



A Comparative Study of Augmented Reality, Prototyping, and Conventional Teaching Methods in Enhancing Spatial Skills and Problem-solving Abilities of Architecture Students

Abbas Sedaghati^{1*}, Babak Motiei², Arash Mohammadi Fallah³

^{1,2,3}Assistant Professor, Department of Architecture, Urmia Branch, Islamic Azad University, Urmia, Iran.

ARTICLE INFO

Article Type:

Original Research

Received: 08.27.2024

Revised: 12.08.2024

Accepted: 02.09.2025

Keyword:

Architecture
Augmented Reality
problem Solving
Prototyping
Spatial Skills

*Corresponding Author:

Abbas Sedaghati

Email: a.sedaghati@iau.ir

ABSTRACT

Problem-solving skills and spatial intelligence have always been among the most critical abilities required by architects. Finding ways to enhance these skills is essential in the education of architecture students. This applied research, categorized as a quasi-experimental study with a control group, examined the effects of three teaching methods based on augmented reality, experimental prototyping, and conventional methods, comparing their impact on students' spatial, problem-solving, and cognitive skills. In this study, the intervention group consisted of students from the Technical Design course at Urmia University of Islamic Azad. Using a convenience sampling method, 51 students who had enrolled in the building technical design course were selected as the sample size. Data were collected using a questionnaire, and after assessing reliability and validity, the data were analyzed using multivariate analysis of variance and post hoc Scheffe tests. The findings indicate that in the spatial intelligence component, there was no significant difference in mental rotation between students trained with augmented reality and those trained with prototyping; however, there was a significant difference between both groups and the conventional method. The use of augmented reality was more effective than the other two methods in enhancing visual imagery. There was no significant difference in perceptual ability among the three groups. In the problem-solving foundation, students who used the experimental prototyping method, like those who used augmented reality, demonstrated higher abilities compared to the conventional method. This was also observed in cognitive load. This study showed that the use of virtual augmented reality increased the spatial intelligence and problem-solving abilities of architecture students while reducing cognitive load. However, there is still no significant difference compared to the use of prototyping. However, the risk of over-reliance on technology can lead to a lack of practical experience and the development of practical skills. It is essential for educators to balance the use of digital tools as auxiliary tools and ensuring that students acquire fundamental design skills through conventional methods.



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Problem-solving has always been a critical skill for architects, and the process has been widely discussed in numerous studies. The impact of prototyping has been the subject of some research. In most of these studies, where prototyping is discussed in the design process, one issue to consider is the effect of fixation. Design fixation is defined as a designer's inability to move away from an idea to solve a problem in a new way. When cognitive load decreases, the effect of fixation in design also decreases. At the same time, this reduction in cognitive load allows the designer to avoid fixation. Some studies have shown that prototyping increases fixation. Designers may focus on one design during the time spent building a physical model, considered a low-cost prototype. Therefore, it is necessary to explore the possibility of using alternative prototyping techniques. Kim and Maher suggest that digital prototyping using tangible user interfaces provides opportunities for greater inference of visual-spatial features, which frees designers from the effects of fixation. However, others argue that the widespread use of technology in education can lead to a decrease in hand use, engagement with digital tools, and reduced learning, which can potentially hinder students' critical thinking and problem-solving skills. Critics argue that in architectural education, these technologies are an unrealistic substitute for hands-on learning experiences and separate students from understanding the subtle nuances of design and construction. In this study, we aim to assess the impact of using three methods traditional, prototyping, and virtual AR on the spatial skills and problem-solving abilities of architecture students as one of the key components of architectural education.

Methodology

This applied research, categorized as a quasi-experimental study with a control group, was conducted with a sample of 51 architecture students at Urmia Azad University. The participants were randomly assigned to three groups: an AR group, a prototyping group, and a traditional drawing group. The control group (traditional drawing) continued with their regular curriculum, while the experimental groups (AR and prototyping) followed their respective 12-session programs. At the end of the instruction, a post-test was administered to compare changes in problem-solving skills, spatial abilities, and cognitive load among the groups. The questionnaire's reliability was established using Cronbach's alpha, which yielded a coefficient of 0.79. Content validity was assessed using the (CVR) and (CVI). Cronbach's alpha for the problem-solving skill assessment was 0.84. Cronbach's alpha for cognitive load questionnaire was 0.81 and 0.78, respectively.

Results and discussion

After verifying the assumptions for inferential analysis (MANOVA) was employed. The mean score of the first experimental group was 17.50 with a standard deviation of 1.63, and for the second experimental group, it was 17.50 with a standard deviation of 1.66. The mean and standard deviation of the control group were 17.50 and 1.61, respectively. According to Table 1, significant differences between groups were found for all components ($p < .0001$).

Table 1. Results of (MANOVA) among groups.

Variable	Sum of squares	Degrees of freedom	Mean of squares	F	Significance level
Mental rotation	2684.180	3	894.727	5.966	0.00001
mental perception	3924.640	3	1308.213	9.462	0.00001
Mental imagery	3446.720	3	1148.907	7.473	0.00001
problem-solving	334.276	3	111.425	15.984	0.00001

Since the groups did not have the same number, Scheffe post hoc tests was used to check the differences and pairwise comparisons.

Table 2. Results of *Scheffe post-hoc* tests for spatial intelligence among groups.

Variable	Group	comparison group	mean difference	Significance level
Mental rotation	A	B	4.678	P-0.224
		C	11.864	P<0.0001
	B	A	-4.678	P-0.224
		C	7.840	P<0.0001
	C	A	-11.864	P<0.0001
		B	-7.840	P<0.0001
mental perception	A	B	-6.743	P-0.137
		C	5.275	P-0.215
	B	A	6.743	P-0.137
		C	6.143	P-0.189
	C	A	-5.275	P-0.215
		B	-6.143	P-0.189
Mental imagery	A	B	8.335	P<0.0001
		C	12.148	P<0.0001
	B	A	-8.335	P<0.0001
		C	7.464	P<0.0001
	C	A	-12.148	P<0.0001
		B	-7.464	P<0.0001

The results in Table 2 reveal significant differences in spatial intelligence abilities among students trained using AR, those trained using prototyping, and those who engaged in traditional design methods.

Table3. Results of post-hoc tests for problem-solving variable among groups

Group	comparison group	mean difference	Significance level
A	B	2.387	P-0.211
	C	6.459	P<0.0001
B	A	-2.387	P-0.211
	C	6.822	P<0.0001
C	A	-6.459	P<0.0001
	B	-6.822	P<0.0001

Table 3 indicates no significant difference in problem-solving abilities between students in Group A and Group B ($p=.211$). However, students in Group A exhibited significantly higher problem-solving abilities compared to those in Group C, with a mean difference of

6.459. Similarly, students in Group B outperformed those in Group C, with a mean difference of 6.822.

Table 4. Results of post-hoc tests for cognitive load among groups.

Group	comparison group	mean difference	Significance level
A	B	-2.167	P=0.288
	C	5.268	P<0.0001
B	A	2.167	P=0.288
	C	5.642	P<0.0001
C	A	-5.268	P<0.0001
	B	-5.642	P<0.0001

Table 4 indicates no significant difference in cognitive load between students in Group A and Group B ($p=0.288$). However, both Group A and Group B experienced a significantly reduced cognitive load compared to Group C, with mean differences of 5.268 and 6.642, respectively.

Conclusion

The AR and prototyping groups demonstrated a significantly higher overall problem-solving score compared to the traditional group. However, no significant difference was found between the first two groups. This suggests that both methods operate in a similar way, allows students to interact with and manipulate the environment, leading to a deeper understanding. Additionally, the ability to visualize designs, either as physical models or on a screen, and receive immediate feedback helps students identify errors and shortcomings more quickly, thus accelerating the problem-solving process. The study also examined differences in the components of spatial intelligence among students. Results showed significant differences in the mental imagery subcomponent, with the first group scoring higher than the other two, and the second group scoring higher than the third. In the mental rotation subcomponent, the first and second groups were similar, although a slight advantage was observed in students who used the prototyping method, possibly due to building physical models and being fully engaged with the project. Both groups differed significantly from students who used hand drawings. However, there was no significant difference between the three groups in the mental perception dimension.

The development of spatial intelligence and problem-solving skills is closely linked to cognitive load in the learning process. The creation of engaging AR models and environments captures students' attention, reducing the extra mental effort associated with distractions and leading to higher concentration. This study shows that the use of AR increases the spatial intelligence and problem-solving abilities of architecture students while reducing cognitive load. However, there is still not a significant difference compared to using physical prototypes. Overreliance on these technologies for architecture education is not without its challenges. There is a risk of excessive dependence on technology, leading to a lack of practical experience and the development of practical skills. It is essential for educators to strike a balance between using digital tools as aids and ensuring that students acquire fundamental design skills through traditional methods.



بررسی تطبیقی روش‌های آموزش مبتنی بر واقعیت‌افزوده مجازی، پروتوتایپ و متداول در ارتقای مهارت‌های فضایی و حل مسئله دانشجویان معماری

عباس صدقاتی^{۱*}، بابک مطیعی^۲، آرش محمدی فلاح^۳

۱، ۲ و ۳- استادیار، گروه معماری، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

مهارت حل مسئله و هوش فضایی همواره یکی از کلیدی‌ترین توانایی‌های موردنیاز معماران، بوده است. یافتن راه‌های ارتقای این مهارت‌ها از ضروریات آموزش دانشجویان معماری است. این پژوهش کاربردی که در زمره تحقیقات شبه‌آزمایشی با گروه‌گواه محسوب می‌شود؛ به بررسی سه روش آموزش مبتنی بر واقعیت‌افزوده، پروتوتایپ تجربی و شیوه متداول و مقایسه تأثیرات آن‌ها بر مهارت‌های فضایی و حل مسئله و بارشناختی دانشجویان می‌پردازد. در این تحقیق، گروه مداخله دانشجویان درس طراحی فنی دانشگاه آزاد ارومیه بودند. با استفاده از روش نمونه‌گیری در دسترس ۵۱ نفر از دانشجویان که درس طراحی فنی را اخذ کرده بودند، به‌عنوان حجم نمونه انتخاب شدند. ابزار گردآوری داده‌ها پرسش‌نامه است که پس از بررسی پایایی و روایی، با آزمون تحلیل واریانس چندمتغیری و تعقیبی شفه گروه‌ها تحلیل شد. براساس یافته‌ها می‌توان گفت در مؤلفه هوش فضایی؛ در چرخش ذهنی تفاوتی میان دانشجویان آموزش‌دیده با روش واقعیت‌افزوده با روش پروتوتایپ وجود ندارد اما میان هر دو گروه با شیوه متداول، تفاوت قابل ملاحظه‌ای دیده می‌شود. استفاده از واقعیت‌افزوده در ارتقای تصویرسازی ذهنی مؤثرتر از دو روش دیگر بوده است. در ادراک ذهنی، تفاوت معناداری میان سه گروه مشاهده نگردید. در بنیان حل مسئله، دانشجویانی که از روش پروتوتایپ تجربی استفاده کرده‌اند، همانند دانشجویان استفاده‌کننده از واقعیت‌افزوده نسبت به روش متداول از توانایی بالاتری برخوردار شده‌اند که این مورد در بارشناختی نیز عیناً مشاهده می‌شود. این مطالعه نشان داد که استفاده از واقعیت‌افزوده مجازی، هوش فضایی و توانایی حل مسائل دانشجویان معماری را افزایش می‌دهد، درحالی‌که بار شناختی را کاهش می‌دهد اما همچنان تفاوت زیادی با استفاده از پروتوتایپ ندارد لیکن خطر اتکالی بیش از حد به فناوری منجر به فقدان تجربه عملی و توسعه مهارت‌های عملی می‌شود. برای مربیان ضروری است که بین استفاده از ابزارهای دیجیتال به‌عنوان ابزار کمکی و اطمینان از این‌که دانشجویان مهارت‌های اساسی طراحی را از طریق روش‌های متداول پیش می‌برند، تعادل ایجاد کنند.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۶/۰۶

بازنگری مقاله: ۱۴۰۳/۰۹/۱۸

پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۱۱/۲۱

کلید واژگان:

پروتوتایپ
حل مسئله
مهارت‌های فضایی
واقعیت‌افزوده
معماری

*نویسنده مسئول: عباس صدقاتی

پست الکترونیکی:

a.sedaghati@iau.ir



مقدمه

مهارت حل مسئله یکی از کلیدی‌ترین توانایی‌های موردنیاز معماران است که همواره مورد توجه پژوهشگران و اندیشمندان این حوزه واقع شده و به‌طور گسترده در مطالعات مختلف بررسی شده است. فرایند حل مسئله طراحی از طریق روش‌هایی مانند بینش حل مسئله [۱]، حل مسئله آزمون و خطا [۲] و سایر روش‌ها مورد بحث بوده است. پروتوتایپ (به‌عنوان یکی از روش‌های آزمون و خطا در حل مسائل طراحی)، موضوع مطالعه برخی پژوهش‌ها بوده است [۳؛ ۴]. مرور تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که دانشجویان به ساخت پروتوتایپ نسبت به سایر روش‌های طراحی ارجحیت می‌دهند زیرا این روش به آن‌ها کمک می‌کند فرایند طراحی را بهتر بیاموزند [۵]. با این حال، یکی از مشکلات استفاده از پروتوتایپ در فرایند طراحی، اثر تثبیت آن است [۲؛ ۴]. روان‌شناسان گشتالت تثبیت را به‌عنوان پدیده‌ای که منجر به بلوک‌های ذهنی می‌شود، مطالعه کرده‌اند [۶]. این بلوک‌های ذهنی موانعی هستند که مانع از تولید اطلاعات دلخواه طراح می‌شوند [۷]. تثبیت طراحی به ناتوانی طراح در فاصله گرفتن از یک ایده و یافتن راه‌حل‌های جدید و صرفاً تمرکز بر چند راه‌حل اشاره دارد [۸؛ ۹]. این فرایند می‌تواند مانعی در خلاقیت طراح و حل مسئله طراحی خلاقانه عمل کند [۲؛ ۱۰؛ ۱۱].

یومانز^۱ (۲۰۱۱) بیان می‌کند که کاهش بار شناختی می‌تواند اثر تثبیت را کاهش دهد و به طراحان اجازه دهد تا طراحی را آزادانه‌تر دستکاری کنند [۲]. این اقدام علمی باعث کاهش بار شناختی و جلوگیری از تثبیت می‌شود [۶]. با این حال، برخی مطالعات نشان داده‌اند که پروتوتایپ می‌تواند تثبیت را افزایش دهد زیرا طراحان ممکن است زمان زیادی را صرف ساختن نمونه فیزیکی کنند و به یک طرح خاص متمرکز شوند [۱۲]. از این رو، بررسی استفاده از تکنیک‌های نمونه‌سازی جایگزین ضروری به‌نظر می‌رسد. کیم و ماهر^۲ (۲۰۰۸) پیشنهاد می‌کنند که نمونه‌سازی دیجیتال با استفاده از رابط‌های کاربر ملموس فرصت‌های بیشتری را برای طراحان فراهم می‌کند تا از تثبیت رها شوند و ویژگی‌های بصری-فضایی را بهتر استنتاج کنند [۱۳]. این رابط‌ها مانند واقعیت افزوده می‌توانند فرصت‌های بیشتری برای حل مسئله از طریق آزمایش و خطا با استفاده از اقدامات عملی فراهم کنند [۱۴]. همچنین، این روش‌ها بار شناختی را کاهش می‌دهند و تلاش ذهنی طراح را حفظ می‌کنند. استفاده از رابط‌های واقعیت افزوده در فرایند طراحی می‌تواند بار شناختی را کاهش دهد، تثبیت را کاهش دهد و تأثیر مثبتی بر روند خلاقیت داشته باشد. این ابزارها می‌توانند با شبیه‌سازی محیط‌های مجازی سه‌بعدی به دانشجویان کمک کنند تا ایده‌های طراحی خود را کاوش و آزمایش کنند، مفاهیم فضایی را درک کنند و با چالش‌های طراحی واقعی روبرو شوند [۱۵-۱۸]. با این حال، برخی معتقدند که استفاده گسترده از فناوری در آموزش می‌تواند منجر به کاهش یادگیری عملی و تفکر انتقادی شود. ممکن است دانشجویان به‌جای بررسی عمیق‌تر مفاهیم پیچیده، به ابزارهای دیجیتال برای ارائه پاسخ‌های سریع تکیه کنند. این موضوع می‌تواند به‌طور بالقوه بر تفکر انتقادی و مهارت‌های حل مسئله تأثیر منفی بگذارد و آن‌ها را از درک ظرفیت‌های طراحی و ساخت جدا کند [۱۹-۲۴]. به‌علاوه، نظرسنجی‌های مؤسسه معماران آمریکا و بریتانیا نشان می‌دهد که ۷۲ و ۶۵ درصد از معماران به‌ترتیب از هیچ نوع واقعیت مجازی، افزوده یا ترکیبی استفاده نمی‌کنند [۱۶]. نظام آموزشی یکی از مهم‌ترین ارکان جامعه است که باید متناسب با تحولات عصر پیچیده به اصلاحات اساسی در ساختار و محتوا بپردازد [۲۵]. معماران تحت تأثیر تجارب آکادمیک خود قرار دارند و این تأثیر می‌تواند بر زندگی حرفه‌ای آن‌ها اثرگذار باشد [۲۶]. یافتن شیوه‌های آموزشی مؤثر برای آماده‌سازی معماران برای ورود به عرصه حرفه‌ای، مهم‌ترین مقیاس در موفقیت سیستم آموزشی به‌شمار می‌رود [۲۷]. بنابراین، ضرورت کیفیت‌بخشی به آموزش معماری و استفاده از فناوری‌های نوین به‌عنوان روشی برای رفع شکاف میان آموزش و واقعیت حرفه‌ای، بیش از پیش اهمیت می‌یابد [۲۸]. بر این اساس، احساس نیاز به تحقیقات بیشتری

¹ Youmans

² Kim & Maher

برای تأیید این که روش‌های آموزشی جدیدی که با پشتیبانی از واقعیت مجازی ارائه می‌شوند، می‌توانند به بهبود آموزش کمک کنند، وجود دارد. در حالی که واقعیت‌افزوده ادامه می‌یابد و دسترسی به آن آسان‌تر می‌شود، درک کاربرد و محدودیت‌های آن برای مربیان، سیاست‌گذاران و فناوران به‌منظور ایجاد محیط‌های یادگیری جذاب و مؤثر، حیاتی است. در این راستا پژوهش حاضر بر آن است تا تأثیر بهره‌گیری از سه روش متداول، پروتوتایپ و فناوری واقعیت‌افزوده را در یکی از کلیدی‌ترین مؤلفه‌های آموزش؛ یعنی مهارت‌های فضایی و توانایی حل مسئله بررسی کند و به پرسش‌های زیر پاسخ دهد:

- ۱- کدام یک از سه روش فناوری واقعیت‌افزوده، پروتوتایپ و روش معمول در ارتقای مهارت‌های فضایی و توانایی حل مسئله دانشجویان معماری در درس طراحی فنی مؤثرتر است؟
 - ۲- کدام شیوه بارشناختی دانشجویان را در فرایند طراحی کاهش می‌دهد؟
- بدین منظور، در مطالعه حاضر، پس از مرور پیشینه به تعریف مفاهیم کلیدی و پایه موردنیاز پرداخته می‌شود و سپس ارائه داده‌ها و تحلیل آن صورت می‌گیرد.

پیشینه تحقیق

تحقیقات متعددی در خصوص ابعاد مختلف مهارت حل مسئله، پروتوتایپ و فناوری واقعیت‌افزوده از جمله ماهیت، فرایند، مؤلفه‌ها و راهبردهای ارتقای آن انجام شده است که در جدول ۱ ارائه گردیده است.

جدول ۱. مرور پیشینه تحقیق.

منبع	یافته‌های کلیدی	روش تحقیق	موضوع	سال تحقیق	محقق	ردیف
[۲۹]	تفکر انتقادی و مهارت‌های حل مسئله، مهارت‌های کار تیمی به ترتیب ۴۰/۳ درصد و ۳/۵ درصد از واریانس کیفیت تدریس را پیش‌بینی می‌کنند.	کمی	مهارت‌های حل مسئله	۲۰۱۵	نگانگ ^۱ و همکاران	۱
[۳۰]	ارتباط مثبت توانایی فرانشا ساختی طراحی با تخصص طراحی و ارتباط مثبت ایده خلاقانه طراحی با توانایی طراحی نشان داده شده است.	کمی	مهارت‌های حل مسئله	۲۰۲۰	کاساکین و لوی ^۲	۲
[۳۱]	ارائه یک مدل جدید برای مدل‌سازی فرایند حل مسئله در معماری با استفاده از هوش مصنوعی.	کیفی	مهارت‌های حل مسئله	۲۰۲۲	چن و همکاران	۳
[۳۱]	دانش و تسلط بر اصول طراحی، مصالح، فناوری‌های ساخت و ساز و نرم‌افزارهای تخصصی، از جمله مهارت‌های فنی ضروری برای معماران در فرایند حل مسئله محسوب می‌شوند.	کمی	مهارت‌های حل مسئله	۲۰۲۲	یو ^۳ و همکاران	۴
[۳۲]	بررسی زمان، تعداد و مراحل طراحی با استفاده از نمونه‌های اولیه.	تجربی	پروتوتایپ	۲۰۰۵	یانگ ^۴	۵
[۳۳]	بررسی استفاده از نمونه‌های اولیه بین طراحان تازه کار و حرفه‌ای و ارزیابی روش‌های ساختاریافته و ابزارهای نمونه‌سازی.	مرور ادبیات	پروتوتایپ	۲۰۱۸	لاف ^۵ و همکاران	۶

¹ Ngang

² Casakin & Levy

³ Xu

⁴ Yang

⁵ Lauff

ردیف	محقق	سال تحقیق	موضوع	روش تحقیق	یافته‌های کلیدی	منبع
۷	راموس و والاس ^۱	۲۰۱۹	پروتوتایپ	کمی	ارزیابی روش‌های ساختاریافته و ابزارهای نمونه‌سازی.	[۳۴]
۸	تقی‌زاده و محمودی	۲۰۰۹	فناوری اطلاعات	بررسی نظری	تأکید بر اهمیت فناوری اطلاعات در آموزش معماری	[۳۵]
۹	عمر ^۲ و همکاران	۲۰۱۶	شبیه‌سازی	تجربی	شبیه‌سازی در پروژه‌های طراحی دانشجویان دانشگاه عرب بیروت باعث کاهش خلاقیت مفهومی در آموزش طراحی معماری شد.	[۲۲]
۱۰	عبدالله ^۳	۲۰۱۷	واقعیت افزوده	پیمایشی	استفاده از واقعیت افزوده در آموزش جزئیات سازه‌های فولادی تجربه یادگیری دانشجویان را بهبود بخشید. ۸۷ درصد از دانشجویان تجربه یادگیری با AR را مثبت ارزیابی کردند و ۷۹ درصد از آن‌ها از این روش راضی بودند.	[۳۶]
۱۱	مشعشعی و همکاران	۱۳۹۸	واقعیت‌افزوده	تجربی	بهبود عملکرد تحصیلی دانش‌آموزان با روش واقعیت‌افزوده نسبت به روش سنتی.	[۳۷]
۱۲	مهری‌ارانی و همکاران	۱۳۹۸	واقعیت‌افزوده و شبیه‌سازی	تجربی	واقعیت‌افزوده و شبیه‌سازی باعث افزایش به‌زیستی ذهنی و یادگیری مادام‌العمر در دانش‌آموزان می‌گردد.	[۳۸]
۱۳	آنافی ^۴ و همکاران	۲۰۱۸	واقعیت‌افزوده	تحلیل متون	در پژوهش ۳۰ مقاله حوزه واقعیت‌افزوده، مهم‌ترین نقش آن را افزایش توانایی تفکر، درک و انگیزه بیان کرده‌اند.	[۳۹]
۱۴	حصاری و چگنی	۱۴۰۱	آموزش مجازی	تجربی	تأثیر بیشتر آموزش مجازی در دروس نظری نسبت به عملی	[۴۰]
۱۵	پاگیانی ^۵ و همکاران	۲۰۲۱	فناوری در معماری	کیفی	با وجود گسترش استفاده از فناوری‌های جدید، فقدان پلتفرم‌های آسان برای استفاده استادان و دانشجویان مانع از پذیرش گسترده آن‌ها در آموزش معماری است	[۴۱]
۱۶	آنیندیتا ^۶	۲۰۲۲	فناوری در معماری	تجربی	مشکلات پیچیده فناوری‌های نوین ممکن است منجر به خطاهای بالقوه در فرایندهای طراحی شود.	[۲۰]
۱۷	ال برهومی ^۷	۲۰۲۲	واقعیت‌افزوده و مجازی	کمی	استفاده از خطای میانگین مربعات برای افزایش دقت فناوری‌های واقعیت‌افزوده و مجازی.	[۴۲]
۱۸	اوزنن ^۸	۲۰۲۲	واقعیت‌افزوده	کمی	استفاده از واقعیت‌افزوده در آموزش طراحی فنی می‌تواند به بهبود مشارکت دانشجویان، نتایج یادگیری و رضایت کلی آن‌ها کمک کند.	[۴۳]
۱۹	ال‌انسی و همکاران ^۹	۲۰۲۳	واقعیت‌افزوده	تحلیل متون	تحلیل ۱۵۳۶ مقاله نشان داد که علی‌رغم رشد تصاعدی پذیرش واقعیت‌افزوده و واقعیت‌مجازی در آموزش، هنوز شکاف زیادی بین انتقال این فناوری‌ها با آموزش وجود دارد.	[۴۴]

¹ Ramos & Wallace

² Omar

³ Abdulllah

⁴ Annafi

⁵ Puggioni

⁶ Anindita

⁷ El Barhoumi

⁸ Ozenen

⁹ Al-Ansi

ردیف	محقق	سال تحقیق	موضوع	روش تحقیق	یافته‌های کلیدی	منبع
۲۰	کی ^۱	۲۰۲۴	فناوری در معماری	تجربی	استفاده مکرر از ابزارهای فناوری می‌تواند به بهبود مدیریت زمان، کاهش استرس و ارتقای خلاقیت در مراحل اولیه طراحی کمک کند.	[۱۸]
۲۱	درویش ^۲ و همکاران	۲۰۲۳	فناوری در معماری	تجربی	استفاده از فناوری در طراحی معماری توانایی درک مفاهیم فضا را به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای در دانشجویان ارتقا داد.	[۴۵]
۲۲	من ^۳ و همکاران	۲۰۲۴	واقعیت مجازی	تجربی	استفاده از واقعیت مجازی به‌طور معنی‌داری مؤثرتر از روش‌های سنتی در افزایش رفتارها، مهارت‌ها و تجربه است.	[۴۶]
۲۳	کنراد ^۴ و همکاران	۲۰۲۴	واقعیت افزوده و مجازی	مرور نظام‌مند	مرور ۳۰ مقاله نشان داد این فناوری برای محیط‌های یادگیری که تعامل فعال یادگیرنده و کاربرد عملی را در اولویت قرار می‌دهند، مناسب است.	[۲۱]
۲۴	پیاناه ^۵	۲۰۲۴	واقعیت افزوده و مجازی	پردازش تصویر	استفاده از شبکه‌های عصبی پیچشی برای هم‌پوشانی خودکار مدل‌های سه‌بعدی به منظور کاهش خطاها و افزایش دقت در فناوری.	[۴۷]
۲۵	طاهرسایح ^۶ و همکاران	۲۰۲۴	واقعیت مجازی	مرور نظام‌مند	بررسی ۱۹ مقاله نشان داد که دستگاه‌های تصویربرداری مغزی با استفاده از الکتروانسفالوگرافی، فرصت‌های جدیدی برای طراحی معماری انسان‌محور به‌ویژه در ترکیب با واقعیت مجازی فراهم می‌کنند.	[۴۸]
۲۶	کاردلیچیو ^۷ و همکاران	۲۰۲۴	واقعیت مجازی	کیفی	اثر بخشی در تعمیق درک کیفیت‌های ناملموس میراث معماری و ارائه بینش‌های جدید در مورد فرایندهای ساخت‌وساز تاریخی ساختمان از طریق واقعیت مجازی نشان داده شده است.	[۴۹]
۲۷	چنگ ^۸	۲۰۲۴	واقعیت افزوده	پیمایشی	استفاده از کتاب‌های واقعیت افزوده به دانشجویان کمک می‌کند که به‌طور فعال در فرایند یادگیری مشارکت کنند و به کوشش و حفظ میراث فرهنگی تشویق شوند.	[۵۰]
۲۸	نینگ و همکاران	۲۰۲۴	شبیه‌سازی	تجربی	استفاده از شبیه‌سازی باعث ارتقای درک صحیح دانشجویان از مقیاس و اندازه فضای واقعی می‌شود	[۲۹]

مرور پیشینه نشان می‌دهد درخصوص برتری به‌کارگیری واقعیت افزوده نسبت به سایر روش‌ها تردید وجود دارد. در این تحقیق در نظر داریم کارایی آن را نسبت به شیوه پروتوتایپ و ترسیمات، بررسی و تأثیرات آن‌ها را بر مهارت حل مسئله و توانایی‌های فضایی ایشان بسنجیم.

¹ Kee

² Darwish

³ Man

⁴ Conrad

⁵ Piana

⁶ Taherysayah

⁷ Cardellicchio

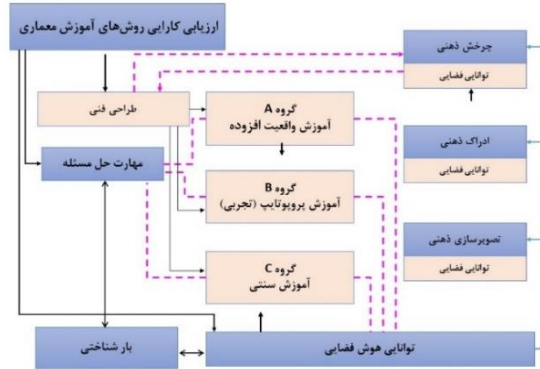
⁸ Cheng

روش تحقیق

بهترین روش برای بررسی اثربخشی یک اقدام در فرایند انجام تحقیق تجربی، استفاده از روش گروه کنترل و گروه آزمون است. در این تحقیق، گروه مداخله دانشجویان درس طراحی فنی دانشگاه آزاد ارومیه هستند. با استفاده از روش نمونه‌گیری در دسترس ۵۱ نفر از دانشجویان که درس طراحی فنی را اخذ کرده بودند، به‌عنوان حجم نمونه انتخاب شدند. کوهن، مانیون و موربسون معتقدند که در طرح‌های تجربی، حجم نمونه برای هر زیرگروه، حداقل ۱۵ نفر کفایت می‌کند. پیش از شروع فعالیت، کلیه دانشجویان در سه جلسه درباره مقدمات درس و پیش‌زمینه‌های طراحی فنی شرکت کردند و تمرین یک‌روزه‌ای برگزار و دانشجویان در سه گروه: گروه اول (A) با استفاده از فناوری واقعیت‌افزوده، گروه دوم (B) با به‌کارگیری پروتوتایپ و گروه سوم (C) با شیوه متداول (ترسیمات کاغذی) به‌گونه‌ای انتخاب شدند که معدل نمرات گروه‌ها، از این تمرین تقریباً یکسان باشند. در ارزیابی تمرین از نظرات تعدادی از استادان بهره گرفته شد. پس از آن سه گروه، پرسش‌نامه پیش‌آزمون را تکمیل کردند. سپس توضیح برنامه ترم انجام گرفت و از دانشجویان خواسته شد یک ایستگاه اتوبوس با مشخصات فنی کامل طراحی کنند. برنامه گروه کنترل (گروه سوم) به‌روال عادی یعنی طراحی و ترسیم به صورت دستی یا با استفاده از نرم‌افزار اتوکد و برنامه گروه آزمایش اول با استفاده از فناوری واقعیت‌افزوده و گروه آزمایش دوم با استفاده از پروتوتایپ، به مدت ۱۲ جلسه ادامه یافت. با اتمام تدریس برای بررسی تغییرات در دانشجویان مجدداً ابزار پرسش‌نامه مورد استفاده قرار گرفت تا تغییرات در میل به حل مسئله و توانایی فضایی، اختلالات بارشناختی بین گروه‌ها مقایسه گردد.

ابزاری که در این تحقیق برای سنجش توانایی فضایی دانش‌آموزان مورد استفاده قرار گرفته است آزمون محقق‌ساخته بر پایه شکل اصلاح‌شده آزمون مینه‌سوتا بود که پایایی آن از طریق ضریب آلفای کرونباخ ۰/۷۹ به‌دست آمد. برای خرده‌عامل‌های آن، چرخش ذهنی ۰/۷۲۵، ادراک ذهنی ۰/۸۰۹، دیدارسازی فضایی ۰/۷۴۷ تأیید شد.^۱ هم‌چنین آلفای کرونباخ برای ارزیابی مهارت حل مسئله ۰/۸۴ به‌دست آمد. پرسش‌نامه بارشناختی دارای هشت پرسش است، پنج پرسش از آن بار شناختی ذهنی و سه پرسش دیگر بار تلاش ذهنی دانشجویان را در طول فرایند یادگیری ارزیابی می‌کند. مقادیر آلفای کرونباخ برای دو بعد به‌ترتیب ۰/۸۱ و ۰/۷۸ به‌دست آمد. روایی محتوایی پرسش‌نامه‌ها از فرمول پیش‌گفته محاسبه و تأیید گردید.

^۱ برای بررسی روایی محتوایی پرسشنامه، از دو ضریب نسبت روایی محتوا CVR، به‌منظور اطمینان از انتخاب موارد ضروری و سپس شاخص روایی محتوا CVI از جهت اطمینان طراحی موارد به بهترین‌نحو برای اندازه‌گیری محتوا، استفاده شد. برای تعیین شاخص‌های فوق از ده متخصص و صاحب‌نظر نظرسنجی شد، شاخص روایی محتوا برای هر گویه طبق فرمول زیر محاسبه گردید: (تعداد کل متخصصان/۲) / ((تعداد کل متخصصان/۲) - تعداد متخصصانی که گزینه ضروری است را انتخاب کردند) CVR = . طبق جدول Lawshe حداقل مقدار قابل‌قبول CVR با تعداد ارزیاب ۱۰ نفر، ۰/۶۲ در نظر گرفته شد. به‌طور میانگین مقدار CVR پرسش‌نامه، ۰/۸۵ محاسبه شد. در بررسی CVI، پذیرش موارد بر اساس نمره *K، بالاتر از ۰/۷۴ بود، نمره *K از طریق فرمول زیر محاسبه گردید: $K^* = (I - CVI - Pc) / (1 - Pc)$ مقدار CVI-I از طریق فرمول تعداد (کل متخصصان/تعداد متخصصانی که گزینه ۳ و ۴ را انتخاب کردند) I-CIV = و مقدار Pc از طریق فرمول $Pc = (N! / (A!(N-A)!)) * 0.5N$ که N معرف تعداد کل متخصصان و A معرف تعداد متخصصانی که گزینه ۳ و ۴ را انتخاب کردند، محاسبه شد. به دلیل این‌که همه گویه‌ها مقدار *K بالای ۰/۹۴ را کسب کردند، به این ترتیب روایی محتوایی پرسش‌نامه تأیید شد.



شکل ۱. چارچوب تحقیق.

پروتوتایپ (نمونه‌های اولیه فیزیکی) در معماری

براساس فرهنگ لغت آکسفورد، نمونه اولیه به‌عنوان «نسخه‌ای اولیه از یک دستگاه یا وسیله نقلیه است که سایر انواع آن از آن نشأت گرفته‌اند» تعریف شده است. در طراحی مهندسی، نمونه اولیه را می‌توان تقریبی از محصول در یک یا چند بُعد مهم تعریف کرد [۵۱]. یا به‌عنوان یک مصنوع که ویژگی‌ها (یا ویژگی‌های متعددی) از یک محصول، خدمت، یا سیستم را نمایان می‌کند [۵۲]. برخی دیگر بر این باورند که هر نوع نمایش طراحی که جنبه‌های عملکردی و ظاهر محصول نهایی را دربر گیرد، می‌تواند نمونه اولیه محسوب شود. تفاوت کلیدی بین نمونه اولیه و مفهوم طراحی در این است که نمونه اولیه قابلیت آزمایش دارد [۵۳]. تحقیقات مرتبط نیز نمونه‌های اولیه را با توجه به نقش‌هایشان تعریف می‌کنند، از جمله به‌عنوان بازنمایی اطلاعات یا تجسم فیزیکی یا دیجیتالی عناصر مهم طراحی [۵۴].

نمونه‌سازی یکی از روش‌های کاهش خطاهای طراحی و حذف عوامل شکست در مرحله طراحی اولیه است. فرایندی که شامل آزمایش، اصلاح و تکمیل طرح‌ها از طریق نمونه‌های اولیه می‌شود به پروتوتایپ معروف است [۵۱]. نمونه‌سازی به‌عنوان بخشی جدایی‌ناپذیر از فرایند توسعه محصول، چه در محیط‌های حرفه‌ای و چه در محیط‌های آکادمیک، نقش مهمی دارد. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است [۵۵]، نمونه‌های اولیه را می‌توان براساس چهار ویژگی اصلی طبقه‌بندی کرد: اندازه، نوع (راه‌حل جدید یا نسخه اصلاح‌شده)، مواد و روش ساخت [۵۶]. نمونه‌های اولیه با ایفای نقش‌ها و اهداف مختلف در طول پروژه‌های طراحی، به طراحان کمک می‌کنند؛ زیرا تعیین یک هدف روشن برای هر نمونه اولیه، موجب بهبود ارتباط ایده‌ها و تصمیم‌گیری آگاهانه‌تر می‌شود [۵۷]. در مطالعه حاضر دانشجویان برای رسیدن به طرح، اقدام به ساخت نمونه اولیه (ماکت اتود) و ویرایش و توسعه آن، برای طراحی حجم و جزئیات اجرایی و اتصالات کردند.

<p>نمایشی بسیار دقیق که ترکیبی از عملکرد با ظاهر دقیق محصول است. از مواد تولیدی یا شبیه‌سازی شده استفاده می‌کند.</p>		<p>اجزای مشخص شده برای آیتم تولیدی را بدون در نظر گرفتن ظاهر ترکیب می‌کند. برای ارزیابی عملکرد الکترونیکی و مکانیکی استفاده می‌شود.</p>	
<p>عناصر کلیدی فرم و عملکرد را برای اولین بار کنار هم می‌آورد. از مواد تولیدی یا شبیه‌سازی شده استفاده می‌کند.</p>		<p>از نمونه اولیه سیستمی به‌عنوان نمایش نهایی از عناصر عملکردی محصول توسعه یافته است.</p>	
<p>عناصر کلیدی ظاهر و عملکرد را برای اولین بار کنار هم می‌آورد. از مواد تولیدی یا شبیه‌سازی شده استفاده می‌کند.</p>		<p>با استفاده از ابزارها و موادی که برای تولید در نظر گرفته شده‌اند، تولید می‌شود تا ارزیابی خواص مواد و ظاهر اجزا را امکان‌پذیر کند.</p>	
<p>تکامل تصحیح‌شده‌ای از نمونه اولیه آلفا برای ارزیابی تغییرات طراحی در حال انجام، در آماده‌سازی برای مشخصات نهایی اجزا</p>		<p>نمونه اولیه نهایی تولیدشده در حجم کم تولید شده تا قبل از تولید کامل برای آزمایش استفاده شود.</p>	

شکل ۲. طبقه‌بندی نمونه‌های اولیه [۵۸].

واقعیت افزوده مجازی^۱

واقعیت افزوده مجازی، تجربه‌های یادگیری همه‌جانبه‌ای فراهم می‌کند که به دانشجویان امکان می‌دهد ساختار یک شیء را در محیطی تعاملی و سه‌بعدی مشاهده و ویژگی‌های ساختاری آن را کشف کنند [۵۹]. واقعیت مجازی دارای نرخ ماندگاری بیش از ۷۵ درصد در نتایج یادگیری است که به‌مراتب بیشتر از نرخ حفظ مطالب در خواندن سنتی و یادگیری مبتنی بر سخنرانی است [۶۰]. مطالعات دیگر نیز نشان داده‌اند که استفاده از فناوری واقعیت مجازی می‌تواند اهداف یادگیری شناختی را محقق کند و مشارکت دانشجویان را افزایش دهد [۶۱]. رویکردهای مبتنی بر واقعیت افزوده برای مدل‌سازی سه‌بعدی توجه محققان را جلب کرده است و مشخص شده که استفاده از این فناوری‌ها در فرایند طراحی، خلاقیت و عملکرد کاربران را تقویت می‌کند [۶۲]. افزون بر این، الگوهای تعاملی که با تفکر شناختی همخوانی بیشتری دارند، برای رشد شناختی مؤثرتر هستند [۶۳].

با این حال، تمامی شواهد به سودمندی آموزشی واقعیت مجازی اشاره ندارند. طبق تحقیقات کنراد و همکارانش (۲۰۲۴)، استفاده از این فناوری در محیط‌های یادگیری فعال، تأثیر ملموس و مثبتی بر پیشرفت یادگیری نداشته است و تفاوت قابل توجهی در نتایج آموزشی مشاهده نشده است [۲۱]. پارونگ و مایر^۲ (۲۰۲۱) نیز دریافتند که دوره‌های آموزشی با پشتیبانی واقعیت مجازی ممکن است کارایی یادگیری را کاهش دهند زیرا واقعیت مجازی سطوح بالایی از هیجان و اختلالات شناختی ایجاد می‌کند که می‌تواند بر یادگیری اثر منفی بگذارد [۲۳]. سینامون و میلر^۳ (۲۰۲۲) همچنین تأکید کرده‌اند که حرکات بدنی نقش مهمی در شناخت ایفا می‌کند و تعاملات فیزیکی بیشتر به کارهای دستی

¹ AR

² Parong & Mayer

³ Sinnamon & Miller

واقعی نزدیک هستند؛ این مسئله می‌تواند تفکر خلاق دانشجویان، به‌ویژه در رشته‌های عملی مانند معماری را تقویت کند [۲۴].

هوش فضایی

هوش فضایی یا توانایی فضایی، نوعی از هوشمندی است که شامل مهارت‌های تفکر تصویری و توانایی درک، تغییر و بازآفرینی جنبه‌های مختلف دنیای بصری- فضایی می‌شود. این توانایی شامل مهارت‌هایی همچون تشخیص دقیق رنگ، جهت و فضای اطراف است [۶۴]. با وجود اینکه انسان‌ها به این توانایی مجهز هستند، تخیل ما محدودیت‌هایی دارد و تصور اشکال پیچیده و جزئیات آن‌ها برای بسیاری از افراد دشوار است. طراحی‌ها نیازمند توانایی فضایی بالا، از جمله تصویرسازی ذهنی، چرخش ذهنی و ادراک دقیق بصری هستند. با وجود معضلات مرتبط با مفاهیم انتزاعی و تصویری، تحقیقات نشان می‌دهد که توانایی فضایی را می‌توان از طریق آموزش تقویت کرد [۵۱].

مهارت حل مسئله

مهارت حل مسئله، فرایندی منطقی و منظم است که به فرد کمک می‌کند در مواجهه با مشکلات، راه‌حل‌های مختلفی را جستجو و سپس بهترین گزینه را انتخاب کند [۶۵]. در محیط پویای معماری که شامل درک عمیق نیازهای انسانی، مسائل فنی پیچیده و ملاحظات ظریف زیبایی‌شناختی است، معماران پیوسته با معضلات جدیدی روبه‌رو می‌شوند؛ در این راستا، مهارت حل مسئله به‌عنوان ستون فقرات فرایند طراحی عمل می‌کند و معماران را قادر می‌سازد تا نقش اساسی در شناسایی، تحلیل و هدایت مسیر طراحی در مراحل مختلف داشته باشند [۶۶]. این مهارت‌ها شامل درک اجزای مختلف یک مسئله، انتخاب مدل‌های مناسب، به‌کارگیری استراتژی‌های کارآمد و ارزیابی راه‌حل‌ها است که برای مقابله با معضلات معماری حیاتی هستند.

معماری، رشته‌ای پیچیده و پویاست که در آن خلاقیت و نوآوری با تفکر تحلیلی و حل مسئله درهم تنیده شده است. در جهان امروز، با معضلات فزاینده‌ای همچون تغییرات اقلیمی، کمبود منابع و افزایش جمعیت، معماران بیش از هر زمان دیگری به مهارت‌های قوی حل مسئله نیاز دارند.

بار شناختی

مفهوم بار شناختی به میزان فشاری اشاره دارد که در هنگام ورود اطلاعات به حافظه فعال یا کوتاه‌مدت بر این حافظه تحمیل می‌شود تا اطلاعات به‌طور مؤثر برای ذخیره در حافظه بلندمدت رمزگذاری شود [۶۷]. از آنجا که ظرفیت شناختی انسان محدود است و در یک زمان می‌توان تنها تعداد مشخصی از واحدهای اطلاعاتی را پردازش کرد [۶۸]، این محدودیت می‌تواند موجب افزایش بار شناختی در فرد یادگیرنده شود. یادگیری مطالب جدید، به‌ویژه موضوعات انتزاعی که نیاز به پردازش و حفظ هم‌زمان حجم زیادی از اطلاعات دارند، می‌تواند موقعیت‌های پرچالش و افزایش بار شناختی را ایجاد کند [۶۷؛ ۶۹].

نظریه بار شناختی بیان می‌کند که بسیاری از تکنیک‌های آموزشی، محدودیت‌های شناختی ساختاری انسان را به‌درستی در نظر نمی‌گیرند و به‌صورت غیرضروری حافظه فعال یادگیرنده را اشباع می‌کنند [۷۰]. بنابراین، در انتخاب روش‌های آموزشی باید محدودیت‌های حافظه فعال را در نظر گرفت و بر اهمیت طراحی تکنیک‌های آموزشی مطابق با اصول عملی سیستم شناختی انسان تأکید کرد [۶۹].

یافته‌ها

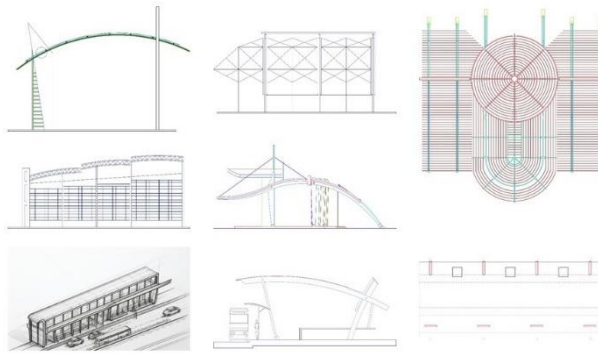
پس از اخذ پرسش‌نامه‌های پیش‌آزمون، ابتدا دانشجویان اقدام به طراحی حجم ایستگاه کردند که طراحی دانشجویان گروه اول، با کمک فناوری واقعیت‌افزوده؛ دانشجویان گروه دوم، با نمونه‌سازی و گروه سوم با ترسیم دستی و اتوکد انجام شد. سپس ترسیم نقشه‌های اجرایی احجام و جزئیات اجرایی صورت گرفت که تصاویر برخی فعالیت‌ها در روند طراحی در شکل ۳ و شکل ۴ و شکل ۵ نمایش داده شده است.



شکل ۳. نمونه فعالیت‌های گروه اول (با استفاده از فناوری واقعیت‌افزوده).



شکل ۴. نمونه فعالیت‌های گروه دوم (با استفاده از پروتوتایپ).



شکل ۵. نمونه فعالیت‌های گروه سوم (شیوه متداول).

پس از جمع‌آوری پرسش‌نامه‌ها و طبقه‌بندی اطلاعات و داده‌ها، اقدام به تجزیه و تحلیل داده‌های پرسش‌نامه‌ها گردید. برای این منظور، از نرم‌افزار SPSS استفاده شد. تجزیه و تحلیل آماری در دو سطح آمار توصیفی و استنباطی انجام گرفت. در بخش آمار توصیفی شاخص‌هایی نظیر میانگین و انحراف معیار نمرات بررسی گردید و در بخش آمار استنباطی پس از آزمون پیش‌فرض‌های مربوطه برای تحلیل داده‌ها از آزمون واریانس چندمتغیری استفاده شد. مطابق جدول ۲ میانگین نمرات گروه‌آزمون اول، ۱۷/۵۰ و انحراف معیار آن، ۱/۶۳، گروه‌آزمون دوم، ۱۷/۵۰ و انحراف معیار آن، ۱/۶۶ بود. هم‌چنین میانگین نمرات و انحراف معیار گروه کنترل ۱۷/۵۰ و ۱/۶۱ بود.

جدول ۲. میانگین نمرات سه گروه آزمون ۱، گروه آزمون ۲ و کنترل پس از ۳ جلسه کلاس به روش معمول.

گروه	شیوه آموزش	نام	تعداد	کمترین	بیشترین	میانگین	انحراف معیار
گروه‌آزمون ۱	به روش واقعیت‌افزوده	A	۱۵	۱۲/۵	۱۸/۵	۱۷/۵۰	۱/۶۳
گروه‌آزمون ۲	به روش پروتوتایپ	B	۱۶	۱۲	۱۹	۱۷/۵۰	۱/۶۶
گروه‌کنترل	به شیوه معمول	C	۱۷	۱۱/۵۰	۱۹/۵۰	۱۷/۵۰	۱/۶۱

در جدول ۳ آمار توصیفی مربوط به میانگین و انحراف معیار نمرات به تفکیک برای گروه‌ها در دو مرحله سنجش پیش‌آزمون و پس‌آزمون ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد در گروه کنترل میانگین نمرات در مراحل پیش-آزمون و پس‌آزمون تغییر چندانی نشان نمی‌دهد اما در گروه‌های آزمون افزایش بیشتر نمرات در مرحله پس‌آزمون نسبت به پیش‌آزمون مشاهده می‌گردد. با توجه به اطلاعات جدول میانگین گروه‌آزمایش در پس‌آزمون افزایش یافته‌است ولی برای تعیین معناداری این افزایش از نظر آماری باید به یافته‌های استنباطی رجوع کرد.

جدول ۳. میانگین و انحراف استاندارد در مرحله پیش آزمون و پس آزمون گروه‌ها.

گروه C	گروه B			گروه A							
	هوش فضایی			هوش فضایی							
حل مسئله	چرخش ذهنی	ادراک ذهنی	تصویرسازی ذهنی	حل مسئله	چرخش ذهنی	ادراک ذهنی	تصویرسازی ذهنی	میانگین	انحراف استاندارد	میانگین	انحراف استاندارد
۷/۶۹۸	۵/۰۷۱۱	۵/۱۰۹۲	۵/۲۳۶۹	۴/۰۱۶	۵/۲۳۶۹	۵/۲۳۶۹	۵/۲۳۶۹	۵/۱۱۱۳	۱/۲۱۲	۶/۱۴۱۸	۸/۳۲۴
۱/۴۹۷	۱۰/۳۹۴	۹/۳۸۱	۱۰/۳۱۶	۱/۶۶۴	۹/۸۸۵	۱۱/۷۸۱	۱۱/۲۳۶	۱۰/۳۲۲	۱/۲۴۵	۶/۲۳۷۰	۸/۲۷۴
۴/۴۰۴	۵/۱۲۶۶	۵/۲۳۶۵	۵/۲۸۹۳	۶/۲۶۹	۶/۴۳۷۰	۶/۴۳۱	۶/۳۶۸	۵/۰۸۵	۲/۲۶۰	۶/۲۳۷۰	۸/۲۷۴
۱/۳۷۱	۷/۳۹۵	۸/۳۳۶	۹/۳۰۳	۲/۱۹۲	۸/۰۱۴	۷/۱۱۲	۹/۹۵۴	۲/۲۶۰	۲/۲۶۰	۶/۲۳۷۰	۸/۲۷۴

ترکیب خطی متغیرهای وابسته میان سطوح متغیر مستقل توسط واریانس چندمتغیری تحلیل گردید. در این راستا، چهار آزمون معنی‌داری به نام‌های اثر پیلای، لامبدای ویلکز، تی هتلینگ و بزرگ‌ترین ریشه‌روی محاسبه شد که لامبدای ویلکز مناسب‌ترین آن‌ها محسوب می‌شود و هرچه مقدار آن به یک نزدیک‌تر باشد یعنی تفاوت‌ها معنی‌دار نیستند. با توجه به این که مقدار F مشاهده شده آزمون لامبدای ویلکز در جدول ۴ در سطح $p < 0.0001$ معنی‌دار است و اثر پیلای نیز نشان می‌دهد که میزان F معنادار است؛ نتیجه می‌گیریم که بین گروه‌ها حداقل در برخی از مقیاس‌های مورد بررسی تفاوت معنی‌داری وجود دارد.

جدول ۴. آزمون تحلیل واریانس چندمتغیری مقیاس‌های پژوهش.

مشخصه	آزمون	آماره	F	درجه اثر آزادی	درجه آزادی خطا	P
اثر تعاملی	اثر پیلای	۰/۵۸۶	۸۷۲۵	۹	۳۰۸	۰/۰۰۰۱
	لامبدای ویلکز	۰/۴۱۲	۹/۹۶۵	۹	۲۶۳	۰/۰۰۰۱
	تی هتلینگ	۱/۳۰۳	۱۲/۱۳۶	۹	۳۱۶	۰/۰۰۰۱
	بزرگترین ریشه روی	۰/۹۱۱	۳۲/۶۵۸	۳	۱۰۹	۰/۰۰۰۱

نتایج تحلیل واریانس متغیرهای پژوهش به صورت جداگانه در جدول ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در تمام مؤلفه‌ها ($p < 0.0001$) بین گروه‌ها تفاوت وجود دارد.

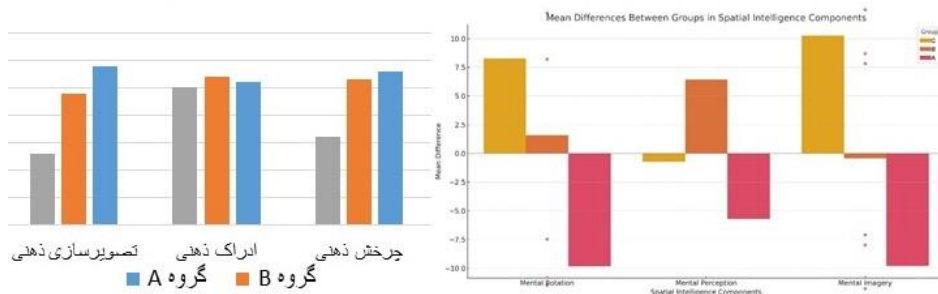
جدول ۵. آزمون تحلیل واریانس چندمتغیره گروه‌ها.

مقیاس	مجموع مجذورات	درجه آزادی	میانگین مجذورات	F	سطح معنی داری
چرخش ذهنی	۲۶۸۴/۱۸۰	۳	۸۹۴/۷۲۷	۵/۹۶۶	۰/۰۰۰۱
ادراک ذهنی	۳۹۲۴/۶۴۰	۳	۱۳۰۸/۲۱۳	۹/۴۶۲	۰/۰۰۰۱
تصویرسازی ذهنی	۳۴۴۶/۷۲۰	۳	۱۱۴۸/۹۰۷	۷/۴۷۳	۰/۰۰۰۱
حل مسئله	۳۳۴/۲۷۶	۳	۱۱۱/۴۲۵	۱۵/۹۸۴	۰/۰۰۰۱

از آنجا که گروه‌ها دارای تعداد یکسان نبودند، برای بررسی تفاوت‌ها و مقایسه‌های زوجی، از آزمون تعقیبی شفه استفاده گردید.

جدول ۶. نتایج آزمون تعقیبی شفه گروه‌ها در هوش فضایی.

مؤلفه	گروه	گروه مورد مقایسه	تفاوت میانگین	سطح معنی داری
چرخش ذهنی	گروه A	گروه B	۴/۶۷۸	P=۰/۲۲۴
		گروه C	۱۱/۸۶۴	P<۰/۰۰۰۱
		گروه B	-۴/۶۷۸	P=۰/۲۲۴
	گروه B	گروه A	۷/۸۴۰	P<۰/۰۰۰۱
		گروه C	-۱۱/۸۶۴	P<۰/۰۰۰۱
		گروه C	-۷/۸۴۰	P<۰/۰۰۰۱
ادراک ذهنی	گروه A	گروه B	-۶/۷۴۳	P=۰/۱۳۷
		گروه C	۵/۲۷۵	P=۰/۲۱۵
		گروه B	۶/۷۴۳	P=۰/۱۳۷
	گروه B	گروه A	۶/۱۴۳	P=۰/۱۸۹
		گروه C	-۵/۲۷۵	P=۰/۲۱۵
		گروه C	-۶/۱۴۳	P=۰/۱۸۹
تصویرسازی ذهنی	گروه A	گروه B	۸/۳۳۵	P<۰/۰۰۰۱
		گروه C	۱۲/۱۴۸	P<۰/۰۰۰۱
		گروه B	-۸/۳۳۵	P<۰/۰۰۰۱
	گروه B	گروه A	۷/۴۶۴	P<۰/۰۰۰۱
		گروه C	-۱۲/۱۴۸	P<۰/۰۰۰۱
		گروه C	-۷/۴۶۴	P<۰/۰۰۰۱



شکل ۶. نمودار مقایسه گروه‌ها در مهارت هوش فضایی.

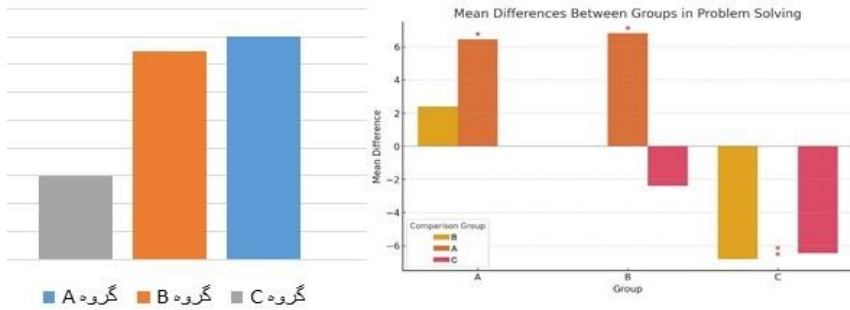
شکل ۶ و جدول ۶ نشان می‌دهد اختلاف میان توانایی‌های هوش فضایی دانشجویان آموزش‌دیده با روش استفاده از فناوری واقعیت افزوده با دانشجویان آموزش‌دیده با روش طراحی پروتوتایپ و دانشجویانی که به شیوه متداول طراحی کرده‌اند، مشاهده می‌شود.

در خرده‌مقیاس چرخش ذهنی، بین گروه A و گروه B، تفاوت معنی‌دار نیست ($P=0/224$) اما میان گروه‌های A با C و B با C تفاوت وجود دارد ($P<0/001$)؛ یعنی در این خرده‌عامل، تفاوتی میان دانشجویان آموزش‌دیده با روش استفاده از فناوری واقعیت افزوده با دانشجویان آموزش‌دیده با روش طراحی پروتوتایپ وجود ندارد اما میان دانشجویان آموزش‌دیده با روش استفاده از فناوری واقعیت افزوده با دانشجویان آموزش‌دیده با روش طراحی پروتوتایپ در دانشجویانی که به شیوه متداول، هم‌چنین دانشجویان آموزش‌دیده روش طراحی پروتوتایپ با دانشجویانی که به شیوه متداول طراحی کرده‌اند، تفاوت قابل ملاحظه‌ای دیده می‌شود. در خرده‌مؤلفه ادراک ذهنی تفاوت معناداری میان سه گروه مشاهده نگردید؛ یعنی استفاده از فناوری واقعیت افزوده یا به کارگیری پروتوتایپ ارتقایی در ادراک ذهنی دانشجویان ایجاد نکرده است.

همان‌طور که نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد، در خرده‌مقیاس تصویرسازی ذهنی، دانشجویان گروه A نسبت به گروه B و C از توانایی بالاتری برخوردار شده‌اند و استفاده از فناوری واقعیت افزوده در ارتقای این مؤلفه مؤثرتر از دو روش دیگر بوده است و دانشجویان گروه B نسبت به گروه C نیز به توانایی تصویرسازی ذهنی مناسب‌تری دست‌یافته‌اند.

جدول ۷. نتایج آزمون تعقیبی شفه گروه‌ها در متغیر حل مسئله.

گروه	گروه مورد مقایسه	تفاوت میانگین	سطح معنی‌داری
گروه A	گروه B	۲/۳۸۷	$P=0/211$
گروه B	گروه C	۶/۴۵۹	$P<0/001$
گروه B	گروه A	-۲/۳۸۷	$P=0/211$
گروه C	گروه A	۶/۸۲۲	$P<0/001$
گروه C	گروه A	-۶/۴۵۹	$P<0/001$
گروه B	گروه B	-۶/۸۲۲	$P<0/001$

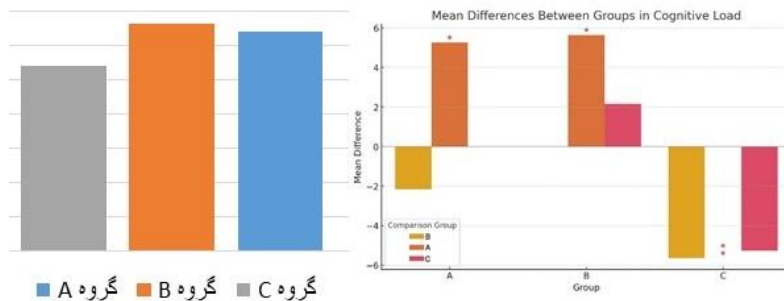


شکل ۷. نمودار مقایسه گروه‌ها در مهارت حل مسئله.

با توجه به نتایج جدول ۷ و شکل ۷، بین دانشجویان گروه A و گروه B تفاوت معناداری دیده نمی‌شود ($P=0/211$) اما توانایی حل مسئله دانشجویان گروه A با تفاوت میانگین برابر با ۶/۴۵۹ نسبت به دانشجویان گروه C به مراتب بالاتر است و این تفاوت میانگین میان دانشجویان گروه B با گروه C برابر ۶/۸۲۲ می‌باشد که بیانگر آن است که دانشجویانی که از روش پروتوتایپ تجربی برای حل مسئله طراحی فنی استفاده کرده‌اند همانند دانشجویان استفاده‌کننده از فناوری واقعیت افزوده نسبت به روش متداول از توانایی بالاتری برخوردار شده‌اند.

جدول ۸. نتایج آزمون تعقیبی شفه گروه‌ها در بارشناختی.

گروه	گروه مورد مقایسه	تفاوت میانگین	سطح معنی‌داری
گروه A	گروه B	-۲/۱۶۷	$P=0/288$
	گروه C	۵/۲۶۸	$P<0/0001$
گروه B	گروه A	۲/۱۶۷	$P=0/288$
	گروه C	۵/۶۴۲	$P<0/0001$
گروه C	گروه A	-۵/۲۶۸	$P<0/0001$
	گروه B	-۵/۶۴۲	$P<0/0001$



شکل ۸. نمودار مقایسه گروه‌ها در بارشناختی.

با توجه به نتایج جدول ۸ و شکل ۸، بین دانشجویان گروه A و گروه B تفاوت معناداری دیده نمی‌شود ($P=0/288$) اما بارشناختی دانشجویان گروه A با تفاوت میانگین برابر با ۵/۲۶۸ نسبت به دانشجویان گروه C و دانشجویان گروه B با تفاوت میانگین برابر ۵/۶۴۲ نسبت به گروه C به‌طور قابل ملاحظه‌ای در فرایند طراحی کاهش یافته است.

بحث و تحلیل در یافته‌ها

این پژوهش به بررسی روش‌های طراحی مبتنی بر واقعیت افزوده مجازی، استفاده از پروتوتایپ تجربی و تأثیرات آن بر مهارت‌های حل مسئله و هوش فضایی دانشجویان معماری پرداخته و تفاوت‌های این دو روش را در مقابل شیوه متداول ارزیابی کرده و بارشناختی دانشجویان را در طول فرایند یادگیری مقایسه کرد. نتایج آزمایش، تغییراتی را در مهارت‌های حل مسئله دانشجویان مشاهده کرد؛ گروه آموزش دیده با فناوری واقعیت افزوده مجازی و گروه آموزش دیده با شیوه پروتوتایپ افزایش معنی داری در نمره کل توانایی حل مسئله نسبت به گروه آموزش دیده با شیوه متداول نشان داد. حال آن که میان دو گروه اول و دوم تفاوت معناداری دیده نشد. این امر نشان می‌دهد که به کارگیری این دو روش به شکلی تقریباً یکسان عمل می‌کند و تجربه‌های همه‌جانبه فراهم می‌کند که امکان تعامل و مشارکت در محیط را برای دانشجویان فراهم می‌سازد و در نتیجه به درک عمیق‌تر آن‌ها کمک می‌کند. در عین حال، امکان مشاهده واقعی طراحی چه به صورت ماکت و چه در صفحه نمایش و بازخورد فوری ارائه شده به دانشجویان کمک می‌کند تا خطاها و نواقص خود را سریع‌تر درک کنند و باعث تشویق آن‌ها به یافتن راه‌حل‌های مسائل از طریق آزمایش و تغییرات مداوم شود، فرایند حل مسئله را شتاب می‌بخشد زیرا کاربران می‌توانند نتایج را به سرعت مشاهده و به موقع تغییرات خود را اعمال کنند و تجربیات واقعی، شهودی و حسی را فراهم می‌شود که به فرد امکان می‌دهد تا افکار و ایده‌های جدیدی را بسازد و کاوش کند. علاوه بر این، این تجربه موجب افزایش انگیزه دانشجویان نسبت به انجام تکالیف می‌شود که به درک عمیق‌تر آن‌ها کمک می‌کند. در مقابل، دانشجویان آموزش دیده با روش‌های منفعل به شدت، به قضاوت‌های معلم وابسته هستند و تمایل چندانی در برابر مسائل دشوار از خود نشان نمی‌دهند و ترجیح می‌دهند که مسائل ساده را برگزینند.

هم‌چنین، در این مطالعه به واکاوی تفاوت‌های مؤلفه‌های هوش فضایی دانشجویان پرداخته شد و نتایج نشان داد که دو گروه، تفاوت‌های قابل توجهی در خرده‌عامل تصویرسازی ذهنی دارند، آموزش دیده با فناوری واقعیت افزوده مجازی، امتیاز بالاتری نسبت به دو گروه دیگر داشتند و گروه آموزش دیده با شیوه پروتوتایپ، نیز بالاتر از گروه سوم امتیاز کسب کردند. در این خرده‌عامل دانشجویان آموزش دیده با فناوری واقعیت افزوده مجازی با معضلات غنی و بصری بیشتری در محیط واقعیت افزوده روبرو شدند و دانشجویان باید طراحی خود را در یک فضای سه‌بعدی پیچیده کنترل می‌کردند و به راحتی می‌توانستند تمام یا بخشی از پروژه خود را به سرعت تغییر دهند و آن را از زوایای مختلف مشاهده کنند. در خرده‌عامل چرخش ذهنی، گروه‌های آموزش دیده با فناوری واقعیت افزوده مجازی و آموزش دیده با شیوه پروتوتایپ مشابه بودند. هرچند برتری نامحسوسی در دانشجویانی که از روش پروتوتایپ استفاده کرده بودند مشاهده شد که به نظر می‌رسد به دلیل ساخت ماکت و درگیری ذهنی کامل با پروژه باشد.

هر دو گروه، تفاوت چشم‌گیری با دانشجویانی که از ترسیمات دستی استفاده می‌کردند، داشتند. تجربه چندحسی ارائه شده توسط واقعیت افزوده جذاب و ساخت الگو می‌تواند تخیل دانشجویان را نسبت به اشکال، فضاها و وضعیت‌ها تحریک کند و امکان تفکر درباره آن‌ها را به شکل واقعی‌تر فراهم کند. علاوه بر این، دانشجویان می‌توانند به شکل مستقیم‌تری آن‌ها را درک کنند.

با این حال، تفاوت معنی داری بین سه گروه در بعد ادراک ذهنی وجود نداشت. این نشان می‌دهد که هر سه روش ممکن است سطحی از تعامل را ارائه دهند که به سطحی از ادراک ذهنی نیاز دارد اما به اندازه‌ای نیست که به عنوان یک تفاوت آماری معنادار در یک مجموعه آزمایشی آشکار شود. هم‌چنین ادراک ذهنی بیشتر، به آموخته‌ها و نگرش‌های دانشجویان مربوط است تا به محیط فناوری و ساخت.

واقعیت افزوده مجازی و به کارگیری پروتوتایپ تجربی، تجربیات حسی واقع‌گرایانه‌ای فراهم می‌کند که به دانشجویان در سازماندهی وظایف یادگیری و درک آن‌ها کمک می‌کند، از این رو کارایی فرایند یادگیری را افزایش می‌دهد و میزان بارشناختی موردنیاز برای درک و مدیریت رابطه‌های پیچیده را کاهش می‌دهد. بار شناختی کم‌تر نشان می‌دهد که

یادگیری برای دانشجویان از نظر ذهنی کمتر خسته‌کننده باشد و به آن‌ها اجازه می‌دهد تا تمرکز بیشتری بر فرایند یادگیری داشته باشند. رشد هوش فضایی و ارتقای مهارت‌های حل مسئله، پیوند نزدیکی با بارشناختی در فرایند یادگیری دارد بنابراین تفاوت در بارشناختی سه گروه از اهمیت بالایی برای مطالعه برخوردار است. ساخت الگو و محیط جذاب واقعیت افزوده، توجه دانشجویان را معطوف خود می‌کند که این باعث می‌شود تلاش ذهنی اضافی مرتبط با حواس‌پرتی دانشجویان کاهش یابد و منجر به تمرکز بالاتر می‌شود. در این تحقیق بار شناختی گروه آموزش‌دیده با فناوری واقعیت افزوده مجازی و آموزش‌دیده با شیوه پروتوتایپ نسبت به گروه سوم به مراتب کمتر بود و بین دو گروه ذکرشده تفاوت محسوسی مشاهده نشد.

استفاده از فناوری واقعیت افزوده علی‌رغم مزایای آن، با محدودیت‌هایی همراه است. یکی از مشکلات اصلی، خطای برنامه در درک صحیح حجم و موقعیت اجسام است که نمونه آن در شکل ۹ نشان داده شده است. همچنین، ضعف در ساختارهای پشتیبانی‌کننده، مانند رایگان بودن برنامه‌های مورد استفاده توسط دانشجویان، وضعیت نامطلوب اینترنت و فیلترینگ، موجب اختلال در طراحی جزئیات و قرار دادن آن‌ها در محل مناسب می‌گردد و در برخی موارد به نبود عملکرد صحیح و پاسخگویی نامناسب منجر می‌شود.

علی‌رغم مزایای شیوه پروتوتایپ، هزینه بالای ساخت نمونه‌ها و اصلاحات آن، زمان بر بودن فرایند ساخت مدل‌های دقیق، سختی ساخت نمونه و محدودیت در مدل‌سازی جزئیات پیچیده و توانایی نمایش تمام جنبه‌های پروژه، عدم انعطاف‌پذیری در مدل‌های فیزیکی از مشکلات این شیوه است. محدودیت‌های درک مقیاس، نداشتن دقت در ساخت مدل‌های فیزیکی و تبدیل نمونه‌ها به نقشه‌ها و جزئیات اجرایی نیز می‌تواند نتایج دقیقی به‌دست ندهد. این مدل‌ها در صورت تغییر در طراحی نیاز به بازسازی کامل دارند. علاوه بر این، گاهی اوقات تمرکز بیش‌ازحد بر ظاهر می‌تواند از توجه به جنبه‌های فنی و عملکردی بکاهد. در نهایت، مسئله در ترجمه مدل به واقعیت به این معناست که مدل‌ها ممکن است با شرایط واقعی سایت یا مواد اجرایی همخوانی نداشته باشند. طراحی به شیوه متداول نیز با مشکلاتی همراه است. یکی از اصلی‌ترین معایب آن زمان بر بودن است زیرا نیاز به رسم دقیق و اصلاح مکرر دارد که می‌تواند پروژه را کند کند. همچنین، درک‌نکردن مقیاس واقعی و فضا و دشواری در طراحی جزئیات پیچیده از دیگر مشکلات این روش است. معضل در درک و ارائه ایده‌های پیچیده و محدودیت در ارائه سه‌بعدی نیز از معایب قابل توجه است. علاوه بر این، ایجادنشدن جذابیت و یکنواختی در طراحی ممکن است موجب بی‌انگیزگی دانشجویان شود و ناتوانی در فهم پروژه در سایت واقعی نیز باید مورد توجه قرار گیرد.



شکل ۹. ایرادات واقعیت افزوده.

نتیجه‌گیری

این مطالعه نشان داد که استفاده از واقعیت افزوده مجازی، هوش فضایی و توانایی حل مسائل دانشجویان معماری را افزایش می‌دهد، درحالی‌که بارشناختی را کاهش می‌دهد اما همچنان تفاوت زیادی با استفاده از پروتوتایپ تجربی ندارد. استفاده از این فناوری جذاب و تعاملی همانند نمونه‌سازی، ضمن افزایش انگیزه و در نتیجه برانگیختن حس کنجکاوی،

الهام‌بخش مفاهیم طراحی جدید و پرورش فرهنگ آزمایش است و با تشویق به آزمون و خطا بدون پیامدهای دنیای واقعی، دانشجویان را قادر می‌سازد ریسک کنند و ایده‌های غیرمترعارف را کاوش و تخیل کنند که امکان ترسیم آن با دست مشکل به نظر می‌رسد. این فناوری در درک ساختارهای پیچیده در مقیاس واقعی و جزئیات سازه‌ای می‌تواند مثرتر واقع گردد. هرچند عملکرد فناوری به دلیل ضعف ساختارها، مستعد خطا است که به این دلیل است که فناوری واقعیت افزوده هنوز در مرحله توسعه است و سخت‌افزار و نرم‌افزار هنوز به بلوغ واقعی نرسیده است.

در مجموع تکیه شدید بر فناوری‌های جدید برای آموزش در بین دانشجویان معماری خالی از مشکل نیست. خطر اتکای بیش از حد به فناوری وجود دارد که منجر به فقدان تجربه عملی و توسعه مهارت‌های عملی می‌شود. برای مربیان ضروری است که بین استفاده از ابزارهای دیجیتال به‌عنوان ابزار کمکی اطمینان از این‌که دانشجویان مهارت‌های اساسی طراحی را از طریق روش‌های متداول پیش می‌برند، تعادل ایجاد کنند. این تحقیق بر روی مؤلفه‌های هوش-فضایی و حل مسئله انجام گرفت و پیشنهاد می‌شود بر روی مؤلفه‌های تأثیرگذار مانند خلاقیت نیز بررسی گردد تا نتایج بهتری حاصل گردد.

References

- [1] Chandrasekera, T., Vo, N., & D'Souza, N. (2013). The effect of subliminal suggestions on Sudden Moments of Inspiration (SMI) in the design process. *Design Studies*, 34(2), 193-215. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2012.09.002>
- [2] Youmans, R. J. (2011). The effects of physical prototyping and group work on the reduction of design fixation. *Design Studies*, 32(2), 115-138. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2010.08.001>
- [3] Kershaw, T., Holttta-Otto, K., & Lee, Y. S. (2011, July 20-23). *The effect of prototyping and critical feedback on fixation in engineering design* [Conference session]. Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society, Boston, Massachusetts, USA. https://www.researchgate.net/publication/281241897_The_Effect_of_Prototyping_and_Critical_Feedback_on_Fixation_in_Engineering_Design
- [4] Viswanathan, V. K., & Linsey, J. S. (2013). Role of Sunk Cost in Engineering Idea Generation: An Experimental Investigation. *Journal of Mechanical Design*, 135(12), 121002. <https://doi.org/10.1115/1.4025290>
- [5] Lemons, G., Carberry, A., Swan, C., Jarvin, L., & Rogers, C. (2010). The benefits of model building in teaching engineering design. *Design Studies*, 31(3), 288-309. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2010.02.001>
- [6] Murty, P., & Purcell, A. (2003). *Unexpected discovery processes in designing*. 37th Annual Conference of the Australian and New Zealand Architectural Science Association, Sydney, Australia.
- [7] Kozak, M., Weylin Sternglanz, R., Viswanathan, U., & Wegner, D. M. (2008). The role of thought suppression in building mental blocks. *Consciousness and Cognition*, 17(4), 1123-1130. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2007.05.007>
- [8] Agogué, M., & Cassotti, M. (2013, August 19-22). *Understanding fixation effects in creativity: a design-theory approach* [Conference session]. Proceedings of the 19th International Conference on Engineering Design, Seoul, Korea. <https://www.designsociety.org/publication/34881/Understanding+fixation+effects+in+creativity%3A+A+design-theory+approach>
- [9] Jansson, D. G., & Smith, S. M. (1991). Design fixation. *Design Studies*, 12(1), 3-11. [https://doi.org/10.1016/0142-694X\(91\)90003-F](https://doi.org/10.1016/0142-694X(91)90003-F)

- [10] Kohn, N., & Smith, S. M. (2009). Partly versus Completely Out of Your Mind: Effects of Incubation and Distraction on Resolving Fixation. *Journal of Creative Behavior*, 43(2), 102-118. <https://doi.org/10.1002/j.2162-6057.2009.tb01309.x>
- [11] Smith, S. M., & Blankenship, S. E. (1991). Incubation and the persistence of fixation in problem solving. *The American Journal of Psychology*, 104(1), 61-87. <https://doi.org/10.2307/1422851>
- [12] Christensen, B. T., & Schunn, C. D. (2007). The relationship of analogical distance to analogical function and preinventive structure: the case of engineering design. *Memory & Cognition*, 35(1), 29-38. <https://doi.org/10.3758/BF03195939>
- [13] Kim, M. J., & Maher, M. L. (2008). The Impact of Tangible User Interfaces on Designers' Spatial Cognition. *Human-Computer Interaction*, 23(2), 101-137. <https://doi.org/10.1080/07370020802016415>
- [14] Fitzmaurice, G. (1996). *Graspable User Interfaces* [Doctor, University of Toronto]. Toronto, Canada. https://www.research.autodesk.com/app/uploads/2023/03/graspable-user-interfaces.pdf_recYrD9cKLuZ2dbxl.pdf
- [15] Abo Elenain, H. I., Bakr, A. F., Fathi, A. A., & Elsayad, Z. (2024). Digital Photography to Enhance Creative Thinking in the Education of Architectural Design. *Fayoum University Journal of Engineering*, 7(2), 295-316. <https://doi.org/10.21608/fuje.2024.345048>
- [16] Das, A., Brunsgaard, C., & Madsen, C. B. (2022, September 13-16). *Understanding the AR-VR Based Architectural Design Workflow among Selected Danish Architecture Practices* [Conference session]. Proceedings of the International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe, Ghent, Belgium. <http://dx.doi.org/10.52842/conf.ecaade.2022.1.381>
- [17] Huang, L., & Musah, A. A. (2024). The Influence of Augmented Reality on Creativity, Student Behavior, and Pedagogical Strategies in Technology-Infused Education Management. *Journal of Pedagogical Research*, 8(2), 260-275. <https://doi.org/10.33902/jpr.202425376>
- [18] Kee, T., Kuys, B., & King, R. (2024). Generative artificial intelligence to enhance architecture education to develop digital literacy and holistic competency. *Journal of Artificial Intelligence in Architecture*, 3(1), 24-41. <https://doi.org/10.24002/jarina.v3i1.8347>
- [19] Aljabr, H., & Ali, M. (2024). Integration of Building Information Modeling and Project Management Process. *International Journal of BIM and Engineering Science*, 8(1), 8-17. <https://doi.org/10.54216/IJBES.080101>
- [20] Anindita, M. K. A., Ola, F. B., Suwarno, N., & Sekarlangit, N. (2022). Utilization of building design performance simulation in the architectural design studio process. *ARTEKS: Jurnal Teknik Arsitektur*, 7(2), 163-174. <https://doi.org/10.30822/arteks.v7i2.1391>
- [21] Conrad, M., Kablitz, D., & Schumann, S. (2024). Learning effectiveness of immersive virtual reality in education and training: A systematic review of findings. *Computers & Education: X Reality*, 4(1), 100053. <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2024.100053>
- [22] Omar, O., El Messeidy, R., & Youssef, M. (2016). Impact of 3D simulation modeling on architectural design education. *Architecture and Planning Journal* 23(2), 1-13. <https://doi.org/10.54729/2789-8547.1075>
- [23] Parong, J., & Mayer, R. E. (2021). Cognitive and affective processes for learning science in immersive virtual reality. *Journal of Computer Assisted Learning*, 37(1), 226-241. <https://doi.org/10.1111/jcal.12482>

- [24] Sinnamon, C., & Miller, E. (2022). Architectural concept design process impacted by body and movement. *International Journal of Technology and Design Education*, 32(2), 1079-1102. <https://doi.org/10.1007/s10798-020-09636-4>
- [25] Lotfi Jalal Abadi, M., Farhadi, A., Ravaei, S., & Gholami, M. (2020). Designing a Skill-oriented Model for Occupational Students: Using the Grounded Theory. *Quarterly Scientific Journal of National University of Skills*, 16(2), 71-100. https://karafan.nus.ac.ir/article_105314.html?lang=en
- [26] Bagheri, N., Mazhari, M. E., & Masoudinejad, M. (2024). Explanation and Evaluation of Experiential Learning Platforms in Iran's Architectural Higher Education System (Case Study: Architecture Faculties of Kermanshah and Ahvaz). *Quarterly Scientific Journal of National University of Skills*, 20(4), 437-471. <https://doi.org/10.48301/kssa.2023.362339.2290>
- [27] Majidi, S., Ghazanfari, Z., & Haghani, M. (2023). The Effects of Proficiency and Business Skills on the "Employability" Development of Architecture Graduates. *Quarterly Scientific Journal of National University of Skills*, 19(4), 91-110. <https://doi.org/10.48301/kssa.2022.329362.2006>
- [28] Davoodi, S., Labibzadeh, R., & Tahoori, N. (2024). Explaining the Qualitative Structure to the Architectural Design Process based on Conceptual Metaphors in a Mixed Method. *Quarterly Scientific Journal of National University of Skills*, 20(4), 111-135. <https://doi.org/10.48301/kssa.2023.402330.2608>
- [29] Ngang, T. K., Yie, C. S., & Shahid, S. A. M. (2015). Quality Teaching: Relationship to Soft Skills Acquisition. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 191, 1934-1937. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.04.649>
- [30] Casakin, H., & Levy, S. (2020). Ideation and Design Ability as Antecedents for Design Expertise. *Creativity Research Journal*, 32(4), 333-343. <https://doi.org/10.1080/10400419.2020.1834742>
- [31] Xu, W., Geng, F., & Wang, L. (2022). Relations of computational thinking to reasoning ability and creative thinking in young children: Mediating role of arithmetic fluency. *Thinking Skills and Creativity*, 44(3), 101041. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2022.101041>
- [32] Yang, M. C. (2005). A study of prototypes, design activity, and design outcome. *Design Studies*, 26(6), 649-669. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2005.04.005>
- [33] Lauff, C. A., Kotys-Schwartz, D., & Rentschler, M. E. (2018). What is a Prototype? What are the Roles of Prototypes in Companies? *Journal of Mechanical Design*, 140(6), 061102. <https://doi.org/10.1115/1.4039340>
- [34] Ramos, J. D., & Wallace, D. R. (2019, August 18–21). *Designy: A Multimedia Platform for Supporting Student Prototyping in Product Design Education* [Conference session]. 2019 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, Anaheim, California, USA. <https://doi.org/10.1115/DETC2019-98364>
- [35] Dashtgard, S., Bazrafkan, K., & Jahanbakhsh, H. (2021). Constructing an Interdisciplinary Educational Model in Architectural Education. *Quarterly Scientific Journal of National University of Skills*, 18(Special Issue 1), 95-112. <https://doi.org/10.48301/kssa.2021.263267.1331>
- [36] Abdullah, F., Kassim, M. H. B., & Sanusi, A. N. Z. (2017). Go Virtual: Exploring Augmented Reality Application in Representation of Steel Architectural Construction for the Enhancement of Architecture Education. *Advanced Science Letters*, 23(2), 804-808. <https://doi.org/10.1166/asl.2017.7449>

- [37] Moshashaei, R., Maghami, H., & Zarei Zavaraki, E. (2019). Investigating the Effect of Augmented Reality Using the Merrill Educational Design Model on Students' Academic Achievement. *Quarterly of Educational Psychology*, 15(51), 127-145. <https://doi.org/10.22054/jep.2019.36758.2454>
- [38] Mehtari Arani, M., Rajabiyani Dehzireh, M., Baghbani, A., & Sotudeh Arani, H. (2019). The effect of computer-based educational simulation on mental well-being and lifelong learning in students. *Bimonthly of Education Strategies in Medical Sciences*, 11(5), 1-13. <https://doi.org/10.29252/edcbmj.11.05.01>
- [39] Annafi, A., Hakim, D., & Rohendi, D. (2018, August 30). *Impact of using augmented reality applications in the educational environment* [Conference session]. Journal of Physics: Conference Series, Volume 1375, Annual Conference of Science and Technology, Malang, Indonesia. <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/1375/1/012080>
- [40] Hessari, P., & Chegeni, F. (2022). Investigating the effectiveness of virtual education in practical and theoretical courses in the field of architecture. *Technology of Education Journal* 16(2), 281-292. <https://doi.org/10.22061/tej.2021.7556.2552>
- [41] Puggioni, M., Frontoni, E., Paolanti, M., & Pierdicca, R. (2021). SchoolAR: An Educational Platform to Improve Students' Learning Through Virtual Reality. *Institute of Electrical and Electronics Engineers Access*, 9, 21059-21070. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3051275>
- [42] El Barhouni, N., Hajji, R., Bouali, Z., Ben Brahim, Y., & Kharroubi, A. (2022). Assessment of 3D models placement methods in augmented reality. *Applied Sciences*, 12(20), 10620. <https://doi.org/10.3390/app122010620>
- [43] Ozenen, G. (2022). Enhancing Engagement and Learning Outcomes in Architectural Computing Design Education: A Study on the Implementation of Augmented Reality. *PRESENCE: Virtual and Augmented Reality*, 31, 245-256. https://doi.org/10.1162/pres_a_00396
- [44] Al-Ansi, A. M., Jaboob, M., Garad, A., & Al-Ansi, A. (2023). Analyzing augmented reality (AR) and virtual reality (VR) recent development in education. *Social Sciences & Humanities Open*, 8(1), 100532. <https://doi.org/10.1016/j.ssaoh.2023.100532>
- [45] Darwish, M., Kamel, S., & Assem, A. (2023). Extended reality for enhancing spatial ability in architecture design education. *Ain Shams Engineering Journal*, 14(6), 102104. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.102104>
- [46] Man, S. S., Wen, H., & So, B. C. L. (2024). Are virtual reality applications effective for construction safety training and education? A systematic review and meta-analysis. *Journal of Safety Research*, 88(2), 230-243. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2023.11.011>
- [47] Piana, A., Amparore, D., Sica, M., Volpi, G., Checcucci, E., Piramide, F., De Cillis, S., Busacca, G., Scarpelli, G., & Sidoti, F. (2024). Automatic 3D augmented-reality robot-assisted partial nephrectomy using machine learning: our pioneer experience. *Cancers*, 16(5), 1047. <https://doi.org/10.3390/cancers16051047>
- [48] Taherysayah, F., Malathouni, C., Liang, H-N., & Westermann, C. (2024). Virtual reality and electroencephalography in architectural design: A systematic review of empirical studies. *Journal of Building Engineering*, 85(4), 108611. <https://doi.org/10.1016/j.job.2024.108611>
- [49] Cardellicchio, L., Stracchi, P., & Globa, A. (2024). Digital heritage construction: Testing the heritage value of construction documentation and building processes through Virtual Reality. *Frontiers of Architectural Research*, 13(5), 1039-1055. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2024.02.012>

- [50] Cheng, L., Lau, L. K. P., & Pang, W. Y. J. (2024). Augmented Reality Book Design for Teaching and Learning Architectural Heritage: Educational Heritage in Hong Kong Central and Western District. *Association for Computing Machinery Journal on Computing and Cultural Heritage*, 17(4), 1-15. <https://doi.org/10.1145/3655628>
- [51] Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2012). *Product Design and Development* (5 ed.). McGraw-Hill/Irwin. <https://books.google.com/books?id=-eH-ewEACAAJ>
- [52] Otto, K. N., & Wood, K. L. (2001). *Product Design: Techniques in Reverse Engineering and New Product Development*. Prentice Hall. <https://books.google.com/books?id=up8nAQAAMAAJ>
- [53] Camburn, B., Viswanathan, V., Linsey, J., Anderson, D., Jensen, D., Crawford, R., Otto, K., & Wood, K. (2017). Design prototyping methods: state of the art in strategies, techniques, and guidelines. *Design Science*, 3, 1-33. <https://doi.org/10.1017/dsj.2017.10>
- [54] Ullman, D. G. (2003). *The Mechanical Design Process* (3 ed.). McGraw-Hill. <https://books.google.com/books?id=FQcoAQAAMAAJ>
- [55] Pei, E., Ian, C., & and Evans, M. (2011). A Taxonomic Classification of Visual Design Representations Used by Industrial Designers and Engineering Designers. *Design Journal*, 14(1), 64-91. <https://doi.org/10.2752/175630610X12877385838803>
- [56] Hannah, R., Michaelraj, A., & Summers, J. D. (2008, August 3-6). *A Proposed Taxonomy for Physical Prototypes: Structure and Validation* [Conference session]. ASME 2008 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, Brooklyn, New York, USA. <https://doi.org/10.1115/DETC2008-49976>
- [57] Houde, S., & Hill, C. (1997). Chapter 16 - What do Prototypes Prototype? In M. G. Helander, T. K. Landauer, & P. V. Prabhu (Eds.), *Handbook of Human-Computer Interaction (Second Edition)* (pp. 367-381). North-Holland. <https://doi.org/10.1016/B978-044481862-1.50082-0>
- [58] Petrakis, K., Wodehouse, A., & Hird, A. (2021). Physical prototyping rationale in design student projects: an analysis based on the concept of purposeful prototyping. *Design Science*, 7, 1-34. <https://doi.org/10.1017/dsj.2021.6>
- [59] Guan, J-Q., Liang-Hui, W., Qu, C., Kai, J., & Hwang, G-J. (2023). Effects of a virtual reality-based pottery making approach on junior high school students' creativity and learning engagement. *Interactive Learning Environments*, 31(4), 2016-2032. <https://doi.org/10.1080/10494820.2021.1871631>
- [60] Baukal, C. E., Ausburn, F. B., & Ausburn, L. J. (2013). A proposed multimedia cone of abstraction: Updating a classic instructional design theory. *Journal of Educational Technology*, 9(4), 15-24. <https://doi.org/10.26634/jet.9.4.2129>
- [61] Concannon, B. J., Esmail, S., & Roduta Roberts, M. (2019). Head-Mounted Display Virtual Reality in Post-secondary Education and Skill Training. *Frontiers in Education*, 4, 80. <https://doi.org/10.3389/feduc.2019.00080>
- [62] Chang, Y-S., Kao, J-Y., & Wang, Y-Y. (2022). Influences of virtual reality on design creativity and design thinking. *Thinking Skills and Creativity*, 46(1), 101127. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2022.101127>
- [63] Lee, J. H., Yang, E. K., & Sun, Z. Y. (2019, June 23 - 26). *Design Cognitive Actions Stimulating Creativity in the VR Design Environment* [Conference session]. Proceedings of the 2019 Conference on Creativity and Cognition, San Diego, California, USA. <https://doi.org/10.1145/3325480.3326575>

- [64] Hargrave, J., Mistry, R., & Wilson, R. (2013). *It's Alive! Can you imagine the urban building of the future*. Arup.
- [65] Saif, A. A. (2021). *Learning Psychology and Teaching* (26 ed.). Doran <https://www.gisoom.com/book/11775040>
- [66] Gutiérrez-González, S., Coello-Torres, C. E., Cuenca-Romero, L. A., Carpintero, V. C., & Bravo, A. R. (2023). Incorporating Collaborative Online International Learning (COIL) into common practices for architects and building engineers. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 22(2), 20-36. <https://doi.org/10.26803/ijlter.22.2.2>
- [67] Calleia, A. M., & Howard, S. J. (2014). Assessing what students know: effects of assessment type on spelling performance and relations to working memory. *Journal of Student Engagement: Education Matters*, 4(1), 14-24. https://ro.uow.edu.au/articles/journal_contribution/Assessing_what_students_know_Effects_of_assessment_type_on_spellin_g_performance_and_relation_to_working_memory/27688203?file=50423397
- [68] Kalyuga, S. (2008). *Managing Cognitive Load in Adaptive Multimedia Learning*. IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-60566-048-6>
- [69] Sweller, J. (2011). Cognitive Load Theory. In J. P. Mestre & B. H. Ross (Eds.), *Psychology of Learning and Motivation* (pp. 37-76). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-387691-1.00002-8>
- [70] Schnotz, W., Fries, S., & Horz, H. (2009). Some motivational aspects of cognitive load theory. In S. Wosnitza, A. Karabenick, A. Efklides, & P. Nennering (Eds.), *Contemporary motivation research: From global to local perspectives* (pp. 86-113). Hogrefe & Huber. https://www.researchgate.net/publication/273016902_Some_Motivational_Aspects_of_Cognitive_Load_Theory