

# بررسی کج‌فهمی‌های دانشجومعلم‌ان رشته علوم تجربی درباره ماهیت تبخیر، سرعت تبخیر سطحی و فشار بخار

■ عابد بدریان\*

## چکیده:

هدف از مطالعه حاضر، بررسی تصورات و کج‌فهمی‌های دانشجومعلم‌ان علوم تجربی درباره ماهیت تبخیر، سرعت تبخیر سطحی و فشار بخار است. مفاهیمی که هم در برنامه درسی مدارس و هم در زندگی روزانه اهمیت فراوانی دارند. تعداد ۸۴ نفر از دانشجومعلم‌ان در سال تحصیلی ۹۴-۱۳۹۳ به روش نمونه‌گیری تصادفی خوشه‌ای مرحله‌ای از دو پردیس «دانشگاه فرهنگیان» در شهر تهران انتخاب شدند و در این مطالعه شرکت کردند. برای گردآوری اطلاعات، از یک آزمون تشخیصی حاوی پنج سؤال باز پاسخ استفاده شد و پاسخ‌های دانشجومعلم‌ان در قالب توضیحات داده شده و همچنین شرکت در مصاحبه نیمه‌ساختاریافته (۱۰ مورد) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بررسی پاسخ‌های داده شده به سؤال‌های پرسش‌نامه نشان داد که دانشجومعلم‌ان علوم تجربی کج‌فهمی‌های زیادی در زمینه تبخیر، سرعت تبخیر سطحی و فشار بخار دارند و نمی‌توانند در بسیاری از موارد شبیه‌سازی شده، آموخته‌های خود درباره مفاهیم پایه‌ای را به خوبی مورد استفاده قرار دهند. بر پایه این یافته‌ها ضرورت دارد تا در بازبینی برنامه‌های درسی و مواد آموزشی رشته کارشناسی و کاردانی علوم تجربی، در سازمان‌دهی مفاهیم مرتبط با تبخیر، سرعت تبخیر، فشار بخار و مدل‌سازی آن‌ها در کتاب‌های درسی دقت بیشتری به عمل آید.

کج‌فهمی، تبخیر، سرعت تبخیر سطحی، فشار بخار، دانشجومعلم‌ان علوم تجربی

کلید واژه‌ها:

□ تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۱۱/۱۴ □ تاریخ شروع بررسی: ۹۴/۱۲/۱۶ □ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۱/۲۹

\* استادیار پژوهشگاه مطالعات آموزش و پرورش، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی..... ab.badrian@yahoo.com

## مقدمه

دانش‌آموزان و دانشجویان قبل از ورود به کلاس درس فرصت‌های بسیاری در اختیار دارند تا درباره دنیای اطراف خود و انواع پدیده‌های علمی تصورات و الگوهای ذهنی گوناگونی بسازند. آن‌ها در مورد برخی مفاهیم و پدیده‌های علمی، تصوراتی خلاف نظریه‌های علمی پذیرفته شده دارند. پژوهشگران در توصیف این تصورات اشتباه علمی از واژه‌های گوناگونی نظیر کج‌اندیشی<sup>۱</sup>، کج‌فهمی<sup>۲</sup>، تصورات خام<sup>۳</sup>، درک متعارف<sup>۴</sup>، تصورات بدیل<sup>۵</sup>، و یا پیش‌تصورات<sup>۶</sup> استفاده می‌کنند (گارنت<sup>۷</sup>، گارنت و هاکلینگ<sup>۸</sup>، ۱۹۹۵).

بسیاری از تصورات ذهنی افراد، نتیجه تجربه‌های روزانه، مشاهده پدیده‌های علمی و کاربرد علم و فناوری در زندگی آن‌هاست و زمانی که در کلاس درس درباره آن‌ها صحبت می‌شود، می‌تواند به عنوان پیش‌تصور یا یادگیری پیشین، نمایان شده و بر فرایند یاددهی - یادگیری تأثیرگذار باشد. تصورات بدیل و غیرعلمی از عوامل مهمی هستند که مانع یادگیری معنادار و اثربخش شده و بر تداوم یادگیری در پایه‌های بالاتر نیز تأثیر منفی می‌گذارند (گونن<sup>۹</sup> و کوجاکایا<sup>۱۰</sup>، ۲۰۱۰).

بررسی‌ها نشان داده است که دانش‌آموزان و دانشجویان در هر سنی کج‌فهمی‌های گوناگونی درباره مفاهیم و پدیده‌های علمی دارند. در میان انبوه مفاهیم علمی، مفاهیم بنیادی شیمی از جمله مفاهیمی هستند که اغلب دانشجویان، هنگام گذراندن درس شیمی عمومی، نسبت به آن‌ها دچار کج‌فهمی می‌شوند (مالفورد<sup>۱۱</sup> و رابینسون<sup>۱۲</sup>، ۲۰۰۲). به همین دلیل، بسیاری از دانشجویان که در تلاش‌اند مفاهیم پایه‌ای شیمی را به نحو احسن یاد بگیرند تلاش‌هایشان بی‌ثمر می‌ماند. بر پایه یافته‌های روان‌شناسی شناختی، یکی از دلایل اصلی این امر این است که آن‌ها نتوانسته‌اند درک درستی از مفاهیم پایه‌ای شیمی، در سال‌های قبل و هنگام یادگیری در مدرسه به دست آورند. به عبارت دیگر بدفهمی‌ها و کج‌فهمی‌های ایجادشده در گذشته مانع یادگیری و درک درست مفاهیم پیشرفته‌تر در امروز می‌گردد (نخله<sup>۱۳</sup>، ۱۹۹۲). این امر برای دانشجویان مخاطرات بیشتری را به همراه دارد، زیرا در آینده، هنگامی که به عنوان معلم در کلاس درس مشغول آموزش دانش‌آموزان خواهند شد، کج‌فهمی‌های خود را به آن‌ها نیز انتقال خواهند داد.

پدیده «تغییر حالت ماده هنگام تبخیر»، همچنین «سرعت تبخیر سطحی» و نیز «فشار بخار» از جمله مفاهیم مرتبط با زندگی روزانه‌اند که پایه و اساس علوم فیزیکی را تشکیل می‌دهند و در اغلب برنامه‌های درسی علوم تجربی دوره ابتدایی و متوسطه، شیمی دوره متوسطه و همچنین شیمی عمومی دوره کاردانی و کارشناسی تدریس می‌شود. در مطالعه حاضر کج‌فهمی‌های دانشجویان در مورد ماهیت تبخیر، سرعت تبخیر سطحی و فشار بخار و همچنین نقش تجربیات یادگیری پیشین آن‌ها در بروز کج‌فهمی‌ها مورد بررسی قرار گرفته است.

در چند دهه گذشته، پژوهش‌های چشمگیری در زمینه بررسی تصورات و کج‌فهمی‌های

دانش‌آموزان و دانش‌جویان در زمینه پدیده‌های تبخیر، میعان و سرعت تبخیر سطحی انجام شده است (استامولاسیس<sup>۱</sup>، سیتسیپیس<sup>۱۵</sup> و پاپاجورجیو<sup>۱۶</sup>، ۲۰۱۲؛ سیتسیپیس، استامولاسیس و پاپاجورجیو، ۲۰۱۰؛ جانپولات<sup>۱۷</sup>، ۲۰۰۶؛ تایتلر<sup>۱۸</sup> و پترسون<sup>۱۹</sup>، ۲۰۰۱؛ تایتلر، ۲۰۰۰؛ بار<sup>۲۰</sup> و گالیلی<sup>۲۱</sup>، ۱۹۹۴؛ راسل<sup>۲۲</sup>، هارلن<sup>۲۳</sup> و وات<sup>۲۴</sup>، ۱۹۸۹؛ آزرین<sup>۲۵</sup> و کاسگروف<sup>۲۶</sup>، ۱۹۸۳). در پژوهش‌های مذکور، پدیده تبخیر تا حد زیادی به علت تصویرپردازی چرخه آب در کتاب‌های درسی علوم دوره ابتدایی مورد مطالعه قرار گرفته است و سایر پدیده‌ها نظیر بارش باران، جریان آب در سطح زمین، آب‌های دریاها و رودها، آب‌های زیرزمینی، تابش خورشید، شکل‌گیری ابرها و... را تا حدی در بر می‌گیرد. تحلیل بار و گالیلی (۱۹۹۴)، مثال خوبی از سیر مفهومی درک کودکان از پدیده تبخیر است. آنان چهار نوع تجزیه و تحلیل از درک کودکان درباره پدیده تبخیر دارند که عبارت است از: آب ناپدید می‌شود؛ آب در سطوح جذب می‌شود؛ آب به بالا انتقال می‌یابد و آب در هوا پخش می‌شود.

راسل و همکارانش (۱۹۸۹) گزارش کردند که بیشتر کودکان ۹ ساله، پدیده تبخیر یا بخار شدن آب را قبول دارند؛ اما تمرکز بیشتر آن‌ها بر آب باقی مانده است؛ بدین نحو که می‌گویند اگر مقداری آب در ظرف در باز قرار داده شود، پس از چند روز مقداری از آن بخار می‌شود؛ بنابراین مقدار آب کاهش پیدا می‌کند. اما یک عامل خارجی مانند خورشید یا یک نفر دیگر را مسئول آن می‌دانند. برخی از کودکان نیز فکر می‌کنند که وقتی آب در جلوی دیدگان آن‌ها می‌جوشد و کم می‌شود، توسط بدنه کتری جذب می‌شود (تایتلر، ۱۹۹۸)، یا اینکه هنگامی که مقداری از آب بشقاب در اثر تبخیر کم می‌شود، فکر می‌کنند کمی از آب جذب بشقاب شده است (استاوی<sup>۲۷</sup>، ۱۹۹۰).

در مطالعات راسل و همکارانش (۱۹۸۹)، کودکان بزرگ‌تر از همان توضیحات کودکان کوچک‌تر استفاده می‌کنند؛ اما در اینجا نسبت‌ها با حالت قبل فرق می‌کنند. برای مثال، حدود ۵۷ درصد دانش‌آموزان ۹-۱۱ ساله معتقد بودند که یک عامل خارجی آب را بر داشته است. این تصورات نشان می‌دهد که تفکر در مورد تبخیر به‌طور غیرمستقیم به درک قانون پایستگی ماده ارتباط دارد. در گفتن اینکه یک عامل خارجی آب را بر داشته است، به نظر می‌رسد این دانش‌آموزان معتقد به قانون پایستگی ماده هستند اما توضیح نادرستی در مورد ناپدید شدن آب می‌دهند. آن‌ها از استدلال حسی - محور استفاده می‌کنند و توضیحی می‌دهند که بتوانند تغییر قابل‌رؤیت را توجیه کنند.

آزرین و کاسگروف (۱۹۸۳) تصورات کودکان در مورد میعان را نیز گزارش کردند. این دو پژوهشگر یک بشقاب را در مسیر بخارهایی که از کتری در حال جوشیدن خارج می‌شد قرار دادند و درباره تغییرات روی داده در سطح بشقاب از کودکان سؤال کردند. بسیاری از کودکان ۱۳-۱۰ ساله گفتند که بشقاب مرطوب شده است. برخی (۱۵ درصد) نیز گفتند که بخار ضمن برخورد با بشقاب، به آب تبدیل شده و به حالت اولیه برگشته است. در این مطالعه فقط حدود یک‌چهارم دانش‌آموزان ۱۷-۱۳ ساله که مورد مصاحبه قرار گرفته بودند جواب درست دادند.

در آزمایشی دیگر یک ظرف شیشه‌ای خشک را از آب و یخ پر کردند و از کودکان درباره منشأ قطرات آبی که در سطح خارجی ظرف جمع شده بود، پرسیدند. سپس چهار دسته از توضیح‌های غالب کودکان را به شرح زیر تنظیم کردند:

۱. آب از جدار شیشه به بیرون درز کرده است (سن ۱۵-۸ سال)؛
۲. سردی یخ داخل ظرف از جدار شیشه گذشته و بیرون ظرف را نیز سرد کرده است (سن ۱۷-۱۲ سال)؛
۳. گازهای هیدروژن و اکسیژن موجود در هوا در سطح ظرف با هم واکنش داده و آب ایجاد کرده‌اند (سن ۱۷-۱۲ سال)؛
۴. آب موجود در هوا جذب سطح خارجی ظرف شده است (سن ۱۷-۱۴ سال).

نسبت کودکان ۱۶ و ۱۷ ساله‌ای که فکر می‌کردند سردی یخ داخل ظرف از جدار شیشه گذشته و بیرون ظرف را نیز سرد کرده است خیلی کم بود، گرچه حدود ۳۰ درصد از این گروه سنی بیان نموده‌اند که گازهای هیدروژن و اکسیژن موجود در هوا در سطح ظرف با هم واکنش داده و آب ایجاد کرده‌اند. آنچه از این تحقیقات و سایر بررسی‌ها حاصل می‌شود این است که اگرچه کودکان درباره پدیده‌های تبخیر و میعان آموزش می‌بینند اما در موقعیت‌های جدید قادر به بیان صحیح مفاهیم آموخته‌شده نیستند و عقاید غیرعلمی بسیاری را بر زبان می‌آورند.

چانگ<sup>۲۸</sup> (۱۹۹۹) در یک مطالعه تصورات تعداد ۳۶۴ دانشجو معلم رشته‌های علوم تجربی و آموزش ابتدایی را در مورد ماهیت تبخیر و مفاهیم مرتبط مورد بررسی قرار داد. یافته‌های وی نشان داد دانشجو معلمان رشته علوم تجربی در خصوص درک مفاهیم و پدیده‌هایی چون تبخیر، جوشیدن و میعان کج‌فهمی‌های کمتری نسبت به دانشجو معلمان رشته آموزش ابتدایی دارند. هر چند اغلب دانشجو معلمان هر دو رشته کج‌فهمی‌های بارزی در مورد فشار بخار و بخار اشباع‌شده نشان دادند. در این مطالعه فقط ۲۸/۸ درصد دانشجو معلمان رشته علوم تجربی و کمتر از ۱۰ درصد دانشجو معلمان رشته آموزش ابتدایی توانسته بودند درک درستی از مفاهیم مورد نظر داشته باشند.

گوپال<sup>۲۹</sup>، کلین اسمیت<sup>۳۰</sup>، کیسی<sup>۳۱</sup> و موسونگ<sup>۳۲</sup> (۲۰۰۴)، میزان درک دانشجویان از مفهوم پدیده‌های تبخیر، میعان و فشار بخار را مورد بررسی قرار دادند. بر پایه یافته‌های آنان، اغلب دانشجویان معتقد بودند که برای انجام تبخیر و میعان باید حتماً افت دما اتفاق بیفتد. این کج‌فهمی نشان داد که آن‌ها درک درستی از پدیده تبخیر و میعان ندارند.

جوشتو و آیس<sup>۳۳</sup> (۲۰۰۵) در یک مطالعه تعداد ۳۱۳ دانش‌آموز پایه‌های مختلف دوره متوسطه را از طریق یک پرسش‌نامه بازپاسخ و مصاحبه کلینیکی با ۱۲ نفر از آنان مورد بررسی قرار دادند. بر پایه یافته‌های آنان، اغلب دانش‌آموزان پدیده تبخیر و میعان را فقط مختص آب می‌دانستند و در مورد مایعات دیگر نظیر الکل و استون چنین برداشتی نداشتند.

از آنجایی که در برنامه‌های درسی علوم تجربی دوره‌های مختلف تحصیلی، آموزش مفهوم تبخیر و میعان از پایه اول ابتدایی تا دوره متوسطه وجود دارد و در دوره متوسطه در قالب مباحث ترمودینامیک و ترموشیمی آموزش داده می‌شود، کشف کج‌فهمی‌های دانش‌آموزان و سپس تلاش برای اصلاح آن‌ها از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. بررسی‌های انجام‌گرفته در دوره ابتدایی (بدریان، ۱۳۹۳؛ بدریان، شکرباغانی و پوراسکندری، ۱۳۹۲؛ ناصری‌آذر و بدریان، ۱۳۹۱) نشان می‌دهد که دانش‌آموزان دوره ابتدایی، اغلب، درک درستی از مفهوم‌های تبخیر و میعان و نقش گرما در پیدایش این فرایندها ندارند. در دوره متوسطه اول نیز مطالعات احمدی (۱۳۹۱) نشان می‌دهد که دانش‌آموزان این دوره نتوانسته‌اند از مفهوم تبخیر، میعان و عوامل مؤثر بر آن‌ها در موقعیت‌های یادگیری جدید به‌درستی استفاده نمایند. همچنین دانش‌آموزان دوره متوسطه دوم نیز کج‌فهمی‌هایی در به‌کارگیری مفهومی تبخیر، میعان، سرعت تبخیر سطحی و فشار بخار (بدریان و عبدی‌نژاد، ۱۳۹۲) و همچنین گرمای نهان تبخیر در بخش ترموشیمی (بدریان، ۱۳۸۸) و بخش‌های مختلف ترمودینامیک (گرمای نهان تبخیر، گرمای ویژه و آنتالپی) دارند (صدرالاشرفی، ۱۳۹۰).

مطالعه حاضر قصد دارد تا به بررسی کج‌فهمی‌های دانشجویان رشته علوم تجربی در مورد پدیده‌های تبخیر، سرعت تبخیر سطحی و فشار بخار بپردازد و سپس، روش‌ها و راهبردهایی را برای اصلاح آن‌ها ارائه نماید.

## روش‌شناسی پژوهش

### الف. زمینه مطالعه

در برنامه درسی علوم تجربی دوره ابتدایی، درس‌هایی به آموزش مفهوم گرما و دما اختصاص دارد. یکی از اثرات گرما بر مواد، تغییر شکل آن‌ها است که اغلب به‌صورت تغییر فاز از جامد به مایع، از مایع به گاز و برعکس نمایان می‌شود. دانش‌آموزان پایه اول ابتدایی یاد می‌گیرند که آب به سه حالت مختلف در طبیعت وجود دارد. آب‌های موجود در رودخانه‌ها و دریاها، ابرها، برف بالای کوه‌ها و یخ‌ها همگی حالت‌های مختلف آب محسوب می‌شوند. همچنین با چرخه آب در طبیعت آشنا می‌شوند و یاد می‌گیرند که تغییر دما عامل اصلی پیدایش حالت‌های مختلف آب است (شورای نویسندگان، ۱۳۹۰). دانش‌آموزان پایه سوم ابتدایی ضمن آشنایی با حالت‌های مختلف آب به‌صورت جامد، مایع و گاز، با پدیده‌های ذوب، جوش و انجماد نیز آشنا می‌شوند و با انجام یک فعالیت، نظیر ریختن آب بر زمین و خشک شدن آن، با تبخیر آشنا می‌شوند (فصل سوم). سپس با بررسی چرخه آب در طبیعت (فصل ۵) و انجام فعالیتی نظیر قرار دادن یک ظرف بالای آب در حال جوشیدن، با پدیده میعان که تبدیل بخارهای آب به قطرات مایع است آشنا می‌شوند. در ادامه به بررسی اثر گرما بر پدیده تبخیر پرداخته و سپس با انجام یک فعالیت، با چگونگی تشکیل ابر آشنا می‌شوند (شورای نویسندگان، ۱۳۹۴).

دانش‌آموزان پایه سوم متوسطه (کلاس یازدهم) در درس شیمی ۳ و آزمایشگاه، در بخش محلول‌ها، با فشار بخار و عوامل مؤثر بر سرعت تبخیر آشنا می‌شوند. در این بخش در تعریف فشار بخار چنین می‌خوانیم: «به سهمی از فشار موجود در بالای سطح مایع، که توسط مولکول‌های بخار مایع تأمین می‌شود، فشار بخار مایع گفته می‌شود». عوامل زیادی از جمله دما و ساختار مولکولی مایع بر فشار بخار تأثیر دارند. برای مایعی معین، هر چه دما بالاتر باشد، فشار بخار مایع بیشتر خواهد بود. همچنین برای چند مایع در دماهای یکسان، هر چه نیروهای جاذبه بین مولکولی قوی‌تر باشند، فشار بخار مایع کمتر خواهد بود. در دمای معین، هر چه فشار بخار مایعی بیشتر باشد، نقطه جوش آن پایین‌تر خواهد بود؛ زیرا یک مایع زمانی به جوش می‌آید که فشار بخار آن با فشار هوای محیط برابر شود. بنابراین هر چه فشار بخار مایعی بیشتر باشد، در دمای پایین‌تری به جوش می‌آید (شورای نویسندگان، ۱۳۹۲).

دانش‌آموزان پایه چهارم متوسطه در درس شیمی (۱ و ۲) دوره پیش‌دانشگاهی در بخش تعادل شیمیایی، ضمن آشنایی با شرایط ایجاد تعادل در فازهای مختلف گازی و مایع، تعادل‌های همگن و ناهمگن، برگشت‌پذیری و برگشت‌ناپذیری، به بررسی اثر تغییر غلظت بر وضعیت تعادل، همچنین اثر تغییر دما و فشار بر وضعیت تعادل می‌پردازند (شورای نویسندگان، ۱۳۹۳).

دانشجویان علوم تجربی نیز، علاوه بر آنچه که در مدرسه آموخته‌اند، در درس شیمی عمومی ۱ در بخش مایعات و جامدات با خواص کولیگاتیو محلول‌ها، با پدیده‌هایی نظیر نقطه جوش، تبخیر، عوامل مؤثر بر سرعت تبخیر سطحی، آنتالپی تبخیر، نقطه انجماد، فشار بخار برای حلال در حالت محلول و حلال خالص آشنا می‌شوند (مورتیمر، ۱۳۸۵).

با عنایت به مفاهیم مطرح‌شده در پایه‌های و دوره‌های مختلف تحصیلی، اکنون این مطالعه درصدد است تا تصورات ذهنی و تجربیات یادگیری دانشجویان را، در مورد فرایند تبخیر، سرعت تبخیر سطحی و فشار بخار، از طریق انجام آزمون تشخیصی و انجام مصاحبه نیمه‌ساختارمند مورد بررسی قرار دهد.

### ب. نمونه آماری پژوهش

پژوهش حاضر رویکردی کاربردی دارد و یک پژوهش توصیفی است که تلاش می‌کند تا میزان درک و تصورات ذهنی دانشجویان رشته علوم تجربی را بررسی و توصیف نماید (سرمد، بازرگان و حجازی، ۱۳۹۳). جامعه آماری این پژوهش شامل همه دانشجویان دوره کارشناسی رشته علوم تجربی در پردیس‌های دخترانه و پسرانه دانشگاه فرهنگیان شهر تهران در سال تحصیلی ۹۴-۱۳۹۳ است. نمونه آماری پژوهش را ۸۴ نفر از دانشجویان دختر (۴۶ نفر) و پسر (۳۸ نفر) تشکیل می‌دهند که به روش نمونه‌گیری تصادفی خوشه‌ای مرحله‌ای از دو مرکز آموزش عالی فرهنگیان واقع در شهر تهران انتخاب شدند. همه این افراد درس شیمی عمومی را گذرانده بودند.

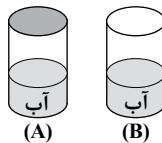
### پ. ابزار جمع‌آوری اطلاعات

روش‌های زیادی برای بررسی و توصیف درک مفهومی، و طبعاً کج‌فهمی‌های فراگیران وجود دارد. آزمون‌های بازپاسخ، آزمون‌های تشخیصی انشایی، رسم نقشه‌های مفهومی، انجام مصاحبه‌های عمیق و نیمه‌ساختارمند، رسم نقاشی و اجرای آزمون‌های عملکردی، نمونه‌هایی از شیوه‌های توصیف درک مفهومی فراگیران محسوب می‌شود (کوز<sup>۳۴</sup>، ۲۰۰۸). در این پژوهش از آزمون‌های تشخیصی انشایی و انجام مصاحبه نیمه‌ساختارمند استفاده شد و دانشجو معلمان توضیحاتی را برای توصیف پاسخ خود به صورت انشایی ارائه می‌کردند. همچنین برای تکمیل اطلاعات اخذشده، با ۱۰ نفر از آن‌ها، که دارای کج‌فهمی بودند، به صورت گزینشی مصاحبه کیفی نیمه‌ساختارمند به عمل آمد. برای هدایت نظام‌یافته و روانند مصاحبه‌ها، پروتکل مصاحبه‌گری تنظیم گردید. پس از تدوین پروتکل و وصول آمادگی مصاحبه‌شونده‌ها، طبق برنامه زمان‌بندی شده، به انجام گفت‌وگو و تنظیم و بازبینی متن گفت‌وگوهای صورت گرفته، درباره سؤالات محوری آزمون تشخیصی در قالب کاربرگ‌های تدارک‌دیده‌شده، اقدام گردید (کرسول<sup>۳۵</sup> و پلانو کلارک<sup>۳۶</sup>، ۱۳۹۰).

پرسش‌نامه تهیه‌شده مجموعاً شامل پنج سؤال تشخیصی به صورت بازپاسخ در مورد ماهیت تبخیر، سرعت تبخیر، تأثیر دما و مساحت سطح مایع بر سرعت تبخیر، فشار بخار، تعادل و عوامل مؤثر بر وضعیت تعادل بین آب و بخار آب بود. برای تعیین روایی محتوایی ابزار، سؤال‌ها به ۵ نفر متخصص آموزش علوم و شیمی نشان داده شد و محتوای آن تأیید گردید. سؤال‌های مورد نظر در جدول ۱ آورده شده‌اند.

جدول ۱. سؤال‌های تشخیصی مورد استفاده در پژوهش

سؤال‌ها	هدف
<b>سؤال ۱:</b> اگر یک لیوان آب با دمای $25^{\circ}\text{C}$ را داخل یخچال با دمای $5^{\circ}\text{C}$ قرار دهیم، چه اتفاقی برای فرایند تبخیر می‌افتد. پاسخ خود را کامل و با دقت توضیح دهید.	سنجش میزان درک فراگیران از ماهیت تبخیر و تأثیر دما بر سرعت آن
<b>سؤال ۲:</b> در یک فلاسک چای یک لیتری خالی که کاملاً بی دررو است، $5/5$ لیتر آب $25^{\circ}\text{C}$ ریخته و در آن را می‌بندیم. نظر خود را درباره فرایند تبخیر آب داخل فلاسک با دقت بیان کنید.	سنجش درک فراگیران از فرایند تبخیر و تعادل بین آب و بخار آب در محیط بی‌دررو
<b>سؤال ۳:</b> در دمای ثابت $25^{\circ}\text{C}$ ، در دو ظرف A و B که حجم یکسانی دارند، مقدار یکسانی آب ریخته و سپس در ظرف A را می‌بندیم. سرعت تبخیر را در دو ظرف با ذکر دلیل مقایسه کنید.	سنجش درک فراگیران از تعریف مفهومی و ماهیت سرعت تبخیر سطحی



## جدول ۱. (ادامه)

هدف	سؤال‌ها
سنجش میزان درک فراگیران از تأثیر مساحت سطح مایع بر سرعت تبخیر سطحی	<p><b>سؤال ۴:</b> در دمای ثابت <math>25^{\circ}\text{C}</math>، در هر یک از دو ظرف C و D، مقدار <math>100^{\circ}\text{C}</math> آب اضافه کرده و در ظرف‌ها را می‌بندیم. سرعت تبخیر سطحی را در هر دو ظرف با ذکر دلیل مقایسه کنید.</p>
سنجش میزان درک فراگیران از تأثیر دما در فشار بخار و همچنین وضعیت تعادل بین آب و بخار آب	<p><b>سؤال ۵:</b> در یک ظرف سرپسته آب و بخار آب با هم در تعادل هستند. در دمای ثابت: الف. اگر مقدار مشخصی از بخار آب از ظرف خارج شود، یا ب. اگر مقدار مشخصی بخار آب به ظرف اضافه شود: درباره فشار بخار آب در حالت‌های الف و ب، چه نظری دارید؟ پاسخ خود را کامل و با دقت توضیح دهید.</p>

اجرای آزمون‌ها در شرایط عادی کلاس و بدون اطلاع قبلی دانشجوی معلمان در مدت زمان ۴۵ دقیقه به مورد اجرا گذاشته شد و به آن‌ها اطمینان داده شد که آزمون‌ها به قصد انجام پژوهش انجام می‌گیرند و نتیجه آن‌ها محرمانه است و تأثیری در نمره درسی آن‌ها نخواهد داشت. بعد از تصحیح پاسخ‌های داده‌شده، با ۸ نفر از دانشجوی معلمان که دارای کج‌فهمی بیشتری بودند، با هدف تکمیل اطلاعات به صورت گزینشی مصاحبه به عمل آمد.

## ت. شیوه تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای ارزیابی میزان درک فراگیران، از روش ارزیابی مفهومی آبراهام<sup>۳۷</sup>، گریزیووسکی<sup>۳۸</sup>، رنر<sup>۳۹</sup> و مارک<sup>۴۰</sup> (۱۹۹۲) استفاده شد. در این روش، گزینه‌های انتخابی و پاسخ‌های تشریحی دانشجوی معلمان در چهار سطح شامل درک کامل، درک جزئی، کج‌فهمی و عدم درک قرار می‌گیرند. شرح این دسته‌بندی به شرح زیر است:

۱. درک کامل: پاسخ‌هایی که شامل تمامی اجزای قابل قبول پاسخ هستند؛
۲. درک جزئی: پاسخ‌هایی که شامل حداقل یکی از اجزای قابل قبول پاسخ هستند؛
۳. کج‌فهمی: پاسخ‌هایی که شامل جواب‌های نادرست، غیرمنطقی و غیرعلمی هستند و هیچ‌کدام از اجزای پاسخ درست را ندارند؛
۴. عدم درک: پاسخ‌هایی که در آن پاسخ‌دهنده به وضوح اشاره می‌کند که مفهوم سؤال را درک نکرده است، جواب آن را نمی‌داند و یا پاسخ غیرمرتبط ارائه می‌دهد.



بعد از بررسی پاسخ‌های فراگیران و دسته‌بندی آن‌ها مطابق با چارچوب ذکر شده، برای روشن‌تر شدن برخی پاسخ‌های گنگ و نامفهوم، و همچنین تکمیل اطلاعات، با برخی از آنان (۱۰ نفر) به صورت گزینشی مصاحبه‌ای کیفی در راستای سؤالات آزمون انجام گرفت و جواب روشن آنان به پاسخ‌نامه مربوطه اضافه گردید. در دسته‌بندی و تصحیح پاسخ‌نامه‌های دانشجویان، دو پژوهشگر به صورت مستقل از هم، کار ارزیابی را انجام دادند و در مواردی که تفاوتی بین نظرات آنان مشاهده می‌گردید، ارزیاب سوم کار قضاوت را تکمیل می‌کرد و در صورت مشکل بودن کار قضاوت، از طریق مذاکره کار تصمیم‌گیری انجام می‌گرفت. لازم به ذکر است که ارزیابان در بیش از ۹۵ درصد پاسخ‌ها با یکدیگر هم رأی بودند. بعد از دسته‌بندی پاسخ‌ها، میزان درصد آن‌ها منطبق بر چارچوب ذکر شده تنظیم گردید.

### یافته‌های پژوهش

نتایج به دست آمده از اجرای آزمون‌های تشخیصی و میزان درصد پاسخ‌های دانشجویان در چهار سطح درک کامل، درک جزئی، کج‌فهمی و عدم درک تنظیم شد و سپس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در جدول ۲، فراوانی و درصد پاسخ‌های دانشجویان، هر یک به صورت مجزا، مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

جدول ۲. فراوانی و درصد پاسخ‌های دانشجویان به سؤالات

سطح درک					سؤالات	
بدون پاسخ	عدم درک	کج‌فهمی	درک جزئی	درک کامل		
-	-	۲۲	۱۱	۵۱	تعداد	سؤال ۱
۰/۰۰	۰/۰۰	۲۶/۱۹	۱۳/۰۹	۶۰/۷۱	درصد	
-	۲	۴۵	۹	۲۸	تعداد	سؤال ۲
۰/۰۰	۲/۳۸	۵۳/۵۷	۱۰/۷۱	۳۳/۳۳	درصد	
-	۲	۴۶	۱۴	۲۲	تعداد	سؤال ۳
۰/۰۰	۲/۳۸	۵۴/۷۶	۱۶/۱۶	۲۶/۱۹	درصد	
-	۴	۵۲	۱۲	۱۶	تعداد	سؤال ۴
۰/۰۰	۴/۷۶	۶۱/۹۰	۱۴/۲۸	۱۹/۰۴	درصد	
-	۵	۴۷	۱۳	۱۹	تعداد	سؤال ۵
۰/۰۰	۵/۹۵	۵۵/۹۵	۱۵/۴۷	۲۲/۶۲	درصد	

در بررسی پاسخ‌های داده‌شده به سؤال اول، پاسخ درست و کامل، ادامه فرایند تبخیر در دمای پایین‌تر، ولی با سرعت کمتر است. زیرا دما با سرعت تبخیر ارتباط مستقیم دارد. همان‌طور که در جدول ۲ دیده می‌شود، از میان پاسخ‌های دانشجوی معلمان، ۶۵/۷۱ درصد درک کامل، ۱۳/۵۹ درصد درک جزئی و ۲۶/۱۹ درصد کج‌فهمی آن‌ها را نشان می‌دهد. در جدول ۳ برخی از پاسخ‌های دانشجوی معلمان به سؤال اول آورده شده است.

جدول ۳. برخی از پاسخ‌های دانشجوی معلمان به سؤال اول

سطح درک	نمونه مثالی از پاسخ‌های دانشجوی معلمان
درک کامل	• در دمای پایین‌تر نیز تبخیر آب ادامه دارد. • آب در دمای $25^{\circ}\text{C}$ با سرعت بیشتر و در دمای $5^{\circ}\text{C}$ با سرعت کمتری تبخیر می‌گردد.
درک جزئی	• هرچه دمای آب بیشتر باشد، به نقطه جوش نزدیک‌تر شده و فرایند تبخیر بیشتر انجام می‌گیرد.
کج‌فهمی	• اگر دمای آب بیشتر از دمای محیط پیرامونش باشد، فرایند تبخیر انجام نمی‌گیرد.
عدم درک	-

در مصاحبه کیفی با برخی از دانشجوی معلمان که دچار کج‌فهمی بودند، پاسخ‌های زیر داده شده است (با ویرایش):

**نفر اول:** «فکر نمی‌کنم در این شرایط آب بتواند تبخیر گردد، زیرا در محیطی با دمای کمتر قرار گرفته است و به محیط پیرامون خود گرما می‌دهد. برای انجام تبخیر، گرما لازم است و باید آب بتواند از محیط اطراف خود گرما بگیرد. تبخیر یک فرایند گرماگیر است. برای انجام یک فرایند گرماگیر، گرفتن انرژی گرمایی از محیط پیرامون لازم است. منظورم این است که برای تبخیر آب باید آن را گرم کرد، نه سرد».

**نفر دوم:** «در این حالت یعنی قرار دادن آب در محیطی با دمای کمتر، انرژی گرمایی از آب به محیط پیرامون منتقل می‌شود. این امر باعث کاهش انرژی گرمایی آب شده و بنابراین فرایند تبخیر انجام نمی‌گیرد. برای انجام تبخیر، باید آب را گرم کرد».

در بررسی پاسخ‌های داده‌شده به سؤال دوم، پاسخ درست و کامل، تبخیر آب در داخل ظرف بی‌دررو است؛ زیرا آب برای تبخیر از انرژی درونی مولکول‌های خود استفاده می‌کند. همان‌طور که در جدول ۲ دیده می‌شود، از میان پاسخ‌های دانشجوی معلمان، ۳۳/۳۳ درصد درک کامل، ۱۵/۷۱ درصد درک جزئی، ۵۳/۵۷ درصد کج‌فهمی و ۲/۳۸ درصد عدم درک را نشان می‌دهد. در جدول ۴ برخی از پاسخ‌های دانشجوی معلمان به سؤال دوم آورده شده است.

جدول ۴: برخی از پاسخ‌های دانشجویان به سؤال دوم

سطح درک	نمونه مثال‌هایی از پاسخ‌های دانشجویان
درک کامل	• تبخیر آب در داخل ظرف بی‌دررو نیز انجام می‌گیرد، زیرا برای تبخیر از انرژی درونی مولکول‌های خود استفاده می‌کند.
درک جزئی	• ابتدا آب کمی تبخیر شده و بعد از ایجاد تعادل بین آب و بخار آب، فرایند تبخیر متوقف می‌شود.
کج‌فهمی	• در یک سامانه بی‌دررو، به علت عدم وجود تبادل گرمایی، آب نمی‌تواند تبخیر گردد.
عدم درک	• برای تبخیر آب باید در ظرف باز باشد.

در مصاحبه کیفی با برخی از دانشجویان که دچار کج‌فهمی بودند، پاسخ‌های زیر داده شده است: نفر اول: «فرایند تبخیر گرماگیر بوده و نیازمند گرما است. در یک سامانه بی‌دررو هیچ تبادل و یا جریان گرمایی وجود ندارد. بنابراین آب نمی‌تواند تبخیر شود».

**نفر دوم:** «ما می‌دانیم که در طول فرایند تبخیر، مولکول‌های آب موجود در سطح آب به فاز بخار می‌روند. بین مولکول‌های آب موجود در سطح مایع و سایر مولکول‌های آب پیوند هیدروژنی وجود دارد. هنگامی که این پیوندها شکسته می‌شوند، مولکول‌های آب موجود در سطح می‌توانند وارد فاز بخار شوند. این فرایند نیازمند مقداری انرژی گرمایی است که از محیط اطراف گرفته می‌شود. از آنجایی که در یک سامانه بی‌دررو هیچ‌گونه تبادل گرمایی با محیط انجام نمی‌گیرد، بنابراین پدیده تبخیر نمی‌تواند صورت گیرد».

**پژوهشگر:** «چگونه ممکن است تبخیر آب در هر دمایی انجام پذیرد؟»

**نفر دوم:** «برای مثال، اگر دمای آب را با اندکی گرم کردن از  $25^{\circ}\text{C}$  به  $26^{\circ}\text{C}$  برسانیم، تعدادی از مولکول‌های آب می‌توانند گرما بگیرند و تبخیر شوند. به همین ترتیب اگر گرمای بیشتری به آب بدهیم و دمای آن را به  $27^{\circ}\text{C}$  برسانیم، مقداری بیشتری از آب می‌تواند تبخیر شود. بنابراین اگر گرم کردن آب را ادامه دهیم، آب می‌تواند در هر دمایی تبخیر گردد».

در بررسی پاسخ‌های داده‌شده به سؤال سوم، پاسخ درست و کامل، برابر بودن سرعت تبخیر سطحی در دمای ثابت، در دو ظرف سر بسته و در باز است. همان‌طور که در جدول ۲ دیده می‌شود، از میان پاسخ‌های دانشجویان،  $26/19$  درصد درک کامل،  $16/16$  درصد درک جزئی،  $54/76$  درصد کج‌فهمی و  $2/38$  درصد عدم درک را نشان می‌دهد. در جدول ۵ برخی از پاسخ‌های دانشجویان به سؤال سوم آورده شده است.

## جدول ۵. برخی از پاسخ‌های دانشجوی معلمان به سؤال سوم

سطح درک	نمونه مثال‌هایی از پاسخ‌های دانشجوی معلمان
درک کامل	• در دمای ثابت، سرعت تبخیر سطحی در دو ظرف درباز و سر بسته یکسان است.
درک جزئی	• در ظرف سر بسته در مقایسه با ظرف درباز، فشار بالا بوده و آب در دمای بالاتری می‌جوشد؛ بنابراین سرعت تبخیر سطحی کمتر است، زیرا بالاتر بودن دمای جوش یک مایع نشانگر پایین بودن سرعت تبخیر سطحی است.
کج‌فهمی	• در دمای یکسان، سرعت تبخیر سطحی آب در ظرف درباز بیشتر از سرعت تبخیر در ظرف سر بسته است. • در دمای ثابت، سرعت تبخیر سطحی آب در ظرف سر بسته به‌مرور زمان کاهش می‌یابد. • در ظرف سر بسته، به‌هنگام ایجاد تعادل بین آب و بخار آب، دیگر فرایند تبخیر انجام نمی‌گیرد.
عدم درک	• دو سیستم درباز و سر بسته را نمی‌توان با هم مقایسه کرد، زیرا فشار بخار آب در آن‌ها متفاوت است.

در مصاحبه کیفی با برخی از دانشجوی معلمان که دچار کج‌فهمی بودند، پاسخ‌های زیر داده شده است:

**نفر اول:** «سرعت تبخیر در ظرف درباز بیشتر است».

**پژوهشگر:** «اما دمای آب در هر دو ظرف یکسان است. آیا در این شرایط سرعت تبخیر سطحی یکسان نیست؟»

**نفر اول:** «خیر. در ظرف سر بسته بخار آب نمی‌تواند از ظرف خارج شود. در نتیجه مولکول‌ها بالای سطح آب جمع می‌شوند و فشار بخار آب افزایش می‌یابد. با افزایش فشار در بالای سطح آب، سرعت تبخیر سطحی کاهش می‌یابد، زیرا مولکول‌های آب نمی‌توانند به راحتی وارد فاز بخار شوند».

**نفر دوم:** «ما می‌دانیم که آب لباس‌های شسته شده، در هوای خشک زودتر از هوای مرطوب تبخیر شده و در نتیجه لباس زودتر خشک می‌شود. در ظرف در بسته، هنگامی که تبخیر انجام می‌گیرد، هوای داخل ظرف بیشتر مرطوب شده و در نتیجه سرعت تبخیر سطحی آب کاهش می‌یابد».

**نفر سوم:** «در ابتدای امر سرعت تبخیر سطحی در هر دو ظرف درباز و سر بسته یکسان است، اما بعد از مدتی سرعت تبخیر سطحی در ظرف سر بسته کاهش می‌یابد و هنگامی که بین آب و بخار آب تعادل برقرار شد، فرایند تبخیر به پایان می‌رسد. اما در ظرف درباز به علت خروج بخار آب از ظرف، فرایند تبخیر همچنان ادامه می‌یابد».

در بررسی پاسخ‌های داده شده به سؤال چهارم، پاسخ درست و کامل، ارتباط نداشتن سرعت تبخیر سطحی در دمای ثابت، به اندازه ظرف و مساحت سطح مایع است. بنابراین سرعت تبخیر در هر دو ظرف یکسان است. همان‌طور که در جدول ۲ دیده می‌شود، از میان پاسخ‌های دانشجوی معلمان، ۱۹/۰۴ درصد درک کامل، ۱۴/۲۸ درصد درک جزئی، ۶۱/۹۰ درصد کج‌فهمی و ۴/۷۶ درصد عدم درک را نشان می‌دهد. در جدول ۶ برخی از پاسخ‌های دانشجوی معلمان به سؤال چهارم آورده شده است.

جدول ۶. برخی از پاسخ‌های دانشجویان به سؤال چهارم

سطح درک	نمونه مثال‌هایی از پاسخ‌های دانشجویان
درک کامل	<ul style="list-style-type: none"> <li>در دمای ثابت، سرعت تبخیر سطحی به مساحت سطح مایع بستگی ندارد و در دو ظرف با مساحت سطح مایع بزرگ و کوچک، سرعت تبخیر یکسان است.</li> </ul>
درک جزئی	<ul style="list-style-type: none"> <li>اگر دهانه هر دو ظرف باز باشد، میزان تبخیر در ظرف D که مساحت سطح بیشتری دارد، بیشتر خواهد بود.</li> </ul>
کج‌فهمی	<ul style="list-style-type: none"> <li>سرعت تبخیر سطحی با مساحت سطح مایع ارتباط مستقیم داشته و در نتیجه سرعت تبخیر سطحی در ظرف D بیشتر از ظرف C است.</li> </ul>
عدم درک	<ul style="list-style-type: none"> <li>در هر دو عمل تبخیر انجام گرفته و بعد از مدتی به علت ایجاد تعادل بین آب و بخار آب، تبخیر متوقف می‌شود.</li> </ul>

در مصاحبه کیفی با برخی از دانشجویان که دچار کج‌فهمی بودند، پاسخ‌های زیر داده شده است: نفر اول: «در ظرف D که مساحت سطح بیشتری دارد، سرعت تبخیر سطحی بیشتر است. زیرا فرایند تبخیر در سطح مایع انجام می‌گیرد، به همین خاطر هرچقدر مساحت سطح مایع بیشتر باشد، سرعت تبخیر سطحی نیز بیشتر است».

در بررسی پاسخ‌های داده‌شده به سؤال پنجم، پاسخ درست و کامل، ثابت بودن فشار بخار به علت ثابت بودن دما است. بنابراین با کاهش و یا افزایش مقدار بخار آب داخل ظرف، فشار بخار تغییری نمی‌کند. همان‌طور که در جدول ۲ دیده می‌شود، از میان پاسخ‌های دانشجویان، ۲۲/۶۲ درصد درک کامل، ۱۵/۴۷ درصد درک جزئی، ۵۵/۹۵ درصد کج‌فهمی و ۵/۹۵ درصد عدم درک را نشان می‌دهد. در جدول ۷ برخی از پاسخ‌های دانشجویان به سؤال پنجم آورده شده است.

جدول ۷. برخی از پاسخ‌های دانشجویان به سؤال پنجم

سطح درک	نمونه مثال‌هایی از پاسخ‌های دانشجویان
درک کامل	<ul style="list-style-type: none"> <li>در دمای ثابت، فشار بخار نیز ثابت بوده و تغییری نمی‌کند.</li> </ul>
درک جزئی	<ul style="list-style-type: none"> <li>با افزایش یا کاهش بخار آب، تعادل موجود در ظرف به هم می‌خورد. در نتیجه غلظت بخار نیز تغییر می‌کند، اما فشار بخار ثابت است.</li> </ul>
کج‌فهمی	<ul style="list-style-type: none"> <li>اگر مقداری از بخار آب موجود در ظرف را که با آب در حال تعادل است، از ظرف خارج کنیم، غلظت بخار آب کم شده و فشار بخار کاهش می‌یابد.</li> <li>اگر در ظرفی که در آن بخار آب با آب در حال تعادل است، مقداری بخار آب وارد کنیم، غلظت بخار آب زیاد شده و فشار بخار افزایش می‌یابد.</li> </ul>
عدم درک	<ul style="list-style-type: none"> <li>با افزودن بخار آب، فشار بخار زیاد شده و سبب متراکم شدن بخار آب و تبدیل آن به مایع می‌شود.</li> </ul>

در مصاحبه کیفی با برخی از دانشجوی معلمان که دچار کج‌فهمی بودند، پاسخ‌های زیر داده شده است: نفر اول: «اگر مقدار بخار آب بیشتری وارد ظرف گردد، فشار بخار افزایش خواهد یافت، زیرا تعداد مولکول‌های بخار آب در ظرف افزایش یافته و این امر موجب افزایش فشار بخار می‌گردد». نفر دوم: «با خارج کردن کمی بخار آب از ظرف، فشار بخار کاهش می‌یابد، زیرا مقدار بخار آب کاهش یافته است. از آنجایی که دما ثابت است، هیچ تبخیری از سطح آب انجام نگرفته و در نتیجه فشار بخار کاهش می‌یابد».

### ■ بحث و نتیجه‌گیری ■

بررسی پاسخ‌های داده‌شده به سؤال‌های پرسش‌نامه و همچنین مصاحبه کیفی نیمه‌ساختارمند با برخی از دانشجوی معلمان نشان داد که دانشجوی معلمان رشته آموزش علوم تجربی کج‌فهمی‌های زیادی در زمینه ماهیت تبخیر، سرعت تبخیر، عوامل مؤثر بر سرعت تبخیر و فشار بخار دارند و آموخته‌های آنان در پایه‌های پایین‌تر نتوانسته است مانع بروز این کج‌فهمی‌ها شوند. استاوی (۱۹۹۵) معتقد است که در سامانه شناختی فراگیران انواع مختلفی از تصورات بدیل وجود دارد که می‌توانند با تفکرات علمی و آموخته‌های آنان رقابت نماید. در این فرایند، اغلب تصوراتی که ریشه قوی‌تری در ساختار شناختی آنان دارند، غالب بوده و خود را بروز می‌دهند.

یافته‌های این مطالعه نشان داد که علی‌رغم درک مفهومی تبخیر، سرعت تبخیر و فشار بخار از طرف برخی از دانشجوی معلمان، همچنان نیاز است که در آموزش مفاهیم مرتبط با تغییر حالت مواد از مایع به گاز و بالعکس، ماهیت تبخیر، تعریف سرعت تبخیر و فشار بخار و عوامل مؤثر بر آن‌ها توجه و دقت زیادی به عمل آید. در این مطالعه از دانشجوی معلمان انتظار می‌رفت که از انجام فرایند تبخیر در هر دمایی آگاه باشند. همچنین درک کنند که آب می‌تواند با استفاده از انرژی درونی سایر مولکول‌های آب تبخیر شده و نیاز نیست که حتماً از محیط پیرامون و خارج از ظرف آب انرژی گرمایی به دست آورد. همچنین درک کنند که سرعت تبخیر به مساحت سطح آب ارتباطی نداشته و فقط با دما ارتباط مستقیم دارد و در هر دو ظرف در باز و سر بسته سرعت تبخیر، در دمای واحد، برابر است. از دانشجوی معلمان انتظار می‌رفت که به تعادل برقرار شده بین آب و بخار آب در ظروف سر بسته توجه نمایند و شاخص‌های ناظر بر تعادل نظیر پویا بودن تعادل، عدم تأثیر غلظت اجزای تعادل در فشار بخار و... را در نظر بگیرند.

جانپولات (۲۰۰۶) ضمن اشاره به اهمیت مفهوم و ماهیت تبخیر و میعان در فیزیک،

شیمی و زیست‌شناسی، معتقد است که هر چند دانشجویان از سال‌های اولیه دوره ابتدایی و سپس پایه‌های بالاتر با پدیده‌های تبخیر و عوامل مؤثر بر آن آشنا می‌شوند، اما یافته‌های وی نشان می‌دهد که برخی از آن‌ها در کاربرد مفهومی تبخیر و میعان و همچنین نقش تبادل گرمایی در بروز این پدیده‌ها دارای مشکل هستند. در مطالعه حاضر نیز مشخص شد که دانشجومعلم‌ان در درک مفهومی تبخیر، ماهیت تبخیر و تبادل گرما در فرایند تبخیر دچار کج‌فهمی هستند.

در سؤال اول پژوهش که میزان درک فراگیران از ماهیت تبخیر و تأثیر دما بر سرعت تبخیر را مورد بررسی قرار داده بود، انتظار می‌رفت که دانشجومعلم‌ان به ادامه فرایند تبخیر در دماهای پایین‌تر اشاره می‌کردند. آموخته‌های پیشین آن‌ها در پایه‌های پایین‌تر نشان می‌داد که دما با سرعت تبخیر ارتباط مستقیمی دارد. بنابراین با انتقال آب به محیطی با دمای کمتر، فرایند تبخیر با سرعت کمتری انجام می‌گیرد و متوقف نمی‌شود. اما فقط ۶۵/۷۱ درصد از آنان معتقد بودند که آب در دمای  $25^{\circ}\text{C}$  با سرعت بیشتر و در دمای  $5^{\circ}\text{C}$  با سرعت کمتری تبخیر می‌گردد و درک کامل خود از این سؤال را نشان دادند؛ اما ۲۶/۱۹ درصد از آنان دچار کج‌فهمی بودند. به اعتقاد آنان با انتقال آب با دمای  $25^{\circ}\text{C}$  به محیطی با دمای  $5^{\circ}\text{C}$  فرایند تبخیر آب متوقف می‌شود. به اعتقاد آنان، فرایند تبخیر گرماگیر بوده و مولکول‌های آب با گرفتن گرما از محیط پیرامون خود تبخیر می‌گردند. اما چون دمای آب بالاتر از دمای محیط است، بنابراین فرایند انتقال گرما از طرف ظرف محتوای آب به محیط پیرامون انجام گرفته و دمای آب کاهش می‌یابد. در حقیقت آب با از دست دادن انرژی گرمایی به محیط پیرامون خود سرد می‌شود و این امر مانع تبخیر آب می‌گردد.

از لحاظ علمی آب می‌تواند در هر دمایی تبخیر شود. البته در دماهای بالاتر تبخیر سریع‌تر و در دماهای پایین‌تر، تبخیر کندتر است. تبخیر آب حتی از سطح برف و یخ نیز انجام می‌گیرد. در اصل برخی مولکول‌های آب که اغلب در سطح آب هستند و به‌واسطه برخورد با سایر مولکول‌ها و گرفتن انرژی از آن‌ها دارای انرژی کافی برای تبخیر هستند، سطح آب را ترک کرده و وارد فاز بخار می‌شوند. در مطالعه جانپولات، پینارباشی<sup>۴۱</sup> و سوزیلیر<sup>۴۲</sup> (۲۰۰۶) نیز به چنین یافته‌هایی اشاره شده است و یافته‌های این پژوهش با یافته‌های آنان مطابقت دارد.

این وضعیت در درک فراگیران از فرایند تبخیر در محیط بی‌دررو و با استفاده از انرژی درونی مولکول‌های آب در سؤال دوم پژوهش نیز مشاهده شد. ۳۳/۳۳ درصد دانشجومعلم‌ان که درک کاملی از این پدیده داشتند، معتقد بودند که تبخیر آب در داخل

طرف بی‌دررو نیز انجام می‌گیرد، زیرا آب در هر دمایی می‌تواند تبخیر گردد. اما ۵۳/۵۷ درصد دانشجو معلمان این نکته مهم را به‌درستی درک نکرده و دچار کج‌فهمی بودند. این افراد معتقد بودند که آب در یک سامانه بی‌دررو یا آدیاباتیک نمی‌تواند تبخیر گردد، زیرا برای تبخیر آب باید از محیط اطراف گرما جذب شود. یعنی عمل تبخیر زمانی انجام می‌گیرد که آب بتواند از محیط اطراف خود گرما دریافت کند. از آنجایی که در یک سامانه بی‌دررو و سر بسته هیچ نوع تبادل گرمایی بین داخل ظرف و محیط پیرامون آن انجام نمی‌گیرد، به همین خاطر آب نمی‌تواند تبخیر شود. اما از نظر علمی واقعیت این است که آب می‌تواند در هر دمایی تبخیر گردد. برای تبخیر آب گرما دادن ضروری نیست. آب از طریق انرژی درونی خود تبخیر می‌شود. مولکول‌هایی در داخل آب وجود دارند که به‌واسطه جذب انرژی از سایر مولکول‌ها می‌توانند به سطح آب رسیده و بعد از جدا شدن از آب به فاز بخار بروند. این کج‌فهمی را جانپولات و همکارانش (۲۰۰۶) و همچنین گوپال و همکارانش (۲۰۰۴) در مطالعه خود گزارش کرده بودند.

در سؤال سوم پژوهش که سرعت تبخیر سطحی در دو ظرف در باز و سر بسته مورد بررسی قرار داده شده بود، فقط ۲۶/۱۹ درصد از دانشجو معلمان معتقد بودند که در دمای ثابت، سرعت تبخیر در دو ظرف در باز و سر بسته یکسان است. اما ۵۴/۷۶ درصد دانشجو معلمان این مفهوم را به‌درستی درک نکرده و دچار کج‌فهمی بودند. بعضی از این دانش‌آموزان معتقد بودند که در دمای یکسان، سرعت تبخیر سطحی آب در ظرف در باز بیشتر از سرعت تبخیر در ظرف سر بسته است. بررسی پاسخ‌های آنان نشان داد که آنان وجود بخار آب را عامل کاهش سرعت تبخیر سطحی آب می‌دانند. به اعتقاد آنان از ظرف در باز بخار آب خارج می‌شود ولی در ظرف سر بسته بخار آب همچنان در ظرف باقی می‌ماند. در نتیجه تجمع بخار بالای آب در ظرف سر بسته، سبب می‌شود فشار بر سطح آب بیشتر شود که در نتیجه ورود آب به فاز بخار به‌سختی انجام می‌گیرد. این امر منجر به کاهش سرعت تبخیر سطحی می‌گردد. اما باید توجه داشت که از لحاظ علمی، سرعت تبخیر سطحی یک مایع به دمای آن بستگی دارد و در دمای داده‌شده، سرعت تبخیر ثابت است. از آنجایی که دمای آب در هر دو ظرف یکسان است، لذا سرعت تبخیر سطحی نیز در هر دو ظرف در باز و سر بسته یکسان خواهد بود. از نظر این گروه از دانشجو معلمان، بین فشار بخار و سرعت تبخیر سطحی رابطه عکس وجود دارد. یعنی افزایش فشار بخار سبب کاهش سرعت تبخیر سطحی می‌گردد. این نوع کج‌فهمی را بار و گالیلی (۱۹۹۴) نیز در مطالعه خود اشاره کرده‌اند.

برخی دیگر از دانشجو معلمان اشاره داشتند که در دمای ثابت، سرعت تبخیر



سطحی آب در ظرف سر بسته به مرور زمان کاهش می‌یابد. بعضی از آن‌ها نیز معتقد بودند که بعد از ایجاد تعادل بین بخار آب و آب در ظرف سر بسته، فرایند تبخیر متوقف شده و دیگر انجام نمی‌گیرد. اما از لحاظ علمی در یک سامانه تعادلی، سرعت به صفر نمی‌رسد، بلکه سرعت رفتن آب به فاز بخار و برگشت بخار آب به فاز مایع با هم برابر می‌شوند. این نوع نظرات نشان می‌دهد که فراگیران درک درستی از پویا بودن ماهیت تعادل ندارند. چانگ (۱۹۹۹)، گوپال و همکارانش (۲۰۰۴) نیز در مطالعات خود به این نوع کج‌فهمی‌ها اشاره کرده‌اند.

در سؤال چهارم پژوهش که تأثیر مساحت سطح مایع بر سرعت فرایند تبخیر را مورد بررسی قرار داده بود، فقط ۱۹/۰۴ درصد از دانشجویان معتقد بودند که سرعت تبخیر سطحی در دمای ثابت، به اندازه ظرف و مساحت سطح مایع ارتباطی ندارد و سرعت تبخیر سطحی در هر دو ظرف یکسان است. اما ۶۱/۹۰ درصد دانشجویان این نکته را به درستی درک نکرده و دچار کج‌فهمی بودند. به اعتقاد این دسته از دانشجویان، سرعت تبخیر سطحی با مساحت سطح مایع ارتباط مستقیم دارد و در نتیجه سرعت تبخیر سطحی در ظرف با مساحت سطح بزرگ‌تر، بیشتر از ظرف با مساحت سطح کوچک‌تر است. به نظر می‌رسد که منشأ پیدایش این نوع کج‌فهمی عدم درک صحیح تعریف مفهومی سرعت تبخیر سطحی است. در منابع علمی در تعریف مفهومی سرعت تبخیر سطحی آمده است: «مقدار ذرات منتقل شده از [واحد سطح] مایع به فاز بخار در واحد زمان را سرعت تبخیر می‌گویند» (جانپولات، ۲۰۰۶). بنابراین درست است که اگر مساحت سطح یک مایع بزرگ‌تر باشد، «میزان تبخیر» نیز بیشتر است، اما از نظر علمی «سرعت تبخیر» سطحی در دمای ثابت ارتباطی به مساحت سطح ندارد. سیتسیپیس و همکارانش (۲۰۱۰) نیز در مطالعه خود به این نوع کج‌فهمی اشاره کرده‌اند. یافته‌های آنان نشان می‌دهد که اغلب دانشجویان و دانش‌آموزان، در صورت درک مفهومی و دقیق تعریف سرعت تبخیر سطحی، این نوع کج‌فهمی را اصلاح کرده و به فهم درست عدم تأثیر مساحت سطح در سرعت تبخیر سطحی نائل می‌شوند.

در سؤال پنجم پژوهش که میزان درک دانشجویان از تأثیر غلظت بخار آب بر وضعیت تعادل بین بخار آب و آب را مورد بررسی قرار داده بود، فقط ۲۲/۶۲ درصد از دانشجویان معتقد بودند که در دمای ثابت، بین آب و بخار آب تعادل برقرار است و بنابراین با افزایش و یا کاهش مقدار بخار آب، دوباره تعادل بازیابی شده و در نتیجه فشار بخار تغییری نمی‌کند. اما ۵۵/۹۵ درصد دانشجویان هر چند به فرایند تبخیر و برقراری تعادل بین بخار آب و آب در ظرف سر بسته اشاره داشتند؛ اما درک درستی از

ماهیت تعادل و تأثیر غلظت بر وضعیت تعادل نداشتند. به اعتقاد آنان، اگر مقداری از بخار آب موجود در ظرف را که با مایع در تعادل است خارج کنیم، فشار بخار داخل ظرف کاهش می‌یابد یا اگر مقداری بخار آب به داخل ظرف تزریق کنیم، فشار بخار افزایش می‌یابد. این دسته از دانشجوی معلمان معتقد بودند که در حالت افزایش و یا کاهش بخار آب، غلظت بخار آب داخل ظرف دستخوش تغییر شده و بر پایه این تغییر فشار بخار نیز کم و یا زیاد می‌شود.

از نظر علمی، فشار بخار همان فشار بخار آب در حال تعادل با آب موجود در ظرف سر بسته است. در دمای ثابت، فشار بخار نیز ثابت است و هنگام افزایش و یا کاهش بخار آب در سامانه در حال تعادل، از آنجایی که تعادل دوباره خود را بازیابی می‌کند، لذا فشار بخار تغییری نمی‌کند. در اصل در حالت تعادل، سرعت متراکم شدن بخار آب (میعان) و تبخیر آب با هم برابر می‌شود. به همین خاطر مقدار آب و بخار آب موجود در سامانه در حال تعادل تأثیری بر فشار بخار ندارد.

در کل، یافته‌های مطالعه حاضر نشان داد که دانشجوی معلمان رشته علوم تجربی کج‌فهمی‌های زیادی درباره ماهیت تبخیر، سرعت تبخیر سطحی و فشار بخار دارند. آن‌ها نمی‌توانند در بسیاری از موارد شبیه‌سازی شده، آموخته‌های خود درباره تبخیر و میعان و تأثیر عوامل مختلف بر سرعت تبخیر سطحی و فشار بخار را به خوبی مورد کار بست قرار دهند. عوامل مختلفی را می‌توان به عنوان منشأ چنین کج‌فهمی‌هایی معرفی کرد که از جمله تجربه‌ها و پیش‌آموخته‌های دانشجوی معلمان در سال‌های قبل، انتزاعی بودن مفاهیم و عدم درک صحیح و مفهومی آن‌ها، سازمان‌دهی نامناسب محتوای آموزشی در سال‌های اولیه دوران تحصیل بدون رعایت پیش‌نیازها و نیز رعایت ارتباط‌های طولی و عرضی مناسب و همچنین استفاده از بدیعه‌پردازی‌ها و شبیه‌سازی‌های نامناسب توسط معلمان و استادان را باید از عوامل پیدایش این کج‌فهمی دانست.

بررسی منشأ کج‌فهمی و شیوه‌های اصلاح کج‌فهمی نیازمند پژوهش‌های جداگانه‌ای است. بدون شک تجربیات و آموخته‌های پیشین دانشجوی معلمان و دانش‌آموزان (آلن<sup>۴۳</sup>، ۲۰۱۰)، شیوه تدریس معلمان مدارس و استادان دانشگاه (کارلتون<sup>۴۴</sup>، ۲۰۰۰) و همچنین عدم سازمان‌دهی مناسب محتوای آموزشی در کتاب‌های درسی (لیت<sup>۴۵</sup>، ۱۹۹۹) به عنوان سه منبع اصلی بروز کج‌فهمی بیشتر قابل پژوهش است.

یافته‌های این مطالعه را می‌توان در آموزش مفاهیم مربوط به تبخیر، سرعت تبخیر سطحی و فشار بخار در دوره متوسطه اول و دوم و همچنین دوره کارشناسی رشته آموزش علوم تجربی مورد کار بست قرار داد. این پژوهش تأکید دارد که برای آموزش

اثربخش مفاهیم مرتبط با تبخیر، میعان، سرعت تبخیر سطحی، فشار بخار و مفاهیم مشابه که اغلب انتزاعی هستند، باید از روش‌های تدریس ویژه‌ای استفاده کرد و مانع از بروز چنین کج‌فهمی‌هایی شد. مناسب‌ترین روش، استخراج تصورات و نظرات دانشجومعلم‌ان قبل از آموزش کلاسی و سپس استفاده از فعالیت‌های عملی و یا نمایشی مناسب برای مشاهده دقیق پدیده‌های علمی است.

همچنین باید هنگام برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی، تمام مفاهیم چالش‌برانگیزی را که مستعد ایجاد کج‌فهمی هستند مورد بررسی قرار داد. استفاده از ارزشیابی‌های تشخیصی و تکوینی و آگاهی معلمان و استادان از دیدگاه‌ها و عقاید فراگیران نسبت به مفاهیم چالش‌برانگیز، کمک می‌کند تا روش‌های تدریس مناسب‌تری اتخاذ نمایند. یافته‌های این پژوهش می‌تواند به برنامه‌ریزان درسی، نویسندگان کتاب‌های درسی علوم تجربی دوره آموزش عمومی و همچنین دانشجومعلم‌ان و آموزگاران کمک نماید تا در راستای ارتقای کیفیت فرایند یاددهی - یادگیری مفاهیم مرتبط با پدیده‌های تبخیر، میعان، سرعت تبخیر سطحی و فشار بخار گام بردارند. بر پایه یافته‌های این پژوهش، به برنامه‌ریزان و نویسندگان کتاب‌های درسی علوم تجربی پیشنهاد می‌شود که در کتاب‌های درسی جدید علوم تجربی پایه‌های چهارم و پنجم ابتدایی و همچنین شیمی و فیزیک دوره متوسطه، مفاهیم گرما، تبخیر، میعان، تعادل، سرعت تبخیر سطحی و فشار بخار بیشتر مورد توجه قرار گیرند تا از بروز چنین کج‌فهمی‌هایی جلوگیری شود.

منابع

- احمدی، غلامعلی. (۱۳۹۱). *ارزشیابی از برنامه درسی علوم تجربی دوره راهنمایی (طرح پژوهشی)*. تهران: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، وزارت آموزش و پرورش.
- بدریان، عابد. (۱۳۹۳). *ارزشیابی از بسته آموزشی علوم تجربی پایه سوم ابتدایی (طرح پژوهشی)*. تهران: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، وزارت آموزش و پرورش.
- بدریان، عابد. (۱۳۸۸). *ارزشیابی از برنامه درسی شیمی دوره متوسطه و پیش‌دانشگاهی (طرح پژوهشی)*. تهران: سازمان پژوهش و فصل‌نامه برنامه‌ریزی آموزشی، وزارت آموزش و پرورش.
- بدریان، عابد؛ شکرباغانی، اشرف السادات و پوراسکندری، رامین. (۱۳۹۲). بررسی کج‌فهمی‌های دانش‌آموزان پایه پنجم ابتدایی درباره مفهوم گرما و دما. *نوآوری‌های آموزشی*، ۴۸، ۹۳-۱۱۰.
- بدریان، عابد و عبدی‌نژاد، طالب. (۱۳۹۲). بررسی تصورات ذهنی دانش‌آموزان سال اول دوره متوسطه در مورد ماهیت ذره‌ای ماده. *مطالعات برنامه درسی*، ۲۹، ۴۷-۷۲.
- سرمد، زهره، بازرگان، عباس و حجازی، الهه. (۱۳۹۳). *روش‌های تحقیق در علوم رفتاری (چاپ بیست و یکم)*. تهران: انتشارات آگه.
- شورای نویسندگان. (۱۳۹۰). *علوم تجربی پایه اول ابتدایی*. تهران: اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، وزارت آموزش و پرورش.
- شورای نویسندگان. (۱۳۹۲). *شیمی ۳ و آزمایشگاه*. تهران: اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، وزارت آموزش و پرورش.
- شورای نویسندگان. (۱۳۹۳). *درس شیمی (۲ و ۱) دوره پیش‌دانشگاهی*. تهران: اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، وزارت آموزش و پرورش.
- شورای نویسندگان. (۱۳۹۴). *علوم تجربی پایه سوم ابتدایی*. اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی، سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، وزارت آموزش و پرورش، تهران.
- کرسول، جان و پلانو کلازک، ویک. (۱۳۹۰). *روش‌های پژوهش ترکیبی (ترجمه علیرضا کیامنش و جاوید سرایی)*. تهران: نشر دیدار. (اثر اصلی در سال ۲۰۰۷ چاپ شده است).
- صدراالشرافی، مسعود. (۱۳۹۰). *ارزشیابی از برنامه درسی فیزیک دوره متوسطه و پیش‌دانشگاهی (طرح پژوهشی)*. تهران: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، وزارت آموزش و پرورش.
- مورتیمر، چارلز. (۱۳۸۰). *شیمی عمومی ۱ (ترجمه عیسی یوری)*. تهران: نشر علوم دانشگاهی. (اثر اصلی در سال ۱۹۹۸ چاپ شده است).
- ناصری‌آذر، اکبر و بدریان، عابد. (۱۳۹۱). بررسی شبکه مفهومی کتاب‌های درسی علوم تجربی دوره ابتدایی بر اساس مشکلات یاددهی و یادگیری (طرح پژوهشی). تهران: سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، وزارت آموزش و پرورش.
- Abraham, M. R., Grzybowski, E. B., Renner, J. W., & Marek, E. A. (1992). Understandings and misunderstandings of eight graders of five chemistry concepts found in textbooks. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 105-120.
- Allen, M. (2010). *Misconceptions in primary science*. Open University press, McGraw-Hill education, Berkshire, England.
- Ayas, A.; Özman, H & Çalik, M. (2010), Students' conceptions of the particulate nature of matter at secondary and tertiary level. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 8(1), 165-184.
- Bar, V., & Galili, I. (1994). Stages of children's views about evaporation. *International Journal of Science Education*, 16, 157-174.
- Canpolat, N. (2006). Turkish undergraduates' misconceptions of evaporation, evaporation rate, and vapour pressure. *International Journal of Science Education*, 28, 1757-1770.

- Canpolat, N., Pinarbasi, T., & Sozibilir, M. (2006). Prospective teachers' misconceptions of vaporization and vapor pressure. *Journal of Chemical Education*, 83, 1237-1242.
- Carlton, K. (2000). Teaching about heat and temperature. *Physics Education*, 35, 101-105.
- Chang, J.-Y. (1999). Teachers college students' conceptions about evaporation, condensation, and boiling. *Science Education*, 83, 511-526.
- Costu, B., & Ayas, A. (2005). Evaporation in different liquids: Secondary students' conceptions. *Research in Science & Technological Education*, 23, 75-97.
- Garnett, P. J., Garnett, P. J., & Hackling, M. W. (1995). Students' alternative conceptions in chemistry: A review of research and implications for teaching and learning. *Studies in Science Education*, 25, 69-95.
- Gönen, S., & Koçakaya, S. (2010). A cross-age study on the understanding of heat and temperature. *Eurasian Journal of Physics and Chemistry Education*, 2, 1-15.
- Gopal, H., Kleinsmidt, J., Case, J., & Musonge, P. (2004). An investigation of tertiary students' understanding of evaporation, condensation and vapor pressure. *International Journal of Science Education*, 26, 1597-1620.
- Köse, S. (2008). Diagnosing student misconceptions: Using drawings as a research method. *World Applied Sciences Journal*, 3, 283-293.
- Leite, L. (1999). Heat and temperature: An analysis of how these concepts are dealt with in textbooks. *European Journal of Teacher Education*, 22, 61-74.
- Mulford, D. R., & Robinson, W. R. (2002). An inventory for alternate conceptions among first semester general chemistry students. *Journal of Chemical Education*, 79, 739-744.
- Nakhleh, M. B. (1992). Why some students don't learn chemistry: Chemical misconceptions. *Journal of Chemical Education*, 69, 191-196.
- Osborne, R., & Cosgrove, M. (1983). Children's conceptions of the changes of state of water. *Journal of Research in Science Teaching*, 20, 825-838.
- Russell, T., Harlen, W., & Watt, D. (1989). Children's ideas about evaporation. *International Journal of Science Education*, 11, 566-576.
- Stamovlasis, D; Tsitsipis, G. & Papageorgio, G. (2012). Structural equation modeling in assessing students' understanding of the state changes of matter. *Chemistry Education: Research and Practice*, 13, 357-368.
- Stavy R. (1990). Pupils' problems in understanding conservation of matter. *International Journal of Science Education*, 12, 501-512.
- Tsitsipis G., Stamovlasis D. & Papageorgiou G. (2010). The effect of three cognitive variables on students' understanding of the particulate nature of matter and its changes of state. *International Journal of Science Education*, 32, 987-1016.
- Tytler, R., & Peterson, S. (2001). Deconstructing learning in science: Young children's responses to a classroom sequence on evaporation. *Research in Science Education*, 30, 339-355.
- Tytler, R. (1998). Children's conceptions of air pressure: Exploring the nature of conceptual change. *International Journal of Science Education*, 20, 929-958.
- Tytler, R. (2000). A comparison of year 1 and year 6 students' conceptions of evaporation and condensation: Dimensions of conceptual progression. *International Journal of Science Education*, 22, 447-467.

## پی‌نوشت‌ها

- |                               |                   |
|-------------------------------|-------------------|
| 1. Misconception              | 24. Watt          |
| 2. Misunderstanding           | 25. Osborne       |
| 3. Naïve Conceptions          | 26. Cosgrove      |
| 4. Common Sense Understanding | 27. Stavý         |
| 5. Alternative Conceptions    | 28. Chang         |
| 6. Preconceptions             | 29. Gopal         |
| 7. Garnett                    | 30. Kleinsmidt    |
| 8. Hackling                   | 31. Case          |
| 9. Gönen                      | 32. Musonge       |
| 10. KoCakaya                  | 33. Cos tu & Ayas |
| 11. Mulford                   | 34. Köse          |
| 12. Robinson                  | 35. Creswell      |
| 13. Nakhleh                   | 36. Plano Clark   |
| 14. Stamovlasis               | 37. Abraham       |
| 15. Tsitsipis                 | 38. Grzybowski    |
| 16. Papageorgiou              | 39. Renner        |
| 17. Canpolat                  | 40. Marek         |
| 18. Tytler                    | 41. Pinarbasi     |
| 19. Peterson                  | 42. Sozibilir     |
| 20. Bar                       | 43. Allen         |
| 21. Galili                    | 44. Carlton       |
| 22. Russell                   | 45. Leite         |
| 23. Harlen                    |                   |