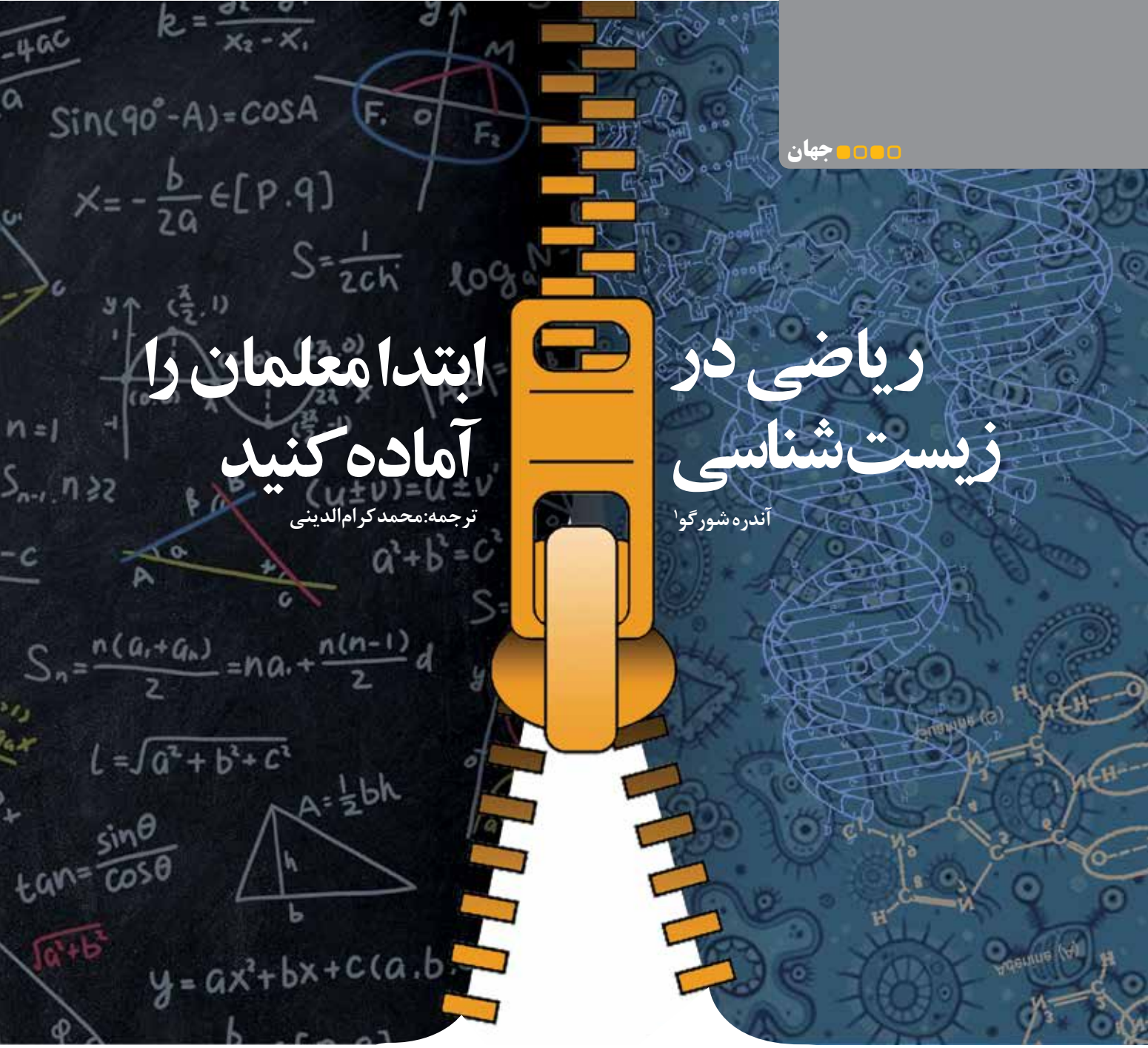


ریاضی در زیست‌شناسی

ابتدا معلمان را آماده کنید

آندره شورگو[1]

ترجمه: محمد کرام‌الدینی

اشاره

تقویت پیوند بین زیست‌شناسی و ریاضیات یکی از مهم‌ترین راه‌ها برای تغییر پارادایم این دو موضوع علمی است؛ اما اضافه کردن برخی مفاهیم ریاضی به محتوای زیست‌شناسی یا به عکس، افزودن مفاهیم زیست‌شناختی به ریاضیات کافی نیست؛ بلکه باید با توسعهٔ مدل‌های مناسب آموزشی همراه باشد. در این نوشته، الگویی از محتوای ریاضیات زیستی را به‌عنوان نقطهٔ شروع برای تقویت ارتباط بین زیست‌شناسی و ریاضیات در مدارس و دانشگاه‌ها پیشنهاد می‌کنیم. فرایند ارتباط این دو موضوع درسی باید در پایه‌های اولیهٔ تحصیلی آغاز شود تا ذهن دانش‌آموزان در دوره‌های بالاتر بتواند این دو را با هم تلفیق کند. از آنجا که معلمان عامل مهمی در معرفی نوآوری‌های آموزشی هستند، اولین قدم برای رسیدن به چنین هدفی باید آموزش معلمان دوره‌های ابتدایی و متوسطه باشد.

کلیدواژه‌ها: فراکتال، ریاضیات زیستی، آموزش زیست‌شناسی.

من کار را با این نگرش آغاز کرده بودم که زیست‌شناسی و ریاضیات هیچ ارتباطی با یکدیگر ندارند؛ اما پس از مدتی عقیده‌ام را تغییر دادم و به کاربر ریاضیات تبدیل شدم

مقدمه

به نظر بیشتر دانش‌آموزان، زیست‌شناسی سرزمینی امن درون مجمع‌الجزایر رشته‌های علمی است؛ مجمع‌الجزایری که در آن در اکثر موارد ریاضیات درسی تحمیلی در نظر گرفته می‌شود و می‌توان آن را نادیده گرفت. البته، نگرش منفی نسبت به ریاضیات چندان غیرعادی نیست. من در دوران ۲۳ سالهٔ حرفه‌ای خود به‌عنوان معلم زیست‌شناسی و محیط زیست در مدارس متوسطهٔ عمومی و دانشگاه‌های فنی‌وحرفه‌ای اسلوونی (۱۹۸۵ـ ۲۰۰۸) شاهد این موضوع بوده‌ام. کار را با این نگرش آغاز کرده بودم که زیست‌شناسی و ریاضیات هیچ ارتباطی با یکدیگر ندارند؛ اما پس از مدتی در مبارزه با رویکردهای معمول آموزشی و بررسی علل روندهای کاهش گرایش به علم (Baram-Tsabari and Yarden, ۲۰۰۹)، عقیده‌ام را تغییر دادم و از نادیده انگاشتن ریاضیات (یا حتی تنفر از آن) به کاربر ریاضیات تبدیل شدم. این گذار یک‌شبه روی نداد، بلکه گام‌به‌گام طی سال‌ها کار در کلاس شکل گرفت.

این گذار با نیازهای مبرم جامعهٔ پژوهشی به ارتباط بین ریاضیات و زیست‌شناسی (Elser and Hamilton, ۲۰۰۷) و نیز به نتیجهٔ تغییرات آموزشی در نظام آموزشی و برنامه‌های درسی اسلوونی (کشور محل کار من) ارتباطی نداشت؛ بلکه من به‌عنوان فردی عمل‌گرا در آموزش معتقد بودم که تنها روش‌های یادگیری فعال در افزایش یادگیری دانش‌آموزان مؤثرند. این عقیده را یک پژوهش نیز پشتیبانی کرده است (Michael, ۲۰۰۶). این دیدگاه، گذار در روش‌ها و رویکردهای آموزشی از تدریس توصیفی به کاوشگری و پژوهشگری را تسهیل کرد (Domin, ۱۹۹۹). این تغییر به هیچ‌وجه آسان نبود. هنگامی که به‌عنوان معلم، راه‌های رفته‌شدهٔ تدریس سنتی مبتنی بر سخنرانی و توصیف را پشت سر گذاشتم، خودم را به همراه دانش‌آموزانم در منظره‌ای از تصورات غلط، حقایق جزئی و تکه‌هایی از «سرزمین ناشناخته»[۲] یافتم. اولین چیزی که باید تصدیق می‌کردم این بود که ندانستن شرم‌آور نیست؛ بلکه به‌عکس، راهی است به‌سوی کاوشگری. انگیزه دیگر، کارهای تحقیقاتی من با همکاران دانشگاهی بود که برای آن‌ها مقالات علمی اولیه را خواندم و روش‌های آماری اساسی چند متغیره را آموختم. من به اندازه کافی خوش‌شانس بودم که از سرنوشتی که در انتظار اکثر معلمان مدارس متوسطه است، فرار بروم. بسیاری از پژوهشگران علم و فناوری، اکثر معلمان را به‌عنوان همکاران بالقوهٔ پروژه‌های پژوهشی نادیده می‌انگارند. در حالی که به‌خوبی معلوم شده است که چنین ارتباطاتی حتی با دانش‌آموزان نیز مفید است.

آخرین و نه کم‌اهمیت‌ترین انگیزه‌های تغییر دیدگاه من، معرفی فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) به کارهای آزمایشگاهی بود (ŠorgoandKocijančič, ۲۰۰۶ Šorgoetal, ۲۰۰۸) که انگیزه‌ای برای درک عمیق‌تر ریاضیات در برداشت (Murovec and Kocijančič, ۲۰۰۴; Šorgo and Kocijančič, ۲۰۰۴).

پیوند بین زیست‌شناسی و ریاضی باید از همان ابتدای دبستان آغاز شود و در سراسر دوره‌های پیش از دانشگاه ادامه یابد

نظام آموزشی اسلوونی

مدارس ابتدایی و متوسطهٔ اسلوونی عمدتاً دولتی هستند (مدارس خصوصی کمتر از ۱ درصد را تشکیل می‌دهند). علوم در هفت سال اول تحصیلات اجباری به‌صورت موضوعی یکپارچه تدریس و پس از آن به زیست‌شناسی، شیمی و فیزیک تقسیم می‌شود و این سه علم در دو سال آخر تحصیلات اجباری

به‌عنوان موضوع‌هایی جداگانه تدریس می‌شوند. ریاضیات در سراسر نُه سال تحصیلی، اجباری است. در دبیرستان‌های عمومی هم همین‌طور است. حدود ۹۸ درصد از دانش‌آموزان تحصیلات اجباری را در مدارس متوسطه ادامه می‌دهند. هدف اصلی آموزش در دبیرستان‌های عمومی آماده‌سازی دانش‌آموزان برای آزمون نهایی است که پیش‌نیاز ورود به دانشگاه است. زیست‌شناسی، شیمی و فیزیک در سه سال اول دبیرستان‌های عمومی اجباری و در سال چهارم انتخابی هستند. ریاضیات برای کلیه دانش‌آموزان دورهٔ متوسطه عمومی اجباری است. در مدارس فنی و حرفه‌ای تنوع موضوعات بسیار بیشتر است (Aberšek ،۲۰۰۴). برنامه‌های درسی برای همهٔ نظام آموزشی از سوی نهادهای دولتی تصویب می‌شود. در این نظام، مدارس و معلمان برای انتخاب مطالب و موضوعات انتخابی آزادی اندکی دارند؛ اما در انتخاب روش‌های تدریس آزادند (Šorgo and Štebla ،۲۰۰۷). در دورهٔ متوسطهٔ دوم تدریس تا حد زیادی تحت تأثیر امتحانات نهایی خارجی است (Ivanuš Grmek and Javornik Krečič, ۲۰۰۴; Pšunder and Harl, ۲۰۰۸).

فراسوی درصدها

سرفصل‌های ریاضی انتظارات از دانش‌آموزان را نشان می‌دهد. آنان باید بتوانند محدوده‌ها، توابع، مشتقات، انتگرال‌ها و سری‌های نامتناهی و انواع معادلات را محاسبه و حل کنند، حدود نهایی و نمودار را تعریف کنند، یک تابع مثلثاتی را به دیگری تبدیل کنند و ترفندهای ریاضی جادویی دیگری فقط برای گذراندن امتحان ریاضی را یاد بگیرند.

دانش‌آموزان برای قبولی در آزمون زیست‌شناسی باید بدانند که یون‌های کلسیم می‌توانند به‌عنوان انتقال‌دهنده‌های ثانویه در سلول‌ها عمل کنند، درک کنند که چرا در تکامل چرخهٔ زندگی خزه‌ها، سرخس‌ها و گیاهان آوندی مرحلهٔ دیپلوئیدی بر مرحلهٔ هاپلوئیدی غالب است و باید بتوانند فتوسنتز C_3 و CAM را با هم مقایسه کنند.

در سرفصل‌های استاندارد به‌ندرت بین زیست‌شناسی و ریاضیات ارتباطی برقرار است. طبق برنامهٔ درسی زیست‌شناسی، معلم زیست‌شناسی موفق فقط باید بداند که چگونه درصدها را محاسبه کند، از جدول نمودار بسازد و احتمالات را در ژنتیک مندلی به کار گیرد. از سوی دیگر، معلم موفق ریاضیات باید فقط زیست‌شناسی را در حد رشد نمایی جمعیت و چگونگی محاسبهٔ احتمالات در ژنتیک مندلی بداند.

معلوم شده است که بسیاری از ساختارهای زیستی از الگوهای فراکتال پیروی می‌کنند

* انتخابی برای دانشجویانی که یک یا دو موضوع علمی انتخابی را به‌عنوان بخشی از آزمون عمومی ریاضی انتخاب می‌کنند.

جدول ۱. موضوعات علمی و ساعات هفتگی دروس علوم و ریاضیات در ۹ سال آموزش اجباری

موضوع/پایه	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	مجموع
ریاضیات	٤	٤	٥	٥	٤	٤	٤	٤	٤	۱۳۱۸
محیط‌زیست	۳	۳	۳							۳۱٥
علوم و فناوری				۳	۳					۲۱۰
علوم						۲	۳			۱۷٥
زیست‌شناسی								۱.٥	۲	۱۱٦.٥
شیمی								۲	۲	۱۳٤
فیزیک								۲	۲	۱۳٤
فناوری و فنون						۲	۱	۱		۱٤۰

جدول ۲. موضوعات علمی و ساعات هفتگی دروس علوم و ریاضیات در آموزش متوسطه عمومی

موضوع/پایه	۱	۲	۳	۴	مجموع
زیست‌شناسی	۲	۲	۲	°٤	۲۱۰ (۳٥۰)
شیمی	۲	۲	۲	°٤	۲۱۰ (۳٥۰)
فیزیک	۲	۲	۲	°٤	۲۱۰ (۳٥۰)
ریاضیات	٤	٤	٤	٤	٥٦۰

فراسوی اقلیدس

«فرهنگ غربی به نظم، نرمی و تقارن تمایل دارد، تا جایی که اغلب هندسهٔ کلاسیک یونان را به الگوهای طبیعت و مدل‌های حاصل از به آن تحمیل می‌کنیم» (Kenkel and Walker, ۱۹۹۶). بسیاری از فرایندهای زیستی دنیای واقعی را می‌توان با استفاده از مدل‌های ریاضی ریاضیات سنتی دبیرستانی توصیف کرد؛ اما اکثر آن‌ها فراتر از مرزهای برنامهٔ درسی سنتی دبیرستانی و در زیست‌شناسی در ساختارهای فراکتالی هستند.

اگرچه ماهیت فراکتالی اشیا فیزیکی در طبیعت به‌خوبی مستند و معلوم شده است که بسیاری از ساختارهای زیستی از الگوهای فراکتال پیروی می‌کنند، جای تعجب دارد که این دانش عمدتاً از سوی برنامه‌ریزان ریاضیات و علوم اسلوونی نادیده گرفته می‌شود. در سرفصل‌های درس زیست‌شناسی، شیمی، فیزیک و جغرافیا ذکری از واژهٔ فراکتال به میان نیامده و در سرفصل‌های ریاضی فقط یک بار ذکر شده است که فراکتال‌ها می‌توانند موضوعی برای کارهای تحقیقاتی فردی دانش‌آموزان در اوقات فراغت باشند.

من در کلاس‌های درسم معمولاً از فراکتال استفاده کرده‌ام تا شاخه‌های درختان و دستگاه تنفس و رگ‌ها را آموزش دهم، بدون اینکه قصد داشته باشم به‌طور عمیق به ریاضی فراکتال‌ها وارد شوم. دانش‌آموزان به الگوهای فراکتال طبیعت کاملاً علاقه‌مندند. من کلماتی را که مایکل اف. بارنزلی نوشته است، با آن‌ها در میان می‌گذارم:

«هندسهٔ فراکتال باعث می‌شود که همه چیز را متفاوت ببینید. خطر آن از دست دادن تصورات کودکی دربارهٔ ابرها، جنگل‌ها، کهکشان‌ها، برگ‌ها، پرها، گل‌ها، سنگ‌ها، کوه‌ها، رودخانه‌ها، فرش‌ها، آجرها و بسیاری موارد دیگر است. پس از آن، دیگر هرگز تفسیر شما از این چیزها مانند قبل نخواهد بود»[۳].

من در سال ۱۹۹۸ یک گروه بین‌المللی از دانش‌آموزان دورهٔ متوسطه را طی پروژه‌های یک‌هفته‌ای تحت عنوان نظم یا بی‌نظمی مربی‌گری می‌کردم.[۴] طی این پروژه در طبیعت به جست‌وجوی ساختارهای فراکتالی می‌پرداختیم و ویژگی‌های آن‌ها را بررسی می‌کردیم (شکل ۱). بعداً در همان سال، دانش‌آموزان تصمیم گرفتند که برای سال ۱۹۹۹، پژوهشی برای یک مسابقهٔ سالانه که برای محققان جوان تدارک دیده می‌شد، تهیه کنند. دو دانش‌آموز ۱۶ ساله (Jure Gojič و Rene Suša) از ابعاد فراکتال برگ‌ها برای برآورد آسیب‌های محیطی ناشی از ترافیک استفاده کردند. بُعد فراکتال آن‌ها با استفاده از روش شمارش مشبک برای اسکن برگ محاسبه شد. تجزیه‌وتحلیل شکل برگ با استفاده از هندسهٔ فراکتال در مقاله‌ای با جزئیات توضیح داده شده است (Hartvigsen, ۲۰۰۰). در سال بعد، همان دو دانش‌آموز برای کار خود با عنوان «بهینه‌سازی فضا و پر کردن سطح»، با استفاده از ساختارهای فراکتال، و کشف موضوعات مورد علاقه، نه‌تنها در زیست‌شناسی بلکه در سایر زمینه‌های تحقیق و کاربردی، جایزهٔ دولتی گرفتند (Batty, ۲۰۰۸; Bru et al, ۲۰۰۸; Kaligarič et al, ۲۰۰۸).

به نظر بیشتر دانش‌آموزان، زیست‌شناسی سرزمینی امن درون مجمع‌الجزایر رشته‌های علمی است

شکل ۱. فراکتال زنده از جنس دانش‌آموزان و معلمان

درسی که آموختم این بود که حتی افراد ۱۶ ساله نیز می‌توانند ایده‌های اساسی مانند غیرخطی بودن یا فراکتال را درک کنند. بنابراین، عدم معرفی چنین موضوعاتی در آموزش علوم یا ریاضیات تنها ممکن است نشان‌دهندهٔ ماهیت محافظه‌کارانهٔ روش‌های تدریس علوم و ریاضیات و ناآگاهی برنامه‌ریزان درسی و معلمان باشد.

رایانه در همه‌جا

رایانه در همه‌جا، حتی در آزمایشگاه‌های علوم مدارس وجود دارند. در آنجا معمولاً از رایانه‌های مجهز به داده‌پرداز و چند حسگر برای انجام آزمایش استفاده می‌کنند. وزارت آموزش‌وپرورش اسلوونی اهمیت آن‌ها را به رسمیت شناخته و همهٔ مدارس متوسطه از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۴ کمک‌های مالی برای این

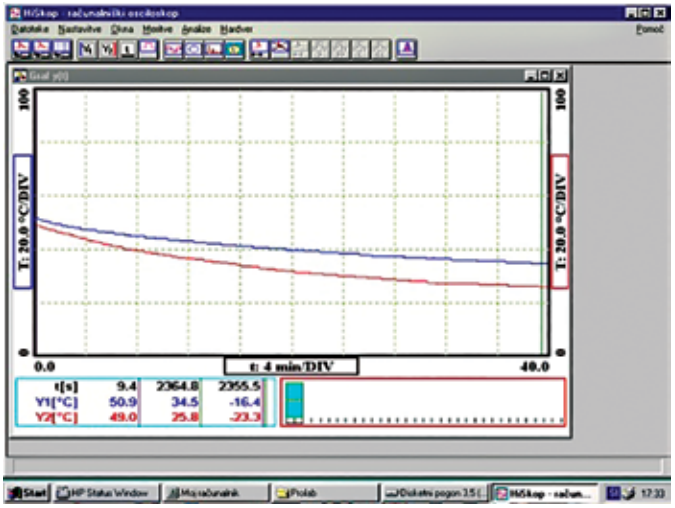
تجهیزات دریافت کردند. در سال‌های بعد مشخص شد که به‌ندرت از چنین تجهیزاتی در کلاس‌های درس استفاده می‌شود (Šorgo et al, ۲۰۱۰). بنابراین، می‌توان نتیجه‌ای مشابه نتیجه مک فارلین و ساکلاریو (McFarlane and Sakellariou, ۲۰۰۲) برای انگلیس و ولز، گرفت: «داده‌پردازها جایگاهی در کلاس‌های معمولی علوم پیدا نکرده‌اند، بلکه فقط به‌صورت دکور باقی مانده‌اند». این وسایل حتی اگر هم در آزمایشگاه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، مهم‌ترین نقش آن‌ها تبدیل دستورالعمل‌های آزمایشگاهی از کتاب به رایانه است.

در صورت استفاده از داده‌پردازها به‌صورت «خودران»[۵]، با داده‌های از پیش بارگذاری‌شده، تنها کاری که دانش‌آموز باید انجام دهد، این است که یک حسگر را در شیئی فرو ببرد، نموداری ترسیم و در گزارش خود از آن استفاده کند. دیگر نیازی به ریاضیات بیشتر نیست. با این حال، هنگامی که معلم برای تقویت درک از رایانه استفاده می‌کند (Šorgo and Kocijančič, ۲۰۰۶; Šorgo et al, ۲۰۰۸) دانستن برخی مفاهیم ریاضی اجتناب‌ناپذیر است.

یکی از این موارد تبدیل آنالوگ به دیجیتال و به‌عکس است. اینکه «چرا نمودارهای ما در خطوطی پله‌ای پدیدار می‌شوند؟» اغلب برای پردازش با مبدل‌های دیجیتال آنالوگ ۸ بیتی اولیه استفاده می‌شود. امروزه، بیشتر مبدل‌ها ۱۶ بیت هستند و این الگو عمدتاً وقتی تشخیص داده می‌شود که دانش‌آموزان سعی در بزرگنمایی منحنی دارند.

یکی از نمونه‌های خوب، نموداری است که در شکل ۲ نشان داده شده است و از کارهای آزمایشگاهی روی ویژگی عایق‌بودن مو و پر به‌دست آمده است. می‌توانیم الگوی پله‌ای را که در نتیجهٔ استفاده از مبدل ۸ بیتی آنالوگ دیجیتال به‌دست آمده است تشخیص دهیم. در چنین تبدیلی، اندازه‌گیری پیوسته به مقادیر گسستهٔ n (۲) تبدیل می‌شود. می‌توان با تبدیل نقشه‌های آزمایشی خود به‌راحتی چنین الگویی را برای دانش‌آموزان توضیح دهیم و با تبدیل نمودارهای آزمایشی به ۲ بیتی و ۳ بیتی وارد زمینه‌های ریاضی توابع نمایی و اعداد دودویی (باینری) شویم (Šorgo and Kocijančič, ۲۰۰۴).

مسئلهٔ دیگر، کالیبراسیون حسگرهاست. دانش‌آموزان در مدرسه به‌ندرت با کالیبراسیون درگیر می‌شوند، به‌خصوص اگر معلمان مقادیر را از پیش بارگذاری کرده باشند. هنگامی که دانش‌آموزان

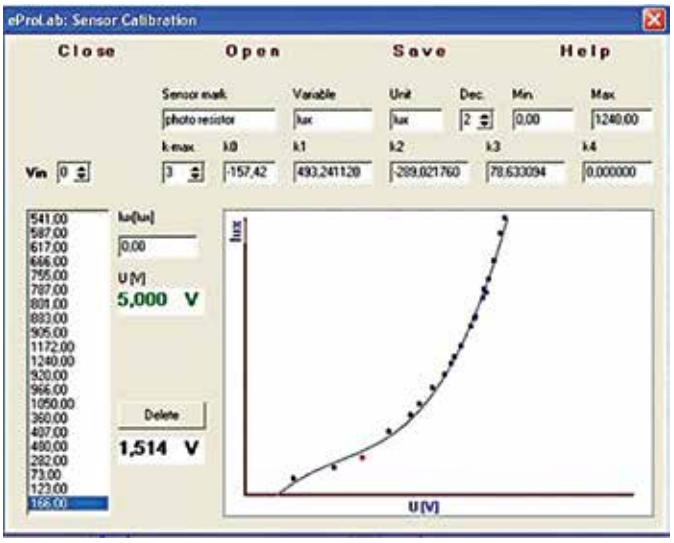


شکل ۲. صفحهٔ نمایش تفاوت دمای بطری‌های آب گرم، یکی عایق‌شده با پَر و دیگری بطری‌غیرعایق

در سرفصل‌های استاندارد به‌ندرت بین زیست‌شناسی و ریاضیات ارتباطی برقرار است

مجبور به کالیبراسیون حسگرها می‌شوند، حتی فیلسوفان آینده یا معلمان مهدکودک‌ها هم باید با این فکر که حسگرها مقادیر فیزیکی یا شیمیایی را به ولتاژ تبدیل می‌کنند، آشنا باشند و باید این دو مقدار را به هم مرتبط کنند (شکل ۳). آنان از طریق چنین کارهایی با اصطلاحاتی مانند «برازش منحنی» آشنا می‌شوند و از دانش ریاضی خود در مورد چندجمله‌ای‌ها و توابع استفاده می‌کنند (Kocijančič and Jamsek, ۲۰۰۴; Šorgo and Kocijančič, ۲۰۰۴).

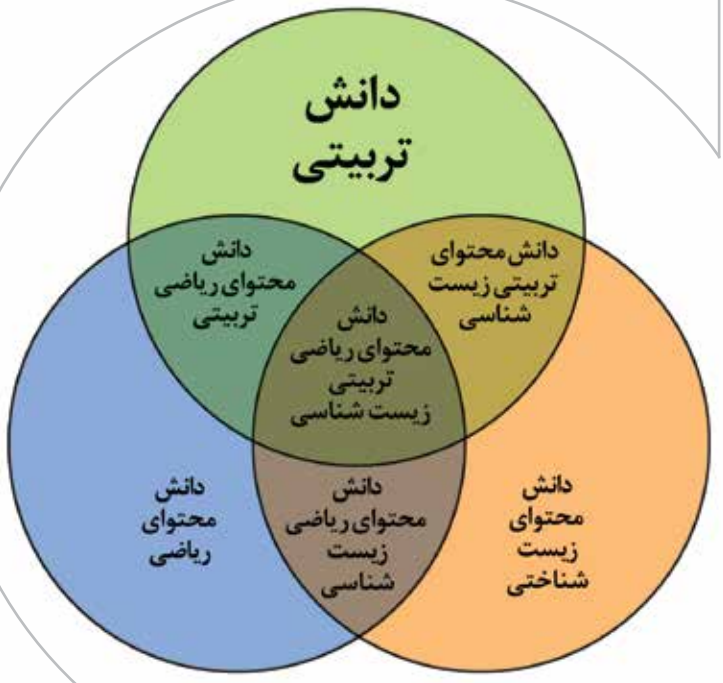
شکل ۳. نمودار کالیبراسیون حسگر خانگی غیرخطی دما با استفاده از داده‌های e-ProLab



در اسلوونی مدارس و معلمان برای انتخاب مطالب و موضوعات انتخابی آزادی اندکی دارند؛ اما در انتخاب روش‌های تدریس آزادند

برقراری نخستین پیوندها بین زیست‌شناسی و ریاضیات محکوم به موفقیت محدود یا حتی به شکست است. ارتباط دادن زیست‌شناسی با ریاضیات برای موفقیت ذهن لازم است. دانش‌آموزانی که زیست‌شناسی می‌خوانند تا شغلی بیابند؛ اما «ریاضی را دوست ندارند»، ریاضیات را نادیده می‌گیرند. افزودن یک یا دو موضوع ریاضی از سوی متخصصان و کارشناسان ریاضی به برنامه‌های درسی زیست‌شناسی کارایی نخواهد داشت، زیرا دانش‌آموزان پیوندهای بین آن‌ها را به خودی خود کشف نمی‌کنند. حتی اگر کسی این پیوندها را به آن‌ها نشان بدهد، احتمالاً هنگام بحث دربارهٔ مسائل زیست‌شناختی، در حاشیه باقی می‌ماند (Ortiz, ۲۰۰۶). بنابراین، پیوند این دو علوم باید از همان ابتدای دبستان آغاز شود و در سراسر دوره‌های پیش از دانشگاه ادامه یابد.

این بدان معنا نیست که معلمان زیست‌شناسی باید ریاضیات تدریس کنند، یا معلمان ریاضی باید زیست‌شناسی آموزش دهند. هر دو موضوع باید توسط متخصصان تدریس شوند؛ اما باید در بین برخی از زمینه‌هایی که هم‌پوشانی دارند، بخش‌های جذاب آموزشی را یافت. دانش ریاضی- زیست‌شناسی یا زیست‌شناسی- ریاضی باید در اختیار همهٔ معلمان قرار داده شود. یکی از الگوهای مناسب در این مورد، الگوی دانش محتوای آموزشی است (Shulman, ۱۹۸۶, ۱۹۸۷) که توسط میشرا و کوهلر (Mishra and Koehler, ۲۰۰۶) به دانش محتوای فناوری آموزشی ارتقا یافته و توسط اوسالک (Usak, ۲۰۰۹) در زیست‌شناسی سلولی مورد استفاده قرار گرفته است. مهم‌ترین بخش از مدل مورد نظر بخش اصلی آن به نام دانش محتوای زیست‌شناختی ریاضی آموزشی است (شکل ٤).



شکل ٤. مدلی از دانش محتوای ریاضیات زیستی تربیتی

از آنجا که معلمان مهم‌ترین عامل آموزشی در مدارس هستند (Kalin and Zuljan, ۲۰۰۷)، معرفی هر روند جدید را باید از آنان آغاز کرد. هنگام برقراری پیوند بین ریاضیات و زیست‌شناسی، باید از رایانه‌ها درس بگیریم که خرید رایانه آسان‌ترین بخش کار است (Špernjak and Šorgo, ۲۰۰۹). بنابراین، تدوین برنامهٔ درسی مبتنی بر محتوای زیست‌شناسی و ریاضیات نیز ساده‌ترین بخش خواهد بود؛ اما تبدیل محتوا و روش‌های منسوخ ممکن است به زمان و تلاش بیشتری نیاز داشته باشد. بنابراین، ایمن‌ترین راه برای پیوند این دو رشته، ارتقای آموزش‌های حرفه‌ای ریاضیات زیستی یا زیست‌شناسی ریاضی برای معلمان است.

منابع

این مقاله از این منبع دریافت شده است. برای یافتن منابع و مآخذ آن می‌توانید به این وبگاه مراجعه کنید:
https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2931666/

پی‌نوشت‌ها

1. Andrej Šorgo, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, University of Maribor, Koroška c. 160, 2000 Maribor, Slovenia, is.bm-inu@ogros.jerdna
2. terra incognita
3. Michael F. Barnsley, 1993, *blue right-pointing triangle*, p. 3.
4. www.websammlung.at/IAAC/gmunden/gmunden1.htm
5. plug and play