



האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים

עקרונותיה של החשיבה החישובית וגישות להוראתה

סיכום מפגש הלמידה הראשון של צוות המומחים לנושא חשיבה חישובית ובינה

מלאכותית במערכת החינוך

ד' באייר תשפ"ד, 12.5.2024

בית האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים, ירושלים

דוברים (לפי סדר הופעתם במפגש):

פרופ' יהודית גל-עזר, האוניברסיטה הפתוחה

ד"ר נוע רגוניס, המכללה האקדמית בית ברל

פרופ' בוריס קויצ'ו, מכון ויצמן למדע

פרופ' ארנון הרשקוביץ', אוניברסיטת תל אביב

יונתן שור, CodeMonkey

ד"ר גלעד שמיר, UInGame

ד"ר רמי מראלי, MyQ

ד"ר דוד גינת, אוניברסיטת תל אביב

חברי צוות המומחים:

פרופ' מיכל ארמוני, מכון ויצמן למדע, יו"ר

ד"ר דוד גינת, אוניברסיטת תל אביב

פרופ' עמירם יהודאי, אוניברסיטת תל אביב

פרופ' טלי נחליאלי, המרכז האקדמי לוינסקי-וינגייט

פרופ' רז קופרמן, האוניברסיטה העברית בירושלים (נעדר)

פרופ' אורן קורלנד, הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל

פרופ' שמעון שוקן, אוניברסיטת רייכמן

משתתפים נוספים:

אפי ברוך, MyQ

יעל בר משה, קרן טראמפ

שלי לוי, CodeMonkey

צוות האגף לייעוץ וקשרי ממשל:

רננה פרזנצ'בסקי אמיר, מנהלת האגף לייעוץ וקשרי ממשל

חן ברקמן, מרכזת אקדמית

שי שילה

המפגש הלימודי הראשון של צוות המומחים עסק בסוגיות הקשורות לעקרונות ולגישות בהוראת חשיבה חישובית. הדוברות והדוברים הציגו את נקודת מבטם ושיתפו מהידע ומהניסיון שלהם בשאלות הנוגעות לחשיבה חישובית ולקשר שלה למתמטיקה, למדעי המחשב ולתהליכי פתרון בעיות, לגישות ולאופני ההוראה של חשיבה חישובית ולמחקר המלווה אותם, לדרך ההערכה של מיומנות החשיבה החישובית ולאופי ההכשרה של מורים בתחום.

בפאנל הפלטפורמות להוראת חשיבה חישובית התבקשו הדוברים לדון בשאלות הבאות:

- על איזה צורך עונה הפלטפורמה ומה הוביל לפיתוחה?
- כיצד באים לידי ביטוי העקרונות של חשיבה חישובית בפלטפורמה?
- האם יש תימוכין מחקריים לאפקטיביות של הוראת חשיבה חישובית בעזרת הפלטפורמה?
- אילו סוגים של התנסויות הקיימות בפלטפורמה תורמים לפיתוח חשיבה חישובית?
- כיצד נמדדת הקנייתה של חשיבה חישובית בפלטפורמה?
- כיצד משולבת הפלטפורמה כיום בתוכניות הלימודים בארץ ובעולם?
- מהי הכשרת המורים הנדרשת להוראה בעזרת הפלטפורמה? במה מתבטאת התמיכה במורים ועל מה מבוססים מערכי השיעורים הניתנים להם (אם יש כאלו)?

חלק א – הרצאות בנושא מפי מומחים בתחום

מה בין חשיבה חישובית למדעי המחשב?

פרופ' יהודית גל-עזר, האוניברסיטה הפתוחה

פרופ' יהודית גל-עזר דנה בהגדרות השונות שניתנו לאורך השנים למונח "חשיבה חישובית" ובהבדלים שבין מונח זה למונח "חשיבה אלגוריתמית". לטענתה, בחשיבה חישובית קיימים כל המאפיינים של חשיבה אלגוריתמית בתוספת כמה מיומנויות שאינן לקוחות בהכרח ממדעי המחשב, כלומר: החשיבה החישובית היא מעין "הרחבה" של החשיבה האלגוריתמית. רעיון זה מייתר את השימוש במונח "חשיבה חישובית", שהפך לפופולרי מאוד לאחר פרסומה של Wing כיוון שהחשיבה האלגוריתמית היא המהות של התחום ואותה יש לשאוף לממש במקצוע מדעי המחשב בשילוב פלטפורמות שונות. לפיכך אם אנו מעוניינים שכל התלמידים ירכשו את מיומנות החשיבה הזאת, יש להפוך את מדעי המחשב למקצוע חובה. עם זאת ייתכן שיש דרכים חלופיות לרכישת כלים אלו במקצועות אחרים, כגון Digital Studies, וייתכן שאפילו בלימוד שפה.

שלא כמו בחשיבה המתמטית, שבה השאיפה היא למצוא פתרון יחיד לבעיה, ורק לעיתים גם נוסחה שמייצגת את הפתרון (בעיקר במתמטיקה השימושית), החשיבה האלגוריתמית לפתרון בעיות במדעי המחשב מתאפיינת בתהליך רב-שלבי:

1. פירוק הבעיה הכללית לתתי-בעיות
2. פתרון כל בעיה בנפרד באמצעים אלגוריתמיים
3. בדיקת האלגוריתם לפי קריטריונים שונים (האם הוא נותן פתרון לבעיה? האם הוא רלוונטי לכל חלקיה? האם הוא יעיל?)
4. כתיבת האלגוריתם בשפת תכנות

5. דיון בתהליך ורפלקצייה לתיקון שגיאות

אף שהמונח "חשיבה חישובית" עדיין לא מצא את מיקומו המדויק במערכת החינוך בישראל, הוא משמש שימוש נרחב בסילבוסים של תוכניות לימודים שונות. המונח "חשיבה אלגוריתמית", לעומתו, כמעט שאינו מופיע בתוכניות הלימודים בישראל. ייתכן שהסיבה לכך היא חוסר הנגישות שלו ותפיסה שגויה שלפיה הוא כלי ייעודי רק למדעני מחשב ולמפתחים. הוסכם על ידי חלק מהמשתתפים כי יש היום שימוש יתר במונח "חשיבה חישובית", החורג מגבולות החשיבה האלגוריתמית, וכי קיים צורך בתיחום מדויק שלו כדי לאפשר הוראה אפקטיבית של הנושא.

במדינות אחרות ניכרת דעיכה בהתלהבות שנוצרה בעבר סביב המונח "חשיבה חישובית". לראיה, ועדת Informatics for all, שיהודית שותפה לה, פיתחה תוכנית לימודים במדעי המחשב הדומה לזו שבישראל, שבה המונח "חשיבה חישובית" לא נזכר כלל. ועדה זו ממליצה לראות במדעי המחשב מקצוע עצמאי שעקרונותיו משולבים במקצועות אחרים, כגון מתמטיקה ומדעים, כאשר הכוונה היא לימוד ועבודה סיסטמית-מתודית תוך כדי ביצוע פעולות לפי שלביה של החשיבה האלגוריתמית. בתגובה לדברים אלו נאמר כי אחת המטרות הפדגוגיות של הוראת חשיבה חישובית (אלגוריתמית) היא לעורר את סקרנותם של תלמידים וסטודנטים לכלים חדשים שניתן להשתמש בהם בתחומי דעת שאינם מדעי המחשב. ניתנה התייחסות גם לצימוד שקיים בין החשיבה החישובית לבין מקצוע מדעי המחשב. האם הכרחי שכל התלמידים ילמדו מדעי המחשב כדי לרכוש את מיומנויות החשיבה הללו, או שמא ניתן ללמד אותם דרך מקצועות אחרים? במקצוע מדעי הנתונים, שהוא תחום עצמאי שאינו משויך למדעי המחשב, יש מיומנויות חשיבה דומות מאוד למה שהוצג כחשיבה אלגוריתמית. מתוך זה עולה שאלה כיצד יש ללמד את החשיבה החישובית (האלגוריתמית) בלא הסללה מובנית של התלמידים על ידי המערכת למקצוע מדעי המחשב. כלומר, כיצד ניתן להביא לידי ביטוי בלמידה מאפיינים בסיסיים יותר בעקרונות של החשיבה החישובית שיהיה אפשר ללמד אותה בתחומי דעת שונים.

לצד כל זה, **יהודית** התייחסה גם לשאלה הנוגעת למפתחי הבינה המלאכותית של העתיד וציינה כי לדעתה לצד מדעי המחשב יש ללמד את התלמידים גם חמש יחידות לימוד מתמטיקה ולימודי פיזיקה לצד לימודי אתיקה, שהולכים והופכים רלוונטיים יותר ככל שפיתוח הבינה המלאכותית גובר.

חשיבה חישובית לכולם

ד"ר נוע רגוניס, המכללה האקדמית בית ברל

ד"ר **נוע רגוניס** הציגה את קורס ה-MOOC לחשיבה חישובית שבנתה עם פרופ' אורית חזן בפלטפורמת קמפוס II. זהו קורס יסוד המיועד לקהל הרחב, בכל שכבות הגיל ומכל תחומי הדעת ומועבר גם לפרחי הוראה בכל המקצועות. פתיחת הקורס לקהל הרחב מציבה אתגר לא פשוט במתן הגדרות למושגים המופשטים שכוללת החשיבה החישובית, שכן לאנשים שאינם מגיעים מתחום מדעי המחשב אלו יכולים להיות לא פשוטים להבנה. עם זאת נוע טוענת שלעומת מקצוע מדעי המחשב, שאיננו מיועד לכולם, חשיבה חישובית דווקא כן, ולכן יש להשתמש בהמשגה פורמלית ובכלים המאפשרים לשלב את החשיבה החישובית כמיומנות חשיבה בסיסית בכל תחומי הדעת ולא רק במדעי המחשב.

הקורס מדגיש שלושה עקרונות עיקריים: חלוקה לתת-בעיות, הפשטה והכללה ויישום הפתרון כדי לא רק לדבר "על" הנושא. במהלך הקורס התלמידים עוסקים במימוש תהליך חישובי בתוך תחומי דעת שונים. התהליך החישובי מוגדר כך: "תהליך פעיל המתקיים בין מושגים בתחום הדעת, שניתן לתת לו ייצוג חזותי באמצעות תסריט דינמי מונפש שבו ישויות מתחום הדעת פועלות באופן דינמי ומקיימות אינטראקציה זו עם זו". בנוגע להגדרה זו נשאל אם תהליך הלמידה של התלמידים בקורס אכן כולל חישוב, או שמא מדובר רק בתהליך של חשיבה. **נוע** השיבה כי עצם החישוב בא לידי ביטוי בשלב היישום: התלמידים יוצרים פרויקטים בתחומי דעת שונים בפיתוח הדמיות (סימולציות) בתוכנת Scratch, שבעזרתן הם מפתחים הבנה מעמיקה של מושגים מופשטים ואת ביטויים בתוך תחום הדעת.

אשר לתלמידים שאינם בעלי ניסיון בכלים טכנולוגיים, השימוש בסימולציות ובשפת תכנות מעצים אותם ומקנה להם תחושת ביטחון. עם זאת הדגש בקורס אינו על איכות הקוד אלא על עצם השימוש בו ועל הבנת העקרונות החישוביים שבתוכו. גישה זו מאפשרת לתלמידים בכל הרמות לפתח את מיומנויות החשיבה החישובית שלהם גם אם אין להם ניסיון קודם בשפת תכנות. בניית הסימולציה ובחינת נכונותה דורשות מהתלמידים להשתמש גם בידע המעשי וגם בידע המקצועי של תחום הדעת שבחרו לעסוק בו, והלמידה אפוא תלויה בהקשר ובפרשנות. כאשר במסגרות ההוראה השונות ובכל תחומי הדעת יושם דגש על מהותה של החשיבה החישובית, יוכל הדבר להיות למיומנות חשיבה שכולם יכולים לפתח. אומנם לא כולם יוכלו ליישם אותה באותה הרמה, אבל כל התלמידים יוכלו לצאת נשכרים מהמשגה פורמלית של הנושא ומיישום הידע בפועל, במחשב או בלעדיו.

אף שטרם בוצע מחקר אורך שבוחן את השפעות הקורס על הלמידה של התלמידים בשטח, בקרב הסטודנטים ניכרת השפעה רבה: סטודנטים רבים שלומדים בקורס מעידים שהמשגת החשיבה החישובית נותנת להם כלים לפיתוח חשיבה בתהליכי פתרון בעיות במגוון תחומים, ושהשימוש בכלים טכנולוגיים מעלה את תחושת הביטחון העצמי שלהם. לצד זאת ניכר מבידיקת הפרויקטים כי חל תהליך ממשי של הפנמת עקרונות החשיבה, וסטודנטים מעידים אף על שינוי באופן ההוראה שלהם שיש בה עתה שילוב רב יותר של עקרונות החשיבה החישובית.

בהמשך לדבריה של נוע נערך דיון על שילובה ועל השפעתה של הבינה המלאכותית היוצרת (GenAI) בקורסים מסוג זה. אין ספק כי הבינה המלאכותית עלולה לשנות את האופן שבו תלמידים לומדים בקורס, וכי יש למצוא דרכים לניצול הבינה המלאכותית לשימוש נכון ויעיל על ידי התלמידים.

חשיבה חישובית בתוך הוראת המתמטיקה ובתהליכי פתרון בעיות

פרופ' בוריס קויצ'ו, מכון ויצמן למדע

פרופ' בוריס קויצ'ו הציג את פורום המורים למתמטיקה בתמיכת קרן טראמפ שהוא עומד בראשו, ושנוצר כדי לפתח חומרים לפרק המתמטיקה במבחני פיזיקה. המשתתפים בפורום מפתחים משימות של מתמטיקה יישומית הדורשות מתלמידים להשתמש במיומנויות חשיבה מורכבות. אף שאינו עוסק ישירות בחשיבה חישובית, התייחס בוריס לריבוי ההגדרות שקיימות למונח זה וטען כי הן חשובות כיוון שהן משמשות אותנו להמשגה לצורך תקשורת או קבלת החלטות בנוגע לתחום. עם זאת אי אפשר רק להכיר את ההגדרות ולהשתמש בהן מבלי ליישם את הדברים בפועל. אם ננסה להגיע לדיאגרמה שבוחנת את החשיבה החישובית לעומת החשיבה המתמטית לא נגיע להסכמה,

וגם אם נסכים, זה לא יהיה צעד חשוב בתהליך. כדי ליישם החלטות המתקבלות בוועדה יש לאסוף דוגמאות שיבהירו את אופן השימוש בכלי החשיבה הללו. אומנם גם כיום משולבים בשיעורי המתמטיקה מרכיבים של חשיבה חישובית (גם אם לא במוצהר), אך האופן שבו עקרונות החשיבה החישובית באים לידי ביטוי בפתרון התרגילים השונים עדיין אינו בהיר לגמרי.

כדי להמחיש את עמדתו הציג בוריס שתי דוגמאות במתמטיקה מתוך פרום המורים המאפשרות שיח על הקשר שבין חשיבה מתמטית לבין חשיבה חישובית בפרספקטיבה של פתרון בעיות. דוגמה ראשונה היא חידת ה"כפל במחשבון המקולקל", בהשראת יהודה שוורץ (ראו נספח 1), שבה התלמידים פותרים חידת כפל במגבלות המחייבות אותם להשתמש בכלי חשיבה כגון חישוב בעל פה ופתרון בשלבים. לאחר מכן על התלמידים לבחון אם הפתרון שמצאו תקף ואופטימלי. תהליכים אלו דומים לתהליכים שהוצגו קודם לכן כחלק ממיומנויות החשיבה החישובית, כיוון שאלו כוללים הפשטה, פירוק לתת-בעיות ותיקון שגיאות. בהמשך המשימה מוצג מצב שמטרתו להוביל לפתרון אחר: המגבלה הנוספת דורשת מהתלמידים למצוא את הדרך היעילה ביותר להגעה לפתרון. כדי לפתור את השלב הזה יש צורך בשימוש בתוצאות ביניים (בהקבלה לפירוק לתת-בעיות בחשיבה החישובית) ומעבר לשיטה בינארית, הדורשת מהתלמידים הפשטה. במובן זה מדובר במעין אלגוריתם שיצרו התלמידים שלב אחר שלב, והוא מאפשר לפתור את כל שלבי הבעיה, צעד אחר צעד.

הדוגמה השנייה שונה לחלוטין מקודמתה, ובה נדרשים התלמידים לשחזר מערכת צירים מתוך גרף קיים (ראו נספח 1). פתרון החידה הזאת מחייב שימוש במחוגה ובמגוון מאפיינים ספציפיים של בניית מערכת צירים. כדי להגיע לפתרון יש "להמציא" סדר שימוש נכון במאפיינים אלו ולבנות את מערכת הצירים המתאימה, בדומה לכתיבת אלגוריתם בשפת תכנות.

שתי החידות הללו חולקות קווי דמיון רבים: בשתיהן התלמידים צריכים לפתח אלגוריתם לפתרון הבעיה בשאיפה ליעילות ובשימוש במגוון כלים ופתרונות זמינים. עליהם לזהות את מהות הבעיה ולהתמודד עם אילוצים בעזרת כלים של הפשטה ולבצע הכללה עם אפשרות להוכחה ולהנמקה. נוסף על זה, כאשר תלמיד פוגש בעיות מסוג כזה, שאינו מכיר את הדרך לפתרון, תהליך ההגעה לפתרון דורש ממנו מאבק פרודוקטיבי (Productive Struggle), שפירושו תהליך למידה מאומץ שמשמשים בו כלים מוכרים וחשיבה יצירתית כדי ליצור קשרים חדשים שמסייעים למצוא פתרונות שונים לבעיה. במובנים אלו החידות שהציג בוריס מדגימות את המאפיינים של חשיבה חישובית, ולכן ניתן לבחון דרכן את יחסי הגומלין בין חשיבה מתמטית לבין חשיבה חישובית. בעיות כגון החידה הראשונה שהוצגה משמשות היום בכמה בתי ספר, אך אין שימוש במונח "אלגוריתם" בשיעורי המתמטיקה כיוון שהוא מרתיע את התלמידים ומונע מהם לפתור בעיות. עם זאת גם ללא השימוש הפורמלי במונח התלמידים מראים עניין וסקרנות ומנסים להמציא כמה דרכי פתרון לבעיה, מה שנמצא בהלימה עם התאוריה של למידת גילוי.

בזיקה לדבריו של בוריס הוזכר המונח "חישוב בעל פה" (Mental Math), שהוא התהליך המנטלי שבו התלמיד מבצע חישובים בראש, ללא הסתייעות בכלי עזר, כגון מחשבוניים או עט ונייר. תחום זה אינו מוכר בישראל, אך ניתן כשעת לימוד נוספת ללימודי המתמטיקה [בתוכנית הלימודים לבני 13–5 בקנדה](#). בשונה מהחשיבה המתמטית על אלגוריתמים, החשיבה של מדעי המחשב על אלגוריתמים מתייחסת גם לנושא של יעילות. המאמר [The Big Ideas in Computer Science for](#)

[K-12 Curricula](#), שנכתב על ידי טים בל, פול טיימן ועמירם יהודאי סוקר את הרעיונות החשובים ביותר הנדרשים להוראת מדעי המחשב.

בדיון צוין כי התייחסות כזו לאלגוריתמים בתוך לימודי המתמטיקה מדגישה את החשש של המורים משימוש במונח זה, כיוון שלרוב הוא מתפרש בתחום החינוך המתמטי כחשיבה שעיקרה הפעלת אלגוריתמים מוכנים. לפיכך, יש לבחון אם האלגוריתמים ניתנים לתלמידים כ"פתרונות קסם" או שהם משמשים כלי עזר ללמידה של תהליכי פתרון בעיות מסוגים שונים. למידת הגילוי כפי שהציגו אותה בוריס ונוע היא בעלת משמעות רבה בתהליך הלמידה, ולכן יש לשים עליה דגש רב, לצד הקפדה על מתן משוב המאפשר לתלמידים ללמוד מטעויות. כאשר התלמיד יוצר ומקבל משוב על יצירתו, יש באפשרותו לשפר את התהליך בכל שלב. אחד מההבדלים העיקריים בין חשיבה מתמטית לחשיבה חישובית במובנים אלו הוא השימוש במשוב: שלא כמו תהליך חשיבה משותף לפתרון תרגיל במתמטיקה, הכולל מעגל של משוב מתמשך לאורך כל התהליך מתוך התקשורת בקבוצה, בדיקת נכונותה של סימולציה שנכתבה בשפת תכנות נעשית בלחיצת כפתור אחת, והמשוב על הפתרון כולו מתקבל רק בנקודת הסיום. נשאלת השאלה אם שניהם שווים ערך מבחינת אופן קבלת המשוב והיכולת של התלמיד לתקן טעויות וללמוד מהן.

בנוסף לאלו, נטען כי לפתרון בעיות מהסוג שהוצג נדרשות מיומנויות חשיבה גבוהות ומעין "ברק מחשבתית" כדי להגיע לפתרון, כמו למשל בכפל מאונך. מעט תלמידים הם בעלי יכולות כאלו, אך לכל אדם יש יכולת להתפעל מפתרון ולהבין את משמעותו. כאשר עוסקים בפתרון בעיות, חשוב להתמקד בחשיפה של תלמידים ברמות שונות של הבנה להקשר של הבעיה ולהסביר להם על המשמעות החישובית שלה במונחים של יעילות, אופטימיזציה וכן הלאה. בוריס הגיב לכך באומרו שיש דברים שניתן ללמד כל תלמיד לעשותם לבדו, כגון חיבור הדרגתי, אך יש ערך רב ללמידה בקבוצה. לא כל התלמידים בעלי אותן מיומנויות חשיבה, ולכן אם יילמדו רק בעיות שכל תלמיד יכול לפתור לבדו, נישאר רק בדברים הטריטוריאליים ונמנע מהכנסת מאפיינים נוספים של חשיבה חישובית אל הלמידה. לעומת זאת כאשר לומדים בקבוצה, ניתן לקיים תהליך פתרון בעיות במשך זמן ארוך שבו כל אחד מהתלמידים תורם את חלקו. בתהליך כזה צריך לדאוג לקבוצה מתאימה שבה יתאפשר לתלמיד שאינו מסוגל לפתור את הבעיה לבדו לחשוב על הפתרון עם תלמידים אחרים. כלומר, ייתכן שההמלצה היא ליצור מערכת הוראה כללית בבתי הספר המאפשרת הטמעה של עבודה קבוצתית לצד תהליכים ארוכי טווח.

חשיבה חישובית לאורך הקוריקולום ולאורך החיים

פרופ' ארנון הרשקוביץ', אוניברסיטת תל אביב

פרופ' ארנון הרשקוביץ' פתח את הרצאתו בסקירה כללית של הגדרות המונח "חשיבה חישובית" והזכיר כי Papert אזכר לראשונה את המונח בספרו. כמה עשורים אחרי Papert פרסמה Wing את מאמרה החשוב בנושא, אך אף אחד מהם לא נתן הגדרה חד-משמעית לחשיבה חישובית. כמה שנים אחרי Wing, בשנת 2012, חיברו החוקרים Resnick ו-Brennan בחיבור הדוק את החשיבה החישובית לשימוש בתוכנת Scratch, וייתכן שזהו המקור לקשר ההדוק שבין חשיבה חישובית לבין תכנות. לצד החיבור בין השניים הוזכרו במאמר של Resnick ו-Brennan גם עקרונות ומסגרת מושגית ברורה, והוצגו מושגים עקרוניים בתחום לצד הפרקטיקה (אסטרטגיה). אחריהם הגיעה

הסקירה של Weintrop ושותפיו, שמקשרת בבירור רב חשיבה חישובית לתחום דעת ומגדירה פרקטיקות שלה בהקשר של מקצועות ה-STEM. אף שמסגרת העבודה הזו נולדה בעולם המחשבים והסימולציות, ניתן לחשוב על שימוש בה גם ללא מחשבים. סקירה חשובה נוספת פורסמה בשנת 2017 בידי Shute ושותפיה, שהגדירה חשיבה חישובית הגדרה מכלילה ומפורטת:

“The conceptual foundation required to solve problems effectively and efficiently (i.e., algorithmically, with or without the assistance of computers) with solutions that are reusable in different contexts” (Shute, Sun, & Asbell-Clarke, 2017)

הגדרה זו אינה מחייבת שימוש במחשב במוצהר. בהמשך ניתנים בה שישה ממדים של חשיבה חישובית: Decomposition, Abstraction, Algorithms, Debugging, Iteration, Generalization. הממדים הללו יכולים להיות רלוונטיים במגוון רחב של מצבים – החל בתכנון ארוחה עם חברים וכלה בתכנון טיול, ולכן יש לבחון כיצד לשלב אותה במגוון תחומי דעת שאינם מדעי המחשב. כיום מיומנות החשיבה החישובית נלמדת לרוב בעזרת אובייקטים חישוביים, כגון Scratch, שפת תכנות או רובוטיקה, המסייעות בשכלולה. עם זאת עלינו לחשוב כיצד לנתק במעט את האובייקטים החישוביים ולעבור ממצב שבו תחום הדעת מוטמע בעולם החישובי אל מצב שבו העולם החישובי מוטמע בתחום הדעת. לדוגמה, ניתן להשתמש בריקוד ללימודי אלגוריתמיקה, או במאפיינים של חשיבה חישובית, כגון לולאה ותנאי, כדי ליצור ריקוד. בשני המקרים כדי להצליח במשימת ריקוד יש ליצור מיומנות גם בתחום הדעת וגם בכלים של חשיבה חישובית, ובכך מתבטאת ההטמעה של חשיבה חישובית בתחום הדעת ולהפך. יצירת שילוב אפקטיבי בין השניים מתאפשרת רק לאחר ההבנה היכן החשיבה החישובית באה לידי ביטוי ממילא בתחום הדעת, וכיצד היא יכולה לתרום להוראתו. לטענתו של ארנון, יש עדויות לכך שבעת ביצוע פעולת למידה המערבת תהליך חישובי והכוללת גם רפלקציה וליווי של הלומד, ניתן להקנות מיומנויות של חשיבה חישובית, וכי הדרך הטובה ביותר לרכוש מיומנויות היא בהקשר של תחום דעת.

ארנון הציג שני מחקרים שערך כדי לבחון היכן ניתן להשתמש בפרקטיקות של חשיבה חישובית בשני תחומי דעת: נגינה ולמידת שפה זרה. במחקר שעסק בנגינה ראינו החוקרים תשעה תלמידי כיתות יב במסלול לבגרות במגמת מוזיקה ובעלי ניסיון עשיר בנגינה. התלמידים נשאלו על האופן שבו הם לומדים יצירה חדשה, ובתוך תשובותיהם זוהו מיומנויות של חשיבה חישובית כדוגמת הפשטה, איסוף נתונים, זיהוי דפוסים ואיתור טעויות ותיקון – אותם עקרונות הבאים לידי ביטוי במסגרת העבודה של Shute ושותפיה. במחקר השני, שבחן 14 מבוגרים שהיגרו לישראל ולמדו עברית, ניתנו למשתתפים משימות הקשורות לשפה (פיענוח מילה לא מוכרת, איתור טעות במשפט והטיה של פועל לא מוכר). בבחינת אופן פתרון המשימות מצאו החוקרים כי בשלבים שונים של לימודי שפה ניכר השימוש במיומנויות שונות של חשיבה חישובית. מתוך שני המחקרים ניתן להציע שיש חשיבות גדולה מאוד להקשר של תחום התוכן ולתהליך הלמידה, ובעזרת שילוב יעיל בין השניים התלמיד יכול להפנים את העקרונות של חשיבה חישובית ולהעבירם לתחום הדעת בצורה מודעת.

אחת הדרכים להטמעת הגישה הזאת היא שימוש בשמם של העקרונות של החשיבה החישובית בכל תחומי הדעת, בצירוף פעולה מתאימה. כך יוכלו התלמידים להפנים שאותו עיקרון רלוונטי לקשת רחבה של תחומים.

בדיון שנערך בתגובה לדבריו של ארנון עלתה השאלה אם למידה ושימוש בכלים מעשיים כגון "לולאה" או "תנאי" היא אכן למידה של מיומנות החשיבה החישובית, או שזוהי למידה טכנית בלבד. להבדיל מהדוגמאות שהוצגו בהרצאה, בהוראת מדעי המחשב ללא מחשב הערך החינוכי אינו נובע מהמשימה או מהפעילות עצמה אלא מהדיון בתהליך פתרון הבעיה והרחבה שלו בידי המורה. בנוסף הוזכרה תיאוריה לפיה למידת מיומנות חדשה דורשת תהליך שכולל שלושה שלבים – "Use, Modify, Create". לא ניתן להתחיל ישר בביצוע המיומנות (Use) ברמה מורכבת, כפי שנראה בדוגמת הריקוד, כיוון שזהו השלב האחרון בתהליך. בפרט, ייתכן כי השלב הרלוונטי ביותר לחשיבה חישובית הוא שלב היצירה (Create), כיוון שהוא החלק המרכזי שניתן למתג באופנים שונים בשלב הרפלקטי ולפרט את מאפייניו בבירור.

לסיכום, בחלק הראשון של המפגש הוצגו מיומנויות רבות המקושרות לחשיבה חישובית; חלקן מגיעות מתחום מדעי המחשב ומאפיינות צורות חשיבה של מדען מחשב, כגון חשיבה מופשטת, הכללה, פירוק לגורמים, זיהוי דפוסים ואופטימיזציה. השימוש הנרחב במונחים אלו בתוכניות הלימודים ובתהליכי ההוראה של חשיבה חישובית יוצר מטבע הדברים צימוד קבוע בין חשיבה חישובית לבין מקצוע מדעי המחשב. כיוון שברוב התוכניות של מדעי המחשב מושם דגש רב על הוראת שפות תכנות בסביבות פיתוח שונות, נוצר מצב שבו לימודי החשיבה החישובית מתבצעים אף הם דרך סביבות אלו. אף שעקרונות החשיבה החישובית לקוחים ממדעי המחשב, ניכר מהדיון שהתנהל כי שימוש בעקרונות אלו יכול לתרום רבות לתהליכי פתרון בעיות ולפיתוח מיומנויות חשיבה של תלמידים במגוון תחומי דעת, כגון ביולוגיה, פיזיקה ומתמטיקה ואפילו בריקוד, בנגינה ובלמידת שפה. כלומר, מהדיון ניכר כי יש צורך בהחלטה אם ללמד את החשיבה החישובית רק דרך מדעי המחשב, או שמא יש לשלבה במקצועות אחרים. האפשרות השנייה דורשת מתן הגדרות המותאמות לטווח רחב יותר של תחומי דעת, לצד מתן כלים להוראה שיהיה אפשר להשתמש בהם גם בתחומים שאינם כלולים במדעי המחשב.

מלבד היתרון של פיתוח מיומנות חשיבה, תהליך הלמידה שמאפשרת החשיבה החישובית כולל כלים מנטליים המסייעים ללמידה אפקטיבית. אלו כוללים גילוי ויצירה, תקשורת ועבודת צוות, ובעזרתם יכולים התלמידים ללמוד בצורה פעילה מתוך התנסות בפרויקטים משותפים או תוך כדי ביצוע מהלכים מעשיים שדורשים הטמעה של עקרונות.

חלק ב: פאנל פלטפורמות להוראת חשיבה חישובית

סיכומם של עיקרי הדברים על כל פלטפורמה במשך כל הפאנל

יונתן שור, CodeMonkey

CodeMonkey הוקמה בשנת 2014 ואומצה במשרד החינוך בישראל בשנת 2015. בשנת 2016 הקימה החברה חברת בת בניו יורק והחלה לפעול בכל העולם. הפלטפורמה התפתחה מתוך נטייה חזקה מאוד באותה התקופה לדרוש בנייה של כלים שיאפשרו ללמד תלמידים שפת תכנות ביעילות. השימוש בפלטפורמה החל בבתי הספר היסודיים, כאשר הקושי המרכזי בהטמעתה היה חוסר במורים בעלי הכשרה מקצועית. לשם כך יצרו ב-CodeMonkey מעטפת הכשרה ותמיכה למורים, הכוללת ובינרים, מערכי שיעור, חומרים להדפסה, פתרונות לתרגילים ועזרים נוספים. סיבה נוספת ליצירת מעטפת זו היא ההבנה שהאפקטיביות של סביבת הלמידה עולה במידה רבה מאוד כאשר התלמידים מלווים בגורם מוסמך כמו מורה או מדריך בזמן השימוש בה, ושהלמידה דרך התנסות עצמאית של התלמידים בסביבה אינה בהכרח יעילה באותה מידה. כיום הפלטפורמה משמשת בחינוך היסודי והעל-יסודי (חט"ב), וקיימים תכנים מותאמים לשכבות הגיל השונות. מדובר בתוכנית הוראה שמטרתה ללמד כתיבה של שפת תכנות בצורה נגישה. התוכנית נוצרה מתוך מחשבה על בתי ספר ועל מורים ונועדה ללמד שפת תכנות לכיתות א-ט. כיום היא משמשת יותר מ-35,000,000 תלמידות ותלמידים ויותר מ-245,000 מורים ומורות. הפלטפורמה מבוססת על משחק, על חוויה ועל יצירת פרויקטים שבהם נדרשים התלמידים לבצע משימות ולפתור בעיות בעזרת כתיבת פקודות בשפות תכנות תוך כדי למידה של עקרונות תכנות. כחלק מתהליך הפתרון של הבעיות בפלטפורמה התלמיד מקבל המחשות המסייעות לקדם אותו לפתרון. ההמחשות מכוילות לרמה של הפותר כדי לאפשר תהליך חשיבה מותאם לרמת הלמידה. לצד רכישת מיומנויות של כתיבת קוד התלמידים רוכשים מיומנויות חשובות של המאה העשרים ואחת, כגון חשיבה חישובית, פתרון בעיות, שיתוף פעולה, יצירתיות, אוריינות מידע בסביבה דיגיטלית ועוד. הנתונים של המשתמשים בפלטפורמה נאספים, ונעשית מדידה שוטפת של הקניית המיומנויות. המידע הזה מוצג להנהלות חינוך שונות המשתמשות בפלטפורמה.

גלעד שמיר, UInGame

גלעד רואה בחשיבה חישובית מיומנות שיש להקנותה לכל התלמידים ולשלבנה בכל מקצוע. מדעי המחשב הוא המקצוע המתאים ביותר לשילוב כיוון שבמהותו הוא עוסק בפתרון בעיות. במסגרת עבודתו עם משרד החינוך במעבדה לחשיבה חישובית פיתח את מודל "4321", שמטרתו לתאר את מרכיבי הכשירות של חשיבה חישובית של מורים לצורך הטמעה מספקת של חשיבה חישובית כשפה בית-ספרית. אחת הסיבות לשם "4321" היא הרצון שהשם יהיה קליט ונגיש ושיהיה קל לשווקו לקהל הרחב, כדי למנוע את התבהלה שעלולה להיווצר משימוש במונחים הלקוחים ממדעי המחשב.

המודל עוסק בארבע מיומנויות: פירוק לגורמים, זיהוי תבניות, פישוט הבעיה ויצירת אלגוריתם. אף שהמיומנויות קשורות זו לזו, כל אחת מהן עומדת בפני עצמה, וניתן ללמדה בנפרד מהשאר. המטרה היא להקנות לתלמידים ולמורים את השפה החישובית לצד כלי הערכה של המיומנות בשטח. שיטת ההוראה כוללת שלוש רמות התקדמות בלמידה: Use, Modify ו-Create, שהוזכרו

קודם לכן. מתוך עשרות הכשרות שהמורים עברו ניכר כי השלב של היצירה (Create) הוא המורכב ביותר להטמעה, ולכן בהכשרות המורים בבתי ספר צריך להתחיל בשלב השימוש (Use). ההוראה מתבצעת בעזרת שני כלים דיגיטליים שהם קלים יחסית לשימוש רחב בבתי ספר כיוון שהם אינם דורשים משאבים רבים: הראשון הוא פירוק לגורמים בעזרת מפת חשיבה ב־[MindMup](#), שהיא פתוחה וחינמית ואינה מצריכה חשבון משתמש; השני הוא יצירת אלגוריתם בעזרת תרשים זרימה. היות שכל מיומנות בחשיבה חישובית עומדת בפני עצמה, ואפשר להשתמש בה בכל מיני אופנים, הדגש מושם על פתרון בעיות בארבעה שלבים שבכל אחד מהם יכולות להשתלב כל המיומנויות של חשיבה חישובית:

1. הגדרת הבעיה
2. הכנת פתרון
3. יישום הפתרון (דרך תכנות או לא דרך תכנות)
4. הערכת הצלחה

כיום התוכנית מיושמת בעיקר בתחומי המדעים, אך שיטת הוראה זו מתאימה להוראת חשיבה חישובית בכל מקצוע כאשר לכל תחום דעת צורת החשיבה החישובית שלו.

רמי מראלי, myQ

MyQ מפתחת פלטפורמות שמסייעות לתלמידים להבין את הרעיונות הגדולים ואת העקרונות העיקריים של מדעים ושל חשיבה חישובית, מתוך הבנה שאלו הם הדברים החשובים שמסייעים להכין את התלמידים למקצועות של המחר. חלק מהפלטפורמות שקיימות כיום בשוק מציעות רק למידה של שפת תכנות, אבל חשוב לזכור שיש ללמידת שפת תכנות גם מגבלות: ראשית, הכתיבה היא תהליך טכני מאוד, ולרוב "מבוזבז" בו זמן רב על איתורן ותיקונן של שגיאות כתיבה; שנית, יש הטיה מגדרית של התחום לטובת גברים; שלישית, הלימוד של שפת תכנות אינו בהכרח בעל ערך בחיי היום-יום ואינו מציע הטמעה של מיומנות חישוב באופן שניתן ליישם אותן במקצועות אחרים. לעומת אלו, MyQ היא א-מגדרית ומשתמשת בשפת האם של התלמיד, ומטרתה לתת בידי התלמיד ארגז כלים למימוש מיומנויות החשיבה במגוון אופנים רחב. יש ארבע פלטפורמות: שלוש פלטפורמות להוראת חשיבה חישובית (אחת לכיתות הנמוכות, אחת לגבוהות ואחת לבניית משחקים) ופלטפורמה להוראת מקצועות המדעים. תהליך הלמידה כולל שלושה שלבים: כל עיקרון שנלמד תמיד מתחיל במשחק ללא מחשב בכיתה ולאחריו עוברים התלמידים לתרגול שלו בפלטפורמה. התרגול של כל נושא כולל שלבים בדרגת קושי עולה, וכל שלב כולל מצב התחלתי ומשימה שבה התלמיד נדרש להשלים כללים שמאפשרים למערכת הנתונה להתנהג בצורה תקינה. בשלב השלישי המורה יקשר את העיקרון שנלמד לתחום אחר בחיי היום-יום. כדי לאפשר לתלמידים לסגל שפה חישובית ולנהל דיון פורה על המושגים השונים ומשמעותם, העקרונות בפלטפורמות מוצגים בשם: מקבילות, הפשטה, רקורסיה וכו'. ההוראה מלווה במערכי שיעור מפורטים הכוללים את שלושת השלבים שהוזכרו בתהליך הלמידה. לצד פתרון המשימות ניתן גם לבנות אלגוריתמים לשלבים חדשים, לבחון אותם בסימולציה ולשתף עם חברים. מחקר שבדק את השימוש של 250 תלמידים בפלטפורמה מצא שהיא מסייעת לתלמידים בפיתוח ביטחון עצמי ותחושת התמודדות עם חוסר הצלחה. [במחקר נוסף](#) נמצא כי השימוש בפלטפורמה מוביל לצמצום

פערים בין תלמידות לתלמידים וצמצום פערים שנוצרים ממצב חברתי-כלכלי בעת ביצוע מטלות הקשורות ליישום פתרון בעיות וחשיבה לוגית.

דוד גינת, אתגר "הבונה המפצח"

בשונה מהכלים שהוצגו עד שלב זה, הפלטפורמה הבאה אינה כוללת טכנולוגיה שהיא דינמית מאוד. מיזם Bebras (בעברית: הבונה המפצח) הוא תחרות בין-לאומית המבקשת לחשוף בני נוער בדרך אינטראקטיבית לעקרונות יסוד במדעי המחשב ובמתמטיקה באמצעות פיתוח מיומנות פתרון בעיות. התוכנית החלה במזרח אירופה לפני יותר מעשור וכוללת תחרויות לכל שכבות הגיל (א-יב). התוכנית מופעלת ביותר משבעים מדינות בעולם ומשתתפים בה תלמידים רבים. בצרפת למשל משתתפים בה כחצי מיליון תלמידים. בישראל מובילה את התוכנית אוניברסיטת תל אביב בשיתוף פעולה עם מורים למתמטיקה ולמדעי המחשב, אך היא עדיין בשלבים ראשוניים ומיועדת כרגע בעיקר לחינוך העל-יסודי. באולימפיאדה למדעי המחשב בישראל שימש אתגר זה להגברת העניין והסקרנות של התלמידים. אף שיש בבעיות המוצגות היבטים שקשורים לתכנות, אין התלמידים צריכים לדעת להשתמש בשפת תכנות, ולכן כל התלמידים בכל תחומי הדעת יכולים להשתתף. בבונה המפצח אין מודדים דבר שקשור לשפת תכנות אלא רק את עקרונות החשיבה החשובים. המדידה מתבצעת דרך רפלקציה, ויש שיח העוסק במושגים המופשטים הנלמדים במהלך תהליך הפתרון.

האתגר כולל שאלות בדרגת קושי עולה, הדורשות שימוש בחשיבה דקלרטיבית, לצד שימוש בחשיבה אופרטיבית הנהוגה לרוב בתהליכי פתרון בעיות. זאת כיוון שהתלמידים נדרשים לזהות את המאפיינים של כל בעיה ולאחר את הדרכים לפתרונה. השילוב של זיהוי מאפיינים עם דרכי פתרון מבטא את המהות של החשיבה החשובית, שהיא גרעין החשיבה במדעי המחשב ובמתמטיקה. יש לציין כי בשונה מהתפיסה הביצועית של מקצוע למידה שמוגדר כמותאם לכל תלמיד, התפיסה של תחרות מאפשרת מצב שבו לא כל התלמידים מפגינים את אותן מיומנויות, כלומר יש תלמידים "חזקים" יותר ויש "חזקים" פחות בתחומים כאלו או אחרים, והם יצליחו אפוא לפתור תרגילים בדרגות קושי שונות.

בהמשך לכך, הוזכרו שני יתרונות עיקריים באתגר הבונה המפצח: היתרון הראשון הוא שאתגר זה מאפשר הערכה של המיומנות הנרכשת אצל התלמיד; היתרון השני הוא שכיוון שאין צורך במחשב, ניתן להשתמש באתגר זה בכל תחום דעת, והוא אינו מוגבל לכלים טכנולוגיים.

דיון

התייחסות לתכנות ככלי להוראה

בהמשך הדיון הועלו כמה דעות בנוגע להיותן של שפות תכנות כלי יעיל להוראה של חשיבה חישובית ובנוגע לשאלה אם הוא רלוונטי לכול. צוין כי שימוש בשפת תכנות בהוראה יכול להרתיע חלק מהתלמידים כבר בנקודת ההתחלה, וכי יש לקבל החלטה אם הכרחי ללמד תכנות כדי להקנות לתלמידים מיומנויות של חשיבה חישובית או את כישורי החיים שהיא כוללת. לצד זאת עלו בדיון

אתגרים נוספים הקשורים ללימודי תכנות: ראשית, הוראת תכנות דורשת ציוד טכנולוגי שחסר לעיתים בבתי ספר של קבוצות אוכלוסייה במעמד חברתי-כלכלי נמוך; שנית, יש רתיעה של נשים מתכנות ובכלל מלימודי מדעי המחשב, המתחילה כבר בחטיבת הביניים ונמשכת עד לשילוב בשוק התעסוקה; שלישית, אופן ההוראה של תכנות כיום מושך בעיקר תלמידים מצטיינים ובעלי יכולות גבוהות. לבסוף, לא ברור מהו הגיל המתאים להתחיל בלימודי שפת תכנות או בלימודי מושגים מופשטים באופן שייטיב עם התלמידים. כך למשל יש בתי ספר שמלמדים כיום שפת תכנות כבר בכיתה ד, וייתכן כי המגמה של הצערת הגיל פוגעת ביכולת הלמידה.

הכשרת מורים להוראת חשיבה חישובית

כדי לקיים למידה אפקטיבית של חשיבה חישובית, תהליך ההוראה בכיתות צריך לכלול דיון בעקרונות ובמונחים שבבסיסה. לשם כך יש צורך במורים מתאימים ובהכשרה שתקנה להם את הכישורים הנדרשים. יש כמה אתגרים בהכשרת מורים: הראשון הוא איתור מורים מתאימים לתחום בבתי הספר היסודיים בישראל, כשחסרים יותר מ-1000 מורים בתחום הוראת מדעי המחשב. האתגר השני הוא שאין כיום הכשרת מורים מתאימה, אין מושקעים בנושא משאבים מספיקים, וסט הכישורים הנדרשים למורים כדי שיוכלו ללמד חשיבה חישובית בעילות טרם הוגדר בצורה חד-משמעית. חשוב לציין כי מורה שאינו מבין מלכתחילה את החשיבות שבמיומנויות השונות של החשיבה החישובית, גם אם יעבור הכשרה בסיסית, "ייפול" מהר מאוד להוראת שפת תכנות כיוון שהוראת הטכניקה פשוטה מניהול דיונים על הנושא.

בהמשך נאמר כי כל סביבות היישום הן טובות לטובת הוראת של חשיבה חישובית, אך בעת השימוש בכל אחת מהן יש להקפיד על שימוש במושגים ממדעי המחשב (פירוק לתת-בעיה, הכללה וכיו) כדי שיתאפשר עיסוק רחב יותר בתהליך החשיבה ותתאפשר העברתו אל תחומים שונים. חשוב שהעקרונות יופיעו בשמם, ויש לשים דגש על הדיון בכיתה כיוון שהוא החלק המהותי ביותר בתהליך הלמידה. צוין כי בעבר עברו המורים למדעי המחשב בתיכון השתלמויות ברורות למדי ואף הייתה דרישה למורים בעלי תואר ראשון במדעי המחשב או תעודה ממושרד החינוך. אולם הרחבתו של מקצוע מדעי המחשב גם לחטיבת הביניים וליסודי הובילה למחסור גדול במשאבים המאפשרים לקיים הכשרות או השתלמויות מספקות למורים במקצוע.

אתגר שלישי נוגע ללחץ הגדול שיש בכיתות הגבוהות סביב המבחנים והבגרויות, המונע יצירה של חלון זמן לדיון ולשיח. כיוון שלחץ הזמן סביב מבחני הבגרות גדול מדי, ייתכן כי הפתרון הוא לשלב את החשיבה החישובית בחטיבות הביניים ולהשתמש במבחן פיז"ה כמקפצה לשילוב התכנים. לצד זאת מספר השעות המוקצות כיום במערכת למקצועות מדעי המחשב ומתמטיקה בחטיבת הביניים והתיכון הוא קטן יחסית ואינו מאפשר גמישות רבה באופן ההוראה. אפשרות אחת שהוצעה לשילוב החשיבה החישובית בעילות בתוכניות הלימודים היא להכניס את ההוראה שלה לתוך תחומי דעת שונים שאינם מתמטיקה או מדעי המחשב, כיוון שבחלק מהם קיימת מסגרת שעות המאפשרת גמישות. עם זאת גם אם תשולב החשיבה החישובית בשעות רבות יותר במערכת, אין הדבר מחייב שהשעות הללו ינוצלו כראוי – זאת כיוון שקיימים עדיין מורים שאינם רואים חשיבות מיוחדת בהוראה של מיומנויות חשיבה. יש צורך בשינוי תפיסתי כדי לשלב בעילות ובאפקטיביות את החשיבה החישובית בתוכניות הלימודים.

סיכום דיון פנימי של חברי הוועדה

חברי הוועדה דנו בקשר ההדוק שבין חשיבה חישובית לחשיבה מתמטית. אומנם החשיבה החישובית במהותה היא צורת החשיבה של איש מדעי המחשב, אך ניתן ליישם אותה גם במתמטיקה, ולכן ייתכן שכדאי לצמד את המיומנות לשני המקצועות. בהקשר של הוראת מתמטיקה נאמר כי לחלק מהמורים יש תפיסה שגויה באשר לדרך הוראתם כיוון שהם אינם מבינים שהבסיס ללמידה הוא תהליך של גילוי, ושיש לאפשר לתלמידים "ללכת לאיבוד" בחיפוש הפתרון ולתת להם הזדמנות לגלות משהו שהם לא ידעו קודם. בקהילות המורים למתמטיקה, למשל, מקדמים בעיקר את הנושא של פתרון בעיות: המורים מקבלים שעה וחצי לדון בבעיה ונהנים לעשות את זה. התהליך הזה, שבו יש לתלמידים זמן לחשוב, הופך את החשיבה שלהם למשמעותית. עם זאת רוב המורים בכיתות רואים בתהליך הזה "בזבוז זמן".

נדונה גם החשיבות במתן הגדרה לחשיבה החישובית. מתד נטען כי יש חשיבות רבה במתן הגדרה חד-משמעית לצורת חשיבה זו כדי שתהיה אפקטיבית ושימושית למורים, למחנכים ולבוני תוכניות לימוד, ומאידך ניכר כי ברוב העניינים שהוצגו היום יש דגש על המאפיינים וההגדרה נשמטת. אם תוגדר החשיבה החישובית בתור "צורת החשיבה של איש מדעי המחשב", זה משאיר את המיומנות הזאת בטווח מצומצם מאוד, כמיועדת רק לאנשים העוסקים בתחום הספציפי הזה. אם נרצה לשלב את מיומנות החשיבה הזאת בהקשרים שונים, יהיה עלינו למצוא הגדרה ברורה שתאפשר העברה לתחומים אחרים. עם זאת יש לציין כי גם אנשי מדעי המחשב, שמבצעים את המיומנות הזו בפועל, אינם יודעים להגדיר אותה הגדרה מספקת, ואף שלאורך השנים ניתנו הגדרות רבות, אין קונסנזוס בשאלה מהי חשיבה חישובית.

במהלך הדיון עלתה גם שאלת הצימוד הכללי בין תחום מדעי המחשב לחשיבה חישובית. אף שהצימוד למדעי המחשב אפשר לאורך השנים התפתחות גדולה בתחום, יש סיכון שהוא מוביל להתמצת החיבור בינו לבין תחומי דעת אחרים. אם נכרוך את לימודי החשיבה החישובית עם לימודי שפת תכנות, אנו עלולים לאבד חלק מהתלמידים כבר מהרגע הראשון.

לפיכך הסרת הצימוד בין חשיבה חישובית לבין מדעי המחשב היא מהותית, ויש לחשוב כיצד אפשר להכניסה למקצועות כמו פיזיקה, כימיה ומדעי הרוח. יש להיות ריאליסטים ולהזמין מורים ממקצועות שונים ולבדוק איתם אם יש ביכולתם ללמד תכנים שנחשוב שהם מתאימים להוראת חשיבה חישובית. נוסף על זה נאמר כי ההוראה הפרונטלית אינה מסייעת לתהליך כיוון שהיא אינה מאפשרת לתלמידים זמן חשיבה, הנחוץ בעת תהליך של פתרון בעיה. חשוב גם להוציא את הלמידה אל מחוץ לבתי הספר, למרחב הביתי, שם ניתן לייצר התקדמות רבה.

נוסף על זה, יש לשאוף להכנסתה של החשיבה החישובית כבר בחטיבות הביניים ולא לחכות לחשיבה העליונה. ייתכן שהדרך הנכונה להכניס את החשיבה החישובית היא לשלב במקצוע מדע וטכנולוגיה, שהוא מקצוע חובה בחטיבת הביניים. בנוגע למדעי המחשב, עלינו להבין קודם כול מה קורה בשטח, ורק לאחר מכן לבחון כיצד ניתן לשלב את המיומנות ביעילות. עם זאת אם התלמידים ילמדו חשיבה חישובית רק בחטיבת הביניים ולאחר מכן יעברו ללימודי שפת התכנות ה"רגילים", הם עלולים לאבד את המיומנות שרכשו כיוון שלא ישתמשו בה. אם אנחנו מעוניינים לפתח את ה"שריר" הזה אצלם כדרך לחשיבה על בעיות בחיים, יש לשלב את זה בכל שכבות הגיל.

כדי להתחיל בתהליך יש להבין קודם כול מה קורה היום בשטח מבחינת מדעי המחשב בחטיבות הביניים ובתיכון. מבחינת משרד החינוך, בחטיבת הביניים מדעי המחשב נלמדים רק בעתודה המדעית הטכנולוגית (עמ"ט), המיועדת לתלמידים מצטיינים, והם שמקבלים עוד שעות של מדעי המחשב במערכת.

בדיון עלה גם נושא הכנסתה של הבינה המלאכותית כמקצוע לבתי ספר. צוין כי יש חשיבות רבה להכנסת לימודים אלו, כיוון שהם כוללים מיומנויות שכל תלמיד יידרש להן בעתיד. השימוש בשפה טבעית בבינה המלאכותית, למשל, יגרור שימושים חדשים שאיננו מכירים כרגע, כיוון שזה ידרוש הבנה מעמיקה של האופן שבו יש לתת הוראות לבינה המלאכותית. נוסף על אלה נאמר כי אם תהיה בגרות בבינה מלאכותית, אפשר להמליץ להכניס לחומר הלימוד את החשיבה החישובית כנדבך בתוכה.

דוברים (לפי סדר הופעתם במפגש)

פרופ' יהודית גל-עזר, האוניברסיטה הפתוחה

חוקרת בתחום הוראת מדעי המחשב במחלקה למתמטיקה ולמדעי המחשב. מחקרה עוסק בהיבטים החישוביים בהוראת המתמטיקה ומדעי המחשב. הייתה חברה בוועדת המקצוע שפיתחה את תוכנית הלימודים התיכונית במדעי המחשב ופועלת למען הטמעת חשיבה אלגוריתמית בתוכניות הלימודים במערכת החינוך. מעורבת בפיתוח תוכניות לימוד לאומיות ובין-לאומיות ובפיתוח תוכניות הלימודים לתואר ראשון ושני במדעי המחשב. כתבה כמה ספרי לימוד להוראת מדעי המחשב ומתמטיקה. פעילה באיגודים מקצועיים בתחום מדעי המחשב בישראל ובעולם, ומשמשת היום יושבת הראש של ACM Europe Education Committee.

ד"ר נוע רגוניס, המכללה האקדמית בית ברל

מרצה בכירה בפקולטה לחינוך, כיהנה כראש החוג למדעי המחשב וכראש המרכז להוראה ולמידה. כיום עומדת בראש התוכנית לתואר שני בחינוך בין-תחומי STEM. מכשירה פרחי הוראה ומורים ובעלת ניסיון עתיר בהוראת מדעי המחשב, פיתחה תוכניות לימודים ופרסמה ספרי לימוד לתיכון. מחקרה עוסק בתפיסת המושגים של מדעי המחשב בקרב תלמידים, סטודנטים ומורים, בחשיבה חדשנית ובלמידה בין-תחומית. מובילה יישום של קורס אקדמי "חשיבה חישובית" ומובילה את התחום גם בשדה (שיתופים, עמותת אופנים, רשת דרכא). פיתחה עם פרופ' אורית חזן את הקורס "חשיבה חישובית" בקמפוס II.

פרופ' בוריס קויצ'ו, מכון ויצמן למדע

בוריס קויצ'ו הוא פרופסור לחינוך מתמטי במחלקה להוראת מדעים וראש קבוצת המתמטיקה. תחום העניין שלו במחקר הוא הדרכים לשילוב פתרון בעיות מתמטיות מאתגרות בשגרת הוראת המתמטיקה בחינוך העל-יסודי. הוא חוקר בעיקר את המנגנונים של פתרון בעיות וחיבור בעיות בסביבות למידה עתירות בחירה, כגון כיתות מתמטיקה המאפשרות דיאלוג או פורומים מקוונים לפתרון בעיות. חוקר גם דרכים להגברת יישום של מחקר חינוכי באמצעות שותפויות ארוכות טווח בין מורים לחוקרים. בוריס פרסם כ-150 מאמרים ומשמש עורך בשני כתבי עת בין-לאומיים.

פרופ' ארנון הרשקוביץ', אוניברסיטת תל אביב

חבר סגל בבית הספר לחינוך, עומד בראש ההתמחות לתואר שני "טכנולוגיה ולמידה". עיקר מחקריו עוסקים בזיהוי התנהגות למידה בסביבות מקוונות, תוך כדי שימוש בשיטות מעולם ניתוח הלמידה (Learning Analytics). בשנים האחרונות הוא חוקר את האופן שבו תלמידים רוכשים חשיבה חישובית בסביבות מקוונות, את הקשר בין חשיבה חישובית ליצירתיות ואת יישומה של חשיבה חישובית בנושאי למידה שונים לאורך החיים. בעל תואר ראשון במתמטיקה ובמדעי המחשב, תואר שני במתמטיקה שימושית (שניהם מהטכניון – מכון טכנולוגי לישראל) ותואר שלישי בהוראת המדעים (מאוניברסיטת תל אביב).

יונתן שור, CodeMonkey

יונתן שור, מייסד ומנכ"ל קודמאנקי, מתכנת מגיל עשר ומלמד ילדים לתכנת מגיל עשרים. ליונתן תואר במדעי המחשב מהטכניון – מכון טכנולוגי לישראל ויותר מעשרים שנות ניסיון בתפקידי פיתוח וניהול בהיי-טק. הוא יזם סדרתי בתחומי החינוך, התרבות, סביבה וקהילה, דרך שהתחיל כמתנדב בשנת שירות בקיבוץ העירוני בשדרות בשנת 2001.

שלי לוי, CodeMonkey

מנהלת פיתוח עסקי בקודמאנקי, בעלת תואר ראשון במשפטים ובממשל וניסיון עשיר הן בתחומי החינוך (לרבות חינוך לא פורמלי) והן כעורכת דין וכמגשרת. פועלת רבות ליישום עקרונות של גיוון והכללה בתעשייה ולקידום נשים וקבוצות אוכלוסייה מגוונות לתפקידי מפתח בהיי-טק.

אל"ם (מילי) ד"ר רמי מראלי, CTO MyQ

בעל תואר ראשון ושני במדעי המחשב מהטכניון – מכון טכנולוגי לישראל ודוקטורט במדעי המחשב ממכון ויצמן למדע. שירת כ-23 שנים בתפקידים בכירים בצה"ל, ובמהלכן צבר ניסיון בהובלת פיתוח של תוכניות רב-תחומיות תוך כדי עבודה משותפת עם תעשיות ביטחון, עם גופי מחקר ועם מוסדות אקדמיים. בשנים 2014–2018 כיהן כמנכ"ל משותף בחברת Cue ועסק במיזמים עם אלה: התעשייה האווירית, מכון ויצמן למדע, רפאל, אלביט, Barco ומשרד האוצר. מרצה בקורסי הנדסת מערכות בטכניון ובאוניברסיטת רייכמן. ב-12 השנים האחרונות מתנדב כמנטור בקבוצות רובטיקה במסגרת FIRST, ומכהן כחבר בוועד המנהל של FIRST ישראל.

אפי ברוך, מנכ"ל ושותף מייסד, MyQ

בעל ניסיון רב בתחומי הטכנולוגיה, המכירות והניהול. כיהן כשמונה שנים כמנכ"ל וכנשיא של החברה הציבורית Deltathree שנסחרה בארצות הברית. החזיק בתפקידי ניהול טכנולוגיה ותפעול בכירים בחברה, ניהל צוותים בין-לאומיים גדולים והוביל מיזמים טכנולוגיים עם חברות ענק כגון AT&T, Verizon, Panasonic, Cisco ו-AT&T. שימש יועץ בארגון ה"גיוינט" ובארגון החינוכי העולמי "אורט". בעל תואר ראשון במדעי המחשב עם התמחות באבטחת מידע וניהול רשתות תקשורת.

ד"ר גלעד שמיר, UInGame

חוקר, יועץ ויזם חינוך. בעל תואר שלישי בבינה מלאכותית בחינוך מאוניברסיטת תל אביב ומומחה בחשיבה החשובית. מייסד חברת "שמיר יעוץ והדרכה" – חינוך טכנולוגי המספקת שירותי חינוך טכנולוגי למערכת החינוך.

תרגיל כפל**שלב א**

דני, תלמיד בכיתה ה', לומד כפל במאונך. בשיעורי הבית הוא חישב $72 \cdot 31$ ורצה לבדוק את התוצאה שקיבל, אבל לצערו הוא השאיר את המחשבון בבית הספר. הוא מצא בבית מחשבון ישן שבו רוב הלחיצים אינם עובדים. לשמחתו, כל לחיצי הספרות תקינים וגם הלחיץ "=" מתוך ארבע פעולות החשבון, רק לחיץ ה-"+" תקין. הציעו דרכים שונות לחשב $72 \cdot 31$.

שלב ב

בלחיצה הראשונה על לחיץ ה-"+" הרגיש דני שהלחיץ עומד להתקלקל בכל רגע וכעת הוא רוצה לחסוך בשימוש בו עד כמה שאפשר. כיצד ניתן לעשות זאת?

שלב ג

יעל חושבת שמצאה דרך לחשב $72 \cdot 31$ באמצעות שבע פעולות חיבור בלבד, ללא תוספת של 0. אם לדעתכם זה אפשרי, הסבירו כיצד. אם לא, נסו למצוא את הדרך היעילה ביותר לחישוב.

השלמת פונקצייה

מישהו בנה גרף של פונקצייה $y = x^2$, אך פתאום השובב של הכיתה מחק את מערכת הצירים. עליכם לבנות מחדש את מערכת הצירים (כולל יחידה) באמצעות סרגל ומחוגה.

ארגז הכלים לבניית ציר: חלוקת קטע ביחס נתון, חוצה זווית, אמצע של קבע, קווים מאונכים וקווים מקבילים.