

מחקר יישומי

## שימוש ביישומונים מתמטיים כחלק אינטגרלי מרצף ההוראה: המלצות על בסיס מחקר רחב יריעה

ד"ר ארנון הרשקוביץ, פרופ' מיכל טבח,  
ד"ר ענת כהן, אודליה צאיידה,  
רינת אלמוזלינוס צור, איתן בן חיים,  
אריק גולדשטיין, לבנת חלווה, עדן כתאני,  
שירן מיכאלי, אסף מקמיל, גל נקש,  
אורית עזרא, דרור קורפרו, אורלי קליין-לטוכה  
בית הספר לחינוך,  
אוניברסיטת תל אביב

פרופ' קובי גל, בן לוי, ד"ר אבי סגל  
הפקולטה למדעי ההנדסה,  
אוניברסיטת בן גוריון בנגב



$$x_{1u} = \frac{\sum p_{01} q_{11}}{\sum q_{11}} + \frac{\sum p_{00} q_{10}}{\sum q_{10}}$$
$$G^2(\epsilon) = \tilde{\chi}^2(\epsilon) = \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n-2} (1)$$
$$\beta_{yx} = r \cdot \frac{s_y}{s_x}$$

## שימוש ביישומונים מתמטיים כחלק אינטגרלי מרצף ההוראה: המלצות על בסיס מחקר רחב יריעה

ארנון הרשקוביץ, מיכל טבח, ענת כהן, קובי גל, אודליה צאיידה, רינת אלמוזלינוס צור, איתן בן חיים, אריק גולדשטיין, לבנת חלווה, עדן כתאני, בן לוי, שירן מיכאלי, אסף מקמיל, גל נקש, אבי סגל, אורית עזרא, דרור קורפרו, אורלי קליין-לטוכה

### תקציר

במאמר זה, אנו מסכמים פרויקט מחקר ופיתוח רחב-יריעה, שנמשך שלוש שנים ועסק בשילוב יישומונים מתמטיים ברצף ההוראה. מטרתו העיקרית של המחקר הייתה לעודד שינוי משמעותי בנוגע לשילוב יישומונים מתמטיים בחינוך המתמטי, על מנת שמורים יתייחסו ליישומונים כאל משאב מרכזי ברצף ההוראה, ויעשו בהם שימוש שיטתי ומובנה לאורך זמן. שינוי זה צפוי להשפיע על דפוסי הלמידה של התלמידים שעושים שימוש ביישומונים אלו. הפרויקט כלל מחקר ופיתוח, ושילב מגוון מתודולוגיות, כולל שימוש בניתוח למידה (learning analytics) ופיתוח אלגוריתמים מבוססי למידת מכונה (machine learning). אנו מדווחים על הממצאים העיקריים מן הפרויקט בהיבטים של הוראה ולמידה, ובהמשך לתובנות שעלו - מסכמים בהמלצות מעשיות לאנשי הוראת המתמטיקה.

### מילות מפתח:

יישומונים מתמטיים, מטה-דאטה, למידה מותאמת-אישית, קבלת החלטות מבוססת-נתונים, ניתוח למידה (learning analytics)

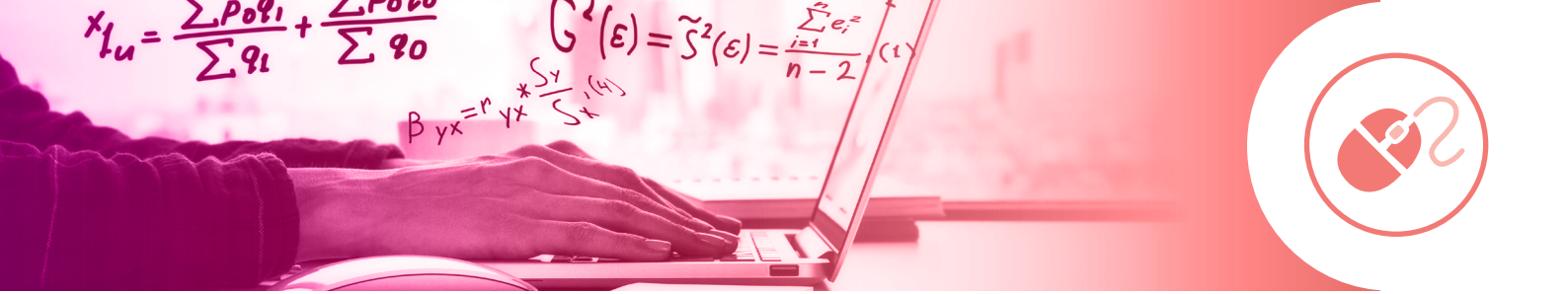
### 1. מבוא

שימוש בכלים טכנולוגיים לצורך הוראה הפך לשכיח בימינו. עם זאת, שימוש כזה, מבלי לקחת בחשבון את הערך המוסף הפדגוגי שבשילוב הטכנולוגיה, עשוי לא להניב רווח חינוכי משמעותי ועלול לפספס את המטרה שלשמה שולבה הטכנולוגיה בתהליך הלמידה. יתר על כן, למרות השקעות ניכרות במחשבים, בחיבורי אינטרנט ובתוכנה לשימוש חינוכי, אין עדיין עדויות מוצקות לכך ששימוש מוגבר במחשב בקרב תלמידים מוביל לציונים טובים יותר במתמטיקה (Cheung & Slavin, 2013; Drijvers, 2015; OECD, 2015).

המחקר שאנו מדווחים עליו כאן, עסק בסוג מסוים של כלים דיגיטליים הנפוץ בהוראת המתמטיקה, היינו יישומונים (Heath, 2002). יישומונים מקוונים ללמידת מתמטיקה הם יישומונים מבוססי אינטרנט, דינמיים ובעלי ייצוג חזותי, אשר מציעים סביבת למידה אינטראקטיבית ללימוד מושגים ותרגול מיומנויות במתמטיקה. בדרך כלל, יישומון יחיד עוסק בנושא מצומצם והפעילות בו ניתנת להשלמה בזמן קצר. יישומונים משלבים אלמנטים חזותיים ומערבים את התלמידים במהלך הפעילות, ולכן שימוש בהם עשוי להעלות את רמת המוטיבציה של הלומדים ולסייע בתהליך הלמידה (Demir, 2013; Hershkowitz et al., 2017; Uwurukundo et al., 2020).

בשנים האחרונות, פותחו יישומונים מתמטיים רבים, ואף הוקמו פלטפורמות רבות שכל אחת מהן מהווה מאגר גדול של יישומונים מתמטיים. במצב זה, נדרשים מורים לבחור את היישומונים המתאימים להם מתוך השפע הקיים. מצב זה עלול להקשות על המורים למצוא במהירות ובקלות את המשאב המתאים להוראתם. לכן, למרות ריבוי העדויות אודות תרומת היישומונים בחינוך מתמטי, רמת האימוץ שלהם בפועל נותרה נמוכה. בנוסף, קיימת הסכמה רחבה כי על מנת להשיג שילוב מוצלח, ההוראה והלמידה צריכות להיות מתוכננות היטב לשימוש ביישומונים מתמטיים, המורה צריך לנצל על הלמידה באופן אפקטיבי והיישומונים צריכים להיות שזורים בתוכנית הלימודים באופן שיטתי ועקבי להיות שזורים בתוכנית הלימודים באופן שיטתי ועקבי (Drijvers et al., 2010; Kapon et al., 2019).

במאמר זה אנו מרכזים תובנות שעלו במהלך פרויקט מחקר ופיתוח רחב יריעה שעסק בשימוש ביישומונים מתמטיים ברצף ההוראה. תחומי המומחיות של צוות החוקרים הראשיים במחקר כללו: חינוך מתמטי, ניתוח



תשובותיהם. התלמידים נדרשים להצליח במשימה כדי להמשיך למשימה הבאה; לחילופין, לאחר מספר ניסיונות כושלים ניתן להמשיך למשימה הבאה. בתום השלמת כל המשימות השייכות לאותו היישומון, מקבלים התלמידים ניקוד בין 1-5, המשקף את מידת הצלחתם בכלל המשימות באותו היישומון. בדרך כלל, נדרשות מספר דקות להשלמתן של כל המשימות ביישומון אחד, ורק לאחר מכן ניתן לעבור ליישומון הבא. אוסף היישומונים הנדרש לביצוע על ידי התלמידים נקבע על ידי מוריהם. הסביבה כולה משלבת מרכיבים משמעותיים של מִשְׁחָק והם:

1. היישומונים מעוצבים כמשחקים בזעיר אנפין: הם כוללים נרטיב סיפורי, משלבים דמויות משעשעות, אנימציות ופסקול, והתלמידים נדרשים לאינטראקציה עמם, לדוגמה, על ידי גרירת עצמים או הצבעה על עצמים.
  2. השימוש בסביבה כולל מערכת תגמולים: מתן תשובה נכונה במשימה, מלִוּה בהופעת אנימציה של זיקוקין די-נור ובאפקט קולי מתאים, הניקוד על יישומון מופיע באמצעות כוכבים צבעוניים, ובמידה והניקוד גבוה, מופיעה מילה משבחת (לדוגמה, "מדהים").
  3. הפעילות בסביבה כולה ממוסגרת באופן ויזואלי כהתקדמות במסלול על גבי מפה, והניקוד על כל יישומון מופיע באופן בולט על המפה.
  4. במשך כל הפעילות בסביבה ובהתאם להצלחתם ביישומונים, צוברים התלמידים "פרסים" מיוחדים: דמויות וירטואליות הנאספות ב"אלבום" מקוון בו יכולים התלמידים לבקר בכל עת.
- מרבית היישומונים במערכת זו הינם ברמת חשיבה נמוכה, הדורשת ידע והבנה של החומר הנלמד (Avital & Shettleworth, 1968). דוגמה ליישומון ברמת חשיבה נמוכה: על המסך מוצג שובך ובו חלק מן התאים מאוכלוסים על ידי ציפורים; התלמידים נדרשים לציין מהו אחוז התאים בהם יש ציפורים. דוגמה ליישומון ברמת חשיבה גבוהה: על המסך מוצגות שתי כוסות כאשר נתון הנפח של אחת מהן בלבד, ובנוסף יש ברז מים; התלמידים צריכים לגלות מהו נפח הכוס השנייה,

למידה (learning analytics), שימוש במשאבי למידה ולמידת מכונה (machine learning). כפועל יוצא מכך, היה המחקר אשר נמשך שלוש שנים, מקיף ומגוון, ועסק בנושא הנדון באופן הוליסטי תוך שימוש במתודולוגיות שונות. שאלות המחקר העיקריות בהן עסקנו הן אלו:

## 1. היבטים של למידה

- 1.1. כיצד מתאפיינים שימושי תלמידים ביישומונים בהיבטים של מעורבות, התמדה והצלחה?
- 1.2. מהי התרומה של שימוש ביישומונים לידע המתמטי של התלמידים?

## 2. היבטים של הוראה

- 2.1. כיצד לסייע למורים לשלב ביעילות יישומונים ברצף ההוראה?
- 2.2. כיצד ניתן להתאים לתלמידים מסלולי למידה אישיים המבוססים על יישומונים?
- 2.3. כיצד לשלב יישומונים באופן מובנה ברצף ההוראה, בהתאם לתפיסה החינוכית של המורה?
- 2.4. כיצד חשיפה לנתוני השימוש ביישומונים מתמטיים מקדמת התפתחות מקצועית של מורים?

בשל מורכבות הפרויקט, ובפרט לאור העובדה שקיימנו במסגרתו מחקרים רבים, אשר נשענו על מסגרות מושגיות שונות ועשו שימוש במתודולוגיות שונות, החלטנו לדווח עליו כאן במבנה ייחודי. לפיכך, נציג להלן ממצאים הנוגעים לשאלות המחקר, כאשר בכל תת-פרק נתייחס לספרות הרלוונטית לו, נציג את המתודולוגיות בהן נקטנו ונדון בממצאים. לסיום, נציג המלצות מעשיות הנובעות מן הממצאים.

## 2. ממצאים

### 2.1. היבטים של למידה

על מנת לחקור למידה בעת שימוש ביישומונים מתמטיים, ניתחנו פעילות תלמידים בסביבת למידה מקוונת ללימוד מתמטיקה, המכילה מאות יישומונים מתמטיים מונפשים לגילאי בית הספר היסודי (א'-ו'), בכל הנושאים הנלמדים בתוכנית הלימודים. בכל יישומון מספר משימות והתלמידים מקבלים משוב מיידי לגבי



$$x_{1u} = \frac{\sum p_0 q_1}{\sum q_1} + \frac{\sum p_0 q_0}{\sum q_0}$$

$$G^2(\epsilon) = \tilde{\Sigma}^2(\epsilon) = \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n-2} (1)$$

$$\beta_{yx} = r \cdot \frac{s_y}{s_x}$$

עיקר הנתונים ששימשו במחקר זה תיעדו פעילות של תלמידים בכיתות א'-ו' מישראל. התלמידים התחברו לסביבת הלמידה במערכות הדיגיטליות של משרד החינוך, באמצעות שם המשתמש והסיסמה המשמשים אותם להזדהות במערכות אלו. התלמידים השתמשו בסביבת הלמידה במהלך שנת הלימודים תשע"ח (2017/18), כולל ב"אליפות המתמטיקה" שהתקיימה באותה השנה. המדגם כלל את כל מי שהשתמשו במערכת באותה תקופה, כ-230,000 תלמידים מכיתות א'-ו' בבתי ספר בישראל, בכל תצורה שהיא (לדוגמה, שימוש מונחה בכיתה, שימוש חופשי במעבדת מחשבים, שימוש במסגרת שיעורי בית). קובץ היומן כלל כ-250 מיליון פעולות. לצורך ניתוחים שונים, בוצעו חיתוכים שונים של קובץ הנתונים על פי: שכבות גיל, רמת החשיבה של היישומן, מועד הלמידה, או הנושא בו עוסק היישומן.

### 2.1.1 מעורבות, התמדה והצלחה (שאלת מחקר 1.1)

מניתוח הנתונים באוכלוסיית המחקר כולה נמצא כי ככל שעולה גיל התלמידים, יורדים הישגיהם ביישומים (על פי בחינת הניקוד שקיבלו), וכי ישנם הבדלים בהישגי התלמידים לפי נושאי היישומים; בפרט, ביישומים בנושא מספרים הגיעו התלמידים בממוצע, להישגים הגבוהים ביותר, ובנושא גיאומטריה להישגים הנמוכים ביותר. חשוב לציין שבאופן כללי, נושא הגיאומטריה נחשב כקשה במיוחד ללמידה ולהוראה (Barrantes & Blanco, 2006; Hock et al., 2015; Rodd, 2013), ומניתוח מבחני מיצ"ב בעבר עולה כי תלמידי כיתה ה' מתקשים בשאלות בגיאומטריה יותר מאשר בנושאים האחרים במתמטיקה (משרד החינוך, 2010). מעניין כי לא נמצא קשר בין משך העבודה על יישומן לניקוד בו, ולפיכך משך העבודה אינו יכול לשמש כמדד פשוט לקושי.

בנוגע להיבטים של התמדה (או אי-התמדה): התלמידים נטשו יישומן בכמחצית מן המקרים, כלומר הפסיקו במכוון את פעילותם ביישומן בטרם השלימו את כל המשימות בו. זאת ועוד, מספר הפעמים בהם נטשו יישומן והתחילו אותו מחדש, עולה עם הגיל. ההסבר לתופעה

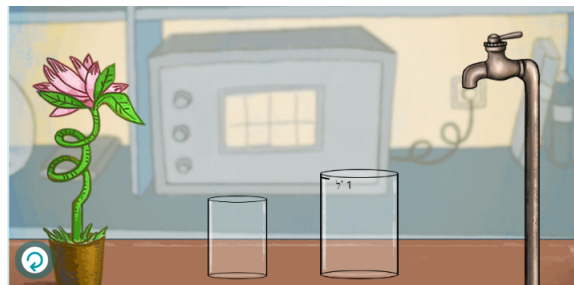
באמצעות חקירה הכוללת מיליון מים בכוסות וריקון מאחת לשנייה. ראו איור 1.

### איור 1

צילומי מסך מתוך יישומים מסביבת הלמידה הנחקרת, המדגימים רמות חשיבה נמוכה (למעלה) וגבוהה (למטה).



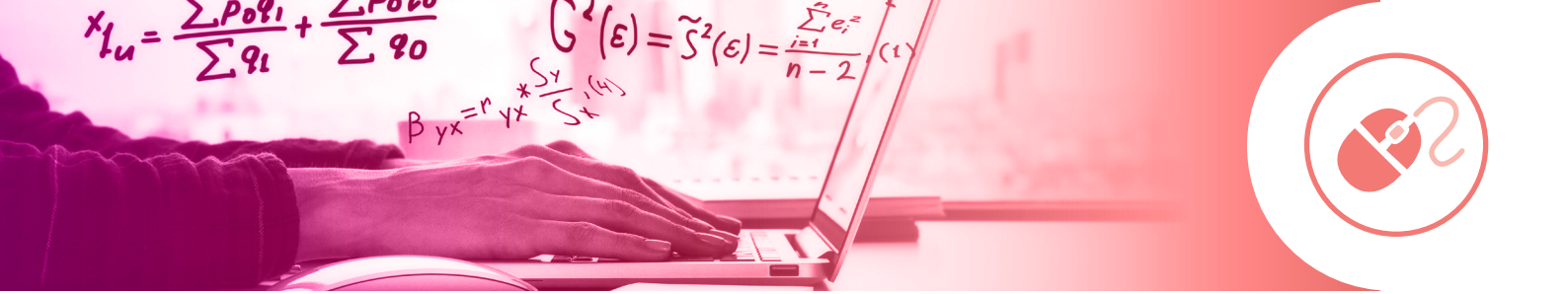
באיזה אחוז מהתאים יש ציפורים?  %



מהו הנפח של הכוס הקטנה?  ליטר

כלי המחקר עליו התבססנו היה קובץ יומן (log file) המתעד את פעולות התלמידים באופן אוטומטי ושוטף. לאחר פעולה ברמת היישומן - בין אם הושלם ובין אם ננטש - נוספת שורה לקובץ היומן המתעדת את הפעולה בשלושה ממדים:

- א. **מבצע הפעולה** - קוד התלמיד, שכבת לימוד, קוד בית ספר;
- ב. **מהות הפעולה** - קוד היישומן, ניקוד ביישומן [1-5], שיעור התשובות הנכונות לאורך היישומן [0-1];
- ג. **זמן הפעולה** - תאריך ושעה. השימוש בקבצים כאלו במחקר החינוכי גבר בעשור האחרון, והוא מוגדר היום כחלק מתחום המחקר בניתוח למידה (learning analytics) (Lang et al., 2017).



בהשוואה לשימוש במהלך שעות בית הספר, התלמידים נוטים להתאמץ יותר להשיג ניקוד גבוה. תופעה זו בולטת בעיקר בקרב בני השכבות הנמוכות (א'-ג').

### **בחינה על פי הקשר הבעיה**

במקביל, בחנו משתנה בלתי תלוי נוסף - ההקשר של הבעיה, כפי שמוצג ללומדים: ההקשר נובע מן הנרטיב המוצג ביישומון ומן האלמנטים הגרפיים שבו. את ההקשרים של כ-730 בעיות מכ-150 יישומונים במערכת סיווגנו ל- "מציאותי" (לדוגמה, כניסת יונים לשוכים, או חלוקת פיצה לילדים), "דמיוני" (לדוגמה, חלוקת עצמים למפלצות, או התמצאות על גבי מפת אוצר) ו"מתמטי" (לדוגמה, מדידת מצולעים, או קביעת מיקום מספר על ישר המספרים).

ממצאי המחקר הראו שבעיות בהקשר מציאותי ודמיוני, בהשוואה לבעיות בהקשר מתמטי, התאפיינו במעורבות גבוהה יותר של הלומדים (חזרתיות גבוהה, משך זמן ארוך יותר להשלמה, אחוז נטישה נמוך). לא נמצאו הבדלים מובהקים בין התנהגות הלומדים במשימות מציאותיות להתנהגותם בבעיות דמיוניות. ממצא זה נמצא בהלימה למחקרים קודמים, אשר הדגישו את חשיבותו של ההקשר בבעיות מתמטיות (Clarke & Roche, 2018; Laurens et al., 2018). מאידך, בבעיות בהקשר מציאותי ודמיוני, בהשוואה לבעיות בהקשר מתמטי, הגיעו התלמידים להישגים נמוכים יותר. מחקרים קודמים העלו ממצאים סותרים בנוגע לקשרים בין הקשר הבעיה לבין ההישגים בה.

### **חשיבותו של הממשק הגרפי**

מחקר נפרד הקדשנו לשאלת הממשק הגרפי (Ben-Haim et al., 2019). במחקר השתתפו כ-290 תלמידי כיתות ה'-ו' משלושה בתי ספר שונים במרכז הארץ, אשר חולקו באקראי לקבוצת "הנפשה" או לקבוצת "סכימטי". תלמידי קבוצת "הנפשה" נחשפו ליישומונים בהם הממשק הגרפי כלל דמויות ועצמים לצד סיפור מלווה, בעוד תלמידי קבוצת "סכימטי" נחשפו ליישומונים בעלי תוכן מתמטי זהה בהם הממשק הגרפי כלל עצמים פשוטים ללא סיפור מלווה (ראו דוגמה באיור 2). מניתוח פעילותם במערכת עולה כי, בממוצע, תלמידי קבוצת "סכימטי" הגיעו להישגים גבוהים יותר מתלמידי

זו נעוץ, ככל הנראה, ברצונם של התלמידים לשפר את הישגיהם במערכת; ואכן, ככל שעולה גיל התלמידים, גדל ההפרש בין הניקוד המינימלי לניקוד המקסימלי שהשיגו ברצף פעילות ביישומון (כלומר, אחרי נטישה שלו וחזרה אליו, לפעמים יותר מפעם אחת). התנהגות זו היא, ככל הנראה, תולדה של המרכיב המשחוקי הבולט במערכת הנחקרת. התנהגות זו נתמכת על ידי מחקרים רבים שהראו כי משחוק של הלמידה מגביר מעורבות ומוטיבציה, ובהמשך לכך גם הישגים (Zainuddin et al., 2020).

### **בחינה על פי רמות חשיבה של היישומונים**

כדי להעמיק בחקר הפעילות ביישומונים מרמות חשיבה שונות, התמקדנו בשכבות הגיל הגבוהות בבית הספר היסודי (ה'-ו'). מצאנו כי הישגים ושיעורי השלמה ביישומונים מרמת חשיבה נמוכה היו גבוהים יותר מאלו שנרשמו ביישומונים מרמת חשיבה גבוהה. בנוסף, היישומונים מרמת חשיבה נמוכה, בהשוואה ליישומונים מרמת חשיבה גבוהה, התאפיינו במידת חזרה גבוהה יותר בקרב תלמידי כיתות ו' ואילו בקרב תלמידי כיתות ה' נרשמה מגמה הפוכה. על ממצאים אלו מתווספים ממצאים נמוכים בין הישגים ומידת חזרה בשתי שכבות הגיל ובשתי רמות החשיבה. לפיכך, אנו מציעים כי ההבדלים בין הפעילות ביישומונים מרמות חשיבה שונות לא נובעים ממשתנים קוגניטיביים, אלא ממשתנים מטה-קוגניטיביים או מוטיבציוניים (Haleva et al., 2021). ייתכן כי הפסקת יישומון לפני השלמתו וחזרה עליו, הינה סוג של מניפולציה שנועדה להשיג ניקוד גבוה, תופעה שהודגמה בעבר במערכות דומות (Baker et al., 2008), אם כי לא בהיקפים כפי שנצפו אצלנו. בחנו גם הבדלים בפעילות התלמידים על פי זמן השימוש: במשך שעות הלימודים בבית הספר, או מחוץ לשעות הלימודים (מקמיל & כהן, 2019). מצאנו כי, באופן כללי, הישגי התלמידים בלמידה מחוץ לשעות הלימודים גבוהים יותר מאשר הישגיהם בלמידה במשך שעות הלימודים. במקביל, מספר הפעמים בהם הם מנסים לפתור כל יישומון גבוה אף הוא מחוץ לשעות הלימודים מאשר במשך שעות הלימודים. כלומר, בעת שהם משתמשים במערכת מחוץ לשעות הלימודים,



$$x_{1u} = \frac{\sum p_{01} q_{1i}}{\sum q_{1i}} + \frac{\sum p_{00} q_{0i}}{\sum q_{0i}}$$

$$G^2(\epsilon) = \tilde{S}^2(\epsilon) = \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n-2} \quad (1)$$

$$\beta_{yx} = r \cdot \frac{s_y}{s_x}$$

זאת באמצעות מדגם רחב של בתי ספר בהתייחס לשנה"ל תשע"ז, ותוך התמקדות בשכבת ה'. הנתונים ששימשו למחקר זה מתייחסים לשתי תקופות זמן:

1. שימוש שוטף במהלך השנה (על פי החלטת המורה).
2. שימוש במהלך אליפות משחקי המתמטיקה, במהלכה שיחקו המשתתפים בסביבה ייעודית שכללה את כל חומר הלימוד השנתי. האליפות התקיימה כחודשיים לפני מועד המיצ"ב.

המשתנה העיקרי שנבחן הוא הניקוד המצטבר של התלמידים במערכת, אותו סכמנו ברמת בית הספר. כיוון שמשתנה הניקוד המצטבר לא התפלג נורמלית, השתמשנו במבחנים סטטיסטיים א-פרמטריים, ובפרט בקורלציית ספירמן.

מן הנתונים עולה כי ככל שעולה הניקוד המצטבר השנתי - עולים ההישגים במיצ"ב, בתחומי המתמטיקה והשפה; קשר זה לא נמצא בהתייחס לתחום האנגלית במיצ"ב (N=235). תמונה דומה עולה בהתייחס לניקוד המצטבר בתחרות (N=229); כאשר שלטנו ברקע החברתי-כלכלי של בית הספר, מצאנו כי בהתייחס לתחום המתמטיקה מתקיים קשר דומה - ככל שעולה הניקוד המצטבר בתחרות עולים ההישגים במיצ"ב. קשר זה לא מתקיים בהתייחס לתחומי השפה והאנגלית במיצ"ב.

אם כך, האם שימוש ביישומונים מתמטיים משפר את ציוני המיצ"ב במתמטיקה, או שמא בתי הספר ה- "חזקים" במתמטיקה הם אלו אשר עושים שימוש נרחב במערכת? כדי להפריך את הפרשנות השנייה, נשים לב כי נתוני המיצ"ב במתמטיקה, שפה ואנגלית נמצאים במתאם חיובי אלו עם אלו - כלומר, כאשר האחד מהם עולה, גם האחר עולה; נתוני הפעילות באתר מתואמים חיובית עם הישגים במתמטיקה ובשפת-אם, הקשרים בין מתמטיקה לשפת-אם כבר הודגמו בעבר (Grimm, 2012; Sarana et al., 1996; Monroe, 2008) - ולא מתואמים עם הישגים באנגלית; רק בעבור הציונים במתמטיקה מצאנו מודל מובהק שלקח בחשבון גם את נתוני הפעילות, תוך שליטה על רקע בית הספר. אלו יחדיו עשויים להעיד על קשר נסיבתי - פעילות באתר ← הישגים.

קבוצת "הנפשה", ממצא שהתבטא במיוחד בקרב התלמידים המתקשים. מכאן עולה שעושר גרפי עלול להקשות על תלמידים בלמידה באמצעות יישומונים מתמטיים. ככל הנראה, נובע הדבר מכושר העיבוד המוגבל של המוח האנושי; כלומר, הצורך לעבד אנימציה מורכבת בא על חשבון עיבוד התוכן המתמטי (Kalyuga et al., 2000). מעניין שלא נמצא הבדל בין שתי הקבוצות בהתייחס למידת ההנאה מן היישומונים.

## איור 2.

ממשק מונפש (למטה, קבוצת "אנימציה") וממשק פשוט (למעלה, קבוצת "סכימטי") בעבור אותו התוכן המתמטי.

כמה כדורים יש בקופסה האדומה?  
לחץ על כל קופסה כדי לגלות מה סִמְתִּי בתוכה.

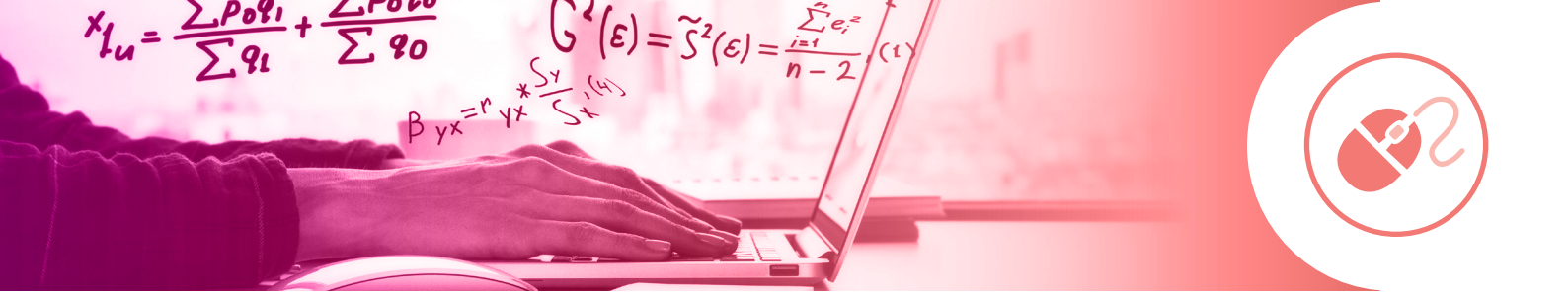
כאן יש 5 כדורים פחות מאשר בקופסה הצהובה

כמה יש לפלוני? יש לי 5 פחות מאשר לנוקי

לחצו על ראשה של כל מפלצת כדי ללמוד על כמות ה- שלה.

### 2.1.2. תרומה לידע המתמטי (שאלת מחקר 1.2)

שאלת התרומה של השימוש ביישומונים אלו לידע המתמטי, עולה מעבר לניתוח הקשרים בין משתנים שונים, המתארים את אופי הלמידה באמצעות יישומונים מתמטיים. בבואנו לבחון סוגיה זו, בחנו את דפוסי הפעילות בסביבת למידה זו אל מול נתוני המיצ"ב; עשינו



חינוכיים וטכנולוגיים. ההיבטים החינוכיים כוללים את פרופיל הלומדים, תוכנית הלימודים והתייחסות לשיטות ההוראה; ההיבטים הטכנולוגיים כוללים דרישות טכניות ומאפייני היישומון.

מסגרת מושגית זו שימשה בסיס למחקר שכלל ראיונות עומק עם 18 מורות למתמטיקה בבתי ספר יסודיים, אשר משתמשות ביישומונים מתמטיים או בסרטוני אנימציה בכיתותיהן. הראיונות עסקו בשלבים השונים הקשורים לשילוב יישומונים ברצף ההוראה: חיפוש, בחירה, הפעלה ומשוב על ההפעלה. התרכזנו במטא-דאטה בו המורות עושות שימוש בעת שילוב יישומונים וגם במטא-דאטה שעשוי לטייב תהליך זה. בהמשך לניתוח הראיונות, פיתחנו מחוון שמטרתו לסייע למורים בבחירה מיטבית ביישומון המתאים לרצף ההוראה שלהם. חשוב לשים לב: המחוון לא בא כדי להמליץ על יישומון מסוים, אלא כדי לסייע למורים לבחור את היישומון המיטבי בהתאם לשיקולים הפדגוגיים שלהם והתנאים הטכנולוגיים שברשותם. מטרתו לעורר את המורים לשאול שאלות מכוונות, ולאפשר להם לענות עליהן בהתאם להקשר המדויק בו הם עובדים.

הפעלת המחוון מתבצעת במספר שלבים. השלב הראשון כולל סינון ראשוני וחיפוש. הסינון והחיפוש מתבצעים בהתאם לשיקולים פדגוגיים ושיקולים טכניים המנחים את המורים. השיקולים הפדגוגיים הם: נושא הפעילות, שכבת הגיל, ידע קודם נדרש; השיקולים הטכניים הם: הרשות, מאפייני הקובץ ודרישות המדיה. שלב ראשון זה כולל בתוכו את מכלול ההיבטים אליהם נדרשים המורים בבואם לבחור ביישומון. במכלול היבטים זה כלולים הידע המקצועי שלהם, אישיותם, המטרה המתמטית, הצרכים הפדגוגיים שלהם, ועוד. בשלב זה המורים מגדירים את קהל היעד לשימוש ביישומון, אופן ההוראה והתזמון של שילובו ברצף ההוראה. בסופו של שלב זה, יש בידי המורים אוסף יישומונים רלוונטיים. בשלב השני נדרשת התאמה מדויקת, על פי ארבעה ממדים ראשיים:

1. **קהל היעד.** למי מיועד היישומון? בממד זה יש לקחת בחשבון במשולב את מאפייני הלומדים כגון:

זאת ועוד, הפעילות שנמצאה אפקטיבית היא רק זו שהתרחשה במסגרת אליפות המתמטיקה. אנו מציעים שני הסברים והם: ראשית, האליפות כללה את כל חומר הלימוד, כך שתלמידים שהתאמצו והשיגו ניקוד גבוה יותר נחשפו לתכנים רבים יותר. שנית, הפעילות במהלך האליפות מלווה במוטיבציה גבוהה וברגשות עזים, אשר תורמים ללמידה (Murayama et al., 2013; Pekrun et al., 2017).

נזכור כי מרבית היישומונים במערכת הינם מרמת חשיבה נמוכה ולפיכך עולה מממצאים אלו מסקנה חשובה: השקעת זמן משמעותי בתרגול ברמות חשיבה נמוכות עשויה לקדם הצלחה ברמות חשיבה גבוהות. הסיבות לכך עדיין לא נקבעו בוודאות. ישנן השערות כי הדבר נובע מן העזרה במהלך הפעילות המקוונת (Xie & Bradshaw, 2008), או מהשימוש בהנפשות (visualizations) והנפשות (animations) (Rajan et al., 2015). כמו כן, ייתכן כי התרגול ברמות החשיבה הנמוכות משכלל את המרכיב האלגוריתמי, והדבר מסייע במענה לשאלות הדורשות רמת חשיבה גבוהה יותר שעדיין מכילות מרכיב ראשוני אלגוריתמי.

## 2.2. היבטים של הוראה

### 2.2.1. בחירת יישומונים מתמטיים לשילוב ברצף ההוראה (שאלת מחקר 2.1)

במקרים רבים, מאגרים המאגדים יישומונים מתמטיים - כמו מאגרים של משאבי למידה רבים אחרים - מכילים את היישומונים עצמם וגם מידע על אודותיהם שאינו חלק מן היישומון; לדוגמה, נושא ותת-נושא, שכבת גיל ייעודית, או רמת קושי. מידע זה, המכונה מטא-דאטה, יכול לשמש מורים לסינון ראשוני של יישומונים מתאימים לשימושם ברצף ההוראה. כדי לחקור את הליך הסינון הזה, בנינו מסגרת מושגית מקיפה הכוללת את מגוון השיקולים לבחירה ושימוש ביישומון כחלק מן ההוראה (Nakash-stern & Cohen, 2019; אלמוזלינוס צור, 2019). זאת, על סמך הספרות המקצועית אודות מודלים שונים של מטא-דאטה הקשורים לעולם החינוך והלמידה (IMS Global Learning Consortium, 2006; Weibel & Koch, 2000). שיקולים אלו נוגעים להיבטים



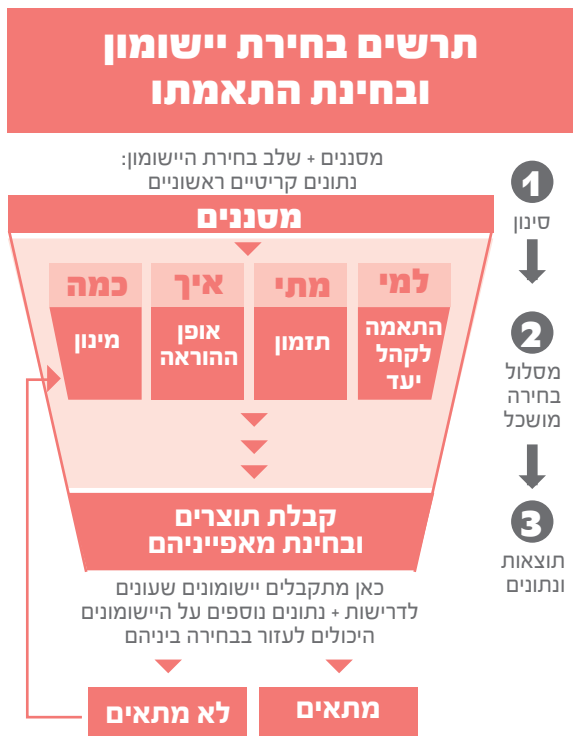
$$x_{1u} = \frac{\sum p_0 q_1}{\sum q_1} + \frac{\sum p_0 q_0}{\sum q_0}$$

$$G^2(\epsilon) = \tilde{s}^2(\epsilon) = \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n-2} (1)$$

$$\beta_{yx} = r \cdot \frac{s_y}{s_x}$$

### איור 3.

המחווון לבחירת יישומון ובחינת התאמתו



פיתוח המחווון והנגשתו למורים טומנים בחובם מסר עיקרי: בחירת יישומונים מתאימים הינה משימה מורכבת, התלויה במגוון מאפייני מורה, כיתה וטכנולוגיה, ולא ניתן להמליץ על אוסף יישומונים אחד שיתאים לכל מורה בכל מצב. למה הדבר דומה? להחלטה לגבי רכישת מכונית. ההנחה המקובלת היא שאין מכונית אחת שמתאימה לכולם. עם זאת, ניתן בהחלט להמליץ על דרך הגיונית לבחור איזו מכונית לרכוש. הדרך ההגיונית היא לענות תשובות למספר שאלות שסייעו לבחור בין שלל האפשרויות; למשל: מהו ייעודו העיקרי של הרכב? כמה קילומטרים הוא צפוי לצבור בשנה? כמה אנשים צפויים לנסוע ברכב בשגרה? איזו רמת בטיחות תספק אותך? מהו התקציב? שאלות אלו קשורות למאפייני הרכב, הנוסעים והשימושים, והן מסייעות בצמצום האפשרויות ומובילות לבחירה מושכלת. באופן דומה, בבחירת יישומונים לשימוש ברצף ההוראה,

קצב הלמידה, רמת ידע, סגנון למידה ואת מאפייני היישומון כגון: מטרת היישומון, רמת הקושי שלו, מיומנויות ואסטרטגיות נדרשות, אופי הגרפיקה ורמת האינטראקטיביות שלו.

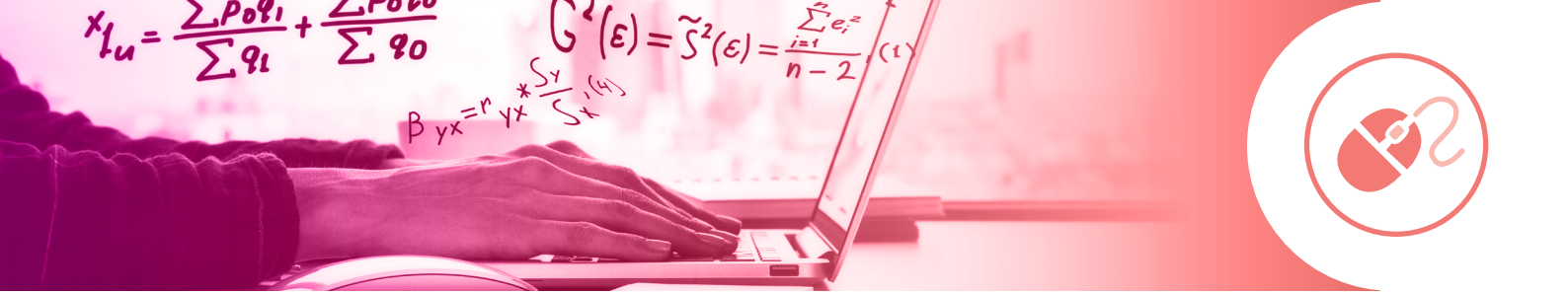
2. **תזמון.** מתי יופעל היישומון? בממד זה יש לקחת בחשבון את משך הפעילות ואת השילוב המצופה ברצף ההוראה, ברמת המקור - ברצף השיעורים, וגם ברמת המיקרו - בתוך השיעור: הטרמה, הקנייה, תרגול, הערכה, ריענון, וכדומה.
3. **מינון.** בממד זה נשאלת השאלה, כמה יישומונים לבחור?
4. **אופן השימוש.** איך להשתמש ביישומון? בממד זה יש לזהות את אמצעי הקצה העומדים לרשות המורה והתלמידים, את מקומות הלימוד (כיתה, חדר מחשבים, בית), את דרכי הלימוד (יחידני, בזוגות, בקבוצות), את מטרת השימוש ביישומון ואת רמת התיווך הנדרשת.

בכל אחד מן הממדים הללו, המחווון שפיתחנו מאפשר למורים בחירה של יישומונים שיתאימו לצרכיהם בצורה מיטבית. חלק מן המאפיינים אליהם מתייחסים המורים בתהליך הזה הם ערכים קבועים המוגדרים מראש, לדוגמה, שכבת גיל; חלקם הם ערכים סטטיסטיים שעשויים להיות מחושבים על ידי מערכת היישומונים, לדוגמה, רמת קושי או מידת פופולריות; וחלקם מוגדר על ידי המורים, על פי שיקוליהם השונים והיכרותם עם כיתת היעד, לדוגמה, רמת הלומד. בסופו של שלב זה, נמצאת בידי המורים קבוצה מצומצמת של יישומונים מתאימים.

השלב השלישי של הפעלת המחווון מוגדר כקבלת תוצרים ובחינת מאפיינים. מבין היישומונים שנמצאו כמתאימים בשלב הקודם, צריכים המורים לבחור את אלו שמתאימים להם ביותר.

לבסוף, בשלב הרביעי והאחרון בתהליך, המורים מגיעים לצומת דרכים בה הם צריכים לקבל את ההחלטה: האם לבחור ביישומונים אלו, או שמא עליהם לחזור לשלבים השני והשלישי ולבחון מחדש את היישומונים השונים. המחווון מובא באיור 3.





הניסויים עסקו בנושא שברים והתרגילים הותאמו לכל שכבת גיל בנפרד.

מניתוח הנתונים עלה כי לא נמצאו הבדלים בהישגים במשימות המאוחרות בין שתי קבוצות הניסוי, בכל אחד מן הניסויים. עם זאת, עלה הבדל משמעותי בין האופן בו התאים האלגוריתם את מסלול הלמידה לכל תלמיד, מבחינת התכנים והסדר שלהם לבין האופן בו התאימה אותו המורה המומחית. הבדל זה נוגע לאופן בו מסודרות המשימות בתוך המסלול המותאם-אישי; כאשר בחנו עד כמה התקשו התלמידים בפועל בביצוע המשימות, מצאנו שהאלגוריתם סידר את השאלות בסדר קושי עולה וכי המורה המומחית לא בהכרח סידרה אותן כך. כמוכן, היא לא עשתה זאת ככוונה, אלא שלא היו בידיה הכלים להעריך את מידת הקושי שאינה קשורה לנושאי הלימוד הספציפיים בכל יישומון. כאשר סידור היישומונים על ידי המורה תאם את מידת הקושי שלהם, התלמידים בקבוצת המורה הצליחו במשימות טוב יותר מאשר התלמידים בקבוצת האלגוריתם. כלומר, למורה היו תובנות לגבי מידת הידע של התלמידים שלא בהכרח היו בידי האלגוריתם.

חשוב להדגיש כי ההתאמות האישיות שעשה האלגוריתם יצרו בפועל תהליך למידה, כפי שהעלה ניתוח מדויק של התנהגויות התלמידים בקבוצת האלגוריתם לאורך ביצוע המשימות; כלומר, ביצוע התלמידים השתפרו לאורך התהליך. בהתחשב בכך שלאלגוריתם היו נתונים היסטוריים על הביצועים במערכת אך לא היו לו נתונים על אודות הידע של משימות הפוסט, עולה כי האלגוריתם וגם הגורמים האנושיים הכינו בהצלחה את התלמידים למשימות הפוסט, אם כי בדרכים שונות (Cohen et al., 2021).

כפי שהעלו ניתוחי ההמשך, מידת הקושי לפעול ביישומון נבעה גם מן הממשק הגרפי שלו. ואכן, כאשר בניסוי השני התייחס צוות המומחים לנושא זה בעת בניית מסלול הלמידה, ניכר היה שהתלמידים ששייכו לקבוצת המומחים פתרו את היישומונים המאתגרים-ממשקית בזמן קצר יותר, בהשוואה לתלמידים בקבוצת האלגוריתם. השפעתו של הממשק הגרפי הודגשה כבר למעלה.

לא ניתן להמליץ על ה"מה?", אך אפשר בהחלט להמליץ על ה"איך?". אנו ממליצים למורים להשתמש במחונן כדי להתאים לעצמם את היישומונים המתאימים ביותר לשימושם ברצף ההוראה בהקשר המסוים בו הם מעוניינים לבחור יישומון.

### 2.2.2. התאמת מסלולי למידה אישיים (שאלת מחקר 2.2)

ידוע שהתאמה אישית של מסלול הלמידה, בהתאם ליכולותיהם של כל תלמיד או תלמידה, היא הפרקטיקה הרצויה שאינה מצויה, וכי שימוש בסביבות למידה מבוססות-מחשב עשוי לגשר על הפער הזה (Corbett, 2001). אך עדיין, עולה השאלה האם תוכנת מחשב יכולה להתאים מסלול אישי ללמידה טוב יותר מגורם אנושי.

כדי לענות על שאלה זו, ערכנו שני ניסויים מבוקרים בקרב שכבות ד'-ו' בשני בתי ספר (Hershkovitz et al., 2019). הניסוי הראשון נערך בבית ספר ממ"ד בעיר גדולה בצפון הארץ (N=46 תלמידי שכבת ד', N=31 תלמידי שכבת ה', חורף 2018/19), הניסוי השני נערך בבית ספר ממלכתי בעיר באזור השרון (N=70 תלמידי שכבת ד', N=65 תלמידי שכבת ו', אביב 2019). בניסויים אלו, ניסינו לטייב את מסלול הלמידה של תלמידים, ובתוך כך השוונו בין המלצות להתאמה אישית של אלגוריתם חכם שפיתחנו ושמבוסס על רשת נוירונים (neural network) לבין המלצות מומחים; במקרה הראשון, ההמלצות היו של מורה בעלת ניסיון רב בשילוב יישומונים בהוראת המתמטיקה ביסודי, במקרה השני, ההמלצות היו של צוות המחקר, שמורכב ממומחים בחינוך מתמטי ובשילוב טכנולוגיה בלמידה.

שני הניסויים נוהלו באופן דומה. התלמידים קיבלו משימות זהות לביצוע (pre). לאחר מכן, חולקו באופן אקראי לשתי קבוצות ניסוי; קבוצה אחת קיבלה המלצות למסלול למידה של יישומונים מבוססות-אלגוריתם, והקבוצה השנייה קיבלה המלצות מבוססות-אדם. לסיים, קיבלו כל התלמידים סט נוסף של משימות זהות (post). בניסוי הראשון, המשימות המוקדמות והמאוחרות (pre/post) ניתנו באמצעות תרגילים מודפסים על נייר; בניסוי השני המשימות ניתנו באמצעות יישומונים במערכת. שני



$$x_{1u} = \frac{\sum p_0 q_1}{\sum q_1} + \frac{\sum p_0 q_0}{\sum q_0}$$
$$G^2(\epsilon) = \tilde{S}^2(\epsilon) = \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n-2} \quad (1)$$
$$\beta_{yx} = r_{yx} \frac{s_y}{s_x}$$

ולסיפור המסגרת שביישומן. המורה נסמכת על הפלטפורמה המשחקית האינטראקטיבית שביישומן על מנת לבסס עקרונות מתמטיים מופשטים או מושגים. לצד ההדגמה ומתן הסבר, השימוש בסביבה המשחקית מספק גם מסגרת סיפורית שעשויה לתרום למוטיבציה של התלמידים להתמיד בביצוע הפעילות המתמטית. לאחר ההתנסות במשחק, מורים מזמנים לתלמידים פעילות חקר המרחיבה את המושגים והעקרונות המתמטיים שביישומן. לדוגמה, המורה יכולה לבקש מהתלמידים להוסיף לדרך הפתרון שהוצגה במשחק, דרכי פתרון נוספות, להכניס אילוצים נוספים אשר יהפכו את הסיטואציה המתמטית שהוצגה במשחק למורכבת יותר, או לבקש מהתלמידים לחבר חידה ברוח הפעילות שהוצגה במשחקון. המעבר מיישום ההתנסות המתמטית בסביבה הדינמית הממוחשבת ליישום דומה בסביבה סטטית, כדוגמת מחברת, מגדיל אצל הלומד את העומס הקוגניטיבי, מעלה את מורכבות המשימה ומאלץ את התלמיד לשקול מה תהיה תוצאת הפעילות המורכבת, ברמת חשיבה תהליכית. אם במהלך פעילות זו התלמידים נדרשים ליישם רמות חשיבה גבוהות של אנליזה וסינתזה, אזי המשימה תתאפיין כמשימה מסוג חיפוש פתוח.

**2. הדגמת היישומן בסיום השיעור, לצורך סיכום והערכה.** אם במהלך השיעור המורה זימנה לתלמידים התנסויות שונות סביב רעיון מתמטי ברמות כגון: ברמת הידע, ברמה האלגוריתמית, או בחשיבה מסדר גבוה, הרי שלסיום השיעור המורה תבחר ותזמן התנסות ביישומן ברמת חשיבה אלגוריתמית. כך, יכולה המורה להעריך האם התוכן המתמטי שנלמד מובן לתלמידים, ובמהלך שיח כיתתי המזדמן באמצעות ההתנסות המשותפת היא יכולה לקבל תמונה כללית על מידת ההבנה של התלמידים, ככיתה. הדגמת הפעילות ביישומן תציג לתלמידים את הרעיון שנלמד מנקודת מבט שונה מזו שעסקו בה במהלך השיעור, תוך שימוש בהנפשה, כדי לקשר בין הנושא והיבטיו התהליכיים

### 2.2.3. שילוב ברצף ההוראה בהתאם לתפיסה החינוכית של המורה (שאלת מחקר 2.3)

השילוב של יישומנים מתמטיים ברצף ההוראה תלוי במספר גורמים: בבחירת המורים בהתאם למטרות ההוראה, באילוצים הסביבתיים הנובעים מאמצעי הקצה המצויים ברשות המורים וברשות תלמידיהם ובמרחב בו מתקיים השיעור.

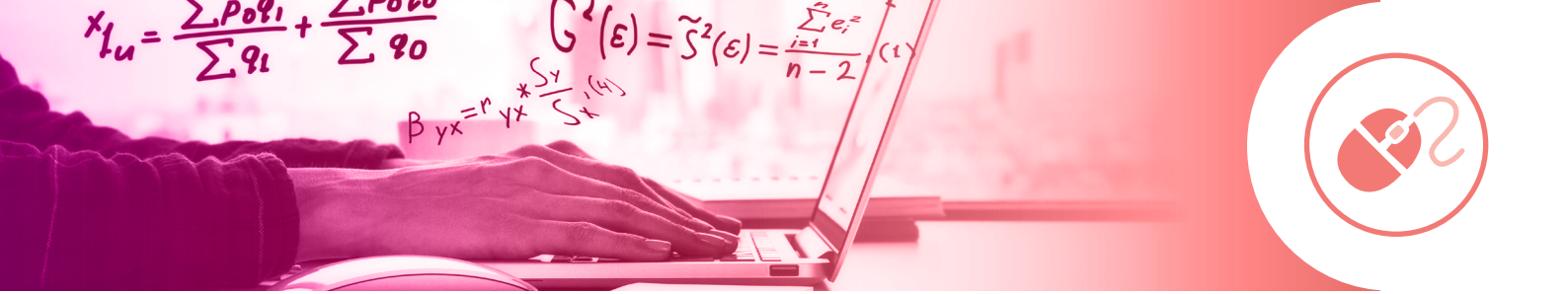
כחלק מהשתלמויות מורים שערכנו, קיימנו דיונים על אפשרויות שונות של שילוב יישומנים במהלך השיעור - בשלב הפתיחה, כחלק מהתרגול או כסיכום לשיעור. כמו כן, בדיונים דנו בשאלה כיצד ניתן להשתמש ביישומן, כדי ליצור דיון כיתתי המאפשר רמת חשיבה גבוהה, אפילו אם במהותו היישומן מתאים לרמת חשיבה נמוכה. דיונים אלו נערכו במטרה לאפשר למורות גמישות באשר לאופני שילוב היישומנים בהתאם לצרכים הפדגוגיים. כל אחת מהמורות שהשתתפה בהשתלמויות תכננה והפעילה לפחות שיעור אחד בו שילבה יישומן ברצף ההוראה שלה.

מניתוח ההפעלות גיבשנו המלצות ליישום יעיל של שימוש ביישומנים מתמטיים ברצף ההוראה (צאיידה & טבח, 2020). ההמלצות מתייחסות לשלושה היבטים: ההקשר בו משולבים היישומנים במהלך השיעור, תפקיד המורה בזמן ההתנסות הלימודית המשלבת שימוש ביישומנים ורמות החשיבה הנדרשות בהתנסות המשלבת יישומנים.

#### **שימוש ביישומן על ידי המורה בלבד במהלך שיעור**

הפעלות יישומנים על ידי המורה בלבד מתאימות למצבים בהם רק למורה יש אמצעי קצה טכנולוגיים, או למצבים בהם המורה מעוניינת בקידום פעילות מחוץ ליישומנים במפגשים מקוונים סינכרוניים.

1. **הדגמת היישומן בפתיחת השיעור, במליאה, כבסיס לדיון ופעילות המשך.** בתחילת השיעור, המורה מציגה בעזרת היישומן רעיון או עיקרון מתמטי שמקבלים בו ביטוי. ההתנסות הזו, שמודגמת לתלמידים על המסך בכיתה או בשיעור מרחוק, מהווה בסיס להתנסות המרכזית בשיעור, שבה התלמידים מתנסים בעשייה מתמטית ברמת חשיבה גבוהה, בזיקה לתוכן המתמטי הספציפי



4. **התנסות ביישומון במסגרת שיעור פרטני.** בשיעור פרטני, המורה מלווה את התלמיד במשך הפעילות ביישומון, מתווכת ומסבירה.

#### 2.2.4. קבלת החלטות מבוססת-נתונים (שאלת מחקר 2.4)

קבלת החלטות בקרב מורים מהווה מאפיין מרכזי של מקצוע ההוראה (Hunter, 1979). לפיכך, קבלת החלטות מבוססת נתונים היא מרכיב חיוני במדיניות החינוך במדינות רבות, מתוך הנחה שהישגי התלמידים ישתפרו אם המורים יקבלו החלטות מושכלות (Carlson et al., 2018; van der Scheer & Visscher, 2011). עם זאת, נמצא כי לרוב, מורים לא מבצעים באופן שיטתי את איסוף הנתונים, אינם מקבלים את החלטותיהם על בסיס הנתונים, ובמקרים רבים מקבלים החלטות על סמך אינטואיציה (van Geel et al., 2016).

השימוש ביישומונים מתמטיים מאפשר למורים לקבל מידע מדויק על פעילות תלמידיהם, בפרט על ידי ניתוח קובצי יומן של המערכת. ניתוח קובצי יומן אינו רק מתודה מחקרית, אלא גם פרקטיקה מקובלת בשדה. סביבות למידה רבות מנגישות מידע מבוסס קובצי יומן למשתמשי המערכת - לומדים ומורים. המידע מונגש אחרי סינון, עיבודו והצגתו בצורה ברורה וזאת על מנת לשקף כלפי חוץ היבטים חשובים על המתרחש בסביבת הלמידה. למה הדבר דומה? ללוח הבקרה ברכב אשר מנגיש לנו מידע חשוב בזמן אמת על המתרחש מתחת למכסה המנוע, כדי שנוכל לדעת כיצד להגיב בהתאם לצורך.

לוחות בקרה של סביבות למידה המכילות אוסף של יישומונים מתמטיים מציגים, בדרך כלל, מידע על ההתקדמות במערכת (אילו יישומונים היו בשימוש במהלך השיעורים?) ועל ההישגים בה. לרוב, הם מאפשרים קבלת מידע ברמת הפרט וברמת הכיתה. לעתים, הם מאגדים מידע ברמת נושא או מיומנות, לדוגמה, ההישג הממוצע של תלמידי הכיתה ביישומונים בנושא שברים. מכיוון שלוחות בקרה הם אמצעי מקובל להנגשת מידע למורים לצורך קבלת החלטות, אנו ביקשנו לבחון את השאלה: כיצד תורם השימוש בלוחות הבקרה של סביבות הלמידה לפיתוחם המקצועי של המורים?

לבין השתקפותו בחיי היומיום. הפעילות ביישומון תדגים גם דרכי פתרון שונות לבעיות בהן עסקו התלמידים.

#### שימוש ביישומון על ידי התלמידים

הפעלות יישומונים על-ידי התלמידים מתאימות למצבים בהם לתלמידים יש אמצעי קצה טכנולוגיים, לשיעורים מקוונים סינכרוניים, או לפעילות מקוונת א-סינכרונית.

1. **התנסות ביישומון בתחילת השיעור.** המורה מזמנת לתלמידים התנסות אישית ביישומון, בנושא שעדיין לא נלמד, אך מוודאת שחוסר הידע של התלמידים לא יעכב את ההתנסות ולא יפגע ברמת ההנאה שלהם מהמשחק. בעקבות ההתנסות האישית, המורה מציגה את הנושא הנלמד, ולמעשה מסבירה לתלמידים את המוסכמות המקובלות על הקהילה המתמטית בתחום. היישומון משמש עבור המורה כאמצעי לרתום את סקרנות התלמידים לנושא הנלמד ולבסס אצלם רלוונטיות ללמידה, תוך שהוא מספק הסברים תוך כדי שלבי המשחק.

2. **התנסות ביישומון בסיום השיעור.** המורה מזמנת לתלמידים התנסות אישית ביישומון, אשר עוסק באותם עקרונות מתמטיים שנלמדו בתחילת השיעור. מאחר שהפעילות ביישומון הינה במקרים רבים, מסוג רב ברירה, והתלמידים יכולים לבחור תשובה מבלי לבצע שיקול מתמטי כלל, המורה מבקשת מהתלמידים להסביר את החלטותיהם. כך, התלמידים מונעים לעבור מפעילות שמאופיינת בחשיבה תהליכית לפעילות המתאפיינת בהנמקה.

3. **התנסות ביישומון לצורכי הערכה.** המורה אוספת נתונים על ידע הלומדים בפתרון משימות ברמות חשיבה נמוכות (ידע וזיהוי וחשיבה אלגוריתמית). המידע שנאסף מונגש למורה באמצעות לוח הבקרה של המערכת, והוא מהווה עבורה אמצעי חשוב להערכה מסכמת ומעצבת של התלמידים. המורה יכולה להתייחס בהערכתה לתוכן מתמטי ספציפי, להבין איזו התערבות נחוצה על מנת לבסס ידע ומיומנויות בהם עדיין לא ניכרת שליטה, ולגלות אילו תלמידים זקוקים להתערבות כזו.



$$x_{1u} = \frac{\sum p_{01} q_1}{\sum q_1} + \frac{\sum p_{00} q_0}{\sum q_0}$$
$$G^2(\epsilon) = \tilde{\chi}^2(\epsilon) = \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n-2} (1)$$
$$\beta_{yx} = r \cdot \frac{s_y}{s_x}$$

המורים עושים שימוש בנתונים כדי לקדם את שיטות ההוראה שלהם וכדי לתמוך בתלמידים בהשגת מטרותיהם הלימודיות.

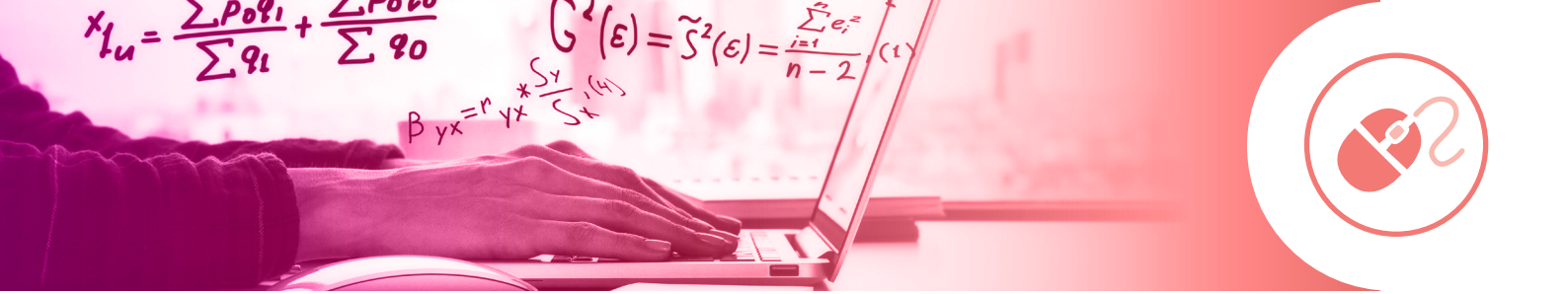
לבדיקת הנושא, ערכנו מחקר משולב, כמותי ואיכותי (Michaeli et al., 2020). המרכיב הכמותי כלל 52 מורים בבתי ספר יסודיים ברחבי הארץ, בעלי ניסיון בשימוש בלוחות בקרה בחינוך; המשתתפים מילאו שאלון מקוון בו נשאלו ישירות על תרומת השימוש בלוח הבקרה בכל אחד מן הממדים שלעיל. המרכיב האיכותי כלל ראיונות עומק עם 9 מורות למתמטיקה בבית ספר יסודי, בעלות ניסיון בעבודה עם סביבות למידה מקוונות; הראיונות עסקו באופן בו מבינות המורות המשתתפות את המידע המוצג להן בלוחות בקרה.

מצאנו כי השימוש בלוח הבקרה תרם באופן מובהק, להתפתחותם המקצועית של המורים בעיקר בממד המעצב. כלומר הוא מסייע להם לעצב פעילויות למידה לטובת קידום כלל התלמידים. לעומת זאת, השימוש של המורים בלוח הבקרה בהיבטים של מסייע ומנתח סייע פחות לקדם את השימוש בטכנולוגיה ובנתונים לקידום ההוראה שלהם והלמידה של תלמידיהם. בממדים האחרים נרשמה תרומה נמוכה יותר. עוד מצאנו כי תחושת ההתפתחות המקצועית הייתה גבוהה יותר ככל שמשך השימוש בלוח הבקרה היה גבוה יותר, גם אצל מורים מבוגרים בעלי ניסיון מועט בשימוש בלוח הבקרה. מניתוח הראיונות, עולים מספר ממצאים חשובים: תחילה, המורות המשתתפות הביעו עניין לקבל מידע מפורט ורחב על פעילות תלמידיהן בסביבת הלמידה המקוונת. הן רוצות לקבל נתונים מפורטים ברמת התלמידים, לדוגמה, אילו טעויות עשו, כמה נקודות קיבלו בכל שאלה ומהם ההישגים שלהם בתת-נושאים של נושאי הלימוד. המורות ציינו שאם הן תקבלנה את הנתונים הנ"ל, לוח הבקרה יקל עליהן את עבודתן.

כאשר הצגנו בפני המורות מידע במספר סוגים של תרשימים שכיחים, התקשו המשתתפות בהבנת תרשימי פיזור. גם הבנתו של מידע שהוצג בטבלה לקתה בחסר. לא נרשם קושי בהבנת תרשימי עמודות. ממצאים אלו תואמים ממצאים קודמים המצביעים על קשיים בהבנת מידע המוצג בתרשימי פיזור (Pandey et al., 2016)

לשם כך, התבססנו על המסגרת של האגודה הבינלאומית לטכנולוגיה בחינוך (International Society for Technology in Education), המגדירה סטנדרטים למורים (Trust, 2018). סטנדרטים אלו מתייחסים לתפקיד המורים באופן רחב ביותר ולכן נמצאו מתאימים למחקרנו, הם מהווים מעין מפת דרכים שנועדה לסייע לאנשי חינוך בעבודתם: להעמיק את הניסיון המקצועי, לעבוד בשיתוף פעולה עם עמיתים, לאתגר חשיבה מחדש על גישות לימוד מסורתיות ולהכין את התלמידים ללמידה משמעותית. הסטנדרטים העדכניים למורים מורכבים משבעה ממדים המאפיינים את תפקידיהם באופן הבא:

- **לומד (Learner)** - הממד מתייחס לאופן שבו המורים משפרים את יכולות הוראתם בשטח על ידי למידה מתמדת בשילוב עם גורמים שונים וגם לחקירת שיטות לימוד חדשניות המשלבות טכנולוגיה לשיפור יכולות הלמידה של תלמידיהם.
- **מנהיג (Leader)** - הממד מתייחס לאופן שבו המורים מחפשים הזדמנויות לגילוי מנהיגות שתתמוך בהעצמת תלמידיהם ותשפר את יכולות ההוראה והלמידה שלהם.
- **אזרח (Citizen)** - הממד מתייחס לאופן שבו המורים מחנכים את תלמידיהם לתרומה לעולם הדיגיטלי, לקחת בו חלק פעיל ולנהוג בו באופן אחראי.
- **משתף פעולה (Collaborator)** - הממד מתייחס לאופן שבו מורים פועלים בשיתוף פעולה עם עמיתיהם ותלמידיהם על מנת לשפר את יכולות ההוראה בשטח, לפתח רעיונות מקוריים ולמצוא פתרון לבעיות.
- **מעצב (Designer)** - הממד מתייחס לאופן שבו מורים מעצבים פעילויות מונחות למידה וסביבות למידה אותנטיות המאפשרות זיהוי והכללה של השונות בין התלמידים.
- **מסייע (Facilitator)** - הממד מתייחס לאופן שבו מורים מסתייעים באמצעים טכנולוגיים שמטרתם לתמוך בתלמידים בדרך להישגים.
- **מנתח (Analyst)** - הממד מתייחס לאופן שבו



שילוב זה צריך להיבחן מתוך נקודת מבט כוללת על תהליך ההוראה והלמידה. ישנן דרכים רבות לשלב יישומונים ברצף ההוראה, ועל כל מורה לבחון את הדרכים המתאימות לה ולהעריך את הפעלתן. מומלץ להרחיב את השימוש ביישומונים גם מחוץ למסגרת הזמן הקשיחה של השיעור; כפי שמצאנו, תלמידים מתמידים יותר ומצליחים יותר כשהם פועלים בסביבת הלמידה מחוץ לשעות הלימודים, ולכן שימוש כזה עשוי להיות משמעותי יותר מאשר שימוש בה במהלך שיעורים.

### 3.3. יש לעודד קבלת החלטות מבוססת-נתונים

מומלץ למורים להשתמש במידע מורכב על התנהגויות לומדים ביישומונים על מנת להעריך את השימוש בהם ולקבל החלטות להמשך. מידע זה מוגש בסביבות למידה רבות באמצעות לוחות בקרה. השימוש בלוחות בקרה הופך את המורים לאנשי מקצוע טובים יותר, לכן יש להכשיר את המורים לשימוש בהם, על מנת לשכלל אצלם את היכולת להבין נתונים ומידע המופק מלוחות הבקרה ולעודד את השימוש בהם. למפתחי סביבות למידה אנו ממליצים לשלב מורים בתהליך פיתוחם של לוחות בקרה מתחילתו ועד סופו, על מנת לייעל את הנגשת המידע ואת השימוש הפוטנציאלי בו.

### 4. תודות

מחקר זה נתמך בנדיבות על ידי לשכת המדען הראשי של משרד החינוך, במסגרת פרויקט "שימוש ביישומונים מתמטיים ברצף ההוראה" (חוקרים ראשיים: פרופ' מיכל טבח, ד"ר ארנון הרשקוביץ, ד"ר ענת כהן, פרופ' קובי גל), ואנו מודים מאוד על כך.

### 5. מקורות

- אלמוזלינוס צור, ר. (2019). שילוב סרטוני אנימציה ברצף ההוראה בתחום הדעת מתמטיקה בבית ספר היסודי. אוניברסיטת תל אביב (תל אביב, ישראל).
- מקמיל, א., וכהן, ע. (2019). הערכת מאפייני למידה מתוקשבת ביישומונים מתמטיים המשולבים ברצף ההוראה בכיתה ומחוצה לו. בתוך י. עשת-

ועל העדיפות של תרשים גרפי על פני מידע טבלאי (Reading, 1999).

כאשר ביקשנו מהמורות לחשוב על צעדים מעשיים שהן היו עושות בעקבות צפייה במידע אודות פעילות תלמידיהן בסביבת למידה מקוונת, התייחסו המשתתפות לפעולות ברמת כלל הכיתה, ברמת קבוצות תלמידים וברמת תלמידים אינדיבידואליים. לרוב הן התייחסו להישגים נמוכים ומטרתן המוצהרת הייתה לסייע בהבנת החומר ולהוביל לשיפור הישגים, אם על ידי התאמת הנושאים ורצף ההוראה, או על ידי בניית תוכניות עבודה מותאמות לתלמידים מתקשים.

### 3. המלצות

הממצאים והתובנות מן המחקר רחב היריעה, נוגעים לנושאים רבים הקשורים לשימוש ביישומונים בהוראת המתמטיקה. במבט-על, נובעות מן הממצאים שלוש המלצות עיקריות ואלו הן:

### 3.1. יש להתייחס למגוון שיקולים בעת בחירת יישומונים

מגוון שיקולים מכתבים את אופן השילוב של יישומונים ברצף ההוראה. בעיקר מדובר על מאפייני התלמידים, מאפיינים סביבתיים ואילו צי זמן. מעל אלו, עומדת מטרת הלמידה כפי שהגדירה אותה המורה. זיהוי המאפיינים הנ"ל ובחינתם אל מול מאפייני היישומונים מאפשרים שילוב יעיל של היישומונים. כפי שהצגנו במאמר ובתוצאות המחקר, מספר גורמים צריכים להילקח בחשבון בעת בחירת יישומונים לשימוש ברצף ההוראה ואלו הם: משך העבודה על יישומונים, מידת המעורבות של התלמיד בשימוש בהם ומידת ההצלחה בשימוש זה. הגורמים הנ"ל, משתלבים אלו עם אלו ותלויים, בין היתר, בממשק הגרפי של היישומון, בקוֹשֶׁר בו הוא נטוע וברמת החשיבה שלו.

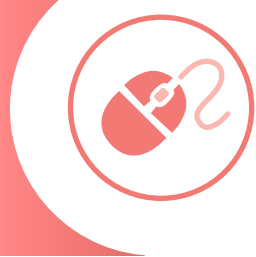
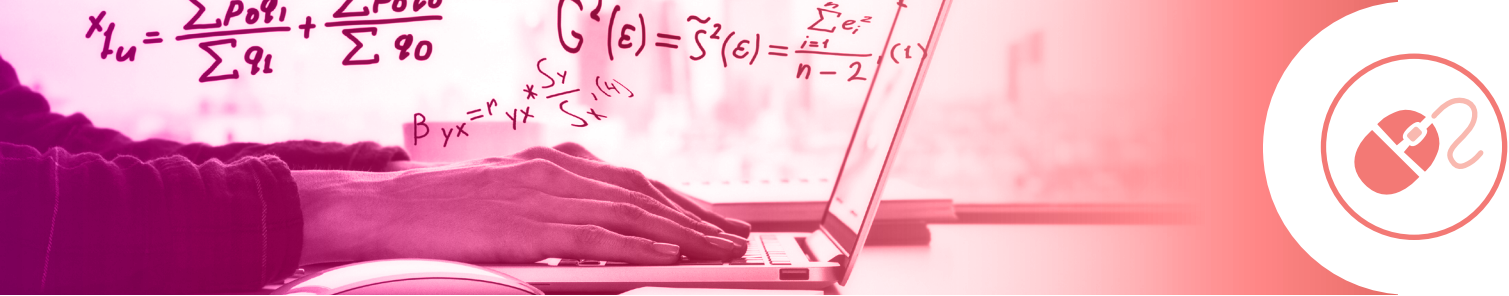
### 3.2. יש להתייחס ליישומונים כמרכיב אחד מני רבים ברצף ההוראה

המטרות החינוכיות של המורה, הן אשר מובילות את שילוב היישומונים המתמטיים ברצף ההוראה. לפיכך,



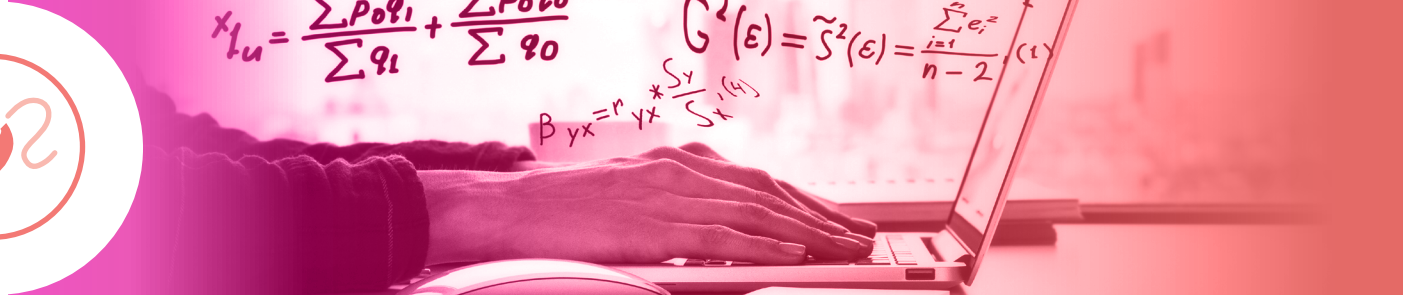
$$x_{1u} = \frac{\sum p_{01} q_{1i}}{\sum q_{1i}} + \frac{\sum p_{00} q_{0i}}{\sum q_{0i}}$$
$$G^2(\epsilon) = \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n-2} (1)$$
$$\beta_{yx} = r \frac{s_y}{s_x}$$

- Achievement. Educational Evaluation and Policy Analysis, 33(3), 378–398. <https://doi.org/10.3102/0162373711412765>
- Cheung, A. C. K., & Slavin, R. E. (2013). The effectiveness of educational technology applications for enhancing mathematics achievement in K-12 classrooms: A meta-analysis. Educational Research Review, 9, 88–113. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2013.01.001>
  - Clarke, D., & Roche, A. (2018). Using contextualized tasks to engage students in meaningful and worthwhile mathematics learning. Journal of Mathematical Behavior, 51(January), 95–108. <https://doi.org/10.1016/j.jmathb.2017.11.006>
  - Cohen, A., Ezra, O., Hershkovitz, A., Tzayada, O., Tabach, M., Levy, B., Segal, A., & Gal, K. (2021). Personalizing mathematical content in educational applets repository: Human teacher versus machine-based considerations. Educational Technology Research and Development, volume 69, 1505–1528.
  - Corbett, A. (2001). Cognitive computer tutors: Solving the two-sigma problem (pp. 137–147). Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/3-540-44566-8\\_14](https://doi.org/10.1007/3-540-44566-8_14)
  - Demir, M. (2013). Online applets in mathematics teaching: The case of linear functions. E-Learn: World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare,..., 352–358.
  - Drijvers, P. (2015). Digital technology in mathematics education: Why it works (or doesn't). Selected Regular Lectures from the 12th International Congress on Mathematical Education, 135–151. <https://doi.org/10.1007/978->
  - אלקלעי, א. בלאו, א. כספי, נ. גרי, י. קלמן, וש. אתגר (עורכים), ספר הכנס הארבעה-עשר לחקר חדשנות וטכנולוגיות למידה ע"ש צ'ייס: האדם הלומד בעידן הטכנולוגי (109–119 pp).
  - משרד החינוך. (2010). ניתוח תוצאות מבחן מיצ"ב במתמטיקה לכיתה ה', דוברי השפה העברית - תשס"ט (טיוטה).
  - צאיידה, א., וטבח, מ. (2020). מעקב אחר מהלכי ההוראה בשיעורי מתמטיקה בבתי ספר יסודיים המשלבים משחקים מתמטיים ממוחשבים. בתוך ר. בסן-צינינטוס, ר. סגל, ונ. חן-חדד (עורכות), כנס ירושלים השמיני למחקר בחינוך מתמטי (30–32 pp).
  - Avital, S., & Shettleworth, S. (1968). Objectives for mathematics learning, some ideas for the teacher. The Ontario Institute for Studies in Education Bulletin, 3.
  - Baker, R., Walonoski, J., Heffernan, N., Roll, I., Corbett, A., & Koedinger, K. (2008). Why students engage in "gaming the system" behavior in interactive learning environments. Journal of Interactive Learning Research, 19(2), 185–224.
  - Barrantes, M., & Blanco, L. J. (2006). A study of prospective primary teachers' conceptions of teaching and learning school geometry. Journal of Mathematics Teacher Education, 9(5), 411–436.
  - Ben-Haim, E., Cohen, A., & Tabach, M. (2019). Types of graphic interface design and their role in learning via mathematical applets at the elementary school. Eleventh Congress of the European Society for Research in Mathematics Education.
  - Carlson, D., Borman, G. D., & Robinson, M. (2011). A Multistate District-Level Cluster Randomized Trial of the Impact of Data-Driven Reform on Reading and Mathematics



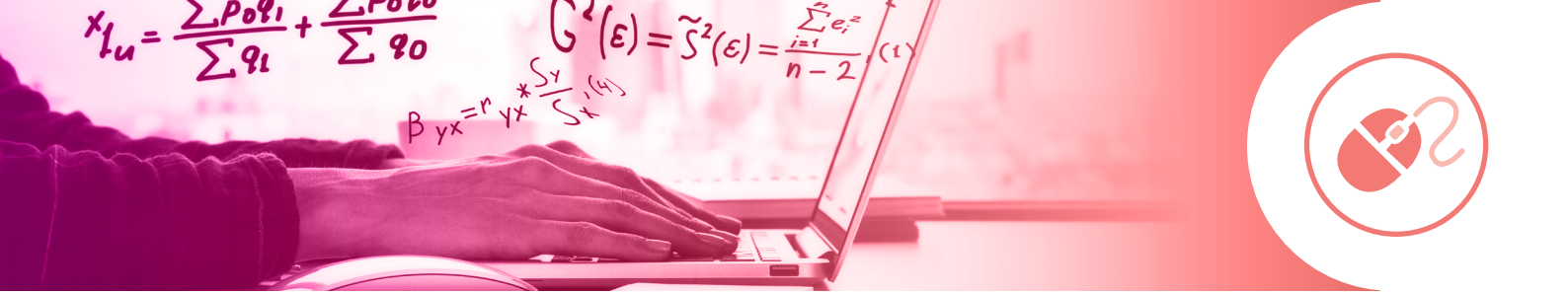
try thinking in learning shapes and spaces: A Q-methodology. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 11(4), 793–802. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2015.1439a>

- Hunter, M. (1979). Teaching is decision making. *Educational Leadership*, 37(1), 62–64.
- IMS Global Learning Consortium. (2006). IMS meta-data best practice guide for IEEE 1484.12.1-2002 standard for learning object metadata version 1.3 final. [https://www.ims-global.org/metadata/mdv1p3/imsmd\\_best-v1p3.html](https://www.ims-global.org/metadata/mdv1p3/imsmd_best-v1p3.html)
- Kalyuga, S., Chandler, P., & Sweller, J. (2000). Incorporating learner experience into the design of multimedia instruction. *Journal of Educational Psychology*, 92(1), 126–136. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.92.1.126>
- Kapon, S., Halloun, A., & Tabach, M. (2019). Incorporating a digital game into the formal instruction of algebra. *Journal for Research in Mathematics Education*, 50(5), 555–591. <https://doi.org/10.5951/jresmethed-uc.50.5.0555>
- Lang, C., Siemens, G., Wise, A., & Gasevic, D. (Eds.). (2017). *Handbook of Learning Analytics*. Society for Learning Analytics Research (SoLAR). <https://doi.org/10.18608/hla17>
- Laurens, T., Batlolona, F. A., Batlolona, J. R., & Leasa, M. (2018). How does realistic mathematics education (RME) improve students' mathematics cognitive achievement? *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(2), 569–578. <https://doi.org/10.12973/ejmste/76959>
- Michaeli, S., Kroparo, D., & Hershkovitz, A. (2020). View of teachers' use of education dashboards and professional growth. *The In-*
- Drijvers, P., Doorman, M., Boon, P., Reed, H., & Gravemeijer, K. (2010). The teacher and the tool: Instrumental orchestrations in the technology-rich mathematics classroom. *Educational Studies in Mathematics*, 75(2), 213–234. <https://doi.org/10.1007/s10649-010-9254-5>
- Grimm, K. J. (2008). Longitudinal associations between reading and mathematics achievement. *Developmental Neuropsychology*, 33(3), 410–426. <https://doi.org/10.1080/87565640801982486>
- Haleva, L., Hershkovitz, A., & Tabach, M. (2021). Students' activity in an online learning environment for mathematics: The role of thinking levels. *Journal of Educational Computing Research*, 59(4), 686–712. <https://doi.org/10.1177/0735633120972057>
- Heath, G. D. (2002). Using applets in teaching mathematics. *Mathematics & Computer Education*, 36(1), 43–52.
- Hershkovitz, A., Tzayada, O., Ezra, O., Cohen, A., Tabach, M., Levy, B., Segal, A., & Gal, K. (2019). Can an algorithm prepare students for tasks without knowing what the tasks are? *Proceedings - 6th Annual Conference on Computational Science and Computational Intelligence, CSCI 2019*, 754–759. <https://doi.org/10.1109/CSCI49370.2019.00143>
- Hershkovitz, R., Tabach, M., & Dreyfus, T. (2017). Creative reasoning and shifts of knowledge in the mathematics classroom. *ZDM - Mathematics Education*, 49(1), 25–36. <https://doi.org/10.1007/s11858-016-0816-6>
- Hock, T. T., Tarmizi, R. A., Aida, A. S., & Ayub, A. F. (2015). Understanding the primary school students' van Hiele levels of geome-



- (2015). Use of multimedia case studies for teaching acoustics. *Journal of Engineering and Architecture*, 3(2), 2334–2994. <https://doi.org/10.15640/jea.v3n2a19>
- Reading, C. (1999). Understanding data tabulation and representation. *Proceedings of the 23rd Conference of the International Group for the Psychology of Mathematics Education (Volume 1)*, 97–104.
  - Rodd, M. (2013). Teacher visualisation loss mid explanation: an issue when teaching geometry Melissa Rodd. 33(November), 49–54.
  - Sarama, J., Lange, A. A., Clements, D. H., & Wolfe, C. B. (2012). The impacts of an early mathematics curriculum on oral language and literacy. *Early Childhood Research Quarterly*, 27(3), 489–502. <https://doi.org/10.1016/J.ECRESQ.2011.12.002>
  - Trust, T. (2018). 2017 ISTE Standards for Educators: From teaching with technology to using technology to empower learners. *Journal of Digital Learning in Teacher Education*, 34(1), 1–3. <https://doi.org/10.1080/21532974.2017.1398980>
  - Uwurukundo, M. S., Maniraho, J. F., & Tusiime, M. (2020). GeoGebra integration and effectiveness in the teaching and learning of mathematics in secondary schools : A review of literature. In *African Journal of Educational Studies in Mathematics and Sciences (Vol. 16, Issue 1)*. <https://doi.org/10.4314/ajesms.v16i1.1>
  - van der Scheer, E. A., & Visscher, A. J. (2018). Effects of a data-based decision-making intervention for teachers on students' mathematical achievement. *Journal of Teacher Education*, 69(3), 307–320. <https://doi.org/10.1177/0022487117704170>
  - International Review of Research in Open and Distributed Learning, 21(4). <http://www.irrodl.org/index.php/irrodl/article/view/4663/5416>
  - Monroe, E. (1996). Language and mathematics: A natural connection for achieving literacy. *Reading Horizons*, 36(5), 368–379. [https://scholarworks.wmich.edu/reading\\_horizons/vol36/iss5/1](https://scholarworks.wmich.edu/reading_horizons/vol36/iss5/1)
  - Murayama, K., Pekrun, R., Lichtenfeld, S., & vom Hofe, R. (2013). Predicting long-term growth in students' mathematics achievement: The unique contributions of motivation and cognitive strategies. *Child Development*, 84(4), 1475–1490. <https://doi.org/10.1111/cdev.12036>
  - Nakash-stern, G., & Cohen, A. (2019). Developing MAP for integrating mathematical applets in teaching sequence. *Eleventh Congress of the European Society for Research in Mathematics Education*.
  - OECD. (2015). *Students, computers and learning: Making the connection (PISA)*. OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264239555-en>
  - Pandey, A. V., Krause, J., Felix, C., Boy, J., & Bertini, E. (2016). Towards understanding human similarity perception in the analysis of large sets of scatter plots. *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 3659–3669.
  - Pekrun, R., Lichtenfeld, S., Marsh, H. W., Murayama, K., & Goetz, T. (2017). Achievement emotions and academic performance: Longitudinal models of reciprocal effects. *Child Development*, 88(5), 1653–1670. <https://doi.org/10.1111/cdev.12704>
  - Rajan, P., Raju, P. K., Sankar, C., Alur, R., Sankar, C. S., & Ramachandraiah, & A.





- van Geel, M., Keuning, T., Visscher, A. J., & Fox, J. P. (2016). Assessing the Effects of a School-Wide Data-Based Decision-Making Intervention on Student Achievement Growth in Primary Schools. *American Educational Research Journal*, 53(2), 360–394. <https://doi.org/10.3102/0002831216637346>
- Weibel, S. L., & Koch, T. (2000). The Dublin core metadata initiative: Mission, current activities, and future directions. *D-Lib Magazine*, 6(12). <https://doi.org/10.1045/december2000-weibel>
- Xie, K., & Bradshaw, A. C. (2008). Using question prompts to support ill-structured problem solving in online peer collaborations. *International Journal of Technology in Teaching and Learning*, 4(2), 148–165. <https://www.researchgate.net/publication/228901981>
- Zainuddin, Z., Chu, S. K. W., Shujahat, M., & Perera, C. J. (2020). The impact of gamification on learning and instruction: A systematic review of empirical evidence. *Educational Research Review*, 30. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100326>



$$x_{1u} = \frac{\sum p_{01} q_{1i}}{\sum q_{1i}} + \frac{\sum p_{00} q_{0i}}{\sum q_{0i}}$$

$$G^2(\epsilon) = \tilde{S}^2(\epsilon) = \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n-2} \quad (1)$$
$$\beta_{yx} = r_{yx} \frac{s_y}{s_x}$$

