Journal of Trends and Achievements in Learning Technology
Homepage: https://jlt.iaet.ir/

# The Effectiveness of Augmented Reality Training on Learning and Retention of Chemistry Lesson

**Atiyeh Gharibi**[1] | **Farzaneh Gharibi**[2*]

1. Master's Degree in Clinical Psychology / Vice President of Education, Central Province, Education, District 2 of Arak, Arak, Iran. E-Mail: Atighr69@Gmail.Com

2. *Corresponding Author,* Assistant Professor, Department of Educational Sciences, Arak, Iran. E-mail: f-gharibi@araku.ac.ir

**Online ISSN:** 3060-656X

**Article Type:** Reserch Article

**Article history:**
Received March 15, 2024
Received in revised form April 17, 2024
Accepted April 24, 2024
Published Online May 04, 2024

**Keywords**: Chemistry, Augmented Reality, Learning, Retention

## ABSTRACT

Education in today's era needs new methods that can teach the subject in less time and with more depth. The aim of the present study was to investigate the effectiveness of augmented reality education on learning and retention of chemistry lesson. The statistical population of the present study included all female students of the 11th grade of secondary school in Arak city in the academic year of 2022-2023, which were randomly selected from two schools, and the method of replacing classes in the experimental and control groups was random. The number of people in two classes was 59 subjects, 30 subjects were in the experimental group and 29 subjects were in the control group. Accordingly, the research design was a pre-test-post-test design with a control group. Two tests were used to measure the learning and retention of the subjects. It should be mentioned that Elements 4D augmented reality software was used to teach the composition of chemical elements. In order to analyze the research data, descriptive statistics indicators (prevalence, mean, standard deviation) were used, and covariance analysis and repeated measurement tests were used to check the hypotheses. The findings showed that the learning and retention of the augmented reality group was significantly higher than the group that was trained by the traditional method ($p>0.05$). According to the findings, it can be concluded that the correct use of augmented reality in the learning environment allows users to learn more effectively and forget less. Therefore, it is recommended to use the potential of this technology in teaching different subjects.

**Cite this Article:** Gharibi, A., & Gharibi, F. (2024). The Effectiveness of Augmented Reality Training on Learning and Retention of Chemistry Lesson. *Literary Text Research*, 1(1), 109-128. https://doi.org/10.22034/jlt.2024.2026773.1011

© Author(s)
**Publisher:** Iranian Educational Technology Association
**DOI**: https://doi.org/10.22034/jlt.2024.2026773.1011

## Introduction

The information age has transformed many areas of life (Foroghinia and Seyed Mirzapour, 2014). One of the most important areas in which the influence of technology is undeniable is the education sector. The rapid advancement of technology has brought about new developments in education. The occurrence of progress begs the question whether these technologies might work or not. Augmented reality is one of the new technologies that have been widely used and there are concerns about its efficiency.

The term augmented reality was first proposed by Thomas Kadel in 1991 at the Boeing Company. Augmented reality is a new interactive method that adds a virtual object (it can be a text or a two-dimensional image or a three-dimensional model) to the real-time image (Benbelkasem et al., 2011).

The three main features of an augmented reality system are: 1- combining the real and virtual worlds, 2- interactivity in the real world, 3- recording and showing in three dimensions (Van Krevelen & Poelman, 2010). Today, many augmented reality applications are available on smartphones. Augmented reality based on mobile phones offers valuable educational opportunities and significantly improves the learning environment and increases the attractiveness of the learning process.

Chemistry education should be based on observation and experience; it creates a sense of curiosity for learning more in the learner and provides more concrete views and attitudes toward chemistry. In addition, familiarizing the learner with practical techniques will create creativity and practical skills in him (Ahmadi and Khodayi, 2019).

School curricula are usually presented in classrooms or lecture halls, which form a large part of students' learning experiences (McCaskey et al., 2005; Ganguly, 2010). The lack of time in classes makes teachers present intensive content and knowledge in a short time, and this causes difficulties for students to understand subjects and transfer new pieces of information and knowledge to their long-term memory (Ganguly, 2010).

In order to integrate augmented reality technology in the fields of education and to check its effectiveness, experimental research is needed. Based on this, augmented reality programs should be investigated in different fields and levels of education. Therefore, the aim of the current research was to investigate the effect of augmented reality on learning, memorization in the chemistry lesson of 11th grade female students of Arak Secondary School in the academic year 2022.

## Literature Review

The results of the research of Gharibi et al. (2019) in their research entitled the effect of augmented reality training on learning, memorization and cognitive load in the biology course showed that the learning and retention of the augmented reality group were significantly higher than the group that was trained in the traditional method were trained Other findings indicated a significant decrease in the cognitive load of the augmented reality group compared to the control group. According to the findings, it can be concluded that the correct use of augmented reality in the learning environment allows users to learn more effectively and forget less. Therefore, it is recommended to use the potential of this technology in teaching different subjects.

Lah et al (2024) in research titled Mobile Augmented Reality in Chemistry Learning: An Evaluation of Science Discovery showed that Augmented Reality is a powerful tool that can be used in both teaching and learning and can motivate students in learning and considering its positive effects in promoting interactive learning, increasing students' interest in learning, increasing students' progress in learning, and improving the quality of teaching and learning, it has a high potential to improve learning in secondary school.

Some research showed that augmented reality is useful for effective learning of phenomena that cannot be accessed by students in the real world, such as mechanical machines, astronomy, or the spatial configuration of human organs; Either they cannot be seen without a specialized device, or abstract subjects of geometric shapes, chemical structures, are very fruitful (Chen et al., 2017, Maro et al., 2017).

Heinz, Büttner & Röcker (2019) used augmented reality in research to familiarize users with the performance of complex automatic industrial systems; The result of their research showed that the application of augmented reality provides a better understanding and experience of automatic systems.

The research conducted in relation to augmented reality on the one hand shows that its use in educational systems is conceivable in terms of achieving goals, and on the other hand, the lack of studies related to the results of the application of this technology in pre-university education courses.

## Methodology

The method of the present research was semi-experimental. The statistical population of the present study included all female students of the 11th grade of secondary school in the city of Arak in the academic year of 2021-2022, which

were randomly selected from two schools, and the method of replacing classes in the experimental and control groups was random. The number of people in two classes was 59 subjects, 30 subjects were in the experimental group and 29 subjects were in the control group. Accordingly, the research design was a pre-test-post-test design with a control group. Two tests were used to measure the learning and memorization of the subjects. These tests covered the content presented in the educational program. The second post-test (retention) was parallel in terms of the number, concepts and levels of learning with the questions of the first post-test (learning) in order to minimize the effect of practice and transfer from the immediate test (learning) to the delayed test (retention). The week after the learning test, this test was taken. In order to check the validity and reliability of the post-test, after the preparation of the post-test questions, in order to eliminate possible deficiencies and problems, the questions were given to two chemistry experts (two experienced teachers in this field). And after correcting the existing problems, the test questions were approved by them. And to determine the reliability of the questions, the internal reliability method (Cronbach's alpha) was used and its reliability coefficient was 0.79. Also, Elements 4D augmented reality software was used to teach the composition of chemical elements. In order to analyze the research data, descriptive statistics indices (frequency, mean and standard deviation) were used, and covariance analysis and repeated measurement tests were used to examine the hypotheses.

## Conclusion

The present study was conducted with the aim of investigating the effect of augmented reality on the learning and retention of students in the 11th grade chemistry lesson. The results of the hypotheses test showed that there was a significant difference between the learning rate of the students who were trained with the augmented reality method and the traditional method, and the learning rate of the students in the augmented reality group was more than that of the traditional group.

It seems that one of the factors that makes the augmented reality method superior to other methods is having advantages such as stimulating students to learn and increasing students' motivation and engaging students in learning topics that they cannot learn for the first time. To experience the real world, increasing cooperation between students and teachers, as well as increasing cooperation between students, increases the power of creativity and imagination in students. Also, augmented reality learning environments give students an

opportunity to see two-dimensional objects in three dimensions in the real environment (Wu et al., 2013, Cheng and Tsai, 2012). The integration of augmented reality with the real environment provides a new level of experience for learners, especially in areas where there may be limitations for learning certain subjects. Sensory experience and interaction with the environment in real time can provide learning satisfaction and enable students to structure their knowledge and complete learning tasks (Albrecht, Folta-Schoofs, Behrends, & Von Jan, 2013).

Also, another finding of this research showed that using the augmented reality method in the chemistry lesson had a positive effect on the memorization rate. In other words, the experimental group had less forgetfulness than the control group. This research finding is consistent with the research result (Küçük, Kapakin, & Göktaş, 2016). What seems to be related to this result is that teaching chemistry through augmented reality programs leads to a more objective presentation of concepts and processes to the learner and increases their attention to the learning topic (Acosta et al., 2019). Therefore, students will understand the relationships between phenomena much more easily, and as a result, more durable learning will be achieved, which will stabilize learning and increase the permanence of learned concepts. Augmented reality also enables learners to analyze objects from different perspectives and learn through experience. In this way, a more permanent and effective learning occurs with more active students.

Some of the most important limitations of the present study included the failure to generalize the results to other courses and levels of education and the failure to control some disturbing variables such as the amount of study and effort to learn in the two groups. In the end, according to the findings of the research, some suggestions are made: considering the high potential of augmented reality technologies, taking into account the fact that many teachers and students have access to smart phones, and creating new learning opportunities By using these new technologies, we should provide them with appropriate training courses to introduce teachers to the use of these technologies in education, prepare and produce appropriate educational content for each lesson using augmented reality technologies. Also, according to the findings of the research, it is suggested that considering the fact that this research was done in the chemistry lesson, it should be done in other courses as well. The feasibility of using new technologies of augmented reality in education should be done at the national level and the effectiveness of the augmented reality

method should be done in research with other variables such as academic motivation, academic vitality, etc.

## Acknowledgments

The authors of the article were sincerely grateful to all the caring students and teachers who helped us in doing this research.

فصلنامه
روندها و دستاوردها در فناوری یادگیری
Homepage: https://jlt.iaet.ir/

# اثربخشی آموزش واقعیت افزوده بر یادگیری و یادداری درس شیمی

**عطیه غریبی[۱] | فرزانه غریبی[۲*]**

۱. کارشناسی ارشد روان‌شناسی بالینی / معاون پرورشی، آموزش‌وپرورش استان مرکزی، آموزش و پروش ناحیه ۲ اراک، اراک، ایران. رایانامه: atighr69@gmail.com

۲. *نویسنده مسئول*، استادیار، گروه علوم تربیتی، دانشگاه اراک، اراک، ایران. رایانامه: f-gharibi@araku.ac.ir

**نوع مقاله:**
مقاله پژوهشی

**تاریخچه مقاله**
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۲۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۱/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۰۵
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۲/۱۵

**کلیدواژه‌ها:**
شیمی،
واقعیت افزوده،
یادگیری،
یادداری

## چکیده

آموزش در عصر حاضر نیازمند روش‌های نوینی است که بتواند در زمان کمتر و با عمق بیشتر مطالب را به فراگیر تعلیم دهد. هدف پژوهش حاضر بررسی اثربخشی آموزش واقعیت افزوده بر یادگیری و یادداری درس شیمی بود. جامعه آماری پژوهش حاضر شامل کلیهٔ دانش‌آموزان دختر پایه یازدهم متوسطه شهر اراک در سال تحصیلی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ بود که به تصادف دو مدرسه انتخاب شد و روش جایگزینی کلاس‌ها در گروه آزمایش و کنترل به‌صورت تصادفی بود. تعداد افراد دو کلاس ۵۹ نفر بودند که ۳۰ نفر در گروه آزمایش و ۲۹ نفر در گروه کنترل بودند. بر همین اساس، طرح پژوهش از نوع طرح پیش‌آزمون – پس‌آزمون با گروه کنترل بود. از دو آزمون جهت سنجش میزان یادگیری و یادداری آزمودنی‌ها استفاده شد. لازم به ذکر است از نرم‌افزار Elements 4D augmented reality برای آموزش ترکیب عناصر شیمیایی استفاده گردید. به‌منظور تجزیه‌وتحلیل داده‌های پژوهش از شاخص‌های آمار توصیفی (فراوانی، میانگین، انحراف معیار) و جهت بررسی فرضیه‌ها از آزمون تحلیل کوواریانس و اندازه‌گیری مکرر استفاده شد. یافته‌ها نشان داد یادگیری و یادداری گروه واقعیت افزوده به‌صورت معناداری بیشتر از گروهی بود که به روش سنتی آموزش دیده بودند ($p <$ ۰,۰۵). با توجه به یافته‌ها می‌توان نتیجه گرفت که استفاده درست از واقعیت افزوده در محیط یادگیری به کاربران اجازه می‌دهد یادگیری اثربخش و فراموشی کمتری داشته باشند؛ بنابراین توصیه می‌شود از پتانسیل‌های این فناوری در آموزش دروس مختلف استفاده شود.

**استناد به این مقاله:** غریبی، عطیه، و غریبی، فرزانه. (۱۴۰۳). اثربخشی آموزش واقعیت افزوده بر یادگیری و یادداری درس شیمی. *نشریه روندها و دستاوردها در فناوری یادگیری*، ۱(۱)، ۱۰۹-۱۲۸. https://doi.org/10.22034/jlt.2024.2026773.1011

© نویسنده(گان)
**ناشر:** انجمن فناوری آموزشی ایران

## مقدمه

عصر اطلاعات، بسیاری از عرصه‌های زندگی را دگرگون کرده است (Foroghinia & Seyed Mirzapour, 2014). یکی از مهم‌ترین حوزه‌هایی که تأثیر فناوری در آن انکار نشدنی است، بخش آموزش است. درواقع استفاده از فناوری اطلاعات و ارتباطات، نماد دوره جدیدی از آموزش است. فناوری اطلاعات و ارتباطات، الگوی فکری آموزش را دگرگون و مدل‌های موجود آموزشی را غنی‌تر کرده و شیوه‌های جدیدی نیز ایجاد نموده است؛ این مدل‌ها ویژگی‌های آموزش مبتنی بر فناوری را به اشتراک می‌گذارند و شیوه‌های جدید آموزش و یادگیری را پیشنهاد می‌کنند که در آن، یادگیرنده نقش فعالی داشته و بر یادگیری خود راهبر، مستقل، انعطاف‌پذیر و تعامل کننده تأکید دارد (Farajullahi & Zarif Sanyaei, 2008). پیشرفت سریع فناوری باعث پیشرفت‌های جدید در آموزش شده است. وقوع پیشرفت، این سؤال را ایجاد می‌کند که آیا این فناوری‌ها ممکن است کارآمد باشند یا خیر؟ واقعیت افزوده یکی از فناوری‌های جدید است که به‌طور گسترده مورداستفاده قرار گرفته است و در مورد کارایی آن نگرانی وجود دارد.

اصطلاح واقعیت افزوده برای اولین بار توسط توماس کادل در سال ۱۹۹۱ و در شرکت بویینگ مطرح شد. واقعیت افزوده یک روش تعاملی جدید است کهشی مجازی (می‌تواند یک متن یا یک تصویر دوبعدی و یا یک مدل سه‌بعدی باشد) را به تصویر بلادرنگ واقعی اضافه می کند (Benbelkasem et al., 2011). واقعیت افزوده به مفهوم ترکیب مفاهیم مجازی با دنیای واقعی پیرامون کاربر است به‌گونه‌ای که این مفاهیم افزوده شده، منجر به افزایش درک و فهم کاربر از محیط پیرامونی‌اش می‌شود. واقعیت افزوده تکمیل‌کننده واقعیت است؛ یعنی، چیزی را به دنیای واقعی اضافه می‌کند و همچنین می‌توان آن را بین واقعیت مجازی و دنیای واقعی در نظر گرفت (Azuma, 1997). واقعیت افزوده به افزایش دانش و درک فرد از محیط پیرامونش کمک می‌کند و علاوه بر داده‌های دیجیتالی مانند فایل‌های ویدیویی، صوتی و اطلاعات متنی، حتی اطلاعات بویایی نیز می‌توانند با درک افراد از دنیای واقعی ترکیب شوند (Yuen et al., 2011).

واقعیت افزوده به‌عنوان یک فناوری تعریف می‌شود که در آن دنیای واقعی و تصاویر مجازی با یکدیگر مخلوط می‌شوند و تعامل در زمان واقعی تضمین می‌شود (Azuma, 1997). این

فناوری ممکن است با استفاده از انواع مختلف فن‌آوری‌ها مانند رایانه‌های رومیزی، لپ‌تاپ‌ها، دستگاه‌های قابل‌حمل و تلفن‌های هوشمند پیاده‌سازی شود (Kirner, Reis, & Kirner,2012). در واقعیت افزوده، اشیاء دیجیتالی را با استفاده از دستگاه‌های هد آپ، عینک‌های واقعیت افزوده یا دستگاه‌های معمولی مانند گوشی‌های هوشمند یا تبلت‌ها به محیط طبیعی می‌فرستد، بنابراین اطلاعات مجازی را به فضای واقعی اضافه می‌کند (Santi et al., 2021؛ Arkhypov et al., 2020). برنامه‌های ایجادشده با استفاده از واقعیت افزوده امکان استفاده از اشیاء سه‌بعدی، تصاویر دوبعدی، فیلم‌ها و انیمیشن‌ها را به‌طور جداگانه و هم‌زمان فراهم می‌کند (Wang et al., 2013).

سه ویژگی اصلی برای یک سیستم واقعیت افزوده عبارت‌اند از: ۱- ترکیب دنیای واقعی و مجازی،۲- تعامل‌پذیری در دنیای واقعی، ۳- ثبت و نشان دادن در سه بعد. نکته قابل‌توجه این است که واقعیت افزوده محدود به صفحه‌نمایش خاصی مانند صفحه‌نمایش سربند نیست و این فناوری از صفحه‌نمایش‌های نوری و دستی مانند تلفن همراه نیز استفاده می‌کند. در این میان با پیشرفت‌های چشمگیر تلفن‌های همراه و همچنین هزینه‌های تولید کم و سهولت استفاده، این ابزار از محبوبیت بالاتری برخوردار است (Van Krevelen & Poelman, 2010). امروزه، بسیاری از برنامه‌های واقعیت افزوده روی گوشی‌های همراه هوشمند ارائه می‌شوند. گوشی‌های تلفن همراه با داشتن امکاناتی ازجمله حسگرهای گوناگون و متنوع و جی‌پی‌اس[1] و همچنین دوربین‌های تعبیه‌شده، بستر مناسبی برای پیاده‌سازی این تکنولوژی هستند. واقعیت افزوده مبتنی بر تلفن همراه[2] فرصت‌های آموزشی ارزشمندی را ارائه می‌دهد و به‌طور قابل‌توجهی موجب بهبود محیط یادگیری و افزایش جذابیت فرآیند یادگیری می‌شود. ادغام واقعیت افزوده تلفن همراه با محیط یادگیری سطح جدیدی از تجربه را برای فراگیران بخصوص در حوزه‌هایی که ممکن است محدودیت‌های برای یادگیری سوژه‌های خاص وجود داشته باشد، فراهم می‌آورد (Albrecht et al., 2013). اگر واقعیت افزوده مبتنی بر تلفن همراه به‌طور مناسب استفاده شود، به کاربران اجازه می‌دهد تا موضوع را در دست بگیرند و در روند یادگیری خود دخالت کنند (Dede, 2009). علاوه بر این، محیط‌های یادگیری واقعیت افزوده فرصتی را به دانش‌آموزان می دهند تا اشیاء دوبعدی را به‌صورت سه‌بعدی ببینند (Wu et al., 2013)، به تجزیه‌وتحلیل اشیاء

1. GPS
2. mobile augmented reality

از دیدگاه‌های مختلف و یادگیری از طریق تجربه بپردازند. به‌این‌ترتیب، یک یادگیری دائمی‌تر و مؤثرتر با دانش‌آموزان فعال‌تر رخ می‌دهد (Chen et al., 2011؛ Wojciechowski & Cellary, 2013؛ Wu et al., 2013).

شیمی دانشی مبتنی بر تجربه و آزمایش است. اگر از بعد محتوایی، دانش شیمی مشتمل بر مجموعه‌ای از مفاهیم و دانسته‌هاست، از بعد روشی، آزمایش‌ها و تجربه‌های عملی، اساس و پایه‌ی مفاهیم شیمی را تشکیل می‌دهند؛ به‌طوری‌که ابطال فرضیه‌های علمی قبلی و مطرح‌شدن حدس‌های تازه، در سایه‌ی اجرای آزمون‌های تجربی انجام‌پذیر است؛ بنابراین شاید بتوان گفت که مناسب‌ترین روش در آموزش شیمی، روشی است که بعد تجربی و آزمایشگاهی آن در نظر گرفته شود و فرآیند یاددهی - یادگیری مفاهیم شیمی، با اجرای آزمایش‌های مرتبط با آن‌ها همراه شود. افزون بر این، آموزش شیمی با مشاهده و تجربه، حس کنجکاوی را برای یادگیری بیشتر در فراگیر ایجاد می‌کند و دیدگاه‌ها و نگرش‌های ملموس‌تری از علم شیمی را فراهم می‌آورد. در ضمن، آشنا نمودن فراگیر با فنون عملی، سبب ایجاد خلاقیت‌ها و مهارت‌های عملی در او می‌شود (Ahmadi & Khodayi, 2019).

برنامه‌های درسی مدارس هم معمولاً در کلاس‌ها یا سالن‌های سخنرانی ارائه می‌شود که بخش بزرگی از تجربیات یادگیری دانش‌آموزان را تشکیل می‌دهند (McCuskey et al., 2005؛ Ganguly, 2010). کمبود وقت در کلاس‌ها باعث می‌شود معلمان در زمانی کوتاه، محتوا و دانش فشرده را ارائه دهند و همین امر باعث دشواری‌هایی برای دانش‌آموزان برای درک موضوعات و انتقال قطعات جدید اطلاعات و دانش آن‌ها به حافظه بلندمدت آن‌ها می‌شود (Ganguly, 2010). علاوه بر این، برخورد یادگیرندگان با مطالب یادگیری نیز غیرفعال و منفعلانه است (چو و چن، ۲۰۰۹؛ هانگ، وو و چن، ۲۰۱۲). اگرچه گاهی اوقات این روش‌های تدریس موجود مؤثر هستند، اما علاقه‌مندان به آموزش و پژوهشگران به دنبال معرفی شیوه‌های مفیدتر برای بهبود تجربیات آموزشی و یادگیری یادگیرندگان هستند (Nincarean et al., 2013).

در ادبیات پژوهش‌های مختلف، اظهار شده است که برنامه‌های واقعیت افزوده کمک‌های مهمی به فرآیند آموزش می‌کند. بااین‌حال، تحقیقات در این مورد در مراحل اولیه است (Martin & Digg, 2011 and Wu & Digg, 2013 cited in Küçük et al., 2014). تحول در آموزش و یادگیری ناشی از فناوری مطمئناً فرصت‌های جالبی را برای طراحی محیط یادگیری

واقعی، معتبر، جذاب و بسیار سرگرم‌کننده فراهم می‌کند (کرکلی و کرکلی، ۲۰۰٤). علاوه بر این، محققان دریافته‌اند که فناوری همیشه یک وعده بزرگ برای افزایش مشارکت دانش‌آموزان و سطح درک محتوای آموزشی داشته است (Di Serio et al., 2012 ؛Nincarean et al., 2013).

برای ادغام فناوری واقعیت افزوده در زمینه‌های آموزش و بررسی اثربخش بودن آن، نیاز به پژوهش‌های تجربی است. بر این اساس، برنامه‌های واقعیت افزوده باید در زمینه‌ها و سطوح مختلف تحصیلی بررسی گردد. علاوه بر این، بررسی متغیرهای مختلف و روابط بین این متغیرها که در آن فن‌آوری واقعیت افزوده در زمینه‌های مختلف آموزش ادغام شده است می‌تواند داده‌های مهمی را به محققان ارائه دهد (Arena at al., 2022).

لذا در این پژوهش هرچند بسیار محدود سعی شد کاربرد واقعیت افزوده را در تحقق اهداف نظام آموزش رسمی قبل از دانشگاه را اثبات نماید؛ بنابراین هدف پژوهش حاضر بررسی تأثیر واقعیت افزوده بر یادگیری، یادداری در درس شیمی دانش‌آموزان دختر پایه یازدهم متوسطه شهر اراک در سال تحصیلی ۱٤۰۲-۱٤۰۱ بود.

## پیشینه پژوهش

در ارتباط با فناوری واقعیت افزوده تحقیقاتی چند انجام شده است که ازجمله آن‌ها می‌توان به تحقیقات ذیل اشاره نمود:

نتایج پژوهش غریبی و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهش خود با عنوان تأثیر آموزش به روش واقعیت افزوده بر یادگیری، یادداری و بار شناختی در درس زیست‌شناسی نشان داد که یادگیری و یادداری گروه واقعیت افزوده به‌صورت معناداری بیشتر از گروهی بود که به روش سنتی آموزش دیده بودند. دیگر یافته‌ها حاکی از کاهش چشمگیر بار شناختی گروه واقعیت افزوده نسبت به گروه کنترل بود. با توجه به یافته‌ها می‌توان نتیجه گرفت که استفاده درست از واقعیت افزوده در محیط یادگیری به کاربران اجازه می‌دهد یادگیری اثربخش و فراموشی کمتری داشته باشند؛ بنابراین توصیه می‌شود از پتانسیل‌های این فناوری در آموزش دروس مختلف استفاده شود.

Lah و همکاران (2024) در پژوهشی با عنوان واقعیت افزوده موبایل در یادگیری موضوع شیمی: ارزیابی اکتشاف علم نشان دادند که واقعیت افزوده ابزار قدرتمندی است که هم در

آموزش و هم در یادگیری قابل‌استفاده است و می‌تواند دانش‌آموزان را در یادگیری برانگیزاند و با توجه به اثرات مثبت آن در ترویج یادگیری تعاملی، افزایش علاقه دانش‌آموزان به یادگیری، افزایش پیشرفت دانش‌آموزان در یادگیری و بهبود کیفیت تدریس و یادگیری پتانسیل بالایی برای بهبود یادگیری در دوره متوسطه دارد.

برخی تحقیقات نشان دادند که واقعیت افزوده برای یادگیری مؤثر پدیده‌هایی که در دنیای واقعی امکان دسترسی به آن‌ها برای دانش‌آموزان مقدور نیست مانند ماشین‌های مکانیکی، نجوم یا پیکربندی فضایی اندام‌های انسان؛ یا بدون یک دستگاه تخصصی دیده نمی‌شوند و یا موضوعات انتزاعی اشکال هندسی، ساختارهای شیمیایی، بسیار مثمر ثمر است (Chen et al., 2017؛ Maro et al., 2017).

Heinz و همکاران (2019) در پژوهشی به‌منظور آشناسازی کاربران با عملکرد سیستم‌های پیچیده صنعتی اتوماتیک از واقعیت افزوده بهره‌گیری نمودند؛ نتیجه تحقیق آن‌ها نشان داد که کاربرد واقعیت افزوده زمینه درک بهتر و تجربه‌ی بهتر سیستم‌های خودکار را به همراه دارد.

تحقیقات انجام شده در ارتباط با واقعیت افزوده ازیک‌طرف نشانگر آن است که کاربرد آن در نظام‌های آموزشی در مسیر تحقق اهداف قابل‌تأمل است و از طرف دیگر فقر مطالعاتی را در ارتباط با نتایج کاربرد این فناوری در دوره‌های آموزشی قبل از دانشگاه را به تصویر می‌کشد.

## روش

روش پژوهش حاضر از نوع نیمه آزمایشی بوده است. جامعه آماری پژوهش حاضر شامل کلیهٔ دانش‌آموزان دختر پایه یازدهم متوسطه شهر اراک در سال تحصیلی ۱۴۰۲-۱۴۰۱ بود که به تصادف دو مدرسه انتخاب شد و روش جایگزینی کلاس‌ها در گروه آزمایش و کنترل به‌صورت تصادفی بود. تعداد افراد دو کلاس ۵۹ نفر بودند که ۳۰ نفر در گروه آزمایش و ۲۹ نفر در گروه کنترل بودند. بر همین اساس، طرح پژوهش از نوع طرح پیش‌آزمون - پس‌آزمون با گروه کنترل بود. از دو آزمون جهت سنجش میزان یادگیری و یادداری آزمودنی‌ها استفاده شد. این آزمون‌ها محتوای ارائه‌شده در برنامه آموزشی را پوشش می‌داد. پس‌آزمون دوم (یادداری) شکل موازی نیز ازنظر تعداد، مفاهیم و سطوح یادگیری با سؤالات پس‌آزمون اول (یادگیری) برای به حداقل رساندن اثر تمرین و انتقال از آزمون بلافاصله (یادگیری) به آزمون تأخیری (یادداری)، موازی

بود که دو هفته بعد از آزمون یادگیری این آزمون گرفته شد. به‌منظور بررسی روایی و پایایی پس‌آزمون، پس از تهیه سؤالات پس‌آزمون، به‌منظور رفع نواقص و اشکالات احتمالی، سؤالات در اختیار دو نفر از متخصصان شیمی (دو نفر از دبیران مجرب این رشته) قرار گرفت و پس از تصحیح اشکالات موجود، سؤالات آزمون به تأیید آنان رسید؛ و برای تعیین پایایی سؤالات، از روش پایایی درونی (آلفای کرونباخ) استفاده شد و ضریب پایایی آن ۰/۷۹ به دست آمد. همچنین از نرم‌افزار Elements 4D augmented reality برای آموزش ترکیب عناصر شیمیایی استفاده گردید. به‌منظور تجزیه‌وتحلیل داده‌های پژوهش از شاخص‌های آمار توصیفی (فراوانی، میانگین، انحراف معیار) و جهت بررسی فرضیه‌ها از آزمون تحلیل کوواریانس و اندازه‌گیری مکرر استفاده شد.

## یافته‌ها

**جدول ۱.**

میانگین و انحراف استاندارد متغیرهای پژوهش

| متغیر | گروه | تعداد | میانگین | انحراف استاندارد |
|---|---|---|---|---|
| یادگیری | واقعیت افزوده | ۳۰ | ٦/۸۳ | ۲/۱۱ |
| پیش‌آزمون | سنتی | ۲۹ | ٥/۸٤ | ۱/٥۲ |
| یادگیری | واقعیت افزوده | ۳۰ | ۱۷/۹۱ | ۱/۳۷ |
| پس‌آزمون | سنتی | ۲۹ | ۱٤/۸۳ | ۲/٥۲ |
| یادداری | واقعیت افزوده | ۳۰ | ۱٥/۱۱ | ۱/۹۹ |
| | سنتی | ۲۹ | ۱۰/۹۳ | ۳/٤۸ |

داده‌های درج‌شده در جدول ۱ نشانگر آن است که بین میانگین نمرات دو گروه در متغیر یادگیری در پیش‌آزمون تفاوت معناداری وجود نداشته است و به عبارتی هر دو گروه قبل از مداخله همگن بوده‌اند. تفاوت میانگین نمرات دو گروه در متغیر یادگیری در پیش‌آزمون و پس‌آزمون نشان از مؤثر بودن مداخلات صورت گرفته است. گرچه در زمینه یادگیری هر دو روش منجر به افزایش یاد گرفته‌های دانش‌آموزان شده‌اند، اما میزان یادگیری دانش‌آموزان در دو گروه یکسان نبوده است؛ بیشترین یادگیری را بهره‌گیری از واقعیت افزوده و کمترین را تدریس

به روش سنتی ایجاد کرده است. همان‌طور که داده‌های درج‌شده در جدول نشان می‌دهد میزان یادداری فراگیران در تدریس به کمک واقعیت افزوده بیشتر از تدریس به روش سنتی بود.

پس از بررسی مفروضه‌ها با استفاده از تحلیل کوواریانس تک متغیری، معنی‌داری تفاوت نمرات متغیرهای وابسته به‌صورت مجزا بر اساس گروه‌های متغیر مستقل صورت گرفت.

**جدول ۲.**

نتایج تجزیه‌وتحلیل کوواریانس تک‌متغیره جهت مقایسه نمرات پس‌آزمون متغیرهای پژوهش

| زیرمقیاس ها | منبع تغییرات | درجه آزادی | میانگین مجذورات | F | P |
|---|---|---|---|---|---|
| یادگیری | گروه | ۱ | ۹۶/٦٤ | ۲٤/۸٦ | ۰/۰۰۱ |
| | خطا | ٥٦ | ۲۱۷/۷۱ | – | – |
| یادداری | گروه | ۱ | ۱/٤۳ | ۰/٤۳ | ۰/۰۰۱ |
| | خطا | ٥٦ | ۳/۳۱ | – | – |

نتایج جدول شماره ۲ نشان می‌دهد که بین میانگین نمرات پس‌آزمون متغیر یادگیری بعد از حذف اثر پیش‌آزمون تفاوت معنی‌داری وجود دارد (P =۰,۰۰۱ و F = ۲٤,۸٦). درنتیجه میانگین نمرات دو گروه (آموزش مبتنی بر واقعیت افزوده و روش سنتی) به‌طور معناداری در آزمون یادگیری، با هم تفاوت داشتند. همچنین بین میانگین نمرات پس‌آزمون متغیر یادداری بعد از حذف اثر پیش‌آزمون تفاوت معنی‌داری وجود دارد (P =۰/۰۰۱ و F =۰/٤۳). درنتیجه میانگین نمرات دو گروه (آموزش مبتنی بر واقعیت افزوده و روش سنتی) به‌طور معناداری در آزمون یادداری، با هم تفاوت داشتند.

**جدول ۳.**

آزمون بنفرونی برای مقایسه‌ی میانگین‌های متغیرهای وابسته در دو گروه سنتی و واقعیت افزوده

| متغیر وابسته | روش آموزش سنتی | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | تفاوت میانگین | خطای استاندارد | P | فاصله اطمینان | |
| | | | | حد پایین | حد بالا |
| **یادگیری** | ۳/۰۸ | ۰/٤٥ | ۰/۰۰۱ | ۱/۷۹ | ٤/۳۷ |
| **یادداری** | ٤/۱۷ | ۰/٦۲ | ۰/۰۰۱ | ۲/٤۹ | ٥/۸٥ |

نتایج تحلیل آزمون بنفرونی در جدول شماره ۳ نشان می‌دهد تفاوت معنی‌داری بین روش‌های واقعیت افزوده و سنتی در یادگیری و یادداری وجود داشت (P<۰/۰۵).

## بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر واقعیت افزوده بر یادگیری، یادداری دانش‌آموزان در درس شیمی پایه یازدهم متوسطه انجام شد. نتایج آزمون فرضیه‌ها نشان داد بین میزان یادگیری دانش‌آموزانی که با روش واقعیت افزوده و سنتی آموزش دیده بودند، تفاوت معناداری وجود دارد و یادگیری دانش‌آموزان گروه واقعیت افزوده بیش از یادگیری گروه سنتی بود. نتیجه به‌دست‌آمده با پژوهش‌های غریبی و همکاران (۱۳۹۹)، Wojciechowski and Cellary (2013)، Wu و همکاران (2013) هماهنگ بود که نشان می‌داد به‌کارگیری فناوری واقعیت افزوده در تدریس تأثیر مثبتی بر یادگیری فراگیران دارد. در تبیین این نتیجه می‌توان گفت که کاربرد فناوری واقعیت افزوده با ایجاد انگیزه بالای یادگیری و ایجاد اعتمادبه‌نفس بالاتر در فراگیران نسبت به روش سنتی و رشد رضایت در فراگیران (Acosta et al., 2019) و ایجاد درک مستقیم و معنادار (Papadopoulo, 2019) زمینه‌ی بهبود یادگیری را امکان‌پذیر می‌سازد.

به نظر می‌رسد از عواملی که موجب برتری روش واقعیت افزوده نسبت به روش‌های دیگر شده، داشتن مزایایی چون تحریک دانش‌آموزان برای یادگیری و بالا رفتن انگیزه دانش‌آموزان، درگیر کردن دانش‌آموزان با یادگیری موضوعاتی، که دانش‌آموزان نمی‌توانند برای اولین بار از دنیای واقعی تجربه کنند، افزایش همکاری در میان دانش‌آموزان و معلم و همچنین افزایش همکاری میان دانش‌آموزان، افزایش قدرت خلاقیت و تخیل دانش‌آموزان است. همچنین محیط‌های یادگیری واقعیت افزوده فرصتی را به دانش‌آموزان می‌دهند تا اشیاء دوبعدی را به‌صورت سه‌بعدی در محیط واقعی ببینند (Wu et al., 2013; Cheng & Tsai, 2012)، به تجزیه‌وتحلیل اشیاء از دیدگاه‌های مختلف و یادگیری از طریق تجربه بپردازند. به‌این‌ترتیب، یک یادگیری دائمی‌تر و مؤثرتر با دانش‌آموزان فعال‌تر رخ می‌دهد (Chen et al., 2013؛ Wu et al., 2013؛ Wojciechowski & Cellary, 2013). ادغام واقعیت افزوده با محیط واقعی سطح جدیدی از تجربه را برای فراگیران بخصوص در حوزه‌هایی که ممکن است محدودیت‌های برای یادگیری سوژه‌های خاص وجود داشته باشد، فراهم می‌آورد. تجربه حسی و تعامل با

محیط‌زیست در زمان واقعی می‌تواند رضایت یادگیری را فراهم کند و دانش‌آموزان را قادر سازد تا دانش خود را ساختار دهند و وظایف یادگیری را تکمیل کنند (Albrecht et al., 2013).

همچنین یافته‌های این پژوهش نشان داد که استفاده از روش واقعیت افزوده در درس شیمی بر میزان یادداری تأثیر مثبتی داشت. به این معنا که گروه آزمایش فراموشی کمتری نسبت به گروه کنترل داشتند. این یافته تحقیق با نتیجه تحقیق (Küçük et al., 2016) همخوانی دارد. آنچه در ارتباط با این نتیجه به نظر می‌رسد، این است که آموزش شیمی از طریق برنامه‌های واقعیت افزوده منجر به ارائه عینی‌تر مفاهیم و فرآیندها به یادگیرنده و افزایش توجه آن‌ها به موضوع یادگیری می‌شود (Acosta et al., 2019). لذا دانش‌آموزان بسیار راحت‌تر روابط بین پدیده‌ها را درک نموده و درنتیجه یادگیری بادوام‌تری حاصل خواهد شد و موجب تثبیت یادگیری و افزایش میزان ماندگاری مفاهیم آموخته‌شده می‌گردد. همچنین واقعیت افزوده این امکان را فراهم می آورد که یادگیرندگان به تجزیه‌وتحلیل اشیاء از دیدگاه‌های مختلف و یادگیری از طریق تجربه به پردازند. به‌این‌ترتیب، یک یادگیری دائمی‌تر و مؤثرتر با دانش‌آموزان فعال‌تر رخ می‌دهد.

درمجموع با نگاهی به نتایج پژوهش می‌توان نتیجه گرفت واقعیت افزوده مزیت قابل‌توجهی از همپوشانی یک دنیای واقعی با اطلاعات مجازی در زمان واقعی ارائه می‌دهد (Cheng & Tsai, 2013) و می‌تواند آگاهی از زمینه‌های دنیای واقعی را تقویت کرده و مفاهیم و مهارت‌های خاص کاربر را با استفاده از تجربیات خود در محیط‌های یادگیری همه‌جانبه تقویت کند (Dunleavy et al., 2009). علاوه بر این، واقعیت افزوده امکان تعامل کاربر در موقعیت‌های دنیای واقعی برای تسهیل در ایجاد بازنمودهای تجسم‌یافته از یادگیری مفاهیم و درگیر شدن در محتوای یادگیری مجازی با استفاده از امکان دست‌کاری و تعامل با محیط یادگیری انگیزه یادگیری دانش‌آموزان را ارتقا می‌بخشد و زمینه‌های یادگیری همه‌جانبه و فهم دانش را افزایش می‌دهد (Wei et al., 2015; Bujak et al., 2015). لازم به ذکر است این امر جز با تمایل و توانایی مربیان برای ادامه یادگیری و نوآوری در تولید فضای یادگیری متناسب با نیازهای نسل فعلی دانش‌آموزان، نسلی با دانش و علاقه فراوان به فناوری‌های تلفن همراه، میسر نخواهد بود.

برخی از مهم‌ترین محدودیت‌های پژوهش حاضر شامل عدم تعمیم نتایج به سایر دروس و مقاطع تحصیلی و عدم کنترل برخی متغیرهای مزاحم مثل میزان مطالعه و تلاش برای یادگیری در افراد دو گروه بود. در پایان با توجه به یافته‌های پژوهش، پیشنهادهایی مطرح می‌شود: با توجه

به پتانسیل‌های بالای فناوری‌های واقعیت افزوده با در نظر گرفتن این نکته که بسیاری از معلمان و دانش‌آموزان دسترسی به تلفن‌های هوشمند دارند، فرصت‌های یادگیری جدید را با استفاده از این فناوری‌های نوین در اختیار آنان قرار دهیم، برگزاری دوره‌های آموزشی مناسب جهت آشنا سازی معلمان جهت کاربرد این فناوری‌ها در آموزش، تهیه و تولید محتواهای آموزشی مناسب هر درس با استفاده از فناوری‌های واقعیت افزوده. همچنین با توجه به یافته‌های پژوهش پیشنهاد می‌شود که با توجه به این‌که این تحقیق در درس شیمی انجام شده است، در دروس دیگر نیز انجام گردد، امکان‌سنجی استفاده از فناوری‌های نوین واقعیت افزوده در آموزش‌وپرورش در سطح ملی صورت پذیرد و اثربخشی روش واقعیت افزوده در پژوهش‌هایی با متغیرهای دیگر مانند انگیزش تحصیلی، سرزندگی تحصیلی و ... انجام شود.

## تعارض منافع

نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافعی ندارند.

## سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از کلیه دانش‌آموزان و معلمان دلسوز که ما را در انجام این پژوهش یاری رساندند، صمیمانه سپاسگزاری می‌نمایند.

## منابع

احمدی، یاور، و خدایی، علیرضا. (۱۳۹۹). مروری بر اهمیت آزمایشگاه و آموزش شیمی مبتنی بر آزمایش. *پژوهش در آموزش شیمی*، ۲(۲)، ۵۳-۶۵.

حسین فروغی نیا، حسین، و سیدمیرزاپور، سید یوسف. (۱۳۹۳). جهانی‌شدن و چالش‌های نظام آموزش‌وپرورش در پرتو فناوری‌های نوین اطلاعاتی، *نشریه مهندسی فرهنگی*، ۸۰، ۱۳۹-۱۴۳.

غریبی، فرزانه، ناطقی، فائزه، موسوی پور، سعید، و سیفی، محمد. (۱۴۰۱). مقایسه اثربخشی آموزش مبتنی بر واقعیت افزوده، واقعیت مجازی، مولاژ و آموزش سنتی بر میزان بار شناختی دانش‌آموزان در درس زیست‌شناسی *فناوری و دانش‌پژوهی در تعلیم و تربیت*، ۲(۱)، ۴۵-۵۶. doi: 10.30473/t-edu.2022.9005

غریبی، فرزانه، ناطقی، فائزه، موسوی پور، سعید، و سیفی، محمد. (۱۳۹۹). تأثیر آموزش به روش واقعیت افزوده بر یادگیری، یادداری و بار شناختی در درس زیست‌شناسی. *توسعه‌ی آموزش جندی‌شاپور*، ۱۱(ویژه‌نامه)، ۱۶۷-۱۸۳. https://doi.org/10.22118/edc.2019.197513.1125

فرج‌اللهی، مهران، ظریف صنایعی، ناهید. (۱۳۸۸). آموزش مبتنی بر فناوری اطلاعات و ارتباطات در آموزش عالی. *دوماهنامه علمی-پژوهشی راهبردهای آموزش در علوم پزشکی*، (٤)۲، ۱۷۱-۱۶۷.

## References

Acosta, J. L. B., Navarro, S. M. B., Gesa, R. F., & Kinshuk, K. (2019). Framework for designing motivational augmented reality applications in vocational education and training. *Australasian Journal of Educational Technology*, *35*(3).

Ahmadi, Y., & Khodaei, A. (2020). An Overview of the Importance of Laboratory and Experiment-Based Chemistry Education. *Research in Chemistry Education*, *2*(2), 53-65. [In Persian]

Albrecht, U. V., Folta-Schoofs, K., Behrends, M., & Von Jan, U. (2013). Effects of mobile augmented reality learning compared to textbook learning on medical students: randomized controlled pilot study. *Journal of medical Internet research*, *15*(8), e182.

Arena, F., Collotta, M., Pau, G., & Termine, F. (2022). An overview of augmented reality. *Computers*, 11(2), 28.

Arkhypov, I. O., Krupskyi, O. P., Velykodnyi, D. O., & Filatov, S. V. (2020, November). Methodology of using mobile apps with augmented reality in students' vocational preparation process for transport industry. CEUR Workshop Proceedings.

Azuma, R. T. (1997). A Survey of Augmented Reality. *Teleoperators and Virtual Environment*, *6*(4), 355-385.

Benbelkacem, S., Zenati-Henda, N., Zerarga, F., Bellarbi, A., Belhocine, M., Malek, S., & Tadjine, M. (2011). Augmented reality platform for collaborative E-maintenance systems. *Augmented Reality-Some Emerging Application Areas, InTech*, 211-226.

Bujak, K. R., Radu, I., Catrambone, R., MacIntyre, B., Zheng, R., & Golubski, G. (2013). A psychological perspective on augmented reality in the mathematics classroom. *Computers & Education*, *68*, 536-544.

Chao, P. Y., & Chen, G. D. (2009). Augmenting paper-based learning with mobile phones. *Interacting with computers*, *21*(3), 173-185.

Chen, Y. C., Chi, H. L., Hung, W. H., & Kang, S. C. (2011). Use of tangible and augmented reality models in engineering graphics courses. *Journal of Professional Issues in Engineering Education & Practice*, *137*(4), 267-276.

Cheng, K. H., & Tsai, C. C. (2013). Affordances of augmented reality in science learning: Suggestions for future research. *Journal of science education and technology*, *22*, 449-462.

De Freitas, S., Rebolledo-Mendez, G., Liarokapis, F., Magoulas, G., & Poulovassilis, A. (2010). Learning as immersive experiences: Using the four-dimensional framework for designing and evaluating immersive learning experiences in a virtual world. *British journal of educational technology*, *41*(1), 69-85.

Di Serio, Á., Ibáñez, M. B., & Kloos, C. D. (2013). Impact of an augmented reality system on students' motivation for a visual art course. *Computers & education*, *68*, 586-596.

Dunleavy, M., Dede, C., & Mitchell, R. (2009). Affordances and limitations of immersive participatory augmented reality simulations for teaching and learning. *Journal of science Education and Technology*, *18*, 7-22.

Faraj AlIahi, M., & Zarif Sanayei, N. (2009). Education based on information and communication technology in higher education. *Journa1 of education strategies*, *4*(2), 167-171. [In Persian]

Ganguly, P. K. (2010). Teaching and learning of anatomy in the 21st century: direction and the strategies. *The Open Medical Education Journal*, *3*(1).

Gharibi, F., Nateghi, F., Moosavipour, S., & Seifi, M. (2022). Comparing the Effectiveness of Augmented Reality, Virtual Reality and Traditional Education on Students' Cognitive Load in Biology. *Technology and Scholarship in Education*, *2*(1), 45-56. doi: 10.30473/t-edu.2022.9005 [In Persian]

Gharibi, F., Nateghi, F., Moosavipour, S., & Seifi, M. (2020). The Effect of Augmented Reality Training on Learning, Retention and Cognitive Load in Biology Lessons. *Educational Development of Judishapur*, *11*(Supplement), 167-183. doi: 10.22118/edc.2019.197513.1125 [In Persian]

Heinz, M., Büttner, S. and Röcker, C. (2019). June. Exploring training modes for industrial augmented reality learning. In *Proceedings of the 12th ACM International Conference on PErvasive Technologies Related to Assistive Environments* (pp. 398-401). ACM.

Foroughinia, H., & Seyed Mirzapour, S. Y. (2014). Globalization and the challenges of the education system in the light of new information technologies. *Cultural Engineering*, *80*, 139-157. [In Persian]

Huang, K. T., Ball, C., Francis, J., Ratan, R., Boumis, J., & Fordham, J. (2019). Augmented versus virtual reality in education: An exploratory study examining science knowledge retention when using augmented reality/virtual reality mobile applications. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, *22*(2), 105-110.

Kirkley, S. E., & Kirkley, J. R. (2005). Creating next generation blended learning environments using mixed reality, video games and simulations. *TechTrends*, *49*(3), 42-53.

Kirner, T. G., Reis, F. M. V., & Kirner, C. (2012). June, Development of an interactive book with augmented reality for teaching and learning geometric shapes. In *7th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI 2012)* (Pp. 1-6). IEEE.

Küçük, S., Kapakin, S., & Göktaş, Y. (2016). Learning anatomy via mobile augmented reality: Effects on achievement and cognitive load. *Anatomical sciences education*, *9*(5), 411-421.

Lah, N. H. C., Senu, M. S. Z. M., Jumaat, N. F., Phon, D. N. E., Hashim, S., & Zulkifli, N. N. (2024). Mobile augmented reality in learning chemistry subject: an evaluation of science exploration. *Int. J. Eval. Res. Educ*, *13*(2), 1007-1020.

McCuskey, R. S., Carmichael, S. W., & Kirch, D. G. (2005). The importance of anatomy in health professions education and the shortage of qualified educators. *Academic Medicine*, *80*(4), 349-351.

McKeown, P. P., Heylings, D. J. A., Stevenson, M., McKelvey, K. J., Nixon, J. R., & R McCluskey, D. (2003). The impact of curricular change on medical students' knowledge of anatomy. *Medical Education*, *37*(11), 954-961.

Mejías Borrero, A., & Andújar Márquez, J. M. (2012). A pilot study of the effectiveness of augmented reality to enhance the use of remote labs in electrical engineering education. *Journal of science education and technology*, *21*, 540-557.

Mekni, M., & Lemieux, A. (2014). Augmented reality: Applications, challenges and future trends. *Applied computational science*, *20*, 205-214.

Moro, C., Štromberga, Z., Raikos, A. and Stirling, A. (2017). The effectiveness of virtual and augmented reality in health sciences and medical anatomy. *Anatomical sciences education*, *10*(6), 549-559.

Nincarean, D., Alia, M. B., Halim, N. D. A., & Rahman, M. H. A. (2013). Mobile augmented reality: The potential for education. *Procedia-social and behavioral sciences*, *103*, 657-664.

Santi, G. M., Ceruti, A., Liverani, A., & Osti, F. (2021). Augmented reality in industry 4.0 and future innovation programs. *Technologies*, 9(2), 33.

Van Krevelen, D., & Poelman, R. (2007). Augmented reality: Technologies, applications, and limitations. *Vrije Univ. Amsterdam, Dep. Comput. Sci*.

Wang, X., Kim, M. J., Love, P. E., & Kang, S. C. (2013). Augmented Reality in built environment: Classification and implications for future research. *Automation in construction*, *32*, 1-13.

Wei, X., Weng, D., Liu, Y., & Wang, Y. (2015). Teaching based on augmented reality for a technical creative design course. *Computers & Education*, *81*, 221-234.

Wojciechowski, R., & Cellary, W. (2013). Evaluation of learners' attitude toward learning in ARIES augmented reality environments. *Computers & education*, *68*, 570-585.

Wu, H. K., Lee, S. W. Y., Chang, H. Y., & Liang, J. C. (2013). Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. *Computers & education*, *62*, 41-49.

Yuen, S. C. Y., Yaoyuneyong, G., & Johnson, E. (2011). Augmented reality: An overview and five directions for AR in education. *Journal of Educational Technology Development and Exchange (JETDE)*, *4*(1), 11.