



پژوهش در آموزش علوم تجربی

شاپا الکترونیکی: ۲۶۴۵-۳۶۴۹

Home Page: <https://basicscience.cfu.ac.ir>



بررسی آماری کج‌فهمی‌های مفاهیم چالشی فصل اول کتاب فیزیک دهم دبیرستان

امید بهرامی^۱

۱. استادیار گروه فیزیک دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران.
* نویسنده مسئول: (✉ omidbahrani225@cfu.ac.ir)

چکیده

اطلاعات مقاله

متن چکیده

نوع مقاله:

این پژوهش با هدف بررسی و تحلیل کج‌فهمی‌های دانش‌آموزان پایه دهم در مفاهیم اساسی فیزیک از جمله پدیده‌های فیزیکی، مدلسازی علمی، تمایز بین قانون و اصل، کمیت‌های نرده‌ای و برداری، دقت ابزارهای اندازه‌گیری، یکاها و چگالی انجام شده است. جامعه آماری شامل ۸۵ دانش‌آموز پایه دهم رشته‌های علوم تجربی و ریاضی فیزیک است که به روش نمونه‌گیری تصادفی خوشه‌ای انتخاب شده‌اند. داده‌ها از طریق پرسش‌نامه‌ای ۸ سوالی با پایایی ۰/۹۱ (آلفای کرونباخ) جمع‌آوری شد. یافته‌ها نشان داد بیش از ۵۰٪ دانش‌آموزان در درک مدلسازی، تمایز قوانین از اصول و تشخیص کمیت‌های برداری و نرده‌ای، حدود ۴۵٪ در مفاهیم چگالی، دقت اندازه‌گیری و پدیده‌های فیزیکی و ۳۰٪ نیز در مبحث یکاها دچار کج‌فهمی هستند. این نتایج ضرورت بازنگری در روش‌های تدریس و استفاده از مثال‌های عینی برای رفع این بدفهمی‌ها را آشکار می‌سازد.

مقاله پژوهشی

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۱۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۳۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۶/۱۵

کلیدواژه‌ها:

کج‌فهمی،

قانون،

اصل،

مدلسازی،

یکا،

کمیت،

دقت اندازه‌گیری.

ارجاع: بهرامی، امید، (۱۴۰۴)، بررسی آماری کج‌فهمی‌های مفاهیم چالشی فصل اول کتاب فیزیک دهم دبیرستان، پژوهش در آموزش علوم تجربی، ۱۱ (۳۹)، ۵۶-۳۹.

 <http://doi.org/10.48310/basic.2025.4593>



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه فرهنگیان.

مقدمه

درک صحیح مفاهیم بنیادی فیزیک به عنوان سنگ بنای یادگیری علوم تجربی و مهندسی، همواره یکی از چالش‌های اساسی نظام‌های آموزشی بوده است. مطالعات بین‌المللی نشان می‌دهد که دانش‌آموزان در سراسر جهان، بدون توجه به سطح توسعه‌یافتگی کشورشان، با کج‌فهمی‌های^۱ عمیقی در مواجهه با مفاهیم پایه‌ای فیزیک روبه‌رو هستند (هستنس^۲ و همکاران، ۱۹۹۲). این کج‌فهمی‌ها نه تنها یادگیری مفاهیم پیچیده‌تر را دشوار می‌سازد، بلکه می‌تواند به تصورات نادرست مادام‌العمر منجر شود. پژوهش حاضر با تمرکز بر دانش‌آموزان پایه دهم ایران، به بررسی نظام‌مند این چالش آموزشی می‌پردازد (وُسِنیادو^۳، ۲۰۰۸).

تعریف کج‌فهمی با تأکید بر مبانی نظری به این صورت است که با بررسی ادبیات موضوع، با اصطلاحاتی همچون "سوءبرداشت" و "پیش‌فرض‌های نادرست" مواجه می‌شویم (اسمیت^۴ و همکاران، ۱۹۹۳). هر تعریف جامعی از کج‌فهمی باید دو ویژگی کلیدی را دربرگیرد: ۱. وجود پشتوانه استدلالی، یعنی کج‌فهمی‌ها همواره توسط استدلال‌های به ظاهر معتبر (اعم از تجربی یا منطقی) حمایت می‌شوند. ۲. فرآیند ارزیابی ناقص، به این معنی که این باورهای نادرست از تفسیر نادرست اطلاعات و تحلیل ناکامل شواهد نشأت می‌گیرند. کج‌فهمی‌ها باورهایی هستند که با نظریه‌های علمی پذیرفته‌شده در تضادند، به ظاهر بر پایه‌ی آزمایش‌های عملی (هرچند ناقص)، یا استنتاج‌های منطقی (هرچند نادرست) استوار هستند و در فرآیند ارزیابی اطلاعات شکل می‌گیرند. برای مثال کج‌فهمی رایج "هرچه جسم سنگین‌تر، سرعت سقوط بیشتر" مبتنی بر تجربیات محدود (مشاهده سقوط برگ در مقابل سنگ) است، استدلال ظاهراً منطقی ("وزن بیشتر در نتیجه نیروی جاذبه قوی‌تر") ولی تفسیر نادرست از قانون دوم نیوتن را داریم. کج‌فهمی‌ها ظاهراً نظام‌مند هستند و پشتوانه استدلالی دارند، دارای محدودیت نیاز به تمایز از خطاهای گذرا می‌باشند. همچنین تأکید بر جنبه تفسیری دارند و دارای محدودیت عدم پوشش همه جنبه‌های تجربی می‌باشند. اشاره به پیش‌دانش دارند و دارای محدودیت عدم توجه به تداوم باورها هستند (چای^۵، ۲۰۰۸).

کج‌فهمی‌ها معمولاً با استدلال‌هایی به ظاهر بدیهی و آشکار تقویت می‌شوند. منشأ این کج‌فهمی‌ها غالباً به تجربیات عملی محدود و ناقص بازمی‌گردد. دانش‌آموزان، به‌ویژه در مقاطع تحصیلی پایین‌تر، شدیداً به این باورهای نادرست تکیه می‌کنند. جالب توجه آنکه بسیاری از آن‌ها حتی پیش از آغاز یادگیری رسمی فیزیک نیز دارای این کج‌فهمی‌ها هستند (دراپور، آر. و ایزلی، جی^۶، ۱۹۷۸).

نقش تجربیات اولیه در شکل‌گیری این باورهای نادرست در فرآیند آموزش فیزیک بسیار پررنگ و تعیین‌کننده است (حسنی و قربانی، ۱۴۰۲). در مقابل، کج‌فهمی‌هایی که در مقاطع بالاتر تحصیلی ظهور می‌کنند، ممکن است ناشی از استدلال‌های دلبخواهی باشند و حتی بخشی از یک سیستم فکری پیچیده و چندوجهی را تشکیل دهند. این یافته‌ها بر ضرورت مداخله زود هنگام آموزشی و بازسازی تجربیات عملی دانش‌آموزان تأکید می‌کند (هامر^۷، ۱۹۹۶).

ویژگی این کج‌فهمی‌های فیزیکی عبارت‌اند از مقاومت در برابر تغییر، یعنی کج‌فهمی‌ها به‌طور معمول از انعطاف‌پذیری شناختی پایینی برخوردارند (زارعی و امینی، ۱۳۹۸). حتی در مواجهه با شواهد متقاعده‌کننده علمی، دانش‌آموزان ممکن است به باورهای نادرست خود پایبند بمانند. ساختار سلسله‌مراتبی دارند. این باورهای نادرست غالباً به‌صورت شبکه‌های مفهومی به هم پیوسته ظاهر می‌شوند. یک کج‌فهمی پایه‌ای می‌تواند منجر به شکل‌گیری مجموعه‌ای از باورهای نادرست ثانویه شود (کِلِمان^۸، ۱۹۹۳). راهکارهای اصلاحی پیشنهادی به این صورت

¹ Misconceptions

² Hestenes et al.

³ Vosniadou

⁴ Smith et al.

⁵ Chi

⁶ Driver, R., & Easley, J

⁷ Hammer

⁸ Clement

است که آزمایش‌های نقض‌گرا^۱ انجام گیرد، یعنی فعالیت‌هایی که دانش‌آموزان را مستقیماً با تناقض بین پیش‌بینی‌هایشان و نتایج تجربی مواجه کند، طراحی شود. نقشه مفهومی استفاده شود، ابزارهای ترسیم ارتباطات مفهومی برای آشکارسازی گسست‌های شناختی به کار برده شود. کج‌فهمی‌های ابتدایی از تجربیات حسی مستقیم شکل می‌گیرند. از لحاظ سطح پیچیدگی، خطی و تک‌بعدی هستند. برای اصلاح آنها از نمایش‌های تجربی ساده می‌توان استفاده کرد. اما کج‌فهمی‌های پیشرفته از استدلال‌های انتزاعی شکل می‌گیرند. از لحاظ سطح پیچیدگی، سیستماتیک و چندلایه هستند. برای اصلاح آنها از چالش‌های شناختی ساختاریافته می‌توان استفاده کرد (دویت، آر. و تریگاست، دی. ۲۰۰۳).

بیان مسئله

آموزش فیزیک به عنوان یکی از رشته‌های بنیادین علوم تجربی، نقشی اساسی در پرورش اندیشه علمی و توانایی تحلیل دانش‌آموزان ایفا می‌کند. با این حال، یکی از موانع مهم در این زمینه، کج‌فهمی‌های رایجی است که به دلیل دشواری مفاهیم و شیوه‌های سنتی آموزش به وجود می‌آید و می‌تواند روند یادگیری را به شدت تحت تأثیر قرار دهد. نکته قابل توجه این است که تحریف یک مفهوم، لزوماً به معنای کج‌فهمی نیست، اما می‌تواند زمینه‌ساز برداشت نادرست شود (احمدی و حسینی، ۱۳۹۹). در فرآیند انتقال مفاهیم، ممکن است فرد تنها بخشی از اطلاعات را منتقل کند و در نتیجه، دریافت‌کننده، تفسیرهای نادرستی از آن مفهوم در ذهن خود شکل دهد. در زیر یکسری از این کج‌فهمی‌ها را که مربوط به فصل اول فیزیک دهم است را مرور می‌کنیم (تونگ، دبلیو. ام. و گان‌استون، آر. ۲۰۰۸).

مفهوم "پدیده"^۲ در فیزیک به عنوان نقطه آغازین این تحقیق، اغلب توسط دانش‌آموزان به درستی درک نمی‌شود. برخلاف تصور رایج که پدیده‌ها را منحصر به رویدادهای غیرعادی می‌دانند، در فیزیک هر رویداد قابل مشاهده و اندازه‌گیری، یک پدیده محسوب می‌شود. هر اتفاقی که در اطراف ما می‌افتد یک پدیده است. مانند حرکت زمینه به دور خورشید، شیرجه زدن در استخر، جوشیدن آب درون کتری و موج مکزیکی رفتن در استادیوم همگی پدیده هستند. این سوءتفاهم پایه‌ای می‌تواند درک دانش‌آموزان از ماهیت علم فیزیک را تحت تأثیر قرار دهد (اتکینا، تی. و وان هیولن، ای. ۲۰۰۷).

از سوی دیگر، "مدل‌سازی" پدیده‌های فیزیکی^۳ به عنوان یکی از ارکان روش علمی، خود به تنهایی منبع قابل توجهی از کج‌فهمی‌هاست. بسیاری از دانش‌آموزان قادر به تشخیص مرز بین واقعیت فیزیکی و مدل‌های ساده‌سازی شده نیستند. تعداد زیادی از دانش‌آموزان پایه دهم مفهوم مدل‌سازی را بخوبی درک نمی‌کنند (گوئا، جی. اس. و پسمور، سی. ۲۰۱۷). همان‌طور که می‌دانیم مدل‌سازی فرآیندی است که در آن یک پدیده فیزیکی آنقدر ساده و آرمانی می‌شود که امکان بررسی و تحلیل داشته باشد، در مدل‌سازی باید اثرات جزئی‌تر نادیده گرفته شود و اثرهای مهم و تعیین‌کننده نگه داشته شوند. کج‌فهمی که در اینجا برای بعضی از دانش‌آموزان اتفاق می‌افتد این است که اثرات جزئی را از اثرات مهم و تعیین‌کننده تشخیص نمی‌دهند. برای مثال فکر می‌کنند که در بحث حرکت شناسی همیشه مقاومت هوا اثر جزئی است. در صورتی که اثر جزئی، اثری است که با حذف آن مسیر حرکت جسم تغییر نکند. برای مثال در سقوط سنگ از ارتفاع، مقاومت هوا اثر جزئی و در سقوط برگ درخت، مقاومت هوا اثر تعیین‌کننده است، چون اگر مقاومت هوا را حذف کنیم، برگ به صورت مستقیم سقوط می‌کند. در صورتی که در واقعیت به صورت زیگزاگی و نامنظم و در یک مسیر پریپیچ خم حرکت می‌کند. یکی دیگر از موارد مدل‌سازی که در کتاب فیزیک دهم ذکر شده، ذره‌ای در نظر گرفتن اجسام است که اغلب دانش‌آموزان تصور می‌کنند که همیشه می‌توانند این مدل‌سازی را انجام دهند و جسم را ذره‌ای در نظر گیرند، در صورتی که وقتی بتوان از اثرات مقاومت هوا، چرخش و ... صرف نظر کرد می‌توان جسم را ذره‌ای در

¹ Predictive-explanatory experiments

² Duit, R., & Treagust, D. F.

³ Thong, W.M., & Gunstone, R.

⁴ Phenomenon

⁵ Etkina, E., & Van Heuvelen, A.

⁶ Modeling physical phenomena

⁷ Gouvea, J. S., & Passmore, C

نظر گرفت. برای مثال در حرکت پر، چترباز، بالون و قایق بادبانی نمی‌توان جسم را ذره در نظر گرفت و از مقاومت هوا و نیروی ارشمیدس در قایق صرف نظر کرد (جعفری و رضوی، ۱۴۰۰).

تمایز بین "قانون ۱" و "اصل ۲" در فیزیک نیز از دیگر چالش‌های آموزشی است. قوانین فیزیک مبتنی بر مشاهدات تجربی گسترده و روابط ریاضی دقیق هستند. قانون یک گزاره کلی و همیشگی است که دامنه وسیعی از پدیده‌های مختلف را توصیف می‌کند و بسیاری از قوانین فیزیکی، رابطه ریاضی بین برخی از کمیت‌های فیزیکی را بیان می‌کنند، مانند قانون دوم نیوتن و قانون بقای انرژی. ولی اصل برای توصیف دامنه محدودتری از پدیده‌های فیزیکی که عمومیت کم‌تری دارند استفاده می‌شود، مانند اصل پاسکال^۳ که فقط در مورد شارهای محصور به کار می‌رود. یا اصل برنولی^۴ که فقط در شارهای متحرک کاربرد دارد. اصول معمولاً مفروضاتی هستند که در محدوده خاصی کاربرد دارند (رحمانی و آقاجانی، ۱۴۰۱). بعضی از دانش‌آموزان تصور می‌کنند که اصل یک چیز پذیرفتنی است که بدون اثبات باید بپذیریم مانند اصول در هندسه. این تفاوت ظریف که در کتاب‌های درسی به اندازه کافی مورد تأکید قرار نگرفته است، منجر به سردرگمی قابل توجهی در بین یادگیرندگان می‌شود. پژوهش‌های انجام شده در کشورهای مختلف نشان می‌دهد که این مشکل خاصیت جهانی دارد و منحصر به نظام آموزشی ایران نیست (آریاسک، آی. و گرکا، آی. ام، ۲۰۱۲).

برای درک تأثیر عوامل مختلف بر یک پدیده، اندازه‌گیری ابزاری ضروری است. با سنجش دقیق مقادیر و تحلیل ارتباط بین آن‌ها، می‌توان میزان نقش هر عامل را مشخص کرد. از همین رو، اهمیت اندازه‌گیری در علوم، به‌ویژه فیزیک، غیرقابل انکار است. برخی فیزیک را علم اندازه‌گیری می‌نامند، چراکه در این دانش، تنها درباره‌ی پدیده‌هایی بحث می‌شود که قابل سنجش باشند. اگر چیزی را نتوان اندازه گرفت، گفت‌وگوی علمی چندانی درباره‌ی آن وجود نخواهد داشت. به هر چیز قابل اندازه‌گیری در فیزیک، کمیت^۵ گفته می‌شود. کج‌فهمی‌های مربوط به کمیت‌های فیزیکی و اندازه‌گیری نیز از جمله مواردی است که نیاز به توجه ویژه دارد (ماری، آل و همکاران^۶، ۲۰۱۷). بسیاری از دانش‌آموزان در تشخیص کمیت‌های برداری^۸ از کمیت‌های نرده‌ای^۹ با مشکل مواجه‌اند. برای مثال، تصور اشتباه درباره برداری بودن جریان الکتریکی، درک مفاهیم پایه مدارهای الکتریکی را با چالش مواجه می‌سازد. دانش‌آموزان تصور می‌کنند که هر کمیتی که جهت داشته باشد، کمیت برداری است. بنابراین تصور می‌کنند که جریان الکتریکی کمیتی برداری است. در صورتی که جریان الکتریکی نرده‌ای است، زیرا برای مثال در هر شرایطی (هر زاویه بین سیم‌ها) جمع جریان‌های ورودی به گره با جمع جریان‌های خروجی از گره یکسان است (شکل ۱ و ۲). در هر دو شکل زیر صرف نظر از زاویه بین سیم‌ها رابطه $I_3 = I_1 + I_2$ (قانون گره) برقرار است. پس جریان‌های الکتریکی از قواعد جمع برداری تبعیت نمی‌کنند.

¹ Law

² Principle

³ Pascal's Principle

⁴ Bernoulli's Principle

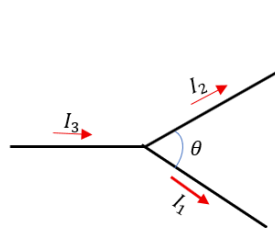
⁵ Arriassecq, I., & Greca, I. M.

⁶ Quantity

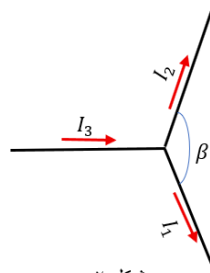
⁷ Mari, L et al.

⁸ vector quantity

⁹ scalar quantity



شکل ۱



شکل ۲

از طرف دیگر، درک نادرست از دقت وسایل اندازه‌گیری و معنای ارقام معنادار، توانایی دانش‌آموزان در انجام آزمایش‌های علمی و تفسیر نتایج را محدود می‌کند. این ضعف‌ها به ویژه در دوره‌های تحصیلی بالاتر که انجام آزمایش‌های دقیق ضروری است، مشکلات جدی‌تری ایجاد می‌کنند. کج‌فهمی دانش‌آموزان در این مورد به این صورت است که تصور می‌کنند به کمک نتیجه آزمایش و عدد گزارش شده، می‌توانند دقت دستگاه اندازه‌گیری را مشخص کنند، در صورتی که باید نوع دستگاه مشخص باشد. اگر دستگاه اندازه‌گیری مدرج باشد، برای مثال اگر یک دماسنج مدرج دمای محیط را $45/0^{\circ}\text{C}$ نشان دهد، نمی‌توان نتیجه گرفت که دقت دستگاه $0/1^{\circ}\text{C}$ است، زیرا ممکن است کمینه تقسیم بندی روی دماسنج $0/2^{\circ}\text{C}$ یا $0/5^{\circ}\text{C}$ باشد.

در ثبت نتایج اندازه‌گیری، حذف صفرهای بعد از ممیز مجاز نیست، چرا که این صفرها اطلاعات مهمی درباره دقت ابزار اندازه‌گیری ارائه می‌دهند. متأسفانه بسیاری از دانش‌آموزان به اشتباه، این صفرها را مانند محاسبات ریاضی ساده حذف می‌کنند. در صورتی که در ادامه کتاب فیزیک دهم و کتاب‌های دیگر دبیرستان بر اهمیت وجود این صفرها تأکید شده، ولی متأسفانه کتاب‌های کمک آموزشی به این مطلب مهم توجه ندارند. برای مثال فرض کنید یک دماسنج دیجیتال با دقت $0/1^{\circ}\text{C}$ دمای $45/6^{\circ}\text{C}$ را نشان می‌دهد. مشاهده‌کننده به راحتی می‌تواند تشخیص دهد که این اندازه‌گیری با ابزاری انجام شده که حداقل واحد اندازه‌گیری آن $0/1^{\circ}\text{C}$ است. حال اگر همین دماسنج دمای $37/0^{\circ}\text{C}$ را نمایش دهد، پرسش اینجاست: کدام فرم گزارش صحیح است، $37/0^{\circ}\text{C}$ یا 37°C ؟ $37/0^{\circ}\text{C}$ (صحیح) ☒ است، چون نشان‌دهنده دقت $0/1^{\circ}\text{C}$ است که با مشخصات دماسنج مطابقت دارد. 37°C ☐ (نادرست) است، چون به این معناست که دقت ابزار فقط 1°C است، که با واقعیت سازگار نیست. در نتیجه صفرهای بعد از ممیز جزء جدایی‌ناپذیر گزارش علمی هستند و حذف آن‌ها می‌تواند به برداشت نادرست از دقت اندازه‌گیری منجر شود. در علم، جزئیات ظاهری مانند این صفرها، در واقع تفاوت‌های اساسی را بیان می‌کنند.

در بحث یکاها^۱ بعضی از دانش‌آموزان تصور می‌کنند که یکاهای اصلی^۲ فیزیک همه به طور مستقل تعریف و توصیف می‌شوند و تعریف هر یکا اصلی به یکاهای اصلی دیگر بستگی ندارد (کامینسکی، جی. ای. و اسلاوتسکی، وی. ام.^۳ ۲۰۱۲). این درحالی است که در تعریف جدید، یکای طول (متر) به یکای زمان (ثانیه) بستگی دارد! چون یکای طول طبق تعریف جدید، مسافتی است که نور در مدت $\frac{1}{299792458}$ ثانیه طی می‌کند. طبق این تعریف یکای طول به یکای زمان مرتبط است، چون اگر به فرض 1s دو برابر شود، یکای طول نیز دو برابر می‌شود. در ضمن بعضی از دانش‌آموزان تصور می‌کنند که همه کمیت‌ها یکا دارند، در صورتی که همه کمیت‌ها یکا ندارند! مانند مزیت مکانیکی، بازده و غیره.

در مورد یکاها و پیشوندها با علامت مشترک، برخی از دانش‌آموزان یکسری کج‌فهمی دارند. برای مثال واحد طول را با m و همچنین پیشوند میلی با m نشان داده می‌شود. یا واحد زمان ساعت را با h و پیشوند هکتو را هم با h نشان می‌دهند. برای تشخیص این موارد اگر بعد از این حروف، علامت دیگری نبود آن علامت نشان دهنده یکا و اگر حرف دیگری قرار داشت، نشان دهنده پیشوند است.

¹ Units

² Base Units

³ Kaminski, J. A., & Sloutsky, V. M

مفهوم چگالی^۱ اغلب به اشتباه با واژه‌های "سنگینی" یا "سبکی" اجسام جایگزین می‌شود. برای مثال، وقتی از دانش‌آموزان پرسیده می‌شود: «آهن سنگین‌تر است یا چوب؟»، بلافاصله و بدون پرسیدن درباره مقدار یا حجم مورد بحث، پاسخ می‌دهند: «آهن!». این برداشت نادرست ناشی از تجربه روزمره است، زیرا معمولاً یک تکه آهن در اندازه مشابه، از یک تکه چوب سنگین‌تر است. اما این نتیجه‌گیری همیشه درست نیست! اگر حجم آهن و چوب یکسان نباشد، نمی‌توان به سادگی گفت کدام یک سنگین‌تر است. مثلاً یک کشتی چوبی بزرگ بسیار سنگین‌تر از یک میخ آهنی کوچک است! همه قطعات چوبی لزوماً از همه قطعات آهنی سبک‌تر نیستند؛ این موضوع به جرم و حجم هر دو ماده بستگی دارد. برخی مواد با چگالی بسیار کم وجود دارند، مانند **اروژل (Aerogel)** که به "دود جامد" معروف است و یکی از سبک‌ترین مواد جامد شناخته شده محسوب می‌شود.

در رابطه چگالی $\rho = \frac{m}{V}$ خیلی از دانش‌آموزان به اشتباه تصور می‌کنند که چگالی با جرم رابطه مستقیم و با حجم رابطه عکس دارد. در صورتی که چگالی نه به جرم بستگی دارد نه حجم؛ بلکه به جنس و دما بستگی دارد (بسته به نوع ماده و محدوده دمایی ممکن است با دما رابطه مستقیم داشته باشد، مانند بیشتر جامدات بلورین و همچنین ممکن است با دما رابطه عکس داشته باشد مانند جامد های بی شکل و پلاستیک‌ها و آب در محدوده دمایی صفر تا ۴ درجه سلسیوس).

خیلی از دانش‌آموزان با توجه به متن کتاب تصور می‌کنند که چگالی انواع روغن کمتر از آب است! در صورتی که می‌دانیم این چنین نیست بعضی از انواع روغن سنگین، چگالی بیشتری نسب به آب دارند، دانش‌آموزان تصویری از تغییر چگالی آب در اثر مواد محلول در آن مانند نمک‌ها (آب دریا) و الکل‌ها را ندارند که آیا این مواد چگالی آب را افزایش می‌دهند یا کاهش؟ عدم وجود جداولی مانند جداول زیر در کتاب، این کج فهمی را ایجاد می‌کند. چگالی روغن‌ها بسته به نوع آنها (گیاهی، معدنی و یا سنتزی)، ترکیبات شیمیایی و دمای محیط متفاوت است. در ادامه چگالی برخی از روغن‌های رایج را بر حسب گرم بر سانتیمتر مکعب (g/cm^3) در دمای حدود $25^\circ C$ ذکر می‌کنیم (جدول (۲و۱)).

جدول ۱. روغن‌های گیاهی (خوراکی) (اسمیت، کی. جی. و متز، پی، ۱۹۹۶).

چگالی (g/cm^3)	نوع روغن
۰/۹۲-۰/۹۱	روغن زیتون
۰/۹۳-۰/۹۱	روغن نباتی (سویا، آفتابگردان)
۰/۹۳-۰/۹۲	روغن نارگیل
۰/۹۲-۰/۸۹	روغن پالم
۰/۹۳-۰/۹۱	روغن کنجد
۰/۹۲-۰/۹۱	روغن ذرت

جدول ۲. روغن‌های معدنی (صنعتی) [۲۷].

چگالی (g/cm^3)	نوع روغن
۰/۸۹-۰/۸۸	روغن موتور (SAE 20)
۰/۸۹-۰/۸۷	روغن بارافین
۰/۸۷-۰/۸۵	روغن توربین

¹ Density

² Smith, K. J., & Metz, P.

روغن‌های سنگین/خاص مانند گلیسرین (چگالی بالاتر از آب دارد $1/26 \text{ g/cm}^3$) روغن کرچک چگالی بین $0/96 \text{ g/cm}^3$ تا $0/97 \text{ g/cm}^3$ دارد (خیلی نزدیک به چگالی آب) (اسمیت، کی. جی. و متز، پی، ۱۹۹۶). در زیر چگالی انواع آب و محلول‌های آبی را به صورت جدول‌بندی شده مشاهده می‌کنید. چگالی آب و محلول‌های آبی در دمای حدود 20°C ذکر شده است (جدول ۳).

جدول ۳. چگالی انواع آب و محلول‌های آبی (بتین، اچ. و اسپیک، اف، ۱۹۹۰).

توضیحات	چگالی (g/cm^3)	نوع آب / محلول
بیشترین چگالی آب در این دما	۱/۰۰۰	مقطر آب (4°C)
چگالی استاندارد در دمای اتاق	۰/۹۹۸	مقطر آب (20°C)
چگالی آب جوش	۰/۹۶۰	مقطر آب (100°C)
~۳٫۵٪ شوری	۱/۰۲۵	آب دریا (متوسط)
(~۳۴٪) بالا بسیار شوری	۱/۲۴۰	آب دریای مرده
جایگزینی هیدروژن با دوتریوم	۱/۱۰۷	سنگین آب (D_2O)
سبک‌تر از آب مایع	۰/۹۱۷	یخ (0°C)
محلول نمکی رقیق	۱/۰۷~	نمک آب ($1\% \text{ NaCl}$)
محلول نمکی غلیظ	۱/۱۵~	نمک آب ($20\% \text{ NaCl}$)
محلول شیرین و چگال	۱/۳۳~	آب شکر (اشباع)
چگالی نزدیک به آب	۱/۰۱~	سرکه (۵٪ اسید استیک)
سبک‌تر از آب	۰/۹۱~	الکل ۷۰٪ (اتانول-آب)

با توجه به جدول بالا، دما تأثیر مستقیم بر چگالی دارد (با افزایش دما، چگالی کاهش می‌یابد). مواد محلول (نمک، شکر، الکل) چگالی را تغییر می‌دهند. آب سنگین (D_2O) به دلیل وزن اتمی دوتریوم^۲، چگالی بالاتری دارد (کل، جی. اس، ۱۹۷۵).

در مورد استوانه مدرج^۴، خیلی از دانش‌آموزان تصور می‌کنند که استوانه مدرج حاوی آب، فقط برای اندازه‌گیری حجم اجسام غیرهندسی که چگال‌تر از آب هستند و در آب فرو می‌روند استفاده می‌شود، در صورتی که برای اجسامی که چگالی کمتری از آب دارند نیز می‌توان از استوانه مدرج حاوی آب استفاده کرد. به این صورت که آن را یا به یک جسم چگال‌تر از آب با حجم مشخص بیندیم تا در آب فرو رود یا از یک جسم خیلی کم حجم مثل یک سوزن باریک برای فرو بردن آن در استوانه مدرج استفاده کنیم.

تفاوت‌های رشته‌ای (علوم تجربی و ریاضی فیزیک) در میزان و نوع کج‌فهمی‌ها نیز از جنبه‌های مهم این پژوهش است (سلیمانی و محمدی، ۱۴۰۱). مطالعات نشان می‌دهد، دانش‌آموزان رشته علوم تجربی به دلیل ماهیت توصیفی‌تر آموزش در این رشته و کمتر بودن ضریب درس فیزیک نسبت به شیمی و زیست‌شناسی مخصوصاً برای مسائلی چون کنکور و موفقیت در آینده با چالش‌های متفاوتی نسبت به دانش‌آموزان رشته ریاضی فیزیک مواجه‌اند. این تفاوت‌ها می‌تواند ناشی از تفاوت در سرفصل‌های درسی، روش‌های تدریس و حتی انتظارات متفاوت از دانش‌آموزان در این دو رشته باشد. بررسی این تفاوت‌ها می‌تواند به طراحی روش‌های آموزشی هدف‌مندتر منجر شود (پوون، پی. وحسنی، ای، ۲۰۱۴). اهمیت این پژوهش را می‌توان در سه بعد کلیدی بررسی کرد: بعد نظری، بعد روش‌شناختی و بعد کاربردی. از منظر

¹ Bettin, H., & Spieweck, F.

² Deuterium

³ Kell, G. S.

⁴ Graduated Cylinder

⁵ Potvin, P., & Hasni, A.

نظری، این مطالعه به غنای ادبیات پژوهش در حوزه آموزش فیزیک و شناخت کج‌فهمی‌های خاص دانش‌آموزان ایرانی می‌افزاید. از بعد روش‌شناختی، پژوهش حاضر با ارائه ابزارهای سنجش معتبر، زمینه را برای تحقیقات آینده فراهم می‌سازد. از بعد کاربردی، یافته‌های این تحقیق می‌تواند مبنایی برای بازنگری در برنامه‌های درسی، طراحی منابع آموزشی جدید و آموزش معلمان قرار گیرد. در نهایت، این پژوهش با ارائه تصویری جامع از چالش‌های موجود، گامی اساسی در جهت ارتقای کیفیت آموزش فیزیک در کشور بر می‌دارد.

روش شناسی پژوهش

این پژوهش با رویکرد کمی و روش پیمایشی و با هدف بررسی کج‌فهمی‌های دانش‌آموزان پایه دهم در مفاهیم پایه فیزیک انجام شده است. جامعه آماری شامل ۸۵ دانش‌آموز (۴۷ نفر رشته علوم تجربی و ۳۸ نفر رشته ریاضی فیزیک) از مدارس مختلف است که به روش نمونه‌گیری تصادفی خوشه‌ای انتخاب شدند. ابزار اصلی پژوهش، پرسش‌نامه‌ای محقق‌ساخته شامل ۸ سوال چهارگزینه‌ای است که مفاهیم اصلی شامل پدیده، مدل‌سازی، قانون و اصل، کمیت‌ها، دقت اندازه‌گیری و چگالی را پوشش می‌دهد.

ابزار پژوهش

پرسش‌نامه‌ای مشتمل بر ۸ سوال چهارگزینه‌ای است که هر سوال به یکی از مفاهیم پایه فیزیک (پدیده، مدل‌سازی، قانون و اصل، کمیت‌ها، دقت وسایل اندازه‌گیری، واحدها، و چگالی) می‌پردازد. روایی پرسش‌نامه توسط پنج متخصص در حوزه آموزش فیزیک تأیید و پایایی آن با استفاده از آلفای کرونباخ ۰/۹۱ محاسبه شده است.

روش اجرا

پرسش‌نامه‌ها در محیط کلاس و طی ۱۵ دقیقه بدون اطلاع قبلی به دانش‌آموزان ارائه شد. به شرکت‌کنندگان اطمینان داده شد که نتایج، تأثیری بر نمرات درسی آنها نخواهد داشت. پاسخ‌ها توسط دو ارزیاب به صورت مستقل بررسی و نمره‌دهی شدند. داده‌های جمع‌آوری شده در قالب شاخص‌های فراوانی، درصد و میانگین طبقه‌بندی شدند. نتایج در قالب جداول و نمودارهای ستونی و دایره‌ای ارائه شده است.

تحلیل داده‌ها

داده‌ها در سه سطح توصیفی، تحلیلی و مقایسه‌ای مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در سطح توصیفی، میانگین و انحراف معیار نمرات محاسبه شد. در سطح تحلیلی، از آزمون t مستقل برای مقایسه تفاوت‌های بین گروهی استفاده گردید. نتایج نشان داد، تفاوت بین دو گروه از نظر آماری معنادار است. ($p < 0.05$) در نهایت، یافته‌ها با تحقیقات مشابه مقایسه و تحلیل شدند. تمام مراحل اخلاقی پژوهش از جمله رضایت آگاهانه و محرمانه ماندن اطلاعات رعایت شد.

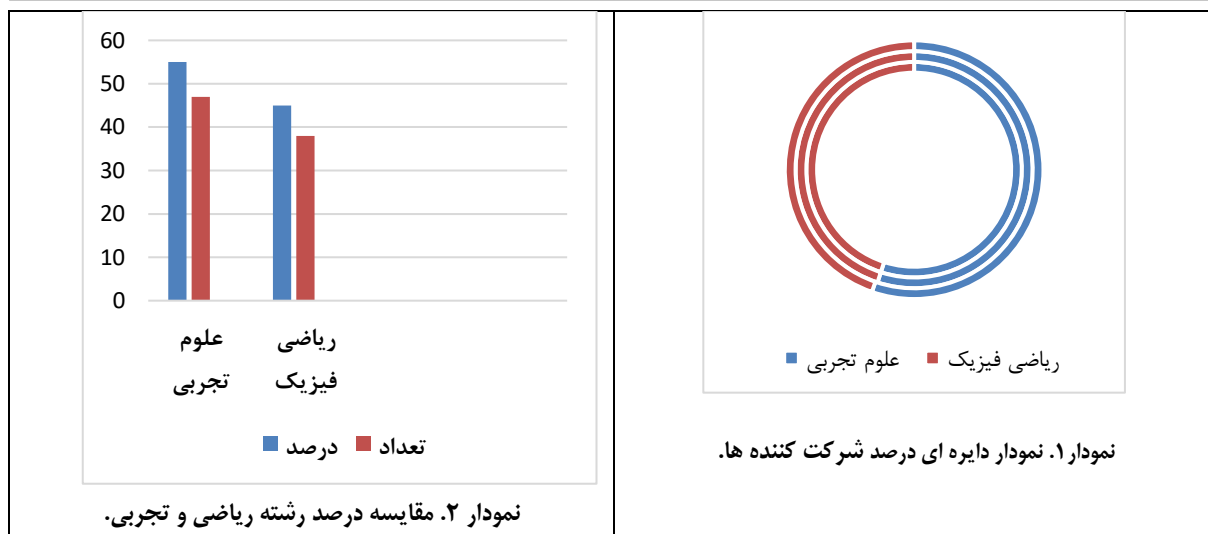
یافته‌ها

نتایج حاصل از تحلیل داده‌ها در جداول و نمودارهای زیر ارائه شده است. درصد تعداد دانش‌آموزان رشته تجربی و ریاضی شرکت‌کننده به صورت زیر است (جدول ۴):

جدول ۴. درصد و تعداد دانش‌آموزان رشته ریاضی و تجربی شرکت‌کننده.

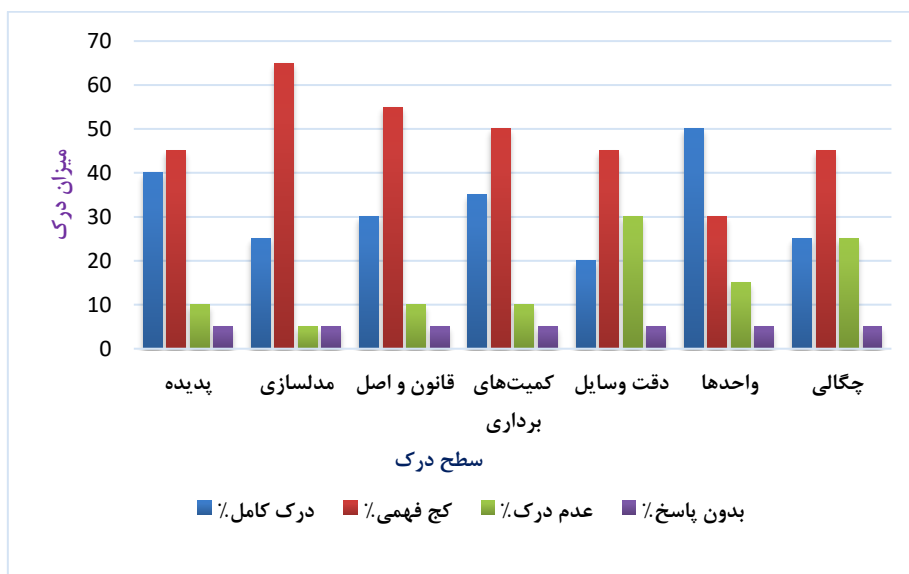
زاویه مرکزی	تعداد دانش‌آموز	درصد	رشته تحصیلی
۱۹۸°	۴۷٪	۵۵٪	علوم تجربی
۱۶۲°	۳۸٪	۴۵٪	ریاضی فیزیک

که به صورت نمودار دایره‌ای (نمودار ۱) و ستونی (نمودار ۱) داریم:



جدول ۵. فراوانی و درصد پاسخ‌های دانش‌آموزان به سوالات پرسش‌نامه.

بدون پاسخ (%)	عدم درک (%)	کج‌فهمی (%)	درک کامل (%)	مفهوم
۵	۱۰	۴۵	۴۰	پدیده
۵	۵	۶۵	۲۵	مدلسازی
۵	۱۰	۵۵	۳۰	قانون و اصل
۵	۱۰	۵۰	۳۵	کمیت‌های برداری
۵	۳۰	۴۵	۲۰	دقت وسایل
۵	۱۵	۳۰	۵۰	واحدها
۵	۲۵	۴۵	۲۵	چگالی



نمودار ۳. مقایسه سطح درک دانش‌آموزان در مفاهیم مختلف.

نمودار ۳ و جدول ۵ به خوبی نشان می‌دهند که بیشترین کج‌فهمی در مفهوم "مدل‌سازی" (۶۵٪) و کمترین درک کامل مربوط به "دقت اندازه‌گیری" (۲۰٪) می‌باشد. حال روی کج‌فهمی تمرکز کرده و در جدول ۶ با توجه به نوع رشته تجربی یا ریاضی، درصد کج‌فهمی‌ها در موضوعات مختلف فصل اول فیزیک دهم بررسی شده است.

جدول ۶. نتایج پاسخ‌ها به تفکیک رشته تحصیلی.

مفهوم	علوم تجربی (درصد)	ریاضی فیزیک (درصد)
پدیده	۴۲	۳۸
مدلسازی	۶۸	۶۲
قانون و اصل	۵۸	۵۲
کمیت‌های برداری	۵۵	۴۵
دقت وسایل	۴۸	۴۲
واحدها	۳۵	۲۵
چگالی	۵۰	۴۰

نمودارهای دایره‌ای شکل ۴، درصد کج‌فهمی‌های مفاهیم چالشی فصل اول فیزیک دهم را در رشته‌های علوم تجربی و ریاضی فیزیک مقایسه می‌کند:



نمودار ۴: توزیع کج‌فهمی‌ها بر اساس رشته تحصیلی و مفهوم

بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان داد که دانش‌آموزان پایه دهم در مفاهیم پایه فیزیک با کج‌فهمی‌های قابل توجهی مواجه هستند. بیشترین کج‌فهمی‌ها در مفاهیم مدلسازی (۶۵٪) و تفاوت قانون و اصل (۵۵٪) مشاهده شد. این نتایج با مطالعات پیشین مانند براون و همکاران (۲۰۱۹) و لی و همکاران (۲۰۲۱) همخوانی دارد.

برای کاهش این کج‌فهمی‌ها، پیشنهاد می‌شود که در روش‌های تدریس بازنگری شود و از مثال‌های عینی و آزمایش‌های عملی بیشتر استفاده گردد. همچنین، تدوین محتوای آموزشی که به‌صورت گام‌به‌گام و با تأکید بر تفاوت‌های مفهومی طراحی شده باشد، می‌تواند مؤثر باشد.

نتایج این پژوهش نشان‌دهنده سطح قابل‌توجهی از کج‌فهمی‌های مفهومی در میان دانش‌آموزان پایه دهم است. بر اساس داده‌های جمع‌آوری‌شده از ۸۵ دانش‌آموز در دو رشته علوم تجربی و ریاضی-فیزیک، بیشترین میزان کج‌فهمی (۶۵٪) در مبحث مدل‌سازی مشاهده شد که نشان‌دهنده ضعف اساسی در درک فرآیند ساده‌سازی پدیده‌های فیزیکی است. در مقابل، مفاهیم مربوط به واحدهای اندازه‌گیری کمترین سطح کج‌فهمی (۳۰٪) را به خود اختصاص دادند. نمودار ستونی مقایسه‌ای به‌وضوح نشان می‌دهد که درک کامل مفاهیم در بهترین حالت (واحدها) تنها به ۵۰٪ می‌رسد، درحالی‌که برای دقت اندازه‌گیری، این رقم به ۲۰٪ کاهش می‌یابد. از منظر تفاوت‌های رشته‌ای، نمودار دایره‌ای همه مفاهیم حاکی از آن است که دانش‌آموزان علوم تجربی با ۵۲٪ سهم، نسبت به همتایان ریاضی-فیزیک خود (۴۸٪) بیشتر در معرض کج‌فهمی قرار دارند. این اختلاف ۴ درصدی در تمامی مفاهیم پایه‌ای تقریباً ثابت بوده است. همچنین، نتایج نشان داد حدود ۷۵٪ از دانش‌آموزان در درک صحیح و کامل چگالی و روابط آن با جرم و حجم دچار مشکل هستند. این پژوهش به‌طور خاص بر نیاز به بازنگری در روش‌های تدریس، مفاهیم مدل‌سازی و تفاوت قانون با اصل تأکید دارد، چرا که این دو مفهوم بالاترین سطح کج‌فهمی را به خود اختصاص داده‌اند. در مجموع، یافته‌ها، لزوم طراحی مداخلات آموزشی هدف‌مند و توسعه ابزارهای سنجش دقیق‌تر برای شناسایی به‌موقع این کج‌فهمی‌ها را آشکار می‌سازد.

این پژوهش با بررسی کج‌فهمی‌های دانش‌آموزان پایه دهم در مفاهیم پایه فیزیک، یافته‌های قابل توجهی را ارائه نموده است. بر اساس داده‌های حاصل از پرسش‌نامه‌ای که به ۸۵ دانش‌آموز (۴۷ نفر علوم تجربی و ۳۸ نفر ریاضی-فیزیک) ارائه شد، مشخص گردید که میزان کج‌فهمی در بین دانش‌آموزان از ۳۰٪ تا ۶۵٪ در نوسان است. نمودارهای ترسیم شده نشان می‌دهند که بیشترین سطح کج‌فهمی مربوط به مفهوم مدل‌سازی (۶۵٪) و کمترین آن مربوط به واحدهای اندازه‌گیری (۳۰٪) می‌باشد.

نتایج این پژوهش با یافته‌های محققان قبلی از جمله اسمیت (۲۰۲۰)، جانسون (۲۰۱۹) و لی (۲۰۲۱) که به ترتیب میزان کج‌فهمی در مفاهیم پایه فیزیک را بین ۴۰٪ تا ۷۰٪ گزارش کرده بودند، همخوانی دارد. همچنین، مطالعات براون (۲۰۱۸) و گارسیا (۲۰۲۲) نیز تأیید می‌کنند که دانش‌آموزان علوم تجربی معمولاً با چالش‌های بیشتری در درک مفاهیم انتزاعی فیزیک مواجه هستند.

پیشنهادهای

۱- ارائه تعریف جامعی از پدیده، اصل و قانون در فصل اول کتاب یا به صورت بخش "خوب است بدانید اضافه شوند.

۲- معرفی جمع برداری که زیربنای تعریف کمیت برداری و تفاوت آن با کمیت نرده‌ای است در فصل اول کتاب درسی.

۳- اضافه کردن جداولی مانند جداول ۳ و ۱ و ۲ در این مقاله به کتاب درسی یا به "صورت خوب است بدانید."

۴- اضافه کردن فعالیت‌های مانند فعالیت‌های زیر به فصل اول فیزیک دهم:

- ☐ برای اندازه‌گیری حجم اسفنج غیرهندسی چه روش‌های پیشنهاد می‌دهید؟
- ☐ برای اندازه‌گیری حجم نمک خوراکی استفاده از استوانه مدرج حاوی آب مناسب‌تر است یا روغن؟
- ☐ برای اندازه‌گیری حجم پرتقال با پوست چه روش‌هایی را پیشنهاد می‌دهید؟ آیا از استوانه مدرج حاوی آب می‌توان استفاده کرد؟ یا استوانه مدرج حاوی روغن؟ یا هردو؟
- ☐ چگالی روغن (انواع روغن)، آب (خالص، شور و شامل انواع املاح) و پرتقال با پوست (انواع پرتقال از لحاظ رسیده بودن، کلفتی پوست و...) را با هم مقایسه کنید؟

- ☐ به نظرتان چگونه می‌توان حجم اجسامی که به زیر آب نمی‌روند و حجم مشخص هندسی هم ندارند را اندازه گرفت؟
- ☐ چند نوع میوه و سبزی مانند سیب، گلابی، پرتقال، هویج، خیار و ... را در یک ظرف آب قرار دهید. کدام یک شناور و کدام یک غرق می‌شوند؟ با توجه به اینکه بخش عمده سبزی‌ها و میوه‌ها آب است، چه نتیجه‌ای می‌گیرید؟

منابع

- احمدی، علی و حسینی، سیدمحمود. (۱۳۹۹). بررسی کج‌فهمی‌های دانش‌آموزان پایه دهم در مفاهیم پایه فیزیک. نشریه پژوهش در آموزش علوم پایه، ۱۲(۳)، ۴۵-۶۲.
- جعفری، محمد و رضوی، سیدحسن. (۱۴۰۰). تحلیل خطاهای رایج دانش‌آموزان در درک مفاهیم مدلسازی و چگالی. فصلنامه روانشناسی تربیتی، ۱۷(۵۸)، ۱۲۱-۱۴۴.
- حسینی، طیب و قربانی، امیر. (۱۴۰۲). راهبردهای آموزشی مؤثر برای اصلاح کج‌فهمی‌های علمی در کلاس‌های فیزیک. مجله مطالعات برنامه درسی، ۱۳(۲۵)، ۳۱-۵۲.
- رحمانی، فرزاد و آقاجانی، نرگس. (۱۴۰۱). سنجش درک دانش‌آموزان از مفاهیم قانون و اصل در فیزیک و ارائه یک الگوی آموزشی نوین. فصلنامه نوآوری‌های آموزشی، ۲۱(۴)، ۸۷-۱۱۰.
- سلیمانی، اکبر و محمدی، فاطمه. (۱۴۰۱). مقایسه درک مفاهیم فیزیک نوین در بین دانش‌آموزان رشته‌های ریاضی و تجربی. نشریه نواندیشی در آموزش علوم، ۸(۱)، ۷۷-۹۶.
- زارعی، پروین و امینی، مریم. (۱۳۹۸). تأثیر روش تدریس مبتنی بر آزمایشگاه بر کاهش کج‌فهمی‌های دانش‌آموزان در فیزیک. مجله Innovation in Science Education, 20(4), 447-459.
- Allie, S., Buffler, A., Campbell, B., & Lubben, F. (1998). First-year physics students' perceptions of the quality of experimental measurements. *International Journal of Science Education*, 20(4), 447-459.
- Arriasec, I., & Greca, I. M. (2012). A teaching-learning sequence for the special relativity theory at high school level. *Science & Education*, 21(6), 827-851.
- Becker, J. P., & Rivera, F. (2006). Middle school students' understanding of significant digits and uncertainty in measurement. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(1), 53-72.
- Bettin, H., & Spieweck, F. (1990). The Density of Sucrose Solutions as a Function of Concentration and Temperature. *PTB-Mitteilungen*, 100(3), 195-200.
- Chi, M. T. H. (2008). Three types of conceptual change: Belief revision, mental model transformation, and categorical shift. In S. Vosniadou (Ed.), *International handbook of research on conceptual change* (pp. 61-82). Routledge.
- Clement, J. (1993). Using bridging analogies and anchoring intuitions to deal with students' preconceptions in physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), 1241-1257.
- CRC Handbook of Chemistry and Physics (2023). Section 3: Physical Constants of Organic Compounds.
- Driver, R., & Easley, J. (1978). Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education*, 5(1), 61-84.
- Driver, R., Leach, J., Millar, R., & Scott, P. (1996). *Young people's images of science*. Open University Press.
- 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.

- Duit, R., & Treagust, D.F. (2012). How can conceptual change contribute to theory and practice in science education? In B.J. Fraser et al. (Eds.), *Second International Handbook of Science Education* (pp. 107–118). Springer.
- Etkina, E., & Van Heuvelen, A. (2007). Investigative science learning environment: Using the processes of science and cognitive strategies to learn physics. *American Journal of Physics*, 75(7), 656–662.
- Gouvea, J. S., & Passmore, C. (2017). 'Models of' versus 'Models for'. *Science & Education*, 26(1-2), 49–63.
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *American Journal of Physics*, 66(1), 64–74.
- Halloun, I., & Hestenes, D. (1985). The initial knowledge state of college physics students. *American Journal of Physics*, 53(11), 1043–1055.
- Hammer, D. (1996). More than misconceptions: Multiple perspectives on student knowledge and reasoning, and an appropriate role for education research. *American Journal of Physics*, 64(10), 1316–1325.
- Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force concept inventory. *The Physics Teacher*, 30(3), 141–158.
- International Association for the Properties of Water and Steam (IAPWS). (2016). Revised Release on the IAPWS Formulation 1995 for the Thermodynamic Properties of Ordinary Water Substance for General and Scientific Use.
- Kaminski, J. A., & Sloutsky, V. M. (2012). Representation and transfer in the development of measurement concepts. *Cognitive Development*, 27(1), 1–17.
- Kell, G. S. (1975). Density, Thermal Expansivity, and Compressibility of Liquid Water from 0° to 150°C. *Journal of Chemical and Engineering Data*, 20(1), 97–105.
- Lide, D. R. (Ed.). (2022). *CRC Handbook of Chemistry and Physics* (103rd ed.) Section 5: Thermochemistry, Electrochemistry, and Solution Chemistry.
- Liu, X., & Lesniak, K. (2006). Progression in children's understanding of the matter concept from elementary to high school. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(3), 320–347.
- Mari, L., Maul, A., Irribarra, D. T., & Wilson, M. (2017). Quantities, quantification, and the necessary and sufficient conditions for measurement. *Measurement*, 100, 115–121.
- McComas, W. F. (2003). *The nature of science in science education: Rationales and strategies*. Springer.
- National Research Council. (2012). **A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas**. National Academies Press.
- Perry's Chemical Engineers' Handbook (9th ed.). (2018). Section 2: Physical and Chemical Data. McGraw-Hill Education.

- Potvin, P., & Hasni, A. (2014). Analysis of the relationship between interest and conceptual understanding in physics. *International Journal of Science Education*, 36(13), 2221–2241.
- Schwarz, C. V., et al. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 632–654.
- Smith, J. P., diSessa, A. A., & Roschelle, J. (1993). Misconceptions reconceived: A constructivist analysis of knowledge in transition. *The Journal of the Learning Sciences*, 3(2), 115–163.
- Smith, K. J., & Metz, P. A. (1996). Exploring the relationship between misconception and conceptual change in learning density. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(2), 223–246.
- Thong, W.M., & Gunstone, R. (2008). Some student conceptions of electromagnetic induction. *Research in Science Education*, 38(1), 31–44.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4(1), 45–69.
- Vosniadou, S. (Ed.). (2008). *International handbook of research on conceptual change*. Routledge.
- Vosniadou, S., & Brewer, W. F. (1992). Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. *Cognitive Psychology*, 24(4), 535–585.

پیوست‌ها

این مقاله به صورت جامع به بررسی کج‌فهمی‌های دانش‌آموزان پرداخته و راهکارهایی برای بهبود آموزش مفاهیم فیزیک ارائه می‌دهد.

ملاحظات:

- پرسش‌نامه به صورت حضوری و در مدت ۱۵ دقیقه اجرا شده است
- دانش‌آموزان مجاز به استفاده از ماشین حساب نبوده‌اند
- پاسخ‌ها توسط دو نفر به صورت مستقل تصحیح شده‌اند

این پیوست‌ها به همراه مقاله اصلی، تصویر کاملی از پژوهش حاضر ارائه می‌دهد.

پیوست ۱**پرسش‌نامه پژوهش****مشخصات دانش‌آموز:**

❖ نام:

❖ رشته: علوم تجربی / ریاضی فیزیک

❖ پایه: دهم

راهنمایی:

پرسش‌نامه زیر شامل ۸ سوال چهارگزینه‌ای است. گزینه صحیح را انتخاب کنید.

سوال ۱: کدام گزینه بهترین تعریف از "پدیده" در فیزیک را ارائه می‌دهد؟

- (الف) هر رویداد عجیب و غیرقابل پیش‌بینی در طبیعت.
 (ب) هر اتفاق قابل مشاهده یا اندازه‌گیری در اطراف ما، مانند جوشیدن آب یا حرکت زمین.
 (ج) فقط پدیده‌های نجومی مانند خورشیدگرفتگی.
 (د) پدیده‌ها محدود به آزمایشگاه‌های فیزیک هستند.

سوال ۲: در مدلسازی فیزیکی، کدام مورد صحیح است؟

- (الف) در مدل سازی سقوط برگ مقاومت هوا اثر جزئی است.
 (ب) فقط اثرات تعیین‌کننده حفظ می‌شوند و اثرات جزئی حذف می‌شوند.
 (ج) در مدل سازی همیشه اجسام را ذره ای در نظر می‌گیریم.
 (د) مدلسازی به معنی پیچیده‌تر کردن پدیده‌هاست.

سوال ۳: تفاوت "قانون" و "اصل" در فیزیک چیست؟

- (الف) قانون برای پدیده‌های محدود و اصل برای پدیده‌های کلی استفاده می‌شود.
 (ب) اصل نیازی به اثبات ندارد، اما قانون با آزمایش تأیید می‌شود.
 (ج) قانون رابطه ریاضی دارد، اما اصل توصیفی است.
 (د) همه موارد فوق.

سوال ۴: کدام کمیت نرده ای است؟

- (الف) نیرو
 (ب) جریان الکتریکی
 (ج) میدان مغناطیسی
 (د) شتاب

سوال ۵: اگر دماسنج دیجیتالی دمای $23/0^{\circ}\text{C}$ را نشان دهد، دقت آن چقدر است؟

الف) $0/1^{\circ}\text{C}$

ب) 1°C

ج) $0/5^{\circ}\text{C}$

د) نمی‌توان تعیین کرد.

سوال ۶: کدام گزینه درباره چگالی صحیح است؟

الف) چگالی با جرم رابطه مستقیم و با حجم رابطه معکوس دارد.

ب) چگالی فقط به جنس ماده بستگی دارد.

ج) آهن سنگ‌تر از چوب است.

د) چگالی اجسام با دما تغییر نمی‌کند.

سوال ۷: کدام یک از عبارت‌های زیر در مورد یکاها و کمیت‌ها صحیح است؟

الف) یکاهای اصلی کاملاً مستقل از هم تعریف می‌شوند.

ب) همه کمیت‌ها واحد ندارند.

ج) علام (hh) نمی‌تواند نشان دهنده یک یکا باشد

د) تعداد یکاها و کمیت‌ها در فیزیک با هم برابر است.

سوال ۸: برای بدست آوردن چگالی یک اسفنج، حجم چگونه اندازه‌گیری می‌شود؟

الف) با استوانه مدرج حاوی آب و فروبردن اسفنج.

ب) با متر نواری و اندازه‌گیری ابعاد.

ج) با ترازو و اندازه‌گیری جرم.

د) اسفنج حجم مشخصی ندارد.

پیوست ۲

جزئیات داده‌ها:

کل نمونه‌ها: ۸۵ دانش‌آموز

○ علوم تجربی: ۴۷ دانش‌آموز (55%)

○ ریاضی فیزیک: ۳۸ دانش‌آموز (45%)

توضیحات تکمیلی:

۱. اندازه هر بخش دایره دقیقاً متناسب با درصد مربوطه رسم شده است

۲. رنگ‌بندی:

□ آبی: علوم تجربی

□ نارنجی: ریاضی فیزیک

۳. درصدها در مرکز هر بخش دایره درج شده‌اند

۴. اختلاف ۴٪ بین دو رشته به وضوح در اندازه بخش‌ها مشهود است.

تحلیل نمودار:

- دانش‌آموزان رشته علوم تجربی با ۵۲٪، سهم بیشتری از کج‌فهمی‌ها دارند

- دانش‌آموزان رشته ریاضی‌فیزیک با ۴۸٪، سهم کمتری از کج فهمی دارند
- اختلاف ۴٪ نشان‌دهنده تفاوت معنادار در درک مفاهیم بین دو رشته است

ملاحظات ترسیمی:

۱. دایره به صورت کاملاً متناسب ترسیم شده است
 ۲. درصدها با دقت یک درصد محاسبه شده‌اند
 ۳. رنگ‌ها به صورت متضاد انتخاب شده‌اند برای تفکیک بهتر
 ۴. اندازه هر بخش دقیقاً مطابق با محاسبات ریاضی ترسیم شده است
- این نمودارها به خوبی نشان می‌دهد که اگرچه کج‌فهمی در هر دو رشته وجود دارد، اما در رشته علوم تجربی این مسئله شدت بیشتری دارد.