Educational and Scholastic Studies *http://pma.cfu.ac.ir/*
Vol. 12, No. 2, Summer 2023 *Print ISSN: 2423-494X*
pp. 377- 408 *Online ISSN: 2645-8098*

Investigating on the Structure of Observed Learning Outcomes from the Floating Physics Using a Test Based on SOLO Taxonomy

Mina Taghipor[1], Fatemeh Ahmadi[2*], Ebrahim Reyhani[3]

1. M.A. Student in Physics Education, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran
2. Associate Professor, Department of Physics, Faculty of Basic Sciences, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran
3. Associate Professor, Department of Mathematics, Faculty of Basic Sciences, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran

(Received: July 12, 2021; Accepted: September 30, 2021)

Abstract

The training process has several stages, one of the most important of which is the evaluation of training programs. One of the new evaluation models that can be used as a qualitative tool in assessing students' level of learning is the solo evaluation model. The purpose of this study is to investigate the structure of learners' observable learning outcomes in physics by solving a test and evaluating their answers using the solo model. The method of this research is descriptive, survey type. The statistical population of this study is female high school students in Fardis city, from which 251 students of 10th, 11th, and 12th grade have been selected by multi-stage random cluster sampling. The results show that on average 82% of tenth-grade students, 65% of eleventh-grade students and 86% of twelfth-grade students of theoretical schools in Fardis city are at the Unistructural level and almost none which did not reach the high levels of solo, that is, the levels of relational and extended abstract.

Keywords: Assessment, Floating physics, Learning, Science education, SOLO Taxonomy.

* **Corrensponding Author, Email:** fahmadi@sru.ac.ir

مطالعات آموزشی و آموزشگاهی
دورهٔ ۱۲، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۴۰۲
صفحات ۴۰۸ ـ ۳۷۷

http://pma.cfu.ac.ir/
شاپای چاپی: ۲۴۲۳-۴۹۴X
شاپای الکترونیکی: ۲۶۴۵-۸۰۹۸

بررسی ساختار نتایج یادگیری قابل مشاهده از مبحث فیزیک شناوری به کمک یک آزمون با استفاده از نظریهٔ SOLO

مینا تقی‌پور کرده مهین[۱]، فاطمه احمدی[۲*]، ابراهیم ریحانی[۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد آموزش فیزیک، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران
۲. دانشیار، گروه فیزیک، دانشکدهٔ علوم پایه، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران
۳. دانشیار، گروه ریاضی، دانشکدهٔ علوم پایه، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۰۸)

چکیده

فرایند آموزش مراحل مختلفی دارد که یکی از مهم‌ترین این مراحل، ارزیابی برنامه‌های آموز شی ا ست. یکی از مدل‌های ارز شیابی نوین که می‌توان به عنوان یک ابزار کیفی در ارزیابی سطح یادگیری دانش‌آموزان به کار برد، مدل ارز شیابی سولو ا ست. هدف از این پژوهش، بررسی ساختار نتایج یادگیری قابل مشاهده فراگیران در درس فیزیک، به کمک حل یک آزمون و ارزیابی پاسخ‌های آن‌ها به کمک مدل سولو است. روش این تحقیق، توصیفی از نوع پیمایشی است. جامعهٔ آماری این پژوهش، دانش‌آموزان دختر دورهٔ دوم متوسطهٔ شهرستان فردیس هستند که از میان آن‌ها ۲۵۱ نفر ازدانش‌آموزان پایه دهم، یازدهم و دوازدهم به طور نمونه‌گیری خوشه‌ای تصادفی چندمرحله‌ای، انتخاب شده‌اند. نتایج ن شان می‌دهد که به طور میانگین ۸۲ در صد دانش‌آموزان پایهٔ دهم، ۶۵ در صد از دانش‌آموزان پایه یازدهم و ۸۶ درصد از دانش‌آموزان پایهٔ دوازدهم مدارس نظری شهرستان فردیس، در سطح تک‌ساختاری قرار دارند و تقریباً هیچ‌یک به سطوح بالای سولو یعنی سطوح رابطه‌ای و انتزاع تعمیم‌یافته دست نیافتند.

واژگان کلیدی: ارزشیابی، آموزش‌علوم، طبقه‌بندی سولو، فیزیک شناوری، یادگیری.

* نویسندهٔ مسئول، رایانامه: fahmadi@sru.ac.ir

مقدمه

براساس بیان هرگنهان والسون[1] (۱۹۹۷)، یادگیری، بنیان اصلی رفتار انسان‌هاست. از راه یادگیری می‌توان روی محیط زندگی خود تأثیر گذاشت و یا از آن تأثیر پذیرفت. یادگیری یکی از مهم‌ترین زمینه‌ها در روان‌شناسی امروز و در عین حال یکی از مشکل‌ترین مفاهیم برای تعریف‌کردن است (سیف، ۱۳۹٦).

روان‌شناسان همواره در پی تبیین فرایند یادگیری بوده‌اند. سه دیدگاه مهم در تبیین فرایند یادگیری وجود دارد. بر اساس دیدگاه رفتارگرایان، یادگیری، تغییر نسبتاً پایدار توان رفتاری فرد است که بر اثر تمرین تقویت می‌شود. این نظریه به شرطی‌سازی رفتارهای عینی انسان توجه دارد (بام[2]، ۲۰۱۱). در مقابل، شناخت‌گرایان بر این باورند که، یادگیری یک فرایند درونی است که ممکن است به صورت تغییر فوری در رفتار آشکار ظاهر نشود (فتحی آذر، ۱۳۹۱). دیدگاه ساخت‌گرایی در دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ ظهور کرد. به اعتقاد آن‌ها دانش از بیرون یا از دیگران کسب نمی‌شود، بلکه یادگیرنده، فعالانه دانش را می‌سازد (سانتراک، ۱۳۹۱) و در این صورت است که یادگیری معنادار می‌شود. یادگیری معنادار یعنی یادگیری‌ای که در آن فرد یادگیرنده بتواند پیوندی میان مطلبی که جدیداً آموخته و مطالب آموخته‌شده قبلی خود ایجاد کند (سیف، ۱۳۹۳).

بسیاری از یادگیری‌های آدمیان، بدون آنکه آموزش رسمی دریافت کنند صورت می‌گیرد، اما از زمانی که در پی کسب اطلاعات نظام دار و ساختمندی همچون خواندن، نوشتن، حساب‌کردن، علوم، ادبیات، تاریخ جوامع و ... برمی‌آیند، آموزش رسمی ضرورت می‌یابد (ابراهیمی قوام و حسینزاده یوسفی، ۱۳۸۷). مهمترین رکن توسعه در ابعاد فردی و اجتماعی، آموزش است؛ که سازندگی و تعالی انسان را به همراه دارد. در اکثر جوامع توسعه‌یافته و در حال توسعه، آموزش، به‌خصوص آموزش علوم، یکی از مولفه‌های اصلی در ارتقا جامعه به حساب می‌آید و تلاش می‌شود تا همهٔ فراگیران، با اصول و مفاهیم علوم آشنا شوند و سواد علمی مورد نیاز برای زندگی در جامعهٔ

1. Hergenahn and Olson
2. Baum

امروزی را کسب کنند. آموزش و پرورش در دنیای امروز مفهومی متفاوت با گذشته دارد و ضروری است برای ایجاد تحول در نظام آموزشی، علاوه بر ایجاد تحول در خرده‌سیستم‌های مختلف، در نگرش و تدریس معلمان نیز تحولاتی ایجاد شود. برای دستیابی به چنین تحولی معلمان باید دانش و بینشی صحیح از نظریه‌ها و راهبردهای مختلف و جدید آموزشی داشته باشند (شعبانی، ۱۳۹۱). یکی از مهمترین دلایل کاهش انگیزهٔ فراگیران نسبت به یادگیری برخی مواد درسی و از جمله درس فیزیک، هم می‌تواند به دلیل ناآگاهی معلمان از شیوه‌های نوین تدریس و ارزشیابی و استفاده از راهبردهای ناکارآمد در کلاس درس باشد.

فرایند آموزش مراحل مختلفی دارد که مهمترین آن‌ها: نیازسنجی آموزشی، تعیین اهداف آموزشی، انتخاب روش آموزش، اجرای برنامهٔ آموزشی و ارزیابی آن است. یک آموزش موفق، مستلزم به‌کارگیری الگوهای تدریس نوین و اثربخش و تنوع در استفاده از مواد و منابع آموزشی است. علاوه بر این‌ها، استفاده از یک روش ارزشیابی کارآمد از اهمیت بالایی برخوردار است؛ زیرا معلمان برای اینکه بتوانند گام‌های بعدی تدریس خود را به‌درستی انتخاب کنند، نیاز است که در هر مرحله از تدریس بدانند که در ذهن دانش‌آموزانشان چه چیزی می‌گذرد و آن ها در چه سطحی از یادگیری قرار گرفته‌اند تا بتوانند به‌درستی آن‌ها را در یادگیری هدایت کنند. در طراحی برنامهٔ درسی، ارزشیابی مهم‌ترین و حیاتی‌ترین مرحله به حساب می‌آید که در تمامی مراحل آموزش باید انجام شود (ملکی و محمدی‌فر، ۱۳۸۸).

نتایج آزمون تیمز (۲۰۱۹) نشان می‌دهد متوسط درصد پاسخ دانش‌آموزان ایرانی به سؤالات در مقایسه با میانگین کشورهای شرکت‌کننده، ۲۰ تا ۳۰ درصد پایین‌تر است (واحد اشاعه و کاربست یافته‌های پژوهشی، ۱۳۹۸). این امر گویای این موضوع است که، شیوه‌های آموزشی ایران دانش‌آموزان را به سطوح بالای یادگیری نمی‌رساند و در نتیجه آن‌ها عملکرد خوبی در آزمون‌های استاندارد بین‌المللی ندارند. همه می‌دانیم که بهبود نظام سنجش و ارزشیابی هر سیستم آموزشی، سهم بسزایی در کیفیت یاددهی–یادگیری معلمان و دانش‌آموزان ایفا می‌کند. با به کارگیری روش‌های

ارزشیابی مناسب، می‌توان الگوهای فکری و بدمفهومی[1]های فراگیران را شناسایی کرد و به اصلاح آن‌ها پرداخت.

شیوه‌های مختلفی برای ارزشیابی وجود دارد که از میان آن‌ها می‌توان به رهیافت قدیمی بلوم[2] و مدل‌های نوین ای پاس[3] و سولو اشاره کرد. یکی از مدل‌های ارزشیابی کارآمد که می‌توان به عنوان ابزاری کیفی در ارزیابی سطح یادگیری دانش‌آموزان به کار برد، مدل ارزشیابی سولو است. این طبقه‌بندی اولین‌بار توسط جان بیگز[4] و کوین کولیس[5] در سال ۱۹۸۲ در نیویورک، ایالات متحده معرفی شد (بیگز و کولیس[6]، ۱۹۸۰). SOLO مخفف عبارت Structure of Observed Learning Outcome می‌باشد که ما آن را ساختار نتایج یادگیری قابل مشاهده یا ساختار نتایج مشهود یادگیری تعریف می‌کنیم. طبقه‌بندی سولو بر اساس تجزیه و تحلیل دقیق پاسخ‌های دانش‌آموز به سؤالات ارزیابی، بنا شده است (بیگز و کولیس، ۱۹۸۰). بر اساس مدل سولو، پاسخ‌های فراگیران به سؤالات ارزیابی از دو جنبه توصیف می‌شود؛ یکی براساس نوع تفکر آن‌ها با استفاده از پنج حالت رشد شناختی (حسی- حرکتی، تصویری، عینی- نمادین، صوری و فراصوری) و دیگری، توصیف کیفیت پاسخ‌ها با استفاده از پنج سطح پیش‌ساختاری[7]، تک‌ساختاری[8]، چندساختاری[9]، رابطه‌ای[10] و انتزاع-تعمیم‌یافته[11]. این مدل در حقیقت، به معنای دسته‌بندی نتایج یادگیری بر اساس درجهٔ پیچیدگی آن‌هاست، که ما را قادر به ارزیابی کار دانش‌آموزان بر اساس کیفیت آن می‌کند، نه بر اساس حجم مطالبی که درست نوشته‌اند (حق‌جو و ریحانی، ۱۳۹۸).

تاکنون هیچ پژوهشی در زمینهٔ طبقه‌بندی سطوح یادگیری و شناختی دانش‌آموزان و دانشجویان

1. Misconception
2. Bloom
3. APOS: Action, Process, Object and Schema
4. John Biggs
5. Kevin F. Collis
6. Biggs & Collis3
7. Prestructural
8. Unistructural
9. Multistructural
10. Relational
11. Extended abstract

به کمک طبقه‌بندی سولو در داخل و خارج کشور در رشتهٔ فیزیک انجام نشده است، ولی تحقیقات مشابهی درحوزه‌های مختلف علی‌الخصوص در رشتهٔ ریاضیات در ایران و جهان وجود دارد که به نمونه‌هایی از آن‌ها اشاره می‌شود:

در یک پژوهش که توسط حق‌جو و ریحانی (۱۳۹۸) انجام گرفته است، توانایی مهارت‌های فضایی دانش‌آموزان در حل یک تکلیف بررسی شد و پاسخ‌های آن‌ها بر اساس طبقه‌بندی سولو مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. آن‌ها در تحقیق خود ضمن معرفی اجمالی نظریه سولو، سؤالی از آزمون استاندارد پردو[1] در مورد تجسم فضایی انتخاب کردند که روایی صوری و محتوایی آن توسط سه نفر از اساتید آموزش ریاضی و چهار نفر از دبیران هندسه مورد تأیید قرار گرفته است. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد، که در زمینهٔ تجسم فضایی، ۵۹ درصد دانش‌آموزان مدارس معمولی در سطح تک‌ساختاری قرار دارند. در این آزمون دانش‌آموزان هنرستانی هیچ‌یک به سطوح چندساختاری و رابطه‌ای نرسیدند (حق‌جو و ریحانی، ۱۳۹۸).

تحقیق دیگری دربارهٔ مدل سولو مجدداً در درس ریاضی توسط تقی‌زاده و سیدموسوی (۱۳۹۶) انجام گرفته است که محققان در آن به بررسی عملکرد حل مسئلهٔ اعداد کسری و اعداد اعشاری دانش‌آموزان دبستانی و نیز کاهش بدفهمی‌های آنان در این دو مبحث به روش طبقه‌بندی سولو پرداخته‌اند. نتایج پژوهش نشان داد که اکثر دانش‌آموزان در سطح تک‌ساختاری قرار دارند و عملکرد حل مسأله اعداد کسری و اعشاری دانش‌آموزان از سطح تک ساختاری به رابطه‌ای کاهش می‌یابد (تقی‌زاده و سیدموسوی، ۱۳۹۶).

پژوهش دیگری توسط مولبار، بدل رحمان و احمر[2] (۲۰۱۷) انجام گرفته است. هدف از این مطالعه، توصیف توانایی حل مسئلهٔ ریاضی دانشجویان سال اول گروه آمار دانشگاه نگری ماکاسار[3] واقع در اندونزی است. فرضیهٔ این پژوهش این بوده است که دانش‌آموزانی که از سبک شناختی

1. Purdue
2. Mulbar, Rahman & Ahmar
3. Negeri Makassar

مستقل از رشته[1] برخوردارند، از نظر سطح طبقه‌بندی سولو برای حل مسئلهٔ ریاضیات، نسبت به دانش‌آموزانی که سبک شناختی وابسته به رشته[2] دارند، توانایی و عملکرد بهتری دارند. تمرکز این پژوهش بر تعیین توانایی حل مسئلهٔ دانشجویان ریاضیات با سبک‌های شناختی متفاوت، براساس طبقه‌بندی سولو بود (مولبار، رحمان و احمر[3]، ۲۰۱۷).

آهمت سوکرو ازدمیر و سودا گکتپ ییلدیز[4] (۲۰۱۵) به بررسی توانایی فضایی معلمان ریاضی پیش از خدمت دبستان بر اساس مدل SOLO پرداختند. بدین منظور سه نمونه با مهارت‌های فضایی مختلف انتخاب شدند و مصاحبه‌های بالینی روی این نمونه‌ها اجرا شد. داده‌ها به طور کیفی بررسی شد و شیوهٔ توصیفی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. داده‌های گردآوری شده نشان می‌دهند، با افزایش توانایی فضایی معلمان پیش از خدمت، قدرت استدلال آن‌ها نیز افزایش می‌یابد (ازدمیر و ییلدیز، ۲۰۱۵).

پژوهش دیگری در سال ۲۰۰۷ انجام گرفته است که در آن به توضیح اصول ILO[5] و سولو می‌پردازد و آن‌ها را مورد بحث قرار می‌دهد، نمونه‌هایی از نحوهٔ ساخت برنامه‌های درسی جدید را ارائه می‌دهد و فرایندی را که توسط آن‌ها شکل گرفته است، شرح می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد طبقه‌بندی سولو ابزار خوبی است که به ایجاد بحث دربارهٔ اهداف یک دورهٔ تحصیلی و تدوین نتایج یادگیری مورد نظر کمک می‌کند. (برابرند و دهل[6]، ۲۰۰۷).

جان پگ و دیوید تال[7] (۲۰۰۵) در تحقیقی به نحوهٔ توسعهٔ مفاهیم ریاضی در طول زمان پرداختند. این توسعه، با استفاده از دیدگاه‌های نظری مختلف، از جمله مدل سولو و تئوری‌های مختلف ساخت مفهوم، مورد بررسی قرار می‌گیرد تا یک چرخهٔ اساسی در زیربنای ساختمان مفاهیم را، که به طور گسترده در روش‌های مختلف تفکر در طول یادگیری ریاضی رخ می‌دهد، نشان دهد (پگ و تال، ۲۰۰۵).

1. Field-independent cognitive style (FI)
2. Field-dependent cognitive style (FD)
3. Mulbar, Rahman & Ahmar
4. Ahmet Şükrü ÖZDEMİRa, Sevda GÖKTEPE YILDI
5. ILO:Intended learning outcomes
6. Brabrand & Dahl
7. John Pegg & David Tall

هدف از این پژوهش، بررسی ساختار نتایج یادگیری قابل مشاهدهٔ فراگیران در درس فیزیک، از مبحث فیزیک شناوری به کمک حل یک آزمون و ارزیابی پاسخ‌های آن‌ها به کمک مدل سولو می‌باشد.

با توجه به ضرورت‌هایی که برای آموزش این مفهوم در سطح مدرسه احساس می‌شود، باید بدمفهومی‌هایی که مانع یادگیری معنادار هستند، شناسایی و رفع شوند. نگارندگان با اطلاعاتی که کسب کرده بودند، متوجه شدند که، تعداد زیادی از دانش‌آموزان، حتی دانشجویان رشتهٔ فیزیک در مبحث فیزیک شناوری، با بد مفهومی‌هایی رو به رو هستند. بدین دلیل و به دلیل نبود تحقیقات کافی در این زمینه، نگارندگان با طراحی آزمونی از این مبحث و برگزاری این آزمون در مدارس دورهٔ دوم متوسطه و تجزیه و تحلیل پاسخ‌های دانش‌آموزان، دیدگاه‌های ذهنی آن‌ها را در مبحث فیزیک شناوری بررسی کردند و به تعیین سطح یادگیری شناختی آن‌ها بر اساس مدل سولو پرداختند.

در این مطالعه ابتدا به بررسی چگونگی تحلیل و تفسیر پاسخ‌های دانش‌آموزان به آزمون طراحی شده پرداخته، سپس، سطح ساختار یادگیری دانش‌آموزان دورهٔ دوم متوسطه را در مبحث فیزیک شناوری تعیین می‌کنیم.

معرفی رهیافت *SOLO*

SOLO مخفف عبارت Structure of Observed Learning Outcome می‌باشد که ما آن را ساختار نتایج یادگیری قابل مشاهده یا ساختار نتایج مشهود یادگیری تعریف می‌کنیم. این طبقه‌بندی اولین‌بار توسط جان بیگز و کوین کولیس (۱۹۸۲) در نیویورک معرفی شد (بیگز و کولیس، ۱۹۸۰). طبقه‌بندی سولو روشی منظم برای توصیف عملکرد دانش‌آموز هنگام مطالعه یا انجام یک کار، به‌ویژه نوع کارهایی که در مدرسه انجام می‌شود، ارائه کرده است (مولبار، رحمان و احمر، ۲۰۱۷). سولو ریشه در مراحل رشدی پیاژه و مفاهیم پردازش اطلاعات توسعه‌یافته در طول دهۀ ۱۹۷۰ دارد (بیگز، ۲۰۰۳). همچنین، نقاط اشتراک زیادی با قواعد نئوپیاژه‌ای دارد. مفهوم پردازش اطلاعات در آغاز در حوالی سال‌های ۱۹۶۰ میلادی با تأثیرپذیری از نظریهٔ اطلاعات در زمینهٔ نظام فیزیکی ارتباطات از طرف روان‌شناسان شناختی به کار برده شد و بیان‌کنندهٔ این بود که ارگانیسم انسانی روی تجسم‌های

درونی و ذهنی خود عملیاتی به صورت کامپیوتر انجام می‌دهد. اطلاعات از لحظه ارائه به حواس در مرحلهٔ درون‌داد تا پاسخ‌های رفتاری در مرحلهٔ برون‌داد، به طور فعال کدگذاری می‌شود و تغییر شکل و سازمان می‌یابد. دیدگاه پردازش اطلاعات مانند نظریهٔ شناختی – رشدی پیاژه، افراد را به صورت موجودات فعال و معقولی در نظر می‌گیرد که در پاسخ به در خواست‌های محیطی، تفکر خودشان را تغییر می‌دهند، اما برخلاف پیاژه مراحل رشد وجود ندارد، بلکه فرایندهای فکری مثل ادراک، توجه، حافظه، راهبردهای برنامه‌ریزی و ... در تمام سنین مشابه فرض شده‌اند، ولی به درجات کمتر یا بیشتر آشکار می‌شود.

طبقه‌بندی سولو بر اساس تجزیه و تحلیل دقیق پاسخ‌های دانش‌آموز به سؤالات ارزیابی، بنا شده است (بیگز و کولیس،۱۹۸۰). بر اساس این مدل، پاسخ‌های فراگیران به سؤالات ارزیابی از دو جنبه توصیف می‌شود؛ یکی براساس نوع تفکر آن‌ها با استفاده از پنج حالت رشد شناختی (حسی– حرکتی، تصویری، عینی– نمادین، صوری و فراصوری) و دیگری، توصیف کیفیت پاسخ‌ها با استفاده از پنج سطح پیش‌ساختاری[1]، تک‌ساختاری[2]، چندساختاری[3]، رابطه‌ای[4] و انتزاع‌تعمیم‌یافته[5] (حق‌جو و ریحانی، ۱۳۹۸). حالت‌های رشد شاختی به صورت زیر رده‌بندی می‌شوند:

۱. مرحلهٔ حسی– حرکتی (Sensorie Motor): از تولد تا دوسالگی را شامل می‌شود. در این مرحله، کودک نمی‌تواند دنیای خارج را در ذهن خود درونی کند و بنابراین، فعالیت‌های شناختی او به اعمال حسی و حرکتی محدود می‌شود (قلی‌پور، ۱۳۷٦) این حالت می‌تواند با عنوان «دانش ضمنی» معرفی شود (سجادی و تقی‌زاده، ۱۳۹۸).

۲. مرحلهٔ تفکر پیش‌عملیاتی (Preoperational Thinking): از دوسالگی تا هفت‌سالگی را شامل می‌شود. علت نام‌گذاری این مرحله به پیش‌عملیاتی، آن است که کودکان در این مرحله هنوز قادر به تفکر عملیاتی، یا تفکر منطقی نیستند (قلی‌پور، ۱۳۷٦) . این مرحله مرتبط با تجسم، تخیل و رشد زبانی است و به عنوان «دانش شهودی» توصیف می‌شود (سجادی و تقی‌زاده، ۱۳۹۸).

1. Prestructural
2. Unistructural
3. Multistructural
4. Relational
5. Extended abstract

۳. *مرحلهٔ عملیات محسوس (Concrete Operations)*: از هشت‌سالگی تا یازده‌سالگی را شامل می‌شود. در این مرحله از رشد، فعالیت کودک در رابطه با محیط عینی و محسوس است. کودک توانایی انجام اعمال منطقی را کسب می‌کند، اما این اعمال را به امور محسوس و عینی می‌تواند انجام دهد، نه به امور فرضی و پدیده‌های انتزاعی. این مرحله در ارتباط با کاربرد و دست‌ورزی با سیستم‌های نمادین و نوشتاری است که به عنوان «دانش اظهاری» معرفی می‌شود (سجادی و تقی‌زاده، ۱۳۹۸).

٤. *مرحلهٔ عملیات صوری (Formal Operations)*: از دوازده تا پانزده‌سالگی را شامل می‌شود. در این دوره، نوجوان به‌تدریج توانایی تفکر بر حسب امور انتزاعی را کسب می‌کند و بر قوانین صوری مسلط می‌شود. نوجوانان در این مرحله قادر می‌شوند به طرح فرضیه بپردازند و بدون نیاز به مراجعه به اشیاء محسوس، به وارسی فرضیه خود اقدام کنند (قلی‌پور، ۱۳۷٦). دانش مربوط به این مرحله، دانش «نظری» است (سجادی و تقی‌زاده، ۱۳۹۸).

۵. *مرحلهٔ فراصوری(Post Formal)*: در ارتباط با به چالش کشیدن و گسترش سازه‌های نظری توسعه‌یافته در حالت صوری است و در حدود ۲۲ سالگی آغاز می‌شود (سجادی و تقی‌زاده، ۱۳۹۸).

مدل سولو به وضوح هر حالتی را درون حالت بعدی جای می‌دهد تا خزانه‌ای غنی‌تر از حالت‌های پیچیده و ظریف عملیات برای یادگیرنده قابل دسترس باشد (بیگز، ۲۰۰۳).

یک پاسخ (نتیجهٔ یادگیری قابل مشاهده)، براساس چارچوب سولو می‌تواند یکی از سطوح پنج‌گانه پیچیدگی، از پیش‌ساختاری تا انتزاع تعمیم‌یافته را دربرگیرد. این سطوح به شرح زیر است:

۱. *سطح پیش‌ساختاری (Prestructural)*: در این سطح دانش‌آموز از داده‌ها یا راه‌حل‌های اشتباه استفاده می‌کند، بنابراین، نتیجه‌گیری او ناصحیح یا نامربوط است. دانش‌آموز اطلاعات کمی دارد که هیچ ارتباطی با یکدیگر ندارند، بنابراین، پاسخ‌های او به هیچ وجه مفهوم یکپارچه‌ای را تشکیل نمی‌دهد و هیچ معنایی ندارد (مولبار، رحمان و احمر، ۲۰۱۷).

۲. *سطح تک‌ساختاری (Unistructural)*: در این سطح دانش‌آموز روی یک جنبه از سؤال تمرکز می‌کند و از آن برای تولید یک پاسخ معتبر اما ساده استفاده می‌کند. بنابراین، از سطح یک تا دو،

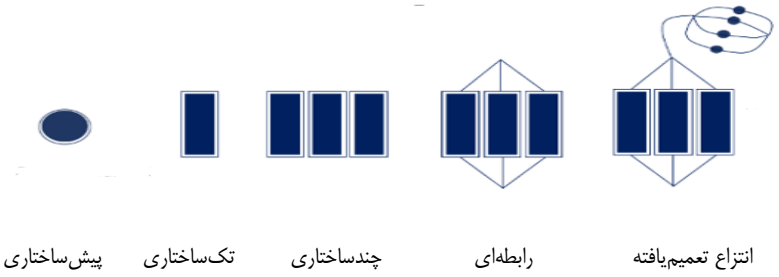
پیشرفت‌هایی را مشاهده می‌کنیم که دانش‌آموز قادر به تشخیص موضوعات مربوطه و برخورد با یکی از این موارد در رابطه با مسئله می‌باشد. در این سطح، یک دانش‌آموز قادر به ایجاد ارتباطات واضح و مرتبط است و می‌تواند به عنوان مثال از اصطلاحات صحیح استفاده کند، چیزهایی را به خاطر بسپارد، حفظ کند، دستورالعمل‌های ساده‌ای را انجام دهد، شناسایی کند، نام‌گذاری کند، شمارش کند، یک جمله را تفسیر کند و.... (برابرند و دهل، ۲۰۰۷). دانش‌آموز در این سطح از اطلاعات کلی برای رسیدن به یک جواب قطعی استفاده می‌کند. این نوع پاسخ با واژگان سروکار دارد، ولی فراتر نمی‌رود.

۳. *سطح چندساختاری (Multistructural)*: از سطح دو تا سه، پیشرفت‌های کمی را شاهد هستیم. دانش‌آموز اکنون توانایی مقابله با چندین جنبه را دارد، اما این موارد مستقل در نظر گرفته می‌شوند و با یکدیگر ارتباط ندارند. برای مثال، دانش‌آموز بسیاری از درختان را می‌بیند، اما نه چوب. او قادر به شمارش، توصیف، طبقه‌بندی، ترکیب، استفاده از روش‌ها، ساختار، اجرای مراحل و ... است (برابرند و دهل، ۲۰۰۷).

٤. *سطح رابطه‌ای (Relational)*: در سطح چهارم، با ادغام جزئیات برای تشکیل یک ساختار، شروع به پیشرفت‌های کیفی می‌کنیم. دانش‌آموز اکنون ممکن است روابط بین چندین جنبه را درک کند و اینکه چگونه آن‌ها ممکن است در کنار هم قرار گیرند تا یک پاسخ کامل و ساختاریافته را شکل دهند. دانش‌آموز اکنون می‌بیند که چگونه بسیاری از درختان با هم یک چوب را تشکیل می‌دهند. از این رو، دانش‌آموز ممکن است صلاحیت مقایسه، ارتباط، تحلیل، کاربرد نظریه، توضیح از نظر علت و معلول و ... را داشته باشد (برابرند و دهل، ۲۰۰۷).

۵. *سطح انتزاع تعمیم‌یافته (Extended Abstract)*: از سطح چهار تا پنج، پیشرفت‌های کیفی بیشتری را می‌بینیم، زیرا ساختار آن تعمیم‌یافته است و دانش‌آموز قادر به روبه‌روشدن با اطلاعات فرضی است که داده نشده است. در این سطح پنجم که بالاترین سطح است، دانش‌آموز اکنون می‌تواند ساختار دانش را از دیدگاه‌های مختلف درک کند و بسته به دیدگاه و اطلاعات فرضی موجود، پاسخ‌های متعدد تولید کند. در اینجا، دانش‌آموز ممکن است صلاحیت تعمیم‌دهی، فرضیه، انتقاد،

نظریه‌پردازی یا انتقال نظریه به یک حوزهٔ جدید و ... را داشته باشد (برابرند و دهل، ۲۰۰۷). پاسخ-های انتزاعی تعمیم‌یافته از لحاظ ساختاری شبیه پاسخ‌های رابطه‌ای هستند، اما در اینجا داده‌ها، مفاهیم و فرایندها، خارج از دامنهٔ دانش و تجربه‌ای که در سؤال مفروض است، ترسیم می‌شوند (بیگز، ۲۰۰۳). مرحلهٔ اول سولو واقعاً سطحی از جهل است که عملاً خارج از طبقه‌بندی قرار می‌گیرد (بیگز، ۲۰۰۳). دو سطح بعدی (تک ساختاری و چند ساختاری)، هر دو مراحلی از درک سطحی هستند، که در آن دانش، بیشتر از نظر کمی ایجاد می‌شود (بیگز، ۲۰۰۳). دو مرحلهٔ آخر سولو که بر کیفیت دانش تأکید دارند، نه فقط به خاطر یکپارچه‌سازی و ارتباط دانش، بلکه با افزایش انتزاع مشخص می‌شوند (بیگز، ۲۰۰۳). طرحوارهٔ زیر به‌خوبی سطوح مختلف سولو را توصیف می‌کند.



شکل ۱. سطوح مختلف سولو (بیگز و کولیس، ۱۹۸۲)

سولو، سلسله‌مراتبی را توصیف می‌کند که در آن هر سطح، پایه‌ای می‌شود که روی آن یادگیری بعدی ساخته شده است. ارزیابی سطوح پیش‌ساختاری، تک‌ساختاری و چندساختاری کمی و ارزیابی سطوح رابطه‌ای و انتزاع‌تعمیم‌یافته به صورت کیفی می‌باشد. با افزایش پیچیدگی پاسخ‌ها، سطح سولو در حال افزایش است. علاوه بر این، با افزایش سطح، مهارت‌هایی مانند توضیحات مداوم، ایجاد روابط و تفکر با درنظرگرفتن بیش از یک جنبه نیز افزایش می‌یابد (پگ و تال، ۲۰۰۵). سطح در طبقه‌بندی سولو سلسله‌مراتبی از سلسله‌مراتبی مبتنی بر توانایی‌های شناختی فراگیران است، به این معنا که سطح تک‌ساختاری بالاتر از سطح پیش‌ساختاری است (مولبار، رحمان و احمر، ۲۰۱۷). در جدول ۱ به برخی افعال کلیدی که سطوح مختلف سولو را توصیف می‌کند، اشاره شده است:

جدول ۱. افعال نمونهٔ اولیه براساس طبقه‌بندی سولو (بیگز، ۲۰۰۳)

تک‌ساختاری	چندساختاری	رابطه‌ای	انتزاع تعمیم‌یافته
تفسیرکردن[1]	ترکیب‌کردن[2]	تجزیه و تحلیل کردن[3]	نظریه‌سازی[4]
تعریف‌کردن[5]	طبقه‌بندی‌کردن[6]	مقایسه‌کردن[7]	تعمیم‌دادن[8]
تشخیص‌دادن[9]	ساختن[10]	تقابل[11]	فرضیه به وجود آوردن[12]
شمردن[13]	توصیف‌کردن[14]	ادغام‌کردن[15]	پیش‌بینی‌کردن[16]
نام‌گذاری‌کردن[17]	برشمردن[18]	ارتباط‌دادن[19]	ارزیابی‌کردن[20]
از بر خواندن[21]	فهرست‌کردن[22]	توضیح‌دادن علت‌ها[23]	منعکس‌کردن[24]
دنبال‌کردن (ساده)[25]	انجام الگوریتم[26]	به‌کارگیری نظریه (در حیطهٔ خود)[27]	انتقال نظریه (به حوزهٔ جدید)[28]

1. Paraphrase
2. Combine
3. Analyze
4. Theorize
5. Define
6. Classify
7. Compare
8. Generalize
9. Identify
10. Structure
11. Contrast
12. Hypothesize
13. Count
14. Describe
15. Integrate
16. Predict
17. Name
18. Enumerate
19. Relate
20. Judge
21. Recite
22. List
23. Explain causes
24. Reflect
25. Follow (simple)
26. Do algorithm
27. Apply theory (to its domain)
28. Transfer theory (to new domain)

محوریت سولو بر این دیدگاه است که مراحلی طبیعی در رشد یادگیری هر مهارت یا موضوع پیچیده، وجود دارد. این مراحل با مراحل رشد فکری پیاژه مشابه هستند، اما یکسان نیستند (حق‌جو و ریحانی، ۱۳۹۸). بر خلاف روش سنتی که «چه مقدار» آموختن را مورد توجه قرار می‌دهند، این تجزیه و تحلیل بر این تمرکز دارد که مطالب «تا چه حد خوب» آموخته شده‌اند (پگ، ۱۹۹۲).

روش‌شناسی پژوهش

روش این تحقیق، توصیفی از نوع پیمایشی است. جامعهٔ آماری این پژوهش، دانش‌آموزان دختر دورهٔ دوم متوسطهٔ شهرستان فردیس هستند که از میان آن‌ها ۲۵۱ نفر از دانش‌آموزان پایه‌های دهم، یازدهم و دوازدهم به طور نمونه‌گیری خوشه‌ای تصادفی چندمرحله‌ای، انتخاب شده‌اند (جدول ۲). آزمون محقق‌ساخته‌ای طراحی شده است که روایی صوری و محتوایی آن توسط اساتید آموزش فیزیک و چندتن از دبیران فیزیک تأیید شد. جهت تدوین آزمون، ابتدا یک سؤال از مبحث فیزیک شناوری[1] از کتاب فیزیک مفهومی انتخاب شد. سپس، این سؤال را به شش بخش مجزا تفکیک کردیم تا سطوح یادگیری آن براساس مدل سولو تعیین شود. پس از آن چند تن از اساتید آموزش فیزیک و دبیران فیزیک را به طور مختصر با مدل سولو و سطوح آن آشنا کردیم و نسخهٔ اولیهٔ آزمون به منظور بررسی دقیق‌تر و تخصصی‌تر در اختیار آنان قرار گرفت. پس از بررسی آنان و اجرای مقدماتی آزمون در میان ۳۳ نفر از دانش‌آموزان دورهٔ دوم متوسطه، یک قسمت از سؤال اول حذف شد و سؤالی با سطح تعمیم‌یافته که در راستای موضوع پژوهش بود، در انتهای آزمون گنجانده شد. در نهایت، این آزمون، در قالب سه سؤال تدوین شد. سؤال اول از دو قسمت و سؤال دوم از پنج قسمت تشکیل شده است و سؤال سوم تک‌قسمتی است. سؤالات از نوع تشریحی و کوتاه‌پاسخ هستند و به گونه‌ای طراحی شده‌اند که سطوح مختلف طبقه‌بندی مدل سولو را در بر می‌گیرد.

---

۱. نیروی شناوری و اصل ارشمیدس که معرف شاخه‌ای از رشتهٔ فیزیک به نام فیزیک شناوری است، کاربردهای گوناگونی در صنعت و در زندگی روزمرهٔ ما دارد. نیروی شناوری نیرویی است که توسط یک سیال به جسم غوطه ور در آن به سمت بالا وارد می‌شود و با نیروی وزن مقابله می‌کند. اصل ارشمیدس بیان می‌کند که وقتی جسمی به طور کامل یا جزئی در شاره‌ای غوطه‌ور باشد، یک نیروی شناوری از شاره اطراف روی جسم وارد می‌شود. این نیرو به سمت بالا وارد می‌شود و بزرگی آن با وزن شاره‌ای که توسط جسم جابه‌جا شده، برابر است.

همچنین، پایایی آن به کمک معیار آلفای کرونباخ ۰/۷۱۷ به دست آمده است. این آزمون در اختیار دانش‌آموزان قرار گرفته شد و از آن‌ها خواسته شد تا ظرف مدت ٦۰ دقیقه به آزمون پاسخ دهند. کلید سؤالات آزمون کدگذاری شد، سپس، پاسخ‌های دانش‌آموزان با استفاده از طبقه‌بندی سولو در سطوح پیش‌ساختاری، تک‌ساختاری، چندساختاری و رابطه‌ای و همینطور انتزاع تعمیم‌یافته دسته‌بندی شده‌اند. برای سؤالات با سطح تک‌ساختاری ۱ نمره، سؤالات با سطح چندساختاری ۲ نمره، و سؤالات با سطوح رابطه‌ای و تعمیم‌یافته به ترتیب، ۳ و ٤ نمره در نظر گرفته شده است. دانش‌آموزانی که تنها به یک بخش توجه داشته‌اند نمرهٔ ۱، دانش‌آموزانی که به چند جنبه از پاسخ اشاره کردند، ولی نتوانستند ارتباط معناداری بین آن‌ها برقرار کنند، نمرهٔ ۲ و آن‌هایی که توانسته بودند به‌خوبی این پیوند را ایجاد کنند و از این پیوند در شرایط و موقعیت‌های دیگر هم استفاده کنند به ترتیب، نمرات ۳ و ٤ دریافت کردند. سطح سؤالات آزمون براساس مدل سولو در جدول ۳ مشخص شده است.

جدول ۲. توزیع فراوانی نمونهٔ دانش‌آموزان دورهٔ دوم متوسطهٔ شهرستان فردیس

فراوانی	پایهٔ تحصیلی
۱۰۲	دهم
۱۱۳	یازدهم
۳٦	دوازدهم
۲۵۱	کل

جدول ۳. تعیین سطح سؤالات آزمون براساس طبقه‌بندی سولو

شمارهٔ سؤال	سطوح سولو
سؤال ۱ بخش الف	چندساختاری
سؤال ۱ بخش ب	تک‌ساختاری
سؤال ۲ بخش الف	رابطه‌ای
سؤال ۲ بخش ب	رابطه‌ای
سؤال ۲ بخش ج	رابطه‌ای
سؤال ۲ بخش د	تک‌ساختاری
سؤال ۲ بخش ه	چندساختاری
سؤال ۳	انتزاع تعمیم‌یافته

یافته‌های پژوهش

هدف از این پژوهش، بررسی سطح یادگیری دانش‌آموزان دورهٔ دوم متوسطه از مفاهیم فیزیک شناوری و اصل ارشمیدس، به کمک طراحی و برگزاری یک آزمون محقق‌ساخته و تجزیه و تحلیل پاسخ‌های آن‌ها بر اساس مدل سولو بوده است. سطح سؤالات آزمون قبل از اجرا تعیین شده بود که در جدول ۳ بیان شده است. آزمون توسط ۲۵۱ نفر از دانش‌آموزان دورهٔ دوم متوسطهٔ شهرستان فردیس پاسخ داده شده است.

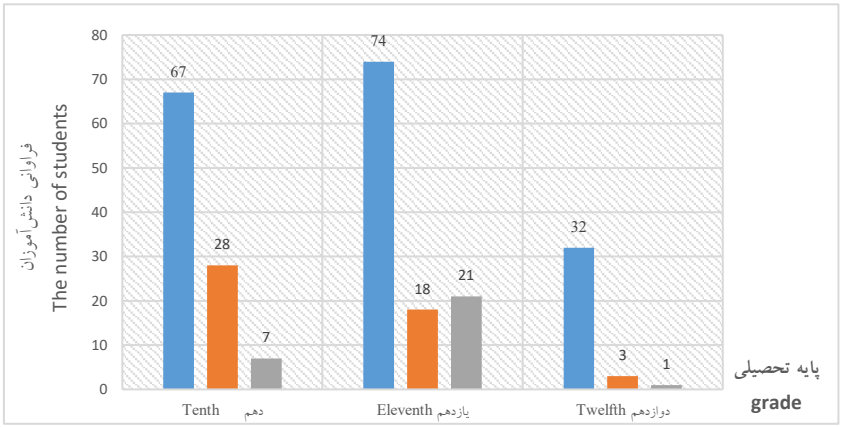
حال به بررسی تک‌تک سؤالات می‌پردازیم. برای بررسی هر سؤال علاوه بر جدول و نمودار فراوانی، تعدادی از پاسخ‌های مطرح‌شده توسط دانش‌آموزان نیز ارائه شده است.

۱. در شکل ۲ یک ترازوی دوکفه‌ای را مشاهده می‌کنید. در کفهٔ سمت راست جسم A و در کفهٔ سمت چپ جسم B قرار دارد و ترازو در تعادل است. به سؤالات زیر پاسخ دهید:

شکل ۲. تصویر مربوط به سؤال ۱ قسمت الف

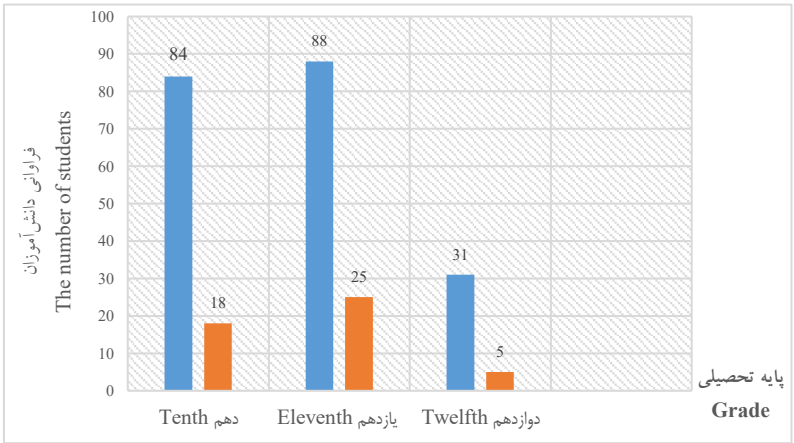
الف) در شکل بالا، تمام نیروهایی که بر جسم A و جسم B وارد می‌شود، رسم کنید.

در این سؤال از دانش‌آموزان خواسته شده تا تمام نیروهایی که بر اجسام وارد می‌شود را رسم کنند. این سؤال در سطح چندساختاری سولو قرار دارد؛ زیرا دانش‌آموزان باید به چند نیرویی که همزمان به اجسام وارد می‌شود، مانند نیروی وزن، نیروی عمودی تکیه‌گاه توجه داشته باشند. شکل ۳ نشان می‌دهند ٦٧ نفر از دانش‌آموزان پایهٔ دهم، ٧٤ نفر از دانش‌آموزان پایهٔ یازدهم و ۳۲ نفر از دانش‌آموزان پایهٔ دوازدهم پاسخ‌هایی درسطح چندساختاری ارائه کردند و پاسخ‌های مابقی افراد در سطوح تک‌ساختاری و پیش‌ساختاری قرار می‌گیرند.



شکل ۳. نمودار تعیین سطح دانش‌آموزان برحسب مدل سولو برای سؤال ۱ الف

ب) چه زمانی می‌گوییم یک ترازو به حالت تعادل رسیده است؟ سطح این سؤال از نظر مدل سولو، تک‌ساختاری می‌باشد، چون کافی است دانش‌آموزان فقط به این موضوع اشاره کنند که، اگر برآیند نیروهای وارد شده به اجسام در دو طرف ترازو یکسان باشد، ترازو به حالت تعادل رسیده است. یعنی این سؤال تنها به یک نکته و یک موضوع اشاره دارد. نتایج بررسی پاسخ‌های دانش‌آموزان در شکل ٤ نشان داده شده است.



شکل ٤. فراوانی تعیین سطح دانش‌آموزان بر حسب مدل سولو برای سؤال ۱ب

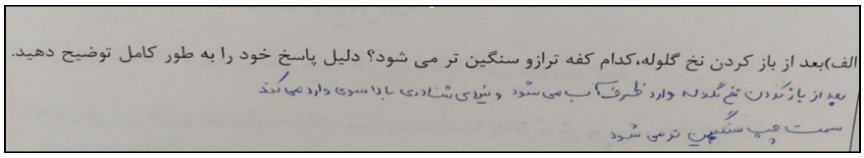
شکل ۵. تصویر مربوط به سؤال ۲

۲. همان ترازوی قبلی را در نظر بگیرید. این بار در کفهٔ سمت چپ یک ظرف حاوی مقداری آب و در کفهٔ سمت راست یک پایه قرار دارد که از میله آن یک گلولهٔ آهنی به وسیلهٔ نخ آویزان است (شکل ۵). در این حالت نیز ترازو در تعادل است. نخ گلوله را قدری باز می‌کنیم تا وارد ظرف آب شود ولی به ته ظرف نرسد. با این کار تعادل ترازو برهم می‌ریزد. به سؤالات زیر پاسخ دهید:

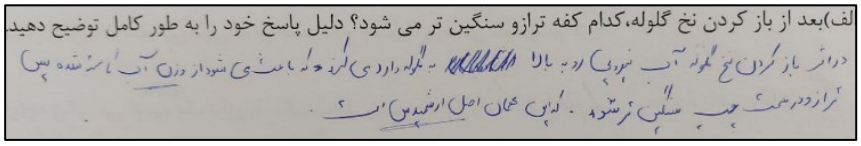
قسمت (الف) سؤال ۲: بعد از باز کردن نخ گلوله، کدام کفهٔ ترازو سنگین‌تر می‌شود؟ دلیل پاسخ خود را به طور کامل توضیح دهید.

این سؤال در سطح رابطه‌ای سولو طراحی شده است. دراین بخش دانش‌آموزان نه تنها باید به نیروی شناوری و قانون سوم نیوتن اشاره کنند، بلکه باید بتوانند رابطهٔ معناداری بین آن‌ها پیدا کنند. مسلماً ۀ سمت چپ سنگین‌تر خواهد شد؛ زیرا وقتی گلولهٔ آهنی در آب قرار می‌گیرد، از سمت آب نیرویی رو به بالا به نام نیروی شناوری وارد می‌شود. این نیرو باعث سبک‌شدن گلوله خواهد شد. از طرفی، طبق قانون سوم نیوتن، گلوله هم نیرویی به همان اندازه، ولی در خلاف جهت (در جهت پایین)، به آب وارد می‌کند که باعث سنگینی کفهٔ سمت چپ می‌شود. پس کفهٔ سمت راست به اندازهٔ نیروی شناوری F_b سبک شده و کفهٔ سمت چپ به اندازهٔ نیروی شناوری F_b سنگین شده است.

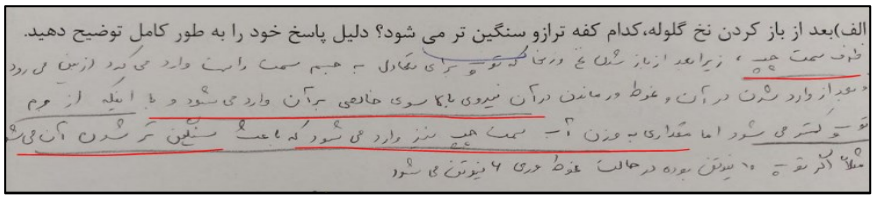
به چند نمونه از پاسخ‌های دانش‌آموزان که در شکل‌های ٦، ٧ و ٨ آمده است، توجه کنید.


الف)بعد از باز کردن نخ گلوله،کدام کفه ترازو سنگین تر می شود؟ دلیل پاسخ خود را به طور کامل توضیح دهید.

شکل ۶. پاسخ دانش‌آموزان به سؤال ۲ بخش الف در سطح تک‌ساختاری

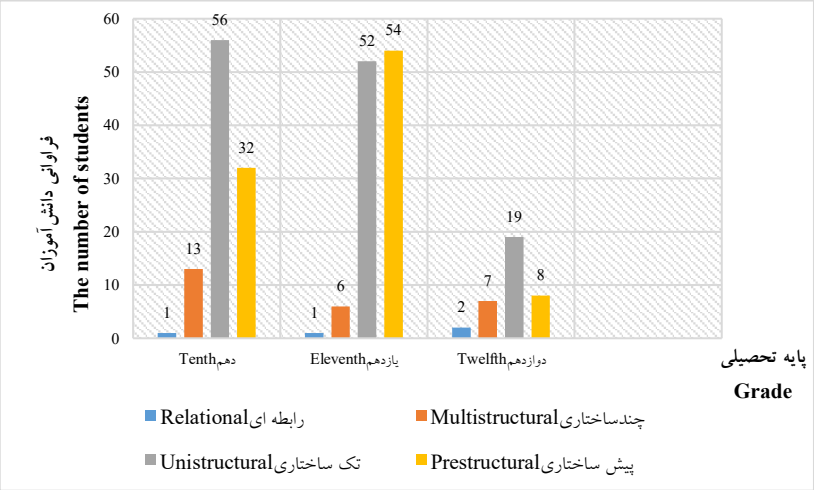

الف)بعد از باز کردن نخ گلوله،کدام کفه ترازو سنگین تر می شود؟ دلیل پاسخ خود را به طور کامل توضیح دهید.

شکل۷. پاسخ دانش آموزان به سوال ۲ بخش الف در سطح چند ساختاری


الف)بعد از باز کردن نخ گلوله،کدام کفه ترازو سنگین تر می شود؟ دلیل پاسخ خود را به طور کامل توضیح دهید.

شکل ۸. پاسخ دانش‌آموزان به سؤال ۲ بخش الف در سطح رابطه‌ای

شکل ٦ نشان می‌دهد که دانش‌آموزی که در سطح تک‌ساختاری قرار دارد تنها به یک موضوع یعنی واردشدن نیروی شناوری از طرف آب به گلوله اشاره کرده است. اما شکل۷ نشان می‌دهد که دانش‌آموزی که در سطح چندساختاری قرار دارد به چند جنبه از پاسخ توجه کرده است. او در این سؤال به واردشدن نیروی شناوری به گلوله، کم‌شدن وزن گلوله در اثر واردشدن نیروی شناوری، سنگین‌ترشدن کفهٔ سمت چپ و اصل ارشمیدس اشاره کرده ولی نتوانسته بین آن‌ها رابطه‌ای معنادار برقرار کند. شکل ۸ پاسخ دانش‌آموزی را نشان می‌دهد که در سطح رابطه‌ای قرار دارد. او نه‌تنها به چند جنبهٔ سؤال (سنگین‌ترشدن کفهٔ سمت چپ و سبک‌شدن کفهٔ سمت راست، نیروی شناوری، کم‌شدن وزن گلوله در اثر واردشدن نیروی شناوری) اشاره کرده، بلکه توانسته رابطهٔ معناداری بین آن‌ها پیدا کند.



شکل ۹. فراوانی تعیین سطح دانش‌آموزان بر حسب مدل سولو برای سؤال ۲ الف

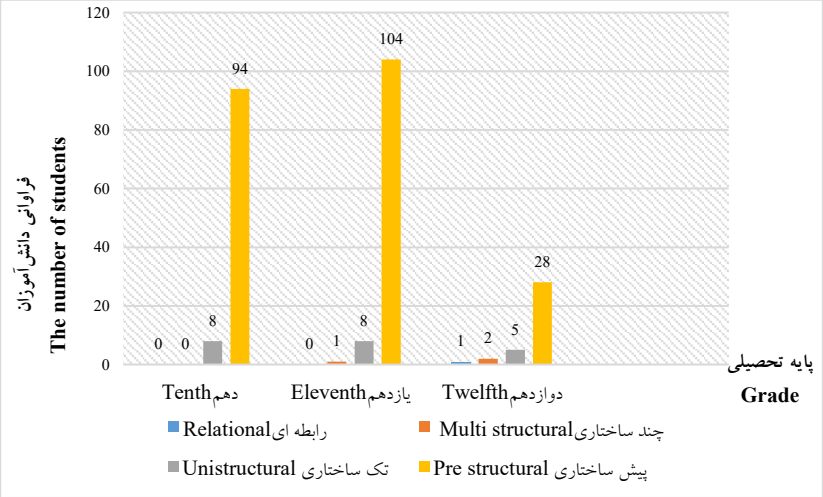
اگر به شکل ۹ توجه کنید متوجه می‌شوید که، تنها ٤ نفر توانستند به این سؤال در سطح رابطه‌ای پاسخ دهند و اکثر پاسخ‌ها در سطوح پایین یادگیری قرار دارد.

اکثر پاسخ‌ها به این سؤال در سطح تک‌ساختاری قرار دارد. بیشتر دانش‌آموزان تصور می‌کردند که بعد از بازکردن نخ گلوله، کفهٔ سمت راست ترازو سنگین می‌شود. آن‌ها اعتقاد داشتند که به علت واردشدن نیروی شناوری، وزن گلوله کم می‌شود و کفهٔ سمت چپ سبک می‌شود. یعنی آن‌ها فقط به یک جنبه از سؤال، واردشدن نیروی شناوری از طرف آب، توجه داشته‌اند و از ابعاد دیگر موضوع (یعنی واردشدن نیروی عکس‌العمل نیروی شناوری) غافل ماندند. گروهی دیگر هم پاسخ درست دادند، ولی توجیه آن‌ها برای سنگین‌تربودن کفهٔ سمت چپ درست نبوده است. آن‌ها در توضیح اینکه چرا کفهٔ سمت چپ سنگین می‌شود، بیان کردند که سنگینی وزن گلوله که قبلاً به کفهٔ سمت راست وارد می‌شد، بعد از بازشدن نخ، به ظرف آب وارد می‌شود و باعث سنگین‌ترشدن کفهٔ سمت چپ می‌شود، یا به این موضوع اشاره داشتند که از جرم کفهٔ سمت راست کم می‌شود و به جرم کفهٔ سمت چپ اضافه می‌شود و این علت سنگین‌شدن کفهٔ سمت چپ است. دانش‌آموزان این بدمفهومی را دارند که وزن گلوله‌ای که در آب قرار گرفته به آب و پس از آن به کفهٔ ترازو وارد می‌شود؛ در

حالی که این وزن را نخ متصل به پایهٔ آهنی تحمل می‌کند و قبل از ورود گلوله به آب توسط نیروی کشش نخ خنثی می‌شده است و بعد از ورود به آب هم فرقی نمی‌کند فقط به علت واردشدن نیروی شناوری رو به بالا از نیروی وزن کاسته می‌شود.

قسمت (ب) سؤال ۲: برای برگرداندن ترازو به حالت تعادل به چه مقدار وزنه نیاز داریم؟

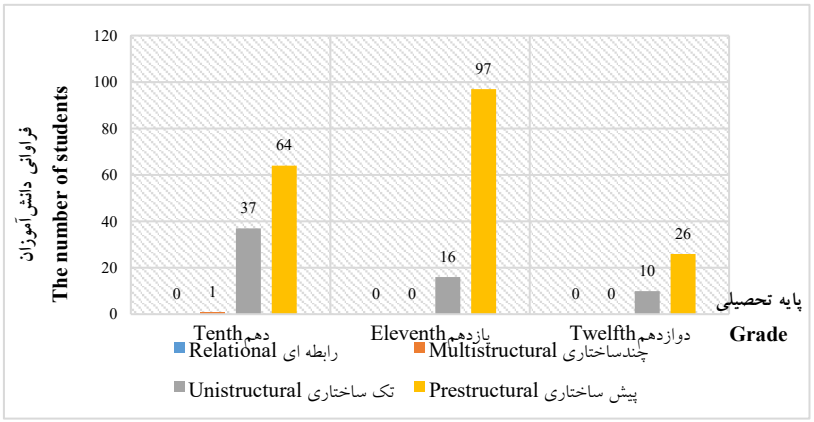
در این سؤال از دانش‌آموزان خواسته می‌شود تا مقدار وزنهٔ مورد نیاز برای برگرداندن ترازو به حالت تعادل را به صورت کیفی حساب کنند. سطح سولو این سؤال هم مانند سؤال قبل رابطه‌ای می‌باشد؛ زیرا دانش‌آموز باید موضوع را از جنبه‌های مختلف بررسی کند و روابط بین اجزا و نحوهٔ سازمان یافتن آن‌ها را پیدا کند. دانش‌آموزان باید ابتدا نیروهای وارده به کفهٔ سمت راست و کفهٔ سمت چپ قبل و بعد از واردکردن گلوله به داخل ظرف را به دست آورند و سپس، بین این نیروها رابطهٔ معناداری برقرار کنند و دریابند که بعد از واردکردن گلوله به ظرف، زمانی ترازو به تعادل می‌رسد که وزنه‌ای به اندازهٔ دو برابر نیروی شناوری وارده بر گلولهٔ آهنی یعنی به اندازهٔ دو برابر وزن آب جابه‌جاشده توسط گلولهٔ آهنی باید در کفهٔ سمت راست قرار گیرد؛ زیرا کفهٔ سمت راست به اندازهٔ نیروی شناوری سبک شده و کفهٔ سمت چپ به اندازهٔ نیروی شناوری سنگین شده است. متأسفانه هیچ‌یک از دانش‌آموزان نتوانستند به این شکل سؤال را تحلیل کنند و همهٔ پاسخ‌هایی در سطح پایین ارائه دادند. شکل ۱۰ نشان‌دهندهٔ عملکرد دانش‌آموزان در نحوهٔ پاسخگویی به این سؤال است. همان‌طور که مشخص است پاسخ اکثر دانش‌آموزان در سطح پیش‌ساختاری قرار دارد. دانش‌آموزانی که در سؤالات قبل توانسته بودند پاسخ‌هایی در چندساختاری ارائه دهند از بیان پاسخ‌هایی حتی در سطوح پایین هم عاجز ماندند. در این سؤال به علت پیچیدگی، ذهن آن‌ها قادر به تجزیه و تحلیل سؤال نبوده، پس براساس این مطلب نتیجه گرفتیم که بهتر است در تحلیل هر سؤال آزمون، فقط به پاسخ‌هایی توجه شود که در سطح همان سؤال هستند تا از خطاهای احتمالی که به علت دشواری سؤال در آمارگیری پیش می‌آید جلوگیری شود.



شکل ۱۰. فراوانی تعیین سطح دانش‌آموزان بر حسب مدل سولو برای سؤال ۲ ب

قسمت (ج) سؤال ۲: به نظر شما وزنهٔ اضافی مورد نیاز برای برگرداندن تعادل ترازو بیشتر از وزن گلولهٔ آهنی است یا کمتر ، یا برابر است؟ دلیل خود را توضیح دهید (راهنمایی: چگالی آب= ۹۹۷Kg/M^3، چگالی آهن=۷۸۷٤ Kg/M^3).

در این سؤال از دانش‌آموزان خواسته شده تا تعیین کنند که وزنهٔ اضافی مورد نیاز برای برقراری تعادل بیشتر از وزن گلولهٔ آهنی است، یا کمتر، یا برابر است و علت پاسخ خود را بیان کنند. در این سؤال دانش‌آموز باید مطالب قبلی مورد استفاده در سؤال‌های قبل را با داده‌هایی که در این سؤال تحت عنوان راهنمایی دریافت می‌کند، ترکیب کند تا بتواند پاسخی مناسب ارائه دهد. براساس مدل سولو، این سؤال مانند سؤال قبل در سطح رابطه‌ای قرار می‌گیرد؛ زیرا فراگیر باید بین جنبه‌های مختلف پاسخ رابطه‌ای معنادار پیدا کند. شکل ۱۱ نشان می‌دهند که هیچ‌یک از دانش‌آموزان نتوانستند پاسخ‌هایی در سطح رابطه‌ای ارائه دهند و تنها ۱ نفر از دانش‌آموزان پایهٔ دهم توانسته پاسخی در سطح رابطه‌ای مطرح کند و مابقی دانش‌آموزان در پاسخگویی به این سؤال ناتوان بودند و یا پاسخ‌هایی نادرست ارائه کردند.

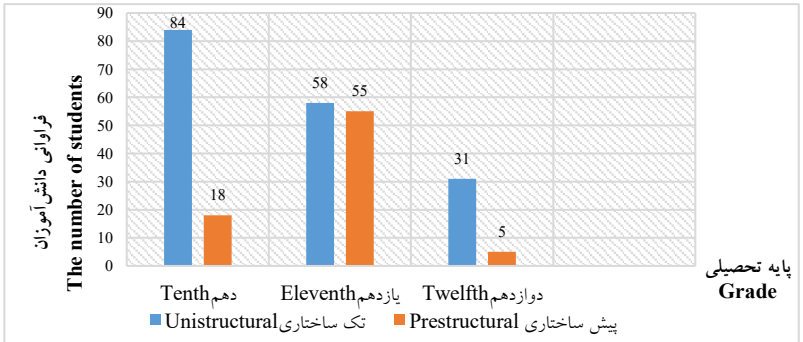


شکل ۱۱. فراوانی تعیین سطح دانش‌آموزان برحسب مدل سولو برای سؤال ۲ ج

واضح است که وزنه باید کمتر از وزن گلولهٔ آهنی باشد. می‌دانیم که وزنه باید به اندازهٔ دو برابر وزن آب جابه‌جاشده توسط گلولهٔ آهنی باشد. از طرفی، چگالی آب کمتر از نصف چگالی آهن است. پس وزنه باید کمتر از وزن گلولهٔ آهنی باشد.

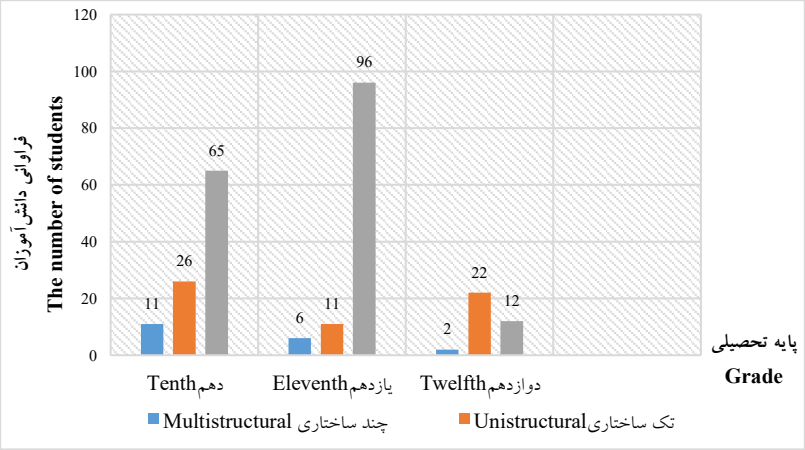
قسمت (د) سؤال ۲: این سؤال به چه اصل یا قانونی در فیزیک اشاره می‌کند؟

دانش‌آموزان برای پاسخ به این بخش باید تنها به قانون ارشمیدس یا قانون شناوری در فیزیک اشاره کنند، پس این سؤال تک‌بخشی و تک‌ساختاری است. شکل ۱۲ نشان می‌دهند که ۸٤ نفر از دانش‌آموزان پایهٔ دهم، ۵۸ نفر از دانش‌آموزان پایهٔ یازدهم و ۳۱ نفر از دانش‌آموزان پایهٔ دوازدهم به این سؤال پاسخ درست دادند.



شکل ۱۲. فراوانی تعیین سطح دانش‌آموزان برحسب مدل سولو برای سؤال ۲ د

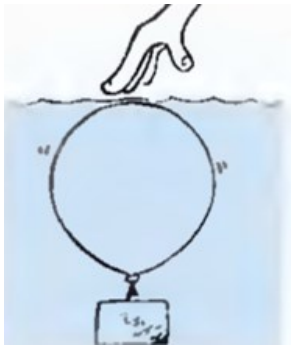
قسمت (ه) سؤال ۲: آیا می‌توانید به نمونه یا نمونه‌هایی از کاربرد این اصل یا قانون اشاره کرده و دربار هر کدام توضیح دهید؟ در بخش آخر سؤال ۲ از فراگیران خواسته شده تا به نمونه یا نمونه‌هایی از کاربرد اصل ارشمیدس اشاره کنند و دربارهٔ هر یک توضیح دهند. این سؤال در سطح چندساختاری سولو قرار دارد؛ زیرا دانش‌آموز باید چند نمونه از کاربردهای این اصل اشاره کند. نتایج نشان می‌دهد تنها ۱۹ نفر پاسخ‌هایی در سطح چندساختاری ارائه کردند. این امر گویای این نکته است که دانش‌آموزان با کاربردهای اصل ارشمیدس در زندگی آشنایی ندارند و صرفاً آن را به عنوان یک مطلبی که در کتاب درسی آمده و باید به خاطر بسپارند، می‌دانند.



شکل ۱۳. فراوانی تعیین سطح دانش‌آموزان برحسب مدل سولو برای سؤال ۲ قسمت (ه).

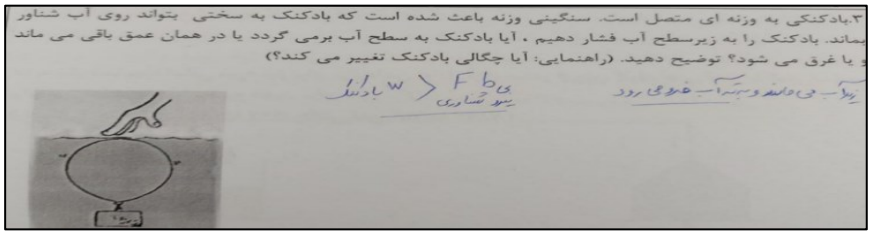
۳. بادکنکی به وزنه‌ای متصل است. سنگینی وزنه باعث شده است که بادکنک به‌سختی بتواند روی آب شناور بماند. بادکنک را به زیر سطح آب فشار دهیم، آیا بادکنک به سطح آب برمی‌گردد یا در همان عمق باقی می‌ماند، یا غرق می‌شود؟ توضیح دهید (راهنمایی: آیا چگالی بادکنک تغییر می‌کند؟ (هیوئیت[1]، ۲۰۰۹).

1. Hewitt

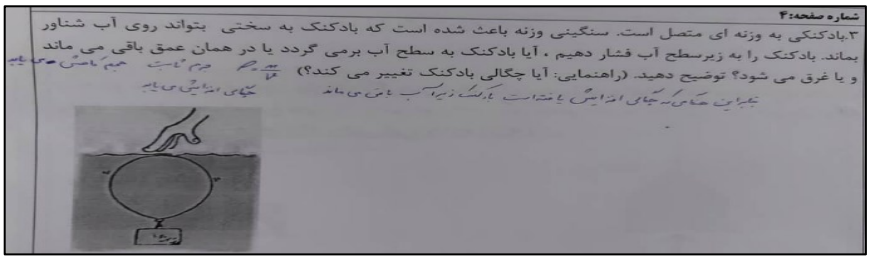


شکل ١٤. تصویر مربوط به سؤال ۳

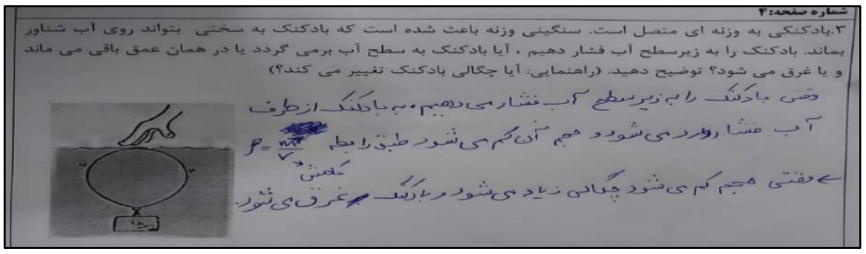
در این سؤال دانش‌آموزان باید مطالبی را که در سؤال‌های قبل از فیزیک شناوری مرور کردند، در قالب مسئله‌ای جدید استفاده کنند، پس این سؤال در بالاترین سطح سولو یعنی انتزاع تعمیم یافته قرار می‌گیرد. بعد از فشاردادن بادکنک به سمت پایین، بادکنک بیشتر در آب فرو می‌رود. از مبحث فشار به خاطر داریم که هر چه عمق شاره افزایش یابد، فشار ناشی از آن نیز بیشتر خواهد شد. بادکنک که خاصیت تغییر حجم دارد بر اثر فشار ناشی از عمق آب حجمش کاهش می‌یابد و چگالی زیاد می‌شود. از طرفی می‌دانیم که اندازهٔ نیروی شناوری برابر است با وزن شارهٔ جابه‌جاشده توسط جسم. پس در اینجا، با کاهش حجم بادکنک، وزن آب جابه‌جاشده توسط بادکنک نیز کاهش می‌یابد و نیروی شناوری کم می‌شود. پس هر چه بادکنک به پایین می‌رود، نیروی شناوری کم و کم‌تر شده و نیروی وزن بر آن غلبه خواهد کرد. در نتیجه بادکنک غرق می‌شود. حال به چند نمونه از پاسخ‌های دانش‌آموزان که در شکل‌های ۱۵، ١٦ و ۱۷ و ۱۸ آمده است، توجه کنید.



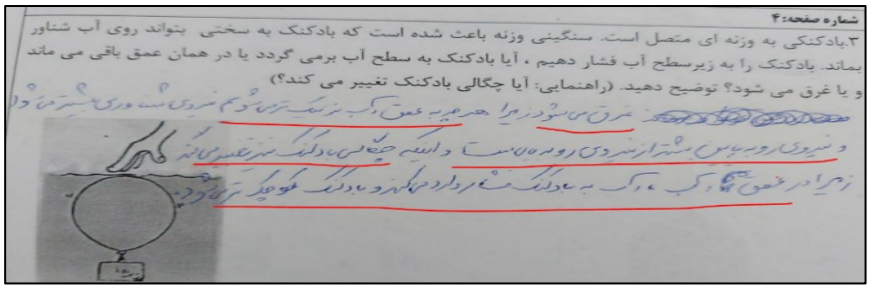
شکل۱۵. پاسخ دانش‌آموزان به سؤال ۳ در سطح تک ساختاری



شکل۱۶. پاسخ دانش‌آموزان به سؤال ۳ در سطح چند ساختاری



شکل۱۷. پاسخ دانش‌آموزان به سؤال ۳ در سطح رابطه‌ای

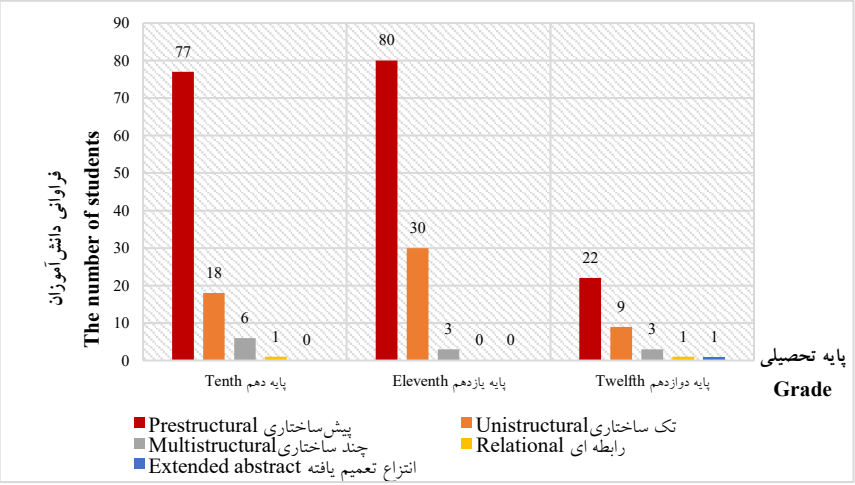


شکل ۱۸. پاسخ دانش‌آموزان به سؤال ۳ در سطح انتزاع تعمیم‌یافته

در شکل ۱۵ دانش‌آموز تنها به یک موضوع یعنی بزرگ‌بودن نیروی وزن نسبت به نیروی شناوری اشاره کرده است پس پاسخ او در سطح تک‌ساختاری قرار دارد، اما شکل۱۶ نشان می‌دهد که دانش‌آموزی که در سطح چندساختاری قرار دارد؛ زیرا به چند جنبه از سؤال توجه کرده است. او در این سؤال، به کم‌شدن حجم بادکنک و بیشترشدن چگالی آن توجه کرده است، ولی نتوانسته این موارد را به نیروی شناوری ارتباط دهد پس پاسخ او به نتیجه‌ای نادرست منجر شده است.

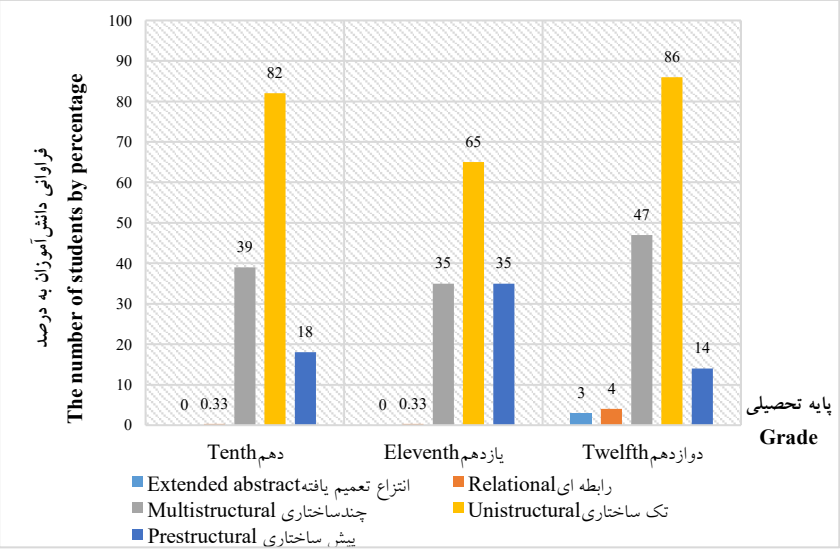
شکل ۱۷ پاسخ دانش‌آموزی را نشان می‌دهد که در سطح رابطه‌ای قرار دارد. فراگیر نه‌تنها از چند جنبهٔ سؤال (افزایش فشار ناشی از آب در اثر تغییر ارتفاع از سطح مایع، کاهش حجم بادکنک بر اثر افزایش فشار آب، تغییر چگالی بادکنک و غرق‌شدن آن) برای تولید پاسخ استفاده کرده، بلکه ارتباط بین آن‌ها را نیز به‌خوبی درک کرده و پاسخی درست تولید کرده است.

اما شکل۱۸ پاسخ دانش‌آموزی را نشان می‌دهد که در بالاترین سطح یعنی انتزاع تعمیم‌یافته قرار دارد. همانطور که می‌بینید، دانش‌آموز ضمن برقراری درست ارتباط بین داده‌های سؤال، توانسته مفاهیم مطرح شده در سؤالات قبلی را تعمیم دهد و از آن‌ها برای پاسخ به این سؤال استفاده کند. او برای ارائهٔ پاسخ از مفاهیم نیروی شناوری و نیروی وزن که در بخش‌های قبلی این مسئله مورد استفاده قرار گرفته بود، کمک گرفته تا پاسخی کامل و انسجام‌یافته ایجاد کند. نمودار ۱۹ نشان می‌دهند که درصد بالایی از دانش‌آموزان یا به این سؤال پاسخ ندادند و یا پاسخ‌های آن‌ها نادرست بوده و در سطح پیش‌ساختاری قرار گرفته است. همچنین، تعداد کمی توانستند پاسخ‌هایی در سطوح چندساختاری و تک‌ساختاری ارائه کنند. این آمار نشان می‌دهد که به علت پیچیدگی سؤال، دانش‌آموزان به طور کل از پاسخ مسئله دور ماندند و جواب‌های بی‌ربطی مطرح کردند.



شکل ۱۹. فراوانی تعیین سطح دانش‌آموزان بر حسب مدل سولو برای سؤال ۳

با تحلیل و بررسی پاسخ‌های داده‌شده، دریافتیم که به طور میانگین ۸۲ درصد دانش‌آموزان پایهٔ دهم، ٦٥ درصد از دانش‌آموزان پایهٔ یازدهم و ۸٦ درصد از دانش‌آموزان پایهٔ دوازدهم مدارس نظری شهرستان فردیس، در سطح تک‌ساختاری قرار دارند و درصد بسیار پایینی از دانش‌آموزان به سطوح بالای سولو یعنی سطوح رابطه‌ای و انتزاع تعمیم‌یافته دست یافتند. این آمار از طریق میانگین‌گیری بین سؤالات با سطوح یکسان به دست آمده است، که در نمودار ۲۰ جمع‌بندی شده است.



شکل ۲۰. نتایج تعیین سطح دانش‌آموزان دورهٔ دوم متوسطهٔ شهرستان فردیس براساس سطوح مختلف سولو برحسب درصد

این یافته‌ها نشان می‌دهند که عملکرد اکثر دانش‌آموزان در این آزمون بسیار ضعیف بوده که این ضعف هم نشان‌دهندهٔ این است که آن‌ها در سطوح پایین یادگیری قرار گرفتند. اکثر آن‌ها پاسخ‌هایی معتبر اما ساده به سؤالات مطرح کردند و از اطلاعات کلی برای رسیدن به یک جواب قطعی استفاده کردند. به بیان دیگر، بیشتر فراگیران درک سطحی‌ای و ساده‌انگارانه‌ای از مفاهیم شناوری دارند و صرفاً مطالب این مبحث را به صورت طوطی‌وار، بدون فهم عمیق و مفهومی، به خاطر سپرده‌اند.

بحث و نتیجه‌گیری

هدف این پژوهش، بررسی سطح یادگیری دانش‌آموزان از مفاهیم فیزیک شناوری به کمک رهیافت سولو است. نتایج حاکی از آن است که اکثر دانش‌آموزان در سطح تک‌ساختاری قرار دارند. این امر نشان‌دهندهٔ این است که بیشتر دانش‌آموزان در دروس تحلیلی بسیار ضعیف عمل می‌کنند و به سطوح بالا نمی‌رسند. بنابراین، نتایج این پژوهش با نتایج تحقیقات حق‌جو و ریحانی (۱۳۹۷) همسو است. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد، اکثر دانش‌آموزان در سطح تک‌ساختاری قرار دارند.

همچنین، آمارها نشان می‌دهند که از بین دانش‌آموزان پایه‌های دهم، یازدهم و دوازدهم، دانش‌آموزان پایهٔ دوازدهم عملکرد بهتری نشان داده‌اند؛ زیرا ٤٧ در صد آن‌ها به سطح چندساختاری رسیده‌اند. می‌توان چنین تحلیل کرد دانش‌آموزان در کتاب فیزیک دوازدهم یکبار دیگر مفاهیم نیرو و تعادل را یاد می‌گیرند و از آن‌ها استفاده می‌کنند. در نتیجه بهتر می‌توانند این مفاهیم را در پاسخ به سؤالات آزمون استفاده کنند. بعد از آن‌ها، دانش‌آموزان پایهٔ دهم که ۳۹ درصدآن‌ها به سطح چندساختاری رسیده‌اند، در رتبهٔ دوم قرار می‌گیرند. می‌توان گفت که عملکرد نسبتاً خوب دانش-آموزان پایه دهم به این علت است که، آن‌ها به‌تازگی با این مبحث در کتاب درسی‌شان آشنا شده‌اند و می‌توانند به خوبی آن‌ها را به یاد بیاورند. از بین این سه پایهٔ تحصیلی، دانش‌آموزان پایهٔ یازدهم ضعیف‌ترین عملکرد را داشته‌اند. گذشت زمان و فراموشی مبحث شناوری و نرسیدن به درک درست از این مبحث، می‌تواند علت این ضعف باشد. با کمک مدل سولو توانستیم سطح یادگیری فراگیران را شناسایی کنیم و به طرحواره‌های ذهنی غلط موجود در ذهنشان پی ببریم.

همچنین، مدل سولو با قابلیت‌هایی که دارد می‌تواند راهکارهای مؤثری برای بالابردن سطح یادگیری دانش‌آموزان ارائه کند. براساس نتایج آزمون تیمز ۲۰۱۹، اکثر دانش‌آموزان ایرانی در سطوح پایین یادگیری قرار دارند و به‌خوبی قادر به پاسخگویی به سؤالات لایه‌های عمیق‌تر یادگیری (استدلال و کاربرد) نیستند و تمرکز کافی برای پاسخ به سؤالات تشریحی را ندارند (واحد اشاعه و کاربست یافته‌های پژوهشی، ۱۳۹۸). علت این امر می‌تواند شیوه‌های آموزشی ناکارآمد گذشته باشد، که بیشتر بر روی حافظهٔ دانش‌آموزان تأکید دارد و نه قدرت حل مسئلهٔ آن‌ها. از این رو، نیاز است

تا معلمان را با شیوه‌های جدید تدریس و ارزشیابی قدرتمند آشنا کنیم تا به کمک آن‌ها، فراگیران را به سطوح بالاتر یادگیری هدایت کنیم. پس مدل سولو می‌تواند جایگزین مناسبی برای شیوه‌های ارزشیابی قدیمی باشد.

از محدودیت‌های‌این تحقیق می‌توان به کم‌بودن حجم نمونه، محقق‌ساخته‌بودن آزمون، خطا در تجزیه و تحلیل داده‌ها اشاره کرد. نتایج این تحقیق می‌تواند برای محققان حوزهٔ آموزش‌علوم و آموزش فیزیک مفید واقع شود. پیشنهاد می‌شود تا به کمک مدل سولو سطح یادگیری دانش‌آموزان در مباحث دیگر فیزیک نیز بررسی شود. همچنین، طراحی طرح درسی مبتنی بر مدل سولو توسط معلمان آموزش علوم و اجرای آن می‌تواند بسیار مفید باشد. مؤلفان کتاب‌های درسی کشور هم می‌توانند کتب درسی و محتواهای کمک آموزشی را براساس این مدل ارزشیابی طراحی کنند. به پژوهشگران در حوزهٔ آموزش شیمی و زیست‌شناسی نیز پیشنهاد می‌شود تا این شیوهٔ ارزشیابی را در حوزهٔ رشتهٔ خود نیز اجرایی کنند تا کارآمدی این روش در علوم دیگر نیز مشخص شود.

قدردانی

این کار پژوهشی تحت حمایت دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی با شماره پژوهانه ۵۰۲۵ قرار گرفته است.

منابع

ابراهیمی قوام، صغری، و حسین‌زاده یوسفی، غلامحسین (۱۳۸۷). نظریهٔ سازنده‌گرایی و کاربرد آن در آموزش. *مدارس کارآمد، سال اول تحصیلی ۱۳۸۷-۱۳۸٦*، ٤، صفحات ۳۳-۲٤.

تقی‌زاده، بهروز، و سیدموسوی، فرشته (۱۳۹٦). بررسی تأثیرات الگوهای یاددهی- یادگیری بر دانش‌آموزان. *دومین کنفرانس ملی رویکردهای نوین در آموزش و پژوهش*. اداره کل آموزش و پرورش استان مازندران، ۲ الی۳ شهریور ۱۳۹٦.

حق‌جو، سعید، و ریحانی، ابراهیم (۱۳۹۸). مطالعهٔ عملکرد دانش‌آموزان دورهٔ دوم متوسطه در حل یک تکلیف توانایی فضایی با استفاده از نظریهٔ Solo. *فناوری آموزش*، ۱۳(٤)، ٦٥۳-٦۳٦.

سانتراک، جان دبلیو (۱۳۹۱). *زمینهٔ روان‌شناسی*. جلد اول، ترجمهٔ مهرداد فیروزبخت، تهران: انتشارات رسا.

سجادی، ناعمه، و تقی‌زاده، بهروز (۱۳۹۸). *نقش نظریهٔ Solo در یاددهی و یادگیری ریاضیات. دومین کنفرانس ملی رویکردهای نوین در آموزش و پژوهش*.

سیف، علی‌اکبر (۱۳۹۳). روان‌شناسی پرورشی نوین: روان‌شناسی یادگیری و آموزش. ویرایش هفتم، چاپ پنجاه و هفتم، تهران: انتشارات دوران.

شعبانی، حسن (۱۳۹۱). *روش تدریس پیشرفته: آموزش مهارت و راهبردهای تفکر*. تهران: انتشارات سمت.

فتحی آذر، اسکندر (۱۳۹۱). روش‌ها و فنون تدریس. چاپ سوم، تبریز: دانشگاه تبریز.

قلی‌پور، فرض‌الله (۱۳۷٦). *کلیات روان‌شناسی*. تهران: برگزیده.

ملکی، حسن، و محمدی‌فر، مژگان (۱۳۸۸). فرایند ارزشیابی برنامه‌های درسی. *مجلهٔ دانشکدهٔ پیراپزشکی ارتش جمهوری اسلامی ایران*، ۲(٤)، ۳٦-۳۰.

واحد اشاعه و کاربست یافته‌های پژوهشی (۱۳۹۸). گزارش مختصری از نتایج مرحلهٔ مقدماتی تیمز ۲۰۱۹، پژوهشگاه مطالعات آموزش و پرورش. برگرفته از http://www.rie.ir/uploads/TP2019_3_15640.pdf.

Baum W. (2011). What is radical behaviorism? A review of jay moore's conceptual foundations of radical behaviorism. *Experimental Analysis of Behavior*, 95(1), 119–126.

Biggs, J. B. (2003). *Teaching for quality learning at university*. Maidenhead: Open University Press.

Biggs, J. B., & Collis, K. F. (1982). *Evaluating the quality of learning: the SOLO taxonomy (Structure of the observed learning outcome).* New York: Academic Press.

Biggs, J., & K. F. Collis. (1980). SOLO taxonomy. *Educ. News*, 17(5), 19–23.

Brabrand, C., & Dahl, B. (2007). *Constructive alignment and the SOLO taxonomy: A comparative study of university competences in computer science vs. mathematics*. Seventh Baltic Sea Conference on Computing Education Research (Koli Calling 2007), Koli National Park, Finland, November 15-18, 2007.

Hewitt, P. G. (2009). *Conceptual physics: The high school physics program student edition.* 12th edition. Savvas learning co; student edition.

Mulbar, U., Rahman, A., & Ahmar, A. S. (2017). Analysis of the ability in mathematical problem-solving based on solo taxonomy and cognitive style. World Transactions on Engineering and Technology Education, 15(1), 68-73.

Özdemir, A. Ş., & Yildiz, S. (2015). The examination of elementary mathematics pre-service teachers' spatial abilities. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 174, 594 – 601.

Pegg, J. (1992). Assessing students' understanding at the primary and secondary level in the mathematical sciences. *Reshaping Assessment Practice: Assessment in the Mathematical Sciences under Challenge*, 368-385.

Pegg, J., & Tall, D. (2005). The fundamental cycle of concept construction underlying various theoretical frameworks. *ZDM*, 37(6), 468-475.