

שימוש באפליקציית מציאות רבודה לפיתוח חשיבה גיאומטרית וראייה מרחבית בקרב תלמידי בית ספר יסודי

ספיר לזר

מכללת סמינר הקיבוצים

sappirjm@gmail.com

Use of Augmented Reality to Develop Geometric Thinking and Spatial Visualization among Elementary School Students

Sappir Lazar

Kibbutzim College of Education, Technology and the Arts¹

sappirjm@gmail.com

Abstract

Teaching geometry in elementary school poses a fundamental challenge due to the inherent gap between two-dimensional instructional representations and the three-dimensional structures students are required to understand. Many learners struggle with mental rotation, perspective-taking and analyzing spatial relationships, all of which are essential components of spatial perception and foundational to geometric thinking. These challenges are intensified by the cognitive load associated with traditional teaching methods that rely heavily on static diagrams, which often fail to support the construction of accurate and dynamic mental models.

Augmented Reality (AR) provides a pedagogically robust alternative for addressing these limitations. By embedding interactive three-dimensional models into the learning environment, AR enables students to observe geometric objects from multiple viewpoints, manipulate them through rotation, folding and unfolding and develop clearer spatial representations. Prior studies show improvements in spatial reasoning, visualization accuracy, motivation and engagement when AR is integrated into geometry learning. AR has also been found to reduce conceptual errors stemming from reliance on two-dimensional imagery.

Findings from the current study support and extend these conclusions. Students who learned with AR demonstrated substantial gains in mental rotation ability, improved geometric knowledge and significant increases in both intrinsic and extrinsic motivation compared to those receiving traditional instruction. The combination of dynamic visualization and active interaction reduced cognitive load, strengthened students' sense of competence and contributed to higher academic performance. These results indicate that integrating AR into geometry education is not merely a technological enhancement, but an effective pedagogical approach that deepens spatial perception and promotes meaningful learning among elementary school students.

Keywords: Augmented Reality, Geometry Education, Spatial Perception.

1 מחקר זה התבצע כחלק מהלימודים לתואר שני בחוג בטכנולוגיה בחינוך במכללת סמינר הקיבוצים.

תקציר

הוראת הגיאומטריה בבית הספר היסודי מציבה אתגר מהותי בשל הפער בין ייצוגים דו־ממדיים לבין ההבנה הנדרשת של מבנים תלת־ממדיים. תלמידים מתקשים לבצע רוטציה מנטלית, לשנות פרספקטיבה ולנתח יחסים בין רכיבים גיאומטריים, תהליכים הנוגעים ישירות לפיתוח תפיסה מרחבית. קשיים אלה מועצמים בשל עומס קוגניטיבי הנלווה להוראה מסורתית המבוססת על שרטוטים סטטיים, שאינם מספקים המחשה דינמית ומעמיקה.

בתוך כך, מציאות רבודה מציעה חלופה פדגוגית יעילה להוראת גיאומטריה. שילוב מודלים תלת־ממדיים אינטראקטיביים מאפשר לתלמידים לבחון גופים מזוויות שונות, לבצע מניפולציות של סיבוב, קיפול ופריסה, ולבנות ייצוגים מנטליים מדויקים. מחקרים מצביעים על תרומה לשיפור יכולות מרחביות, להפחתת טעויות קונספטואליות ולהגברת המעורבות והעניין בלמידה.

ממצאי המחקר הנוכחי מאששים מגמות אלה. השימוש ב־AR הביא לשיפור ביכולות הרוטציה המנטלית, לעלייה בידע הגיאומטרי ולשיפור משמעותי במוטיבציה הפנימית והחיצונית של תלמידים. שילוב המחשה תלת־ממדית עם התנסות פעילה הפחית עומס קוגניטיבי, חיזק תחושת מסוגלות ושיפר הישגים. ממצאים אלה מצביעים על כך שהטמעת מציאות רבודה בהקשר של הוראת גיאומטריה מהווה כלי מרכזי בפיתוח חשיבה מרחבית ובהעמקת תפיסה מרחבית בקרב תלמידי בית הספר היסודי.

מילות מפתח: הוראת גיאומטריה, מציאות רבודה, תפיסה מרחבית.

מבוא

הוראת הגיאומטריה בבית הספר היסודי מציבה אתגר פדגוגי, בעיקר בשל הקושי של תלמידים לתרגם ייצוגים דו־ממדיים להבנת מבנים תלת־ממדיים ולפתח חשיבה מרחבית מתקדמת. תלמידים מתקשים בזיהוי גופים, ברוטציה מנטלית ובפענוח יחסים בין רכיבים גיאומטריים, דבר המביא לטעויות חוזרות בהבניית מושגים בסיסיים. קשיים אלה קשורים לעומס קוגניטיבי הנוצר בעת עיבוד מידע חזותי מורכב ללא תמיכה מתאימה (Sweller, 2019). על רקע מגבלות ההוראה המסורתית, טכנולוגיית מציאות רבודה מציעה פתרון המשלב מודלים תלת־ממדיים אינטראקטיביים המוטמעים בסביבה הפיזית ומאפשרים המחשה חווייתית ומדויקת יותר של מבנים גיאומטריים מחקרים מצביעים על כך ששימוש במציאות רבודה תורם לשיפור יכולות מרחביות ולהעמקת ההבנה הגיאומטרית (ביטון ואחרים, 2019). בנוסף, נמצא כי למידה באמצעות מציאות רבודה מגבירה מוטיבציה ומעורבות, בעיקר בזכות חוויית אינטראקציה גבוהה עם התוכן (Nadzri & Zulkifli, 2023). למרות ממצאים אלה, השימוש במציאות רבודה בהקשר של הוראת גיאומטריה בבית הספר היסודי בישראל עדיין מצומצם. המחקר הנוכחי בוחן באופן שיטתי את השפעת השימוש באפליקציה של מציאות רבודה על ידע גיאומטרי, חשיבה מרחבית ומוטיבציה בקרב תלמידי כיתות ו', תוך השוואה בין למידה מבוססת מציאות רבודה לבין למידה מסורתית.

רקע תיאורטי

הוראת גיאומטריה מתמודדת עם פער בין ייצוגים דו־ממדיים לבין הבנה של מבנים תלת־ממדיים. תלמידים מתקשים לבצע רוטציה מנטלית, לזהות גופים מזוויות שונות ולנתח יחסים בין פאות, קודקודים וצלעות. מחקרים מצביעים על טעויות קונספטואליות מתמשכות ועל קשיים בהמרת ייצוגים, בעיקר בקרב תלמידים בעלי יכולת ויזואלית נמוכה (וידר, מירלה, גורסקי ופאול, 2010).

תפיסה מרחבית וחשיבותה בלמידת גיאומטריה

תפיסה מרחבית כוללת רוטציה מנטלית, שינוי פרספקטיבה, ויזואליזציה וניתוח יחסים בין צורות. יכולות אלו מהוות תשתית הבנה בגיאומטריה. מחקרים קודמים מראים כי בלמידה מסורתית היכולות הללו מתפתחות באיטיות ונשענות על תרגול רב. בהיעדר מודלים מוחשיים המאפשרים צפייה מזוויות שונות, תלמידים נדרשים להשקעה קוגניטיבית גבוהה, דבר היוצר עומס ופוגע בלמידה. החוקרים מדגישים כי יכולות אלו אינן מולדות, אלא נרכשות ומתחזקות

באמצעות חשיפה לחוויות תלת־ממדיות וסביבות למידה אינטראקטיביות. יחד עם זאת, תיאוריית העומס הקוגניטיבי. (Sweller, 1988) מסבירה כי עיבוד ייצוגים דו־ממדיים של מבנים תלת־ממדיים יוצר עומס יתר הפוגע בהבנה.

מהי מציאות רבודה, יתרוניתה ואתגריה

מציאות רבודה משלבת אובייקטים דיגיטליים תלת־ממדיים בסביבה הפיזית ומאפשרת המחשה קונקרטית של מושגים מורכבים. מחקרים מצביעים על יתרוניתה בשיפור הבנה מרחבית, פריסת גופים, זיהוי תכונות של מנסרות והפחתת טעויות בהמרת ייצוגים (ביטון ואחרים, 2019), (Dinayusadewi & Agustika, 2020). נמצא שיפור ביכולות ויזואליזציה, אוריינטציה ורוטציה מנטלית, בנוסף, מחקרים נוספים מצביעים על תרומה הרבה בביצוע מטלות רוטציה מנטלית. (Piri & Caglitay, 2024)

הספרות מצביעה על שיפור מתמיד ברוטציה מנטלית, בזיהוי צורות וביכולת להבין יחסים בין רכיבים גיאומטריים בעת שימוש במציאות רבודה. (Anggraini, Setyaningrum, Retnawati, 2020), (Supli&Yan, 2024), (Isharyadi & Herman, 2022). מודלים אינטראקטיביים מפחיתים טעויות מושגיות, מחזקים ייצוגים מנטליים, ומשפרים הבנה לאורך זמן. פעולות של סיבוב, קיפול ופריסה מאפשרות הפנמה הדרגתית של מושגים שקשה לבסס באמצעות טקסט או שרטוט בלבד.

סיכום הספרות מצביע על כך ששימוש במציאות רבודה עשויה לתת מענה לקשיים הקוגניטיביים והפדגוגיים המאפיינים את הוראת הגיאומטריה בגיל היסודי. יחד עם זאת, קיים מחסור במחקרים הבוחנים את יישום הטכנולוגיה בהוראה שיטתית בכיתות ו', ובפרט את השפעתה המשולבת על ידע גיאומטרי, חשיבה מרחבית ומוטיבציה. צורך זה מניע את המחקר הנוכחי.

מתודולוגיה

מטרת המחקר

מחקר זה מבקש לבחון את תרומת השימוש בטכנולוגיה של מציאות רבודה ללמידת גיאומטריה בקרב תלמידי כיתה ו', תוך התמקדות בשלושה היבטים מרכזיים:

- פיתוח חשיבה מרחבית – בחינת ההשפעה של שימוש ביישומי מציאות רבודה על יכולת הרוטציה המנטלית והעיבוד החזותי־מרחבי של התלמידים.
- שיפור ידע גיאומטרי – הערכת תרומת מציאות רבודה להבנה מעמיקה יותר של גופים תלת־ממדיים, פריסות, יחסים מרחביים ופתרון בעיות גיאומטריות.
- הגברת המוטיבציה ללמידה – בחינת השפעתה של למידה מבוססת מציאות רבודה על מוטיבציה פנימית וחיצונית ללמידת מתמטיקה.
- היבטים אלו נגזרו מהצורך להתמודד עם קשיים בהוראת הגיאומטריה בגיל בית ספר יסודי, כמו גם מהפוטנציאל הטמון בטכנולוגיית מציאות רבודה לשפר תהליכי הוראה־למידה ולסייע בהפחתת עומס קוגניטיבי והמחשת מבנים מרחביים בצורה דינמית וברורה.

השערות המחקר

בהתאם למטרת המחקר ולסקירת הספרות, גובשו ארבע השערות מרכזיות. ההשערה המרכזית הנה שקיים קשר חיובי בין רמת המוטיבציה של התלמידים לבין הישגיהם בידע הגיאומטרי, כך שתלמידים בעלי מוטיבציה גבוהה יותר צפויים להשיג תוצאות גבוהות יותר. השערה נוספת היא, שתלמידים הלומדים באמצעות יישומי מציאות רבודה (קבוצת הניסוי) ישפרו את יכולתם החזותית־מרחבית במידה משמעותית יותר לעומת תלמידים הלומדים בשיטה המסורתית (קבוצת הביקורת). התלמידים בקבוצת הניסוי יציגו שיפור גדול ומשמעותי יותר בידע הגיאומטרי לעומת תלמידי קבוצת הביקורת. תלמידים הלומדים באמצעות מציאות רבודה יפגינו עלייה משמעותית יותר במוטיבציה הפנימית והחיצונית ללמידת מתמטיקה, בהשוואה לתלמידים הלומדים בשיטה המסורתית.

אוכלוסיית המחקר

אוכלוסיית המחקר כללה 62 תלמידות ותלמידים הלומדים בשלוש כיתות ו' בבית ספר יסודי במרכז הארץ. התלמידים לומדים במסגרת הטרוגנית רגילה, עם פיזור טיפוסי של רמות ידע, יכולות מרחביות ומוטיבציה ללמידת מתמטיקה. אוכלוסייה זו נבחרה מאחר שהתכנים הגיאומטריים הנלמדים בכיתה ו' מהווים נקודת מפנה בהעמקת ההבנה של גופים תלת-מימדיים ופריסות, תחום שבו קשיים קוגניטיביים בולטים במיוחד.

ההקצאה לשתי קבוצות המחקר נעשתה ברמת הכיתה, כך ששתי כיתות שובצו לקבוצת הניסוי וכיתה אחת לקבוצת הביקורת. כל הכיתות למדו עם אותה מורה, מה שמאפשר לשמור על אחידות פדגוגית ולהפחית השפעות של סגנון הוראה משתנה. כל התלמידים השתתפו במחקר לאחר קבלת הסכמה מדעת של הוריהם, והמחקר התקיים במסגרת שגרת הלימודים הרגילה כדי לשמור על תנאי למידה טבעיים ולמנוע הטיות סביבתיות.

כלי המחקר

נעשה שימוש בשלושה כלי מדידה מתוקפים ומהימנים. כל אחד מהכלים נבחר בהתאם למשתני המחקר והותאם לגילם ולרמתם של תלמידי ביתה ו'.

שאלון ידע בנושא גופים גיאומטריים, שאלון זה נועד להעריך את רמת הידע וההבנה של התלמידים במושגים גיאומטריים תלת ממדיים, ובכלל זה זיהוי גופים, פריסות, יחסים מרחביים ופתרון בעיות גיאומטריות. השאלון שימש להערכת הידע הבסיסי בתחילת המחקר ולהערכת השיפור בידע עם סיום ההתערבות.

מבחן תפיסה מרחבית – Vandenberg Mental Rotation Test, מבחן סטנדרטי זה בודק יכולת רטציה מנטלית ותפיסה חזותית מרחבית. המבחן כולל 24 שאלות עם הגבלת זמן של שמונה דקות. בכל שאלה מוצגים ארבעה אובייקטים, ועל התלמידים לזהות שניים מהם המהווים סיבוב של אותו אובייקט. מבחן זה סיפק מדד כמותי ליכולת המרחבית לפני ואחרי ההתערבות¹, הציון המירבי אשר יכולים התלמידים להגיע אליו הוא 48.

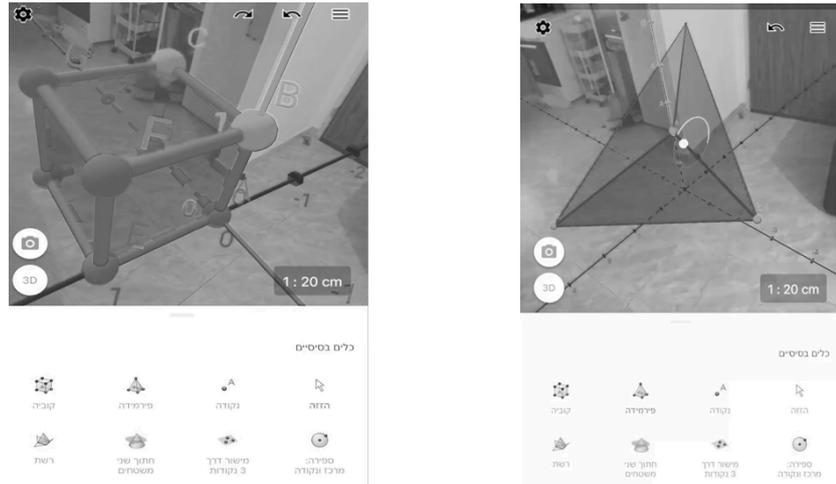
שאלון מוטיבציה ללמידה (Pintrich & DeGroot, 1990) – השאלון כולל 31 היגדים הנמדדים בסולם ליקרט בן שבע דרגות, מה "נכון ביותר" ועד "כלל לא נכון". מטרתו להעריך את רמות המוטיבציה של התלמידים ללמידת מתמטיקה, לרבות מוטיבציה פנימית, מוטיבציה חיצונית, עמדות כלפי הלמידה וציפיות להצלחה. השאלון הועבר לפני ואחרי ההתערבות במטרה לזהות שינוי בשיקולי ההנעה.

הליך המחקר

הליך המחקר החל לאחר קבלת אישור מבית הספר היסודי שבו נערך המחקר. עם קבלת האישור, פנתה החוקרת למורה המלמדת את הגיאומטריה בשכבת כיתה ו', ותיאמה עמה את ביצוע המחקר. להורי התלמידים נשלחו מכתבי הסבר מפורטים, שכללו את מטרות המחקר, מהלך ההשתתפות והדגשה של עקרון ההתנדבות, שמירה על חיסיון ואנונימיות. השתתפות התלמידים הותנתה בהחזרת טופס הסכמה חתום מטעם ההורים.

לפני תחילת יחידת הלימוד הועברו לכלל התלמידים שלושה השאלונים המתוארים לעיל. לאחר העברת כלי המדידה הראשוניים, החלה התערבות הוראה שערכה כשלושה חודשים. שתי הקבוצות למדו את אותם התכנים ובהנחיית אותה מורה, אך בשיטות הוראה שונות: קבוצת הניסוי למדה באמצעות יישומי מציאות רבודה שהציגו מודלים תלת-מימדיים אינטראקטיביים (ראה איור 1), בעוד קבוצת הביקורת למדה בשיטה המסורתית, באמצעות ספרי לימוד, מצגות ודגמים פיזיים ממארז האביזרים בחוברת הלימוד.

בתום ההתערבות הועברו שוב אותם שלושה שאלונים לצורך השוואה בין מדידות לפני ואחרי, במטרה לזהות שינויים ביכולת הראייה המרחבית, בידע הגיאומטרי והמוטיבציה ללמידה כתוצאה משימוש במציאות רבודה.



איור 1. שימוש באפליקציית Geogebra בזמן אמת המראה שימוש במציאות רבודה.

ממצאים

הממצאים מצביעים על השפעה מובהקת ומשמעותית של שילוב מציאות רבודה על יכולת הרוטציה המנטלית ועל המוטיבציה ללמידה. בתחום הידע הגיאומטרי נצפתה מגמת שיפור, אך היא אינה מובהקת סטטיסטית. טבלה 1 מציגה את ממוצעי הציונים וסטיות התקן של תלמידי קבוצת הניסוי וקבוצת הביקורת בשלושת כלי המחקר: מבחן רוטציה מנטלית (MRT), שאלון בעל 24 שאלות ולכל שאלה ישנן שתי תשובות נכונות, מבחן ידע בגופים גיאומטריים בעל 12 שאלות ושאלוני המוטיבציה הפנימית והחיצונית. הנתונים מוצגים עבור שלב המדידה לפני ההתערבות (PRE) ועבור מדידה לאחר ההתערבות (POST) שכלל 31 שאלות.

טבלה 1. נתוני מדידה לפני ואחרי התערבות

משתנה	כלי המדידה	טווח ציונים	מספר שאלות	ניסוי/ביקורת	ממוצע PRE	ס.ת. PRE	ממוצע POST	ס.ת. POST	P value
יכולת חזותית מרחבית	מבחן רוטציה מנטלית MRT	0-48	24	ניסוי	23.767	7.262	31.833	4.9	.001*
				ביקורת	20.844	4.594	20.75	4.135	0.626
ידע גיאומטרי	מבחן ידע בגופים	1-100	12	ניסוי	60.517	24.459	62.793	24.386	0.019
				ביקורת	71.030	22.635	72.094	20.163	0.117
מוטיבציה פנימית	שאלון בסולם ליקרט	1-7	31	ניסוי	3.659	0.826	5.897	0.425	0.001*
				ביקורת	4.548	1.260	5.193	0.756	0.017
מוטיבציה חיצונית	שאלון בסולם ליקרט	1-7	31	ניסוי	3.472	0.560	5.655	0.309	0.001*
				ביקורת	4.555	0.817	4.522	0.626	0.436

הטבלה מאפשרת השוואה ישירה בין הקבוצות ובין זמני המדידה, ומשקפת את השינוי שהתרחש בעקבות שילוב מציאות רבודה בלמידה. מהטבלה עולה כי היכולת החזותית המרחבית עלתה בקבוצת הניסוי באופן מובהק סטטיסטי, בעוד הממוצע בקבוצת הביקורת לא השתנה כלל.

בבחינת הידע הגיאומטרי נמצאה עלייה קלה בקרב קבוצת הניסוי, אך השיפור אינו מובהק סטטיסטית, ולכן יש להתייחס אליו כמגמה בלבד ולא כממצא חד-משמעי. משמעות הדבר היא שהשימוש במציאות רבודה תורם להבנה ראשונית של מושגים גיאומטריים, אך לפי נתוני המחקר הנוכחי לא ניתן לקבוע כי ההתערבות הביאה לשיפור מובהק בידע.

באשר למוטיבציה ללמידה, הנתונים מצביעים על עלייה חדה ומשמעותית הן במוטיבציה הפנימית והן במוטיבציה החיצונית בקרב תלמידי קבוצת הניסוי.

דיון

השיפור הניכר ביכולת החזותית מרחבית בקרב תלמידי קבוצת הניסוי תואם את ממצאיהם של (ביטון ואחרים, 2019), (Anggraini, Setyaningrum, & Retnawati, 2020) ו-(Supli & yan, 2024), שהראו כי תצוגות מציאות רבודה מאפשרות הבנה טובה יותר של תכונות גופים, רוטציה מנטלית ויחסים במרחב. מציאות רבודה מספקת המחשה ישירה של גופים תלת ממדיים ומאפשרת לתלמידים לפרק, להרכיב ולבחון אותם מזוויות שונות. יכולות אלו מפחיתות את הדרישה להסתמך על דמיון מופשט בלבד, ובכך מסייעות במיוחד לתלמידים המתקשים במיומנויות ויזואליזציה.

גם בתחום הידע הגיאומטרי נמצאה עלייה מובהקת בקרב קבוצת הניסוי בלבד. ממצא זה עולה בקנה אחד עם (Buchori, Sulianto, & Osman, 2023) ו-(Dinayusadewi & Agustika, 2020), אשר מצאו כי עבודה עם יישומי מציאות רבודה תורמת לפענוח פריסות, הבנת קשרים בין גופים ושיפור בפתרון בעיות. נראה כי היכולת של התלמידים להפעיל אינטראקציה ממשית עם הגופים הפחיתה טעויות מושגיות והגבירה את הדיוק בהבנת מאפייני הגיאומטריה. התוצאות באשר למוטיבציה ללמידה אלו עולות בקנה אחד עם ממצאי המחקרים של (Nadzri & Zulkifli, 2023) ו-(Tarnq, Huang, & Ou, 2024), שהראו כי שילוב מציאות רבודה בלמידת גיאומטריה מגביר את עניין התלמידים, את רמת המעורבות ואת תחושת ההצלחה. אינטראקציה עם מושגים מופשטים באופן מוחשי תורמת לחיזוק תחושת המסוגלות והעניין בלמידה, בהתאמה לעקרונות תאוריות מוטיבציה כגון Self-Determination Theory. מנגד, העובדה שקבוצת הביקורת לא הציגה שיפור מובהק ביכולת מרחבית או בידע הגיאומטרי מלמדת כי לימוד מסורתי, המבוסס על ייצוגים דו-ממדיים, אינו מספק תמיכה מספקת לרכישת מיומנויות גיאומטריות מתקדמות בגיל זה. ממצא זה עולה בקנה אחד עם הספרות המתארת את מגבלות השיטה המסורתית בהוראת גיאומטריה מורכבת. יש לציין כי אף שנמצאה מגמת עלייה בידע הגיאומטרי בקרב קבוצת הניסוי, השיפור לא נמצא מובהק סטטיסטית. ממצא זה מצטרף למחקרים קודמים המצביעים על תרומה של AR להבנה מרחבית, אך מראה כי בתחום הידע הפורמלי נדרש תהליך ארוך יותר. לכן תרומת המחקר אינה מציגה חידוש מחקרי מובהק אלא מחזקת את גוף הידע הקיים. באופן כללי, ממצאי המחקר תומכים בטענה כי שילוב טכנולוגיות מציאות רבודה בהוראת הגיאומטריה מספק לתלמידים תמיכה קוגניטיבית, חזותית ורגשית משמעותית, המשפרת את איכות הלמידה ואת תחושת המסוגלות.

סיכום

מחקר זה בחן את תרומת השימוש במציאות רבודה ללמידת גיאומטריה בקרב תלמידי בית ספר יסודי, תוך התמקדות ביכולת רוטציה מנטלית, בידע גיאומטרי ובמוטיבציה ללמידה. ממצאי המחקר מצביעים על עלייה מובהקת ביכולת הרוטציה המנטלית ועל שיפור משמעותי במוטיבציה הפנימית והחיצונית בקרב תלמידי קבוצת הניסוי, בהשוואה לקבוצת הביקורת. שיפור בידע הגיאומטרי נצפה אף הוא, אך לא נמצא מובהק סטטיסטית, ולכן יש לראות בו מגמה חיובית בלבד ולא ממצא מבוסס.

תרומת המחקר העיקרית היא בהדגשת יכולתו של שימוש ב-AR להעמקת הבנה מרחבית ולהגברת מעורבות תלמידים, באופן שעשוי להוות מענה לקשיים קוגניטיביים הנפוצים בהוראת גיאומטריה באמצעות ייצוגים דו-ממדיים. יחד עם זאת, לא ניתן להסיק בשלב זה כי מורגש שיפור משמעותי בהישגים פורמליים בתחום הידע הגיאומטרי, ועל כן נדרשת בחינה ארוכת טווח של השפעת ההתערבות.

למחקר מספר מגבלות, ובהן מדגם תלמידים קטן ומוגבל לבית ספר אחד, משך התערבות קצר, ושימוש ביישום AR יחיד. מגבלות אלו מצמצמות את יכולת הכללה ומדגישות את הצורך בהמשך מחקר רחב יותר. מחקרי המשך יכולים לכלול בחינת יישומים מגוונים של מציאות רבודה, הרחבת ההתערבות לזמן ארוך יותר, ובחינת השפעתה על הישגים פורמליים נוספים בגיאומטריה ובתחומי דעת סמוכים.

לסיכום, השימוש במציאות רבודה מציג פוטנציאל חיובי משמעותי בפיתוח תפיסה מרחבית ובהגברת המוטיבציה ללמידה, ומהווה כלי הוראה התומך בתהליכי למידה מעמיקים וחוויתיים. שילוב יישומי AR בלמידת גיאומטריה בגיל

היסודי מומלץ בגישה חדשנית המעשירה את ההוראה, אך נדרש המשך מחקר להעמקת ההבנה של השפעתה על הישגים ארוכי טווח וידע גיאומטרי פורמלי.

מקורות

- ביטון, יניב, עובדיה, תקוה, פילוס, אסנת, אלוש, קארין. (2019). "דברים שרואים משם לא רואים מכאן", שימוש בטכנולוגיית AR במקדמת תפיסה מרחבית של ההגדרה הקריטית של המושג מנסרה. **מחקר ועיון בחינוך מתמטי** 7 (יולי 2019), עמ' 103-114.
- וידר, מירלה, גורסקי, פאול. (2010). שימוש בסימולציה ממוחשבת להסרת מחסומים ויזואליים בהוראת הגיאומטריה במרחב. **האדם הלומד בעידן הטכנולוגי: כנס צ"י למחקר טכנולוגיות למידה**. האוניברסיטה הפתוחה ושה"ם 2010, 93-81.
- וידר, מירלה, ברמן, אבי, קויצ'ו, בוריס. (2015). הבנה של סרטוטים דו-ממדיים המתארים אובייקטים תלת-ממדיים בהוראת גיאומטריה במרחב. **על"ה: עלון למורי המתמטיקה**, 52 (תשע"ה 2015), עמ' 28-19.
- Anggraini, S., Setyaningrum, W., & Retnawati, H. (July, 2020). How to improve critical thinking skills and spatial reasoning with augmented reality in mathematics learning?. In **Journal of Physics: Conference Series** (Vol. 1581, No. 1, p. 012066). IOP Publishing.
- Buchori, A., Sulianto, J., & Osman, S. (2023). Interactive Learning Media With Augmented Reality (AR) Geogebra for Teaching Geometry in Elementary School. **Profesi Pendidikan Dasar**, 190-203.
- Dinayusadewi, N. P., & Agustika, G. N. S. (2020). Development of augmented reality application as a mathematics learning media in elementary school geometry materials. **Journal of Education Technology**, 4(2), 204-210.
- Isharyadi, R., & Herman, T. (2022). Designing learning material assisted by augmented reality to improve spatial thinking skills. **Al-Jabar: Jurnal Pendidikan Matematika**, 13(2), 413-422.
- Nadzri, A. Y. N. M., Ayub, A. F. M., & Zulkifli, N. N. (2023). The effect of using augmented reality module in learning geometry on mathematics performance among primary students. **Environment**, 3-4.
- Piri, Z., & Cagiltay, K. (2024). Can 3-dimensional visualization enhance mental rotation (MR) ability?: A systematic review. **International Journal of Human-Computer Interaction**, 40(14), 3683-3698.
- Supli, A. A., & Yan, X. (2024). Exploring the effectiveness of augmented reality in enhancing spatial reasoning skills: A study on mental rotation, spatial orientation, and spatial visualization in primary school students. **Education and information technologies**, 29(1), 351-374.
- Sweller, J. (1988) Cognitive load during problem solving, **Cognitive Science** 12: 257-285.
- Tarng, W., Huang, J. K., & Ou, K. L. (2024). Improving Elementary Students' Geometric Understanding Through Augmented Reality and Its Performance Evaluation. **Systems**, 12(11), 493-4
- Pintrich, P. R., & De Groot, E. V. (1990). Motivational and self-regulated learning components of classroom academic performance. **Journal of Educational Psychology**, 82(1), 33-40.