



צוות המומחים לנושא:

חשיבה חישובית ובינה מלאכותית

הלימודים הנדרשים לתלמידים במסלולי המצוינות בבתי הספר העל-יסודיים לצורך המשך

חייהם כמפתחי מערכות המחשב של העתיד בתחום הבינה המלאכותית

מפגש למידה שני

כ"א בסיוון תשפ"ד, 27.6.24

בית האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים, ירושלים

האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים נוסדה על פי חוק בשנת תשכ"א (1961) כדי 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. כלל פעילויות הייעוץ של האקדמיה, לרבות אלו שבתחום החינוך שבעבר התקיימו במסגרת "היוזמה – מרכז לידע ולמחקר בחינוך", מתקיימות כיום במסגרת האגף לייעוץ וקשרי ממשל אשר הוקם כדי לקדם את הפעילות למתן ייעוץ המבוסס על מחקר ועל מדע ולחזק את הקשר שבין האקדמיה לממשל.

נושא המפגש

המפגש 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 הנוגעים לשאלה זו. כמו כן הוצגו תוכניות הלימודים הקיימות במערכת החינוך בישראל העוסקות בפיתוח בינה מלאכותית.

חברי הוועדה:

פרופ' מיכל ארמוני, מכון ויצמן למדע, יו"ר הוועדה
 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
 פרופ' אורן קורלנד, הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל
 פרופ' שמעון שוקן, אוניברסיטת רייכמן
 מרכזת אקדמית: חן ברקמן

משתתפים נוספים (לפי סדר הא-ב):

ד"ר ברק אור, רייכמן-Google
 ד"ר גיורא אלכסנדרון, מכון ויצמן למדע
 אלי הורוביץ, מנכ"ל קרן טראמפ
 ד"ר נירית טופול, האגף לייעוץ וקשרי ממשל, האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים
 ד"ר קובי מייק, בתר-דוקטורנט, אוניברסיטת בר-אילן
 עמוס מרום, המרכז לחינוך סייבר
 ד"ר אהוד סיוון, המחלקה לעיבוד תמונה ביולוגית, מכון ויצמן למדע
 ד"ר עידן ספקטור, מחלקת המחקר Google ישראל
 רננה פרזנצ'בסקי אמיר, מנהלת האגף לייעוץ וקשרי ממשל, האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים
 רחל פרלמן, סגנית מפקח מדעי המחשב, משרד החינוך
 פרופ' גל צ'צייק, אוניברסיטת בר-אילן
 פרופ' מיכל רוזן-צבי, מעבדות המחקר IBM

דברי פתיחה: פרופ' מיכל ארמוני – יו"ר ועדת המומחים לחשיבה חישובית ובינה מלאכותית

בפתיחת דבריה דיברה מיכל על ההבדלים בין השאלות שנדונו במפגש הלמידה הראשון של הוועדה, שעסקו כולו בנושא הוראת חשיבה חישובית (Computational Thinking), לבין השאלה שבבסיס המפגש הנוכחי – מה צריכים תלמידים ותלמידות ללמוד במסלולי המצוינות בבתי הספר העל-יסודיים לצורך המשך חייהם כמפתחי הבינה המלאכותית של העתיד.

השאלות שהתמקדו בחשיבה חישובית עוסקות בהווה ובעתיד הקרוב: איזו הגדרה של "חשיבה חישובית" תהיה נאמנה למהות שלה, כיצד היא מתבטאת היום במערכת החינוך בארץ ובמדינות אחרות, מה ניתן ללמוד מהנעשה בעולם על הוראת חשיבה חישובית ועל למידתה, ואילו שינויים ועדכונים כדאי לערוך בתוכניות הלימודים ובהיבטים הקשורים אליהן כדי להגיע להוראה אפקטיבית שלה. לעומת ארבע השאלות הללו השאלה החמישית התמקדה במפתחי הבינה המלאכותית של העתיד.

גם השאלות בנושא חשיבה חישובית עסקו, במובלע, בעתידים של תלמידי ההווה. מלכתחילה הרצינונל שעומד מאחורי הקריאה ללמד חשיבה חישובית הוא שהמיומנויות, הרעיונות, הרגלי החשיבה והכלים המנטליים שגלומים בחשיבה חישובית מועילים לא רק במדעי המחשב אלא גם בהקשרים רבים בתחומי דעת שונים. ראוי לפעול למען פיתוח נרחב של הכלים המנטליים האלה אצל תלמידי ההווה והעתיד, כדי שהם יוכלו להשתמש בהם כבוגרים. ובכל זאת יש הבדל משמעותי בין התחומים הללו: ידוע לנו מהי חשיבה חישובית ומהם הכלים המנטליים הרבים מאוד שכלולים בה – כלים ורעיונות יסודיים שמלווים את התבונה האנושית לא מהיום אלא עוד הרבה לפני שנבנה המחשב הראשון. אך לעומת זאת איננו יודעים עדיין לחלוטין מהי הבינה המלאכותית ואופייה של הבינה המלאכותית שתפותח בעוד עשרים, שלושים וארבעים שנה הוא עדיין עלום למדי. המושג "בינה מלאכותית" מלווה את תחום מדעי המחשב מראשיתו, ונושא הבינה המלאכותית נלמד באוניברסיטאות כבר לפני עשרות שנים, אבל הפער בין הבינה המלאכותית של שנות השבעים, שמונים ותשעים לזאת של היום הוא עצום. בשאלה החמישית עלינו לעשות איזושהי אקסטרפולציה ולברר מהו הידע המתמטי ומדעי המחשבי שיידרש למפתחי הבינה המלאכותית של העתיד.

הבדל נוסף הוא קבוצת הייחוס – האם הנושאים הללו יהיו נחלתם של כלל התלמידים או רק של תלמידים ותלמידות במסלולי המצוינות? בשאלות העוסקות בחשיבה חישובית יש התייחסות מפורשת למסלולי המצוינות, אבל הן אינן ממוקדות רק בהם. לעומת זאת השאלה על בינה מלאכותית מתייחסת למסלולי המצוינות בלבד. מכל מקום, מפגש למידה זה אינו מנותק מההקשר הכללי של חשיבה חישובית. בעקבות עלייתה המהירה של בינה מלאכותית יוצרת כבר חשבו לא מעט על הקשר שבין תחום הפיתוח שלה לחשיבה חישובית ואם הוא מערב מיומנויות וכלים מנטליים שהיום אינם כלולים בחשיבה חישובית. יש שטוענים שכן ויש להרחיב את המסגרת של חשיבה חישובית ל"חשיבה חישובית 2.0". יש שטענו זאת גם שנים ספורות לפני כן ואמרו שעידן נתוני העתק ומדעי הנתונים מצדיק הרחבה של המסגרת של חשיבה חישובית. אחרים טוענים שבמובן המלא שלה חשיבה חישובית כבר עשירה ורחבה מספיק. מכל מקום, נושאים שיידונו במפגש זה יכולים להתברר כרלוונטיים גם בהקשר של החשיבה החישובית.

מיכל הציגה את מהלך היום המתוכנן: בחציו הראשון יתבקשו אנשים מרחיקי ראות לשתף במחשבותיהם על הידע הנדרש למפתחי הבינה המלאכותית של העתיד. בחציו השני יידונו תוכניות הלימודים שכבר היום נוגעות בבינה מלאכותית, שיכולה כאמור להיות שונה מאוד מזו העתידית.

חלק א. הלימודים הנדרשים למפתחי הבינה המלאכותית של העתיד מנקודות המבט של האקדמיה ושל התעשייה

פרופ' גל צ'צ'יק, אוניברסיטת בר-אילן

גל דיבר על שלושה קהלים: מפתחי בינה מלאכותית, מפתחים באמצעות בינה מלאכותית ומשתמשי בינה מלאכותית, ואמר כי לדעתו עלינו להתמקד בקהל הראשון – במדענים ובטכנולוגים שיקדמו את חזית הטכנולוגיה בבינה המלאכותית תוך כדי הבנת הטכנולוגיה שבבסיסה. בשני הקהלים האחרים, לטענתו, הדברים יקרו מעצמם בקלות יחסית ומעצם השימוש המסיבי שכולם יעשו בבינה המלאכותית בעתיד. עם זאת כיוון שהכלים הנוכחיים משתנים במהירות רבה מאוד, יש להיזהר בהקמת תוכנית לימודים העוסקת בשימוש בכלי AI ככלי פיתוח (Black Box), כיוון שאלו יהפכו מהר מאוד ללא רלוונטיים.

הבינה המלאכותית היא תחום רחב ומגוון, הכולל בתוכו כמה התמחויות ומקצועות השונים אלה מאלה, אך יש להם מכנה משותף והוא עירוב של חשיבה אנליטית לוגית עם גישה "הנדסית איטרטיבית" (Hacker Trial and Error Approach). הסיבה לכך היא שבניגוד לפיתוח תוכנה, שבו תפקיד המתכנת הוא לתרגם פתרון של בעיה לפרוצדורה פורמלית, בבעיות של למידת מכונה הניסוח הזה נעשה בשיתוף בין המתכנת לבין הנתונים. צורת החשיבה הנדרשת כיום היא הפנמה של המושג "מודל שנבנה מתוך נתונים", כלומר למידת הכלל מתוך דוגמאות. הידע הנדרש למפתחי העתיד כולל ידע קונקרטי והתנסות בעבודה עם נתונים. לצד זאת עליהם להבין פרוטוקולים, להכיר אלגוריתמים הנלמדים בקורס מבוא ללמידת מכונה, להבין workflows נפוצים ולהיות מסוגלים להעריך ביצועים של מודלים. כל אלו דורשים התנסות מעשית בפרויקט שכולל ביסוס של Baseline, אפיון סט נתונים, ניתוח שגיאות חזרתי ושיפור הדרגתי – דבר שמתקשים לעשות כיום אפילו בתואר ראשון.

בפן הטכני יש לזכור שאף שהכלים משתנים מהר, יש חשיבות להיכרות טובה עם פלטפורמות ולניסיון בהרצת ניסויים מבוזרים. התלמידים אינם חייבים ללמוד את ההגדרה הפורמלית של נגזרת רב-ממדית, למשל, אך עליהם להכיר כלים של מתמטיקה שימושית, כגון פונקציות מרובות משתנים, שאותם ניתן ללמד גם בצורה אינטואיטיבית. לצורך הבנת אלגוריתמים ללמידת מכונה התלמידים זקוקים ללימודי אלגברה ולחשיבה הסתברותית: זהו חלק חשוב מאוד בלמידת מכונה, אך צריך לחשוב אם וכיצד ניתן ללמד את החומר הזה בגיל צעיר. החשיבה ההסתברותית, למשל, היא רכיב שלם של עבודה עם נתונים שאינו קיים בלימוד מדעי המחשב הקלאסיים וצריך להוסיפו.

מבחינת מערכת החינוך, הדבר החשוב ביותר שיש לדאוג לו הוא הנגשה. גל לא הציע שינויים מבניים במערכת החינוך, כיוון שזוהי "ספינה כבדה", לדבריו, שהוא אינו מכיר אותה היטב. עם זאת יש צעדים שהמדינה יכולה לעשות כדי לאפשר לגופים שונים ללמד בינה מלאכותית בקלות, גם בתוך המסגרות הקיימות. יש גם הרבה יוזמות מעלה-מטה (Up-Bottom) שכדאי להקל את הגשתן. גל העלה שתי הצעות עיקריות: הראשונה – לבנות קורסים אינטרנטיים בעברית (כמו שהמדינה בנתה לבחינה הפסיכומטרית). אלו יכולים להתבסס (1) על תוכניות הלימודים שפותחו לאחרונה (והוצגו בפגישה), או (2) על תוכן קיים באנגלית (כמו CS231). חשוב שהקורס יכלול תרגילים ולצידם פתרונות והסברים. אפשר לבססם גם על קורסים באוניברסיטאות, אבל יש לדאוג שהם יהיו באיכות גבוהה ומלווים בספרי לימוד. ההצעה השנייה היא להקים מיזמים בתחום. לשם כך יש לעשות את אלה:

- א. ליצור רשימה של דוגמאות פרויקטים ב-ai / ml עם "מסלול המראה" שיכולים לשמש מורים למדעי המחשב, כדי שיוכלו להציע אותם לתלמידים שעושים פרויקט יב או לכל גוף אחר שירצה להציע פרויקטים (מגשימים, אלפא וכו'). רשימה זו תוכל לתמוך גם במורים בתהליך ההוראה.
- ב. למסד מנגנונים שיאפשרו לתלמידי מערכת החינוך גישה למשאבי מחשוב בענן כדי שיוכלו לעבוד על פרויקטים.
- ג. לגייס ולהכשיר בודקים או חונכים לפרויקטים הללו כי המורים בבתי הספר אינם יודעים כיצד להנחות אותם.

ד. לשלב פרויקט גדול מספיק בלמידת מכונה לצורך קבלת ציון חמש יחידות לבגרות.

יש לציין שכדי שיהיה אפשר להפעיל את אלה בבתי ספר, נדרש מחשב חזק. גם בתואר הראשון מסתמכים היום על תרומה של גוגל – כל האקדמיה מבוססת על כלי חישוב המצויים מחוץ לישראל, וחסרה תשתית חישובית כדי שיהיה אפשר לעבד נתונים בסדר גודל רחב יותר.

*הערה על תוכנית לימודי תואר ראשון במדעי המחשב: היות שחל מעבר ממעבדים גנריים ל"חישוב מואץ" (המעבדים נעשים ספציפיים), יש צורך כיום בקורסי מבוא למבנה מחשבים מודרניים. הדבר ידרוש ממפתחי הבינה המלאכותית להיות מודעים הרבה יותר לחומרה שעליה הם מריצים את הפיתוחים שלהם. עיקר החשיבה האלגוריתמית שמלמדים בתואר ראשון מבוסס על התרחיש הגרוע ביותר (Worst Case Scenario), ואילו למידת מכונה מבוססת על המקרה הקלאסי (Typical Case). אין זה אומר שאין צריכים ללמד אלגוריתמים כלל, אבל אם חושבים על למידת מכונה, מדובר בשינוי מהותי.

בדיון לאחר דבריו של גל נאמר כי לפני שדנים בשאלת הכישורים הנדרשים למפתחים, יש להגדיר את המונח מפתח בינה מלאכותית ומה הוא כולל. לצורך כך, חשוב להכיר את מה שקורה בישראל, באקדמיה ובתעשייה. כמה ועדות לאומיות עוסקות בשנים האחרונות בנושא של בינה מלאכותית, אך כולן נתקלות בחסמים בירוקרטיים שונים, ולכן עבודתן אינה מתקדמת. עם הוועדות הללו נמנות [ועדת ההיגוי המייעצת לות"ת בנושא מדעי הנתונים](#) (2020), בראשותו של פרופ' יואב בנימיני, שקבעה את מקצועות הליבה ואת המקצועות המשיקים בתחום מדעי הנתונים בהשכלה הגבוהה, [ועדה להוראת תחום מדעי הנתונים בכל תחום ידע באוניברסיטה](#) (2021), בריכוזו של פרופ' יונתן בן דב, ו**ועדת בינה מלאכותית ומדעי הנתונים** (2020), בראשותה של ד"ר ארנה ברי, שהובילה להקמת פרויקט ה-NLP הלאומי בשיתוף מפא"ת, וסייעה בשחרור חסמים לוגיסטיים ובירוקרטיים. ועדה זו סימנה את הנושא של עיבוד שפה טבעית בישראל כמחסום שיש להסירו. כיום יש באקדמיה רק שמונים מומחים לתחום ה-NLP, והדבר מהווה מחסום לחניכה ולהדרכה.

חשוב להסתכל על התהליכים שחלים בתעשייה, שם נוצרו תתי-מקצועות שכל אחד מהם דורש יכולות אחרות. זהו תחום רחב הכולל אפשרויות רבות מאוד למקצועות - מנתחי נתונים, מהנדסי נתונים, מהנדסי למידת מכונה ועוד - וכל אחד מהם דורש כלים אחרים. בחלק מהמקצועות נדרש לדעת את המתמטיקה שמאחורי הדברים ובחלק מהם אין בכך צורך. אמנם יש התמחויות שונות, אבל מה שמשותף לכולן היא חשיבה אנליטית והיכולת לעבוד עם נתונים (Debug the Data, Analyze the Data). ולכן ההתקדמות הרבה בלמידה מתרחשת כאשר מבצעים מיזם שלם, מקצה לקצה, כיוון שרק אז ניתן להבין את כל התהליך של יצירת בינה מלאכותית. את זה אולי אפשר להספיק לעשות במסגרת עבודה בתיכון.

ניתן להסיק מדברים אלו דבר חשוב בנוגע להכשרות השונות הנדרשות - אומנם יש אבני בסיס משותפות לכולם, אבל אין זה אומר שכולם צריכים לקבל בדיוק את אותה הכשרה. כדוגמה, ניתן להסתכל על מהנדסי המחקר, שלהם ניסיון מעשי בפלטפורמות, ולכן הם זקוקים למיומנויות רלוונטיות לפלטפורמות שבהן הם משתמשים. עם זאת כיוון שפלטפורמות משתנות בקצב מהיר יחסית, סט הכישורים הוא העיקר אף על פי שגם הוא עלול להשתנות בשל ההתפתחות המהירה של בינה מלאכותית יוצרת.

קיימים מספר אתגרים שעשויים לעכב את השילוב של לימודי בינה מלאכותית בתיכון. ראשית, ישנו אתגר עם לימודי המתמטיקה - האם נכון להקנות כבר בתיכון כלים מתמטיים מורכבים? לימודי הסתברות, לדוגמה, לא הוכנסו לתוכנית הלימודים מאחר שהיו קשים מדי לתלמידים ולכן כדאי לחשוב מה הם הנושאים שחשוב ללמד בראי המקצועות השונים. אתגר נוסף הוא שתלמידי תיכון ישראלים מצפים לתשובה דטרמיניסטית לכל שאלה. עליהם לקבל את ההנחה הפסיכולוגית שהעולם מבלבל ולשם כך יש לחנך אותם שהעולם אינו דיכוטומי כמו קוד סטנדרטי, ושלפעמים התשובה מורכבת יותר. העניין העיקרי בעבודה עם בינה מלאכותית היא שכדי לבנות אותה עושים שימוש בנתונים אמיתיים הלקוחים מהחיים האמיתיים (Real Life Data), והם אינם מתנהגים כמו המודלים המתמטיים.

אך מה מיוחד בחשיבה של מפתח בינה מלאכותית? האם צריך כישורים, מיומנויות, תרגול או הכול ביחד כדי להיות מפתח מוצלח? עלינו לזכור כי בבית הספר הכול מוגבל מאוד, ולכן המטרה של לימודים מסוג זה צריכה להיות שהתלמידים ירכשו מיומנויות עבודה כדי שיוכלו לגשת לפיתוח בינה מלאכותית בעתיד, אם וכאשר ירצו להעמיק בכך. יש לציין כי קיים הבדל בצורת החשיבה של מפתח בינה מלאכותית לעומת מפתח רגיל. בפרויקטים של בינה מלאכותית, למשל, יש הרבה אי-ודאות שלא קיימת בפרויקטים אחרים וכתוצאה מכך תהליך האימון וההערכה של מודלים שונים מפתיע את התלמידים בדרכים שהם אינם מוכנים להן. לפיכך, גם תהליך הפיתוח הוא שונה - זהו תהליך איטרטיבי ואקספלורטורי, ורכיבי הנתונים וחוסר הוודאות בו הם מהותיים. חשוב להבין את הקונספט הבסיסי הזה, כיוון שמפתח מקבל נתונים מדגימה, ולכן אפשר שתהיינה בו הטיות. בשלב מאוחר יותר, אם המודל לא מתפקד טוב, מי שיש לו את הכלי הזה יוכל להסיק שהבעיה היא בדגימה. ברור שאי אפשר ללמד סטטיסטיקה ושיטות דגימה כאלה ואחרות בתיכון, אבל חלק מההיכרות עם אי-דטרמיניזם כוללת עבודה עם דאטה רועש ומלוכלך - זה סוג אחר של משחק ממדעי המחשב הקלאסיים.

כדי להבין AI נדרשת הבנה בסיסית של הסתברות, ולכן אי אפשר להגביל את הלמידה בתיכון רק למשתנים בדידים ולהתפלגויות פשוטות. אפשר לבנות מערכי שיעור אינטואיטיביים העוסקים בבעיות מחיי היום-יום, ובעזרתם ללמד מושגים בסיסיים כמו ממוצע, סטיית תקן, הטיה, דגימה ועוד. ברמה הגבוהה, ניתן לבנות מבנה נתונים סינתטי גדול, שיכיל נתונים "לא נקיים", שמורים ותלמידים יוכלו לתרגל באמצעותו. כך יהיה אפשר להתנסות בבנייה של בינה מלאכותית בשלב מוקדם מאוד מבלי להבין בהכרח לעומק מה קורה בנתונים. אומנם התלמידים לא יקבלו את הידע ואת ההבנה המתמטית המדויקת, אך יוכלו לפחות לפתח את האינטואיציה. דוגמה אחת לתהליך כזה בחטיבת הביניים יכולה להיות לבקש מהתלמידים לכתוב סיפור בשלוש מאות מילים, ואז לכתוב אותו פעמיים נוספות ולהשוות בין שלוש הגרסאות, שיהיו ודאי שונות זו מזו. זוהי המחשה טובה לנושא האי-דטרמיניזם שקיים במודלים.

סוגיה נוספת שעלתה נגעה לקהל היעד של מפתחי הבינה המלאכותית. הוזכר כי השאלה החמישית שהוועדה קיבלה מתמקדת בפירוש במסלולי מצוינות. הכוונה אינה להכשרה מקצועית, אך ההנחה היא שמי שבעתיד ילך לכיוון של פיתוח בינה מלאכותית כבר נמצא באוכלוסייה הפוטנציאלית למסלולי מצוינות. ניתן לחשוב על אפשרות בה הנושא יילמד במסלולי המצוינות, אבל גם לתלמידים אחרים תהיה גישה אליו, למשל דרך מקצוע מדעי המחשב, שהוא מקצוע בחירה.

ד"ר עידן ספקטור, Google

כמו גל, גם עידן חילק את מפתחי הבינה המלאכותית לשתי קבוצות: מפתחי מודלי AI ומפתחים בעזרת AI. למפתחי מודלי AI נדרש רקע במתמטיקה, בסטטיסטיקה, באלגוריתמיקה ועוד. לעומת זאת המפתחים בעזרת AI אינם זקוקים בהכרח לרקע הזה, ודווקא אותם נראה יותר ויותר בשנים הקרובות, כיוון שהמגמה של פיתוח בעזרת כלי AI הולכת ומתרחבת.

פיתוח בעזרת AI פירושו שימוש ב-AI לבניית פתרונות שיש מאחוריהם AI. אלו יכולות להיות מערכות שונות, כמו למשל מערכת שבודקת שיעורי בית בעזרת מודל, או מערכת שמנתחת טבלאות אקסל. יקל לתת לתלמידים לאמן מודל ולהכניס אליו נתונים יותר מאשר לפתח קוד, אך לשם כך נדרשים כלים שכדאי ואפשר להתחיל להקנותם כבר בתיכון.

לפני שדיבר על הנושאים הטכניים, ציין עידן כמה עניינים טכניים פחות שכדאי ללמד אותם: הקריטי ביותר הוא חשיבה ביקורתית – הבינה המלאכותית נותנת לנו תוצרים, ועלינו לשפוט אם הם טובים ומתאימים לנו. נוסף על זה, צורת העבודה שלנו עם המודלים משתמשת יותר ויותר בשפה טבעית (Prompt Engineering). אין זו אלגוריתמיקה כמו שאנחנו מכירים ממדעי המחשב, אלא אנחנו מבקשים מהמודל במילים: "עשה לי כך וכך". בנוסף, ככל שהשימוש בשפה הטבעית מתגבר, אנחנו רואים שהשימוש באנגלית רב מזה שבשפות תכנות. כלומר, היום נראה שיכולת גבוהה בשפה האנגלית היא מהותית. עם זאת, עידן ציין כי דבריו הם בפרספקטיבה של שנתיים קדימה, וכי בקצב ההתקדמות הנוכחי קשה לנחש מה יהיה בעתיד הקרוב.

עידן הציג את הכישורים שלדעתו נדרשים למפתחים; בחלק העליון של התרשים מופיעות המיומנויות ההכרחיות: חשיבה ביקורתית, הכרת עולם הבינה המלאכותית על ההזדמנויות והסיכונים שבו, ו Prompt engineering. בחלק התחתון מופיעות מיומנויות טכניות יותר שהן עדיין הבסיס למפתחי ה-AI של היום: קידוד, חשיבה אלגוריתמית ותכנות נתמך AI, שקיים כבר היום בבתי ספר בשימוש במערכות כגון Collab.

מבחינה טכנית, הכלי החשוב ביותר למפתחים של היום הוא ניתוח נתונים (Data Analysis) כיוון שכל תהליך שמפתח עוסק בו סובב סביב נתונים (אימון מודל, איסוף נתונים, הבנת הנתונים וכו'). רבים שמגיעים כיום למשרות מחקר אינם בעלי היכולות הללו, וניתן לפתח אותן כבר בשלב מוקדם על חשבון דברים שקשורים למתמטיקה. הכלי השני הוא חשיבה ביקורתית – היכולת להסתכל על הפלט שהתקבל ולהבין אם הוא תואם את הרצוי. עלינו להיות ספקנים בתהליך זה ולהבין את המגבלות של מה שהמודל יכול להפיק. נוסף על זה, המודלים יכולים להוציא פלטים ארוכים, ולפעמים יהיה בהם משהו לא נכון. כמעט הכול לא יבחינו בטעויות אם הם לא יהיו בעלי היכולת להסתכל על התוצר במבט ביקורתי. בנוסף, כיוון שהמודלים של היום מבוססים אינהרנטית על סטטיסטיקה והסתברות, חשוב מאוד ללמוד גם את זה כדי להבין אותם.

בהמשך דיבר עידן על מיומנויות חשובות נוספות, כגון קריאה ביקורתית של טקסטים, כתיבת טיעון וזיהוי ידיעות כזב (Fake news), שימוש באנגלית, למידה עצמית ותקשורת.

לדעתו אופן ההוראה של התחום צריך להתבסס על למידה ניסויית, כיוון שביכולתם של ילדים להפיק דברים יצירתיים שהמבוגרים אינם מסוגלים לחשוב עליהם. אפשר ליצור מיזם מעשי משותף של כמה בתי ספר שיאפשר לתלמידים לתרגל מיומנויות של תקשורת, או מודל עבודה עירוני שאותו יכולה לאמן קבוצה גדולה של תלמידים במשך כמה חודשים ולקבל משהו מעניין על נתונים שהם בוחרים ושנוגעים להם. במיזמים של פיתוח בינה מלאכותית לתיכון נדרשת הנגשה רחבה וכי אפשר, למשל ליצור מאגר מיזמים לאומי שמורים מכירים אותו והם יכולים להמליץ לתלמידים להשתמש בו על מנת להתחיל להתנסות בפיתוח.

בנוסף, ניתן ליצור עניין בקרב התלמידים באמצעות השוואת תפקודו של המוח האנושי לתפקודה של הבינה המלאכותית – אומנם הם אינם פועלים באופן זהה, אבל אפשר להשתמש ברעיון הזה כפלטפורמה להוראה. כמו כן כדאי לתלמידים להתנסות בפרויקטים או בתחרויות כמה שיותר, כמו למשל של Kaggle, וכן לרכוש כלים של ניהול מיזמים, ושל ניהול מערכתי ויצירת קשרים ושיתופי פעולה.

לצד אלה, עידן הזכיר כי קיימים שלל אתגרים שיעמדו בפני מפתחי העתיד: חלקם קשורים למשל להשפעה על הסביבה – השימוש במודלים של היום צורך הרבה חשמל, ונשאלת השאלה אם ניתן לפתח מודלים מסוגים אחרים. אתגרים אחרים קשורים בפן האתי של הבינה המלאכותית, ולכן חשוב מאוד למצוא דרך להטמיע שימוש בטוח בכלים הללו, גם כאשר מפתחים אותם. כמו כן על תלמידים לדעת שיש הטיות אלגוריתמיות ושהמודלים מעלים רעיונות מוטעים, כיוון שהם אומנו בעזרת דאטה מסוים. בסופו של דבר מדובר באוסף של החלטות של בני אדם שבעקבותיהן המודלים יתנהגו בצורה כזו או אחרת. חשוב לדעת את זה כאשר משתמשים בכלי AI לצרכים שונים. זהו אתגר לא טריוויאלי שמפתחי העתיד יצטרכו להביאו בחשבון. לצד כל אלו הקושי המרכזי הוא בהכשרת המורים שיוכלו ללמד את התחום הזה, ולכן ההשקעה המרבית צריכה להיות בהכשרתם.

פרופ' מיכל רוזן-צבי, IBM

בתחילת דבריה שיתפה מיכל את הנוכחים וסיפרה שבתור פיזיקאית מצאה את עצמה פעמים רבות אישה יחידה בין גברים. מיכל שיתפה בצער שגם בתחום למידת המכונה מצב השילוב המגדרי איננו שונה בהרבה, ולכן כיום, ככל שדרגת הניהול שלה ב-IBM בכירה יותר, כך עולה בעיניה החשיבות של שילוב נשים בתחום כדי לאפשר להן לקבל יחס שווה.

בהרצאתה התייחסה לחמש נקודות עיקריות:

התפקיד של AI במדע – הבינה המלאכותית היא אחת מעשרת הדברים שמשנים את הכלכלה בעולם, ועל כן היא משנה גם את המדע. הדבר כבר ניכר בפיתוח טכנולוגיית שונות, כמו למשל טכנולוגיית Alpha Folds של Google. הטכנולוגיה הזו מבוססת על בינה מלאכותית יוצרת והיא משנה את המחקר בתחומי הכימיה והביולוגיה.

קהל היעד – המצטיינים והמצטיינות לא בהכרח יעסקו בפיתוח בינה מלאכותית אבל הם בוודאי יהיו שותפים לתגליות הטכנולוגיות והמדעיות של העתיד. לפיכך עלינו להכין אותם ולצייד אותם בכלים שיוכלו לעזור להם (אף שאי אפשר באמת לדעת מה יהיו הצרכים בעתיד).

הידע החשוב למפתחי העתיד – כדי להצליח להבין משהו ב-AI צריך תמונה כוללת ולשם כך חשוב לדעת לעשות אינטגרציה, כגון זו המתאפשרת דרך עבודה על מיזם מקצה לקצה שיש בו כל המרכיבים שמהווים חלק בעבודה עם בינה מלאכותית. כדוגמה, מיכל הציגה כיצד היא מלמדת רופאים שימוש בשפה טבעית ב-AI לטובת מיון תכתובות דוא"ל. דוגמה זו מראה היטב כיצד ניתן להשתמש בבינה המלאכותית כדי לפתור בעיה של נתונים, להראות אילו הנחות סטטיסטיות נדרשות כדי לעבוד עליה ולהסביר איך לנתח את התוצאות בעזרת חשיבה ביקורתית. לצד זאת חשוב ללמד גם דברים קונקרטיים, כמו סטטיסטיקה והסתברות.

שפה – אנגלית הפכה להיות שפת מחשוב, ואלמנט חשוב הוא לדעת איך להכניס תקלים בשפה שמשמשים בה. לכן חשוב לתגבר את לימודי האנגלית במסלולי המצוינות. בנוסף, פייתון היא שפה חשובה ושימושית גם כן. תלמידים ותלמידות לא בהכרח צריכים ללמוד איך לעבוד בסביבות עבודה שונות, כיוון שאיננו מכינים אותם לשוק העבודה. צריך לתת להם כלים שיסייעו בידם לחשוב אחרת ולתת להם כלים שהם יוכלו ליישם בכל סביבה שאליה יגיעו.

גיוון – עלינו לדאוג להגיע למגוון של אנשים, לקבוצות אוכלוסייה מוחלשות, למיעוטים ולנשים כבר בתוכניות המצוינות. יש שני רכיבים שניתן להשפיע דרכם על הגיוון: הראשון הוא למצוא כיצד התחום הזה רלוונטי להיבטים שונים בחיים ולתחומי עניין מגוונים, כדי שקבוצות אוכלוסייה שונות ירגישו שיש אפשרות לעבוד בכלים הללו; השני הוא שיש להבין את ההבדל בין הקבוצות השונות באוכלוסייה ואת הרגישות התרבותית של כל אחת מהן ולהתחשב בזה במהלך ההוראה. צריך למצוא דברים מעוררי השראה שיחברו את התלמידות או התלמידים ללמידה.

ד"ר ברק אור, גוגל-רייכמן

לדעתו של ברק, כדי להיות בחזית המפתחים, יש תמיד לשאוף להתנסות בכל מודל חדש שנוצר. אנחנו מדברים על מצב שבו האדם והמכונה עובדים יחד, ולכן כאשר בונים מודל חדש צריך להבין מה רצוי מהמערכת, ואיך ניתן לאפשר לה לבצע את הפעולה שנרצה שתבצע באופן אוטומטי.

מבחינת כישורים אנליטיים, אין צורך בידיעת מתמטיקה ברמה גבוהה במיוחד כדי להריץ מודלים של למידה עמוקה. ההעמקה במתמטיקה יכולה לסייע למי שמעוניין להרחיב את הידיעה של האופן שבו דברים עובדים 'מאחורי הקלעים' של הבינה המלאכותית. יכול להיות שמוקדם מדי ללמוד מתמטיקה גבוהה בחטיבה, אבל חשוב להסביר לתלמידים איך עובדות מערכות AI ואיך להגדיל כמה שיותר את התועלת של התוצר שמופק מהמערכת.

חשובה גם מיומנות החשיבה היצירתית - הבינה המלאכותית היא איננה פסיכולוג או סוציולוג והיא יצירתית רק עד רמה מסוימת, כתלות במידה שאומנה, ולכן אינה יכולה להחליף עדיין את היצירתיות האנושית. התלמידים זקוקים גם לכישורי למידה מתמשכת - התחום הזה מתפתח ומשתנה כל הזמן, ולכן עליהם להמשיך וללמוד בעצמם, למשל דרך Coursera. מבחינה טכנית, התלמידים צריכים לדעת פייתון ולהתנסות במיזמים קטנים וגדולים. גם אם יש מכונה שכותבת את הקוד, נדרשת יכולת שיפוט של התוצר, כיוון שבעת כתיבת קוד המערכת יכולה להפיק שורות קוד שאפשר שהן אינן נכונות, ועל המפתח לאתר זאת.

בנוסף, עליהם להיות בעלי הסתכלות מערכתית, כיוון שעל על המפתח לחשוב כמו מהנדס מערכת שיכול לפעול במגוון ערוצים. המפתח צריך לדעת להבחין בהטיות אלגוריתמיות ולהבינן ולהיות בקיאים בדילמות אתיות. בנוסף, יש משמעות רבה גם להבנת ההקשר החברתי והכלכלי של הטכנולוגיה, כיוון שהוא משפיע רבות על צורת הפיתוח. המלצה נוספת לתלמידים היא לנסות ולהשתתף בתחרויות כמו Kagel, כיוון שאלו מדרבנות להתמודדות עם אתגרים.

מבחינת מערכת החינוך, הדבר הקריטי ביותר הוא הכשרת המורים. כיום מורים חוששים מהבינה המלאכותית והחשש הזה מונע מהם להשתמש בה, ובצדק. חשוב מאוד להקנות למורים את הידע כיצד להשתמש בבינה המלאכותית להוראה, ולכן יש להתמקד בעיקר בהם. לאחר מכן, כדאי גם לייצר שיתופי פעולה רב-תחומיים עם התעשייה, כיוון ששיתופי פעולה כאלה יכולים לפתוח עוד דלתות ואפשרויות לתלמידים.

דיון

בדיון שלאחר ההרצאות נדונו מאפייני החשיבה המהותיים למפתחי הבינה המלאכותית, וכיצד אפשר לטפח את ההוראה שלהם בחינוך העל-יסודי.

כיום אין מושג דגש בבתי הספר על מיומנויות חשיבה אף שתפקידו של בית הספר הוא לחנך אנשים לחשיבה מערכתית ולחשיבה ביקורתית. מחד, התקדמות הטכנולוגיה מקשה מאוד על כניסתן של מיומנויות חשיבה למערך הלמידה, כיוון שהיא מאפשרת לתלמידים להשתמש בבינה המלאכותית היוצרת לפתרון בעיות בכל תחום בקלות ובמהירות. מנגד, השימוש בכלים אלו יכול לסייע בפיתוח מיומנויות חשיבה שונות, כמו למשל חשיבה ביקורתית – גם כאשר התלמידים פותרים את התרגיל במהירות בעזרת בינה מלאכותית, ניתן ללמדם כיצד להסתכל על הפלט שקיבלו ולבחון האם הוא אכן תואם את הרצוי.

מבין המיומנויות החשובות למפתחי העתיד ניתן למנות גם את החשיבה המערכתית, אותה ניתן ללמד דרך הנדסת תוכנה, כיוון שבתחום זה יש מורכבות מערכתית וניתן לשלב במהלך הלימודים מיזמים מקצה אל קצה. גם השפה האנגלית היא מיומנות חשובה שיש לרכוש. ככלל, לימודי שפה נוספת יכולים לסייע בפיתוח מיומנויות חשיבה גבוהות, או חשיבה על חשיבה, שנגזרת באופן טבעי מהדרך שבה נלמדת שפה חדשה.

הודגש כי יש חשיבות רבה ללמידת הסתברות, כיוון שהיא מודל מוצלח ללמידת אי-ודאות. באוסטרליה, למשל, הסתברות משולבת בתוכנית הלימודים כבר בגיל הגן, ומושגים מעולם ההסתברות נכנסים אפוא אל חיי היום-יום של ילדים בגיל צעיר מאוד, ורק מאוחר יותר משתמשים בה למידול תופעות. גישה זו אינה הולכת יד ביד עם האופן שבו מערכת החינוך בישראל עובדת ושבה ביצוע שינוי בלימודי המתמטיקה בישראל הוא תהליך האורך יותר מעשור. נוסף על כך, ההומוגניות של ועדת המקצוע, המורכבת רק ממתמטיקאים, אינה מאפשרת תמונה מלאה של הצרכים בשטח.

מיומנות חשובה נוספת היא השימוש במתמטיקה ככלי מידול. מיומנות זו אינה נלמדת היום כראוי ואינה מובנת כראוי. הוכחה לכך ניתן למצוא בסטודנטים שמגיעים לאוניברסיטה ואינם מבינים מהי פונקצייה, אף שכולנו נדרשים לבנות בחיי היום-יום שלנו פונקציות שאינן מדויקות כאובייקט למידול המציאות. תלמידים אינם מבינים את הקשר בין נושאים שונים בעלי מכנה משותף, ולכן אינם מבינים פונקציות

מתמטיות ואת ההקשר שלהן לתחומים אחרים, כמו למשל פיזיקה, כיוון שהן נלמדות אך ורק בהקשר של מתמטיקה. ככלל, כיוון שמיומנויות אלו אינן בעלות קשר ישיר למתמטיקה, הוראתן מוחמצת בתחום זה.

בניגוד למתמטיקה, התהליך ביצירת בינה מלאכותית הוא אמפירי במהותו. הניסיון לפתור משהו בעולם אמפירי דורש ניסוי וטעייה, וזה דורש זמן רב, ולרוב הוא גם מתסכל מאוד. כיוון שכך, הדרך הטובה ביותר ללמד את זה בתיכון צריכה לכלול תהליך ארוך של ביצוע פרויקט מחקרי, כיוון שכך מתאפשר מהלך מלא של למידה תוך כדי פיתוח יכולת לעמוד בתסכולים שעולים מתוך העבודה עם AI. ניתן למשל להוסיף מיזם כזה ללימודי הפיזיקה או הכימיה בתוכניות המצטיינים, אותם יובילו מורים ויעריך אותם בוחן חיצוני.

ייתכן כי הסיבה שבגינה הדיון הנוכחי עוסק בתוכניות מצוינות היא שבהן אולי אפשר לעשות שינוי מהותי. עם זאת, אולי צריך לחשוב על הטמעת השינוי במקומות נוספים על תוכניות המצוינות, שהתלמידים בהם ימצאו בכל מקרה את דרכם לפיתוח בינה מלאכותית דרך השתתפות באולימפיאדות ובתחרויות נוסף על מה שיכול להציע משרד החינוך. כיוון שהבינה המלאכותית חודרת לתחומים רבים, יש חשיבות למתן השכלה בעולמות הללו לאוכלוסייה הרחבה. עלינו למצוא איזון: אין צורך בהסללה של תלמידים ישירות למסלול אקדמי שיהפוך אותם למפתחי AI, ומנגד יש לחשוף גם תלמידי שלוש יחידות לימוד מתמטיקה לכלים רלוונטיים להם, כמו למשל אלו של Prompt Engineering.

חשוב לציין כי כמורה קשה מאוד לתת פרספקטיבה טובה באמת על בינה מלאכותית. למרב המורים אין רקע מספיק כדי לענות לתלמידים על שאלות בנושא זה, וההכשרה היום רחוקה מלהיות טריוויאלית. במובן זה גם אם יוצע לקחת פרויקט אמפירי עם נתונים, ושוב התלמידים מקבלים תוצאות שלא תמיד הם מבינים אותן, נצפה מהמורה שידע מה לעשות במקרים כאלה, וזהו עול לא טריוויאלי לעומת מקצועות אחרים בבית הספר. גם מורים למדעי המחשב מתקשים בהוראת AI. בלי הכשרה מתאימה לעבודה עם נתונים, גם אם מישהו יבין הכול במודלים, הוא לא יוכל להמשיך לעבוד ברגע שתהיה לו בעיה בנתונים. גם אנשי התעשייה יגידו היום שהנתונים ואיכותם חשובים הרבה יותר מהמודל הספציפי.

הוכחה לחשיבות נושא הנתונים ניתן למצוא בכך שלפני שלוש שנים קבעה הנהלת הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל שבתוך כמה שנים תהיה חובה בכל תואר באשר הוא בטכניון לקחת קורס מבוא במדעי הנתונים. כמו כן יש סיבה שנוצר תואר ראשון במדעי הנתונים: ב-2017 קבעה ועדה אמריקאית שכדאי ללמד זאת כתואר נפרד. זהו נושא רב-תחומי שכולל סוגיות שמגיעות לא רק ממדעי המחשב – הן מגיעות מחקר ביצועים, מסטטיסטיקה ומתחומים נוספים. בוגר תואר ראשון במדעי המחשב לא ידע לעשות AI אם לא למד בקורסים של למידת מכונה. לעומת זאת אין חובה ללמוד בתואר הראשון סטטיסטיקה.

בשאלת הקשר שבין חשיבה חישובית לבין פיתוח בינה מלאכותית, נאמר כי הקשר בין השניים אינו ברור לחלוטין. אמנם התכונות הנדרשות לשימוש בשפה טבעית דומות לאלו הנדרשות בחשיבה חישובית, למשל, בשניהם נדרשת הפשטה – אך לא ברור לחלוטין מהי הפשטה בכל אחד מההקשרים הללו, ולא בטוח שמדובר באותה צורה של הפשטה, גם אם נעשה שימוש באותו השם לתיאורה. בנוסף, ישנם הבדלים בצורת החשיבה הנדרשת עבור כל אחד מהשניים: בחשיבה חישובית הכול עוסק במידול – בזמן כתיבת תוכנה המידול מתרחש בראשו של המתכנת, המייצר מודל אבסטרקטי של הבעיה ומבצע פורמולציה לפרוצדורה. לעומת זאת בבינה מלאכותית המידול קורה בשני מקומות שונים בד בבד: חלק נובע מההבנה של המפתח וחלק הוא מבוסס נתונים. הבנייה של מודל שתלוי בשני הדברים הללו היא מיומנות חדשה. לחלוטין כיוון שהיא תלוית-נתונים, הדרך לתרגל אותה צריכה להיות משולבת בנתונים ולכן שילובה של בינה מלאכותית במדע הוא רעיון מצוין שיכול למשוך תלמידים ותלמידות רבים לתחום.

מלבד פירוק הנתונים מן המידול, אפשר לפרק גם את שלב המידול, ואף לחלקים רבים יותר, והחלקים שיוותרו מזכירים את החשיבה החישובית. המתמטיקה שנלמדת היום היא נקודות קטנות ברמת המיקרו של המודלים שמשמשים בהם היום, אך יש צורך לחברן יחד כדי להפיק מהן משמעות. כלומר, מדובר במיומנות שהיא הנדסית הרבה יותר משהיא מתמטית. כאשר תלמידים ידעו כיצד להשתמש באבני הבניין הללו באופנים שונים על נתונים שונים, הם יוכלו להבין תופעות מורכבות יותר. זו חשיבה ייחודית מאוד, שאיננה דורשת בהכרח להבין את כל המתמטיקה שעומדת מאחורי החלקים הקטנים – כמו תכנות, אך דומה יותר לאלגוריתמיקה. אין יחידות פונקציות אלא חיבוריות בין רכיבים שונים. הדבר דומה קצת לאופן שבו עובד המוח האנושי – מכנים זאת "המוח הפלואידי" (Fluid), כמו שכמה נמלים נושאות יחד גרגיר אחד גדול; כל נמלה מקבלת עליה תפקיד לפי הבעיה הנתונה, לפי המיקום שלה ולפי המיקום של הקן, ועל הנמלים להתחשב בכל הרכיבים הללו יחד.

יש ללמד בתיכון תכנים רלוונטיים גם לתחומים אחרים בחיים שיאפשרו לתלמידים ולתלמידות לקבל החלטות לפי מידת העניין שלהם בנושא. הפיתוח של למידת AI אינו שונה מזה של כימיה וביולוגיה – צריך לתת כלים בסיסיים וטעימה של מה עושים בתחום, ואז לשלוח את התלמידים לדרכם, ואם זה ימצא חן בעיניהם הם ייקחו את זה הלאה. הלימוד צריך לתת בידיהם את מרב האמצעים להמשיך אם ירצו בכך. חשוב להחדיר בהם מוטיבציה ללמידה דרך תחרויות או לימודי אנגלית - כל דבר שידרבן אותם להצליח.

הערה: בתהליך העבודה של הוועדה לא הייתה הנחת מוצא שיש קשר הכרחי בין נושא החשיבה החישובית לבינה המלאכותית. החיבור בין שני הנושאים הוא במידה רבה תוצאה של אילוץ, על רקע העובדה הברורה ששני הנושאים קשורים לנושא הרחב של מדעי המחשב, ועלה הרצון לדון בשניהם. לפני שהחל התהליך נבחן הקשר שבין השניים ומה יהיו ההשלכות של דיון משותף בשני הנושאים יחד. בתוך הנושא של בינה מלאכותית רצינו להתמקד בהיבט הפיתוח של בינה מלאכותית, להבדיל מההיבט של שימוש בה, אבל לא בטוח שההפרדה קלה.

חלק ב. תוכניות לימודים בישראל העוסקות בפיתוח בינה מלאכותית

רחל פרלמן, משרד החינוך: שילוב תוכניות לפיתוח AI במערכת החינוך

בתחילת דבריה, רחל ציינה כי אף שיש נכונות במשרד החינוך לקדם את תחום הבינה המלאכותית, יש חוסר גדול בתקציבים המעכב רבים מהמהלכים שיש לבצע. לצד זאת יש דברים שניתן לשנותם ללא עלות כספית. למשל, מספר התלמידים הניגשים לבגרות בבינה מלאכותית קטן מאוד, מסיבות שונות, אך העיקרית שבהן היא שלפי שעה תלמיד כיתה י אינו יכול להיבחן בבגרות במדעי המחשב אלא אם כן עבר בחינה של מחוננים. תלמידי המגמה ה"רגילים" נבחנים רק בכיתה יא. בכיתה י, להבדיל מהכיתות הגבוהות יותר, יש לתלמידים מרווח לבחון האם המקצוע מתאים להם או לא כיוון שיש להם עוד אפשרות לעבור מגמה בקלות במידה והם מחליטים שהמקצוע אינו מתאים להם. אם תינתן האפשרות לבחינת בגרות במדעי המחשב כבר בכיתה י, הדבר יוכל לפתוח את התחום למגוון רחב יותר של תלמידים. בימים אלו רק 400 תלמידים נבחנים בבינה מלאכותית בהנדסת תוכנה. המטרה היא להגדיל את מספר התלמידים ל-1500. בעיה זו יכולה להיפתר בקלות וללא צורך בכספים – ניתן פשוט לאפשר למנהלי בתי הספר לבחור מי רשאי או יכול לגשת לבגרות בבינה מלאכותית כבר בכיתה יי ובכך יהיה אפשר להגדיל במידה ניכרת את מספר התלמידים שמגיעים לתוכניות "למידה עמוקה".

לדבריה של רחל, הרצון העיקרי בפיקוח הוא פיתוח אוריינות של בינה מלאכותית. לצורך זה נדרשת הוספה של תכנים מתמטיים. בשיחה עם מפמ"רית מתמטיקה הוצע ליצור עוד שתי יחידות של לימודי מתמטיקה שיכללו תכנים הנדרשים למפתחי AI, כדי שתלמידים שרוצים להעמיק בבינה מלאכותית יוכלו לגשת לשבע יחידות מתמטיקה בסך הכול. צריך שהתלמידים הללו יקבלו הכרה לשתי היחידות הנוספות הללו ממערכת החינוך – לשם כך דרושים כספים: יש להכשיר מורים, לכתוב תוכניות ועוד, וכל אלו נעצרו כרגע.

לצד הפן המתמטי, במשרד החינוך מעוניינים לקדם את הנושא של Learning Reinforcement ולשלב את OpenAI API (ממשקי "קופסה סגורה") בתוכנית הלימודים. על שניהם להיות נגישים לכל התלמידים במגמת מדעי המחשב, גם אם אינם משתתפים בתוכניות שיציגו בהמשך. התוכניות הללו נכתבו בהתנדבות, וכך גם שאר הדברים בתחום שנעשו מרצון טוב של אנשים טובים שרוצים לתמוך במערכת החינוך, אבל לא בצורה רשמית. כיום גוגל מסייעת בהתנדבות בכתיבת תכנים, ואין תקציבים ייעודיים להקמת ועדת מומחים מהאקדמיה שתכתוב תוכנית לימודים. כמו כן ציינה רחל כי בימים אלו חל צמצום של צוות הפיקוח: לעומת שנים קודמות, אז היו 13 עובדים בפיתוח בתחום הוראת מדעי המחשב, נותרו כעת רק ארבעה.

לצד אלו, משרד החינוך מעוניין לקדם את התחום של אוריינות AI כבר בחטיבת הביניים וכי לצד למידת מכונה יש רצון לאפשר שימוש ב-Black Box (שילוב של API) בכל החלופות האחרות של מדעי המחשב, כדי שלכל תלמיד במדינת ישראל תהיה נגיעה מסוימת לנושא. קמפוס IL למשל הוא פלטפורמה נהדרת ללמידה לבגרות ביסודות מדעי המחשב ומדעי הנתונים וציינה כי הם פועלים לפיתוח קורסים גם שם. קורסי ה-MOOC הם דרך מצוינת להנגשת מידע שאינו מגיע לכל התלמידים בגלל המחסור הגדול במורים.

בנוגע להכשרות מורים, סיפרה רחל כי כרגע יש השתלמות למורים בנושא OpenAI. את הרישיונות להשתלמות קונים המורים בעצמם, כיוון שאין תקציב מיועד לכך ממשרד החינוך ולא ניתן לקנות אותם דרך גפ"ן. הקיבוץ לפי אזורים גאוגרפיים הנהוג דרך גפ"ן יוצר מצב בעייתי במדעי המחשב: כדי שיהיה מדריך למדעי המחשב, נדרש שלפחות ארבעה בתי ספר מאותו אזור ירצו מדריך למקצוע, וקשה מאוד להגיע למצב כזה. לצד זאת לטענתה יש צורך ברכז של בינה מלאכותית בכל בית ספר. מבחינת השתלמויות, בשנים קודמות ניתנו שלושים השתלמויות שבכל אחת מהן השתתפו שלושים עד ארבעים מורים, אך כיום יש תקציב רק לעשר השתלמויות ויש אפוא מאה מורים בכל השתלמות. רחל צופה כי בשל מספר המשתתפים הגדול חצי מהם לפחות יפרשו בגלל תחושה של חוסר מסוגלות שנובעת מגודל הקורס.

רחל דיברה גם על שכר המורים וציינה כי לדעתה השכר של מורה AI אינו צריך להיות זהה לשכר של מורה למקצוע אחר, כיוון שהעבודה במקצוע זה מאתגרת הרבה יותר מאשר במקצועות אחרים, והשכר אינו גבוה מספיק כדי להביא אנשים טובים.

בדיון שלאחר דבריה של רחל הועלתה תהיה האם חומר הלימוד של התוכניות ללמידה עמוקה אכן מקנה לבוגרים את הידע הנדרש למפתחי העתיד. זאת כיוון שלא משולב בו כלל הנושא של עבודה עם נתונים וניתוחם, שהינו חלק אינהרנטי מעולם הבינה המלאכותית. ההפרדה שיש כיום בין הבגרות במדעי הנתונים לבגרות ב"למידה עמוקה" המשלבת בינה מלאכותית היא אתגר משמעותי, כיוון שהשימוש בנתונים הוא חלק אינטגרלי מבינה מלאכותית. מתברר שכבר בתוכנית הלימודים במתמטיקה בבית הספר היסודי, החל מכיתה ד או ה יש מודול במתמטיקה שנקרא "מדעי הנתונים", שמטרתו היא לפתח הבנה של התבוננות בגרף. אולם מורים מעידים שהם אינם מגיעים כלל ללמד את זה עקב מגבלות של זמן ומשאבים. צריך לחשוב עד כמה עמוק נרצה לקחת תלמידי תיכון כדי לתת להם כלים להסתובב עימם בעולמות האלו: ניתן

רק לעבוד עם AI, אך ניתן גם ללמוד להבין את אופן הפעולה של המערכות הללו. אם מלמדים שימוש בשפה טבעית אפשר גם ללמד סיווג, ואז התלמידים יכולים להתנסות וליצור דברים בעצמם. אפשר ללמד לצד זה גם את האתגרים שבבינה המלאכותית ואת השלכותיה האתיות, ובזה למלא קוריקולום שלם. אם מעוניינים להגיע לרובד עמוק יותר, שמנסה לשפוך אור דרך פעולתן של הטכנולוגיות, כדאי להכניס גם לימודים מעמיקים של אלגברה והסתברות.

המחשה נשווה זאת לעולם התוכנה: לאורך השנים היו קורסים בהנדסת תוכנה שהיום אינם נלמדים. למשל: בעבר לימדו את שפת פסקל, והיום מלמדים פייתון; כמו שברוב התוכניות של מדעי המחשב בעולם אין עוד קורס חובה בקומפילציה, ורוב המתכנתים אינם יודעים לכתוב קומפילר, אלא רק להשתמש בו, כך גם במדעי המחשב הקלאסי עלו לשפות עיליות יותר ולהסתכלות מופשטת יותר, וייתכן שזה מה שנדרש גם כאן.

תחום למידת המכונה נלמד במדעי המוח ובפיזיקה כבר הרבה שנים, ורק לאחרונה נכנס למדעי המחשב, למרות שהוא שונה לגמרי ממדעי המחשב כיוון שהוא דורש חשיבה אמפירית. מכך עולה השאלה אם השילוב של למידת מכונה דווקא במדעי המחשב הוא הנכון, ואם יש צורך בוועדת מקצוע ייעודית שתחליט מי יכול ללמד את התחום הזה ואיפה כדאי לשלבו. לצורך העניין ניתן ללמד AI גם בלי לגעת במחשב, דרך שיח על העקרונות ועל המתמטיקה, בלי לכתוב שורה אחת של קוד. דוגמה נוספת ניתן לבחון דוגמה נוספת בפריזמה האקדמית, רבות מהמחלקות לסטטיסטיקה באקדמיות שינו את השם שלהן למדעי הנתונים, ויש להן קוריקולום די עשיר בלמידת מכונה ובלמידה סטטיסטית.

ד"ר קובי מייק: למידת מכונה כחלופה ליחידה שלישית

בפתיחת דבריו אמר קובי שתוכניות הלימודים הקיימות במשרד החינוך נכתבו בגישת מטה-מעלה (Bottom-Up). לתוכניות אלו לא הוגדרו מטרות מראש, וכל מה שמוצג כעת הוא בחשיבה בדיעבד על הקורס, כפי שהוא מועבר כיום. דבריו של קובי מבוססים על הספר [Guide to Teaching Data Science](#), שנכתב במשותף עם פרופ' אורית חזן כחלק מעבודת הדוקטור שלו. במסגרת זו הציג קובי את הפדגוגיה של תוכנית הלימודים והתמקד בארבע נקודות עיקריות: חשיבותה של למידה בהקשר, גישת הוראה בצורת WhiteBox, איזון מגדרי בתחום והתחום הפדגוגית בחינוך למדעי הנתונים.

למידה בהקשר: חשיבה חישובית ובינה מלאכותית אינן עומדות לעצמן; הן מצויות בהקשר ובעולם תוכן כלשהו. אחד מהעקרונות בפיתוח התוכנית היה ללמד בינה מלאכותית כחלק מעולם התוכן שבו היא כבר נמצאת. לפיכך בעיצוב תוכנית הלימודים נעשה ניסיון להכניס את כל מאפייני החשיבה של מדעי הנתונים בצורה שמתאימה לתלמידי תיכון. ההוראה בתחום הזה חייבת להיות במגוון הקשרים: הקשר התוכן, ההקשר הסטטיסטי וההקשר האנושי.

בהקשר הסטטיסטי למשל חשוב שתלמידים יבינו שנתונים הם אמיתיים, שידעו מושגים בסיסיים בסטטיסטיקה שרלוונטיים גם לחיי היום-יום, שיוכלו להבין מושגי דגימה ואת ההקשר שלה, כלומר מניין הנתונים נדגמו ומה הם מייצגים בעולם האמיתי. חלק מזה היא יכולת החשיבה הביקורתית: כאשר תלמידים משתמשים במאגר נתונים, חשוב שהם ידעו להעריך האם הנתונים אמיתיים ויבינו את המשמעות שלהם בעולם.

בהמשך דיבר קובי על הדמיון ועל השוני שבין חשיבה חישובית לחשיבה של נתונים, שהזכרה קודם לכן. לדבריו, יש חשיבות רבה להיכרות עם עולם התוכן ממנו מגיעים הנתונים. בניסוי שערך נמצא כי כאשר תלמידים מקבלים נתונים מחוץ להקשר, ללא חשיבה של תחום הידע, הם פותרים את השאלות בצורה מכנית ואינם שוקלים את המשמעויות השונות שעלולות להיווצר מאופיים של הנתונים. פעמים רבות מנסים בחשיבה חישובית לעשות הפשטה לבעיה קיימת, אבל הרבה פעמים ההפשטה הזאת כבר נמצאת בתוך תחום הידע שממנו מגיעים הנתונים וניתן להשתמש בכך. כמו כן בחשיבה חישובית מנסים לעשות הכללה לבעיה, ואילו בחשיבה הנדרשת בעבודה עם דאטה יש להתחשב במגבלות של הנתונים הקיימים, ואי אפשר לעשות הכללה כללית מדי שאינה מבוססת על סוג הנתונים או על תחום הידע שממנו הם מגיעים.

עוד ציין קובי שיש חשיבות רבה להקשר האנושי. לדוגמה, בבחינת טיבן של מכוונות לומדות שמטרתן לזהות את צבע האור ברמזור, אין מספיקים נתונים מספריים באשר לסיכויי הטעות של המכונה. כדי להבין את הסיכוי לתאונה יש לבחון גם את יכולתה של המכונה לזהות הולכי רגל שמראים כוונה לעבור במעבר החצייה. לשם כך עלינו להביא בחשבון קבוצות שונות של האוכלוסייה, כמו למשל נכים. אם נרצה להביא קבוצה זו בחשבון, האם עלינו להניח את חלקה היחסי באוכלוסייה הכללית? כל בעיה מהעולם האמיתי דורשת התייחסות לנתונים רלוונטיים מהעולם האמיתי. במחקר נוסף שערך נמצא שההקשר האנושי משנה את האופן שבו תלמידים עובדים עם הנתונים בתוך מודל.

להלן עקרונות ללימוד בהקשר שעליהם דיבר קובי:

- בחירה אישית של תחום הדעת של המיזם בידי התלמיד, כדי שיהיה קרוב לליבו.
- הוראה ופיתוח של מיזמים עם נתונים אמיתיים ומתן ניקוד בונוס לאיסוף נתונים עצמאי.
- ניתוח הטיות הנובעות מבחירת מאגר הנתונים.
- דגש על הבנת המשמעות של התוצאות בעולם האמיתי ומה ניתן ללמוד מתוך התוצאות על העולם האמיתי.

למידה בשיטת WhiteBox: תוכנית הלימודים בכיתה י כוללת אלגוריתמים פשוטים כדי לסנכרן את רמת הלמידה לרמת הידע במתמטיקה של התלמידים, ובכך מתאפשרת למידה בגישת ה-White Box. גישה זו מאפשרת לתלמידים להבין טוב יותר מה קורה "מתחת למכסה המנוע" של ה-AI ולא רק לפתח AI. במסגרת הלימוד יש הרבה ניסוי וטעייה, למשל: התלמידים לומדים לבחור ארכיטקטורות ופרמטרים למודל, וכדי לעשות זאת עליהם להבין מה קורה באלגוריתם.

איזון מגדרי במדעי הנתונים: כידוע, יש חוסר באיזון המגדרי בתחום. לדבריו של קובי, מדעי המחשב נתפסים כיום כתחום גברי לעומת מדעי הנתונים, שנתפס כתחום נטרלי. במחקר שערך הוא גילה כי העובדה שמקצוע מדעי הנתונים הוא רב-תחומי וניתן ליישום בכל תחום, מושכת יותר נשים לפנות אליו בהשוואה למקצוע מדעי המחשב. לטענתו, יש מחיר גבוה להיותה של התוכנית ממוקמת דווקא במדעי המחשב, והמיקום הזה הוא בעייתי כיוון שהוא מצמצם את אפשרויות המגוון. יש להעביר את למידת המכונה למדעי הנתונים ולראות בנושא תחום בפני עצמו.

התהום הפדגוגית: קובי הציג את תאוריית פעפוע החדשנות של רוג'רס כמודל לאופן שבו השתלבה הלמידה של בינה מלאכותית בתוכניות הלימודים. לטענתו, כיום אנו נמצאים במצב שבו קבוצת ה"מקדימים" אימצו את הלמידה של בינה מלאכותית: התוכנית מיושמת כבר מ-2017, ובין השנים 2020 ו-2022 נערכו כעשר

השתלמויות בתחום. כעת חשוב להשקיע בהנגשת התחום לקהלים נוספים, שאם לא כן, יישאר התחום הזה בבלעדיות אצל המורים שמתעניינים בו. עלינו לזכור כי רוב התלמידים אינם הולכים אחרי קבוצת המקדימים, ולכן נפער תהום שמונעת מהתחום להגיע לתלמידים נוספים.

לסיום הסביר קובי כי כיום יש בתוכנית הלימודים ללימוד מכונה שתי אפשרויות במסגרת לימודי מדעי המחשב: יחידה שלישית שכוללת יחידת לימוד אחת של מעבדה, שבה יש פרויקט קטן יחסית עם אלגוריתמים פשוטים; האפשרות השנייה היא חמש יחידות בכיתה יא-יב, שבה הפרויקט גדול יותר והאלגוריתמים מתקדמים יותר. שתי התוכניות דומות זו לזו, אך מידת המורכבות שלהן שונה. הלימודים מותאמים לרמת חמש יחידות מתמטיקה, אך המורים בתוכנית מלמדים מתמטיקה נוספת, כגון נגזרות פנימיות ומרחבי מכפלה פנימית.

ד"ר אהוד סיוון: למידת מכונה כחלופה בהנדסת תוכנה (5 יח"ל)

אהוד הציג בפני הועדה את התוכנית לחלופה לחמש יחידות לימוד למידת מכונה, ואלה הן מטרותיה:

1. ללמד את התלמידים מהי למידת מכונה בגישת "כל העולם טבלה".
2. ללמד את העקרונות שמאחורי רשתות נוירונים: מהי משפחת פונקציות, מהי רשת נוירונים (כדוגמה למשפחה), ומהו אימון מחשב.
3. ללמד את תהליך ההתכנסות לפתרון בעזרת נגזרת והבנה של פונקציית מחיר שמחפשים לה מינימום.
4. הטמעת תכנות מונחה-עצמים: כתיבת חבילה המגדירה ומאמנת רשת נוירונים.
5. ביצוע מיזם: שימוש בבעיה מהעולם האמיתי, איסוף דוגמאות (בניית טבלת הנתונים), הגדרה ואימון רשת וממשק משתמש.

התלמידים בתוכנית זו צריכים להגיע עם רקע של חמש יחידות מתמטיקה. מבחינת חומר הלימוד, בכיתה יא התלמידים מקבלים את כל הבסיס הנדרש ללימוד מכונה (פייתון, רקע במתמטיקה – מה הן פונקצייה ומשפחה של פונקציות, ידע בסיסי במושגים סטטיסטיים כגון תוחלת ושונויות, חוקי גזירה וכך הלאה, בקישור למתודות בפיייתון), ובכיתה יב הם לומדים את פונקציית הקו הישר לקירוב טבלה ורגרסיה לוגית ולאחר מכן עוברים ללימוד של רשת נוירונים (רדודה ועמוקה) ומהו נוירון. נוסף על אלה מתבצעת למידה של וקטורים בעזרת NumP, ייעול התכנסות ובתוך כך גם על הטיה ושונויות, Minibatch ו-Adam optimization. אחד מכללי ההוראה הוא תכנות מונחה-עצמים, שנלמד בתוכנית בפיייתון ולא בג'אווה כמו בבגרות של הנדסת תוכנה.

מבחינת חומרי לימוד הדגיש אהוד כי הוכנו מצגות שמכסות את כל חומר הלימוד הרלוונטי לצד תרגול נוסף לתלמידים החזקים. כל מצגת כוללת תרגול, ויש בה גם פתרון למורים, כדי שיוכלו לבצע את התרגילים בעצמם. כל המצגות פתוחות ונמצאות בקישור [הבא](#).

בסיום התוכנית התלמידים מבצעים פרויקט בפיייתון עבורו הם בונים חבילה לאורך השנה. גרסאות הביניים של החבילה והגרסה הסופית שלה זמינות למורים. הגדרת הפרויקט נעשית באישור המורה והבחינה נעשית

על ידי בוחן חיצוני עם מחוון ספציפי, שיכול להשתנות בהתאם לתכנים שנלמדו בכיתה. עד כה 400 תלמידים עשו את הברורות במבחן חיצוני, שבו התלמידים מגישים תיק פרויקט ומגינים עליו, ללא בחינה.

לתפיסתו, בתיכון התלמיד צריך לרכוש הבנה בסיסית של התחומים הרלוונטיים להשכלתו המקצועית (אם זה כימיה, אם מתמטיקה, אם מדעי המחשב, אם ספרות ואם תנ"ך). מבחינה זו תחום פיתוח הבינה המלאכותית אינו שונה, אך יש להבדיל בין שני תחומים עיקריים ב-AI: פיתוח AI בידי מתכנתים ושימוש ב-AI במדעי הנתונים. לדעתו, יש להשאיר את הראשון במדעי המחשב, ואילו השני זקוק למגמה משל עצמו.

לכל אחת מהתוכניות שהוצגו הִדגש משלה: בתוכנית שהציג קובי חומר הלימוד קרוב יותר למדעי הנתונים, ואילו בחמש יחידות למידת מכונה מודגשים האלגוריתם וההבנה של דרך פעולתן של רשתות, מתוך ההנחה שהתלמידים כבר עברו את התוכנית של כיתה י'. עם זאת אין זו דרישת-קדם כרגע, ובמקומות שבהם אין דרישת-קדם המורה הוא שמשלים את החומר. כמו כן יש ניסיון שלא להכביד מדי על התלמידים בלימודי המתמטיקה, ולכן הם אינם לומדים את העקרונות המתמטיים דרך פייתון אלא בעזרת תרגילים ושיעורי בית על הפונקציות הרלוונטיות. בהמשך גם הוזכר כי בפועל יש צורך בהרבה יותר שעות ממה שניתנות לתוכנית במערכת, ובהשקעה נוספת גם מצד המורים וגם מצד התלמידים.

בנושא האיזון המגדרי נאמר כי כל עוד לימודי פייתון הם דרישת-קדם לתוכנית למידת מכונה מסלילים מראש למגמה כ-70% גברים ו-30% נשים. כדי לאזן את זה יש לקבוע שהתכנות אינו דרישת-קדם. כמו כן, נאמר כי אחת הסיבות להחזיר את שלוש היחידות במדעי המחשב הייתה מניעת הנשירה של הנשים מהמגמה: עד לפני הרפורמה שבה בוטלה האפשרות לעשות שלוש יחידות בכלל המקצועות, היו בערך 50% בנות בשלוש יחידות מדעי המחשב. ברגע שהותירו רק את חמש היחידות, הרבה בנות נשרו, וגם בהנדסת תוכנה נשארו מעטות. כדי לפתור את זה החזירו את האפשרות לשלוש יחידות במדעי המחשב. נוסף על כך, בגלל הצורך של צה"ל גורמים לתלמידים לחשוב שהם לומדים עשר יחידות הנדסת תוכנה, ואין אומרים להם כלל שהלימודים כוללים גם חמש יחידות של מדעי המחשב. ונוסף על כך, ההוספה הזאת של שלוש יחידות הובילה לצורך בהרבה מאוד מורים שאינם בנמצא, וגם אלו הקיימים – הכשרתם אינה מספקת.

מדברים אלו עולה שוב שאלת המיקום של מקצוע למידת המכונה. בכל העולם מדברים זה זמן רב על כך שהתחום של הנדסת תוכנה אינו שייך רק למדעי המחשב, וכי הוא נמצא גם במחלקות אחרות, כמו סטטיסטיקה למשל. יש להבחין בין למידת מכונה למתכנתים, שצריך למקמה במדעי המחשב, לבין מדעי הנתונים ללא-מתכנתים, שאין למקמם במדעי המחשב. התחום של הנדסת תוכנה כפי שהוצג כאן, מתאים להיות במדעי המחשב, כיוון שהוא מיועד למתכנתים.

ד"ר גיורא אלכסנדרון, מכון ויצמן למדע: הכשרת מורים להוראת בינה מלאכותית

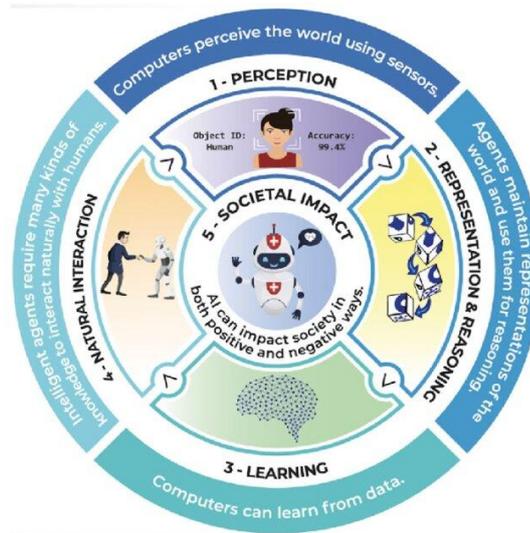
קבוצת המחקר שגיורא עומד בראשה עוסקת במדע יישומי של AI בחינוך, בשני אופנים: יישומים של AI בחינוך (למשל NLP להערכת תלמידים בזמן אמת) והוראת AI.

באופן כללי כאשר מדברים על הוראת בינה מלאכותית יש חלוקה לשתי קבוצות: מדעני/מהנדסי AI ואזרחי העתיד (AI for all). הקבוצה של אזרחי העתיד גדולה בהרבה מהקבוצה של מדעני/מהנדסי AI, והיא שתשתמש ב-AI בעתיד המודרני. לאחרונה נוצרה קבוצה שלישית והיא הקבוצה של מדעני העתיד. ככל שעובר הזמן, אנו מבינים יותר ויותר שהקבוצה הזאת של מדענים במקצועות כמו פיזיקה, כימיה וביולוגיה

יצטרכו ליישם את הבינה המלאכותית במחקר שלהם. ככל הנראה התלמידים המצטיינים שבהם אנו עוסקים כעת יהיו חלק נכבד מקבוצה זו.

בדיון עד כה דובר בצורה מובלעת על AI בתור למידת מכונה, אבל יש הרבה יותר מזה בבינה מלאכותית, למשל איך מכוונות חכמות תופסות את העולם, איך הן מייצגות את המידע שהן אוספות ועוד. כך למשל, ישנו שימוש בבינה המלאכותית גם במדע חישובי בפיזיקה (חמד"ע/ מש"ר).

בחיבור למגמות שקורות בעולם הציג גיורא את חמשת הרעיונות הגדולים של AI שנתבו בארגון AI for all :



ואת מסגרת העבודה התאורטית של אונסק"ו (תפורסם באופן רשמי בספטמבר 2024) שתורגמה למדדי ביצוע שישולבו בפרק "בינה מלאכותית" במבחני פיז"ה 2029 :

| Aspects | Progression | | |
|------------------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| | Understand | Apply | Create |
| Human-centred mindset | Critical Reflections on AI | Safe and Responsible Use | Self-actualization in the AI Era |
| Ethics of AI | Human Agency | Ethics by Design | AI Citizenship |
| AI Foundations | Data, Algorithms, and Models | Programming and Data Analysis | Modeling and Representations |
| AI skills | AI Techniques and Applications | AI Programming | Creating AI Products |
| AI for problem solving | Problem Scoping | Co-design | Co-creation and Feedback Loops |

* Official release in September 2024

עיקר הדיון עד כה התמקד ב-AI foundation, שכפי שניתן לראות בטבלה הוא רק היבט אחד של הלמידה. ליסודות של AI בלמידת מכונה יש פן תאורטי, הכולל סטטיסטיקה ואלגברה ליניארית, ופן פרקטי, הרואה בלמידת מכונה מדע אמפירי שדומה יותר לפיזיקה ולכימיה. הידע הזה נמצא בבסיסם של המקצועות הללו כבר הרבה זמן- גם במדע חישובי בפיזיקה מלמדים את למידת המכונה, וצוותו של גיורא פועל כדי להפוך את תכני הלמידה במקצועות הללו למודרניים. כמו כן, כדי להצליח בלמידת מכונה צריך כישורים של פתרון

בעיות, אך הם משתנים כפי שהטכנולוגיה משתנה. לכן יש ללמד כיום גם את המודל הלוגי וגם את המודל הסטטיסטי.

אתגר גדול בשילוב התחום הוא החוסר של המורים בידע התוכני-פדגוגי הנדרש להוראה כזו. מורים למדעי המחשב שמגיעים להכשרות בקבוצתו של גיורא, שעתידיים לשמש מורים בתוכניות "הנדסת תוכנה" שהוצגו קודם לכן, חושבים תחילה שהם הולכים ללמד את התלמידים פרויקט בהנדסת תוכנה, אבל בשלב כלשהו מבינים שהנדסת תוכנה ולמידת מכונה אינן זהות. בשלב הזה הם נדרשים לבצע טרנספורמציה גדולה בתפיסת ההוראה שלהם ולהמיר את תפקידם ממורים למנטורים. לצד זאת יש מחסור בתכנים למורים, בכלי הערכה ובסביבות למידה שמאפשרות להביא את התוכניות הללו לידי מימוש.

שי פרח (מקבוצת המחקר) בנה תוכנית משולבת שמסייעת למורים ללמד את התוכנית ללמידת מכונה בכיתות. התוכנית משתמשת בסילבוס הקיים, אך מציעה פרקטיקה שונה להוראתה. היא מבוססת על סדרת הקורסים המפורסמת של Andrew Ng ללמידת מכונה ומשלבת תכנים דיגיטליים בכיתה. העובדה שהתכנים הדיגיטליים הם באנגלית אינה מהווה מגבלה או בעיה מבחינת התלמידים ובחלק מהפלטפורמות (Coursera למשל) יש אפשרות להוסיף כתוביות, גם בעברית. כיוון שהתחום מתפתח מהר כל כך, עד שייצרו קורסים דומים בעברית, הם כבר לא יהיו רלוונטיים ולכן הדבר הנכון לעשות הוא להתחבר לתוכן קיים. יש לכך יתרונות נוספים: ראשית, הקורסים המקווים הללו חושפים את התלמידים למגוון של אפשרויות למידה. שנית, במחקרי החלוץ (פיילוט) נמצא כי מודל העבודה ההיברידי גורם לתלמידים לפתח יכולות למידה עצמאית כבר בשלב מוקדם מאוד. לפיכך הם מסוגלים להיות עצמאים יותר בעבודתם, והם מוכנים יותר להתמודדות עם משברים. את החלק התוכני התלמידים מקבלים מתוך ה-MOOC ובמהלך הלמידה המורים דנים עם התלמידים על כל נושא, מציבים יעדים ומארגנים רצף ללמידה. לאחר מכן יש סגירת מעגל של התוכן שנלמד של כל הכיתה יחד, באופן המאפשר הקניה של יכולות עבודה משותפת.

מובן שהמורים צריכים לעבור הכשרה מתאימה להעברת התכנים. רוב המורים שמגיעים להכשרה הם "החשודים המידיים", אך התוכנית נותנת מענה לפערי הידע התוכני שלהם. המורה צריך להבין את הנושאים שהוא מלמד לעומק, ובתוכנית הוא מקבל פיגומים שמאפשרים לו להפוך למומחה תוך כדי ההוראה. השנה הראשונה היא קשה ויש היצמדות לתכנים, אבל בשנה השנייה יש למורים הבנה הרבה יותר מעמיקה של החומר, יש התפתחות ולמידה העושות את ההוראה פשוטה יותר. את ההכשרה מימן מכון ויצמן למדע, ועד כה התקיימו שתי השתלמויות קיץ, לצד ליווי מקצועי במהלך השנה. 30 מורים הוכשרו ו-15 מהם לימדו בפועל. זו הצלחה גדולה ביחס למורים שהוכשרו במסלולים אחרים, והסיבה להצלחה היא שהתוכנית מספקת מענה להתפתחות המקצועית של המורה וכן מספקת לו תכנים וסביבת למידה פורייה.

לסיכום, לדעתו של גיורא, יש להסתכל על שלושה סגמנטים עיקריים: בינה מלאכותית לכול, בינה מלאכותית ל"מתמחים" ובינה למדעני העתיד. בישראל עדיין משתרכים מאחור בנושא הבינה המלאכותית לכול ולמדעני העתיד. אומנם יש תוכניות בשטח, אך יש צורך בוועדת מקצוע ובעבודה קוריקולית של ועדת מומחים שתגדיר את הצרכים של המקצוע. זאת ועוד, מיקום התוכנית בהנדסת תוכנה מגביל שלא לצורך. מדוע שתלמידי חמש יחידות פיזיקה לא יוכלו לעשות פרויקט בהנדסת תוכנה? לצד אלו, לדעתו של גיורא, אין כיום ראייה הוליסטית של הנושא ואסטרטגיה לקידומו. הפתרון הרצוי לכך הוא פיקוח מקצועי ייעודי בראייה מעמיקה ורחבה של הנושא והגדרת התחום של AI כמקצוע מדעי בין-תחומי שיש לו אספקטים וממשקים לתחומים אחרים.

עמוס מרום, המרכז לחינוך סייבר: תוכנית מגשימים AI

עמוס הציג את תוכנית מגשימים AI, הפונה למעגל המצוינות בפריפריה. אף שהלקוח העיקרי של תוכנית זו הוא צה"ל, המטרה של המרכז לחינוך סייבר היא שהתלמידים יגיעו בסופו של דבר גם לאקדמיה. כיום 30% מהמתגייסים לתוכנית העילית של תחום הסייבר בצה"ל מגיעים מהתוכנית. בסך הכול יש כ-300 תלמידים במחזור, עם 75% מסיימים, אך עדיין יש פער גדול מספרי הנשים ומעטות מהן מתגייסות אחר כך ליחידות הסייבר בצה"ל.

התלמידים שמתקבלים לתוכנית הם בעלי מוטיבציה גדולה לעבודה עצמאית, ושעברו מבחן (מתוקף) לכישורי תכנות, מבחן לאוריינות נתונים (עוד לא בתיקוף) וריאיון. התוכנית מופעלת לאחר שעות הלימודים בשותפות עם מחלקות החינוך העירוניות/אזוריות וכוללת ארבע שעות שבועיות בכיתה, ארבע שעות שבועיות של תרגול בבית, פעילות בחופשים וארבעה מיני פרויקטים עם הגנה בכתב. תוכנית הלימודים פועלת באופן עצמאי וייחודי ואינה תלויה בבירוקרטיה של משרד החינוך, אך מפאת סיבות בירוקרטיות התלמידים אינם יכולים להגיש למשרד החינוך את הפרויקט שהם מבצעים בתוכנית.

בתוכנית הלימודים, מתאר עמוס, יש שילוב של פדגוגיה וקוריקולום: התלמידים רוכשים ידע, כישורים וערכים. הידע כולל סטטיסטיקה, עבודה עם נתונים, בניית מודלים והערכתם, פייתון, סיווג, רגרסיה ו-NLP. הכישורים כוללים יכולות תרגול אינטנסיבי, התמודדות עם אתגרים מסוגים שונים, עבודת צוות, לימוד עצמי ורפלקציה. לטענתו, כישורים אלו חשובים ביתר שאת כשמדובר בתלמידים בפריפריה הגאוגרפית והחברתית של ישראל. הערכים כוללים אחריות אישית, מצוינות, אתיקה, פתרון בעיות, תחושת מסוגלות וחשיבה ביקורתית. רוב התלמידים בתוכנית עושים חמש יחידות במתמטיקה, באנגלית ובתחומי המדעים.

הפדגוגיה בתוכנית כוללת למידה משמעותית שמאפשרת לתלמידים להבין מושגים וליצור קשר בינם לבין תופעות שהם מכירים בעולם. הם לומדים לחשוב בגמישות בעזרת מה שהם יודעים ועל מה שהם יודעים:

בכיתה י, למן השיעור הראשון, לומדים תהליך עבודה עם נתונים ו-Data Centric AI תוך כדי התנסות מעשית רבה (Hands-on). הידע כולל סטטיסטיקה תיאורית, טיפול בסיסי בנתונים ושימוש ב-Google Sheets, שאפשר לעבוד אתו גם בלי להכיר שום ספרייה של פייתון. התוכנית דוגלת בכך שניתן לעבוד עם נתונים עוד לפני שלומדים לכתוב שפת קוד, ולכן אין כל סיבה לא לעבוד עם נתונים כבר מהרגע הראשון.

בכיתה יא יש ירידה לעומק הנתונים: התלמידים לומדים להסתכל על דברים בתוך הנתונים ולשאול שאלות מעניינות. נוסף על זה הם מקבלים יחידה היברידית ב-NLP אשר כוללת MOOC בתוך קמפוס IL.

בכיתה יב התלמידים מבצעים פרויקט בהנחיה אישית של גורם מוסמך שאינו המורה. התלמידים מקודדים KN בעצמם ומפתחים את התחושה של מה זה אלגוריתם. עמוס הדגיש כי לימודי למידה עמוקה ורשתות לא הוכנסו לתוכנית הלימודים בכוונת מכוון. המורים שעובדים איתם, האוכלוסייה והצורך לעמוד ביעדים (המדידה מתבצעת על ידי 8200) הובילו לויתור על הנושאים הללו.

מבחינת צוות ההוראה הדגיש עמוס כי המדריכים הם סטודנטים למדעי הנתונים או למדעי המחשב בפריפריה. מודל ההוראה של המרכז שונה מהמקובל במערכת החינוך: המורים מקבלים מערכי חינוך סדורים ומדויקים, חומרי תרגול ומחווני בדיקה וליווי של רכז מקצועי מהתחום. יש הכשרות מורים במהלך הקיץ והשלמות פדגוגיות ומקצועיות.

דוברים (לפי סדר הופעתם במפגש):

פרופ' גל צ'צ'יק, אוניברסיטת בר-אילן

פרופסור למדעי המחשב ומנהל מרכז המחקר של NVIDIA (אנווידיה) בישראל. המחקר הנוכחי שלו מתמקד בלמידה עמוקה ובתפיסה. ב-2018 הצטרף ל-NVIDIA וייסד את קבוצת המחקר שלה בישראל. לפני כן היה גל מדען ב-Google Brain וב-Google Research ועסק בפיתוח אלגוריתמים ל-Machine Perception המשמשים מיליוני איש על בסיס יום-יומי. בעל דוקטורט (2004) מהאוניברסיטה העברית בירושלים והשלים את עבודת הבת-דוקטורט במחלקה למדעי המחשב בסטנפורד. פרסם יותר מ-140 מאמרים ויותר מ-50 פטנטים, כולל פרסומים ב-Cell, ב-Nature Biotechnology וב-PNAS. עבודתו זכתה בפרסים ב-ICML וב-NeurIPS.

ד"ר עידן ספקטור, Google ישראל

חוקר ראשי במחלקת המחקר של גוגל כמעט שמונה שנים. לפני כן עבד כשבע שנים כחוקר בכיר במחלקת המחקר של Yahoo. עוסק במחקר של בינה מלאכותית יוצרת (GenAI) ומתמקד במחקר העובדתיות (Factuality) והעיגון (Grounding) של מערכות אלו. נוסף על אלה עסק עידן במחקר מודלי דיאלוג ושימוש בשפה טבעית (NLP) במערכות בריאות, והוא שותף לפרסומם של יותר משמונים מאמרים מדעיים. בעל דוקטורט במדעי המחשב משנת 2009 מאוניברסיטת בר-אילן.

פרופ' מיכל רוזן-צבי, דירקטורית לתחום הבינה המלאכותית ברפואה ב-IBM

דירקטורית עולמית למחקרי בינה מלאכותית בתחומי הבריאות ומדעי החיים במעבדות המחקר של IBM ופרופסור-עמית לרפואה חישובית בפקולטה לרפואה באוניברסיטה העברית בירושלים. בעלת דוקטורט בפיזיקה חישובית מאוניברסיטת בר-אילן והשלימה בתר-דוקטורט באוניברסיטאות ברקלי, אירוויין ובאוניברסיטה העברית בתחום למידת מכונה. הצטרפה ל-IBM Research ב-2005 ומאז הובילה פרויקטים שונים בתחום למידת מכונה ובריאות. מיכל פרסמה יותר מחמישים מאמרים בביקורת עמיתים, שירתה בוועדות שונות, כגון ועדת האימפקט של 8400, נציגת תעשייה בסקייל אפ והוועדה לטכנולוגיה בזקנה של משרד ראש הממשלה. מיכל נבחרה לוועד המנהל של החברה הישראלית לטכנולוגיה עילית ברפואה והיא מופקדת על לימודי הרפואה החישובית בהשתלמות העמיתים של החברה.

ד"ר ברק אור

יזם, חוקר ומרצה מומחה בבינה מלאכותית והיתוך מידע סנסורי. חיבר מאמרים אקדמיים ובעל כמה פטנטים רשומים בתחום. בעל דוקטורט בלמידת מכונה עם התמחות במערכות ניווט אינרציאליות מאוניברסיטת חיפה. כיום משמש מנהל אקדמי בקורס AI ו-Deep learning ב-Google and Reichman Tech School, מעביר הכשרות וקורסים רבים בתחום ה-AI ומשמש יועץ בתעשיות הביטחוניות, MSD ועוד. כמו כן אור הוא המייסד והבעלים של MetaOr AI, המתמחה בפרויקטים של אלגוריתמיקה, מוצרים והכשרות מקצועיות בתחום הבינה המלאכותית. הוא בוגר תואר ראשון ושני בהנדסת אווירונאוטיקה ותואר ראשון נוסף בכלכלה וניהול (בהצטיינות) מהטכניון – מכון טכנולוגי לישראל.

ד"ר קובי מייק

משתלם בבתר-דוקטורט בתוכנית ללימודי מגדר באוניברסיטת בר-אילן בהנחייתה של ד"ר גילי הרטל. מחקרו עוסק בהיבטים מערכתיים של חינוך למיניות בריאה. סיים את לימודי הדוקטורט בחינוך בפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה בטכניון – מכון טכנולוגי לישראל בשנת 2022. הדוקטורט של קובי, בהנחייתה של פרופ' אורית חזן, עסק בהיבטים פדגוגיים של הוראת מדעי הנתונים. לקובי תעודת הוראה במדעי המחשב מהאוניברסיטה הפתוחה, תואר ראשון ושני בהנדסת חשמל מאוניברסיטת תל אביב ותואר שני במנהל עסקים מאוניברסיטת תל אביב.

רחל פרלמן, משרד החינוך

סגנית מפקח, הפיקוח על הוראת מדעי המחשב, הנדסת תוכנה AI וסייבר.

ד"ר אהוד סיוון, המחלקה לעיבוד תמונה ביולוגית, מכון ויצמן למדע

בעל דוקטורט במדעי המוח (מדעי המחשב ופיזיולוגיה) מהאוניברסיטה העברית בירושלים משנת 2000 ובתר-דוקטורט מאוניברסיטת בוסטון (BU). עבד בכמה חברות הזנק, ובשנת 2010 עשה קורס הסבה בן שנה להוראת מדעי המחשב בתיכון. במשך 11 שנים לימד חמש יחידות במדעי המחשב ולאחר מכן עשר יחידות, הכוללות פרויקטים של שרת-לקוח בסביבת פיתוח של MS ולמידה עמוקה. מעביר הכשרות מורים מ-2019. כיום מתכנת במכון ויצמן למדע במחלקה לעיבוד תמונה ביולוגית (Bio-Image Analyst).

ד"ר גיורא אלכסנדרון, מכון ויצמן למדע

חבר סגל במחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע, ראש קבוצת שיטות חישוביות בהוראת המדעים. מחקריו עוסקים ביישומים של בינה מלאכותית לחינוך ובהוראת בינה מלאכותית בתיכון ובחטיבות הביניים.

עמוס מרום, המרכז לחינוך סייבר

בעל ארבעים שנות ניסיון בצבא ובתעשייה. בצבא שירת כמתכנת מ"ה/אסמבלר וניהל פרויקטים מודיעיניים. בתעשייה עסק בניהול מוצר ובניהול חטיבות מוצר גלובליות, הוביל את פיתוח ה-SSD המסחרי ב-MSYSTEMS ולאחר מכן ניהל את תחום ה-FRAUD הבנקאי בחברות NICE ו-IBM. כיום מנהל תוכנית "מגשימים AI" במרכז לחינוך סייבר (מגשימים) ומוביל את השימוש ב-AI במרכז. בעל תארים בכלכלה, בניהול ובהיסטוריה וכן בעל תעודת הוראה. שימש מורה למחשבים וללמידה עמוקה בכמה בתי ספר תיכוניים.