Educational and Scholastic Studies *http://pma.cfu.ac.ir/*
Vol. 10, No. 4, Winter 2021 *Print ISSN: 2423-494X*
pp. 133- 161 *Online ISSN: 2645-8098*

Investigation the Level of Students' Learning of Physics Concepts Using APOS Constructivism Model

Mostafa Asadi[1*], Fatemah Ahmadi[2], Saghar Salmani Nezhad[3]

1. M.Sc. in Physics, Shahid Rajaee Teacher Training University, Tehran, Iran
2. Associate Professor, Department of Physics, Faculty of Science, Shahid Rajaee Teacher Traning University, Tehran, Iran
3. Assistant Professor, Department of Persian Literature and the English Language, Khaje Nasir al-Din Tusi University, Tehran, Iran

(Received: May 12, 2020; Accepted: December 14, 2020)

Abstract

This study assesses the level of students learning of physics concepts in the field of kinematics based on the APOS model. In this model, students' level of learning of concepts is graded at different levels. According to this model, students learn the concepts based on the mental structures of Action, Process and Object and these templates are matched together to create schema. the present study is qualitative research that was conducted as a survey method. The sample of this research is 94 male students in the secondary grade from Tehran city who have been randomly selected. The instrument is a researcher – made questionnaire with 11 multi- part problems that consist of a total of 28 descriptive questions. The reliability of the test was estimated by Cronbach's alpha and is approved in the amount of 0.904. the results of this study showed that most students have learned the kinematics concepts at the level of Action and Process, and most of them are unable to understand these concepts at the Object and Schema levels, so the construction of these concepts in the minds of most of them is incomplete and they have not learned these concepts correctly.

Keywords: APOS model, Constructivism Theory, Kinematic, Learning.

* **Corresponding Author, Email:** mostafaasadi57@yahoo.com

مطالعات آموزشی و آموزشگاهی
دورهٔ ۱۰، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۴۰۰
صفحات ۱۶۱ ـ ۱۳۳

http://pma.cfu.ac.ir/
شاپای چاپی: ۴۴۲۳-۴۹۴X
شاپای الکترونیکی: ۲۶۴۵-۸۰۹۸

بررسی سطح یادگیری دانش‌آموزان از مفاهیم فیزیک به کمک مدل ساختن‌گرایی APOS

مصطفی اسدی[۱*]، فاطمه احمدی[۲]، ساغر سلمانی‌نژاد[۳]

۱. کارشناسی ارشد فیزیک، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران
۲. دانشیار، گروه فیزیک، دانشکدهٔ علوم، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران
۳. استادیار، گروه زبان‌های خارجی و ادبیات فارسی، مرکز آموزش‌های عمومی، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۲۴)

چکیده

این مقاله، به بررسی سطح یادگیری دانش‌آموزان از مفاهیم فیزیک در مبحث حرکت‌شناسی (سینماتیک) بر اساس مدل APOS می‌پردازد. در این مدل، سطح یادگیری دانش‌آموزان از مفاهیم، در سطوح مختلف درجه‌بندی می‌شود. طبق این مدل، دانش‌آموزان مفاهیم را بر اساس ساختارهای ذهنی عمل، فرایند و شیء یاد می‌گیرند و این ساختارها را با یکدیگر هماهنگ می‌کنند تا طرحواره ی مفهوم ساخته شود. نوع پژوهش حاضر توصیفی است که به روش زمینه‌یابی انجام شده است و نمونهٔ مورد نظر، ۹۴ نفر از دانش‌آموزان پسر دورهٔ متوسطهٔ دوم رشته‌های ریاضی و تجربی مدارس دولتی منطقهٔ ۱۲ تهران هستند که به روش تصادفی انتخاب شدند. ابزار اندازه‌گیری، آزمون پیشرفت تحصیلی شامل ۱۱ مسألهٔ چندقسمتی است که در مجموع، متشکل از ۲۸ سؤال تشریحی است که توسط مؤلفین طراحی شده است. پایایی آزمون با محاسبهٔ آلفای کرونباخ۰/۹۰۴ تأیید شد. نتایج این پژوهش نشان داد اکثر دانش‌آموزان مفاهیم مبحث حرکت‌شناسی را در سطح عمل و فرایند یاد گرفته‌اند و اکثر آن‌ها در درک این مفاهیم در سطوح شیء و طرحواره ناتوانند، بنابراین، ساخت و ساز مفاهیم مبحث حرکت‌شناسی در ذهن اکثر آن‌ها ناقص است و آن‌ها این مفاهیم را به‌درستی یاد نگرفته‌اند.

واژگان کلیدی: حرکت‌شناسی، مدل Apos، نظریهٔ ساختن‌گرایی، یادگیری.

* نویسندهٔ مسئول، رایانامه: mostafaasadi57@yahoo.com

مقدمه

بررسی حرکت اجسام، همواره مورد توجه بشر بوده است و شناخت و توصیف حرکت اجسام یکی از مباحثی است که در کتاب‌های درسی سال‌های مختلف به آن پرداخته شده است. با توجه به اینکه حرکت‌شناسی مبحثی بنیادی در فیزیک به شمار می‌رود، داشتن درک درست از مفاهیم این مبحث، برای یادگیری بهتر مباحث دیگر فیزیک ضروری است (فیزیک پایهٔ دوازدهم، ۱۳۹۷). با توجه به ارتباط مفاهیم حرکت‌شناسی با هم و همچنین، ارتباط این مفاهیم با بسیاری از مفاهیم و موضوعات دیگر، داشتن درک و فهم صحیح از این مفاهیم اهمیت ویژه‌ای دارد و همین امر سبب شده است آموزش و یاددهی این مفاهیم از سوی آموزشگران مورد توجه قرار گیرد. ردیش[1] معتقد است که دانش‌آموزان در درک مفاهیم مبحث حرکت‌شناسی دارای مشکلات فراوانی هستند. او این مشکلات را ناشی از باورهای غلط دانش‌آموزان نسبت به این مفاهیم و روش‌های تدریس نامناسب این مفاهیم می‌داند (ردیش، ۱۹۹۱). مک درموت[2] معتقد است دانش‌آموزان در درک مفاهیم مبحث حرکت‌شناسی از جمله مفاهیم سرعت، شتاب و تفسیر حرکت اجسام از روی نمودارها دارای مشکلات فراوانی هستند و چنانچه این مشکلات برطرف نشوند، آنها در درک مفاهیم دیگر دچار مشکل خواهند شد (مک درموت، ۱۹۸۷). با توجه به اهمیت درک درست از مفاهیم مبحث حرکت‌شناسی، شناسایی و رفع مشکلات دانش‌آموزان در زمینهٔ درک این مفاهیم ضرورتی اجتناب‌ناپذیر است. برای شناسایی مشکلات به وجود آمده در زمینهٔ درک مفاهیم مختلف از جمله مفاهیم مبحث حرکت‌شناسی، بررسی چگونگی تشکیل مفهوم و ساختارهایی که دانش‌آموزان برای یادگیری مفاهیم در ذهن خود می‌سازند، بسیار مهم است. بررسی ساختارهای ذهنی دانش‌آموزان در هر سطحی که باشد، می‌تواند به آموزشگران کمک کند تا بتوانند آموزش مفاهیم را طوری طراحی کنند که منجر به رشد و توسعهٔ مفاهیم در ذهن آن‌ها شود. برای بررسی ساختارهای شکل گرفته در ذهن می‌توان از نظریه‌های یادگیری کمک گرفت. هدف هر نظریهٔ یادگیری بهبود آموزش و

1. Redish
2. McDermot

تجربه‌های آموزشی به منظور کمک به فراگیران برای پیشرفت در فرایند یادگیری است (ریحانی و شریفی، ۱۳۹۷). به عقیدهٔ وییر[1]، نظریه‌های یادگیری چگونگی یادگیری افراد را که شامل سطوح متفاوت از یادگیری است، پیش‌بینی می‌کنند (وییر، ۲۰۱۰). یکی از نظریات یادگیری که امروزه در سطح وسیعی مورد پذیرش واقع شده است، نظریهٔ ساختن‌گرایی[2] است. نظریهٔ ساختن‌گرایی از پژوهش‌های پیاژه[3]، ویگوتسکی، گشتالت، بارتلت[4] و برونر[5] و نیز از فلسفهٔ پرورشی جان دیویی سرچشمه می‌گیرد. در این نظریه بر نقش فعال یادگیرنده در درک و فهم و ساختن دانش توسط او از طریق تجربه‌کردن با اشیاء و تأمل بر این تجارب تأکید شده است. ساختن‌گرایی اندیشه‌ای است که طبق آن ادراکات، یادها و سایر ساخت‌های ذهنی پیچیده به‌طور فعال توسط فرد در ذهنش ساخته می‌شوند؛ نه اینکه از بیرون به درون ذهن او راه یابند. ساختن‌گرایی بینشی ایجاد می‌کند که توسط آن می‌توان چگونگی یادگیری مفاهیم به وسیلهٔ دانش‌آموزان را فهمید (سیف، ۱۳۹۳) . درمدل APOS (که مبتنی بر نظریهٔ ساختن‌گرایی است) چگونگی یادگیری و توسعهٔ مفاهیم در ذهن فراگیران مدل‌سازی می‌شود. به کمک این مدل، نه تنها می‌توان عوامل مؤثر در توسعهٔ مفاهیم در ذهن فراگیران را شناسایی کرد، بلکه می‌توان عوامل بازدارندهٔ رشد مفهوم را نیز مشخص کرد. همچنین، از این مدل در طراحی مواد و مطالب آموزشی مناسب و نیز ارزیابی موفقیت یا شکست فراگیران در رویارویی در وضعیت‌های حل مسأله استفاده می‌شود. رویش و مبدأ این مدل به کارهای ژان پیاژه دربارهٔ انتزاع بازتابی بر می‌گردد و ایدهٔ اصلی آن در اوایل دههٔ ۱۹۸۰ توسط دابینسکی[6] معرفی و ارائه شد (آشیالا[7] و همکاران، ۱۹۹۷). بر اساس مدل APOS، فرد مفاهیم را به طور مستقیم یاد نمی‌گیرد؛ بلکه او از ساختارهای ذهنی برای معنا بخشیدن به مفاهیم استفاده می‌کند. اگر فرد دارای

1. Weyer
2. Constructivism Theory
3. Piaget
4. Bartlet
5. Broner
6. Dubinsky
7. Asiala

ساختارهای ذهنی مناسب دربارهٔ یک مفهوم باشد؛ یادگیری برایش آسان می‌شد، و در غیر این‌صورت یادگیری مفهوم برای او تقریباً غیر ممکن است (ماهاراج[1]، ۲۰۱۳). ساختارهای ذهنی، هر گونه تحول نسبتاً پایدار (اما قابل توسعه) است که فرد به منظور معنادارکردن موقعیت‌ها از آن استفاده می‌کند. این ساختارها در چارچوب APOS عبارت‌اند از عمل[2]، فرایند[3]، شیء[4] و طرحواره[5]. به عبارت دیگر در این مدل فرض می‌شود که یادگیرنده در زمان یادگیری، مفاهیم را در قالب‌های عمل، فرایند و شیء می‌فهمد و این قالب‌ها را با هم هماهنگ می‌کند تا طرحواره ساخته شود. نظریهٔ یادگیری عمل- فرایند- شیء- طرحوارهٔ دابینسکی به مدل APOS معروف است که APOS ترکیب اول حروف آن‌هاست. در زمینهٔ آموزش فیزیک، تاکنون پژوهشی بر اساس مدل APOS انجام نگرفته است، اما در سال‌های اخیر در زمینهٔ آموزش ریاضیات، پژوهش‌هایی در داخل و خارج ایران بر اساس این مدل انجام شده است. مارتینز[6] و پاراگوئز[7] در مطالعهٔ موردی خود روی چهار دانش‌آموز، نشان دادند که استفاده از APOS به عنوان چارچوب تحقیق، سبب اتحاد و تولید فعالیت‌های مورد نیاز برای آموزش مستمر در ریاضیات دانشگاهی می‌شود (چون اطلاعات به دست آمده بر پایهٔ شواهدی است که نشان می‌دهد فرایندهای ذهنی دانش‌آموزان قابل شناسایی است) (دابینسکی، ۱۹۹۱). دابینسکی و همکارانش در تحلیلی بر مبنای مدل APOS با بررسی یادگیری دانشجویان در کلاس جبر، ساختارهای ذهنی دانشجویان را حین یادگیری مفاهیم توضیح دادند (دابینسکی و همکاران، ۲۰۰۱). وییر (۲۰۱۰)، در ایالات متحدهٔ آمریکا، سطح درک دانشجویان را از مفهوم تابع بر اساس APOS بررسی کرد. نتایج این تحقیق نشان داد که درک دانشجویان از مفهوم تابع در سطح عمل و فرایند است و درک تعداد اندکی از آن‌ها در سطح شیء و طرحواره است در تحقیقی که ماهاراج (۲۰۱۰)، روی ۸٦۸ دانشجو در آفریقای جنوبی دربارهٔ درک آن‌ها از مفهوم حد انجام داد، نشان داد حد مفهومی است که دانش‌آموزان در فهم و بیان آن دچار مشکل می‌شوند و این مشکل

1. Maharaj
2. Action
3. Process
4. Object
5. Schema
6. Martinez
7. Paragouez

به خاطر آن است که آنان ساختار مناسبی در سطح عمل، فرایند، شیء و طرحواره ندارند. در تحقیق دیگری که ماهاراج (۲۰۱۳) روی ۸۵۷ دانشجو در آفریقای جنوبی دربارهٔ درک آن‌ها از مفهوم مشتق انجام داد، نشان داد درک اکثر دانشجویان از مفهوم مشتق در سطح فرایند و شیء است و آن‌ها طرحوارهٔ مناسبی برای مفهوم مشتق ندارند. در پژوهش دیگری که ماهاراج(۲۰۱۳) روی دو دانش‌آموز در آفریقای جنوبی دربارهٔ درک آن‌ها از مفهوم انتگرال انجام داد، نشان داد اشتباهات ایجادشده توسط دانش‌آموزان همواره ناشی نداشتن یک طرحوارهٔ مناسب برای تمایز قائل شدن بین انواع انتگرال‌های مختلف است. در ایران نیز چند پژوهش تحت این چارچوب انجام شده است. ریحانی و شریفی (۱۳۹٤) در پژوهشی، سطح درک ۲۳٤ دانش‌آموز دختر سال سوم متوسطهٔ شهرستان قرچک از مفهوم حد را بررسی کردند. آن‌ها در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که درک اکثر دانش‌آموزان از مفهوم حد در سطح عمل و فرایند است و مسائل حد را در صورتی درست حل می‌کنند که به یک روش رویه‌ای و الگوریتمی برای حل دسترسی داشته باشند. با توجه به اهمیت درک مفاهیم حرکت‌شناسی به عنوان یک مبحث بنیادی در فیزیک و نبود پژوهشی در قالب چارچوب APOS در این زمینه و همچنین، لزوم شناسایی مشکلات دانش‌آموزان در زمینهٔ درک این مفاهیم به منظور طراحی برنامه‌های آموزشی مؤثر برای یادگیری درست این مفاهیم از جانب دانش‌آموزان، اهمیت انجام این پژوهش از نظر مؤلفین ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به مطالب بیان‌شده می‌توان گفت سؤالاتی که پژوهش بر اساس آن شکل گرفته است عبارت‌اند از:

۱. توزیع فراوانی سطوح یادگیری فراگیران از مفاهیم حرکت‌شناسی بر اساس چارچوب APOS چگونه است؟

۲. آیا سطح درک دانش‌آموزان رشته‌های تجربی و ریاضی از مفاهیم حرکت‌شناسی با هم تفاوت دارند؟

۳. دانش‌آموزان چه کج‌فهمی‌هایی در زمینهٔ درک مفاهیم حرکت‌شناسی دارند؟

یکی از چالش‌هایی که امروزه پیش روی آموزشگران از جمله مدرسان فیزیک وجود دارد این است که چه رویکرد و روش آموزشی را اتخاذ کنند تا دانش‌آموزان مفاهیم را به درستی یاد بگیرند.

به منظور کمک به فراگیران در یادگیری درست مفاهیم، استفاده از ابزارهای علمی برای درک فرایند یادگیری و همچنین، فعل و انفعالاتی که حین یادگیری مفاهیم در ذهن آن‌ها رخ می‌دهد، ضروری است. این ابزارهای علمی همان چارچوب‌های مبتنی بر نظریات یادگیری هستند که چگونگی یادگیری و توسعهٔ مفاهیم توسط فراگیران را پیش‌بینی می‌کنند .یکی از این ابزارهای علمی، مدل APOS مبتنی بر نظریهٔ یادگیری ساختن‌گرایی است. این مدل، درک دانش‌آموزان از یک مفهوم را در سطوح مختلف دسته‌بندی کرده و قادر است ساختارهای ذهنی را که دانش‌آموز به منظور درک مفهوم می‌سازد، مدل‌سازی کند. این ساختارهای ذهنی بر اساس درک آموزشگر از مدل APOS و همچنین درک او از مفاهیم حاصل می‌شود. طبق این دیدگاه درک و فهم یادگیرنده از مفهومی مشخص می‌تواند در یکی از سطوح عمل و فرایند و شیء باشد و ممکن است یادگیرنده بتواند طرحوارهٔ مفهوم را نیز تشکیل دهد. در ادامه، ضمن تعریف دقیق هر یک از ساختارهای ذهنی مدل APOS، مثال‌هایی از فهم مفاهیم مختلف حرکت‌شناسی بر اساس این ساختارها ارائه می‌شود (آشیالا، ۱۹۹۷).

عمل: عمل، اولین درک از یک مفهوم است و شخص در این سطح قادر به تغییر اشیایی است که از قبل یادگرفته است. مراحل این تغییر باید به طور دقیق همراه با جزئیات به یادگیرنده نشان داده شود. در این سطح مفهوم برای شخص ماهیت خارجی دارد. انجام گام به گام مراحل حل مسأله به کمک حافظه یا در اثر پاسخ به محرک‌های بیرونی و انجام بر اساس دستورالعمل‌های مشخص نیز در این سطح قرار می‌گیرد (دابینسکی، ۱۹۹۱).

برای مثال در این سطح فراگیر می‌تواند:

- مفاهیم مختلف از جمله بردار مکان، بردار جابه‌جایی، سرعت متوسط، شتاب لحظه‌ای را بر اساس آنچه که به او یاد داده شده است، تعریف کند.
- به کمک معادلهٔ مکان- زمان، مکان متحرک در هر لحظه، جابه‌جایی و سرعت متوسط متحرک را در هر بازهٔ زمانی تعیین کند.

فرایند: هنگامی که یک عمل تکرار شده و یادگیرنده روی آن تأمل می‌کند، این عمل به صورت یک فرایند درونی می‌شود. در این زمان یادگیرنده، ساختار درونی برای اجرای همان عمل دارد؛ یعنی ساختار درونی که آن عمل را انجام می‌دهد بنا می‌شود، ولی این بار لزوماً به وسیلهٔ محرک‌های

بیرونی هدایت نمی‌شود و کنترل در دست خود یادگیرنده است (دابینسکی، ۲۰۰۱). در واقع، درونی‌سازی[1] مکانیسمی ذهنی[2] است که باعث توسعهٔ درک مفهوم از سطح عمل به سطح فرایند می‌شود. درونی‌سازی به شخص اجازه می‌دهد از یک عمل آگاه باشد، بر آن تأمل کند و بتواند آن را با دیگر اعمال ترکیب کند. عمل و فرایند در ارتباط با یک مفهوم تغییرات (تحولات) یکسانی انجام می‌دهند، اما در سطح عمل این تغییرات باید ساخته شوند (چه فیزیکی و چه ذهنی)، اما در سطح فرایند تغییرات انجام می‌شود بدون اینکه نیازی به انجام هر گام باشد. در سطح فرایند فرد می‌تواند انجام مراحل را تصور کند، بدون اینکه لازم باشد آن‌ها را به‌صراحت انجام دهد، فرد می‌تواند از روی گام‌ها (مراحل) پرش کند و همچنین، می‌تواند مراحل انجام عمل را بدون اینکه واقعاً انجام دهد، معکوس کند (ماهاراج، ۲۰۱۰).

برای مثال در این سطح فراگیر می‌تواند:

- تشخیص دهد که بردار سرعت متوسط با بردار جابه‌جایی هم‌جهت است.
- به کمک معادلهٔ مکان- زمان، نمودار- مکان زمان را رسم کند.

شیء: زمانی که شخص از فرایند به عنوان یک کلیت آگاه می‌شود و پی می‌برد که می‌تواند عمل‌ها را تغییر دهد و حقیقتاً قادر به ایجاد چنین تغییراتی باشد؛ تفکر او از سطح فرایند به سطح شیء رسیده است یا اصطلاحاً فرایند در شیء خلاصه شده است. در واقع جمع‌بندی[1]، مکانیسم ذهنی است که به کمک آن سطح یادگیری فراگیران از سطح فرایند به سطح شیء می‌رسد. در حین انجام عمل یا فرایند بر یک شیء اغلب باید شیء را به فرایندهایی که از آن به دست آمده است، گسترده کرد. در واقع، گسترده‌سازی[2] مکانیسم ذهنی است که شیء را به فرایند تبدیل می‌کند. اگرچه تشکیل شیء ذهنی از یک مفهوم برای درک آن الزامی است؛ ولی اغلب تصور می‌شود که خلاصه‌کردن فرایند به شیء مشکل است و راهبردهای آموزشی لازم برای کمک به دانش‌آموزان برای برخورد با چنین موقعیت‌هایی وجود ندارد که مهم‌ترین دلیل آن فقدان تجربه‌های لازم برای متناظرکردن عمل‌ها به آنچه به عنوان فرایند تعبیر می‌شوند، است (ماهاراج، ۲۰۱۳).

1. Interiorization
2. Mental mechanism

برای مثال در این سطح فراگیر می‌تواند:

– تفاوت سرعت و شتاب، همچنین، جابه‌جایی و مسافت طی‌شده را بیان کند.

– با داشتن نمودار مکان– زمان، معادلهٔ مکان – زمان آن را بنویسد.

طرحواره: تعامل و نحوهٔ ارتباط عمل‌ها، فرایندها و شیءها منجر به ایجاد طرحواره می‌شود. در طرحواره دو یا چند فرایند با اشکال گوناگون و مقاصد مختلف می‌توانند با هم مرتبط شوند؛ بنابراین، ممکن است فرایندها و شیءهای پیشین بر فرایندها و شیءهای پس از خود تأثیر گذاشته و با هم مرتبط شوند. طرحواره انبوه‌ای از دانش است که شامل اطلاعاتی دربارهٔ مفاهیم اصلی، رابطهٔ این مفاهیم و دانش چگونگی و زمان استفاده از آن‌ها می‌باشد. طرحواره‌ها به عنوان ساختار سازمان یافتهٔ دانش عمل می‌کنند، دانش موجود فراگیر را یکپارچه و هماهنگ می‌کنند، به عنوان ابزاری برای تسهیل یادگیری بعدی عمل می‌کنند و موجب فهم معنادار و بهتر مطالب می‌شوند. طرحواره‌ها خود می‌توانند در طرح واره‌های سطوح بالاتر نقش داشته باشند. طرحوارهای سطح پایین‌تر می‌توانند به عنوان شیء برای طرح واره‌های سطوح بالاتر به حساب آیند، در این حالت می‌گوییم طرحواره به صورت یک شیء موضوع بندی شده[1] است (ماهاراج، ۲۰۱۰).

برای مثال برای یادگیری شتاب متوسط، باید طرحوارهٔ سرعت به صورت شیء موضوع‌بندی شود تا بتوان به کمک رابطهٔ $\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$، شتاب متوسط متحرک را محاسبه کرد. اشیاء به دو صورت ساخته می‌شوند، هم از فرایندها و هم از طرحواره‌ها، اما شیء ساخته‌شده از طرحواره اهمیت بیشتری دارد، زیرا با عمل روی این شیء، شیء جدید ساخته می‌شود (ماهاراج، ۲۰۱۳).

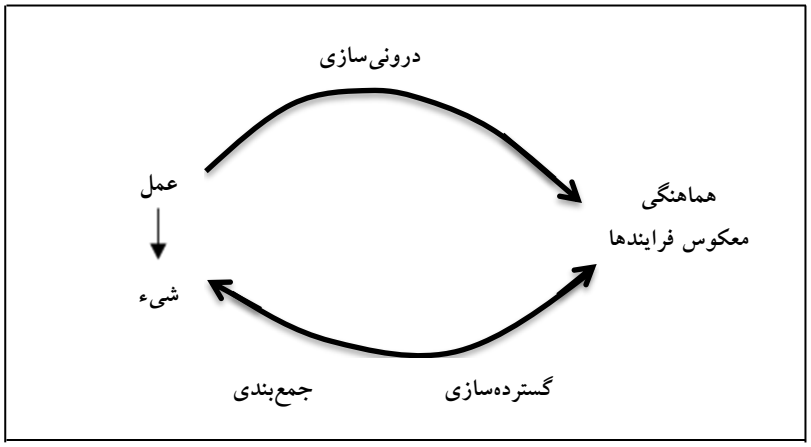
. برای مثال در این سطح فراگیر می‌تواند:

– به کمک معادلهٔ مکان زمان، نوع حرکت متحرک را در هر بازهٔ زمانی تعیین کند.

– حرکت‌های واقعی اجسام را به کمک مفاهیم حرکت‌شناسی توصیف کند.

شایان توجه است که طرحواره یک فهرست خطی از بخش‌های عمل، فرایند و شیء نیست، بلکه یک چرخهٔ بازخوردی محسوب می‌شود. دابینسکی و همکاران در شکل ۱ نحوهٔ عملکرد سطوح APOS و ارتباط آن‌ها با یکدیگر را ارائه کرده‌اند.

1. Tematization



شکل ۱. نحوهٔ عملکرد سطوح APOS و ارتباط آن‌ها با یکدیگر

روش‌شناسی پژوهش

در این پژوهش یک ابزار اندازه‌گیری بر اساس مدل شناختی APOS طراحی شد و به کمک آن سطح یادگیری دانش‌آموزان پایه دوازدهم (تجربی و ریاضی) از مبحث حرکت‌شناسی در کتاب فیزیک دوازدهم بررسی خواهد شد. روش این تحقیق زمینه‌یابی (پیمایشی) است که یکی از روش‌های جمع‌آوری داده‌هاست که در آن از یک گروه خاص از افراد، در مورد یک موضوع خاص، تحقیق صورت می‌گیرد. گروه خاص در این تحقیق، دانش‌آموزان پایهٔ دوازدهم متوسطه و موضوع خاص، درک آن‌ها از مفاهیم حرکت‌شناسی است. نوع این تحقیق زمینه‌یابی مقطعی است که اطلاعات در آن زمانی جمع‌آوری شده که مبحث حرکت‌شناسی در فیزیک پایهٔ دوازدهم تدریس شده است. جامعهٔ آماری این پژوهش، کلیهٔ دانش‌آموزان پسر پایه دوازدهم دورهٔ متوسطهٔ دوم مدارس دولتی منطقهٔ ۱۲ شهر تهران می‌باشند که در سال تحصیلی ۱۳۹٦–۹۷ در رشته‌های ریاضی و تجربی مشغول به تحصیل بوده‌اند.

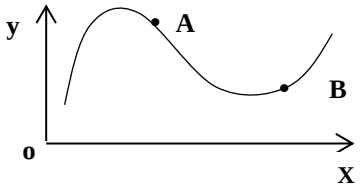
نمونهٔ مورد نظر ۹٤ نفر از این جامعهٔ آماری بودند، که شامل ۲۸ نفر رشتهٔ ریاضی و ٦٦ نفر رشتهٔ تجربی می‌باشند، که به روش تصادفی ساده انتخاب شده‌اند.

ابزار جمع‌آوری داده‌ها در این تحقیق، آزمون پیشرفت تحصیلی محقق‌ساخته بر اساس چارچوب نظری APOS است. همهٔ سؤالات در حد دانش و معلومات دانش‌آموزان از مفاهیم مبحث حرکت‌شناسی و طبق کتاب درسی است. روایی صوری و محتوای آزمون توسط تعدادی از استادان آموزش فیزیک و دبیران با تجربه تأیید شد و با استفاده از نرم‌افزار SPSS، ضریب آلفای کرونباخ آزمون ۰٫۹۰٤ به درست آمد که این مقدار وضعیت مناسبی را در مورد پایایی نشان می‌دهد. این آزمون شامل ۱۱ مسألهٔ تشریحی چندقسمتی است .

در ادامه، ابتدا مسأله‌ها را بر اساس چارچوب نظری APOS بررسی کرده و سپس، پاسخ‌های دانش‌آموزان به هر سؤال را بر اساس این چارچوب و آمار توصیفی تحلیل می‌کنیم.

مسألهٔ ۱

۱. شکل زیر مسیر حرکت جسمی در صفحهٔ XOY را نشان می‌دهد.



a) بردار مکان جسم را در نقطهٔ B رسم کنید.

b) بردار تغییر مکان جسم در جابجایی از A به B را رسم کنید.

c) کدامیک از بردارهای مکان و تغییر مکان به مبدأ مختصات وابسته هستند؟ چرا؟

تحلیل مسأله: قسمت‌های (a) و (b) مسأله، درک دانش‌آموزان از مفاهیم بردارهای مکان و جابه‌جایی را در سطح عمل می‌سنجد، زیرا دانش‌آموزان برای پاسخ‌دادن به این قسمت‌ها دستورالعمل مشخص (نمودار) در اختیار دارند و روش پاسخگویی نیز قبلاً به آن‌ها آموزش داده شده است. قسمت (c) مسأله، درک دانش‌آموزان از این مفاهیم را در سطح فرایند می‌سنجد، زیرا دانش‌آموزان برای پاسخگویی به این قسمت از مسأله، نیازمند تأمل روی قسمت‌های قبل می‌باشند.

تحلیل پاسخ‌های دانش‌آموزان:

جدول ۱. نتایج تحلیل پاسخ دانش‌آموزان به مسألهٔ ۱ بر مبنای APOS به درصد

سطح سؤال / رشته	(a)	(b)	(c)
	سطح عمل	سطح عمل	سطح فرایند
ریاضی	۸۹٫۲۸	۹٦٫٤۳	۷۵٫۰۰
تجربی	٦۳٫٦۳	۷۵٫۷۵	۵۰٫۰۰
کل	۷۱٫۲۷	۸۱٫۹۱	۵۷٫٤٤

داده‌های جدول ۱ حاکی از آن است که درصد بالایی از کل دانش‌آموزان در سطح عمل از مفهوم بردارهای مکان و جابه‌جایی قرار دارند، اما درصد کمتری از دانش‌آموزان در سطح فرایند از مفاهیم بردارهای مکان جابه‌جایی قرار دارند زیرا آن‌ها باید با درک ویژگی بردارهای مکان و جابه‌جایی و با بازتاب بر قسمت‌های قبل به این قسمت پاسخ دهند.

مسألهٔ ۲

۲. بردار مکان متحرکی در صفحهٔ XOY در SI به صورت $\vec{r}=(۱٫۵t۲+^{۲}t)\vec{i}+(۲t^{۲}+ ۸)\vec{j}$ است.

a) جهت حرکت متحرک در لحظهٔ t=۲s با محور X چه زاویه‌ای می‌سازد؟

b) بردار شتاب متوسط در ۲ ثانیهٔ اول حرکت را به دست آورید.

تحلیل مسأله: قسمت (a) مسأله، درک دانش‌آموزان از مفهوم معادلهٔ حرکت را در سطح فرایند می‌سنجد، زیرا آن‌ها برای پاسخگویی باید فهمیده باشد که جهت حرکت همان جهت بردار سرعت است تا بتوانند دو عمل به دست آوردن بردار سرعت متحرک در لحظهٔ t=۲s و تعیین زاویهٔ بردار سرعت با جهت محور x را با هم ترکیب کنند. قسمت (b) نیز درک دانش‌آموزان از مفهوم معادلهٔ حرکت را در سطح فرایند می‌سنجد، زیرا پاسخگویی صحیح به این قسمت نیازمند ترکیب سه عمل تعیین بردار سرعت، محاسبهٔ سرعت متحرک در لحظات داده شده و در نهایت تعیین بردار شتاب متوسط بر اساس روابط موجود است.

تحلیل پاسخ‌های دانش‌آموزان:

جدول ۲. نتایج تحلیل پاسخ دانش‌آموزان به مسألهٔ ۲ بر مبنای APOS به درصد

سطح سؤال / رشته	(a) فرایند	(b) فرایند
ریاضی	٤٢٫٦٨	٥٠٫٠٠
تجربی	٣٠٫٣٠	٤٢٫٤٢
کل	٣٤٫٠٤	٤٤٫٦٨

داده‌های جدول ۲ حاکی از آن است که عملکرد دانش‌آموزان در پاسخگویی به قسمت (b) بهتر از قسمت (a) مسأله است، زیرا قسمت (b) نیازمند درک مفهومی است در حالی که قسمت (a) نیازمند ترکیب اعمال است. بنابراین، می‌توان گفت عملکرد دانش‌آموزان در پاسخ به سؤالاتی که نیاز به دانش رویه‌ای دارند بهتر است، اما در پاسخ به سؤالاتی که نیاز به درک مفهومی دارند، دارای مشکلات فراوانی هستند.

مسألهٔ ۳

۳. در جابه‌جایی از مکان $\vec{r}_1 = \hat{i}+2\hat{j}$ به مکان $\vec{r}_2 = -3\hat{i}+6\hat{j}$ (در SI) بردار سرعت متوسط متحرک $\vec{V} = -\hat{i}+\hat{j}$ است (i و j، بردارهای یکه در راستای محور X هستند).

a) بردار جابه‌جایی متحرک را به دست آورید.

b) زمان این جابه‌جایی چند ثانیه است؟

تحلیل مسأله: قسمت (a) مسأله، درک دانش‌آموزان از مفهوم بردار مکان را در سطح عمل می‌سنجد، زیرا آن‌ها می‌توانند طبق دستورالعمل مشخص (روابط موجود) به این قسمت پاسخ دهند.

قسمت (b) مسأله، درک دانش‌آموزان از مفهوم سرعت متوسط را در سطح فرایند مورد ارزیابی قرار می‌دهد، زیرا پاسخگویی صحیح به این قسمت از مسأله، نیاز به درک هم‌جهت بودن بردارهای جابه‌جایی و سرعت متوسط و استفاده از رابطه‌ی $\vec{v} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}$ برای محاسبهٔ زمان جابه‌جایی است.

تحلیل پاسخ‌های دانش‌آموزان:

جدول ۳. نتایج تحلیل پاسخ دانش‌آموزان به مسألهٔ ۳ بر مبنای APOS به درصد

سطح سؤال / رشته	(a) سطح عمل	(b) سطح فرایند
ریاضی	۸۹٫۲۹	٦۷٫۸٦
تجربی	۷۸٫۷۹	۳۳٫۳۳
کل	۸۱٫۸۵	٤۳٫٦۱

داده‌های جدول ۳ حاکی از آن است که درصد بالایی از دانش‌آموزان در سطح عمل از مفهوم جابه‌جایی قرار دارند در حالی که درصد بسیار کمتری از دانش‌آموزان در سطح فرایند از مفهوم سرعت متوسط قرار دارند. این تعداد دانش‌آموزان با درک این نکته که بردار سرعت متوسط با بردار جابه‌جایی همجهت‌اند، توانسته‌اند زمان جابه‌جایی را محاسبه کنند. مشکل دانش‌آموزان در پاسخ به قسمت (b) عدم درک همجهت‌بودن بردارهای جابه‌جایی و سرعت متوسط است.

مسألهٔ ٤

٤. بردار سرعت متحرکی در SI به صورت $\vec{v} = 2t\,\hat{\imath} - t^2\,\hat{\jmath}$ است که در آن $\hat{\imath}$ و $\hat{\jmath}$ بردارهای یکه در رستای محورهای x و y هستند.

a) اگر متحرک از مبدأ مکان شروع به حرکت کرده باشد، بردار مکان متحرک را به دست آورید.

b) بزرگی شتاب متحرک در لحظهٔ $t=2s$ را به دست آورید.

تحلیل مسأله: قسمت (a) مسأله، درک دانش‌آموزان از مفهوم سرعت را در سطح فرایند مورد ارزیابی قرار می‌دهد. زیرا پاسخگویی به این قسمت از سؤال نیازمند ترکیب دو عمل انتگرال گیری و جایگذاری است.

حل قسمت (b)، درک دانش‌آموزان از مفهوم شتاب را در سطح فرایند می‌سنجد، زیرا آن‌ها باید ابتدا عمل مشتق گرفتن را انجام دهند، سپس با جایگذاری کردن زمان داده شده بردار شتاب و در نهایت، مقدار شتاب را به دست آورند.

تحلیل پاسخ‌های دانش‌آموزان:

جدول ٤. نتایج تحلیل پاسخ دانش‌آموزان به مسألهٔ ٤ بر مبنای APOS به درصد

سطح سؤال / رشته	(a)	(b)
	سطح فرایند	سطح فرایند
ریاضی	٥٧٫١٤	٥٧٫١٤
تجربی	٤٣٫٩٣	٤٥٫٤٥
کل	٤٧٫٨٧	٤٨٫٩٣

داده‌های جدول ٤ حاکی از آن است که دانش‌آموزان در پاسخگویی به هر دو سؤال این مسأله عملکرد تقریباً یکسانی داشته‌اند. ضعف دانش‌آموزان در پاسخگویی به سؤالات این مسأله، اشتباه‌گرفتن حرکت دوبعدی با یک‌بعدی و توانایی ضعیف ریاضی در انتگرال‌گیری است.

مسألهٔ ٥

٥. معادلهٔ مکان- زمان متحرکی روی خط راست در SI به صورت $X=t^{۲}-٦t+٨$ است.

a) مکان اولیهٔ متحرک (مکان متحرک در لحظهٔ $t=٠$) را به دست آورید.

b) نمودار مکان- زمان متحرک را رسم کنید.

c) مسافت طی توسط متحرک در ٥ ثانیهٔ اول را به دست آورید.

تحلیل مسأله: قسمت (a) مسأله، درک دانش‌آموزان از مفهوم معادلهٔ مکان - زمان را در سطح عمل مورد ارزیابی قرار می‌دهد، زیرا آن‌ها بر اساس یک دستورالعمل مشخص (معادلهٔ مکان- زمان) و در پاسخ به یک محرک خارجی (زمان) به این قسمت پاسخ می‌دهند. قسمت (b) مسأله، درک دانش‌آموزان از مفهوم معادلهٔ مکان- زمان را در سطح فرایند ارزیابی می‌کنند، زیرا پاسخگویی به این قسمت از سؤال نیازمند تعیین مکان متحرک در لحظات مختلف و رسم نمودار مکان- زمان است. قسمت (c) مسأله، درک دانش‌آموزان از مفهوم معادلهٔ مکان- زمان را در سطح شیء مورد ارزیابی قرار می‌دهد، زیرا پاسخگویی به این قسمت نیازمند تبدیل نمودار مکان- زمان به مسیر حرکت برای محاسبهٔ مسافت طی شده است.

تحلیل پاسخ‌های دانش‌آموزان:

جدول ۵. نتایج تحلیل پاسخ دانش‌آموزان به مسألهٔ ۵ بر مبنای APOS به درصد

سطح سؤال / رشته	(a) سطح عمل	(b) فرایند	(c) سطح شیء
ریاضی	۹٦٫٤۲	۹۲٫۸۵	۳۲٫۱٤
تجربی	۷۲٫۲۷	٥٤٫٥٤	۲۱٫۲۱
کل	۸٤٫۰٤	٦٥٫۹٥	۲٤٫٤٦

داده‌های جدول ۵ حاکی از آن است که درک اکثر دانش‌آموزان از معادلهٔ مکان – زمان در سطح عمل و فرایند می‌باشد و تعداد کمی از آن‌ها توانسته‌اند به درک شی ء از این مفهوم برسند. مشکل دانش‌آموزان در پاسخگویی به این قسمت از مسأله، به ضعف آن‌ها در رسم معادلهٔ مکان- زمان، محاسبهٔ جابه‌جایی به جای مسافت طی شده و عدم توانایی آن‌ها در تبدیل نمودار مکان- زمان به مسیر حرکت است.

مسألهٔ ٦

٦. معادلهٔ سرعت – زمان متحرکی روی خط راست در SI به صورت V=۲t -٦ است.

a) نمودار سرعت – زمان متحرک را رسم کنید

b) جهت حرکت متحرک را در بازهٔ زمانی صفر تا ۳ ثانیه را به دست آورید.

c) مسافت طی‌شده توسط متحرک در بازهٔ زمانی ۲ تا ۵ ثانیه را به دست آورید.

تحلیل مسأله: قسمت (a) مسأله، درک دانش‌آموزان از مفهوم سرعت را در سطح فرایند مورد ارزیابی قرار می‌دهد، زیرا دانش‌آموزان برای رسم نمودار سرعت – زمان متحرک، باید سرعت متحرک را در لحظات دلخواه بدست آورند. قسمت (b) مسأله، درک دانش‌آموزان از مفهوم سرعت را در سطح فرایند می‌سنجد، زیرا پاسخگویی به این قسمت از مسأله نیازمند درک این نکته است که علامت سرعت در هر لحظه، جهت حرکت متحرک را در هر لحظه نشان می‌دهد. پاسخ صحیح به قسمت (**c**)، درک دانش‌آموزان از مفهوم سرعت را در سطح شیء مورد ارزیابی قرار می‌دهد، زیرا آن‌ها باید ابتدا نمودار سرعت زمان را رسم کرده باشند (انجام فرایند) تا بتوانند با انجام عمل محاسبهٔ سطح زیر نمودار سرعت- زمان، مسافت طی‌شده را به دست آورند.

تحلیل پاسخ‌های دانش‌آموزان:

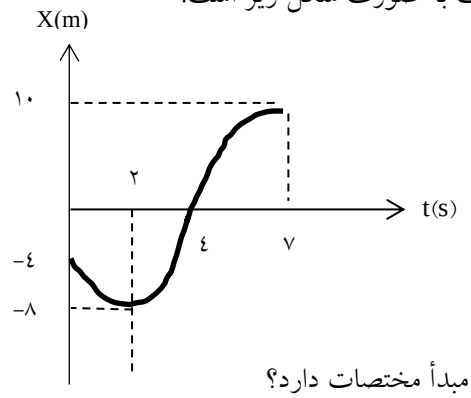
جدول ۶. نتایج تحلیل پاسخ دانش‌آموزان به مسألهٔ ۶ بر مبنای APOS به درصد

سطح سؤال / رشته	(a)	(b)	(c)
	فرایند	فرایند	شیء
ریاضی	۷۸٫۵۷	۸۲٫۱٤	۱۷٫۸۵
تجربی	٦٦٫٦٦	۳۱٫۸۱	٦٫٦۰
کل	٦۵٫۹۵	٤٦٫۸۰	۹٫۵۷

داده‌های جدول ٦ حاکی از آن است که درک اکثر دانش‌آموزان از معادلهٔ سرعت – زمان در سطح عمل و فرایند می‌باشد و تعداد کمی از آن‌ها توانسته‌اند به درک شیء از معادلهٔ سرعت – زمان برسند. مشکل دانش‌آموزان در پاسخگویی به این مسأله، به ضعف آن‌ها در تعیین جهت حرکت به کمک علامت سرعت، ناتوانی در رسم نمودار سرعت زمان و به تبع آن محاسبهٔ سطح زیر این نمودار است.

مسألهٔ ۷

۷. نمودار مکان – زمان متحرکی روی خط راست به صورت شکل زیر است.



a) در کدام لحظه متحرک بیشترین فاصله از مبدأ مختصات دارد؟

b) مسافت طی‌شده توسط متحرک را در مدت ۷ ثانیه حساب کنید.

c) با توجه به جهت بردارهای سرعت و شتاب، نوع حرکت متحرک را در بازهٔ زمانی ٤ تا ۷ ثانیه را تعیین کنید.

تحلیل مسأله: قسمت (a) مسأله، درک دانش‌آزمون از مفهوم نمودار مکان- زمان را در سطح عمل می‌سنجد، زیرا دانش‌آموزان برای پاسخ‌دادن به این قسمت از سؤال، دستورالعمل مشخص (نمودار) را در اختیار دارند. قسمت (b) مسأله، درک دانش‌آموزان از مفهوم نمودار مکان- زمان را در سطح فرایند می‌سنجد. زیرا به آن‌ها نمودار مکان- زمان داده شده و کافی است، آن‌ها در ذهن خود مسیر حرکت را رسم کرده تا مسافت طی‌شده را به دست آورند.

قسمت (c) مسأله، درک دانش‌آموزان از مفهوم نمودار مکان- زمان را در سطح طرحواره می‌سنجد، زیرا پاسخگویی به این قسمت از مسأله نیازمند درک سرعت و شتاب به عنوان اشیاء ذهنی و انجام عمل ذهنی ضرب روی این اشیاء است

تحلیل پاسخ‌های دانش‌آموزان:

جدول ۷. نتایج تحلیل پاسخ دانش‌آموزان به مسألهٔ ۷ بر مبنای APOS به درصد

سطح سؤال / رشته	(a)	(b)	(c)
	عمل	فرایند	طرحواره
ریاضی	۸۱٫۱٤	۵۷٫۱٤	۲۵٫۰۰
تجربی	٦۰٫٦۰	۳٤٫٤۸	۱۸٫۱۸
کل	٦۷٫۰۲	۳۸٫۲۹	۷٦٫۱۲

داده‌های جدول ۷ حاکی از آن است که درک اکثر دانش‌آموزان از معادلهٔ مکان- زمان در سطح عمل است. اکثر دانش‌آموزان به‌جای مسافت طی‌شده، جابه‌جایی را به‌دست آورده‌اند. این بدان معنا است که دانش‌آموزان این مفاهیم را در حد شیء درک نکرده‌اند. با توجه به اینکه شیء ذهنی مفاهیم مبحث حرکت‌شناسی از جمله سرعت و شتاب در ذهن اکثر دانش‌آموزان تشکیل نشده است و اکثراً به اشتباه این مفاهیم را به جای هم به کار می‌برند. بنابراین، انتظار می‌رود که عملکرد آن‌ها در برخورد با مسائل در سطح طرحواره بسیار ضعیف باشد، که در پاسخگویی دانش‌آموزان به قسمت (c) این موضوع مشهود است.

مسألهٔ ۸

۸. گلوله‌ای از ارتفاع h با سرعت اولیهٔ ۲۰ متر بر ثانیه در راستای قائم به طرف بالا پرتاب می‌کنیم، این گلوله پس از ۷ ثانیه به زمین می‌رسد.

a) زمان اوج گلوله را به دست آورید.

b) چند ثانیه پس از پرتاب سرعت گلوله به ۳۰ متر بر ثانیه می‌رسد؟

C) جابه‌جایی متحرک در ثانیهٔ آخر حرکت چند متر است؟

تحلیل مسأله: قسمت (a)، درک دانش‌آزمون از مفهوم سقوط آزاد را در سطح عمل می‌سنجد؛ زیرا پاسخگویی به این قسمت نیازمند استفاده از رابطهٔ زمان اوج و جایگذاری مقادیر داده شده، در این رابطه است. قسمت (b)، درک دانش‌آموزان درک از مفهوم سقوط آزاد را در سطح فرایند ارزیابی می‌کند؛ زیرا پاسخگویی به این قسمت علاوه بر استفاده از رابطهٔ سرعت- زمان، نیازمند درک بیشتری نسبت به حالت قبل است. قسمت (c)، درک دانش‌آموزان از مفهوم سقوط آزاد را در سطح شیء می‌سنجد؛ زیرا پاسخگویی به این قسمت نیازمند رسم نمودار سرعت- زمان (انجام فرایند) و محاسبهٔ سطح زیر نمودار سرعت- زمان به عنوان جابه‌جایی است (انجام عمل روی فرایند).

تحلیل پاسخ‌های دانش‌آموزان:

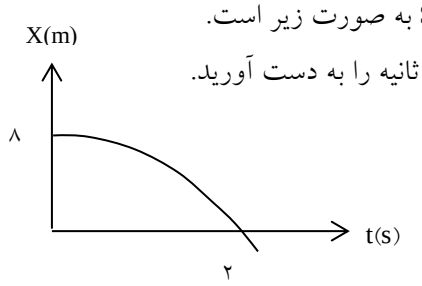
جدول ۸. نتایج تحلیل پاسخ دانش‌آموزان به مسألهٔ ۸ بر مبنای APOS به درصد

سطح سؤال / رشته	(a)	(b)	(c)
	عمل	فرایند	شیء
ریاضی	۸۱٫۱٤	۵۷٫۱٤	۳۲٫۱٤
تجربی	۵۹٫۹	۱٦٫۹٦	۱۲٫۱۲
کل	٦۵٫۹۵	۳۰٫۸۵	۱۸٫۰۸

داده‌های جدول ۸ حاکی از آن است که درک اکثر دانش‌آموزان از سقوط آزاد در سطح عمل است و تعداد بسیار کمی از آن‌ها در سطح فرایند و شیء از سقوط آزاد قرار دارند. مشکلات دانش‌آموزان در سقوط آزاد مربوط به ضعف آن‌ها در مفاهیم پایه‌ای حرکت‌شناسی از جمله سرعت، شتاب، جابه‌جایی و مسافت طی شده است.

مسألهٔ ۹

۹. نمودار مکان- زمان متحرکی روی خط راست در SI به صورت زیر است.



a) سرعت متوسط متحرک در بازهٔ زمانی صفر تا ۲ ثانیه را به دست آورید.

b) سرعت اولیهٔ متحرک چند متر بر ثانیه است؟

c) معادلهٔ مکان- زمان این متحرک را بنویسید.

تحلیل پاسخ سؤال ۹ براساس چارچوب نظری APOS: قسمت (a)، درک دانش‌آموزان از مفهوم معادلهٔ مکان- زمان را در سطح عمل مورد ارزیابی قرار می‌دهد؛ زیرا پاسخ به این قسمت، نیازمند استفاده از رابطهٔ $\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ و جای گذاری مقادیر داده شده در این رابطه می‌باشد. قسمت (b)، درک دانش‌آموزان از مفهوم معادلهٔ مکان- زمان را در سطح می‌سنجد؛ پاسخگویی به این قسمت نیازمند درک شیب خط مماس بر نمودار مکان- زمان به عنوان سرعت است. قسمت (c)، درک دانش‌آموزان از مفهوم معادلهٔ مکان- زمان را در سطح شیء می‌سنجد؛ زیرا پاسخگویی به این قسمت، نیازمند درک این نکته است که نمودار مکان- زمان در حرکت با شتاب ثابت، سهمی و معادلهٔ آن تابعی درجهٔ دوم از زمان است (درک نمودار مکان- زمان به صورت شیء)، تا بتوان اعمال (تعیین مکان اولیه) و فرایندها (تعیین سرعت اولیه و شتاب) را روی آن انجام داد.

تحلیل پاسخ‌های دانش‌آموزان بر اساس چارچوب APOS:

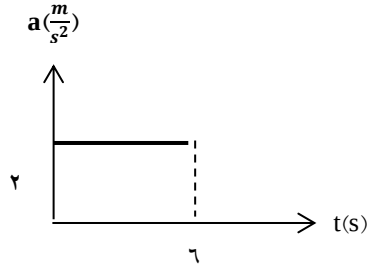
جدول ۹. نتایج تحلیل پاسخ دانش‌آموزان به مسألهٔ۹ بر مبنای APOS به درصد

سطح / رشته	(a)	(b)	(c)
	عمل	فرایند	شیء
ریاضی	۷۸٫۵۷	٤٦٫٤۲	۳۰٫۷٦
تجربی	۵۰٫۰۰	۳۰٫۳۰	۲۱٫۲۱
کل	۵۸٫۵۱	۳۵٫۱۰	۲۳٫۰٤

داده‌های جدول ۹ حاکی از آن است که درک اکثر دانش‌آموزان از نمودار مکان – زمان در سطح عمل است . این دانش‌آموزان به کمک رابطهٔ $\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ سرعت متوسط را حساب کرده‌اند و تعداد بسیار کمی (کمتر از انگشتان یک دست) به کمک شیب خط واصل نمودار مکان- زمان توانسته‌اند سرعت متوسط متحرک را حساب کنند. عملکرد ضعیف دانش‌آموزان در پاسخ به قسمت‌های (b) و (c) نشان‌دهندهٔ ضعف دانش‌آموزان در درک درست از مفاهیم مکان اولیه و سرعت اولیه، و همچنین، شیب نمودارها و ناتوانی آن‌ها در محاسبهٔ شتاب متحرک به کمک نمودار مکان- زمان است.

مسألهٔ ۱۰

۱۰. نمودار شتاب- زمان متحرکی بر مسیر مستقیم مطابق با شکل زیر است. اگر سرعت اولیهٔ متحرک برابر $-٤\frac{m}{s}$ باشد:



a) نمودار سرعت- زمان آن را رسم کنید.

b) جابه‌جایی متحرک در مدت ٦ ثانیه را به کمک نمودار سرعت- زمان محاسبه کنید.

تحلیل مسألهٔ ۱۰ بر اساس چارچوب نظری APOS: قسمت (a)، درک دانش‌آموزان از مفهوم نمودار شتاب – زمان را در سطح فرایند می‌سنجد؛ زیرا پاسخگویی به این قسمت نیازمند نوشتن معادلهٔ سرعت- زمان (انجام عمل) و رسم آن (انجام فرایند) است. قسمت (b)، درک دانش‌آموزان از مفهوم نمودار شتاب - زمان را در سطح شیء می‌سنجد؛ زیرا پاسخگویی به این قسمت نیازمند تبدیل نمودار شتاب- زمان به سرعت- زمان (انجام فرایند) و محاسبهٔ سطح زیر نمودار به عنوان جابه‌جایی است (انجام عمل روی فرایند)

تحلیل پاسخ‌های دانش‌آموزان به مسألهٔ ۱۰ بر اساس چارچوب APOS:

جدول ۱۰. نتایج تحلیل پاسخ دانش‌آموزان به مسألهٔ ۱۰ بر مبنای APOS به درصد

سطح سؤال / رشته	(a) سطح فرایند	(b) سطح شیء
ریاضی	۵۷٫۱٤	۳۹٫۲۸
تجربی	۳٦٫۳۹	۱۸٫۱۷
کل	٤۷٫۷۸	۲۰٫۲۱

داده‌های جدول ۱۰ حاکی از آن است که دانش‌آموزان در درک نمودار شتاب – زمان عملکرد مطلوبی نداشته‌اند. ضعف دانش‌آموزان در تفسیر نمودارهای سینماتیک بسیار مشهود است، این ضعف به دلیل تأکید بیشتر بر جنبه معادله‌ای درحرکت شناسی است. برای برطرف‌کردن این ضعف دانش‌آموزان باید در کنار معادلات ریاضی نمودارها نیز تأکید می‌شود.

مسألهٔ ۱۱

۱۱. خودرویی پشت چراغ قرمز ایستاده است. با سبز شدن چراغ، خودرو با شتاب ثابت $۲\ \frac{\mathbf{m}}{\mathbf{s^2}}$ شروع به حرکت می‌کند. در همین لحظه کامیونی با سرعت $۳٦\frac{\mathbf{km}}{\mathbf{h}}$ از آن سبقت می‌گیرد.

a) در لحظهٔ $t= ۳\ s$ فاصلهٔ خودرو از کامیون چقدر است؟

b) خودرو با چه سرعتی از کامیون سبقت می‌گیرد؟

تحلیل مسأله: قسمت (a)، درک دانش‌آموزان از مفهوم معادلهٔ مکان- زمان را در سطح شیء می‌سنجد؛ زیرا پاسخگویی به این قسمت، نیازمند نوشتن معادلات هر یک از متحرک‌ها و تعیین مکان هر متحرک در لحظهٔ داده شده (انجام فرایند) و کم‌کردن مکان دو متحرک (انجام عمل روی فرایند) است.

قسمت (b)، درک دانش‌آموزان را از مفهوم حرکت رادر سطح طرحواره می‌سنجد، زیرا پاسخگویی به این قسمت نیازمند هماهنگی فرایندهای درک مفهوم سبقت، نوشتن معادلات مکان- زمان، تعیین لحظهٔ سبقت و محاسبه سرعت خودرو حین سبقت است.

تحلیل پاسخ‌های دانش‌آموزان به مسألهٔ ۱۱ بر اساس چارچوب APOS

جدول ۱۱. نتایج تحلیل پاسخ دانش‌آموزان به مسألهٔ ۱۱ بر مبنای APOS

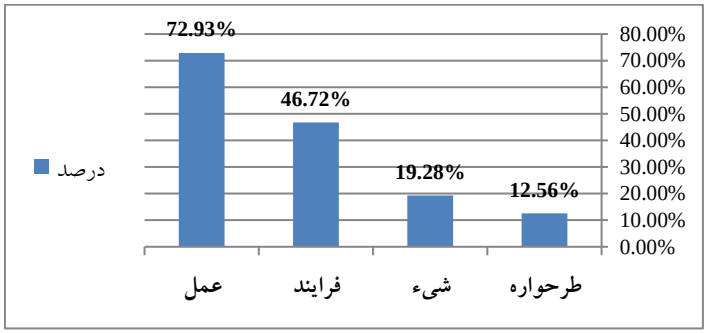
سطح سؤالات / رشته	(a) شیء	(b) طرحواره
ریاضی	۳۵٫۷۱	۲۵٫۰۰
تجربی	۱۳٫۶۳	۷٫۵۷
کل	۲۰٫۲۱	۱۲٫۷۶

داده‌های جدول ۱۱ حاکی از آن است در سؤالاتی که در سطح شیء و طرحواره از مفاهیم حرکت‌شناسی هستند، دانش‌آموزان عملکرد مناسبی ندارند. می‌توان گفت دانش‌آموزان نتوانسته‌اند دانش منسجمی از مفاهیم این مفاهیم را در ذهن خود تشکیل دهند.

در ادامه، به پرسش‌های پژوهش پاسخ داده می‌شود.

سؤال اول: توزیع فراوانی سطوح یادگیری فراگیران از مفاهیم حرکت‌شناسی بر اساس چارچوب APOS چگونه است؟

نتایج کلی عملکرد دانش‌آموزان در پاسخ به سؤالات آزمون بر اساس چارچوب نظری APOS مطابق با نمودار شکل ۲ است.



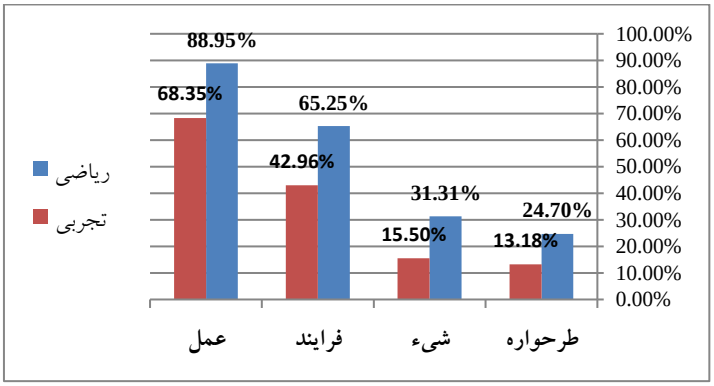
شکل ۲. نمودار عملکرد کلی دانش‌آموزان در آزمون

نتایج حاکی از آن است که ۷۲٫۹۳ درصد از دانش‌آموزان، مفاهیم حرکت‌شناسی را در سطح عمل درک کرده‌اند. این دانش‌آموزان در پاسخ به سؤالاتی که برای حل آن‌ها نیازمند دسترسی به یک روش

الگوریتمی است، خوب عمل کرده‌اند. ٤٦٫۷۲ درصد از دانش‌آموزان، توانسته‌اند به درک فرایند از مفاهیم حرکت‌شناسی برسند، این دانش‌آموزان با بازتاب روی عمل‌ها توانسته‌اند به یک ساختار درونی برای انجام عمل برسند، یا عمل‌ها را به روش ذهنی انجام دهند، یا چند عمل را با هم ترکیب کنند. ۱۹٫۲۸ درصد از دانش‌آموزان، موفق به درک شیء از مفاهیم حرکت‌شناسی گشته‌اند، این درصد از دانش‌آموزان در درک این مفاهیم از روی نمودارها و معادلات توانمند بوده و توانایی تبدیل نمودارهای حرکت‌شناسی و انجام اعمال و فرایندها روی آن‌ها را دارند. جمع‌بندی فرایندها برای تبدیل به شیء بسیار دشوار است و بسیاری از استراتژهای آموزشی در کمک به دانش‌آموزان در این حال کارساز نیست. سازماندهی عمل‌ها، فرایندها و اشیاء ذهنی که منجر به تشکیل طرحواره می‌شوند در ۱۲٫٥٦ درصد از دانش‌آموزان اتفاق افتاده است. درک مفاهیم حرکت‌شناسی در سطح طرحواره نسبت به سطوح دیگر کمتر است؛ زیرا دانش‌آموزان باید اعمال، فرایندها و اشیاء را به طور منسجم به کار گیرند. با توجه به ضعف اکثر دانش‌آموزان در درک فرایند و شیء از مفاهیم حرکت‌شناسی، انتظار می‌رود عملکرد آن‌ها در پاسخگویی به سؤالاتی که در سطح طرحواره هستند، مطلوب نباشد.

سؤال دوم: آیا سطح یادگیری دانش‌آموزان رشته‌های تجربی و ریاضی از مفاهیم حرکت‌شناسی تفاوتی دارد؟

عملکرد کلی دانش‌آموزان رشته‌های تجربی و ریاضی در پاسخ به سؤالات آزمون در نمودار شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳. نمودار مقایسهٔ عملکرد دانش‌آموزان رشته‌های ریاضی و تجربی

مطابق با نمودار شکل ۳، دانش‌آموزان رشتهٔ ریاضی در پاسخگویی به سؤالات آزمون نسبت به دانش‌آموزان رشتهٔ تجربی عملکرد بهتری داشته‌اند. دلیل عملکرد بهتر دانش‌آموزان رشتهٔ ریاضی، توانایی بیشتر آن‌ها در ریاضیات، داشتن قدرت تجزیه و تحلیل بیشتر و دقت در محاسبات بوده است.

سؤال سوم: دانش‌آموزان چه کج‌فهمی‌هایی در زمینهٔ درک مفاهیم حرکت‌شناسی دارند؟

فیشر(۲۰۱۱) کج‌فهمی‌ها در علوم را ایده‌هایی می‌داند که با دیدگاه‌های علمی پذیرفته شده در تعارض هستند.در واقع کج‌فهمی‌ها ، برداشت‌های غیر علمی دانش‌آموزان است که با ایده‌های دانشمندان در تعرض‌اند. این کج‌فهمی‌ها می‌توانند از مشاهدهٔ مستقیم پدیده‌ها، معلم، کتاب درسی، کاربردهای زبانی و رسانه نشأت بگیرند. شناسایی این کج‌فهمی‌ها می‌تواند نقش مؤثری در بهبود وضعیت یاددهی و یادگیری داشته باشد. در ادامه، به تعدادی از کج‌فهمی‌های دانش‌آموزان در زمینهٔ مفاهیم حرکت‌شناسی اشاره می‌کنیم.

۱. دانش‌آموزان مفهوم سرعت اولیه، زمان اولیه و مکان اولیه را به صورت یک طرحوارهٔ کامل در ذهن ندارند، چون در اغلب مسائل $X_0=0$ و $t_0=0$ می‌آید به‌تدریج فقط به x,t توجه می‌کنند و اصولاً تغییر مکان و زمان را فراموش می‌کنند.

۲. اغلب دانش‌آموزان، بردار مکان را با بردار سرعت اشتباه می‌گیرند و فکر می‌کنند بردار مکان متحرک در هر لحظه، جهت حرکت متحرک را در آن لحظه مشخص می‌کند.

۳. اغلب نقطه‌های هم زمان را نقاط هم سرعت انتخاب می‌کنند، چرا که معتقد اند وقتی Xها در t یکسان، برابر هستند، V یکسان می‌شود، یعنی به معنای Δ در کنار مکان و زمان توجهی نمی کنند، یا اصلاً نمی بینند.

٤. تصویر ذهنی دانش‌آموزان از حرکت یکنواخت، اغلب تصویر درستی نیست. آن‌ها مسیر مستقیم را علامت حرکت مستقیم‌الخط یکنواخت می‌دانند.

۵. اغلب دانش‌آموزان جلوتر بودن یک متحرک را صرفنظر از بقیهٔ فاکتورهای لازم، علامت بیشتر بودن سرعت آن می‌دانند.

٦. دانش‌آموزان مسیر حرکت و نمودار مکان- زمان را یکسان می‌دانند، یعنی بین x-t و x-y تمایزی قائل نیستند.

۷. سرعت و شتاب را یکسان می‌دانند. مفهوم شتاب را نمی‌دانند.
۸. تعریف درستی از جهت سرعت و شتاب ندارند. برخی سرعت و شتاب را همواره هم جهت حرکت می‌دانند. درصد کمی می‌توانند دربارهٔ جهت‌های انتخابی خود استدلال کنند. برخی وقتی سرعت کم می‌شود، سرعت و شتاب را همواره خلاف جهت حرکت و وقتی سرعت زیاد می‌شود، آن‌ها را هم‌جهت می‌دانند.
۹. آن‌ها می‌دانند که سرعت در نقطهٔ اوج صفر است. ولی از آنجا که تمایزی بین سرعت و شتاب قائل نیستند، شتاب را هم صفر فرض می‌کنند.
۱۰. دانش‌آموزان شیب یک نقطه از نمودار را با ارتفاع آن نقطه از نمودار یکسان فرض می‌کنند.
۱۱. دانش‌آموزان در تبدیل و تفسیر نمودارهای حرکت به هم دارای مشکلات زیادی هستند.
۱۲. دانش‌آموزان مفهوم سطح زیر نمودارهای سرعت- زمان و شتاب زمان را نمی‌فهمند.
۱۳. دانش‌آموزان مفهوم سرعت منفی و شتاب منفی را درک نمی‌کنند.
۱٤. از دیگر مشکلات دانش‌آموزان در یادگیری مفاهیم سینماتیک، توانایی ضعیف آن‌ها در انجام فعالیت‌های ریاضی است. تحقیقات مختلف نشان می‌دهد دانش‌آموزان در مباحث توابع، حد توابع، مشتق توابع، انتگرال توابع درای درک ضعیفی هستند که این امر باعث می‌شود که آن‌ها در یادگیری مفاهیم سینماتیک دچار مشکلات زیادی شوند (مک درموت، ۱۹۸۷)

بحث و نتیجه‌گیری

هدف مقالهٔ حاضر بررسی درک دانش‌آموزان پایهٔ دوازدهم از مفاهیم حرکت‌شناسی بر اساس مدل APOS بود. نتایج بررسی نشان می‌دهد اکثر دانش‌آموزان مفاهیم حرکت‌شناسی را به‌خوبی درک نکرده‌اند و مشکلات فراوانی با این مفاهیم دارند. عملکرد ضعیف دانش‌آموزان در پاسخ به سؤالات آزمون این نکته را به‌خوبی مشخص می‌کند که ساخت و سازهای مفاهیم حرکت‌شناسی در ذهن اکثر آن‌ها بسیار ناقص است. این دانش‌آموزان در پاسخ به سؤالات مفهومی نتوانستند نتایج خوبی را نمایان کنند؛ ولی در پاسخ به سؤالات رویه‌ای و الگوریتمی که نیاز به درک مفهومی ندارند خوب عمل کرده‌اند. در مبنای مدل APOS سطح یادگیری دانش‌آموزان در مبحث مفاهیم حرکت‌شناسی

درحد عمل یا حداکثر فرایند است و تعداد کمی از آن‌ها توانسته به سطح شیء ارتقا یابند، یا بهتر است بگوییم شیء مفاهیم حرکت‌شناسی در ذهن اکثر دانش‌آموزان تشکیل نشده است و دانش‌آموزانی که قادر به تشکیل طرحوارهٔ مفاهیم حرکت‌شناسی در ذهن خود گشته‌اند، تعداد انگشت‌شماری از نمونهٔ مورد مطالعه هستند. نتایج این مقاله با نتایج پژوهش ماهاراج (۲۰۱۰)، ماهاراج (۲۰۱۳) و ریحانی و شریفی (۱۳۹۷) که به بررسی سطح درک یادگیری دانشجویان و دانش‌آموزان از مفاهیم ریاضی پرداخته‌اند، همسو است. علت همسو بدون نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش‌های مذکور به شیوه‌های تدریس و ارزشیابی معلمان برمی‌گردد که باعث توقف دانش‌آموزان در سطوح پایین یادگیری می‌شود. علت عدم تشکیل شیء ذهنی مفاهیم حرکت‌شناسی در ذهن دانش‌آموزان دلایل مختلفی می‌تواند داشته باشد؛ یکی از عواملی که مانع تشکیل شیء ذهنی در ذهن دانش‌آموزان می‌شود، ابهامات و باورهای نادرستی است که دانش‌آموزان نسبت به مفاهیم حرکت‌شناسی دارند که حتی با دستورالعمل‌های جدید هم به سختی تغییر می‌کند. این باورهای نادرست که در برخی تحقیقات به نام بدفهمی‌ها از آن‌ها یاد شده، مانع بسیار بزرگی در درک مفاهیم حرکت‌شناسی است که اگر برطرف نشود، ممکن است سالیان سال در ذهن دانش‌آموزان باقی بماند. یکی دیگر از مشکلاتی که باعث عدم رشد سطوح درک و فهم در مفاهیم حرکت‌شناسی می‌گردد، به روش‌های ارائهٔ این مطلب توسط معلم برمی‌گردد. برخی معلمان از همان ابتدا و بدون هیچ مقدمه‌ای، با هدایت دانش‌آموزان به سمت استفاده از فرمول‌ها و روش‌های الگوریتمی در حل مسائل حرکت‌شناسی، آن‌ها را از درک درست مفهوم دور کرده، به طوری که دانش‌آموزان قادرند مسائل پیچیده را به روش الگوریتمی و رویه‌ای حل کنند، بدون آنکه قادر به تفسیر نتایج کار خود باشند.

عاملی دیگر که مانع توسعهٔ درک مفاهیم در ذهن دانش‌آموزان می‌شود، متن کتاب‌های درسی است که دانش‌آموز را در حالت انفعال قرار داده و آن‌ها مجبورند مطالب کتاب درسی را حفظ کنند، همین عامل باعث توقف درک آن‌ها درسطوح عمل و نهایت فرایند می‌شود.

در این پژوهش برای جمع‌آوری داده‌ها از یک آزمون محقق‌ساخته استفاده شده که این یکی از محدودیت‌های پژوهش است، همچنین، به دلیل عدم همکاری مدیران و دبیران دبیرستان‌های دخترانه منطقهٔ ۱۲ تهران، تحقیق در این مدارس انجام نشد و نمونه به دانش‌آموزان پسر محدود شد، بنابراین،

در تعمیم نتایج این مقاله باید احتیاط کرد. پرداختن به تحقیقاتی در زمینهٔ آموزش و یادگیری هر مفهومی در فیزیک مانند مفاهیم حرکت‌شناسی می‌تواند منجر به راهکارهایی برای آموزش بهتر و در نتیجه بهبود وضعیت یادگیری دانش‌آموزان شود. از این رو، پیشنهادهای زیر ارائه می‌شود.

۱. بررسی درک دانش‌آموزان دختر از مفاهیم حرکت‌شناسی و اینکه آیا بین درک دختران و پسران تفاوت معناداری وجود دارد؟

۲. بررسی درک دانش‌آموزان از مفاهیم مختلف مانند چگالی، گرما، فشار بر اساس چارچوب APOS به منظور درک مشکلات آن‌ها در یادگیری این مفاهیم

۳. طراحی و تدوین کتاب‌های درسی بر اساس چارچوب نظری APOS برای تثبیت و توسعهٔ یادگیری دانش‌آموزان

٤. آشنایی معلمان با شیوه‌های جدید ارزشیابی به منظور هدایت دانش‌آموزان به مطالعهٔ دقیق و مفهومی مطالب درسی

منابع

ردیش، ادوارد اف (۱۹۹۱). *آموزش فیزیک*. ترجمه فاطمه احمدی، تهران: انتشارات دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی.

زمانی، زهرا، و وصالی، منصور (۱۳۹۵). مدل‌های ذهنی معلمان در مورد نیروی اصطکاک. هفدهمین کنفرانس آموزش فیزیک ایران و هفتمین کنفرانس آزمایشگاه فیزیک، تهران.

سیف، علی‌اکبر (۱۳۹۳). *روان‌شناسی پرورشی نوین*. تهران: نشر دوران.

شریفی، زهرا، و ریحانی، ابراهیم (۱۳۹٤). *بررسی درک دانش‌آموزان دختر از مفهوم حد*. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران

Asiala, M., Brown , A., Devries , D. J., Dubinsky , E., & Mathewes, K. (1997). A framework for research and curriculum development in undergraduate mathematics education. *CBMS Issue in mathematics Education*, 6, 1-32.

Dubinsky , E., & McDonald, M. A. (2001). APOS: A constructivism theory of learning in undergraduate mathematics research. In Derek Holton et al.(eds), *The teaching and learning of mathematics at university level: An Ic study*(pp.273-280).

Dubinsky, E. (1991). Reflective abstraction in advanced mathematical Thinking. In D Tall (ED), *Advanced Mathematical Thinking* (pp.95-126.), Dordrecht: Kluwer.

Fisher, K. M., Williams, K. S., & Lineback, J. E. (2011). Osmosis and diffusion conceptual assessment. *CBE Life Sci Educ*, 10(4), 418-429.

Maharaj, A. (2010). An APOS analysis of natural science students understanding of the concept of a limit of a function. *Pyhagoras*, 71, 41-52.

Maharaj, A. (2013). An APOS analysis of natural scince students underestanding of integration. *South African Journal of Education*, 3(1), 52-70.

Maharaj, A. (2014). An Apos analysis of students understanding of the concept of a limit of a function. *Pythagoras*, 71, 41-52.

McDermott& et al. (1987). Students difficulties in connececting graphs and physics: Example from kinematics. *phys*., 55, 503-513.

Weyer, S. (2010). APOS theory as a conceptualization for understanding Mathematicallearning. *Summation: Mathematics and computer science scholarship at Ripon*, 3, 9-15.