

طبقه‌بندی مسئله‌ها، یک ابزار آموزشی

اندرو میسون^۱ و چاندرالکا سینگ^۲
ترجمه رضوان حاجی‌هاشمی

اشاره

توانایی طبقه‌بندی مسئله‌ها بر پایهٔ اصول اساسی، به جای محتوا، یکی از ویژگی‌های بارز مهارت در حل مسئله فیزیک در نظر گرفته می‌شود. ما با الهام از یک مطالعهٔ کلاسیک که توسط چی، فلتویچ و گلاسر انجام شده است، طبقه‌بندی ۲۵ مسئله مکانیک مقدماتی بر اساس شباهت در روش حل را توسط دانشجویان دوره‌های مقدماتی مبتنی بر حسابان با استادان دانشکده فیزیک و دانشجویان ph.D مقایسه کرده‌ایم. در اینجا ما خلاصه مطالعه را ارائه داده‌ایم که نشان می‌دهد کار طبقه‌بندی، به‌ویژه هنگامی که توسط دانشجویانی انجام می‌شود که در گروه‌های کوچک با همسالان خود کار می‌کنند، می‌تواند یک ابزار آموزشی مناسب برای کمک به دانشجویان در دوره‌های مقدماتی آموزش فیزیک باشد تا بیاموزند شباهت اساسی بین مسئله‌های با متن‌های متنوع اما اصول فیزیکی اساسی مشابه را تشخیص دهند.

کلیدواژه‌ها: طبقه‌بندی، قانون‌های فیزیک، مسئله‌های مشابه.

مقدمه

فیزیک موضوعی سرشار از دانستی‌هاست و قانون‌های فیزیک در چارچوب‌های دقیق ریاضی بیان شده‌اند. دانشجویان در بسیاری از دوره‌های مقدماتی فیزیک باید بیاموزند قانون‌های فیزیک را که با فرمول‌های ریاضی نشان داده بسط دهند و در شرایط مختلف اعمال کنند تا پدیده‌های فیزیکی را پیش‌بینی کنند و شرح دهند. [۴-۱]. به عبارت دیگر، برای دستیابی به مهارت، دانشجویان باید بیاموزند که اصول مجرد فیزیکی را تفسیر کنند و درک بهتری از آن‌ها به دست آورند و تلاشی آگاهانه برای تشکیل دانشی منسجم داشته باشند. [۵-۹]. طبقه‌بندی مسئله‌های فیزیک بر پایهٔ شباهت راه‌حل، به جای محتوا یا ویژگی‌های ظاهری آن‌ها، یکی از نشانه‌های بارز مهارت در نظر گرفته می‌شود [۱۴-۱۰]. یک متخصص فیزیک می‌تواند بسیاری از مسئله‌های مربوط به پایستگی انرژی را در یک طبقه و مسئله‌های مربوط به پایستگی تکانه را در طبقه دیگر قرار دهد. حتی اگر برخی از مسائل مربوط به قانون‌های پایستگی مختلف محتوای مشابهی داشته باشند

و دیگر مسائلی که فقط مربوط به پایستگی انرژی هستند محتوای بسیار متفاوتی داشته باشند. به هر حال یادگیری محتوا محور است و بسیاری از دانشجویان دوره‌های مقدماتی فیزیک پایه تلاش می‌کنند تا شباهت‌های اساسی مسائل فیزیک با مشخصات ظاهری متفاوت را تشخیص دهند. برای مثال یک استاد فیزیک مسئله‌ای مربوط به یافتن سرعت چرخش یک بالرین که بازوهایش را نزدیک بدنش قرار داده و مسئله‌ای مربوط به چرخش یک ستاره نوترونی را که بر اثر نیروی جاذبه خودش فرومی‌پاشد به‌عنوان مسائل مشابه طبقه‌بندی خواهد کرد. زیرا در هر دو مسئله هیچ گشتاور خارجی بر دستگاه وارد نمی‌شود و پایستگی تکانهٔ زاویه‌ای هر دستگاه بیانگر افزایش سرعت زاویه‌ای آن است. با وجود این دانشجویان بر مشخصات ظاهری مسئله تمرکز می‌کنند و مسئله‌های بالرین و ستاره نوترونی را بسیار متفاوت می‌پندارند. در مطالعه انجام شده توسط چی و همکاران [۱۰] (در اینجا با نام مطالعهٔ چی از آن یاد می‌شود)، از هشت دانشجوی فیزیک مقدماتی در دوره‌های مبتنی بر حسابان درخواست شد که مسئله‌های مکانیک مقدماتی را بر اساس شباهت در راه‌حل طبقه‌بندی کنند. برخلاف متخصصان، که مسئله‌ها را بر اساس قانون‌های فیزیک به کار رفته در حل آن‌ها طبقه‌بندی می‌کنند، دانشجویان مقدماتی به مشخصات ظاهری مسئله‌ها حساس بودند. برای نمونه مسئله‌های مربوط به سطح شیب‌دار را در یک طبقه و مسائل مربوط به قرقره را در یک طبقه جداگانه قرار دادند [۱۰]. با الهام از مطالعه‌چی [۱۰]، ما طبقه‌بندی مسئله‌های مکانیک مقدماتی به‌وسیله دانشجویان دوره‌های مبتنی حسابان را با اعضای هیئت علمی فیزیک و دانشجویان دوره‌های ph.D مقایسه کردیم. ما نسبت به آنچه از تحلیل داده‌های مربوط به تنها ۸ دانشجوی مقدماتی که در مطالعه‌چی [۱۰] داوطلب شده بودند به‌دست آمده بود، طیف بسیار وسیع‌تری از مهارت دانشجویان را در یک کلاس مقدماتی بزرگ یافتیم. در بخش‌های بعدی به شرح مطالعه می‌پردازیم و نشان می‌دهیم که تکلیف طبقه‌بندی به‌ویژه هنگامی که توسط دانشجویانی

که در گروه‌های کوچک با همسالان خود هستند انجام می‌شود می‌تواند یک ابزار آموزشی مؤثر برای کمک به دانشجویان دوره‌های فیزیک مقدماتی باشد تا بیاموزند که شباهت اساسی بین مسئله‌های با محتوای متفاوت اما اصول فیزیکی اساسی مشابه را تشخیص دهند.

روش

ما نتوانستیم پرسش‌های مطرح شده در مطالعه چپ و همکاران [۱۰] را به دست آوریم. بنابراین خودمان پرسش‌های مکانیک و تعداد بسیاری پرسش اقتباس شده از مطالعات قبلی [۱۱-۱۳] را انتخاب کردیم. بافت ۲۵ مسئله مکانیک متفاوت بود و موضوع‌های «سینماتیک یک‌بعدی و دوبعدی»، «دینامیک»، «کار و انرژی» و «ضربه و تکان»^۲ را شامل می‌شد. در ابتدای مجموعه پرسش‌ها، به همه شرکت‌کنندگان که تکلیف طبقه‌بندی را انجام می‌دادند دستورالعمل زیر ارائه شد: وظیفه شما این است که ۲۵ مسئله زیر را بر پایه شباهت در راه‌حل در ورقه کاغذی که در اختیارتان قرار داده شده در گروه‌های مختلف طبقه‌بندی کنید. مسئله‌هایی که از نظر شما مشابه هستند در یک گروه قرار دهید. می‌توانید هر تعداد گروه که بخواهید ایجاد کنید. گروه‌بندی مسئله‌ها نباید بر حسب «مسئله‌های آسان»، «مسئله‌های متوسط» و «مسئله‌های سخت» باشد بلکه باید بر اساس ویژگی‌ها و مشخصاتی از مسئله‌ها باشد که آن‌ها را مشابه می‌سازد. یک مسئله می‌تواند در بیش از یک گروه قرار گیرد. لطفاً توضیح مختصری دربارهٔ اینکه چرا یک مجموعه مسئله را در گروه خاصی قرار داده‌اید، ارائه دهید. لازم نیست هیچ مسئله‌ای را حل کنید.

برگه‌ای که از شرکت‌کنندگان درخواست شده بود که در آن مسئله‌ها را طبقه‌بندی کنند، دارای سه ستون بود. از ایشان درخواست شده بود که در ستون اول نام دلخواه گروه را برای هر یک از گروه‌ها به کار برند. در ستون دوم از آن‌ها تقاضا شده بود توضیح دهند چرا مسئله‌هایی که در آن گروه قرار دارند با هم طبقه‌بندی شده‌اند و در ستون سوم خواسته شده بود که فهرست شماره مسئله‌هایی را که باید در آن گروه قرار گیرند بنویسند. غیر از این جهت‌گیری‌ها نه به دانشجویان و نه به اعضای هیئت علمی هیچ نکته‌ای دربارهٔ اینکه چه نامی برای گروه‌ها انتخاب کنند، داده نشد. اگرچه ما ایده‌ای دربارهٔ اینکه گروه‌های ساخته شده توسط افراد باید «خوب» در نظر گرفته شوند یا «بد» داشتیم، اما فرض‌های خود را با استادان اعتبارسنجی کردیم. ما به‌طور تصادفی طبقه‌بندی‌های ایجاد شده توسط ۲۰ دانشجوی فیزیک مقدماتی را انتخاب کردیم، آن‌ها را به سه استاد که اخیراً فیزیک مقدماتی تدریس کرده بودند دادیم و از ایشان خواهش کردیم دربارهٔ اینکه هر یک از گروه‌های ساخته شده توسط تک‌تک دانشجویان باید «خوب»، «متوسط» یا «ضعیف» در نظر گرفته شوند، تصمیم

بگیرند. از آن‌ها درخواست شد که به هر ردیف دارای نام گروه که توسط دانشجو ساخته شده و به توضیح اینکه چرا این گروه برای قرارگیری مسئله‌هایی که در آن قرار داده است مناسب است، امتیاز دهند. از استادان تقاضا کردیم که اگر گروه ایجاد شده توسط دانشجوی مقدماتی را «خوب» ارزیابی کرد، پرسش‌هایی را که متعلق به این گروه نیستند خط بزنند. توافق بین امتیازات داده شده توسط استادان مختلف بیش از ۹۵٪ بود. ما از آرای ایشان به‌عنوان راهنما برای امتیاز دادن به گروه‌های ساخته شده توسط هر دانشجو به‌عنوان «خوب»، «متوسط» و «ضعیف» استفاده کردیم. هر گروه فقط در صورتی که بر اساس اصول اساسی فیزیک بود، «خوب» در نظر گرفته شد. طبق روال معمول هر دو گروه «پایستگی انرژی» و «پایستگی انرژی مکانیکی» را به‌عنوان گروه‌های «خوب» در نظر گرفتیم. «انرژی جنبشی» به‌عنوان نام گروه، در صورتی که دانشجو توضیحی نداده بود که پرسش‌های قرار داده شده در آن گروه می‌تواند با استفاده از پایستگی انرژی مکانیکی یا قضیه کارو انرژی حل شود، یک طبقه‌بندی «متوسط» در نظر گرفته شد. به گروهی مانند «انرژی» هم در صورتی که دانشجویان برای قرار دادن مسئله‌ای در آن گروه دلیل منطقی ارائه کرده بودند، امتیاز «خوب» داده شد. اگر یک دسته ثانویه مانند «اصطکاک» یا «تنش» تنها گروهی بود که مسئله‌ای در آن قرار داشت و توضیح گروه، اصول فیزیکی اولیهٔ مربوط به آن را بیان نکرده بود، یک گروه «متوسط» در نظر گرفته شد. دسته‌هایی مانند «ریمپ» و «قرقره» نیز «ضعیف» در نظر گرفته شدند.

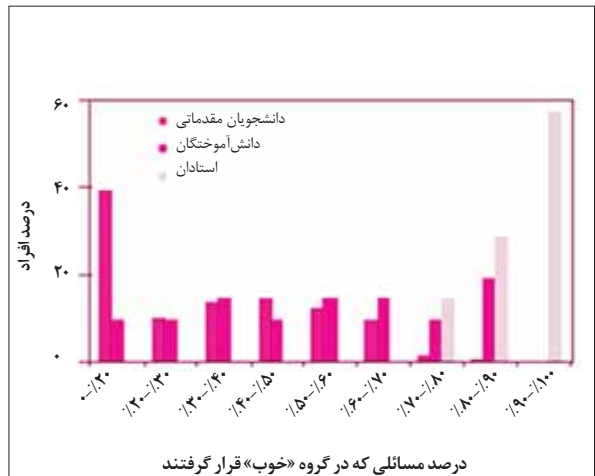
شاید برای حل مسئله‌ای بیش از یک اصل یا مفهوم قابل استفاده باشد. راهنمای طبقه‌بندی، به دانش‌آموزان گوشزد می‌کرد که می‌توانند یک مسئله را در بیش از یک دسته قرار دهند. با توجه به اینکه مسئله داده شده می‌تواند با استفاده از بیش از یک رویکرد حل شود، دسته‌بندی بر اساس روش‌های مختلفی که برای حل مناسب هستند، «خوب» در نظر گرفته شد. دربارهٔ مسئله‌هایی که برای حل نیاز به دو اصل مهم داشتند، افرادی آن‌ها را به خوبی دسته‌بندی کرده بودند که یا گروهی ساخته بودند که شامل هر دو اصل می‌شد، مانند «پایستگی انرژی مکانیکی» و «پایستگی تکان»، یا چنین مسئله‌ها را در دو دسته ساخته شده قرار داده بودند: یکی مربوط به پایستگی انرژی مکانیکی و دیگری مربوط به پایستگی تکان. اگر این مسئله‌ها فقط در یکی از دو دسته قرار داده شده بود، این طبقه‌بندی «خوب» در نظر گرفته نشد. برای برخی مسئله‌ها، پایستگی انرژی مکانیکی می‌تواند کارآمدتر باشد، اما مسئله‌های مذکور می‌توانند با استفاده از سینماتیک یک‌بعدی و دوبعدی شتاب ثابت نیز حل شوند. در اینجا بحث ما منحصر به طبقه‌بندی‌هایی است که از استادان امتیاز خوب دریافت کردند. در بخش نتایج، این که گروه خاصی (دانشجویان مقدماتی، دانشجویان PhD یا

راهنمای طبقه‌بندی، به دانش‌آموزان گوشزد می‌کرد که می‌توانند یک مسئله را در بیش از یک دسته قرار دهند. با توجه به اینکه مسئله داده شده می‌تواند با استفاده از بیش از یک رویکرد حل شود، دسته‌بندی بر اساس روش‌های مختلفی که برای حل مناسب هستند، «خوب» در نظر گرفته شد

اعضای هیئت علمی) ۶۰٪ از مسائل را در دسته خوبی قرار داده بودند نشان می‌دهد که ۴۰٪ دیگر مسئله‌ها در دسته‌های متوسط یا ضعیف قرار داده شده‌اند.

یافته‌ها

کلاس مبتنی بر حساب دیفرانسیل و انتگرال با ۱۸۰ دانشجو، کار طبقه‌بندی را در کلاس‌های شفاهی خود پس از آموزش‌های مربوطه انجام دادند. شکل (۱) نمودار میله‌ای درصد پرسش‌هایی که در دسته‌های «خوب» (نه متوسط یا ضعیف) قرار گرفتند را نشان داده و میانگین عملکرد ۱۸۰ دانشجوی مقدماتی را با ۲۱ دانشجوی PhD و ۷ عضو هیئت علمی در کار طبقه‌بندی مقایسه می‌کند. اگر چه عملکرد دانشجویان مقدماتی مبتنی بر حسابان در کار طبقه‌بندی هم‌تراز با دانشجویان PhD نیست، همپوشانی بزرگی بین دو گروه وجود دارد که نشان می‌دهد بسیاری از دانشجویان مقدماتی هنگام طبقه‌بندی مسئله‌ها از «تازه‌کار» بودن فاصله گرفته‌اند [۱۰]. همچنین شکل (۱) نشان می‌دهد تفاوت در طبقه‌بندی «خوب» میان اعضای هیئت علمی فیزیک و دانشجویان PhD بسیار بیشتر از این تفاوت بین دانشجویان PhD و دانشجویان فیزیک مقدماتی مبتنی بر حسابان است. اعضای هیئت علمی فیزیک اغلب به روش‌های متعدد حل مسئله اشاره کرده بودند و برای یک مسئله خاص دسته‌های مختلفی، اغلب بیش از دانشجویان PhD و دانشجویان مقدماتی، مشخص کرده بودند.



▲ شکل ۱. دانشجویان فیزیک مقدماتی بر پایه حسابان، دانشجویان PhD و استادان فیزیک که از ایشان درخواست شد که ۲۵ مسئله را براساس روش حل دسته‌بندی کنند درصدهای مختلفی از آن‌ها را در دسته «خوب» طبقه‌بندی کردند. اعضای هیئت علمی بهترین عملکرد را در تکلیف طبقه‌بندی داشتند. همپوشانی وسیعی بین دانشجویان PhD و دانشجویان فیزیک مقدماتی مشاهده می‌شود.

دانشجویان فیزیک مقدماتی و حتی برخی از دانشجویان PhD با احتمال بسیار بیشتری نسبت به اعضای هیئت علمی،

پرسش‌ها را در دسته‌های نامناسب قرار داده بودند. مثلاً مسئله‌ای را که مبتنی بر قضیه ضربه و تکانه یا پایستگی تکانه است در دسته پایستگی انرژی قرار داده بودند.

بسیاری از دسته‌های ساخته شده توسط اعضای هیئت علمی، دانشجویان PhD و دانشجویان مقدماتی مشابه بودند ولی بخشی از پرسش‌ها که توسط هر گروه در دسته‌بندی خوبی قرار گرفته بودند، متفاوت بود. تعدادی دسته‌بندی ضعیف مانند سطح شیب‌دار و قرقره به چشم می‌خورد که توسط دانشجویان مقدماتی، نه توسط استادان فیزیک یا دانشجویان PhD، ایجاد شده بودند. افزون بر این برخی از دانشجویان فیزیک مقدماتی برای پرسش‌هایی که به صراحت محاسبه سرعت و انرژی جنبشی را خواسته بود، دسته‌بندی‌هایی با نام این کمیت‌های فیزیکی را ساخته بودند. توضیح‌های ارائه شده توسط دانشجویان به‌عنوان اینکه چرا نام آن دسته خاص، برای مثال «سرعت»، مناسب‌ترین نام برای یک مسئله است، کافی نبود. دانشجویان مقدماتی نوشته بودند که این گروه را به این دلیل ساخته‌اند که درخواست مسئله، محاسبه سرعت است. همان‌گونه که انتظار می‌رفت، احتمال ساختن چنین دسته‌هایی توسط دانشجویان PhD بسیار کمتر از دانشجویان مقدماتی بود و دانشجویان PhD با احتمال بیشتری پرسش‌هایی را بر اساس اصول فیزیکی و مفاهیم، مثلاً «پایستگی انرژی مکانیکی» یا «سینماتیک یک بعدی»، دسته‌بندی کرده بودند. در پرسش‌هایی که مربوط به کاربرد دو اصل فیزیکی مهم بودند، مثلاً مسئله آونگ بالیستیک، بیشتر استادان مسئله را در هر دو دسته «پایستگی انرژی مکانیکی» و «پایستگی تکانه» قرار داده بودند. در عوض بیشتر دانشجویان مقدماتی و حتی برخی از دانشجویان PhD آن را به‌عنوان مسئله‌ای از «انرژی» یا مسئله‌ای از «تکانه»، نه هر دو دسته، دسته‌بندی کرده بودند.

کاربرد در آموزش

آموزش فیزیک مقدماتی با استفاده از مفاهیم مختلف ابزاری مناسب برای کمک به دانشجویان در یادگیری فیزیک است. دانشجویان باید بیاموزند که اصول فیزیکی را در شرایط گوناگون به کار برند تا به پیش‌بینی و شرح پدیده‌های فیزیکی بپردازند. مفاهیم عینی می‌تواند به دانشجویان کمک کند که اصول فیزیکی خلاصه شده را بهتر بیاموزند. همچنین مفاهیم می‌توانند کمک کنند که مشارکت دانشجو به‌طور فعال در فرایند یادگیری حفظ شود و نیز به آن‌ها کمک می‌کند آنچه را آموخته‌اند با دانش قبلی و تجربه‌های خود پیوند دهند. با وجود این دانشجویان باید بیاموزند تا اصول فیزیکی مهم قرار گرفته در ورای مفاهیم خاص را بفهمند و درک کنند چرا آن اصول در مورد چنین مفاهیمی کاربردی دارند و اینکه چگونه بفهمند یک اصل خاص در شرایط جدیدی که با آن روبه‌رو می‌شوند قابل کاربرد است یا نه. دسته‌بندی مسئله‌های

آموزش فیزیک مقدماتی با استفاده از مفاهیم مختلف ابزاری مناسب برای کمک به دانشجویان در یادگیری فیزیک است. دانشجویان باید بیاموزند که اصول فیزیکی را در شرایط گوناگون به کار برند تا به پیش‌بینی و شرح پدیده‌های فیزیکی بپردازند.