نمایی از رابطه زیست شناسی و ریاضی: از سده هفدهم تا بیست و یکم

غلامرضا رکنی لموکی*

تهران، دانشگاه تهران، پردیس علوم، دانشکده ریاضی، آمار و علوم کامپیوتر

چکیده

در این مقاله به طور مختصر به نقش ریاضی در مطالعات زیست شناسی می‌پردازیم. به طور معمول مفاهیمی مانند شمارش، اندازه گیری، و محاسبات آماری در زیست شناسی به کرات مورد استفاده قرار می‌گیرند. ولی این همه کاری نیست که ریاضی برای زیست شناسی انجام می‌دهد و یا می‌تواند انجام دهد. پرسش اصلی در این بحث، نقش تفکر ریاضی در مطالعات زیست شناسی است. اساس چنین تفکری مشخص کننده جزییات فنی وارد شده از ریاضی به زیست شناسی است. در این خصوص به سه دوره مهم در زمینه تعامل ریاضی با زیست شناسی پرداخته می‌شود. دوره نخست سده‌های هفدهم تا نوزدهم است. در این دوره ابهامات زیادی در خصوص رابطه ریاضیدانان با زیست شناسی وجود دارد. بررسی‌های این مقاله، با نشان دادن این که این دوره غنی از ریاضیدانانی است با سودای زیست شناسی/پزشکی و یا موثر بر زیست شناسی/پزشکی، اندکی از این ابهامات می‌کاهد. دوره دوم سده بیستم است، که رسما از سال هزارو دویست و نودونه هجری خورشیدی با ظهور عنوان ریاضیات زیستی (Biomathematics) آغاز می‌شود. این دوره سرشار از تلاش‌های بسیار در زمینه ریاضیات زیستی با تحولاتی شگرف است. دستاوردهای ریاضی محور این دوره در حوزه زیست شناسی/پزشکی با هیچ روش صرفا زیست شناسانه مرسوم قابل دریافت نبوده است. تحول گرایی در روزهای پایانی این دوره به اوج می‌رسد و مفهوم ریاضیات زیستی به مفهوم زیست شناسی ریاضی وار (Mathematical Biology) تطور می‌یابد. دوره سوم از سال‌های ابتدایی سده بیست و یکم آغاز می‌شود و در مسیر تطور به ابهامی جدید می‌انجامد. آیا ریاضیدانان کسانی خواهند بود که اهداف زیست شناسی را تحقق می‌بخشند. آیا زیست‌شناسی به روش مرسوم، که همچنان تداوم دارد، منسوخ خواهد شد. امیدها و بیم ها در خصوص مهارتهای ریاضی زیست شناسان و مهارتهای زیست شناسی ریاضیدانان چه خواهد شد. سر رشته کار در دست که خواهد بود، ریاضیدنان و یا زیست شناسان؟ این مقاله برآن است که آغاز دوره سوم در سده بیست و یکم را بررسی کند و برای آن پیشنهاداتی ارائه کند. تحولات نشان می‌دهند که نسل جدیدی از زیست شناسان ریاضیدان جایگزین ریاضیدانان علاقه مند به زیست شناسی خواهند شد. این افراد که، هسته اصلی فعالیت شان از زیست شناسی آغاز می‌شود، به وسیله ریاضیدانان آموزش خواهند دید. حدود نه برابر محتوای زیست شناسی مرسوم، در آثار آنها محتوای ریاضی وجود خواهد داشت. در آینده ای نزدیک تشخیص اینکه این افراد زیست شناس هستند و یا ریاضیدان در یک نگاه بسیار دشوار خواهد بود همانگونه که در سده نوزدهم و بیستم تشخیص ریاضیدان از فیزیکدان امری آسان نبوده است. پس از این دوره، باید منتظر دورانی باشیم که در آن ریاضیاتی مختص زیست شناسی ابداع شود که حاصل آن فناوری‌های زیستی اعجاب انگیزی خواهد بود که از حد تصور زیست–ریاضیدانان بجا مانده از دوره دوم خارج است. مقیاس‌های زمانی دوره سوم و دوران پس از آن، بسیار وابسته به نظام آموزش ریاضی برای زیست شناسان جوان است.

کلیدواژگان: ریاضیات زیستی، سایبرنتیک، دکارت، اویلر، گالیله، نیوتن

* نویسنده مسئول، پست الکترونیکی: rokni@ut.ac.ir

مقدمه

باور بر این است که مطالعات ریاضی مربوط به زیست‌شناسی در سده‌های هفدهم تا نوزدهم و پیش از آن به صورت تحلیل ساده اعداد اندازه گیری شده در آزمایشها یا مشاهدات بوده است. در این مدت ریاضی پیشرفت قابل ملاحظه ای داشت که بخش قابل توجهی از آن به مکانیک، فیزیک و مهندسی مربوط بوده است. معمولاً چنین عنوان می‌شود که پیچیدگی‌های بسیار علوم زیستی از این پیشرفت‌های ریاضی بهره چندانی نبرده است. نباید با نگاهی گذرا به دستاوردهای علوم زیستی در آن سده ها این امر را تایید یا رد کرد، و پیش از هر گونه برداشت کلی و قاطعانه ای باید به همه جنبه‌های چنین مقوله ای توجه داشت. اگر بپذیریم که در سده‌های مذکور، علومی چون

مکانیک، فیزیک و مهندسی از ریاضی بسیار بهره برده اند ولی چنین بهره برداری از جانب زیست شناسی صورت نگرفت، ممکن است به طور ضمنی اصل رشد مستقل را پذیرفته باشیم که بر اساس آن ریاضی تحول و رشدی مستقل داشته و در این رهگذر علومی مانند مکانیک، فیزیک و مهندسی از آن بهره مند شده اند و بنا بر برخی دلایل، علوم زیستی از آن بی بهره ماندند.

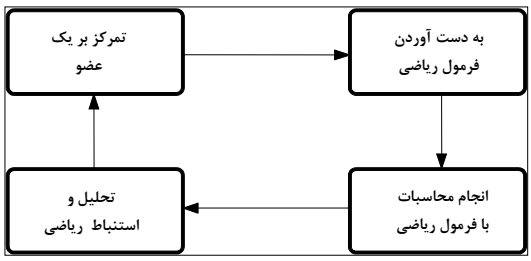
همگام با علومی که از ریاضی به عنوان ابزار بهره برده اند، ریاضی نیز با پرداختن به آنها رشد نموده است. این ما را به تعبیری بهتر می‌رساند که بر اساس آن برخی از علوم به طور پیوسته موضوع اصلی بسیاری از فعالیت‌های ریاضی بوده اند. بر این اساس، این تعبیر به ذهن می‌رسد که زیست شناسی در سده‌های هفدهم تا نوزدهم به طور پیوسته موضوعی اصلی برای ریاضی نبوده است.

در نتیجه، این پرسش که چرا در طی این سیصد سال، زیست شناسی از ریاضی بهره ای وافی نبرده است به این پرسش تبدیل می‌شود که«چرا در طی آن دوره زمانی، زیست شناسی، به طور پیوسته موضوع ریاضی نبوده است؟» این را نیز می‌پذیریم که توجه بدون انقطاع ریاضی به مکانیک، فیزیک و مهندسی به معنی توجه بدون انقطاع ریاضیدانان به این علوم است. پذیرش این اصل بدان معنی است که موضوعات مورد توجه ریاضی ناشی از توجه ریاضیدانان به آن موضوعات است. در نتیجه پرسش بالا پاسخی بدیهی دارد. عدم توجه بدون انقطاع ریاضی به زیست شناسی در آن دوران، معلول عدم توجه دائمی ریاضیدانان به زیست شناسی بوده است. این پاسخ سریع، پرسش دیگری را به پیش می‌کشد. علت عدم توجه دائمی ریاضیدانان به زیست شناسی در سده‌های هفدهم تا نوزدهم چه بوده است؟ البته، نباید فرضیه عدم توجه مستمر ریاضیدانان به زیست شناسی را در سده‌های هفدهم تا نوزدهم بدون بررسی‌های بیشتر پذیرفته شده بینگاریم.

در پرداختن به زیست شناسی، ریاضیدانان سده بیستم وارد عرصه نوینی شدند. فعالیت‌های نیمه نخست این سده مقدمه ای شد برای پرداختن تمام عیار به زیست شناسی. این تلاشها به گونه ای پیش رفت که ریاضیدانان توسط برخی زیست شناسان سنتی، متهم به تخریب سنت‌های ارزشمند زیست شناسی، با سوء استفاده از نیازهای صرفا محاسباتی زیست شناسی و وارد نمودن پیچیدگی‌های غیر ضروری، شدند. این تفکر هیچگاه غالب نگردید، ولی هیچگاه به طور کامل حذف نشد. در سده بیستم، ریاضی با صورتگرایی، منطق قدرتمند و ابزارهای مدلسازی خود برای ماندن همیشگی وارد صحنه زیست شناسی شد و راهی برای خروج آن از این صحنه متصور نبود.

در نیمه نخست سده بیستم مسائلی مانند شیوع بیماری‌های واگیر توجه ریاضیدانان را جلب کرد.

چرخه توقف ناپذیر مدلسازی ریاضی در نظریه دستگاه‌های زیستی. ابتدا بر یک عضو یا پدیده متمرکز شده مشاهدات صورت می‌پذیرد. حاصل این مشاهدات، اصول اولیه ای است که بر اساس آنها مدل ساخته می‌شود. در گام دوم، بر اساس اصول به دست آمده، مدل‌های مفهومی ساخته می‌شود و سپس فرمول‌های ریاضی مربوطه به دست می‌آیند. در مرحله سوم، محاسبات مورد نیاز بر اساس فرمول‌های به دست آمده صورت می‌گیرد. در مرحله چهارم، تحلیل و استنباط‌های ضروری انجام می‌پذیرد و اطلاعات به دست آمده برای فهم عملکرد و یا دخالت در آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. سپس، بر حسب نیاز، این چرخه بارها تکرار خواهد شد. در نهایت، فرایند مدلسازی نیز خود موضوع تحول خواهد بود و مراحل آن ممکن است تغییر یافته یا متحول شوند.



نوربرت وینر (1894–1964)–(۱۲۷۳–۱۳۴۳ ه.ش.) ریاضیدان و مخترع مفهوم سایبرنتیک. تحصیلات اولیه وی در ریاضی و سپس در جانورشناسی است. در نهایت دکترای خود را درفلسفه با موضوع منطق ریاضی دریافت می‌کند. وینر زیر نظر برتراند راسل، گودفری هاردی و دیوید هیلبرت به ریاضیدانی بسیار تاثیر گذار در حوزه هایی مانند فرایندهای تصادفی، حرکت براونی و آنالیز هارمونیک بدل شد. وینر تاثیر بسزایی در حوزه کنترل تصادفی و مهندسی مخابرات به جاگذارد که در نهایت به ابداع مفهوم سایبرنتیک – کنترل و مخابرات میان ماشینها و جانوران – انجامید. او کتابی با همین عنوان در سال ۱۹۴۸ نگاشته است. سایبرنتیک مفهومی بین رشته ای در طبیعت است که بر اساس رابطه میان انسانها و ماشینها استوار است. وینر علی رغم تمرکز بر دیگر شاخه‌های ریاضی، تا پایان عمر از مروجین سایبرنتیک بوده است (*دانشنامه بریتانیکا*).

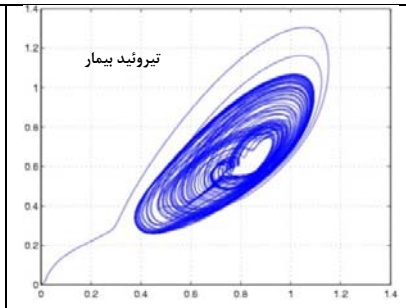
در اواسط سده بیستم مسائلی مانند نوسان–آرامش (Relaxation-Oscillation) مورد توجه قرار گرفت (Danziger, 1956) و (Ginoux, 2017). در نیمه دوم سده بیستم، بیماری هایی مانند دیابت توجه ریاضیدانان را جلب نمود (Mahan, 1987). در این فهرست می‌توان به مدل‌های ریاضی قلب (Nielsen, 1991)، تیروئید (Sartchandran, 1976)، پانکراس (Lopes, 1999)، دستگاه عصبی (Hodgkin, 1952)، دستگاه بینایی (Woo, 1972)، بیومکانیک (Plagenhoef, 1968)، زیست برون زمینی (Dick, 1996)، دستگاه تنفس (Barani, 1979)، پسخورهای زیستی (Pardee, 1085)، نوسان‌های زیستی (Chay, 1981)، و بیوشیمی(Segel, 1968) اشاره کرد. این رشد سریع توجه ریاضیدانان به مقوله‌های زیستی بی‌دلیل نبوده است.

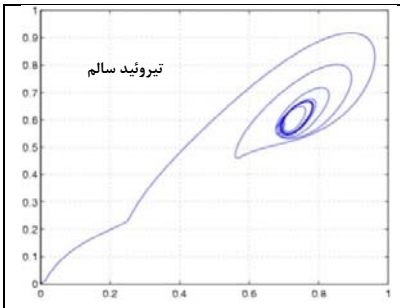
رشد سریع و بسیار زیاد توجه ریاضیدانان به زیست شناسی در سده بیستم به مفهوم مدل بدن[1] کامل منجر شد و مفاهیمی مانند حیات مصنوعی[2] و زیست شناسی مصنوعی[3] ابداع شدند. پیش زمینه این خلاقیت ها را می‌توان در ایده هایی عمیق چون سایبرنتیک[4] جستجو کرد. سایبرنتیک با تاکید بر اهمیت ایجاد ارتباط میان ماشین و موجودات زنده منجر به ابداع فناوری‌های مدرنی چون سایبرگ[5] شد. این ارتباط یکطرفه نبوده است. بسیاری از ایده‌های ماشینی سده بیستم، محصول توجه به موجودات زنده و مهارتهای تطبیقی آنها در طبیعت و محیط زیست شان بوده است. این امر به گونه ای رخ داد که موجودات زنده الگوی اولیه بسیاری از اختراعات و ابداعات سده بیستم بوده اند. ریاضی این دوره، علاوه بر پرداختن به زیست شناسی با هدف فهم زیست شناسی، به زیست شناسی با هدف توسعه فناوری نیز نگریسته است. این امر و سایر توجهات ریاضی به دنیای پیرامون آن را به پایه توسعه فناوری و پیشرفت جوامع تبدیل کرد. یکی از این جنبه‌های پیشرفت، مداخلات درمانی در بیماری ها از راه مدلسازی و فهم سازوکار کمی آن ها بوده است.

علت توجه فوق العاده ریاضیدانان سده بیستم به زیست شناسی را باید در تقابل رخدادهای اجتماعی، نیازهای جدید و ابزار مورد استفاده جستجو نمود. نظریه معادلات دیفرانسیل، نظریه احتمالات، روش‌های هندسی، نظریه لی و بسیاری دیگر از نظریات ریاضی در مطالعات زیست شناسانه ریاضیدانها دخیل هستند. هر چند فردی مانند لیاپانف منحصرا بر مسائل مربوط به زیست شناسی متمرکز نبود، ولی یافته‌های او در باره تعادلها و پایداری در نظریه معادلات دیفرانسیل هسته اصلی بسیاری از مطالعات زیست–محور ریاضیدانان بوده است. همزمان با لیاپانف، آخرین ریاضیدان جامع، هانری پوانکاره، پایه گذار نظریات عمیقی در ریاضی کاربردی و ریاضی محض شد که در مطالعه ریاضی–محور زیست شناسی تاثیرات بسزایی گذاشت.

[1] whole body model
[2] artificial life
[3] synthetic biology
[4] cybernetics
[5] cyborg: cybernetic organism

یکی از دستاوردهای مهم سده بیستم، ارائه ایده‌های کمی با درکی شهودی از پدیده‌های زیستی است. در این شکل محاسبات مربوط به تیروئید سالم و تیروئید بیمار به تصویر کشیده شده اند (Rokni, 2015). در این مرجع به طور ویژه به پدیده ولف-چایکوف پرداخته شده است. گرچه این کار در سده بیست و یکم انجام شده است، ولی از نظر روش در چارچوب سده بیستم قرار می‌گیرد.





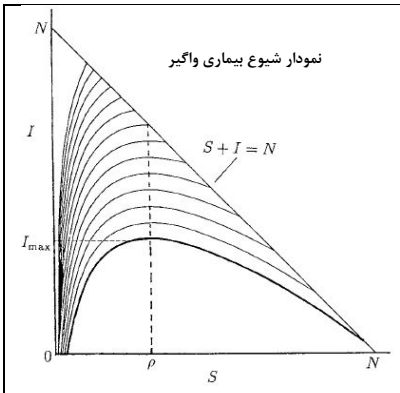
مدل شیوع بیماری واگیر که معروف به SIR است. در این مدل نشان داده شد که شیوع ناشی از وجود افراد آلوده و پایان آن نیز ناشی از انقراض افراد آلوده است. این توصیف ساده، تمایز میان مقوله شیوع بیماری واگیر (epidemic disease) و مقوله نهادینه شدن یک بیماری (endemic disease) روشن نمود (Murray, 1989).

مدل مفهومی SIR

$$S \longrightarrow I \longrightarrow R$$

معادلات دیفرانسیل مدل SIR

$$\frac{dS}{dt} = -rSI,$$
$$\frac{dI}{dt} = rSI - aI,$$
$$\frac{dR}{dt} = aI,$$



اندک زمانی پس از لیاپانف و پوانکاره نظریه هندسی معادلات دیفرانسیل و نظریه اختلال تکین (singularity disorder theory) در چنین مطالعاتی به کار گرفته شد.

مطالعات جمعیت شناسی ریاضیدانان نیز در سده بیستم خیزی برداشت. در نتیجه، مدل‌های بقا، انقراض و تقابل گونه‌های جانوری ارائه شد. در حوزه شیوع بیماری‌های واگیر مدل‌های انتقال و گسترش ارائه و روش‌های بازدارندگی مطالعه شد.

به طور ویژه، ریاضیدانان، در خصوص هر نوع بیماری که مایل بودند دست به ارائه روش‌های ریاضی درمان زده اند، حتی در خصوص بیماریهایی که از نظر علوم زیست شناسی فعلی، در بهترین حالت کنترل شونده اند، و اصولا غیر قابل درمان فرض می‌شوند. این استقبال بی نظیر ریاضیدانان سده بیستم از هر مسئله مربوط به زیست شناسی، این پرسش را پیش می‌کشد که چرا گذشتگان این طائفه، در سده‌های قبل توجه ای در خور به چنین حوزه پرباری نداشته اند. در خصوص پاسخ به این پرسش می‌توان به این نکته رسید که ممکن است اصولا فرضیه عدم توجه صحت نداشته باشد. بدین ترتیب می‌توان میان فرض عدم توجه به زیست شناسی و فرض عدم کفایت ابزار برای حل مسائل زیست شناسی تحت توجه تمایز قائل شد. بنا بر این نیازمند شواهدی هستیم که موید توجه ریاضیدانان سده‌های هفدهم تا نوزدهم به مقوله زیست شناسی باشد.

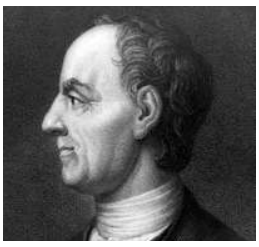
سده هفدهم تا نوزدهم: نوگرایی و صورتگرایی

برای این منظور به اولین فیلسوف نوگرای غرب، دکارت، می‌پردازیم. دکارت در مقاله «گفتار در روش» به علم پزشکی می‌پردازد و آن را در شکل آن زمانی اش فاقد هر گونه فایده می‌شمرد (Descartes, 1637).

رنه دکارت (1596–1650)–(۹۷۴–۱۰۲۸ ه.ش.) نگارنده کتابی ناتمام با عنوان «توصیف بدن انسان». او در این گفتار به دنبال توضیح رشد جنین بدن حیوانات بود (فرهنگ دانشنامه فلسفه استنفورد). دکارت در مقاله معرف خود با عنوان «گفتار در روش هدایت درست عقل» به هر آنچه که در معرض دید او بود از دیدگاه یک فیلسوف نگریست و از دیدگاه یک ریاضیدان به آنها پرداخت. در کنار دفاع تمام قد از تفکرات مدرن، دکارت نسبت به نوگرایی سفیهانه هشدار می‌دهد. او ریاضی را چون بنایی می‌دید که همه امورات بشری از هنر و معماری گرفته تا پزشکی، باید در قالب آن فهمیده شوند.

دکارت پزشکی را بزرگ می‌دارد، ولی ابراز اطمینان می‌کند که دانش پزشکی در زمان او در مقایسه با آنچه که برای دانستن باقی مانده تقریبا هیچ است. او به تعداد بی شمار بیماری‌های جسم و جان و ضعف پیری اشاره می‌کند و تلویحا نیاز به رجوع به طبیعت را بر می‌شمارد. او در پایان گفتار خود به این امر اشاره می‌کند که می‌خواهد باقی عمر خویش را صرف دریافت دانش از طبیعت کند که بر اساس آن قوانینی در پزشکی به دست آید که نسبت به آنچه که تا کنون داشته اند قابل اطمینان تر باشند. در بخشهایی دیگر از این گفتار، دکارت مستقیما به موضوعات زیستی پرداخته است و مقوله هایی کاملا تجربی را پیشنهاد می‌کند. این امر نشان می‌دهد که دکارت توجه ویژه ای به امور زیستی داشته است. او به عنوان پیشرو در فلسفه نوین غرب و دانشمندی نوگرا نوید توجهی ویژه به امور زیست شناسانه را توسط ریاضیدانان می‌دهد. پیش بینی او به وقوع پیوست و در سده بیستم اوجی منحصر بفرد گرفت. دکارت بر تاریخ پزشکی تاثیری قابل تامل داشته است (Bayon, 1950).

بر خلاف دکارت که صراحتاً به بررسی مسایل زیست شناختی پرداخته است، اویلر در آثارش هیچ اشاره مستقیم و یا غیر مستقیمی به زیست شناسی، بوم شناسی، پزشکی، جمعیت شناسی، بیماری‌های واگیر، تطور جمعیت‌های تک گونه ای و چندگونه ای ننموده است. ولی اویلر ریاضی دانی است که بیش از هر ریاضی دان دیگر از هم عصران خود نامش بر روی مطالعات و فرمول‌های مدل‌های ریاضی زیست شناسی، بوم شناسی، پزشکی، جمعیت شناسی، بیماری‌های واگیر، تطور جمعیت‌های تک گونه ای و چند گونه ای می‌درخشد. این در حالی است که نام دکارت بر هیچ کدام از چنین فرمول هایی دیده نمی‌شود. این که نام دکارت بر فرمولی خاص از حوزه‌های زیستی دیده نمی‌شود، هر چند او صراحتا بر تمرکز ویژه خود بر آن ها اصرار نموده است، ناشی از پدیده آشکاری است که از فرط آشکاری پنهان می‌نماید. اساس همه مطالعات جبری و هندسی در ریاضی مربوط به پدیده‌های طبیعی، مقدماتی است که دکارت در هندسه تحلیلی خود بیان نموده است که در نهایت در هسته اصلی نظریه‌های هندسی قرار گرفته است. بر این اساس در هر مدلی که از دستگاه مختصات دکارتی یاد می‌شود، نام و نظریه و هنر دکارت نهفته است. در خصوص اویلر، اما فهمی کاملا متفاوت مورد نیاز است. در وصف او می‌توان گفت که او نخستین ریاضیدانی بود که از آنالیز ریاضی برای حل مسایل نظریه اعداد استفاده کرد. او معرف رسمی مفهوم تابع و متخصص حساب بینهایت کوچکها، منطق دان، متخصص نظریه گراف، توپولوژی و نظریه تحلیلی اعداد بوده است.



لئونارد اویلر (1707–1783)–(۱۰۸۵–۱۱۶۱ ه.ش.) نگارندهٔ آثاری ارزشمند در ریاضی محض مانند هندسه، حسابان، مکانیک، نظریه اعداد. او توسعه دهنده روش‌های حل مسائل مشاهدات نجومی، و طراح کاربردهای جالبی از ریاضیات در فناوری و امور عامه است (*دانشنامه بریتانیکا*).

اسحق نیوتن (1727–1643)–(۱۰۲۱–۱۱۰۲ ه.ش.) چهره برجسته انقلاب علمی سده هفدهم میلادی و تکمیل کننده نظریه گالیله در علم حرکت اجسام و ارائه دهنده پایه‌های ریاضی نورشناسی، مکانیک اجرام، فیزیک مدرن. او تدوین کننده مفهوم جدیدی از طبیعت به عنوان یک دستگاه پیچیده بود و روش شناسی کمیت گرای او در مقابل ایده‌های منقضی شده گذشتگان، مانند زمین محوری ارسطو، قرار داشت (*دانشنامه بریتانیکا*).

با این سابقه می‌توان به عنوان‌های او در معادلات دیفرانسیل اویلر و اویلر لاگرانژ، معادله چرخش اویلر، اتحاد اویلر، روش عددی اویلر، ثابت اویلر و بسیاری دیگر از این موارد اشاره کرد. هرچند همه این عنوان ها در فرهنگ عامه ریاضی امروزه به ریاضی محض بر می‌گردد، ولی این معادلات و فرمول ها در هسته اصلی مطالعات فیزیک، مکانیک، مکانیک سیالات، مکانیک آسمانی، موسیقی و بسیاری دیگر از حوزه‌های علوم قرار دارند. اینک اگر به زیست شناسی توجه کنیم می‌توانیم عنوان‌های بسیاری همچون معادله اویلر–لوتکا، فرمول دی ان آی اویلر، معادله اویلر در اکولوژی و بسیاری دیگر از این عنوان ها را ذکر نمود. راز حضور پربار اویلر در حوزه‌های فیزیک و مکانیک در این حقیقت نهفته است که اویلر علاوه بر ریاضیدانی محض بودن، مهندس، فیزیکدان ، ستاره شناس، و جغرافی دان است، و علاوه بر اینها کارهای بسیار اصیلی در حوزه‌های نورشناسی و موسیقی انجام داده است.

همه این مقوله ها مطرح گردید تا راز حضور همه جانبه و اجتناب ناپذیر اویلر را در مطالعات و فرمول‌های مربوط به مدل‌های زیست شناختی بهتر بفهمیم. کلید درک این راز در دیدگاه ترمودینامیکی اویلر از جهان هستی و تاثیر این دیگاه بر کارهای او نهفته است (Gladyshev, 2007). اصول ترمودینامیک از کلی ترین اصول مورد استفاده بشر در درک طبیعت است. حضور دائمی چنین دیدگاهی، دستاوردهای اویلر را مستعد کاربرد در حوزه‌های زیست شناسی می‌کند. بنابراین چندان عجیب نیست، و البته بسیار طبیعی است، که ابداعات اویلر در هسته اصلی بسیاری از مطالعات و فرمول‌های مربوط به مدل‌های زیستی قرار داشته باشد.

با توجه به ریاضیدانانی چون دکارت و اویلر می‌توان چنین فهمید که در سده‌های هفدهم تا نوزدهم، ریاضیدانان ضمن توجه به مسایل زیست شناختی به عنوان بخشی از دنیای پیرامون خود، به طور مستقیم و یا غیر مستقیم در ریاضیات زیست شناسی صاحب اثر بوده اند. ریاضیدانانی چون اویلر و دکارت در سه سده هفدهم تا نوزدهم بسیار بوده اند. در آن سده ها، بنای ریاضی با الهام از طبیعت و توجه به ساختارهای پایه بسیار مورد توجه بوده است. پرداختی که در حوزه‌های فیزیک و مکانیک صورت گرفت، پایه هایی شدند برای مدل سازی سایر حوزه ها مانند زیست شناسی. از نمونه هایی چون دکارت و اویلر می‌توان به گاوس، لاپلاس، آبل، ریمان، لاگرانژ، ژاکوبی، گالوا، وایراشتراس و بسیاری دیگر از ریاضیدانان آن دوران اشاره نمود.

سده هفدهم تا نوزدهم:
علوم جدید و ریاضیات مدرن

پیش از گشودن پرونده قطور تحولات ریاضی محور در حوزه‌های زیست شناختی سده بیستم، ظهور علوم جدید و تالی آن یعنی ریاضیات مدرن را بررسی می‌کنیم. در این خصوص آثار گالیله و نیوتن را مورد بررسی قرار می‌دهیم. گالیله در تحول علمی چند سده اخیر دانشمندی بسیار تاثیرگذاربوده است. حوزه اصلی فعالیت او مکانیک، فیزیک و نجوم بوده است.

گالیلئو گالیله (1642–1564)–(۹۴۲–۱۰۲۰ ه.ش.) یکی از چهره‌های مرکزی انقلاب علمی سده هفدهم میلادی و ارائه دهنده نظریاتی در فلسفه طبیعی. نظریات او پس از ۴۰۰ سال همچنان محل مناقشه است. پیش از نیوتن، نظریات او نیز در تقابل با ارسطو قرار گرفت بود. (*دانشنامه فلسفه استنفورد و دانشنامه بریتانیکا*).

گالیلئو گالیله(1642–1564)، گالیله مورد نظر ما، نباید با خویش همنام و قدیمی اش گالیلئو گالیله (1370–1446) پزشک مشهور سده پانزدهم اشتباه گرفته شود. او که همانند خویشاوند خود بنا بر نظر خانواده، با سودای تکرار شهرت آن خویشاوند، کار خود را با آموختن پزشکی آغاز کرده بود، در نهایت سرچشمه تحولات بزرگی در فیزیک، ریاضی، و نیز در ارتوپدی گشت.

روش شناسی او در فلسفه طبیعی، تحولی شگرف ایجاد نمود که آثار آن به سایر حوزه‌های علوم نیز تسری یافت. نیوتن ضمن ارائه نظریه بینهایت کوچکها و حسابان مرتبط با آن، نظریه‌های پیشین را در قالب صورت‌های اولیه فرمالیزم مکانیک قرار داد. هم گالیله و هم نیوتن، اثرات بزرگی بر تتبعات زیست شناختی پس از خود بجا گذاردند.

در خصوص گالیله، و ارتباط او با امور زیستی، به سه وجه می‌توان توجه کرد. به عنوان وجه نخست می‌توان دریافت که دیدگاه شناختی او بر تجربه نمودن رخدادهای طبیعی تاکید داشته است. از این منظر از بنیان گذاران فلسفه طبیعی نوینی است که به تجربه‌های جدید بشری انجامید. مبارزه او در میدان علم در برابر ایمان هنوز محل مناقشه است (Galilei,1632) و (Zanatta, 2017). تاثیر گالیله بر علم پزشکی و تجربه‌های زیست شناختی نسبت به تاثیر آن بر سایر علوم از یک اولویت ویژه برخوردار است. او از سال 1580 میلادی به مدت سه سال در دانشکده هنروران دانشگاه پیزا، دانشجوی پزشکی بوده است (Castiglioni, 1942). تغییری که گالیله در مطالعات فلسفه طبیعی پیشنهاد نمود، به زودی در سایر حوزه‌های علوم مانند فیزیولوژی، پزشکی و آناتومی تاثیراتی ماندگار به جا نهاد. همان گونه که هیات بطلمیوسی و فلسفه طبیعی ارسطو دچار اشتباه دیده شد، دیده شد که توصیف قدیمی بدن انسان نیز اشتباه است (Righini, 2019). توجه ویژه گالیله به آناتومی و گردش خون از یادداشت‌های انبوه به جامانده از وی قابل فهم است (Righini, 2019). وجه دوم بر این امر استوار است که او برای پیشبرد اهداف فلسفه طبیعی خود به ساخت ابزار روی آورد. تلسکوپ و میکروسکوپ دو اختراع مهم وی هستند که یکی عظمت آسمان و دیگری دنیای ریز را مورد هدف قرار می‌دهند (IMSDS). این نگرش گالیله و اختراع حاصل از آن که از تجربیات پزشکی وی بسیار تاثیر پذیرفته است، تاثیراتی عمیق بر دانش پزشکی بجا گذاشت. این تاثیرات به مراتب از یادداشت‌های مستقیم او در حوزه پزشکی موثر تر بوده اند. وجه سوم ارتباط گالیله با حوزه زیست شناسی دارای پیچیدگی ویژه خود است. پس از اینکه او را فردی تجدید نظر طلب و تجربه اندوز در فلسفه طبیعی دیدیم و پس از آنکه تجربیات پزشکی و زیست شناختی و تکنولوژی ابداعی وی را مد نظر قرار دادیم، با جنبه جدیدی از این فرد روبرو هستیم که متعین و ریاضیدان و فیزیکدان است و در حوزه مکانیک صاحب اثر است (Camiz, 2008) و (Henry, 2011). گالیله در کتاب «گفتار پیرامون دو علم جدید» (Galileo, 1638)، قانون مقیاس بندی خود را عرضه نمود (Peterson, 2002). دو علم مورد توجه وی امروزه استاتیک و دینامیک خوانده می‌شوند. توجه ویژه او به قانون مقیاس بندی و عرضه مفاهیم استاتیک و دینامیک، منجر به تولد دانش فنی بیومکانیک شد که پایه‌های ارتوپدی مدرن را می‌سازند (Jastifer, 2011). توجه به منطق و روش شناسی گالیله نشان می‌دهد که مطالعه مکانیکی بر روی اجسام جامد به مراتب آسان تر از مطالعه مکانیکی اعضای بدن انسان یا سایر جانداران است. روی آوردن گالیله به مکانیک و موثر بودن دستاوردهای وی در ارتوپدی نه تصادفی است و نه تصنعی، بلکه امری است که وقوع آن کاملا معقول بوده است.

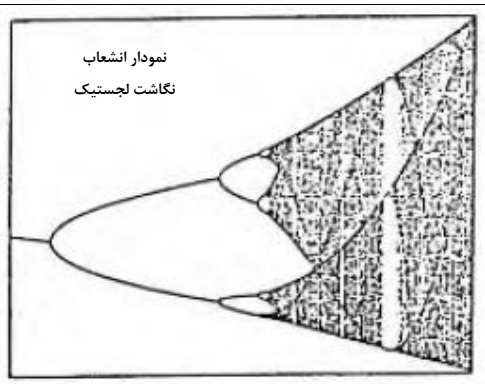
اساس کار نیوتن را باید در مفهوم فلسفه طبیعی یافت.

مفهومی که محل برخورد فلسفه و علوم طبیعی است. درک نوین از چنین ترکیبی، در دوران معاصر، با واژه علوم انجام می‌پذیرد (Kitcher, 2019). بدین ترتیب، کتاب بزرگ او «اصول ریاضی فلسفه طبیعی» را می‌توان تحت عنوان «اصول ریاضی علوم» بهتر فهمید. اما علوم مورد نظر نیوتن چه بوده اند. در فهرست مورد نظر نیوتن به راحتی می‌توان مکانیک را یافت. از این منظر، نیوتن اصول ریاضی علم مکانیک را بنا نهاد. ولی نیوتن چیزی بیش از این بجا نهاده است. در ترجمه انگلیسی از کتاب اصول نیوتن، موته در پایان بخش مربوط به سرگذشت نیوتن می‌گوید «طبیعت و اصول آن در تاریکی پنهان بودند. خداوند فرمود که نیوتن بیاید، سپس همه چیز هویدا شد.» این گفته اغراق آمیز را می‌توان با نظری بر کتاب نیوتن بدرستی دریافت. این کتاب با روشی بی نظیر با مجموعه ای از هشت تعریف کمیت جرم[۱]، کمیت حرکت[۲]، نیرو[۳]، اینرسی[۴]، نیروی گشتاور[۵]، برایند نیروی گشتاور[۶]، کمیت شتاب[۷]، و اندازه حرکت[۸] آغاز می‌شود و در بخش بعد با اصول حرکت ادامه پید می‌کند. سپس کتاب اول و دوم به حرکت اجسام اختصاص پیدا می‌کنند. در ابتدای کتاب سوم نیوتن بیان می‌دارد که در کتاب‌های پیشین اصول فلسفه طبیعی بنا نهاده شد و تاکید می‌کند که منظور او اصول ریاضی است و نه اصول فلسفی. سپس نمونه هایی از مصادیق کتابهای خود را در حوزه مکانیک، صوت و نور بیان می‌کند. و می‌گوید که «اکنون می‌پردازم به چارچوب دستگاه جهان[۹]» و اظهار می‌دارد که کتاب سوم را با روشی عمومی بیان خواهد کرد. در ادامه نیوتن چنین می‌افزاید که برای جلوگیری از سوء تفاهم مطالب خود را در قالب قضیه هایی بیان خواهد کرد، به گونه ای که برای کسانی که دو کتاب پیشین او را خوانده اند قابل فهم باشد. توصیه او خواندن دست کم بخش تعاریف، بخش اصول حرکت، و سه بخش کتاب اول است. در این کتاب نیوتن به مسئله دستگاه اجرام پرداخته است. تمرکز بر این موضوع که نیوتن بنا به گفته خود اصول ریاضی علوم را ارائه داده است، این ایده را تقویت می‌کند که او به طرح ابزاری ریاضی برای تحلیل همه علوم پرداخته است؛ و نه لزوما/صرفا مکانیک. موته در پیشگفتار خود بر ترجمه کتاب اصول نیوتن به این موضوع اشاره می‌کند که تیکو براهه، کپلر و گالیه راه نیوتن را برای رسیدن به ارزش‌های برتر مربوط به دستاوردهایشان روشن نمودند. در اصول، نیوتن نتایج خود را ناشی از ریاضی می‌داند و نه آزمایش و به دستاوردهای گالیله در خصوص سقوط آزاد و حرکت پرتابه ها اشاره کرده، بر همخوانی آنها با آزمایشات تاکید می‌کند. نیوتن در 6 مورد به گالیله با عنوان «همانگونه که گالیله نشان داد» و در یک مورد با عنوان «قضیه گالیله» ارجاع می‌دهد. نیوتن در چهار کتاب از مجموعه کتاب‌های خود، بیانی ریاضی از فلسفه طبیعی زمانه خود ارائه نمود (Newton, 1729)، (Whiston, 1707)، (Newton, 1736)، و (Newton, 1704). مقایسه ای که میان دکارت و اویلر انجام گرفت در خصوص گالیله و نیوتن نیز برقرار است. دیدگاه جبری و هندسی نیوتن به همراه وزن فلسفه طبیعی آن او را در کنار بارو، هویگنز و هوک[۱۰] قرار می‌دهد (Arnold, 1990). چنین دیدگاه ویژه ای در کنار ابداع حساب بی نهایت کوچکها، روش‌های او را برای مدل سازی پدیده‌های طبیعی بسیار مناسب ساخت. جمله معروف نیوتن «حل معادلات دیفرانسیل مفید است[۱۱]» تایید کننده این دریافت است. مفهوم مشتق ارائه شده و معادلات دیفرانسیل منتج از آن در سطحی وسیع کلیه مطالعات ریاضی محور در حوزه‌های طبیعی را تحت تاثیر قرار داده است. این حوزه‌های طبیعی شامل زیست شناسی، بوم شناسی، پزشکی، و سایر شاخه ها مانند جمعیت شناسی، بیماری‌های واگیر، تطور جمعیت ها، بقا و انقراض نیز می‌شود. هر دیدگاه ریاضی تحول محور زیست شناختی به نوعی به ادبیات نیوتن مربوط می‌گردد. علت این ارتباط بدون پرداختن مستقیم نیوتن به آنها در کتب خویش را باید در دیدگاه کلی فلسفه طبیعی او جست.

[1] quantity of matter
[2] quantity of motion
[3] innate force of matter
[4] impressed force
[5] centripetal force
[6] absolute quantity of centripetal force
[7] acceleration quantity
[8] motive quantity
[9] I now demonstrate the frame of the system of the world

[10] Isaac Barrow (1360-1377), Christiaan Huygens (1629-1695), Robert Hooke (1635-1703)
[11] It is useful to solve differential equation.

یکی از مثال‌های مشهور در حوزه مدل‌های جمعیتی تک گونه ای، مدل لجستیک است. فرمول ریاضی آن به صورت $x' = rx\ (1\text{-}x)$ است. این نگاشت ریاضی طبیعتی خودمتشابه دارد و رخداد دودوره گی، آن را به مثالی کلاسیک برای آشوب تبدیل کرده است. این پدیده نه تنها در خصوص آشوب مدل‌های جمعیتی، بلکه در بیماری ها و پدیده‌های طبیعی مانند مطالعه اوضاع جوی کاربرد دارد (Kahn, 1990)، (Alligood, 1996) و (Murray, 1989).



سده بیستم: ظهور چارچوبی نو

برای درک توجه به زیست شناسی از جانب ریاضیدانان سده بیستم، علاوه بر روش فهرست نمودن دستاوردهای مطالعاتی، می‌توان به چند شاخص مهم توجه نمود.

یکی از این شاخص ها نوشتن تک‌نگاره ها و کتاب‌های مرجع در زمینه ریاضیات زیستی[1] است. در این خصوص می‌توان به این نکته اشاره کرد که این دست کتابها در سده بیستم از (Rashevsky, 1940)، با پرداختی به پیشرفت ها و کاربردهای ریاضیات زیستی، آغاز شد و تا (Mazumdar, 1999)، با پرداختی به ریاضیات زیستی و محاسباتی، ادامه داشت. در بین سال‌های ۱۹۴۰ تا ۱۹۴۸ به سختی کتابی از این نوع می‌توان یافت. ولی (Rashevsky, 1949)، با پرداختی به نظریه ریاضی ارتباطات انسانی به عنوان مفهومی در حوزه ریاضیات زیستی مفاهیم اجتماعی، آغازی دوباره بر این راه بود. وقفه ناشی از جنگ و قرار دادن موضوع اجتماعی پس از جنگ در قالب مدل‌های ریاضی، هر دو قابل فهم هستند. در سال‌های ابتدایی پس از ۱۹۴۰، بیشتر کتابها عنوان هایی چون، مبانی، پرسشها، روشها، کاربردها، و مانند اینها را دارند. در سال‌های پایانی سده بیستم، چنین کتابهایی، عنوانهایی چون مقدمه، و مدل ها داشته اند. تکمیل اعتماد به نفس تجربیات سده بیستم به چاپ مجموعه از کتابها با عنوان «ریاضیات زیستی» انجامید که عنوان ثابت بسیاری از منابع در سده بیست و یکم گردیدند. پیش از سال ۱۹۴۰، کتاب مشخصی با عنوان مشابه با مجموعه منابع پس از سال ۱۹۴۰ به سختی دیده می‌شود. با توجه به منابعی که (Swan, 1974) ذکر نموده، نخستین تک نگاره در زمینه ریاضیات زیستی (Rashevsky, 1940) می‌باشد. به نظر می‌رسد که عبارت زیست شناسی ریاضی محور[2]، پیش از ۱۹۴۰ ابداع شده بود ولی پس از آن فراگیر گردید و در سده بیست و یکم به عنوانی عادی بدل شد. یکی از قدیمی ترین مجلات با عنوان ریاضیات زیستی "Bulletin of Mathematical Biology" است که در ابتدا، در سال ۱۹۳۹، " The bulletin of mathematical biophysics" خوانده می‌شد.

یکی دیگر از شاخص‌های مهم مربوط به سده بیستم، همایش‌های تاثیرگذار در این حوزه است. قابل ذکر است که بیشتر این همایش ها مربوط به نیمه دوم سده بیستم است. از آن جمله می‌توان به (Elizabeth, 1972) اشاره کرد. قدیمی ترین همایش ریاضیات زیستی که (Swan, 1974) ذکر نموده است، به سال ۱۹۶۹ باز می‌گردد. در این همایش عنوان ریاضیات زیستی[3] بکار گرفته شده است.

در نیمه نخست سده بیستم، پژوهشها و آموزش‌های مرتبط با ریاضیات زیستی و زیست شناسی ریاضی محور حضوری پر رنگ داشته است. ضمن اشاره به این موضوع در (Israel, 1988)، سال ۱۹۲۰ به عنوان سال تولد ریاضیات زیستی مدرن، مبتنی بر دو اصل مهم، اعلان شده است.

[1] monograph on mathematical biology

[2] Mathematical Biology
[3] Biomathematics

نخست، استفاده سازمان یافته از ریاضی در زیست شناسی، نه فقط به عنوان روش‌های کمکی، بلکه به عنوان ابزاری مفهومی و روش کلی تفکر. دوم، تلاش برای اعمال سازوکارهای تعینی و مکانیکی بر مطالعات زیست شناسی. ظهور ریاضیات زیستی به عنوان یک دستگاه ریاضی رسمی برای مطالعه زیست شناسی در سال ۱۹۲۰ نیازمند ملزومات آموزشی و پژوهشی متناسب با آن در سال‌های پیشین بوده است. این جنبه از این موضوع نیازمند مطالعات جداگانه ای است[1]. ظهور چارچوب نوین با محوریت ریاضی در مطالعات زیست شناسی محصول یک سده فعالیت‌های فشرده و بی وقفه بوده است. مدل‌های جمعیتی واقعیت‌های پویای مرتبط با بقا و انقراض گونه ها را هویدا ساخت (Vreon, 2008). مدل‌های مرتبط با الگوهای رفتاری موثر در بقا و انقراض شکل گرفتند (Greene, 2008). در این سده ریاضیدانان بلند پروازانه به همه جنبه‌های حیات از جمله تنفس نزدیک شدند و برای آن مدل‌های متنوع و جامعی ساختند (Fincham, 1983). یکی از مهمترین جنبه‌های این نوع مدلسازی ریاضی امکان ارتقای آن به مدل‌های پیشرفته تر و یا در نظر گرفتن حالت‌های خاص تر بوده است (Tehrani, 1993). یکی از پرطرفدارترین مسائل این سده موضع مدلسازی نوسانگرهای زیستی است. بسیاری از اندام ها و سازوکارهای زیستی دارای طبیعتی نوسانی هستند (Friesen, 1984). مبانی شیمیایی نوسانگرهای زیستی با مثال هایی از واکنش‌های شمیایی پایه گذاری شد (Tyson, 1994). رده دیگری از نوسانگرهای زیستی برای مدل‌های جمعیتی جانوری ساخته شد. یکی از این نمونه ها به کرم شب تاب و رقابت فرکانسی آنها برای همزمانی[2] مربوط می‌گردد که بر اساس آن مفهوم‌های قفل–فاز و گذر–فاز[3] مورد استفاده قرار گرفت (Ermentrout, 1991). یکی از نوآوری‌های نیمه دوم سده بیستم، پیوند درمان یک عارضه در یک فرد با جلوگیری از شیوع آن در یک جامعه است (Duffin, 2002)، (Hethcote, 1989)، (Wai-yuan, 2000). یکی از نوسانگرهای زیستی که بسیار مورد توجه قرار گرفته است، قلب و فشار خون است (Karreman, 1995)، (Sud, 1992)، (Abbiw-Jackson, 1998)، (Dossel, 2000). به این فهرست می‌توان مطالعات بسیار متنوع در خصوص مدل‌های ریاضی سرطان ها(Wheldon, 1988)، مدلسازی دیابت (Sturis, 1994)، ایده‌های طراحی کنترل کننده‌های خودکار دیابت و پانکراس مصنوعی (Bellantone, 1990) و بسیاری از موضوعات دیگر را اضافه کرد. در خصوص کنترل بهینه و ارتباط آن با سایبرنتیک، می‌توان به این نکته توجه نمود که در مدلسازی‌های زیستی، بحثی در خصوص بهینگی در درون ساختار مدل مطرح نیست. به این دلیل که اصولا، مقوله بهینه سازی در حیات، ارگانیزم ها و اندام ها، موضوع مورد بحث مدل سازی نیست. علت این این امر *اصل انتخاب طبیعی و سازوکار غیر برگشتی آن است. طبیعت ساختاری همچون یک سامانه پسخور ندارد.* البته، در سایبرنتیک، سازوکار پسخور و کنترل بهینه وجود دارد زیرا سایبرنتیک علم ارتباط ماشین با دنیای زنده است و بخش ماشینی آن در کنترل بشر بوده امکان طراحی کنترل، پسخور، و کنترل بهینه بر اساس سازو کاری برگشتی در آن وجود دارد (Freedman, 2012)، (Wang, 2016). این فعالیت ها در سده بیست و یکم با توجه به جزییات بیشتر، مدل‌های کاراتر، محاسبات دقیق تر، و با استفاده از نظریه‌های پیچیده تر ریاضی ادامه یافت. مصادیق رسیدن به مرحله ای جدید از ارتباط ریاضی و زیست شناسی در سده جدید صرفا این پیشرفت‌های جدید نیستند. زیرا این پژوهش‌های پیشرفته تر در چارچوب تفکرات سده بیستم قابل تداوم است و هرچند جزییات بیشتری دارد، ولی همان فکر سده پیشین است. در سده بیست و یکم چیزی بیش از پرداختن به جزییات در حال وقوع است. برای درک جزییات این پدیده، لازم است که به این رخداد ها از منظری مدرن تر بنگریم. دریچه ورود به فهم زیست ریاضی سده بیست و یکم از راه درک فعالیت‌های اصیل سده بیستم میسر است که در آن پایه‌های زیست شناسی سامانه ها بنا نهاده شد. این ایده کلی از تمام قدرت ریاضیات موجود، با حفظ امکان به کار بستن قدرت آینده،

[1] از این مطلب می‌توان نتیجه گرفت که پیش از هر گونه تلاش برای تنظیم برنامه‌های رسمی ریاضیات زیستی و زیست شناسی ریاضی محور، لازم است که پژوهش‌ها و آموزشهای متناسب با آن شکل گرفته باشد.

[2] Synchronization

[3] Phase-Locking, Phase-Drift

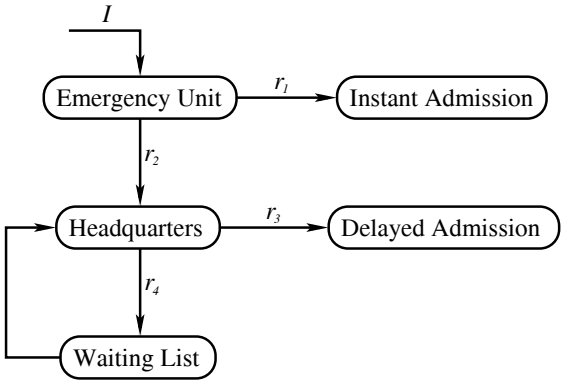
آن بهره گرفت و ساختاری بنا نهاد که طبیعتی متناسب با سده بیست و یکم دارد. این تناسب داشتن قادر به تبدیل شدن به ابزاری قدرتمند است، ولی سده بیست و یکم طبیعتی متمایز دارد و بسیار فراتر از زیست شناسی سامانه ها خواهد ایستاد. در آستانه این ظهور نوین، در دو دهه نخست این سده شاهد استفاده تمام عیار از ریاضیات در زیست شناسی هستیم که یکی از پرنمود ترین نمادهای آن سنتز داروها و محاسبات دقیق اثر آن در بدن است. از جمله این فعالیت ها می‌توان به تاثیر تاخیر و صورتگرایی آنالیز تابعی به ویژه قضیه نمایش ریس و ابزار هندسی در آن مانند آنالیز تانسوری اشاره کرد. آمیخته شدن نظریه گراف با هندسه و معادلات دیفرانسیل امکان ایجاد ساختارهای ترکیبی پیچیده را فراهم کرد. ایستادن در این آستانه برای بشریت بسیار پرشکوه است و نوید آینده ای کاملا متفاوت را می‌دهد. از نمودهای این رخداد، تکاپوهای بسیار در زمینه تجدید نظرهای اساسی در آموزش ریاضی در زیست شناسی است. باید توجه داشت که بسیاری از فعالیت‌های دو دهه نخست سده بیست و یکم، فارغ از پیچیدگی‌های ریاضی آن، از منظر روش‌شناسی، تکرار روش‌های دوره پیشین محسوب می‌شود و در بسیاری از موارد تمریناتی برای دستاوردهای قبلی است. آنچه که ساختار منحصر بفرد دوره جدید را می‌سازد مستقل از این فعالیت‌های تکراری است و توسط تعداد محدودی از ایده پردازان بلند پرواز در حال ساختن است. همانگونه که در بین انبوه فیزیکدانان و ریاضی دانان تکرار کننده روش شناسی سده‌های پیشین، جمع محدودی از فیزیکدانان ریاضیدان در سده بیستم، نظریه‌های نوین فیزیک را، نه لزوما با استفاده تمام عیار از ریاضی، بلکه با دخالت و اثر در خلق ریاضیاتی نو شکل دادند. همواره ریاضیدانانی بوده اند که فهم عامه بر آن بوده است که فیزیکدان نیستند ولی اینکه چنین خلق کنندگانی صرفا فیزیکدان بوده اند و یا ریاضیدان نیز بوده اند دشوار بوده است. از این منظر، در آینده ریاضیدانانی خواهند بود که از زیست شناسی چیزی قابل توجهی نمی‌دانند، ولی تمایز اینکه زیست شناس آینده ریاضیدان نیز هست یا نه کار بسیار دشواری خواهد بود.

سده بیستم و یکم: آغاز راهی نو

رابطه ریاضی و زیست شناسی در سده بیست و یکم وارد مرحله بسیار متفاوتی شده است. همانگونه که پیش از این اشاره شد، قبل از سال 1920 میلادی (۱۳۰۰ هجری شمسی)، ریاضیات در حد ابزار برای زیست شناسی کاربرد داشته است ولی پس از آن ریاضیات به گونه ای جدید و با رویکردی مدرن وارد حوزه زیست شناسی گردید. در نتیجه این تغییر روش، زیست شناسی برای ریاضیات به عنوان یک موضوع جدی مورد تفحص قرار گرفت و حوزه ای جدید با عنوان ریاضیات زیستی به وجود آمد. بنابر این دوره نخست و دوم تعامل ریاضیات و زیست شناسی به پیش از 1920 و سال‌های باقیمانده از سده بیستم تقسیم‌بندی می‌شود. دوره سوم این تعامل در سده بیست و یکم، با رویکردی جدید آغاز شد. از منظر زیست شناسان قدیمی، ریاضیات در حوزه‌های زیست شناسی دست به تفحصاتی زده است که جنبه‌های ریاضیاتی آن برای چنین زیست شناسانی به طور موثر شناخته شده نیست. به عنوان مثال در (Woese, 2004) به چنین شرایطی در برخورد با جنبه‌های نظری تکامل اشاره شده است. این ایده که تعامل ریاضیات و زیست شناسی از وضعیت یکطرفه خود، که مختص دو دوره قبل بوده است، خارج شده است و به وضعیتی دو طرفه رسیده است در سال‌های نخستین سده بیست و یکم مورد توجه قرار گرفته است (Cohen, 2004). این پدیده نوین انگیزه ای است برای اعلان آغاز دوره جدید تعامل ریاضیات و زیست شناسی. مقولاتی مانند *ریاضیات برای زیست شناسی* (Rashevsky, 1960)، اینک به مقولاتی مانند *ریاضیات و زیست شناسی* (Hofmeyr, 2017) (Levin, 1992)، و *زیست شناسی برای ریاضیات* (Cohen, 2004) بدل شده اند. همه این موارد در دو دهه نخست سده بیست و یکم رخ داده اند. یکی دیگر از دستاوردهای مهم سده بیست و یکم در حوزه ریاضیات زیستی، توسعه ابزارهای محاسباتی است. در سده بیستم، مطالعه دستگاه‌های زیستی اغلب با انواع ترفندهای اختصارسازی به مدل‌های ریاضی با ابعاد پایین می‌انجامید.

مدلی با بعد پایین برای دینامیکICU (Rokni, 2014).

مدل مفهومی

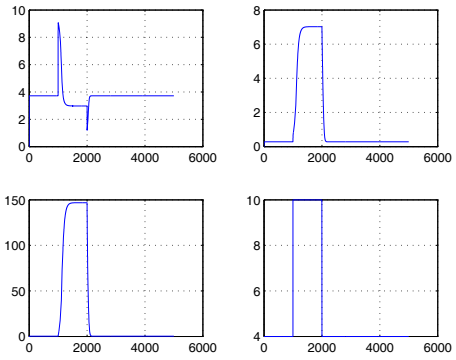


مسئله اصلی ICU مقوله ای است با بعد بالا. توجه ویژه برای پایین نگهداشتن بعد موجب گشت که به راحتی نشان داده شود که ICU مقوله ای است در حوزه چند پایداری. این نویسندگان، این دستاورد را با مدل‌های پیچیده تر نیز به دست آوردند، ولی تلاش در پایین نگهداشتن بعد، منتج به مدلی ۳ بعدی گردید. در نتیجه، از نظر نیاز مدیریتی ICU، این دستاورد کافی است. ولی برای فهم کامل مقوله ICU نیاز به مدلی با ابعاد بالاتر وجود دارد.

معادلات ریاضی مدل

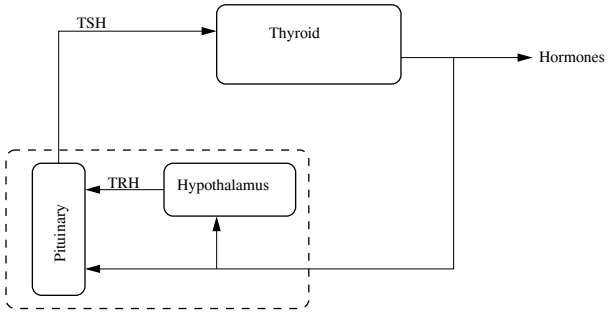
$$\begin{cases} \frac{dE}{dt'} = p' - r_1 E - cEF_{r'}(A) - EG_{r'}(A), \\ \frac{dA}{dt'} = -r_2 A + cEF_{r'}(A) + cWF_{r'}(A), \\ \frac{dW}{dt'} = -cWF_{r'}(A) + EG_{r'}(A), \end{cases}$$

رخداد چند-پایداری در مسئله ICU



مدلی با ۲۳ متغیر و بیش از 40 پارامتر برای تیروئید (Rokni, 2015).

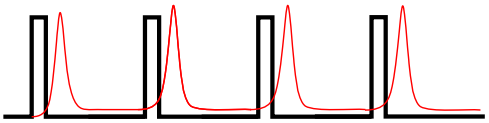
مدل مفهومی



معادلات ریاضی مدل

$$\begin{cases} \dot{x} = X(x, y, \alpha, a) + I_{in}, \\ \dot{y} = Y(x, y, \alpha, a), \\ \dot{\alpha} = A(x, y, \alpha, a), \\ \dot{u} = v_1(T_3) + v_2(T_4) - \delta u, \end{cases}$$

رخداد نوسان-آرامش در تیروئید



در سایه ابزارهای محاسباتی پیشرفته، در کنار توسعه نفوذ مفاهیم زیست شناسانه در ریاضی، ابعاد مدلها بلند پروازانه شد. به عنوان مثال می‌توان به تلاش‌های سده بیستم اشاره کرد که برای درک سازوکار تیروئید، مدل هایی با بعد پایین مورد استفاده قرار گرفتند. به عنوان نمونه در (Danziger, 1956) برای اثبات وجود نوسان-آرامش در نوسان میان T3 و T4 از بعد ۲ استفاده شد. در اوایل سده بیست و یکم، همین مسئله با بعدی بالاتر مدلسازی شد، ولی با کمک سازوکار میخائیل-منتن از پیچیدگی‌های مدل کاسته شد. مدلی جامع تر با بعد بالا و با دستاوردهای ریاضی دقیق تر

برای پاسخگویی به پرسش‌های پاسخ داده نشده در (Rokni, 2015) ارائه شد.

این باور قدرت گرفته است که تعامل ریاضیات و زیست شناسی چیزی بیش از ابزار کمکی است و دوره سوم این تعامل آینده ای کاملا متفاوت را ترسیم می‌کند[1]. این جریان تاثیری بزرگ بر نقش ریاضی در آموزش زیست‌شناسی داشته است (Feser, 2013). هنوز همه جنبه‌های دوره نوین روشن نشده است، ولی نشانه هایی از درستی دریافت‌های بالا وجود دارد. به عنوان نمونه می‌توان به ایجاد انجمن‌های علمی ویژه ای اشاره نمود که در زمینه هایی مشابه این دریافت ها فعال هستند[2]. در ابتدای سده بیستم، نوربرت وینر تمام همت خود را بر پا داشت تا مروج و مبلغ سایبرنتیک باشد. تصور او این بود که در آینده ماشین و انسان در هم خواهند آمیخت. آنچه او و همفکرانش بنا نمودند، اینک به چارچوبی شناخته شده و در دست اجرا تبدیل شده است. هرچه در خصوص سایبرنتیک انجام شود در هر حدی از پیشرفت نیز که باشد، همچنان در چارچوب نظریه‌های کلاسیک سده بیستم قرار می‌گیرد. زیست شناسی سامانه‌ها در پایان سده بیستم همان نقش سایبرنتیک آغاز سده را برعهده گرفته است و به عنوان نظریه ای کلاسیک مربوط به سده بیستم ثبت شده است. هر رخداد و پیشرفت پیچیده در زیست شناسی سامانه ها در نهایت امری است که زیر بنای فکری آن مربوط به سده بیستم است. تمام جذابیت‌های این نظریه کلاسیک و همه پیچیدگی‌های بالقوه و بالفعل آن و همه تکنیک‌های زیست‌شناسی و ریاضی آن قالبی دارد که مربوط به گذشته است. همانطور که سایبرنتیک تداوم یافت، زیست شناسی سامانه ها نیز تداوم خواهد داشت. زیست شناسی سامانه ها بسیار کارآمد است، ولی دیگر جدید نیست و امری مربوط به آستانه سده بیست و یکم نیست. این موضوع را می‌توان با مثالی از مکانیک فهمید. بنای مکانیک نیوتنی در زمان وی با ایده‌های گالیله و حساب بینهایت کوچکها ریخته شد. در سده‌های پس از آن، این ایده بر روی ساختارهای پیچیده تر مانند هندسه خمینه ها پیاده شد، ولی هنوز مکانیک نیوتنی است. زیست شناسی ریاضی محور سده بیست و یکم هنوز رخ ننموده است و بیشتر مثال‌های مترقی دو دهه اخیر همچنان در قالب نظریه‌های کلاسیک سده بیستم قرار می‌گیرند. ولی اینها، همه فعالیت‌های این دو دهه نیست. همانند همیشه، در آستانه تغییرات بزرگ، کارهایی به ظاهر کوچک در حال شکل دهی به نظریه‌های کلاسیک سده بیست و یکم هستند. برخی از این فعالیت ها، حتی، پیش از این آستانه، آغاز شده اند. اسمیل به عنوان ریاضیدانی ویژه در سده بیستم سازنده اشیاء ریاضی کارآمد، ولی با کمترین پیچیدگی ظاهری ولی بسیار عمیق، در نظریه دستگاه دینامیکی بوده است که ازجمله می‌توان به اثر بدیع نگاشت نعلی[3] اشاره نمود. سیاوش شهشهانی، از دانش آموختگان مکتب او، نیز در کمال سادگی، سالها پیش از آستانه امروز گامی در جهت نظریه‌های کلاسیک سده جدید برداشت (Mertikopoulos, 2018). برای درک ویژگی‌های سده جدید و نظریه‌های کلاسیک سده بیست و یکم، گشت و گذار در مقالات چاپ شده ممکن است مفید باشد ولی بازگو کننده آینده نخواهد بود. یکی از روش‌های کارآمد در خصوص درک ساختار دوره آتی، که مانند فیلی در تاریکی[4] است، روی آوردن به افرادی است که در آستانه این دوران جدید در حال شکل دهی به آن هستند. بر این اساس، این نیروهای شکل دهنده آینده سبک نوین این سده آتی را، هرچند کم رنگ، در رساله‌های خود به نمایش می‌گذارند. آیا این افراد در نزدیکی ما حضور دارند؟ آیا ما نادانسته شاهد فعالیت‌های آنان هستیم؟ آیا ناخواسته آنها را نادیده گرفته ایم؟ برای این منظور مطالعه‌ای جامع در خصوص رساله‌های تحصیلات تکمیلی ریاضی، علوم کامپیوتر، آمار، زیست شناسی، بیوفیزیک، بیوشیمی، بیوتکنولوژی، و بیوانفورماتیک در کشور و مقایسه آنها با موارد مشابه در جهان ضروری است. انجام این امر نیازمند ورود به دیدگاه‌های مدرن فعالیت‌های بین رشته است. بنا بر این طرح تصویری از آینده، نیازمند مطالعه‌ای وسیع است. هدف از این گفتار نشان دادن اهمیت ورود به چنین مقوله ای است.

[1] ‘’*Viewing the present trends in mathematical biology, I believe that the coming decade will demonstrate very clearly that mathematics is the future frontier of biology and biology is the future frontier of mathematics.’’*(Friedman, 2010)

[2] European Society for Mathematical and Theoretical Biology
Mathematical and Theoretical Biology Institute
Society for Mathematical Biology

[3] Smale Horseshoe Map

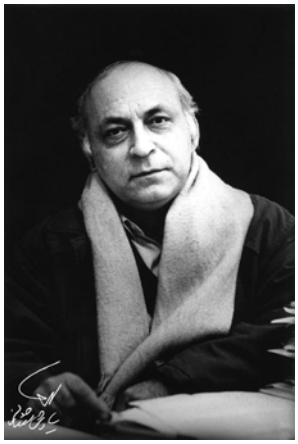
۴ تمثیل فیل مولوی در مثنوی معنوی، دفتر سوم، بخش چهل و نهم.

سده بیست و یکم: در آستانه نظریه‌های کلاسیک

در خصوص آینده زیست شناسی و بیان نقش ریاضی در آن نباید به دیدگاه‌های تکنیکال سده پیش بسنده نمود و عمق ریاضیات مورد استفاده در مسائل زیست شناسی را به عنوان معیاری برای عصر جدید در نظر گرفت. در طی سده گذشته، عنوان هایی مانند، زیست شناسی ریاضی وار، نقش ریاضی در زیست شناسی، زیست شناسی نظری، مدلسازی ریاضی در زیست شناسی، سایبرنتیک و زیست‌شناسی سامانه‌ها، و زیست ریاضی ساخته شدند و هر یک به عنوان یک مدخل از همه ابزارهای ریاضی بهره بردند. در مقابل، ریاضی نیز با خلق آثاری جامع مانند (Aubin, 1991) و (Aubin, 2011) آینده این تعامل را در قالبی بسیار کلی ترسیم نمود. در مقابل، در آستانه دوران جدید، ایده هایی متفاوت پرداخت صرف به تکنیک‌های ریاضی به کار گرفته شده مطرح شده اند، در این خصوص عنوانهایی مانند تاثیر زیست شناسی بر ریاضی (Cohen, 2004)، شاهراه بین زیست شناسی و ریاضی (Karsai, 2010) قابل ذکرند. در این رابطه انجمن‌های علمی زیست شناسی اشاره صریح به تمرکز خود بر دیدگاه‌های جدید را آغاز کرده اند (NVTB, 2020)[1]. چنین دیدگاه هایی در کنار عنوان هایی چون عصر زیست شناسی، نوید آغاز دوران جدید را تقویت می‌کند (Steen, 2005). این تفکر که زیست‌شناسی به دوره رسیدن به نظریه‌های کلاسیک نزدیک می‌شود تا اندازه قابل توجهی تحت تاثیر این ایده است که زیست شناسی همان جایگاهی را برای ریاضی یافته است که در گذشته فیزیک آن جایگاه را برای ریاضی یافت و به آن تداوم داد (Hunter, 2010). این امر بسیار هیجان انگیز است که ما با حوزه ای روبرو هستیم که می‌توانیم در برابر آن تجربه‌های ریاضیدانان سده‌های هفدهم تا نوزدهم را بیازماییم. باید توجه داشت که به علت تفاوت در مقایسه‌های پیشرفت ریاضی در این دو مقیاس زمانی مختلف، امکان تکرار رفتار مشابه وجود ندارد و ضرورتی جدید برای مولد بودن این رخداد ضرورت پیدا می‌کند. بنا بر شرایط ویژه ای که ریاضیات در تبدیل شدن زیست شناسی به فیزیکی جدید برای ریاضی دارد، نخستین گام به امر آموزش و تناسب آن با شرایط موجود برمی گردد. داشتن برنامه ای مناسب برای مواجهه با چنین پدیده ای ضروری است. در غیر این صورت همه چیز به تاخیر خواهد افتاد. کسانی که ارتباط زیست شناسی و ریاضی را به خوبی درک کرده اند، بر این نکته نیز تاکید دارند که آموزش نخستین گام ورود است (Sorgo, 2010). منظور از آموزش، در اینجا، لزوما آموزش ریاضی و یا آموزش زیست شناسی نیست. منظور از آموزش نوع جدیدی از آن است که امکان چنین تمایزی را از بین می‌برد. پس از پرداختن به مقوله آموزش، باید به جزییات دوره جدید بیندیشیم. با توجه به بودن در آستانه، بسیار دشوار است که جزییات آتی را پیش بینی کنیم. بدین منظور به عنوان یک رویکرد، و نه لزوما بهترین گزینه، برای اینکه اقدامی کرده باشیم، به برخی مسائل می‌پردازیم که ممکن است در آینده با درهم آمیختن زیست شناسی و ریاضی حل شوند و یا اهمیت یابند. آنچه در زیر می‌آید تنها دانه ای است از یک شن‌زار بزرگ. در خصوص دوره جدید تعامل ریاضیات و زیست شناسی می‌توان به مقولاتی مانند *آینده مطالعات کمی*، *مطالعات کیفی و آینده آموزش و پژوهش ریاضی محور زیست شناسی* پرداخت. این موارد بخش کوچکی از ایده هایی هستند که در سده بیست و یکم به باز تعریف رابطه زیست شناسی و ریاضی می‌پردازند. مهمترین عامل مورد بحث، *ظهور نظریه‌های کلاسیک ریاضی برای مطالعات زیست شناسی* توسط ریاضیدانان است. مثال‌های نام آشنایی در خصوص ظهور نظریه‌های کلاسیک ریاضی در زیست شناسی وجود دارد. به عنوان مثال می‌توان به (Shahshahani, 1979) اشاره کرد. در این اثر، شهشهانی به ارائه سنجه غیر اقلیدسی[2] منحصر به فردی پرداخت. هدف او مطالعه مدل چند شاخه پیوسته ای برای توصیف تحول جمعیت بزرگی از ارگانیسم دیپلوئید بر اساس وجود تک نیروی انتخاب طبیعی بوده است. شهشهانی سنجه ویژه خود را برای روشن شدن دینامیک معادلات دیفرانسیل مورد نظر به کار بست.

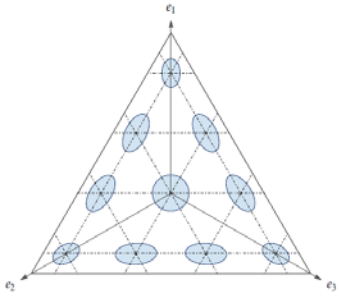
[1] The Dutch Society for Theoretical Biology (NVTB) is a biological society focusing on theoretical, mathematical, computational, and philosophical biology, (NVTB, 2020)

[2] Non Euclidean Metric



سیاوش میرشمس شهشهانی (–1942)–(۱۳۲۱– ه.ش.) ریاضیدان برجسته ایرانی و از شاگردان استیو اسمیل است. او علاوه تاثیر بسزایش بر دانشجویان، با ابداع متریک غیر اقلیدسی ویژه خود، گامی در جهت ایجاد نظریه‌های کلاسیک ریاضی در زیست شناسی برداشت. همزمان با تشکیل انجمن ریاضی ایران، اثر او بسیار نوید بخش بوده است. متریک شهشهانی در بخش مثبت دستگاه مختصات به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$g(x) = \mathrm{diag}(1/x_1, \ldots, 1/x_n)$$



گوی‌های یکه شهشهانی (Mertikopoulos, 2018).

در کنار متر شهشهانی، مفاهیمی مانند هنج شهشهانی، تابع هزینه شهشهانی، شیو شهشهانی[1] مورد استفاده قرار می‌گیرند (Hines, 1994)، (Mertikopoulos, 2018).

این مسیر در حال پی ریزی است. هرچند از جزییات آنچه که کاملا رخ نداده آگاهی جامعی نداریم، ولی برای ادامه بحث، می‌توان به مواردی ویژه اشاره کرد که ممکن است مورد توجه قرار گیرند. منظور از بیان موارد زیر به هیچ وجه ادعایی در خصوص خط سیر آینده نیست، بلکه فقط مثال هایی جزیی هستند که تا حدودی منظور از نظریه‌های کلاسیک در دوره جدید را روشن می‌کنند. این امکان وجود دارد که همه پرسش‌های زیر در قالب نظریه‌های سده پیشین پاسخ داده شوند. این امر مانع روشنتر شدن منظور بحث مربوط به نظریه‌های کلاسیک آتی نخواهد بود.

الف: در مدلسازی دستگاه‌های بدن انسان از روابط انتگرال–دیفرانسیل بسیار استفاده می‌شود. پرسشی که در اغلب مواقع مطرح می‌گردد این است که آیا اصولاً اجزایی که با این معادلات مدل شده اند، خود ذاتاً انتگرال گیر هستند. در بسیاری از این موارد می‌توان استدلال‌های مناسبی ارائه داد که بر اساس آنها پاسخ به این پرسش معقول به نظر برسد. در اینجا به این نکته اشاره می‌شود که در بدن انسان عضوی وجود دارد که خود ذاتا انتگرال گیر است. آن عضو، زهدان است. در واقع، زهدان ذاتاً انتگرال‌گیر است و مدل‌های ریاضی مربوط به آن نیز باید این پدیده ذاتی را نشان دهند. اینک این پرسش مطرح می‌گردد که اگر زهدان ذاتاً انتگرالگیر است و فرایند تشکیل جنین و رشد آن نوعی انتگرال گیری است، فرمالیسم این انتگرال چیست؟ این ایده ساده ای است که نتیجه آن ممکن است نوعی نظریه کلاسیک در زیست ریاضی باشد (Rokni, 2020a).

ب: در مدل سازی دستگاه تنفس یکی از مهمترین مفاهیم، تاخیر است. در بسیاری از منابع، معادلاتی برای آن نوشته شده اند که بیشتر آنها بر پایه معادلات دیفرانسیل استوارند. در این معادلات گاهی برای مطالعه دقیق تر از تاخیر توزیع شده استفاده می‌شود. این امر انواعی از انتگرال‌های وزن‌دار را وارد معادلات دیفرانسیل مدل می‌کند ولی مدل همچنان بر پایه عملگر دیفرانسیل نوشته می‌شود. در این خصوص به این نکته اشاره می‌شود که اگر این فرضیه که فرمالیزم تنفس در کره زمین بر پایه انتگرال گیری سطحی استوار است درست باشد، ضروری خواهد بود که صورتی کلی از مقوله تنفس به عنوان مدل زمینی تنفس ارائه شود. نتیجه

[1] Shahshahani Norm, Shahshahani Cost Function, Shahshahani Gradient

این ایده ساده نیز ممکن است نوعی نظریه کلاسیک در زیست ریاضی باشد (Rokni, 2020b).

ج: پرداختن به مقولات بین رشته ای به امری بسیار متداول بدل شده است. در این خصوص آن دسته از مقولات بین رشته ای که به نوعی به مسائل زیستی مربوط می‌گردند بسیار مورد توجه قرار گرفته اند. از طرف دیگر، این فعالیت‌های بین رشته اعم از آموزشی و یا پژوهشی بدون مدل رسمی و دارای مدل هایی پنهان هستند. در این جا به این نکته اشاره می‌شود که مقوله فعالیت بین رشته ای مرتبط با حوزه زیست شناسی نیازمند مدلی ویژه برای خود است. این مدل خود متحولانه بوده و دارای ساختاری زیست شناسانه است. بر همین اساس تنها بر پایه تجربیات زیست شناسی قابل بنا شدن است. از طرف دیگر مدل‌سازی خود اصولا امری ریاضی است. تجمیع دو سر این طیف برای این مسئله ساختار آفرین خواهد بود. به همین دلیل به اصولی اشاره می‌شود که این پدیده را برای ما روشن تر می‌سازد. نخست اینکه، در هر فعالیت بین رشته، مرتبط با زیست شناسی یا ریاضی و یا حتی غیر مرتبط با آنها، زیست شناسی و ریاضی حضور خواهند داشت. دوم اینکه، مدل مورد نیاز برای فعالیت‌های بین رشته ای، به ویژه مرتبط با زیست شناسی، از نظر طبیعی سازمانی زیستی دارد و از نظر ریاضی ساختاری توپولوژیکی. این ایده نیز در عین سادگی منتج به نوعی نظریه کلاسیک در فعالیت‌های بین رشته ای به ویژه با حضور زیست شناسی خواهد شد (Rokni, 2020c).

نتیجه گیری

در این مقاله مثالهایی برای روشن شدن ایده درآمیختن زیست شناسی و ریاضی در سده بیست و یکم ارائه شد. برای تشخیص موقعیت موجود، سه دوره که اندکی با هم همپوشانی نیز دارند معرفی شدند و مثالهایی برای بیان جزییات مورد استفاده قرار گرفتند. این مثالها، فقط بر اساس در دسترس بودن برگزیده شده اند و قطعا مثال‌های دیگر و شاید بهتری نیز وجود داشته باشند. ذکر همه مصادیق در جهان و یا ایران در چنین نوشته کوتاهی به هیچ وجه امکان پذیر نبوده است. هدف اصلی این است که دریچه ای جدید برای گفتگوی میان ریاضی و زیست شناسی در میان دانشمندان ایران باز گردد و ظرفیت استفاده از شرایط موجود برای پیشرفت و فناوری مورد تذکر قرار گیرد. هر کدام از مباحث مطرح شده قابلیت تبدیل به گفتگویی سازنده را دارند. در این خصوص، برای برقراری ارتباط و تبادل نظر پرداختن به فلسفه زیست شناسی در کنار فلسفه ریاضی می‌تواند بسیار مفید باشد، همانگونه که در خصوص فلسفه فیزیک چنین شد. دنیا همواره در حال نو شدن است، زیست شناسی نیز از این امر جدا نبوده است. برای موثر شدن فعالیت‌های زیست شناسی، اینک، درآمیختن با ریاضی، و نه صرفا استفاده آن از ریاضی، ضرورت یافته است. نادیده گرفتن این پدیده، با اصرار بر پیروی از سنت موجود، نتیجه ای جز زیست شناسی سنتی بی خلف و یا زیست شناسی مدرن بی سلف نخواهد داشت. پیش از آنکه مجبور شویم برنامه‌های جدید را اقتباس کنیم، بهتر است برای آینده برنامه ریزی کنیم. منظور از این عبارت واحدهای زمانی یک یا چند ساله نیست. همانگونه که پس از حدود یک سده ممارست اداره دانشگاه، معیار شایستگی برنامه‌های خود را در جای دیگری می‌جوییم، ممکن است حدود صد سال دیگر نیز در همین موقعیت قرار داشته باشیم. همانگونه که در بخش‌های پیشین توضیح داده شد، *نخستین گام برای حضور در این عرصه، آموزش متناسب با این شرایط است. برای برنامه ریزی چنین آموزشی، باید تفکر متناسب با آن را دریافت.*

منابع

Barabe D. and R. V Jean, *Symmetry in Plants (Mathematical Biology and Medicine)*, World Scientific Publishing Company, 1998.

Baráni H, Frndová H, Tomori Z, and Kulisek V., Mathematical Model of Rest Respiration in the Aspiration and Expiration Reflex, *Československá Fyziologie*, Vol. 28, No. 6, pp. 541-6, 1979.

Bayon H. P., René Descartes, 1596-1650, A Short Note on His Part in the History of medicine, *Proceedings of the Royal Society of Medicine*, Vol. 43, No. 11, pp. 783-785, 1950.

Abbiw-Jackson R. M. and W. F. Langford, Gain-Induced Oscillations in Blood Pressure, *Journal of Mathematical Biology*, Vol. 37, pp. 203–234, 1998.

Alligood K. T., T. D. Sauer, and J. A. Yorke, *Chaos: an Introduction to Dynamical Systems*, Springer, 1996.

Arnold V. I., *Huygens & Barrow, Newton & Hooke*, Birkhauser, 1990.

Aubin J. P., *Viability Theory*, Birkhauser, 1991.

Aubin J. P., A. M. Bayen, and P. Saint-Pierre, *Viability Theory: New Directions*, 2nd ed, Springer, 2011.

Bellantone R., Artificial Pancreas, *The International Journal of Artificial Organs*, Vol. 13, No. 9, pp. 601-602, 1990.

Castiglioni A., Galileo Galilei(1564–1642) and His Influence on The Evolution Of Medical Thought, *Bulletin of The History of Medicine*, Vol. 12, No. 2, pp. 226-241, 1942.

Chay T. R., A Model for Biological Oscillations, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*,Vol. 78, No. 4, pp. 2204–2207, 1981.

Clare M. Mahan, Chin Long Chiang, and John B. O'Sullivan, Mathematical Modeling of Early Diabetes Mellitus, *Mathematical Biosciences*, Vol. 84, No. 1, pp. 23-35, 1987.

Cohen J. E., Mathematics is Biology's Next Microscope, only Better; Biology is Mathematics' Next, Physics, only Better, *PLoS Biology*, Vol. 2, No. 12, pp. 2017-2023, 2004.

Cowan J. D., *Some Mathematical Questions in Biology*, American Mathematical Society, 1974.

Cull P., The Mathematical Biophysics of Nicolas Rashevsky, *BioSystems*, Vol. 88, pp.178–184, 2007.

Danziger L. and George L. Elmergreen, The Thyroid-Pituitary Homeostatic Mechanism, *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, Vol. 18, No. 1, pp. 1-13, 1956.

Dao D. H., D. Kun, and P Q. Zh. Zhu, *Mathematical Biology Medical Tutorial*, Suzhou University Press, 1999.

René Descartes, Discourse on the Method of Rightly Conducting one's Reason and Seeking Truth in the Sciences, 1637.

Dick S. J., Other Worlds: The Cultural Significance of the Extraterrestrial Life Debate, *Leonardo*, Vol. 29, No. 2, pp. 133-137, 1996.

Dossel O., C. Werner and F. Sachse, Modelling of Normal and Arrhythmogenic Electrical Excitation of the Human Heart, *Proceedings of the 22nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society,* (Cat. No.00CH37143), Chicago, IL, Vol. 4, pp. 3004-3006, 2000.

Duffin R. P. and R. H. Tullis, Mathematical Models of the Complete Course of HIV Infection and AIDS, *Journal of Theoretical Medicine*, Vol. 4, No. 4, pp. 215–221, 2002.

Epstein J. M., *Nonlinear Dynamics, Mathematical Biology, and Social Science: Wise Use of Alternative Therapies*, Perseus, 1997.

Ermentrout B., An adaptive model for synchrony in the firefly Pteroptyx malaccae, Journal of Mathematical Biology, Vol. 29, pp. 571-585, 1991.

Feser J., H. Vasaly, and J. Herrera, On the Edge of Mathematics and Biology Integration: Improving Quantitative Skills in Undergraduate Biology Education, *CBE—Life Sciences Education*, Vol. 12, pp. 124–128, 2013.

Fincham W. F. and F. T. Tehrani, A Mathematical Model of the Human Respiratory System, *Journal of Biomedical Engineering*, Vol. 5, No. 2, pp. 125-133, 1983.

Freedman H. I. and F. Nani, A Mathematical Model of Cancer Treatment by Chemotherapy, *Canadian Applied Mathematics Quarterly*, Vol. 20, No. 4, 2012.

Friedman A., What is Mathematical Biology and How Useful Is It?, *Notices of the AMS*, *August 2010*, pp. 851-857, 2010.

Friesen W. O., What is a biological oscillator?, *American Journal of Physiology*, Vol. 246, R847–R853, 1984.

Galileo Galilei(1564–1642), Dialogues Concerning Two New Sciences,1638.

Galileo Galilei(1564–1642), Dialogue Concerning the Two Chief World Systems, 1632.

Ginoux J. M., Van der Pol's Lectures: Towards the Concept of Relaxation Oscillations, In J. Ginoux, *History of Nonlinear Oscillations Theory in France (1880-1940)*, Springer, 2017.

Gladyshev G. P., Leonhard Euler's Methods and Ideas live in the Thermodynamic Hierarchical Theory of Biological Evolution, *International Journal of Applied Mathematics & Statistics*, Vol. 11; No. V07, 2007.

Greene C. M., Allee Effects, in *Encyclopedia of Ecology*, 2008.

Hethcote H.W., A Model for HIV Transmission and AIDS. In: Castillo-Chavez C., Levin S.A., Shoemaker C.A. (eds) *Mathematical Approaches to Problems in Resource Management and Epidemiology, Lecture Notes in Biomathematics*, Springer, 1989.

Hines W. G. S., Eess Modelling of Diploid Populations II: Stability Analysis of Possible Equilibria, *Adavances in Applied Probability*, Vol. 26, pp. 361-376, 1994.

Hodgkin A. L., and Huxley A. F., A Quantitative Description of Membrane Current and its Application to Conduction and Excitation in nerve, *The Journal of Physiology*, Vol. 117, No. 4, pp. 500–544, 1952.

Hodgkin A. L., and Huxley A. F., Currents Carried by Sodium and Potassium Ions Through the Membrane of the Giant Axon of Loligo, *The Journal of Physiology*, Vol. 116, No. 4, pp. 449–472, 1952.

Hofmeyr J. H. S., Mathematics and Biology, *South African Journal of Science*, Vol. 113, No.3/4, pp. 1-3, 2017.

Hoppensteadt F. C., *An Introduction to the Mathematics of Neurons*, Cambridge University Press, 1986.

Hoppensteadt F. C., *Mathematical Methods of Population Biology*, Cambridge University Press, 1982.

Howland J. H., *A Mathematical Approach to Biology*, Heath, 1972.

Hunter Ph., Biology is the New Physics, *European Molecular Biology Organization Reports*, Vol. 11, No. 5, pp. 350-352, 2010.

IMSDS, Instituto E Museo Di Storia Della Scienza, Galileo's Microscope Anthology, 1610-1671.

Israel G., On the Contribution of Volterra and Lotka to the Development of Modern Biomathematics, *History and Philosophy of the Life Sciences*, Vol. 10, No. 1, pp.37 – 49, 1988.

Jastifer J. R., L. H. Toledo-Pereyra, and P. A. Gustafson, Galileo(1564–1642)'s Contribution to Modern Orthopaedics, *Journal of Investigative Surgery*, Vol. 24, No. 4, 2011.

John Henry, *A Short History of Scientific Thought*, Chapter Nine Mathematics and Mechanics: Galileo Galilei (1564–1642), Palgrave Macmillan, 2011.

Kahn P. B., *Mathematical Methods for Scientists and Engineers*, Wiley, 1990.

Karreman G. and Ch. Prood, Heart Muscle Contraction Oscillation, *International Journal of Bio-Medical Computing*, Vol. 38, No. 1, pp. 49-53, 1995.

Karsai I. and G. Kampis, The Crossroads between Biology and Mathematics: The Scientific Method as the Basics of Scientific Literacy, *BioScience*, Vol. 60, No. 8, pp. 632–638, 2010.

Kitcher P. S., Philosophy of Science, *Encyclopedia, Britanica*, 2019.

Levin S. A., *Some Mathematical Questions in Biology*, American Mathematical Society , 1977.

Levin S. A., *Studies in Mathematical Biology, Two Parts*, Mathematical Association of America, 1979.

Levin S. A., *Mathematics and Biology: The Interface, Challenges and Opportunities*, National Science Foundations, Cornell University, 1992.

Levin S. A., *Frontiers in Mathematical Biology*, Springer, 1995.

Lopes J. A., and Agenor de Toledo Fleury, MATHEMATICAL MODELING OF BLOOD GLUCOSE METABOLISMAND THE ARTIFICIAL PANCREAS DEVELOPMENT, 15th Brazilian Congress of Mechanical Engineering, Nov. 22, Sao Paulo, 1999.

Lotka A., *Elements of Mathematical Biology*, Dover, 1956.

Mazumdar J., *An Introduction to Mathematical Physiology and Biology*, 2nd edition, Cambridge University Press, 1999.

Mertikopoulos P. and W. Sandholm, Reimannian Game Dynamics, *arxive:1603.09173v3[math.OC],* April, 2018.

Murray J. D., *Mathematical Biology*, Springer, 1989.

Nehaniv C. L., *Mathematical and Computational Biology: Computational Morphogenesis, Hierarchical Complexity, and Digital Evolution*, American Mathematical Society, 1999.

Nielsen P. M., Le Grice I. J., Smaill B. H., and Hunter P. J., Mathematical Model of Geometry and Fibrous Structure of the Heart, *American Journal of Phisiology*, 260, 4, Pt. 2, H1365-78, 1991.

Neyman J., Biology and Problems of Health, in L. M. LeCam (ed.), *Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, Vol. 4, University of California, 1967.

Issac Newton, *The Mathematical Principles of Natural Philosophy*, 3rd Ed. 1726, Translated to English by Andrew Motte, by adding Newton System of the World, 1729.

Issac Newton, *Method of Fluxions*, 1671, 1736.

Issac Newton, *Opticks: or, A Treatise of the Reflexions, Refractions, Inflexions and Colours of Light*, 1704.

NVTB, Dutch Society for Theoretical Biology, https://www.bio.vu.nl/nvtb, Retrieved on March 18, 2020.

Pardee A. B, Roots: Molecular Basis of Biological Regulation: Origins from Feedback Inhibition and Allostery, *Bioessays*, Vol. 2, No. 1, pp. 37-40, 1985.

Peterson M. A., Galileo's Discovery of Scaling Laws, arXiv:physics/0110031, 2002.

Plagenhoef S., Computer Programs for Obtaining Kinetic Data on Human Movement, *Journal of Biomechanics*, Vol. 1, No. 3, pp. 221-234, 1968.

Renshaw E., *Modelling Biological Populations in Space and Time*, Cambridge University Press, 1991.

Rashevsky N., *Advances and Applications of Mathematical Biology*, The University of Chicago press , 1940.

Rashevsky N., *Mathematical Theory of Human Relations: an Approach to a Mathematical Biology of Social Phenomena*, Principia Press, 1949.

Rashevsky N., *Mathematical Principles in Biology and their Applications*, Thomas, 1961.

Rashevsky N., *Mathematical Biology of Social Behavior*, University of Chicago Press, 1959.

Rashevsky N., *Mathematical Biophysics: Physico-Mathematical Foundations of Biology, Two Volumes*, Dover, 1960.

Rashevsky N., *Some Medical Aspects of Mathematical Biology*, Charles C. Thomas, 1964.

Righini A., Galileo's New Paradigm: The Ultimate Inconvenient Truth, Challenging the Paradigm, *The Legacy of Galileo Symposium*, pp. 3-9, 2019.

Righini A., The Human and Scientific Tale of Galileo, Challenging the Paradigm, *The Legacy of Galileo Symposium*, pp. 101-119, 2019.

Rokni Lamouki G. R., F. Maleki and A. H. Hajihosseini, A Mathematical Model for the Admission Process in Intensive Care Units, *Communication in Nonlinear Science and Numerical Simulations*, Vol. 19, pp. 8-18, 2014.

Rokni Lamooki G. R., A. H. Shirazi, and A. Mani, Mathematical Model for thyroid, *Communication in Nonlinear Science and Numerical Simulations*, Vol. 22, pp. 297-313, 2015.

Rokni Lamouki G. R., Description of an actual integrator in human body, *In preparation*, 2020.

Rokni Lamouki G. R., The formalism of respiration on earth, *In preparation*, 2020.

Rokni Lamouki G. R., Topological evolutionary model for biomathematical interdisciplinary research and education, *In preparation*, 2020.

Rosen R., *Foundations of Mathematical Biology, Three Volumes*, Academic Press, 1973.

Saratchandran P., E. R. Carson, and J. Reeve, An Improved Mathematical Model Of Human Thyroid Hormone Regulation, *Clinical Endorecinology*, Vol. 5, No. 5, pp. 473-483, 1976.

Segel I., *Biochemical Calculations: How to Solve Mathematical Problems in General Biochemistry*, Wiley, 1968.

Sergio Camiz, From Data Collection to Mathematical Models: Methodological Pathways, *Bulletin of TICMI*, Vol. 12, pp. 32-57, 2008.

Shashahani S., A New Mathematical Framework for the Study of Linkage and Selection, *Memories of American Mathematical Society*, 211, 1979.

Simon W. , *Mathematical Techniques for Biology and Medicine,* MIT Press, 1978.

Smith J. M., *Mathematical Ideas in Biology*, Cambridge University Press, 1968.

Sorgo A., Connecting Biology and Mathematics: First Prepare the Teachers, *CBE—Life Sciences Education*, Vol. 19, pp. 196-200, 2010.

Steen L.A., The Gift of Mathematics in the Era of Biology, In: Steen L.A., editor, *Math & Bio 2010: Linking Undergraduate Disciplines*, Washington DC: Mathematical Association of America; 2005.

Sturis J., I. J. Kurland, M. M. Byrne, E. Mosekilde, Ph. Froguel, S. J. Pilkis, G. I. Bell and K. S Polonsky, Compensation in Pancreatic β-Cell Function in Subjects With Glucokinase Mutations, Diabetes, Vol. 43, No. 5, pp. 718-723, 1994.

Sud V. K., R. S. Srinivasan, J. B. Charles and M. W. Bungo, Mathematical Modelling of Flow Distribution in the Human Cardiovascular System, *Medical and Biological Engineering and Computing*, Vol. 30, pp. 311–316, 1992.

Swan G. W., A Bibliography of Mathematical Biology, In van den Driessche P, (eds) *Mathematical Problems in Biology,* Lecture Notes in Biomathematics, Vol 2. Springer, 1974.

Tehrani F. T., Mathematical Analysis and Computer Simulation of the Respiratory System in the Newborn Infant, *IEEE Transaction on Biomedical Engineering*, Vol. 40, No. 5, pp.475-481, 1993.

Thrall R. M. D., J. A. Mortimer, K. R. Rebman, R. F. Baum, *Some Mathematical Models in Biology*, Technical Report, University of Michigan, Wiley, 1967.

Tuckwell H. C., *Introduction to Theoretical Neurobiology*, Two Volumes, Cambridge University Press, 1988.

Tyson J. J., What Everyone Should Know About the Belousov-Zhabotinsky Reaction, *Frontiers in Mathematical Biology*, pp. 569-587, 1994.

Verron J., Alfred Lotka and the Mathematics of Population, *Electronic Journal for History of Probability and Statistics*, Vol. 4, No. 1, June 2008.

Wang S. and H. Schattler, Optimal Control of a Mathematical Model for Cancer Chemotherapy under Tumor Heterogeneity, *Mathematical Biosciences and Engineering*, Vol. 13, No. 6, pp. 1223-1240, 2016.

Whiston W., *Universal Arithmetic Based on Newton's Lecture Notes*, 1707.

Woese C. R., A New Biology for a New Century, *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, Vol. 68, No. 2,pp. 173–186, 2004.

Woo S. L. Y., A. S. Kobayashi, C. Lawrence, and W. A. Schlegel, Mathematical Model of the Corneo-Scleral Shell as Applied to Intraocular Pressure-Volume Relations and Applanation Tonometry, *Annals of Biomedical Engineering*, Vol. 1, No. 1, pp. 87-98, 1972.

Wai-yuan T., *Stochastic Modeling of AIDS Epidemiology and HIV Pathogenesis*, Springer, 2000.

Wheldon T. E., *Mathematical Models in Cancer Research*, CRC Press, 1988.

Zanatta A., F. Zampieri, C. Basso, and G. Thiene, Galileo Galilei(1564–1642): Science vs. Faith, *Global Cardiology and Science Practice*,Vol. 2, pp. 10, 2017.

A veiw of relation between Biology and Mathematics: From 17th to 21th Century

Rokni lamouki Gh.R.

School of Mathematics, Statistics and Computer Science, College of Science, University of Tehran, Advanced Systems Biology and Cancer Research Lab., Tehran, I.R. of Iran

Abstract

The role of mathematics in biological studies is briefly discussed within the time frame of 17th to 21st centuries. The considered time line is partitioned into a number of sections within each a special scheme of two fields interactions is observed. Biological consideration within the serious work of mathematicians and serious consideration of mathematics within the work of biologists are employed to map various interval of interactions. Such interactions were (and yet are) constructive. These lead to the new interdisciplinary field of mathematical biology in 20th century. This paper will draw the picture of future modern biologists. It is claimed in this paper that, very soon, it will be impossible to meet a biologist who is not a sort of mathematician and there will be many mathematicians who works on biology. The relations between biology and mathematics will be similar to the relations between mechanics and mathematics. It is argued that, the time comes for building classical mathematical theories for biological concepts/problems. Some examples are given; specifically, the work of Shahshahani metric is addressed as an example towards such classical theories.

Key words: Biological mathematics, Cybernetics, Descartes, Euler, Galileo, Newton

سیاست‌گذاری‌ها در برابر کووید-۱۹: واکنش‌های اولیه و چشم‌اندازها

ربابه لطیف*

سمنان، دانشگاه خواهران سمنان (فرزانگان)

چکیده

جهان در چنگ بحرانی است که در تاریخ معاصر بی‌سابقه بوده است. بیماری همه‌گیر کووید-۱۹ یک فوریت با مقیاس جهانی و از نظر تاثیرات بسیار سنگین است. در سایه‌ی دیدگاه Harold D. Lasswell در علوم سیاست‌گذاری برای ارائه بینش کافی در رمزگشایی پدیده‌ها، این گزارش با مرور منابع علوم سیاست‌گذاری در پی درک پویایی پدیده کووید-۱۹ به کمک درسهای علوم سیاست‌گذاری است. ما راه‌هایی را بررسی می‌کنیم که در آن تخصص علمی و فنی، احساسات و روایت‌ها بر تصمیمات سیاست‌گذارانه تأثیر می‌گذارند و روابط بین شهروندان، سازمان‌ها و دولت‌ها را شکل می‌دهند. ما در مورد فرآیندهای گوناگون سازگاری و تغییر، از جمله یادگیری، جریان‌های مخالف سیاسی، تغییر در شبکه‌ها (محلی و جهانی)، اجرای سیاست‌های فرامرزی و ارزیابی موفقیت و شکست سیاست‌ها بحث می‌کنیم. در نهایت درباره جنبه‌های کم مطالعه شده سیاست‌گذاری‌ها که شایسته توجه در پیامدهای بعدی همه‌گیری هستند، نتیجه‌گیری می‌کنیم.

کلیدواژگان: کروناویروس، بیماری همه‌گیر، علوم سیاست‌گذاری، خط مشی‌های عمومی، فرایندهای سیاست‌گذاری، بحران

* مترجم مسئول، پست الکترونیکی: Latif@fgusem.ac.ir

مقدمه

جهان درگیر شدیدترین بیماری همه‌گیر در تاریخ معاصر است. دانشمندان این دنیاگیری را «سندرم تنفسی حاد کروناویروس۲» (SARS-CoV-2) نامگذاری کرده‌اند، اما معمولاً برچسبی که بیماری براساس آن نام برده می‌شود: بیماری کروناویروس ۲۰۱۹ یا «کووید-۱۹» است. کووید-۱۹به سرعت در مقیاس تاریخی و با تأثیرات بی‌سابقه‌ای گسترش یافت. اگرچه کووید-۱۹ علائم خفیف کمی نظیر تب، درد، سرفه خشک و تنگی نفس دارد، شرایط تهدید