کج‌فهمی‌های دانش‌آموزان در یادگیری مفاهیم الکتروشیمی در دبیرستان

■ رسول عبداله میرزائی*
■ امراله کوهی فائق**
■ نعمت‌الله ارشدی***

چکیده:

بر اساس نظریهٔ ساختن‌گرایی، دانش‌آموزان هنگام ورود به هر مرحله یا موقعیت جدید آموزشی، در مورد موضوع آموزشی، با توجه به تجارب قبلی‌شان، دارای مجموعه‌ای از باورهای درس و غلط هستند، بنابراین در مورد موضوع جدید آموزشی نیز ممکن است تصورات نادرستی در ذهن آن‌ها شکل گیرد. آن دسته از تصورات دانش‌آموزان که با اصول علمی پذیرفته‌شده مغایر بوده یا در تناقض باشد و فراگیران به‌وسیله آن‌ها قادر به توضیح درست پدیده‌های علمی نباشند، "کج‌فهمی" یا مفاهیم جایگزین نامیده می‌شود. کج‌فهمی‌ها در یادگیری به‌ویژه یادگیری علوم اهمیت زیادی دارند. محققان زیادی در کشورهای مختلف کج‌فهمی‌های فراگیران در موضوعات مختلف را بررسی کرده‌اند. هدف این تحقیق تشخیص کج‌فهمی‌های دانش‌آموزان در یادگیری مفاهیم الکتروشیمی در دورهٔ متوسطه است. برای این منظور از بین دانش‌آموزان دورهٔ پیش‌دانشگاهی مناطق آموزشی مختلف شهر تهران در سال تحصیلی ۸۷-۱۳۸۶ به‌طور تصادفی ۳۳۱ دانش‌آموز از مناطق ۲، ۵، ۶، ۹ و ۱۶ انتخاب‌شدند که شامل ۱۴۱ نفر پسر و ۱۹۰ نفر دختر بودند. به‌منظور شناسایی کج‌فهمی‌های رایج دانش‌آموزان از پرسش‌نامه‌ای حاوی هفت پرسش چهارگزینه‌ای و یک پرسش باز پاسخ استفاده گردید. پرسش‌ها دربرگیرندهٔ مفاهیم اکسایش- کاهش، پتانسیل‌های الکترودی، مفهوم آند و کاتد، چگونگی کامل شدن مدار الکتریکی در سلول‌های گالوانی، الکترود استاندارد هیدروژن و نقش پل نمکی در سلول‌های الکتروشیمیایی بود. از تحلیل هر سؤال، کج‌فهمی‌های دانش‌آموزان در آن موضوع استخراج گردید. موارد شناسایی‌شده از کج‌فهمی‌های رایج دانش‌آموزان می‌تواند در بهبود روش‌های تدریس و تهیه محتوای آموزشی مورد استفاده قرار گیرد.

کلید واژه‌ها: **کج‌فهمی، ایده‌های جایگزین، آموزش الکتروشیمی، یادگیری، محتوای آموزشی.**

■ تاریخ دریافت مقاله: ۹۲/۷/۱۸ ■ تاریخ شروع بررسی: ۹۲/۱۲/۲۵ ■ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۴/۷/۱۸

* عضو هیئت‌علمی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، دانشکده علوم، گروه شیمی
** دانشجوی کارشناسی ارشد آموزش شیمی، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، دانشکده علوم، گروه شیمی
*** عضو هیئت‌علمی دانشگاه زنجان، دانشکده علوم، گروه شیمی

■ این مقاله برگرفته از رساله دوره کارشناسی ارشد آموزش شیمی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی است.

مقدمه

مطالعـات صورت گرفته در مورد ماهیت و محیط یادگیری نشـان می‌دهد که پژوهش‌های صورت گرفتـه در این زمینه، بیشـتر روی عوامل بیرونی مؤثر بر یادگیری ماننـد روش‌های تدریس، راهبردها، صلاحیت‌های معلمان، کتاب‌های درسـی، محتوای آموزشی و محیط کلاسی متمرکزشده‌اند. بااین‌حال باید توجه داشـت که فراگیران نیز از فرایند یادگیری مجزا نیسـتند و مغز آن‌ها را نمی‌توان به‌صورت ظرف‌هایی خالی در نظر گرفت که به‌وسیله معلم پر می‌شود. دانش‌آموزان با داشتن یک سلسله فرضیات در ذهن خود، در مورد چگونگی عملکرد جهان پیرامون خود، وارد کلاس می‌شـوند. به این فرضیات تصورات قبلی یا پیش‌دانسته‌ها گفته می‌شود. اگرچه این پیش دانسته‌ها به دانش‌آموزان در درک جهان پیرامونشـان کمک می‌کند ولی در مواردی هم این دانسته‌ها از منظر علمی درست نیستند. پژوهشگران تعلیـم و تربیت ایـن تصورات نادرسـت را کج‌فهمی نامیده‌انـد. چون کج‌فهمی‌ها، خـواه ناخواه، به دانش‌آمـوزان برای درک جهان پیرامون خود کمک می‌کنند، به‌سـختی می‌تـوان آن‌ها را تغییر داد و لذا موجب اختلال در فرایند یادگیری می‌شوند. هرچه اطلاعات معلمان در مورد کج‌فهمی‌های دانش‌آموزان خود بیشـتر باشد، بهتر می‌توانند آن‌ها را برای یادگیری مهیا سـازند. بنابراین می‌توان گفت بهتر است آموزش علوم دربرگیرندهٔ اصلاحِ ساختارِ شناختیِ دانش‌آموزان در راستای تبیین علمی پدیده‌ها باشد.

تلاش‌هـای زیادی به‌منظورِ شناسـایی کج‌فهمی‌های دانش‌آموزان در هر یـک از قلمروهای علوم صورت گرفته اسـت. محققان روش‌های زیادی را برای یافتن کج‌فهمی‌های دانش‌آموزان به‌کاربرده‌اند که از میان آن‌ها می‌توان به مصاحبه، نقشـه‌های مفهومی و آزمون‌های تشـخیصی اشاره کرد. اگرچه با مصاحبه می‌توان ساختار شناختی دانش‌آموزان را با عمق بیشتری مورد بررسی قرارداد ولی با افزایش تعـداد دانش‌آموزان زمان زیادی برای این روش لازم اسـت. به همین دلیل، هرگاه تعداد دانش‌آموزان زیاد باشد به‌منظور راحتی تجزیه‌وتحلیل اطلاعات به‌دست‌آمده از آزمون‌های تشخیصی استفاده می‌شود. البته باید توجه داشـت که طراحی این آزمون‌ها باید به‌گونه‌ای باشـد که تصـورات دانش‌آموزان را با عمق بیشتری مورد بررسی قرار دهد تا آن‌ها و به‌راحتی با مقایسه گزینه‌های مختلف جواب درست را تشخیص ندهند.

در دو دههٔ گذشـته مطالعات زیـادی در مورد کج‌فهمی دانش‌آموزان در یادگیری الکتروشـیمی در خارج از کشور صورت گرفته است. این مطالعات نشان داده است که فراگیران در سنین متفاوت، اعم از دبیرستان یا دانشگاه، در یادگیری مطالب الکتروشیمی دارای کج‌فهمی‌های مختلفی هستند. این تحقیقات نشان داده است که دوره‌های دانشگاهی نیز موجب برطرف شدن بسیاری از این کج‌فهمی‌ها نمی‌شود. از جمله این تحقیقات می‌توان به مطالعات صورت گرفته توسط آلساپ[1] و جورج[2] (۱۹۸۲)، بیرس[3] و تراکس[4] (۱۹۹۰)، گارنت[5] و تریگاست[6] (۱۹۹۰)، بردلی[7] و آگیود[8] (۱۹۹۶) و آگیود و بردلی (۱۹۹۴) اشاره کرد. سانگر[9] و گرین‌بو[10] (۱۹۹۹) کتاب‌های درسی شیمی دانشگاهی را به‌عنوان منبعی برای کج‌فهمی‌ها

و خطاهای مشاهده‌شده در الکتروشیمی مورد تحلیل قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که نویسندگان این کتاب‌ها باید از ساده‌سازی‌ها (مانند نشان دادن آند در سمت چپ در همه موارد و یا انتقال جریان در پل نمکی به‌وسیله جابه‌جایی آنیون‌ها) دوری کنند. در مورد کج‌فهمی‌ها در یادگیری الکتروشیمی تحقیقی توسط علی‌رضا اوزکایا[11] (۲۰۰۲) روی ۹۲ دانشجوی تربیت‌معلم سال آخر دانشکده آموزش علوم و ریاضی در دانشگاه مرمرهٔ ترکیه و تحقیقی نیز توسط سیحون[12] و قره‌گلگه[13] (۲۰۰۵) روی دانشجویان آموزش عالی در دانشگاه آتاتورک ترکیه انجام گرفت. نتایج این تحقیقات ضمن تأیید کج‌فهمی‌های گزارش‌شده قبلی نشان می‌دهد که به کار بردن پویانمایی‌های رایانه‌ای موجب بالا رفتن انگیزه دانشجویان در فرایند آموزش می‌شود و با تحلیل کتاب درسی مشخص شده است که جملات گمراه‌کننده‌ای در متن آن وجود دارد که می‌تواند به‌صورت غلط تفسیر شده و باعث ایجاد کج‌فهمی در فراگیران شود.

آچار[14] و ترهان[15] (۲۰۰۷) مطالعه‌ای را بر روی دانش‌آموزان پایه یازدهم در کشور ترکیه انجام دادند تا بتوانند با کمک پرسش‌نامه‌ای متشکل از پرسش‌های چندگزینه‌ای و تشریحی به شناسایی کج‌فهمی‌های دانش‌آموزان بپردازند. آن‌ها پس از مطالعه متوجه کج‌فهمی‌های جدیدی در دانش‌آموزان در مفاهیم الکتروشیمی شدند. سپس به بررسی تأثیر روش آموزش گروهی بر میزان بهبود کج‌فهمی‌های دانش‌آموزان در مفاهیم الکتروشیمی پرداختند. نتیجهٔ مطالعهٔ آن‌ها نشان داد که روش آموزش گروهی می‌تواند با فراهم کردن فضای بحث گروهی و تبادل‌نظر بین دانش‌آموزان منجر به بهبود فرایند یادگیری در دانش‌آموزان شود و تا حدودی کج‌فهمی‌های آن‌ها را در مفاهیم الکتروشیمی اصلاح نماید. همین نویسندگان (۲۰۱۳) مطالعه دیگری را در راستای تأثیر روش آموزش بر میزان یادگیری دانش‌آموزان در مفاهیم الکتروشیمی انجام دادند و به بررسی تأثیر فعالیت عملی مبتنی بر کاوشگری بر میزان کج‌فهمی آنان در آموزش مفاهیم الکتروشیمی پرداختند. مطالعه آنان بر روی دانش‌آموزان سال آخر دبیرستان نشان داد که انجام فعالیت عملی مبتنی بر کاوشگری علاوه بر تأثیر معنادار در بهبود فرایند یادگیری نسبت به انجام فعالیت عملی به روش سنتی، منجر به نگرش بهتر دانش‌آموزان نسبت به شیمی و کار آزمایشگاهی می‌گردد. این تأثیر مثبت در فرایند یادگیری منجر به کاهش میزان کج‌فهمی‌های آنان در مفاهیم الکتروشیمی مندرج در محتوای آموزشی نیز می‌شود.

در تحقیق حاضر با طراحی پرسش‌نامه به سنجش کج‌فهمی‌های رایج دانش‌آموزان در مفاهیم الکتروشیمی ارائه‌شده در کتاب درسی دوره دبیرستان پرداخته شد تا کج‌فهمی‌های رایج دانش‌آموزان با کج‌فهمی‌های ارائه‌شده در منابع علمی مورد مقایسه قرارگرفته و کج‌فهمی‌های جدید مورد شناسایی قرار گیرند. تحلیل کج‌فهمی‌های دانش‌آموزان در ارتباط با محتوای آموزشی می‌تواند تا حدودی ما را به علت وجودی آن‌ها رهنمون سازد که این موضوع در ارتباط با پرسش‌های طرح‌شده مورد ارزیابی واقع شده است.

■ کج‌فهمی‌ها در آموزش الکتروشیمی

الکتروشیمی عبارت است از مطالعهٔ روابط موجود بین واکنش‌های شیمیایی و جریان الکتریکی؛ از جمله، واکنش‌های تجزیهٔ الکتریکی (برق‌کافت) که در آن‌ها یک واکنش غیر خود به خودی به‌وسیله عبور جریان الکتریکی از یک سیستم شیمیایی انجام می‌شود و یا واکنش‌های اکسایش - کاهش که در آن‌ها یک واکنش خودبه‌خودی صورت می‌گیرد و جریان الکتریکی تولید می‌شود. به برخی از پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه کج‌فهمی در آموزش الکتروشیمی در زیر اشاره می‌شود.

آلساپ و جورج در سال ۱۹۸۲ گزارش کرده‌اند که بیشتر دانشجویان در استفاده از پتانسیل کاهشی استاندارد برای پیشگویی جهت انجام شدن واکنش‌های شیمیایی مشکل دارند و قادر به نوشتن طرح مناسب برای سلول‌های الکتروشیمیایی نیستند. ۱۲٪ از این دانشجویان اظهار داشته‌اند که پل نمکی مسیری برای جریان الکترون‌ها است. بیرس و تراکس در سال ۱۹۹۰ اشاره کرده‌اند که دانش‌آموزانی که الکتروشیمی را از کتاب‌های درسی دبیرستان یا سال اول دانشگاه فرامی‌گیرند در این موضوع دچار سردرگمی و پریشانی هستند. آن‌ها مهم‌ترین مشکلاتی را که دانش‌آموزان با آن‌ها درگیر هستند شرح داده‌اند.

گارنت و تریگاست در سال ۱۹۹۰ درک دانش‌آموزان استرالیایی از الکتروشیمی را به‌منظور اصلاح و بهبود برنامهٔ درسی علوم مورد بررسی قرار دادند و کج‌فهمی‌های متداول آن‌ها در مورد واکنش‌های اکسایش- کاهش، مدار الکتریکی، سلول‌های گالوانیک و سلول‌های الکترولیتی را با مصاحبه‌های صورت گرفته مشخص و منابع احتمالی این کج‌فهمی‌ها را مطرح کردند. آن‌ها چندین مورد کج‌فهمی در زمینه‌های ذکرشده را ثبت کرده‌اند. به‌طور مثال بعضی از کج‌فهمی‌ها در مورد عبور جریان در محلول‌های الکترولیت و پل نمکی به‌صورت زیر است:

الکترون‌ها به‌وسیلهٔ کاتیون‌ها یا آنیون‌ها حمل یا منتقل می‌شوند و می‌توانند داخل محلول الکترولیت یا پل نمکی حرکت کنند.

حتی در محلول‌های خنثی و بازی این پروتون‌ها هستند که در داخل الکترولیت و پل نمکی حرکت می‌کنند.

حرکت یون‌ها در محلول موجب جریان الکتریکی نمی‌شود.

آگیود و بردلی در سال ۱۹۹۴ دریافتند که اگرچه بسیاری از دانش‌آموزان می‌توانند مسائل عددی الکتروشیمی را حل کنند ولی تعداد خیلی کمی از آن‌ها قادرند به پرسش‌های کیفی، که درک عمیق‌تری از مفاهیم را می‌طلبد جواب دهند. در آن مطالعه ۳۲٪ از دانشجویان گفته بودند که الکترون نمی‌تواند در داخل الکترولیت جریان داشته باشد و ۲۹٪ از آن‌ها گفته بودند الکترون می‌تواند در داخل الکترولیت جریان پیدا کند، ۴۳٪ نیز پاسخ‌های متناقضی داده بودند. سانگر و گرین‌بو در سال ۱۹۹۷ مصاحبه‌های گارنِت و تریگاست در مورد سلول‌های گالوانیک و سلول‌های الکترولیتی را تکرار کردند و با مشخص

کردن کج‌فهمی‌های دانش‌آموزان در سلول‌های غلظتی آن‌ها را گسترش دادند. آن دو همچنین در سال ۱۹۹۹ کتاب‌های درسی شیمی دانشگاهی را به‌عنوان منبعی برای کج‌فهمی‌ها و خطاهای مشاهده‌شده در الکتروشیمی مورد تحلیل قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که نویسندگان کتب درسی بایستی از ساده‌سازی در نگارش (مانند نشان دادن آند در سمت چپ در همهٔ موارد و یا انتقال جریان در پل نمکی به‌وسیله جابه‌جایی آنیون‌ها) دوری نمایند.

علی‌رضا اوزکایا در سال ۲۰۰۲ مطالعه‌ای را روی ۹۲ دانشجوی تربیت‌معلم سال آخر دانشکده آموزش علوم و ریاضی در دانشگاه مرمرهٔ ترکیه انجام داد. در مطالعهٔ او کج‌فهمی‌های قبلی تأیید شده است و او چگونگی استفاده از جواب‌های دانش جویان برای تشخیص مشکلات ادراکی آن‌ها را توضیح می‌دهد. سیحون و قره‌گلگه در سال ۲۰۰۵ مطالعه‌ای را روی دانشجویان آموزش عالی در دانشگاه آتاتورک ترکیه انجام دادند و ضمن تأیید کج‌فهمی‌های گزارش‌شدهٔ قبلی موارد جدیدی را، از جمله اینکه «الکترون بدون کمک یون‌ها نیز می‌تواند در محلول حرکت کند.» و نیز «فقط حرکت آنیون‌ها در محلول موجب عبور جریان می‌شوند.» گزارش دادند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان می‌دهد که به کار بردن انیمیشن‌های کامپیوتری موجب بالا رفتن انگیزهٔ دانشجویان می‌شود و با تحلیل کتاب درسی مشخص شده است که جملات گمراه‌کننده‌ای در متن آن وجود دارد که می‌تواند به‌صورت غلط تفسیر شود.

با توجه به نتایج مطالعات صورت گرفته کج‌فهمی‌های مشخص‌شده به‌صورت موضوعی عبارت‌اند از:

الف. کج‌فهمی‌ها در یادگیری سلول‌های گالوانی

۱. الکترودی که پتانسیل کاهشی بزرگ‌تری دارد، آند است.

۲. فلزهایی که پتانسیل کاهشی بزرگ‌تری دارند فعالیت شیمیایی بیشتری دارند.

۳. شناسایی آند و کاتد بستگی به مکان فیزیکی نیم سلول دارد.

۴. آندها مانند آنیون‌ها همیشه بار منفی و کاتدها مانند کاتیون‌ها همیشه بار مثبت دارند.

۵. علت صفر بودن E° برای نیم سلول $H_2(1atm)/H^+(1M)$ به علت ماهیت شیمیایی H^+ و سلول H_2 است.

۶. برای مقایسه قدرت الکترون دهی الکترودها نیازی به استاندارد بودن نیم سلول‌ها نیست.

۷. پتانسیل نیم سلول‌ها دارای ماهیت مطلق است و می‌توان از آن برای پیش‌گویی خود به خودی بودن واکنش نیم سلول‌ها استفاده کرد.

۸. الکترون‌ها از کاتد وارد محلول می‌شوند، از میان محلول و پل نمکی عبور می‌کنند و در آند بیرون می‌آیند تا مدار کامل شود.

۹. در الکترولیت و در پل نمکی آنیون‌ها نقش انتقال الکترون‌ها از کاتد به آند را دارند.

۱۰. در پل نمکی و الکترولیت کاتیون‌ها نقش انتقال الکترون‌ها از کاتد به آند را دارند.

۱۱. حرکت کاتیون‌ها و آنیون‌ها تا زمانی که غلظت آن‌ها در دو نیم سلول باهم برابر شود ادامه دارد.
۱۲. الکترون‌ها به‌تنهایی می‌توانند در محلول جریان داشته باشند.
۱۳. فقط حرکت یون‌های منفی در الکترولیت و پل نمکی موجب کامل شـــدن مدار الکتریکی می‌شود.
۱۴. آند دارای بار مثبت است زیرا الکترون از دست می‌دهد، کاتد دارای بار منفی است زیرا الکترون می‌گیرد.
۱۵. پتانسیل سلول با جمع‌کردن پتانسیل‌های کاهشی نیم سلول‌ها به دست می‌آید.
۱۶. پتانسیل‌های نیم سلول‌ها خاصیت شدتی نیستند.

ب. کج‌فهمی‌ها در یادگیری سلول‌های الکترولیتی
۱. در ســـلول‌های الکترولیتی، جهت ولتاژ اعمال‌شـــده تأثیری روی واکنش یا مکان آند و کاتد ندارد.
۲. اگر از الکترودهای خنثی استفاده شود هیچ واکنشی رخ نمی‌دهد.
۳. در سلول‌های الکترولیتی اکسایش در کاتد و کاهش در آند صورت می‌گیرد.
۴. در ســـلول‌های الکترولیتی با الکترودهای مشابه، در هردو الکترود یک نوع واکنش صورت می‌گیرد.
۵. در سلول‌های الکترولیتی آب نسبت به اکسایش یا کاهش غیرفعال است.
۶. هنـــگام پیش‌گویی یک واکنـــش الکترولیتی، واکنش‌های نیم ســـلول‌ها قبل از ترکیب کردن وارونه می‌شوند.
۷. پتانسیل محاسبه‌شده برای سلول‌های الکترولیتی می‌تواند مثبت باشد.
۸. هیچ رابطه‌ای بین پتانسیل محاسبه‌شده برای سلول و میزان ولتاژ اعمال‌شده وجود ندارد.
۹. الکترودهای خنثی می‌توانند اکسایش یا کاهش یابند.
۱۰. وقتی تعداد نیم‌واکنش‌های اکسایش یا کاهشِ ممکن، دوتا یا بیشتر باشد راهی برای اینکه تعیین کنیم کدام‌یک انجام می‌شوند وجود ندارد.
۱۱. ســـلول‌های الکترولیتـــی می‌توانند واکنش‌های غیر خود به خـــودی را، که در آن‌ها انتقال الکترون وجود ندارد، مجبور به انجام شدن کنند.

پ. کج‌فهمی‌ها در یادگیری سلول‌های غلظتی
۱. جهت جریان در سلول‌های غلظتی بستگی به غلظت نسبی یون‌ها ندارد.
۲. فراورده‌های تولیدشـــده در واکنش غیرمستقیم ســـلول‌های الکتروشیمیایی با آن‌هایی که در واکنش مستقیم از مواد شروع‌کننده به دست می‌آیند متفاوت هستند.

۳. پتانسیل در سلول‌های غلظتی به غلظت نسبی یون‌ها بستگی ندارد.
۴. چون هیچ واکنش اساسی در سلول‌های غلظتی صورت نمی‌گیرد بنابراین بهره واکنش را نمی‌توان حساب کرد.

روش پژوهش

این تحقیق با روش توصیفی- تحلیلی انجام گرفته است. برای این منظور پرسش‌نامه‌ای شامل ۷ پرسش چهارگزینه‌ای و یک پرسش تشریحی باز پاسخ طراحی گردید. پرسش‌ها در رابطه با مفاهیم الکتروشیمی مطرح‌شده در کتاب درسی شیمی دوره پیش‌دانشگاهی شامل تعریف اکسایش- کاهش، مفهوم پتانسیل الکترودی، اندازه‌گیری پتانسیل کاهشی الکترودها، مفهوم آند و کاتد، چگونگی رسانایی الکتریکی در سلول‌های الکتروشیمیایی، نحوه عملکرد و لزوم پل نمکی در سلول‌های الکتروشیمیایی بودند. پس از تعیین روایی پرسش‌نامه، دانش‌آموزان پس از آموزش مباحث الکتروشیمی، توسط پرسش‌نامه مورد آزمون قرار گرفتند. داده‌های حاصل، توسط نرم‌افزار آماری spss مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور از فراوانی مطلق و نسبی پاسخ‌ها، استفاده گردید.

نمونه آماری، روش نمونه‌گیری و حجم نمونه

جامعه آماری این تحقیق دانش‌آموزان دوره پیش‌دانشگاهی شهر تهران در سال تحصیلی ۸۷-۱۳۸۶ بوده اند. از بین این دانش‌آموزان، در مناطق آموزشی مختلف شهر تهران، به‌طور تصادفی ۳۳۱ نفر از مناطق ۲، ۵، ۶، ۹ و ۱۶ انتخاب‌شدند که شامل ۱۴۱ نفر پسر و ۱۹۰ نفر دختر بودند.

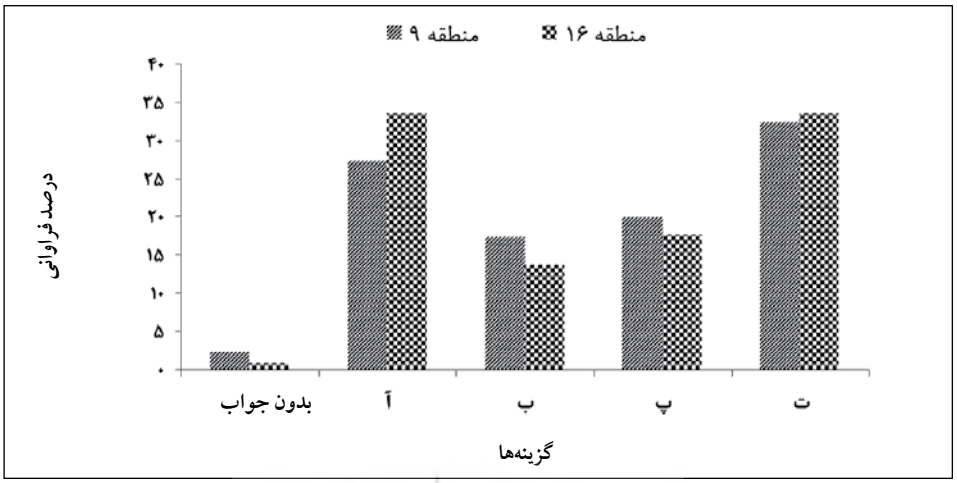
تجزیه و تحلیل داده‌ها

در این بخش مفاهیم آموزشی مرتبط با هرکدام از پرسش‌های پرسش‌نامه مورد تجزیه‌وتحلیل قرار می‌گیرد تا کج‌فهمی‌های احتمالی در دانش‌آموزان پس از آموزش شناسایی شوند.

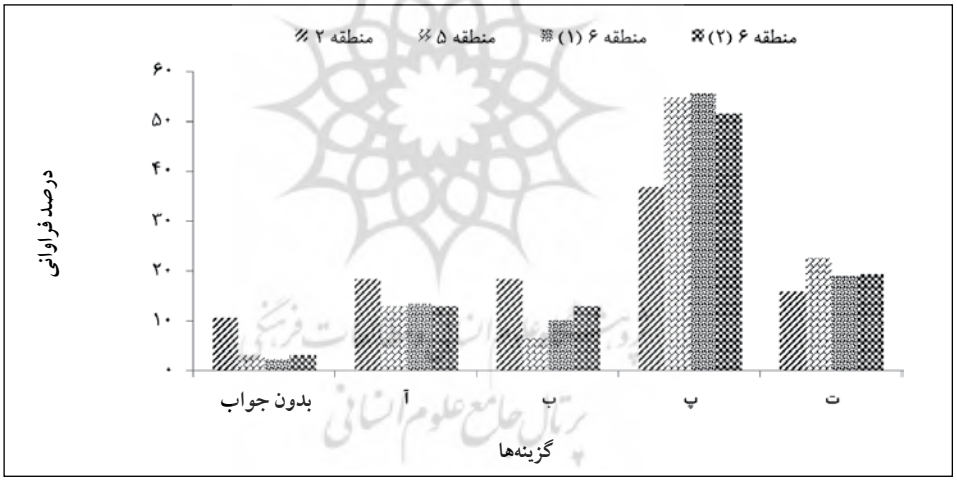
به‌منظور بررسی چگونگی درک دانش‌آموزان از تعریف اکسایش و کاهش، پرسش ۱ طرح گردید. پاسخ دانش‌آموزان پسر و دختر به این پرسش در نمودارهای ۱ و ۲ ارائه شده است.

۱. کدام‌یک از گزینه‌های زیر در مورد واکنش $H_2O(l)+2F_2(g) \rightarrow OF_2(g)+2HF(g)$ درست‌است؟

آ. اتم‌های F به دلیل گرفتن اکسیژن اکسایش یافته‌اند.
ب. اتم‌های F به دلیل گرفتن هیدروژن کاهش یافته‌اند.
پ. برخی از اتم‌های F کاهش و برخی اکسایش یافته‌اند.
ت. اتم‌های F به دلیل به دست آوردن الکترون کاهش یافته‌اند.



نمودار ۱. توزیع فراوانی نسبی دانش‌آموزان پسر در مناطق مختلف بر اساس پاسخگویی به پرسش۱



نمودار ۲. توزیع فراوانی نسبی دانش‌آموزان دختر در مناطق مختلف بر اساس پاسخگویی به پرسش ۱

در مناطق مختلف نحوهٔ پاسخگویی دانش‌آموزان به پرسش ۱ مشابه است، همان‌طور که مشاهده می‌شود تنها ۳۳/۷ درصد از دانش‌آموزان پسر در منطقه ۱۶ و ۳۲/۵ درصد در منطقه ۹ جواب صحیح داده‌اند، یعنی گزینهٔ «ت» را انتخاب کرده‌اند. درحالی‌که در دانش‌آموزان دختر درصد پاسخ صحیح در مناطق مختلف کاهش پیدا کرده و آنان بیشتر گزینه «پ» را انتخاب کرده‌اند.

به‌منظور بررسی درک دانش‌آموزان در مورد پتانسیل کاهشی الکترود استاندارد هیدروژن و علت در نظر گرفتن عدد صفر برای پتانسیل این الکترود در هر دمایی، پرسش ۲ طراحی گردید. نتایج حاصل از پاسخ دانش‌آموزان به این پرسش در نمودارهای ۳ و ۴ ارائه شده است.

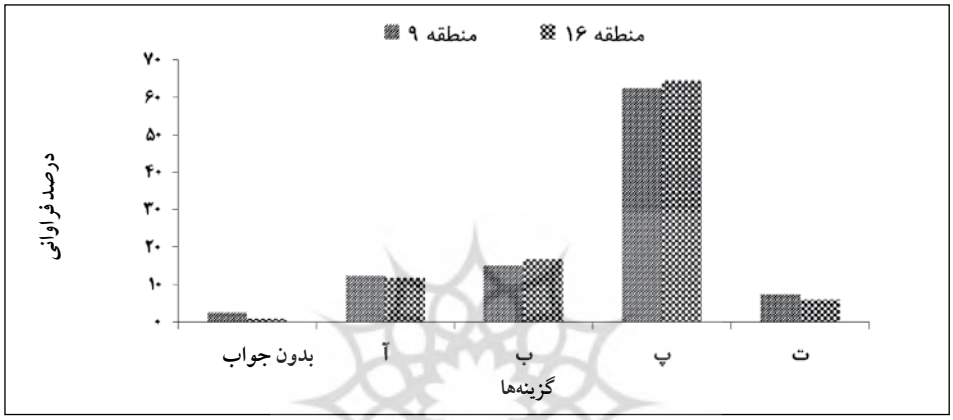
۲. پتانسیل کاهشی الکترود استاندارد هیدروژن صفر است، چون:

آ. به‌تنهایی هیچ پتانسیل الکترودی قابل اندازه‌گیری ایجاد نمی‌کند.

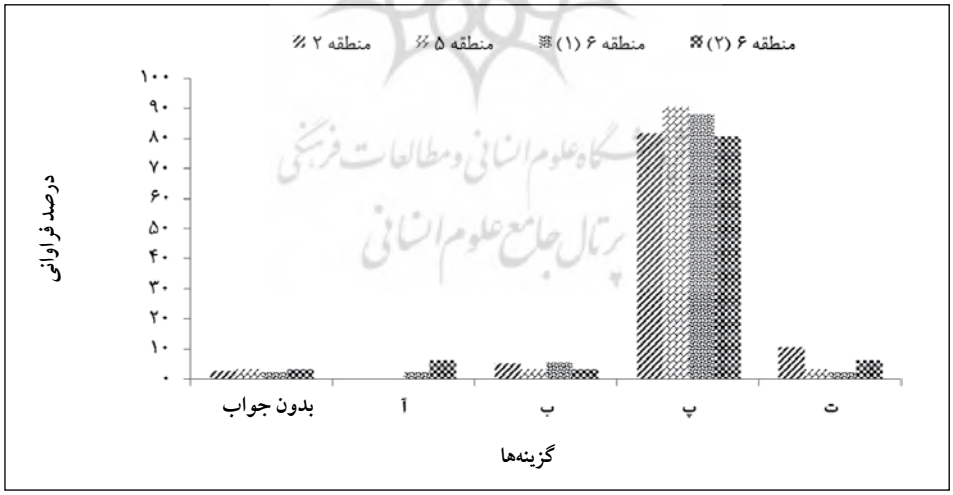
ب. اتم‌های هیدروژن تمایلی به گرفتن یا دادن الکترون ندارند.

پ. به‌عنوان مبنایی برای اندازه‌گیری پتانسیل الکترودی دیگر گونه‌ها انتخاب شده است.

ت. پتانسیل الکترودی آن با خودش سنجیده می‌شود.



نمودار ۳. توزیع فراوانی نسبی دانش‌آموزان پسر در مناطق مختلف بر اساس پاسخگویی به پرسش ۲



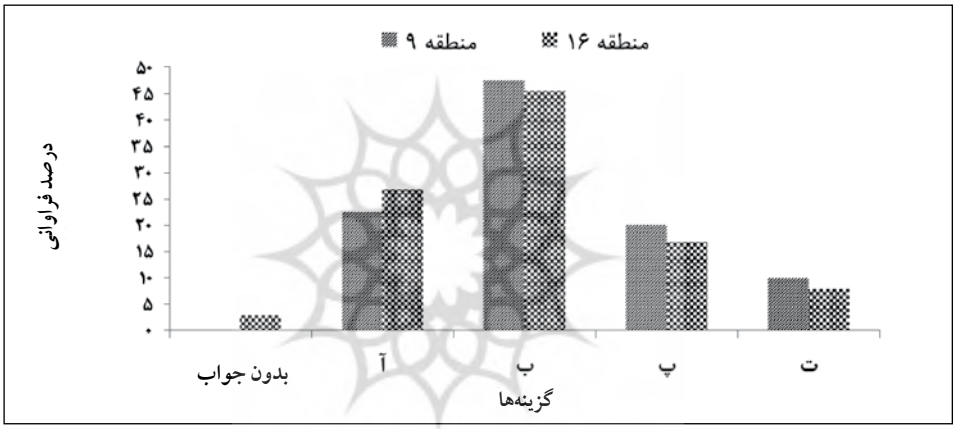
نمودار ۴. توزیع فراوانی نسبی دانش‌آموزان دختر در مناطق مختلف بر اساس پاسخگویی به پرسش ۲

بیشترین انتخاب دانش‌آموزان پسر و دختر در مناطق مختلف گزینه «پ» یعنی جواب صحیح است. فراوانی نسبی پاسخ دانش‌آموزان در مناطق مختلف در انتخاب گزینه‌های دیگر تقریباً یکسان است.

در پرسش ۳ نحوهٔ ایجاد پتانسیل بین الکترود و محلول الکترولیت حاوی یون‌های مربوطه مورد سنجش قرار گرفت. نتایج حاصل از بررسی پاسخ دانش‌آموزان به پرسش ۳ در نمودارهای ۵ و ۶ نشان داده شده است.

۳. کدام‌یک از گزینه‌های زیر در مورد بار الکتریکی تیغهٔ الکترود و محلول الکترولیت آن در شکل زیر درست است.

آ. قبل از ورود، تیغه خنثی است و محلول دارای بار مثبت است.
ب. بعد از ورود، تیغه دارای بار منفی و محلول دارای بار مثبت است.
پ. بعد از ورود، تیغه و محلول هرکدام از نظر الکتریکی خنثی هستند.
ت. بعد از ورود، مجموعه تیغه و محلول خنثی است.



نمودار ۵. توزیع فراوانی نسبی دانش‌آموزان پسر در مناطق مختلف بر اساس پاسخگویی به پرسش ۳

نمودار ۶. توزیع فراوانی نسبی دانش‌آموزان دختر در مناطق مختلف بر اساس پاسخگویی به پرسش ۳

در این پرسش هر دو گزینهٔ «ت» و «ب» پاسخ صحیح می‌باشند درحالی‌که دانش‌آموزان دختر و پسر در مناطق مختلف آموزشی بیشتر گزینه «ب» را انتخاب کرده‌اند و به جواب صحیح دیگر در کنار پاسخ‌های غلط توجه داشته‌اند. شاید بتوان گفت ازآنجاکه گزینه «ب» بیشتر با مطالب کتاب درسی مطابقت دارد در کانون توجه دانش‌آموزان در این پرسش قرار گرفته است.

در پرسش ۴، درک دانش‌آموزان از مفهوم آند و کاتد در سلول‌های الکتروشیمیایی مورد سنجش قرار گرفته است. نتایج حاصل از پاسخ دانش‌آموزان پسر و دختر به این پرسش در نمودارهای ۷ و ۸ آمده است.

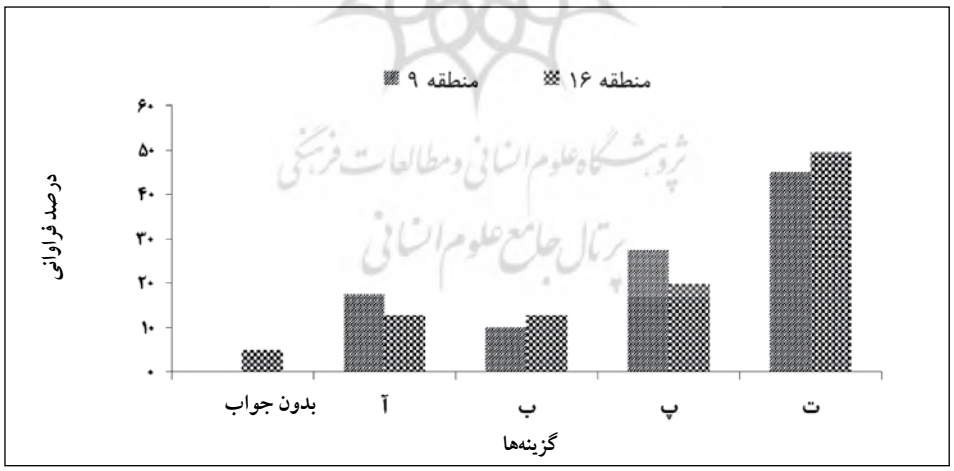
۴. کدام‌یک از جملات زیر در مورد الکترودهای آند و کاتد در سلول‌های الکتروشیمیایی درست بیان شده است؟

آ. آند مانند آنیون‌ها همیشه دارای بار منفی و کاتد مانند کاتیون‌ها دارای بار مثبت است.

ب. آند دارای بار منفی و کاتد دارای بار مثبت است.

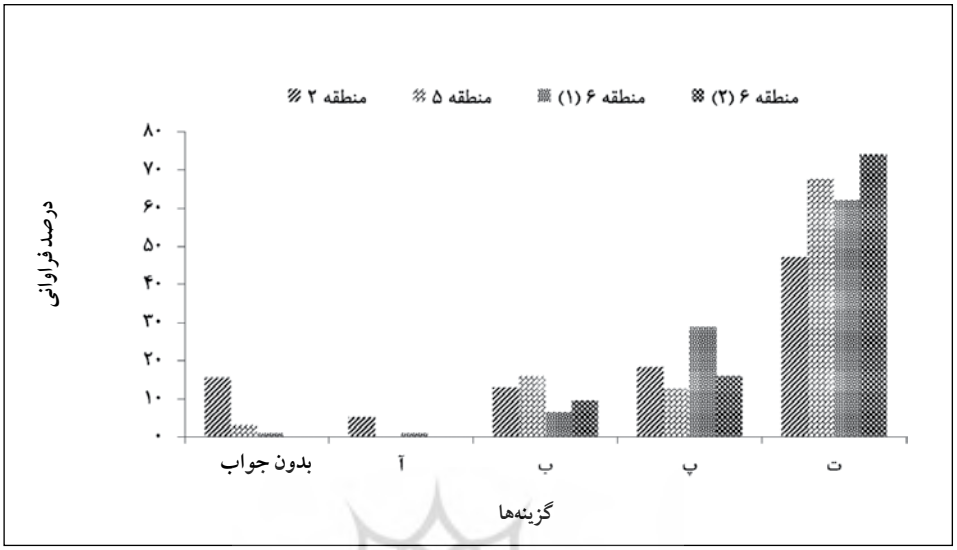
پ. آند دارای بار مثبت است، زیرا الکترون از دست می‌دهد و کاتد دارای بار منفی است زیرا الکترون می‌گیرد.

ت. در آند عمل اکسایش و در کاتد عمل کاهش صورت می‌گیرد.



نمودار ۷. توزیع فراوانی نسبی دانش‌آموزان پسر در مناطق مختلف بر اساس پاسخگویی به پرسش ۴

ترتیب انتخاب گزینه‌های مختلف غیر صحیح در مناطق مختلف برای دانش‌آموزان پسر تقریباً مشابه است، به‌طوری‌که بیشترین درصد را گزینه صحیح «ت» دارد و گزینه‌های «پ»، «آ» و «ب» به ترتیب در رده‌های بعدی قرار دارند. میانگین فراوانی نسبی دانش‌آموزان دختر در مناطق مختلف آموزشی که



نمودار ۸. توزیع فراوانی نسبی دانش‌آموزان دختر در مناطق مختلف بر اساس پاسخگویی به پرسش ۴

گزینه «ت» را انتخاب کرده‌اند ۶۲/۱ درصد است. میزان انتخاب گزینه «آ» توسط دانش‌آموزان دختر در مناطق مختلف بسیار کم بوده است به‌طوری‌که در منطقه ۵ و منطقه ۶ فراوانی نسبی دانش‌آموزان در انتخاب این گزینه برابر صفر است.

در پرسش ۵ چگونگی درک دانش‌آموزان در مورد کامل شدن مدار الکتریکی در محلول الکترولیت سلول‌های الکتروشیمیایی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل از پاسخ دانش‌آموزان پسر و دختر به این پرسش در نمودارهای ۹ و ۱۰ نشان داده شده است.

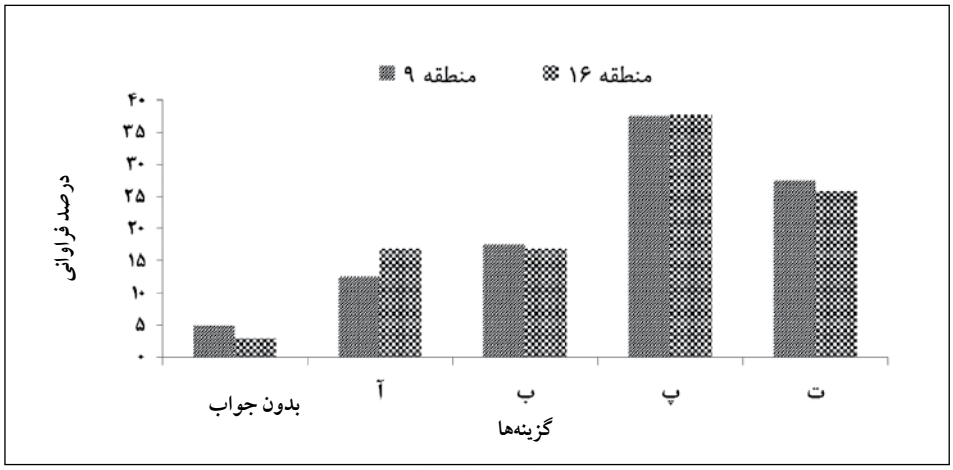
۵. مدار الکتریکی در محلول الکترولیت یک سلول الکتروشیمیایی چگونه کامل می‌شود؟

آ. فقط با انتقال آنیون‌ها و کاتیون‌های محلول‌های الکترولیت از طریق پل نمکی مدار کامل می‌شود.

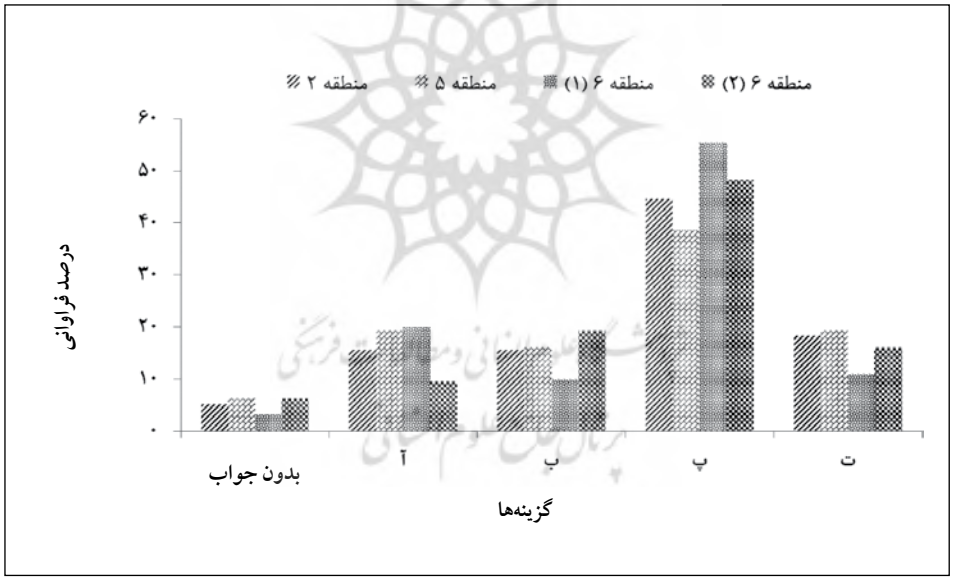
ب. فقط آنیون‌ها و کاتیون‌های سازنده پل نمکی با ورود به محلول‌های الکترولیت و خنثی کردن آن‌ها موجب کامل شدن مدار می‌شوند.

پ. همه آنیون‌ها و کاتیون‌های موجود در سلول الکتروشیمیایی (پل نمکی و محلول‌های الکترولیت) در کامل شدن مدار شرکت می‌کنند.

ت. فقط انتقال آنیون‌ها از طریق پل نمکی موجب کامل شدن مدار می‌شود.



نمودار ۹. توزیع فراوانی نسبی دانش‌آموزان پسر در مناطق مختلف بر اساس پاسخگویی به پرسش ۵



نمودار ۱۰. توزیع فراوانی نسبی دانش‌آموزان دختر در مناطق مختلف بر اساس پاسخگویی به پرسش ۵

فراوانی نسبی دانش‌آموزان پسر مناطق در انتخاب جواب صحیح (گزینه «پ») با هم برابر و در حدود ۳۷/۵ درصد است. گزینه «ت» بعد از جواب صحیح از جانب دانش‌آموزان پسر مناطق در درجهٔ دوم اهمیت قرار داشته است. دانش‌آموزان پسر مناطق گزینه‌های دیگر را تقریباً به‌صورت مشابه انتخاب کرده‌اند. فراوانی نسبی دانش‌آموزان دختر مناطق در انتخاب جواب صحیح (گزینه «پ») بین ۳۸ تا ۵۵

درصد است. فراوانی نسبی دانش‌آموزان دختر مناطق آموزشی در انتخاب گزینه‌های دیگر اندکی باهم متفاوت است.

در پرسش ۶ درک دانش‌آموزان از ارتباط مکان فیزیکی الکترودها با نقش آن‌ها به‌عنوان آند یا کاتد مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی پاسخ دانش‌آموزان به این پرسش در نمودارهای ۱۱ و ۱۲ نمایش داده شده است.

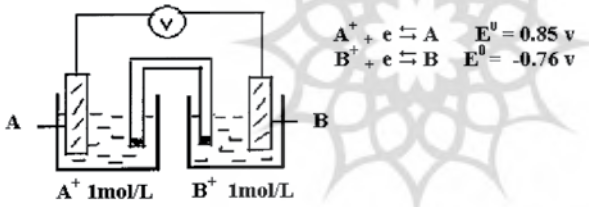
۶. الکترود A و الکترود B با دو آرایش متفاوت در دو شکل زیر تشکیل سلول الکتروشیمیایی داده‌اند. با توجه به پتانسیل‌های کاهشی استاندارد داده شده، کدام‌یک از گزینه‌های زیر درست است؟ دلیل انتخاب خود را توضیح دهید.

آ. در شکل ۱ الکترود A نقش آند و در شکل ۲ الکترود B نقش آند را دارد.

ب. در شکل ۱ الکترود B نقش آند و در شکل ۲ الکترود A نقش آند را دارد.

پ. در هر دو شکل الکترود A نقش آند را دارد.

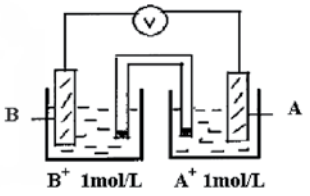
ت. در هر دو شکل الکترود B نقش آند را دارد.



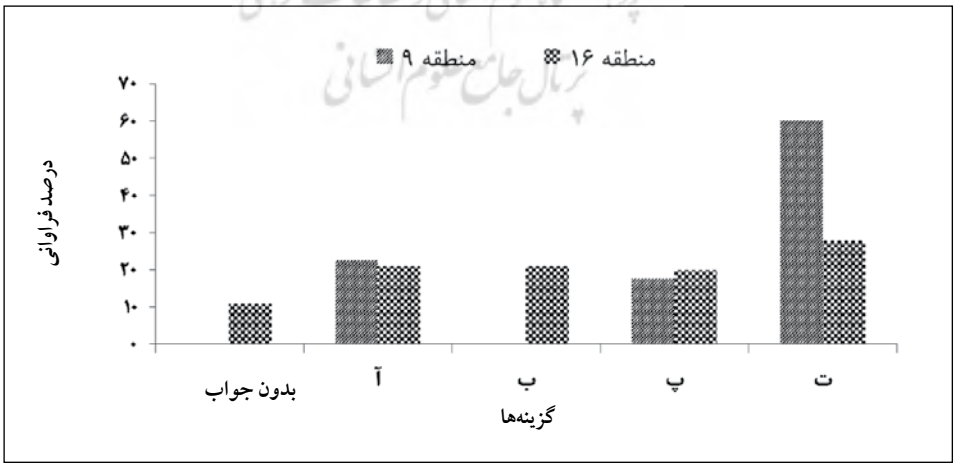
شکل ۱

$A^+ + e \leftrightarrows A \quad E^0 = 0.85\ v$

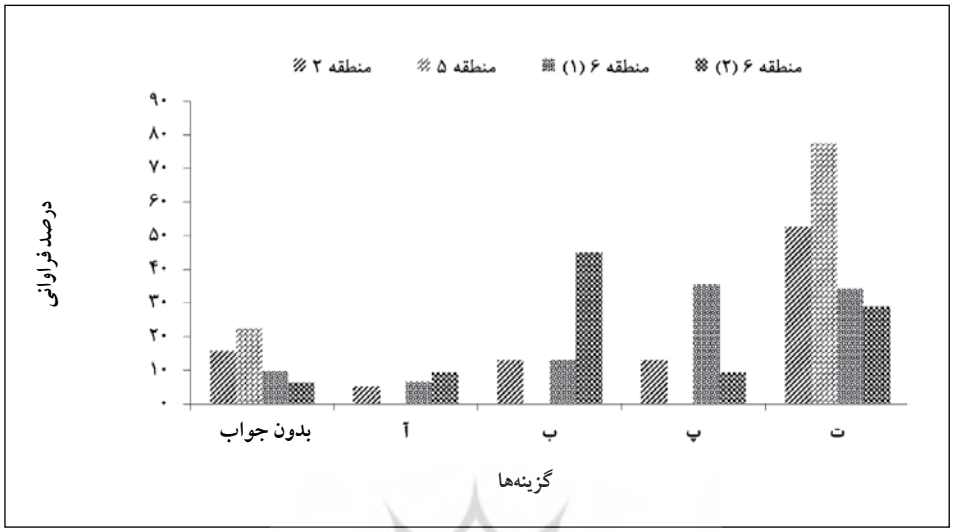
$B^+ + e \leftrightarrows B \quad E^0 = -0.76\ v$



شکل ۲



نمودار ۱۱. توزیع فراوانی نسبی دانش‌آموزان پسر در مناطق مختلف بر اساس پاسخگویی به پرسش ۶



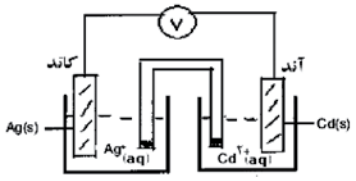
نمودار ۱۲. توزیع فراوانی نسبی دانش‌آموزان دختر در مناطق مختلف بر اساس پاسخگویی به پرسش ۶

نحوهٔ پاسخگویی دانش‌آموزان پسر در مناطق مختلف به پرسش ۶ متفاوت است. دانش‌آموزان منطقهٔ ۹ همگی مبادرت به پاسخگویی کرده‌اند. فراوانی نسبی دانش‌آموزانی که این پرسش را بدون جواب گذاشته‌اند صفر است. درصورتی‌که در منطقه ۱۶ در حدود ۱۱ درصد از دانش‌آموزان این پرسش را بدون جواب گذاشته‌اند. فراوانی دانش‌آموزان در انتخاب جواب صحیح (گزینه «ت») در منطقه ۹ برابر ۶۰ درصد است درصورتی‌که این نسبت در منطقه ۱۶ برابر ۲۷/۷ درصد است. نحوهٔ پاسخگویی دانش‌آموزان دختر به پرسش ۶ نیز متفاوت است. به‌جز دانش‌آموزان منطقه ۶(۲) که ۶/۵ درصد آن‌ها به پرسش ۶ جواب نداده‌اند در مناطق دیگر فراوانی دانش‌آموزان دختری که پرسش ۶ را جواب نداده‌اند، بیشتر از ۱۰ درصد است. بیشترین فراوانی در انتخاب جواب صحیح در دانش‌آموزان دختر منطقه ۵ دیده می‌شود که برابر ۷۷/۴ درصد است. دانش‌آموزان منطقه ۲ با فراوانی نسبی ۵۲/۶ درصد در انتخاب جواب صحیح به پرسش ۶ در رده دوم قرار دارند. دانش‌آموزان دختر مناطق دیگر کمتر از ۵۰ درصد به این پرسش جواب درست داده‌اند.

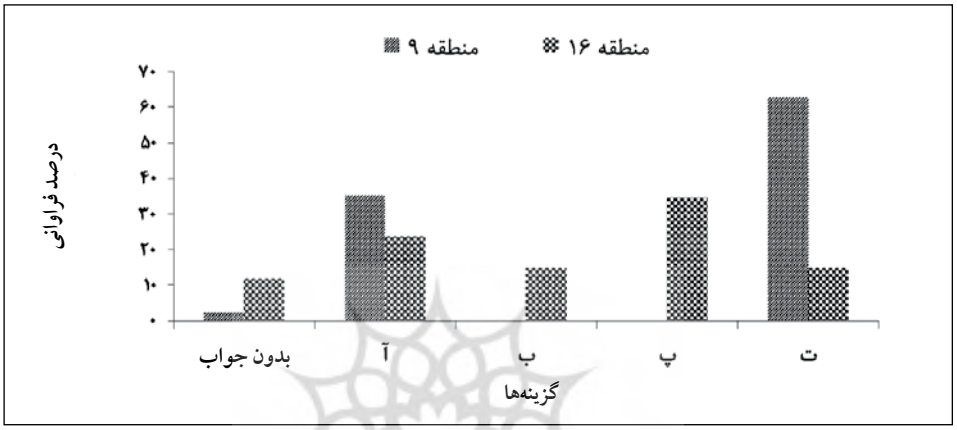
در پرسش ۷ درک دانش‌آموزان از چگونگی حرکت الکترون‌ها در سلول گالوانی مورد بررسی قرار گرفته است. پاسخ‌های دانش‌آموزان به این پرسش در نمودارهای ۱۳ و ۱۴ نشان داده شده است.

۷. در سلول الکتروشیمیایی زیر واکنش کلی:

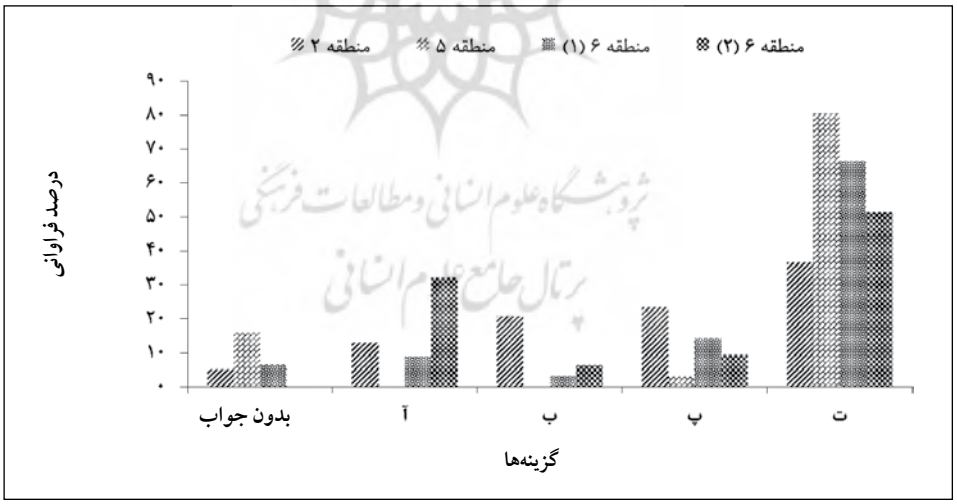
$2Ag^{+}(aq) + Cd(s) \rightarrow 2Ag(s) + Cd^{2+}(aq)$ صورت می‌گیرد. مسیر حرکت الکترون‌ها در کدام گزینه به‌درستی نشان داده شده است؟



آ. الکترود نقره ← سیم ← الکترود کادمیم
ب. الکترود نقره ← پل نمکی ← الکترود کادمیم
پ. الکترود کادمیم ← پل نمکی ← الکترود نقره
ت. الکترود کادمیم ← سیم ← الکترود نقره



نمودار۱۳. توزیع فراوانی نسبی دانش‌آموزان پسر در مناطق مختلف بر اساس پاسخگویی به پرسش ۷

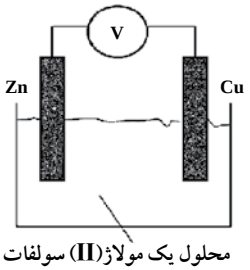


نمودار۱۴. توزیع فراوانی نسبی دانش‌آموزان دختر در مناطق مختلف بر اساس پاسخگویی به پرسش ۷

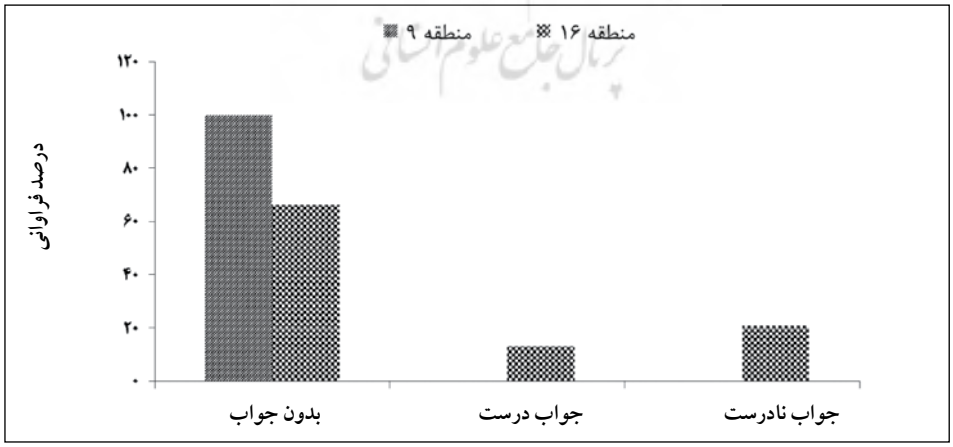
با توجه به معادلهٔ واکنش کلی داده شده برای سلول مورد نظر و با توجه به مشخص بودن آند و کاتد روی شکل، معلوم می‌شود که الکترون‌ها باید از الکترود کادمیم توسط سیم خارجی به سمت الکترود نقره حرکت کنند. بنابراین جواب صحیح گزینه «ت» خواهد بود. چگونگی انتخاب گزینه‌های مختلف در بین

دانش‌آموزان پسر مناطق مختلف، در پاسخ به این پرسش متفاوت است. ٪۶۲/۵ از دانش‌آموزان پسر منطقه ۹ به پرسش ۷ جواب درست داده‌اند. درصورتی‌که این گزینه توسط ۱۴/۹ درصد از دانش‌آموزان پسر منطقه ۱۶ انتخاب شده است. هیچ‌یک از دانش‌آموزان پسر منطقه ۹ گزینه‌های «ب» و «پ» را انتخاب نکرده‌اند، یعنی عبور الکترون از طریق پل نمکی را نادرست می‌دانسته‌اند. درصورتی‌که ۴۹/۶ درصد از دانش‌آموزان پسر منطقه ۱۶ این دو گزینه را انتخاب کرده‌اند و معتقدند که الکترون از طریق پل نمکی بین دو نیم سلول جابه‌جا می‌شود. دانش‌آموزان دختر در مناطق مختلف آموزشی به صورت‌های متفاوت به این پرسش جواب داده‌اند. بیشترین فراوانی در انتخاب جواب صحیح متعلق به دانش‌آموزان منطقه ۵ به میزان ۸۰/۶ درصد است. دانش‌آموزان این منطقه انتقال الکترون از طریق پل نمکی را نادرست می‌دانسته‌اند (فراوانی آن‌ها در انتخاب گزینه‌های «ب» و «پ» صفر است). کم‌ترین فراوانی در انتخاب جواب صحیح متعلق به دانش‌آموزان منطقه ۲ به میزان ۳۶/۸ درصد است. ۴۴/۸ درصد از دانش‌آموزان این منطقه گزینه‌های «ب» و «پ» را انتخاب کرده‌اند و معتقدند که الکترون‌ها از طریق پل نمکی بین الکترودها جابه‌جا می‌شود.

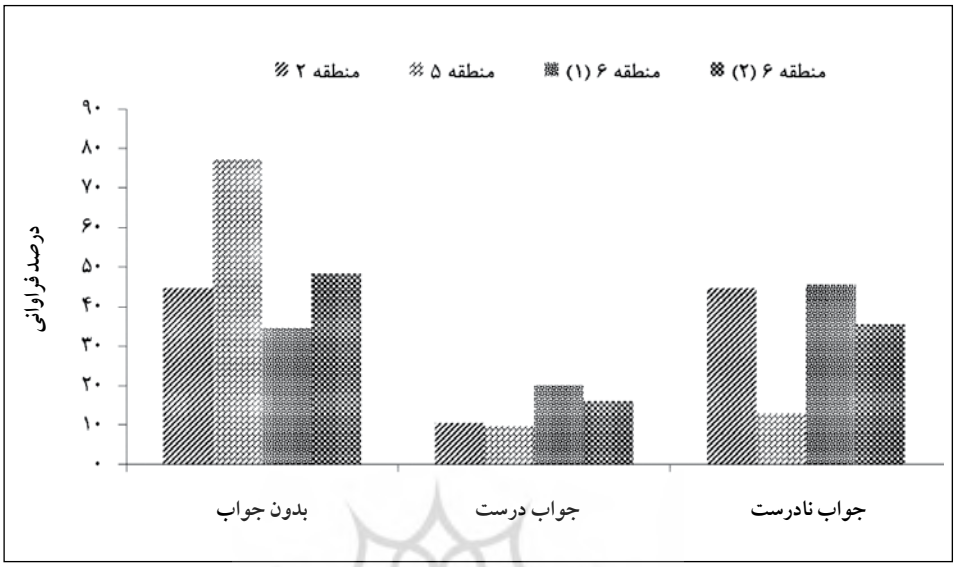
میزان درک دانش‌آموزان در مورد وجود پل نمکی به‌عنوان یک شرط لازم برای تشکیل سلول الکتروشیمیایی و برقراری جریان در آن در پرسش تشریحی ۸ مورد بررسی قرار گرفته است. در نمودارهای ۱۵ و ۱۶ پاسخ‌های دانش‌آموزان به این پرسش نشان داده شده است.



۸. دانش‌آموزی ساختار سلول الکتروشیمیایی روی ـ مس را به‌صورت زیر طراحی کرده است. به نظر شما آیا این سلول جریان الکتریکی تولید می‌کند و به کار خود ادامه می‌دهد؟ توضیح دهید.



نمودار ۱۵. توزیع فراوانی نسبی دانش‌آموزان پسر در مناطق مختلف بر اساس نحوهٔ پاسخگویی به پرسش ۸



نمودار ۱۶. توزیع فراوانی نسبی دانش‌آموزان دختر در مناطق مختلف بر اساس نحوهٔ پاسخگویی به پرسش ۸

با توجه به اینکه پتانسیل کاهشی مس از روی بیشتر است، اتم‌های روی موجود در تیغه Zn الکترون‌های خود را روی تیغه به‌جای گذاشته و به‌صورت یون Zn^{2+} وارد محلول می‌شوند. یون‌های مس موجود در محلول این الکترون‌ها را هم به‌طور مستقیم از تیغه Zn و هم پس از انتقال از طریق سیم خارجی به تیغه مس از این تیغه دریافت می‌کنند و تبدیل به اتم‌های Cu می‌شوند و جریان الکترون‌ها در سیم خارجی موجب نمایش ولتاژ این سلول به‌وسیله پتانسیومتر می‌شود. نحوهٔ پاسخگویی دانش‌آموزان پسر در مناطق مختلف به پرسش ۸ باهم متفاوت است، به‌طوری‌که همه دانش‌آموزان منطقه ۹ این پرسش را بدون جواب باقی گذاشته‌اند. اما ۱۲/۹ درصد از دانش‌آموزان پسر منطقه ۱۶ به این پرسش جواب درست داده‌اند.۶۶/۳ درصد از دانش‌آموزان منطقه ۱۶ نیز این پرسش را بدون جواب گذاشته‌اند. درصد زیادی از دانش‌آموزان دختر مناطق مختلف نیز پرسش ۸ را بدون جواب گذاشته‌اند. از بین دانش‌آموزان منطقه ۲ در حدود ۴۴/۷ درصد به این پرسش جواب نداده‌اند، ۴۴/۷ درصد نیز جواب نادرست داده‌اند و تنها ۱۰/۶ درصد از آن‌ها جواب درست داده‌اند. از بین دانش‌آموزان منطقه ۵ در حدود ۷۷/۴ درصد به این پرسش جواب نداده‌اند، ۱۲/۹ درصد جواب نادرست و ۹/۷ جواب درست داده‌اند. از دانش‌آموزان منطقه ۶(۱) نیز ۳۴/۴ درصد جواب نداده‌اند، ۴۵/۶ درصد جواب نادرست و ۲۰ درصد جواب درست داده‌اند. از دانش‌آموزان منطقه ۶(۲) حدود ۴۸/۴ درصد بدون جواب، ۳۵/۵ درصد جواب نادرست و ۱۶/۱ درصد جواب درست داده‌اند.

بحث در نتایج

در گذشته مفهوم اکسایش و کاهش در خصوص ترکیبات شرکت‌کننده در یک واکنش، به چگونگی به دست آوردن یا از دست دادن اکسیژن و هیدروژن توسط این ترکیبات نسبت داده می‌شد. طبق تعریف قدیم، به گرفتن اکسیژن یا از دست دادن هیدروژن، اکسایش و به گرفتن هیدروژن یا از دست دادن اکسیژن، کاهش گفته می‌شد. با گذشت زمان مشخص شد که تعریف فوق تعریف جامعی نیست و واکنش‌های اکسایش و کاهشی وجود دارد که تعریف بالا در مورد آن‌ها صادق نیست. بنابراین به‌موجب اصل تکامل‌پذیری نظریه‌های علمی امروزه واکنش‌های اکسایش کاهش بر اساس مبادله الکترون تعریف می‌شوند. اکسایش یعنی از دست دادن الکترون و کاهش یعنی گرفتن الکترون. در کتاب درسی شیمی دوره پیش‌دانشگاهی تعریف اکسایش و کاهش با واکنش سوختن منیزیم شروع شده و در "فکر کنید" کتاب به هردو تعریف قدیم و جدید اشاره شده است، سپس واکنش‌های اکسایش-کاهش بر اساس مبادله الکترون تعریف شده‌اند. بررسی پاسخ‌های دانش‌آموزان به پرسش ۱ نشان می‌دهد که تنها در حدود یک‌چهارم از کل دانش‌آموزان گزینه صحیح را انتخاب کرده‌اند و سه‌چهارم باقی‌مانده به‌نوعی دچار کج‌فهمی هستند. همچنین این داده‌ها مشخص می‌کند که کج‌فهمی پسران در این مورد به‌مراتب بیشتر از دختران است. علت اشتباه دانش‌آموزان را می‌توان به دو صورت در نظر گرفت: ممکن است آن‌ها با در نظر داشتن واکنش‌های تسهیم نامتناسب و بدون بررسی عدد اکسایش این گزینه را انتخاب کرده باشند، یا اینکه با توجه به اینکه اتم‌های F در معادلهٔ واکنش مورد پرسش هم اکسیژن به دست آورده‌اند و هم هیدروژن به دست آورده‌اند، با توجه به تعریف قدیم تصور کرده‌اند که اتم‌های F هم اکسایش یافته‌اند و هم کاهش پیدا کرده‌اند. به نظر می‌رسد برای رفع این مشکل باید به محدودیت‌های تعریف قدیم اکسایش-کاهش در کتاب درسی اشاره نمود. لذا توصیه می‌شود به اصل تکامل‌پذیری نظریه‌های علمی توجه کرده و تعریف مفاهیم جدید به‌طور واضح در کتب درسی بیان شود. جهت جلوگیری از ایجاد کج‌فهمی، بهتر است قبل از معرفی اکسایش و کاهش، عدد اکسایش مطرح گردد و مفهوم اکسایش و کاهش، بر اساس تغییر این عدد آموزش داده شود.

پتانسیل الکتروشیمیایی یک الکترود به‌تنهایی قابل اندازه‌گیری نیست. برای اندازه‌گیری پتانسیل الکترودها باید آن‌ها را به‌صورت سلول‌های الکتروشیمیایی با یکدیگر جفت کرد و اختلاف پتانسیل نسبی بین آن‌ها را اندازه گرفت، اما برای این کار به یک مبنا نیاز است. لذا، بر اساس قرارداد، الکترود استاندارد هیدروژن به‌عنوان مبنا اختیار شده است. دانش‌آموزان تصورات نادرستی در مورد علت صفر بودن پتانسیل این الکترود دارند. در پرسش دوم مطرح‌شده در پرسش‌نامه میزان کج‌فهمی‌های آن‌ها در این مورد بررسی شده است. بررسی پاسخ‌های دانش‌آموزان در پرسش ۲ نشان می‌دهد که به‌طور میانگین ۷۶/۴ درصد از کل دانش‌آموزان جواب درست را انتخاب کرده‌اند و ۲۱/۴ درصد از دانش‌آموزان در درک علت صفر در نظر گرفتن پتانسیل الکترود استاندارد هیدروژن دارای کج‌فهمی

هستند. علی‌رغم متفاوت بودن معلم، انتخاب هر گزینه در مناطق آموزشی مختلف تفاوت چندانی با هم ندارد. ظاهراً در این مورد عامل معلم و امکانات آموزشی تأثیر چندانی نداشته است. البته برای اظهارنظر قطعی این موضوع باید تحقیقات بیشتری صورت گیرد. کج‌فهمی مشاهده‌شده در ارتباط با پتانسیل کاهشی الکترود استاندارد هیدروژن، توسط تحقیقات انجام گرفته توسط سانگر و گرین‌بو (۱۹۹۷)، علی‌رضا اوزکایا (۲۰۰۲) و سیحون و قره‌گلگه (۲۰۰۵) نیز گزارش‌شده است. بحث کلاسی می‌تواند در برطرف کردن کج‌فهمی موجود در این مورد مفید واقع شود به‌طوری‌که معلم با شنیدن نظرات دانش‌آموزان و بحث بیشتر در مورد مطالب مطرح‌شده در کتاب درسی کج‌فهمی‌های مربوط را شناسایی کرده و آن‌ها را برطرف کند.

میزان درک دانش‌آموزان از چگونگی ایجاد پتانسیل الکترودی در پرسش ۳ مورد ارزیابی واقع شده است. موضوع فوق در کتاب درسی این‌گونه مطرح شده است که بعد از قرار دادن تیغه‌ای از فلز روی در محلولی از روی سولفات، برای برقراری تعادل تعدادی از اتم‌های Zn الکترون‌های خود را روی سطح الکترود جای می‌گذارند و به‌صورت یون‌های Zn^{2+} وارد محلول می‌شوند در نتیجه بین تیغه و محلول اختلاف پتانسیل ایجاد می‌شود که به آن پتانسیل الکترود روی گفته می‌شود. با توجه به اینکه در نوشتن معادله نیم‌واکنش‌های اکسایش- کاهش مربوط به الکترودهای فلزی فقط یون‌های فلزی نشان داده می‌شود، دانش‌آموزان آنیون‌های همراه یون‌های فلزی موجود در محلول الکترولیت را در نظر نمی‌گیرند و این کج‌فهمی را بروز می‌دهند که محلول دارای بار مثبت است. در گزینه (آ) این موضوع مورد سنجش قرار گرفته است. به نظر می‌رسد این دانش‌آموزان به دلیل مشخص نبودن آنیون‌های محلول الکترولیت در شکل مورد استفاده در کتاب درسی، دچار این کج‌فهمی هستند که محلول الکترولیت دارای بار مثبت است. ظاهراً تغییر معلم یا منطقه آموزشی چه در پسران و چه در دختران تفاوت چندانی در نتایج نداشته است. بنابراین علت این کج‌فهمی را بیشتر می‌توان به شکل مورد استفاده در کتاب درسی مرتبط دانست و برای رفع آن نشان دادن آنیون‌های موجود در محلول الکترولیت ضروری به نظر می‌رسد. همچنین این جمله کتاب درسی که یون‌های Zn^{2+} وارد محلول می‌شوند و الکترون‌های خود را روی تیغه جای می‌گذارند، ممکن است در ذهن دانش‌آموزان این تصور را ایجاد کند که محلول دارای بار مثبت و تیغه دارای بار منفی خواهد شد. این موضوع در گزینه (ب) سنجیده شده است. برخی از دانش‌آموزان بر این باور غلط هستند که تیغه فلزی به دلیل داشتن الکترون‌های آزاد داری بار منفی بوده و محلول الکترولیت دارای بار مثبت است و بعد از وارد کردن تیغه به داخل الکترولیت این دو، بار همدیگر را خنثی می‌کنند. این مطلب در گزینه (پ) مورد سنجش قرار گرفته است. برای رفع این مورد بحث کلاسی بیشتر و تبادل‌نظر دانش‌آموزان علاوه بر توضیح بیشتر این مطلب در متن کتاب لازم به نظر می‌رسد. با توجه به اینکه فلز روی از فلزات فعال است تعادل بین یون‌های روی و اتم‌های فلزی روی به سمت تولید یون‌های روی پیشرفت بیشتری داشته و لایهٔ دوگانه الکتریکی تشکیل شده در سطح مشترک تیغه

و محلول الکترولیت، به‌گونه‌ای است که سطح فلز بار منفی و محلول بار مثبت پیدا می‌کند. چون هیچ بار الکتریکی از این مجموعه، خارج یا به آن داخل نشده است بنابراین مجموعه تیغه و محلول الکترولیت، خنثی هستند. این مطلب در گزینه (ت) آورده شده است. در پرسش ۳ حدود ۱۰/۶ درصد از پسران و ۲۲/۶ درصد از دختران گزینه (ت) را انتخاب کرده‌اند. ممکن است این دانش‌آموزان چگونگی ایجاد اختلاف پتانسیل را می‌دانسته‌اند و فقط به دلیل خارج نشدن هیچ بار الکتریکی از مجموعه تیغه و محلول آن‌ها را خنثی در نظر گرفته باشند. بنابراین می‌توان گفت ۶۴/۴ درصد از مجموع دانش‌آموزان به این پرسش جواب درست داده و ۳۴/۸ درصد دارای کج‌فهمی می‌باشند. این کج‌فهمی در تحقیقات انجام گرفته توسط گارنت و تریگاست (۱۹۹۰) نیز گزارش‌شده است. همچنین توسط مطالعات صورت گرفته توسط اوزکایا (۲۰۰۲)، سیحون و قره‌گلگه (۲۰۰۵) مورد تأیید واقع شده است.

هر سلول الکتروشیمیایی (سلول گالوانی و سلول الکترولیتی) از دو نیم سلول تشکیل شده است که یکی آند و دیگری کاتد نام دارد. با توجه به اینکه در سلول‌های گالوانی واکنش خودبه‌خودی صورت گرفته و جریان الکتریکی تولید می‌شود ولی در سلول‌های الکترولیتی با اعمال ولتاژ خارجی یک واکنش اکسایش -کاهش در جهت غیر خود به خودی انجام می‌گیرد، مثبت یا منفی بودن این الکترودها در سلول‌های گالوانی و الکترولیتی مخالف یکدیگر است. در سلول‌های گالوانی آند قطب منفی سلول است درصورتی‌که در سلول‌های الکترولیتی آند قطب مثبت سلول را تشکیل می‌دهد. اما در هر دو نمونه این سلول‌ها آند نیم سلولی است که در آن اکسایش صورت می‌گیرد و کاتد نیم سلولی است که در آن عمل کاهش انجام می‌شود. برای بررسی میزان کج‌فهمی دانش‌آموزان در درک مفهوم آند و کاتد پرسش ۴ پرسش‌نامه مطرح شده است. بعضی از دانش‌آموزان به دلیل عدم درک درست تفاوت علامت بار الکتریکی آند و کاتد در انواع سلول‌های الکتروشیمیایی آن‌ها را به بار کاتیون‌ها و آنیون‌ها مربوط می‌کنند، این مورد در گزینه (آ) سنجیده شده است. بعضی از آن‌ها آند و کاتد را در هر دو نوع از سلول‌های الکتروشیمیایی همانند سلول‌های گالوانی در نظر می‌گیرند و آند را همیشه مثبت و کاتد را همیشه منفی می‌دانند، این موضوع در گزینه (ب) ارائه شده است. تنها گزینه‌ای که در مورد هر دو نوع سلول الکتروشیمیایی صادق است گزینه (ت) می‌باشد. در پرسش ۴ حدود ۲۲/۱ درصد از مجموع دانش‌آموزان گزینه (پ) را انتخاب کرده‌اند. این دانش‌آموزان بار الکتریکی آند و کاتد را بر اساس سلول‌های الکترولیتی در نظر گرفته‌اند. ولی از دست دادن الکترون یا گرفتن الکترون در آند و کاتد را بر اساس سلول‌های گالوانی جواب داده‌اند. ۵۶/۶ درصد از مجموع دانش‌آموزان (۴۸/۹ درصد پسران و ۶۲/۱ درصد دختران) گزینه (ت) یعنی جواب درست را انتخاب کرده و ۴۳/۴ درصد در درک مفهوم آند و کاتد در سلول‌های الکتروشیمیایی دارای کج‌فهمی هستند. بررسی داده‌ها نشان می‌دهد که میزان انتخاب هر یک از گزینه‌ها در مناطق مختلف با هم متفاوت است، ظاهراً در این مورد نحوه تدریس معلم و محیط آموزشی تأثیرگذار است. از جمله عواملی که می‌توانند در ایجاد کج‌فهمی دانش‌آموزان

در این مورد (یکسان دانستن بار الکتریکی آند و کاتد در سلول‌های گالوانی و الکترولیتی) نقش داشته باشند می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

دانش‌آموزان تجربه عملی (آزمایشگاه) در دورهٔ شیمی پیش‌دانشگاهی ندارند. بنابراین با توجه به صحبت‌های معلم و تصورات قبلی خودشان باورهای نادرستی پیدا می‌کنند.

در مطالب کتاب درسی به متفاوت بودن بار الکتریکی آند و کاتد در سلول‌های گالوانی و الکترولیتی اشاره‌ای نشده است. به نظر می‌رسد اگر در کتاب درسی در قسمت مربوط به سلول‌های الکترولیتی به متفاوت بودن بار آند و کاتد در این سلول‌ها نسبت به سلول‌های گالوانی اشاره کوتاهی شود یا اینکه کتاب دارای واحد عملی (آزمایشگاه) باشد، در برطرف کردن این کج‌فهمی مؤثر است.

این کج‌فهمی در تحقیقات انجام گرفته توسط گارنت و تریگاست در سال (۱۹۹۰)، اگیود و بردلی (۱۹۹۴)، اوزکایا (۲۰۰۲) و سیحون و قره‌گلگه (۲۰۰۵) نیز گزارش‌شده است.

در سلول‌های الکتروشیمیایی در قسمت بیرونی، جریان الکترون‌ها در یک رسانای فلزی و در بین محلول‌ها، حرکت یون‌ها (هم یون‌های موجود در پل نمکی وهم یون‌های موجود در محلول‌های الکترولیت) از طریق پل نمکی موجب کامل شدن مدار الکتریکی می‌شود. برای بررسی میزان کج‌فهمی دانش‌آموزان در درک چگونگی این فرآیند، پرسش ۵ پرسش‌نامه مطرح شده است. بعضی از دانش‌آموزان بر این باورند که فقط یون‌های محلول‌های الکترولیت از طریق پل نمکی موجب کامل شدن مدار الکتریکی سلول می‌شوند، این موضوع در گزینه (آ) گنجانده شده است. گروه دیگری از آن‌ها فقط حرکت آنیون‌ها و کاتیون‌های تشکیل‌دهنده پل نمکی را موجب کامل شدن مدار می‌دانند و یون‌های موجود در محلول‌های الکترولیت را در این امر دخالت نمی‌دهند، این مورد در گزینه (ب) آورده شده است. گزینه (پ) جواب درست است. با توجه به اینکه الکترون‌ها بار منفی دارند بعضی از دانش‌آموزان (و حتی معلمان) معتقدند برای کامل شدن مدار باید فقط آنیون‌ها از طریق پل نمکی جابه‌جا شوند و کاتیون‌ها در این میان نقشی ندارند، این مورد در گزینه (ت) آورده شده است. در پاسخگویی به پرسش ۵ همان‌طور که در نمودارهای ۹ و ۱۰ دیده می‌شود تنها ۴۴/۴ درصد از کل دانش‌آموزان جواب درست یعنی گزینه (پ) را انتخاب کرده‌اند. در این مورد فراوانی نسبی پسران (۳۷/۶ درصد) از دختران (۴۹/۵ درصد) کم‌تر بوده و ۵۱/۳ درصد از مجموع دانش‌آموزان در یادگیری چگونگی کامل شدن مدار الکتریکی در سلول‌های الکتروشیمیایی به‌نوعی دارای کج‌فهمی هستند. به نظر می‌رسد چون در مطلب عنوان‌شده در کتاب درسی منظور از گونه‌های باردار بین دو محلول الکترولیت به‌طور کامل مشخص نیست، لذا ارائه مطلب به این صورت، می‌تواند موجب ایجاد کج‌فهمی در دانش‌آموزان شود. بهتر است با ارائه شکل واضح و توضیح بیشتر، نقش حرکت همه آنیون‌ها و کاتیون‌ها (تشکیل‌دهندهٔ پل نمکی و موجود در محلول‌های الکترولیت) در کامل شدن مدار الکتریکی سلول به‌طور کامل نشان داده شود. این کج‌فهمی در تحقیقات انجام گرفته توسط گارنت و تریگاست (۱۹۹۰) و آگیود و بردلی (۱۹۹۴) و سانگر

و گرین‌بو (۱۹۹۷)، اوزکایا (۲۰۰۲) و سیحون و قره‌گلگه (۲۰۰۵) نیز گزارش‌شده است.

در پرسش ششم پرسش‌نامه تشخیص الکترودهای آند و کاتد، بر اساس مکان فیزیکی این الکترودها در سلول الکتروشیمیایی مورد سنجش قرار گرفته است. بر اساس قواعد به‌کاررفته برای نوشتن دیاگرام نمادین سلول‌های الکتروشیمیایی، آند در سمت چپ و کاتد در سمت راست نوشته می‌شود. این موضوع باعث شده است که دانش‌آموزان از روی شکل سلول‌های الکتروشیمیایی (به‌اشتباه) الکترود سمت چپ را آند و سمت راست را کاتد بدانند. اگرچه در کتاب درسی شیمی دوره پیش‌دانشگاهی به نوشتن دیاگرام سلول‌های الکتروشیمیایی اشاره‌ای نشده است، ولی در همه شکل‌های مربوط به سلول‌های الکتروشیمیایی، آند در سمت چپ و کاتد در سمت راست نشان داده شده است. این موضوع می‌تواند موجب بروز این کج‌فهمی شود که همیشه الکترود سمت چپ، نقش آند را دارد. در گزینه‌های (آ) و (ب) مکان فیزیکی مورد نظر بوده است به‌طوری‌که در گزینه (آ) نیم سلول‌های سمت چپ به‌عنوان آند بیان شده‌اند و در گزینه (ب) نیم سلول‌های سمت راست هر شکل به‌عنوان آند بیان شده‌اند. در گزینه‌های (ت) و (پ) استفاده از پتانسیل کاهشی استاندارد مورد نظر بوده است. به‌طوری‌که گزینه (ت) درست ولی گزینه (پ) نادرست است. با توجه به پتانسیل‌های کاهشی استاندارد داده شده و با توجه به اینکه دو الکترود A و B در حالت استاندارد هستند، الکترود B که پتانسیل کاهشی کوچک‌تری دارد به‌عنوان آند عمل می‌کند. در این صورت جواب درست این پرسش فقط گزینه (ت) می‌باشد. بررسی داده‌های مرتبط با پرسش ۶ نشان می‌دهد که ۴۱/۱ درصد از مجموع دانش‌آموزان جواب درست داده‌اند و ۴۸/۳ درصد در تشخیص آند و کاتد دارای کج‌فهمی هستند. در حدود ۲۸/۱ درصد از مجموع دانش‌آموزان گزینه (آ) و (ب) را انتخاب کرده‌اند، این دانش‌آموزان آند و کاتد بودن یک نیم سلول در سلول گالوانی را به مکان فیزیکی آن مربوط دانسته‌اند. البته میزان فراوانی دانش‌آموزان پسر و دختر در انتخاب این گزینه‌ها باهم متفاوت است به‌طوری‌که در گزینه (آ) فراوانی پسران ۲۱/۳ درصد و دختران ۵/۸ درصد است درصورتی‌که در گزینه (ب) درصد فراوانی پسران ۱۳/۲ درصد و دختران ۱۶/۳ درصد است. حدود ۲۰/۲ درصد از مجموع دانش‌آموزان (۱۹/۱ درصد از پسران و ۲۱/۱ درصد از دختران) گزینه (پ) را انتخاب کرده‌اند این افراد اگرچه برای تعیین آند و کاتد از پتانسیل کاهشی استاندارد استفاده کرده‌اند ولی نتوانسته‌اند به‌طور صحیح آند و کاتد را مشخص کنند و برعکس عمل کرده‌اند، به‌طوری‌که الکترودی را که پتانسیل کاهشی بیشتری داشته است به‌عنوان آند در نظر گرفته‌اند. کج‌فهمی مربوط به تشخیص آند و کاتد بر اساس مکان فیزیکی آن‌ها در تحقیقات انجام‌گرفته توسط گارنت و تریگاست (۱۹۹۰)، اگیود و بردلی (۱۹۹۴) و سانگر و گرین‌بو (۱۹۹۷)، اوزکایا (۲۰۰۲) و سیحون و قره‌گلگه (۲۰۰۵) نیز گزارش‌شده است. برای رفع این کج‌فهمی لازم است در شکل‌های مورد استفاده در کتاب درسی، مکان آند و کاتد را تغییر دهیم تا دانش‌آموز درک کند که مکان فیزیکی یک نیم سلول، ربطی به آند یا کاتد بودن آن ندارد. همچنین به‌طور عملی در کلاس درس می‌توان با استفاده از

یک گالوانومتر و یک سلول الکتروشیمیایی ساده این موضوع را به دانش‌آموزان نشان داد، به‌طوری‌که با تعویض مکان الکترودها، جهت عقربه گالوانومتر تغییر کرده و متوجه شوند که جریان الکترون‌ها در سلول‌های گالوانی همیشه از آند به کاتد است.

بعضی از دانش‌آموزان بر این باورند که برای کامل شدن مدار الکتریکی در سلول گالوانی، الکترون‌ها ضمن عبور از مدار خارجی سلول وارد محلول الکترولیت شده و با عبور از پل نمکی مدار الکتریکی سلول را کامل می‌کنند. برای بررسی این موضوع پرسش ۷ پرسش‌نامه طراحی شده است. در این پرسش دو موضوع، حضور یا عدم حضور الکترون‌ها در محلول الکترولیت و پل نمکی و جهت حرکت الکترون‌ها بین نیم سلول‌ها می‌باشد. در گزینه (آ) و گزینه (ت) حرکت الکترون‌ها از طریق مدار خارجی و در گزینه‌های (ب) و (پ) حرکت الکترون‌ها از طریق پل نمکی بیان شده است. چون فقط الکترون‌ها در مدار خارجی (سیم) حرکت می‌کنند و رسانایی در محلول‌های الکترولیت سلول از طریق رسانایی یونی (حرکت یون‌ها) صورت می‌گیرد بنابراین گزینه‌های (ب) و (پ) درست نیستند. همچنین به دلیل اینکه در سلول گالوانی الکترون‌ها از آند به سمت کاتد جریان می‌یابند، بنابراین فقط گزینه (ت) درست است. بررسی نمودارهای ۱۳ و ۱۴ مرتبط با پرسش ۷ نشان می‌دهد که در مجموع ۷/۹ درصد از دانش‌آموزان (۹/۲ درصد از پسران و ۶/۸ درصد از دختران) به این پرسش جواب نداده‌اند. ۸/۵ درصد از کل دانش‌آموزان گزینه (ب) و ۱۸/۳ درصد گزینه (پ) را انتخاب کرده‌اند. یعنی مجموعاً ۲۶/۸ درصد از کل دانش‌آموزان دارای این کج‌فهمی هستند که الکترون‌ها در داخل محلول الکترولیت جریان پیدا کرده و با عبور از پل نمکی موجب کامل شدن مدار الکتریکی سلول می‌شوند. البته فراوانی نسبی پسران و دختران در این مورد با هم متفاوت است، به‌طوری‌که فراوانی نسبی پسرانی که گزینه (ب) یا (پ) را انتخاب کرده‌اند ۳۵/۴ درصد و در مورد دختران برابر ۲۰/۵ درصد است. گزینه (آ) توسط ۱۸/۳ درصد از مجموع دانش‌آموزان (۲۷ درصد پسران و ۱۲/۱ درصد دختران) مورد انتخاب قرار گرفته است. این دانش‌آموزان اگرچه حرکت الکترون‌ها را در مدار خارجی به‌درستی تشخیص داده‌اند ولی در جهت حرکت الکترون‌ها دچار اشتباه شده‌اند. شاید علت بروز این اشتباه این باشد که دانش‌آموزان بر اساس شکل‌های کتاب درسی تصور می‌کنند همیشه الکترون‌ها از الکترود سمت چپ به‌طرف الکترود سمت راست حرکت می‌کنند. چون در کتاب درسی به سطح مشترک بین این دو رسانا و نازک بودن آن اشاره‌ای نشده است با بیان این جمله‌ها دانش‌آموز تصور می‌کند که الکترون می‌تواند در محلول الکترولیت حضور داشته باشد. بنابراین برای رفع این کج‌فهمی به نظر می‌رسد که لازم است در کتاب درسی توضیحات کامل‌تر و شکل‌های واضح‌تری برای سطح مشترک بین دو رسانا آورده شود. همچنین در کلاس درس معلمان می‌توانند با استفاده از انیمیشن‌های کامپیوتری حرکت الکترون‌ها در مدار خارجی و همزمان بودن آن با حرکت یون‌ها در داخل محلول الکترولیت و پل نمکی و انجام شدن نیم‌واکنش‌های اکسایش و کاهش را به دانش‌آموزان نشان دهند و با بحث در مورد تصاویر به برطرف

کردن کج‌فهمی‌ها کمک کنند. این کج‌فهمی در تحقیقات انجام گرفته توسط گارنت و تریگاست (۱۹۹۰)، آگیود و بردلی (۱۹۹۴) و سانگر و گرین‌بو (۱۹۹۷) نیز گزارش‌شده است. همچنین توسط مطالعات صورت گرفته توسط اوزکایا (۲۰۰۲) و سیحون و قره‌گلگه (۲۰۰۵) مورد تأیید واقع شده است.

در همه شکل‌های به‌کاربرده شده در کتاب درسی برای سلول‌های گالوانی از پل نمکی یا دیواره متخلخل استفاده شده است، این موضوع باعث می‌شود که دانش‌آموزان بدون توجه به سازوکار سلول وجود پل نمکی را شرط لازم برای تشکیل سلول و برقراری جریان در نظر بگیرند. برای بررسی میزان کج‌فهمی دانش‌آموزان در این مورد پرسش ۸ پرسش‌نامه طراحی شده است. در این سلول اتم‌های روی اکسید می‌شوند و به‌صورت یون‌های روی وارد محلول می‌شوند و یون‌های مس کاهش یافته و به اتم‌های فلز مس تبدیل می‌شوند. در حدود ۵۸ درصد از مجموع دانش‌آموزان به این پرسش جواب نداده‌اند که علت آن می‌تواند تمایل کمتر آن‌ها برای جواب دادن به پرسش‌های تشریحی یا کافی نبودن اطلاعات علمی آن‌ها باشد. در حدود ۱۳ درصد از دانش‌آموزان جواب درست داده‌اند یعنی گفته‌اند که سلول کار می‌کند و Zn آند و Cu کاتد است. حدود ۲۸/۴ درصد از دانش‌آموزان جواب نادرست داده‌اند و به نظر آنان سلول کار نمی‌کند و علت کار نکردن سلول را نداشتن پل نمکی یا جدا نبودن نیم سلول‌ها از همدیگر بیان کرده‌اند.

نتیجه‌گیری

مربیان آموزش علوم باید توجه زیادی به درک صحیح مفاهیم علوم توسط دانش‌آموزان داشته باشند. ازآنجاکه الکتروشیمی یکی از مفاهیمی است که با دو موضوع چالش‌برانگیز الکتریسیته و شیمی در ارتباط است، سلول‌های الکتروشیمیایی و الکترولیتی برای دانش‌آموزان دبیرستانی مفاهیم مشکلی محسوب می‌شوند، زیرا این مفاهیم در مورد دو موضوع، یکی الکتریسیته و دیگری اکسایش-کاهش چالش‌برانگیز می‌باشند. بنابراین در این مبحث فراگیران کج‌فهمی‌های زیادی دارند و مطالعات زیادی در مورد کج‌فهمی دانش‌آموزان در یادگیری الکتروشیمی در خارج از کشور صورت گرفته است. قبل از اینکه بتوانیم کج‌فهمی‌ها را اصلاح کنیم لازم است آن‌ها را بشناسیم لذا در این تحقیق برای اولین بار در ایران مشخص شد که دانش‌آموزان دورهٔ پیش‌دانشگاهی جامعه آماری مورد نظر بعد از گذراندن این دوره و تدریس مطالب الکتروشیمی مطرح‌شده در کتاب درسی شیمی دورهٔ پیش‌دانشگاهی، کج‌فهمی‌های زیر را دارند:

۱. اکسایش یعنی گرفتن اکسیژن و از دست دادن هیدروژن (مفهوم اکسایش و کاهش را با توجه به تعریف قدیم آن یعنی گرفتن اکسیژن یا دادن هیدروژن در

ذهن جای داده‌اند.)

۲. بـه دلیـل عدم تمایل یا عدم شـرکت اتم‌های هیـدروژن در واکنش‌های مبادلهٔ الکترون، پتانسیل الکترود استاندارد هیدروژن صفر است.

۳. محلول حاوی یون‌های یک فلز دارای بار مثبت است و خود فلز دارای بار منفی است، بعد از ورود تیغه فلزی در آن هر دو خنثی می‌شوند.

۴. آند همیشه دارای بار منفی و کاتد همیشه دارای بار مثبت است.

۵. آند به دلیل از دست دادن الکترون، دارای بار مثبت است و کاتد به دلیل گرفتن الکترون دارای بار منفی است.

۶. فقط آنیون‌ها و کاتیون‌های سازندهٔ پل نمکی با ورود به محلول‌های الکترولیت و خنثی کردن آن‌ها موجب کامل شدن مدار می‌شوند.

۷. فقط انتقال آنیون‌ها از طریق پل نمکی موجب کامل شدن مدار می‌شود.

۸. همیشه الکترود سمت چپ در یک سلول الکتروشیمیایی نقش آند را دارد.

۹. الکترون‌هـا بـا ورود به محلـول و عبور از پل نمکی موجب کامل شـدن مدار می‌شوند.

۱۰. هر سـلول الکتروشیمیایی حتماً احتیاج به پل نمکی یا دیواره متخلخل دارد تا کار کند.

بررسی این کج‌فهمی‌ها نشان می‌دهد که کج‌فهمی‌های مشاهده‌شده در این پژوهش مشـابه موارد گزارش‌شـده توسط سـایر محققین در کشـورهای دیگر می‌باشد. البته کج‌فهمی شـماره یک یعنی "اکسایش یعنی گرفتن اکسیژن و از دست دادن هیدروژن" برای اولین بار در این تحقیق گزارش شـده اسـت. بررسی نتایج حاصل نشان داد که هـم محتوای آموزشـی و هم روش تدریـس معلم می‌تواند در ایجـاد کج‌فهمی مؤثر باشـد. لذا با توجه به نتایج حاصل از پژوهش، مؤلفان کتب درسـی می‌توانند با تغییر محتوای آموزشی الکتروشیمی در جهت رفع کج‌فهمی‌های ایجادشده، منجر به آموزش اثربخش در دانش‌آموزان شـوند. همچنین نتایج حاصل از این تحقیق می‌تواند یاریگر دبیران شـیمی در تدریس مفاهیم الکتروشیمی باشـد تا با بهبود روش‌های تدریس و به‌کارگیری فعالیت‌های عملی و فناوری اطلاعات در آموزش، منجر به یادگیری معنادار دانش‌آموزان در مفاهیم الکتروشیمی شود.

منابع

- Acar, B. & Tarhan, L. (2013). Inquiry-Based Laboratory Activities in Electrochemistry: High School Students' Achievements and Attitudes. *Research in Science Education, 43*, 413–435.
- Acar, B. & Tarhan, L. (2007). Effect of Cooperative Learning Strategies on Students' Understanding of Concepts in Electrochemistry. *International Journal of Science and Mathematics Education, 5*(2), 349-373.
- Allsop, R. T. & George, N. H. (1982). Redox in Nuffield advanced chemistry. *Education in Chemistry, 19*, 57-59.
- Birss, V. I. & Truax, D. R. (1990). An Effective Approach to Teaching Electrochemistry. *Journal of Chemical Education, 67*, 403-409.
- Bradley, J. D. & Ogude, A. N. (1996). Electrode Processes and Aspects Relating to Cell EMF, Current, and Cell Components in Operating Electrochemical Cells. *Journal of Chemical Education, 73*(12), 1145-1149.
- Ceyhun, I. & Karagolge, Z. (2005). Chemistry students, Misconceptions in Electrochemistry. *Australian Journal of Education in Chemistry, 65*, 24-28.
- Garnett, P. J. & Treagust, D. F. (1990). Implications of research on students' understanding of electrochemistry for improving science curricula and classroom practice. *International Journal of Science Education, 12*, 147-156.
- Ogude, A. N. & Bradley, J. D. (1994). Ionic Conduction and Electrical Neutrality in Operating Electrochemical Cells. *Journal of Chemical Education, 71*(1), 29-34.
- Ozkaya, A. R. (2002). Conceptual Difficulties Experienced by Prospective Teachers in Electrochemistry. *Journal of Chemical Education, 79*(6), 735-738.
- Sanger, M. J. & Greenbowe, T. J. (1997). Common student misconceptions in electrochemistry: Galvanic, electrolytic, and concentration cells. *Journal of Research in Science Teaching, 34*, 377-398.
- Sanger, M. J. & Greenbowe, T. J. (1999). An Analysis of College Chemistry Textbooks as Sources of Misconceptions and Errors in Electrochemistry. *Journal of Chemical Education, 76*(6), 853-860.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پی‌نوشت‌ها

1. Allsop
2. George
3. Birss
4. Truax
5. Garnett
6. Treagust
7. Bradley
8. Ogude
9. Sanger
10. Greenbowe
11. Ozkaya Ali Riza
12. Ceyhun
13. Karagolge
14. Acar
15. Tarhan