پژوهش در آموزش علوم تجربی

شاپا الکترونیکی: ۸۸۸۹-۳۱۱۵

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

بازخوانی اصل برنولی از منظر دینامیک شاره‌ها و کج‌فهمی‌های رایج

مرضیه ندافان[1*]، علی فغانی[2]، محمدرضا امیری[3]

۱. دانشیار گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران. ایران.

۲. کارشناسی ارشد گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران. ایران.

۳. دبیر علوم و فیزیک، اداره آموزش و پرورش استان مرکزی، محلات. ایران.

* نویسنده مسئول: (m.nadafan@sru.ac.ir)

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۰۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۰/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۰۶
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۲/۲۰

کلیدواژه‌ها:
اصل برنولی،
پایه دهم،
روش خوشه ای،
نرم افزار SPSS،
یادگیری.

چکیده

هدف: هدف از این پژوهش مطالعه و شناسایی نگرش غلط دانش‌آموزان درباره اصل برنولی است. جامعه آماری پژوهش شامل تمامی دانش‌آموزان پایه‌ی دهم رشته تجربی و ریاضی فیزیک شهرستان محلات است. نمونه آماری پژوهش شامل ۱۰۳ نفر می‌باشد. لذا سعی شده است تاثیر استفاده از آموزش مفهومی و استفاده از وسایل آزمایشگاهی پرسش در مبحث اصل برنولی بررسی شود.

روش پژوهش: شیوه پژوهش از نوع شبه‌آزمایشی و نیمه‌تجربی به روش طرح ۴ گروهی سولومون است. نمونه‌گیری به روش خوشه‌ای صورت گرفته و اختصاص آن به گروه آزمایش و گروه کنترل کاملا تصادفی است و سپس پاسخ‌های دانش‌آموزان با نرم افزار SPSS مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج آن در قالب توضیحات، تجزیه و تحلیل گردید. لازم به ذکر است در گروه‌های آزمایش تدریس به شکل مفهومی و با استفاده از آزمایش و در گروه کنترل تدریس به روش سنتی بوده است. با تحلیل هر سوال، کج فهمی دانش‌آموزان در آن موضوع استخراج شد.

یافته‌ها و نتیجه‌گیری: نتایج پژوهش نشان می‌دهد تحلیل آماری در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری را بین گروه آزمایش و کنترل نشان می‌دهد. همچنین نتایج حاصل نشان می‌دهد مبحث برنولی در کتاب درسی فیزیک پایه‌ی دهم، نیاز به بازبینی و تکمیل و ساده‌سازی دارد و دبیران فیزیک می‌توانند با شیوه تدریس مناسب در کاهش و رفع کج‌فهمی‌های مبحث برنولی گام موثری بردارند.

استناد: ندافان، مرضیه؛ فغانی، علی؛ و امیری، محمدرضا، (۱۴۰۴). بازخوانی اصل برنولی از منظر دینامیک شاره‌ها و کج‌فهمی‌های رایج. پژوهش در آموزش علوم تجربی، ۱۱ (۴۱)، ۷۶-۶۵.

http//doi.org/10.48310/basic.2026.21602.1571

© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه فرهنگیان.

۱. مقدمه

سیالات محاط نیروهایی را به‌وجود می‌آورند که این نیروها بخاطر تغییر سرعت نیست بلکه بخاطر تغییر فشار در مسیر حجم کنترل شده می‌باشد. از آنجایی که F=P×A است پس هرگونه تغییر فشار موجب بروز یک نیروی اضافه خواهد شد. سیالی را که تراکم‌ناپذیر بوده و گرانروی صفر باشد به سیال ایده‌آل معروف است. البته چنین سیالی وجود ندارد ولی سیالاتی مانند آب، نفت و یا گازها در فشار کم، تا حدودی رفتارشان به ایده‌آل نزدیک است. مفهوم سیال ایده‌آل، مفهوم مهمی است که به کمک آن بررسی و تحلیل حرکت سیالات ساده می‌شود و می‌توانیم معادله برنولی را بدست آوریم.

طبق اصل بقای جرم، جرم نه بوجود می‌آید و نه از بین می‌رود. بنابراین در شرایط پایا (آرام) سرعت جرمی (آهنگ شارش جرم) ورودی در هر حجم کنترل شده (حجمی که به وسیله مرزهای ثابت احاطه شده است) می‌بایست با سرعت خروجی آن برابر باشد و این اصل در مورد هر سیالی صدق می‌کند. مطلب فوق را می‌توان به زبان ریاضی بیان نمود که آن را معادله پیوستگی می‌نامند.

بر این اساس و با توجه به شکل ۱، اگر ورودی و خروجی را با علائم ۱ و ۲ نمایش دهیم، می‌توانیم اصل بقا انرژی را در مورد جرم m از سیال که از نقطه ۱ وارد و از ۲ خارج می‌شود را بکار ببریم. بین این دو نقطه، ۳ نوع انرژی با هم در حال تبدیل‌اند که عبارتند از:۱- انرژی پتانسیل ۲- انرژی جنبشی ۳- انرژی جریان (تیلور و پامبرگر[1] ۲۰۲۳؛ آتکینز، پاولا و کلر[2]، ۲۰۲۳).

اگر یک تراز افقی دلخواه را در نظر بگیریم، انرژی پتانسیل m کیلوگرم سیال در فاصله h متری نسبت به آن U=mgh است. انرژی جنبشی m کیلوگرم از سیال که با سرعت v در حرکت است $k=mv^2/2$ می‌باشد. چون بین نقاط ۱ و ۲ تلمبه‌ای در کار نیست، می‌بایست دلیلی باشد که سیال بین ۱ و ۲ رو به بالا و در خلاف جاذبه حرکت کند. دلیل این‌که سیال رو به بالا می‌رود وجود اختلاف فشار بین ۱ و ۲ است که به انرژی جریان موسوم است. با توجه به روابط نیرو وفشار داریم (حمید، مقصود و فاروق[3] ۲۰۲۵) :

$$\begin{cases} F = PA \\ W = Fd \end{cases} \rightarrow W = PAd \qquad (۱)$$

در رابطه فوق Ad معرف حجم بوده بنابراین در ادامه داریم (حمید، مقصود و فاروق[4] ۲۰۲۵):

$$W = PV \qquad (۲)$$

با جایگذاری رابطه چگالی در معادله ۲ داریم:

$$W = \frac{Pm}{\rho} \qquad (۳)$$

حال اصل بقای انرژی را برای نقاط ۱ و ۲ بکار می‌بریم و از روابط فوق در آن استفاده می‌کنیم.

$$K_1 + U_1 + W_1 = K_2 + U_2 + W_2 \Rightarrow \frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 + \frac{P_1 m}{\rho} = \frac{1}{2}mv_2^2 + mgh_2 + \frac{P_2 m}{\rho} \qquad (۴)$$

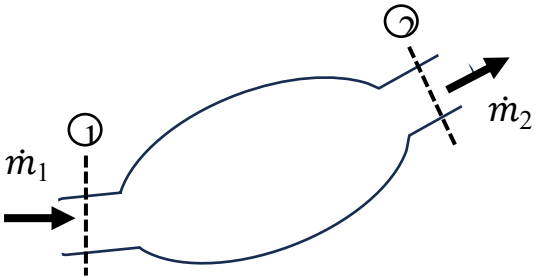
با فاکتورگیری m از رابطه فوق داریم:

$$\frac{1}{2}v_1^2 + gh_1 + \frac{P_1}{\rho} = \frac{1}{2}v_2^2 + gh_2 + \frac{P_2}{\rho} \qquad (۵)$$

معادله فوق نشان می‌دهد که اگر دو نقطه دلخواه هم ارتفاع باشند، با افزایش سرعت، فشار کاهش می‌یابد. اصل برنولی یکی از بنیادی‌ترین مفاهیم در دینامیک شاره‌هاست که با وجود کاربردهای گسترده‌اش در علوم مهندسی، پزشکی و آموزش، اغلب با برداشت‌های نادرست همراه است. طبق اصل برنولی می‌دانیم در یک تونل جریان، با افزایش سرعت شاره، فشار درونی کاهش می‌یابد و بالعکس (حمید، مقصود و فاروق[5] ۲۰۲۵). دانش‌آموزانی که برای بار اول با مفهوم و تعریف اصل برنولی آشنا می‌شوند غالبا

[1] Taylor, Pomberger
[2] Atkins, Paula, Keeler
[3] Hamid, Maqsood, Farooq
[4] Hamid, Maqsood, Farooq
[5] Hamid, Maqsood, Farooq

تعداد معدودی از دانش‌آموزان این سوال را مطرح می‌کنند که وقتی سرعت زیاد شده باشد پس ذرات ضربه‌های سخت‌تری به سطح فرضی وارد خواهند کرد، پس چرا می‌گوییم فشار کم می‌شود؟



شکل ۱. نمای شماتیک از حرکت سیال با ورودی و خروجی مشخص.

مشابه پژوهش‌های انجام شده که بر روی گروهی از دانشجو معلمان و همکاران آموزشی انجام شد، مشخص شد که بسیاری از آنان در مواجهه با کج‌فهمی‌های مربوط به اصل برنولی، قادر به پاسخ‌های دقیق و مفهومی نبودند (لی[1]، ۲۰۲۳). دانش‌آموزان از این امر مستثنی نیستند؛ چه بسا رفع کج‌فهمی‌ها در ابتدای راه، می‌تواند برداشت‌های نادرست از این مفهوم در آینده را برطرف کند.

این مقاله با رویکرد تحلیلی و آموزشی، به بازخوانی اصل برنولی از منظر دینامیک شاره‌ها می‌پردازد و تلاش می‌کند تا کج‌فهمی‌های رایج در میان دانش‌آموزان و حتی معلمان را شناسایی و اصلاح کند. برای درک اصل برنولی باید مفهوم دو نوع فشار استاتیکی و دینامیکی را بخوبی درک کرد. با بررسی دقیق مفاهیم فشار، ارتفاع و سرعت در جریان‌های پایا، نشان داده می‌شود که بسیاری از سوءبرداشت‌ها ناشی از ساده‌سازی‌های بیش از حد یا تقسیر نادرست از معادله برنولی هستند. در این پژوهش سعی بر آن شده است که با تاکید بر دو مفهوم فشار استاتیکی و دینامیکی، و تغییرات توامان این دو بر اساس مفاهیم مساحت، اصل پیوستگی و تراکم‌ناپذیری مایعات، از کج‌فهمی‌های موجود در درک اصل برنولی جلوگیری گردد. در همین راستا سوالاتی طراحی گردید که پاسخ دانش‌آموزان نیز مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج این تحلیل ها توسط نرم‌افزار SPSS مورد ارزیابی قرار گرفت. از طرفی پژوهش حاضر به دنبال دستیابی به این هدف است که استفاده از شیوه تدریس مفهومی و انجام آزمایش به وسیله معلمان می‌تواند در یادگیری دانش آموزان تاثیرگذار باشد. در پایان راهکارهایی برای آموزش مفهومی و جلوگیری از انتقال اشتباهات در کلاس‌های درس ارائه می‌گردد.

۲. پیشینه پژوهش

با آغاز آموزش‌های رسمی در مدرسه، دانش‌آموز سعی در ایجاد ارتباط بین مدل‌های ذهنی و تجربیات خود با آنچه که معلم در کلاس ارائه می‌کند، دارد. دقیقا بدفهمی از آنجا در ذهن دانش‌آموز بوجود می‌آید که این مدل‌های ذهنی و تجربیات او با نظریه‌های علمی مغایرت داشته باشد (اریلماز[2]، ۲۰۰۲؛ هانتر، رودریگز و بیکر[3]، ۲۰۲۲). هنگامی‌که این بدفهمی‌ها در ذهن فرد باقی بماند، مانع یادگیری معنادار و اثر بخش در فهم، تحلیل، توضیح، تفسیر و آزمایش کردن مطالب علمی می‌شود (قلخانی، اجتهاد و احمدی، ۱۴۰۳؛ بردی[4] و دیگران، ۲۰۲۵). دانش‌آموزان و دانشجویان برای اینکه متوجه شوند دچار بدفهمی هستند باید مفهوم مطالب علمی را بررسی کرده و در بحث‌ها و تحلیل‌های گروهی شرکت کنند (امانی و دیگران، ۱۴۰۴؛ کلمنت[5]، ۱۹۸۲). دانش‌آموزان عمدتا در

[1] Lee
[2] Eryilmaz
[3] Hunter, Rodriguez, Becker
[4] Berdi
[5] Clement

کلاس‌های پایین‌تر قبل از شروع مطالعه فیزیک، یک سری بدفهمی‌ها در ذهن خود دارند (داداش زاده و حقیقت، ۱۴۰۳). نقش تجربه‌های جمع‌آوری شده از قبل در مرحله اولیه آموزش فیزیک غالب است (حلیم، لستاری و مصطفی[1]، ۲۰۱۹).

اهمیت پرداختن به موضوع شناسایی بدفهمی‌ها و روش کاستن آنها به این دلیل است که وجود بدفهمی‌ها در ذهن دانش‌آموز باعث تداخل محتوای علمی شود و آنها مطالب جدید را براساس ذهنیت غلط خود از مساله تفسیر کنند (گلستانه و نظاری زاده، ۱۴۰۴). به نظر اسکینر، روش‌های موسوم آموزشی، به ویژه سخنرانی و آموزش به وسیله کتاب‌های درسی معمولی، روش‌های ناقصی هستند، زیرا آن‌ها یادگیرنده را به فعالیت وا نمی‌دارند و از اصول مهم یادگیری استفاده نمی‌کنند و آموزش برنامه‌ای را که امروزه تحت عنوان آموزش به کمک کامپیوتر است پیشنهاد می‌کند (شعاری نژاد، ۱۳۸۵). اگرچه علت دقیق بوجود آمدن بدفهمی‌ها هنوز ناشناخته است، اما عدم سازماندهی مناسب محتوای درسی و باورها و تجارب قبلی دانش‌آموز و قرار گرفتن مفاهیم انتزاعی در کنار هم در بیان یک مبحث روش تدریس در بوجود آوردن بدفهمی‌ها نقش دارند (گلستانه و نظاری زاده، ۱۴۰۴).

دنیل برنولی، دانشمند سوئیسی قرن هجدهم، رابطه بین فشار و سرعت سیال را مطالعه کرد. وقتی سیال از جای باریکی عبور می کند، سرعت آن زیاد می‌شود. با کاهش قطر شلنگ آب، سرعت خروج آب از آن بیشتر می‌شود. اگر جریان بخواهد ادامه پیدا کند، سیال باید در نقاط باریک‌تر، سریع‌تر حرکت کند. برنولی از چگونگی به دست آوردن این سرعت در سیال شگفت زده شد. او به این نتیجه رسید که افزایش سرعت مایع منجر به کاهش فشار داخلی آن می‌شود. کشف او امروزه اصل برنولی نامیده می‌شود. اصل برنولی نتیجه قانون بقای انرژی است. در شارش پایای سیال، سه نوع انرژی وجود دارد: انرژی جنبشی ناشی از حرکت، انرژی پتانسیل گرانشی ناشی از ارتفاع و کاری که توسط نیروی فشار انجام می‌شود. در سیالی با جریان پایا که هیچ انرژی‌ای کم یا زیاد نمی‌شود، مجموع این انرژی‌ها ثابت می‌ماند. اگر ارتفاع سیال تغییر نکند، افزایش سرعت به معنی کاهش فشار است و برعکس. کاهش فشار در اثر افزایش سیال ممکن است در ابتدا عجیب به نظر برسد، خصوصا اگر نتوانیم بین فشار داخلی سیال و فشاری که سیال بر اجسام سر راهش وارد می‌کند، تمیز قائل شویم. بطور مثال، در شیلنگ آتش‌نشانی فشار داخلی آبی که خیلی سریع حرکت می‌کند، نسبتا کم است، هرچند این آب می‌تواند به سایر اجسام نیروی زیادی به آن‌ها وارد کند.

براساس پژوهش‌های انجام شده بر روی گروهی از دانشجو معلمان و همکاران آموزشی، مشخص شد که بسیاری از آنان در مواجهه با کج‌فهمی‌های مربوط به اصل برنولی، قادر به پاسخ‌های دقیق و مفهومی نبودند (لی[2]، ۲۰۲۳). برای درک اصل برنولی باید مفهوم دو نوع فشار استاتیکی و دینامیکی را درک کنیم. مجموع این دو در یک سامانه پایا که در آن پیوستگی برقرار است، ثابت می‌ماند. در واقع معادله برنولی بیانگر پایستگی انرژی در شاره‌های متحرک است و بنابراین افزایش یکی از این فشارها معادل کاهش فشار دیگری است. وقتی در یک قسمت، مساحت کم می‌شود معادل آن سرعت افزایش می‌یابد و بالطبع باعث افزایش فشار دینامیکی و در نتیجه کاهش فشار استاتیکی می‌شود. در تحلیل اصل برنولی باید اصل پیوستگی و تراکم ناپذیری مایعات را مدنظر داشته باشیم. ضربه‌های قوی‌تر یعنی فشار دینامیکی بیشتر، در واقع سطح عمود بر سطح شاره، آماج ضربات بیشتر و شدیدتر قرار می‌گیرد و فشار دینامیکی بیشتری وارد می‌کند. مشکل اصلی کتاب درسی پایه‌ی دهم این است که این نوع فشار را واضح معرفی نکرده است. کاهش فشاری که در اصل برنولی مطرح می‌شود و مورد سوال دانش آموزان قرار می‌گیرد، به فشار استاتیک مربوط می‌شود که به دیواره‌های لوله وارد می‌شود، نه سطح مقطع آن. پس با افزایش سرعت شاره، فشار وارد بر دیواره‌ها کاهش می‌یابد. در واقع در لوله افقی، یک فشار استاتیک داریم که ناشی از وزن مایع است و به دیواره‌ها وارد می‌شود و در راستای عمود بر دیوار است. فشار دیگری که مطرح است فشار دینامیکی است که ناشی از سرعت شاره است و با افزایش سرعت، افزایش می‌یابد. افزایش فشار دینامیک باعث کاهش فشار استاتیک می‌شود. در پژوهش های مشابه، به این نقص در کتاب پایه‌ی دهم اشاره ای نشده است و بیشتر بدنبال درک بهتر از اصل برنولی با شیوه های متفاوت آموزشی بوده اند.

[1] Halim, Lestari, Mustafa
[2] Lee

۳. روش شناسی پژوهش

در این تحقیق، با توجه به ماهیت و هدف موضوع و فرضیه‌های مطرح شده، از روش شبه‌آزمایشی یا نیمه‌تجربی استفاده شده‌است. از این رو گروه مورد بررسی به دو گروه آزمایش و کنترل با ویژگی‌های زیر تقسیم شده‌اند.

گروه آزمایش، شامل دانش‌آموزانی است که مبحث برنولی با استفاده از وسایل آزمایشگاه و روش مفهومی روی آن‌ها انجام شده‌است. گروه کنترل، شامل دانش‌آموزانی است که مبحث برنولی به روش سنتی روی آن‌ها انجام شد.

جامعه مورد مطالعه در تحقیق حاضر شامل همه دانش‌آموزان پسر پایه‌ی دهم شهرستان محلات در ۳ دبیرستان در مرکز شهر انتخاب شدند که در این ۳ مدرسه ۶ کلاس دهم وجود داشت و بطور کاملا تصادفی چهار کلاس با مجموع ۱۰۳ دانش‌آموز انتخاب شد. در سطح دانش با توجه به استفاده از نتایج ابزارهای سنجش و اندازه‌گیری‌های روانی، تعدادی سوال، با تکیه بر محتوای آزمایش‌ها توسط محقق طراحی شد. برای حصول از روایی آزمون، سوالات به چهار نفر از دبیران فیزیک، استاد راهنما ارائه گردید و با توجه به نظرات آنان، اصلاحات لازم در آن به عمل آمد.

جدول۱. طرح چهار گروهی سولومون.

گروه‌ها	پیش آزمون	شیوه تدریس	پس آزمون
گروه آزمایش ۱	*	آموزش مفهومی همراه با آزمایش	*
گروه آزمایش ۲	–	آموزش مفهومی همراه با آزمایش	*
گروه کنترل ۱	*	آموزش به روش سنتی	*
گروه کنترل ۲	–	آموزش به روش سنتی	*

برای اندازه‌گیری متغیر پیشرفت تحصیلی از آزمون پیشرفت تحصیلی (پیش‌آزمون و پس‌آزمون) معلم ساخته استفاده شد. پرسشنامه محقق ساخته، برای اظهار نظر در مورد روایی، محتوایی آن، در اختیار ۲ نفر از دبیران متخصص و با تجربه قرار گرفت و پیشنهادهای ایشان در مورد حذف یا اصلاح چند عبارت و پرسش اعمال شد. طرح پژوهشی این تحقیق از نوع طرح نیمه‌آزمایشی با پیش‌آزمون و پس‌آزمون یکسان است که با به کارگیری روش چهارگروهی سولومون اجرا شده‌است. در این پژوهش از یک طرح دارای پیش‌آزمون و پس‌آزمون با گروه کنترل استفاده شده‌است.

برای حذف تاثیر پیش‌آزمون در حساس کردن فراگیران و ایجاد خدشه در روایی برونی پژوهش، از طرح چهارگروهی سولومون بهره برده‌ایم. به این ترتیب افراد گروه به چهار دسته تقسیم شدند. این طرح پژوهشگران را قادر می‌کند تا چندین تحلیل آماری به عمل آورد و داده‌هایی با اعتبار بیشتری ارائه دهد (سالم و اکبر[1]، ۲۰۲۲).

جدول۲. شاخص‌های مرکزی و پراکندگی نمونه پژوهش براساس گروه‌بندی.

گروه	پیش آزمون		پس آزمون	
	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار
تدریس با آزمایش و مفهومی دارای پیش آزمون و پس آزمون	۱/۴۱	۱/۰۵	۱۶/۷۹	۱/۸۱
تدریس با آزمایش و مفهومی بدون پیش آزمون و همراه با پس آزمون	---	---	۱۶/۰۸	۱/۹۴
تدریس سنتی دارای پیش آزمون و پس آزمون	۱/۲	۰/۹۲	۱۳/۸۴	۲/۱۸
تدریس سنتی بدون پیش آزمون و همراه با پس آزمون	---	---	۱۳/۴۷	۳/۳۷

[1] Saleem & Akbar

در این پژوهش بیش از شروع تدریس فصل دوم کتاب فیزیک پایه‌ی دهم و بعد از اختصاص تصادفی گروه‌ها به گروه‌های آزمایش و کنترل در طرح چهار گروهی سولومون، از یکی از گروه‌های آزمایش و همچنین یکی از گروه‌های کنترل به طور تصادفی پیش‌آزمون به عمل آمد که گروه آزمایش اول و گروه کنترل اول بودند.

محقق با دبیران مربوطه در هر ۴ گروه مذاکره کرده تا تفاوت در روش تدریس به حداقل برسد و متغیر تفاوت روش تدریس بین گروه‌ها وجود نداشته باشد. در کلاس‌های گروه آزمایش، تدریس با استفاده از آزمایش و روش مفهومی و در کلاس‌های کنترل، به روش سنتی و به صورت سخنرانی انجام گرفت. در پایان تدریس مطالب فصل و اجرای طرح تحقیق، در یک جلسه از همه دانش‌آموزان در تمامی گروه‌های آزمایش و کنترل، پس‌آزمون به عمل آمد. نتایج حاصل از پیش‌آزمون و پس‌آزمون با استفاده از نرم افزار SPSS برای بررسی فرضیه تحقیق، تجزیه و تحلیل شد.

از پیش فرض‌های آزمون‌های پارامتریک نرمال بودن توزیع داده‌ها است. آزمون‌های پارامتریک عموم بر میانگین و انحراف معیار بنیان گذاری شده در حالتی که توزیع جامعه نرمال نباشد این شاخص‌ها نمایی واقعی از وضعیت جامعه را به تصویر نمی‌کشد (محمدپور، ابراهیمی و دشتی، ۱۴۰۴). برای بررسی نرمال بودن توزیع یک متغیر، عموما از دو آزمون که آزمون‌های نیکویی برازش نامیده می‌شوند، استفاده می‌شود. این دو آزمون هر دو جزء آزمون‌های غیر پارامتریک دسته‌بندی می‌شوند. بنابراین، برای آزمون نرمال بودن توزیع از آزمون‌های غیر پارامتریک استفاده می‌شود. به علت محدودیت‌های کمتر آزمون کلموگروف – اسمیرنوف از این آزمون غیرپارامتریک جهت بررسی فرض نرمال بودن توزیع استفاده می‌شود.

۴. یافته‌های پژوهش

برای تصمیم‌گیری در مورد فرض نرمال بودن توزیع، چنانچه مقدار (Z) کلموگروف – اسمیرنوف بین (۱/۹۶) تا (۱/۹۶–) باشد با ۹۵ درصد اطمینان می‌توانیم به نرمال بودن توزیع حکم کنیم و چنانچه مقدار آن بزرگتر از (۱/۹۶) یا کوچکتر از (۱/۹۶–) باشد توزیع نرمال نیست. با بررسی نرمال بودن متغیرهای پژوهش، مقدار Z گروه یک الی چهار به ترتیب برابر ۰/۵۸۳، ۰/۵۹۳، ۰/۸۰۰ و ۰/۵۶۰ است. با توجه به اینکه مقدار کلموگروف – اسمیرنوف بین (۱/۹۶) تا (۱/۹۶–) قرار دارند که بیانگر نرمال بودن توزیع متغیرهاست.

با توجه به اینکه تحقیق براساس طرح چهار گروهی سولومون است برای بررسی این فرضیه بنابر پیشنهاد سولومون به نقل از پژوهشگران، نمره‌های پس‌آزمون بدون توجه به پیش‌آزمون از طریق تحلیل واریانس دو راهه بررسی می‌شود (حسینی صدر[1]، ۲۰۲۳). برای بررسی این فرضیه از طریق تحلیل واریانس دوراهه نمرات پیش‌آزمون براساس اینکه در معرض پیش‌آزمون بوده‌اند یا خیر و مقوله‌بندی متغیر مستقل (روش تدریس براساس آزمایش و مفهومی و سنتی) در جدول ۳ مشاهده می‌شود. همانگونه که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، بین حضور یا عدم حضور در پیش‌آزمون با مقوله‌بندی متغیر مستقل (روش تدریس براساس آزمایش و مفهومی و سنتی) اثر تعاملی معنادار نیست.

اثر تعاملی زمانی وجود دارد که اثر یک متغیر در متغیر دیگر ثابت نباشد و در ارتباط با سطوح متغیر دیگر تغییر کند. جهت بررسی تفاوت بین نمرات پس‌آزمون درس فیزیک در این ۴ گروه از آزمون تحلیل واریانس یک راهه و آزمون تعقیبی شفه استفاده شد که نتایج آن در جداول ۴ و ۵ مشاهده می‌شود. براساس نتایج جدول ۴ تفاوت بین نمرات پس‌آزمون درس فیزیک در این ۴ گروه از لحاظ آماری معنادار است و با توجه به مقدار مجذور ایتا (۰/۲۶۹) که بیانگر این است تقریبا ۲۷ درصد از واریانس متغیر وابسته تحت تاثیر شرایط آزمایش و ۷۳ درصد از تغییرات آن تحت تاثیر سایر عوامل است. جهت بررسی اینکه بین نمرات پس‌آزمون درس فیزیک کدام گروه‌ها متفاوت است از آزمون تعقیبی شفه استفاده شد و نتایج آن در جدول ۵ مشاهده می‌شود.

براساس نتایج جدول ۵ تفاوت بین گروه اول (تدریس با آزمایش و شیوه مفهومی دارای پیش‌آزمون و پس‌آزمون) و گروه چهارم (تدریس سنتی بدون پیش‌آزمون و همراه با پس‌آزمون) از لحاظ آماری معنادار است و با توجه به تفاوت میانگین‌های گروه‌ها، وضعیت نمرات پس‌آزمون درس فیزیک با آزمایش دارای پیش‌آزمون و پس‌آزمون نسبت به گروه‌های سوم و چهارم از لحاظ آماری

[1] Hosieni Sadr

به‌طور معنادار بیشتر است و همچنین تفاوت بین گروه دوم (تدریس با آزمایش و شیوه مفهومی بدون پیش‌آزمون و همراه با پس‌آزمون) با گروه سوم (تدریس سنتی دارای پیش‌آزمون و پس‌آزمون) و گروه چهارم (تدریس سنتی بدون پیش‌آزمون و همراه با پس‌آزمون) از لحاظ آماری معنادار است. با توجه به تفاوت‌های میانگین‌های گروه‌ها، وضعیت نمرات پس‌آزمون در تدریس فیزیک با آزمایش و شیوه مفهومی بدون پیش‌آزمون و همراه با پس‌آزمون نسبت به گروه‌های سوم و چهارم از لحاظ آماری به‌طور معنادار بیشتر است.

جدول ۳. نتایج تحلیل واریانس دوراهه برای نمرات پیشرفت تحصیلی درس فیزیک.

Source	Type III Sum of Square	Df	Mean Square	F	سطح احتمال
Corrected Model	۱۹۱/۰۷۰	۳	۶۳/۶۹۰	۱۱/۲۸۶	۰/۰۰۰
Intercept	۲۱۶۶۸/۹۴۷	۱	۲۱۶۶۸/۹۴۷	۳۸۴/۰	۰/۰۰۰
pre	۷/۰۵۴	۱	۷/۰۵۴	۱/۲۵۰	۰/۲۶۶
treatment	۱۸۵/۳۶۰	۱	۱۸۵/۳۶۰	۳۲/۸۴۵	۰/۰۰۰
Pre * treatment	۰/۶۸۲	۱	۰/۶۸۲	۰/۱۲۱	۰/۷۲۹
Error	۵۱۹/۱۹۵	۹۲	۵/۶۴۳		
Total	۲۲۵۲۸/۳۱۲	۹۶			
Corrected Total	۷۱۰/۲۶۵	۹۵			

جدول ۴. نتایج تحلیل واریانس یک‌راهه برای مقایسه نمرات پس‌آزمون درس فیزیک.

Source	Type III Sum of Square	df	Mean Square	F	Sig.	Partial Eta Squared
Corrected Model	۱۹۱/۰۷۰	۳	۶۳/۶۹۰	۱۱/۲۸۶	۰/۰۰۰	۰/۲۶۸
Intercept	۲۱۶۶۸/۹۴۷	۱	۲۱۶۶۸/۹۴۷	۳۸۴/۰	۰/۰۰۰	۰/۹۷۷
Group	۱۹۱/۰۷۰	۳	۶۳/۶۹۰	۱۱/۲۸۶	۰/۰۰۰	۰/۲۶۹
Error	۵۱۹/۱۹۵	۹۲	۵/۶۴۳			
Total	۲۲۵۲۸/۳۱۲	۹۶				
Corrected Total	۷۱۰/۲۶۵	۹۵				

جدول ۵. نتایج آزمون تعقیبی شفه برای مقایسه نمرات پس‌آزمون درس فیزیک.

g(I)	g(J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	۹۵٪ Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
۱	۲	۰/۷۱	۰/۶۷۹	۰/۷۷۷	− ۱/۲۲	۲/۶۵
	۳	۲/۹۵ *	۰/۶۷۹	۰/۰۰۱	۱/۰۲	۴/۸۹
	۴	۳/۳۳ *	۰/۷۰۱	۰/۰۰۰	۱/۳۳	۵/۳۲
۲	۱	۰/۷۱	۰/۶۷۹	۰/۷۷۷	− ۲/۶۵	۱/۲۲
	۳	۲/۲۴ *	۰/۶۷۲	۰/۰۱۴	۰/۳۳	۴/۱۵
	۴	۲/۶۱ *	۰/۶۹۴	۰/۰۰۴	۰/۶۴	۴/۵۹
۳	۱	−۲/۹۵ *	۰/۶۷۹	۰/۰۰۱	− ۴/۸۹	− ۱/۰۲
	۲	− ۲/۲۴*	۰/۶۷۲	۰/۰۱۴	− ۴/۱۵	− ۰/۳۳
	۴	۰/۳۷	۰/۶۹۴	۰/۹۶۲	− ۱/۶۰	۲/۳۵
۴	۱	− ۳/۳۳ *	۰/۷۰۱	۰/۰۰۰	− ۵/۳۲	− ۱/۳۳
	۲	− ۲/۶۱ *	۰/۶۹۴	۰/۰۰۴	− ۴/۵۹	− ۰/۶۴
	۳	− ۰/۳۷	۰/۶۹۴	۰/۹۶۲	− ۲/۳۵	− ۱/۶۰

۵. نحوه پژوهش

روش پژوهش براساس روش توصیفی – تحلیلی انجام گرفته است. برای این منظور پرسشنامه‌ای شامل ۱۵ پرسش چهارگزینه‌ای طراحی گردید. پرسش‌ها در رابطه با مفاهیم اصل برنولی مطرح شده در کتاب درسی فیزیک پایه‌ی دهم دوره متوسطه دوم طراحی گردید. لذا دانش‌آموزان توسط پرسشنامه مورد آزمون قرار گرفتند و داده‌های حاصل توسط نرم افزارآماری SPSS مورد ارزیابی قرار گرفت. در این بخش مفاهیم آموزشی مرتبط با هر یک از پرسش‌های پرسشنامه مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد تا کج‌فهمی‌های احتمالی در دانش‌آموزان شناسایی شوند. بصورت نمونه شش سوال از ۱۵ سوال طراحی شده را در اینجا ذکر کرده و درصد دانش‌آموزانی که هر کدام از گزینه‌ها را انتخاب کرده‌اند نیز در مقابل هر گزینه آورده شده‌است.

پرسش ۱) وقتی سطح مقطع لوله باریک‌تر می‌شود، فشار استاتیک در آن بخش چه تغییری می‌کند؟

۱) افزایش می‌یابد (۵۹ درصد)
۲) کاهش می‌یابد (پاسخ درست)(۳۴ درصد)
۳) ثابت می‌ماند (۵ درصد)
۴) ابتدا افزایش سپس کاهش می‌یابد (۲ درصد)

تحلیل پاسخ‌ها:

دانش‌آموزانی گه گزینه « افزایش می‌یابد» را انتخاب کردند. این نشان می‌دهد بسیاری از دانش‌آموزان فشار را با « شدت ضربه ذرات» اشتباه گرفتند و این کج‌فهمی دقیقا همان چیزی است که در کلاس درس مشاهده می‌شود، دانش‌آموزان فکر می‌کنند سرعت بیشتر یعنی فشار بیشتر، در حالی که اصل برنولی عکس آن را بیان می‌کند. دانش‌آموزان فشار دینامکی را با فشار استاتیکی اشتباه می‌گیرند و لازم است در تدریس تفاوت فشار دینامیک و فشار استاتیک با آزمایش عملی (مثل جریان هوا روی کاغذ) نشان داده شود.

پرسش ۲) فشار استاتیک در جریان سیال به کجا وارد می‌شود؟

۱) سطح آزاد سیال (۸ درصد)
۲) دیواره‌های لوله (پاسخ درست) (۳۲ درصد)
۳) سطح مقطع جریان (۵۷ درصد)
۴) هیچکدام (۳ درصد)

تحلیل پاسخ‌ها:

دانش‌آموزان گزینه «سطح مقطع جریان» را انتخاب کردند، این نشان دهنده کج‌فهمی در تشخیص محل وارد شدن فشار استاتیک است. باید در آموزش، با استفاده از مدل‌های آزمایشگاهی (مثل لوله شفاف و فشارسنج) نشان داد که فشار استاتیک به دیواره‌ها وارد می‌شود نه به سطح مقطع جریان.

پرسش ۳) وقتی دهانه شیلنگ آب باریک‌تر می‌شود:

۱) سرعت آب زیاد و فشار کم می‌شود (پاسخ درست) (۴۹ درصد)
۲) سرعت آب زیاد و فشار زیاد می‌شود (۴۲درصد)
۳) سرعت و فشار هر دو ثابت می‌مانند (۶ درصد)
۴) سرعت کم و فشار زیاد می‌شود (۳ درصد)

تحلیل پاسخ‌ها:

تقریبا پاسخ درست داده‌اند، اما رابطه سرعت و فشار را وارونه برداشت کرده‌اند. شهود غالب دانش‌آموزان این است که « آب تندتر می‌آید، پس ضربه اش بیشتر است، پس فشار داخل بیشتر است» یعنی ضربه بیشتر به هدف روبه رو ناشی از تکانه است، نه فشار استاتیک داخل لوله.

پرسش ۴) در یک بطری پر از آب که در دیواره آن دو سوراخ ایجاد شده است، یکی در نیمه بالایی و دیگری در نزدیکی کف بطری، آب از کدام سوراخ با سرعت بیشتری خارج می‌شود و چرا؟

۱) سوراخ بالایی، چون فشار کمتر است (۲۸ درصد)۲) سوراخ پایینی، چون فشار ناشی از ستون آب بیشتر است (پاسخ درست) (۵۵ درصد)

۳) هر دو سوراخ با سرعت یکسان خارج می‌شوند (۱۰ درصد) ۴) سرعت خروجی فقط به سطح مقطع سوراخ بستگی دارد (۷درصد)

تحلیل پاسخ‌ها:

هرچه عمق بیشتر باشد، فشار استاتیک بیشتر است. بنابراین سوراخ پایین‌تر، به دلیل ارتفاع بیشتر ستون آب بالای آن، سرعت خروجی بیشتری دارد. بسیاری از دانش‌آموزان این پدیده را فقط به «فشار هیدرواستاتیک» مرتبط می‌دانند و فکر می‌کنند ربطی به اصل برنولی ندارد. در واقع توریچلی یک کاربرد خاص از اصل برنولی است که فشار استاتیک ناشی از ستون آب به انرژی جنبشی جریان تبدیل می‌شود.

پرسش ۵) در لوله‌ای که روبه بالا می‌رود و سرعت جریان در امتداد لوله ثابت است، فشار سیال در امتداد صعود چگونه تغییر می‌کند. (فرض جریان پایا، تراکم‌ناپذیر، تغییرات دما و اتلاف ناچیز)

۱) به دلیل افزایش مولفه پتانسیل گرانشی، فشار کاهش می‌یابد (پاسخ درست)(۴۹ درصد) ۲) فشار ثابت می‌ماند (۱۹ درصد)

۳) فشار افزایش می‌یابد به دلیل کاهش سرعت (۲۵ درصد) ۴) فشار به دما بستگی دارد نه به ارتفاع (۷ درصد)

تحلیل پاسخ‌ها:

غالبا به اشتباه فرض کرده‌اندکه با «شیب رو به بالا» سرعت کم می‌شود، در حالی که در صورت «سطح مقطع ثابت» سرعت ثابت است. ولی با صعود جریان، انرژی پتانسیل $\rho g h$ افزایش می‌یابد و برای ثابت ماندن «جمع انرژی‌ها» ، فشار استاتیک باید کاهش یابد.

پرسش ۶) چرا توپ سبک در جریان هوای تند روی سشوار در جای خود می‌ماند؟

۱) فشار بالا در مرکز جریان را نگه می‌دارد. (۳۶ درصد) ۲) فشار پایین ناحیه پرسرعت، پایداری ایجاد می‌کند (پاسخ درست)(۴۲ درصد)

۳) نیروی گرانشی با نیروی اصطکاک متعادل می‌شود (۱۴ درصد) ۴) جریان هوای چرخشی فشار را افزایش دهد (۸ درصد)

تحلیل پاسخ‌ها:

برخی دانش‌آموزان فکر می‌کنند سبک بودن توپ به تنهایی دلیل معلق ماندن است، در حالی که توپ سبک فقط شرط لازم است، اصل برنولی و اختلاف فشار علت اصلی هستند. تصور دیگر دانش‌آموزان این است که جریان هوا توپ را از زیر هل می‌دهد ولی در واقع، توپ توسط فشار کمتر در بالا و اطراف جریان در جای خود نگه می‌دارد و همچنین برخی فکر می‌کنند توپ در مرکز جریان « فشار بیشتری» دارد. در حقیقت فشار استاتیک در مرکز کمتر است و همین اختلاف فشار توپ را پایدار نگه می‌دارد.

آزمایش ساده کلاسی با توضیح خطوط جریان، شهود درست را تثبیت می‌کند و همچنین کج‌فهمی‌ها باید با آزمایش عملی اصلاح شوند. دانش‌آموزان باید یاد بگیرند که سرعت بیشتر یعنی فشار کمتر و اختلاف فشار می‌تواند نیروی بالابر یا نیروی پایدار کننده ایجاد کند.

۶. بحث و نتیجه‌گیری

از نتایج این تحقیق این‌گونه برمی‌آید که استفاده از آزمایش و روش مفهومی برای کمک به دست‌یابی به اهداف آموزشی مدارس، می‌تواند موجب ایجاد زمینه شکوفایی و نیز پرورش خلاقیت دانش‌آموزان شود. به علاوه دست‌یابی به اهداف یادگیری معنادار و یادگیری مفهومی را ساده‌تر می‌کند و آموزش علوم را به عرصه زندگی و فرهنگ بومی دانش‌آموزان می‌آورد. این امر نه تنها در آموزش مبحث اصل برنولی، بلکه در تمامی مباحث عملی فیزیک و نیز علوم پایه که نیاز به وسایل آزمایشگاهی ساده دارد می‌تواند روشنگر راهی باشد که به سوی یادگیری کاربردی علوم، بومی سازی آموزش و نیز شکوفایی خلاقیت دانش‌آموزان حرکت می‌کند.

اما باید توجه داشت که معلم در جریان تدریس مفهومی باید به کاوش تفکرات، دانش و طرحواره‌های شکل گرفته در ذهن دانش‌آموزان بپردازد تا از جریانات فکری آنان آگاه شده و کج‌فهمی‌ها را بیابد و اصلاح کند. همچنین نتایج تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از این روش‌های تدریس می‌تواند تاثیر زمان بر افت حافظه را کاهش دهد، زیرا اطلاعات دریافتی عینی و عملی در حافظه ماندگاری طولانی‌تر و با ثبات‌تری دارند و نیز تاثیر انجام آزمایش‌هایی شبیه به مسائل و پدیده‌های آشنای روزمره بر یادگیری و درک را نشان می‌دهد. البته نکته مهم این است که صرف آموزش مفهومی همراه با انجام آزمایش نیز می‌تواند موجب یادگیری شود. چنین یادگیری و کاربردهای عملی دانش توسط فراگیر تنها با وسایل کمک آموزشی و آزمایشگاهی مهیا می‌شود.

در راستای نتایج تحقیق پیشنهاد می‌شود که ضمن آموزش معلمان و دانشجویان دوره‌های دبیری در انجام آزمایش‌های فیزیکی و نیز روش تدریس مفهومی بر روی سطوح شناختی بالاتر، یادگیری‌های بلندمدت و کوتاه‌مدت به طور جدی و دقیقی در مباحث مختلف فیزیکی و سایر علوم عملی بررسی شود.

۷. سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی طبق ابلاغ گرنت شماره ۱۴۰۴/۳۹۵۱۴۵ انجام گرفته است.

۶. منابع

امانی، وحید؛ یعقوبی، محمد؛ زارعی نژاد، علیرضا و طاطاری، علیرضا. (۱۴۰۴). مروری بر راهبردها و روش‌های تدریس مبتنی بر خلاقیت و فناوری در آموزش شیمی. *پژوهش در آموزش شیمی*، ۷(۲)، ۱۱۹-۹۱.

داداش زاده، سعید و حقیقت، حمیده. (۱۴۰۳). تحلیل محتوای کتاب‌های شیمی دوره دوم متوسطه بر اساس میزان توجه به انواع روش-های آزمایشگاهی مدل سیمپسون و اندرسون. *پژوهش در آموزش شیمی*، ۶(۴)، ۲۲-۹.

گلستانه، مهشید و نظاری زاده، سیده فاطمه. (۱۴۰۴). تحلیل محتوای کتاب شیمی پایه دهم بر اساس الگوی خلاقیت پلسک. *پژوهش در آموزش شیمی*. ۷(۱)، ۲۶-۱.

قلخانی، معصومه؛ اجتهاد، زهرا سادات و احمدی، زهره. (۱۴۰۳). تدریس مبحث ترکیبات یونی و مولکولی مبتنی بر تصویرسازی و بازی با هدف ممانعت از ایجاد کج‌فهمی برای دانش‌آموزان مقطع متوسطه اول. *پژوهش در آموزش شیمی*، ۶(۴)، ۴۳-۲۳.

محمدپور، فاطمه؛ ابراهیمی دباغ، محمد و دشتی، مریم. (۱۴۰۴). بررسی اثربخشی روش تدریس کاوشگری بر پیشرفت تحصیلی، بهبود مهارت‌های عملی و قدرت استنباط دانش آموزان در درس شیمی. *پژوهش در آموزش شیمی*، ۷(۲)، ۹۰-۷۲.

Amani, V., Yaghoubi, M., Zarei-Nejad, A., & Tātāri, A. (2025). A review of creativity-based and technology-enhanced teaching strategies in chemistry education. *Research in Chemistry Education, 7*(2), 91–119.

Atkins, P. W., De Paula, J., & Keeler, J. (2023). *Atkins' physical chemistry*. Oxford University Press.

Berdi, D., Meirbekov, A., Sarbayeva, M., Ikramov, I., & Burayeva, Z. (2025). Integrating information technologies and virtual laboratories for effective school teaching. *Journal of Chemical Education, 102*(11), 4760–4768. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c01493

Clement, J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics, 50*(1), 66–70.

Eryilmaz, A. (2002). Effects of conceptual assignments and conceptual change discussions on students' misconceptions and achievement regarding force and motion. *Journal of Research in Science Teaching, 39*(10), 1001–1015.

Ghalkhani, M., Ejtehad, Z. S., & Ahmadi, Z. (2024). Teaching ionic and molecular compounds through visualization and games to prevent misconceptions among lower secondary school students. *Research in Chemistry Education, 6*(4), 23–43.

Gholestaneh, M., & Nazari-Zadeh, S. F. (2025). Content analysis of the tenth-grade chemistry textbook based on the Plesk creativity model. *Research in Chemistry Education, 7*(1), 1–26.

Haghighat, H., Aghazadeh, F., Fathinia, M. (2025). The Effect of Early Education on Students' Misunderstanding in Naming Chemical Compounds: A Case Study of the 9th Grade of Farzanegan Schools in Tabriz, *Research in Chemistry Education, 7*(In press)

Halim, A., Lestari, D., & Mustafa. (2019). Identification of the causes of misconception on the concept of dynamic electricity. *Journal of Physics: Conference Series, 1280*, Article 032013.

Hamid, A., Maqsood, Z., & Farooq, N. (2025). Significance of activation energy and binary chemical reaction effects on mixed convection Falkner–Skan flow of nanofluid along a wedge. *International Journal of Thermofluids, 22*, 101070.

Hunter, K. H., Rodriguez, J.-M. G., & Becker, N. M. (2022). A review of research on the teaching and learning of chemical bonding. *Journal of Chemical Education*, *99*(7), 2451–2464.

Lee, V.S. (2023). *Teaching and learning through inquiry: A guidebook for institutions and instructors.* Sterling, Virginia: Stylus Publishing.

Mohammadpour, F., Ebrahimi-Dabbagh, M., & Dashti, M. (2025). Investigating the effectiveness of inquiry-based teaching on academic achievement, practical skills, and reasoning ability in chemistry education. Research in Chemistry Education, 7(2), 72–90.

Saleem, A., & Akbar, R. A. (2022). Effect of analogy-based teaching on students' chemistry learning at secondary school level. *Annals of Human and Social Sciences, 3*(3), 477–493.

Shoarinegad, A. A. (2006). *Psychology of learning*. Roshd Publications, Tehran.

Taylor, C. J., & Pomberger, A. (2023). A brief introduction to chemical reaction optimization. *Chemical Reviews, 123*(6), 3089–3126.