Ministry of Education
Islamic Republic of IRAN

ISSN: 1235-1735

Journal of
Educational Innovations

Organization for Educational Research and Planning

Analysis and classification of the structure of learners' learning outcomes on the concept of friction force using the SOLO model

■ Zahrā Zeinali, MA in Physics Education, Faculty of Basic Sciences, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran
E-mail: zeinali.zhr@gmail.com
■ Fāteme Ahmadi (PhD), Associate Professor, Department of Physics, Faculty of Basic Sciences, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran, (Corresponding Author).
E-mail: fahmadi@sru.ac.ir

Abstract

Successful education requires an effective assessment of learning, as an efficient assessment can identify students' mental schemas and misconceptions, and help to remove the learning barriers. One of the most practical assessment models is the SOLO taxonomy. This study aims to investigate students' understanding of the concept of friction force using a researcher-made test, based on the SOLO model. It was a descriptive survey research. The statistical population consisted of 12th grade students in Falāvarjān city, Isfahan province, from whom 216 students were selected using a convenience sampling method. The results of descriptive statistics indicated that 83.3% of the students are at the unistructural level, 29.8% at the multi-structural level, and 2.5% at the relational level, while none have reached the highest level of learning in the SOLO model. Additionally, the students' misconceptions about friction force were identified using the SOLO taxonomy, and some suggestions have been provided to enhance their learning levels.

Keywords Physics Education, Assessment, SOLO model, Friction Force, Misconception

Serial No.95. 24(3): Autumn 2025
Journal of Educational Innovations
Published by Organization for Educational Research and Planning

Copyright © The Authors.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

۷-۳۷

بررسی و طبقه‌بندی ساختار نتایج یادگیری فراگیران از مفهوم نیروی اصطکاک به کمک الگوی سولو

زهرا زینلی* ■ فاطمه احمدی**

چکیده:

آموزش موفق نیازمند الگوی ارزشیابی مناسب از یادگیری است؛ زیرا ارزشیابی کارآمد طرحواره‌های ذهنی و بدفهمی‌های فراگیران را شناسایی و به اصلاح و رفع موانع یادگیری کمک می‌کند. یکی از الگوهای ارزشیابی کاربردی، طبقه‌بندی سولو است. هدف از این پژوهش، بررسی سطح یادگیری دانش‌آموزان از مفهوم نیروی اصطکاک به کمکِ آزمونی محقق‌ساخته بر اساس الگوی سولو است. روش پژوهش، توصیفی از نوع پیمایشی است. جامعهٔ آماری این مطالعه را دانش‌آموزان پایهٔ دوازدهم شهرستان فلاورجان استان اصفهان تشکیل می‌دهند که از میان آن‌ها تعداد ۲۱۶ نفر به روش نمونه‌گیری در دسترس، به‌عنوان نمونهٔ آماری انتخاب شدند. نتایج آمار توصیفی حاصل از پژوهش نشان داد، ۸۳/۳٪ از حجم نمونه در سطح تک‌ساختاری، ۲۹/۸٪ در سطح چندساختاری و ۲/۵٪ در سطح رابطه‌ای قرار دارند و هیچ‌کدام به بالاترین سطح یادگیری مدل سولو نرسیده‌اند. همچنین در این پژوهش، به کمک الگوی سولو بدفهمی‌های دانش‌آموزان از نیروی اصطکاک استخراج شده و برای ارتقای سطح یادگیری فراگیران پیشنهادهایی ارائه شده است.

کلید واژه‌ها: آموزش فیزیک، ارزشیابی، مدل سولو، نیروی اصطکاک، بدفهمی

■ تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۱/۶ ■ تاریخ شروع بررسی: ۱۴۰۲/۱۲/۱۶ ■ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۵/۱۴

✦ *این مقاله از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد نویسندهٔ اول با عنوان «تعیین سطح یادگیری دانش‌آموزان از نیروی اصطکاک به کمک مدل سولو» در دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی استخراج شده است.*

* کارشناسی‌ارشد آموزش فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران. **E-mail:** zeinali.zhr@gmail.com

** (نویسنده مسئول) دانشیار، گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران. **E-mail:** fahmadi@sru.ac.ir

مقدمه

در تمامی کشورهای توسعه‌یافته و درحال‌توسعه، آموزش، به‌ویژه آموزش علوم، یکی از مهم‌ترین فعالیت‌های زیربنایی در توسعهٔ پایدار به شمار می‌رود و تلاش می‌شود همهٔ فراگیران با اصول و مفاهیم علوم آشنا شوند و سواد علمی لازم برای زندگی در جامعهٔ امروزی را کسب کنند (سجادی، ۱۴۰۰). در میان دروس علوم‌پایه، فیزیک ازجمله دروس بااهمیت در برنامهٔ درسی متوسطه است؛ زیرا فیزیک علم شناخت طبیعت و در پی کشف قوانین آن است و یکی از اهداف اصلی آموزش علوم، علاقه‌مندکردن فراگیران به‌شناخت محیط زندگی خود و پژوهش در آن است (محبوبی و همکاران، ۱۳۹۰). همچنین نقش بسیار مهم علم فیزیک در دستاوردهای دانش بشری، بر هیچ‌کس پوشیده نیست. زندگی روزمرهٔ ما، از پیاده‌روی و رانندگی با ماشین گرفته تا استفاده از تلفن همراه، پخت‌وپز و تمام فناوری‌هایی که در طول روز استفاده می‌کنیم، از قوانین فیزیک پیروی می‌کنند. حتی امور بدیهی مانند راه‌رفتن و قدم‌گذاشتن روی این کرهٔ خاکی نیز، به لطف نیروی اصطکاک، یکی از مفاهیم مهم مبحث مکانیک علم فیزیک، امکان‌پذیر شده است. کاهش سرعت و توقف ازطریق ترمزها در وسایل نقلیه یا آسانسورها، فراهم‌آوردن امکان انتقال انرژی بین قطعات ماشین یا کارهای ساده‌ای مانند روشن‌کردن کبریت و فندک‌های چخماقی، کوهنوردی، نوشتن با قلم، بستن بند کفش و بسیاری از موارد دیگر، از کارکردهای نیروی اصطکاک به شمار می‌رود.

پژوهش‌ها نشان می‌دهند برای بسیاری از دانش‌آموزان، فیزیک جزو درس‌های چالش‌برانگیز به شمار می‌آید (فولادی و کریمی، ۱۳۹۷). این موضوع آموزش فیزیک را به دغدغه‌ای بزرگ برای دبیران فیزیک تبدیل کرده است (محبوبی و همکاران، ۱۳۹۰). دانش‌آموزان علاقهٔ چندانی به یادگیری علوم از خود نشان نمی‌دهند و معمولاً نمرات پایینی نیز در آن کسب می‌کنند. یکی از دلایل این بی‌علاقگی، تناقض علوم با تجربیات زندگی روزمرهٔ آن‌ها و نداشتن درک صحیح از مفاهیم است (زمانی، ۱۳۹۴). تناقضات دانش پیشین دانش‌آموزان با دانش جدید ارائه‌شده به آن‌ها «بدفهمی» نامیده می‌شود. این بدفهمی‌ها باعث سردرگمی و ازدست‌دادن علاقهٔ دانش‌آموزان به آموزش فیزیک می‌شود. این مسئله در مورد مباحث بحث‌برانگیز فیزیک بیشتر مشاهده می‌شود. زمانی (۱۳۹۴) در پژوهش خود نشان داد که بسیاری از دانش‌آموزان درک نادرستی از نیرو و اصطکاک دارند که موجب به‌وجودآمدن بدفهمی در یادگیری این مباحث شده است؛ بنابراین برای شناخت و رفع بدفهمی‌های دانش‌آموزان، که مانع یادگیری آن‌ها از مباحث درس فیزیک می‌شود، باید گام‌های مؤثری برداشت. برای این کار، معلم باید ضمن تدریس با شیوه‌های نوین، به‌طور مستمر فراگیران را ارزیابی و پاسخ‌های آنان را تجزیه‌وتحلیل کند. نحوهٔ ارزشیابی معلم باید به‌گونه‌ای باشد که علاوه بر آشکارکردن الگوهای ذهنی دانش‌آموزان، بدفهمی‌های آنان را شناسایی کرده و در راستای رفع این بدفهمی‌ها و پیشرفت تحصیلی دانش‌آموزان، برنامه‌ریزی کند (تقی‌عجمی، ۱۳۹۹). بدین‌منظور، در سراسر دنیا نظریه‌های یاددهی و یادگیری و

الگوهای ارزشیابی متنوعی وجود دارند؛ ازجملهٔ آن‌ها می‌توان به نظریه‌های پیاژه[۱]، ویگوتسکی[۲]، نوپیاژه، عمل ـ فرایند ـ شیء ـ طرحواره اِی‌پی‌اُاِس[۳]، بلوم[۴]، اصلاح‌شدهٔ بلوم، ون هیلی[۵] و ساختار نتایج مشهود یادگیری (سولو)[۶] اشاره کرد (پگ و تال[۷]، ۲۰۰۵).

متخصصان معتقدند ارتقای کیفیت آموزشی و اصلاحات آموزشی باید با دیدی وسیع و بینشی عمیق و مبتنی بر آخرین روش‌های آموزشی و فنی و پیشرفت‌های تحقیقاتی انجام شود (یوسفی‌نژاد، ۱۳۹۷). الگوی ارزشیابی سولو یکی از الگوهای ارزشیابی کارآمد است که می‌توان از آن به‌منزلهٔ ابزاری کیفی در ارزیابی سطح یادگیری دانش‌آموزان بهره گرفت. پژوهش‌ها نشان می‌دهند، الگوی ارزشیابی سولو به‌نسبت سایر الگوهای ارزشیابی برتری دارد. برای مثال، ایزدی و ریحانی (۱۴۰۰) در پژوهشی درخصوص درک دانش‌آموزان از مفهوم کسر در ریاضیات به کمک الگوی سولو و الگوی اِی‌پی‌اُاِس نتیجه گرفتند که برخی از پاسخ‌های دانش‌آموزان در هیچ‌یک از ساختارهای ذهنی الگوی اِی‌پی‌اُاِس قرار نمی‌گیرد؛ درحالی‌که با استفاده از الگوی سولو، این امکان فراهم شد تا تمامی پاسخ‌های دانش‌آموزان در یکی از سطوح این الگو قرار بگیرند. همچنین از ویژگی‌های روش ارزشیابی مناسب، شناسایی طرحواره‌های ذهنی و بدفهمی‌های فراگیران و کمک به اصلاح آن است. تقی‌پور و احمدی (۱۳۹۹) در پژوهشی نشان دادند که با استفاده از ساختارهای الگوی سولو، می‌توان طرحواره‌های ذهنی فراگیران را مشخص کرد و از این طریق، بدفهمی‌های آنان را شناسایی و برای رفع این بدفهمی‌ها، راه‌حلی ارائه کرد؛ اما الگوی بلوم چنین امکانی را برای ما فراهم نمی‌کند. یکی از ویژگی‌های الگوی سولو، که آن را به‌نسبت شیوه‌های دیگر ارزشیابی متمایز می‌کند، به‌کارگرفتن این الگوی ارزشیابی در حوزهٔ وسیعی از علوم است. برای مثال، دارماساروجا[۸] (۲۰۲۳) در حوزهٔ پزشکی، حق‌جو و ریحانی (۱۳۹۸) در ریاضیات، جنت و مناش[۹] (۲۰۱۵) در حوزهٔ رایانه، لوسندر[۱۰] و همکاران (۲۰۱۰) برای دانشجویان دندانپزشکی، تقی‌پور (۱۳۹۹) و تقی‌عجمی (۱۳۹۹) در حوزهٔ آموزش فیزیک، از الگوی سولو به‌منظور ارزشیابی و ارتقای یادگیری فراگیران، بهره گرفته‌اند.

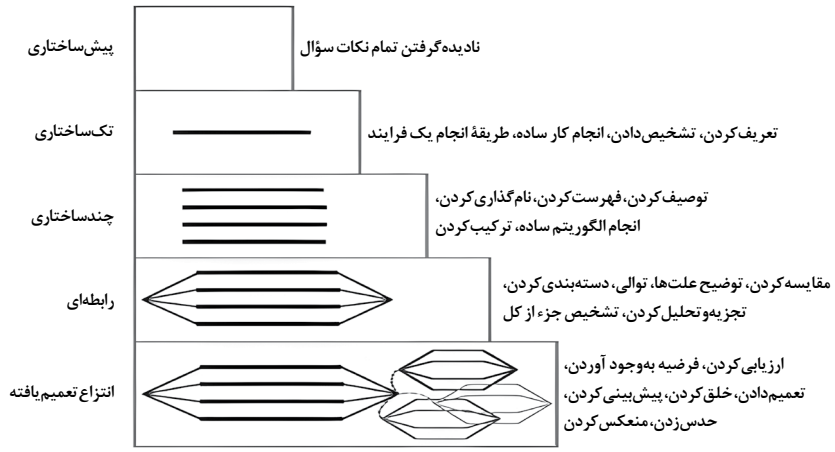
در این پژوهش، قصد داریم با بهره‌گیری از الگوی ارزشیابی سولو، از مبحث نیروی اصطکاک، آزمونی طراحی کنیم و با اجرای آن و تجزیه‌وتحلیل پاسخ‌های دانش‌آموزان، به تعیین سطح یادگیری شناختی آن‌ها براساس الگوی سولو بپردازیم. همچنین با شناسایی رایج‌ترین بدفهمی‌های فراگیران در این مبحث، برای اصلاح و رفع آن‌ها پیشنهادهایی ارائه کنیم. در این مطالعه، به دو پرسش زیر پاسخ خواهیم داد:

۱. دانش‌آموزان دورهٔ دوم متوسطه در چه سطح یادگیری از مبحث نیروی اصطکاک براساس الگو قرار دارند؟

۲. مهم‌ترین بدفهمی‌هایی که دانش‌آموزان دورهٔ دوم متوسطه از نیروی اصطکاک دارند چیست؟

الگوی ارزشیابی سولو

الگوی سولو یکی از شیوه‌های ارزشیابی است که حق‌جو و ریحانی (۱۳۹۸) آن را نتایج یادگیری قابل‌مشاهده یا ساختار نتایج مشهود یادگیری تعریف کرده‌اند. تاریخچهٔ الگوی سولو به سال ۱۹۸۲ برمی‌گردد و اولین‌بار بیگز و کولیس[۱۱] آن را مطرح کرده‌اند (بیگز و کولیس، ۱۹۸۲). طبقه‌بندی سولو یکی از کاربردی‌ترین نظریه‌هاست که در زمرهٔ چهارچوب‌های عمومی و موضعی رشد شناختی قرار می‌گیرد (حق‌جو و ریحانی، ۱۳۹۸). برتری مهم نظریهٔ سولو این است که برخلاف روش‌های سنتی پیشین، که «چه مقدار» به آموختن توجه می‌کند، این تجزیه‌وتحلیل بر این تمرکز دارد که مطالب با «چه کیفیتی» آموخته شده‌اند (پگ،۱۹۹۲). این الگو به ما امکان می‌دهد که کار دانش‌آموزان را براساس کیفیتشان ارزیابی کنیم، نه براساس حجم مطالبی که به‌درستی نوشته‌اند (حق‌جو و ریحانی، ۱۳۹۸). چهارچوب پیشنهادی الگوی سولو را در شکل زیر مشاهده می‌کنید:



شکل ۱. طرحوارهٔ سطوح الگوی سولو به همراه ویژگی‌های اصلی هر سطح (موریس[۱۲]، ۲۰۰۱)

با توجه به شکل ۱، پنج سطح مختلف برای الگوی سولو تعریف می‌شود که هریک را به‌اختصار در ذیل شرح می‌دهیم:

سطح پیش‌ساختاری[۱۳]

در این سطح، فراگیر درکی از سؤال ندارد. با وجود این، ممکن است از اطلاعات مسئله یا اطلاعات بی‌ربط برای پنهان‌کردن ناتوانی خود در پاسخ‌دادن استفاده کند.

سطح تک‌ساختاری[۱۴]

در این سطح، فراگیر می‌تواند فقط یک جنبه از سؤال را درک کند و روی آن جنبه، تمرکز و برای ساخت پاسخ (با تمرکز بر همان جنبه) تلاش کند.

● سطح چندساختاری[15]

در این سطح، فراگیر می‌تواند چندین جنبهٔ مختلف سؤال را در نظر بگیرد؛ اما این ابعاد از هم مستقل‌اند و فراگیر قادر نیست بین آن‌ها ارتباطی برقرار کند.

● سطح رابطه‌ای[16]

در این سطح، فراگیر علاوه بر درک جنبه‌های مختلف مسئله، بین آن‌ها ارتباط برقرار کرده و جواب معتبر می‌سازد.

● سطح انتزاع تعمیم‌یافته[17]

این سطح بالاترین سطح یادگیری در این طبقه‌بندی است. در این سطح، فراگیر قادر به روبه‌روشدن با اطلاعات فرضی مسئله است. همچنین فراگیر در این سطح می‌تواند با ترکیب جنبه‌های مختلف مسئله، پاسخی واحد در موقعیتی جدید بسازد (پاتری[18] و همکاران، ۲۰۱۷).

■ روش‌شناسی پژوهش

روش تحقیق در این مطالعه، توصیفی ـ پیمایشی است و پژوهش از منظر ماهیت داده‌ها، از نوع کمّی به شمار می‌رود. جامعهٔ آماری این پژوهش شامل کلیهٔ دانش‌آموزان پایهٔ دوازدهم شهرستان فلاورجان استان اصفهان است که در سال ۱۴۰۲-۱۴۰۱ مشغول به تحصیل بوده‌اند. به‌دلیل مشارکت تعداد محدودی از دبیران فیزیک برای برگزاری آزمون، ۲۱۶ نفر از دانش‌آموزان دورهٔ دوم متوسطهٔ شهرستان فلاورجان به روش نمونه‌گیری در دسترس به‌عنوان نمونهٔ آماری انتخاب شدند. برای جمع‌آوری داده‌ها، به‌دلیل نبودن آزمون استاندارد ازپیش‌تهیه‌شده براساس سطوح الگوی ارزشیابی سولو در مبحث اصطکاک، از یک آزمون محقق‌ساخته استفاده شد. برای طراحی این آزمون، ابتدا مبحث اصطکاک از کتاب درسی فیزیک پایهٔ دوازدهم براساس الگوی سولو تجزیه‌وتحلیل شد. به‌عبارتی تمام سؤالات مربوط به این مبحث از منظر الگوی سولو بررسی و طبقه‌بندی شدند و همچنین چگونگی توزیع سؤالات در هر سطح مشخص شد (جدول ۱).

جدول ۱. طبقه‌بندی سؤالات مربوط به مبحث اصطکاک فصل دوم کتاب فیزیک دوازدهم براساس الگوی سولو

ردیف	سؤالات	سطوح الگوی سولو					ردیف	سؤالات	سطوح الگوی سولو			
	مشخصات	تک	چند	رابطه	انتزاع			مشخصات	تک	چند	رابطه	انتزاع
۱	پرسش ۲-۷ (الف) ص۴۰			*			۲۱	سؤال ۳ (پ)ص ۵۷			*	
۲	پرسش ۲-۷ (ب) ص ۴۰			*			۲۲	سؤال ۵ ص ۵۷		*		

جدول ۱. (ادامه)

ردیف	سؤالات / مشخصات	تک	چند	رابطه	انتزاع	ردیف	سؤالات / مشخصات	تک	چند	رابطه	انتزاع
		سطوح الگوی سولو						سطوح الگوی سولو			
۳	تمرین ۲-۴ (الف)ص۴۱	*				۲۳	سؤال ۶ (الف) ص ۵۷	*			
۴	تمرین ۲-۴ (ب) ص ۴۱		*			۲۴	سؤال ۶ (ب) ص ۵۷	*			
۵	فعالیت ۲-۲ ص ۴۲				*	۲۵	سؤال ۶ (پ) ص ۵۷			*	
۶	فعالیت ۲-۳ (الف) ص ۴۲				*	۲۶	سؤال ۸ (الف) ص ۵۸			*	
۷	فعالیت ۲-۳ (ب) ص ۴۲				*	۲۷	سؤال ۸ (ب) ص۵۸			*	
۸	مثال ۲-۷ (الف) ص۴۲			*		۲۸	سؤال ۸ (پ) ص ۵۸			*	
۹	مثال ۲-۷ (ب) ص ۴۲			*		۲۹	سؤال ۸ (ت) ص ۵۸			*	
۱۰	تمرین ۲-۵ ص ۴۳			*		۳۰	سؤال ۹ (الف) ص ۵۸		*		
۱۱	مثال ۲-۹ (الف) ص ۴۴			*		۳۱	سؤال ۹ (ب) ص ۵۸		*		
۱۲	مثال ۲-۹ (ب) ص ۴۴			*		۳۲	سؤال ۹ (پ) ص۵۸		*		
۱۳	مثال ۲-۹ (پ) ص ۴۴			*		۳۳	سؤال ۹ (ت) ص ۵۸		*		
۱۴	مثال ۲-۱۰ (الف)ص ۴۵			*		۳۴	سؤال ۱۰ (الف) ص۵۸			*	
۱۵	مثال ۲-۱۰ (ب) ص ۴۵		*			۳۵	سؤال ۱۰ (ب) ص۵۸			*	
۱۶	تمرین ۲-۱۰ ص ۵۳			*		۳۶	سؤال ۱۳ (الف) ص۵		*		
۱۷	سؤال ۱ (الف) ص ۵۷		*			۳۷	سؤال ۱۳ (ب) ص ۵۸		*		
۱۸	سؤال ۱ (ب) ص ۵۷	*				۳۸	سؤال ۱۴ (الف) ص ۵۹		*		
۱۹	سؤال ۳ (الف) ص ۵۷	*				۳۹	سؤال ۱۴ (ب) ص ۵۹		*		
۲۰	سؤال ۳ (ب) ص ۵۷		*			۴۰	سؤال ۱۴ (پ) ص ۵۹			*	
	فراوانی سطوح	۵	۱۳	۱۹	۳		درصد فراوانی	۱۲/۵	۳۲/۵	۴۷/۵	۷/۵

سپس با استفاده از جدول ۱ و منابع محتوایی معتبر، مانند کتاب فیزیک مفهومی (جلد اول: مکانیک) به تألیف پل‌جی هیوئیت[۱۹] (۲۰۱۵)، آموزش فیزیک اثر ردیش[۲۰] (۲۰۰۳)، فیزیک پایه اثر هالیدی[۲۱] و همکاران(۲۰۱۴) و همچنین فیزیک برای مهندسان و دانشمندان، یک رویکرد راهبردی اثر نایت[۲۲] (۲۰۱۳)، آزمون محقق‌ساختهٔ اولیه طراحی شد. ازآنجاکه این آزمون براساس جدول‌های ۱ و ۲ (برگرفته از تحلیل محتوای مبحث اصطکاک از کتاب درسی) تدوین شده است، روایی محتوایی آن تأیید می‌شود. همچنین برای روایی صوری، سؤالات آزمون با استفاده از نظر سه استاد آموزش فیزیک و چهار دبیر باتجربهٔ فیزیک بررسی شد. سپس این آزمون اولیه برای تعدادی از دانش‌آموزان (خارج از نمونهٔ آماری اصلی) اجرا شد. با حذف یا اصلاح برخی از سؤالات، ضریب آلفای کرونباخ برابر ۰/۷۴۹ به‌دست آمد که مقداری قابل‌قبول برای پایایی است. درنهایت، آزمون حاصل‌شده، شامل نُه سؤال بازپاسخ در سطوح مختلف الگوی سولو تنظیم شد.

داده‌های پژوهش پاسخ‌های دانش‌آموزان به آزمون تشریحی بود. برای کمّی‌کردن این داده‌ها، سؤالات آزمون با توجه به سطح آن‌ها در الگوی ارزشیابی سولو، ارزش‌گذاری و نمره‌دهی شدند؛ به‌این‌ترتیب که برای سؤالات با سطح تک‌ساختاری نمرهٔ ۱، برای سؤالات چندساختاری نمرهٔ ۲، برای سؤالات رابطه‌ای نمرهٔ ۳ و برای سؤالات با سطح انتزاع تعمیم‌یافته نمرهٔ ۴ در نظر گرفته شد. فرایند تصحیح و ارزش‌گذاری را دو محقق این پژوهش انجام دادند و به‌منظور کاهش خطا، ۲۰ درصد از پاسخ‌نامه‌ها به‌صورت تصادفی ازطریق مصحح سوم (یک دبیر باتجربهٔ آموزش فیزیک) بازبینی شد. ازآنجاکه آزمون طراحی‌شده شامل سه سؤال در سطح تک‌ساختاری، دو سؤال در سطح چندساختاری، سه سؤال در سطح رابطه‌ای و یک سؤال در سطح انتزاع تعمیم‌یافته است، بنابراین حداکثر نمرهٔ کسب‌شده از آزمون، ۲۰ و حداقل آن صفر است. با بررسی آماری داده‌های کمّی به‌دست‌آمده، می‌توان عملکرد دانش‌آموزان را در هر سؤال و همچنین در کل آزمون توصیف کرد. از طرفی با بررسی پاسخ‌های دانش‌آموزان، می‌توان بدفهمی‌های آن‌ها را در مبحث مدنظر شناسایی کرد.

■ یافته‌های پژوهش

تجزیه‌وتحلیل داده‌های حاصل از بررسی پاسخ‌نامهٔ دانش‌آموزان در دو بخش ارائه می‌شود. در بخش اول، سطح عملکرد دانش‌آموزان براساس الگوی سولو بررسی می‌شود و در بخش دوم، به شناسایی بدفهمی‌های دانش‌آموزان پرداخته می‌شود.

◆ بخش اول: سطح عملکرد دانش‌آموزان

در این قسمت، ابتدا با ارائهٔ پاسخ صحیح هر سؤال، سطح آن در الگوی سولو مشخص می‌شود و در ادامه، سطح عملکرد دانش‌آموزان در آن سؤال بررسی می‌شود. سپس با توجه به عملکرد فراگیران در کل آزمون، سطوح یادگیری آن‌ها جمع‌بندی و گزارش می‌شود.

❖ سطح عملکرد در سؤال اول

شکل ۲. تصویر سؤال اول آزمون

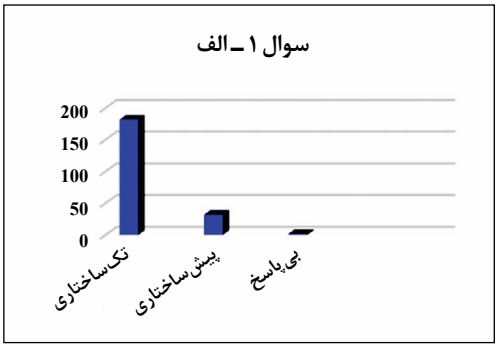
مطابق شکل جعبه‌ای به جرم M روی زمین ناهمواری قرار دارد. این جعبه را هل می‌دهیم تا شروع به حرکت کند.

الف) در ابتدا شخص حداقل باید چقدر نیرو به جعبه وارد کند تا جعبه به حرکت درآید؟

برای به‌حرکت‌درآوردن جعبهٔ روی سطح، باید حداقل به‌اندازهٔ نیروی اصطکاک ایستایی بیشینه به آن نیرو وارد کرد. از منظر الگوی سولو، این سؤال در سطح تک‌ساختاری قرار دارد؛ زیرا فقط به یک موضوع اشاره می‌کند و فقط نیاز است که دانش‌آموز پاسخ سؤال، که در کتاب سال دوازدهم به‌وضوح مطرح شده است، به خاطر آورد. نتایج بررسی پاسخ‌های دانش‌آموزان در نمودار ۱ و جدول ۲ نشان داده شده است.

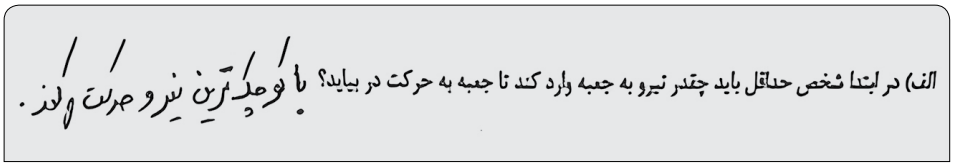
جدول ۲. فراوانی و درصد فراوانی سطح فراگیران، سؤال ۱- الف

عملکردفراگیران		فراوانی	درصد فراوانی
سطوح SOLO	پیش‌ساختاری	۳۲	۱۴/۸
	تک‌ساختاری	۱۸۲	۸۴/۲
بی‌پاسخ		۲	۱
مجموع		۲۱۶	۱۰۰

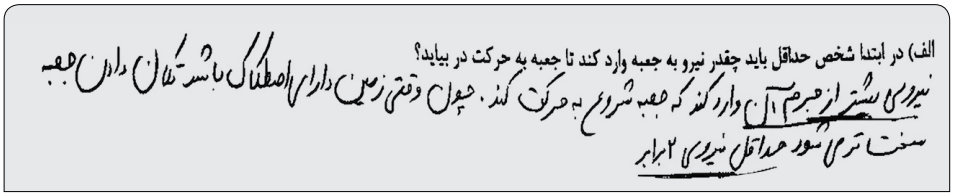


نمودار ۱. فراوانی سطح فراگیران، سؤال ۱- الف

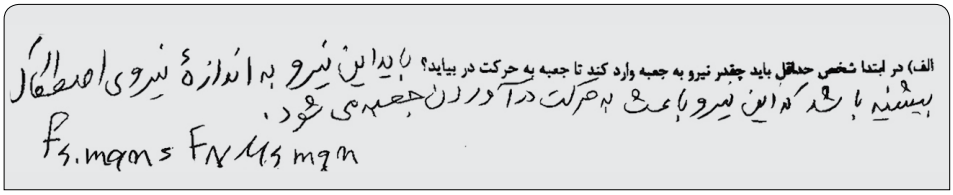
نتایج فوق نشان می‌دهد که اغلب دانش‌آموزان پایهٔ دوازدهم به خاطر دارند که برای به‌حرکت‌درآوردن جعبهٔ روی سطح دارای اصطکاک، حداقل باید به‌اندازهٔ اصطکاک ایستایی بیشینه به آن نیرو وارد کرد. درعین‌حال عده‌ای هم اصطکاک را در نظر نگرفته و معتقد بودند جعبه با واردکردن کوچک‌ترین نیرو، حرکت می‌کند یا حتی اگر اصطکاک را در نظر گرفته بودند، پاسخ‌هایی بی‌ربط و نادرست داده بودند. نمونهٔ پاسخ‌های دانش‌آموزان در شکل‌های ۳ و ۴ و ۵ مشاهده می‌شود.



شکل ۳. پاسخ در سطح پیش‌ساختاری، بدون درنظرگرفتن اصطکاک، سؤال ۱ - الف



شکل ۴. پاسخ در سطح پیش‌ساختاری، با درنظرگرفتن اصطکاک، سؤال ۱- الف



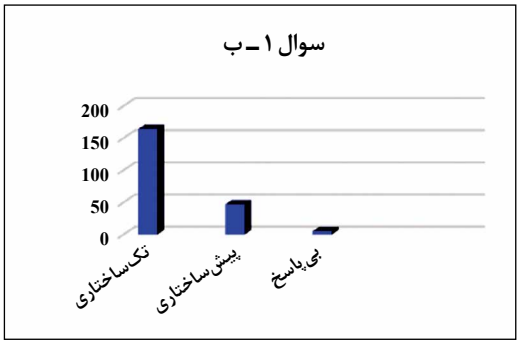
شکل ۵. پاسخ در سطح تک‌ساختاری، سؤال ۱- الف

ب) اگر جعبهٔ روی سطح هموار در حال حرکت باشد و نیروی وارد بر جعبه چهار برابر شود، شتاب حرکت جعبه چند برابر می‌شود؟

برای پاسخ به این سؤال، دانش‌آموزان فقط باید توجه داشته باشند که در نبود نیروی اصطکاک (سطح هموار)، نیروی برآیند وارد بر جعبه همان نیروی دست ماست؛ بنابراین ازآنجاکه شتاب جسم با نیروی برآیند وارد بر آن رابطهٔ مستقیم دارد، با چهاربرابرشدن آن، شتاب نیز چهار برابر می‌شود. از منظر الگوی سولو، این سؤال در سطح تک‌ساختاری است.

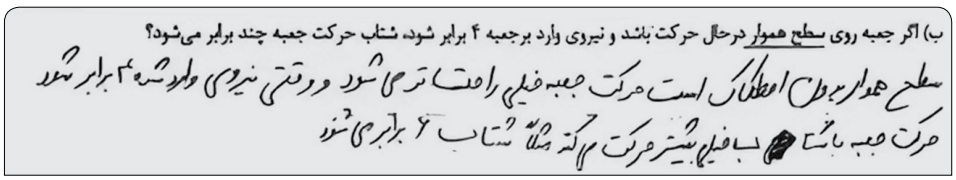
جدول ۳. فراوانی و درصد فراوانی سطح فراگیران، سؤال ۱- ب

عملکرد فراگیران		فراوانی	درصد فراوانی
سطوح SOLO	پیش‌ساختاری	۴۷	۲۱/۸
	تک‌ساختاری	۱۶۴	۷۵/۹
بی‌پاسخ		۵	۲/۳
مجموع		۲۱۶	۱۰۰



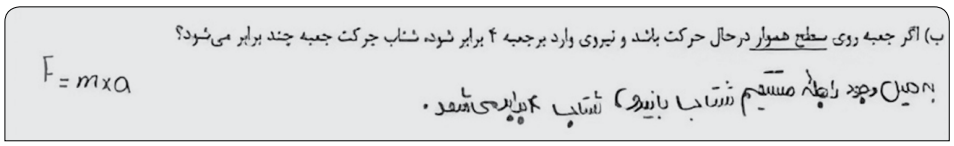
نمودار ۲. فراوانی سطح فراگیران، سؤال ۱- ب

نتایج فوق نشان می‌دهند اغلب دانش‌آموزان پایهٔ دوازدهم به خاطر دارند که در نبود اصطکاک، نیروی برآیند معادل نیروی واردشده بر یک جسم است و با شتاب رابطهٔ مستقیم دارد. درعین‌حال، برخی از دانش‌آموزان هم پاسخ ناقص یا بی‌ربط و نادرست داده بودند. در شکل‌های ۶ و ۷ نمونه‌ای از پاسخ‌های دانش‌آموزان مشاهده می‌شود.


ب) اگر جعبه روی سطح هموار درحال حرکت باشد و نیروی وارد برجعبه ۴ برابر شود، شتاب حرکت جعبه چند برابر می‌شود؟

سطح هموار بدون اصطکاک است حرکت جعبه خیلی راحت تر می‌شود و وقتی نیروی وارد شده ۴ برابر شود حرکت جعبه بیشتر میشه یعنی خیلی بیشتر حرکت میکنه مثلاً شتاب ۶ برابر می‌شود

شکل ۶. پاسخ در سطح پیش‌ساختاری، سؤال ۱- ب


ب) اگر جعبه روی سطح هموار درحال حرکت باشد و نیروی وارد برجعبه ۴ برابر شود، شتاب حرکت جعبه چند برابر می‌شود؟

$F = m \times a$

با ثابت بودن جرم (m) شتاب ۴ برابر می‌شود.

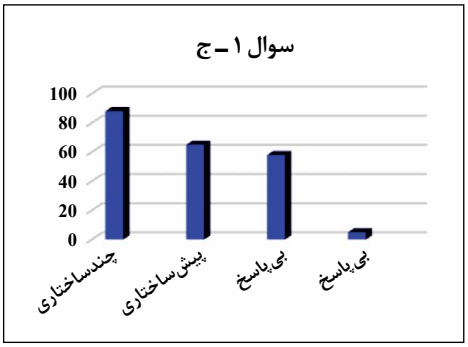
شکل ۷. پاسخ در سطح تک‌ساختاری، سؤال ۱- ب

ج) اگر جعبهٔ روی سطح ناهموار در حال حرکت باشد و نیروی وارد بر جعبه چهاربرابر شود، شتاب جعبه در مقایسه با قسمت ب چگونه است؟ کمتر، بیشتر یا برابر؟ علت را توضیح دهید.

برای پاسخ به این سؤال، دانش‌آموزان باید به خاطر داشته باشند که مقدار نیروی برآیند وارد بر جعبه، که قبلاً در قسمت (ب) $4F$ بود، اکنون به‌سبب ناهمواربودن سطح و وجود اصطکاک به مقدار $4F-F_k$ کاهش می‌یابد؛ بنابراین ازآنجاکه اصطکاک نیروی برآیند را کاهش می‌دهد، شتاب کمتر از قسمت ب، یعنی کمتر از چهاربرابر، می‌شود. برای پاسخ به این سؤال، باید نیروی اصطکاک، تأثیرات آن روی نیروی برآیند و قانون دوم نیوتن را در نظر گرفت و با مقایسهٔ این بخش با قسمت ب، به نتایج درستی رسید؛ بنابراین از منظر الگوی سولو، این سؤال در سطح چندساختاری قرار می‌گیرد.

جدول ۴. فراوانی و درصد فراوانی سطح فراگیران، سؤال ۱- ج

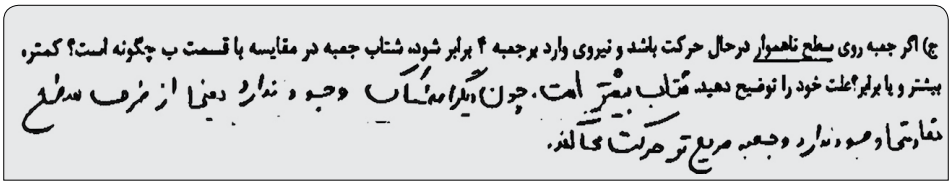
عملکرد فراگیران		فراوانی	درصد فراوانی
سطوح SOLO	پیش‌ساختاری	۵۸	۲۶/۹
	تک‌ساختاری	۶۵	۳۰/۱
چندساختاری		۸۸	۴۰/۷
بی‌پاسخ		۵	۲/۳
مجموع		۲۱۶	۱۰۰



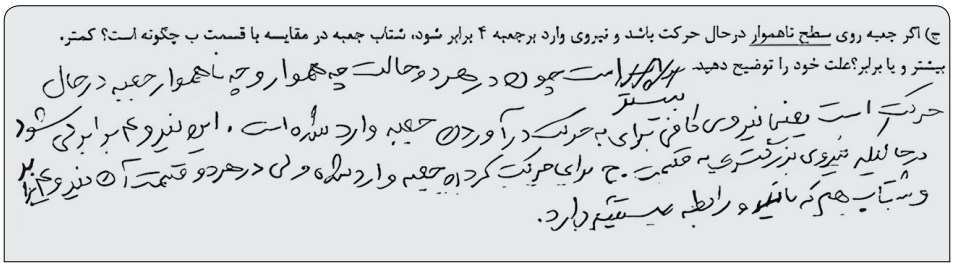
نمودار ۳. فراوانی سطح فراگیران، سؤال ۱- ج

نتایج فوق نشان می‌دهند که نزدیک به نیمی از دانش‌آموزان پایهٔ دوازدهم، وجود اصطکاک و اثر آن بر نیروی برآیند و کاهش شتاب را به‌درستی متوجه شده‌اند. باوجوداین، نزدیک به یک‌سوم دانش‌آموزان پاسخ‌های تک‌ساختاری داشتند؛ یعنی برای پاسخ فقط وجود اصطکاک را تشخیص دادند

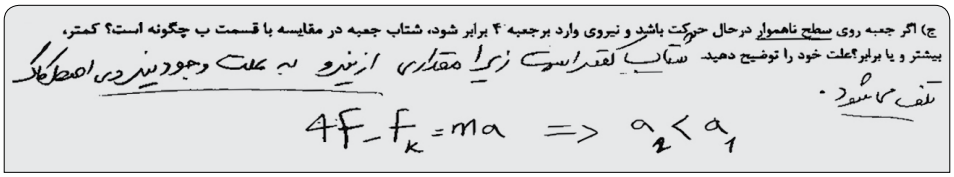
و نتوانستند اثر آن بر نیروی برآیند را در نظر بگیرند یا به رابطهٔ مستقیم نیروی برآیند و شتاب اشاره کردند؛ اما به کاهش نیروی برآیند توسط اصطکاک اشاره نکردند و اصطکاک را نادیده گرفتند. بسیاری از دانش‌آموزان (حدود یک‌چهارم حجم نمونه) هم جواب‌هایی ناقص یا بی‌ربط و نادرست داده بودند. در شکل‌های ۸ و ۹ و ۱۰ نمونه‌ای از پاسخ‌های دانش‌آموزان مشاهده می‌شود.



شکل ۸. پاسخ در سطح پیش‌ساختاری، سؤال ۱ - ج

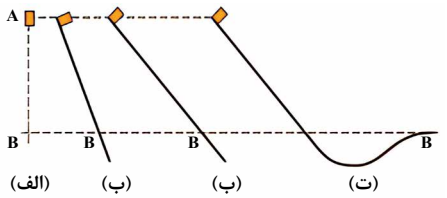


شکل ۹. پاسخ در سطح تک‌ساختاری، سؤال ۱ - ج



شکل ۱۰. پاسخ در سطح چندساختاری، سؤال ۱ - ج

❖ سطح عملکرد در سؤال دوم



شکل ۱۱. تصویر سوال دوم آزمون

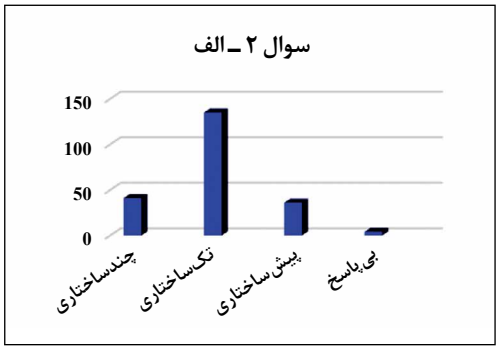
شکل ۱۱، چهار وضعیت متفاوت را برای حرکت جسمی نشان می‌دهد.در وضعیت الف، جسم از حال سکون سقوط می‌کند و در سه وضعیت دیگر، جسماز حال سکون روی سطوح بتنی با طول مسیرهای متفاوت رها می‌شود.

الف) نیروهای وارد بر جسم در حال حرکت را در تمامی مسیرها به‌صورت جداگانه رسم کنید.

این سؤال در سطح چندساختاری الگوی سولو قرار دارد؛ زیرا دانش‌آموزان باید هم‌زمان نیروهای وزن، عمودی تکیه‌گاه، مقاومت هوا و اصطکاک را در نظر بگیرند؛ بدون اینکه نیاز باشد بین این چند نیرو ارتباط خاصی برقرار کنند.

جدول ۵. فراوانی و درصد فراوانی سطح فراگیران، سؤال ۲- الف

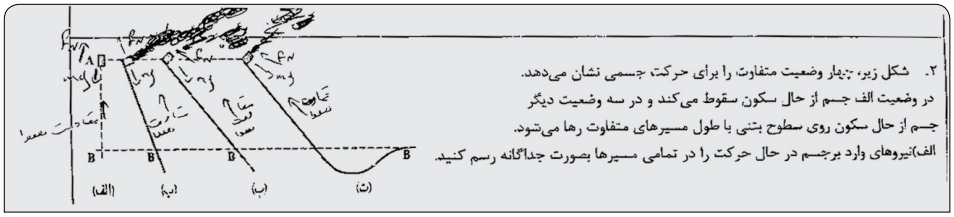
عملکرد فراگیران		فراوانی	درصد فراوانی
سطوح SOLO	پیش‌ساختاری	۳۶	۱۶/۷
	تک‌ساختاری	۱۳۵	۶۲/۵
	چندساختاری	۴۱	۱۹
بی‌پاسخ		۴	۱/۸
مجموع		۲۱۶	۱۰۰



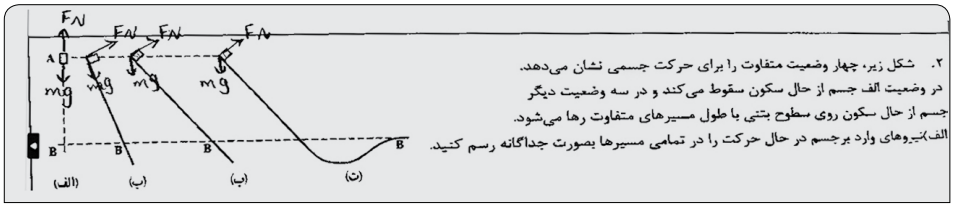
نمودار ۴. فراوانی سطح فراگیران، سؤال ۲- الف

نتایج فوق نشان می‌دهند برخلاف انتظار ما، درصد کمی از دانش‌آموزان موفق شدند نیروهای وارد بر جسم را به‌درستی و کامل رسم کنند و به این سؤال در سطح چندساختاری پاسخ دهند. بسیاری از دانش‌آموزان در سطح تک‌ساختاری قرار گرفتند؛ زیرا اغلب آن‌ها در رسم نیروها، نیروی اصطکاک را در نظر نگرفته بودند یا در برخی موارد، نیروها را با جهت‌های اشتباه رسم کرده بودند. علت این امر این

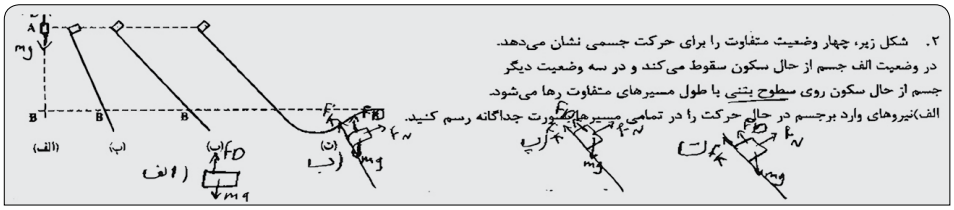
است که در کتاب فیزیک سال دهم، سؤالی با کمی شباهت به این سؤال وجود دارد؛ اما در سال دهم، همواره در آن سؤال و سؤال‌های دیگر، از اصطکاک صرف‌نظر می‌شود. به همین سبب، دانش‌آموزان با پیش‌فرض ناچیزبودن اصطکاک، در این سؤال نیز اصطکاک را نادیده می‌گیرند؛ اما علت رسم جهت‌های اشتباه برای نیروها این است که در اغلب سؤالات موجود در کتاب درسی، دانش‌آموزان با رسم نیروها برای یک جسم روی سطح افقی یا سطح قائم آشنا می‌شوند. به همین سبب، در رسم نیروها برای یک جسم روی سطح شیب‌دار، مانند این سؤال، دچار اشتباهات زیادی می‌شوند. در شکل‌های زیر، می‌توان نمونه‌ای از پاسخ‌های دانش‌آموزان را مشاهده کرد.



شکل ۱۲. پاسخ در سطح پیش‌ساختاری، سؤال ۲ – الف



شکل ۱۳. پاسخ در سطح تک‌ساختاری، سؤال ۲ – الف



شکل ۱۴. پاسخ در سطح پیش‌ساختاری، سؤال ۲ – الف

ب) درصورتی‌که از نیروی مقاومت هوا صرف‌نظر کنیم، با ذکر دلیل سرعت جسم در نقطهٔ B را در تمام وضعیت‌ها مقایسه کنید.

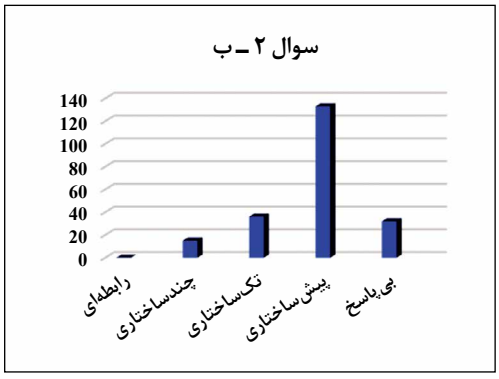
ازآنجاکه مسیر (الف) یک سقوط آزاد است و هیچ اتلافی از نظر اصطکاک در مسیر ندارد؛ بنابراین در مقایسه با سایر وضعیت‌ها بیشترین سرعت را در نقطهٔ B دارد؛ اما درخصوص سه وضعیت دیگر،

طبق رابطهٔ محاسبهٔ کار نیروی اتلافی در فیزیک دهم داریم: $W_f=E_2-E_1$ که با بازکردن آن به رابطهٔ $W_f = \Delta U + \Delta K$ می‌رسیم. با توجه به اینکه جسم از حال سکون رها می‌شود K_1 صفر می‌شود، پس می‌توان این رابطه را به‌صورت $K_1 = W_f + \Delta U$ بازنویسی کرد. ازآنجاکه ارتفاع جسم هنگام رهاشدن از هر سه وضعیت یکسان است؛ بنابراین ΔU برابر دارند. همچنین چون اصطکاک و کار نیروی اتلافی برای وضعیتی که جسم مسافت بیشتری را روی سطح بتنی طی می‌کند، بیشتر است؛ بنابراین $K_{ت} > K_{پ} > K_{ب}$ است و درنهایت در مورد سرعت‌ها می‌توان گفت: $V_{ت} > V_{پ} > V_{الف}$.

برای پاسخ‌گویی به این سؤال، دانش‌آموزان باید هم‌زمان به چند عامل تأثیرگذار و ارتباطشان با یکدیگر توجه کنند؛ بنابراین این سؤال در سطح رابطه‌ای الگوی سولو قرار دارد.

جدول ۶. فراوانی و درصد فراوانی سطح فراگیران، سؤال ۲- ب

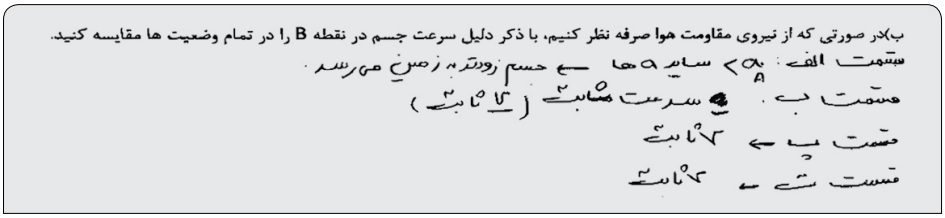
عملکرد فراگیران		فراوانی	درصد فراوانی
سطوح SOLO	پیش‌ساختاری	۱۳۳	۶۱/۶
	تک‌ساختاری	۳۶	۱۶/۷
	چندساختاری	۱۵	۶/۹
	رابطه‌ای	۰	۰
بی‌پاسخ		۳۲	۱۴/۸
مجموع		۲۱۶	۱۰۰



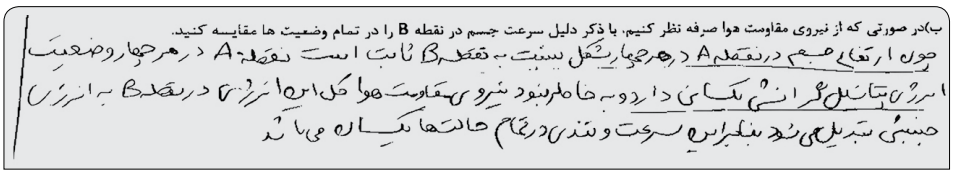
نمودار ۵. فراوانی سطح فراگیران، سؤال ۲- ب

در این سؤال، برخی از دانش‌آموزان با نادیده‌گرفتن اصطکاک معتقد بودند که سرعت جسم در هر چهار حالت با هم برابرند. عده‌ای دیگر نیز با این استدلال اشتباه به سؤال پاسخ داده بودند که هرچقدر

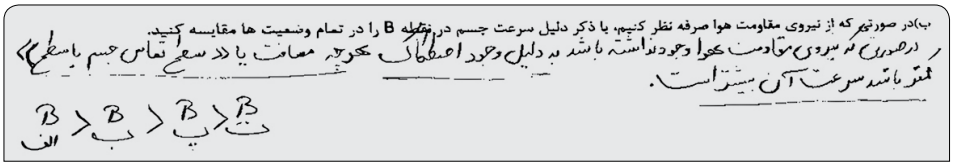
شیبِ سطح شیب‌دار بیشتر باشد، سرعت جسم در انتهای مسیر بیشتر است. تعدادی از آن‌ها هم معتقد بودند، هرچقدر مسیر حرکت جسم بیشتر باشد فرصت آن برای سرعت‌گرفتن بیشتر است؛ بنابراین سرعت در قسمت (ت)، که طول مسیر بیشتری دارد، به‌نسبت سایر مسیرها زیادتر است. پاسخ این دانش‌آموزان در سطح پیش‌ساختاری قرار می‌گیرد. بخش کوچکی از دانش‌آموزان فقط به یک عامل تأثیرگذار (مانند اصطکاک، طول مسیر، نیروی اتلافی، ارتفاع یا انرژی پتانسیل گرانشی) اشاره کرده بودند که پاسخ آن‌ها در سطح تک‌ساختاری قرار گرفت. همچنین، تعداد کمی از آن‌ها با اشاره به چند عامل، پاسخ‌هایی در سطح چندساختاری ارائه دادند؛ اما هیچ‌یک از دانش‌آموزان، نتوانستند بین این عوامل ارتباطی منطقی برای ارائهٔ پاسخی کامل ایجاد کنند. در شکل‌های زیر می‌توان نمونه‌ای از پاسخ‌های دانش‌آموزان را مشاهده کرد.



شکل ۱۵. پاسخ در سطح پیش‌ساختاری، سؤال ۲ - ب



شکل ۱۶. پاسخ در سطح تک‌ساختاری، سؤال ۲ - ب



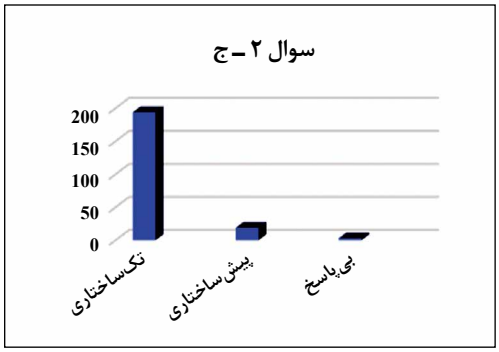
شکل ۱۷. پاسخ در سطح چندساختاری، سؤال ۲ - ب

ج) بعد از رسیدن جسم به سطح زمین، جسم مسافتی را روی سطح افقی طی می‌کند تا متوقف شود. چه نیرویی باعث کندشدن حرکت توپ و توقف آن می‌شود؟

پاسخ این سؤال نیروی اصطکاک است و در سطح تک‌ساختاری الگوی سولو قرار دارد.

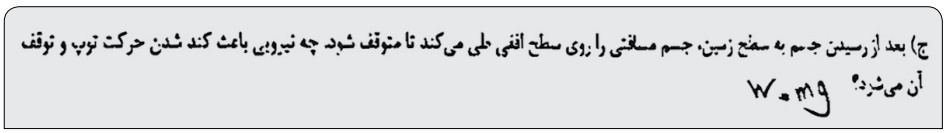
جدول ۷. فراوانی و درصد فراوانی سطح فراگیران، سؤال ۲-ج

عملکرد فراگیران		فراوانی	درصد فراوانی
سطوح SOLO	پیش‌ساختاری	۱۹	۸/۸
	تک‌ساختاری	۱۹۴	۸۹/۹
بی‌پاسخ		۳	۱/۳
مجموع		۲۱۶	۱۰۰

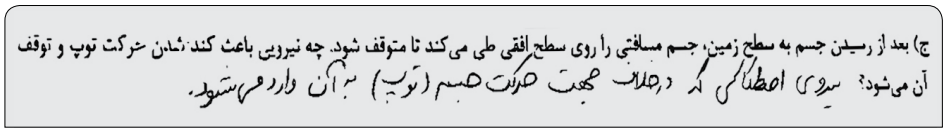


نمودار ۶. فراوانی سطح فراگیران، سؤال ۲- ج

نتایج فوق نشان می‌دهند که ۹۰ درصد از دانش‌آموزان به این سؤال پاسخ صحیح دادند. در شکل‌های زیر، نمونه‌ای از پاسخ‌های دانش‌آموزان مشاهده می‌شود.


ج) بعد از رسیدن جسم به سطح زمین، جسم مسافتی را روی سطح افقی طی می‌کند تا متوقف شود. چه نیرویی باعث کند شدن حرکت توپ و توقف آن می‌شود؟ W = mg

شکل ۱۸. پاسخ در سطح پیش‌ساختاری، سؤال ۲ - ج


ج) بعد از رسیدن جسم به سطح زمین، جسم مسافتی را روی سطح افقی طی می‌کند تا متوقف شود. چه نیرویی باعث کند شدن حرکت توپ و توقف آن می‌شود؟ نیروی اصطکاک که در خلاف جهت حرکت جسم (توپ) بر آن وارد می‌شود.

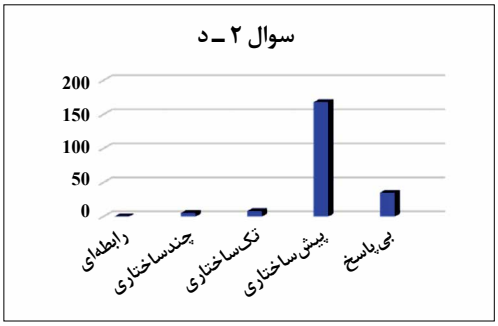
شکل ۱۹. پاسخ در سطح تک‌ساختاری، سؤال ۲ - ج

د) با ذکر دلیل، بیان کنید پس از رسیدن جسم روی سطح زمین، در کدام مسیر جسم مسافت کمتری را برای متوقف‌شدن طی می‌کند؟

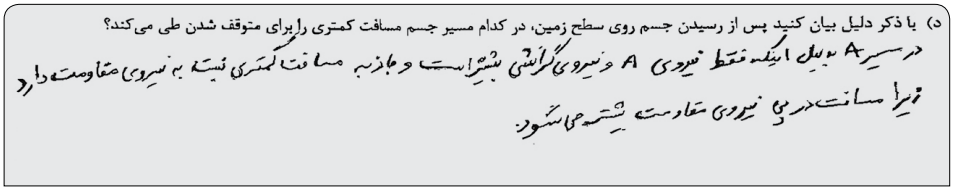
با توجه به اینکه وقتی جسم روی زمین حرکت می‌کند، تنها نیروی وارد بر آن، اصطکاک جنبشی و در خلاف جهت حرکت جسم است؛ بنابراین با توجه به قانون دوم نیوتن، می‌توان نوشت $-F_k = ma$، همچنین می‌دانیم که اصطکاک جنبشی از رابطهٔ $F_k = \mu_k F_N$ محاسبه می‌شود و با توجه به شرایط مسئله $F_N - mg$ است بنابراین: $ma - \mu_k mg$ و پس از ساده کردن مقدار شتاب از رابطه $a = -\mu_k g$ به‌دست می‌آید و چون مقدار شتاب گرانشی (g) و ضریب اصطکاک جنبشی سطح افقی با جسم، برای هر سه حالت یکسان است؛ بنابراین شتاب کندشدن برای سه وضعیت یکسان است؛ اما باتوجه‌به رابطهٔ $v_2^2 - v_1^2 = 2a\Delta x$ و با صفرشدن سرعت ثانویه، مسافت توقف از رابطهٔ $\Delta x = \frac{-v_1^2}{2a}$ محاسبه می‌شود؛ بنابراین سرعت اولیهٔ جسم، که همان سرعت جسم در نقطهٔ B است، در تعیین مسافت توقف تأثیرگذار است. پس می‌توان گفت مسیر (ت)، که سرعت کمتری در نقطهٔ B دارد، دارای کمترین مسافت توقف نیز هست. برای پاسخ به این سؤال، دانش‌آموزان باید جنبه‌های مختلفی مانند نیروی اصطکاک، قانون دوم نیوتن، شتاب در حضور نیروی اصطکاک و عوامل مؤثر در مسافت توقف را در نظر بگیرند. سپس با برقراری ارتباط بین این مفاهیم، باید دانش خود را از مبحث حرکت‌شناسی به دینامیک منتقل کنند؛ بنابراین این سؤال در سطح رابطه‌ای الگوی سولو قرار دارد.

جدول ۸. فراوانی و درصد فراوانی سطح فراگیران، سؤال ۲- د

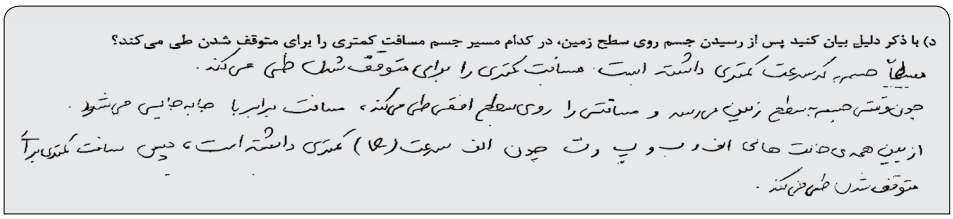
عملکرد فراگیران		فراوانی	درصد فراوانی
سطوح SOLO	پیش‌ساختاری	۱۶۸	۷۷/۸
	تک‌ساختاری	۸	۳/۷
	چندساختاری	۵	۲/۳
	رابطه‌ای	۰	۰
بی‌پاسخ		۳۵	۱۶/۲
مجموع		۲۱۶	۱۰۰



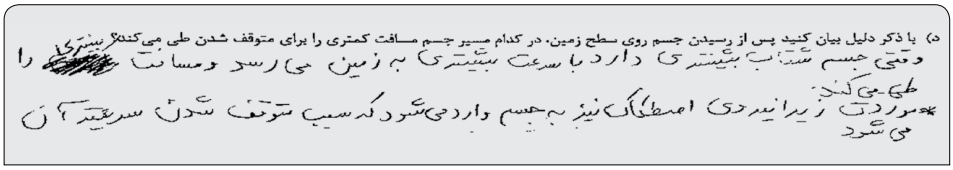
نمودار ۷. فراوانی سطح فراگیران، سؤال ۲- د


د) با ذکر دلیل بیان کنید پس از رسیدن جسم روی سطح زمین، در کدام مسیر جسم مسافت کمتری را برای متوقف شدن طی می‌کند؟
در مسیر A به دلیل اینکه فقط نیروی A و نیروی گرانشی بیشتر است و هازنه مسافت کمتری نسبت به نیروی مقاومت دارد
زیرا مسافت در برابر نیروی مقاومت بیشتر می‌شود.

شکل ۲۰. پاسخ در سطح پیش‌ساختاری، سؤال ۲ – د


د) با ذکر دلیل بیان کنید پس از رسیدن جسم روی سطح زمین، در کدام مسیر جسم مسافت کمتری را برای متوقف شدن طی می‌کند؟
مسلما جسمی که سرعت کمتری داشته است مسافت کمتری را برای متوقف شدن طی می‌کند.
چون وقتی جسم به سطح زمین می‌رسد و مسافتی را روی سطح افقی طی می‌کند، مسافت برابر با جابجایی می‌شود.
از بین همه‌ی حالت های A و B و C چون A سرعت (v) کمتری داشته است، پس مسافت کمتری را
متوقف شدن طی می‌کند.

شکل ۲۱. پاسخ در سطح تک‌ساختاری، سؤال ۲ – د


د) با ذکر دلیل بیان کنید پس از رسیدن جسم روی سطح زمین، در کدام مسیر جسم مسافت کمتری را برای متوقف شدن طی می‌کند؟ بیشتری
وقتی جسم شتاب بیشتری دارد با سرعت بیشتری به زمین می‌رسد و مسافت [redacted] را
طی می‌کند.
*نیروی اصطکاک نیز به جسم وارد می‌شود که سبب متوقف شدن سریعتر آن
می‌شود

شکل ۲۲. پاسخ در سطح چندساختاری، سؤال ۲ – د

❖ سطح عملکرد در سؤال سوم

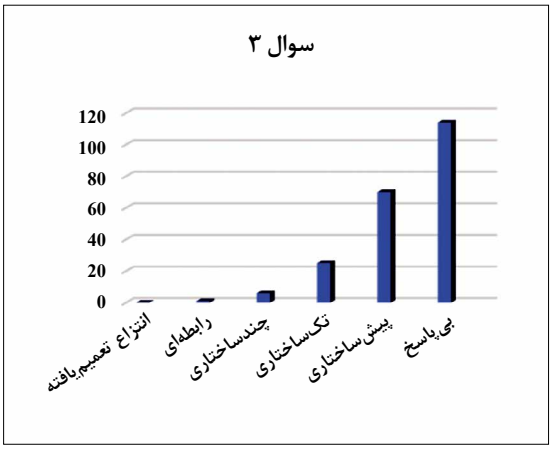
جعبهٔ سنگینی را در نظر بگیرید که بدون آنکه به جایی وصل شده باشد، روی سطح تریلی یک کامیون هجده‌چرخ قرار گرفته است. پس از مدتی، کامیون شروع به حرکت می‌کند و شتاب می‌گیرد. اگر با شتاب‌گرفتن کامیون، جعبه از سطح تریلی جدا نشده باشد، توضیح دهید چه نیرو یا نیروهایی و در چه جهتی به جعبه وارد می‌شود و باعث حفظ حالت جعبه می‌شود؟

با حرکت کامیون، جعبه به‌دلیل قانون لختی (اینرسی) تمایل دارد حالت سکون خود را حفظ کند. به همین دلیل، هنگامی‌که کامیون و تریلی متصل به آن به سمت راست حرکت می‌کنند، سطح زیر جعبه (تریلی) نیز به سمت راست حرکت می‌کند؛ اما جعبه برای جلوگیری از حرکت تریلی، نیرویی به سمت چپ به آن وارد می‌کند (Fs). طبق قانون سوم نیوتن، سطح تریلی نیز نیرویی به سمت راست به جعبه وارد می‌کند ($Fs"$) که باعث شتاب‌گرفتن جعبه در راستای حرکت تریلی می‌شود و این دو نیرو در واقع همان اصطکاک و عکس‌العمل آن و از نوع ایستایی‌اند؛ بنابراین نیروی وارد بر جعبه همان $Fs"$ و به سمت راست است که شتابی برابر با شتاب کامیون و در جهت آن به جعبه می‌دهد تا جعبه روی

سطح تریلی ساکن باقی بماند. دانش‌آموز در این سؤال باید بتواند نیروی اصطکاک را تشخیص دهد و دانش خود را در بستری نو پیاده کند. همچنین با فهم نقش لختی و قانون سوم نیوتن به جواب برسد؛ بنابراین از منظر الگوی سولو، این سؤال در سطح «انتزاع تعمیم‌یافته» قرار می‌گیرد که بالاترین سطح یادگیری در این الگوست.

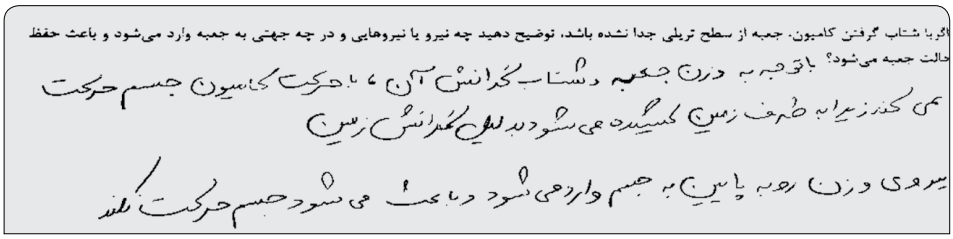
جدول ۹. فراوانی و درصد فراوانی سطح فراگیران، سؤال ۳

عملکرد فراگیران		فراوانی	درصد فراوانی
سطوح SOLO	پیش‌ساختاری	۷۰	۳۲/۴
	تک‌ساختاری	۲۵	۱۱/۵
	چندساختاری	۶	۲/۸
	رابطه‌ای	۱	۰/۵
	انتزاع تعمیم‌یافته	۰	۰
بی‌پاسخ		۱۱۴	۵۲/۸
مجموع		۲۱۶	۱۰۰

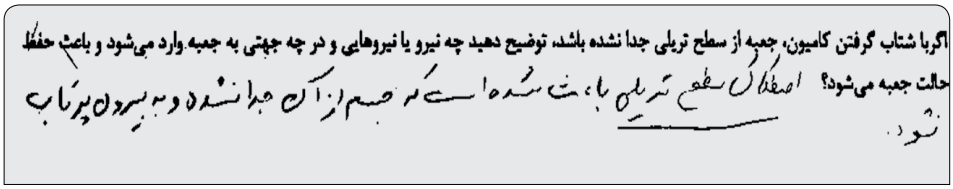


نمودار ۸. فراوانی سطح فراگیران، سؤال ۳

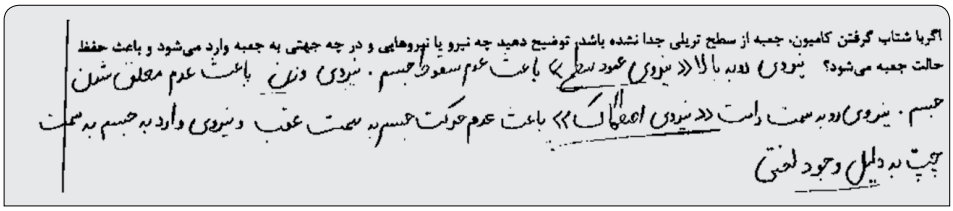
نتایج فوق نشان می‌دهند که به علت پیچیدگی سؤال ۳، دانش‌آموزان کلاً از پاسخ مسئله دور ماندند و جواب‌های بی‌ربطی ارائه کردند و متأسفانه هیچ‌کدام از آن‌ها، قادر به پاسخ در سطح انتزاع تعمیم‌یافته نبودند. در شکل‌های ذیل، می‌توان نمونه‌ای از پاسخ‌های دانش‌آموزان را مشاهده کرد.


اگر با شتاب گرفتن کامیون، جعبه از سطح تریلی جدا نشده باشد، توضیح دهید چه نیرو یا نیروهایی و در چه جهتی به جعبه وارد می‌شود و باعث حفظ حالت جعبه می‌شود؟ با توجه به وزن جعبه و شتاب گرفتن آن، با حرکت کامیون جسم حرکت می کند زیرا به طرف زمین کشیده می شود به دلیل گرانش زمین نیروی وزن رو به پایین به جسم وارد می شود و باعث می شود جسم حرکت کند

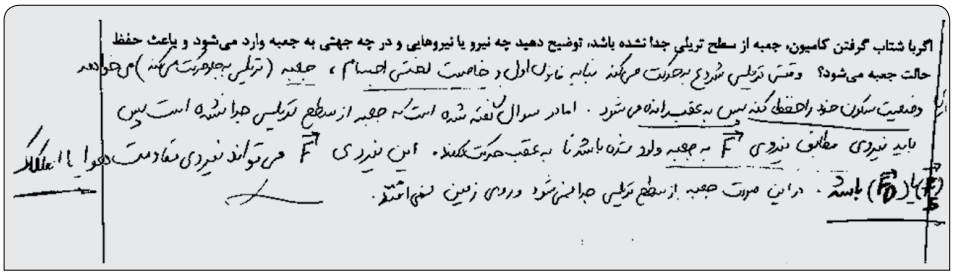
شکل ۲۳. پاسخ در سطح پیش‌ساختاری، سؤال ۳


اگر با شتاب گرفتن کامیون، جعبه از سطح تریلی جدا نشده باشد، توضیح دهید چه نیرو یا نیروهایی و در چه جهتی به جعبه وارد می‌شود و باعث حفظ حالت جعبه می‌شود؟ اصطکاک سطح تریلی باعث شده است که جسم از آن جدا نشده و به بیرون پرتاب نشود.

شکل ۲۴. پاسخ در سطح تک‌ساختاری، سؤال ۳


اگر با شتاب گرفتن کامیون، جعبه از سطح تریلی جدا نشده باشد، توضیح دهید چه نیرو یا نیروهایی و در چه جهتی به جعبه وارد می‌شود و باعث حفظ حالت جعبه می‌شود؟ نیروی وزن رو به پایین و نیروی عمود سطح باعث عدم سقوط جسم. نیروی وزن باعث عدم معلق شدن جسم. نیروی رو به سمت راست «نیروی اصطکاک» باعث عدم حرکت جسم به سمت عقب و نیروی وارد به جسم به سمت چپ به دلیل وجود لختی

شکل ۲۵. پاسخ در سطح چندساختاری، سؤال ۳


اگر با شتاب گرفتن کامیون، جعبه از سطح تریلی جدا نشده باشد، توضیح دهید چه نیرو یا نیروهایی و در چه جهتی به جعبه وارد می‌شود و باعث حفظ حالت جعبه می‌شود؟ وقتی تریلی شروع بحرکت می‌کند بنابه قانون اول و خاصیت لختی اجسام، جعبه (تریلی بجهت حرکت می‌کند) می‌خواهد وضعیت سکون خود را حفظ کند پس به عقب رانده می‌شود. اما در سوال گفته شده است که جعبه از سطح تریلی جدا نشده است پس باید نیروی مخالف نیروی $\vec{F}$ به جعبه وارد شده باشد تا به عقب حرکت کند. این نیروی $\vec{F}$ می‌تواند نیروی مقاومت هوا یا اصطکاک $(\vec{f}_s)$ باشد. در این صورت جعبه از سطح تریلی جدا نمی‌شود و روی زمین نمی‌افتد.

شکل ۲۶. پاسخ در سطح رابطه‌ای، سؤال ۳

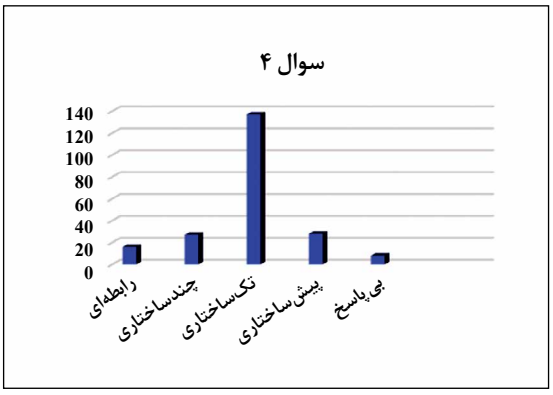
❖ سطح عملکرد در سؤال چهارم

برای کشیدن یک جعبه روی چمن با سرعت ثابت، شما باید یک نیروی ثابت اعمال کنید. چرا این واقعیت با این تصور از قانون اول نیوتن که می‌گوید: «حرکت با سرعت ثابت نیازی به اعمال نیرو ندارد» همخوانی ندارد؟ با ذکر دلیل از نظر خود دفاع کنید.

در جواب این سؤال باید گفت، این تصور از قانون اول نیوتن، که در صورت سؤال بیان‌شده، اشتباه است. درواقع قانون اول نیوتن بیان می‌کند برای یک جسم در حال سکون یا دارای حرکت با سرعت ثابت، نیروی برآیند صفر است. این جمله به معنای این نیست که تمام نیروهای وارد بر جسم صفر هستند؛ بلکه به این معناست که برآیند آن‌ها صفر است؛ بنابراین در این مثال نیز وقتی جعبه روی چمن حرکت می‌کند، نیروی اصطکاک جنبشی خلاف جهت حرکت به آن وارد می‌شود و باید یک نیرو (نیروی دست ما) برابر با نیروی اصطکاک و در جهت حرکت وجود داشته باشد تا برآیند نیروهای وارد بر جعبه صفر و جسم به حرکت خود با سرعت ثابت ادامه دهد و در غیر این صورت توسط اصطکاک کند و متوقف می‌شود. برای پاسخ به این سؤال، دانش‌آموز باید مفهوم درست قانون اول نیوتن را در نظر بگیرد، نیروی برآیند را از نیروهای وارد بر جسم تشخیص دهد و اصطکاک را به‌عنوان نیرویی که حرکت جعبه را کند می‌کند، درک کند. سپس با ترکیب این مفاهیم، به یک پاسخ واحد برسد؛ بنابراین این سؤال در سطح رابطه‌ای الگوی سولو قرار دارد.

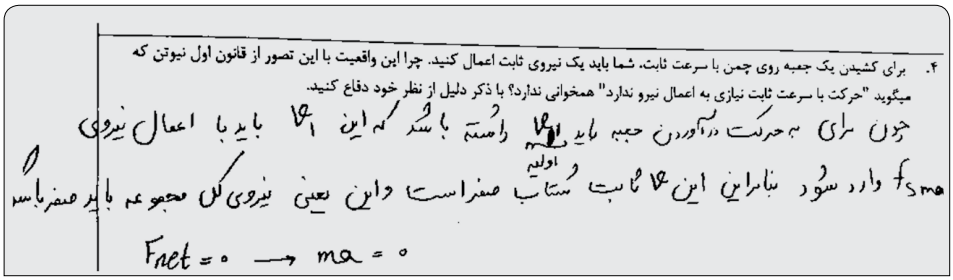
جدول ۱۰. فراوانی و درصد فراوانی سطح فراگیران، سؤال ۴

عملکرد فراگیران		فراوانی	درصد فراوانی
سطوح SOLO	پیش‌ساختاری	۲۸	۱۳
	تک‌ساختاری	۱۳۷	۶۳/۴
	چندساختاری	۲۷	۱۲/۵
	رابطه‌ای	۱۶	۷/۴
بی‌پاسخ		۸	۳/۷
مجموع		۲۱۶	۱۰۰

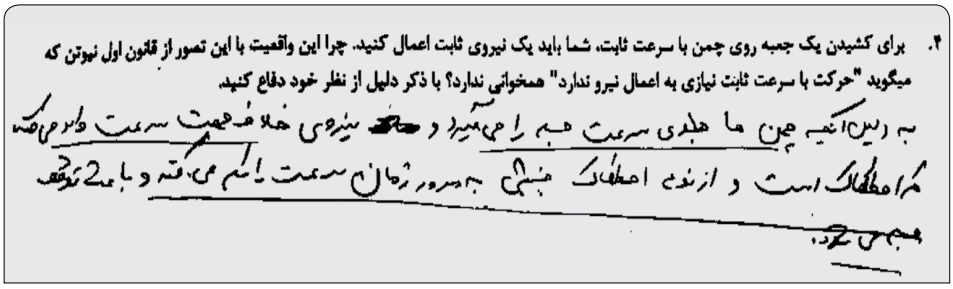


نمودار ۹. فراوانی سطح فراگیران، سؤال ۴

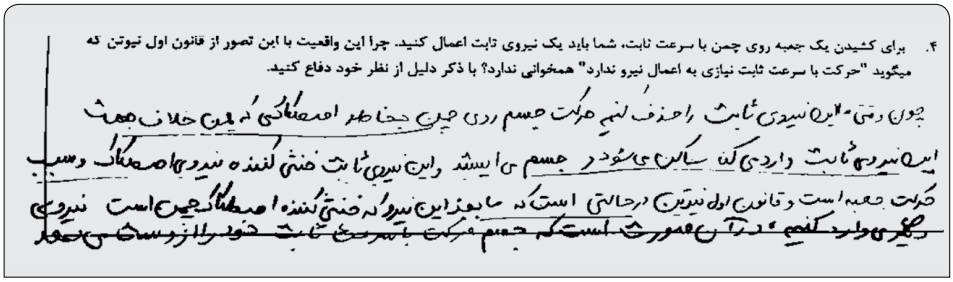
برخلاف دو سؤال رابطه‌ای که قبلاً بررسی کردیم، پاسخ‌گویی به این سؤال بهتر بوده است و تعداد قابل‌قبولی از دانش‌آموزان پاسخ‌هایی در سطوح بالا ارائه کرده‌اند. تعداد زیادی نیز دست‌کم به یک جنبه از ماجرا اشاره کرده‌اند. علت این اتفاق ممکن است این باشد که در این سؤال دانش‌آموزان باید بین چند مفهوم از حوزهٔ دینامیک ارتباط برقرار کنند؛ اما در سؤال‌های پیشین، مجبور بودند بین تعدادی مفهوم، از دو حوزهٔ مختلف دینامیک و سینماتیک ارتباط برقرار کنند. به همین سبب، در این سؤال نتایج بهتری کسب کرده‌اند. شکل‌های زیر می‌توان نمونه‌پاسخ‌های فراگیران را مشاهده کرد.


۴. برای کشیدن یک جعبه روی چمن با سرعت ثابت، شما باید یک نیروی ثابت اعمال کنید. چرا این واقعیت با این تصور از قانون اول نیوتن که میگوید "حرکت با سرعت ثابت نیازی به اعمال نیرو ندارد" همخوانی ندارد؟ با ذکر دلیل از نظر خود دفاع کنید.

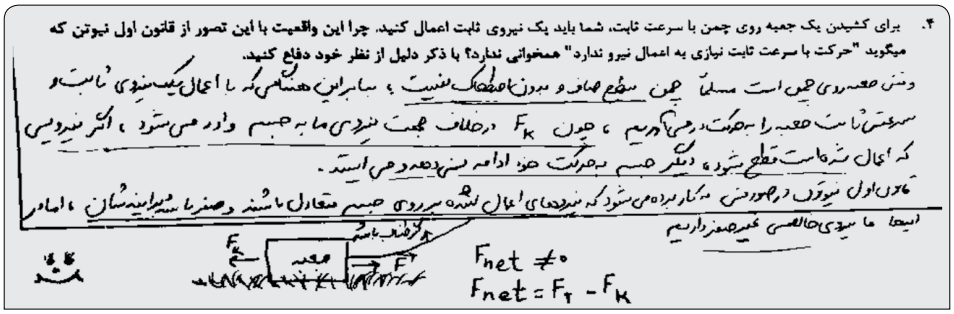
شکل ۲۷. پاسخ در سطح پیش‌ساختاری، سؤال ۴


۴. برای کشیدن یک جعبه روی چمن با سرعت ثابت، شما باید یک نیروی ثابت اعمال کنید. چرا این واقعیت با این تصور از قانون اول نیوتن که میگوید "حرکت با سرعت ثابت نیازی به اعمال نیرو ندارد" همخوانی ندارد؟ با ذکر دلیل از نظر خود دفاع کنید.

شکل ۲۸. پاسخ در سطح تک‌ساختاری، سؤال ۴


۴. برای کشیدن یک جعبه روی چمن با سرعت ثابت، شما باید یک نیروی ثابت اعمال کنید. چرا این واقعیت با این تصور از قانون اول نیوتن که میگوید "حرکت با سرعت ثابت نیازی به اعمال نیرو ندارد" همخوانی ندارد؟ با ذکر دلیل از نظر خود دفاع کنید.

شکل ۲۹. پاسخ در سطح چندساختاری، سؤال ۴

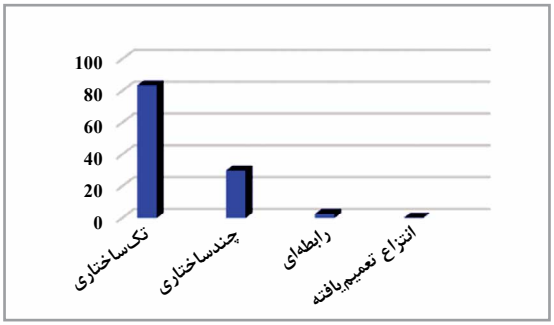


شکل ۳۰. پاسخ در سطح رابطه‌ای، سؤال ۴

پس از بررسی سطح عملکرد دانش‌آموزان در هر سؤال، براساس الگوی سولو، با میانگین‌گیری از درصد فراوانی سؤالات با سطوح یکسان می‌توان نشان داد که ۸۳/۳٪ حجم نمونه در سطح تک‌ساختاری، ۲۹/۸٪ در سطح چندساختاری و ۲/۵٪ در سطح رابطه‌ای قرار دارند و هیچ‌کدام به سطوح عمیق انتزاع تعمیم‌یافته نرسیده‌اند. این نتایج در جدول ۱۱ و نمودار ۱۰ جمع‌بندی شده است. لازم به ذکر است که میانگین نمرهٔ کل فراگیران، برابر ۶/۳ است که برای یک آزمون بیست‌نمره‌ای، به‌طورکلی نشان‌دهندهٔ نتایج ضعیفی است.

جدول ۱۱. درصد فراوانی سطح فراگیران در الگوی سولو

سطوح الگوی سولو	درصد فراوانی
تک‌ساختاری	۸۳/۳
چندساختاری	۲۹/۸
رابطه‌ای	۲/۴۶
انتزاع تعمیم‌یافته	۰



نمودار ۱۰. درصد فراوانی سطح فراگیران در الگوی سولو

◆ بخش دوم: بدفهمی‌های دانش‌آموزان از مبحث مدنظر

با بررسی پاسخنامه‌های دانش‌آموزان، متوجه شدیم که آن‌ها دربارهٔ نیروی اصطکاک و مفاهیم وابسته به آن، مانند مفهوم نیرو و جرم، دچار بدفهمی‌هایی هستند و می‌توان این بدفهمی‌ها را به‌منزلهٔ یکی از مهم‌ترین علت‌های عملکرد ضعیف دانش‌آموزان در آزمون برشمرد؛ بنابراین شناسایی و تحلیل این موارد در تمام مباحث و موضوعات آموزشی، به‌ویژه مباحث دشوار و پیچیده، به‌منظور بهبود فرایند یاددهی ـ یادگیری امری ضروری تلقی می‌شود. پس از بررسی اشتباهات متداول دانش‌آموزان و دسته‌بندی آن‌ها، درنهایت مهم‌ترین و پرتکرارترین بدفهمی‌های حاصل از تحلیل پاسخ‌های فراگیران، به تفکیک هر سؤال آزمون در جدول ۱۲ خلاصه شده است.

جدول ۱۲. بدفهمی‌ها و گزاره‌های نادرست ارائه‌شده توسط دانش‌آموزان

ردیف	گزارهٔ نادرست	فراوانی	سؤال	
۱	• حداقل نیروی لازم برای به‌حرکت‌درآوردن یک جعبه روی سطح باید بیشتر از جرم جعبه باشد.	۱۲	الف	سؤال ۱
۲	• حداقل نیروی لازم برای به‌حرکت‌درآوردن جعبه باید بیشتر از نیروی اصطکاک جنبشی جسم باشد.	۸	الف	
۳	• با n برابرشدن نیروی وارد بر یک جسم در یک سطح بدون اصطکاک، به علت نبودن مقاومت در برابر حرکت، جسم شتاب بیشتری می‌گیرد و مقدار شتاب آن بیشتر از n برابر می‌شود.	۱۷	ب	
۴	• چه در سطح هموار، چه در سطح ناهموار، شتاب جسم با نیروی واردشده بر آن، رابطهٔ مستقیم دارد.	۲۳	ج	
۵	• شتاب حرکت جسم روی مسیرهای ناهموار بیشتر از مسیرهای هموار است؛ زیرا شتاب با نیرو رابط× مستقیم دارد و هرچه سطح ناهموارتر باشد، برای حرکت جسم باید نیروی بیشتری را وارد کرد.	۷	ج	
۶	• نیروی اصطکاک همواره در راستای افقی رسم می‌شود.	۳۸	الف	سؤال ۲
۷	• اگر چند جسم با جرم یکسان از ارتفاع یکسان اما از مسیرهای متفاوت سقوط کنند، سرعت برخورد آن‌ها به زمین با یکدیگر برابر است. در واقع، همواره از نیروی اصطکاک صرف‌نظر می‌کنند.	۲۴	ب	
۸	• در ارتفاع یکسان، هرچقدر جسم مسیر طولانی‌تری را روی سطح شیب‌دار طی کند، فرصت بیشتری برای سرعت‌گرفتن در برخورد به زمین دارد.	۲۱	ب	

جدول ۱۲. (ادامه)

ردیف	گزارهٔ نادرست	فراوانی	سؤال
۹	• نیروی اصطکاک همواره خلاف جهت حرکت جسم است.	۳۶	سؤال ۳
۱۰	• نیروی اصطکاک جسم ساکنی که روی سطح افقی قرار گرفته و نیروی افقی F بر آن وارد می‌شود، برابر است با حاصل‌ضرب ضریب اصطکاک و نیروی عمودی تکیه‌گاه.	۲۳	
۱۱	• وقتی به جسم نیروی خارجی اعمال می‌شود و جسم همچنان ساکن است، نیروی اصطکاک وارد بر آن، همواره صفر است.	۲۹	
۱۲	• طبق قانون اول نیوتن، حرکت با سرعت ثابت نیازی به اعمال نیرو ندارد.	۳۵	سؤال ۴
۱۳	• وقتی جسم با سرعت ثابت حرکت می‌کند، یعنی نیرویی باعث کندشدن حرکت جسم روی سطح نمی‌شود، بنابراین نیروی اصطکاک وارد بر آن صفر است.	۲۲	
۱۴	• نیروی اصطکاک با نیروی وزن خنثی می‌شود.	۱۳	

گزارهٔ ۶ این جدول نشان می‌دهد برخی از دانش‌آموزان تصور می‌کنند جهت نیروی اصطکاک همواره افقی رسم می‌شود. یکی از دلایل این موضوع، می‌تواند این باشد که اغلب مثال‌های بررسی‌شدهٔ مبحث اصطکاک در کتاب درسی، به حرکت جسم روی سطح افقی مربوط است که نیروی اصطکاک نیز به‌صورت افقی رسم می‌شود و تعداد اندکی از مثال‌ها مربوط به حرکت روی سطح عمودی (مانند مثال حرکت کتاب روی دیوار، سؤال ۱۴ تمرینات آخر فصل دوم فیزیک دوازدهم، صفحهٔ ۵۹) است. درخصوص سطح شیب‌دار نیز مثال مستقیمی ارائه نشده است.

براساس گزارهٔ ۹، دانش‌آموزان تصور می‌کنند جهت نیروی اصطکاک همواره خلاف جهت حرکت جسم است. ریشهٔ این بدفهمی به تعریف نیروی اصطکاک در کلاس و در کتاب درسی برمی‌گردد و بهتر است برای جلوگیری از آن، تعریف کتاب را به این صورت اصلاح کنیم: جهت نیروی اصطکاک وارد بر جسم مخالف حرکت واقعی یا حرکت قریب‌الوقوع جسم نسبت به سطح است. برای درک بهتر این موضوع، می‌توان راه‌رفتن را مثال زد. وقتی به راه‌رفتن کسی نگاه می‌کنیم، به‌صورت ظاهری، شخص را در حال حرکت رو به جلو می‌بینیم؛ بنابراین تصور می‌کنیم که نیروی اصطکاک وارد بر شخص خلاف جهت حرکت شخص؛ یعنی رو به عقب است. درحالی‌که برای راه‌رفتن، ما پای خود را رو به عقب می‌کشیم و زمین را به عقب هل می‌دهیم و چون جهت واقعی حرکت پا روی سطح زمین به سمت عقب است، اصطکاک خلاف جهت حرکت واقعی و رو به جلو به شخص وارد می‌شود (راهنمای معلم فیزیک ۳، ۱۳۹۸). این بدفهمی بین دانش‌آموزان بسیار رایج است. سروی و جویت[۲۳] (۲۰۱۴) در کتاب خود به نام فیزیک نوین برای دانشمندان و مهندسان[۲۴] با توجه به تجربیات و نتایج تحقیقات خود در مبحث اصطکاک، این گزاره را به‌عنوان یک دام یا همان بدفهمی بیان کرده‌اند.

در گزارهٔ ۱۱، دانش‌آموزان با این استدلال که نیروی اصطکاک به‌سبب حرکت یک جسم روی یک سطح به وجود می‌آید، دچار این بدفهمی می‌شوند که وقتی به یک جسم ساکن نیرو وارد می‌کنیم و همچنان ساکن می‌ماند، چون حرکتی از جسم روی سطح به وجود نیامده؛ بنابراین اصطکاکی نیز وجود ندارد. درحالی‌که دانش‌آموزان باید توجه کنند وقتی جسمی با وجود اعمال نیروی خارجی همچنان ساکن است، نیروی اصطکاک وارد بر آن، متغیر و برابر نیروی خارجی ولی در جهت مخالف آن است و آن را خنثی کرده است. در پژوهش زمانی (۱۳۹۴)، که در زمینهٔ نیروی اصطکاک انجام شده، به این بدفهمی اشاره شده است. همچنین چی[۲۵] در پژوهش‌های خود، به این بدفهمی اشاره می‌کند (زمانی، ۱۳۹۴). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که این گزاره یکی از بدفهمی‌های رایج دانش‌آموزان است و تعمیم و بسط غلط یک گزارهٔ درست، می‌تواند این بدفهمی را در ذهن دانش‌آموزان پدید آورد؛ بنابراین شایسته است که معلمان با ارزشیابی تکوینی دانش‌آموزان، به‌طور مداوم به آنچه در ذهن آن‌ها شکل می‌گیرد نظارت کنند.

برخی بدفهمی‌ها به‌دلیل اطلاعات نادرست فراگیران در زمینهٔ نیرو، جرم، قوانین نیوتن و روابط آن به وجود آمده است. برای مثال در گزارهٔ ۱، برخی از فراگیران مفهوم نیرو را با مفهوم جرم مقایسه کرده‌اند؛ درحالی‌که این دو کمیت، از دو جنس متفاوت و دارای دو یکای متفاوت (نیوتن و کیلوگرم) هستند. واضح است که دانش‌آموزان علاوه بر درک‌نکردن نیروی اصطکاک و حداقل نیروی لازم برای به‌حرکت‌درآوردن جعبه، در مفهوم جرم نیز دچار بدفهمی هستند. در پژوهشی که بصیری (۱۳۹۴) با محوریت مفهوم جرم انجام داده است، نشان می‌دهد دانش‌آموزان بدفهمی‌های زیادی دربارهٔ این مفهوم دارند و تعریف درست جرم، از آنچه در کتاب‌های درسی نوشته شده، بسیار ابهام‌آمیزتر است.

بررسی بدفهمی‌های به‌دست‌آمده از این پژوهش در مبحث نیروی اصطکاک، نشان می‌دهد که به برخی از آن‌ها در کتاب‌ها و پژوهش‌های مشابه نیز اشاره شده‌اند؛ اما سایر بدفهمی‌های مطرح‌شده، حاصل کاربرد الگوی ارزشیابی سولو است؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که این شیوهٔ ارزشیابی با دسته‌بندی نتایج یادگیری براساس پیچیدگی آن‌ها، می‌تواند ما را قادر به شناسایی بدفهمی‌های موجود در ذهن دانش‌آموزان کند. همچنین، قابلیت خود را در واکاوی الگوهای ذهنی و کشف بدفهمی‌های فراگیران اثبات کند.

■ بحث و نتیجه‌گیری ■

هدف از این پژوهش، تعیین سطح یادگیری دانش‌آموزان از مفهوم نیروی اصطکاک به کمک الگوی سولو است که موضوع اولین سؤال این پژوهش است. مطابق جدول ۱۱، بررسی پاسخ‌های دانش‌آموزان براساس الگوی سولو نشان می‌دهد در مبحث نیروی اصطکاک، ۸۳/۳٪ حجم نمونه در سطح تک‌ساختاری، ۲۹/۸٪ در سطح چندساختاری و ۲/۵٪ در سطح رابطه‌ای قرار دارند و هیچ‌کدام به بالاترین سطح یادگیری الگوی سولو (انتزاع تعمیم یافته) نرسیده‌اند. درک سطحی دانش‌آموزان از مباحث درسی

مختلـــف در یافته‌های تیان[۲۶] و همکاران (۲۰۲۴)، ایـــزدی و ریحانی (۱۴۰۰)، تقی‌پور (۱۳۹۹)، تقی‌پور و احمدی (۱۳۹۹)، تقی‌عجمی (۱۳۹۹) و حق‌جو و ریحانی (۱۳۹۸) نیز آشکار شده است. این آمار می‌تواند هشداری برای مؤلفان کتب درسی و دبیران باشد؛ چراکه نتایج این پژوهش‌ها نشان می‌دهد تعداد زیادی از دانش‌آموزان در سطوح پایین یادگیری قرار دارند و مفاهیم را به‌طور دقیق و عمیق نمی‌آموزند. این ضعف ممکن است ناشی از استانداردنبودن کتب درسی، ضعف دبیران در تدریس، بی‌علاقگی دانش‌آموزان، حفظ طوطی‌وار مطالب کتب درسی، درک‌نکردن صحیح دانش‌آموزان از مفاهیم و وجود پیش‌پندارهای غلط و بدفهمی در ذهن آنان باشد. به همین منظور، شناسایی و رفع این بدفهمی‌ها در موضوعات دشوار آموزشی ضرورت می‌یابد. با توجه به نتایج این پژوهش، می‌توان بدفهمی‌های دانش‌آموزان در مبحث اصطکاک را در چهار زمینهٔ جهت، مقدار، نوع و اثر نیروی اصطکاک دســـته‌بندی کرد. به باور محقق، تعیین جهت صحیح نیروی اصطـــکاک از مهم‌ترین و پرتکرارترین زمینه‌ها برای بدفهمی‌های دانش‌آموزان اســـت. همچنین دانش‌آموزان در مفاهیم دیگر، مانند نیرو، قوانین ســـه‌گانهٔ نیوتن، جرم، انرژی و...، که با نیروی اصطکاک ارتباط دارند، نیز دچار بدفهمی هستند.

بالابردن سطح یادگیری فراگیران از اهداف هر گروه آموزشی است و الگوی ارزشیابی سولو می‌تواند در رسیدن به این هدف به ما کمک کند. این پژوهش، تدوین طرح درس مبتنی بر الگوی سولو، یادگیری قدم‌به‌قدم و از ساده به پیچیده را پیشنهاد می‌کند. اجرای این نوع طرح درس در کلاس، می‌تواند میزان یادگیری دانش‌آموزان از یک موضوع را برای معلم آشکار کند و معلم با توجه به سطح آنان، قدم‌های بعدی را در تدریس خود بردارد. کارآمدبودن فرایند سلسله‌مراتبی الگوی سولو در پژوهش دیویس و منصور[۲۷] (۲۰۲۲) نیز تأیید شده است. همچنین استفاده از این الگو می‌تواند به شناسایی بدفهمی‌های فراگیران دربارهٔ مبحث مدنظر منجر شـــود. معلمان با آگاهـــی از بدفهمی‌ها، هنگام تدریس روی جملات و محتوای کتاب دقت بیشـــتری می‌کنند. با تأکید بر اشتباهات رایج فراگیران، می‌توان از بروز بدفهمی‌ها جلوگیری کرد و درنتیجه، یادگیری معنادار و ارتقای ســـطح یادگیری دانش‌آمـــوزان اتفاق می‌افتد؛ همان‌طور که تیان و همـــکاران (۲۰۲۴) نیز در پژوهش خود، از الگوی ســـولو به‌عنوان ابزاری مفید برای شناســـایی مشکلات یادگیری دانش‌آموزان استفاده کردند و آگاهی معلمان از این مشکلات را گامی ضروری برای فرایند یادگیری در نظر گرفتند. علاوه بر موارد ذکرشده، الگوی سولو می‌تواند برای خودارزیابی توسط دانش‌آموزان نیز به کار گرفته شود تا بتوانند درک بهتری از سطح یادگیری خود داشـــته و برای بهبود آن تلاش کنند. پژوهش ویلیـــام[۲۸] و همکاران (۲۰۱۹) نیز در این راستا نشان می‌دهد استفاده از الگوی سولو تأثیر مثبتی در خودارزیابی دانش‌آموزان دارد.

درنهایت، الگوی سولو یادآوری می‌کند که در ارزیابی یادگیری، کیفیت پاسخ مهم‌تر از حجم مطالبی است که برای پاسخ ارائه می‌شود.

روند اجرای هر پژوهش ممکن است با موانعی روبه‌رو شود و این تحقیق نیز از این قاعده مستثنا نیست. به علت محدودیت جلسات درس فیزیک و کمبود وقت برای تدریس، عموماً دبیران فیزیک تمایلی به همکاری برای اجرای آزمون نداشتند؛ بنابراین در این پژوهش، از نمونهٔ آماری دردسترس استفاده شد. به همین سبب، در تعمیم نتایج باید احتیاط کرد. برخی از دانش‌آموزان نیز به‌دلیل داوطلبانه‌بودن شرکت در آزمون و تأثیرنداشتن آن در نمرهٔ کلاسی، از همکاری با پژوهشگر خودداری کردند و این موضوع باعث کاهش نمونهٔ آماری شد. همچنین کمبود پژوهش‌ها در زمینهٔ درس فیزیک براساس الگوی سولو و نبود آزمون استاندارد در مبحث اصطکاک براساس این الگو، از محدودیت‌های این پژوهش بود. به همین دلیل، برای افزایش اعتبار نتایج، از نظرات استادان و دبیران متخصص در زمینهٔ آموزش فیزیک بهره گرفته شد.

پیشنهادهای این پژوهش به سه گروه معلمان، مؤلفان و پژوهشگران، که از مهم‌ترین مخاطب‌های این پژوهش هستند، ارائه می‌شود. با توجه به میزان چشمگیر بدفهمی‌های دانش‌آموزان در موضوع این پژوهش، پیشنهاد می‌شود معلمان در تدریس مباحث به‌ظاهر ساده ولی پیچیده مانند اصطکاک، به طرح‌واره‌های ذهنی دانش‌آموزان و دانش پیشین آن‌ها توجه کافی داشته باشند و با کمک الگوی سولو، کیفیت آموخته‌های فراگیران را دائم بررسی کنند. همچنین آموزش‌وپرورش می‌تواند با ارائهٔ همایش یا دوره‌های ضمن خدمت، آگاهی معلمان را به سلسله‌مراتب میزان یادگیری بالا ببرد تا در فرایند تدریس گام‌به‌گام، از آن بهره بگیرند. با توجه به عملکرد ضعیف فراگیران در سطوح بالای الگوی سولو، به‌منظور ارتقای میزان یادگیری دانش‌آموزان، به مؤلفان پیشنهاد می‌شود که در تنظیم محتوای کتاب‌های درسی از سؤالاتی با سطوح بالای یادگیری به میزان بیشتری بهره گرفته شود. به پژوهشگران نیز توصیه می‌شود کارآمدبودن الگوی سولو و سایر الگوهای ارزشیابی را در دیگر مباحث پیچیدهٔ درس فیزیک یا حوزه‌های دیگر آموزش علوم بررسی کنند. در پایان، با توجه به نقش اصلی معلم در شکل‌گیری طرح‌واره‌های یادگیری دانش‌آموزان، انجام پژوهش‌های دیگر با هدف شناسایی بدفهمی معلمان در مباحث آموزشی نیز مفید خواهد بود.

تشکر و قدردانی

نویسندهٔ دوم مقاله از دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، بابت حمایت مالی با شماره پژوهانهٔ ۳۷۹۵/۸۲۱ تشکر و قدردانی می‌کند.

منابع
REFERENCES

ایزدی، محمد، و ریحانی، ابراهیم. (۱۴۰۰). بررسی درک دانش‌آموزان دورهٔ دوم ابتدایی شهر تهران از مفهوم کسر (زیرساختار جزء به کل) براساس دو نظریهٔ APOS و SOLO. *پژوهش در برنامه‌ریزی درسی، ۱۸* (۶۸)، ۱۲۴-۱۴۱.
https://doi.org/10.30486/jsre.2021.1875155.1435

بصیری، ناصر. (۱۳۹۴). *بررسی سیر تاریخی تحول مفهوم جرم و شناسایی کج‌فهمی‌های دانشجویان کارشناسی فیزیک در مورد مفهوم جرم* [پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی]. ایرانداک.

تقی‌پور، مینا، و احمدی، فاطمه. (۱۳۹۹، ۲۵ شهریور). *بررسی سطح یادگیری فراگیران در درس فیزیک به کمک طبقه‌بندی Bloom و مدل SOLO* [مقالهٔ ارائه‌شده در کنفرانس]. ششمین کنفرانس بین‌المللی روان‌شناسی، علوم تربیتی و سبک زندگی، تفلیس، گرجستان.
https://www.sid.ir/paper/900345/fa

تقی‌پور، مینا. (۱۳۹۹). *بررسی ساختار نتایج یادگیری قابل‌مشاهدهٔ فراگیران از فیزیک شناوری به کمک حل یک تکلیف* [پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی]. ایرانداک.

تقی‌عجمی، رعنا. (۱۳۹۹). *طبقه‌بندی ساختار یادگیری قابل‌مشاهدهٔ فراگیران از قوانین نیوتن و بررسی سطوح یادگیری آن‌ها* [پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی]. ایرانداک.

حق‌جو، سعید، و ریحانی، ابراهیم. (۱۳۹۸). مطالعهٔ عملکرد دانش‌آموزان دورهٔ دوم متوسطه در حل یک تکلیف توانایی فضایی با استفاده از نظریهٔ SOLO. *نشریهٔ علمی - پژوهشی فناوری آموزش، ۱۵* (۴)، ۶۳۶-۶۵۳. https://doi.org/10.22061/jte.2018.3687.1918

زمانی، زهرا. (۱۳۹۴). *شناسایی مدل‌های ذهنی و کج‌فهمی‌های دبیران و دانش‌آموزان سال دوم دبیرستان در زمینهٔ نیروی اصطکاک و طراحی چند فعالیت جهت تدریس این نیرو و رفع کج‌فهمی‌ها* [پایان‌نامهٔ کارشناسی‌ارشد، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی]. ایرانداک.

سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی. (۱۳۹۸). *راهنمای معلم فیزیک ۳ پایهٔ دوازدهم*. شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران.
http://chap.sch.ir/books/7950

سجادی، سید هدایت. (۱۴۰۰). علم‌شناسی و آموزش علوم: چارچوبی نظری در به‌کارگیری تاریخ و فلسفهٔ علم در آموزش علوم‌تجربی. *فصلنامهٔ تعلیم‌وتربیت، ۱۷* (۳)، ۷-۲۶. https://qjoe.ir/article-1-3121-fa.html

فولادی، فاطمه، و کریمی حاجی خادمی، عادله. (۱۳۹۷، ۱ اردیبهشت). *چگونه می‌توان دانش‌آموزان را به درس فیزیک علاقه‌مند کرد؟* [مقالهٔ ارائه‌شده در کنفرانس]. چهارمین همایش علمی‌پژوهشی استانی از نگاه معلم، میناب، بندرعباس.
https://civilica.com/doc/778821/

محبوبی، خدیجه، وصالی، منصور و سعادت، مهدی (۱۳۹۰). بررسی تأثیر آموزش تاریخ فیزیک بر دانش و نگرش شاگردان دختر پایهٔ دوم دبیرستان. *نوآوری‌های آموزشی، ۱۰* (۳۷)، ۵۳-۷۰. https://noavaryedu.oerp.ir/article_78939.html

هیوئیت، پل. (۱۳۹۹). *فیزیک مفهومی (جلد اول: مکانیک)* (منیژه رهبر، مترجم، چاپ هشتم). نشر فاطمی.

یوسفی‌نژاد، اکرم. (۱۳۹۷). *شناسایی اثربخش‌ترین فنون تدریس در الگوی آموزش مستقیم براساس پیشرفت تحصیلی دانش‌آموزان در آموزش دروس محاسباتی* [پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ علوم انسانی، دانشگاه کاشان].
https://lib.kashanu.ac.ir/Inventory/7/11344.htm

Biggs, J., & Collis, K. F. (1982). *Evaluating the quality of learning: The SOLO taxonomy* (Structure of the Observed Learning Outcome). Academic Press.

Davies, O., & Mansour, N. (2022). Exploring the use of cognitive science approaches alongside SOLO taxonomy as a pedagogical framework to build deeper knowledge in science and foundation subjects at primary schools in the UK. *Education Sciences, 12*(8), Article 523. https://doi.org/10.3390/educsci12080523

Dharmasaroja, P. (2023). The use of SOLO taxonomy in medical education training for medical teachers. *Ramathibodi Medical Journal, 46*(2), 54–63. https://doi.org/10.33165/rmj.2023.46.2.262412

Ginat, D., & Menashe, E. (2015). SOLO taxonomy for assessing novices' algorithmic design. In A. Decker, K. Eiselt, J. Tims, & C. Alphonce (Eds.), *SIGCSE'15, Proceedings of the 46th ACM Technical Symposium on*

Computer Science Education (pp. 452-457). Association for Computing Machinery. https://doi.org/10.1145/2676723.2677311

Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2014). *Fundamentals of physics* (10th ed., Vol. 1). Wiley.

Hewitt, P. G. (2015). *Conceptual physics* (12th ed.). Pearson Education.

Knight, R. D. (2013). *Physics for scientists and engineers: A strategic approach* (3rd ed.). Pearson.

Lucander, H., Bondemark, L., Brown, G., & Knutsson, K. (2010). The structure of observed learning outcome (SOLO) taxonomy: A model to promote dental students' learning. *European Journal of Dental Education, 14*(3), 145-150. https://doi.org/10.1111/j.1600-0579.2009.00607.x

Morris, J. (2001). The conceptions of the nature of learning of first-year physiotherapy students and their relationship to students' learning outcomes. *Medical Teacher, 23*(5), 503-507. https://doi.org/10.1080/01421590120057067a

Pegg, J. (1992). Assessing students' understanding at the primary and secondary level in the mathematical sciences. In J. Izard & M. Stephens (Eds.), *Proceedings of the Reshaping Assessment Practice: Assessment in the Mathematical Sciences Under Challenge Conference* (pp. 368–385). Australian Council of Educational Research. https://B2n.ir/t10053

Pegg, J., & Tall, D. (2005). The fundamental cycle of concept construction underlying various theoretical frameworks. *ZDM – The International Journal on Mathematics Education, 37*(6), 468-475. http://dx.doi.org/10.1007/BF02655855

Putri, U. H., Mardiyana, M., & Saputro, D. R. S. (2017). How to analyze the students' thinking levels based on SOLO taxonomy? International Conference on Mathematics and Science Education. *Journal of Physics: Conference Series, 895*, Article 012031. https://doi.org/10.1088/1742-6596/895/1/012031

Redish, E. F. (2003). *Teaching physics with the Physics Suite* (CD-ROM / Trade Paperback). John Wiley & Sons.

Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2014). *Physics for scientists and engineers with modern physics* (9th ed.). Cengage Learning.

Tian, P., Fan, Y., Sun, D., & Li, Y. (2024). Evaluating students' computation skills in learning amount of substance based on SOLO taxonomy in secondary schools. *International Journal of Science Education, 46*(15), 1578–1600. https://doi.org/10.1080/09500693.2023.2291691

Williams, M., Lluka, L. J., Meyer, J., & Chunduri, P. (2019). SOLO-based task to improve self-evaluation and capacity to integrate concepts in first-year physiology students. *Advances in Physiology Education, 43*(4), 486-494. https://doi.org/10.1152/advan.00040.2019

پی‌نوشت‌ها

1. Piaget Stages
2. Vygotsky
3. Actio. Proces. Objec. Schema (APOS)
4. Bloom
5. Van Hiele Levels
6. Structure of Observed Learning Outcome (SOLO)
7. Peg. Tall
8. Dharmasaroja
9. Gina. Menashe
10. Lucander
11. Bigg. Collis
12. Morris
13. Prestructural
14. Unistructural
15. Multistructural
16. Relational
17. Extended Abstract
18. Putri
19. Conceptual Physics by Paul G. Hewitt
20. Teaching Physics with the Physics Suite CD by Redish
21. Fundamentals of physics, by Halliday
22. Physics for scientists and engineers. strategic approach by Knight
23. Serwa. Jewett
24. Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics
25. Chee
26. Tian
27. Davie. Mansour
28. Williams