجمن یوتیمی فیزیک ایران



مرکز منطقه‌ای اطلاع‌رسانی علوم و فناوری



پایگاه استنادی علوم جهان اسلام



بنیاد پیشبرد علم و فناوری

- سخن نخست : علم دقیق و رفاه اجتماعی
- دیپلماسی آب و نقش آن در حل تعارضات منابع آب فرامرزی
- تحولات جدید در شهرهای هوشمند جهان
- الگوبرداری انسان از جاندار سخت دوست و تاب‌آور: تار دیگ‌ریدها
- تأثیر مصرف روزانه کردو و سبک زندگی بر سلامت انسان
- چشم‌اندازی از واکنش‌های نوترکیب خوراکی بر پایه ریز جلبک‌ها
- الهام زیستی از بلورهای فوتونی و تغییر رنگ در موجودات
- نقش ژئوتوریسم و ژئوپارک‌ها در حفاظت از میراث زمین‌شناختی
- زیست‌شناسی کوانتومی: چشم‌اندازی نوین در علوم زیستی و درمان
- جوایز نوبل و آزمایشگاه ملی برکلی

نشاء علم

نشریه فرهنگ سازی و سیاست‌گذاری علم، نوآوری و فناوری
سال چهاردهم، شماره دوم- خرداد ماه ۱۴۰۳، قیمت ۱۵۰۰۰ ریال

بِسْمِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

صاحب امتیاز: بنیاد علم و فناوری در ایران
سر دبیر: علی اکبر موسوی موحدی
مدیر مسئول: عباسعلی زالی
مدیر اجرایی: ابوالفضل کیانی بختیاری

هیات تحریریه:

حسین احمدی نوبری، محسن بهرامی، مهدی بهزاد، ناصر پارسا، جعفر توفیقی،
غلامرضا حبیبی، عباسعلی زالی، محمد علی زلفی گل، سعید سهراب پور، عباس
شکروی، مجتبی شمس پور، علی اکبر صیوری، نصرت ا... ضرغام، محمدرضا عارف،
محمد فرهادی، کیوان کوشا، مهدی محقق، عباس مصلی نژاد، رضا ملک زاده، حمید
میرزاده، جعفر مهرداد، صادق واعظ زاده، بهمن یزدی صمدی



نشاء علم - نشریه علمی - ترویجی

- سخن نخست: علم، فناوری و رفاه انسانی
- بیوشیمی آب و زلالی در حل مشکلات منابع آب فراوری
- رسوبات جدید فراسفید و روش‌های نوین
- فناوری‌های نسبی از جمله نانو، زیست و بیولوژی، تا پیشرفت
- تأثیر معرفت‌رسانه گروه و شبکه‌های اجتماعی بر مباحثات علمی
- چالش‌های زیست‌محیطی و تولید انرژی پاک در جنگ جهانی
- راهکار زیستی از طریق فناوری و تغییر رنگ در موجودات
- زلالی زیست‌محیطی و زیست‌فناوری در حفاظت از میراث زمین شناسی
- زیست‌شناسی اکوسیستم‌های چمنزارهای نوین در علوم زیست و درمان
- بوم‌زبان و زیست‌فناوری، ملی بوم

نشاء علم

نشریه علمی-ترویجی و سیاست‌گذاری به علم، فناوری و فنآوری
سال چهارم، شماره ۱۲۴، خرداد ماه ۱۳۹۵، قسمت ۱، ۱۵۶ تا ۱۶۰

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 بیوشیمی فیزیک ایران منتشر می‌شود.
* هدف از انتشار این فصلنامه، فرهنگ سازی و کمک در راستای سیاست گذاری علم، پژوهش و فناوری، اطلاع رسانی، ترویج علم، کمک به مدیران مراکز تصمیم ساز و تصمیم گیر علمی و همچنین جهت دهی به نخبگان، پژوهشگران و علاقه‌مندان به نوآوری‌های علمی، پژوهشی و فناوری در کشور می‌باشد.
* آرا و نقطه نظرهای مندرج در مقالات و گزارش‌های منتشر شده در این فصلنامه، لزوماً بازگوکننده رای و نظر بنیاد پیشبرد علم و فناوری در ایران و انجمن بیوشیمی فیزیک 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 مصلی نژاد سیاست‌گذار 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 بیوشیمی فیزیک ایران
مسئول وبگاه: زهرا موسوی موحدی
نشانی: دانشگاه تهران - مرکز تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک
تلفکس: ۶۱۱۱۳۳۸۱ (+۹۸۲۱)

<http://fast-iran.ir>
<http://sciencecultivation.ir>
info@sciencecultivation.ir

وبگاه بنیاد:
وبگاه نشریه نشاء علم:
نشانی الکترونیک نشریه نشاء علم:

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۸۳	سخن نخست : علم دقیق و رفاه اجتماعی.....
۸۴	دیپلماسی آب و نقش آن در حل تعارضات منابع آب فرامرزی / سید موسی حسینی.....
۹۳	تحولات جدید در شهرهای هوشمند جهان / علی زینالی عظیم.....
۱۰۰	الگو برداری انسان از جاندار سخت دوست و تابآور: تار دیگ ریدها / محمد حسین خدابنده‌لو، علی اکبر موسوی موحدی.....
۱۰۹	تأثیر مصرف روزانه گردو و سبک زندگی بر سلامت انسان / کورش وحدتی.....
۱۱۹	چشم اندازی از واکسن های نو ترکیب خوراکی بر پایه ریز جلبک ها / مهرناز شیرمحمدی، فرحناز کیان ارثی.....
۱۲۶	الهام زیستی از بلورهای فوتونی و تغییر رنگ در موجودات / فرشته رحیمی، فائزه محمدی، مصطفی نوروزی.....
۱۳۶	نقش ژئوتوریسم و ژئوپارک ها در حفاظت از میراث زمین شناختی / مهدیه توانا، سجاد فردوسی.....
	زیست شناسی کوانتومی: چشم اندازی نوین در علوم زیستی و درمان / احمد امیری، نیکو محبعلی زاده، باقر دوائیل،
۱۴۵	هانیه خشنود، صدیقه عابدان زاده.....
۱۵۴	جوایز نوبل و آزمایشگاه ملی برکلی / نیکو محبعلی زاده، مالک نادری، علی اکبر موسوی موحدی.....

علم دقیق و رفاه اجتماعی

علم دقیق سنگ بنای دانش مدرن است که هدف آن تفسیر و سازماندهی جهان پیرامون است. با استفاده از اندازه‌گیری‌های دقیق، اصول ریاضی و روش‌های تجربی، تلاش می‌شود تا درک عمیق‌تری از قوانین و ساختارهای طبیعت به دست آورد. ویژگی بارز علم دقیق، تأکید آن بر اندازه‌گیری‌های تجربی و داده‌های قابل سنجش بر مبنای شواهد علمی است. این روش دانشمندان را قادر می‌سازد تا به نتایجی دست یابند که می‌توانند از طریق تکرارپذیری و آزمایش مستقل تأیید شوند. علم دقیق با ارائه چارچوبی قوی برای تجزیه و تحلیل، به جامعه کمک کرده تا درک بهتری از پدیده‌های طبیعی داشته باشند و از این دانش برای بهبود کیفیت زندگی استفاده شود. کشورهای پیشرو علمی که دارای ثروت و تا حدودی رفاه اجتماعی را به دست آورده‌اند، کشورهایی هستند که مرزهای علم را گسترش داده و کشف علمی نموده‌اند، ذهن و ضمیر خود را فعال نموده و از این مسیر تولید کیفی محصولات و خدمات و از طرف دیگر راهکارها و راه‌حل‌های معضلات را می‌شناسند و کشورهائشان را بر این مبنای اداره می‌نمایند. کشف علمی موجب بالندگی وجود انسان و غرور اجتماعی می‌شود که این جایگاه فرهنگی برای فرد و جامعه موجب پیشرفت‌های بزرگ نوآوری و فناوری و تحول اجتماعی می‌گردد. با این حال، علم دقیق محدودیت‌هایی دارد. هنگام تفسیر پدیده‌های بسیار پیچیده و ناشناخته‌ای که خارج از دسترس حواس و ابزار کنونی هستند، با چالش‌هایی مواجه می‌شود. برخی از اصول بنیادی علم دقیق، مانند مدل‌های فیزیکی و مفروضات علمی، ممکن است در طول زمان به دلیل ماهیت پویا و در حال تکامل دانش تغییر یا بهبود یابد. این بدان معنی است که علم دقیق دائماً به دنبال تکامل و مسیرهای جدید برای درک بیشتر است.

علم دقیق فرآیندی پویا برای تغییر و بهبود است تا پارامترهای بهینه را نسبت به شرایط پویایی در دوران مختلف به دست آورد. این ویژگی به دانشمندان اجازه می‌دهد تا به‌طور مستمر سؤالات جدید را دنبال کنند و مرزهای دانش را پیش برند. این نه تنها منجر به توسعه فناوری و بهبود شرایط زندگی می‌شود، بلکه به درک عمیق‌تر علم و الهام خواهد شد.

موضوع مهمی که می‌باید به آن اشاره نمود علم دقیق از یک فکر عمیق سرچشمه می‌گیرد و توسط ابزار دقیق اندازه‌گیری می‌شود. بنابراین برای کشف علم دقیق، نیاز به نیروی انسانی دانا و متفکر و از طرف دیگر ابزارهای بسیار دقیق اندازه‌گیری و تصویربرداری در سطح مولکولی و اتمی که در زمان‌های بسیار کوتاه مانند اتو و یا زیپتا ثانیه در دنیای امروز و زمان‌های کوتاه‌تر در آینده می‌باشد. موضوع مهم‌تر این است که داده‌های امروز می‌باید به دادگان‌های داده در گذشته و با پویایی داده در آینده پیوند داده شود تا درک عمیق از پویایی علم به دست آورد. لذا کشور می‌باید نیروی انسانی دانا و متفکر را تربیت و پرورش دهد و از آنها محافظت و رضایت آنها تأمین شود و از طرف دیگر مجهز به ابزارهای دقیق اندازه‌گیری پیوند شده با هوش مصنوعی و مگا داده‌ها از طریق اینترنت پرسرعت در سطح ملی و بین‌المللی شود. البته دیپلماسی علمی پویا با استفاده از دانشمندان و خردمندان از اصول اولیه این پیشرفت از طریق ارتباطات علمی است.

نگهداری از استعدادهای علمی نیاز به یک برنامه‌ریزی سریع و کوتاه‌مدت دارد تا بتوان مهاجرت آنها را تعدیل و معکوس نمود. لازم به ذکر است علم فقط داده و اطلاعات نیست بلکه علم به انسان دانا و توانا برمی‌گردد که با استفاده بهینه و خردمندانه از داده و اطلاعات راه حل مشکلات را با دانش و ایمان خود می‌یابد و مسیر سازندگی و رفاه را برای جامعه به ارمغان می‌آورد.

علی اکبر موسوی موحدی

سردبیر

دیپلماسی آب و نقش آن در حل تعارضات منابع آب فرامرزی

سید موسی حسینی^{۱*}

چکیده

بر روی کره زمین ۳۱۰ حوضه آبریز بین‌المللی و ۶۰۰ آبخوان مشترک فرامرزی وجود دارد و ۱۵۳ کشور (شامل ۲۲٪ جمعیت جهان) منابع آب شیرین سطحی یا زیرزمینی مشترک دارند. تجربیات نشان داده که کشورهای بالادست منابع آبی مشترک تمایل دارند از آب برای به‌دست آوردن قدرت بیشتر استفاده کنند، در حالی که پایین‌دست‌ها از قدرت برای به‌دست آوردن آب بیشتر استفاده می‌کنند. هیدرودیپلماسی با هدف پیشگیری، کاهش و حل و فصل تعارضات منابع آب فرامرزی می‌تواند تعارضات بر سر این منابع را از بازی‌های با حاصل جمع صفر (برد-باخت) به مدل‌های همکاری با مجموع مثبت (برد-برد) تغییر دهد. در این نوشتار پس از تعریف مفهوم دیپلماسی آب به ارائه جنبه‌های کلیدی، مراحل و مسیرهای دیپلماسی آب پرداخته می‌شود. سپس نقش عوامل مختلف در دیپلماسی آب مانند قدرت، احساسات، اعتماد، معنویت، اصول حقوق بین‌الملل و تجارت آب مجازی را همراه با ارائه مطالعات موردی تشریح می‌کند. بررسی‌ها نشان می‌دهد دیپلماسی آب پتانسیل حل انواع تعارضات آب فرامرزی را دارد و می‌تواند به کشورها کمک کند تا از رویارویی نظامی و سیاسی ناشی از تنش‌ها بر سر دسترسی به منابع آب مشترک اجتناب کنند و لذا به‌عنوان ابزاری برای مدیریت پایدار منابع آب مشترک محسوب می‌شود. از آنجا که دیپلماسی آب فرامرزی تصویری از آینده سیاست خارجی کشورها را نشان می‌دهد، چگونگی پیشبرد آن می‌تواند بر تمام مناسبات سیاسی، اقتصادی و فرهنگی بین‌طرفین اثرگذار باشد.

واژگان کلیدی: دیپلماسی آب، آب فرامرزی، عدم تقارن قدرت، مسیرهای دیپلماسی، مناقشه آب، مذاکرات آب

*عهده‌دار مکاتبات: دانشیار. تلفن: ۶۱۱۱۲۹۳۸ (۹۸۲۱)، نمابر: ۶۶۴۱۳۰۶۵ (۹۸۲۱)، نشانی الکترونیکی: smhosseini@ut.ac.ir
^۱گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

مقدمه

دیپلماسی را عموماً «هنر انجام گفتگو بین دولت‌ها» تعریف می‌کنند. بر اساس [۴]، دیپلماسی آب، ابزاری است برای مدیریت پایدار منابع آب و برای تقویت همکاری بین کشورها از طریق مذاکره. دیپلماسی آب را به‌عنوان یک تکنیک یا رویکرد ارزش-محور برای مدیریت مسائل تخصیص آب نیز تعریف کردند. همچنین محققین بیان کردند که دیپلماسی آب قصد حل و فصل تعارضات مربوط به در دسترس بودن، تخصیص و استفاده مشترک از منابع آب بین کشورها را دارد. از جمله تعاریف دیگر، «دیپلماسی آب شاخه‌ای از دیپلماسی است برای مذاکرات دوجانبه و چندجانبه بازیگران دولتی و غیردولتی در مورد مسائل آب فرامرزی» [۵].

مفاهیم «دیپلماسی آب» و «مدیریت مشترک آب فرامرزی»^۱، مفاهیمی نزدیک با هدف یکسان اما با مسیرهای مجزا هستند. همکاری آب فرامرزی، تحت یک دستور سیاسی تعریف شده و اغلب از نظر فنی جهت‌گیری می‌شود؛ در حالی که دیپلماسی آب معمولاً بیشتر بر پیشگیری از مناقشه و تعامل دیپلماتیک متمرکز است. مدیریت آب‌های فرامرزی زمانی که نتواند بر اساس توافقاتها و معاهدات طرفین پیشرفتی داشته باشد، تنها از طریق دیپلماسی آب قابل انجام است [۶].

برای شناخت بیشتر، در ادامه جنبه‌های کلیدی و مراحل و مسیرهای دیپلماسی آب ارائه می‌شود. سپس نقش عوامل مختلف مانند قدرت، احساسات، اعتماد، معنویت و اصول حقوق بین‌الملل در دیپلماسی آب بر اساس مطالعات موردی تشریح می‌شود.

جنبه‌های کلیدی دیپلماسی آب

دیپلماسی آب شامل جنبه‌های کلیدی سیاسی^۹، پیشگیرانه^{۱۰}، یکپارچگی^{۱۱}، تعاونی^{۱۲} و فنی^{۱۳} است. اولین مورد، دیپلماسی آب را فرآیندی ذاتاً سیاسی و فراتر از مرزهای حوضه آبریز در تعاملاتی می‌بیند که در میان سهامداران با منافع، مواضع و دستور کار متفاوت و اغلب متضاد رخ می‌دهد [۷]. جنبه دوم، دیپلماسی آب را به‌عنوان رویکردی برای میانجی‌گری صلح و همچنین پیشگیری و کاهش

مقابله با تغییرات آب و هوایی، رشد جمعیت و کاهش منابع آب تجدیدپذیر چالش‌های پایداری منابع آب در زمان کنونی است. در شرایط کنونی که تقریباً ۶۰ درصد از منابع آب شیرین روی کره زمین، فرامرزی^۱ هستند، این منابع مشترک به ابزاری برای قدرت تبدیل شده و رقابت بین کشورها را تشدید کرده است [۱].

هم‌اکنون مناقشات بر سر منابع آب فرامرزی حداقل در ۱۰ منطقه در جهان مشخص است؛ مانند رودخانه‌های دجله و فرات بین چهار کشور ترکیه، عراق، سوریه و ایران؛ رودخانه نیل بین ۱۱ کشور آفریقایی، رودخانه‌های هیرمند و هریرود بین افغانستان و ایران، رودخانه اردن بین اسرائیل و کشورهای عربی، رودخانه یرموک بین اردن و سوریه، رودخانه سن‌خوان^۲ بین کاستاریکا و نیکاراگوئه، رودخانه آرپاکای^۳ بین ترکیه و ارمنستان، رودخانه مکنونگ^۴ بین چین و لائوس، رودخانه‌های کلرادو و ریو گرانده^۵ بین ایالات متحده آمریکا و مکزیک و رودخانه پارانا^۶ در آمریکای جنوبی از جمله موارد مورد مناقشه در سایر نقاط دنیا هستند [۲].

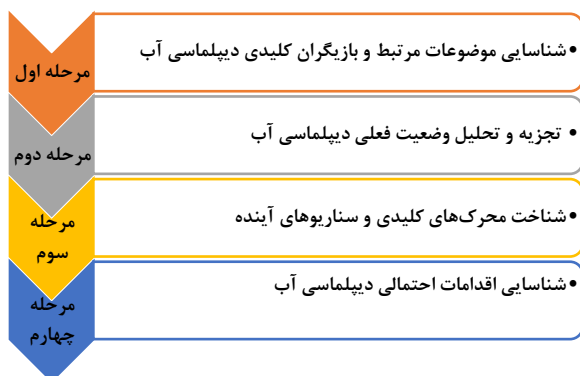
در کنار این چالش‌های جهانی ما همچنین شاهد بی‌توجهی به توافقات بین‌المللی و همچنین تضعیف نقش ژئوپلیتیک در بهره‌برداری از منابع آب فرامرزی هستیم. کارکرد «دیپلماسی آب یا هیدرودیپلماسی»^۷ این است که آب را به ابزاری مفید برای ارتقای همکاری‌های منطقه‌ای و بین‌المللی از طریق توافق‌نامه‌ها و معاهدات تبدیل کند. دیپلماسی آب یک مفهوم نوظهور (از سال ۱۹۹۶) برای مشارکت جامعه مدنی، و همکاری علمی برای حمایت از روابط دو یا چندجانبه و همچنین استفاده از عناصر فنی برای اهداف دیپلماتیک است [۳].

با وجود علاقه فزاینده، دیپلماسی آب هنوز فاقد یک تعریف مورد توافق عمومی و استاندارد است. شاید یکی از دلایل آن، مبهم بودن موضوع دیپلماسی آب باشد، اما در اسناد خط مشی و نشریات علمی بسته به زمینه و همچنین دیدگاه محققین به روش‌های مختلفی تعریف می‌شود:

- 1 Transboundary Water Resources
- 2 San Juan River
- 3 Arpacay River
- 4 Mekong River
- 5 Rio Grande River
- 6 Parana Rviver
- 7 Hydrodiplomacy

- 8 Cooperative Management of Transboundary Water
- 9 Political Aspect
- 10 Preventive Aspect
- 11 Integrative Aspect
- 12 Cooperative Aspect
- 13 Technical Aspect

درک وضعیت کنونی را عمیق‌تر می‌کند و همچنین به شناسایی مسیرهای جایگزین آینده در مراحل بعدی کمک می‌کند. در مرحله سوم، این مرحله ابتدا به دنبال شناسایی عوامل کلیدی (اجتماعی، اقتصادی و/یا سیاسی) است که احتمالاً در یک بازه زمانی معین بر وضعیت فعلی تأثیر می‌گذارد. سپس، سناریوهای احتمالی آینده بر اساس مجموعه‌ای از مفروضات در مورد چگونگی تحول وضعیت فعلی ناشی از محرک‌های کلیدی و روابط در حال تحول بین طرفین، پیش‌بینی می‌شود. مرحله چهارم بر شناسایی اقدامات احتمالی دیپلماسی آب متمرکز است که بر اساس محرک‌های کلیدی و سناریوهای آینده شناسایی شده از مرحله ۳ است. اطمینان حاصل شود که اقدامات دیپلماسی آب به رسمیت شناخته شده و مسیرهای به اصطلاح فنی و سیاسی دیپلماسی آب را در نظر می‌گیرد.



شکل ۲. چهار مرحله اصلی دیپلماسی آب.

مسیرهای دیپلماسی آب

دیپلماسی آب به‌عنوان راهی برای تبدیل تصمیم‌گیری حاصل جمع صفر (برد-باخت) به همکاری با مجموع مثبت (برد-برد) از طریق فعالیت‌های شبکه‌ای و تصمیم‌گیری مبتنی بر شواهد است. برای تکمیل این رویکرد، دیپلماسی رسمی آب نیازمند فرآیند سیاست خارجی برای تقویت همکاری است. بازیگران اصلی دیپلماسی آب معمولاً دولت‌ها و سازمان‌های بین‌دولتی مرتبط هستند که اغلب با بازیگران دیگر در مسیرهای دیپلماسی متعدد همراه هستند. مطابق با شکل ۲ مسیرهای دیپلماسی آب بطور کلی شامل موارد زیر می‌باشد [۱۰]:

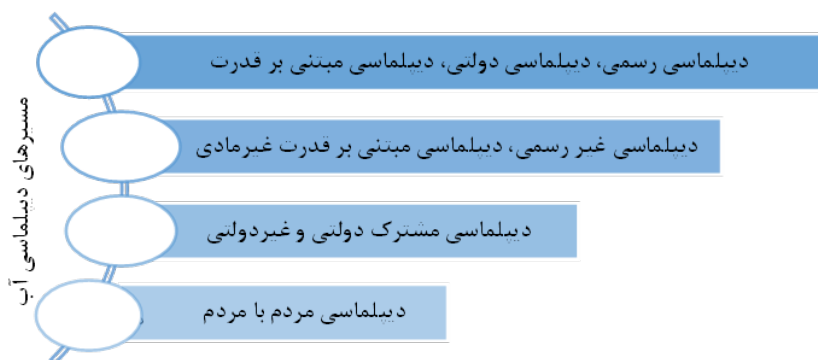
دیپلماسی رسمی آب (مسیر ۱): دیپلماسی به طور سنتی (دیپلماسی مبتنی بر قدرت) به‌عنوان ابزاری برای دستیابی به اهداف

درگیری می‌داند. فعالیت‌های میانجی‌گری صلح و پیشگیری از مناقشه می‌توانند شرایطی را برای دیپلماسی آب ایجاد کنند و بالعکس؛ دیپلماسی آب می‌تواند از مناقشه پیشگیری کرده و میانجی‌گری در زمینه صلح را افزایش دهد. مورد سوم، بر این مفهوم استوار است که دیپلماسی آب معاصر به‌عنوان فرآیندی متشکل از ذینفعان بسیاری در بخش‌های مختلف در محیط‌های رسمی و غیررسمی می‌تواند ایفای نقش کند. این جنبه دیپلماسی آب را به‌عنوان یک مفهوم چندرشته‌ای می‌بیند که در تقاطع علم، سیاست و عمل قرار دارد. جنبه چهارم، دیپلماسی آب را فرآیندی می‌بیند که همکاری متقابل و ایده منافع مشترک را ترویج و بر آن تکیه می‌کند و بنابراین آن را به تعاریف رایج برای همکاری‌های آب فرامرزی نزدیک می‌کند. این ویژگی ارزشی دیپلماسی، تمایل به همکاری و ارتباط بین بازیگران کلیدی را به‌عنوان وسیله‌ای برای ترویج استفاده پایدار و عادلانه اجتماعی از آب‌های مشترک به رسمیت می‌شناسد. مورد پنجم، مبتنی بر شناخت آب به‌عنوان یک منبع و به‌عنوان یک ماده فیزیکی که چرخه هیدرولوژیکی را ایجاد می‌کند، تمرکز دارد. جنبه فنی دیپلماسی آب ارتباط قوی با تولید دانش و محصولات آن مانند توسعه مدل‌ها دارد. بر اساس این پنج منظر، «دیپلماسی آب یک فرآیند پویا و سیاسی است که هدف آن جلوگیری، کاهش و حل تنش‌های مرتبط با آب در منابع آب مشترک با استفاده همزمان از ابزارهای دیپلماتیک، دانش مرتبط با آب و مکانیسم‌های همکاری» تعریف شده است [۸].

مراحل دیپلماسی آب

دیپلماسی آب شامل ۴ مرحله است که در شکل ۱ نیز نشان داده شده است [۹]. اولین گام در رویکرد پیشنهادی، شناسایی مرتبط-ترین موضوعات و بازیگران برای زمینه خاص دیپلماسی آب است. بازیگران اصلی دیپلماسی آب معمولاً دولت کشورهای ذینفع در حوضه رودخانه، سازمان‌های بین‌دولتی مرتبط مانند کمیسیون‌های حوزه رودخانه و بازیگران شخص ثالث هستند.

مرحله دوم، با هدف تجزیه و تحلیل وضعیت کنونی زمینه دیپلماسی آب، مبتنی بر موضوعات و بازیگران شناخته شده در مرحله ۱ است. تجزیه و تحلیل ترجیحاً باید شامل در نظر گرفتن روندهای گذشته، از جمله موارد مربوط به استفاده از آب، توسعه زیرساخت‌ها و روابط سیاسی گسترده‌تر بین کشورهای ذینفع،



شکل ۲ مسیرهای مختلف دیپلماسی آب.

اما بایستی توجه داشت که مسیرهای غیررسمی نمی‌تواند جایگزین دیپلماسی مسیر ۱ شوند بلکه به‌عنوان مکمل دیپلماسی دولتی عمل می‌کند و می‌تواند عدم تقارن قدرت بین دولت‌های مشترک را کاهش دهد و ضمناً فضاهای مشورتی اعتمادسازی را نیز افزایش می‌دهند. دیپلماسی رسمی (مسیر ۱) به‌دلیل انگیزه‌ها، بودجه، اطلاعات و منابع لجستیکی در اختیار، مؤثرتر از مسیرهای غیررسمی است، اما اثربخشی آن زمانی که توسط مسیرهای غیررسمی پشتیبانی می‌شود، بیشتر می‌شود. کمیسیون رودخانه مکونگ در حوضه رودخانه مکونگ در آسیای جنوب شرقی بین چهار کشور لائوس، تایلند، کامبوج و ویتنام با نظارت چین و میانمار، صحنه دیپلماسی مسیر ۱ است. به‌عنوان نمونه موفق دیگری از دیپلماسی چند مسیره آب منطقه‌ای، می‌توان به همکاری رسمی در آمریکای مرکزی که شامل ۲۳ حوضه فرامرزی است و یا حوضه رودخانه اردن بین اسرائیل، اردن و تشکیلات خودگردان فلسطین اشاره نمود.

مسیرهای غیررسمی دیگر دیپلماسی آب، ترکیبی از دو مسیر دیپلماسی ۱ و ۲ است که یک مورد آن، دیپلماسی آب مسیر ۱/۵ نام دارد و ترکیبی از بازیگران دولتی و هم‌غیردولتی در یک مذاکره غیررسمی را شامل می‌شود. مورد دیگر، دیپلماسی آب مسیر ۳ است که با عنوان دیپلماسی مردم با مردم نیز شناخته می‌شود، عمدتاً در مناطق مرزی بین گروه‌های مردمی کشورهای مشترک رخ می‌دهد [۱۱].

نقش قدرت در دیپلماسی آب

عالم (۱۳۷۳) معتقد است که قدرت، هسته و مرکز ثقل سیاست را به وجود آورده و تمام مناقشات در زندگی سیاسی وابسته به قدرت است [۱۲]. اهمیت قدرت و حضور آن در تمام شئون زندگی بشر و به‌خصوص در جهان سیاست، به اندازه‌ای است که عده‌ای آن را

سیاسی از طریق ابزارهای غیرالزام‌آور مورد استفاده قرار می‌گرفته است. به همین دلیل، دیپلماسی اغلب با کشورهای بزرگی مرتبط بوده که قدرت نظامی را برای دستیابی به اهداف سیاسی بین‌المللی ترکیب می‌کردند. این نوع دیپلماسی به مذاکرات دولت-دولت اشاره دارد و شامل گفتگوهای رسمی بین رهبران سیاسی و نظامی کشورهای مشترک است.

دیپلماسی غیررسمی آب (مسیر ۲): دیپلماسی رسمی آب (یا دیپلماسی دولت‌محور) مورد انتقاد است زیرا عمدتاً براساس یک رویکرد فنی توسط کارشناسان با داده‌های تخصصی در مورد رودخانه و منابع آن هدایت می‌شود. دیپلماسی آب هم از طریق مذاکرات مبتنی بر قدرت و هم از طریق مشارکت آرمان‌های هنجاری مانند دموکراسی، شفافیت، شمولیت اجتماعی و توانمندسازی ظهور کرده است، مانند قراردادهای بین‌المللی «اهداف توسعه پایدار ۲۰۱۵» توسط سازمان ملل. یکی از راه‌های تأثیرگذاری بر عدم تقارن‌های قدرت، استفاده از قدرت غیرمادی برای تغییر «قواعد بازی» در مذاکرات است. دیپلماسی غیررسمی یا دیپلماسی مسیر ۲، مربوط به فرآیند گفتگوی غیررسمی بین بازیگران دولتی و غیردولتی می‌شود، به‌ویژه زمانی که عدم تقارن قدرت حاکم بر آب‌های مورد مناقشه مشهود باشد. اروپا، مهد دیپلماسی غیررسمی (شامل بازیگران زیردولتی مانند ایالت‌های فدرال، شهرها، سازمان‌های غیردولتی) است. بنابراین، دیپلماسی غیررسمی می‌تواند به کشورهایی که نتوانستند مناقشات را از مسیر دیپلماسی رسمی (مسیر ۱) حل و فصل نمایند، اجازه دهد تا بر بحث تأثیر بگذارند. در حوضه رودخانه براهماپوترا که شامل چین، هند، بوتان و بنگلادش است، دیپلماسی غیررسمی می‌تواند شرایطی را ایجاد کند که از طریق دیپلماسی رسمی جذابیت کمی دارد.

چین و هند برای هژمونی آب رقابت می‌کنند. در برخی موارد مانند تعاملات هند و بوتان، قدرت عامل مثبتی در دیپلماسی آب برای توانمندسازی بازیگران برای حل مناقشات تلقی می‌شود. بنابراین، تفاوت‌های قدرت در دیپلماسی آب نقش مهمی در شکل دادن به مذاکرات و تعاملات دارد، همانطور که محققین، دیپلماسی را «قدرت در عمل» نام برده‌اند [۱۵].

نقش احساسات^۵ در دیپلماسی آب

در دهه‌های اخیر، محققان دریافته‌اند که احساسات نقش کلیدی در تأثیرگذاری، شکل‌دهی و تغییر سیاست و دیپلماسی بین‌المللی ایفا می‌کنند. برخلاف مفروضات مرسوم که احساسات را غیرمنطقی می‌دانند، یافته‌های عصب‌شناسی نشان می‌دهد که احساسات مکمل تفکر منطقی است و عقلانیت همیشه شامل احساسات است [۱۶]. منظور از احساسات در اینجا، احساساتی نیستند که در لحظه یا در حین مذاکره بیان می‌شوند، بلکه منظور احساسات عمیقاً نهادینه شده در اعمال، هنجارها، باورها و اعمال دولت‌ها است. احساساتی که نه تنها فیزیکی یا روان‌شناختی، بلکه اجتماعی-فرهنگی و سیاسی نیز هستند. بنابراین، درک پویایی احساسات در دیپلماسی بین‌الملل برای تشخیص اینکه چگونه می‌توانند تصمیمات و رفتار بازیگران دولتی را شکل دهند، کلیدی است. احساسات جمعی مانند ترس، خشم، غرور، اعتماد و امید دارای قدرت اجرایی گفتمانی برای ساختن و تأثیرگذاری بر فرآیندها و نتایج دیپلماسی آب فرامرزی هستند.

گزارش شده که در دیپلماسی آب نیل، احساسات زیربنای دیپلماسی بوده است. سد بزرگ رنسانس اتیوپی^۶ (بزرگترین سد در آفریقا) که ساخت آن در سال ۲۰۱۱ پایه‌گذاری شد، محل اختلاف بین اتیوپی و مصر بوده و احساسات عمیقی را مانند ترس از ناامنی آب، عصبانیت از بی‌عدالتی آب، آسیب‌گریزی، به حداقل رساندن تأثیر و انتشار تهدید برانگیخته است. مصر می‌ترسد که این سد به سهم آب و امنیت آن آسیب برساند و آن را خط قرمزی برای خود می‌داند، در حالی که اتیوپی این سد را به‌عنوان پروژه‌ای می‌بیند که بی‌عدالتی آب در حوضه نیل را اصلاح می‌کند. زمینه‌های احساسی متناقض بین طرفین، یک شکل از گفتمانی از مضرات و مزایای سد را ایجاد کرده است. اتیوپی با فروش اوراق قرضه و سرمایه‌های محلی را برای ساختن سد جمع‌آوری کرده است. سرمایه‌گذاری عاطفی مردم در

به «نقش پول» در روابط اقتصادی تشبیه کرده‌اند. فعل و انفعالات آب فرامرزی ذاتاً سیاسی هستند و توسط بافت سیاسی-اجتماعی گسترده‌تر کشورهایی که در حوضه رودخانه مشترک هستند تعیین می‌شوند. برای روشن شدن بیشتر نقش قدرت در دیپلماسی آب، لازم است ابتدا انواع قدرت را بشناسیم [۱۳]:

نوع اول، قدرت سخت^۱ است که نشان‌دهنده ظرفیت مادی یک بازیگر جهت کسب پذیرش سایرین است. ویژگی قدرت سخت در مناسبات آب‌های فرامرزی شامل: موقعیت جغرافیایی کشورهای حوضه آبریز مشترک، وسعت آن کشورها، میزان جمعیت ساکن در حوضه آبریز و قدرت اقتصادی و نظامی آنها است.

نوع دوم، قدرت چانه‌زنی^۲ است که توانایی سلب انتخاب پذیرش یا عدم پذیرش است که به طرف ضعیف‌تر تحمیل می‌شود و بیشتر به قدرت سیاسی اشاره دارد. قدرت چانه‌زنی از طریق مشروعیت و اقتدار به دست می‌آید و توانایی کنترل فعالیت‌های سیاسی و ایجاد موانع بر سر مسائل مخالف با منافع طرف مقابل را دارد.

نوع سوم، قدرت معنایی^۳ است که فراتر از دخالت در حوزه تصمیم‌گیری و تنظیم فعالیت‌های سیاسی و به طور کلی فراتر از قدرت چانه‌زنی است. در این سطح از قدرت، بازیگر قدرتمند می‌تواند به واسطه استفاده از قدرت معنایی، ترجیحات، تمایلات و تفکرات دیگران را متناسب با خواسته خود شکل دهد. در حقیقت این نوع قدرت با استفاده از کسب پذیرش دیگر بازیگران، بر افکار و خواسته‌های آنها تأثیر می‌گذارد.

قدرت نرم^۴، نوع دیگری از قدرت است که ترکیبی از قدرت معنایی و قدرت چانه‌زنی است. قدرت نرم در مناسبات آبی به استراتژی‌های معطوف به دستیابی به راه‌حل‌های مشترک، رسیدن به ارزش‌های سیاسی مشترک و ابزار سازشی جهت مدیریت مناقشه و همکاری تأکید دارند [۱۴].

یکی از بارزترین منابع قدرت، موقعیت جغرافیایی در منبع آب مشترک است. محققین قبلی ادعا کردند که بالادست‌ها تمایل دارند از آب برای به دست آوردن قدرت بیشتر استفاده کنند، در حالی که پایین‌دست‌ها از قدرت برای به دست آوردن آب بیشتر استفاده می‌کنند. اما استثنائات مهمی نیز وجود دارد، در حوضه نیل، مصر پایین‌دست موقعیت غالب دارد، در حالی که در حوضه برهماپوترا،

1 Hard Power

2 Bargaining Power

3 Ideational Power

4 Soft Power

5 Emotions

6 Grand Ethiopian Renaissance Dam

ساخت این سد اهمیت بیشتری نسبت به کمک‌های مالی آنها دارد. تنش‌های احساساتی و عاطفی در مذاکرات بین دو کشور در سال-های اخیر موجب شده که مذاکرات تقریباً به بن‌بست برسد. موارد اساسی اختلاف آنها در ارائه یک سناریوی پایه برای مطالعه ارزیابی تأثیر سد و تعداد سال‌های مورد توافق برای پر کردن مخزن سد است [۱۷].

اعتمادسازی^۱ در دیپلماسی

اعتمادسازی یکی از ابزارهای کلیدی در مذاکرات دیپلماتیک و فرآیندهای صلح است و کشورهای دارای منابع آب مشترک باید اعتماد را در جستجوی راه‌حل‌های پایداری که برای همه طرف‌ها قابل قبول است، ایجاد و تقویت کنند [۱۸]. سه رویکرد اعتماد شامل رویکردهای عقلانی، اجتماعی و روانشناختی است که راهی برای مشاهده و درک اعتماد در روابط بین‌الملل فراهم می‌کند. رویکرد عقلانی به اعتماد بر نقش انتخاب منطقی و محاسبه تأکید می‌کند. از نظر منطقی، اعتماد مستلزم توانایی پیش‌بینی قابل اعتماد بودن دیگری است بر اساس اطلاعات موجود. از منظر رویکرد اجتماعی، اعتماد به‌عنوان یک باور یا درک مشترک توصیف می‌شود که دیگری آنچه را که درست است انجام می‌دهد. در نهایت، رویکرد روان‌شناختی تأکید می‌کند که اعتماد از طریق تجربه و عمل فردی حتی در حوزه سیاست بین‌الملل ایجاد می‌شود. اعتماد روانشناختی را می‌توان پایه-ای در نظر گرفت که دو رویکرد دیگر بر آن بنا شده است. دیپلماسی آب با ترکیب دانش مرتبط با آب با مکانیسم‌های دیپلماتیک و سیاست خارجی، زمینه مناسبی را برای نزدیک شدن به اعتماد بر آب‌های فرامرزی فراهم می‌کند. یافته‌ها نشان می‌دهد که اعتماد عنصر مهمی در فرآیندهای دیپلماسی آب در نظر گرفته می‌شود. در آب‌های فرامرزی، شفافیت و اعتماد به‌طور مکرر به‌عنوان عناصر مهم برای تقویت و تداوم همکاری‌های دیپلماتیک ذکر شده است و فقدان اعتماد مانع دیپلماسی آب می‌شود. در مناقشات رودخانه نیل، فقدان اعتماد بین طرفین باعث بروز اختلافات و مانع از پیشبرد اهداف دیپلماسی آب فرامرزی شده است [۱۸].

نقش معنویت^۲ در دیپلماسی آب

در ادبیات دانشگاهی، ارزیابی فرآیندهای دیپلماسی آب به‌طور کلی بر عوامل عقلانی متمرکز شده است. با این حال، برخی از مطالعات نشان داده‌اند که عوامل عقلانی، تنها نیروی محرکه در مذاکرات آب فرامرزی نیستند، بلکه سایر جنبه‌های تأثیرگذار مذاکرات آب فرامرزی شامل احساسات، اعتماد، مذهب، رابطه جسم و ذهن و ارتباط با طبیعت نیز مؤثرند. تحقیقات نشان داد که اعتقادات و اعمال معنوی (مانند دعا، مراقبه و خودمحووری) می‌توانند در آماده‌سازی جلسات مذاکره در سطح شخصی نقش داشته باشند. ایجاد فضای بیشتر برای معنویت در محیط مذاکره به طرفین با پیشینه معنوی فرصت بیشتری می‌دهد تا باورها و اعمال معنوی خود را وارد کنند. این می‌تواند راه‌های جدیدی را برای مذاکره باز کند که به طور بالقوه می‌تواند منجر به برابری بیشتر در تخصیص منابع آب شود [۱۹].

معنویت شناخت پیوند عمیق بین تمام خلقت است. معنویت ارتباطی است که انسان با یک نیروی بزرگتر و با انرژی بیشتر حاضر در جهان و روی زمین برقرار می‌کند. معنویت و مذهب معمولاً در فرآیندهای دیپلماسی آب به صراحت مورد توجه قرار نمی‌گیرند، مگر اینکه بخشی از یک پروژه سیاسی باشند. رابطه معنوی با آب و سیستم‌های مختلف طبیعت با این باور مدرن که طبیعت را می‌توان به طور کامل با علم و فناوری کنترل کرد، نادیده گرفته شده است. تحقیقات نشان داده است که وقتی از پیشینه معنوی، فرهنگی یا مذهبی فردی به خوبی در مذاکرات استفاده می‌شود، به حفظ آرامش و افزایش صبر افراد در طول جلسه کمک می‌کند. معنویت در مذاکرات آب به صورت نامحسوس وجود دارد، زیرا این تصور وجود دارد که رویکرد منطقی غالب در مذاکرات آب فرامرزی، فضای زیادی را برای افراد باقی نمی‌گذارد تا باورها و اعمال شخصی خود را لحاظ کنند. دانش معنوی در مذاکرات می‌تواند کمک کند تا رویکردهای دیپلماسی آب را توسعه دهیم که فردگرایی را در مقابل جامعه متعادل می‌کند، به این معنا که درک نیازهای جمعی در مقایسه با نیازهای خود مهمتر تلقی می‌شود. برای دست‌اندرکاران دیپلماسی آب، این ایده که نوع بشر و طبیعت از نظر معنوی به هم مرتبط هستند، می‌تواند به یافتن راه‌حل‌های جایگزین برای بسیاری از چالش‌های محیط‌زیستی فعلی کمک کند [۱۹].

نقش حقوق بین‌الملل^۳ در دیپلماسی آب

1 Buiding Trust

2 Spirituality

3 International Water Law

توسط جان آنتونی آلن^۳ در سال ۱۹۹۳ پس از مطالعات در منطقه منا معرفی شد. کشورهای این منطقه با واردات آب مجازی موجود در محصولات غذایی مانند برنج، ذرت و گندم می‌توانند کمبود منابع آب شیرین خود را جبران کردند. مثلاً برای تولید یک متر مکعب گندم هزار متر مکعب آب لازم است. با واردات یک متر مکعب گندم، یک اقتصاد کم آب از تمام هزینه‌های اقتصادی و استرس‌های محیط‌زیستی ناشی از آن جلوگیری می‌کند. اروپا اندکی بیش از ۵۰ درصد از واردات آب مجازی جهانی در سال ۱۹۶۰ را به خود اختصاص داده است، این مقدار در سال‌های ۲۰۱۵-۲۰۱۶ به حدود ۳۶ درصد کاهش یافته است. آفریقا تا سال ۱۹۸۰ یک صادرکننده خالص آب مجازی بود. پس از آن، واردکننده خالص شد. چین ۶ درصد از منابع آب شیرین جهان را در اختیار دارد و حدود ۸ درصد از زمین‌های زیر کشت جهانی را در اختیار دارد تا برای جمعیتی معادل ۲۰ درصد جمعیت جهان غذا تامین کند. ایالات متحده آمریکا بزرگترین صادرکننده آب مجازی است. منافع حاصل از تجارت آب مجازی و رسیدن به امنیت غذایی مطابق با حفاظت از محیط‌زیست، مستلزم ثبات و امنیت سیاسی و همچنین مقرون به صرفه بودن محصولات معامله شده توسط مصرف‌کنندگان داخلی است، بنابراین «دیپلماسی آب مجازی» یک جنبه ضروری از دیپلماسی آب است، زیرا تجارت آب مجازی می‌تواند درگیری بر سر آب در شرایط کمبود را تحت تاثیر قرار دهد. رزا و همکاران (۲۰۱۹) توضیح داد که جهانی شدن آب از طریق تجارت آب مجازی می‌تواند با کاهش تقاضای آب و تنش‌های آبی و فراهم کردن شرایط مناسب برای مذاکره بین کشورها از تعارضات آبی در آینده جلوگیری کند [۲۲].

دیپلماسی آب شخص ثالث^۴

«دیپلماسی آب شخص ثالث» معمولاً به‌عنوان یک کاتالیزور در مذاکرات آب فرامرزی عمل می‌کند. مشارکت شخص ثالث می‌تواند «کاهش تعارض، افزایش قابلیت‌های بازیگران، ترویج قوانین مشارکتی و فراگیر در حال استفاده را تشویق کند و به طرف‌های متعارض کمک کند تا مشکلات جمعی را به گونه‌ای ساختار دهند که فرصت‌هایی برای منافع متقابل ایجاد و تحقق

اصول حقوق بین‌الملل آب اغلب برای رسیدگی به اختلافات و درگیری‌های بین دولت‌های با منابع آب مشترک برای هدایت رفتار دولت‌ها به سمت راه‌حل‌های همکاری‌ای که به نفع منابع آب و همچنین همکاری‌های منطقه‌ای گسترده‌تر است، به کار گرفته می‌شود. اختلافات در حوضه دریای آرال، درگیری بین تاجیکستان و ازبکستان بر سر سد روگون^۱ نگرانی‌هایی را در مورد بی‌ثباتی منطقه‌ای گسترده‌تر ایجاد کرده است. رویارویی‌های اخیر بین افغانستان و ایران منجر به بروز خشونت‌های محلی شده است. اصول حقوق بین‌الملل آب اغلب برای رسیدگی به چنین موقعیت‌های اختلاف‌نظر و درگیری فراخوانده می‌شود. انتظار این است که این اصول رفتار دولت‌ها را به سمت یافتن راه‌حل‌های مشارکتی هدایت کند که بهترین نتایج ممکن را برای مدیریت منابع آب و همچنین برای همکاری و ثبات منطقه‌ای به طور گسترده‌تر به همراه داشته باشد. اما این قوانین همیشه نمی‌توانند مذاکرات را به گونه‌ای تنظیم کنند که منجر به مصالحه و در نتیجه همکاری طولانی مدت شود [۲۰].

اصول حقوق بین‌الملل به تعیین قواعد «بازی» همکاری کمک می‌کند و ابزار مهم دیپلماسی آب تلقی شود و می‌تواند به شکل‌دهی عملکرد دولت به سوی آینده‌ای همکاری‌تر و پایدارتر کمک کند. بارزترین نمونه، معاهده آب‌های ایندوس در سال ۱۹۶۰ است که روابط متضاد بین هند و پاکستان را کاهش داد. حقوق بین‌الملل آب بر سیستم رودخانه سند در مرکز اختلاف هند و پاکستان قرار داشت. اتحادیه اروپا «تعهد دیپلماتیک در مورد آب، به ویژه همکاری‌های فرامرزی آب، به‌عنوان ابزاری برای صلح، امنیت و ثبات» را تأیید می‌کند. دستورالعمل چهارچوب آب اروپا، قوانین آب هلسنکی، نمونه‌هایی از قوانین بین‌المللی در سیاست آب است [۲۱].

جایگاه آب مجازی^۲ در دیپلماسی آب

تجارت آب از طریق کالاها، به‌ویژه کالاهای کشاورزی که از آن به‌عنوان آب مجازی نام برده می‌شود، پتانسیل حل تعارضات آبی را دارد و به‌طور قابل‌توجهی می‌تواند تقاضای آب را در تولید مواد غذایی کاهش دهد و کمبود آب را جبران کند. مفهوم آب مجازی

1 Rogun Dam
2 Virtual Water Europe
3 John Anthony Allan

4 Third Party Actor Water Diplomacy
5 Organization for Security and Co-operation in

عقلانی)، اما دیپلماسی آب نباید در انحصار عقلانیت باشد بلکه باید در شرایط لازم از مسیرهای دیگر دیپلماسی نیز بهره‌مند شود. بسیاری از تعارضات آب فرامرزی غیرقابل حل هستند، زیرا از نظر بسیاری از تصمیم‌گیرندگان به‌عنوان بازی‌های با حاصل جمع صفر تلقی می‌شوند و منافع یک طرف به قیمت ضرر طرف دیگر تمام می‌شود. علاوه بر این، پویایی‌های قدرت سیاسی و اقتصادی نامتقارن جغرافیایی (بالادست-پایین دست) می‌تواند مانع از حل موفقیت‌آمیز چنین تعارضاتی شود.

تنش‌ها و درگیری‌هایی که در بسیاری از مناطق بر سر دسترسی به آب رخ می‌دهد، صلح و امنیت ملی و بین‌المللی را تهدید می‌کند، دیپلماسی آب می‌تواند به کشورها کمک کند تا از رویارویی نظامی و سایر رویارویی‌های سیاسی نامطلوب اجتناب کنند و آنها را قادر می‌سازد تا در مورد مناقشه آب با استفاده از مکانیسم‌های مختلف حل و فصل اختلافات صلح‌آمیز بحث کنند. از آنجا که دیپلماسی آب نمونه‌ای از آینده سیاست خارجی کشورهای ذینفع را نشان می‌دهد، چگونگی پیشبرد آن می‌تواند بر تمام مناسبات سیاسی، اقتصادی و فرهنگی بین طرفین اثرگذار باشد.

فهرست منابع

- [1]. IPCC (2019). *Climate Change and Land: An IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems - Summary for Policymakers* (Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC).
- [2]. Rivera, A. (2015). *Transboundary aquifers along the Canada-USA border: Science, policy and social issues*. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 4, 623–643.
- [3]. Council of the European Union (2020). *Council conclusions on Climate Diplomacy*.
- [4]. Sehring, J., ter Horst, R., & Said, A. (2023). *Water diplomacy: A man's world? Insights from the Nile, Rhine and Chu-Talas basins*. *Journal of Hydrology X*, 20, 100152.
- [5]. Islam, S., & Repella, A. C. (2015). *Water diplomacy: A negotiated approach to manage complex water problems*. *Journal of Contemporary Water Research & Education*, 155, 1–10
- [6]. Zareie, S., Bozorg-Haddad, O., & Loáiciga, H. A. (2021). *A state-of-the-art review of water diplomacy*. *Environment, Development and Sustainability*, 23, 2337-2357.

1 Johnston Agreement

بخشند». بانک جهانی، یونسکو و سازمان امنیت و همکاری اروپا^۱ از جمله طرف‌های سوم هستند که به‌طور مستمر به دیپلماسی آب فرامرزی از طریق توسعه و امضای معاهدات آب، ایجاد و حمایت از نهادهای مدیریتی دوجانبه، تقویت اشتراک داده‌ها، توسعه ظرفیت، و تشویق مشارکت بیشتر در مدیریت آب مشترک مانند معاهده آب‌های ایندوس بین هند و پاکستان، معاهدات رودخانه‌ای صحرای آفریقا، کمک می‌کنند. ناگفته نماند که اگر کشورهای ساحلی علاقه‌ای به همکاری نداشته باشند، تلاش‌های میانجی‌گری اغلب بی‌بهره می‌شوند. به‌عنوان مثال، توافقنامه جانستون^۱ در سال ۱۹۵۵ با میانجی‌گری ایالات متحده بر روی رودخانه اردن توسط کشورهای ساحلی امضا نشد [۲۳].

نتیجه‌گیری

دیپلماسی آب یک فرآیند نوآورانه، مستمر، بلندمدت، چندوجهی، پویا و وابسته به زمینه و آینده‌گرا بین طرفینی است که دارای یک پیکره آبی مشترک هستند؛ بنابراین دیپلماسی آب در درجه اول شبیه به یک ماراتن است که دارای چندین سربالایی و سراسیمبی است. دستیابی به یک دیپلماسی مؤثر، مستلزم توجه به تغییر پویایی‌های محیط‌زیستی، اقتصادی، اجتماعی و سیاسی و همچنین مجموعه‌ای از فعالیت‌های مورد توافق مشترک است. دیپلماسی آب به پنج عنصر حیاتی بستگی دارد: درک توافق شده از داده‌ها، ساختار حاکمیتی مؤثر، مشارکت عمومی، حمایت شخص ثالث و گنجاندن ملاحظات محیط‌زیستی.

نقش قدرت در دیپلماسی آب به همان اندازه در مکانیک نیوتنی، مولد است. اصول حقوق بین‌الملل به تعیین قواعد بازی همکاری کمک می‌کند. این اصول، ابزار مهم دیپلماسی آب تلقی شود و می‌تواند به شکل‌دهی عملکرد دولت به سوی آینده‌ای همکاری و پایداری کمک کند. تجارت آب مجازی با تشویق تجارت بین کشورها و مناطق پرآب و فقیر، استفاده از میانجی‌گری شخص ثالث، ظرفیت‌سازی و آموزش دیپلمات‌ها در تنوری مذاکره امکانات زیادی را برای افزایش امنیت فراهم می‌کند.

ایجاد فضای بیشتر برای معنویت در محیط مذاکره و اعتمادسازی می‌تواند می‌تواند راه‌های جدیدی را برای مذاکره به امید ایجاد برابری بیشتر در تخصیص منابع آب باز کند. رویکرد سنتی دیپلماسی آب تقاطع بین «علم، سیاست و عمل» است (دیپلماسی

- [15]. Vij, S., Warner, J., & Barua, A. (2020). Power in water diplomacy. *Water International*, 45(4), 249-253.
- [16]. Seide, W. M., & Fantini, E. (2023). Emotions in Water Diplomacy: Negotiations on the Grand Ethiopian Renaissance.
- [17]. Woldemaryam, E. (2020). Making the Nile River a point of cooperation between Ethiopia and Egypt: Building confidence through water diplomacy. *Budapest International Research and Critics Institute-Journal (BIRCI-Journal)*, 3(3), 2494-2500.
- [18]. Warner, J., & de Man, R. (2020). Powering hydrodiplomacy: How a broader power palette can deepen our understanding of water conflict dynamics. *Environmental Science & Policy*, 114, 283-294.
- [19]. Ramawadh, S., Jara, D., Wolf, A. T., & Schring, J. (2023). Exploring spirituality in water diplomacy. *Water Alternatives*, 16(3), 978-991.
- [20]. Lazerwitz, D. J. (1993). The fow of international water law: The international law commission's law of the non-navigational uses of international watercourses. *Indiana Journal of Global Legal Studies*, 1(1), 12.
- [21]. Schmeier, S. (2021). International water law principles in negotiations and water diplomacy.
- [22]. Rosa, L., Chiarelli, D. D., Tu, Ch., Rulli, M. C., & D'Odorico, P. (2019). Global unsustainable virtual water fows in agricultural trade. *Environmental Research Letters*, 14(11), 114001.
- [23]. Islam, S. and Susskind, L. 2018. Using complexity science and negotiation theory to resolve boundary-crossing water issues. *Journal of Hydrology* 562: 589-598.
- [7]. UNEP (2016) *Transboundary River basins: status and trends*. United Nations Environment Programme (UNEP). Nairobi, Technical Report, 378p
- [8]. Pohl, B., Swain, A., 2017. *Leveraging Diplomacy for Resolving Transboundary Water Problems*. In: Islam, S., Madani, K. (Eds.), *Water Diplomacy in Action: Contingent Approaches to Managing Complex Water*. Anthem Press, New York, pp. 19-36.
- [9]. Keskinen, M., Häkkinen, E., Haapala, J., & Sharipova, B. (2023). Trust in Transboundary Waters: Identifying Trust-Building in Water Diplomacy Literature. *Water Alternatives*, 16(3).
- [10]. Michel D. (2020) *Water Conflict Pathways and Peacebuilding Strategies* (No. 164). United States Institute of Peace.
- [11]. Keskinen, M., Salminen, E., & Haapala, J. (2021). Water diplomacy paths—An approach to recognise water diplomacy actions in shared waters. *Journal of Hydrology*, 602, 126737.
- [۱۲]. عالم، عبدالرحمن (۱۳۸۲). بنیادهای علم سیاست، نشر نی، چاپ ۳۶، صص ۳۹۱.
- [13]. Mirumachi, N. (2020). Informal water diplomacy and power: A case of seeking water security in the Mekong River basin. *Environmental Science & Policy*, 114, 86-95.
- [۱۴]. قریشی، سیده زهرا، میان آبادی، حسین، موسوی شفقائی، مسعود، (۱۳۹۸). نقش قدرت در دیپلماسی آب، تحقیقات منابع آب ایران. سال ۱۵، شماره ۲، صص ۲۶۴-۲۴۲.

تحولات جدید در شهرهای هوشمند جهان

علی زینالی عظیم*^۱

چکیده

با پیشرفت مداوم فناوری، اقتصاد و جامعه، نیروی محرکه فناوری‌های انفورماتیک نسل جدید قادر به توسعه برنامه‌های کاربردی هوشمند و ایجاد یک مدل شهری جدید و پایدار هستند. این مقاله به بررسی تحولات جدید در شهرهای هوشمند جهان و ارزیابی مزایای ساخت‌وساز و پیش‌بینی روند توسعه پروژه بر اساس ایده‌ها و مستندات نظری صادر شده توسط دولت پرداخته است. این مقاله نشان داد که (۱) پروژه شهر هوشمند به سه حوزه اصلی و دو مفهوم نسبتاً جدید تقسیم می‌شود: دولت هوشمند، اقتصاد هوشمند، جامعه هوشمند، نسل جدید زیرساخت‌های انفورماتیک و محیط توسعه یک شهر هوشمند است. (۲) فناوری‌های کلیدی درگیر در ساخت شهر هوشمند عبارتند از: اینترنت اشیا، محاسبات ابری، اینترنت موبایل، داده‌های بزرگ، فناوری ژئو انفورماتیک و هوش مصنوعی. (۳) ساخت پروژه شهر هوشمند مزایای زیادی را به همراه خواهد داشت، نه محدود به منافع برای سرمایه‌گذاران، بلکه باعث بهبود شادی شهروندان، کاهش مشکلات شهری، ارتقای توسعه اقتصادی و پایداری و پیشبرد توسعه صنایع مرتبط با توسعه آنها خواهد شد و نتایج تعریف و کاربرد پروژه شهر هوشمند را با روند توسعه آن مرتبط کرده و اطلاعات مؤثری را در اختیار سیاستگذاران قرار می‌دهد تا طراحی و ساخت پروژه شهر هوشمند بومی‌سازی شده خود را راهنمایی کنند.

واژگان کلیدی: شهر هوشمند، فناوری، اقتصاد هوشمند، جامعه هوشمند

* عهده‌دار مکاتبات: پژوهشگر پسا دکتری طراحی شهری، تلفن/نمابر: ۳۲۳۱۱۲۸۵ (۹۸۴۱)، آدرس الکترونیکی: zeynalyazim@sru.ac.ir

^۱ طراحی شهری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی تهران، ایران.

مقدمه

هوشمند برای اولین بار در دهه ۱۹۹۰ پدیدار شد، زمانی که ایده این بود که فن‌آوری اطلاعات و ارتباطات به‌عنوان زیرساخت لازم برای یک شهر مدرن در نظر گرفته شود. شهر هوشمند به بهبود سطح اتوماسیون و هوشمند برنامه‌ریزی شهری، ساخت‌وساز، مدیریت، خدمات، تولید و بهبود کیفیت زندگی از طریق استفاده گسترده از فن‌آوری‌های اطلاعات نسل جدید اشاره دارد [۴].

سه زمینه اصلی در شکل‌گیری شهر هوشمند به‌طور سنتی، شهرها شامل سه جنبه اصلی هستند: سیاست، اقتصاد و جامعه. در نتیجه، سه حوزه اصلی شهر هوشمند عبارتند از دولت هوشمند، اقتصاد هوشمند و جامعه هوشمند.

دولت هوشمند

با توسعه سریع فن‌آوری‌های اطلاعات نسل جدید، امور دولتی سنتی از دولت الکترونیک به دولت هوشمند تغییر می‌کند. استفاده از اینترنت اشیا، رایانش ابری، اینترنت موبایل، هوش مصنوعی، داده کاوی و فن‌آوری‌های دیگر برای بهبود سطح اطلاعاتی دفتر دولت، نظارت، خدمات و تصمیم‌گیری به‌منظور تشکیل یک دولت جدید کارآمد، سریع و مناسب به‌عنوان دولت هوشمند شناخته می‌شود. در مقایسه با دولت الکترونیک سنتی، دولت هوشمند دارای ویژگی‌های تجهیزات کامل، پاسخ سریع، خدمات فعال، تصمیم‌گیری علمی و غیره است [۲].

اقتصاد هوشمند

اقتصاد هوشمند حامل معنی صنعت هوشمند است. صنعت هوشمند صنعتی با درجه بالایی از شاخص، شبکه‌سازی، خبرسازی، اتوماسیون و هوشمندی است. صنعت هوشمند یک صنعت متمرکز بر هوش و فن‌آوری است، نه یک صنعت آزمایشگاهی. در ژوئن ۲۰۱۱، دولت ایالات متحده آمریکا یک برنامه عملیاتی اولویت‌بندی شده در چهار جنبه از تولید هوشمند ایجاد کرد که شامل ساخت یک مدل صنعتی و یک بستر شبیه‌سازی برای تولید هوشمند و هوشمندانه، اکتساب و مدیریت داده‌های صنعتی مقرون‌به‌صرفه، یکپارچه‌سازی سطح شرکت سیستم‌های کسب‌وکار، کارخانجات و تأمین‌کنندگان، و آموزش و پرورش تولید هوشمند بود [۵]. در چین هم، نظرات متعددی در مورد تسریع یکپارچگی عمیق اطلاعات و صنعتی شدن توسط وزارت صنعت و فناوری اطلاعات، وزارت علوم و فناوری، وزارت دارایی، وزارت بازرگانی و SASAC با توجه به توسعه و استقرار

در مواجهه با توسعه فن‌آوری و درک رو به رشد مردم جهان، مردم به تدریج اساسی‌ترین نیازهای اساسی روزمره مانند غذا، آب و برق را درک کرده‌اند. زمانی که محصولات و خدمات بیشتری وجود داشته باشد، تمایلات مردم نیز برای استفاده از آن در حال گسترش است. مردم دیگر محدود برآوردن نیازهای روزانه خود به‌صورت فیزیکی و حضوری در تمام اقصی نقاط شهرهای جهان نیستند. بلکه به دنبال راه‌هایی برای بهبود شرایط زندگی خود هستند. در میان تمایلات بی‌شمار، با توجه به ارزش کوتاه‌مدت و بلندمدت که می‌تواند به ارمغان بیاورد، پروژه شهر هوشمند به‌عنوان یکی از گزینه‌های بسیار مطرح شده‌است. بسیاری از مطالعات، تعریف و کاربرد شهر هوشمند را مورد بررسی قرار داده‌اند، اما تعداد کمی از این ایده‌ها را به روند توسعه مرتبط دانسته‌اند [۱]. از آنجا که پروژه شهر هوشمند در شهرهای سراسر جهان هنوز در مرحله نظری و تاحدی کاربردی قرار دارد، مطالعات بیشتری برای کمک به دولت محلی برای تعیین بهتر حالت کلی و شکل‌گیری آینده این پروژه مورد نیاز است [۲]. در این مقاله با هدف ارائه اطلاعات مفید برای گروه‌های سرمایه‌گذاری و سیاست‌گذاران در زمان تصمیم‌گیری در طراحی و ساخت پروژه شهر هوشمند محلی در سطح جهان، این مقاله عوامل اصلی درگیر در ساخت پروژه شهر هوشمند در سطح جهانی و همچنین مزایای ساخت‌وساز را مورد ارزیابی قرار داده و روند توسعه پروژه را براساس ایده‌های نظری و اسناد رسمی صادر شده توسط دولت پیش‌بینی کرده‌است. یافته‌های ما، تعریف و اجرای پروژه‌های شهر هوشمند را به روند توسعه آنها مرتبط ساخت و داده‌های مفیدی را برای سیاست‌گذاران فراهم کرد، درحالی‌که آنها طراحی و ساخت پروژه‌های شهر هوشمند محلی خود را برای برقراری ارتباط با دهکده جهانی برنامه‌ریزی می‌کنند.

مفهوم شهر هوشمند

در دهه گذشته، اینترنت اشیا، رایانش ابری، اینترنت موبایل، داده‌های بزرگ و دیگر فن‌آوری‌های اطلاعاتی نسل جدید به سرعت توسعه یافته‌اند و ساخت‌وساز و عملکرد شهرهای هوشمند در سراسر جهان نیز در حال پیشرفت است. با پیشرفت در عمل، مفهوم شهر هوشمند نیز در حال تحول است، اما یک تعریف و مفهوم یکپارچه در سراسر جهان شکل نگرفته است [۳]. مفهوم شهر

از شهر، و در نتیجه ترویج تحول اقتصادی شهری و غیره است [۱۰].

چارچوب سیستم شهر هوشمند جهانی مبتنی بر زوج‌های دیجیتالی براساس ساخت زیرساخت‌های اطلاعات شهری، ما باید یک چارچوب سیستم شهر هوشمند براساس زوج‌های دیجیتالی بسازیم. از طریق نمایش دیجیتال عناصر، فرآیندها و اقدامات فضای فیزیکی در شهر هوشمند، تنظیم، پیش‌بینی، تشخیص، پایش و کنترل وضعیت عملیات، عملکرد، فعالیت‌ها، ساختار حاکمیت دیجیتال، فرآیند خدمات و تجهیزات هوشمند عملیاتی نهاد فیزیکی را می‌توان تحقق بخشید. براساس شهر هوشمند، فضای فیزیکی می‌تواند با پلتفرم‌های مجازی دیجیتال در زمان واقعی تعامل داشته باشد تا به بهینه‌سازی مشترک و تکرار مداوم دست یابد [۱۱]. بنابراین، معماری شهر هوشمند مبتنی بر زوج‌های دیجیتال را می‌توان به لایه ادراک فیزیکی، لایه تعامل، لایه میان‌افزار و لایه کاربرد تقسیم کرد. لایه حسگر فیزیکی در درجه اول شامل سنسورهای هوشمند، میکرو فرستنده و گیرنده، کنترل‌کننده‌ها، تجهیزات نظارتی و غیره است؛ لایه تعاملی در درجه اول شامل ۵ G (G ۶)، Wi-Fi، واسط انتقال و غیره است؛ لایه میان‌افزار در درجه اول شامل مخزن منبع، مخزن شی، کنسول داده و غیره است؛ و لایه کاربرد در درجه اول شامل برنامه‌های کاربردی، پایانه‌های هوشمند، صفحه‌گذاری دیجیتال تصویری و غیره می‌باشد [۱۲].

جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها در شهر هوشمند

با عمیق‌تر شدن ساخت‌وساز زیرساخت اطلاعات شهری و معماری شهر هوشمند دوگانه دیجیتال، ادارات و شرکت‌های دولتی مربوطه، منابع کلان داده را جمع‌آوری خواهند کرد. استفاده از فن‌آوری کلان داده برای پردازش این منابع داده، تجزیه و تحلیل داده‌ها، داده‌کاوی و یادگیری ماشین می‌تواند مدیریت اجرایی و سطح خدمات عمومی دولت را بهبود بخشد. ادارات، تولید، بهره‌برداری و سطح مدیریت بنگاه‌های اقتصادی، حجم عظیمی از اطلاعات تولید شده توسط شهرهای هوشمند را به ثروت نامرئی عظیمی از جامعه تبدیل می‌کنند [۱۳].

مزایای ساخت شهر هوشمند در سطح جهانی

ساخت یک شهر هوشمند تأثیر امیدوارکننده‌ای بر روی سرمایه‌گذاران دارد. براساس ساختار فعلی مدل ارزیابی جامع اقتصادی و اجتماعی، احتمال مزایای خوب پروژه شهر هوشمند

هوشمند صادر شد. سیستم تولید مدرن به‌عنوان یکی از اصول اساسی برای ارتقاء یکپارچگی عمیق اطلاعات و صنعتی شدن معرفی شد [۶].

جامعه هوشمند

جامعه هوشمند به یک جامعه بسیار هوشمندانه‌ای اشاره دارد که نیازهای اجتماعی شهروندان را با برنامه‌ریزی هوشمندانه فراهم می‌آورد. جامعه هوشمند عمدت شامل دو جنبه است: اول، عقلانی کردن زیرساخت‌های اجتماعی مانند آموزش هوشمند، درمان و بهداشت هوشمند، مدرسه هوشمند، بیمارستان هوشمند؛ دوم، هوشمندسازی زندگی برای شهروندان مانند اجتماع هوشمند و خانه هوشمند. جامعه هوشمند مرحله پیشرفته‌ای از توسعه اطلاعات اجتماعی است. ایجاد یک جامعه هوشمند بخش مهمی از تضمین و بهبود معیشت (گذران زندگی به‌صورت عادلانه) مردم است [۷].

فن‌آوری کلید شهر هوشمند جهان

اینترنت اشیا، رایانش ابری، اینترنت موبایل، داده‌های بزرگ، فن‌آوری اطلاعات فضایی و هوش مصنوعی شش فن‌آوری کلیدی شهر هوشمند هستند [۸]. با قرار دادن و تجهیز سنسورها در ساختمان‌ها و تقاطع‌ها در هر گوشه جهان و در سیستم‌هایی که ارتباط نزدیکی با تولید و زندگی دارند، مانند سیستم ارتباطی، سیستم تأمین برق، سیستم تأمین آب و خط لوله نفت و گاز، اینترنت اشیا تشکیل شده توسط آنها می‌تواند به اینترنت متصل شود، به‌طوری‌که درک یکپارچه‌سازی داده‌های منابع جامعه انسانی و سیستم فیزیکی، ایجاد یک شهر تولید و به شیوه‌ای پویاتر زندگی کند [۹].

ساختار مدل‌سازی اطلاعات شهر (CIM)

اگر ما شهر هوشمند را به‌عنوان هدف کلی توسعه یک شهر در نظر بگیریم، یک عنصر ضروری، ساخت زیرساخت‌های اطلاعات شهری است. به‌طور کلی، ساخت زیرساخت اطلاعات شهری براساس سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، ادغام سنسورهای بی‌سیم، اینترنت اشیا، اینترنت و هوش مصنوعی، شبکه‌سازی، دیجیتال‌سازی، تجسم و توجه هوشمندانه با فن‌آوری اطلاعات به همه منابع شهری، به منظور دستیابی به درک و بازخورد سریع‌تر

قاره افریقا: شهر فناوری کنزا کنیا

توسط دولت کنیا در سال ۲۰۰۸ راه‌اندازی شد و به‌عنوان یک مرکز فناوری و پروژه شاخص چشم‌انداز ۲۰۳۰ کنیا طراحی شده است. این توسعه در حال حاضر در زمینی به مساحت ۲۰ میلیون متر مربع قرار دارد و هدف آن تبدیل شدن به یک شهر هوشمند پیشگام در آفریقا است. تحولات جدید در کنزا نویدبخش رشد اقتصادی، بهبود استانداردهای زندگی و رسیدگی به چالش‌های شهرنشینی این شهر هستند. به‌طور کلی توسعه موفقیت‌آمیز شهر جدید در کنزا کنیا نیازمند تلاش مشترک و هماهنگ بین، مشارکت‌کنندگان بخش خصوصی، سازمان‌های جامعه مدنی و جوامع محلی است. با وجود سیاست‌ها و چارچوب‌های مناسب، تحولات در جدید در شهر کنزا این پتانسیل را دارد که در سال‌های آتی، محرک اصلی رشد اقتصادی، توسعه اجتماعی و پایداری زیست‌محیطی منطقه باشد [۱۶].

قاره آسیا: شهر سنگاپور

براساس شاخص IMD Smart City Index (سال ۲۰۲۴)، سنگاپور موفق به کسب رتبه اول «هوشمندترین شهر» در بین ۱۰۹ شهر جهان شده است. در این نظرسنجی اطلاعاتی در رابطه با چگونگی ترکیب یک شهر با فناوری، رهبری و قابلیت زندگی در محیط شهری، جمع‌آوری شده است. تلاش فراوان دولت مردان و رهبران سنگاپور این شهر را به یکی از مراکز نوآوری دیجیتال با سریع‌ترین سرعت ممکن در سطح جهانی تبدیل کرده است. به همین علت، سنگاپور در دنیای امروز به‌عنوان یک قهرمان غیرقابل انکار در حوزه حمل‌ونقل هوشمند، سلامت و ایمنی، حکمرانی به شیوه‌ای کارآمد و به‌طور کلی زیست‌پذیر شناخته می‌شود. سه دلیل مهم و اصلی که باعث شده شهر هوشمند سنگاپور در سطح جهانی رتبه یک را کسب کند، شامل موارد ذیل هستند:

- اولین دلیل توجه به مسئله سلامت و ایمنی: شهر هوشمند سنگاپور بر ارائه مدل‌های مشارکتی و مردم‌محور خود در سطح جهانی تمرکز زیادی داشته است. به‌طور کلی، می‌توان گفت سنگاپور محیطی برای سلامت ایجاد کرده که با کمک خلاقیت و نوآوری به افزایش کیفیت خدمات مراقبتی و پزشکی این شهر منجر شده است. با کمک تکنولوژی‌ها و فناوری‌های بسیاری نظیر دستگاه‌های کنترل از راه دور و پلتفرم‌های ارائه‌دهنده خدمات دیجیتال امکانات مختلف مراقبتی و بهداشتی هم برای

۴۴/۶۴ درصد است و احتمال کلی آن ۷۳/۶۲ درصد است که نشان‌دهنده سودآوری مالی قابل‌قبول و ریسک پروژه برای بدنه سرمایه‌گذاری است [۴].

ایجاد یک شهر هوشمند یک راه مهم برای حل یا کاهش بیماری‌های مختلف شهری، ترویج توسعه اقتصاد سبز شهری و پیشرفت اجتماعی و تضمین توسعه پایدار شهری است. با شکل دادن به ارزش‌های عمومی شهر از طریق شهر هوشمند، می‌تواند زندگی شهری بهتری را برای شهروندان فراهم کند. در این میان خدمات انسانی بیشترین وزن و پس‌از آن تجربه شهروندی قرار دارد. مجموع آنها بیش از ۵۰ درصد است در حالی که وزن اصلاحات و نوآوری حداقل است، که این واقعیت را نشان می‌دهد که ساخت شهر هوشمند ارزش راحتی مهمی برای مردم دارد [۱۴]. در عین حال، ساخت یک شهر هوشمند می‌تواند توسعه صنایع و کاربردهای مرتبط را ارتقا دهد. از زمان انتشار دوازدهمین برنامه پنج‌ساله در چین در سال ۲۰۱۱، اینترنت صنعت ایشیا مربوط به معیشت مردم شاهد رشد و توسعه سریع، مانند امنیت هوشمند، حمل‌ونقل هوشمند، و بخش‌های دیگر بوده است [۶]. توسعه زنجیره صنعتی، انگیزه‌ای مثبت برای توسعه کل شهر هوشمند، تقویت و تعمیق مؤثرتر شهروندان را فراهم می‌آورد.

روند توسعه شهر هوشمند

براساس پیش‌بینی‌های آینده نگاری IDC: شهرها و جوامع هوشمند جهانی تا سال ۲۰۳۰، با سرمایه‌گذاری مربوط به شهرهای هوشمند و جوامع هوشمند در کشورهای جهان در زمینه ایمنی عمومی شهرها، حمل‌ونقل هوشمند، سیاست هوشمند، حفاظت از محیط زیست هوشمند، ضرورت‌های شهر هوشمند و سایر زمینه‌ها تا ۵۰ درصد از شهرها جهانی فیزیکی و دنیای دیجیتال را از طریق فناوری‌هایی مانند اینترنت ایشیا، هوش مصنوعی و زوج‌های دیجیتال برای بهبود سطح مدیریت از راه دور زیرساخت‌های کلیدی و خدمات دیجیتال ادغام خواهند کرد و وارد فضای دیجیتال می‌شوند [۹]. پتانسیل توسعه و چالش‌های شهرهای هوشمند نیز در کنار یکدیگر وجود دارند. ساخت شهر هوشمند در جهان با چهار چالش عمده روبرو است: چالش فن‌آوری اطلاعات؛ چالش بهبود توانایی؛ چالش درک، عادت‌ها و سیستم‌ها برای انطباق با شهر هوشمند؛ محیط حقوقی تعدیل شده است [۱۵].

پنج شهر هوشمند منتخب در پنج قاره جهان

برنامه‌ریزان هلسینکی ادعا کرده‌اند که تا سال ۲۰۳۵، هدف انتشار صفر کربن را در پایتخت فنلاند تحقق خواهند بخشید که شواهد و اقدامات در حال انجام برای کاهش تولید گازهای آلاینده حاکی از اثبات این ادعا در تاریخ وعده داده شده است. گزارش‌ها نشان می‌دهد که تنها در سال ۲۰۱۷ و در پی رویکردهای اجرا شده در سراسر شهر، انتشار گاز کربن کاهش ۲۷ درصدی را نسبت به سال ۱۹۹۰ تجربه کرد و از آن پس نیز نمودار تولید گازهای کربن در پایتخت فنلاند، روندی رو به پایین داشته است. کاهش ۶۹ درصدی انتشار کربن ناشی از ترافیک شهری از دیگر اهداف مهم مدیران هلسینکی تا سال ۲۰۳۵ به‌شمار می‌رود که قرار است از طریق اعمال اقداماتی نظیر ترویج تردد از طریق اتوبوس‌های عمومی و وسایل نقلیه الکتریکی و همچنین، توسعه خطوط مترو و شبکه‌های شارژ خودروهای برقی تحقق پیدا کند. همچنین، از آنجا که بیش از نیمی از انتشار گازهای گلخانه‌ای مربوط به گرمایش شهری است، اعمال اقدامات مربوط به افزایش کارآمدی انرژی از دیگر اهداف مهم مدیران پایتخت فنلاند به‌حساب می‌آید که می‌تواند کاهش ۸۰ درصدی تولید آلاینده‌ها را از سازه‌ها به‌دنبال داشته باشد [۱۸].

قاره آمریکا: نیویورک

صدها حسگر و فناوری هوشمند در مناطق مختلف شهر نیویورک به‌عنوان بخشی از برنامه آزمایشی شهر هوشمند در سال ۲۰۲۰ آزمایش و قرار گرفته‌اند. این برنامه داده‌ها را جمع‌آوری می‌کند تا به مدیریت خدماتی مانند مدیریت زباله و جمع‌آوری کارآمدتر کمک کند. نیویورک همچنین شاهد معرفی هاب‌های هوشمند با فناوری بدون تماس، قابلیت‌های Wi-Fi و همچنین ایستگاه‌های شارژ آنلاین به جای باجه‌های تلفن بوده است. خدمات اشتراک‌گذاری خودرو بسیار زیاد است که به‌کاهش مجموع آلاینده‌ها و ازدحام ترافیک کمک می‌کند. به‌عنوان تلاشی برای به اوج رساندن دیدگاه‌ها و خلاقیت‌های محلی، شهر نیویورک مسابقه‌ای سالانه با یک جایزه نقدی سخاوتمندانه برای برنامه‌هایی برگزار می‌کند که به بهترین وجه از مجموعه داده‌های باز شهر استفاده می‌کنند [۱۹].

قاره اقیانوسیه: بریزبن، استرالیا

بسیاری از شهرهای استرالیایی در لیست نقاط هوشمند دنیا قرار دارد، با این حال بریزبن یکی از موفق‌ترین شهرها در این زمینه به

جمعیت سالمند شهر در نظر گرفته شده است. ایمنی و تاب‌آوری در فناوری از شاخص‌های مهم یک شهر هوشمند است که سنگاپور نمونه بارز هردوی آنهاست.

- دومین دلیل توجه به حمل‌ونقل هوشمند: مقامات سنگاپور با ایده استفاده از راه‌حل‌های پیشرفته حمل‌ونقل هوشمند، سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی مؤثر و کارآمدی براساس نیاز شهروندان ارائه کرده‌اند. براساس گزارش McKinsey (۲۰۱۸)، سنگاپور بهترین سیستم حمل‌ونقل عمومی را در سطح جهانی دارد. همچنین، فناوری و تکنولوژی نقش کلیدی و مهمی در ابتکارات حمل‌ونقل سنگاپور دارد و مسئولان شهری فعالانه راه‌حل‌های هوشمند را برای ترافیک ساخته و اجرا کرده‌اند. به‌عنوان مثال، وجود سیاست‌های سختگیرانه برای مالکیت خودرو باعث افزایش و ترغیب استفاده شهروندان به حمل‌ونقل عمومی شده است.

- سومین دلیل خلق چشم‌انداز شهری هوشمند براساس خدمات اجرایی: شهر هوشمند سنگاپور اقتصاد بازار آزاد دارد و سومین کشور با GDP بالا در جهان است. در واقع، می‌توان گفت این شهر در مدت چند دهه به‌طور قابل توجهی توسعه یافته است. سنگاپور به‌منظور جذب سرمایه‌گذارهای خارجی، فضایی را ایجاد کرده که در آن فساد مالی وجود ندارد و نرخ مالیات‌ها بسیار پایین است. استفاده از داده‌ها و اطلاعات، فناوری و دیجیتال‌شدن از عوامل اصلی تبدیل سنگاپور به هوشمندترین شهر جهان است. علاوه‌بر این، سنگاپور به‌عنوان یکی از سریع‌ترین اقتصادهای در حال رشد جهان شناخته می‌شود. حمایت سنگاپور از همکاری بخش‌های دولتی/خصوصی و اکوسیستم استارت‌آپ، این کشور را قادر ساخته تا راه‌حل‌های فناوری دیجیتال را نوآوری و ابداع کند. یک شهر با زیست‌پذیری و حمل‌ونقل ارتقا یافته، معیار استاندارد کیفیت زندگی ساکنان آن است. به همین علت، دولت سنگاپور فعالانه سعی در ارائه پیشرفت‌هایش در حوزه تکنولوژی دارد تا بدین طریق بتواند هر گونه امنیت، تسهیلات و آسایش را در اختیار شهروندان خود قرار دهد. سنگاپور با سرمایه‌گذاری‌های مداوم در حوزه‌های مختلفی همچون حمل‌ونقل، سلامت، امنیت شهروندان، توسعه کسب‌وکار و انرژی، بدون شک به‌عنوان یکی از هوشمندانه‌ترین کشورهای جهانی باقی خواهد ماند [۱۷].

قاره اروپا: هلسینکی در فنلاند

می‌باشد، که ریسک قابل قبول و سودآوری را برای بدنه سرمایه‌گذاری تضمین می‌کند. ساخت آن همچنین می‌تواند بسیاری از مشکلات اجتماعی طولانی مدت را حل کند و در نتیجه زندگی شهری را بهبود بخشد. این یافته‌ها اطلاعات مفیدی را برای گروه سرمایه‌گذاری و سیاستگذاران جهت تصمیم‌گیری در ساخت پروژه شهر هوشمند فراهم می‌کند. در همین حال، یافته‌های ما دیدگاهی را برای تصمیم‌گیرندگان ارائه می‌دهد تا زمینه‌های اصلی و فن‌آوری‌های کلیدی ساخت‌وساز شهر هوشمند را بیشتر مورد توجه قرار داده و آنها را براساس شرایط محلی خود تنظیم کنند. هیچ مدل واحدی برای ساخت شهر هوشمند وجود ندارد. چیزی که ثابت می‌ماند این است که شهرهای هوشمند باید از داده به‌عنوان منبع اولیه، سیستم‌های طراحی در اطراف آن استفاده کنند و توسعه نسل‌های جدید را تشویق کنند. زیرساخت‌های اطلاعاتی و شش فن‌آوری کلیدی، مشارکت متنوع دولت‌ها، کسب‌وکارها، مؤسسات تحقیقاتی و شهروندان شهری را بهبود بخشیده، با ایجاد یک اکوسیستم نوآوری شهری و تحقق بخشیدن به توسعه پایدار شهرها همکاری می‌کنند. از آنجا که این مقاله عمدتاً مبتنی بر ایده‌های نظری و اسناد رسمی منتشر شده توسط دولت است، تحلیل‌های کمی اندکی دارد. بنابراین، تحقیقات بیشتری برای اضافه کردن به تجزیه و تحلیل کمی مورد نیاز است.

منابع و ماخذ

- [1]. زینالی عظیم، علی، فدائی حقی، مهری، علیزاده، امین، جدیری عباسی، محمد، فتحی پور، رضا، شریفی، محمدعلی. (۱۴۰۳). سنجش عوامل موثر در عدم توسعه شهر هوشمند پایدار تبریز. فصلنامه علوم محیطی، ۲۲(۳)، ۵۱-۶۸
- [2]. Müller, A. R., Park, J., & Sonn, J. W. (2022). Finding the old in the new: Smart cities in the national and local trajectories of urban development. *International Journal of Urban Sciences*, 27(sup1), 1-9.
- [3]. زینالی عظیم، علی، بابازاده اسکویی، سولماز. (۱۴۰۱). تحلیلی بر ایجاد شهر هوشمند قابل زندگی در شهر تبریز. اقتصاد و برنامه ریزی شهری، ۳(۴)، ۲۴-۳۷.
- [4]. Iten, R.; Wagner, J.; Zeier Roschmann, (2024), A. On the Adoption of Smart Home Technology in Switzerland: Results from a Survey Study Focusing on Prevention and Active Healthy Aging Aspects. *Smart Cities*, 7, 370-413.

حساب می‌آید. مدیران بریزبن رویکرد «شهر هوشمند و متصل به اینترنت» را در پیش گرفته‌اند و در نظر دارند از طریق برقراری تعامل با شهروندان، صاحبان کسب‌وکار و محققان و با استفاده از تجزیه و تحلیل داده‌ها، رویکردهای جدیدی برای افزایش پایداری و در نتیجه بهبود کیفیت زندگی مردم بیابند. مدیران شهر اخیراً با آغاز پروژه «قطب‌های هوشمند بریزبن» انواعی از سنسورهای دیجیتالی را در سراسر شهر نصب کرده‌اند تا از این طریق به جمع‌آوری داده‌ها در مورد سیستم‌های روشنایی، کیفیت هوا و تغییرات اقلیمی بپردازند و در نتیجه به بهبود کیفیت زندگی مردم کمک کنند. اهدافی نظیر هوای پاک، افزایش تنوع زیستی، کاهش انتشار کربن، حمل‌ونقل سبز و به حداقل رسیدن تولید ضایعات در رأس برنامه‌های دولت بریزبن تا سال ۲۰۳۰ قرار دارد [۱۹].

نتیجه‌گیری

مفهوم شهر هوشمند به یک برنامه سیاست‌گذاری فراگیر در سراسر جهان تبدیل شده است. از شهرهای بزرگ آسیا تا شهرهای متوسط در شمال و جنوب جهانی، سیاستمداران، برنامه‌ریزان و کارآفرینان فناوری این مفهوم را پذیرفته و ترویج کرده‌اند. شهر هوشمند یک مفهوم در حال توسعه و محصول اطلاع‌رسانی شهری تا مرحله خاصی است. با بهبود مستمر تکنولوژی، اقتصاد، جامعه و فن‌آوری‌های جدید مانند داده‌های بزرگ، رایانش ابری، اینترنت اشیا، اطلاعات جغرافیایی و اینترنت موبایل، برنامه‌های هوشمند و یک مدل شهری جدید و پایدار می‌تواند ایجاد شود. سه حوزه اصلی شهر هوشمند وجود دارد: دولت هوشمند، اقتصاد هوشمند و جامعه هوشمند. در میان این زمینه‌ها، با کمک فن‌آوری‌ها و الگوریتم‌های جدید، دولت می‌تواند عملکرد خود را مؤثرتر اجرا کند؛ اقتصاد هوشمند می‌تواند مبتنی بر یک صنعت اطلاعاتی یکپارچه باشد. و جامعه می‌تواند به عقلانی‌سازی تعهدات اجتماعی و بهبود شرایط زندگی مردم دست یابد. آنها فن‌آوری‌های کلیدی شهر هوشمند شامل اینترنت اشیا، اینترنت موبایل، داده‌های بزرگ، فن‌آوری اطلاعات فضایی و هوش مصنوعی هستند. ادغام این فن‌آوری‌های کلیدی و تجزیه و تحلیل داده‌ها ساخت BIM و GIS، دستیابی به CIM و سیستم هوشمند دوگانه دیجیتال به‌عنوان هدف نهایی برای ترویج تحول اقتصادی شهری و توسعه را ممکن می‌سازد. ساخت پروژه شهر هوشمند پتانسیل زیادی دارد: احتمال مزایای خوب آن ۴۴/۶۴ درصد است، و احتمال کلی ۷۳/۶۲ درصد

- [13]. Molchanov, M.A., Molchanova, V. (2022). Smart City A Global Project of Late Capitalism. In: Lebedeva, M., Morozov, V. (eds) Turning Points of World Transformation. Palgrave Macmillan, Singapore.
- [14]. Borotová, B. (2022). Cultural heritage challenges and Smart city concept (a strategic planning tool in a strategic planning framework). *plaNNext-next generation planning*, 12: 31-51.
- [15]. Abadía, J.J.P.; Walther, C.; Osman, A.; Smarsly, K. (2022), A systematic survey of Internet of Things frameworks for smart city applications. *Sustain. Cities Soc.*, 83, 103949.
- [16]. Nduru, J, (2021), Digital Kenya An Entrepreneurial Revolution in the Making Kenya's Konza Techno-City flawed and floundering Neoliberal Urbanism. *Palgrave Studies of Entrepreneurship in Africa*.
- [17]. Sipahi, E, B, Saayi, Z, (2024), The world's first "Smart Nation" vision: the case of Singapore, *Smart Cities and Regional Development Journal*, 8(1), 41-58.
- [18]. Hämäläinen, M. (2020). A Framework for a Smart City Design: Digital Transformation in the Helsinki Smart City. In: Ratten, V. (eds) *Entrepreneurship and the Community. Contributions to Management Science*. Springer, Cham.
- [19]. Carboni, S, (2024), Smart Cities in comparison: An analysis of the best Smart Cities, *Smart Cities and Regional Development Journal*, 8(3): Special Edition: Innovation, Sustainability and Technology.
- [5]. زینالی عظیم, علی. (۱۴۰۱). ارزیابی پایداری شهری و محیطی از طریق رشد هوشمند شهری نمونه موردی: شهر جلفا. *جغرافیا و پایداری محیط*, ۱۲(۱), ۱۹-۳۹.
- [6]. Castells, M. (2020). The information city, the new economy, and the network society. In F. Webster, & R. Blom (Eds.), *The information society reader* (pp. 150-164). London: Routledge.
- [7]. Yuan, J., Lu, Y., Wang, C., Cao, X., Chen, C, Cui, H., & Wang, C. (2020). Ecology of industrial pollution in China. *Ecosystem Health and Sustainability*, 6(1), 1779010.
- [8] Jose, R.; (2024), Rodrigues, H. A Review on Key Innovation Challenges for Smart City Initiatives. *Smart Cities*, 7, 141-162.
- [9]. Parygin, D.; Sadovnikova, N.; Gamidullaeva, L.; Finogeev, A.; Rashevskiy, N. Tools and Technologies for Sustainable Territorial Development in the Context of a Quadruple Innovation Helix. *Sustainability* 14(15), 9086.
- [۱۰]. عنابستانی, علی اکبر, کلانتری, محسن, نیکنامی, نسیم. (۱۴۰۲). تحلیل فضایی شاخص‌های شهر هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا در کلانشهر مشهد. *برنامه ریزی فضایی*, ۱۳(۴), ۷۱-۹۶.
- [11]. Canadian Security Intelligence Service. (2022). Smart Cities and National Security. Retrieved from www.canada.ca/en/security-intelligence-service/corporate/publications/smart-cities-national-security
- [12]. Chu, Z., Cheng, M., & Yu, N. N. (2021). A smart city is a less polluted city. *Technological Forecasting and Social Change*, 172, Article 121037.

الگو برداری انسان از جاندار سخت دوست و تاب آور: تاردیگریدها

محمدحسین خدابنده‌لو^۱، علی اکبر موسوی موحدی^{۱،۲،۳*}

چکیده

این مقاله به بررسی تاردیگریدها، موجودات میکروسکوپی با توانایی خارق‌العاده در تحمل شرایط محیطی سخت، و ارتباط آنها با مفهوم تاب‌آوری انسانی و شاخص‌های توسعه انسانی (HDI) می‌پردازد. تاردیگرید یا خرس آبی، یک گروه از بی‌مهرگان میکروسکوپی هستند که به دلیل مقاومت بالایشان در برابر شرایط محیطی بسیار سخت شناخته می‌شوند. این موجودات میکروسکوپی از نظر اندازه معمولاً بین ۰/۳ تا ۰/۵ میلی‌متر هستند و در محیط‌های مختلف از جمله اقیانوس‌ها، جنگل‌ها و حتی بر روی خزه‌ها و گل‌سنگ‌ها زندگی می‌کنند. تاردیگریدها با استفاده از مکانیسم‌هایی نظیر کریپتوبیوزیس که نوعی حالت متابولیکی خاص و برگشت‌پذیر است، قادرند در محیط‌هایی با دماهای شدید، کم‌آبی، تشعشعات مضر و فشارهای بالا زنده بمانند. تاب‌آوری نیز به‌عنوان معیاری برای سنجش توسعه انسانی، بر توانایی کشورها و جوامع در مقابله با معضلات اقتصادی و اجتماعی تأکید دارد. کریپتوبیوز حالتی از عدم فعالیت شدید در پاسخ به شرایط نامطلوب محیطی است. در این مقاله، شباهت‌ها و تفاوت‌های بین تاب‌آوری تاردیگریدها و شاخص توسعه انسانی مورد بحث قرار گرفته و پیشنهادهایی برای بهره‌برداری از طریق الگو و الهام‌گیری مولکولی از سازگاری تکاملی تاردیگریدها، نظیر پروتئین‌های شوک حرارتی و سازوکارهای ترمیم DNA، مطرح می‌شود. البته در این مقاله نگاهی دیگر بر تعریف شاخص‌های توسعه انسانی شده‌است، بدین معنی که انسان توسعه یافته، وجودی با ضمیر متعالی است که قوانین الهی و ملکوتی پدیده‌های طبیعت را می‌شناسد و با علم و ایمان خود تاب‌آوری دارد تا در اشیا و پدیده‌های طبیعت غواصی نماید و گوهرها را بیابد و برای تسهیل امور خود و جامعه از آن بهره‌مند شوند.

واژگان کلیدی: تاردیگرید، شاخص توسعه انسانی، ضمیر متعالی، تاب‌آوری، سخت‌دوست، طبیعت، زیست‌فناوری

* عهده‌دار مکاتبات: استاد. تلفن: ۹۵۱۷ ۶۶۴۰۹۸۲۱، شماره: ۶۶۴۰۴۶۸۰ (۹۸۲۱)، نشانی الکترونیکی: moosavi@ut.ac.ir

^۱ مرکز تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران

^۲ USERN، شبکه جهانی علمی، آموزش و پژوهش، مرکز تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۳ عضو پیوسته فرهنگستان علوم ایران، عضو پیوسته آکادمی جهانی علوم (تواس)، عضو پیوسته آکادمی علوم جهان اسلام

مقدمه

انسان و طبیعت دو جزء جدایی‌ناپذیر هستند و انسان خود زیرمجموعه سیستم‌های طبیعی می‌باشد [۱]. در مقاله‌های بسیاری بر نحوه استفاده از الگو و الهام‌گیری از طبیعت برای بهبود سیستم‌های ساخت دست بشر تأکید شده است [۲،۳]. برای نمونه مقاله‌ای درباره اهمیت بهره‌گیری از سیستم‌های زیستی برای بهبود سیستم شهری و کشاورزی به‌چاپ رسیده است [۴]. در مقاله‌ای دیگر درباره جایگاه اجتماعی مورچه‌ها و زنبورهای عسل در کندوهایشان و استفاده از الگوهای رفتاری آنها پژوهش شده و نتایج بررسی علمی ژنوم و علوم اعصاب آن با رفتارهای اجتماعی انسان مقایسه گردیده است [۵]. در بعضی از مقالات بهره بردن از روش‌های مهندسی ژنتیکی در جاندارانی مانند تاردیگرید به‌صورت مستقیم گزارش شده است [۶-۸]. تاردیگرید یا خرس آبی یک گروه از بی‌مهرگان میکروسکوپی هستند که به دلیل مقاومت بالایشان در برابر شرایط محیطی بسیار سخت شناخته می‌شوند. این موجودات میکروسکوپی از نظر اندازه معمولاً بین ۰/۳ تا ۰/۵ میلی‌متر هستند و در محیط‌های مختلف از جمله اقیانوس‌ها، جنگل‌ها و حتی بر روی خزه‌ها و گل‌سنگ‌ها زندگی می‌کنند. تاردیگریدها دارای بدنی کوچک و فشرده هستند که شامل ۸ پا است. هر یک از این پاها دارای چنگال‌های کوچکی هستند که به آنها در حرکت کمک می‌کند. یکی از ویژگی‌های منحصر به فرد تاردیگریدها این است که می‌توانند در شرایط فوق‌العاده سخت مانند فشارهای بالا، دمای بسیار سرد یا بسیار گرم، تابش اشعه‌های مضر و حتی در خلاء فضایی زنده بمانند. این موجودات توانایی قرار گرفتن در حالت کریتوبیوزیس را دارند، یعنی می‌توانند فعالیت‌های متابولیکی خود را متوقف کنند و به حالتی شبیه مرگ موقت وارد شوند که به آنها اجازه می‌دهد تا زمانی که شرایط محیطی بهبود پیدا کند، زنده بمانند [۹].

این موجودات به دلیل مقاومت شگفت‌انگیزشان موضوع تحقیقات فراوانی در زیست‌شناسی و زیست‌فناوری هستند [۶-۸]. در این مقاله، سازگاری تاردیگریدها به‌عنوان یک الگو از طبیعت برای تعریف شاخص‌های توسعه انسانی از جمله تحمل و تاب‌آوری مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد.

طبیعت

طبیعت همواره در تلاطم است تا سیستم‌هایی مقرون به صرفه ایجاد کند. سیستم‌های طبیعی زمان خیلی زیادی در دسترس داشته‌اند که طبق قوانین موجود به بهترین شکل ممکن تکامل پیدا کنند. انسان خود به‌عنوان یک سیستم مقرون به صرفه پیچیده به وجود آمده است و از ابتدای آفرینش دائماً در حال مطالعه و کشف قوانین حاکم بر طبیعت بوده است. یکی از این سیستم‌های مقرون به صرفه تاردیگرید است؛ این موجود به گونه‌ای سازگاری پیدا کرده است که در طیف گسترده‌ای از شرایط بحرانی توانایی زندگی کردن و یا حداقل جان سالم به در بردن را دارا می‌باشد.

تاردیگرید: معرفی و ویژگی‌ها

تاردیگرید^۱ در زبان عامیانه و محلی، تحت عنوان خرس آبی و یا خوکیچه خزه‌ای شناخته می‌شود [۹]. آنها جزو شاخه‌ی ریز-جانوران هشت‌پای قطعه قطعه می‌باشند [۱۰]؛ احتمالاً این موجود در سال ۱۷۷۳ میلادی شناسایی و توصیف و سپس در سال ۱۷۷۷، تاردیگرید^۲ به معنای آهسته‌گامان، نامیده شده‌اند [۱۱]. آنها در مناطق مختلف بیوسفر^۳ از قله کوه‌ها گرفته تا اعماق دریاها، جنگل‌های بارانی استوایی و حتی قطب جنوب یافت شده‌اند. تاردیگریدها یکی از انعطاف‌پذیرترین و سازگارترین جانوران شناخته شده هستند [۱۲]. گونه‌هایی منحصر به فرد هستند که می‌توانند در شرایط بسیار سخت زنده بمانند [۱۰]. تاردیگریدها همچنین پس از این که در معرض فضای خارجی کره زمین قرار گرفتند توانایی بقا داشتند و از این آزمایش‌ها نیز جان سالم به در برده‌اند [۱۳]. حدود ۱۳۰۰ گونه شناخته شده در شاخه تاردیگریدها وجود دارد که بخشی از ابرشاخه^۴ اکدیوسوزوآ^۵ می‌باشد؛ این ابرشاخه متشکل از جانورانی مانند بندپایان^۶ و نماتودها^۷ است که توسط پدیده اکدیسیس^۸ رشد می‌کنند. اولین اعضای حقیقی شناخته شده متعلق به این گروه در کهربایی مربوط به دوران کرتاسه^۹ (۱۴۵ تا ۶۶ میلیون سال پیش) و در آمریکای شمالی یافت شدند؛ احتمالاً منشأ اولیه‌ی آنها به‌طور قابل ملاحظه‌ای قدمتی بیشتر دارد. نزدیک‌ترین خویشاوندان آن منشأ اولیه مربوط به دوران کامبرین^{۱۰} (بیش از ۵۰۰ میلیون سال پیش) می‌باشد [۱۴].

¹ Tardigrade

² Tardigrada

³ Biosphere

⁴ Superphylum

⁵ Ecdysozoa

⁶ Arthropods

⁷ Nematodes

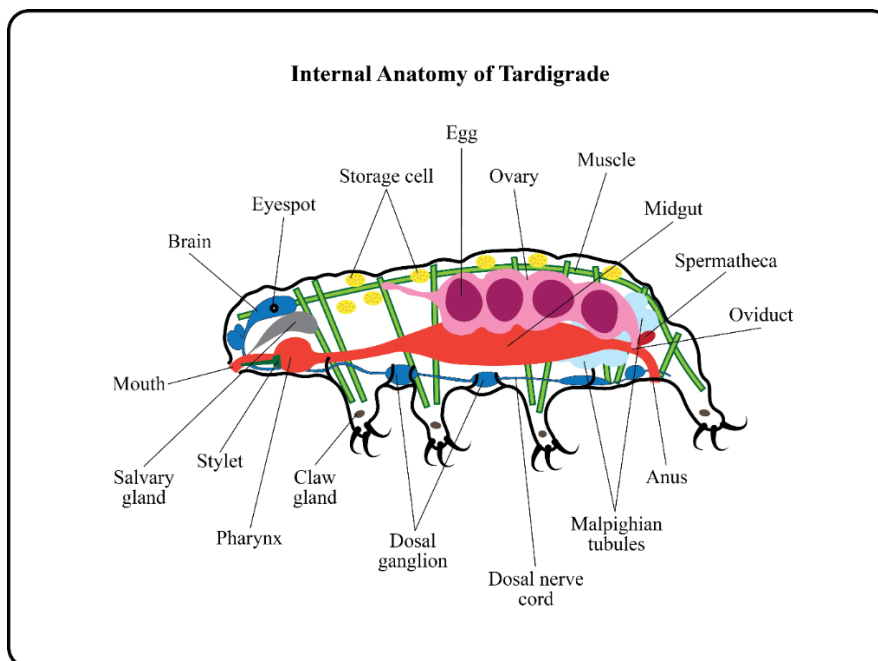
⁸ Ecdysis

⁹ Cretaceous

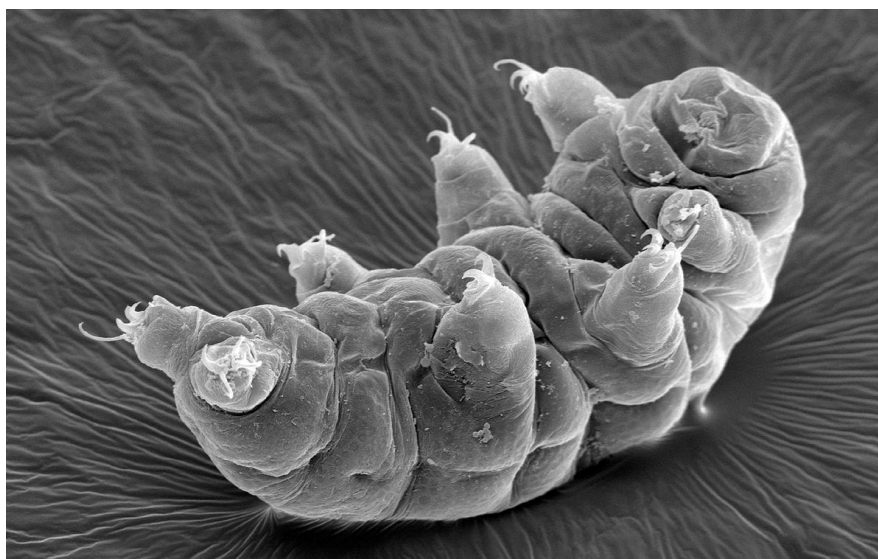
¹⁰ Cambrian

خرزه‌ها و گل‌سنگ‌ها به وفور یافت می‌شوند و از سلول‌های گیاهی، جلبک‌ها و بی‌مهرگان کوچک‌تر تغذیه می‌کنند. در فرایند جمع‌آوری، می‌توان آنها را زیر یک میکروسکوپ با بزرگنمایی کم نیز مشاهده کرد [۱۶]. شکل ۱ آناتومی داخلی عمومی این جانور را نشان داده است. شکل ۲، تصویر حقیقی یک تاردیگرید را در زیر میکروسکوپ الکترونی نشان داده است.

معمولاً در صورتی که تاردیگریدها به‌طور کامل رشد کنند، حدود نیم میلی‌متر طول خواهند داشت. آنها کوتاه و فربه بوده، بدن پنج بخشی شامل چهار قطعه مجزا به‌علاوه قطعه سر دارند. هر کدام از آن چهار بخش دارای یک جفت پا می‌باشد؛ هر یک از پاها به تعدادی پنجه (معمولاً چهار تا هشت) یا دیسک مکشی ختم می‌شود. بدن تاردیگرید حدوداً از ۱۰۰۰ سلول تشکیل شده و دارای اندام‌های کوچک در آناتومی مخصوص خود می‌باشد [۱۵]. تاردیگریدها در



شکل ۱: آناتومی داخلی تاردیگرید؛ نمای جانبی.



شکل ۲: تصویر حقیقی یک تاردیگرید زیر میکروسکوپ الکترونی؛ تصویر از وب‌سایت LiveScience آورده شده است.

تاردیگرید: سازگاری‌های تکاملی

تاردیگریدها توانایی بالایی در تحمل شرایط محیطی بسیار سخت دارند و از مکانیسم کریپتوبیوزیس^۱ برای بقا در شرایط نامطلوب استفاده می‌کنند [۱۷]. در زبان یونانی *crypto* به معنی پنهان نمودن و *biosis* به معنی حالت زندگی است. کریپتوبیوزیس شامل چهار حالت اصلی است: آنهیدروبیوزیس^۲ (خشکی)، کرایوبیوزیس^۳ (انجماد)، آنوکسی بیوزیس^۴ (کمبود اکسیژن)، و اسموبیوزیس^۵ (غلظت نمک بالا) [۱۸]. از میان این حالت‌ها، آنهیدروبیوزیس و کرایوبیوزیس بیشتر مطالعه شده‌اند. در حالت آنهیدروبیوزیس، تاردیگریدها به ساختاری به نام تون^۶ وارد می‌شوند که با انقباض بدن و تنظیم فعال همراه است و به آنها امکان بقا در شرایط خشک، یخ‌زدگی، و مواجهه با مواد شیمیایی سمی را می‌دهد [۱۹-۲۱]. این موجودات دارای مکانیسم‌های حفاظتی پیشرفته‌ای هستند که شامل سنتز کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌های خاص، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی و ترمیم DNA می‌شوند. علاوه بر کریپتوبیوزیس، برخی از تاردیگریدها وارد حالت دیپوز^۷ می‌شوند که شامل تشکیل کیست‌ها است و به این وسیله در برابر شرایط محیطی خیلی سخت مقاوم می‌باشند [۱۷، ۲۲]. حتی در حالت فعال، تاردیگریدها می‌توانند نوسانات شوری و دمای بسیار پایین را تحمل کنند، مانند گونه *Halobiotus* که تا منفی ۲۰ درجه سانتی‌گراد زنده می‌ماند [۲۰].

کریپتوبیوزیس به حالتی متابولیک و برگشت‌پذیر اشاره دارد که موجودات زنده در شرایط محیطی نامساعد مانند خشکی یا انجماد به آن وارد می‌شوند تا زنده بمانند. یکی از انواع آن، آنهیدروبیوزیس است که در مواجهه با خشکی رخ می‌دهد و در آن موجودات از طریق مکانیسم‌هایی مانند کاهش آب بدن به بقای خود کمک می‌کنند [۲۲]. کرایوبیوزیس نیز نوعی دیگر از کریپتوبیوزیس است که در دماهای بسیار پایین و یخ‌زدگی به کار می‌رود. در مقابل، آنوکسی بیوزیس برای مقابله با کمبود اکسیژن و اسموبیوزیس برای مواجهه با غلظت بالای نمک به کار می‌روند [۲۳]. در این شرایط، تاردیگریدها ساختاری به نام تون را ایجاد می‌کنند که یک حالت فشرده شده از بدن آنها است و در پاسخ به خشکی یا شرایط سخت ایجاد می‌شود. برخی از گونه‌ها به جای کریپتوبیوزیس وارد مرحله دیپوز می‌شوند، که نوعی استراحت طولانی‌مدت است و آنها را از طریق تشکیل کیست‌ها در برابر شرایط نامساعد محافظت می‌کند [۲۴]. سیکلومورفوزیس^۹ به تغییرات فصلی مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی اشاره دارد که در برخی گونه‌ها برای تحمل شرایط سخت محیطی رخ می‌دهد، مشابه آنچه در لاروهای داوئر^{۱۰} *Sinurhabditis* الگانس^{۱۱} دیده می‌شود [۲۵].

علاوه بر گونه‌های کریپتوبیوتیک تاردیگرید که تشکیل ساختار تون را در آنها مشاهده می‌کنیم، گونه‌هایی را نیز می‌یابیم که انواع کیست‌ها را تشکیل می‌دهند و وارد فرایند دیپوز می‌شوند. نکته

^۱ کریپتوبیوزیس (Cryptobiosis): یک حالت متابولیک برگشت‌پذیر در تاردیگریدها و برخی موجودات دیگر که در شرایط محیطی ناگوار مانند خشکی، انجماد یا کمبود اکسیژن رخ می‌دهد. در این حالت، فعالیت زیستی متوقف شده و موجود تا بهبود شرایط محیطی زنده می‌ماند.

^۲ Anhydrobiosis

^۳ Cryobiosis

^۴ Anoxybiosis

^۵ Osmobiosis

^۶ تون (Tun): حالتی در تاردیگریدها که بدن آنها برای مواجهه با شرایط سخت مانند خشکی یا دماهای پایین به شدت منقبض شده و آب بدن به حداقل می‌رسد. این مکانیسم به آنها امکان زنده ماندن در شرایط نامساعد را می‌دهد و با کاهش فعالیت‌های زیستی مرتبط است.

^۷ دیپوز (Diapause): حالتی از استراحت طولانی‌مدت در برخی موجودات زنده، از جمله تاردیگریدها، که به تشکیل کیست‌ها و مقاومت در برابر شرایط محیطی سخت منجر می‌شود.

^۸ *Halobiotus crispae*

^۹ سیکلومورف (Cyclomorphosis): تغییرات فصلی مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی که برای تطبیق با شرایط محیطی سخت در موجودات رخ می‌دهد. در تاردیگریدها، این تغییرات شامل شکل‌گیری حالت‌های مقاوم به انجماد است.

^{۱۰} *Dauer larvae*: یک مرحله خاص در چرخه زندگی کرم‌های نامتود مانند *Caenorhabditis elegans* است که در پاسخ به شرایط نامطلوب محیطی، مانند کمبود غذا، تراکم بالای جمعیت یا استرس، ایجاد می‌شود. در این مرحله، لاروها رشد و تولیدمثل خود را متوقف کرده و به حالتی مقاوم در برابر خشکی، گرسنگی و استرس وارد می‌شوند. این مرحله با تغییرات متابولیکی و فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی همراه است که به بقا در شرایط سخت کمک می‌کند. زمانی که شرایط محیطی بهبود یابد، لاروها می‌توانند از این مرحله خارج شده و به رشد طبیعی خود ادامه دهند.

^{۱۱} *Caenorhabditis elegans*

طولانی تر می شود [۳۰]. تون حالتی است که در آن تاردیگریدها بدن خود را منقبض کرده و آب بدنشان را به شدت کاهش می دهند تا در برابر شرایط محیطی سخت مانند خشکی یا دماهای بسیار پایین مقاومت کنند [۳۱]. این حالت مرتبط با آنهیدروبیوتیک است که به توانایی موجودات برای بقا در شرایط خشکی شدید با کاهش آب بدن اشاره دارد. کریپتوبیوزیس نیز یک حالت متابولیک برگشت پذیر است که موجودات در پاسخ به شرایط نامطلوب مانند خشکی، انجماد، یا کمبود اکسیژن به آن وارد می شوند [۳۲]. در این حالت، تاردیگریدها با کاهش فعالیت های زیستی خود، زنده می مانند. متابولیسم آنتی اکسیدانی نیز فرآیندی است که موجودات از طریق آن با تولید آنزیم ها و مواد محافظ، از سلول ها در برابر آسیب های ناشی از رادیکال های آزاد و اکسایش، به ویژه در زمان کم آبی یا شرایط استرس زا محافظت می کنند [۳۳].

تجمع ترهالوز

مطالعات نشان می دهند که کربوهیدرات ها و پروتئین های خاص نقش مهمی در محافظت از سلول ها در طی ورود و خروج از حالت کریپتوبیوزیس دارند. ترهالوز^۲، نوعی دی ساکارید، در برخی بی مهرگان کریپتوبیوتیک مانند میگوی آب شور *آرتمیا فرانسیسکانا*^۳ و برخی تاردیگریدها انباشته می شود [۳۴] و به عنوان تثبیت کننده مولکولی در زمان خشکی عمل می کند [۳۵]. این ماده با جایگزینی آب و تشکیل ساختارهای شیشه ای از سلول ها محافظت می کند. با این حال، میزان ترهالوز در تاردیگریدها متغیر است و در برخی گونه ها بسیار کم یا حتی غیرقابل اندازه گیری است [۳۴]. این نشان می دهد که تجمع ترهالوز یک مکانیسم حفاظتی عمومی برای ورود به کریپتوبیوزیس در تمام تاردیگریدها نیست [۳۵]. ترهالوز یک اسمولیت و پایدار کننده ساختار پروتئین ها و آنزیم ها است [۳۶].

بیان پروتئین های شوک حرارتی

فرایند کریپتوبیوزیس به سنتز چاپرون های^۴ مولکولی از جمله پروتئین های شوک حرارتی (HSP) وابسته است که در تا شدن صحیح پروتئین ها و حفاظت از آنها در برابر استرس نقش دارند.

مهم این است که نشان داده شده است که تاردیگریدها حتی در حالت فعال خود به شدت نسبت به استرس محیطی مقاوم هستند. برخلاف مطالعات نسبتاً کمی که روی فیزیولوژی طبیعی تاردیگریدها انجام شده است پاسخ های فراوانی توسط محققین در مورد این که چگونه آنها این افراط ها را تحمل می کنند داده شده است. گزارش شده است که تاردیگرید ساحلی *هالوبیوتوس کریسپا* نوسانات زیاد شوری خارجی را می تواند کنترل کند و تا دمای حدود منهای ۲۰ درجه سانتی گراد در مرحله فعال خود از انجماد جلوگیری می کند. در این گونه نوعی تغییرات چرخه ای فصلی در مورفولوژی و فیزیولوژی به عنوان سیکلومورفوزیس مشاهده می شود؛ این تغییر یکی از مراحل سیکلومورفیک مقاومت و تحمل در برابر یخ زدگی است [۲۶]. تغییرات مورفولوژیکی که در طول سیکلومورفوزیس در تاردیگرید ساحلی *هالوبیوتوس کریسپا* رخ می دهد از بسیاری جهات شبیه به تشکیل لاروهای داوئر در *سینورا تینیدیس الگانس* است [۲۶].

کریپتوبیوزیس در تاردیگریدها

تاردیگرید ریکترسیوس *کورونیفر*^۱ که به عنوان «خرس آبی زرد غول پیکر» شناخته می شود، می تواند شرایط بسیار سخت مانند خشکی شدید، خلاء فضایی، و دماهای بسیار پایین (تا ۱۹۶- درجه سانتی گراد) را تحمل کند [۲۷]. این موجود در حالت تون، که در آن بدن منقبض شده و آب بدن کاهش می یابد، مقاومت بیشتری در برابر این شرایط نشان می دهد. با این حال، در دماهای بالاتر از ۷۰ درجه سانتی گراد، بقا کاهش می یابد و در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد هیچ نمونه ای زنده نمی ماند [۲۸]. طول عمر تاردیگریدها در حالت آنهیدروبیوتیک حدود ۵ سال است که کمتر از برخی گونه های دیگر است [۲۹]. آسیب به DNA و مولکول های دیگر در طی دوره های خشکی باعث کاهش طول عمر کریپتوبیوتیک می شود. تحقیقات نشان داده اند که متابولیسم آنتی اکسیدانی نقش مهمی در مقابله با آسیب های اکسایشی ناشی از کم آبی دارد و هر چه مدت بیشتری در حالت بی آبی سپری شود، آسیب به DNA افزایش یافته و زمان بازیابی پس از آب رسانی

^۴ چاپرون (Chaperone): پروتئین هایی که در تاردیگریدها و دیگر موجودات، در پاسخ به استرس، مانند خشکی یا دماهای بالا، تولید می شوند. این پروتئین ها از تخریب سایر پروتئین ها جلوگیری کرده و به تا شدن صحیح آن ها کمک می کنند.

^۱ *Richtersius coronifer*

^۲ Trehalose

^۳ *Artemia franciscana*

تنظیم اسمزی

تحقیقات روی تاردیگرید *هالوبیوتوس کریسپا* نشان داده که این موجود می تواند در برابر نوسانات شدید شوری و دما مقاومت کند، بدون ورود به حالت کریپتوبیوزیس. برخلاف دیگر تاردیگریدهای کریپتوبایونت، *هالوبیوتوس کریسپا* با مصرف انرژی و تنظیم اسمزی در حالت فعال به شرایط افراطی پاسخ می دهد. این جاندار همچنین مرحله ای به نام PI^2 دارد که در آن به یخ زدگی مقاوم است، اما نمی تواند دماهای زیر منفی 80° درجه سانتی گراد را تحمل کند. تحقیقات نشان داده اند که مقاومت این تاردیگرید به نوسانات محیطی ناشی از تنظیم اسمزی و کنترل حجمی است، و با تغییرات شدید شوری و دما نیز مقابله می کند. مکانیسم های مورد استفاده تاردیگریدها برای بقا در شرایط افراطی سرخ هایی برای درک پدیده کریپتوبیوزیس ارائه می دهند، که همچنان یک معمای زیستی باقی مانده است [۴۲].

تاردیگرید: گستره تحمل شرایط بحرانی

در این قسمت جزئیاتی در مورد دامنه تحمل دما، اسیدیته، شوری، فشار و تشعشعاتی که تاردیگریدها می توانند در آن شرایط از خود مقاومت نشان داده و زنده بمانند، آورده شده است. اگرچه تاردیگریدها می توانند در طیف وسیعی از دما زنده بمانند، محدوده دمای ایده آل آنها برای زندگی فعال بین 10° تا 30° درجه سانتی گراد می باشد [۴۳]. تاردیگریدها در محیط هایی بسیار اسیدی و بسیار قلیایی یافت شده اند. آنها می توانند محیط های دارای سطح pH پایین که به دلیل باران اسیدی ایجاد شده است را نیز تحمل کنند [۴۴]. همچنین تاردیگریدها در طیف وسیعی از سطوح شوری زنده می مانند. آنها را می توان در آب های شیرین، آب دریا و حتی محیط های بسیار شور مانند نمک دان ها یافت. آنها می توانند سطح شوری را تا 1000° برابر بیش تر از شوری آب دریا تحمل کنند [۴۵]. تاردیگریدها در محیط هایی با فشار بالا و پایین نیز یافت شده اند. آنها می توانند فشارهایی تا 6000° اتمسفر را تحمل کنند، که شش برابر فشار در گودال ماریانا^۲، عمیق ترین قسمت اقیانوس است [۲۱]. تاردیگریدها به دلیل توانایی خود برای زنده ماندن در سطوح بالای تشعشع شناخته می شوند. آنها می توانند در دوزهای

محققان بیان متفاوت ایزوفرم های Hsp70 و Hsp90 را در گونه های مختلف تاردیگریدها طی آنهیدروبیوزیس بررسی کردند. نتایج نشان داد که تنها برخی از این پروتئین ها در پاسخ به خشک شدن یا استرس های محیطی تنظیم می شوند و نقش محدودی در بقای کریپتوبیوتیک دارند. علاوه بر HSPها، پروتئین های LEA نیز به عنوان محافظ های زیستی مهم مطرح شده اند، اما تحقیقات بیشتری برای درک دقیق مکانیسم های کریپتوبیوزیس لازم است [۳۷-۳۹].

بقای غیر کریپتوبیوتیک در تاردیگریدها

تاردیگریدها بیشتر به توانایی هایشان در مواجهه با شرایط محیطی سخت و ورود به حالت کریپتوبیوزیس شناخته می شوند، اما کمتر به توانایی حفظ متابولیسم و فعالیت آنها در شرایط ناپایدار محیطی پرداخته شده است. تاردیگریدها جانورانی آبی هستند که برای تغذیه و تولید مثل به آب وابسته اند و در محیط خاک تنها با ورود به حالت کریپتوبیوتیک قادر به بقا هستند. همچنین، تاردیگریدهای خاکی که می توانند وارد حالت تون شوند، ممکن است در مواجهه با شرایط محیطی سخت مانند مواد شیمیایی، این سازوکار را فعال کنند؛ شرایطی که گونه های دریایی را به کریپتوبیوزیس نیازمند نمی کند.

مقاومت در برابر پرتوها

بررسی ها نشان داده اند که تاردیگریدها مانند ریکترسیوس *کرونیر* و *میلنسیوم تاردیگریدیوم*^۱ توانایی بالایی در تحمل دوزهای بالای پرتوهای گاما و یون های سنگین دارند. جانوران در هر دو حالت هیدراته و خشک می توانند دوزهای تا 8° کیلوگرم را تحمل کنند، که این مقاومت به مکانیسم های کارآمد ترمیم DNA نسبت داده شده و به محافظت های بیوشیمیایی حالت کریپتوبیوتیک وابسته نیست. همچنین مطالعات مرتبط با ماموریت BIOPAN 6/Foton-M3 نشان داد که تاردیگریدها می توانند در برابر شرایط سخت فضای خارج از جو زنده بمانند و *میلنسیوم تاردیگریدیوم* به عنوان مقاوم ترین گونه شناخته شده است [۲۹-۴۰، ۴۱].

^۱ *Milnesium tardigradum*

^۲ مرحله PI: حالتی در تاردیگریدهای خاص، مانند *Halobiotus crispae*، که در آن موجود به یخ زدگی مقاوم است، اما نمی تواند دماهای بسیار پایین تر از منهای 80° درجه سانتی گراد را تحمل کند. این حالت به تنظیم اسمزی مرتبط است.

^۳ *Mariana*

می‌روند. هر دو نشان دهنده انعطاف‌پذیری و سازگاری در برابر چالش‌های گوناگون هستند ولی با استفاده از معیارهای مختلف سنجش می‌شوند. هر دو دارای قابلیت بهبود و ارتقاء هستند؛ اما با روش‌های مختلف. در نهایت، هر دو به شیوه خود، به نوعی نشان دهنده قدرت و توانایی زنده ماندن در شرایط سخت هستند. با توجه به این که در اکثر موارد الگو و الهام‌گرفتن از قوانین طبیعت به بهبود کارایی و نوآوری منجر می‌شود، و از توان زیادی که تاردیگرید در نحوه مقاومت و تاب‌آوری دارد می‌توان برای بازنگری در شاخص‌های توسعه انسانی کمک گرفت.

انسان همیشه و در طول تاریخ با نگاه به طبیعت و تفسیر قوانین الهی و حکمت‌های آن توانسته است دست به اختراعات و نوآوری‌های مهم بزند و توانا در پیش‌بینی اتفاقات باشد؛ به عبارتی انسان با داشتن علم و حکمت می‌تواند از طبیعت که صنع الهی است الگو برداری نماید و به‌عنوان سبک زندگی از آن بهره‌مند شود. دوری نسبی انسان امروز از طبیعت و فطرت اصل خویش باعث به وجود آمدن اختلالات ناشناخته جسمی و روانی شده است [۴۸]. انسان می‌باید از فطرت اصیل خود شناخت پیدا کند و از هم‌گامی با فطرت و طبیعت بهره‌مند شود و بر مبنای الهام از طبیعت برای آموزش و پرورش انسان از آن بهره‌برداری نماید. تاب‌آوری و سازگاری محیطی تاردیگریدها از مسیر طولانی تکامل عبور نموده است و به‌طور غریزی تابع قوانین الهی که در تکامل جاری است این توانایی را به‌دست آورده است. لذا انسان برای الگو برداری از طبیعت می‌باید از قوانین الهی نهفته در طبیعت، شناخت پیدا نماید تا بتواند از جاندار سخت دوستی مانند تاردیگرید برای توانا ساختن خود بهره‌برداری نماید. آنچه در زمین و آسمان‌ها است خلقت الهی است که همگی حق و درست است اما دسترسی به شناخت ملکوتی آنها نیاز به انسان دانا و توانا دارد که بتواند با ضمیر متعالی در اشیا و پدیده‌ها غواصی نماید. این دیدگاه می‌تواند انسان توسعه یافته را پرورش دهد که با دیدگاه امروز شاخص‌های توسعه انسانی تفاوت دارد.

فهرست منابع

[1]. T. Järvillehto, "The theory of the organism-environment system: I. Description of the theory," *Integrative Physiological and Behavioral Science*

تشعشعات تا ۵۰۰۰ گری زنده بمانند که هزاران برابر بیشتر از دوز کشنده آن برای انسان است [۴۶].

جدول ۱. گستره تحمل شرایط بحرانی تاردیگریدها.

پارامتر	گستره مقاومت	رفرنس
دما	۲۷۲- تا ۱۵۱ درجه سانتی‌گراد	[۳۷]
اسیدیته (pH)	۱۰.۲ تا ۱۰.۵	[۳۸]
شوری	۳۵۰۰ ppt	[۳۸]
فشار	۶۰۰۰ atm	[۱۸]
تشعشعات	۵۰۰۰ Gy	[۲۷]

توجه به این نکته مهم است که محدوده شرایطی که تاردیگریدها می‌توانند در آن زنده بمانند بسته به گونه و سازگاری خاص هر یک از آنها ممکن است متفاوت باشد. با این حال، به‌طور کلی، تاردیگریدها به‌صورتی باورنکردنی انعطاف‌پذیر هستند و توانسته‌اند با طیف وسیعی از محیط‌ها و شرایط محیطی سازگار شوند.

انسان و شاخص توسعه انسانی:

شاخص توسعه انسانی یا همان HDI^۱ میزانی از توسعه و پیشرفت انسان‌ها است که در سال ۱۹۹۰ مطرح شده است. شاخص توسعه انسانی برای فراهم کردن مقیاس دقیق‌تری از سلامتی و حال خوش طراحی شده است. شاخص توسعه انسانی دقت بیشتری نسبت به شاخص‌های اقتصادی قدیمی‌تر مانند تولید ناخالص داخلی^۲ دارد. این دقت به واسطه ورود معادلات عواملی مانند تحصیلات، تندرستی و استانداردهای زندگی می‌باشد [۴۷]. البته معیارهای تعریف شده برای شاخص توسعه انسانی دارای انتقاداتی می‌باشند که این موارد از دیدگاه‌های مختلف قابل بحث است.

نتیجه‌گیری

تاردیگریدها و شاخص توسعه انسانی به عنوان دو مفهوم مستقل با هم شباهت‌ها و تفاوت‌های زیادی دارند. هر دو با مفهوم تاب‌آوری مرتبط هستند ولی در سطح و سیستم‌های مختلف به‌کار

^۱ Human Development Index (HDI)

^۲ Gross Domestic Product (GDP)

- [14]. R. Guidetti and R. Bertolani, "Tardigrade taxonomy: an updated check list of the taxa and a list of characters for their identification," *Zootaxa*, vol. 845, no. 1, pp. 1–46, 2005.
- [15]. D. R. Nelson, "Current status of the Tardigrada: evolution and ecology," *Integr Comp Biol*, vol. 42, no. 3, pp. 652–659, 2002.
- [16]. M. M. McFatter, H. A. Meyer, and J. G. Hinton, "Nearctic freshwater tardigrades: a review," *J Limnol*, vol. 66, p. 84, 2007.
- [17]. J. C. Wright, "Cryptobiosis 300 years on from van Leuwenhoek: what have we learned about tardigrades?" *Zoologischer Anzeiger-A Journal of Comparative Zoology*, vol. 240, no. 3–4, pp. 563–582, 2001.
- [18]. J. H. Crowe, F. A. Hoekstra, and L. M. Crowe, "Anhydrobiosis," *Annu Rev Physiol*, vol. 54, no. 1, pp. 579–599, 1992.
- [19]. P. Westh, J. Kristiansen, and A. Hvidt, "Ice-nucleating activity in the freeze-tolerant tardigrade *Adorybiotus coronifer*," *Comp Biochem Physiol A Physiol*, vol. 99, no. 3, pp. 401–404, 1991.
- [20]. R. O. Schill, "Anhydrobiotic abilities of tardigrades," *Dormancy and resistance in harsh environments*, pp. 133–146, 2010.
- [21]. K. I. Jönsson, E. Rabbow, R. O. Schill, M. Harms-Ringdahl, and P. Rettberg, "Tardigrades survive exposure to space in low Earth orbit," *Current biology*, vol. 18, no. 17, pp. R729–R731, 2008.
- [22]. N. Møbjerg, A. Jørgensen, J. Eiby-Jacobsen, K. A. Halberg, D. Persson, and R. M. Kristensen, "New records on cyclomorphosis in the marine eutardigrade *Halobiotus crispae* (Eutardigrada: Hypsibiidae)," *J Limnol*, vol. 66, p. 132, 2007.
- [23]. D. D. Horikawa *et al.*, "Radiation tolerance in the tardigrade *Milnesium tardigradum*," *Int J Radiat Biol*, vol. 82, no. 12, pp. 843–848, 2006.
- [24]. K. A. Halberg, D. Persson, N. Møbjerg, A. Wanninger, and R. M. Kristensen, "Myoanatomy of the marine tardigrade *Halobiotus crispae* (Eutardigrada: Hypsibiidae)," *J Morphol*, vol. 270, no. 8, pp. 996–1013, 2009.
- [25]. A. M. Burnell, K. Houthoofd, K. O'Hanlon, and J. R. Vanfleteren, "Alternate metabolism during the dauer stage of the nematode *Caenorhabditis elegans*," *Exp Gerontol*, vol. 40, no. 11, pp. 850–856, 2005.
- [26]. R. M. Kristensen, "The first record of cyclomorphosis in Tardigrada based on a new genus and species from Arctic meiobenthos 1," *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, vol. 20, no. 4, pp. 249–270, 1983.
- [27]. U. Fritz *et al.*, "Mitochondrial phylogeography and subspecies of the wide-ranging sub-Saharan leopard tortoise *Stigmochelys pardalis* (Testudines: Testudinidae)—a case study for the pitfalls of pseudogenes and GenBank sequences," *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, vol. 48, no. 4, pp. 348–359, 2010.
- [2]. صدیقه عابدان زاده؛ علی اکبر موسوی موحدی، "نقش دانش زیست الگو (بیومیمتیک) در زندگی بشر" نامه علوم پایه (فرهنگستان علوم)، مجلد ۲-۳، صفحات ۱۸۸-۱۹۴، سال ۱۴۰۰.
- [3]. علی اکبر موسوی موحدی، "زیست الگو: همگرایی در علم و حکمت" نشریه نشاء علم، مجلد ۴، شماره ۱، صفحات ۶-۹، سال ۱۳۹۲.
- [4]. Y. Uchiyama, E. Blanco, and R. Kohsaka, "Application of Biomimetics to Architectural and Urban Design: A Review across Scales," *Sustainability 2020, Vol. 12, Page 9813*, vol. 12, no. 23, p. 9813, Nov. 2020, doi: 10.3390/SU12239813.
- [5]. S. D. Kocher, R. Mallarino, B. E. R. Rubin, D. W. Yu, H. E. Hoekstra, and N. E. Pierce, "The genetic basis of a social polymorphism in halictid bees," *Nature Communications 2018 9:1*, vol. 9, no. 1, pp. 1–7, Oct. 2018, doi: 10.1038/s41467-018-06824-8.
- [6]. N. Kasianchuk, P. Rzymiski, and L. Kaczmarek, "The biomedical potential of tardigrade proteins: A review," *Biomedicine & Pharmacotherapy*, vol. 158, p. 114063, Feb. 2023, doi: 10.1016/J.BIOPHA.2022.114063.
- [7]. S. Giwa *et al.*, "The promise of organ and tissue preservation to transform medicine," *Nature Biotechnology 2017 35:6*, vol. 35, no. 6, pp. 530–542, Jun. 2017, doi: 10.1038/nbt.3889.
- [8]. C. I. Biggs, T. L. Bailey, Ben Graham, C. Stubbs, A. Fayter, and M. I. Gibson, "Polymer mimics of biomacromolecular antifreezes," *Nature Communications 2017 8:1*, vol. 8, no. 1, pp. 1–12, Nov. 2017, doi: 10.1038/s41467-017-01421-7.
- [9]. A. Gagy-Palfy and L. C. Stoian, "A short review on tardigrades—some lesser-known taxa of polyextremophilic invertebrates," *Extreme Life Biospeology Astrobiol*, vol. 3, no. 1, pp. 13–26, 2011.
- [10]. F. Olivieri, F. Prattichizzo, F. Lattanzio, A. R. Bonfigli, and L. Spazzafumo, "Antifragility and Antiinflammation: can they play a role for a healthy longevity?" *Ageing Res Rev*, p. 101836, 2022.
- [11]. A. Verkhatsky, "Early evolutionary history (from bacteria to hemichordata) of the omnipresent purinergic signalling: A tribute to Geoff Burnstock inquisitive mind," *Biochem Pharmacol*, vol. 187, p. 114261, 2021.
- [12]. J. Schenk and D. Fontaneto, "Biodiversity analyses in freshwater meiofauna through DNA sequence data," *Hydrobiologia*, vol. 847, no. 12, pp. 2597–2611, 2020.
- [13]. C. Hesgrove and T. C. Boothby, "The biology of tardigrade disordered proteins in extreme stress tolerance," *Cell Communication and Signaling*, vol. 18, pp. 1–15, 2020.

- [38]. E. Schokraie *et al.*, "Proteomic analysis of tardigrades: towards a better understanding of molecular mechanisms by anhydrobiotic organisms," *PLoS One*, vol. 5, no. 3, p. e9502, 2010.
- [39]. A. Reuner *et al.*, "Stress response in tardigrades: differential gene expression of molecular chaperones," *Cell Stress Chaperones*, vol. 15, pp. 423–430, 2010.
- [40]. L. Rebecchi, M. Cesari, T. Altiero, A. Frigieri, and R. Guidetti, "Survival and DNA degradation in anhydrobiotic tardigrades," *Journal of Experimental Biology*, vol. 212, no. 24, pp. 4033–4039, 2009.
- [41]. A. C. Suzuki, "Life history of Milnesium tardigradum Doyère (Tardigrada) under a rearing environment," *Zoolog Sci*, vol. 20, no. 1, pp. 49–57, 2003.
- [42]. K. A. Halberg, D. Persson, H. Ramløv, P. Westh, R. M. Kristensen, and N. Møbjerg, "Cyclomorphosis in Tardigrada: adaptation to environmental constraints," *Journal of Experimental Biology*, vol. 212, no. 17, pp. 2803–2811, 2009.
- [43]. R. Guidetti, T. Altiero, and L. Rebecchi, "On dormancy strategies in tardigrades," *J Insect Physiol*, vol. 57, no. 5, pp. 567–576, May 2011, doi: 10.1016/J.JINSPHYS.2011.03.003.
- [44]. C. Johansson, S. Calloway, W. R. Miller, and E. T. Linder, "Are urban and rural tardigrade (Tardigrada) communities distinct and determined by pH: a case study from Fresno County, California," *Pan-Pac Entomol*, vol. 87, no. 2, pp. 86–97, 2011.
- [45]. D. D. Horikawa, "Survival of tardigrades in extreme environments: a model animal for astrobiology," in *Anoxia: evidence for eukaryote survival and paleontological strategies*, Springer, 2011, pp. 205–217.
- [46]. G. Horneck *et al.*, "Microbial rock inhabitants survive hypervelocity impacts on Mars-like host planets: first phase of lithopanspermia experimentally tested," *Astrobiology*, vol. 8, no. 1, pp. 17–44, 2008.
- [47]. R. J. Barro and J.-W. Lee, "A New Data Set of Educational Attainment in the World, 1950-2010," *Journal of Development Economics*, Apr. 2010, doi: 10.3386/W15902.
- [48]. A. A. Moosavi-Movahedi, "Rationality and Scientific Lifestyle for Health," 2021, Springer, doi: 10.1007/978-3-030-74326-0.
- [28]. K. I. Jönsson, S. Borsari, and L. Rebecchi, "Anhydrobiotic survival in populations of the tardigrades Richtersius coronifer and Ramazzottius oberhaeuseri from Italy and Sweden," *Zoologischer Anzeiger-A Journal of Comparative Zoology*, vol. 240, no. 3–4, pp. 419–423, 2001.
- [29]. K. Ingemar Jönsson, M. Harms-Ringdahl, and J. Torudd, "Radiation tolerance in the eutardigrade Richtersius coronifer," *Int J Radiat Biol*, vol. 81, no. 9, pp. 649–656, 2005.
- [30]. A. Jørgensen, N. Møbjerg, and R. M. Kristensen, "A molecular study of the tardigrade Echiniscus testudo (Echiniscidae) reveals low DNA sequence diversity over a large geographical area," *J Limnol*, vol. 66, p. 77, 2007.
- [31]. H. Ramløv and P. Westh, "Cryptobiosis in the eutardigrade Adorybiotus (Richtersius) coronifer: tolerance to alcohols, temperature and de novo protein synthesis," *Zoologischer Anzeiger-A Journal of Comparative Zoology*, vol. 240, no. 3–4, pp. 517–523, 2001.
- [32]. P. Westh and R. M. Kristensen, "Ice formation in the freeze-tolerant eutardigrades Adorybiotus coronifer and Amphibolus nebulosus studied by differential scanning calorimetry," *Polar Biol*, vol. 12, pp. 693–699, 1992.
- [33]. A. M. Rizzo *et al.*, "Antioxidant defences in hydrated and desiccated states of the tardigrade Paramacrobiotus richtersi," *Comp Biochem Physiol B Biochem Mol Biol*, vol. 156, no. 2, pp. 115–121, 2010.
- [34]. J. S. Clegg, "The origin of trehalose and its significance during the formation of encysted dormant embryos of *Artemia salina*," *Comp Biochem Physiol*, vol. 14, no. 1, pp. 135–143, 1965.
- [35]. J. S. Clegg, "Cryptobiosis—a peculiar state of biological organization," *Comp Biochem Physiol B Biochem Mol Biol*, vol. 128, no. 4, pp. 613–624, 2001.
- [36]. E. Sharifi *et al.*, "Inhibitory effects of beta-cyclodextrin and trehalose on nanofibril and AGE formation during glycation of human serum albumin," *Protein Pept Lett*, vol. 16, no. 6, pp. 653–659, Jun. 2009, doi: 10.2174/092986609788490212.
- [37]. A. H. Warner *et al.*, "Evidence for multiple group 1 late embryogenesis abundant proteins in encysted embryos of *Artemia* and their organelles," *The Journal of Biochemistry*, vol. 148, no. 5, pp. 581–592, 2010.

تأثیر مصرف روزانه گردو و سبک زندگی بر سلامت انسان

کورش وحدتی^۱

چکیده

گردوی ایرانی (*Juglans regia L.*) یکی از مغذی‌ترین خشکبارهای جهان است که به دلیل ترکیبات زیستی فعال مانند اسیدهای چرب غیراشباع، پلی‌فنول‌ها، و مواد معدنی، تأثیرات قابل توجهی بر سلامت انسان دارد. این مطالعه به بررسی نقش مصرف روزانه گردو همراه با سبک زندگی سالم بر پیشگیری و مدیریت بیماری‌های مزمن پرداخته است. یافته‌ها نشان می‌دهد که گردو با کاهش سطح کلسترول LDL، افزایش کلسترول HDL، و جلوگیری از تشکیل پلاک‌های آترواسکلروزی، به بهبود سلامت قلبی-عروقی کمک می‌کند. همچنین، مصرف منظم گردو حساسیت به انسولین را افزایش داده و از بروز دیابت نوع ۲ جلوگیری می‌کند. ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و ضدالتهابی گردو، استرس اکسیداتیو را کاهش داده و به تقویت سیستم ایمنی کمک می‌کند. گردو به دلیل محتوای بالای پلی‌فنول‌ها و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی، خواص ضدسرطانی قابل توجهی دارد و می‌تواند با کاهش استرس اکسیداتیو و مهار رشد سلول‌های سرطانی، خطر ابتلا به انواع سرطان‌ها را کاهش دهد. علاوه بر این، گردو در بهبود عملکرد شناختی، کاهش التهابات مزمن و مدیریت وزن نیز مؤثر است. پیشرفت‌های اخیر در اصلاح ژنتیکی گردو، مصرف آن را به بخشی از یک سبک زندگی سالم تبدیل کرده است. توصیه می‌شود روزانه حدود ۳۰ گرم مغز گردو به صورت خام و با پوست کرم رنگ روی مغز آن مصرف شود. استفاده از گردوهای کهنه که بوی ترشیدگی می‌دهند و استفاده از گردوهای خام یا تفت داده توصیه نمی‌شود.

واژگان کلیدی: گردو، سلامت قلبی-عروقی، دیابت نوع ۲، استرس اکسیداتیو، اصلاح ژنتیکی، مواد مغذی زیستی، پپتید، فلاونوئیدها

*عهده دار مکاتبات: استاد، تلفن/نمابر: ۰۲۱۰۴۱۰۸۹ (۹۸۲۱)+، نشانی الکترونیکی: kvahdati@ut.ac.ir

^۱ گروه باغبانی، دانشکده فناوری کشاورزی (ابوریحان)، دانشگاه تهران، تهران، ایران

مقدمه

زیست‌محیطی است. تنوع ژنتیکی بالای گردو در ایران فرصتی بی‌نظیر برای انتخاب ژنوتیپ‌هایی مناسب برای بازسازی اراضی و کاهش اثرات مخرب زیست‌محیطی و انسانی ایجاد می‌کند. این ویژگی‌ها، گردو را به محصولی سودآور و پایدار برای اراضی کم‌بازده تبدیل کرده و نقش آن را در ترویج سبک زندگی سالم از طریق مصرف روزانه برجسته می‌سازد [۳].

برای مثال، مطالعه‌ای جامع روی باغ‌های دیم در اراضی شیب‌دار ایران نشان داد که این باغ‌ها علاوه بر تولید محصولات خشکباری نظیر گردو، بادام و پسته، در کاهش فرسایش خاک، بهبود بهره‌وری آب و احیای اراضی تخریب‌شده نقش کلیدی دارند. توسعه باغ‌های دیم در مناطقی با منابع آبی کافی، علاوه بر تقویت امنیت غذایی، به‌عنوان میراثی پایدار و جاذبه‌ای گردشگری برای نسل‌های آینده شناخته می‌شود. البته باید دقت کرد که برای پرورش صحیح گردو باید ۱ لیتر در ثانیه در هکتار (یا ۱۰ هزار متر مکعب در سال) آب دارای هدایت الکتریکی کمتر از ۱ دسی‌زیمنس بر سانتی‌متر وجود داشته باشد [۴].

حفاظت و تنوع ژنتیکی

پژوهش‌های دانشگاه تهران روی جمعیت‌های طبیعی گردوی ایرانی در جنگل‌های هیرکانی نشان داد که این جنگل‌ها زیستگاه‌های حیاتی برای این گونه ارزشمند هستند. با وجود کاهش جمعیت‌های اصلی گردو در دهه‌های گذشته به دلیل بهره‌برداری بیش‌ازحد، بقایای کوچکی با تنوع ژنتیکی بالا در برخی مناطق باقی مانده است. گردوی ایرانی در این جنگل‌ها یا به‌صورت گونه‌ای نادر در میان سایر درختان یا به‌عنوان گونه غالب در شرایط زیست‌محیطی مساعد یافت می‌شود. با وجود محدودیت‌های قانونی برای قطع درختان، حفاظت از این منابع ژنتیکی ارزشمند نیازمند تلاش‌های بیشتر در زمینه مدیریت پایدار و حفظ تنوع زیستی است [۵].

اهمیت جهانی و فواید تغذیه‌ای گردو

در سطح جهانی، اهمیت اقتصادی و کاربردهای طبی گردو توجه زیادی را به خود جلب کرده است. سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO) گردو را به‌عنوان یکی از محصولات غذایی اولویت‌دار به دلیل ارزش تغذیه‌ای و فواید بهداشتی در میان ۱۰ محصول برتر غذایی معرفی کرده است [۶، ۷، ۸]. گردو، با خواص آنتی‌اکسیدانی

گردو (*Juglans regia L.*)، که بومی ایران است، به دلیل منشأ آن به‌عنوان گردوی ایرانی^۱ شناخته می‌شود. برخی به غلط گردوهای خوب بومی ایران را گردوی اسرائیلی می‌نامند. این درحالی است که فلسطین اشغالی یک منطقه مدیترانه‌ای است و گردو کاری در آن رواج ندارد و کار تحقیقاتی فعالی نیز روی گردو انجام نداده است. این درخت که عمر طولانی دارد، از نظر اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی در مناطق روستایی ایران اهمیت قابل توجهی دارد. درختان کهنسال گردو، که برخی از آنها بیش از ۱۴۰۰ سال عمر دارند، در استان‌های مختلف یافت می‌شوند و منبعی پایدار برای جوامع محلی به‌شمار می‌روند. در برخی مناطق، درخت گردو به‌عنوان بخشی از مهریه در ازدواج‌ها هدیه داده می‌شود و یا محصول آن به نهادهای مذهبی اختصاص می‌یابد. علاوه بر این، درخت گردو نقشی حیاتی در جلوگیری از فرسایش خاک، بهبود بافت خاک و کاربردهایی در صنایعی نظیر تولید چوب و محصولات دارویی دارد. این درخت در فرهنگ ایرانی نماد صبر و استقامت است و در سنت‌ها و بازی‌های محلی جایگاه ویژه‌ای دارد [۱].

یکی از مزایای مهم درخت گردو نسبت به محصولات مانده پسته و سیب، حساسیت کمتر آن به بیماری‌ها و آفات است. در پژوهشی که توسط یکی از دانشجویان دکتری نویسنده انجام شد، نشان داده شد که ژن پلی‌فنل اکسیداز (*JrPPO1*) در گردو نقش حیاتی در مقاومت به بیماری‌های باکتریایی، از جمله بلایت گردو، ایفا می‌کند. بیان ژن *JrPPO1* در نواحی نزدیک به محل آلودگی افزایش یافته و علائم بیماری را کاهش می‌دهد. علاوه بر این، انتقال این ژن به گیاه توتون باعث افزایش مقاومت این گیاه به بیماری ناشی از *Pseudomonas syringae* شد. این یافته‌ها پتانسیل ژن *JrPPO1* را در بهبود مقاومت به بیماری‌ها در گردو و کمک به مدیریت پایدار باغ‌های گردو و تولید محصولات سالم‌تر نشان می‌دهد [۲].

نقش چندمنظوره درخت گردو

وحدتی و همکاران (۲۰۱۸) گردو را به‌عنوان محصولی چندمنظوره معرفی کردند که علاوه بر اهمیت اقتصادی، دارای مزایای زیست‌محیطی و نقش قابل توجهی در بازسازی اراضی تخریب‌شده است. سیستم ریشه‌ای عمیق و گسترده این درخت به تثبیت خاک و کاهش فرسایش کمک کرده و ابزاری ارزشمند برای حفاظت

¹ Persian walnut

ارتقای کیفیت زندگی از طریق پرورش و مصرف پایدار آن برجسته می‌شود.

ترکیبات تغذیه‌ای گردو

۱. اسیدهای چرب و فیتوسترول‌ها

گردو یکی از غنی‌ترین منابع طبیعی اسیدهای چرب غیراشباع است. اسید آلفا-لینولنیک (ALA)، یکی از اسیدهای چرب امگا-۳ موجود در گردو، به بهبود سلامت قلب و عروق و کاهش التهاب کمک می‌کند. ALA و سایر اسیدهای چرب غیراشباع موجود در گردو، با کاهش کلسترول LDL و افزایش کلسترول HDL، نقش مؤثری در تقویت سلامت قلب و عروق دارند. همچنین، فیتوسترول‌های موجود در گردو جذب کلسترول در دستگاه گوارش را مهار کرده و با کاهش سطح کلسترول خون به بهبود سلامت قلب کمک می‌کنند. ویتامین E، که به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان قوی در گردو حضور دارد، از اکسیداسیون چربی‌ها جلوگیری کرده و از سلول‌ها در برابر آسیب‌های اکسایشی محافظت می‌کند [۱۵، ۱۶].

تحقیقات انجام‌شده در ایران نشان داده است که ترکیب اسیدهای چرب گردو تحت تأثیر رقم، اقلیم و ارتفاع محل کشت قرار دارد. برای مثال، مناطق سردسیر مانند قزوین نسبت بالاتری از اسید لینولئیک به اسید اولئیک را نشان می‌دهند، درحالی‌که مناطق گرم‌تر مانند کرمان و رفسنجان دارای نسبت بیشتری از اسید اولئیک هستند. این تفاوت‌ها بر ارزش تغذیه‌ای و ماندگاری محصول تأثیرگذار است [۱۷].

۲. پلی‌فنول‌ها و آنتی‌اکسیدان‌ها

گردو به‌دلیل داشتن پلی‌فنول‌هایی همچون الاجیتانین‌ها و فلاونوئیدها دارای خواص آنتی‌اکسیدانی قوی است. این ترکیبات در کاهش رادیکال‌های آزاد، استرس اکسایشی و التهاب نقش مؤثری دارند و می‌توانند در پیشگیری از بیماری‌های قلبی و سرطان مؤثر باشند. پلی‌فنول‌های گردو، به‌عنوان منابع غنی آنتی‌اکسیدانی، از اکسایش مولکول‌های زیستی جلوگیری کرده و سلامت سلولی را حفظ می‌کنند [۱۸، ۱۹، ۲۰].

۳. پپتیدهای زیستی

پروتئین گردو سرشار از اسیدهای آمینه ضروری است که از نظر تغذیه‌ای اهمیت بالایی دارند. پپتیدهای پروتئینی گردو علاوه‌بر تأمین اسیدهای آمینه، دارای خواص ضدسرطانی، ضدالتهابی و کاهش‌دهنده فشار خون هستند. این پپتیدها با ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی خود

و ضدالتهابی، به‌عنوان یک ماده غذایی ارزشمند در حمایت از سلامت قلب و کاهش خطر بیماری‌های مزمن شناخته می‌شود [۹]. گردو، که سرشار از اسیدهای چرب غیراشباع، آنتی‌اکسیدان‌ها و ویتامین‌ها است، یک غذای فراسودمند محسوب می‌شود که به بهبود سلامت عمومی و کاهش خطر بیماری‌های مزمن کمک می‌کند. مطالعات نشان داده‌اند که مصرف منظم گردو می‌تواند خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی-عروقی، دیابت نوع ۲ و اختلالات شناختی را کاهش دهد. همچنین، به‌دلیل محتوای بالای فیبر و چربی‌های غیراشباع، گردو در مدیریت وزن و بهبود سلامت متابولیک بسیار مؤثر است [۱۰، ۱۱، ۱۲].

پیشرفت در اصلاح نژاد گردو

برنامه‌های اصلاح نژادی گردو در سراسر جهان، از جمله ایران، با هدف تولید ارقامی مقاوم به بیماری‌ها و سازگار با شرایط محیطی انجام می‌شود که علاوه‌بر این ویژگی‌ها، کیفیت مغز و عملکرد بالایی نیز داشته باشند. استفاده از ابزارهای مدرن زیست‌فناوری، مانند توالی‌یابی نسل جدید (NGS)، نشانگرهای مولکولی و تکنیک‌های ژنومی نظیر مطالعات همبستگی ژنومی (GWAS) و انتخاب ژنومی (GS)، روند اصلاح نژادی گردو را تسریع کرده است. این روش‌ها، در کنار تکنیک‌های کشت بافت و پیوند، موجب گسترش تکثیر گردو و صادرات ارقام بهبود یافته شده‌اند. این پیشرفت‌ها توسعه پایدار باغات گردو را تقویت کرده و مصرف گردو را به‌عنوان بخشی از یک سبک زندگی سالم تشویق کرده است [۱۳].

تحقیقات اخیر با استفاده از آرایه SNP700K Axiom تنوع ژنتیکی قابل‌توجهی را در میان گردهای ایرانی شناسایی کرده است که به شرایط متنوع اقلیمی و جغرافیایی کشور نسبت داده می‌شود. این مطالعه گردهای ایرانی را به چهار گروه ژنتیکی اصلی، منطبق با ویژگی‌های جغرافیایی و زیست‌محیطی، دسته‌بندی کرد و ۵۵ نشانگر SNP مرتبط با صفات مهمی نظیر وزن میوه، درصد مغز و ضخامت پوسته شناسایی نمود. این یافته‌ها نقش مهمی در برنامه‌های اصلاح نژادی گردو دارند که با هدف ارتقای عملکرد، کیفیت و مقاومت به تنش‌های زیستی و غیرزیستی انجام می‌شوند [۱۴].

این مقاله مروری بر نقش اساسی گردو در بهبود سلامت قلبی-عروقی، تنظیم متابولیسم و پیشگیری از بیماری‌های مزمن تمرکز دارد. با ارائه شواهد علمی، اهمیت گردو در حفظ سلامت انسان و

تقویت سلامت استخوان‌ها، به پیشگیری از بیماری‌های عصبی کمک می‌کند [۲۶، ۲۷].

مقایسه مصرف گردوی تازه (فال گردو) و گردوی خشک

در یک مطالعه جامع که در دانشکده فناوری کشاورزی (پردیس ابوریحان) دانشگاه تهران در خصوص ارزش تغذیه‌ای و پایداری اکسیداتیو گردوی تازه (فال گردو) و گردوی خشک انجام شد، مشخص شد که گردو به‌طور کلی سرشار از ترکیبات مغذی از جمله پروتئین (۱۶٪)، چربی (۴۰٪)، کربوهیدرات (۲۱٪)، و مواد معدنی مانند پتاسیم، فسفر، و منیزیم است. گردوی تازه در مقایسه با گردوی خشک، دارای رطوبت بالاتر و چربی کمتری است، درحالی‌که میزان ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و فنولی در آن بیشتر است که نقش مهمی در مقابله با رادیکال‌های آزاد ناشی از استرس‌های بدن ایفا می‌کند. همچنین، گردوی تازه از پایداری اکسیداتیو بیشتری برخوردار بوده و خطر تشکیل آفلاتوکسین ناشی از کپک‌ها، که ممکن است در برخی از انواع گردوی خشک مشاهده شود، در آن کاهش می‌یابد. این یافته‌ها پتانسیل بالای گردوی تازه را به‌عنوان یک منبع مغذی طبیعی با کاربرد در محصولات غذایی فراسودمند نشان می‌دهد [۲۸].

روش‌های علمی فرآوری و نگهداری گردو

مطالعه‌ای که توسط یکی از دانشجویان کارشناسی ارشد رشته باغبانی دانشگاه تهران روی ویژگی‌های فیزیکی و بیوشیمیایی گردوی تازه و خشک در چهار رقم مختلف (پدرو، دماوند، روند د مونتینگناک، و هارتلی) انجام شد، نشان داد که گردوی تازه (فال گردو) از کیفیت بالاتری نسبت به نمونه‌های خشک برخوردار است. گردوی تازه درصد پروتئین و روغن بیشتری داشته و میزان پراکسید کمتری دارد که نشان‌دهنده ارزش تغذیه‌ای بهتر و پایداری اکسیداتیو بیشتر است. نتایج همچنین تأیید کردند که روش‌های خشک‌کردن در دمای پایین و در سایه (۲۰ درجه سانتی‌گراد) نسبت به خشک‌کردن در دماهای بالاتر یا زیر نور خورشید، کیفیت مغز گردو را بهتر حفظ می‌کنند. در بین ارقام مورد بررسی، رقم دماوند در بیشتر شاخص‌های کیفی برتری داشت و به‌عنوان گزینه‌ای مناسب برای تولید و فرآوری معرفی شد [۲۹].

پژوهشی که در دانشکده فناوری کشاورزی (پردیس ابوریحان) دانشگاه تهران در زمینه بهترین و بهداشتی‌ترین روش نگهداری گردوی تازه (فال گردو) انجام شد، نشان داد که استفاده از

می‌تواند در کاهش فشارخون و پیشگیری از بیماری‌های مزمن مؤثر باشد. به همین دلیل، گردو به‌عنوان یک منبع پروتئین گیاهی جایگزین برای کاهش وابستگی به پروتئین‌های حیوانی پیشنهاد می‌شود که از نظر تغذیه‌ای و محیط‌زیستی اهمیت دارد [۲۱].

در گردو، اسیدهای آمینه‌ای همچون گلوتامیک اسید (۲۱ درصد) و آرژنین (۱۵.۵ درصد) غالب هستند که به تقویت سیستم ایمنی و تنظیم هورمون‌ها کمک می‌کنند [۲۲، ۲۳].

۴. ملاتونین و سروتونین

ملاتونین هورمون خواب و سروتونین هورمون شادی است [۲۴]. ملاتونین، نورهورمونی مشتق‌شده از تریپتوفان، با غلظتی بین ۳/۵ تا ۷/۵ نانوگرم بر گرم در گردو یافت می‌شود. این هورمون به تنظیم ریتم‌های شبانه‌روزی و متابولیسم بدن کمک کرده و با کاهش استرس اکسایشی، از لیبیدهای موجود در روغن گردو محافظت می‌کند. گردو همچنین دارای مقدار قابل‌توجهی سروتونین است که به‌عنوان یک نوروترانسمیتر در بهبود سلامت روان و کاهش افسردگی نقش دارد. این ویژگی‌ها گردو را به یکی از منابع غنی ملاتونین و سروتونین تبدیل کرده است [۲۵].

۵. ویتامین‌ها

گردو منبع غنی ویتامین E (توکوفرول) است. این ویتامین که به‌عنوان یک آنتی‌اکسیدان چربی‌دوست عمل می‌کند، از سلول‌ها در برابر آسیب‌های اکسایشی محافظت کرده و از اکسیداسیون چربی‌ها جلوگیری می‌کند. غلظت ویتامین E در گردو بین ۱۷۰ تا ۶۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است. این ویتامین نقش مهمی در حفظ سلامت غشای سلولی و کاهش آسیب‌های ناشی از استرس اکسایشی دارد [۲۰، ۲۶].

۶. مواد معدنی

گردو دارای مقادیر قابل‌توجهی از مواد معدنی نظیر فسفر، پتاسیم، منیزیم و کلسیم است. این مواد معدنی نقش حیاتی در بهبود سلامت قلب، عملکرد متابولیک و سایر فرآیندهای بدن ایفا می‌کنند. منیزیم موجود در گردو برای تنظیم فشارخون، سلامت استخوان‌ها و عملکرد اعصاب ضروری است. فسفر و پتاسیم در حفظ تعادل الکترولیت‌ها و بهبود عملکرد قلب و عروق نقش دارند. علاوه بر این، آهن و مس موجود در گردو برای تشکیل گلوبول‌های قرمز خون ضروری هستند. منگنز، ماده معدنی دیگری که در گردو یافت می‌شود، با تنظیم متابولیسم کربوهیدرات‌ها و

زمان و روش صحیح برداشت گردو

در پژوهشی که توسط یکی از دانشجویان کارشناسی ارشد باغبانی دانشگاه تهران انجام شد، مشخص گردید که کیفیت تغذیه‌ای و حسی مغز گردو به شدت تحت تأثیر روش خشک کردن و زمان برداشت قرار می‌گیرد. نتایج نشان داد گردوهایی که در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد خشک شده‌اند، پروتئین بالاتر، مقادیر بیشتری از اسیدهای چرب اشباع و غیراشباع، و رنگ بهتری در مقایسه با سایر روش‌ها دارند. همچنین، هر چه برداشت گردو دیرتر از زمان قهوه‌ای شدن تیغه میانی بین دو لپه انجام شود، میزان روغن، پروتئین، و اسیدهای چرب غیراشباع افزایش می‌یابد. اما کیفیت حسی آن به دلیل رنگ تیره‌تر و افزایش شاخص پراکسید کاهش می‌یابد. این یافته‌ها نشان می‌دهد که استفاده از راهبردهای مناسب در زمان برداشت و روش خشک کردن می‌تواند ارزش تغذیه‌ای گردو را حفظ کرده و نقش آن را در ارتقای سلامت انسان، به‌ویژه در رژیم غذایی روزانه، تقویت کند. بنابراین، توصیه می‌شود که گردو با استفاده از دستگاه تکان‌دهنده (شیکر) در زمانی که تیغه میانی بین دو لپه قهوه‌ای شد برداشت شود. عملیات کندن پوست سبز و خشک کردن آن نیز باید با استفاده از دستگاه‌های پوست‌گیر و خشک‌کن صورت پذیرد. در صورتی که این دستگاه‌ها در دسترس نباشد، خشک کردن گردو در سایه پیشنهاد می‌شود تا از کاهش کیفیت به دلیل دمای بالا جلوگیری شود [۳۱].

پوسته روی مغز گردو دارای فلاونوئیدهایی است که با پیوندها کمپلکس می‌شوند و اثرات ضدسرطانی آن را تقریباً دو برابر می‌کند. بنابراین توصیه شود که مغز گردو با پوست نازک چسبیده به آن مصرف شود [۱۶].

اثرات گردو بر سلامت انسان

۱. سلامت قلب

گردو به دلیل محتوای بالای اسیدهای چرب غیراشباع، فیتوسترول‌ها و پلی‌فنول‌ها نقش قابل‌توجهی در بهبود پروفایل لیپیدی و کاهش سطح کلسترول خون ایفا می‌کند. تحقیقات نشان داده است که مصرف منظم گردو می‌تواند سطح کلسترول LDL را کاهش داده و سطح کلسترول HDL را افزایش دهد، که این امر خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی و عروقی را کاهش می‌دهد. علاوه بر این، اسیدهای چرب امگا-۳ موجود در گردو با کاهش التهاب و جلوگیری از تشکیل پلاک‌های آترواسکلروزی در دیواره

عصاره‌های طبیعی مانند عصاره آبی پوست سبز گردو (EWGH) و عصاره آبی آویشن (ET) می‌تواند کیفیت مغز گردوی تازه را در شرایط نگهداری در محیط آبی در دمای محیط حفظ کند. این عصاره‌ها از طریق کاهش اکسیداسیون چربی‌ها، حفظ اسیدهای چرب غیراشباع مانند اسید اولئیک و لینولئیک، و کاهش افت ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و فنولی عملکرد مؤثری داشتند. به‌ویژه، غلظت‌های بالاتر عصاره‌های EWGH و ET در طول ۲۸ روز ذخیره‌سازی بهترین نتایج را در کاهش فساد و حفظ کیفیت مغز گردوی تازه نشان دادند. این یافته‌ها استفاده از ترکیبات طبیعی را برای افزایش ماندگاری گردوی تازه و ارتقای کیفیت آن به‌عنوان بخشی از یک رژیم غذایی سالم، نشان می‌دهد [۳۰].

در پژوهش دیگری که توسط همان محققان انجام شد، مشخص شد که استفاده از ژل آلوه‌ورا به‌عنوان یک پوشش خوراکی طبیعی می‌تواند به حفظ کیفیت و افزایش طول عمر مغز گردوی تازه کمک کند. این مطالعه نشان داد که ژل آلوه‌ورا، به‌ویژه در محیط آبی، توانایی قابل‌توجهی در جلوگیری از قهوه‌ای شدن و اکسیداسیون چربی‌ها دارد و همچنین به حفظ ترکیبات فنولی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی در مغز گردو کمک می‌کند. با توجه به اینکه گردو منبع غنی از پروتئین، اسیدهای چرب امگا-۳ و آنتی‌اکسیدان‌ها است، این روش نوآورانه نه تنها کیفیت گردو را در طول نگهداری حفظ می‌کند، بلکه می‌تواند به ترویج مصرف گردو به‌عنوان یک ماده غذایی سالم و مغذی در رژیم‌های غذایی مختلف، به‌ویژه در کشورهایی که استفاده بهینه‌ای از گردو دارند، کمک کند [۱].

یک مطالعه دیگر در دانشکده فناوری کشاورزی (پردیس ابوریحان) دانشگاه تهران نشان داد که استفاده از عصاره پوست سبز گردو (WGHE) در ترکیب با اسید اسکوربیک می‌تواند به‌طور مؤثری طول عمر نگهداری گردوی تازه را افزایش دهد. این روش با جلوگیری از تغییر رنگ، اکسیداسیون چربی‌ها و رشد میکروبی، خواص حسی محصول را حفظ می‌کند. همچنین، این تحقیق تأکید دارد که عصاره پوست سبز گردو، به دلیل محتوای بالای ترکیبات فنولی و آنتی‌اکسیدانی، نه تنها در افزایش ماندگاری گردو مؤثر است، بلکه به‌عنوان جایگزینی طبیعی و ایمن برای مواد نگهدارنده شیمیایی قابل استفاده است. این یافته‌ها بر پتانسیل استفاده از محصولات جانبی گردو در صنایع غذایی و توسعه روش‌های نگهداری طبیعی تأکید می‌کند [۱۹].

رگ‌ها، به حفظ انعطاف‌پذیری عروق و بهبود جریان خون کمک می‌کنند [۳۲].

۲. کنترل دیابت

گردو به دلیل ترکیبات زیستی فعال خود به بهبود متابولیسم و کنترل سطح قند خون کمک می‌کند. فیبر و چربی‌های غیراشباع موجود در گردو باعث ایجاد احساس سیری طولانی‌مدت می‌شوند، که این امر می‌تواند در کنترل وزن و پیشگیری از چاقی مؤثر باشد. علاوه بر این، مصرف گردو حساسیت به انسولین را بهبود داده و به تنظیم سطح گلوکز خون کمک می‌کند. مطالعات نشان داده‌اند که گردو مقاومت به انسولین را کاهش داده و عملکرد سلول‌های بتای پانکراس را به‌ویژه در افراد مبتلا به دیابت نوع ۲ تقویت می‌کند. همچنین، ترکیبات آنتی‌اکسیدانی گردو با خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد، از آسیب اکسیداتیو مرتبط با دیابت جلوگیری می‌کنند [۳۳].

۳. اثرات ضدسرطانی

گردو به دلیل محتوای پلی‌فنول‌ها و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی، به‌عنوان یک عامل ضدسرطانی طبیعی شناخته می‌شود. این ترکیبات با جلوگیری از اکسیداسیون و کاهش آسیب DNA، از تکثیر سلول‌های سرطانی جلوگیری کرده و خطر ابتلا به انواع سرطان‌ها از جمله سرطان پستان، کولون و پروستات را کاهش می‌دهند. تحقیقات نشان داده است که پپتیدهای زیستی موجود در گردو از رشد تومورهای سرطانی جلوگیری کرده و اثرات قابل‌توجهی در مهار سلول‌های سرطانی دارند. به‌ویژه، پلی‌فنول‌های گردو با تنظیم بیان ژن‌ها و بهبود وضعیت التهابی، به کاهش خطر ابتلا به سرطان کمک می‌کنند [۱۵].

یک دانشجوی دکتری بیوشیمی در دانشگاه تهران، نشان داد که هیدرولیز پروتئین‌های گردو با استفاده از آنزیم‌های مختلف، پپتیدهایی با خاصیت آنتی‌اکسیدانی و ضدسرطانی قوی تولید می‌کند. این پپتیدها توانستند رادیکال‌های آزاد را خنثی کرده و گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) را کاهش دهند. همچنین این پپتیدها در آزمایش‌های سلولی، رشد سلول‌های سرطان پستان (MDA-MB231) را تا ۶۳٪ و سلول‌های سرطان کولون (HT-29) را تا ۵۱٪ مهار کردند. این یافته‌ها نشان‌دهنده پتانسیل بالای پپتیدهای استخراج‌شده از گردو در توسعه مواد غذایی طبیعی دارای خاصیت درمانی برای پیشگیری از سرطان و کاهش استرس

اکسیداتیو است که می‌تواند به‌عنوان بخشی از یک رژیم غذایی سالم و سبک زندگی پایدار مورد توجه قرار گیرد [۱۶].

۴. عملکرد مغز و حافظه

پلی‌فنول‌ها و اسیدهای چرب امگا-۳ موجود در گردو به بهبود عملکرد مغز و حافظه کمک کرده و نقش مهمی در پیشگیری از اختلالات شناختی مانند آلزایمر ایفا می‌کنند. این ترکیبات با کاهش التهاب و استرس اکسیداتیو، از سلول‌های عصبی در برابر آسیب‌های اکسیداتیو محافظت کرده و کارکردهای شناختی را بهبود می‌بخشند. تحقیقات نشان داده‌اند که مصرف منظم گردو (حدود ۳ گردو در روز) می‌تواند به بهبود حافظه و کاهش زوال عقل در سالمندان کمک کرده و از این طریق کیفیت زندگی را ارتقا دهد [۳۴].

۵. پیشگیری از بیماری‌های التهابی و تقویت سیستم ایمنی

گردو به دلیل خواص ضدالتهابی و ترکیبات آنتی‌اکسیدانی متعدد، به تقویت سیستم ایمنی بدن و کاهش التهاب‌های مزمن کمک می‌کند. این ویژگی‌ها، گردو را به‌عنوان یک ماده غذایی ضدالتهابی طبیعی برای پیشگیری از بیماری‌های خودایمنی و التهابی، از جمله آرتریت و بیماری‌های قلبی، معرفی می‌کند. همچنین فیتوسترول‌ها و اسیدهای چرب امگا-۳ موجود در گردو با کاهش واکنش‌های التهابی در بدن، به بهبود سلامت عمومی و پیشگیری از بیماری‌های مرتبط با التهاب کمک می‌کنند [۳۵].

۶. سلامت سیستم عصبی و اثرات ضد تشنج

در یک مطالعه بیوشیمی در دانشگاه تهران، اثرات ضد تشنجی پپتیدهای گردو در مدل‌های مختلف صرع در موش‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که این پپتیدها با تأثیر بر مسیرهای GABA و اکسید نیتریک، آستانه بروز تشنج را افزایش داده و شدت آن را کاهش می‌دهند. این خاصیت ضد تشنجی گردو می‌تواند به‌عنوان یک روش طبیعی برای پیشگیری از تشنج و کاهش استرس اکسیداتیو در سیستم عصبی مورد استفاده قرار گیرد. مصرف روزانه گردو در چارچوب یک سبک زندگی سالم می‌تواند به بهبود سلامت عمومی و کاهش خطر اختلالات عصبی کمک کند [۳۶].

۷. کاهش فشار خون

نتایج مطالعه دیگری که در مرکز تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک دانشگاه تهران روی پپتیدهای زیست‌فعال استخراج‌شده از

بالاتر ترکیبات بیواکتیو و ویژگی‌های تغذیه‌ای مطلوب کمک کند که در بهبود سلامت عمومی نقش به‌سزایی خواهند داشت [۴۸، ۴۹، ۵۰، ۵۱].

گردو به دلیل ترکیبات مغذی و بیواکتیو متنوع، از جمله اسیدهای چرب امگا-۳، فیتوسترول‌ها، پلی‌فنول‌ها، پپتیدهای زیستی، ملاتونین، و ویتامین‌ها، در بهبود سلامت عمومی و کاهش خطر ابتلا به بیماری‌های مزمن تأثیر چشمگیری دارد [۱، ۲، ۵، ۷]. تحقیقات علمی نشان داده‌اند که مصرف منظم گردو، به‌ویژه در قالب رژیم‌های غذایی سالم، می‌تواند به کاهش عوامل خطر مرتبط با بیماری‌های قلبی-عروقی، کنترل وزن، بهبود عملکرد شناختی و تقویت سیستم ایمنی کمک کند [۸، ۱۱، ۱۳]. ترکیبات آنتی‌اکسیدانی و ضدالتهابی گردو با کاهش استرس اکسایشی و کاهش التهابات، می‌توانند در پیشگیری از بیماری‌های مزمن نظیر دیابت، سرطان، و اختلالات شناختی مؤثر باشند [۱۰، ۱۵، ۱۸]. با توجه به شواهد علمی، گنجاندن گردو به‌عنوان یک جزء دائمی در رژیم غذایی روزانه می‌تواند تأثیرات مثبتی بر سلامت عمومی و کاهش ریسک ابتلا به بیماری‌ها داشته باشد [۲۰، ۳۲، ۳۳].

از منظر آینده‌پژوهشی، گردو با داشتن ترکیبی بی‌نظیر از مواد مغذی زیستی به‌عنوان یک غذای فراسودمند برای بهبود سلامت انسان شناخته می‌شود [۸، ۱۲، ۱۶]. این مرور، ارزش تغذیه‌ای گردو را با تأکید بر نقش آن در بهبود سلامت و مدیریت بیماری‌ها بررسی کرده است. پژوهش‌های آتی می‌توانند به ارتقای کیفیت و ارزش غذایی گردو از طریق توسعه ارقام با محتوای تغذیه‌ای بالاتر تمرکز کنند [۱۴، ۱۷، ۲۸]. همچنین، به‌کارگیری فناوری‌های نوین برای حفظ کیفیت گردو پس از برداشت، می‌تواند نقش مهمی در افزایش عمر مفید و ارزش تغذیه‌ای این محصول ایفا کند [۱۹، ۲۶، ۳۰].

در پایان، مطالعه کتاب ردپای گردو (Walnut Footprints) که توسط نویسنده مقاله (زمانی که مسئولیت ریاست بخش گروهی انجمن بین‌المللی علوم باغبانی را عهده دار بود) و ۴ ادیتور دیگر از سایر قاره‌های جهان، با همکاری ۱۱۵ محقق گردو از ۶۰ کشور جهان، به رشته تحریر در آمده است و توسط انجمن بین‌المللی علوم باغبانی (ISHS) منتشر شده است، به علاقه‌مندان گردو توصیه می‌شود. این کتاب که به بررسی صنعت گردو در بیش از ۶۰ کشور می‌پردازد، اطلاعاتی درباره توزیع جغرافیایی، منشأ تاریخی و شیوه‌های کشت گردو در این کشورها ارائه می‌دهد. در این اثر، که چاپ پنجم آن نیز منتشر شده است، علاوه بر توصیف

پروتئین‌های گردو انجام شد، نشان داد که این ترکیبات قادر به مهار آنزیم تبدیل‌کننده آنژیوتانسین (ACE) هستند و پتانسیل بالایی برای کاهش فشار خون دارند. بررسی‌های سینتیکی نشان داد که هیدرولیز آنزیمی با تریپسین، بیشترین فعالیت مهار ACE را با مقدار IC50 برابر با 0.05 ± 0.39 میلی‌گرم بر میلی‌لیتر دارد. این پپتیدها برخلاف داروهای تجاری مانند انالاپریل، ساختار پروتئین ACE را تغییر نمی‌دهند که نشان‌دهنده مزیت بالقوه استفاده از آنها به‌عنوان جایگزین طبیعی برای داروهای شیمیایی است. نتایج این مطالعه اهمیت گردو را به‌عنوان منبع غنی از ترکیبات زیست‌فعال با کاربردهای عملکردی در بهبود سلامت قلب و کاهش فشار خون برجسته می‌کند [۱۶].

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به پیشرفت‌های اخیر در اصلاح ژنتیکی و بهبود ویژگی‌های گردو، توسعه ارقام جدید با ویژگی‌هایی نظیر دیر برگ‌دهی، زودرسی، مقاومت به تنش‌های محیطی و محتوای تغذیه‌ای بالاتر می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی بر بهبود سلامت انسان از طریق مصرف گردو داشته باشد [۳۷، ۳۸، ۳۹]. ویژگی‌های بیوشیمیایی برتر برخی ژنوتیپ‌های گردو، از جمله محتوای بالای پلی‌فنول‌ها و اسیدهای چرب مفید، نقش مهمی در کاهش استرس اکسایشی و التهابات ایفا می‌کنند [۳۸، ۴۰]. علاوه بر این، گسترش ارقام زودرس و پربازده به‌ویژه در مناطق مستعد، همراه با استفاده از تکنولوژی‌های نوین در نگهداری و فرآوری، به حفظ کیفیت گردو و افزایش ارزش تغذیه‌ای آن کمک می‌کند [۴۱، ۴۲]. همچنین، مطالعات در زمینه ژنتیک و جریان ژنی نشان داده‌اند که مدیریت منابع ژنتیکی گردو می‌تواند در افزایش کیفیت و پایداری این محصول اثرگذار باشد [۴۳، ۴۴]. با توجه به این یافته‌ها، پژوهش‌های آتی باید بر ارتقای کیفیت گردو از طریق اصلاح ژنتیکی، توسعه ارقام مقاوم به تنش‌ها، و به‌کارگیری روش‌های نوین فرآوری و بسته‌بندی برای حفظ خواص تغذیه‌ای و افزایش عمر مفید این محصول تمرکز کنند [۴۵، ۴۶، ۴۷].

گردو با ترکیب منحصره‌فردی از مواد مغذی زیستی و اثرات سلامت‌بخش، علاوه بر فواید شناخته‌شده در کاهش بیماری‌های قلبی-عروقی و تقویت سیستم ایمنی، پتانسیل بالایی برای توسعه به‌عنوان یک محصول با ارزش افزوده در صنعت غذایی دارد. براساس پژوهش‌های اخیر، استفاده از روش‌های اصلاح ژنتیکی و انتخاب ژنوتیپ‌های برتر گردو می‌تواند به تولید ارقامی با محتوای

همچنین از تمامی دانشجویان، همکاران و پژوهشگرانی که در بخش‌های تحقیقاتی و پژوهشی همراهی و همکاری نمودند، قدردانی می‌کنم. بخشی از این مقاله، حاصل پژوهش‌های صورت‌گرفته در دانشکده فناوری کشاورزی (پردیس ابوریحان) دانشگاه تهران و بخشی حاصل پژوهش‌های صورت‌گرفته در مرکز تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک دانشگاه تهران است که از تلاش‌های این مراکز و محققان آن‌ها سپاسگزارم. امید است این مقاله بتواند در مسیر گسترش علم و ارتقای دانش عمومی و تخصصی در زمینه گردو گامی هرچند کوچک بردارد و در خدمت جامعه علمی و مردم عزیز قرار گیرد.

فهرست منابع

- [1]. Habibi, A., Hamedpour-Darabi, M., & Vahdati, K. (2022). Local cultural values of Persian walnut in Iran. In: Wall, J. (Ed.), *The Cultural Value of Trees; Folk Value and Biocultural Conservation*. Taylor & Francis Press, London.
- [2]. Khodadadi, F., Tohidfar, M., Vahdati, K., Dandekar, A. M., & Leslie, C. A. (2020). Functional analysis of walnut polyphenol oxidase gene (*JrPPO1*) in transgenic tobacco plants and PPO induction in response to walnut bacterial blight. *Journal of Plant Pathology*, Vol. 69, pp. 756-764.
- [3]. Vahdati, K., Sarikhani Khorami, S., & Arab, M. M. (2018). Walnut: A potential multipurpose nut crop for reclaiming deteriorated lands and environment. *Acta Horticulturae*, Vol. 1190, pp. 95-100.
- [4]. Roointan, R., Yadollahi, A., Sarikhani Khorami, S., Arab, M. M., & Vahdati, K. (2018). Rainfed fruit orchards in sloping lands: Soil erosion reduction, water harvesting and fruit production. *Acta Horticulturae*, Vol. 1190, pp. 107-112.
- [5]. Sayadi, M. H. J., Vahdati, K., Mozafari, J., Mohajer, M. R. M., & Leslie, C. A. (2012). Natural Hyrcanian populations of Persian walnut (*Juglans regia*) in Iran. *Acta Horticulturae*, Vol. 948, pp. 97-102.
- [6]. Gandev, S. (2007). Budding and grafting of the walnut (*Juglans regia*) and their effectiveness in Bulgaria. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, Vol. 13, pp. 683.
- [7]. Hassan, G. A., Bilal, A. T., Ahmad, B. T., Sameena, W., & Irshad, A. N. (2013). Economic and ethno-medicinal uses of *Juglans regia* L. Kashmir Himalaya. *Unique Journal of Ayurvedic and Herbal Medicine*, Vol. 1, pp. 64-67.
- [8]. Sharma, M., Sharma, M., Sahu, S. C., & Sharma, D. (2024). Walnuts as Functional Food and Nutraceutical: A Bibliometric Study of Research Trends on Nutritional Potential, Phytochemistry and its Health Benefits. *Food and Humanity*, pp. 100387.

روش‌های مدرن تولید و فرآوری گردو، به کاربردهای سنتی آن نیز اشاره می‌کند. گردو، از هسته و پوست تا برگ و چوب، در طیف وسیعی از صنایع مانند آشپزی، پزشکی، صنایع دستی، و حتی تولید سوخت‌های خانگی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این کتاب با تمرکز بر ارزش‌های فرهنگی، تغذیه‌ای و اقتصادی گردو، همکاری بین‌المللی برای بهبود کشت، فرآوری، و مصرف این خشکبار ارزشمند را ترویج می‌دهد و راهکارهایی برای توسعه پایدار آن پیشنهاد می‌کند [۵۲].

توصیه‌های کاربردی برای مصرف گردو

۱. مصرف روزانه: توصیه می‌شود به‌طور منظم و روزانه حدود ۳۰ گرم گردو (۳-۴ عدد) مصرف شود. این میزان می‌تواند به کاهش خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی و بهبود سلامت کلی کمک کند.
۲. توصیه می‌شود مغز گردو حتماً با پوست نازک کرم مایل به قهوه‌ای رویی آن مصرف شود. زیرا تقریباً اکثر محتوای آنتی‌اکسیدانتی گردو در این پوست قرار دارند.
۳. تا حد امکان، از مصرف گردوهای مانده که روغن آن حالت ترشیدگی به خود گرفته و رنگ آنها قهوه‌ای تیره شده است، پرهیز شود. زیرا عمده اسیدهای چرب گردو اشباع نشده هستند و در اثر گرما و ماندن زیاد در هوای آزاد این اسیدهای چرب اشباع می‌شوند و برای بدن ضرر دارند.
۲. تنوع در مصرف آجیل‌ها: برای بهره‌مندی از فواید گوناگون، گردو همراه با سایر آجیل‌ها مانند بادام، فندق و پسته به‌صورت ترکیبی مصرف شود. این تنوع می‌تواند به تعادل مواد مغذی و افزایش ارزش تغذیه‌ای رژیم غذایی کمک کند.
۳. پرهیز از مصرف گردوهای شور و بوداده: مصرف گردو به صورت خام یا کم‌تفت داده توصیه می‌شود تا ارزش غذایی و خواص بیواکتیو آن بهتر حفظ شود. مصرف گردوهای شور یا بوداده ممکن است به افزایش سدیم منجر شود که برای سلامت قلب و عروق مناسب نیست.

سپاس‌نامه

بر خود لازم می‌دانم از استاد گرانقدر جناب آقای دکتر علی اکبر موسوی موحدی، سردبیر گرامی نشریه نشاء علم، برای ارائه پیشنهادات ارزشمند و راهنمایی‌های علمی که به ارتقای کیفیت این مقاله انجامید، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم.

- Horticulture, Environment, and Biotechnology, Vol. 64, No. 1, pp. 133-142.
- [20]. Gao, P., Liu, R., Jin, Q., & Wang, X. (2019). Comparative study of chemical compositions and antioxidant capacities of oils obtained from two species of walnut: *Juglans regia* and *Juglans sigillata*. Food Chemistry, Vol. 279, pp. 279-287.
- [21]. Ding, T., & Li, Y. (2021). Beneficial effect and mechanism of walnut oligopeptide on *Lactobacillus plantarum* Z7. Food Science & Nutrition, Vol. 9, No. 2, pp. 672-681.
- [22]. Courtney-Martin, G., Ball, R. O., Pencharz, P. B., & Elango, R. (2016). Protein requirements during aging. Nutrients, Vol. 8, pp. 492.
- [23]. López, D. N., Galante, M., Robson, M., Boeris, V., & Spelzini, D. (2018). Amaranth, quinoa and chia protein isolates: Physicochemical and structural properties. International Journal of Biological Macromolecules, Vol. 109, pp. 152-159.
- [24]. نورآذران، م.، یوسفی، ر.، ضرابی، م.، علوی پناه، س. ک. و موسوی موحلی، ع. ا. (۱۴۰۲). سبک زندگی علمی و شادی. نشریه نشا علم. شماره ۱۳. پاییز-زمستان. صفحات ۱۱۶-۱۰۴.
- [25]. Feldman, J. M., & Lee, E. M. (1985). Serotonin content of foods: effect on urinary excretion of 5-hydroxyindoleacetic acid. The American Journal of Clinical Nutrition, Vol. 42, pp. 639-643.
- [26]. Bakkalbaşı, E., Yılmaz, Ö. M., Javidipour, I., & Artık, N. (2012). Effects of packaging materials, storage conditions and variety on oxidative stability of shelled walnuts. LWT-Food Science and Technology, Vol. 46, pp. 203-209.
- [27]. Bowman, A. B., Kwakye, G. F., Hernández, E. H., & Aschner, M. (2011). Role of manganese in neurodegenerative diseases. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology, Vol. 25, pp. 191-203.
- [28]. Chatrabnous, N., Yazdani, N., & Vahdati, K. (2018). Determination of nutritional value and oxidative stability of fresh walnut. Journal of Nuts, Vol. 9, No. 1, pp. 11-20.
- [29]. Pakrah, S., Rahemi, M., Haghjooyan, R., Nabipour, A., Kakavand, F., Zahedzadeh, F., & Vahdati, K. (2022). Comparing physical and biochemical properties of dried and fresh kernels of Persian walnut. Erwerbs-Obstbau, pp. 1-8.
- [30]. Chatrabnous, N., Yazdani, N., Tavallali, V., & Vahdati, K. (2018). Preserving quality of fresh walnuts using plant extracts. LWT, Vol. 91, pp. 1-7.
- [31]. Pakrah, S., Rahemi, M., Nabipour, A., Zahedzadeh, F., Kakavand, F., & Vahdati, K. (2021). Sensory and nutritional attributes of Persian walnut kernel influenced by maturity stage, drying method, and cultivar. Journal of Food Processing and Preservation, pp. e15513.
- [32]. Alshahrani, S. M., Mashat, R. M., Almutairi, D., Mathkour, A., Alqahtani, S. S., Alasmari, A., ... & [9]. Habibi, A., Yazdani, N., Chatrabnous, N., Koushesh Saba, M., & Vahdati, K. (2022). Inhibition of browning via aqueous gel solution of Aloe vera: A new method for preserving fresh fruits as a case study on fresh kernels of Persian walnut. Journal of Food Science and Technology, Vol. 59, pp. 2784-2793.
- [10]. Jardim, T., Domingues, M. R. M., & Alves, E. (2023). An overview on lipids in nuts and oily fruits: oil content, lipid composition, health effects, lipidomic fingerprinting and new biotechnological applications of their by-products. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, pp. 1-29.
- [11]. Liu, X., Guasch-Ferré, M., Tobias, D. K., & Li, Y. (2021). Association of *walnut* consumption with total and cause-specific mortality and life expectancy in US adults. Nutrients, Vol. 13, pp. 2699.
- [12]. Vahdati, K., Sheikhi, A., Arab, M. M., Sarikhani, S., Habibi, A., & Ataee, H. (2023). Cultivars and genetic improvement. In: Mir, M. M., Rehman, M. U., Iqbal, U., & Mir, S. A. (Eds.), Temperate Nuts. Springer, Singapore.
- [13]. Vahdati, K., Arab, M. M., & Sarikhani, S. (2020). Advances in biotechnology and propagation of nut trees in Iran. BIO Web of Conferences, Vol. 25, pp. 01003.
- [14]. Arab, M. M., Marrano, A., Abdollahi-Arpanahi, R., Leslie, C. A., Askari, H., Neale, D. B., & Vahdati, K. (2019). Genome-wide patterns of population structure and association mapping of nut-related traits in Persian walnut populations from Iran using the Axiom *J. regia* 700K SNP array. Scientific Reports, Vol. 9, No. 1, pp. 6376.
- [15]. Jahanbani, R., Ghaffari, S. M., Salami, M., Vahdati, K., Sepehri, H., Namazi Sarvestani, N., ... & Moosavi-Movahedi, A. A. (2016). Antioxidant and anticancer activities of walnut (*Juglans regia* L.) protein hydrolysates using different proteases. Plant Foods for Human Nutrition, Vol. 71, pp. 402-409.
- [16]. Jahanbani, R., Ghaffari, M., Vahdati, K., Salami, M., Khalesi, M., Sheibani, N., & Moosavi-Movahedi, A. A. (2018). Kinetics study of protein hydrolysis and inhibition of angiotensin converting enzyme by peptides hydrolysate extracted from walnut. International Journal of Peptide Research and Therapeutics, Vol. 24, pp. 77-85.
- [17]. Roozban, M. R., Mohamadi, N., & Vahdati, K. (2006). Fat content and fatty acid composition of four Iranian pistachio varieties grown in Iran. Acta Horticulturae, Vol. 726, pp. 573-577.
- [18]. Akbari, V., Jamei, R., Heidari, R., & Esfahlan, A. J. (2012). Antiradical activity of different parts of walnut (*Juglans regia* L.) fruit as a function of genotype. Food Chemistry, Vol. 135, pp. 2404-2410.
- [19]. Habibi, A., Yazdani, N., Koushesh Saba, M., Chatrabnous, N., Molassiotis, A., Sarikhani, S., & Vahdati, K. (2023). Natural preservation and improving lipid oxidation inhibition of fresh walnut.

- Barzehkar, R., Amiri, R., Mozaffari, M., & Woeste, K. (2015). Genetic diversity and gene flow of some Persian walnut populations in southeast of Iran revealed by SSR markers. *Plant Systematics and Evolution*, Vol. 301, pp. 691-699.
- [44]. Kouhi, M., Rezaei, A., Hassani, D., Sarikhani, S., & Vahdati, K. (2020). Phenotypic evaluation and identification of superior Persian walnut (*Juglans regia* L.) genotypes in Mazandaran Province, Iran. *Journal of Nuts*, Vol. 11(4), pp. 315-326.
- [45]. Vahdati, K., Arab, M. M., Sarikhani, S., Sadat Hosseini, M., Leslie, C. A., & Brown, P. J. (2019). Advances in Persian walnut (*Juglans regia* L.) breeding strategies. In: Al-Khayri, J. M., Jain, S. M., & Johnson, D. V. (Eds.), *Advances in Plant Breeding Strategies*, Vol. 4: Nut and Beverage Crops. Springer, Switzerland, pp. 401-472.
- [46]. Hassani, D., Mozaffari, M., Soleimani, A., Dastjerdi, R., Rezaee, R., Keshavarzi, M., ... & Vahdati, K. (2020). Four new Persian walnut cultivars of Iran: Persia, Caspian, Chaldoran, and Alvand. *HortScience*, Vol. 55(7), pp. 1162-1164.
- [47]. Vahdati, K., Mohseniazar, M. (2016). Early bearing genotypes of walnut: A suitable material for breeding and high-density orchards. *Acta Horticulturae*, Vol. 1139, pp. 101-106.
- [48]. Vahdati, K., Sarikhani, S., Arab, M. M., Leslie, C. A., Dandekar, A. M., Aletà, N., ... & Mehlenbacher, S. (2021). Advances in rootstock breeding of nut trees: Objectives and strategies. *Plants*, Vol. 10(11), pp. 2234.
- [49]. Vahdati, K., Hassani, D., & Rezaee, R. (2014). Behavior of some early mature and dwarf Persian walnut trees in Iran. *Acta Horticulturae*, Vol. 1050, pp. 189-196.
- [50]. Hassankhah, A., Rahemi, M., Ramshini, H., Sarikhani, S., & Vahdati, K. (2020). Flowering in Persian walnut: Patterns of gene expression during flower development. *BMC Plant Biology*, Vol. 20(1), pp. 1-10.
- [51]. Sarikhani, S., & Vahdati, K. (2019). Determination of Persian walnut yield components and its correlation with phenological, morphological, and biochemical traits. *Iranian Journal of Horticultural Science*, Vol. 50(3), pp. 549-560.
- [52]. Avanzato, D., McGranahan, G., Vahdati, K., Botu, M., Iannamico, L., Van Assche, J. (2014). *Following Walnut Footprints (Juglans regia L.)*. Cultivation and Culture, Folklore and History, Traditions and Uses. ISHS. Belgium.
- Alsabaani, A. (2022). The effect of walnut intake on lipids: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Nutrients*, Vol. 14, No. 21, pp. 4460.
- [33]. Zibaenezhad, M., Farhadi, P., Attar, A. et al. Effects of walnut oil on lipid profiles in hyperlipidemic type 2 diabetic patients: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Nutrition and Diabetes*, Vol. 7, pp. e259.
- [34]. Asadi-Shekaari, M., Eslami, A., Kalantaripour, T., & Joukar, S. (2014). Potential mechanisms involved in the anticonvulsant effect of walnut extract on pentylenetetrazole-induced seizure. *Medical Principles and Practice*, Vol. 23, No. 6, pp. 538-542.
- [35]. Ros, E. (2010). Health benefits of nut consumption. *Nutrients*, Vol. 2, No. 7, pp. 652-682.
- [36]. Jahanbani, R., Bahramnejad, E., Rahimi, N., Shafaroodi, H., Sheibani, N., Moosavi-Movahedi, A. A., ... & Vahdati, K. (2021). Anti-seizure effects of walnut peptides in mouse models of induced seizure: The involvement of GABA and nitric oxide pathways. *Epilepsy Research*, pp. 106727.
- [37]. Fallah, M., Vahdati, K., Hasani, D., Rasouli, M., & Sarikhani, S. (2022). Breeding of Persian walnut: Aiming to introduce late-leaving and early-harvesting varieties by targeted hybridization. *Scientia Horticulturae*, Vol. 295.
- [38]. Hassani, D., Sarikhani, S., Dastjerdi, R., Mahmoudi, R., Soleimani, A., & Vahdati, K. (2020). Situation and recent trends on cultivation and breeding of Persian walnut in Iran. *Scientia Horticulturae*, Vol. 270, pp. 109369.
- [39]. Vahdati, K., Khorami, S. S. (2021). The past, present and future of walnut genetic improvement and propagation. *Acta Horticulturae*, Vol. 1318, pp. 251-258.
- [40]. Sarikhani, S., & Vahdati, K. (2021). Biochemical properties of superior Persian walnut genotypes originated from southwest of Iran. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, Vol. 8(1), pp. 13-24.
- [41]. Vahdati, K., & Aalifar, M. (2016). Development and extension of walnut propagation in Iran. *Acta Horticulturae*, Vol. 1139, pp. 467-474.
- [42]. Hassankhah, A., Rahemi, M., Ramshini, H., Sarikhani, S., & Vahdati, K. (2020). Flowering in Persian walnut: Patterns of gene expression during flower development. *BMC Plant Biology*, Vol. 20(1), pp. 1-10.
- [43]. Vahdati, K., Mohseni Pourtaklu, S., Karimi, R.,

چشم اندازی از واکسن‌های نو ترکیب خوراکی بر پایه ریزجلبک‌ها

مه‌رن‌ناز شیر محمدی*^۱، فرح‌ناز کیان ارثی^۱

چکیده

در دهه‌های اخیر، بیوتکنولوژی ریزجلبکی به یکی از با ارزش‌ترین منابع افزودنی‌های کاربردی خوراک تبدیل شده است. بسیاری از ریزجلبک‌ها در آبی‌پروری سودمند در نظر گرفته شده‌اند، زیرا به‌عنوان مکمل‌های غذایی توانایی‌های تقویت ایمنی، مقاومت در برابر بیماری‌های عفونی و تحمل به استرس‌های محیطی را افزایش می‌دهند و برخی از آنها غیرسمی و سرشار از آنتی‌اکسیدان می‌باشند، به‌طوری‌که می‌توان آنها را به‌عنوان یک حامل دارویی برای انسان یا حیوانات مورد بررسی قرار داد. در حال حاضر موارد موفق از استفاده از ریزجلبک‌ها برای تولید واکسن‌های خوراکی در صنعت آبی‌پروری وجود دارد. اکثر واکسن‌های نو ترکیب بر اساس گونه *Chlamydomonas reinhardtii* تولید می‌شوند. با این حال، واکسن‌های تجاری کمی در دسترس هستند. همچنین هنوز مشخص نیست که چگونه ریزجلبک‌ها یا ترکیبات زیست‌فعال آنها ممکن است سیگنال‌ها را در سیستم ایمنی گونه‌های آبی‌زیان القا کنند. این مقاله با هدف جمع‌آوری تحقیقات منتشر شده در مورد پتانسیل ریزجلبک‌ها در تولید واکسن‌های نو ترکیب برای آبی‌پروری می‌باشد تا ایده‌هایی برای توسعه واکسن‌های خوراکی نو ترکیب ریزجلبک در آینده ارائه دهد.

واژگان کلیدی: آبی‌پروری، ترکیبات فعال ریزجلبک‌ها، سیستم ایمنی، واکسن‌های نو ترکیب

* عهده‌دار مکاتبات: دکتری تخصصی، تلفن‌انمابر: ۳۶۵۷۳۱۱۵ (۹۸۶۱)، آدرس الکترونیکی: mehrnaz.shirmohammadi@ifro.ir

^۱ پژوهشکده آبی‌پروری آب‌های جنوب کشور، موسسه تحقیقات علوم شیلاتی کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران

مقدمه

استفاده از فتوبیوراکتورها در حجم‌های کوچک یا بزرگ کشت داد و به‌منظور تولید انبوهی از آنها محدودیتی از نظر تغییرات فصلی ندارند [۱۴]. یک قابلیت که ریزجلبک‌ها دارند این هست که در محیط‌های مختلف (مثل دریا، آب شیرین) و شرایط گوناگون قادر به سازگاری هستند که باعث افزایش تنوع آنها و تولید محصولات طبیعی متنوع با کاربرد دارویی و صنعتی می‌شوند [۱۵].

در سال‌های اخیر، استفاده از ریزجلبک‌ها در رژیم غذایی آبزیان به‌عنوان محرک‌های ایمنی و پتانسیل آنها در تولید واکسن‌های نوترکیب، مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته‌اند [۱۳-۳]. با توجه به اهمیت روزافزون ریزجلبک‌ها در آبی‌پروری، این مقاله به بررسی جنبه‌های ریزجلبک‌ها در تقویت سیستم ایمنی، پیشگیری و کنترل بیماری‌ها در آبی‌پروری می‌پردازد. هر چند در سال‌های اخیر، مقالات زیادی درباره کاربرد ریزجلبک‌ها در آبی‌پروری وجود دارد. با این حال، خلاصه سیستماتیک کمی از نتیجه‌گیری‌های تحقیقاتی در مورد واکسن‌های نوترکیب برپایه ریزجلبک‌ها برای پیشگیری و کنترل بیماری در آبی‌پروری موجود است. به همین دلیل، مقاله حاضر در نظر دارد یافته‌های مطالعات ارائه شده را که با ریزجلبک‌ها و ایمنی آبزیان مرتبط است، با تمرکز بر تأثیر مستقیم یا غیرمستقیم ریزجلبک‌ها بر سیستم ایمنی آبزیان و کنترل بیماری‌های آنها با واکسن‌های خوراکی نوترکیب ریزجلبک، خلاصه کند.

ریزجلبک‌ها به‌عنوان یک منبع غذایی مفید برای تولید تجاری بسیاری از گونه‌های ماهیان به یک هدف سودآور در جامعه تحقیقاتی و صنعت بیوتکنولوژی تبدیل شده‌اند. از ترکیبات جلبکی برای تقویت سیستم ایمنی و مقاومت در برابر بیماری در آبزیان استفاده شده است (جدول ۱). به‌طور کلی، تجویز ریزجلبک‌ها در رژیم غذایی می‌تواند به فیزیولوژی حیوانات کمک کند، که بهبود پاسخ ایمنی، مقاومت در برابر استرس و بیماری، عملکرد ضدویروسی و ضدباکتریایی را افزایش می‌دهد. چندین نوع نشانگر زیستی مانند بررسی آسیب‌های بافتی در اندام‌های ایمنی (طحال و رأس کلیه) و همچنین تغییرات پارامترهای خونی ایمنی (نظیر فعالیت لیزوزیم، فعالیت فاگوسیتوزی، فعالیت انفجار تنفسی، پایداری غشاء لیزوزمی، مؤلفه‌های سیستم کمپلمان C3 و C4 و ایمونوگلوبولین M) و بررسی آپوپتوز در بافت‌های ایمنی ماهیان

صنعت آبی‌پروری در سال‌های اخیر به‌سرعت توسعه یافته است و با توجه به گسترش سریع تقاضای جهانی ماهی و صید نسبتاً پایدار، انتظار می‌رود که آبی‌پروری شکاف بین عرضه و تقاضای غذا، را پر کند [۱]. آبزیان به‌منظور افزایش تولید در واحد سطح، در محیط‌های محصور مانند استخر و قفس با تراکم بالا پرورش داده می‌شوند که به‌دنبال آن باعث مهار سیستم ایمنی و حساسیت به بیماری‌ها می‌گردد [۲]. شیوع بیماری‌ها از نظر اقتصادی خسارات شدیدی به صنعت آبی‌پروری وارد می‌کند. بیماری‌های شدید در آبی‌پروری بیشتر توسط ویروس‌ها و باکتری‌ها ایجاد می‌شود [۳]. اگرچه برخی از بیماری‌های باکتریایی را می‌توان با چندین واکسن و آنتی‌بیوتیک به‌طور مؤثر درمان کرد [۴-۳] ولی سوء مصرف آنتی‌بیوتیک‌ها باعث تغییر در فلور بومی ماهی، پایداری باکتری‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک و باقی‌مانده‌های آنتی‌بیوتیک در بافت آبزیان می‌شود [۴]. بنابراین برای کنترل بیماری‌ها در آبی‌پروری جستجوی روش‌های کم عوارض و سازگار با محیط‌زیست، حائز اهمیت است. در سال‌های اخیر استفاده از واکسن‌های توسعه‌یافته با استفاده از ریزجلبک‌ها به‌عنوان حامل و مکمل‌های غذایی مثل پروبیوتیک‌ها و ترکیبات استخراج شده از جلبک‌های دریایی جهت مقابله با عوامل بیماری‌زا بیشتر مورد توجه پرورش‌دهندگان آبزیان قرار گرفته‌اند [۵-۶].

ریزجلبک‌ها به‌عنوان بخش اساسی اکوسیستم‌های آبی مانند اقیانوس‌ها و دریاچه‌ها، برای محیط آبی، سلامت جانوران آبی و تعادل اکوسیستم اهمیت زیادی دارند. سلول‌های ریزجلبک‌ها سرشار از مواد مغذی مانند ویتامین‌ها، اسید چرب غیراشباع چندگانه^۱ (PUFAs)، کربوهیدرات‌ها، لیپید، رنگدانه‌ها، پروتئین، و مواد معدنی (فسفر، روی، آهن، کلسیم، سلنیوم و منیزیم) و استرول هستند [۱۲-۱۱] که می‌توانند رشد و سیستم ایمنی ماهی و میگو را تقویت کنند. بنابراین می‌توان از آنها به‌عنوان خوراک اساسی برای ماهی‌ها و سایر آبزیان استفاده کرد [۳]. مطالعات گسترده‌ای بر روی ریزجلبک‌ها انجام شده که نشان می‌دهند عصاره خام آنها دارای ترکیبات زیست‌فعال مانند ضدسرطان، ضد میکروبی، ضد التهابی، آنتی‌اکسیدان، ضدویروسی و تقویت‌کننده ایمنی می‌باشند [۱۳]. ریزجلبک‌ها را می‌توان با

¹ Poly Unsaturated Fatty Acid

پتانسیل ریز جلبک‌ها به عنوان واکسن‌های نو ترکیب

توسعه سلول‌های ریز جلبک به عنوان واکسن مدت‌هاست که توجه دانشمندان را به خود جلب کرده است. شایان ذکر است که واکسن‌های خوراکی ریز جلبک‌ها برای عوامل بیماری‌زای خاص در زمینه آبی‌پروری طراحی و ساخته شده‌اند و ایمنی آنها مورد بررسی قرار گرفته است [۳]. طی دهه‌های اخیر استفاده از *Chlamydomonas reinhardtii* (ریز جلبک تازکدار سبز آب شیرین) به عنوان میزبانی مقرون‌به‌صرفه برای تولید پروتئین‌های نو ترکیب مورد توجه قرار گرفته است. به دلیل چرخه زندگی ساده، ژنوم شناخته شده، سرعت رشد بالا و کشت آسان میزبان مناسبی است [۲۱]. محققان با تغذیه گورخرماهی (*Danio rerio*) با یک رژیم غذایی حاوی گونه *C. reinhardtii* ترکیب شده با پروتئین فلورسنت سبز^۱ (GFP) و دنبال کردن سیگنال‌های فلورسنت در روده با رنگ‌آمیزی ایمنی نشان دادند که کلامیدوموناس به عنوان یک تحویل یا رساننده خوراکی برای پروتئین‌های درمانی و مولکول‌های فعال‌زیستی به داخل سلول هدف کارایی دارد [۲۲]. تحقیقاتی صورت گرفت که طی انتقال ژن آنتی‌ژن پروتئین (P57) مربوط به باکتری *Renibacterium salmoninarum* در کلامیدوموناس و اضافه کردن ۴ درصد این جلبک به رژیم غذایی ماهی، نشان داد که دو ساعت بعد آنتی‌بادی در سرم، بافت و مخاط ماهی مشاهده شد [۲۳]. محققان گونه *C. reinhardtii* را با موفقیت اصلاح ژنتیکی کردند و دو پروتئین آنتی‌ژنی (AcrV و VapA) مربوط به باکتری *Aeromonas salmonicida* را در کلروپلاست کلامیدوموناس بیان کردند [۲۴]. در سال‌های اخیر محققان توانستند پروتئین آنتی‌ژنی (VP28) مربوط به ویروس سندرم لکه سفید^۲ (WSSV) در ریز جلبک‌های *Dunaliella salina* بیان کنند و طی اضافه کردن ریز جلبک‌ها به رژیم غذایی میگو، توانایی واکسن ریز جلبک تراریخته علیه ویروس WSSV را بررسی کردند. نتایج نشان داد که ریز جلبک‌های اصلاح شده ژنتیکی می‌توانند به طور مؤثر مقاومت در برابر بیماری را بهبود بخشند و بقای میگوها را افزایش دهند [۲۵]. برخی مطالعات نشان داد که پروتئین آنتی‌ژنی (VP28) با موفقیت در گونه *Synechococcus sp.* (جلبک سبز - آبی) بیان شد و راندمان بیان

گزارش شدند که عملکرد سیستم ایمنی را نشان می‌دهند. این نشانگرها می‌توانند منعکس کننده سلامت کلی جمعیت آبزیان باشند [۱۶، ۱۷، ۱۸-۱۹].

جدول ۱- برخی ترکیبات استخراج شده از ریز جلبک‌ها [۲۰]

ریز جلبک‌های تولیدکننده ترکیب	ترکیبات فعال	خواص درمانی
<i>Chlorella protothecoides</i>	لوتئین	محرک‌های ایمنی، ضد التهاب، آنتی‌اکسیدان
<i>Nostoc Muscorum</i>	فنولیک	ضد باکتریایی، ضد التهاب، آنتی‌اکسیدان
<i>Nostoc humifusum</i>		
<i>Chlorella Vulgaris</i>		
<i>Arthrospira platensis</i>		
<i>Dunaliella</i>		
<i>Chlorella minutissima</i>	آلکانوئید	ضد باکتریایی، ضد التهاب
<i>Nostoc Humifusum</i>		
<i>Nostoc Muscorum</i>		
<i>Arthrospira platensis</i>		
<i>Chlorella Vulgaris</i>	ترپنوئید	ضد باکتریایی، ضد سرطان، آنتی‌اکسیدان
<i>Arthrospira platensis</i>		
<i>Haematococcus Pluvialis</i>	استاگزنتین	ضد التهاب، آنتی‌اکسیدان
<i>Chlorella zofingiensis</i>		
<i>Chlorella Pyrenoidosa</i>	پپتیدها	ضد التهاب، ضد سرطان، آنتی‌اکسیدان
<i>Arthrospira platensis</i>	فیکوسیانین	ضد التهاب، آنتی‌اکسیدان
<i>Dunaliella Salina</i>	بتا کاروتن	ضد التهاب، آنتی‌اکسیدان، پیش‌ساز ویتامین A
<i>Chlorella minutissima</i>	فیتول	ضد التهاب، ضد باکتریایی، آنتی‌اکسیدان
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	بتا گلوکان	مقاوم در برابر عفونت و استرس محیطی
<i>Euglena gracilis</i>		

¹ Green Fluorescent Protein

² white spot syndrome virus

موفقیت القا کرد [۲۹]. طبق جدیدترین یافته، محققان ژن گلیکوپروتئینی ویروس سپتی سمی هموراژیک ویروسی^۳ (VHS) را جداسازی و در ریزجلبک *Chlorella vulgaris* بیان کردند. سپس از این ریزجلبک نوترکیب به‌عنوان واکسن خوراکی در ماهی کفشک زیتونی (*Paralichthys olivaceus*) استفاده کردند. بعد از گذشت ۵ روز یک آنتی‌بادی خنثی‌کننده در سرم ماهی مشاهده کردند. علاوه بر این، نرخ بقای نسبی ۸۱/۹ درصد به‌دنبال چالش این ماهی با ویروس VHSV به‌دست آوردند که نشان می‌دهد *C. vulgaris* می‌تواند به‌عنوان بستری مناسب برای تولید واکسن خوراکی در کنترل بیماری ویروسی در آبی‌پروری استفاده شود [۳۰]. همچنین طی تحقیقات دیگر، محققان توانستند پروتئین آنتی‌ژنی (VP28) مربوط به ویروس WSSV در ریزجلبکی *C. vulgaris* بیان کنند و طی اضافه کردن ریزجلبک به رژیم غذایی میگو، توانایی واکسن را بررسی کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که در مقایسه با گروه کنترل، که در آن میگو آلوده به ویروس WSSV تلفات ۱۰۰ درصد داشت، میگوهای تیمار شده با ۵ درصد از ریزجلبک نوترکیب در خوراک خود، تنها ۲۰ درصد میگو بعد از ۱۲ روز چالش با ویروس WSSV تلفات داشتند. همچنین در مقایسه با گروه غیر واکسینه شده، رونویسی فاکتور آنتی‌لیپوپولی‌ساکارید، لکتین نوع C و پروفنول اکسیداز که در دفاع میگو در برابر عفونت WSSV نقش دارند، به ترتیب ۲۹/۶ برابر، ۱۵/۴ برابر و ۱۱/۵ برابر افزایش یافت. این نتایج نشان می‌دهد که این ریزجلبک یک میزبان بالقوه برای تولید واکسن صنعتی میگو برای مقابله با ویروس WSSV هست [۳۱].

در موارد فعلی، تجویز خوراکی منجر به ایمنی قابل توجه و میزان بقای آبیان می‌شود. تحویل خوراکی آنتی‌ژن به موجودات آبی با ریزجلبک می‌تواند از مولکول آنتی‌ژن در برابر تخریب سیستم گوارشی محافظت کند. با این حال، مکانیسم دقیق نحوه ارائه مولکولی آنتی‌ژن به سلول هدف بیان نشده است. انتظار می‌رود که تحقیقات در مورد تغذیه خوراکی مستقیم یا غیرمستقیم ریزجلبک‌های نوترکیب برای آبیان باعث پیشگیری، بهبود یا درمان بیماری‌های آبیان در صنعت آبی‌پروری شود.

آن سه برابر بیشتر از زمانی بود که در گونه *Anabaena sp.* قرار داشت. همچنین طی مطالعاتی که بر روی جنس *Synechocystis* (جلبک سبز-آبی) انجام شد، این ریزجلبک هم قادر به بیان پروتئین آنتی‌ژنی (VP28) درون خود بود. بنابراین از آن برای واکسن خوراکی جهت تقویت فعالیت آنزیم‌های ایمنی میگو، در برابر عفونت WSSV می‌توان استفاده کرد [۲۶].

دیگر محققان، ژنوم کلروپلاست *C. reinhardtii* را برای بیان RNA دو رشته‌ای (dsRNA) که برای از بین بردن ژن‌های کلیدی ویروسی طراحی شده بود، مهندسی کردند. میگوهایی که قبل از عفونت بیماری ویروسی سر زرد^۱ (YHV) با سلول‌های جلبکی بیان شده با dsRNA تغذیه شده بودند، ۸ روز بعد از عفونت، ۵۰ درصد جمعیت زنده ماندند. در حالی که در گروه‌های کنترل، تنها ۱۵/۹ درصد بقا مشاهده شد و نتایج RT-PCR میزان آلودگی کمتری را در میگوهای تیمار شده با جلبک بیان‌کننده dsRNA در مقایسه با گروه‌های کنترل نشان دادند. تحقیقات و اکتشافات فوق جهت توسعه و کاربرد وسیع واکسن‌های نوترکیب ریزجلبک اصلاح‌شده ژنتیکی در زمینه آبی‌پروری را نشان می‌دهد [۲۷]. محققان پروتئین یا قطعه کسپید ویروس نکروز عصبی^۲ (NNV) را به عنوان آنتی‌ژن برای بیان درون سلولی ریزجلبک انتخاب کردند. پروتئین نوترکیب به سیستم ایمنی مخاطی ماهی هامور سفید *Eyineyhelus aeneus* و ماهی جوان ماهی باس اروپایی *Dicentrarchus labrax* تحویل داده شد. نتایج تجربی نشان داد که آنتی‌ژن‌های آگروژن می‌توانند با موفقیت ارائه شوند و پاسخ ایمنی خاص را در بدن ماهی تحریک کنند، به طوری که ریزجلبک‌های تراریخته می‌توانند میزان بقای ماهی را بهبود بخشند [۲۸]. طی مطالعاتی که در سالی اخیر انجام گردید، از ریزجلبک *Nannochloropsis* (از رده *Eustigmatophyceae*) به‌عنوان وکتور بیانی، برای بیان ژن خارجی شامل فاکتور رشد (rYGH) شانک زرد باله (*Acanthopagrus latus*) و آنتی‌ژن (VP28) ویروس WSSV استفاده شد که باعث تقویت رشد و افزایش مقاومت در برابر ویروس‌ها در گونه‌ی آبی شد. بنابراین طبق نتایج به‌دست آمده، آنتی‌ژن را می‌توان از طریق واکسیناسیون خوراکی با ریزجلبکی تراریخته به میزبان تحویل داد و پاسخ ایمنی را با

¹ Yellow Head Viral Disease

² Nerve Necrosis Virus

³ Viral Hemorrhagic Septicemia Virus

می‌شود. در دهه‌های اخیر، تلاش‌های مهمی برای مطالعه اثر تحریک‌کننده ایمنی ریزجلبک‌ها بر روی برخی از گونه‌های ماهی صورت گرفته است، اما مکانیسم‌های ایمنی هنوز به‌طور کامل مشخص نشده است. به‌طور کلی، اسیدهای چرب غیراشباع، کاروتنوئیدها، فلاونوئیدها، پلی‌ساکاریدها، ب-گلوکان‌ها، اسکوالن، نوکلئوتیدها، پپتیدها و کلروفیل به‌عنوان ترکیبات مرتبط با ریزجلبک‌ها شناسایی شده‌اند که دارای اثرات محرک ایمنی، مقاومت در برابر بیماری، ضد التهاب، ضد بیماری، در آبزیان هستند. چالش‌های اصلی شناسایی شده آبروی پروری با ذخیره‌سازی با تراکم بالا، کنترل ناپایدار دما، دفع آب آلوده و تغذیه بهینه همراه بوده است که منجر به پیامدهای مضر در آبزیان مانند استرس، مهار سیستم ایمنی و حساسیت به بیماری‌ها و در برخی موارد، پیامدهای مرگ‌ومیر حیاتی شده است. در نتیجه، ریزجلبک‌ها منبع مهمی از ترکیبات فعال زیستی هستند که ارتباط زیادی برای تحریک ایمنی در آبروی پروری دارند. مطالعات نشان دادند که گنجاندن گونه‌های مختلف ریزجلبکی در خوراک آبزیان باعث بهبود پاسخ ایمنی و افزایش بقا در شرایط استرس و چالش‌های عفونی می‌شود. ریزجلبک‌ها می‌تواند به‌عنوان یک حامل برای ارائه آنتی‌ژن‌های بیان شده استفاده شوند که نه تنها مکمل تغذیه هستند بلکه نقش واکسن را نیز ایفا می‌کنند. ریزجلبک‌ها به‌دلیل مزایای منحصر به فرد خود نیازهای توسعه پایدار صنایع متعدد را برآورده می‌کنند. با این حال، هنوز مشکلاتی در سیستم بیان ریزجلبک‌ها وجود دارد، مانند راندمان بیان کم و محتوای پروتئین نو ترکیب کم. در حال حاضر، اقدامات پیشگیری و درمان مؤثر برای عفونت‌های چند عامل بیماری‌زا وجود ندارد و تحقیقات مرتبط در این زمینه کم است. نیاز هست که در آینده در زمینه توسعه واکسن‌های خوراکی با استفاده از ریزجلبک‌ها به‌عنوان ناقل و همچنین تولید واکسن‌های نو ترکیب چند ظرفیتی بر پایه ریزجلبک‌ها، مطالعات و تحقیقات بیشتری انجام شود.

این مقاله و یا جزئی از آن قبلاً در جایی منتشر نشده است.

منابع و ماخذ

[1]. Barman, D., Nen, P., Mandal, S.C., and Kumar, V. (2013). Immunostimulants for aquaculture health management, *Journal of Marine Science: Research and Development*, Vol.3, No. 3, PP. 1-11.

سلول‌های ریزجلبک به‌عنوان کارخانه‌های سبز طبیعی شناخته می‌شوند. آنها دارای بازده فتوسنتز بالا، توانایی تثبیت CO₂، پراکنش وسیع و تنوع بالایی هستند. از طریق دستکاری ژنتیکی می‌توان مجموعه‌ای از محصولات با ارزش افزوده بالا مانند پروتئین‌های دارویی، آنزیم‌های کاربردی و افزودنی‌های غذایی را به‌طور مؤثر بیان کرد که دارای مزایای بی‌نظیری است. هر چند که مطالعات کمی بر روی گونه‌های مختلف از ریزجلبک‌ها شده است [۳] در مقایسه با سیستم‌های بیان باکتریایی، ریزجلبک‌های یوکاریوتی می‌توانند اصلاح پروتئین‌های پیچیده را تکمیل کنند تا پروتئین‌های فعالی را تشکیل دهند که نیازهای خاص افراد به آنتی‌ژن‌ها و آنتی‌بادی‌ها را برآورده کند. در مقایسه با سیستم‌های بیان مخمر، ریزجلبک‌ها می‌توانند فتوسنتز کنند و انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهند. در مقایسه با گیاهان عالی اصلاح شده ژنتیکی، چرخه کشت کوتاه‌تری دارد و تحت شرایط تغییرات فصلی محدودیت کمتری دارند. در مقایسه با کشت سلولی پستانداران، هزینه تولید کمتری دارد و به راحتی می‌توان آن را افزایش داد. علاوه بر این، پروتئین مشتق شده از ریزجلبک‌ها سازگاری زیستی دارند و می‌تواند به‌طور مستقیم توسط حیوانات بدون جداسازی و خالص‌سازی و تزریق مصرف شود، در نتیجه از هزینه‌های خالص‌سازی و استخراج جلوگیری می‌شود [۳۲]. ریزجلبک‌ها به‌عنوان افزودنی خوراک آبزیان به شکل سلول‌های زنده یا پودر ساخته می‌شود که به‌طور کلی دارای اثرات تقویت رشد، افزایش مقاومت، بهبود بقای لارو و رنگ بدن برای انواع آبزیان است. در عین حال، آبزیان می‌توانند مصونیت قابل توجهی را با تجویز خوراکی از آسیب فیزیکی ناشی از تزریق یا غوطه‌وری به‌دست آورند. بنابراین، اگر آنتی‌ژن در سلول‌های ریزجلبک بسیار بیان شود و ریزجلبک تراریخته بتوان به‌عنوان واکسن خوراکی مصرف کرد، انتظار می‌رود که نقش مهمی در پیشگیری و کنترل بیماری‌های آبزیان ایفا کند [۳۳].

نتیجه‌گیری

ریزجلبک‌ها علیرغم ارزش اکولوژیکی بالا و مقادیر زیادی از ترکیبات ضدباکتریایی، آنتی‌اکسیدانی و تغذیه‌ای، یکی از کم بهره‌برداری‌ترین موجودات هستند که تنها حدود ۵ تا ۱۰ درصد گونه‌ها از نظر محتوای شیمیایی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند و درصد کمی در حال حاضر توسط صنعت بیوتکنولوژی استفاده

- of pharmaceutical interest, *Current Pharmaceutical Biotechnology*, Vol.13, PP. 2733–2750.
- [16]. Shirmohammadi, M., Salamat, N., Ronagh, M.T., Movahedinia, A., and Hamidian, G. (2018). Using cell apoptosis, micronuclei and immune alternations as biomarkers of phenanthrene exposure in yellowfin seabream (*Acanthopagrus latus*), *Fish and Shellfish Immunology*, Vol.72, PP.37-47.
- [17]. Shirmohammadi, M., Chupani, L., and Salamat, N., (2017). Responses of immune organs after single-dose exposure to phenanthrene in yellowfin seabream (*Acanthopagrus latus*): CYP1A induction and oxidative stress, *Chemosphere*, Vol. 186, No.2, PP.686-694.
- [18]. Shirmohammadi, M., Salamat, N., Ronagh, M.T., Movahedinia, A., and Hamidian, G. (2017). Assessment of immune status of yellowfin seabream (*Acanthopagrus latus*) during short term exposure to phenanthrene, *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, Vol.195, PP.78-90.
- [19]. Kianersi, f., Salamat, N., Safahieh, A., Salati, A.P., and Houshmand, H. (2022). Comparative effects of organic and mineral selenium on mercury chloride-induced oxidative stress and liver tissue damages in juvenile yellowfin seabream (*Acanthopagrus latus*), *Aquaculture Research*, Vol. 53, No. 9, PP. 3478-3493.
- [20]. Ibrahim, T.N.B.T., Feisal, N.A.S., Kamaludin, N.H., Cheah, W.Y., and How, V. (2023). Biological active metabolites from microalgae for healthcare and pharmaceutical industries: A comprehensive review, *Bioresource Technology*, Vol.372, PP. 128661.
- [21]. Manuell, A.L., and Mayfield, S.P. (2006). A bright future for *Chlamydomonas*, *Genome Biology*, Vol.7, No.9, PP.327.
- [22]. Kwon, K. C., Lamb, A., Fox, D., and Porphy Jegathese, S. J. (2019). An evaluation of microalgae as a recombinant protein oral delivery platform for fish using green fluorescent protein (GFP), *Fish and Shellfish Immunology*, Vol.87, PP. 414–420.
- [23]. Siripornadulsil, S., Dabrowski, K., and Sayre, R. (2007). Microalgal vaccines, *Advances in Experimental Medicine and Biology*, Vol.616, PP.122–128.
- [24]. Michelet, L., Lefebvre-Legendre, L., Burr, S. E., Rochaix, J. D., and Goldschmidt- Clermont, M. (2011). Enhanced chloroplast transgene expression in a nuclear mutant of *Chlamydomonas*, *Plant Biotechnology Journal*, Vol.9, PP. 565–574.
- [25]. Feng, S., Feng, W., Zhao, L., Gu, H., Li, Q., and Shi, K. (2014). Preparation of transgenic *Dunaliella salina* for immunization against white spot syndrome virus in crayfish, *Archives of Virology*, Vol.159, PP. 519–525.
- [26]. Zhai, Y., Shi, D., He, P., Cai, C., Yin, R., and Jia, R. (2019). Effect of transvp28 gene *Synechocystis* sp. PCC6803 on growth and immunity of *Litopenaeus*
- [2]. Thanigaive. S., Chandrasekaran, N., Mukherjee, A., and Thomas, J. (2016). Seaweeds as an alternative therapeutic source for aquatic disease management, *Aquaculture*, Vol. 464, PP. 529-536.
- [3]. Ma, K., Bao, Q., Wu, Y., Chen, S., Zhao, S., Wu, H., and Fan, J. (2020). Evaluation of microalgae as immunostimulants and recombinant vaccines for diseases prevention and control in aquaculture, *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, Vol.8, PP. 590431.
- [4]. Sakai, M. (1999). Current research status of fish immunostimulants, *Aquaculture*, Vol.172, No.1-2, PP.63-92.
- [5]. Balcázar, J.L., Blas, I., Ruizz Zarzuela, I., Cunningham, D., Vendrell, D., and Muzquiz, J.L. (2006). The role of the probiotics in aquaculture, *Veterinary Microbiology*, Vol.003, PP. 024-082.
- [6]. Adel, M., Yeganeh, S., Dadar, M., Sakai, M., and Dawood, M.A.O. (2016). Effects of dietary *Spirulina platensis* on growth performance, humoral and mucosal immune responses and disease resistance in juvenile great sturgeon (*Huso huso* Linnaeus, 1754), *Fish and Shellfish Immunology*, Vol.56, PP.436-444.
- [7]. Riccio, G., and Lauritano, C. (2020). Microalgae with Immunomodulatory Activities, *Marine Drugs*, Vol.18, No.1, PP. 2.
- [8]. Medzhitov, R. (2007). Recognition of microorganisms and activation of the immune response, *Nature*, Vol.449, PP. 819–826.
- [9]. Chan, A.H., and Schroder, K. (2019). Inflammasome signaling and regulation of interleukin-1 family cytokines, *Journal of Experimental Medicine*, Vol.217, PP. 20190314.
- [10]. Magnadottir, B. (2010). Immunological control of fish diseases, *Marine Biotechnology*, Vol.12, PP. 361-379.
- [11]. Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E., and Isambert, A. (2006). Commercial applications of microalgae, *Journal of Bioscience and Bioengineering*, Vol.101, No.2, PP.87-96.
- [12]. Moreno-Garcia, L., Adjallé, K., Barnabé, S., and Raghavan, G.S.V. (2017). Microalgae biomass production for a biorefinery system: recent advances and the way towards sustainability, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol.76, PP.493-506.
- [13]. Bahi, A., Ramos-Vega, A., Angulo, C., Monreal-Escalante, E., and Guardiola, F.A. (2023). Microalgae with immunomodulatory effects on fish, *Reviews in Aquaculture*, Vol.15, No.4, PP. 1522-1539.
- [14]. Ugwu, C.U., Aoyagi, H., and Uchiyama, H. (2008). Photobioreactors for mass cultivation of algae, *Bioresource Technology*, Vol.99, PP. 4021–4028.
- [15]. Mimouni, V., Ulmann, L., Pasquet, V., Mathieu, M., Picot, L., Bougaran, G., Cadoret, J.P., Morant-Manceau, A., and Schoefs, B. (2012). The potential of microalgae for the production of bioactive molecules

- [30]. Kim, M.J., Kim S.Y., Kim H.K., and Yoo, S.S. (2023). High-Level Expression of Recombinant VHSV Glycoprotein Using Transformed *C. vulgaris* and Verification of Vaccine Efficacy, *Vaccines*, Vol.11, No.7, PP.1205.
- [31]. Kim, M.-J., Kim, S.-H., Kim, J.-O., Lee, T.-K., Jang, I.-K., and Choi, T.-J. (2023). Efficacy of White Spot Syndrome Virus Protein VP28-Expressing *Chlorella vulgaris* as an Oral Vaccine for Shrimp, *Viruses*, Vol.15, PP. 2010.
- [32]. Leon-Banares, R., Gonzalez-Ballester, D., Galvan, A., and Fernandez, E. (2004). Transgenic microalgae as green cell-factories, *Trends in Biotechnology*, Vol.22, PP. 45–52.
- [33]. Mutoloki, S., Munangandu, H.M., and Evensen, O. (2015). Oral vaccination of fish antigen preparations, uptake, and immune induction, *Frontiers in Immunology*, Vol.6, PP.519
- vannamei and defense against white spot syndrome virus (WSSV), *Aquaculture*, Vol.512, PP.734306.
- [27]. Charoonnart, P., Worakajit, N., Zedler, J. A. Z., Meetam, M., Robinson, C., and Saksmerprome, V. (2019). Generation of microalga *Chlamydomonas reinhardtii* expressing shrimp antiviral dsRNA without supplementation of antibiotics, *Scientific Reports*, Vol.9, PP.3164.
- [28]. Chen, Y. Y., Chen, J. C., Tayag, C. M., Li, H. F., Putra, D. F., and Kuo, Y. H. (2016). *Spirulina* elicits the activation of innate immunity and increases resistance against *Vibrio alginolyticus* in shrimp, *Fish and Shellfish Immunology*, Vol.55, PP.690–698.
- [29]. Tsai, H. J., and Li, S.S. (2011). *Nucleic Acid for use in Algae and use Thereof*. United States: US 2011/0014708 A1. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.

الهام زیستی از بلورهای فوتونی و تغییر رنگ در موجودات

فائزه محمدی^۱، فرشته رحیمی^{۱*}، مصطفی نوروزی^۲

چکیده

طبیعت طی تکامل با چالش‌های مختلف مورد آزمایش قرار گرفته است و بهترین راه‌حل‌ها با کمک انتخاب طبیعی در طول زمان بهبود یافته‌اند و راه‌حلهایی ماندگار با حداکثر کارایی به وجود آورده‌اند. یکی از این چالش‌ها تغییر رنگ در موجودات می‌باشد. مکانیسم‌های متفاوتی برای ایجاد رنگ وجود دارد که یکی از مهمترین آن‌ها استفاده از ساختارهای بلور فوتونی یک تا سه بعدی می‌باشد که منجر به ایجاد رنگ‌های درخشان و رنگین‌مانی می‌شوند. این ساختارها در موجودات مختلفی از جمله حشرات (سوسک‌ها و پروانه‌ها)، پرندگان (پرتاووس)، گیاهان (گل‌های ادلویس)، حیوانات دریایی (ماهی‌ها و کرم دریایی) و ... ایجاد شده است که برای برقراری ارتباط جنسی، رفتار رمزی، سازگاری با محیط اطراف، هشدار و یا فریب شکارچیان استفاده می‌شود. در این مقاله به بررسی تغییر رنگ با استفاده از ساختارهای بلور فوتونی در ماهی‌ها، سوسک‌ها و پروانه‌ها پرداخته می‌شود. در انتها به الگوبرداری از این ساختارها در صنایع مختلفی از جمله رنگ‌های مصنوعی، حسگرها، سلول‌های خورشیدی، نانولیتوگرافی، صفحه‌های نمایشگر و جعل اسکناس اشاره خواهد شد.

واژگان کلیدی: زیست‌الگو، زیست‌الهام، بلور فوتونی، تغییر رنگ، رنگ ساختار

* عهده دار مکاتبات: دانشیار، تلفن: ۸۶۰۹۳۱۵۴ (۹۸۲۱)، پست الکترونیکی: rahimi.f@ut.ac.ir

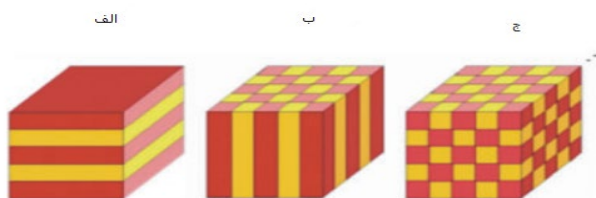
^۱ گروه نانوزیست‌فناوری و زیست‌تقلید، دانشکده مهندسی علوم زیستی، دانشکده‌های علوم و فناوری‌های میان‌رشته‌ای، دانشگاه تهران

^۲ گروه بیوتکنولوژی، دانشکده علوم زیستی، دانشگاه الزهراء، تهران

زیست الگو و زیست‌الهام

ساختارهای هندسی متکی به کنترل انتقال نور بر روی پوست موجودات ایجاد می‌شود و منجر به ایجاد یک رنگ خاص یا ترکیبی از رنگ‌ها می‌گردد. عوامل اصلی در تولید رنگ ساختاری در طبیعت شامل ضریب شکست، ساختار متناوب نانویی و زاویه نور می‌باشد [۶].

یکی از ساختارهای ایجادکننده رنگ، بلورهای فوتونی می‌باشند. بلورهای فوتونی، مواد فوتونی یک تا سه بعدی در ابعاد نانو با شبکه‌های منظم فضایی می‌باشند که از دو ماده با ضریب شکست‌های متفاوت ساخته شده [۷] و انتشار نور را به روش‌های مختلف کنترل می‌کنند [۷و۸]. در طبیعت، مواد تشکیل‌دهنده این نانو ساختارها به عوامل زیادی از جمله فیزیولوژی ذاتی موجودات، اکولوژی و غیره بستگی دارند (شکل ۱) [۸-۱۱].



شکل ۱: الف) بلور فوتونی یک‌بعدی (چندلایه) ب) بلور فوتونی دوبعدی ج) بلور فوتونی سه‌بعدی [۹]

بلور فوتونی میلیون‌ها سال است که طی تکامل، در دنیای زنده وجود دارند اما حدود چهل سال پیش توسط یابلونوویچ^۶ و جان^۷ به جامعه فیزیک و علوم مواد معرفی گردید [۱۰ و ۱۲ و ۱۳]. هوک^۸، نیوتن^۹ و ریلی^{۱۱} اولین بار مطالعه روی دستگاه‌های نوری با دید زیست‌شناسی را آغاز کردند [۱۴-۱۶]. در سال ۲۰۰۱ اولین فیبر بلور فوتونیک در یک موش دریایی شناسایی شد [۷ و ۹ و ۱۰ و ۱۶ و ۱۷]. نانو ساختارهای فوتونی یک‌بعدی در بعضی از حشرات (پروانه‌ها و سوسک‌ها) [۹]، پرندگان، ماهی‌ها، برگ گیاهان، توت‌ها و جلبک‌ها [۶]، مواد فوتونیک دوبعدی بیشتر در حیوانات دریایی (کرم دریایی^{۱۱}، عروس دریایی خاردار^{۱۲}، ستاره برجسته^{۱۳}، اسفنج شیشه‌ای^{۱۴}، پرندگان طاووس، مرغ سرخابی^{۱۵} و کلاغ) و مواد فوتونیک سه‌بعدی در

اولین بار اشمیت^۱ در سال ۱۹۶۹ واژه‌ی زیست‌الگو^۲ را به کار برد [۱] هرچند که الگوبرداری از طبیعت بسیار قدیمی است [۲ و ۳]. این واژه با نام‌های بیونیک^۳، زیست‌الهام^۴ و بیومیمیکری^۵ نیز شناخته می‌شود [۲]. در سال‌های اخیر اصطلاح «زیست‌الهام» بیش از دو واژه دیگر مطرح و پذیرفته شده است [۴]. طبیعت طی چهار و نیم میلیارد سال تکامل و با کمک انتخاب طبیعی، بسیاری از چالش‌ها را با استفاده از حداقل منابع به راه‌حلی ماندگار با حداکثر کارایی تبدیل نموده، بنابراین اقتباس از روش‌ها، سیستم‌ها و مواد یافت شده در طبیعت مطلوب است [۵].

برای انتقال موفقیت‌آمیز مسائل از طبیعت به مواد مهندسی در ابتدا باید یک مدل طبیعی با عملکرد مناسب انتخاب، سپس رابطه بین ویژگی‌های مواد طبیعی و خصوصیات آنها شناسایی و درک، در نهایت اصول و ایده‌های پدیده‌های طبیعی و سیستم‌های مدل توسط مواد مصنوعی مناسب برای ساختارهای زیست‌الگو پیاده‌سازی شود. مواد زیست تقلید با توجه به خاصیت مواد تشکیل‌دهنده‌شان به سه دسته تقسیم می‌شوند: (۱) مواد زیست تقلید ساختاری (۲) مواد زیست تقلید عملکردی و (۳) فرآیندهای مواد زیست تقلیدی [۶]. بیشترین تقلیدها در دو دسته تقلیدی ساختاری و عملکردی جای دارد. از جمله مهمترین خصوصیات مواد زیست تقلید عملکردی، میتوان به ایجاد رنگ‌های متنوع در موجودات توسط ساختارهای بلور فوتونی‌شان اشاره نمود.

مکانیسم ایجاد رنگ در موجودات زنده

زمانی که نور به سطح تابیده می‌شود یک بخشی از آن جذب و بخشی دیگری بازتاب می‌شود که ما به صورت رنگ مشاهده می‌کنیم. مکانیسم‌های زیادی برای تولید رنگ وجود دارد اما بیشتر رنگ موجودات توسط رنگ پیگمنت و رنگ ساختاری ایجاد می‌شود. رنگ ساختاری در مصرف انرژی و استفاده از نور بسیار کارآمدتر است و درخشان‌ترین رنگ در طبیعت می‌باشد که توسط

¹ Schmitt

² Biomimetic

³ Bionic

⁴ Bioinspiration

⁵ Biomimicry

⁶ Yablonoivitch

⁷ John

⁸ Hooke

⁹ Newton

¹⁰ Rayleigh

¹¹ Marine worm

¹² jellyfish

¹³ Brittlestar

¹⁴ Glassspone

¹⁵ Magpie

یک کامپوزیت چند لایه با ساختاری پیچیده متشکل از نانوفیبرهای کیتین^۳ کریستاله در ماتریس آلی می‌باشد [۳۳]. این ساختار حاوی فضاهایی از هوا می‌باشد (شکل ۳) [۹].



شکل ۳: ساختار کوتیکول در حشرات [۹]

رایج‌ترین ساختار تولید رنگ رنگین‌کمانی در سوسک‌ها، بازتابنده‌های چندلایه‌ای شامل لایه‌های موازی متناوب با ضرایب شکست متفاوت می‌باشد. اگر فاصله این لایه‌ها به یک‌چهارم طول موج نور مرئی نزدیک شود، توسط تداخل سازنده، یک یا چند رنگ تولید می‌شود. لایه‌های موازی نازک از کیتین با مواد مختلفی که در ضریب شکست متفاوت هستند، تشکیل چندلایه‌ای می‌دهند که توسط اپیدرم^۴ ترشح شده و طی اسکروتیزه^۵ سخت می‌شوند (شکل ۴) [۳۴].

سوسک لاک‌پشت^۶ و هرکول^۷ با تغییر مقدار آب در کوتیکول و تغییر ضخامت، رنگ‌های ساختاری خود را ایجاد می‌کنند [۸ و ۶]. *Charidotella egregia*^۸ در مدت زمان ۱/۵ دقیقه رنگ خود را از زرد به قرمز ابتدا در حاشیه بال‌ها و در قسمت‌های بیرونی مرکزی تغییر می‌دهد. این سوسک می‌تواند مایع بدن را به داخل و خارج لایه‌های متخلخل پمپ کند. زمانی که لایه‌ها پر از مایع شوند، لایه‌های متخلخل، محیطی شفاف به وجود می‌آورند که ضریب شکستشان متفاوت از لایه جامد است اما در حالت پایه هنگامی که پمپاژ متوقف می‌شود، لایه‌های متخلخل مایع را از دست می‌دهند و اپی کوتیکول طلائی و درخشان می‌شود (شکل ۵) [۹ و ۳۵].

حشرات (سوسک‌ها و پروانه‌ها) و گیاهان (گل‌های ادا لویس^۱) وجود دارد [۷]. بسیاری از موجودات زنده از تغییر رنگ برای برقراری ارتباط جنسی [۱۷-۲۰]، رفتار رمزی [۲۱-۲۶]، سازگاری با محیط اطراف، هشدار و یا فریب شکارچیان با تقلید و یا استتار [۲۴] استفاده می‌کنند [۷]. در ادامه به مکانیسم تغییر رنگ در ماهی‌ها، سوسک‌ها و پروانه‌ها خواهیم پرداخت.

۱. مکانیسم تغییر رنگ در ماهی‌ها

ساختارهای چندلایه بلور گوانین (ضریب شکست گوانین ۱.۸) مؤلفه اصلی بازتاب نور در بسیاری از ماهی‌ها می‌باشد [۲۷]. ماهی گرمسیری آمریکای جنوبی با نام عمومی *Neon tetra* و نام علمی *Paracheirodon innesi* به‌طور معمول رنگ فیروزه‌ای دارد. تحت شرایط استرس‌زا همچو فرار از شکارچیان، در اثر ورود آب به سلول‌های پوستی و افزایش فاصله بین صفحات مجاور شامل ریزساختار فوتونیک یک‌بعدی چندلایه‌ای، رنگ آبی به سرعت به زرد تغییر می‌کند. یک ایریدوفور^۲ در ترا نئون باعث ایجاد پدیده‌های تداخل نوری چندلایه می‌شود. هر واحد سلولی شامل دو ردیف از صفحات موازی بلور گوانین با ضریب شکست بالا و سیتوپلاسم با ضریب شکست پایین است که باعث تداخل سازنده می‌گردد (شکل ۲) [۸ و ۲۸-۳۰].



شکل ۲: تغییر رنگ ساختاری در *Paracheirodon innesi* [۸]

۲. مکانیسم تغییر رنگ در سوسک‌ها

ساختارهای فیزیکی مسئول رنگ در سوسک‌ها در کوتیکول (معمولاً در اپی کوتیکل) یا در فلس قرار دارند [۳۱ و ۳۲]. کوتیکول

¹Edelweissflowers

²Iridophore

³Chitin

⁴Epidermis

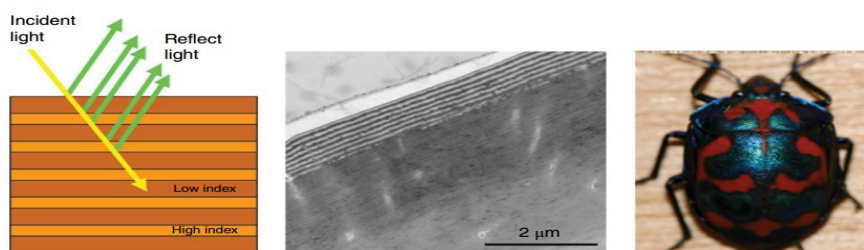
⁵Sclerotization

⁶Tortoise beetle

⁷Hercules beetle

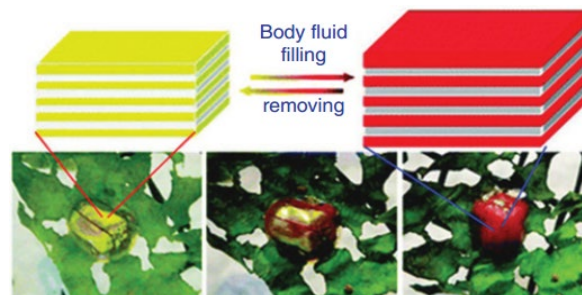
⁸Panamanian tortoise beetle

الهام زیستی از بلورهای فوتونی و تغییر رنگ در موجودات



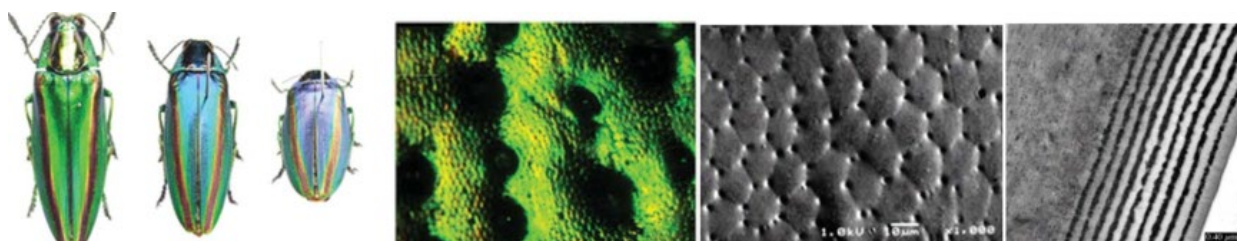
شکل ۴: (الف) بازتابنده‌های چندلایه ساده در کوتیکول، (ب) تصویر TEM از پوسته درونی^۱ و پوسته بیرونی^۲، (ج) رنگ چندلایه ساده در *T. diophthalmus* [۳۴]

سوسک *Hoplia coerulea* رنگ رنگین کمان آبی-بنفش خود را به سبز زمردی تغییر می‌دهد. بال آن از ساختار چندلایه که دارای شبکه سه‌بعدی با نظم کم با مناطق متخلخل پر از هوا تشکیل شده است. صفحات کیتین به صورت میله‌های موازی کنار یکدیگر به فاصله ۱۷۵ نانومتر قرار گرفته‌اند. زمانی که رطوبت به فضای بین این صفحات نفوذ کند، ضریب شکست بین کیتین و حفرات متشکل از هوا به طور چشمگیری کاهش می‌یابد، در نتیجه جذب نور بیشتری ایجاد می‌شود و بال حشره تغییر رنگ می‌دهد (شکل ۷) [۳۶-۳۹].

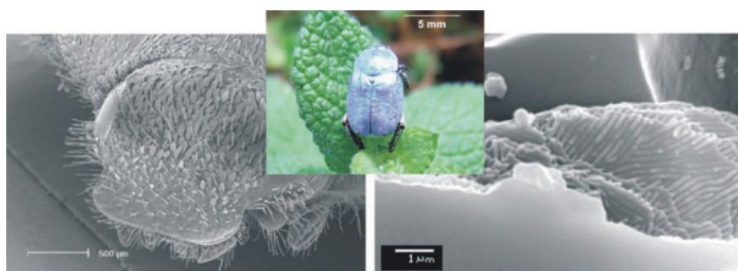


شکل ۵: تغییر رنگ در *Charidotella egregia* [۳۵].

در سوسک جواهر^۳ و سوسک برگ^۴ ناحیه اپی کوتیکول از بازتابنده چندلایه‌ای تشکیل شده است و اپی کوتیکول خارجی عمدتاً به انعکاس کمک می‌کند (شکل ۶) [۲۹].



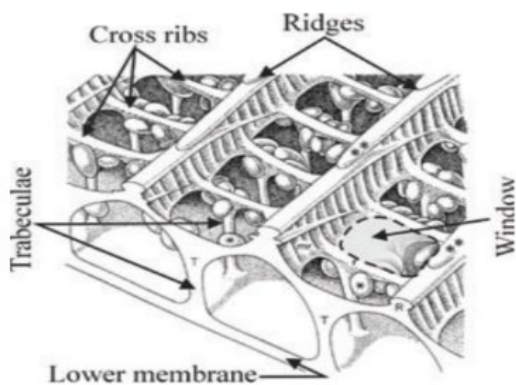
شکل ۶: تصویر پشتی و شکمی سوسک جواهر *Chrysochroa fulgidissima* از زوایای مختلف و میکروساختار از مقطع عرضی و سطح سوسک توسط میکروسکوپ SEM و TEM [۲۹].



شکل ۷: سوسک *Hoplia coerulea* (الف) تصویر SEM از سر سوسک ماده پوشیده شده با فلس، (ب) تصویر SEM از بخش داخلی سر شکافته شده [۳۶-۳۹]

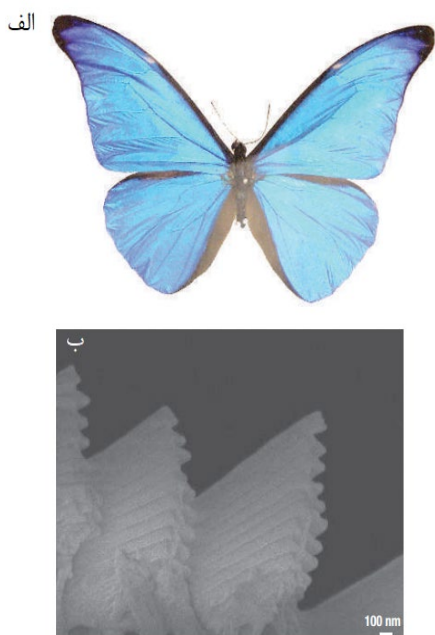
¹Epicuticle
²Exocuticle
³jewel beetle
⁴leaf beetle

و تبدیل آن به انرژی حرارتی توسط کیتین منجر به انبساط ساختار بال و چندین تداخل سازنده می‌گردد [۴۳].



شکل ۸: ساختار شماتیک بال پروانه [۹]

بال‌های پروانه *Morpho didius* دارای ساختار متناوب از ده الی دوازده لایه متناوب کوتیکول و هوا می‌باشد (شکل ۹) [۹].



شکل ۹: بال‌های رنگین‌کمانی یک پروانه مورفو (الف) رنگ آبی در بال و (ب) میکروگراف‌های الکترونی روبشی از ساختارهای پولک بال [۹]

در کوتیکول خارجی^۱ بسیاری از سوسک‌های سرگین خوار^۲، لایه‌هایی از الیاف کیتین به همراه پروتئین یک ساختار مارپیچی ایجاد میکنند که فقط منعکس‌کننده امواج دایره‌ای است [۷]. در سوسک طلا^۳ با نام علمی *Anoplognathus parvulus*، تغییر رنگ در بازتابنده کوتیکول داخلی^۴، رخ می‌دهد [۴۰].

۳. مکانیسم تغییر رنگ در پروانه‌ها

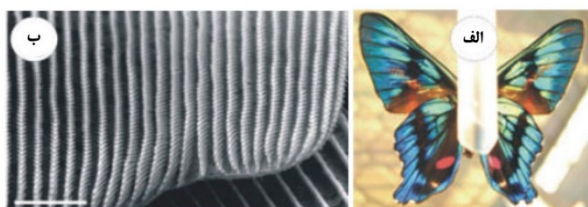
پروانه‌های مورفو گروهی از پروانه‌ها هستند که معمولاً رنگ آبی دارند [۱۷]. رنگ‌هایی که در بال پروانه به وجود می‌آید درخشان و رنگین‌کمانی می‌باشند [۴۱]. اولین بار در سال ۱۹۹۹ مقاله‌ای با موضوع ساختار بلور فوتونی در پروانه مورفو ارائه شد [۴۲]. بال پروانه صفحه‌ای دوتایی از کوتیکول شامل دو نوع پولک می‌باشد که پولک‌های پوششی مسئول رنگ بال هستند. لایه‌های مختلف بال توسط هوا جدا شده است. هر بخش منفرد در بال یک نانوساختار متناوب را نشان می‌دهد که از شاخه‌های عمودی و افقی، شبیه شکل یک درخت تشکیل شده است. ترکیبات اولیه پولک‌ها از جنس کیتین می‌باشد و شکلی از یک ساک^۵ کشیده و صاف دارند. نانوساختارهای فوتونی ممکن است فضای این ساک را اشغال کنند و یا به‌عنوان بخشی از عناصر ساختاری مختلف وجود داشته باشند. ساختارهای موجود در بال پروانه شامل میکروریب با دنده‌های نانوئی^۶، حفره‌های چند لایه‌ای مقعر^۷، شبکه‌های درخشان^۸ و نانولایه‌های تصادفی^۹ می‌باشد [۱۷]. در پولک‌های پروانه مورفو، غشای فوقانی حاوی نانوساختار پیچیده برای ایجاد رنگ ساختاری می‌باشد. برجستگی‌هایی^{۱۰} که به موازات محور پولک کشیده شده‌اند توسط ریب‌ها^{۱۱} به یکدیگر متصل شده و پنجره‌ها^{۱۲} را به وجود می‌آورند که از طریق آنها می‌توان فضای داخلی را مشاهده کرد. نانو ساختارهای مسئول ایجاد رنگ می‌توانند در برجستگی‌ها، ریب‌ها و حفره‌ها قرار گیرند (شکل ۸) [۹].

رنگ رنگین‌کمانی بال مورفو با تداخل نور در بخش‌های افقی و با پراش نور در قسمت‌های عمودی تولید می‌شود. پولک‌ها به تغییرات انرژی گرمایی نیز پاسخ نوری می‌دهند. جذب مادون‌قرمز

¹ exocuticular reflector
² Scarabs beetles
³ gold beetle
⁴ endocuticular reflector
⁵ Sack
⁶ micro-ribs with nanoridges

⁷ concave multilayered pits
⁸ blazed gratings
⁹ randomly punctuated nanolayers
¹⁰ ridges
¹¹ ribs
¹² Window

بال‌های رنگی پروانه *Ancylurismeliboeus* توسط ساختار بلور فوتونی دوبعدی ایجاد می‌گردد. قسمت شکمی بال دارای رنگ بسیار روشن است که از رنگ‌های مختلف آبی، سبز و زرد تشکیل شده است و با حداقل حرکت بال رنگ بسیار چشمگیری را ایجاد می‌کند (شکل ۱۲) [۴۸].



شکل ۱۲: (الف) پروانه *Ancylurismeliboeus*

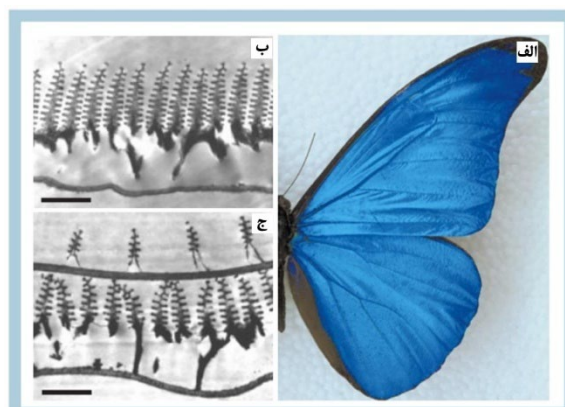
(ب) تصویر SEM از بال [۴۸]

الگوبرداری از ساختارهای بلور فوتونی

مواد فوتونیک دارای پتانسیل‌هایی برای کاربردهای صنعتی، تجاری، نظامی و... هستند. محققان با الهام از این نانو ساختارهای فوتونیک زیستی، مواد فوتونی مصنوعی ایجاد کرده و عملکرد بسیاری از دستگاه‌های نوری را بهبود بخشیده‌اند [۴۹-۵۳]. این کاربردها شامل استفاده مستقیم از نانو معماری‌های تکامل یافته بیولوژیکی [۵۴ و ۵۵] به عنوان الگوهای تولید نانو ساختارهای فوتونیک مصنوعی [۵۶-۵۸] یا ترکیب سیستم‌های مصنوعی-طبیعی [۵۷-۵۹] و یا استخراج اصول پایه‌ای برای طراحی و ساخت انواع محصولات جدید با الهام از نمونه‌های زیستی است [۵۹-۶۹]. در ادامه به بررسی الگوبرداری از کوتیکول سوسک و بال پروانه می‌پردازیم.

۱. الگوبرداری از کوتیکول سوسک در تولید رنگ

با الهام از کوتیکول سوسک *Manuka*، با استفاده از یک لایه نازک متناوب از اکسید تیتانیوم کایرال، بازتابنده‌های براگ برای نور پلاریزه بیضوی ساخته شد. این ساختار در زوایای متفاوت،



شکل ۱۰: (الف) رنگ بال پروانه *Morpho rhetenor*، (ب) تصویر TEM از سطح مقطع عرضی پولک بال و (ج) تصویر TEM از سطح مقطع عرضی از گونه‌های مرتبط *M. didius* [۴۴]

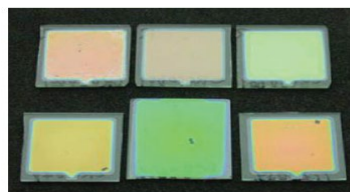
رنگین کمان در پروانه‌های *Morpho rhetenor* مربوط به ساختارهای فوتونیک چندلایه‌ای کوتیکول و هوا می‌باشد (شکل ۱۰) [۴۴].

پروانه *Cyanophrys remus* برای برقراری ارتباطات جنسی در شرایط کم نور جنگل، بازتابنده مبتنی بر بلور فوتونیک دوبعدی (آبی، رنگ فلزی) در پولک‌های پشتی دارد (شکل ۱۱-الف) [۲۲] در حالی که پروانه *Albulina metallica*، برای برقراری ارتباطات جنسی در هیمالیا در شرایط نوری زیاد، با اثرات «آینه‌ای»، دارای رنگ پشتی مات مایل به آبی و رنگ شکمی طلای سبز براق می‌باشد (شکل ۱۱-ب) [۴۵]. یکی از مزایای بزرگ تکامل بیولوژیکی این است که رنگ‌های مشابه با ساختارهای بسیار متفاوت به دست آمده است [۴۶ و ۴۷].



شکل ۱۱: (الف) پروانه *Cyanophrys remus* [۲۲]، (ب)

پروانه *Albulina metallica* [۴۵]



شکل ۱۳: در سمت چپ سوسک *Manuka* و در سمت راست مدل‌های زیست‌الگو (هرکدام در حدود ۲ سانتی‌متر مربع) ساخته شده از تیتانیا که رنگ‌های مختلفی دارند، مشاهده می‌شود [۱۷].

در سلول‌های خورشیدی حساس به رنگ^۱ یا سلول‌های گراتزل^۲ استفاده شد [۶۴].

ج) نانو لیتوگرافی: از بال پروانه به‌عنوان الگویی برای تولید ZnO استفاده شده است [۶۶].

د) صفحه‌های نمایشگر: با الهام از اصول استفاده شده در ایجاد رنگ در بال پروانه، نمایشگرهای رنگی ساخته شده است. تغییر در فواصل فضایی منجر به تغییر سریع رنگ می‌گردد. این صفحات تخت حتی در شرایط کم‌نور نیز رنگ‌های واضحی را نشان می‌دهند و نسبت به سایر روش‌های نمایش الکترونیکی به انرژی کمتری نیاز دارند (شکل ۱۴) [۴۴].

ه) تولید رنگ‌های مصنوعی: تولید رنگ‌های مصنوعی با الهام از نانو ساختارهای موجود در بال پروانه در نساجی و خودروسازی استفاده شده است. هنگام استفاده از رنگ، فیلم‌های نازک داخل ماتریس روی سطح شناور می‌باشند و همه آنها طول موج یکسانی را در یک جهت منعکس می‌کنند. در نتیجه، با تغییر جهت مشاهده، رنگ‌های متفاوتی مشاهده می‌شود [۱۱].

و) جعل اسکناس: با الهام از پولک‌های صاف پروانه *Cyanophrys remus* و پولک‌های دارای انحنا زیاد *S. Coronate*، فناوری پیچیده‌ای برای جلوگیری از جعل اسکناس ایجاد شده است. انحنا پولک باعث ایجاد اثرات قطبی خاصی می‌شود [۶۳].

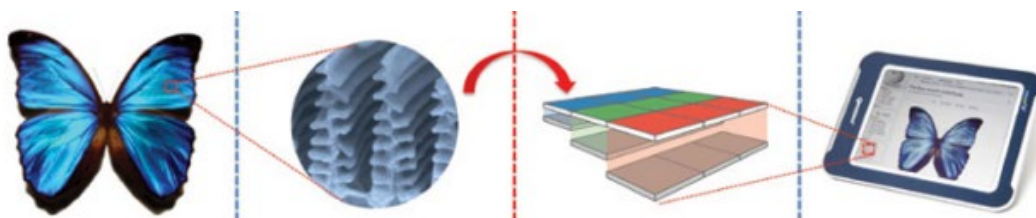
رنگ‌های مختلفی به خود می‌گیرد که دقیقاً به همان رنگ کوتیکول می‌باشد. از این ساختار می‌توان در نمایشگرها و فناوری‌های لیزری استفاده نمود (شکل ۱۳) [۶۱ و ۱۷].

۲. الگوبرداری از بال پروانه

از بال پروانه در ساخت حسگر، سلول‌های خورشیدی، نانو لیتوگرافی، صفحه‌های نمایشگر و تولید رنگ‌های مصنوعی الگوبرداری شده است. **الف) ساخت حس‌گر:** بال‌های پروانه مورفو برای سنجش شیمیایی انتخابی بر اساس تغییرات کوچک اما قابل اندازه‌گیری ضریب شکست هوا در حضور گازها و بخارهای مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. با استفاده از بال‌های *Morpho sulkowskyi* و تجزیه و تحلیل داده‌ها، میزان حساسیت شیمیایی انتخابی در بازتاب اندازه‌گیری شده از بال نشان داده شد [۵۴].

بال *Chrysidia rypheus* سیگنال‌های متمایزی برای هفت بخار مختلف از حلال آلی در چند ثانیه ارائه می‌دهد [۵۵]. از جمله مزیت‌های استفاده از بال‌های پروانه به‌عنوان حس‌گر می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: امکان خواندن سیگنال نوری بدون سیم‌کشی (در محیط‌های خطر انفجار)، ارزان بودن هزینه تولید و سازگار با محیط زیست [۹]. ساخت حس‌گرهای حرارتی بر اساس ساختار بال‌های مورفو در حال انجام است تا اندازه پیکسل را کاهش دهند [۶۵].

ب) سلول‌های خورشیدی: از بال پروانه برای افزایش به دام اندازی نور



شکل ۱۴: نمایشگرهای رنگی با الهام از بال مورفو [۴۴].

¹Dye sensitized solar cells

²Gratzel

نتیجه‌گیری

از جمله چالش‌های طبیعت در طول دوره تکامل، تغییر رنگ در موجودات می‌باشد. یکی از مهم‌ترین مکانیسم‌ها برای تغییر رنگ، استفاده از ساختارهای بلور فوتونی یک تا سه بعدی می‌باشد که با کنترل نور به روش‌های مختلف منجر به ایجاد رنگ‌های درخشان و رنگین‌کمانی می‌گردد. موجودات از تغییر رنگ برای برقراری ارتباط جنسی، رفتار رمزی، سازگاری با محیط اطراف، هشدار و یا فریب شکارچیان استفاده می‌کنند. مهندسان با الگوبرداری از این ساختارها و مکانیسم‌ها، تحولات شگرفی در صنایع مختلف ایجاد کرده‌اند.

* به استحضار می‌رساند این مقاله کل یا بخشی از آن در جایی به چاپ نرسیده است.

منابع و ماخذ

- [11]. Parker, A. R. (2004). A vision for natural photonics. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 362(1825), 2709-2720.
- [12]. Yablonovitch, E. (1987). Inhibited spontaneous emission in solid-state physics and electronics. *Physical review letters*, 58(20), 2059.
- [13]. John, S. (1987). Strong localization of photons in certain disordered dielectric superlattices. *Physical review letters*, 58(23), 2486.
- [14]. Hooke, R. (2003). *Micrographia: or some physiological descriptions of minute bodies made by magnifying glasses, with observations and inquiries thereupon*. Courier Corporation.
- [15]. Newton, I. (1952). *Opticks, or, a treatise of the reflections, refractions, inflections & colours of light*. Courier Corporation.
- [16]. Rayleigh, L. (1919). VII. On the optical character of some brilliant animal colours. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 37(217), 98-111.
- [17]. He, X., Ma, Y., Xie, H., Rao, G., Yang, Z., Zhang, J., & Feng, Z. (2021). Biomimetic nanostructure platform for cancer diagnosis based on tumor biomarkers. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9, 687664.
- [18]. Kemp, D. J. (2007). Female butterflies prefer males bearing bright iridescent ornamentation. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 274(1613), 1043-1047.
- [19]. Kemp, D. J. (2008). Female mating biases for bright ultraviolet iridescence in the butterfly *Eurema hecabe* (Pieridae). *Behavioral Ecology*, 19(1), 1-8.
- [20]. Loyau, A., Gomez, D., Moureau, B., Théry, M., Hart, N. S., Jalme, M. S., ... & Sorci, G. (2007). Iridescent structurally based coloration of eyespots correlates with mating success in the peacock. *Behavioral Ecology*, 18(6), 1123-1131.
- [21]. Merilaita, S., Tuomi, J., & Jormalainen, V. (1999). Optimization of cryptic coloration in heterogeneous habitats. *Biological Journal of the Linnean Society*, 67(2), 151-161.
- [22]. Kertész, K., Bálint, Z., Vértesy, Z., Márk, G. I., Lousse, V., Vigneron, J. P., ... & Biró, L. P. (2006). Gleaming and dull surface textures from photonic-crystal-type nanostructures in the butterfly *Cyanophrys remus*. *Physical Review E*, 74(2), 021922.
- [23]. Bond, A. B., & Kamil, A. C. (2002). Visual predators select for crypticity and polymorphism in virtual prey. *Nature*, 415(6872), 609-613.
- [24]. GD, R. (2004). Sherratt, TN, Speed, M: *Avoiding Attack: The Evolutionary Ecology of Crypsis, Warning Signals and Mimicry*.
- [25]. Arikath, J., & Campbell, K. P. (2003). Auxiliary subunits: essential components of the voltage-gated calcium channel complex. *Current opinion in neurobiology*, 13(3), 298-307.
- [1]. Schmitt, O. H. (1969, August). Some interesting and useful biomimetic transforms. In *Third Int. Biophysics Congress* (Vol. 1069, p. 197).
- [2]. Bar-Cohen, Y. (2006). Biomimetics—using nature to inspire human innovation. *Bioinspiration & biomimetics*, 1(1), P1.
- [3]. زینب موسوی موحدی، "فناوری های جدید بر مبنای دانش زیست الگو و الهام زیستی " فصلنامه نشاء علم، مجلد ۷، شماره ۱ سال ۱۳۹۵، صفحات ۵۳-۶۱
- [4]. Zan, G., & Wu, Q. (2016). Biomimetic and bioinspired synthesis of nanomaterials/nanostructures. *Advanced Materials*, 28(11), 2099-2147.
- [5]. علی اکبر موسوی موحدی "زیست الگو: همگرایی در علم و حکمت" فصلنامه نشاء علم، مجلد ۴، شماره ۱، ۱۳۹۲، صفحات ۹-۶
- [6]. Xia, Z. (2016). *Biomimetic principles and design of advanced engineering materials*. John Wiley & Sons.
- [7]. Sun, J., B. Bhushan, and J.J.R.A. Tong, *Structural coloration in nature*. 2013. 3(35): p. 14862-14889.
- [8]. Zhao, Y., Xie, Z., Gu, H., Zhu, C., & Gu, Z. (2012). Bio-inspired variable structural color materials. *Chemical Society Reviews*, 41(8), 3297-3317.
- [9]. Biro, L. P., & Vigneron, J. P. (2011). Photonic nanoarchitectures in butterflies and beetles: valuable sources for bioinspiration. *Laser & Photonics Reviews*, 5(1), 27-51.
- [10]. Parker, A.R.J.M.t., *Natural photonic engineers*. 2002. 5(9): p. 26-31.

- Hoplia coerulea* (Coleoptera). In *Biomimetics and Bioinspiration* (Vol. 7401, pp. 118-125). SPIE.
- [39]. Rassart, M., Colomer, J. F., Tabarrant, T., & Vigneron, J. P. (2008). Diffractive hydrochromic effect in the cuticle of the hercules beetle *Dynastes hercules*. *New Journal of Physics*, 10(3), 033014.
- [40]. Parker, A. R., McKenzie, D. R., & Large, M. C. (1998). Multilayer reflectors in animals using green and gold beetles as contrasting examples. *Journal of experimental biology*, 201(9), 1307-1313.
- [41]. Saranathan, V., Osuji, C. O., Mochrie, S. G., Noh, H., Narayanan, S., Sandy, A., ... & Prum, R. O. (2010). Structure, function, and self-assembly of single network gyroid (I 4132) photonic crystals in butterfly wing scales. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(26), 11676-11681.
- [42]. Vukusic, P., Sambles, J. R., Lawrence, C. R., & Wootton, R. J. (1999). Quantified interference and diffraction in single *Morpho* butterfly scales. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 266(1427), 1403-1411.
- [43]. Ragaei, M., A.-K.H. Sabry, and A.J.B.R. Abdel-Rahman, *Insect's photonic crystals and their applications*. 2016. 13(1): p. 15-20.
- [44]. Vukusic, P. and J.R.J.N. Sambles, *Photonic structures in biology*. 2003. 424(6950): p. 852-855.
- [45]. Biró, L. P., Kertész, K., Vértesy, Z., Márk, G. I., Bálint, Z., Lousse, V., & Vigneron, J. P. (2007). Living photonic crystals: butterfly scales—nanostructure and optical properties. *Materials Science and Engineering: C*, 27(5-8), 941-946.
- [46]. Preble, S., Lipson, M., & Lipson, H. (2005). Two-dimensional photonic crystals designed by evolutionary algorithms. *Applied Physics Letters*, 86(6).
- [47]. Gondarenko, A., Preble, S., Robinson, J., Chen, L., Lipson, H., & Lipson, M. (2006). Spontaneous emergence of periodic patterns in a biologically inspired simulation of photonic structures. *Physical review letters*, 96(14), 143904.
- [48]. Vukusic, P. S. J. R., Sambles, J. R., Lawrence, C. R., & Wootton, R. J. (2002). Limited-view iridescence in the butterfly *Ancyluris meliboeus*. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 269(1486), 7-14.
- [49]. Finlin, B. S., Crump, S. M., Satin, J., & Andres, D. A. (2003). Regulation of voltage-gated calcium channel activity by the Rem and Rad GTPases. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(24), 14469-14474.
- [50]. McGee, A. W., Dakoji, S. R., Olsen, O., Bredt, D. S., Lim, W. A., & Prehoda, K. E. (2001). Structure of the SH3-guanylate kinase module from PSD-95 suggests a mechanism for regulated assembly of MAGUK scaffolding proteins. *Molecular cell*, 8(6), 1291-1301.
- [26]. Dolphin, A. C. (2003). β subunits of voltage-gated calcium channels. *Journal of bioenergetics and biomembranes*, 35, 599-620.
- [27]. Catterall, W. A. (2000). Structure and regulation of voltage-gated Ca^{2+} channels. *Annual review of cell and developmental biology*, 16(1), 521-555.
- [28]. Welch, V., Vigneron, J. P., Lousse, V., & Parker, A. (2006). Optical properties of the iridescent organ of the comb-jellyfish *Beroë cucumis* (Ctenophora). *Physical Review E*, 73(4), 041916.
- [29]. Kinoshita, S., & Yoshioka, S. (2005). Structural colors in nature: the role of regularity and irregularity in the structure. *ChemPhysChem*, 6(8), 1442-1459.
- [30]. Yoshioka, S., Matsuhana, B., Tanaka, S., Inouye, Y., Oshima, N., & Kinoshita, S. (2011). Mechanism of variable structural colour in the neon tetra: quantitative evaluation of the Venetian blind model. *Journal of the Royal Society Interface*, 8(54), 56-66.
- [31]. Seago, A. E., Brady, P., Vigneron, J. P., & Schultz, T. D. (2009). Gold bugs and beyond: a review of iridescence and structural colour mechanisms in beetles (Coleoptera). *Journal of the Royal Society Interface*, 6(suppl_2), S165-S184.
- [32]. Welch, V., Lousse, V., Deparis, O., Parker, A., & Vigneron, J. P. (2007). Orange reflection from a three-dimensional photonic crystal in the scales of the weevil *Pachyrrhynchus congestus pavonius* (Curculionidae). *Physical Review E*, 75(4), 041919.
- [33]. Lenau, T., & Barfoed, M. (2008). Colours and metallic sheen in beetle shells—a biomimetic search for material structuring principles causing light interference. *Advanced Engineering Materials*, 10(4), 299-314.
- [34]. Fabricant, S. A., Kemp, D. J., Krajčiček, J., Bosakova, Z., & Herberstein, M. E. (2013). Mechanisms of color production in a highly variable shield-back stinkbug, *Tectocoris diophthalmus* (Heteroptera: Scutelleridae), and why it matters. *PLoS One*, 8(5), e64082.
- [35]. Vigneron, J. P., Pasteels, J. M., Windsor, D. M., Vértesy, Z., Rassart, M., Seldrum, T., ... & Welch, V. (2007). Switchable reflector in the Panamanian tortoise beetle *Charidotella egregia* (Chrysomelidae: Cassidinae). *Physical Review E*, 76(3), 031907.
- [36]. Vigneron, J. P., Colomer, J. F., Vigneron, N., & Lousse, V. (2005). Natural layer-by-layer photonic structure in the squamae of *Hoplia coerulea* (Coleoptera). *Physical Review E*, 72(6), 061904.
- [37]. Rassart, M., Simonis, P., Bay, A., Deparis, O., & Vigneron, J. P. (2009). Scale coloration change following water absorption in the beetle *Hoplia coerulea* (Coleoptera). *Physical Review E*, 80(3), 031910.
- [38]. Vigneron, J. P., Rassart, M., Simonis, P., Colomer, J. F., & Bay, A. (2009, August). Possible uses of the layered structure found in the scales of

- possible source of "blueprints". *Materials Science and Engineering: B*, 149(3), 259-265.
- [61]. Vigneron, J. P., Rassart, M., Vandembem, C., Lousse, V., Deparis, O., Biró, L. P., ... & DeFrance, P. (2006). Spectral filtering of visible light by the cuticle of metallic woodboring beetles and microfabrication of a matching bioinspired material. *Physical Review E*, 73(4), 041905.
- [62]. Wang, J., Liang, J., Wu, H., Yuan, W., Wen, Y., Song, Y., & Jiang, L. (2008). A facile method of shielding from UV damage by polymer photonic crystals. *Polymer international*, 57(3), 509-514.
- [63]. Berthier, S., Boulenguez, J., & Bálint, Z. (2007). Multiscaled polarization effects in *Suneve coronata* (Lepidoptera) and other insects: application to anti-counterfeiting of banknotes. *Applied Physics A*, 86, 123-130.
- [64]. Zhang, W., Zhang, D., Fan, T., Gu, J., Ding, J., Wang, H., ... & Ogawa, H. (2009). Novel photoanode structure templated from butterfly wing scales. *Chemistry of Materials*, 21(1), 33-40.
- [65]. Pris, A. D., Utturkar, Y., Surman, C., Morris, W. G., Vert, A., Zalyubovskiy, S., ... & Potyrailo, R. A. (2012). Towards high-speed imaging of infrared photons with bio-inspired nanoarchitectures. *Nature Photonics*, 6(3), 195-200.
- [66]. Zhang, W., Zhang, D., Fan, T., Ding, J., Gu, J., Guo, Q., & Ogawa, H. (2006). Biomimetic zinc oxide replica with structural color using butterfly (*Ideopsis similis*) wings as templates. *Bioinspiration & Biomimetics*, 1(3), 89.
- [67]. Gale, M. (1989). Diffraction, beauty and commerce. *Physics World*, 2(10), 24.
- [68]. Sun, C. H., Jiang, P., & Jiang, B. (2008). Broadband moth-eye antireflection coatings on silicon. *Applied Physics Letters*, 92(6)/061112.
- [69]. Zada, I., Zhang, W., Li, Y., Sun, P., Cai, N., Gu, J., ... & Zhang, D. (2016). Angle dependent antireflection property of TiO₂ inspired by cicada wings. *Applied Physics Letters*, 109(15)/153701.
- [51]. Takemura, S. Y., Stavenga, D. G., & Arikawa, K. (2007). Absence of eye shine and tapetum in the heterogeneous eye of *Anthocharis* butterflies (Pieridae). *Journal of Experimental Biology*, 210(17), 3075-3081.
- [52]. Zhao, N., Wang, Z., Cai, C., Shen, H., Liang, F., Wang, D., ... & Xu, J. (2014). Bioinspired materials: from low to high dimensional structure. *Advanced Materials*, 26(41), 6994-7017.
- [53]. Takeoka, Y. (2015). Fusion materials for biomimetic structurally colored materials. *Polymer Journal*, 47(2), 106-113.
- [54]. Potyrailo, R. A., Ghiradella, H., Vertiatchikh, A., Dovidenko, K., Cournoyer, J. R., & Olson, E. (2007). Morpho butterfly wing scales demonstrate highly selective vapour response. *Nature Photonics*, 1(2), 123-128.
- [55]. Biró, L. P., Kertész, K., Vértesy, Z., & Bálint, Z. (2008, August). Photonic nanoarchitectures occurring in butterfly scales as selective gas/vapor sensors. In *The Nature of Light: Light in Nature II* (Vol. 7057, pp. 44-51). SPIE.
- [56]. Zhang, G., Zhang, J., Xie, G., Liu, Z., & Shao, H. (2006). Cicada wings: a stamp from nature for nanoimprint lithography. *Small*, 2(12), 1440-1443.
- [57]. Huang, J., Wang, X., & Wang, Z. L. (2006). Controlled replication of butterfly wings for achieving tunable photonic properties. *Nano letters*, 6(10), 2325-2331.
- [58]. Silver, J., Withnall, R., Ireland, T. G., Fern, G. R., & Zhang, S. (2008). Light-emitting nanocasts formed from bio-templates: FESEM and cathodoluminescent imaging studies of butterfly scale replicas. *Nanotechnology*, 19(9), 095302.
- [59]. Zhu, S., Zhang, D., Li, Z., Furukawa, H., & Chen, Z. (2008). Precision replication of hierarchical biological structures by metal oxides using a sonochemical method. *Langmuir*, 24(12), 6292-6299.
- [60]. Kertész, K., Molnár, G., Vértesy, Z., Koós, A. A., Horváth, Z. E., Márk, G. I., ... & Biró, L. P. (2008). Photonic band gap materials in butterfly scales: A

نقش ژئوتوریسم و ژئوپارک‌ها در حفاظت از میراث زمین‌شناختی

مهديه توانا^۱، سجاد فردوسی^{۱*}

چکیده

با توسعه گردشگری، به تدریج شاهد شکل‌گیری انواع مختلفی از گردشگری متناسب با علایق و سلیق گوناگون هستیم. این امر به ویژه در گردشگری‌های مبتنی بر طبیعت مشهود است، جایی که حفاظت از گونه‌های زیستی و غیرزیستی اولویت دارد. در این راستا، حفاظت و مدیریت زمین‌شناختی نیز اهمیت فزاینده‌ای یافته است. از این رو، پژوهش حاضر با هدف بررسی نقش ژئوتوریسم و ژئوپارک‌ها و ابزارهای موجود در این مناطق در حفاظت از میراث زمین‌شناختی تدوین شده است. با توجه به ماهیت موضوع و اهداف پژوهش، رویکرد حاکم بر تحقیق توصیفی-تحلیلی است. داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز از طریق منابع آرشیوی و با مراجعه به مجلات و کتب مرتبط گردآوری شده است. نتایج نشان می‌دهد که گسترش ژئوتوریسم و ایجاد ژئوپارک‌ها می‌تواند به تحقق هدف حفاظت از میراث زمین‌شناختی کمک کند. مدیریت در ژئوپارک‌ها نقش کلیدی در اجرای استراتژی‌ها و برنامه‌های حفاظتی ایفا می‌کند. با توسعه ژئوتوریسم، آموزش و فعالیت‌های زمین‌شناختی در ژئوپارک‌ها نیز گسترش می‌یابد که به افزایش آگاهی عمومی منجر می‌شود. این افزایش آگاهی، همراه با مدیریت صحیح و سرمایه‌گذاری مناسب، حفاظت بلندمدت از میراث زمین‌شناختی را تضمین می‌کند.

واژگان کلیدی: ژئوتوریسم، ژئوپارک، میراث زمین‌شناختی، حفاظت زمین‌شناختی

* عهده‌دار مکاتبات، استادیار، تلفن/نمابر: ۶۶۴۷۸۵۵۲ (۹۸۲۱)، آدرس الکترونیکی: sajad.ferdowsi@ut.ac.ir
۱. گروه مدیریت و اقتصاد گردشگری، دانشکده گردشگری، دانشگاه تهران، تهران، ایران

مقدمه

که از نظر زمین‌شناسی دارای اهمیت ویژه‌ای هستند [۸]. هنگامی که تنوع زمین‌شناختی ارزیابی و ارزش‌گذاری می‌شود، میراث زمین‌شناختی شکل می‌گیرد [۹]. این میراث، بخشی از میراث طبیعی محسوب می‌شوند که معمولاً در ژئوپارک‌ها و مقصدهای ژئوتوریستی یافت می‌شوند [۱۰]. در واقع، میراث زمین‌شناختی عنصر اصلی در تعیین ژئوپارک‌ها است [۱۱]. این میراث به عناصر کلیدی زمین‌شناسی مانند سنگ‌ها، کانی‌ها و فسیل‌ها تمرکز دارد که تأثیرات فعالیت‌های گذشته و حال را در تفسیر فرآیندهای ژئومورفولوژیکی و ساختارهای زمین‌شناختی نشان می‌دهد [۱۲]. شناسایی و حفاظت از عناصر خاص تنوع زمین‌شناختی، به واسطه مفهوم میراث زمین‌شناختی ممکن می‌شود [۱۳].

ایجاد مفهوم میراث زمین‌شناختی موجب افزایش امید به بهبود معیشت مردم محلی و حفاظت از این سایت‌ها شده است [۱۴]. این میراث نه تنها در آموزش عمومی مردم تأثیرگذار است، بلکه نیازهای تفریحی افراد را نیز تأمین می‌کند [۱۵]. وجود میراث زمین‌شناختی در یک منطقه، ضرورت حفاظت و آموزش را در آن منطقه افزایش می‌دهد. آموزش در این زمینه نه تنها به توسعه مهارت‌های علمی و دانشگاهی منجر می‌شود، بلکه به عنوان یک ابزار حفاظتی نیز عمل می‌کند. به گونه‌ای که یکی از اهداف اصلی ارزیابی میراث زمین‌شناختی، تعیین وضعیت حفاظتی ژئوسایت‌ها است [۱۶]. گردشگری مبتنی بر پدیده‌های زمین‌شناسی با هدف حفاظت از میراث زمین‌شناختی طراحی شده و به تقویت درک و آگاهی از این میراث کمک می‌کند [۱۷ و ۱۸]. اهمیت میراث زمین‌شناختی در این است که به شناخت تاریخ زمین و منطقه کمک می‌کند و در عین حال برای آموزش‌های علمی زمین‌شناسی و پژوهش‌های آینده ضروری است. به همین دلیل، حفاظت از این میراث اولویت بالایی دارد [۱۹].

ب) حفاظت زمین‌شناختی:

حفاظت از میراث زمین‌شناختی به عنوان یک چالش جدید در عصر حاضر مطرح شده است [۱۲] و مستقیماً با میراث زمین‌شناختی در ارتباط بوده و از آن نشأت می‌گیرد [۲۰]. مفهوم حفاظت زمین‌شناختی به معنای حفاظت از ژئوسایت‌ها و میراث زمین‌شناختی در برابر آسیب‌ها و تخریب‌ها از طریق اقدامات حفاظتی و مدیریتی است [۲۱]. این نوع حفاظت برای زمین‌شناسان

چندبعدی بودن صنعت گردشگری [۱] منجر به شکل‌گیری انواع مختلفی از گردشگری در جهان معاصر شده است. یکی از این انواع که امروزه به طور قابل‌توجهی مورد توجه قرار گرفته است، ژئوتوریسم است. با گذشت زمان، این نوع گردشگری اهمیت بیشتری یافته و دیدگاه‌های مختلفی پیرامون آن شکل گرفته است. در دیدگاه نخست، ژئوتوریسم به عنوان نوعی از گردشگری که مشابه اکوتوریسم است، تعریف می‌شود. در حالی که در دیدگاه دوم، ژئوتوریسم به عنوان شکلی از گردشگری با جهت‌گیری زمین‌شناسی یا جغرافیایی توصیف می‌گردد [۲]. از سوی دیگر، ژئوپارک به عنوان مفهومی نسبتاً جدید از ژئوتوریسم نشأت گرفته است [۳]. طبق تعریف یونسکو، ژئوپارک‌ها مناطقی هستند که باید دارای برنامه‌های مدیریت توسعه، بهره‌برداری و حفاظت بوده و در عین حال، موجب ارتقای سطح اقتصادی جامعه محلی و تقویت همکاری عمومی شوند. شاخص حفاظت به عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های ژئوپارک‌ها معرفی شده است [۴ و ۵]، به طوری که ژئوتوریسم و ژئوپارک ابزارهای مهمی در دستیابی به اهداف ۱۷گانه توسعه پایدار، به ویژه هدف حفاظت، به شمار می‌آیند. در ژئوپارک‌ها، یکی از اهداف اصلی، حفاظت از میراث زمین‌شناختی است که شامل جلوگیری از تخریب و نابودی منابع زمین‌شناختی با ارزش تاریخی و علمی و همچنین تقویت ویژگی‌های آنها می‌شود [۶]. بنابراین، توسعه ژئوتوریسم و ژئوپارک‌ها اهمیت حفاظت از میراث زمین‌شناختی را افزایش می‌دهد. این پژوهش با هدف بررسی نقش و تأثیر ژئوتوریسم و ژئوپارک‌ها بر حفاظت از میراث زمین‌شناختی انجام شده است. در ابتدا، به مرور مفاهیم مرتبط با ژئوتوریسم، ژئوپارک، میراث زمین‌شناختی و حفاظت زمین‌شناختی پرداخته شده است و در ادامه، نقش ژئوپارک‌ها و ژئوتوریسم در حفاظت از میراث زمین‌شناختی مورد بحث قرار گرفته است.

مروری بر مفاهیم میراث زمین‌شناختی، حفاظت زمین‌شناختی، ژئوتوریسم و ژئوپارک

الف) میراث زمین‌شناختی:

واژه «میراث زمین‌شناختی» برای اولین بار در سال ۱۹۹۱ معرفی شد [۷]. میراث زمین‌شناختی به تمامی سایت‌هایی اطلاق می‌شود

ارکان اصلی ژئوتوریسم به‌شمار می‌رود. در ژئوسایت‌ها تلاش می‌شود آموزش گسترش یابد تا از طریق آن، حفاظت و گردش در مکان‌های زمین‌شناختی تقویت شود [۳۶]. ژئوتوریسم به‌عنوان ابزاری برای دست‌یابی به حفاظت زمین‌شناختی و در واقع حفظ میراث زمین‌شناختی برای نسل‌های آینده تعریف شده است [۱۸]. لازم به ذکر است که ژئوتوریسم تنها برای زمین‌شناسان یا متخصصان این حوزه طراحی نشده، بلکه هدف آن جذب افراد از همه سنین و اقشار مختلف از جمله متخصصان، دانشگاهیان، کودکان و دانش‌آموزان، با هدف افزایش آگاهی علمی و ایجاد حس مسئولیت‌پذیری است [۸]. برای جذب ژئوتوریست از اقشار مختلف، برنامه‌ریزی دقیق، طرح‌های اختصاصی و اجرای صحیح این برنامه‌ها توسط افراد متخصص و آموزش‌دیده برای هر گروه جامعه ضروری است. تمامی این فعالیت‌ها در نهایت به دستیابی به هدف اصلی یعنی حفاظت از میراث زمین‌شناختی منجر می‌شود.

د) ژئوپارک:

ژئوپارک‌ها پارک‌های زمین‌شناختی هستند که از ژئوتوریسم نشأت گرفته و برای تسهیل دستیابی به اهداف توسعه پایدار در ژئوتوریسم ایجاد شده‌اند [۲۶]. این پارک‌ها در راستای سیاست‌های توسعه پایدار شکل گرفته‌اند [۱۱]. ژئوپارک‌ها مکان‌هایی با محدوده مساحتی مشخص و تعریف‌شده هستند که از نظر علمی و بصری ارزشمند بوده و علاوه بر اهمیت زمین‌شناسی، باید دارای ارزش‌های تاریخی و فرهنگی نیز باشند تا در دستیابی به شاخص‌های توسعه پایدار کمک کنند [۳۷]. ژئوپارک‌ها مناطقی با مرزبندی و مساحت معین هستند که تعدادی از پدیده‌های زمین‌شناسی نادر و برجسته را در خود جای داده‌اند. این پدیده‌ها از نظر تاریخی، فرهنگی و طبیعی ارزشمند بوده و می‌توانند شامل ژئوسایت‌ها و ژئوتریل‌ها باشند. براساس تعریف یونسکو، ژئوپارک‌ها مناطقی هستند که شامل سایت‌هایی با میراث زمین‌شناختی برجسته بوده و حفاظت، آموزش و توسعه پایدار را به همراه دارند [۳۸]. این پارک‌ها به‌طور مؤثری به حفاظت و ارتقای میراث زمین‌شناختی، آموزش علوم زمین و توسعه گردشگری پایدار کمک می‌کنند. در بحث ژئوپارک‌ها، سودآوری تنها به سود اقتصادی محدود نمی‌شود؛ بلکه هدف آنها هدایت جوامع به سمت دستیابی به اهداف توسعه پایدار است [۳۸]. از ۱۷ هدف اصلی توسعه پایدار، ۱۱ هدف را می‌توان از طریق فعالیت‌های ژئوپارک‌ها محقق کرد. سازمان یونسکو در سال ۲۰۰۶ سه رویکرد

و متخصصان حوزه زمین‌شناسی اهمیت زیادی دارد، زیرا تنوع زمین‌شناختی برای حمایت از تحقیقات علمی و آموزش‌های زمین‌شناسی ضروری است [۲۲]. حفاظت از میراث زمین‌شناختی به دلیل نیاز به حفظ این میراث برای نسل‌های آینده نیز حائز اهمیت است، همان‌گونه که مفهوم توسعه پایدار بر آن تأکید دارد. حفاظت زمین‌شناختی نه‌تنها شامل سایت‌های ژئومورفولوژیکی با اهمیت است، بلکه سایت‌های دارای ارزش آموزشی و علمی بالا نیز نیاز به حفاظت دارند [۲۳].

این حفاظت تنها به معنای جلوگیری از آسیب‌های طبیعی نیست؛ بلکه گاهی نیاز است میراث زمین‌شناختی از آسیب‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی نیز محافظت شود [۲۴]. اصلی‌ترین راهکار برای حفاظت از میراث زمین‌شناختی در برابر آسیب‌های انسانی، افزایش آگاهی عمومی است. این امر نیازمند طرح‌های حفاظتی مناسب، مدیریت کارآمد و اجرای صحیح برنامه‌های حفاظتی است [۲۵]. پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که موانعی نظیر عدم انتقال صحیح اطلاعات به‌گونه‌ای که برای عموم قابل درک باشد [۲۶] و [۲۷]، نبود سرمایه‌گذاری قوی و بودجه کافی [۲۸ و ۲۹] و ضعف در مدیریت [۳۰ و ۳۱] از چالش‌های اصلی در مسیر حفاظت ژئوسایت‌ها هستند.

ج) ژئوتوریسم:

ژئوتوریسم به‌عنوان یکی از مفاهیم نوظهور و پویا در حوزه گردشگری، ریشه در صنعت اکوتوریسم دارد [۳۲]. این نوع گردشگری، تخصصی بوده و تلاقی گردشگری و زمین‌شناسی است [۳۳]. ژئوتوریسم به‌طور خاص بر ویژگی‌های زمین‌شناسی و چشم‌اندازهای زمین تمرکز دارد و شامل ترکیب عناصر زمین‌شناختی مانند لندفرم‌ها، سنگ‌ها، کانی‌ها و غیره با تأکید بر فرآیندهای ایجادکننده این اشکال است [۲]. در کلی‌ترین تعریف، ژئوتوریسم شکلی از گردشگری است که بر ویژگی‌های زمین‌شناختی یک مکان تمرکز دارد [۳۴] و می‌تواند در محیط‌های طبیعی یا اصلاح‌شده توسط انسان انجام شود [۳۵]. برخلاف تصور رایج، ژئوتوریسم تنها به مناطق طبیعی یا روستایی محدود نمی‌شود و حتی در مقصدهای شهری نیز امکان‌پذیر است [۱۸].

براساس اولین تعاریف ارائه‌شده از ژئوتوریسم، این مقاصد علاوه بر ارزش زیبایی‌شناختی، باید از نظر علمی نیز برای گردشگران آگاهی‌بخش باشند [۱۸]. به همین دلیل، آموزش و افزایش آگاهی از



شکل ۱. پراکندگی ژئوپارک‌های جهانی یونسکو در سطح جهان [۳۹]

است. در این راستا، تا سال ۲۰۲۳ نیز سه ژئوپارک قشم، ارس، و طبس در ایران به‌عنوان ژئوپارک‌های جهانی در یونسکو به ثبت رسیده‌اند (شکل ۳). در منطقه خاورمیانه، کشور ایران به‌عنوان تنها کشوری است که دارای ژئوپارک جهانی یونسکو است.

با توجه به اینکه چگونگی مدیریت ژئوپارک‌ها به‌عنوان یک اصل اساسی به‌منظور ثبت آنها در شبکه جهانی ژئوپارک‌های یونسکو مطرح است، لذا مدیریت مطلوب این مناطق بایستی همواره در کانون توجه متولیان و مسئولان این حوزه باشد [۴۰]. در این راستا، نیاز است مدیریت ژئوپارک‌ها بر عهده نهادی باشد که طبق قوانین هر کشور رسمیت داشته باشد. این نهاد باید به گونه‌ای سازماندهی و تجهیز شود که بتواند تمام منطقه ژئوپارک را به‌خوبی مدیریت کند و همه بخش‌های محلی و منطقه‌ای مانند جوامع، مسئولین محلی و نهادهای دولتی را در تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌ها مشارکت دهد [۴۱]. برنامه مدیریتی که برای ژئوپارک تدوین می‌شود، باید از چند جنبه اصلی مراقبت کند. نخست، نیازهای اجتماعی و اقتصادی مردم محلی در نظر گرفته شود تا توسعه‌ای متوازن و پایدار برای آنها به همراه داشته باشد. دوم، از طبیعت و چشم‌انداز ژئوپارک، یعنی محیط زیستی که این مردم در آن زندگی می‌کنند، محافظت شود تا منابع طبیعی منطقه حفظ شوند. سوم، فرهنگ و هویت محلی آن منطقه که بخشی از تاریخ و میراث آن است، باید مورد توجه و محافظت قرار گیرد. این برنامه مدیریتی باید همه جنبه‌های مهم مانند نحوه اداره ژئوپارک، توسعه زیرساخت‌ها، ارتباط با جامعه محلی و گردشگران،

اصلی ژئوپارک‌ها را شامل رونق ژئوتوریسم (گردشگری)، حفاظت و آموزش دانست [۱۴]، که هر سه مورد از اهداف توسعه پایدار به شمار می‌روند. با گسترش ژئوپارک‌ها و ایجاد این مفهوم، آگاهی عمومی نسبت به میراث زمین‌شناختی افزایش یافته است [۲۵]. ژئوپارک‌ها می‌توانند به‌عنوان ابزاری برای حفاظت از میراث زمین‌شناختی عمل کرده و به ترویج ژئوتوریسم کمک کنند [۱۰ و ۱۴].

برمبنای جدیدترین فهرست ژئوپارک‌ها در سال ۲۰۲۳، تاکنون ۲۱۳ ژئوپارک در ۴۸ کشور جهان، شناسایی و در شبکه جهانی ژئوپارک-های یونسکو به ثبت رسیده است [۳۹]. شکل (۱) پراکندگی ژئوپارک‌های جهانی یونسکو را در نقاط مختلف جهان نشان می‌دهد. در این میان، قاره اروپا با ۹۴ ژئوپارک بیشترین و قاره اقیانوسیه با یک ژئوپارک کمترین تعداد ژئوپارک را در خود جای داده‌اند. بیشترین تعداد ژئوپارک‌ها در قاره آسیا، در کشور چین قرار دارند به نحوی که ۴۱ ژئوپارک در این کشور به ثبت جهانی رسیده است. در قاره اروپا نیز کشور اسپانیا با ۱۶ ژئوپارک جهانی، بیشترین تعداد ژئوپارک‌ها را به خود اختصاص داده است. در این میان، کشورهای برزیل و کانادا هر یک با ۵ ژئوپارک در صدر کشورهای دارای ژئوپارک جهانی در قاره آمریکا به شمار می‌روند. در قاره آفریقا کشورهای مراکش و تانزانیا و همچنین کشور نیوزلند در قاره اقیانوسیه، هر کدام با یک ژئوپارک، نام خود را در شبکه جهانی ژئوپارک‌های یونسکو به ثبت رسانده‌اند. شکل (۲)، نمونه‌هایی از ژئوپارک‌های جهانی یونسکو را در پنج قاره جهان به تصویر کشیده

نقش ژئوتوریسم و ژئوپارک‌ها در حفاظت از میراث زمین‌شناختی



شکل ۲. نمونه ژئوپارک‌های جهانی در پنج قاره جهان



شکل ۳. نمونه ژئوسایت‌های واقع در ژئوپارک‌های قشم، ارس، و طبس در ایران

1. Danxia Shan
2. El Hierro
3. Perce

6. M'Goun
7. Waitaki

این مناطق با ایجاد زیرساخت‌های مناسب، فرصت‌هایی را برای حفظ و توسعه پایدار فراهم می‌کنند و به هدایت جوامع محلی برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار کمک می‌کنند [۳۸]. ژئوپارک‌ها دارای سه اصل اساسی هستند: ترویج ژئوتوریسم، آموزش زمین‌شناختی و حفاظت زمین‌شناختی [۱۹]. این اصول به‌طور هم‌زمان به حفاظت از میراث زمین‌شناختی کمک کرده و به ارتقای آگاهی عمومی در خصوص اهمیت آن می‌پردازند [۴۷]. ژئوپارک‌ها با بهره‌گیری از ابزارهایی مانند ژئوتریل‌ها، نقش مؤثری در حفاظت از میراث زمین‌شناختی ایفا می‌کنند. ژئوتریل‌ها به‌عنوان مسیرهای آموزشی و گردشگری در ژئوپارک‌ها، به بازدیدکنندگان این امکان را می‌دهند تا به‌طور مستقیم با ویژگی‌های زمین‌شناختی آشنا شوند و در نتیجه، انگیزه‌ای برای حفاظت از این ویژگی‌ها پیدا کنند [۵۱].

یکی از ابزارهای کلیدی در حفاظت از میراث زمین‌شناختی، آموزش است [۱۵ و ۲۴]. ترویج آموزش در ژئوپارک‌ها و سایر مکان‌های ژئوتوریستی، به‌ویژه از طریق برنامه‌های آموزشی و اطلاع‌رسانی، موجب ایجاد حس مسئولیت‌پذیری در جامعه می‌شود و آگاهی نسبت به مزایای وجود میراث زمین‌شناختی را افزایش می‌دهد [۴۸]. این آموزش‌ها به‌طور مستقیم و غیرمستقیم در حفظ آثار زمین‌شناختی مؤثر واقع می‌شوند و به تدوین راهبردهای حفاظتی و جذب سرمایه‌گذاران کمک می‌کنند [۴۹]. علاوه بر آموزش، ایجاد کنجکاو و علاقه در مورد حفاظت از زمین نیز نقش بسزایی دارد [۵۰]. اقدامات ارزیابی و نظارت مناسب طبق قوانین مدیریتی، به ارتقای حفاظت از میراث زمین‌شناختی کمک می‌کند. ساختار مدیریتی ژئوپارک‌ها و کارکنان حاضر در این مناطق نیز به‌طور قابل‌توجهی بر موفقیت برنامه‌های حفاظتی تأثیرگذارند [۵۱]. در نتیجه، ژئوتوریسم و ژئوپارک‌ها با ارائه فرصت‌هایی برای جوامع محلی به‌منظور دستیابی به پایداری و حفاظت مؤثر از میراث زمین‌شناختی، نقشی حیاتی در حفظ و ارتقای این میراث ارزشمند ایفا می‌کنند [۵۲]. این دو ابزار با همکاری یکدیگر، به تحقق اهداف حفاظت و توسعه پایدار کمک کرده و به‌طور هم‌زمان به ارتقای آگاهی عمومی و مسئولیت‌پذیری در قبال میراث زمین‌شناختی می‌پردازند.

نتیجه‌گیری

در عصر حاضر، صنعت گردشگری به وضوح شاهد افزایش چشمگیر

نگهداری از مناطق حساس، مدیریت مالی، و همکاری با دیگر سازمان‌ها و نهادهای بین‌المللی و ملی را پوشش دهد [۴۲]. در نهایت، هدف اصلی این برنامه، ایجاد تعادلی میان توسعه اقتصادی منطقه و حفاظت از محیط زیست و فرهنگ محلی است تا هم برای نسل‌های کنونی و هم آینده مفید باشد [۴۳].

نقش ژئوتوریسم و ژئوپارک‌ها در حفاظت از میراث زمین‌شناختی

ژئوتوریسم و ژئوپارک‌ها به‌طور اساسی در حفاظت از میراث زمین‌شناختی ایفای نقش می‌کنند. این دو مفهوم به‌طور مستقیم با حفاظت از ویژگی‌های زمین‌شناختی مرتبط هستند و به شیوه‌های مختلف به حفظ و ترویج این میراث ارزشمند کمک می‌کنند. ژئوتوریسم به‌عنوان یک رویکرد تخصصی در گردشگری، بر ویژگی‌های زمین‌شناختی و فرآیندهای ژئومورفولوژیکی تمرکز دارد [۴۴]. این نوع گردشگری نه‌تنها به بازدیدکنندگان فرصتی برای آشنایی با میراث زمین‌شناختی می‌دهد بلکه به‌طور فعال به ترویج حفاظت از این میراث کمک می‌کند [۴۵]. ژئوتوریسم پایدارترین روش برای دستیابی به حفاظت مؤثر از میراث زمین‌شناختی به‌شمار می‌رود و هدف آن حفاظت و پایدار کردن این میراث است [۶]. این رویکرد به‌عنوان یک استراتژی برای ترویج آگاهی عمومی و حمایت از حفاظت محیط زیست عمل می‌کند [۴۶]. ژئوتوریسم با استفاده از ابزارهایی مانند راهنماهای تخصصی، تورهای آموزشی و فعالیت‌های توریستی که بر روی ویژگی‌های زمین‌شناختی تمرکز دارند، موجب ارتقای آگاهی عمومی می‌شود [۱۵ و ۲۴]. این آموزش‌ها به‌طور غیرمستقیم به حفاظت از میراث زمین‌شناختی کمک می‌کنند چرا که بازدیدکنندگان پس از درک ارزش‌های زمین‌شناختی، به محافظت از آنها بیشتر توجه می‌کنند [۴۷ و ۴۸]. از این‌رو، گسترش فعالیت‌های آموزشی و گردشگری در زمینه ژئوتوریسم می‌تواند به ایجاد راهبردهای مؤثر حفاظتی و جذب سرمایه‌گذاران کمک کند [۴۹ و ۵۰].

در این میان، ژئوپارک‌ها به‌عنوان پارک‌های زمین‌شناختی، با هدف حفاظت و ترویج میراث زمین‌شناختی ایجاد شده‌اند [۲۶]. این مناطق به‌طور خاص به‌دنبال ترویج اهداف ژئوتوریسم و حفاظت از میراث زمین‌شناختی هستند [۳۷]. ژئوپارک‌ها به‌طور مؤثر به حفاظت و ارتقای میراث زمین‌شناختی کمک می‌کنند و همچنین آموزش علوم زمین و زمینه‌های مرتبط را فراهم می‌آورند [۳۸].

- [3]. Pourfaraj, A., Ghaderi, E., Jomehpour, M., Ferdowsi, S. (2020). Conservation Management of Geotourism Attractions in Tourism Destinations. *Geoheritage*, 12(4), 1-21.
- [4]. Lee, Y., & Jayakumar, R. (2021). Economic impact of UNESCO Global Geoparks on local communities: Comparative analysis of three UNESCO Global Geoparks in Asia. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 9(2), 189-198.
- [5]. Mc Keever, P. J., & Zouros, N. (2005). Geoparks: Celebrating Earth heritage, sustaining local communities. *Episodes Journal of International Geoscience*, 28(4), 274-278.
- [6]. Datta, K. (2020). Application of SWOT-TOWS matrix and Analytical Hierarchy Process (AHP) in the formulation of geoconservation and geotourism development strategies for mama bhagne pahar: An important geomorphosite in West Bengal, India. *Geoheritage*, 12(2), 45.
- [7]. Anon (1991) First International Symposium on the Conservation of our Geological Heritage, Digne, France, 11-16 June 1991: Terra Abstracts Supplement 2 to Terra Nova, 3: 17.
- [8]. Spyrou, E., Maroukian, H., Saitis, G., Evelpidou, N., & Karkani, A. (2024). Promoting geo-education and geotourism through geosite assessment: A case study from Acheron-Parga, Epirus, Greece. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 12(2), 256-277.
- [9]. Vegas, J., & Diez-Herrero, A. (2021). An assessment method for urban geoheritage as a model for environmental awareness and geotourism (Segovia, Spain). *Geoheritage*, 13(2), 27.
- [10]. Brilha, J. (2018). *Geoheritage: inventories and evaluation*. In *Geoheritage* (pp. 69-85). Elsevier.
- [11]. Ziaee, M., Ferdowsi, S. (2020). A Systematic Review of Iranian Research in the Field of Geotourism Studies. *Geoheritage*, 12(4), 1-13.
- [12]. Joyce, E. B. (1995). Assessing the significance of geological heritage: a methodology study for the Australian Heritage Commission. Standing Committee for Geological Heritage of the Geological Society of Australia.
- [13]. Gordon, J. E., Crofts, R., & Díaz-Martínez, E. (2018). Geoheritage conservation and environmental policies: retrospect and prospect. In *Geoheritage* (pp. 213-235). Elsevier.
- [14]. Arrad, T. Y., Errami, E., Ennih, N., Ouajhain, B., & Bouaouda, M. S. (2020). From geoheritage inventory to geoeducation and geotourism implications: Insight from Jbel Amsittene (Essaouira province, Morocco). *Journal of African Earth Sciences*, 161, 103656.
- [15]. Németh, B., Németh, K., & Procter, J. N. (2021). Visitation rate analysis of geoheritage features from earth science education perspective using automated landform classification and crowdsourcing: A

سفرهایی با تمرکز بر بازدید از سایت‌های زمین‌شناختی است. این روند، که به گسترش و انبوه‌سازی فعالیت‌های گردشگری منجر شده است، ممکن است به عنوان یک علامت هشدار دهنده تلقی شود. افزایش میزان گردشگری در مقصدهای زمین‌شناختی می‌تواند آسیب‌های جدی به این سایت‌ها وارد کرده و اهداف پایداری را به خطر بیندازد. لذا حفاظت از میراث زمین‌شناختی به دلیل نیاز مداوم جوامع به بهره‌برداری پایدار از این منابع و استفاده از مزایای آنها، امری حیاتی به شمار می‌آید. ژئوتوریسم و ژئوپارک‌ها با اهدافی که به وضوح با اصول توسعه پایدار هم‌راستا هستند، نقشی کلیدی در حفاظت از میراث زمین‌شناختی ایفا می‌کنند. حفاظت از این میراث، یکی از اصلی‌ترین چالش‌ها در زمینه ژئوتوریسم است و برای تحقق این هدف، باید از تمامی ابزارها و راهبردهای موجود بهره‌برداری شود.

در این راستا، فعالیت‌هایی که به ارتقاء سطح ژئوپارک‌ها کمک می‌کنند، به طور غیرمستقیم به حفاظت از میراث زمین‌شناختی نیز منجر می‌شوند. این فعالیت‌ها شامل ایجاد و اجرای طرح‌های حفاظتی در مناطق ژئوتوریستی، به‌کارگیری مدیریت صحیح، توجه به آموزش در جوامع میزبان و میهمان در تمامی سنین، جذب سرمایه‌گذاران، و تلاش برای افزایش آگاهی عمومی و ایجاد حس مسئولیت‌پذیری در میان مردم است. علاوه بر این، آموزش زمین‌شناختی که در داخل و خارج از محیط ژئوپارک‌ها، در مدارس و مؤسسات آموزشی انجام می‌شود و همچنین استفاده از ژئوتریل‌ها به منظور انتقال دانش و آگاهی، و بهره‌برداری از نیروی کار آموزش‌دیده، به‌طور قابل‌توجهی در حفاظت از میراث زمین‌شناختی مؤثر هستند. به‌طور کلی، تحقق اهداف حفاظت از میراث زمین‌شناختی نیازمند هماهنگی بین فعالیت‌های آموزشی، مدیریتی، و سرمایه‌گذاری است تا از آسیب‌های احتمالی جلوگیری شده و بهره‌برداری پایدار از این منابع ارزشمند تضمین گردد.

منابع و ماخذ

- [1]. Karoubi, M., Ferdowsi, S. (2021). Impact of Perceived Social Apathy on Tourists' Behavioral Intentions. *Leisure Studies*, 40(5), 628-644.
- [2]. Dowling, R. K., & Newsome, D. (2006). *Geotourism's issues and challenges*. In *Geotourism* (pp. 242-254). Routledge.

- Mongolia, China. *Quaternary International*, 349, 384-391.
- [30]. Master, S. (2016). Gaet'ale-a reactivated thermal spring and potential tourist hazard in the Asale salt flats, Danakil Depression, Ethiopia. *Journal of Applied Volcanology*, 5, 1-9.
- [31]. Sheth, H. C., Ray, J. S., Bhutani, R., Kumar, A., & Awasthi, N. (2010). The latest (2008–09) eruption of Barren Island volcano, and some thoughts on its hazards, logistics and geotourism aspects. *Current Science*, 620-626.
- [32]. Gordon, J. E. (2012). Engaging with geodiversity: 'stone voices', creativity and ecosystem cultural services in Scotland. *Scottish Geographical Journal*, 128(3-4), 240-265
- [33]. Zafeiropoulos, G., Drinia, H., Antonarakou, A., & Zouros, N. (2021). From geoheritage to geoeducation, geoethics and geotourism: A critical evaluation of the Greek region. *Geosciences*, 11(9), 381.
- [34]. Hose, T. A. (1995). Selling the story of Britain's stone. *Environmental interpretation*, 10(2), 16-17.
- [35]. Tamang, L., Mandal, U. K., Karmakar, M., Banerjee, M., & Ghosh, D. (2023). Geomorphosite evaluation for geotourism development using geosite assessment model (GAM): A study from a Proterozoic terrain in eastern India. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 11(1), 82-99.
- [36]. Farsani, N. T., Coelho, C., & Costa, C. (2011). Geotourism and geoparks as novel strategies for socio-economic development in rural areas. *International Journal of Tourism Research*, 13(1), 68-81.
- [37]. LUNAS, M. C. F. D. S., OLIVEIRA, A. K. M. D., & BONONI, V. L. R. (2016). Public policies development: convergences and divergences in the bodoquena-pantanal geopark. *Ambiente & Sociedade*, 19(03), 155-176.
- [38]. Network, G. G. (2010). Guidelines and Criteria for National Geoparks seeking UNESCO's assistance to join the Global Geoparks Network (GGN).
- [39]. <https://www.globalgeoparksnetwork.org/>
- [40]. Pourfaraj, A., Ghaderi, E., Jomehpour, M., & Ferdowsi, S. (2020). Conservation management of geotourism attractions in tourism destinations. *Geoheritage*, 12(4), 80.
- [41]. Ziaee, M., & Ferdowsi, S. (2020). A systematic review of Iranian research in the field of geotourism studies. *Geoheritage*, 12(4), 94.
- [42]. Ferdowsi, S. (2024), Management of geoheritage conservation and vulnerability in tourism destinations, *Tourism Review*.
- [43]. Ferdowsi, S. (2024). Site selection of ecotourism ecocamps for sustainable development of rural areas. *Journal of Ecotourism*, 1-19.
- [44]. Dowling, R. K. (2011). Geotourism's global growth. *Geoheritage*, 3(1), 1-13.
- geoeducation capacity map of the auckland volcanic field, New Zealand. *Geosciences*, 11(11), 480.
- [16]. Brilha, J. (2016). Inventory and quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: a review. *Geoheritage*, 8(2), 119-134.
- [17]. Abou Arrage, J., & Chamra, C. (2022). Geolandscape and geo-heritage assessment to promote geo-tourism and geo-conservation of Ehden region in North Lebanon. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 10(4), 635-654.
- [18]. Dowling, R., & Newsome, D. (2018). Geotourism: definition, characteristics and international perspectives. *Handbook of geotourism*, 1-22.
- [19]. Gray, M. (2019). Geodiversity, geoheritage and geoconservation for society. *International Journal of Geoheritage and Parks*, 7(4), 226-236.
- [20]. Brocx, M., & Semeniuk, V. (2007). Geoheritage and geoconservation-history, definition, scope and scale. *Journal of the Royal Society of Western Australia*, 90(2), 53-87.
- [21]. Hose, T. A. (2012). 3G's for modern geotourism. *Geoheritage*, 4(1), 7-24.
- [22]. Somma, R. (2022). The inventory and quantitative assessment of geodiversity as strategic tools for promoting sustainable geoconservation and geo-education in the Peloritani Mountains (Italy). *Education Sciences*, 12(9), 580.
- [23]. Świerkosz, K., Koźma, J., Reczyńska, K., & Halama, M. (2017). Muskau Arch Geopark in Poland (Central Europe)—is it possible to integrate geoconservation and geoeducation into biodiversity conservation? *Geoheritage*, 9, 59-69.
- [24]. Brocx, M., & Semeniuk, V. (2019). The '8Gs'—a blueprint for Geoheritage, Geoconservation, Geoeducation and Geotourism. *Australian Journal of Earth Sciences*, 66(6), 803-821.
- [25]. Morante-Carballo, F., Merchán-Sanmartín, B., Cárdenas-Cruz, A., Jaya-Montalvo, M., Mata-Perelló, J., Herrera-Franco, G., & Carrión-Mero, P. (2022). Sites of geological interest assessment for geoeducation strategies, ESPOL University Campus, Guayaquil, Ecuador. *Land*, 11(6), 771.
- [26]. Ólafsdóttir, R., & Tverijonaite, E. (2018). Geotourism: a systematic literature review. *Geosciences*, 8(7), 234.
- [27]. Garofano, M. (2012). Challenges in the popularization of the earth sciences. Geotourism as a new medium for the geology dissemination. *Anuário Do Instituto de Geociências-UFRJ*, 35(1), 34-41.
- [28]. Dong, H., Song, Y., Chen, T., Zhao, J., & Yu, L. (2014). Geoconservation and geotourism in Luochuan loess national geopark, China. *Quaternary International*, 334, 40-51.
- [29]. Wang, L., Tian, M., Wen, X., Zhao, L., Song, J., Sun, M., ... & Sun, M. (2014). Geoconservation and geotourism in Arxan-Chaihe Volcano Area, Inner

- [49]. Pimentel, N., Pereira, B., & Silva, M. R. (2024). From Geoheritage to Geosites at the Oeste Aspiring Geopark (Portugal). *Geoheritage*, 16(1), 31.
- [50]. Nunes, A. R. F., Henriques, M. H., Dias, J. M., & Janeiro, R. D. (2022). Raising Awareness About Geoheritage at Risk in Portugal: The GeoXplora as a Case Study. *Geoheritage*, 14(2), 59.
- [51]. Ferdowsi, S. (2024), Management of geoheritage conservation and vulnerability in tourism destinations. *Tourism Review*. P116 ref 51; doi: 10.1108/TR-03-2024-0189
- [52]. Sütő, L., Ésik, Z., Nagy, R., Homoki, E., Novák, T. J., & Szepesi, J. (2020). Promoting geoheritage through a field based geo-education event, a case study of the Hungarian geotope day in the Bükk Region Geopark. *Geoconservation Research*, 3(2), 81-96.
- [45]. Pourfaraj, A., Ghaderi, E., Jomehpour, M. Ferdowsi, S. (2019). Analyzing Vulnerability of Geotourism Attractions in Tourism Destinations. *Journal of Environmental Erosion Research*. 9(3), 23-42. (In Persian).
- [46]. Ferdowsi, S. (2024). Site selection of ecotourism ecocamps for sustainable development of rural areas. *Journal of Ecotourism*, 1-19.
- [47]. Prosser, C. D., Brown, E. J., Larwood, J. G., & Bridgland, D. R. (2013). Geoconservation for science and society—an agenda for the future. *Proceedings of the Geologists' Association*, 124(4), 561-567.
- [48]. Muzambiq, S., Walid, H., Ganie, T. H., & Hermawan, H. (2021). The importance of public education and interpretation in the conservation of Toba Caldera Geoheritage. *Geoheritage*, 13(1), 3.

زیست‌شناسی کوانتومی: چشم‌اندازی نوین در علوم زیستی و درمان

احمد امیری^۱، نیکو محبعلی زاده^۱، باقر دوائیل^۱، هانیه خشنود^۱، صدیقه عابدان‌زاده^{۲*}

چکیده

«زیست‌شناسی کوانتومی» به‌عنوان رشته‌ای نوظهور در جهان علمی شناخته می‌شود. این رشته با استفاده از قوانین مربوط به مکانیک کوانتومی به بررسی پدیده‌های زیستی می‌پردازد. امروزه هم‌راستا با پیشرفت علم، زیست‌شناسی کوانتومی هم به رشد و بالندگی خود ادامه می‌دهد، به‌نحوی که کم‌کم جای خود را در میان علوم، خصوصاً علوم بین‌رشته‌ای محکم می‌نماید. این شاخه از علم، زمینه‌ساز شناخت بسیاری از مکانیسم‌های زیستی بوده است به‌گونه‌ای که پژوهشگران را در درک چرایی و چگونگی ایجاد پدیده‌های زیستی یاری نموده است. آگاهی از این مکانیسم‌ها و همچنین سایر عواملی که زیست‌شناسی کوانتومی در شناخت آنها مؤثر بوده است، باعث ایجاد نگاهی نو در میان دانشمندان خصوصاً پزشکان شده است. امروزه با پیشرفت ایجاد شده از آن، دستگاه‌ها و ابزارهایی در اختیار دانشمندان قرار گرفته است که در تشخیص زودهنگام بیماری‌ها بسیار کمک کننده هستند. علاوه بر این پیشرفت‌ها که زیست‌شناسی کوانتومی در اختیار دانشمندان علوم زیستی قرار می‌دهد می‌تواند آنان را در درک چرایی و چگونگی ایجاد بیماری‌ها یاری نماید به‌نحوی که با استفاده از آن می‌تواند یک درمان مؤثر را انتخاب نمایند.

واژگان کلیدی: زیست‌شناسی کوانتومی، مکانیک کوانتومی، کامپیوتر کوانتومی، کوانتوم دات

*عهده‌دار مکاتبات: استادیار. تلفن: ۸۶۰۷۲۷۰۶ (۹۸۲۱)، نامبر: ۸۶۰۷۲۷۰۷ (۹۸۲۱)، نشانی الکترونیکی: abedanzadeh@khu.ac.ir

^۱ مرکز تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران

^۲ دانشکده شیمی، دانشگاه خوارزمی، کرج



مقدمه

ظریف بین اثرات فیزیک کوانتومی و فیزیک کلاسیک در عملکرد سیستم‌های زنده است [۱]. به‌طورکلی زیست‌شناسی کوانتومی را می‌توان یکی از کاربردهای مکانیک کوانتومی دانست. در این مقاله سعی شده است تا زیست‌شناسی کوانتومی و ظرفیت‌های مربوط به آن در حوزه زیست‌شناسی و درمان بیان شود.

تاریخچه مکانیک کوانتومی

عبارت مکانیک کوانتومی برای اولین بار در سال ۱۹۲۰ توسط گروهی از فیزیکدانان از جمله ماکس بورن^۱، ورنر هایزنبرگ^۲ و ولفگانگ پاولی^۳ استفاده گردید [۳]، سپس در سال ۱۹۲۴ مقاله‌ای با نام «Zur Quantenmechanik» که به زبان آلمانی نوشته شده بود از این عبارت استفاده کرد و برای اولین بار آن را به جامعه علمی جهان معرفی کرد [۴]. البته برای درک تاریخچه مکانیک کوانتومی باید به دهه‌های قبل از معرفی آن برگشت، جایی که در سال ۱۸۳۸ مایکل فارادی^۵ پرتوهای کاتدی را کشف کرد و با بیان مسئله تابش جسم سیاه توسط گوستاو کیرشهف^۶ در سال ۱۸۶۰ ادامه پیدا کرد. در سال ۱۸۷۷ لودویک بولتزمن^۷ نظریه حالت‌های

مکانیک کوانتومی^۱ یک نظریه بنیادی است که خواص پدیده‌های درونی اتم، مولکول و مجموعه‌های مولکولی را توصیف می‌کند. در مکانیک کوانتومی همه ذرات دارای خواص موجی هستند، بنابراین واکنش ذرات باهم، باعث ایجاد یک انسجام کوانتومی می‌شود. این انسجام کوانتومی قادر است کمیت‌های فیزیکی توصیف‌کننده این اجسام را به دلیل ماهیت موجی آنها توصیف نماید [۱]. تمام موجودات زنده از اتم و مولکول تشکیل شده‌اند. بنابراین خواص و قوانین مربوط به آنها را می‌توان با مکانیک کوانتومی توصیف کرد. با این حال، به‌طور سنتی ویژگی‌های به‌ظاهر متفاوت مواد بی‌جان و جاندار و همچنین تفاوت مقیاس گسترده بین سیستم‌های توصیف شده به وسیله مکانیک کوانتومی و زیست‌شناسی، بین این دو حوزه فاصله ایجاد کرده است [۱].

پیشرفت‌های اخیر در روش‌ها و تکنیک‌های تجربی، دانشمندان را قادر به مطالعه دینامیک زیستی در مقیاس‌های کوچک و همچنین زمان خیلی کوتاه کرده است [۲]. این مطالعات نشان‌دهنده ارتباط

¹ Quantum Mechanic

² Max Born

³ Werner Heisenberg

⁴ Wolfgang Pauli

⁵ Michael Faraday

⁶ Gustav Kirchhoff

⁷ Ludwig Boltzmann

گرفته شده است، به‌طور مثال، در صورت عدم درک دانشمندان از علم مکانیک کوانتومی، نیمه‌هادی‌های رسانا که اساس ساخت کامپیوترها و میکروچیپ‌ها هستند، طراحی نمی‌شد. ساخت لیزر، نوابری پیشرفته، دستگاه ⁴MRI و... مرهون درک دانشمندان از مکانیک کوانتومی است. به‌طور کلی می‌توان گفت بیش از یک‌سوم تولید ناخالص داخلی جهان توسعه یافته، به کاربردهایی بستگی دارد که بدون درک ما از مکانیک کوانتومی، امکان ایجاد و تولید آنها وجود نداشت [7].

برای بیان ساده مکانیک کوانتومی، ابتدا باید اصولی که مکانیک کوانتومی بر آن استوار است را با زبان ساده توضیح داد.

دوگانگی موج-ذره

ما و هرآنچه در اطراف ماست، از تعداد زیادی ذره ریز و جداگانه مانند الکترون، پروتون و نوترون تشکیل شده است. همچنین ممکن است بدانید که انرژی‌هایی مانند نور یا صوت، بیشتر به‌عنوان موج شناخته می‌شوند، به‌گونه‌ای که امواج به‌جای ذرات پخش می‌شوند. با فهمیدن این نکته که ذرات همانند امواج رفتار می‌کنند و امواج نور هم می‌توانند مانند ذرات عمل کنند، مکانیک کوانتومی در اوایل قرن بیستم کشف شد.

تونل‌زنی کوانتومی⁵

تونل‌زنی کوانتومی پدیده‌ای است که در مقیاس‌های بسیار ریز (در حد نانو) مورد توجه قرار می‌گیرد. این اتفاق یک پارادوکس از دیدگاه فیزیک کلاسیک است، چراکه بر اساس این نظریه، ذرات بنیادی قادر هستند بدون انرژی کافی بر یک سد انرژی غلبه کرده و از آن عبور کنند [8]. این فرایند ممکن است بسیار عجیب به نظر برسد اما اساس بسیاری از فرایندهای طبیعی چون درخشش خورشید است. خورشید در واقع یک راکتور همجوشی هسته‌ای است که با استفاده از ترکیب دو اتم هیدروژن و ایجاد یک ملکول هلیوم، انرژی الکترومغناطیسی (که ما آن را تابش خورشید

انرژی گسسته را مطرح کرد. در سال ۱۸۸۷ اثر فوتوالکتریک توسط هاینریش هرتز^۱ کشف شد و در پی آن ماکس پلانک^۲ در سال ۱۹۰۰ فرضیه کوانتومی مربوط به تابش انرژی توسط سامانه‌های اتمی را ارائه نمود [۵]. پس از آن در سال ۱۹۰۵ آلبرت انیشتین^۳، اثر فوتوالکتریک ارائه شده توسط هرتز را با نظریه کوانتومی پلانک سازگار دانست و بیان داشت که نور از ذرات کوانتومی منفردی تشکیل شده‌اند [۶]. بلوغ و رشد مکانیک کوانتومی در اوایل قرن بیست ادامه داشت، به‌طوری‌که پس از ارائه نظریه مکانیک کوانتومی، دانشمندان همواره قطعه‌ای از این پازل پیچیده را کشف و به آن اضافه کردند.

به‌راستی اهمیت مکانیک کوانتومی در چیست و چه دستاوردهایی را برای بشر به ارمغان آورده است؟

ساده‌ترین روش برای پاسخگویی به این سؤال بررسی فناوری‌هایی است که از قوانین مکانیک کوانتومی برای به ثمر رسیدن آنها بهره



شکل ۱ تاریخچه شکوفایی مکانیک کوانتومی

¹ Heinrich Hertz

² Max Planck

³ Albert Einstein

⁴ MRI (Magnetic Resonance Imaging)

⁵ Quantum tunneling

هریک از حالت‌ها، مولکول (در اینجا پروتئین) نیازمند میلیاردها سال زمان است تا بتواند حالت ایده‌آل انرژی و آنتروپی را انتخاب نماید. اما با استفاده از اصل برهم‌نهی ذرات قادر هستند در حالت‌های مختلف قرار بگیرند و در کمترین زمان ممکن شرایط مطلوب خود را برگزینند. این حالت در زیست‌شناسی خصوصاً در کارایی آنزیم‌ها بسیار مهم است [۷].

عدم قطعیت ۳ هایزنبرگ

عدم قطعیت هایزنبرگ بر این اصل استوار است که نمی‌توان با دقت کامل هر دو عامل تعیین‌کننده در حرکت کوچک‌ترین ذرات، یعنی موقعیت و سرعت را تعیین کرد [۱۰].

درهم‌تنیدگی ۴

برای همه شما، ارتباط حسی بین مادر و فرزند، دوقلوی همسان یا مثال‌های از این نوع، موضوعی بسیار آشناست. این پدیده‌ها مبنای علمی ندارد، اما جالب است بدانید که نه‌تنها بین یک جفت الکترون جداشده از هم این ارتباط وجود دارد، بلکه این ارتباط یک مبنای علمی دارد و آن هم مکانیک کوانتومی است. برای بیان این اصل باید به بحث اوربیتال‌های الکترونی برگردیم: یک اوربیتال را در نظر بگیرید که دو الکترون موجود در آن بر پایه اصل طرد پائولی [۱۱]، دارای اسپین (چرخش) مخالف هم هستند. حالتی را در نظر بگیرید که دو الکترون مذکور از هم جدا شده‌اند و دو الکترون دارای یک اسپین منفرد^۵ هستند (این حالت را جدایی دو الکترون درهم‌تنیده می‌نامند). اصل درهم‌تنیدگی ارتباط این دو الکترون را این‌گونه بیان می‌کند:

در صورت جدایی دو الکترون درهم‌تنیده، هر یک از الکترون‌ها (بدون در نظر گرفتن فاصله آنها از هم) دارای اسپین مخالف نسبت به هم هستند (به‌نوعی اسپین هر یک از الکترون‌ها بر دیگری تأثیر می‌گذارد). اگر اسپین یکی از الکترون‌های منفرد تغییر نماید،

می‌نامیم) ایجاد می‌نماید. هسته اتم هیدروژن دارای یک پروتون با بار مثبت است. برای ترکیب دو هیدروژن و ایجاد انرژی الکترومغناطیسی باید دو هسته هیدروژن به همدیگر نزدیک شوند؛ اما هر چه نزدیک‌تر می‌شوند، نیروی دفع‌کننده بین آنها قوی‌تر می‌گردد. این اتفاق ناشی از بار مثبت متعلق به دو پروتون است (در نظر داشته باشید همواره دو بار همنام یکدیگر را دفع می‌کنند). بنابراین این دو پروتون برای اینکه به اندازه کافی به همدیگر نزدیک و در پی آن ترکیب شوند، باید از پدیده‌های درون اتمی که همانند یک دیوار آجری است عبور کنند. این دیوار یک سد انرژی آشکار و غیرقابل نفوذ است. فیزیک کلاسیک^۱ عبور از این سد انرژی را غیرممکن می‌داند، اما ذراتی که از قوانین مکانیک کوانتومی پیروی می‌کنند، مانند هسته‌های اتمی هیدروژن در خورشید، یک ترفند زیبا در آستین دارند: آنها به‌راحتی می‌توانند از طریق فرآیندی به نام «تونل کوانتومی» از چنین موانعی عبور کنند. این اتفاق به‌علت خاصیت دوگانگی موج-ذره است. همان‌طور که امواج آب توانایی عبور از کنار سنگریزه‌های ساحل یا اشیا ریز را دارا هستند و یا توانایی ما در شنیدن صدای ایجاد شده توسط تلویزیون و... از آن سوی یک دیوار [۷].

برهم‌نهی ۲

بر اساس این پدیده، ذرات می‌توانند به‌صورت هم‌زمان یک، دو، صد یا یک میلیون کار را به‌انجام برسانند. این خاصیت نشان‌دهنده این واقعیت است که جهان ما کاملاً پیچیده است [۷]. بنابراین هر حالت کوانتومی را می‌توان به‌صورت مجموع دو یا چند حالت متمایز نشان داد که به آن برهم‌نهی کوانتومی می‌گویند [۹]. اما چرا برهم‌نهی کوانتومی مهم است: شرایطی را در نظر بگیرید که ذرات برای رسیدن به سطح مطلوب انرژی یا آنتروپی (ایجاد ساختار سوم یک پروتئین را در نظر بگیرید) باید از میان میلیاردها حالت، یک حالت مطلوب را انتخاب نماید. در صورت بررسی

^۱ به‌طور متعارف، به تئوری‌های فیزیکی قطعی بیش از مکانیک کوانتومی، از جمله نسبیت خاص و عمومی، قوانین مربوط به مکانیک، جاذبه آیزاک نیوتن و... در مجموع فیزیک کلاسیک گفته می‌شود که از مکانیک کوانتومی غیر کلاسیکی متمایز است.

^۲ Superposition

^۴ Entanglement

^۳ Uncertainty principle

^۵ Singlet

داشت، به‌گونه‌ای که منجر به یک تفکر و ایده در علم شد: «زیست‌شناسی کوانتومی».

دانشمندان به بررسی قوانین مؤثر در رخدادهای زیستی پرداختند، جایی که فیزیک کلاسیک از توصیف چگونگی این رخدادها عاجز است. در دهه‌های اخیر مقالات بسیاری در تشریح چگونگی پدیده‌های زیستی انتشار یافت که چگونگی رخداد آنها را به پدیده‌های مکانیک کوانتومی مرتبط می‌دانست. به‌طور مثال تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که احتمالاً واکنش‌های مرتبط با مکانیسم بویایی [۱۳]، انتقال الکترون در میتوکندری [۱۴] (خصوصاً واکنش‌های مرتبط با کمپلکس زنجیره انتقال الکترون^۱) با استفاده از پدیده تونل‌زنی کوانتومی رخ می‌دهند. علاوه بر این، جهت‌یابی جانوران (خصوصاً پرندگان) در هنگام مهاجرت با استفاده از پدیده درهم‌تنیدگی [۱۵] نیز مثالی از این دسته است. توصیف چگونگی پدیده‌های زیستی با استفاده از قوانین مکانیک کوانتومی مختص به مثال‌های یادشده نیست. به‌طور مثال مقالاتی در مورد نقش انسجام کوانتومی در فتوسنتز [۱۶]، تونل‌زنی کوانتومی در کاتالیز آنزیمی [۱۷]، برهم‌نهی کوانتومی و تونل‌زنی کوانتومی در ایجاد حیات [۷] و ... وجود دارد. با توجه به نکات یاد شده می‌توان زیست‌شناسی کوانتومی را این‌گونه بیان کرد: بررسی نقش مکانیک کوانتومی در چگونگی انجام فرایندهای زیستی. برای مطالعه بیشتر، به ارجاعات ارائه‌شده در منابع و یا مقاله «زیست‌شناسی کوانتومی» مراجعه نمایید [۱۸].

چشم‌انداز زیست‌شناسی کوانتومی

بررسی نقش زیست‌شناسی کوانتومی در درمان

کلیه مفاهیم کوانتومی که فرآیندهای زیستی را توضیح می‌دهند، سعی می‌کنند دیدگاه‌های جدیدی را برای واکنش‌های زیستی ارائه دهند اما آزمایش‌های پدیده‌های فیزیک کوانتومی در شرایط خاص صورت می‌گیرد و برعکس، پدیده‌های زیست‌شناسی کوانتومی در درون بسیاری از واکنش‌ها، تحت تأثیر محیط رخ می‌دهند. در این

الکترون دیگر به تأثیر از آن بلافاصله اسپین خود را تغییر می‌دهد. در این نوع ارتباط فاصله دو الکترون از هم مهم نیست، شما می‌توانید یک الکترون را در یک سمت کهکشان راه شیری قرار دهید و دیگری را در سمت دیگر. تغییر اسپین هرکدام بلافاصله بر دیگری تأثیر می‌گذارد. این همان چیزی بود که انیشتین را به شک انداخت، چراکه از نظر او نور بالاترین سرعت را داشت. به همین دلیل او همواره از درهم‌تنیدگی به‌عنوان یک ارتباط شبح‌وار از راه دور یاد می‌کرد [۷].

انسجام کوانتومی^۱

ارتباط یک الکترون با یک موج در نظریه کوانتومی منحصر به فرد است. پدیده‌های انسجام از تداخل یا افزودن دامنه‌های موج مانند با اختلاف فاز ثابت ناشی می‌شوند؛ داده‌های اخیر نشان می‌دهد که انسجام در سیستم‌های شیمیایی و زیستی قوی است و می‌تواند در مواجهه با بی‌نظمی زنده بماند [۱۲].

زیست‌شناسی کوانتومی^۲

در قسمت‌های قبل در مورد مکانیک کوانتومی و قوانین حاکم بر آن به‌صورت خلاصه بحث شد. اینجا با یک سؤال مواجه می‌شویم: آیا باید از ظهور و نقش قوانین مکانیک کوانتومی در پدیده‌های زیستی متعجب بود؟ به‌صورت کلی زیست، نوعی شیمی کاربردی است و ریشه شیمی کاربردی هم متأثر از علم فیزیک است؛ بنابراین باید به این نکته توجه کرد که همه‌چیز به‌صورت محض، فیزیک نیست. ما و همه موجودات زنده مجموعه‌ای از واکنش‌های شیمیایی هستیم که در یک بستر زیستی رخ می‌دهند. حال که قوانین مکانیک کوانتومی در ریزترین مقیاس‌ها حاکم است، آیا می‌توان انتظار داشت که این قوانین در درک مفاهیم زیست‌شناسی نقش ایفا نمایند؟ آیا خوردن، فکر کردن، راه رفتن و ... براساس قوانین کوانتومی است؟ آیا ملکول‌های زیستی موجود در بدن ما براساس این قوانین به ایفای نقش می‌پردازند؟ این استدلال مخالفان و موافقان خود را به‌همراه

¹ Quantum coherence

² Quantum Biology

وجود دارد و به طور مثال تشکیل ویتامین D را می‌توان با این قوانین توضیح داد.

آنچه بیان شد نمونه‌ای از تلاش مکانیک کوانتومی برای بیان مکانیسم‌های ایجاد بیماری هستند. این قوانین قادر هستند چگونگی ایجاد بسیاری از بیماری‌ها و مکانیسم‌های ایجادکننده آن را بیان نماید که این مهم یکی از رکن‌های فرایند درمان بیماری‌ها است.

ساخت ابزارهای زیستی با استفاده از قوانین مکانیک کوانتومی

ساخت ابزارهای زیستی با استفاده از قوانین مکانیک کوانتومی دریچه‌ای روشن برای دانشمندان به ارمغان آورد. دستگاه‌هایی که امکان بررسی هرچه بهتر دنیای پیچیده اتمی را برای ما به همراه دارند. برای نمونه، دستگاه میکروسکوپ الکترونی با الهام از این حقیقت ساخته شد که الکترون‌ها دارای رفتار موجی هستند و یا دستگاه MRI که با استفاده از اصل برهم‌نهی قادر به ایجاد تصاویر با کیفیت از بافت نرم بیمار است [۷]. از این نوع مثال‌ها بسیار وجود دارد ولی هدف ما در این قسمت بیان نک‌نک آن‌ها نیست بلکه بر آن شده‌ایم گستره استفاده از این ابزارها را بیان نماییم:

حسگرهای کوانتومی

حسگرهای کوانتومی از طبیعت کوانتومی ماده یعنی رفتار مکانیک کوانتومی اتم‌ها یا یون‌ها برای اندازه‌گیری مقادیر فیزیکی مانند فرکانس، شتاب، سرعت چرخش، میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی، تابش یا دما با بالاترین دقت نسبی و مطلق استفاده می‌کنند. در پزشکی با استفاده از چنین حسگرهایی می‌توان نقص در پروتئین‌های مولکولی پیچیده در بدن را که منجر به اختلالات متابولیکی می‌شوند، تشخیص داد. به‌عنوان مثال می‌توان به پرویون‌های^۵ معیوبی اشاره کرد که باعث آسیب مغزی در بیماری جنون گاوی (BSE)^۶ یا بیماری

قسمت به بعضی از ظرفیت‌های زیست‌شناسی کوانتومی اشاره می‌شود که می‌توانند دانشمندان را در درمان بیماری‌ها و یا ارائه تفسیر مناسب در مورد چگونگی ایجاد اختلالات کمک نماید. به‌طور مثال، مقدار قابل‌توجهی از انرژی موردنیاز سلول در حضور اکسیژن توسط میتوکندری تولید می‌شود. این اتفاق شامل واکنش‌هایی است که در آن الکترون‌ها به اکسیژن منتقل می‌شوند و انرژی آزاد می‌شود. این واکنش‌ها که با نام فسفوریلاسیون اکسیداتیو^۱ شناخته می‌شوند در مجموعه‌ای از کمپلکس‌های پروتئینی در غشای داخلی میتوکندری به نام زنجیره انتقال الکترون صورت می‌پذیرند. تحقیقات اخیر نشان می‌دهد احتمالاً انتقال الکترون‌ها در کمپلکس زنجیره انتقال الکترون با استفاده از تونل‌زنی کوانتومی رخ می‌دهد [۱۴]. اهمیت درک این مکانیسم، زمانی بیشتر می‌شود که بیماری‌های مرتبط با نقص میتوکندری را بهتر بشناسیم. به‌طورکلی نقص در فرایندهای میتوکندری می‌تواند در ایجاد بیماری‌های مرتبط با سن، همچون آلزایمر [۱۹] و پارکینسون [۲۰] مؤثر باشد. علاوه بر این، بیماری‌های متابولیک مانند چاقی، مقاومت به انسولین، دیابت و عفونت‌هایی مانند پریودنتیت^۲ و بسیاری از بیماری‌های دیگر را با استرس اکسیداتیو مرتبط می‌دانند. به‌نظر می‌رسد که تولید بالای اکسیدان‌ها، مانند گونه‌های رادیکال اکسیژن (ROS)^۳، در ایجاد برخی بیماری‌ها وجود دارد [۲۱]. اگر همه این واکنش‌ها را تجزیه و تحلیل کنیم، با این واقعیت روبرو خواهیم شد که این واکنش‌ها شامل انتقال الکترون بین اتم‌های مختلف است. بنابراین، این ویژگی‌ها می‌توانند نشان دهند که که استرس اکسیداتیو از شرایط متابولیک بدن ناشی می‌شود. قوانین کوانتومی در ایجاد و توصیف چگونگی این رخدادها نقش به‌سزایی را ایفا می‌نمایند. علاوه بر این، استرس اکسیداتیو در ایجاد بیماری‌های ناشی از کلسیفیکاسیون^۴ سرطان و اختلالات سیگنالینگ مؤثر است. لازم به ذکر است سرطان‌هایی که ناشی از اختلالات ژنتیکی هستند را می‌توان با پدیده‌های کوانتومی توضیح داد. از این نوع مثال‌ها بسیار

¹ Oxidative Phosphorylation

² Periodontitis

³ Reactive Oxygen species

⁴ Calcification

⁵ Perion

⁶ Bovine spongiform encephalopathy (BSE)

سرطانی را مشاهده کرد. در مداخلات جراحی تعیین مرزهای ناحیه مورد عمل مهم است. در سال ۲۰۱۶، دانشمندان دارویی را بر اساس نوروتوکسین‌های آلفا حاصل از سم مار کبرا و نقاط کوانتومی تولید کردند. داروی جدید قادر است مرزهای تومور سرطانی را در بدن علامت‌گذاری کند (۱).

پرتو درمانی

در درمان سرطان، محاسبات کوانتومی به بهبود روش‌های درمانی کمک می‌کند. رایانه‌ها در حال حاضر برای مقابله با هزاران متغیر مورد استفاده برای تهیه یک برنامه پرتویی استفاده می‌شوند که سلول‌های سرطانی را بدون آسیب رساندن به سلول‌های سالم هدف قرار می‌دهد. نتیجه نهایی می‌تواند باعث تاثیر یک دوز تابشی ایده‌آل به هدف شود و در نتیجه منجر به درمان مؤثرتر با کاهش عوارض جانبی شود (۱).

تجزیه و تحلیل توالی ژنوم انسان

در دو دهه گذشته تغییرات اساسی در ژنتیک و ژنومیک مشاهده شد. برای شکستن کد DNA انسان بیش از ۱۵ سال طول کشید: پروژه ژنوم انسانی از سال ۱۹۹۰ آغاز شد، میلیاردها دلار هزینه داشت و نتایج نهایی خود را در سال ۲۰۰۶ ارائه داد. در مقابل، در حال حاضر، بیش از ۲۰۰۰ آزمایش ژنتیک وجود دارد. این آزمایش‌ها بیماران را قادر می‌سازد تا از خطرات ژنتیکی خود آگاه شوند و همچنین به متخصصان مراقبت‌های بهداشتی برای تشخیص بیماری‌ها کمک می‌کنند. محاسبات کوانتومی امکان تعیین توالی سریع‌تر و همچنین تجزیه و تحلیل جامع‌تر و سریع‌تر از کل ژنوم را فراهم می‌کنند. به علاوه، پیش‌بینی‌ها از آنجا که رایانه‌های کوانتومی می‌توانند حتی بیشتر از رایانه‌های سنتی، اطلاعات بیشتری را در نظر بگیرند، قابل اطمینان‌تر خواهند بود و حتی می‌توانند همه داده‌های ژنومی را در پرونده‌های سلامت الکترونیک قرار بدهند (۱).

کروتسفلد-ژاکوب^۱ می‌شوند. دانشمندان امروزه تلاش دارند اولین پرویون معیوب بدن را که دارای یک ساختار نامنظم است مشخص نمایند، این امر با تعیین ساختار مولکول‌های زیستی به صورت منفرد امکان پذیر می‌شود [۲۲].

تصویربرداری

حسگرهای کوانتومی می‌توانند با امکان اندازه‌گیری فوق‌العاده دقیق، دستگاه MRI را بهبود بخشند. این دستگاه می‌تواند برای بررسی تک‌مولکول/سلول یا گروهی از مولکول‌ها/سلول‌ها به جای کل بدن مورد استفاده قرار گیرد. روش‌های مبتنی بر مکانیک کوانتومی نیز برای درمان بیماری‌ها در حال توسعه است. به عنوان مثال، می‌توان نانوذرات طلا را طوری طراحی کرد که فقط در سلول‌های تومور تجمع یابند و امکان تصویربرداری دقیق و همچنین تخریب تومور با لیزر، بدون آسیب رساندن به سلول‌های سالم را فراهم کنند. زوال عقل و آلزایمر را با کمک تصویربرداری MRI را می‌توان دقیق‌تر و سریع‌تر تشخیص داد [۲۳].

نقاط کوانتومی^۲

نقاط کوانتومی (QD) نانوبلورهای نیمه‌هادی با اندازه‌ای زیر ۱۰ نانومتر متشکل از ۲۰۰ تا ۱۰ هزار اتم هستند که با یک‌لایه تثبیت‌کننده پوشانده شده‌اند. با توجه به اثرات محصور شدن کوانتومی، QDها بسیار پایدار هستند. این مواد دارای جذب گسترده بوده و همچنین یک طیف گسیلی باریک و متقارن دارند. نرخ واپاشی حالت برانگیخته QD آهسته است و دارای یک جذب گسترده و متقارن هستند [۲۴]. در حال حاضر، از نقاط کوانتومی برای تجسم تصویر بخشی از بدن انسان، به عنوان مثال یک اندام یا یک تومور و همچنین تعیین مکان منفرد مولکول‌های بیان‌شده در آنها، استفاده می‌شود. این فناوری‌ها در زمان فعلی به اندازه کافی توسعه یافته‌اند و شامل تحویل هدفمند و الحاق QD به سلول‌های هدف هستند. با کمک نقاط کوانتومی می‌توان مرز تومورهای

¹ Creutzfeldt-Jakob

² Quantum Dot

تکنولوژی کوانتومی و عکس‌برداری از بافت زنده قلب

محققان دپارتمان فیزیک و نجوم در دانشگاه کالج لندن، به رهبری پروفیسور فروچیو رنزونی^۱، یک تکنیک سنجش کوانتومی را برای تصویربرداری از سطوح رسانایی بافت‌های زنده قلب را با حساسیت بسیار بالا مورد آزمایش قرار دادند. این حسگرهای بسیار حساس که مبتنی بر روبیدیم (Rb) است توانایی عکس‌برداری از بافت زنده را دارا هستند به گونه‌ای که حساسیت آن ۵۰ برابر بیشتر از سایر روش‌های در دسترس است. محققان نشان دادند که رویکرد جدید آنها به اندازه کافی حساس و پایدار است تا به‌عنوان تشخیص تصویربرداری برای فیبریلاسیون دهلیزی مورد استفاده قرار گیرد. در حال حاضر، تشخیص تنها با استفاده از الکتروکاردیوگرام در طول یک دوره اتفاق می‌افتد (۲).

کامپیوترهای کوانتومی

در سال ۲۰۰۷ گروهی از دانشمندان دانشگاه MIT^۲ در یک پروژه محرمانه در حال تلاش برای ساخت یک کامپیوتر کوانتومی بودند. این گروه با یک مقاله مواجه شدند که تعجب آنها را برانگیخت (۳): مقاله‌ای که ادعا داشت گیاهان نوعی کامپیوتر کوانتومی هستند [۱۶]. سال‌ها بود بسیاری از دانشمندان و دانشجویان در دانشگاه‌های بسیار بزرگ دنیا در حال تلاش برای ساخت یک کامپیوتر کوانتومی بودند. حال آنها با ادعایی مواجه شده بودند که بسیار شگفت‌انگیز بود. کامپیوتر کوانتومی میلیون‌ها سال پیش در گیاهان ساخته شده است و گیاهان از آن بهره می‌گیرند. این ادعا زمانی شگفت‌انگیزتر می‌شود که به این نکته توجه کنید: هر زمان که شما در حال خوردن یک سبزی یا سالاد گیاهی هستید در حقیقت شما دارید از یک کامپیوتر کوانتومی تغذیه می‌نمایید [۷].

اما به‌راستی کامپیوتر کوانتومی چیست؟

ساده‌ترین تعریفی که از این کامپیوترها می‌توان ارائه کرد بر این اساس است: کامپیوترهای کوانتومی به‌جای استفاده از بیت‌های دیجیتالی اطلاعات که ۰ یا ۱ هستند، از بیت‌های کوانتومی استفاده می‌کنند که به آنها امکان می‌دهد به‌طور هم‌زمان ۰ و ۱ باشند،

بنابراین قادر به پیگیری هم‌زمان همه موارد ممکن در محاسبات هستند، این یعنی حد‌نهایی در پردازش موازی. پس کامپیوترهای کوانتومی این توانایی را دارند که محاسبات را بسیار سریع‌تر و دقیق‌تر از ابرکامپیوترهای در دسترس به انجام برسانند [۷].

کامپیوترهای کوانتومی توانایی دارند مسائل مربوط به مدل‌سازی‌های مدنظر دانشمندان را بسیار سریع‌تر از کامپیوترهای سنتی به انجام برسانند. به‌طور مثال این کامپیوترها مسائل مربوط به اتصال لیگاند به پروتئین، تکامل هم‌زمان اسیدهای آمینه و... را به‌طور تصاعدی بسیار سریع‌تر از کامپیوترهای کنونی به انجام برسانند، شاید بتوان گفت مهم‌ترین کمکی که این کامپیوترها در زیست‌شناسی در اختیار دانشمندان قرار می‌دهد سریع‌تر شدن محاسبات مربوط به مدل‌سازی‌های مختلف است. الگوریتم‌های مورد استفاده در محاسبات کوانتومی توانایی دارد که بسیاری از مشکلات روبه‌روی دانشمندان در تحلیل ژنوم و بررسی رفتار این ملکول‌های زیستی را برطرف نماید [۲۵].

نتیجه‌گیری

زیست‌شناسی کوانتومی را می‌توان یک‌رشته نوظهور دانست که رفته رفته جای خود را در میان علوم محکم می‌نماید. ابزارهای ساخته شده با کمک قوانین مربوط به مکانیک کوانتومی شاهد بر این استدلال است که این حوزه از علم می‌تواند دانشمندان را در مطالعات نظری و تجربی کمک نماید. آینده‌ای که زیست‌شناسی کوانتومی پیش‌روی ما قرار می‌دهد، بسیار شگفت‌انگیز خواهد بود. امروزه این روش، نه‌تنها مختص به علوم فیزیک یا زیست‌شناسی نیست، بلکه به‌عنوان یک حوزه بین‌رشته‌ای شناخته می‌شود که بسیاری از دانشمندان فیزیک، زیست‌شناسی، ریاضی و سایر علوم ظرفیت استفاده و بهره‌برداری از آن را دارند. آینده پیش‌رو با درک مفاهیم زیست‌شناسی کوانتومی جذاب خواهد بود چراکه با پیشرفت این حوزه، هر روز شاهد رشد و گسترش روش‌ها و دستگاه‌های جدید در حوزه علوم مرتبط با زیست‌شناسی خواهیم بود.

¹ Prof. Ferruccio Renzoni

² Massachusetts Institute of Technology

وبگاه‌های بازدید شده:

- (1). <https://www.hitai.ir/learning.../>
- (2). <https://www.azoquantum.com/Article.aspx?ArticleID=124>
- (3). Interview with CBC News, available at: <http://www.cbc.ca/news/technology/quantum-weirdness-used-by-plants-animals-1.912061>

فهرست منابع

(نظر به اینکه بعضی از مقالات مربوط به دهه ابتدایی قرن است، ارجاع این مقالات فاقد صفحه می باشد).

- [14]. T. Hayashi, A.A. Stuchebrukhov, Electron tunneling in respiratory complex I, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107(45) (2010) 19157-19162.
- [15]. T. Ritz, S. Adem, K. Schulten, A model for photoreceptor-based magnetoreception in birds, *Biophysical Journal* 78(2) (2000) 707-718.
- [16]. G.S. Engel, T.R. Calhoun, E.L. Read, T.-K. Ahn, T. Mančal, Y.-C. Cheng, R.E. Blankenship, G.R. Fleming, Evidence for wavelike energy transfer through quantum coherence in photosynthetic systems, *Nature* 446(7137) (2007) 782-786.
- [17]. L. Masgrau, A. Roujeinikova, L.O. Johannissen, P. Hothi, J. Basran, K.E. Ranaghan, A.J. Mulholland, M.J. Sutcliffe, N.S. Scrutton, D. Leys, Atomic description of an enzyme reaction dominated by proton tunneling, *Science* 312(5771) (2006) 237-241.
- [18]. نصیری، فرید، شریعت پناهی، سید پیمان، رهنمای، محمد، موسوی موحدی، علی اکبر. زیست‌شناسی کوانتومی. نشاء علم، سال ۱۳۹۸، مجلد ۰۹ (شماره ۲): ص ۶۳-۷۲.
- [19]. C. Mancuso, G. Scapagini, D. Currò, A.M. Giuffrida Stella, C. De Marco, D.A. Butterfield, V. Calabrese, Mitochondrial dysfunction, free radical generation and cellular stress response in neurodegenerative disorders, *Front Biosci* 12(1) (2007) 1107-23.
- [20]. D.N. Hauser, T.G. Hastings, Mitochondrial dysfunction and oxidative stress in Parkinson's disease and monogenic parkinsonism, *Neurobiology of Disease* 51 (2013) 35-42.
- [21]. C.M. Díaz, B. Bullon, R.J. Ruiz-Salmerón, P. Fernández-Riejos, A. Fernández-Palacín, M. Battino, M.D. Cordero, J.L. Quiles, A. Varela-López, P. Bullón, Molecular inflammation and oxidative stress are shared mechanisms involved in both myocardial infarction and periodontitis, *Journal of Periodontal Research* 55(4) (2020) 519-528.
- [22]. P. Tarasov, E. Isaev, A. Grigoriev, A. Morgunov, The utilization of perspective quantum technologies in biomedicine, *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing, 2020, p. 012040.
- [23]. A. Zwick, D. Suter, G. Kurizki, G.A. Álvarez, Precision limits of tissue microstructure characterization by Magnetic Resonance Imaging, *Physical Review Applied* 14(2) (2020) 024088.
- [24]. S.B. Rizvi, S. Ghaderi, M. Keshtgar, A.M. Seifalian, Semiconductor quantum dots as fluorescent probes for in vitro and in vivo bio-molecular and cellular imaging, *Nano reviews* 1(1) (2010) 5161.
- [25]. C. Outeiral, M. Strahm, J. Shi, G.M. Morris, S.C. Benjamin, C.M. Deane, The prospects of quantum computing in computational molecular biology, *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Molecular Science* 11(1) (2021) e1481.
- [1]. A. Marais, B. Adams, A.K. Ringsmuth, M. Ferretti, J.M. Gruber, R. Hendrikx, M. Schuld, S.L. Smith, I. Sinayskiy, T.P. Krüger, The future of quantum biology, *Journal of the Royal Society Interface* 15(148) (2018) 20180640.
- [2]. S. Shashkova, M.C. Leake, Single-molecule fluorescence microscopy review: shedding new light on old problems, *Bioscience Reports* 37(4) (2017) BSR20170031.
- [3]. M. Born, *My life: Recollections of a Nobel laureate*, Routledge 2014.
- [4]. M. Born, P. Jordan, *Zur Quantenmechanik*, *Zeitschrift für Physik* 34(1) (1925) 858-888.
- [5]. M. Planck, The Theory of heat radiation, *Entropie* 144(190) (1900) 164.
- [6]. Abdelhady S. Comments on Einstein's explanation of electrons, photons, and the photoelectric effect. *Applied Physics Research*. 2011 Nov 1;3(2):230-40.
- [7]. J. McFadden, J. Al-Khalili, *Life on the Edge: the coming of age of quantum biology*, Crown 2016.
- [8]. F. Trixler, Quantum tunnelling to the origin and evolution of life, *Current Organic Chemistry* 17(16) (2013) 1758-1770.
- [9]. J.R. Friedman, V. Patel, W. Chen, S. Tolpygo, J.E. Lukens, Quantum superposition of distinct macroscopic states, *Nature* 406(6791) (2000) 43-46.
- [10]. W. Heisenberg, Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik, *Zeitschrift für Physik* 43(3) (1927) 172-198.
- [11]. W. Pauli, Über den Zusammenhang des Abschlusses der Elektronengruppen im Atom mit der Komplexstruktur der Spektren, *Zeitschrift für Physik* 31(1) (1925) 765-783.
- [12]. G.D. Scholes, G.R. Fleming, L.X. Chen, A. Aspuru-Guzik, A. Buchleitner, D.F. Coker, G.S. Engel, R. Van Grondelle, A. Ishizaki, D.M. Jonas, Using coherence to enhance function in chemical and biophysical systems, *Nature* 543(7647) (2017) 647-656.
- [13]. J.C. Brookes, F. Hartoutsiou, A. Horsfield, A. Stoneham, Could humans recognize odor by phonon assisted tunneling?, *Physical Review Letters* 98(3) (2007) 038101.

جوایز نوبل و آزمایشگاه ملی برکلی

نیکو محبعلی زاده^۱، مالک نادری^{۲*}، علی اکبر موسوی موحدی^{۳،۴}

چکیده:

آزمایشگاه ملی لارنس برکلی به عنوان یکی از پیشروترین آزمایشگاه‌های تحقیقاتی جهان شناخته می‌شود. ۱۶ عنصر جدول تناوبی توسط دانشمندان و محققان این آزمایشگاه به جهان معرفی شده است. دانشمندان این آزمایشگاه برجسته موفق به دریافت ۱۴ جایزه نوبل شده‌اند. این موفقیت‌ها و بسیاری موفقیت‌های دیگر نویسندگان را بر آن داشت تا در مروری کوتاه، به معرفی این آزمایشگاه بپردازند. حضور دانشمندان، استادان و دانشجویان علاقه‌مند و پویا در این آزمایشگاه و حمایت‌های چندجانبه از آن بسیار قابل تأمل و الگوبرداری است. تمرکز و سرمایه‌گذاری در حوزه‌های متنوع علوم پایه مانند فیزیک، شیمی، زیست‌شناسی، ریاضی و برخی حوزه‌های بنیادی مانند ژنوم مواد و ایجاد پیوند و ارتباط بین این رشته‌ها گام هوشمندانه‌ای است که آزمایشگاه برکلی با توسعه دپارتمان‌ها از تمام رشته‌های علمی توانسته است با موفقیت برآورد. راهبرد دقیق، بلندمدت و شبکه محور باعث شده است تا این آزمایشگاه به عنوان یک مرجع و بازیگر جهانی برای تولید علم و گسترش مرزهای دانش شناخته شود. این آزمایشگاه تعهد به علم باز دارد به این معنی است که نتایج تحقیقات به طور گسترده‌ای به اشتراک گذاشته می‌شود و آن کمک قابل توجهی به پیشرفت علم جهانی است. تأسیس آزمایشگاه‌های ملی در جایگاه علوم بنیادی اهمیت کلیدی برای پیشرفت علم و فناوری اصیل در سطح ملی و بین‌المللی دارد و الگوبرداری از چنین راهبرد و مدل‌سازی آن با توجه به زیست بوم علم و دانش در ایران، ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است.

واژگان کلیدی: جوایز نوبل، آزمایشگاه ملی برکلی، علوم بین‌رشته‌ای، علوم پایه و بنیادی، شبکه آزمایشگاه‌های ملی، علم باز

* عهده دار مکاتبات: استاد، تلفن/نمبر: ۶۴۵۴۲۹۹۲ (+۹۸۲۱)، نشانی الکترونیکی: mnaderi@aut.ac.ir

^۱ مرکز تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۲ آزمایشگاه گرافن و مواد پیشرفته (گام)، دانشکده مهندسی مواد و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

^۳ USERN، شبکه جهانی علمی، آموزش و پژوهش، مرکز تحقیقات بیوشیمی و بیوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۴ عضو پیوسته فرهنگستان علوم ایران، عضو پیوسته آکادمی جهانی علوم (تواس)، عضو پیوسته آکادمی علوم جهان اسلام

مقدمه

ساخت و استقرار مواد و فناوری‌های مبتنی بر مواد به‌طور قابل توجهی سریع‌تر و ارزان‌تر است.

آزمایشگاه برکلی با تعهد عمیق به مفهوم علم باز، در زمینه همکاری با دانشگاه‌ها، آزمایشگاه‌های دیگر و صنایع، چه در سطح ملی و چه در سطح بین‌المللی شناخته شده است. تعهد به علم باز به این معنی است که نتایج تحقیقات به طور گسترده‌ای به اشتراک گذاشته می‌شود و آن را به کمک قابل توجهی در پیشرفت علمی در سراسر جهان تبدیل می‌کند.

این آزمایشگاه در ۲۶ اگوست سال ۱۹۳۱ توسط ارنست لارنس تأسیس شد. در ادامه در توالی‌های ده ساله به روند تکاملی این آزمایشگاه پرداخته می‌شود:

دهه ۱۹۳۰: پیشرفت سیکلوترون و فیزیک هسته‌ای

منشأ آزمایشگاه برکلی در اختراع سیکلوترون نهفته است، شتاب‌دهنده ذره‌ای که می‌تواند پروتون‌ها را به انرژی‌های بالا شتاب دهد. این فناوری فیزیک هسته‌ای را متحول کرد و به دانشمندان این امکان را داد که هسته‌های اتم را بررسی و عناصر جدیدی را کشف کنند. موفقیت سیکلوترون توجه گسترده‌ای را به خود جلب کرد و آزمایشگاه لارنس بسیار سریع به مرکز پیشرو برای تحقیقات فیزیک هسته‌ای تبدیل شد. در سال ۱۹۳۹ لارنس جایزه نوبل فیزیک را برای سیکلوترون دریافت کرد، که امکان مطالعات محوری در فیزیک اتمی و واکنش‌های هسته‌ای را فراهم کرد.

دهه ۱۹۴۰: جنگ جهانی دوم و پروژه منهن

در طی جنگ جهانی دوم، دانشمندان آزمایشگاه برکلی در پروژه منهن که اولین بمب اتمی را توسعه داد، مشارکت کردند. تحقیقات آزمایشگاه در علم و فناوری هسته‌ای به سرعت گسترش یافت و دانشمندان روش‌های جدیدی را برای جداسازی ایزوتوپ‌ها توسعه دادند و همچنین پیشرفت‌های مهمی در تولید پلوتونیوم داشتند. پس از جنگ، آزمایشگاه به تمرکز بر تحقیقات هسته‌ای ادامه داد و شروع به گسترش به سایر زمینه‌های علمی کرد.

دهه ۱۹۵۰: گسترش انرژی بالا

در دهه ۱۹۵۰ این آزمایشگاه نقش عمده‌ای در توسعه فیزیک با انرژی بالا ایفا کرد. Bevatron، یک شتاب‌دهنده ذرات عظیم که در سال ۱۹۵۴ تکمیل شد، به یک ابزار تحقیقاتی مرکزی تبدیل شد و منجر به کشف آنتی پروتون شد که جایزه نوبل را در سال ۱۹۵۹ برای اوون

آزمایشگاه ملی لارنس برکلی (اغلب به‌عنوان آزمایشگاه برکلی شناخته شده است)، یک مرکز تحقیقاتی وزارت انرژی ایالات متحده است که به دلیل تحقیقات علمی نوآوری و فناورانه پیشرفته شناخته شده است. این مرکز واقع در تپه‌های برکلی کالیفرنیا، توسط دانشگاه کالیفرنیا مدیریت می‌شود و بخشی از شبکه آزمایشگاه‌های ملی است. این آزمایشگاه در سال ۱۹۳۱ توسط ارنست لارنس، فیزیک‌دان برنده جایزه نوبل و مخترع سیکلوترون، تأسیس شد. این آزمایشگاه در ابتدا به دلیل پیشگامی در توسعه سیکلوترون شتاب‌دهنده ذره که به اکتشافات پیشگامانه در فیزیک هسته‌ای کمک کرده است به رسمیت شناخته شد. امروزه تحقیقات آزمایشگاه برکلی طیف وسیعی از قلمروهای علم را در برمی‌گیرد. این آزمایشگاه میراث لورنس است و گفته می‌شود که این آزمایشگاه منحصر به فرد است! شاید به این دلیل باشد که با علم، الهام و قدرت ایجاد شده است. تحقیقات این آزمایشگاه بر چهار حوزه به شرح زیر متمرکز است:

- **تحقیقات انرژی و محیط زیست:** آزمایشگاه برکلی با تمرکز بر انرژی پاک و علوم زمین، محیط‌زیست و آب‌وهوا، فناوری و انرژی تجدیدپذیر، توسعه باتری و سیستم‌های کارآمد انرژی فعالیت می‌کند.
- **علوم فیزیکی:** منبع نور پیشرفته آزمایشگاه و سایر امکانات، تحقیقات در سطح جهانی را در علم مواد، فیزیک و شیمی امکان‌پذیر می‌کند. این حوزه تحقیقاتی پیامدهایی برای مواد جدید، فناوری‌های نانو و محاسبات کوانتومی دارد.
- **علوم زیستی:** بخش علوم زیستی آزمایشگاه برکلی روی انرژی زیستی، ژنومیک و سلامت تمرکز دارد و اغلب از تحقیقات زیست‌شناسی مصنوعی و میکروبیوم برای رسیدگی به چالش‌هایی مانند کشاورزی پایدار و پزشکی شخصی استفاده می‌کند.
- **تحقیقات محاسباتی:** آزمایشگاه برکلی در محاسبات با عملکرد بالا، تجزیه و تحلیل داده‌ها و یادگیری ماشین، پیشرو است. زیرساخت‌های منحصربه‌فرد مرتبط با ابررایانه‌ها و محاسبات ابری طیف وسیعی از زمینه‌های علمی، از جمله شبیه‌سازی برای سیستم‌های انرژی و مدل‌سازی محیطی را پشتیبانی می‌کند (۱). تحقیقات بنیادی اخیر در زمینه ژنوم مواد با استفاده از این ابزارهای محاسباتی و بانک داده‌های پروژه مواد توسعه‌یافته است. منظوراز ابتکار ژنوم مواد (MGI) یک تلاش چند سازمانی برای طراحی،

آزمایشگاه برکلی با ایجاد برخی از قدرتمندترین امکانات محاسباتی در جهان برای شبیه‌سازی سیستم‌های انرژی، اثرات زیست محیطی و فیزیک بنیادی، به یک مرکز پیشرو در علم محاسبات تبدیل شده است. مرکز مشترک آزمایشگاه برای فتوسنتز مصنوعی (JCAP)^۱، بر تبدیل انرژی خورشیدی تمرکز دارد و مؤسسه مشترک انرژی زیستی (JBEI)^۲ تولید سوخت زیستی پایدار را بررسی می‌کند. در سال‌های اخیر به واسطه بهره‌مندی از این زیرساخت‌ها، علوم مرتبط با اطلاعات کوانتومی و هوش مصنوعی برای کشف مواد در قالب برنامه ژنوم مواد و مدل‌سازی آب‌وهوا توسعه شگرفی یافته است.

در حال حاضر، آزمایشگاه برکلی تقریباً ۴۲۰۰ نفر از دانشمندان، مهندسان، کارکنان پشتیبانی و پرسنل اداری را در خدمت دارد. این تعداد شامل بیش از ۱۷۰۰ پژوهشگر و مهندس است که بسیاری از آنها محققین سطح دکتری هستند که در زمینه‌های مختلف مانند علوم انرژی، علوم محیطی، علوم زیستی و علوم فیزیکی مشغول به کار هستند. علاوه بر کارکنان تمام وقت، سالانه حدود ۱۸۰۰ پژوهشگر مدعو شامل دانشجوی دکتری، محقق پسادکتری و یا استادان از سایر مراکز تحقیقاتی جهان در این آزمایشگاه به تحقیق می‌پردازند. با این اوصاف، آزمایشگاه برکلی هم‌اکنون در خط مقدم اکتشافات علمی باقی مانده، و در همکاری با محققان در سراسر جهان به بازیگری کلیدی در پیشبرد درک از جهان پیرامون و در توسعه راه‌حل‌هایی برای چالش‌های جهانی تبدیل شده است.

آزمایشگاه برکلی در درجه اول از ایالات متحده و به صورت مستقیم از وزارت انرژی (DOE)^۳ که بودجه را برای تحقیقات به‌عنوان بخشی از سیستم آزمایشگاه ملی خود اختصاص می‌دهد، تأمین مالی می‌شود. این بودجه از برنامه‌های تحقیقاتی اصلی، تعمیر و نگهداری تسهیلات و ابتکارات علمی عمده پشتیبانی می‌کند. بودجه آزمایشگاه برکلی، که تقریباً یک میلیارد دلار در سال است، در زمینه‌های تحقیقاتی مختلف، از جمله علوم انرژی، علوم فیزیکی، تحقیقات محیطی، علوم زیستی و علوم محاسباتی توزیع می‌شود. این ساختار بودجه با مأموریت DOE برای پیشبرد منافع ملی در امنیت انرژی، نوآوری علمی و نظارت بر محیط‌زیست همسو است. علاوه بر بودجه

چمبرلین و امیلیو سگره به ارمان آورد. تحقیقات آزمایشگاه به رادیویولوژی و فیزیک سلامت پرداخت، زیرا دانشمندان اثرات بیولوژیکی تشعشعات را بررسی کردند و زمینه را برای استانداردهای مدرن حفاظت از تشعشع فراهم کردند.

دهه ۱۹۶۰-۱۹۷۰: فیزیک ذرات تا علوم محیطی

در دهه ۱۹۶۰، در پاسخ به نگرانی‌های جامعه در مورد اثرات زیست محیطی فناوری هسته‌ای، آزمایشگاه به رشته‌هایی مانند پزشکی هسته‌ای و علوم محیطی گسترش یافت. در دهه ۱۹۷۰ در بحبوحه بحران جهانی انرژی، آزمایشگاه برکلی بخشی از تمرکز تحقیقاتی خود را به انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی تغییر داد و به تحقیقات پیشرو در این زمینه‌ها کمک کرد.

دهه ۱۹۸۰-۱۹۹۰: منبع نور پیشرفته و مرزهای جدید

در دهه ۱۹۸۰، منبع نور پیشرفته (ALS)^۱ یک منبع نور سنکروترون که برای تحقیقات در علوم مواد، شیمی و زیست‌شناسی استفاده می‌شود، ساخته شد. ALS در سال ۱۹۹۳ افتتاح شد و به یک مرکز در سطح جهانی برای بررسی ساختار و خواص مواد تبدیل شد. در این دوره دانشمندان آزمایشگاه برکلی گام‌های مهمی در تحقیقات زیست محیطی، به‌ویژه در مطالعه تغییرات آب‌وهوا و توسعه مدل‌هایی برای پیش‌بینی اثرات زیست محیطی برداشتند.

دهه ۲۰۰۰: ژنومیکس، انرژی زیستی و علوم آب‌وهوا

دهه ۲۰۰۰ تمرکز بر روی ژنومیکس، زیست‌شناسی مصنوعی و انرژی زیستی بود. آزمایشگاه برکلی یک نقش کلیدی در پروژه ژنوم انسانی داشت و از آن زمان از تخصص خود برای مقابله با چالش‌های انرژی زیستی، مانند توسعه سوخت‌های زیستی از مواد گیاهی استفاده کرده است. این آزمایشگاه به گسترش تحقیقات خود در علم آب‌وهوا، به‌ویژه از طریق علوم زمین و محیط زیست ادامه داد. با این تلاش‌ها، محققان آزمایشگاه برکلی در مدل‌سازی آب‌وهوا، تحقیقات چرخه کربن و فناوری انرژی پایدار پیشرو شده‌اند.

دهه ۲۰۱۰-اکنون: علوم محاسباتی، نوآوری انرژی و تحقیقات کوانتومی

¹ Advanced Light Source

² Joint Center for Artificial Photosynthesis

³ Joint BioEnergy Institute

⁴ Department of Energy

لیلزکوئیست^۱، مجریان وصیت‌نامه، برای مراقبت از ثروت و سازماندهی اهدای جوایز تشکیل شد. طبق خواست نوبل وظیفه اصلی بنیاد، مدیریت ثروت نوبل است. از بسیاری جهات بنیاد نوبل شبیه یک شرکت سرمایه‌گذاری است، زیرا پول‌های نوبل را برای ایجاد یک پایگاه مالی محکم برای جوایز و فعالیت‌های اداری سرمایه‌گذاری می‌کند. این بنیاد از کلیه مالیات‌ها معاف است (۲). جوایز نوبل فیزیک، شیمی و پزشکی معمولاً زمانی اعطا می‌شود که دستاورد به‌طور گسترده پذیرفته شود.

جوایز نوبل دریافتی توسط آزمایشگاه ملی برکلی:

با مقدمه کوتاهی که در مورد اهمیت جایزه نوبل اشاره شد در ادامه به جوایز دریافتی توسط محققان آزمایشگاه ملی برکلی جدول شماره ۱ پرداخته شده است.

۱- ارنست اورلاندو لارنس^۲ (جایزه نوبل فیزیک-۱۹۳۹): حمله به هسته اتم‌ها با چند لوله آزمایش

سنت نوبل در آزمایشگاه برکلی زمانی آغاز شد که لارنس، بنیانگذار آزمایشگاه، جایزه نوبل فیزیک سال ۱۹۳۹ را برای اختراع و توسعه سیکلوترون و نتایج به‌دست‌آمده با آن، به‌ویژه در مورد عناصر رادیواکتیو مصنوعی، دریافت کرد. لارنس زمانی که دستگاه دایره‌ای را تصور کرد که می‌تواند ذرات هسته‌ای را تا سرعت بسیار بالا بدون استفاده از ولتاژ بالا شتاب دهد، در دانشگاه برکلی به‌عنوان استادیار استخدام شده بود. سیکلوترون دستگاهی بود که لارنس به کمک آن نشان داد چرخاندن ذرات به اطراف برای افزایش انرژی آنها و سپس پرتاب کردن آنها به سمت هدف، هسته‌های اتم را در هم می‌شکند. سیکلوترون‌ها گردابی از اکتشافات را در آزمایشگاه برکلی آغاز کردند که شامل عناصر جدید، ایزوتوپ‌ها، ذرات زیراتمی و تولد پزشکی هسته‌ای بود.

مدال جایزه نوبل او در تالار علوم لارنس، موزه آموزش علمی، به افتخار او در تپه درست بالای آزمایشگاه برکلی، به نمایش گذاشته شده است.

اگر هسته اتم‌ها توسط پرتوهای ذراتی مانند پروتون بمباران شود، اتم‌ها می‌توانند به انواع مختلف عنصر با جرم‌های مختلف تبدیل

DOE، آزمایشگاه برکلی بودجه تکمیلی را از سایر آژانس‌های فدرال دریافت می‌کند، مانند؛

مؤسسه ملی بهداشت (NIH)^۱: برای تحقیقات بهداشتی و زیست‌پزشکی، به‌ویژه در زمینه ژنومیک، انرژی زیستی و تصویربرداری پزشکی.

بنیاد ملی علوم (NSF)^۲: حمایت از پروژه‌های علوم و فناوری بنیادی. وزارت دفاع (DoD)^۳ و وزارت امنیت داخلی (DHS)^۴: برای تحقیقات مربوط به امنیت ملی، مواد پیشرفته و تشخیص تهدید.

این آزمایشگاه همچنین با دانشگاه‌ها، شرکای بخش خصوصی و سازمان‌های بین‌المللی همکاری می‌کند، که گاهی بودجه‌های اضافی برای پروژه‌ها را فراهم می‌کنند. با این حال، DOE منبع اصلی حمایت مالی خود باقی می‌ماند و تضمین می‌کند که آزمایشگاه برکلی می‌تواند امکانات تحقیقاتی در مقیاس بزرگ را حفظ و اهداف علمی بلندمدت را دنبال کند. علاوه بر این طبق سخنرانی لارنس در مراسم جایزه نوبل، به کمک‌های سخاوتمندانه شرکت تحقیقاتی، بنیاد شیمی، بنیاد راکفلر و مرحوم ویلیام اچ کراکر، نایب السلطنه دانشگاه تأکید شده است. [۱ و ۲].

جایزه نوبل:

براستی جایزه نوبل چه تأثیری بر جامعه معاصر دارد؟ جایزه نوبل از بدو پیدایش تا به امروز نقش مهمی در جنبه‌های مختلف زندگی مدرن ایفا کرده است. از طریق تجزیه و تحلیل دقیق، باید به این سؤال پاسخ داد؛ که چگونه جایزه نوبل ادراک ما را شکل داده است؟ تعاملات ما را تغییر داده است؟ و درک ما از جهان اطراف را بازتعریف کرده است؟ کشف راز جایزه نوبل و تأثیر آن در زمینه‌هایی مانند فرهنگ، فناوری، سیاست و اقتصاد مهم و ارزشمند است. آخرین وصیت‌نامه نوبل تصریح کرد که ثروت او برای ایجاد یک سری جوایز برای کسانی که «بزرگ‌ترین منافع را برای بشریت» در فیزیک، شیمی، فیزیولوژی یا پزشکی، ادبیات و صلح به ارمغان می‌آورند، استفاده شود. نوبل ۹۴ درصد از کل دارایی خود، ۳۱ میلیون کرون (حدود ۱۸۶ میلیون دلار آمریکا) را برای ایجاد پنج جایزه نوبل وصیت کرد. در ادامه بنیاد نوبل توسط راگنار سولمن^۵ و رودولف

¹ National Institute of Health

² National Science Foundation

³ Department of Defense

⁴ Department of Homeland Security

⁵ Ragnar Sohlman

⁶ Rudolf Lilljequist noble

⁷ Ernest Orlando Lawrence

جدول ۱- جوایز نوبل دریافتی توسط آزمایشگاه ملی برکلی.

ردیف	سال دریافت	رسته جایزه	نام محققان	عنوان موضوع دریافتی
۱	۱۹۳۹	فیزیک	ارنست اورلاندو لارنس	پرتاب هسته اتم‌ها با چند لوله آزمایش
۲	۱۹۵۱	شیمی	گلن تئودور سیبورگ و ادوین متیسون مک میلان	فراتر از اورانیوم
۳	۱۹۵۹	فیزیک	اوون چمبرلین و امیلیو گینو سگره	تصویر آینه‌ای ماده
۴	۱۹۶۰	فیزیک	دونالد آرتور گلاسر	دیدن ذرات با اتاق حباب
۵	۱۹۶۱	شیمی	ملوین کالین	شیمی الحاق دی‌اکسیدکربن اتمسفر به گیاه سبز
۶	۱۹۶۸	فیزیک	لوئیس والتر آوارز	حالت‌های تشدید
۷	۱۹۸۶	شیمی	یوان تی لی	مطالعه پویایی واکنش
۸	۱۹۹۷	فیزیک	استیون چو	خنک‌سازی لیزری
۹	۲۰۰۶	فیزیک	جورج اف اسموت	تغییرات کوچک در تابش؛ سرخ پیدایش ستارگان
۱۰	۲۰۰۷	صلح	هیأت بین دولتی تغییرات آب‌وهوایی	خطر تغییرات آب‌وهوا
۱۱	۲۰۱۱	فیزیک	سائول پرلموتر	گسترش شتابان جهان
۱۲	۲۰۲۰	شیمی	جنیفر دودنا	برنده‌ترین قیچی ژنتیکی برای بازنویسی رمز زندگی
۱۳	۲۰۲۲	فیزیک	جان کلازر	نوری به جهان کوانتوم
۱۴	۲۰۲۲	شیمی	کارولین برتوزی	کلیک زیستی

رویکرد فراگیر آن زمینه را برای علم بزرگ ایجاد کرد و فرهنگ تحقیقات تیمی چندرشته‌ای را ایجاد کرد که امروزه به مدلی برای سیستم آزمایشگاهی ملی وزارت انرژی ایالات متحده تبدیل شده است [۲].

۲- گلن تئودور سیبورگ^۱ و ادوین متیسون مک میلان^۲ (جایزه نوبل شیمی-۱۹۵۱): فراتر از اورانیوم

گلن تئودور سیبورگ، مدرس شیمی دانشگاه کالیفرنیا برکلی و ادوین متیسون مک میلان متولد ساحل ردوندو، کالیفرنیا از ایالت

شوند که اصطلاحاً ایزوتوپ نامیده می‌شوند. اگر ذرات بمباران سرعت بالایی داشته باشند احتمال نفوذ ذرات به هسته اتم و ایجاد واکنش هسته‌ای افزایش می‌یابد. در سال ۱۹۲۹ ارنست لارنس دستگاهی به نام سیکلوترون ساخت که از میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی برای شتاب دادن پروتون‌ها به سرعت‌های بالا در مسیری مارپیچی شکل قبل از برخورد با هدفشان استفاده می‌کرد.

اختراع لارنس آغازگر دوران مدرن فیزیک با انرژی بالا بود و درک اساسی از طبیعت و ریزترین ذرات تشکیل‌دهنده حیات را بیشتر کرد.

¹ Glenn Theodore Seaborg

² Edwin Mattison McMillan

۴- دونالد آرتور گلاسر^۴ (جایزه نوبل فیزیک-۱۹۶۰): دیدن

ذرات با اتاق حباب

گلاسر از کیولند اوهایو، استاد فیزیک دانشگاه کالیفرنیا به خاطر اختراع اتاق حباب برنده جایزه نوبل فیزیک شد. این دستگاه برای ردیابی مسیرهای حباب ریزذرات زیراتمی ایجاد شده در اثر برخورد ذرات باردار اتمی از شتاب‌دهنده‌ها استفاده می‌شود. اختراع اتاق حباب امکان مطالعه ذرات با انرژی بالاتر را فراهم کرد. هنگامی که ذرات باردار از داخل محفظه پر از مایع در نقطه نزدیک به جوش به سمت جلو حرکت می‌کنند، اتم‌هایی را که از آن عبور می‌کنند یونیزه می‌کنند. هنگامی که فشار داخل محفظه کاهش می‌یابد، حباب‌هایی در اطراف این اتم‌های باردار ایجاد می‌شود. پس می‌توان از ردهای ذرات عکسبرداری و آنالیز کرد [۶]. گلاسر در سال ۱۹۶۲ از فیزیک دور شد و به سمت زیست‌شناسی مولکولی رفت.

۵-ملوین کالوین^۵ (جایزه نوبل شیمی-۱۹۶۱): شیمی الحاق

دی‌اکسید کربن اتمسفر به گیاه سبز

کالوین، متولد سینت پال مینه سوتا، استاد فیزیک، و مدیر آزمایشگاه بیودینامیک شیمیایی در آزمایشگاه لارنس برکلی است. کالوین جایزه نوبل شیمی را به دلیل «ایجاد توالی از واکنش‌های شیمیایی در هنگام جذب دی‌اکسیدکربن توسط یک گیاه» دریافت کرد. چرخه کالوین، همانطور که امروزه شناخته شده است، یک مرحله کلیدی در فتوسنتز است- تبدیل نور، دی‌اکسیدکربن و آب به قندهای گیاهی. یکی از اساسی‌ترین فرایندهای زندگی، فتوسنتز است. گیاهان سبز از انرژی نور خورشید برای تولید کربوهیدرات از آب و دی‌اکسید کربن موجود در هوا استفاده می‌کنند. ملوین کالوین و همکارانش از طریق مطالعات در اوایل دهه ۱۹۵۰، به ویژه جلبک‌های سبز تک سلولی، مسیری را که کربن طی مراحل مختلف فتوسنتز طی کرده بود، ردیابی کردند [۷]. برای این کار از ابزارهایی مانند ایزوتوپ‌های رادیواکتیو و کروماتوگرافی استفاده کردند. یافته‌های آنها شامل بینشی در مورد نقش مهم ترکیبات فسفر در طول ترکیب کربوهیدرات‌ها بود. کالوین از سال ۱۹۴۶ عنوان مدیر گروه شیمی آلی بزرگ در آزمایشگاه تشعشع لارنس را داشت.

متحدہ آمریکا، استاد گروه فیزیک برکلی به خاطر اکتشاف عناصری که از اورانیوم سنگین‌تر (فرااورانیوم)^۱ هستند، جایزه را به اشتراک گذاشتند. مک میلان اولین مورد، نپتونیم را کشف کرد و سنکروترون، نوعی شتاب‌دهنده ذرات مورد استفاده در کشف ۱۹ ذره دیگر را توسعه داد [۳]. سیبورگ یکی از کشف‌کنندگان پلوتونیوم و ۹ عنصر ترانس اورانیوم دیگر بود [۴].

سنگین‌ترین عنصر موجود در طبیعت اورانیوم است که عدد اتمی آن ۹۲ است. عناصر سنگین‌تر معمولاً رادیواکتیو هستند و به سرعت تجزیه می‌شوند. با این حال، آشکار شده است که آنها می‌توانند با بمباران اتم‌ها با ذرات و هسته‌های اتمی ایجاد شوند. بعد از مشارکت اولیه ادوین مک میلان که از یک شتاب‌دهنده ذرات برای تابش اورانیوم با نوترون استفاده کرد و ثابت کرد که عنصری با عدد اتمی ۹۳ ایجاد شده است و نپتونیم نام گرفت، گلن سیبورگ در سال ۱۹۴۰ موفق به کشف عنصری با عدد اتمی ۹۴ شد که پلوتونیوم نام گرفت. این ماده جدید هم برای سلاح‌های هسته‌ای و هم برای انرژی هسته‌ای قابل توجه بود. سیبورگ متعاقباً عناصر سنگین اضافی و ایزوتوپ‌های آنها را شناسایی کرد.

۳- اوون چمبرلین^۲ و امیلیو گینو سگره^۳ (جایزه نوبل فیزیک-

۱۹۵۹): تصویر آینه‌ای ماده

چمبرلین (دانشجو) و امیلیو گینو سگره (استاد) جایزه نوبل فیزیک را برای کشف پادپروتون، جزء پادماده که در اثر برخورد ذرات اتمی در شتاب‌دهنده‌ها ایجاد می‌شود، به اشتراک گذاشتند. تفاوت پاد پروتون با پروتون یک در تفاوت بار الکتریکی آن به جای مثبت، منفی است. ماده اطراف ما نوعی تصویر آینه دارد-ضدماده. یک ذره و پادذره آن در میان چیزهای دیگر دارای بار الکتریکی مخالف هستند. با غلظت زیاد انرژی، می‌توان یک جفت ذره و پادذره ایجاد کرد، اما وقتی یک ذره و یک پادذره به هم می‌رسند، هر دو از بین می‌روند و جرم آنها به تشعشع تبدیل می‌شود. در آزمایشی در سال ۱۹۵۵ با یک شتاب‌دهنده ذره قدرتمند، اوون چمبرلین و امیلیو سگره وجود پادذره پروتون، ضدپروتون را تأیید کردند [۵].

¹trans-uranium

²Owen Chamberlain

³Emilio Gino Segrè

⁴ Donald Arthur Glaser

⁵ Melvin Calvin

۶- لوئیس والتر آلوارز^۱ (جایزه نوبل فیزیک-۱۹۶۸): حالت‌های تشدید

آلوارز متولد سانفرانسیسکو، استاد دانشگاه کالیفرنیا که یکی از کاشفان اثر شرق-غرب در پرتوهای کیهانی است، جایزه نوبل فیزیک را به دلیل مشارکت قاطع در فیزیک ذرات بنیادی، به‌ویژه برای کشف تعداد زیادی «حالت تشدید» (حالت‌های رزونانس) در هسته اتم‌ها از طریق توسعه تکنیک استفاده از محفظه حباب هیدروژن و تجزیه و تحلیل داده‌ها دریافت کرد. آلوارز و پسر زمین‌شناسش، والتر، برای اولین بار شواهدی پیدا کردند که نشان می‌دهد برخورد سیارکی در ۶۵ میلیون سال پیش مسئول انقراض دایناسورها بوده است [۸].

۷- یوان تی لی^۲ (جایزه نوبل شیمی-۱۹۸۶): مطالعه پویایی واکنش یوان تایوانی در سال ۱۹۶۲ به‌عنوان دانشجوی کارشناسی ارشد وارد دانشگاه کالیفرنیا برکلی شد. یوان لی در سال ۱۹۷۴، به‌عنوان استاد شیمی و محقق اصلی در آزمایشگاه لارنس برکلی دانشگاه کالیفرنیا به برکلی بازگشت. لی جایزه نوبل شیمی را با جان سی پولانی^۳ از دانشگاه تورنتو و دادلی هرشباخ^۴ از هاروارد به دلیل مشارکت آنها در توسعه دینامیک واکنش، مطالعه رویدادهای دقیقی که در بین مولکول‌های در حال برخورد در طی واکنش‌های شیمیایی بسیار سریع رخ می‌دهد، به اشتراک گذاشت.

واکنش‌های شیمیایی که در آن مولکول‌های متشکل از اتم‌ها با هم برخورد می‌کنند و ترکیبات جدیدی را تشکیل می‌دهند، یکی از فرایندهای اساسی طبیعت را تشکیل می‌دهد. در پایان دهه ۱۹۵۰، جان پولانی شروع به توسعه روش‌هایی برای مطالعه دقیق دینامیک واکنش‌های شیمیایی کرد. پرتوهایی از مولکول‌ها با مقادیر ثابت انرژی برای عبور از یکدیگر ساخته شده‌اند تا در جایی که پرتوها قطع می‌شوند واکنش‌های شیمیایی ایجاد می‌شود. با اندازه‌گیری حرکت، جرم و انرژی مولکول‌های تولید شده، می‌توان واکنش‌ها را ترسیم کرد. در واکنش‌های شیمیایی گاهی اوقات به مولکول‌های تازه تشکیل شده انرژی تزریق می‌شود که سپس به شکل نور مادون قرمز ساطع می‌شود. با اندازه‌گیری این تابش بسیار ضعیف، می‌توان

وضعیت انرژی مکانیکی کوانتومی مولکول‌ها را تعیین کرد و واکنش را ترسیم کرد [۹].

۸- استیون چو^۵ (جایزه نوبل فیزیک-۱۹۹۷): خنک‌سازی لیزری چو متولد سنت لوئیس، جایزه نوبل فیزیک را با کل ود کوهن تانوجی^۶ از دانش‌سرای عالی نرمال^۷ (دانشگاه تحقیقاتی دولتی در پاریس) و ویلیام دانیل فیلیپس^۸ از مؤسسه ملی استاندارد و فناوری به دلیل توسعه روش‌هایی برای خنک کردن و به دام انداختن اتم‌ها با نور لیزر، که امکان مطالعه دقیق اتم‌ها و طراحی ساعت‌های اتمی دقیق‌تر فراهم می‌کرد به اشتراک گذاشت. چو از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۹ که به‌عنوان وزیر انرژی ایالات متحده منصوب شد، مدیر آزمایشگاه برکلی بود. چو ششمین مدیر آزمایشگاه ملی لارنس برکلی از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۸ بود.

در دمای اتاق، اتم‌ها و مولکول‌های موجود در هوا با سرعتی سرسام‌آور (در حدود ۵۰۰ متر بر ثانیه) حرکت می‌کنند. یک مولکول حدود یک میلیارد بار در ثانیه با مولکول‌های دیگری برخورد می‌کند و در هر سانتی‌متر مکعب حدود بیست و پنج تریلیون (میلیون میلیون میلیون) مولکول وجود دارد. در نتیجه این حرکت سریع بی‌نظم، ویژگی‌هایی مانند فشار هوا، توانایی انتقال صدا، ظرفیت برای هدایت گرما و... بایستی محاسبه گردد. برای اینکه آنها مورد مطالعه قرار بگیرند، باید سرعت آنها کم یا سرد شود. در طی دهه ۱۹۸۰ استیون چو، کلود کاهن تانوجی و ویلیام فیلیپس روش‌های مختلفی را برای این کار توسعه دادند. هنگامی که اتم‌ها با ذرات نور با انرژی‌های ثابت با فوتون‌ها تماس پیدا می‌کنند، حرکت آنها به گونه‌ای تحت تأثیر قرار می‌گیرد که گویی ضربه خورده‌اند. با کمک نور لیزر از جهات مختلف و تنظیم انرژی فوتون برای اثرات داپلر، اتم‌ها را می‌توان تا دمای بسیار پایین خنک کرد و در یک تله قرار گیرند [۱۰].

۹- جورج اف اسموت^۹ (جایزه نوبل فیزیک-۲۰۰۶): تغییرات کوچک در تابش؛ سرنخ پیدایش ستارگان

¹ Luis Walter Alvarez

²Yuan T. Lee

³John C. Polanyi

⁴Dudley R. Herschbach

⁵Steven Chu

⁶ Claude Cohen Tannoudji

⁷ Ecole Normale Superieure

⁸ William D. Phillips

⁹ George F. Smoot

IPCC در سال ۱۹۸۸ توسط مجمع عمومی سازمان ملل متحد تأسیس شد. چهار گزارش اصلی اولیه که توسط هیأت بین‌دولتی تغییرات آب‌وهوا بین سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۷ ارائه شد، بر اساس برنامه‌ای هماهنگ از تحقیقات چندهزار کارشناس در بیش از صد کشور بود. در این گزارش‌ها آمده است که تغییرات آب‌وهوایی در حال شتاب گرفتن است. این تغییرات تا حد قابل توجهی ساخته دست بشر است، اگر بخواهیم از بروز یک بحران جهانی آب‌وهوا در آینده نزدیک که تهدیدی برای اساس محیط زیست انسان باشد، جلوگیری کنیم نیاز به اتخاذ تدابیر متقابل ضروری است. به گفته IPCC این خطر واقعی وجود دارد که تغییرات آب‌وهوایی خطر جنگ و درگیری را نیز افزایش دهد، زیرا آنها منابع طبیعی کمیاب، به ویژه آب آشامیدنی را تحت فشار بیشتری قرار می‌دهند و گروه‌های زیادی از جمعیت را از خشکسالی، سیل و سایر شرایط آب‌وهوایی شدید فراری می‌دهند [۱۲].

۱۱- سائول پرلموتر^۶ (جایزه نوبل فیزیک-۲۰۱۱): گسترش شتابان جهان

سائول پرلموتر، اخترفیزیکدان آزمایشگاه ملی لارنس برکلی و استاد فیزیک در دانشگاه کالیفرنیا در برکلی، جایزه نوبل فیزیک را با بریانی پی اشمیت^۷ از دانشگاه ملی استرالیا و آدام جی رایس^۸ از دانشگاه جانز هاپکینز برای کشف انبساط پرشتاب کیهان از طریق رصد ابرنواخترهای دوردست، همانطور که پیش‌بینی می‌شد، به خود اختصاص دادند. این جایزه منعکس‌کننده تلاش طولانی برای درک جهان و چگونگی رسیدن به نقطه کنونی است. ایده‌ها و اکتشافاتی که منجر به توانایی ما برای اندازه‌گیری تاریخ انبساط کیهان با مشارکت‌های کلیدی تقریباً از هر قاره و فرهنگی شد، دارای یک میراث واقعاً بین‌المللی است. کار پیشگامانه این جایزه نشان داد که گسترش جهان در واقع به جای کاهش سرعت در حال افزایش است. ستارگان و کهکشان‌ها در حال دور شدن از یکدیگر هستند. تا همین اواخر، اکثر اخترفیزیکدانان معتقد بودند که این انبساط در نهایت به دلیل تأثیر نیروهای گرانشی متضاد کاهش می‌یابد. سائول پرلموتر، بریانی اسمیت و آدام ریس ستارگان در حال انفجار که ابرنواختر

اسموت زاده‌ی فلوریدا، جایزه نوبل فیزیک را با جان سی. ماتر^۱ از مرکز پرواز فضایی گودارد ناسا به دلیل کشف بی‌نظمی‌های ظریف در تابش پس‌زمینه مایکروویو کیهانی، تابش حرارتی ضعیف ناشی از انفجار بزرگ، به اشتراک گذاشت. تصور می‌شود که این بی‌نظمی‌ها منجر به متراکم شدن ماده به ابرهای گازی، ستاره‌ها و کهکشان‌ها با انبساط کیهان شده است. جایزه نوبل به دلیل کشف شکل جسم سیاه و ناهمسان گردی تابش پس‌زمینه مایکروویو کیهانی اعطا شد. انواع مختلفی از ذرات و تشعشعات در فضای بیرونی از جمله تشعشعات پس‌زمینه کیهانی که از طریق اندازه‌گیری‌های کاوشگر پس‌زمینه کیهانی^۲ به‌دقت مورد مطالعه قرار گرفته است. جورج اسموت پروژه‌ای را رهبری کرد که در سال ۱۹۹۲ توانست به تغییرات کوچک در تابش در جهات مختلف اشاره کند. این سرنخی از چگونگی پیدایش ستارگان و دیگر اجرام آسمانی ارائه می‌دهد. این تغییرات را می‌توان با نوعی نوسانات مکانیکی کوانتومی توضیح داد که باعث شده ماده در مکان‌های خاصی توده‌هایی را تشکیل دهد سپس به دلیل گرانش رشد کرده‌اند [۱۱].

۱۰- هیأت بین‌دولتی تغییرات آب‌وهوایی^۳ (جایزه نوبل صلح-۲۰۰۷): خطر تغییرات آب‌وهوا

بیست و سه کارمند آزمایشگاه برکلی در گزارش‌های هیأت بین‌دولتی سازمان ملل متحد در مورد تغییرات آب‌وهوایی مشارکت داشتند که جایزه صلح را دریافت کردند. به گفته کمیته نوبل نروژ، کار آنها جهان را در مورد نقش بشر در ایجاد تغییرات اقلیمی آگاه کرد و از اقدامات متقابل خواست تا به گفته کمیته نروژ، از «بحرانی که اساس زندگی انسان را تهدید می‌کند»، جلوگیری کند. دانشمندان آزمایشگاه ملی لارنس برکلی در وزارت انرژی، مشارکت‌کنندگان مهمی در تحقیق در مورد تغییرات آب‌وهوایی بودند که برنده جایزه صلح نوبل شد. جایزه صلح سال ۲۰۰۷ به‌طور مشترک به هیأت بین‌دولتی تغییرات آب‌وهوایی (IPCC)^۴ و معاون رئیس جمهور وقت آلبرت آرنولد ال گور جونور^۵ «به دلیل تلاش‌های آنها برای ایجاد و انتشار دانش بیشتر در مورد تغییرات آب‌وهوایی ساخته دست بشر و ایجاد پایه و اساس اقدامات لازم برای مقابله با چنین تغییری» اعطا شد.

¹ John C. Mather

² Cosmic Background Explorer (COBE)

³ International Panel on Climate Change

⁴ Intergovernment Panel on Climate Change

⁵ Albert Arnold Gore

⁶ Saul Perlmutter

⁷ Brian P. Schmidt

⁸ Adam G. Riess

بریدن DNA آنها با نوعی قیچی ژنتیکی از کار می‌اندازد. آنها با استخراج و ساده‌سازی اجزای مولکولی قیچی ژنتیکی، آن را به‌طور کلی قابل استفاده کردند؛ قیچی ژنتیکی CRISPR/Cas9 می‌تواند به اکتشافات علمی جدید، محصولات بهتر و سلاح‌های جدید در مبارزه با سرطان و بیماری‌های ژنتیکی منجر شود. روزالیند فرانکلین پایان‌نامه خود را در آزمایشگاه جک شوتاک (برنده جایزه نوبل فیزیولوژی ۲۰۰۹) انجام داده است. همچنین سوابق دیگری نیز از حضور در آزمایشگاه و همکاری با دانشمندان برنده نوبل از این دانشمند در نشریات آمده است. آنچه قابل تأکید و توجه است حضور و نقش برجسته پژوهشگران در کنار نوبلیست‌ها می‌باشد. هر دانشمند موفقی بی‌شک استاد راهنما، هم‌آزمایشگاهی‌ها و مشاوران مجربی داشته است که مسیر را روشن‌تر ساخته‌اند.

یکی از جذابیت‌های علم این است که غیرقابل پیش‌بینی است. در مطالعات و آزمایش‌های علمی یک ایده یا یک سؤال به کجا منجر می‌شود؟ ویرایشگر ژن CRISPR-Cas9 یکی از این اکتشافات غیرمنتظره با پتانسیل خیره‌کننده است. ابزاری مولکولی برای ایجاد برش‌های دقیق در مواد ژنتیکی استفاده شد و امکان تغییر آسان کد زندگی را فراهم می‌کند [۱۴]. این فناوری تأثیری بزرگ بر علوم زیستی داشته است، به درمان‌های جدید سرطان کمک می‌کند و ممکن است رویای درمان بیماری‌های ارثی را محقق کند.

۱۳- جان کلارز^۳ (جایزه نوبل فیزیک-۲۰۲۲): نوری به جهان کوانتوم

جان کلارز، دانشمند سابق آزمایشگاه برکلی (۱۹۶۹-۱۹۷۵)، در بخش علوم هسته‌ای و استاد فیزیک در دانشگاه کالیفرنیا در برکلی جایزه نوبل فیزیک ۲۰۲۲ را با آلن اسپکت^۴ و آنتون زایلینگر^۵ برای آزمایش‌هایی با فوتون‌های درهم‌تنیده، اثبات نقض نابرابری‌های بل و علم اطلاعات کوانتوم پیشگام، به اشتراک گذاشت. کلارز این تحقیق را در اوایل دهه ۱۹۷۰ با استوارت فریدمن انجام داد. آزمایش و یافته‌های کلارز و همکارانش به قدری بدیع بود که در آن زمان کاملاً مورد توجه قرار نگرفت. سپس فیزیکدانان متوجه شدند که چگونه می‌توان از درهم‌تنیدگی کوانتومی بهره‌برداری کرد. در آن

نامیده می‌شوند را مطالعه کردند. از آنجایی که نور ساطع شده از ستارگان از فاصله دورتر ضعیف‌تر به‌نظر می‌رسد و با دورتر شدن از ناظر رنگ مایل به قرمزی به خود می‌گیرد، محققان توانستند نحوه حرکت ابرنواخترها را تعیین کنند. در سال ۱۹۹۸ آنها به یک نتیجه شگفت‌انگیز رسیدند: جهان با سرعت فزاینده در حال انبساط است. انبساط شتابان جهان به‌معنای وجود به اصطلاح انرژی تاریک است، نیرویی مرموز که در مخالفت با گرانش و افزایش فاصله میان کهکشان‌ها عمل می‌کند. ماهیت انرژی تاریک ناشناخته است و مهمترین مشکل فیزیک قرن بیست و یکم نامیده می‌شود [۱۳].

۱۲- جنیفر دودنا^۱ (جایزه نوبل شیمی-۲۰۲۰): برنده‌ترین قیچی ژنتیکی برای بازنویسی رمز زندگی

جنیفر دودنا، بیوشیمی‌دان، استاد زیست‌شناسی مولکولی و سلولی و شیمی در دانشگاه کالیفرنیا برکلی، دانشمند بیوفیزیک مولکولی آزمایشگاه ملی لارنس برکلی، و محقق در مؤسسه پزشکی هاروارد به خاطر توسعه روشی برای ویرایش ژنوم، کشف مشترک CRISPR-Cas9 یک فناوری پیشگامانه مهندسی ژنتیک، برنده جایزه نوبل شیمی ۲۰۲۰ شد. او برنده جایزه نوبل با امانوئل شارپنتیر^۲ است. آنها با هم اولین تیم تحقیقاتی زنانه را تشکیل می‌دهند که برنده جایزه نوبل شدند. این فناوری ویرایش ژنوم، دانشمندان را قادر می‌سازد تا ژن‌ها را با دقتی رویایی، به سرعت تغییر دهند یا حذف کنند. آزمایشگاه‌ها در سرتاسر جهان مسیر تحقیقات خود را برای ترکیب این ابزار جدید، با پیامدهای عظیم در زیست‌شناسی، کشاورزی و پزشکی تغییر داده‌اند. امروزه فناوری CRISPR-Cas9 نتیجه تلاش دودنا و شارپنتیر اساس بسیاری از فناوری‌های نویدبخش پزشکی، از جمله ابزارهایی برای تشخیص و درمان عفونت‌هایی مانند COVID-19 است و کاربردهای زیادی برای توسعه محصولات کشاورزی، سوخت‌های زیستی و محصولات زیستی بهبود یافته دارد.

فرایندهای حیاتی موجودات توسط ژن‌هایی که از بخش‌هایی از DNA تشکیل شده است کنترل می‌شود. در سال ۲۰۱۲، جنیفر دودنا و امانوئل شارپنتیر روشی را برای ویرایش ژنوم با دقت بالا توسعه دادند. آنها از سیستم ایمنی باکتری استفاده کردند که ویروس‌ها را با

¹ Jennifer Doudna

² Emmanuelle Charpentier

³ John F. Clauser

⁴ Alain Aspect

⁵ Anton Zeilinger

حساس هستند، بنابراین واکنش‌هایی که روی یک بستر کار می‌کنند، ممکن است روی همه ترکیباتی که محققان آزمایش می‌کنند، کار نکند. در واقع احساس نیاز به کیت‌های شیمیایی برای جمع‌آوری مولکول‌هایی مانند مولکول‌هایی که توسط زیست‌شناسان برای اجرای سریع و قابل تکرار سنجش‌ها استفاده می‌شوند، واضح بود. جایزه نوبل شیمی ۲۰۲۲ قدرت دسترسی به شیمی را به همه نشان داد. استراتژی‌های هوشمندانه برای «کلیک» روی مولکول‌های جدید عمیقاً بر شیمی آلی، علم مواد و زیست‌شناسی تأثیر می‌گذارد [۱۷، ۱۸ و ۱۹].

۱۴ مورد جایزه نوبل فوق‌الذکر ماحصل تلاش دانشمندان، استادان و فارغ‌التحصیلان از دانشگاه‌ها می‌باشد که همگی عضوی از جامعه آزمایشگاه ملی برکلی هستند. آزمایشگاه ملی برکلی توانسته است به‌عنوان فضای علمی یک عملکرد عالی داشته باشد. از بابت این موفقیت بزرگ مدیون حمایت‌های بی‌شائبه از ابعاد مختلف علمی، امنیتی، سلامتی و... است. حضور فعال مؤسسان و مدیران حاذق بی‌شک در اهداف بلندمدت این آزمایشگاه نقش بنیادین داشته است. به‌نظر می‌رسد راهبرد عالمانه و هنرمندانه؛ ایجاد و حفظ شبکه ارتباطی مفید و ثمربخش بین دانشگاه‌ها، آزمایشگاه‌ها، سازمان‌ها، شرکت‌ها و دانشمندان، آزمایشگاه ملی برکلی را به کانون علمی قدرتمندی تبدیل کرده است.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله کوتاه سعی شده است به آزمایشگاه ملی برکلی یکی از آزمایشگاه‌های ملی آمریکا با رویکرد دریافت جوایز نوبل پرداخته شود. به‌طور یقین اینکه یک آزمایشگاه ملی ظرفیت دریافت ۱۴ جایزه نوبل در حوزه‌های مختلف را فراهم آورد بسیار قابل‌تأمل و تحلیل است. بدیهی است که دریافت هر جایزه نوبل یعنی یک جریان‌سازی علمی که سال‌های متمادی علم و فناوری را تحت شعاع قرار خواهد داد. اینکه یک آزمایشگاه ملی با چه زیرساخت و چه راهبرد و چه شبکه‌سازی موفق به یک چنین تنوع جریان‌سازی علمی در جهان شده است قطعاً نیازمند یک بررسی عمیق و تحلیل علمی است. این آزمایشگاه با قدمتی حدود یکصد سال با پرورش دانشمندان و محققان بسیار برجسته و تراز اول نقش بی‌بدیلی در

زمان بود که آزمایش‌های تعیین‌کننده بعدی انجام شد که منجر به عصر کوانتومی جدیدی شد که اکنون در حال تجربه آن هستیم.

یکی از بارزترین ویژگی‌های مکانیک کوانتومی این است که به دو یا چند ذره اجازه می‌دهد در حالت درهم‌تنیده وجود داشته باشند. اتفاقی که برای یکی از ذرات در یک جفت درهم‌تنیده می‌افتد تعیین می‌کند که برای ذره دیگر چه اتفاقی می‌افتد، حتی اگر آنها از هم دور باشند. در سال ۱۹۷۲، جان کلازر آزمایش‌های پیشگامانه را با استفاده از ذرات نور درهم‌تنیده، فوتون‌ها انجام داد. این آزمایش و آزمایش‌های دیگر تأیید می‌کند که مکانیک کوانتومی درست است و راه را برای رایانه‌های کوانتومی، شبکه‌های کوانتومی و ارتباطات رمزگذاری شده کوانتومی هموار می‌کند [۱۵].

۱۴- کارولین برتوزی^۱ (جایزه نوبل شیمی - ۲۰۲۲): کلیک زیستی

کارولین برتوزی، دانشمند سابق آزمایشگاه برکلی و مدیر ریخته‌گری مولکولی، برنده جایزه نوبل شیمی ۲۰۲۲ برای توسعه شیمی کلیکی و شیمی متعامد زیستی است. او جایزه نوبل را با مورتن ملدال^۲ و کی بری شارپلس^۳ مشترک است. شیمی‌دانان تلاش می‌کنند تا مولکول‌های پیچیده‌تر بسازند. برای مدت طولانی، این کار بسیار وقت‌گیر و پرهزینه بوده است. شیمی کلیک به این معنی است که بلوک‌های ساختمانی مولکولی به سرعت و کارآمد به هم می‌چسبند. در حدود سال ۲۰۰۰، کارولین برتوزی شروع به استفاده از شیمی کلیک در موجودات زنده کرد [۱۶]. او واکنش‌های متعامد زیستی را ایجاد کرد که در موجودات زنده بدون اختلال در شیمی طبیعی سلول اتفاق می‌افتد. این واکنش‌ها اکنون برای کشف سلول‌ها، ردیابی فرایندهای بیولوژیکی و بهبود هدف‌گیری داروهای سرطانی استفاده می‌شود.

شیمی می‌تواند مولکول‌ها و مواد کاربردی ایجاد کند. مواد موجود در تلفن‌ها و داروهای مورد استفاده از سنتز شیمیایی ناشی می‌شوند. بنابراین مسیرهای کارآمد برای مونتاژ مولکول‌های جدید باعث پیشرفت در بسیاری از زمینه‌ها می‌شود. هنگامی که محققان در تلاش برای ساخت ترکیبات جدید یا ساخت مواد هدف در مقیاس بزرگ هستند، نیاز به واکنش‌های تکرارپذیر به‌شدت احساس می‌شود. واکنش‌های شیمیایی نسبت به گروه‌های عاملی درون یک مولکول

¹Carolyn R. Bertozzi

² Morten Meldal

³ K. Barry Sharpless

- [9]. Schaefer, H. F. (1987). Yuan T. Lee-1986 Nobel Prize in Chemistry.
- [10]. Chu, S. (1998). Nobel Lecture: The manipulation of neutral particles. *Reviews of Modern Physics*, 70(3), 685.
- [11]. Smoot, G. (2007). Cosmic Microwave Background Radiation anisotropies: their discovery and utilization. In *APS April Meeting Abstracts* (pp. J5-002).
- [12]. Mohanty, S., & Mohanty, B. P. (2009). Global climate change: a cause of concern. *National Academy Science Letters*, 32(5-6), 149-156.
- [13]. Perlmutter, S. (2012). Nobel Lecture: Measuring the acceleration of the cosmic expansion using supernovae. *Reviews of Modern Physics*, 84(3), 1127-1149.
- [14]. Ledford, H., & Callaway, E. (2020). Pioneers of CRISPR gene editing win chemistry Nobel. *Nature*, 586(7829), 346-347.
- [15]. Schirber, M. (2022). Nobel prize: Quantum entanglement unveiled. *Physics*, 15, 153.

[۱۶]. نیکو محبعلی‌زاده؛ علی‌اکبر موسوی موحدی "تحقیقات بیوفیزیک و جوایز نوبل" نامه علوم پایه (فرهنگستان علوم)، مجلد ۷-

۸ صفحات ۱۱۳-۱۲۶، سال ۱۴۰۱

- [17]. Kiessling, L. L. (2023). Profile of Carolyn R. Bertozzi, Morten Meldal, and K. Barry Sharpless: 2022 Nobel laureates in Chemistry. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120(35), e2308367120.
- [18]. Amiri, A., Abedanzadeh, S., Davaeil, B., Shaabani, A., & Moosavi-Movahedi, A. A. (2024). Protein clicks chemistry and its potential for medical applications. *Quarterly Reviews of Biophysics*, 57, e6.
- [۱۹]. احمد امیری؛ صدیقه عابدان زاده؛ باقر دوائیل؛ سید محسن اصغری؛ احمد شعبانی؛ علی‌اکبر موسوی موحدی "شیمی کلک و جایزه نوبل" ۲۰۲۲، نشریه نشا علم، مجلد ۱۳، شماره ۱، صفحات ۷۶-۷۰ سال ۱۴۰۱

[۲۰]. رضا یوسفی؛ علی‌اکبر موسوی موحدی "نقش آزمایشگاه های ملی ومؤسسات تحقیقاتی ماموریت گرا در توسعه علم و فناوری" نامه علوم پایه(فرهنگستان علوم)، مجلد ۲-۳، صفحات ۹۴-۱۰۱، سال ۱۴۰۰

توسعه علم و فناوری ایفا کرده است. ولی لازم است مطالعات عمیق‌تری در مورد مدل‌های تأمین مالی، نحوه شبکه‌سازی علمی ملی و بین‌المللی، راهبردهای کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت این آزمایشگاه و بسیاری نکات ارزشمند دیگر مورد بررسی دقیق و موشکافانه قرار گیرد. شاید با این کار مسیرها و راهبردهای قابل بهره‌برداری برای دستیابی به چنین مدل‌هایی در کشور فراهم شود. برای ایفای نقش مرجعیت علمی در چند دهه آینده مطالعه الگوهای این چنین در جهان قطعاً راهگشا خواهد بود. تأسیس آزمایشگاه‌های ملی که دارای تعریف خاص می‌باشد نقش کلیدی در پیشرفت علم، نوآوری و فناوری در سطح ملی و بین‌المللی ایفا می‌نماید [۲۰].

وبگاه‌های بازدید شده

- (1).<https://www.lbl.gov>
 (2).<https://www.nobelprize.org>

فهرست منابع

- [1]. Heilbron, J. L., & Seidel, R. W. (1989). Lawrence and his laboratory: a history of the Lawrence Berkeley Laboratory (Vol. 5). Univ of California Press.
- [2]. Childs, H. (2019). An American genius: The life of Ernest Orlando Lawrence, father of the cyclotron. Plunkett Lake Press.
- [3]. Yoshida, Z., Johnson, S. G., Kimura, T., & Krsul, J. R. (2006). Neptunium. The chemistry of the actinide and transactinide elements, 699-812.
- [4]. Seaborg, G. T. (1982). The plutonium story. In *Actinides in Perspective* (pp. 1-22). Pergamon.
- [5]. Chamberlain, O., Segrè, E., Wiegand, C., & Ypsilantis, T. (1955). Observation of antiprotons. *Physical Review*, 100(3), 947.
- [6]. Glaser, D. A., & Rahm, D. C. (1955). Characteristics of bubble chambers. *Physical Review*, 97(2), 474.
- [7]. Calvin, M. (1962). The Path of Carbon in Photosynthesis: The carbon cycle is a tool for exploring chemical biodynamics and the mechanism of quantum conversion. *Science*, 135(3507), 879-889.
- [8]. Alvarez, L. W. (2019). Alvarez: Adventures of a physicist. Plunkett Lake Press.

Nobel Prizes and Berkeley National Laboratory

Niku Mohebalizadeh¹, Malek Naderi*², Ali A. Moosavi-Movahedi^{1,3,4}

Lawrence Berkeley National Laboratory is recognized as one of the world's leading research laboratories. sixteen elements of the periodic table were introduced to the world by the scientists of this laboratory. Scientists from this renowned laboratory have won 14 Nobel Prizes. The presence of interested and dynamic scientists, professors, and students in this laboratory and its multilateral support are very worthy of reflection and modeling. Focusing and investing in various fields of basic sciences, such as physics, chemistry, biology, mathematics, and some fundamental fields, such as the genome of materials, and creating links and connections between these fields is a smart step that Berkeley Lab has successfully taken with the development of departments from all scientific fields. The precise, long-term, and network-oriented strategy has made this laboratory known as a reference and global actor for the production of science and the expansion of the frontiers of knowledge. The Laboratory's commitment to open science means that research results are shared widely and contribute significantly to the advancement of global science. The establishment of national laboratories in the position of basic sciences is of key importance for the advancement of original science and technology at the national and international levels, and modeling such a strategy and modeling it according to the ecosystem of science and knowledge in Iran is an inevitable necessity.

Keywords: Nobel Prizes, Berkeley National Laboratory, Interdisciplinary Science, Fundamental Science, National laboratory network, Open Science

* Corresponding Author, Professor, Tel/Fax: +9821-64542992, E-mail: mnaderi@aut.ac.ir

¹ Institute of Biochemistry and Biophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

² Graphene and Advanced Materials Laboratory (GAM), Department of Materials and Metallurgical Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

³ Universal Scientific Education and Research Network (USERN), Institute of Biochemistry and Biophysics (IBB), University of Tehran, Tehran, Iran

⁴ Fellow, Iran Academy of Sciences; Fellow, The World Academy of Sciences (TWAS); Fellow Islamic World Academy of Sciences

Quantum Biology: A New Perspective in Life Sciences and Medicine

Ahmad Amiri¹, Niku Mohabalizadeh¹, Baqher Davaeil¹, Haniyeh Khoshnoud¹, Sedigheh Abedanzadeh^{2,*}

Quantum biology is an emerging field in the scientific world. It is the study of biological phenomena using the laws of quantum mechanics. Today, quantum biology continues to grow and develop as science progresses, and it is slowly taking its place among the sciences, especially the interdisciplinary sciences. This branch of science has been the basis for the knowledge of many biological mechanisms, helping researchers to understand why and how biological phenomena occur. The awareness of these mechanisms and other factors that quantum biology has been effective in understanding has created a new perspective among scientists, especially physicians. Today, the knowledge gained has provided scientists with devices and tools that are very helpful in the early diagnosis of diseases. In addition, the insights that quantum biology provides to biological scientists can help them understand why and how diseases occur, so that they can choose an effective treatment.

Keywords: Quantum Biology, Quantum Mechanics, Quantum Computer, Quantum Dot

*Corresponding Author, Assistant Professor, Tel: +9821-86072707, Fax: +9821-86072707, E-mail: Abedanzadeh@khu.ac.ir

¹ Institute of Biochemistry and Biophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

² Faculty of Chemistry, Kharazmi University, Karaj, Iran

The Role of Geotourism and Geoparks in the Geoheritage Conservation

Mahdiyeh Tavana¹, Sajad Ferdowsi*¹

With the development of tourism, we are gradually witnessing the emergence of different types of tourism based on varying interests and tastes. This is especially evident in nature-based tourism, where the conservation of biotic and abiotic species is a priority. In this regard, geological conservation and management have become increasingly important. Therefore, the current research was conducted to investigate the role of geotourism and geoparks, as well as the tools available in these areas, in geoheritage conservation. According to the nature of the subject and research objectives, the dominant approach is descriptive-analytical research. The required data and information were collected through archival sources and by referring to relevant journals and books. The results indicate that the expansion of geotourism and the creation of geoparks can contribute to achieving the goal of geoheritage conservation. Management in geoparks plays a key role in implementing conservation strategies and programs. As geotourism develops, geological education and activities in geoparks also expand, leading to increased public awareness. This increased awareness, along with proper management and appropriate investment, will ensure the long-term conservation of geoheritage.

Key words: Geotourism, Geopark, Geoheritage, Geoconservation

* Corresponding Author, Assistant Professor, Tel/Fax: +9821-66478552, E-mail: sajad.ferdowsi@ut.ac.ir

¹ Department of Tourism Management and Economics, Faculty of Tourism, University of Tehran, Tehran, Iran

Bioinspiration of Photonic Crystals and Color Change in Organisms

Faeze Mohammadi¹, Freshteh Rahimi^{*1}, Mostafa Noroozi²

During the process of evolution, nature has encountered a multitude of challenges, which have been met with the development of optimal solutions through the mechanism of natural selection. These solutions have undergone refinement over time, resulting in the creation of highly efficient and enduring strategies. One particular challenge that nature has faced is the phenomenon of color change in organisms. A significant mechanism for generating color involves the utilization of one- to three-dimensional photonic crystal structures, which give rise to bright and rainbow colors. These structures have been observed in a variety of organisms, including insects (such as cockroaches and butterflies), birds (such as peacock feathers), plants (such as Edelweiss flowers), and marine animals (such as fishes and sea worms). The phenomenon of color change facilitated by these structures serves a range of purposes, such as sexual communication, cryptic behavior, adaptation to the environment, and the deterrence or deception of predators. In this review, we address the photonic crystal structure-mediated color change in fish, beetles, and butterflies. Finally, we explore various industries bioinspired of these structures, including artificial colors, sensors, solar cells, nanolithography, display screens, and banknote counterfeiting.

Keywords: Biomimetic, Bioinspiration, Photonic Crystal, Color Change, Structural Color

* Corresponding Author. Associate Professor, Tel/Fax: (9821)86093154, Email: rahimi.f@ut.ac.ir

¹ Department of Nanobiotechnology and Biomimetics, School of Life Science Engineering, College of Interdisciplinary Science and Technology, University of Tehran, Tehran, Iran

² Faculty of Biological Sciences, Department of Biotechnology, University of Alzahra, Tehran, Iran

A Perspective of Oral Recombinant Vaccines Based on Microalgae

M. Shirmohammadi^{1,*}, F. Kianersi¹

In recent decades, microalgae biotechnology has become one of the most valuable sources of functional feed additives. Many microalgae are considered beneficial in aquaculture, because as nutritional supplements, they increase immunity-enhancing abilities, resistance to infectious diseases, and tolerance to environmental stress. Some of them are non-toxic and rich in antioxidants, so that they can be investigated as a drug carrier for humans or animals. Currently, there are successful cases of using microalgae to produce edible vaccines in the aquaculture industry. Most of the recombinant vaccines are produced based on *Chlamydomonas Reinhardtian* species. However, few commercial vaccines are available. It is also unclear how microalgae or their bioactive compounds may induce signals in the immune system of aquatic species. This article aims to collect published research on the potential of microalgae in the production of recombinant vaccines for aquaculture. In order to provide ideas for the development of recombinant microalgae oral vaccines in the future.

Keywords: Aquaculture, Active Compounds of Microalgae, Immune System, Recombinant Vaccines

* Corresponding Author. Ph.D., Tel/Fax:(9861)36573115, Email: mehrnaz.shirmohammadi@ifro.ir

¹ South of Iran Aquaculture Research Institute, Iranian Fisheries Science Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ahvaz, Iran

The Impact of Daily Walnut Consumption and Lifestyle on Human Health

Kourosh Vahdati^{1,*}

Persian walnut (*Juglans regia L.*) is one of the most nutritious nuts globally, known for its bioactive compounds such as unsaturated fatty acids, polyphenols, and minerals, which have significant effects on human health. This study explores the role of daily walnut consumption alongside a healthy lifestyle in the prevention and management of chronic diseases. The findings indicate that walnuts contribute to cardiovascular health by reducing LDL cholesterol, increasing HDL cholesterol, and preventing atherosclerotic plaque formation. Regular walnut consumption also improves insulin sensitivity and helps prevent type 2 diabetes. The antioxidant and anti-inflammatory properties of walnuts reduce oxidative stress and strengthen the immune system. Due to their high polyphenol and antioxidant content, walnuts exhibit remarkable anti-cancer properties, potentially reducing oxidative stress and inhibiting cancer cell growth to lower the risk of various cancers. Furthermore, walnuts improve cognitive function, alleviate chronic inflammation, and aid in weight management. Recent advances in walnut genetic improvement have further integrated walnuts into a healthy lifestyle. It is recommended to consume approximately 30 grams of raw walnuts daily, including their light brown skin. Consuming stale walnuts with rancid odor or over-roasted walnuts is not advised.

Keywords: Walnut, Cardiovascular Health, Type 2 Diabetes, Oxidative Stress, Genetic Improvement, Bioactive Nutrients, Peptides, Flavonoids

* Corresponding Author, Professor, Tel/Fax: (+9821) 36041089, E-mail: kvahdati@ut.ac.ir

¹ Department of Horticulture, College of Aburaihan, University of Tehran, Tehran, Iran

Human Adaptations Inspired by an Extremophile and Resilient Organism: The Tardigrades

Mohammad Hossein Khodabandehloo¹, Ali Akbar Moosavi-Movahedi^{1,2,3,*}

This article explores tardigrades, microscopic invertebrates renowned for their resilience to extreme environmental conditions and examines parallels to human resilience and the Human Development Index (HDI). Tardigrades use unique mechanisms like cryptobiosis to survive harsh conditions, including extreme temperatures, dehydration, radiation, and high pressures. In parallel, resilience as a component of HDI reflects a society's ability to face economic and social challenges. This article highlights these organisms' adaptive traits, such as heat shock proteins and DNA repair, as inspiration for human development and offers an alternative view on HDI, proposing that true human development embodies a transcendent understanding of nature's laws, enabling individuals to harness knowledge and faith for societal benefit.

Keywords: Tardigrade, Human Development Index, Transcendental Virtue, Resilience, Extremophile, Nature, Biotechnology.

* Corresponding Author, Professor, Tel: +9821-66409517, Fax: +9821-66404680, E-mail: moosavi@ut.ac.ir

¹ Institute of Biochemistry and Biophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

² Universal Scientific Education and Research Network (USERN), Institute of Biochemistry and Biophysics (IBB), University of Tehran, Tehran, Iran

³ Fellow, Iran Academy of Sciences; Fellow, The World Academy of Sciences (TWAS); Fellow Islamic World Academy of Sciences

New Developments in The Smart Cities of the World

Ali Zainali Azim^{1,*}

With the advancements of technology, economy and society, the driving force new generation informatics technologies are able to develop smart applications and create a new and sustainable urban model. This article examines the new developments in the world's smart cities and assesses construction citizenship and predicts project development process based on ideas and theoretical documents issued by the government. This article showed that (1) the smart city project is divided into three main areas and two relatively new concepts: smart government, smart economy, smart society, the new generation of informatics infrastructure and the development environment of a smart city. (2) The key technologies involved in building a smart city are: Internet of Things, cloud computing, mobile Internet, big data, geoinformatics and artificial intelligence. (3) The construction the smart city project will bring many people, not limited to investment, but will improve vitality, reduce urban problems, increase economic development and sustainability, promote the development of industries related their development, the results will be will accompany It relates the definition and application of the smart city project with its development process and provides information to create the authority of policy makers to guide the design and construction of their smart city project.

Keywords: Smart City, Technology, Smart Economy, Smart Society.

* Corresponding Author. Postdoctoral Researcher in Urban Planning, Tel/Fax: 9841-32311285, Email: zeynalyazim@sru.ac.ir

¹ Faculty of Architecture and Urban Planning, Shahid Rajaei Tarbiat University, Tehran, Iran.

Water Diplomacy and Its Role in Resolving Transboundary Water Resources Conflicts

Seiyed Mossa Hosseini¹

Globally, there are 310 international basins and 600 shared transboundary aquifers which are shared between two or more countries. While 153 countries share fresh water resources, the life of about 22% of people on earth depends on these resources. The upstream countries of shared water resources tend to use water to get more power, while the downstream countries use power to get more water. In this manuscript, after defining the concept of water diplomacy, it presents the key aspects and stages and paths of water diplomacy. Then, it explains the role of various factors in water diplomacy (such as power, gender balance, emotions, trust, spirituality and principles of international law) along with presenting case studies around the world. Studies show that effective water diplomacy with the aim of preventing, reducing and resolving conflicts and analyzing the hydropolitical dynamics of transboundary water resources can change competing interests over shared water resources from zero-sum to positive-sum approaches. Therefore, water diplomacy has the potential to solve all kinds of transboundary water conflicts and is considered a tool for sustainable management of shared water resources. Since water diplomacy shows a picture of the future of the foreign policy of the countries with shared water resources, its progress can affect all political, economic and cultural relations between the parties.

Keywords: Water Diplomacy, Transboundary Waters, Power Asymmetry, Diplomacy Paths, Water Conflicts, Water Negotiations

^{*}Corresponding Author, Associate Professor, Tel: +98 21-6111 2938, Fax: +98 21-6641 3065, E-mail: smhosseini@ut.ac.ir

¹Physical Geography Department, University of Tehran, Tehran, Iran.

Precise Science and Social Welfare

Precise science serves as the foundation of modern knowledge, aimed at interpreting and organizing the surrounding world. By employing accurate measurements, mathematical principles, and experimental methods, it strives to provide a deeper understanding of the laws and structures of nature. A hallmark of precise science is its emphasis on empirical measurements and quantifiable data grounded in scientific evidence. This approach enables scientists to achieve results that can be verified through repeatability and independent testing. By offering a robust analytical framework, precise science helps societies gain a better understanding of natural phenomena and leverage this knowledge to improve quality of life. Leading scientific nations that have achieved wealth and a degree of social welfare are those that have expanded the frontiers of science, made significant discoveries, and activated their intellectual and creative capacities. These nations produce high-quality goods and services while identifying effective solutions to societal challenges, using these advancements as a basis for governing their countries. Scientific discovery not only enhances individual cultural potential and fosters social pride but also establishes a creative foundation for transformative innovation, technological advancement, and societal progress.

Nevertheless, precise science has its limitations. It faces challenges in interpreting highly complex and unknown phenomena that lie beyond the reach of current sensory and technological tools. Fundamental aspects of precise science, such as physical models and scientific assumptions, may evolve or improve over time due to the dynamic and ever-developing nature of knowledge. This constant evolution highlights the drive of precise science to seek new pathways and expand its understanding. Precise science is a dynamic process of change and improvement, striving to optimize parameters in response to the shifting conditions of different eras. This adaptability allows scientists to continuously ask new questions and push the boundaries of knowledge. Such efforts not only lead to technological advancements and enhanced living standards but also inspire deeper understanding and scientific breakthroughs. A critical point to emphasize is that precise science originates from deep thinking and is realized through highly advanced measurement tools. Discovering precise science requires both knowledgeable and thoughtful human resources, as well as precision instruments capable of measuring and imaging at molecular and atomic scales. These tools, which operate on extremely short timescales such as attoseconds or zeptoseconds, are essential in today's scientific advancements and will continue to evolve in the future. Moreover, it is vital to link today's data with historical datasets while incorporating projections of future trends to achieve a comprehensive understanding of the dynamic nature of science. Consequently, nations must invest in nurturing, protecting, and satisfying their intellectual talent. They must also develop and implement advanced measurement technologies integrated with artificial intelligence and big data, supported by high-speed internet at both national and international levels. Dynamic scientific diplomacy, facilitated by collaboration among scientists and intellectuals, is another key element for advancing science through global scientific partnerships. Preserving scientific talent requires urgent and strategic short-term planning to mitigate and reverse the effects of brain drain. It is important to note that science is not merely data and information; it ultimately depends on capable and knowledgeable individuals. By wisely and effectively utilizing data and information, they can find solutions to problems and, through their knowledge and faith, pave the way for societal progress and welfare.

Ali A. Moosavi-Movahedi
Editor-in-Chief



Contents

Editorial: Precise Science and Social Welfare	13
Water Diplomacy and Its Role in Resolving Transboundary Water Resources Conflicts	
Seiyed Mossa Hosseini.....	14
New Developments in The Smart Cities of The World	
Ali Zeynali Azim.....	15
Human Adaptations Inspired by An Extremophile and Resilient Organism: The Tardigrades	
Mohammad Hossein Khodabandehloo; Ali A. Moosavi-Movahed.....	16
The Impact of Daily Walnut Consumption and Lifestyle on Human Health	
Kouros Vahdati.....	17
A Perspective of Oral Recombinant Vaccines Based on Microalgae	
Mehrnaz Shirmohammadi; Farhanaz Kianersi.....	18
Bioinspiration of Photonic Crystals and Color Change in Organisms	
Fereshteh Rahimi; Faeze Mohamadi; Mostafa Noroozi.....	19
The Role of Geotourism and Geoparks in The Geoheritage Conservation	
Mahdiyeh Tavana; Sajad Ferdows.....	20
Quantum Biology: A New Perspective in Biology and Medicine	
Ahmad Amiri; Niku Mohebalizadeh; Bagher Davaeil; Haniyeh Khoshnoud; Sedigheh Abedanzadeh.....	21
Nobel Prizes and Berkeley National Laboratory	
Niku Mohebalizadeh; Malek Naderi; Ali A. Moosavi-Movahedi.....	22

Science Cultivation

**Editor-in-Chief:**

A.A. Moosavi-Movahedi

Manager Editor:

A. Zali

Executive Director:

A. Kiani-Bakhtiari

Editorial Board:

H. Ahmadi Noubari, M. R. Aref, M. Behzad, M. Farhadi, Gh. Habibi, J. Towfighi, K. Koosha, R. Malekzadeh, J. Mehrad, H. Mirzadeh, M. Mohaghegh, A. Mossalanejad, N. Parsa, A.A. Saboury, M. Shamsipur, A. Shockravi, S. Sohrabpour, S. Vaezzadeh, B. Yazdi Samadi, 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

Website of Journal: www.sciencecultivation.ir

Email: info@sciencecultivation.ir

In the Name Of
God

Science Cultivation

Journal of Enculturation and Policy Making of Science, Innovation and Technology

Vol. 14, No. 2, June 2024

ISSN: 2008-935X

- Editorial: Precise Science and Social Welfare
- Water Diplomacy and Its Role in Resolving Transboundary Water Resources Conflicts
- New Developments in The Smart Cities of The World
- Human Adaptations Inspired by An Extremophile and Resilient Organism: The Tardigrades
- The Impact of Daily Walnut Consumption and Lifestyle on Human Health
- A Perspective of Oral Recombinant Vaccines Based on Microalgae
- Bioinspiration of Photonic Crystals and Color Change in Organisms
- The Role of Geotourism and Geoparks in The Geoheritage Conservation
- Quantum Biology: A New Perspective in Biology and Medicine
- Nobel Prizes and Berkeley National Laboratory

