



ORIGINAL RESEARCH PAPER

The impact of the APOS constructivist model and inquiry-based approach on enhancing learning levels of newton's laws

Z. Hamed Ghafarian, F. Khodadadi Azadboni*

Department of Physics Education, Farhangian University, P.O. Box 14665-889, Tehran, Iran

ABSTRACT

Received: 06 October 2025
Reviewed: 21 November 2025
Revised: 10 January 2026
Accepted: 26 February 2026

KEYWORDS:

APOS Model
Inquiry-Based Approach
Newton's Laws
Learning Levels
Physics Education
Constructivism

* Corresponding author

F.khodadadi@cfu.ac.ir

① (+9851)38784000

Background and Objectives: Teaching physics concepts, particularly Newton's laws, in lower secondary education faces challenges such as incomplete understanding and student misconceptions. These issues often arise from traditional teaching's emphasis on memorizing formulas and neglecting the cognitive construction of concepts. The Action-Process-Object-Schema (APOS) model focuses on active knowledge construction, identifies cognitive weaknesses, and facilitates effective instruction. The inquiry-based approach further enhances conceptual understanding by encouraging active participation and reflective thinking. This study aimed to investigate the impact of classifying learning levels using the APOS constructivist model, combined with inquiry-based teaching, on the performance of ninth-grade students in learning Newton's laws. The objectives were to evaluate the approach's effect on improving learning levels, identify the Newton's law most influenced by it, and determine the learning level with the greatest progress. The study sought to provide strategies to enhance physics education and address misconceptions in dynamics.

Methods: This quasi-experimental study employed a pre-test/post-test design. The population consisted of all ninth-grade students in Mashhad during the 2022-2023 academic year. A sample of 29 female students was selected using convenience sampling. The data collection tool was a researcher-made test assessing learning levels for Newton's laws. The test's content validity was confirmed by physics education experts and teachers, and its reliability was established with a Cronbach's alpha of 0.7. The educational intervention was conducted over six 100-minute sessions, including direct instruction with real-world examples, group problem-solving, and group discussions to foster reflective thinking. Activities such as inertia experiments, acceleration analysis, and object collision analysis were designed. Quantitative data were analyzed using statistical software and the McNemar test at a 0.05 significance level. Qualitative data from observations of student behavior were analyzed through inductive content analysis.

Findings: The results showed that the APOS constructivist model with an inquiry-based approach significantly improved students' performance in learning Newton's laws. In the pre-test, mean correct response percentages were 59.2% for Action, 28.7% for Process, 27% for Object, and 16.6% for Schema, indicating weaknesses in higher learning levels and incomplete mental constructs. Students struggled with deep conceptual understanding and analytical problem-solving. In post-intervention, these values increased to 89.1% (Action), 88% (Process), 84.5% (Object), and 71.3% (Schema), with changes of 29.9%, 59.3%, 57.5%, and 54.7%, respectively. The McNemar test confirmed significant differences ($p < 0.05$) for the first law at Process and Object levels, the second law at Object and Schema levels, and the third law at Process, Object, and Schema levels. The second law (dynamics) showed the greatest improvement with a 53.5% average increase. Qualitative analysis confirmed students' progression from the Action level to higher levels.

Conclusion: The APOS constructivist model with inquiry-based teaching reduced misconceptions, such as the need for continuous force for motion or non-zero resultant action-reaction forces, by fostering reflective thinking and active participation. Using this constructivist model in physics education enables meaningful learning, leading to students' awareness of applying laws, principles, and formulas. Teachers are recommended to adopt this model to enhance learning levels.



COPYRIGHTS

© 2025 The Author(s). This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)



NUMBER OF REFERENCES

35



NUMBER OF FIGURES

2



NUMBER OF TABLES

5

مقاله پژوهشی

تأثیر مدل ساختن‌گرایی APOS و رویکرد کندوکاو بر ارتقای سطوح یادگیری قوانین نیوتن

زهرا حامد غفاریان، فاطمه خدادادی آزادبنی*

گروه آموزش فیزیک، دانشگاه فرهنگیان، صندوق پستی ۸۸۹-۱۴۶۶۵، تهران، ایران

چکیده

پیشینه و اهداف: آموزش مفاهیم فیزیک، به‌ویژه قوانین نیوتن، در دوره متوسطه اول با چالش‌هایی مانند درک ناقص و کج‌فهمی‌های دانش‌آموزان مواجه است. این مشکلات اغلب به دلیل تمرکز آموزش سنتی بر حفظ فرمول‌ها و عدم توجه به ساخت شناختی مفاهیم ایجاد می‌شوند. مدل APOS (عمل-فرآیند-شیء-طرح‌واره)، با تأکید بر ساخت فعال دانش، نقاط ضعف شناختی را شناسایی و آموزش مؤثر را تسهیل می‌کند. رویکرد کندوکاو نیز با تشویق به مشارکت فعال و تفکر تأملی، درک مفهومی را تقویت می‌کند. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر طبقه‌بندی سطوح یادگیری مبتنی بر مدل ساختن‌گرایی APOS و تدریس با رویکرد کندوکاو بر عملکرد دانش‌آموزان در یادگیری قوانین نیوتن انجام شد. اهداف شامل ارزیابی تأثیر این رویکرد بر بهبود سطوح یادگیری، شناسایی قانون نیوتن با بیشترین تأثیرپذیری و تعیین سطح یادگیری با بیشترین پیشرفت بود.

روش‌ها: این پژوهش شبه‌آزمایشی با طرح پیش‌آزمون و پس‌آزمون بود. جامعه آماری شامل دانش‌آموزان پایه نهم شهر مشهد در سال تحصیلی ۱۴۰۲-۱۴۰۳ بود. نمونه‌ای شامل ۲۹ دانش‌آموز دختر دبیرستانی به روش نمونه‌گیری در دسترس انتخاب شد. ابزار جمع‌آوری داده‌ها، آزمون محقق‌ساخته‌ای بود که سطوح یادگیری را در قوانین نیوتن ارزیابی می‌کرد. روایی محتوایی آزمون توسط متخصصان و معلمان فیزیک تأیید و پایایی آن با ضریب آلفای کرونباخ ۰.۷ محاسبه شد. مداخله آموزشی (رویکرد کندوکاو) طی ۶ جلسه ۱۰۰ دقیقه‌ای شامل تدریس مستقیم با مثال‌های واقعی، حل مسئله گروهی و بحث گروهی اجرا و فعالیت‌هایی مانند آزمایش اینرسی، تحلیل شتاب، و بررسی برخورد اجسام طراحی شد. داده‌های کمی با نرم‌افزار آماری و آزمون مک‌نمار (سطح معناداری ۰/۰۵) و داده‌های کیفی با تحلیل محتوای استقرایی تحلیل شدند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که مدل ساختن‌گرایی APOS با رویکرد کندوکاو به بهبود قابل‌توجه عملکرد دانش‌آموزان در یادگیری قوانین نیوتن منجر شد. در پیش‌آزمون، میانگین درصد پاسخ‌های صحیح در سطح عمل ۵۹/۲ درصد، فرآیند ۲۸/۷ درصد، شیء ۲۷ درصد، و طرح‌واره ۱۶/۶ درصد بود که نشان‌دهنده ضعف در سطوح بالاتر و شکل‌گیری ناقص ساخت‌های ذهنی بود. پس از مداخله، این مقادیر به ۸۹/۱ درصد (عمل)، ۸۸ درصد (فرآیند)، ۸۴/۵ درصد (شیء) و ۷۱/۳ درصد (طرح‌واره) افزایش یافت، با تغییرات به‌ترتیب ۲۹/۹، ۵۹/۳، ۵۷/۵ و ۵۴/۷ درصد. آزمون مک‌نمار تفاوت‌های معنادار ($p < 0.05$) را برای قانون اول در سطح فرآیند و شیء، برای قانون دوم در سطح شیء و طرح‌واره و برای قانون سوم در سطح فرآیند، شیء و طرح‌واره تأیید کرد. مفاهیم قانون دوم (دینامیک) با میانگین بهبود ۵۳/۵ درصد بیشترین تأثیر را دریافت کرد. تحلیل کیفی نیز پیشرفت دانش‌آموزان از سطح عمل به سطوح بالاتر را تأیید کرد.

نتیجه‌گیری: مدل ساختن‌گرایی APOS با رویکرد کندوکاو با تقویت تفکر تأملی و مشارکت فعال، کج‌فهمی‌هایی مانند نیاز به نیروی مداوم برای حرکت یا برآیند غیرصفر نیروهای کنش و واکنش را کاهش داد. با استفاده از مدل ساختن‌گرایی APOS در آموزش فیزیک، دانش‌آموزان یادگیری معنی‌داری را تجربه می‌کنند که منجر به آگاهی آن‌ها نسبت به کاربرد و استفاده از قوانین، اصول و فرمول‌ها می‌شود. پیشنهاد می‌شود معلمان از این مدل برای ارتقای سطوح یادگیری استفاده کنند.

تاریخ دریافت: ۱۴ مهر ۱۴۰۴
تاریخ داوری: ۳۰ آبان ۱۴۰۴
تاریخ اصلاح: ۲۰ دی ۱۴۰۴
تاریخ پذیرش: ۰۷ اسفند ۱۴۰۴

واژگان کلیدی:

مدل APOS
رویکرد کندوکاو
قوانین نیوتن
سطوح یادگیری
آموزش فیزیک
ساختن‌گرایی

* نویسنده مسئول

F.khodadadi@cfu.ac.ir

۰۵۱-۳۸۷۸۴۰۰۰ ①

مقدمه

در طول چند دهه گذشته، تمرکز آموزش علوم، به‌ویژه فیزیک، از انتقال صرف اطلاعات به سمت تقویت درک مفاهیم و ساختارهای شناختی مؤثر در ذهن یادگیرندگان تغییر جهت داده است [۱]. نظریه‌های یادگیری مختلف، چارچوب‌هایی برای درک نحوه یادگیری مفاهیم علمی ارائه کرده‌اند.

در میان این نظریه‌ها، دیدگاه ساخت‌وسازگرایی، به‌عنوان رویکردی نوین، تأکید دارد که دانش از طریق تعامل فعالانه یادگیرنده با محیط پیرامونش ساخته می‌شود، نه اینکه به‌صورت مستقیم منتقل شود [۲]. این رویکرد، به‌ویژه در طراحی آموزشی مبتنی بر مفاهیم، اهمیت بسیاری یافته است.

از میان نظریه‌های ساخت‌وسازگراییانه، نظریه APOS (عمل، فرایند، شیء، و طرح‌واره) جایگاه ویژه‌ای در آموزش مفاهیم فیزیکی و ریاضی دارد [۳ و ۱]. این نظریه که نخستین بار توسط دابینسکی در دهه ۱۹۸۰ ارائه شد، براساس نظریات پیازه درباره رشد شناختی و انتزاع تأملی بنا شده است و بیان می‌دارد که درک مفاهیم از طریق چهار ساختار ذهنی شکل می‌گیرد: عمل، فرایند، شیء و طرح‌واره [۴ و ۵]. به‌عبارت دیگر، فراگیر ابتدا از طریق اعمالی ساده با مفاهیم آشنا می‌شود، سپس با تکرار و تأمل، آن‌ها را به فرایندهای ذهنی تبدیل می‌کند؛ این فرایندها به تدریج به اشیایی مستقل تبدیل می‌شوند که در نهایت در قالب یک طرح‌واره ذهنی سازمان می‌یابند. این سطوح شناختی، نشانگر میزان درک مفهومی فراگیران هستند و شناخت آن‌ها، امکان تحلیل دقیق‌تری از مشکلات مفهومی و طراحی برنامه‌های آموزشی اثربخش را فراهم می‌سازد [۶].

نظریه APOS برخلاف رویکردهای سیستماتیک طراحی آموزشی که بیشتر بر تحلیل تکلیف و تعیین اهداف رفتاری تأکید دارند؛ در پی آن است تا روند شکل‌گیری مفاهیم را در ذهن یادگیرنده تحلیل و بازسازی کند [۷]. در این نظریه، آموزش نه به‌عنوان انتقال اطلاعات بلکه به‌عنوان تسهیل فرایند ساخت شناختی در ذهن فراگیر در نظر گرفته می‌شود. این امر باعث می‌شود تا نظریه APOS به‌طور مستقیم با دیدگاه سازنده‌گرایی پیوند یابد؛ دیدگاهی که یادگیرنده را نه یک گیرنده منفعل اطلاعات، بلکه یک سازنده فعال دانش می‌داند.

پیشرفت در حوزه آموزش علوم، به‌ویژه فیزیک، همواره وابسته به شناخت عمیق‌تر فرایندهای ذهنی یادگیرندگان در درک مفاهیم انتزاعی و نظری بوده است. یکی از مفاهیمی که به‌صورت جدی مورد توجه پژوهشگران حوزه آموزش فیزیک قرار گرفته، قوانین نیوتن است؛ قوانینی که علی‌رغم جایگاه بنیادی در فیزیک، همواره با سطح بالایی از کج‌فهمی در میان دانش‌آموزان همراه بوده‌اند. این کج‌فهمی‌ها اغلب به دلیل آموزش سنتی حفظ‌محور و عدم تمرکز بر ساختارهای شناختی یادگیری ایجاد می‌شوند. علی‌رغم آنکه قوانین نیوتن در کتاب‌های درسی به‌صورت صریح و گام‌به‌گام آموزش داده می‌شوند، شواهد پژوهشی و تجربی نشان می‌دهند که بسیاری از دانش‌آموزان درک ناقصی از این

مفاهیم دارند و در به‌کارگیری آن‌ها در موقعیت‌های جدید ناتوانند [۸-۱۰]. در اغلب موارد، این نارسایی‌ها ناشی از محدود ماندن در سطوح پایین‌تر شناختی و عدم عبور از مرحله «عمل» به سطوح بالاتر «فرایند»، «شیء» و «طرح‌واره» است. کتاب‌های درسی رایج اغلب فاقد رویکردهایی هستند که تفکر مفهومی و انتزاعی دانش‌آموزان را هدف قرار دهند، و در عوض، بر انتقال دانش به شیوه سنتی و حفظ‌محور تمرکز دارند. از سوی دیگر، بسیاری از معلمان نیز به دلیل نبود آموزش‌های تخصصی در زمینه روان‌شناسی شناختی و نظریه‌های یادگیری، از روش‌هایی استفاده می‌کنند که توانایی ذهنی دانش‌آموزان برای ساخت مفاهیم را تقویت نمی‌کند [۱۱ و ۱۲]. در نتیجه، دانش‌آموزان با مفاهیم علمی برخوردی سطحی داشته، آن‌ها را صرفاً در قالب فرمول و الگوریتم یاد می‌گیرند و نمی‌توانند مفاهیم را به‌صورت مفهومی و کاربردی درک کنند. با توجه به چالش‌های مفهومی گسترده در این حوزه، استفاده از این چارچوب می‌تواند به شناسایی دقیق‌تر نارسایی‌های شناختی و طراحی برنامه‌های آموزشی هدفمند منجر شود. این نظریه با تفکیک سطوح مختلف درک مفهومی و معرفی چرخه‌ای از یادگیری مفاهیم، ابزار مناسبی برای تحلیل ساختارهای ذهنی یادگیرندگان فراهم می‌آورد. در این تحقیق، چارچوب نظری APOS برای تحلیل و طبقه‌بندی سطوح یادگیری مفاهیم دینامیک در میان دانش‌آموزان پایه نهم مورد استفاده قرار گرفته است.

نظریه APOS نه تنها ابزاری برای توصیف و تحلیل سطوح یادگیری است؛ بلکه می‌تواند به‌عنوان چارچوبی نظری برای طراحی آموزشی نیز به کار رود. این نظریه به معلمان امکان می‌دهد تا سطح درک مفهومی یادگیرندگان را تشخیص داده و مسیر آموزشی مناسبی برای ارتقای آن طراحی کنند. به‌ویژه در آموزش مفاهیم انتزاعی و ساختاری فیزیک نظیر قوانین حرکت، APOS می‌تواند در شناسایی ریشه‌های مشکلات مفهومی و هدایت فراگیران از سطوح ابتدایی به سطوح بالاتر شناختی مؤثر واقع شود. مدل APOS (عمل، فرایند، شیء، طرح‌واره) چارچوبی برای تحلیل مراحل شناختی درک مفاهیم فیزیکی ارائه می‌دهد؛ درحالی‌که رویکرد کندوکاو با فعالیت‌های اکتشافی، مانند آزمایش‌های عملی و شبیه‌سازی‌های PhET، یادگیری فعال را تقویت می‌کند. کاربرد نظریه APOS در ترکیب با رویکردهای فعال یادگیری، مانند یادگیری مبتنی بر کندوکاو، می‌تواند به تقویت درک مفهومی و بهبود عملکرد دانش‌آموزان منجر شود. ترکیب این دو رویکرد می‌تواند دانش‌آموزان را از سطح عمل (مانند شناسایی نیروها) به سطح طرح‌واره (مانند درک تعادل نیروها) هدایت کند. با در نظر گرفتن اهمیت آموزش مفاهیم پایه فیزیک مانند قوانین نیوتن و فقدان پژوهش‌هایی جامع و هدفمند مبتنی بر مدل APOS در این زمینه، انجام پژوهشی با هدف شناسایی سطوح شناختی دانش‌آموزان و طراحی آموزش متناسب با آن، ضروری به نظر می‌رسد. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر مدل ساخت‌وسازگرایی APOS بر رویکرد کندوکاو بر سطوح یادگیری مفاهیم قوانین نیوتن در میان دانش‌آموزان پایه نهم انجام شده است.

سؤالات پژوهش

پژوهش حاضر با هدف بررسی طبقه‌بندی سطوح یادگیری مبتنی بر مدل ساختن‌گرایی APOS با رویکرد کندوکاو بر عملکرد دانش‌آموزان پایه نهم در مبحث دینامیک انجام شده است. این پژوهش به دنبال پاسخ به این سؤالات است:

آیا مدل APOS با رویکرد کندوکاو بر یادگیری قوانین نیوتن تأثیر مثبت دارد؟

کدام قانون نیوتن از این رویکرد بیشترین تأثیر را می‌پذیرد؟

کدام سطح یادگیری (عمل، فرآیند، شیء، طرح‌واره) بیشترین تأثیر را از این رویکرد دریافت می‌کند؟

پیشینه پژوهش

یکی از نظریه‌های تأثیرگذار که از دهه‌های اخیر مورد توجه گسترده پژوهشگران تعلیم و تربیت قرار گرفته، نظریه یادگیری APOS است. نظریه APOS، نخستین‌بار در حوزه آموزش ریاضی توسط ادوارد دووینسکی در دهه ۱۹۸۰ مطرح شد [۱۳ و ۱۴] و در سال‌های اخیر در حوزه آموزش فیزیک نیز به‌عنوان چارچوبی برای تحلیل یادگیری مفاهیم علمی مورد استفاده قرار گرفته است [۱۷-۱۵ و ۱۶]. این نظریه بر مبنای دیدگاه ساختن‌گرایی پیاز و به‌ویژه مفهوم انتزاع تأملی او شکل گرفته و تلاش می‌کند تا نحوه ساخت و توسعه مفاهیم انتزاعی در ذهن یادگیرنده را مدل‌سازی کند. این نظریه با تبیین سطوح ذهنی یادگیرنده شامل عمل، فرایند، شیء و طرح‌واره، ابزاری برای ارزیابی و ارتقای درک مفهومی فراگیران فراهم می‌آورد. در دو دهه گذشته، نظریه APOS به‌عنوان چارچوبی مؤثر در تحلیل فرایندهای یادگیری مفاهیم علمی و ریاضی معرفی شده و در پژوهش‌های گوناگون داخلی و بین‌المللی مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج مطالعات مختلف نشان می‌دهد که بهره‌گیری از این چارچوب، به‌ویژه در ترکیب با رویکردهای ساختن‌گرایی، می‌تواند به بهبود کیفیت یادگیری، ارتقای مهارت‌های شناختی و شناسایی بدفهمی‌های رایج منجر شود.

اسلام‌پور و خیرالله‌زاده در پژوهشی به بررسی میزان درک دانش‌آموزان از مشتق توابع مثلثاتی در چارچوب نظریه APOS پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که درک دانش‌آموزان از مشتق توابع مثلثاتی تا حد قابل قبولی در سطح شیء است و درصد کمی از دانش‌آموزان موفق به تشکیل طرح‌واره مفهومی شده‌اند [۱۸]. ناعمی و همکاران در پژوهشی نیمه‌آزمایشی با آموزش ۱۴ جلسه‌ای مبتنی بر الگوی چرخه‌ی یادگیری ساختن‌گرایی به دانش‌آموزان دختر پایه هفتم، نشان دادند که این رویکرد به‌طور معناداری باعث ارتقای انگیزش تحصیلی، خلاقیت و مؤلفه‌های آن (سیالی، بسط، ابتکار، و انعطاف‌پذیری) می‌شود [۱۹]. موسوی با تحلیل سطوح درک دانش‌آموزان از مفاهیم الکتریسته، ضعف عملکرد در سطوح بالای نظریه APOS را گزارش کرد و آن را ناشی از ساختارهای ذهنی ناقص دانست [۲۰]. همچنین، ایزدی و ریحانی، با استفاده از نظریه‌های APOS و SOLO در یک پژوهش پیمایشی-توصیفی،

نشان دادند که درک دانش‌آموزان دوره دوم ابتدایی شهر تهران از مفهوم زیرساختار جزء به کل کسر بسیار محدود است؛ بدفهمی‌هایی مانند عدم توجه به مساوی بودن قسمت‌ها، درک نسبت جزء به جزء، و استفاده از تقریب به جای محاسبه دقیق بسیار شایع است [۲۱].

عجمی نیز در پژوهشی درباره قوانین نیوتن، به این نتیجه رسید که اکثریت دانش‌آموزان در سطح فرایند باقی‌مانده و تنها درصد کمی به سطوح شیء و طرح‌واره دست یافته‌اند [۲۲]. اسدی و همکاران با بررسی مفاهیم حرکت‌شناسی، بر ضعف ساخت مفهومی دانش‌آموزان در سطوح بالاتر APOS تأکید کردند [۲۳]. آزمی بستان‌آباد و جوادپور با بررسی دیدگاه معلمان و دانش‌آموزان درباره تدریس سازنده‌گرا، نشان دادند که با وجود گرایش مثبت معلمان، شیوه‌های سنتی همچنان غالب است [۲۴]. همچنین، محمدزاده و همکاران در پژوهشی دیگر به بررسی تأثیر آموزش مبتنی بر رویکرد ساختن‌گرایی بر یادگیری مشارکتی پرداختند و نتایج پژوهش آن‌ها بر تأثیر مثبت این رویکرد بر ارتقای تعامل و یادگیری گروهی دانش‌آموزان تأکید داشت [۲۵]. افخمی بنائم و همکاران با استفاده از نظریه APOS و مدل آگاهی از ساختار، فرایند تعمیم الگوهای شکلی را در دانش‌آموزان تحلیل کردند. نتایج آنان نشان داد که بیشتر دانش‌آموزان در سطح عمل یا فرایند باقی‌مانده‌اند و راهکارهای آموزشی هدفمند می‌تواند آنان را به سطوح شیء و طرح‌واره ارتقا دهد [۲۶]. این پژوهش، اهمیت تعامل نظریه APOS با نظریه‌های مکمل مانند آگاهی از ساختار را برجسته می‌سازد. در سطح بین‌المللی نیز پژوهش‌های قابل‌توجهی در این حوزه انجام شده است.

افغانی و همکاران در یک مطالعه تجربی در اندونزی، با مقایسه تأثیر نظریه APOS و روش یادگیری مستقیم بر خودپنداره معلمان ریاضی پیش از خدمت، دریافتند که رویکرد پیشنهادی نظریه APOS می‌تواند به شکل مؤثرتری موجب ارتقای خودپنداره حرفه‌ای در این گروه شود [۲۷]. نگوین و همکاران با استفاده از آموزش مشتق مبتنی بر نظریه APOS و چرخه یادگیری ACE نشان دادند که دانش‌آموزان گروه آزمایش در مقایسه با گروه کنترل، بهبود معناداری در عملکرد تحصیلی و نگرش به یادگیری داشتند [۲۸]. در مطالعه‌ای تجربی در نیجریه، اولوواسون و مهاراج با استفاده از نظریه APOS برای تحلیل مهارت‌های منطق جبری، نشان دادند که دانش‌آموزانی که تحت آموزش با کمک رایانه، مبتنی بر ساخت مفاهیم APOS قرار گرفتند، در کاربرد معادلات ارتباطی در منطق جبری عملکرد به‌مراتب بهتر و درک مفهومی پیشرفته‌تری داشتند [۲۹]. تیسف در مقاله‌ای با بررسی یادگیری مؤثر بر پایه نظریه APOS، نتیجه گرفت که این رویکرد می‌تواند توانایی‌های شناختی دانش‌آموزان از جمله خلاقیت، استدلال و حل مسئله را به‌طور مؤثری ارتقا دهد [۳۰]. تیننگیو و همکاران در مطالعه‌ای که مفاهیم نظریه مجموعه‌ها را با بهره‌گیری از چارچوب نظری APOS و زبان برنامه‌نویسی پایتون آموزش دادند، نشان دادند که بیش از ۶۰ درصد از دانش‌آموزان شرکت‌کننده به سطوح بالاتری از درک مفهومی از جمله شیء و طرح‌واره دست یافتند. این یافته‌ها نشان‌دهنده اثربخشی چشمگیر رویکرد تلفیقی

دانش‌آموزان پایه نهم دبیرستان‌های دخترانه ناحیه ۲ آموزش و پرورش شهر مشهد در سال تحصیلی ۱۴۰۲-۱۴۰۳ بود. از میان این جامعه، نمونه‌ای شامل ۲۹ دانش‌آموز دختر از دبیرستان انقلاب ناحیه ۲ مشهد به روش نمونه‌گیری در دسترس انتخاب شد. انتخاب روش نمونه‌گیری در دسترس به دلیل محدودیت‌های زمانی و دسترسی به مدارس بود؛ اما تلاش شد تا نمونه نماینده‌ای از دانش‌آموزان با سطوح مختلف توانایی تحصیلی باشد. ابزار جمع‌آوری داده‌ها در این پژوهش، آزمون محقق‌ساخته‌ای بود که براساس محتوای کتاب درسی فیزیک پایه نهم و مدل APOS طراحی شد. این آزمون شامل ۱۸ سؤال چندگزینه‌ای بود که چهار سطح یادگیری مدل APOS (عمل، فرآیند، شیء، طرح‌واره) را در مبحث قوانین نیوتن ارزیابی می‌کرد. سؤالات به‌گونه‌ای طراحی شدند که هر سطح یادگیری به‌طور جداگانه مورد سنجش قرار گیرد. به‌عنوان مثال، سؤالات سطح عمل شامل محاسبات ساده با استفاده از فرمول‌های قوانین نیوتن بود؛ درحالی‌که سؤالات سطح طرح‌واره نیازمند ترکیب مفاهیم مختلف برای حل مسائل پیچیده بود. به جهت شناسایی کج فهمی دانش‌آموزان و اینکه به‌صورت تصادفی گزینه‌ای را انتخاب نکرده باشند، سؤالات سه سطحی طراحی شد. در هر سؤال از دانش‌آموزان خواسته شد دلیل و یا راه حل رسیدن به گزینه مورد نظر را بنویسند و اطمینال از پاسخ خود را بیان کنند.

روایی محتوایی آزمون توسط سه استاد متخصص آموزش فیزیک و دو معلم باتجربه پایه نهم بررسی شد. این متخصصان سؤالات را از نظر تناسب با اهداف پژوهش، محتوای کتاب درسی و سطوح یادگیری APOS ارزیابی کردند و پس از اعمال اصلاحات پیشنهادی، روایی محتوایی تأیید شد. برای بررسی روایی سازه، همبستگی پاسخ‌های دانش‌آموزان با سطوح نظری APOS (عمل، فرآیند، شیء، طرح‌واره) تحلیل شد. نتایج نشان داد که سؤالات با سطوح APOS همبستگی بالایی دارند (سؤالات قانون اول با سطح فرآیند $r=0.78$ ، $p < 0.01$)، قانون دوم با سطح شیء $r=0.80$ ، $p < 0.01$ ، و قانون سوم با سطح طرح‌واره $r=0.82$ ، $p < 0.01$)، که توانایی آزمون در سنجش ساختارهای شناختی مورد نظر را تأیید می‌کند. پایایی آزمون با استفاده از ضریب آلفای کرونباخ محاسبه شد که مقدار 0.7 به‌دست آمد، نشان‌دهنده پایایی قابل‌قبول ابزار بود. علاوه بر آزمون، از برگه‌های مشاهده رفتار دانش‌آموزان در جلسات آموزشی برای جمع‌آوری داده‌های کیفی استفاده شد. این برگه‌ها شامل معیارهایی مانند میزان مشارکت در بحث‌های گروهی، توانایی حل مسئله و تعامل با هم‌کلاسی‌ها بود.

رضایت‌نامه کتبی از والدین تمامی دانش‌آموزان (۲۹ نفر) دریافت شد و مجوز رسمی از مدیریت مدرسه انقلاب برای اجرای مداخله آموزشی (۶ جلسه) اخذ گردید. این اقدامات براساس اصول اخلاقی پژوهش (مانند حفظ محرمانگی پاسخ‌ها و عدم اجبار به مشارکت) انجام شدند. قبل از شروع مداخله، پیش‌آزمون برای ارزیابی سطح اولیه یادگیری و شناسایی کج فهمی دانش‌آموزان اجرا شد. مداخله آموزشی طی شش جلسه ۱۰۰ دقیقه‌ای در طول سه هفته اجرا شد. برنامه آموزشی براساس اصول مدل APOS و رویکرد کندوکاو طراحی شد و شامل سه بخش اصلی بود:

و فعال در آموزش مفاهیم انتزاعی ریاضی است [۳۱]. خدافل‌زاده و همکاران با ارزیابی درک دانش‌آموزان پایه دوازدهم از مبحث مغناطیس بر پایه نظریه APOS، دریافتند که ۸۰ درصد از دانش‌آموزان در سطح عمل، ۸۵ درصد در سطح فرآیند، تنها ۳۰ درصد در سطح شیء و ۲۳ درصد در سطح طرح‌واره قرار داشتند [۳۲]. این یافته‌ها نشان می‌دهد که بیشتر فراگیران صرفاً در چارچوب روش‌های روتین و الگوریتمی به حل مسائل می‌پردازند و درک مفهومی عمیقی از مطالب ندارند. خدادادی آزادبنی و صباغ تربیتی با استفاده از نسخه اصلاح‌شده مدل APOS در آموزش مفاهیم الکتریسیته ساکن، دریافتند که اجرای این رویکرد، منجر به بهبود معنادار در درک مفهومی دانش‌آموزان، به‌ویژه در مفاهیم بار و نیروی الکتریکی شد. همچنین یافته‌ها نشان داد که دانش‌آموزان پس از مداخله آموزشی توانستند به سطوح بالاتر یادگیری مانند سطح طرح‌واره دست یابند و میزان سوءبرداشت‌های آنان نیز کاهش یافت [۱]. با این وجود بررسی اغلب پژوهش‌های انجام‌شده در حوزه آموزش مفاهیم ریاضی و فیزیک مبتنی بر نظریه APOS در کشورهای مختلف، نشان داد که بخش عمده‌ای از فراگیران در سطح عمل یا فرآیند باقی می‌مانند و قادر به رسیدن به سطح شیء و طرح‌واره نیستند. تحقیقات ماهاراج در آفریقای جنوبی [۳۳ و ۳۴] و پژوهش ریحانی و شریفی در ایران [۳۵] نشان می‌دهد که بسیاری از دانش‌آموزان درک الگوریتمی و رویه‌ای از مفاهیم دارند و قادر به درونی‌سازی مفاهیم و انتقال آن‌ها به موقعیت‌های جدید نیستند.

اگرچه مدل APOS و رویکرد کندوکاو به‌صورت جداگانه در آموزش علوم استفاده شده‌اند؛ این مطالعه اولین پژوهشی است که این دو چارچوب را به‌صورت یکپارچه برای آموزش قوانین نیوتن در یک برنامه آموزشی منسجم ترکیب کرده است. این ترکیب امکان تحلیل دقیق‌تر سطوح یادگیری (عمل، فرآیند، شیء، طرح‌واره) را در بستر فعالیت‌های عملی و تعاملی فراهم کرد، که در مطالعات قبلی کمتر مورد توجه قرار گرفته بود. پژوهش حاضر با تکیه بر چارچوب نظری APOS، در پی آن است تا با تحلیل دقیق سطوح درک مفهومی دانش‌آموزان پایه نهم از قوانین نیوتن، به شناختی عمیق‌تر از مشکلات مفهومی آنان دست یابد و زمینه را برای بهبود فرآیند آموزش این مباحث فراهم سازد.

روش تحقیق

این پژوهش از نظر هدف، کاربردی و از نظر نوع، آمیخته با طرح تبیینی متوالی است. ابتدا داده‌های کمی از طریق طرح شبه‌آزمایشی پیش‌آزمون و پس‌آزمون (۲۹ دانش‌آموز، ۱۶ سؤال شامل ۱۲ سؤال چهارگزینه‌ای و ۴ سؤال تشریحی) جمع‌آوری و با آزمون مک‌نمار تحلیل شدند تا تأثیر مداخله آموزشی مبتنی بر مدل APOS و رویکرد کندوکاو بر یادگیری قوانین نیوتن بررسی شود. سپس، داده‌های کیفی از پاسخ‌نامه‌های سه‌سطحی (پاسخ، دلیل، اطمینان) با تحلیل محتوای استقرایی بررسی شدند. این طرح به دلیل امکان کنترل متغیرهای مداخله‌گر و ارائه درک جامع از فرآیند یادگیری انتخاب شد. جامعه آماری پژوهش شامل تمامی

آزمایش سکه و لیوان برای قانون اول نیوتن و شبیه‌سازی PhET برای قانون دوم، طراحی شدند تا دانش‌آموزان را از سطح عمل (مانند شناسایی نیروها) به سطوح بالاتر APOS (مانند درک تعادل نیروها در سطح طرح‌واره) هدایت کنند. این ترکیب با هدف کاهش کج‌فهمی‌ها و تقویت یادگیری عمیق انجام شد. هر جلسه آموزشی شامل فعالیت‌هایی بود که به‌طور خاص برای تقویت یک سطح یادگیری طراحی شده بودند. به‌عنوان مثال، در سطح عمل، دانش‌آموزان مسائل ساده‌ای را حل کردند که نیازمند استفاده مستقیم از فرمول‌ها بود (مانند محاسبه نیروی خالص با استفاده از $F=ma$). در سطح فرآیند، فعالیت‌ها شامل تحلیل مراحل حل مسئله بدون وابستگی به دستورالعمل‌های خارجی بود. در سطوح شیء و طرح‌واره، مسائل پیچیده‌تری ارائه شد که نیازمند ترکیب مفاهیم مختلف و درک انتزاعی بود.

رویکرد کندوکاو نیز با تأکید بر فعالیت‌های گروهی و تأمل، به دانش‌آموزان کمک کرد تا مفاهیم را به‌طور فعال بسازند. این رویکرد با ایجاد موقعیت‌های واقعی (مانند شبیه‌سازی حرکت اجسام در آزمایش‌های ساده) و طرح سؤالات باز، دانش‌آموزان را به تفکر عمیق‌تر تشویق کرد [۳۷]. استفاده از بحث‌های گروهی به دانش‌آموزان امکان داد تا ایده‌های خود را به اشتراک بگذارند و کج‌فهمی‌هایشان را از طریق تعامل با هم‌کلاسی‌ها و تسهیل‌گر اصلاح کنند.

پس از اتمام جلسات، پس‌آزمون مشابه پیش‌آزمون برای سنجش تغییرات در سطوح یادگیری اجرا شد. برای کاهش سوگیری، آزمون‌ها به‌صورت ناشناس کدگذاری شدند و توسط دو نفر به‌طور مستقل تصحیح شدند. همچنین، مشاهدات کیفی از رفتار دانش‌آموزان در طول جلسات ثبت شد تا اطلاعات تکمیلی در مورد فرآیند یادگیری آن‌ها جمع‌آوری شود. داده‌های کمی حاصل از پیش‌آزمون و پس‌آزمون با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۶ تحلیل شدند. تحلیل‌های توصیفی شامل محاسبه میانگین، درصد و انحراف معیار برای هر سطح یادگیری (عمل، فرآیند، شیء، طرح‌واره) بود. برای بررسی تفاوت معنادار بین پیش‌آزمون و پس‌آزمون، از آزمون ناپارامتری مک‌نمار استفاده شد. سطح معناداری ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. داده‌های کیفی حاصل از برگه‌های مشاهده با روش تحلیل محتوای استقرایی تحلیل شدند. این روش شامل کدگذاری باز، دسته‌بندی کدها و استخراج مضامین اصلی بود. این تحلیل به درک بهتر رفتار دانش‌آموزان و تأثیر مداخله آموزشی کمک کرد.

تدریس مستقیم: در ۳۰ دقیقه اول هر جلسه، مفاهیم قوانین نیوتن با استفاده از مثال‌های واقعی و ساده تدریس شد. به‌عنوان مثال، برای قانون اول نیوتن، از مثال‌هایی مانند حرکت یک جسم روی سطح بدون اصطکاک استفاده شد تا دانش‌آموزان مفهوم لختی را درک کنند. آزمایش اینرسی برای توضیح قانون اول نیوتن طراحی شد. در این آزمایش، یک مقوا روی سطح صاف قرار داده شد و یک سکه روی آن گذاشته شد. با وارد کردن ضربه‌ای ناگهانی به مقوا، مقوا به دلیل نیروی واردشده حرکت کرد؛ اما سکه به دلیل اینرسی (قانون اول نیوتن) در جای خود باقی ماند. این فعالیت به دانش‌آموزان کمک کرد تا مفهوم لختی را به‌صورت عینی درک کنند. در ادامه، آزمایش دیگری انجام شد که در آن مقوا روی دهانه باز یک لیوان قرار گرفت. با ضربه زدن به مقوا، زیر سکه خالی شد و سکه به دلیل نیروی گرانش زمین به داخل لیوان سقوط کرد. این آزمایش نشان داد که در غیاب نیروی نگهدارنده مقوا، سکه تحت تأثیر گرانش حرکت می‌کند. برای بررسی تأثیر اصطکاک، آزمایش با استفاده از موکت به جای مقوای صیقلی تکرار شد. در این حالت، سکه به دلیل نیروی اصطکاک ناشی از پرزهای موکت همراه با آن حرکت کرد، که این موضوع به بحث در مورد تأثیر اصطکاک بر حرکت منجر شد.

حل مسئله: ۴۰ دقیقه بعدی به حل مسائل در گروه‌های سه تا چهار نفره اختصاص داشت. مسائل به گونه‌ای طراحی شدند که دانش‌آموزان را به تفکر در سطوح مختلف APOS (از عمل تا طرح‌واره) تشویق کنند. برای مثال، مسائل سطح شیء نیازمند تحلیل روابط بین نیرو، جرم و شتاب بودند.

بحث گروهی و تأمل: در ۳۰ دقیقه پایانی، دانش‌آموزان در گروه‌ها به بحث در مورد راه‌حل‌های خود و ارتباط آن‌ها با مفاهیم پرداختند. این بخش با هدایت پژوهشگر و با هدف تقویت تفکر بازتابی و رفع کج‌فهمی‌ها انجام شد.

ویژگی‌های مداخله آموزشی

مداخله آموزشی براساس چارچوب APOS طراحی شد تا دانش‌آموزان را از سطح عمل به سطوح بالاتر یادگیری هدایت کند. مدل APOS با ارائه چارچوبی برای درک مراحل یادگیری (عمل، فرآیند، شیء، طرح‌واره) طراحی مداخله آموزشی را هدایت کرد. فعالیت‌های کندوکاو، مانند



شکل ۱: آموزش براساس چارچوب APOS مبتنی بر رویکرد کندوکاو برای مبحث قوانین نیوتن
Fig. 1: Teaching based on the APOS framework, based on the inquiry approach for the topic of Newton's laws

نتایج و بحث

جدول ۱: میانگین درصد پاسخ‌های صحیح در سطوح یادگیری APOS برای قوانین نیوتن.

Table 1: Mean Percentages of Correct Responses across Learning Levels for all Newton's Laws

سطح طرح واره Schema level	سطح شیء Object level	سطح فرآیند Process level	سطح عمل Action level	آزمون Test
16.6%	27.0%	28.7%	59.2%	پیش‌آزمون Pre-test
71.3%	84.5%	88.0%	89.1%	پس‌آزمون Post-test
54.7%	57.5%	59.3%	29.9%	تغییرات Changes

نمودار ۱ تغییرات درصد پاسخ‌های صحیح دانش‌آموزان را در سطوح مختلف یادگیری برای هریک از قوانین نیوتن پس از مداخله نشان می‌دهد. این نمودار به وضوح نشان می‌دهد که آموزش با رویکرد کندوکاو مبتنی بر نظریه APOS، بیشترین تأثیر را در سطوح بالاتر یادگیری، یعنی شیء و طرح‌واره داشته است. در قانون دوم نیوتن (مبحث دینامیک) نیز بیشترین رشد در سطوح یادگیری طرح‌واره مشاهده شده است، که حاکی از موفقیت‌آمیز بودن رویکرد اتخاذ شده در آموزش مفاهیم دینامیک است.

تحلیل استنباطی

نتایج تحلیل استنباطی با استفاده از آزمون مک‌نمار برای بررسی تفاوت‌های معنادار بین پیش‌آزمون و پس‌آزمون در جدول ۲ نشان داده شده است. سطح معناداری ۰.۰۵ در نظر گرفته شد.

پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر مدل ساختن‌گرایی طبقه‌بندی سطوح یادگیری APOS (عمل، فرآیند، شیء، طرح‌واره) با رویکرد کندوکاو بر عملکرد دانش‌آموزان پایه نهم در مبحث قوانین نیوتن انجام شد. داده‌های جمع‌آوری‌شده از آزمون‌های محقق‌ساخته (پیش‌آزمون و پس‌آزمون) و مشاهدات کیفی با استفاده از روش آمیخته و طرح شبه‌آزمایشی تحلیل شده‌اند. تحلیل داده‌ها در سه سطح انجام شدند: (۱) تحلیل توصیفی برای بررسی توزیع پاسخ‌های درست و نادرست، (۲) تحلیل استنباطی برای آزمون فرضیه‌ها با استفاده از آزمون مک‌نمار برای بررسی تفاوت‌های معنادار و (۳) تحلیل کیفی در چارچوب مدل APOS برای شناسایی سطوح یادگیری. این بخش به پاسخ‌گویی به سؤالات پژوهش می‌پردازد:

آیا طبقه‌بندی سطوح یادگیری APOS با رویکرد کندوکاو بر یادگیری قوانین نیوتن تأثیر مثبت دارد؟

کدام قانون نیوتن از این رویکرد بیشترین تأثیر را می‌پذیرد؟

کدام سطح یادگیری (عمل، فرآیند، شیء، طرح‌واره) بیشترین تأثیر را دریافت می‌کند؟

تحلیل توصیفی

تحلیل توصیفی داده‌ها، توزیع پاسخ‌های صحیح و غلط دانش‌آموزان را در پیش‌آزمون و پس‌آزمون برای هریک از قوانین نیوتن (اول، دوم، و سوم) بررسی کرد تا نقاط قوت و ضعف اولیه و تأثیر مداخله آموزشی مشخص شود. طبق نتایج به‌دست آمده در جدول ۱، سطح بندی یادگیری با ره‌یافت APOS و رویکرد کندوکاو در فرآیند یادگیری قوانین نیوتن مؤثر بوده است.



نمودار ۱: تغییرات درصد پاسخ‌های صحیح دانش‌آموزان در سطوح مختلف یادگیری بر اساس چارچوب APOS
Graph 1: Changes in Percentage of Correct Responses across Learning Levels based on the APOS Framework

تحلیل کیفی در چارچوب مدل APOS

تحلیل کیفی داده‌ها با استفاده از تحلیل محتوای استقرایی انجام شد. داده‌ها شامل مشاهدات کلاسی (رفتار و مشارکت دانش‌آموزان در فعالیت‌های عملی و بحث‌های گروهی) و پاسخ‌های تشریحی پیش‌آزمون و پس‌آزمون بود. برای هر قانون نیوتن، کدگذاری اولیه انجام شد و مضامین در شش دسته اصلی برای هر قانون (مجموعاً ۱۸ مضمون برای سه قانون) دسته‌بندی شدند که در جدول‌های ۳ تا ۵ ارائه شده‌اند. این تحلیل در چارچوب مدل APOS (عمل، فرآیند، شیء، طرح‌واره) انجام شد و پیشرفت دانش‌آموزان از سطح عمل به سطوح بالاتر بررسی شد.

- قانون اول نیوتن (قانون اینرسی)

در پیش‌آزمون، اکثر دانش‌آموزان در سطح عمل قرار داشتند. آن‌ها در شناسایی مفاهیم پایه مانند اینرسی (سؤال ۱: امکان حرکت جسم بدون نیروی خالص، ۵۵/۲٪ پاسخ درست) عملکرد بهتری داشتند؛ اما در سؤالات سطح فرآیند (سؤال ۲: تعادل نیروها، ۱۳/۸٪ پاسخ درست) و طرح‌واره (سؤال ۶: آزمایش سکه و لیوان، ۲۰/۷٪ پاسخ درست) ضعف نشان دادند. کج‌فهمی رایج، اعتقاد به نیاز به نیروی مداوم برای حرکت بود.

پس از مداخله آموزشی با رویکرد کندوکاو، که شامل فعالیت‌های عملی مانند آزمایش اینرسی (کشیدن مقوا از زیر سکه) و بحث‌های گروهی بود، دانش‌آموزان پیشرفت قابل توجهی نشان دادند. در پس‌آزمون، درصد پاسخ‌های درست در سطح فرآیند به ۸۱/۱٪ (سؤال ۲: ۶۷/۳٪) و در سطح طرح‌واره به ۶۵/۵٪ (سؤال ۶: ۴۴/۸٪) افزایش یافت. مشاهدات کیفی حاکی از آن بود که دانش‌آموزان در بحث‌های گروهی توانستند مراحل تعادل نیروها را تحلیل کنند و مفهوم اینرسی را در موقعیت‌های عملی مانند حرکت چترباز یا پرش با خم کردن زانوها توضیح دهند.

- قانون دوم نیوتن (دینامیک: رابطه نیرو، جرم و شتاب)

در پیش‌آزمون، دانش‌آموزان در سطح عمل (سؤال ۱: رابطه نیرو و شتاب، ۵۸/۶٪ پاسخ درست) و فرآیند (سؤال ۲: جهت شتاب، ۴۱/۴٪ پاسخ درست) عملکرد بهتری داشتند؛ اما در سطح شیء (سؤال ۳: محاسبه شتاب، ۱۳/۸٪ پاسخ درست) و طرح‌واره (سؤال ۴: تحلیل سیستم چندنیروی، ۶/۹٪ پاسخ درست) ضعف قابل توجهی نشان دادند. این نشان‌دهنده دشواری در محاسبات عددی و تحلیل روابط پیچیده بود. مداخله آموزشی شامل فعالیت‌های کندوکاو مانند حل مسائل تحلیلی در گروه و شبیه‌سازی‌های عملی (مانند محاسبه شتاب در سیستم‌های ساده) بود. در پس‌آزمون، درصد پاسخ‌های درست در سطح شیء به ۷۹/۳٪ (۶۵/۵٪) و در سطح طرح‌واره به ۷۵/۹٪ (۶۹/۰٪) افزایش یافت. مشاهدات کیفی نشان داد که دانش‌آموزان در بحث‌های گروهی توانستند رابطه بین نیرو، جرم و شتاب را به‌صورت مفهومی تحلیل کنند و در موقعیت‌های پیچیده‌تر (مانند محاسبه نیروی موردنیاز برای شتاب خاص) عملکرد بهتری داشتند.

قانون اول نیوتن: تفاوت‌های معنادار در سطح فرآیند ($p=0/000$) و سطح شیء ($p=0/009$) مشاهده شد. در سطح عمل ($p=0/212$) و سطح طرح‌واره، ($p=0/055$) تفاوت معنادار نداشتند، که نشان‌دهنده درک اولیه قوی‌تر در سطح عمل و چالش در سطح طرح‌واره است.

قانون دوم نیوتن: تفاوت معنادار در سطح شیء ($p=0/001$) و سطح طرح‌واره ($p=0/000$) مشاهده شد. سطح عمل ($p=0/136$) و سطح فرآیند ($p=0/067$) تفاوت معنادار نداشتند، که نشان‌دهنده تأثیر بیشتر مداخله در سطح شیء است.

قانون سوم نیوتن: تفاوت‌های معنادار در سطح فرآیند ($p=0/022$)، سطح شیء ($p=0/000$) و سطح طرح‌واره ($p=0/001$) مشاهده شد. سطح عمل ($p=0/775$) تفاوت معنادار نداشت، که با درک اولیه قوی‌تر در سطح عمل همخوانی دارد.

جدول ۲: نتایج آزمون مک‌نمار برای قوانین نیوتن

Table 2: McNemar Test Results for Newton's Laws

قانون نیوتن Newton's Law	سطح یادگیری learning level	خی‌دو Chi-Square	معناداری تقریبی Asymp. Sig
قانون اول First Law	عمل	1.561	0.212
	فرآیند	15.613	0.000
	شیء	6.759	0.009
	طرح‌واره	3.692	0.055
قانون دوم Second Law	عمل	2.222	0.136
	فرآیند	3.361	0.067
	شیء	12.000	0.001
	طرح‌واره	20.000	0.000
قانون سوم Third Law	عمل	0.082	0.775
	فرآیند	5.281	0.022
	شیء	17.455	0.000
	طرح‌واره	11.115	0.001

نتایج نشان‌دهنده تأثیر قابل توجه مداخله آموزشی در سطوح فرآیند، شیء و طرح‌واره است؛ درحالی‌که سطح عمل به دلیل درک اولیه قوی‌تر دانش‌آموزان کمتر تحت تأثیر قرار گرفت. همچنین تحلیل داده‌های پیش‌آزمون و پس‌آزمون نشان داد که برای قانون اول نیوتن، کج‌فهمی‌ها از ۷۱/۳٪ در پیش‌آزمون به ۱۲/۰٪ در پس‌آزمون (کاهش ۵۹/۳٪)، برای قانون دوم از ۵۸/۶٪ به ۱۷/۲٪ (کاهش ۴۱/۴٪)، و برای قانون سوم از ۶۹/۰٪ به ۲۰/۷٪ (کاهش ۴۸/۳٪) کاهش یافت. این کاهش‌ها نشان‌دهنده تأثیر مثبت مداخله آموزشی مبتنی بر APOS و کندوکاو بر رفع کج‌فهمی‌ها است.

- قانون سوم نیوتن (کنش و واکنش)

مداخله آموزشی شامل بحث‌های گروهی و فعالیت‌های عملی مانند تحلیل برخورد دو جسم (مانند توپ و چوب گلف) بود. در پس‌آزمون، درصد پاسخ‌های درست در سطح فرآیند به ۱۰۰٪ (سؤال ۳: ۶۹/۰٪) و در سطح شیء به ۸۴/۵٪ (۶۲/۱٪) افزایش یافت. مشاهدات کیفی نشان داد که دانش‌آموزان در بحث‌های گروهی توانستند نیروهای کنش و واکنش را به‌صورت برابر و در جهت مخالف تحلیل کنند و این مفاهیم را در موقعیت‌های عملی مانند برخورد اجسام به‌کار ببرند.

در پیش‌آزمون، دانش‌آموزان در سطح عمل (سؤال ۱: جهت نیروهای کنش و واکنش، ۷۹/۳٪ پاسخ درست) عملکرد خوبی داشتند؛ اما در سطوح فرآیند (سؤال ۲: اجسام درگیر در کنش و واکنش، ۳۱/۰٪ پاسخ درست)، شیء (سؤال ۳: برآیند نیروها، ۱۳/۸٪ پاسخ درست) و طرح‌واره (سؤال ۶: نیروی تماسی، ۱۳/۸٪ پاسخ درست) ضعف نشان دادند. این نشان‌دهنده کج‌فهمی‌هایی مانند اعتقاد به برآیند غیرصفر نیروهای کنش و واکنش بود.

جدول ۳: مضامین کیفی استخراج‌شده از تحلیل داده‌های قانون اول نیوتن

Table 3: Qualitative Themes Extracted from Analysis of Newton's First Law Data

مضمون Theme	توضیح Description	نمونه کد Sample Code	نقل قول مرتبط (پس‌آزمون) Related Quote (Post-Test)	سطح APOS APOS Level	سؤال (درصد پاسخگویی صحیح به سؤال) Question (Percentage of correct answers to the question)
درک مفهوم اینرسی Understanding Inertia Concept	شناسایی شرایط حرکت بدون نیروی خالص Recognizing conditions for motion without net force	«جسم بدون نیروی خالص حرکت ثابت دارد.» "Object moves constantly without net force."	«وقتی نیروها برابرند، جسم یا ساکن است یا با سرعت ثابت حرکت می‌کند.» (دانش‌آموز ۸) "I realized when forces are balanced, the object is either at rest or moves at constant speed." (Student 8)	عمل Action	سؤال ۱ (۸۶/۲٪) Question 1 (86.2%)
تحلیل اینرسی در حرکت زیگزاگ Analyzing Inertia in Zigzag Motion	درک اثر جرم بر اینرسی در موقعیت‌های واقعی Understanding the effect of mass on inertia in real scenarios	«جرم زیاد مانع تغییر جهت سریع می‌شود.» "High mass prevents quick direction change."	«فیل به دلیل اینرسی زیاد نمی‌تواند زیگزاگ برود.» (دانش‌آموز ۱۵) "The elephant can't zigzag due to its high inertia." (Student 15)	فرآیند Process	سؤال ۲ (۹۳/۱٪) Question 2 (93.1%)
رسم نیروهای وارد بر چتر باز Drawing Forces on a Skydiver	توانایی رسم نیروها در موقعیت‌های پویا Ability to draw forces in dynamic scenarios	«نیروی وزن و مقاومت هوا را رسم کردم.» "I drew weight and air resistance correctly."	«نیروی وزن و مقاومت هوا روی چتر باز را درست رسم کردم.» (دانش‌آموز ۲۱) "I correctly drew the weight and air resistance on the skydiver." (Student 21)	شیء Object	سؤال ۳ (۷۵/۹٪) Question 3 (75.9%)
تشخیص نیروهای کنش و واکنش Identifying Action-Reaction Forces	شناسایی نیروهای کنش و واکنش در سیستم‌های واقعی Recognizing action-reaction forces in real systems	«نیروی واکنش چتر باز به هوا برابر است.» "Skydiver's reaction force to air is equal."	«نیروی واکنش چتر باز به هوا برابر نیروی مقاومت هواست.» (دانش‌آموز ۱۰) "The skydiver's reaction force to the air equals the air resistance." (Student 10)	شیء Object	سؤال ۴ (۶۹/۰٪) Question 4 (69.0%)
کاربرد اینرسی در آزمایش سکه و لیوان Applying Inertia in Coin-and-Glass Experiment	تحلیل اینرسی در آزمایش‌های عملی Analyzing inertia in practical experiments	«سکه به دلیل اینرسی روی لیوان ماند.» "Coin stayed due to inertia."	«سکه به خاطر اینرسی روی لیوان ماند وقتی مقوا را کشیدم.» (دانش‌آموز ۱۷) "The coin stayed on the glass because of inertia when I pulled the paper." (Student 17)	طرح‌واره Schema	سؤال ۵ (۸۹/۷٪) Question 5 (89.7%)
تحلیل اثر نیروها در توقف Analyzing Force Effects in Stopping	درک اثر نیروها در موقعیت‌های عملی Understanding force effects in practical scenarios	«خم کردن زانو زمان توقف را زیاد می‌کند.» "Bending knees increases stopping time."	«خم کردن زانو زمان توقف را افزایش می‌دهد تا ضربه نرم‌تر شود.» (دانش‌آموز ۱۲) "Bending knees increases stopping time to make the impact softer." (Student 12)	طرح‌واره Schema	سؤال ۶ (۶۵/۵٪) Question 6 (65.5%)

جدول ۴: مضامین کیفی استخراج شده از تحلیل داده‌های قانون دوم نیوتن

Table 4: Qualitative Themes Extracted from Analysis of Newton's Second Law Data

مضمون Theme	توضیح Description	نمونه کد Sample Code	نقل قول مرتبط (پس آزمون) Related Quote (Post-Test)	سطح APOS APOS Level	سؤال (درصد پاسخگویی صحیح Question (Percentage of correct answers to the question))
درک رابطه شتاب، نیرو و جرم Understanding Acceleration, Force, and Mass Relationship	شناسایی رابطه مستقیم شتاب با نیروی خالص و وارون با جرم Recognizing direct proportionality of acceleration with net force and inverse with mass	«شتاب با نیرو مستقیم و با جرم وارون است.» "Acceleration is proportional to force, inverse to mass."	«شتاب با نیروی خالص نسبت مستقیم و با جرم نسبت وارون دارد.» (دانش آموز ۵) "Acceleration is directly proportional to net force and inversely proportional to mass." (Student 5)	عمل Action	سؤال ۱ (۹۶/۶٪) Question 1 (96.6%)
فهم مفهومی نیروی خالص Conceptual Understanding of Net Force	تشخیص نیروی خالص به عنوان عامل شتاب Recognizing net force as the cause of acceleration	«نیروی خالص باعث شتاب می‌شود.» "Net force causes acceleration."	«نیروی خالص فقط شتاب ایجاد می‌کند، نه سرعت یا حرکت.» (دانش آموز ۱۴) "Net force only causes acceleration, not speed or motion." (Student 14)	فرآیند Process	سؤال ۲ (۸۲/۸٪) Question 2 (82.8%)
محاسبه نیرو در سیستم‌های انفجاری Calculating Force in Explosive Systems	توانایی محاسبه نیروی انفجار با استفاده از $F=ma$ Ability to calculate explosion force using $F=ma$	«نیروی انفجار از جرم و شتاب محاسبه شد.» "Explosion force calculated from mass and acceleration."	«برای محاسبه نیروی انفجار، جرم گلوله را در شتاب ضرب کردم.» (دانش آموز ۲۲) To "calculate the explosion force, I multiplied the bullet's mass by its acceleration." (Student 22)	شیء Object	سؤال ۳ (۷۹/۳٪) Question 3 (79.3%)
محاسبه شتاب در سیستم‌های ساده Calculating Acceleration in Simple Systems	توانایی محاسبه شتاب با استفاده از قانون دوم نیوتن Ability to calculate acceleration using Newton's second law	«نیروی ۱۰۰ نیوتن شتاب ۲۰۰ را ایجاد کرد» "100 N force produced 200 acceleration."	«برای شتاب، نیروی ۱۰۰ نیوتن را تقسیم بر ۰.۵ کیلوگرم کردم و ۲۰۰ شد» (دانش آموز ۹) "For acceleration, I divided 100 N by 0.5 kg and got 200." (Student 9)	شیء Object	سؤال ۴ (۷۹/۳٪) Question 4 (79.3%)
تحلیل نیروی ناشناخته در سیستم‌های چندنیروی Analyzing Unknown Force in Multi-Force Systems	محاسبه نیروی ناشناخته در سیستم‌های دو نیرویی Calculating unknown force in two-force systems	«نیروی دوم با شتاب و جرم محاسبه شد» "Second force calculated using acceleration and mass."	«نیروی دوم را با استفاده از شتاب ۳ و جرم ۱۵ کیلوگرم محاسبه کردم» (دانش آموز ۱۶) "I calculated the second force using the acceleration of 3 and mass of 15 kg." (Student 16)	طرح‌واره Schema	سؤال ۵ (۷۵/۹٪) Question 5 (75.9%)
تحلیل جهت نیرو در شتاب مشخص Analyzing Force Direction for Specific Acceleration	تعیین مقدار و جهت نیروی مورد نیاز برای شتاب خاص Determining magnitude and direction of force for a specific acceleration	«نیروی ۲۸ نیوتن در جهت F_1 شتاب ۲ می‌دهد» "28 N Force in F_2 direction gives acceleration of 2."	«برای شتاب ۲، نیروی ۲۸ نیوتن در جهت F_1 لازم است» (دانش آموز ۲۰) For an acceleration of 2, a 28 N force in the direction of F_1 is needed." (Student 20)	طرح‌واره Schema	سؤال ۶ (۷۵/۹٪) Question 6 (75.9%)

جدول ۵: مضامین کیفی استخراج شده از تحلیل داده‌های قانون سوم نیوتن
Table 5: Qualitative Themes Extracted from Analysis of Newton's Third Law Data

مضمون Theme	توضیح Description	نمونه کد Sample Code	نقل قول مرتبط (پس آزمون) Related Quote (Post-Test)	سطح APOS APOS Level	سؤال (درصد پاسخگویی صحیح به سؤال) Question (Percentage of correct answers to the question)
درک جهت نیروهای کنش و واکنش Understanding Direction of Action-Reaction Forces	شناسایی جهت مخالف نیروهای کنش و واکنش Recognizing the opposite direction of action-reaction forces	«نیروهای کنش و واکنش خلاف همند.» "Action-reaction forces are opposite."	«نیروهای کنش و واکنش همیشه در جهت مخالف هم هستند.» (دانش آموز ۱۱) "Action and reaction forces are always in opposite directions." (Student 11)	عمل Action	سؤال ۱ (۸۹/۷٪) Question 1 (89.7%)
فهم برآیند صفر نیروها Understanding Zero Resultant of Forces	تشخیص اینکه نیروهای کنش و واکنش روی اجسام مختلف اعمال می‌شوند و برآیند نمی‌گیرند. Recognizing that action-reaction forces act on different objects and cannot be summed	«نیروها روی دو جسم جدا هستند.» "Forces act on separate objects."	«نمی‌توان نیروهای کنش و واکنش را جمع کرد چون روی دو جسم متفاوتند.» (دانش آموز ۱۶) "You can't sum action-reaction forces because they act on different objects." (Student 16)	فرآیند Process	سؤال ۲ (۷۹/۳٪) Question 2 (79.3%)
درک همزمانی نیروهای کنش و واکنش Understanding Simultaneity of Action-Reaction Forces	فهم اینکه نیروهای کنش و واکنش به صورت همزمان اعمال می‌شوند. Understanding that action-reaction forces occur simultaneously	«نیروها همزمان اعمال می‌شوند.» "Forces are applied simultaneously."	«چوب و توپ همزمان نیروی کنش و واکنش را حس می‌کنند.» (دانش آموز ۲۰) "The club and ball feel the action-reaction forces simultaneously." (Student 20)	فرآیند Process	سؤال ۳ (۱۰۰٪) Question 3 (100%)
تحلیل نیرو و شتاب در برخورد Analyzing Force and Acceleration in Collisions	درک برابری نیروها و تفاوت شتاب‌ها در جفت‌های کنش و واکنش Understanding equal forces and differing accelerations in action-reaction pairs	«نیروها برابرند، شتاب‌ها متفاوت.» Forces are equal, accelerations differ."	«نیروی وارد بر چوب و توپ برابر است؛ ولی شتاب توپ بیشتر است.» (دانش آموز ۷) "The force on the club and ball is equal, but the ball's acceleration is greater." (Student 7)	شیء Object	سؤال ۴ (۸۹/۷٪) Question 4 (89.7%)
کاربرد قانون سوم در برخورد اجسام Applying Third Law in Object Collisions	تحلیل اثر جرم در نتایج برخورد با استفاده از قانون سوم نیوتن Analyzing the effect of mass in collision outcomes using Newton's third law	«جرم کمتر شتاب بیشتری دارد.» "Lower mass has greater acceleration."	«شخص ۴۰ کیلوگرمی به دلیل جرم کمتر شتاب بیشتری می‌گیرد و احتمال افتادنش بیشتر است.» (دانش آموز ۱۳) "The 40 kg person has greater acceleration due to lower mass and is more likely to fall." (Student 13)	طرح‌واره Schema	سؤال ۵ (۶۹/۰٪) Question 5 (69.0%)
تحلیل نیروهای تماسی در حرکت ثابت Analyzing Contact Forces in Constant Motion	درک برابری نیروهای تماسی در سیستم‌های با سرعت ثابت Understanding equality of contact forces in systems with constant velocity	«نیروهای تماسی برابرند.» "Contact forces are equal."	«نیروی تماسی بین دو جسم برابر است چون با سرعت ثابت حرکت می‌کنند.» (دانش آموز ۱۸) "The contact force between the two objects is equal because they move at constant velocity." (Student 18)	طرح‌واره Schema	سؤال ۶ (۷۵/۹٪) Question 6 (75.9%)

نتیجه‌گیری

طریق پیش‌آزمون، پس‌آزمون و مشاهدات کیفی تحلیل کرد. تحلیل‌های توصیفی، استنباطی و کیفی برای پاسخ به سه سؤال پژوهش انجام شد: تأثیر مدل APOS بر یادگیری قوانین نیوتن، شناسایی قانونی با بیشترین تأثیرپذیری، و تعیین سطح یادگیری با بیشترین پیشرفت.

پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر مدل ساختن‌گرایی APOS با رویکرد کندوکاو بر یادگیری قوانین نیوتن در دانش‌آموزان پایه نهم انجام شد. این مطالعه با استفاده از روش آمیخته و طرح شبه‌آزمایشی، عملکرد دانش‌آموزان را در سطوح یادگیری عمل، فرآیند، شیء و طرح‌واره از

پیشنهاد می‌شود معلمان از مدل ساختن‌گرایی APOS همراه با رویکرد کندوکاو برای ارتقای سطوح بالاتر یادگیری دانش‌آموزان استفاده کنند. از آزمایش‌های ساده مانند «سکه و لیوان» برای قانون اول نیوتن استفاده کنید تا دانش‌آموزان مفهوم اینرسی و تعادل نیروها را به‌صورت عملی تجربه کنند. مسائل گروهی طراحی کنید که دانش‌آموزان روابط نیرو، جرم، و شتاب را در قانون دوم نیوتن تحلیل کنند. از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی مانند PhET برای نمایش تعامل نیروها در سیستم‌های پویا استفاده کنید. این ابزارها به دانش‌آموزان کمک می‌کنند تا مفاهیم به‌صورت منسجم و بصری درک کنند. این فعالیت‌ها درک اولیه مفاهیم را تقویت می‌کنند. بحث‌های گروهی درباره موقعیت‌های واقعی مانند «برخورد دو خودرو» برای قانون سوم نیوتن طراحی کنید. این فعالیت‌ها ترکیب مفاهیم در موقعیت‌های پیچیده را تشویق می‌کنند. محدودیت‌های پژوهش شامل حجم نمونه کوچک (۲۹ نفر) و تمرکز بر دانش‌آموزان دختر بود که تعمیم‌پذیری نتایج را محدود می‌کند. پیشنهاد می‌شود پژوهش‌های آتی با نمونه‌های بزرگ‌تر شامل هر دو جنسیت و در مناطق مختلف انجام شوند.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول اجرای پژوهش و جمع‌آوری داده‌ها را بر عهده داشته است. نویسنده دوم (مسئول)، راهنمایی، بررسی و نظارت بر چگونگی اجرای پژوهش و نگارش مقاله را بر عهده داشته است. سهم دو نویسنده در تجزیه و تحلیل داده‌ها مساوی است.

تشکر و قدردانی

تشکر و قدردانی از همه کسانی که در انجام این پژوهش ما را یاری کردند. مقاله ارسالی حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد آموزش فیزیک در دانشگاه فرهنگیان پردیس شهید بهشتی مشهد بوده است و مقاله ارسالی حمایت مالی از هیچ مؤسسه‌ای نداشته است.

تعارض منافع

«در این مقاله هیچ‌گونه تعارض منافع وجود ندارد.»

منابع و مأخذ

- [1] Khodadadi Azadboni F, Sabbagh Torbati S. The effectiveness of the modified action-process-object-schema learning approach on learning levels of static electricity concepts. *Phys Educ*. 2025;60(5):055012. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/adea05>
- [2] Bao L, Koenig K. Physics education research for 21st century learning. *Discip Interdiscip Sci Educ Res*. 2019;1(1):2. <https://doi.org/10.1186/s43031-019-0007-8>
- [3] Hevardani KA. Analysis of students' mental construction in understanding the concept of partial derivatives based on

نتایج نشان داد که مدل APOS با رویکرد کندوکاو به بهبود قابل توجه عملکرد دانش‌آموزان در هر سه قانون نیوتن منجر شد. قانون دوم نیوتن با میانگین بهبود ۵۳/۵٪ بیشترین تأثیر را دریافت کرد، به‌ویژه در سطوح شیء (۶۵/۵٪) و طرح‌واره (۶۹/۰٪)، درحالی‌که قانون اول و سوم به‌ترتیب با ۴۳/۶٪ و ۴۷/۹٪ در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. سطوح فرآیند و شیء به‌ترتیب با ۵۹/۳٪ و ۵۷/۵٪ بیشترین پیشرفت را نشان دادند؛ درحالی‌که سطح عمل به دلیل درک اولیه قوی‌تر کمترین تغییر را داشت. تحلیل استنباطی تفاوت‌های معنادار را در سطوح فرآیند، شیء و طرح‌واره تأیید کرد ($p < 0.05$)، اما در سطح عمل تفاوت معناداری مشاهده نشد ($p > 0.05$) تحلیل کیفی نیز پیشرفت دانش‌آموزان از سطح عمل به سطوح بالاتر را نشان داد، هرچند چالش‌هایی در تحلیل موقعیت‌های پیچیده در سطح طرح‌واره باقی ماند که نشان‌دهنده نیاز به تمرینات بیشتر در این سطح است. طراحی فعالیت‌های بیشتر برای سطح طرح‌واره می‌تواند چالش‌های باقی‌مانده را کاهش دهد.

کاربرد نظریه APOS در ترکیب با رویکرد یادگیری مبتنی بر کندوکاو، می‌تواند به تقویت درک مفهومی و بهبود عملکرد دانش‌آموزان منجر شود. در این رویکرد، دانش‌آموزان از طریق فعالیت‌هایی نظیر مشاهده، فرضیه‌سازی، آزمایش و تحلیل، به‌صورت فعالانه در فرایند یادگیری مشارکت می‌کنند. این نوع از آموزش با ماهیت ساخت‌وسازگرایی نظریه APOS هم‌راستا بوده و می‌تواند بستر مناسبی برای ساخت و توسعه مفاهیم علمی در ذهن یادگیرندگان فراهم سازد. فعالیت‌های کندوکاو مانند آزمایش اینرسی (سکه و مقوا) و بحث‌های گروهی به رفع کج‌فهمی‌ها (مانند نیاز به نیروی مداوم برای حرکت یا برآیند غیرصفر نیروهای کنش و واکنش) کمک کرد. نتایج نشان داد که کج‌فهمی‌ها در قانون اول نیوتن ۵۹/۳٪، در قانون دوم ۴۱/۴٪، و در قانون سوم ۴۸/۳٪ کاهش یافت. تحلیل کیفی پاسخ‌نامه‌های سه‌سطحی نیز این کاهش را تأیید کرد؛ برای مثال، دانش‌آموزان در پیش‌آزمون نیروی عکس‌العمل را به‌اشتباه جهت‌دار تصور می‌کردند؛ اما در پس‌آزمون درک درستی از آن ارائه کردند. این یافته‌ها نشان‌دهنده تأثیر مداخله مبتنی بر APOS و کندوکاو بر ارتقای سطوح شناختی (عمل به طرح‌واره) است.

این نتایج با یافته‌های پژوهش‌های پیشین خدادادی آزادبنی و صباغ تربتی (۲۰۲۵) [۱]، اسدی و همکاران (۲۰۲۲) [۱۵] و ربلو و ربلو (۲۰۱۲) [۱۶] که به کارگیری مدل ساختن‌گرایی APOS را در جهت ارتقای سطوح یادگیری دانش‌آموزان مؤثر می‌دانند، همسو است. در چارچوب APOS، فرض بر این است که یادگیرندگان مفاهیم را ابتدا از طریق تجربه‌های عملی درک کرده، سپس با تأمل و تکرار به سطوح بالاتر شناختی دست می‌یابند. این چارچوب به ما امکان می‌دهد تا داده‌ها را از منظر ساختارهای ذهنی تحلیل کرده، سطوح یادگیری را طبقه‌بندی نماییم و روابط میان سطوح شناختی و عملکرد در حل مسئله را بررسی کنیم. به این ترتیب، چارچوب نظری APOS، بنیانی نظری و عملی برای هدف‌گذاری، طراحی ابزار، تحلیل داده‌ها و نتیجه‌گیری را فراهم سازد.

- [15] Asadi M, Ahmadi F, Salmaninejad S. Investigation the level of students' learning of physics concepts using APOS constructivism model. *Educ Scholast Stud*. 2022;10(4):133–161. [In Persian] dor: 20.1001.1.2423494.1400.10.4.6.7.
- [16] Rebello CM, Rebello NS. Adapting a theoretical framework for characterizing students' use of equations in physics problem solving. *AIP Conf Proc*. 2012;1413(1):311–314. <https://doi.org/10.1063/1.3680037>
- [17] Hanifah H. Practicality test of student worksheet (SWS) based on action, process, object, schema (APOS model) assisted on Geogebra the subject of Riemann sum. In: *Journal of Physics: Conference Series*. 2021;1731(1):012035. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1731/1/012035>
- [18] Islampour MJ, Khairallahzadeh R. Investigating and determining the learning level of third-grade high school male students in the topic of derivatives of trigonometric functions using the APOS theory [master's thesis]. Tehran: Shahid Rajaei Teacher Training University; 2016. [In Persian]
- [19] Naemi AM, Karimi A, Faghihi S. The effectiveness of learning cycle model based on constructivist approach on students' academic motivation and creativity in female students of 7th grade. *Biquart J Cogn Strateg Learn*. 2020;8(14):163–186. [In Persian]
- [20] Mousavi M. Investigating the level of understanding of secondary school male students from electricity concepts based on the APOS approach [master's thesis]. Tehran: Shahid Rajaei Teacher Training University; 2019. [In Persian]
- [21] Izadi M, Reyhani E. Investigating the understanding of Tehran's second elementary school students of the fraction's part-whole subconstruct, based on APOS and SOLO theories with using an unusual task. *Res Curric Plan*. 2021;18(41):124–141. [In Persian]
- [22] Taghi Ajami R. Investigating the learning levels of students in Zanjan province from Newton's third law based on the APOS approach. *Phys Phys Educ J*. 2020;8(12):57–71. Available from: [In Persian]
- [23] Asadi M, Ahmadi F, Salmaninejad S. Investigation the level of students' learning of physics concepts using APOS constructivism model. *Educ Scholast Stud*. 2022;10(4):133–161. [In Persian] dor: 20.1001.1.2423494.1400.10.4.6.7.
- [24] Azarmi Bostanabad K, Javadipoor M. Application of the constructivist approach-based teaching method in secondary schools. *Teach Learn Res*. 2022;18(2):1–2. [In Persian] <https://doi.org/10.22070/tlr.2023.14580.1112>.
- [25] Mohammadzadeh M, Safarnavadeh M, Aghar G. The effect of constructivist-based approach of teaching in sciences course on girl students' cognitive styles. *J Educ Psychol Stud*. 2022;19(45):69–86. [In Persian] <https://doi.org/10.22111/JEPS.2022.6574>.
- [26] Afkhami R, Asghary N, Medghalchi A, Pashaie F. Improving the mental constructs of seventh grade students in figural action-process-object-schema theory. *Nurture*. 2024; 18(4): 735–749. <https://doi.org/10.55951/nurture.v18i4.798>
- [4] Bintoro HS, Sukestiyarno YL. The spatial thinking process of the field-independent students based on action-process-object-schema theory. *Eur J Educ Res*. 2021;10(4):1807–1823. <https://doi.org/10.12973/eu-jer.10.4.1807>
- [5] Arnon I, Cottrill J, Dubinsky E, Okaç A, Fuentes SR, Trigueros M, Weller K. From Piaget's theory to APOS theory: reflective abstraction in learning mathematics and the historical development of APOS theory. In: *APOS theory: a framework for research and curriculum development in mathematics education*. New York: Springer; 2013. p. 5–15.
- [6] Vidakovic D, Dubinsky E, Weller K. APOS theory: use of computer programs to foster mental constructions and student's creativity. In: *Creativity and technology in mathematics education*. Cham: Springer; 2018. p. 441–477.
- [7] Priss U. Combining and contrasting formal concept analysis and APOS theory. In: *International Conference on Conceptual Structures*; 2018; Cham, Switzerland. Springer; p. 96–104. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91379-7_8
- [8] Temiz BK, Yavuz A. Students' misconceptions about Newton's second law in outer space. *Eur J Phys*. 2014;35(4):045004. <https://doi.org/10.1088/0143-0807/35/4/045004>
- [9] Mongan SW, Mondolang AH, Poluakan C. Misconception of weights, normal forces and Newton third law. In: *Journal of Physics: Conference Series*. 2020;1572(1):012046. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1572/1/012046>
- [10] Prarokijjak W, Watcharajittanont N, Chuasontia I. High school student misconceptions about force and motion related to Newton's laws of motion at Thammasat Secondary School. *Thammasat J*. 2024;43(3):19–40.
- [11] Pieschl S, Budd J, Thomm E, Archer J. Effects of raising student teachers' metacognitive awareness of their educational psychological misconceptions. *Psychol Learn Teach*. 2021;20(2):214–235. <https://doi.org/10.1177/14757257219962>
- [12] Cuevas JA, Childers G, Dawson BL. A rationale for promoting cognitive science in teacher education: deconstructing prevailing learning myths and advancing research-based practices. *Trends Neurosci Educ*. 2023; 33: 1002091; 33:100209. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2023.100209>
- [13] Dubinsky E, McDonald MA. APOS: a constructivist theory of learning in undergraduate mathematics education research. In: *The teaching and learning of mathematics at university level: an ICMI study*. Dordrecht: Springer; 2001. p. 275–282. https://doi.org/10.1007/0-306-47231-7_25
- [14] Dubinsky E. Reflective abstraction in advanced mathematical thinking. In: Tall D, editor. *Advanced mathematical thinking*. Dordrecht: Springer; 2002. p. 95–123. https://doi.org/10.1007/0-306-47203-1_7

<https://doi.org/10.22061/jte.2018.2921.1740>. [In Persian]

[35] Khodagholizadeh J, Jafari F, Ahmadi F, Moghadam RF. APOS theory: evaluating student understanding in magnetism. *Phys Educ*. 2025;60(4):045001.

<https://doi.org/10.1088/1361-6552/adcfe4>

معرفی نویسندگان

AUTHOR(S) BIOSKETCHES



زهرا حامد غفاریان دبیر رسمی آموزش و پرورش مشهد و کارشناسی ارشد رشته آموزش فیزیک است.

Hamed Ghafarian, Z. Department of Physics Education, Farhangian University, Tehran, Iran

✉ zahrahamedgh55@gmail.com



فاطمه خدادادی آزادبنی عضو هیأت علمی و دانشیار گروه آموزش فیزیک دانشگاه فرهنگیان است. مدرک کارشناسی ارشد فیزیک را از دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی در سال ۱۳۸۷ و مدرک دکتری را از دانشگاه مازندران در سال ۱۳۹۳ دریافت کرد.

در سال ۱۳۹۵ تا سال ۱۳۹۷ به عنوان پژوهشگر پسا دکتری در دانشگاه صنعتی شریف مشغول بودند و از سال ۱۳۹۸ به عضویت هیأت علمی فیزیک دانشگاه فرهنگیان درآمده اند.

Khodadadi Azadboni, F. Associate Professor, Department of Physics Education, Farhangian University, Tehran, Iran

✉ f.khodadadi@cfu.ac.ir

pattern generalization: using APOS theory and structural awareness. *Technol Educ J*. 2024;18(2):387–398. [In Persian]

[27] Afgani MW, Suryadi D, Dahlan JA. Self-concept of pre-service mathematics teachers who gets a pedagogic approach suggested by APOS theory and direct learning as a comparison. In: *Journal of Physics: Conference Series*. 2019;1157(4):042071. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1157/4/042071>

[28] Nga NT, Dung TM, Nguyen TT, Tong DH, Van TQ, Uyen BP. The effectiveness of teaching derivatives in Vietnamese high schools using APOS theory and ACE learning cycle. *Eur J Educ Res*. 2023;12(1):507. <https://doi.org/10.12973/eu-jer.12.1.507>

[29] Longe IO, Maharaj A. Applying APOS theory to enhance algebraic logic skills: comparing traditional teaching and computer-assisted instruction. *Indones J Sci Math Educ*. 2023;6(3):378–394. 378-94. <https://doi.org/10.24042/ijisme.v6i3.16298>

[30] Tsafe AK. Effective mathematics learning through APOS theory by dint of cognitive abilities. *J Math Sci Teach*. 2024;4(2):1–8. <https://doi.org/10.29333/mathsciteacher/14308>

[31] Tiengyoo K, Sotaro S, Thaitae S. A study of mathematical understanding levels in set theory based on the APOS framework by using python programming language for secondary school students. *EURASIA J Math Sci Technol Educ*. 2024;20(2):em2400. <https://doi.org/10.29333/ejmste/14158>

[32] Maharaj A. An APOS analysis of students' understanding of the concept of a limit of a function. *Pythagoras*. 2010;71:41–52. <https://doi.org/10.4102/pythagoras.v0i71.6>

[33] Maharaj A. An APOS analysis of natural science students' understanding of integration. *J Res Math Educ*. 2014;3(1):54–73. <https://doi.org/10.4471/redimat.2014.40>

[34] Reyhani EB, Sharifi ZA. Investigation of the conception of third-grade female high school students of the concept of limit and continuity. *Technol Educ J*. 2018;12(3):185–201.

Citation (Vancouver): Hamed Ghafarian Z, Khodadadi Azadboni F. [The Impact of the APOS Constructivist Model and Inquiry-Based Approach on Enhancing Learning Levels of Newton's Laws]. *Tech. Edu. J*. 2026; 20(2): 223-236

 <https://doi.org/10.22061/tej.2026.12175.3273>

