

שיקולים מנחים בקרב סטודנטים להוראת מתמטיקה בתיכון בדחיית הצעות בינה מלאכותית יוצרת בדו־שיח של חיבור בעיות והאוטונומיה הפדגוגית המתפתחת

פרופ' רותי סגל



מרצה בחוג למתמטיקה באקדמית שאנן וראש החוג לחינוך מתמטי וראש התוכנית לתואר שני בהוראת מתמטיקה ומדעים בבית הספר היסודי במכללת אורנים. בעלת תואר ראשון במתמטיקה ומדעי המחשב (B.Sc.) מאוניברסיטת חיפה. תואר שני בהוראת מתמטיקה (M.Sc.) באוניברסיטה העברית, ותואר שלישי בפקולטה לחינוך מדע וטכנולוגיה (Ph.D.) בטכניון בחיפה. השתלמה בלימודי פוסט דוקטורט במוסד נאמן לחקר מדיניות בטכניון חיפה ובפקולטה לחינוך מדע וטכנולוגיה בטכניון. תחומי מחקר העיקריים: התפתחות מקצועית של סטודנטים להוראת מתמטיקה, מורים למתמטיקה ומורי מורים למתמטיקה, בין השאר גם בנושא התפתחות ידע טכנולוגי פדגוגי ומתמטי (TPACK) שלהם בשילוב טכנולוגיות מגוונות, ובייחוד בשילוב סביבות בינה מלאכותית.

פרופ' יניב ביטון



מרצה בכיר בחוג למתמטיקה באקדמית שאנן ומנהל אשכול STEM במרכז לטכנולוגיה חינוכית. חבר בוועדה לקידום איכות ההוראה והלמידה ובוועדה לשילוב בינה מלאכותית בהשכלה הגבוהה, המועצה להשכלה גבוהה (מל"ג). מחקריו מתמקדים בהערכה ובשילוב טכנולוגיה בחינוך מתמטי.

שיקולים מנחים בקרב סטודנטים להוראת מתמטיקה בתיכון בדחיית הצעות בינה מלאכותית יוצרת בדו־שיח של חיבור בעיות והאוטונומיה הפדגוגית המתפתחת

רותי סגל ויניב ביטון

תקציר

מחקר זה הוא חלק ממחקר רחב יותר בנושא חיבור בעיות במתמטיקה בשילוב בינה מלאכותית יוצרת (Generative AI), אך מתמקד בתופעה שטרם זכתה לעיסוק מספק בספרות – דחיית מנומקת של הצעות הבינה המלאכותית. התמקדות זו נשענת על ההנחה כי דווקא ברגעי הדחייה ולא רק בקבלה או בשימוש בהמלצות מתחדדים שיקולי הדעת המקצועיים, הידע הדידקטי והעמדות הפדגוגיות של פרחי ההוראה. לפיכך המחקר מבקש לאפיין את הדפוסים המנחים דחייה זו, ולבחון כיצד היא תורמת להתפתחות האוטונומיה הפדגוגית בעידן של שותפות עם מערכות בינה מלאכותית. משתתפי המחקר הם חמישה עשר סטודנטים הלומדים בתוכנית ייחודית להכשרת מתמטיקה בתיכון. כל אחד מהם התבקש לחבר שתי בעיות במתמטיקה ולשכלל אותן מתוך דו־שיח עם GenAI. במחקר הרחב בלט הממצא ש-11 מתוך 24 רשומות (46%) הביעו דחייה מפורשת של לפחות חלק מן ההמלצות של ה־GenAI, נתון המעיד כי אין מדובר בתגובה שולית אלא בדפוס של ממש הראוי לבחינה מעמיקה שעומדת בפני עצמה במוקד מחקר. מתוך הממצאים עולים שלושה דפוסים של שיקולים המנחים את הסטודנטים בדחיית הצעות ה־ChatGPT, ועל התרומה של הדו־שיח עם הבינה המלאכותית לבניית האוטונומיה הפדגוגית שלהם.

מילות מפתח: סטודנטים להוראת מתמטיקה; חיבור בעיות במתמטיקה; בינה מלאכותית יוצרת (GenAI); ChatGPT; אוטונומיה פדגוגית.

מבוא

בחיבור בעיות במתמטיקה יש תהליך של חיבור בעיות חדשות או חיבור בעיות שניסוחן נשען על בעיות קיימות. חיבור בעיות במתמטיקה משמש אחד מכישורי הליבה של מורים למתמטיקה (Silver & Cai, 1996), ויש בו פוטנציאל לקדם הבנה מתמטית, חשיבה ביקורתית וחיבור התלמידים לעולם האמיתי שמחוץ לכותלי הכיתה (Nedaei et al., 2021). עם זה חיבור בעיות נחשב לאחת המשימות המאתגרות ביותר בעבור מורים למתמטיקה, ובייחוד בעבור אלו הנמצאים בתהליך הכשרתם לתפקיד מורים למתמטיקה (Cai & Jiang, 2017; Mallart et al., 2018; Segal, 2025).

הופעתן של סביבות בינה מלאכותית יוצרת (GenAI) פותחות אפיקים חדשים לתמיכה בתהליך זה. כלים אלה מסוגלים לנהל דו־שיח פדגוגי, להציע רעיונות לשיפור ניסוח, להעשיר את נושא הבעיה ולספק פיגום לפתרון אתגרים מתמטיים ופדגוגיים מורכבים בעת דו־שיח מובנה ומושכל (Segal & Biton, 2024; Biton & Segal, 2025). עם זה השימוש בבינה מלאכותית יוצרת בחינוך עדיין נמצא בשלבי הראשונים, ויש צורך לעשות מחקרים המתמקדים באפיון הדו־שיח עם הבינה המלאכותית ותרומתו להתפתחות המקצועית של מורים למתמטיקה.

מאמר זה הוא חלק ממחקר רחב יותר העוסק בחיבור בעיות במתמטיקה בשילוב בינה מלאכותית, (Segal & Biton, 2024; Biton & Segal, 2025) שהתמקדו בתרומת ה־ChatGPT לתהליך של חיבור בעיות מתמטיות להתפתחות הידע הטכנולוגי, פדגוגי ותוכן (TPACK – Technological Pedagogical and Content Knowledge) של סטודנטים בהכשרה להוראת מתמטיקה בתיכון. מהממצאים של מחקרים אלה עולה כי השימוש בבינה מלאכותית חשף מורים להצעות פדגוגיות חדשות, עזר להם לשפר את ניסוח הבעיה ופיתח את החשיבה הביקורתית.

מחקר זה מתמקד בנייתו הבעיות שחיברו סטודנטים להוראת מתמטיקה בתיכון לפני ההיוועצות עם הבינה המלאכותית ולאחריה כדי לחשוף היבטים מעניינים בעניין השיקולים המנחים את המורים בדחיית הצעות ה־ChatGPT בעת דו־שיח על חיבור בעיות במתמטיקה, וכיצד דו־שיח זה תרם לפיתוח אוטונומיה פדגוגית פעילה. ממד זה המתאר דו־שיח לצורך שיתוף פעולה והתנגדות ביקורתית, משמש נקודת מבט חדשה שטרם נחקרה במאמרים הקודמים ומציעה תרומה מקורית לספרות.

סקירת ספרות

חיבור בעיות במתמטיקה – אתגרים והזדמנויות

חיבור בעיות מתמטיות נחשב תהליך של יצירת בעיות מקוריות או ניסוח מחדש של בעיות קיימות (Silver & Cai, 1996). בתהליך של ניסוח מחדש של בעיות קיימות יכולים להיות שינוי בנתונים, הוספת אילוצים, חיבור לחיי היום-יום או התאמת הבעיה לרמת הקושי ולצורכי לומדים מסוימים (Brown & Walter, 1983). חיבור בעיות נחשבת מיומנות משלימה לפתרון בעיות ועשויה לקדם את הבנת המושגים המתמטיים המשולבים בהן, הן בקרב מורים הן בקרב תלמידים (Mallart et al., 2018).

קאי ורוט (Cai & Rott, 2024) הציעו מודל לתהליך חיבור בעיות במתמטיקה שיש בו ארבעה שלבים מחזוריים:

1. אוריינטציה – הבנת הבעיה וזיהוי מה יש לשפר; 2. חיבור – פיתוח רעיונות לבעיות חדשות מתוך שינוי הקשר; 3. יצירה – ניסוח הבעיה החדשה; 4. רפלקציה – בחינה מחדש ושיפור. מודל זה שימש מסגרת מארגנת לשני המחקרים שבבסיס המאמר.

בפועל, חיבור בעיות מתמטיות מציב אתגרים של ממש לפני מורים בכלל ומורים בהכשרה בפרט. מחקרים חושפים כי קשה להם להתאים בעיות לרמת הלומד, ליצור בעיות הרלוונטיות לחיי יום-יום ולנסח בעיות ברמת מורכבות נכונה (Mallart et al., 2018; Liljedahl & Cai, 2021). כאשר טכנולוגיות דיגיטליות משולבות בתהליך, כמו תוכנות גאומטריה דינמית, נפתחות הזדמנויות חדשות, ואולם גם נוצרות דרישות ידע אחרות (Gros, 2016; Guzey & Roehrig, 2012; Segal et al., 2018; Segal, 2026).

אוטונומיה פדגוגית ודרכים לפיתוחה בקרב מורים

אוטונומיה פדגוגית היא מושג עיקרי בחקר מקצועיות המורה, והיא רכיב חשוב בתהליך ההתפתחות המקצועית של מורים (Parker, 2015). בספרות המחקר אפשר למצוא מגוון הגדרות למונח זה. בהגדרה הרחבה, אוטונומיה פדגוגית או אוטונומיה התנהגותית של מורה הנוגעת לעצמאות המקצועית של המורה, והמידה שבה הוא מסוגל לקבל החלטות עצמאיות ומושכלות ומממש את עצמאותו בתכנון ההוראה, בבחירת האסטרטגיות הדידקטיות ובהתמודדות עם אתגרים פדגוגיים הנוגעים לשאלות מה ללמד וכיצד ללמד (Pearson & Moomaw, 2005; Evers et al., 2017). בין השאר אפשר למצוא שיקול דעת של המורה בבחירת חומרי לימוד, ברצף ההוראה ובתוכנו (Evers et al., 2017).

יש קשר חיובי בין אוטונומיה פדגוגית לשביעות רצון מקצועית, מוטיבציה, תחושת מסוגלות עצמית ורווחה נפשית של מורים (Paradis et al., 2018). מלבד התועלת האישית של המורה, לאוטונומיה פדגוגית יש השפעה ניכרת על איכות תכנון ההוראה. מורה הפועל מתוך שיקול דעת עצמאי ולא ממלא הנחיות בלבד, נוטה לבנות רצפי למידה מורכבים ומתאימים יותר לצורכי תלמידיו, לאמץ אסטרטגיות הוראה מגוונות ולפתח מטלות מקוריות (Reeve, 2009). בעניין מורים למתמטיקה, בול ובס (Ball & Bass, 2003) הראו כי מורים בעלי אוטונומיה פדגוגית מפותחת מסוגלים להתאים בעיות מתמטיות לצרכים הייחודיים של כיתתם, לזהות טעויות מושגיות אצל תלמידיהם ולנקוט תגובה פדגוגית מדויקת.

אשר לסטודנטים להוראה, המחקר מראה כי חשיפה לחוויות שבהן הם נדרשים לקבל החלטות פדגוגיות עצמאיות ולא רק ליישם חומרי הוראה מוכנים, מקדמת את פיתוח הזהות המקצועית שלהם ואת תחושת המסוגלות לתכנן ולנהל הוראה (Beijaard et al., 2004; Flores & Day, 2006). נוסף על כך קים (Kim, 2024) מראה כי בשיתוף פעולה בין מורים לכלים טכנולוגיים יש יכולת לפתח את האוטונומיה שלב אחר שלב, מסלול שבו הביקורת המקצועית ושיקול הדעת הם מאפיינים של הבשלות המקצועית.

על אף חשיבותה, פיתוח אוטונומיה פדגוגית בקרב מורים בכלל ומורים למתמטיקה בפרט טומן בחובו אתגרים הן ברמת המערכת הן ברמת הפרט. ברמת המערכת, התקינה (סטנדרטיזציה) הגוברת ותוכניות הלימודים המוכתבות מלמעלה ומבחינה הישגים חיצוניים מצמצמים בפועל את מרחב שיקול הדעת של המורה, מה שמקשה על אימוץ גישות הוראת חקר המפתחות אוטונומיה (Hargreaves, 2003; Ball, 2003; Liljedahl & Cai, 2021). ברמת הפרט, מורים לפני השירות מתקשים לעיתים לממש אוטונומיה פדגוגית משום שהם טרם הספיקו לפתח ידע פדגוגי-תוכני, ולכן הם עלולים להסתמך על הנחיות חיצוניות ולוותר על שיקול הדעת העצמי שלהם (Mallart et al., 2018). קושי זה בולט בייחוד בתחומים שדורשים מומחיות, כמו חיבור בעיות, פיתוח מטלות ותכנון יחידות לימוד (Cai & Jiang, 2017).

עוד אתגר קשור לסביבות הוראה/למידה חדשות, ובכללן שילוב כלי בינה מלאכותית. במחקרים נמצא כי חשיפה לכלים מבוססי בינה מלאכותית (AI) עלולה ליצור תלות יתר (over reliance), שבה הסטודנט מאמץ המלצות בלי להפעיל



שיקול דעת ביקורתי (Chan & Hu, 2023). לכן פיתוח אוטונומיה פדגוגית בעידן הבינה המלאכותית מחייב חינוך מפורש לאוריינות בינה מלאכותית ביקורתית, המאפשר למורה להשתמש בכלי לתמיכה מחשבתית מתוך שמירה על סמכותו המקצועית (Ng et al., 2021).

בינה מלאכותית יוצרת בחינוך בכלל ובחינוך מתמטי בפרט

בינה מלאכותית יוצרת (GenAI) קשורה לאלגוריתמים של למידת מכונה המאפשרים למשתמשים ליצור תוכן חדש באמצעות שאילת שאלות (פרומפטים). מערכות אלה מסוגלות לספר מידע עובדתי, לערוך טקסטים קיימים ולנהל דו־שיח עם המשתמש (Segal & Klemer, 2025; Chan & Hu, 2023; Baidoo-Anu & Ansah, 2023), ומתוך כך הפכו לכלי נגיש ומוכר בסביבות חינוכיות רבות.

השימוש בבינה מלאכותית יוצרת בחינוך מציע יתרונות, כגון הוראה פרסונלית המותאמת אישית, תמיכה מיידית בלמידה, סיוע בכתיבה ובסיעור מוחות ולמידה אינטראקטיבית ומסתגלת (Baidoo-Anu & Ansah, 2023). מנגד ידועות גם מגבלותיו הכוללות בין השאר חוסר אינטראקצייה אנושית, טעויות בהבנת מושגים מתמטיים, חוסר יצירתיות ותלות בנתונים (Chan & Hu, 2023; Rane, 2023; Segal & Klemer, 2025).

המפתח לניצול יעיל של סביבות מבוססות בינה מלאכותית יוצרת טמון בניסיון המצטבר של השימוש בהן, ומתואר באמצעות מודל המתאר שלושה שלבים בשיתוף פעולה בין מורה לבינה מלאכותית יוצרת: מורה כמקבל פסיבי של פלטי בינה מלאכותית יוצרת, מורה כמשתמש פעיל ומורה ובינה מלאכותית יוצרת כשותפים (Kim, 2024). הניסיון המצטבר בשימוש בבינה מלאכותית יוצרת מביא לידי פיתוח אוריינות בינה מלאכותית הכוללת מיומנויות וידע הנדרשים להבנת סביבות אלו ולהערכה ביקורתית של תוצריה (Long & Magerko, 2020), ומשמש רכיב חשוב לשילוב מוצלח של שימוש בבינה מלאכותית יוצרת גם בתהליכי הוראה (Zhao et al., 2022).

בעניין הוראת מתמטיקה, בינה מלאכותית יוצרת יכולה לספק פיגום מותאם אישית, לסייע בהסברת מושגים ובהמחשתם ולתמוך בדו־שיח אינטראקטיבי על תהליכי פתרון (Biton & Segal, 2025; Biton et al., 2025; Kasneci et al., 2023; Segal, 2023; Wardat, 2023; & Klemer, 2025). עם זה איהדיוק של סביבות בינה מלאכותית יוצרת כמו ChatGPT בנושאים מסוימים, כגון טעויות שימוש בפונקציה הנגזרת, הכללה שגויה של משפט פיתגורס לכל המשולשים, שימוש לא מדויק בהגדרות של מושגים מתמטיים וכדומה, מדגיש את הצורך בחשיבה ביקורתית שבה המשתמשים חייבים לבחון כל הצעה ולהצליב אותה עם מקורות אחרים (Rane, 2023; Segal & Biton, 2024; Segal & Klemer, 2025; Wardat et al., 2023).

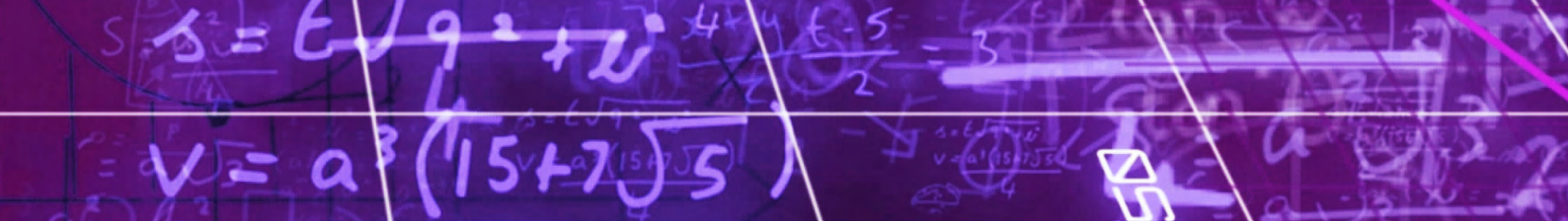
אוקלי ואחרים (Oakley et al., 2026) מציינים אתגרים וסכנות הטמונים ביישום בינה מלאכותית בחינוך. האתגר הראשון מכונה עצלנות מטאקוגניטיבית, ובו לומדים מראים התנהגויות מופחתות של תיקון עצמי ומאמץ קוגניטיבי מופחת, באתגר השני יש הסתמכות מוגזמת על כלי בינה מלאכותית המונעת את היכולת להשיג ביצועים טובים באופן עצמאי, ובאתגר השלישי יש תיאור של תלות בבינה מלאכותית המשבשת את התפתחותן של יכולות קוגניטיביות אוטונומיות כגון היכולת להעריך מקורות באופן ביקורתי.

שאלות המחקר

1. באילו מצבים סטודנטים להוראת מתמטיקה בתיכון **דוחים** המלצות של ה־ChatGPT בעת חיבור בעיות במתמטיקה, ומה מניע אותם לדחייה זו?
2. כיצד מתבטאת **האוטונומיה הפדגוגית** של הסטודנטים בדחייה של המלצות ה־ChatGPT בתהליך חיבור בעיות במתמטיקה?

שיטה

משתתפי המחקר וסביבת המחקר: המשתתפים היו 15 סטודנטים בעלי תארים אקדמיים וניסיון עבודה במקצועות ההייטק וההנדסה הלומדים בתוכנית אקדמית ארצית ייחודית "מההייטק להוראה" הפועלת להסבתם להוראת מתמטיקה בתיכון. משתתפי המחקר למדו בתוכנית זו במכללה אקדמית לחינוך במרכז הארץ. בתוכנית היו כמה קורסים מתמטיים ופדגוגיים שמטרתם להכשיר את הסטודנטים להוראת מתמטיקה מתקדמת בתיכון. מחקר זה נעשה בקורס שנתי בשם "הוראת מתמטיקה ברמת 5 יחידות" שכלל היכרות עם הנושאים הנלמדים ברמה זו, פתרון בעיות בנושאים מגוונים במתמטיקה ברמה זו, שילוב טכנולוגיה בהוראה ולמידת מתמטיקה ועוד. שני מפגשים בקורס זה התמקדו בחיבור בעיות



באמצעות בינה מלאכותית יוצרת (למשל ChatGPT), שבהם התבקשו המשתתפים למלא שלבים מסוימים. מחקר זה נעשה במפגשים אלה.

כלי מחקר: מחקר זה מתמקד בניתוח תוכן איכותני של הנתונים שנאספו מחיבור הבעיה בסיוע הבינה בשלבי חיבור הבעיות: 1. הבעיה המקורית שחיברו; 2. ניתוח ידע נדרש וקשיים שייכתנו בעת פתרון הבעיה; 3. ההנחיות שכתבו לבינה (עברית ואנגלית) כדי לענות על צורך פדגוגי/מתמטי; 4. תשובה של הבינה המלאכותית להנחיות; 5. הבעיה המעודכנת; 6. רפלקציה של הסטודנט על תרומת הבינה המלאכותית; 7. סבב שאלות נוסף ותגובות.

ניתוח הנתונים: הנתונים האיכותניים שנאספו מהתהליך שפורט לעיל, נותחו באמצעות ניתוח תוכן איכותני בשיטת ההשוואה המתמדת (Charmaz, 2014; Glaser & Strauss, 2017), ולאחר מכן נעשתה חלוקה לקטגוריות ותמות (Fram, 2013). שלושה מומחים בחינוך מתמטי ניתחו ותיקפו את הנתונים כדי להבטיח מהימנות ותוקף פנימי של התהליך הקידוד. כל אחד מהמומחים ניתח את הנתונים בעצמו ולאחר מכן נעשה דיון משותף שבו הם השוו את הקטגוריזציה שעשה כל אחד מהם עד שהשיגו הסכמה מלאה על קטגוריות ותמות שעלו מהניתוח.

כל משתתף נדרש להשלים שתי מטלות של חיבור בעיות בסיוע ה-ChatGPT, חיבור או בעיה מקורית שהמשתתף בחר ובעיה לאחר דו־שיח עם ChatGPT. בפועל נאספו 28 רשומות, שכן שני משתתפים השלימו מטלה אחת בלבד. הניתוח המוצג במחקר זה מתמקד בשלבי הרפלקציה ובדו־שיח האחר. מתוך 28 הרשומות ב-24 רשומות יש נתוני רפלקציה מלאים. לפיכך כל הנתונים הכמותיים המוצגים (מספרי המופעים והאחוזים לכל תמה), מחושבים מתוך בסיס של 24 רשומות אלו. ארבע הרשומות שאינן כוללות נתוני רפלקציה הושמטו מהניתוח התמתי, אך הן נכללות בתיאור הכללי של המחקר.

ממצאים

מטרת מחקר זה היא לבחון את הדו־שיח של סטודנטים להוראת מתמטיקה בתיכון עם ה-ChatGPT בתהליך חיבור בעיות במתמטיקה, בניתוח המצבים שבהם הם דוחים המלצות של ChatGPT וכיצד מתבטאת האוטונומיה הפדגוגית של המורים בשיח עם ה-ChatGPT. מתוך כך בחרנו להציג פרק זה על פי תשובה לשתי שאלות המחקר.

שאלת מחקר 1: באילו מצבים סטודנטים להוראת מתמטיקה בתיכון דוחים במפורש את המלצות ה'צ'אט, ומה מניע דחייה זו?

אחד עשר מתוך 24 המשתתפים (46%) דחו דחייה מפורשת ומנומקת של לפחות חלק מהמלצות ה-ChatGPT. ניתוח הנימוקים לדחייה חשף שלושה דפוסי עיקריים שהוצגו ב-14 רשומות.

דפוס א: דחייה לשימור החשיבה וקידום הלמידה העצמאית (4/24 - 17%)

דפוס זה מאופיין בדחייה מנומקת לצורך שימור תהליכי החשיבה וקידום לומד עצמאי מתוך החלטה מקצועית מודעת.

למשל, כאשר ה-ChatGPT המליץ להבהיר בשאלה את מיקום האיבר החיובי הראשון בסדרה. זו הייתה תגובת המשתתף: "דווקא את ההמלצה הזו לא רציתי ליישם כי אני רוצה שתלמידים ישקיעו מחשבה ויגלו בעצמם מה המיקום של האיבר". עוד דוגמה היא כאשר ה'צ'אט הציע שאלות מנחות שפישטו את הבעיה: "לא קיבלתי את ההמלצות של ה-ChatGPT כי הן הורידו את רמת החשיבה הנדרשת לצורך פתרון הבעיה. אני מעוניין שהתלמיד יבצע את הפישוט הזה בעצמו".

שתי דוגמאות אחרות של סטודנטים שחיברו שאלה בנושא סדרה חשבונית:

"ה'צ'אט המליץ לי לשנות את השאלה האחרונה ולהשתמש בכתיבה של ההפרש כפרמטר. לדעתי זה מפספס את הרעיון של השאלה שבה התלמיד צריך למצוא מהו ההפרש ולכן בחרתי לא לשנות את השאלה."

"ההצעה הראשונה של ה-ChatGPT כבר הייתה כתובה. ההצעה להציג את הסדרה בצורה ויזואלית אפשרית אך לא הכרחית לשאלה כזו פשוטה, לי נראה ברור מאליהו המודל שמשתמשים כדי לפתור את השאלה."

סטודנט אחר שניסה לשפר את ניסוח הבעיה שחיבר, כתב זאת: "לא קיבלתי את הניסוח של ה-ChatGPT. הוא הציג ניסוח בהתאם לשלבי פתרון לשאלה, זה לא אמור להיות בשאלה ותלמידים אמורים להגיע לדרך הפתרון לבד".

דפוס ב: דחייה על בסיס היכרות מעמיקה עם הבעיה וזיהוי כי ה־ChatGPT לא הוסיף דבר (7/24 - 29%)

בדפוס זה הסטודנט הכיר את הבעיה לעומק ומזהה כי ה־ChatGPT אינו מוסיף ערך כלשהו לבעיה מלבד מה שכבר ידוע לו. למשל בתהליך חיבור בעיה בסדרה חשבונית ש' כתב "האמת היא שלא הייתה תרומה משמעותית לעצותיו אבל הרעיונות שלו איך השימוש בסדרה חשבונית בא לידי ביטוי בחיי היום־יום היו טובים ומועילים להסבר לשימוש בעתיד". בתהליך חיבור בעיה בנושא תולעים ותפוחים לאחר שה־ChatGPT הציע לשנות את ניסוח השאלה כתב: "לא שינית! כי זה לא הפך את השאלה ליותר ברורה, וגם לא שינה את השאלה". במשימה אחרת שחיברה אחת הסטודנטיות, היא כתבה זאת: "הפעם ההצעות של ה־ChatGPT לא שיפרו. הצעה ראשונה היא משהו שהתלמידים צריכים לדעת לעשות, לזהות סדרה חשבונית ולזכור את הנוסחה של איבר כללי. הצעה שנייה, כוללת בדיוק מה שכבר מופיע בבעיה אך במילים אחרות". סטודנטית אחרת שחיברה בעיה בנושא דמיון משולשים, כתבה זאת: "מעבר לכך, המלצותיו לא עזרו לי לשיפור השאלה. הן אפילו לא היו רלוונטיות ופספסו את המטרה".

דפוס ג: דחייה לאחר כשלים מתמטיים ופדגוגיים בתשובת ה־ChatGPT (3/24 - 13%)

בדפוס זה הסטודנט דוחה את ההצעות של ה־ChatGPT לאחר שהוא מזהה שגיאה מתמטית או מגבלה פדגוגית. למשל בתהליך של חיבור בעיה בנושא חקירת פונקציה עם פרמטר, כתבה אחת הסטודנטיות: "ניסיתי שוב לבקש סעיף עם תוספת נתון מספרי לשאלה, כזה שיאפשר למצוא את ערך הפרמטר, אבל הצ'אט לא הבין את מה שביקשתי". סטודנט אחר כתב: "ניסיתי לגרום ל־ChatGPT לכתוב לי את השאלה בשילוב קישור לעולם האמיתי, אך פה נתקלתי בבעיה. ה־ChatGPT שינה את נתוני השאלה וזו כבר לא הייתה יותר השאלה ששאלתי. בסוף החלטתי לאמץ את הרעיון שלו לקישור לעולם האמיתי וניסחתי את השאלה לבד". בניסיון להוסיף סעיף מאתגר למשימה בגאומטריה כתב הסטודנט כי "ה־ChatGPT הציע לשלב סעיף נוסף והציע לעשות שימוש במשפט פיתגורס במשולש שאינו ישר זוויית. לא קיבלתי את ההצעה כי זה לא נכון". חשוב לציין כי לצד הנתונים על הדפוסים לדחיית הצעות של ה־ChatGPT, היו גם משתתפים (8 מתוך 24, 33%) שנעזרו מאוד בהצעות שקיבלו מהבינה המלאכותית ונשענו עליה. מחציתם קיבלו בפסיביות את הצעות הבינה המלאכותית וראו בה סמכות מספקת בלי שיקול דעת: "קיבלתי את כל ההצעות של הבינה"; או קבלה של השיקולים הפדגוגיים שהציג ה־ChatGPT בלי שיקול דעת על השיקולים הפדגוגיים שלהם: "בהתאם להמלצות ה־ChatGPT הרחבתי את הבעיה והוספתי סעיפים, כדי להוביל את התלמידים כמה שאפשר לדרך ואיך אנחנו יכולים לפתור את התרגיל ולהגיע לתשובות נכונות". הסטודנטים האחרים קיבלו את הצעות הבינה המלאכותית עם שיקול דעת מזערי: "הוא עזר לי לתקן את נוסח השאלה וזה היה נכון".

שאלת מחקר 2: כיצד מתבטאת האוטונומיה הפדגוגית של המורים בדחיית ההצעות של הבינה המלאכותית?

9 סטודנטים מתוך 24 (38%) הציגו אוטונומיה פדגוגית בתהליך חיבור הבעיות והוסיפו רעיונות משלהם שלא עלו בתשובת ה־ChatGPT, או השתמשו ברעיון של ה־ChatGPT מתוך נקודת מוצא בלבד, או העמיקו את הרעיונות שלהם מלבד הצעות ה־ChatGPT. הרוב עסקו בהעמקה מעבר להמלצה (7) ומעט מהם ראו ברעיון של ה־ChatGPT נקודת מוצא (2).

ביטוי א: רעיון המשמש נקודת מוצא בלבד (2/24)

אחד הסטודנטים קיבל חלק מההמלצות, דחה אחרות ואז גילה שגיאה בשאלה שלו לא משום שה־ChatGPT ציין אותה, אלא לאחר תהליך הדו־שיח עצמו: "בתרגיל המקורי, לאחר שהוספתי סעיף לשאלה לגבי סכום של איברים זוגיים ואי־זוגיים של סדרה חשבונית, גיליתי שבסדרה שבחרתי אין איברים שהם מספרים זוגיים. בעזרת השיח עם ה־ChatGPT, שיניתי מעט את הנתונים והתנאים של התרגיל על מנת שיהיו איברים זוגיים ואי־זוגיים". דוגמה אחרת של שינוי שמקורו לא בהצעה של ה־ChatGPT אלא תוצאה מהדו־שיח איתו בעת הניסיון שלה לתרגם ולנסח את השאלה מחדש: "במהלך התרגום והשאלות שניסחתי ל־ChatGPT החלטתי לשנות את ניסוח הבעיה המתמטית, במקום לשאול על יחס הסכומים של איברי הסדרה החלטתי לשאול על הפרש הסכומים כי זה יהיה יותר קל לסטודנטים".

מתוך ניסיון לחבר שאלה בנושא דמיון משולשים, כתב אחד הסטודנטים: "ההצעה של ה-ChatGPT גרמה לי להבין שהשאלה שלי לא הייתה ברורה, ובעקבות רעיון מה-ChatGPT ניסחתי את השאלה כך שגם תלמידים מתקשים יצליחו להגיע לפתרון".

ביטוי ב: העמקה מעבר להמלצה (7/24)

אף שבמטלה הראשונה אחד הסטודנטים דחה את ההצעות של ה-ChatGPT לחלוטין, במטלה השנייה אימץ את הצעתו בחלקיות: "ההמלצה של ה-ChatGPT עודד חיפוש פתרונות נוספים" תרמה לי. הוספתי סעיפים שמרחיבים את השאלה כמו למשל למצוא איבר אחרון בסדרה חשבונית, וגם סעיף שדורש מהתלמיד לבנות את נוסחת הסדרה החשבונית באופן כללי, ולא לחשב את הסכום מייד". סטודנטית אחרת כתבה: "השיח עם ה-ChatGPT הרחיב לי מאוד את השאלה ונתן לי כלים לקישור בין הסיטואציה המתוארת בבעיה של מציאת איבר כללי בסדרה חשבונית לבין חיי היום-יום. זה סייע לי להוסיף תתי-סעיפים בשאלה שגורמים לתלמיד לקשר את המתמטיקה לחיי יום-יום, להניע את החשיבה המתמטית להם, באופן הדרגתי, תוך בניית הבנה אצל התלמיד אודות משמעות הפרמטרים".

דוגמה אחרת מתבטאת בתהליך חיבור בעיה בנושא חקירת פונקציות: "הבעיה שחיברתי במקור הייתה מאוד ריטואלית למצוא את האסימפטוטה האנכית של פונקציה נתונה. ה-ChatGPT הציע לאתגר את התלמידים ולנסח שאלות שבונות הבנה והתקדמות בשלבים, תעורר סקרנות חקר מתמטי. בעקבות כך ניסחתי סעיפים נוספים המתמקדים בערכים של הפונקציה כאשר מתקרבים לנקודת אי-הגדרה שלה ומשם להשיג הכללה".

דין

מחקר זה מתמקד בתופעה שטרם קיבלה בחינה מספקת בספרות המחקר: דחייה מנומקת של הצעות ה-ChatGPT מסטודנטים להוראת מתמטיקה בתיכון בתהליך חיבור בעיות. הממצאים מאירים שלושה דפוסים מובחנים של דחייה, המשמשים זירה שבה מתפתחת האוטונומיה הפדגוגית בבירור.

הממצא הבולט ביותר במחקר הוא שכמעט מחצית מהרשומות של המשתתפים (46%) הביעו דחייה מפורשת ומנומקת. ממצא זה מהותי, משום שמתוך ניגוד לחשש המוצג בספרות המחקר בעניין עצלות מטאקוגניטיבית ותלות יתר בכלי (Oakley et al., 2026), נראה כי הסטודנטים פתחו יכולת ביקורתית פעילה בתוך תהליך הדורשיה עצמו, על בסיס שיקול דעת פדגוגי מודע.

ממצא זה עולה בקנה אחד עם המודל של קים (Kim, 2024), המתאר שלושה שלבים בשיתוף פעולה בין מורה לבינה מלאכותית יוצרת: מקבל פסיבי, משתמש פעיל ושותף. הדחייה המנומקת כפי שעולה מממצאי המחקר מציבה את הסטודנטים הדוחים לפחות בשלב השני ולעיתים בשלב השלישי של מודל זה. כלומר שלב שבו הכלי משמש אמצעי לחשיבה ולא מקור סמכות. החיבור בין רמת הדחייה לבשלות מקצועית הולכת ומתפתחת הוא ממצא שכדאי לבחון במחקרים עתידיים עם מדגמים גדולים יותר.

נוסף על כך ניתוח הנימוקים לדחייה חשף שלושה דפוסים עיקריים הנשענים על בסיסי ידע מגוונים:

דפוס ראשון: דחייה לשימור דרישת החשיבה ועידוד למידה עצמאית, המייצגים את הביטוי המובהק ביותר לאוטונומיה פדגוגית מפותחת. כאשר סטודנט דוחה המלצה של ה-ChatGPT כדי לקדם תהליכי חשיבה של הלומדים, הוא מציג ידע פדגוגי-תוכני מתוך הבנה כי עמימות מחושבת היא לעיתים כלי הוראתי. ממצא זה מחזק את טענתם של בול ובס (Ball & Bass, 2003) שלפיה מורה בעל אוטונומיה פדגוגית מפותחת מסוגל לזהות מה לא לתת לתלמיד ומה כן לתת לו. כלומר הדחייה כאן נובעת מבחירה פדגוגית מודעת.

דפוס שני: דחייה מתוך היכרות מעמיקה עם הבעיה והנפוץ (29%) ביותר משלושת הדפוסים. כאשר הסטודנט כבר מכיר את הבעיה ומלמד על תופעה מעניינת, ה-ChatGPT אינו תמיד מוסיף ערך. הבינה המלאכותית עלולה להציע ניסוחים מיותרים, חלופות שכבר נשקלו או הצעות שפשוט אינן מתאימות לעניין הפדגוגי. הכרה ביכולת לזהות מצב זה ולהגיב אליו היא עצמה מיומנות שצריך ללמד במפורש. ממצא זה תומך בטענה כי פיתוח אוריינות צריך לכלול לא רק את היכולת להשתמש בכלי אלא גם יכולת לזהות את גבולותיו (Ng et al., 2021).

דפוס השלישי: דחייה לאחר זיהוי כשלים מתמטיים ופדגוגיים, הוא הנדיר ביותר (13%), אך בעל משמעות מיוחדת. כאשר ה-ChatGPT הציע להשתמש במשפט פיתגורס במשולש שאינו ישר זווית הסטודנט מזהה שזוהי שגיאה מתמטית מפורשת ודוחה את ההצעה. הוא מממש ידע מתמטי עמוק המאפשר לו לפקח על הכלי ולא להפך. ממצא זה מחזק את



הטענה של ראנה (Rane, 2023) ושל סגל וביטון (Segal & Biton, 2024) כי כשלי ה-ChatGPT אינם רק חיסרון אלא הזדמנות פדגוגית שאפשר לשלב בתוכניות הכשרה באמצעות הצגת שגיאות של הבינה המלאכותית ודיון עם הסטודנטים על זיהוין ותיקונן.

לצד הסטודנטים שהראו דחייה ביקורתית, עולה ממצא חשוב אחר שכי-33% מהמשתתפים נעזרו מאוד בהצעות של הבינה המלאכותית, בלי שיקול דעת. ניתוח הנתונים מלמד על שתי קבוצות משנה בתוך קבוצה זו. בעוד קבוצה אחת זקוקה לחשיפה מפורשת שכלי הבינה המלאכותית לא בהכרח מדויק, הקבוצה השנייה זקוקה לפיתוח הביטחון הפדגוגי שיאפשר לה לסמוך על שיקול הדעת שלה גם עם מערכת שנחשבת סמכותית. ממצא זה תומך בטענתם של צ'אן והו (Chan & Hu, 2023) ונג ואחרים (Ng et al., 2021) כי נדרש חינוך מפורש לאוריינות ביקורתית בתוכניות להכשרת מורים, בעיקר כיצד לשמור על שיקול הדעת המקצועי לצד השימוש בבינה המלאכותית.

ממצאי שאלת המחקר השנייה חושפים כי הדושיה עם ה-ChatGPT תרם לפיתוח אוטונומיה פדגוגית אצל 38% מהמשתתפים בשני ביטויים עיקריים: ראייה ברעיון של הבינה המלאכותית נקודת מוצא בלבד, והעמקה של רעיון הבינה המלאכותית מעבר להמלצה. ביטוי מעניין במיוחד בממצאים הוא כאשר הסטודנטים גילו שגיאה בשאלה שלהם, לא בזכות הצעת הבינה המלאכותית, אלא לאחר תהליך הדושיה עצמו. מהלך זה מדגים כיצד השיח עם כלי הבינה המלאכותית גם כאשר אינו מספק פתרון, עשוי לעורר מטאקוגניציה ולעודד את הסטודנט לגלות תובנות בכוחות עצמו. ממצא זה מחזק את ההצעה התאורטית של פרקר (Parker, 2015) שלפיה אוטונומיה פדגוגית מתפתחת מתוך חוויות של קבלת החלטות עצמאית, ומלמד כי הדושיה עם הבינה יכול לשמש זירה לחוויות כאלה. הביטוי השני של העמקה מעבר להמלצה, חוש, כיצד הסטודנטים משתמשים בהצעת הבינה המלאכותית המשמשת זרז לחשיבה פדגוגית ולא תוצר מוגמר. כאשר סטודנטית מספרת שהמלצת ה-ChatGPT הרחיבה לה את השאלה ונתנה כלים לקישור השאלה לחיי היום-יום. אפשר לזהות כאן את המעבר בין שלב המשתמש הפעיל לשלב השותפות שמתואר אצל קים (Kim, 2024), כלומר לקחת רעיון ולהעמיד אותו.

ממצאי מחקר זה עולה כי יש כמה השפעות מעשיות על התוכניות להכשרת מורים למתמטיקה. ראשית, יש לשלב דיון על "דחייה מנומקת" שהיא מיומנויות בפני עצמה. תוכנית הכשרה נוטות לשים דגש בשימוש הנכון בכלי בינה מלאכותית, ממצאי מחקר זה מראים כי חשוב ללמד את הסטודנטים מתי ומדוע לדחות את הצעות הבינה המלאכותית, ולפתח אצלם את הביטחון הפדגוגי לעמוד מאחורי החלטה זו.

כמו כן יש לטפל במפורש בסכנת ההסתמכות יתר (over-reliance) של הסטודנטים. כלומר לא די ללמד כיצד להשתמש בכלי, אלא גם לפתח מודעות מפורשת לסכנת אימוץ המלצות בלי שיקול דעת ולהציע הזדמנויות לבחינה ביקורתית של הצעות הבינה המלאכותית.

מגבלות המחקר וכיוונים עתידיים

למחקר זה יש כמה מגבלות. ראשית, המדגם קטן (15 סטודנטים, 24 רשומות) ואינו מאפשר הכללה. שנית, כלל המשתתפים הגיעו מרקע הייטק והנדסי, רקע שעשוי להסביר את שיעור הדחייה הגבוה יחסית, שכן ייתכן שכישורים אנליטיים וביקורתיים שנרכשו בעולם ההנדסי תורמים ליכולת הסינון. מחקרים עתידיים יכולים לבדוק האם יש הבדלים בדפוסי הדחייה בקרב סטודנטים מרגעים מגוונים. כיווני מחקר עתידיים יכולים לכלול מחקר אורכי הבוחן האם הנטייה לדחות הצעות של בינה מלאכותית גדלה עם הניסיון או להשוות בין סטודנטים מרקעים מגוונים.

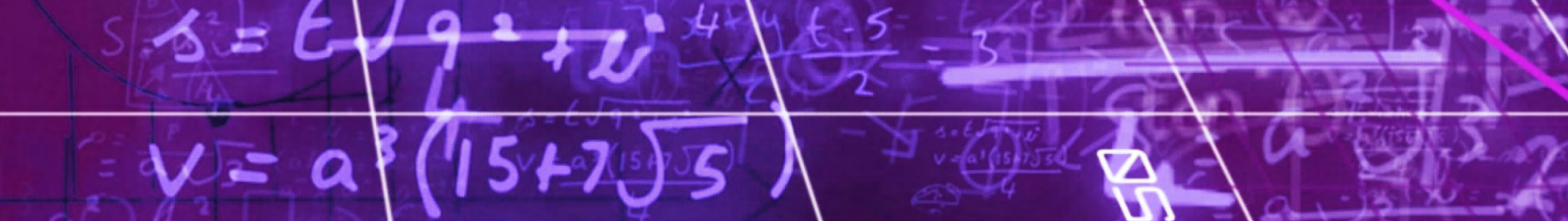
סיכום

ממצאי מחקר זה אפשר ללמוד כי דחייה מנומקת של הצעות הבינה המלאכותית אינה תגובה שולית, אלא ביטוי לשיקול דעת מקצועי בהתהוות. אפשר להציע כי הדושיה עם הבינה המלאכותית המלווה בהכשרה מתאימה, יכול לשמש זירה לפיתוח אוטונומיה פדגוגית, לא מתוך ציון להמלצות הכללי, אלא מתוך השיח הביקורתי עימו.

- 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. <https://doi.org/10.61969/jai.1337500>
- Ball, S. J. (2003). The teacher's soul and the terrors of performativity. *Journal of Education Policy*, 18(2), 215–228. <https://doi.org/10.1080/0268093022000043065>
- Ball, D. L., & Bass, H. (2003). Toward a practice-based theory of mathematical knowledge for teaching. In B. Davis & E. Simmt (Eds.), *Proceedings of the 2002 Annual Meeting of the Canadian Mathematics Education Study Group* (pp. 3–14). CMESG/GCEDM.
- Beijaard, D., Meijer, P. C., & Verloop, N. (2004). Reconsidering research on teachers' professional identity. *Teaching and Teacher Education*, 20, 107–128. <https://hdl.handle.net/1887/11190>
- 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>
- 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, Article 43. <https://doi.org/10.1186/s41239-023-00411-8>
- Charmaz, K. (2014). *Constructing grounded theory* (2nd ed.). Sage.
- Evers, A. T., Yamkovenko, B., & Van Amersfoort, D. (2017). How to keep teachers healthy and growing: The influence of job demands and resources. *European Journal of Training and Development*, 41(8), 670–686. <https://doi.org/10.1108/EJTD-03-2017-0018>
- Flores, M. A., & Day, C. (2006). Contexts which shape and reshape new teachers' identities. *Teaching and Teacher Education*, 22(2), 219–232. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2005.09.002>
- 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.
- Gros, B. (2016). The dialogue between emerging pedagogies and emerging technologies. In B. Gros, Kinshuk, & M. Maina (Eds.), *The future of ubiquitous learning: Designs for emerging pedagogies* (pp. 3–23). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-47724-3_1
- Guzey, S. S., & Roehrig, G. H. (2012). Integrating educational technology into secondary science teaching. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 12(2), 162–183.
- Hargreaves, A. (2003). *Teaching in the knowledge society: Education in the age of insecurity*. Teachers College Press.



- Kasneci, E., Seßler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., Gasser, U., Groh, G., Günemann, S., Hüllermeier, E., Krusche, S., Kutyniok, G., Michaeli, T., Nerdel, C., Pfeffer, J., Poquet, O., Sailer, M., Schmidt, A., Seidel, T., Stadler, M. . . Kasneci, G. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and Individual Differences*, 103, Article 102274. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274>
- Kim, J. (2024). Leading teachers' perspective on teacher-AI in education. *Education and Information Technologies*, 29(7), 8693–8724. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-12109-5>
- 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>
- Long, D., & Magerko, B. (2020). What is AI literacy? Competencies and design considerations. In *CHI '20: Proceedings of the 2020 CHI conference on human factors in computing systems* (pp. 1–16). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3313831.3376727>
- 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>
- 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>
- Ng, D. T. K., Leung, J. K. L., Chu, S. K. W., & Qiao, M. S. (2021). Conceptualizing AI literacy: An exploratory review. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 2, Article 100041. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100041>
- Oakley, B., Johnston, M., Chen, K.-Z., Jung, E., & Sejnowski, T. (2026). The memory paradox: Why our brains need knowledge in an age of AI. In M. Rangele & N. Fairfax (Eds.), *The artificial intelligence revolution: Challenges and opportunities* (pp. 573–628). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-032-11814-1_22
- Paradis, A., Lutovac, S., Jokikokko, K., & Kaasila, R. (2018). Canadian and finnish upper-secondary school mathematics teachers' perceptions of autonomy. *Pedagogy, Culture and Society*, 26(3), 381–396. <https://doi.org/10.1080/14681366.2017.1407957>
- Parker, G. (2015) Teachers' autonomy. *Research in Education*, 93(1), 19–33. <https://doi.org/10.7227/RIE.0008>
- Pearson, L. C., & Moomaw, W. (2005). The relationship between teacher autonomy and stress, work satisfaction, empowerment, and professionalism. *Educational Research Quarterly*, 29(1), 38–54.
- Segal, R. (2026). Mathematics teachers convert textbook tasks to dynamic ones: How changing the problem architecture enhances teachers' TPACK. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 24, Article 15. <https://doi.org/10.1007/s10763-025-10641-z>
- 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*, 12(6), 1559–1582. <https://doi.org/10.46328/ijemst.4591>
- 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>
- Segal, R., & Klemer, A. (2025). Dialogic interactions between mathematics teachers and GenAI: Multi-environment task design and its contribution to TPACK. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*. <https://doi.org/10.1080/0020739X.2025.2551363>



- 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>
- 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), Article em2286. <https://doi.org/10.29333/ejmste/13272>
- Zhao, L., Wu, X., & Luo, H. (2022). Developing AI literacy for primary and middle school teachers in China: Based on a structural equation modeling analysis. *Sustainability*, 14(21), Article 14549. <https://doi.org/10.3390/su142114549>