

اقتصاد زیستی: پارادایم نوین اقتصادی در عصر چالش‌ها و پیچیدگی‌های جهانی

سید مهدی علوی*

تهران، پژوهشگاه ملی مهندسی ژنتیک و زیست‌فناوری، گروه زیست‌فناوری مولکولی گیاهی

* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: mealavi@nigeb.ac.ir

چکیده

پیچیدگی یک جنبه برجسته از جهان امروز ما است که الزاماتی را بر تفکر، نهادگرایی و حکمرانی ملی و بین‌المللی تحمیل می‌کند. تقریباً تمام عرصه‌های زندگی بشر از جمله اقتصاد تحت الشعاع این پدیده قرار گرفته است. اگرچه ایده تغییر نگرش اقتصادی امر جدیدی نیست، اما الزامات و چالش‌های جامع قرن بیست‌ویکم آن را از یک "انتخاب" به یک "باید" تبدیل کرده است. وقوع بحران جهانی همه‌گیری بیماری کووید-۱۹ شاهد متقنی بر این ضرورت است که علاوه بر تاکید بر تغییر در پارادایم اقتصاد جهانی، خاستگاه آن را نیز معرفی می‌کند، یعنی علوم و فناوری‌های زیستی. پیشرفت‌های علمی در حوزه زیست‌شناسی به این واقعیت منجر شده است که به‌جای وابستگی به منابع طبیعی به‌عنوان ماده اولیه تولید، می‌توان آن‌ها را با کمک داده‌ها، مولکول‌ها و سامانه‌های زیستی بازتولید کرد. اکنون در آغاز قرن بیست‌ویکم به‌نظر می‌رسد که نوگرایی میان علوم زیستی و علوم داده به جهشی عظیم و ساختار شکنانه منجر گردیده که جهان را در آستانه یک تحول بزرگ اقتصادی قرار می‌دهد. در این جستار، سعی شده تا به‌طور اجمال به ابعاد تحول‌آفرین پیشرفت‌های علوم زیستی در نظام اقتصادی جهان و ظهور اقتصاد زیستی به‌عنوان بدیل اقتصاد نفتی پرداخته شود.

کلیدواژگان: اقتصاد زیستی، انقلاب زیستی، زیست‌شناسی، زیست‌فناوری، خاستگاه نوین ثروت

۱ - مقدمه

محدود آن را مطالعه کرد و حتی به پاسخ مشخصی هم رسید، اما این پاسخ، رمزگشای پیچیدگی نیست و چه بسا بر ابهامات موجود هم اضافه کند؛ چراکه نگرش کل به جزء یا بالا به پایین در چنین مواردی، به جواب درستی منتهی نمی‌شود؛ این‌ها اموری هستند که نگاه به آن‌ها نیازمند نگرش پایین به بالا یا جزء به کل است. چنین نگرشی هم، مستلزم به‌کارگیری علوم و روش‌های چندگانه است تا بتوان جامعیت موضوع را حفظ کرد و به‌طور همزمان به مطالعه کنش اجزاء و برهمکنش‌های آن‌ها پرداخت.

در هر حال، ظاهراً استراتژی بشر در عصر مدرنیته و اکنون که در پسا-مدرنیته به‌سر می‌بریم چیزی نبوده جز نگرش کل به جزء؛ یا به عبارتی، ساده‌سازی "امر پیچیده" (شکل ۱). بسیاری بر این باورند، و البته در عمل نیز به همین سیاق رفتار می‌کنند، که برای فهم امر پیچیده باید به ساده‌سازی آن روی آورد و از این روی، باید امر پیچیده را به مولفه‌های جزئی تقسیم کرد تا با مطالعه آن بتوان به درک حداقلی از امر پیچیده رسید؛ غافل از آن‌که درک حداقلی از امر پیچیده نمی‌تواند واجد تناسب لازم با ماهیت و محتوای آن باشد و

۱ - ۱ - اقتصاد ماهیتی پیچیده دارد: اقتصاد هم مثل بسیاری پدیده‌ها و علوم دیگر از جمله جامعه‌شناسی و زیست‌شناسی، یک سیستم پیچیده است و درست، همان الگوی تکاملی که نظم و پیچیدگی زیست‌کره را دیکته می‌کند، پیچیدگی اکوسیستم اقتصادی را نیز هدایت می‌کند (Auyang, 1999) (Beinhocker, 2006) (Mitchell, 2009) (Avi, 2017). یک سیستم پیچیده، مجموعه‌ای است از انبوه بخش‌ها یا اجزایی که بر هم اثر گذاشته و در نتیجه برهم‌کنش‌های جزئی این بخش‌ها، رفتارهای قابل‌ملاحظه‌ای شکل می‌گیرد (Beinhocker, 2006). در سیستم‌های پیچیده، ظاهراً نباید به دنبال کشف راه‌حل‌های مشخص و متقن برای چالش‌ها و ابهام‌ها بود چون اعتقاد بر این است که در چنین مواردی اصلاً راه‌حلی وجود ندارد و هرچه هست، نوعی داد-و-ستد یا به عبارتی "بده-بستان" میان اجزاء سازنده سیستم است (Sowell, 2018). گرچه همواره می‌توان اجزایی از یک سیستم پیچیده را جدا کرد و به‌تنهایی و در شرایط

¹ Complex Systems
Trade-off

توسعه چنین مدلی از اقتصاد تعادلی و ساده‌شده والراسی می‌تواند به دلیل آن باشد که بشر عموماً بر این باور بوده، و اکنون نیز هست، که منابع طبیعی نامحدودند و رشد اقتصادی و رفاه بشری می‌تواند بدون توجه به پیامدهای فعالیت‌های اقتصادی بشر بر زیست‌کره، همواره رو به رشد باقی بماند؛ و لذا موضوع "طبیعت" هیچگاه به‌عنوان مولفه‌ای قابل ملاحظه و اثرگذار بر رشد، در فرضیات و مدل‌های اقتصادی وارد نشده است (Chami et al., 2022). گرچه در دهه‌های ۶۰ و ۷۰ قرن بیستم، تلاش‌هایی از سوی اقتصاددانانی مثل ژرژسکو-روگن در این زمینه صورت گرفت و هشدارهایی نیز، درخصوص عواقب مدل‌سازی‌های اقتصادی فاقد مولفه "طبیعت" داده شد، اما به‌نظر می‌رسد چنان تلاش‌هایی در آن زمان، ساختارشکنانه تلقی می‌شد و البته، جلوتر از رویه‌های زمان خود نیز بوده است (Gowdy and Mesner, 1998).

اکنون در قرن بیست‌ویکم، ضرورت توجه به مولفه‌های جدید، که "طبیعت و محیط‌زیست" یکی از مهم‌ترین آنهاست، در رشد و توسعه اقتصاد جهانی بسیار ملموس است (Raworth, 2017). در واقع، باید پذیرفت که تحقق رشد اقتصادی به قیمت استثمار و نابودی طبیعت، نمی‌تواند فرایندی پایدار باشد. باور رایج در اقتصاد که معتقد است "طبیعت" و منابع طبیعی بخشی از سرمایه اقتصادی است، باید تغییر یابد و به این حقیقت دست یابد که "طبیعت" مکمل سرمایه است و نه بخشی از آن و مهم‌تر آن‌که این سرمایه طبیعی، عامل اصلی محدودکننده رشد اقتصادی است (Chami, et al., 2022). به عقیده لواندوفسکی^۳ و همکاران (۲۰۱۸)، صنعتی‌شدن جوامع نتیجه فرآیندهای فنی و اقتصادی است که بشر را قادر ساخته تا به استثمار و استحصال منابع طبیعی (فسیلی) دست یازد و همین هم، باعث گذار از جامعه کشاورزی به جامعه صنعتی شد. با این حال، استفاده بی‌حدوحصر از آن پیامدهای مخربی برای محیط‌زیست به‌همراه داشته است؛ چراکه منابع فسیلی حاصل از زیست‌توده^۴ که از طریق فرآیندهای زمین‌شناختی در طی چندین میلیون تا میلیارد سال پیش حاصل شده‌اند، محتوای کربن بالایی دارند و با سوختن هر تن نفت فسیلی یا زغال سنگ و تبدیل آن به انرژی، حدود ۰/۸ تن کربن اکسید

در نتیجه سبب فهم نادرست آن می‌گردد، که به نوبه خود، موجب برانگیختن کنش‌های نامناسب یا اتخاذ رویه نامناسب در برخورد با امر پیچیده می‌شود.

مثال شاخص چنین رویکردی را در حوزه‌های مختلف از جمله در اقتصاد می‌توان یافت. بسیاری بر این باورند که اقتصاد برای مدل‌سازی دقیق بسیار پیچیده است، بنابراین برای دستیابی به یک بینش اقتصادی، مطلوب‌تر آن می‌دانند که به یک مدل ساده‌شده و حداقلی اکتفا کنند؛ مثل مدل تعادلی والراس^۱ (Beinhocker, 2006). به باور آن‌ها، همین فرضیات و مدل‌های ساده‌شده قادرند چیزهای زیادی در مورد اقتصاد به ما بیاموزند؛ حال آن‌که تجربه‌های یکصد سال اخیر در فرضیه‌پردازی‌ها و مدل‌های اقتصادی نشان می‌دهد که چنین باوری اساساً فاقد وجهت علمی بوده و با برون‌دادهای عینی هم فاصله بسیاری دارد (Sowell, 2018)؛ به‌ویژه از زمان بحران مالی سال ۲۰۰۸، تشکیک‌های جدی در صحت برخی مفروضات اساسی علم اقتصاد به‌وجود آمده است (Arthur, 2014) (Nielsen, 2014). ماحصل اتخاذ چنین رویکردی در طول قرن بیستم به یک حوزه پیچیده مثل اقتصاد، وقوع عوارض بزرگ جهانی و رخدادهای بی‌سابقه در اکوسیستم پیچیده حیات بوده است؛ مثل وقوع تغییرات اقلیمی (Chami et al., 2022).



شکل ۱- یک طرح هنری برای نمایش تبدیل پیچیدگی به سادگی. این طرح از پوستر *turning complexity to clarity* که توسط Bilal Al Mashta برای آژانس ارتباطات "W" در سوئد طراحی شده، الهام گرفته شده و بازطراحی شده است (برگرفته از <https://in.pinterest.com/pin/52706258115843476>).

¹ Walras
² Biosphere
³ Lewandowski
⁴ Biomass

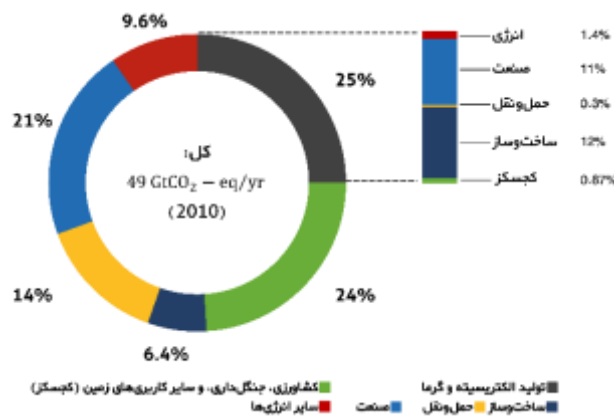
در این میان، اعتقاد بر این است که تکیه بر پیشرفت‌های حاصله در علم زیست‌شناسی می‌تواند چنین نیازی را پاسخ گوید و علاوه بر تامین نیازهای شناخته شده کنونی، منابع جدید و راه‌حل‌های نوینی را برای پاسخگویی به نیازهای آتی و عموماً ناشناخته بشر نیز، فراهم آورد (Chui, et al., 2020).

۱-۲- بنیاد نهادن اقتصاد بر بستر زیست‌شناسی

نیکلاس ژرژسکو-روگن^۳ یکی از این معدود اقتصاددانانی بود که به مدد دانش بسیط در ریاضی، آمار و اقتصاد، نظریه جدیدی در پاسخ به کمبودهای اقتصاد سنتی طرح کرد که مبتنی بر فرضیه تکامل داروینی و قانون آنتروپی بود و اکنون از آن به‌عنوان سنگ‌بنای اقتصاد زیستی یاد می‌شود (Gowdy and Mesner, 1998). ژرژسکو-روگن به‌دلیل به‌کارگیری قانون آنتروپی، یا قانون دوم ترمودینامیک که استعاره‌ای است برای فعالیت اقتصادی، شهرت یافته است. او قانون آنتروپی را "اقتصادی‌ترین ماهیت در بین تمام قوانین طبیعی" و "ریشه‌های اقتصادی" توصیف می‌کند. او اقتصاد مبتنی بر آنتروپی که می‌تواند از ویژگی‌هایی مثل برگشت‌ناپذیری، نامعین بودن، و کمپایی واقعی برخوردار باشد را در تضاد شدید با مدل خطی و مکانیکی فرآیند اقتصادی می‌داند و تصویری کاملاً متفاوت از اقتصاد ارائه می‌دهد که نسبت به نمودار مرسوم در اقتصاد که در آن هیچ تأثیری بر سیستم‌های خارجی یا منابع دیده نمی‌شود، متفاوت است.

می‌شود و ۳ تن دی‌اکسیدکربن (CO_2) در جو آزاد می‌شود. غلظت اتمسفری گازهای گلخانه‌ای اصلی، یعنی دی‌اکسیدکربن (CO_2)، متان (CH_4) و اکسید نیتروژن (N_2O) از سال ۱۷۵۰ به ترتیب ۴۰٪، ۱۵۰٪ و ۲۰٪ افزایش یافته است که عمدتاً ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی، جنگل‌زدایی و انتشار گازهای گلخانه‌ای خاک‌زاد است. به‌عبارت دیگر، نزدیک به ۵۰٪ کربن آزاد شده در جو، محصول فرایندهای اقتصادی ناکارآمد در تولید انرژی (شامل الکتریسیته و گرما) و غذاست (Lewandowski, et al., 2018) (علوی و حبیبی رضایی، ۱۴۰۰) (شکل ۲).

لاجرم، پارادایم اقتصادی موجود که عموماً بر مدل خطی "برداشت، تولید، مصرف و اسراف" بنا نهاده شده است، به یک بازنگری اساسی نیاز دارد. به‌جای این‌که اقتصاد، یک سیستم مکانیکی در حال تعادل فرض شود، باید آن را یک اکوسیستم متشکل از کنش‌ها، استراتژی‌ها و باورهایی بدانیم که برای بقا رقابت می‌کنند. نتیجه همه این‌ها، می‌تواند رویکردی باشد که مسائل اقتصادی را درون سیستمی واقع‌بینانه، پویا و در حال تغییر، ارگانیک و همیشه در حال تکامل نظاره می‌کند (Beinhocker, 2006). در این پارادایم نوین، علاوه بر تکیه بر راه‌حل‌های طبیعت-محور، باید با اتخاذ دیگر راهکارهای نوین بتوان تغییرات قابل توجهی در زنجیره‌های تامین مرسوم ایجاد نمود و مولفه‌های رشد اقتصادی را بهبود بخشید.



شکل ۲- کل انتشار گازهای گلخانه‌ای انسانی (گیگاتن معادل CO_2 در سال، $\text{GtCO}_2\text{-eq/year}$) از بخش‌های اقتصادی در سال ۲۰۱۰. بخش انرژی و کشاورزی روی هم رفته، نزدیک به ۵۰٪ از تولید گازهای گلخانه‌ای را برعهده دارند (برگرفته و بازطراحی شده از Lewandowski, et al., 2018)

¹ Take, Make, Use and Lose
² Nature-based Solutions (NBS)
³ Nicholas Georgescu-Roegen

تنظیم آفات، گرده افشانی، تنظیم تهدیدهای طبیعی، و خدمات فرهنگی (از جمله ارزش‌های معنوی، مذهبی و زیبایی‌شناختی، تفریح و اکوتوریسم). در این میان، یک دسته سه‌تایی از خدمات اکوسیستم وجود دارد که در حال حاضر بیشترین توجهات را در سراسر جهان به خود معطوف کرده و پیش‌بینی می‌شود تقاضا برای این خدمات به طور خاص با گذشت زمان به رشد خود ادامه دهد؛ این خدمات عبارت‌اند از کاهش تغییرات اقلیمی، خدمات آبخیزداری و حفاظت از تنوع زیستی (Ecosystem_service, 2021) (Mengist, et al., 2022).

بر اساس یک تحقیق مهم که در سال ۱۹۹۷ در مجله نیچر به‌چاپ رسید، ارزش سالانه مزایای زیست‌محیطی جهانی در آن زمان، بالغ بر ۳۳ تریلیون دلار تخمین زده شد؛ برآوردی که تقریباً دو برابر تولید ناخالص جهانی در همان زمان بوده است (Costanza, et al., 1997). در سال ۲۰۱۴، نویسنده این تحقیق (رابرت کوستانزا^۱) و همکاران، این ارزیابی را مجدداً انجام دادند و ارزش کلی خدمات اکوسیستم جهانی را بین ۱۲۵ تا ۱۴۵ تریلیون دلار در سال برآورد کردند که چیزی نزدیک به دو برابر تولید ناخالص جهان در همان سال بوده است (Costanza, 2014)؛ البته ناگفته پیداست که ارزش واقعی اکوسیستم طبیعی و تنوع زیستی موجود در آن، غیرقابل محاسبه و برآورد است. طبق برآوردهای کوستانزا، خسارت سالانه وارده به خدمات اکوسیستم به دلیل تغییر کاربری زمین، معادل ۲۰/۲-۴/۳ تریلیون دلار می‌باشد (Ecosystem_service, 2021).

این همه تغییرات و خسارت‌ها که بر اکوسیستم طبیعی زمین وارد شده ناشی از مطلوبیت‌خواهی و منفعت‌طلبی انسان است (Raworth, 2017)؛ یعنی همان نکته‌ای که در نظریات اقتصاددانان سنتی مثل جک تورگو و جرمی بنتهام به وضوح خودنمایی می‌کند (Beinhocker, 2006). این مطلوبیت‌طلبی و گسترش بهره‌برداری بی‌حد و حصر از طبیعت به مدد ابزار و آلاتی صورت می‌گیرد که مبتنی بر دانش بشری ابداع شده و روانه بازارهای تجاری گردیده است. ژرژسکو-روگن با وام‌گرفتن از آلفرد لوتکای^۲ زیست‌شناس، اصطلاح "اندام‌های برون-تنی"^۳ را برای اشاره به تنوع به‌ظاهر

در دهه ۱۹۷۰، ژرژسکو-روگن واژه "اقتصاد زیستی" را برای توصیف رویکردی جدید در علم اقتصاد، وارد ادبیات اقتصادی کرد و اظهار داشت: "این اصطلاح به این منظور است که ما منشأ زیستی فرآیند اقتصادی را به‌طور مستمر در ذهن داشته باشیم و در نتیجه، مشکل موجودیت بشر را در مواجهه با اندوخته محدودی از منابع در دسترس که به‌طور نامتوازن توزیع شده و به‌طور نابرابر تصاحب شده‌اند، مورد توجه قرار دهیم". با تغییر نگرش به اقتصاد زیستی، او عملاً دو مولفه محیط‌زیست و جامعه، که از فعالیت‌های اقتصادی انسان تاثیر می‌پذیرند، را به قلمرو اقتصاد وارد کرد (Gowdy and Mesner, 1998) (Raworth, 2017).

اکنون، به‌وضوح اثبات گردیده که محیط‌زیست و اکوسیستم نه تنها خود، یک دارایی غیرقابل-ارزش‌گذاری برای بشر به‌شمار می‌رود (Raworth, 2017) بلکه، اقتصاد نفت-پایه نیز به عاملی برای تخریب و خسارت وارد کردن به این دارایی ارزشمند و بی‌بدیل تبدیل شده است. نه تنها انسان، که همه دیگر ارگانیسم‌های زنده مدیون خدمات اکوسیستم^۴ هستند (Dietz, et al., 2022) (Mengist, et al., 2022). مراد از خدمات اکوسیستم، آن دسته از موایبی هستند که مستقیماً توسط اکوسیستم در دسترس انسان قرار می‌گیرد و تمام جنبه‌های رفاه بشر اعم از فیزیکی، اجتماعی و اقتصادی را فراهم می‌سازند. از آن جمله می‌توان به پالایش هوا و آب توسط گیاهان اشاره کرد؛ تجزیه زباله توسط میکروب‌ها، گرده‌افشانی گل‌ها توسط زنبورها و جلوگیری از فرسایش خاک توسط ریشه درختان نیز، از دیگر مثال‌ها می‌باشند (Mengist, et al., 2020). بنا بر گزارش "ارزیابی اکوسیستم هزاره"^۵ سازمان ملل در سال ۲۰۰۵، تاکنون بیست و چهار سرویس خاص اکوسیستم شناسایی و ارزیابی شده‌اند. این خدمات اکوسیستمی در چند دسته طبقه‌بندی می‌شوند که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: تولید مواد غذایی (در قالب گیاهان زراعی، دام، شیلات، آبی‌پروری و غذاهای وحشی)، فیبر (به شکل الوار، پنبه، کنف و ابریشم)، منابع ژنتیکی (زیست‌شیمی-کالاها^۶، داروهای طبیعی)، آب شیرین، تنظیم کیفیت هوا، تنظیم اقلیم، تنظیم چرخه آب، تنظیم فرسایش، تصفیه آب و تصفیه پسماند، تنظیم بیماری،

¹ Bioeconomics

² Ecosystem Services

³ Millennium Ecosystem Assessment

⁴ Biochemicals

⁵ Costanza, Robert

⁶ Alfred James Lotka

⁷ Exosomatic organs

تضاد و تقابل رخ دهد. وی نتیجه نهایی اقتصاد سنتی را چیزی نمی‌داند جز برجای گذاشتن آلودگی در جهان (Georgescu-Roegen, 1971). به گفته ژرژسکو-روگن، پایداری هر خرده سیستمی باید بر اساس پایداری کل سیستمی که آن را در بر می‌گیرد قضاوت شود، نه فقط بخشی از آن؛ و از این روی، او پایداری زیست-کره به مثابه یک سیستم پیچیده و پویا، را منوط به اصل پایداری هر جزء آن می‌داند که اقتصاد نیز، یکی از این اجزاء به شمار می‌رود. ژرژسکو-روگن می‌نویسد: شاید زمین بتواند حتی چهل و پنج میلیارد انسان را پشتیبانی کند، اما مطمئناً نه تا بی‌نهایت. بنابراین باید پرسیم که "زمین تا کی می‌تواند جمعیتی بالغ بر چهل و پنج میلیارد نفر را پشتیبانی کند؟" و اگر جواب مثلاً هزار سال است، باز هم باید پرسیم که "پس از آن چه خواهد شد؟" (Gowdy and Mesner, 1998).

بنابراین، اگر قرار باشد بدیل زیستی این اقتصاد آلوده‌کننده نفت-پایه کنونی ظهور کند، که مطابق نظریه سولو و اصلاحات بعدی رومر، وابسته به دانش و فناوری است (Beinhocker, 2006)، باید بتوان بجای تولید زباله و آلودگی یا حداقل در کنار تولید زباله زیست-تخریب‌پذیر، به فرآیندهای چرخشی رسید که هر محصول نهایی می‌تواند در چرخه تولید مجدد وارد شده و به مصرف برسد. چویی و همکاران (۲۰۲۰) بر این باورند که این بدیل بی‌رقیب بر بستر زیست‌شناسی استوار گشته و رخدادی را پیش‌بینی می‌کنند که از آن به "انقلاب زیستی" یاد می‌کنند.

۲- مبانی نظری

۲-۱- فهم زیستی: نگاهی کل‌نگر به اقتصاد زیستی

چنان‌که پیشتر مورد اشاره قرار گرفت، اقتصاد درهم‌تنیدگی عمیقی با اجتماع و محیط‌زیست دارد (Raworth, 2017) و همین نگاه جامع، منجر به طرح ایده اقتصاد زیستی شده است (Georgescu-Roegen, 1971) (Gowdy and Mesner, 1998). از سوی دیگر، اگر بخواهیم درک مبسوط و دقیقی از اقتصاد زیستی به‌عنوان یک علم منطق-پایه مبتنی بر ارزش‌های سیستمیک، و با مفهوم و کارکردی که امروز از آن انتظار می‌رود به‌دست آوریم، نمی‌توانیم آن را منفک و

بی‌پایان این همه "آلات جداشونده" (از جمله وسایل متنوع حمل‌ونقل، چاقو و حتی ساختارهای اجتماعی مثل باشگاه‌های تفریحی و شرکت‌ها) که انسان برای گسترش دامنه و حوزه فعالیت خود اختراع کرده، به ادبیات اقتصادی افزود. او بسیاری از آشفته‌گی‌های کنونی را که در آن گرفتار آمده‌ایم، مثل ویرانی گسترده زیست‌محیطی و "نابرابری‌های خسارت‌بار" را به سیر تکامل برون‌تنی انسان نسبت می‌دهد. ژرژسکو-روگن معتقد است که پیشینه دور-دراز بشر در استفاده از این اندام‌های برون-تنی باعث ایجاد "اعتیاد" او به راحتی و لذت شده (تعبری که آلدوس هاکسلی^۱ نیز در رمان معروفش "دنیای قشنگ نو" به آن اشاره‌ای عمیق دارد) و با اشتیاقی وسواس‌گونه همواره به دنبال "چیزهای" بیشتر و بهتر است؛ این همان هدف غایی در اقتصاد سنتی و عامل تعادل‌بخشی به اقتصاد والرایی است یعنی رسیدن به مطلوبیت و رضایت؛ حال آن‌که جهان با محدودیت انرژی و ماده در دسترس برای تولید این حجم عظیم و پایان‌ناپذیر اندام‌های برون-تنی مواجه است (Gowdy and Mesner, 1998).

نکته اصلی نظریه ژرژسکو-روگن این است که فرآیند اقتصادی، برخلاف نگاه سنتی اقتصاد که آن را یک آنالوگ مکانیکی فرض می‌کند، یک فرآیند آنتروپیک است که نتیجه مستقیم و نهایی آن، به طبیعت و محیط‌زیست برمی‌گردد (Georgescu-Roegen, 1971). متأسفانه، برخلاف تحسین و تمجیدهای به‌عمل آمده از نظریه مقدماتی او در باب "مصرف‌کننده و تولید"، نظریه متاخر او در باب "اقتصاد زیستی"، که به‌شدت از اقتصاد نئوکلاسیک انتقاد می‌کند، مورد بی‌مهری و بی‌توجهی اقتصاددانان و مجامع اقتصادی قرار گرفت. آن دسته از اقتصاددانانی که نسبت به کارهای متاخر وی دلسوز هستند، معمولاً بر این باورند که او "نور را دیده بود". محوریت اشتغالات ذهنی و فکری ژرژسکو-روگن حول مسئله "ارزش‌گذاری" می‌چرخید و او را به این باور رسانده بود که انتخاب‌های گونه ما در مورد استفاده از منابع و توزیع دستاوردهای اقتصادی به چارچوب ارزش‌گذاری ما بستگی دارد. این موضوع، سبب می‌شود تا میان ارزش‌گذاری لذت‌گرایانه (منفعت‌طلبانه) شخصی، که از باورهای بنیادین اقتصاد نئوکلاسیک به‌شمار می‌رود، و ارزش‌گذاری اجتماعی و زیست‌محیطی (Raworth, 2017)

¹ detachable limbs
² Aldous Huxley
³ Brave New World

حیوان-انسان و انسان-وحشی می‌باشد؛ البته در عصر پسا-انسان‌محوری^۵، همین سه‌گانه می‌تواند در مرزبندی میان بدن-فرابدن^۶، زنده-نیمه‌زنده، انسان-ماشین، و حیوان-ماشین نیز به کار رود (Thacker, 2005) (Jagodzinski, 2020). این اصل مرکزی زندگی و مرزهای بیانی آن، باهم، بستری را شکل می‌دهند که مبنای تفکر درباره زندگی و انواع آن، محسوب می‌شود (Thacker, 2005).



شکل ۳- سه‌گانه "فلسفه زیستی"، "هنر زیستی" و "منطق زیستی" یا به اختصار "فهم زیستی"، ادراکی است که می‌تواند اساس پیچیدگی موضوعات زیستی را با رویکردی فلسفی توضیح دهد و با یاری گرفتن از هنر زیستی، از دل این پیچیدگی‌ها راهی برای کشف و ابراز اسرار حیاتی بگشاید؛ رمزگشایی از این اسرار تنها به زبان ریاضی امکان‌پذیر گشته که همچون سایر زمینه‌های علمی مثل شیمی و فیزیک، جهان ناملموس و رازآلود زیستی را به دنیایی ملموس بدل ساخته و منجر به خلق و پیدایش بسیاری از فرآورده‌ها و خدمات مورد نیاز انسان شده است (مفهوم‌سازی و طراحی توسط نویسنده صورت گرفته است).

۲-۱-۲- هنر زیستی

در سه‌گانه روح-گوشت-الگو، وجهی که با ویژگی‌های عصر ما، یعنی عصر شبکه‌ها و پیچیدگی‌ها، بیشتر در تناسب می‌باشد، وجه "الگویی" آن است (Thacker, 2005). به نظر می‌رسد اکنون انسان به قابلیت‌هایی دست یافته که می‌تواند رمز نهفته در الگوهای زیستی را به کمک الگوریتم‌های ریاضی بگشاید، آن‌ها را به داده‌های قابل استفاده درآورد و به مقیاس کشد؛ حاصل چنین قابلیت شگرفی، قدرت یافتن بر اموری است که تا پیش از این ناممکن بوده‌اند، مثل خلق اندام‌های برون-تنی کاملاً جدید مبتنی بر الگوهای زیستی و

مجزا از سایر مبانی زیستی یعنی "فلسفه زیستی" و "هنر زیستی" بررسی کنیم. این هر سه با هم، درک جدیدی به دست می‌دهند که ما از آن به عنوان "فهم زیستی"^۳ تعبیر می‌کنیم. بنابراین، فهم زیستی مورد نظر ما در این مقاله، مبتنی است بر سه پایه فلسفه زیستی، هنر زیستی و منطق زیستی^۴ که مجموعاً، سه‌گانه‌ای را شکل می‌دهند که ریشه در تغییر نگرش و جهان‌بینی نسبت به علم زیست‌شناسی داشته، غنا و قوتش را از هنر و طراحی خلاقانه وام می‌گیرد و ثمره‌اش که عبارت است از بسیاری فرآورده‌ها و خدمات نوین و پایدار، بر الگوهای منطقی ریاضی استوار است که منطق بسیاری از دیگر الگوهای غیرزیستی یا دیجیتالی نیز می‌باشد (هراری، ۲۰۱۸) (شکل ۳)؛ امری که نهایتاً به همجوشی دنیای اطلاعات و جهان زیست‌شناسی منجر شده و پدیدآورنده انقلاب زیستی است (Chui, et al., 2020).

۲-۱-۱- فلسفه زیستی

تا کره (۲۰۰۵) در مقاله‌ای تحت عنوان "فلسفه زیستی برای قرن ۲۱" به طور مفصل به شرح سه‌گانه‌ای می‌پردازد که از آن به روح-گوشت-الگو یاد می‌کند. از دید وی، روح همان روان یا اصل سازماندهی حیات است که در شکل یا هیات گیاه، حیوان و انسان ظهور می‌یابد و حیات جان‌دار، پویایی و سرزندگی را از آن می‌گیرد؛ بدون روان، حیات زنده معنایی ندارد. گوشت، ماده خام است؛ مکانیسمی فاقد تفکر؛ ارگانیک‌سی که به گفته دکارت همان ماشین بدون شعور است. متمایز از این دو، الگو است که به نظر می‌رسد پدیده‌ایست این-زمانی و پسا-مدرن، و بستریست برای سایبرنتیک، فرضیه اطلاعات و خودسازماندهی. موضوع سازماندهی از آن جهت مهم است که در میان فلاسفه و به خصوص ارسطو، از آن به وجه متمایزکننده گیاه، حیوان و انسان یاد می‌شود؛ به عبارت روشن‌تر، ارسطو معتقد بوده است که گیاه، حیوان و انسان گرچه در ذات مادی و عناصر تشکیل‌دهنده، یگانه و مشابهند اما، در نحوه سازماندهی متفاوتند و همین هم سبب تمایز آن‌ها از هم می‌شود. لذا در سه‌گانه روح-گوشت-الگو، نوعی مرزبندی نهفته است که تبیین‌گر موجودیت‌های زنده-غیرزنده، آلی-غیرآلی، جاندار-بی‌جان،

¹ BioPhylosophy

² BioArt

⁴ BioLogic

⁵ Eugène Thacker

⁶ Soul, Meat, Pattern

⁷ Post-Antropocentric

⁸ Extended body

^۳ فهم زیستی عبارتی است برآمده از حروف ابتدایی کلمات "فلسفه"، "هنر" و "منطق" زیستی. این عبارت از هیچ منبع علمی اقتباس نشده است.

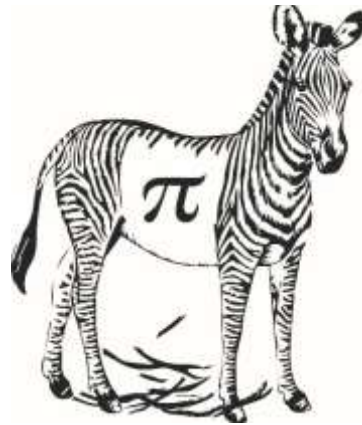
اختیار به‌طور کل از دست انسان خارج گردیده و داده‌ها بر زمین مسلط خواهند شد.

بروکس اظهار می‌دارد "در دنیایی که پیچیدگی آن در حال افزایش است، اتکا به داده‌ها می‌تواند تعصبات شناختی را کاهش دهد و الگوهایی را روشن سازد که ما هنوز متوجه‌شان نشده‌ایم" (Brooks, 2013). داده‌گرایی^۳ یا کیش اطلاعات یک گرایش ایدئولوژیک نوین است که بر فلسفه "ارزش داده و اطلاعات" بنا نهاده شده است. این گرایش به اصطلاح ایدئولوژیک، بر این باور است که آزادسازی جریان داده‌ها، ارزش والای جهان هستی است که می‌تواند کلید نوزایی علم باشد (هراری، ۲۰۱۵).

هراری (۲۰۱۸) معتقد است که تلفیق میان زیست‌شناسی و علوم رایانه سرآغاز سلسله تحولاتی است که می‌تواند به ظهور نظریه فراگیر واحد بیانجامد؛ به عقیده وی، زیست‌شناسی توانسته موجودات زنده و ساختارهای حیات را به شکل الگوواره‌های^۴ یکسان (متشکل از واحدهای ساختاری DNA و پروتئین) تبیین کند که یاگودزینسکی^۵ از آن‌ها به‌عنوان نم-افزار^۶ یاد می‌کند (Jagodzinski, 2020). از سوی دیگر، علوم رایانه هم پایه الگوواره‌های الکترونیکی و اطلاعاتی، شامل نرم-افزارها^۷ و خشک-افزارها^۸ (هوش مصنوعی) را فراهم ساخته است. این همه، در ترکیب با سخت-افزارها^۹ قادرند تا اشکال و هیات‌های بسیار جدیدی را خلق کنند که تاکنون بی‌سابقه بوده است (شکل ۵). هراری (۲۰۱۸) همچنین، معتقد است که پایه این هر دو نوع از الگوواره‌های زیستی و الکترونیکی، در ریاضیات نهفته شده و از این حیث، الگوواره‌های الکترونیکی به راحتی به فتح الگوواره‌های زیستی نایل خواهند آمد و بدین ترتیب، ماهیت مشترکی از الگوواره‌ها ظهور و بروز خواهد یافت که عملاً، مرز میان موجود زنده و غیرزنده، انسان و ماشین، و حتی محسوس و نامحسوس را در هم خواهد شکست (Stamato, et al., 2022) (هراری، ۲۰۱۸). ما امروز، ردپای "الگوها" را در علوم زیستی (ژنتیک و ژنومیکس)، سلامت (صنعت

دربدارنده الگوهای خشک دیجیتالی، و پیشگویی و خلق آینده (شکل ۴).

دیوید بروکس^۱ در مقاله‌ای که در فوریه ۲۰۱۳ در نیویورک تایمز منتشر گردید، اظهار می‌دارد که: "اگر از من بخواهند فلسفه رو به رشد روز را توصیف کنم، من آن را داده‌گرایی می‌نامم".



شکل ۴- در ادبیات علمی، بیان الگوهای زیستی در قالب فرمول‌های ریاضی دارای پیشینه‌ای ۷۰ ساله است. اولین بار در سال ۱۹۵۲، آلن تورینگ^۲ ریاضی‌دان و پدر علم کامپیوتر، یک مدل ریاضی را پیشنهاد کرد که اصول ساده بیوفیزیکی تشکیل الگو در طول فرایند مورفوژنز (شکل‌زایی) را توصیف می‌کرد. تجزیه و تحلیل ریاضی و شبیه‌سازی‌های کامپیوتری این سیستم به‌ظاهر ساده نشان می‌دهد که مدل تورینگ مجموعه‌ای گیج‌کننده از الگوها، از جمله لکه‌ها و راه-راه‌ها را تولید می‌کند که در پوست حیوانات، علائم رنگدانه‌ای در بافت‌ها، ساختار اندام و ایجاد برآمدگی‌های انگشت-مانند در بافت روده مشاهده می‌شود. این مدل بعدها توسط شواهد تجربی نیز به‌اثبات رسید (Schneil, 2016). به مدد توسعه فناوری اطلاعات و تلفیق آن با زیست‌شناسی، امکان رمزگشایی از الگوهای زیستی مولکولی فراهم گشته و در مجموع، باور جدید و عمیقی به ارزش داده‌ها پدید آورده است. داده‌باوری یا کیش اطلاعات، باور پذیرفته‌شده جدیدی است که همه آثار حیاتی، از جمله انسان، را نوعی واحد پردازش اطلاعات می‌داند. به گفته هراری (۲۰۱۵)، یک داده‌باور باید "از طریق پیوند هرچه بیشتر با وسایل و رسانه‌های انتقال داده و اطلاعات و نیز تولید و مصرف هر چه بیشتر اطلاعات، گردش اطلاعات را به حداکثر برساند". وی معتقد است که نتیجه‌گیری منطقی این فرایند این است که در نهایت انسان به الگوریتم‌ها اجازه دخالت در امور حیاتی و خصوصی‌اش را خواهد بخشید و عنان

¹ David Brooks
² Alan Turing
³ Dataism
⁴ Algorithms
⁵ Jan Jagodzinski
⁶ Wetwares
⁷ Softwares
⁸ Drywares
⁹ Hardwares

^{۱۱} ژنومیکس عبارت است از مطالعه ژن‌ها و عملکرد آن‌ها و نیز، روش‌های مرتبط به آن‌ها. ژنوم از محتوای کامل ژنتیکی یک موجود زنده، یعنی DNA آن، تشکیل شده است.

زیست‌فناوری)، فناوری (زندگی مصنوعی، هوش مصنوعی، شبکه‌ها)، جنگ (ترور-زیستی، اپیدمی‌های در حال ظهور) و حتی دیدگاه‌های علمی نوین (پیچیدگی زیستی) می‌بینیم (Thacker, 2005). بنابراین، کشف الگوهای زیستی، مرحله جدیدی در انقلاب شناختی بشر محسوب می‌شود و شاید خود، انقلابی بس بزرگتر از انقلاب شناختی در ۷۵,۰۰۰ سال قبل باشد که منجر به تسلط انسان خردمند (*Homo sapiens*) بر کره زمین شد و عصر انسان‌محوری یا آنتروپوسن را پدید آورد (هراری، ۲۰۱۸) (شکل ۵).

زیست‌فناوری)، فناوری (زندگی مصنوعی، هوش مصنوعی، شبکه‌ها)، جنگ (ترور-زیستی، اپیدمی‌های در حال ظهور) و حتی دیدگاه‌های علمی نوین (پیچیدگی زیستی) می‌بینیم (Thacker, 2005). بنابراین، کشف الگوهای زیستی، مرحله جدیدی در انقلاب شناختی بشر محسوب می‌شود و شاید خود، انقلابی بس بزرگتر از انقلاب شناختی در ۷۵,۰۰۰ سال قبل باشد که منجر به تسلط انسان خردمند (*Homo sapiens*) بر کره زمین شد و عصر انسان‌محوری یا آنتروپوسن را پدید آورد (هراری، ۲۰۱۸) (شکل ۵).



اگر در موج اول شناختی، قدرت ارتباط بین الذهانی انسان‌های خردمند سبب تسلط آن‌ها بر زمین و توسعه ساختارهای اجتماعی و اقتصادی متنوع گردید، این بار قدرت الگوواره‌ها و شکل‌گیری شبکه‌ای عظیم از بی‌نهایت الگوواره مختلف زیستی و غیرزیستی بر حیات بشر مسلط خواهد شد. بر این اساس، می‌توان ادعان داشت که همه چیز، از هنر و ادبیات گرفته تا اقتصاد و زیست‌شناسی، بر پایه ریاضیات استوار گردیده و با این زبان مشترک، می‌توان میان حیطه‌های مختلف علمی سیر کرد و یکی را به دیگری تبدیل کرد.

از دیدگاه داده‌گرایی، غزل حافظ، آمیب، مخمر ساکارومایسس سرویزه و حتی انسان، صرفاً نمونه‌های متفاوتی از جریان اطلاعات اند که می‌توان همه آن‌ها را بر مبنای مشترکی تحلیل کرد (شکل ۶). به عبارت دیگر، در این حیطه جدید، زیست‌شناسی هنر است و هنر نیز می‌تواند قامت زیستی به خود گیرد؛ کما این‌که رابطه زیست‌شناسی با اقتصاد نیز، بر پایه همین اشتراک الگوواره‌ای به کلی دگرگون شده و اقتصاد زیستی را پدید آورده است. با این اوصاف، اکنون امکانی فراهم گشته تا هر نوعی از اطلاعات را بر اساس این زبان مشترک ترجمه کرد و آن را در قالبی متفاوت عرضه کرد. هنر زیستی و رابط‌های مغز-ماشین^۲ دو نمونه عینی و تجربی از این تحول جریان داده محسوب می‌شوند که از یک منطق ریاضی پیروی می‌کنند.

۲-۱-۳- منطق زیستی

شاید بتوانیم تلفیقی میان تقسیم‌بندی یاگودزینسکی (۲۰۲۰) در شکل‌گیری نو ترکیب-گونه‌های جدید حاصل از "خشک-افزارها"، "نم-افزارها"، "نرم-افزارها" و "سخت-افزارها" در حوزه "هنر-زیستی"، با سه‌گانه تاکر در "فلسفه زیستی" برقرار سازیم؛ به عبارت دیگر اگر آن "چیز-

شکل ۵- در عصری که به نظر می‌رسد پس از ۷۵,۰۰۰ سال، تحول شناختی نوینی در اثر هم‌آمیزی زیست‌شناسی و هوش مصنوعی در حال رخدادن است، مرزبندی‌های جدیدی هم در عرصه حیات درحال ظهور و بروز است که می‌تواند تبیین‌گر زنده-غیرزنده، حیوان-ماشین، انسان-حیوان، انسان-وحشی و دیگر انواع باشد. این نمایش‌های جدید و در عین حال غریب، ریشه در تسلط بشر بر درک الگوهای زیستی و تبدیل آن به فرم ریاضی و به‌کارگیری این الگوی ریاضی در ساخت اندام‌های برون‌تنی نوینی است که نه می‌توان آن را زنده نامید و نه غیرزنده. راست: یک حلزون از سلسله جانوران (برگرفته از: <https://www2.lehigh.edu/news/a-superglue-inspired-by-snail-mucus>).

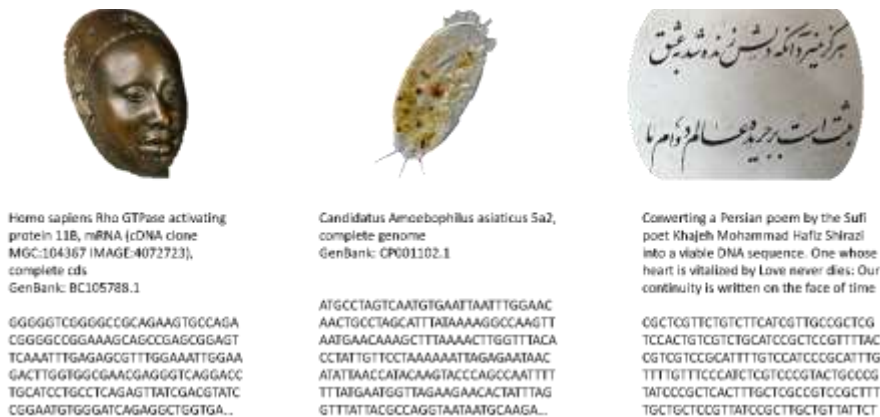
چپ: "نظافتچی" اثر پاتریشیا پیچینی (۲۰۱۹). پیچینی مجسمه‌های انسان‌واره‌ای خلق می‌کند که رابطه بین امر مصنوعی و طبیعی را بررسی می‌کند. او از مجموعه‌ای از مواد از جمله سیلیکن، چرم و موی انسان استفاده می‌کند تا جهان‌های فریبده‌ای خلق کند که در آن علم و اسطوره، تخیل و واقعیت، انسان، ماشین و طبیعت در هم تنیده می‌شوند (برگرفته از: <https://echogonewrong.com/solo-exhibition-by-patricia->

^۱ زیست‌فناوری (Biotechnology) عبارت است از ادغام زیست‌شناسی و مهندسی به منظور دست‌یابی به استفاده از موجودات زنده، سلول‌ها و بخش‌های آن‌ها و نیز آنالوگ‌های مولکولی برای تولید فرآورده‌ها و خدمات مورد نیاز بشر. اصطلاح زیست‌فناوری اولین بار توسط کارولی ارکی (Károlyy Ereky) در سال ۱۹۱۹ استفاده شد و منظور از آن، تولید فرآورده‌ها از مواد خام با کمک موجودات زنده بوده است.

^۲ Bhicompexity
^۳ Anthropocene
^۴ Brain-machin interfaces

بدن^۲ و غیره را ممکن خواهد ساخت (Jagodzinski, 2020) (شکل ۷). دقیقاً در همین نقطه است که آهنگ تکامل برون-تنی^۳ بشر تندتر می‌شود. همچنان که ژرژسکو-روگن در نظریه اقتصاد زیستی بیان داشته بود (Georgescu-Roegen, 1971)، انسان علاوه بر تکامل زیستی، دچار نوعی تکامل برون-تنی هم شده است؛ یعنی تکاملی که در آن اندام‌ها به جای این‌که به صورت تنی^۴ به ارث برسند، در خارج از بدن ساخته می‌شوند و سپس مورد استفاده قرار می‌گیرند.

افزارهای^۵ یا گودزیسکی را در امتداد "جزء الگویی" سه‌گانه تاکر فرض کنیم، خواهیم توانست الگوهای زیستی را به‌عنوان "نم-افزاری" قلمداد کنیم که در تلفیق با "خشک-افزاری" که از آن به‌عنوان الگوواره‌های دیجیتالی یاد می‌کنیم، می‌تواند به شکل‌گیری زیست‌شناسی مصنوعی و خلق بسیار از اندام‌های برون-تنی یا اگزوسوماتیک بیانجامد؛ یعنی یک رابطه هم-تکاملی میان فناوری و درک ماده زنده برقرار می‌سازد که مرز زندگی را به ورای "ماده زنده" کشیده و خلق نوترکیب-گونه‌های جدید^۶ مثل "نیمه-زنده"، "فرا-



شکل ۶- بیان پدیده‌های مختلف بر اساس الگوواره مشترکی به نام DNA. از ویژگی‌های بارز عصر داده‌گرایی آن است که انسان خردمند (*Homo Sapiens*) را قادر ساخته تا همه پدیده‌های حیاتی را برپایه الگوهای اطلاعاتی بنا نهد و از این حیث، قدرت یافته تا عملاً مرز میان موجودات هستی را محو نماید. در این شکل، سه نماد مختلف اعم از محسوس (انسان و آمیب) و نامحسوس (شعری از لسان‌الغیب حافظ شیرازی) بر اساس یک الگوی مشترک یعنی DNA بیان شده‌اند. لذا، چنین ادعا می‌شود که تسلط بشر بر الگوها و داده‌ها او را قادر می‌سازد تا نامحسوس و ناملموس را به محسوس و ملموس تبدیل کند و بر این اساس، دایره قدرت شناختی او در باب پدیده‌های مادی و غیرمادی جهان وسعت خواهد گرفت. چپ: ماسکی از جنس مس متعلق به اوبالوفون^۵ دوم، پادشاه قبیله یوروبا^۶ (قرن چهاردهم میلادی) در نیجریه (برگرفته از https://en.wikipedia.org/wiki/Obalufon_Alalayemore). در پروژه HapMap که با هدف تهیه نقشه هاپلوتایپی ژنوم انسان و توصیف الگوهای رایج تنوع ژنتیکی انسان، در قالب یک کنسرسیوم بین‌المللی صورت پذیرفت، نمونه‌هایی از DNA افراد قبیله یوروبا نیز مورد استفاده قرار گرفته بوده است (برگرفته از https://web.ornl.gov/sci/techresources/Human_Genome/project/index.shtml). توالی بخشی از ژن ARHGAP11B که سبب قابلیت شناختی انسان خردمند شده است، در پایین تصویر نمایش داده شده است (برگرفته از <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/BC105788.1?report=fasta>). وسط: یک آمیب به‌عنوان نمادی از یک موجود تک‌سلولی و بخشی از توالی ژنومی آن. الگوی ساختاری این موجود ساده نیز، مشابه با موجود پیچیده‌ای مثل انسان است که برپایه DNA قابل بیان است (برگرفته از <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nuccore/CP001102.1?from=513&to=1946&report=fasta>). راست: یک بیت شعر از شاعر نامدار ایران، حضرت لسان‌الغیب حافظ شیرازی، که مبین "امر نامحسوس" است. اکنون به‌مدد توسعه فناوری، انسان قادر گشته تا این امر نامحسوس را نیز برپایه الگوی DNA که سازنده حیات زنده است، به امر محسوس بدل سازد (Stamato, et al., 2022).

^۱ نوترکیب-گونه‌های جدید، اشکال نوینی از موجودیت زمینی هستند که در نتیجه همجوشی هوش مصنوعی، زیست‌شناسی و سایر فناوری‌های پیشرفته حادث خواهند شد مثل زنده-نیمه‌زنده، انسان-ماشین و حیوان-ماشین.

^۲ Extended-body
^۳ Exosomatic rhythm of evolution
^۴ Somatic
^۵ Obalufon II
^۶ Yoruba



شکل ۷- منطق زیستی اشاره‌ایست به کاربردهای حاصل از تلفیق الگوهای زیستی با الگوهای ریاضی؛ به عبارت دیگر، بیان ریاضی الگوهای زیستی، امکانات بی‌شماری پدید می‌آورد که به کمک آن می‌توان نوترکیب-گونه‌های جدیدی تولید کرد. این اشکال جدید، دامنه گسترده‌ای را پوشش می‌دهند اعم از مواد و ابزارهای جدید کاملاً زیستی تا رابط‌های زیستی-ماشینی و بافت‌ها و اعضای بدن انسان و حیوان. چنین امکان وسیعی در کنار خدمات نوین گسترده‌ای که به یمن رمزگشایی الگوهای زیستی پدید خواهند آمد، بشر را قادر می‌سازد تا نظام اقتصادی کاملاً جدیدی برپا سازد که بدیل اقتصاد نفتی قلمداد می‌گردد. این نظام اقتصادی نو، اقتصاد زیستی نام دارد (مفهوم‌سازی و طراحی توسط نویسنده صورت گرفته است).

دانش و فناوری در علوم زیستی و زیست فناوری مدرن، که عمدتاً طی قرن بیستم و دو دهه اخیر در قرن بیست و یکم رخ نموده است. انبوهی از نوآوری‌های اخیر، مانند CRISPR-Cas9 برای ویرایش ژن‌ها و پیشرفت‌های حاصله در برنامه‌ریزی مجدد سلول‌ها به کمک سلول‌های بنیادی، سبب شده‌اند تا با درک جدیدی از زیست‌شناسی، راهکارها، مواد و ابزارهای جدیدی برای بهسازی زیست در اختیار گیریم و همچنین، به شیوه‌های کم‌هزینه‌تری برای توسعه پایدار دست یابیم (چیویی و همکاران، ۲۰۲۰).

از سوی دیگر، نوترکیبی میان این پیشرفت‌ها و نوآوری‌ها در علوم زیستی با توسعه شتابان سایر بخش‌های علمی مثل علوم محاسباتی، اتوماسیون و هوش مصنوعی، موج جدیدی از نوآوری‌های ساختار شکن را سبب شده است که می‌تواند پاسخگوی چالش‌های فراگیر جهانی از جمله تغییرات اقلیمی، کاهش تنوع زیستی و تامین امنیت غذایی باشد و تاثیر قابل توجهی بر اقتصاد جوامع انسانی، از سلامت گرفته تا غذا، کشاورزی، انرژی و سایر کالاهای مصرفی، برجای گذارد. این فرآیند همگرایی "از طبیعت به نوآوری" منجر به ظهور فرآورده‌ها و فرآیندهای جدید و پایدار خواهد شد و بدین ترتیب آغازگر تغییر پارادایم‌های اقتصادی، اجتماعی و سیاسی خواهد بود. این نوزایی در علم و فناوری، به یکپارچگی علوم زیستی با علوم داده خواهد انجامید (هراری، ۲۰۱۸) و رنسانسی را پدید خواهد آورد که عنوانی

این تکامل برون-تنی انسان کاملاً مبتنی بر فناوری است و از زمان انقلاب صنعتی شتاب گرفته است. به گفته ژرژسکو-روگن، انسان با در اختیار گرفتن فرایند تکامل برون-تنی، عملاً از تکامل زیستی فراتر رفته است. وی معتقد است که حتی ابداع سایر انواع ابزار برون-تنی مثل نهاد بازار، پول، اعتبار و شرکت‌های مختلف، در پاسخ به همین تکامل تدریجی برون-تنی انسان خردمند (*Homo Sapiens*) پدیدار شده‌اند (Mayumi, 1993). و این‌گونه است که رفته‌رفته مرز میان انسان و نایسان^۱ یا غیرانسان^۲ به زوال می‌گراید و اشکال نوینی از خلقت در زمین پدیدار می‌شود؛ امری که موجبات وقوع انقلاب زیستی^۳ را فراهم ساخته است.

۲-۲- زمان

منتظر هیچ‌کس نمی‌ماند؛ انقلابی در شرف وقوع است

مواجهه جهانی و سپس مقابله موفقیت آمیز زیست‌شناسان و دانشمندان علوم زیستی با همه‌گیری COVID-19، اعلان موجودیتی بود که نشان از ورود زیست‌شناسی و علوم زیستی به مرحله جدیدی از بالندگی و اثرگذاری است. سرعت شگفت‌آوری که در تولید کیت‌های تشخیص سریع ویروس کرونا و نیز انواع متعددی از واکسن‌های سنتی و نسل جدید (بر پایه اسید نوکلئیک) شاهد بودیم - که در هیچ‌یک از ادوار گذشته تاریخی متناظری برای آن نمی‌توان سراغ گرفت - ممکن نگشت مگر به مدد توسعه و انباشت

^۱ نایسان یا inhuman به موجود فاقد ترجم، مهربانی یا شفقت گفته می‌شود (برگرفته از: <https://www.inhuman-merriam-webster.com/dictionary/>). مراد از نایسان سیستم‌ها، شبکه‌ها، رسانه‌ها و فناوری‌های بشر-ساخت است که در برخی حوزه‌ها به جای انسان می‌نشینند.

^۲ غیرانسان یا nonhuman به هر موجودی غیر از موجود انسانی اطلاق می‌شود (برگرفته از: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/nonhuman>).

^۳ Biorevolution

^۴ کریسپر-کس۹. تناوب‌های کوتاه پالیندرومی فاصله‌دار منظم خوشه‌ای و پروتئین ۹ مرتبط با CRISPR. این ابزار از یک قطعه کوچک RNA با یک توالی کوتاه "راهنما" استفاده می‌کند که به دنباله‌ای هدف از DNA و به آنزیم Cas9 متصل می‌شود. آنزیم Cas9، توالی DNA هدف را در محل مورد نظر برش می‌دهد و بدین ترتیب، امکان افزودن یا حذف مواد ژنتیکی را فراهم می‌کند.

قابلیت‌های نوینی در ساخت رابط‌های زیستی-رایانه‌ای در حال رشد است که بطور مثال قادر خواهند بود عملکرد حسی مغز را به آن بازگردانند یا از DNA برای ذخیره‌سازی داده‌ها استفاده کنند.

۳-۳- تأثیرگذاری مستقیم و غیرمستقیم بالقوه قابل توجه

تا ۶۰ درصد از نهاده‌های فیزیکی اقتصاد جهانی می‌تواند به صورت زیستی تولید شود -حدود یک سوم این نهاده‌ها، مواد زیستی مثل چوب یا حیواناتی هستند که به‌عنوان غذا پرورش داده می‌شوند، و دو سوم باقی‌مانده، غیرزیستی هستند، مثل پلاستیک یا سوخت، که به‌طور بالقوه می‌تواند با استفاده از علوم زیستی و زیست‌شناسی تولید یا جایگزین شود. بنابراین، ممکن است نوآوری‌های زیستی تا ۶۰ درصد از نهاده‌های فیزیکی را تحت تأثیر قرار دهند. اگرچه تا دستیابی به پتانسیل کامل آن فاصله زیادی پیش رو داریم اما حتی اندک پیشرفت‌ها در این زمینه هم، می‌تواند اقتصاد، جوامع و زندگی ما، از جمله آنچه می‌خوریم و می‌پوشیم، داروهایی که مصرف می‌کنیم، سوخت‌هایی که استفاده می‌کنیم، و نحوه ساخت دنیای فیزیکی مان را متحول کند. در سلامت انسان، حداقل ۴۵ درصد از بار بیماری‌کنونی جهان را می‌توان با استفاده از علمی که امروزه قابل تصور است، برطرف کرد.

۳-۴- امکان پذیر شدن یک خط-سیر مشخص از کاربردها

در این دورنمای کاربردها، حدود ۴۰۰ مورد-کاربردی، عمدتاً در حوزه‌های سلامت و عملکرد انسان، کشاورزی، آبی‌پروری و غذا، فرآورده‌ها و خدمات مصرف‌کننده، مواد، شیمی-کالاها و انرژی، را می‌توان بر شمرده که تقریباً تولید زیستی همه آن‌ها از نظر علمی امکان پذیر است. این موارد، که بیش از نیمی از آن‌ها خارج از حوزه سلامت انسان است، به‌تنهایی می‌توانند تأثیر مستقیم اقتصادی تا ۴ تریلیون دلار در سال ظرف ده تا ۲۰ سال آینده ایجاد نمایند. البته اگر، اثرات بالقوه غیرمستقیم و تجمعی آن‌ها را نیز در نظر بگیریم و اثر نوآوری‌های جدیدی که در آینده نزدیک ظهور خواهند کرد را نیز به حساب بیاوریم، پتانسیل کامل این حوزه می‌تواند بسیار بزرگ‌تر باشد.

وقوع این دستاوردهای شگرف، منجر به شکل‌گیری جریانی پایدار در اقتصاد جهانی خواهد شد که بسیاری از زنجیره‌های

شایسته‌تر از "انقلاب زیستی" نمی‌توان بر آن نهاد (چیویی و همکاران، ۲۰۲۰).

۳- دستاوردهای کلی انقلاب زیستی

۳-۱- افزایش توانایی بشر در شناخت و مهندسی حیات

توسعه علوم و فناوری‌های پیشرفته، ظهور الگوریتم‌های محاسباتی و روباتیک، سبب شده‌اند تا نوآوری‌های زیستی در چهار عرصه گسترش یابند: (۱) شناخت، اندازه‌گیری و مهندسی مولکول‌های زیستی (۲) مهندسی سلول‌ها، بافت‌ها و اندام‌ها به‌عنوان سامانه‌های زیستی (۳) ابداع آلات و ادوات درون-تنی و برون-تنی مصنوعی در قالب رابط‌های زیستی-ماشینی و (۴) استفاده از سلول‌ها یا مولکول‌هایی مانند DNA برای محاسبه که به توسعه محاسبات زیستی می‌انجامد. این‌همه، در کنار ظهور روش‌های جدید دست‌ورزی و ویرایش ژن‌ها (از جمله CRISPR) و نیز توان‌یافتن بشر در برنامه‌ریزی مجدد سلول‌ها سبب می‌شود تا شناخت دقیق‌تری از حیات به‌دست آوریم و قادر شویم تا ظهور اشکال جدیدی از حیات را امکان‌پذیر سازیم. تاکنون، کلیه این حوزه‌ها با پیشرفت‌های قابل ملاحظه‌ای، چه در سطح پایلوت و عرضه نمایی و چه در ابعاد اقتصادی و تجاری، مواجه بوده‌اند.

۳-۲- ایجاد قابلیت‌های جدید تحول‌آفرین

این نوآوری‌ها پنج قابلیت جدید بالقوه تحول‌آفرین ایجاد می‌کنند: (۱) روش‌ها و ابزارهای نوین زیستی قادرند بخش بزرگی از مواد فیزیکی مورد نیاز در اقتصاد جهانی را، البته با عملکرد بهتر و پایداری بیشتر، تولید نمایند؛ (۲) افزایش کنترل و دقت در روش‌ها و کارکردها در سراسر زنجیره ارزش، سبب خواهد شد تا درجات بالاتری از شخصی‌سازی، چه در توزیع و تحویل و چه در توسعه و مصرف، رخ دهد؛ (۳) توانایی مهندسی و برنامه‌ریزی مجدد ارگانیسم‌های انسانی و غیرانسانی در حال افزایش است که به‌طور بالقوه می‌تواند منجر به پیش‌گیری و درمان بیماری‌ها و همچنین بهبود عملکرد در شیوه‌های کشاورزی و تولید غذا شود؛ (۴) روش‌های جدید زیستی در تلفیق با اتوماسیون، یادگیری ماشین، و تکثیر داده‌های زیستی، منجر به افزایش کشفیات علمی، ارتقای توان عملیاتی و بهبود بهره‌وری در طی فرآیند تحقیق و توسعه می‌شوند؛ و (۵)

¹ Gene manipulation and editing

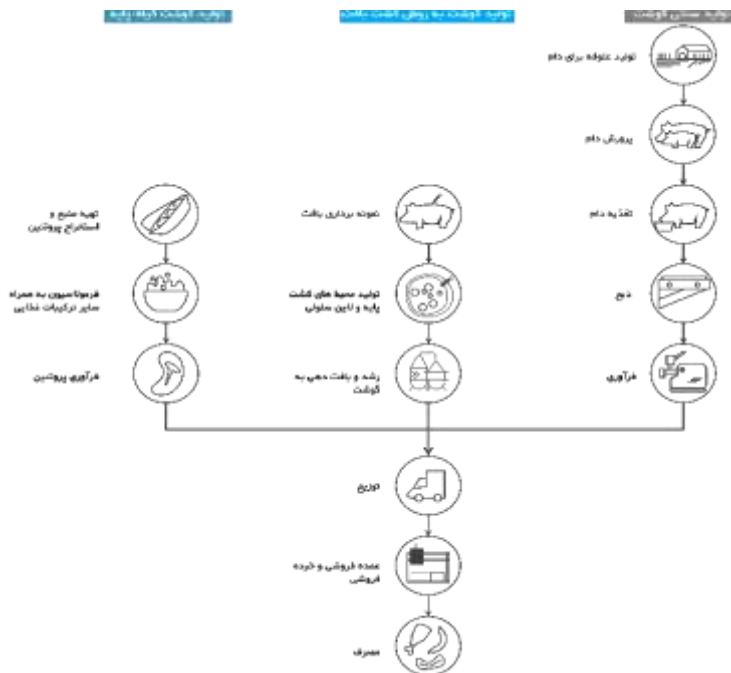
تحول در زنجیره‌های ارزش شده و ایجاد مدل‌های تجاری و بازیگران جدید را تقریباً در همه بخش‌ها تسریع خواهد کرد (چیویی و همکاران، ۲۰۲۰).

به استناد موسسه جهانی مک‌کینزی^۱، تخمین زده می‌شود که در ده تا ۲۰ سال آینده، کاربردهای زیستی می‌توانند تأثیر مستقیم اقتصادی سالانه در حدود ۲ تا ۴ تریلیون دلار در سطح جهان داشته باشند (شکل ۹). کاربردهای زیستی را می‌توان در دو دسته کلی طبقه‌بندی کرد: دسته‌ای که دربرگیرنده بینش‌های نوین حاصل از توالی‌یابی و تجزیه و تحلیل داده‌های زیستی هستند، و دسته دیگر که مرتبط است با دست‌ورزی حیات از طریق مهندسی ژنتیک، سلول، و بافت. دسته اول - یعنی تجزیه و تحلیل داده‌های ژنومی، میکروبیومی، عصبی، و سایر داده‌های زیستی و بینش‌های علمی حاصله جهت بالا بردن دقت و شخصی‌سازی محصولات و خدمات در مقیاسی بی‌سابقه - عمدتاً منجر به تأثیرات اقتصادی کوتاه‌مدت خواهد شد.

ارزش موجود را از اساس دگرگون خواهد ساخت (مثل زنجیره ارزش گوشت) و بعلاوه، محصولات و خدمات بسیار نوینی را به بازار عرضه خواهد داشت که نتیجه آن، زوال بسیاری از کسب‌وکارهای موجود در اقصی نقاط جهان می‌باشد (مثل دام‌داری‌ها، کشتارگاه‌ها و قصابی‌ها) (شکل ۸). این جریان نوین اقتصادی پایدار، تحت عنوان "اقتصاد زیستی" شناخته می‌شود.

۴- دستاوردهای اقتصاد زیستی

چنان‌که پیش از این نیز مورد اشاره قرار گرفت، علوم زیستی اکنون به مرحله جدیدی از رشد رسیده است که در آن کاربردها دارای زیربنای علمی کافی و از لحاظ اقتصادی به‌صرفه هستند؛ به‌طوری‌که، پیش‌بینی می‌شود در ده تا ۲۰ سال آینده، تأثیرات اقتصادی مستقیم ناشی از پذیرش آن‌ها حاصل شود. این تنها یکی از امواج تأثیرگذار خواهد بود و احتمالاً در نتیجه نفوذ نوآوری‌های زیستی به بخش‌های بالادست، پایین‌دست و به سایر حوزه‌های فرعی اقتصاد، تأثیرات به‌مراتب گسترده‌تری حاصل خواهد شد که منجر به

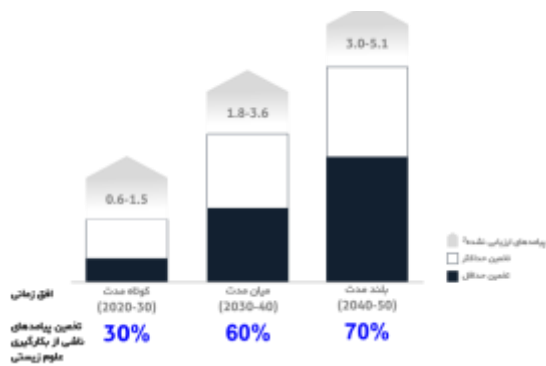


شکل ۸- زنجیره ارزش گوشت یکی از مثال‌های شاخص از دگرگونی‌های بنیادینی است که در عرصه اقتصاد در حال وقوع است. اکنون به‌مدد نوآوری‌های ساختار شکن زیستی و تلفیق آن با سایر علوم، سرعت و هزینه خلق فناوری‌های نو کاهش یافته و زمینه را برای تحول‌آفرینی در اقتصاد فراهم ساخته است. این همه، نویدبخش جایگزینی اقتصاد نفت-پایه با اقتصاد زیست-پایه خواهد شد (چیویی و همکاران، ۲۰۲۰)

¹ McKinsey Global Institute

احتمالاً در ده تا ۲۰ سال آینده، بیش از نیمی از تاثیر مستقیم، خارج از حوزه سلامت و عمدتاً در حوزه کشاورزی و محصولات مصرفی خواهد بود.

مطالعه مک‌کینزی همچنین نشان می‌دهد که بیشترین ارزش‌های مربوط به نوآوری‌های زیستی در یک تا دو دهه آینده، در چهار حوزه رخ می‌دهد که در آن‌ها بسیاری از کاربردها، از نوآوری‌های زیستی پدید می‌آیند. این چهار حوزه شامل (أ) سلامت و عملکرد انسان، (ب) کشاورزی، آبی‌پروری و غذا، (ج) فرآورده‌ها و خدمات مصرف‌کننده و (د) مواد، شیمی-کالاها و انرژی می‌باشد.



شکل ۹- ارزش اقتصادی مستقیم حاصل از نوآوری‌ها و کاربردهای زیستی طی ده تا ۲۰ سال آینده، می‌تواند تقریباً ۲ تا ۴ تریلیون دلار باشد. پیامدهای ارزیابی‌نشده، آن دسته از تاثیرات اقتصادی هستند که به‌طور غیرمستقیم و در اثر نفوذ و گسترش نوآوری‌ها و کاربرد فناوری‌های زیستی در سایر حوزه‌ها و بخش‌های اقتصادی حاصل خواهند آمد (چیویی و همکاران، ۲۰۲۰).

بخشی از گستره و سهم تاثیرات اقتصادی در حوزه سلامت و عملکرد انسان و نیز در خدمات و محصولات مصرف‌کننده، مربوط به تاثیرات ناشی از رابط‌های زیستی-ماشینی خواهد بود. کاربردها در برخی زمینه‌های دیگر از جمله زمینه‌های رفع آسیب‌های زیست‌محیطی، آموزش، امنیت و اکتشافات فضایی نیز می‌توانند در مسیر پذیرش قرار بگیرند (شکل ۱۱).

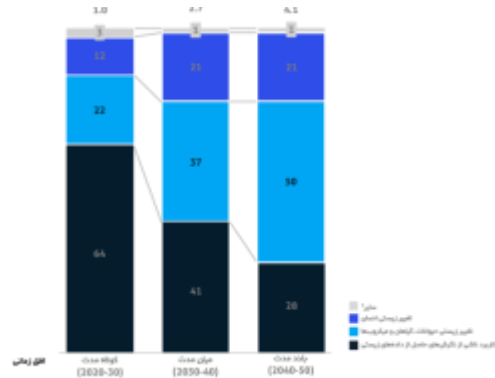
محاسبات سریع‌تر و استفاده روزافزون از هوش مصنوعی و ارتقای سطح پیچیدگی روش‌های تحلیل داده‌ها، سبب گشته تا بینش‌های بیشتری را از داده‌های زیستی به‌دست آوریم و قادر به پیش‌بینی روابط و فرآیندهای زیستی گردیم. به‌عنوان مثال در کشاورزی، استفاده از مجموعه‌های بزرگ داده‌های ژنتیکی و میکروبی، ما را قادر خواهد ساخت تا بتوانیم زراعت را در جهت دستیابی به دستاورد موردنظر تحت شرایط محلی کاملاً مشخص و معطوف-به-مکان، متناسب‌سازی کنیم. با استفاده از مجموعه‌ای از داده‌های مشابه، می‌توان محصولات و خدمات را بر اساس ویژگی‌های ژنتیکی مصرف‌کنندگان و ترکیب میکروبیوم آن‌ها متناسب‌سازی کرد.

در واقع، طی ده سال آینده، حتی اگر پیشرفت بیشتری هم در روش‌های مهندسی حیات صورت نگیرد، باز ارزش‌های عظیمی از طریق تجزیه و تحلیل حجم فوق‌العاده بالای داده‌های زیستی، که از هم‌اکنون در حال تولیدند، ایجاد خواهد شد. بر اساس تخمین موسسه جهانی مک‌کینزی، این ارزش می‌تواند بین ۴۰۰ تا ۹۰۰ میلیارد دلار باشد. با این حال، این احتمال نیز وجود دارد که پیامدهای ناشی از دسته دوم برنامه‌های کاربردی-مهندسی حیات- رشد سریع‌تری پیدا کند. همچنان‌که راه‌های غلبه بر چالش‌های علمی (و مقرراتی و تجاری) کشف می‌شوند، روش‌های مهندسی حیات مانند CRISPR نیز، ارزش‌های ایجاد شده از قبل، ناشی از تجزیه و تحلیل داده‌های زیستی، را تقویت می‌کنند (شکل ۱۰). در میان مدت -از ۲۰۳۰ تا ۲۰۴۰- وضعیت تغییر خواهد کرد و مهندسی زیستی می‌تواند بیشترین تاثیر مستقیم سالانه (حدود ۶۰ درصد) را به خود اختصاص دهد. تخمین زده می‌شود که این تاثیر می‌تواند بین ۹۰۰ تا ۲/۲ تریلیون دلار در سال باشد (چیویی و همکاران، ۲۰۲۰).

برآوردهای موسسه جهانی مک‌کینزی نشان می‌دهد که بیشترین تاثیر مستقیم در علوم زیستی و حوزه‌های انسان-محور بروز پیدا خواهد کرد. حوزه سلامت و عملکرد انسان دارای بیشترین پیشرفت‌های علمی و مشخص‌ترین خط-سیر از تحقیق تا کاربرد است. در این حوزه، علوم مربوطه توسعه یافته و بازار عموماً پذیرای نوآوری‌ها و اختراعات جدید می‌باشد. با این حال، بر اساس موارد-کاربردی بررسی شده، تاثیرات این حوزه می‌تواند بسیار گسترده‌تر باشد:

^۱ مجموعه کامل میکروبیوم‌های یک سیستم زیستی (نظیر روده یا پوست انسان و یا خاک اطراف مزارع) در یک نقطه زمانی خاص.

و مصرف بی‌رویه کودها و سموم شیمیایی شده است، و به‌خطر افتادن بهداشت و سلامت بشر، همه‌جاوی یک پیام روشن و واضح می‌باشند: جهان اکنون در دهه سوم قرن بیست و یکم مواجه با پدیده‌های سترگ و ابرچالش‌هایی است که نیاز به اقدام فوری و ابتکار عمل آنی دارد. محیط‌زیست زمین، تنوع زیستی و حتی بقا بشر در معرض تهدید جدی قرار دارد و این همه، تغییر در سیستم‌های تولید و توزیع غذا، طراحی مجدد مدل‌های کسب‌وکار، تعیین استانداردهای سخت‌گیرانه در برابر تولید و مصرف سوخت‌های فسیلی و تشویق مصرف‌کنندگان برای تغییر تقاضا به سمت محصولات زیست-تخریب‌پذیر و فرآورده‌هایی که از بار مسئولیت اجتماعی بالاتری برخوردارند را هشدار می‌دهد (علوی و حبیبی رضایی، ۱۴۰۰).



شکل ۱۰- کاربردهای مبتنی بر بیش حاصل‌آمده از داده‌های زیستی بیشترین سهم از تأثیر اقتصادی ایجاد شده در کوتاه‌مدت را تشکیل می‌دهند. سایر پیامدهای اقتصادی ممکن است از حوزه‌هایی شامل خوانش حالات مغز برای کنترل تجهیزات خارجی، سنتز DNA، پروتئین‌ها و میکروب‌ها به‌دست آیند. اعداد به‌صورت درصد می‌باشند (چیبوی و همکاران، ۲۰۲۰).

۵- اقتصاد

آنجا می‌روید که فرصت رویش نوآوری فراهم آید

۱-۵- موضوع اقتصاد زیستی چقدر مهم است؟

وقوع این چالش‌های خطیر که پیامدهای سختی را برای جهان به‌همراه داشته است روشن می‌سازد که مدل‌های اقتصادی موجود، دیگر کارایی ندارند و اگر بر همین سیاق پیش برویم، آینده‌ای برای حیات بشر بر کره زمین نمی‌توان تصور بود (UNDP, 2022). سیستم اقتصادی فعلی ما نتوانسته است ارزش‌های طبیعی را پاسداری کند و محیط‌زیست زمین را حفظ نماید و بنابراین، انتظار می‌رود که بتوانیم به مدل اقتصادی جدید و کارآمدتری دست یابیم: نوعی مدل اقتصادی مبتنی بر طبیعت یا به‌عبارتی، اقتصاد زیستی چرخشی.

۲-۵- تبیین اجمالی اقتصاد زیستی

توسعه اقتصاد زیستی نشان‌دهنده حرکت از محصولات نفت-پایه به محصولات، سوخت و انرژی زیست-پایه است و بنابراین، می‌تواند به عنوان راهی برای مقابله با ابر-چالش تغییرات اقلیمی تلقی شود. با این حال، مفهوم اقتصاد زیستی را می‌توان برای رفع دیگر بزرگ-چالش‌های مرتبط با امنیت غذایی، سلامت، بازسازی صنعتی و امنیت انرژی نیز به عاریت گرفت. بنابراین، به‌نظر می‌رسد اقتصاد زیستی را می‌توان به‌عنوان یک پدیده عمومی در نظر گرفت که طیف گسترده‌ای از فناوری‌ها و بخش‌های اقتصادی، مانند بخش‌های کشاورزی، آبی‌پروری، جنگلداری، انرژی زیستی، شیمی-کالاها، مواد و بخش‌های بهداشت و سلامت را در بر می‌گیرد. با این وجود، تأکید بر این نکته مهم است که گذار به یک اقتصاد زیستی پایدار یک مسیر از پیش تعیین

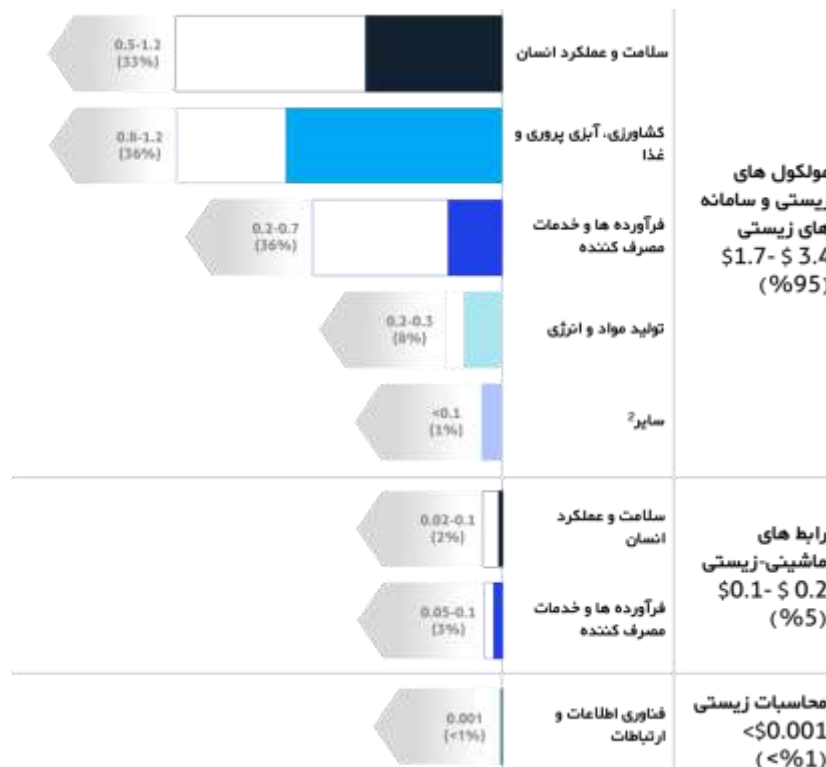
اگر بخواهیم تنها یک ویژگی برای جهان امروز برشماریم، باید به مواجهه آن با "ابرچالش‌ها" اشاره نماییم. ابرچالش‌ها معمولاً مزمن و سخت-درمان‌اند، پیچیده و بی‌پایانند و نهایتاً این که هم از منظر شیوه پرداختن به آن‌ها و هم یافتن راه‌حل کنترلشان، نامطمئن به‌نظر می‌رسند. در تحقیق برای پاسخ به این ابرچالش‌ها، که هسته اصلی همه آن‌ها زیست‌شناسی است، مانند بحران COVID-19، از دست رفتن تنوع زیستی و امنیت غذایی، و همچنین ارائه راه‌حل برای مسائل متنوع دیگر، مانند فرسودگی زنجیره تامین و آلودگی‌های شیمیایی، مشخص گردیده که اقتصاد زیستی، فرصت‌های عظیمی را می‌تواند پیش روی جامعه بشری بگذارد. موفقیت در غلبه بر همه‌گیری COVID-19، ظرفیت عظیم و بلا منازع زیست‌فناوری مدرن در برون رفت از یک بحران عظیم جهانی و پیش‌گیری از تعمیق بحران اقتصادی جهان در هزاره سوم را بخوبی نشان داد (Scordato, et al., 2017) (Kelly, et al., 2021).

وقوع چالش‌های بزرگی مثل تغییرات اقلیمی که عمدتاً ناشی از مصرف گسترده سوخت‌های فسیلی و فرآورده‌های نفت-پایه می‌باشد، شیوه‌های کشاورزی ناکارآمد که منجر به جنگل‌زدایی‌های وسیع، بیابان‌زایی، آلودگی منابع آب شیرین

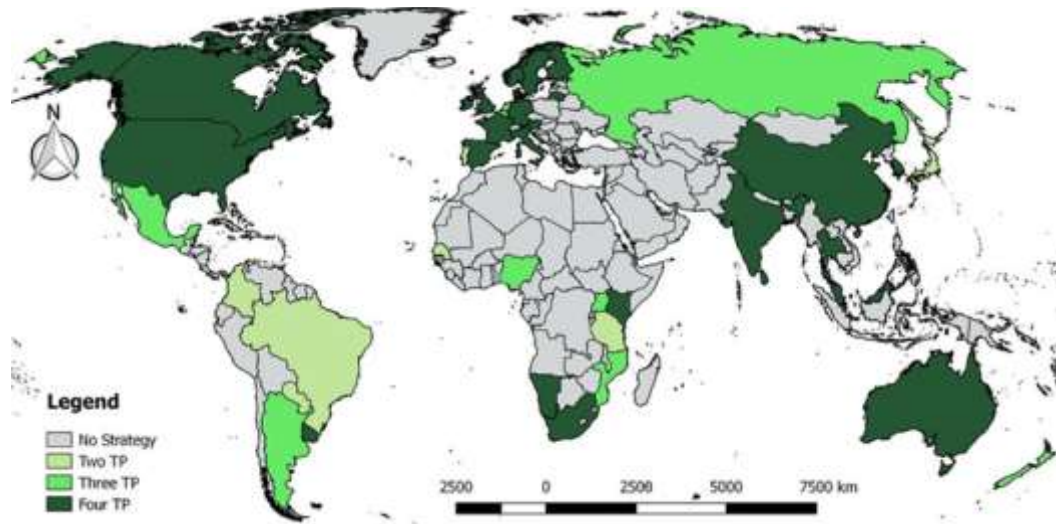
تضمین امنیت غذایی، مدیریت پایدار منابع طبیعی، کاهش استفاده از منابع فسیلی و جایگزینی مواد نفت-پایه، کاهش تغییرات اقلیمی و سازگاری با آن، و کمک به ایجاد شغل و توسعه مناطق روستایی. در نتیجه، اقتصاد زیستی انعطاف‌پذیری و رقابت‌پذیری را بهبود می‌بخشد، راه‌حل‌های سیستمی طولانی‌مدت ارائه می‌دهد و منجر به گذار صحیح از اقتصاد نفتی می‌شود. در این زمینه، فرض بر این است که اقتصاد زیستی می‌تواند یکی از مهم‌ترین اولویت‌های جامعه جهانی برای دستیابی به برابری در توزیع ثروت، کاهش فقر و تقویت رفاه اجتماعی باشد. اقتصاد زیستی مفهومی است که کاملاً منطبق بر اهداف هفده‌گانه سازمان ملل برای پایداری، یکپارچگی و احترام به محیط‌زیست می‌باشد. امروزه، بسیاری از کشورهای جهان استراتژی‌های اقتصاد زیستی خود را به تنهایی یا به شکل مشارکتی (مانند اتحادیه اروپا و OECD و کشورهای حوزه آلپ) توسعه داده‌اند که اهمیت استراتژیک اقتصاد زیستی را نشان می‌دهد (Dietz, et al., 2022) (شکل ۱۲).

شده نیست بلکه برعکس، اقتصاد زیستی یک امکان و ظرفیت باز در افق آینده است؛ در واقع، اقتصاد زیستی یک روند انتقال اجتماعی و اقتصادی است که به زمان نیاز دارد و تحقق درست آن، کاملاً بستگی دارد به سیاست‌گذاری‌ها و تصمیم‌سازی‌هایی که در سطح محلی، منطقه‌ای یا جهانی اتخاذ می‌کنیم و نیز، تلاش‌های منظم و هماهنگی که بتواند طیف وسیعی از بازیگران و ذینفعان را در بخش‌های مختلف به هم پیوند دهد (Scordato, et al., 2017).

اقتصاد زیستی، به‌طور خلاصه، یک مفهوم نسبتاً جدید سیاسی، اقتصادی و اجتماعی نوظهور برای دستیابی به توسعه پایدار است و به‌طور خلاصه، از ویژگی‌های زیر برخوردار است: الف) مبتنی بر نوآوری است، ب) در آن به‌کمک پیشرفت‌های فناورانه، تلفیق منابع زیستی و اقتصادی صورت می‌گیرد، و ج) در کنار رشد اقتصادی، توسعه پایدار جهانی را نیز هدف‌گذاری می‌کند. بدین استناد، انتظار می‌رود که اقتصاد زیستی بتواند پاسخگوی پنج موضوع کلیدی باشد:



شکل ۱۱- پیامدهای اقتصادی بالقوه مستقیم ناشی از تحولات زیستی. به‌نظر می‌رسد بیش از نیمی از تأثیر مستقیم تحولات زیستی، خارج از حوزه سلامت و عمدتاً در کشاورزی، خدمات و فرآورده‌های مصرف‌کننده و سایر زمینه‌ها رخ خواهد داد. ارقام به تریلیون دلار ارائه شده‌اند. سایر پیامدهای اقتصادی ممکن است از حوزه‌هایی شامل دفاع و امنیت، رفع آسیب‌های زیست‌محیطی و آموزش و تربیت نیروی ماهر و متخصص به‌دست آیند (چیویی و همکاران، ۲۰۲۰).



شکل ۱۲- نقشه تطبیقی از ۴۱ کشور که نسبت به تدوین استراتژی ملی اقتصاد زیستی خود اقدام کرده‌اند. رنگ‌ها نشان‌دهنده سطوح مختلفی از استراتژی می‌باشد. خاکستری نمایانگر کشورهایی است که فاقد هرگونه استراتژی در زمینه اقتصاد زیستی هستند؛ سبز پسته‌ای بیانگر کشورهایی است که استراتژی ملی آن‌ها فقط به دو روند گذار به اقتصاد زیستی اشاره دارد؛ سبز روشن و تیره نیز، به ترتیب نشان‌دهنده کشورهایی با سه و چهار روند گذار به اقتصاد زیستی می‌باشند (Dietz, et al., 2022)

گذاشتن تأثیرات مخرب زیست‌محیطی، رقم خواهد خورد و تحقق جامعه به اصطلاح "پسا-نفت" را امکان‌پذیرتر خواهد ساخت. این به معنای بهبود بهره‌وری و ایجاد ارزش افزوده بیشتر در زنجیره تأمین است. طبق تخمین اتحادیه اروپا در سال ۲۰۱۵، اجرای اقتصاد چرخشی تا سال ۲۰۳۰، منجر به کاهش ۵۰ درصدی ضایعات غذایی خواهد شد و نسبت بازیافت زباله‌های شهری و زباله‌های بسته بندی شده به ۶۵ درصد خواهد رسید (Biernat, 2019).

۵-۳- تعریف اقتصاد زیستی

در بیانیه اجلاس جهانی اقتصاد زیستی در سال ۲۰۲۰، اقتصاد زیستی این گونه تعریف شده است: "اقتصاد زیستی عبارتست از تولید، استفاده و حفاظت از منابع زیستی از جمله، دانش‌ها، علوم، فناوری‌ها و نوآوری‌های مربوطه، برای ارائه اطلاعات، محصولات، فرآیندها و خدمات در تمام بخش‌های اقتصادی با هدف دستیابی به یک اقتصاد مفید و پایدار" (Boldt, et al., 2020).

از نگاه مفهومی، آنچه که اقتصاد زیستی را شاخص می‌سازد، اتکای آن به منابعی است با خاستگاه زیستی که (أ) تجدیدپذیر باشند، (ب) میزان کمی از گازهای گلخانه‌ای را منتشر کنند یا از این نظر خنثی باشند، (ج) بتوان به‌طور مکرر (آبشاری) از آن‌ها در فرآیندهای تولید استفاده نمود و (د)

اقتصاد زیستی اصولاً به زیست‌توده وابسته است. همانطور که در مثلث ارزش زیست‌توده نشان داده شده است (شکل ۱۳)، بسته به هدف و کاربرد مورد نظر از زیست‌توده، سطوح مختلفی از ارزش افزوده ممکن است به دست آید. قاعده این مثلث بر انرژی حاصل از زیست‌توده بنا نهاده شده است که از نظر اندازه بزرگ است اما، ارزش افزوده محدودی را ارائه می‌دهد. راس مثلث، بر عکس، نشان دهنده استفاده از زیست‌توده برای تولید داروهایی است که اگرچه از نظر کمیت، کوچک هستند اما از نظر ارزش، بسیار در خور توجه‌اند. حرکت از قاعده مثلث به سمت راس آن، از طریق تجزیه آبشاری زیست‌توده و تبدیل منابع زیستی به شیمی-کالاها و مواد واسط با ارزش‌تر، به معنای تولید محصولاتی است که به‌طور فزاینده‌ای ارزش بیشتری می‌یابند (Annelink and Harmsen, 2010).

استفاده از زیست‌توده به عنوان یک محرک مهم در توسعه اقتصادی، به پیشرفت در علوم زیستی و زیست‌فناوری و اجرای راه‌حل‌های نوآورانه بستگی دارد. هر چه پیشرفت‌های بزرگ‌تر و سریع‌تری در این زمینه به‌وقوع بپیوندد، شرایط مطلوب‌تری برای استفاده بهینه از زیست‌توده فراهم می‌آید و در نتیجه، رشد اقتصادی پایدارتری، بدون فشار بر منابع طبیعی و بدون برجای

محصولات با ارزش افزوده بالا را به بازار ارائه می‌دهند. بنابراین، به نظر می‌رسد مهم‌ترین فعالیت‌های لازم برای توسعه اقتصاد زیستی، عبارت خواهند بود از (أ) تحقیق و نوآوری باز، (ب) اتخاذ یک سیاست منسجم و تدوین استراتژی‌های مشخص اقتصاد زیستی در سطح ملی، منطقه ای و بین‌المللی، و (ج) تعریف روابط میان‌بخشی. هدف غایی اقتصاد زیستی نیز باید متمرکز باشد بر ایجاد و توسعه بازارهای جدید و افزایش رقابت‌پذیری در کل اقتصاد.

۴-۵- جنبه‌های گذار از اقتصاد نفتی به اقتصاد زیستی

تاکنون، دو رویکرد نظری در باب جنبه‌های گذار به اقتصاد زیستی ارائه شده است (Hinderer, et al., 2021):

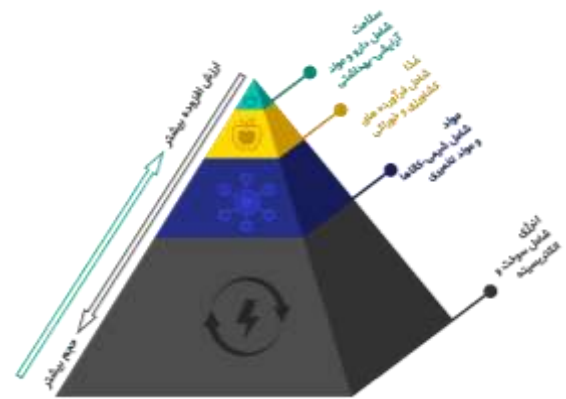
۱- رویکرد گذار مبتنی بر فناوری، که اهمیت نوآوری در زیست‌فناوری، افزایش تولید زیست‌توده و همچنین بهره‌وری منابع را برجسته می‌کند.

۲- رویکرد گذار اجتماعی-اکولوژیکی^۲ که نوآوری اجتماعی را از طریق مشارکت جامعه مدنی، کاهش تقاضای منابع (کاهش مصرف) و تولید زیست‌توده کشاورزی-اکولوژیکی ارتقا می‌دهد.

دیدگاه مبتنی بر فناوری بر اهمیت نوآوری‌های فناورانه برای گذار به اقتصاد زیستی تأکید می‌کند. اساس این نوآوری‌ها، تحقیقات دانشگاهی در زمینه فناوری‌های زیستی است که راه را بر کاربردهای صنعتی آن‌ها باز می‌کند. از این رو، همکاری بین مؤسسات تحقیقاتی و بخش صنعت، می‌تواند منجر به تبدیل نتایج تحقیقات به محصولات زیست-پایه رقابت‌پذیر در بازارهای فعلی شود. استارت‌آپ‌های اقتصاد زیستی (اغلب منشعب از مؤسسات تحقیقاتی) نقش حیاتی در تجاری‌سازی و انتشار این فناوری‌های جدید و جایگزینی استانداردهای صنعتی نفت-پایه بازی می‌کنند. به استناد دیدگاه مبتنی بر فناوری، بدون پیشرفت فناوری و خلق نوآوری، فرآورده‌های زیست-پایه یا در دسترس نخواهند بود و یا به دلیل فقدان کارایی ارزش آفرین، قابل رقابت در بازار نخواهند بود.

به نظر می‌رسد روایت گذار فناورانه، بر گفتمان فعلی اقتصاد زیستی تسلط داشته باشد چراکه، ردپای آن را می‌توان در بسیاری از سیاست‌های اقتصاد زیستی در سراسر جهان دید

پتانسیل بالایی برای تولید محصولات نهایی با خواص مفید مثل، سمیت کم یا فاقد سمیت، ثبات بالاتر، دوام و مقاومت بالاتر و مصرف محدود آب داشته باشند.



شکل ۱۳- در یک اقتصاد زیستی چرخشی، زیست‌توده منبع اولیه برای خلق ارزش افزوده محسوب می‌شود. مثلث (هرم) ارزش زیست‌توده بیانگر سطوح مختلفی از ارزش است که می‌توان از این منبع اولیه بدست آورد. این سطوح ارزش، از فرآورده‌های زیستی حجیم اما کم ارزش (قاعده هرم) شروع شده و به تدریج و طی فرایند تجزیه آبشاری زیست‌توده به مواد کم حجم تر اما دارای ارزش بیشتر تبدیل می‌شوند (راس هرم). اولین سطح ارزش زیست‌توده، به انرژی اختصاص دارد که خود، شامل سوخت، آتش، الکتروسیته، گرما و سوخت زیستی می‌شود. در سطح دوم، از زیست‌توده می‌توان مواد مختلف شامل شیمی-کالاها، کودها و مواد حاصل از تخمیر بدست آورد. سطح سوم اختصاص به غذا و خوراک دام و طیور و آبزیان دارد. در بالاترین سطح هرم، مواد بسیار با ارزش حاصل می‌شود که در حوزه سلامت، بهداشت و درمان مورد استفاده قرار می‌گیرند مثل مواد دارویی و آرایشی-بهداشتی (بازطراحی شده و برگرفته از (Annevelink and Harmsen, 2010)).

اقتصاد زیستی باید شامل بخش‌های کشاورزی، جنگلداری و شیلات و کلیه بخش‌های مرتبط با اقتصاد (تولید غذا، خوراک، چوب و کاغذ، سوخت‌های زیستی و غیره) باشد. رویکرد جدید به این مدل اقتصادی نو، باید همراه باشد با پیاده‌سازی نوآوری (تحقیق و نوآوری در رابطه با بسیاری از بخش‌ها و صنایع مختلف) و ترکیب آن با کاربردهای صنعتی زیست فناوری.

اولویت اقتصاد زیستی، باید رشد اقتصادی حاصل از صنایع سنتی و جدید (نوظهور) با اتکا بر زیست‌توده و مواد زیستی باشد. این رشد اقتصادی از طریق ایجاد زنجیره‌های ارزش جدید مبتنی بر منابع زیست-پایه محقق خواهد شد که

¹ Technology-Based Bioeconomy Transition

² Socio-Ecological Bioeconomy Transitiio

با مطالعه نظرات و دیدگاه‌های ذینفعان مختلف حوزه اقتصاد زیستی از مراجع حاکمیتی، بخش صنعت و مراکز دانشگاهی، هیندرر^۲ توانست نتیجه بگیرد که چهار نوع رخداد مختلف در گذار به اقتصاد زیستی نقش دارند:

۱ - رخدادهای سیاست-محور^۳: آن دسته از رخدادهای که مرتبطاند با تدوین سیاست‌های ملی و بین‌المللی مشتمل بر نقشه راه و اهداف روشن و دقیق، همچنین تدوین مقررات و استانداردهای مربوط به تولید و مصرف فرآورده‌های زیست-پایه در چشم‌انداز نظام توسعه پایدار.

۲ - رخدادهای صنعت-محور^۴: آن بخش از رخدادهای منجر به تسهیل سرمایه‌گذاری و تامین مالی پروژه‌های تحقیق-توسعه و پروژه‌های تولیدی شده، تولید فرآورده‌ها و خدمات زیستی رقابت‌پذیر را تسهیل می‌کند، سبب تسهیل ورود آن‌ها به بازار مصرف می‌شود، و نیز منجر به افزایش مالیات بر فرآورده‌های نفت-پایه شده و حذف یارانه محصولات نفتی را هدف می‌گیرد.

۳ - رخدادهای نوآوری-محور^۵: رویدادهایی که منجر به تولید و مرتبط‌ساختن انواع زیست‌توده گیاهی، آبی و حیوانی می‌شوند و نیز آن دسته از فناوری‌های کلیدی و نو که به توسعه پالایشگاه‌های زیستی انجامیده، ابداع فرآورده‌های جدید زیست-پایه را ممکن می‌سازند و می‌توانند به جذب بیشتر کربن کمک کنند. همچنین، آن دسته از رویدادها که به توسعه اکوسیستم اقتصاد زیستی کمک می‌کند و منجر به شبکه‌سازی در این حوزه می‌گردد.

۴ - رخدادهای جامعه-محور^۶: آن دسته از وقایع و رویدادها که موجب شکل‌گیری درک مشترکی میان ذینفعان در خصوص ماهیت و محتوای اقتصاد زیستی، رشد و پایداری می‌شود، آگاهی مصرف‌کنندگان را در خصوص ارزش محصولات زیست-پایه در مقابل فرآورده‌های نفت-پایه بالا می‌برد، و جامعه را در خصوص نتایج پیامدهای گذار به اقتصاد زیستی مطلع ساخته و مشارکت آن‌ها را در این فرایند گذار برمی‌انگیزد.

(به‌عنوان مثال این رویکرد، چشم‌انداز اصلی در استراتژی اقتصاد زیستی اتحادیه اروپا و سازمان همکاری و توسعه اقتصادی است).

با این حال، برخی منتقدین بر این عقیده‌اند که موضوع پایداری و پارادایم رشد سبز که مورد نظر ژرژسکو-روگن بوده است، در این رویکرد گم شده است (Mills, 2015). همچنان‌که پیشتر اشاره شد، ژرژسکو-روگن معتقد بود که بر اساس قوانین ترمودینامیک، هر فعالیت اقتصادی آنتروپیک است و منجر به مصرف منابع می‌شود. بنابراین، حتی مصرف زیست‌توده هم می‌تواند منجر به افزایش آنتروپی و تولید آلودگی گردد. بدین استناد، اقتصاد زیستی را نمی‌توان از نظر اکولوژیک، فی‌نفسه پایدار در نظر گرفت، اما باید پایداری را به عنوان یک هدف بنیادین در آن لحاظ کرد. با این حال، امکان این که بر اساس سیاست‌های فعلی اقتصاد زیستی بتوان همزمان به رشد اقتصادی هدفمند و اهداف پایداری دست یافت، کمی دور از ذهن می‌نماید. اما برای موفقیت در عمل، لازم است تا تلفیقی میان این دو دیدگاه یا حداقل برخی از عناصر کلیدی این دو دیدگاه (به عنوان مثال، درک پایداری، تولید زیست‌توده، نگاه به طبیعت، استفاده از منابع، رفتار مصرف‌کننده، نوآوری، سطح منطقه‌ای، مقیاس راه‌حل‌های فناوری، مشارکت و بودجه تحقیقاتی) صورت گیرد.

در واقع، نشانه‌هایی وجود دارد که برخی از این عناصر ممکن است قابل ترکیب با یکدیگر باشند؛ به عنوان مثال، بهبود بهره‌وری منابع، که مربوط است به رویکرد مبتنی بر فناوری، و ترویج الگوهای مصرف پایدار، که مربوط است به رویکرد اجتماعی-اکولوژیکی. با این حال، برای تلفیق این دو رویکرد، ممکن است نیاز به ایفای نقش قوی‌تر دولت‌ها باشد تا بتوان به یک عملکرد دوگانه رسید: از یک سو، ایفای یک نقش "توانمندساز" با هموار کردن زمینه برای فرآورده‌های زیست-پایه و جبران آن بخش از معایب رقابتی این فرآورده‌ها، در مقایسه با محصولات نفت-پایه؛ از سوی دیگر، ایفای یک نقش "محدودساز" برای اطمینان از انطباق با اهداف پایداری اکولوژیکی و اجتماعی (Hinderer, et al., 2021).

¹ Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD)

² Hinderer

³ Policy-driven events

⁴ Industry-driven events

⁵ Innovation-driven events

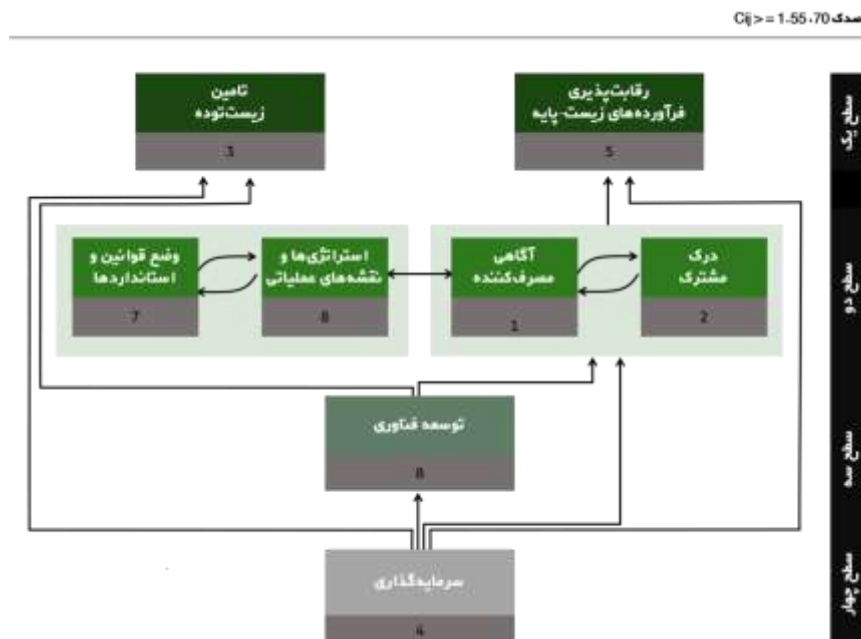
⁶ Society-driven events

می‌گیرد که نشان از اهمیت جامعه و پذیرش اجتماعی در موضوع گذار به اقتصاد زیستی دارد و در سوی دیگر، رخدادهای سیاستی شامل استراتژی‌ها و نقشه‌های عملیاتی به‌انضمام وضع مقررات و استانداردها واقع می‌شود که بیانگر نیاز مبرم به وضع سیاست‌های تسهیل‌گر برای موفقیت در این گذار اقتصادی است.

این دسته‌بندی رخدادهای، به‌خوبی رابطه سینرژیستی و تقویت‌کننده رویکردهای به‌ظاهر نامتجانس (رویکرد گذار مبتنی بر فناوری در برابر رویکرد گذار اجتماعی-اکولوژیکی) را در گذار به اقتصاد زیستی بر ملا می‌سازد و بر نقش مرکزی مصرف‌کنندگان و سیاست‌گذاران در هماهنگ‌سازی پیشرفت‌های فناورانه برای دستیابی به یک اقتصاد زیستی پایدار تاکید می‌ورزد. در واقع، آمادگی اجتماعی به همراه وضع قوانین و استانداردهای مطلوب، کمک می‌کند تا جریان توسعه فناوری به سمت تامین زیست‌توده حرکت کند. مشارکت عموم جامعه در چنین گفت‌وگوهای سبب می‌شود تا از یک سو آگاهی جمعی ارتقا یابد و از دیگر سو، زمینه برای پذیرش سیاست‌های حاکمیتی فراهم شود.

در میان این رخدادهای، ضرورت اجرای انواع سیاستی و صنعتی از درجه اولویت بالاتر برخوردار است. این رخدادهای، بر اساس نوع پیامدهای حاصله و تاثیرپذیری از پیشامدهای، در ۴ سطح دسته‌بندی می‌شوند. در قاعده این سطوح، سرمایه‌گذاری جای می‌گیرد. این رخداد گرچه وابسته به هیچ پیشامدی نمی‌باشد اما، پیامدهای گسترده‌ای بر سایر رخدادهای در سایر سطوح می‌گذارد (شکل ۱۴). این در حالی است که رخدادهایی مثل تامین زیست‌توده و رقابت‌پذیری فرآورده‌های زیست-پایه که در سطح ۱ جای گرفته‌اند هیچ پیامدی ایجاد نمی‌کنند اما از پیشامدهای متعددی متاثر می‌شوند. بنابراین، می‌توان چنین استنباط نمود که در موضوع گذار به اقتصاد زیستی، سرمایه‌گذاری یک رخداد زیربنایی و کلیدی است در حالی که، تامین زیست‌توده و رقابت‌پذیری فرآورده‌های زیست-پایه را می‌توان پیامد نهایی چنین رخدادی تلقی کرد.

در میانه این دو سطح زیرین و زیرین، توسعه فناوری در سطح سوم قرار می‌گیرد که مستقیماً از رخداد سرمایه‌گذاری تاثیر می‌پذیرد. در قلب این رده‌بندی (سطح ۲)، دو دسته رخداد واقع می‌شوند که از پیشامدهای یکسان متاثر شده و پیامدهای مشابهی را بار می‌آورند. در یک طرف، رخدادهای اجتماعی شامل درک مشترک و آگاهی مصرف‌کننده قرار



شکل ۱۴- نمودار چند سطحی فرایند گذار به اقتصاد زیستی. هر کادر نشان‌دهنده یک رخداد است؛ اعداد نمایش داده شده در پایین هر رخداد، نمایانگر درجه فوریت آن می‌باشد که از نظرسنجی از خبرگان و ذینفعان حوزه اقتصاد زیستی حاصل شده است. هر فلش نشان‌دهنده تاثیرگذاری میان دو رخداد مرتبط به هم است و جهت فلش بیانگر تاثیرگذاری یکی بر دیگری است

مشارکت علوم اجتماعی در تبیین صحیح شیوه گذار نیز باید افزایش یابد.

به عنوان نتیجه کلی، می‌توان اذعان داشت که در فرایند گذار به اقتصاد زیستی، اهمیت دادن به برنامه‌های سرمایه‌گذاری اختصاصی برای متوقف نشدن مرحله گذار، بسیار ضروری‌تر است از اتکا به برنامه‌های عمومی حمایت از نوآوری. در واقع، به منظور پرکردن شکاف احتمالی در تامین مالی پروژه‌های سبز، باید پیش از آن که به سیاست‌های توسعه فناوری اندیشیده شود، مسیر سرمایه‌گذاری را تسهیل کرد که این خود، می‌تواند توسعه بازارهای پیشرو برای نوآوری‌های زیست‌محیطی را نیز تسهیل کند. علاوه بر این، سیاست‌ها و استانداردهای سرمایه‌گذاری پایدار به عنوان عاملی برای توسعه سرمایه‌گذاری خطرپذیر پایدار عمل می‌کنند، که به موفقیت استارت‌آپ‌های پایدار کمک می‌کند و به نوبه خود، نقش مهمی در فرآیند گذار به اقتصاد زیستی دارد. نکته مهم پایانی این است که اکنون زمان حرکت از استراتژی به عمل است و در این فرایند عمل، عنصر سرمایه‌گذاری است که قدرتمندترین اهرم برای آغاز فرایند انتقال محسوب می‌شود.

۶ - ملاحظاتی در باب اقتصاد زیستی

با نگاهی جامع به ماهیت اقتصاد زیستی که در پرتو پیشرفت‌های خیره‌کننده علوم زیستی و تلفیق آن با سایر علوم و فناوری‌ها مثل علوم داده و هوش مصنوعی ظهور یافته، می‌توان پذیرفت که در مقایسه با اقتصاد نفت-پایه امروزی، قرابت و نزدیکی بیشتری میان اقتصاد زیستی و الزامات زیست‌محیطی وجود دارد؛ گرچه به عقیده برخی منتقدان، هنوز هم این مدل، همانی نیست که با همه ضوابط و استانداردهای زیستی طبیعت یگانگی داشته باشد (Hinderer, et al., 2021). بنابراین، تلاش‌های آگاهانه، هدفمند و مستمری باید معطوف گردد تا با سیاست‌گذاری‌های مناسب و به‌موقع و آگاهی بخشی عمومی، بتوان این تناسب و یگانگی را ارتقا بخشید و به مدل اقتصادی طبیعت‌گراتری رسید. در این مسیر گذار، ضرورت توجه به ملاحظات و مخاطرات احتمالی ناشی از تسلط بشر بر اسرار و رموز خلقت، امر بایسته و شایسته‌ای است. گرچه بزرگنمایی غیرواقعی از پیامدهای این رخداد علمی ممکن است جامعه انسانی را از بسیاری از دستاوردهای مثبت آن محروم سازد، اما نمی‌توان احتمال

از منظر قوت اثرگذاری بر پیامدهای نهایی، ماتریس اثرات متقابل رخدادهای نشان می‌دهد که در میان رخدادهایی که ریشه در سرمایه‌گذاری دارند، قوی‌ترین اثر ناشی از رابطه متقابل توسعه فناوری و رقابت‌پذیری فرآورده‌های زیست-پایه است که در واقع، دومین رابطه متقابل قوی در کل تحلیل متقابل بین این سه رخداد صنعت-محور (سرمایه‌گذاری، توسعه فناوری و رقابت‌پذیری فرآورده‌های زیست-پایه)، بر اهمیت نقش بخش خصوصی در فرآیند گذار به اقتصاد زیستی تأکید می‌کند.

به استناد مطالعه هیندرر و همکاران (۲۰۲۱)، چنین به نظر می‌رسد که تدوین استراتژی‌های اجرایی برای گذار به اقتصاد زیستی همراه با قانون‌گذاری و استانداردسازی، در دومین سطح از مدل فرآیند گذار قرار دارند (و بر این اساس بیشتر یک نتیجه اند تا یک نقطه شروع). اگرچه هر سیاست‌گذاری مایل است تا چنین استراتژی‌هایی را به عنوان گام آغازین هر فرآیند انتقالی در نظر گیرد، اما نتایج نشان می‌دهد که با پذیرش کلی چنین استراتژی‌هایی در سراسر جهان، اولین گام مهم قبلاً برداشته شده است. اکنون، زمان آن است تا بر اساس پیشرفت‌های فناورانه در حال ظهور، سیاست‌گذاران اقتصاد زیستی بر پایه استراتژی‌های موجود اقدام نمایند و با تنظیم و همسوسازی آن‌ها، نسبت به پیاده‌سازی برنامه‌های عملی که قادر به تامین الزامات اقتصاد زیستی باشند، اهتمام ورزند. چنین اقداماتی، اساساً متفاوتند با برنامه‌هایی که برای چندین دهه در تقویت اقتصاد نفت-پایه معتبر بوده‌اند.

در این گذار جدید، به جای استراتژی‌ها، سرمایه‌گذاری‌ها نقطه کانونی و گلوگاه تلقی می‌شوند که می‌توانند مانع از تحول و گذار شوند. در صورتی که این مانع بر طرف شود، پیشرفت فناوری حاصله، رقابت‌پذیری محصولات زیست-پایه را افزایش می‌دهد و مسئولین، سیاست‌های اقتصاد زیستی را در جهت سازماندهی تحول در راستای نیازهای جامعه سوق می‌دهند. برای هم‌سو کردن همه رخدادهای مورد نیاز در یک مسیر قابل گذار، به سیاست‌های اختصاصی اقتصاد زیستی نیاز است و در عین حال، سیاست‌گذاران باید همه ذینفعان مرتبط را در این فرآیند انتقال مشارکت دهند. برای این منظور، باید تمرکز ویژه‌ای بر فعالان اجتماعی و پذیرش اقدامات پیشنهادی آن‌ها صورت گیرد. علاوه بر این،

با این همه، از آنجا که اقتصاد زیستی مفهومی کاملاً پیچیده است، مسئله حکمرانی بر اقتصاد زیستی نیز می‌تواند به همان اندازه پیچیده باشد. در این میان، نباید از خاطر نهان داشت که ماهیت پیچیده و درهم‌تنیده زیست‌شناسی ایجاب می‌کند که به موضوع مخاطرات احتمالی آن توجه شود. زیست‌شناسی همچنان که سرشار از امکانات و فرصت‌ها است، مملو از مخاطرات نیز می‌باشد. این حوزه علمی، قادر است تا زندگی را به‌کمک درمان‌های نوآورانه مناسب‌سازی شده با ژنوم و میکروبیوم ما حفاظت و حراست کند. اما همزمان، می‌تواند بزرگترین تهدید هم برای زندگی محسوب شود اگر، از آن برای تولید سلاح‌های زیستی یا ویروس‌هایی استفاده شود که قادرند برای همیشه محیط‌زیست را سمی کنند. حتی این احتمال می‌رود که برخی از مخاطرات منحصربه‌فرد مرتبط با زیست‌شناسی، بیش از مزایای بالقوه برخی از کاربردهای آن باشند.

مسائل مربوط به حفظ حریم خصوصی و محرمانگی داده‌ها که پیش از این، مناقشات زیادی را در حوزه‌های دیجیتال و هوش مصنوعی پشت سر نهاده، در حوزه زیست‌شناسی، جایی که داده‌های جمع‌آوری شده از بدن‌ها و مغزهای ما دیگر شخصی و حساس دانسته نخواهد شد، می‌تواند بسیار بحث‌برانگیزتر باشند. چنین به نظر می‌آید که با یک تغییر پارادایم مستقل از دیجیتال مواجه هستیم. ما می‌توانیم یک کامپیوتر را از برق بکشیم؛ اما زیست‌شناسی، زمانی که رها شد دیگر به راحتی قابل کنترل نیست.

موجودات زیستی بر اساس ذاتشان، خود-پایدارساز^۱ و خود-هماندساز^۲ هستند. ویروس‌های دست‌ورزی‌شده-ژنتیکی و میکروب‌های زنده، گیاهان و حیوانات ممکن است تا دراز مدت قادر به بازتولید و حفظ خود باشند. مهندسی ژنتیک دائمی و برگشت‌ناپذیر است. ژن‌درمانی سلامت فرد را برای همیشه تغییر می‌دهد و ویرایش ژرم‌لاین نیز، بر همه نسل‌ها و نتاج یک فرد تاثیر می‌گذارد.^۳ آنگاه که جعبه

بروز مخاطرات ناشی از بی‌مسئولیتی یا انحصارطلبی بسیاری از افراد، گروه‌ها و دولت‌های منفعت‌طلب را نیز نادیده گرفت.

آلدوس هاکسلی^۱ زمانی بسیار دورتر از امروز، در سال ۱۹۳۱، چنین تصویری از جهان پاد-آرمانی^۲ تحت سلطه مهندسی ژنتیک و روان‌شناسی را در رمان معروفش "دنیای قشنگ نو"^۳ ارائه کرده است (شکل ۱۵). وقایع این رمان در سال ۲۵۴۰ میلادی در شهر لندن می‌گذرد و آرمان‌شهری را به تصویر می‌کشد که تحت نوعی حکمروایی جهانی قرار دارد و در آن، مهندسی ژنتیک به آفرینش انسان‌های شخصی-سازی شده و با ویژگی‌های از-پیش-تعیین شده منجر می‌شود؛ دانش روان‌شناسی به طرز حیرت‌انگیزی اعتلا یافته و تنها هدف انسان، ایجاد مطلوبیت، رضایت، سعادت و از میان بردن رنج‌های غیرضروری است. در این دنیای آرمانی^۴ اما، عناصری نیز نابود شده‌اند که نقطه محوری هویت بشر امروزی را تشکیل می‌دهند (Huxley, 1931).

از زمان نگارش رمان هاکسلی تاکنون، که علوم زیستی با پیشرفت‌های شگرفی مواجه گردیده و مهندسی ژنتیک هم عملاً به واقعیت پیوسته و خدمات بی‌شمار و ارزشمندی به جامعه بشری ارائه کرده است، نزدیک به ۹۰ سال گذشته است. در این میان، ملاحظات و دغدغه‌های جهانی برای نظارت، کنترل و مهار دست‌ورزی‌های بشر بر ماده ژنتیکی، سبب شکل‌گیری معاهدات و کنوانسیون‌های بین‌المللی متعددی شده که می‌توانند "نقاط اتکای مطمئنی" برای حکمرانی مسائل اقتصاد زیستی باشند. کنوانسیون تنوع زیستی^۵ (CBD) و دو موافقت‌نامه تکمیلی آن، یعنی پروتکل کارتاگنا^۶ (CP)، مربوط به انتقال ایمن، جابجایی و استفاده از موجودات زنده تغییر یافته ناشی از زیست‌فناوری مدرن (CP)، ماده ۱)، و پروتکل ناگویا^۷ (NP)، مربوط به "[...] تقسیم منصفانه و برابر منافع ناشی از استفاده از منابع ژنتیکی [...]". [NP، ماده ۱)، از این جمله‌اند که می‌تواند به‌عنوان دستورالعمل‌های بین‌المللی برای استراتژی‌های اقتصاد زیستی پایدارتر مورد توافق قرار گیرد (Böbner, et al., 2021).

¹ Aldous Huxley

² Dystopian World

³ Brave New World

⁴ Utopian World

⁵ The Convention on Biological Diversity (CBD)

⁶ Cartagena Protocol (CP)

⁷ Nagoya Protocol (NP)

^۱self-sustaining

^۲self-replicating

^۱ ویرایش ژرم‌لاین عبارت است از ویرایش یک جنین، تخم یا اسپرم به گونه‌ای که تغییرات در همه نسل‌های آینده به ارث برسند.

زیستی و در نتیجه تأثیرات آن‌ها، بسته به عوامل متعددی از جمله رویکرد جامعه نسبت به مخاطرات احتمالی فناوری‌های زیستی و نوآوری‌های ساختار شکن، می‌تواند متفاوت باشد. در گذار از آزمایشگاه به بازار سه مرحله وجود دارد: تحقیقات علمی، دسترس‌پذیر بودن تجاری، و گسترش مقیاس (توزیع کلان).

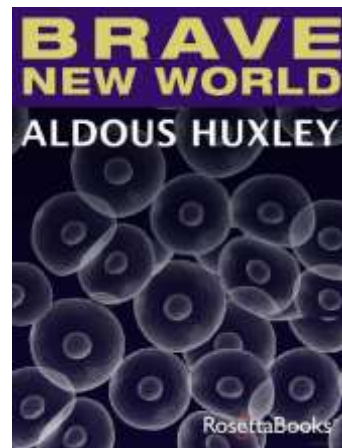
علم نیاز به سرمایه‌گذاری و اثبات مدعا دارد. برنامه‌های کاربردی تولیدشده نیاز به ارائه ارزش پیشنهادی بهتر در برابر پیشنهادات موجود دارند، ضمن آن که باید مقیاس‌پذیری نیز باشند. از آن پس، عروج یا افول برنامه‌های نو و تأثیر نهایی آن‌ها به درک و احساس عمومی جامعه و مکانیسم‌های حاکم بر کاربرد آن‌ها بستگی خواهد داشت. حدود ۷۰ درصد از کل تأثیر بالقوه نوآوری‌های زیستی در عرصه اجتماعی و اقتصادی، می‌تواند به نگرش‌های اجتماعی و مکانیسم‌های به‌کار گرفته شده برای کنترل استفاده آن‌ها، مانند مقررات و استانداردها، بستگی داشته باشد.

نکته قابل توجه دیگر نیز، آن است که ذینفعان و مشارکت‌کنندگان باید آگاهی خود در مورد اقتصاد زیستی را ارتقاء بخشند. نوآوران، کسب‌وکارها، دولت‌ها و شهروندان باید سواد و فهم زیستی داشته باشند تا بتوانند به نوآوری زیستی به‌صورت مداوم پاسخ دهند و ریسک‌های احتمالی را در برابر منافع حاصل از نوآوری‌های زیستی ارزیابی کنند. انتخاب‌هایی که این ذینفعان انجام می‌دهند، بر اندازه و دامنه مزایایی که انقلاب زیستی برای اقتصادها، جوامع و سیاره زمین دارد، تأثیر می‌گذارد (چیویی و همکاران، ۲۰۲۰).

۷ - نتیجه‌گیری

از زمانی که آدام اسمیت در ۱۷۷۶ نظریه "منشا ثروت ملل" را منتشر ساخت تا نزدیک ۲۰۰ سال بعد، یعنی سال ۱۹۵۶، نظریه‌پردازی‌های اقتصادی حول محوریت توزیع ثروت در جریان بود و عموماً تلاش خبرگان اقتصادی مثل جک تورگو، هنریش گوسن، لئون والراس، و ویلفردو پارو و حتی برخی از متأخرین اقتصادی قرن بیستم، مثل پائول ساموئلسن و کنت ارو، بر تبیین ریاضی فرایندهای اقتصادی موثر بر این توزیع ثروت، متمرکز بوده است. بالاخره در ۱۹۵۶، رابرت

پاندورا باز شود،^۱ اما کنترل کمی روی اتفاقات بعدی خواهیم داشت؛ چراکه دسترسی به این ابزارها ممکن است نسبتاً ارزان و آسان باشد و احتمال استفاده‌های نادرست را افزایش دهد. بنابراین، مخاطرات نوآوری‌های زیستی پاسخ جدی و سنجیده‌ای از سوی دولت‌ها، دانشمندان، سازمان‌های نظارتی و جامعه می‌طلبد. یک چالش بزرگ در اینجا این است که با هنجارهای قضایی متفاوتی مواجه هستیم، مانند شیوه‌های کلی پرداختن به مخاطرات، پیش‌گیری از خطر و رقابت‌های تجاری و سیاسی. بنابراین، تفکر جدیدی مورد نیاز است؛ شاید باید توجهمان را معطوف کنیم به این‌که چگونه امواج پیشین فناوری با مخاطرات مربوط به خودشان، مثل روش DNA نوترکیب در همین حوزه زیست‌شناسی، مدیریت شده‌اند.



شکل ۱۵- جلد کتاب رمان "دنیای قشنگ نو" اثر آلدوس هاکسلی، نویسنده شهیر بریتانیایی. وی کار نگارش این رمان را در سال ۱۹۳۱ به پایان برد و انتشارات RosettaBooks آن را در ۱۹۳۲ به چاپ رسانید. نسخه الکترونیکی این کتاب، مجدداً در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ از سوی همین انتشارات منتشر گردید. هاکسلی در این رمان، به تصویرسازی ویران‌شهری می‌پردازد که مردمانش تحت حکمروایی یک نظم گسترده جهانی و به‌مدد مهندسی ژنتیک و علم روان‌شناسی در اوج مطلوبیت‌های غریزی و آرامی بشری هستند اما در ازای آن، بسیاری از عناصری که ماهیت درونی انسان را تعریف می‌کند را از دست داده‌اند.

موضوع مهم دیگر درخصوص ملاحظات مربوط به اقتصاد زیستی، تفاوت در زمان تأثیرگذاری پیامدهای حاصل از پیشرفت‌های زیستی است. زمان‌بندی پذیرش نوآوری‌های

^۱ باز شدن جعبه پاندورا به معنی ایجاد مصائب و مشکلات است. جعبه پاندورا اشاره دارد به افسانه‌ای که معتقد است خدای پرومئوس، آتش را از بهشت دزدید تا به نسل بشر که در اصل فقط از مردان تشکیل شده بود ببخشد. برای مجازات بشریت، خدایان دیگر اولین زن، پاندورا را خلق کردند. زئوس به عنوان هدیه به او جعبه‌ای داد که به او گفته شد هرگز آن را باز نکند. با این حال، هنگامی که زئوس از دیده‌ها پنهان گشت، پاندورا درپوش جعبه را برداشت و تمام مشکلات بر جهان هجوم آوردند و هرگز دوباره بازپس گرفته نشدند. فقط امید در جعبه مانده بود که آن هم، زیر درپوش گیر کرده بود. بنابراین هر چیزی که معمولی به نظر می‌رسد اما ممکن است نتایج مضر غیرقابل پیش‌بینی به همراه داشته باشد را می‌توان جعبه پاندورا نامید. برگرفته از منبع زیر:
"Pandora's box." Merriam-Webster.com Dictionary. <https://www.merriam-webster.com/dictionary/Pandorasbox>. Accessed 4/21/2022

از آن‌جا که زیست‌شناسی مصنوعی^۱ کمک خواهد کرد تا بتوان جایگزین‌های ایمن و زیست-تخریب‌پذیری را برای بسیاری از مواد طبیعی تولید کرد، می‌توان امیدوار بود تا خاستگاه دانش اقتصاد، روز به روز رنگ و بوی زیستی بیشتری به‌خود گیرد. به‌خصوص آن‌که، از همجوشی میان حجم عظیم داده‌ها و الگوهای زیستی با داده‌های خشک دیجیتال به کمک هوش مصنوعی، بینش‌های علمی جدیدی حاصل خواهد آمد که خود منشا ثروت برای افراد، شرکت‌ها و جوامعی خواهد شد که صاحب داده‌های زیستی اند.

به‌نظر می‌رسد فناوری‌های حوزه امیکس مثل ژنومیکس، ترنسکرپتومیکس، پروتئومیکس، متابولومیکس، لپیدومیکس، میکروبیومیکس و بسیاری انواع دیگر امیکس، می‌روند تا به مولفه‌های کلیدی در بهبود و تکامل "اکنومیکس" بدل شوند (شکل ۱۶). این تحولات، روی هم رفته، رخداد بی‌سابقه‌ای در تاریخ حیات بشر را رقم خواهند زد که موسسه جهانی مک‌کینزی از آن به "انقلاب زیستی" یاد می‌کند. مطالعه مک‌کینزی به‌خوبی نشان می‌دهد که زیست‌شناسی در آینده‌ای نه‌چندان دور، به زمامدار تحولات اقتصادی جهان بدل خواهد شد و منشا نوین ثروت ملل خواهد بود (چیویی و همکاران، ۲۰۲۰).

سولو توانست برپایه نظرات جوزف شومپیتر و در تکمیل نظرات وی، دانش را به‌عنوان عامل اصلی تولید ثروت طرح کند که بعدها توسط پائول رومر، در قالب نظریه "رشد درون‌زاد" بسط داده شد (Beinhocker, 2006). تقریباً همزمان با سولو، نیکلاس ژرژسکو-روگن به طرح مباحثی در باب ارزش‌گذاری اقتصاد مشغول بود و اثبات این موضوع که بر خلاف دیدگاه‌های سنتی، اقتصاد را نمی‌توان یک سیستم بسته دینامیکی در نظر گرفت، بلکه اقتصاد به‌مثابه یک سیستم باز است که از قانون آنتروپی تبعیت می‌کند و لاجرم، اثر فرایندهای اقتصادی بر جامعه و محیط زیست را نباید از دیده دور نگه داشت (Georgescu-Roegen, 1971) (Gowdy and Mesner, 1998) (Raworth, 2017). در نتیجه، فرایندی به‌نام "اقتصاد زیستی" را مطرح نمود که اشاره دارد به لزوم توجه به محدودیت منابع طبیعی جهان و آثار زیانبار مدل‌های سنتی اقتصاد بر محیط‌زیست، در نتیجه برداشت‌های مستمر و بی‌رویه منابع (Georgescu-Roegen, 1971).

با توسعه دانش و رشد فناوری، به‌خصوص دانش زیست‌شناسی و فناوری‌های زیستی، اکنون جهان در موقعیتی قرار گرفته که می‌توان به تاثیر این پیشرفت‌ها در فرایندهای اقتصادی امیدوار بود. گرچه این رخداد تماماً هم‌راستا با مدل اقتصاد زیستی ژرژسکو-روگن نمی‌باشد اما،



شکل ۱۶- امیکس یک اصطلاح عمومی برای فناوری‌هایی است که امکان شناسایی و تعیین کمیت مجموعه کاملی از مولکول‌ها (به‌عنوان مثال، پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها و لیپیدها) را در یک سیستم زیستی (سلول، بافت، اندام، مایع زیستی یا ارگانیسم) و یک نقطه زمانی خاص فراهم می‌کنند؛ مثل فناوری ژنومیکس، ترنسکرپتومیکس، پروتئومیکس و غیره. به استناد موسسه جهانی مک‌کینزی، امیکس‌ها نقش کلیدی در آینده تحولات اقتصادی و توسعه اقتصاد زیستی برعهده دارند (طرح توسط نویسنده ایده‌پردازی و اجرا شده است).

^۱ زیست‌شناسی مصنوعی (Synthetic Biology, SynBio) یک حوزه تحقیقاتی بین‌رشته‌ای است که به دنبال ایجاد اجزاء، دستگاه‌ها، سامانه‌های زیستی، یا بازطراحی سامانه‌های زیستی موجود در طبیعت است. این شاخه علمی، دامنه وسیعی از روش‌شناسی‌های شاخه‌های دیگر را در بر می‌گیرد که عبارتند از زیست‌فناوری، مهندسی ژنتیک، زیست‌شناسی مولکولی، مهندسی مولکولی، زیست‌شناسی سامانه‌ها، علوم غشایی، بیوفیزیک، مهندسی شیمی و زیست‌شناختی. مهندسی برق و کامپیوتر، مهندسی کنترل و زیست‌شناسی تکاملی. به علت افزایش توانایی‌های مهندسی ژنتیک و کاهش هزینه‌های سنتز و توالی‌یابی DNA، حوزه زیست‌شناسی مصنوعی به‌سرعت در حال رشد است. در ۲۰۱۶، بیش از ۳۵۰ شرکت در ۴۰ کشور به‌طور فعال در کاربردهای مرتبط با زیست‌شناسی مصنوعی دخیل بوده‌اند؛ به‌گونه‌ای که تخمین زده می‌شود که تمام این شرکت‌ها دارای ارزش بازاری خالص ۳/۹ میلیارد دلاری باشند.

مربوطه، آگاهانه و فعالانه برخورد نمایند و نسبت به وضع مقررات اجرایی و نظارتی در این خصوص و همچنین، آگاه سازی عمومی جامعه بکوشند.

با این همه، از آنجا که زیست‌شناسی خود-پایدارساز و خودهماندساز است، بر همه ذینفعان حوزه علوم زیستی و اقتصاد زیستی فرض است تا نسبت به ملاحظات و مخاطرات احتمالی ناشی از سوء استفاده یا خطاهای سهوی

منابع

- چیویی، میکائیل، اورس، ماتیاس، مانیکا، جیمز، ژنگ، آلیس و نیست، تراورس (۲۰۲۰). *انقلاب زیستی، نوآوری‌های تحول‌آفرین در اقتصاد، اجتماع و زندگی ما*. ترجمه سید مهدی علوی. تهران: انتشارات پژوهشگاه ملی مهندسی ژنتیک و زیست‌فناوری.
- علوی، سید مهدی و حبیبی رضایی، مهرا (۱۴۰۰). *اقتصاد زیستی، انقلابی نوظهور از جنس اقتصادی و نه از گونه سیاسی*. نامه علوم پایه (۴)، ۳۲-۶۰.
- هاکسلی، آلدوس. (۱۹۳۱). *دنیای قشنگ نو*. ترجمه سعید حمیدیان. تهران: انتشارات نیلوفر.
- هراری، یوال نوح. (۲۰۱۸). *۲۱ درس برای قرن ۲۱*. ترجمه سودابه قیصری. تهران: انتشارات کتاب پارسه.
- هراری، یوال نوح. (۲۰۱۵). *انسان خداگونه*. تهران: فرهنگ نشر نو.
- Alavi, Seyed Mehdi and Habibi Rezaei, Mehran (1400). Bioeconomy: An impending economic revolution but not a political one. *Name-ye-Oloom-e Paye* (4), 32-60. [In Persian]
- Annevelink, B., & Harmsen, P. (2010, Oct.). *Biorefinery*. Retrieved Aug. 06, 2022, from BBE: <https://www.biobasedeconomy.nl/wat-is-biobased-economy/themas/bioraffinage/v2/>
- Arthur, W. B. (2014, 06 26). *Santafe Institute*. Retrieved 08 01, 2022, from <https://www.santafe.edu/news-center/news/sfmm-arthur-complexity-economics>
- Auyang, S. (1999). *Foundations of Complex-system Theories In Economics, Evolutionary Biology, and Statistical Physics*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Avi, M. (2017). Complex systems biology. *J. R. Soc. Interface.*, 14, 1-9. doi:http://dx.doi.org/10.1098/rsif.2017.0391
- Beinhocker, E. D. (2006). *The Origin of Wealth: Evolution, Complexity, and the Radical Remaking of Economics*. Boston, Harvard Business Press.
- Biernat, K. (2019). Introductory Chapter: Objectives and Scope of Bioeconomy. In K. Biernat, & K. Biernat (Ed.), *Elements of Bioeconomy* (p. 187). London, United Kingdom: IntechOpen Limited. doi:http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.88966
- Boldt, C., Kambach, K., Reich, M., & Teitelbaum, L. (2020). *Expanding the Bioeconomy*. Berlin: Secretariat of the Global Bioeconomy Summit 2020.
- Böbner, S., Johnson, F. X., & Shawoo, Z. (2021). Governing the Bioeconomy: What Role for International Institutions? *Sustainability*, 13(286), 24. doi:https://doi.org/10.3390/su13010286
- Brooks, D. (2013, Feb. 4). Opinion. *The Philosophy of Data*. New York: The New York Times. Retrieved from <https://www.nytimes.com/2013/02/05/opinion/brooks-the-philosophy-of-data.html>
- Chami, R., Cosimano, T., Fullenkamp, C., & Nieburg, D. (2022). Toward a Nature-Based Economy. *Front. Clim.* 4: 855803. doi: 10.3389/fclim.
- Chui, Michael, Evers, Matthias, Manyika, James, Zheng, Alice, and Nisbet Travers (2020). *The Bio Revolution Innovations transforming economies, societies, and our lives*. Translated by Seyed Mahdi Alavi. Tehran: National Research Institute of Genetic Engineering and Biotechnology. [In Persian]
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R. V., Paruelo, J., Raskin, R. G., Sutton, P. & van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Natur*, 387(6630), 253-260. doi:10.1038/387253a0. S2CID 672256
- Costanza, R., de Groot, R., Sutton, P., van der Ploeg, S., Anderson S. J., Kubiszewski, I., Farber S. & Turner, R. K. (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, 26, 152-158. doi:10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002.
- Dietz, T., Börner, J., Förster, J., & von Braun, J. (2022). Governance of the Bioeconomy in Global Comparison. In D. Thrän, & U. Moesenfechtel, *The bioeconomy system* (p. 379). Berlin, Germany: Springer. doi:doi.org/10.1007/978-3-662-64415-7_23
- Ecosystem_service*. (2021, March). (Wikimedia Foundation Inc.) Retrieved Aug. 08, 2022, from wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Ecosystem_service
- El-Chichakli, B., von Braun, J., Barben, D., & Philp, J. (2016, Jul. 16). Five cornerstones of a global bioeconomy. *Nature*, 535, 3.
- Georgescu-Roegen, N. (1971). *The Entropy Law and the Economic Process*. Cambridge, USA: Harvard University Press.
- Gowdy, J., & Mesner, S. (1998). The Evolution of Georgescu-Roegen's Bioeconomics. *Review of Social Economy*, 56(2), 136-56. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/29769942>
- Harari, Yuval Noah. (2018). *21 lessons for the 21st century*. Translated by Soodabeh Gheysari. Tehran: Ketab-e Parseh Publishing House. [In Persian]
- Harari, Yuval Noah. (2015). *Homo Deus*. Tehran: New Publishing Culture. [In Persian]
- Hinderer, S., Brändle, L., & Kuck, A. (2021). Transition to a Sustainable Bioeconomy. *Sustainability*, 13, 8232-8248. doi:https://doi.org/10.3390/su13158232
- Huxley, Aldous. (1931). *Brave new world*. Translated by Saeed Hamidian. Tehran: Nilufar Publications. [In Persian]

- Jagodzinski, J. (2020). Thinking ‘The End of Times’: The Significance of Bioart|BioArt for Art|Education. In J. Jagodzinski, *Pedagogical Explorations in a Posthuman Age* (p. 327). Switzerland: Springer International Publishing.
- Kelly, J., LeProust, E., Xu, X., Emmanuel, E., Fox, K., Kinyagia, B., . . . Fox, C. (2021, Dec. 09). *Why sharing data is crucial for progress in bioeconomy*. Retrieved Aug. 06, 2022, from world economic forum: <https://www.weforum.org/agenda/2021/12/why-sharing-data-and-benefits-is-crucial-for-bioeconomy/>
- Lewandowski, I., Gaudet, N., Maier, J., Tchouga, B., & Vargas-Carpintero, R. (2018). Context. In I. Lewandowski (Ed.), *Bioeconomy shaping the transition to a sustainable, biobased economy* (p. 355). Cham, Switzerland: Springer International Publishing AG.
- Mayumi, K. (1993). The Exosomatic Mode of Human Evolution, and a Clarification of Nicholas Georgescu-Roegen's Thoughts on Entropy, the Economic Process, Dialectics and Evolution. *Methodus*, 88-92.
- Mengist, W., Soromessa, T., & Feyisa, G. L. (2020). A global view of regulatory ecosystem services: existed knowledge, trends, and research gaps. *Ecological Processes*, 9. doi:<https://doi.org/10.1186/s13717-020-00241-w>
- Mills, E. (2015). *The Bioeconomy, a primer*. the Netherlands: Transnational Institute and Hands on the Land. doi:10.13140/RG.2.2.22561.71525
- Mitchell, M. (2009). *Complexity: A Guided Tour*. New York: Oxford University Press.
- Nielsen, R. (2014, 04 01). *whistlinginthewind*. Retrieved 07 30, 2022, from <https://whistlinginthewind.org/2014/04/01/economists-and-their-assumptions/>
- Raworth, K. (2017). *Doughnut Economics: 7 Ways to Think Like a 21st Century Economist*. White River Junction, Vermont: Chelsea Green Publishing.
- Schnell, S. (2016, 3 14). *Biophysical Society*. Retrieved 7 27, 2022, from <https://www.biophysics.org/blog/pi-is-encoded-in-the-patterns-of-life>
- Scordato, L., Bugge, M. M., & Mart, A. (2017). Directionality across Diversity: Governing Contending Policy Rationales in the Transition towards the Bioeconomy. *Sustainability*, 9(206), 14. doi:10.3390/su9020206
- Sowell, T. (2018). *Intellectuals and Society*. United States: Basic Books.
- Stamato, L., Higgins, E., Prottoy, H. M., Asgarali-Hoffman, S., Scheifele, L., Dusman, L., Hamidi, F. (2022). Raaz: A Transdisciplinary Exploration at the Intersection of Bioart, HCI, and Community Engagement. *Front. Comput. Sci.*, 17. doi:10.3389/fcomp.2022.830959
- Thacker, E. (2005). Biophylosophy for the 21st century. *Ctheory Journal, Issue: 1000 Days of Theory*.
- UNDP. (2022, Aug. 06). *Don't choose extinction*. Retrieved from <https://dontchooseextinction.com/en/>

