

משוב בינה מלאכותית יוצרת להערכת סימולציות הוראה להתפתחות מקצועית של מורי מתמטיקה

יעל פלדמן-מגור, רעות פרשה, גיל שורץ

$$\int f(x) dx$$




$$a^2 + b^2 = c^2$$

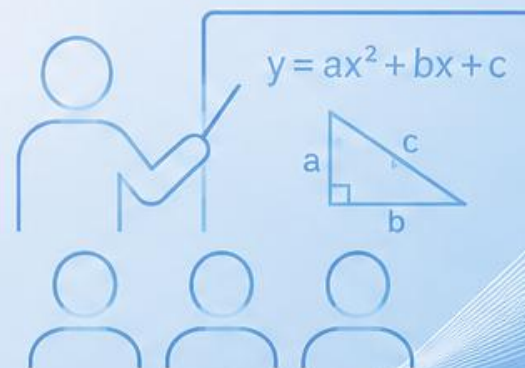


מכון ויצמן למדע
WEIZMANN INSTITUTE OF SCIENCE

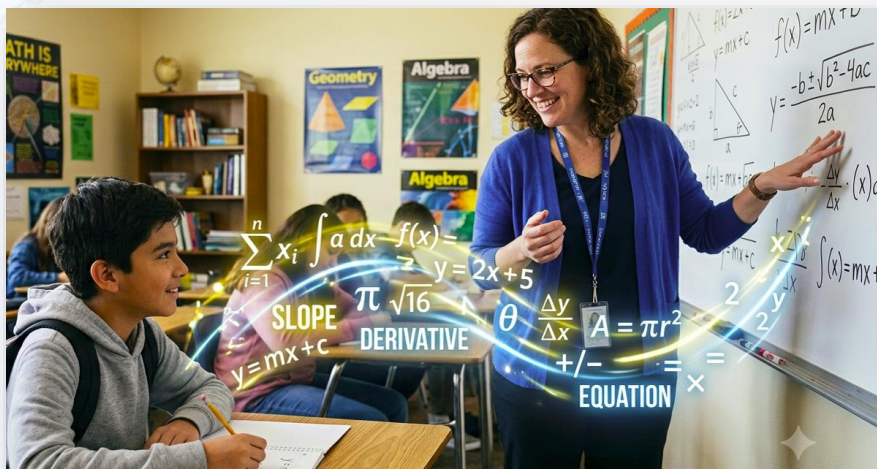
אוניברסיטת בן-גוריון בנגב
جامعة بن غوريون في النقب
Ben-Gurion University of the Negev



אורות ישראל
מכללה אקדמית לחינוך
מייסודן של מכללות מורשת יעקב ואורות ישראל (ע"ר)



מבוא ומוטיבציה



- בשנה האחרונה פיתנו סימולציות **להוראת מתמטיקה רספונסיבית**
- **הוראה רספונסיבית** היא גישת הוראה המדגישה את הקשיבות של מורים ל**חשיבה המתמטית של תלמידים**, ובניה עליה, באופן המקדם את הלמידה

רציונל: כדי שסימולציות כאלה יתרמו להתפתחות מקצועית של מורים
יש צורך במשוב מבוסס AI מהימן ואחראי



משוב על מה? ממדי ההוראה הרספונסיבית

חילוץ חשיבת
התלמידה

זיהוי טעויות

בנייה על חשיבת
התלמידה

שימוש בטעות
כמשאב

מתן משמעות
לתוכן המתמטי

רספונסיביות בין
אישית



הדגמת הסימולציה

מכון ויצמן

AI Math Teacher

רקע לשיעור 1 פתרון חסר במשוואה

הנך מורה למתמטיקה בחטיבת הביניים. את מלמדת כיתה ט' רמה א'. בשיעורים האחרונים בכיתה למדתם לפתור משוואות ממעלה גבוהה ושמת לב שעמית, אחת התלמידות, לא תמיד מגיעה לפתרון מלא של המשוואות. במבחן האחרון עמית פתרה נכון חלק מהתרגילים, אך באחת המשוואות היא איבדה פתרון מבלי לשים לב. כשסימנת לה שחסר לה פתרון, היא התקשתה להבין למה. לכן זימנת אותה לשיעור פרטני כדי לברר יחד את הנושא

$$\begin{aligned}x^3 &= 6x^2 - 5x \\x^3 - 6x^2 + 5x &= 0 \quad / :x \\x^2 - 6x + 5 &= 0\end{aligned}$$

בחר שיעור

השתמש בחצים לבחירת שיעור



שיעור 2
תנאים למרובע

שיעור 1

פתרון חסר
במשוואה

עמית

שיעור 5
גיא- שטח והיקף



התחל שיעור

השתמש במקשי החצים לניווט מהיר

שאלות המחקר

1. מהם ההבדלים בין מומחה אנושי לבין כלי בינה מלאכותית במתן דירוג מספרי על פי ששת ממדי ההוראה הרספונסיבית לסימולציות הוראת מתמטיקה?
2. האם וכיצד כלי בינה מלאכותית יוצרת מזהה בסימולציות של מורים כל אחד מממדי ההוראה הרספונסיבית, מבחינה איכותית?



נתונים ושיטות המחקר

נתונים: 30 סימולציות

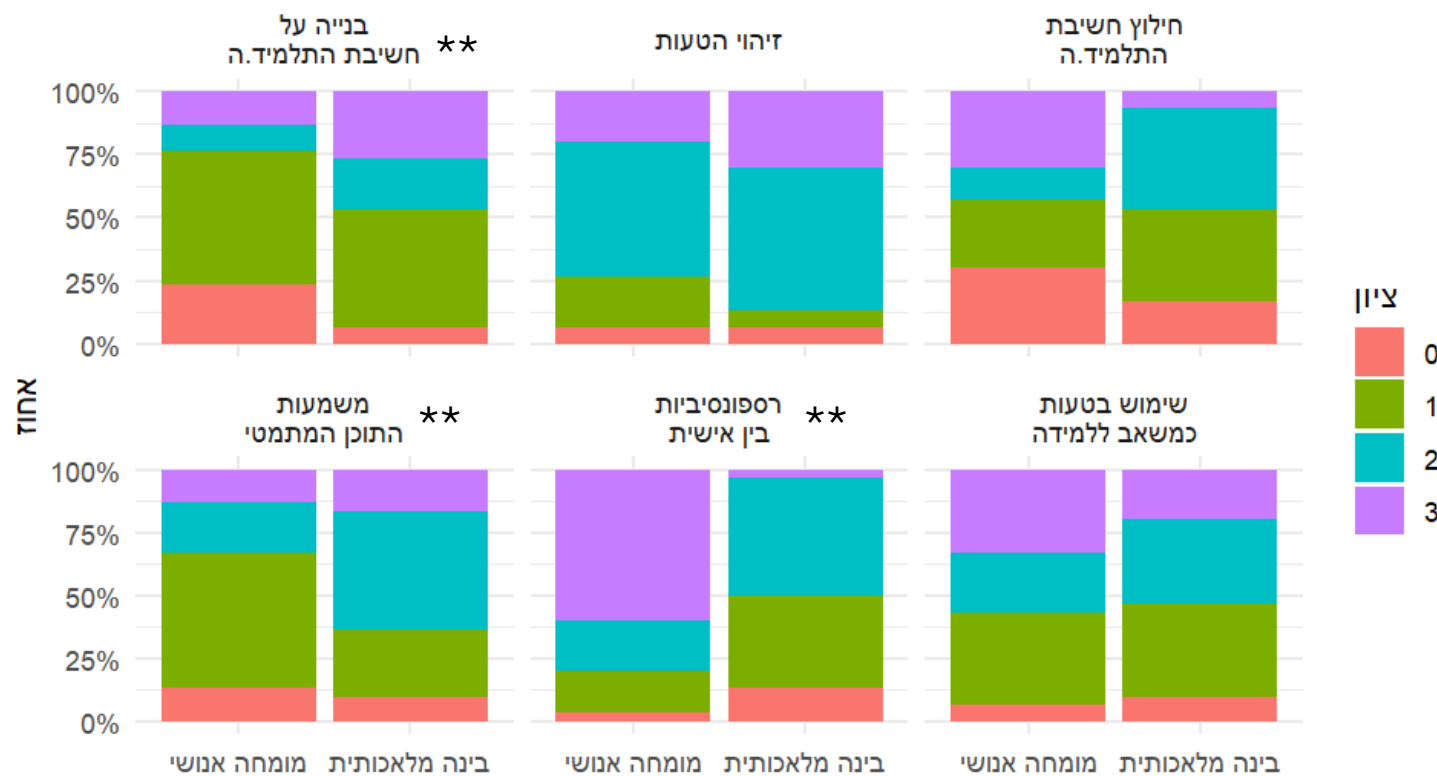
פיתוח מחוון – 6 ממדים, 4 רמות

הערכה: מומחית אנושית וכלי בינה מלאכותית

כמותני (Kappa, Mann–Whitney–Wilcoxon)

איכותני (10 משוברים)

תוצאות: התפלגות כלי הבינה המלאכותית לעומת מומחה אנושי



** מובהקות סטטיסטית

- נמצאה הסכמה יחסית נמוכה בין דירוגי הבינה המלאכותית לבין דירוגי המומחה האנושי למעט חילוץ חשיבת התלמידה שבו נמצאה הסכמה בינונית ($\kappa = 0.69$)
- הבדלים מובהקים בהתפלגות הדירוג נמצאו בשלושה ממדים

תוצאות – ניתוח איכותני - דוגמאות

- כלי הבינה המלאכותית הצליח לזהות כיצד כל אחד מממדי ההוראה הרספונסיבית מתבטא בסימולציה באמצעות דוגמאות מתאימות להמחשת הממדים
- ברוב המקרים, הדוגמאות היו דומות מאוד לאלו של המומחית האנושית
- במקרים האחרים, הדוגמאות היו שונות, אך עדיין רלוונטיות ובהקשר נכון לממד
- נמצאו מקרים ספורים של אי־הסכמה בין החוקרות לבין כלי הבינה המלאכותית

גם כאשר אין התאמה בדירוג הכמותי, התוכן המילולי של המשוב עשוי להיות בעל ערך פדגוגי

דוגמה – משוב איכותני: הסימולציה של אפי

1. זיהוי הטעות – ציון 3

יש זיהוי טעות, וגם זיהוי הנחה סמויה שקשורה למספר הפתרונות

משוב מומחית אנושית

משוב AI

1. זיהוי הטעות – ציון 2

המחונן מבהיר שבסימולציה הזו צריך להתייחס לשני היבטים: גם לכך שאסור לחלק באפס, וגם לכך שחלוקה ב- x עלולה לאבד את הפתרון $x = 0$; ורק אם יש גם ניסוח מפורש של ההנחה הסמויה, מגיעים ל-3.

אפי כן מטפלת יפה בשני ההיבטים:

- “החלוקה באיקס פה יצרה איזו בעיה”
 - “אם איקס כן היה אפס וחילקת בו, אנחנו בבעיה”
 - “אם $x = 0 \dots x = 0$ אז $x = 0$ באמת פתרון של המשוואה?”
 - ובסיום עמית עצמה מנסחת: “בגלל זה איבדתי את הפתרון $x = 0$ ”
- לכן זה בהחלט 2.**
- למה לא 3? כי אפי לא מובילה במפורש לניסוח כמו “כשחילקת ב- x הנחת ש- $x \neq 0$ ” או “התייחסת ל- x כמו למספר רגיל”, שהמחונן מציב כדוגמאות מובהקות לרמה 3.**

דיון ומסקנות

- כלי בינה מלאכותית יוצרת יכול לשמש כלי תומך למתן משוב בסימולציות הוראה

- נדרש פיקוח אנושי Human-in-the-loop (HITL)

- המשוב המילולי בעל ערך פדגוגי

המחקר אינו רק בוחן את יכולות הבינה המלאכותית אלא גם מסייע לשפר ולדייק את המחונן עצמו, משום שניתוחי הבינה המלאכותית חשפו נקודות שבהן המחונן עדיין דורש תיקוף ושיפור

ומה עכשיו? מחקרי המשך

- המשך תיקוף המחווה
- בחינת השימוש בהקשרים אחרים
- בדיקת תפיסות המורים לגבי המשוב
- השוואה למספר מומחים אנושיים



מקורות

Bishop, J. P., Hardison, H. L., & Przybyla-Kuchek, J. (2022). Responsiveness to students' mathematical thinking in middle-grades classrooms. *Journal for Research in Mathematics Education*, 53(1), 10–40. <https://doi.org/10.5951/jresmetheduc-2020-0188>

Jacobs, V. R., & Empson, S. B. (2016). Responding to children's mathematical thinking in the moment: An emerging framework of teaching moves. *ZDM – Mathematics Education*, 48, 185–197. <https://doi.org/10.1007/s11858-015-0717-0>

Schwartz, G. (2025). Moving beyond moves: Redefining mathematically responsive teaching as a humanistic stance. In C. Cornejo, P. Felmer, D. M. Gómez, P. Dartnell, P. Araya, A. Peri, & V. Randolph (Eds.), *Proceedings of the 48th Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education: Research Reports* (Vol. 2, pp. 267–274). PME.



תודה על ההקשבה

נשמח להיות בקשר:

יעל פלדמן-מגור: yaelfeld@bgu.ac.il

רעות פרשה: reut.parasha@weizmann.ac.il

גיל שורץ: gil.schwartz@weizmann.ac.il

אוניברסיטת בן-גוריון בנגב
جامعة بن غوريون في النقب
Ben-Gurion University of the Negev




מכון ויצמן למדע
WEIZMANN INSTITUTE OF SCIENCE


אורות ישראל
מכללה אקדמית לחינוך
מייסודן של מכללות מורשת יעקב ואורות ישראל (ע"ר)



דוגמה – משוב איכותני: הסימולציה של אפי

6. משמעות התוכן המתמטי – ציון 3

מרחיבה את הדיון לנושא של מספר פתרונות
במשוואות ממעלות שונות

משוב מומחית אנושית

משוב AI

6. משמעות התוכן המתמטי – ציון 3 כאן אפי מצטיינת.

המחווה נותן 3 כאשר המורה לא רק מצדיק פעולות בתוך השאלה, אלא גם מרחיב מעבר לשאלה עצמה ומקשר לנושאים רחבים יותר במתמטיקה.

אפי עושה זאת בצורה ממש מובהקת:

- בונה מדרג של משוואות ממעלה ראשונה, שנייה, שלישית, ואפילו חמישית
- מקשרת בין מעלה למספר פתרונות אפשרי
- מחברת גם לייצוג גרפי: קו ישר מול פרבולה
- לא נשארת רק ב"מה עושים", אלא ב"איך לחשוב על סוגי משוואות"

זה תואם היטב לדוגמאות של רמה 3 במחווה, כמו קישור למעלה חמישית או הרחבה לנושאים מתמטיים אחרים.