

המחלקה למדעי המחשב

דו"ח פרויקט גמר

לימוד אדפטיבי של
חשבון לכיתות ג'

Adaptive Learning
of arithmetic
for third grades

MATH EXPERT



מגישים:

רועי מרקוביץ'

דמיטרי אינקה

שם המנחה: ד"ר דינה גורן-בר

תאריך ההגשה: 10/04/2022

תודות

ברצוננו להודות לד"ר דינה גורן-בר על הנחייתה, תמיכתה והסבלנות. קיבלנו הנחיה מקצועית ומלמדת לאורך כל תקופת הפרויקט בדגש על השאיפה למצוינות ואיכות.

נבקש להודות אחד לשני על עזרה הדדית, אוזן קשבת, סבלנות, מקצועיות והתמדה ממושכת - גם כשקשה. היה לנו כיף לעשות יחד את הפרויקט. למדנו הרבה אחד מהשני.

תקציר מנהלים

הפרויקט בוחן את הפוטנציאל של לימוד חשבון בישראל בשיטת לימוד אדפטיבי. בדקנו נתונים ופרסומים אודות הישגי תלמידי ישראל במתמטיקה והבנת הנקרא. למדנו כי ההישגים נמצאים בשפל ובירידה מתמשכת, גם בהשוואה למדינות אחרות.

הגענו למסקנה שההישגים הנמוכים נובעים ישירות מהעובדה שאופן העברת ולימוד החומר בבתי הספר לא השתנה עם השנים, בניגוד לתלמידים והטכנולוגיה שכן השתנו. התלמידים של היום שייכים לדור האלפא ולכן יש לעדכן את אופן הלימוד בהתאם לכך.

ביצענו סקירת ספרות מעמיקה סביב הנושא לימוד אדפטיבי. בעקבות הסקירה החלטנו לשלב בפרויקט אלמנטים מרכזיים של לימוד אדפטיבי. בין אלמנטים אלו נמנים ביצוע התערבות ברמת המיקרו וניהול פרופילים מדויקים של הלומדים (שמירת רמות ואחוזי התאמה לסגנונות לימוד, חלוקת תרגילים לקטגוריות ועוד). מכיוון שקהל היעד של הפרויקט הם ילדים בכיתה ג', החלטנו לשלב גם אלמנטים של משחק.

לאחר סיום סקירת הספרות ביצענו סקר שוק. סקרנו חמישה מתחרים מישראל ובעולם. הגענו למסקנה כי במערכות של המתחרים חסרים אלמנטים מרכזיים של לימוד אדפטיבי ושכיום לא קיימת מערכת בשפה העברית ללימוד אדפטיבי של חשבון והבנת הנקרא בישראל.

בשלב הבא ביצענו תכנון מפורט של מערכת הלימוד האדפטיבי שפיתחנו. החלטנו לכלול ארבעה אלגוריתמים עיקריים: הראשון הוא "המאבחן". האלגוריתם אחראי על ניהול שאלון סגנונות לימוד ומבדק רמה שיוצגו ללומד חדש במערכת. השני הוא "פרופיל הלומד". האלגוריתם אחראי על ניתוח תוצאות השאלון, המבדק ופעילות הלומד השוטפת במערכת. השלישי הוא "החונך". האלגוריתם אחראי על התקשורת מול הלומד וקביעת סגנון הלימוד בו יוצגו התרגילים. הרביעי הוא "המומחה". האלגוריתם אחראי על בחירת סט התרגילים המתאימים ביותר לרמת הלומד. בנוסף כללנו חמישה אלמנטים של משחק: מערכת ניקוד, משוב בונה בזמן אמת, מסגרת זמן מענה, פיצול החומר ליחידות קטנות ועיקרון ההדרגתיות.

לאחר מיכן עברנו לשלב פיתוח המערכת. התוצר שהתקבל הינו POC למערכת לימוד אדפטיבי של חשבון לכיתות ג'. התוצר נכתב באמצעות שפת התכנות Python בהתממשקות מול בסיס נתונים MongoDB.

בצעד הבא, ביצענו הערכה של הפרויקט. ערכנו ניסוי בהשתתפות של 11 תלמידים בכיתה ג' שהשתמשו במערכת שלנו וגם במערכת של אחד המתחרים שסקרנו. תוצאות הניסוי הם שקיים פער של 10.6% בהצלחת התלמידים לטובת השימוש במערכת שפיתחנו. בנוסף לכך קיימים פערים של 18.18% עד 23.64% בחוויית השימוש לטובת המערכת שפיתחנו. התוצאות מראות שעמדנו במדדים שהוגדרו בתחילת הפרויקט.

תוצאות הניסוי מהוות חותם להצלחת ה- POC והשרישו בנו את התובנה שקיים פוטנציאל משמעותי בלימוד חשבון בישראל בשיטת לימוד אדפטיבי.

Executive Summary

The project examines the potential of teaching arithmetic in Israel using an adaptive learning method.

We examined data and publications about students' achievements in mathematics and reading comprehension in Israel. We have learned that achievements are at a low and steady decline, even compared to other countries.

We have concluded that the low achievements are directly because the manner of transferring and teaching the material in the schools has not changed over the years, but the students and the technology have indeed changed. Today's students belong to the alpha generation and therefore the mode of teaching should be updated accordingly.

We conducted an in-depth literature review around the topic of adaptive learning. Following the review, we decided to incorporate key elements of adaptive learning in the project. These elements include performing micro-level intervention and managing precise profiles of learners (maintaining levels and percentages of adaptation to learning styles, dividing exercises into categories, etc.). Since the target audience of the project are children in third grade, we decided to incorporate elements of gamification as well.

After reviewing the literature, we conducted a market survey. We surveyed five competitors from Israel and around the world. We have concluded that the competing systems lack key elements of adaptive learning and that today there is no system in the Hebrew language for adaptive learning of arithmetic and reading comprehension in Israel.

Next, we performed a detailed design of the adaptive learning system we developed. We decided to include four main algorithms: the first is the "examinator". This algorithm is responsible for managing a learning styles questionnaire and a level quiz that will be presented to a new learner in the system. The second is the "learner profile". This algorithm is responsible for analyzing the results of the questionnaire, the quiz, and the ongoing learner activity in the system. The third is the "tutor". This algorithm is responsible for communicating with the learner and determining the learning style in which the exercises will be presented. The fourth is the "expert". This algorithm is responsible for composing the set of exercises most appropriate for the learner level. In addition, we included five elements of gamification: a scoring system, constructive

feedback in real time, a response time frame, splitting the material into small units and the principle of gradation.

After that we moved on to the system development phase. The resulting product is a POC for an adaptive learning system of third-grade arithmetic. The product is written using the Python programming language interfacing with MongoDB database.

In the next step, we performed an evaluation of the project. We conducted an experiment with the participation of 11 third graders who used our system and the system of one of the competitors we reviewed. The results of the experiment are that there is a gap of 10.6% in the success of the participators in favor of using the system we developed. In addition, there are gaps of 18.18% to 23.64% in the user experience in favor of using the system we developed. The results show that we met the indices set at the beginning of the project.

The results of the experiment are a sign for the success of the POC, they have strengthened in us the insight that there is significant potential in teaching arithmetic in Israel using the adaptive learning method.

תוכן עניינים

8	מילון מונחים
9	1. מבוא
9	1.1. המוטיבציה לפרויקט
12	1.2. תיאור הבעיה והצגת הצורך
13	1.3. מטרות ויעדים
13	1.3.1. מטרות
13	1.3.2. יעדים
14	2. סקירת ספרות
20	3. סקר שוק
20	3.1. אפליקציית "אלברט"
21	3.2. אפליקציית "חשבון לכיתה ב"
22	3.3. אתר "Office Fun"
23	3.4. לומדת Adapted Mind
24	3.5. Reflex Math
25	3.6. סיכום השוואת מתחרים
25	3.7. מסקנות
26	4. חלופות לפיתוח האלגוריתמים
26	4.1. אלגוריתמים מבוססי למידת מכונה (Machine Learning)
26	4.2. אלגוריתמים מבוססי עצי החלטה (Decision Trees)
26	4.3. אלגוריתמים מבוססי לוגיקה מטושטשת (Fuzzy Logic)
27	4.4. החלופה הנבחרת – עצי החלטה (Decision Trees)
28	5. ארכיטקטורה
30	6. נתונים ועקרונות עיקריים במערכת
32	7. תיאור האלגוריתמים
32	7.1. המאבחן
33	7.2. פרופיל הלומד
36	7.3. החונך
37	7.4. המומחה
38	8. תיאור התוצר

38	8.1 מחלקות ופונקציות מרכזיות
42	8.2 בסיס הנתונים
45	8.3 הנחיות להרצת התוכנית
46	8.4 תיאור הזרימה של הרצת האלגוריתמים
55	9 הערכה
55	9.1 Data Set
55	9.1.1 תיאור ומבנה ה- Data Set
55	9.1.2 פעולות שבוצעו על ה- Data Set
56	9.2 מדדים
56	9.3 אופן הבדיקה
57	10 תוצאות
62	11 סיכום ומסקנות
63	12 ביבליוגרפיה
64	13 נספחים
64	נספח א' – מבדק לאחר שימוש באפליקציה המתחרה
65	נספח ב' – מבדק לאחר שימוש במערכת שפיתחנו
66	נספח ג' – שאלון חווית שימוש

מילון מונחים

שם המונח	תיאור המונח
מבחני מיצ"ב	מדדי יעילות וצמיחה בית-ספרית. אלו מבחנים שנערכים בבתי ספר בישראל ובוחנים את בקיאות התלמידים בחומר הנלמד במקצועות מדע וטכנולוגיה, שפת אם (עברית או ערבית), מתמטיקה ואנגלית. המבחנים מתקיימים אחת לשנה בכיתות ה' ו-ח'.
מבחני פיז"ה (PISA)	מבחן הנערך כחלק ממחקר בינלאומי בתחום החינוך, המתקיים אחת לשלוש שנים, מאז שנת 2000. המחקר נערך ע"י מנהל החינוך של ארגון ה-OECD. במסגרת המחקר נבחנים בני נוער שגילם 15–16 בקריאה, מתמטיקה ומדעים.
OECD	הארגון לשיתוף פעולה ולפיתוח כלכלי. בארגון חברות 38 מדינות, בהן ישראל.
לימוד אדפטיבי - Adaptive Learning	שיטה חינוכית המשתמשת באלגוריתמים ממוחשבים כמו גם בבינה מלאכותית, כדי לתזמן את האינטראקציה עם הלומד ולהעביר את חומר הלימוד ע"י פעילויות לימוד מותאמות אישית, כדי לתת מענה לצרכים הייחודיים של כל לומד.
משחק - Gamification	שימוש בטכניקות עיצוב משחקים על מנת לשפר הקשרים לא-משחקיים, במטרה לעודד את המשתמשים לבצע מטלות שהם בדרך כלל תופשים כמשעממות. הטכניקה מבוססת על ניצול הנטייה הפסיכולוגית של בני אדם לעסוק במשחקים.
דור האלפא - Generation Alpha	דור האלפא מוגדר כקבוצת האנשים שנולדו החל משנת 2010. אנשים אלו נולדו אל ומושפעים מהסביבה הדיגיטלית. טכנולוגיה היא חלק מחיי היום-יום שלהם.
התאמת סגנון הלימוד ורמת הלומד	בשביל שמערכת לימוד אדפטיבי תהיה מוצלחת, היא צריכה לתחזק ולהקים פרופילים מדויקים של הלומדים תוך התחשבות בתכונות אישיות, מיומנויות, רמות ידע, וסגנונות לימוד מועדפים.
התערבות ברמת המיקרו	כדי לשמור על רמת מוטיבציה גבוהה והתאמה אישית, יש לבצע בזמן הלימוד התערבות ברמת המיקרו. התערבות שכזו יכולה להתבצע באמצעות רמזים, הצעות, אזהרות או משוב. על המערכת לעקוב ולנתח את פעילות הלומד ובהתאם לביצועיו להחליט איזה סוג התערבות לבצע ומתי.

1. מבוא

בפרק זה נציג את המוטיבציה לפרויקט, תיאור הבעיה, הצגת הצורך, מטרות ויעדים.

1.1. המוטיבציה לפרויקט

מהפרסומים הבאים בעיתונות ניתן להיווכח כי הישגי התלמידים במדינת ישראל נמצאים בשפל של כל הזמנים – גם בהשוואה להישגי התלמידים בשאר המדינות.

הערה: הפרסומים הינם עדכניים משנת 2020.

47 במדעים, 57 במתמטיקה: נחשפים הציונים המביכים של תלמידי ישראל במיצ"ב

בעשור האחרון גדל תקציב החינוך ביותר מ-30 מיליארד שקל - אבל ממוצע ציוני המיצ"ב בחטיבות הביניים נמוך במיוחד, והפערים בין התלמידים גדולים ■ שר החינוך: "העבודה שלפנינו עוד רבה ומורכבת"

מחשבים מסלול מחדש?

הציון הממוצע במתמטיקה של תלמידי כיתות ח' (בסולם רב שנתי)

דוברי עברית

ממלכתית 256

ממלכתי 256

בנות 257

בנים 255

מעמד סוציו-אקונומי

נמוך 236

בינוני 248

גבוה 269

ממוצע 256

דוברי ערבית

בדואי דרום 210

ערבי 240

דרוזי 256

בנות 241

בנים 226

מעמד סוציו-אקונומי

נמוך 226

בינוני 251

גבוה 253

ממוצע 235

מקור: משרד החינוך

הכישלון הגדול של משרד החינוך: תלמידי ישראל הידרדרו בכל המבחנים הבינלאומיים

בתוך קדנציה אחת של נפתלי בנט כשר חינוך נמחקה התקדמות של שנים במבחני פיזה הבינלאומיים ■ החרדים לא משתתפים במבחנים ■ הדירוג של ישראל במדעים - הנמוך שנרשם מעולם ■ הפערים בהישגי התלמידים הישראלים התרחבו - ונהפכו לגדולים בעולם

ישראל בהשוואה לעולם

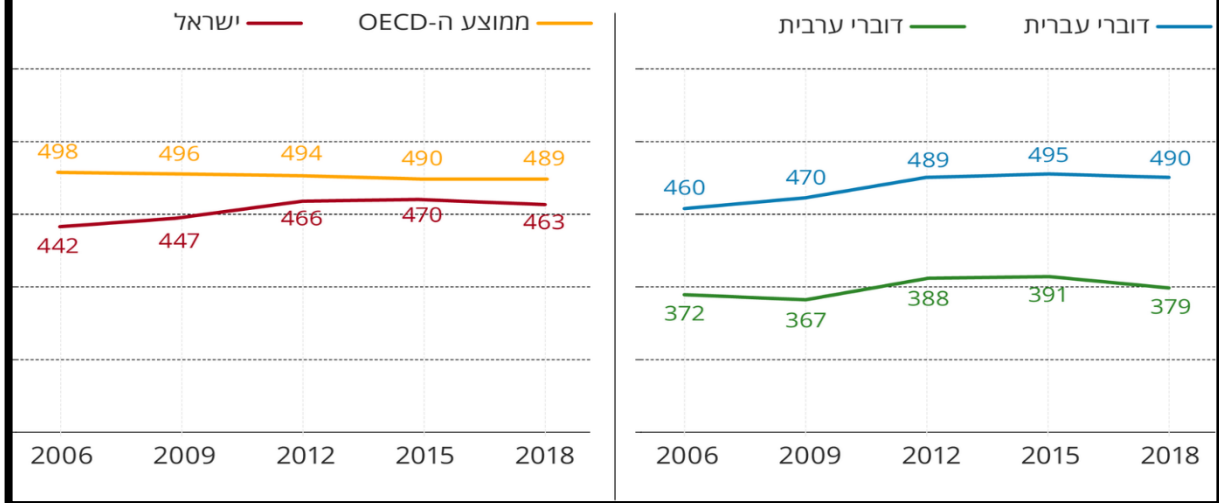


בישראל, פערים גדולים בין המצטיינים לחלשים

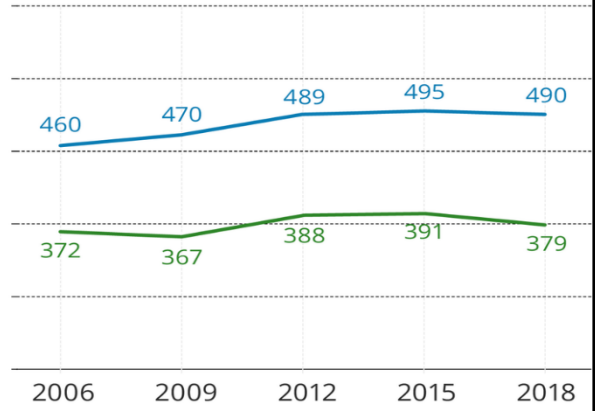
הנתונים החמורים ביותר במבחני פיזה של 2018 הם אלה שמעידים על פערי הענק שהתפתחו בין התלמידים. הפערים בין הישגי התלמידים בישראל גבוהים יותר מאשר במדינות כמו איחוד האמירויות, לבנון, ערב הסעודית, ברזיל, ארגנטינה, קזחסטן ומקסיקו. במבחן בקריאה, למשל, נרשם פער של 407 נקודות בין התלמידים המצטיינים לחלשים – לעומת פער של 327 נקודות במדינות הארגון. במתמטיקה הפער בישראל מסתכם ב-356 נקודות (בהשוואה ל-297 ב-OECD), ובמדעים הסתכם הפער ב-361 נקודות (לעומת 306 במדינות הארגון).

ציון ממוצע במשך השנים

מתמטיקה

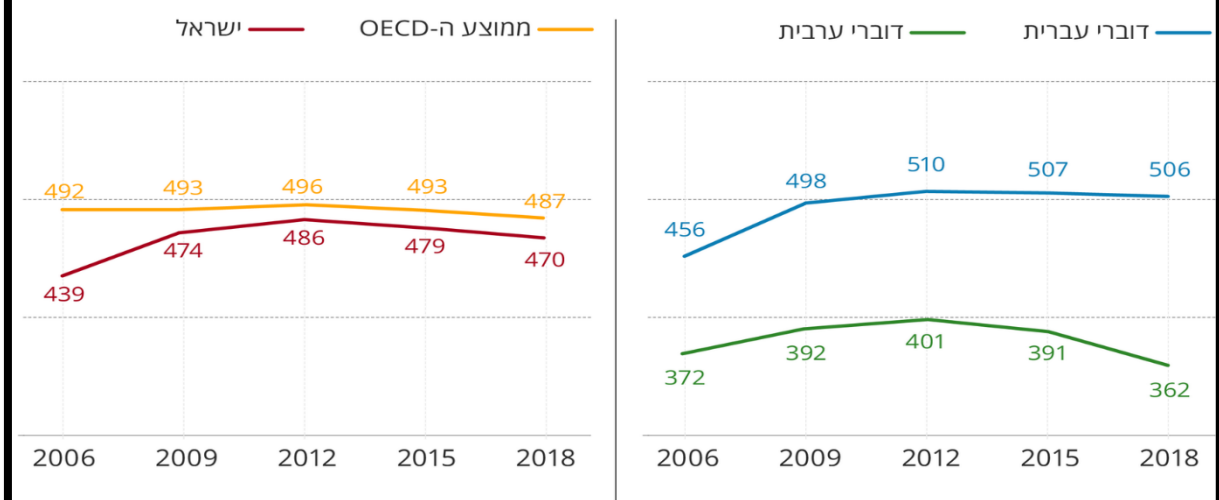


דוברי עברית דוברי ערבית

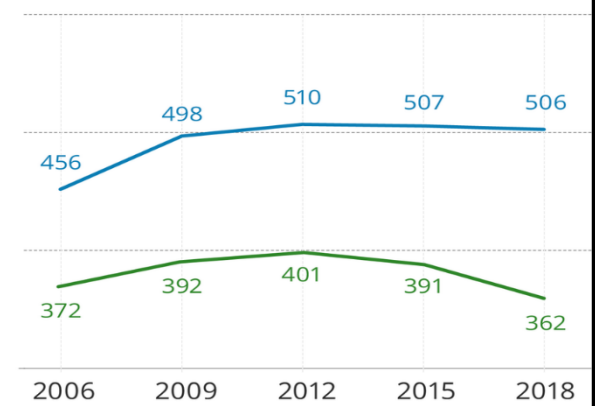


ציון ממוצע במשך השנים

קריאה



דוברי עברית דוברי ערבית



1.2. תיאור הבעיה והצגת הצורך

הישגי התלמידים בישראל מאוד נמוכים במקצועות המתמטיקה והבנת הנקרא. מתוצאות מבחני מיצ"ב שפורסמו לאורך השנים ניתן להבחין במגמת הרעה של ההישגים, כאשר קיים דגש משמעותי על פערים בין תלמידים מרקע סוציו-אקונומי שונה.

גם מבחינה בינלאומית הישגי התלמידים בישראל במקצועות אלו מאוד נמוכים. מתוצאות מבחני פיז"ה שפורסמו לאורך השנים ניתן להתרשם כי ציון תלמידי ישראל נמוך מהציון הממוצע באופן עקבי. תוצאות המבחנים אף מראות כי קיימים פערי ידע ענקיים בין תלמידים מרקעים שונים בישראל.

ההישגים הנמוכים של תלמידי ישראל נובעים ישירות מאופן העברת ולימוד החומר בבתי הספר כבר בתחילת דרכם של התלמידים. צורת הלימוד בישראל, ובכלל בעולם לא השתנתה עם השנים. השיעורים עדיין מתקיימים מול מורה שמלמד כיתה באמצעות מצגת או לוח. אין התייחסות אישית למצב ויכולות של כל תלמיד ותלמיד. תוכניות הלימוד של משרד החינוך הן קולקטיביות עבור כל כיתה.

לעומת אופן הלימוד שלא השתנה, התלמידים והטכנולוגיה כן השתנו.

בהתאם לנאמר לעיל, קיים ומתפתח במדינה דור "אבוד" של אנשים בעלי יכולות חשיבה ולמידה נמוכות. להשפעות אלו ניתן להיווכח לא רק בבתי ספר, אלא גם במקומות עבודה ואף באקדמיה.

אם לא יהיה שינוי חיובי, ימשיך להיגרם נזק כלכלי והרחבה של הפערים הסוציו-אקונומיים באוכלוסיית המדינה.

לאור הנתונים שהצגנו עד כה, חשוב ביותר להקנות יכולת למידה עצמית והרגלי למידה נכונים כבר בתחילת דרכו של כל תלמיד. מערכת החינוך צריכה לחשוב מחוץ לקופסא, לפתח ולסגל בבתי הספר צורת לימוד חדשנית שתתאים לכל תלמיד ותלמיד באופן אישי, תוך התחשבות בכך שהתלמידים שייכים לדור האלפא.

הפרויקט שלנו יתמודד עם האתגרים שתוארו לעיל.

1.3. מטרות ויעדים

1.3.1. מטרות

- שיפור יכולת למידה עצמית והידע בחשבון והבנת הנקרא של התלמיד.

1.3.2. יעדים

- שיפור הצלחת התלמיד בפתרון תרגילים.
- שיפור המוטיבציה והתעניינות התלמיד בחומר הלימודי.

2. סקירת ספרות

לימוד אדפטיבי מוגדר כשיטה חינוכית המשתמשת באלגוריתמים ממוחשבים כמו גם בבינה מלאכותית, כדי לתזמן את האינטראקציה עם הלומד ולהעביר את חומר הלימוד ע"י פעילויות לימוד מותאמות אישית, כדי לתת מענה לצרכים הייחודיים של כל לומד. ללימוד אדפטיבי יש יתרונות ברורים על לימוד מסורתי. לימוד אדפטיבי אפקטיבי יותר, שכן הוא מותאם באופן אישי למצב הנוכחי של כל לומד. המערכת מעלה את המוטיבציה של הלומד באמצעות משובים בזמן אמת. סדר ההוראה (לימוד החומר) אינו קשיח ומאפשר לכל לומד "לצעוד" בדרך המתאימה לו. גם עבור המורה ישנם יתרונות ברורים בשימוש במערכת שכזו, שכן הוא יכול לעקוב אחר התקדמות של כל לומד ואף להתערב בתהליך הלימוד. למשל, המורה יכול להגדיר משקולות לחשיבות של תכנים שונים. החיסרון העיקרי של לימוד אדפטיבי הוא הקושי להשיג ניתוח מדויק של מצב הידע האמיתי של הלומד. איזה מידע לאסוף? איך לנתח אותו? אם הניתוח לוקה בחסר – ביצועי המערכת יפגעו. חיסרון נוסף הוא במקרה שקיים פער טכני-טכנולוגי של המרצה והלומד בשימוש במערכת [1].

מחקר שנעשה בתחום לימוד אדפטיבי קבע שבעזרת מערכות אלו ניתן **לגשר על פערים דמוגרפים בין אוכלוסיות שונות**, אך מצד שני נקבע כי חלק מהלומדים תיקשרו פחות אחד עם השני מאשר בקורסים שהועברו באופן מסורתי, ולחלקם הייתה חסרה היד המכוונת של המרצה [2].

מומחים ממליצים שאופן העברת החומר במערכות לימוד אדפטיבי עבור ילדים יעשה בשילוב של משחק. [3] **משחק** (Gamification) מוגדר כשימוש בטכניקות עיצוב משחקים על מנת לשפר הקשרים לא-משחקיים, במטרה לעודד את המשתמשים לבצע מטלות שהם בדרך כלל תופשים כמשעממות. הטכניקה מבוססת על ניצול הנטייה הפסיכולוגית של בני אדם לעסוק במשחקים. משחק הינה גישה חדשנית בעלת הטבות רבות עבור לימוד הגיל הצעיר, שכיום נקרא דור ה- "אלפא". דור זה מוגדר כקבוצת האנשים שנולדו החל משנת 2010. אנשים אלו נולדו אל ומושפעים מהסביבה הדיגיטלית. טכנולוגיה היא חלק מחיי היום-יום שלהם. לדור זה יש יכולות וידע בהפעלת מכשירים טכנולוגיים וציפיות שונות מאשר הדורות הקודמים להם, ועל כן יש לבצע התאמות בלימוד המסורתי המיושן. התאמות שכאלה הן למשל לימוד באמצעות שילוב אלמנטים של משחק תוך מתן דגש על מספר רעיונות. הראשון שבהם הוא העלאת המוטיבציה של הלומד באמצעות מתן פרסים כנגד השלמה של שלבים במשחק. הפרסים יכולים להיות וירטואליים (מיקום גבוה בטבלת ניקוד, תגים ותמונות) ואף שניתן להמיר אותם לפרס שאינו וירטואלי. השני שבהם הינו יצירת מערכת ניקוד עבור הלומד. מערכת הניקוד תגרום להרגשה של התקדמות ותעודד לומדים אחרים לעלות גם בניקוד, וכך ללמוד יותר ואף לדון אחד עם האחר בחומר הלימוד. הניקוד יינתן בעד השלמת משימות

ושלבים או פעולות חיוביות אחרות. השלישי הוא עיקרון ההדרגתיות, כלומר, יצירת שלבים החל מרמות קלות לרמות קשות, כך שהלומד מתקדם בחומר בצורה הדרגתית ונכונה. הרביעי הוא משוב בונה בזמן אמת עבור הצלחה או כישלון. החמישי הוא פיצול החומר הלימודי ליחידות לימוד קטנות כדי לאפשר ללומד להטמיע כמות חומר סבירה בבת אחת ולא "להציף" אותו. השישי הוא הגדרת מסגרת זמן עבור השלמת פעילויות מסוימות. רעיון זה משמש כמגביר מוטיבציה ללמידה רציפה. השביעי הינו הודעות קופצות ללומד שיזכירו לו מה עליו ללמוד. המורה יכול לשלוט בהודעות אלו. השמיני הוא יצירת עץ התקדמות שיכיל יחידות לימוד קטנות, כך שחלקן נעולות וניתן להתקדם בעץ רק ע"י סיום יחידות קודמות.

[4] מחקר שנערך בקרואטיה בהשתתפות תלמידים בכיתות ב' ו-ג' בחן את **השפעת הוספת אלמנטים של משחק לתוכנה ללימוד חשבון**. תוצאת הניסוי היא שגרסת התוכנה שכללה אלמנטים של משחק העלתה את המוטיבציה ורמת הריכוז של התלמידים, בניגוד לגרסה נטולת המשחק בה התלמידים השתעממו מהר, איבדו ריכוז ופתרו פחות שאלות. למרות יתרונותיו הברורים של תוספת אלמנט המשחק, עבור קבוצה מצומצמת של תלמידים התקבלה תוצאה הפוכה. לוח התוצאות הפומבי גרם לתלמידים חלשים לוותר מראש, והפחית להם את המוטיבציה. מחקר נוסף [5] מצא כי **המוטיבציה של הלומד** היא גורם מרכזי בקביעה האם משחק לימודי הוא אפקטיבי ולכן חשוב להעריך באופן רציף את מצב הלומד ולהציג לו את התוכן הרלוונטי והנכון ביותר בהתאם למצבו. המחקר הוכיח שכדי לשמור על רמת מוטיבציה גבוהה והתאמה אישית, יש לבצע בזמן המשחק **התערבות ברמת המיקרו**. התערבות שכזו יכולה להתבצע באמצעות רמזים, הצעות, אזהרות או משוב. על המערכת לעקוב ולנתח את פעילות הלומד ובהתאם לביצועיו להחליט איזה סוג התערבות לבצע ומתי. סוג התערבות ראשון הוא במקרה בו המערכת מזהה שלאחר מספר פעולות שהלומד ביצע הוא לא התקדם אל הפתרון. המערכת תציג ללומד רמז בהתאם למצבו. התערבות מסוג שני היא במקרה בו המערכת מזהה שהלומד לא מצליח לפתור את הבעיה במשך זמן ארוך. במקרה כזה היא תסביר ללומד את הפתרון כדי לאפשר פעילות רציפה של המשחק. התערבות מסוג שלישי היא העלאת המוטיבציה של הלומד ע"י מתן עידוד ושבחים. התערבות מסוג רביעי היא לגרום ללומד לחשוב על הפעולות שהוא ביצע. למשל ע"י שאלות ספציפיות לאחר מענה שלו על שאלה: "האם אתה בטוח?" "למה בחרת בדרך הזו?". חשוב מאוד שההתערבויות יתבצעו במידה הנכונה. יותר מידי התערבויות יפריעו ללומד ויצרו אפקט הפוך. מעט מידי התערבויות יגרמו ללומד לאבד עניין מהר. התערבויות ברמת המיקרו עוזרות ללומד להגיע לפתרון מהר יותר ולשמור על רמת מוטיבציה גבוהה.

מחקר חשוב שנערך באוניברסיטת Kragujevac שבסרביה [6] הציג **מודל אדפטיבי** (חוות למידה מותאמת אישית ללומד) **עבור לימוד דיגיטלי**. המודל מורכב מארבעה רכיבים עיקריים: רישום (Registration), מודל הסטודנט (Student Model), רכיב ההסתגלות (Adaptation Module) ומערכת המומחה (Expert System).

רישום (Registration) – הלומדים ממלאים שאלונים בפעם הראשונה שהם נכנסים לקורס כדי שניתן יהיה לנתח את סגנון הלימוד המועדף עליהם. בצעד השני הלומדים מבצעים מבחן רמה כדי שיהיה ניתן להעריך את הידע הראשוני שיש להם בקורס. המערכת אוספת את הנתונים ושומרת אותם בבסיס הנתונים.

מודל הסטודנט (Student Model) – מבצע ניתוח של נתוני הרישום ומקטלג כל לומד בהתאם לסגנון הלימוד ורמת הידע המתאימים לו. הקטגוריות של רמת הידע הן מתחיל, ביניים או מתקדם. תוך כדי הלימוד, המודל עוקב אחר פעולות והתקדמות הלומד ומבצע התאמות.

רכיב ההסתגלות (Adaptation Module) – מבצע קישור בין רכיב מודל הסטודנט לרכיב מערכת המומחה. רכיב זה בוחר להציג את התוכן המתאים, בפורמט המתאים ובזמן המתאים. הוא מבצע הערכה על בסיס פרופיל הלומד שנמצא ברכיב מודל הסטודנט תוך "התייעצות" עם רכיב מערכת המומחה.

מערכת המומחה (Expert System) – מערכת זו מחוברת לרכיב ההסתגלות. היא מורכבת משלושת הרכיבים הבאים:

- **מודל לוגי לעיבוד נתונים ומתן המלצות** – סט של חוקים מסוג (if-then statements). באמצעות חוקים אלו, תוך כדי התחשבות במצב הלומד ניתן להגדיר סביבת לימוד מתאימה ללומד.
- **מאגר של אובייקטים של למידה, הוראה, הערכה, שיטות וטכניקות תקשורת** – בהתאם להחלטת המודל הלוגי, המערכת תגיב עם הצעות ממאגר זה.
- **מודלים אנליטיים לניתוח נתונים** – כוללים אלגוריתמים לניבוי וזיהוי דפוסי לימוד באמצעות ניתוח כלל הנתונים שנאספו עד כה על הלומד.

המטרה העיקרית של רכיב מערכת המומחה היא מתן המלצה מושכלת לגבי החומר שיש להציג ללומד בזמן אמת.

במחקר בוצע יישום של המודל על סטודנטים משנה שניה באוניברסיטה. חלק מהסטודנטים למדו במערכת "מודל" (Moodle) ללא הרכיב האדפטיבי, בעוד שחלק אחר למדו בה עם הרכיב האדפטיבי. התוצאה הייתה שסטודנטים שלמדו באמצעות המערכת שכללה את הרכיב האדפטיבי השיגו ציונים טובים יותר. התאמת הלימוד ללומד באמצעות נתוני הרמה וסגנון הלימוד המתאים עבורו מאפשרים להציג לו חומרים מתאימים יותר ועל ידי כך לגרום לו להשיג תוצאות טובות יותר. שמנו לב שבמחקר לא בוצע שימוש באלמנטים של משחק ולא בוצעה התערבות ברמת המיקרו. הוספת גישות אלו יכולה לשפר את יכולת הלימוד והעברת החומר ללומדים.

בשביל שמערכת לימוד אדפטיבי תהיה מוצלחת היא צריכה לתחזק ולהקים פרופילים מדויקים של הלומדים, תוך התחשבות בתכונות אישיות, מיומנויות, רמות ידע, וסגנונות לימוד מועדפים. לכן, **טכניקות של בינה מלאכותית** [7] מתאימות מאוד לפתרון הבעיה, שכן בינה מלאכותית יכולה לחקות את תהליך החשיבה וקבלת ההחלטות של האדם, גם בתנאי אי ודאות. ישנן מספר טכניקות של בינה מלאכותית שניתן להפעיל במערכות לימוד אדפטיבי. את הטכניקות ניתן לחלק לשתי קבוצות – טכניקות בגישת קופסא לבנה (White box approaches) וטכניקות בגישת קופסא שחורה (Black box approaches).

טכניקות בגישת קופסא לבנה

- Fuzzy Logic (לוגיקה מטושטשת) – שיטת חשיבה הדומה להיגיון האנושי. גישה זו מחקה את דרך קבלת ההחלטות של בני אדם הכוללת אפשרויות ביניים בין "כן" ו-"לא". דוגמא לערכים שניתן לקבל הם: "בהחלט לא", "יתכן שלא", "לא ניתן להגיד", "יתכן שכן" ו-"בטוח שכן". שיטה זו מורכבת מ- ארבעה חלקים עיקריים: Rule Base, Fuzzifier, Defuzzifier, Inference Engine. Base – בחלק זה יש חוקים של if-then conditions הנקבעים מראש כדי להגדיר את תהליך קבלת ההחלטות במערכת. Fuzzifier – מבצע תהליך שנקרא Fuzzification. רכיב זה ממיר את הקלט ל- Fuzzy Sets. כלומר לערכים בין "כן" ו-"לא". Inference Engine – קובע את רמת ההתאמה בין הקלט והחוקים. Defuzzifier – מבצע תהליך שנקרא "Defuzzification". תהליך זה ממיר את ה- Fuzzy Sets לערכים של "כן" ו-"לא" בלבד. יתרון של גישה זו שהיא יכולה לקבל קלט עם נתונים לא מדויקים ו-"רועשים" ולתת תוצאה טובה. כמו כן קל לבנות ולהבין את המודל. חסרון עיקרי של הגישה הוא שהיא מתאימה לפתרון בעיות ברורות ופשוטות בלבד. חסרון נוסף הוא שהיא לא מתאימה לבעיות בהן צריך דיוק רב.

- Decision Tree – עץ החלטות הוא עץ שבו כל צומת "ענף" מייצג בחירה בין מספר חלופות וכל צומת "עלה" מייצג החלטה. משתמשים בעצי החלטות בדרך כלל כדי לקבל החלטה מושכלת על בסיס מידע שקיים, בין אם הוא חלקי או מלא. תהליך קבלת ההחלטה מתחיל מצומת השורש של העץ. מצומת זו יכולים להסתעף ענפים נוספים שכל צומת שבהם מייצג תנאי/מצב מסוים. מענפים נוספים אלו יכולים להסתעף ענפים נוספים עד שלבסוף מגיעים ל- "עלה" שמייצג תוצאה סופית, שהיא ההחלטה שהתקבלה על בסיס הנתונים שהוזנו לעץ. באמצעות עצי החלטה ניתן לבצע חיזוי וסיווג של משתנים. אחד מיתרונותיהם של עצי החלטה הוא שהם מסוגלים לייצר חוקים ברורים אפילו אם יש חסרים בנתונים. כמו כן, הם מסוגלים להתמודד עם משתנים רציפים וקטגוריים ואין צורך

לבצע נורמליזציה של המידע. אחד מהחסרונות של עצי החלטה הוא שלוקח הרבה זמן לאמן וליצור אותם. חיסרון נוסף של עצי החלטה הוא שכל שינוי קטן בנתונים יכול לגרום שינוי גדול במבנה העץ, אי יציבות וצורך לחשב ולבנות מחדש את העץ.

טכניקות בגישת קופסא שחורה

- Neural Networks – רשת עצבית כוללת סדרה של אלגוריתמים שמנסים לזהות קשרים בסיסיים במערך של נתונים באמצעות תהליכים שמחקים את האופן שבו פועל המוח האנושי. רשתות עצביות מתייחסות למערכות של נוירונים, אורגניות או מלאכותיות בטבען. הרשת יודעת לפעול עם כמות מידע אדירה. הרשת לומדת מהמידע ויודעת להשתפר ולהסתגל בהתאם. יתרון של רשתות אלו הוא שהן יכולות להסתגל לקלט משתנה, ולכן הרשת מייצרת את התוצאות הטובות ביותר ללא צורך בעיצוב ובנייה מחדש של קריטריונים. יתרון מהותי נוסף הוא שבניגוד לאלגוריתמים של למידת מכונה, רשת זו לא מגיעה למצב בו היא "רוויה". הכוונה ברוויה היא כאשר מידע נוסף וחדש לא עוזר לה להשתפר יותר. חסרון עיקרי של השיטה הוא זמן פיתוח ארוך מאוד. כמו כן, כדי שהרשת תפיק תוצאות טובות, צריך להזין אותה בכמות אדירה של מידע כך שהיא תוכל ללמוד ולהשתפר ממנו. לא תמיד קיים כזו של מידע או זמן המתנה לתוצאות.
- Bayesian Networks – רשת בייסיאנית היא מודל גרפי הסתברותי המייצג קבוצה של משתנים והתלות המותנית שלהם באמצעות גרף א-ציקלי מכוון (DAG). באמצעות רשת זו ניתן לקבל החלטות עבור בעיות שיש בהן אי וודאות. רשתות אלו מבוססות הסתברות. הן בנויות מהתפלגות הסתברותית ומבוססות על תורת ההסתברות לניבוי וזיהוי חריגות. רשת שכזו בנויה מצמתים וקשתות מכוונות שמחברות בין הצמתים. כל צומת מתאים למשתנים אקראיים. משתנה יכול להיות רציף או דיסקרטי. קשתות מייצגות את הקשר הסיבתי או את ההסתברויות שמותנות בין משתנים אקראיים. צומת אחד ברשת שמחובר לצומת אחר באמצעות קשת משפיע באופן ישיר על הצומת אליו הוא מחובר. אם אין חיבור הצמתים נחשבים בלתי תלויים. יתרון של גישה זו הוא שהיא ניתנת להרחבה בקלות רבה יותר משיטות אחרות של למידת מכונה. חיסרון עיקרי של גישה זו היא העובדה שאין שיטה מקובלת ואוניברסלית לבניית רשת מנתונים.

מסקנות

בעקבות סקירת הספרות החלטנו לשלב בפרויקט את האלמנטים של לימוד אדפטיבי הבאים: התערבות ברמת המיקרו וניהול פרופילים מדויקים של הלומדים שכוללים את רמת הלומד ואת ההתאמה לסגנונות לימוד שונים. כמו כן, מכיוון שקהל היעד בפרויקט הם ילדים בכיתה ג', נשלב אלמנטים של משחוק כדי להגביר את העניין ומשך השימוש במערכת. האלגוריתמים שלנו יתבססו על עץ החלטות, כך שבעתיד, כאשר המערכת שנפתח תפיק מספיק נתונים לגבי פרופיל הלומדים, נוכל לבצע שדרוג של העץ כך שהוא יתבסס על נתונים אלו כדי לקבל תוצאות טובות אף יותר. אנחנו נשלב בין הגישות השונות שהוצגו לאורך הסקירה כדי למקסם את היתרונות של המערכת תוך נטרול החולשות שעלו.

3. סקר שוק

בפרק זה נסקור חמישה מתחרים. שלושת המתחרים הראשונים מקורם בישראל, בעוד ששני האחרונים מקורם בארה"ב. נציג סקירה קצרה עבור כל מתחרה ונציין את יתרונותיו וחסרונותיו. לבסוף נציג טבלה מסכמת שמשווה בין המתחרים ונציג את היתרון הייחודי והשוני של המערכת שלנו.

3.1. אפליקציית "אלברט"

אפליקציה לתרגול חשבון בעברית עבור תלמידים ברמת בית ספר יסודי. התרגול מתקיים באמצעות אלמנט משחוק "עץ למידה". בכל צומת של העץ קיימת יחידת תרגול שכוללת עשרה תרגילי חשבון. יש להתקדם החל מהשורש של העץ ולהשלים יחידות תרגול במסלולים אפשריים שקבועים מראש. התרגילים מוצגים בפורמט של "מספר (פעולה) מספר = _". על הלומד להקיש תוצאה וללחוץ על כפתור "אישור". אם הוא צדק יוצג התרגיל הבא ביחידה, אחרת הוא יאבד "לב". כל לב מייצג מספר ניסיונות מענה אפשריים ביחידת תרגול. בכל יחידת תרגול הלומד מתחיל עם שלושה לבבות. עבור כיתות א' – ג' קיים "עץ לימוד" אחד בלבד שכולל פעולות חשבון בסיסיות של חיבור, חיסור, כפל וחילוק.

היתרונות של האפליקציה

- שימוש באלמנט משחוק "עץ למידה".
- שימוש באלמנט משחוק של הגבלת מספר ניסיונות המענה.
- פשטות בשימוש.
- התאמה לתוכנית הלימוד של משרד החינוך.

החסרונות של האפליקציה

- לא קיימת הפרדה בין כיתות א' – ג'. הן נמצאות תחת קטגוריה אחת.
- מכיוון שאין הפרדה בין כיתות א' – ג', תלמידי כיתות ב' ו-ג' נאלצים לפתור תרגילים של תלמידי כיתות א' בתחילת השימוש, עד שהם מגיעים לתרגילים המתאימים להם.
- אין תרגילי חשבון בפורמט מילולי.
- התרגול משעמם ביותר ואינו שונה מתרגול על דף נייר.
- אין שילוב מספק של אלמנטים של משחוק.
- לא קיים לימוד אדפטיבי.

קישור

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.shukia.shuki.math&hl=iw&gl=US>

3.2. אפליקציית "חשבון לכיתה ב"

אפליקציה לתרגול חשבון בעברית עבור כיתות ב' ו-ג'. במסך הראשי של האפליקציה ניתן לבחור יחידת לימוד. היחידות הקיימות הן: תרגילים בפורמטים של משוואה ומילולי בחיבור, חיסור, כפל וחילוק. ביחידות הלימוד בפורמט משוואה כל תרגיל מוצג בפורמט קבוע של "מספר (פעולה) מספר". הלומד צריך ללחוץ על אחת מתוך עשר תשובות אפשריות. אם הלומד צדק תוצג לו הודעה "כל הכבוד" ויתנגן צליל מחיאות כפיים, אחרת תוצג לו הודעה "נסה שנית". ביחידות הלימוד בפורמט מילולי כל תרגיל מוצג בפורמט קבוע. למשל, ביחידת לימוד של בעיות חיסור הפורמט הינו: "ל- Z יש X פריטים. Z נתן Y פריטים. כמה פריטים נשארו ל- Z ?" כאשר Z מייצג שם של בן אדם. X ו- Y מייצגים כמות פריטים. אופן המענה על השאלה יהיה כפי שכבר תואר לעיל.

היתרונות של האפליקציה

- שימוש באלמנט משחוק של "עידוד הלומד".
- שילוב של תרגילי חשבון בפורמט מילולי (אם כי באופן גרוע).
- פשטות בשימוש.
- התאמה לתוכנית הלימוד של משרד החינוך.

החסרונות של האפליקציה

- ללומד מוצגות עשר אפשרויות מענה כאשר רק אחת מהן נכונה. עיצוב זה מונע מהלומד לחשוב בעצמו על הפתרון ואף מאפשר לו לנחש.
- תרגילי חשבון בפורמט מילולי הם בדפוס קבוע, כך שבפועל לא נדרשת בכלל קריאה של המלל וניתן לענות רק מהסתכלות על המספרים.
- התרגול משעמם ביותר ואינו שונה בהרבה מתרגול על דף נייר.
- אין שילוב מספק של אלמנטים של משחוק.
- לא קיים לימוד אדפטיבי.

קישור

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.rasdevteam.secondgrade&hl=iw&gl=US>

3.3. אתר "Office Fun"

אתר לתרגול חשבון בעברית עבור תלמידים בכיתות ב' ו-ג'. התרגול מתקיים באמצעות משחקים. קיימים משחקים של חיבור, חיסור, כפל, זיהוי ספרות ועיגול מספרים. עבור כל משחק ניתן לבחור רמת קושי. המשחקים מועברים בצורות שונות, באופן אינטראקטיבי וכוללים אודיו ואנימציות.

היתרונות של האתר

- שימוש במשחקים לשם תרגול.
- שימוש באלמנט משחק "חלוקה לרמות קושי".
- שימוש באלמנט משחק של הגבלת זמן מענה.
- שימוש באלמנט משחק של "עידוד הלומד".
- פשטות בשימוש.
- התאמה לתוכנית הלימוד של משרד החינוך.

החסרונות של האתר

- אין תרגילי חשבון בפורמט מילולי.
- אין שילוב מספק של אלמנטים של משחק.
- לא קיים לימוד אדפטיבי.

קישור

<https://www.officefun.co.il/math-games.html>

3.4. לומדת Adapted Mind

לומדה ללימוד ותרגול חשבון בשפה האנגלית עבור תלמידים ברמת בית ספר יסודי. תוכנית הלימוד מותאמת למדינות ארה"ב. הלימוד מתקיים באמצעות אלמנט משחק "Game Story". בתחילת המשחק הלומד מבצע מבדק רמה כדי שהלומדה תוכל להעריך את הרמה שלו. בהמשך הלומד פותר ולומד תרגילי חשבון ע"י צפייה בסרטונים אינטראקטיביים. לדברי המפתחים קיים לימוד אדפטיבי בלומדה.

היתרונות של הלומדה

- שימוש סביר באלמנטים של משחק בהם "Game story".
- מעניין ואינטראקטיבי.
- קיים מבדק רמה.
- קיים מנגנון חלקי של התערבות ברמת המיקרו.
- קיימים תרגילי חשבון בפורמט מילולי.

החסרונות של הלומדה

- אין התמקדות משמעותית בלימוד ותרגול חשבון. רוב הזמן דעת הלומד מוסחת לסרטונים שלא תמיד מלמדים בכלל חשבון.
- לא קיים שאלון ראשוני שבודק את סגנונות הלימוד המתאימים ללומד.
- אין חופש פעולה ללומד. הוא "כלוא" בסרטונים קבועים מראש שמרכיבים סיפור.
- תוכנית הלימוד אינה מותאמת למשרד החינוך.
- אין תמיכה בעברית.

קישור

<https://www.adaptedmind.com/>

Reflex Math 3.5

תוכנה ללימוד ותרגול חשבון בשפה האנגלית עבור תלמידים ברמת בית ספר יסודי. תוכנית הלימוד מותאמת למדינות ארה"ב. הלימוד מתקיים באמצעות 15 משחקים אינטראקטיביים בהם הלומדים מתרגלים פעולות חשבון בסיסיות של חיבור, חיסור, כפל וחילוק. ישנו שימוש נרחב באלמנטים של משחק כגון מערכת ניקוד, טוקנים, שימוש בטוקנים לקנייה של אביזרים וירטואליים ותחרויות. לדברי המפתחים קיים לימוד אדפטיבי בתוכנה.

היתרונות של התוכנה

- שימוש נרחב באלמנטים של משחק.
- מעניין ואינטראקטיבי.
- קיים מנגנון חלקי של התערבות ברמת המיקרו.
- קיים מגוון רחב של משחקים.

החסרונות של התוכנה

- פרט למשחקים עצמם לא קיים סגנון לימוד אחר.
- אין תרגילי חשבון בפורמט מילולי.
- לא קיים שאלון ראשוני שבדק את סגנונות הלימוד המתאימים ללומד.
- לא קיים מבדק ראשוני שבדק את רמתו של הלומד.
- תוכנית הלימוד אינה מותאמת למשרד החינוך.
- אין תמיכה בעברית.

קישור

<https://www.reflexmath.com/>

3.6. סיכום השוואת מתחרים

ציון	משמעות
1	חוסר התאמה מוחלט בין החלופה לקריטריון
2	החלופה מותאמת במידה מועטה לקריטריון
3	החלופה מותאמת במידה סבירה לקריטריון
4	החלופה מותאמת במידה רבה לקריטריון
5	החלופה מותאמת במידה מרבית לקריטריון

קריטריון	משקל	אלברט	חשבון לכיתה ב'	Office Fun	Adapted Mind	Reflex Math	Math Expert
שפת לימוד	10	5	5	5	1	1	5
התאמה לתוכנית הלימוד בישראל	10	5	5	5	1	1	5
חשבון בפורמט מילולי	10	1	2	1	5	1	5
שילוב אלמנטים של משחק	15	2	1	3	4	5	5
התערבות ברמת המיקרו	20	1	1	1	3	3	5
מבדק רמה	15	1	1	1	5	1	5
התאמת סגנון לימוד	20	1	1	1	1	1	5
סה"כ ציון משוקלל	100%	1.95	1.9	2.1	2.85	2	5

3.7. מסקנות

ניתן לראות כי לא קיימת מערכת בשפה העברית ללימוד אדפטיבי של חשבון והבנת הנקרא בישראל. לא מצאנו מערכת שמבצעת סיווג ראשוני של הלומד בהתאם לסגנונות הלימוד המתאימים לו. אצל רוב המתחרים חסרים אלמנטים מרכזיים של משחק או שקיימים מעט מאוד. באם קיימת התערבות ברמת המיקרו, היא קיימת באופן שאינו מספק. המושג "לימוד אדפטיבי" הפך להיות "buzzword" – המתחרים לא תומכים בלימוד אדפטיבי באופן מלא. המערכת שנפתח תתגבר על החסרונות של המתחרים ותתמוך בעקרונות העיקריים של לימוד אדפטיבי.

4. חלופות לפיתוח אלגוריתמים

בפרק זה נסקור את החלופות לפיתוח אלגוריתמי לימוד אדפטיבי ברמה העקרונית ונציג את היתרון והחיסרון המרכזי של כל חלופה. כמו כן נציין את החלופה הנבחרת.

4.1. אלגוריתמים מבוססי למידת מכונה (ML)

חלופה זו מתייחסת לפיתוח אלגוריתמים מבוססי למידת מכונה כגון רשתות נוירונים ורשתות בייסיאניות. אלגוריתמים מסוג זה מתבססים על כמות גדולה מאוד של נתוני עבר כדי לקבל החלטה מושכלת בהווה. היתרון העיקרי הוא שהמידע שהאלגוריתמים ניזונים ממנו גדל עם הזמן וכך גם רמת הדיוק של החיזוי. החיסרון העיקרי חבוי ביתרון – יש לאסוף לאורך תקופה ממושכת כמות גדולה מאוד של נתוני פעילות המשתמשים במערכת, כדי שאלגוריתמים מסוג זה יפיקו תוצאות מספקות. אולם, בלתי אפשרי במסגרת תקופת הפרויקט לאסוף כמות נתונים מספקת באמצעות המערכת שנפתח. לכן חלופה זו איננה רלוונטית בשלב זה. אם נמשיך לעבוד על הפרויקט לאחר סיום הקורס, הנתונים שהמערכת שלנו תאסוף עם הזמן יכולים להוות בסיס לשדרוג האלגוריתמים, כך שיהיו מבוססי למידת מכונה.

4.2. אלגוריתמים מבוססי עצי החלטה (Decision Trees)

עץ החלטות הוא עץ שבו כל צומת מסוג "ענף" מייצג בחירה בין מספר חלופות וכל צומת מסוג "עלה" מייצג החלטה. תהליך קבלת ההחלטה מתחיל מצומת השורש של העץ. החל מצומת זו, על בסיס הנתונים שהוזנו לעץ, יתחיל תהליך הזרימה אל אחד העלים אשר מייצג החלטה שתתקבל. היתרון עבור הפרויקט שלנו הוא שניתן בהתחלה לבנות את העץ ללא התבססות על נתוני עבר של המשתמשים (שהרי הם אינם קיימים). הפוטנציאל הוא שכאשר המערכת תפיק מספיק נתונים, ניתן יהיה לשדרג את העץ כדי לשפר את ההחלטות שמתקבלות עבור כל פרופיל לומד. החיסרון של עצי החלטה הוא ששינוי קטן בנתונים יכול לגרום שינוי גדול במבנה העץ, אי יציבות וצורך לחשב ולבנות מחדש את העץ (חיסרון זה לא רלוונטי לנו במסגרת הפרויקט).

4.3. אלגוריתמים מבוססי לוגיקה מטושטשת (Fuzzy Logic)

שיטת חשיבה הדומה להיגיון האנושי. גישה זו מחקה את דרך קבלת ההחלטות של בני האדם וכוללת אפשרויות ביניים מעבר לרק "כן" או "לא" (1 או 0). כלומר ערכי המשתנים נעים בין 0 ל-1. השיטה עובדת באמצעות חוקי (if-then) שהוגדרו מראש ופונקציות המרה של הקלט לערכי ביניים והוצאת פלט לערך בוליאני (כן או לא). יתרון השיטה הוא שהיא יכולה לתת תוצאות טובות יחסית במערכות פשוטות גם במקרה שהנתונים לא מדויקים ו-"רועשים". החיסרון העיקרי הוא ששיטה זו אינה מתאימה לבעיות בהן צריך דיוק רב (עקב כך שאיננה מתבססת על נתוני עבר).

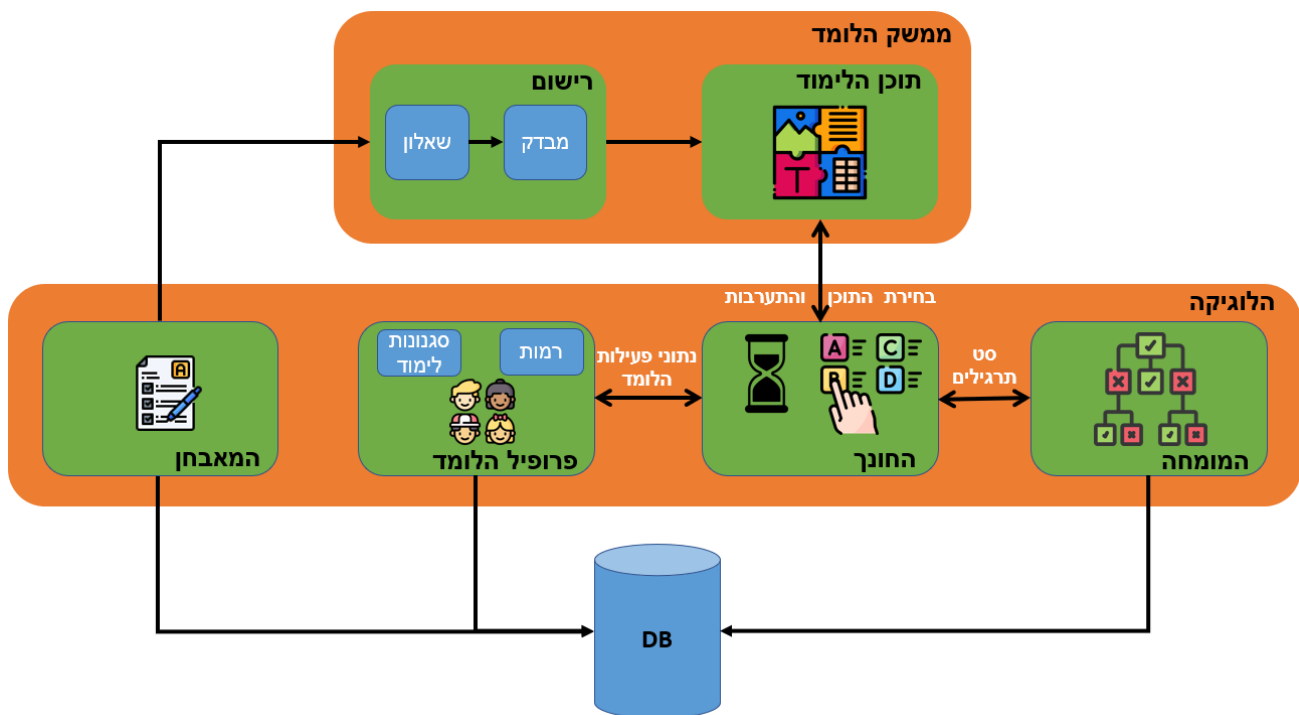
4.4. החלופה הנבחרת – עצי החלטה (Decision Trees)

עצי החלטה נמצאים בשימוש נרחב בתחום לימוד אדפטיבי ומתאימים לאלגוריתמים שנפתח עבור המערכת. חלופה זו מהווה בסיס נהדר לאלגוריתמים של הפרויקט, שכן יש אפשרות לשדרוג עתידי שלהם, כאשר יצטברו נתונים רבים שהמערכת תפיק לגבי פרופיל הלומדים. חלופה של אלגוריתמים מבוססי למידת מכונה מתבססת על נתוני עבר באופן מוחלט ולכן איננה ישימה בשלב זה. חלופה של אלגוריתמים מבוססי לוגיקה מטושטשת בכלל לא מתבססת על נתוני עבר, ולכן לא ניתן לשדרג אותה אם נמשיך לעבוד על הפרויקט לאחר סיום הקורס.

5. ארכיטקטורה

מערכת הלימוד האדפטיבי שפיתחנו נקראת Math Expert. המערכת כוללת ארבעה אלגוריתמים עיקריים. הבסיס למערכת לימוד אדפטיבי מוצלחת היא היכולת לתחזק ולהקים פרופילים מדויקים של לומדים. לכן, שניים מהאלגוריתמים אחראים על תחום זה. האלגוריתם השלישי אחראי על תקשורת מול הלומד תוך שמירת מוטיבציה ורמת עניין גבוהה אצלו. האלגוריתם הרביעי אחראי על בחירת סט התרגילים המתאימים ביותר לרמת הלומד הנוכחית. המערכת מעבירה את חומר הלימוד בצורה מעניינת וכוללת אלמנטים של משחק: מערכת ניקוד, משוב בונה בזמן אמת, מסגרת זמן מענה, פיצול החומר ליחידות קטנות ועיקרון ההדרגתיות.

דיאגרמת הבלוקים של המערכת



הדיאגרמה מכילה את הרכיבים העיקריים במערכת

- רישום – לאחר שהלומד נרשם למערכת, מוצג לו שאלון סגנונות לימוד. לאחר שהוא מסיים לענות על השאלון, מוצג לו מבדק לקביעת רמות ידע בקטגוריות לימוד שונות.
- תוכן הלימוד – התוכן שמוצג בפועל ללומד על המסך.

- המאבחן – אלגוריתם שאחראי על הצגת השאלון וניהול המבדק אל מול הלומד. האלגוריתם כותב את התוצאות בבסיס הנתונים.
- פרופיל הלומד – האלגוריתם שולף את תוצאות שלב הרישום של הלומד מבסיס הנתונים. האלגוריתם מבצע ניתוח של התוצאות ומגדיר את אחוז ההתאמה של הלומד לכל אחד מסגנונות הלימוד ואת רמתו בכל אחת מקטגוריות הלימוד. אלגוריתם ה- "חונך" מעביר לאלגוריתם זה את נתוני פעילות הלומד במערכת כדי שיבצע עדכון של פרופיל הלומד.
- החונך – אלגוריתם שבוחר להציג את התוכן הרלוונטי ביותר ללומד בהתאם לפרופיל שלו. הוא פונה לאלגוריתם "המומחה" כדי לקבל ממנו סט של תרגילים מתאימים. הוא מקבל החלטה באיזה סגנון לימוד להציג ללומד את התרגילים. הוא יכול לבצע התערבות ברמת המיקרו במידת הצורך. מעביר לאלגוריתם "פרופיל הלומד" את תוצאות פעילות הלומד במערכת.
- המומחה – אלגוריתם שבוחר סט של תרגילים שמתאימים לרמת הלומד. הוא בוחר תרגילים משתי קטגוריות הלימוד בהן ללומד יש את הרמה הנמוכה ביותר מבין כלל הקטגוריות. בכל קטגוריה הוא מתייחס לתרגילים שהלומד עדיין לא ראה או שראה אבל עדיין לא הצליח ללמוד אותם.

6. נתונים ועקרונות עיקריים במערכת

הטבלה הבאה כוללת את הנתונים והעקרונות העיקריים במערכת.

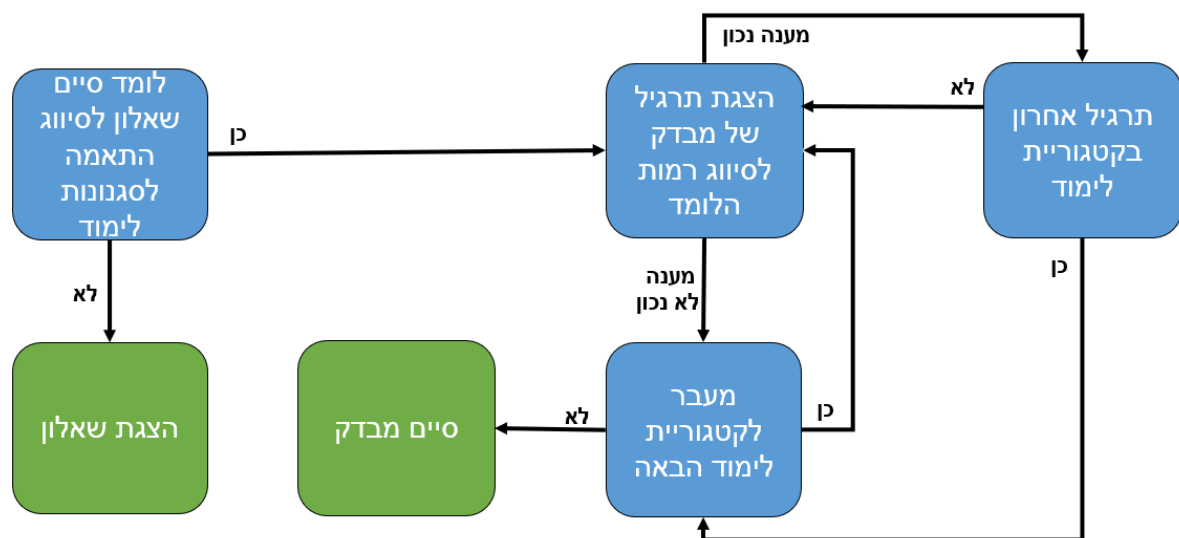
נתון/עיקרון	תיאור הנתון/עיקרון										
קטגוריות לימוד	קיימות ארבע קטגוריות לימוד: חיסור בפורמט משוואה, חיסור בפורמט מילולי, כפל בפורמט משוואה וכפל בפורמט מילולי. התרגילים מוצגים ללומד בהתאם לקטגוריות אלו.										
פורמט תרגיל	קיימים שני פורמטים לכל תרגיל. פורמט אחד הוא משוואה והשני הוא מילולי.										
רמות תרגילים	בכל קטגוריית לימוד התרגילים מסווגים לרמות הבאות: קלה, ביניים וקשה.										
טווחי רמת סיווג	בפרופיל הלומד עבור כל קטגוריית לימוד נשמר מספר שמייצג את הרמה של הלומד באותה קטגוריה. <table border="1"> <thead> <tr> <th>מספר</th><th>משמעות</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0 - 8</td><td>יוצגו ללומד תרגילים ברמה קלה בקטגוריית הלימוד.</td></tr> <tr> <td>9 - 16</td><td>יוצגו ללומד תרגילים ברמת ביניים בקטגוריית הלימוד.</td></tr> <tr> <td>17 - 24</td><td>יוצגו ללומד תרגילים ברמה קשה בקטגוריית הלימוד.</td></tr> <tr> <td>25</td><td>הלומד סיים ללמוד את קטגוריית הלימוד. לא יוצגו ללומד תרגילים בקטגוריה זו.</td></tr> </tbody> </table>	מספר	משמעות	0 - 8	יוצגו ללומד תרגילים ברמה קלה בקטגוריית הלימוד.	9 - 16	יוצגו ללומד תרגילים ברמת ביניים בקטגוריית הלימוד.	17 - 24	יוצגו ללומד תרגילים ברמה קשה בקטגוריית הלימוד.	25	הלומד סיים ללמוד את קטגוריית הלימוד. לא יוצגו ללומד תרגילים בקטגוריה זו.
מספר	משמעות										
0 - 8	יוצגו ללומד תרגילים ברמה קלה בקטגוריית הלימוד.										
9 - 16	יוצגו ללומד תרגילים ברמת ביניים בקטגוריית הלימוד.										
17 - 24	יוצגו ללומד תרגילים ברמה קשה בקטגוריית הלימוד.										
25	הלומד סיים ללמוד את קטגוריית הלימוד. לא יוצגו ללומד תרגילים בקטגוריה זו.										
קטגוריית תרגיל	בפרופיל הלומד מספר הזיהוי של תרגיל יכול להיות באחת משלושת הקטגוריות הבאות: <ol style="list-style-type: none"> 1. תרגיל שהלומד עדיין לא ראה. 2. תרגיל שהלומד ראה ועדיין לא הצליח ללמוד. 3. תרגיל שהלומד למד. 										
סגנונות לימוד	קיימים שני סגנונות לימוד: מסורתי ומודרני. התרגילים מוצגים ללומד בהתאם לאחוז ההתאמה שלו לכל סגנון לימוד. האחוזים נעים בין 0 ל-100. בסגנון לימוד מסורתי התרגילים מוצגים באופן דומה לצורה בה הם מוצגים בבית הספר (בתוספת אלמנטים של משחק). בסגנון לימוד מודרני התרגילים מוצגים בצורה גרפית-משחקית.										
שאלון לסיווג התאמה לסגנונות לימוד	שאלון שהלומד ממלא לאחר הרישום למערכת. תוצאות השאלון קובעות את אחוז ההתאמה הראשוני של הלומד לכל אחד משני סגנונות הלימוד.										

מבדק לסיווג רמות הלומד	מבדק שמוצג ללומד לאחר סיום השאלון. תוצאות המבדק קובעות את הרמה הראשונית של הלומד בכל אחת מארבעת קטגוריות הלימוד. המבדק נערך ללא שילוב אלמנטים של משחק.															
נקודות (אלמנט משחק)	בזמן השימוש במערכת הלומד צובר נקודות עבור מתן תשובה על תרגילים. תשובה נכונה עבור תרגיל תזכה את הלומד בנקודה אחת אם התרגיל ברמה קלה. היא תזכה אותו בשתי נקודות אם התרגיל ברמת ביניים ובשלוש נקודות אם התרגיל ברמה קשה. אם הלומד ענה תשובה לא נכונה בתרגיל, תרד לו נקודה אחת.															
מסגרת זמן מענה לתרגילים (אלמנט משחק)	בהתאם לפורמט ורמת התרגיל יקבע זמן המענה בשניות. <table><tr><td>פורמט/רמה</td><td>קלה</td><td>ביניים</td><td>קשה</td></tr><tr><td>משוואה</td><td>60</td><td>90</td><td>120</td></tr><tr><td>מילולי</td><td>90</td><td>135</td><td>180</td></tr></table> אם הלומד לא ענה במסגרת זמן המענה, ייחשב שענה תשובה לא נכונה על התרגיל.				פורמט/רמה	קלה	ביניים	קשה	משוואה	60	90	120	מילולי	90	135	180
פורמט/רמה	קלה	ביניים	קשה													
משוואה	60	90	120													
מילולי	90	135	180													
משוב בונה בזמן אמת (אלמנט משחק)	כאשר הלומד עונה על תרגיל יוצג לו משוב בונה במלל וינוגן צליל בהתאם להצלחתו.															
עיקרון ההדרגתיות (אלמנט משחק)	התרגילים מוצגים ללומד לפי רמת הקושי. מהקלים לקשים.															
פיצול חומר הלימוד ליחידות לימוד קטנות (אלמנט משחק)	סט תרגילים כולל עד שמונה תרגילים מעד שתי קטגוריות לימוד. סט תרגילים מהווה שלב אחד בתהליך הלימוד.															
התערבות ברמת המיקרו	במקרה בו הלומד עונה מהר מידי על תרגיל, תוצג לו הודעה ששואלת אותו האם הוא בטוח בתשובה שלו. עבור תרגילים בפורמט משוואה זמן מענה מהיר מידי הוא מתחת ל- 10 שניות כולל. עבור תרגילים בפורמט מילולי הזמן הוא מתחת ל- 20 שניות כולל. כמו כן יוצג משוב בונה בזמן אמת.															

7. תיאור האלגוריתמים

במערכת שפיתחנו קיימים ארבעה אלגוריתמים עיקריים. הראשון נקרא "המאבחן", השני נקרא "פרופיל הלומד", השלישי נקרא "החונך" והרביעי נקרא "המומחה". בפרק זה נפרט אודות אלגוריתמים אלו.

7.1. המאבחן



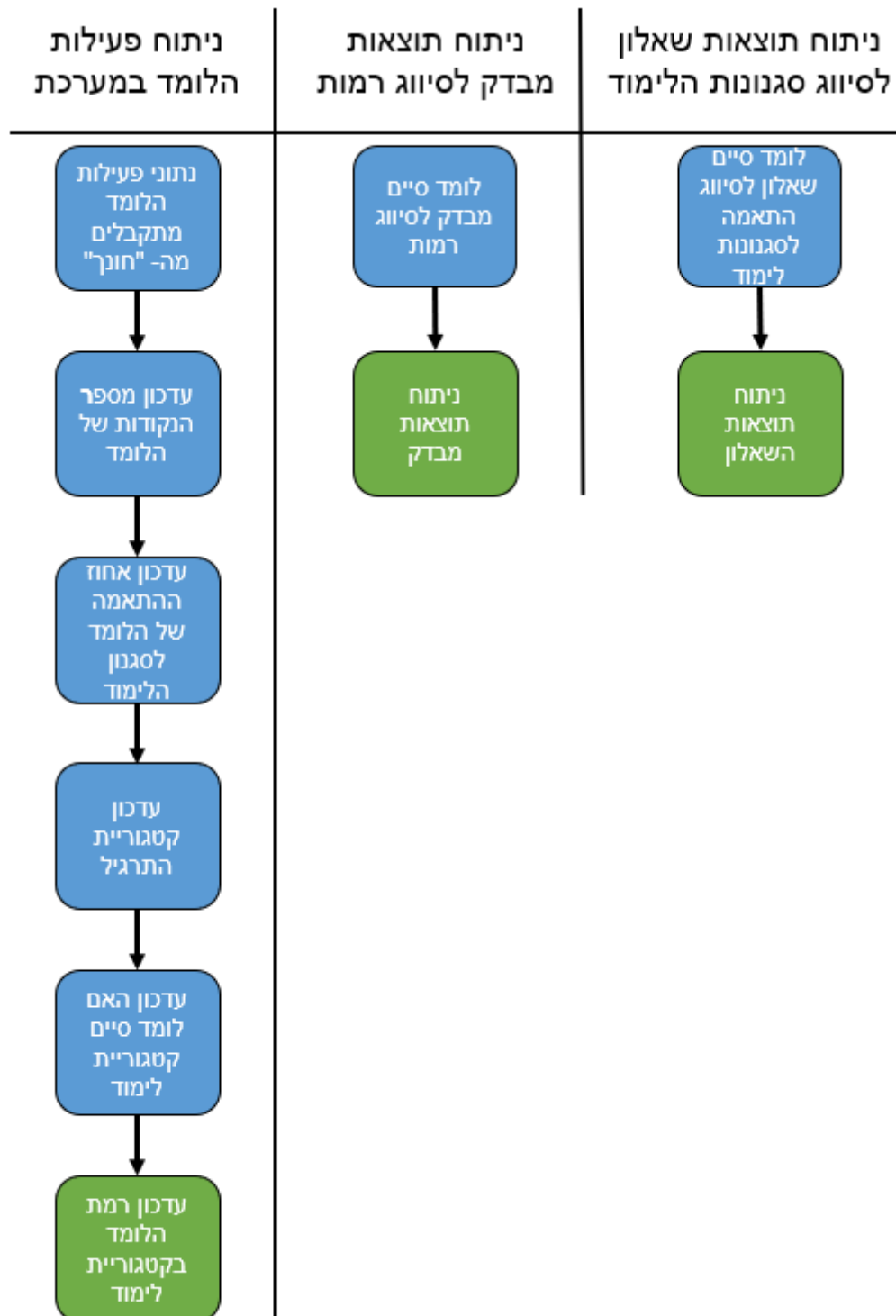
פירוט האלגוריתם

האלגוריתם אחראי על ניהול שאלון לסיווג התאמה לסגנונות לימוד ועל ניהול מבדק לסיווג רמות הלומד. אם הלומד כבר סיים את השאלון יוצג לו התרגיל האחרון אליו הגיע במבדק לסיווג רמות הלומד. אם הלומד לא סיים את השאלון, האלגוריתם יציג לו את השאלון.

- הצגת השאלון - האלגוריתם שולף מבסיס הנתונים את השאלון שיוצג ללומד. לאחר שהלומד ממלא את השאלון, האלגוריתם מעדכן בבסיס הנתונים את התשובות ששלח הלומד, כדי שאלגוריתם "פרופיל הלומד" יוכל לנתח את הנתונים.

- הצגת המבדק - האלגוריתם מציג ללומד את שאלות המבדק מהרמה הקלה לרמה הקשה בכל אחת מארבעת קטגוריות הלימוד. אם הלומד מצליח לענות נכון על תרגיל, האלגוריתם יציג לו את התרגיל הבא באותה קטגוריית לימוד. אחרת האלגוריתם יציג ללומד תרגיל ברמה הקלה מקטגוריית לימוד הבאה. אם נגמרו קטגוריות הלימוד האלגוריתם יסיים את המבדק. לאחר מענה של הלומד על תרגיל, האלגוריתם מעדכן את התוצאה בבסיס הנתונים בשביל שאלגוריתם "פרופיל הלומד" יוכל לנתח את הנתונים בסוף המבדק.

7.2. פרופיל הלומד



פירוט האלגוריתם

האלגוריתם אחראי על ניתוח תוצאות שאלון לסיווג סגנונות הלימוד, ניתוח תוצאות מבדק לסיווג רמות וניתוח פעילות הלומד במערכת. האלגוריתם מעדכן את בסיס הנתונים בעת ביצוע משימות אלו.

- ניתוח תוצאות שאלון – עבור כל שאלה בשאלון תשובות הלומד ממוספרות מ-1 עד 5. האלגוריתם סוכם את התשובות של הלומד תוך סינון השאלות בהתאם לסגנון הלימוד אותו השאלה מייצגת. לאחר מיכן האלגוריתם מחלק כל אחת משתי התוצאות שהתקבלו במספר השאלות ששייכות לאותו סגנון לימוד כפול ציון השאלה המקסימלי. התוצאה המתקבלת היא אחוז ההתאמה הראשוני של הלומד לכל אחד משני סגנונות הלימוד.

- ניתוח מבדק רמה – בשלב הראשון האלגוריתם קורא מתוצאות המבדק כמה שאלות הלומד הצליח לפתור נכון בכל אחת מארבעת קטגוריות הלימוד. לאחר מיכן האלגוריתם יחליט על רמה ראשונית של הלומד בכל אחת מארבעת קטגוריות הלימוד באופן הבא:

- אפס תשובות נכונות – רמה ראשונית 0.
- תשובה נכונה אחת – רמה ראשונית 9.
- שתי תשובות נכונות – רמה ראשונית 17.
- שלוש תשובות נכונות – רמה ראשונית 24.

בשלב השני האלגוריתם מעדכן את קטגוריית התרגילים שהלומד ראה במבדק. כלומר, הוא מסווג את מספרי הזיהוי של התרגילים בפרופיל הלומד לתרגילים שהלומד ראה והצליח לפתור פעם אחת ולכאלה שהלומד ראה ולא הצליח לפתור. את אותם מספרי הזיהוי הוא מוחק מקטגוריית התרגילים שהלומד עדיין לא ראה.

- ניתוח פעילות הלומד במערכת – לאחר כל תרגיל שהלומד פותר שלא במסגרת מבדק הרמה, "החונך" מעביר לאלגוריתם את סגנון הלימוד בו הופיע התרגיל, את התרגיל עצמו ומידע האם הלומד הצליח לפתור נכון את התרגיל. בעזרת נתונים אלו האלגוריתם יבצע את חמשת הפעולות הבאות:

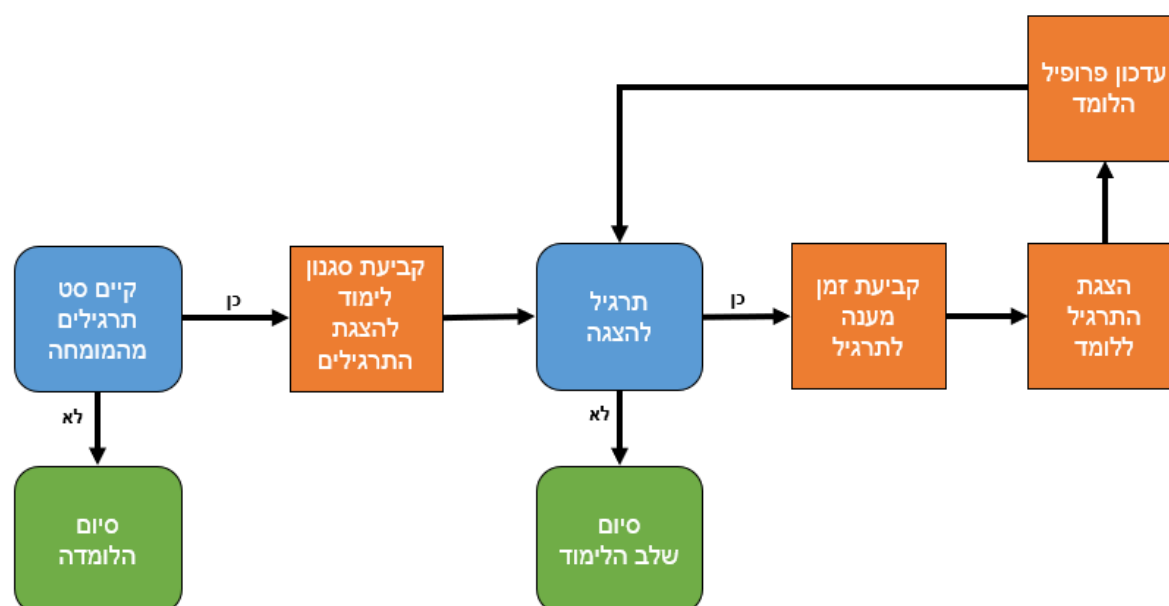
- עדכון מספר הנקודות של הלומד – בהתאם לטבלה שבסעיף 6.
- עדכון אחוז ההתאמה של הלומד לסגנון הלימוד – אם הלומד הצליח בתרגיל יתווסף לו אחוז להתאמה. אם הוא טעה בתרגיל יפחת לו אחוז.
- עדכון קטגוריית התרגיל – האלגוריתם בודק לאיזו קטגוריה שייך התרגיל כרגע. המטרה של האלגוריתם היא לשייך את התרגיל לקטגוריה המתאימה מבין שלושת הקטגוריות בהתאם להצלחת הלומד בתרגיל.
- תרגיל שהלומד עדיין לא ראה – האלגוריתם יעביר אותו מקטגוריה זו אל קטגוריית "תרגיל שהלומד ראה ועדיין לא הצליח ללמוד". אם הלומד ענה נכון על התרגיל הוא יעדכן שהלומד ענה פעם אחת נכונה ברציפות על התרגיל, אחרת הוא יעדכן לאפס.

▪ תרגיל שהלומד ראה ועדיין לא הצליח ללמוד – אם הלומד הצליח את התרגיל, האלגוריתם יבדוק האם בתוספת הצלחה זו הלומד הגיע ל- 3 הצלחות ברצף. אם כן, האלגוריתם יעביר את התרגיל מהקטגוריה הנוכחית אל הקטגוריה "תרגילים שהלומד למד". אחרת האלגוריתם יקדם את מספר ההצלחות ב- 1. אם הלומד לא הצליח את התרגיל האלגוריתם יאפס את מספר ההצלחות בתרגיל.

○ עדכון האם לומד סיים קטגוריית לימוד – קטגוריית לימוד מסתיימת כאשר כל התרגילים ששייכים לקטגוריה זו נמצאים תחת קטגוריית "תרגילים שהלומד למד". האלגוריתם בודק אם שתי קטגוריות התרגילים האחרות ריקות, אם כן, אפשר לדעת שכל התרגילים נמצאים תחת קטגוריית "תרגילים שהלומד למד". במקרה זה ניתן לקבוע שהלומד למד את כל התרגילים באותה קטגוריית לימוד ורמה. האלגוריתם יעדכן את רמת הלימוד המינימלית להיות בהתאם לאותה קטגוריה ורמה של התרגיל שהלומד פתר.

○ עדכון רמת הלומד בקטגוריית לימוד – במקרה בו הלומד ענה נכון על התרגיל, האלגוריתם יעלה ב- 1 את רמת הלומד באותה קטגוריית לימוד אליה שייך התרגיל. אחרת, האלגוריתם יבדוק אם ניתן להוריד את רמת הלומד ב- 1. אם רמת הלומד הנוכחית נמצאת במינימום הרמה לא תשתנה, אחרת היא תפחת ב- 1.

7.3. החונך



פירוט האלגוריתם

האלגוריתם אחראי על התקשורת אל מול הלומד. בזמן האינטראקציה בין "החונך" ללומד, "החונך" יממש התערבות ברמת המיקרו כפי שתואר בטבלה מסעיף 6.

- סט תרגילים מהמומחה – "החונך" מבקש סט תרגילים מ-"המומחה". אם לא קיים סט תרגילים "החונך" יסיים את הלומדה. אחרת הוא יקבע את סגנון הלימוד בו יש להציג את סט התרגילים.

- קביעת סגנון לימוד להצגת התרגילים – "החונך" סוכם את אחוזי ההתאמה של שני סגנונות הלימוד למספר אחד. לאחר מיכן "החונך" יחלק את אחוז ההתאמה של כל סגנון לימוד בסכום שהתקבל. באופן זה מתקבלת ההסתברות לבחור באותו סגנון לימוד. "החונך" יבצע חישוב הסתברותי ויקבע את סגנון הלימוד עבור סט התרגילים.

- התרגיל – "החונך" שולף את התרגיל הראשון שבסט התרגילים. הוא קובע את זמן המענה לתרגיל בהתאם לפורמט ורמת התרגיל כפי שתואר בטבלה מסעיף 6. התרגיל מוצג ללומד, ולאחר קבלת מענה מהלומד "החונך" שולח אל אלגוריתם "פרופיל הלומד" את סגנון הלימוד בו הופיע התרגיל, את התרגיל עצמו ומידע האם הלומד הצליח לפתור נכון את התרגיל. לאחר מיכן, אם יש תרגיל נוסף בסט התרגילים, "החונך" יבצע את תהליך זה מחדש. אחרת הוא יסיים את שלב לימוד זה.

7.4. המומחה



פירוט האלגוריתם

האלגוריתם אחראי על יצירת סט תרגילים שכולל עד שמונה תרגילים מעד שתי קטגוריות לימוד. האלגוריתם מממש את עיקרון ההדרגתיות ועיקרון פיצול חומר הלימוד ליחידות לימוד קטנות.

- חיפוש שתי קטגוריות הלימוד החלשות ביותר – האלגוריתם מחפש את שתי קטגוריות הלימוד בהן ללומד יש את הרמה הנמוכה ביותר.
- המרת הציון בקטגוריות לרמות תרגילים – האלגוריתם ממיר את מספר הרמה בכל קטגוריה לרמת תרגיל.
- מציאת מערכים של מספרי זיהוי התרגילים – האלגוריתם מחפש ארבעה מערכים של מספרי זיהוי של תרגילים, כך שעבור כל אחת משתי קטגוריות הלימוד יהיו שני מערכים. מבין כל שני מערכים, מערך אחד כולל תרגילים שהלומד עדיין לא ראה מאותה קטגוריית לימוד וברמה המתאימה. המערך השני כולל את התרגילים שהוא ראה ועדיין לא הצליח ללמוד. האלגוריתם מערבב את מספרי הזיהוי של התרגילים במערכים.
- בחירת תרגילים לפי מספרי זיהוי – האלגוריתם עובר על שני המערכים של כל קטגוריית לימוד ומחפש מספרי זיהוי של תרגילים. הוא ינסה למצוא עד ארבעה מספרי זיהוי של תרגילים משני המערכים באופן שווה.
- המרת מספרי הזיהוי לתרגילים – האלגוריתם פונה לבסיס הנתונים כדי להמיר את מספרי הזיהוי של התרגילים שנבחרו לתרגילים בפועל. לבסוף הוא שולח את סט התרגילים לאלגוריתם "החונך".

8. תיאור התוצר

בפרק זה נציג את המחלקות והפונקציות המרכזיות של האלגוריתמים. לאחר מיכן נציג את בסיס הנתונים. כמו כן נציין הנחיות להרצה של התוכנית ולבסוף נתאר את הזרימה של הרצת האלגוריתמים באמצעות צילומי מסך והסברים.

התוצר הינו POC למערכת לימוד אדפטיבי של חשבון לכיתות ג'. התוצר נכתב באמצעות שפת התכנות Python בהתממשקות מול בסיס נתונים MongoDB.

8.1. מחלקות ופונקציות מרכזיות

class Examination(object)

get_exercise_quiz(self, answer)	חתימת הפונקציה
המחלקה המנהלת.	מופעלת באמצעות
תשובה של הלומד על תרגיל במבדק סיווג לרמות הלומד.	קלט
הפונקציה תפעיל פונקציה שבודקת את תשובת הלומד ורק לאחר מיכן תפעיל פונקציה נוספת שתחזיר את התרגיל הבא באם קיים. במקרה ומדובר בתרגיל הראשון הפונקציה מקבלת משתנה ברירת מחדל שגורם לה רק להחזיר את התרגיל הנוכחי שהלומד הגיע אליו.	תיאור
התרגיל הבא במבדק באם קיים.	פלט

__get_next_exercise_quiz(self)	חתימת הפונקציה
get_exercise_quiz(self, answer)	מופעלת באמצעות
אין.	קלט
הפונקציה בודקת האם התרגיל הבא שייך לאותה קטגוריית לימוד. אם הוא לא היא תפעיל פונקציה נוספת שתחזיר את קטגוריית הלימוד הבאה במבדק, באם קיימת. בהתאם לקטגוריה זו הפונקציה תמצא את התרגיל הראשון בקטגוריית לימוד החדשה.	תיאור
התרגיל הבא במבדק באם קיים.	פלט

__get_next_category_quiz(self)	חתימת הפונקציה
__get_next_exercise_quiz(self)	מופעלת באמצעות
אין.	קלט
מחפשת את קטגוריית הלימוד הבאה במבדק באם קיימת. אם לא קיימת קטגוריה הבאה הפונקציה תעדכן שהמבדק הסתיים.	תיאור
מחזירה את קטגוריית הלימוד הבאה במבדק באם קיימת.	פלט

__answer_exercise(self, answer)	חתימת הפונקציה
get_exercise_quiz(self, answer)	מופעלת באמצעות
תשובה של הלומד על תרגיל במבדק סיווג לרמות הלומד.	קלט
מבצעת בדיקה לתקינות הקלט. במקרה ובו תשובת הלומד נכונה הפונקציה מקדמת אינדקס מעקב שמסמל שניתן להחזיר את התרגיל הבא באותה קטגוריית לימוד, אחרת הפונקציה תפעיל פונקציה נוספת שתקדם לקטגוריית הלימוד הבאה במבדק.	תיאור
אין.	פלט

class ProfileEvaluation(object)

analyze_questionnaire_results(self)	חתימת הפונקציה
מחלקת המבחן.	מופעלת באמצעות
אין.	קלט
הפונקציה מנתחת את תשובות הלומד על שאלון לסיווג התאמה לסגנונות לימוד.	תיאור
אין.	פלט

analyze_quiz_results(self)	חתימת הפונקציה
מחלקת המבחן.	מופעלת באמצעות
אין.	קלט
הפונקציה מנתחת את תשובות הלומד על מבדק לסיווג רמות הלומד. כמו כן מעדכנת את קטגוריית התרגילים שהלומד ראה במבדק.	תיאור
אין.	פלט

חתימת הפונקציה	evaluate_student_profile(self, learning_style, exercise, success)
מופעלת באמצעות	מחלקת החונך.
קלט	1. סגנון הלימוד של התרגיל אותו פתר הלומד. 2. התרגיל אותו פתר הלומד. 3. ערך בוליאני – האם הלומד הצליח לפתור נכון את התרגיל.
תיאור	הפונקציה מפעילה חמש פונקציות עזר הבאות: 1. עדכון מספר הנקודות של הלומד. 2. עדכון אחוז ההתאמה של הלומד לסגנון הלימוד. 3. עדכון קטגוריית התרגיל. 4. עדכון האם לומד סיים קטגוריית לימוד. 5. עדכון רמת הלומד בקטגוריית לימוד.
פלט	אין.

class Tutor(object)

חתימת הפונקציה	get_game_turn_details(self)
מופעלת באמצעות	המחלקה המנהלת.
קלט	אין.
תיאור	באם לא קיים סט תרגילים פעיל הפונקציה תפעיל פונקציה נוספת שנמצאת במחלקת המומחה, כדי לקבל ממנה סט תרגילים חדש. לאחר מיכן הפונקציה תפעיל פונקציה פנימית של המחלקה כדי לקבוע את סגנון הלימוד שבו יוצג סט התרגילים החדש. כמו כן תופעל פונקציה פנימית של המחלקה כדי לקבוע את מסגרת זמן המענה על התרגיל. המטרה של הפונקציה היא לשלוח חזרה את התרגיל הבא בסט הלימוד, כך שהוא יוצג ללומד בסגנון הלימוד שנקבע.
פלט	מערך שכולל ארבעה נתונים: 1. סגנון הלימוד שנקבע. 2. התרגיל הבא. 3. מסגרת זמן המענה על התרגיל. 4. מספר הנקודות העדכני של הלומד.

check_game_turn_answer(self, answer='time over', answer_time=MIN_ANSWER_TIME_PHRASE + 1)	חתימת הפונקציה
המחלקה המנהלת.	מופעלת באמצעות
1. תשובת הלומד על התרגיל. 2. זמן המענה של הלומד על התרגיל.	קלט
1. אם התשובה היא 'time over', כלומר הלומד לא ענה בזמן על התרגיל, הפונקציה תפעיל את פונקציית הערכת פרופיל הלומד של מחלקת "הערכת פרופיל הלומד" ותציין שהלומד טעה בתרגיל. 2. מבצעת בדיקה לתקינות הקלט. 3. בודקת אם הלומד ענה מהר מידי, אם כן היא תזרוק חריגה. 4. בודקת אם הלומד ענה נכון על התרגיל. 5. תפעיל את פונקציית הערכת פרופיל הלומד של מחלקת "הערכת פרופיל הלומד".	תיאור
ערך בוליאני האם הלומד ענה נכון על התרגיל.	פלט

class Expert(object)

__create_exercise_list(self)	חתימת הפונקציה
החונך.	מופעלת באמצעות
אין.	קלט
הפונקציה מפעילה ארבע פונקציות עזר הבאות: 1. חיפוש שתי קטגוריות הלימוד בהן הלומד חלש ביותר. 2. המרת הציון בקטגוריות לרמות התרגילים. 3. מציאת מערכים של מספרי זיהוי התרגילים. 4. בחירת תרגילים לפי מספרי זיהוי. לבסוף הפונקציה ממירה את מספרי הזיהוי לתרגילים.	תיאור
סט של תרגילים המתאימים ללומד.	פלט

8.2. בסיס הנתונים

המערכת מתממשקת עם בסיס הנתונים MongoDB.

כדי לחסוך פניות מיותרות ו- "יקרות" לבסיס הנתונים, דאגנו לבצע עדכון מקומי של נתונים לצד עדכון בבסיס הנתונים. באופן זה נחסכו הרבה פניות לבסיס הנתונים.

לצערנו, נכון לכתיבת שורות אלו, MongoDB לא תומך בפונקציות וטריגרים עבור Python. לכן נאלצנו לכתוב את השאילתות ברמת האפליקציה. משכך, כדי לשמור על בטיחות הנתונים, אנחנו מפרסמים "לציבור" הוראות לשימוש באמצעות הקמת שרת מקומי. נקווה שבעתיד MongoDB יתמכו בפיצ'רים אלו כדי שיהיה אפשר לרשום את השאילתות בפונקציות של בסיס הנתונים ואז ניתן יהיה ליצור משתמשים בעלי הרשאות לפונקציות מסוימות בלבד. באופן זה משתמשים לא יוכלו לפגוע בנתוני המערכת. הסיבה שבחרנו לעבוד עם MongoDB בכל זאת היא שעבור ה- POC הוא מספק את הצרכים שלנו, מכיוון שהוא חינמי ואופציית האונליין הקלה עלינו בביצוע שלב הערכה בו ערכנו ניסוי בהשתתפות 11 תלמידים.

עתה נציג את ה- Collections שבבסיס הנתונים ודוגמאות של מסמכים (Documents) מתוך ה- Collections.

Collection: exercises

שומר את נתוני התרגילים.

```
_id: 3
difficulty: "easy"
type: "subtraction"
format: "equation"
question: Array
  0: 87
  1: 4
solution: 83
```

```
_id: 78
difficulty: "hard"
type: "subtraction"
format: "phrase"
question: "...לאיתן יש מספר גולות וחמישים סוכריות. הוא קונה ארבע מאות שמונים ותשע גו"
solution: 2289
```

Collection: questionnaire

שומר את נתוני השאלון לסיווג התאמה לסגנונות לימוד.

```
_id: 5
question: "האם אתה אוהב לשחק במשחקי קופסא לאחר בית הספר?"
style: "modern"
```

```
_id: 1
question: "האם אתה אוהב ללמוד חשבון בכיתה?"
style: "traditional"
```

Collection: quiz

שומר את נתוני המבדק לסיווג רמות הלומד.

```
_id: 1
categories: Object
  subtraction_equation: Array
    0: Object
      exercise_id: 7
    1: Object
      exercise_id: 41
    2: Object
      exercise_id: 73
  subtraction_phrase: Array
    0: Object
      exercise_id: 18
    1: Object
      exercise_id: 54
    2: Object
      exercise_id: 70
  multiplication_equation: Array
    0: Object
      exercise_id: 91
    1: Object
      exercise_id: 133
    2: Object
      exercise_id: 169
  multiplication_phrase: Array
    0: Object
      exercise_id: 94
    1: Object
      exercise_id: 146
    2: Object
      exercise_id: 178
```

Collection: sequences

שומר את מספר הזיהוי האחרון של המשתמש (לומד) האחרון שנרשם למערכת.

```
_id: 1
collection: "users_collection"
seq_id: 12
```

Collection: users

שומר את נתוני הלומד.

```
_id: 14
username: "Roi"
password: Binary('TVRJek5EVTJOemc9', 0)
points: 3
> level: Object
> learning_styles: Object
> exercises: Object
> questionnaire: Object
> quiz: Object
```

```
✓ exercises: Object
  ✓ learned_exercises: Object
    ✓ subtraction: Object
      ✓ equation: Object
        ✓ easy: Array
        ✓ intermediate: Array
        ✓ hard: Array
      ✓ phrase: Object
        ✓ easy: Array
        ✓ intermediate: Array
        ✓ hard: Array
    ✓ multiplication: Object
      ✓ equation: Object
        ✓ easy: Array
        ✓ intermediate: Array
        ✓ hard: Array
      ✓ phrase: Object
        ✓ easy: Array
        ✓ intermediate: Array
        ✓ hard: Array
  ✓ unlearned_exercises: Object
    ✓ subtraction: Object
      ✓ equation: Object
        ✓ easy: Array
          ✓ 0: Object
            exercise_id: 7
            counter: 1
        ✓ intermediate: Array
          ✓ 0: Object
            exercise_id: 41
            counter: 0
        ✓ hard: Array
      > phrase: Object
      > multiplication: Object
    ✓ unseen_exercises: Object
      > subtraction: Object
      > multiplication: Object
        ✓ equation: Object
          ✓ easy: Array
            ✓ 0: Object
              exercise_id: 95
            ✓ 1: Object
              exercise_id: 103
```

```
✓ level: Object
  ✓ subtraction_equation: Object
    level: 9
    highest_learned_difficulty: null
  ✓ subtraction_phrase: Object
    level: 5
    highest_learned_difficulty: null
  ✓ multiplication_equation: Object
    level: 18
    highest_learned_difficulty: "easy"
  ✓ multiplication_phrase: Object
    level: 12
    highest_learned_difficulty: null
✓ learning_styles: Object
  traditional: 75.333
  modern: 81
```

```
✓ exercises: Object
  > learned_exercises: Object
  > unlearned_exercises: Object
  > unseen_exercises: Object
✓ questionnaire: Object
  finished: true
  questions_per_category: 3
✓ questions: Array
  ✓ 0: Object
    question_id: 1
    choice: 3
  ✓ 1: Object
    question_id: 2
    choice: 4
  ✓ 2: Object
    question_id: 3
    choice: 4
  ✓ 3: Object
    question_id: 4
    choice: 3
  ✓ 4: Object
    question_id: 5
    choice: 4
  ✓ 5: Object
    question_id: 6
    choice: 5
✓ quiz: Object
  finished: true
  current_category: "multiplication_phrase"
  exercises_per_category: 3
✓ categories: Object
  ✓ subtraction_equation: Object
    current_exercise_index: 1
  ✓ subtraction_phrase: Object
    current_exercise_index: 0
  ✓ multiplication_equation: Object
    current_exercise_index: 2
  ✓ multiplication_phrase: Object
    current_exercise_index: 1
```

8.3. הנחיות להרצת התוכנית

כדי להריץ את התכנית, יש לבצע את השלבים הבאים:

1. MongoDB Community Server

יש לפתוח את הקישור הבא, להוריד את קובץ ההתקנה ולהריץ אותו.

<https://www.mongodb.com/try/download/community>

2. Python

יש להשתמש במדריך הבא:

<https://www.geeksforgeeks.org/how-to-install-python-on-windows>

3. Python Libraries

יש לכתוב את הפקודות הבאות בטרמינל:

`python -m pip install Pillow`

`python -m pip install pygame`

`python -m pip install pymongo`

4. Run main.py

יש לפתוח בטרמינל את תיקיית הפרויקט.

יש לכתוב את הפקודה: `python main.py`

5. Have fun

8.4. תיאור הזרימה של הרצת האלגוריתמים

לאחר הרישום הלומד ממלא שאלון התאמת סגנונות לימוד

שאלון סגנונות לימוד

הרבה מאוד	הרבה	ככה ככה	מעט	מעט מאוד	
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	האם אתה אוהב לשחק במשחקי קופסא לאחר בית הספר?
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	האם אתה אוהב ללמוד חשבון בכיתה?
<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	האם אתה אוהב ללמוד חשבון מחוברת התרגילים?
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	האם אתה אוהב ללמוד חשבון מספר הלימוד?
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	האם אתה אוהב לשחק במשחקי מחשב לאחר בית הספר?
<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	האם אתה אוהב לצפות בתכניות טלוויזיה לאחר בית הספר?

שלח שאלון

```
_id: 1
username: "Flow"
password: Binary('TVRJekSEVTJOemc9', 0)
points: 0
> level: Object
> learning_styles: Object
> exercises: Object
< questionnaire: Object
  finished: true
  questions_per_category: 3
  < questions: Array
    < 0: Object
      question_id: 1
      choice: 5
    < 1: Object
      question_id: 2
      choice: 5
    < 2: Object
      question_id: 3
      choice: 2
    < 3: Object
      question_id: 4
      choice: 4
    < 4: Object
      question_id: 5
      choice: 3
    < 5: Object
      question_id: 6
      choice: 1
  < quiz: Object
```

לאחר שליחת השאלון, נתוני המענה על השאלון נשמרים בבסיס הנתונים תחת משתמש הלומד ומוצג ללומד התרגיל הראשון במבדק סיווג לרמות לימוד.

כמו כן אלגוריתם "פרופיל הלומד" מנתח את נתוני השאלון כדי לקבוע את אחוז ההתאמה לכל אחד מסגנונות הלימוד.

```
_id: 1
username: "Flow"
password: Binary('TVRJekSEVTJOemc9', 0)
points: 0
> level: Object
< learning_styles: Object
  traditional: 80
  modern: 53.333333333333336
```

שאלה ברמה קלה

87 - 47

בדוק תשובה

הלומד פותר את המבדק כך שמופיעים לו תרגילים מכל ארבעת קטגוריות הלימוד (ניתנו כאן רק שתי דוגמאות להמחשה).

שאלה ברמה קשה

מכונית נוסעת קילומטר אחד כל שלוש דקות.

המכונית נוסעת ארבעים ושלושה קילומטרים.

כמה דקות נסעה המכונית?

בדוק תשובה

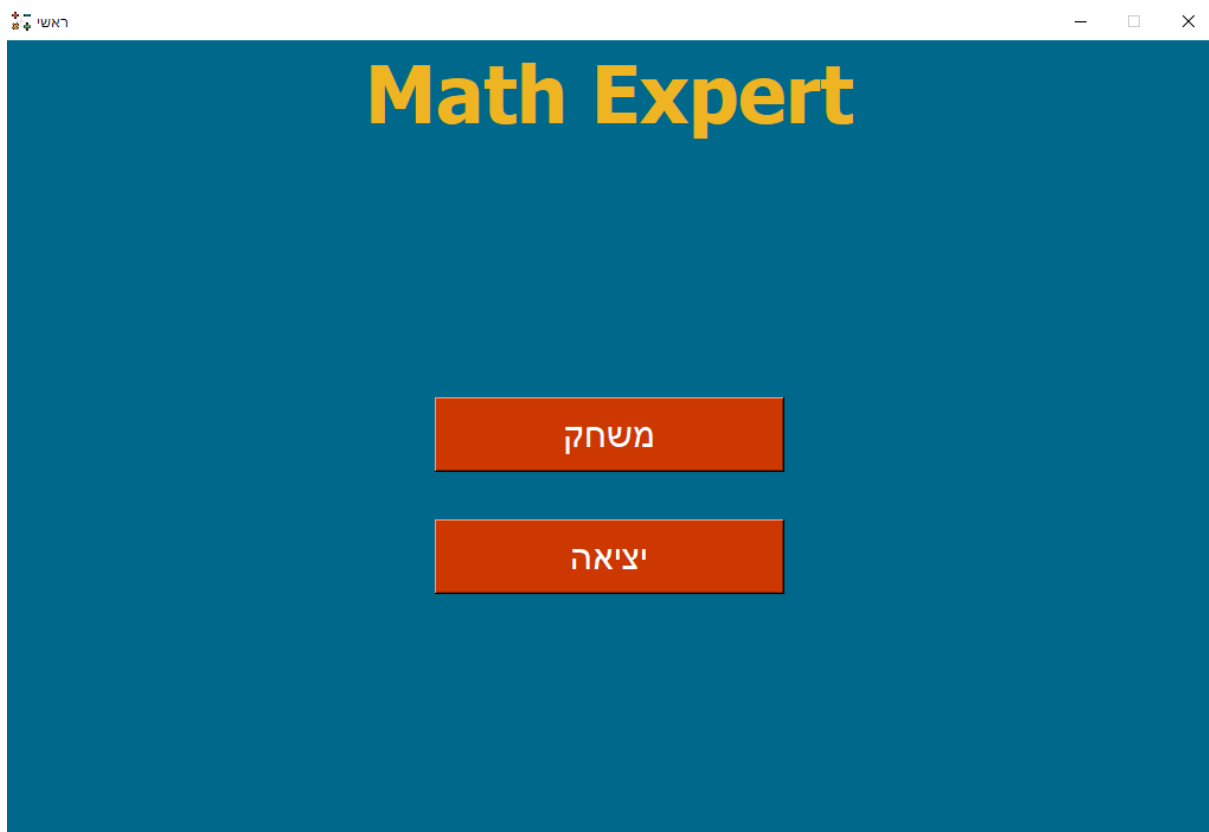
בסיום המענה על המבדק, אלגוריתם "פרופיל הלומד" מנתח את הנתונים ומעדכן בבסיס הנתונים את רמת הלומד הראשונית בכל אחת מארבעת קטגוריות הלימוד. כמו כן הוא מעביר את התרגילים שהלומד ראה מקטגוריית "תרגילים שלא נראו" לקטגוריית "תרגילים שנראו ועדיין לא נלמדו" ומעדכן את מספר ההצלחות בהם בהתאם.

```

_id: 1
username: "Flow"
password: Binary('TVRJek5EVTJOemc9', 0)
points: 0
level: Object
  subtraction_equation: Object
    level: 0
    highest_learned_difficulty: null
  subtraction_phrase: Object
    level: 9
    highest_learned_difficulty: null
  multiplication_equation: Object
    level: 17
    highest_learned_difficulty: null
  multiplication_phrase: Object
    level: 24
    highest_learned_difficulty: null
exercises: Object
  learned_exercises: Object
  unlearned_exercises: Object
    subtraction: Object
      equation: Object
      phrase: Object
        easy: Array
          0: Object
            exercise_id: 18
            counter: 1
        intermediate: Array
          0: Object
            exercise_id: 54
            counter: 0
        hard: Array
      multiplication: Object
    unseen_exercises: Object

```

המסך הבא שמוצג ללומד הוא המסך הראשי בו הוא יכול להתחיל משחק.

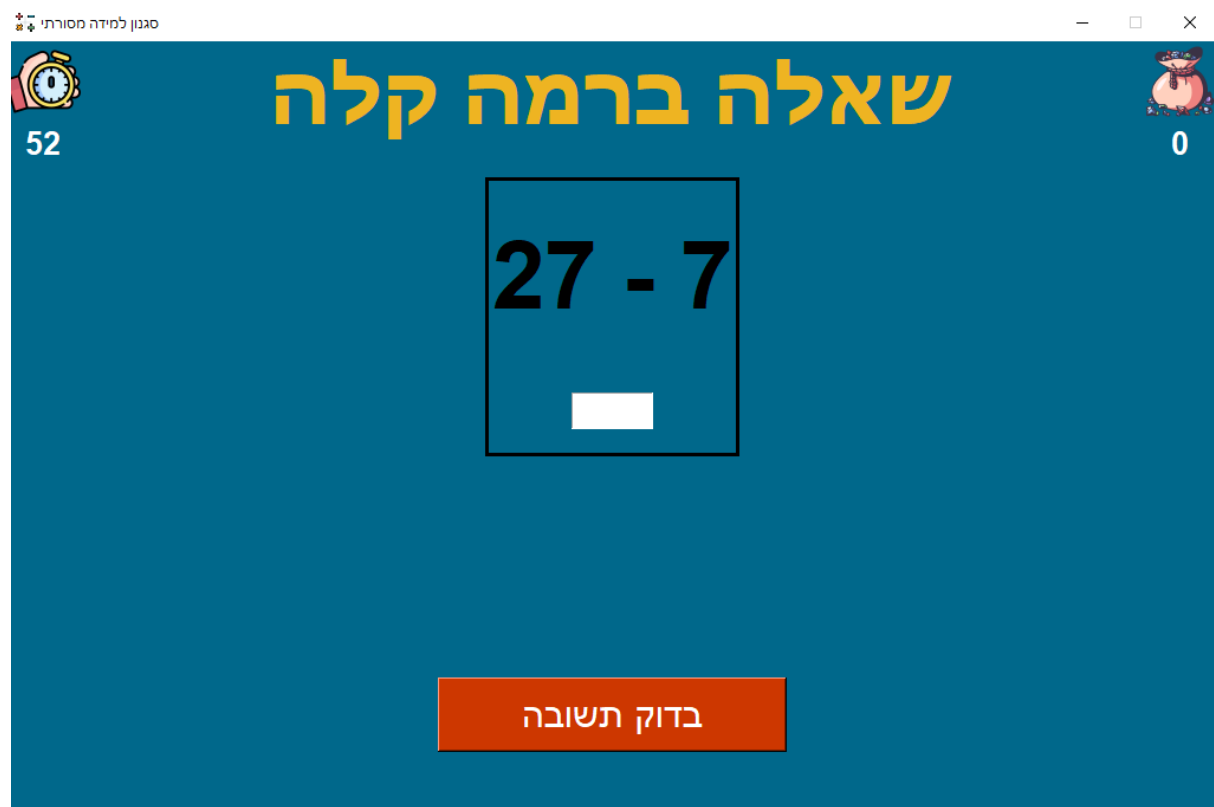


כאשר הלומד בוחר להתחיל משחק, אלגוריתם "החונך" מבקש סט תרגילים מתאים מאלגוריתם "המומחה". במקרה הנוכחי "המומחה" יעביר סט תרגילים שיכלול ארבעה תרגילים ברמה קלה מקטגוריית חיסור בפורמט משוואה וארבעה תרגילים ברמת ביניים מקטגוריית חיסור בפורמט מילולי. הסיבה לכך היא ששתי הקטגוריות בהן רמת הלומד היא הנמוכה ביותר הן חיסור בפורמט משוואה (0) וחיסור בפורמט מילולי (9). "המומחה" ינסה במידת האפשר לדאוג שמתוך ארבעת התרגילים ששלח בכל קטגוריית לימוד, שניים יהיו מקטגוריה "הלומד עדיין לא ראה" ושניים אחרים יהיו מקטגוריה "הלומד ראה ועדיין לא הצליח ללמוד".


לאחר מיכן "החונך" קובע את סגנון הלימוד בו יוצג סט התרגילים. מכיוון שסגנון הלימוד המסורתי הוא בעל 80% התאמה לעומת סגנון הלימוד המודרני שהוא בעל 53.333% התאמה, יש סיכוי גדול יותר שהסט יוצג בסגנון לימוד מסורתי.

לאחר מענה על תרגיל, אלגוריתם "החונך" מעביר נתונים לאלגוריתם "פרופיל הלומד" כדי שהוא יעדכן את משתמש הלומד בבסיס הנתונים בהתאם להצלחה/אי הצלחה בתרגיל.


שני סגנונות הלימוד כוללים אודיו שמתנגן כאשר הלומד עונה נכון או לא נכון על תרגיל. ישנם מספר קבצי אודיו בשביל הגיוון. כמו כן מתנגן אודיו כאשר מסתיים זמן המענה.



ואכן ניתן לראות שהתרגילים מוצגים בסגנון לימוד מסורתי ושהתרגיל הראשון הוא מקטגוריית לימוד של חיסור בפורמט משוואה ברמה קלה. זמן המענה על תרגיל הוא 60 שניות ושעון העצר כרגע על 52 שניות. כרגע יש ללומד 0 נקודות.


31

שאלה ברמה קלה


0

$$27 - 7$$

בדוק תשובה

יפה מאוד!

לאחר הקשת תשובה נכונה מתקבל משוב בונה. "יפה מאוד".


30

שאלה ברמה קלה

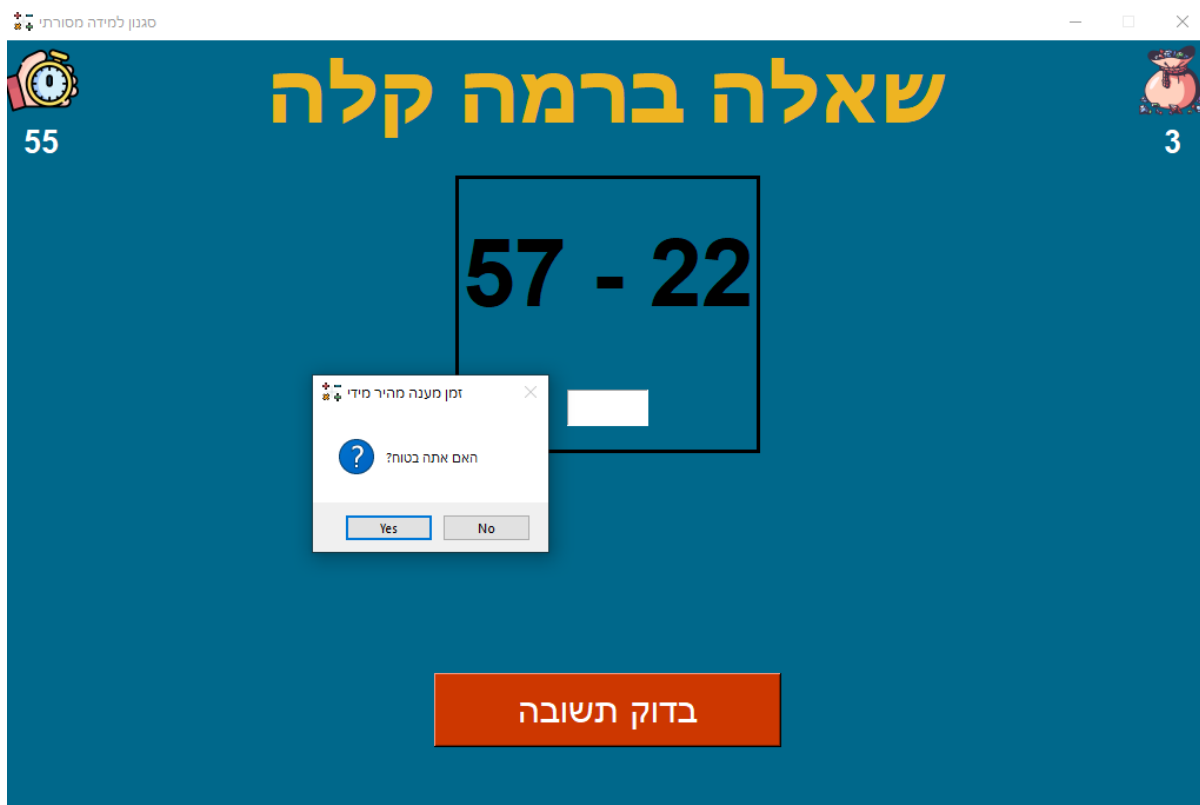

1

$$87 - 47$$

בדוק תשובה

יש להקליד מספר אי-שלילי שלם עד 5 ספרות כולל


מתווספת נקודה אחת בעקבות המענה הנכון וניתן לראות במסך שלאחר הקלדת תוכן לא חוקי מתקבלת הודעת שגיאה בתחתית המסך.




במסך זה ניתן לראות ששעון העצר נמצא על 55 שניות ומכיוון שהלומד ענה מהר מידי (תוך 5 שניות) אלגוריתם "החונך" מציג לו הודעה ושואל אותו האם הוא בטוח בתשובתו.



במסך זה ניתן לראות מקרה בו הלומד טעה. ניתן משוב מעודד כולל פתרון.


132

שאלה ברמת ביניים


2

העיפרון של עידו באורך של שלושים ואחד סנטימטרים.
 עידו מחדד את העיפרון שלו.
 עכשיו האורך של העיפרון הוא ארבעה-עשר סנטימטרים.
 בכמה סנטימטרים התקצר העיפרון של עידו?

בדוק תשובה

במסך זה ניתן לראות את התרגיל החמישי. הוא שייך לקטגוריית הלימוד של חיסור בפורמט מילולי ברמת ביניים, בדיוק כפי שציפינו שיקרה.

זמן המענה על התרגיל הוא 135 שניות ושעון העצר כרגע על 132 שניות.

לאחר סיום סט התרגילים ללומד מוצג שוב המסך הראשי והוא יכול להחליט אם לשחק שוב פעם. בעמוד הבא נציג את המסכים של סגנון הלימוד המודרני.

בסגנון הלימוד המודרני על הלומד לבצע ירי על מספר שהוא חושב שהוא התשובה הנכונה לתרגיל. מוצגים בתחילת כל תור שמונה אפשרויות שונות לפתרון. המספרים נעים לכיוון החללית של הלומד. אם המספרים מגיעים עד לחללית, הלומד נפסל. אם הלומד פוגע במספר שאינו התשובה הנכונה הוא נפסל. מהירות תזוזת המספרים נקבעת בהתאם לרמת ופורמט התרגיל, באופן זהה לשעון העצר בסגנון הלימוד המסורתי. ישנם שלושה צבעי ירי שונים שמוגרלים כל פעם שמבצעים ירי. כמו כן סוג החללית מוגרל מתוך ארבעה סוגי חלליות בתחילת המשחק.

שאלה ברמה קלה

87 - 47

35 36 40 44 41 37 45 39

שאלה ברמה קלה

27 - 7

23 16 17 21 22 25 18 20

זמן מענה מהיר מידי
✕

?

האם אתה בטוח?

Yes
No

שאלה ברמת ביניים

לנדב יש שבעים תפוזים
ושבעים קלמנטינות

נדב נותן לאלעד
תשעה-עשר תפוזים

כמה תפוזים נשארו לנדב

יפה מאוד!

55 54 52 51 56 46 50 47



שאלה ברמה קשה

מכונית נוסעת קילומטר
אחד כל שלוש דקות

המכונית נוסעת ארבעים
ושלושה קילומטרים

כמה דקות נסעה המכונית

124 130 128 129 131 132 133 127 11



9. הערכה

בפרק זה נסקור את שלבי הערכת הפרויקט. לשם כך נפרט אודות ה- Data Set בו השתמשנו והפעולות שביצענו עליו. כמו כן נציג את המדדים שהוגדרו עבור שלב הבדיקה ולבסוף נתאר את שלב זה.

9.1 Data Set

9.1.1 Data Set - תיאור ומבנה ה- Data Set

חוקרים מאוניברסיטת אילינוי שבארה"ב הרכיבו דתה סט שכולל תרגילי חשבון ברמת בית ספר יסודי. החוקרים אספו את התרגילים מכמה אתרי אינטרנט ללימוד חשבון, תוך סינון שאלות שכללו בין השאר צורך בידע קודם (למשל כמה ימים יש בחודש). קיימים סך הכל 1,414 תרגילי חשבון בחיבור, חיסור, כפל וחילוק ברמות שונות. עבור כל תרגיל קיימת גרסה של משוואה וגרסה מילולית תואמת.

במשרד החינוך קיים מסמך בשם "תכנית לימודים במתמטיקה לכיתות א-ו בכל המגזרים". מתכנית זו, ניתן לגזור את טווח המספרים והפעולות המתאימות לכיתות ג'.

לכל תרגיל חשבון שמורים הנתונים הבאים

- אינדקס.
- התרגיל בפורמט משוואה.
- התרגיל בפורמט מילולי.
- הפתרון.

9.1.2 פעולות שבוצעו על ה- Data Set

#	פעולה	סיבה/הסבר
1	מחיקת תרגילים בחיבור וחילוק.	נעשה כדי למנוע תלות והטיה בין השימוש באפליקציה המתחרה לבין השימוש במערכת שפיתחנו. במערכת שפיתחנו הנבדקים יפתרו תרגילים בחיסור וכפל.
2	בחירת תרגילים וסיווגם לפי רמות קושי בהתאם למסמך תכנית לימודים במתמטיקה של משרד החינוך.	נבחרו סה"כ 90 שאלות. 15 שאלות עבור רמה קלה בחיסור. 15 שאלות עבור רמת ביניים בחיסור. 15 שאלות עבור רמה קשה בחיסור. 15 שאלות עבור רמה קלה בכפל. 15 שאלות עבור רמת ביניים בכפל. 15 שאלות עבור רמה קשה בכפל.

3	הוספת סוג אופרטור לכל תרגיל	נוסף נתון האם התרגיל הוא בכפל או בחיסור.
4	הפרדה בין תרגילים בפורמט מילולי לבין תרגילים בפורמט משוואה.	מכיוון שכל תרגיל הכיל את שני הפורמטים היה צורך לבצע הפרדה ולתת אינדקס ייחודי לכל פורמט חדש של תרגיל. פעולה זו יצרה לנו סה"כ 180 תרגילים. כאשר 90 תרגילים הם בפורמט משוואה ו- 90 תרגילים הם בפורמט מילולי.
5	תרגום תרגילים בפורמט מילולי מאנגלית לעברית.	מכיוון שהמערכת שלנו היא עבור תלמידי ישראל, היה צורך לתרגם את התרגילים לעברית.

9.2. מדדים

המדדים יבדקו אל מול אחד מחמשת המתחרים שסקרנו בפרק 3. המתחרה שנבחר הוא אפליקציית "חשבון לכיתה ב". תוכן האפליקציה מתאים גם לכיתות ג' וקיימים בה תרגילים בפורמט מילולי ובפורמט משוואה. האפליקציה נגישה ואיננה עולה כסף.

9.2.1. יתקיים פער של לפחות 10% בהצלחת הלומדים בפתרון תרגילים לטובת שימוש במערכת שפיתחנו לעומת המתחרה.

9.2.2. יתקיים פער של לפחות 10% במוטיבציה והתעניינות הלומדים לטובת שימוש במערכת שפיתחנו לעומת המתחרה.

9.3. אופן הבדיקה

הלקוחות הפוטנציאליים של המערכת שפיתחנו הם ילדים בכיתה ג'. על כן, בשביל לבדוק את טיב המערכת אספנו קבוצת מדגם של 11 תלמידים בכיתה ג'. עקב בירוקרטיה ומשאבי זמן התאפשר לנו לבצע את הניסוי פעם אחת בלבד.

בשלב הראשון התלמידים השתמשו באפליקציה המתחרה ולמדו באמצעותה חיבור במשך 20 דקות וחילוק במשך 20 דקות. בסוף השימוש באפליקציה המתחרה, התלמידים ביצעו מבדק כפי שמופיע בנספח א' ומילאו שאלון חווית שימוש כפי שמופיע בנספח ג'.

בשלב השני התלמידים השתמשו במערכת שפיתחנו ולמדו באמצעותה חיסור במשך 20 דקות וכפל במשך 20 דקות. בסוף השימוש במערכת שפיתחנו, התלמידים ביצעו מבדק כפי שמופיע בנספח ב' ומילאו שאלון חווית שימוש כפי שמופיע בנספח ג'.

כדי למנוע תלות והטיה בתוצאות הניסוי דאגנו שבשני השלבים לא ילמדו את אותן פעולות. מכיוון שחיבור קל יותר מחיסור, וכפל קל יותר מחילוק, החלטנו שהלומדים ילמדו חיבור וחילוק באפליקציה המתחרה וחיסור וכפל במערכת שפיתחנו.

10. תוצאות

בפרק זה נציג את התוצאות של שני שלבי הניסוי בעזרת טבלאות, גרפים וליווי בהסברים.

הטבלאות הבאות מסכמות את תוצאות המבדקים. הטבלה הראשונה מסכמת את תוצאות המבדק לאחר שימוש באפליקציה המתחרה. הטבלה השנייה מסכמת את תוצאות המבדק לאחר שימוש במערכת שפיתחנו. כאשר לומד הצליח לענות נכון על תרגיל במבדק, סומן 1 בתא שמקשר בין מספר הלומד למספר התרגיל. כאשר הוא לא הצליח לענות נכון, סומן 0 בתא. בתחתית הטבלאות ניתן לראות את מספר התרגילים עליהם ענה נכון הלומד.

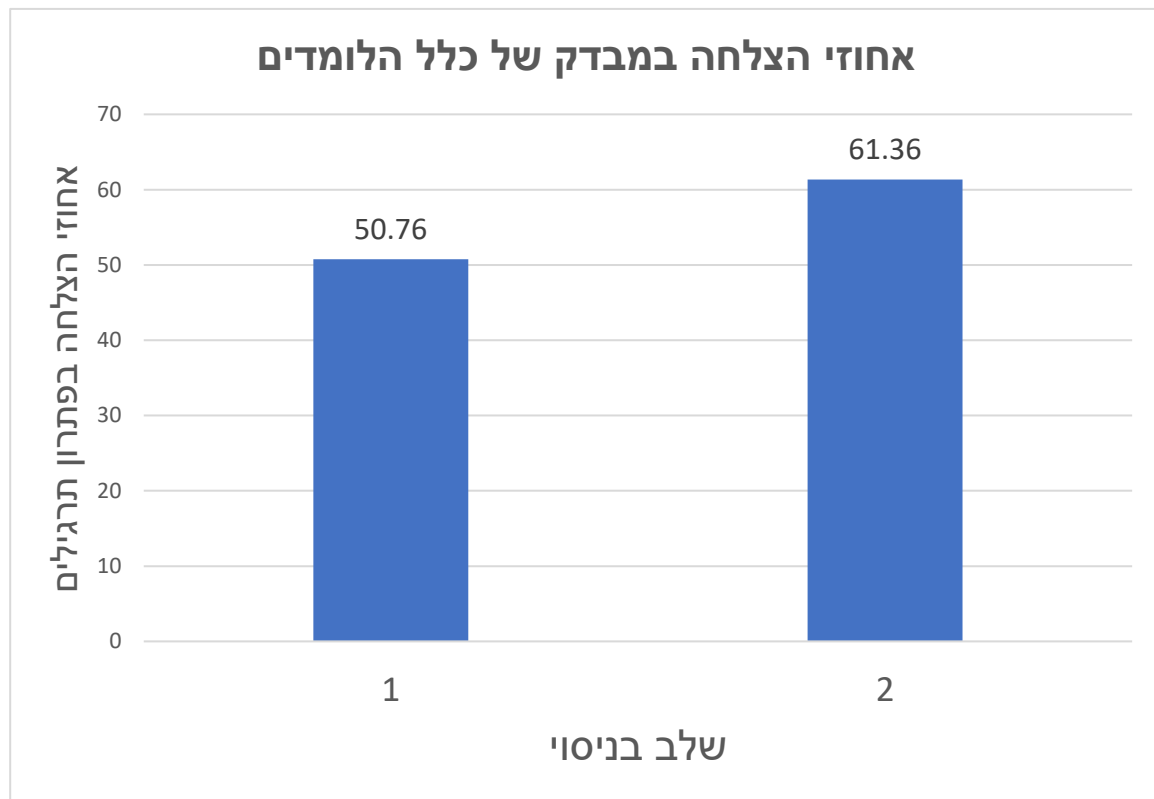
תוצאות מבדק בשלב ראשון של הניסוי

תוצאות מבדק לאחר שימוש באפליקציה מתחרה													
11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	תרגיל/מספר לומד	רמה	קטגוריית לימוד
1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	קלה	חיבור בפורמט משוואה
1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	2	ביניים	חיבור בפורמט משוואה
0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	3	קשה	חיבור בפורמט משוואה
1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	4	קלה	חיבור בפורמט מילולי
0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	5	ביניים	חיבור בפורמט מילולי
0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	6	קשה	חיבור בפורמט מילולי
1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	7	קלה	חילוק בפורמט משוואה
0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	8	ביניים	חילוק בפורמט משוואה
0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	9	קשה	חילוק בפורמט משוואה
0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	10	קלה	חילוק בפורמט מילולי
0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	11	ביניים	חילוק בפורמט מילולי
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	קשה	חילוק בפורמט מילולי
4	8	7	6	3	8	5	6	9	4	7	סכום תשובות נכונות		

תוצאות מבדק בשלב שני של הניסוי

תוצאות מבדק לאחר שימוש במערכת שפיתחנו													
11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	תרגיל/מספר לומד	רמה	קטגוריית לימוד
1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	קלה	חיסור בפורמט משוואה
1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	2	ביניים	חיסור בפורמט משוואה
0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	3	קשה	חיסור בפורמט משוואה
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	קלה	חיסור בפורמט מילולי
0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	5	ביניים	חיסור בפורמט מילולי
0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	6	קשה	חיסור בפורמט מילולי
1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	7	קלה	כפל בפורמט משוואה
0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	8	ביניים	כפל בפורמט משוואה
0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	9	קשה	כפל בפורמט משוואה
1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	10	קלה	כפל בפורמט מילולי
1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	11	ביניים	כפל בפורמט מילולי
0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	12	קשה	כפל בפורמט מילולי
6	7	9	9	5	10	5	8	12	3	7	סכום תשובות נכונות		

גרף אחוזי הצלחה במבדק של כלל הלומדים



מהגרף ניתן לראות כי לאחר השימוש במערכת שפיתחנו, הלומדים הצליחו ב- 10.6% יותר לפתור בהצלחה תרגילים מאשר לאחר השימוש באפליקציה המתחרה. אפשר להסיק כי תוצאה זו התקבלה בעיקר מכיוון שהמערכת שפיתחנו מממשת את העקרונות העיקריים של לימוד אדפטיבי, שאינם קיימים אצל המתחרה. כמו כן, במערכת שפיתחנו קיימים אלמנטים מרכזיים של משחק שמשפיעים על המוטיבציה והעניין אצל הלומדים. נזכיר שוב שהתאפשר לבצע רק ניסוי אחד. ניתן לצפות לשונות בתוצאות אם יתקיימו ניסויים נוספים. כמו כן קבוצת המדגם כוללת רק 11 לומדים.

הטבלאות הבאות מסכמות את תוצאות המענה על שאלון חווית שימוש. הטבלה הראשונה מסכמת את תוצאות המענה על השאלון לאחר שימוש באפליקציה המתחרה. הטבלה השנייה מסכמת את תוצאות המענה על השאלון לאחר שימוש במערכת שפיתחנו. הערכים שבתאים בשורות "תשובה" נעים בין 1 ל- 5 ומסמלים את מענה הלומד לשאלה הרלוונטית.

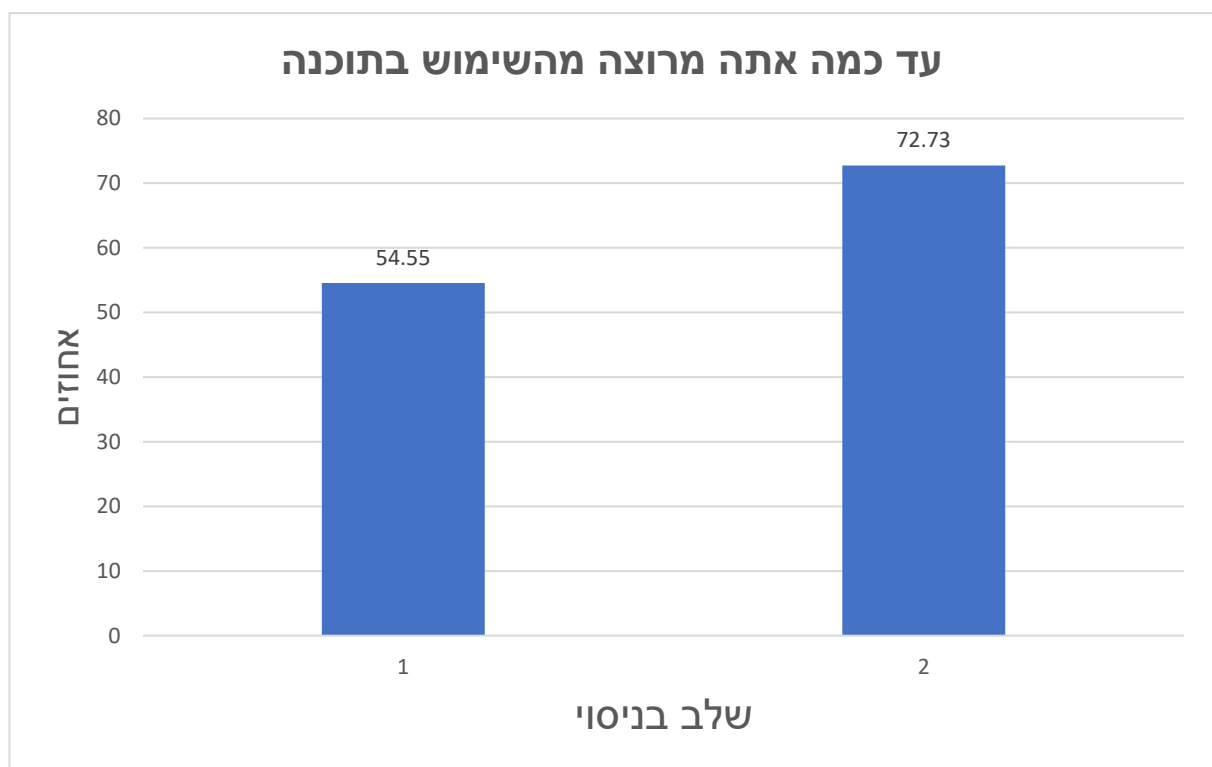
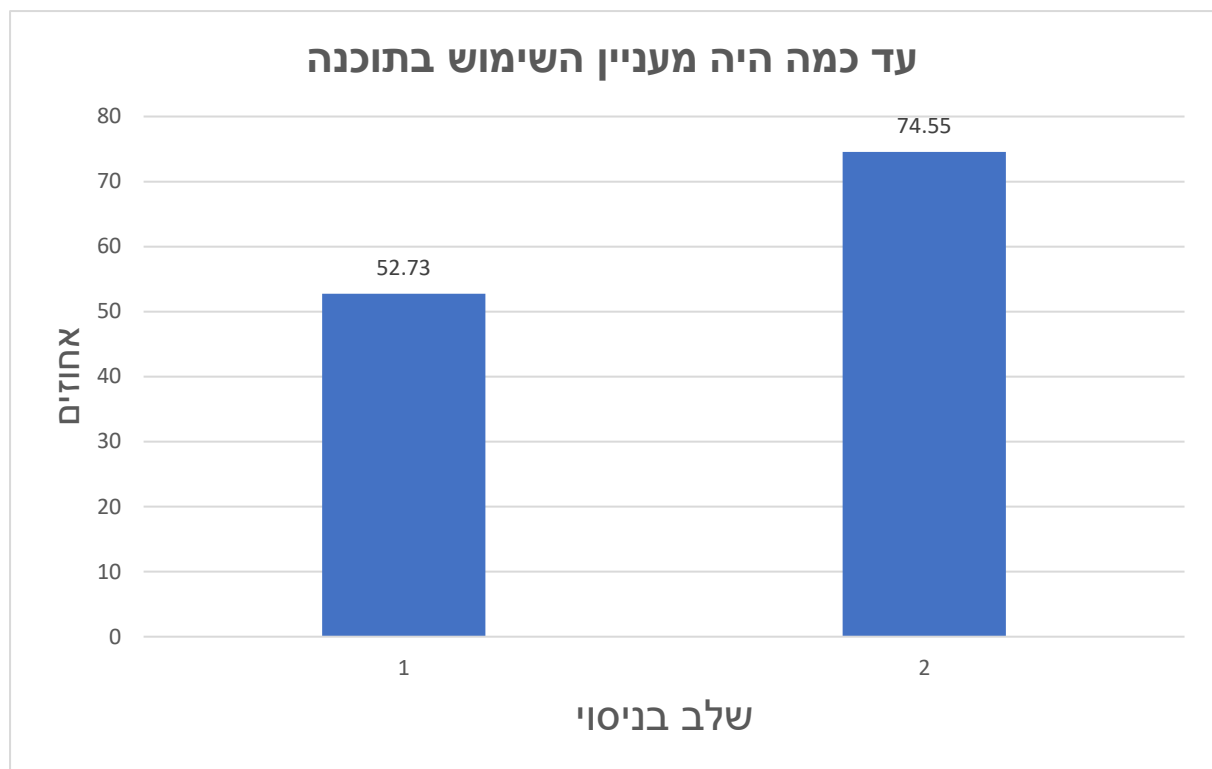
תוצאות מענה על שאלון חווית שימוש בשלב ראשון של הניסוי

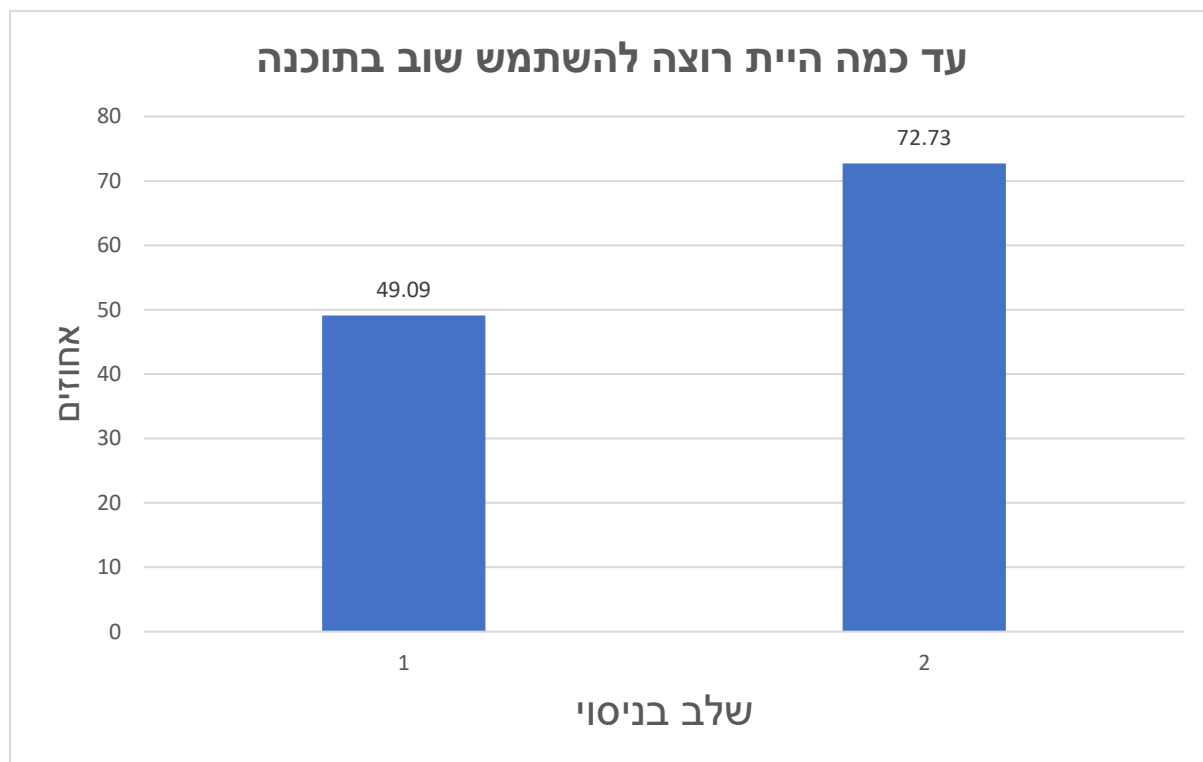
תוצאות שאלון חווית שימוש לאחר שימוש באפליקציה מתחרה												
מספר לומד	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	סכום
עד כמה היה מעניין השימוש בתוכנה?												
תשובה	2	2	3	3	2	5	1	3	1	3	4	29
עד כמה אתה מרוצה מהשימוש בתוכנה?												
תשובה	3	2	3	4	3	4	1	3	1	3	3	30
עד כמה היית רוצה להשתמש שוב בתוכנה?												
תשובה	3	3	3	2	2	4	1	3	1	2	3	27

תוצאות מענה על שאלון חווית שימוש בשלב שני של הניסוי

תוצאות שאלון חווית שימוש לאחר שימוש במערכת שפיתחנו												
מספר לומד	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	סכום
עד כמה היה מעניין השימוש בתוכנה?												
תשובה	4	4	3	3	3	4	5	3	3	4	5	41
עד כמה אתה מרוצה מהשימוש בתוכנה?												
תשובה	3	5	3	3	3	5	2	3	4	5	4	40
עד כמה היית רוצה להשתמש שוב בתוכנה?												
תשובה	4	4	4	3	4	5	1	3	3	4	5	40

בעמודים הבאים ניתן לראות את ההבדלים בתוצאות בין שני שלבי הניסוי בשלושה גרפים, כאשר כל גרף מייצג שאלה.





בשלושת הגרפים ניתן לראות כי קיים פער גדול בחוויית השימוש לטובת המערכת שפיתחנו. עובדה זאת נותנת לנו זריקת עידוד ומהווה גושפנקא להצלחת הפרויקט.

סיכום התוצאות

תוצאה	מדד
הצלחנו להשיג פער של 10.6%.	פער של לפחות 10% בהצלחת הלומדים בפתרון תרגילים לטובת שימוש במערכת שפיתחנו.
בשאלה ראשונה בנושא הצלחנו להשיג פער של 21.82%. בשאלה השנייה בנושא הצלחנו להשיג פער של 18.18%. בשאלה השלישית בנושא הצלחנו להשיג פער של 23.64%.	פער של לפחות 10% במוטיבציה והתעניינות הלומדים לטובת שימוש במערכת שפיתחנו.

11. סיכום ומסקנות

במהלך הפרויקט בחנו את הפוטנציאל של לימוד חשבון בישראל בשיטת לימוד אדפטיבי. ביצענו ניסוי בהשתתפות של 11 תלמידים בכיתה ג'. התלמידים השתמשו תחילה במערכת של אחד המתחרים שסקרנו ולאחר מכן במערכת לימוד אדפטיבי של חשבון שפיתחנו במסגרת הפרויקט. ביצוע ניסוי עם ילדים בתקופת הקורונה היווה אתגר שעליו הצלחנו להתגבר בכך שדאגנו מראש למצוא קבוצת ילדים גדולה יותר מזו שהיינו צריכים לביצוע הניסוי.

מתוצאות הניסוי עלה שקיים פער של 10.6% בהצלחת התלמידים לטובת שימוש במערכת שפיתחנו. בנוסף לכך עלה שקיימים פערים בטווח של 18.18% עד 23.64% בחוויית השימוש לטובת המערכת שפיתחנו. תוצאות הניסוי מראות שמטרת הפרויקט הושגה במלואה. הצלחנו לעמוד בכלל היעדים והמדדים שהגדרנו.

ניתן להסיק שהפער בהצלחת התלמידים נובע בעיקר מכיוון שהמערכת שפיתחנו מממשת את העקרונות העיקריים של לימוד אדפטיבי, שאינם קיימים אצל המתחרה. כמו כן, במערכת שפיתחנו קיימים אלמנטים מרכזיים של משחק שמשפיעים על המוטיבציה והעניין אצל הלומדים.

למרות האמור בפסקה לעיל, יש להתייחס לתוצאות בזהירות הנדרשת, מכיוון שהתאפשר לנו לבצע רק ניסוי אחד שכלל קבוצת מדגם קטנה של 11 לומדים. ניתן לצפות לשונות בתוצאות במידה ויתקיימו ניסויים נוספים. כמו כן, יתכן שבקבוצות גדולות יותר התוצאות ישתנו. בנוסף, מכיוון שבשלב הראשון והשני של הניסוי נלמדות פעולות אריתמטיות שונות (כדי למנוע תלות והטיה), יתכן שעקב ידע קודם חלק מהתלמידים חזקים יותר בפעולות מסוימות. יתרה מכך, לא נבדק מקרה בו בשלב הראשון של הניסוי התלמידים משתמשים במערכת שפיתחנו ובשלב השני במערכת של המתחרה. לעניות דעתנו, ביצוע ניסויים נוספים עם קבוצות גדולות ומגוונות יותר של תלמידים יניבו תוצאות אף טובות יותר מאלו שהושגו בניסוי הבודד שביצענו.

תוצאות הניסוי מהוות חותם להצלחת ה- POC והשרישו בנו את התובנה שקיים פוטנציאל משמעותי בלימוד חשבון בישראל בשיטת לימוד אדפטיבי. הצלחת ה- POC נותנת אור ירוק ועידוד לשדרוג והמשך הפרויקט מעבר למסגרת הקורס. להלן המלצות שלנו להמשך:

- הוספת תרגילים בחיבור וחילוק.
- ביצוע ניסויים נוספים ופנייה למשרד החינוך כדי ליצור שיתופי פעולה.
- הפצת גרסה חינוכית של המערכת כדי להשיג כמות גדולה של משתמשים ונתוני הפעילות שלהם במערכת. כאשר יתקבלו מספיק נתונים יהיה כדאי לשדרג את האלגוריתמים כך שיהיו משולבים עם מודלים של למידת מכונה.
- הקמת חברה וחיפוש משקיעים.

בנימה אישית, בעת הכנת הפרויקט, רכשנו ידע וכלים רבים ומגוונים, בהם ייזום, אפיון, תכנון ופיתוח של אלגוריתמים ויישומם במערכת בעלת משמעות. שיפרנו את המקצועיות שלנו בתחום וחווינו איך זה לעבוד בצוות. אנחנו גאים בתוצר שלנו!

- [1] N. Kara and N. Sevim, "Adaptive Learning Systems: Beyond Teaching Machines," *Contemporary Educational Technology*, vol. 4, no. 2, pp. 108-120, 4 2013.
- [2] C. Dziuban, P. Moskal, C. Johnson and D. Evans, "Adaptive Learning: A Tale of Two Contexts," *Current Issues in Emerging eLearning*, vol. 4, no. 1, pp. 26-62, 2017.
- [3] H. Tootell, M. Freeman and A. Freeman, "Generation alpha at the intersection of technology, play and motivation," in *Hawaii International Conference on System Sciences*, Hawaii, 2014.
- [4] T. Jaguš, I. Boticki, V. Mornar and H.-J. So, "Gamified Digital Math Lessons for Lower Primary School Students," in *International Congress on Advanced Applied Informatics*, Hamamatsu, 2017.
- [5] M. Kickmeier, E. Mattheiss, C. Steiner and D. Albert, "A Psycho-Pedagogical Framework for Multi-Adaptive Educational Games," *International Journal of Game-Based Learning*, vol. 1, no. 1, pp. 45-58, 2011.
- [6] B. Arsovic and N. Stefanovic, "E-learning based on the adaptive learning model: case study in Serbia," *Journal of the Indian Academy of Sciences*, vol. 45, no. 266, 2020.
- [7] K. Almohammadi, H. Hagrass, D. Alghazzawi and G. Aldabbagh, "A Survey Of Artificial Intelligence Techniques Employed For Adaptive Educational Systems Within E-Learning Platforms," *JA/SCR*, vol. 7, no. 1, pp. 47-64, 2017.

13. נספחים

נספח א' – מבדק לאחר שימוש באפליקציה המתחרה

יש לפתור את התרגילים הבאים:

1) $22 + 6 =$ _____

2) $43 + 9 =$ _____

3) $234 + 297 =$ _____

4) בצנצנת יש ארבעים וארבע בננות. דני מוסיף חמש בננות לצנצנת. כמה בננות נוספו לצנצנת? _____

5) לבן יש שישים וחמש מדבקות וארבע גולות. תום נותן לבן שמונה מדבקות. כמה מדבקות יש עכשיו לבן? _____

6) לעוז יש מאתיים שישים וארבעה קלפי כדורסל ועשרה קלפי כדורגל. יש לו מאה חמישים ושבעה קלפי כדורסל פחות מרון. כמה קלפי כדורסל יש לרון? _____

7) $12 : 3 =$ _____

8) $56 : 4 =$ _____

9) $91 : 7 =$ _____

10) לנעמי יש שנים-עשר תפוזים בקופסא. אם יש שלוש קופסאות, כמה תפוזים יש לשים בכל קופסא כך שבכל קופסא יהיה מספר זהה של תפוזים? _____

11) יש שלושה תלמידים בכיתה, ארבעים ושמונה עפרונות ו- שלושים עטים. אם העפרונות מחולקים באופן שווה בין התלמידים, כמה עפרונות מקבל כל תלמיד? _____

12) מכונית נוסעת עשרים ותשעה קילומטרים בשמונים ושבע דקות. כמה קילומטרים נוסעת המכונית בדקה? _____

נספח ב' – מבדק לאחר שימוש במערכת שפיתחנו

יש לפתור את התרגילים הבאים:

1) $27 - 7 =$ _____

2) $81 - 34 =$ _____

3) $563 - 147 =$ _____

4) ליערה יש תשעים ושש ביצים. רינת לוקחת ממנה שלוש ביצים. כמה ביצים נשארו ליערה? _____

5) לאריאל יש שמונים ושתיים חפיסות מסטיקים ושמונה חפיסות קלפים. הוא נותן לאוהד תשע חפיסות מסטיקים. כמה חפיסות מסטיקים נשארו לאריאל? _____

6) אפרת רוצה לבנות גדר מסביב לגינה שלה. היא צריכה מאה עשרים וחמש אבנים כדי להשלים את הגדר. יש לאפרת שישים וארבע אבנים. כמה אבנים נוספות אפרת צריכה כדי להשלים את הגדר? _____

7) $3 * 4 =$ _____

8) $14 * 4 =$ _____

9) $6 * 71 =$ _____

10) לכל ילד יש שני ממתקים. אם יש תשעה ילדים, כמה ממתקים יש סך הכל? _____

11) לאביחי יש תשע קופסאות של כרטיסים ומדבקות. בכל קופסא יש חמישה כרטיסים ועשר מדבקות. כמה כרטיסים יש לאביחי? _____

12) היפופוטם הולך קילומטר אחד כל שמונה דקות. ההיפופוטם הלך חמישים וחמישה קילומטרים. כמה דקות הלך ההיפופוטם? _____

נספח ג' – שאלון חווית שימוש

יש לסמן תא אחד בכל שאלה:

מעט מאוד	מעט	ככה ככה	הרבה	הרבה מאוד	
					עד כמה היה מעניין השימוש בתוכנה?
					עד כמה אתה מרוצה מהשימוש בתוכנה?
					עד כמה היית רוצה להשתמש שוב בתוכנה?