חיבור בעיות מתמטיות בשילוב בינה מלאכותית גנרטיבית כמנוף לפיתוח ידע טכנולוגי-פדגוגי-מתמטי (TPACK) של סטודנטים להוראת מתמטיקה בתיכון*

רותי סגל ויניב ביטון[1]

תקציר

המחקר המוצג במאמר הנוכחי בחן חמישה-עשר סטודנטים במכללה להוראה, המשתתפים בתוכנית "מהייטק להוראה" להכשרת מורי מתמטיקה לחטיבות עליונות. במהלך קורס להוראת מתמטיקה ברמת 5 יחידות, הסטודנטים פתרו בעיות מתמטיות מגוונות, ולאחר מכן התבקשו לחבר בעיות נוספות המותאמות לצרכים חינוכיים שאותם הגדירו באמצעות ניסוח הנחיות (prompts) מובנות לסביבת ChatGPT. כדי להעריך את תרומת התהליך לפיתוח הידע הטכנולוגי-פדגוגי-מתמטי (TPACK) של הסטודנטים משתתפי המחקר, הם השיבו על שאלון הכולל עשרה היגדי ליקרט ושש שאלות פתוחות. הממצאים מצביעים על שיפור בידע הטכנולוגי של המשתתפים, במיוחד בהבנת חשיבות ניסוח הנחיות מדויקות באמצעות דיאלוג חוזר ונשנה. בממד הטכנולוגי-פדגוגי הם למדו לשלב בינה מלאכותית במצבים חינוכיים מאתגרים ונחשפו לגישות פדגוגיות מגוונות. עם זאת, זוהו גם אתגרים כגון הצורך בבחינה ביקורתית של הצעות הבינה המלאכותית וקשיים ביישומן בפועל.

מילות מפתח: חיבור בעיות במתמטיקה, בינה מלאכותית יוצרת, סטודנטים להוראת מתמטיקה בתיכון, ידע טכנולוגי-פדגוגי-מתמטי (TPACK)

מבוא

שילוב טכנולוגיה בהוראת המתמטיקה הפך לנושא מרכזי בחינוך המתמטי בעשורים האחרונים, כאשר מורים נדרשים להפגין ידע טכנולוגי-פדגוגי-תוכני (TPACK), המשלב ידע

---

* מאמר זה הוא תרגום מעובד של המקור: Segal, R., & Biton, Y. (2024). The contribution that utilizing generative AI for problem posing makes to pre-service high school mathematics teachers' TPACK. *International Journal of Education in Mathematics, Science, and Technology (IJEMST)*, *12*(6), 1556–1579. https://doi.org/10.46328/ijemst.4591

[1] **ד"ר רותי סגל**, אורנים – המכללה האקדמית לחינוך; **ד"ר יניב ביטון**, מכללת שאנן, מרכז לטכנולוגיה חינוכית.

בתוכן, בפדגוגיה ובטכנולוגיה.[2] אחד מהתחומים החשובים בהוראת המתמטיקה הוא חיבור בעיות מתמטיות – כישור יסוד שעל המורים לפתח ולשלב בהוראה.[3] למרות החשיבות הרבה המיוחסת לחיבור בעיות מתמטיות, מחקרים קודמים הראו כי מורי מתמטיקה, ובמיוחד מורים בתחילת דרכם, מתקשים לחבר בעיות איכותיות המתאימות לצורכיהם החינוכיים.[4] מחקרים שבחנו את שילוב הטכנולוגיה בחיבור בעיות מתמטיות התמקדו בעיקר בכלים טכנולוגיים מסורתיים, כגון תוכנות גיאומטריה דינמית וסביבות מחשב אלגבריות.[5] עם זאת, הופעתה של טכנולוגיית הבינה המלאכותית הגנרטיבית (GenAI) בשנים האחרונות, ובמיוחד של כלים כגון ChatGPT, יוצרת הזדמנויות חדשות ומשמעותיות לשילוב טכנולוגיה בחיבור בעיות מתמטיות. למרות הפוטנציאל הרב של טכנולוגיית GenAI לתמיכה בחיבור בעיות מתמטיות, בספרות המחקר מעטים המחקרים המתמקדים בבחינת ידע ה-TPACK של מורים (או פרחי הוראה) בנוגע לשילוב טכנולוגיות אלו בתהליכי חיבור בעיות. בעוד מחקרים קודמים בחנו כיצד טכנולוגיות מסורתיות יכולות לתמוך בחיבור בעיות, הידע והכישורים הנדרשים ממורים לשילוב יעיל של GenAI בהקשר זה טרם נחקרו באופן שיטתי.

המחקר המוצג כאן מתמקד בבחינת ידע ה-TPACK של פרחי הוראה למתמטיקה בחטיבה העליונה, הלומדים בתוכנית הייחודית "מהייטק להוראה", בהתייחס לטכנולוגיית GenAI. זאת משלוש סיבות מרכזיות: האחת, ייחודיות הטכנולוגיה של GenAI, המציעה יכולות חדשות ושונות מטכנולוגיות חינוכיות קודמות, כגון יצירת תוכן טקסטואלי, תרגום רעיונות לבעיות מתמטיות, והתאמה אישית לרמות קושי שונות; השנייה, הפוטנציאל הפדגוגי של GenAI, שיכול לשמש שותף דיאלוגי בתהליך חיבור הבעיות, לספק משוב מיידי ולעזור למורים לפתח רעיונות חדשים לבעיות מתמטיות; הסיבה השלישית היא ההיבט המעשי בהקשר השילוב הגובר של AI בחיי היומיום ובמערכת החינוך – על מורי המתמטיקה ללמוד כיצד לנצל טכנולוגיות אלו באופן פדגוגי יעיל. מטרת מחקר זה היא לבחון ולאפיין את תפיסת פרחי הוראת מתמטיקה את התפתחות ידע ה-TPACK שלהם, כאשר הם משלבים את ChatGPT בתהליכי חיבור בעיות מתמטיות, בהתאם למודל של ג'ינפה קאי ובנג'מין רוט לחיבור בעיות על בסיס בעיות נתונות.[6]

---

[2] Koehler & Mishra, 2009; Niess, 2005; Segal et al., 2018

[3] Silver, 1994; Cai & Jiang, 2017

[4] Mallart et al., 2018

[5] Lavy, 2015; Segal et al., 2018

[6] Cai & Rott, 2024

רקע תאורטי

חיבור בעיות מתמטיות

פתרון בעיות וחיבור בעיות מתמטיות הן מטרות עיקריות בחינוך מתמטי.[7] חיבור בעיות כרוך לעיתים קרובות בניסוח בעיות חדשות, אך עשוי גם לכלול ניסוח מחדש של בעיות נתונות,[8] על ידי שימוש באסטרטגיות כמו למשל אסטרטגיית "מה אם לא?".[9] שימוש באסטרטגיה זו בשילוב טכנולוגיה מוביל לאינטראקציות ייחודיות בין טכנולוגיה, פעולות המורים והבנת התהליכים, ומעודד את המעבר מפתרון בעיות לפעילויות של חיבור בעיות.[10] היכולת לחבר בעיות באופן יעיל עשויה להשפיע לחיוב על הפרקטיקות הפדגוגיות של מורים למתמטיקה ועל יכולתם לתמוך בפיתוח פתרון בעיות אצל תלמידיהם.[11] השלבים של הפיכת בעיות נתונות לבעיות חדשות עשויים גם לשפר את ההתנהגות המטא-קוגניטיבית של המורה, שכן עליו לשקול את הידע הנדרש, את המגבלות (למשל, ידע התלמידים) ואת הניסוח, ולהעריך את השינויים שערך כדי לנתח את מאפייני הבעיה ולערוך שינויים פוטנציאליים עבור קבוצות יעד.[12] בדרך כלל מורים נוטים לעשות שימוש בבעיות מספר הלימוד בתכנון ההוראה שלהם. כדי ליישם חיבור בעיות באופן יעיל, מורים צריכים לנתח משימות מספרי לימוד מתמטיים ולשנות אותן, תוך הבנת המורכבות של התוכן וההזדמנויות הפדגוגיות בחומרים הלימודיים הכתובים או הדיגיטליים.[13]

מחקריהם של ג'ינפה קאי וצ'אנליאן ג'יאנג ושל ג'ינפה קאי ופיטר ליליידל הדגישו את הצורך המתמשך ללמד באופן שיטתי פעילויות של חיבור בעיות במסגרת תוכניות להכשרת מורים.[14] אלברט מלארט ואחרים מצאו כי מורי מתמטיקה בתחילת דרכם התקשו לחבר בעיות בהתאם לצורכיהם החינוכיים, כגון הצורך בהתאמת בעיה נתונה לרמת הכיתה הספציפית שלהם או הצורך לחבר בעיות הרלוונטיות לחיי היומיום של תלמידיהם.[15] קישור הבעיות המתמטיות לחיי היומיום הוא היבט חשוב, מכיוון שיש בו כדי לשכנע את התלמידים שלידע מתמטי יש יישומים בעולם האמיתי.[16] תהליך חיבור בעיות מתמטיות משתקף במספר מודלים המוצגים בספרות. המודל של קאי ורוט מציג חיבור בעיות על בסיס בעיות נתונות וכולל

---

[7] Polya, 1954; Silver, 1994
[8] Silver & Cai, 1996
[9] Brown & Walter, 1983
[10] Lavy, 2015; Segal, et al., 2018
[11] Baumanns, 2022; Kaur & Rosli, 2021
[12] Cai & Rott, 2024
[13] Males et al., 2015
[14] Cai & Jiang, 2017; Cai & Liljedahl, 2021
[15] Mallart et al., 2018
[16] Nedaei et al., 2021

ארבעה שלבים: (1) אוריינטציה – הבנת הבעיה הנתונה ואסטרטגיות פתרונה; (2) חיבור – פיתוח רעיונות לבעיות חדשות על ידי שינוי הסיטואציה הנתונה; (3) יצירה – זיהוי הקשרים ופיתוח בעיות חדשות; ו-(4) רפלקציה – הערכה ואופטימיזציה של הבעיה.[17] במחקר הנוכחי נעשה שימוש במודל זה לחיבור בעיות מתמטיות בשילוב ChatGPT.

בינה מלאכותית גנרטיבית ויישומיה בחינוך

הופעתן ונגישותן המואצת של סביבות טכנולוגיות מגוונות מבוססות בינה מלאכותית במהלך השנים האחרונות חושפות את מערכות החינוך למציאות חדשה.[18] אחת הקבוצות של סביבות אלו נקראת בינה מלאכותית גנרטיבית (GenAI). היא נועדה לאפשר למשתמשים ליצור תוכן חדש באמצעות ניסוח הנחיות (prompts). על ידי חיקוי תקשורת אנושית, סביבות GenAI מסוגלות לספק מידע עובדתי, לענות על שאלות, לערוך טקסטים קיימים או לייצר טקסטים ותמונות חדשים.[19] ChatGPT הוא GenAI בעל פוטנציאל לקדם למידה מותאמת אישית ואינטראקטיבית. בהקשר של חינוך הוא יכול לשמש "עוזר או שותף", המספק הצעות והנחיות למורים בתהליך עיצוב משאבי וחומרי הוראה/למידה.

כדי להשתמש ב-GenAI באופן יעיל, על מורים להיות בעלי אוריינות בינה מלאכותית, כלומר, בעלי מיומנויות להעריך בינה מלאכותית, לתקשר איתה ולהשתמש בה ביעילות בהתבסס על הבנה בסיסית של מהותה, ובעלי יכולת לממש חשיבה ביקורתית על התהליך והתוצר המתקבל כתוצאה מאינטראקציה זו.[20] קיים מתאם בין אוריינות בינה מלאכותית לתדירות השימוש,[21] ויישום יעיל דורש צבירת ניסיון. ג'ינהי קים מתארת שלושה שלבים של התפתחות שיתוף פעולה בין מורים לבינה מלאכותית: מורים כמקבלי בינה מלאכותית פסיביים; מורים כמשתמשי בינה מלאכותית פעילים; ומורים ובינה מלאכותית כשותפים בונים.[22] לפיכך, מורים זקוקים להזדמנויות לשלב ביעילות טכנולוגיות GenAI.

שילוב בינה מלאכותית גנרטיבית בחינוך מתמטי

נוסף על יתרונות השימוש ב-GenAI שהוזכרו לעיל, בהקשר של חינוך מתמטי סביבות טכנולוגיות מבוססות בינה מלאכותית מאפשרות לספק משוב אישי ותמיכה ספציפית במהלך לימוד מקצועות מתמטיים או הבנת תוכן מורכב.[23] המשוב האישי יכול לקדם את הידע המתמטי של סטודנטים להוראת מתמטיקה ושל מורים בפועל וכן להרחיב את מיומנותם

---

[17] Cai & Rott, 2024

[18] Baidoo-Anu & Ansah, 2023, Biton & Segal, 2025; Biton et al., 2025

[19] Baidoo-Anu & Ansah, 2023; Chan & Hu, 2023, Marienko et al., 2020

[20] Druga el al., 2019

[21] Chan & Hu, 2023

[22] Kim, 2024

[23] Jia, 2015

בפתרון בעיות מתמטיות.[24] ומעל לכול, כפי שמצאו יוסף וורדאת ואחרים, סטודנטים להוראת מתמטיקה האמינו ש-ChatGPT יכול להקל על פתרון בעיות מתמטיות שונות ולספק תמיכה בהוראה.[25] למעשה, שימוש ב-GenAI לפתרון בעיות מתמטיות בנושאי מתמטיקה שונים יכול לסייע בתהליכי למידה על ידי הסבר, ויזואליזציה של מושגים והצגת תכונות של צורות גיאומטריות. GenAI מאפשר למשתמשים לקבל משוב מיידי, להשתתף בדיאלוגים אינטראקטיביים לפתרון בעיות ולגשת לפתרונות שלב אחר שלב ובכך להשיג הזדמנות להעמיק ולהרחיב את הידע המתמטי והפדגוגי שלהם.[26]

הוראה ולמידה של מתמטיקה עם GenAI מזמנות גם אתגרים. הדיוק והאמינות של פתרונות שנוצרו על ידי בינה מלאכותית אינם תמיד ללא רבב, ול-ChatGPT אין הבנה מעמיקה של נושאים מתמטיים מסוימים (כמו למשל גיאומטריה), ולכן הוא עשוי לספק פתרונות שגויים או חלקיים לבעיות מתמטיות נתונות ולא לאפשר טיפול יעיל בתפיסות מוטעות.[27] לפיכך, נדרשת מודעות לכך ש-ChatGPT יכול לספק מידע לא מדויק ולהיות מוכנים להעריך באופן ביקורתי כל הצעה שלו. כדי לחזק את הדיוק והאמינות של ChatGPT, חיוני להזין אותו בקלט מדויק ומוגדר היטב, ולהצליב את המידע המסופק עם מקורות אחרים.[28]

חסרונות ואתגרים נוספים של יישום בינה מלאכותית בחינוך מוצגים על ידי ברברה אוקלי ואחרים,[29] כגון (1) עצלנות מטא-קוגניטיבית – לומדים מפגינים התנהגויות מופחתות של תיקון עצמי ומאמץ קוגניטיבי מופחת; (2) הסתמכות מוגזמת על כלי בינה מלאכותית עלולה להוביל את המשתמש לביצועים טובים במהלך תרגול בסיוע בינה מלאכותית, אך להיכשל כאשר נבדק באופן עצמאי; ו-(3) תלות בבינה מלאכותית משבשת את התפתחותן של יכולות קוגניטיביות אוטונומיות, כגון היכולת להעריך מקורות באופן ביקורתי. דיוויד ביידו-אנו ולטיסיה אווסו אנסָה קראו למחקרים נוספים שיבחנו כיצד לשלב כלי GenAI בתוכניות הכשרת מורים, כדי להכשיר סטודנטים ומורים לשימוש מושכל בכלי בינה מלאכותית בצורה בטוחה ואפקטיבית.[30]

TPACK: מסגרת תאורטית לידע תוכן וידע פדגוגי של מורים ולשילובם עם ידע טכנולוגי

הספרות מתארת מודלים שונים לאפיון ידע של מורים, במיוחד כאלה הנוגעים לשילוב טכנולוגיה בתהליכי הוראה. TPACK (Technological Pedagogical & Content Knowledge)

---

[24] Rane, 2023; Wardat et al., 2023
[25] Wardat et al., 2023
[26] Kasneci et al., 2023; Rane, 2023; Wardat et al., 2023
[27] Rane, 2023; Wardat et al., 2023
[28] Wardat et al., 2023
[29] Oakley et al., 2025
[30] Baidoo-Anu & Ansah, 2023

הוא מודל המשלב שלושה גופי ידע בסיסיים: ידע טכנולוגי (TK), ידע פדגוגי (PK) וידע תוכן (CK).[31] מודל TPACK מגלם בתוכו את האפשרות שכל שלושת גופי הידע מצטלבים ברמות מורכבות שונות,[32] ובכך יוצרים ידע תוכן-טכנולוגי (TCK), ידע תוכן-פדגוגי (PCK), וידע פדגוגי-טכנולוגי (TPK). מודל זה הפך למסגרת שימושית למיפוי ידע של מורים,[33] וכן לפיתוח כלי מחקר, משום שהוא מגדיר את הידע הנדרש מהמורים כדי שיוכלו לשלב ביעילות טכנולוגיה בהוראה שלהם.[34] למשל, ידע TK כולל ידע על הטכנולוגיות השונות הזמינות לתכנון והוראה בכיתה, בעוד ידע TCK הוא ידע על האופן שבו טכנולוגיה יכולה ליצור ייצוגים שונים עבור מושג מתמטי ספציפי, וידע TPK כולל את ההיכרות עם מגוון הטכנולוגיות שניתן לשלב בהוראה ואת ההבנה כיצד הן יכולות להשפיע על שיטות הוראה ולקדם את הצרכים החינוכיים של המורים. מורים בעלי TPACK מגוון ועשיר יכולים להציע לתלמידיהם הזדמנויות למידה המשלבות טכנולוגיה באופן מושכל לצורך שיפור כישורי החשיבה וההבנה שלהם,[35] לעשות שימוש בטכנולוגיה להערכת תלמידים במגוון דרכים,[36] ולאפשר פיתוח מיומנויות חקר ולמידה פעילה של התלמידים.[37] אחת האסטרטגיות להרחבת ה-TPACK של מורי מתמטיקה היא שיתופם בתכנון משימות ובעיות מתמטיות.[38]

שאלת המחקר

מהי התרומה של ChatGPT ל-TPACK של סטודנטים להוראת מתמטיקה על פי תפיסתם, כאשר הם עושים בו שימוש בחיבור בעיות מתמטיות בהתאם לצורכיהם החינוכיים?

השיטה

משתתפי המחקר וסביבת המחקר

המשתתפים היו חמישה-עשר סטודנטים מתחומי ההייטק וההנדסה, הלומדים בתוכנית אקדמית ייחודית להוראת מתמטיקה בתיכון – "מהייטק להוראה". התוכנית כללה מספר קורסים מתמטיים ופדגוגיים, שמטרתם להכשיר את הסטודנטים להוראת מתמטיקה מתקדמת בתיכון. המחקר נערך במסגרת קורס שנתי בשם "הוראת מתמטיקה ברמת 5 יחידות", שכלל היכרות עם הנושאים הנלמדים ברמה זו, פתרון בעיות, שילוב טכנולוגיה בהוראה ולמידת מתמטיקה ועוד. שני מפגשים בקורס זה התמקדו בחיבור בעיות באמצעות

---

31 Koehler & Mishra, 2009; Niess, 2005 (בהתבסס על Shulman, 1986).
32 Jahangiril et al., 2021; Klemer et al., 2023, Rave et al., 2025; Segal et al., 2021
33 Klemer et al., 2023; Rave et al., 2025, Segal et al., 2025
34 Caniglia & Meadows, 2018; Nantschev et al., 2020
35 Biton & Segal, 2025; Biton et al., 2025; Segal et al., 2018
36 Torres-Madroñero et al., 2020
37 Jahangiril et al., 2021; Koh et al., 2013; Lavy, 2015; Segal et al., 2018
38 Kirikçilar & Yildiz, 2018

GenAI/ChatGPT, שבמהלכם התבקשו המשתתפים לבצע שלבים ספציפיים (ראו להלן, "תהליך חיבור בעיות באמצעות ChatGPT"). המחקר נערך במהלך מפגשים אלה.

כלי המחקר

המחקר נערך כמחקר מעורב (mixed-method) וכלל איסוף וניתוח נתונים כמותיים ואיכותניים. הנתונים נאספו מתיעוד העבודה עם ChatGPT ומשאלון שמילאו המשתתפים.

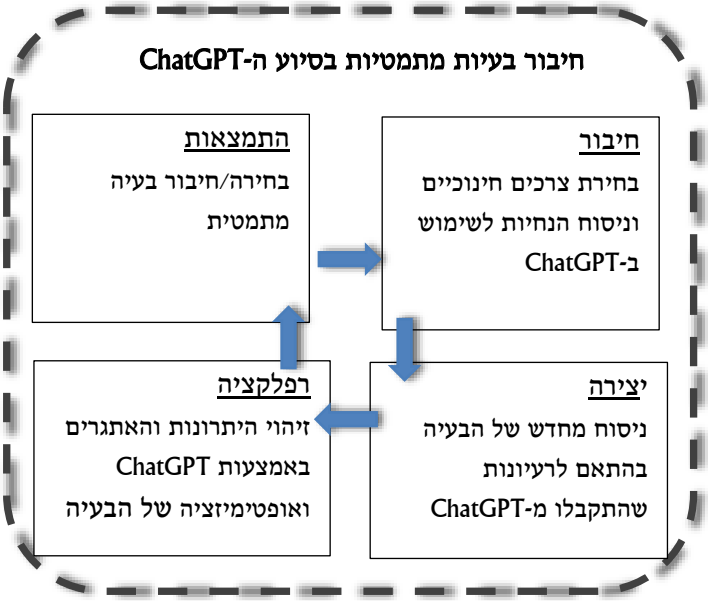
- **תיעוד העבודה עם הבינה המלאכותית** – החוקרים תיעדו את כל שלבי חיבור הבעיות ואת ההנחיות שנתנו המשתתפים ל-ChatGPT, באמצעות שימוש בטופס גוגל שהנחה את המשתתפים בתהליך, שלב אחר שלב.
- **שאלון** – לאחר שני המפגשים בנוגע לחיבור בעיות באמצעות ChatGPT, המשתתפים התבקשו למלא שאלון בן שני חלקים (שנבנה ותוקף על ידי שלושה מומחים לחינוך מתמטי), כדי להעריך את תפיסותיהם לגבי העבודה עם GenAI ולקבוע אם וכיצד תרמה ל-TPACK שלהם. החלק הראשון של השאלון כלל עשרה היגדים לדירוג בסולם ליקרט, שהמשתתפים התבקשו לדרג מ-1 (לא מסכים כלל) עד 5 (מסכים במידה רבה מאוד). (ההיגדים מפורטים בסעיף ניתוח נתונים, להלן). החלק השני כלל את שש השאלות הפתוחות הבאות, שמטרתן הייתה להעמיק את הבנת תפיסותיהם של המשתתפים לגבי האופן שבו תרם השימוש ב-GenAI לצורך חיבור בעיות ל-TPACK שלהם:

1. כיצד שיפר השימוש ב-ChatGPT את יכולתך לחבר בעיה בצורה יעילה ויצירתית? (TPK, TCK)
2. כיצד העמיק ChatGPT את הבנתך את התוכן המתמטי הקשור לבעיה שחיברת? (TCK) בבקשה ספק דוגמה.
3. כיצד עזר לך ChatGPT לפתח חשיבה ביקורתית לגבי תהליך חיבור הבעיות? (TPK, TCK) בבקשה ספק דוגמה.
4. מהם היתרונות של שימוש ב-ChatGPT בתהליך חיבור הבעיות? בבקשה פרט. (TPK, TK, TCK)
5. מהם החסרונות של שימוש ב-ChatGPT בתהליך חיבור הבעיות? בבקשה פרט. (TPK, TK, TCK)
6. כיצד לדעתך תיישם את ChatGPT לצורך חיבור בעיות במתמטיקה בעתיד? (TPK, TK, TCK)

תהליך חיבור בעיות באמצעות ChatGPT

במהלך שני המפגשים נדרשו משתתפי המחקר להשתמש ב-ChatGPT בתהליך חיבור בעיות מתמטיות. התהליך כלל את ארבעת השלבים העיקריים (בהתבסס על המודל של קאי ורוט),[39] המוצגים באיור 1 ומפורטים להלן.

איור 1: שלבי חיבור בעיות מתמטיות באמצעות ChatGPT



שלב 1: התמצאות. המשתתף בוחר/מחבר בעיה מתמטית שתתאים לנושאים הנלמדים בהוראת מתמטיקה ברמה מתקדמת (סדרות, גיאומטריה אוקלידית, חשבון דיפרנציאלי וכולי). לאחר מכן הוא מתבקש לפרט את הידע הנדרש כדי לפתור את הבעיה ולציין קשיים פוטנציאליים שתלמיד עלול להיתקל בהם בעת פתרון הבעיה.

שלב 2: חיבור. המשתתף מגדיר את צרכיו החינוכיים ומנסח הנחיות עבור ה-ChatGPT כדי לקבל המלצות לשיפור הבעיה כך שתתאים לצרכים שהוגדרו. המשתתפים קיבלו הנחיות ראשוניות ודוגמאות כיצד לנהל דיאלוג עם ChatGPT ולשפר את ניסוח ההנחיות בהתאם לצרכים הספציפיים שלהם. הינה דוגמה אחת: "אני סטודנט להוראת מתמטיקה. כחלק מקורס בנושא מתמטיקה מתקדמת, הוטל עליי לחבר בעיה בחשבון דיפרנציאלי. הינה הבעיה שהצגתי [...] אודה לך אם תוכל לספק לי שלוש המלצות כיצד לשפר את הבעיה שלי". בעקבות ההצעות

[39] Cai & Rott, 2024

שסופקו על ידי ChatGPT, המשתתפים יכלו להמשיך את הדיאלוג עם שאלות נוספות כדי למקד את ההנחיות בהיבטים ספציפיים ובמטרות חינוכיות. לדוגמה: (1) האם הבעיה ברורה ומובנת? כיצד ניתן להבהיר אותה? (2) האם הבעיה מאתגרת מספיק, או שהיא נראית פשוטה מדי? כיצד ניתן להגביר את רמת הקושי שלה? (3) האם הבעיה מכילה את כל המידע הדרוש לפתרונה? אילו פרטים נוספים יכולים להרחיב את הבעיה? (4) האם הבעיה יכולה לכלול יישומים מהעולם האמיתי או קשרים לתחומים מדעיים אחרים?

שלב 3: יצירה. המשתתף בוחן את הרעיונות שהתקבלו מ-ChatGPT ומחליט אם וכיצד הם קשורים לצרכים החינוכיים שהגדיר, והאם יש לו את הידע והכישורים ליישם את הרעיונות. הוא מחליט אילו הצעות מתאימות ומנסח מחדש את הבעיה בהתאם.

שלב 4: רפלקציה. המשתתף מזהה את היתרונות והאתגרים של שימוש ב-ChatGPT לתהליך חיבור בעיות מתמטיות ומחליט האם להמשיך לעבוד עם ChatGPT למשימה אחרת. אם כן, הוא חוזר על שלבים 1–3, הפעם בחיבור בעיה מתמטית המקשרת את הנושא המתמטי/המושג המתמטי/הבעיה הנתונה לחיי היומיום.

ניתוח הנתונים

המחקר השתמש בשיטה מעורבת,[40] בהליך הסבר רציף, כדי להשיג הבנה מלאה של תרומת השימוש ב-ChatGPT לצורך חיבור בעיות מתמטיות ל-TPACK של המשתתפים. נתונים כמותיים ואיכותניים נאספו באמצעות שאלונים ונתונים איכותניים נוספים לחיזוק הממצאים מתוך השאלונים התקבלו מהתיעוד של עבודת המשתתפים עם הבינה המלאכותית. ניתוח נתונים כמותי (תדירות, ממוצעים וסטיית תקן) של היגדי ליקרט אפשר לנתח את התרומה של ChatGPT לידע הטכנולוגי-פדגוגי-מתמטי של סטודנטים להוראת מתמטיקה, כפי שנתפס על ידם. כדי לנתח באופן איכותני את הנתונים שהתקבלו מתשובות המשתתפים לשאלות הפתוחות, תשובותיהם חולקו ל"יחידות משמעות", נושאים זוהו וסווגו באמצעות "ניתוח השוואתי מתמיד",[41] ולאחר מכן הנושאים חולקו לקטגוריות ותמות.[42]

ממצאים

לפני הצגת הממצאים האנליטיים, נציג להלן דוגמה לדיאלוג בין אחד המשתתפים, ניר (שם בדוי), לבין ChatGPT, המדגים את תהליך חיבור הבעיות בהתאם לצרכים החינוכיים שהוגדרו ואת ניתוח הממצאים בהתאם למודל ה-TPACK.

---

[40] Creswell, 2014

[41] Charmaz, 2014; Glaser & Strauss, 2017

[42] Fram, 2013

שלב 1: התמצאות – ניר בחר בעיה העוסקת בחקירת הפונקציה הבאה, בהתאם לסעיפים אלו: מציאת תחום הגדרה, משוואת אסימפטוטות, נקודות חיתוך עם הצירים, נקודות קיצון, תחומי עלייה וירידה של הפונקציה, ושרטוט גרף.

$$f(x) = \frac{2x^2}{x^2 + 6x + 8}$$

ניר הגדיר את הידע הנדרש לפתרון הבעיה: חקירת פונקציית מנה, מציאת הפונקציה הנגזרת של פונקציית מנה והשימוש בה למציאת נקודות קיצון, ושרטוט גרף המאגד את כל הנתונים שהתקבלו מהחקירה. ניר ציין קשיים פוטנציאליים שתלמיד עלול להיתקל בהם כגון שרטוט של גרף פונקציה לא רציפה. CK – ניר הפגין ידע מתמטי מוצק בזיהוי כל המרכיבים הנדרשים לחקירת פונקציה (תחום הגדרה, אסימפטוטות, נגזרות וכולי); PCK – ניר זיהה מראש קשיים פוטנציאליים לתלמידים בשרטוט פונקציות לא רציפות, דבר המעיד על ידע תוכן פדגוגי.

שלב 2: חיבור – ניר ניסח לאחר מכן הנחיות כדי להשיג הצעות מ-ChatGPT:

> אני סטודנט המלמד מתמטיקה. כחלק מקורס [...] התבקשתי לחבר בעיה [...] הנה הבעיה שחיברתי [...] בבקשה רשום המלצות כיצד לשפר את הבעיה שלי, באופן ספציפי: 1. האם הבעיה מאתגרת מספיק או שהיא נראית פשוטה מדי? כיצד נוכל להגדיל את האתגר? 2. האם הבעיה מכילה את כל המידע הדרוש לפתרונה? אילו פרטים חסרים יכולים להוסיף ערך? 3. האם ניתן לכלול בבעיה יישומים מהעולם האמיתי או קשרים לתחומי מדע אחרים?

בסבב השני ניר הוסיף את השאלה הבאה ל-ChatGPT: 4. כיצד ניתן לקשר את הבעיה הנתונה לחיי היומיום של התלמידים?

שלב 3: יצירה – ChatGPT הגיב עם הצעות, ולאחר ששקל אותן, ניר ניסח מחדש את הבעיה בהתאם לצרכים החינוכיים שלו. תגובת ChatGPT לגבי הגדלת האתגר:

> למרות שהבעיה טובה, ניתן להגדיל את האתגר על ידי הוספת שאלות הדורשות ניתוח מעמיק יותר או טכניקות נוספות. לדוגמה, בקשה לתאר את התנהגות הפונקציה ליד האסימפטוטות האנכיות שלה (כלומר, האם הפונקציה מתקרבת לאינסוף חיובי או שלילי).

ניר גילה עניין רב בהצעה של ChatGPT וניסח את השאלה בשיפור הסעיף המבוסס על הבנה מעמיקה יותר של התנהגות האסימפטוטות האנכיות סמוך לנקודות אי-ההגדרה בנוסף לפתרון הנשען על טכניקה אלגברית. קשיים אפשריים: "קחו בחשבון שהתלמידים עשויים להתקשות לשרטט את גרף הפונקציה סמוך לאסימפטוטות האנכיות. ייתכן שתרצו לבקש מהם להשתמש בכלי גרפי כדי לספק גרף שיוכלו להשוות עם הגרף שלהם". ניר אימץ את ההצעה של הבינה המלאכותית לגבי שילוב הטכנלוגיה, ובחר לנסח סעיף נוסף המפנה את התלמידים לסביבה טכנולוגית דינמית (GeoGebra אותה הכיר במסגרת הקורס), ככלי שיסייע להם לבדוק את

המענה שלהם לסעיף הקודם על אודות התנהגות הפונקציה סביב האסימפטוטות האנכיות. פרטים חסרים:

> ייתכן שיהיה מועיל לכלול תזכורת לגבי הגדרת אסימפטוטות וכיצד למצוא אותן אלגברית, במיוחד עבור תלמידים שעשויים להיתקל במושגים אלה בפעם הראשונה. ודאו שאתם מספקים הנחיות ברורות כיצד לגשת לכל חלק של הבעיה. לדוגמה, כדי למצוא את תחום ההגדרה של הפונקציה, ייתכן שתרצו לכלול הנחיות לזיהוי ערכי הפונקציה בנקודות שבהן הפונקציה אינה מוגדרת (כגון ערכים שהופכים את המכנה לאפס).

ניר הוסיף לסעיף העוסק במציאת האסימפטוטות של הפונקציה תזכורת לתלמידים כיצד ניתן למצוא את האסימפטוטות האנכיות ואת האסימפטוטה האופקית של הפונקציה. המלצת ChatGPT לקישור הבעיה לחיי היומיום:

> למרות שהבעיה עצמה היא מתמטית גרידא, ייתכן שתשקלו להוסיף הקשר או יישום מהעולם האמיתי כדי להפוך אותה למושכת ורלוונטית יותר לתלמידים. לדוגמה, תרחיש שבו הפונקציה מייצגת מצב פיזיקלי (כגון מודל צמיחה או השקעה פיננסית) ולאחר מכן לבקש מהתלמידים לפרש את תוצאות החישובים שלהם בהקשר זה. כך, תוכלו לשפר את העומק, הבהירות והישימות של הבעיה שלכם, ולהפוך אותה למעניינת ובעלת ערך רב יותר עבור התלמידים.

ניר התקשה ביישום המלצה זו, ובחר שלא לקשר את הבעיה לחיי היומיום של התלמידים.

שלב 4: רפלקציה – באמצעות הדיאלוג של ניר עם ChatGPT הוא נחשף למגוון רעיונות פדגוגיים, שסייעו לו לחבר שאלה המאפשרת לו כמורה לזהות הבנה, להוסיף הסברים המסייעים לתלמידים מתקשים לענות על השאלה, ולעשות שימוש בטכנולוגיה כדי לזמן לתלמידים השוואה בין הסקיצה, הגרף שהם שרטטו, לבין הגרף המוצג על המסך. ניר בחר שלא ליישם את המלצת ChatGPT לקשר את הבעיה לחיי היומיום על ידי קישור הגרף למודל של צמיחה או השקעה פיננסית.

ניתוח הדיאלוג בהתאם למסגרת של TPACK

- ידע תוכן (CK) – ניר הפגין ידע מתמטי מוצק בתחום חקירת פונקציות, כולל הבנת מושגים כגון תחום הגדרה, אסימפטוטות, נגזרות ושרטוט גרפים.
- ידע פדגוגי (PK) – התהליך חשף התפתחות בידע הפדגוגי של ניר דרך קבלת הצעות לשיפור הבעיה, הוספת פיגומים לתלמידים מתקשים, וזיהוי קשיים פוטנציאליים.
- ידע טכנולוגי (TK) – ניר הכיר כלים טכנולוגיים ונעזר בהם: ב-ChatGPT לפיתוח הבעיה וב-GeoGebra לתמיכה בתלמידים.
- ידע תוכן-פדגוגי (PCK) – ניר הפגין הבנה כיצד לחבר בעיה מתמטית מאתגרת המתאימה לרמת התלמידים, תוך זיהוי קשיים ספציפיים בשרטוט פונקציות לא רציפות.

- ידע פדגוגי-טכנולוגי (TPK) – השימוש ב-ChatGPT כמשאב פדגוגי לשיפור הוראה והכרת יתרונות GeoGebra להמחשה ולבדיקה עצמית.
- ידע תוכן-טכנולוגי (TCK) – הבנת האופן שבו GeoGebra יכול לייצג ולהמחיש התנהגות פונקציות סביב אסימפטוטות באופן דינמי.

לצד כל אלו ניתן לזהות כי ניר התקשה ביישום קישור הבעיה לחיי היומיום, דבר המעיד על אתגר בפיתוח הידע הפדגוגי-תוכני המחבר מתמטיקה למציאות.

ממצאים כמותיים

התפלגות תשובות משתתפי המחקר לעשרת ההיגדים הסגורים בשאלון מוצגת בטבלה 1 להלן (סולם ליקרט מ-1 – לא מסכים כלל, עד 5 – מסכים במידה רבה מאוד). מוצגים ממוצע, סטיית תקן ושכיחות התשובות עבור כל ערך בסולם.

טבלה 1: התפלגות תשובות המשתתפים ל-10 ההיגדים הסגורים בשאלון

ההיגד	רכיבי TPACK	ממוצע	סטיית תקן	שכיחות				
				1	2	3	4	5
1. ChatGPT עזר לי להבין טוב יותר כיצד לשפר את הבעיות כדי לעמוד ביעדים החינוכיים שלי.	PCK	3.20	1.21	2	2	3	7	1
2. ChatGPT הציע רעיונות חדשים לחיבור בעיות.	TPK, PCK	3.20	1.26	2	2	4	5	2
3. המשוב מ-ChatGPT היה שימושי	PCK, TPK	3.33	1.11	1	2	5	5	2
4. אני מרגיש בטוח יותר בחיבור בעיות מתמטיות לאחר השימוש ב-ChatGPT.	TK, TPK, TCK	3.33	1.29	2	2	2	7	2
5. התהליך עם ChatGPT גרם לי לחשוב בצורה יצירתית יותר על חיבור בעיה חדשה.	TPK, TCK	3.80	1.47	2	1	2	3	7

6. אני מאמין שהשימוש ב-ChatGPT בעתיד ישפר את היכולת שלי לחבר בעיות באופן עצמאי.	TK, TPK TCK	3.73	1.16	1	1	3	6	4
7. השימוש ב-ChatGPT חיזק את הבנתי כיצד לקשר בעיה שחיברתי לחיי היומיום.	TCK, TPK	3.40	1.55	3	1	3	3	5
8. המשימה עזרה לי ללמוד כיצד למקד את ChatGPT כדי לענות על הצרכים החינוכיים שלי בהוראת מתמטיקה.	TK, TPK	3.39	0.96	0	1	4	5	5
9. אני ממליץ למורים אחרים להשתמש ב-ChatGPT כדי לעזור להם לחבר בעיות.	TPK, TCK	3.73	1.22	1	1	4	4	5
10. השימוש ב-ChatGPT עודד אותי להמשיך לשאול שאלות ולבקש עזרה.	TK, TPK, TCK	3.67	1.18	1	1	4	5	4

מהנתונים המוצגים בטבלה 1 עולה כי משתתפי המחקר מזהים את התרומה של שימוש ב-ChatGPT לצורך חיבור בעיות מתמטיות, שכן הציונים הממוצעים עבור כל ההיגדים נעים בין 3.20 ל-3.93, דבר המצביע על הסכמה בינונית עד גבוהה עם ההיגדים המוצגים.

ממצאים איכותניים

ניתוח איכותני של השאלות הפתוחות חשף חמש תמות, המוצגות להלן בטבלה 2, יחד עם שכיחותן ותשובות לדוגמה.

טבלה 2: תמות (שכיחות) וציטוטים לדוגמה של תשובות המשתתפים לשאלות הפתוחות

תמה (שכיחות)	דוגמאות לציטוטים תומכים
חשיפה לרעיונות פדגוגיים חדשים (ChatGPT מציג רעיונות חדשים וגישות להצגת בעיות) (n=10) (PCK, TCK)	1. ChatGPT הציע רעיונות שהייתי צריך ליישם בעצמי. 2. ChatGPT נותן רעיונות, ואתה יכול למקד את זה במה שאתה רוצה להשיג. 3. ChatGPT עזר לי להוסיף בקלות מקרים ודוגמאות ולהרחיב את השאלה מעבר להצגתה המקורית. 4. ChatGPT נותן מגוון רעיונות לחיבור בעיה מורכבת יעילה. 5. ChatGPT מציע רעיונות שמעוררים חשיבה ומסייע לחבר בעיה הדורשת הבנה ולא רק טכניקה אלגברית.
פיתוח חשיבה ביקורתית (ChatGPT מקדם הבנה עמוקה יותר והתבוננות ביקורתית על תהליך חיבור הבעיות) (n=8) (PCK, TCK)	1. ChatGPT מציג נקודות להתייחסות מנקודת מבט רחבה יותר, שאנחנו לא תמיד חושבים עליהן. 2. ChatGPT עזר לי להבין שאני צריך להוסיף עוד סעיפים כדי לעודד הבנה. 3. ChatGPT יכול לעזור לחבר שאלה, אבל צריך להיות עם האצבע על הדופק ולא לקבל כל הצעה. 4. ChatGPT זיהה שהניסוח בבעיה שהצגתי לא היה מספיק ברור והציע תיקונים. 5. במקרה אחד ChatGPT נתן לי תשובה לא סבירה שהראתה מרחק שלילי. ברור שפתרון זה נדחה.
המשך יישום (עתידי) של ChatGPT (n=7) (PCK, TCK)	1. אני בהחלט אשתמש בו, בעיקר כדי לבחון הבנה. 2. אני מתכוון להשתמש ב-ChatGPT כדי לוודא שהשאלות שאני מגישה ברורות מספיק ולא חסרות בהן נתונים, או לתיקון ניסוח. 3. אני מתכוון להשתמש ב-ChatGPT כדי להתאים שאלות קיימות מספרי לימוד לשיעור שאני מלמד. 4. אני מתכוון להשתמש ב-ChatGPT לחיבור שאלות למבחן הקרוב.
אתגרים ומגבלות (בזמן שימוש ב-ChatGPT לצורך פתרון וחיבור בעיות) (n=6) (PCK, TCK, TK)	1. קושי ביישום ובדיוק של ההמלצות שהתקבלו מ-ChatGPT. 2. תרגום מונחים מתמטיים לאנגלית ותרגום חזרה לעברית. 3. ניסוח נכון של ההנחיה עד לקבלת התוצאה הרצויה. 4. אני צריך להסביר ל-ChatGPT מה אני רוצה ו"לכוונן" אותו מספר פעמים.

	5. אני צריך לוודא שההצעות של ChatGPT אינן שגויות, כי גיליתי שאי-אפשר לסמוך עליהן באופן עיוור; לעיתים קרובות יש בהן שגיאות הן בשאלות המוצעות והן בפתרונות.
נגישות ויעילות (להשיג רעיונות לחיבור בעיות) (n=5) (PCK, TCK, TK)	1. ChatGPT מאשר את הנתונים וההבנה של השאלה, כולל הפתרונות. 2. מהיר, נגיש, מקיף, אך לא תמיד מדויק. 3. חיבור נגיש למסד נתונים עשיר שיכול להציע הסברים שלא חשבתי עליהם קודם. 4. ChatGPT יכול להציע נושאים לחיבור בעיה ועל מה להתמקד. זה דומה למשוב שהיינו מקבלים אם היינו מתייעצים עם עמיתים, אבל בלי שיפוטיות. 5. אנו מקבלים תגובה מהירה עם ראייה רחבה יותר של תחומים שעשויים לעניין את התלמיד, כגון חיבור הנושא לחיי היומיום.

דיון

המחקר הנוכחי עונה לקריאתה של ססיליה קה יוק צ'אן למורי מורים לשלב בינה מלאכותית בהכשרת מורים.[43] ממצאי המחקר המוצג כאן מצביעים על הזדמנויות ואתגרים של סטודנטים להוראת מתמטיקה בבית הספר העל-יסודי בתהליך של חיבור בעיות מתמטיות. הטכנולוגיה מאפשרת גישה למערכת כלים עשירה ומגוונת שעשויה לשמש פלטפורמה להבנה עמוקה יותר של תהליכי למידה והוראה.[44] במחקר הנוכחי הטכנולוגיה החדשנית המבוססת על – GenAI ChatGPT – אפשרה לסטודנטים במהלך הכשרתם להוראת מתמטיקה מתקדמת (5 יחידות) לגשת למקור המזמן מגוון אינסופי של רעיונות פדגוגיים ולקבל המלצות בהקשר של חיבור בעיות מתמטיות. חשיפה זו, המלווה בתהליך חוזר ונשנה של דיאלוג עם ChatGPT, שימשה מנוף להרחבת הידע, לשיפור החשיבה הביקורתית ולחיבור בעיות הלכה למעשה. תהליך חיבור בעיות מתמטיות הוא מאתגר ורצוף קשיים.[45] עבור הסטודנטים שהשתתפו במחקר הנוכחי, זו הייתה החוויה הראשונה שלהם בחיבור בעיות מתמטיות, והשילוב של ChatGPT כ"שותף" לא שיפוטי טיפח למידה מותאמת אישית ואינטראקטיבית,[46] אפשר להם עבודה בסביבה בטוחה, הקל על האתגר וסיפק להם חוויית הצלחה, שיכולה לחזק את ביטחונם העצמי.

העבודה עם ChatGPT סייעה לסטודנטים משתתפי המחקר לקדם ולהתאים את גישות ההוראה שלהם, כל אחד בהתאם לצרכים החינוכיים שלו, ללא הגבלות זמן או כמות הבקשות

[43] Chan, 2023
[44] Schleicher, 2019
[45] Cai & Jiang, 2017
[46] Baidoo-Anu & Ansah, 2023; Lo, 2023

הנדרשת, ודיוק ההנחיות שהזינו ל-ChatGPT. זה גם אפשר להם להתאים אישית את הבעיות שלהם כדי לענות על הצרכים הייחודיים של תלמידיהם. ואכן, ממצאי המחקר הנוכחי, בדומה לאלה של וורדאת ואחרים ושל ניטין ראנֶה,[47] מצביעים על כך שהמשוב המותאם אישית שקיבלו המשתתפים מ-GenAI קידם את מיומנותם ויכולותיהם בחיבור בעיות מתמטיות. הממצאים מצביעים על כך שהמשתתפים זיהו את הערך המוסף של הדיאלוג עם ChatGPT והביעו עניין בשימוש בו בעתיד. תהליך השימוש בבינה מלאכותית בהתאם לצרכים הפדגוגיים של המשתמש הוא תהליך מתמשך של ניסיון מצטבר, כפי שעולה בממצאים של קים,[48] המצביעים על כך כי ככל שהמורה צובר ניסיון רב יותר בשימוש בטכנולוגיה זו, הוא הופך להיות מסוגל יותר לנצל את GenAI כעמית המשתף פעולה באופן יעיל.

תרומה ל-TPACK של הסטודנטים

אחת ממטרות המחקר הנוכחי הייתה לקבוע כיצד שימוש ב-ChatGPT בעת חיבור בעיות מתמטיות תרם ל-TPACK של סטודנטים להוראת מתמטיקה בתיכון בהתאם לתפיסתם. להלן ההתייחסות לתרומה לכל היבט של TPACK – כלומר ידע טכנולוגי (TK), ידע פדגוגי (PK), ידע תוכן (CK), ידע תוכן-פדגוגי (PCK), ידע פדגוגי-טכנולוגי (TPK) וידע תוכן-טכנולוגי (TCK) – על בסיס ניתוח המענה של המשתתפים לשאלונים והבעיות שחיברו.

תרומה ל-TK – ידע טכנולוגי

במהלך הקורס למדו הסטודנטים משתתפי המחקר על סביבה טכנולוגית חדשנית שיכולה לסייע בחיבור בעיות מתמטיות: סביבת GenAI – ChatGPT. סביבה טכנולוגית זו מאפשרת גישה לבסיס ידע טכנולוגי המציע שפע אינסופי של דוגמאות ורעיונות פדגוגיים חדשניים, שיכולים לשמש בסיס לחיבור בעיות מתמטיות משמעותיות ומעניינות. במהלך לימודיהם כיצד לעבוד בסביבה זו והתנסותם בפועל הם השיגו את ההבנה כי איכות ההנחיות שסיפקו ל-ChatGPT השפיעה על איכות ודיוק המידע הרלוונטי המבוקש (ולפעמים החדשני), כדי לעמוד ביעדים החינוכיים שלהם, בדומה לממצאים מהמחקרים של ביידו-אנו ואנסה ושל צ'אנג קוואן לו.[49] לפיכך, משתתפי המחקר הרחיבו את הידע הטכנולוגי שלהם לגבי החשיבות המרכזית של התהליך החוזר ונשנה של ניסוח הנחיות ברורות ומדויקות כדי לקצור את התוצאות הטובות ביותר. הרחבת הידע הטכנולוגי של המשתתפים התבטאה גם בהגברת המודעות שלהם למגבלות הסביבה. הם הפכו להיות מודעים ליתרונות ולאתגרים של עבודה עם סביבה זו, ולמדו כיצד ליישם חשיבה ביקורתית לצורך ניסוח נכון של הנחיות וכיצד לנהל דיאלוג מתמשך כדי לחדד את צורכי ההוראה שלהם.

---

[47] Wardat et al., 2023; Rane, 2023

[48] Kim, 2024

[49] Baidoo-Anu & Ansah, 2023; Lo, 2023

תרומה ל-CK – ידע תוכן (מתמטי), ל-PK – ידע פדגוגי, ול-PCK – ידע תוכן-פדגוגי

היו שלבים רבים שבהם השימוש ב-ChatGPT שיפר את ה-PK, CK ו-PCK של המשתתפים. בשלב ההתמצאות נדרשו המשתתפים להכיר לעומק את הבעיה שרצו להציג, את שיוכה לתוכנית הלימודים, את הידע הנדרש לפתרון הבעיה ואת הקשיים שעשויים להתעורר בתהליך פתרונה. משמעות הדבר היא שהתהליך סייע לשפר את ה-CK וה-PCK המתמטיים שלהם. בשלב חיבור הבעיה (על בסיס בעיה נתונה), היה עליהם לשקול עוד יותר את הצרכים החינוכיים של תלמידיהם (PK) ולשפר את ניסוח הבקשה כדי להעביר זאת ביעילות ל-GenAI. בשלב היצירה תרם הדיאלוג עם ChatGPT לשלושה היבטים: שיפור בהירות ניסוח הבעיה (PK), בדיקה האם כל הנתונים בשאלה נדרשים (CK), וקביעה האם חסר מידע כלשהו (PCK). הסטודנטים משתתפי המחקר נחשפו לרעיונות פדגוגיים חדשים, לעיתים מפתיעים, לשיפור ניסוח הבעיה ולקישורה לחיי היומיום (PK). בשלב הרפלקציה היה עליהם לחשוב באופן ביקורתי האם הרעיונות וההצעות שהוצעו מתאימים לשימוש בנסיבותיהם או – כפי שציינו חלקם בתשובותיהם לשאלות הפתוחות – היו למעשה שגויים או לא הולמים (PCK). היה עליהם לבחון בקפידה את ההצעות ולהחליט האם הבעיה הותאמה כראוי למטרות החינוכיות שהוגדרו ולרמת המיומנות של תלמידיהם. זאת תוך בחינה כיצד לשפר את הבעיה לצורך הגדלת האתגר עבור התלמידים, כיצד לשפר את כישורי תלמידיהם או להוסיף עניין על ידי קישור המתמטיקה הכרוכה בבעיה לחיי היומיום. עוד היה עליהם לוודא שההצעות תואמות את יכולותיהם כמורים. נוסף על כך, תהליך מתן ההנחיות הרקורסיבי, המציג דיאלוג ממוקד יותר ויותר בין המורה לבינה המלאכותית, עזר למשתתפי המחקר ללמוד כיצד לנהל דיאלוג פורה עם תלמידיהם בנוגע לחיבור בעיה ופתרונה.

תרומה ל-TPK – ידע טכנולוגי-פדגוגי

מתוך תשובות המשתתפים לשאלון ומתוך תהליך חיבור הבעיות ניתן לזהות כי הם למדו שבהינתן הנחיות מתאימות, ChatGPT יכול לסייע בחיבור בעיות כדי לענות על צרכים פדגוגיים כגון הפיכת ההוראה לרלוונטית יותר (למשל, קישור הבעיה לחיי היומיום), הבטחת בהירות ניסוח הבעיה, עמידה ביעדים ספציפיים (למשל, הפיכת בעיה למאתגרת יותר), הוספת הסברים במידת הצורך (למשל, הסבר משמעות הנקודה שבה הפונקציה אינה מוגדרת או התנהגות הפונקציה בסביבת האסימפטוטות). לפיכך, היה עליהם לפתח את כישוריהם לניסוח הנחיות רלוונטיות ולכוונן אותן בצורה מדויקת יותר בהתאם לתגובות שהתקבלו.

הדיאלוג עם ChatGPT תרם ל-TPK של משתתפי המחקר גם בכך שאפשר להם להתמודד בהצלחה עם צמתים פדגוגיים מאתגרים במהלך תהליך חיבור הבעיות, כגון חיבור בעיות הרלוונטיות לחיי היומיום או בחינה האם לתלמידים יש את הידע המתאים להתמודד בהצלחה עם פתרון הבעיה – שני קשיים שדווחו על ידי מלארט ואחרים ועל ידי מחבובה

נדאיי ואחרים.[50] תרומתו של הדיאלוג עם ChatGPT ל-TPK של משתתפי המחקר באה לידי ביטוי גם בהבנתם כי נדרש שימוש מושכל בסביבה זו. תרומה נוספת שציינו המשתתפים הייתה הבנת הצורך לחדד את החשיבה הביקורתית והיצירתית שלהם, בדומה לממצאי מחקריהם של ססיליה צ'אן וונג'י הו, של ניטין ראנה ושל וורדאת ואחרים.[51] הדבר בא לידי ביטוי במספר דרכים: (1) המשתתפים דיווחו כי זיהו אי-דיוקים וחוסר ישימות בהצעות שהתקבלו מ-GenAI, מתוך הבנה שיש לשקול כל הצעה בקפידה; (2) הם הבינו שהם מקבלים רעיונות פדגוגיים ממקור שלא אושר על ידי אף גוף רשמי (אשר מספק מבחנים, דפי עבודה, אתרי אינטרנט, ספרי לימוד וכולי), ובכך מוטלת עליהם האחריות לוודא שהרעיונות והתוכן המוצעים מתאימים; (3) הם ציינו כי חלק מהרעיונות הצביעו על "חורים" בידע שלהם או חצו את גבולות הידע שלהם, דבר שעשוי לשמש מנוף להתפתחותם המקצועית העתידית; ו-(4) הם ציינו שלעיתים ההצעה דרשה מיומנויות הוראת מתמטיקה בהתאם לתוכנית הלימודים שלא היו להם או שדרשה זמן או מאמץ מוגזמים כדי ליישמה.

תרומה ל-TCK – ידע תוכן (מתמטי) טכנולוגי

TCK שונה מ-TPK בכך שהראשון עוסק בקשר בין מושגים מתמטיים שנקבעו על ידי תוכנית הלימודים ובאים לידי ביטוי באירועים מהחיים האמיתיים, ואילו האחרון עוסק ברעיונות פדגוגיים בנוגע לניסוח הבעיה שחושפים את התלמידים לתהליכים או אירועים מהחיים האמיתיים. העבודה עם הבינה המלאכותית חשפה את משתתפי המחקר לרעיונות מתמטיים חדשים, שאפשרו לקשר מושגים ותהליכים מתמטיים למצבים אמיתיים מחיי היומיום, כגון קישור גרפים של פונקציות למגמות בהשקעה פיננסית או הקשר בין מושג הדמיון של משולשים לצורך האמיתי למדוד את גובהם של עצמים גבוהים בסביבה ועוד. בדרך זו השימוש בטכנולוגיית בינה מלאכותית מרחיב את רפרטואר הדוגמאות שניתן להציג לתלמידים המקשרות מתמטיקה לחיי היומיום. השימוש ב-GenAI גם הרחיב את הידע תוכן-טכנולוגי של המשתתפים לגבי מגבלות הבינה המלאכותית בהקשר של תוכן מתמטי ומיומנויות, כגון חוסר דיוק בחישוב ערך הפונקציה הנגזרת בנקודה מסוימת, ובכך דרש מהם לפתח חשיבה ביקורתית לגבי הצעות הבינה המלאכותית.

סיכום

הפיתוח הטכנולוגי המואץ של סביבות מבוססות בינה מלאכותית דורש מחוקרי חינוך מתמטי להתמודד עם אתגר הלימוד המתמיד של הנושא: התקדמות מהירה מובילה להזדמנויות מחקר חדשות ללא הרף, והמגבלות של ימינו עשויות להיפתר במסגרת זמן קצרה יחסית, מה שמוביל

[50] Mallart et al., 2018; Nedaei et al., 2021

[51] Chan & Hu, 2023; Rane, 2023; Wardat et al., 2023

להזדמנויות רבות למורים ולמורי מורים למתמטיקה. ממצאי המחקר הנוכחי מחזקים את טענתה של צ'אן,[52] בנוגע לתפקיד הקריטי שיש למורי מורים בכלל ולמורי מורים למתמטיקה בפרט במתן הזדמנויות למידה מעשיות לסטודנטים ולמורים בסביבת ChatGPT, אשר משפרות את יכולת הלמידה המעשית שלהם. אף על פי שהמחקר הנוכחי התמקד בשילוב GenAI בתהליך חיבור בעיות מתמטיות, היקף אפשרויות השימוש בסביבה זו הוא רחב, והשימוש בה יכול לסייע בהיענות לאתגרים, לקשיים ולחששות של סטודנטים במהלך הכשרתם להוראת מתמטיקה וגם של מורים בפועל. יתר על כן, בהתחשב בממצאים האופטימיים המוצגים כאן, נראה כי GenAI יכול לשמש שותף מצוין עבור מפתחי תוכניות לימוד במתמטיקה ועבור מחברי ספרי לימוד מתמטיים.

מגבלות המחקר והצעות למחקר עתידי

המחקר הנוכחי נערך עם קבוצה של חמישה-עשר סטודנטים שלמדו בתוכנית הכשרה ייחודית להוראת מתמטיקה בבתי ספר תיכוניים. קבוצת המדגם הקטנה משמעה שלא ניתן להכליל את הממצאים; מחקר דומה עם קבוצה גדולה יותר של סטודנטים ו/או מורים למתמטיקה יאפשר הכללה טובה יותר וממצאים מדויקים יותר. חשוב גם לציין כי המשתתפים במחקר זה היו אקדמאים במקצועות הייטק השואפים להשתלב בהוראת מתמטיקה. סביר להניח שרובם יהיו בעלי גישה חיובית ומוטיבציה גבוהה לשילוב טכנולוגיה. יהיה מעניין להשוות את התוצאות הנוכחיות לתוצאות מחקרים עם סטודנטים מרקעים אחרים.

לצד התרומה של שילוב ה-ChatGPT במהלך חיבור בעיות במתמטיקה לידע TPACK של פרחי ההוראה, חשוב להבחין גם באתגרים שחוו משתתפי המחקר בעבודה עם הבינה המלאכותית. ממצאי המחקר מצביעים על קושי ביישום חלק מההמלצות של הבינה המלאכותית בדיאלוג עצמאי אישי של המשתתפים עימה. ייתכן שכפי שטענו אוקלי ואחרים,[53] המאמץ הקוגניטיבי הנדרש ליישום היה רב מדי עבורם. מחקרי המשך צריכים להביא זאת בחשבון, ולפתח מודל לשילוב הבינה המלאכותית באופן המאפשר גם למידת עמיתים שיתופית לגבי המלצותיה. דוגמה לכך ניתן לראות בחקר מקרה שהוצג על ידי רותי סגל וענת קלמר,[54] המשלב שיח סקרני בין עמיתים במהלך שימוש בסביבות מבוססות בינה מלאכותית. שילוב שיח אנושי בין עמיתים לצד העבודה עם הבינה המלאכותית עשוי לקדם תהליכי חשיבה ורפלקציה אישית וקבוצתית. זאת כדי להתמודד עם אתגרים קוגניטיביים המשמרים ומפתחים את הבינה האנושית לצד העבודה עם הבינה המלאכותית.

---

[52] Chan, 2023

[53] Oakley et al., 2025

[54] Segal & Klemer, 2025

ביבליוגרפיה

Baidoo-Anu, D., & Ansah, L. O. (2023). Education in the era of generative artificial intelligence (AI): Understanding the potential benefits of ChatGPT in promoting teaching and learning. *Journal of AI*, *7*(1), 52–62. http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4337484

Baumanns, L. (2022). Rethinking problem-posing situations: A review. In *Mathematical Problem Posing: Conceptual Considerations and Empirical Investigations for Understanding the Process of Problem Posing* (pp. 87–121). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-658-39917-7_6

Biton, Y., & Segal, R. (2025). Learning to craft and critically evaluate prompts: The role of generative AI (ChatGPT) in enhancing pre-service mathematics teachers' TPACK and problem-posing skills. *International Journal of Education in Mathematics, Science, and Technology (IJEMST)*, *13*(1), 202–223. https://doi.org/10.46328/ijemst.4654

Biton, Y., Segal, R., & Alush, K. (2025). How utilizing generative AI when addressing pedagogical and mathematical events contributes to mathematics teacher educators' TPACK (Technological Pedagogical Content Knowledge). *International Journal of Education in Mathematics, Science, and Technology (IJEMST), 13*(4), 895–912. https://doi.org/10.46328/ijemst.4928

Brown, S. I., & Walter, M. I. (1983). *The art of problem posing*. Lawrence Erlbaum Associates.

Cai, J., & Jiang, C. (2017). An analysis of problem-posing tasks in Chinese and U.S. elementary mathematics textbooks. *International Journal of Science and Mathematics Education*, *15*, 1521–1540. https://doi.org/10.1007/s10763-016-9758-2

Cai, J., & Rott, B. (2024). On understanding mathematical problem-posing processes. *ZDM Mathematics Education*, *56*, 61–71. https://doi.org/10.1007/s11858-023-01536-w

Caniglia, J., & Meadows, M. (2018). Pre-service mathematics teachers' use of web resources. *International Journal for Technology in Mathematics Education*, *25*(3), 17–34. https://doi.org/10.1564/tme_v25.3.02

Chan, C. K. Y. (2023). A comprehensive artificial intelligence policy education framework for university teaching and learning. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, *20*(1), 1–25. https://doi.org/10.1186/s41239-023-00408-3

Chan, C. K. Y., & Hu, W. (2023). Students' voices on generative AI: Perceptions, benefits, and challenges in higher education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, *20*(1), 43. https://doi.org/10.1186/s41239-023-00411-8

Charmaz, K. (2014). *Constructing grounded theory*. Sage.

Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approach*. Sage.

Druga, S., Vu, S. T., Likhith, E., & Qiu, T. (2019). Inclusive artificial intelligence literacy for kids around the world. In *FL 2019: Proceedings of FabLearn 2019* (pp. 104–111). Association for Computing Machinery. https://doi.org/10.1145/3311890.3311904

Fram, S. M. (2013). The constant comparative analysis method outside of grounded theory. *The Qualitative Report*, *18*(1), 1–25. https://doi.org/10.46743/2160-3715/2013.1569

Glaser, B. G., & Strauss, A. L. (2017). *The discovery of grounded theory: Strategies for qualitative research*. Routledge.

Jahangiril, J., Segal, R., & Stupel, M. (2021). Angle-side properties of polygons inscribable in an ellipse. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, *53*(7), 1973–1982. https://doi.org/10.1080/0020739X.2021.1919769

Jia, J. (2015). Intelligent tutoring systems. In M. Spector (Ed.), *Encyclopedia of educational technology* (pp. 411–413). Sage.

Kasneci, E., Seßler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., Gasser, U., Groh, G,. Günnemann, S., Hüllermeier, E., Krusche, S., & Kasneci, G. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and Individual Differences*, *103*, 102274. https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274

Kaur, A., & Rosli, R. (2021). Problem posing in mathematics education research: A systematic review. I*nternational Journal of Academic Research in Progressive Education and Development*, *10*(1), 438–456. http://dx.doi.org/10.6007/IJARPED/v10-i1/8641

Kim ,J. (2024). Leading teachers' perspective on teacher-AI collaboration in education. *Education and Information Technologies*, *29*(7), 8693–8724. https://doi.org/10.1007/s10639-023-12109-5

Kirikçilar, R. G., & Yildiz, A. (2018). Technological pedagogical content knowledge (TPACK) craft: Utilization of the TPACK when designing the GeoGebra activities. *Acta Didactica Napocensia*, *11*(1), 101 –116. http://doi.org/10.24193/adn.11.1.8

Klemer, A., Segal, R., Miedijensky, S., Herscu-Kluska, R., & Kouropatov, A. (2023). Changes in the attitudes of mathematics and science teachers toward the integration and use of computerized technological tools as a result of the COVID-19 pandemic. Eurasia *Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *19*(7), em2295. https://doi.org/10.29333/ejmste/13306

Koehler, M., & Mishra, P. (2009). What is technological pedagogical content knowledge (TPACK)? *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, *9*(1), 60–70.

Koh, J. H. L., Chai, C. S., & Tsai, C. C. (2013). Demystifying TPACK: An in-depth analysis of the TPACK framework. *Journal of Research on Technology in Education*, *46*(2), 129 – 149. https://doi.org/10.1080/15391523.2013.10782686

Lavy, I. (2015). Problem-posing activities in a dynamic geometry environment: When and how. In F. M. Singer, N. F. Ellerton, & J. Cai (Eds.), *Mathematical problem posing: From research to effective practice (RME)* (pp. 393–410). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6258-3_19

Liljedahl, P., & Cai, J. (2021). Empirical research on problem-solving and problem posing: A look at the state of the art. *ZDM–Mathematics Education*, *53*(4), 723–735. https://doi.org/10.1007/s11858-021-01291-w

Lo, C. K. (2023). What is the impact of ChatGPT on education? A rapid review of the literature. *Education Sciences*, *13*(4), 410. https://doi.org/10.3390/educsci13040410

Males, L., Earnest, D., Dietiker, L., Amador, J., & Bradfield, K. (2015). Examining K-12 prospective teachers' curricular noticing. In T. G. Bartell, K. N. Bieda, R. T. Putnam, & H. Dominguez (Eds.), *Proceedings of the 37th annual meeting of the North American Chapter of the International Group for the Psychology of Mathematics Education* (pp. 88–95). Michigan State University.

Mallart, A., Font, V., & Diez, J. (2018). Case study on mathematics pre-service teachers' difficulties in problem posing. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *14*(4), 1465–1481. https://doi.org/10.29333/ejmste/83682

Marienko, M., Nosenko, Y., Sukhikh, A., Tataurov, V., & Shyshkina, M. (2020). Personalization of learning through adaptive technologies in the context of sustainable development of teachers' education. *E3S Web of Conferences*, *166*, 10015. http://dx.doi.org/10.1051/e3sconf/202016610015

Nantschev, R., Feuerstein, E., Trujillo-González, R., Garcia-Alonso, I., Hackl, W., Petridis, K., Triantafyllou, E., & Ammenwerth, E. (2020). Teaching approaches and educational technologies in teaching mathematics in higher education. *Education Sciences*, *10*(12), 354. http://dx.doi.org/10.3390/educsci10120354

Nedaei, M., Radmehr, F., & Drake, M. (2021). Exploring undergraduate engineering students' mathematical problem-posing: The case of integral-area relationships in integral calculus. *Mathematical Thinking and Learning*, *24*(2), 149–175. https://doi.org/10.1080/10986065.2020.1858516

Niess, M. L. (2005). Preparing teachers to teach science and mathematics with technology: Developing a technology pedagogical content knowledge. *Teaching and Teacher Education*, *21*(5), 509–523. https://doi.org/10.1016/j.tate.2005.03.006

Oakley, B., Johnston, M., Chen, K.-Z., Jung, E., & Sejnowski, T. (2025). The memory paradox: Why our brains need knowledge in an age of AI. In *The Future of Artificial Intelligence: Economics, Society, Risks and Global Policy* (Springer Nature, forthcoming).

Polya, G. (1954). *Mathematics and plausible reasoning (vol. 1–2)*. Princeton University Press.

Rane, N. (2023). Enhancing mathematical capabilities through ChatGPT and similar generative artificial intelligence: Roles and challenges in solving mathematical problems. *SSRN Electronic Journal*. http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.4603237

Raveh, I., Lavie, I., Wagner-Gershgoren, I., Miedijensky, S., Segal, R., & Klemer, A. (2025). Mathematics and science teachers: How their perceptions of their TPACK and use of technology interrelate. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *21*(1), em2565. https://doi.org/10.29333/ejmste/15803

Schleicher, A. (2019). *PISA 2018: Insights and interpretations*. OECD Publishing.

Segal, R., & Klemer, A. (2025). Dialogic Interactions between mathematics teachers and GenAI: Multi-environment task design and its contribution to TPACK. *The International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*. https://doi.org/10.1080/0020739X.2025.2551363

Segal, R., Miedijensky, S., Klemer, A., Raveh, I., Lavie, I., & Wagner-Gershgoren, I. (2025). The relationship between TPACK and emotions when mathematics and science teachers integrate computer technology. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 1–20. https://doi.org/10.1080/0020739X.2025.2543816

Segal, R., Oxman, V., & Stupel, M. (2021). Using dynamic geometry software to enhance specialized content knowledge: Pre-service mathematics teachers' perceptions. *International Electronic Journal of Mathematics Education*, *16*(3), em0647. https://doi.org/10.29333/iejme/11065

Segal, R., Stupel, M., Sigler. A., & Jahangiril, J. (2018). The effectiveness of the 'what if not' strategy coupled with dynamic geometry software in an inquiry-based geometry classroom. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, *4*(7), 1099–1109. https://doi.org/10.1080/0020739X.2018.1452302

Silver, E. A. (1994). On mathematical problem posing. *For the Learning of Mathematics*, *14*(1), 19–28.

Silver, E., & Cai, J. (1996). An analysis of arithmetic problem posing by middle school students. *Journal for Research in Mathematics Education*, *27*(5), 521–539. https://doi.org/10.2307/749846

Torres-Madroñero, E. M., Torres-Madroñero, M. C., & Ruiz Botero, L. D. (2020). Challenges and possibilities of ICT-mediated assessment in virtual teaching and learning processes. *Future Internet*, *12*(12), 232. https://doi.org/10.3390/fi12120232

Turnbull, D., Chugh, R., & Luck, J. (2021). Transitioning to E-learning during the COVID-19 pandemic: How have higher education institutions responded to the challenge? *Education and Information Technologies*, 26(5), 6401–6419. https://doi.org/10.1007/s10639-021-10633-w

Wardat, Y., Tashtoush, M. A., AlAli, R., & Jarrah, A. M. (2023). ChatGPT: A revolutionary tool for teaching and learning mathematics. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *19*(7), em2286. https://doi.org/10.29333/ejmste/13272