



## Investigating the Compatibility of Prerequisite Physics Concepts with Tenth Grade Biology Topics in the Secondary School Science Curriculum

Nahid Mohammadiparsa <sup>1,\*</sup>, Omid Bahrami <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Physics Education, Farhangian University, P.O. Box 14665-889, Tehran, Iran.

\* Corresponding author: (✉) [n.mohammadiparsa@cfu.ac.ir](mailto:n.mohammadiparsa@cfu.ac.ir)

### ABSTRACT

**Background and Objectives:** Many school biology concepts rely on physical mechanisms for explaining phenomena; however, this interdisciplinary dependency has not been systematically investigated in the design of curriculum sequences. The purpose of this study was to identify the physical prerequisites of key 10th-grade biology concepts and analyze the longitudinal alignment of these prerequisites within the formal structure of the secondary science curriculum. **Methods:** Employing a qualitative approach through analytical-conceptual document analysis, the primary source was the 10th-grade biology textbook (2025 edition), with secondary school science textbooks (grades 7–9) and 10th-grade physics analyzed comparatively. The unit of analysis was defined as an explanatory concept-any textual or visual segment explicating a biological phenomenon via physical mechanisms. Analysis proceeded in three stages: concept extraction, reconstruction of dependencies, and alignment evaluation across temporal, depth, and contextual dimensions. **Findings:** The results indicated that out of 73 dependent concepts, 35.6% were completely absent and 20.5% had insufficient depth. Misalignments were clustered in the areas of pressure and fluid flow, diffusion, and gradients. **Conclusion:** The challenges of learning school biology cannot be attributed solely to the complexity of concepts; rather, the conceptual architecture of the curriculum is a key factor. The proposed framework of longitudinal conceptual coherence can serve as a tool for evaluating and redesigning interdisciplinary alignment in science and assist policymakers in designing more coherent curricula.

**Keywords:** curriculum coherence, longitudinal alignment, conceptual dependency, education, tenth-grade biology, physical prerequisites.

### RESEARCH ARTICLE

Received: 10 March 2026

Revised: 14 March 2026

Accepted: 17 March 2026

Published online: 18 March 2026

ISSN (Online): [2717-2252](https://doi.org/10.2717-2252)

**Citation:** Mohammadi Parsa N, and Bahrami O (2026). Investigating the Compatibility of Prerequisite Physics Concepts with Tenth Grade Biology Topics in the Secondary School Science Curriculum. *Research in Biology Education*, 5(2),73-97.

© The author(s): Nahid Mohammadi Parsa\*, Omid Bahrami

Publisher: Farhangian University



پژوهش در آموزش زیست‌شناسی، سال ۱۴۰۴، شماره ۲، صفحات ۹۷-۷۳



## پژوهش در آموزش زیست‌شناسی

<https://Bioedu.cfu.ac.ir>

### بررسی سازگاری مفاهیم فیزیکی پیش‌نیاز با مباحث زیست‌شناسی پایه دهم در برنامه درسی علوم متوسطه

ناهید محمدی پارسا <sup>۱</sup> ID، امید بهرامی <sup>۱</sup> ID

۱. گروه آموزش فیزیک، دانشگاه فرهنگیان، صندوق پستی ۸۸۹-۱۴۶۶۵، تهران، ایران.  
\* نویسنده مسئول: [n.mohammadiparsa@cfu.ac.ir](mailto:n.mohammadiparsa@cfu.ac.ir) (✉)

#### چکیده

**پیشینه و اهداف:** بسیاری از مفاهیم زیست‌شناسی مدرسه‌ای برای تبیین پدیده‌های خود به سازوکارهای فیزیکی متکی‌اند، اما این وابستگی میان‌رشته‌ای در طراحی توالی برنامه درسی به‌طور نظام‌مند بررسی نشده است. هدف این پژوهش، شناسایی پیش‌نیازهای فیزیکی مفاهیم کلیدی زیست‌شناسی پایه دهم و تحلیل هم‌ترازی طولی این پیش‌نیازها در ساختار رسمی برنامه درسی علوم متوسطه بود. **روش‌ها:** این پژوهش با رویکرد تحلیل محتوای کیفی هدایت‌شده انجام شد. منابع تحلیل شامل کتب زیست‌شناسی و فیزیک پایه دهم (چاپ ۱۴۰۴) و کتب علوم تجربی پایه‌های هفتم تا نهم بود. واحد تحلیل مفهوم تبیینی تعریف شد و تحلیل در سه مرحله شامل استخراج مفاهیم، بازسازی وابستگی‌ها و بررسی هم‌ترازی در ابعاد زمانی، سطح و بافت انجام گرفت. **یافته‌ها:** نتایج نشان داد که از میان ۷۳ مفهوم وابسته، ۳۵/۶ درصد کاملاً غایب و ۲۰/۵ درصد دارای عمق ناکافی هستند. ناهماهنگی‌ها به‌صورت خوشه‌ای در حوزه‌های فشار و جریان سیالات، انتشار و گرادیان متمرکزند. **نتیجه‌گیری:** چالش‌های یادگیری زیست‌شناسی مدرسه‌ای را نمی‌توان صرفاً به پیچیدگی مفاهیم نسبت داد، بلکه معماری مفهومی برنامه درسی عامل کلیدی است. چارچوب پیشنهادی انسجام مفهومی طولی می‌تواند ابزاری برای ارزیابی و بازطراحی هم‌ترازی میان‌رشته‌ای در علوم باشد و به سیاست‌گذاران در طراحی برنامه‌های درسی منسجم‌تر یاری رساند.

**واژه‌های کلیدی:** انسجام برنامه درسی، هم‌ترازی طولی، وابستگی مفهومی، آموزش، زیست‌شناسی پایه دهم، پیش‌نیازهای فیزیکی.

#### مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۲/۱۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۲/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۲۶

تاریخ انتشار آنلاین: ۱۴۰۴/۱۲/۲۷

شاپا الکترونیکی: ۲۷۱۷-۲۲۵۲



**ارجاع:** محمدی پارسا، ناهید و بهرامی، امید (۱۴۰۴). بررسی سازگاری مفاهیم فیزیکی پیش‌نیاز با مباحث زیست‌شناسی پایه دهم در برنامه درسی علوم متوسطه. پژوهش در آموزش زیست‌شناسی، ۵(۲)، ۷۳-۹۷.  
© نویسندگان. ناهید محمدی پارسا و امید بهرامی  
ناشر: دانشگاه فرهنگیان

## مقدمه و پیشینه پژوهش

انسجام برنامه درسی<sup>۱</sup> یکی از مفاهیم بنیادین در مطالعات برنامه‌ریزی درسی و آموزش علوم است که به نحوه توالی، پیوستگی و هم‌ترازی مفاهیم در طول زمان اشاره دارد. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که یادگیری عمیق زمانی رخ می‌دهد که مفاهیم در یک مسیر رشد تدریجی و نظام‌مند سازمان‌دهی شوند و دانش‌آموز بتواند دانش پیشین خود را به صورت معنادار در موقعیت‌های جدید به کار گیرد (Schmidt et al., 2005; Webb, 1997). در مقابل، گسست مفهومی و فقدان هم‌ترازی عمودی میان پایه‌های تحصیلی می‌تواند به یادگیری سطحی، انتقال‌ناپذیری دانش و شکل‌گیری فهم‌های جزیره‌ای منجر شود. در ادبیات بین‌المللی، رویکرد توالی یادگیری<sup>۲</sup> دقیقاً با هدف رفع چنین گسست‌هایی مطرح شده است و بر طراحی مسیرهای رشد مفهومی مبتنی بر منطق شناختی و ساختار دانش تأکید دارد (Duncan & Rivet, 2013; Duschl, 2019; National Research Council, 2007). مطالعاتی در حوزه انسجام برنامه درسی علوم نشان داده‌اند که توالی یادگیری، زمانی بیشترین اثربخشی را دارد که در سطح سیاست برنامه درسی، تدریس و ارزشیابی به‌طور هم‌زمان هم‌تراز شوند (Jin et al., 2019)، وگرنه حتی توالی ظاهراً منظم محتوا نیز لزوماً به انسجام تجربیات یادگیری منجر نمی‌شود.

در آموزش علوم، مسئله انسجام زمانی پیچیده‌تر می‌شود که مفاهیم یک رشته پیش‌نیاز تبیینی برای مفاهیم رشته‌ای دیگر باشند. به‌ویژه در پیوند میان فیزیک و زیست‌شناسی، بسیاری از فرایندهای زیستی بر مفاهیمی چون فشار، گرادیان، جریان سیالات، انتقال جرم و انرژی، و تعادل دینامیکی استوارند. ادبیات آموزش علوم بارها تأکید کرده است که ادغام میان‌رشته‌ای زمانی معنادار است که از سطح زمینه‌سازی فراتر رود و به بازساخت ساختار مفهومی منجر شود (Bao & Koenig, 2019; Redish & Cooke, 2013). در دهه‌های اخیر، گزارش‌هایی مانند *Vision and Change* در آموزش زیست‌شناسی دانشگاهی و چارچوب‌های جدید آموزش علوم مدرسه‌ای، بر نقش مفاهیم فرارشته‌ای<sup>۳</sup> مانند سیستم‌ها، انرژی، ساختار-کارکرد و علت-معلول به‌عنوان محورهای انسجام‌بخش میان رشته‌ها تأکید کرده‌اند (National Research Council, 2007). این نگاه، هم‌ترازی مفهومی میان فیزیک و زیست‌شناسی را نه یک گزینه تکمیلی، بلکه پیش‌شرط دستیابی به شایستگی‌های علمی قرن بیست‌ویکم معرفی می‌کند. مطالعات انجام‌شده در تقاطع آموزش فیزیک و زیست‌شناسی نشان می‌دهند که بدون توجه به اصالت میان‌رشته‌ای<sup>۴</sup> و تفاوت‌های معرفت‌شناختی دو رشته، تلاش برای میان‌رشته‌ای‌سازی غالباً به افزودن مثال‌های زیستی به چارچوب‌های سنتی

<sup>1</sup> Curriculum coherence

<sup>2</sup> Learning progressions

<sup>3</sup> crosscutting concepts

<sup>4</sup> disciplinary authenticity

فیزیک محدود می‌شود و به تغییر عمیق در فهم دانش‌آموزان نمی‌انجامد (Redish et al., 2014; Watkins et al., 2012). پروژه‌هایی نظیر NEXUS (Geller et al., 2021) نشان داده‌اند که بدون توجه به اصالت میان‌رشته‌ای و منطبق درونی مفاهیم، تلاش برای ادغام فیزیک و زیست اغلب به افزودن مثال‌های زیستی به چارچوب‌های فیزیکی موجود محدود می‌شود و به تغییر عمیق در فهم دانش‌آموزان نمی‌انجامد (Watkins et al., 2012). به عبارت دیگر، پرسش اصلی در ادغام فیزیک و زیست‌شناسی، نحوه سازمان‌دهی زنجیره پیش‌نیازهای مفهومی در دو رشته است، نه صرفاً حجم یا تنوع محتوا (Redish & Cooke, 2013).

در سطح آموزش مدرسه‌ای، این مسئله اهمیت مضاعف می‌یابد؛ زیرا ساختار برنامه درسی معمولاً به صورت رشته‌ای سازمان‌دهی شده است و هر درس منطق درون‌رشته‌ای خود را دنبال می‌کند. در چنین شرایطی، این پرسش مطرح می‌شود که آیا مفاهیم فیزیکی موردنیاز برای فهم مفاهیم زیستی، در زمان مناسب، با عمق کافی و در زمینه‌ای قابل انتقال آموزش داده می‌شوند یا خیر. پژوهش‌های مرتبط با بدفهمی‌های دانش‌آموزان درباره مفاهیمی چون انتشار و اسمز نشان داده‌اند که ضعف در درک مبانی فیزیکی این مفاهیم به برداشت‌های سطحی و نادرست منجر می‌شود (Odom, 1995; Zihlerl & Torkar, 2022). با این حال، بخش عمده این مطالعات بر شناسایی بدفهمی‌های یادگیرندگان تمرکز داشته‌اند و کمتر به ساختار برنامه درسی به‌عنوان منشأ بالقوه این مشکلات پرداخته‌اند. در حوزه تغییر مفهومی نیز بارها گزارش شده است که بدون ایجاد توالی‌های یادگیری که فرصت بازبینی مکرر مفاهیم در بافت‌های متفاوت را فراهم کنند، بدفهمی‌ها نسبت به مفاهیم بنیادینی چون تعادل، گرادیان و جریان، پایدار می‌مانند (Posner et al., 1982; Duit & Treagust, 2003). این یافته‌ها، توجه به نقش برنامه درسی به‌عنوان معمار توالی تجارب را در تحلیل بدفهمی‌ها ضروری می‌سازد.

در ادبیات برنامه‌درسی، مفهوم هم‌ترازی<sup>۱</sup> عمدتاً در ارتباط با تطابق اهداف، محتوا و ارزشیابی بررسی شده است (Webb, 1997; Porter, 2002). پژوهش‌های مرتبط با انسجام برنامه درسی نشان می‌دهند که هم‌ترازی عمودی میان پایه‌ها و هم‌ترازی افقی میان دروس برای شکل‌گیری دانش قابل‌انتقال ضروری است (Schmidt et al., 2005; Jin et al., 2019). با این حال، بررسی نظام‌مند هم‌ترازی مفهومی میان دروس مختلف علوم در سطح متوسطه، به‌ویژه در زمینه پیش‌نیازهای تبیینی، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در بسیاری از مطالعات هم‌ترازی، واحد تحلیل، اسناد سیاستی یا آزمون‌های معیارمحور بوده است و کمتر به نقشه‌ی مفهومی برنامه‌های درسی به‌عنوان موضوع تحلیل پرداخته شده است؛ این در حالی است که پژوهش‌های جدیدتر در آموزش علوم، بر تحلیل شبکه‌ای مفاهیم و مسیرهای

<sup>1</sup> Alignment

پیش‌نیازی برای فهم پدیده‌های پیچیده تأکید دارند (Jin et al., 2019). از این منظر، هم‌ترازی واقعی زمانی رخ می‌دهد که زنجیره‌های مفهومی دروس مختلف، به‌طور طولی و میان‌رشته‌ای با یکدیگر سازگار باشند، نه این‌که صرفاً اهداف کلی مشابهی را بیان کنند.

در ایران نیز مطالعات برنامه‌درسی بر اهمیت توالی منطقی مفاهیم و پرهیز از گسست‌های ساختاری تأکید کرده‌اند (Fathi-Vajargah, 2013; Maleki, 2016). با این وجود، تحلیل‌های میان‌رشته‌ای مشخص که نشان دهد چگونه ساختار یک درس می‌تواند بر قابلیت فهم درس دیگر اثر بگذارد، محدود بوده است. این خلأ پژوهشی به‌ویژه در مورد زیست‌شناسی پایه دهم اهمیت دارد؛ زیرا بخش قابل توجهی از مفاهیم این پایه بر سازوکارهای فیزیکی استوار است، در حالی که آموزش این سازوکارها در درس فیزیک ممکن است از نظر زمانی یا سطح تبیینی هم‌راستا نباشد. از سوی دیگر، گزارش‌های تحلیلی درباره تحولات آموزش علوم در جهان نشان می‌دهند که حرکت به‌سوی برنامه‌های یکپارچه علوم، بدون توجه کافی به هم‌ترازی مفهومی، گاه به مجموعه‌ای از واحدهای پراکنده با برچسب میان‌رشته‌ای منجر شده است که از منظر ساختار دانش، انسجام چندانی ندارند (Fathi-Vajargah, 2013; Schmidt et al., 2005) در چنین زمینه‌ای، نیاز به مطالعاتی که به‌طور مشخص، الگوهای هم‌ترازی و ناهماهنگی میان رشته‌های علوم را آشکار کنند، برجسته‌تر می‌شود.

بر این اساس، مسئله اصلی این پژوهش آن است که آیا پیش‌نیازهای مفهومی فیزیکی موردنیاز برای فهم مفاهیم کلیدی زیست‌شناسی پایه دهم، در ساختار برنامه درسی متوسطه به‌صورت هم‌تراز و در توالی مناسب سازمان‌دهی شده‌اند یا خیر. به‌طور مشخص، این مطالعه در پی پاسخ به سه پرسش است: (۱) چه مفاهیم فیزیکی به‌عنوان پیش‌نیاز تبیینی برای مفاهیم منتخب زیست دهم قابل شناسایی‌اند؟ (۲) این مفاهیم در برنامه درسی فیزیک در چه پایه‌ای، با چه عمقی و در چه بافتی آموزش داده می‌شوند؟ (۳) الگوی هم‌ترازی یا ناهماهنگی میان این دو ساختار مفهومی چگونه است؟ بدین ترتیب، تمرکز مطالعه حاضر نه بر رابطه کلی فیزیک و زیست‌شناسی، بلکه بر هم‌ترازی طولی و مفهومی میان دو زنجیره برنامه درسی است.

برای پاسخ به این پرسش‌ها، مطالعه حاضر با رویکرد تحلیل اسنادی نظام‌مند، مفاهیم زیستی و پیش‌نیازهای فیزیکی آن‌ها را استخراج و در چارچوبی تحلیلی مقایسه کرده است. سهم این پژوهش صرفاً در شناسایی موارد ناهماهنگی نیست، بلکه در ارائه یک چارچوب تحلیلی برای ارزیابی هم‌ترازی مفهومی میان‌رشته‌ای است؛ چارچوبی که می‌تواند در بازنگری برنامه درسی و طراحی مسیرهای رشد مفهومی منسجم‌تر به‌کار گرفته شود. این چارچوب با ترکیب شاخص‌های تقدم و تأخر زمانی، سطح شناختی و کارکرد مفهومی، امکان تحلیل الگوهای خوشه‌ای ناهماهنگی

(به‌ویژه در حوزه‌هایی مانند فشار، جریان، گرادیان و سیستم‌ها) را فراهم می‌کند و نشان می‌دهد که این ناهماهنگی‌ها، تصادفی و پراکنده نیستند، بلکه بازتاب منطق طراحی جداگانه دو برنامه درسی فیزیک و زیست‌شناسی‌اند. از این منظر، مطالعه حاضر می‌کوشد بحث انسجام برنامه درسی علوم را از سطح توصیف مشکلات آموزشی به سطح تحلیل ساختاری و نظری ارتقا دهد.

## روش پژوهش

این پژوهش با رویکرد کیفی و به‌صورت تحلیل محتوای کیفی هدایت‌شده انجام شد تا پیش‌نیازهای مفهومی فیزیکی ۷۳ مفهوم کلیدی زیست‌شناسی پایه دهم را شناسایی و میزان هم‌ترازی طولی آن‌ها را در ساختار برنامه درسی علوم متوسطه بررسی کند. در این رویکرد، با اتکا به چارچوب نظری موجود، داده‌های حاصل از اسناد از طریق فرآیندهای کدگذاری، طبقه‌سازی و مقایسه تحلیل شدند. کتاب درسی زیست‌شناسی پایه دهم رشته علوم تجربی (چاپ ۱۴۰۴) به‌عنوان سند رسمی اجرایی برنامه درسی ملی، منبع اصلی داده‌ها بود؛ در حالی که کتاب‌های علوم تجربی دوره اول متوسطه (پایه‌های هفتم تا نهم) و فیزیک پایه دهم برای تعیین جایگاه زمانی و سطح مفاهیم فیزیکی به‌صورت تطبیقی تحلیل شدند (جداول ۱-۷). واحد تحلیل، واحد مفهومی تبیینی تعریف گردید؛ یعنی هر بخش از متن، فعالیت، تصویر، نمودار یا تمرینی که پدیده زیستی را از طریق سازوکار علی یا کمی تبیین می‌کند و فهم آن مستلزم ۱ تا ۳ مفهوم فیزیکی است. برای تضمین اعتبار در شناسایی این واحدها و پرهیز از معیارهای سلیقه‌ای، معیارهای عملیاتی مشخصی تدوین شد؛ بدین معنا که هر بخش متنی یا تصویری تنها در صورتی به‌عنوان مفهوم تبیینی کدگذاری می‌شد که دارای سه ویژگی هم‌زمان باشد: حضور واژگان بنیادین فیزیک (نظیر فشار، نیرو، انرژی، گرادیان و جریان)، برقراری رابطه علی مستقیم میان پدیده زیستی و سازوکار فیزیکی، و برخورداری از سطحی از توضیح که قابل طبقه‌بندی در مقیاس‌های توصیفی، کیفی یا نیمه‌کمی باشد.

فرایند تحلیل در سه مرحله متوالی پیش رفت. در مرحله نخست، با خوانش خطبه‌خط کتاب زیست‌شناسی دهم، تمامی مفاهیم وابسته به فیزیک (مانند انتقال مواد در غشا، فشار اسمزی، جریان شیره گیاهی، تبادلات گازی و تعادل سامانه‌های زیستی) استخراج و فهرست شدند. مرحله دوم به بازسازی پیش‌نیازهای مفهومی اختصاص یافت؛ جایی که ساختار منطقی تبیین هر مفهوم زیستی واکاوی شد تا سطح لازم برای فهم زیستی آن تعیین گردد. در این پژوهش، سه سطح معنایی برای عمق تبیینی مفاهیم تعریف شد: سطح توصیفی که در آن صرفاً نام مفهوم فیزیکی ذکر می‌شود بدون توضیح سازوکار؛ سطح کیفی که در آن روابط و سازوکارها توضیح داده می‌شوند اما بدون استفاده از فرمول و

داده‌های عددی؛ و سطح نیمه‌کمی که شامل استفاده از نسبت‌ها، مقایسه‌های کمی یا داده‌های عددی ساده برای تبیین دقیق‌تر پدیده است. برای مثال، تبیین جریان سیال در آوندها در سطح نیمه‌کمی نیازمند درک ارتباط میان اختلاف فشار و مقاومت است. در مرحله سوم، پیش‌نیازهای استخراج‌شده با توالی رسمی آموزش مفاهیم در کتاب‌های پیشین مقایسه شدند و هم‌ترازی در سه بعد عملیاتی‌شده ارزیابی گردید: تناسب سطح تبیینی (جدول ۱-۷)، قابلیت انتقال بافتی (نوع شکاف: کاربردی/عمقی/کامل؛ جدول ۸) و تقدم/تأخر زمانی (جدول ۱۰). نتایج این مقایسه‌ها در جداول تطبیقی سازمان‌دهی شد تا الگوهای خوشه‌ای ناهماهنگی آشکار شود. در این چارچوب، قابلیت انتقال بافتی به‌عنوان شاخصی برای سنجش میزان آمادگی مفهوم فیزیکی آموزش‌داده‌شده در یک بافت (مانند درس فیزیک یا علوم) جهت به‌کارگیری در تبیین پدیده‌ای در بافت دیگر (مانند درس زیست‌شناسی) تعریف شده است؛ به این معنا که آیا ساختار مفهومی دانش‌آموز اجازه می‌دهد دانش فیزیکی را به‌صورت عملی و معنادار در موقعیت زیستی جدید انتقال دهد یا خیر.

چارچوب تحلیلی پژوهش، با الهام از ادبیات هم‌ترازی برنامه درسی (Porter, 2002; Webb, 1997; Duncan & Rivet, 2013). برای تحلیل میان‌رشته‌ای بازتعریف شد؛ به‌گونه‌ای که هم‌ترازی را نه تطابق سطحی محتوا، بلکه انسجام مفهومی طولی (زمانی + سطح + بافت) معنا کرد. در این مدل ترکیبی، شاخص سطح شناختی و عمق تبیینی برگرفته از مدل وب (Webb, 1997) و شاخص توالی زمانی و تطابق سیاستی مبتنی بر مدل پورتر (Porter, 2002) استخراج و بومی‌سازی شده‌اند؛ همچنین بعد بافت به‌عنوان مؤلفه‌ای نوین برای سنجش قابلیت انتقال میان‌رشته‌ای به این مدل اضافه گردیده است. برای افزایش اعتبار تحلیلی، استخراج مفاهیم و روابط پیش‌نیازی در دو مرحله بازبینی شد، شاخص‌ها صریحاً تعریف گردیدند و تمامی استنتاج‌ها مستقیماً به شواهد متنی (گفتار در جداول ۱-۷) ارجاع داده شدند تا قابلیت ردیابی و بازتولید برای پژوهشگران دیگر فراهم آید. این رویکرد، الگوهای نظام‌مند ناهماهنگی را آشکار ساخت و مبنای استنتاج‌های بعدی را فراهم کرد.

## یافته‌ها

تحلیل نظام‌مند هفت فصل کتاب زیست‌شناسی پایه دهم نشان داد که ۷۳ مفهوم زیستی در این کتاب برای تبیین کامل خود به یک تا سه مفهوم فیزیکی وابسته‌اند. این وابستگی‌ها تصادفی یا حاشیه‌ای نیستند، بلکه در هسته سازوکارهای تبیینی زیست‌شناسی مدرسه‌ای قرار دارند. الگوی استخراج‌شده نشان می‌دهد که ناهماهنگی‌های مفهومی نه به‌صورت موردی، بلکه به‌شکل خوشه‌ای و ساختاری در سراسر کتاب توزیع شده‌اند.

تحلیل هم‌ترازی در فصل «دنیای زنده» (جدول ۱) نشان می‌دهد که اگرچه مفاهیم پایه‌ای فیزیکی مانند مشاهده، مقیاس و مدل‌سازی در دوره اول متوسطه (علوم هفتم و هشتم) آموزش داده شده‌اند، اما نحوه انتقال آن‌ها به بافت زیستی دچار ضعف است. برخلاف مفهوم مشاهده که پیشینه آموزشی دارد، مفهوم کلیدی سامانه که به‌عنوان اصل سازمان‌دهنده معرفی شده، فاقد پیشینه تحلیلی در برنامه درسی پیشین است و منجر به شکاف کامل شده است. همچنین، مفاهیمی مانند مقیاس و ابزارهای نوری اگرچه از نظر زمانی آموزش داده شده‌اند، اما عمق آموزشی آن‌ها در سطح توصیفی باقی مانده و برای تبیین پدیده‌های سلولی (مانند حد تفکیک) کافی نیست؛ موضوعی که در قالب شکاف عمقی و شکاف کاربردی خود را نشان می‌دهد. این الگو بیانگر آن است که دانش‌آموزان با مفاهیمی آشنا هستند اما آمادگی لازم برای به‌کارگیری تحلیلی آن‌ها در زیست‌شناسی را ندارند.

جدول 1- تحلیل هم‌ترازی مفاهیم فیزیکی موردنیاز فصل «دنیای زنده» با برنامه درسی

مفهوم زیستی	گفتار	مفهوم فیزیکی مرتبط	سطح تصریح در کتاب زیست	سطح مورد نیاز برای فهم زیستی	منبع آموزش رسمی فیزیک/علوم	وضعیت تقدم/تأخر آموزش فیزیک	نوع شکاف	توصیف وضعیت هم‌ترازی برنامه درسی
زیست‌شناسی علم مطالعه جانداران و پدیده‌های مربوط به آن‌هاست	گفتار ۱	مشاهده علمی، کمیت‌پذیری	صریح	کیفی	علوم هفتم (مشاهده و ثبت داده‌ها، کیفی) فصل اول و دوم	قبل	شکاف کاربردی	اصول مشاهده آموزش داده شده‌اند، اما کاربرد نظام‌مند آن‌ها در پدیده‌های زیستی تثبیت نشده است.
جانداران دارای ویژگی‌های مشترکی مانند نظم و سازمان‌یافتگی هستند	گفتار ۱	نظم، سامانه	صریح	کیفی	-	هرگز	شکاف کامل	مفهوم سامانه به‌صورت فیزیکی و تحلیلی در برنامه درسی پیشین تصریح نشده است.
برای ساختن شبکه‌ی مصنوعی چشم، از ریزتراشه‌های میکروسکوپی استفاده می‌شود.	گفتار ۱	بزرگ‌نمایی، تفکیک‌پذیری	صریح	کیفی	علوم هشتم (ابزارهای نوری، عدسی و میکروسکوپ) فصل ۱۴ و ۱۵	قبل	شکاف عمقی	ابزار نوری معرفی شده‌اند، اما پیوند آن‌ها با مشاهده زیستی به‌طور نظام‌مند برقرار نشده است.
جانداران در سطوح مختلف سازمان‌یافتگی بررسی می‌شوند	گفتار ۲	مقیاس، اندازه	صریح	کیفی	علوم هفتم فصل دوم- فیزیک دهم فصل اول (مقیاس و اندازه‌گیری، کیفی)	قبل و همزمان	شکاف کاربردی	مفهوم مقیاس وجود دارد، اما کاربرد تحلیلی آن در زیست‌شناسی پیش‌تر تثبیت نشده است.
یاخته کوچک‌ترین	گفتار ۲	مقیاس طول، حد	صریح	کیفی	علوم هفتم (اندازه)	قبل	شکاف	اندازه‌گیری مطرح

مفهوم زیستی	گفتار	مفهوم فیزیکی مرتبط	سطح تصریح در کتاب زیست	سطح مورد نیاز برای فهم زیستی	منبع آموزش رسمی فیزیک/علوم	وضعیت تقدم/تأخر آموزش فیزیک	نوع شکاف	توصیف وضعیت هم‌ترازی برنامه درسی
واحد زنده است		تفکیک			اجسام بسیار کوچک، کیفی) فصل دوم		کاربردی	شده، اما محدودیت مشاهده در مقیاس یاخته‌ای تبیین نشده است.
مدل‌ها برای ساده‌سازی و مطالعه پدیده‌های زیستی به کار می‌روند	گفتار ۳	مدل‌سازی علمی	صریح	کیفی	علوم هشتم فصل اول و دوم- فیزیک دهم فصل اول	قبل و همزمان	شکاف کاربردی	مفهوم مدل مطرح شده، اما نقش آن در تحلیل سامانه‌های زیستی پیچیده تثبیت نشده است.
زیست‌شناسی بر پایه شواهد تجربی است	گفتار ۳	اندازه‌گیری، داده	صریح	کیفی	علوم هفتم (اندازه‌گیری و داده‌پردازی، کیفی) فصل دوم	قبل	کاربردی	گردآوری داده، آموزش داده شده، اما تحلیل داده در زمینه زیستی تقویت نشده است.
زیست‌کره شامل همه نواحی دارای حیات روی زمین است	گفتار ۴	مقیاس فضایی	صریح	کیفی	علوم هشتم فصل هفتم- علوم نهم فصل دهم (مقیاس زمین و زیست‌کره، توصیفی)	قبل	شکاف کاربردی	مقیاس فضایی مطرح شده، اما انتقال آن از پدیده‌های فیزیکی به زیستی صریح نشده است.

در فصل «گوارش و جذب مواد» (جدول ۲)، تمرکز وابستگی‌ها به حوزه مکانیک و سیالات منتقل می‌شود. مفاهیمی مانند کار مکانیکی، فشار، حرکت موجی و جریان سیال نقش تبیینی مرکزی دارند. اگرچه برخی از این مفاهیم در علوم نهم یا فیزیک دهم آموزش داده می‌شوند، اما تحلیل نشان داد که چارچوب فیزیکی لازم برای تفسیر جریان ماده در سامانه‌های زیستی به‌صورت رسمی در برنامه درسی پیشین وجود ندارد. در این فصل سهم شکاف‌های کامل افزایش می‌یابد؛ به‌ویژه در مورد جریان ماده، کارایی سامانه و رابطه زمان- جذب. این یافته نشان می‌دهد که گذار از مکانیک عمومی به مکانیک زیستی بدون پل مفهومی طراحی شده صورت می‌گیرد.

### جدول 2- تحلیل هم‌ترازی مفاهیم فیزیکی موردنیاز فصل «گوارش و جذب مواد» با برنامه درسی

مفهوم زیستی	گفتار	مفهوم فیزیکی مرتبط	سطح تصریح در کتاب زیست	سطح مورد نیاز برای فهم زیستی	منبع آموزش رسمی فیزیک/علوم	وضعیت تقدم/تأخر آموزش فیزیک	نوع شکاف	توصیف وضعیت هم‌ترازی برنامه درسی
گوارش شامل فرایندهای مکانیکی و	گفتار ۱	کار مکانیکی	صریح	کیفی	فیزیک دهم (کار، کیفی) فصل دوم	هم‌زمان	شکاف کاربردی	مفهوم کار آموزش داده می‌شود، اما

توصیف وضعیت هم‌ترازی برنامه درسی	نوع شکاف	وضعیت تقدم/تأخر آموزش فیزیک	منبع آموزش رسمی فیزیک/علوم	سطح مورد نیاز برای فهم زیستی	سطح تصریح در کتاب زیست	مفهوم فیزیکی مرتبط	گفتار	مفهوم زیستی
کاربرد آن در گوارش مکانیکی پیش‌تر تثبیت نشده است.								شیمیایی است
فشار آموزش داده شده، اما تفسیر آن در خوردن مواد غذایی به دانش‌آموز واگذار می‌شود.	شکاف کاربردی	قبل	علوم نهم (فشار) فصل هشتم	کیفی	صریح	نیرو، فشار	گفتار ۱	دندان‌ها با خرد کردن غذا به گوارش کمک می‌کنند
حرکت و فشار به صورت عمومی مطرح شده‌اند، اما حرکت موجی در بافت زنده تبیین نشده است.	شکاف عمقی	قبل	علوم نهم (حرکت و فشار) فصل چهارم و فصل هشتم	کیفی	صریح	حرکت موجی، فشار	گفتار ۱	غذا در لوله گوارش به کمک حرکات دودی جابه‌جا می‌شود حرکات کرمی و قطعه قطعه کننده
مفاهیم انرژی هم‌زمان آموزش داده می‌شوند، اما اتصال آن‌ها به حرکات زیستی برقرار نمی‌شود.	شکاف کاربردی	هم‌زمان	فیزیک دهم (کار و انرژی، کیفی) فصل دوم	کیفی	ضمنی	کار و انرژی	گفتار ۱	ماهیچه‌های دیواره لوله گوارش منقبض و منبسط می‌شوند
چارچوب فیزیکی لازم برای تفسیر جریان مایعات زیستی در برنامه درسی پیشین وجود ندارد.	شکاف کامل	هرگز	—	کیفی	صریح	جریان سیال	گفتار ۲	شیره‌های گوارشی به درون لوله گوارش ترشح می‌شوند
مفهوم سطح وجود دارد، اما نقش آن در افزایش کارایی جذب تثبیت نشده	شکاف عمقی	قبل	ریاضی/علوم پایه	کیفی	صریح	نسبت سطح به حجم	گفتار ۲	سطح داخلی روده باریک با پرزها افزایش یافته است
انتشار آموزش داده شده، اما کاربرد آن در جذب مواد غذایی به صورت نظام‌مند برقرار نشده است.	شکاف کاربردی	قبل	علوم هفتم (تبادل با محیط) فصل پانزدهم	کیفی	صریح	انتشار، انتقال ماده	گفتار ۲	جذب مواد غذایی از دیواره روده انجام می‌شود
چارچوب فیزیکی انتقال ماده در سامانه‌های زیستی در برنامه درسی پیشین ارائه نشده است.	شکاف کامل	هرگز	—	کیفی	صریح	جریان ماده	گفتار ۲	مواد جذب شده وارد خون یا لنف می‌شوند
مفهوم کارایی در برنامه درسی	شکاف کامل	هرگز	—	کیفی	صریح	کارایی سامانه	گفتار ۲	روده باریک محل اصلی جذب مواد

مفهوم زیستی	گفتار	مفهوم فیزیکی مرتبط	سطح تصریح در کتاب زیست	سطح مورد نیاز برای فهم زیستی	منبع آموزش رسمی فیزیک/علوم	وضعیت تقدم/تأخر آموزش فیزیک	نوع شکاف	توصیف وضعیت هم‌ترازی برنامه درسی
غذایی است								متوسطه به‌صورت مفهومی مستقل مطرح نشده است
سرعت عبور غذا بر میزان جذب اثر می‌گذارد	گفتار ۲	زمان ماند، سرعت حرکت	ضمنی	کیفی	—	هرگز	شکاف کامل	رابطه زمان و جذب به‌صورت کیفی بیان می‌شود، بدون پشتوانه مفهومی فیزیکی پیشین

الگوی مشابهی در فصل «تبادلات گازی» مشاهده شد (جدول ۳). مفاهیمی نظیر انتشار، گرادیان غلظت، سطح تبادل و اختلاف فشار پیش‌تر در برنامه درسی مطرح شده‌اند، اما در سطح موردنیاز برای تبیین سامانه تنفسی تثبیت نشده‌اند. شکاف‌ها در این فصل بیشتر از نوع کاربردی و عمقی هستند. به‌عبارت دیگر، مفهوم وجود دارد، اما قابلیت انتقال تحلیلی آن به بافت زیستی به‌طور نظام‌مند پرورش نیافته است. مواردی مانند رابطه تغییر حجم و فشار در تهویه ششی نشان می‌دهد که دانش‌آموز باید استنتاج میان‌رشته‌ای انجام دهد بدون آنکه این استنتاج پیش‌تر مدل‌سازی شده باشد

جدول 3- تحلیل هم‌ترازی مفاهیم فیزیکی موردنیاز فصل «تبادلات گازی» با برنامه درسی

مفهوم زیستی	گفتار	مفهوم فیزیکی مرتبط	سطح تصریح در کتاب زیست	سطح مورد نیاز برای فهم زیستی	منبع آموزش رسمی فیزیک/علوم	وضعیت تقدم/تأخر آموزش فیزیک	نوع شکاف	توصیف وضعیت هم‌ترازی برنامه درسی
تبادل گازها برای تأمین اکسیژن و دفع دی‌اکسیدکربن ضروری است	گفتار ۱	انتشار	صریح	کیفی	علوم هفتم (تبادل با محیط) فصل پانزدهم	قبل	شکاف کاربردی	مفهوم انتشار آموزش داده شده، اما به‌کارگیری آن در تبادل گازهای زیستی پیش‌تر تثبیت نشده است.
تبادل گازها از سطحی نازک و مرطوب انجام می‌شود	گفتار ۱	سطح تبادل	صریح	کیفی	علوم هفتم (سطح، کیفی) فصل دوم	قبل	شکاف عمقی	مفهوم سطح وجود دارد، اما نقش آن در کارایی تبادل گازها پیش‌تر تبیین نشده است.
شش‌ها سطح گسترده‌ای برای تبادل گازها فراهم می‌کنند	گفتار ۱	نسبت سطح به حجم	صریح	کیفی	ریاضی/علوم پایه	قبل	شکاف عمقی	نسبت سطح به حجم به‌صورت ضمنی استفاده می‌شود، بدون اینکه چارچوب تحلیلی آن تثبیت شده باشد.
هوا با دم وارد شش‌ها می‌شود	گفتار ۲	اختلاف فشار	صریح	کیفی	علوم نهم (فشار) فصل هشتم	قبل	شکاف کاربردی	مفهوم فشار وجود دارد، اما نقش اختلاف فشار در ورود

مفهوم زیستی	گفتار	مفهوم فیزیکی مرتبط	سطح تصریح در کتاب زیست	سطح مورد نیاز برای فهم زیستی	منبع آموزش رسمی فیزیک/علوم	وضعیت تقدم/تأخر آموزش فیزیک	نوع شکاف	توصیف وضعیت هم ترازوی برنامه درسی
هوا پیش تر به صورت سامانه‌ای تثبیت نشده است.								
دیافراگم و ماهیچه‌های بین‌دنده‌ای حجم قفسه سینه را تغییر می‌دهند	گفتار ۲	حجم، کار مکانیکی	صریح	کیفی	فیزیک دهم (کار و انرژی، کیفی) فصل سوم	هم‌زمان	شکاف کاربردی	مفاهیم حجم و کار هم‌زمان آموزش داده می‌شوند، اما پیوند آن‌ها با تئویه شش‌ها برقرار نمی‌شود.
با افزایش حجم قفسه سینه، فشار هوا در شش‌ها کاهش می‌یابد	گفتار ۲	فشار گاز	صریح (توصیفی)	کیفی	علوم نهم (فشار هوا) فصل هشتم	قبل	شکاف عمقی	فشار هوا آموزش داده شده، اما ارتباط آن با تغییر حجم به صورت تحلیلی پیش‌تر تثبیت نشده است.
بازدم با کاهش حجم قفسه سینه انجام می‌شود	گفتار ۲	اختلاف فشار	صریح	کیفی	علوم نهم (فشار) فصل هشتم	قبل	شکاف کاربردی	استفاده زیستی از مفهوم فشار در بازدم به دانش آموز واگذار می‌شود.
اکسیژن و دی‌اکسیدکربن در خون جابه‌جا می‌شوند	گفتار ۳	انتقال ماده	صریح	کیفی	—	هرگز	شکاف کامل	چارچوب فیزیکی لازم برای تفسیر انتقال گازها در خون در برنامه درسی پیشین نیست
تنظیم تنفس با تغییر نیاز بدن انجام می‌شود	گفتار ۳	تعادل پویا	صریح	کیفی	—	هرگز	شکاف کامل	تعادل پویا به صورت فیزیکی در برنامه درسی پیشین تصریح نشده است.
تبادل گازها با محیط در شرایط مختلف تغییر می‌کند	گفتار ۳	گرادیان غلظت	ضمنی	کیفی	علوم هفتم (انتقال گازها) فصل پانزدهم	قبل	شکاف کاربردی	مفهوم گرادیان وجود دارد، اما تعمیم آن به شرایط تنفسی مختلف تثبیت نشده است.

در فصل «گردش مواد در بدن» (جدول ۴)، خوشه‌ای از ناهماهنگی‌ها پیرامون فشار سیال، مقاومت جریان و ویژگی‌های رئولوژیک خون شکل می‌گیرد. در این فصل، سهم شکاف‌های عمقی و کامل افزایش چشمگیری دارد. مفاهیمی مانند ویسکوزیته، وابستگی جریان به قطر و مقاومت سیال هرگز به صورت رسمی در برنامه درسی پیشین ارائه نشده‌اند، در حالی که تبیین گردش خون بدون این چارچوب‌ها ناقص می‌ماند. تحلیل نشان می‌دهد که این فصل یکی از کانون‌های اصلی ناهماهنگی مفهومی است.

جدول 4: تحلیل هم ترازوی مفاهیم فیزیکی مورد نیاز فصل «گردش مواد در بدن» با برنامه درسی

مفهوم زیستی	گفتار	مفهوم فیزیکی مرتبط	سطح تصریح در کتاب زیست	سطح مورد نیاز برای فهم زیستی	منبع آموزش رسمی فیزیک/علوم	وضعیت تقدم/تأخر آموزش فیزیک	نوع شکاف	توصیف وضعیت هم ترازوی برنامه درسی
-------------	-------	--------------------	------------------------	------------------------------	----------------------------	-----------------------------	----------	-----------------------------------

مفهوم زیستی	گفتار	مفهوم فیزیکی مرتبط	سطح تصریح در کتاب زیست	سطح مورد نیاز برای فهم زیستی	منبع آموزش رسمی فیزیک/علوم	وضعیت تقدم/تأخر آموزش فیزیک	نوع شکاف	توصیف وضعیت هم‌ترازی برنامه درسی
قلب با انقباض و انبساط منظم، خون را در گردش ریوی و عمومی به جریان می‌اندازد	گفتار ۱	فشار سیال، کار پمپاژ	ضمنی	نیمه کمی توصیفی	علوم نهم (فشار) فصل هشتم	قبل	شکاف عمقی	چارچوب فیزیکی لازم برای تفسیر نقش پمپاژی قلب به صورت تحلیلی پیش از مواجهه با این مفهوم زیستی آموزش داده نشده است.
صداهاى قلب بر اثر بسته شدن دریچه‌ها ایجاد می‌شوند	گفتار ۱	تولید صوت، تغییرات فشار	صریح (زیستی)	کیفی	علوم هشتم (صدا) فصل پنجم	قبل	شکاف کاربردی	پیوند میان آموزش عمومی صدا و تفسیر این پدیده زیستی در برنامه درسی پیشین به صورت نظام‌مند برقرار نشده است.
فشار خون شامل فشار بیشینه و کمینه است و با دو عدد بیان می‌شود	گفتار ۲	فشار در مایعات	صریح	نیمه کمی توصیفی	علوم نهم (فشار) فصل هشتم	قبل	شکاف عمقی	آموزش فشار به صورت عمومی انجام شده، اما سازوکارهای فیزیکی مؤثر بر حفظ و تغییر فشار خون پیش از این مرحله تبیین نشده‌اند.
تغییر قطر رگ‌ها موجب تغییر جریان خون می‌شود	گفتار ۲	مقاومت جریان، وابستگی جریان به قطر	ضمنی	کیفی	-	هرگز	شکاف کامل	مفهوم زیستی بدون برخورداری از چارچوب فیزیکی پیش‌نیاز در برنامه درسی پیشین ارائه می‌شود.
دیواره سرخرگ‌ها کشسان است و به جریان پیوسته خون کمک می‌کند	گفتار ۲	کشسانی مواد، ذخیره انرژی	ضمنی	نیمه کمی توصیفی	فیزیک دهم (کار و انرژی، کیفی) فصل سوم	هم‌زمان	شکاف کاربردی	ارتباط مفهومی میان کشسانی در فیزیک و نقش آن در پایداری جریان خون به دانش‌آموز واگذار می‌شود.
در مویرگ‌ها تبادل مواد تحت تأثیر فشار خون و ویژگی‌های دیواره انجام می‌شود	گفتار ۲	فشار هیدرواستاتیک، فشار اسمزی	صریح (زیستی)	نیمه کمی	علوم نهم (فشار) فصل هشتم	قبل	شکاف عمقی	فشار اسمزی به صورت زیستی مطرح می‌شود، در حالی که مبنای فیزیکی آن پیش‌تر به طور نظام‌مند آموزش داده نشده است.
گردش مواد در جانداران می‌تواند باز یا بسته باشد	گفتار ۴	فشار، جریان، کارایی سامانه	صریح (توصیفی)	کیفی	علوم هشتم/نهم	قبل	شکاف کاربردی	تفاوت کارایی زیستی بیان می‌شود، اما پیوند آن با اصول فیزیکی سامانه‌های جریانی قبلاً برقرار نشده است.

در فصل «تنظیم اسمزی و دفع مواد زائد» (جدول ۵)، وابستگی‌ها به مفاهیم تعادل پویا، گرادیان، شار ماده و اختلاف فشار گسترش می‌یابد. سهم شکاف‌های کامل در این فصل بالاست. اگرچه انتشار و فشار به صورت عمومی آموزش داده شده‌اند، اما چارچوب فیزیکی لازم برای فهم جداسازی، بازجذب و تنظیم پویا در سامانه‌های زیستی هرگز

به صورت سازمان یافته ارائه نشده است. این یافته نشان می دهد که زیست شناسی در این بخش به مفاهیمی تکیه می کند که از نظر ساختاری در برنامه درسی علوم تثبیت نشده اند.

**جدول 5: تحلیل هم تراز می مفاهیم فیزیکی مورد نیاز فصل «تنظیم اسمزی و دفع مواد زائد» با برنامه درسی**

مفهوم زیستی	گفتار	مفهوم فیزیکی مرتبط	سطح تصریح در کتاب زیست	سطح مورد نیاز برای فهم زیستی	منبع آموزش رسمی فیزیک/علوم	وضعیت تقدم/تأخر آموزش فیزیک	نوع شکاف	توصیف وضعیت هم تراز می برنامه درسی
حفظ وضعیت درونی بدن (هم ایستایی) برای ادامه حیات ضروری است	گفتار ۱	تعادل، شار ورودی-خروجی	صریح	کیفی	—	هرگز	شکاف کامل	مفهوم تعادل به صورت کلی در علوم مطرح شده، اما چارچوب مفهومی مرتبط با پایداری سامانه ها پیش از این مرحله به صورت نظام مند ارائه نشده است.
تنظیم آب و یون ها نقش اساسی در هم ایستایی دارد	گفتار ۱	انتشار، گرادیان غلظت	صریح (زیستی)	کیفی	علوم هشتم فصل اول	قبل	شکاف کاربردی	مفهوم انتشار آموزش داده شده، اما اتصال آن به تنظیم آب و یون ها در سطح اندام در برنامه درسی پیشین برقرار نشده است.
کلیه ها اندام اصلی تنظیم اسمزی در انسان هستند	گفتار ۱	جداسازی، شار جرمی	صریح	کیفی	—	هرگز	شکاف کامل	عملکرد کلیه ها زیستی توصیف می شود، بدون آنکه دانش آموز پیش زمینه فیزیکی سازمان یافته ای برای تفسیر فرایند جداسازی داشته باشد.
ادرار از تغییر ترکیب مایع تراوش شده در لوله ها تشکیل می شود	گفتار ۱	تراوش، اختلاف فشار	ضمنی	نیمه کمی توصیفی	علوم نهم (فشار) فصل هشتم	قبل	شکاف عمقی	فشار به صورت کلی آموزش داده شده، اما نقش آن در تراوش مایعات زیستی پیش از این مرحله تبیین نشده است.
بازجذب موجب حفظ آب و مواد مفید می شود	گفتار ۱	انتقال در راستای گرادیان	ضمنی	کیفی	علوم هشتم (انتشار) فصل اول	قبل	شکاف کاربردی	مفهوم انتشار وجود دارد، اما کاربرد آن در بازجذب مواد در سامانه زیستی به دانش آموز واگذار می شود.
بیشتر ادرار را آب تشکیل می دهد	گفتار ۱	نسبت ها، ترکیب کمی	صریح	نیمه کمی توصیفی	ریاضی/علوم پایه	قبل	شکاف عمقی	بیان کمی وجود دارد، اما پیوند آن با تنظیم آب بدن از منظر سامانه ای پیش تر آموزش داده نشده است.

مفهوم زیستی	گفتار	مفهوم فیزیکی مرتبط	سطح تصریح در کتاب زیست	سطح مورد نیاز برای فهم زیستی	منبع آموزش رسمی فیزیک/علوم	وضعیت تقدم/تأخر آموزش فیزیک	نوع شکاف	توصیف وضعیت هم‌ترازی برنامه درسی
سلول‌ها غلظت یون‌ها را در داخل و خارج حفظ می‌کنند	گفتار ۳	انتقال ماده	ضمنی	کیفی	—	هرگز	شکاف کامل	برای تفسیر این فرایند، چارچوب فیزیکی مشخصی در برنامه درسی پیشین ارائه نشده است.
آمونیاک ماده‌ای سمی است و به اوره تبدیل می‌شود	گفتار ۳	تعادل پویا	ضمنی	کیفی	—	هرگز	شکاف کامل	این پدیده از منظر زیستی توضیح داده می‌شود و پیش‌زمینه فیزیکی برای تفسیر رفتاری مواد محلول وجود ندارد.
روش دفع مواد زائد در جانداران متفاوت است	گفتار ۳	انتشار، جریان سیال	صریح (مقایسه‌ای)	کیفی	علوم هشتم (فصل یک) انهم (فصل هشت)	قبل	شکاف کاربردی	مفاهیم پایه وجود دارد، اما مقایسه کارکردی سامانه‌های دفعی به اصول فیزیکی پیشین متصل نمی‌شود.
واکوئول انقباضی در تک‌یاخته‌های آب به تنظیم آب کمک می‌کند	گفتار ۳	اختلاف فشار، جریان	ضمنی	کیفی	—	هرگز	شکاف کامل	این سازوکار زیستی بدون اتکالی به چارچوب فیزیکی رسمی پیشین معرفی می‌شود.
نفردی و لوله‌های مالپیگی اندام‌های دفعی بی‌مهرگان‌اند	گفتار ۳	جریان در لوله	ضمنی	کیفی	—	هرگز	شکاف کامل	برنامه درسی پیشین چارچوب فیزیکی لازم برای مقایسه این سامانه‌ها را فراهم نکرده است.
تنظیم اسمزی ماهیان وابسته به شوری محیط است	گفتار ۳	گرادیان غلظت	صریح	کیفی	علوم هشتم فصل اول	قبل	شکاف کاربردی	مفهوم گرادیان وجود دارد، اما تفسیر آن در مقیاس اندامی پیش‌تر تثبیت نشده است.
پرنده‌گان و خزندگان با راهکارهای خاصی آب را حفظ می‌کنند	گفتار ۳	جداسازی، بازجذب	صریح	کیفی	—	هرگز	شکاف کامل	راهکار زیستی توصیف می‌شود، در حالی که چارچوب فیزیکی متناظر در برنامه درسی پیشین وجود ندارد.

در دو فصل گیاهی «از یاخته تا گیاه» و «جذب و انتقال مواد در گیاهان» (جداول ۶ و ۷)، الگوی ناهماهنگی به اوج خود می‌رسد. مفاهیمی مانند فشار اسمزی، همبستگی مولکولی، گرادیان پتانسیل، جریان پیوسته در لوله و انتقال برخلاف گرانش بدون پیش‌زمینه فیزیکی رسمی معرفی می‌شوند. در این دو فصل سهم شکاف‌های کامل به‌طور معناداری افزایش یافته است. تحلیل نشان می‌دهد که تبیین انتقال آوندی عملاً مستلزم چارچوبی از فیزیک سیالات و ترمودینامیک مقدماتی است که در ساختار رسمی برنامه درسی وجود ندارد.

جدول 6: تحلیل هم‌ترازی مفاهیم فیزیکی موردنیاز فصل «از یاخته تا گیاه» با برنامه درسی

مفهوم زیستی	مفهوم فیزیکی مرتبط	سطح تصریح در کتاب زیست	سطح مورد نیاز برای فهم زیستی	منبع آموزش رسمی فیزیک/علوم	وضعیت تقدم/تأخر آموزش فیزیک	نوع شکاف	توصیف وضعیت هم‌ترازی برنامه درسی
یاخته گیاهی دارای دیواره سلولی و واکوئول بزرگ است	فشار در مایعات، تنش غشایی	صریح	کیفی	علوم نهم (فشار) فصل هشتم	قبل	شکاف کاربردی	مفهوم فشار آموزش داده شده، اما تفسیر نقش آن در پایداری یاخته گیاهی به صورت سامانه‌ای تثبیت نشده است.
واکوئول در تنظیم آب یاخته نقش دارد	فشار اسمزی	صریح (زیستی)	نیمه کمی توصیفی	—	هرگز	شکاف کامل	چارچوب فیزیکی فشار اسمزی پیش از این مرحله به طور رسمی در برنامه درسی ارائه نشده است.
آب از غشای یاخته‌های عبور می‌کند	اسمز، گرادیان غلظت	صریح	کیفی	علوم هشتم فصل اول	قبل	شکاف عمقی	مفهوم انتشار وجود دارد، اما تمایز آن با اسمز و کاربرد زیستی آن پیش‌تر نظام‌مند نشده است.
تبادل مواد میان یاخته‌ها انجام می‌شود	شار ماده	ضمنی	کیفی	—	هرگز	شکاف کامل	برنامه درسی پیشین چارچوب مفهومی لازم برای تفسیر شار ماده در بافت‌ها را فراهم نکرده است.
بافت‌ها از یاخته‌های مشابه تشکیل می‌شوند	سازمان‌یافتگی ساختاری	صریح	کیفی	—	هرگز	شکاف کامل	این مفهوم به صورت زیستی توصیف می‌شود و پیش‌نیاز فیزیکی مستقلی در برنامه درسی ندارد.
آوند چوبی آب و مواد معدنی را جابه‌جا می‌کند	جریان سیال، اختلاف فشار	صریح	کیفی	علوم نهم (فشار) فصل هشتم	قبل	شکاف کاربردی	مفهوم فشار وجود دارد، اما تفسیر جریان سیال در بافت زنده پیش‌تر تثبیت نشده است.

مفهوم زیستی	گفتار	مفهوم فیزیکی مرتبط	سطح تصریح در کتاب زیست	سطح مورد نیاز برای فهم زیستی	منبع آموزش رسمی فیزیک/علوم	وضعیت تقدم/تأخر آموزش فیزیک	نوع شکاف	توصیف وضعیت هم‌ترازی برنامه درسی
انتقال آب در گیاه برخلاف نیروی گرانش انجام می‌شود	گفتار ۳	کار، انرژی پتانسیل	ضمنی	کیفی	فیزیک دهم (کار و انرژی) فصل دوم	هم‌زمان	شکاف کاربردی	مفاهیم انرژی هم‌زمان آموزش داده می‌شوند، اما اتصال آن‌ها به انتقال آب در گیاه برقرار نمی‌شود.
تعرق باعث خروج آب از برگ می‌شود	گفتار ۳	تبخیر، بخار، تغییر فاز	صریح	کیفی	علوم هشتم (تغییر حالت) فصل ششم- فیزیک دهم (تغییر حالت‌های ماده) فصل چهارم	قبل- هم‌زمان	شکاف کاربردی	تبخیر آموزش داده شده، اما نقش آن در ایجاد نیروی مکش در گیاه پیش‌تر تبیین نشده است.
پیوستگی ستون آب در آوند چوبی حفظ می‌شود	گفتار ۳	همبستگی مولکولی	ضمنی	کیفی	—	هرگز	شکاف کامل	مفهوم همبستگی در برنامه درسی متوسطه به صورت رسمی ارائه نشده است.
کشش ناشی از تعرق به انتقال آب کمک می‌کند	گفتار ۳	اختلاف فشار	صریح (توصیفی)	کیفی	علوم نهم (فشار) فصل هشتم	قبل	شکاف عمقی	فشار به صورت عمومی آموزش داده شده، اما کاربرد آن در سامانه‌های زیستی پیوسته تثبیت نشده است.
آوند آبکش مواد غذایی را جابه‌جا می‌کند	گفتار ۳	جریان ماده	صریح	کیفی	—	هرگز	شکاف کامل	برای تفسیر این انتقال، چارچوب فیزیکی رسمی پیشین وجود ندارد.
جهت انتقال مواد در گیاه می‌تواند متفاوت باشد	گفتار ۳	گرادیان پتانسیل	ضمنی	کیفی	—	هرگز	شکاف کامل	مفهوم جهت‌داری جریان در سامانه‌های زیستی بدون پشتوانه فیزیکی پیشین ارائه می‌شود.

جدول 7: تحلیل هم‌ترازی مفاهیم فیزیکی موردنیاز فصل «جذب و انتقال مواد در گیاهان» با برنامه درسی

مفهوم زیستی	گفتار	مفهوم فیزیکی مرتبط	سطح تصریح در کتاب زیست	سطح مورد نیاز برای فهم زیستی	منبع آموزش رسمی فیزیک/علوم	وضعیت تقدم/تأخر آموزش فیزیک	نوع شکاف	توصیف وضعیت هم‌ترازی برنامه درسی
گیاهان آب و یون‌های معدنی را از خاک جذب می‌کنند	گفتار ۱	گرادین غلظت، انتشار	صریح	کیفی	علوم هشتم فصل اول	قبل	شکاف کاربردی	مفهوم انتشار به صورتی غیرمستقیم آموزش داده شده، اما کاربرد آن در جذب ریشه‌ای به صورت نظام‌مند تثبیت نشده است.
تاره‌های کشنده سطح جذب ریشه را افزایش می‌دهند	گفتار ۱	نسبت سطح به حجم	صریح	کیفی	ریاضی/علوم پایه	قبل	شکاف عمقی	نسبت سطح به حجم به طور ضمنی استفاده می‌شود، اما چارچوب مفهومی آن پیش‌تر تصریح نشده است.
آب از مسیرهای متفاوتی وارد ریشه می‌شود	گفتار ۱	مسیر جریان، مقاومت	ضمنی	کیفی	—	هرگز	شکاف کامل	چارچوب فیزیکی لازم برای تفسیر مسیرهای جریان در بافت زنده در برنامه درسی پیشین وجود ندارد.
فشار ریشه می‌تواند موجب بالا رفتن آب شود	گفتار ۲	فشار در مایعات	صریح	کیفی	علوم نهم (فشار) فصل هشتم	قبل	شکاف کاربردی	فشار به صورت کلی آموزش داده شده، اما نقش آن در سامانه زیستی پیوسته تثبیت نشده است.
آب در آوند چوبی به سمت بالا حرکت می‌کند	گفتار ۲	جریان سیال، اختلاف فشار	صریح	کیفی	علوم نهم (فشار) فصل هشتم	قبل	شکاف کاربردی	مفهوم فشار وجود دارد، اما تفسیر جریان در لوله‌های زنده پیش‌تر برقرار نشده است.
تعرق باعث خروج آب از برگ می‌شود	گفتار ۲	تبخیر، تغییر حالت	صریح	کیفی	علوم هشتم (تغییر حالت) فصل ششم- فیزیک دهم (تغییر حالت‌های ماده) فصل چهارم	قبل- همزمان	شکاف کاربردی	تبخیر آموزش داده شده، اما نقش آن در انتقال آب گیاه به صورت سامانه‌ای تثبیت نشده است.
تعرق نیروی مکش لازم برای انتقال آب را فراهم می‌کند	گفتار ۲	اختلاف فشار	ضمنی	کیفی	علوم نهم (فشار) فصل هشتم	قبل	شکاف عمقی	مفهوم اختلاف فشار وجود دارد، اما کاربرد آن در ایجاد مکش زیستی پیش‌تر صریح نشده است.
پیوستگی ستون آب در آوند چوبی حفظ می‌شود	گفتار ۲	همبستگی مولکولی	ضمنی	کیفی	—	هرگز	شکاف کامل	همبستگی مولکولی به عنوان پیش‌نیاز فیزیکی در برنامه درسی متوسطه مطرح نشده است.
مواد آلی در آوند آبکش جابه‌جا می‌شوند	گفتار ۳	جریان ماده	صریح	کیفی	—	هرگز	شکاف کامل	چارچوب فیزیکی لازم برای تفسیر انتقال مواد غذایی در سامانه زیستی وجود ندارد.
انتقال مواد آلی از منبع به مخزن انجام می‌شود	گفتار ۳	اختلاف پتانسیل	صریح (توصیفی)	کیفی	—	هرگز	شکاف کامل	مفهوم پتانسیل انتقال در برنامه درسی پیشین به صورت رسمی مطرح نشده است.
جهت انتقال مواد در آوند آبکش می‌تواند متفاوت باشد	گفتار ۳	گرادین پتانسیل	ضمنی	کیفی	—	هرگز	شکاف کامل	جهت‌داری جریان در سامانه‌های زیستی بدون پشتوانه فیزیکی پیشین ارائه می‌شود.
انتقال در چوبی و آبکش تفاوت ماهوی دارد	گفتار ۳	تفاوت سامانه‌های جریانی	صریح (مقایسه‌ای)	کیفی	—	هرگز	شکاف کامل	برنامه درسی پیشین امکان مقایسه فیزیکی سامانه‌های انتقال را فراهم نکرده است.

بررسی ارتباطات طولی مفاهیم فیزیکی با پایه‌های دوره اول متوسطه نشان می‌دهد که توزیع پیش‌نیازها الگوی مشخصی را دنبال می‌کند. در فصل‌های ابتدایی مانند «دنیای زنده» و «گوارش و جذب مواد»، مفاهیم پایه مانند مشاهده، مقیاس و فشار عمدتاً بر آموخته‌های «علوم هفتم» و «علوم نهم» متکی هستند. با ورود به مباحث سامانه‌ای در فصل‌های «تبادلات گازی» و «گردش مواد در بدن»، وابستگی به مفاهیم «علوم نهم» (به‌ویژه در حوزه فشار سیالات و تغییرات حجمی) افزایش می‌یابد. در نهایت، در فصل‌های پایانی مربوط به گیاهان («از یاخته تا گیاه» و «جذب و انتقال مواد در گیاهان») و همچنین «تنظیم اسمزی»، اگرچه برخی مفاهیم ساده مانند انتشار در «علوم هشتم» آموزش داده شده‌اند، اما مفاهیم پیشرفته‌تر مانند همبستگی مولکولی و پتانسیل آب، فاقد پیشینه مشخص در پایه‌های هفتم تا نهم هستند و این خلأ عامل اصلی شکاف‌های کامل در این فصل‌هاست.

جمع‌بندی توزیع شکاف‌ها (جدول ۸) نشان می‌دهد که ۳۹/۷٪ از موارد از نوع شکاف کاربردی، ۳۵/۶٪ شکاف کامل، ۲۰/۵٪ شکاف عمقی و تنها ۴/۱٪ شکاف زمانی بوده‌اند. این توزیع بیانگر آن است که مسئله اصلی نه تقدم و تأخر زمانی، بلکه ضعف در عمق مفهومی و قابلیت انتقال میان‌رشته‌ای است. به بیان دیگر، مفاهیم فیزیکی اغلب وجود دارند، اما برای ایفای نقش تبیینی در زیست‌شناسی به صورت ساختاری آماده نشده‌اند.

جدول ۸- توزیع شکاف‌های شناسایی شده مرتبط با فیزیک در فصل‌های زیست‌شناسی

نوع شکاف	تعداد موارد	درصد از کل مفاهیم بررسی شده
شکاف کاربردی	۲۹	۳۹/۷٪
شکاف عمقی	۱۵	۲۰/۵٪
شکاف کامل	۲۶	۳۵/۶٪
شکاف زمانی	۳	۴/۱٪
جمع	۷۳	۱۰۰٪

تحلیل خوشه‌ای ناهماهنگی‌ها (جدول ۹) نشان داد که سه حوزه بیشترین سهم را دارند: فشار و جریان سیالات (۲۹٪)، انتشار و گرادیان (۲۳٪)، و کار و انرژی (۱۸٪). این تمرکز خوشه‌ای نشان می‌دهد که ناهماهنگی‌ها پیرامون مفاهیم سازمان‌دهنده فیزیک شکل گرفته‌اند، نه مفاهیم حاشیه‌ای.

جدول ۹. حوزه‌های فیزیکی با بیشترین بسامد در شکاف‌های شناسایی شده برنامه درسی

حوزه فیزیکی	تعداد تکرار	فصل‌های زیست غالب
فشار و جریان سیالات	۲۱	۷، ۶، ۴، ۳
انتشار و گرادیان غلظت	۱۷	۷، ۶، ۵، ۳، ۲
کار و انرژی	۸	۶، ۴، ۳، ۲

۵،۳	۶	تعادل و تنظیم سامانه‌ها
۷،۴	۴	ویسکوزیته / مقاومت جریان
۷،۶	۳	همبستگی و پیوستگی ستون آب
۷،۶،۵،۲،۱	۱۴	مفاهیم سامانه‌ای (کارایی، شار، جهت‌داری)

در نهایت، تحلیل وضعیت کلی هم‌ترازی (جدول ۱۰) نشان داد که تنها ۱۲/۳٪ موارد هم‌ترازی کامل دارند، ۶۰/۳٪ نیمه‌هم‌ترازند، ۲۳/۳٪ کاملاً غایب‌اند و ۴/۱٪ دچار تأخر زمانی‌اند. این الگو تأیید می‌کند که ناهماهنگی‌ها سیستماتیک و ساختاری‌اند و نمی‌توان آن‌ها را به موارد پراکنده یا خطاهای موضعی نسبت داد.

**جدول 10. وضعیت هم‌ترازی میان نیازهای برنامه درسی زیست‌شناسی و آموزش پیشین فیزیک**

وضعیت هم‌ترازی	تعریف عملیاتی	تعداد موارد	درصد
هم‌تراز	آموزش قبلی کافی و قابل استفاده مستقیم	۹	۱۲/۳٪
نیمه‌هم‌تراز	آموزش وجود دارد اما ناکافی (عمقی/کاربردی)	۴۴	۶۰/۳٪
ناهماهنگ زمانی	آموزش پس از زیست یا هم‌زمان ناقص	۳	۴/۱٪
غایب	هیچ آموزش رسمی پیشینی وجود ندارد	۱۷	۲۳/۳٪
جمع	—	۷۳	۱۰۰٪

جمع‌بندی تطبیقی یافته‌ها نشان می‌دهد که الگوی ناهماهنگی‌ها در فصل‌های مختلف کتاب زیست‌شناسی دهم متفاوت است. در فصل‌های ابتدایی مانند «دنیای زنده» و «گوارش و جذب مواد»، اگرچه مفاهیم پایه فیزیکی مانند مشاهده و فشار آموزش داده شده‌اند، اما غالب ناهماهنگی‌ها از نوع «شکاف کاربردی» هستند که نشان‌دهنده عدم انتقال دانش فیزیکی به بافت زیستی است. در مقابل، در فصل‌های پایانی و گیاهی («از یاخته تا گیاه» و «جذب و انتقال مواد در گیاهان») و همچنین فصل «تنظیم اسمزی و دفع مواد زائد»، شدت ناهماهنگی‌ها به سمت شکاف کامل تغییر می‌کند؛ به این معنا که مفاهیم پیچیده‌تری مانند فشار اسمزی، پتانسیل آب و همبستگی مولکولی هیچ‌گونه پیش‌زمینه‌ای در کتاب‌های فیزیک یا علوم پیشین ندارند. همچنین، فصل «گردش مواد در بدن» و «تبادلات گازی» وضعیتی میانی را نشان می‌دهند که در آن‌ها مفاهیم وجود دارند اما در سطح شکاف عمقی باقی مانده‌اند و دانش‌آموز برای تبیین دقیق پدیده‌هایی مانند جریان خون یا تهویه ششی با کمبود چارچوب‌های تحلیلی مواجه است. این مقایسه حاکی از آن است که با پیشرفت از مباحث اولیه زیستی به سمت مباحث سامانه‌ای و گیاهی، پیچیدگی مفاهیم فیزیکی مورد نیاز افزایش می‌یابد، اما برنامه درسی فیزیک همگام با این نیاز رشد نکرده است.

**بحث و نتیجه‌گیری**

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که ناهماهنگی میان مفاهیم فیزیکی پیش‌نیاز و محتوای زیست‌شناسی پایه دهم نه تنها گسترده است، بلکه از الگویی نظام‌مند و تکرارشونده پیروی می‌کند که در سراسر کتاب قابل ردیابی است. تحلیل کیفی هفت فصل (جداول ۱ تا ۷) و تجمیع کمی در جداول ۸ تا ۱۰ نشان می‌دهد شکاف‌ها به‌طور تصادفی توزیع نشده‌اند، بلکه در خوشه‌های مفهومی خاصی- به‌ویژه فشار و جریان سیالات، گرادبان و انتشار، و مفاهیم سامانه‌ای- متمرکز شده‌اند. چنین تمرکزی نشان‌دهنده ضعف در انسجام برنامه درسی و فقدان هم‌ترازی عمودی مفاهیم است؛ مفهومی که در ادبیات تطبیقی برنامه درسی به‌عنوان شرط ضروری برای یادگیری عمیق و انتقال‌پذیر مطرح شده است (Schmidt et al., 2005; Fortus & Krajcik, 2012).

از منظر نظری، انسجام برنامه درسی صرفاً به معنای نظم زمانی محتوا نیست، بلکه به هم‌پیوندی مفهومی، تداوم معرفتی و انباشت تدریجی ظرفیت تبیینی اشاره دارد (Duschl, 2019). یافته‌های جدول ۸ که نشان می‌دهد تنها ۱۲/۳٪ مفاهیم در وضعیت هم‌تراز قرار دارند و بیش از ۷۵٪ در وضعیت شکاف کاربردی یا کامل‌اند، حاکی از آن است که برنامه درسی موجود فاقد چنین تداومی است. پژوهش‌های مربوط به هم‌ترازی برنامه درسی نشان داده‌اند که زمانی که انتظارات آموزشی، محتوای تدریس و ارزشیابی در یک خط مفهومی مشترک قرار نگیرند، یادگیری در سطح بازشناسی واژگانی یا توصیف روایی باقی می‌ماند (Porter, 2002; Webb, 1997). داده‌های این پژوهش نشان می‌دهد این گسست نه در سطح کلاس، بلکه در سطح طراحی ملی برنامه درسی بازتولید شده است.

از منظر توالی یادگیری، وضعیت مشاهده‌شده حتی مسئله‌دارتر است. چارچوب پیش‌روندگی یادگیری بر این اصل استوار است که مفاهیم پیچیده باید بر پایه تثبیت تدریجی مفاهیم بنیادی بنا شوند و این تثبیت از طریق توالی طراحی‌شده و هدفمند رخ دهد (National Research Council, 2007; Duncan & Rivet, 2013). مرور ادبیات پیش‌روندگی‌ها نشان می‌دهد انسجام میان محتوا، تدریس و ارزشیابی پیش‌شرط شکل‌گیری دانش قابل استفاده است (Jin et al., 2019; National Research Council, 2012). در این پژوهش، داده‌های جداول ۱ تا ۷ نشان می‌دهد چنین پیش‌روندگی‌ای در پیوند فیزیک- زیست برقرار نیست؛ مفاهیم زیستی پیچیده بر پیش‌فرض‌هایی بنا شده‌اند که در فیزیک یا تثبیت نشده‌اند یا در بافتی غیرزیستی آموزش داده شده‌اند.

در فصل گردش مواد، تمرکز شکاف‌ها بر فشار، جریان و مقاومت سیالات نشان می‌دهد که دانش‌آموزان با سامانه‌ای مواجه می‌شوند که ماهیتاً فیزیکی-زیستی است، اما ابزار تحلیلی لازم برای مدل‌سازی آن را در اختیار ندارند. پروژه‌های بازطراحی فیزیک برای علوم زیستی نشان داده‌اند که آموزش زمینه‌مند مفهومی مانند قانون پوازی و مدل‌سازی جریان برای فهم علی سامانه گردش خون ضروری است (Redish & Cooke, 2013; Miquel, 2011). همچنین تأکید بر

اصالت میان‌رشته‌ای نشان می‌دهد اگر مفاهیم فیزیکی در زمینه‌های زیستی بازساخت نشوند، انتقال آن‌ها محدود می‌ماند (Watkins et al., 2012; Presley et al., 2021). یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد چنین بازساختی در طراحی برنامه درسی رخ نداده است.

در تبادلات گازی و تنظیم اسمزی، تمرکز شکاف‌ها بر گرادیان و تعادل پویا قابل توجه است. پژوهش‌های مفهومی نشان داده‌اند که دانش‌آموزان اغلب انتشار و اسمز را فرآیندهایی هدفمند یا وابسته به نیاز سلول تفسیر می‌کنند، نه پیامد تفاوت در پتانسیل یا گرادیان (Odom, 1995; Zihel & Torkar, 2022). مطالعات تغییر مفهومی در آموزش روابط آب در سلول‌های گیاهی نشان داده‌اند که بدون چارچوب فیزیکی انرژی آزاد و پتانسیل آب، سوءبرداشت‌ها همچنان به وجود خواهند آمد (Malińska et al., 2016). تمرکز شکاف‌ها در جداول ۳ و ۵ نشان می‌دهد برنامه درسی موجود بستر لازم برای عبور از این سوءبرداشت‌ها را فراهم نکرده است.

در زیست گیاهی، به‌ویژه در مبحث انتقال آب در آوند چوبی، فهم پدیده‌ها مستلزم درک یک مدل فیزیکی از فشار منفی، کشش-چسبندگی و گرادیان پتانسیل آب است. ادبیات فیزیولوژی گیاهی تأکید می‌کند که بدون این چارچوب، انتقال آوندی به روایتی توصیفی تقلیل می‌یابد (McElrone et al., 2013). مطالعات آموزشی نیز نشان داده‌اند که استفاده از مدل‌های فیزیکی در آموزش انتقال آب می‌تواند درک مفهومی را ارتقا دهد (Taiz & Zeiger, 2010; Uno, 1994). تمرکز شکاف‌ها در جداول ۶ و ۷ نشان می‌دهد این زیرساخت مفهومی پیش‌تر ایجاد نشده است.

تحلیل تجمیعی جدول ۹ نشان می‌دهد شکاف‌ها عمدتاً در حوزه‌هایی رخ داده‌اند که ماهیتاً میان‌رشته‌ای‌اند. این یافته با ادبیات آموزش میان‌رشته‌ای هم‌راستاست که نشان می‌دهد اگر برنامه‌های درسی به‌صورت درون‌رشته‌ای و مستقل طراحی شوند، ظرفیت انتقال مفاهیم کاهش می‌یابد (Repko & Szostak, 2021). مفهوم انسجام درسی در معنای قوی آن مستلزم طراحی مشترک توالی مفاهیم در رشته‌های مرتبط است، نه صرفاً هم‌زمانی تدریس آن‌ها (Schmidt et al., 2005; Duschl, 2019).

از منظر نظری گسترده‌تر، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد مسئله صرفاً تقدم و تأخر زمانی نیست، بلکه به نبود یک «منطق طولی مشترک» بازمی‌گردد؛ منطقی که باید مشخص کند مفاهیم فیزیکی چگونه در زیست بازکاربرد می‌شوند و چگونه از سطح توصیفی به سطح تبیینی ارتقا می‌یابند. در غیاب چنین منطقی، پیش‌روندگی‌های یادگیری به‌جای آنکه پل بزنند، گسست تولید می‌کنند (Stevens et al., 2013).

به‌طور کلی، شواهد ارائه‌شده در این پژوهش نشان می‌دهد که ناهماهنگی پیش‌نیازهای فیزیکی در زیست‌شناسی پایه دهم را نمی‌توان به‌عنوان یک مسئله موضعی، محتوایی یا ناشی از تقدم و تأخر زمانی آموزش تفسیر کرد. الگوی

مشاهده‌شده در جداول ۱ تا ۱۰ حاکی از وجود یک ساختار پایدار از شکاف‌های مفهومی است که به‌صورت نظام‌مند در حوزه‌های مشخصی از فیزیک- به‌ویژه فشار، جریان سیالات، گرادیان‌ها و مفاهیم سامانه‌ای- انباشت شده‌اند. این تمرکز مفهومی نشان می‌دهد که برنامه‌های درسی فیزیک و زیست‌شناسی به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که هر یک منطق درون‌رشته‌ای خود را دنبال می‌کند، بدون آن‌که کارکرد متقابل مفاهیم در سطح طولی و میان‌رشته‌ای به‌طور صریح تعریف شده باشد. در نتیجه، دانش‌آموزان با مفاهیم زیستی پیچیده‌ای مواجه می‌شوند که از نظر تبیینی، بر زیرساخت‌هایی بنا شده‌اند که یا هرگز تثبیت نشده‌اند یا در زمینه‌ای آموزش دیده‌اند که قابلیت انتقال آن‌ها محدود است.

شواهد ارائه‌شده در این پژوهش نشان می‌دهد که ناهماهنگی پیش‌نیازهای فیزیکی در زیست‌شناسی پایه دهم را نمی‌توان به‌عنوان یک مسئله موضعی، محتوایی یا صرفاً ناشی از تقدم و تأخر زمانی آموزش تفسیر کرد، بلکه باید آن را در چارچوب معماری مفهومی برنامه درسی علوم تحلیل کرد. بازسازی وابستگی‌های مفهومی نشان داد که فهم تبیینی بسیاری از پدیده‌های زیستی بر مفاهیم فیزیکی‌ای متکی است که یا هرگز به‌طور رسمی آموزش داده نشده‌اند، یا در سطحی متفاوت از سطح موردنیاز برای انتقال میان‌رشته‌ای و در بافتی ناهمخوان ارائه شده‌اند. در نتیجه، حتی در مواردی که توالی زمانی رعایت شده است، سطح تبیین و زمینه آموزشی مفاهیم فیزیکی با نیازهای تبیینی زیست‌شناسی همخوان نیست و دانش‌آموزان ناگزیر می‌شوند شکاف‌های مفهومی را به‌صورت فردی و اغلب ناکامل پر کنند؛ فرآیندی که می‌تواند به یادگیری سطحی، اتکای بیش از حد به حفظیات و شکل‌گیری بدفهمی‌های پایدار منجر شود. از این منظر، چالش‌های یادگیری در زیست‌شناسی مدرسه‌ای را باید نه تنها در سطح کلاس درس، بلکه در سطح طراحی طولی و میان‌رشته‌ای برنامه درسی جست‌وجو کرد.

بر این اساس، هدف این پژوهش صرفاً شناسایی یا فهرست کردن موارد ناهماهنگی نبود، بلکه ارائه چارچوبی برای تحلیل انسجام مفهومی طولی در پیوند فیزیک و زیست بود؛ چارچوبی که فراتر از هم‌ترازی صوری اهداف و محتوا حرکت می‌کند و بر وابستگی‌های تبیینی میان دروس تمرکز دارد. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که انسجام برنامه درسی علوم تنها با افزودن مثال‌های میان‌رشته‌ای حاصل نمی‌شود، بلکه مستلزم بازاندیشی در منطق توالی مفاهیم و طراحی آگاهانه پیش‌نیازهای تبیینی و پل‌های مفهومی صریح در متن و فعالیت‌های آموزشی است. این چارچوب می‌تواند به‌عنوان ابزاری تشخیصی برای ارزیابی هم‌ترازی در سایر پایه‌ها و حوزه‌های میان‌رشته‌ای به‌کار رود و مبنایی برای بازطراحی برنامه‌های درسی مبتنی بر پیش‌روندگی یادگیری فراهم آورد. در سطح سیاست‌گذاری و عمل، بازنگری در توالی مفاهیم فیزیکی و تعریف یک منطق طولی مشترک برای ورود تدریجی آن‌ها به تبیین پدیده‌های زیستی،

می‌تواند گامی ضروری در جهت گذار از آموزش توصیفی به آموزش تبیینی و سامانه‌محور و در نهایت، تقویت درک تبیینی پایدار و میان‌رشته‌ای در دانش‌آموزان باشد.

### مشارکت نویسندگان

ایده، طرح و کار اصلی پژوهش به عهده نویسنده اصلی بوده و نویسنده دوم در برخی از مراحل پژوهشی و نگارشی کمک کرده است.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان از دانشگاه فرهنگیان برای حمایت معنوی کمال تشکر را دارند.

### تعارض منافع

هیچگونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

### منابع

- Bao, L., & Koenig, K. (2019). Physics education research for 21st century learning. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 1(1), 2. <https://doi.org/10.1186/s43031-019-0007-8>
- Cooper, M. M., & Klymkowsky, M. W. (2013). Chemistry, life, the universe, and everything: A new approach to general chemistry. *Journal of Chemical Education*, 90(9), 1116–1122. <https://doi.org/10.1021/ed3003123>
- Duncan, R. G., & Rivet, A. E. (2013). Science learning progressions. *Science*, 339(6118), 396–397. <https://doi.org/10.1126/science.1228692>
- Duschl, R. A. (2019). Learning progressions: Framing and designing coherent sequences for STEM education. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 1(1), 4. <https://doi.org/10.1186/s43031-019-0005-x>
- Duit, R., & Treagust, D. F. (2003). Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25(6), 671–688. <https://doi.org/10.1080/09500690305016>

#### In-text citation:

- Fortus, D., & Krajcik, J. (2012). Curriculum coherence and learning progressions. In B. J. Fraser, K. Tobin, & C. J. McRobbie (Eds.), *Second international handbook of science education* (pp. 783–797). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9041-7\\_52](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9041-7_52)
- Fathi Vajargah, K. (2019). *Principles of curriculum planning*. Tehran, Iran: Iran Zamin Publications. [In Persian].
- Jin, H., Mikeska, J., Hokayem, H., & Mavronikolas, E. (2019). Toward coherence in curriculum, instruction, and assessment. *Science Education*, 103(5), 1208–1241. <https://doi.org/10.1002/sce.21525>.

- Malińska, L., Rybska, E., Sobieszczuk-Nowicka, E., & Adamiec, M. (2017). Teaching about water relations in plant cells: An uneasy struggle. *CBE—Life Sciences Education*, 15(4), 63. <https://doi.org/10.1187/cbe.15-05-0113>.
- McElrone, A. J., Choat, B., Gambetta, G. A., & Brodersen, C. R. (2013). Water uptake and transport in vascular plants. *Nature Education Knowledge*, 4(5), 6. <https://www.nature.com/scitable/knowledge/library/water-uptake-and-transport-in-vascular-plants-103016037/>.
- Maleki, H. (2016). *Foundations of curriculum planning in secondary education*. Tehran, Iran: SAMT. [In Persian]In-text citation:
- Miquel, P.-A. (2011). Extended physics as a theoretical framework for systems biology? *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 106(2), 348–352. <https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2011.03.006>
- National Research Council. (2007). *Taking science to school: Learning and teaching science in grades K–12*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/11625>
- National Research Council. (2012). *A framework for K–12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13165>
- Odom, A. L. (1995). Secondary students' misconceptions about diffusion and osmosis. *The American Biology Teacher*, 57(7), 409–415. <https://doi.org/10.2307/4450030>
- Porter, A. C. (2002). Measuring the content of instruction: Uses in research and practice. *Educational Researcher*, 31(7), 3–14. <https://doi.org/10.3102/0013189X031007003>
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211–227. <https://doi.org/10.1002/sce.3730660207>
- Presley, T. D., Harp, N. A., Holt, L. S., & Samuel, D. (2021). Incorporating physics principles in general biology to promote integrative learning and thinking. *International Journal of Innovative Teaching and Learning in Higher Education*, 2(1), 1–19. <https://doi.org/10.4018/IJITLHE.20210101.oa5>
- Redish, E. F., & Cooke, T. J. (2013). Learning each other's ropes: Negotiating interdisciplinary authenticity. *CBE—Life Sciences Education*, 12(2), 175–186. <https://doi.org/10.1187/cbe.12-09-0147>
- Repko, A. F., & Szostak, R. (2021). *Interdisciplinary research: Process and theory* (4th ed.). SAGE.
- Schmidt, W. H., Wang, H. C., & McKnight, C. C. (2005). Curriculum coherence: An examination of US mathematics and science content standards from an international perspective. *Journal of Curriculum Studies*, 37(5), 525–559. <https://doi.org/10.1080/0022027042000294682>
- Stevens, S. Y., Shin, N., & Peek-Brown, D. (2013). Learning progressions as a guide for developing meaningful science learning: A new framework for old. *Educación Química*, 24(4), 381–390. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(13\)72491-1](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(13)72491-1)
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2010). *Plant physiology* (5th ed.). Sinauer Associates.
- Uno, G. E. (1994). The state of precollege botanical education. *The American Biology Teacher*, 56(5), 263–267. <https://doi.org/10.2307/4449818>.
- Watkins, J., Coffey, J. E., Redish, E. F., & Cooke, T. J. (2012). Disciplinary authenticity: Enriching the reforms of introductory physics courses for life-science students. *Physical Review Special Topics—Physics Education Research*, 8(1), Article 010112. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.8.010112>.
- Webb, N. L. (1997). Criteria for alignment of expectations and assessments in mathematics and science education. *Educational Researcher*, 26(2), 35–44. <https://doi.org/10.3102/0013189X026002035>
- Ziherl, S., & Torkar, G. (2022). Foundations matter: Pre-service teachers' understanding of osmosis and diffusion in relation to their formal science education backgrounds. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 18(6), Article em2113. <https://doi.org/10.29333/ejmste/12041>