



בינה מלאכותית בחינוך
מתווה היערכות אסטרטגית
מטה משרד החינוך

תקציר

תחום הבינה המלאכותית נמצא בתהליך התפתחות מואץ וצפוי לחולל מהפכה בכל תחומי הפעילות האנושית, ובהם תחום החינוך. מערכות בינה מלאכותית יכולות לספק ניתוחים והמלצות מבוססי נתונים ובכך לייצר הזדמנויות לקידום הלמידה, ההוראה, ההערכה, הארגון והניהול. באופן זה התחום עשוי לשנות את פני החינוך ולאפשר יישום התנהלות פדגוגית וארגונית שלא הייתה אפשרית קודם לכן.

בכל הנוגע לבינה מלאכותית, תחום החינוך בישראל נמצא בפיגור אחרי מדינות אחרות בשל היעדר מדיניות בתחום, למידה מעטה של התחום ומיעוט היישומים המוטמעים בו. מדינת ישראל יכולה להוביל את תחום הבינה המלאכותית בחינוך הודות למאפיינים הייחודיים של המדינה – ענף ההייטק כאן הוא מהמובילים בעולם, גופי המחקר מתקדמים ויש מידה רבה של ריכוזיות בחינוך. הובלה בתחום זה, לעומת המתנה להבשלת התחום, תאפשר למערכת החינוך להתאים את הטכנולוגיה לצרכיה ולהתכונן מוקדם ככל האפשר לעולם רווי טכנולוגיות משבשות.

לאור ההזדמנויות והשינויים הרחבים המתרחשים סביבנו, מומלץ להתניע במערכת החינוך מהלך אסטרטגי לשילוב בינה מלאכותית, מהלך שיהיה מסונכרן עם התהליכים המקבילים המתרחשים כיום במדינת ישראל ובעולם.

שילוב בינה מלאכותית במערכת החינוך עשוי להעלות קשיים מכמה סיבות: ריבוי הגורמים המערבים במערכת החינוך; ריבוי העמדות ביחס לתחום הבינה המלאכותית; המיקוד של מערכת החינוך בתלמידים צעירים ואיסוף הנתונים על אודותיהם; המורכבות יוצאת הדופן של תהליך הלמידה שבהובלת המורה; היעדר פדגוגיה רלוונטית לטכנולוגיה זו; הצורך בהבטחה של הוגנות; והעמימות בעמדות הציבור הרחב סביב טכנולוגיה זו. יש לציין כי יישומי בינה מלאכותית פותחו כבר בתחומי חינוך שונים. עם זאת, רובם נמצאים עדיין בשלבי התהוות, והם משמשים בעיקר בהקשרים ניסיוניים.

התמודדות עם אתגר השילוב של בינה מלאכותית בחינוך מחייבת מתן מענה תפיסתי שלם ובר קיימא, המביא בחשבון היבטים שונים של השילוב ואת התפתחותם העתידית במציאות משתנה. במהלך שנת 2021 פעל צוות מקצועי בראשות מוהנא פארס, ראש מנהל חינוך טכנולוגי, במטרה להגדיר מתווה המלצות ליישום מדיניות, כלים ותבניות מימוש של שילוב בינה מלאכותית בחינוך. המתווה מיועד לממשלת ישראל ולמנכ"ל ומטה משרד החינוך, כבסיס לקבלת החלטות עתידיות. בתהליך המחקר היו שותפים נציגים ממטה החינוך, האקדמיה, התעשייה, אנשי חינוך והציבור הרחב, במטרה להעמיק בנושא הבינה המלאכותית בחינוך ומתוך התייחסות למלוא רוחב היריעה. במסגרת הסקירה הספרותית והראיונות שנערכו עם המומחים כחלק מתהליך המחקר המובא במסמך זה, נמצא פוטנציאל רב ביישומי בינה מלאכותית, לצד אתגרים רבים. אנחנו רואים עתיד שבו תפקיד בית הספר יוסיף להתפתח, וכן תפקיד המורה ותפקיד מערכת החינוך בכלל, וזאת על בסיס טכנולוגיות של בינה מלאכותית. לשם כך מומלץ לקדם מהלך של שילוב בינה מלאכותית בחינוך במישורים הללו:

1. הנעת מהלך אסטרטגי לשילוב בינה מלאכותית וחינוך

בהיעדר תוכנית לאומית-חינוכית בנושא בינה מלאכותית, נדרשת החלטת ממשלה להניע מהלך אסטרטגי שיבסס שינוי מהותי בתחום. על מטה החינוך להוביל את המהלך, בין היתר, באמצעות הקמת ועדה משרדית מתכללת שתהיה ממונה על קידום מדיניות המשרד בנושא, שתלווה את התהליך באופן רציף, ושתדאג לשלבו בתוכנית הלאומית של מדינת ישראל בתחום של בינה מלאכותית.

2. גיבוש קוד אתי ורגולציה הנוגעים לשילוב בינה מלאכותית בחינוך

כדי לספק מענה לאתגרים האתיים הנוגעים לכלל בעלי העניין (תלמידים, הורים, אנשי חינוך ומטה) יש להקים 'ועדת בינה מלאכותית אחראית' (Responsible AIEd Board) שתפקח, תבקר ותלווה באופן רציף את תהליך השילוב של יישומי AIEd (כלי בינה מלאכותית בחינוך). על מנת לעודד את התפתחותו של תחום חדשני זה מומלץ לחבר קוד אתי של נוהלי שימוש, ולקבוע רגולציה ותקנות מגבילות רק בסוגיות שמצריכות הגבלות מובהקות לשם הגנה על המשתמשים. הסוגיות האתיות המרכזיות שיש להסדיר הן: פרטיות ואבטחת מידע, שקיפות, הוגנות, הסכמה וקניין רוחני.

3. שילוב שיקולי בינה מלאכותית בפרויקט הסדרת מערך המידע

תהליך הבנייה של מסד נתוני חינוך דיגיטלי מקיף ומדויק הוא שלב מקדים ותנאי הכרחי לשילוב יישומי בינה מלאכותית באופן שיוביל להפקת מסקנות, לניסוח תחזיות ולמציאת פתרונות מדויקים ובעלי ערך לקבוצות השונות (לפי חתך גיל, מגדר, מעמד סוציו-אקונומי, קשיים ולקויות למידה ועוד). על כן יש לבסס את המהלך לשילוב מערכות בינה מלאכותית במערכת החינוך, בין היתר, על פרויקט הסדרת מערך המידע. כמו כן, על מאגרי הנתונים להיות בטוחים, רחבים וגמישים כדי שיוכלו לענות על הצרכים העתידיים הנוגעים לכלי AI.

4. פיתוח תשתיות ותמיכה טכנית לשימוש ביישומי בינה מלאכותית

לשם הכנסה מוצלחת של כלי AIED יש לעמוד בשלושה תנאים מרכזיים: (א) הכנה מקיפה של תשתיות בכלל המרחבים, מבית הספר ועד מטה החינוך; (ב) וידוא שמכלול התשתיות הרלוונטיות – החומרה, התוכנה, אמצעי הקצה, וכן חיבור אינטרנטי ברוחב פס מספק – נגישות לכל אנשי החינוך והתלמידים; (ג) וידוא שהטמעת התשתיות מתבצעת באופן שמשמר ומקדם את שוויון הזדמנויות. יתר על כן, על משרד החינוך לדעת לפעול הן כיום (ולאפיין את התשתיות הספציפיות הנדרשות בחינוך) והן כצרכן חכם של שירותים חיצוניים (למשל, מיצוב מערכת החינוך כלקוח וכמאפיין משמעותי בפרויקט הלאומי של פיתוח NLP בעברית ובערבית).

5. גיבוש סדרי עדיפות בשילוב יישומי בינה מלאכותית

יישומי בינה מלאכותית יכולים לתרום למגוון רחב של תחומים וצרכים חינוכיים. לאור זאת, יש לגבש סדרי עדיפות בעת בחירת תחומי הפעולה והפיתוח של כלי AIED. לשם כך יש להתחשב בשני גורמים מרכזיים: מידת התרומה של היישום למערכת החינוך, ומידת הישימות של הכלי במערכת על מאפייניה השונים. על כן מומלץ לשלב תחילה יישומים בעלי תרומה גבוהה אשר יענו על הצרכים הבעורים של המערכת, למשל, אוטומציה של תהליך בדיקת המבחנים.

6. עידוד מערך פיתוח ומחקר של יישומי בינה מלאכותית בחינוך בישראל

לצורך קידום יישומי AIED, על משרד החינוך לעודד מערך פיתוח ומחקר של יישומי בינה מלאכותית בהקשר הישראלי בארבע דרכים: (א) עידוד פיתוח כלי AIED במגזר הפרטי, ומיצוב משרד החינוך כשותף ולקוח מרכזי בתהליך זה; (ב) הפניית משאבים, מקורות מימון ופיתוח מקצועי בשדה המחקר האקדמי של AIED; (ג) הקמת מעבדות וחממות להתנסות ופיתוח של יישומים; (ד) שיתוף בעלי עניין בתהליך כולו כדי להכיר את מגוון הצרכים, לקדם שקיפות, ולהתמודד עם התנגדויות למהלך.

7. התאמת תפקיד המורה לעולם רווי בינה מלאכותית

שילוב יישומי בינה מלאכותית בחינוך כרוך בשינוי של הסביבה החינוכית – פדגוגית וכיוצא בזה גם בהתאמת תפקיד המורה. לאור זאת, מומלץ לקדם אפיון עדכני של תפקיד המורה בחינוך משולב בינה מלאכותית. יש לבסס את התפיסה שיישומי AIED משמשים כלי עזר למורה ועל כן מאפשרים לו להתרכז בתהליך הפדגוגי, בהדרכת תלמידים ובמתן מענה לצורכיהם הרגשיים והחברתיים. לצד זאת, יש לשתף את המורים באפיון טכנולוגיות AIED, לספק להם גמישות פדגוגית בקביעת שילוב היישומים, להכשיר אותם בתחום ולדאוג להכנסה של כלים פשוטים, ידידותיים למשתמש ונגישים לכל מורה.

8. התאמת החינוך ותוכנית הלימודים לעולם רווי בינה מלאכותית

למערכת החינוך יש תפקיד מרכזי בהכשרת דורות העתיד לשוק העבודה ובשילובם המיטבי בעולם הדיגיטלי. לנוכח התהוותו של עולם רווי בינה מלאכותית, מתפקידה של מערכת החינוך להקנות לתלמידים את הידע, המיומנויות והכלים לצורך גיבוש תפיסות וערכים הרלוונטיים לעידן הבינה המלאכותית. לצורך כך יש לבנות תוכנית לימודים שמקיפה את נושא הבינה המלאכותית ואת נגזרותיה השונות, בהתייעצות עם מומחים ישראליים ובהשראת תהליכים בין-לאומיים.

9. שמירה על הוגנות במסגרת שילוב בינה מלאכותית וחינוך

יש לרתום את היתרונות של יישומי AI לקידום שוויון הזדמנויות במערכת החינוך. אפשר לעשות זאת, למשל, על ידי שיפור המענה לצרכים של תלמידים ואנשי חינוך בעזרת מערכות מותאמות אישית, או צמצום נשירה באמצעות אנליטיקות מידע חכמות. לצד זאת, יש להימנע מהגברת אי-שוויון בקרב אוכלוסיות מוחלשות או מיעוטים שהגישה שלהם לכלים מתקדמים פחותה (עקב פערי תשתית, פערי שפה, פערי אוריינות או פערים בתפיסות תרבותיות), ובקרב קבוצות שאינן מקבלות ייצוג הולם בשלבי האימון של המערכות ועשויות לסבול מהטיות ואפליה (למשל הטייה, כלומר bias, על בסיס מגדר).

תוכן עניינים

1	מבוא
2	1. רקע, מטרה ויעדי המהלך
3	2. מתודולוגיית העבודה
5	3. הגדרות
5	א – הגדרת בינה מלאכותית
6	ב – מושגים מרכזיים בתחום של בינה מלאכותית
7	4. טכנולוגיות בינה מלאכותית – תמונת מצב כוללת
8	5. בינה מלאכותית בחינוך
9	בינה מלאכותית לקידום חינוך: מיון היישומים לפי קטגוריית
10	יישומי בינה מלאכותית בחינוך – דוגמאות מהעולם
13	חינוך לעולם רווי בינה מלאכותית
14	6. מדיניות בינה מלאכותית
14	מדיניות בין-לאומית
14	מדיניות לאומית בעולם
18	מדיניות לאומית בישראל
20	7. הזדמנויות ואתגרים
20	בינה מלאכותית בחינוך: הזדמנויות
22	בינה מלאכותית בחינוך: אתגרים
24	8. המלצות
24	1. הנעת מהלך אסטרטגי לשילוב בינה מלאכותית וחינוך
25	2. גיבוש קוד אתי ורגולציה הנוגעים לשילוב בינה מלאכותית בחינוך
26	3. שילוב שיקולי בינה מלאכותית בפרויקט הסדרת מערך המידע
27	4. פיתוח תשתיות ותמיכה טכנית לשימוש ביישומי בינה מלאכותית
27	5. גיבוש סדרי עדיפות בבחירת תחומים שבהם יישומי בינה מלאכותית תורמים למערכת החינוך
28	6. עידוד מערך פיתוח ומחקר של יישומי בינה מלאכותית בחינוך בישראל
30	7. התאמת תפקיד המורה לעולם רווי בינה מלאכותית
30	8. התאמת החינוך ותוכנית הלימודים לעולם רווי בינה מלאכותית
31	9. שמירה על הוגנות בשילוב בינה מלאכותית וחינוך
31	סיכום
32	נספח
33	מקורות

מבוא

לישראל יש צורך אסטרטגי בקידום טכנולוגיה מבוססת בינה מלאכותית (Artificial Intelligence – AI) בשל הפוטנציאל הדרמטי הטמון בה לתרום לשימור ולחיזוק החוסן הלאומי. על פי מחקר של חברת Tortoise שנערך בשנת 2019, יש פער מדאיג בין הדירוג הגבוה של ישראל במחקר ופיתוח (מקום 5 מתוך 54 מדינות) ובמסחר (מקום 3) ובין הדירוג הנמוך בפיתוח תשתיות נדרשות (מקום 50) ובקידום מדיניות לאומית בתחום (מקום 46) (Mousavizadeh et al., 2020). פער זה מעיב על התקדמותה של ישראל ועל יכולתה לשמר את מעמדה בתחום הבינה המלאכותית, וסופו שיפגע פגיעה ניכרת גם בהיבטים שבהם הצליחה ישראל להתבלט לטובה עד כה (תשתיות לאומיות ומו"פ [תל"ם], 2021). ההכרה בפוטנציאל ההשפעה העצום של טכנולוגיות בינה מלאכותית על כל תחומי החיים הניעה מדינות לגבש ולהוביל מהלכים אסטרטגיים לאומיים בתחום הבינה המלאכותית. גם במדינת ישראל נעשים ניסיונות להוביל מהלך אסטרטגי לאומי בתחום הבינה המלאכותית. מהלך זה כולל גיבוש תפיסה לאומית בתחום של בינה מלאכותית, הגדרת תוכנית פעולה לאומית, והקצאת משאבים לקידומה. עם זאת, המהלך עדיין אינו מתייחס למערכת החינוך (למעט זו האקדמית).

למערכת החינוך תפקיד מרכזי בקידום תחום הבינה המלאכותית בישראל, והיא צרכן מרכזי שעשוי להיתרם מהפוטנציאל של טכנולוגיות AI. על כך יעידו הדוגמאות המצטברות לשימוש בכלי AI במגוון הקשרים חינוכיים. דוגמאות אלו ממחישות שטכנולוגיות מבוססות בינה מלאכותית עשויות לשנות את החינוך בשנים הבאות ברמת הפרט, הכיתה והמערכת כולה.

נוכח הפער המסתמן שבין הפוטנציאל החינוכי של טכנולוגיות בינה מלאכותית ובין היעדר מדיניות חינוכית מוסדרת, על מערכת החינוך בישראל לקדם מהלך אסטרטגי שיגדיר תמונת עתיד רצויה של שילוב בינה מלאכותית וחינוך ותוכנית פעולה רב-שנתית ליישומה. מהלך אסטרטגי כזה, המבוסס על חשיבה מערכתית והירתמות של כלל מערכת החינוך, צריך להיות חלק מהמהלך הלאומי בתחום הבינה המלאכותית בישראל, ולזכות בהכרה ובמימון ממשלתיים.

השילוב של טכנולוגיות בינה מלאכותית במערכת החינוך אינו פשוט והוא מצריך עיסוק מתמשך באתגרי המערכת הקבועים, כמו שוויון הזדמנויות, הכשרות מורים רלוונטיות, שמירה על פרטיות, פיתוח טכנולוגיה וכן מתן מענה לאתגרים דינמיים הנובעים מן המציאות המשתנה.

עתיד מוכוון דיגיטל

בכנס ועידת ישראל לטכנולוגיות המידע (12.2021) בהפקת הלשכה לטכנולוגיות המידע בישראל המיועד למגזר העסקי והציבורי, בחרו להתמקד בנושא של עתיד מוכוון דיגיטל (Digital Driven Future). מארגני הכנס טוענים כי יש צורך באימוץ גישה של טרנספורמציה דו-שלבית, וכי המונח 'טרנספורמציה דיגיטלית' צריך לכלול שני ממדים: (א) הטמעת חדשנות דיגיטלית בתהליכים קיימים, לשיפור מודלים עסקיים; (ב) יצירת מודלים חדשים לגמרי לפעולה המשבשים את הסדירות הקיימת. לשם כך נדרשת התארגנות הן ברמה הניהולית (אסטרטגיה, מדיניות, יצירת תהליכים עסקיים, מוצרים ושירותים חדשים, ועוד) והן ברמה הטכנולוגית (פיתוח יכולות חדשות, אימוץ טכנולוגיות מתחדשות, ויזמויות מתקדמות).

בהמשך, יש להיעזר בתהליכים חכמים כמו קבלת החלטות מבוססות נתונים, הנסמכות על תשתיות וטכנולוגיות מתקדמות כדוגמת שירותי ענן, בינה מלאכותית ולמידת מכונה. שלב זה, וההמלצות הנגזרות ממנו, תקפים ורלוונטיים למערכת החינוך היום יותר מבעבר. ההתקדמות של מהלכי רוחב ארגוניים שונים המתרחשים במגזר הציבורי – במקביל לפרויקטים בתוך משרד החינוך – תוביל להתכנסות ולהתממשקות הדדית שתתורגם לשיפור במישור הארגוני והפדגוגי כאחד. נציין כמה מהם:

- **במגזר הציבורי:** קידום מדיניות Data Driven Government כחלק מיישום החלטת הממשלה מס' 1933 בדבר שיפור העברת המידע בין משרדי הממשלה והנגשת מאגרי מידע לציבור, השקת שירותי הענן הממשלתי 'פרויקט נימבוס', קידום מהלכי רגולציה, פרסום מסמכי מדיניות, וקידום מיזמים טכנולוגיים שונים.
- **במשרד החינוך:** קידום פרויקט הסדרת מערך המידע, פיילוטים כמו למידה היברידית, גמישות ניהולית ופדגוגית למנהלי בתי ספר, ופתיחה דיפרנציאלית של בתי ספר.

במהלך השילוב של בינה מלאכותית בחינוך חשוב לנהוג בזהירות רבה, כדי שהטכנולוגיה אכן תתרום ערך מוסף ללמידה בלא להוות מעמסה או להשפיע באופן מוטעה על התהליך החינוכי. השימוש בכלים דיגיטליים יכול לסייע למורים בהפחתת עומס העבודה, לסייע לתלמידים על ידי שכלול כלי למידה מותאמים אישית, לאפשר שילוב בין גישות מסורתיות לשיטות חדשניות המתכתבות עם שגרת החיים של התלמידים, לקדם תהליכי הערכה, ולהעצים תלמידים. כמו כן, שילוב של כלים דיגיטליים מבוססי בינה מלאכותית ייעל את התהליכים הוראה-למידה-הערכה, יאפשר יותר זמן מורה-תלמיד, ויקדם שיטות חדשניות לאיסוף מידע ולניתוח אוטומטי. ייעול תהליך ההוראה באמצעות כלים דיגיטליים מבוססי בינה מלאכותית יחסוך למורה זמן רב ויאפשר לו להתמקד בניהול תהליך הלמידה ובמתן משוב. לצד זאת, מערכות בינה מלאכותית מציבות אתגרים: במקרים מסוימים הן עלולות להוביל להעמקת פערים, להגברת אי-שוויון ולפגיעה בפרטיות. על שום כך הן עלולות לגרום התנגדות ציבורית ולהוביל לבזבוז של כספי ציבור או של משאבי חברות טכנולוגיות מהספקטור הפרטי.

1. רקע, מטרה ויעדי המהלך

רקע

ברחבי העולם נעשים מהלכים לגיבוש מדיניות בינה מלאכותית לאומית בהיקפים הולכים וגדלים. בישראל הוגדרה הבינה המלאכותית כיעד לאומי וכבר נערכו כמה מהלכים לקראתו, אך אלה לא כללו את תחום החינוך בגן ובבית הספר. בינה מלאכותית כתרבות נמצאת בתחילת דרכה ויש צורך ביצירת מצפן שיווון את אופן השימוש בה. על כן עלה הצורך להגדיר מתווה היערכות לשילוב בינה מלאכותית בחינוך שישימש בסיס לקבלת החלטות בטווח הקצר והארוך.

יצויין כי בעת העבודה על מתווה זה מקדם משרד החינוך מהלך של הגדרת מתווה רחב וכולל בתחום של למידה משולבת דיגיטל, ומתווים נוספים (כמו מתווה הערכה דיגיטלית) אשר כולם יכולים להיתרם מיכולות הבינה המלאכותית ולתרום לה. המסמך הנוכחי מתמקד בתחום הבינה המלאכותית ומעמיק בו, ומטרתו להגדיר בסיס מתווה למדיניות הנהלת משרד החינוך בפרט והממשלה בכלל בנוגע לשילוב בינה מלאכותית וחינוך בישראל.

המסמך הנוכחי עוסק בכלל היבטי המהלך – הרציונל והמטרות, הרקע, המגמות, דוגמאות מהעולם, הזדמנויות ואתגרים, מסקנות, המלצות ותוכניות פעולה. המתווה מהווה בסיס לגיבוש מדיניות ולהחלטה על התנעת מהלך אסטרטגי בתחום הבינה המלאכותית והחינוך.

המטרה

יצירת מתווה היערכות לאומי בעבור מערכת החינוך לשילוב בינה מלאכותית וחינוך.

לטובת היערכות למאה ה-21, נדרש למערכת החינוך הישראלית מתווה הנוגע לטכנולוגיות מבוססות בינה מלאכותית המתייחס לשני מישורים:

1. ההזדמנויות והאתגרים לחינוך שייגזרו ממצייאות חיים רוויית בינה מלאכותית בעתיד.
2. הטמעה של תשתית ופרקטיקות למידה, הוראה וארגון באמצעות טכנולוגיות מבוססות בינה מלאכותית.

יעדים

הגדרת מתווה לשילוב בינה מלאכותית בחינוך באופן הזה:

- מתווה השומר על כללי האתיקה ועל הוגנות אל מול השימוש באמצעים שמאפשרת הבינה המלאכותית.
- מתווה המספק מענה לטווח הקצר ומשרטט כיווני התפתחות מומלצים לטווח הבינוני והארוך.
- מתווה המאפשר התפתחות של תחום הבינה המלאכותית במערכת החינוך, ותומך בקיומו של חינוך רלוונטי במציאות משתנה.
- מתווה המכוון לייעול תהליכי הוראה-למידה-הערכה, וייעול תהליך הניהול שעומד בהלימה עם יעדי מערכת החינוך והצרכים הפדגוגיים.
- מתווה המטפח אקוסיסטם לטובת יצירת שותפויות של גורמי חינוך, מחקר ותעשייה.
- מתווה המספק כלים לבחירה ולתעדוף טכנולוגיות של בינה מלאכותית בחינוך.

השאלות המרכזיות שהמהלך מבקש לענות עליהן

- הזדמנויות ואתגרים: אילו הזדמנויות חינוכיות מתאפשרות עם שילוב בינה מלאכותית, ומהם האתגרים ששילוב זה מציב לפני מערכת החינוך?
- צורכי המערכת: לאילו צרכים ומטרות חינוכיות ניתן לספק מענה באמצעות בינה מלאכותית?
- יישומים בטווח הקצר: באילו אופנים הבינה המלאכותית משולבת כבר במערכות חינוך בישראל ובעולם? מה כדאי לאמץ בישראל?
- יישומים בטווח הארוך: כיצד ראוי לשלב בינה מלאכותית בטווח הארוך?
- מחקר ופיתוח: כיצד לעודד קהילת מחקר ופיתוח של יישומי בינה מלאכותית בחינוך?
- אתיקה ורגולציה: אילו התאמות ופעולות יש לבצע כדי לשלב בינה מלאכותית באופן אחראי ומתוך התחשבות בכל בעלי העניין?
- תשתיות: אילו פעולות ממשלת ישראל או משרד החינוך צריכים לבצע כדי לפתח תשתיות שיאפשרו שילוב של כלי בינה מלאכותית?
- חינוך ופדגוגיה: כיצד ראוי להתאים את הסביבה החינוכית ואת תוכנית הלימודים לעידן רווי בינה מלאכותית?

2. מתודולוגיית העבודה

בפברואר 2019 הוקם צוות היגוי מקצועי במשרד החינוך על ידי החטיבה לחדשנות טכנולוגית Start ומערך המו"פ של המשרד, לטובת יצירת מתווה היערכות לאומי בעבור מערכת החינוך לשילוב בינה מלאכותית וחינוך. צוות זה הוביל תהליכי מחקר, שיח ציבורי ותהליך היועצות עם פורום מומחים ייעודי ובו חוקרים מהאקדמיה, מומחים מהתעשייה, ואנשי מקצוע ממטה החינוך ומהשטח (לרשימת המשתתפים המלאה ראו נספח). התוצר הראשון של תהליכים אלו הוא מסמך אסטרטגי זה, ולצידו גיבוש של תהליכי יישום ראשוניים בעולם החינוך, כחלק מתפיסה כוללת ולפיה זוהי נקודת הפתיחה לתהליכים ארוכי טווח.

המתודולוגיה של גיבוש ההמלצות כללה שלושה מקורות:

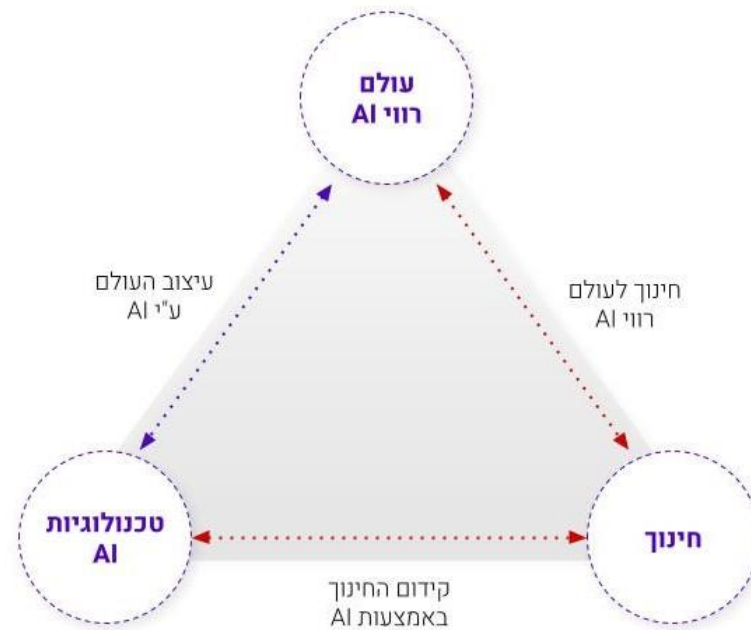
- **סקירה ספרותית** – ההתמודדות עם אתגרי השילוב של בינה מלאכותית בחינוך נתונה למחקר אקדמי ענף, והכנסת יישומים שונים נבחנת בהתנסויות מעשיות במדינות שונות. במסגרת סקירת הספרות נבחנו סוגיות מקצועיות, ערכיות ואתיות על פי מחקרים, מקורות מידע של מדינות וארגונים, עבודות שנעשו בתחום, מאמרים, כתבות, ועמדות או דעות קולקטיביות או אישיות שפורסמו ברחבי הרשת.
- **שיח ציבורי** – תהליך שיתוף הציבור נועד להציף נושאים המעניינים את הציבור הרחב בתחום הבינה המלאכותית בחינוך. התקיים שיח בהשתתפות גורמים מעולם הטכנולוגיה, התעשייה, החינוך, האקדמיה ובעלי עניין שונים, כדי ליצור הרחבה, העשרה והעמקה של הדיונים ככל האפשר.
- **פודשים אוגוסט עד נובמבר 2021** התקיים מהלך של שיתוף ציבור והועלו סוגיות הנוגעות לתהליך במסגרת 'פורום בינה מלאכותית בחינוך' (קבוצת פייסבוק פתוחה בהובלת מומחי משרד החינוך ובשיתוף מומחי טכנולוגיה, סוציולוגיה וחינוך, עם יותר מ-250 משתתפים) וכן במסגרת דיוני דיבייט מקוונים הממוקדים בנושאים שעלו בפורום.
- **פורום מומחים** – את המהלך ליוותה באופן שוטף קבוצת מומחים מעולמות התמחות שונים, טכנולוגיים וחינוכיים, מהאקדמיה, התעשייה והחינוך, אשר פעלו כקבוצה יועצת בדיונים ליצירת מתווה המלצות לאתגרים נבחרים. בכך היא עיצבה, הרחיבה, מיקדה וסיפקה תוקף להמלצות המופיעות במסמך ההמלצות. את התהליך הובילה ועדת ההיגוי (חברי הפורום וחברי הוועדה מצוינים בנספח). פורום המומחים גובש בהדרגה עם התקדמות התהליך לכדי קבוצה של כ-70 שותפים מעולמות מגוונים ורלוונטיים, אשר השתלבו בתהליך באופנים שונים לפי תחומי העניין שלהם ונקודות ההשפעה שביקשו ליצור – בהשתתפות בדיוני המומחים לפי תחומי התוכן או בשיח הציבורי, כמגיבים על מסמך זה בתהליך כתיבתו, בראיונות עומק ועוד. לשיטה זו יתרונות רבים, שכן התהליך היה פתוח, מגוון, מאפשר ובעל רבדים רבים.

מודל תפיסתי לחינוך בעולם רווי בינה מלאכותית

גיבוש של מענה שלם ובר-קיימא לאתגר שילוב בינה מלאכותית וחינוך מצריך אימוץ נקודת מבט רחבה ואינטגרטיבית בנוגע למרכיבים ולגורמים המשפיעים על ההתפתחות של תחום זה במציאות המשתנה. את הכתיבה של מסמך זה ליוותה התפיסה שלפיה קשרי הגומלין בין שלושה גורמים מרכזיים הם שמעצבים את התפתחות התחום של חינוך בעולם רווי בינה מלאכותית. להלן פירוט הגורמים:

- **טכנולוגיית בינה מלאכותית** – התפתחות טכנולוגיות AI המשמשות בתחומי החיים השונים.
- **עולם רווי בינה מלאכותית** – השתנות העולם בהשפעתן של תפיסות וטכנולוגיות הנוגעות ל-AI.
- **תחום החינוך** – התפתחות תחום החינוך באופן כללי ובהקשר של עולם רווי AI.

להלן תרשים המתאר את יחסי הגומלין שבין שלושת הגורמים:



תרשים 1 – מודל תפיסתי לחינוך בעולם רווי בינה מלאכותית

המודל שימש אותנו בשלבי העבודה ובא לידי ביטוי בפרקי המסמך. בין מרכיבי המודל קיימים קשרי הגומלין המפורטים להלן (וראו את החיצים בתרשים):

- **עיצוב העולם על ידי בינה מלאכותית** – טכנולוגיות בינה מלאכותית מעצבות את ההיבטים השונים של העולם. כך לדוגמה, בהיבט החברתי מתפתחים אתגרים והזדמנויות בתחום היחסים החברתיים או הבין-אישיים שבין אנשים ומכונות; בהיבט הכלכלי קיים אתגר בשוק התעסוקה בשל החלפת העובדים בכלים מבוססי בינה מלאכותית; בהיבט הסביבתי נוצרת ההזדמנות לצריכה ידידותית לסביבה המבוססת בינה מלאכותית; ובהיבט הפוליטי קיימת התמודדות עם האתגרים וההשלכות על הדמוקרטיה של יכולות דיפ-פייק וזיהוי פנים מבוססות בינה מלאכותית.
- **קידום החינוך באמצעות בינה מלאכותית** – יישומי בינה מלאכותית מייצרים הזדמנויות לקידום התחומים השונים של החינוך. כך לדוגמה, רובוט חברתי יכול לקדם את השלומות (Well Being) של התלמיד; מערכת למידה אדפטיבית יכולה לתמוך בלמידה מותאמת אישית; מערכת סימולציה מבוססת בינה מלאכותית יכולה לייצר תרחישי אימון למורים; ומערכות בינה מלאכותית יכולות לייצר תוכניות לימודים מותאמות אישית או לנתח מידע חינוכי וארגוני ליצירת תובנות ולקידום תהליכי שיפור בארגוני חינוך.
- **חינוך לעולם רווי בינה מלאכותית** – תחום החינוך נדרש לספק חינוך רלוונטי לעולם רווי בינה מלאכותית. כך לדוגמה, יש לפתח אצל הלומדים ידע, מיומנויות וערכים שיאפשרו להם לעסוק במקצועות שיש בהם יתרון לאדם על פני בינה מלאכותית; יש לפתח אצל הלומדים יכולות לקיים יחסים חברתיים ועבודה בצוותא עם בינה מלאכותית; הלומדים צריכים לפתח מיומנויות מתחום מדעי הנתונים, שכן נתונים הם המטבע החדש בעולם הדיגיטלי, והבינה המלאכותית מתבססת באופן מהותי על מאגרי נתונים; על הלומדים להכיר את האתגרים האתיים המאפיינים עולם רווי בינה מלאכותית ולהתמודד עימם.

מטרת התרשים היא להראות שטכנולוגיות בינה מלאכותית מהוות הזדמנות לשיפור החינוך מזד גיסא, ומאידיך גיסא, תפקיד החינוך להכין את התלמידים לאתגרים שבעולם רווי בינה מלאכותית (ראו את החיצים האדומים בתרשים). יתר על כן, מרכיבי המודל וקשרי הגומלין ביניהם דינמיים ומשתנים בהתמדה נוכח המציאות המשתנה, ולכן מהלך אסטרטגי של שילוב בינה מלאכותית וחינוך, הפועל על פי המודל, צריך להתבסס על הבנת ההיבטים וההתפתחות של כל אחד ממרכיבי המודל, ולהתמקד בשני צירי פעולה המבוססים על קשרי הגומלין של המודל:

1. הטמעה של יישומי בינה מלאכותית שיענו לצרכים השונים של מערכת החינוך ויתמכו בתהליכי למידה, הוראה, הערכה וניהול. תחום טכנולוגי זה נקרא AIED (Artificial Intelligence in Education). כתחום אקדמי, AIED הוא מושא למחקר במשך יותר מ-30 שנה. תחום זה חולש על שני נושאים מרכזיים: (א) שילוב של תובנות מעולם הבינה המלאכותית מדיסציפלינות הלימוד השונות (חינוך, פסיכולוגיה, מדעי המוח, בלשנות ועוד) לטובת קידום כלי למידה אפקטיביים, נגישים, גמישים, מותאמים אישית ומעודדי השתתפותיות; (ב) שימוש בכלי AIED להרחבת ההבנה של תהליכי למידה ולמתן המלצות שניתן לממשן בכלי בינה מלאכותית או בכלים אחרים (Luckin et al., 2016).
2. התאמת מערכת החינוך, התרבות הארגונית והתכנים העיוניים והפדגוגיים לעולם חדשני ורווי בינה מלאכותית (למשל, הוראת מבוא באתיקה של בינה מלאכותית). היבט זה כולל: (א) פיתוח, הכשרה ולימוד של התלמידים ואנשי החינוך בכל הנוגע לבינה מלאכותית והקניית אוריינות בתחום זה כהכנה לעולם רווי בינה מלאכותית (כולל הוראה, למידה והערכה לטובת רכישה של ידע, מיומנויות וערכים); (ב) התאמת מקצועות הלימוד למאה ה-21 ולשוק התעסוקה המשתנה (למשל, שינוי הדגש בלימודים המתמטיים); (ג) התאמת התהליכים המתרחשים במטה החינוך כדי לתמוך במהלך השילוב של יישומי בינה מלאכותית (רגולציה, הגדרת מדיניות, הקצאת תקציבים, תכנון הכשרות ועוד).

3. הגדרות

בפרק זה הגדרות מעולם טכנולוגיית הבינה המלאכותית, עם דגש על מושגים הנוגעים לבינה מלאכותית וחינוך. הפרק הוא בסיס תיאורטי להמשך הדיון, ומטרתו להבהיר את המונחים הרלוונטיים ביותר להבנת המסמך ולהתמצאות בתחום של בינה מלאכותית וחינוך.

א – הגדרת בינה מלאכותית

התחום של **בינה מלאכותית** נתון למחקר מתמשך ולפיתוח מואץ בשלל דיסציפלינות והקשרים. מסיבה זו אין בנמצא כיום הגדרה מוסכמת אחת למונח 'בינה מלאכותית' (Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD], 2019). לעניינו של מסמך זה נשתמש באחת ההגדרות המקובלות והכוללניות לתחום. הגדרה זו קובעת שבינה מלאכותית היא כל שיטה לתכנות מחשבים המאפשרת להם להוציא לפועל מטלות או דרכי התנהגות שהיו מחייבות אינטליגנציה אילו היו מבוצעות בידי בני אדם. לפי הגדרה רחבה זו, מערכות מסווגות כבינה מלאכותית על פי יכולתן לדמות את ההתנהגות האנושית ואת המחשבה האנושית בשלל צורות, כלומר לשוחח, להסיק מסקנות, לפתור בעיות, לתכנן, לתפוס, לחוש ולנוע בדומה לבני אדם (Grinaker, 2019).¹ למעשה, התחום של בינה מלאכותית חופף בחלקו את התחום של **מדע הנתונים** (Data Science) שמתמקד בטכנולוגיות לאיסוף, עיבוד וניתוח מידע (למשל, חיזוי אנליטי שמתבצע בכלי בינה מלאכותית על בסיס מסד נתונים רחב) (גץ ואחרים, 2018).

ניתן לסווג מערכות בינה מלאכותית לשלוש קטגוריות לפי ביצועיהן: (א) **בינה מלאכותית צרה** (Artificial Narrow Intelligence) ANI המוגבלת לפעולה פונקציונאלית אחת ומסוגלת לבצע משימות מסוימות המוגדרות מראש (למשל, נהיגה אוטונומית, זיהוי תמונה, השתתפות במשחק שחמט); (ב) **בינה מלאכותית כללית או חזקה** (Artificial General Intelligence) AGI אשר מחקה את הבינה האנושית ואת יכולותיה ומכסה מגוון תחומים: חשיבה, פתרון בעיות וחשיבה מופשטת; (ג) **'בינת-על' מלאכותית** (Artificial Super Intelligence – ASI) שהיא בגדר שלב עתידני ובמסגרתו מנגנוני בינה מלאכותית צפויים להאפיל על יכולות הבינה האנושית בכל תחום. לפי מרבית ההערכות, כיום אנו נמצאים בהשלמת המעבר לשלב השני שבו האינטליגנציה של המכונות יכולה להשתוות לבני אדם (Strelkova, 2017; Stiehler et al., 2019).

אחת השיטות למדידת היכולות של מערכות בינה מלאכותית היא מדד האינטליגנציה הרעיוני (Notional Intelligence Scale) אשר מודד ארבע יכולות בסיסיות, זאת בדומה למדדים שבוחנים אינטליגנציה אצל בני אדם (Defense Advanced Research Projects Agency, n.d.):

¹ המבחן המסורתי המקובל לקביעה שמכונה מסוימת היא אינטליגנטית נקרא 'מבחן טיורינג' והוא בודק אם אדם המדבר בשפה טבעית עם ישויות הסמויות מעיניו יודע להבחין מי מהן אדם ומי מכונה. אם הנבחן אינו מסוגל להבחין בביטחון מי האדם ומי המכונה, הרי שהמכונה עברה בהצלחה את המבחן והיא תחשב אינטליגנטית. בשנים האחרונות השתנה מעט מוקד הפיתוח של תחום הבינה המלאכותית, ונדד מיכולת ניהול שיהיה חופשית לעבר יכולות עיבוד נתונים והסקת מסקנות, בעיקר בשל השימוש הגובר במאגרי ענק של נתונים.



תרשים 2 – סולם האינטליגנציה הרעיוני

ב – מושגים מרכזיים בתחום של בינה מלאכותית

בבינה מלאכותית תת-תחומים טכנולוגיים רבים, ובהם: למידת מכונה, למידה עמוקה, זיהוי תבניות, חישה מלאכותית, עיבוד שפה טבעית, וטכנולוגיות נלוות עם השפעה הדדית ביניהן כמו נתוני עתק ואימון מערכת. להלן מפורטים הסברים והגדרות המהווים את הבסיס להבנת התחום של בינה מלאכותית.

- **למידת מכונה (Machine Learning)** – התחום של למידת מכונה מאפשר לאלגוריתמים ללמוד באמצעות אימונים חוזרים וליצור תוצאות המשתפרות לפי היקף האימון והניסיון של האלגוריתם. לעומת התכנות הקלאסי, שבו המתכנת מפתח את המערכת כך שתדע לבצע פעולות מוגדרות מראש (Rule-Driven), בלמידת מכונה מאפשרים למכונה להתאמן על מאגרי נתונים גדולים ולגלות בעצמה את מאפייני הנתונים שיובילו לרמת הדיוק הטובה ביותר בסיווג. כך תגיע המכונה לביצוע מטלות בסיטואציות בלתי מוכרות שאפילו מומחה היה מתקשה לבצען (Data-Driven). יש מספר גישות ללמידת מכונה ובהן (א) למידה תחת הנחיה (Supervised Learning) שבה מדען הנתונים, הממונה על אימון המכונה, מבסס את הלמידה של המערכת על קטגוריות נתונים מוגדרות שאותן המערכת לומדת כדי לייצר תחזיות משלה; (ב) למידה ללא הנחיה (Unsupervised Learning) שבה המערכת הלומדת מפתחת מודל בלי להסתמך על קטגוריות מוגדרות מראש; (ג) למידת חיזוק (Reinforcement Learning) שבה המערכת לומדת מניסוי וטעייה ולא ממאגר מידע קיים (Lv & Tang, 2011).

- **למידה עמוקה (Deep Learning)** – תת-תחום של למידת מכונה ובו נעשה שימוש ברשת נוירונים מלאכותית (Artificial Neural Network) לשם ביצוע משימות מורכבות. המונח 'עמוק' מתייחס לכמות שכבות הנוירונים שבשימוש במערכת. השימוש בלמידה עמוקה שואף לחקות את הדרך שהמוח האנושי פועל בה, ולהשתמש ביעילות מבנה הנוירונים כדי להתגבר על אתגרים חישוביים מורכבים. זהו מודל מתמטי חישובי המורכב ממספר 'נוירונים' המסודרים בשכבות, וכל נוירון יכול לתקשר עם נוירונים אחרים במערכת, לבצע פעולות חישוביות פשוטות, ולהעביר את המידע שהסיק לשאר הנוירונים. במסגרת האימון, המודל של רשת הנוירונים משתפר כך שהמערכת לומדת לקבל החלטות מדויקות יותר (OECD, 2021a).

- **נתוני עתק (ביג דאטה – Big Data)** – אנו חיים כיום בעידן הביג דאטה, עידן שבו כמות הנתונים גדלה בצורה מהירה מאוד, והגידול והגיוון הרב בנתונים מקשים על ניהולם, על השליטה בהם ועל ניתוחם. תחום הביג דאטה עוסק בתיעוד, איסוף, ארגון, ניהול וחילוף משמעות של כמויות גדולות של נתונים. שלושת המאפיינים הנפוצים ביותר להגדרת אוסף נתונים כנתוני ביג דאטה הם מגוון (Variety), נפח (Volume) ומהירות (Velocity), והם נקראים גם שלושת ה-V. 'מגוון' מצביע על כך שהנתונים הם של קטגוריות מרובות, 'נפח' מעיד על כמויות גדולות של נתונים, והמושג 'מהירות' עוסק במהירות שבה הנתונים מגיעים ומעובדים (AI-Mekhlal & Khwaja, 2019). הבנה של המושג 'ביג דאטה' ושימוש בכלים שמבוססים עליו יאפשרו לממשלות ולחברות ליהנות מיתרונות הביג דאטה ולקבל ערך מוסף בתחומן.

- **כריית מידע (Data Mining)** – כדי לחשוף קשרים במאגרי נתונים נעשה שימוש בטכניקות סטטיסטיות. ואולם, טכניקות סטטיסטיות מסורתיות אינן יעילות כאשר הן מיושמות על כמויות עתק של נתונים. כריית נתונים היא אוסף של טכניקות אנליטיות ששואפות לנתח כמויות גדולות של נתונים, כלומר, להסיק דפוסים או מודלים מנתונים על ידי חיפוש אחר קשרים שקל להתעלם מהם או רמזים שמוכחים שיש ערך עסקי או מדעי. לפיכך ההגדרה של כריית נתונים היא ניתוח והפקה לא טריוויאלית של נתונים ממאגרי מידע לצורך גילוי מידע חדש ובעל ערך, בצורה של דפוסים וחוקים, ממערכות יחסים בין רכיבי נתונים (Hirji, 2001).
- **נתונים סינתטיים (Synthetic Data)** – נתונים סינתטיים הם מידע שסימולציות או אלגוריתמים ממוחשבים מייצרים כחלופה לנתונים מהעולם האמיתי. במילים אחרות, נתונים סינתטיים נוצרים בעולמות דיגיטליים ואינם נאספים או נמדדים בעולם האמיתי, אך הם משקפים נתונים מהעולם האמיתי, מתמטית או סטטיסטית. מחקרים מראים שמערכות בינה מלאכותית שמתבססות על נתונים סינתטיים יכולות לספק תחזיות ברמת דיוק דומה לאלו שמספקות מערכות שמתבססות על נתונים של אובייקטים או אירועים או בני אדם (Trembley et al, 2018).

4. טכנולוגיות בינה מלאכותית – תמונת מצב כוללת

פיתוחים טכנולוגיים בתחום הבינה המלאכותית מהווים גורמים משבשים שמביאים לשינויים הולכים וגדלים בתרבות בתזמננו. עידן הבינה המלאכותית מביא לידי מצב חדש שבו חיבוריות אינה נמדדת רק בקשר שבין אדם לאדם אלא גם כרכיב מהותי בקשר שבין האדם למכונה ובין המכונות לעצמן. בעידן הנוכחי האדם אינו הגורם היחיד שלומד ומתפתח. בתחומים רבים יותר ויותר ניתן למצוא כיום מכונות שלומדות, משתפרות ועושות את מלאכת האדם, וכפי שמסתבר במקרים רבים, אף טוב יותר מהאדם עצמו.

פרק זה סוקר בקצרה את תמונת המצב הנוכחית של טכנולוגיות הבינה המלאכותית. סקירת היישומים מתבצעת לפי שלושה צירים (טכנולוגי, יישומי וסקטוריאלי) והיא כוללת מגמות טכנולוגיות שנמצאות בשלבי צמיחה והתפתחות. מטרת הפרק היא לתת הקשר רחב להשפעות של יכולות הבינה המלאכותית על עולמנו, ולהוות מבוא לנושא של בינה מלאכותית בחינוך.

להלן המגמות הטכנולוגיות המרכזיות שכדאי לתת עליהן את הדעת בהקשר של בינה מלאכותית, מגמות שאינן מיוחדות לתחום החינוך:

טכנולוגיות בינה מלאכותיות בסיסיות

ניתן לסווג יישומי AI לפי תחומים טכנולוגיים, ובדרך זאת למפות את היסודות המשותפים לכל הכלים. במקרים רבים כלי AI יסווגו ביותר מקטגוריית מיון אחת. להלן חלוקה אפשרית לקטגוריות:

1. **חישה מלאכותית** – טכנולוגיה המתמקדת ביכולות של קליטת נתונים מהסביבה. להלן מספר דוגמאות: (א) זיהוי תווים אופטי (OCR) שמיושם, למשל בתוכנת המילון 'בבילון'; (ב) זיהוי דיבור – היכולת לקלוט דיבור אנושי ולפענח אותו, בלי להבינו בהכרח (למשל 'סירי', 'אלקסה' ו'שזאם'); (ג) זיהוי פנים – מיושם, למשל, במערכות זיהוי פנים של חשודים בביצוע עבירה.
2. **עיבוד שפה טבעית (Natural Language Processing – NLP)** – תת-תחום של אינטליגנציה מלאכותית ובלשנות החוקר את הבעיות הקשורות לעיבוד ומניפולציה של שפה טבעית, וכן הבנה של שפה טבעית על מנת לגרום למחשבים 'להבין' דברים שנאמרים או נכתבים בשפות אנושיות (משמש לתרגום, למשל, ב-Google Translate).
3. **טכנולוגיות לאיסוף מידע** – טכנולוגיות קריטיות למהפכת הבינה המלאכותית, מדעי הנתונים והרובוטיקה החכמה המתרחשת כיום. לא ניתן לדבר על למידת מכונה בלי לתת את הדעת לביג דאטה שמספק לה את הבסיס ללמידה, ומגיע ממחשבים רבים ומחיישנים מסביב לעולם.

סוגי יישומים מרכזיים מבוססי בינה מלאכותית

לצד סיווג היישומים לפי הפן הטכנולוגי העומד בבסיסם, ניתן למפות כלי AI לפי פעולות או שימושים מרכזיים. במקרים רבים כלי AI יסווגו ביותר מקטגוריית מיון אחת. להלן סיווג אפשרי של יישומים:

1. **עוזרים וירטואליים וצ'טבוטים תומכים** – הכוונה למערכות בינה מלאכותית שמבצעות הדמיית שיחה עם בני אדם ומצייתות לכללים אוטומטית בעזרת יכולות NLP. כלים אלו מייעלים תהליכי תקשורת שונים ומורידים את העלויות של מתן שירותים ושל תהליכי ייצור באופן כללי (Analytics Insight, 2020).

2. **מחשוב רגשי וניתוח רגשות בזמן אמת** – בתחום זה נכללים אלגוריתמים המסוגלים לנתח קול, הבעות פנים ואפילו אותות הנקראים מהמוח האנושי, כדי לזהות רגשות בזמן אמת. כיום תוכנות מסוג זה משמשות לרוב כדי להעריך את יעילותן של פרסומות.
3. **בינה מלאכותית מעצבת (Formative AI)** – סוג של טכנולוגיית בינה מלאכותית המסוגלת לייצר תוכן חדש (תמונות, סרטונים, מאמרים ועוד) על סמך תוכן קיים. טכנולוגיה זו אחראית על תוכן מסוג דיפ-פייק, תוכן שעשוי לגרום לדיסאינפורמציה, והיא צפויה להתגבר מאוד בחמש השנים הקרובות. לבינה מלאכותית מעצבת יש גם שימושים פופולריים חיוביים, מגילוי תרופות חדשות ועד הפקת יצירות אומנות (Gartner, 2020).
4. **החלטות אוטומטיות** – זמינות נתוני עתק בכל עת ובכל מקום תורמת למידע עדכני ומקיף ולקבלת החלטות אוטומטיות המבוססות על בינה מלאכותית. הדבר מוביל להפחתת עלויות תפעוליות, לייעול תהליכים ולשיפור יכולות מחקר (Compunnel Digital, 2021).
5. **רובוטיקה חכמה** – אלה מערכות בינה מלאכותית המשלבות רובוטים המסייעים בפתרון בעיות ומלווים את בני האדם במשימות שונות. רובוטיקה חכמה משולבת כיום בכמה תחומים ובהם שירותי בריאות, חינוך, תחום הרכב, קמעונאות וייצור (Analytics , 2020).

ההשפעה של עולם רווי בינה מלאכותית על תחומי החיים

בניתוח של מגמות הווה ועתיד מקובל לתת את הדעת על היבטים חברתיים, כלכליים, סביבתיים ופוליטיים. הרשימה שלהלן מפרטת את מגמות הבינה המלאכותית המרכזיות ומציגה את האופן שבו כלי AI משפיעים על תחומי החיים. במקרה זה מודגשת ההשפעה של מערכות בינה מלאכותית על ההיבטים החברתיים, הכלכליים והטכנולוגיים.

1. **ביטחון** – רובוטים בעלי יכולות בינה מלאכותית משוכללות, כמו מצלמות מתוחכמות או חיישנים ארוכי טווח המקושרים לתוכנות עיבוד מתקדמות, משפרים את רמת האבטחה בתחומי חיים שונים (Analytics Insight, 2020). דוגמה לכך היא העלייה בראייה הממוחשבת המשמשת לביסוס הביטחון האישי (במסגרת תמיכה במשימות של מעקב ביטחוני או משימות חילוץ ואיתור מכשולים). נוסף על כך, טכנולוגיות אלו משמשות בתחום הנדל"ן (סריקה או מיפוי שטח של בניינים), המאבק בפשיעה (מעקב אנושי וזיהוי פנים), הבריאות (מעקב יעיל אחרי סטטוס החולה), הלוחמה בטרור והסייבר (Compunnel Digital, 2021).
2. **רפואה** – בינה מלאכותית משפרת את איכות השירות לטופל, מייעלת תהליכים ומפחיתה את ההוצאות הכספיות של מוסדות רפואה ואנשי מקצוע (שלימוב, 2021). נוסף על כך, כלי בינה מלאכותית תורמים לצמצום טעויות אנוש, להפקת תובנות מניתוח נתונים, לייעול עבודת צוות והפחתת עלויות, לדיוק של אבחנות רפואיות, לפיתוח תרופות חדשות ולשיפור חוויית המטופל באמצעות רפואה מונעת ומותאמת אישית.
3. **תעשייה** – פיתוחים הנוגעים לבינה מלאכותית ורובוטיקה מסייעים להתגבר על היעדר כוח אדם מקצועי, מפשטים את תהליך הייצור ומייעלים אותו (Compunnel Digital, 2021). למשל, הם מסייעים בקבלת החלטות חכמות ומהירות בדבר עיצוב של מוצרים, ובהתאמה אישית של המוצרים ללקוחות.
4. **קמעונאות** – במגזר הקמעונאי כלי בינה מלאכותית מסייעים בחיזוי של צורכי לקוחות (Compunnel Digital, 2021): הם מאפשרים לחזות התנהגויות של לקוחות בהתבסס על נתוני מכירות, ולהתאים להם את המוצרים.
5. **חקלאות** – בינה מלאכותית תורמת לענף החקלאות (AgriTech) במתן פתרונות לאתגרים של מחסור בכוח עבודה, חוסר מקום פיזי, דיוק חיזוי, ניהול פסולת, ניהול מים וניהול ייצור. לדוגמה, בעזרת מערכות צילום ברחפנים ניתן לצלם שטחים חקלאיים ולזהות עשבים שוטים או לקבל המלצה על סוג הדברה ועל כמות הדברה נדרשת.
6. **פיתוח בר-קיימא** – ב-2015 אימצו מדינות העולם ובהן ישראל את 'אג'נדה 2030 – יעדי פיתוח בר-קיימא' של האו"ם הכוללת 17 יעדים שיש להטמיע במדינות החברות כדי להוביל להתפתחות עולמית בת קיימא עד שנת 2030. היעדים מכונים Sustainable Development Goals – SDGs, והם נועדו לקדם פיתוח וצמיחה ולמגר עוני, מתוך הגנה על כדור הארץ ובשם העיקרון שלא משאירים אף אחד מאחור. לבינה מלאכותית יש תפקיד בכל אחת מ-17 המטרות הללו ברמה כזו או אחרת (Zhang et al., 2021).

5. בינה מלאכותית בחינוך

במהלך השנים האחרונות פותחו יישומי בינה מלאכותית רבים בתחום החינוך. עם זאת, חסרות כיום ראיות אמפיריות מדעיות ברורות בנוגע למידת ההשפעה שיש למערכות אלו על תהליך הלמידה, בין היתר משום שהקשרים של הוראה ולמידה משתנים בין כיתות לימוד, בתי ספר, מערכות חינוך ומדינות (Tuomi, 2020).



על פי רוב, יישומי בינה מלאכותית בחינוך לובשים צורה וירטואלית ואינם משלבים רכיבים רובוטיים. אומנם במערכות מסוימות עשויים להיות מעורבים רכיבים פיזיים כגון חיישני שמע, מצלמות או חיבור למאגרי נתונים של האינטרנט של הדברים (IoT) שאוספים או צופים במידע סביבתי, אך עם זאת, יישומי בינה מלאכותית חינוכיים מגולמים לרוב במערכות לעיבוד תוכנה דיגיטלית (Goddard, 2020). בפרק שלהלן נציג מיפוי של היישומים המרכזיים הקיימים בתחום ה-AIEd כיום ונדון במקרים נבחרים מהעולם ששולבו בהם מערכות בינה מלאכותית בתחום החינוך. בסיום הסעיף יוצג הנושא של בינה מלאכותית כתחום דעת או אוריינות שיש לפתחה, ויובאו דוגמאות לתוכניות לימוד שונות מהארץ ומהעולם.

בינה מלאכותית לקידום חינוך: מיון היישומים לפי קטגוריות

כיום נעשה שימוש בכלי בינה מלאכותית חינוכיים בהיקף תחומים נרחב. אחת משיטות הסיווג של יישומי בינה מלאכותית מבחינה בין הכלים לפי הייעוד שלהם: למידה, הוראה, הערכה, ניהול וארגון. תחומים אלו חופפים במידה מסוימת, ולכן ייתכן שמערכת AI מסוימת תתאים ליותר מקטגוריה אחת.

דוחות שפורסמו בשנים האחרונות מסווגים את היישומים בצורות שונות. למשל, דו"ח NESTA מבחין בין יישומים שמכוונים לתלמיד, למורה או למשתמש מערכתי (Baker et al., 2019). דו"ח מאוחר יותר של האיחוד האירופי מסווג את היישומים למערכות להוראת תלמיד, מערכות לתמיכה בתלמיד, יישומים לתמיכה במורה ויישומים לשימוש מערכתי (Tuomi, 2020). על רקע סקירות אלו ולאור הדיונים בקבוצות המומחים סיווגנו את היישומים באופן הזה:

למידה	הוראה	הערכה	ניהול וארגון
למידה בסיוע צ'טבוטים	מערכות הוראה חכמות (Intelligent Tutoring Systems). (לדוגמה, באמצעות מחולל שאלות אוטומטי)	יישומים להערכת טקסטים ורבי מלל	מערכות לכריית נתוני חינוך לטובת הקצאת משאבים
מערכות למידה אדפטיביות (Adaptive Learning Systems)	עוזרי הוראה	יישומים למתן ציון אוטומטי	מערכות להערכה דיאגנוסטית (למשל, זיהוי לקויות למידה)
לימוד שפה (למשל, ניתוח הגיית מילים)	מערכות לניטור קשב ומצב רגשי של תלמידים	מערכות לניטור פורום תלמידים	יישומי בינה מלאכותית תומכי מחקר (למשל, ניטור מגמות במערכת החינוך)
תמיכה ברפלקציה אישית (למשל, דאשבורד עם אנליזות מטא-קוגניטיביות)	מערכות הוראה מבוססות דיאלוג (Dialogue-Based Tutoring Systems)	מערכות לזיהוי העתקות ובדיקת מקורות	מערכות לניטור שלומות
מערכות למידה ותמיכה בעזרת חוויה לימודית עשירה (Rich Learning Environment)		מערכות לניתוח מטלות כתיבה	יישומים לסיוע בבחירת מגמה או קורס
			מערכות ניהול למידה וציונים (לדוגמה, סיוע בבניית לוח זמנים)
			מערכות לשידוך תלמידים (ארגון למידה שיתופית)
			מערכות לניהול בית ספרי

יישומי בינה מלאכותית בחינוך – דוגמאות מהעולם

סעיף זה מספק תיאור נרחב יותר של כמה מכלי ה-AIED המפורטים בטבלה שלעיל. לצד תיאור המערכות השונות מובאות דוגמאות הנוגעות למקרים שבהם שולבו המערכות בהקשרים חינוכיים. עיקר הדוגמאות נוגעות לתהליכי שילוב המתרחשים בעולם, ובמקרים מעטים מובאות דוגמאות מישראל.

מערכות למידה אדפטיביות (Adaptive Learning Systems)

מערכות למידה המסוגלות ליכולות התלמיד נחשבות להבטחה הגדולה של תחום ה-AIED. מערכות ממוחשבות אדפטיביות מבקשות להתאים את הצגת הידע ואת דרכי המדידה לצורכי הלמידה הייחודיים של כל תלמיד לשם יצירת למידה משמעותית (Kara & Sevim, 2013). לעומת מערכות למידה אדפטיביות שאינן מבוססות בינה מלאכותית, למערכות המבוססות בינה מלאכותית יש ביצועים טובים יותר בדרך כלל. יש מערכות אדפטיביות הנוגעות בתחומי דעת רבים, ויש הייעודיות לתחום דעת מסוים (השכיח ביותר הוא מתמטיקה, ואחריו יסודות השפה). יש מערכות שפותחו לשימוש בבתי ספר, ויש שפותחו לשימוש בהשכלה הגבוהה, במחלקות הדרכה ואף ללמידה אישית (ברק-מדינה, 2020). לעומת כלים מבוססי בינה מלאכותית המתאפיינים בפעולה 'מאחורי הקלעים' (למשל, פלטפורמות להערכה אוטומטית), מערכות למידה אדפטיביות מבוססות בינה מלאכותית מאפשרות חוויית למידה שונה בתכלית מהשיעור הפרונטלי המסורתי.

דוגמאות ליישומים: SquirrelAI, Knewton, TailorED, Cognii, Mathiau, Cerego, 4littletrees, ALEKS.

דוגמאות מהעולם – הולנד וספרד: 2800 בתי ספר יסודיים בהולנד (45% מכלל בתי הספר במדינה) ועוד 1000 בתי ספר בספרד נעזרים במערכת למידה אדפטיבית מבוססת בינה מלאכותית בתחומי החשבון, הקריאה, הדקדוק והאיות. השימוש במערכת מתבצע כך: תחילה המערכת מספקת לתלמידים שאלות לפי התוכן והרמה המתבקשים, ולאחר המענה היא מספקת להם משוב, בוחרת משימות לכל תלמיד לפי רמתו, מנתחת את התוצאות ומדווחת כשהתלמיד בשל לעבור לנושא הלימוד הבא. לבסוף המערכת מציגה למורה ולתלמיד לוח ביצועים והתקדמות. ניתוח ממצאי השימוש במערכת הראה שיפור במיומנויות התלמידים בתחום החשבון לאחר חצי שנה, ושיפור שולי באיות לאחר שנה, אך הממצאים אינם עקביים לאורך השנים (Molenaar et al., 2017).

אנליטיקות למידה (Learning Analytics)

אנליטיקות למידה הן מערכות לתייעוד ואיסוף נתונים על הלומדים בדרך שתאפשר לעבד את הנתונים הללו ולהפיק דוחות שיתמכו בקבלת החלטות הנוגעות לתחום לימוד מסוים, כדי לשפר את הלמידה. בחלק מהמקרים מערכות אלו כוללות כלי בינה מלאכותית, אלגוריתמים של למידת מכונה או כריית מידע (Educational Data Mining – EDM) אשר משפרים את יכולות הניתוח והניבוי שלהן. מערכות של אנליטיקות למידה מקושרות בדרך כלל לפלטפורמות למידה מקוונות (LMS) שבהן ניתן לאסוף נתונים של הלומדים (למשל קצב ההתקדמות, הביצועים ומשך העבודה) (ברק-מדינה, 2020; Contact North, 2018).

דוגמאות ליישומים: Moodle (כולל LMS), Edgcanvas, Solutionpath, LOCO-analyst, Beestar, xPro, מערכות LMS (כולל Moodle) ומערכות למידה מקוונות שונות.

דוגמאות מהעולם – ארצות הברית: השימוש באנליטיקות למידה בארגונים חינוכיים נתון לדיון ער בעשור האחרון. עם זאת, בסקירת הספרות שפרסם ה-OECD נמצאו בעיקר ניסיונות לשילוב אנליטיקות למידה בלימודים גבוהים ואילו בבתי הספר לא אותרו דוגמאות לאימוץ שיטתי והוליסטי של טכנולוגיה זו (מידת השילוב של אנליטיקות למידה בבתי ספר נמדדת לפי מספר המורים שמשתמשים בכך או ששינו את התנהלותם בעקבות הטמעת הטכנולוגיה) (OECD, 2021a).

מקרה מפורסם שנוגע לאיסוף מקיף של נתוני חינוך ולדילמות האתיות הכרוכות בו הוא המקרה של עמותת InBloom האמריקאית. העמותה פיתחה מערכת לניהול למידה שאוספת נתונים על תלמידים כדי להפיק מהם משמעויות למידה שונות. כמאה מיליון דולר הוקדשו לפיתוח המערכת, אך השקעה זו ירדה לטמיון בשל מחאת הורים שהציפה את הבעיות הכרוכות בשימוש המוגבר בנתוני התלמידים, והעלתה חשדות בנוגע למכירת פרטי התלמידים לחברות למטרות שיווק ופרסום (Schaffhauser, 2017).

פלטפורמות בינה מלאכותית המשמשות לניהול פדגוגי

פלטפורמות מבוססות בינה מלאכותית המשמשות לניהול תהליך הלמידה, למשל, כלים שממליצים על ציון תלמיד ויכולים להציג תלמיד ציון ומשוב באופן אוטומטי. פלטפורמות אלו מקילות על המורים את הנטל שבניהול תהליך הלמידה, ומפנות להם זמן יקר לביצוע משימות אחרות (Chen et al., 2020).

דוגמאות ליישומים: Ecree, TurnItIn, Knewton.

מערכות הוראה חכמות (Intelligent Tutoring Systems – ITS)

אלה הן פלטפורמות מבוססות בינה מלאכותית אשר מתמקדות בביצוע תהליכי הוראה. בעיקרו של דבר, מדובר במערכות הוראה חכמות שבאות לידי ביטוי ביישומים שונים כמו רובוטים חכמים המשמשים כעוזרי הוראה וכעמיתי למידה (Cobots – Collaborative Robots) לביצוע משימות הוראה שונות (למשל, אימון בקריאה והגייה של מילים), או צ'טבוטים ודמויות מונפשות המסוגלים לקיים דיאלוג עם התלמיד, לספק מענה לשאלותיו ולהציע לו חומרי לימוד במקרה הצורך (Chen et al., 2020).

דוגמאות מהעולם – ארצות הברית: כיום נעשה שימוש במערכת ITS ללימודי מתמטיקה בקרב 600,000 תלמידים במסגרת מערכת החינוך העל-יסודית בארצות הברית. מניחה שבוצע בתהליך ההטמעה נמצא כי למערכת יש השפעה חיובית על הישגי התלמידים בתחום האלגברה (מהשנה השנייה שלאחר ההטמעה): הציון החציוני השתפר ב-8 נקודות מתוך 100 (תוקף סטטיסטי לשינוי התקבל רק בבתי ספר תיכוניים ולא בחטיבות הביניים) (Pane et al., 2014).

מערכות הערכה ובדיקת משלוח

מדובר בפלטפורמות מבוססות בינה מלאכותית המיועדות לביצוע תהליכי הערכה (לעומת מערכות למידה אדפטיביות אשר מבצעות הערכה של התלמידים כחלק מתהליך רחב יותר). למשל, מערכות המשתמשות באלגוריתמים מתקדמים לעיבוד שפה טבעית (NLP) ומספקות הערכה, ציון ומשוב לטקסט כתוב, לכותר דיבור, להבנת הנקרא ועוד (היישום אינו בעברית); או למשל, מערכות המאפשרות ליוזם קבלת משוב מתלמידים בעזרת בוטים. השימוש במערכות כגון אלו מפנה למורים זמן רב (Chen et al., 2020).

דוגמאות ליישומים: Gradescope, Hubert.ai, Perason's NLP system.

מערכות למידה ותמיכה באמצעות חוויה לימודית עשירה (Rich Learning Environment)

אלה מערכות משמשות ביכולות בינה מלאכותית כדי לבסס חוויה לימודית שונה אשר מגבירה את המעורבות של הלומדים. קטגוריה זו רחבה יחסית וכוללת מערכות כגון משחקי מחשב המשרתים למידה, רובוטים חברתיים המשתמשים ביכולות כמו זיהוי קול, פנים ורגש, כלים מתקדמים של אוצרות מידע או חיפוש תומך חקר, כלים של מציאות רבודה (Augmented Reality), בוטים או אוואטרים (סוכנים וירטואליים) של דמויות, ומדריכים וירטואליים (ברק-מדינה, 2020).

דוגמאות ליישומים: Semantris, Kidense, Framspacse, Quizlet.

דוגמאות מהעולם בנושא רובוט חברתי – קזחסטן: בשנת 2017 החליטה ממשלת קזחסטן על מעבר מכתב קירילי לכתב לטיני. המעבר מתוכנן להימשך כשבע שנים, ולמערכת החינוך הפורמלית בקזחסטן ניתן תפקיד מרכזי בתהליך. כחלק ממהלך זה בחן צוות חוקרים כיצד ניתן להשתמש ברובוטים חברתיים (רובוט המציג 'רגשות' דרך הממשקים החיצוניים שלו) כדי לתמוך בתלמידים ולסייע להם בלמידת כתב היד החדש. הפרדיגמה שנבחרה היא 'למידה על ידי הוראה' ובמסגרתה התלמידים הם שלימדו את הרובוט. השיטה השיגה תוצאות דומות לאלו של למידה באמצעי קצה כגון טאבלט, או של למידה עם מורה, אך עם זאת נמצא כי ללמידה באמצעות הרובוט יתרונות ניכרים: נמצא כי הלמידה עם הרובוט היא שיטת הלמידה המועדפת על התלמידים ומגבירה את המוטיבציה שלהם בלמידה (Zhexenova et al., 2020).

דוגמאות מהעולם למתן מענה לדיסקליציה – ספרד: מידת הקושי באבחון דיסקליציה היא תלויה שפה, ובשפות שבהן הקשר בין האות הכתובה ובין אופן הגייתה איננו קבוע (למשל, אנגלית), התלמידים הסובלים מדיסקליציה עשויים להתקשות יותר בלימודי הקריאה. בשנים האחרונות חוקרים בספרד ובארצות הברית פיתחו מערכת מקוונת מבוססת למידה מכונה לאבחון דיסקליציה בקרב דוברי ספרדית. המערכת הצליחה להגדיל את הפוטנציאל למתן מענה מהיר ותמיכה מותאמת לתלמידים, ונמדדו לה יותר מ-80% הצלחה (Rello et al., 2016). מערכת אחרת שפותחה מסייעת ברכישת כישורי קריאה בקרב תלמידים עם דיסקליציה (Fan et al., 2017).

דוגמאות מהעולם למתן מענה לדיסקלקוליה – גרמניה: שלא כמו בדיסקליציה, לתלמידים הסובלים מדיסקלקוליה (קושי בהבנת מספרים וחישובים מתמטיים) יש מעט מאוד טכנולוגיות חדשות שמספקות תמיכה. עם זאת, צוות מחקר בגרמניה פיתח מערכת מבוססת בינה מלאכותית לתמיכה בתלמידים עם דיסקלקוליה. המערכת פועלת כך: בשלב הראשון היא משמיעה תרגילים פשוטים והתלמיד נדרש להציג פתרון חזותי בעזרת האצבעות, ובשלב השני מצלמה מנתחת את הפתרון שהציג התלמיד כדי לקבוע אם החישוב נכון או שגוי (Erfurt et al., 2019). המערכת קיבלה ביקורות חיוביות. יש לציין כי בדרך כלל השימוש במערכת מתבצע בליווי של מתרגל מיומן, ולכן לתלמידים יש גישה מוגבלת אליה.

מערכות לניטור קשב ומצב רגשי של תלמידים

סוג זה של מערכות מבוססות בינה מלאכותית עוסק בניטור הקשב והמצב הרגשי של תלמידים למטרות שונות. להלן הרחבה בנושא של מערכות המסייעות בשמירה על תשומת לב:

הכושר לשמור על תשומת לב נתון לשחיקה מתמשכת בחברה בת-זמננו. כיוון שתשומת לב היא רכיב בסיסי ביצירת מעורבות בלמידה (D'Mello, 2018), הפגיעה ביכולת זו מציבה קשיים ומורכבויות חדשות בכל מה שנוגע לקיום תהליך למידה רציף ויעיל. כדי להדגים טענה זו מספיק להציג מחקרים שמראים כי בזמן למידה דיגיטלית תלמידים חווים איבוד תשומת לב (Zone out) ב-30% מהזמן, וכי לתופעה זו השלכות שליליות על תוצאות הלמידה (Randall et al., 2014). מעורבות בלמידה היא פרמטר דינמי ומורכב; היא נוטה לדעוך ככל שהשיעור מתקדם ועייפות התלמיד גוברת, והיא מושפעת ממאפיינים אישיותיים שונים. כיום יש טכנולוגיות שיכולות לבצע הסתגלות דינמית לצורכי התלמיד המשתנים, באמצעות מעקב רציף אחר מעורבותו והתאמת ההוראות הניתנות לו כדי להתמודד עם איבוד תשומת הלב. טכנולוגיות כגון אלו מסוגלות להתמקד במרכיב מסוים של מעורבות או למדוד את מעורבות התלמיד בצורה הוליסטית. יש מקרים שבהם כלי AI מעניקים יתרון משמעותי למערכות מעין אלו.

דוגמאות מהעולם – ארצות הברית וקנדה: מודל AAA (Advanced, Analytic, Automated) לפיתוח טכנולוגיות למידה מציע גישה לשיפור המעורבות של התלמיד. המודל מציע תכנון מערכות למידה מבוססות בינה מלאכותית שעוקבות אחר מצבים רגשיים וקוגניטיביים המתעוררים לאורך כל תהליך הלמידה, ומשנות את הלמידה בתגובה לכך. בעשור האחרון מחקרים רבים בחנו יישומים מגוונים של מודל AAA בטכנולוגיות משחק ו-ITS בלימודי מדעים ומתמטיקה. במסגרת זו, המידע על מידת מעורבות התלמידים נאסף בעזרת מצלמות למעקב אחר המבט, מיקרופונים, לוחות לחץ וחיישנים פיזיולוגיים (D'Mello et al., 2018).

במחקר שהתבצע בקנדה בהשתתפות 74 סטודנטים בחנו מערכת ITS ללימוד ביולוגיה. המערכת עשתה שימוש בחיישני מעקב אחר עיניים לזיהוי פיזור הדעת שמוביל, בדרכו, להישגים לימודיים נמוכים, ונמצא שהמערכת הצליחה בזיהוי פיזור דעת (Smallwood et al., 2008). יש לציין שאף שהמגמה של שימוש בחיישנים הולכת וגוברת, רוב היישומים אינם משתמשים כיום בחיישנים אלא נעזרים בנתוני שימוש במערכת (Log Files) העוקבים אחר כל פעולה שעושה התלמיד. כך, למשל, מחקר מסוים שבחן כישורי חקר מדעי בקרב 144 תלמידי חטיבת ביניים בארצות הברית עשה שימוש במערכת למידה דיגיטלית מבוססת למידת מכונה ומודל AAA בהסתמכות על נתוני שימוש התלמידים במערכת (וללא חיישנים). ממצאי המחקר הראו שהמערכת הצליחה לזהות מקרים של איבוד קשב (Gobert et al., 2015).

מערכות לניטור שלומות (well being):

סוג זה של מערכות מבוססות בינה מלאכותית עוסק בניתוח המצב הרגשי והחברתי של התלמיד על סמך נתונים מגוונים כמו שאלונים וניטור פורומים (Luckin et al., 2016).

דוגמה מהעולם למערכת זיהוי מצוקות רגשיות – ישראל: המערכת MoodKnight מבוססת למידת מכונה ועיבוד שפה טבעית, ונועדה לזיהוי מצוקות רגשיות מסוג בדידות, דימוי עצמי נמוך, חרדה, דיכאון, אלימות וחשיבה אוברדנית בתכנים כתובים של בני ובנות נוער. המערכת מנתחת נוכחות של מצוקה ברמת דיוק גבוהה, ויודעת לשלוח לגורם ייעוץ מוסמך חייו על קיום מצוקה ועל רמת חומרתה. השימוש במערכת ככלי לקבלת החלטות מאפשר איתור מצוקות לפי רמת חומרתן והפניית התלמיד לגורמי ייעוץ חינוכי (או לגורמי חירום במצב של סכנת חיים). המערכת פועלת בעברית ובאנגלית ופותחה במימון רשות החדשנות וישראל דיגיטלית.

מערכות לחיזוי נשירה ומניעתה:

התחום של חיזוי ומניעת נשירה (תחת הקטגוריה של 'ניטור שלומות') הוא תחום מחקר מסקרן שנמצא בהתפתחות מאצת. המטרה היא לזהות תלמידים בסיכון לנשירה לצורך פעולה התערבותית אשר תמנע את הנשירה. על היקף תופעת הנשירה בישראל ניתן ללמוד ממחקר שפרסם מרכז אדוה בשנת הלימודים תשע"ה (2014–2015). המחקר מתאר שיעור נשירה של 20% מהתלמידים לפני סוף כיתה י"ב. לנשירה מבית הספר עשויות להיות השלכות מרחיקות לכת על המשך חיי התלמיד, כגון הכנסה נמוכה, בריאות ירודה וסיכויי מאסר גבוהים יותר (Rumberger et al., 2017). על כן סיום בית הספר התיכון נמצא בעדיפות גבוהה במערכת החינוך בארץ. באמצעות חיזוי מדויק ואיתור מוקדם של תלמידים עם מאפייני נשירה, ניתן לספק משאבים שיכולים לסייע להם להצליח להשלים 12 שנות לימוד (Bowers & Zhou, 2019).

דוגמה מהעולם לכלי חיזוי נשירה – פינלנד: בפינלנד 50% מהתלמידים בוחרים להמשיך בשלב התיכון בלימודים מקצועיים. לתלמידים אלה תוכנית מסודרת עד קבלת ההסמכה בתחום המקצועי שבחרו ללמוד. כיום מערכת החינוך בהלסינקי שוקדת על מערכת מבוססת בינה מלאכותית לחיזוי ולמניעת נשירה מלימודים מקצועיים. מטרתה העיקרית היא לזהות מוקדם ככל האפשר את הנסיבות ואת שלבי הלמידה שבהם התלמידים יזדקקו לתמיכה, ולספק להם תמיכה אוטומטית וחצי אוטומטית (אימון אישי דרך הנייד). המדדים להתראה מוקדמת ולהתערבות מבוססים על (א) התקדמות בתוכנית הלימודים האישית; (ב) מידת השימוש בסביבות הלמידה; (ג) שאלונים שבועיים; (ד) משוב תלמידים הניתן באמצעות המערכת. נכון לשנת 2021 המערכת עדיין בפילוט וטרם פורסם מידע על מידת יעילותה (OECD, 2021b).

דוגמה מהעולם לכלי חינוכי נשירה – ארצות הברית: במחקר שנערך ב-73 בתי ספר בארצות הברית השתמשו במערכת התערבות, ניטור והתראה מוקדמת לנשירה. לאחר שנה זוהתה ירידה בהיעדרות כרונית של תלמידים ובכישלון בשיעורים, אך לא נמצאה השפעה על השעיה או שיפור בממוצע הציונים (Faria et al., 2017). באופן דומה, בניסוי שנעשה ב-41 בתי ספר תיכוניים בארצות הברית שהוקצה בהם איש צוות לעקוב אחר מדדי ההתראה המוקדמת בכיתה ט' ולספק תמיכה לתלמידים, פחתו ההיעדרויות הכרוניות אך לא היו הבדלים ניכרים במדד הכישלון בשיעורים (Mac Iver, 2013).

מערכות חכמות לניהול בית הספר

מערכות מבוססות בינה מלאכותית שעוסקות בנייתו המצב בבית הספר ובמתן המלצות על פי מידע שנאסף ממקורות שונים (למשל, חיישנים) ותחשיב של פרמטרים שונים.

דוגמה מהעולם לבתי ספר רוויי חיישנים – סיין: מחודש יוני 2021 אימצו 250 בתי ספר בסיין מודל מבוסס IoT, והם מצוידים בחיישנים האוספים מידע לצורכי ניהול משאבים ותהליכי למידה (OECD, 2021a). לפני אימוץ מודל זה בוצע פיילוט מעשי ובמסגרתו נאספו ונותחו נתונים שונים (למשל, מידת הצפיפות במסדרונות בית הספר) שאפשרו ניהול אוטומטי של פרמטרים סביבתיים בבית הספר, כגון אבטחה, תאורה, איכות מים ואיכות אוויר. יתר על כן, בפילוט נעשה שימוש במכשירים לבישים אשר אספו נתונים פיזיולוגיים כמו טמפרטורת הגוף וקצב דופק התלמיד, וכן נתוני למידה, כדי לתמוך במורים ובתלמידים. מדובר בטכנולוגיות שמספקות נתונים ליצירת דיוקן מפורט והוליסטי של התלמיד שכולל נתונים כמו משמעת, רמה לימודית, בריאות גופנית ונפשית, טעם אסתטי ופרקטיקה חברתית, וכן מצבים רגשיים והיבטים חברתיים כמו מעורבות למידה, על ידי טכנולוגיות לניתוח קול וזיהוי פנים. איסוף הנתונים של התלמידים שימש לצורך שיפור ההבנה של מצב הלמידה ולמעקב אחר ההתפתחות של התלמיד, כדי לעזור למורים להתאים את ההוראה לצרכיו.

לעומת זאת, יש לציין כי בשנת 2019 אסרו רשויות בסיין על שימוש בטכנולוגיה של מכשיר ראש לביש לשם הערכת רמת קשב התלמיד, מחשש לפגיעה בפרטיות. מדובר בסרט שמוצמד לראש התלמיד ומזהה אותות חשמליים במוח, ומערכת מבוססת בינה מלאכותית המנתחת אותם ומתרגמת אותם לציון רמת הקשב שניתן לכל תלמיד. אורות בחזית סרט הראש צבע לכל רמת קשב, וכך המורים יכלו לזהות מי מהתלמידים נתון ברמת קשב נמוכה. במקרה נוסף בסיין הופסק השימוש במערכת מבוססת בינה מלאכותית לזיהוי מידת קשב בלחץ ההורים. מערכת זו נתנה ציון קשב על סמך צילום פני התלמיד ומנח הגוף שלו. כיום טכנולוגיה זו משמשת לרישום נוכחות אוטומטי. כפי שעלה בבדיקה של ה-OECD, בשני המקרים לא נמצאו פרסומים של המודלים המקשרים את הנתונים שנאספו להערכת קשב (OECD, 2021b).

חינוך לעולם רווי בינה מלאכותית

לצד המהלך הטכנולוגי שבמסגרתו נעשה שימוש בכלי AIED לקידום החינוך, למערכות חינוך יש אחריות להתאים את התרבות הארגונית והתכנים העיוניים והפדגוגיים לעולם חדשני ורווי בינה מלאכותית. להלן סקירה של מגמות מרכזיות הנוגעות לתחום זה לפי שלושה נושאים: (א) תגבור לימודי המקצועות הריאליים; (ב) לימודי אתיקה של בינה מלאכותית; (ג) הקניית אוריינות בינה מלאכותית ברמה הטכנולוגית.

תגבור ומיקוד המקצועות הריאליים

סקר חברות שערך מכון נאמן בנושא בינה מלאכותית ונתונים מציג פער בין הביקוש וההיצע בעולם העבודה (גץ ואחרים, 2018). מערכת החינוך בישראל יכולה לסייע בסגירה של פער זה, אך היא מתקשה בכך בשל מחסור בכוח אדם המתאים להוראת תחומי הידע הנדרשים – מתמטיקה, סטטיסטיקה, למידה ממוחשבת והנדסת תוכנה (Zhang et al., 2021). בסקר שערך מכון נאמן מציעים לשלב את הנושאים שלעיל בתוכנית הלימודים מוקדם ככל האפשר, להשקיע בחינוך בתחום כבר מגיל צעיר יחסית, ולעודד תלמידים להמשיך לכיוון המקצועות הריאליים. עולה גם הצעה לצמצם פערים בעיקר בקרב נשים, אוכלוסיות מוחלשות ופריפריה: קידום אוריינות נתונים וסטטיסטיקה, שלילת סטיגמות שגויות ביחס למתמטיקה, חיזוק השכלה מדעית ויזמות, וקידום יכולות מחקר עצמאי (של תלמידים וצוותי הוראה) במערכת החינוך.

לימודי אתיקה של בינה מלאכותית

קצב ההתפתחות המואץ המאפיין תחומים טכנולוגיים רבים מקשה על ביסוס תפיסות ונורמות אתיות עדכניות ורלוונטיות. בתוך כך, הצורך במתן מענה לסוגיות אתיות עולה שוב ושוב, ובדחופות גדולה יותר ככל שטכנולוגיות משבשות הופכות לחלק בלתי נפרד מחיי היום-יום. עליית טכנולוגיות הבינה המלאכותית תרמה להבנה שהוראת אתיקה חייבת להיות חלק בלתי נפרד מתוכניות הלימודים, כדי לחנך את התלמידים ולהציג להם את המשמעויות שטכנולוגיות אלו טומנות בחובן (Zhang et al., 2021). כיום ישנן שתי גישות בנוגע להוראת אתיקה בהקשרי בינה מלאכותית: העברת קורסי אתיקה עצמאיים, ושילוב אתיקה בקורסים בתוכנית הליבה של מדעי המחשב.

הקניית אוריינות בינה מלאכותית ברמה הטכנולוגית



השימוש הנרחב בבינה מלאכותית בחיי היום-יום הביא בתי ספר בעולם ללמד בינה מלאכותית כתחום דעת. ניתן להסתכל, למשל, על המודל 'התקדמות בלמידת חשיבה חישובית' כמייצג רמות העמקה בלימודי בינה מלאכותית (Lee et al., 2011). על פי מודל זה, הרמה הבסיסית עוסקת בכישורי שימוש (Use), רמה מתקדמת יותר עוסקת בכישורי אימון מערכות (Modify), והרמה הגבוהה עוסקת ביצירת מערכות (Create). לדוגמה, קורס מקוון הפתוח לציבור הרחב בשם 'אלמנטים של בינה מלאכותית' שפותח באוניברסיטת הליסינקי מספק היכרות עם בינה מלאכותית. בקורס זה השתתפו כבר מאות אלפי אנשים מרוב מדינות העולם. הקורס עוסק בכישורים הכרחיים לשימוש מושכל במערכות בינה מלאכותית. כדי להשיג רמה זו של יכולת נדרש פחות משבוע של למידה (Tuomi, 2020). לעומת זאת, יצירת מודלים חדשים ומתקדמים של בינה מלאכותית דורשים ידע תיאורטי מתקדם ומיומנויות מעשיות. אף על פי כן בעזרת סביבות פיתוח המיועדות לתלמידים בגילאים צעירים, לימוד ברמת אימון ואף ברמת יצירה יכול להיות מושג כבר בבית הספר היסודי (Shamir & Levin, 2021).

יש לציין שאין תמימות דעים בקרב חוקרים לגבי מידת התרומה של לימודי בינה מלאכותית לצורכי בוגר מערכת החינוך. על פי טואמי (Tuomi, 2020), טרם נוצר קשר ברור בין לימודי בינה מלאכותית לבין הרלוונטיות לעתיד התלמיד. נכון לעכשיו, מרבית האומדנים הנוגעים לצורך בכשירות בינה מלאכותית מבוססים על הנחות עבר ועל השלכה שלהן לגבי העתיד.

6. מדיניות בינה מלאכותית

מדיניות בין-לאומית

בניסיון להתגבר על האתגרים הייחודיים לטכנולוגיות בינה מלאכותית, פורומים שונים בעולם מקדמים אינטרסים משותפים בשיתופי פעולה בין-לאומיים. מדינות וארגונים בין-לאומיים החלו לנסות ולהתמודד עם אתגר הבינה המלאכותית באמצעות הגדרת מדיניות וניסוח עקרונות וערכים שיוטמעו במערכות מבוססות בינה מלאכותית עוד בשלב הפיתוח. לדוגמה, האסדרה הכללית להגנה על מידע (General Data – GDPR Protection Regulation) היא רגולציה הגנת הפרטיות האירופית ובה הוראות המחייבות גופים האוספים ומעבדים מידע אישי (בר זיהוי) המצוי ברשת על אודות אזרחי האיחוד האירופי בכל נושאי הפרטיות ואבטחת המידע. מטרת הרגולציה להגן על האזרחים ולהחזיר להם את השליטה ואת אפשרות הבחירה בכל הנוגע למידע האישי שלהם ולחשיפה שלו. הרגולציה קובעת שורה של סנקציות חמורות (קנסות בגובה של 20 מיליון יורו או 4% מהמחזור העסקי של הגורם המפר, לפי הגבוה מביניהם). נוסף על כך, ארגונים אשר לא יעמדו בהוראות ה-GDPR יתקשו לעבוד מול גופים אירופיים, מכיוון שעמידה בתקנות ה-GDPR היא תנאי לעבודה מולם (GDPR, n.d).

בשנת 2020 הושקה שותפות גלובלית בבינה מלאכותית (Global Partnership AI – GPAI) על ידי הפורום הכלכלי העולמי. השותפות דוגלת בהאצת האימוץ של בינה מלאכותית באופן שקוף, הוגן ואמין בכל העולם, ובפיתוח בינה מלאכותית בדרך התואמת זכויות אדם, חירות וערכים דמוקרטיים. המדינות השותפות בפורום, לרבות ישראל (שהצטרפה בנובמבר 2021), יקבלו גישה למחקרים בין-לאומיים בתחום ה-AI ויוכלו להשפיע על עיצוב המדיניות הבין-לאומית ולהכיר מקרוב תהליכים של מדינות אחרות בתחום.

בשנת 2021 הוכרז על יוזמת GAIA, פלטפורמת שיתוף פעולה חדשה ורבת שותפים שנועדה להאיץ את הפיתוח והאימוץ של כלים חכמים ברחבי העולם ובמגזרי התעשייה. GAIA מאגדת יותר ממאה חברות מובילות, ממשלות, ארגונים בין-לאומיים, מלכ"רים ואנשי אקדמיה המאוחדים במחויבות למקסם את היתרונות שבבינה מלאכותית ולמזער את הסיכונים שבה (בליזבסקי, 2021).

מדיניות לאומית בעולם

מדינות רבות מקדמות כיום מהלכים אסטרטגיים-מדיניים הנוגעים לשילוב בינה מלאכותית, ואולם לא כולם נוגעים לתחום החינוך. בתרשים שלהלן תמצית של מהלכים לאומיים המתרחשים כיום ב-50 מדינות (HolonIQ, 2020).

Global AI Strategy Landscape

50 National Artificial Intelligence Policies as at February 2020.

Argentina Drafting the 'National Plan of Artificial Intelligence'. Falls under the Innovative Argentina 2030 Plan and the 2030 Digital Agenda.	Australia November 2019, AI Roadmap focused on specialization in health, infrastructure and natural resources. Planning for an additional 16,000 AI specialists by 2030.	Austria June 2019, 'Artificial Intelligence Mission Austria 2030 (AIM AT 2030)'. Outlines seven fields for which AI will be critical	Belgium March 2019, 'AI 4 Belgium' launched and includes seven major objectives.	Brazil Consultation period ended January 2020. Building a network of eight research facilities focused on artificial intelligence.
Canada 2017 federal budget announced five-year, \$125m plan. Led by CIFAR. Research and talent focus. First National AI Strategy.	Chile Expected April 2020. Ministry of Science, Technology, Knowledge, and Innovation created a committee of 10 experts to develop.	China July 2017, China launched the most comprehensive AI strategy globally with 2030 targets for a \$1T RMB AI industry.	Colombia November 2019, first draft issued for 'National Policy for Digital Transformation'. Medellín to become an AI & Robotics Centre of Excellence.	Czech Republic May 2019, 'National Artificial Intelligence Strategy of the Czech Republic' was launched.
Denmark March 2019, Denmark announced the 'National Strategy for Artificial Intelligence' with four key objectives.	Estonia – Kratts Strategy May 2019, Estonian AI experts, led by government CIO produced a roadmap, later adopted as the Estonian National AI Strategy in July 2019.	Finland June 2019, 'Leading the Way into the Age of Artificial Intelligence' identified 11 key actions following May 2017 Steering Group announcement.	France €1.5 billion plan announced in 2018 influenced by the 'Vilani Report' to transform France into a global leader in AI.	Germany €3 billion plan announced Nov 2018 with a dedicated AI strategy to make Germany & Europe a global leader in AI.
Hungary October 2019, Hungary announced an AI Action Plan, the first pillar of a national AI strategy, expected in 2020.	India June 2018 working paper on using AI to ensure social growth, inclusion and positioning the country as a leader in AI.	Indonesia Indonesia Artificial Intelligence Society (IAIS) inaugurated under Smart Indonesia in October 2019. National Strategy expected in 2020.	Ireland Irish Economic Development Agency led process. AI Master program launched in 2018 and is 100% industry driven.	Israel Innovation Authority, tasked with AI policies, has warned that a strategy is needed to prevent falling behind.
Italy March 2018, AGID released a White Paper called 'AI at the service of citizens,' which was edited by the AI Task Force.	Japan March 2017, Japan's AI policy, the 'Artificial Intelligence Technology Strategy', was announced second only to Canada with 'Society 5.0'.	Kenya January 2018, government announced task force to create a five-year strategy on national use of emerging technologies.	Lithuania April 2019, Artificial Intelligence Strategy announced 'to modernize and expand the current AI ecosystem and ensure that the nation is ready'	Luxembourg May 2019, launched 'Artificial Intelligence: a strategic vision for Luxembourg'.
Malaysia 2018, Malaysia revealed a National Artificial Intelligence Framework expanding the National Big Data Analytics Framework.	Malta October 2019, 'A Strategy and Vision for Artificial Intelligence in Malta 2030' Malta launched and aspiring to be the 'Ultimate AI Launchpad'.	Mexico June 2018, 'Towards an AI Strategy in Mexico: Harnessing the AI Revolution', serves as a foundation for building full AI strategy.	Netherlands November 2018, AINED published a roadmap for developing a full national strategy.	New Zealand May 2018, AI Forum of New Zealand, released 'Artificial Intelligence: Shaping a Future New Zealand.'
Norway January 2020, Norway issued its National Strategy for Artificial Intelligence.	Pakistan Presidential Initiative for Artificial Intelligence launched December 2018, focused on training beginners in AI and advanced technology.	Philippines Nov 2019, ABM, Abolito School of Innovation, Technology and Entrepreneurship (ASITE) appointed to craft an AI roadmap.	Poland November 2019, 'Assumptions for the AI strategy in Poland' as an action plan towards developing an AI strategy.	Portugal February 2019, 'AI Portugal 2030', seeks strengthen economic growth, scientific excellence, and human development using with AI.
Qatar October 2019, National AI Strategy as a blueprint produced by Qatar Computing Research Institute (QCRI).	Russia October 2019, Russia published its National Strategy for the Development of Artificial Intelligence by 2030.	Saudi Arabia Nov 2019, ABM, Abolito School of Innovation, Technology and Entrepreneurship (ASITE) appointed to craft an AI roadmap.	Singapore February 2019, AI Singapore is a five-year, \$8150 million national program launched in to enhance Singapore's capabilities in AI.	South Africa February 2019, 'Artificial Intelligence Production Technologies Initiative' launched in 2018 with aim to advancing manufacturing sector.
South Korea May 2018, five-year AI development plan launched with \$1.95B budget.	Spain March 2019, the Spanish Ministry of Science, Innovation and Universities launched the RDI Strategy in Artificial Intelligence.	Sweden National Approach for Artificial Intelligence launched in May 2018.	Switzerland An Artificial Intelligence (AI) expert group has published its recommendations for a Swiss AI strategy.	Thailand Thailand's Digital Economy and Society (DES) Ministry has drafted the country's first artificial intelligence (AI) ethics guidelines.
Tunisia AI Task Force and Steering Committee to develop a national AI strategy. The strategy was scheduled to be published in the first quarter of 2019.	United Arab Emirates October 2017 announced strategy. First country to create a Ministry of AI and first in the Middle East to launch an AI strategy.	United Kingdom April 2018, 'Sector Deal' announced. \$1.24B funding as part of the UK's larger industrial strategy.	United States of America February 2019 by Executive Order to promote and protect AI technology. Algov launched Mar 2019. Followed by the National Artificial Intelligence Research and Development Strategic Plan.	Vietnam Ministry of Information and Communications developing a broad AI strategy.

Source: HolonIQ and source government strategy and policy papers.

www.holoniq.com

תרשים 3: 50 מדינות אשר עוסקות בהגדרה אסטרטגית של בינה מלאכותית ברמה לאומית

על פי דו"ח נאמן (גץ ואחרים, 2018), משנת 2016 החלו מדינות שונות לגבש באופן ציבורי תוכניות אסטרטגיות לאומיות בנושא הבינה המלאכותית. בין המדינות הראשונות להתניע מהלך כגון זה ניתן למצוא את ארצות הברית, סין, יפן, קנדה, איחוד האמירויות הערביות, סינגפור ובריטניה. משמעות הדבר היא שבשנים האחרונות הישויות המדיניות החלו להבין את כוחה של הבינה המלאכותית, את חשיבות המו"פ ואת חשיבות ההכנה לקראת שילוב מערכות בינה מלאכותית בשלל תחומי החיים. עיון בשבע התוכניות הללו מניב מספר עקרונות וקווים משותפים לדמותן. להלן תמצית ששת העקרונות לקידום בינה מלאכותית העולים מעיון בתוכניות:

- 1. התעשייה כגורם מוביל** – התעשייה מובילה במימוש, פיתוח ויישום העקרונות המתגלים בעיקר במחקר האקדמי, אך היא גם מסוגלת לנהל מחקר ברמה גבוהה בכוחות עצמה, באמצעות העסקת החוקרים המיומנים ביותר ומשיכת חוקרים מהאקדמיה.
- 2. תמיכה ממשלתית בתחומים שהתעשייה מזניחה** – החברות התעשייתיות עתידות לקדם תחומים רבים בכינה המלאכותית, אך תחומי העניין שלהן מוגבלים בהכרח למוצרים ולשירותים שיכולים להניב לחברות רווחים בעתיד הנראה לעין. על מנת להוסיף ולקדם היבטים מסוימים בתחום הבינה המלאכותית שאינם רווחיים, יידרשו ממשלות לתמוך במחקרים אקדמיים מסוגים שונים: מחקר בסיסי-טכנולוגי, מחקר חברתי, מחקר שיקדם שוק פתוח של חדשנות ומחקר שיקדם קביעה של סטנדרטים ואמות מידה בתחום.
- 3. המידע הוא הנפט החדש** – ללא מאגרי מידע נגישים וזמינים יהיה קשה לפתח את השוק לקראת חדשנות, ולכן תוכניות לאומיות רבות שמות דגש על שחרור מידע רב ככל האפשר לציבור הרחב באמצעות כינון מאגרי מידע פתוחים. המידע עצמו אמור להגיע ממחקרים אקדמיים בתמיכת הממשלה, וממשרדים ממשלתיים.
- 4. תיאום בין כל השחקנים בתחום** – מובן שכל אחד מהסקטורים (התעשייתי, האקדמי והממשלתי) יכול לספק יתרונות משלו, וחשוב לדאוג לתיאום ביניהם וכך למקסם את הסיכוי להצלחה.



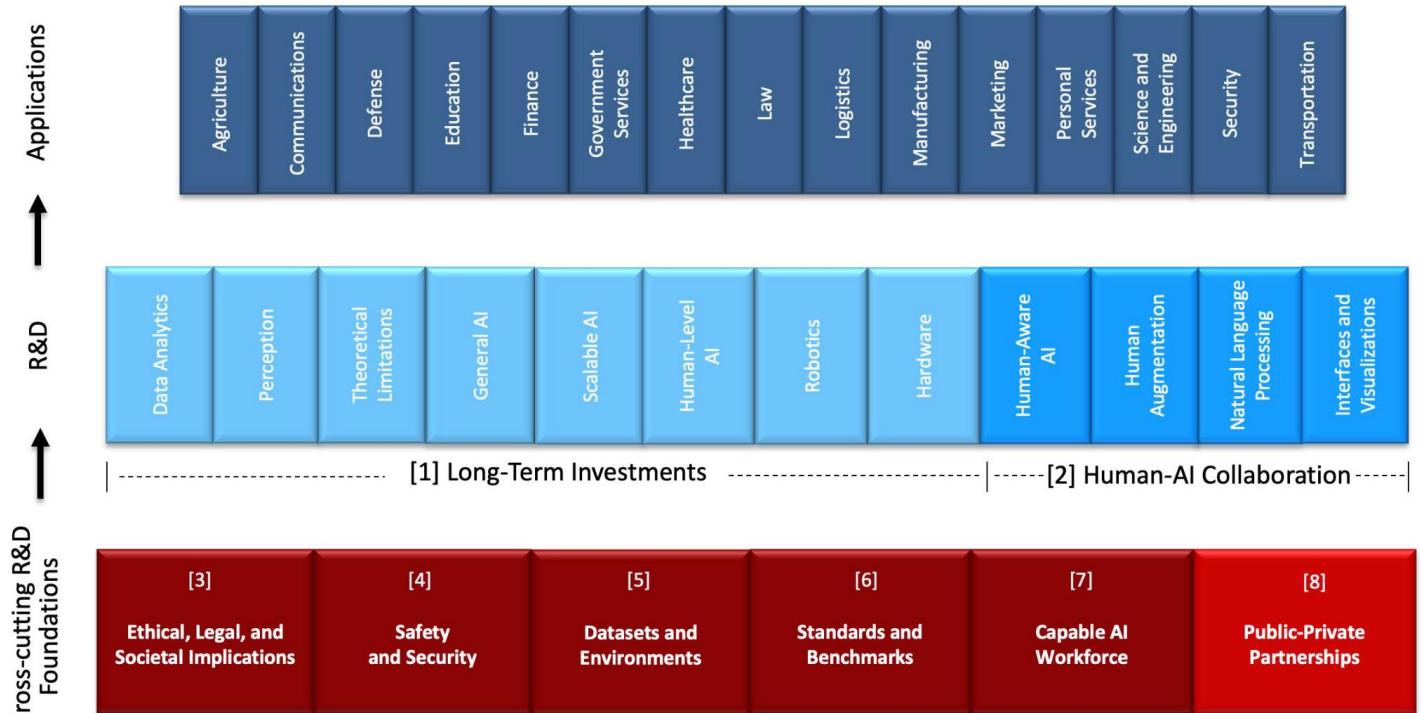
5. התייחסות לצד הרך של הבינה המלאכותית – יש צורך במחקר מעמיק בנוגע לכללי האתיקה, המשפט, הפרטיות, החוק והחברה שיקבעו את אופן השימוש במערכות הבינה המלאכותית ואת אופן הפיתוח שלהן.
6. הבנת שוק העבודה של העתיד והכנה לקראתו – טכנולוגיות הבינה המלאכותית ישפיעו על שוק העבודה במידה ניכרת: הן ישתלטו על עבודות אנושיות מחד גיסא, ויביאו לפיתוח מקצועות חדשים ונחשקים מאידך גיסא. על כן יש להכין את האזרחים לקראת השינויים הללו, ויש לפתח מערכת הכשרת עובדים ללמידה לאורך החיים (Life Long Learning).

להלן שתי דוגמאות מרכזיות למדיניות בארצות הברית ובסין:

מדיניות המו"פ בארצות הברית

בשנת 2016 גובשה בארצות הברית מדיניות אסטרטגית למחקר ופיתוח בנושא בינה מלאכותית. החינוך בבתי הספר מוזכר שם בארבעה הקשרים: (א) הכשרת כוח עבודה לעולם רווי בינה מלאכותית; (ב) בניית הידע הדרוש כדי להצמיח חוקרים בתחום בינה מלאכותית; (ג) למידה פרסונלית וחינוך אפקטיבי; (ד) הנחייה שלפיה צוותי המו"פ בתחום הבינה המלאכותית בחינוך יורכבו באופן רב-תחומי (כלומר, לצד מדעני מחשב ומנהנדים, יהיו גם מומחים מתחומים אחרים הקשורים קשר הדוק לחדשנות בבינה מלאכותית ולמידת מכונה ויישומה – פסיכולוגיה קוגניטיבית, כלכלה ותורת משחקים, אתיקה, בלשנות, מתמטיקה, פילוסופיה ועוד).

בתרשים שלהלן ניתן לראות את שלוש שכבות התוכנית (DataGov, 2020)



תרשים 4: ארגון התוכנית האסטרטגית למו"פ של ארצות הברית

בשורה התחתונה שבתרשים ניתן לראות שילוב של יסודות חוצי נושאים החשובים למו"פ בינה מלאכותית. בשורה האמצעית ישנם תחומי מו"פ בינה מלאכותית אשר יכולים להתבסס על היסודות שבשורה התחתונה כדי להשפיע על המגוון הרחב של היישומים החברתיים שבשורה העליונה.

המדיניות הסינית לשילוב בינה מלאכותית בתחום החינוך

סין הציבה לעצמה יעד להפוך למעצמת בינה מלאכותית על ידי מתן תמריצים לפיתוח התחום בצורה מרוכזת דרך השוק הפרטי – היא פרסמה מכרזים ממשלתיים שיספקו תמריץ ליזמים ולהברות לפיתוח כלי בינה מלאכותית בחינוך (ברק-מדינה, 2020). מוקד המדיניות הסינית הוא פיתוח של מערכות למידה פרסונלית מבוססות בינה מלאכותית, מערכות שמקדמות את הידע והמיומנויות של התלמידים במגוון תחומי תוכן, וכן שימוש באנליטיקות מידע מתקדמות בהערכה לצורך שיפור התוצאות החינוכיות. נוסף על כך, בשנת 2016 הממשלה הסינית הגדירה כי 8% מתקציב החינוך של הממשלות המחוזיות יוקדשו לדיגיטליזציה של מערכת החינוך. לדוגמה, חברת הלמידה מרחוק הגדולה בסין פיתחה בעזרת



משאבים ממשלתיים יכולות של זיהוי פנים, קול ורגש, לשם שיפור תהליכי ההערכה המקוונת. חברה סינית אחרת פיתחה מערכת פרסונלית אדפטיבית ללימוד אנגלית, ומערכת זו סייעה לסין בהתמודדות עם המחסור הגדול במורים לאנגלית והפכה לכלי מרכזי בלימודי השפה. יתר על כן, ממשלת סין הזמינה פיתוח של מערכת שאלות ותשובות חכמה שתשמש את התלמידים לצורך הכנה לבחינות הבגרות (המערכת יודעת לענות על יותר מחצי מיליארד שאלות), ומערכת לתיקון מאמרים של תלמידים ומתן ומשוב עליהם נמצאת בשימוש ב-60,000 בתי ספר בסין.

גיבוש סדרי עדיפות בבחירת מידת הפיקוח וממשל הנתונים

מערכות בינה מלאכותית רבות מוגבלות כיום לתחום יישומי אחד. מערכות אלו מסוגלות לבצע משימות מסוימות ומוגדרות מראש, ולכן נדרשת מדיניות שתסייע בקביעת סדרי עדיפויות בפיתוח המערכות (Goddard, 2020). על מנת לסייע בגיבוש סדרי עדיפות בעת בחירת מידת הפיקוח וממשל הנתונים בתחום של פיתוח יישומי בינה מלאכותית ושילובם במערכת החינוך, ארגון NESTA פיתח מודל מטריצה המורכב משני פרמטרים (2x2) ומציג ארבעה תרחישים שדרכם ניתן לחקור את אי-הוודאות שסביב העתיד של בינה מלאכותית בחינוך (מובן שאלו אינם הגורמים היחידים שעשויים להשפיע על עתיד בינה מלאכותית בחינוך). (Baker et al., 2019).

גורם אחד הוא **מידת הפיקוח וממשל הנתונים** והוא מתבטא ברגולציה נמוכה או גבוהה בתחום. יש לגורם זה השלכות חיוביות ושליליות, לדוגמה, רגולציה וממשל נמוכים יכולים להצביע על מנהיגות ממשלתית המגרה חדשנות, ואילו רגולציה וממשל גבוהים יכולים להגביל את יכולתן של חברות להתנסות ולכן מונעות חדשנות. עם זאת, רגולציה וממשל גבוהים יכולים גם להגן על הפרטיות במידה רבה יותר וכך למנוע התנגדויות של בעלי עניין ולהגביר ביטחון אצל מפתחי הטכנולוגיות שעבודתם תישא פרי; הגורם השני בתרחישים הוא היקף החינוך – ממוקד או רחב (מערכת יכולה לשרת קהל חינוכי רחב כמו במקצוע שלומדים כל התלמידים, נניח שיפור ההישגים במתמטיקה, או לקהל מצומצם כמו סיוע לבעלי מוגבלויות). גם כאן, לשני קצוות הציר השלכות חיוביות ושליליות: אומנם חינוך ממוקד מציע את ההזדמנויות המיידיות המשמעותיות ביותר, אך היקף חינוך רחב יכול להועיל לקהל רב אם כי לרוב יישומו יארך זמן ממושך.

להלן מטריצה המציגה ארבעה תרחישים הנגזרים משני הגורמים:



תרשים 5: מידת הפיקוח וממשל הנתונים

מדיניות לאומית בישראל

בישראל נעשים מספר מהלכים לאומיים לצורך האצת שילוב יישומי בינה מלאכותית. בחלק זה נסקור את המהלכים.

תוכנית לאומית לבינה מלאכותית

בשנת 2021 החל משרד החדשנות, המדע והטכנולוגיה לגבש תוכנית לאומית לבינה מלאכותית וכתבת מדיניות ממשלתית: כחודש מאי 2021 הוקם צוות בין-משרדי והוא צפוי לפרסם טיוטת ערכי אתיקה להערות הציבור ולגבש לפיהם תוכנית לאומית. הצוות פועל לגבש את הערכים והעקרונות בנושא ברוח חמשת העקרונות של ה-OECD לבינה מלאכותית: צמיחה כוללת; פיתוח בר קיימא ורווחה; ערכים והוגנות ממוקדי אדם; שקיפות והסברות; איתנות, ביטחון ובטיחות, ואחריות.

ועדת משנה של המיזם הלאומי בנושא בינה מלאכותית, אתיקה ורגולציה

בשנת 2019 התפרסם דו"ח ועדת המשנה של המיזם הלאומי בנושא בינה מלאכותית, אתיקה ורגולציה (אשכנזי ואחרים, 2019). הדו"ח מבקש להבטיח שישולבו שיקולים אתיים בשלבי הפיתוח והתחזוקה של מוצרים משולבי בינה מלאכותית. הוא מפרט את הערכים האתיים שיש לקדם, וממליץ על הקמת גוף שיפקח על קיום ההמלצות. כדי למנוע טכנולוגיה מפלה או מוטה מתמקד הדו"ח בייחוד בצורך ללמוד באופן פעיל על אוכלוסיות היעד העוללות להיפגע מפיתוחים טכנולוגיים מבוססי בינה מלאכותית, או לא להיות מיוצגות מספיק על ידי מפתחי המערכות השונות. בדו"ח מפורטת רשימה של ערכים שעליהם מבקשת הוועדה להגן, ובהם: שמירה על הוגנות, שקיפות, בטיחות, חופש הבחירה, הקפדה על אבטחת מידע וזכויות אדם לרבות שמירה על פרטיות, שלמות הגוף, זכויות אזרחיות ופוליטיות ושמירה על אוטונומיה אישית. הוועדה גם מציינת בפירוט את חשיבות ערך התחרותיות ואת חשיבות הבטחת השוק החופשי כערך.

משרד החדשנות פועל כיום לקידום תוכנית לאומית לבינה מלאכותית שתלווה את עיצוב המדיניות הממשלתית בתחום הבינה המלאכותית בטווח הארוך. מטרת התוכנית היא לשמור על מסגרת אחידה ומותאמת, ולהגדיר סט עקרונות שלפיהם התוכנית תיכתב ותיושם. מדובר בעקרונות שיסייעו למקבלי ההחלטות ולרגולטורים לעצב את מדיניותם בתחום הבינה המלאכותית. להלן רשימה העקרונות שגובשה: צמיחה בת-קיימא לציבור ולמשק, בטיחות וביטחון, אחריות ואחריותיות, שקיפות והסברותיות, ושמירה על זכויות אדם.

ועדת תל"מ (תשתיות לאומיות ומו"פ)

בפברואר 2020 מונתה ועדת בינה מלאכותית ומדע הנתונים והיא פרסמה את ממצאיה בדו"ח תל"מ (תל"מ, 2021). הוועדה מצאה כי קיים פער מדאיג בין הדירוג הגבוה של ישראל בפיתוח מערכות מבוססות בינה מלאכותית ובין הדירוג הנמוך בתשתיות הנדרשות ובאסטרטגיה הממשלתית, פער שביכולתו להעיב על המשך התקדמותה של ישראל בתחום. על כן המליצה הוועדה להקים מנגנון שיתופי ייעודי שיתווה פתרון מערכתי לקידום המו"פ בתחום בינה מלאכותית ומדע הנתונים, כדי לממש את הפוטנציאל וההזדמנות להיות מדינה מובילה בתחום לטובת חוסנה של מדינת ישראל, וכן המליצה להקציב לכך 5.26 מיליארד ש"ח.

באשר להון האנושי, הוועדה זיהתה שלושה חסמים: (א) יש מחסור ניכר באנשים בעלי השכלה בינה מלאכותית, מחסור המתחיל באקדמיה (היקף הסגל האקדמי בתחומי הליבה הרלוונטיים אינו מספיק לצורך הכשרת ההון האנושי הנדרש) ומשליך על התעשייה ומערכת הביטחון; (ב) יש מחסור בתשתיות (יכולות מחשוב ונגישות לנתונים) החוסם אפשרות לרכישת המיומנויות הנדרשות; (ג) בהיעדר יד מכוונת ורגולציה אין לעוסקים בתחום נגישות מספקת לנתונים.

הוועדה ציינה כי התחום דורש תשתית אנושית מגוונת שהכשרתה אורכת זמן רב, ולכן נדרש מאמץ מרוכז למיצוי הפוטנציאל של התחום בשני דגשים: הכשרת הון אנושי (סטודנטים וצוותי הוראה והדרכה) ועידוד מו"פ לקידום תעשיית הבינה המלאכותית ויצירת קתדרות לחוקרים. מילות הסיכום של הוועדה הדגישו את התפקיד המהותי של מערכת החינוך בתהליך המאתגר של הפיכת הפוטנציאל למציאות.

דו"ח תל"מ ממליץ על שלושה תחומים הרלוונטיים לחינוך:

1. הנעת אקוסיסטם של פיתוח בינה מלאכותית בחינוך: התגברות על מגבלות העברית והשוק הקטן, יצירת מסגרת עידוד ליזמים, ובחינת היתכנות וכדאיות פיתוח מערכות למידה אדפטיביות בעברית.
2. חשיבה מחדש על תשתיות הנתונים בחינוך: חיבור למערכות נתונים משיקות, ויצירת מתודות אתיות של איסוף נתונים פדגוגיים והברתיים רגשיים.
3. חינוך לעולם עתיר בינה מלאכותית וביג דאטה: טיפוח חשיבה ביקורתית, שילוב ידע על מדעי הנתונים בתוכניות הלימודים, וטיפוח אוריינטציה טכנולוגית.

עיבוד שפה טבעית (NLP)

פועלו של פורום תל"מ בפיתוח יכולות עיבוד שפה טבעית: בשנת 2021 משרד הביטחון, הרשות הלאומית לחדשנות טכנולוגית ומשרד החדשנות, המדע והטכנולוגיה הזמינו את הציבור למסור מידע ולהביע עמדה בנוגע לפרויקט לאומי בתחום עיבוד שפה טבעית (רשות החדשנות, 2021ב).

במסמך RFI מצוין, בין היתר, שמיזם HebNLP הוא מיזם לאומי ליצירת תשתית, מחקר ופיתוח יכולות מתקדמות לקידום תחום ה-NLP בעברית. המיזם מבוצע כחלק מיישום המלצות הבדיקה של פורום תל"מ בנושא. הוועדה קבעה כי נדרשת התערבות ממשלתית להאצת ההתפתחות בתחום הבינה המלאכותית ומדע הנתונים, וכי נדרשת השקעה גדולה בתשתיות ובכלים להנגשת NLP בעברית, נקבעה תוכנית דו-שנתית והוקצו לה משאבים בגובה 180 מיליון ש"ח. כיום פורום תל"מ מקדם פיתוח של NLP בעברית ובערבית. מטרת המהלך היא ייצור של 'מודל שפה גדול' שמשמעותו מעבר מיכולות NLP 'צרות' (יכולת עיבוד השפה הבסיסית שקיימת כיום בעברית) ליכולות NLP 'כלליות', כלומר פיתוח יכולות עיבוד שפה טבעית שעל בסיסן יוכלו לפתח מגוון כלים שיענו על שלל צרכים. מטרת הפרויקט היא שיתוף היכולות עם גורמים שונים מהמגזר הציבורי והפרטי (למשל, בצורה של קוד פתוח).

הקונסורציום לפיתוח שפות אנוש: בשנת 2020 תמכו משרד הדיגיטל הלאומי בשיתוף רשות החדשנות בהקמת איגוד חברות לטכנולוגיות שפת אנוש שיסייע בקידום הבנת השפה העברית והשפה הערבית במערכות ממוחשבות. האיגוד קם נוכח איכות נמוכה ובלתי מספקת של זיהוי השפה העברית והערבית במערכות ממוחשבות מסוגים שונים (זאת בהשוואה לזיהוי הדיבור בשפות אחרות). הסיבה לאיכות הירודה ולקושי בפיתוח היא ששפות שמיות כעברית וערבית מציבות אתגרים וקשיים בנייתן לשוני. איכויות ההבנה והזיהוי של שפות אלו נמוכות, וזה מהווה חסם ליישום ומימוש שירותים מתקדמים ואיכותיים.

בשנת 2021 הסתיים מרכז בקשה לקבלת מידע שפרסמה רשות החדשנות, לשיתוף פעולה לצורך מו"פ עם האקדמיה והסקטור הפרטי. האיגוד פועל ליצירת תשתית מו"פ שתאפשר בסיס אמפירי לזיהוי אלמנטים ודגמים מבניים המרכיבים את המערכת הלשונית, ולקיים מיפוי של האופן שבו משתמשים במערכות האלו. נוסף על כך האיגוד יבחן את האפשרות להתאמת כלים מצד ג', ויפתחו כלים בקוד פתוח לבדיקות ולשיפור איכות הבנת השפות עברית וערבית בעזרת מערכות מחשוב שונות. תשתית זו תאפשר לשפר ולהגביר את איכות הפתרונות השונים לזיהוי שפת אנוש בעברית ובערבית.

בתום התהליך ועם שילוב NLP במערכות AIED יוסר חסם משמעותי בפיתוח כלים מבוססי בינה מלאכותית למערכת החינוך.

מחשובי על

בשנת 2021 הזמינו רשות החדשנות ומפא"ת את הציבור למסור מידע ולהביע עמדה לגבי הצורך בהקמת תשתית לאומית למו"פ בבינה מלאכותית במדינת ישראל, תשתית למחקרים ופיתוחים הדורשים כוח מחשוב רב הן לחוקרים באקדמיה והן לתעשייה, ושישרתו את כלל המגזרים – אזרחי, ציבורי וביטחוני. לצורך הקמת התשתית ותפעולה הוגדרו 290 מיליון ש"ח בתוכנית ה-AI הלאומית (רשות החדשנות, 2021א).

רגולציה

במהלך 2021 המחלקה הכלכלית במשרד המשפטים והרשות הלאומית לחדשנות טכנולוגית הזמינו את הציבור למסור מידע ולהביע עמדה לגבי חסמים רגולטוריים ורגולציה אפשרית בתחום הבינה המלאכותית במדינת ישראל, בדגש על ניסוי והטמעה של טכנולוגיות בתחום זה. תמצית הנושאים שעלו להתייחסות הציבור הם מאפייני הרגולציה הנדרשת לשם האצת הפעילות בתחום, מודלים רגולטוריים מהעולם ודוגמאות של רגולציה מאפשרת, הפערים ברגולציה בין ישראל ובין מדינות אחרות, והחסמים הרגולטוריים העיקריים. הקול הקורא פונה לגופים ישראליים ובין-לאומיים בעלי הידע והמומחיות הרלוונטיים ומטרתו קבלת מידע ועמדות לצורך שקילת האפשרות לנקוט פעולות רגולטוריות לקידום מחקר, פיתוח, ניסוי והטמעת טכנולוגיות בינה מלאכותית בישראל.

פרויקט הסדרת מערך המידע במשרד החינוך

מערכת החינוך בישראל עושה שימוש במערכות שונות לניהול מידע: מערכות לניהול המידע של משרד החינוך, מערכות בית ספריות לניהול מידע פדגוגי ובירוקרטי על התלמידים, מערכות ניהול מידע של הרשויות המקומיות לאיסוף מידע בלתי פורמלי על התלמידים ועוד. כחלק מהניסיון להתמודד עם האתגר של ביזור המידע במערכות נפרדות (שחלקן מקוונות וחלקן לא), משרד החינוך התניע בשנים האחרונות את 'פרויקט הסדרת מערך המידע' לצורך בחינה ומיפוי של הנתונים הנאספים במערכת החינוך והתוויית פתרונות לניהול והפצה של המידע ברמות השונות (מטה החינוך, הרשויות המקומיות, בתי הספר וכולי). במסגרת הפרויקט התגבשה אסטרטגיית מידע ארגונית שמספקת מענה לארבע שאלות מרכזיות: מה רוצים לאסוף, איך כדאי לאסוף, אילו נתונים יש להנגיש ולמי. יצירה של מסד נתונים דיגיטלי במסגרת הסדרת מערך המידע היא צעד ראשוני המבסס את היכולות של מערכת החינוך להתקדם לקראת יכולות בינה מלאכותית.

העקרונות שגובשו בפרויקט הסדרת מערך המידע:

- העשרת מסד הנתונים לצורך למידה והפקת תובנות בעידן של ביג דאטה וכבסיס נתונים למערכות מבוססות בינה מלאכותית.
- קידום קבלת החלטות מבוססת נתונים בכלל מערכת החינוך (מהמורה בכיתה ועד המנכ"ל והשרה).
- יצירת אמת ארגונית אחת לכלל השותפים (מטה, מחוזות, מוסדות חינוך, בעלויות).
- ביסוס נקודת מבט אינטגרטיבית ולאורך זמן על אודות ישויות היסוד – התלמיד, עובד ההוראה והמוסד החינוכי.
- הסדרת מערך איסוף הנתונים לצורך הפחתת הנטל הבירוקרטי על מוסדות החינוך.

על בסיס עקרונות אלו גיבש הפרויקט רשימה של כיווני פעולה מרכזיים:

- הסדרת איסוף הנתונים של כלל גופי המטה והמחוז ותקשובם המלא.
- עידוד מוסדות החינוך לניהול הנתונים באופן דיגיטלי.
- רגולציה סדורה ובהירה של הנתונים שמשרד החינוך מבקש לנהל ולהעביר.
- פיתוח ממשק מול תוכנות הניהול הפדגוגי על מנת לאפשר הזנת נתונים פעם אחת בלבד.
- הוספת נקודת מבט אינטגרטיבית ולאורך זמן על אודות ישויות היסוד באמצעות כלי BI (Business Intelligence) מתקדמים.

המעבדה לבינה מלאכותית בחינוך

אגף מו"פ, ניסויים ויוזמות של משרד החינוך בשיתוף עם החטיבה לחדשנות טכנולוגית Start במשרד החינוך, מפעילים זו השנה השלישית את 'המעבדה לבינה מלאכותית בחינוך' על מנת להתנסות בפועל בבתי הספר ולבחון את תרומתה האפשרית של טכנולוגיית הבינה המלאכותית למערכת החינוך. פעילות המעבדה מאפשרת התנסות ישירה ובלתי אמצעית של תלמידים ומורים ביישומי בינה מלאכותית הלכה למעשה, וכל זאת תוך בחינה והערכה שיטתית של ההזדמנויות והאתגרים העולים מהפעילות. המעבדה היא אמצעי המסייע למערכת החינוך לגבש הבנות על בסיס התנסות מעשית ביישומי בינה מלאכותית מתחום החינוך תוך בדיקת הדרך להטמיען באופן מותאם ומושכל. מטרת המעבדה לספק שדה התנסות מבוקר לצורך גיבוש ידע והמלצות לגבי הפוטנציאל, המשמעויות וההשלכות של טכנולוגיית הבינה המלאכותית בחינוך.

לשנת הפעילות תשפ"ב-תשפ"ג של המעבדה ייבחר תמהיל של מיזמים או ניסויים שחלקם מציגים ערך וישומות לטווח הקצר (שנה-שנתיים), וחלקם רלוונטיים לטווח הארוך יותר (שלוש-חמש שנים). הניסויים מופעלים במגוון שכבות גיל בחברה היהודית והערבית, להלן כמה מהם:

- 'רובוט חברתי' וסוכן וירטואלי (אוואטר) להנחיית למידה קבוצתית בסביבת למידה מקוונת, ולהקניית מיומנות חברתית-רגשית (SEL).
- רובוטי כעוזרת הוראה לסיוע ולהנחיית תלמידים בכיתה.
- תוכנית לימודים מעשית המבוססת על התנסות בבינה מלאכותית עבור תלמידים בכיתות ה'-ט'.

7. הזדמנויות ואתגרים

תחום יישומי בינה מלאכותית בחינוך נמצא בהתפתחות מואצת ונתון להשפעה מתמדת מצד טכנולוגיות חדשניות. מבחינה מסוימת, יישומי AIED משתייכים לקטגוריה של חדשנות משבשת, כי הם משנים את מבנה התחום ובכך מקשים על חיזוי ההשפעה שתהיה להם על מערכת החינוך. אף על פי כן, המחקר הרב שהתבצע בעשורים האחרונים הצליח לבסס תמונה מקיפה של התחום ולשרטט את ההשפעות, ההזדמנויות והאתגרים הצפויים עם שילובם של כלי בינה מלאכותית בחינוך (Pinkwart, 2016).

הפרק שלהלן מתבסס על מחקרים אלו ומטרתו להציג את ההזדמנויות והאתגרים הכרוכים בשילוב והכנסה של כלי AIED תוך שמירה על תפיסה מאוזנת והנגשה של עמדות מחקריות שונות, חלקן אופטימיות וחלקן מטילות ספק. עיקר הפרק עוסק בשימוש ביישומי בינה מלאכותית בחינוך אך הוא דן גם בנושאים הנוגעים להתאמת מערכת החינוך, התרבות הארגונית והתכנים העיוניים והפדגוגיים לעולם חדשני ורווי בינה מלאכותית. בראשית הפרק יידונו ההזדמנויות הכרוכות בשילוב יישומי AIED, והחלק השני יעסוק באתגרים הכרוכים בשילובם.

בינה מלאכותית בחינוך: הזדמנויות

1. מחקר נתוני חינוך לטובת שיפור איכות הלמידה – התובנות המחקריות שמופקות באמצעות כלי AI יכולות לסייע למערכת החינוך לקבוע את היעדים החינוכיים שלה ולכוון את המערכת להקניית הידע, המיומנויות והערכים הנדרשים למאה ה-21 באופן מתעדכן ומתוך מתן דגש על הצורך להכין את התלמידים לתהליך של למידה לאורך החיים (Lifelong Learning). ניתוח נתוני חינוך באמצעות כלי AI יכול לספק תובנות מדויקות בנוגע למצב ההתקדמות ברכישת המיומנויות הנדרשות ברמת התלמיד היחיד, בית הספר, המחוז והמדינה (למשל, רמת האנגלית או המתמטיקה בהקשר ארצי), וניתוח ביג דאטה באמצעות כלי AI יכול לספק תובנות חדשות בנוגע לשיטות הטובות ביותר ולהקשרי הלימוד המועדפים לרכישת מיומנויות שונות עם דגש על מיומנויות המאה ה-21 (Luckin et al., 2016).

2. **קידום הוגנות בחינוך** – למערכות בינה מלאכותית יש יכולת לקדם ערכים של הוגנות בשדה החינוך. כלי AIED מסוגלים לתמוך בתלמידים עם צרכים מיוחדים על ידי שיפור חוויית הלמידה, למשל, ובדרך זו לספק לכל תלמיד גישה כוללת ורחבה יותר לחינוך. בין המערכות הנמצאות כיום בשימוש או בשלבי פיתוח מתקדמים: כלים שמסבירים ללקויי ראייה את התוכן של תמונה נתונה, כלים אוטומטיים לחיבור כתוביות לסרטוני וידאו ללקויי שמיעה, כלים שמנגישים חומרים כתובים בשפה זרה על ידי תרגום והקראה (text-to-speech) וכלים לתפעול עכבר ומקלדת בעזרת תנועות העיניים לאנשים עם מגבלות פיזיות ומוטוריות (Contact North, 2018).
3. **קידום למידה מותאמת אישית** – שכלולן של מערכות הלמידה האדפטיביות, מערכות המסתמכות על היסטוריית הלמידה של התלמיד לטובת עיצוב הלמידה בהווה והתוויית נתיב למידה עתידי, נחשבות להבטחה הגדולה של שילוב בינה מלאכותית בחינוך. מערכות אלו נועדו להתאים את הלמידה להיבטים האינדיבידואליים של התלמיד: כישרון, ידע קודם ועוד צרכים שונים (Contact North, 2018). מערכות חכמות ללמידה מותאמת אישית (ITS) מדמות תהליך למידה של אחד על אחד, הן מעבירות לכל תלמיד פעילויות ומשימות שתואמות את צרכיו, מספקות פידבק מיידי ובדרך זו מציעות מעין פתרון של 'מורה לכל תלמיד', פתרון שלא היה אפשרי קודם לכן בשל אילוצי כוח אדם ותקציב. יתר על כן, מערכות ITS רבות מציעות את תהליך קבלת ההחלטות ואת ניתוח הלמידה. מידע זה יכול לשמש את המורים בלימוד פרונטלי או את התלמידים בחיזוק מיומנויות של למידה והערכה עצמית (Luckin et al., 2016).
4. **קידום למידה מבוססת נתונים** – כלי בינה מלאכותית מסוגלים לשפר את הביצועים של מערכות אנליטיקות למידה בכל אחד מתפקודיהן (מדידה, איסוף, ניתוח ודיווח). היתרון המרכזי של מערכות אנליטיקות למידה מבוססת בינה מלאכותית מגולם ביכולת לפרט את המתרחש בתהליך הלמידה (תיאור), לספק הסברים למגמות הללו (ניתוח), להציע תחזית של המשך הלמידה (חיזוי), ולספק המלצות להמשך הלמידה (ניתוח צרכים והמלצות) (Contact North, 2018). אנליטיקות למידה מבוססת בינה מלאכותית יכולות לשפר את המעקב אחר מצב התלמידים באמצעות טכנולוגיות לכריית מידע (EDM). כך, למשל, ניתוח מידע שנוגע לנוכחות בכיתה ולהגשת מטלות יכול לאפשר זיהוי של תלמידים בסכנת נשירה ולהציע פתרונות לתמיכה (Luckin et al., 2016).
5. **קידום למידה שיתופית** – ללמידה שיתופית ערך פדגוגי רב, וכלי בינה מלאכותית יכולים לתמוך בה, בייחוד במקרים שבהם קשה להתניע את התהליך באופן ספונטני (בקורסים מקוונים, למשל). כיום יש מספר גישות לפיתוח AIED לטובת הרכבה של קבוצות: ארגון קבוצה אדפטיבי (שימוש במידע על התלמידים כדי להרכיב קבוצה לטובת ביצוע משימה שיתופית מסוימת לפי תחום העניין, לפי היכולות – דומות או משלימות, וכולי), ייעוץ והנחייה (זיהוי של פערים בהבנה בין המשתתפים והצעה של אסטרטגיות שיתוף פעולה על בסיס ניסיון העבר), תיווך אינטליגנטי (ניתוח בסיסי של התכנים שהתלמידים עובדים עליהם שמטרתו לאפשר למורה להתערב ולבצע הכוונות במידת הצורך) ועוד (Luckin et al., 2016).
6. **שיפור חוויית הלמידה בסביבות דיגיטליות** – משחקי מחשב וסביבות של מציאות וירטואלית (VR) משמשים כיום בתהליכים חינוכיים (תהליך התאמה זה נקרא Gamification). ללומדות כגון אלו יתרונות רבים: הן מאפשרות למשתתפים ללמוד בתוך הקשר חווייתי מלא ועשיר, הן מקדמות למידה אינטראקטיבית (חקירה ומניפולציה של היבטים שונים במציאות המדומה), והן מנגישות לתלמיד היבטים של העולם האמיתי שאין לו גישה אליהם (למשל, לומדה שמדמה אירוע היסטורי). מערכות בינה מלאכותית יכולות לשמש לשיפור ולהגברת היתרונות של כלים פדגוגיים אלו בכל מיני דרכים: הפיכת האינטראקציה עם הסביבה הדיגיטלית לטבעית ופשוטה יותר (למשל, עם ממשקים שמבוססים על NLP, זיהוי קול ותנועה או סנסורים אחרים), התממשקות למערכות הוראה חכמות שיתמכו בתלמיד וידריכו אותו בביצוע המשימות בסביבה המדומה (למשל, בעזרת מורה וירטואלי) ועוד. מגוון מחקרים מראים כי כלים פדגוגיים אימפרסביים תומכים בפיתוח חשיבה עצמאית ואינטגרטיבית. כמו כן עולה כי כלים כגון אלו מסייעים בשילוב תלמידים שהתקשו בסביבות הלמידה המסורתיות, ואילו בסביבות הטכנולוגיות הם צוברים ביטחון ומטיבציה (Luckin et al., 2016).
7. **הערכה אפקטיבית יעילה ובזמן אמת** – ההערכה נחשבת כיום לחוליה החלשה של התהליך החינוכי וכמי שמעכבת את התפתחותן של מערכות חינוך בעולם. יש מחקרים המדגישים את הפוטנציאל של כלי AIED בשיפור מערך זה. ניתן לבחון את התרומה של כלי בינה מלאכותית לתחום ההערכה בשלוש קטגוריות מרכזיות: (א) הכוונת הלמידה בקבוצה זמן רלוונטיים: השימוש באנליטיקות מידע חכמות לניתוח הביג דאטה שנאסף, על מנת לשקף את מצב התלמיד (למשל, אובדן ריכוז ותשומת לב) במהירות ולאפשר התערבות של המורה או של הלומדה; (ב) הרחבת ההבנה של תהליך הלמידה: אנליטיקות המידע החכמות יאפשרו לחרוג מסקירה של תוצאות וביצועים של תלמיד ולהציע ניתוח עומק של התהליכים הקוגניטיביים השונים אצלו (למשל, ניתוח של קשיים בריכוז ובזיכרון בביצוע מטלה מסוימת); (ג) שיפור ההערכה המעצבת: שימוש באנליטיקות מידע חכמות על מנת לחרוג משיטת הערכה בנקודות זמן בודדות ולבצע הערכה של הלמידה וההוראה באופן שמשורג בתהליך הלמידה (Luckin et al., 2016).

8. **הגמשת התהליך החינוכי מבחינת זמן ומרחב** – שילוב של כלי AIED עשוי להרחיב את התהליך הדיגיטליזציה המתרחשים כיום בתחומים של הוראה, למידה והערכה, ובדרך זו להגמיש את התהליך החינוכי ולשחרר אותו ממגבלות של זמן ומקום: כלי AIED נגישים ברובם בפלטפורמות מקוונות, במחשב, בטאבלט או בטלפון החכם, וניתן להשתמש בהם מחוץ לסביבת הלימוד הפורמלית (למשל במוזיאון, בחיק הטבע או בבית) ולקבל מהם משוב בהתאם לצורך (למשל בשעת ערב). נוסף על כך, כלים אלו יכולים להציע תכנים מותאמים אישית ולספק עזרה וליווי של תהליך הלמידה ליחידים ולקבוצות בכל זמן ובכל מקום (Luckin et al., 2016; Pinkwart, 2016). כלי AIED יכולים גם לתמוך בהנגשה של תוכני לימוד מרחבי העולם (למשל, כלים מקוונים המציעים תרגום טקסט אוטומטי) (Chen et al., 2020), ולספק הזדמנויות ייחודיות ללמידה אותנטית המעוגנת בחיי הלומד ושואבת מחיי היום-יום שלו לצורך למידה משמעותית (Timmis et al., 2016).
9. **ייעול תהליך הערכת מטלות** – למערכות בינה מלאכותית יש יכולת לבצע הערכה אוטומטית ויעילה של מטלות, בייחוד כאשר מדובר במטלות לשוניות (מטלות טקסט או דיבור). למרות הספקות בנוגע לכושר של מערכות בינה מלאכותית בניתוח ניואנסים שפתיים, מערכות NLP זוכות להצלחה הולכת וגדלה בהערכת הכושר הלשוני של תלמידים במדינות שונות, ואימון ממושך של מערכות בינה מלאכותית הביא אותן כיום ליכולת להעריך מאמרים (חזק או חלש) וכן לבחון יכולת אוראלית (אוצר מילים, הגייה וכושר דיבור) (Contact North, 2018).
10. **מיקוד המורה במשימות הוראה בעלות ערך מוסף גבוה** – פיתוח ושילוב של כלי בינה מלאכותית מוביל לשינוי הדרגתי בחלוקת העבודה שבין האדם למערכות הממוחשבות, ומגדיר מחדש תחומים רבים במשק (למשל, תחבורה, רפואה וחקלאות). בתחום החינוך, כלי AIED עשויים להגדיר מחדש את תפקיד המורה בכך שיהליפו אותו בביצוע מטלות שונות הנוגעות לניהול הלמידה (למשל, בדיקת מטלות, מתן ציונים, תיעוד הישגים ותמיכה בארגון הפעילות החינוכית ככלל). בדרך זו הם יכולים להקל על המורה ולפנות לו זמן לביצוע משימות הליכה שהוא מופקד עליהן: מתן ליווי והנחיה תוך הפעלת שיקול דעת, ומתן תמיכה רגשית. לצד ההחלפה של המורה בביצוע מטלות, כלי AIED יכולים לשמש למורה כלי עזר: במקום שהמורה ינהל בעצמו את תהליך הלמידה בכיתה, מערכות ITS ומערכות למידה אדפטיביות יכולות להעביר חלק מהתכנים בהוראה פרטנית, ואנליטיקות למידה ומערכות ציונות חכמות יכולות לסייע לו בליווי והכוונה של קבוצות למידה שיתופית (Luckin et al., 2016). מחקרים שונים מראים כי שילוב של כלי AIED מגביר את יעילות המורה, ומאפשר לו לבצע מטלות כמו תמיכה בתלמידים מתקשים (Chen et al., 2020; Luckin et al., 2016; Pinkwart, 2016).

בינה מלאכותית בחינוך: אתגרים

1. **אתגרים בפיתוח מסד נתונים איכותי ובלתי מוטה** – כלי בינה מלאכותית, וכלי בינה מלאכותית בחינוך בפרט, תלויים בקיומו של מסד נתונים על מנת לבצע ניתוחים ותחזיות ולהציע פתרונות. מסד נתונים לשימוש מערכת החינוך יכול לכלול פרטים מנתוני למידה ועד פרטים אישיים ואפילו נתונים ממשרדים שונים (למשל, מידע רלוונטי ממשרד הבריאות). עם זאת, במדינות רבות ישנו מחסור במסד נתונים דיגיטלי מקיף ומדויק, וגם אם יוטמעו בהן מערכות AIED הן יספקו תחזיות לא מדויקות ואף עלולות להוביל להטיות. הקמת מסד נתונים באיכות גבוהה כרוכה באתגרים שונים, ובעיקרו של דבר עליה לספק מענה לצרכים מהותיים אחדים: הפקת ניתוחים הן ברזולוציה נקודתית (למורים ולסגל האדמיניסטרטיבי) הן ברזולוציה רחבה (לקובעי מדיניות), וכן שיקוף מגמות שונות בקרב קבוצות מגוונות (לפי חתכים של גיל, מגדר, מעמד סוציו-אקונומי, לקויות למידה, פליטים וקבוצות שונות שבדרך כלל המידע שנאסף עליהן חלקי) (Pedro et al., 2019). לכן קידום מסד נתונים יעיל דורש איפיון והגדרה של מאגר הנתונים הנדרש, ולאחר מכן פיתוח של המאגר באמצעות איסוף וריכוז המידע.
2. **אתגרים אתיים שקשורים לאיסוף מידע, פרטיות, פיקוח וקבלת החלטות** – מערכות בינה מלאכותית דורשות נגישות לכמויות גדולות של נתונים אשר עשויים לכלול מידע אישי של תלמידים ואנשי חינוך. מסיבה זו, השימוש במערכות בינה מלאכותית בחינוך מעלה מגוון דילמות הנוגעות לאתיקה ולשמירה על פרטיות. יש לתת את הדעת לסוגיות כמו אבטחת מידע, אופן השימוש במידע אישי, קביעת הרשאות, ונגישות לסוגי מידע שונים (Contact North, 2018). יתר על כן, יש לתת את הדעת גם לקשיים אתיים שנובעים מעצם השימוש במערכות בינה מלאכותית אשר אופן קבלת ההחלטות שלהן אינו שקוף ('קופסה שחורה', או היעדר explainability). לדוגמה, מיון תלמידים ללא יכולת להסביר את הסיבות שבבסיס המיון (דבר המקשה על ביקורת של תהליך קבלת ההחלטות), מתן המלצות וניתוחים שגויים לתלמידים מצד מערכות מוטות (biased) שאומנו על בסיס נתונים של קבוצות תלמידים מסוימות

(סטריאוטיפים), וריכוז כמויות גדולות של נתונים בידיים של גורם אחד (העלול להוות בסיס להיווצרות מונופול של חברות ענק בעלות אינטרס בעיצוב מערכות עם הטיות והעדפות מסוימות) (Pedro et al., 2019).

3. **הבטחה של הוגנות ושילוב בהטמעה של AIED** – לצד ההזדמנויות הטמונות בכלי AIED יש גם פוטנציאל להעמקה של הפערים הקיימים ולהגברת אי-השוויון של אוכלוסיות מוחלשות או מיעוטים שהגישה שלהם לכלים מתקדמים עשויה להיות פחותה. ניתן למנות כמה גורמים שעלולים להוביל לפערי נגישות בהקשר זה: מצב התשתיות הטכנולוגיות בבית הספר וברשות המקומית (רוחב הפס וציבות החיבור לאינטרנט), פערים באוריינות דיגיטלית בקרב אנשי חינוך ותלמידים, פערי שפה, פערים תפיסתיים ותרבותיים, הטיות (bias) של כלי בינה מלאכותית (כמו הטייה על בסיס מגדר) ועוד. לכן שמירה על שוויון במהלך הכנסת כלי AIED מחייבת קביעת מדיניות בשלל הנושאים הללו (Pedro et al., 2019).

4. **אתגר פיתוח מדיניות ציבורית מקיפה ל-AIED בריימא** – בסקירה של UNESCO נמצא שפיתוח מדיניות ציבורית בנוגע לבינה מלאכותית בתחום החינוך עודנו בראשית דרכו בעולם, והוא בעל סבירות גבוהה לצמוח בשנים הקרובות. האתגר המרכזי העומד בפני המדינות כרוך בניסוח של רגולציה ונהלים שינחו את ההטמעה של הידע והחדשנות המתפתחים בקצב גובר במגזר הפרטי. בשלב זה אפשר להצביע על כמה אופני פעולה ומוסדות ציבוריים שמדינה תידרש להפעיל כדי לדאוג להיווצרותו של אקוסטם המותאם להתפתחות תחום ה-AIED: הקמת מעבדות וחממות לפיתוח כלי AIED לטובת הציבור; יצירת שותפויות עם המגזר הפרטי כדי לאפשר לחברות להתמודד עם האתגרים המורכבים הכרוכים בפיתוח מוצרים רלוונטיים; הקמת קבוצות מומחים ייעודיות ובין-תחומיות לבחינת סוגיות אתיות של שקיפות ופרטיות; עדכון תוכנית הלימודים; יצירת אפשרויות מימון חדשות למחקר אקדמי ופיתוח מקצועי בתחום של AIED; שיתוף ציבור ועוד. על שום מורכבות הסוגיה, על מאמצי הפיתוח להיות בהלימה ולהשתלב בתוכנית אסטרטגית לאומית בתחום של AI, וזו בתורה צריכה להתבצע בשיתוף פעולה ומתוך השוואה מתמדת לתהליכים בין-לאומיים (Pedro et al., 2019).

5. **הרחבה ושיפור של המחקר בתחום של AIED** – ההטמעה של מערכות AIED בבתי ספר בעולם עודנה בראשיתה והידע על השפעת מערכות אלו תיאורטי בעיקרו. אומנם צפוי שהמחקר האקדמי-חינוכי בתחום של AIED יוסיף ויתרחב בשנים הקרובות, אך עם זאת מחקר כגון זה עשוי להיתקל בשאלות מורכבות, ולהתקשות בזיהוי הצרכים המסוימים של אנשי השטח ובשיקוף המידע הרלוונטי לדרג מקבלי ההחלטות. התגברות על אתגר זה דורשת פיתוח של מחקר אמפירי וניסויים שיבחנו ויעריכו את השימוש בכלי AIED ואת איכות הלמידה המתבצעת באמצעותם, מתוך הבחנה בין משתנים שונים: הכלי הטכנולוגי הנמצא בשימוש, מתודת השימוש בכלי, אוכלוסיית היעד (המעמד הסוציו-אקונומי של התלמיד או היכולות והמיומנויות של כל תלמיד ותלמיד) ועוד. מחקר כגון זה יצטרך לענות על שאלות מורכבות כגון, מהי האסטרטגיה העדיפה להטמעה של הכלים הטכנולוגיים בכל מוסד חינוכי ועבור כל אוכלוסיית יעד? לבסוף, מענה לאתגר זה ידרוש מדרג מקבלי ההחלטות לקדם, לכוון ולהוביל את המחקר האקדמי בתחום של AIED ולהפנות אליו את המשאבים הנדרשים (Pedro et al., 2019).

6. **אתגר ארגוני בהטמעה של מערכות בינה מלאכותית בחינוך** – מוסדות חינוך שמבקשים להכניס מערכות בינה מלאכותית לשימוש קבוע ומקיף עשויים להיתקל בדילמות הנוגעות לתהליך ההטמעה של המערכות. בהקשר זה עולות מספר שאלות מרכזיות, להלן אחדות מהן: מי הממונה על הובלת יוזמת הבינה המלאכותית בבית הספר? מי הממונה על פיתוח שיטות ומדיניות לשימוש בכלי בינה מלאכותית וכן על ניטרן נהלים אלו? מי צריך לקבוע את ההשלכות המשפטיות של מקרה ובו מערכת בינה מלאכותית מעניקה לתלמיד ניתוח או דיווח שגוי? איזה תפקיד יקבלו אנשי החינוך בעיצוב הכלי ובהטמעתו? מי במוסד החינוך ובמטה החינוך יכול או צריך להבין את ההנחות העומדות בבסיס המודלים של המערכות השונות, והאם הבנה ברמה הזאת שמורה למפתחי המערכת בלבד? לאיזה צוות תמיכה טכנית יזדקקו המוסדות החינוכיים בתהליך הטמעת המערכת, ואילו צוותים טכנים יידרשו דרך קבע? (Contact North, 2018).

7. **הגדרת מאפיינים של שיתוף פעולה נכון של בינה מלאכותית ואנשי חינוך** – תפיסות מסוימות רואות בכלי AIED כמי שיכולים או אף צריכים להחליף את המורה בתפקידו. תפיסות אלו מושפעות במידה רבה מעמדות תיאורטיות של דטרמיניזם טכנולוגי שרואות בחידושים הטכנולוגיים גורם מרכזי שצריך להכתיב תהליכים חברתיים והיסטוריים, גם אם התפתחויות אלו באות על חשבון מורכבות התהליך החינוכי והפדגוגי (Timmis et al., 2016). לעומת עמדות אלו רווחת היום התפיסה שבמסגרת שילוב כלי בינה מלאכותית בחינוך יש לשמור על הגמישות הניהולית והפדגוגית של אנשי חינוך, ושעליהם לקבל מנדט רחב גם בקביעת האופן וההקשר שבו יתבצע השימוש בכלי AIED, וגם בבסיס תהליכי פיתוח שיתופיים שבמסגרתם יקבלו המורים תפקיד מרכזי באיפיון המוצרים ובהתאמתם לצרכים העולים מהשטח (Pedro et al., 2019). גיבוש תפיסה מקיפה בנושא זה והוצאתה אל הפועל הם אתגר מרכזי למערכת החינוך.

8. **אתגרים בהכשרה ובפיתוח מקצועי של אנשי חינוך** – לפי מחקרים שבוצעו בעשורים האחרונים, אחד התנאים המרכזיים להטמעה של כלים טכנולוגיים בחינוך הוא הכשרת אנשי החינוך לשימוש ממצה בטכנולוגיה ולהבנה מקיפה של היתרונות והחסרונות שגלומים בכל כלי. לפי תפיסה זו, גם לאחר שילוב נרחב של כלי AIED, אנשי החינוך יהיו הגורם המרכזי בניהול הלמידה והתהליך החינוכי. זאת מכיוון שהיתרונות של כלים חכמים יוכלו להתממש רק בידי אנשים מיומנים (למשל, מורה שיוודע לפרש אנליטיקות למידה מתקדמות ולהוביל את הכיתה לאורן) (Pinkwart, 2016), ורק אם המורה ישמש מנטור בתהליך הלימודי, ויהיה האחראי העיקרי לצרכים הרגשיים והחברתיים של התלמידים (Pedro et al., 2019). ואולם, מהמחקר עולה כי חלק ניכר מאנשי החינוך אינם מתמצאים היום במידה מספקת בטכנולוגיות מידע ותקשורת (ICT), לא כל שכן במערכות המשלבות כלי בינה מלאכותית מתקדמים. התמודדות עם אתגר זה כוללת הכנה של מערכי הכשרה ופיתוח מקצועי מסודרים בתחומים שונים: הכרה של תהליכי החיזוי וההמלצות שמפיקים כלי AIED; אוריינות באנליטיקות מידע (למשל, לדעת לכתוב שאילתא למערכת ולהדריך את התלמידים בהתאם); מיומנויות ניהול חדשות שכוללות ניהול משאבי אנוש לצד ניהול חומרה (תלמידים ובינה מלאכותית); פיתוח תפיסה ביקורתית בנוגע להשלכות החיוביות והשליליות של בינה מלאכותית ושל עולם רווי בינה מלאכותית, ועוד (Pedro et al., 2019). לצד זאת, אתגר זה מעלה את הצורך בהנגשת הטכנולוגיות למורים מרקעים שונים ובפיתוח ממשק משתמש פשוט, זמין ואחיד שיתמוך בהטמעה אינקלוסיבית של הכלים וימנע ככל הניתן הגדלת פערים בקרב המורים (Pinkwart, 2016).

8. המלצות

בפרק הקודם נידונו ההזדמנויות והאתגרים הכרוכים בשילוב בינה מלאכותית וחינוך, הוצגו נושאים רלוונטיים למערכות חינוך בעולם, והדיון גובה בסקירת ספרות. הפרק הנוכחי מציג המלצות אשר מספקות מענים לאתגרים ולהזדמנויות, והמיועדות למטה החינוך ולממשלת ישראל. ההמלצות מבוססות על ראיונות עם גורמי מפתח, על תובנות שגובשו בפאנלים יעודיים עם מומחים בתחום, על פורום השיח הציבורי ועל סקירת ספרות שכללה השוואה עם מסמכי המלצות בין-לאומיים. מכלול ההמלצות משקף את ההיבטים החשובים להתנעת מהלך אסטרטגי בתחום של בינה מלאכותית וחינוך. ההמלצות הראשונות עוסקות בהיבט הלאומי, אחריהן המלצות בהיבט המערכתי (כולל תשתיות, הסדרת מידע ואתיקה) הנדרשות לצורך המהלך, ולבסוף המלצות ברמת התהליך החינוכי והפדגוגי. בתחילת המסמך מובא תקציר של ההמלצות ובסעיף להלן מפורטות ההמלצות בהרחבה.

1. הנעת מהלך אסטרטגי לשילוב בינה מלאכותית וחינוך

על מנת לבסס שינוי משמעותי בחינוך בעזרת יישומי בינה מלאכותית ועל מנת להכין את התלמידים לעידן רווי בינה מלאכותית **נדרשת החלטה של ממשלת ישראל להניע מהלך אסטרטגי לשילוב בינה מלאכותית בחינוך**. את המאמץ בתחום מערכת החינוך על מטה החינוך להוביל, ועליו להשתלב במהלך הלאומי של מדינת ישראל בתחום הבינה המלאכותית שכבר קיים היום. המשמעות של היעדר תוכנית לאומית חינוכית ברגע הנוכחי, והיעדר מאמץ עליון כפי שמציגה תוכנית זו שאנו מביאים, היא הותרת החינוך הישראלי מאחורי מדינות אחרות כבר בשנים הקרובות.

כדי לקדם מהלך זה **אנו ממליצים על הקמת ועדה משרדית מתכללת בנושא בינה מלאכותית בחינוך**. על הוועדה לכלול נציגים מ**מטה החינוך, מהתעשייה ומהאקדמיה, והיא תהיה ממונה על קידום מדיניות המשרד בנושא ותלווה את התהליך באופן רציף**. להלן העקרונות והתחומים שכדאי שהוועדה תעסוק בהם:

- הגדרת מדיניות ארוכת טווח, סדורה ומוצהרת בנושא יישומי בינה מלאכותית שתכלול תוכנית פעולה מתוקצבת רבי-שנתית.
- ניסוח קוד אתי, קביעת רגולציה ושמירה על הוגנות בתחום של בינה מלאכותית בחינוך, וכן ביצוע מתמשך של הכוונה, פיקוח ובקרה של התהליך.
- הגדרת מטרות אופרטיביות בשלושה תחומים: המשאבים והתשתיות הנדרשים, קידום יישומים חינוכיים מבוססי בינה מלאכותית, והתאמת החינוך לעולם רווי בינה מלאכותית.
- גיבוש מתווה של שיתוף פעולה עם גורמים מהאקוסיסטם לקידום מחקר, פיתוח ויישום (למשל, שיתוף גורמי חינוך כדי לענות היטב על הצרכים ולהתגבר על התנגדויות עתידיות).
- בניית תהליך שיטתי לעדכון המהלך האסטרטגי לפי ההתפתחות הטכנולוגית והתובנות מהתנסויות בארץ ובעולם.

- מיסוד פורום בעלי עניין ושותפים (בראשות יו"ר הוועדה ועם נציגות של בעלי עניין בתחום החינוך, השלטון המקומי ושותפים מרכזיים נוספים).

2. גיבוש קוד אתי ורגולציה הנוגעים לשילוב בינה מלאכותית בחינוך

שילוב כלי AIED הוא תהליך מורכב שכרוך בסדרה של אתגרים אתיים-חברתיים הנוגעים לבעלי עניין שונים (תלמידים, הורים ואנשי חינוך ומטה) ויש לתת את הדעת על כל אחד מהם. על רקע אתגר זה גובשה המלצה להוביל תהליך ובו **שני מוקדים: (א) ניסוח קוד אתי ונהלים מתעדכנים בתחום של AIED על ידי גופים שימונו לצורך אישור, פיקוח ובקרה, וילוו את תהליך השילוב הטכנולוגי באופן רציף; (ב) מהלך משלים שבמסגרתו משרד החינוך יקדם רגולציה ויסדיר תקנות בנוגע לנושאי ליבה שונים (למשל, פרטיות, אבטחת מידע ושקיפות)**. מומלץ להפקיד משימה זו על 'ועדת בינה מלאכותית אחראית' (Responsible AIED Board) שתכלול גורמי מטה, משפטנים, אנשי חינוך, אקדמאים ואנשי טכנולוגיה מהמגזר הפרטי והציבורי.

יש לנקוט גישה תומכת ומעודדת בכל הנוגע לשילוב כלי בינה מלאכותית במערכת החינוך, משום שמדובר במהלך מורכב שנמצא בראשית דרכו, ופיתוחו דורש גמישות רבה, וזה הטעם להמלצתנו. מסיבה זו, יש להתמקד קודם כול בניסוח קוד אתי (שיעוגן, למשל, במסגרת חוזר מנכ"ל), ולקבוע רגולציה וחוקים מגבילים (שיעוגנו בתקנות) רק במקרים מובהקים שעולה לגביהם הצורך להגן על המשתמשים, מקרים שעצם הסדרתם על ידי קביעת קווים אדומים וסטנדרטים הוא תנאי להצלחת המהלך כולו. להלן פירוט ההמלצות בנוגע לשני הסעיפים:

א. **גיבוש קוד אתי** – על הוועדה לגבש את הקוד באמצעות שיחות עומק עם מומחים בתחום וביצוע השוואה עם קודים אתיים קיימים בתחומים של AI או AIED. להלן התמות האתיות המרכזיות שדרוש להן מענה:

- **הוגנות** – מניעת אפליה וצמצום פערים, למשל על ידי קביעת קריטריונים לבינה מלאכותית הוגנת (Fair AIED) שיגדירו רמות שונות של הוגנות לפי מידת הסיכון של כל יישום: סיכון מינימלי, סיכון מוגבל, סיכון גבוה וסיכון בלתי קביל (בדומה למודל האמריקאי-אירופי). לצד זאת, זיהוי ביצועים לא טובים הנוגעים לשמירת הוגנות, ובחינה של הפער בין הציפיות מהמוצר ובין שילוב היישום בפועל.
- **הסכמה** – בחינה ביקורתית של סוגיית ההסכמה: למשל, האם לתלמידים, להורים ולאנשי החינוך יש הבנה בסיסית של היישומים השונים, והאם הם מבינים למה הם מסכימים? כמו כן, יש לקדם הגדרה מוסכמת של המונחים AI ו-AIED למטרות שימוש, ולסמן מוצרים לפי מידת השימוש שלהם בטכנולוגיות בינה מלאכותית, לטובת הצרכנים.
- **קניין רוחני** – מתן מענה לסוגיות הנוגעות לנוהלי זכויות יוצרים ומידע חינוכי. למשל, בכל סוג של מידע או תוצר יש לקבוע למי הוא שייך (נניח, למי מותר להשתמש בתוצרי התלמידים ובאיזה אופן?).
- **ביסוס יחסי עבודה מיטיבים במרחב הכיתה** – יש לדאוג לקידום יחסי עבודה מיטיבים בין התלמידים, המורים ומערכות הבינה המלאכותית: יש לתת את הדעת לכמה זמן התלמיד מבלה מול המכשירים וכמה מול המורה, אם ההחלטות מתקבלות בשיתוף פעולה, כיצד נראה שיתוף הפעולה בין התלמידים במרחב רווי בינה מלאכותית וכולי.

ב. **קידום רגולציה בחינוך** – בשנים האחרונות תהליכי רגולציה הנוגעים לפרטיות, אבטחת מידע ובינה מלאכותית צוברים תאוצה ומקבלים משנה תוקף אצל גופים בין-לאומיים שונים. הדוגמאות המרכזיות לכך הן תקנות אבטחת המידע והפרטיות של האיחוד האירופי משנת 2018 (ה-GDPR), ותהליך התיקון המובל כיום על ידי האיחוד האירופי ומכון התקנים האמריקאי (The National Institute of the Standard and Technology – NIST) ונוגע לקביעת סטנדרטים לפיתוח כלי בינה מלאכותית הוגנים ואחראיים. מדינת ישראל נמצאת בפער חקיקתי לעומת ארגונים אלו, ועל רקע זה מובילה בשנים האחרונות תהליכים של מחקר לבחינת הרגולציה של תחום ה-AI בהשתתפות ישראל דיגיטלית, משרד המדע והטכנולוגיה, רשות החדשנות, משרד המשפטים והמכון הישראלי למדיניות טכנולוגיה. לאור מגמות אלו, על משרד החינוך לקדם תקנות שיסדירו את תהליך השילוב של כלי בינה מלאכותית בתחום החינוך. כל זאת, תוך ביצוע השוואה למהלכי תיקון בין-לאומיים ובסנכרון עם תהליכי החקיקה הרלוונטיים המתבצעים כיום בישראל (למשל, דרך ייצוג האינטרסים החינוכיים בתהליך החקיקה הממשלתי הרוחבי בנושא בינה מלאכותית). להלן התמות המרכזיות שדרשות אסדרה:

- **פרטיות ואבטחת מידע** – אסדרת הנושא של פרטיות ואבטחת מידע היא היסוד הקריטי ביותר בביסוס של שימוש ביישומי בינה מלאכותית באופן אתי ובטוח. הפגיעה בתחומים אלו יכולה להיגרם משלל סיבות: הנטייה המוסדית להרחבת איסוף מידע ופיקוח; שימוש במידע על

- ידי תאגידים שהמודל העסקי שלהם מבוסס על איסוף וניתוח נתונים; מניפולציות של נתונים וגניבת מידע מצד בעלי אינטרסים או גורמים זדוניים, ועוד. רגולציה של תחום זה צריכה לכלול היבטים אחדים:
- ניסוח כללים ברורים בנוגע לאיסוף מידע (איזה מידע נאסף, והאם הוא מקושר עם מידע אישי של התלמיד או המורה?); שיתוף מידע והרשאות נתונים (למי המידע נגיש? בדגש על כללים לשימוש בנתונים במוסדות החינוכיים, במטה החינוך או בחברות פרטיות); וקביעת בלמים וביטחונות שימנעו גניבה של מידע או מתקפות סייבר. נוסף על כך, יש לדאוג לשיתוף הציבור בנוגע לטווח הנתונים שנאסף ולתכלית השימוש בהם.
 - יש לתת תשומת לב מיוחדת לאנונימיזציה של נתונים חינוכיים ומידע אישי (למשל, באמצעות טכנולוגיות מתקדמות של 'מאגרי מידע סינתטיים' או פתרונות אחרים שמבצעים ערבוּל ושיבוש של מאגרי נתונים). בהקשר זה, מומלץ לשאוב השראה מההתפתחויות במערכת הבריאות הישראלית, הנחשבת למובילה בעולם בתחום.
 - אימוץ כללים להגבלת פיקוח, כמו 'עקרון המינימיזציה' המציע להשתמש במידע המינימלי הנדרש כדי להשיג את טובת הציבור, או התפיסה שלפיה שימוש במידע יתבצע רק לטובת המטרה שלשמה הוא נאסף.
 - עיגון ושמירה על הזכות להישבח (למשל, מחיקת נתוני החינוך של התלמיד לאחר סיום לימודיו).

- **שקיפות, הסבריות, תיעוד ובניית אמון** – מטבעו, המלצות של אלגוריתמים מבוססי למידת מכונה אינן שקופות למשתמשים ולעיתים אף לא למפתחים. על מערכת החינוך לקבוע כללים וסטנדרטים להסבריות ולהנגשת ההיגיון העומד מאחורי קבלת ההחלטות (explainability) של יישומי AIED, כדי לבסס אמון במערכות בקרב התלמידים, אנשי החינוך והציבור. כמו כן, יש לבסס סטנדרט של אחריותיות בתחום של בינה מלאכותית בחינוך (accountable AIED), למשל באמצעות ליווי כל המלצה בתיג של מאפייני האלגוריתם (כיצד הוא פותח? מי פיתח אותו? האם הקוד פתוח או סגור? וכו'). תחום השקיפות של מערכות AI נמצא בהתפתחות מואצת בשנים האחרונות, ונדרשת בחינה של הכלים החדשניים ביותר בתחום.

3. שילוב שיקולי בינה מלאכותית בפרויקט הסדרת מערך המידע

בשנים האחרונות משרד החינוך מוביל פרויקט תשתית מקיף להסדרת מערך המידע שנועד להרחבת איסוף נתונים 'חסרים' בתשתית המשרדית, לאיחוד הנתונים המבוזרים כיום בין מערכות שונות (אנלוגיות ודיגיטליות), ולהרחבת תהליכי קבלת החלטות מבוססות נתונים מרמת התלמיד (למשל פרסונליזציה) ועד רמת המערכת בכלל (למשל באמצעות ביג דאטה). בתוך כך, הפרויקט מקדם יצירה של תשתיות נדרשות (טכנולוגיות או אנושיות). תהליך הבנייה של מסד נתוני חינוך דיגיטלי, מקיף ומדויק, הוא שלב מקדים ותנאי הכרחי לשילוב יישומי AIED באופן שיוביל להפקת מסקנות, תחזיות ופתרונות מדויקים ובעלי ערך. לאור זאת, **את המהלך לשילוב מערכות בינה מלאכותית במערכת החינוך יש לבסס, בין היתר, על פרויקט הסדרת מערך המידע. חשוב לתכנן את מאגרי הנתונים כך שיהיו בטוחים, רחבים וגמישים, ויוכלו לענות על הצרכים העתידיים הנוגעים לכלי AIED וגם להוביל מהלך אסטרטגי-מבני לבנייה של מאגרי מידע שיהוו בסיס לאימוץ היישומים ולהפקת ניתוחים ברזולוציות שונות ולפי קבוצות שונות** (למשל לפי תחכי גיל, מגדר, מעמד סוציו-אקונומי, לקויות למידה, ועוד). השלמת תמונת הנתונים החינוכית הכרחית לתלמיד, לאיש החינוך, למוסד החינוכי ולמטה לשם קבלה וביצוע של החלטות מבוססות נתונים שיתמכו בתהליך הלמידה, בשמירה על הרצף החינוכי ובקידום מטרות המערכת. להלן ההמלצות הרלוונטיות בנושא:

סנכרון עם מהלכים קיימים: יש לסנכרן את המהלך האסטרטגי של הכנסת יישומי AIED עם (א) פרויקט הסדרת מערך המידע; (ב) התוכנית לקידום למידה מבוססת דיגיטל, וכחלק ממנה גם מערך ההערכה הדיגיטלי. יוזמות אלו אמורות על הקמת מאגרי מידע חינוכיים מקיפים ואינטגרטיביים שישלבו נתונים לכל רוחב מערכת החינוך, ויש לשלב בהן מבעוד מועד את השיקולים הכרוכים בשילוב מערכות בינה מלאכותית בחינוך.

שקיפות בבניית מסדי נתונים: בבניית מסד נתונים של המדינה מומלץ לשמור על שקיפות ולדאוג לשיתוף הציבור בנוגע לתהליך ולאופן קבלת ההחלטות. שמירה על שקיפות עשויה לקדם תפיסה אחראית יותר מצד המדינה ולתמוך בקבלת המהלך בציבור.

הרשאות שימוש ובעלות על נתונים: יש להגדיר את הרשאות השימוש וזכויות הבעלות על הנתונים של מערכת החינוך ושותפים אחרים (מגזר פרטי וגופים מפתחים).

4. פיתוח תשתיות ותמיכה טכנית לשימוש ביישומי בינה מלאכותית

הכנסה מוצלחת של כלי AI דורשת הכנה מקיפה של תשתיות במרחבים שונים מבית הספר ועד מטה החינוך, תוך וידוא שמכלול התשתיות הרלוונטיות – החומרה, התוכנה, אמצעי הקצה, וכן חיבור אינטרנטי ברוחב פס מספק – נגישות לכל אנשי החינוך והתלמידים, ושהטמעתן כרוכה בקידום שוויון הזדמנויות ונעשית מתוך התחשבות בצמצום פערים דיגיטליים. לאור זאת, וכדי לעודד הכנסה של יישומי בינה מלאכותית, יש לבצע מספר פעולות מרכזיות: (א) קביעת תקנים ולוחות זמנים המסדירים את הקצאת המשאבים הטכניים (למשל, היחס שבין מספר התלמידים במוסד החינוכי ובין מספר המחשבים); (ב) הצטיידות בתשתיות הנדרשות; (ג) עידוד פיתוח תשתיות תוכנה בסיסיות (למשל, יכולות NLP בעברית ובערבית); (ד) בחינה מבעוד מועד של בעיות טכניות שעלולות להתעורר וכן מתן מענה לאתגרים אלו על ידי הקמת צוותי תמיכה טכנית יעודיים ועל ידי הדרכת הלומדים ואנשי החינוך לשימוש בשירותי התמיכה במקרה הצורך. המלצה זו מלווה בשני תתי-סעיפים שנוגעים למודל פיתוח תשתיות ולמודל פיתוח NLP:

1. פיתוח תשתיות – כלי חשיבה לתכנון פעולות המשרד

במסגרת תכנון התשתיות הרלוונטיות לשילוב מערכות AI בתחום החינוך יש לבחון שתי סוגיות מרכזיות:

(א) יש להבחין בין יישומי AI שאינם דורשים פיתוח תשתיתי נוסף (וכבר ניתן להטמיעם, באופן עקרוני) ובין כליים שדורשים תשתיות חדשות. שימוש ביישומי AIED למטרות מסוימות אינו דורש פיתוח תשתיתי מיוחד וניתן לשלבו באופן מהיר (למשל, תוכנות חכמות ללימוד אנגלית בשעות הפנאי המותקנות על הטלפון הנייד). יישומים אחרים דורשים הכנה נוספת ובמידה והמערכת תתעדף אותם ניתן יהיה לגזור את לוח הזמנים של פיתוח התשתיות הרלוונטיות על בסיס היעדים שהוצבו להטמעה (למשל, יעד הקובע הטמעה של מערכות למידה פרסונליות ב-20% ממוסדות החינוך בתוך חמש שנים). כך גם יימנע מצב של פיתוח תשתיתי נרחב שלא לצורך.

(ב) בכל הנוגע ליישומים ששילובם דורש פיתוח תשתיתי נוסף, יש לבחון אם מדובר בתשתיות קיימות שמשרד החינוך מקבל כצרכן מגורמים חיצוניים, או שמא מדובר בתשתיות ייחודיות לו שעליו לאפיין אותן ולפתחן כיום. משרד החינוך איננו ממונה על כל התשתיות הרלוונטיות לשילוב כלי AI (למשל, בפרויקטים לאומיים כמו NLP ו-HPC המהווים תשתית ליישומי AI, המדינה מובילה ואילו משרד החינוך מתפקד בעיקר כלקוח). בכל הקשור לפיתוח תשתיות בסיסיות כמו רוחב פס, משרד החינוך יכול לאמץ מודלים ששימשו גופים אחרים (כפי שבוצע בפרויקטי דיגיטציה של משרד הבריאות ושל בנקים). לכן, לצד הצבת הדרישות כלקוח, על משרד החינוך להקדיש מאמץ לבחינה של ה'דלתא' הייחודית לו ולפעול כמאפיין בכל הקשור לפיתוח תשתיות ל-AIED, למשל בחינת אמצעי קצה נדרשים (כמו מצלמות וחיישנים, במידת הצורך).

2. פיתוח NLP – משרד החינוך כלקוח גדול ומרכזי

מדינת ישראל מובילה כיום פיתוח של יכולות NLP בעברית וערבית, בהיותה הגורם המרכזי ובעל היכולת והאינטרס לביצוע מהלך מסוג זה. ניתן לצפות שפרויקט זה יספק מענה לצרכים של שלל גורמים: גופים מדיניים (משרד הבריאות, משרד המשפטים, משרד הביטחון ועוד) וגופים אחרים שהמדינה תוכל לחלוק איתם את היכולות (למשל, האקדמיה וגופים טכנולוגיים מובילים שיוכלו לקבל גישה במסגרת קוד פתוח). מבין כלל הצרכים של טכנולוגיית ה-NLP, מערכת החינוך היא לקוח משמעותי ביותר: היא ארגון גדול יותר משאר הצרכנים, והיא עתידה להיתרם מטכנולוגיה זו יותר מכל גוף אחר. לאור זאת, על משרד החינוך למצב את עצמו למול המדינה כצרכן המרכזי של טכנולוגיית ה-NLP וכשותף חשוב באפיון אתגרי המוצר.

5. גיבוש סדרי עדיפות בבחירת תחומים שבהם יישומי בינה מלאכותית תורמים למערכת החינוך

יישומי בינה מלאכותית יכולים לתרום בתחומים רבים ומגוונים ומנגד עלולים לעורר קשיים שונים. מסיבה זו יש לגבש סדרי עדיפות בעת בחירת תחומי הפעולה והפיתוח של כלי AIED תוך הבאה בחשבון של שני גורמים – מידת התועלת אשר ניתן להפיק מהיישום, ומידת הישימות שלו. להלן פירוט שני הגורמים:

- **תועלת** – על פי מידת התועלת של היישום יש לתמוך בפיתוחו ולהקצות לו משאבים. בבדיקת מידת התועלת, גורם ראשון במעלה הוא ההתאמה למטרות המתעדכנות של מערכת החינוך. לדוגמה, בתקופה שבה יש דגש על הגדלת אחוז הזכאים לבגרות במתמטיקה בהיקף של חמש יחידות לימוד, כלי מבוסס בינה מלאכותית אשר יכול לתרום למהלך זה יקבל ציון גבוה. גורם חשוב נוסף הוא היקף המשתמשים ביישום: ככל שהאוכלוסייה שמפיקה תועלת מהיישום גדולה יותר, כך התועלת ממנו רבה יותר.
- **ישימות** – השקעת משאבים ביישום בעל מידת ישימות גבוהה תאפשר מימוש הזדמנות באופן מיידי, ותיתן רווח גבית לשילוב יישומים נוספים. גורם הישימות של כלי בינה מלאכותית הוא תמהיל של מספר מאפיינים: מידת התאמת הטכנולוגיה למערכת החינוך בישראל, לדוגמה, יישום המבוסס על עיבוד שפה טבעית אשר לא תומך בעברית הוא בעל ישימות נמוכה. מאפיין נוסף הוא כמות המשאבים הנדרשת להטמעת היישום – ככל שנדרשים פחות משאבים, כך השילוב קל יותר. לדוגמה, יישום אשר מצריך הכשרת מורים ממושכת הוא בעל ישימות נמוכה. מאפיינים נוספים לישימות הם הסיכון לפגיעה בפרטיות, היכולת לספק שקיפות על אופן קבלת ההמלצות שמייצר מודל הבינה המלאכותית הכלול במערכת, ואופי ההסכמה הנדרשת לצורך הפעלת היישום. היבט נוסף חשוב הוא ההתאמה התרבותית הבוחנת את היכולת להתאים את היישום לתרבות של המשתמשים בו.

מידת ישימות גבוהה



תרשים 6: תרחישים בגיבוש סדרי עדיפויות

לטווח הקצר, אנו ממליצים לפעול לשם יצירת הצלחה מהירה – תרחישים 1 ו-2, כלומר לקדם יישומים בעלי תועלת גבוהה וישימות גבוהה וכן יישומים בעלי תועלת נמוכה וישימות גבוהה. המלצה זו מביאה בחשבון את המגבלות הרגולטוריות על איסוף נתוני הישגים, ומבטאת את הצורך להתחיל בשילוב יישומים הניתנים למימוש בתנאים הקיימים.

6. עידוד מערך פיתוח ומחקר של יישומי בינה מלאכותית בחינוך בישראל

התחום של AIED נמצא בעיקר במישור התיאורטי בשלב זה. ליישומי בינה מלאכותית יש פוטנציאל להציע את מערכת החינוך קדימה. עם זאת, כלי בינה מלאכותית נמצאים עדיין בשלבים ראשונים של שילוב והטמעה במערכות חינוך בעולם, ואין די התנסויות המוכיחות את מידת הבשלות של היישומים השונים. לצורך קידום תחום חדשני זה, על משרד החינוך לעודד מערך פיתוח ומחקר של יישומי בינה מלאכותית

בהקשר הלאומי. בהקשר זה, יש להפקיד את הוועדה המתכללת בנושא AIEd על קידום של ארבעה תהליכים: (א) עידוד פיתוח כלי AIEd במגזר הפרטי, ומיצוב משרד החינוך כשותף ולקוח מרכזי בתהליך זה; (ב) הפניית משאבים, מקורות מימון ופיתוח מקצועי בשדה המחקר האקדמי של AIEd; (ג) הקמת מעבדות וחממות בשיתוף משרד החינוך וגופים פרטיים לטובת בחינה, התנסות ופיתוח של יישומים המותאמים לצרכי מערכת החינוך; (ד) שיתוף בעלי עניין לטובת הבנת הצרכים והאתגרים השונים, ביסוס אמון והתמודדות עם התנגדויות אפשריות (נציגי רשויות מקומיות, משרדי ממשלה, מגזר שלישי, הורים ועוד). להלן פירוט ההמלצות הרלוונטיות לנושא זה:

שיתוף פעולה עם המגזר הפרטי: לטובת קידום תהליכי פיתוח מוצלחים נבנה מודל לבחינת אופני שיתוף הפעולה של משרד החינוך עם המגזר הפרטי. המודל מורכב ממטריצה עם ארבעה פרמטרים, והוא מבחין בין שיתוף פעולה עם ספקים קטנים לעומת שיתוף פעולה עם ספקים גדולים, ובין משרד החינוך כלקוח לעומת משרד החינוך כשותף ומלווה. להלן התובנות הנגזרות מהמודל:

שיתוף פעולה עם ספקים גדולים – כשמדובר בעבודה מול תאגידים, על משרד החינוך להיות לקוח חכם המעודד את החברות להשקיע בשוק החינוך הישראלי ובה בעת להיות ער לכוח שלו ולכוון למוצרים שיתאימו לצרכים הספציפיים של מערכת החינוך ולסטנדרטים שלה (מיצוב מערכת החינוך כאתר של התאגידים הגדולים). הגדרה ברורה של תחום גזרה או 'קווים אדומים' תהווה מצע חיוני לשיתוף פעולה כגון זה; היא תבטיח שמירה על סוגיות כמו פרטיות, אבטחת מידע ושקיפות/הסבריות (explainability), ותאפשר למשרד החינוך לשלוט ולפקח על תהליכי השילוב וההפעלה. לשם כך מומלץ לבחון מודלים שנוסו במדינות אחרות, למשל את התקינה המתקדמת של ה-GDPR².

שיתוף פעולה עם ספקים קטנים – בעבודה מול ספקים קטנים על משרד החינוך לשמש שותף ומלווה. עליו לדאוג לקידום הצרכים של מערכת החינוך לצד ביסוס מודל עסקי בר-קיימא שיאפשר ליזמים לפעול גם בשוק הגלובלי.

קידום מחקר אקדמי: על משרד החינוך להפנות את המשאבים הנדרשים ליצירת אפשרויות מימון חדשות למו"פ מקצועי בתחום של AIEd ולהוביל את המחקר האקדמי בתחום כך שיספק מידע לתהליכי קבלת החלטות ויקדם מענה לצרכים בשטח. יש לשקול, למשל, מתן מלגות למחקר AIEd ופתיחת מסלול לימודים ייעודי בתחום זה. כך יצומצם הפער במחקר האקדמי של AIEd לעומת מדינות מתקדמות ויורחב הידע הניסיוני בנוגע לערך של כלים ושיטות שונות (לדוגמה, ייתן מענה לשאלה מהי האסטרטגיה המתאימה ביותר להטמעת הכלים הטכנולוגיים בכל מוסד חינוך ועבור כל אוכלוסיית יעד).

הקמת מעבדות וחממות לפיתוח יישומים: הפעלה של מעבדות, חממות ומאצים, וקידום של שדה התנסות בתחום של AIEd – תהליך שהותנע בשנתיים האחרונות ואנו ממליצים להרחיבו – עשוי לשרת מספר מטרות:

- א. הוא יאפשר ליצרני מוצרים להתקין את מוצריהם בקלות ויספק להם גישה לנתוני ניסוי.
- ב. הוא יאפשר לבעלי עניין מתוך מערכת החינוך להתנסות בתרחישים חינוכיים מבוססי בינה מלאכותית.
- ג. הוא יאפשר לגופי מו"פ לתכנן, לבצע ולנטר ניסויים בפשוטות ובמהירות יחסית.
- ד. הוא יעודד האצה, פיתוח והתאמה של מוצרי AI לצרכים של מערכת החינוך.

* כחלק מתהליך זה יש לשקול אבזור של מבנה ייעודי שיתחזק ברמה גבוהה ויהיו בו הטכנולוגיות הנדרשות.

שיתוף בעלי עניין: הטמעה של כלי בינה מלאכותית במערכת החינוך כרוכה במורכבות לעומת תהליכים מקבילים בגופים אחרים (למשל, מערכת הבריאות). פער זה נובע משלושה גורמים מרכזיים: ריבוי הגורמים המעורבים במערכת החינוך, התמקדות מערכת החינוך בצעירים, והמורכבות יוצאת הדופן של תהליך הלמידה ומשמעותיות הרבות. כדי לספק מענה למורכבות זו מומלץ ללוות את ההטמעה של יישומי AIEd במעגלי שיח ממוסדים שידונו בנושא ויכללו נציגים ממשרדי הממשלה, מהשלטון המקומי, מהמגזר השלישי, מהאקדמיה, וכן אנשי חינוך, הורים ועוד. לשיתוף כגון זה שלושה תפקידים מרכזיים:

- א. בירור הצרכים של בעלי העניין ושל הגורמים השונים במערכת החינוך כדי להתאים להם את המוצרים.
- ב. מתן מעמד מיוחד למורים, מנהלים, אקדמאים ומומחי מטה שיאפיינו את הצרכים החינוכיים, יובילו מהלכים והתנסויות, וישמשו גוף מקשר בין פיתוח הבינה המלאכותית בתעשייה לבין מערכת החינוך.

² יש להפקיד להימנע מהיווצרות של תנאי מונופול שבמסגרתם כמויות גדולות של נתונים ירוכזו בידיים של חברת ענק בעלת אינטרס, דבר שעלול לגרום לעיצוב אלגוריתמים עם הטיות או העדפות מסוימות.

ג. מתן דגש מיוחד על שיתוף הורים ומורים בקבלת החלטות והנעת תהליכים כסוכני שינוי. כל זאת מתוך הכרה במורכבות הייחודית הנוגעת להטמעת בינה מלאכותית במערכת החינוך, ובהתנגדויות שעשויות להתעורר סביב סוגיות כמו איסוף וניתוח מידע, או קשיים והתנגדויות בהסתגלות והטמעה.

7. התאמת תפקיד המורה לעולם רווי בינה מלאכותית

שילוב כלי בינה מלאכותית בחינוך והשפעתם על הסביבה החינוכית כרוכים בשינוי תפקיד המורה. לאור זאת, מומלץ לקדם במשרד החינוך אפיון עדכני והגדרה מחודשת של תפקיד המורה בחינוך משולב בינה מלאכותית. בתהליך זה יש לשים דגש על התפיסה שלפיה יישומי בינה מלאכותית משמשים כלי עזר למורה כדי שיוכל להתמקד בתהליך הפדגוגי, להדריך את התלמידים ולדאוג לצרכים הרגשיים והחברתיים שלהם. יתר על כן, על משרד החינוך לשתף את המורים בתהליכי הפיתוח והאפיון של כלי בינה מלאכותית כך שיתאימו לצרכים העולים מהשטח, ולהעניק להם גמישות בקביעת האופן וההקשר שבהם ישולבו כלי בינה מלאכותית. לצד זאת, יש לדאוג להכשרה ופיתוח מקצועי של מורים בתחום של בינה מלאכותית, ולקדם תהליך הטמעה של יישומים פשוטים וידידותיים למשתמש כך שמורים מרקעים שונים יזכו בהזדמנות שווה לשימוש בטכנולוגיות החדשות. להלן פירוט ההמלצות הרלוונטיות לנושא זה:

פיתוח והכשרת מורים: הכשרת מורים לשימוש בטכנולוגיות מתקדמות היא תנאי מרכזי לשילוב מיטבי של הטכנולוגיות במסגרות חינוכיות הן עבור מורים פעילים הן עבור סטודנטים להוראה. לאור זאת, מומלץ לדאוג להכשרה ופיתוח מקצועי של המורים לשימוש במגוון יישומי בינה מלאכותית, לאוריינות בינה מלאכותית ולפיתוח תפיסות ביקורתיות על הנושא. לדוגמה, היכרות של תהליכי החיזוי וההמלצות שמפיקים כלי AIED, אוריינות באנליטיקות מידע (למשל, לדעת לכתוב שאלתא למערכת ולהדריך את התלמידים בהתאם), ומיומנויות ניהול חדשות שכוללות ניהול תלמידים או אנשי חינוך לצד ניהול המערכות.

גמישות ניהולית פדגוגית: במערכת החינוך גוברת כיום ההכרה בחשיבותה של הגמישות אצל דרגי השטח. לאור זאת, תוכנית העבודה שתגובש לטובת שילוב בינה מלאכותית בחינוך צריכה לשים דגש על הרחבת האוטונומיה של המורים ועל הנגשת כלים טכנולוגיים למגוון שימושיהם. יש לדאוג להרחבת אפשרויות הפעולה של אנשי החינוך, לאפשר להם חופש בחירה של כלים ושיטות, ולקדם את ההכרה בתועלת שבינה מלאכותית יכולה לספק לבעלי העניין ולמערכת כולה.

עידוד יוזמות מקומיות: יש לעודד פיתוח יוזמות חינוכיות מקומיות והטמעתן על ידי מורים, מנהלים, מפקחים ורשויות באמצעות יצירת מנגנונים (כמו תוכניות חינוכיות או הקצאת משאבים בית ספריים) ותהליכים (כמו מאיצים וחממות). דוגמה לכך היא יוזמה הפועלת בעיריית רעננה בבתי הספר היסודיים, כחלק מהמעבדה לבינה מלאכותית של אגף מ"פ של משרד החינוך. ניתן להיעזר לשם כך בתוכניות ובכלים ללימוד בינה מלאכותית שמפותחים בעולם בקצב גבוה, אם בעבור מערכות חינוך ואם לצרכים אקדמיים.

8. התאמת החינוך ותוכנית הלימודים לעולם רווי בינה מלאכותית

למערכת החינוך יש תפקיד מרכזי בהכשרת דורות העתיד לשוק העבודה החדש לצד הקניית מיומנויות לשימוש מועיל ובטוח בכלים דיגיטליים למטרות לימוד ופנאי ולטובת השתלבות מיטבית בעולם הדיגיטלי. עם התהוות של עולם רווי בינה מלאכותית, מתפקידה של מערכת החינוך להקנות לתלמידים את הידע, המיומנויות והכלים לגיבוש תפיסות וערכים רלוונטיים לעידן הבינה המלאכותית. לצורך כך מערכת החינוך צריכה לבנות תוכנית לימודים שתקיף את נושא הבינה המלאכותית ואת נגזרותיה. כדאי לתאם מהלך זה עם תהליכים בין-לאומיים להגדרה ומדידה של ידע ואוריינות בתחום של בינה מלאכותית. להלן פירוט ההמלצות הרלוונטיות לתחום זה:

גיבוש תוכנית לימודי בינה מלאכותית: יש להקים צוות חשיבה ייעודי שיבנה תוכנית לימודים מתעדכנת בעולמות הבינה המלאכותית ללמידה על כל רצף הגילאים. מומלץ לחלק תחום לימודי זה לפי שלושה היבטים:

- א. **תוכנית לימוד מקצועית הנוגעת לבינה מלאכותית.** מומלץ שהתוכנית תכלול הקניית מיומנויות מורכבות בשדה של בינה מלאכותית – הקניית ידע היסטורי ומיומנויות פיתוח מערכות מבוססות בינה מלאכותית, והיכרות עם אתיקה של התחום.
- ב. **עידוד מקצועות מבוססי נתונים.** נוסף על תוכניות ייעודיות, יש לעודד לימוד מקצועות ריאליים תומכים כמו מתמטיקה, סטטיסטיקה וניהול נתונים.
- ג. **תוכנית לימודי בינה מלאכותית בסיסית.** תוכנית זו תהיה מיועדת לכל התלמידים ועיקרה הקניית מיומנויות הכרחיות לשימוש מושכל במערכות בינה מלאכותית וכן לאזרחות בעולם רווי בינה מלאכותית. היא תכלול אוריינות בינה מלאכותית ואוריינות נתונים (היכרות בסיסית עם התחום, הקניית מיומנויות בסיסיות של חשיבה מחשבתית וכן פיתוח מיומנויות, גישות וערכים בתחום של עבודה ותקשורת בצוותים משולבים אדם-מכונה), קורסי אתיקה של בינה מלאכותית (כולל פיתוח יכולת לשימוש ביקורתי, אמין ושיטופי ביישומי בינה מלאכותית), ופיתוח מיומנויות מורכבות כגון אימון מערכות בינה מלאכותית.

9. שמירה על הוגנות בשילוב בינה מלאכותית וחינוך

לאורך התהליך התגבשה ההבנה שיש לרתום את היתרונות של כלי AIED לשיפור ולהרחבת שוויון ההזדמנויות במערכת החינוך. טכנולוגיות בינה מלאכותית יוכלו לסייע במשימה זו בשלל דרכים: שיפור המענה לצרכים של תלמידים ואנשי חינוך בכל הקשר חינוכי באמצעות מערכות מותאמות אישית, הפניית זמן ומשאבים למורים כדי שיוכלו להשקיע יותר בתלמידים חלשים, הקניית תוכני הוראה טובים יותר למוסדות לימוד מרוחקים, צמצום נשירה באמצעות אנליטיקות מידע חכמות, ועוד. לצד זאת, במסגרת שילוב הכלים יש לדאוג לשמירה על הוגנות ולמנוע הגברה של אי-שוויון בקרב אוכלוסיות מוחלשות או מיעוטים שהגישה שלהם לכלים מתקדמים עשויה להיות פחותה, או בקרב קבוצות שאינן מקבלות ייצוג הולם בשלבי האימון של האלגוריתמים ועשויות לסבול מהטיות ואפליה (למשל על בסיס מגדר או צבע עור). בשמירה על הוגנות יש לשים לב לגורמים הללו: מצב התשתיות הטכנולוגיות בבית הספר וברשות המקומית (למשל, גישה לחשמל, רוחב פס וציבור החיבור לאינטרנט), מידת האוריינות הדיגיטלית בקרב המורים והתלמידים, פערים בהתאמת היישומים לשפות שונות, פערים תפיסתיים ותרבותיים, והטיות (bias) אפשריות של כלי בינה מלאכותית. להלן פירוט ההמלצות המרכזיות הנוגעות לנושא:

הוגנות בבניית תשתיות: כחלק מתפקידי הוועדה המשרדית המתכללת בתחום של בינה מלאכותית יש להגדיר את האחריות לתכנון ולהקמת תשתיות וכן להטמעה ותחזוקה של המערכות באופן שישמור על הגינות ויביא בחשבון את הפערים בתשתיות שבין הרשויות ומוסדות החינוך למיניהם.

הוגנות ביישומי AIED: יש לדאוג לבחינת אי-השוויון שעלול להיגרם עקב שילובם של יישומים מסוימים ולדאוג לשמירה על סטנדרט של הגינות בהכנסה של כלי AIED (למשל, נושא ה-bias כאמור לעיל).

אוריינות בינה מלאכותית ופערים תפיסתיים: יש לדאוג לפיתוח אוריינות באופן הוגן ולהביא בחשבון פערים תפיסתיים ותרבותיים שיכולים להקשות על שילוב כלי AIED בקרב ציבורים מסוימים. סעיף זה רלוונטי למערכי שיעור במוסדות החינוך וכן לפיתוח והכשרה של מורים. כדאי, למשל, לנתב חלק מהתקציב הממשלתי שנועד לקידום אוכלוסיות מוחלשות לתחום החינוך, תוך מתן דגש על נושא הבינה המלאכותית.

סיכום

תחום הבינה המלאכותית נמצא בתהליך התפתחות מואץ וצפוי לחולל מהפכה בכל תחומי הפעילות האנושית, כולל בתחום החינוך. למדינת ישראל יש אפשרות להוביל בתחום של בינה מלאכותית בחינוך, לאפשר למערכת החינוך להתאים את הטכנולוגיה לצרכיה, ולהתכונן מוקדם ככל האפשר לעולם רווי טכנולוגיות משבשות. על כן על מערכת החינוך לקדם מהלך אסטרטגי שיגדיר תמונת עתיד רצויה של שילוב בינה מלאכותית וחינוך, ותוכנית פעולה רב-שנתית ליישומה. מהלך אסטרטגי זה, המבוסס על חשיבה מערכתית והירתמות של מערכת החינוך כולה, צריך להיות חלק מהמהלך הלאומי בתחום בינה מלאכותית בישראל, ועליו לזכות בהכרה ובמימון ממשלתיים. מסמך זה משרטט בקווים כלליים את הפעולות הנדרשות כדי לקדם מהלך כגון זה; הוא מספק תשע המלצות מרכזיות לפעולות נדרשות ברמה הלאומית, המערכתית והחינוכית. אנו מבקשים לשים דגש על הצורך בהקמת ועדת משרדית מתכללת בנושא AI בטווח המידי, אשר תדאג

להתנעת התהליך ולהובלתו. יתר על כן, אנו ממליצים על ביצוע מהלך כפול ובמסגרתו יקודמו הפיתוח, השילוב וההטמעה של כלי AI במערכת החינוך (על ידי הקמת מעבדות, פיילוטים ותמיכה באקוסיסטם הרלוונטי), ולצידו ייערך מהלך אסטרטגי לשילוב בינה מלאכותי כתחום דעת שידאג להכנת התלמידים לעידן הנוכחי.

נספח

השותפים למהלך העבודה

אנשים רבים תרמו מהידע ומהניסיון שלהם לצורך העבודה על המסמך. להלן רשימת השותפים המלאה:

שותפים
<p>צוות מוביל</p> <p>איתן קלינגמן – מנהל החטיבה לחדשנות טכנולוגית Start, משרד החינוך מירב זרביב – מנהלת אגף מו"פ, ניסויים ויוזמות, משרד החינוך דנה רבין – מנהלת שותפויות ופרויקטים אסטרטגיים, החטיבה לחדשנות טכנולוגית Start, משרד החינוך גלעד שמיר – חוקר וכותב המסמך, החטיבה לחדשנות טכנולוגית Start, משרד החינוך ד"ר איריס פינטו – חוקרת עתידים וכותבת המסמך, אגף מו"פ, ניסויים ויוזמות, משרד החינוך ד"ר עופר מורגנשטרן – מנהל המכון לחקר עתידים בחינוך וכותב המסמך, אגף מו"פ, ניסויים ויוזמות, משרד החינוך דרור בירגר – חוקר וכותב המסמך, החטיבה לחדשנות טכנולוגית Start, משרד החינוך נדב שטרית – חוקר, החטיבה לחדשנות טכנולוגית Start, משרד החינוך ד"ר איתן אלירם – מנכ"ל חברת חדשנות ויזם בתחום הבינה המלאכותית</p>
<p>אקדמיה</p> <p>פרופ' מיכאל גופמן – מומחה בתחום המימון, אוניברסיטת רוצ'סטר ד"ר סער קרפ גרשון – מומחה בשיטות סטטיסטיות, חוקר הערכה ומדידה בלמידה מקוונת, מכון ויצמן ד"ר יובל דרור – סוציולוג של טכנולוגיה, המכללה למינהל פרופ' איליה לויין – חוקר בתחום של חינוך למדע וטכנולוגיה, אוניברסיטת תל אביב ד"ר חמי רמיאל – סוציולוג של חינוך וטכנולוגיה ד"ר גיורא אלכסנדרון – חוקר גישות חינוכיות בבית הספר למידה, מכון ויצמן</p>
<p>מגזר פרטי</p> <p>יוראי פיינמסר – מומחה לאתיקה של AI ומנהל קרן הון סיכון Disruptive AI ד"ר איה סופר – סגנית נשיא בין-לאומית לבינה מלאכותית ב-IBM ד"ר תומר סיימון – מומחה לאתיקה של AI ומדען ראשי ב-Microsoft ישראל מחקר ופיתוח ד"ר יניב שמואלי – מנהל מו"פ בתחום למידת מכונה והבנת תוכן, חברת Meta שחר איתן – מהנדס ומנהל קבוצת ארכיטקטורה, אינטל אושרה בלפולסקי – עוסקת בהוראת מתמטיקה ומהנדסת אווירונאוטיקה וחלל ואלגוריתמאית בתעשייה הביטחונית</p>
<p>חינוך</p> <p>רותי רוה – מנהלת תחום בכיר, פרויקט הסדרת מערך המידע, משרד החינוך לב ברמן – מנהל מרכז יזמות וחדשנות, תיכון הייטק ואומנויות ע"ש פרס, רשת עמל ד"ר אסתי צביון – מרצה וחוקרת בתחום של בינה המלאכותית בחינוך, המכללה האקדמית אחוה ד"ר עמיר גפן – מנהל המעבדה לבינה מלאכותית בחינוך, אגף מו"פ, ניסויים ויוזמות, משרד החינוך ענבר בוברובסקי – לשכת המדען הראשי, משרד החינוך נעה להב – מנהלת קהילות, החטיבה לחדשנות טכנולוגית Start, משרד החינוך</p>

מקורות

אשכנזי, א', גלעד-בכרך, ר', נהון, ק', קן דרור פלדמן, ד', קרן, ע' ושוורץ אלטשולר, ת' (2019). ועדת משנה של המיזם הלאומי למערכות נבונות בנושא אתיקה ורגולציה של בינה מלאכותית: דין וחשבון.

<http://ekarine.org/heb/wp-content/pubs/AIEthicsRegulationReport-hebrew.pdf>

בליזובסקי, א' (2021, 1 בפברואר). הפורום הכלכלי העולמי מודיע על השקת הברית העולמית לפעולת בינה מלאכותית הוגנת. הידען.

<https://www.hayadan.org.il/%D7%94%D7%A4%D7%95%D7%A8%D7%95%D7%9D-%D7%94%D7%9B%D7%9C%D7%9B%D7%9C%D7%99-%D7%94%D7%A2%D7%95%D7%9C%D7%9E%D7%99-%D7%9E%D7%95%D7%93%D7%99%D7%A2-%D7%A2%D7%9C-%D7%94%D7%A9%D7%A7%D7%AA-%D7%94%D7%91%D7%A8>

ברק-מדינה, ע' (2020). מעבדת בינה מלאכותית בחינוך: דו"ח ביניים כבסיס לחשיבה אסטרטגית וסיכום שנת פעילות תש"פ. משרד החינוך. <https://www.archive.mop.education/wp-content/uploads/-----AI.pdf>

גז, ד', כץ-שחם, א', קליין, ר', צזנה, ר', רוזנברג, ש', שהם, א', ברזני, א', לק, ע' וציפרפל, ס' (2018). בינה מלאכותית, מדעי הנתונים ורובוטיקה חכמה – תקציר דו"ח ראשון. מוסד שמואל נאמן.

<https://www.neaman.org.il/Artificial-Intelligence-Data-Science-and-Smart-Robotics-First-report-summary>

רשות החדשנות (2021א). בקשה לקבלת מידע (RFI) על תשתית לאומית למחשוב על (HPC). <https://innovationisrael.org.il/HPC>

רשות החדשנות (2021ב, 13 בספטמבר). תכנית לאומית למחקר, פיתוח בניית תשתיות לאומיות ל-NLP בעברית: בקשה לקבלת מידע (RFI).

https://innovationisrael.org.il/sites/default/files/RFI%20NLP%20%D7%92%D7%A8%D7%A1%D7%94%20%D7%A1%D7%95%D7%A4%D7%99%D7%AA_0.docx

שלימוב, א' (2021, 5 באפריל). בינה מלאכותית בשירות הרפואה: כיצד בינה מלאכותית משנה את האופן בו מסופקים שירותי רפואה. <https://www.new-tech-magazine.com/2021/04/%D7%91%D7%99%D7%A0%D7%94->

[%D7%9E%D7%9C%D7%90%D7%9B%D7%95%D7%AA%D7%99%D7%AA-%D7%91%D7%A9%D7%99%D7%A8%D7%95%D7%AA-%D7%94%D7%A8%D7%A4%D7%95%D7%90%D7%94-%D7%9B%D7%99%D7%A6%D7%93-%D7%91%D7%99%D7%A0%D7%94/](#)

תשתיות לאומיות ומו"פ (2021). ועדת בינה מלאכותית ומדע הנתונים.

<https://www.academy.ac.il/SystemFiles2015/14-3-21.pdf>

Al-Mekhlal, M., & Khwaja, A. A. (2019). A synthesis of big data definition and characteristics. In *2019 IEEE international conference on computational science and engineering (CSE) and IEEE international conference on embedded and ubiquitous computing (EUC)* (pp. 314–322). IEEE Computer Society. <http://doi.org/10.1109/CSE/EUC.2019.00067>

Analytics Insight. (2020, December 16). *How artificial intelligence and robots are changing the world? Use cases of AI and robotics*. <https://www.analyticsinsight.net/how-artificial-intelligence-and-robots-are-changing-the-world-use-cases-of-ai-and-robotics/>

Baker, T., Smith, L., & Anissa, N. (2019). *Educ-AI-tion rebooted? Exploring the future of artificial intelligence in schools and colleges*. nesta. [https://media.nesta.org.uk/documents/Future of AI and education v5 WEB.pdf](https://media.nesta.org.uk/documents/Future_of_AI_and_education_v5_WEB.pdf)

Bowers, A. J., & Zhou, X. (2019). Receiver operating characteristic (ROC) area under the curve (AUC): A diagnostic measure for evaluating the accuracy of predictors of education outcomes. *Journal of Education for Students Placed at Risk (JESPAR)*, *24*(1), 20–46. <https://doi.org/10.1080/10824669.2018.1523734>

Chen, L., Chen, P., & Lin, Z. (2020). Artificial intelligence in education: A review. *Ieee Access*, *8*, 75264–75278. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2988510>

Compunnel Digital. (2021, February 24). *Infographic: Top AI trends to watch in 2021*. <https://www.compunneldigital.com/infographic/top-ai-trends>

Contact North (2018). *Ten facts about artificial intelligence in teaching and learning*. https://teachonline.ca/sites/default/files/tools-trends/downloads/ten_facts_about_artificial_intelligence_0.pdf

- D'Mello, S. K. (2018). What do we think about when we learn? In K. Millis, D. L. Long, J. P. Magliano, & K. Wiemer (Eds.), *Deep comprehension* (pp. 52–67). Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9781315109503>
- DataGov (2020, November, 12). *The national artificial intelligence research and development strategic plan: 2019 update*. <https://catalog.data.gov/dataset/the-national-artificial-intelligence-research-and-development-strategic-plan-2019-update>
- Defense Advanced Research Projects Agency (n.d.). *DARPA perspective on AI*.
<https://www.darpa.mil/about-us/darpa-perspective-on-ai>
- Erfurt, G., Hornecker, E., Ehlers, J., & Plaschkies, S. (2019). Hands-on math: A training system for children with dyscalculia. In *Extended abstracts of the 2019 CHI conference on human factors in computing systems* (pp. 1–6). Association for Computing Machinery.
<https://doi.org/10.1145/3290607.3313012>
- Fan, M., Antle, A. N., Hoskyn, M., Neustaedter, C., & Cramer, E. S. (2017). Why tangibility matters: A design case study of at-risk children learning to read and spell. In *Proceedings of the 2017 CHI conference on human factors in computing systems* (pp. 1805–1816). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3025453.3026048>
- Faria, A. M., Sorensen, N., Heppen, J., Bowdon, J., Taylor, S., Eisner, R., & Foster, S. (2017). *Getting students on track for graduation: Impacts of the early warning intervention and monitoring system after one year* (REL 2017–272). Institute of Education Sciences.
- Gartner. (2020, August 18). Gartner identifies five emerging trends that will drive technology innovation for the next decade. <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2020-08-18-gartner-identifies-five-emerging-trends-that-will-drive-technology-innovation-for-the-next-decade>
- GDPR. (n.d.). General Data Protection Regulation - GDPR. <https://gdpr-info.eu/>
- Gobert, J. D., Baker, R. S., & Wixon, M. B. (2015). Operationalizing and detecting disengagement within online science microworlds. *Educational Psychologist*, 50(1), 43–57. <https://doi.org/10.1080/00461520.2014.999919>
- Goddard, W. (2020, November, 9). *AI in education*. IT Chronicles.
<https://itchronicles.com/artificial-intelligence/ai-in-education/>

- Grinaker, S. (2019). *AI – what artificial intelligence is and is not*. Posted in ENONIC.
<https://enonic.com/blog/ai-what-artificial-intelligence-is>
- Hirji, K. K. (2001). Exploring data mining implementation. *Communications of the ACM*, 44(7), 87–93. <https://doi.org/10.1145/379300.379323>
- HolonIQ. (2020, February 20). *The 2020 AI strategy landscape: The 50 national artificial intelligence strategies shaping the future of humanity*. <https://www.holoniq.com/notes/50-national-ai-strategies-the-2020-ai-strategy-landscape/>
- Kara, N., & Sevim, N. (2013). Adaptive learning systems: Beyond teaching machines. *Contemporary Educational Technology*, 4(2), 108–120.
- Lee, I., Martin, F., Denner, J., Coulter, B., Allan, W., Erickson, J., Malyn-Smith, J., & Werner, L. (2011). Computational thinking for youth in practice. *Acm Inroads*, 2(1), 32–37. <https://doi.org/10.1145/1929887.1929902>
- Luckin, R., Holmes, W., Griffiths, M., & Forcier, L. B. (2016). *Intelligence unleashed: An argument for AI in education*. Pearson Education.
- Lv, H., & Tang, H. (2011). Machine learning methods and their application research. In *2011 2nd international symposium on intelligence information processing and trusted computing* (pp. 108–110). IEEE Computer Society. <https://doi.org/10.1109/IPTC.2011.34>
- Mac Iver, M. A. (2013). Early warning indicators of high school outcomes. *Journal of Education for Students Placed at Risk (JESPAR)*, 18(1), 1–6. <https://doi.org/10.1080/10824669.2013.745375>
- Molenaar, I., Knoop-van Campen, C. A., & Hasselman, F. (2017). The effects of a learning analytics empowered technology on students' arithmetic skill development. In *Proceedings of the seventh international learning analytics & knowledge conference* (pp. 614–615). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3027385.3029488>
- Mousavizadeh, A., Darrah K., & Halliday E. (2020, December 3). *Who is leading the world in AI?* Tortois. <https://www.tortoisemedia.com/2020/12/03/who-is-leading-the-world-in-ai/>

- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2019). *Artificial intelligence in society*. <https://dx.doi.org/10.1787/eedfee77-en>
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2021a). *AI and the future of skills, Vol. 1: Capabilities and assessments*. OECD. <https://doi.org/10.1787/5ee71f34-en>
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2021b). *OECD digital education outlook 2021: Pushing the frontiers with artificial intelligence, blockchain and robots*. <https://doi.org/10.1787/589b283f-en>
- Pane, J. F., Griffin, B. A., McCaffrey, D. F., & Karam, R. (2014). Effectiveness of cognitive tutor algebra I at scale. *Educational Evaluation and Policy Analysis*, 36(2), 127–144. <https://doi.org/10.3102/0162373713507480>
- Pedro, F., Subosa, M., Rivas, A., & Valverde, P. (2019). *Artificial intelligence in education: Challenges and opportunities for sustainable development*. UNESCO. <http://repositorio.minedu.gob.pe/handle/20.500.12799/6533>
- Pinkwart, N. (2016). Another 25 years of AIED? Challenges and opportunities for intelligent educational technologies of the future. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 26(2), 771–783. <https://doi.org/10.1007/s40593-016-0099-7>
- Randall, J. G., Oswald, F. L., & Beier, M. E. (2014). Mind-wandering, cognition, and performance: A theory-driven meta-analysis of attention regulation. *Psychological Bulletin*, 140(6), 1411–1431.
- Rello, L., Ballesteros, M., Ali, A. X., Serra, M., Sánchez, D. A., & Bigham, J. P. (2016). Dyetective: Diagnosing risk of dyslexia with a game. In *PervasiveHealth '16: 10th EAI international conference on pervasive computing technologies* (pp. 89–96). Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering. <https://www.cs.cmu.edu/~jbigham/pubs/pdfs/2016/PerHealth2016-Dyetective.pdf>
- Rumberger, R. W., Addis, H., Allensworth, E., Balfanz, R., Bruch, J., Dillon, Duardo, D., Dynarski, M., Furgeson, J., Jayanthi, M., Newman-Gonchar, R., Place, K., & Tuttle, C. (2017). *Preventing dropout in secondary schools* (NCEE 2017-4028). National Center for Education Evaluation and Regional Assistance.

- Schaffhauser, D. (2017, February 15). *Autopsy for the failure that was in bloom*. The Journal. <https://thejournal.com/articles/2017/02/15/autopsy-for-the-failure-that-was-inbloom.aspx>
- Shamir, G., & Levin, I. (2021). Neural network construction practices in elementary school. *KI-Künstliche Intelligenz*, 35, 181–189. <https://doi.org/10.1007/s13218-021-00729-3>
- Smallwood, J., McSpadden, M., & Schooler, J. W. (2008). When attention matters: The curious incident of the wandering mind. *Memory & Cognition*, 36(6), 1144–1150. <https://doi.org/10.3758/MC.36.6.1144>
- Stiehler, A., & Gantori, S. (2019, March 5). *Longer term investments, automation and robotics*. UBS – Chief Investment Office WM. <https://www.ubs.com/content/dam/WealthManagementAmericas/documents/automation-robotics-11-march.pdf>
- Strelkova, O. (2017). *Three types of artificial intelligence*. <http://eztuir.ztu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/6479/142.pdf?sequence=1&i>
- Timmis, S., Broadfoot, P., Sutherland, R., & Oldfield, A. (2016). Rethinking assessment in a digital age: Opportunities, challenges and risks. *British Educational Research Journal*, 42(3), 454–476. <https://doi.org/10.1002/berj.3215>
- Tremblay, J., To, T., Sundaralingam, B., Xiang, Y., Fox, D., & Birchfield, S. (2018). Deep object pose estimation for semantic robotic grasping of household objects. *arXiv preprint arXiv:1809.10790*.
- Tuomi, I. (2020). *The use of artificial intelligence (AI) in education*. Research for CULT Committee. <https://research4committees.blog/2020/09/07/the-use-of-artificial-intelligence-ai-in-education/>
- Zhang, D., Mishra, S., Brynjolfsson, E., Etchemendy, J., Ganguli, D., Grosz, B., Lyons, T., Manyika, J., Niebles, J. C., Sellitto, M., Shoham, Y., Clark, J., & Perrault, R. (2021). *The AI Index 2021 Annual Report*. AI Index Steering Committee, Human-Centered AI Institute. https://aiindex.stanford.edu/wp-content/uploads/2021/03/2021-AI-Index-Report_Master.pdf
- Zhexenova, Z., Amirova, A., Abdikarimova, M., Kudaibergenov, K., Baimakhan, N., Tleubayev, B., Asselborn, T., Johal, W., Dillenbourg, P., CohenMoller, A., & Sandygulova, A.



(2020). A comparison of social robot to tablet and teacher in a new script learning context. *Frontiers in Robotics and AI*, 7. <https://doi.org/10.3389/frobt.2020.00099>