



חשיבה חישובית ובינה מלאכותית בהוראה ובלמידה

סיכום עבודת צוות המומחים

ירושלים תשפ"ה / 2025

**חשיבה חישובית ובינה מלאכותית
בהוראה ובלמידה**



האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים היא הגוף הבכיר בקהילה המדעית בישראל. היא נוסדה על פי חוק בשנת תשכ"א (1961) במטרה לרכז בתוכה מטובי אישי המדע תושבי ישראל, לטפח ולקדם פעילות מדעית, לייעץ לממשלה בענייני מחקר ותכנון מדעי בעלי חשיבות לאומית, לקיים מגע עם גופים מקבילים בחוץ-לארץ, לייצג את המדע הישראלי במוסדות ובכינוסים בין-לאומיים ולפרסם כתבים שיש בהם כדי לקדם את המדע. האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים רואה בקידומה ובפיתוחה של מערכת המחקר המדעי הבסיסי יעד בעל חשיבות לאומית.



המהלך נעשה בשיתוף קרן טראמפ למצוינות בחינוך.

עריכת לשון: יהודית (דיתיק) ידלין

עיצוב ועריכה גרפית: סטודיו נאו קצמן-כדורי

איור עטיפה: www.shutterstock.com

דפוס: גרפוס

האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים

כיכר אלברט איינשטיין, ת"ד 4040, ירושלים 9104001

טלפון: 02-5676222, דואר אלקטרוני: info@academy.ac.il

www.academy.ac.il



© כל הזכויות שמורות לאקדמיה הלאומית הישראלית למדעים 2025

בכל שימוש במסמך או ציטוט ממנו יש לאזכר את המקור כדלקמן:

חשיבה חישובית ובינה מלאכותית בהוראה ובלמידה - סיכום עבודתו של צוות המומחים (2025).

ירושלים: האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים.



חשיבה חישובית ובינה מלאכותית בהוראה ובלמידה

סיכום עבודת צוות המומחים

תקציר

בשנים האחרונות גובר העיסוק במיומנויותיה וביכולותיה של חשיבה חישובית בשל הבנת החשיבות של הקנייתן כבר בשלבי לימוד מוקדמים ולאור כניסתן למחקר פיז"ה. בעקבות פנייתה של קרן טראמפ הקימה האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים צוות מומחים שעסק בנושא. הצוות דן בהגדרת החשיבה החישובית וביסודותיה, באופן שילובה של חשיבה חישובית בתוכניות לימודים בארץ ובעולם כיום ובפדגוגיות להוראתה, וגיבש המלצות בנושאים אלה. במענה לבקשת הקרן ועל רקע פריצת הבינה המלאכותית לחיינו קיים הצוות דיון ראשוני גם בשאלה אילו לימודים נדרשים למפתחי מערכות הבינה המלאכותית של העתיד במסגרת מסלולי המצוינות בלימודי המתמטיקה ומדעי המחשב הנהוגים כיום.

במהלך תהליך העבודה קיים צוות המומחים שני מפגשי למידה רחבים ויום עיון. בימים אלו השתתפו מומחים רבים מהתעשייה, מהאקדמיה וממערכות חינוך פורמליות ולא פורמליות אשר שיתפו בפועלם ובידע הנרחב שלהם בנושא שילוב כישורים אלו בתוכניות הלימודים מבחינה רעיונית ומבחינה מעשית. צוות המומחים למד גם מסקירות ספרות מקיפות על הנעשה בתחומים אלו בארץ ובעולם, קיים פגישות פרטניות עם מומחים נוספים וישיבות לליבון הדברים.

העיסוק בחשיבה חישובית ובבינה מלאכותית בתהליך משותף העלה אתגרים ושאלות בנוגע לאופי הזיקה בין שני התחומים והציף את הצורך בשירות תפיסות מוטעות שקיימות בקרב העוסקים והפועלים בתחום הוראת החשיבה החישובית והוראת מדעי המחשב ומתמטיקה ותחומים משיקים להם.

להלן יוצגו בתמצית ממצאי הצוות והצעותיו. יודגש שוב כי הדיון בנושא של בינה מלאכותית הוא דיון ראשוני בלבד, וכי כדי להשיב על השאלה שהוצבה בנושא נדרש דיון מעמיק יותר שחורג בהיקפו ממסגרת המהלך הנוכחי.

תובנות והמלצות להטמעת לימודי חשיבה חישובית בארץ

- מתוך כלל הדברים ששמע ולמד הצוות עלה כי יש צורך במתן הגדרה חדשה לחשיבה חישובית אשר תקיף את כל רכיביה ותתייחס לכלל המשמעויות והתוכן שבהם, ונוסף על זה תהיה מפורטת מספיק כדי לאפשר פיתוח של תוכני לימוד ראויים בתחום. להלן ההגדרה שהציע הצוות (הנשענת על הגדרתה של Wing בהרצאתה מ-2012):

חשיבה חישובית כוללת את תהליכי החשיבה שמשמשים בשלבים שונים של פתרון בעיות, מייצוג הבעיה וניתוחה ועד למציאת פתרון או פתרונות שונים עבורה, להערכתם ולביטויים באופן שניתן לבצע אותם אוטומטית (בעזרת מחשב או ללא מחשב).

תהליכי חשיבה אלה משלבים אוסף מגוון של כלים מנטליים הקשורים זה לזה, כגון הפשטה, הכללה ופירוק, היסק לאחור, שינוי צורת ייצוג ואי-דטרמיניזם.

- צוות המומחים סבור כי יש להטמיע את החשיבה החישובית, המוכרת גם בשם "חשיבה אלגוריתמית", ולבססה במערכת החינוך ביצירה של מקצוע נפרד ועצמאי, שמבוסס על עקרונות מתחום מדעי המחשב אך אינו מקושר באופן בלעדי לתחום דעת זה. המקצוע ישמש מעין "מקצוע רוחבי" וילווה תהליכי למידה ופיתוח מיומנויות חשיבה במגוון תחומים.

- לשמו של המקצוע הייעודי משמעות רבה. כדי לייצג במלואן את מהותו של המקצוע הייעודי ואת מטרות למידתו יש לקבוע את שמו באופן מושכל בדיון עם מומחים למדעי המחשב ולהוראתם ועם מומחים רלוונטיים נוספים.

- חשוב להגדיר בבירור את אופי הזיקה בין המקצוע הייעודי לבין מקצוע מדעי המחשב, ובתוך כך גם את מידת השימוש בשפות תכנות להוראתו. רבים רואים כיום בשפות התכנות כלי מרכזי להוראת חשיבה חישובית. צוות המומחים סבור כי אף שיש יתרונות רבים לשילוב תכנות בלמידה, חשוב לזכור כי רעיונותיה ועקרונותיה של החשיבה החישובית הם רחבים

יותר, וכי התמקדות בתכנות מצירה מהותית את מנעד העקרונות הנלמדים ופוגעת ביכולת ההעברה שלהם לתחומים אחרים. לפיכך צוות המומחים סבור כי יש לבחון מחדש את אופן השימוש בשפות תכנות בהוראה בכלל ולגבש מדיניות חדשה בנושא להוראת המקצוע הייעודי (חשיבה חינוכית) בפרט.

הצוות רואה שתי אפשרויות ללימוד המקצוע הייעודי: אפשרות אחת היא פיתוח תוכנית לימודים המתמקדת בחשיבה אלגוריתמית אך מנותקת לגמרי מתכנות ומסביבות תכנותיות, ליצירת מקצוע שמטרתו להקנות לתלמידים עקרונות חשיבה כלליים ומיומנויות חשיבה שימושיות, כולל היוריסטיקות לפתרון בעיות, כבר מגיל צעיר; האפשרות השנייה היא פיתוח תוכנית לימודים המתמקדת בחשיבה אלגוריתמית ומשלבת תכנות בצורה מידתית, בשימת דגש עיקרי על החשיבה על בעיות, על ייצוגן ועל עבודה בפתרון בעיות ברמת הפשטה אלגוריתמית. את אופי המקצוע יש לקבוע בצורה מושכלת ומעוגנת בהתנסויות מלוות מחקר בשטח.

- מכל מקום, ללא תלות בגישה הננקטת הכשרת מורים מתאימה היא קריטית. יש להשקיע משאבים הן בהכשרה מתאימה וייחודית להוראת המקצוע הייעודי והן בהכשרת מורים ממגוון תחומים שתספק להם את הידע הנדרש לשילוב חשיבה חינוכית בטווח רחב של תחומי דעת. על תוכנית ההכשרה לכלול גם ליווי מורים ותמיכה בהם באופן שוטף ועקיב, בעת ההכשרה ולמשך שנת הלימודים.

- יש להתחיל את הטמעת הרעיונות והעקרונות השונים הכלולים בחשיבה החינוכית כבר בגיל צעיר, בעזרת הוראה ספירלית ומותאמת גיל, תוך השקעת משאבים ניכרים בחינוך היסודי ובחטיבות הביניים.

- על ההוראה לכלול המשגה מפורשת של המונחים, נתינת שם לרעיונות ולכלים של החשיבה החינוכית ויצירת קשרים בין ביטויים שונים של אותו רעיון. לצד זאת חשוב ליצור הזדמנויות לשילוב פעילויות המערבות חשיבה חינוכית במקצועות אחרים כדי לאפשר את העברת הכישורים הנרכשים לתחומים ולהקשרים מגוונים.

תובנות ראשוניות בנוגע ללימודים ולכישורים הנדרשים להכשרת מפתחי בינה מלאכותית

ארגונים חינוכיים רבים בארץ ובעולם מקדמים יוזמות לפיתוח תוכניות לימודים ייעודיות להוראת בינה מלאכותית הן כמקצוע לימודים עצמאי והן כחלק מתוכניות לימודים בתחומי דעת שונים. ככלל, ניתן לחלק את היוזמות הללו לשתי קבוצות: הראשונה מקדמת את גישת "בינה מלאכותית לכול" ודוגלת בהנגשה של ידע בסיסי על אופני השימוש בבינה מלאכותית לכולם; הקבוצה השנייה מיועדת בעיקר לאוכלוסיית התלמידים בעלי הפוטנציאל לקריירה טכנולוגית, כלומר התלמידים הלומדים בתוכניות המצוינות השונות ומתעניינים בטכנולוגיה, במדע או במדעי המחשב. הצוות עסק בתוכניות מהסוג השני וקיים דיון ראשוני בשאלה אילו לימודים נדרשים במסלולי המצוינות כדי להכשיר את מפתחי הבינה המלאכותית של העתיד.

הצוות סבר כי מתן מענה לשאלה הנקובה מחייב, בשלב ראשון, להגדיר מהי בינה מלאכותית, מהו בסיס הידע החיוני לה, מה כולל ארגז הכלים הנדרש לפיתוחה, ומהן מטרות הלמידה בתחום זה. אלו סוגיות מורכבות שדורשות דיון מעמיק ומקיף החורג מגדר המהלך המצומצם הנוכחי. לכן בשלב זה הציע הצוות תובנות ראשוניות בלבד על הוראת התחום.

גם בסוגיה זו הכשרת המורים היא נקודת מפתח. יש מחסור אדיר במורים מוכשרים להוראת התחום, ויש לפתח תוכניות הכשרה אינטנסיביות למורים שיכללו לימודי בסיס במדעי הנתונים, ביסודות המתמטיקה והאלגוריתמיקה הנדרשים להבנת הבסיס שעליו בנויות מערכות בינה מלאכותית שונות והיכרות עם שפות תכנות מתאימות. תוכניות אלו צריכות להיות ארוכות טווח ולכלול התנסות מעשית באותם החומרים שיועברו בעתיד לתלמידים. לצד זאת יש להקים קהילות למידה מקצועיות למורים שיאפשרו התעדכנות שוטפת בחידושים בתחום והתמודדות משותפת עם אתגרי ההוראה, וליצור מערך תמיכה טכני ופדגוגי, כולל גישה למומחים ולמשאבים מקוונים.

כיום נהוגות בארץ שתי גישות עיקריות להוראת בינה מלאכותית – גישה המבוססת על עבודה עם מודלים (Model-Centric AI) וגישה המבוססת על עבודה עם נתונים (Data-Centric AI). בשל הקשר ההדוק בין מדעי הנתונים

לבין פיתוח בינה מלאכותית הצוות מציע לאמץ גישה מבוססת נתונים להוראת פיתוח בינה מלאכותית ולחשוף את התלמידים לעבודה עם נתונים כבר מגיל צעיר. חשיפה מוקדמת לנושאים אלה יכולה להשפיע רבות על הסקרנות ועל העניין של התלמידים בתחום הבינה המלאכותית ולפתוח בפניהם צוהר ללימודים אקדמיים בתחום.

שימוש מושכל בכלי הבינה המלאכותית, ועל אחת כמה וכמה פיתוחם של כלים אלה, מחייבים פיתוח של כישורים ומיומנויות קוגניטיביות ומנטליות, כגון יכולות חשיבה אנליטיות, יכולות חשיבה חינוכית, יכולת חשיבה ביקורתית, שימוש בשפה האנגלית ויכולת עבודה בצוות.

מתוך מה שלמד הצוות יש הבדל גדול בין מספר התלמידות למספר התלמידים העוסקים בבינה מלאכותית בתיכון, ויותר מזה בכאלה הבוחרים ב"בגרות היי-טק", הכוללת מתמטיקה, אנגלית, פיזיקה או מדעי המחשב. הצוות עמד על הצורך לבחון את הסיבות לפערים ולפעול לקידום איזון מגדרי בתחומים אלה, החל מגיל צעיר. הצוות סבור כי להבדיל ממדעי המחשב, תחום מדעי הנתונים נתפס כיום כניטרלי מבחינה מגדרית, ולכן ייתכן כי בעזרת שילוב של לימודי תחום מדעי הנתונים בשלבי הלימוד המוקדמים יהיה אפשר לגשר על פערים אלו במידה מסוימת.



תוכן העניינים

12.....	רקע כללי על עבודת צוות המומחים
15.....	חשיבה חישובית – רקע כללי
17.....	סוגיות מרכזיות בהגדרת חשיבה חישובית
19.....	אסטרטגיות להוראת חשיבה חישובית
24.....	חשיבה חישובית – מה קורה בפועל?
27.....	המלצות צוות המומחים
34.....	שילוב בינה מלאכותית בהוראה ובלמידה
36.....	גישות להוראת פיתוח בינה מלאכותית בישראל
38.....	תובנות מתהליך הלמידה בנושא בינה מלאכותית
44.....	רשימת מקורות
46.....	נספחים

רקע כללי

על עבודת צוות המומחים

צוות המומחים הוקם על ידי האקדמיה הלאומית למדעים במענה לפניית "קרן טראמפ", העוסקת בפיתוח מצוינות בתחומי המתמטיקה והמדעים, כדי לגבש תשתית של ידע מבוסס בנושא לימודי חשיבה חינוכית ופיתוח בינה מלאכותית במערכות החינוך העל-יסודי בישראל ובמדינות אחרות. בצוות המומחים שבעה חוקרים מתנדבים ממגוון תחומים.

חברי הצוות: פרופ' מיכל ארמוני (יו"ר צוות המומחים), ד"ר דוד גינת, פרופ' עמירם יהודאי, פרופ' טלי נחליאלי, פרופ' רז קופרמן, פרופ' אורן קורלנד ופרופ' שמעון שוקן. **מרכזת אקדמית:** חן ברקמן.

במסגרת עבודתו בחן צוות המומחים את הידע העולה ממחקרים עדכניים ומהנעשה בתחומים אלו בארץ ובעולם; הסתייע בסקירות ספרות ומחקר; ערך שני מפגשי למידה רחבי היקף ויום עיון, שבהם השתתפו מומחים ממגוון תחומי דעת, אנשי מקצוע ואנשי מטה במשרד החינוך ובארגונים נוספים וכן מפתחי תוכניות לימוד ומכשירי מורים; ערך פגישות פרטניות עם מומחים נוספים ושיבות לליבון הדברים.

מפגש הלמידה הראשון של צוות המומחים עסק בסוגיות הקשורות לעקרונות ולגישות בהוראת חשיבה חינוכית, ובו הציגו הדוברים והדוברים את נקודת מבטם ושיתפו מהידע ומהניסיון שלהם בשאלות הנוגעות לחשיבה חינוכית ולקשר שלה למתמטיקה, למדעי המחשב ולתהליכי פתרון בעיות, לגישות ההוראה של חשיבה חינוכית ולמחקר המלווה אותן, לדרך ההערכה של חשיבה חינוכית ולאופי ההכשרה של מורים בתחום, כיום.

מפגש הלמידה השני עסק בשאלת הלימודים שעל תלמידים ללמוד במסלולי המצוינות בבתי הספר העל-יסודיים לצורך המשך חייהם כמפתחי הבינה המלאכותית של העתיד. הדוברות והדוברים הציגו את נקודת מבטם ושיתפו מהידע ומהניסיון שלהם בשאלה זו. נוסף על זה הוצגו תוכניות הלימודים הקיימות במערכת החינוך בישראל העוסקות בפיתוח בינה מלאכותית.

יום העיון בנושא חשיבה חינוכית ובינה מלאכותית בהוראה ובלמידה עסק בשני הנדבכים של עבודת צוות המומחים – חשיבה חינוכית והכשרת מפתחי הבינה המלאכותית של העתיד – והציע מבט מגוון על נושאים אלה. ביום זה הוצגו גישות שונות לחשיבה חינוכית ואופנים שבהם ניתן לגזור מהן מגוון של יעדים חינוכיים. נוסף על זה נדונו השימושים המעשיים במיומנויות החשיבה החינוכית במגוון תחומי דעת ובתרומתה לשדה המחקר ולשדה החינוכי. כמו כן מורים ואנשי שטח שיתפו את הנוכחים באתגרים ובהזדמנויות שיש ביישום החשיבה החינוכית בכיתות הלימוד. לצד כל אלו נערך מושב ששפך אור על היבטים שונים של עיצוב דור העתיד של מפתחי הבינה המלאכותית, ובהם ההשפעה של פיתוח זה על הוראה, על למידה ועל המאזן המגדרי במסגרות החינוכיות ובשוק התעסוקה.

השאלות שהוצגו לצוות המומחים:

- א. מהי הגדרה מוסכמת של המושג "חשיבה חינוכית", על רכיביו השונים, ככזה שיתרום לתוכן, לעומק ולמעשיות בתפיסתם של מחנכים בתחומי המתמטיקה ומדעי המחשב?
- ב. אילו יסודות של חשיבה חינוכית משולבים כבר בתוכניות הלימודים במתמטיקה ובמדעי המחשב הנלמדות בבתי הספר העל-יסודיים בישראל, ואילו יסודות עדיין חסרים בהן?
- ג. כיצד משולב הנושא במדינות אחרות, ומהן הפדגוגיות הספציפיות והפרקטיקות המיטביות להוראתו, אשר כבר הוכחו כמוצלחות במערכות החינוך האמורות?
- ד. האם יש המלצות מעשיות למערכת החינוך הישראלית לגבי הכדאיות של שילוב חשיבה חינוכית בתוכנית הלימודים, והדרכים המיטביות לעשות כן, תוך דגש מיוחד על כיתות המצוינות בחטיבות ביניים ועל מסלולי חמש יחידות בבתי הספר התיכוניים?
- ה. אילו לימודי מתמטיקה ומדעי המחשב צריכים תלמידים ללמוד במסלולי מצוינות בבתי הספר העל-יסודיים לצורך המשך חייהם כמפתחי הבינה המלאכותית של העתיד?

בכל שלבי העבודה ובכל מפגשי הלמידה ניכר כי יש לא מעט אתגרים בהוראת חשיבה חינוכית, וכי שילוב ראוי שלה במסגרת לימודי החובה או הכשרת מורים יעילה בתחום עדיין אינם בנמצא. עם זאת בקרב העוסקים בתחום יש הסכמה שפיתוח חשיבה חינוכית בקרב תלמידים יכול לסייע בהכנתם לאתגרי האקדמיה ולשוק העבודה העתידי ולהקנות להם יכולות חיוניות להתמודדות בעולם המודרני, ובייחוד היכולת להתמודד עם בעיות מורכבות מתחומים שונים.

מסמך זה מתבסס על מידע שנאסף בדיוני צוות המומחים בנושאי חשיבה חינוכית ובינה מלאכותית. התוכן משקף את הנתונים, את הדעות ואת התובנות שהוצגו לפני צוות המומחים בהקשר של תוכניות לימודים, פלטפורמות להוראה והכשרת מורים בתחומים אלו. המסמך אינו מתיימר להקיף את כל היבטי החשיבה החינוכית והבינה המלאכותית, ואין הוא בהכרח בבחינת סקירה ממצה של כל הקיים בתחום.

העיסוק בשאלות העוסקות בשני תחומים יחד (חשיבה חינוכית והכשרת מפתחי הבינה המלאכותית) בתהליך משותף היה אתגר לא מבוטל הן ברמה התהליכית והן ברמת התוכן והעלה שאלות רבות בנוגע לזיקה בין שני התחומים. יודגש כי הדיון הנכלל במסמך זה בנושא של בינה מלאכותית הוא דיון ראשוני, וכי כדי להשיב על השאלה שהוצבה נדרש דיון מעמיק יותר שחורג ממסגרת המהלך הנוכחי.

אנו ממליצים לראות במסמך זה בסיס לדיון ולמחקר נוסף ולא מקור יחיד או סופי למידע בנושאים אלו.

חשיבה חישובית – רקע כללי

בשנים האחרונות חשיבה חישובית היא נדבך מרכזי בעיצוב החינוך לעידן הדיגיטלי, זוכה לתשומת לב רבה בתחומי החינוך והמחקר ומשפיעה על תחומי דעת מגוונים. היא כוללת כישורי חשיבה מסדר גבוה, ובתוכם מיומנויות ויכולות מנטליות רחבות לצד ידע תוכני שניתן ליישמו במגוון תחומים והקשרים.

השימוש הראשון הידוע של המונח "חשיבה חישובית" (Computational Thinking) הוא מתחילת שנות השמונים בידי Seymour Papert, הוגה הקונסטרוקטיוניזם¹ (constructionism), אשר התייחס לאינטראקציה עם עולם מדעי המחשב, ובייחוד לתכנות, כאל פגומים קוגניטיביים שמקנים לתלמידים יכולות חשיבה המאפשרות להם לבנות, לייצג ולהבין באופן קונקרטי ידע מופשט מתחומי דעת שונים (Papert, 1980, 1991). אולם הפופולריות הרבה של המונח צמחה מאוחר יותר, עם פרסום מאמרה של Jeannette Wing בשנת 2006, שבו היא הציגה את מה שהיא קראה לו "חשיבה חישובית".

אף ששני החוקרים האלה השתמשו באותו מונח בדיוק (Computational Thinking), החשיבה החישובית שאליה התייחסה Wing במאמריה השונים (2006, 2008, 2010) אינה זו שאליה התייחס Papert. לעומת Papert, Wing (2006) הגדירה את החשיבה החישובית כאוסף הכלים המנטליים שמאפיין

1 קונסטרוקטיוניזם היא גישה המדגישה למידה דרך יצירה והבניה של אובייקטים פיזיים או דיגיטליים. העיקרון המרכזי של הגישה הוא שאנשים לומדים בצורה הטובה ביותר כאשר הם יוצרים דברים באופן פעיל תוך כדי שימוש בטכנולוגיה ובכלים נוספים כאמצעים ללמידה משמעותית. במקום קבלת מידע באופן פסיבי הלומדים בונים ידע דרך חוויה מעשית של יצירה ופתרון בעיות.

את העיסוק במדעי המחשב, ונתנה שלל דוגמאות לכלים מנטליים שמשמשים במדעי המחשב.² בעזרת אוסף הדוגמאות הזה היא הדגימה את עושרה ואת מורכבותה של החשיבה החישובית ובד בבד גם את עומקו של התחום שבו חשיבה חישובית משמשת – מדעי המחשב – ואת טיבו כתחום שעוסק בבעיות אלגוריתמיות, בניתוחן ובפתרוןן. בכך אפשרה Wing הצצה לדיון מעמיק ומסועף המתקיים זה עשרות שנים בצורות שונות, מאז שהחלה להתגבש ההכרה במדעי המחשב כתחום דעת אקדמי (Bell et al., 2018; Comer et al., 1989; Denning, 2010). דיון זה עוסק בטיבו של תחום הדעת של מדעי המחשב ובעקרונותיו, ברעיונות היסודיים שחוצים אותו לאורכו ולרוחבו ובכלים המנטליים שמעורבים בו, אותם כלים ש-Wing כינתה אותם "חשיבה חישובית" ואשר מוכרים בקרב העוסקים בתחום כ"חשיבה אלגוריתמית".

Wing טענה כי הרעיונות והכלים של חשיבה חישובית הם בעלי ערך רב במגוון תחומים מחוץ למדעי המחשב וללא קשר לטכנולוגיה, ולפיכך קראה להקנות חשיבה חישובית לכל ילד. אכן, הניסיון של עשרות השנים האחרונות מראה שיש מקרים רבים שבהם מדענים ומהנדסים שהוכשרו בתחום מדעי המחשב תרמו רבות לפתרון בעיות בתחומים מגוונים מפני שהשכילו להסתכל על הבעיות אחרת מהסתכלותם של אנשי התחום עצמו. מתברר שלימוד מעמיק של נושאים במדעי המחשב מספק נקודת מבט לניתוח ולהבנה של מערכות ובעיות מתחומים רבים ומגוונים. קריאתה של Wing הובילה לעשייה פדגוגית ענפה בתחום, וניתן למצוא בספרות המחקרית הצעות רבות להקניית חשיבה חישובית דרך תוכניות לימודים ספציפיות ומחקרים אמפיריים העוסקים בתוצאותיהן (Repenning et al., 2015, למשל).

2 רדוקציה, רנדומיזציה, רקורסיה, עיבוד מקבילי, הפשטה ותנועה בין רמות הפשטה, פירוק, מידול, אפיון דקלרטיבי, טרייד-אוף של זמן ומקום, אי-דטרמיניזם ונוספים.

סוגיות מרכזיות בהגדרת חשיבה חינוכית

לפי שעה עדיין אין הסכמה גורפת בנוגע להגדרתה של חשיבה חינוכית. בעקבות פרסום מאמרה של Wing ב-2006 העסיקה סוגיית ההגדרה של חשיבה חינוכית את המפתחים ואת החוקרים בתחום רבות. הספרות המחקרית כוללת אוסף גדול של הגדרות מבוססות רשימת רכיבים (למשל, ISTE/CSTA, 2011; Brennan & Resnick, 2012; Shute et al., 2017), שכל אחת מהן מכילה מספר רכיבים קטן מאוד ביחס ליריעת הדוגמאות שפרסה Wing. ההגדרות האלו מצומצמות בטבען וגם במהותן ואינן מצליחות לתפוס את עושרה ואת עומקה של החשיבה החינוכית במידה מספקת.

אין בכך כדי להפתיע – לחשיבה חינוכית רכיבים רבים מאוד, רבים מכדי להיכלל במפורש בהגדרה אחת. מרבית הרכיבים מורכבים מאוד, ויש ביניהם קשרים שונים אשר חיוניים להבנה מעמיקה של מהות החשיבה החינוכית. ההגדרות השונות בספרות חוטאות למהות זו בגלל צמצום מספר הרכיבים, אך גם בגלל הפרשנויות שהן כוללות. כך למשל הפשטה (אבסטרקציה) היא רעיון יסודי ומהותי במדעי המחשב, ולכן היא גם רכיב חשוב ביותר של חשיבה חינוכית. ואומנם הפשטה באה לידי ביטוי בכל אחת מההגדרות מבוססות הרכיבים שהוצעו עבור חשיבה חינוכית, אך במרביתן היא מאופיינת בצורה שגויה, חד-ממדית, צרה מדי או שטחית מדי.

נוסף על זה, חלק מההגדרות ממסגרות את החשיבה החינוכית כ"שיטה" או כ"תהליך חשיבה" יחיד לפתרון בעיות (למשל, ISTE/CSTA, 2011; Zhang & Nouri, 2019). בכך הן יוצרות רושם מוטעה שחשיבה חינוכית היא "מתכון"

או דרך אחת ברורה ומובנית שאותה ניתן ללמוד ולתרגל להתמודדות עם פתרון בעיות בשלל תחומים. תפיסה זו מוטעית, משתי סיבות: ראשית, חשיבה חיושויית אינה מיומנות אחת או דרך אחת מסוימת לפתרון בעיות אלא עושר של כלים מנטליים מסוגים שונים; שנית, אין בנמצא מתכון שמסביר כיצד להשתמש בכלים אלו לצורך פתרון בעיות.

אסטרטגיות להוראת חשיבה חישובית

רבים מן המומחים, מאנשי המקצוע וממקבלי ההחלטות בתחום רואים בחשיבה חישובית ובמדעי המחשב צימוד טבעי שצריך להתבטא באופן הקניית כישורי החשיבה החישובית במערכת החינוך.

אכן, מעצם טבעה של החשיבה החישובית כאוסף הכלים המנטליים המשרתים את אנשי מדעי המחשב בעבודתם ברור כי תחום מדעי המחשב מביא לידי ביטוי נרחב, מעמיק ועקיב את כישורי החשיבה החישובית, ולכן למידת מדעי המחשב כתחום דעת בית-ספרי מייצרת הזדמנויות רבות ליישום הכישורים הללו באופן משמעותי ולהפנימם. עם זאת לצימוד חשיבה חישובית עם מדעי המחשב יש השלכות נוספות:

1. יש לזכור שמטרה מרכזית של הוראת חשיבה חישובית היא להקנות ללומדים ארגז כלים שימושי **בהקשרים שונים שאינם מדעי המחשב**. מבחינה זו, תוכניות להוראת חשיבה חישובית הן אפקטיביות אם הן מצליחות להשיג פיתוח והעברה (transfer) של כישורים מנטליים שניתן להשתמש בהם ביעילות גם מחוץ להקשר שבו נלמדו. הוראת חשיבה חישובית רק במסגרת מקצוע העוסק במדעי המחשב עלולה למנוע השגת העברה כזאת.

2. קיימות תפיסות רווחות בנוגע לתחום מדעי המחשב, בייחוד בקרב אנשים שאינם מומחים לתחום, המייצגות רק חלקית את עושרו ואת עומקו. אנשים רבים רואים במדעי המחשב תחום טכנולוגי וקונקרטי מאוד שאינו כולל חשיבה מופשטת אף שאינו כזה כלל ועיקר. יתרה מזאת, רבים מזהים את מדעי המחשב עם תכנות. אלו הן תפיסות שגויות של תחום דעת זה, המושרשות

עמוק ומוצאות את ביטוין בהקשרים שונים הנוגעים להוראת מדעי המחשב בבתי הספר, החל מפיתוח תוכניות לימודים למדעי המחשב ברמות השונות, דרך הכשרת המורים למדעי המחשב וכלה במשאבי הוראה ובסביבות הוראה המשמשים להוראת המקצוע. כל אלו צפויים להישאר ואף להתגבר אם וכאשר כישורי החשיבה החישובית יוקנו דרך מקצוע מדעי המחשב לכל הלומדים כחלק ממערכת החינוך. נוסף על זה ייתכן כי תפיסות מוטעות של אופיו של תחום מדעי המחשב מתקשרות לעמדות שליליות כלפי התחום בקרב לומדים ומורים. כל אלו עלולים לפגוע הן בהשגת מטרות המקצוע הבית-ספרי מדעי המחשב כתחום דעת העומד בפני עצמו, והן באפקטיביות של הוראת מדעי המחשב ככלי להקניית כישורי חשיבה חישובית.

כיום, ברוב המדינות (ובהן ישראל) הוראת חשיבה חישובית מתבצעת לרוב דרך מקצוע מדעי המחשב. יתר על כן, ברוב המדינות תופס חלק נכבד בהוראתה של החשיבה החישובית. לעיתים תכנות הוא חלקה העיקרי של תוכנית הלימודים, ולעיתים – הוא אף כולה.

אכן, התמקדות בתכנות עלולה לפגוע בהשגת יעדי הלמידה של חשיבה חישובית, כיוון שרבים מהרעיונות ומהכלים החשובים של חשיבה חישובית באים לידי ביטוי טוב יותר דווקא ברבדים שאינם תכנותיים, ובמרכזם פתרון בעיות אלגוריתמיות דרך אלגוריתמים ופיתוחם, ללא יישומם בתכנות. ברוב תוכניות הלימודים ננקטת גישת התכנות האימפרטיבי,³ המצירה עוד יותר את מנעד מיומנויות החשיבה החישובית, ובפרט את החשיפה לחשיבה דקלרטיבית.⁴ נוסף על זה ניתן לשער כי ההתמקדות בתכנות מקשה את העברת הכלים הנלמדים להקשרים אחרים שבהם מוצגות הבעיות בצורות ובניסוחים מגוונים יותר. ואכן, אין עדויות מחקריות מספקות שמראות שהוראת חשיבה חישובית דרך תכנות מביאה לידי הקניה אפקטיבית של חשיבה חישובית.

3 תכנות אימפרטיבי היא שיטת תכנות המתמקדת בתיאור מדויק של התהליך ושל השלבים הנדרשים לביצוע משימה תוך כדי הגדרת סדר פעולות ספציפי ומפורט. בגישה זו המתכנת מנחה את המחשב צעד אחר צעד כיצד לבצע משימה, בדומה למתכון המתאר בדיוק כיצד להכין מאכל כלשהו.

4 חשיבה דקלרטיבית מתמקדת בהגדרת מה צריך להיעשות ללא פירוט מדויק של אופן העשייה. זוהי חשיבה עובדתית ותיאורית המתארת מצבים, תכונות ותוצאות רצויות מבלי להתעמק בתהליך המדויק להשגתן.

מנגד, לשילוב של תכנות בתוכנית הלימודים יש גם יתרונות ברורים: השילוב של תכנות מאפשר לתלמידים לייצר תוצרים (ארטיפקטים) מוחשיים אשר מביאים לידי ביטוי בחירות אישיות ומחזקים את הקשר של התלמידים לנושאים שבחרו, את תחושת השייכות שלהם למקצוע, את תחושת המסוגלות העצמית שלהם ואת המוטיבציה שלהם. זאת ועוד, שילוב תכנות מאפשר לתלמידים ליצור ייצוגי ביניים קונקרטיים אשר תומכים בבנייה הדרגתית של ייצוגי ידע מופשטים.⁵ כמו כן בלב ליבם של מדעי המחשב – ולכן גם של חשיבה חישובית – נמצאות הפשטה ותנועה בין רמות הפשטה. העיסוק בתכנות נותן הזדמנות לעבודה ברמות הפשטה קונקרטיות, ואם הוא נעשה לצד (ולא במקום) העיסוק באלגוריתמים, הרי הוא מזמן גם תנועה בין רמות הפשטה.

לצד אלה קיימות עדויות שכמה גורמים הביאו לידיעת צוות המומחים ולפיהן תכנות מרחיק קבוצות אוכלוסייה מסוימות, למשל בנות. כמו כן כיוון שהוראת תכנות דורשת ציוד טכנולוגי, יש קבוצות ממעמד חברתי-כלכלי נמוך שבהן למידה זו אינה מתאפשרת בשל מחסור במשאבים.

5 זוהי מהות הגישה הקונסטרוקטיבית. אחת הסביבות הנפוצות ביותר היום להוראת מדעי המחשב וחשיבה חישובית לילדים בחינוך היסודי ובחינוך התיכונים (Scratch) פותחה כסביבה קונסטרוקטיבית, והיא נצטרקת מתקדם של סביבות העבודה שפיתחו הוגי הגישה בשנות השמונים. יתרה מזאת, מסתבר כי לסביבה זו ולעוד כמה אחרות יש לכאורה פוטנציאל לגבור על הנטייה להדגשת חשיבה אימפרטיבית, ששילוב תכנות עלול לחזק, משום שסביבות אלו מבוססות במהותן על פרדיגמות לא אימפרטיביות. גם יש עדויות שמרמזות שאולי אלו פרדיגמות שטבעיות יותר לילדים צעירים אשר גדלו בעולם של אפליקציות שמגיבות לאירועים ופועלות במקביל ואינן נתפסות בהכרח כקשורות למחשב (Gordon et al., 2012).

הוראת חשיבה חישוּבית ללא תכנות

יש יוזמות ומיזמים רבים לפיתוח חשיבה חישוּבית ללא שימוש במחשב המשלבים אתגרים לוגיים ומתמטיים. יש עדויות (שתוקפן המחקרי מוגבל) שניתן ללמד גם ילדים צעירים תכנים כגון מיון, חיפוש בינארי ועוד אלמנטים אלגוריתמיים שמאופיינים בחשיבה מגוונת הכוללת מאפיינים דקלרטיביים ותבניות חשיבה מורכבות דרך כלים שאינם תכנותיים (Gibson, 2012; Gibson, 2014; Sysło & Kwiatkowska, 2014; Mery, 1998). עקרונית, סביבות או מסגרות כאלו מאפשרות אפילו לבנות תוכנית לימודים למקצוע נפרד שמטרתו להעניק לתלמידים עקרונות חשיבה כלליים ומיומנויות שימושיות של פתרון בעיות כבר מגיל צעיר, תוכנית שהיא מנותקת מתכנות אך נשענת על עולם המושגים של מדעי המחשב ובייחוד של פתרון בעיות אלגוריתמיות.

היתרון החשוב בתוכנית לימודים שאינה כוללת תכנות הוא לתת לתלמידים לבטא את הרעיונות שלהם לפתרון חישוּבי בצורה שונה ויצירתית.⁶ גישה כזאת יכולה להיות ידידותית לקהלים רחבים, אך פיתוחה ככזאת שתכלול קווים מנחים מוגדרים ושימים כאמצעי לימודי דורש גמישות ויצירתיות.

כמו כן הוראת חשיבה חישוּבית ללא תכנות מאפשרת לשלב חשיבה חישוּבית במקצועות נוספים על מדעי המחשב, כיוון שהיא מציעה תפיסה ותהליכי חשיבה הרלוונטיים לתהליכים של פתרון בעיות בתחומים שונים. דוגמה מובהקת היא מקצוע המתמטיקה, שבו חשיבה חישוּבית יכולה לבוא לידי ביטוי גם בפן קונספטואלי-מוכלל וגם באופנים קונקרטיים-ספציפיים, וקיימים יחסי גומלין בין שני ההיבטים.⁷

6 למשל, תלמידים יידרשו לבצע חישוּב עבור שורת נתונים מפורשים ולא יתבקשו לנסח מתכון כללי. כך נעשה בדרך כלל בהוראת המתמטיקה בבית ספר (למשל חישוּב ממוצע של חמישה מספרים מפורשים נתונים). שורת הנתונים תהיה כזאת שתצריך רעיון מוצלח ויעיל לביצוע החישוּב. החשיבה שתוביל לרעיון תהיה חשיבה חישוּבית, ותוצאתה תהיה ערכו של החישוּב. החושבים לא יתבקשו לנסח דרך חישוּב כללית בשפה מוקפדת כלשהי אלא יצטמצמו לנתונים המוצגים.

7 בפן המוכלל, החשיבה החישוּבית מאפשרת לתלמידים לחקור, כלומר לבצע תהליכי הפשטה והכללה המובילים לבניית מודלים מושגיים ולהסיק מסקנות בנוגע לקשרים בין מושגים שונים במתמטיקה. בפן הקונקרטי-ספציפי, כישורי חשיבה חישוּבית – שמהותה הוא פתרון בעיות – יכולים לסייע לתלמידים לפתור מגוון רחב של בעיות מתמטיות (PISA, 2022).

פתרון בעיות מתמטיות קונקרטיות⁸ הוא חלק חשוב מלימודי המתמטיקה בבתי הספר. בפועל, אופן ההוראה שנוקטים היום מורים למתמטיקה בבתי הספר, לצד מגבלות הנובעות מתנאי ההוראה ומכורח המציאות, לעיתים מגביל את החשיבה של התלמידים. בדרך כלל משך הזמן שניתן לתלמידים לפתרון שאלות במתמטיקה הוא קצר מאוד, ולרוב התלמידים לומדים דרך ספציפית לפתרון סוגים שונים של בעיות שאינה משאירה מקום לפיתוח מיומנויות חשיבה.

שילוב של חשיבה חישובית בפתרון בעיות מתמטיות בכיתות יכול להוביל לתהליכי פתרון עמוקים יותר שתורמתם להבנה המתמטית רבה יותר משום שהגישה של חשיבה חישובית מעודדת שימוש בחשיבה מופשטת גם בעת התמודדות עם בעיות מתמטיות קונקרטיות. למעשה, מתבצע מעבר מהתייחסות לבעיה קונקרטית, עם נתונים מסוימים, לפתרון של בעיה כללית – עם מאפיינים מסוימים. כאשר התלמידים ניגשים לפתור בעיה מתמטית קונקרטית בגישה של חשיבה חישובית, נדרשת מהם יצירה של תוכנית פעולה (אלגוריתם) שביצועה עבור מופע של נתונים ספציפיים ייתן את הפתרון לבעיה הנתונה. צורת החשיבה הנדרשת למציאת תוכנית הפעולה הזאת שונה מצורת החשיבה שנדרשת כדי לפתור את השאלה המתמטית הקונקרטית והיא יכולה לתרום רבות לניתוח הבעיה המקורית ולהבנתה ברמה עמוקה יותר.

8 בעיות העוסקות בנתונים ספציפיים.

חשיבה חישובית – מה קורה בפועל?

ההגדרה של החשיבה החישובית כאחת מהמיומנויות המרכזיות של המאה העשרים ואחת (Istance & Paniagua, 2018) וכניסתה למחקר פיז"ה הובילו למגמה גוברת של פיתוח תכנים להקניית חשיבה חישובית במדינות שונות ברחבי העולם. מרבית התוכניות שפותחו מבטאות את הקשר שבין חשיבה חישובית למדעי המחשב ומלמדות חשיבה חישובית דרך עיסוק במדעי המחשב, אך יש גם כאלה שמדגישות את הרלוונטיות של חשיבה חישובית לעיסוק בתחומי דעת שונים ומלמדות אותה כאוסף כלים ואסטרטגיות כלליות במסגרת מקצועות שונים (למשל, Sabitzer, Demarle-Meusel & Jarnig, 2018).

דוח האיחוד האירופי (Bocconi et al., 2022) שתיאר את המצב הקיים באירופה בנוגע להוראת חשיבה חישובית התייחס לחשיבה חישובית מנקודת מבט של מדעי המחשב ופירט שלוש גישות לשילובה בלימודים הבית-ספריים המחיבים בחינוך היסודי והעל-יסודי:

1. **גישה רוחבית:** שילוב של מושגים בסיסיים ממדעי המחשב לרוחב כל המקצועות הנלמדים בבית הספר. האחריות לפיתוח מיומנויות של חשיבה חישובית משותפת לכל המורים, כל מורה בתחומה.
2. **גישה עצמאית:** התייחסות לחשיבה החישובית כמקצוע נפרד הקשור למדעי המחשב (המכונה לרוב computer science או informatics) או תחת מונח המטרייה computing.
3. **גישה משלבת:** שילוב של מיומנויות חשיבה ומושגים בסיסיים ממדעי המחשב בתוך כמה מקצועות נבחרים שאינם מדעי המחשב, כגון מתמטיקה וטכנולוגיה.

על אף החלוקה לשלוש גישות נפרדות, במדינות רבות קיים שילוב בין הגישות השונות. למשל הוראת חשיבה חינוכית הן כמקצוע נפרד הקשור למדעי המחשב והן כתמה רוחבית חוצת-מקצועות או הוראת חשיבה חינוכית הן כמקצוע נפרד הקשור למדעי המחשב והן בתוך מקצועות מסוימים כמו מתמטיקה או טכנולוגיה. נדיר למצוא את הגישה הרוחבית לבדה, ללא שילוב עם אחת האחרות, לפי הדעה שכדי ליצור תהליך למידה אפקטיבי יש קודם לכול לבסס את רכישת הידע של מושגי יסוד בתוך הקשר ספציפי ורק לאחר מכן ליישם אותו בהקשרים אחרים (ראו סקירה בנושא – [תוכניות לימודים בנושא חשיבה חינוכית בעולם](#)). בדוח של האיחוד האירופי ניתן לראות גם כי בחינוך היסודי הגישה הרוחבית נפוצה משתי האחרות אשר נפוצות בערך באותה מידה. המגמה מתהפכת בחינוך העל-יסודי, כך שבחטיבת הביניים ובחטיבה העליונה הגישה העצמאית היא הנפוצה יותר, ושתי האחרות נפוצות בערך באותה מידה.

במערכת החינוך הפורמלי בישראל ההוראה של חשיבה חינוכית באה לידי ביטוי כמעט באופן בלעדי במקצוע מדעי המחשב. בחינוך העל-יסודי לומדים את המקצוע מדעי המחשב – בתיכון כמקצוע בחירה ובחטיבות הביניים בעיקר במסגרת מסלולי מצוינות המעודדים תלמידים להשכלה מתמטית, מדעית וטכנולוגית. בחינוך היסודי יש ביטוי מסוים לתחום הדעת מדעי המחשב, אך הוא אינו מתבטא בהוראה בקנה מידה ארצי מחייב.

תוכנית הלימודים שפותחה עבור המקצוע התיכוני בשנות התשעים פותחה כשמטרתה בין היתר להקנות את עקרונות היסוד של מדעי המחשב ולשלב הן את הרבדים הפרקטיים הקשורים לטכנולוגיה, הווה אומר תכנות, והן רבדים מופשטים יותר המאפיינים חשיבה אלגוריתמית. תוכנית זו מוערכת מאוד בעולם הוראת מדעי המחשב ונחשבת לפורצת דרך. התמקדותה בעקרונות התחום משאירה אותה רלוונטית גם היום, ולאורך השנים נדרשו עדכונים מעטים יחסית בליבה שלה. עם זאת במהלך השנים שחלפו מאז שנכתבה התוכנית וירדה לשדה ניתן לזהות בתוכנית המופעלת בשטח שינוי הדרגתי באיזון בין הרבדים האלגוריתמיים לרבדים התכנותיים (וספציפית, הדגשת האחרונים על חשבון הראשונים), שינוי המתבטא גם בבחינות הבגרות במקצוע. ניתן לשער שיש בכך כדי להשפיע על האפקטיביות של המקצוע מבחינת הקניית כישורי חשיבה חינוכית.

בחטיבות הביניים בישראל החלה לפעול בשנת 2012 תוכנית לימודים במקצוע מדעי המחשב כחלק מתוכניות למצוינות מדעית-טכנולוגית והתמקדה בתכנות. ב-2018 עודכנה התוכנית כדי שיודגשו גם הרבדים המדעיים של מדעי המחשב כתחום המתמקד בפתרון בעיות אלגוריתמיות. עקרונותיה של חשיבה חישובית כוללים בתוכנית הקיימת, ולכן יש לה פוטנציאל להוראה מהימנה של חשיבה חישובית. עם זאת בפועל הכשרתם המקצועית של מרבית המורים איננה מאפשרת להם ללמד את המקצוע באופן שיקנה לתלמידים את מיומנויות החשיבה באפקטיביות, וגם הבחינה המסכמת הארצית (בחינת מפמ"ר) מתמקדת בתכנות בלבד.

בחינוך היסודי רשימת תחומי הדעת כוללת הן את "מדעי המחשב" (בחינוך הטכנולוגי) והן את "חשיבה מחשובית ורובוטיקה". בפועל תחום הדעת מדעי המחשב שעברו פותחה תוכנית לימודים ב-2016 (בשם "מדעי המחשב ורובוטיקה") נלמד במספר קטן יחסית של בתי ספר ומתמקד בתכנות. לתחום הדעת חשיבה מחשובית ורובוטיקה נתונות רק תוכניות לימודים כלליות בראשי פרקים, ומוצע למורים מספר מצומצם של משאבי הוראה לכיתות מסוימות המתמקדים ברובוטיקה ובתכנות בסביבת Scratch.

המלצות צוות המומחים

1. מתן הגדרה חדשה לחשיבה חשובית

כדי ליצור השפעה של ממש על תהליכי ההוראה והלמידה נדרשת הגדרה קונקרטית, בהירה ותמציתית. מחד על הגדרה כזאת לאפשר לאנשי שטח ולכותבי תוכניות לייצר תכנים מתאימים וראויים להוראת חשיבה חשובית, ומאידך עליה למנוע השתרשות של תפיסות מוטעות בתחום דעת זה.

עמדת צוות המומחים היא שיש להניח בבסיס ההגדרה את האפיון הכללי של Wing, בצירוף היבטים נוספים של חשיבה חשובית. להלן ניסוח להגדרת חשיבה חשובית שיתרום לתוכן, לעומק ולמעשיות בתפיסתם של מחנכים בתחומי המתמטיקה ומדעי המחשב ולהעברתה אל תחומי דעת נוספים:

חשיבה חשובית כוללת את תהליכי החשיבה שמשמשים בשלבים שונים של פתרון בעיות, מייצוג הבעיה וניתוחה ועד למציאת פתרון או פתרונות שונים עבורה, להערכתם ולביטויים באופן שניתן לבצע אותם אוטומטית (בעזרת מחשב או ללא מחשב).

תהליכי חשיבה אלה משלבים אוסף מגוון של כלים מנטליים הקשורים זה לזה, כגון הפשטה, הכללה ופירוק, היסק לאחור, שינוי צורת ייצוג ואי-דטרמיניזם.

ניסוח זה מבהיר את הקשר של חשיבה חשובית לעיסוק בבעיות אלגוריתמיות (בעיות שפתרונותיהן ניתנים לביצוע אוטומטי), אפיון ופתרון. עם זאת השימוש במחשבים אינו חלק מההגדרה משום שככלל טכנולוגיה אינה חלק ממהותה של החשיבה החשובית. בפרט חשיבה חשובית איננה שינון או לימוד טכני של פרטי מערכת או של סביבת עבודה תכנותית ושפת תכנות.

בכך הניסוח משקף נאמנה את אופייה של החשיבה החישובית ואף תומך ברלוונטיות הרחבה שלה להקשרים שונים ולתחומי דעת שונים מחוץ למדעי המחשב.

בה בעת ההגדרה מאפשרת טעימה מהרעיונות של חשיבה חישובית ומהיכולות שנרצה שיפתחו התלמידים. בכך היא מדגישה את העושר, את הרחב ואת העומק של חשיבה חישובית כשהיא נמנעת מיצירת תפיסות מוטעות שמצמצמות אותה או את רכיביה, או משטחות את מורכבותם.

2. פיתוח וטיפוח של מקצוע ייעודי

חברי צוות המומחים סבורים כי חשוב לפתח ולטפח חשיבה חישובית ולייחד לכך מקצוע עצמאי שזו מטרתו. בהמלצות הבאות נתייחס למהותו ולמאפייניו של מקצוע זה.

א. כמקצוע העומד בפני עצמו יש למנות למקצוע הייעודי ועדת מקצוע וועדת תוכנית. ועדות אלו יכללו, נוסף על אנשי מקצוע מתחום מדעי המחשב, גם אנשי מקצוע מתחומי המדעים והמתמטיקה, שבהם החשיבה החישובית באה לידי ביטוי מהותי. כמקצוע יסוד שנועד להקנות לתלמידים כלים מנטליים שישמשו אותם בתחומים ובהקשרים שונים אין זה מקצוע טכנולוגי. לפיכך המלצתנו היא שמקצוע זה ישתייך במשרד החינוך לגוף המרכז את המקצועות המדעיים והמתמטיים.

ב. לשמו של המקצוע הייעודי יש משמעות רבה. על השם לשרת את מהותו של המקצוע הייעודי ואת מטרות הלמידה שלו. בפרט עליו למנוע את השפעותיהן של עמדות מוקדמות הנוגעות לתחום מדעי המחשב מחד, ואת השתרשותן של תפיסות מוטעות של המקצוע ושל תחום הדעת של מדעי המחשב, מאידך. לכן חשוב לקבוע את השם באופן מושכל בדיון עם מומחים למדעי המחשב ולהוראתם ומומחים רלוונטיים נוספים.

3. להתחיל בגיל צעיר בלמידה ספירלית

הדרך הנכונה ללמד רעיונות מורכבים ומופשטים שהם חוצי תחומים (כמו רעיונות היסוד של חשיבה חישובית) שתשיג העברה היא למידה ספירלית⁹ שמתחילה כבר בגיל צעיר ונמשכת לאורך שנות הוראה. חטיבת ביניים היא שלב מתאים לשלב בו תוכנית לימודים שמטרתה לפתח סט כישורים בין-תחומי, כיוון שעדיין אין מתמקדים בה במספר מקצועות מצומצם לקראת בחינות הבגרות. עם זאת רצוי להניח את בסיס הספירלה כבר בגילים צעירים יותר, בחינוך היסודי.

הנחת תשתית יציבה לחשיבה חישובית בחינוך היסודי ובחטיבת הביניים תאפשר שימוש בתשתית זאת במהלך לימודי התיכון, במסגרת מקצועות הלימוד השונים. כלומר, הקניית הכישורים הללו לתלמידים כבר מגיל צעיר תאפשר בנייה של ארגז כלים שימושי ורב-כוח, שבו יוכלו התלמידים להשתמש בהקשרים שונים בלימודי התיכון.

4. קביעה מושכלת של אופי המקצוע המעוגנת בהתנסויות מלוות-מחקר בשטח

צוות המומחים רואה חשיבות רבה בקביעה מושכלת ומבוססת של אופי המקצוע הייעודי, ובפרט בעניין הקישור שלו למדעי המחשב ולתכנות. לקביעה כזאת יש השפעה על כל ההיבטים של לימודי המקצוע, החל בפיתוח משאבי למידה וכלה בהערכה מעצבת ומסכמת של תוצרי הלמידה. להרחבה על היתרונות והחסרונות של למידת חשיבה חישובית באמצעות תכנות או במנותק ממנה ראו בפרק "[אסטרטגיות להוראת חשיבה חישובית](#)" (עמ' 19).

9 למידה ספירלית היא תמיד מותאמת לגיל ולשלב ההתפתחות הקוגניטיבי של התלמידים, אך באופן מהימן. כלומר, היא שמה לה למטרה להיות נאמנה למשמעות האמיתית של הרעיונות הנלמדים, ובפרט נמנעת מהשטחות או מקונקרטיזציות שלהם שעלולות להוביל לתפיסות מוטעות (Bruner, 1960).

צוות המומחים רואה שתי אפשרויות:

האחת, הוראת חשיבה חינוכית באופן שמתנתק לגמרי מתכנות ומסביבות תכנותיות דרך מקצוע שמטרתו להקנות לתלמידים עקרונות חשיבה כלליים ומיומנויות חשיבה שימושיות, כולל היוריסטיקות לפתרון בעיות, כבר מגיל צעיר, בחינוך היסודי ובחטיבת הביניים באמצעות תוכנית לימודים שנשענת על עולם התוכן והמושגים של מדעי המחשב, בייחוד של פתרון בעיות אלגוריתמיות, וכוללת גם כישורי חשיבה דקלרטיביים, אך אינה כוללת מימוש של הפתרונות בשפת תכנות.

בגישה כזאת אפשר יהיה לשיים ולהדגיש ללומדים את האלמנטים של חשיבה חינוכית שנעשה בהם שימוש, או שבאו לידי ביטוי, לצורך הגעה לרעיון לפתרון. שפת הדיבור בכיתה תשלב ותדגים אלמנטים אלו ותציג ותכליל את השימוש החוזר ונשנה בהם בצורה מודרגת ומתפתחת. גישה זו דומה לגישה המשמשת ב-Bebras (ראו נספח 1: [תוכנית חיצונית להוראת חשיבה חינוכית בישראל](#)). ניתן להרחיב את הגישה הזאת או לחשוב גם על גישות אחרות אשר יאפשרו תיאור וביטוי של חשיבה חינוכית בחופשיות רבה יותר מן הצורה ה"מהודקת" של שפת תכנות.

השנייה, פיתוח תוכנית לימודים המתמקדת בחשיבה אלגוריתמית ומשלבת תכנות אך מתמודדת במפורש עם התפיסות המוטעות הנפוצות ועם הנטייה להתמקדות לא מאוזנת בתכנות באמצעות הדגשתם של שלבי החשיבה על בעיות וייצוגן ושל העבודה על פתרון בעיות ברמת הפשטה אלגוריתמית. בגישה זאת יש חשיבות גדולה לבחירת הפרדיגמות ושפות התכנות שישמשו בתוכנית, ויש לבחור אותן בראש ובראשונה בהתאמה לגיל ולמטרות ההוראה. לשילוב מושכל ומוקפד של תכנות יש יתרונות מהותיים. יש עדויות מחקריות שלפיהן ניתן להכשיר בהצלחה מורים מרקע מגוון לתוכנית של הוראת מדעי המחשב בחטיבת הביניים הכוללת תכנות, אך מדגישה בעיקר את הרמה האלגוריתמית ושומרת על יחסי איזון מושכלים בשילובו בהוראה. כמו כן יש עדויות שלפיהן הוראה המשלבת באופן מושכל תכנות משפיעה על יכולות ההפשטה של התלמידים בפתרון בעיות אלגוריתמיות ועל נטייתם להשתמש ברמות הפשטה גבוהות לפני תכנות, ולעיתים במקום תכנות. מאלה ניתן להסיק כי שילוב נכון ומיטבי של תכנות בהוראה מאפשר לתלמידים לשהות ולעבוד

באופן מעמיק דיו ברמות מופשטות וגם להגיע לרבים קונקרטיים יותר, ללמוד לזהות מצבים שבהם ראוי ומשתלם לצאת מהקונקרטי אל המופשט ולהתנסות במעברים כאלה. כל זה מבלי להיסחף יתר על המידה לפרטים טכניים שאינם מהותיים לחשיבה החינוכית.

כדי לקבל החלטה באילו משתי הגישות לבחור, הכרחי להישען על מחקרי שטח מבוקרים שייערכו בקרב אוכלוסייה מגוונת, כולל בפריפריה. חשוב לעסוק בפיתוח מחושב ומושכל של תוכנית מתאימה לכל אחת מהגישות ולציין פיתוח של תוכניות מתאימות להכשרת מורים תוך כדי עריכת מחקרי עיצוב ובהם מחקר חלוץ שיכלול שתי קבוצות של מורים אשר יוכשרו וילמדו את שתי התוכניות, בהתאמה. במחקרים אלו ייבחנו האפקטיביות של תהליכי ההכשרה, וכן ייבחנו לעומק תהליכי הלמידה בכיתות והשפעתם על התלמידים, כולל בהיבט של העברה לתחומים אחרים. על בסיס התוצאות תיבחר אחת מהגישות והיא תופעל בהיקף רחב יותר בשילוב עם מחקר הבוחן את היתכנות ההכשרה של קבוצת מורים גדולה ואת תוצאות ההפעלה. מחקר זה יאפשר לשפר ולטייב את תהליכי ההוראה וההכשרה לפני הטמעה נרחבת של המקצוע כמקצוע מן המניין במערכת.

5. יצירת הזדמנויות לשילוב פעילויות המערבות חשיבה חינוכית בתוך מקצועות אחרים הנלמדים בבית הספר

ניתן לשלב פעילויות המערבות חשיבה חינוכית בתחומי דעת כגון מתמטיקה, מדעים, לשון, שפה זרה ועוד, ובכך להדגים באופן מפורש ופעיל את השימוש בחשיבה חינוכית בתוך עשייה בתחומים שונים ואת מעלותיו. אין להניח שמורים מתחומים שונים ייזמו בעצמם הזדמנויות למידה כאלו בשיעוריהם, או שהידע המקצועי שלהם יאפשר להם ליישם פעילויות כאלו באופן אפקטיבי ללא היכרות עם התחום. לכן נדרש פיתוח של מודעות בית-ספרית לחשיבותה של חשיבה חינוכית מנקודת מבט הוליסטית שתאפשר שיתופי פעולה בין מורי המקצוע הייעודי למורי מקצועות אחרים. אם הדבר ייעשה באופן תדיר ומהותי במהלך החינוך היסודי ובחטיבת הביניים, יפתחו התלמידים והמורים הרגלי שילוב שיאפשרו להמשיך ולפנות לחשיבה חינוכית גם במהלך התיכון, במקצועות החובה והבחירה. כדי לתמוך בכך יש לשמר את הפרספקטיבה ההוליסטית הזו גם בחטיבה העליונה.

6. שימוש במפורשות (explicitness)

חשוב מאוד להפנות את תשומת ליבם של התלמידים לרעיונות ולכלים של החשיבה החינוכית בכל פעם שמשתמשים בהם, לשיים אותם וליצור קשרים מפורשים בין ביטויים שונים של אותו רעיון בהקשרים שונים, ובכך לתמוך בראייה מוכללת שלהם. למידה פעילה, שכוללת עשייה של התלמידים,¹⁰ תורמת מאוד ללמידה משמעותית ואף להגברת המוטיבציה של הלומדים ולחדוות למידה, אך גם בלמידה כזאת הפנמה והעברה לא יתרחשו מעצמן. לכן הכרחי לשלב בצורת למידה זו רפלקציה על הנעשה, המשגה של התכנים ויצירת קשרים ביניהם. חשוב לעשות זאת בכל הקשר ותחום דעת שבו נלמדת החשיבה החינוכית (כלומר גם במקצוע הייעודי וגם כאשר היא משולבת במקצועות אחרים, לפי ההמלצה החמישית).

7. הכשרת מורים

הכשרת מורים להוראת המקצוע הייעודי היא בסיס הכרחי להצלחה, ובלעדיה לא יושגו מטרות הלמידה של חשיבה חינוכית. הכשרה כזאת צריכה לכלול היקף מתאים של ידע תוכני ושל ידע פדגוגי-תוכני. ההכשרה חשובה גם כדי לשרש את התפיסות המוטעות בקשר לחשיבה חינוכית, הן בקרב המורים והן בקרב התלמידים, כבר מגיל צעיר. נוסף על זה, הוראה שאינה מתאימה, בידי מורים שאינם בטוחים בידיעותיהם ובמסוגלותם המקצועית, עלולה להביא לחוסר עניין ולהיעדר מוטיבציה אצל התלמידים, שאף הם גורמים חיוניים ללמידה אפקטיבית.

א. יש לפעול לפיתוח מסלולים לתעודת הוראה ייעודית במוסדות להשכלה גבוהה שבהם יוכשרו פרחי הוראה למקצוע הייעודי, לפי הגישה שנבחרה עבורו (על פי ההמלצה הרביעית). בהמשך לכך יש ליצור מסגרות לתמיכה ייעודית במורים אלו בסיום ההכשרה, בהגיעם להתמחות (סטאז') בשטח.

10 כגון למידה מבוססת פרויקטים, פתרון חידות, עבודה בקבוצות וכיו"ב.

ב. יש לבנות מסגרות מספקות להשתלמויות התפתחות מקצועית עבור מורי מקצועות אחרים המעוניינים בהסבה (או בהרחבה) להוראת המקצוע הייעודי. כדי שהשתלמויות אלו יהיו אפקטיביות, עליהן להיות בהיקף מתאים ולכלול חלק אחד שייערך לפני שיתחילו המורים בהוראת המקצוע וחלק שני שייערך לאורך שנת הלימודים. בכך יתאפשר למורים להתנסות בתוכני ההשתלמות בכיתותיהם כשהם מלווים ונתמכים מקצועית, מה שמאפשר רפלקציה על ההתנסות בתוך ההשתלמות.

ג. יש לתת תמיכה ראויה למורי המקצוע הייעודי (הן בוגרי הכשרת מורים ייעודית למקצוע והן מורים שעשו הסבה ממקצוע אחר). כבכל מקצוע, קהילות מקצועיות למורים המלמדים חשיבה חינוכית, שאוכלוסיית המורים בהן היא מגוונת מבחינת ניסיונם בהוראה, צפויות להיות כלי אפקטיבי במיוחד לתמיכה במורים ולהתפתחות המקצועית שלהם, ולכן הן חשובות מאוד לטיוב הוראת המקצוע ולהשגת יעדי הלמידה שלו.

ד. יש לאפשר למורי המקצוע הייעודי גישה למשאבי הוראה איכותיים המותאמים למטרות ההוראה של חשיבה חינוכית ולגישת ההוראה שנבחרה, כבסיס להיעזר בו בעת עבודתם בשטח.

ה. יש להוסיף לכל מסלולי הכשרת המורים בחינוך היסודי והעל-יסודי קורס העוסק בחשיבה חינוכית והוראתה, ובכך לספק להם את הידע הנדרש לצורך שילוב פעילויות של חשיבה חינוכית במקצועות אחרים בבית הספר.

שילוב בינה מלאכותית בהוראה ובלמידה

לצד ההתפתחויות בתחום החשיבה החישובית גוברת בשנים האחרונות ההכרה בחשיבותו של שילוב של לימודי פיתוח בינה מלאכותית במערכות חינוך ברחבי העולם. ההתפתחות המהירה של תחום הבינה המלאכותית והשפעתו הגוברת על תחומי חיים רבים מצריכות היערכות והתאמה של מערכות החינוך למציאות החדשה והדינמית כדי לאפשר הכשרה מתאימה למומחי הבינה המלאכותית של העתיד שיעמדו בחזית הפיתוח של הטכנולוגיות הבאות.

קיים מגוון ארגונים חינוכיים וגורמים ממשלתיים, בארץ ובעולם, המקדמים יוזמות שונות לפיתוח תוכניות לימודים ייעודיות להוראת בינה מלאכותית, הן כמקצוע לימודים עצמאי והן כחלק מתוכניות לימודים בתחומי דעת קיימים כגון מדעי המחשב (ראו סקירה בנושא – [תוכניות בינה מלאכותית בעולם](#)). במרביתן מודגשת הקניית אוריינות בינה מלאכותית ובתוך כך הבנת העקרונות, היישומים וההשלכות החברתיות, האתיות והכלכליות של התחום. ככלל, ניתן לחלק את היוזמות הללו לשתי קבוצות: הקבוצה הראשונה של היוזמות מקדמת את הגישה "בינה מלאכותית לכול" ודוגלת בהנגשה של ידע בסיסי על אופני השימוש בבינה מלאכותית לכולם, מתוך הבנה שידע בסיסי בבינה מלאכותית הוא חיוני לכל אחד, ללא קשר למסלול הקריירה שלו, בדומה לחשיבותה של אוריינות דיגיטלית כיום.

הקבוצה השנייה של היוזמות מיועדת בעיקר לאוכלוסייה של תלמידים שיש להם אפשרות להתקדם לקריירה טכנולוגית, כלומר אלו שנמצאים בתוכניות המצוינות השונות ומתעניינים בטכנולוגיה, במדע או במדעי המחשב. יוזמות

אלו מנסות לתת כלים לתלמידים כבר בשלב מוקדם כדי להכווין אותם, ובעיקר את המצטיינים שבהם, לבחור בעתיד בקריירה שתאפשר להם לפתח את הטכנולוגיות הבאות בשוק. ואומנם, מתוך הדברים ששמע הצוות ממומחים הן בתעשייה והן באקדמיה, ניכר כי ענף זה של הוראת הבינה המלאכותית עודנו בחיתוליו, ועדיין אין הסכמות או קונבונציות לגבי מה ראוי ללמד, או מהם קווי המתאר של קוריקולום שמלמד נושאים אלו. לצד זאת יש אתגרים רבים ביישומן של תוכניות לימודים לפיתוח בינה מלאכותית, כגון מחסור בתקציבים, בחומרי למידה, במשאבים ובמורים בעלי הכשרה מתאימה.

בתהליך התברר כי מתן מענה מפורט על שאלת הלימודים הנדרשים למפתחי העתיד דורש, בשלב ראשון, הגדרה של מסגרת מושגית לשאלה מהי בינה מלאכותית, מה כולל תהליך הפיתוח שלה ומהם שימושיה. לשם כך יש צורך במיקוד ובהעמקה נוספים, שלא התאפשרו במסגרת הזמן הקצר וריבוי השאלות בתהליך הנוכחי, ועל כן במסמך זה יוצגו תובנות ראשוניות וכלליות בלבד.

עוד יש לשים לב כי קצב הפיתוח המסחרר של התחום מהווה אתגר קשה בחיזוי הכישורים שיידרשו ממפתחי המחר, ולדעת מומחים, סביר שכלי הבינה המלאכותית הרלוונטיים כעת לא יהיו רלוונטיים בעוד שנתיים או פחות מזה. יש לבסס גוף ידע חיוני להוראת בינה מלאכותית הכולל הוראה של יסודות התחום ומתן כישורים אוניברסליים שניתן להשתמש בהם באופן שאינו תלוי בטכנולוגיה כזאת או אחרת. לצד זאת יש לזכור כי המטרה של פיתוח תוכניות מסוג זה אינה להכשיר את מפתחי העתיד מייד אלא לעורר בתלמידים סקרנות לתחום ורצון לעסוק בו וללמוד את עקרונותיו בהמשך חייהם, שכן כדי להיות מפתחים של בינה מלאכותית ממילא נדרשים לימודים מתקדמים מאוד שניתן לרכוש רק בשלב ההשכלה הגבוהה.

גישות להוראת פיתוח בינה מלאכותית בישראל

יש שתי גישות עיקריות הנהוגות כיום בישראל להוראה של פיתוח בינה מלאכותית או תחומים קרובים אליה: הגישה הראשונה מתרכזת בעבודה עם נתונים (Data-Centric AI), והשנייה – בעבודה עם מודלים (Model-Centric AI):

Data-Centric AI – היא גישה המדגישה עבודה שיטתית עם נתונים בתהליך הבנייה של מערכת בינה מלאכותית מוצלחת. במהלך העשור האחרון השתפרו מאוד מודלים שונים המשמשים בקרב מפתחי בינה מלאכותית, כגון רשתות למידה עמוקה, ולכן היום הרבה יישומים מבוססי רשתות נוירוניים שיפרו במידה ניכרת את האופן שבו הם פועלים. לכן עבור יישומים מעשיים רבים היום פרודוקטיבי יותר להשאיר את הארכיטקטורה של הרשת קבועה, ובמקום זאת למצוא דרך לטייב את המידע שממנו לומדת הרשת. הגישה מדגישה את חשיבותה של עבודה עם נתונים אמיתיים ו"מלוכלכים" כפי שהם נראים בעולם האמיתי וכן את הבנת ההקשר של הנתונים ושל המשימה ולא רק של הנתונים עצמם. כמו כן הגישה של Data-Centric AI מעודדת פיתוח שיטות שניתנות להכללה ולשימוש במגוון תחומים ומשימות ואינה נותנת רק פתרונות ספציפיים לכל בעיה נתונה (Mazumder et al., 2023).

Model-Centric AI – היא גישה שבה מפתחי מערכות הבינה המלאכותית משדרגים בהתמדה את המודל שנוצר כדי להשיג ביצועים טובים יותר, ועם זאת הם שומרים על כמות הנתונים שנאספו ועל סוגם ללא שינוי. כלומר, העבודה מתבטאת בעיקר בטיוב הקוד או האלגוריתם שנכתב לשם פתרון בעיה ספציפית או ביצוע משימה כלשהי. למרות השליטה של גישה זו בתחום במשך שלושת

העשורים האחרונים, לאחרונה מושמעת ביקורת הטוענת כי גישה זו מתאימה בעיקר לחברות ענק בעלות מאות מיליוני משתמשים, אשר יכולות להרשות לעצמן להשתמש בפתרונות כלליים של בינה מלאכותית (Hamid, 2022).

במסגרת התהליך הוצגו לפני צוות המומחים שלוש דוגמאות לתוכניות לימודים שעוסקות בפיתוח בינה מלאכותית: תוכנית הלימודים של מגשימים AI, המשתייכת למרכז לחינוך סייבר, תוכנית "ניתוח נתונים ולמידת מכונה" (חלופה ליחידה השלישית במקצוע מדעי המחשב) של משרד החינוך ותוכנית הלימודים להתמחות "למידת מכונה" בתוך המגמה להנדסת תוכנה וסייבר של משרד החינוך. שלוש התוכניות הללו מיועדות רק לתלמידים ששייכים לאוכלוסייה השנייה שהוזכרה למעלה, ואינן מיועדות לכלל התלמידים. ניתן למצוא מידע נוסף על כל אחת מהתוכניות בנספח 2 – [תוכניות לימודים לפיתוח בינה מלאכותית בישראל](#).

תובנות מתהליך הלמידה בנושא בינה מלאכותית

1. הכשרת מורים

כדי להתחיל להטמיע את הלימודים הנדרשים בקרב תלמידים בבתי הספר העל-יסודיים לצורך המשך חייהם כמפתחי העתיד, יש ראשית לעמוד באתגר המרכזי והדחוף ביותר: המחסור החמור במורים מוכשרים בתחום. כפי שצינו כמה מומחים לפני הצוות, רוב המורים במערכת החינוך כיום אינם מצוידים בידע ובמיומנויות הנדרשים להוראת בינה מלאכותית ברמה הנדרשת. זהו אתגר מורכב, שכן הוא דורש לא רק ידע טכני מעמיק אלא גם הבנה של ההקשרים החברתיים, הכלכליים והאתיים של הטכנולוגיה, שמשתנה בקצב מהיר.

כמענה לאתגר זה צוות המומחים ממליץ על פיתוח תוכנית הכשרה אינטנסיבית למורים, הכוללת לימודי בסיס בשפת Python, במדעי הנתונים וביסודות המתמטיקה והאלגוריתמיקה הנדרשים להבנת הבסיס שעליו בנויות מערכות בינה מלאכותית שונות. תוכנית זו צריכה להיות ארוכת טווח ולכלול התנסות מעשית באותם החומרים שיועברו בעתיד לתלמידים. לצד זאת יש להקים קהילות למידה מקצועיות למורים המאפשרות התעדכנות שוטפת בחידושים בתחום והתמודדות משותפת עם אתגרי ההוראה, וליצור מערך תמיכה טכני ופדגוגי למורים, כולל גישה למומחים ולמשאבים מקוונים. חשוב להדגיש כי הכשרת המורים היא תהליך מתמשך ומאתגר, הדורש השקעה ניכרת של זמן ומשאבים. יש להכיר בכך שהמורים יידרשו לעבודה קשה ומאומצת כדי לרכוש את הידע והמיומנויות הנדרשים ולספק להם את התמיכה ואת התגמול ההולמים. ללא השקעה ניכרת בהכשרת המורים כל יתר ההמלצות להטמעתם של לימודי בינה מלאכותית במערכת החינוך יהיו קשות מאוד ליישום.

2. שילוב תחום מדעי הנתונים במערכת החינוך

היכרות עם תחום מדעי הנתונים והיכולת לעבוד עם נתונים אמיתיים הן קריטיות בפיתוחה וביישומה של בינה מלאכותית. יש לתת לתלמידים כלים שיאפשרו להם לעבוד עם נתונים בחוכמה ולפתוח להם צוהר ללימודים אקדמיים בנושא בעתיד, שם יוכלו להעמיק בנושאים שמעניינים אותם. צוות המומחים תומך בהוראה של פיתוח בינה מלאכותית בגישה מבוססת נתונים (Data-Centric AI), ששמה במרכז את תחום מדעי הנתונים ומדגישה את החשיבות בשימוש בשיטות מתחום מדעי הנתונים בהקניית הכישורים הנדרשים למפתחי העתיד. המטרה שבבסיס הגישה היא ללמד תלמידים כיצד לקחת בעיות מהעולם האמיתי ולהתמודד איתן דרך השלבים הסטנדרטיים בעבודה עם מידע: איסוף, ניהול, עיבוד, ניתוח וויזואליזציה של נתונים המשויכים למנעד רחב של תחומי דעת.

עם זאת חשוב לציין כי בבינה מלאכותית יש רכיבים שאינם קשורים למדעי הנתונים, ולהפך – יש רכיבים בתוך תחום מדעי הנתונים שאינם כוללים בינה מלאכותית, אך יש חלק נכבד שנמצא בחיתוך שבין בינה מלאכותית לבין נתונים, כמו למשל מודלים שלומדים מנתונים קודמים ויודעים לעשות חיזוי (פרדיקציה). אלה הם המודלים שיש להדגישם בעת פיתוח תוכניות לימודים בתחום.

יש מוסדות אקדמיים רבים, ובהם הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל, שבהם כבר משולב מקצוע מדעי הנתונים כמקצוע חובה בחלק גדול מתחומי הדעת מתוך הבנה שחשוב שסטודנטים ממגוון תחומים ידעו לנתח נתונים בהקשר רחב, יוכלו להבין את משמעותם בעולם האמיתי ולזהות הטיות ופערים אפשריים בתוך הנתונים שלפניהם. מאמצים לפיתוח תחום מדעי הנתונים בהשכלה הגבוהה ניכרים גם **בדוח ועדת ההיגוי המייעצת לות"ת לנושא מדעי הנתונים (2020)**, **בדוח הוראת מדעי הנתונים בכל תחום ידע באוניברסיטה של האקדמיה הלאומית למדעים (2021)** וב**דוח ועדת תל"ם לבינה מלאכותית ומדע הנתונים (2020)**, הממליצים על חשיפה של כל הסטודנטים בקמפוס האוניברסיטאי לתחום מדעי הנתונים במהלך לימודיהם באמצעות פיתוח קורס מבוא למדעי הנתונים או באמצעות העשרת קורסים קיימים בשיטות מחקר ובסטטיסטיקה.

בהמשך לדברים אלו צוות המומחים מבקש להדגיש כי ניתן לחשוף תלמידים לעבודה עם נתונים כבר מגיל צעיר ולהראות את הרלוונטיות של הנושא הזה להיבטים מגוונים בחיי היום-יום, כדי לפתח צורת חשיבה שמשלבת נתונים כבר בשלב מוקדם של הלמידה. את המושגים "מדע נתונים" או "נתונים" אפשר להתחיל ללמד מוקדם מאוד – גם בגן הילדים וגם בכיתות הנמוכות ביסודי ניתן לחשוף תלמידים למונחים אלה ולעבודה בסיסית עם נתונים, כמו איך להציג נתונים ומידע בתצורות שונות כגון bar charts, pie charts. אם המושגים הללו יונחלו כבר בגיל צעיר, השפעתם על הסקרנות ועל העניין של תלמידים בתחום הבינה המלאכותית יכולה להיות בעלת ערך רב. את יישומן של תוכניות כאלה יש ללוות בעבודת מחקר מעמיקה שמלווה את תהליך הפיתוח, את הכשרתם של המורים ואת הקניית המיומנויות בקרב הלומדים. לכן צוות המומחים מציע להשקיע מאמצים ניכרים בפיתוחן של תוכניות מבוססות מחקר, בכל הגילים. כל תוספת של תוכניות לימודים המשלבות כלים של מדעי הנתונים צריכה לכלול מחקר חלוץ שיכלול בנייה של הכשרת מורים, יצירת סילבוס ובחינת התכנים בו לצד ליווי יסודי ובחינה מעמיקה של תוצאות הלמידה בשטח.

3. פיתוח כישורים מנטליים וקוגניטיביים

כישורים אלו נדרשים כדי לאפשר שימוש מושכל ונכון בכלי הבינה המלאכותית, והם רלוונטיים לצורך פיתוח בינה מלאכותית וגם לצורך שימוש בכלי הבינה המלאכותית למטרות נוספות:

א. פיתוח יכולות חשיבה אנליטיות:

כדי להשתמש בבינה מלאכותית נדרשת יכולת לנתח בעיות מורכבות, לפרקן לגורמים ולזהות בהן דפוסים שמסייעים להגיע לפתרונות. סוג כזה של חשיבה קשור לכלים שמקנה החשיבה החישובית, ולכן על מפתחי העתיד להיות בעלי כישורי חשיבה חישובית. עם זאת חשוב להדגיש כי חשיבה חישובית היא תנאי הכרחי לפיתוח הכישורים הנדרשים לפיתוח בינה מלאכותית ולשימוש בה, אך היא אינה תנאי מספק.

ב. פיתוח חשיבה ביקורתית:

עם התפתחות מודלי שפה גדולים היכולת לעבוד עם ממשקי שפה טבעית ולראות את תוצאותיהם בעין ביקורתית הופכת קריטית מצד המשתמש. גם כיום המודלים שעומדים מאחורי מערכות הבינה המלאכותית מבוססים על סטטיסטיקה והסתברות, והם הונדסו, בסופו של דבר, בידי בני אדם. כיוון שכך, יש להיות ספקנים באשר למערכות אלה ולהבין את המגבלות של מה שהמודלים הללו יכולים להפיק. חשוב ללמד את התלמידים שימוש מושכל בבינה מלאכותית, ובתוך כך ללמד אותם כיצד לבקש את הדברים שהם רוצים ולחשוב חשיבה ביקורתית על התוצר המתקבל. מיומנויות אלו יכולות לסייע לתלמידים לנתח נתונים בצורה ביקורתית, תוך כדי התחשבות במקורם, במגבלותיהם ובהשלכות האפשריות של השימוש בהם. צפוי כי גם המפתחים של העתיד ירבו להשתמש במודלי השפה הקיימים או במודלים אחרים של בינה מלאכותית בעת הפיתוח (ניתן לראות את המגמה הזאת כבר היום בשוק), ולכן היכולת להעריך מידע באופן ביקורתי, לזהות הטיות ופערים ולגבש מסקנות מבוססות מאפשרת ניצול יעיל של כלי בינה מלאכותית מתקדמים תוך הבנת מגבלותיהם ואתגריהם האתיים.

ג. יכולת עבודה בצוות:

טכנולוגיה חדשה לעולם אינה מפותחת בידי אדם אחד. מפתחי העתיד יצטרכו לעבוד בצוותים, לחלוק רעיונות ולהביא לידי ביטוי את מחשבותיהם באופן קוהרנטי וברור. יכולת זו נרכשת דרך עבודה משותפת מגיל צעיר, שמאפשרת לכל התלמידים להביא לידי ביטוי את חזקותיהם תוך כדי למידת עמיתים מתמדת.

ד. אנגלית:

אנגלית היא השפה השלטת כיום בעולם הטכנולוגיה והבינה המלאכותית. רוב המסמכים הטכניים, מאמרי המחקר, כלי הפיתוח והתקשורת עימם באמצעות כתיבת מנחים (prompts) נעשים באנגלית. שליטה טובה באנגלית מאפשרת לתלמידים להשתמש בפיתוחים השונים של הבינה המלאכותית בצורה מושכלת – תלמידים שבקיאים בשפה האנגלית יכולים לבקש בבהירות את הדבר שהם רוצים שהמכונה תבצע, ולצד זאת הם יכולים לבקר את התשובות שהיא נותנת. כך גם מתאפשר יישום של מיומנות החשיבה הביקורתית, הנחוצה ביותר בעולם הטכנולוגי המתפתח.

4. קידום האיזון המגדרי בתחום הבינה המלאכותית

מתוך הדברים ששמע צוות המומחים ניכר כי יש הבדל גדול בין מספר התלמידים למספר התלמידות במגמות המשלבות בינה מלאכותית בתיכון. מדעי המחשב נתפסים כיום כתחום דעת "גברי" בקרב תלמידי תיכון, ואילו מדעי הנתונים נתפסים כתחום "ניטרלי" שאינו מיוחס ספציפית לנשים או לגברים בשל היותם שימושיים במגוון רחב של תחומי דעת. עם זאת הכללת תוכנית הלימודים של מדעי הנתונים בתיכון במקצוע מדעי המחשב, בו תלמידות נוטות פחות לבחור, מצמצמת את האפשרות לאיזון מגדרי בתחום. לפיכך, אם וכאשר יהפוך מדעי הנתונים למקצוע עצמאי, שיאפשר ביטוי למגוון רחב של עולמות תוכן, עשוי הדבר לקדם השתלבות של נשים רבות יותר בתחום.

ככלל, יש עדויות מחקריות שמראות כי תלמידות נוטות פחות לבחור במה שנקרא "בגרות הייטק", הכוללת חמש יחידות לימוד במתמטיקה, באנגלית ובפיזיקה או במדעי המחשב. עובדה זו משפיעה גם על ההחלטות העתידיות שלהן בעת בחירת חוג בהשכלה הגבוהה, וכמובן משפיעה מאוחר יותר על שילובן בתפקידי מחקר ופיתוח בשוק התעסוקה. אחת הטענות היא שהסיבה שבגללה תלמידות נוטות שלא לבחור במקצועות אלו היא כי הן אינן חשופות לשלל האפשרויות והתחומים שבהם ניתן לעסוק עם השלמת לימודי "בגרות הייטק" ותואר במקצועות ההיי טק, וכי הן אינן מודעות להשלכות החיוביות שיכולות להיות לבחירה במגמות אלו על המשך חייהן. נאמר גם כי הן מייחסות פחות חשיבות לתכנון מסלול עתידי בתעשיית ההייטק לעומת תלמידים, וייתכן שהסיבה לכך היא שנערים עומדים בפני הבחירה בחיל קרבי או טכנולוגי, ולכן יש להם מוטיבציה גדולה יותר לבחור במקצועות אלה.

צוות המומחים מדגיש את חשיבותו של קידום איזון מגדרי בתחום לימודי הבינה המלאכותית מגיל צעיר. ניתן למשל להקפיד שבכיתות המצוינות (או בכל לימודים אחרים שמשלבים הכשרה בבינה מלאכותית) יישמר מאזן קבוע בין מספר התלמידות למספר התלמידים. יישום מדיניות כזאת עשוי לתרום רבות לצמצום הפער המגדרי הקיים בתחום. לצד זאת צוות המומחים מכיר בצורך בחשיבה נוספת על הנושא, שתאפשר העמקה בסוגיות ובסיבות שבגינן נשים נוטות שלא לבחור במסלול זה ובשאלה כיצד ניתן להגדיל את מספר הנשים שמשולבות בו.

לסיכום, צוות המומחים מדגיש כי בהוראה של פיתוח בינה מלאכותית יש לכלול התנסות מעשית בעבודה עם נתונים. בכוחה של שיטת הוראה כזאת לטעת בתלמידים תחושות של חדוות יצירה, סקרנות ומוטיבציה ללמידה ותחושת הצלחה בביצוע דבר־מה בעל ערך במו ידיהם. במובן הזה מספיק שתלמידים יעשו מעט, אך חשוב שהם יבינו לעומק מה קורה מאחורי הקלעים של הפעולות שהם מבצעים ויראו בביצוען ערך חשוב.

יודגש שוב האמור בראשית הדברים, כי כדי להחליט על אופי הלימודים הנדרשים למפתחי הבינה המלאכותית של העתיד נדרשת חשיבה נוספת באשר לקווי המתאר של מהות הבינה המלאכותית ושל אופני השימוש בה, שמהם יהיה אפשר לגזור את מטרות הלמידה ואת תוכני הלימוד הקונקרטיים במתמטיקה ובמדעי המחשב הנדרשים כרקע בסיסי להכשרה.

1. Bell, T., Tymann, P., Yehudai, A., & Hromkovic, T. E. C. by J. (2018). The big ideas in computer science for K-12 Curricula. *Bulletin of EATCS*, 7(124), Article 124.
2. Brennan, K., & Resnick, M. (2012). New Frameworks for Studying and Assessing the Development of Computational Thinking. Proceedings of the 2012 Annual Meeting of the American *Educational Research Association*, Vol. 1, Vancouver, 13-17 April 2012, p.25.
3. Bruner, J. S. (1960). *The process of education* (pp. xvi, 97). Harvard University. Press.
4. Bocconi, S., Chiocciariello, A., Kampylis, P., Dagienė, V., Wastiau, P., Engelhardt, K., Earp, J., Horvath, M., Jasutė, E., Malagoli, C., Masiulionytė-Dagienė, V., & Stupurienė, G. (2022). *Reviewing computational thinking in compulsory education: State of play and practices from computing education*. Publications Office of the European Union. <https://doi.org/10.2760/126955>
5. Comer, D. E., Gries, D., Mulder, M. C., Tucker, A., Turner, A. J., & Young, P. R. (1989). Computing as a discipline. *Communications of the ACM*, 32(1), 9–23. <https://doi.org/10.1145/63238.63239>
6. Denning, P. J. (2010). Computing science: The great principles of computing. *American Scientist*, 98(5), 369–372.
7. Gibson, J. P. (2012). Teaching graph algorithms to children of all ages. *Proceedings of the 17th ACM Annual Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education*, 34–39. <https://doi.org/10.1145/2325296.2325308>
8. Gibson, J. P., & Mery, D. (1998). *Teaching Formal Methods: Lessons to learn*. p.16. <https://doi.org/10.14236/ewic/FM1998.4>
9. Gordon, M., Marron, A., & Meerbaum-Salant, O. (2012). Spaghetti for the main course? Observations on the naturalness of scenario-based programming. *Proceedings of the 17th ACM Annual Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education*, 198–203. <https://doi.org/10.1145/2325296.2325346>
10. Hamid, O. H. (2022). From model-centric to data-centric AI: A paradigm shift or rather a complementary approach? *2022 8th International Conference on Information Technology Trends (ITT)*, 196–199. <https://doi.org/10.1109/ITT56123.2022.9863935>
11. ISTE/CSTA (International Society for Technology in Education/Computer Science Teachers Association) (2011). *Operational definition of computational thinking for K-12 education*.

12. Mazumder, M., Banbury, C., Yao, X., Karlaš, B., Gaviria Rojas, W., Diamos, S., Diamos, G., He, L., Parrish, A., Kirk, H. R., Quaye, J., Rastogi, C., Kiela, D., Jurado, D., Kanter, D., Mosquera, R., Cukierski, W., Ciro, J., Aroyo, L., ... Janapa Reddi, V. (2023). DataPerf: Benchmarks for data-centric AI development. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 36, 5320–5347.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2207.10062>
13. Paniagua, A. and D. Istance (2018), Teachers as Designers of Learning Environments: The Importance of Innovative Pedagogies, *Educational Research and Innovation*, OECD Publishing, Paris.
<https://doi.org/10.1787/9789264085374-en>
14. Repenning, A., Webb, D. C., Koh, K. H., Nickerson, H., Miller, S. B., Brand, C., Horses, I. H. M., Basawapatna, A., Gluck, F., Grover, R., Gutierrez, K., & Repenning, N. (2015). Scalable game design: A strategy to bring systemic computer science education to schools through game design and simulation creation. *ACM Transactions on Computing Education*, 15(2), 11:1–11:31. <https://doi.org/10.1145/2700517>
15. Sabitzer, B., Demarle-Meusel, H., & Jarnig, M. (2018). Computational thinking through modeling in language lessons. *2018 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, 1913–1919. <https://doi.org/10.1109/EDUCON.2018.8363469>
16. Shute, V. J., Sun, C., & Asbell-Clarke, J. (2017). Demystifying computational thinking. *Educational Research Review*, 22, 142–158.
<https://doi.org/10.1016/j.edurev.2017.09.003>
17. Syslo, M. M., & Kwiatkowska, A. B. (2014). Playing with computing at a children's university. *Proceedings of the 9th Workshop in Primary and Secondary Computing Education*, 104–107. <https://doi.org/10.1145/2670757.2670790>
18. Wing, J. (2006). Computational Thinking. *Communications of the ACM*, 49, 33–35. <https://doi.org/10.1145/1118178.1118215>
19. Wing, J. M. (2008). Computational thinking and thinking about computing. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 366(1881), 3717–3725.
<https://doi.org/10.1098/rsta.2008.0118>
20. Wing, J. M. (2010). Computational Thinking: What and Why? Unpublished Manuscript, Pittsburgh, PA: Computer Science Department, Carnegie Mellon University.
<https://www.cs.cmu.edu/~CompThink/resources/TheLinkWing.pdf>
21. Zhang, L., & Nouri, J. (2019). A systematic review of learning computational thinking through Scratch in K-9. *Computers & Education*, 141, 103607.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103607>

נספח 1. תוכניות חיצוניות להוראת חשיבה חשובית בישראל

יש תוכניות לימודים שמערבות הוראה של חשיבה חשובית אשר פותחו באופן עצמאי על ידי גופים שונים מחוץ למשרד החינוך והמוצעות לבתי הספר כתוכניות חיצוניות בחינוך היסודי ובחטיבות הביניים. רובן המכריע עוסק בתכנות. בעת תהליך העבודה הוצגו לפני הצוות המומחים שלוש דוגמאות ליוזמות כאלו, אך סביר מאוד שיש נוספות.

(MyQ) Plethora

יוזמה המפתחת פלטפורמות שמסייעות לתלמידים להבין את הרעיונות ואת העקרונות העיקריים של חשיבה חשובית כדי לתת בידם ארגז כלים למימוש מיומנויות חשיבה במגוון אופנים. יוזמה זו כוללת גם הכשרת מורים ומלווה במערכי שיעור מפורטים. הסביבות הן משחקיות וכוללות תכנות בשפה דקלרטיבית שהיא מבוססת תרחישים ושונה מאוד מתכנות אימפרטיבי, ולכן הפעילויות אינן נתפסות אצל הלומדים כתכנות.

UInGame

יוזמה נוספת שפועלת לפי מודל המתאר את מרכיבי החשיבה החשובית לצורך הטמעתה כשפה בית-ספרית. המודל מיושם כיום בבתי ספר יסודיים בעיקר בתחומי המדעים, והדגש בו מושם על פתרון בעיות שונות שבמסגרתו התלמידים מתנסים בשימוש במפות חשיבה, ביצירת אלגוריתמים בעזרת תרשים זרימה או בתכנות בסביבת Scratch.

CodeMonkey

יוזמה שמבוססת על משחק, חוויה ויצירת מיזמים שבהם נדרשים התלמידים לבצע ולפתור משימות בעזרת כתיבת פקודות בשפות תכנות תוך כדי למידה של עקרונות תכנות. התלמידים מקבלים המחשות המסייעות לקדם

אותם לפתרון ומכילות לרמתם כדי להתאים את תהליך החשיבה לרמת הלמידה. הפלטפורמה כוללת מעטפת הכשרה ותמיכה למורים, ובה ובינרים, מערכי שיעור, חומרים להדפסה, פתרונות לתרגילים ועזרים נוספים. כיום הפלטפורמה משמשת בחינוך היסודי והעל-יסודי (חטיבות ביניים), וקיימים תכנים מותאמים לגילים השונים.

Bebras

תחרות בין-לאומית המבקשת לחשוף בני נוער בדרך אינטראקטיבית לעקרונות יסוד במדעי המחשב ובמתמטיקה באמצעות פיתוח מיומנות בפתרון בעיות, המובלת על ידי אוניברסיטת תל אביב בשיתוף פעולה עם מורים למתמטיקה ולמדעי המחשב. בתחרות אין מודדים דבר שקשור לשפת תכנות אלא רק את עקרונות החשיבה החישובית. אף שיש בבעיות המוצגות היבטים שקשורים לתכנות, אין התלמידים צריכים לדעת להשתמש בשפת תכנות, ולכן כל התלמידים בכל תחומי הדעת יכולים להשתתף. בתחרות יש שאלות בדרגת קושי עולה, הדורשות שימוש בחשיבה דקלרטיבית לצד שימוש בחשיבה אופרטיבית הנהוגה לרוב בתהליכי פתרון בעיות, והתלמידים נדרשים לזהות את המאפיינים של כל בעיה ולאתר את הדרכים לפתרונה. בשונה מהתפיסה הביצועית של מקצוע למידה שמוגדר כמותאם לכל התלמידים, 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.

נספח 2. תוכניות לימודים לפיתוח בינה מלאכותית בישראל

בעת תהליך העבודה הוצגו לפני הצוות המומחים שלוש דוגמאות לתוכניות לימודים לפיתוח בינה מלאכותית בישראל, אך סביר מאוד שיש נוספות.

מגשימים AI

היא תוכנית לימודים בגישת Data-Centric AI, הדוגלת בעמדה שתלמידים יכולים לעבוד עם נתונים עוד לפני שהם לומדים שפת תכנות. סילבוס התוכנית כולל כלים לעבודה עם נתונים, סטטיסטיקה, בניית מודלים והערכתם, שפת התכנות Python, סיווג, רגרסיה ו-NLP, הנלמדים כולם תוך כדי התנסות מעשית. התוכנית שואפת לאפשר לתלמידים להבין מושגים וליצור קשר בינם לבין תופעות שהם מכירים בעולם באמצעות יצירת מיזמים בהנחיה אישית.

תוכנית הלימודים ל"ניתוח נתונים ולמידת מכונה"

(חלופה ליחידה השלישית במקצוע מדעי המחשב), נכללת במקצוע מדעי המחשב במשרד החינוך. תוכנית זו אף היא מבוססת נתונים והיא יחידת מבוא ללימודי ההתמחות בלמידת מכונה במסגרת המגמה להנדסת תוכנה וסייבר. מטרתה של תוכנית זו לחשוף את הלומדים לתחום מדעי הנתונים ובתוך כך לסוגי היישומים האפשריים, לעקרונות בעבודה עם נתונים, לעקרונות למידת מכונה, לתהליך העבודה במדעי הנתונים וליישומו של פרויקט בפועל. לרוב הלמידה מתבצעת באמצעות שפת Python, כיוון שזוהי השפה השלטת כיום בעולם מדעי הנתונים והנדסת התוכנה. הוראת התוכנית כוללת את כל השלבים של פרויקט עם נתונים כולל הגדרת שאלה, איסוף נתונים וחקרם, פיתוח מודלים ובניית דוח. במסגרת התוכנית נדרש ללמד לפחות אלגוריתם למידת מכונה אחד לעומק, כדי שהתלמידים יכירו לעומק את המתמטיקה שמאחוריו.

תוכנית הלימודים להתמחות "למידת מכונה"

של משרד החינוך היא יחידת ההמשך של התוכנית "ניתוח נתונים ולמידת מכונה", והיא תוכנית בגישת Model-Centric AI. מטרתה של תוכנית זו להקנות לתלמידים ידע בפיתוח מערכות תוכנה המבוססות על למידת מכונה ועל למידה עמוקה, שהיא תחום חשוב בעולם הבינה המלאכותית. במסגרת התוכנית התלמידים לומדים מהי למידת מכונה בגישת "כל העולם טבלה",

עקרונות של רשתות נוירונים, אימון מחשב ותהליך התכנסות לפתרון בעזרת נגזרת, פונקציית מחיר והטמעה של תכנות מונחה עצמים. לאורך השנה התלמידים בונים חבילה ב-Python שמשמשת אותם לפרויקט המסכם, שבו הם לוקחים בעיה מהעולם האמיתי, אוספים דוגמאות ומגדירים אותה ומאמנים לה רשת וממשק משתמש.

כל אחת משתי התוכניות של משרד החינוך היא בעלת דגש אחר: בתוכנית "ניתוח נתונים ולמידת מכונה" חומר הלימוד קרוב יותר למדעי הנתונים, ובתוכנית להתמחות "למידת מכונה" מודגשים האלגוריתמים וההבנה של אופן עבודתן של הרשתות, מתוך הנחה שתלמידים שמגיעים לתוכנית ההמשך כבר עברו את תוכנית המבוא. אולם לפי שעה אין דרישת קדם בעניין זה, ולכן פעמים רבות המורים נדרשים להשלים לתלמידים את החומר. מורים בתוכנית אמרו לצוות המומחים כי המתמטיקה הנדרשת בתוכנית מורכבת מאוד, ובשל חוסר זמן ומשאבים הם מדלגים על הוראתה ועוברים ישר לשימוש פרקטי בכלים, וכך למעשה התלמידים אינם רוכשים את מיומנויות החשיבה הנדרשות לפיתוח אלא בעיקר עוסקים בעבודה מעשית (דבר שניכר גם בפרויקטים המסכמים).

לצד שלוש אלו קיימת תוכנית לימודים נוספת במשרד החינוך, באגף לחינוך טכנולוגי, הנקראת "מידע ונתונים". תוכנית זו אינה מכוונת להקניית כישורים לפיתוח בינה מלאכותית, אך היא מאפשרת לתלמידים היכרות בסיסית עם מושג הנתונים ועבודה עימם, ולכן בחרנו להזכירה אף שלא הוצגה ישירות לפני צוות המומחים. תוכנית זו מיועדת לתלמידי חטיבה עליונה, ומטרתה להקנות ידע בסיסי על נתונים ומידע, ובתוך כך כלים לעיבוד נתונים, לניתוחם ולהצגתם, לצד תרגום התוצאות מהניתוח לשפה ארגונית באמצעות כלים ויזואליים. התלמידים נחשפים בתוכנית לאפשרויות השימוש השונות בכלי בינה מלאכותית בהקשר של מדעי הנתונים. מרבית חומרי ההוראה הם סרטוני וידאו קצרים, ובסיומם תרגול המאפשר את יישום החומר ואת השלכותיו בחייהם האישיים של התלמידים. המורים בתוכנית זו משמשים מעין "מנטורים", המייעצים ומתווכים את החומר לתלמידים.

האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים
כיכר אלברט איינשטיין, ת"ד 4040, ירושלים 9104001
טלפון: 02-5676222, דואר אלקטרוני: info@academy.ac.il

www.academy.ac.il

