

## הוראת מתמטיקה לבינה מלאכותית: נקודת המבט של המורים

### כתבו:

רחל פרלמן, הוראת מדעי המחשב והנדסת תוכנה  
פרופ' אורית חזן, הפקולטה לחינוך למדע וטכנולוגיה, הטכניון

### מבוא

תוכנית הלימודים "למידה עמוקה" פותחה בשנת 2020 במסגרת מגמת הנדסת תוכנה. תוכנית זו היא אחת מחלופות ההעמקה במסגרת יחידת "תכנון ותכנות מערכות", ותכניה מהווים אתגרת מיוחד – הן מבחינת הידע המוקדם הנדרש מהתלמידים והן מבחינת הכשרת המורים המלמדים אותה. מדי שנה, לומדים תוכנית לימודים זו כ-500 תלמידים מתוך כ-12,000 תלמידי מדעי המחשב בבתי הספר העל-יסודיים בישראל.

במסגרת התוכנית, נלמדים תכנים מעשיים ותיאורטיים מעולם הבינה המלאכותית, תוך התמקדות במושגים בסיסיים מלמידת מכונה בכלל ולמידה עמוקה בפרט. בין השאר, נכללים הנושאים הבאים: מבנה רשתות נוירונים, תהליכי אימון, תפקידי שכבות שונות ברשת, למידת ייצוג (representation learning), למידת למידה (meta-learning), ניתוח תמונה, ותכנון ניסויים עם נתונים. לצד נושאים אלה, התוכנית כוללת גם תכנים מתמטיים, כמו פונקציות סיגמואיד, גרדיאנט ונגזרות, וקטורים, פונקציות מטרה ואופטימיזציה – החיוניים להבנה עמוקה של אופן פעולתם של האלגוריתמים.

שילובם של נושאים מתמטיים אלו מהווה אתגר. רבים מהמורים המלמדים כיום את חלופת "למידה עמוקה" מגיעים מרקע במדעי המחשב, ללא הכשרה מתאימה בהוראת מתמטיקה, ולכן נמנעים מללמד נושאים מתמטיים אלה בצורה מעמיקה. מצב זה מציב בפני מורי המגמה את השאלה: האם להוסיף גם שכבה עיונית-מתמטית שתחזק את הבנת העקרונות המתמטיים עליהם מבוססים הנושאים הנלמדים ביחידת לימוד זו?

שאלה זו מהווה את הרקע ליוזמה לפתח תוכנית "אשנב למתמטיקה בלמידה עמוקה", שמטרתה לחזק ולהעמיק את הבסיס המתמטי של תלמידים הלומדים את התחום, ולעצב את לימודי הבינה המלאכותית בתיכון באופן מבוסס יותר, תוך קישור המושגים המתמטיים ליישומיהם בבינה מלאכותית. יוזמה זו גם תחשוף מורים ותלמידים לתכנים מתמטיים משמעותיים למאה ה-21.

מדובר בשתי יחידות מתקדמות, אותן ילמדו תלמידים הלומדים מתמטיקה ברמת 5 יח"ל, שתתווספה לתוכנית הלימודים הרגילה במתמטיקה, כך שסך הכל התלמידים ילמדו 7 יח"ל במתמטיקה. בנוסף לתלמידי מדעי המחשב, יוכלו ללמוד 2 יח"ל אלו גם תלמידים נוספים הלומדים מתמטיקה ברמה של 5 יח"ל. יחידות אלו אינן קיימות כיום במערכת החינוך, ונמצאות כעת בשלב חשיבה ראשוניים תוך בירור עמדות המורים, תפיסותיהם הפדגוגיות, ויתכנות היישום. הצעה לתכני מתמטיקה המהווים בסיס מתאים ללמידת בינה מלאכותית בכלל ולמידת יחידת הלימוד "למידה עמוקה" בפרט, ניתן למצוא כאן.

לאור תפקידם המהותי של המורים למדעי המחשב בהטמעת שינוי מסוג זה, הפצנו באוגוסט 2025 סקר, שמטרתו היתה לברר את עמדותיהם ביחס ליוזמה זו. הקישור לסקר מופיע כאן. להלן מציג תובנות עיקריות מניתוח הנתונים.

## סקר מורים: רקע המורים

לסקר השיבו 87 מורים המלמדים במערכת החינוך העל-יסודית. להלן נתאר נתונים דמוגרפיים של המשיבים, דעתם לגבי תכני הלימוד המתאימים להלמד במסגרת יחידות לימוד אלה, והיענותם ללמוד וללמד תכנים אלה אם וכאשר ניתן יהיה ללמדן. כאשר סכום המשיבים אינו מהווה 100% (87 מורים), המשמעות היא ששאר המורים לא ענו על השאלה.

המורים שענו על הסקר מלמדים מדעי המחשב ברמות שונות: רובם, כ- 75%, מלמדים בחטיבה העליונה: 74% מהמורים (63 מורים) מלמדים בכתה י', 87% מהמורים (74 מורים) מלמדים בכתה י"א, ו- 85% מהמורים (73 מורים) מלמדים בכתה י"ב. 4 מורים (5% מהמורים שענו על הסקר) מלמדים בכתה ט' והשאר במסגרות שונות (יסודי, חט"ב והנדסאים). האחוז הגבוה של המורים המלמדים בתיכון מעיד על אוכלוסיית מורים המכיר את הנושא הנידון בשאלון.

התפלגות המורים על-פי הוראת החלופות מוצגת להלן. היות וחלק מהמורים מלמדים יותר מחלופה אחת, סכום המופעים של החלופות גדול ממספר המשיבים.

- טלפונים חכמים: 31
- למידה עמוקה - 25
- הגנת סייבר 12
- אפליקציות משולבות נתונים - 11

חלק מהמורים ציינו כי בנוסף הם בעלי תפקידים ייחודיים, כמו מנחים אזוריים. מגוון התשובות מעיד על ריבוי אפשרויות ההוראה במקצוע וכי ניתן להתבסס על ניסיון ההוראה העשיר והמגוון של המורים בהקשר לנושא הסקר.

ביחס להשתלמות המורים בהוראת תכני החלופה "למידה עמוקה", רקע המורים אינו אחיד וקיימים פערים בין המורים המלמדים את התחום. 64% מהמורים (56 מורים) דיווחו כי למדו בהשתלמות בנושא למידה עמוקה, (מתוכם 43 מורים – 77% – סיימו את ההשתלמות) ו- 33% מהמורים שענו לסקר (29 מורים) לא השתתפו בהשתלמות בנושא זה. שאר התשובות התייחסו לואפנים שונים בהם למדו את התכנים.

## סקר מורים: תכנים בהוראת ולמידת מתמטיקה לבינה מלאכותית בתיכון

במענה לשאלה שבחנה אילו נושאים ראוי לכלול במסגרת שתי יחידות לימוד מתמטיות ייעודיות ללמידה עמוקה, המורים התבקשו לסמן נושאים שלדעתם יש לשלב בתוכנית מתוך רשימה נתונה ולהציע נושאים נוספים. על שאלה זו השיבו 78 מורים. הנושאים שסומנו על-ידי יותר מ-50% מהמשיבים היו: אלגברה לינארית בסיסית (68 מורים, 87%), מושגי יסוד בסטטיסטיקה והסתברות (58 מורים, 74%), נגזרות חלקיות (56 מורים, 72%), משפחה של פונקציות עם מספר משתנים (למשל קלטים X ומקדמים W) (52 מורים, 67%), כלל השרשרת (45 מורים, 58%), ובעיית קיצון עם מספר משתנים (42 מורים, 54%). בחירות אלה מעידות על ההכרה בכך שכדי ללמד וללמוד באופן משמעותי למידה עמוקה בכלל ויישום באמצעות רשתות נוירונים בפרט, יש צורך ברקע מתמטי מתאים. בנוסף, מורים הציעו נושאים נוספים, כגון גיאומטריה בממדים גבוהים (למשל בהקשר לפרספטורן), הרחבת התכנים בסטטיסטיקה, וכן טנזורים ומטריצות.

בתשובה לשאלה פתוחה, בה המורים התבקשו להסביר את תשובתם, המורים ציגו מגוון סבות. להלן נציג את הסיבות העיקריות.

מחד, המורים טענו כי **שילוב נושאים מתמטיים חיוני להבנת הליבה של האלגוריתמים בלמידת מכונה**. כך, מורה כתב: "כמתמטיקאי... אני מזהה שהתלמידים לא יודעים את המתמטיקה הנדרשת וגם המורים לא מבינים... יש ללמד קורס אלגברה ליניארית א' מהפקולטה למתמטיקה בטכניון כפי שאני עושה עם התלמידים שלי", ואחר הוסיף: "נדרש ללמד את בסיסי האלגברה הליניארית, משום שהתלמידים והמורים כאחד אינם מבינים את הבסיס המתמטי של התחום". דעה זו מתיישבת עם מורה שציין כי "כל הנושאים נדרשים להבנת אלגוריתם Gradient Descent", לצד אחר שכתב: "ליבת למידת מכונה מתבססת על שימוש נגזרות חלקיות, בעיות קיצון, כלל השרשרת ושימוש באלגברה ליניארית" ותשובה נוספת על-פיה "למיטב הבנתי אלה הנושאים הקריטיים ביותר להבנה של מודלים מתמטיים שבבסיס רשתות נוירונים".

מנגד, מורים טענו כי יש צורך **לאזן בין עומק לנגישות**. אחת התשובות טענה: "אפשר ללמד, לא ברמה גבוהה כמו בחלופה של למידה עמוקה", ומורה אחר הסביר כי יש ללמד נושאים "שניתן לדחוס במסגרת הזמן המוגבלת". בהקשר זה, הודגש גם חוסר הסנכרון בין לימודי המתמטיקה בתיכון לבין הצרכים להבנת נושאים בלמידה עמוקה, לדוגמה: "הסתברות, קבוע e, פונקציות מעריכיות ו-lm כבר נלמדים במסגרת 5 יח"ל... זה פשוט יוצא מאוחר מדי". מורים טענו גם כי הידע המתמטי מהווה חסם כניסה לתחום. ברוח זו, טענו המורים כי יש להקל בדרישות העומק בתיכון ולהשלימם מאוחר יותר באקדמיה. אחת התשובות היתה: "לדעתי יש צורך בידע מתמטי אך לא יותר מדי עומק שלא ירתיע תלמידים".

לסיכום חלק זה, הממצאים מצביעים על הסכמה רחבה בקרב המורים לגבי חשיבות למידתם של תכנים מתמטיים בהוראת למידה עמוקה, אך גם על הצורך בהתאמת עומק התכנים למאפייני התלמידים. כמוכך שלצד שילובם של תכנים אלה, יש צורך בהשתלמויות, ליווי, תמיכה, וחומרי הוראה ייעודיים, כפי שנראה בהמשך.

### **סקר מורים: הוראת מתמטיקה לבנייה מלאכותית בבתי הספר – הווה ועתיד**

בסעיף זה נסקור כיצד תופסים המורים את המצב כיום ביחס להוראת מתמטיקה לבנייה מלאכותית בבתי הספר ואת תפיסתם לגבי שילוב מתמטיקה לבנייה מלאכותית בעתיד.

#### **הווה: אתגרים בהוראת ולמידת מתמטיקה לבנייה מלאכותית**

אחת השאלות בסקר שאלה האם תלמידי המורים המשיבים, המלמדים את היחידה למידה עמוקה, לומדים נושאים מתמטיים רלוונטים. מ-87 המורים שענו לסקר, 17 מורים (21%) דיווחו כי תלמידיהם לומדים תכנים אלה ו-63 מורים (79%) ציינו כי תלמידיהם אינם לומדים נושאים מתמטיים הקשורים בתחום. שבעה מורים לא השיבו לשאלה זו. כלומר, 1 מכל חמישה מורים מלמד תכנים אלה. נראה כי אין להתעלם מפער זה, בין ההכרה בחשיבותו של בסיס מתמטי להבנת למידה עמוקה לבין המצב בפועל.

מצב זה משתקף גם בתשובות הפתחות לשאלה "אם כן – איזה נושאים הם לומדים? אם לא – מדוע?". חלק מהמורים ציינו שהתלמידים לומדים כיום את כל הנושאים שצינו לעיל, או את מרביתם. חלק מהמורים ציינו במפורש ש"הלמידה הינה חלקית ועל פני השטח, רק כדי לתת מושג. נזהרים מאד מגישה מעמיקה הקשה על התלמידים ומעוררת התנגדות". באחת התשובות צויין כי "בחרתי בחלופה אחרת של הנדסת תוכנה. כי יש נושאים רבים במתמטיקה שתלמידים לא מכירים והנושאים דרושים ללמידת AI והבנה על איך AI עובד".

התגובות משקפות א. הכרה בכך שהבנה עמוקה של תחום ה-AI דורשת רקע מתמטי מתאים, תוך התאמתו והטמעתו במסגרות ההוראה הקיימות, ו-ב. את הצורך בפיתוח יחידות לימוד ייעודיות שתאפשרנה ללמד באופן שיטתי ומובנה את התכנים המתמטיים הנדרשים להבנת התכנים הנלמדים במסגרת למידה עמוקה.

בהמשך לכך, מורים נשאלו גם מהו אחוז המורים שלהערכתם מלמדים כיום את התכנים המתמטיים הנדרשים ללמידת למידה עמוקה. הנתונים מלמדים כי ההערכה הרווחת היא שהיקף ההוראה נמוך מאוד. יותר ממחצית מהמורים - 43 משיבים (כ-56%) - העריכו שהנושא נלמד על ידי עד 20% מהמורים המלמדים את החלופה. 8 משיבים (10%) העריכו כי בין 20%-ל-40% מהמורים מלמדים תכנים אלה, ו-7 משיבים (כ-9% מהמורים) העריכו כי שיעור זה הוא בין 40%-ל-60%. חמישה מורים (6.5%) העריכו כי האחוז גבוה יותר, ו-18 משיבים (כ-15%) ציינו שאינם יודעים להעריך או שאין להם מידע. הנתונים מצביעים על תפיסה רווחת שלפיה היקף ההוראה המתמטית בלמידה עמוקה בבתי הספר עדיין מוגבל, לצד שונות ניכרת בהערכות ובמידת הוודאות של המשיבים. ממצאים אלו משקפים את הקושי הכרוך בהערכת היקף התופעה, תוך הכרה כי בפועל מדובר כנראה במיעוט.

### עתידי: היענות המורים ללמוד וללמד מתמטיקה ל-AI

המורים נשאלו גם לגבי הערכתם את היענות המורים ללמד תכנים מתמטיים אלה ל-AI. במענה לשאלה "במידה ותפותח תוכנית לימודים בהיקף של 2 יח"ל לבגרות, מלווה בהשתלמות מורים, איזה אחוז מהמורים המלמדים את חלופת למידה עמוקה יבחרו להערכתך ללמד תכנים מתמטיים של למידה עמוקה?" התקבלו הערכות מגוונות. 18 מורים (23%) העריכו כי רק עד 20% מהמורים ילמדו תכנים אלה, 17 מורים (כ-21%) העריכו כ-20%-40% מהמורים ילמדו תכנים אלה, ו-16 מורים (כ-20%) ציינו טווח של 40%-60%. 7 מורים (כ-9%) העריכו שיעור הוראה של כ-60%-80% מהמורים, ו-12 מורים (כ-15%) העריכו אחוז גבוה של למעלה מ-80% אימוץ. 10 מורים כתבו מגוון תשובות אחרות. כלומר, **בשעה ש-15.5% מהמורים סבורים כי כיום מלמדים תכנים אלה מעל 40% מהמורים, שיעור גדול פי 3 - 44% מהמורים סבורים כי יותר מ-40% מהמורים ילמדו תכנים אלה במידה ותפותח תוכנית לימודים מתאימה מלווה בהשתלמות מורים.** הנתונים משקפים את הפוטנציאל בהרחבת ההוראה של תכנים אלה, לצד חשיבותה של תשומת לב לקיום השתלמות המורים כפי שצוין בשאלה.

המורים נשאלו גם ביחס לנכונות בית הספר שלהם לאמץ תוכנית לימודים זו של מתמטיקה ל-AI. השאלה שהוצגה היתה "במידה וניתן יהיה להיבחן ב-2 יח"ל בגרות ב'אשנב למתמטיקה בלמידה עמוקה", האם לדעתך בית הספר שלך יציע אפשרות זו לתלמידים המתאימים?" 68% מהמורים (54 מורים) ענו בחיוב; 32% מהמורים (25 מהמורים) ענו בשלילה. נתונים אלה משקפים פוטנציאל ממשי לאימוץ יחידות לימוד זו בבתי הספר, לצד קיומם של חסמים שעשויים למנוע את היישום בפועל, כפי שמשקפים הסברי המורים המוצגים להלן ביחס להערכתם את אחוז המורים שילמדו 2 יח"ל אלו במידה ותפותח עבורן תוכנית לימודים מתאימה.

מחד, מורים רבים הביעו תמיכה ברעיון, תוך הדגשה כי קיימת בבית ספרם אוכלוסייה של תלמידים חזקים, שלעתים גם חמש יחידות מתמטיקה אינן מאתגרות אותם, ותוכנית שכזו תוכל להוות עבורם מסלול מעשיר ומכין ללימודים אקדמיים או ליחידות צבאיות מתקדמות (למשל, "יש בבית הספר הרבה תלמידים איכותיים שרוצים ללמוד ולהעמיק"; "יש תלמידים חזקים שגם 5 יח"ל לא מאתגרים אותם. הם יהנו וזה גם יכין אותם לאקדמיה/לצבא"). הודגשה פתיחות מוסדית מצד הנהלות בתי הספר, במיוחד במוסדות המקדמים ייחודיות חינוכית, תוכניות יוקרתיות, או כאלה שמעוניינים "להתחדש" ביוזמות הכוללות את המונח "בינה מלאכותית". (למשל, "בית ספר אוהבים להתהדר בתוכניות מיוחדות במיוחד אם המילה בינה מלאכותית מוזכרת שם"). מנגד, הובע חשש לגבי מספר המורים שיכולים ללמד יחידות אלה (למשל, "לא חושב שיש מספיק מורים להוספת תכנים אלה"; "בגלל חוסר עמוק במורים שמבינים מתמטיקה ברמת אוניברסיטה"); העומס הקיים על התלמידים וקושי ללמוד תכנים אלה בתיכון.

שוב, תשובות המורים מעידות על עניין באפשרות ללמד את המתמטיקה הנדרשת ללמידה עמוקה ולמסדה במסגרת יחידות לימוד, תוך הבנה כי מימוש המהלך תלוי בתמיכת בית הספר, הכשרת מורים, והיכרות טובה עם קהל היעד.

בנוגע לנכונות להשתתף בהשתלמות לקראת הובלת ההוראה בלמידה עמוקה (במסגרת 2 יח"ל לבגרות), 53 מורים (כ-64%) ציינו "כן", 20 משיבים (כ-24%) השיבו "לא", ו-8 משיבים (כ-10%) נתנו תשובה מותנית – למשל "תלוי בסילבוס", "אולי, תלוי בזמנים" או "תלוי מהם התכנים ואיך יתרמו להוראה שלי", ו- "שתהיה בזום!", אמירות אלה מעידות על חשיבות התאמת ההשתלמות לצורכי המורים. באחת התשובות צויין "אשמח גם לתרום בתכני הוראה", שוב, נראה כי קיים פוטנציאל גבוה לקיומה של השתלמות מורים בנושא.

## סיכום

ממצאי הסקר מצביעים על עניין המורים בשילוב המתמטיקה של למידה עמוקה בהוראת מדעי המחשב בבתי הספר, אך גם על פערים בין תפיסת החשיבות לבין היישום בפועל. רוב המורים מלמדים בחטיבה העליונה ומזהים צורך בהעמקת התשתית המתמטית הנלווית להוראת למידה עמוקה – בעיקר באלגברה לינארית, אנליזה וסטטיסטיקה. בו בזמן, רק מעט תלמידים לומד כיום נושאים מתמטיים אלה. נכונות המורים להשתתף בהשתלמויות מקצועיות בתחום גבוהה, במיוחד אם יינתן מענה לאילוצים טכניים (זמן ואופן הנחית ההשתלמות).

במקביל, קיימת שונות בהערכות לגבי אחוז המורים שיאמצו את ההוראה המתמטית בלמידה עמוקה, גם לאחר פיתוח תוכנית ייעודית בהיקף של 2 יח"ל לבגרות. חלק מהמורים מצביעים על פוטנציאל משמעותי להרחבת היקף ההוראה, בעוד אחרים מטילים ספק ביכולת היישום בשל מגבלות מערכתיות, מחסור במורים מיומנים ופערי ידע.

ניתוח התשובות הפתוחות מדגיש את הצורך בגיבוש תפיסה פדגוגית עדכנית, בהתאמת רמת ההעמקה לרמות שונות של תלמידים, ובחיזוק היסודות המתמטיים באופן מובנה והדרגתי. בנוסף, הוצעו מודלים גמישים של הוראה – כולל שיתופי פעולה בין בתי ספר, הוראה מקוונת ושילוב תחומים משיקים כמו סייבר וקריפטוגרפיה.

לסיכום, ניתן לומר שקול המורים משקף הבנה מעמיקה של האתגרים, רצון כן לשפר, ומגוון הצעות פרקטיות ליישום. הסקר ממחיש כי שילוב למידה עמוקה כתוספת לתוכנית הלימודים במתמטיקה ומדעי המחשב הוא אפשרי ואף מבוקש, אך ידרוש השקעה בהכשרת מורים, פיתוח חומרי הוראה מותאמים, ותמיכה מוסדית שתבטיח יישום בר-קיימא שיותאם למגוון תלמידים.

לנוכח שאיפתה של ישראל לשמר את מעמדה כמעצמת חדשנות ולקדם את תעשיית ההייטק הלאומית, חיוני להבטיח שתלמידי מערכת החינוך המתאימים לכך ייחשפו כבר בתיכון ליסודות המתמטיים-תיאורטיים שמאחורי טכנולוגיות הליבה של המאה ה-21. כפי שרשות החדשנות מציינת, קידום החדשנות בתעשייה נשען על הון אנושי מיומן ועתיר ידע. ברוח זו, ראוי שהכשרת דור העתיד של מפתחי אלגוריתמים, מדעני נתונים ומהנדסי תוכנה תתחיל בתיכון עם תלמידים המתאימים ללמוד תכנים אלה ומורים המתאימים ללמדם. הסקר מצביע על כך כי בהינתן תשתית פדגוגית מתאימה, מורי מדעי המחשב ערוכים ללמוד וללמד נושאים מתמטיים מתקדמים שיתמכו בקידום עתידה של מדינת ישראל בהקשר זה.