

# שימוש בכלים להערכה במתמטיקה, המקרה של WEBWORK במכללות להוראה

## תקציר

כלים להערכה אוטומטית במכללות להוראה רלוונטיים בתקופה זו יותר מתמיד, ומאפשרים מקור לתרגול לסטודנטים ואפשרויות הערכה נוספות למרצים. במאמר זה נסקור פרמטרים לבחירה של מערכת הערכה ממוחשבת במתמטיקה מנקודת מבט של מרצים למתמטיקה ושל סטודנטים להוראת מתמטיקה. נתמקד במערכת שנבחרה WEBWORK כחוקר מקרה.

**מילות מפתח:** הערכה אוטומטית, פיתוח חשיבה, תרגילים מורכבים, בדיקה אוטומטית, WEBWORK

## מבוא

כלים להערכה אוטומטית צוברים תאוצה בשנים האחרונות (Engelbrecht, Llinares, & Borba, 2020). במתמטיקה כלים רבים אפשרו הגשה ובדיקה אוטומטית, אך מעט כלים אפשרו בדיקה מורכבת של נוסחאות ובדיקה של הבנה קונספטואלית של מושגים (Sangwin, 2013; Sangwin, Rasila, Malinen, & Tiitu, 2015; Cazes, Lee, & Wong, 2009), אפשרויות להגשה של מרחב אינסופי של תשובות נכונות ובדיקות. במאמר זה נסקור שימוש של שיטות הערכה אוטומטית שונות בהוראת המתמטיקה בהשכלה הגבוהה בפרמטרים שונים כמו נוחות לכתיבת שאלות, חיפוש בין שאלות קיימות ומורכבות במתמטיקה ויכולת בדיקה של ביטויים מורכבים נתמקד ב-WEBWORK, סביבת הערכה מעצבת במתמטיקה, בקוד פתוח הכוללת אין ספור שאלות מגוונות, ברמה תיכונית ועל תיכונית, עם מאגר מרשים של שאלות ברמה אקדמית. מערכת זו הינה מערכת בדיקה אוטומטית המאפשרת בדיקה של ביטויים, שילוב של אלמנטים גרפיים, רנדומיזציה של שאלות קיימות, יחד עם התממשקות למודל (MOODLE) ולמערכות למידה נוספות (Gage, 2017).

# שימוש בכלים להערכה במתמטיקה, המקרה של WEBWORK במכללות להוראה ובאוניברסיטאות

המעבר ללמידה מרחוק העצים את הצורך בכלי בדיקה ותרגול אוטומטיים, בלימודים פנים אל פנים יש אפשרות למעקב ובדיקה של תרגילים בכיתה ומעבר על תרגילי התלמידים תוך כדי השיעור, מה שקשה יותר בלמידה מרחוק. על כן, הצורך בבדיקה אוטומטית של שאלות מורכבות הפך למתבקש. זאת ועוד, במהלך הלמידה מרחוק מצאו את עצמם מורים רבים, באקדמיה או מחוצה לה מתעניינים בבדיקה של תרגילים באופן אוטומטי. למרות שכלים אלו מאוד רלוונטיים ללמידה מרחוק, הם לא מאבדים את הרלוונטיות כשחוזרים ללמידה פרונטלית, ובמקומות רבים משתמשים בהם כמערכת תרגול ושיעורי בית.

במאמר זה יוצג הכלי WEBWORK המאפשר הערכה אוטומטית של תרגילים מורכבים במתמטיקה אל מול קריטריונים שנמצאו חשובים למרצים במכללות ובאוניברסיטאות המלמדים קורסים במתמטיקה, בנוסף נבחן כמה טכנולוגיות נוספות הקיימות בהוראת מתמטיקה יחסית לקריטריונים אלו.

## סקירת ספרות

טכנולוגיות להערכה במתמטיקה מאפשרות לבדוק תרגילים במתמטיקה בצורה אוטומטית (Kochneva & Romanova, 2019; Hegedus et al 2017). במשך שנים רבות, התרגילים שיכלו לבדוק במתמטיקה כללו שאלות רב ברירה או שאלות עם אפשרות תשובה נכונה אחת מספרית (Bray & Tangney 2017). לעומת זאת, בדיקה אוטומטית של שאלות עם ריבוי תשובות נכונות, ושאלות בהן התשובה היא ביטוי מתמטי הנבדקות באופן אוטומטי, היו נחלת מחקרים ואוניברסיטאות בלבד. מערכות הבדיקה האוטומטיות לא היו נגישות למרצים שאינם ממוסדות אלו.

כאשר רוצים לבחון רמה גבוהה של מתמטיקה ודרכי חשיבה, חשוב לשאול שאלות עם ריבוי תשובות נכונות, או שאלות המאפשרות להביא דוגמאות שאינן מספריות (Yerushalmy & Olsher 2020). דבר זה נמצא במחקרים בתחום החינוך המתמטי, והיכולת ללמוד מדוגמאות שתלמידים מביאים או לא מביאים מתארת פעמים רבות פערים בהוראה ובלמידה (Haj-Yahya & Olsher, 2020).

התפתחות הטכנולוגיה מאפשרת לבחון שאלות מורכבות יותר, ולאפשר למורים לכתוב שאלות בעצמם עם בדיקה אוטומטית (Yerushalmy & Hess-Green 2018). כמו כן, אחת הבעיות המאתגרות במאגרי שאלות במתמטיקה היא החיפוש בהן, וכתובת הבדיקה האוטומטית. בנוסף, הקשר וההיררכיה בין נושאים שונים במתמטיקה יחד עם שימוש במונחים שונים במוסדות הופכת את החיפוש למורכב, ואף לעיתים מקשה על חיפוש של שאלות בתחומים שונים וברמות שונות.

השימוש בכלים טכנולוגיים להערכה מאפשר בדיקה אוטומטית, ותרגול לסטודנטים (Fahlgren & Brunström, 2021). חוסך זמן רב ויקר של בדיקה, מאפשר משוב מיידי ורעיונות לתיקון ורמזים במידת הצורך. כמו כן הוא מאפשר ליצור מרחב רב של שאלות מתוך שאלה אחת על ידי שימוש בפרמטרים רנדומליים.

## הכלי WEBWORK

כלי WEBWORK הוא כלי לבדיקה אוטומטית של שאלות מתמטיות, המאפשר מגוון רב של אפשרויות וכולל מספר רב של שאלות כתובות בתחומים שונים של מתמטיקה, החל ברמה על יסודית, ועד קורסים אקדמיים מתקדמים במתמטיקה כולל בדיקה אוטומטית שלהם. במסגרת הבדיקה ניתן לעשות שימוש בכלים של מחשבוני גרפים כמו גאוגברה או דסמוס, מאפשר בדיקה של פונקציות, וכתובה של סמלים מתמטיים, מאפשר לתת תשובה עד רמת דיוק דרושה, או להשתמש בדיוק מלא עם סימנים כמו  $\pi$ . הכלי נכתב בקוד פתוח, ויש אפשרות להוסיף אפשרויות נוספות שלא קיימות לאנשים בעלי רקע בתכנות. רוב השאלות כתובות באנגלית, אבל יש אפשרות תרגום נוחה, ומתפתח מאגר מרשים של שאלות בעברית ברמה של מתמטיקה

קדם אקדמית ובקורסי יסוד במתמטיקה אקדמית. אחד היתרונות של WEBWORK הוא ההתממשקות שלו למודל (Gage, 2017).

במערכת זו יש אנליטיקות למידה בהן אפשר ללמוד מהתשובות של סטודנטים, אפשר לעשות ניתוח של הסטודנטים בתרגילים מסוימים ומשם להבין את הדרך בה הבינו את החומר, את הקשיים העיקריים שלהם ואת הטעויות הנפוצות. מלבד זאת יש נתונים סטטיסטיים על כמות הגשות, כמות של ניסיונות לכל תלמיד ועוד פרמטרים מגוונים שיש בכוחם לעזור למורה לעצב את ההוראה שלו ולשפר אותה (Prat & Code, 2020).

מחקרים שנעשו על שימוש בכלי, מראים שביעות רצון של סטודנטים ומפתחים, ושל מרצים המשתמשים בכלי בשאלות מתחומים שונים (השימוש בכלי אינו רק במתמטיקה אלא גם בתחומים מדעיים נוספים, כמו פיזיקה, כימיה ומדעי המחשב (Ng, Ting, Lam & Liu, 2020; Lee & Graham & Lawson-Perfect, 2017; Verrett, 2018).

השימוש בכלי בישראל הוא בטכניון, באוניברסיטת תל אביב ובמכללת לוינסקי לחינוך, בקורסים מגוונים. נבחנת האפשרות לשילובו של הכלי בקורסים מסיביים של קמפוס IL. המרצים והסטודנטים שעובדים עם הכלי, מרוצים מהעבודה איתו, חוסכים זמן יקר של בדיקה אנושית ומאפשרים לסטודנטים לקבל משוב על השאלות שהם פותרים. סביב העבודה עם הכלי מתפתחת בקרב סטודנטים גם עבודה קבוצתית וחזרה על החומר, כל סטודנט מקבל שאלות השונות בפרמטרים המספריים אך דומות במבנה וכך סטודנטים מפתחים יכולת הכללה. האפשרות ליצור שאלות פרמטריות בהן כל סטודנט מקבל שאלה עם נתונים מספריים שונים, מקטינה את האפשרויות להעתקות ומקדמת לקראת חשיבה מופשטת יותר כאשר הסטודנטים פותרים את השאלות בקבוצות.

## תיאור המחקר

המחקר הינו תיאור מקרה של הטמעת הכלי במכללת לוינסקי במסגרת שלושה קורסים למתמטיקה בתחומים שונים. הכלי נבחר לאחר ניסיונות של כלים שונים אחרים מתחום המתמטיקה ותחומים נוספים, הכלים שנבחנו היו, בניית שאלות במודל עם בדיקה אוטומטית, דפים אינטראקטיביים, ומערכות נוספות.

הקריטריונים שנבדקו כללו ממשק נוח לשימוש, התממשקות של הציונים למודל, אפשרות ליצור מגוון רב של שאלות עם פרמטרים, אפשרויות לשאלות מורכבות (שהתשובה עליהן אינה יחידה, אך עדיין ניתנות לבדיקה), אפשרות לשלב מחשבוני גרפיים בשאלות, מערכת עם מגוון רב של שאלות בנושאים שונים, חיסכון בזמן ומחיר. לאחר סקירה של כלים רבים, נבחר הכלי WEBWORK מהסיבות הבאות:

1. התממשקות של הכלי לMOODLE
2. בדיקה אוטומטית, גם לביטויים סימבוליים
3. אפשרויות לתרגם שאלות רבות שיש להם בדיקה אוטומטית
4. קיום מאגר של שאלות רבות בעברית
5. מאגר פתוח גדול של שאלות באנגלית שאפשר לתרגם לעברית
6. מגוון רחב של שאלות לתרגול בנושאים וברמות שונות
7. אפשרות לשנות שאלות ולהוסיף שאלות
8. קהילת מפתחים רחבה
9. אפשרות לשלב מחשבוני גרפיים בשאלות
10. בשלות מספיקה של הטכנולוגיה.
11. יכולות ניתוח וניהול למידה מרשימות
12. התאמה אישית של הלמידה, יכולת למתן תוספת זמן או ניסיונות נוספים לסטודנטים
13. חיסכון בזמן
14. מחיר

במהלך הקורסים שנלמדו, הסטודנטים קיבלו גיליון תרגילים כמדי שבוע, בקורסים שונים במתמטיקה, ופתרו את הגיליונות. למרות שחובת ההגשה היתה על מחצית מהגיליונות, רוב הסטודנטים הגישו את כל הגיליונות כדי לתרגל ולבדוק את נכונות תשובותיהם. היו כמה גיליונות חזרה על תרגילים לפני המבחן ואף נשקל לכתוב את המבחן במערכת זו.

השיח שהתפתח בקבוצות הווצאפ של הסטודנטים במהלך העבודה עם המערכת היה מרתק, וניכר בו תהליך ההפשטה וההכללה שהסטודנטים מבצעים, עוזר להבין את המושגים והקשרים ביניהם, וכן עזר לתרגל את החומר הנלמד בצורה טובה יותר.

הקושי העיקרי בשימוש במערכת בתור מרצה הוא הממשק שלה בו ניתן לשנות שאלות או לתרגם, ההיכרות הראשונית עם הממשק והשימוש בו זהו דבר הדורש קצת ידע והיכרות עם תכנות. מלבד זאת גם השימוש בניתוח שניתן על תלמידים ועל ההגשות שלהם הוא דבר שצריך ללמוד איך להשתמש בו בצורה שתורמת להוראה של המרצים ולמידה של הסטודנטים (אנליטיקות למידה). דבר נוסף שמצריך עזרה בשימוש עם המערכת יחד עם מודל (MOODLE) הוא בכך שהממשק בין התוכנה לבין המודל, תלויה גם בחומות ההגנה של המודל, ויש צורך לנהל את זה מול המכללה וזה לא תלוי רק במרצה.

### **כלים נוספים שמורים במכללות משתמשים בהם להערכה**

בסקר שנערך בקרב מורים למכללות במתמטיקה, שהשתתפו בו 25 מרצים, נראה כי מרצים עושים שימוש בגאואברה, דסמוס, דפי עבודה אינטראקטיביים, שאלונים, משימות במודל להם הם כותבים בדיקה אוטומטיים ואתרים נוספים. רוב המורים תיארו את הקושי בכתיבה של בדיקה אוטומטית ואת קשיי ההתממשקות של האתרים למודל ואינטגרציה של הנתונים בצורה שתאפשר אנליטיקות על תהליך הלמידה של הסטודנטים ברמה הפרטית והכללית, בלי לבזבז זמן יקר, דבר שהתוכנה של WEBWORK עונה עליה. יש לציין שעקומת הלמידה בלמידת הכלי והשימוש בו היא מאוד מרשימה, בגיליונות הראשונים לוקח בין חצי שעה עד שעה בפיתוח גיליון, אך לאחר סימסטר עם הכלי, לוקח דקות בודדות ליצור גיליון עם בדיקה אוטומטית על בסיס שאלות מוכנות, וכן האפשרות להשתמש בגיליונות קיימים ולהתאים מהם שאלות עבור המצב המתאים בקורס.

### **אופן שימוש עם הכלי**

בקורסים בהם נעזרנו בכלי זה, כל גיליון כלל בין 3-8 תרגילים. הגיליון עסק בנושאים שנלמדו בשיעור לעיתים נפתח גיליון נוסף שהוקדש להקדמה לנושאים הקשורים לנלמד בשבוע הבא. דרך גיליונות אלה נוצר שיח מעניין בקבוצת ווצאפ של הקורס, מכיוון שכל תלמיד מקבל שאלה קצת שונה בנתונים שלה, הדיון שהתפתח בווצאפ התעלה מעבר לפתרון שאלה ספציפית ועבר לעבר שאלה כללית יותר. לדוגמה, בקורס אלגברה, שעסק בין היתר בפונקציות מעריכיות, דיון על שאלה של פתרון בעיה ספציפית בנושא משוואות מעריכיות, הפך לדיון בבעיה הכללית כיצד פותרים משוואה מעריכית. כמו כן לאחר השיעור אם הסטודנטים התקשו באחת השאלות, היה שיח על דרך הפתרון, וזה עזר לנו כמרצים, להבין איזה נושא מובן ואיזה נושא צריך הדגשה נוספת ותרגול. כך שהשימוש במערכת, היה לא רק הערכה מסכמת של נושאים אלא גם הערכה מעצבת שעיצבה את תהליך ההוראה ותהליך הלמידה של הסטודנטים.

### **תודות**

- למיט"ל ובמיוחד לנדב קבלרצ'יק על הקמת שרת ווב-וורק שיתופי לטובת שימוש במערכת על ידי מוסדות נוספים בישראל
- לפקולטה למתמטיקה של הטכניון שהחליטה להעמיד את השאלות ממאגר שאלות שפותחו בטכניון לשימוש של מוסדות נוספים
- לד"ר נתן ולך, מהנדס מיחשוב הוראה של הפקולטה למתמטיקה של הטכניון על תמיכה במערכת, על סיוע למשתמשים בו בישראל (גם מחוץ לטכניון)

- Bray, A., & Tangney, B. (2017). Technology usage in mathematics education research—A systematic review of recent trends. *Computers & Education*, 114, 255-273.
- Engelbrecht, J., Llinares, S., & Borba, M. C. (2020). Transformation of the mathematics classroom with the internet. *Zdm*, 1-17.
- Fahlgren, M., & Brunström, M. (2021). Connected Classroom Technology to monitor, select and sequence student responses. *Sustainable mathematics education in a digitalized world*, 11.
- Gage, M. (2017). Methods of interoperability: Moodle and WeBWorK. *Journal of Learning Analytics*, 4(2), 22-35.
- Graham, C., & Lawson-Perfect, C. (2017). E-Assessment in Mathematical Sciences (EAMS) Conference. *MSOR Connections*, 15(2), 5.
- Haj-Yahya, A., & Olsher, S. (2020). Preservice teachers' experiences with digital formative assessment in mathematics. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 1-19.
- Hegedus, S., Laborde, C., Brady, C., Dalton, S., Siller, H. S., Tabach, M., ... & Moreno-Armella, L. (2017). *Uses of technology in upper secondary mathematics education*. Springer Nature.
- Hoogland, K., & Tout, D. (2018). Computer-based assessment of mathematics into the twenty-first century: pressures and tensions. *ZDM*, 50(4), 675-686.
- Kochneva, M., & Romanova, E. (2019). Assessment of engineering mathematics in the context of distance learning. In *2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIConRus)* (pp. 1902-1907). IEEE.
- Lee, J. S., & Verrett, J. (2018). WeBWorK as an open online homework system in a second-year material and energy balances course. *Proceedings of the Canadian Engineering Education Association (CEEAA)*.
- Ng, O. L., Ting, F., Lam, W. H., & Liu, M. (2020). Active learning in undergraduate mathematics tutorials via cooperative problem-based learning and peer assessment with interactive online whiteboards. *The Asia-Pacific Education Researcher*, 29(3), 285-294.
- Prat, A., & Code, W. J. (2020). WeBWorK log files as a rich source of data on student homework behaviours. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 1-17.
- Rasila, A., Malinen, J., & Tiitu, H. (2015). On automatic assessment and conceptual understanding. *Teaching Mathematics and Its Applications: An International Journal of the IMA*, 34(3), 149-159.
- Sangwin, C. (2013). *Computer aided assessment of mathematics*. OUP Oxford.
- Sangwin, C., Cazes, C., Lee, A., & Wong, K. L. (2009). Micro-level automatic assessment supported by digital technologies. In *Mathematics education and technology-rethinking the terrain* (pp. 227-250). Springer, Boston, MA.

Yerushalmy, M., & Hess-Green, R. (2018). Challenges Teachers Face When Designing Their Resources: The Case of Technology-Based Formative Assessment. *K-12 Mathematics Education In Israel: Issues And Innovations*, 13, 335.

Yerushalmy, M., & Olsher, S. (2020). Online assessment of students' reasoning when solving example-eliciting tasks: using conjunction and disjunction to increase the power of examples. *ZDM*, 1-17.