

פיתוח ואימון יכולות מרחביות בקרב סטודנטים להנדסה ואדריכלות באמצעות שילוב אסטרטגיות הוראה והשפעתן על ההישגים האקדמיים

הדס לוי גמליאל

שנקר – הנדסה. עיצוב. אמנות.

hadaslg@shenkar.ac.il

רוֹן פּוֹרַת

שנקר – הנדסה. עיצוב. אמנות.

ronenp@shenkar.ac.il

Development and Training of Spatial Abilities among Engineering and Architecture Students through Integrated Teaching Strategies and Their Impact on Academic Achievements

Ronen Porat

Shenkar – Engineering. Design. Art.

ronenp@shenkar.ac.il

Hadas Levi Gamliel

Shenkar – Engineering. Design. Art.

hadaslg@shenkar.ac.il

Abstract

Spatial ability (SA) refers to the ability to create, maintain, and manipulate abstract visual representations mentally. Research conducted in recent decades has found that this ability is essential for the development of mathematical skills in children. Later studies examining spatial ability in adults revealed that it serves as a predictor of success in the fields of Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) in academic studies. Recently, attention has also been directed to the field of architecture, where spatial skills are critical, but have not been studied in terms of their impact on academic achievements. The current research examines the effectiveness of a new training program aimed at improving the spatial abilities of first-year engineering and architecture students. The program integrated traditional teaching methods with computer-based strategies, frontal learning, hands-on model building, and augmented reality (AR) tools, all within a focused intervention program of approximately 20 hours. The research sought to determine whether the training program would be effective in enhancing the SA abilities of the students, and whether this improvement would manifest equally across variables such as gender, field of study, and previous mathematical level. The study also examined the relationship between these improvements and academic success in several foundational courses during the first year. The results showed a significant improvement in spatial abilities among students who participated in the program compared to the control group. These findings are applicable to both engineering and architecture students and were effective regardless of the participants' gender or prior mathematical level. This significant improvement in spatial abilities impacted the academic achievement levels at the end of the first year for the architecture students.

Keywords: spatial ability, spatial perception, mental rotation, spatial visualization, spatial relations, spatial training, engineering education, architecture, higher education, STEM.

תקציר

יכולת מרחבית (Spatial Ability, SA) מתייחסת ליכולת ליצור, לשמר ולתפעל ייצוגים חזותיים מופשטים באופן מנטלי. מחקרים שבוצעו בעשורים האחרונים מצאו כי יכולת זו חיונית להתפתחות הכישורים המתמטיים בקרב ילדים. מחקרים מאוחרים יותר שעסקו ביכולת מרחבית אצל מבוגרים גילו שהיא מהווה גורם מנבא להצלחה בתחומי המדעים, הטכנולוגיה,

ההנדסה והמתמטיקה (STEM) בלימודים אקדמיים. לאחרונה הופנתה תשומת לב גם לתחום האדריכלות, אשר בו כישורים מרחביים הינם קריטיים, אך לא נבדקו מבחינת השפעתם על הישגים אקדמיים. המחקר הנוכחי בוחן את יעילותה של תוכנית הכשרה חדשה שמטרתה לשפר את היכולות המרחביות של סטודנטים להנדסה ואדריכלות בשנתם הראשונה בלימודי תואר ראשון. התוכנית משלבת שיטות הוראה מסורתיות עם שיטות ממוחשבות, למידה פרונטלית, בנייה מעשית של מודלים וכלים מבוססי מציאות רבודה (AR), כל זאת, במסגרת קצרה וממוקדת. המחקר שאל האם תוכנית ההכשרה תהיה יעילה בשיפור יכולות ה-SA של הסטודנטים, והאם שיפור זה יתבטא באופן שווה בקרב משתנים כגון מגדר, תחום לימודים והרמה המתמטית הקודמת של הסטודנטים. כמו כן נבדק הקשר בין שיפורים אלו להצלחות האקדמיות במספר קורסי יסוד בשנה הראשונה. תוצאות המחקר הראו שיפור משמעותי ביכולות המרחביות בקרב הסטודנטים שהשתתפו בתוכנית, בהשוואה לקבוצת הביקורת. ממצאים אלו היו נכונים הן לסטודנטים להנדסה והן לסטודנטים לאדריכלות, ונמצאו יעילים ללא תלות במגדר או ברמה המתמטית הקודמת של המשתתפים. שיפור משמעותי זה ביכולות המרחביות השפיע על רמת ההישגים האקדמיים בתום השנה הראשונה בתואר ראשון ללימודיהם של הסטודנטים לאדריכלות.

מילות מפתח: יכולת מרחבית, תפיסה מרחבית, סיבוב מנטלי, ויזואליזציה מרחבית, יחסים מרחביים, הכשרה מרחבית, חינוך הנדסי, אדריכלות, השכלה גבוהה, STEM.

מבוא

החוקר המדעי של יכולות אנושיות, התפתחותן והשפעתן על ביצועים בתחומי ידע ופרקטיקה שונים עומד במוקד העניין של מדעי החברה, החינוך והפסיכולוגיה הקוגניטיבית. בתוך חקר זה, שאלות הנוגעות להבחנה בין כישורים קוגניטיביים שונים הפכו למוקד מרכזי. על פי תיאוריית האינטליגנציות המרובות של גרדנר (1983), אינטליגנציה מורכבת ממגוון יכולות שונות וביניהן אינטליגנציה מרחבית (Spatial Intelligence). גרדנר ראה ביכולת זו כישרון מיוחד לתפוס את העולם באופן חזותי ולהתמודד עם שינויים ותנועות של אובייקטים במרחב, כאלו החיוניים לתפקוד היומיומי בסביבות מורכבות.

יכולת מרחבית (Spatial Ability, SA) מוגדרת כיכולת ליצור, לשמור ולבצע מניפולציות על דימויים חזותיים מופשטים באופן מנטלי. על פי מאייר (Maier, 1996), SA כוללת: תפיסה מרחבית, ויזואליזציה, סיבוב מנטלי, יחסים מרחביים והתמצאות מרחבית. **תפיסה מרחבית** מתייחסת ליכולת לתפוס נכון את מיקומם של אובייקטים ביחס לעצמי, גם בנוכחות של מידע מסיח. **ויזואליזציה** כוללת את היכולת לדמות סיטואציות מורכבות כאשר המרכיבים מתואמים זה לזה במרחב. **סיבוב מנטלי** מתאר את היכולת לסובב גופים תלת-ממדיים במחשבה בלבד. **יחסים מרחביים** נוגעים לזיהוי היחסים בין חלקים שונים של אובייקט, **התמצאות מרחבית** מתייחסת ליכולת להסתגל למצב מרחבי נתון ולשמור על אוריינטציה נכונה ביחס לאובייקטים השונים.

על פי מחקרים שנעשו בעשורים האחרונים, התפתחות היכולת המרחבית קשורה ישירות להתפתחות כישורים מתמטיים ומדעיים אצל ילדים, ומאוחר יותר, גם להצלחות אקדמיות ומקצועיות בתחומי STEM (Cheng & Mix, 2013). חשיבה מתמטית נתמכת במידה רבה בייצוגים מנטליים-מרחביים והיכולת המרחבית היא בין הגורמים המנבאים הצלחה בתחומי STEM בקרב סטודנטים (Wai et al., 2009).

בשנים האחרונות, חלה עליה בחקר היכולת המרחבית גם ביחס לתחום האדריכלות, שבו הכישורים המרחביים מהווים מרכיב מרכזי (Berkowitz et al., 2021). תכנון אדריכלי דורש הבנה מעמיקה של יחסים מרחביים, יכולת לדמיין ולהעריך את מבנהו של אובייקט תלת-ממדי ולבצע תהליכי מניפולציה מרחבית מורכבים. אדריכלים נדרשים למיומנויות מתמטיות ומרחביות על מנת לחשב חוזק מבני, לאמוד כוחות ומשקלים, ולתכנן מבנים (Sergeeva et al., 2019). למרות שנראה כי כישורים מרחביים חשובים להצלחתם של אדריכלים, מעט מאוד מחקרים בדקו ישירות את הקשר בין כישורים אלו להצלחות אקדמיות בתחום זה. עם זאת, עדויות מראות כי סטודנטים לאדריכלות, כמו סטודנטים להנדסה, מראים שיפור ביכולת המרחבית במהלך שנות הלימוד שלהם באקדמיה (Berkowitz et al., 2021).

בהתחשב בממצאים אלו, ניכר כי יש צורך בתוכניות הכשרה חדשניות אשר יסייעו לסטודנטים בתחומי ההנדסה והאדריכלות לפתח את כישוריהם המרחביים באופן מקיף. בשנים האחרונות חלה מהפכה טכנולוגית בתחומי המחשוב, ובכך נפתחו אפשרויות חדשות לחקר ופיתוח הכשרה ממוקדת ואפקטיבית המבוססת על טכנולוגיות מתקדמות כמו מציאות מדומה (VR) ומציאות רבודה (AR). כלים אלו מאפשרים יצירת חוויות למידה מדמות מציאות אשר תורמות להבנת היחסים המרחביים בין אובייקטים ולפיתוח יכולות מורכבות

(Di & Zheng, 2022). מחקרים הראו כי יישומים אלו יעילים במיוחד בשיפור היכולת המרחבית בקרב לומדים צעירים ואף מצמצמים פערים מגדריים ביכולות מרחביות (Feng et al., 2007). המחקר הנוכחי ביקש להעריך את היעילות של תוכנית הכשרה חדשנית בקרב סטודנטים בשנה הראשונה להנדסה ואדריכלות, תוך בחינת השפעתה על פיתוח הכישורים המרחביים של הסטודנטים והקשר בין שיפורים אלו להצלחות אקדמיות. מטרת המחקר כוללת השוואה בין יכולת מרחבית של סטודנטים המשתתפים בתוכנית ההכשרה לסטודנטים שאינם, ובחינת גורמים המשפיעים על התקדמות יכולת מרחבית כמו מגדר, תחום לימוד, רמת הידע הקודם במתמטיקה ממנו הגיעו בלימודים התיכוניים וההשפעה על ההישגים האקדמיים.

סקירת ספרות

יכולת מרחבית (Spatial Ability – SA) היא כישור קוגניטיבי המקנה לאדם את היכולת ליצור, לשמור ולבצע מניפולציות על דימויים חזותיים. כישור זה כולל מספר מיומנויות משנה כמו סיבוב מנטלי, תפיסה מרחבית, יכולת ויזואליזציה והבנת יחסים מרחביים בין עצמים שונים (Gardner, 1983; Maier, 1996). גרדנר מציג את התפיסה המרחבית, כאחת מהיכולות באינטליגנציה שיש בה ייחודית המאפשרת לאדם לתפוס את העולם החזותי במדויק ולהשתמש בייצוגים חזותיים במחשבה לפתרון בעיות. מאייר (Maier, 1996) הרחיב את המודל של גרדנר בכך שחילק את היכולת המרחבית למספר תתי-כישורים: תפיסה מרחבית, ויזואליזציה, סיבוב מנטלי, יחסים מרחביים והתמצאות מרחבית. כל אחד מתתי-הכישורים הללו תורם להבנה חזותית ומרחבית במגוון היחסים, ומחקרים שונים הראו כיצד תתי-כישורים אלה תורמים לביצועים במגוון תחומים אקדמיים, מקצועיים ויומיומיים (Buckley et al., 2018).

מחקרים רבים מראים כי ליכולת המרחבית תפקיד מרכזי בפיתוח מיומנויות מתמטיות, ומכאן – גם בהצלחה בתחומים הקשורים למתמטיקה ולמדעים (Mix et al., 2016; Cheng & Mix, 2013). מחקרם של וואי, לובינסקי ובנבו (Wai et al., 2009) הראה כי יכולת מרחבית גבוהה היא בין המנבאים המרכזיים להצלחות ארוכות טווח בתחומי STEM אפילו מעבר ליכולת מילולית וכמותית. המחקר הראה כי הצלחות אלו מתבטאות לא רק במבחנים אקדמיים אלא גם בקריירות בתחומי המדעים וההנדסה, שבהם נדרשים פתרון בעיות מורכב והבנת יחסים מרחביים. אנשים בעלי יכולת מרחבית מפותחת מצליחים יותר במבחני מתמטיקה, ואף מסוגלים ליצור ייצוגים סכמטיים של בעיות מתמטיות הממחישים את היחסים המרחביים בין המשתנים (Rittle- Johnson, Zippert, & Boice, 2019).

המודל של קאטל-הורן-קרול (CHC) על האינטליגנציה המרחבית (Schneider & McGrew, 2012) מציג את היכולת המרחבית כגורם אינטגרלי המשפיע על יכולת חזותית (Gv – Visual Processing) וכן מפרט על כישורים כמו סיבוב מהיר, זיכרון חזותי, אשליות תפיסתיות וסריקת מרחב, שכל אחד מהם משפיע על יכולות פתרון בעיות וחשיבה ביקורתית (Buckley et al., 2018).

תחומי ההנדסה והאדריכלות מציבים גם הם דרישות גבוהות ליכולות מרחביות בשל הצורך של סטודנטים לעבד מידע תלת-ממדי מורכב, להבין תוכניות ולבצע מניפולציות על עצמים במרחב. מחקרים הראו כי סטודנטים בתחומים אלו, במהלך השנה הראשונה ללימודיהם, מפגינים שיפור משמעותי ביכולות מרחביות, במיוחד לאחר חשיפה לקורסים בגרפיקה הנדסית ועיבוד חזותי (Leopold et al., 2001; Sorby, 2007). מחקרם של ברקוביץ' ואחרים (Berkowitz et al., 2021) מדגים כי כישורי היכולת המרחבית של סטודנטים לאדריכלות משתפרים ככל שהם מתקדמים בלימודיהם. ממצאים אלו תומכים בטענה כי הכשרה בתחום זה מקדמת התפתחות ביכולת מרחבית ומגבירה את יכולת התכנון וההבנה המבנית.

מחקרים רבים הראו כי קיימים הבדלים מגדריים ביכולת המרחבית, כאשר גברים לרוב מפגינים ביצועים טובים יותר בנוגע למיומנויות כמו סיבוב מנטלי וויזואליזציה מרחבית (Voyer, Voyer, & Bryden, 1995), עם זאת, הבדלים אלו אינם מוחלטים ונראה כי הכשרה מתאימה עשויה לסייע לנשים לגשר על הפער. מחקרם של Reilly, Neumann ו-Andrews (2017) מצא כי הכשרה מרחבית ממוקדת מפחיתה פערים מגדריים ומשפרת את ביצועי הנשים במבחני יכולת מרחבית, דבר שמצביע על כך שהיכולת המרחבית היא גמישה וניתנת לשיפור דרך הכשרה מתאימה. מודלים מבוססי בנייה והתנסות מעשית הם כלים מרכזיים בתהליכי הכשרה המיועדים לשפר את היכולת המרחבית. תוכניות הכשרה המבוססות על בניית מודלים פיזיים מאפשרות לתלמידים ללמוד בצורה חווייתית יותר ולהבין את היחסים המרחביים בין חלקי מבנים שונים, בצורה מוחשית ואינטואיטיבית (Sorby, 2007; Aszalos & Bako, 2004). סוג זה של הכשרה, שמבוסס על תרגולים מעשיים, תורם רבות להבנת המרחב והצורה המורכבים, במיוחד בקרב סטודנטים לאדריכלות.

מתודולוגיה

המחקר הנוכחי מבוסס על עיצוב ניסויי התערבותי המתמקד בבחינת ההשפעה של תכנית הכשרה ייעודית על פיתוח ושיפור היכולות המרחביות של סטודנטים בתחומי ההנדסה והאדריכלות בשנה האקדמית הראשונה ללימודיהם. המחקר נערך במכללת שנקר בישראל, מוסד אקדמי רב-תחומי המשלב דיסציפלינות בתחומי ההנדסה, העיצוב והאמנות. מטרתו המרכזית של המחקר היא להעמיק בהבנת תרומתה של תכנית התערבות ממוקדת הכוללת תהליכי למידה קבוצתיים פרונטליים, קבוצתיים ויחידניים המשלבים טכנולוגיה ומחשב ומיועדים לשיפור הקוגניציה המרחבית בקרב הסטודנטים באופן ממוקד ויעיל. בהמשך לכך, מטרה מרכזית נוספת היא להבין ולמצוא את הקשרים בין התפתחות זו לבין הישגים אקדמיים בקורסי ליבה, הן בהנדסה והן באדריכלות, במהלך שנת הלימודים הראשונה של הסטודנטים.

שאלות המחקר

המחקר מתמקד במספר שאלות עיקריות שמטרתן לבחון את יעילות תכנית ההתערבות והשפעתה על פיתוח יכולות מרחביות והצלחה אקדמית. **האם תכנית ההכשרה יעילה בשיפור היכולת המרחבית?** במסגרת זו נבחנת ההשפעה של התכנית על רמות השיפור בציוני ה-SA, כאשר המשתנה הבלתי תלוי הוא קבוצת הסטודנטים (קבוצת ביקורת או קבוצת התערבות), והמשתנה התלוי הוא השיפור בציוני ה-SA.

נוסף על כך, המחקר בוחן את השאלה **האם תכנית ההתערבות משפרת את היכולת המרחבית בעקביות בקרב גורמים שונים כגון שיוך פקולטי, מגדר, ורמת מתמטיקה ראשונית/קודמת?** מטרה זו מתמקדת בזיהוי ההשפעה של מאפיינים דמוגרפיים ואקדמיים על תוצאות ההתערבות, כאשר המשתנים הבלתי תלויים כוללים את שיוך הסטודנטים לפקולטות השונות, מגדרם, ורמתם במתמטיקה בתחילת השנה, בעוד המשתנה התלוי הוא ציוני ה-SA.

במקביל, המחקר עוסק בשאלה האיכותנית **אילו רכיבים בתכנית ההתערבות היו יעילים, ואילו פחות? ומה ניתן לשפר?** שאלה זו מתמקדת בזיהוי האלמנטים המרכזיים שתורמים להצלחת התכנית ובהמלצות לשיפור הרכיבים הפחות אפקטיביים.

עוד נבחנת השאלה **האם שיפור ביכולת המרחבית (SA) יכול לשפר הישגים אקדמיים בקורסים רלוונטיים ובממוצע הציונים (GPA) הן בהנדסה והן באדריכלות?** שאלה זו בוחנת את הקשר בין תכנית ההתערבות לבין ההישגים האקדמיים של הסטודנטים, כאשר המשתנה הבלתי תלוי הוא תכנית ההתערבות, ואילו המשתנים התלויים כוללים את ציוני ה-SA, ציוני הקורסים הרלוונטיים, וממוצע הציונים (GPA) לאורך סמסטר או שנת הלימודים המלאה.

לבסוף, המחקר שואל **האם ציוני SA גבוהים בתחילת הלימודים יכולים לנבא הישגים אקדמיים גבוהים יותר בקרב סטודנטים לאדריכלות בסיום השנה הראשונה?** שאלה זו מתמקדת בניבוי הישגים אקדמיים בהתבסס על יכולות מרחביות ראשוניות, כאשר המשתנה הבלתי תלוי הוא ציוני ה-SA בתחילת השנה (בקבוצת הביקורת), ואילו המשתנים התלויים הם ממוצע הציונים (GPA) וציוני הקורסים הרלוונטיים בסיום השנה. שאלות המחקר הללו שואפות להעמיק את ההבנה בדבר הקשר בין פיתוח יכולות מרחביות לבין הצלחה אקדמית, תוך התמקדות במרכיבים המעשיים והטכנולוגיים של תכניות ההתערבות לשיפור יכולות אלו. המחקר משלב מתודולוגיה כמותנית ואיכותנית (Mixed Methods) במטרה לאפשר ניתוח מקיף ועמוק של התהליכים והגורמים המשפיעים על פיתוח יכולות מרחביות.

מבנה המחקר ומערך הניסוי

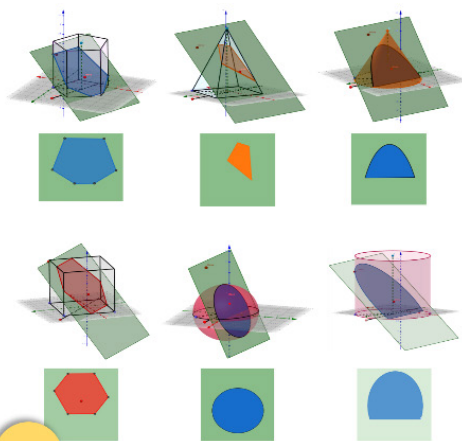
אוכלוסיית המחקר כוללת כ-154 סטודנטים הלומדים בשנתם האקדמית הראשונה, מתוכם 79 מהפקולטה להנדסה ו-75 מהפקולטה לעיצוב. המדגם חולק לשתי קבוצות מרכזיות: קבוצת התערבות שכללה 89 משתתפים (47 מהפקולטה להנדסה ו-42 מהפקולטה לעיצוב) וקבוצת ביקורת בת 65 משתתפים (32 מהפקולטה להנדסה ו-33 מהפקולטה לעיצוב). החלוקה לקבוצות התבצעה תוך שימוש בעקרונות דגימה אקראית מרובדת, שמטרתה להבטיח ייצוג שוויוני של שתי הדיסציפלינות המרכזיות, וכן לשמור על אחידות בתנאי המדגם תוך בקרה על משתנים דמוגרפיים ואקדמיים.

תכנית ההתערבות, שהיוותה את בסיס המחקר, עוצבה כמודל המשלב בין הוראה תאורטית, למידה אינטראקטיבית וטכנולוגית, והתנסות מעשית. התוכנית כללה ארבעה רכיבים מרכזיים: הוראה פרונטלית (Traditional Teaching Method, TTM), למידה מבוססת מחשב (Computer-Based Learning, CBL), שימוש במציאות רבודה (Augmented Reality Training, AR-T) ובניית מודלים פיזיים (Building Real Models, BRM).

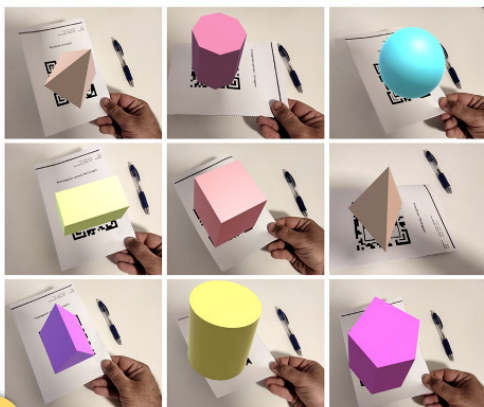
רכיב ההוראה הפרונטלית כלל התמקדות בהקניית תשתית תאורטית של מושגים מרחביים בסיסיים וניתוח דוגמאות חזותיות יחד בכיתה באמצעות רישומים דו-ממדיים ותלת-ממדיים ודיונים יחד בכיתה. רכיב הלמידה מבוססת מחשב, שהתמקד בכלים מתקדמים דוגמת SketchUp ו-GeoGebra ואפשר לסטודנטים ליצור מודלים גיאומטריים, לנתח מבנים מרחביים, ולהתנסות במניפולציות תלת-ממדיות. רכיב המציאות הרבודה התבסס על שילוב כלים דיגיטליים ואפליקציות AR המאפשרות אינטראקציה עם אובייקטים וירטואליים, תוך שילוב בין המציאות והסביבה הפיזית לעולם הדיגיטלי. רכיב בניית המודלים הפיזיים כלל תרגול בבניית מודלים מקרטון ודבק, תוך התמקדות בהבנה מוחשית של יחסים מרחביים ואינטראקציה בין הגופים שנבנו, חיתוך ביניהם ובין מישורים במרחב. תכנית זו נמשכה על פני סמסטר ראשון ללימודים.



#1 Traditional Teaching Method (TTM)



#2 Computer-Based Learning (CBL)



#3 Augmented Reality Training (AR-T)

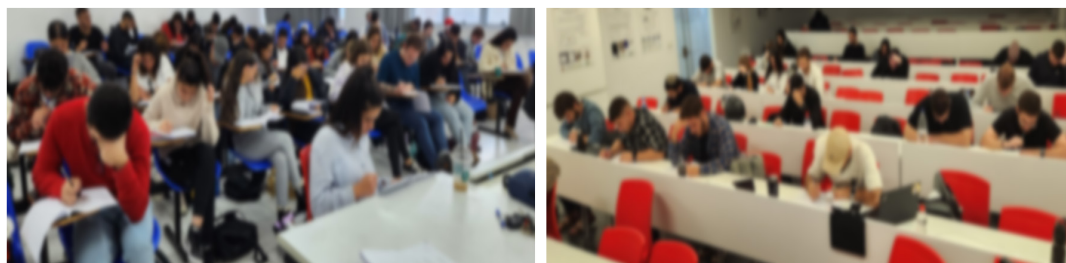
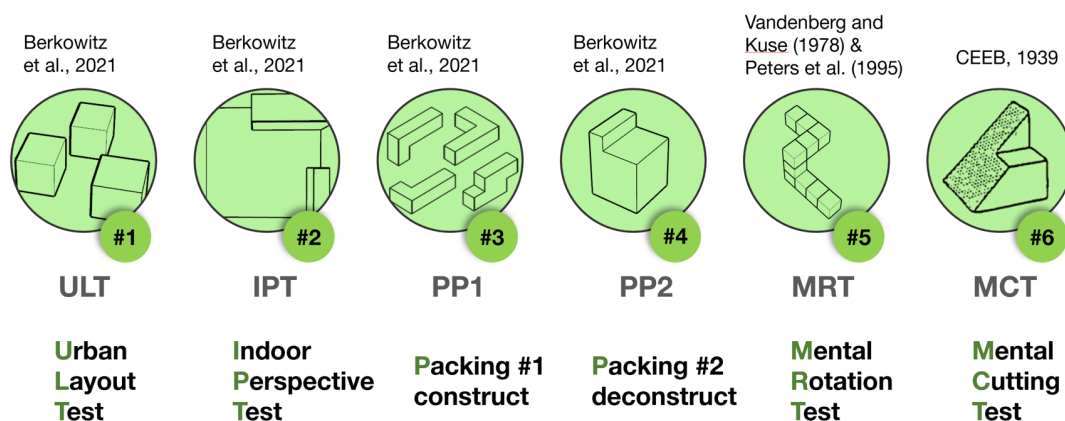


#4 Building Real Models (BRM)

איור 1. תכנית ההתערבות עוצבה כמודל המשלב בין ארבעה רכיבים מרכזיים: הוראה תאורטית, למידה אינטראקטיבית וטכנולוגית, והתנסות מעשית.

על מנת להעריך את השפעות תכנית ההתערבות ובהתייחס אל רמת היכולת המרחבית לפני ואחרי ההתערבות, המחקר השתמש במבחנים מוכרים שנאספו בהתאם לידע התיאורטי שנצבר ובשיתוף פעולה עם חוקרים ומחקרים אחרים בעולם. בדיקה והערכה של רמת היכולת המרחבית אצל כל סטודנט נעשתה על ידי שימוש במבחנים אלו המורכבים משישה תתי-מבחנים ובוחנים היבטים מגוונים ורבים של תפיסה מרחבית (**איור 2**). מבחן הסיבוב המנטלי (Mental Rotation Test, MRT) נועד לבדוק את היכולת לדמיין ולסובב גופים תלת-ממדיים. מבחן החיתוך המנטלי (Mental Cutting Test, MCT) העריך את היכולת לחזות חיתוכים בגופים ולפרש צורות חתך. מבחן ההתמצאות בסביבה חיצונית (Urban Layout Test, ULT)בחן את היכולת לזהות מבנים ומאפיינים מרחביים בסביבה עירונית חיצונית. מבחן הפרספקטיבה בסביבה פנימית (Indoor Perspective Test, IPT) התמקד בהבנת מבנים פנימיים ופרשנות פרספקטיבות שונות. מבחן ההרכבה (Packing Test) ומבחן הפירוק (Unpacking Test) התייחסו למשימות מנטליות של פירוק והרכבת אובייקטים מופשטים. כל אחד

מהמבחנים הללו הותאם למדידה ממוקדת של היבטים ייחודיים בתפיסה המרחבית, ויועדו לסטודנטים בתחומי ההנדסה והעיצוב.

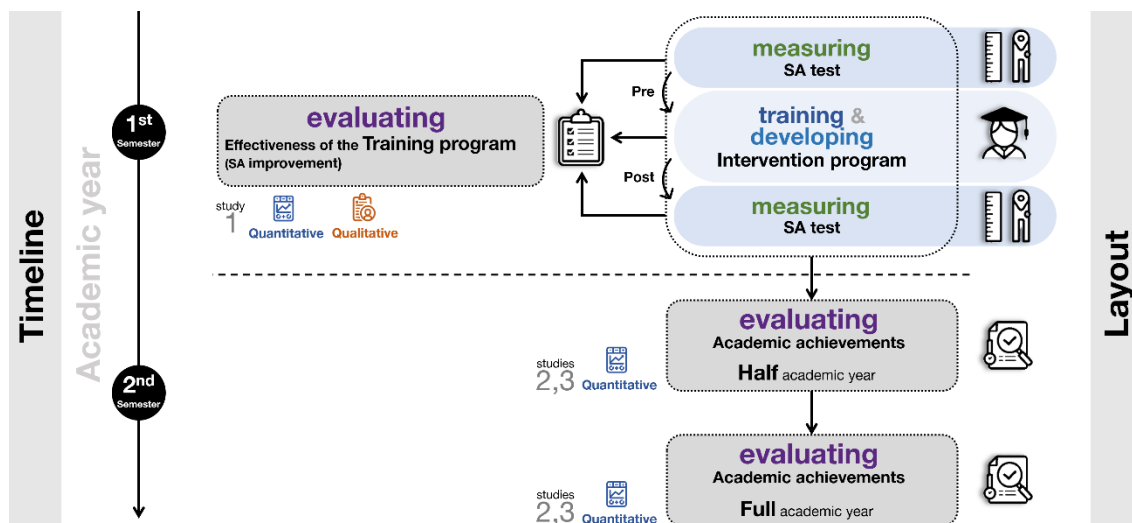


איור 2. למעלה: מרכיבי מבחן SA: חמישה תתי-מבחנים המתמקדים בהיבטים שונים של יכולת מרחבית. **למטה:** תמונות מזמן בחינת SA בכיתות להנדסה ואדריכלות.

המחקר כלל חמישה שלבים מרכזיים של איסוף נתונים (איור 3): השלב הראשון הוא איסוף הציגונים מהמבחנים הדיאגנוסטיים בהתחלה שבדקו את רמת התפיסה המרחבית בתחילת השנה לכלל הסטודנטים במחקר (Pre-tests), שאלוני רקע דמוגרפיים ואקדמיים, ונתוני כניסה למכללה. הכל נאסף בצורה מקודדת ואנונימית. השלב השני, התרכז בתייעוד תהליכי ההשתתפות בפעילויות התערבות, והערכות ביצוע חלקיות במהלך התכנית ולאחר סיום תכנית ההתערבות, נאספו הדיווחים של הסטודנטים בקבוצות ההתערבות על ידי שימוש במשוב שאלונים לגבי ההתרשמות מהתכנית, דירוג ובחינת המרכיבים שלה והתייחסות לאופני ההעברה שבה. חלק זה של השלב השני היווה את בסיס המידע לחקר האיכותני במחקר. השלב השלישי, היווה את האיסוף הסופי של כלל המבחנים חוזרים (Post-tests) שוב לכלל הסטודנטים במחקר (בכלל קבוצות הביקורת והתערבות). בנוגע לשלושת השלבים הראשונים, ניתוח הנתונים כלל ניתוח שונות רב-ממדי (ANOVA) שנועד לזהות את ההשפעות המרכזיות של התכנית (בחינת ההבדלים בין הקבוצות לפני ואחרי ההתערבות), ובחינת שונות משולבת (ANCOVA) להערכת הבדלים בין קבוצות תוך שליטה במשתני רקע. ניתוח זה כלל משתנה תוך נבדקי (within-subject factor) עבור זמן, המתייחס לתוצאות לפני ואחרי ההתערבות, ומשתנה בין נבדקי (between-subject variable) עבור קבוצה, המתייחס לקבוצת ההתערבות וקבוצת ביקורת. התוצאות נותחו כדי לבדוק השפעת תכנית ההתערבות על הציגונים הכוללים וכן על תתי-המבחנים השונים בבדיקת התפיסה המרחבית. בנוסף, ובהתאם למטרות ושאלות המחקר, בוצעו מתאמים וניתוחי רגרסיה לזיהוי קשרים בין שיפור ביכולות מרחביות להישגים אקדמיים. ניתוחים אלו התמקדו גם בזיהוי משתנים מתווכים כגון מגדר, גיל, ותחום הלימוד, כדי להבטיח ניתוח מקיף של השפעות ההתערבות.

השלבים שלאחר מכן כללו את ניתוח המדדים של ביצועיהם והישגיהם האקדמיים בקורסי הליבה בכל סמסטר במהלך השנה הראשונה בתואר. קורסי חדו"א ופיזיקה בקורסי ההנדסה וקורסי סטודיו וארגז כלים בפקולטה לעיצוב. בנוסף לכך, נבחנו גם ממוצעי הציגונים הכולל (Grade Point Average, GPA) לכל סטודנט ובכל פקולטה, בצורה אנונימית ומקודדת, לאחר כל סמסטר ובסיום השנה הראשונה.

הממצאים נועדו לשמש כבסיס לשיפור התכניות האקדמיות בעתיד, תוך קידום אינטגרציה של טכנולוגיות חינוכיות מתקדמות בתהליכי הלמידה. המסקנות שיתקבלו מהמחקר צפויות לתרום לפיתוח מדיניות חינוכית מותאמת ולשיפור שיטות ההוראה בתחומים בעלי אופי יישומי ומעשי.



איור 3. סכמת המחקר בציר הזמן.

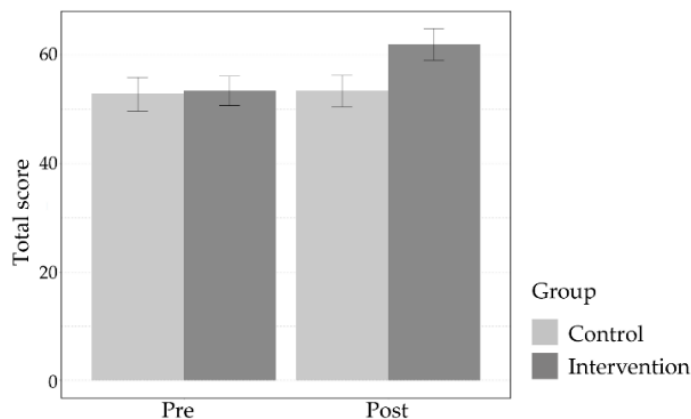
תוצאות

ממצאים עיקריים של השיפור ביכולת המרחבית

הממצאים מראים על שיפור מובהק ביכולת המרחבית (SA) בקרב הסטודנטים שהשתתפו בתכנית ההתערבות, לעומת קבוצת הביקורת שלא השתתפה בתכנית. ממצאים אלו נכונים לקבוצת ההנדסה והאדריכלות. התוצאות הראו כי סטודנטים שעברו את ההתערבות השיגו ציונים גבוהים יותר במבחני היכולת המרחבית (SA) לאחר ההתערבות, מה שמדגיש את יעילותה בשיפור היכולות המרחביות של המשתתפים.

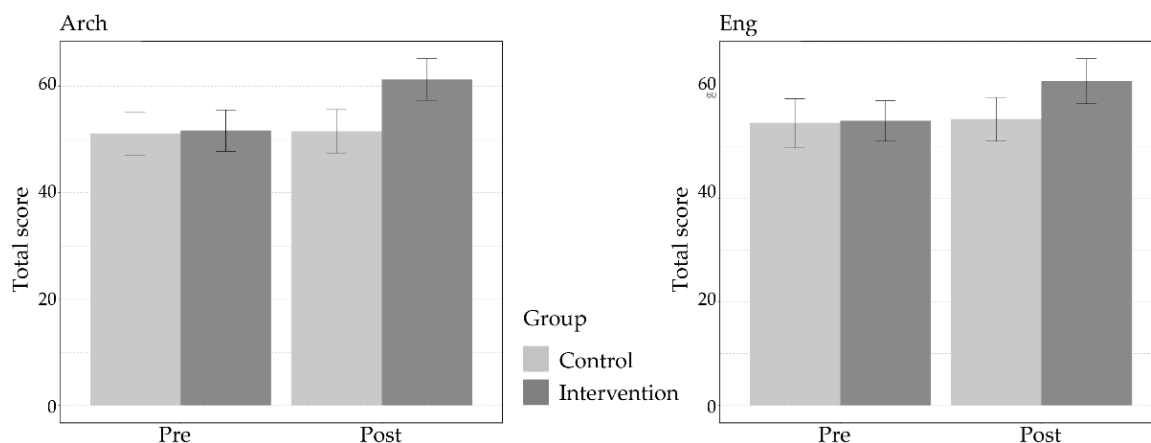
הממצאים מצביעים על עלייה כוללת במוצעי הציונים במבחני ה-SA מכלל התחומים שנבדקו: סיבוב מנטלי, חיתוך מנטלי, פרספקטיבה פנימית, אריזת פריטים ותפיסת פריסות אורבניות. בפרט, המבחנים הראו עלייה מובהקת בתחום הסיבוב המנטלי וביכולת החיתוך המנטלי, שהן שתי יכולות קריטיות בתחומי הלימוד של אדריכלות והנדסה. נתונים אלו מחזקים את התפיסה כי ההתערבות הצליחה לחזק את יכולות המניפולציה המרחבית והבנת המבנים המרחביים התלת-ממדיים.

השפעת ההתערבות ניכרת בשיפורי SA משמעותיים באופן כללי. תוצאות ניתוחי השונות (ANOVA) הראו הבדלים בין קבוצות ההתערבות והביקורת ($F(1,304)=9.71, p=0.002$), בין זמנים ($F(1,304)=12.6, p < 0.001$) ובאינטראקציה זמן*קבוצה ($F(1,304)=9.26, p=0.007$). ניתוח לאחר ההתערבות הראה שיפור משמעותי בקבוצת ההתערבות בין המדידה לפני ואחרי ההתערבות ($t(88)=10.7, p<0.0001, \text{Cohen's } d=1.14$), בעוד שבקבוצת הביקורת לא נצפה שינוי משמעותי. הציונים בקבוצת ההתערבות היו גבוהים משמעותית לאחר ההתערבות ($\text{mean} \pm \text{SD} = 61.96 \pm 13.78$ vs. 53.35 ± 11.67). תוצאות מוצגות באיור 4.



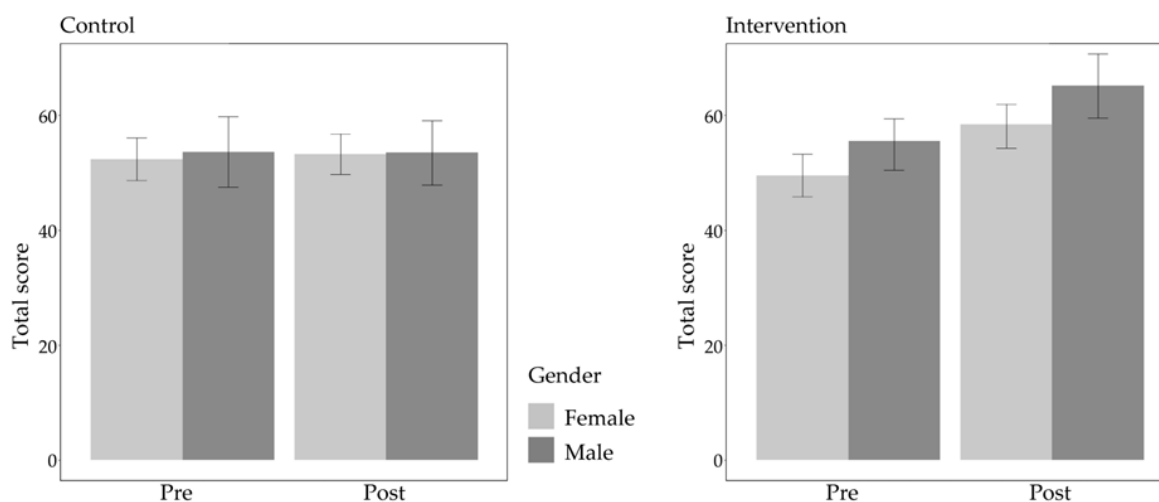
איור 4. השפעת ההתערבות והשוואת הבדלים בין הקבוצות לפני ואחרי.

בקרב סטודנטים לאדריכלות האפקט היה דומה, עם השפעות זמן $(F(1,146)=7.88, p=0.006)$ והקבוצה $(F(1,146)=5.28, p=0.022)$. בקרב סטודנטים להנדסה $(F(1,146)=6.68, p=0.011)$. אינטראקציה זמן*קבוצה $(F(1,146)=5.12, p=0.025)$. התוצאות מוצגות באיור 5.



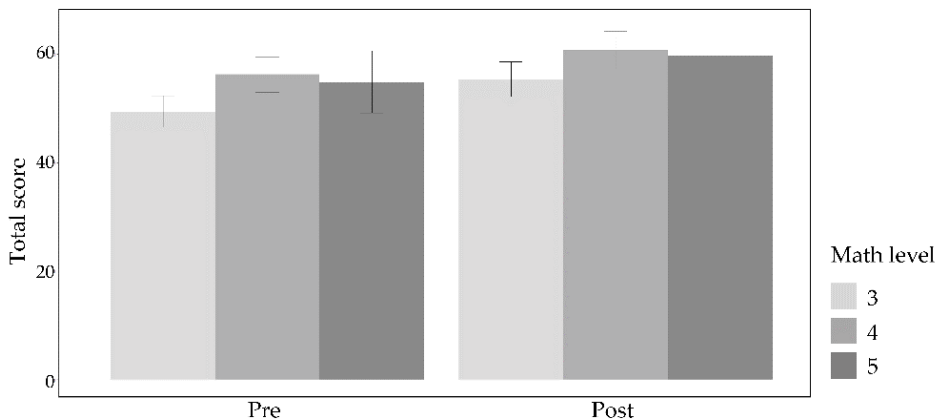
איור 5. השפעות ההתערבות בקרב קבוצת האדריכלות (משמאל) וקבוצת ההנדסה (מימין).

ניתוח נוסף בחן האם יש השפעות של מגדר ורמת מתמטיקה על הציון הכולל, והאם קבוצות אלו מגיבות אחרת להתערבות. ניתוח t-test ו-ANOVA הראו הבדלים מובהקים בין גברים לנשים בציון הכולל $(t(306) = 2.91, p = 0.004, \text{Cohen's } d = 0.33)$ (mean±sd=58.62±14.27) יותר (for males vs. 54.07±12.58 for females). עם זאת, לא נמצאה אינטראקציה מובהקת בין זמן*קבוצה*מגדר $(ANOVA, p > 0.05)$, מה שמעיד על תגובה דומה של שני המינים להתערבות (איור 6).



איור 6. ביצועי המבחן לפי מגדר, לפני ואחרי ההתערבות.

נוסף לכך, תוצאות ANOVA הראו כי יחידות הלימוד והציונים הסופיים בבגרות שנלמדו בתיכון במתמטיקה השפיעה על הציון הכולל $(F(1,274)=11.6, p=0.0008)$, כאשר נמצאו הבדלים מובהקים בין תלמידים שלמדו 3 יחידות לימוד לבין אלו שלמדו 4 ו-5 יחידות, אך לא נמצאו הבדלים משמעותיים בין תלמידים שלמדו 4 ו-5 יחידות (איור 7).



איור 7. ביצועי המבחן מחולקים לפי רמת מתמטיקה (יח' לימוד בבגרות), לפני ואחרי ההתערבות.

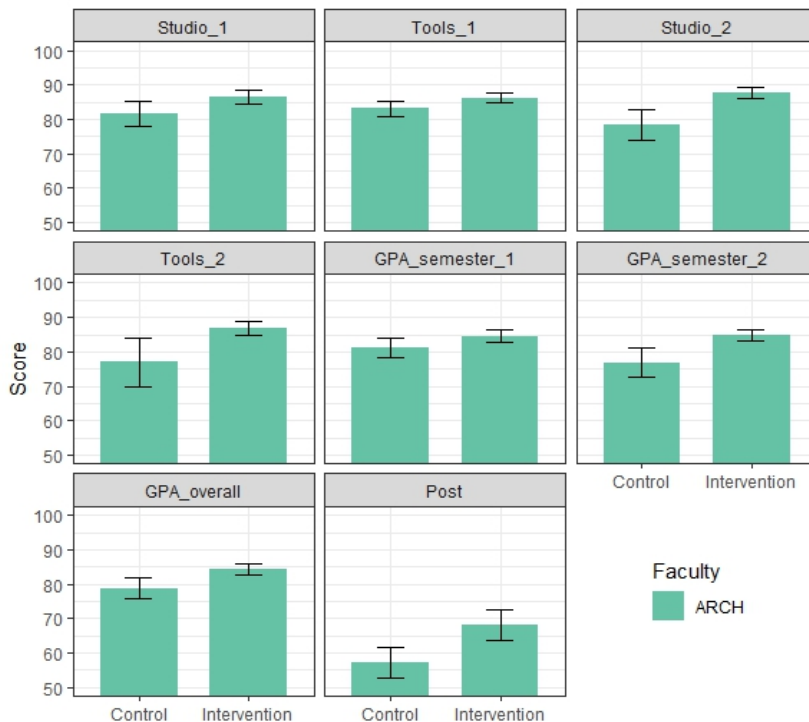
ממצאים עיקריים לגבי השפעה על הישגים האקדמיים

ציוני SA בהערכה מוקדמת

מתאמי פירסון חושבו גם כן על מנת לבחון את הקשר בין ציוני SA בהערכה המוקדמת לבין ציוני הקורס והממוצע השנתי (GPA) בשני הסמסטרים הראשונים ובסוף השנה הראשונה. בקרב סטודנטים לאדריכלות, ציוני SA בהערכה המוקדמת נמצאו במתאם עם ציוני קורס והממוצע השנתי בשני הסמסטרים וכן עם הממוצע השנתי הסופי ($0.37 < r < .55$, $t(65)=3.23$ to 5.22 , $p<.002$). SA בהערכה המוקדמת לבין הממוצע השנתי הסופי ($t(66) = 2.85$, $p = .006$), אך לא עם ציוני קורסים ספציפיים.

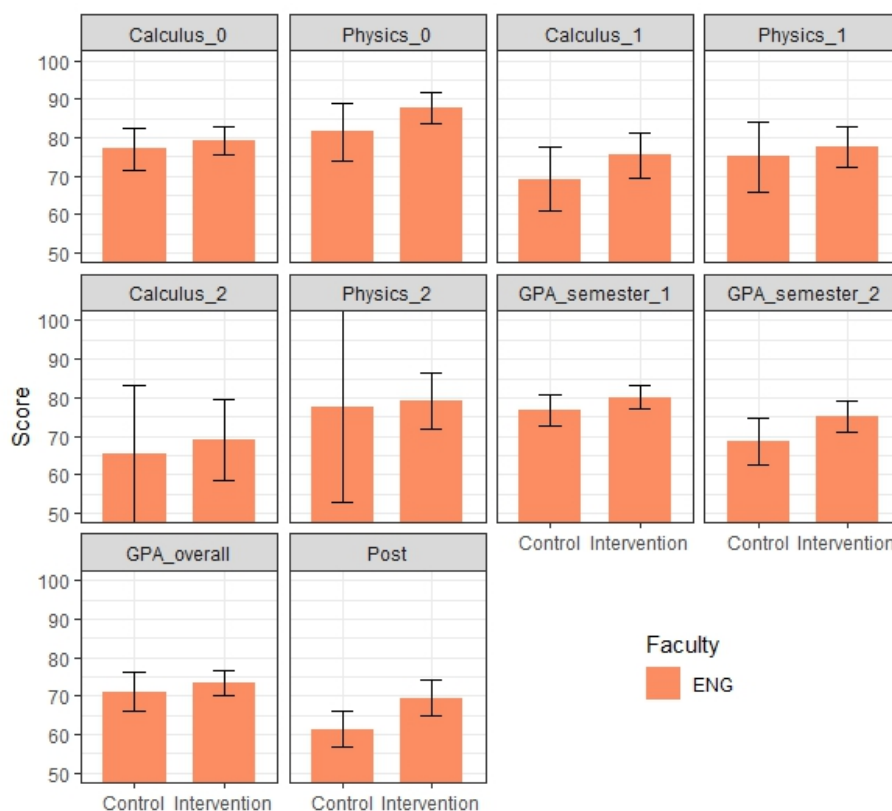
השפעות ההתערבות על ציוני קורסי ליבה וממוצעים (GPA)

לבחינת השפעות ההתערבות על ציוני קורס ו-GPA, ביצענו רגרסיה ליניארית עם ציוני קורס ו-GPA כמשתנים תלויים. קבוצת ההתערבות/ביקורת שימשה כמשתנה בלתי תלוי, וציוני SA מוקדמים שימשו כמשתני Covariate. בקרב סטודנטים לאדריכלות, קבוצת ההתערבות השיגה ציונים גבוהים יותר בהשוואה לקבוצת הביקורת בהערכת SA לאחר ההתערבות ($B=10.2$, $t(71.4)=6.6$, $p<.0001$) ובכל הקורסים ($2.85 < B < 9.34$, $t(63$ to $64)=2.69$ to 5.03 , $p<.01$). (איור 8).



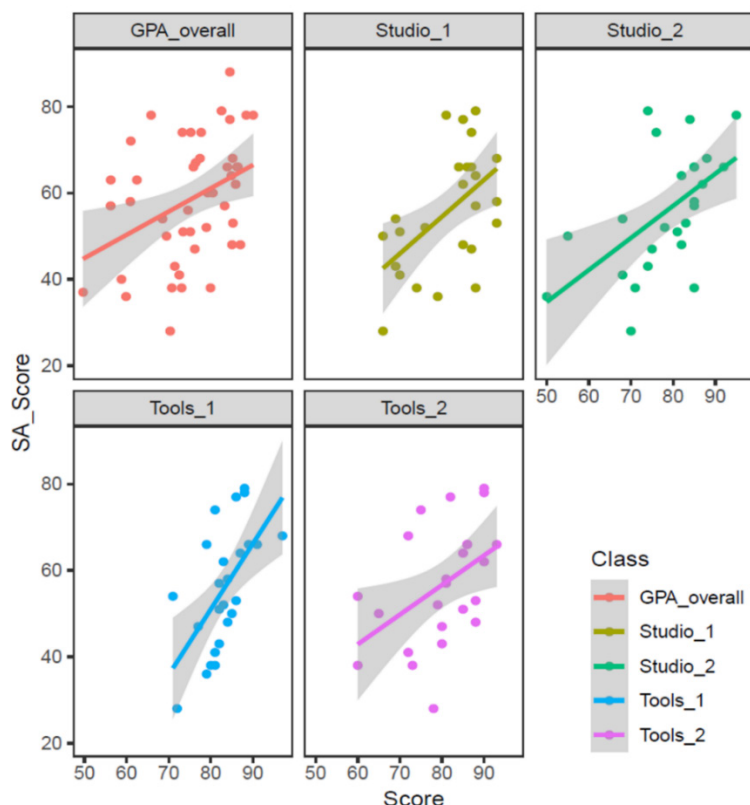
איור 8. ביצועי המבחן מחולקים לפי רמת מתמטיקה (יח' לימוד בבגרות), לפני ואחרי ההתערבות.

קבוצת ההתערבות הראתה שיפור משמעותי בציוני היכולת המרחבית (SA) לאחר ההתערבות ($B=7.82$, $t(75)=4.88$, $p<.0001$), אך לא נמצאה השפעה על ציוני הקורסים או על ממוצע הציונים (GPA). חשוב לציין שנמצא קשר גבולי מובהק רק לממוצע הציונים (GPA) בסמסטר השני. (איור 9).



איור 9. ביצועי המבחן מחולקים לפי רמת מתמטיקה (יח' לימוד בבגרות), לפני ואחרי ההתערבות.

באשר לשאלת המחקר האחרונה, האם ציוני SA גבוהים בתחילת הלימודים מנבאים הישגים אקדמיים גבוהים יותר בקרב סטודנטים לאדריכלות בסיום השנה הראשונה?
 הממצאים מהמחקר (איור 10) מראים קשר חיובי ומשמעותי בין ציוני היכולת המרחבית בתחילת השנה לבין הישגים אקדמיים של סטודנטים לאדריכלות בסיום השנה הראשונה ללימודיהם. השאלה המרכזית שנבחנה היא האם ציונים גבוהים ביכולת מרחבית יכולים לנבא הצלחה אקדמית, ונמצא כי ציוני SA ראשוניים אכן מהווים מנבא משמעותי לשיפור ביצועים בקורסים ובממוצע הציונים (GPA).
 הממצאים מצביעים על כך שציוני SA ראשוניים (בשלב בראשון) גבוהים קשורים להישגים טובים יותר בקורסים מרכזיים באדריכלות, כמו "סטודיו 1", "סטודיו 2", ו"ארגו כלים 1 ו-2". המתאמים (Pearson r) נעים בין 0.46 ל-0.59, ומובהקות סטטיסטית גבוהה נצפתה לאחר התאמות ל FDR (p-values)-מתוקנים נעים בין 0.002 ל-0.024. כמו כן, נמצא מתאם חיובי מובהק בין ציוני ה-SA לבין ממוצע הציונים השנתי הכולל (GPA), עם $r=0.67$ ו-p-value מתוקן של 0.002.



איור 10. קשר מובהק בין ציוני SA לבין ציוני הסטודנטים בקורסי ליבה באדריכלות (סמסטר א' וסמסטר ב') וממוצע ציונים שנתי.

דיון ומסקנות

המחקר הנוכחי בחן את השפעתה של תוכנית הכשרה חדשנית לשיפור כישורי החשיבה המרחבית בקרב סטודנטים להנדסה ואדריכלות בשנתם הראשונה. מטרת התוכנית הייתה לשפר את היכולת המרחבית באמצעות שילוב של שיטות מסורתיות וטכנולוגיות מתקדמות, אשר יסייעו לסטודנטים לרכוש מיומנויות חיוניות ללימודיהם ולעבודתם. הממצאים מצביעים על כך שהתוכנית שיפרה באופן מובהק את ביצועי החשיבה המרחבית, ובכך מאששת את הקשר הקריטי בין כישורים מרחביים להצלחה בתחומי STEM ובאדריכלות, שבהם חסרים מחקרים מקיפים. התוצאות הראו כי ההתערבות שיפרה משמעותית את יכולות ה-SA והציגו מתאם חזק בין שיפור בציוני SA לבין הישגים גבוהים בקורסים הדורשים חשיבה מרחבית. ניכר כי השיפור המשמעותי בציונים היה באדריכלות, בקורסי הסטודיו וכלים. בהנדסה, למרות שציוני SA השתפרו גם בקרב סטודנטים להנדסה, הדבר לא השתקף פחות בהישגים בקורסי הליבה בשנה הראשונה במתמטיקה ובפיסיקה. הבדל זה נובע ככל הנראה מהעובדה שהחינוך באדריכלות נשען יותר ויותר על כישורים מרחביים באופן ישיר כבר מהתחלת הלימודים, בעוד שבהנדסה הדגש הוא על חשיבה אנליטית בשלבים הראשונים של הלימודים. עם זאת, ייתכן שכישורים מרחביים יהיו חשובים יותר בקורסים מתקדמים בהנדסה, בעיקר במשימות הכוללות הבנה מרחבית מורכבת כמו חשבון אינטגרלי רב-משתני ופיזיקה מתקדמת הנוגעת לחישובים במרחב (תלת-מימד). השפעה זו מדגישה את הצורך בהכשרה מותאמת בכישורים מרחביים שתואמת את הדרישות הקוגניטיביות של כל תחום. סטודנטים להנדסה עשויים להפיק תועלת רבה יותר מהכשרה בכישורים מרחביים כאשר הם מתקדמים לקורסים מתקדמים יותר שבהם יש צורך ביכולות מרחביות. להלן נקודות ותובנות נוספות הנוגעות לממצאים.

המסקנות מראות כי ליכולת המרחבית בתחילת הלימודים יש תפקיד קריטי בהצלחה האקדמית, במיוחד בקורסים שבהם דרישות היכולת המרחבית גבוהות. תוצאות אלו מדגישות את חשיבות פיתוח יכולות מרחביות מוקדמות במסגרת הלימודים באדריכלות, ומציעות כי השקעה בתוכניות הכשרה מבוססות SA יכולה לתרום להצלחת הסטודנטים לאורך זמן.

תובנות עיקריות על אפקטיביות התוכנית

התוכנית הוכיחה אפקטיביות משמעותית בקרב כלל הסטודנטים, ללא תלות במגדר או ברקע קודם במתמטיקה. כל קבוצות המשתתפים, כולל סטודנטים להנדסה ולאדריכלות, הראו שיפור ניכר במיומנויות מרחביות, תוצאה המחזקת את התאמת התוכנית למגוון לומדים.

תרומת מרכיבי התוכנית

השילוב בין לימוד מסורתי וטכנולוגיות מתקדמות, כמו מציאות רבודה (AR) וכלי מחשב כגון SketchUp ו-GeoGebra שאפשרו לסטודנטים לפתח כישורים מרחביים באמצעות חוויות למידה אינטראקטיביות. כל רכיב בתוכנית תרם לשיפור ספציפי, כאשר CBL ו-AR תרמו במיוחד ליכולות סיבוב מנטלי וויזואליזציה, ובניית מודלים פיזיים (BRM) תמכה בהמרת תכניות דו-ממדיות לתלת-ממד.

הבדלים לפי תחום לימוד ומאפיינים דמוגרפיים

נמצא כי סטודנטים לאדריכלות הציגו שיפורים מרחביים גדולים יותר, כנראה בשל הדרישות הגבוהות לחשיבה מרחבית בתחום זה. בנוסף, ניכר כי התוכנית אפקטיבית לשני המגדרים, מה שמצביע על אפשרות לצמצום פערים מגדריים בכישורים מרחביים דרך הכשרה ממוקדת.

השלכות על פרקטיקה חינוכית

ממצאי המחקרים מצביעים על חשיבות שילוב הכשרה ביכולת מרחבית (SA) בתוכניות לימוד, במיוחד באדריכלות ובהנדסה. באדריכלות, הכשרת SA יכולה לשפר את ביצועי הסטודנטים בקורסים מבוססי עיצוב, ולכן מומלץ לשלב תרגילים כמו מודלים בתלת-ממד ומשימות מרחביות בכמה אסטרטגיות ההעברה כבר בשלבים מוקדמים. בהנדסה, אף שהשפעות ההכשרה ניכרות פחות בשנה הראשונה, יש פוטנציאל לשיפור בשלב מתקדם יותר בקורסים הדורשים חשיבה מרחבית, ולכן כדאי להוסיף סדנאות SA בשנה השנייה. בנוסף, מוצע לשלב הערכות SA בתהליכי קבלה, כדי לסייע לסטודנטים בעלי יכולות SA נמוכות בעזרת תמיכה מותאמת, ובכך לצמצם פערים ולהבטיח הצלחה לימודית.

תרומה למחקר קוגניטיבי וחינוכי

הממצאים מחזקים את חשיבות ה-SA כמדד מרכזי להצלחה בתחומים הדורשים חשיבה מרחבית כמו אדריכלות, ותומכים בתיאוריות קוגניטיביות המדגישות את תפקידה של חשיבה מרחבית במשימות ויזואליזציה, סיבוב מנטלי ותפיסה מרחבית. המחקר מדגיש את חשיבות הערכת כישורים קוגניטיביים כחלק מהמערך החינוכי, על מנת לפתח תוכניות לימוד מותאמות לצורכי הסטודנטים. באדריכלות, מומלץ לשלב משימות מרחביות כבר בתחילת הלימודים כדי לבסס כישורים חינויים להמשך. המחקר תומך בכך שהערכות קוגניטיביות צריכות לשמש בסיס בעיצוב אסטרטגיות חינוכיות.

השלכות למחקר עתידי

תוצאות המחקר מצביעות על כיווני מחקר עתידיים חשובים. תחום מרכזי אחד הוא בחינת ההשפעה ארוכת הטווח של שיפור SA על הצלחה אקדמית ומקצועית, באמצעות מחקרי אורך שיעקבו אחר סטודנטים בהמשך הלימודים והקריירה שלהם. בנוסף, כדאי לחקור את יתרונות ההכשרה ב-SA בתחומים נוספים כמו רפואה וגיאוגרפיה. תחום נוסף הוא השימוש בטכנולוגיות כמו מציאות מדומה להכשרת SA, שיכול ליצור חוויות למידה אינטראקטיביות ומעמיקות. לבסוף, יש לבדוק כיצד הבדלים בין-אישיים (כגון רמות SA ראשוניות וסגנונות למידה) משפיעים על יעילות ההכשרה, כדי להתאים את ההתערבות לצורכי אוכלוסיות מגוונות.

מסקנות וכיווני מחקר עתידיים

המחקר מדגיש את חשיבות כישורי SA בחינוך באדריכלות ובהנדסה, ומראה כי SA הוא כישור קוגניטיבי חשוב במיוחד להצלחה באדריכלות. יש צורך בהכשרה ממוקדת ל-SA בתוכניות לימודים. למרות שהשפעת SA בהנדסה הייתה פחות בולטת בטווח הקצר, קיים פוטנציאל להשפעה חיובית בהמשך, מה שמצדיק מחקר נוסף. המחקר מרחיב את הידע בתחום הקוגניציה וההצלחה האקדמית ומציע תובנות

חיוניות לאנשי חינוך ולמפתחי תוכניות לימודים, תוך הדגשת היתרונות ארוכי הטווח של שילוב SA בלימודים האקדמיים.

מקורות

- Amro, D. K., & Dawoud, H. (2024). Influencing Factors of Spatial Ability for Architecture and Interior Design Students: A Fuzzy DEMATEL and Interpretive Structural Model. *Buildings*, 14(9). <https://doi.org/10.3390/buildings14092934>
- Ayob, Hisham Hanfy, Daleure, G., Solovieva, N., Minhas, W., & White, T. (2023). The effectiveness of using blended learning teaching and learning strategy to develop students' performance at higher education. *Journal of Applied Research in Higher Education*, 15(3), 650–662. <https://doi.org/10.1108/JARHE0920200288>
- Berkowitz, M., Gerber, A., Thurn, C.M., Emo, B., Hoelscher, C., & Stern, E. (2021). Spatial abilities for architecture: Cross sectional and longitudinal assessment with novel and existing spatial ability tests. *Front. Psychol.*, 11, 4096.
- Bermejo, B., Juiz, C., Cortes, D., Oskam, J., Moilanen, T., Jouko Loijas, Govender, P., Hussey, J., Alexander Lennart Schmidt, Burbach, R., King, D., O'Connor, C., & Dunlea, D. (2023). AR/VR Teaching-Learning Experiences in Higher Education Institutions (HEI): A Systematic Literature Review. *Informatics*, 10(2), 45–45. <https://doi.org/10.3390/informatics10020045>
- Buckley, J., Seery, N., & Canty, D. (2018). A Heuristic Framework of Spatial Ability: A Review and Synthesis of Spatial Factor Literature to Support its Translation into STEM Education. *Educ. Psychol. Rev.*, 30, 947–972. <https://doi.org/10.1007/s10648-018-9432-z>.
- Chang, H.-Y., Binali, T., Liang, J.-C., Chiou, G.-L., Cheng, K.-H., Wen-Yu Lee, S., & Tsai, C.-C. (2022). Ten years of augmented reality in education: A meta-analysis of (quasi-) experimental studies to investigate the impact. *Computers & Education*, 191, 104641. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104641>
- Cheng, Y.-L., & Mix, K.S. (2013). Spatial Training Improves Children's Mathematics Ability. *J. Cogn. Dev.*, 15, 2–11. <https://doi.org/10.1080/15248372.2012.725186>.
- Di, X., & Zheng, X. (2022). A meta-analysis of the impact of virtual technologies on students' spatial ability. *Educ. Technol. Res. Dev.*, 70, 73–98. <https://doi.org/10.1007/s11423-022-100823>.
- Dilling, F., & Vogler, A. (2021). Fostering spatial ability through computeraided design: A case study. *Digital Experiences in Mathematics Education*, 7(2), 323–336.
- Feng, J., Spence, I., & Pratt, J. (2007). Playing an Action Video Game Reduces Gender Differences in Spatial Cognition. *Psychol. Sci.*, 18, 850–855. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2007.01990.x>.
- Florensa, I., Hoffman, M., Romo Vázquez, A., Zandieh, M., & MartínezPlanell, R. (2022). Innovations in university teaching based on mathematics education research. *Proceedings of the Conference of the International Network for Didactic Research in University Mathematics*.
- Gardner, H. (1983). *Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences*. Basic Books.
- GeoGebra for Teaching and Learning Math-Free Digital Tools for Class Activities, Graphing, Geometry, Collaborative Whiteboard and More. *Cutting Solids by a Plane*, GeoGebra. Available online: <https://www.geogebra.org/m/y85mu2f8> (accessed on 18 October 2022).
- González-Martín, A. S., Gueudet, G., Barquero, B., & Avenilde Romo Vázquez. (2021). Mathematics and other disciplines, and the role of modelling. 169–189. <https://doi.org/10.4324/9780429346859-12>
- Ho, S., Liu, P., Palombo, D. J., Handy, T. C., & Krebs, C. (2022). The role of spatial ability in mixed reality learning with the HoloLens. *Anatomical Sciences Education*. <https://doi.org/10.1002/ase.2146>
- Leopold, C., Gorska, R.A., & Sorby, S.A. (2001). International experiences in developing the spatial visualization abilities of engineering students. *J. Geom. Graph.*, 5, 81–91.
- Lim, F., & TanChia, L. (2022). Designing Learning for Multimodal Literacy: Teaching Viewing and Representing. <https://doi.org/10.4324/9781003258513>
- Maier, P.H. (1996). Spatial geometry and spatial ability—How to make solid geometry solid. In *Selected Papers from the Annual Conference of Didactics of Mathematics* (pp. 63–75). Osnabrueck.

- McGrew, K.S. (2009). CHC theory and the human cognitive abilities project: Standing on the shoulders of the giants of psychometric intelligence research. *Intelligence*, 37, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2008.08.004>.
- Mix, K.S., Levine, S.C., Cheng, Y.-L., Young, C., Hambrick, D.Z., Ping, R., & Konstantopoulos, S. (2016). Separate but correlated: The latent structure of space and mathematics across development. *J. Exp. Psychol. Gen.*, 145, 1206–1227. <https://doi.org/10.1037/xge0000182>.
- Pinandita, T., Mohamad, S. N. M., Azman, F. N., & Himawan, H. (2023). An Analysis of Technology Issues in Mobile Augmented Reality. *Informatica*, 47(7). <https://doi.org/10.31449/inf.v47i7.4615>
- Porat, R., & Ceobanu, C. (2023). Spatial Ability: Understanding the Past, Looking into the Future. *Eur. Proc. Educ. Sci.*, 6, 99–108. <https://doi.org/10.15405/epes.23056.9>.
- Porat, R.; Ceobanu, C. Enhancing Spatial Ability among Undergraduate First-Year Engineering and Architecture Students. *Educ. Sci.* 2024, 14, 400. <https://doi.org/10.3390/educsci14040400>.
- Porat, R., & Ceobanu, C. (2024). The Role of Spatial Ability in Academic Success: The Impact of the Integrated Hybrid Training Program in Architecture and Engineering Higher Education. *Education Sciences*, 14(11), 1237. <https://doi.org/10.3390/educsci14111237>
- Porat, R., & Ciprian Ceobanu. (2024). Enhancing Spatial Ability: A New Integrated Hybrid Training Approach for Engineering and Architecture Students. *Education Sciences*, 14(6), 563–563. <https://doi.org/10.3390/educsci14060563>
- Reilly, D., Neumann, D.L., & Andrews, G. (2017). Gender Differences in Spatial Ability: Implications for STEM Education and Approaches to Reducing the Gender Gap for Parents and Educators. In *Visual-Spatial Ability in STEM Education: Transforming Research into Practice* (pp. 195–224). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-44385-0_10.
- Rittle-Johnson, B., Zippert, E.L., & Boice, K.L. (2019). The roles of patterning and spatial skills in early mathematics development. *Early Child. Res. Q.*, 46, 166–178. <https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2018.03.006>.
- Schneider, W., & McGrew, K. (2012). The CattellHornCarroll model of intelligence. In *Contemporary Intellectual Assessment: Theories, Tests, and Issues* (pp. 99–144). Guilford Press.
- Sergeeva, E.V., Moskvina, E.A., & Torshina, O.A. (2019). The interaction between mathematics and architecture. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, 675, 012018. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/675/1/012018>.
- Sorby, S.A. (1999). Developing 3D spatial visualization skills. *Engineering Design Graphics Journal*, 63(2), 21–32.
- Sorby, S.A., & Baartmans, B.J. (2000). The development and assessment of a course for enhancing the 3-D spatial visualization skills of first-year engineering students. *J. Eng. Educ.*, 89, 301–307.
- Sorby, S.A. (2007). Developing 3D spatial skills for engineering students. *Australas. J. Eng. Educ.*, 13, 1–11.
- Voyer, D., Voyer, S., & Philip, B.M. (1995). Magnitude of sex differences in spatial abilities: A meta-analysis and consideration of critical variables. *Psychol. Bull.*, 117, 250.
- Wai, J., Lubinski, D., & Benbow, C.P. (2009). Spatial ability for STEM domains: Aligning over 50 years of cumulative psychological knowledge solidifies its importance. *J. Educ. Psychol.*, 101, 817–835. <https://doi.org/10.1037/a0016127>.