Archive of SID

تجربه ای از آموزش ریاضی برای دانشجویان زیست شناسی

غلامرضا رکنی لموکی*

تهران، دانشگاه تهران، دانشکدگان 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 زیست شناسی دانشگاه تهران پرداخته می شود. برای اشاره به جنبه های 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، زیست شناسی

۱. مقدمه

در شهریور ماه ۱۳۸۶، سومین نیمسال حضور در دانشگاه تهران، وظیفه تدریس ریاضی عمومی ۱ دانشکده زیست شناسی، 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 می شویم. محتوای مورد انتظار، شنوندگان هدف، نظام آموزشی به عنوان ناظر، مدرس به عنوان مجری، و نتیجه ای که باید قابل ارزیابی باشد. همه این جزییات در سایر درسها نیز وجود داشته است، ولی چیزی در آموزش ریاضی عمومی برای رشته زیست شناسی در سال ۲۰۰۷ را چنان خاص می کند که نیازمند یک طرح دقیق باشد. علت چنین خاص بودنی را در بخش ۲ خواهیم دید.

گرچه سرفصل چنین درسی در همه رشته های دانشگاهی محتوایی تقریبا 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 زیست شناسی درخواست داده شد. پس از دریافت سرفصل این درس، این نکته روشن شد که بدون داشتن سرفصل درس دوم یعنی ریاضی عمومی ۲ دانشکده زیست شناسی نمی توان طرحی موفق برای تدریس درس پیش نیاز یعنی ریاضی عمومی ۱ ارائه کرد. پس از دریافت سرفصل های این دو درس، مشخصات آنها به شرح زیر فهرست شد.

عنوان: ریاضی عمومی ۱ و ریاضی عمومی ۲

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

محتوای ریاضی عمومی ۱ و ۲: رشته های مختلف زیست شناسی 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 واحد های محتوای معادل در سایر رشته ها: 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 جنبه های انسانی موجود پرداختم.

تعداد دانشجویان متقاضیاین درس: ۱۱۴ نفر

تر کیب دانشجویان: نو دانشجویان و دانشجویان باز مانده از این درس از سالهای قبل

محل برگزاری کلاس: نه چندان مناسب برای تمرکز و نامناسب برای یادداشت برداریِ 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 زیست شناسی نسبت به اهمیت درس ریاضی عمومی: بسیار گسترده، از اهم واجبات، تا چیزی غیر ضروری و حتی اتلاف وقت

www.SID.ir

Archive of SID

دیدگاه نظام آموزشی دانشگاه نسبت به درس ریاضی عمومی دانشکده زیست شناسی: 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 دردسر، بهتر است به کسی واگذار شود که از این دردسرها 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 زیست شناسی 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 «درشتی 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 زیست شناسی آشناست، قراردان این وجه ها در کنار این حقیقت که «**ریاضیات پیشرفته در سده بیست و یکم از ملزومات زیست شناسی است، و مهمتر اینکه در سده بیست و یکم زیست شناسی 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 زیست شناسی 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 بپردازیم که چالش آموزش ریاضیات عمومی برای رشته های زیست شناسی در جهان چگونه بوده است. در ورای همه ایده پردازی های ریاضیاتی در زیست شناسی می توان به دکارت–گالیله و نیوتن–اویلر اشاره کرد (رکنی، ۱۳۹۹)، ولی در اینجا به بررسی بسیار موجز چند دیدگاه انگشت شمار در چند دهه اخیر به عنوان مقدمه ای برای طرح موضوع می پردازیم.

در کارسای و کمپیس (۲۰۱۰)[1] این موضوع مورد بحث قرار می گیرد که چگونه این ایده شکل گرفته است که پیچیدگی های بسیاری که در زیست شناسی 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 زیست شناسی 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 زیست شناسی و با این دیدگاه، بر پژوهش بر اساس جُستار تاکید می ورزد. در این میان به تفاوت مهمی میان تکنسین ها (که جزییات 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 تِنِسی اشاره می کنند که به درس های عمومی زیست شناسی مباحث کمی را افزودند، و درسهای ریاضی متناسب با نیازهای آموزش زیست شناسی 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 زیست شناسی را به گونه ای معنی دار و محسوس نسبت به روشهای قدیمی دگر گون می‌کند. یکی از جنبه‌های مشکل ساز ورود به زیست شناسی 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 زیست شناسی و نیز هموار

[1] (Karsai and Kampis, 2010)

www.SID.ir

Archive of SID

نمودن مسیر فعالیت های ریاضی محور در زیست شناسی بر اساس درک درست از مفاهیم زیست شناسی تاکید شده است. در مقوله مدل سازی، اشاره ای که به نیاز به فرضیات زیست شناختی می کند کاملا قابل قبول است. در حوزه حسابان، البته چندان نظر مشخصی ارائه نشده است ولی به الهام بخش بودن زیست شناسی برای ریاضی به خوبی اشاره شده است. با جزییاتی که کارسای و کمپیس (۲۰۱۰) مطرح می کنند، نیاز به آموزش ریاضی مناسب را، در دنیای جدید پژوهش های زیست شناسی، برای پژوهشگران زیست شناسی ضروری می سازد. این ضرورت در هومفیر (۲۰۱۷) و مای (۲۰۰۴)[1] نیز بیان شده اند. واچموث و دیگران (۲۰۱۷)[2] این باور عمومی را مطرح کردند که دانشجویان زیست شناسی بر خلاف سایر رشته های علوم با دیدگاه منفی کمتری 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*، چشم انداز *ریاضی*، و *شایستگی درک شده از ریاضی*[3] ارجاع داده اند. واچموث 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)[4] احساس دانشجویان علوم (شامل دانشجویان زیست شناسی) را نسبت به ریاضی شکل می دهد. با توجه به این امر درمی یابیم که انتخاب منبع، نگارش سرفصل، و نوع رویکرد ما در ارزیابی دانشجویان بر احساس آنها نسبت به ریاضی، تاثیر می گذارد. دریافتی ضمنی از این مطالعه نشان می دهد که روگرفت برنامه ها و سرفصل ها برای ساختن یک برنامه موفق در آموزش ریاضی عمومی برای دانشجویان زیست شناسی، روشی قابل قبول نیست. برای این منظور،در طرح برنامه ای شامل همه جنبه های مربوطه، لازم است که با دانشکده زیست شناسی همراه شده و به تجربیات مربوطه ساختاری داده شود. مفهوم سختی موضوع درسی در مقایسه ریاضی، زیست شناسی و سایر علوم از چند منظر در سطح مدارس توسط غفور و سرابی (۲۰۱۵)[5] بررسی شده است.

در دیدی دیگر توسط اسلی و زولدوسمارچیز (۲۰۲۱)[6] چالش های آموزش کاربردهای ریاضی در سایر علوم از منظر آموزگاران در قالب های کمی و کیفی مورد مطالعه قرار گرفته است. نتیجه آموزش کاربردهای ریاضی توسط آموزگاران ریاضی در این پژوهش افزایش علاقه مندی دانش آموزان 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 می رفته 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)[7] به این موضوع اشاره کرده اند که بسیاری از مراکز آموزشی توصیه می کنند که برنامه ریاضی الزامی برای رشته زیست شناسی باز بینی شوند. برای ارزیابی این دیدگاه، به بررسی ریاضیات مورد استفاده در تحقیقات زیست شناسی پرداخته است. از مطالعه مقالات کمی و کیفی مربوطه، که در سطوح مختلف از ریاضی بهره برده اند، چنین دریافت شده است که زیست شناسان 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 برنامه های آموزش ریاضی و آمار وابسته به گرایش و رشته زیست شناسی مورد نظر قابل پی گیری باشند. بحث مارشال و دوران (۲۰۱۸) با این اعلان از ادلشتین-کشت (۲۰۰۵) آغاز می شود که زیست شناسی آینده بر پایه مدل، آمار و ریاضی استوار است.[8] این موضوع در (رکنی، ۱۳۹۹) با ژرف نگری چنین مطرح شده است که در آینده تشخیص اینکه زیست شناس ریاضیدان نیست غیر ممکن می شود. توصیه های مارشال و دوران (۲۰۱۸) برای آموزش شامل مفاهیم آمار تنظیم شده برای زیست شناسی، مدلسازی ریاضی و ابزار مربوطه از حساب دیفرانسل و انتگرال، ترکیب ریاضی با زیست شناسی، آمار و حسابان چند متغیره، جبر خطی، سری های زمانی، و دستگاه های دینامیکی است. به علاوه، او مدلسازی را هسته اصلی آموزش ریاضی برای زیست شناسی دانسته است. این عنوان اخیر از جمله پای

[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)

www.SID.ir

Archive of SID

ثابت مباحث مطرح شده در جدول ۳ و بخش ۴ این مقاله بوده است. در آیکنز (۲۰۲۱)[1]بر این نکته تاکید شده است که دستگاه های دینامیکی از ملزومات مطالعات زیست شناسی آینده است و برای تسلط بر این رشته اخیر در سطحی پیشرفته به حسابان نیاز است، در حالی که بسیاری از دانشجویان زیست شناسی 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 زیست شناسی در استفاده از ریاضی اثری سازنده داشته است. سر فصل های دو درس مورد نظر در ایتون و هایلندر (۲۰۱۷)[2]معرفی شده اند که شامل مباحثی مانند توابع نمایی، حلقه های پسخور، برازش داده ها در مدل های داده شده، مهارتهای 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)[3]نشان می دهد که ریاضیات مورد نیاز برای زیست شناسی بسیار پیشرفته تر از حسابان معمولی است و پژوهشگران زیست شناسی باید برای سطحی وسیع تر از مهارتهای ریاضی آماده باشند.

انجمن زیست شناسی سلولی ایالات متحده آمریکا در سال ۲۰۱۶ نامه یک مدرس زیست شناسی سلولی را منتشر کرد که از مشکلات دانشجویانش در استفاده از مهارتهای اولیه ریاضی در کلاسهایش گله مند بود (ماکارویچ و پیرس، ۲۰۱۶).[4] تعجب این مدرس زیست شناسی از این منظر نیز بود که گویا وجود تشکیلات آموزش ریاضی و تعامل دانشکده های ریاضی، زیست شناسی و شیمی در این زمینه چندان مفید واقع نشده است. پاسخ انجمن زیست شناسی سلولی به این مدرس گویای این بوده که این مشکل مختص 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[5]» ایالات متحده آمریکا در برنامه آموزش های ریاضی دانشجویان زیست شناسی دانشگاه هملین[6]بوده است. در تجربه دیگر و موفق تر، ساترثویت (۲۰۱۹)[7]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 زیست شناسی 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 قطعا 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– خودِ نمره دانشجویان در درس ریاضی است. در پژوهشی که توسط فریمن و دیگران (۲۰۱۴)[8]صورت گرفت، مقوله یادگیری فعال[9]در علوم، مهندسی و ریاضی مود بررسی قرار گرفت و با مطالعات میدانی نشان داده شد که دانشجو در روش های تدریس قدیمی[10](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 دانشجو 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 بخش۱ گفته شد، برای فعال بودن یادگیری

[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
[10] Traditional Lecturing

www.SID.ir

Archive of SID

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

در دیدگاهی کاملا متفاوت بلومیرت (۲۰۲۲)[1] نسبت به حضور ایدئولوژیک ریاضی در علوم هشدار می دهد. از این دیدگاه، علم عبارت است از دانشی منضبط و ساختنی و قرائت جاری از علم را در قالب ترکیب انتخاب منطقی[2]- که نتیجه اش فرض «علمی بودن برابر با ریاضیاتی بودن است»، زیر عنوان ایدئولوژی و باز کننده درهای تمامیت خواهی- مورد انتقاد قرار می دهد. علت این پدیده را با ارجاع به (آمادی، ۲۰۰۳)[3] رقابت های تسلیحاتی جنگ سرد می خواند. لازم است به این نکته توجه شود که منظور از حضور ریاضیات و نیاز به ریاضی برای پژوهش های زیست شناسی به معنی بی اعتبار خواندن گذشته و یا روش های مرسوم نیست. ریاضیات مانند سایر مهارتهای اندیشه گرایانه بشر حاصل تجربه است و در کنار سایر مهارتهای تجربی قرار می گیرد نه در جایگاهی برتر یا ویژه. بنا بر این دیدگاهی که بلومیرت (۲۰۲۲) با رخدادش مقابله می کند، موضوع تجربیات ذکر شده در این مقاله نخواهد بود.

در کنار چنین دیدگاه هایی استفاده درست/نادرست از ریاضی در زیست شناسی نیز مورد اشاره قرار گرفته است. از جمله می توان به (مای، ۲۰۰۴)[4] اشاره کرد که حضور مفاهیم و ابزار های ریاضی در زیست شناسی را شامل آمار، جستجوی الگو، بیو انفورماتیک، مدلسازی دینامیکی، و بسیاری دیگری از این موارد فراگیر می خواند. رابرت مای، به عنوان تحصیل کرده ریاضی و فیزیک نظری و کاشف ویژگی های پیچیده نگاشت لجستیک (مای، ۱۹۷۶)[5] از اهمیت ریاضی در زیست شناسی به خوبی با خبر است و حد فاصل میان داروین و جنکینز (۱۸۶۷)[6] را با دریافت های ریاضی از نتایج مندل پر می کند و قانون هاردی- وینبرگ، (اندروز، ۲۰۱۰۱)[7] را در جایگاه قانون اول نیوتن در حرکت قرار می دهد. این دیدگاه مای (۲۰۰۴) در دیگر منابع مانند (هومفیر، ۲۰۱۷) نیز تایید شده است. رابرت مای (۲۰۰۴)، حوزه های مختلف ریاضی را در جایگاه های متنوعی قرار می دهد. 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 می خواند، نه بیشتر و نه کمتر.[8] در این مرحله، مای، نسبت به استفاده از ابزارهای از پیش تعیین شده و مدل های متنوع در دسترس بدون داشتن ایده های روشن ریاضی در پس زمینه هشدار جدی می دهد. حلقه اتصال مفقوده مورد اشاره او به وجود ایده ها، درک و شهود ریاضی، و دانستن ارتباط میان فرضیات و نتایج بستگی دارد.[9] از دید گاه مای (۲۰۰۴)این هشدار به نقش ذاتی ریاضی در زیست شناسی مربوط نیست، بلکه به چگونگی استفاده از ابزار های ریاضی و تجهیزات محاسباتی پیشرفته مربوط است و در این خصوص به مغایرتهای پیش بینی مدل ها با واقعیت می پردازد. مثال های وی نشان می دهد که در برخی مواقع مدل های پیچیده تر و در برخی مواقع مدل های ساده تر بهتر عمل کرده اند. بنابراین تفاوت، نه در پیچیدگی در برابر سادگی، بلکه در درک درست *مسیر فرض-به-نتیجه* نهفته است. این جنبه از این هشدار ها، حساسیت آموزش ریاضی و نیاز به استوار بودنش را بیش از پیش آشکار می کند. برای درک بهتر دیدگاه مای، می توان به محدودیت های مدل سازی اشاره شده توسط هلمداهل و باکی (۲۰۲۰)[10] توجه کرد.

یکی از جنبه های مهم آموزش مناسب ریاضی برای زیست شناسی، دوری از استفاده از ابزارهای ناقصی است که به علت نا آشنایی پژوهشگر نسبت به مفاهیم پایه و کلاسیک ریاضی در پیش گرفته می شود. یکی از مثال های بسیار جدی از این دست در دوره معاصر انتشار مدل (روش) ریاضی تای برای[11] محاسبه سطح زیر خم سوخت و ساز[12] است (تای، ۱۹۹۴،۱۹۹۴).[13] نگاهی به این اثر نشان می دهد

---

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 (Holmdahl and Buckee, 2020)
11 Tai's mathematical model (Tai, 1994).
12 Metabolic Curve
13 (Tai, 1994, 1994)

www.SID.ir

Archive of SID

که درکی از تاریخ مفهوم انتگرال گیری و کوچکترین سابقه یادگیری آن در ذهن پژهشگر وجود ندارد. روش پیشنهادی چیزی نیست جز بیان ناقص انتگرال گیری عددی (به صورت تقریبی) با بیانی ناقص و برخی اشتباهات نوشتاری که از روی نا آگاهی از تاریخچه ریاضی عمومی، آن را به نام خود «روش تای» می خواند. توجه به اعتراض ها و نکته های مورد اشاره بندر (۱۹۹۴)، ولورز (۱۹۹۴)، موناکو و اندرسون (۱۹۹۴،۱۹۹۴)، و شانون و عوونز (۱۹۹۴)[1] و پاسخ های نویسنده (تای، ۱۹۹۴، ۱۹۹۴) نشان می دهد که این عدم آشنایی (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 زیست شناسی، باز می گردیم به مسئله ای که در بخش ۱ بیان شد. همانگونه که در بخش ۲ دیده شد، بسیاری از چالش های پیش روی نیاز مطرح شده در بخش ۱، نسبتا با نیازهایی که در دیگر دانشگاه های جهان دیده می شد همزمان بوده است. توجه داشته باشیم که موضوع اصلی درک نیاز زیست شناسی 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 ماه۱۳۸۶ آغاز می شد، و اینک شهریور ۱۳۸۶ است، امکان تغییر هیچ کدام از مشخصات و شرایط بیان شده در بخش ۱ وجود نداشت، مگر یکی. سرفصل ها 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 اصولا در کنترل دانشگاه و مدرس نیست. تعداد کلاسها و تعداد دانشجویان کلاس را مدرس تعیین نمی کند. محل برگزاری کلاس به امکانات دانشکده زیست شناسی بستگی دارد. تغییر دیدگاه دانشجویان، دیدگاه نظام آموزشی، دیدگاه دانشکده زیست شناسی، و نیز دانشکده ریاضی در این خصوص محتمل به نظر نمی رسید.

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 زیست شناسی، یک گذر[2]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 آنی و نیز تضمین گسترش سازنده آن در آتی، تیمی متشکل از معاونت آموزشی دانشکده زیست شناسی و دانشکده ریاضی، و مدرسین احتمالی درس های ریاضی دانشکده زیست شناسی تشکیل شد. بخش مدرسین این تیم اصولا باز بوده و در هر سال/نیمسال ممکن بود تغییر کند ولی سیاست های کلی دو دانشکده از طریق معاونت های آموزشی و مسئول ساماندهی[3] اعمال می شد. این مسئولیت شامل بررسی محتوای ارائه شده توسط مدرس پیشنهادی، چگونگی ارزیابی و نیز مثال های واقعی زیست شناختی که مورد استفاده قرار می گرفت بوده است. مجموعه این فعالیت ها چیزی بیش از ارائه یک درس ۲ واحدی و سپردن زمام آن به نفر بعدی بود، گذری که باید پیموده می شد چندان کوتاه نبود. با توجه به ۱۵ سال همکاری با دانشکده زیست شناسی و ارائه(یا نظارت بر ارائه) کلاس های درس ریاضی عمومی در قالب های متنوع برای تعداد زیادی دانشجو، بررسی تحول ایجاد شده در قالب گزارشی کوتاه و قابل مقایسه با دیدگاه های ارائه شده در ادامه این مقاله ارائه می شود.

بدیهی است که نقد و اظهار نظر همکاران و متخصصین امر بر این تجربیات و کارهای انجام شده و دیدگاه هائی که در این نوشته عرضه می شود باز است. بی گمان سردرگمی های 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 می شد. آنچه رخ داد، نشستی چند ساعته و

[1] (Bender, 1994) (Wolvers, 1994) (Monaco and Anderson, 1994, 1994) (Shannon and Owens, 1994)
[2] Trajectory
[3] نویسنده این مقاله

www.SID.ir

Archive of SID

یا چند روزه برای نگاشتن یک سرفصل نبود، تعاملی انسانی میان همه پایوران آموزش شامل کارشناسان، مدیران، مدرسین، و مسئولین بود. علی رغم همه اختلاف نظر ها، ارتقاء جایگاه آموزش ریاضی عمومی در دانشکده زیست شناسی 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 مواجه 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 لزوما 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 می خواهید ($0 \leq x \leq 100$)، از هر فعالیت شامل (تکلیف هفتگی، ماهیانه، میانترم، پایان ترم) دست کم $x\%$ را باید انجام دهید: هیچ شانسی در کار نیست، همه چیز تنها به تلاش بستگی دارد. این گفتگو که چندین بار تکرار شد، ترجیع 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.

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 ظاهرا بی عیب 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) درانداخت و **در آستانه ایستاد**(۸).

در بخش ثابت تیم تشکیل شده در دانشکده زیست شناسی– پس از آن نیمسال تحصیلی–به این نتیجه رسیدیم که چارچوب درس های ریاضی عمومی ۱ و ۲ برای دانشکده زیست شناسی– 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 زیست شناسی، نیازمند طرح های نوین و اندیشیده هستیم، و نه اجرای بهتر **طرح های کهنه**(۹). این درک همنوا با اعلان اهمیت نوآموزی توسط جلال الدین 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 تاپایان نیمسال نخست سال تحصیلی ۹۳–۱۳۹۲، ارائه درس ریاضی عمومی۱ و ۲ دانشکده زیست شناسی در قالب قدیمی ۲ واحدی برای کلاسی به طور متوسط حدود ۵۰ تا ۱۰۰ نفره، تقریبا 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 زیست شناسی بهره گرفته می شد. بیشترین استفاده در این خصوص به دریافت مدلسازی، سطح ریاضی عمومی مورد نیاز، و مثال های ملموس مربوط بود.

www.SID.ir

Archive of SID

محتوای گفتگوی سه ساعته در اسفند ۱۳۹۲	
آیا عنوان «ریاضیات زیست شناسی» به عنوان چهارچوبی مستقل قابل طرح است؟ سطح ریاضیات مورد نیاز برای رشته زیست شناسی در مقاطع مختلف آموزشی و پژوهشی چیست؟ برنامه پیشنهادی «ریاضی برای زیست شناسی» چند واحدی باید باشد و مختصات طراحی چگونه باید در نظر گرفته شود؟ علت اقبال با شک و تردید به ریاضی در بین دانشجویان زیست شناسی چیست؟ و علت هجوم دانشجویان ریاضی به مسائل زیست شناسی چیست؟ آیا ریاضی برای زیست شناسی الزامی است، مفید است، غیر ضروری است، مضر است، موجب کج فهمی است، و یا تنها زینتی است؟ آیا ریاضی می تواند متعرض زیست شناسی شود؟ آیا منابع ریاضی برای رشته های زیست شناسی جدا از منابع عمومی در ریاضی است؟ مقایسه زیست شناسی با سایر رشته های علوم تجربی از دیدگاه ریاضی چگونه است؟ آیا مکاشفات فلسفی – تاریخی –شناختی خاصی بر موارد مورد بحث بالا متصور است	 پردیس علوم

رایزنی با دانشکده زیست شناسی یک نیمسال به طول انجامید و با انجام مطالعات مربوطه توسط دانشکده ریاضی برای ساماندهی به آموزش ریاضیات در دانشکده زیست شناسی دانشگاه تهران موافقت شد. همچنان، فعالیت های 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 زیست شناسی 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، راه درازی در پیش بود. تحول مورد انتظار به زودی با صحه نهادن دانشکده زیست شناسی بر اهمیت ریاضی و جدی تر گرفتن آموزش ریاضی آغاز شد.

برای آشنایی دانشکده زیست شناسی با این طرح پیشنهادی، در تاریخ هفتم اسفند ماه ۱۳۹۲ جلسه ای با حضور استادان دانشکده زیست شناسی با عنوان «ریاضیات برای زیست شناسی» برگزار گردید. یک ساعت نخست جلسه به بیان نظرات به دست آمده و بررسی پرسشهای بنیادی سپری شد. سپس حدود ۲ ساعت بحث و بررسی چند جانبه پیرامون پرسشهای بنیادی مطرح انجام شد. پرسش های بنیادی مطرح شده در این جلسه در زیر فهرست شده اند.

در نیمسال های نخست و دوم سال تحصیلی ۹۵-۱۳۹۴، ارائه درس ریاضی عمومی ۱ و ۲ دانشکده زیست شناسی در قالب قدیمی ۲ واحدی با کلاسهای پرتعداد، با همکاری و هماهنگی دیگر مدرسین انجام شد. این آخرین سال ارائه درس ریاضی عمومی دانشکده زست شناسی در این قالب قدیمی بود. تحول مورد انتظار در جدی تر گرفتن آموزش ریاضی دانشکده زیست شناسی 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 هماهنگی های 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 زیست شناسی، دانشکده شیمی، و گروه بیوتکنولوژی در قالب های ۳ واحدی با همکاری گروهی اساتید آغاز شد و تا پایان سال تحصیلی ۰۱-۱۴۰۰ ادامه داشت.

www.SID.ir

Archive of SID

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

۳.۳. جزییات 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، دانشجو 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 زیست شناسی، 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 دانشجو 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 مختط→ اعداد حقیقی→ اعداد گویا→ اعداد درست→اعداد طبیعی	$N \to Z \to Q \to R \to C$

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 اعدا جبری و شمارا بودن آنها مطرح شدند. در پایان ارتباط میان مبحث نخست و دوم تشریح شد.

علی رغم همه پیش داوری ها در خصوص سطح ورودی های رشته های دانشکده زیست شناسی 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.

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 زیست شناسی دانشکده زیست شناسی 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 زیست شناسی، 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 دانشکدهای ریاضی و زیست شناسی گردید.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- کتاب های اصلی و کمکی پیشنهاد شده برای تدریس حسابان سال اول رشته های زیست شناسی

ردیف	۱	2
جایگاه برای این درس	اصلی	کمکی
نویسنده	Claudia Neuhauser	سیاوش شهشهانی
عنوان کتاب	Calculus for Biology and medicine	حساب دیفرانسیل و انتگرال جلد ۱ و ۲ (ویراست دوم)
ویرایش	1st ed.(200), 2nd ed. (2004), 3rd ed. (2011), 4th 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 زیست شناسی، استاد برجسته دانشگاه صنعتی شریف

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 می شده است. در مجموع ارائه محتوا از توپولوژی پایه تا قضیه اساسی حساب دیفرانسیل و انتگرال انجام می گرفته است. لازم به ذکر است که دانشجویان علاقه مند این امکان را داشته اند تا با مطالعه کتاب هایی دیگر که در بخش مراجع و کتابنامه اشاره می شدند، دانش و مهارت خود را در جنبه های متنوع حسابان ارتقاء دهند.

۴.۳. *روش ارزیابی و روش جذاب نگهداشتن کلاس*

یکی از جنبه های مدرن آموزش حساب دیفرانسیل و انتگرال وجود ماشین حساب های پیشرفته است که بسیاری از جنبه محاسباتی را پوشش می دهند و به دانشجویان اجازه می دهند که بر ابتکارات و خلاقیت های خود متمرکز شوند. به دانشجویان رشته زیست شناسی اجازه داده می شد که همواره یک برگه یادداشت کمکی شامل جدول ها و فرمول های مورد نیاز را با خود به همراه داشته باشند. در نتیجه، ارزیابی دانشجو با احتساب این که این ابزار کمکی را به همراه دارد انجام می گرفته است. ارزیابی نهایی دانشجویان به طور معمول به صورت جدول ۲ بوده است. بر اساس این جدول، موفقیت دانشجو در این درس هم ارز با میزان فراگیری وی بوده و پدیده شانس یا بخت و اقبال تاثیری قابل توجه نداشته است.

برای جذاب نگداشتن درس ریاضی عمومی ۱ و ۲ برای دانشجویان زیست شناسی، حسب موضوع درس از مواردی کاربردی به ویژه در مدلسازی و دستگاه های دینامیکی، که برخی از آنها در جدول ۳ عنوان شده اند، استفاده می شده است. مجموعه کامل از موارد کاربردی که مورد استفاده قرار می گرفت بیش از ردیف های جدول ۳ می باشد. در بخش ۴ برخی از مثالهای بنیادی مورد بحث قرار گرفته اند.

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

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- درصد های 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	آزمون های دوره ای	آزمون ها بر حسب مبحث، در قالب یک یا چند فصل	۱۰٪
۳	انجام پروژه های فصلی (فردی یا گروهی)	مربوط به کاربرد حسابان فراگرفته شده در مسائل وقعی زیست شناسی	۱۰٪
۴	آزمون میانترم	در قالب حدود ۴۰٪ اولیه از حجم کل درس	۲۵٪
۵	آزمون پایان ترم	۸۰٪ از ۶۰٪ باقی مانده از ردیف ۴ به علاوه ۲۰٪مجددا از ۴۰٪ ردیف ۴	۵۰٪
نهایی		کل درس	۱۰۰٪

جدول ۳- برخی مثالهای کاربردی و جالب در مسیر یادگیری ریاضی عمومی ۱ و ۲ رشته های زیست شناسی

ردی ف	عنوان	توضیح	تقریب صرف وقت در یک نیمسال (دقیقه)
۱	نمودار انشعاب گونه ها	استفاده از مقوله های تاشدگی خم های تعادل برای بیان منشعب شدن رسته ها	۱۵
۲	نا پیوستگی در اثرات پارامتری	در معادلات ریاضی مربوط به اکولوژی، اثرات مخرب یا سازنده پارامتر های تابعی	۱۰
۳	بقا و انقراض گونه ها	نقش شکل تابع تحول جمعیتی بر سازوکار بقا و انقراض – مانند اثر آلی	۱۰
۴	رقابت/همزیستی/شکارگری	به عنوان مثال های 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 زیست بوم ها	مثال هایی کاربردی از حسابان برای توصیف سازوکارهای افول زیست بوم ها	۱۵
۷	غلظت گازها و سازوکار تنفس	استفاده از خم کانتور برای توصیف ترازهای غلظت و نقش آنها در تنفس زیست بوم	۱۵
8	سایبرنتیکس	مثالی از ارتباط حسابان با دانش ارتباط مخابراتی موجود زنده با ماشین	۲۰
9	رباتیک	مثالی از ارتباط حسابان با دانش نوین ساخت ماشین های هوشمند	۱۵
10	پیچیدگی	کاربرد نظریه توابع چند متغیره در درک مفهوم پیچیدگی در مفاهیم زیست شناسی	۲۰

تعداد قابل توجهی از دانشجویان دانشکده زیست شناسی با آموزش ریاضی عمومی این دوره ۱۵ ساله، که در راستای کهاد، رشته دوم، و یا ورود به رشته های دانشکده ریاضی در تحصیلات تکمیلی بسیار موفق عمل کردند. برخی از آنها نیز که در فعالیت های 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 مثال های بنیادی در طی دو درس ۳ واحدی ریاضی در دانشکده زیست شناسی برای رشته های زیست شناسی، شیمی و زیست فناوری و بیوتکنولوژی در راستای ایجاد انگیزه، فعال نگهداشتن دانشجویان، و مرتبط ساختن مهارتهای ریاضی عمومی با تجربیات زیست شناختی مطرح شده اند، نقشی مهم در درونی سازی تجربیات محدود یکساله آنها و حفظ علاقه مندی در آینده داشتند. از جمله آنها می توان به فرض ارگودیسیتی، قانون وراثت مندل و تکامل اشاره کرد. برای مثال های مناسب بیشتر می توان به (هورتون و دیگران، ۲۰۱۳)، (زاپوکان، ۲۰۱۸) و (موری، ۲۰۰۷)[1] مراجعه کرد.

یکی دیگر از روش های فعال نگهداشتن دانشجویان در کلاس و جلوگیری از یک طرفه گویی در کلاس ریاضی عمومی در طرح جدید، پرسش آغاز کلاس در برخی

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

www.SID.ir

Archive of SID

جلسات بوده است. نتیجه بحث عموما به این می انجامید که لازم است در زمینه ریاضی کلیدواژه جدیدی را فراگیریم. در جدول ۴ چند نمونه آورده شده است. بحث پیرامون روش های ورود به این پرسشهای آغاز کلاس نیازمند نوشته دیگری است. مجموعه کامل از پرسش های آغازی کلاس که مورد استفاده قرار می گرفت بیش از ردیف های جدول ۴ می باشد.

برای نشان دادن ساختار مورد نیاز مهارتها و اندیشه ریاضی در زیست شناسی، از برخی متخصصینی که مسیر مطالعه زیست شناسی را طی کرده اند دعوت می شد تا در برخی جلسات طی حدود ۱۰ تا ۱۵ دقیقه درباره تجربیات ریاضی خود در زیست شناسی به صورت مستقیم و یا غیر مستقیم با دانشجویان صحبت کنند. ساختار این قطعه های زمانی به صورت گفتاری یکطرفه از نوع تد بوده است، هرچند به اندازه سخنرانی های تد برای آمادگی اش زمینه چینی نمی شد. افراد مدعو شامل برخی اساتید و نیز دانشجویان دکترایی بودند که به مرحله پژوهش نرسیده بودند. در این زمینه می توان از سایر متخصصین، حتی خارج از دنیای آکادمیک، نیز کمک گرفت.

درطی سالهای بازنگری و اجرای طرح جدید، فعالیت های بخش ۴.۳ و بخش ۴ و محتوا های جدول های ۲ و ۳ و ۴ مورد استقبال دانشجویان درس ریاضی عمومی ۱ و ۲ دانشکده زیست شناسی قرار می گرفته است. یکی دیگر از جنبه های مهم که مورد استقبال دانشجویان بوده است، امکان استفاده از همه ابزارهای محاسباتی موجود و به کاربستن 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 شبکه های 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 زیست شناسی محدود به قید های غیر ضروری باشیم و اینکه ابزارهای محاسباتی در هسته اصلی قضیه های بنیادی ریاضیات قرار دارند.

جدول ۴- برخی پرسش های آغاز کلاس

ردیف	پرسش	کلیدواژه مورد نیاز
۱	چگونه می توان تشخیص داد که مدرس ریاضی شما یک انسان است نه یک ربات؟	نظریه پیچیدگی،پیچیدگی و سادگی در سیستمهای زیستی، دستگاه های زیستی پیچیده، سادگی پنهان در پیچیدگی زیستی
۲	چه عاملی نقش انفجاری را در گسترش رسته های 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؟	نوسانگرهای زیستی با همیوغی 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؟	دستگاه های دینامیکی پارامتری شده، هم ارزی توپولوژیک
۵	آیا اکولوژی به صورت یک دستگاه ریاضی قابل مطالعه است؟	سیستم تئوری اکولوژیکی

www.SID.ir

Archive of SID

۵. طرحی برای آینده

باید توجه داشت که گسترش نقش ریاضی در علوم طبیعی مختص به زیست شناسی نیست. در سطحی برابر زمین شناسی و شیمی نیز با مقوله آموزش ریاضیات پایه و عمومی و مشکلات مربوطه روبروست. می توان به (فرگوسن،۱۹۹۴و ۲۰۱۳)[1] و (هیچکاک، ۲۰۰۷)[2] به عنوان یک نقطه شروع نگریست. بر همین اساس، در این طرح دانشجویان رشته های زیست شناسی، 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 علی رغم حضور یکجای این دانشجویان در کلاس درس، برای موفقیت در ایجاد انگیزه و رخداد تجربه ای موفق از فعالیت ریاضی در دانشجویان، دو کار دیگر لازم بود که انجام شود. نخست اینکه جلسات حل تمرین ورفع اشکال دانشجویان بر حسب رشته آنها متفاوت در نظر گرفته می شد. این موضوع در کوتاه مدت به حفظ یکپارچگی ذهنی دانشجویان کمک می کرد، هر چند انتظار می رود که در دراز مدت این قید برداشته شود. دوم اینکه در ارزیابی پایانی دانشجویان، بخش مهارتهای عمومی میان همه رشته ها مشترک در نظر گرفته می شده است. ولی دربخشی که کاربردها مورد بحث و ارزیابی قرار می گرفت، مدلها و فرمول ها برای رشته های یک دانشکده جداگانه و متفاوت با دیگری در نظر گرفته می شد. این امر تصحیح برگه ها را کمی دشوار تر می نمود، ولی برای دانشجویان در بخش کاربرد، تجربه ظاهری[3] بیگانگی با موضوع در جلسه آزمون رخ نمی داد.

هر چند به موقع اهمیت بهبود آموزش ریاضی عمومی را در زیست شناسی 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 زیست شناسی این است که با صرف وقت چند ساعته، اگر تعارفانه نگوییم چند دقیقه، که بیشترش صرف تایپ می شود، می توان برنامه ریاضی عمومی را برای هر رشته ای از جمله زیست شناسی ریخت و در حصار این غلبه هیچ توجهی به این نداریم که موضوع بحث، آموزش برای انسانهایی است که نمی توان آنها را برنامه ریزی کرد. قرار نیست که دانشجوی زیست شناسی سر تعظیم دربرابر ریاضی فرود بیاورد. درستش این است که برای دانشجوی رشته زیست شناسی هنر ریاضی ورزی همچون مهارت استفاده از میکروسکوپ باشد بدون نیاز به تبلیغ، هر دانشجوی زیست شناسی کسب هنر استفاده از میکروسکوپ را با هر پیچیدگی فنی، ضروری می داند. برخی بهتر ولی همه مقداری از این هنر بهره مندند. هدف این است که ریاضی، بدون نیاز به تبلیغ، اگر نگوییم فشار دیکتاتور مآبانه حصاربانان ریاضی، به ابزاری طبیعی بدل گردد و هر دانشجوی زیست شناسی حسب توان از آن بهره گیرد. نه همه مثل هم در یک اوج و نه پذیرش هیچ از برای کسی.

۶. پی نوشت ها

(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 رشته های غیر ریاضی، از بهمن ۱۳۸۲ تا پایان تابستان ۱۳۸۵، در دانشگاه مازندران همراه بود. در این مدت تلاش وافری برای بازتعریف و بیان مفاهیم این درس ها و انجام پژوهشهایی در این زمینه شد که در سال های بعد پایه های شیوه تدریس ریاضیات عمومی ام بر آنها بنا گردید. در سال نخست حضور در دانشگاه تهران، در دو نیم سال متوالی برای یک گروه تقریبا ۵۰ نفره از دانشجویان دانشکده شیمی درسهای معادلات دیفرانسیل و ریاضی عمومی ۲ را که مجموعا ۶ واحد درسی بودند، ارائه کردم. در کنار تجربه های جاری تدریس برای رشته ریاضی، و بر پایه تجربیات قبلی، این فرصت مناسبی برای به روز نمودن روش های آموزشی در موقعیت جدید بود. در این یکسال در قالب ۶ واحد درسی مذکور درسهای فراوانی آموخته شد که در جای خود قابل بحث اند. 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 رشته های مرتبط با علوم زیستی توسعه یابد. آغاز تدریس در دانشکده داروسازی، به جز فضای آموزشی که بسیار مناسب تر بود و به جز تعداد

[1] (Ferguson, 2013), (Ferguson, 1994)
[2] (Hitchcock, 2007)
[3] زیرا در حالت کلی، پس از کسب سطحی از دانش، رشته ها نسبت به هم بیگانه به نظر نمی رسند.

www.SID.ir

Archive of SID

دانشجویان که بسیار بیشتر بود(بین ۱۰۰ تا ۱۳۰ نفر)، شباهت بسیاری به دانشکده زیست شناسی 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 همکاری های پژوهشی میان دو دانشکده و ایده های شایسته ای برای پژوهش های ریاضیات زیستی در قالب قطب بیومت دانشگاه تهران بوده است. پرداختن به تجربیات این دو سال نیازمند فرصت مناسبی است تا به همه جنبه هایش توجه شود، که البته در این مقوله نمی گنجد. پس از این تجربه میانی در دانشکده داروسازی، به معاون آموزشی دانشکده ریاضی پیشنهاد گردید که برای بهبود آموزش ریاضیات عمومی دانشکده زیست شناسی اقدامی جدی صورت گیرد. زیرا تا اینجای کار، حسابان دانشکده زیست شناسی چند پله تا دانشکده داروسازی فاصله داشت.

(۲) حساسیت ایجاد شده به عدم کارآیی رابطه سه گانه دانشجو–مدرس–نظام آموزشی مربوط می گردد. علی رغم وجود همه عناصر، دانشجوی مستعد، مدرس آگاه، نظام آموزشی دقیق، دانشکده ریاضی در جنب دانشکده زیست شناسی، همچنان پایه های آموزش ریاضی عمومی برای دانشکده زیست شناسی استوار نبود. برای در دریافتی از یک تجربه در سایر کشور ها به (مارکرویچ وپیرز، ۲۰۲۲)[1] مراجعه کنید. مدرس، دلبستگی به فعالیت بدون ساختار مناسب را نداشته، دانشجو در خصوص فعالیت بدون ساختار مناسب انگیزه جدی نداشته، و نظام آموزشی به کل فعالیت به صورت مکانیکی نگاه می کرده است. در چنین شرایطی، کوچکترین اختلال دستگاه در حال کارکردِ ظاهرا قابل قبول را به پدیده ای غیر قابل قبول تبدیل می کند، و این اولین منبع ایجاد حساسیت بوده است. دومین منبع ایجاد حساسیت مربوط می گشته به داشتن/نداشتن سازوکاری معقول برای ارزیابی دانشجویان، که البته گاهی نامعقو هم می شده و بحران هایی تاریخی می آفرید، مانند گذر از مسیر ابرام–انکار دانشجو–استاد برای تغییر نمره. این دو عامل، حساسیت، در شرایط اجرایی کلاس در طول ترم شامل انگیزه ها و پویایی آنها و نیز حساسیت های پیش آمده در مرحله ارزیابی، مقوله آموزش ریاضی عمومی برای دانشکده زیست شناسی را به امری با حساسیت بالا تبدیل نموده بود.

(۳) دیدگاه های مربوط به اهمیت ریاضی در زیست شناسی و تاثیر متقابل آنها در (رکنی، ۱۳۹۶، ۱۳۹) و (کوهن، ۲۰۱۷)[2] تشریح شده اند و در اینجا از تکرار آنها خودداری می شود. در (هوفیر، ۲۰۱۷)ادعا شده است که در دهه های بعدی، ریاضی و زیست شناسی پیشانی پیشتازی یکدیگر خواهند بود.

(۴) حساب دیفرانسیل و انتگرال یکی از بزرگترین دستاورد های بشری است. در کنار صابون و پنی سیلین که عمر متوسط انسانها را افزایش دادند، حساب دیفرانسیل و انتگرال با ایجاد سازو کارهای منتج به فناوری در مکانیک، ترمو دینامیک، و الکترودینامیک رفاه را در زندگی انسان ها چندین برابر نمود. این تاثیر، در نهایت، مهندسی و فناوری را دگر گون کرد. از منظر پزشکی، فردی چون گالیله پدر علم ارتوپدی شده و دکارت تاثیری بسزا در تاریخ علم پزشکی بجا گذارد.

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

(۶) گفته مشهور هراکلیتوس یونانی ($Ηρακλειτοσ -$ $παντα$ $Εφεσισ$ $ρει$) مبنی بر همه چیز در جریان است ($-$) الهام بخش نظریه پردازانی بود که حرکت را امری اصیل و جاری در طبیعت و مهمترین روش شناخت می دانسته اند. از جمله می توان 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 رشته های زیست شناسی موضوع این طرح، است که مهارتهای حل مسئله توسط مدرس نوعی تردستی است و کسب آن اگر

[1] (Makarevitch and Pierce, 2022)
[2] (Cohen, 2017)

www.SID.ir

Archive of SID

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

(۸) در ایران نوین، این عبارت که باید این بساط کهنه را جمع کرد و طرحی نو درانداخت، 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 می توان روش های اشتباه را برای دستیابی به دستاوردی درست مدیریت کرد، و یا با تکیه بر روش های کهنه می توان به نوگرایی خردمندانه رسید، و یا اینکه ممکن است با بیگانگی با سنت به نوگرایی دست یافت در 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) پیاژه هندسه ذاتی انسان را در بدو تولد از نوع توپولوژیک می داند که پس از چندی به صورت پروژکتیو، و در نهایت به صورت متریک در می آید. برای دانشجویان رشته های زیست شناسی که نسبت به سایر دانشجویان رشته های ریاضی و فنی از آموزش ریاضی سبک تری برخوردار بودند، انتظار می رود که در درک مفاهیم توپولوژیک رغبت بیشتری نشان دهند. نویسنده این امر را در تفاوت تدریس ریاضی عمومی برایس رشته های ریاضی، فنی و زیست شناسی به صورت معنی داری مشاهده کرده است.

منابع

سیاوش شهشهانی، 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، ارمغان زیست شناسی برای ریاضی در سده بیست و یکم، مجله زیست شناسی، انجمن زیست شناسی ایران، جلد ۱، شماره ۱، صص. ۲۹-۱۹، ۱۳۹۶.

غلامرضا رکنی لموکی، نمایی از رابطه زیست شناسی و ریاضی: از سده هفدهم تا بیست و یکم، جلد ۴، شماره ۸ صص. ۲۵-۷، ۱۳۹۹.

Melissa L. **A**ikens, 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 **A**itken, Bill Broadhurst, and Stephen Hladky, Mathematics for Biological Scientists 1st Edition, Garland Science, 2009.

Sonja N. **A**madae, Rationalizing Capitalist Democracy: The Cold War Origins of Rational Choice Liberalism, University of Chicago Press, 2003.

Christine A. **A**ndrews, The Hardy-Weinberg Principle, Nature Education Knowledge, vol. 3, no. 10:65, 2010.

Abdallah **A**sli and Iuliana Zsoldos-Marchis, Teaching applications of Mathematics in other disciplines: teachers' opinion and practice. Acta Didactica Napocensia, 14(1), 142-150, 2021.

Ralf **B**ender, Determination of the area under a curve, Diabetes Care, vol. 17, no. 10, 1223, 1994.

Jan **B**lommaert, Mathematics and its ideologies (An anthropologist's observations), Semiotic Review, no 3: ppen Issue, 2022.

Joel E. **C**ohen, Mathematics Is Biology's Next Microscope Only Better; Biology Is Mathematics' Next Physics, Only Better, PLoS Biolog, vol.2, o. 12, e439, 2017.

Carrie D. **E**aton and Hannah C. Highlander, The Case for Biocalculus: Design, Retention, and Student Performance, CBE—Life Sciences Education, 16:ar25, 1–11, 2017.

Leah **E**delstein-Keshet, Adapting mathematics to the new biology, in: Lynn A Steen (editor), Math & Bio 2010: Linking Undergraduate Disciplines, MMA, 63-73, 2005.

John **F**erguson, Introduction to Linear Algebra in Geology, Springer, 1994.

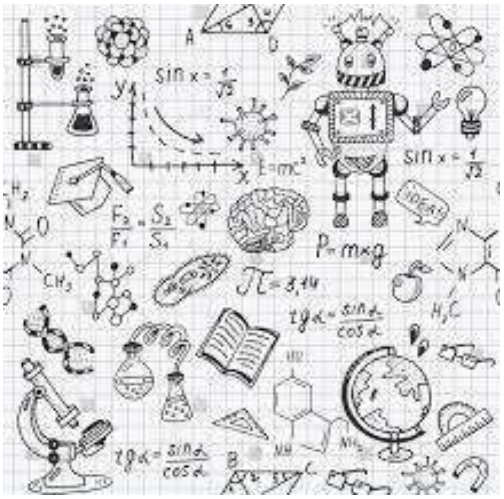
John **F**erguson, Mathematics in Geology, Springer, 2013

Kunnathodi Abdul **G**afoor 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

www.SID.ir

Archive of SID

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. **H**ardy, The Integration of Functions of a Single Variable, (Cambridge: University Press, 1905.
Frank L. **H**itchcock, Differential Equations in Applied Chemistry, Hitchcock Press, 2007.
Scott **F**reeman, 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. **H**ofmeyr, Mathematics and biology, South African Journal of Science, vol. 13, no. 3/4, 2017.
Inga **H**olmdahl 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. **H**orton and William H. **L**eonard, Some Applications of Mathematics for the Biology Classroom, The American Biology Teacher, vol. 75, no. 4, 2013.
Fleeming **J**enkin, Review of 'The origin of species', The North British Review, 46, pp. 277-318, 1867.
Douglas. S. **J**ones, Michael J. Plank, and Brian. D. Sleeman, Differential equations and mathematical biology, 2nd ed., Taylor & Francis, 2009.
Jürgen **J**ost, Mathematical Methods in Biology and Neurobiology, Springer, 2014.
Istvan **K**arsai 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 **M**akarevitch 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. **M**arshall, 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. **M**ay and George F. Oster, Bifurcations and dynamic complexity in simple ecological models. The American Naturalist Vol. 110, July-August 1976.
Robert M. **M**ay, Uses and Abuses of Mathematics in Biology, Science 303, 790-793, 2004.
Jane H. **Mo**naco and Randy L. Anderson, Addendum Monaco's and Anderson's letter, Diabetes Care, vol. 17, no.10, 1226-1227, 1994.
Jane H. **Mo**naco and Randy L. Anderson, Tai's formula is the trapezoidal rule, Diabetes Care, vol. 17, no.10, 1224-1225, 1994.
Paul **M**onk, Lindsey J. Munro, Maths for Chemistry: A chemist's toolkit of calculations, 2nd ed., Oxford University press, 2010.
James D. **M**urray, Mathematical Biology: I. An Introduction, 3rd ed., Springer, 2007.
Claudia **N**euhauser, Calculus for Biology and medicine, Pearson, 1st ed.(200), 2nd ed. (2004), 3rd ed. (2011), 4th ed., 2018.
Donna **S**atterthwait, Making biology count: integrating mathematics into the teaching of inheritance, Journal of Biological Education, vol. 53, no. 1, 92-97, 2019.
Anthony G. **S**hannon and D. R. Owens, Modeling metabolic curve, Diabetes Care, vol. 17, no.10,1225, 1994.
Mary M. **T**ai, 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. **T**ai, Reply from Mary tai, Diabetes Care, vol. 17, no. 2, 1225-1226, 1994.
Yasuhiro **T**akeuchi, Yoh Iwasa, and Kazunori Sato, Mathematics for Ecology and Environmental Sciences, Springer, 2007.
Lucas P. **W**achsmuth, 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. **W**olvers, 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.



www.SID.ir