

تجربه ای از آموزش ریاضی برای دانشجویان زیست‌شناسی

غلامرضا رکنی لموکی*

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

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

چکیده

در این مقاله به تجربه ای ۱۵ ساله از آموزش ریاضی عمومی در دانشکده زیست‌شناسی دانشگاه تهران پرداخته می‌شود. برای اشاره به جنبه‌های ساختاری مورد استفاده، به طور موجز، به ادبیات موضوع پرداخته شده است. این مقاله ضمن دوری از وقایع نگاری و یا بیان خاطرات، به چارچوب عقلانی تغییرات پیشنهادی پرداخته است.

کلیدواژگان: ریاضی، آموزش، زیست‌شناسی

۱. مقدمه

تعداد واحد: هر کدام ۲ واحد و در مجموع ۴ واحد برای دو نیمسال تحصیلی

محتوای ریاضی عمومی ۱ و ۲: رشته‌های مختلف زیست‌شناسی سطوح متفاوتی داشتند ولی وجه مشترک آنها حساب دیفرانسیل و انتگرال توابع یک و چند متغیره، جبر خطی، آمار مقدماتی، و معادلات دیفرانسیل بوده است.

مجموع تعداد واحد‌های محتوای معادل در سایر رشته‌ها: از ۹ واحد تا ۱۱ واحد

دیپلم دانشجویان ورودی: اغلب قریب به اتفاق «علوم تجربی»

در برابر این چارچوب، و ارزیابی اولیه مستندات آموزشی، به بررسی جنبه‌های انسانی موجود پرداختم.

تعداد دانشجویان متقاضی این درس: ۱۱۴ نفر

ترکیب دانشجویان: نو دانشجویان و دانشجویان بازمانده از این درس از سالهای قبل

محل برگزاری کلاس: نه چندان مناسب برای تمرکز و نامناسب برای یادداشت برداری درس ریاضی عمومی

دیدگاه دانشجویان نسبت به ریاضی عمومی: نامساعد

دیدگاه دانشجویان نسبت به مدرسین ریاضی عمومی: نامساعدتر از دیدگاه آنان نسبت به درس ریاضی عمومی دیدگاه اساتید دانشکده زیست‌شناسی نسبت به اهمیت درس ریاضی عمومی: بسیار گسترده، از اهم واجبات، تا چیزی غیر ضروری و حتی اتلاف وقت

در شهریور ماه ۱۳۸۶، سومین نیمسال حضور در دانشگاه تهران، وظیفه تدریس ریاضی عمومی ۱ دانشکده زیست‌شناسی، از جانب ریاست دانشکده ریاضی و به پیشنهاد معاون آموزشی وقت، دریافت شد. مقرر شد که همه توان، دانش، تجربه و هنر (۱) موجود در این زمینه به کار بسته شود. در اینجا با یک مسیر روبرو می‌شویم. محتوای مورد انتظار، شنوندگان هدف، نظام آموزشی به عنوان ناظر، مدرس به عنوان مجری، و نتیجه‌ای که باید قابل ارزیابی باشد. همه این جزئیات در سایر درسها نیز وجود داشته است، ولی چیزی در آموزش ریاضی عمومی برای رشته زیست‌شناسی در سال ۲۰۰۷ را چنان خاص می‌کند که نیازمند یک طرح دقیق باشد. علت چنین خاص بودن را در بخش ۲ خواهیم دید.

گرچه سرفصل چنین درسی در همه رشته‌های دانشگاهی محتوایی تقریباً مشابه دارد، ولی به جهت حساسیتی (۲) که در خصوص این درس اعلان شده بود، برای آمادگی این تدریس و درک بهتر حساسیت اعلان شده، برای دریافت سرفصل درس ریاضی عمومی ۱ دانشکده زیست‌شناسی درخواست داده شد. پس از دریافت سرفصل این درس، این نکته روشن شد که بدون داشتن سرفصل درس دوم یعنی ریاضی عمومی ۲ دانشکده زیست‌شناسی نمی‌توان طرحی موفق برای تدریس درس پیش‌نیاز یعنی ریاضی عمومی ۱ ارائه کرد. پس از دریافت سرفصل‌های این دو درس، مشخصات آنها به شرح زیر فهرست شد.

عنوان: ریاضی عمومی ۱ و ریاضی عمومی ۲

موجز چند دیدگاه انگشت شمار در چند دهه اخیر به عنوان مقدمه ای برای طرح موضوع می پردازیم.

در کارسای و کمپیس (۲۰۱۰) این موضوع مورد بحث قرار می گیرد که چگونه این ایده شکل گرفته است که پیچیدگی های بسیاری که در زیست‌شناسی دیده می شود با قواعد ساده منتج از ریاضیات قابل توضیح خواهد بود. سپس در ورای این ایده آرمانی، به این موضوع می پردازد که چگونه با آموزش ریاضی محور می توان فهم بهتری از زیست‌شناسی را فراهم کرد، و در این راستا مدخل «روش علمی» را به عنوان ابزار شناختی دانشمندان در برابر «روش های نمایشی» مرسوم مطرح می سازد. چنین اختلافی قهرا شکافی را میان آموزش و پژوهش ایجاد می کند. البته، اگر این اختلاف در جامعه ای به امری رایج بدل شود به اختلافی تاریخی میان پژوهش های جامعه مذکور و پژوهش های جوامع علمی مجهز به روش علمی می انجامد. این رخداد امری فراتر از دشوار نمودن آموزش است و نتیجه اش پسرفت و توقف پیشرفت است. به علاوه کارسای و کمپیس (۲۰۱۰) تاکید می کنند که چاره ای نیست جز کمی نمودن همزمان آموزش و پژوهش زیست‌شناسی و با این دیدگاه، بر پژوهش بر اساس جستار تاکید می ورزد. در این میان به تفاوت مهمی میان تکنسین ها (که جزئیات زیادی را فرا می گیرند) و دانشمندان (که با توجه به قواعد کلی و مجهز به روش علمی به اکتشاف می پردازند) اشاره می کنند. به عنوان یک راه حل برای رسیدن به روش علمی، کارسای و کمپیس (۲۰۱۰) به دانشگاه تِنسی اشاره می کنند که به درس های عمومی زیست‌شناسی مباحث کمی را افزودند، و درسهای ریاضی متناسب با نیازهای آموزش زیست‌شناسی بازتعریف شدند. این مسیری است که انتظار می رفت که در تجربه ۱۵ ساله موضوع این مقاله که در بخش ۱ سرآغازش بیان شد طی شده باشد. ورود به این دنیای جدید، درک اولیه و مسیر پژوهشی در زیست‌شناسی را به گونه ای معنی دار و محسوس نسبت به روشهای قدیمی دگرگون می کند. یکی از جنبه های مشکل ساز ورود به زیست‌شناسی با استفاده از ابزار کمی زمانی رخ می دهد که تسلطی نسبی بر ابزار و مفاهیم ریاضی مورد استفاده فراهم نشده باشد. در این راستا به اهمیت درک درست از ابزار زیست‌شناسی و نیز هموار

دیدگاه نظام آموزشی دانشگاه نسبت به درس ریاضی عمومی دانشکده زیست‌شناسی: مکانیکی، درس هایی که برای قبولی باید در سامانه نمره آنها بالای ۱۰ ثبت شده باشد.

دیدگاه دانشکده ریاضی در خصوص ارائه این درس ها: پر ددرس، بهتر است به کسی واگذار شود که از این ددرسها خبر ندارد تا وقتی که صبرش به اتمام رسد و درخواست کند که کار به فرد دیگری سپرده شود. درس ریاضی عمومی ۱ و ۲ دانشکده زیست‌شناسی تنوع بسیار زیادی در تخصیص مدرس داشته است.

دیدگاه مدرسین پیشین این درس ها: بهتر است پس از یکبار از خودگذشتگی و انجام وظیفه، بار چنین درسی به عهده دیگری گذارده شود. در انجام ناچارانه نیز با «درستی و نرمی به هم در» پیش رفتن چاره کار است. این شیوه ها در برخی موارد به بحرانهایی تاریخی (۲) نیز می انجامید.

برای کسی که از دوره کارشناسی، مهمترین فعالیت علمی اش نظریه کنترل، دستگاه های دینامیکی، و کاربردهای واقعی آنها بوده است، و یکی از زمینه های فعالیتش ریاضیات زیستی است و تا حدودی با دیدگاه های سده بیست و یکم در زیست‌شناسی آشناست، قراردان این وجه ها در کنار این حقیقت که «ریاضیات پیشرفته در سده بیست و یکم از ملزومات زیست‌شناسی است، و مهمتر اینکه در سده بیست و یکم زیست‌شناسی یکی از عناصر الهام بخش گسترش ریاضیات است» (۳) بسیار دشوار بوده است. شرایط ذکر شده در بالا به هیچ وجه با دانسته های عمومی در خصوص ارتباط زیست‌شناسی و ریاضیات و نیز با دیدگاه نویسنده نسبت به حساب دیفرانسیل و انتگرال (۴) همخوانی نداشت.

۲. در جهان چه خبر است

لازم است به این موضوع نیز پردازیم که چالش آموزش ریاضیات عمومی برای رشته های زیست‌شناسی در جهان چگونه بوده است. در ورای همه ایده پردازی های ریاضیاتی در زیست‌شناسی می توان به دکارت-گالیله و نیوتن-اوایلر اشاره کرد (رکنی، ۱۳۹۹)، ولی در اینجا به بررسی بسیار

¹ (Karsai and Kampis, 2010)

در دیدی دیگر توسط اسلی و زولدوسمارچیز (۲۰۲۱)^۶ چالش‌های آموزش کاربردهای ریاضی در سایر علوم از منظر آموزگاران در قالب‌های کمی و کیفی مورد مطالعه قرار گرفته است. نتیجه آموزش کاربردهای ریاضی توسط آموزگاران ریاضی در این پژوهش افزایش علاقه مندی دانش‌آموزان مقطع متوسطه مورد مطالعه نسبت به ریاضی و نیز افزایش انگیزه آنها برای مطالعه این درس بوده است. دو چالش بزرگ گزارش شده عبارت بودند از *زمان ناکافی* و *مهارت ناکافی آموزگاران ریاضی برای آموزش کاربردهای ریاضی*. انتظار می‌رفته که در تجربه ۱۵ ساله موضوع این مقاله که در بخش ۱ سرآغازش بیان شد به این دو چالش توجه ویژه ای گردد. مارشال و دوران (۲۰۱۸)^۷ به این موضوع اشاره کرده اند که بسیاری از مراکز آموزشی توصیه می‌کنند که برنامه ریاضی الزامی برای رشته زیست‌شناسی باز بینی شوند. برای ارزیابی این دیدگاه، به بررسی ریاضیات مورد استفاده در تحقیقات زیست‌شناسی پرداخته است. از مطالعه مقالات کمی و کیفی مربوطه، که در سطوح مختلف از ریاضی بهره برده اند، چنین دریافت شده است که زیست‌شناسان به گونه ای ویژه نیازی پایه ای به آمار توصیفی، آمار استنباطی، مدل‌سازی ریاضی، و حسابان دارند به طوری که به جای کسب مهارت‌های تکنیکی، به درکی مفهومی برسند که با برنامه‌های آموزش ریاضی و آمار وابسته به گرایش و رشته زیست‌شناسی مورد نظر قابل پی‌گیری باشند. بحث مارشال و دوران (۲۰۱۸) با این اعلان از ادلشتین-کشت (۲۰۰۵) آغاز می‌شود که زیست‌شناسی آینده بر پایه مدل، آمار و ریاضی استوار است.^۸ این موضوع در (رکتی، ۱۳۹۹) با ژرف‌نگری چنین مطرح شده است که در آینده تشخیص اینکه زیست‌شناس ریاضیدان نیست غیر ممکن می‌شود. توصیه‌های مارشال و دوران (۲۰۱۸) برای آموزش شامل مفاهیم آمار تنظیم شده برای زیست‌شناسی، مدل‌سازی ریاضی و ابزار مربوطه از حساب دیفرانسیل و انتگرال، ترکیب ریاضی با زیست‌شناسی، آمار و حسابان چند متغیره، جبر خطی، سری‌های زمانی، و دستگاه‌های دینامیکی است. به علاوه، او مدل‌سازی را هسته اصلی آموزش ریاضی برای زیست‌شناسی دانسته است. این عنوان اخیر از جمله پای

نمودن مسیر فعالیت‌های ریاضی محور در زیست‌شناسی بر اساس درک درست از مفاهیم زیست‌شناسی تاکید شده است. در مقوله مدل‌سازی، اشاره ای که به نیاز به فرضیات زیست‌شناختی می‌کند کاملاً قابل قبول است. در حوزه حسابان، البته چندان نظر مشخصی ارائه نشده است ولی به الهام بخش بودن زیست‌شناسی برای ریاضی به خوبی اشاره شده است. با جزییاتی که کارسای و کمپیس (۲۰۱۰) مطرح می‌کنند، نیاز به آموزش ریاضی مناسب را، در دنیای جدید پژوهش‌های زیست‌شناسی، برای پژوهشگران زیست‌شناسی ضروری می‌سازد. این ضرورت در هومفیر (۲۰۱۷) و مای (۲۰۰۴)^۱ نیز بیان شده اند. و اچموث و دیگران (۲۰۱۷)^۲ این باور عمومی را مطرح کردند که دانشجویان زیست‌شناسی بر خلاف سایر رشته‌های علوم با دیدگاه منفی‌تری به ریاضی گرایش دارند. در کنار این باور و این دانسته که دیدگاه مثبت در یادگیری و به کار بستن ریاضی بسیار موثر است، به سه عامل احساس عاطفی نسبت به ریاضی، چشم‌انداز ریاضی، و شایستگی درک شده از ریاضی^۳ ارجاع داده اند. و اچموث و دیگران (۲۰۱۷) برای آزمون این باور به مطالعات میدانی برای بعد احساس عاطفی نسبت به ریاضی پرداخته اند. دریافت نهایی این بود که ۴ زوج عامل (آسانی، سختی)، (راحتی، دشواری)، (رضایتبخش، نا امیدکننده)، (خوش‌آیند، ناخوش‌آیند)^۴ احساس دانشجویان علوم (شامل دانشجویان زیست‌شناسی) را نسبت به ریاضی شکل می‌دهد. با توجه به این امر درمی‌یابیم که انتخاب منبع، نگارش سرفصل، و نوع رویکرد ما در ارزیابی دانشجویان بر احساس آنها نسبت به ریاضی، تاثیر می‌گذارد. دریافتی ضمنی از این مطالعه نشان می‌دهد که روگرفت برنامه‌ها و سرفصل‌ها برای ساختن یک برنامه موفق در آموزش ریاضی عمومی برای دانشجویان زیست‌شناسی، روشی قابل قبول نیست. برای این منظور، در طرح برنامه ای شامل همه جنبه‌های مربوطه، لازم است که با دانشکده زیست‌شناسی همراه شده و به تجربیات مربوطه ساختاری داده شود. مفهوم سختی موضوع درسی در مقایسه ریاضی، زیست‌شناسی و سایر علوم از چند منظر در سطح مدارس توسط غفور و سرابی (۲۰۱۵)^۵ بررسی شده است.

¹ (Hofmeyr, 2017), (May, 2004)

² (Wachsmuth, et al., 2017)

³ the emotional disposition toward mathematics, the vision of mathematics, the perceived competence of mathematics

⁴ (easy, hard), (comfortable, uncomfortable), (satisfactory, frustrating), (pleasant, unpleasant)

⁵ (Ghafoor and Sarabi, 2015)

⁶ (Asli and Zsoldos-Marchis, 2021)

⁷ (Marshall and Duran, 2018)

⁸ "the new biology is largely a biology based on models, data, and mathematics" (Edelstein-Keshet, 2005)

یک دانشگاه نیست و دیگر مراکز نیز چنین تجربه ای دارند و برای بر طرف کردنش لازم است که راهکارهایی گام به گام برداشته شود. یکی از راهکار های پیشنهادی قرار دادن آموزش های عمومی مانند «شبکه عددی ملی» ایالات متحده آمریکا در برنامه آموزش های ریاضی دانشجویان زیست‌شناسی دانشگاه هم‌لمین^۱ بوده است. در تجربه دیگر و موفق تر، ساترنویت (۲۰۱۹)،^۲ با وارد نمودن الزامی مفاهیم پایه ریاضی و آمار در سرفصل درس وراثت، نسبت به روشهای غیر کمی مرسوم، به نتیجه ای بهتر در آموزش مفاهیم زیست‌شناسی دست یافتند. مقوله موفقیت در آموزش ریاضی برای دانشجویان ریاضی با عامل های پیچیده ای مانند با دوام بودن، با معنی بودن، کارآمد بودن، و با انگیزه بودن سنجیده می شود. بررسی این عامل ها قطعاً نیازمند مطالعاتی دقیق است. اما پارامتری که ترکیبی از تمام اینها را نشان می دهد- هر چند ممکن است مشخص کننده هر کدام از آنها به تنهایی نباشد- خود نمره دانشجویان در درس ریاضی است. در پژوهشی که توسط فریمن و دیگران (۲۰۱۴)^۳ صورت گرفت، مقوله یادگیری فعال^۴ در علوم، مهندسی و ریاضی مود بررسی قرار گرفت و با مطالعات میدانی نشان داده شد که دانشجویان در روش های تدریس قدیمی (غیر فعال)، در حوزه های ذکر شده، ۱.۵ برابر بیش از یادگیری فعال با احتمال ردی مواجه است. تعریف آموزش فعال نیز با یک همه پرسی از تعدادی محدود، ولی در سطح جغرافیایی وسیع، به صورت زیر ساخته شد. «یادگیری فعال، به عنوان نقطه مقابل گوش فرادن به یک خبره، دانشجویان را در فرایند یادگیری در قالب فعالیت ها و یا گفتگوها درگیر می کند و بر فرا اندیشی و فعالیت های گروهی تاکید می کند (فریمن و دیگران، ۲۰۱۴)». در مقابل، تدریس قدیمی عبارت است از ارائه پیوسته مدرس و محدود بودن فعالیت دانشجویان به یادداشت برداری و پرسش و پاسخ موردی (فریمن و دیگران، ۲۰۱۴). چکیده تمهیدات اندیشیده شده در تجربه ۱۵ ساله مورد بحث این مقاله، که سرآغازش در بخش ۱ گفته شد، برای فعال بودن یادگیری

ثابت مباحث مطرح شده در جدول ۳ و بخش ۴ این مقاله بوده است. در آیکنز (۲۰۲۱)^۱ بر این نکته تاکید شده است که دستگاه های دینامیکی از ملزومات مطالعات زیست‌شناسی آینده است و برای تسلط بر این رشته اخیر در سطحی پیشرفته به حسابان نیاز است، در حالی که بسیاری از دانشجویان زیست‌شناسی نسبت به ارزش ریاضی در رشته خود ناآگاهند. در این مطالعه نشان داده شد که چگونه دو درس بیوحسابان بر دیدگاه، علاقه، و انگیزه دانشجویان زیست‌شناسی در استفاده از ریاضی اثری سازنده داشته است. سرفصل های دو درس مورد نظر در ایتون و هایلندر (۲۰۱۷)^۲ معرفی شده اند که شامل مباحثی مانند توابع نمایی، حلقه های پسخور، برازش داده ها در مدل های داده شده، مهارت های کامپیوتری، تفکر منطقی و برنامه نویسی، مشتق و مفهوم آن، مدل های رشد جمعیتی مانند مدل لجستیک، ظرفیت محیط، تحلیل تعادلها، پایداری، دینامیک تغییر اقلیم، مدیریت دینامیک جمعیت، حدها و کرانها بوده اند. طرح پانزده ساله اجرا شده در دانشگاه تهران، طی سال های ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۱ با سرفصلی غنی تر، چنین نتیجه ای را در عمل تایید کرده است. اشاره به جونز و دیگران (۲۰۰۹)^۳ نشان می دهد که ریاضیات مورد نیاز برای زیست‌شناسی بسیار پیشرفته تر از حسابان معمولی است و پژوهشگران زیست‌شناسی باید برای سطحی وسیع تر از مهارت های ریاضی آماده باشند.

انجمن زیست‌شناسی سلولی ایالات متحده آمریکا در سال ۲۰۱۶ نامه یک مدرس زیست‌شناسی سلولی را منتشر کرد که از مشکلات دانشجویانش در استفاده از مهارت های اولیه ریاضی در کلاسهایش گله مند بود (ماکارویچ و پیرس، ۲۰۱۶)^۴. تعجب این مدرس زیست‌شناسی از این منظر نیز بود که گویا وجود تشکیلات آموزش ریاضی و تعامل دانشکده های ریاضی، زیست‌شناسی و شیمی در این زمینه چندان مفید واقع نشده است. پاسخ انجمن زیست‌شناسی سلولی به این مدرس گویای این بوده که این مشکل مختص

¹ (Aikens, 2021)

² (Eaton and Highlander, 2017)

³ (Jones, et al., 2009)

⁴ (Makarevitch and Pierce, 2016)

⁵ National Numeracy Network, "an organization that offers its members a network of individuals, institutions, and corporations united by the common goal of quantitative literacy for all citizens," (Makarevitch and Pierce, 2016): <http://www.nnn-us.org/> Retrieved on 29th Aug. 2022.

⁶ Hamline University: <https://www.hamline.edu/>

⁷ (Satterthwait, 2019)

⁸ (Freeman et al., 2014)

⁹ Active Learning

¹ Traditional Lecturing

دانشجو در کلاس درس ریاضی عمومی در بخش‌های بعدی به گفته خواهند آمد.

در دیدگاهی کاملاً متفاوت بلومیرت (۲۰۲۲)^۱ نسبت به حضور ایدئولوژیک ریاضی در علوم هشدار می‌دهد. از این دیدگاه، علم عبارت است از دانشی منضبط و ساختنی و قرائت جاری از علم را در قالب ترکیب انتخاب منطقی^۲ - که نتیجه اش فرض «علمی بودن برابر با ریاضیاتی بودن است»، زیر عنوان ایدئولوژی و بازکننده درهای تمامیت خواهی - مورد انتقاد قرار می‌دهد. علت این پدیده را با ارجاع به (آمادی، ۲۰۰۳)^۳ رقابت‌های تسلیحاتی جنگ سرد می‌خواند. لازم است به این نکته توجه شود که منظور از حضور ریاضیات و نیاز به ریاضی برای پژوهش‌های زیست‌شناسی به معنی بی‌اعتبار خواندن گذشته و یا روش‌های مرسوم نیست. ریاضیات مانند سایر مهارت‌های اندیشه‌گرایانه بشر حاصل تجربه است و در کنار سایر مهارت‌های تجربی قرار می‌گیرد نه در جایگاهی برتر یا ویژه. بنا بر این دیدگاهی که بلومیرت (۲۰۲۲) با رخدادش مقابله می‌کند، موضوع تجربیات ذکر شده در این مقاله نخواهد بود.

در کنار چنین دیدگاه‌هایی استفاده درست/نادرست از ریاضی در زیست‌شناسی نیز مورد اشاره قرار گرفته است. از جمله می‌توان به (مای، ۲۰۰۴)^۴ اشاره کرد که حضور مفاهیم و ابزارهای ریاضی در زیست‌شناسی را شامل آمار، جستجوی الگو، بیوانفورماتیک، مدلسازی دینامیکی، و بسیاری دیگری از این موارد فراگیر می‌خواند. رابرت مای، به عنوان تحصیل کرده ریاضی و فیزیک نظری و کاشف ویژگی‌های پیچیده نگاشت لجستیک (مای، ۱۹۷۶)^۵؛ از اهمیت ریاضی در زیست‌شناسی به خوبی با خبر است و حد فاصل میان داروین و جنکینز (۱۸۶۷)^۶؛ را با دریافت‌های ریاضی از نتایج مندل پر می‌کند و قانون هاردی-

وینبرگ، (اندروز، ۲۰۱۰)^۷؛ را در جایگاه قانون اول نیوتن در حرکت قرار می‌دهد. این دیدگاه مای (۲۰۰۴) در دیگر منابع مانند (هومفیر، ۲۰۱۷) نیز تایید شده است. رابرت مای (۲۰۰۴)، حوزه‌های مختلف ریاضی را در جایگاه‌های متنوعی قرار می‌دهد. به عنوان مثال، در خصوص توالی یابی ژنها، به دوران تیکوبراه ای، کپلری و نیوتنی قائل است و ذات ریاضی را در این مرحله تفکری روشن می‌خواند، نه بیشتر و نه کمتر^۸. در این مرحله، مای، نسبت به استفاده از ابزارهای از پیش تعیین شده و مدل‌های متنوع در دسترس بدون داشتن ایده‌های روشن ریاضی در پس‌زمینه هشدار جدی می‌دهد. حلقه اتصال مفقوده مورد اشاره او به وجود ایده‌ها، درک و شهود ریاضی، و دانستن ارتباط میان فرضیات و نتایج بستگی دارد^۹. از دیدگاه مای (۲۰۰۴) این هشدار به نقش ذاتی ریاضی در زیست‌شناسی مربوط نیست، بلکه به چگونگی استفاده از ابزارهای ریاضی و تجهیزات محاسباتی پیشرفته مربوط است و در این خصوص به مغایرت‌های پیش‌بینی مدل‌ها با واقعیت می‌پردازد. مثال‌های وی نشان می‌دهد که در برخی مواقع مدل‌های پیچیده تر و در برخی مواقع مدل‌های ساده تر بهتر عمل کرده‌اند. بنابراین تفاوت، نه در پیچیدگی در برابر سادگی، بلکه در درک درست مسیر فرض-به-نتیجه نهفته است. این جنبه از این هشدارها، حساسیت آموزش ریاضی و نیاز به استوار بودنش را بیش از پیش آشکار می‌کند. برای درک بهتر دیدگاه مای، می‌توان به محدودیت‌های مدل‌سازی اشاره شده توسط هلمداهل و باکی (۲۰۲۰)^{۱۰} توجه کرد.

یکی از جنبه‌های مهم آموزش مناسب ریاضی برای زیست‌شناسی، دوری از استفاده از ابزارهای ناقصی است که به علت ناآشنایی پژوهشگر نسبت به مفاهیم پایه و کلاسیک ریاضی در پیش گرفته می‌شود. یکی از مثال‌های بسیار جدی از این دست در دوره معاصر انتشار مدل (روش) ریاضی‌تای برای محاسبه سطح زیر خم سوخت و ساز^{۱۱} است (تای، ۱۹۹۴، ۱۹۹۴)^{۱۲}. نگاهی به این اثر نشان می‌دهد

¹ (Blommaert, 2022)

² Rational Choice

³ (Amadae, 2003)

⁴ (May, 2004)

⁵ (May, 1976)

⁶ (Jenkin, 1867)

⁷ (Andrews, 2010)

⁸ "Here mathematics is seen in its quintessence: no more, but no less, than a way of thinking clearly." (May, 2004).

⁹ "Removing this link means that we arguably are seeing an increasingly large body of work in which sweeping conclusions—

"emergent phenomena"—are drawn from the alleged working of a mathematical model, without clear understanding of what is actually

going on ... I think this can be worrying." (May, 2004)

¹⁰ (Hölm Dahl and Buckee, 2020)

¹¹ Tai's mathematical model (Tai, 1994).

¹² Metabolic Curve

(Tai, 1994, 1994)

آن (۵) یک تغییر ممکن چیزی نبود جز تغییر دیدگاه مدرس، اینکه مدرس فقط توانا به تغییر خود، یا تطبیق خود، و یا تحول خود است. این دیدگاه از مفهوم تحول که «همه چیز در جریان است» (۶)، به این منجر شد که دریافت پیشنهاد تدریس در دانشکده زیست‌شناسی، یک گذر باشد. خواه گذری کوتاه و خواه بلند، تحول ایجاد شده در محل خدمت و نیز تحول خود مدرس در پایان مسیر مهم بوده است.

برای ایجاد تغییر آتی و نیز تضمین گسترش سازنده آن در آتی، تیمی متشکل از معاونت آموزشی دانشکده زیست‌شناسی و دانشکده ریاضی، و مدرسین احتمالی درس‌های ریاضی دانشکده زیست‌شناسی تشکیل شد. بخش مدرسین این تیم اصولاً باز بوده و در هر سال/نیمسال ممکن بود تغییر کند ولی سیاست‌های کلی دو دانشکده از طریق معاونت‌های آموزشی و مسئول ساماندهی^۳ اعمال می‌شد. این مسئولیت شامل بررسی محتوای ارائه شده توسط مدرس پیشنهادی، چگونگی ارزیابی و نیز مثال‌های واقعی زیست‌شناختی که مورد استفاده قرار می‌گرفت بوده است. مجموعه این فعالیت‌ها چیزی بیش از ارائه یک درس ۲ واحدی و سپردن زمام آن به نفر بعدی بود، گذری که باید پیموده می‌شد چندان کوتاه نبود. با توجه به ۱۵ سال همکاری با دانشکده زیست‌شناسی و ارائه (یا نظارت بر ارائه) کلاس‌های درس ریاضی عمومی در قالب‌های متنوع برای تعداد زیادی دانشجو، بررسی تحول ایجاد شده در قالب گزارشی کوتاه و قابل مقایسه با دیدگاه‌های ارائه شده در ادامه این مقاله ارائه می‌شود.

بدیهی است که نقد و اظهار نظر همکاران و متخصصین امر بر این تجربیات و کارهای انجام شده و دیدگاه‌هایی که در این نوشته عرضه می‌شود باز است. بی‌گمان سردرگمی‌های آغازین در پیمایش این گذر و دستاوردهای پایانی پیمایش، جای مناسبی برای گفتگوهای سازنده خواهد بود. البته اگر پیمایش این گذر (و یا نمونه مشابه آن) نبود، شاید همچنان همان برنامه ریاضی عمومی قدیمی (و یا تصحیح چند ساعته/روزه سرفصل آن)، از یک مدرس به دیگری دست به دست می‌شد. آنچه رخ داد، نشستی چند ساعته و

که درکی از تاریخ مفهوم انتگرال‌گیری و کوچکترین سابقه یادگیری آن در ذهن پژوهشگر وجود ندارد. روش پیشنهادی چیزی نیست جز بیان ناقص انتگرال‌گیری عددی (به صورت تقریبی) با بیانی ناقص و برخی اشتباهات نوشتاری که از روی ناآگاهی از تاریخچه ریاضی عمومی، آن را به نام خود «روش‌تای» می‌خواند. توجه به اعتراض‌ها و نکته‌های مورد اشاره بندر (۱۹۹۴)، ولورز (۱۹۹۴)، موناکو و اندرسون (۱۹۹۴، ۱۹۹۴)، و شانون و وونز (۱۹۹۴) و پاسخ‌های نویسنده (تای، ۱۹۹۴، ۱۹۹۴) نشان می‌دهد که این عدم‌آشنایی (ویا بیگانگی) چه مقدار عمیق، مخرب و نیز چند جانبه است.

۳. ما چه کردیم

پس از جستاری کوتاه از سابقه نیازها و آرمانهای آموزش ریاضی برای زیست‌شناسی، باز می‌گردیم به مسئله‌ای که در بخش ۱ بیان شد. همانگونه که در بخش ۲ دیده شد، بسیاری از چالش‌های پیش روی نیاز مطرح شده در بخش ۱، نسبتاً با نیازهایی که در دیگر دانشگاه‌های جهان دیده می‌شد همزمان بوده است. توجه داشته باشیم که موضوع اصلی درک نیاز زیست‌شناسی به ریاضی در سده بیست و یکم نیست، زیرا پیش از این نیز به این آگاهی رسیده بودیم. مسئله فراهم کردن آموزش عمومی ریاضی مناسب و استوار برای پژوهشگران آینده است. اولین چالش کوتاه بودن زمان تا آغاز اقدام بود. با توجه به اینکه درس ریاضی عمومی ۱ باید از مهر ماه ۱۳۸۶ آغاز می‌شد، و اینک شهریور ۱۳۸۶ است، امکان تغییر هیچ کدام از مشخصات و شرایط بیان شده در بخش ۱ وجود نداشت، مگر یکی. سرفصل‌ها و محتوا در نظام آموزشی به سادگی به طور رسمی قابل تغییر نیستند، و تغییر غیر رسمی آنها نیز قابل توجیه/اتکا نیست. دانشجویان ورودی، نوع دیپلم آنها و سطح دانش ریاضی پیش از دانشگاه آنها اصولاً در کنترل دانشگاه و مدرس نیست. تعداد کلاسها و تعداد دانشجویان کلاس را مدرس تعیین نمی‌کند. محل برگزاری کلاس به امکانات دانشکده زیست‌شناسی بستگی دارد. تغییر دیدگاه دانشجویان، دیدگاه نظام آموزشی، دیدگاه دانشکده زیست‌شناسی، و نیز دانشکده ریاضی در این خصوص محتمل به نظر نمی‌رسید.

^۱ (Bender, 1994) (Wolvers, 1994) (Monaco and Anderson, 1994, 1994) (Shannon and Owens, 1994)

^۲ Trajectory

^۳ نویسنده این مقاله

در پایان نیمسال بدون رخداد شانس محور، هر دانشجویی نمره متناسب با تلاش خود را احراز کرد بدون اینکه شاهد بحرانی باشیم. به طور کلاسیک و ظاهراً بی‌عیب به سرانجام رسیدیم. ولی این سرانجام برای نگارنده، به عنوان مدرسی تحول محور، دلچسب نبود. باید این بساط کهنه را جمع کرد و طرحی نو (۸) در انداخت و در آستانه ایستاد (۸).

در بخش ثابت تیم تشکیل شده در دانشکده زیست‌شناسی - پس از آن نیمسال تحصیلی - به این نتیجه رسیدیم که چارچوب درس های ریاضی عمومی ۱ و ۲ برای دانشکده زیست‌شناسی - نا هماهنگ از نظر سرفصل، تعداد واحد ها و محتوای مورد انتظار - به هیچ وجه مناسب نیست. نتیجه گیری به قرار زیر بود که برای اصلاح وضعیت کلی مهارتهای ریاضی برای دانشجویان دانشکده زیست‌شناسی، نیازمند طرح های نوین و اندیشیده هستیم، و نه اجرای بهتر طرح های کهنه (۹). این درک هم‌نوا با اعلان اهمیت نوآموزی توسط جلال‌الدین محمد بلخی است. / از محقق تا مقلد فرق هاست، کین چو داود است و آندیگر صداست، منبع گفتار این سوزی بود، و آنمقلد کهنه آموزی بود (مثنوی معنوی - دفتر دوم).

۲.۳. نیمسال دوم به بعد

از نیمسال دوم سال تحصیلی ۸۷-۱۳۸۶ تا پایان نیمسال نخست سال تحصیلی ۹۳-۱۳۹۲، ارائه درس ریاضی عمومی ۱ و ۲ دانشکده زیست‌شناسی در قالب قدیمی ۲ واحدی برای کلاسی به طور متوسط حدود ۵۰ تا ۱۰۰ نفره، تقریباً با همان مختصات، انجام شد. در طول این زمان، با مدرسین پیشنهادی برای برگزاری بهتر جلسات این درسها، محتوای آنها، ارزیابی و نیز مثال های مربوط هماهنگی می شد. از تجربیات حاصل از ارائه درسهای ریاضیات زیستی در سطح کارشناسی و تحصیلات تکمیلی در دانشکده ریاضی - با ارائه همزمان - و از مطالعات جاری در قطب بیومت دانشگاه تهران در دانشکده ریاضی، برای ارتقاء و تنظیم برنامه ریاضی عمومی دانشکده زیست‌شناسی بهره گرفته می شد. بیشترین استفاده در این خصوص به دریافت مدلسازی، سطح ریاضی عمومی مورد نیاز، و مثال های ملموس مربوط بود.

یا چند روزه برای نگاشتن یک سرفصل نبود، تعاملی انسانی میان همه پایوران آموزش شامل کارشناسان، مدیران، مدرسین، و مسئولین بود. علی‌رغم همه اختلاف نظر ها، ارتقاء جایگاه آموزش ریاضی عمومی در دانشکده زیست‌شناسی اصلی مشترک بود. بنابر این، دستاورد های واقعی این دوره (۶) پژوهشگران جوان و به روز آینده هستند. در این جهان بینی تلاشم این بود که از دستور سعدی شیرازی پیروی کنم. به راه بادیه رفتن به از نشستن باطل، و گر مراد نیابم به قدر وسع بکوشم (دیوان اشعار سعدی، غزل ۴۰۵).

۱.۳. نیمسال نخست

چهره درخشان دانشجویان در نخستین مواجهه بیشتر به کسانی شباهت داشت که برای دیدن تردستی به سالن نمایش آمده اند تا یادگیری حساب دیفرانسیل و انتگرال. نظم بخشیدن به کلاس و تضمین تداوم آن برای کل نیمسال، مقابله با این پیش فرض که نتیجه کار بیش از آنکه به تلاش در راستای یادگیری بستگی داشته باشد به بخت و اقبال بستگی دارد، از دشواری های صورت بندی شکل اولیه کلاس بوده است. این مقررات در کلاس بر حسب اولویت اعلان می شد و دانشجویان کم کم، هر چند ظاهری و یا مکانیکی، و نه لزوماً قلبی و روحی، به درس توجه می کردند. چند هفته ای پس از آغاز این تعامل، دانشجویان ضمن رخصت خواهی، از شیوه ارزیابی و نمره پرسیدند. پاسخ من به آنها کوتاه و روشن بود، اگر در نمره کل عددی بزرگتر مساوی $20(x/100)$ را می‌خواهید $(0 \leq x \leq 100)$ ، از هر فعالیت شامل (تکلیف هفتگی، ماهیانه، میانترم، پایان ترم) دست کم $x\%$ را باید انجام دهید: هیچ‌شناسی در کار نیست، همه چیز تنها به تلاش بستگی دارد. این گفتگو که چندین بار تکرار شد، ترجیح بند نمایش آن نیمسال شد. هر چند این شعبده آن (۵) تردستی (۷) نبوده بود که دانشجویان برای دیدنش به سالن آمده بودند، ولی شیوه طرح موضوعات حسابان که تا حدودی بر پژوهشها و شیوه های شخصی استوار بود و چند گامی با روش های سنتی و مرسوم فاصله داشت، و نیز پاسخ های من به پرسشهای جنبی، برای آنها به اندازه کافی غریب می نمود که احساس بودن در برابر یک نمایش برای آنها به صورتی ناخودآگاه جلب کننده تصویر شود.

محتوای گفتگوی سه ساعته در اسفند ۱۳۹۲	
 <p>بنیاد ملی مطالعات ریاضیات و ریاضیات کاربردی پژوهش‌های بنیادی</p> <p>مطالعات ریاضیات و ریاضیات کاربردی مؤسسه پژوهشی ریاضیات کاربردی پایه علمی و پژوهشی ریاضیات کاربردی پایه علمی و پژوهشی ریاضیات کاربردی</p>	<p>آیا عنوان «ریاضیات زیست‌شناسی» به عنوان چهارچوبی مستقل قابل طرح است؟</p> <p>سطح ریاضیات مورد نیاز برای رشته زیست‌شناسی در مقاطع مختلف آموزشی و پژوهشی چیست؟</p> <p>برنامه پیشنهادی «ریاضی برای زیست‌شناسی» چند واحدی باید باشد و مختصات طراحی چگونه باید در نظر گرفته شود؟</p> <p>علت اقبال یا شک و تردید به ریاضی در بین دانشجویان زیست‌شناسی چیست؟ و علت هجوم دانشجویان ریاضی به مسائل زیست‌شناسی چیست؟</p> <p>آیا ریاضی برای زیست‌شناسی الزامی است، مفید است، غیر ضروری است، مضر است، موجب کج فهمی است، و یا تنها زینتی است؟</p> <p>آیا ریاضی می‌تواند متعرض زیست‌شناسی شود؟</p> <p>آیا منابع ریاضی برای رشته‌های زیست‌شناسی جدا از منابع عمومی در ریاضی است؟</p> <p>مقایسه زیست‌شناسی با سایر رشته‌های علوم تجربی از دیدگاه ریاضی چگونه است؟</p> <p>آیا مکاشفات فلسفی - تاریخی - شناختی خاصی بر موارد مورد بحث بالا متصور است</p>

سپس حدود ۲ ساعت بحث و بررسی چند جانبه پیرامون پرسشهای بنیادی مطرح انجام شد. پرسش‌های بنیادی مطرح شده در این جلسه در زیر فهرست شده‌اند.

در نیمسال‌های نخست و دوم سال تحصیلی ۹۵-۱۳۹۴، ارائه درس ریاضی عمومی ۱ و ۲ دانشکده زیست‌شناسی در قالب قدیمی ۲ واحدی با کلاسهای پر تعداد، با همکاری و هماهنگی دیگر مدرسین انجام شد. این آخرین سال ارائه درس ریاضی عمومی دانشکده زیست‌شناسی در این قالب قدیمی بود. تحول مورد انتظار در جدی‌تر گرفتن آموزش ریاضی دانشکده زیست‌شناسی دانشگاه تهران رخ داد ولی اجرا و سازماندهی این تحول نیازمند زمان بود.

همزمان با این تحولات، برنامه ریاضیات عمومی دانشکده شیمی و رشته بیوتکنولوژی نیز در دست تغییر و تحول بود. بر این اساس، در راستای هماهنگی‌های مورد نیاز برای ارائه یکپارچه درسهای ریاضی عمومی، از سال تحصیلی ۹۶-۱۳۹۵، ارائه درس ریاضی عمومی ۱ و ۲ به طور مشترک برای دانشکده زیست‌شناسی، دانشکده شیمی، و گروه بیوتکنولوژی در قالب‌های ۳ واحدی با همکاری گروهی اساتید آغاز شد و تا پایان سال تحصیلی ۰۱-۱۴۰۰ ادامه داشت.

رایزنی با دانشکده زیست‌شناسی یک نیمسال به طول انجامید و با انجام مطالعات مربوطه توسط دانشکده ریاضی برای ساماندهی به آموزش ریاضیات در دانشکده زیست‌شناسی دانشگاه تهران موافقت شد. همچنان، فعالیت‌های قطب بیومت دانشگاه تهران - مستقر در دانشکده ریاضی - الهام بخش مناسبی برای این منظور بود. نتیجه مطالعات مربوط به آموزش ریاضی برای مقطع کارشناسی دانشکده زیست‌شناسی به دوسطح پیشنهادی انجامید. در سطح نخست، دو درس الزامی ۳ واحدی در ریاضیات عمومی، و در سطح دوم دروس اختیاری قابل اخذ از دانشکده ریاضی. برای اجرای سطح دوم تنها موفقیت در اجرای سطح نخست شرط لازم بود. ولی برای اجرای سطح نخست، راه‌درازی در پیش بود. تحول مورد انتظار به زودی با صحنه نهادن دانشکده زیست‌شناسی بر اهمیت ریاضی و جدی‌تر گرفتن آموزش ریاضی آغاز شد.

برای آشنایی دانشکده زیست‌شناسی با این طرح پیشنهادی، در تاریخ هفتم اسفند ماه ۱۳۹۲ جلسه‌ای با حضور اساتدان دانشکده زیست‌شناسی با عنوان «ریاضیات برای زیست‌شناسی» برگزار گردید. یک ساعت نخست جلسه به بیان نظرات به دست آمده و بررسی پرسشهای بنیادی سپری شد.

محتوا و روش ارائه این درس مقدمه ای است برای اجرای برنامه نوین صحنه گذارده شده ریاضی عمومی. محل جدید برگزاری کلاسها در دانشکده زیست‌شناسی با امکانات مناسب تخته، ویدئو پروژکتور و نورپردازی مناسب تعیین گردیده بود.

۳.۳. جزئیات آموزشی درس های ۳ واحدی جدید

در رشته های ریاضی و فیزیک، و نیز برخی رشته های فنی مهندسی، پس از حسابان یک و چند متغیره، دانشجوی این فرصت را دارد تا در درس های بعدی پایه های اصلی فهم حسابان پیشرفته را که توپولوژی و آنالیز ریاضی، و هندسه است بیاموزد. در رشته های زیست‌شناسی، پس از درس های حسابان یک و چند متغیره، چنین موقعیتی برای درک حسابان پیشرفته، که برای همه دانشجویان فراهم باشد در

دسترس نیست و تنها به علاقه فردی دانشجوی برای شرکت در درسهای پیشرفته تر ریاضی در قالب های شنونده آزاد، کهاد و یا رشته دوم بستگی دارد. بر این اساس و نیز بنا بر اهمیتی که توپولوژی پایه در درک پیشرفته حساب دیفرانسیل و انتگرال دارد نخستین بحث درس با توپولوژی پایه آغاز شد. برای این منظور نیازی نبود که درسی مفصل در حوزه توپولوژی عمومی ارائه شود. مفاهیم اولیه مانند، نقطه درونی، نقطه انباشتگی، نقطه مرزی، نقطه بیرونی، نقطه تنها، مجموعه باز، بسته، درون، بستار، و مرز برای خط حقیقی و فضاهای اقلیدسی حقیقی، $R^n, n \geq 1$ ، با مثال های متنوع و ملموس بیان شدند. سپس ویژگی های همبندی، همبند مسیری، همبند ساده، فشردگی، و محدب بودن مطرح شدند. در بحث دوم، در دیدگاهی مستقل، به مفهوم دستگاه های اعداد و رشته زیر از آنها پرداخته شد.

اعداد مختلط \rightarrow اعداد حقیقی \rightarrow اعداد گویا \rightarrow اعداد درست \rightarrow اعداد طبیعی
 $N \rightarrow Z \rightarrow Q \rightarrow R \rightarrow C$

(۲) از نظر زبان نوشتاری اصیل بوده و ترجمه ای نباشد و زبان آن (فارسی یا انگلیسی) روشن و با دانش زبانی متوسط قابل فهم باشد.

(۳) دارای بیان شکلی و تصویری مناسب باشد تا دانشجویان با تصویر سازی ذهنی مفاهیم را درک کنند.

(۴) با توجه به نوع نگاه این درس و نیاز های ریاضی، رشته های زیست‌شناسی دانشکده زیست‌شناسی مورد بحث، تا حد ممکن بیشتر مباحث مورد نیاز را پوشش دهد.

(۵) نویسنده در این زمینه پر تجربه باشد و کتابش از نظر بین المللی وزین شناخته شده باشد.



در نتیجه این فعالیت ۱۵ ساله، دانشجویان رشته های زیست‌شناسی، علاوه بر کسب دانشی عمومی از حساب دیفرانسیل و انتگرال در درس های ریاضی عمومی ۱ و ۲، علاقه خود را به موضوعات مرتبط با ریاضی مانند معادلات دیفرانسیل، جبر خطی، علوم کامپیوتر، و دستگاه های دینامیکی گسترش دادند که موجب رخداد جریانی دو طرفه میان دانشجویان و اساتید دانشکده های ریاضی و زیست‌شناسی گردید.

ویژگی های شمارایی و خوش ترتیبی N ، گروه بودن Z ، میدان بودن Q, R ، و C ، چگال بودن Q و Q^C در R ، تمامیت ترتیبی و تمامیت متری R ، و تمامیت متری و تمامیت جبری C ، میدان مرتب بودن Q و R ، میدان مرتب نبودن C ، و عدم تمامیت ترتیبی و متری Q مورد بحث قرار گرفتند. سپس مفهوم شمارا بودن Q ، ناشمارا بودن Q^C, R ، و C ، مفهوم اعداد جبری و شمارا بودن آنها مطرح شدند. در پایان ارتباط میان مبحث نخست و دوم تشریح شد.

علی رغم همه پیش داورى ها در خصوص سطح ورودی های رشته های دانشکده زیست‌شناسی در زمینه مفاهیم ریاضی، این دو مبحث با استقبال خوب دانشجویان و شرکت فعال آنها در مباحث مطرح شده به خوبی پیشرفت (۱۰). در ادامه، سنت مرسوم آموزش حساب دیفرانسیل و انتگرال و سرفصل های مربوطه شامل جبر خطی مقدماتی و مقدمات معادلات دیفرانسیل بر پایه کتابی مناسب ارائه گردید. انتخاب کتاب مرجع بر پایه چند ویژگی زیر انجام شد.

(۱) محتوای ریاضی برای دانشجویان نو ورود به طور متوسط قابل فهم باشد.

جدول ۱- کتاب‌های اصلی و کمکی پیشنهاد شده برای تدریس حسابان سال اول رشته‌های زیست‌شناسی

ردیف	۱	۲
جایگاه برای این درس	اصلی	کمکی
نویسنده	Claudia Neuhauser 	سیاوش شهشهبانی 
عنوان کتاب	Calculus for Biology and medicine	حساب دیفرانسیل و انتگرال جلد ۱ و ۲ (ویراست دوم)
ویرایش	1 st ed.(200), 2 nd ed. (2004), 3 rd ed. (2011), 4 th ed. (2018)	چاپ اول (۱۳۸۸) - چاپ یازدهم (۱۴۰۰)
ناشر	Prentice Hall (Pearson)	انتشارات فاطمی
تخصص نویسنده	Mathematician, mathematical biologist, computational biology, interface of ecology and evolution, Distinguished McKnight University Professor, Howard Hughes Medical Institute Professor, and Morse-Alumni Distinguished Teaching Professor	ریاضی دان، متخصص هندسه و توپولوژی، پیشرو ریاضیات زیستی و سازنده سنجه ویژه زیست‌شناسی، استاد برجسته دانشگاه صنعتی شریف

ارزیابی دانشجویان با احتساب این که این ابزار کمکی را به همراه دارد انجام می‌گرفته است. ارزیابی نهایی دانشجویان به طور معمول به صورت جدول ۲ بوده است. بر اساس این جدول، موفقیت دانشجویان در این درس هم ارز با میزان فراگیری وی بوده و پدیده شانس یا بخت و اقبال تأثیری قابل توجه نداشته است.

برای جذاب نگذاشتن درس ریاضی عمومی ۱ و ۲ برای دانشجویان زیست‌شناسی، حسب موضوع درس از مواردی کاربرد وی به ویژه در مدلسازی و دستگاه‌های دینامیکی، که برخی از آنها در جدول ۳ عنوان شده‌اند، استفاده می‌شده است. مجموعه کامل از موارد کاربردی که مورد استفاده قرار می‌گرفت بیش از ردیف‌های جدول ۳ می‌باشد. در بخش ۴ برخی از مثالهای بنیادی مورد بحث قرار گرفته‌اند.

هماهنگ با آنچه که در (رکنی، ۱۳۹۹) تأکید گردید که در سده بیست و یکم، تشخیص اینکه یک زیست‌شناس ریاضیدان نیست غیر ممکن است.

بدین ترتیب، بر پایه منبع ستون یکم جدول ۱ بیشتر مباحث طرح شده قابل ارائه بوده است و مباحث باقی مانده بر پایه منبع ستون ۲ ارائه می‌شده است. در مجموع ارائه محتوا از توپولوژی پایه تا قضیه اساسی حساب دیفرانسیل و انتگرال انجام می‌گرفته است. لازم به ذکر است که دانشجویان علاقه مند این امکان را داشته‌اند تا با مطالعه کتاب‌هایی دیگر که در بخش مراجع و کتابنامه اشاره می‌شدند، دانش و مهارت خود را در جنبه‌های متنوع حسابان ارتقاء دهند.

۴.۳. روش ارزیابی و روش جذاب نگهداشتن کلاس

یکی از جنبه‌های مدرن آموزش حساب دیفرانسیل و انتگرال وجود ماشین حساب‌های پیشرفته است که بسیاری از جنبه محاسباتی را پوشش می‌دهند و به دانشجویان اجازه می‌دهند که بر ابتکارات و خلاقیت‌های خود متمرکز شوند. به دانشجویان رشته زیست‌شناسی اجازه داده می‌شد که همواره یک برگه یادداشت کمکی شامل جدول‌ها و فرمول‌های مورد نیاز را با خود به همراه داشته باشند. در نتیجه،

جدول ۲- درصد‌های پیشنهادی برای ارزیابی نهایی

ردیف	عنوان	توضیح	متوسط درصد پیشنهادی (قابل تطبیق)
۱	فعالیت مستمر	انجام و تحویل تمرینات هفتگی، شرکت در مباحثات کلاس	۵٪
۲	آزمون‌های دوره‌ای	آزمون‌ها بر حسب مبحث، در قالب یک یا چند فصل	۱۰٪
۳	انجام پروژه‌های فصلی (فردی یا گروهی)	مربوط به کاربرد حسابان فراگرفته شده در مسائل واقعی زیست‌شناسی	۱۰٪
۴	آزمون میانترم	در قالب حدود ۴۰٪ اولیه از حجم کل درس	۲۵٪
۵	آزمون پایان‌ترم	۸۰٪ از ۶۰٪ باقی مانده از ردیف ۴ به علاوه ۲۰٪ مجدداً از ۴۰٪ ردیف ۴	۵۰٪
نهایی		کل درس	۱۰۰٪

جدول ۳- برخی مثالهای کاربردی و جالب در مسیر یادگیری ریاضی عمومی ۱ و ۲ رشته‌های زیست‌شناسی

ردیف	عنوان	توضیح	تقریباً صرف وقت در یک نیمسال (دقیقه)
۱	نمودار انشعاب گونه‌ها	استفاده از مقوله‌های تاشدگی خم‌های تعادل برای بیان منشعب شدن رسته‌ها	۱۵
۲	ناپیوستگی در اثرات پارامتری	در معادلات ریاضی مربوط به اکولوژی، اثرات مخرب یا سازنده پارامترهای تابعی	۱۰
۳	بقا و انقراض گونه‌ها	نقش شکل تابع تحول جمعیتی بر سازوکار بقا و انقراض - مانند اثر آلی	۱۰
۴	رقابت/همزیستی/شکارگری	به عنوان مثال‌های کاربردی در بحث معادلات دیفرانسیل/دیفرانس	۳۰
۵	رشد گیاهان	توصیف هندسی رشد گیاهان به عنوان کاربردی از توابع مقدماتی	۱۰
۶	ظهور و افول زیست‌بوم‌ها	مثال‌هایی کاربردی از حسابان برای توصیف سازوکارهای افول زیست‌بوم‌ها	۱۵
۷	غلظت گازها و سازوکار تنفس	استفاده از خم کانتور برای توصیف ترازهای غلظت و نقش آنها در تنفس زیست‌بوم	۱۵
۸	سایبرنتیکس	مثالی از ارتباط حسابان با دانش ارتباط مخابراتی موجود زنده با ماشین	۲۰
۹	ریابیک	مثالی از ارتباط حسابان با دانش نوین ساخت ماشین‌های هوشمند	۱۵
۱۰	پیچیدگی	کاربرد نظریه توابع چند متغیره در درک مفهوم پیچیدگی در مفاهیم زیست‌شناسی	۲۰

ایجاد انگیزه، فعال نگه‌داشتن دانشجویان، و مرتبط ساختن مهارت‌های ریاضی عمومی با تجربیات زیست‌شناختی مطرح شده اند، نقشی مهم در درونی‌سازی تجربیات محدود یکساله آنها و حفظ علاقه مندی در آینده داشتند. از جمله آنها می‌توان به فرض ارگودیسیتی، قانون وراثت مندل و تکامل اشاره کرد. برای مثال‌های مناسب بیشتر می‌توان به (هورتون و دیگران، ۲۰۱۳)، (زاپوکان، ۲۰۱۸) و (موری، ۲۰۰۷) مراجعه کرد.

یکی دیگر از روش‌های فعال نگه‌داشتن دانشجویان در کلاس و جلوگیری از یک طرفه‌گویی در کلاس ریاضی عمومی در طرح جدید، پرسش آغاز کلاس در برخی

تعداد قابل توجهی از دانشجویان دانشکده زیست‌شناسی با آموزش ریاضی عمومی این دوره ۱۵ ساله، که در راستای کهد، رشته دوم، و یا ورود به رشته‌های دانشکده ریاضی در تحصیلات تکمیلی بسیار موفق عمل کردند. برخی از آنها نیز که در فعالیت‌های حل تمرین دانشکده ریاضی فعال بوده اند، قابل تمایز با دانشجویان دانشکده ریاضی نبودند.

۴. چند مثال بنیادی

مواردی که در جدول ۳ آمده اند و نیز مواردی دیگر مشابه آنها، که به عنوان مثال‌های بنیادی در طی دو درس ۳ واحدی ریاضی در دانشکده زیست‌شناسی برای رشته‌های زیست‌شناسی، شیمی و زیست‌فناوری و بیوتکنولوژی در راستای

¹ (Horton, et. al, 2013) (Zakopane, 2018), (Murray, 2007)

مورد استقبال دانشجویان درس ریاضی عمومی ۱ و ۲ دانشکده زیست‌شناسی قرار می‌گرفته است. یکی دیگر از جنبه‌های مهم که مورد استقبال دانشجویان بوده است، امکان استفاده از همه ابزارهای محاسباتی موجود و به کار بستن اندیشه ریاضی با امکانات محاسباتی روز بوده است. در یک آزمونک (کوئیز) به دانشجویان اجازه داده شد که برای حل مسئله از همه ابزارهای فناورانه و نیز شبکه‌های علمی استفاده کنند. این رویداد از پیش به آگاهی همه دانشجویان رسیده بود.

دانشجویان دست کم به یک ابزار محاسباتی (فبلت) مجهز بودند. بیشتر دانشجویان به بیش از یک وسیله محاسباتی (فبلت-تبلت-...) مجهز بودند و برخی از آنها تا ۵ وسیله محاسباتی (فبلت-تبلت-لپ‌تاپ-ساعت هوشمند-ماشین حساب-گوشی هوشمند-...) با خود آورده بودند. نتیجه این جلسه یک نمره آزمونک نبود. تلاشی بود برای درک این موضوع که دیگر قرار نیست در درک نیاز خود از ریاضی در زیست‌شناسی محدود به قیدهای غیر ضروری باشیم و اینکه ابزارهای محاسباتی در هسته اصلی قضیه‌های بنیادی ریاضیات قرار دارند.

جلسات بوده است. نتیجه بحث عموماً به این می‌انجامد که لازم است در زمینه ریاضی کلیدواژه جدیدی را فراگیریم. در جدول ۴ چند نمونه آورده شده است. بحث پیرامون روش‌های ورود به این پرسش‌های آغاز کلاس نیازمند نوشته دیگری است. مجموعه کامل از پرسش‌های آغازی کلاس که مورد استفاده قرار می‌گرفت بیش از ردیف‌های جدول ۴ می‌باشد.

برای نشان دادن ساختار مورد نیاز مهارت‌ها و اندیشه ریاضی در زیست‌شناسی، از برخی متخصصینی که مسیر مطالعه زیست‌شناسی را طی کرده‌اند دعوت می‌شد تا در برخی جلسات طی حدود ۱۰ تا ۱۵ دقیقه درباره تجربیات ریاضی خود در زیست‌شناسی به صورت مستقیم و یا غیر مستقیم با دانشجویان صحبت کنند. ساختار این قطعه‌های زمانی به صورت گفتاری یکطرفه از نوع تدبیر بوده است، هرچند به اندازه سخنرانی‌های تدبیر برای آمادگی‌اش زمینه‌چینی نمی‌شد. افراد مدعو شامل برخی اساتید و نیز دانشجویان دکتری بودند که به مرحله پژوهش نرسیده بودند. در این زمینه می‌توان از سایر متخصصین، حتی خارج از دنیای آکادمیک، نیز کمک گرفت.

در طی سال‌های بازنگری و اجرای طرح جدید، فعالیت‌های بخش ۴.۳ و بخش ۴ و محتواهای جدول‌های ۲ و ۳ و ۴

جدول ۴- برخی پرسش‌های آغاز کلاس

ردیف	پرسش	کلیدواژه مورد نیاز
۱	چگونه می‌توان تشخیص داد که مدرس ریاضی شما یک انسان است نه یک ربات؟	نظریه پیچیدگی، پیچیدگی و سادگی در سیستم‌های زیستی، دستگاه‌های زیستی پیچیده، سادگی پنهان در پیچیدگی زیستی
۲	چه عاملی نقش انفجاری را در گسترش رسته‌های زیستی را در ۷۵۰ میلیون سال پیش ایفا کرد؟	نظریه انشعاب، انشعاب نقطه حدی، انشعاب چنگکی
۳	تغییر ترکیب آبزیان درون یک دریاچه، چه تاثیری بر اکوسیستم اطراف در بیرون دریاچه دارد، و تغییر ترکیب جانوری در اکوسیستم اطراف در بیرون یک دریاچه، چه تاثیری بر درون دریاچه خواهد داشت؟	نوسان‌های زیستی با همبستگی ضعیف
۴	چه ارتباط یا تفاوتی میان مفهوم تکامل فناوری در طی زمان و مفهوم تکامل موجودات زنده وجود دارد؟ آیا فناوری بر تکامل گونه انسان خردمند تاثیر داشته است؟	دستگاه‌های دینامیکی پارامتری شده، هم‌ارزی توپولوژیک
۵	آیا اکولوژی به صورت یک دستگاه ریاضی قابل مطالعه است؟	سیستم تئوری اکولوژیکی

۵. طرحی برای آینده

باید توجه داشت که گسترش نقش ریاضی در علوم طبیعی مختص به زیست‌شناسی نیست. در سطحی برابر زمین‌شناسی و شیمی نیز با مقوله آموزش ریاضیات پایه و عمومی و مشکلات مربوطه روبروست. می‌توان به (فرگوسن، ۱۹۹۴ و ۲۰۱۳)^۱ و (هیچکاک، ۲۰۰۷)^۲ به عنوان یک نقطه شروع نگریست. بر همین اساس، در این طرح دانشجویان رشته‌های زیست‌شناسی، بیوتکنولوژی، و شیمی در کنار هم در یک کلاس قرار داشتند. یکی از نکات مهم در این زمینه که مورد توجه قرار گرفت این بود که علی‌رغم حضور یکجای این دانشجویان در کلاس درس، برای موفقیت در ایجاد انگیزه و رخداد تجربه‌ای موفق از فعالیت ریاضی در دانشجویان، دو کار دیگر لازم بود که انجام شود. نخست اینکه جلسات حل تمرین و رفع اشکال دانشجویان بر حسب رشته آنها متفاوت در نظر گرفته می‌شد. این موضوع در کوتاه مدت به حفظ یکپارچگی ذهنی دانشجویان کمک می‌کرد، هر چند انتظار می‌رود که در دراز مدت این قید برداشته شود. دوم اینکه در ارزیابی پایانی دانشجویان، بخش مهارت‌های عمومی میان همه رشته‌ها مشترک در نظر گرفته می‌شده است. ولی دربخشی که کاربردها مورد بحث و ارزیابی قرار می‌گرفت، مدلها و فرمول‌ها برای رشته‌های یک دانشکده جداگانه و متفاوت با دیگری در نظر گرفته می‌شد. این امر تصحیح برگه‌ها را کمی دشوار تر می‌نمود، ولی برای دانشجویان در بخش کاربرد، تجربه‌های ظاهری^۳ بیگانگی با موضوع در جلسه آزمون رخ نمی‌داد.

هر چند به موقع اهمیت بهبود آموزش ریاضی عمومی را در زیست‌شناسی دریافتیم، ولی، مانند بسیاری از موارد دیگر، اگر به آن توجهی فعال و پیگیرانه نشود، از گردونه پیشرفت جهانی در این راستا پس خواهیم افتاد. تصور غالب در زمینه ریاضیات در زیست‌شناسی این است که با صرف وقت چند ساعته، اگر تعارفانه‌نگویم چند دقیقه، که بیشترش صرف تایپ می‌شود، می‌توان برنامه ریاضی عمومی را برای هر رشته‌ای از جمله زیست‌شناسی ریخت و در حصار این غلبه هیچ توجهی به این نداریم که موضوع بحث، آموزش برای انسانهایی است که نمی‌توان آنها را برنامه‌ریزی کرد. قرار نیست که دانشجوی زیست‌شناسی سر تعظیم در برابر

ریاضی فرود بیاورد. درستش این است که برای دانشجوی رشته زیست‌شناسی هنر ریاضی ورزی همچون مهارت استفاده از میکروسکوپ باشد بدون نیاز به تبلیغ، هر دانشجوی زیست‌شناسی کسب هنر استفاده از میکروسکوپ را با هر پیچیدگی فنی، ضروری می‌داند. برخی بهتر ولی همه مقداری از این هنر بهره‌مندند. هدف این است که ریاضی، بدون نیاز به تبلیغ، اگر نگویم فشار دیکتاتور مآبانه حصاربانان ریاضی، به ابزاری طبیعی بدل گردد و هر دانشجوی زیست‌شناسی حسب توان از آن بهره‌گیرد. نه همه مثل هم در یک اوج و نه پذیرش هیچ از برای کسی.

۶. پی‌نوشت‌ها

(۱) در زمینه توان، دانش، تجربه و هنر بر تجربه آموزش خود باید تکیه کرد. تجربه پنج نیمسال تدریس ریاضی عمومی و معادلات دیفرانسیل به دانشجویان رشته‌های غیر ریاضی، از بهمن ۱۳۸۲ تا پایان تابستان ۱۳۸۵، در دانشگاه مازندران همراه بود. در این مدت تلاش وافر برای بازتعریف و بیان مفاهیم این درس‌ها و انجام پژوهشهایی در این زمینه شد که در سال‌های بعد پایه‌های شیوه تدریس ریاضیات عمومی ام‌بر آنها بنا گردید. در سال نخست حضور در دانشگاه تهران، در دو نیم‌سال متوالی برای یک گروه تقریباً ۵۰ نفره از دانشجویان دانشکده شیمی درسهای معادلات دیفرانسیل و ریاضی عمومی ۲ را که مجموعاً ۶ واحد درسی بودند، ارائه کردم. در کنار تجربه‌های جاری تدریس برای رشته ریاضی، و بر پایه تجربیات قبلی، این فرصت مناسبی برای به روز نمودن روش‌های آموزشی در موقعیت جدید بود. در این یکسال در قالب ۶ واحد درسی مذکور درسهای فراوانی آموخته شد که در جای خود قابل بحث‌اند. در مسیر کسب هنر، در طی سالهای تحصیلی آغازی از مهر ۱۳۸۷ و مهر ۱۳۸۸ بنا به درخواست دانشکده داروسازی و پیشنهاد معاون آموزش وقت دانشکده ریاضی تدریس حساب دیفرانسیل و انتگرال در دانشکده داروسازی بر تجربیات افزود. این فرصتی بود تا تجربیات در خصوص ریاضی عمومی مورد نیاز رشته‌های مرتبط با علوم زیستی توسعه یابد. آغاز تدریس در دانشکده داروسازی، به جز فضای آموزشی که بسیار مناسب‌تر بود و به جز تعداد

^۱ (Ferguson, 2013), (Ferguson, 1994)^۲ (Hitchcock, 2007)^۳ زیرا در حالت کلی، پس از کسب سطحی از دانش، رشته‌ها نسبت به هم بیگانه به نظر نمی‌رسند.

مرحله ارزیابی، مقوله آموزش ریاضی عمومی برای دانشکده زیست‌شناسی را به امری با حساسیت بالا تبدیل نموده بود.

(۳) دیدگاه‌های مربوط به اهمیت ریاضی در زیست‌شناسی و تاثیر متقابل آنها در (رکنی، ۱۳۹۶، ۱۳۹) و (کوهن، ۲۰۱۷) تشریح شده‌اند و در اینجا از تکرار آنها خودداری می‌شود. در (هوفیر، ۲۰۱۷) ادعا شده است که در دهه‌های بعدی، ریاضی و زیست‌شناسی پیشانی‌پشتازی یکدیگر خواهند بود.

(۴) حساب دیفرانسیل و انتگرال یکی از بزرگترین دستاوردهای بشری است. در کنار صابون و پنی سیلین که عمر متوسط انسانها را افزایش دادند، حساب دیفرانسیل و انتگرال با ایجاد سازوکارهای منتج به فناوری در مکانیک، ترمودینامیک، و الکتروپدینامیک رفاه را در زندگی انسان‌ها چندین برابر نمود. این تاثیر، در نهایت، مهندسی و فناوری را دگرگون کرد. از منظر پزشکی، فردی چون گالیله پدر علم ارتوپدی شده و دکارت تاثیر بسزا در تاریخ علم پزشکی بجا گذارد.

(۵) در ادبیات ایرانی، «آن» گاهی به متمرکزترین نقطه ذهن و غایی‌ترین هدف اشاره دارد. این درک از استفاده از تکرار «آن» در کتاب کیمیای هستی شفیعی کدکنی در قالب درک نمادها و نشانه‌های نظم/نثر فارسی تشریح شده است.

(۶) گفته مشهور هراکلیتوس یونانی (*Ἡρακλείτος* — *παντα ἔφθισεν*) مبنی بر همه چیز در جریان است (*παντα ῥεῖ*) الهام بخش نظریه پردازانی بود که حرکت را امری اصیل و جاری در طبیعت و مهمترین روش شناخت می‌دانسته‌اند. از جمله می‌توان به مولوی، کانت، هگل و مارکس اشاره کرد.

(۷) یکی از اشکالات تدریس غیر فعال و یکطرفه ریاضی، ایجاد این ایده در دانشجویان، به ویژه دانشجویان رشته‌های زیست‌شناسی موضوع این طرح، است که مهارت‌های حل مسئله توسط مدرس نوعی تردستی است و کسب آن اگر

دانشجویان که بسیار بیشتر بود (بین ۱۰۰ تا ۱۳۰ نفر)، شباهت بسیاری به دانشکده زیست‌شناسی داشت. تفاوت مهم دیگر سه واحدی بودن درس و همراهی جدی دانشکده داروسازی برای ارتقاء مهارت‌های ریاضی دانشجویان شان بود. این همراهی منجر به گام‌هایی برای همکاری‌های پژوهشی میان دو دانشکده و ایده‌های شایسته‌ای برای پژوهش‌های ریاضیات زیستی در قالب قطب بیومت دانشگاه تهران بوده است. پرداختن به تجربیات این دو سال نیازمند فرصت مناسبی است تا به همه جنبه‌هایش توجه شود، که البته در این مقوله نمی‌گنجد. پس از این تجربه میانی در دانشکده داروسازی، به معاون آموزشی دانشکده ریاضی پیشنهاد گردید که برای بهبود آموزش ریاضیات عمومی دانشکده زیست‌شناسی اقدامی جدی صورت گیرد. زیرا تا اینجای کار، حسابان دانشکده زیست‌شناسی چند پله تا دانشکده داروسازی فاصله داشت.

(۲) حساسیت ایجاد شده به عدم کارایی رابطه سه‌گانه دانشجو-مدرس-نظام آموزشی مربوط می‌گردد. علی‌رغم وجود همه عناصر، دانشجوی مستعد، مدرس آگاه، نظام آموزشی دقیق، دانشکده ریاضی در جنب دانشکده زیست‌شناسی، همچنان پایه‌های آموزش ریاضی عمومی برای دانشکده زیست‌شناسی استوار نبود. برای دریافتی از یک تجربه در سایر کشورها به (مارکرویچ و پیرز، ۲۰۲۲)^۱ مراجعه کنید. مدرس، دلبستگی به فعالیت بدون ساختار مناسب را نداشته، دانشجو در خصوص فعالیت بدون ساختار مناسب انگیزه‌های کمی داشته، و نظام آموزشی به کل فعالیت به صورت مکانیکی نگاه می‌کرده است. در چنین شرایطی، کوچکترین اختلال دستگاه در حال کارکرد ظاهراً قابل قبول را به پدیده‌ای غیر قابل قبول تبدیل می‌کند، و این اولین منبع ایجاد حساسیت بوده است. دومین منبع ایجاد حساسیت مربوط می‌گشته به داشتن/نداشتن سازوکاری معقول برای ارزیابی دانشجویان، که البته گاهی نامعقول هم می‌شده و بحران‌هایی تاریخی می‌آفرید، مانند گذر از مسیر ابرام-انکار دانشجو-استاد برای تغییر نمره. این دو عامل، حساسیت، در شرایط اجرایی کلاس در طول ترم شامل انگیزه‌ها و پویایی آنها و نیز حساسیت‌های پیش‌آمده در

¹ (Makarevitch and Pierce, 2022)

² (Cohen, 2017)

نوشته رنه دکارت، اولین فیلسوف نوگرای غرب، با عنوان ساده شده «گفتار در روش هدایت درست عقل» مورد نقد قرار گرفته است. این رساله دکارت توسط محمد علی فروغی ترجمه شده است و با پیشگفتاری با عنوان «سیر حکمت در اروپا» توسط انتشارات زوار منتشر گردید. پیشگفتار چنان طولانی شد که اصل مطلب چون پیوست پیشگفتار خود بدل شد.

(۱۰) پیازه هندسه ذاتی انسان را در بدو تولد از نوع توپولوژیک می‌داند که پس از چندی به صورت پروژکتیو، و در نهایت به صورت متریک در می‌آید. برای دانشجویان رشته های زیست‌شناسی که نسبت به سایر دانشجویان رشته های ریاضی و فنی از آموزش ریاضی سبک تری برخوردار بودند، انتظار می‌رود که در درک مفاهیم توپولوژیک رغبت بیشتری نشان دهند. نویسنده این امر را در تفاوت تدریس ریاضی عمومی برای رشته های ریاضی، فنی و زیست‌شناسی به صورت معنی‌داری مشاهده کرده است.

ناممکن نباشد، ممکن است به زحمتش نیرزد. به همین دلیل، طرح کلاسی فعال در زمینه ریاضی عمومی که هدف آن لزوماً بیان خطابه ای مدرس نبوده، بلکه تجربه ای فعال و چند جانبه (کلاس-دانشجو-گروه های دانشجویی-مدرس) باشد، ذهنیت تردستی را دور می‌سازند و مهارت‌های ریاضی را در سطحی قابل اکتساب نمایان می‌کند.

(۸) در ایران نوین، این عبارت که باید این بساط کهنه را جمع کرد و طرحی نو در انداخت، منسوب به قائم مقام فراهانی است. این عبارت و نیز اینکه «ایستادن در آستانه کاری بس سترگ است» در مجموعه کتابهای «تاملی بر ایران» نوشته جواد طباطبایی مورد اشاره و بحث قرار گرفته اند.

(۹) این ایده که می‌توان روش های اشتباه را برای دستیابی به دستاوردی درست مدیریت کرد، و یا با تکیه بر روش های کهنه می‌توان به نوگرایی خردمندانه رسید، و یا اینکه ممکن است با بیگانگی با سنت به نوگرایی دست یافت در

منابع

- سیاوش شهشهبانی، حساب دیفرانسل و انتگرال (دو جلد) ویراست ۱ چاپ یکم (۱۳۸۸) ویراست ۲ چاپ یازدهم (۱۴۰۰).
- نیما یزدان بخش، حسابان برای علوم زیستی ۲، ارتباطات اجتماعی، ۱۳۹۶.
- غلامرضا رکنی لموکی، ارمان زیست‌شناسی برای ریاضی در سده بیست و یکم، مجله زیست‌شناسی، انجمن زیست‌شناسی ایران، جلد ۱، شماره ۱، صص. ۱۹-۲۹، ۱۳۹۶.
- غلامرضا رکنی لموکی، نمایی از رابطه زیست‌شناسی و ریاضی: از سده هفدهم تا بیست و یکم، جلد ۴، شماره ۸، صص. ۷-۲۵، ۱۳۹۹.
- Melissa L. Aikens, Carrie Diaz Eaton, and Hannah Callender Highlander, The Case for Biocalculus: Improving Student Understanding of the Utility Value of Mathematics to Biology and Affect toward Mathematics, CBE—Life Sciences Education, 20:ar5, 1–14, 2021.
- Mike Aitken, Bill Broadhurst, and Stephen Hladky, Mathematics for Biological Scientists 1st Edition, Garland Science, 2009.
- Sonja N. Amadae, Rationalizing Capitalist Democracy: The Cold War Origins of Rational Choice Liberalism, University of Chicago Press, 2003.
- Christine A. Andrews, The Hardy-Weinberg Principle, Nature Education Knowledge, vol. 3, no. 10:65, 2010.
- Abdallah Asli and Iuliana Zsoldos-Marchis, Teaching applications of Mathematics in other disciplines: teachers' opinion and practice. Acta Didactica Napocensia, 14(1), 142-150, 2021.
- Ralf Bender, Determination of the area under a curve, Diabetes Care, vol. 17, no. 10, 1223, 1994.
- Jan Blommaert, Mathematics and its ideologies (An anthropologist's observations), Semiotic Review, no 3: ppen Issue, 2022.
- Joel E. Cohen, Mathematics Is Biology's Next Microscope Only Better; Biology Is Mathematics' Next Physics, Only Better, PLoS Biol, vol.2, o. 12, e439, 2017.
- Carrie D. Eaton and Hannah C. Highlander, The Case for Biocalculus: Design, Retention, and Student Performance, CBE—Life Sciences Education, 16:ar25, 1–11, 2017.
- Leah Edelstein-Keshet, Adapting mathematics to the new biology, in: Lynn A Steen (editor), Math & Bio 2010: Linking Undergraduate Disciplines, MMA, 63-73, 2005.
- John Ferguson, Introduction to Linear Algebra in Geology, Springer, 1994.
- John Ferguson, Mathematics in Geology, Springer, 2013
- Kunnathodi Abdul Gafoor and M. K. Sarabi, Nature of Mathematics that Impacts Difficulties in learning it: A Comparison of Student Perspectives on Learning School Subjects from Kerala, All India Association for Educational Research Annual cum

- International Conference on Standards and Benchmarks for Excellence in Learning, Teaching and Research, Department of Education, University of Kerala, 26-28, Nov. 2015.
- Godfrey H. **Hardy**, The Integration of Functions of a Single Variable, (Cambridge: University Press, 1905.
- Frank L. **Hitchcock**, Differential Equations in Applied Chemistry, Hitchcock Press, 2007.
- Scott **Freeman**, Sarah L. Eddy, Miles Mc Donough, Michelle K. Smith, Nnadozie Okoroafor, and Hannah Jordt, Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics, PNAS, vol. 111, no. 23, 8410-8415, 2014.
- Jan-Hendrik S. **Hofmeyr**, Mathematics and biology, South African Journal of Science, vol. 13, no. 3/4, 2017.
- Inga **Holmdahl** and Caroline Buckee, Wrong but Useful — What Covid-19 Epidemiologic Models Can and Cannot Tell Us, New England Journal of Medicine, Perspective, 1-4, 2020.
- Robert M. **Horton** and William H. Leonard, Some Applications of Mathematics for the Biology Classroom, The American Biology Teacher, vol. 75, no. 4, 2013.
- Fleeming **Jenkin**, Review of 'The origin of species', The North British Review, 46, pp. 277-318, 1867.
- Douglas. S. Jones, Michael J. Plank, and Brian. D. Sleeman, Differential equations and mathematical biology, 2nd ed., Taylor & Francis, 2009.
- Jürgen **Jost**, Mathematical Methods in Biology and Neurobiology, Springer, 2014.
- Istvan **Karsai** and George Kampis, The Crossroads between Biology and Mathematics: The Scientific Method as the Basics of Scientific Literacy, BioScience, vol. 60, no. 8, 2010.
- Irina **Makarevitch** and William Pierce, Biology Students Struggling with Math, American Society for Cell Biology, <https://www.ascb.org/careers/office-hours-edcomm-2/>, April 1st 2016, Retrieved on 1st Aug. 2022.
- Jill A. **Marshall**, Pablo Duran, Are biologist getting the mathematical training they need in college?, Biochemistry and Molecular Biology Education, vol. 46, no. 6, 612-618, 2018.
- Robert M. **May** and George F. Oster, Bifurcations and dynamic complexity in simple ecological models. The American Naturalist Vol. 110, July-August 1976.
- Robert M. **May**, Uses and Abuses of Mathematics in Biology, Science 303, 790-793, 2004.
- Jane H. **Monaco** and Randy L. Anderson, Addendum Monaco's and Anderson's letter, Diabetes Care, vol. 17, no.10, 1226-1227, 1994.
- Jane H. **Monaco** and Randy L. Anderson, Tai's formula is the trapezoidal rule, Diabetes Care, vol. 17, no.10, 1224-1225, 1994.
- Paul **Monk**, Lindsey J. Munro, Maths for Chemistry: A chemist's toolkit of calculations, 2nd ed., Oxford University press, 2010.
- James D. **Murray**, Mathematical Biology: I. An Introduction, 3rd ed., Springer, 2007.
- Claudia Neuhauser, Calculus for Biology and medicine, Pearson, 1st ed.(200), 2nd ed. (2004), 3rd ed. (2011), 4th ed., 2018.
- Donna **Satterthwait**, Making biology count: integrating mathematics into the teaching of inheritance, Journal of Biological Education, vol. 53, no. 1, 92-97, 2019.
- Anthony G. **Shannon** and D. R. Owens, Modeling metabolic curve, Diabetes Care, vol. 17, no.10,1225, 1994.
- Mary M. **Tai**, A mathematical model for the determination of total area under glucose tolerance and other metabolic curves, Diabetes Care, vol. 17, no. 2, 152-154, 1994.
- Mary M. **Tai**, Reply from Mary tai, Diabetes Care, vol. 17, no. 2, 1225-1226, 1994.
- Yasuhiro **Takeuchi**, Yoh Iwasa, and Kazunori Sato, Mathematics for Ecology and Environmental Sciences, Springer, 2007.
- Lucas P. **Wachsmuth**, Christopher R. Runyon, John M. Drake, and Erin L. Dolan, Do Biology Students Really Hate Math?, CBE—Life Sciences Education, 16:ar49, 1–10, 2017.
- Thomas M. S. **Wolvers**, Comments on Tai's mathematical model, Diabetes Care, vol. 17, no.10,1223-1224, 1994.
- Zakopane-Ko' scielisko, Applications of Mathematics in Biology and Medicine, Proceedings of the Twenty Fourth National Conference on, Zakopane-Ko' scielisko, 3–7 September, 2018.

