

שילוב צ'אט מבוסס AI כמורה בשיעור תכנות לסטודנטים לתואר ראשון במדעי המחשב (מאמר קצר)

מיטל אמזלג

HIT מכון טכנולוגי חולון
Meitalam@hit.ac.il

אלומה אפל

HIT מכון טכנולוגי חולון
Alumappel@gmail.com

אילת בוטמן

HIT מכון טכנולוגי חולון
Ayeletb@hit.ac.il

ערן אהרונסון

HIT מכון טכנולוגי חולון
Erana@hit.ac.il

Integration of AI-Powered Chat as Primary Instructor in Undergraduate Computer Science Programming Courses (Short Paper)

Aluma Appel

HIT Holon Institute of Technology
Alumappel@gmail.com

Meital Amzalag

HIT Holon Institute of Technology
Meitalam@hit.ac.il

Eran Aharonson

HIT Holon Institute of Technology
Erana@hit.ac.il

Ayelet Butman

HIT Holon Institute of Technology
Ayeletb@hit.ac.il

Abstract

With the advancement of artificial intelligence technologies, there is an increasing need to examine their impact on learning and teaching processes. This study investigated the using generative artificial intelligence (GenAI) based chat on programming learning among novice undergraduate computer science students. The research focused on examining the impact on academic achievements and learning experience. The study was conducted using a quantitative approach, and included two groups: an experimental group that experienced learning through GenAI-based chat and a control group that learned using the traditional method. The findings showed no significant difference in academic achievements between the two groups, but the experimental group demonstrated a significant reduction in learning time. The research points to the potential of GenAI to improve learning efficiency in programming, and contribute to understanding the effects of AI technologies on learning processes in higher education and provide important insights regarding their integration into future curricula, while emphasizing the importance of preparing students for the judicious use of AI tools in the learning process.

Keywords: Generative AI (GenAI), Computer Science Education, AI-Powered Chat.

תקציר

עם התפתחות טכנולוגיות בינה מלאכותית, עולה הצורך לבחון את משמעויות שילובן בתהליכי למידה והוראה. מחקר זה בחן שילוב של צ'אט מבוסס בינה מלאכותית גנרטיבית (GenAI) בלמידת תכנות בקרב סטודנטים מתחילים הלומדים לקראת תואר ראשון במדעי המחשב. המחקר נערך בגישה כמותנית, וכלל שתי קבוצות: קבוצת ניסוי שהתנסתה בלמידה באמצעות צ'אט מבוסס GenAI וקבוצת ביקורת שלמדה בשיטה הפרונטלית המסורתית. שתי הקבוצות למדו את אותם התכנים. ממצאי המחקר הראו כי אין הבדל מובהק בהישגים האקדמיים בין שתי הקבוצות, אך קבוצת הניסוי למדה את אותם התכנים בזמן הקצר משמעותית מקבוצת הביקורת. המחקר מצביע על הפוטנציאל של GenAI לשפר את יעילות הלמידה בתחום התכנות. תוצאות המחקר תורמות להבנת משמעויות השילוב של טכנולוגיות AI בתהליכי למידה בהשכלה הגבוהה ומספקות תובנות חשובות לגבי אופן שילובן בתוכניות לימודים עתידיות.

מילות מפתח: בינה מלאכותית גנרטיבית (GenAI), הוראת ולמידת תכנות, הישגים לימודיים, השכלה גבוהה.

שילוב בינה מלאכותית יצרנית (GenAI) בהוראת תכנות

תכנות הוא התהליך של עיצוב ויצירת סדרת הנחיות (קוד) שיכולות להיות מבוצעות על ידי מחשב על מנת לבצע משימה ספציפית או לפתור בעיה. זה כולל כתיבה, בדיקה, איתור תקלות קוד ותחזוקת קוד המקור של תוכניות מחשב באמצעות שפות תכנות (Medeiros et al., 2019; Nelson et al., 2017). הוראת תכנות (עם דגש על הוראת מתכנתים מתחילים) משלבת למידה של שפה חדשה, ולמידה של כישורי פתרון בעיות וחשיבה אלגוריתמית ברמה גבוהה (Medeiros et al., 2019).

גישת הוראה השמה את הלומד במרכז הופכת לפופולרית יותר ויותר בתהליכי למידה (Robins et al., 2003). בתחום לימודי התכנות, היא מאפשרת למידה מותאמת אישית ללומד, אשר בא לידי ביטוי בדרגת הקושי של התרגולים, מתן משוב אישי על מנת ללמוד על הביצועים של כל לומד והתאמת קצב הלמידה (Nelson et al., 2003; Pears et al., 2007; Robins et al., 2003). לשם הטמעת גישה זו ניתן להיעזר בבינה מלאכותית יצרנית (GenAI), מדובר על טכנולוגיות השייכות לתת-תחום בבינה מלאכותית שמתמקד ביצירת תכנים חדשים כגון תמונות, טקסט, אודיו ותצורות מידע אחרות (Cao et al., 2023). בהקשרים לימודיים, טכנולוגיה זו מאפשרת מתן משוב אישי מידי ללומד, התאמה של קצב הלמידה ודרגת הקושי בצורה אישית, ובעצם מאפשרת ליצור פרסונליזציה של הלמידה (Bahroun et al., 2023). עד כה, מחקרים שבחנו שימוש בבינה מלאכותית יצרנית בלמידת תכנות הציגו תוצאות מעורבות. Kazemitabaar ושות' (2023) מצאו שיפור מובהק בביצועי התלמידים שהשתמשו במחולל קוד מבוסס בינה מלאכותית, בעוד Prather ושות' (2024) הראו שמתכנתים מתחילים תופסים כלים כמו GitHub Copilot כמועילים לכתובת קוד מהירה, אך מביעים חשש לגבי הבנת הקוד והישענות יתר על הכלי.

סקירת הספרות מצביעה שעל אף השימוש ההולך וגובר בבינה מלאכותית גנרטיבית (GenAI) בסביבות למידה, קיים מחסור במחקר כמותני מקיף הבוחן את ההשפעות הישירות של GenAI כמורה חלופי בהוראת תכנות אקדמית. המחקרים הקיימים עוסקים בעיקר בשימושים נלווים של GenAI ככלי עזר ללמידה או לכתובת קוד, ולא נבחנה במדויק החלפת המרצה המסורתי בצ'אט מבוסס GenAI כחלק מתוכנית הלימודים בכיתה. מטרת המחקר הנוכחי היא למלא את החסר על ידי בחינת ההשפעות הכמותיות של שילוב צ'אט מבוסס GenAI כחלופה להוראה מסורתית של מרצה, תוך מדידה ישירה של הישגים אקדמיים וזמן למידה בקרב סטודנטים מתחילים במדעי המחשב.

שאלות המחקר

1. האם קיימים הבדלים בהישגים בין סטודנטים מתחילים לתכנות (Novice programmers) בתואר ראשון שלמדו בצורה מסורתית לסטודנטים שלמדו דרך צ'אט מבוסס GenAI?
2. אילו שימושים לימודיים ב-GenAI מבצעים סטודנטים מתחילים לתכנות (Novice programmers) בתואר ראשון?
3. האם קיים קשר בין ניסיונם של סטודנטים ב-GenAI למטרות לימודיות לבין הישגיהם לאחר פעילות למידה באמצעות צ'אט מבוסס GenAI?

מתודולוגיה

המחקר מבוסס על גישה כמותית, המאפשרת איסוף נתונים מדידים על הישגי הסטודנטים והרקע שלהם בעולם התוכן (Creswell & Clark, 2017).

אוכלוסיית המחקר

אוכלוסיית המחקר כללה 66 סטודנטים לתואר ראשון במדעי המחשב בשנתם הראשונה, שלמדו בקורס "סדנה מתקדמת בתכנות" בסמסטר השני ללימודיהם. הסטודנטים חולקו לשתי קבוצות: קבוצת ביקורת (34 משתתפים) וקבוצת ניסוי (32 משתתפים). ניתן לראות את מאפייני הקבוצות בטבלה 1.

טבלה 1. מאפייני הקבוצות

קבוצה	n	התפלגות מגדרית		גיל הסטודנטים		נוכחות פרונטלית בכיתה	בעלי ידע קודם בתכנות
		נשים	גברים	M	SD		
ביקורת	34	30%	70%	23.9	2.4	73.5%	94%
ניסוי	32	38%	62%	24.3	1.9	75%	97%

טבלה 1 ניתן לראות כי אין הבדל משמעותי במאפיינים בין קבוצת הניסוי ובין קבוצת הביקורת.

הליך המחקר

במחקר זה הסטודנטים חולקו לשתי קבוצות: קבוצת ניסוי וקבוצת ביקורת. קבוצות אלו התבססו על החלוקה הרנדומלית של הסטודנטים לכיתות לימוד במהלך הסמסטר, כאשר כיתה אחת נבחרה להיות קבוצת הניסוי. קבוצת הניסוי השתתפה בשיעור שהוסב משיעור הרצאה רגיל לשיעור אינטראקטיבי הכולל הסבר ראשוני על המחקר והשימוש בצי'אט. הסבר זה לווה במפת למידה שמטרתה הייתה להציג לסטודנטים את השלבים השונים בלמידת התכנים הנדרשים וליצור מסגרת ברורה של היקף החומר אותו הסטודנטים. חשוב לציין כי ההיקף והתכנים היו זהים בשתי הקבוצות. הסטודנטים בקבוצת הניסוי התבקשו להזין פרומפט ראשוני שנכתב מראש על ידי החוקרת ומרצה הקורס לשיחה עם הצי'אט. פרומפט זה אפשר נקודת התחלה זהה לשיחות של כלל הסטודנטים ללא התבססות על מיומנות בכתיבת פרומפט. לאחר הזנת הפרומפט הסטודנטים התבקשו לבצע למידה עצמית של תוכן השיעור, תוך אפשרות לעבוד ביחידים או בזוגות, לפי בחירתם¹. קבוצה זו הונחתה לעבוד עם Gemini של גוגל עקב קריסתו של ChatGPT ביום הניסוי. הסטודנטים מקבוצת הניסוי סיימו את הלמידה של התכנים במהלך שיעור אחד, ואילו, קבוצת הביקורת במשך שיעור וחצי. בעשר הדקות האחרונות של השיעור שתי הקבוצות התבקשו למלא באופן מקוון בוחן לבדיקת הבנת התכנים שנלמדו. דוגמה לשאלות שהיו בבוחן ניתן לראות באיור מספר 1. לאחר סיום המענה על הבוחן שתי הקבוצות התבקשו למלא שאלון מקוון. ניתן לראות פירוט על השאלון בטבלה מספר 2.

כלי המחקר

בוחן: הבוחן כלל 19 שאלות סגורות הכוללות רמות קושי משתנות. ציון המענה על הבחינה נע על סקאלה בין 0 ל-100. שאלות הבוחן נכתבו על ידי החוקרת ומרצה הקורס. ניתן לראות דוגמה לשאלות הבוחן באיור מספר 1.

1 לצפייה בתכני השיעור שניתנו ללומדים ניתן להיכנס לקישור: <https://idf-interactive.com/FinalProjectSiteAluma/>

מה עושה התוכנית? *

- קולטת סדרה חשבונית מהמשתמש ומסדרת אותה בקובץ "series.txt".
- מחשבת ומדפיסה סדרה חשבונית על המסך.
- כותבת סדרה הנדסית לקובץ בשם "series.txt".
- מבצעת סדרת פעולות חשבוניות על מספרים ומכפילה כל מספר בתוך הסדרה במספר 2.
- כותבת סדרה חשבונית לקובץ בשם "series.txt". בהתבסס על נתונים שהמשתמש הזין.

מה מטרת הפקודה הבאה בקוד הנתון? *

```
fopen("series.txt", "w");
```

fopen("series.txt", "w"):

- לסגור את הקובץ "series.txt".
- לקרוא את הקובץ "series.txt".
- ליצור קובץ חדש בשם "series.txt" לכתובה.

איור 1. דוגמה לשאלות לבדיקת הבנת הלומדים בבוחן

שאלון: השאלון כלל שאלות סגורות ושאלות פתוחות והכיל את החלקים הבאים: מידע דמוגרפי, ידע קודם בתכנות, ניסיון קודם בשימוש ב-GenAI, שאלות על פעילות הלמידה שהם ביצעו, בחינת שביעות הרצון מהלמידה ושאלות פתוחות על חווית הלמידה. השאלות שבחנו את הניסיון הקודם של הסטודנטים בשימוש ב-GenAI נלקחו והותאמו מתוך מחקרן של Kurtz & Amzalag (בשיפוט). ניתן לראות הרחבה על מבנה השאלון בטבלה 2.

טבלה 2. תיאור מבנה השאלון

חלק	שם משתנה המחקר	מספר היגדים	דוגמה להיגד	סקלה	מהימנות
1) משתני רקע	גיל				
	מגדר				
	שנת לימודים בתואר			1-7 שנות לימוד **	
2) ידע קודם	מספר יח"ל באנגלית			1-5	
	מספר יח"ל באנגלית			1-5	
	היכרות עם שפות תכנות	16	#C		
	שימוש קודם בקבצי טקסט בתכנות				
3) ניסיון קודם בשימוש ב-GenAI *	זמן שימוש ב-GenAI			מספר דקות בשבוע – מעל שעתיים ביום	
	שימושים ב-GenAI לצרכי למידה	10	פתרון תרגילים	1-5	0.81
4) פעילות הלמידה *	פלטפורמת למידה בזמן הניסוי		בזום		
	משך הלמידה				

* חלקים אלו נאספו רק ממשנתפי קבוצת הניסוי.

** חלק מהסטודנטים פורשים את התואר על מספר שנות לימוד

*** השאלון הורכב מחלקים נוספים שאינם מוצגים בטבלה זו מכיוון שהם אינם רלוונטיים למאמר זה.

איסוף וניתוח הנתונים

איסוף הנתונים בוצע על ידי מבדק ושאלון מקוון עליו הסטודנטים ענו ממחשביהם האישיים או מטלפונים חכמים. ניתוח הנתונים בוצע ע"י מבחנים סטטיסטיים כגון מבחן T ובדיקת מתאם פירסון.

אתיקה

כלל משתתפי המחקר קיבלו הסבר מפורט על מטרות המחקר ודרכי ההשתתפות בו, בנוסף המשתתפים יכלו ליצור עם החוקרת קשר בכל שלב של המחקר ולהפסיק את השתתפותם בו בכל שלב ללא השלכות מפעולה זו. הובטח למשתתפים שלא תהיה כל פגיעה בהישגיהם בקורס במידה והם יחליטו לא להשתתף במחקר. פרטיות וסודיות המידע הובטחו בכל שלבי המחקר ואיסוף הנתונים נעשה בצורה אנונימית.

ממצאים

הישגים אקדמיים

שאלת המחקר הראשונה בחנה האם קיימים הבדלים בהישגים בין סטודנטים מתחילים לתכנות (Novice programmers) בתואר ראשון שלמדו בצורה מסורתית לסטודנטים שלמדו דרך צ'אט מבוסס GenAI. שאלה זו נבדקה לפי ביצועיהם של הסטודנטים בבוחן. כדי לענות על שאלת מחקר זו נערך מבחן T למקרים בלתי תלויים. לא נמצא הבדל מובהק ($p > 0.05$) בין ציוני 32 הסטודנטים בקבוצת הניסוי ($M = 74.3, SD = 10.5$) לבין ציוני 34 הסטודנטים בקבוצת הביקורת ($M = 74.7, SD = 12.6$).

בנוסף בדקנו גם את זמן הלמידה אותו השקיעו הסטודנטים, בקבוצת הביקורת הוקדשו להוראת התכנים שנלמדו שעתיים (120 דקות), זה משך ההוראה שנדרש למרצה עבור הוראת כללי התכנים, ואילו בקבוצת הניסוי זמן הלמידה השתנה בין סטודנט לסטודנט על פי צורכו, כאשר הזמן הממוצע היה 49 דקות ($SD = 21.6$). לבחינת הבדל זה נערך מבחן T למדגם יחיד. נמצא שזמן הלמידה של הסטודנטים שלמדו בעזרת GenAI היה קצר יותר ($M = 49.37, SD = 21.65$) מהזמן שלמדו הסטודנטים בקבוצת הביקורת (120 דקות), $t(27) = 16.95, p < .001$.

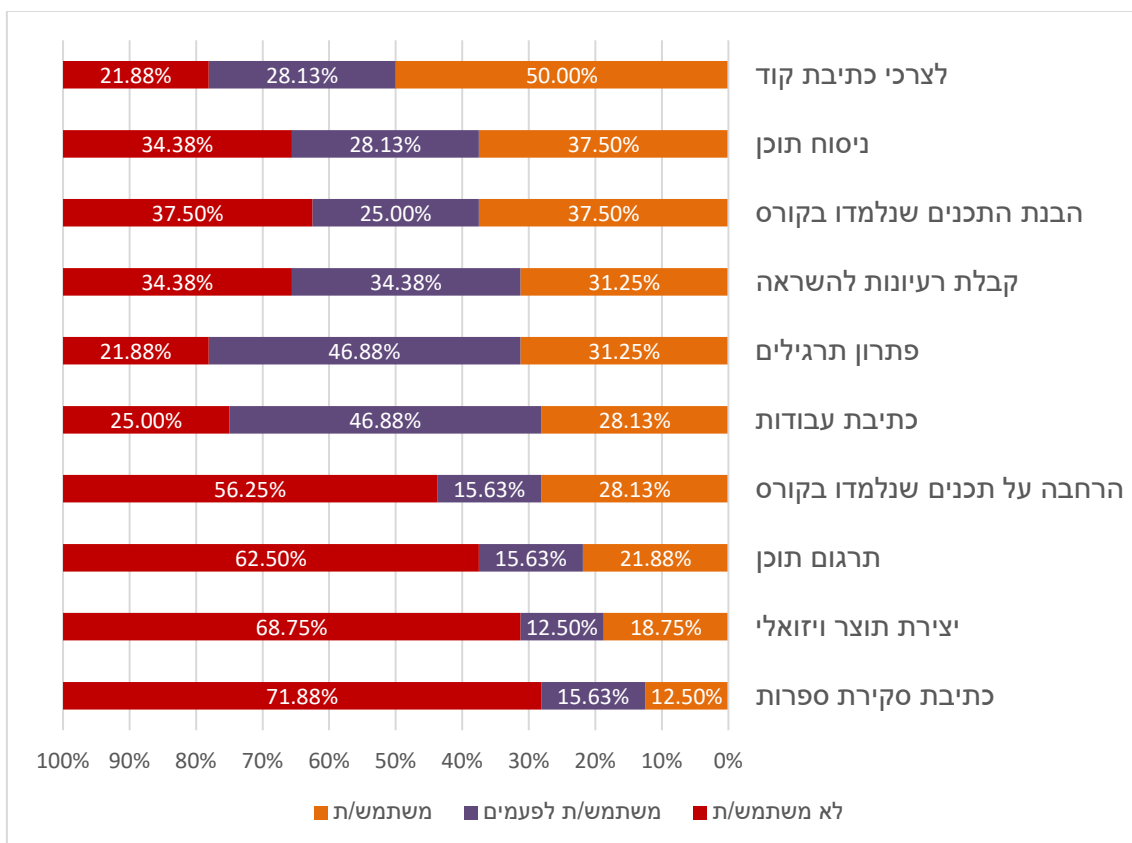
שימושים לימודיים ב-GenAI

בחינת שאלת המחקר השנייה, אילו שימושים לימודיים ב-GenAI מבצעים סטודנטים מתחילים לתכנות (Novice programmers) בתואר ראשון בוצעה בקרב הסטודנטים בקבוצת הניסוי ($n=32$), השימושים העיקריים שזיהינו היו לצרכי כתיבת קוד ופתרון תרגילים, ניתן לראות את שאר השימושים בטבלה 3 ובאיור 2. הסטודנטים דירגו את מידת השימוש שלהם בסקלה הנעה בין 1 (לא משתמשת כלל) ל-5 (משתמשת הרבה מאוד).

טבלה 3. ממוצעים וסטיות תקן של ההיגדים ששימשו לבחינת שימוש קודם ב-GenAI

היגד	M	SD
לצרכי כתיבת קוד	3.41	1.24
פתרון תרגילים	3.06	0.91
ניסוח תוכן	2.97	1.51
כתיבת עבודות	2.94	1.1
הבנת התכנים שנלמדו בקורס	2.91	1.20
קבלת רעיונות להשראה	2.81	1.31
הרחבה על תכנים שנלמדו בקורס	2.59	1.21
תרגום תוכן	2.28	1.37
יצירת תוצר ויזואלי	2.09	1.38
כתיבת סקירת ספרות	2.00	1.22

מנתונים אלו ניתן לראות שהסטודנטים השתמשו ב-GenAI גם לפני הניסוי, אך השימוש אינו גבוה. בצלילה לתוך השימושים השונים ניתן לראות שהתחומים הבולטים מבניהם הם כתיבת קוד ופתרון תרגילים. בתחתית השימושים עליהם דיווחו הסטודנטים מופיע שימוש עבור כתיבת סקירת ספרות ויצירת תוצרים ויזואליים. שימושים מסוג זה פחות נדרשים מסטודנטים בשנתם הראשונה בתואר ראשון במדעי המחשב, ממצאים אלה ניתן גם לראות באיור 2.



איור 2. שימושים קודמים ב-GenAI של הסטודנטים (n=32)

המדד נע מ-1 לא עושה שימוש כלל עד 5 משתמש בצורה תכופה. עבור ההצגה הגרפית מענים 1 (כלל לא משתמש/ת), 2 (משתמש/ת מעט מאוד) אוחדו לקטגוריה אחת (לא משתמש/ת), ומענים 4 (משתמש/ת), 5 (משתמש/ת הרבה מאוד) אוחדו לקטגוריה אחת (משתמש/ת).

הישגי סטודנטים המשתמשים ב-GenAI

בחינת שאלת המחקר השלישית, האם קיים קשר בין ניסיונם של סטודנטים ב-GenAI למטרות לימודיות לבין הישגיהם לאחר פעילות למידה באמצעות ציאט מבוסס GenAI, בוצעה בקרב הסטודנטים מקבוצת הניסוי. בבדיקה זו נמצא קשר שלילי מובהק ($r = -0.354, p < 0.05$). הקורלציה השלילית מראה כי ככל שניסיונם הקודם של הסטודנטים עשיר יותר כך ציונם במבדק נמוך יותר.

דיון

מחקר זה בחן את הקשר בין שימוש בכלי ציאט מבוססי GenAI לבין הביצועים האקדמיים של הסטודנטים, ובחן את ההשלכות של שימוש בכלים אלו על הלמידה. תוצאות המחקר מלמדות שאין הבדל משמעותי בביצועים האקדמיים בין סטודנטים שלמדו עם מרצה המלמד בכיתה בצורה המסורתית לבין אלה שהשתמשו בציאט מבוסס GenAI. שתי הקבוצות השיגו ציונים דומים במבדק לאחר הלמידה של אותה יחידת לימוד, מה שמרמז על כך שהכנסת הבינה המלאכותית לא שיפרה אך גם לא הפחיתה את יכולת הסטודנטים להבין את החומר.

ממצא חשוב נוסף הוא קיצור זמני הלמידה. במחקר זה ראינו כי למידה באמצעות צ'אט מבוסס GenAI מאפשרת קיצור של זמן הלמידה ללא פגיעה בביצועים. מכך ניתן לשער שלכלי בינה מלאכותית פוטנציאל בהגברת יעילות תהליך הלמידה, כפי שנמצא גם במחקרים קודמים (Cao et al., 2023; Kazemitabaar et al., 2023). ממצא זה יכול לרמוז על חשיבות תכנון מחדש של השיעורים וקורסים במערכת ההשכלה הגבוהה, אשר יפנה זמן למידה ויאפשר העמקה בתכני הלימוד, למידת תכנים נוספים שאינם נכנסים כיום לתוכנית הלימוד מפאת קוצר זמן או תרגול מיומנויות נדרשות ועדכניות בעולם בו שימוש בצ'אט מבוסס GenAI הולך להיות חלק בלתי נפרד ממנו (Becker et al., 2023; Finnie-Ansley et al., 2022).

ממצאי המחקר אף מלמדים שככל שניסיונם הקודם של הסטודנטים בשימוש בכלי GenAI עשיר יותר כך ציוניהם במבדק נמוך יותר. ממצא זה מעלה חשש מהסתמכות יתר של הסטודנטים על הטכנולוגיה ועולה בקנה אחד עם מחקרים קודמים המזהירים מפני הסתמכות יתר על כלי בינה מלאכותית בסביבות לימודיות, שבהן החדשנות של הטכנולוגיה עשויה לגרוע מאיכות הלמידה (Kazemitabaar et al., 2023; Shaji, 2023). מנגד, יש לשקול שממצא זה יכול לנבוע מאי-תאימות בין מטרות ואופן הלמידה אותו הסטודנטים חווים לבין המשימות הנדרשות מהם, ולא בהכרח להצביע על פגיעה בלמידה עצמה של הסטודנטים. לדוגמה, כאשר סטודנטים לומדים עם GenAI הם לא בהכרח מתרגלים דקויות סינטקס בכתיבה שלהם, דבר שאכן אינו נדרש ממפתחים שעובדים עם טכנולוגיה זו, אך בבחינה הם עשויים להיכשל על שגיאות מסוג זה. לכן יש לבחון האם קיים פער בין תהליך הלמידה לבחינת הסטודנטים ולבחון האם מפער זה נובעת הנראות של הסתמכות יתר של הלומדים. בינתיים ממצא זה מדגיש את הצורך בגישה מאוזנת לשילוב טכנולוגיות GenAI בלמידה, והתייחסות של המרצה לשימושים שהסטודנטים מבצעים מחוץ לכתלי הכיתה בטכנולוגיה. כלל ממצאי מחקר זה תורמים לגוף הידע ההולך וגדל על תפקיד הבינה המלאכותית בחינוך, תוך הדגשת היתרונות והמגבלות של כלים אלה.

מגבלות המחקר

מחקר זה בוצע במשך זמן קצר יחסית הנוגע לשיעור אחד במהלך הקורס אחד. יש לבחון שינוי מסוג זה על משך למידה ארוך יותר ובמגוון קורסים ודיסציפלינות. בנוסף כיתת הניסוי למדה את שאר הקורס עם מרצה שונה מאשר כיתות הביקורת כך שיכולים להיות פערי של הבנת חומרי הלימוד בין הקבוצות שאינם קשורים לצורת הלמידה החדשה. כמו כן, הסטודנטים בשתי הקבוצות למדו בפלטפורמות מגוונות, חלק בצורה פרונטלית בכיתה וחלקם בצורה מקוונת בעקבות המצב הביטחוני במידת ישראל בזמן ביצוע המחקר, כך שלא הייתה אחידות בצורה שתכני הלמידה הועברו לסטודנטים ובאיכות התכנים שהועברו.

מחקרי המשך

מחקרים עתידיים צריכים לבחון שילוב בקנה מידה רחב יותר של כלים אלו בתוך הלמידה, ולבחון את חווית הלמידה של הלומדים. כמו כן, יש לבחון שילוב מסוג זה גם בתחומי דעת נוספים בהם הסטודנטים נדרשים לפיתוח מיומנויות שונות. בנוסף יש לבחון האם דרכי הערכה הנוכחיות כמו מבחנים ושאלות סגורות תואמות למידה מסוג זה, או שמה יש להתאימן לצורת הלמידה החדשה אשר משנה גם את תהליכי הלמידה וגם את המיומנויות הנדרשות מהסטודנטים בשוק העבודה לאחר סיום לימודיהם.

תודות

תודה למר טוביה רוזנברג שאפשר לנו להיכנס לכיתות שלו ולשלב את הסטודנטים שלו בניסוי.

מקורות

- קניאל, ש. (2006). *חינוך לחשיבה: חינוך קוגניטיבי לשליטה על התודעה*. רמות.
<https://kotar.cet.ac.il/kotarapp/index/Book.aspx?nBookID=92525046>
- Bahroun, Z., Anane, C., Ahmed, V., & Zacca, A. (2023). Transforming Education: A Comprehensive Review of Generative Artificial Intelligence in Educational Settings through Bibliometric and Content Analysis. *Sustainability*, 15(17), 12983. <https://doi.org/10.3390/su151712983>
- Becker, B. A., Denny, P., Finnie-Ansley, J., Luxton-Reilly, A., Prather, J., & Santos, E. A. (2023). Programming Is Hard - Or at Least It Used to Be: Educational Opportunities and Challenges of AI Code Generation. *Proceedings of the 54th ACM Technical Symposium on Computer Science Education V. 1*, 500–506. <https://doi.org/10.1145/3545945.3569759>

- Cao, Y., Li, S., Liu, Y., Yan, Z., Dai, Y., Yu, P. S., & Sun, L. (2023). *A Comprehensive Survey of AI-Generated Content (AIGC): A History of Generative AI from GAN to ChatGPT*.
<https://doi.org/10.48550/ARXIV.2303.04226>
- Creswell, J. W., & Clark, V. L. P. (2007). *Designing and conducting mixed methods research*. Sage Publications, Inc.
- Finnie-Ansley, J., Denny, P., Becker, B. A., Luxton-Reilly, A., & Prather, J. (2022). The Robots Are Coming: Exploring the Implications of OpenAI Codex on Introductory Programming. *Proceedings of the 24th Australasian Computing Education Conference*, 10–19.
<https://doi.org/10.1145/3511861.3511863>
- Freeman, S., Eddy, S. L., McDonough, M., Smith, M. K., Okoroafor, N., Jordt, H., & Wenderoth, M. P. (2014). Active learning increases student performance in science, engineering, and mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *111*(23), 8410–8415.
<https://doi.org/10.1073/pnas.1319030111>
- Kazemitabaar, M., Chow, J., Ma, C. K. T., Ericson, B. J., Weintrop, D., & Grossman, T. (2023). Studying the effect of AI Code Generators on Supporting Novice Learners in Introductory Programming. *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1–23.
<https://doi.org/10.1145/3544548.3580919>
- Kolb, A. Y., & Kolb, D. A. (2005). Learning Styles and Learning Spaces: Enhancing Experiential Learning in Higher Education. *Academy of Management Learning & Education*, *4*(2), 193–212.
<https://doi.org/10.5465/amle.2005.17268566>
- Medeiros, R. P., Ramalho, G. L., & Falcao, T. P. (2019). A Systematic Literature Review on Teaching and Learning Introductory Programming in Higher Education. *IEEE Transactions on Education*, *62*(2), 77–90. <https://doi.org/10.1109/TE.2018.2864133>
- Nelson, G. L., Xie, B., & Ko, A. J. (2017). Comprehension First: Evaluating a Novel Pedagogy and Tutoring System for Program Tracing in CS1. *Proceedings of the 2017 ACM Conference on International Computing Education Research*, 2–11. <https://doi.org/10.1145/3105726.3106178>
- Pears, A., Seidman, S., Malmi, L., Mannila, L., Adams, E., Bennedsen, J., Devlin, M., & Paterson, J. (2007). A survey of literature on the teaching of introductory programming. *Working Group Reports on ITiCSE on Innovation and Technology in Computer Science Education*, 204–223.
<https://doi.org/10.1145/1345443.1345441>
- Prather, J., Reeves, B. N., Denny, P., Becker, B. A., Leinonen, J., Luxton-Reilly, A., Powell, G., Finnie-Ansley, J., & Santos, E. A. (2024). "It's Weird That it Knows What I Want": Usability and Interactions with Copilot for Novice Programmers. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, *31*(1), 1–31. <https://doi.org/10.1145/3617367>
- Robins, A., Rountree, J., & Rountree, N. (2003). Learning and Teaching Programming: A Review and Discussion. *Computer Science Education*, *13*(2), 137–172.
<https://doi.org/10.1076/csed.13.2.137.14200>
- Shaji, G. (2023). *The Potential of Generative AI to Reform Graduate Education*.
<https://doi.org/10.5281/ZENODO.10421475>
- Sweller, J. (2015). In Academe, What Is Learned, and How Is It Learned? *Current Directions in Psychological Science*, *24*(3), 190–194. <https://doi.org/10.1177/0963721415569570>