

מפת ידע: סוכני בינה מלאכותית בחינוך ולמידה - מגמות בינלאומיות עכשוויות

ד"ר ליאת אייל

נכתב עבור המכון למחקר יישומי של בינה מלאכותית בחינוך, משרד החינוך

אפריל 2025

תקציר

מפת הידע שלהלן מספקת מבט מקיף ועדכני על סוכני בינה מלאכותית בחינוך, תוך הבחנה ברורה בין סוכנים לבין בוטים פשוטים יותר. הסקירה מבוססת על מקורות עדכניים מהשנתיים האחרונות (2023-2025), הן מקורות אקדמיים והן מקורות עסקיים* ומציגה את המגמות העכשוויות, היישומים המובילים, האתגרים האתיים והפסיכולוגיים, וכיווני התפתחות עתידיים בתחום זה המתפתח במהירות.

הסקירה מתמקדת בהבנת ההבדלים המהותיים בין מערכות בינה מלאכותית רגילות לבין סוכנים אוטונומיים, כאשר סוכני בינה מלאכותית חינוכיים מתאפיינים באוטונומיה, למידה מתמשכת, יכולת קבלת החלטות מורכבת, ואינטראקציה רב-ערוצית. יתרונם המרכזי הוא ביכולתם לספק למידה מותאמת אישית ברמת דיוק חסרת תקדים, כפי שמדגימים מקרי הבוחן המובילים כמו, Khanmigo, Squirrel AI Learning-I, Century Tech.

הסקירה מדגישה גם את חשיבותם של מודלים היברידיים המשלבים את היתרונות של סוכני בינה מלאכותית ומורים אנושיים, תוך התייחסות לאתגרים האתיים, הפסיכולוגיים והיישומיים שעולים עם התפתחות והטמעת טכנולוגיות אלה במערכות חינוך.

מהסקירה עולה כי סוכני בינה מלאכותית בחינוך מציעים פוטנציאל משמעותי לשינוי ושיפור תהליכי למידה והוראה, אך מימוש פוטנציאל זה דורש גישה מאוזנת, אחראית ומבוססת-ראיות, תוך שמירה על האנושיות שבליבת תהליך החינוך.

*בשל ההתפתחות המהירה של התחום והצורך להציג מידע עדכני וללמוד מהנעשה בשטח באופן יישומי, הסקירה מכילה לא רק מידע אקדמי שפיט, אלא גם מידע שפורסם גם באתרים של חברות עסקיות. מידע זה כולל מחקרים שבוצעו מטעמן. יש לקחת בחשבון עובדה זו בעת העיון בממצאי מחקרים אלה.

[אתר עם עיקרי מפת הידע](#)

1. מבוא לסוכני בינה מלאכותית בהקשר החינוכי

הגדרת סוכני בינה מלאכותית והתפתחותם

בשנים האחרונות ניכרת התפתחות משמעותית בתחום הבינה המלאכותית (AI) בכלל, ובפרט בפיתוח מערכות המכונות "סוכני בינה מלאכותית" (AI Agents). בניגוד למערכות בינה מלאכותית מסורתיות, סוכני בינה מלאכותית מאופיינים ביכולת לפעול באופן אוטונומי, לקבל החלטות ולבצע פעולות עצמאיות בסביבתם (Istrate, 2024). סוכני בינה מלאכותית בחינוך מהווים את הדור הבא של טכנולוגיות למידה, אשר מתקדמות מעבר למערכות תגובתיות פשוטות, כמו צ'אטבוטים, לכדי ישויות דיגיטליות בעלות יכולות מורכבות יותר.

סוכני בינה מלאכותית חינוכיים הם מערכות תוכנה אוטונומיות המשתמשות בבינה מלאכותית כדי לקבל החלטות, לבצע פעולות, להתאים עצמן לסביבתן ולשפר את ביצועיהן לאורך זמן במטרה לקדם תהליכי למידה" (Stoyanova, 2024, p. 106). בהקשר זה, ההגדרה מדגישה את האוטונומיה של הסוכן ואת יכולתו לפעול באופן פרואקטיבי לקידום תהליכי למידה, ולא רק להגיב לשאלות או פקודות.

התפתחות סוכני הבינה המלאכותית קשורה בהתקדמות משמעותית במודלים של שפה גדולים (LLMs) ובינה מלאכותית גנרטיבית, המאפשרים עיבוד והבנה של שפה טבעית ברמות מורכבות הולכות וגדלות. המעבר ממודלים פשוטים לארכיטקטורות מורכבות המשלבות למידת חיזוק, רשתות עמוקות, ומערכות מבוססות-זיכרון איפשר את הקפיצה המשמעותית ביכולות הסוכנים (Jiang et al., 2024).

ההבדלים בין מערכות בינה מלאכותית רגילות לבין סוכנים אוטונומיים

להבנת ייחודיותם של סוכני בינה מלאכותית, חשוב להבדיל בינם לבין מערכות בינה מלאכותית מסורתיות או צ'אטבוטים בסיסיים. איסטרט (2024) מזהה ארבעה הבדלים מרכזיים:

- אוטונומיה ומטרתיות:** סוכני בינה מלאכותית פועלים עם מידה גבוהה יותר של עצמאות ומכוונים למטרה, בעוד שמערכות AI מסורתיות נוטות להיות תגובתיות יותר ומופעלות לפי דרישה.
- למידה מתמשכת והסתגלות:** סוכני בינה מלאכותית משתפרים עם הזמן, מסתגלים להקשרים שונים ומשתנים, ולומדים מאינטראקציות קודמות. לעומתם, מערכות AI מסורתיות לרוב פועלות על בסיס מודלים סטטיים יותר.
- קבלת החלטות מורכבת:** סוכני בינה מלאכותית מסוגלים לקבל החלטות מורכבות המבוססות על מגוון מקורות מידע, לעתים גם בתנאי אי-ודאות, ולא רק על בסיס חוקים קבועים מראש.
- תקשורת רב-ערוצית:** בניגוד לצ'אטבוטים פשוטים, סוכני בינה מלאכותית מתקדמים יכולים לתקשר במגוון ערוצים (טקסט, קול, תמונה) ולהבין הקשרים רחבים יותר של האינטראקציה (Istrate, 2024).

סוכני בינה מלאכותית: תכונות ויכולות



שביט ועמיתיו (2023) מדגישים כי ההבדל המהותי ביותר הוא בסוכנותיות (Agency) – היכולת לפעול באופן עצמאי לאורך זמן ולהשפיע על הסביבה. לדבריהם, "סוכני בינה מלאכותית הם מערכות בעלות מטרה, המסוגלות לפתח ולהתאים תוכניות פעולה כדי להשיג יעדים, ולא רק לבצע משימות מוגדרות מראש" (Shavit et al., 2023, p. 12). אלברטס ועמיתים (2024) מוסיפים ממד נוסף להבחנה זו בהתייחסם ל"בינה מלאכותית סוכנית" (Agentic AI) כתחום הממוקד ביצירת מערכות המדמות תכונות התנהגותיות אנושיות כגון אוטונומיה, יזמה, למידה מניסיון, והבנת הקשרים חברתיים, ובכך מרחיבים את יכולות הבינה המלאכותית המסורתית (Alberts et al., 2024).

חשיבות הנושא בחינוך המודרני

"סוכני בינה מלאכותית מציעים דרך חדשה להתמודד עם האתגרים המשמעותיים ביותר בחינוך המודרני: הצורך בהתאמה אישית של הלמידה, צמצום פערים חינוכיים, ופיתוח מיומנויות המאה ה-21" (Khodorkovsky, 2024, p. 2).

מחקרים עדכניים מצביעים על כך שחשיבות הנושא נובעת משלושה גורמים עיקריים:

- **הצורך בפרסונליזציה של הלמידה:** סוכני בינה מלאכותית מאפשרים התאמה אישית ברמה שלא הייתה אפשרית בעבר, כולל התאמת תוכן, קצב, וסגנון הלמידה לכל תלמיד (Wang et al., 2025).
- **האתגרים בהוראה בקנה מידה גדול:** עם גדילת היחס בין תלמידים למורים במערכות חינוך רבות, סוכני בינה מלאכותית מציעים פתרון לספק תמיכה אישית ומשוב לכל תלמיד גם בכיתות גדולות (Dai et al., 2024).
- **שינויים בדרישות שוק העבודה:** הצורך בפיתוח מיומנויות כמו חשיבה ביקורתית, פתרון בעיות, ויצירתיות - מיומנויות שסוכני בינה מלאכותית יכולים לקדם באמצעות אינטראקציות מותאמות אישית (Power, 2024).

"האינטגרציה של סוכני בינה מלאכותית בחינוך אינה רק שאלה של יעילות טכנולוגית, אלא מהווה שינוי פרדיגמטי באופן שבו אנו תופסים את תהליכי הלמידה וההוראה" (Bosch & Kruger, 2024, p. 57). הם טוענים שסוכני בינה מלאכותית מאפשרים מעבר ממודל חינוכי המבוסס על העברת ידע למודל

המתמקד בבניית ידע, פיתוח מיומנויות ולמידה לאורך החיים. מילנה ועמיתיה (2024) מוסיפים כי המעבר מטכנולוגיות חינוכיות רגילות לסוכני בינה מלאכותית הוא עקרוני, מכיוון שסוכנים אלה נתפסים לא רק ככלים, אלא כ"שותפים" בתהליך החינוכי, תפיסה שמשנה באופן משמעותי את הדינמיקה בין מורים, תלמידים וטכנולוגיה (Milana et al., 2024).

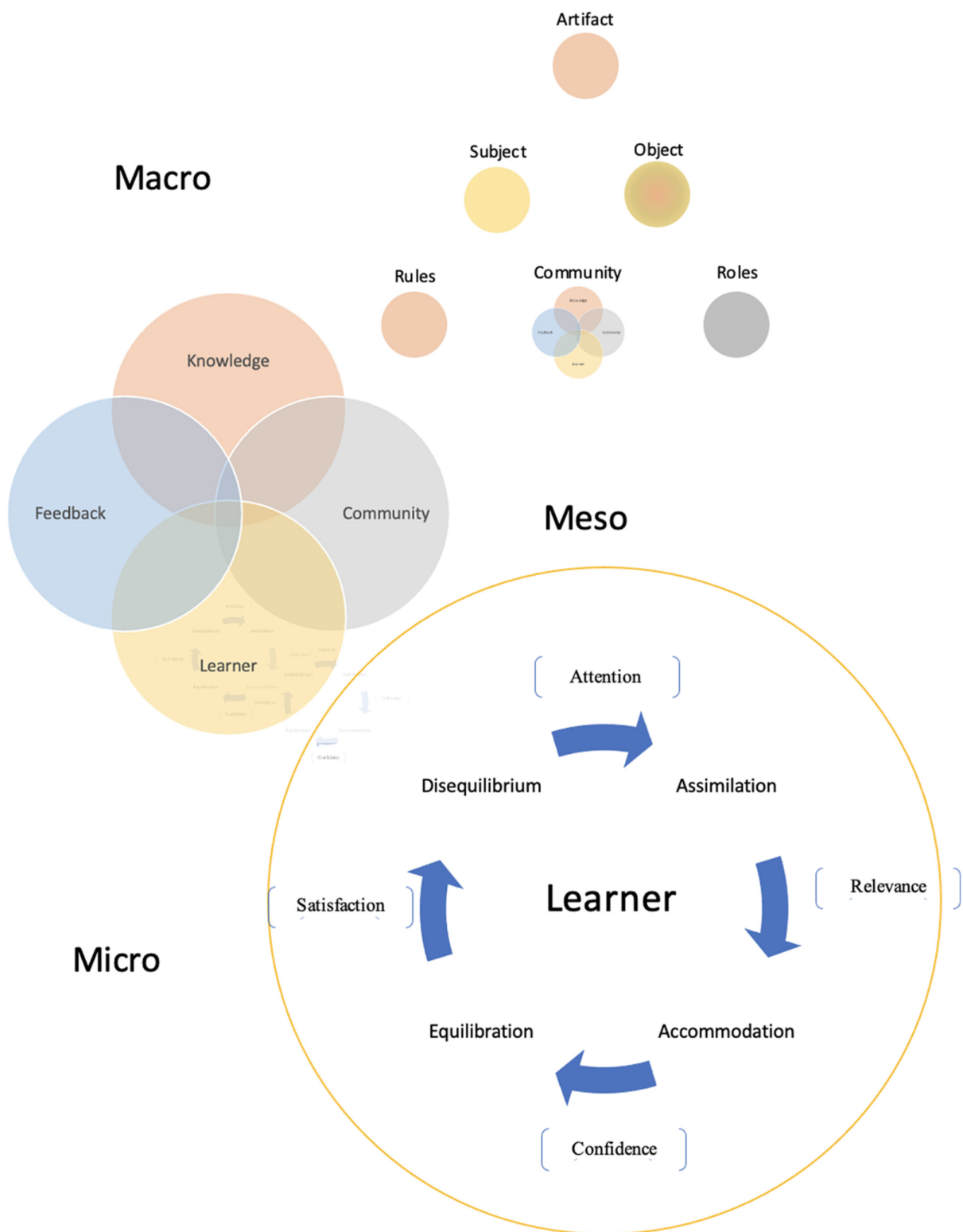
2. מודלים תיאורטיים של סוכנות בינה מלאכותית בלמידה

תיאוריות עדכניות בפדגוגיה חישובית

התפתחותם של סוכני בינה מלאכותית בחינוך מתבססת על מסגרות תיאורטיות מתקדמות בתחום הפדגוגיה החישובית, תחום המחבר בין מדעי המחשב, קוגניציה ותיאוריות למידה. בשנים האחרונות, התגבשו מספר מודלים תיאורטיים משמעותיים המסבירים את האופן שבו סוכני בינה מלאכותית יכולים לתמוך בתהליכי למידה.

מודל תלת-השכבתי שהוצע על-ידי חוקרים מאוניברסיטת בריסטול מספק מסגרת מקיפה להבנת תפקידיה של הבינה המלאכותית בלמידה. המודל משלב ומאחד תיאוריות למידה קיימות כדי למפות את התפקידים השונים של סוכני בינה מלאכותית בהקשרים חינוכיים (Goh et al., 2023). מודל זה מגדיר שלוש רמות מרכזיות של תמיכה פדגוגית:

- רמה מיקרו-פדגוגית: מתמקדת באינטראקציות פרטניות בין הסוכן ללומד, כולל אסטרטגיות לעיצוב דיאלוג, שאילת שאלות, ומתן משוב מותאם אישית.
- רמה מזו-פדגוגית: עוסקת בתכנון והתאמה של רצפי למידה, כולל הגדרת יעדים קצרי טווח, בחירת משימות מתאימות, וניהול התקדמות הלמידה.
- רמה מאקרו-פדגוגית: מתייחסת להקשר הרחב יותר של הלמידה, כולל יעדים ארוכי טווח, מודלים מנטליים של תחום הדעת, והתפתחות מיומנויות מטה-קוגניטיביות (Goh et al., 2023).

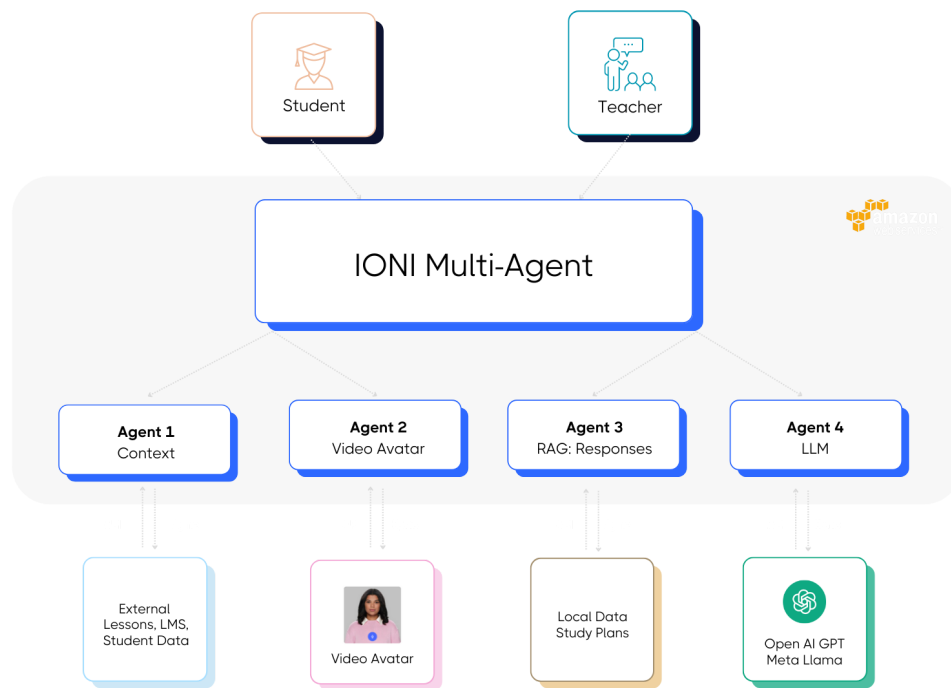


תרשים: שלוש רמות מרכזיות של תמיכה פדגוגית של סוכנים (Goh et al., 2023)

מילנה ועמיתיה (2024) מדגישים את הצורך לבחון סוכני בינה מלאכותית בחינוך דרך עדשות תיאורטיות חדשות, ומציעים מסגרת המתמקדת ב"פדגוגיה מבוזרת" (Distributed Pedagogy) - תפיסה הרואה בידע ובתהליכי ההוראה כמשותפים בין סוכנים אנושיים וטכנולוגיים. לפי גישה זו, "הפדגוגיה אינה מוגבלת עוד לפעולות של מורים אנושיים, אלא הופכת לרשת מורכבת של אינטראקציות, שבה גם מערכות בינה מלאכותית משחקות תפקיד פעיל בעיצוב ובהעברת ידע" (Milana et al., 2024, p. 7).

תיאוריה נוספת שזוכה לתשומת לב היא "למידה חברתית מתווכת-סוכנים" (Agent-Mediated Social Learning), המבוססת על עבודתו של ויגוצקי. תיאוריה זו מתמקדת באופן שבו סוכני בינה מלאכותית יכולים לשמש כ"אחרים משמעותיים" בתהליך הלמידה, ולתווך את המרחב בין מה שהלומד מסוגל לעשות באופן עצמאי לבין מה שהוא יכול להשיג בעזרת הדרכה - המכונה "אזור ההתפתחות הקרובה" (Zone of Proximal Development) Godwin-Jones, 2024).

מודל סוכני AI בחינוך והכשרה



מקור: <https://springsapps.com/ai-agents-for-education-and-training>

בתרשים לעיל מבט הוליסטי על אקוסיסטם של סוכני בינה מלאכותית בסביבות חינוכיות. המודל מדגים כיצד סוכני AI משתלבים במערכת החינוכית הרחבה יותר:

- ריבוי סוגי סוכנים - במרכז התרשים נראים סוגים שונים של סוכני בינה מלאכותית: **חונכים אישיים, עוזרי הוראה, מנחי דיונים, ומעריכי למידה**, כשכל אחד מהם ממלא תפקיד ייחודי בתהליך החינוכי.

- אינטגרציה עם סביבות למידה - הסוכנים **פועלים בתוך מערכת** הכוללת מקורות מידע, כלי הערכה, ופלטפורמות למידה דיגיטליות שונות.
- מעגל משוב מתמשך - התרשים מראה כיצד סוכני הבינה המלאכותית **אוספים נתונים, מנתחים התקדמות, מתאימים את הגישה שלהם, ומספקים משוב לתלמידים ולמורים** במעגל מתמשך.

מודל זה ממחיש את התפיסה של **"סוכנות מבוזרת"** בחינוך, בה מערכת חינוכית שלמה מתבססת על אינטראקציות בין סוכני AI שונים, כל אחד עם מומחיות ותפקיד ייחודיים, הפועלים באופן מתואם כדי לתמוך בתהליכי למידה והוראה.

גישות לתכנון סוכני בינה מלאכותית חינוכיים

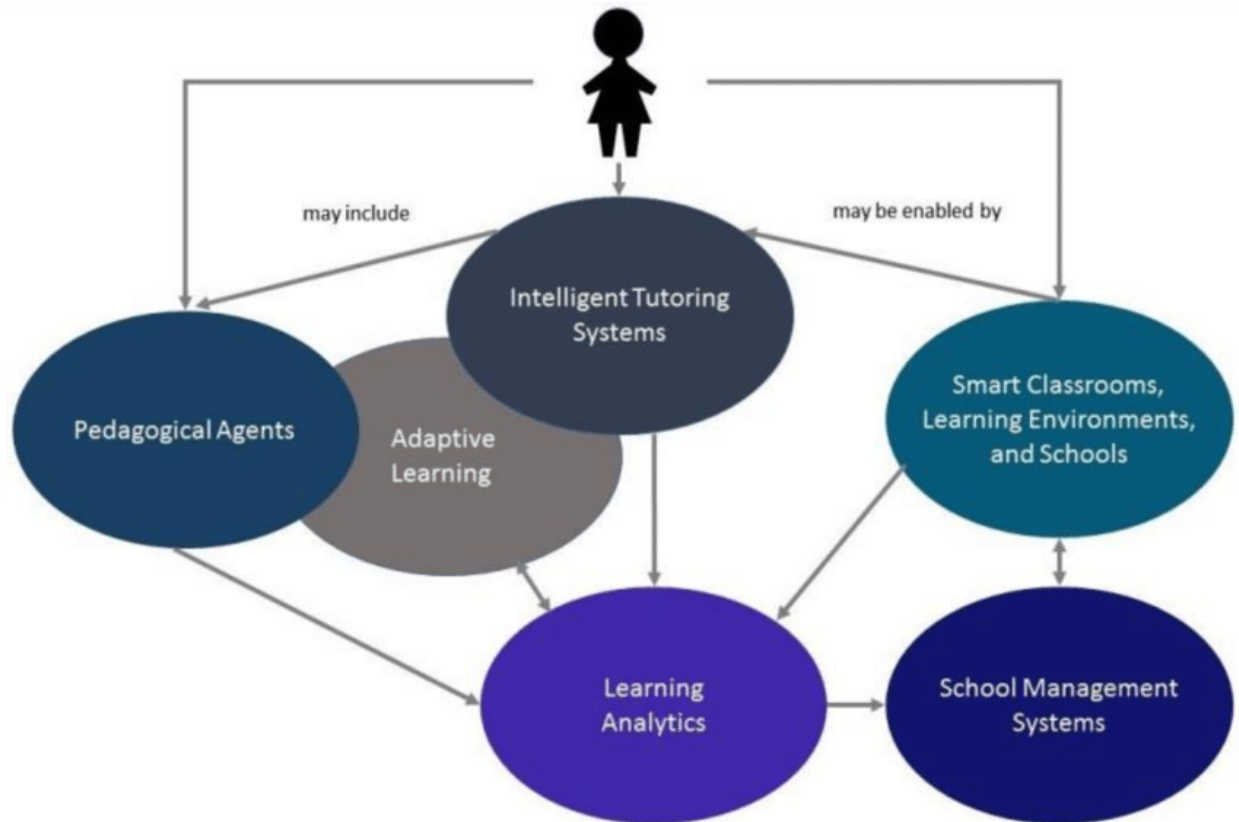
- תכנון סוכני בינה מלאכותית לשימוש חינוכי דורש התייחסות למספר גישות ועקרונות. ג'יאנג ועמיתיו (2024) מזהים שלוש גישות מרכזיות בתכנון סוכני בינה מלאכותית חינוכיים:
- **גישה מבוססת-משימה (Task-oriented):** מתמקדת בתכנון סוכנים המותאמים למשימות למידה ספציפיות, כמו פתרון בעיות מתמטיות, תרגול שפה, או אנליזה של טקסטים. בגישה זו, הסוכן מפותח עם מומחיות מעמיקה בתחום תוכן ספציפי והתנהגויות פדגוגיות המותאמות למשימה (Jiang et al., 2024).
 - **גישה מבוססת-תפקיד (Role-oriented):** בגישה זו, הסוכן מתוכנן לדמות תפקיד חינוכי מסוים, כמו מורה, מנטור, עמית-למידה או מאמן. הדגש הוא על יצירת סוכן שיכול לממש את התפקיד החברתי-חינוכי באופן אמין וממושך (Dai et al., 2024).
 - **גישה מבוססת-למידה (Learning-oriented):** מתמקדת בתכנון סוכנים המסוגלים ללמוד ולהשתפר עם הזמן, על בסיס האינטראקציות שלהם עם הלומדים. גישה זו מדגישה את היכולת להסתגל לצרכים המשתנים של התלמידים ולהתפתח עם הזמן (Jiang et al., 2024).

איסטרט (2024) מציין ארבעה עקרונות מרכזיים בתכנון סוכני בינה מלאכותית חינוכיים:

- **תכנון ממוקד-למידה:** העיקרון הבסיסי ביותר הוא שיעדי הלמידה צריכים להנחות את תכנון הסוכן, ולא להיפך. "הטכנולוגיה צריכה להשתלב באופן חלק במטרות הפדגוגיות והחינוכיות, ולא להכתיב אותן" (Istrate, 2024, p. 8).
- **סקאלביליות אדפטיבית:** יכולת הסוכן להתאים את רמת התמיכה לרמת המומחיות המתפתחת של הלומד, ולהציע פחות תמיכה ככל שהלומד הופך עצמאי יותר.
- **פינומים קוגניטיביים:** תכנון הסוכן באופן שמספק תמיכה זמנית ללומדים בעת הצורך, אך מאפשר הסרה הדרגתית של התמיכה לקידום עצמאות.
- **שקיפות והסבריות:** יכולת הסוכן להסביר את החלטותיו, המלצותיו והערכותיו באופן שמקדם את הבנת הלומד (Istrate, 2024).

לי (2025) מדגיש את החשיבות של "מודל התיווך הפדגוגי" בתכנון סוכני בינה מלאכותית, שבו הסוכן משמש כמתווך בין הלומד לבין הידע והמיומנויות שהוא רוכש. במודל זה, הסוכן אינו רק מקור מידע, אלא גורם הממפה את המרחק בין הידע הקיים של הלומד לבין הידע היעד, ומתכנן בהתאם את האסטרטגיה הפדגוגית (Lee, 2025).

ארכיטקטורת מערכת AIED (בינה מלאכותית בחינוך)



תרשים זה מציג את הארכיטקטורה הטכנית של מערכת בינה מלאכותית בחינוך (AIED), עם דגש על הרכיבים הפונקציונליים המאפשרים לה לפעול כסוכן אוטונומי:

- **מרכיבי הליבה** - במרכז התרשים ניתן לראות את הרכיבים המרכזיים של המערכת: מודל הדומיין (ידע תוכן), מודל הלומד (ידע על התלמיד), ומודל פדגוגי (אסטרטגיות הוראה). אלה מהווים את "המוח" של סוכן AI חינוכי.
- **מערכות קלט-פלט** - התרשים מראה כיצד המערכת מקבלת קלט מהלומד (שאלות, תגובות, פעולות) ומספקת פלט (הוראות, משוב, שאלות) באמצעות ממשק המשתמש.
- **מערכות הסקה ולמידה** - האלמנטים בחלק העליון של התרשים מייצגים את היכולות הקוגניטיביות של הסוכן: יכולת לבצע הסקה לוגית, ללמוד מאינטראקציות, ולהתאים את התנהגותו בהתאם.
- **מנגנוני זיכרון ובסיס ידע** - התרשים מציג גם את מאגרי המידע והזיכרון המשמשים את הסוכן לאחסון ידע, דפוסי התנהגות, והיסטוריית אינטראקציות.

ארכיטקטורה זו מדגימה את המורכבות הטכנית מאחורי סוכני בינה מלאכותית בחינוך, שאינם רק מערכות תגובה פשוטות, אלא ישויות תוכנה מתוחכמות המסוגלות לנהל מודלים מורכבים, ללמוד עם הזמן, ולקבל החלטות אוטונומיות המותאמות ללומד הספציפי.

אתגרים אפיסטמולוגיים בפיתוח סוכני בינה מלאכותית חינוכיים

פיתוח סוכני בינה מלאכותית בחינוך מעלה שאלות אפיסטמולוגיות מורכבות - שאלות הנוגעות לטבע הידע, לאופן שבו ידע נוצר, מועבר ומאומת, ולסמכות האפיסטמית של סוכני בינה מלאכותית כמקורות ידע. טיילור (2024) מזהה שלושה אתגרים אפיסטמולוגיים מרכזיים:

- **מגבלות הידע המבוסס-דאטה:** סוכני בינה מלאכותית מבוססים על מאגרי נתונים שהם מוגבלים בהיקפם ולעיתים נגועים בהטיות. כתוצאה מכך, הידע שהם מייצרים משקף את המגבלות של הנתונים עליהם הם מבוססים. "סוכני AI מייצרים ידע המבוסס על הקצה הפוזיטיביסטי של הספקטרום האפיסטמולוגי - כלומר, חוקים וכללים אובייקטיביים, ללא יכולת אמיתית לבחון פרספקטיבות פרשניות או ביקורתיות" (Taylor, 2024).
- **הדילמה של הסמכות האפיסטמית:** כאשר סוכני בינה מלאכותית משמשים כמקורות ידע, עולה השאלה באילו תנאים ובאיזו מידה ראוי להתייחס אליהם כסמכויות אפיסטמיות. מחקר עדכני מתייחס לשני אתגרים בהקשר זה: "בעיית הזיהוי" - כיצד לזהות מערכות AI אמיתיות, ו"בעיית ההסתמכות" - קביעת המידה הנאותה של הסתמכות על מערכות AI בינה מלאכותית (Glöckner et al., 2025).
- **תופעת לוואי אפיסטמית:** קלאסן (2023) מתייחס לתופעת לוואי אפיסטמית (Epistemic Side Effects) - אלו הן השפעות לא מכוונות של מערכות AI על האופן שבו משתמשים רוכשים ומעריכים ידע. לדוגמה, התלות בסוכני AI עלולה לפגוע ביכולת של לומדים לפתח מיומנויות חיפוש וביקורת מידע עצמאיות (Klassen, 2023).

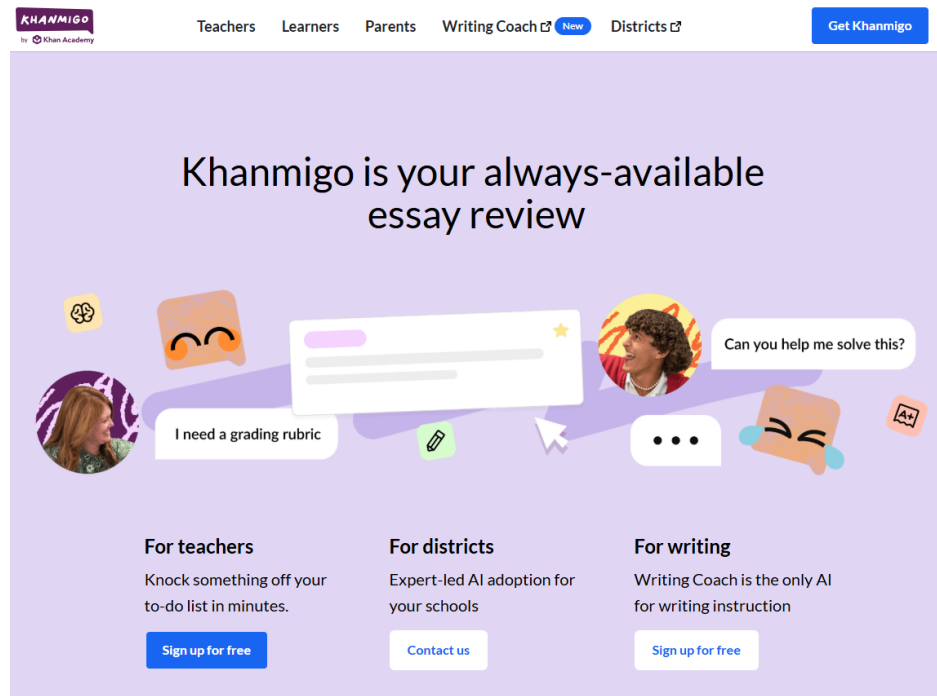
בכל הנוגע לחינוך, הס (2025) מדגיש את החשיבות של מה שהוא מכנה **"אפיסטמולוגיה כוללת"** (AI-Inclusive Epistemology) - מסגרת תיאורטית המתייחסת למערכת היחסים האפיסטמית המורכבת בין לומדים, מורים, וסוכני בינה מלאכותית. לטענתו, **"האתגר אינו רק להבין את המגבלות האפיסטמיות של מערכות AI, אלא לפתח תפיסה חדשה של ידע המכירה בכך שבני אדם ומערכות AI הם שותפים בהבניית ידע"** (Hess, 2025, p. 3).

איסטרט (2024) מצביע על אתגר אפיסטמולוגי נוסף הקשור לאמינות המידע המיוצר על-ידי סוכני בינה מלאכותית. התופעה של **"הזיות בינה מלאכותית"** (AI Hallucinations), בה מערכות מייצרות מידע שגוי או שאינו קיים, מעלה שאלות מורכבות לגבי האופן שבו לומדים יכולים להעריך את אמינות המידע המוצג להם. **"האתגר הוא לפתח סוכני AI שלא רק מספקים ידע, אלא גם מצוידים במנגנונים לציון רמת הביטחון שלהם בידע זה, ולהפניית לומדים למקורות מידע נוספים לאימות"** (Istrate, 2024, p. 12).

3. סוכני בינה מלאכותית כמורים וירטואליים אישיים - יישומים עכשוויים

דוגמאות מהעולם

Khanmigo - Khan Academy - חונך בינה מלאכותית אישי לתלמידים ומורים

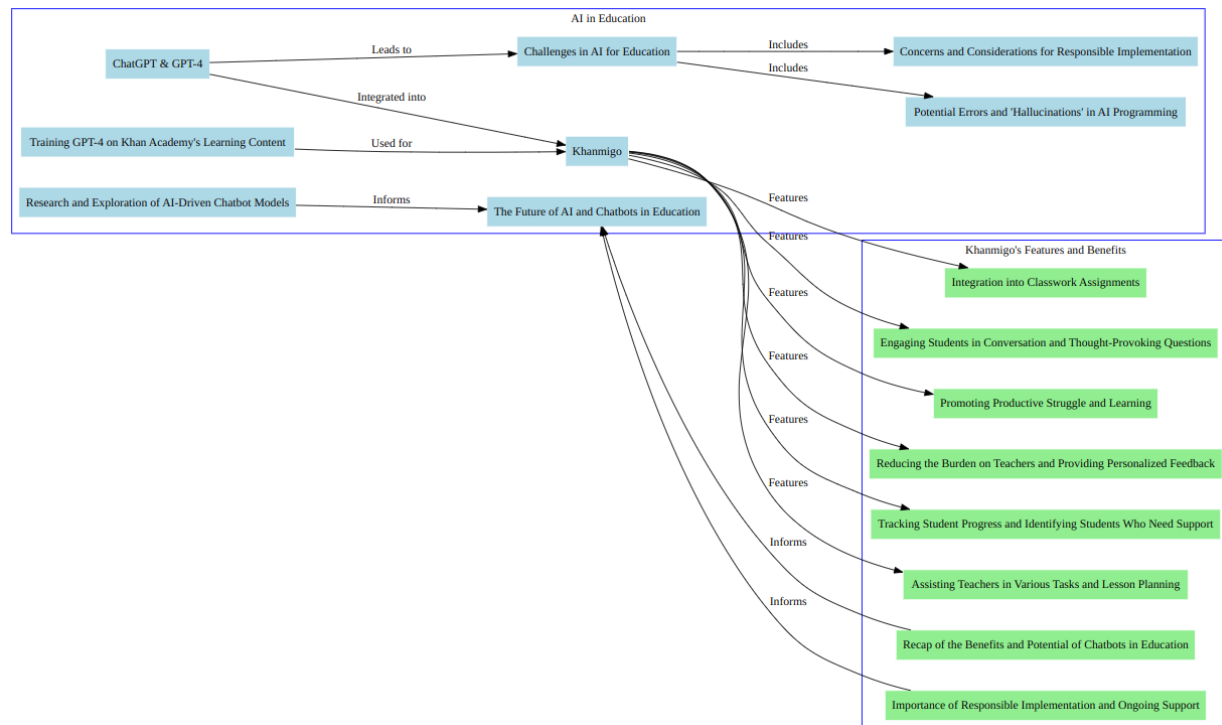


אחד היישומים הבולטים והמשפיעים ביותר של סוכני בינה מלאכותית בחינוך בשנים האחרונות הוא [Khanmigo](#) מבית Khan Academy. הוא חונך AI ועוזר הוראה המבוסס על טכנולוגיית ChatGPT מבית OpenAI, שפותח במיוחד לסביבות חינוכיות. הפלטפורמה הושקה ב-2023 כפילוט ומאז התרחבה משמעותית (Origins AI, 2023).

הייחודיות של Khanmigo מתבטאת בגישה הפדגוגית שלו. בניגוד לפתרונות אחרים, Khanmigo אינו מספק תשובות ישירות לתלמידים, אלא נוקט בגישה סוקרטית - מנחה את התלמידים דרך תהליך החשיבה באמצעות שאלות מנחות, רמזים ופיגומים קוגניטיביים. גישה זו מעודדת חשיבה עצמאית ועמוקה יותר (Khan Academy Blog, 2023).

מחקר שנערך בבית ספר תיכון Enid High School במהלך 2023-2024 בחן את השפעת Khanmigo בשיעורי מתמטיקה. התוצאות הראו שיפור משמעותי בהישגי התלמידים, כאשר 83% מהתלמידים שהשתמשו ב-Khanmigo דיווחו על תחושת ביטחון רבה יותר בפתרון בעיות מתמטיות. המחקר גם הדגים כיצד המורים השתמשו בסוכן ה-AI לצורך בניית תוכניות לימוד מותאמות אישית ומתן משוב מותאם לצרכי התלמידים (Khan Academy Blog, 2024). ד. Academy Microsoft לבין בשנת 2024, הפלטפורמה הורחבה לכדי Khanmigo for Teachers, המאפשרת גישה חופשית למורים בארה"ב, ומאוחר יותר גם ב-44 מדינות נוספות. ג'נספר, המוביל את פיתוח ה-AI ב-Khan Academy, מדגיש כי "Khanmigo הוא דוגמה לכך שסוכני בינה מלאכותית בחינוך הם הרבה מעבר למנועי חיפוש חכמים - הם חונכים המסוגלים להתאים את סגנון ההוראה שלהם, ולהגיב באופן דינמי לצרכי התלמיד" (Jansepar, 2024).

המודל של Khanmigo - סוכן חונכות AI



התרשים מראה כיצד Khanmigo, בניגוד למערכות AI פשוטות יותר, פועל כסוכן אוטונומי המסוגל לא רק להגיב לשאלות אלא גם ליזום אינטראקציות חינוכיות, להתאים אסטרטגיות בזמן אמת, ולפתח דיאלוג משמעותי שמקדם למידה. הסוכן משלב את שלושת היסודות המרכזיים:

- **אסטרטגיות חונכות מבוססות מחקר** - הסוכן מיישם טכניקות פדגוגיות מוכחות כמו "שאלת שאלות סוקרטיות" ו"הנחיית תהליך החשיבה" במקום לספק תשובות ישירות.
- **הדרכה מותאמת אישית** - הסוכן מזהה את דפוסי הלמידה של התלמיד, נקודות החוזק והחולשה שלו, ומתאים את רמת התמיכה והמשוב בהתאם.
- **בינה מלאכותית גנרטיבית** - המבוססת על OpenAI GPT-4, המאפשרת לסוכן לקיים שיחות טבעיות, לזהות שגיאות נפוצות, ולהגיב בצורה דינמית לצרכי הלומד.

Cognii - מערכת הדרכה אינטליגנטית עם משוב איכותני



Cognii מהווה דוגמה מתקדמת למערכת הדרכה אינטליגנטית המתמקדת בפיתוח מיומנויות חשיבה מסדר גבוה. בניגוד למערכות הערכה מסורתיות המבוססות על שאלות ברירה, Cognii מבוססת על טכנולוגיית עיבוד שפה טבעית המאפשרת לתלמידים לכתוב תשובות פתוחות, ומספקת משוב איכותני מידי על התוכן והרעיונות שהוצגו. המערכת שהתפתחה משמעותית בשנים 2023-2024, מציעה תכונות ייחודיות המשמשות את המערכת החינוכית במגוון דרכים. המערכת מתמחה בניהול שיחות

חונכות אישיות, שבהן היא מספקת ציון ומשוב מיידי על תשובות כתובות בפורמט פתוח. "המערכת מתמקדת ברעיונות ובידע שהתלמיד מציג, ולא רק בדקדוק או במבנה השפה" (Cognii, 2024).

מחקר מאוניברסיטת פלורידה הבינלאומית (FIU) בדק את ההשפעה של Cognii על למידה מקוונת ומצא שתלמידים שהשתמשו בפלטפורמה הציגו שיפור של 20-30% בשליטה בחומר הלימוד בהשוואה לשיטות הערכה מסורתיות. החוקרים ייחסו את השיפור למשוב המיידי והאינטראקטיבי, וכן לעובדה שהמערכת מאפשרת לתלמידים לנסות שוב ולשפר את תשובותיהם (FIU Insider, 2024).

הייחודיות של Cognii טמונה בסוכנות המלאכותית שלה - היכולת לא רק להעריך תשובות, אלא גם לנהל דיאלוג ממושך המוביל לשיפור הדרגתי בחשיבה וביטוי רעיונות. כפי שמציין אחד ממפתחי המערכת, "הסוכן אינו רק מודד את הידע של התלמיד, אלא מפתח באופן אקטיבי את יכולת החשיבה הביקורתית והאנליטית שלו" (AI4SDGs, 2024).

Duolingo Max - יכולות בינה מלאכותית מתקדמות ללימוד שפות

[Duolingo Max](#), שהושק במרץ 2023, מייצג את הדור החדש של סוכני בינה מלאכותית ללימוד שפות. בניגוד לגרסאות קודמות של האפליקציה, Duolingo Max משלב טכנולוגיית GPT-4 של OpenAI ומציע שתי תכונות חדשניות: 'Explain My Answer' (הסבר את התשובה שלי) ו-'Roleplay' (משחק תפקידים). בשנת 2024 התווספה גם תכונת 'Video Call with Lily' (שיחת וידאו עם לילי), המאפשרת לנהל שיחה בשפה הנלמדת עם דמות וירטואלית (Duolingo, 2024).

קורקיאקוסקי (2024) מצא במחקרו כי תכונת 'Explain My Answer' מספקת הסברים מותאמים אישית על שגיאות לשוניות, מה שמאפשר ללומדים להבין לא רק מה השגיאה אלא גם מדוע היא שגיאה. זאת בשונה ממסרים גנריים של "נכון" או "לא נכון" במערכות למידת שפה מסורתיות. לעומת זאת, תכונת 'Roleplay' יוצרת סימולציות של שיחות אותנטיות במגוון הקשרים יומיומיים, ומאפשרת ללומדים לתרגל את השפה באופן אינטראקטיבי ומשמעותי (Korkiakoski, 2024).

חאנדלי (2024) מדגיש את ההבדל המהותי בין סוכני בינה מלאכותית כמו Duolingo Max לבין כלי למידת שפה אחרים: "בעוד שכלים מסורתיים מתמקדים בהעברת ידע ותרגול, Duolingo Max מספק סביבה שבה הלומד יכול להתנסות בשימוש בשפה בהקשרים אמיתיים, עם סוכן שמגיב באופן דינמי ומותאם לרמתו. זהו שינוי מפרדיגמה של 'למידת שפה' ל'שימוש בשפה'" (Handley, 2024, p. 42).

סקר שנערך ב-2024 על ידי זרקובסקה בקרב 1,200 משתמשי Duolingo Max מצא כי 78% מהלומדים דיווחו על עלייה משמעותית במוטיבציה ללמידת השפה, ו-68% דיווחו על תחושת ביטחון גבוהה יותר בשימוש בשפה במצבים חברתיים אמיתיים. עם זאת, המחקר גם מצביע על אתגרים, כאשר 24% מהמשתמשים דיווחו על תסכול מהמגבלות בהבנת ניואנסים תרבותיים ומקומיים של השפה (Zerkowska, 2024).

רעיונות לפיתוח עתידי: סוכני בינה מלאכותית המזהים ומסתגלים לאינטליגנציות מרובות

מחקרים עדכניים בתחום סוכני הבינה המלאכותית בחינוך מציעים כיוונים מבטיחים לפיתוח סוכנים המסוגלים לזהות ולהסתגל לאינטליגנציות מרובות, בהתבסס על התיאוריה של הווארד גרדנר. מראטטור (2025) מתאר מודל קונספטואלי לסוכן AI המסוגל לזהות את סגנונות הלמידה והאינטליגנציות הדומיננטיות של הלומד, ולהתאים את אסטרטגיות ההוראה בהתאם:

"סוכן האינטליגנציות המרובות (Multiple Intelligences Agent - MIA) מבוסס על ארכיטקטורה היברידית המשלבת למידה עמוקה לניתוח דפוסי אינטראקציה, עיבוד שפה טבעית מתקדם, וניתוח מולטימודלי של תגובות הלומד. הסוכן אוסף נתונים על אופן הלמידה של התלמיד, זמני תגובה, סוגי השגיאות, והעדפות לפורמטים שונים של מידע, ובונה פרופיל אינטליגנציה דינמי המתעדכן בזמן אמת" (Meratutor.AI, 2025, p. 3).

איסטרט (2024) מציע שמערכות עתידיות של סוכני בינה מלאכותית יוכלו להתאים סביבות למידה וירטואליות שלמות לפרופיל האינטליגנציה של הלומד. לדוגמה, עבור תלמיד עם אינטליגנציה מרחבית גבוהה, הסוכן יכול להציג חומר לימודי בפורמט ויזואלי ומרחבי, בעוד שתלמיד עם אינטליגנציה מוזיקלית-ריתמית עשוי לקבל את אותו תוכן בפורמט המשלב אלמנטים מוזיקליים או ריתמיים (Istrate, 2024).

למרות ההתקדמות בתחום, חוקרים מדגישים את האתגרים בפיתוח מערכות כאלה. לי (2025) מציין את הסיכון של "יתר-קטלוג" של תלמידים לקטגוריות אינטליגנציה קבועות, מה שעלול למנוע חשיפה למגוון סגנונות למידה. כתוצאה מכך, הוא מציע מודל פיתוח הכולל "התערבויות מגוונות" - מנגנונים המבטיחים שהסוכן, למרות ההתאמה האישית, עדיין חושף את הלומד למגוון רחב של גישות למידה (Lee, 2025).

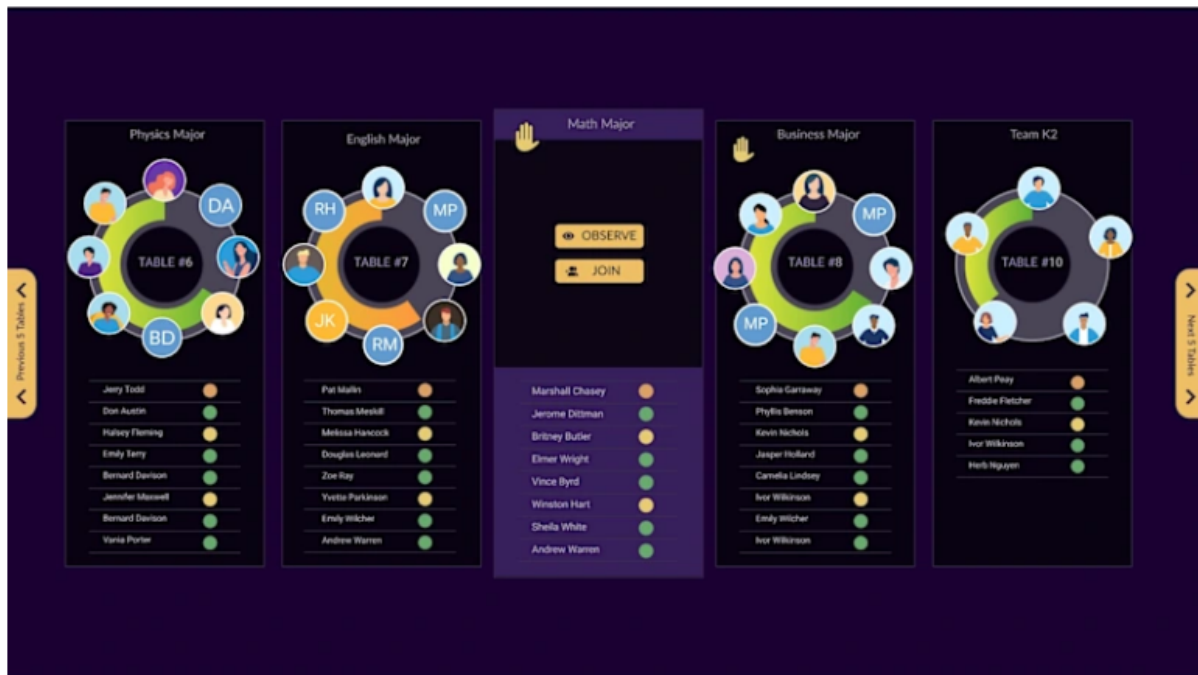
4. סוכני בינה מלאכותית התומכים בתהליכי למידה שיתופיים

דוגמאות מהעולם

Engageli - פלטפורמה המשלבת סוכני בינה מלאכותית לתמיכה בלמידה שיתופית

Engageli מהווה מקרה מעניין של פלטפורמת למידה מקוונת שהתפתחה בשנים האחרונות לכדי מערכת המשלבת סוכני בינה מלאכותית לתמיכה בתהליכי למידה שיתופיים. הפלטפורמה נועדה לשפר את הפדגוגיה של הלמידה המקוונת באמצעות יצירת סביבה המאפשרת אינטראקציה משמעותית בין תלמידים, ובינם לבין מרצים (Engageli, 2024).

האספקט הייחודי של Engageli הוא האופן שבו סוכני הבינה המלאכותית פועלים ברקע כדי לתמוך בדינמיקות למידה שיתופיות. בשנת 2024, החברה שילבה "AI-powered active learning" - מערכת של סוכני בינה מלאכותית המנטרים את האינטראקציות בכיתה הווירטואלית ומספקים תובנות בזמן אמת למרצים לגבי רמות המעורבות, דפוסי האינטראקציה, והתקדמות התלמידים בחומר (Engageli, 2024).



Engageli Table Groups

אחת התכונות הבולטות היא "וואשינגטון לרנינג סורס" (Washington Learning Source) - סוכן AI המנתח דיונים קבוצתיים ומזהה פערי הבנה או נושאים שבהם קיימת אי-בהירות. הסוכן מסוגל להתערב באופן דיסקרטי, להציע חומרי עזר רלוונטיים, או לסמן למרצה נושאים הדורשים הבהרה נוספת (Washington Learning Source, 2024).

מחקר הערכה שנערך על ידי 360Learning (2024) מצא שכיתות שהשתמשו בפלטפורמת Engageli עם תכונות ה-AI המשולבות הציגו עלייה של 32% במעורבות תלמידים בדיונים קבוצתיים ושיפור של 28% בביצועי משימות שיתופיות בהשוואה לכיתות שהשתמשו בפלטפורמות למידה מקוונות מסורתיות (360Learning, 2024).

Microsoft Teams for Education עם אינטגרציית Copilot לסיכום דיונים והנחיה

[Microsoft Teams for Education](#) עבר שינוי משמעותי בשנים 2023-2024 עם שילוב Copilot - סוכן בינה מלאכותית חדשני המיועד לתמוך בתהליכי למידה והוראה. בניגוד לכלי AI חינוכיים אחרים, Copilot in Microsoft Teams מתמקד בשיפור הלמידה השיתופית באמצעות ניתוח וסיכום שיחות, זיהוי נקודות מרכזיות בדיונים, והצעת כיווני דיון חדשים (Microsoft, 2024a).

הסוכן מספק מספר יכולות מרכזיות:

- סיכום אוטומטי של שיחות ודיונים קבוצתיים, המדגיש נקודות מפתח, החלטות, ומשימות
- זיהוי פערי ידע ונושאים שדורשים הבהרה נוספת
- הצעת שאלות העמקה וחומרי העשרה רלוונטיים
- יצירת מסמכים שיתופיים המסכמים את הידע שנצבר במהלך הדיונים

בבלוג החינוך של (Microsoft, 2025) מתואר כיצד הכלי משנה את דינמיקת הכיתה: "Copilot משמש כמעין עוזר הוראה דיגיטלי, המסייע למורים לעקוב אחר תהליכי חשיבה מורכבים שמתרחשים בדיונים קבוצתיים. בניגוד לכלי AI אחרים, הוא אינו מתמקד רק בתוכן, אלא גם בתהליכי בניית הידע המשותפים" (Microsoft, 2025).

מחקר שנערך ב-(Orchestra, 2024) על השימוש ב-Copilot ב-12 מוסדות חינוך בארה"ב הצביע על מספר ממצאים מעניינים:

- שיפור של 41% ביכולת התלמידים לסכם ולהבין דיונים מורכבים
- עלייה של 36% בשיתוף פעולה בין תלמידים בעבודות קבוצתיות
- חסכון של כ-4 שעות שבועיות למורים בזכות היכולת לתעד ולסכם באופן אוטומטי את הדיונים בכיתה

שילוב נוסף מעניין התרחש באפריל 2024, כאשר Microsoft הוסיפה תכונות AI מתקדמות יותר ל-Teams for Education, כולל Learning Accelerators - סוכני AI המותאמים לתחומי תוכן ספציפיים ויכולים לספק הסברים מותאמים אישית ולזהות פערי ידע (Microsoft, 2024b).

Google DeepMind's Minerva AI לפתרון בעיות מדעיות בקבוצות

[Minerva AI](#), שפותחה על ידי Google DeepMind, מייצגת גישה ייחודית לשילוב בינה מלאכותית בפתרון בעיות מדעיות שיתופי. בניגוד למערכות AI חינוכיות המתמקדות בעיקר בהוראה או בהערכה, Minerva נועדה להשתלב בתהליכי פתרון בעיות קבוצתיים ולשמש כחבר צוות וירטואלי (Google Research, 2023).

המודל, שהושק לראשונה ב-2022 והתפתח משמעותית ב-2023-2024, מתמחה ב"חשיבה כמותית", ומסוגל לפתור בעיות מורכבות במתמטיקה, פיזיקה, כימיה וביולוגיה. הייחודיות של Minerva היא ביכולתה להציג פתרונות צעד אחר צעד, תוך הסבר הרציונל מאחורי כל שלב, במקום להציג רק את התשובה הסופית (Google Research, 2023).

כפי שמתואר במחקר עדכני של (InfoQ, 2023), ההתפתחויות האחרונות במודל מאפשרות לו לא רק לפתור בעיות אלא גם להשתתף באופן אקטיבי בתהליך פתרון הבעיות הקבוצתי, באמצעות:

- זיהוי שגיאות בפתרונות שמציעים חברי הקבוצה
- הצעת כיווני חשיבה אלטרנטיביים
- חיבור בין רעיונות שונים שמעלים חברי הקבוצה
- הערכת הישימות והיעילות של פתרונות מוצעים

אחד היישומים המעניינים של Minerva בהקשר החינוכי, הוא שימוש במודל כ"מאמן" לקבוצות תלמידים העובדים על פרויקטים מדעיים. במקום לספק פתרונות מוכנים, הסוכן מנחה את התלמידים באמצעות רמזים, שאלות מנחות, והצעות לכיווני חשיבה, תוך עידוד חשיבה ביקורתית ושיתוף פעולה בין התלמידים (Towards Data Science, 2023).

המגבלות הנוכחיות של המערכת, כפי שמציין החוקר גיא גור-ארי, נוגעות בעיקר ליכולת להתמודד עם בעיות חדשניות לחלוטין שאינן דומות לדוגמאות שעליהן אומן המודל. עם זאת, היכולת של Minerva

ללמוד מאינטראקציות קודמות ולשפר את הביצועים שלה לאורך זמן, מהווה צעד משמעותי לקראת סוכני בינה מלאכותית חינוכיים המסוגלים להשתלב באופן אמיתי בתהליכי למידה שיתופיים (Gur-Ari, 2023).

רעיונות לפיתוח עתידי: סוכני בינה מלאכותית כמתווכים בין-תרבותיים בכיתות גלובליות

עם התרחבות הלמידה המקוונת והגלובלית, סוכני בינה מלאכותית יכולים למלא תפקיד חשוב כמתווכים בין-תרבותיים. איסטרט (2024) מציע מודל קונספטואלי לסוכן AI בינלאומי המכונה **"Cross-Cultural Educational Agent"** המתמחה בהקלה על שיתוף פעולה בין תלמידים מתרבויות שונות.

המודל המוצע כולל מספר יכולות מרכזיות:

- **תרגום בהקשר:** מעבר לתרגום פשוט, הסוכן מסוגל לתרגם לא רק את השפה אלא גם את ההקשרים התרבותיים, המטאפורות והניואנסים, תוך התאמתם לרקע התרבותי של כל משתתף.
- **תיווך סגנונות תקשורת:** זיהוי והתאמה של סגנונות תקשורת שונים (למשל, תקשורת ישירה לעומת עקיפה, גישות היררכיות לעומת שטוחות) כדי למנוע אי-הבנות.
- **זיהוי וניהול קונפליקטים תרבותיים:** יכולת לזהות מתחים הנובעים מהבדלים תרבותיים ולהציע אסטרטגיות לפתרון.
- **העשרת ההקשר התרבותי:** הסוכן מספק רקע תרבותי רלוונטי לנושאים נלמדים, ומדגיש כיצד הנושא נתפס ומטופל בתרבויות שונות (Istrate, 2024).

וואנג ועמיתיו (2025) מתארים פיילוט ראשוני של מערכת דומה בתוכנית לתואר שני בינלאומית, שבה סוכן בינה מלאכותית שימש כמנחה בקבוצות דיון מקוונות שכללו סטודנטים מ-12 מדינות שונות. הסוכן לא רק סייע בתרגום והבהרת רעיונות, אלא גם הצביע על הבדלים תרבותיים בפרשנות ויישום של עקרונות מקצועיים, ועודד דיון שהביא לידי ביטוי מגוון נקודות מבט (Wang et al., 2025).

גודווין-ג'ונס (2024) מציע מסגרת תיאורטית למה שהוא מכנה **"סוכנות מבוזרת" (Distributed Agency)** במערכות למידה בינלאומיות. לפי גישה זו, הסוכן אינו פועל רק כמתרגם או מתווך, אלא כשותף פעיל בהבניית ידע בין-תרבותי - "ישות היברידית המשלבת מומחיות לשונית, תרבותית ופדגוגית, ויוצרת מרחב 'שלישי' שבו תלמידים מתרבויות שונות יכולים ליצור הבנות משותפות" (Godwin-Jones, 2024, p. 8).

האתגרים בפיתוח סוכנים כאלה, כפי שמציינת מילנה (2024), כוללים את הצורך בנתוני אימון מגוונים תרבותית, הימנעות מסטריאוטיפים תרבותיים, והיכולת לזהות ולהימנע מהטיות תרבותיות במודל עצמו. עם זאת, היא מציינת כי ההתקדמות במודלים שפתיים רב-לשוניים ובמערכות להבנת הקשר, מבשרת על עתיד מבטיח לסוכני בינה מלאכותית בין-תרבותיים (Milana et al., 2024).

5. סוכני בינה מלאכותית בהערכה ומשוב

דוגמאות מהעולם

Gradescope עם יכולות בינה מלאכותית לבדיקת מבחנים

[Gradescope](#), מוצר חינוכי של חברת Turnitin, התפתח בשנים האחרונות ממערכת בדיקת מבחנים בסיסית לפלטפורמה מתקדמת המשלבת יכולות בינה מלאכותית לשיפור תהליכי ההערכה והמשוב. הפלטפורמה, המשמשת כיום אלפי מוסדות חינוך ברחבי העולם, נועדה לייעל ולשפר את תהליך בדיקת עבודות ומבחנים, במיוחד בכיתות גדולות ובקורסים אקדמיים מרובי משתתפים (Gradescope, 2024).

אחת התכונות המרכזיות של Gradescope היא "AI-Assisted Answer Groups" - "המערכת מזהה דפוסים בתשובות התלמידים ומארגנת אותן בקבוצות, מה שמאפשר למורים לחסוך זמן בדיקה משמעותי ולהבטיח עקביות במתן ציונים ומשוב" (Gradescope, 2024).

לפי מחקר של אוניברסיטת מיאמי (2024), מרצים שהשתמשו ב-Gradescope דיווחו על חיסכון של 30-50% בזמן בדיקה, ושיפור של 25% בעקביות הציונים. היבט ייחודי שעלה במחקר הוא השימוש שעושה המערכת בנתונים שנאספים כדי להציע למרצים לשר את אופן ניסוח השאלות לקראת מבחנים עתידיים, בהתבסס על דפוסי השגיאות של התלמידים (University of Miami, 2024).

התפתחות משמעותית נוספת ב-Gradescope בשנים 2023-2024 היא יכולת זיהוי וניתוח כתב יד באמצעות טכנולוגיית (OCR-Optical Character Recognition) משולבת בינה מלאכותית. כפי שמתואר על ידי מרכז הטכנולוגיה החינוכית של אוניברסיטת פלורידה: "המערכת לא רק מזהה ומתמללת כתב יד, אלא גם מסוגלת להבין מבנים מתמטיים, תרשימים, ותשובות בפורמטים מורכבים, מה שהופך אותה לשימושית במיוחד במקצועות STEM" (University of Florida CITT, 2024, p. 3).

אחד האספקטים המעניינים ב-Gradescope היא יכולת המערכת לבנות "פרופיל למידה" לכל תלמיד בהתבסס על ביצועיו לאורך זמן. כפי שמתאר (Learning Technology Solutions 2024), "הסוכן מסוגל לזהות דפוסי שגיאות חוזרים, ולספק למרצים תובנות לגבי תחומים ספציפיים שבהם תלמידים מסוימים מתקשים באופן עקבי, מה שמאפשר התערבות ממוקדת ומותאמת אישית" (Learning Technology Solutions UIC, 2024).

מחקר שנערך ב-2024 על ידי Tools for Humans AI בחן את השפעת השימוש ב-Gradescope על חוויית הלמידה של הסטודנטים, ומצא כי 72% מהסטודנטים דיווחו על שיפור באיכות המשוב שקיבלו, ו-68% ציינו כי הם יכולים להבין טוב יותר את השגיאות שלהם ולשפר את ביצועיהם בעקבות המשוב המובנה והעקבי שסיפקה המערכת (Tools for Humans AI, 2025).

Turnitin AI Assistant לזיהוי מקוריות ומשוב איכותי

[Turnitin AI Assistant](#) מייצג את הדור הבא של כלי הערכה ומשוב המשלבים בינה מלאכותית מתקדמת. בשנים 2023-2024, Turnitin הרחיבה משמעותית את יכולות ה-AI של המערכת מעבר לזיהוי פלגיאט מסורתי, לכדי סוכן בינה מלאכותית מקיף התומך בתהליכי הערכה, משוב ושיפור כתיבה (Turnitin, 2024).

הפלטפורמה משלבת מספר יכולות AI מתקדמות:

- **זיהוי מקוריות מתקדם:** מעבר לזיהוי העתקה ישירה, המערכת מזהה גם צורות מתקדמות של פלגיאט כגון "contract cheating" (רכישת עבודות), "word spinning" (שינוי מילים אך שמירה על תוכן זהה), וכתובה המבוססת על AI. כפי שמתואר באתר החברה: "אנו משתמשים בבינה מלאכותית להשוואת סגנונות כתיבה, ליצירת פרופילי כתיבה אישיים, ולזיהוי תוכן שנוצר על ידי בוטים" (Turnitin, 2024).
- **ניתוח חיבורים:** הסוכן מזהה תחומים לשיפור בעבודות הסטודנטים ומספק הנחיות מותאמות אישית, באמצעות "חבילה של מודלים למידה עמוקה, מ-BERT ועד רשתות נוירונים קונבולוציוניות, עם כלי NLP מתקדמים ומודלים סטטיסטיים" (Turnitin, 2024).
- **משוב אינטראקטיבי:** המערכת מאפשרת למרצים ליצור הערות מותאמות אישית באמצעות "QuickMarks" - תבניות משוב שניתן לגרור ולהניח על גבי העבודה, וכן להוסיף הערות קוליות ובדיקת דקדוק אוטומטית.

בתחילת 2025, Turnitin השיקה את Turnitin Clarity - הרחבה של המערכת המאפשרת שקיפות רבה יותר בתהליך הכתיבה. כפי שמתואר בהודעה לעיתונות: "Clarity מספקת תובנות לגבי יושרה וכוללת בדיקת דמיון, זיהוי כתיבת AI, מטא-נתונים אודות ההגשה, ציונים ומשוב, דוחות כתיבה, ו'הקרנה לאחר' המציגה את התפתחות תהליך הכתיבה" (Turnitin Press, 2025).

מחקר שנערך באוניברסיטת לינקולן (2024) בחן את האפקטיביות של מחוון הכתיבה המבוססת-AI של Turnitin, ומצא כי המערכת מזהה בהצלחה כ-85% מהמקרים שבהם נעשה שימוש בכלי AI גנרטיביים ליצירת תוכן. עם זאת, המחקר גם הדגיש את חשיבות השיקול האנושי והאזהרה: "חשוב להבין שמחוון זה הוא כלי תומך החלטה, ולא מערכת לקבלת החלטות אוטומטית" (Digital Education Lincoln, 2024).

מעניין במיוחד הוא האופן שבו Turnitin מגדירה את גישתה לבינה מלאכותית. כפי שמתאר אריק וואנג, סגן נשיא לבינה מלאכותית בחברה: "אנו מאמינים בבינה מלאכותית ממוקדת-אדם. משמעות הדבר היא הצבת המשתמש האנושי במרכז המחקר, הפיתוח והפונקציונליות. אנו שואפים לבנות בינה מלאכותית שמסייעת, מחזקת ומרחיבה יכולות אנושיות - לא מחליפה אותן" (Wang, Turnitin AI, 2024).

Riiid - מערכת הערכה מותאמת אישית המבוססת על למידת חיזוק

Riiid, חברת AI חינוכית שזכתה לתשומת לב רבה בשנים האחרונות, פיתחה מערכת הערכה מתקדמת המבוססת על למידת חיזוק (Reinforcement Learning). בשונה ממערכות הערכה מסורתיות, הפתרון של Riiid לא רק מעריך את ביצועי התלמידים, אלא גם לומד ומשתפר לאורך זמן בהתבסס על התנהגויות למידה והתוצאות שלהם (Riiid, 2024).

ליבת הטכנולוגיה של Riiid היא מערכת המכונה "R.Test" - סוכן AI המנתח את ביצועי התלמיד, מזהה חולשות ספציפיות, ומציע הנחיות ממוקדות לשיפור, כולל בחירה מותאמת אישית של חומרי לימוד רלוונטיים (PR Newswire, 2024). המערכת מבוססת על מה שמכונה "multitask learning framework" - מסגרת המאפשרת לאלגוריתם ללמוד מספר משימות במקביל ולהעביר ידע בין משימות שונות (AIThority, 2024).

מחקר שהוצג בכנס EDM 2023 הדגים כיצד אלגוריתמי הלמידה העמוקה של Riiid עולים בביצועיהם על שיטות הערכה מסורתיות. המחקר מצא שהמערכת משפרת את מעורבות התלמידים באופן

משמעותי, וכי כל הפרמטרים שנבדקו הראו שיפור עקבי עם האלגוריתם של למידה עמוקה (PR Newswire, 2023).

הייחודיות של Riiid, כפי שמתואר ב-Canvas Business Model 2024, היא ביכולת המערכת ליצור מסלול למידה מותאם אישית לחלוטין עבור כל תלמיד: "באמצעות ניתוח חוזקות וחולשות של כל תלמיד, Riiid יוצרת תוכנית למידה מותאמת אישית לצרכיהם הייחודיים. בניגוד לשיטות הוראה מסורתיות, הגישה המותאמת אישית מבטיחה שכל תלמיד מקבל את התמיכה הנדרשת בתחומים שבהם הם מתקשים, תוך שהיא מאפשרת להם להתקדם מהר יותר בנושאים שהם שולטים בהם" (Canvas Business Model, 2024).

מה שמייחד את Riiid מבחינת סוכנות AI היא השימוש בטכניקות למידת חיזוק, המאפשרות למערכת לא רק להעריך ביצועים, אלא להתאים באופן פעיל את אסטרטגיית ההוראה. כפי שמתואר ב(New York Times 2022): "האלגוריתם לומד באופן קבוע מהצלחות וכישלונות התלמידים, מזהה דפוסים עדינים שמאפשרים לו לחזות טוב יותר את ביצועיהם העתידיים ולמקסם את הלמידה שלהם לאורך זמן" (New York Times, 2022).

אוניברסיטת פרינסטון - הפוטנציאל בלמידת חיזוק ולמידה מותאמת אישית

אוניברסיטת פרינסטון מהווה מוקד למחקר מתקדם בתחום הבינה המלאכותית, עם השלכות משמעותיות על עולם החינוך, במיוחד בתחומי למידת החיזוק והפוטנציאל ללמידה מותאמת אישית. מחקר עדכני שפורסם על ידי מחלקת מדעי המחשב באוניברסיטה הדגים גישת למידת חיזוק חדשנית, שבה סוכני AI (רובוטים במקרה זה) הצליחו ללמוד ולבצע משימות מורכבות באמצעות חקירה עצמאית, ללא צורך במשוב ישיר. גישה זו לא רק אפשרה לסוכנים להשלים את המשימות, אלא אף הובילה אותם למצוא פתרונות מגוונים ויעילים יותר, לעיתים קרובות במהירות גבוהה יותר מאשר סוכנים שקיבלו הדרכה ומשוב. פריצות דרך מסוג זה בלמידת מכונה ולמידת חיזוק הן קריטיות לפיתוח הדור הבא של כלים חינוכיים. הן פותחות אפשרויות ליצירת מערכות למידה מתוחכמות יותר, המסוגלות להתאים את עצמן לקצב, לסגנון ולצרכים האישיים של כל לומד, כפי שמתואר בחזון הכללי של AI בחינוך, המדגיש את הפוטנציאל ליצירת מסלולי למידה אדפטיביים וחונכות חכמה בעוד המחקר הספציפי מדגים את יכולות למידת החיזוק, הוא תומך במגמה הרחבה יותר של שימוש ב-AI ליצירת חוויות למידה אישיות ואפקטיביות יותר (Schwarz, 2025; Young, 2025).

רעיונות לפיתוח עתידי: מערכות הערכה מולטימודליות המשלבות ניתוח רגשי וקוגניטיבי

מחקרים עדכניים מצביעים על פוטנציאל רב במערכות הערכה מולטימודליות - סוכני בינה מלאכותית המסוגלים לשלב ניתוח קוגניטיבי (ידע ומיומנויות) יחד עם ניתוח רגשי ומוטיבציוני.

גו ועמיתיו (2023) מציעים מודל קונספטואלי למערכת הנקראת **Multimodal Assessment Agent (MAA)**, המשלבת מגוון ערוצי קלט כדי לספק תמונה הוליסטית יותר של תהליך הלמידה:

"מערכת MAA משלבת ניתוח תוכן מילולי (תשובות, הסברים), ניתוח ויזואלי (הבעות פנים, שפת גוף), ניתוח קולי (טון דיבור, קצב), וניתוח התנהגותי (זמני תגובה, דפוסי אינטראקציה) כדי להעריך לא רק את רמת הידע של התלמיד, אלא גם את מצבו הרגשי, רמת המעורבות, והמוטיבציה שלו" (Goh et al., 2023, p. 15).

מערכות כאלה יכולות לשנות באופן מהותי את ההערכה החינוכית, ממודל סטטי של "בדיקת תשובות" למודל דינמי של הערכת תהליך הלמידה בכללותו: "הערכה מולטימדיאלית מאפשרת למורים לראות מעבר ל'מה' התלמיד יודע, ולהבין טוב יותר את ה'איך' ו'למה' של תהליך הלמידה שלו. היא חושפת לא רק פערי ידע, אלא גם חסמים מוטיבציוניים, חרדות, או חוסר ביטחון המשפיעים על ביצועי התלמיד" (CIDDL, 2024).

פרונטיירס אין פסיכולוגי (2024) מתאר כיצד AI יכולה לשמש לניתוח רגשות בסביבות למידה:

"באמצעות אלגוריתמים מתקדמים, בינה מלאכותית יכולה לזהות סימנים של תסכול, שעמום, או התלהבות, מה שמאפשר למחנכים להתאים את שיטות ההוראה שלהם בהתאם" (Vistorte et al., 2024).

האתגרים בפיתוח מערכות הערכה מולטימדיאליות, כפי שמציין מדיה.אם.אי.טי (2024), כוללים שאלות אתיות לגבי פרטיות, **חששות מפני פירוש שגוי של תגובות רגשיות בהקשרים תרבותיים שונים**, והצורך במערכות שקופות המסבירות את החלטותיהן. עם זאת, הפוטנציאל לספק משוב עשיר, הוליסטי ומותאם אישית, הופך את הפיתוח של מערכות כאלה לאחד הכיוונים המבטיחים ביותר בתחום סוכני הבינה המלאכותית החינוכיים (Media MIT, 2024).

6. אתגרים אתיים ופרטיות

סוגיות אתיות בשילוב סוכני בינה מלאכותית בחינוך

השימוש הגובר בסוכני בינה מלאכותית בחינוך מעלה שאלות אתיות מורכבות שדורשות התייחסות מעמיקה. להלן סוגיות אתיות מרכזיות הנוגעות לשילוב סוכני בינה מלאכותית בסביבות חינוכיות:

- **שקיפות אלגוריתמית:** "תלמידים, מורים והורים צריכים להבין כיצד סוכני בינה מלאכותית מקבלים החלטות, במיוחד כאשר החלטות אלה משפיעות על תהליכי למידה, הערכה, והקצאת משאבים" (Tepperspectives, 2024).
- **הוגנות וגיוון:** קיים חשש מהטיות מובנות במערכות בינה מלאכותית, אשר עלולות להנציח או אף להגביר פערים קיימים במערכת החינוך. (IBM, 2024) מדגישה את הצורך "להבטיח שסוכני בינה מלאכותית חינוכיים יפעלו באופן הוגן עבור תלמידים ממגוון רקעים תרבותיים, חברתיים-כלכליים, ויכולות למידה" (IBM, 2024).
- **אוטונומיה ויתר-תלות:** קיים מתח מובנה בין היתרונות של סוכני בינה מלאכותית לבין הסיכון של פיתוח תלות יתר בהם: "חשוב לשמר את האוטונומיה של התלמידים ולמנוע מצב שבו הם מאבדים יכולות קוגניטיביות חיוניות, כמו חשיבה ביקורתית ופתרון בעיות עצמאי, עקב הסתמכות יתר על סוכני AI (SmythOS, 2024).
- **סוכנות אנושית:** ישנן שאלות פילוסופיות עמוקות לגבי ההשלכות האתיות של סוכני בינה מלאכותית על תפיסת הסוכנות האנושית: "כאשר סוכני AI נראים ומתנהגים באופן שמדמה סוכנות אנושית, חובתנו האתית היא לבחון כיצד זה משפיע על תפיסת הסטודנטים את עצמם כסוכנים אוטונומיים ואת גבולות האחריות האישית שלהם" (Alberts et al., 2024).
- **סוגיות של אחריות:** כאשר סוכני בינה מלאכותית מקבלים החלטות חינוכיות משמעותיות, עולה השאלה מי נושא באחריות לתוצאות: "האם זה המפתחים, המוסד החינוכי, המורים, או

שמא יש ליצור מגננונים חדשים של אחריותיות המותאמים לחינוך מבוסס בינה מלאכותית?"
(Talview Blog, 2024).

דאסצ'י ואולודאג' (2024) ניתחו את סוגיית הסוכנות בשימוש במערכות בינה מלאכותית גנרטיביות בחינוך דרך פריזמה של תיאוריית הזהות החברתית. הם טוענים כי "תחושת הסוכנות של המשתמש בעת שימוש במערכות AI-גנרטיביות מושפעת מהזהות החברתית שלו, וזו ממתנת את תחושת הסוכנות של הסוכן" (Daşci & Uludağ, 2024, p. 12).

דוגמאות ליוזמות קיימות

א. מסגרת האתיקה של אונסק"ו לבינה מלאכותית בחינוך

אונסק"ו (UNESCO) ממלאת תפקיד מוביל בפיתוח מסגרות אתיות לשימוש בבינה מלאכותית בחינוך. בנובמבר 2021, אונסק"ו אימצה את המלצת האתיקה של בינה מלאכותית (Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence), המהווה את הסטנדרט הגלובלי הראשון בנושא אתיקה של בינה מלאכותית, וחלה על כל 194 המדינות החברות בארגון (UNESCO, 2024).

בהמשך לכך, בשנים 2023-2024, אונסק"ו פיתחה שתי מסגרות מיומנויות בינה מלאכותית ייעודיות לתחום החינוך: מסגרת מיומנויות בינה מלאכותית לתלמידים ומסגרת מיומנויות בינה מלאכותית למורים. כפי שמתואר באתר הארגון:

"המסגרת מדגישה כי כלי בינה מלאכותית צריכים להשלים, ולא להחליף, את התפקידים והאחריות החיוניים של מורים בחינוך. למורים יש תפקיד מכריע בהנחיית השימוש בכלי בינה מלאכותית בכיתה, והם צריכים להיות מוסמכים לקבוע מתי וכיצד להשתמש בטכנולוגיות אלה כדי לתמוך בתהליכי הוראה ולמידה" (UNESCO, 2024).

המסגרת למורים מאורגנת סביב חמישה תחומים מרכזיים: תפיסת המורה (AI mindset), אתיקת בינה מלאכותית, יסודות בינה מלאכותית, פדגוגיה של בינה מלאכותית, ובינה מלאכותית לפיתוח מקצועי. היא גם מפרטת 56 מיומנויות ספציפיות שמורים צריכים לפתח כדי להשתמש בבינה מלאכותית באופן אפקטיבי ואתי (CEDEFOP, 2024).

מסגרת המיומנויות לתלמידים, שפורסמה במרץ 2024, כוללת 12 מיומנויות מרכזיות בארבעה ממדים: (1) ידע והבנה של בינה מלאכותית, (2) פעולה וחשיבה עם בינה מלאכותית, (3) חיים יחד עם בינה מלאכותית, ו- (4) העצמה באמצעות בינה מלאכותית (UNESCO, 2024).

ההמלצות עוסקות גם באתגרים הספציפיים של הטמעת בינה מלאכותית גנרטיבית בחינוך, כולל הגנה על מידע חינוכי, אבטחה ופרטיות, שמירה על האוטונומיה של מורים ותלמידים, ופיתוח אוריינות אתית של בינה מלאכותית (UNESCO, 2023).

ב. Student Privacy Pledge 2.0 בארה"ב

בארה"ב, יוזמת Student Privacy Pledge התפתחה בשנים האחרונות והובילה לגרסה 2.0 המעודכנת, המתייחסת באופן ספציפי לאתגרים חדשים, כולל שימוש בבינה מלאכותית וסוכני AI בחינוך. היוזמה, שפותחה על ידי Software & Information Industry-ו Future of Privacy Forum,

Association, נתמכת על ידי מאות חברות טכנולוגיה חינוכית, ומהווה התחייבות מרצון להגן על פרטיות תלמידים (Future of Privacy Forum, 2024).

השבועה המעודכנת כוללת התחייבויות כגון:

- לא למכור מידע של תלמידים או להשתמש בו לפרסום התנהגותי
- להגביל את איסוף, שימוש, שיתוף ושמירת מידע תלמידים למטרות חינוכיות בלבד
- להיות שקופים לגבי מדיניות וסטנדרטים אבטחת מידע
- לספק למשתמשים שליטה על מידע אישי ויכולת לתקן מידע לא מדויק
- להודיע למוסדות חינוך על פרצות אבטחה (Student Privacy Pledge, 2023)

שינוי משמעותי בגרסה 2.0 הוא ההתייחסות הייחודית לבניה מלאכותית: "אנו מתחייבים לפתח וליישם מדיניות אחראית לשימוש בבניה מלאכותית ואלגוריתמים אחרים, כולל מתן שקיפות לגבי האופן שבו מידע תלמידים משמש לאימון מודלים אלה, והמאמצים שנעשים למנוע תוצאות מוטות או מפלות" (Student Privacy Pledge 2.0, 2023).

ג. האקט האירופי לבניה מלאכותית (EU AI Act) והשלכותיו למערכות חינוך

בדצמבר 2024, האיחוד האירופי אישר את ה-AI Act, המהווה את המסגרת החוקית הראשונה בעולם לבניה מלאכותית. החוק מסווג מערכות בינה מלאכותית לפי רמות סיכון, ומטיל דרישות רגולטביות שונות בהתאם (European Union, 2024).

עבור תחום החינוך, המשמעויות של החוק הן מרחיקות לכת, כפי שמתאר (FeedbackFruits 2024):

"מערכות בינה מלאכותית בחינוך מסווגות כבעלות סיכון גבוה, מה שמחייב אותן לעמוד בדרישות מחמירות של אבטחה, פרטיות ושקיפות. המפתחים נדרשים לספק תיעוד מקיף, לבצע הערכות השפעה על זכויות יסוד, ולהבטיח פיקוח אנושי על מערכות קבלת החלטות" (FeedbackFruits, 2024).

השלכה מרכזית נוספת של ה-AI Act לחינוך היא הדרישה ל"אוריינות בינה מלאכותית" (AI Literacy) כפי שמתאר (Mayer Brown, 2025).

מועצת החינוך הדיגיטלי (2024) מדגישה את ההשלכות על אוניברסיטאות:

"אוניברסיטאות בתוך האיחוד האירופי צריכות לפתח תהליכי ממשל חזקים כדי להתמודד עם תקנות אלה וההשפעות המתפתחות על הפעילות והרישום שלהן. זה כולל פיתוח מדיניות ברורה, הכשרת סגל, וכן הקמת ועדות אתיקה ייעודיות לבניה מלאכותית" (Digital Education Council, 2024).

תועלת פוטנציאלית לחדשנות בחינוך: "על אף אופיו הרגולטורי, ה-AI Act מעודד פיתוח של יישומי בינה מלאכותית חדשניים ובטוחים. ספקי טכנולוגיות חינוך שיעמדו בסטנדרטים המחמירים יזכו באמון מוגבר מצד לקוחות, ויכללו להציע פתרונות חדשניים שמקדמים למידה מותאמת אישית תוך שמירה על פרטיות ואתיקה" (BABL AI, 2024).

ד. רעיונות לפיתוח עתידי: מודלים "בינה מלאכותית שקופה" המאפשרים הסברה ופיקוח חינוכי

חוקרים ומפתחים בתחום הבינה המלאכותית החינוכית מציעים קונספטים חדשניים למודלים של "בינה מלאכותית שקופה" (Transparent AI) - מערכות המספקות שקיפות לגבי תהליכי קבלת ההחלטות שלהן, ומאפשרות הסברה, פיקוח ושליטה אנושית משמעותית.

מודל קונספטואלי הנקרא "Explanatory Educational AI- EXAI", המתמקד בשלושה היבטים של שקיפות:

- **שקיפות יישומית:** המערכת מסבירה באופן ברור לתלמידים ומורים כיצד היא מגיעה להמלצות ולהחלטות מסוימות.
- **שקיפות מעשית:** לומדים ומורים יכולים לא רק להבין את החלטות המערכת, אלא גם להתערב ולשנות אותן.
- **שקיפות פדגוגית:** המערכת תוכננה כך שהליבה הפדגוגית שלה - הגישה לידע, ללמידה ולהוראה - היא שקופה ופתוחה לביקורת ודיון (Future of Being Human, 2024).

הצעה מעניינת נוספת, המתוארת על ידי גובטק (2024), היא "AI as a Learning Tool" - גישה המציבה את שקיפות המערכת כאלמנט פדגוגי: "במקום להסתיר את מגבלות המערכת ואת האופן שבו היא מגיעה למסקנות, המודל הופך את תהליך קבלת ההחלטות של ה-AI עצמו לחלק מהחומר הנלמד. תלמידים לומדים כיצד המערכת עובדת, מה מגבלותיה, וכיצד לבחון באופן ביקורתי את המלצותיה. זה לא רק מגביר שקיפות, אלא גם מפתח אוריינות דיגיטלית וחשיבה ביקורתית" (GovTech, 2024).

סמית'אוס (2024) מתאר גישה הנקראת "Tiered Transparency", שבה רמת השקיפות מותאמת לסוג המשתמש ולהקשר השימוש: "עבור תלמידים צעירים, המערכת מספקת הסברים פשוטים וויזואליים. עבור תלמידים מתקדמים יותר, ההסברים מפורטים ועשירים יותר. עבור מורים ומנהלים, המערכת מספקת גישה למדדים ונתונים מתקדמים המאפשרים פיקוח משמעותי" (SmythOS, 2024).

ארכיטקטורה חדשנית נוספת, היא **מערכת HITL - Human-in-the-Loop AI** לחינוך: "מערכת HITL חינוכית משלבת באופן מובנה התערבות אנושית בתהליך קבלת ההחלטות. המערכת מציעה המלצות והסברים, אך החלטות מפתח מועברות למורים, מאפשרות שיפוט אנושי מבוסס הקשר וערכים. בנוסף, המערכת כוללת מנגנוני משוב המאפשרים למורים ולתלמידים לשפר את המודל באופן שוטף" (Vistorte et al., 2024).

האתגרים בפיתוח מודלים כאלה, כוללים את המתח בין שקיפות לבין ביצועים (שכן מודלים מורכבים יותר נוטים להיות פחות פרשנים), וכן את הצורך לאזן בין שקיפות לבין העומס הקוגניטיבי שהיא עלולה להטיל על משתמשים. עם זאת, הוא מדגיש כי "בהקשר החינוכי, הערך של שקיפות והסברתיות עולה על עלויות הביצועים הפוטנציאליות, שכן הן חיוניות ליצירת אמון וללמידה משמעותית" (Alberts, 2024).

7. מקרי בוחן מובילים מרחבי העולם

דוגמאות מרחבי העולם

פרויקט [Century Tech](#) בבריטניה - למידה מותאמת אישית במאות בתי ספר

Century Tech מהווה אחד המקרים המעניינים ביותר של יישום בקנה מידה גדול של סוכני בינה מלאכותית במערכת החינוך בבריטניה. הפלטפורמה, שנוסדה בשנת 2013, התפתחה משמעותית בשנים האחרונות והיא משמשת כיום יותר מ-60% מהמכללות באנגליה (National Centre for AI, 2023).

הטכנולוגיה של Century מבוססת על מה שהחברה מכנה "סוכני למידה אדפטיביים" - אלגוריתמים המנתחים את ביצועי התלמידים ומתאימים את חומרי הלימוד ליכולות, לקצב ולסגנון הלמידה האישי של כל תלמיד. כפי שמתואר באתר החברה:

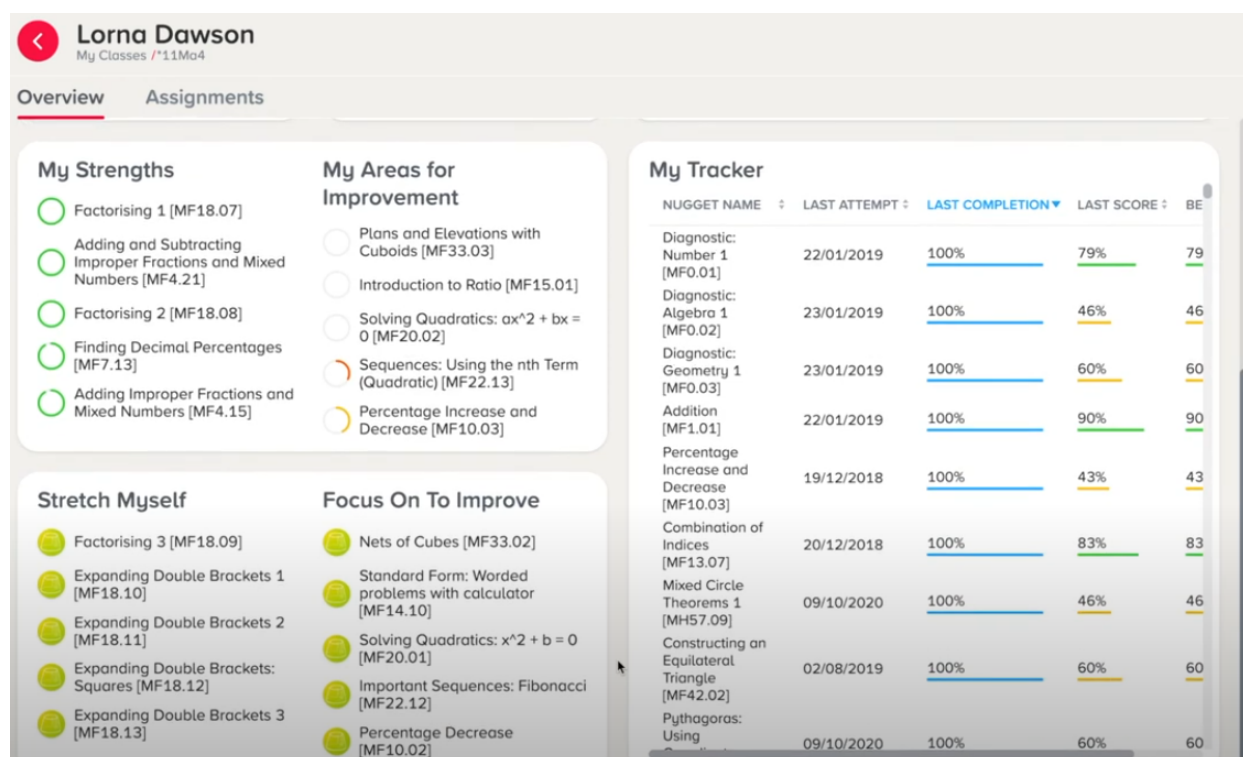
"Century מאיץ הערכה, מפחית עומס עבודה ומשפר התערבויות הוראה, הכל בזמן-המבחן. הפלטפורמה אוספת ומנתחת כמות עצומה של נתונים על האופן שבו כל תלמיד לומד, ומשתמשת באלגוריתמים מתקדמים כדי להתאים את נתיב הלמידה למאפיינים הייחודיים של כל לומד" (Century, 2024).

מחקר שנערך ב-2023 בדק את השפעת השימוש ב-Century על תוצאות למידה ב-12 בתי ספר יסודיים בריטיים, ומצא שיפור משמעותי בהישגי תלמידים במתמטיקה ואנגלית. המחקר הצביע על שיפור ממוצע של 30% בציוני תלמידים במבחנים סטנדרטיים, כאשר השיפור הגדול ביותר נצפה בקרב תלמידים שהיו מתחת לממוצע בתחילת המחקר (Teacher Toolkit, 2023).

היבט ייחודי של Century הוא הגישה "מאחורי הקלעים" של הבינה המלאכותית. כפי שמסבירה החברה בבלוג שלה, הטכנולוגיה מבוססת על שלושה מרכיבים מרכזיים:

- **הערכה אבחונית מתמשכת:** המערכת מעריכה באופן רציף את רמת ההבנה של התלמיד ומזהה פערי ידע ספציפיים.
- **התאמה אדפטיבית:** בהתבסס על ההערכה המתמשכת, המערכת מתאימה באופן דינמי את התוכן, רמת הקושי, וסגנון ההצגה.
- **אנליטיקה למורים:** המערכת מספקת למורים נתונים מפורטים על התקדמות התלמידים, מה שמאפשר להם לזהות דפוסים, לתכנן התערבויות ממוקדות, ולהתאים את ההוראה בכיתה (Century, 2024).

ב-2024, Century הרחיבה את פעילותה באמצעות שותפות עם חברת BenQ, המאפשרת שילוב של הפלטפורמה עם מסכים אינטראקטיביים בכיתות. כפי שמתואר בהודעה לעיתונות: "השותפות מאפשרת לטכנולוגיית ה-AI של Century להשתלב בחוויית הלמידה הכיתתית באופן חלק יותר, ומספקת למורים נתונים בזמן אמת שמאפשרים להם להתאים את ההוראה בהתאם" (Century, 2024).



מתוך סרטון הדרכה על המערכת

תוכנית לאומית בדרום קוריאה לשילוב בינה מלאכותית מבוססת-סוכנים בחינוך

דרום קוריאה מובילה בעולם בתחום שילוב בינה מלאכותית במערכת החינוך, עם תוכנית לאומית שאפתנית שהושקה בשנים האחרונות. בשנת 2023, משרד החינוך הקוריאני הכריז על תוכנית מקיפה לשילוב מערכות AI בכל בתי הספר ה-K-12 עד שנת 2025, עם התמקדות מיוחדת בסוכני בינה מלאכותית לתמיכה בלמידה מותאמת אישית (CARE Lab Purdue, 2024).

התוכנית הקוריאנית מקיפה מספר יוזמות מרכזיות:

- **עדכון תוכניות הלימודים:** הטמעת אוריינות AI ומדעי המחשב כמקצועות חובה בכל שכבות הגיל, כולל הכשרת כל התלמידים בעבודה עם ובאמצעות סוכני בינה מלאכותית (South Korea, 2023).
- **חדשנות בהוראה:** יוזמה הנקראת "AI-powered Personalized Education" שמטרתה לשלב כלי AI מתקדמים בכיתות, כדי להתאים את ההוראה לצרכים האישיים של כל תלמיד. "דרום קוריאה מתכננת להשתמש בבינה מלאכותית להתאמת תוכן ההוראה לרמת התלמידים, החל משנת הלימודים הבאה במרץ 2025" (TestWe, 2024).
- **פרויקט "AI-Digital (AID) 30+":** כפי שמדווח על ידי Korea Herald, יוזמה שהושקה ב-2024 ומיועדת לספק חינוך AI ודיגיטלי למבוגרים מעל גיל 30, כדי לקדם הכשרה מחדש ושדרוג מיומנויות בכוח העבודה (Korea Herald, 2024).

- **"AI National Strategy Project"**: תוכנית שמטרתה להכשיר 5,000 מומחי AI עד שנת 2025, תוך יישור קו בין היעדים החינוכיים לבין השאיפות הכלכליות הלאומיות (Complete AI Training, 2024).

הבנק העולמי (2024) מדגיש את הייחודיות של המודל הקוריאני, שבו המורים מובילים את מהפכת ה-AI בכיתות:

"קוריאה מנצלת את הבינה המלאכותית לשיפור איכות החינוך, ויוצרת דינמיקה חדשה בכיתה שהיא גם מובלת-מורים וגם מועצמת-AI. מודל זה מאזן בין חדשנות טכנולוגית לבין שמירה על תפקידו המרכזי של המורה כמנחה ומחנך" (World Bank, 2024).

עם זאת, התוכנית גם נתקלת בהתנגדות, במיוחד בכל הנוגע לשילוב ספרי לימוד דיגיטליים מבוססי-AI. בינואר 2025, ראש מחלקת החינוך בסיאול תמך בהחלטה להפוך את ספרי הלימוד הדיגיטליים המבוססים-AI לאופציונליים, מה שדחה את תוכנית משרד החינוך לשלב ספרי לימוד כאלה במקצועות כמו אנגלית ומתמטיקה (Korea Herald, 2025).

Squirrel AI Learning בסין - למעלה מ-2 מיליון תלמידים

Squirrel AI Learning מייצגת את אחד היישומים הנרחבים ביותר של סוכני בינה מלאכותית בחינוך בסין, ומשרתת כיום למעלה מ-2 מיליון תלמידים. החברה, שנוסדה ב-2014, פיתחה מערכת למידה אדפטיבית מבוססת AI המותאמת במיוחד למערכת החינוך הסינית, והיא מפעילה כיום למעלה מ-3,000 מרכזי למידה ברחבי סין (Squirrel AI Learning, 2024).

הטכנולוגיה של Squirrel AI מבוססת על מה שהחברה מכנה **"Nano-level Knowledge Components"** - פירוק כל תחום לימוד ליחידות ידע קטנות מאוד, מה שמאפשר התאמה מדויקת במיוחד של תוכניות הלימוד. "המערכת מפרקת כל מקצוע ל-30,000 עד 50,000 'נקודות ידע' ומנתחת את הקשרים ביניהן. בזמן שתלמיד לומד, האלגוריתם בונה מפה קוגניטיבית אישית שמזהה בדיוק אילו נקודות ידע התלמיד שולט בהן ואילו דורשות חיזוק" (MIT Technology Review, 2019).

מחקר מקיף שנערך ב-2019 השווה את הביצועים של מערכת Squirrel AI להוראה אנושית מסורתית. המחקר התמקד ב-78 תלמידים בכיתה ח' שחולקו לשתי קבוצות - אחת שלמדה עם מורים אנושיים והשנייה עם מערכת Squirrel AI. התוצאות הראו שהקבוצה שלמדה עם המערכת השיגה ציונים גבוהים ב-5% בממוצע, והפער היה גדול אף יותר בקרב תלמידים חלשים יותר (Best Practice AI, 2023).

ב-2023, Squirrel AI הרחיבה את פעילותה באמצעות שותפויות עם בתי ספר ציבוריים, והציגה מודל עבודה חדשני המשלב בין למידה בכיתה לבין למידה מותאמת אישית באמצעות הפלטפורמה. כפי שמתאר מחקר החברה:

"המודל המשולב מאפשר למורים להתמקד בפיתוח כישורים כמו יצירתיות, חשיבה ביקורתית ופתרון בעיות, בעוד שהמערכת האדפטיבית מתמקדת בהקניית ידע בסיסי ובזיהוי וטיפול בפערים אישיים" (Squirrel AI Learning, 2023).

הישג משמעותי של החברה התרחש ב-2024, כאשר Squirrel AI Learning קבעה שיא גינס עולמי ל"מספר המשתמשים הגדול ביותר שהשתתפו בשיעור מתמטיקה מקוון תוך 24 שעות", עם 112,718 משתתפים (WBOY, 2024). הישג זה מדגים את הקנה המידה העצום של פעילות החברה בסין.

ג'יאנג, מייסדת משותפת של Squirrel AI, הדגישה לאחרונה את תפקידה של בינה מלאכותית בפיתוח חשיבה ביקורתית: "המערכת לא רק מלמדת תוכן, אלא מטפחת חשיבה ביקורתית באמצעות אדפטציה לאופן שבו כל תלמיד חושב וניתוח האופן שבו הוא ניגש לפתרון בעיות" (Eastern Progress, 2024).

[סרטון הסבר על המערכת בפורום הכלכלי העולמי](#)

[סרטון הסבר נוסף](#)



[עזרי חומרה לתמיכה בלמידה עם המערכת של Squirrel](#)

פיילוט של Carnegie Learning AI Tutor בבתי ספר בארה"ב

[Carnegie Learning](#), חברה ותיקה בתחום הטכנולוגיה החינוכית בארה"ב, הרחיבה בשנים האחרונות את שימושה בסוכני בינה מלאכותית במוצריה החינוכיים, והשיקה פיילוטים משמעותיים בבתי ספר ברחבי ארה"ב. האסטרטגיה של החברה מתמקדת בפיתוח חונכים וירטואליים מבוססי-AI המתמחים בהוראת מתמטיקה ומדעים (Carnegie Learning, 2024).

בשנת 2024, החברה השיקה את LiveHint AI, שמתואר כ"חונך מתמטיקה בינה מלאכותית גנרטיבי הראשון שמבין כיצד תלמידים ניגשים לפתרון בעיות וחוזר שגיאות נפוצות שהם עשויים לעשות"

(Carnegie Learning, 2024). הייחודיות של LiveHint AI היא ביכולתו להבין את תהליך החשיבה של התלמיד, ולא רק לספק תשובות:

"בניגוד לכלי AI חינוכיים אחרים המספקים פתרונות מוכנים, LiveHint AI מתמחה בהבנת תהליך החשיבה של התלמיד ובמתן רמזים ממוקדים שעוזרים לתלמיד להתקדם בפתרון הבעיה בעצמו. המערכת משתמשת במודלים מתקדמים של בינה מלאכותית כדי לחזות את השגיאות הנפוצות שתלמידים עושים בנושאים ספציפיים, ולהציע התערבויות ממוקדות" (Carnegie Learning, 2024).

מחקר שנערך באוניברסיטת ברוקטון בארה"ב בדק את השפעת פיילוט של Carnegie Learning בבתי ספר חטיבות ביניים. החוקרים עבדו עם Carnegie Learning כדי לנטר כיצד תלמידים מתקדמים לאורך תוכנית הלימודים במתמטיקה. המחקר מצא כי בתי ספר שהשתמשו בטכנולוגיה זו הציגו שיפור של 23% בהישגי תלמידים במבחנים סטנדרטיים, בהשוואה לבתי ספר דומים שלא השתמשו בטכנולוגיה (EdWeek, 2024).

בשנת 2024, Carnegie Learning השיקה גם שותפות עם AI for Education כדי לקדם אוריינות AI ולתמוך בשימוש אחראי בבינה מלאכותית בחינוך K-12 ברחבי ארצות הברית (Ed Tech Innovation Hub, 2024).

נקודת ציון משמעותית עבור החברה הייתה ההכרה שקיבלה ממשרד החינוך האמריקאי בפברואר 2024, כאשר נבחרה כשותפה רשמית בתוכנית לקידום שימוש אפקטיבי בטכנולוגיות למידה (Carnegie Learning Press, 2024). בדו"ח שפרסמה החברה ב-2024 נאמר "פריצות הדרך בבינה מלאכותית גנרטיבית (GenAI) אפשרו ל-Carnegie Learning להתאים אישית תוכן חינוכי בדרכים חדשות, עם דיוק רב יותר. הטכנולוגיה לא רק מזהה את רמת הידע של התלמיד, אלא גם את סגנון הלמידה המועדף עליו, את הדוגמאות שיהיו משמעותיות עבורו, ואת האסטרטגיות ההוראה שיהיו האפקטיביות ביותר" (Digital Promise, 2024).

ממצאים ראשוניים ולקחים שנלמדו

המקרים המובילים שתוארו לעיל מספקים תובנות משמעותיות לגבי היישום המעשי של סוכני בינה מלאכותית בחינוך. ניתן לזהות מספר ממצאים משותפים ולקחים מרכזיים:

- אפקטיביות בשיפור הישגים:** מחקרים ראשוניים מהפרויקטים השונים מצביעים על שיפור משמעותי בהישגי תלמידים, במיוחד בקרב תלמידים שנמצאים מתחת לממוצע. שיפורים של 20-30% בציונים דווחו במספר מחקרים (כולל אלה שנערכו על Century Tech, Squirrel AI, Carnegie Learning (TeacherToolkit, 2023; Best Practice AI, 2023; EdWeek, 2024).
- התאמה תרבותית וחברתית:** הניסיון מדגיש את החשיבות של התאמת סוכני בינה מלאכותית להקשר התרבותי-חברתי הספציפי. כפי שמדגים המקרה של דרום קוראיה, שילוב מוצלח דורש התחשבות בערכים, בציפיות ובמבנה המערכת החינוכית המקומית (World Bank, 2024).
- שילוב טכנולוגיה-פדגוגיה:** הפרויקטים המוצלחים ביותר מציגים שילוב הדוק בין הטכנולוגיה לבין תיאוריות פדגוגיות מבוססות. כפי שמדגים המקרה של LiveHint AI של Carnegie Learning, סוכני בינה מלאכותית אפקטיביים אינם מסתפקים בהצגת תשובות, אלא תומכים בתהליכי חשיבה ופתרון בעיות (Carnegie Learning, 2024).

- **מקומו של המורה משתנה' אך נשאר מרכזי:** בכל המקרים המוצלחים, תפקיד המורה לא נעלם אלא עובר טרנספורמציה. כפי שמדגיש הבנק העולמי בהתייחסו לדרום קוריאה, המורים הופכים למנחים, מתווכים ומפתחי מיומנויות מסדר גבוה יותר (World Bank, 2024).
- **מגבלות וחסמים:** המקרים גם מאירים מספר חסמים מרכזיים להטמעה מוצלחת, כולל:
 - התנגדות מערכתית לשינוי, כפי שמודגם במקרה של ספרי הלימוד הדיגיטליים בקוריאה (Korea Herald, 2025)
 - אתגרי תשתית ונגישות, במיוחד באזורים מעוטי משאבים
 - קשיים בהכשרת מורים לעבודה אפקטיבית עם טכנולוגיות חדשות, כפי שמדגיש מחקר הערכה של Century Tech (Century, 2024)
 - אתגרים אתיים ומשפטיים הנוגעים לפרטיות ולשימוש בנתוני תלמידים, כפי שעולה מההתפתחויות הרגולטוריות באירופה (FeedbackFruits, 2024)
- **מודלים היברידיים הם היעילים ביותר:** הדוגמאות המוצלחות ביותר מציגות מודלים היברידיים המשלבים למידה מסורתית בכיתה עם למידה מותאמת אישית באמצעות סוכני בינה מלאכותית. כפי שמדגים Squirrel AI, שילוב יעיל מאפשר לכל מרכיב במערכת להתמקד בחוזקותיו - המורים בפיתוח חשיבה ביקורתית והבנה עמוקה, והסוכנים בהקניית ידע בסיסי וטיפול בפערים אישיים (Squirrel AI Learning, 2023).
- **כלים ופלטפורמות מצריכים התאמה לתחומי דעת ספציפיים:** הניסיון מראה כי סוכני בינה מלאכותית אפקטיביים נוטים להיות ממוקדי-תחום. למשל, ההצלחה של Carnegie Learning במתמטיקה ומדעים מבוססת על הבנה עמוקה של תחומים אלה והאתגרים הייחודיים שהם מציבים ללומדים (Carnegie Learning, 2024).
- **איסוף נתונים רציף ומשוב משפרים את המערכת לאורך זמן:** המקרים המוצלחים מדגימים את החשיבות של איסוף נתונים שיטתי ומתמשך, המאפשר למערכות ללמוד ולהשתפר. כפי שמדגים Riiid, מערכות המיישמות למידת חיזוק משתפרות משמעותית ככל שהן אוספות יותר נתונים על פעולות והתנהגויות למידה (PR Newswire, 2023).
- **ניטור והערכה הם קריטיים:** כל הפרויקטים המוצלחים כללו מרכיב משמעותי של ניטור והערכה, המאפשר למדוד את האפקטיביות ולבצע התאמות בזמן אמת. כפי שמדגיש המחקר של Century Tech, "הערכה מבוססת-נתונים של השפעת הטכנולוגיה היא קריטית להצלחה ולאימוץ הנרחב שלה" (Century, 2024).
- **פרסונליזציה מוגברת מביאה לתוצאות טובות יותר:** לקח משמעותי מכל המקרים הוא שככל שרמת ההתאמה האישית של חומרי הלימוד גבוהה יותר, כך התוצאות טובות יותר. הפירוק של Squirrel AI את חומרי הלימוד ל-30,000-50,000 "נקודות ידע" מאפשר רמת התאמה אישית גבוהה במיוחד, מה שמסביר חלק מהצלחת החברה (MIT Technology Review, 2019).

ממצאים ומסקנות בהקשר של סוכני בינה מלאכותית בחינוך

אפקטיביות בשיפור הישגים	שיפורים של 20-30% בציונים דווחו במספר מחקרים	התאמה תרבותית וחברתית	התחשבות בערכים, בציפיות ובמבנה המערכת החינוכית המקומית
שילוב טכנולוגיה ופדגוגיה	שילוב הדוק בין הטכנולוגיה לבין תיאוריות פדגוגיות מבוססות	תפקיד המורה משתנה אך נשאר מרכזי	מנחים, מתווכים ומפתחי מיומנויות מסדר גבוה יותר
מגבלות וחסמים	התנגדות מערכתית לשינוי, אתגרי תשתית ונגישות, קשיים בהכשרת מורים, אתגרים אתיים ומשפטיים	מודלים היברידיים הם היעילים ביותר	למידה מסורתית בכיתה עם למידה מותאמת אישית
התאמת כלים לדיסציפלינות	כלים ופלטפורמות מצריכים התאמה לתחומי דעת ספציפיים	איסוף נתונים ומשוב רציף קריטיים לשיפור	איסוף נתונים רציף ומשוב משפרים את המערכת לאורך זמן
ניטור והערכה	למדוד את האפקטיביות ולבצע התאמות בזמן אמת	פרסונליזציה מוגברת	פרסונליזציה מוגברת מביאה לתוצאות טובות יותר

Made with Napkin

"הקריטריון האולטימטיבי להצלחת סוכני בינה מלאכותית בחינוך אינו רק שיפור בציוני מבחנים סטנדרטיים, אלא מידת יכולתם לתמוך בפיתוח לומדים עצמאיים, בעלי מוטיבציה פנימית ומיומנויות למידה לאורך החיים" (Power, 2024, p. 17).

8. השפעות פסיכולוגיות וחברתיות

השפעת סוכני בינה מלאכותית על מוטיבציה ומעורבות תלמידים

השפעת סוכני בינה מלאכותית על מוטיבציה ומעורבות תלמידים מהווה תחום מחקר מתפתח, עם ממצאים מעניינים שהתפרסמו בשנים האחרונות. מחקר שפורסם ב-*STEM Education Journal*, 2025 בחן את ההשפעה של סביבות תכנות בסיוע AI על מוטיבציה של סטודנטים. החוקרים מצאו כי "קבוצות שעבדו עם שותפי AI הציגו מוטיבציה פנימית מוגברת, מה שמצביע על כך שעבודה עם שותפים מלאכותיים עשויה לחזק את תחושת האוטונומיה והמסוגלות של התלמידים" (Ren et al., 2025, p. 12).

ישנם ארבעה מנגנונים עיקריים שבאמצעותם סוכני בינה מלאכותית משפיעים על מוטיבציית תלמידים:

- **סביבה בטוחה ללא שיפוט:** תלמידים חשים יותר ביטחון להתנסות ולטעות בסביבה שבה הם מתקשרים עם סוכן AI, שנתפס כפחות שיפוטי מאשר מורה אנושי או עמיתים.
- **משוב מיידי:** הסוכנים מספקים משוב מיידי וספציפי שמחזק את תחושת ההתקדמות של התלמידים.
- **התאמה אישית של אתגרים:** סוכני AI מתאימים את רמת האתגר לרמת המיומנות של התלמיד, מה שיוצר את מה שצ'יקסנטמיהיי כינה "זרימה" (flow) - מצב של מעורבות עמוקה ומהנה.
- **תמיכה רגשית:** "סוכני AI יכולים גם להציע תמיכה רגשית ועידוד, גורמים קריטיים עבור תלמידים שעשויים להרגיש מיואשים או מוצפים" (Ramanujam, 2024).

"באמצעות אלגוריתמים מתקדמים, AI יכולה לזהות סימנים של תסכול, שעמום, או התלהבות, מה שמאפשר למחנכים להתאים את שיטות ההוראה בהתאם. זיהוי מוקדם של דפוסים רגשיים יכול למנוע נשירה ולשפר את המוטיבציה ללמידה" (Vistorte et al., 2024).

עם זאת, מחקרים אחרים מזהירים מפני ההשפעות השליליות הפוטנציאליות של סוכני בינה מלאכותית על מוטיבציה. מחקר מקיף שפורסם ב-*BERA Journal* מצא כי "טכנולוגיות AI כמו ChatGPT עלולות לקדם תלות של הלומדים בטכנולוגיה ולעורר 'עצלנות מטה-קוגניטיבית'" (BERA Journal, 2024, p. 5). החוקרים מצאו שתלמידים שהשתמשו באופן תדיר בסוכני AI לפתרון בעיות הראו ירידה ביכולת פתרון הבעיות העצמאית שלהם, ובמוטיבציה הפנימית להתמודד עם אתגרים קוגניטיביים.

השפעה פסיכולוגית מעניינת נוספת היא הקשר בין חרדת AI לבין מוטיבציית למידה. מחקר של Tang ועמיתיו (2022) מצא כי "חרדת למידת AI משפיעה שלילית על מוטיבציות למידה, אך חרדת החלפת עבודה על ידי AI דווקא משפיעה חיובית על מוטיבציה חיצונית" (Tang et al., 2022, p. 8). ממצא זה מרמז על דינמיקה מורכבת בין תפיסות של תלמידים לגבי AI לבין המוטיבציה שלהם ללמוד באמצעותה.

היבטים רגשיים באינטראקציה עם סוכני בינה מלאכותית

האינטראקציה בין תלמידים לבין סוכני בינה מלאכותית כוללת היבטים רגשיים משמעותיים. וורדי (2024) מתייחס למה שהוא מכנה "פרדוקס האמפתיה" - התופעה שבה משתמשים מפתחים תחושת הבנה ואפילו חיבור רגשי עם סוכני AI, למרות שאלה אינם חווים רגשות באמת:

"ממשקים מונעי-AI מעוצבים כדי לעורר תחושת הבנה וחיבור רגשי. אך המציאות של אינטראקציות אלה לעתים קרובות מתגלה כאשליה. המשתמשים מייחסים לסוכנים הבנה רגשית ואמפתיה, גם כאשר האלגוריתמים פשוט מחקים תגובות רגשיות בהתבסס על דפוסים שזוהו בנתוני אימון" (Verdi22, 2024).

מעבדת (HAI) Human-Centered AI באוניברסיטת סטנפורד מובילה מחקרים פורצי דרך בתחום הקשר הרגשי בין בני אדם לסוכני בינה מלאכותית. חוקרים מאוניברסיטת סטנפורד חקרו את האופן שבו סוכני AI מזהים ומגיבים לרגשות המובעים באמנות חזותית. הם מצאו כי האלגוריתמים מסוגלים לא רק לזהות תכונות חזותיות, אלא גם "לראות את הכוונה הרגשית מאחורי יצירות אמנות גדולות", מה שעשוי להוביל למחשבים "שרואים הרבה יותר עמוק" (Stanford HAI, 2024).

היבט רגשי מעניין נוסף מגיע ממחקר חדשני Stanford שבו חוקרים סימולציות של האישיות של 1,052 אנשים באמצעות סוכני AI. המחקר מצא כי "סוכני AI מציגים התנהגות אנושית אמינה, מה שעשוי להוביל לאינטראקציות משמעותיות יותר בין אנשים ומחשבים" (Stanford HAI, 2024). עבור תלמידים רבים, סוכני AI מהווים סוג של "מראות" רגשיות, המאפשרות להם לקבל ביטחון רב יותר באמצעות אינטראקציה עם סוכן שמגיב באופן אמפטי ולא שיפוטי. עם זאת, הוא מזהיר כי "קיים סיכון שתלמידים יפתחו צורות לא בריאות של התקשרות לסוכני AI, במיוחד כאשר האלגוריתמים מכוונים במיוחד לעורר תגובות רגשיות" (Kouros & Papa, 2024).

מחקר משמעותי שפורסם ב-2024 בחן כיצד לבנות צ'אטבוטים שנתפסים כנחמדים ו"מלבבים" יותר על ידי משתמשים (Stanford HAI, 2024). החוקרים זיהו תכונות מפתח שהופכות סוכני AI ל"נעימים" יותר, ביניהן:

- יכולת לדמות תכונות אישיותיות אנושיות קבועות
- תגובות המותאמות להקשר ולטון השיחה
- הבעת רגשות מתונה, שאינה מוגזמת אך גם לא סטרילית מדי

מחקר נוסף מ-Stanford HAI התמקד בשימוש ב-AI לאימון יועצים עמיתים. החוקרים פיתחו מודל מבוסס-AI המציע משוב ליועצים מתחילים. המודל מזהה אסטרטגיות יעוץ אפקטיביות ומציע משוב קונסטרוקטיבי:

"הסוכן מזהה לא רק מה נאמר, אלא גם כיצד זה נאמר - טון, מבנה, וזמן התגובה - ומציע דרכים לשפר את האמפתיה והאפקטיביות של התקשורת. תוצאות מחקר ההערכה הראו שיפור משמעותי במיומנויות היועצים, במיוחד בתחומים של הקשבה פעילה והבעת אמפתיה" (Stanford HAI, 2023).

מחקר מעניין במיוחד שנערך על ידי קוודרה ועמיתיה (2024) בחן כיצד סוכני שיחה עושים שיפוטי ערך בעייתיים לגבי זהויות מסוימות. המחקר, שמומן על-ידי Stanford HAI, חשף כי "סוכני AI, למרות תכונתם להיות אובייקטיביים ולא שיפוטיים, עדיין עושים שיפוט ערכיים בעייתיים לגבי זהויות מסוימות" (Cornell Chronicle, 2024). ממצאים אלה מדגישים את החשיבות של התמודדות עם הטיית מובנות בסוכני AI חינוכיים, שעלולות להשפיע על האינטראקציה הרגשית עם המשתמשים.

במחקר פילוסופי מעמיק על ההיבטים האתיים של סוכנות חברתית לארטיפקטים כמו סוכני AI נמצא כי: "כאשר אנו מתייחסים לצ'אטבוטים ולסוכני AI כאל בעלי סוכנות חברתית אמיתית, אנו מכניסים אותם למרחב של אחריות ושיקולים מוסריים. אך סוכנות חברתית, בניגוד לסוכנות מוסרית, אינה

מחייבת מודעות או כוונה, אלא רק את היכולת להשפיע על היחסים החברתיים" (Symons & Abumusab, 2024, p. 8).

מחקרים אלה מדגישים את המורכבות של הקשר הרגשי בין תלמידים לסוכני AI, ואת הצורך בתשומת לב מיוחדת להיבטים רגשיים, אתיים וחברתיים של אינטראקציות אלה בהקשרים חינוכיים.

9. התפתחויות חדשניות והזדמנויות לשנה הקרובה

סוכני בינה מלאכותית מולטימודליים המשלבים עיבוד תמונה, קול וטקסט

אחת המגמות המשמעותיות ביותר בתחום סוכני הבינה המלאכותית בחינוך היא ההתפתחות של סוכנים מולטימודליים - מערכות המסוגלות לעבד ולהגיב למגוון רחב של קלטים, כולל טקסט, קול, תמונות וסרטונים. "סוכני AI מולטימודליים מייצגים קפיצת מדרגה משמעותית בהשוואה לסוכנים מבוססי-טקסט מסורתיים. יכולתם לעבד ולשלב מידע ממספר ערוצים - ויזואלי, אודיטורי וטקסטואלי - מאפשרת אינטראקציות עשירות ומורכבות יותר, המתקרבות יותר לאופן שבו בני אדם מתקשרים ולומדים באופן טבעי" (Stanford 2023).

בנוסף, סוכני בינה מלאכותית מולטימודליים מאפשרים גישות חדשות להוראה ולמידה:

"כדי ליצור בינה מלאכותית שמעשירה באמת את החינוך, עלינו לחרוג מעבר לטקסט ולפתח מערכות בינה מלאכותית מולטימודליות המשלבות ראייה, חשיבה מרחבית ויכולות אינטראקציה אנושיות. אינטראקציות כאלה פותחות אפשרויות חדשות לחלוטין לסגנונות למידה שאינם מבוססי-טקסט, כמו למידה חזותית, למידה דרך תנועה, ולמידה באמצעות ביטוי אמנותי" (Media MIT, 2024).

מחקר עדכני מאוניברסיטת פרדו (2024) מציג מספר יישומים חדשניים של סוכני בינה מלאכותית מולטימודליים בחינוך:

- **תוכניות לימוד מותאמות חושית:** סוכנים המזהים את העדפות החושיות של התלמיד (ויזואלי, אודיטורי, קינסטטי) ומתאימים את אופן הצגת החומר.
- **אבחון למידה משולב:** מערכות המשלבות ניתוח טקסט, ביטויי פנים, וטון קול כדי לזהות בזמן אמת את רמת ההבנה, העניין, והמעורבות של התלמיד.
- **שותפים אינטראקטיביים לשיח:** סוכנים המסוגלים לא רק לנהל שיחות מבוססות-טקסט, אלא גם להגיב לרמזים חזותיים ולניואנסים קוליים, ולספק חווית למידה אנושית יותר.
- **חומרי למידה מועשרים:** יכולת לייצר חומרי למידה המשלבים טקסט, תמונות, אודיו, וסימולציות אינטראקטיביות, המותאמים לצרכים ספציפיים של הלומד (CARE Lab Purdue, 2024).

המגמה לשנים הקרובות, היא לפיתוח סוכני בינה מלאכותית הלומדים ומסתגלים תוך שימוש במגוון רחב עוד יותר של מקורות מידע:

"הדור הבא של סוכני AI חינוכיים יוכל לשלב מידע לא רק מטקסט, קול ותמונות, אלא גם ממקורות מידע נוספים כמו חיישנים ביומטריים (המזהים רמות מתח או ריכוז), דפוסי תנועה (באמצעות מצלמות

עומק), ואפילו נתוני סביבה (כמו זמן ביום, טמפרטורת החדר, או רמת הרעש) (Understated AI, 2024).

סוכני בינה מלאכותית עם "אישיות" ו"רגשות" המותאמים לגיל הלומד ולתרבות

התפתחות משמעותית נוספת היא יצירת סוכני בינה מלאכותית בעלי "אישיות" ו"רגשות" מדומים, המותאמים לגיל הלומד ולרקע התרבותי שלו. מחקרים מראים כי סוכנים עם מאפיינים אישיותיים עקביים ויכולת להביע ולזהות רגשות, מגבירים משמעותית את המעורבות והלמידה.

"הסוכנים החדשים אינם רק כלים פונקציונליים - הם מתוכננים עם מאפייני אישיות ספציפיים, סגנונות תקשורת עקביים, ויכולת להציג מגוון תגובות רגשיות מותאמות להקשר. סוכן המלמד ילדים בגיל הרך עשוי להציג אישיות נלהבת ומעודדת, בעוד שסוכן המיועד לסטודנטים לתואר מתקדם עשוי להציג גישה אנליטית יותר, עם דגש על חשיבה ביקורתית ואתגור אינטלקטואלי" (Ramanujam, 2024).

חוקרים מסטנפורד פיתחו "סוכנים גנרטיביים" (Generative Agents) - ארכיטקטורה חדשה המשלבת זיכרון, רפלקציה וסוכנות כדי לאפשר לסוכנים "לחיות" בסביבות סימולציה ולפתח אישיות והתנהגויות מורכבות ועקביות (Stanford, 2023). ההתאמה התרבותית של סוכני AI מקבלת גם היא תשומת לב מחקרית נרחבת. Godwin-Jones (2024) מדגיש את חשיבות הסתגלות הסוכנים להקשרים תרבותיים ספציפיים:

"סוכני AI אפקטיביים בחינוך צריכים להיות רגישים לנורמות תרבותיות, שפתיות וחברתיות שונות. זה כולל התאמה של סגנון התקשורת (ישיר לעומת עקיף), מטאפורות וסיפורים רלוונטיים תרבותית, וכן רגישות לסוגיות של היררכיה, כבוד, וקודים חברתיים. הסוכן הקוגניטיבי האידיאלי לא רק 'מדבר את השפה' אלא גם 'מבין את התרבות'" (Godwin-Jones, 2024, p. 27).

התאמת הסוכנים לגיל הלומד היא אספקט קריטי נוסף. כפי שמסביר SmythOS (2024), הצרכים והיכולות הקוגניטיביות משתנים באופן דרמטי עם הגיל: "סוכני AI לילדים צעירים מתוכננים כדי להציג סבלנות ואמפתיה מוגברת, להשתמש בשפה פשוטה ומעשירה, ולשלב משחקיות באינטראקציות. לעומתם, סוכנים למתבגרים מותאמים לתמוך בפיתוח זהות עצמאית, חשיבה ביקורתית, וכישורים חברתיים-רגשיים מורכבים יותר. עבור מבוגרים, הסוכנים מתמקדים ביישום מעשי של ידע, תמיכה בלמידה עצמאית, והתאמה לצרכים מקצועיים" (SmythOS, 2024).

מערכות בינה מלאכותית מגולמות (מערכות רובוטיות חינוכיות)

מגמה מתפתחת נוספת היא שילוב סוכני בינה מלאכותית במערכות רובוטיות פיזיות, המכונות "בינה מלאכותית מגולמת" (Embodied AI). בניגוד לסוכני תוכנה וירטואליים, מערכות אלה מאפשרות אינטראקציה פיזית עם העולם ועם הלומדים, פותחות אפשרויות חדשות לחוויות למידה חברתיות ומוחשיות. כלומר, במקום שבינה מלאכותית תהיה רק תוכנה במחשב, היא "נכנסת" לגוף של רובוט פיזי. הרובוטים האלה יכולים ממש לזוז, לגעת ולתקשר עם העולם האמיתי ועם התלמידים. זה שונה מתוכנות AI רגילות שנשארות במסך. למה זה טוב ללמידה? זה מאפשר חוויות למידה יותר "אמיתיות", חברתיות ומוחשיות. אפשר לגעת, לעבוד ביחד עם הרובוט, וללמוד דרך עשייה פיזית.

דוגמאות:

- "באדריכלויות מרובות-סוכנים Multi-Agent Systems - MAS, רובוטים שלומדים ביחד (כמו נחיל): רובוטיקת נחיל (Swarm Robotics) - תחום ברובוטיקה העוסק בתיאום של מספר רב של רובוטים פשוטים וקטנים (סוכנים) הפועלים כמערכת אחת לביצוע משימה מורכבת. זה למעשה יישום פיזי של ריבוי סוכנים שיכולים ללמוד זה מזה (IBM, 2024).
- "סוכני AI, כאשר הם משולבים באפליקציות מציאות מדומה, יכולים לשמש במגוון תפקידים ממדריכים ומנחים ועד למשתתפים בסימולציות מורכבות. הם יכולים להדגים פרוצדורות, לספק משוב בזמן אמת, או לדמות אינטראקציות אנושיות מורכבות בסביבה בטוחה ומבוקרת" (WorldViz, 2024).
- "סטודיו הבנייה-ללמידה VXR הוא פלטפורמה ללא-קוד למחנכים, מדריכי מקום עבודה וסטודנטים לבניית מורים וירטואליים לכיתות, סוכני AI לספרי לימוד וסימולציות אינטראקטיביות. מערכות אלה מאפשרות אינטראקציה במרחב התלת-ממדי, כולל הדגמות פיזיות, למידה חווייתית, וסימולציות מצבים מורכבים" (VictoryXR, 2024).
- "סוכני AI משולבי-AR משנים את האופן שבו תלמידים לומדים באמצעות חוויות אינטראקטיביות. דרך הטלפון או משקפי AR דמויות יכולות להופיע בעולם האמיתי ולהתאים את ההסברים והתרגילים בדיוק לקצב ולסגנון הלמידה של התלמיד, מה שמבטיח חוויית למידה מותאמת אישית ואפקטיבית יותר" (OKMG, 2024).

הזדמנויות לפיתוח

סוכני בינה מלאכותית המתמחים בפיתוח מיומנויות המאה ה-21 - אחת ההזדמנויות המשמעותיות ביותר לשנים הקרובות היא פיתוח סוכני בינה מלאכותית המתמחים בטיפול מיומנויות המאה ה-21 - אותן יכולות מורכבות שנחשבות חיוניות להצלחה בעולם המודרני, כגון חשיבה ביקורתית, יצירתיות, שיתוף פעולה, ואוריינות דיגיטלית.

חברת [Meratutor](#), מדווחת כי סוכני הבינה המלאכותית שלה יכולים לתרום באופן משמעותי לפיתוח חשיבה ביקורתית: "בנוסף לידע אקדמי, בינה מלאכותית סוכנית מדגישה את פיתוח מיומנויות חיוניות למאה ה-21. חשיבה ביקורתית – על ידי הצגת אתגרים ותרחישים מורכבים שדורשים ניתוח וערכה, סוכני AI מעודדים תלמידים לחשוב באופן ביקורתי ועצמאי" (Meratutor.AI, 2025).

חברת Rapid Innovation מציגה תפיסה הוליסטית יותר לפיתוח מיומנויות המאה ה-21 באמצעות סוכני בינה מלאכותית: "שילוב מיומנויות המאה ה-21: הטמעת מיומנויות כמו חשיבה ביקורתית, שיתוף פעולה, ואוריינות דיגיטלית מכינה תלמידים לדרישות של עולם העבודה המודרני. סוכני AI יכולים לספק סביבות מובנות לפיתוח מיומנויות אלה, כולל משימות שיתופיות, תרחישי פתרון בעיות, וסימולציות מורכבות המדמות אתגרים מהעולם האמיתי" (Rapid Innovation, 2024).

מחקר מאוניברסיטת דרום אפריקה (2024) מדגיש את הצורך לחשוב מחדש על מיומנויות המאה ה-21 בעידן ה-AI: "מיומנויות למידה וחדשנות כוללות את מה שמכונה ה-4C: חשיבה ביקורתית, יצירתיות, תקשורת ושיתוף פעולה. המיומנויות הנדרשות כדי להישאר אנושי בעידן ה-AI כוללות יצירתיות, חמלה, ערכים ואתיקה, שהם תחומים שבהם בני אדם עדיין מצטיינים יותר מאשר מכונות" (University of Pretoria, 2024).

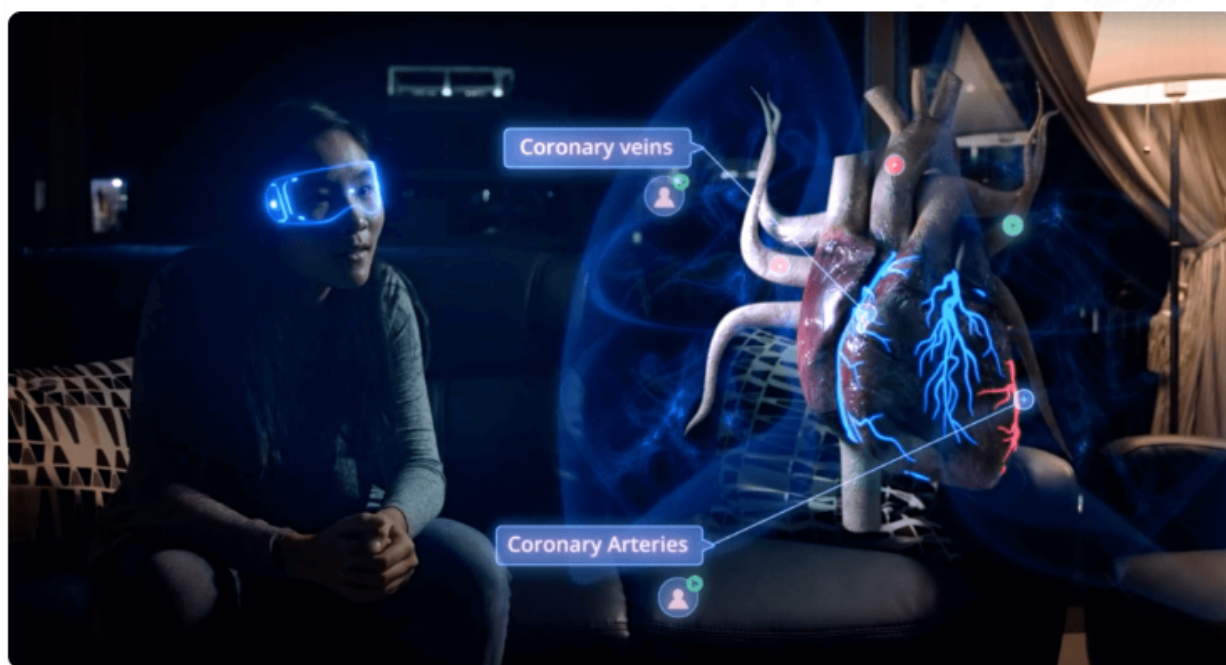
מודל חדשני מתמקד בפיתוח חשיבה מסדר גבוה באינטראקציה אדם-AI:

'extraheric AI', מסגרת קונספטואלית לאינטראקציה אדם-AI המטפחת מיומנויות חשיבה גבוהות של המשתמשים. במקום לספק תשובות מוכנות, הסוכן תומך בתלמידים בפיתוח יכולות אנליזה, סינתזה, הערכה ויצירה" (Yatani et al., 2024).

שילוב סוכני בינה מלאכותית בסביבות מציאות מדומה/רבודה

שילוב סוכני בינה מלאכותית בסביבות מציאות מדומה (VR) ומציאות רבודה (AR) מייצרים הזדמנות משמעותית לפיתוח חוויות למידה חדשניות שלא היו אפשריות בעבר.

חברת EON Reality מספקת פלטפורמת XR מופעלת-AI, עצמאית ממכשיר ספציפי, המיועדת לחינוך ותעשייה, ומאפשרת המרה קלה של תכנים קיימים. השילוב בין XR לבין סוכני AI מאפשר יצירת סביבות למידה אינטראקטיביות מושקעות, שבהן תלמידים יכולים לא רק לראות ולשמע מושגים מופשטים, אלא גם לחוות אותם באופן וירטואלי ולתקשר עם מדריכים וירטואליים אינטליגנטיים" (EON Reality, 2024).



מתוך האתר <https://eonreality.com>

ניתן להוריד התנסות חינם ליצירת חוויות למידה של מציאות מורחבת שעובדת על כל מכשיר

חברת MATSH המפעילה קורסים לבני נוער, מציגה נתונים מרשימים לגבי ההשפעה של טכנולוגיות AR/VR משולבות AI על תוצאות למידה ומציינת כי יישומי מציאות רבודה עושים יותר מאשר רק לעזור לתלמידים לבצע טוב יותר. הם יכולים לגרום לתלמידים לזכור דברים עד 70% טוב יותר מאשר שיטות למידה מסורתיות" (MATSH, 2024).

מהנדס בתחום החדשנות מבוססת בינה מלאכותית כתב בבלוג החדשנות הרציני Netguru כי "שילוב בינה מלאכותית, מציאות רבודה ומציאות מדומה בחינוך יש לו פוטנציאל לשנות מהיסוד את האופן שבו

אנו מלמדים ולומדים. טכנולוגיות אלה מספקות חוויות למידה מושקעות ואינטראקטיביות שמקדמות מעורבות, הבנה עמוקה יותר ושימור טוב יותר של הידע" (Szczygło, 2024).

ארגון Getting Smart קולקטיב ללא כוונת רווח במדינת וושינגטון, המקדם חידושים שיווניים מעצימים בתחום החינוך מציין כי שילוב סוכני AI בסביבות VR/AR מרחיב את האפשרויות בחינוך ב-3 דרכים עיקריות:

- **למידה חווייתית מותאמת אישית:** סוכני AI יכולים להתאים את החוויה הווירטואלית בזמן אמת, בהתאם לביצועי התלמיד והעדפותיו.
- **חונכות אינטראקטיבית:** מדריכים וירטואליים מבוססי-AI יכולים ללוות תלמידים בסורים וירטואליים, להדגים מושגים מורכבים, ולענות על שאלות באופן אינטראקטיבי.
- **סימולציות מתקדמות:** שילוב AI מאפשר יצירת סימולציות מורכבות יותר, המגיבות באופן דינמי לפעולות התלמיד ומספקות תרחישים מותאמים אישית (McClennen, 2024).

סוכני בינה מלאכותית לפיתוח יכולות רפלקטיביות וחשיבה ביקורתית

פיתוח יכולות רפלקטיביות וחשיבה ביקורתית מהווה הזדמנות משמעותית נוספת בפיתוח סוכני בינה מלאכותית חינוכיים.

"בסביבת המידע הרוויה של ימינו, חשיבה ביקורתית ופתרון בעיות הן מיומנויות AI חיוניות, במיוחד כאשר אנו מנווטים במרחב האמון והמהימנות. היכולת לבחון מידע, לזהות הטיות, ולהעריך את הדיוק והאמינות של תוצרי AI הופכת לחיונית יותר מתמיד" (Bart Caylor, 2024).

"במקום לחשוש מהשפעות שליליות של AI על יכולות חשיבה, מערכות AI מתקדמות יכולות לפעול במכוון כ'מאמני חשיבה ביקורתית', מאתגרים תלמידים לבחון הנחות, לזהות הטיות, ולפתח טיעונים משכנעים מבוססי-ראיות. סוכנים כאלה יכולים לדמות דיונים, להציג נקודות מבט מנוגדות, ולעודד תלמידים לשאול שאלות עמוקות יותר" (Paykamian, 2024).

מערכת Reflective AI Partner RAP, פועלת כמראה קוגניטיבית, המשקפת לתלמידים את דפוסי החשיבה, ההנחות, והנרטיבים שלהם עצמם. בניגוד לסוכנים המספקים מידע או פתרונות, RAP מתמחה בשאלת שאלות רפלקטיביות, זיהוי פערים בחשיבה, והדגשת אסטרטגיות קוגניטיביות אלטרנטיביות. במחקר ראשוני, תלמידים שעבדו עם RAP הפגינו שיפור בהערכה עצמית, זיהוי הטיות, ויכולת לשקול פרספקטיבות מרובות"

הייחודיות של RAP טמונה בכך שהיא מתמקדת בתהליך החשיבה של הלומד ולא בתוכן או בתוצאה. בעוד שסוכני AI רבים נועדו לספק ידע, לפתור בעיות או להדריך צעד אחר צעד, RAP פועל יותר כ"שותף לחשיבה" שמאתגר ומעודד התבוננות עצמית (Paludo 2024 ,).

מערכות היברידיות המשלבות מורים אנושיים וסוכני בינה מלאכותית

הזדמנות מבטיחה במיוחד היא פיתוח מערכות היברידיות המשלבות באופן אופטימלי את היכולות של מורים אנושיים וסוכני בינה מלאכותית. מחקרים מראים כי לשילוב כזה יש פוטנציאל להשיג תוצאות טובות יותר מאשר כל אחד מהם בנפרד.

איסטרט (2024) מציע אטיולוגיה ליחסי אדם-AI בחינוך, המציגה שלוש רמות של שיתוף פעולה:

- **AI כמסייע:** ברמה הבסיסית ביותר, הסוכן משמש ככלי עזר למורה, מבצע משימות שגרתיות ואדמיניסטרטיביות, ומשחרר זמן למורה להתמקד באינטראקציות אישיות.
- **AI כשותף:** ברמה מתקדמת יותר, הסוכן פועל כשותף למורה, מציע תובנות ואסטרטגיות פדגוגיות, ומשתתף באופן אקטיבי בתכנון ויישום של חוויות למידה.
- **AI כמתווך:** ברמה המתקדמת ביותר, הסוכן משמש כגשר בין המורה לתלמידים, מסייע בהתאמה אישית של תהליכי למידה, ומאפשר למורה להגיע באופן אפקטיבי יותר לכל תלמיד (Istrate, 2024).

"מסגרת חדשנית זו מציעה גישה מובנית להבנה ופיתוח האינטראקציות בין בני אדם ובין מלאכותיות בלמידה. במקום לראות את ה-AI כתחליף למורים, המסגרת מדגישה את התפקידים המשלימים שכל אחד יכול למלא בסביבת למידה היברידית. מורים אנושיים מצטיינים ביצירת קשר אישי, הבנת הקשרים חברתיים-תרבותיים מורכבים, והנחלת ערכים, בעוד שסוכני AI מצטיינים במתן משוב מיידי, התאמה אישית של חומרי למידה, וניתוח נתונים בזמן אמת" (Fan et al. 2025).

"על ידי השתתפות בתרחיש של משחק תפקידים, סוכני ה-AI עובדים יחד כדי לפתור משימות מורכבות באמצעות שיחה ושיתוף פעולה. בהגדרה זו, סוכני ה-AI אינם מחליפים את המורה האנושי, אלא מרחיבים את יכולותיו. המורה יכול להקצות לסוכני ה-AI משימות כמו מחקר רקע, ניתוח עבודות תלמידים, או יצירת חומרי תרגול מותאמים אישית, בעוד שהוא מתמקד באינטראקציות אישיות משמעותיות עם התלמידים" (Szczygło, 2024).

במאמר דעה החשוב של שארפלס (Sharples, 2023) הוא חוקר אינטראקציות חינוכיות המערבות בני אדם ובין מלאכותיות לא כרצף של הנחיות ותגובות, אלא כמערכת אקולוגית שיתופית לבניית ידע ופיתוח מיומנויות. "במודל ההיברידי הזה, מורים אנושיים וסוכני AI פועלים כשותפים, כל אחד תורם את הכישורים הייחודיים שלו לתהליך החינוכי".

10. מודלים עסקיים ויישום במערכות חינוך

מודלים קיימים

שותפויות בין חברות טכנולוגיה ומוסדות חינוך

שותפויות בין חברות טכנולוגיה ומוסדות חינוך מהוות מודל עסקי מרכזי ביישום סוכני בינה מלאכותית במערכות חינוך. שותפויות אלה מאפשרות לחברות טכנולוגיה להביא את החדשנות והמומחיות הטכנולוגית שלהן, בעוד שמוסדות החינוך מספקים את הבנת הצרכים הפדגוגיים, הגישה לתלמידים ומורים, ואת היכולת ליישם ולהעריך טכנולוגיות חדשות בסביבות חינוכיות אמיתיות.

- "Khan Academy מפעילה את Khanmigo כפיילוט לבחינת שימוש אחראי ב-AI. המשתתפים הראשונים עוקבים אחר שגיאות, במיוחד במתמטיקה, ומוודאים שהתלמידים מקבלים עזרה ללא קבלת תשובות אוטומטיות" (OpenAI, 2024).

- "אנחנו שמחים להכריז על שותפות חדשה עם Khan Academy כדי לעזור להפוך את ההבטחה של AI בחינוך למציאות ולהגביר את הנגישות לחדשנות. כחלק מהשותפות החדשה, כלי המורים של Khan Academy יופעלו כעת על ידי "Azure OpenAI Service" (Microsoft, 2024).
- "השותפויות המוצלחות ביותר הן אלה שבהן חברות הטכנולוגיה ומוסדות החינוך משתפים פעולה מתחילת תהליך הפיתוח. מורים משתתפים בעיצוב, בבדיקות, ובהערכה של הטכנולוגיה, מה שמבטיח שהפתרונות מותאמים לצרכים האמיתיים של הכיתה ומשתלבים היטב בפרקטיקות הפדגוגיות הקיימות" (World Bank, 2024).

המודלים העסקיים המשמשים בשותפויות אלה מגוונים, וכוללים:

- **מודלים מבוססי-מנוי:** המוסד החינוכי משלם תשלום תקופתי (חודשי, שנתי) עבור גישה לסוכני AI ושירותים נלווים.
- **מודלים מבוססי-שימוש:** התשלום מבוסס על היקף השימוש בפועל (מספר תלמידים, שעות שימוש, וכו').
- **מודלים היברידיים:** שילוב של תשלום בסיסי קבוע עם תשלומים נוספים בהתאם לשימוש או לשירותים נוספים.
- **מודלים של תרומה ופילנתרופיה:** במקרים מסוימים, חברות טכנולוגיה מספקות את הטכנולוגיה בחינם או במחיר מוזל למוסדות חינוך, כחלק מיוזמות אחריות תאגידית או בתמיכת קרנות פילנתרופיות (Khan Academy Blog, 2024).

מודלים פרימיום וחינמיים במדינות מתפתחות

מודלים פרימיום וחינמיים מהווים אסטרטגיה עסקית נפוצה ליישום סוכני בינה מלאכותית בחינוך, במיוחד במדינות מתפתחות. מודלים אלה מאפשרים לספק גישה בסיסית בחינם, לצד אפשרויות פרימיום בתשלום למשתמשים המעוניינים בתכונות מתקדמות יותר.

- "Duolingo מציעה גישה חינמית לפונקציונליות הבסיסית של האפליקציה, לצד מנוי Super Duolingo ו-Duolingo Max. הגרסה היקרה ביותר בעלות של \$29.99 לחודש, מציעה יכולות AI מתקדמות כמו 'הסבר את התשובה שלי', 'משחק תפקידים' ו'שיחות וידאו עם לילי'" (Medium, 2023).
- במדינות מתפתחות, חברות רבות מאמצות מודלים "פרימיום מותאמים" המתחשבים בכוח הקנייה המקומי. לדוגמה, Squirrel AI Learning הציגה מודל תמחור דיפרנציאלי בין אזורים עירוניים מפותחים לאזורים כפריים בסין, כפי שמתואר על ידי (Vizologi, 2024): "מודל העסקים של Squirrel AI משלב מנויים רגילים עם אפשרויות 'פרימיום' יקרות יותר, אך מציע גם מחירים מותאמים לאזורים כפריים ופריפריאליים. החברה מציעה גם מספר מוגבל של מלגות וחבילות ללא תשלום למשפחות מעוטות יכולת, כאסטרטגיה להרחבת נגישות וחדירה לשווקים חדשים" (Vizologi, 2024).

יוזמות ממשלתיות ומימון ציבורי (כמו יוזמת NIST AI בארה"ב)

יוזמות ממשלתיות ומימון ציבורי ממלאים תפקיד מרכזי בקידום פיתוח ואימוץ של סוכני בינה מלאכותית בחינוך. מדינות רבות ברחבי העולם מובילות תוכניות לאומיות לשילוב AI בחינוך, כחלק מאסטרטגיות רחבות יותר לקידום חדשנות טכנולוגית ושיפור מערכות החינוך.

- **בארה"ב**, מספר יוזמות ממשלתיות תומכות בפיתוח ואימוץ AI בחינוך. אחד המשמעותיים ביותר היא יוזמת AI של המכון הלאומי לתקנים וטכנולוגיה (NIST). כפי שמתואר על ידי משרד החינוך האמריקאי (2023): "יוזמת NIST AI מתמקדת בפיתוח מסגרות, תקנים, וכלים להערכה ולניהול של מערכות AI, כולל אלה המיועדות לשימוש בחינוך. היוזמה תומכת במחקר, פיתוח, ואימוץ של AI אמינה ואחראית, ומספקת הנחיות טכניות למוסדות חינוך המעוניינים להטמיע טכנולוגיות (U.S. Department of Education, 2023) (AI)".
- דוגמה בולטת למעורבות ממשלתית היא התוכנית הלאומית ב**דרום קוריאה**. כפי שמתואר על ידי הבנק העולמי (2024): "קוריאה משתמשת ב-AI לשיפור איכות החינוך, יוצרת דינמיקה חדשה בכיתה שהיא גם מובלת-מורים וגם מועצמת-AI. היוזמה כוללת עדכון תוכניות לימודים, שילוב כלי AI בכיתות, והכשרת מורים לעבודה אפקטיבית עם מערכות (World Bank, 2024) (AI)". הממשלה הקוריאנית השקיעה משאבים משמעותיים בפרויקט ה-"AI National Strategy", שמטרתו להכשיר 5,000 מומחי AI עד 2025, ולשלב שיטות למידה מבוססות-AI בכל בתי הספר (Complete AI Training, 2024). עם זאת, הפרויקט נתקל גם בהתנגדות ציבורית כאשר הציע להפוך ספרי לימוד דיגיטליים מבוססי-AI לחובה (Korea Herald, 2025).
- **באירופה**, האיחוד האירופי משקיע גם הוא בפיתוח ואימוץ של AI בחינוך, עם דגש על שימוש אתי ואחראי. ה-Digital Education Action Plan של האיחוד האירופי, כפי שמתואר על ידי (GovTech 2024), כולל מספר יוזמות לשילוב AI בחינוך, ביניהן:
 - **תוכנית Digital Europe**: מספקת מימון לפרויקטים המפתחים ומטמיעים טכנולוגיות AI בחינוך.
 - **Horizon Europe**: תוכנית המחקר והחדשנות הגדולה של האיחוד האירופי, המקצה משאבים למחקר בתחום ה-AI בחינוך.
 - **AI4EU Observatory**: פלטפורמה המרכזת מידע ומשאבים על AI בחינוך, ומקדמת שיתוף פעולה בין חוקרים, מפתחים, ומחנכים (GovTech, 2024).
- **בסין**, משרד החינוך השיק תוכנית לאומית לשילוב AI ורובוטיקה חינוכית במערכת החינוך הציבורית. (Trade.gov 2024) מתאר כיצד: "הממשלה הסינית מממנת ישירות פיתוח של מערכות AI חינוכיות, משתמשת ברכש ציבורי כדי לעודד אימוץ, ומציעה תמריצים למוסדות חינוך המטמיעים טכנולוגיות AI חדשניות. ההשקעה משרתת יעדים כפולים: שיפור תוצאות חינוכיות וטיפול תעשיית AI מקומית חזקה" (Trade.gov, 2024).
- מודל מימון מעניין נוסף הוא "PPP" (Public-Private Partnership), שבו ממשלות משתפות פעולה עם חברות פרטיות לפיתוח והטמעת מערכות AI חינוכיות. דוגמה לכך היא השותפות בין ממשלת **סינגפור** לבין חברת Microsoft, כפי שמתואר על ידי Pulse MK (2025): "KT ו-Microsoft יפתחו במשותף חומרי הכשרה ייעודיים ויקימו מרכזי למידת AI ברחבי המדינה" (Pulse MK, 2025).

אסטרטגיות ליישום מוצלח

הכשרת מורים, תמיכה טכנית ומדיניות יישום

יישום מוצלח של סוכני בינה מלאכותית במערכות חינוך דורש אסטרטגיות מקיפות בשלושה תחומים מרכזיים: הכשרת מורים, תמיכה טכנית, ומדיניות יישום. מחקרים ודוגמאות מהעולם מצביעים על מספר עקרונות ושיטות מובילות בכל אחד מתחומים אלה.

הכשרת מורים מהווה מרכיב קריטי בהטמעה מוצלחת של סוכני בינה מלאכותית בחינוך בדומה לכל הידוע בהקשר של בינה מלאכותית. אונסק"ו (2024) פיתחה מסגרת מיומנויות AI למורים, המדגישה חמישה תחומים מרכזיים:

- **תפיסת המורה (AI mindset):** פיתוח גישה חיובית ופתוחה כלפי שימוש ב-AI בחינוך.
- **אתיקת בינה מלאכותית:** הבנת ההיבטים האתיים של שימוש ב-AI בכיתה.
- **יסודות בינה מלאכותית:** ידע בסיסי על אופן פעולת מערכות AI.
- **פדגוגיה של בינה מלאכותית:** יכולת לשלב AI באופן אפקטיבי בשיטות הוראה.
- **בינה מלאכותית לפיתוח מקצועי:** שימוש ב-AI לשיפור מתמשך של מיומנויות ההוראה (UNESCO, 2024).

המועצה להשכלה דיגיטלית (2024) מציינת את החשיבות של אסטרטגיות הכשרה מותאמות:

"הכשרת מורים יעילה צריכה לכלול מרכיבים תיאורטיים ומעשיים כאחד. מורים צריכים לא רק להבין את יסודות ה-AI, אלא גם לקבל הזדמנויות להתנסות ולתרגל את השימוש בסוכני AI בסביבה תומכת. דגש מיוחד צריך להינתן על אסטרטגיות פדגוגיות לשילוב יעיל של AI בהוראה, ועל היכולת לפקח על האינטראקציות בין תלמידים לסוכני AI ולהעריך את האפקטיביות שלהן" (Digital Education Council, 2024).

תמיכה טכנית יעילה היא מרכיב חיוני נוסף ביישום מוצלח. בדוח על יישום EdTech מוצלח:

"מערכות תמיכה טכנית חזקות הן חיוניות להצלחת הטמעת סוכני AI בחינוך. אלה צריכות לכלול: (1) תמיכה טכנית מיידית לפתרון בעיות בזמן אמת, (2) מדריכים מקיפים ופשוטים לשימוש, (3) קהילות תמיכה עמיתים המאפשרות למורים לשתף ניסיון ולפתור בעיות יחד, ו-(4) מערכות ניטור מתמשך לזיהוי ופתרון בעיות שכיחות" (Century, 2024).

למידה מהניסיון של ארגון מתקדם כמו Khan Academy מספקת תובנות חשובות לגבי התמיכה הטכנית הנדרשת. כפי שמתאר ג'אנספר (2024):

"בהטמעת Khanmigo, זיהינו צורך ביצירת שכבות תמיכה רבות: צוות תמיכה טכנית ייעודי, חומרי הדרכה מותאמים למגוון רמות של אוריינות טכנולוגית, קהילת מורים מובילים המסייעים בהדרכת עמיתים, וכלים לניטור ביצועי המערכת. שילוב של תמיכה אנושית ואוטומטית הוכח כאפקטיבי במיוחד" (Jansepar, 2024).

מדיניות יישום ברורה ומקיפה היא הרכיב השלישי החיוני להצלחה. הבנק העולמי (2024) מזהה מספר עקרונות מפתח למדיניות יישום יעילה:

- **גישה הדרגתית:** פריסה שלבית המאפשרת למידה והתאמה לאורך הדרך.
- **גישה מבוססת-ראיות:** איסוף נתונים שיטתי להערכת האפקטיביות והשפעה על תוצאות למידה.
- **שיתוף בעלי עניין:** מעורבות של מורים, הנהלה, הורים ותלמידים בתכנון והטמעה.

- **מסגרת אתית ברורה:** הנחיות ברורות לשימוש אתי וזהיר בטכנולוגיות AI.
- **התאמה לתוכנית הלימודים ולהערכה:** הבטחה שסוכני AI משתלבים עם תוכניות הלימודים הקיימות ושיטות ההערכה (World Bank, 2024).

חשיבות האיזון בין סטנדרטיזציה לבין גמישות במדיניות היישום:

"מדיניות יעילה משלבת סטנדרטים ברורים שמבטיחים איכות, פרטיות, ושוויון בגישה לסוכני AI, יחד עם מרחב גמישות שמאפשר למוסדות חינוך להתאים את היישום לצרכים והקשרים ספציפיים. מסגרות רגולטוריות צריכות להיות תומכות-חדשנות, תוך שהן מבטיחות שימוש אחראי ואתי" (Digital Promise, 2024).

ניסיון מהשטח מראה כי שילוב של שלושת הרכיבים - הכשרת מורים, תמיכה טכנית, ומדיניות יישום - הוא הגישה היעילה ביותר. "הטמעה מוצלחת של EdTech מחייבת מאמץ מתואם הכולל את כל שלושת המרכיבים. הכשרת מורים ללא תמיכה טכנית מספקת תוביל לתסכול. תמיכה טכנית ללא מדיניות יישום ברורה תוביל לחוסר עקביות. ומדיניות יישום ללא הכשרה מתאימה תוביל לשימוש שטחי או התנגדות. האסטרטגיה המוצלחת מתייחסת לכל אחד מהמרכיבים האלה כחלק ממערכת אקולוגית משולבת" (Century, 2024).

11. רשימת יישומים ליצירת סוכנים

שם החברה	שם הכלי/פלטפורמה	מידע נוסף (בדגש חינוכי)	מודל תמחור (חינם/תשלום/אחר)	קישור למידע נוסף
Amazon Web Services (AWS)	Amazon Bedrock Agents	מאפשר בניית סוכנים המשתמשים במודלי שפה, מתחברים ל-API ומקורות נתונים. חלק ממסגרת העבודה "AI for Teaching & Learning Framework on AWS". דוגמאות קוד לחינוך זמינות	תשלום לפי שימוש Pay-as-you-g (עבור שירותי Bedrock הבסיסיים).	aws.amazon.com/bedrock/agents https://github.com/aws-samples/AI-Agents-for-Education

		ב-GitHub.		
microsoft.com/en-us/education/ai-in-education (חינוך) / azure.microsoft.com/en-us/solutions/ai/ (Azure)	Copilot : כלול בחלק מרישיונות M365 או תוספת בתשלום. Azure AI : תשלום לפי שימוש. Semantic Kernel , AutoGen : קוד פתוח (חינם), עלות תלויה במודלים.	Copilot Agents : הרחבה של Copilot המשולב ב-Microsoft 365. Azure AI : שירותים מגוונים לבניית סוכנים. Semantic Kernel , AutoGen : ספריות קוד פתוח. קיים AI Toolkit לחינוך.	Microsoft Copilot (Agents), Azure AI Services, Semantic Kernel, AutoGen	Microsoft
cloud.google.com/vertex-ai/docs/agent-builder/overview	תשלום לפי שימוש (Pay-as-you-go) , לרוב עם שכבה חינמית מוגבלת.	Vertex AI Agent Builder : פלטפורמה מאוחדת לסוכני חיפוש ושיחה. Dialogflow : פלטפורמה לסוכני שיחה. דגש על סביבות ארגוניות.	Vertex AI Agent Builder, Dialogflow CX	Google Cloud
platform.openai.com/docs/assistants/overview (API) / openai.com/blog/introducing-gpts (GPTs)	API : תשלום לפי שימוש. ChatGPT/GPTs : שכבה חינמית ושכבות בתשלום.	Assistants API : לבניית אפליקציות דמויות-סוכן על ידי מפתחים. GPTs : גרסאות מותאמות אישית של ChatGPT שמשתמשים יכולים ליצור.	Assistants API, GPTs (בתוך ChatGPT)	OpenAI
ibm.com/products/watsonx-assistant	לרוב מציעים שכבה חינמית/ניסיון ותוכניות	watsonx Assistant : לסוכני שיחה ארגוניים.	watsonx Assistant, watsonx	IBM

	בתשלום.	watsonx :Orchestrate לאוטומציה של תהליכים עם סוכני AI. דגש ארגוני.	Orchestrate	
/genspark.ai	Freemium (שימוש בסיסי חינם, יש תכונות מתקדמות בתשלום).	פלטפורמת חיפוש ומחקר מבוססת AI המאפשרת למשתמשים ליצור "Sparks" - סוכנים ממוקדים למשימות איסוף וסינתזת מידע.	Genspark / Sparks (AI Agents	Genspark
langchain.com/ / llamaindex.ai/ / microsoft.github .io/autogen/ / learn.microsoft. com/en-us/sema ntic-kernel/over /view	קוד פתוח (חינם). העלות נובעת מהשימוש ב-API של מודלי השפה שהסוכן מפעיל.	ספריות קוד פתוח המשמשות כ-"שלד" לבניית סוכנים באמצעות מודלי שפה מחברות אחרות. מספקות מבנה ללוגיקה של הסוכן.	LangChain, LlamaIndex, AutoGen (Microsoft), Semantic Kernel (Microsoft)	פרויקטים/ספריות קוד פתוח
https://manus.im /app	/ Freemium בתשלום (סביר להניח שיש תוכנית חינמית ותוכניות בתשלום עם יכולות נוספות).	"תאום AI" אישי הלומד את סגנון המשתמש ומסייע ביצירת תוכן, סיכומים, מיילים ועוד, תוך התאמה לקול הייחודי של המשתמש. פחות פלטפורמת בנייה ויותר סוכן-עזר מותאם אישית.	Manus / AI Twin	Manus

12. מה בישראל? יעלה בקרוב

13. סיכום והמלצות למחקר עתידי

הסקירה מצביעה על מספר ממצאים מרכזיים בתחום סוכני בינה מלאכותית בחינוך, המסמנים את המגמות, ההישגים והאתגרים בתחום זה:

- **המעבר מבוטים לסוכנים:** המחקר מצביע על שינוי פרדיגמה משמעותי - מכלי שיחה פשוטים וצ'אטבוטים תגובתיים לסוכני בינה מלאכותית מורכבים בעלי אוטונומיה, יכולת למידה והסתגלות, וקבלת החלטות מורכבות. כפי שמציינים אלברטס ועמיתיו (2024), ההבחנה בין בוטים לסוכנים אינה רק טכנית אלא משקפת תפיסה שונה של טכנולוגיה כשותפה אקטיבית בתהליך החינוכי.
- **פרסונליזציה מתקדמת:** המחקרים מראים כי היתרון המשמעותי ביותר של סוכני בינה מלאכותית בחינוך הוא יכולתם לספק מידה חסרת תקדים של התאמה אישית בלמידה. דוגמאות כמו Squirrel AI ו-Century Tech מדגימות כיצד פירוק מדויק של חומרי הלימוד, בשילוב עם אלגוריתמים מתקדמים, מאפשר התאמה מדויקת לצרכים, יכולות וסגנונות למידה אישיים.
- **שיפור בתוצאות למידה:** מחקרים אמפיריים מהשנתיים האחרונות מספקים ראיות משמעותיות לכך שסוכני בינה מלאכותית, כאשר הם מיושמים כראוי, מובילים לשיפור בתוצאות למידה. מחקרים שנערכו על Squirrel AI ו-Century Tech, Carnegie Learning מדווחים על שיפורים של 20-30% בהישגי תלמידים, במיוחד בקרב תלמידים מתקשים.
- **התפתחות מודלים היברידיים:** הממצאים מצביעים על כך שהמודלים המוצלחים ביותר הם אלה המשלבים בין סוכני בינה מלאכותית לבין מורים אנושיים, כשכל אחד תורם את החוזקות הייחודיות שלו. כפי שמדגישים מחקרים עדכניים (Szczygło, 2024; Fan et al, 2025), מורים אנושיים מצטיינים ביצירת קשר אישי, הבנת הקשרים חברתיים-תרבותיים מורכבים, והנחלת ערכים, בעוד שסוכני AI מצטיינים במתן משוב מיידי, התאמה אישית של חומרי למידה, וניתוח נתונים בזמן אמת.
- **כיוונים טכנולוגיים מתפתחים:** הסקירה זיהתה שלושה כיוונים טכנולוגיים מרכזיים - סוכנים מולטימודליים המשלבים טקסט, קול ותמונה; סוכנים בעלי "אישיות" ו"רגשות" מדומים המותאמים לגיל ותרבות הלומד; ומערכות בינה מלאכותית מגולמות המשולבות בסביבות פיזיות ווירטואליות.
- **אתגרים אתיים ורגולטוריים:** מחקרים עדכניים (UNESCO, 2024; EU AI Act, 2024) מדגישים את המתח בין פוטנציאל החדשנות לבין סוגיות אתיות כמו פרטיות, הוגנות, שקיפות, ואוטונומיה אנושית. התגובות הרגולטוריות המתפתחות, כמו ה-AI Act האירופי, מנסות לאזן בין קידום חדשנות לבין הגנה על ערכים וזכויות בסיסיות.
- **קשר רגשי ומוטיבציה:** ממצאים מהשנתיים האחרונות מאירים את החשיבות ואת המורכבות של הקשר הרגשי בין תלמידים לסוכני AI. מחקרים מצביעים על השפעה חיובית על מוטיבציה

ומעורבות, אך גם מזהירים מפני הסכנות של תלות יתר, "עצלנות מטה-קוגניטיבית", ואשליות של חיבור רגשי אמיתי.

- **מודלים עסקיים ויישום:** הסקירה מזהה מגוון מודלים עסקיים מתפתחים, כולל שותפויות בין חברות טכנולוגיה ומוסדות חינוך, מודלים פרימיים וחינמיים, ויוזמות ממשלתיות. הצלחת היישום תלויה בשילוב אפקטיבי של הכשרת מורים, תמיכה טכנית, ומדיניות יישום תומכת.

פערי ידע וכיווני מחקר מומלצים

למרות ההתקדמות המשמעותית בתחום, מפת ידע זו חושפת מספר פערי ידע משמעותיים המהווים הזדמנויות למחקר עתידי:

- **השפעות ארוכות טווח:** מרבית המחקרים שנסקרו התמקדו בהשפעות קצרות-טווח של סוכני בינה מלאכותית בחינוך. נדרשים מחקרי אורך שיבחנו את ההשפעות ארוכות הטווח, כולל השפעות על התפתחות קוגניטיבית, רכישת מיומנויות, ותפיסות עצמיות של לומדים.
- **השוואה בין גישות פדגוגיות:** נדרש מחקר משווה מעמיק של האפקטיביות של גישות פדגוגיות שונות ביישום סוכני בינה מלאכותית. מה עובד טוב יותר בהקשרים שונים - גישות קונסטרוקטיביסטיות, התנהגותיות, או קוגניטיביסטיות?
- **היבטים תרבותיים והטיות:** יש צורך במחקר מעמיק יותר על האופן שבו גורמים תרבותיים משפיעים על האפקטיביות של סוכני בינה מלאכותית, ועל האסטרטגיות לזיהוי והפחתת הטיות במערכות אלה.
- **מודלים להערכת אפקטיביות:** נדרשת פיתוח של מתודולוגיות ומדדים מתוקפים להערכת האפקטיביות של סוכני בינה מלאכותית בהקשרים חינוכיים שונים.
- **תפקיד המורה המשתנה:** יש צורך במחקר מעמיק יותר על השינויים בתפקיד המורה בסביבות למידה המשלבות סוכני בינה מלאכותית, ועל האסטרטגיות האפקטיביות ביותר להכשרה ופיתוח מקצועי של מורים בהקשר זה.
- **משוב רב-ממדי:** חקירת האפקטיביות של מערכות משוב מולטימודליות המשלבות היבטים קוגניטיביים, רגשיים, ומוטיבציוניים.
- **אינטגרציה עם שיטות הערכה:** בחינת האופן שבו סוכני בינה מלאכותית משתלבים עם שיטות הערכה מסורתיות וחדשניות, והאתגרים וההזדמנויות בתחום זה.
- **אקולוגיית למידה כוללת:** הרחבת המחקר מעבר ליחסי תלמיד-סוכן בודדים, לבחינת האופן שבו סוכני בינה מלאכותית משתלבים באקולוגיית הלמידה הכוללת, כולל יחסים עם הורים, מורים, עמיתים, וסביבת הלמידה הרחבה יותר.

המלצות ליישום בשדה החינוכי

בהתבסס על הממצאים והתובנות מסקירה זו, ניתן לגבש מספר המלצות מרכזיות ליישום סוכני בינה מלאכותית בשדה החינוכי:

- **אימוץ גישה היברידית:** אימוץ מודלים המשלבים באופן אופטימלי את החוזקות של סוכני בינה מלאכותית ומורים אנושיים. סוכני AI צריכים להשלים ולהעצים את עבודת המורים, לא להחליף אותם.

- **הכשרה מקיפה של מורים:** פיתוח תוכניות הכשרה מקיפות המכילות מורים לעבודה אפקטיבית עם סוכני בינה מלאכותית, כולל הבנה טכנית בסיסית, גישות פדגוגיות מותאמות, ומיומנויות הערכה ופיקוח.
- **יישום דיפרנציאלי:** התאמת סוג ורמת השימוש בסוכני בינה מלאכותית למטרות הלמידה הספציפיות, לגיל התלמידים, ולתחום התוכן. לא כל תחום או מטרה מתאימים באותה מידה לשימוש בסוכני AI.
- **מסגרת אתית ברורה:** פיתוח ואימוץ של מסגרות אתיות ברורות לשימוש בסוכני בינה מלאכותית בחינוך, המתייחסות לסוגיות כמו פרטיות, הוגנות, שקיפות, ואוטונומיה של תלמידים ומורים.
- **מערכות תמיכה רב-שכבתיות:** יצירת מערכות תמיכה רב-שכבתיות הכוללות תמיכה טכנית, קהילות עמיתים, משאבי למידה, וליווי מקצועי מתמשך.
- **גישה מבוססת-ראיות:** אימוץ גישה המבוססת על איסוף וניתוח שיטתי של נתונים לגבי האפקטיביות והשפעות של סוכני בינה מלאכותית, ושימוש בנתונים אלה לשיפור מתמיד.
- **התאמה תרבותית והקשרית:** התאמת סוכני בינה מלאכותית להקשרים תרבותיים, חברתיים וחינוכיים ספציפיים, תוך הכרה בשונות בין מערכות חינוך, תרבויות, ותפיסות פדגוגיות.
- **פיתוח סוכנים מכווני-מיומנויות:** התמקדות בפיתוח סוכני בינה מלאכותית התומכים ברכישת מיומנויות המאה ה-21, כמו חשיבה ביקורתית, יצירתיות, שיתוף פעולה, ואוריינות דיגיטלית.
- **יצירת רצף חינוכי:** תכנון ויישום של סוכני בינה מלאכותית כחלק מרצף חינוכי שלם, המשלב בין למידה פורמלית ובלתי פורמלית, ובין סביבות למידה שונות (כיתה, בית, מרחבים דיגיטליים).
- **שיתוף בעלי עניין:** שיתוף פעיל של כל בעלי העניין - תלמידים, מורים, הורים, מנהלים וקובעי מדיניות - בתכנון, יישום והערכה של סוכני בינה מלאכותית בחינוך.

"הטמעה מוצלחת של סוכני בינה מלאכותית בחינוך אינה רק שאלה טכנולוגית, אלא משימה חברתית-פדגוגית מורכבת. היא דורשת שילוב מושכל של טכנולוגיה, פדגוגיה, ותרבות ארגונית תומכת, ומחויבות ארוכת טווח לפיתוח מקצועי, תמיכה, והערכה מתמשכת" (Istrate, 2024, p. 18).

אתגרים והזדמנויות אלה של שילוב סוכני בינה מלאכותית בחינוך מהווים זירה מרתקת למחקר ולחדשנות בשנים הבאות. כפי שמציין פאואר (2024): "אנו נמצאים בתחילתו של עידן חדש בחינוך, שבו הטכנולוגיה והפדגוגיה משתלבות באופן עמוק יותר מאי פעם. האתגר שלנו הוא לעצב עידן זה באופן שמקדם את הטוב ביותר באנושיות שלנו - סקרנות, יצירתיות, אמפתיה וחשיבה ביקורתית - תוך ניצול מלוא הפוטנציאל של הטכנולוגיה לתמוך בלמידה משמעותית ונגישה לכל" (Power, 2024, p. 21).

רשימת מקורות

- 360Learning. (2024). Engageli partner page.
<https://360learning.com/partner-marketplace/engageli1/>
- AI4SDGs. (2024). Cognii – AI for Education. <https://ai-for-sdgs.academy/case/330>
- AIThority. (2024). Riid AEd Research on Strengthened Accuracy of Student Assessment.
<https://aithority.com/it-and-devops/cloud/riids-aied-research-on-strengthened-accuracy-of-student-assessment-and-short-answer-applications-accepted-by-aaai-2022/>
- Alberts, L., Keeling, G., & McCroskery, A. (2024). Should agentic conversational AI change how we think about ethics? Characterising an interactional ethics centred on respect. arXiv preprint arXiv:2401.09082.
<https://arxiv.org/abs/2401.09082>
- BABL AI. (2024). The Impact of the EU AI Act on Educational Technology.
<https://babl.ai/navigating-the-new-frontier-the-impact-of-the-eu-ai-act-on-educational-technology/>
- Bart Caylor. (2024). 5 Essential AI Skills for Students in the Modern Workforce.
<https://bartcaylor.medium.com/5-essential-ai-skills-for-students-in-the-modern-workforce-1f00ec317e09>
- Best Practice AI. (2023). AI Case Study | Yixue Squirrel AI Learning maximises students' progress through a individualised AI-powered adaptive learning system.
https://www.bestpractice.ai/ai-case-study-best-practice/yixue_squirrel_ai_learning_maximises_students'progress_through_a_individualised_ai-powered_adaptive_learning_system
- Bosch, C., & Kruger, D. (2024). AI chatbots as Open Educational Resources: Enhancing student agency and Self-Directed Learning. Italian Journal of Educational Technology.
<https://ijet.itd.cnr.it/index.php/td/article/download/1326/1241>

- CARE Lab Purdue. (2024). AI Education Integration in South Korea.
<https://carelab.education.purdue.edu/ai-education-integration-in-south-korea/>
- Carnegie Learning. (2024). LiveHint AI.
<https://discover.carnegielearning.com/livehint-ai>
- Carnegie Learning Press. (2024). Press Room.
<https://www.carnegielearning.com/company/press/>
- CanvasBusinessModel. (2024). How Does Riid Work?
<https://canvasbusinessmodel.com/blogs/how-it-works/riid-how-it-works>
- CEDEFOP. (2024). UNESCO AI competency framework for teachers.
<https://www.cedefop.europa.eu/en/tools/vet-toolkit-tackling-early-leaving/resources/unesco-ai-competency-framework-teachers>
- Century. (2024). A CENTURY guide to implementing edtech successfully in schools and colleges.
<https://www.century.tech/news/a-century-guide-to-implementing-edtech-successfully-in-schools-and-colleges/>
- CIDDL. (2024). Multimodal Assessment is Emerging: What Should You Know?
<https://ciddl.org/multimodal-assessment-is-emerging-what-should-you-know/>
- Cognii. (2024). Cognii Virtual Learning Assistant.
<https://www.cognii.com/technology>
- Complete AI Training. (2024). A Guide To South Korea's Revolutionary AI Education.
<https://completeaitraining.com/blog/a-guide-to-south-koreas-revolutionary-ai-education-shaping-tomorrows-tech-leaders/>
- Cornell Chronicle. (2024). AI-generated empathy has its limits.
https://www.linkedin.com/posts/amer-hasan-8aa1b4aa_ai-generated-empathy-has-its-limits-cornell-activity-7194131373819875328-Fw_T
- Dai, C. P., Ke, F., Pan, Y., Moon, J., & Liu, Z. (2024). Effects of artificial intelligence-powered virtual agents on learning outcomes in computer-based simulations: A meta-analysis. Educational Psychology Review. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10648-024-09855-4>
- Daşcı, E., & Uludağ, Z. (2024). The sense of agency in the use of generative AI systems in education from a social identity theory approach. Trakya

Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi.

<https://dergipark.org.tr/en/pub/trakyasobed/issue/88390/1478054>

Digital Education Council. (2024). EU AI Act: What it means for universities.

<https://www.digitaleducationcouncil.com/post/eu-ai-act-what-it-means-for-universities>

Digital Education Lincoln. (2024). Artificial Intelligence (AI) Detection in Turnitin.

<https://digitaleducation.lincoln.ac.uk/resources-hub/artificial-intelligence-ai-detection-in-turnitin/>

Digital Promise. (2024). What We're Learning About AI's Potential—And Limits—for Personalizing Educational Content.

<https://digitalpromise.org/2024/10/01/what-were-learning-about-ais-potential-and-limits-for-personalizing-educational-content/>

Duolingo. (2024). Help Center - What is Duolingo Max?

<https://www.duolingo.com/help/what-is-duolingo-max>

Eastern Progress. (2024). Squirrel Ai Co-Founder Joleen Liang Highlights the Role of AI in Critical Thinking.

https://www.easternprogress.com/squirrel-ai-co-founder-joleen-liang-highlights-the-role-of-ai-in-critical-thinking-at/article_874a9d24-9b9d-5132-8964-ee3d8fc6dde2.html

Ed Tech Innovation Hub. (2024). Carnegie Learning and AI for Education partner to boost AI Literacy.

<https://www.edtechinnovationhub.com/news/carnegie-learning-and-ai-for-education-partner>

EdWeek. (2024). Interest In Pilot Projects Is High. Here's Where They Go Wrong.

<https://marketbrief.edweek.org/sales-marketing/interest-in-pilot-projects-is-high-heres-where-they-go-wrong/2024/02>

Engageli. (2024). AI in Education and Training, AI Tools for Learning.

<https://www.engageli.com/products-services/ai>

EON Reality. (2024). Leading XR and AI Solutions for Education & Industry.

<https://eonreality.com/>

European Union. (2024). AI Act | Shaping Europe's digital future.

<https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/regulatory-framework-ai>

Fan, Y., Tang, L., Le, H., Shen, K., Tan, S., Zhao, Y., ... & Gašević, D. (2025). Beware of metacognitive laziness: Effects of generative artificial intelligence on

learning motivation, processes, and performance. *British Journal of Educational Technology*, 56(2), 489-530.
<https://bera-journals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/bjet.13544>

FeedbackFruits. (2024). What is the EU AI Act? A comprehensive overview.
<https://feedbackfruits.com/blog/from-regulation-to-innovation-what-the-eu-ai-act-means-for-edtech>

FIU Insider. (2024). Artificial Intelligence Tutor Provides Personalized Learning.
<https://insider.fiu.edu/artificial-intelligence-cognii/>

Sharples, M. (2023). Towards social generative AI for education: Theory, practices and ethics. *Learning: Research and Practice*, 9(2), 159-167.
<https://doi.org/10.1080/23735082.2023.2261131>

Vistorte, A. O. R., Deroncele-Acosta, A., Ayala, J. L. M., Barrasa, A., López-Granero, C., & Martí-González, M. (2024). Integrating artificial intelligence to assess emotions in learning environments: a systematic literature review. *Frontiers in psychology*, 15, 1387089.
<https://www.frontiersin.org/journals/psychology/articles/10.3389/fpsyg.2024.1387089/full>

Future of Being Human. (2024). What does EU Artificial Intelligence regulation mean for AI in education?
<https://futureofbeinghuman.com/p/eu-ai-act-and-education>

Future of Privacy Forum. (2024). South Korea's New AI Framework Act.
<https://fpf.org/blog/south-koreas-new-ai-framework-act-a-balancing-act-between-innovation-and-regulation/>

McClennen, N. (2024, December 10). The rise of AI agents: more time for real-world learning or the era of cognitive laziness?. *New Pathways*.
<https://www.gettingsmart.com/2024/12/10/the-rise-of-ai-agents-more-time-for-real-world-learning-or-the-era-of-cognitive-laziness/>

Godwin-Jones, R. (2024). Distributed agency in second language learning and teaching through generative AI. *arXiv preprint arXiv:2403.20216*.
<https://arxiv.org/abs/2403.20216>

Goh, J., Cheung, S., & Lin, L. (2023). Learning theories for artificial intelligence promoting learning enhancement. *British Journal of Educational Technology*.
<https://bera-journals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/bjet.13341>

Google Research. (2023). Minerva: Solving Quantitative Reasoning Problems with Language Models.
<https://research.google/blog/minerva-solving-quantitative-reasoning-problems-with-language-models/>

Paykamian B. (2024). What Will the EU AI Act Mean for Ed Tech in the U.S?
<https://www.govtech.com/education/higher-ed/what-will-the-eu-ai-act-mean-for-ed-tech-in-the-u-s>

Gradescope. (2024). Gradescope. <https://www.gradescope.com/>

Gur-Ari, G. (2023). Minerva: Solving Quantitative Reasoning Problems with Language Models. <https://www.youtube.com/watch?v=CXrBr0RpGQg>

Handley, Z. L. (2024). Has artificial intelligence rendered language teaching obsolete? *The Modern Language Journal*.
https://pure.york.ac.uk/portal/files/104393033/The_Modern_Language_Journal_-2024-Handley-_Has_artificial_intelligence_rendered_language_teaching_obsolete.pdf

Hess, P. (2025). A Philosophical Inquiry into AI-Inclusive Epistemology.
philarchive.org/archive/YOUAPI-3

IBM. (2024). What is AI Agent Learning?
<https://www.ibm.com/think/topics/ai-agent-learning>

Istrate, O. (2024). AI Agents in Education: An Early Systematic Review of Emerging Roles, Potential, and Limitations. *Revista de Pedagogie Digitala*, 3(1), 24-30.
https://pedagogie-digitala.ro/ai_agents_in_education_early_systematic_review/

Jansepar, S. (2024). Scaling AI in Education: A Khanmigo case study.
<https://www.youtube.com/watch?v=3E7VAZaTG9M>

Jiang, Y. H., Shi, J., Tu, Y., Zhou, Y., Zhang, W., & Wei, Y. (2024). For Learners: AI Agent is All You Need. *Enhancing Educational Practices: Strategies for Assessing and Improving Learning Outcomes*, ser. Education in a Competitive and Globalizing World, Y. Wei, C. Qi, Y.-H. Jiang, and L. Dai, Eds. New York, NY, USA: Nova Science Publishers, 21-46.

Khan Academy Blog. (2023). How We Built AI Tutoring Tools.
<https://blog.khanacademy.org/how-we-built-ai-tutoring-tools/>

- Khan Academy Blog. (2024). How Enid High School Transformed Their Math Classrooms with AI.
<https://blog.khanacademy.org/how-enid-high-school-transformed-their-math-classrooms-with-ai-a-case-study/>
- Khodorkovskyi, O. (2024). The Role of AI Agents in Personalising the Educational Process and Improving the Quality of Education. Педагогічна Академія: наукові дослідження.
<http://pedagogical-academy.com/index.php/journal/article/download/538/419>
- Klassen, M. (2023). Epistemic Side Effects: An AI Safety Problem.
<https://www.cs.toronto.edu/~toryn/docs/KlassenAAMAS2023epistemic.pdf>
- Korea Herald. (2024). National-level AI, digital education to be launched for adults over 30. <https://www.koreaherald.com/view.php?ud=20241016050667>
- Korea Herald. (2025). Seoul education chief backs move to make AI textbooks optional. <https://www.koreaherald.com/article/10384860>
- Korkiakoski, T. (2024). A content analysis of community discourse regarding Duolingo Max.
<https://oulurepo.oulu.fi/bitstream/handle/10024/50652/nbnfioulu-202406174617.pdf?sequence=1>
- Learning Technology Solutions UIC. (2024). Gradescope | Learning Technology Solutions | University of Illinois.
<https://learning.uic.edu/resources/grading-and-proctoring/gradescope/>
- Lee, J. (2025). The Impact of Generative AI on Critical Thinking.
https://www.microsoft.com/en-us/research/wp-content/uploads/2025/01/lee_2025_ai_critical_thinking_survey.pdf
- Szczygło, P. (2025, April 30). *New era of collaboration with AI agents*. Netguru blog. <https://www.netguru.com/blog/ai-agents>
- Kouros, T., & Papa, V. (2024). Digital mirrors: AI companions and the self. *Societies*, 14(10), 200.
- MATSH. (2024). Emerging Technologies in Education: Statistics on AI and VR Adoption in Education.
<https://www.matsh.co/en/statistics-on-ai-vr-adoption-in-education/>

- Mayer Brown. (2025). EU AI Act: Ban on certain AI practices and requirements for AI literacy come into effect.
<https://www.mayerbrown.com/en/insights/publications/2025/01/eu-ai-act-ban-on-certain-ai-practices-and-requirements-for-ai-literacy-come-into-effect>
- Media MIT. (2024). Multimodal AI for Education: Expanding Learning Beyond Text.
<https://www.media.mit.edu/projects/multimodal-education/overview/>
- Medium. (2023). Duolingo Max: Is it worth \$29.99/month?
<https://medium.com/admiring-multipotentiality/duolingo-max-is-it-worth-29-99-month-0567d293aae6>
- Meratutor.AI. (2025). Agentic AI in Education: Revolutionizing Learning.
<https://www.meratutor.ai/blog/agentic-ai-in-education/>
- Microsoft. (2024a). Copilot in Microsoft Teams help & learning.
<https://support.microsoft.com/en-us/copilot-teams>
- Microsoft. (2024b). 11 new features in Microsoft Teams for Education.
https://www.youtube.com/watch?v=LV_XsBuiiMc
- Microsoft. (2025). Mastering Microsoft 365 Copilot in education.
<https://www.microsoft.com/en-us/education/blog/2025/03/mastering-microsoft-365-copilot-in-education/>
- Milana, M., Brandi, U., & Hodge, S. (2024). Artificial intelligence (AI), conversational agents, and generative AI: implications for adult education practice and research. *International Journal of Lifelong Education*.
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/02601370.2024.2310448>
- MIT Technology Review. (2019). China has started a grand experiment in AI education. It could reshape how the world learns.
<https://www.technologyreview.com/2019/08/02/131198/china-squirrel-has-started-a-grand-experiment-in-ai-education-it-could-reshape-how-the/>
- National Centre for AI. (2023). AI Case Study: CENTURY.
<https://nationalcentreforai.jiscinvolve.org/wp/2023/06/21/ai-case-study-century/>
- New York Times. (2022). Is A.I. the Future of Test Prep?
<https://www.nytimes.com/2022/12/27/business/ai-education-app-riiid.html>

- OKMG. (2024). The Role of AI Agents in Augmented Reality Experiences.
<https://www.okmg.com/blog/the-role-of-ai-agents-in-augmented-reality-experiences>
- OpenAI. (2024). Khan Academy. <https://openai.com/index/khan-academy/>
- Orchestra. (2024). Benefits and Advantages of Microsoft Copilot for Education.
<https://www.orchestra.com/insight/benefits-of-copilot-for-education>
- Origins AI. (2023). A Khan Academy Case Study with Khanmigo.
<https://originshq.com/blog/scaling-ai-at-khan-academy-case-study/>
- Paludo, G., & Montresor, A. (2024). Fostering metacognitive skills in programming: Leveraging ai to reflect on code. In *Proceedings of the Second International Workshop on Artificial Intelligence Systems in Education co-located with 23rd International Conference of the Italian Association for Artificial Intelligence (AIxIA 2024), volume—of CEUR Workshop Proceedings*.
- Power, R. (2024). Evaluating Graduate Education Students' Self-Efficacy with the Use of Artificial Intelligence Agents: A Case Study. *Journal of Educational Informatics*.
<https://journalofeducationalinformatics.ca/index.php/JEI/article/download/269/216>
- PR Newswire. (2023). Riiid AI study - to be presented at EDM 2020 - proves students more engaged by deep learning algorithm.
<https://www.prnewswire.com/news-releases/riid-ai-study---to-be-presented-at-edm-2020---proves-students-more-engaged-by-deep-learning-algorithm-301070729.html>
- PR Newswire. (2024). AI-powered education leader Riiid introduces R.Test to help learners prepare for SAT and ACT.
<https://www.prnewswire.com/apac/news-releases/ai-powered-education-leader-riid-introduces-rtest-to-help-learners-prepare-for-sat-and-act-301791785.html>
- Pulse MK. (2025). KT, MS launch national AI literacy program in Korea.
<https://pulse.mk.co.kr/news/english/11274927>
- Ramanujam, A. (2024). 100 Days of Agentic AI: Day 39 - AI and Student Motivation.
<https://www.linkedin.com/pulse/100-days-agentic-ai-day-39-student-motivation-how-agents-ramanujam-pdcqc>

- Rapid Innovation. (2024). AI Agents in Learning 2024 Revolutionizing Education and Training.
<https://www.rapidinnovation.io/post/ai-agents-for-learning-ecosystem-benefits-challenges-use-cases-future>
- Ren, X., Gao, Y., & Wu, Z. (2025). The impact of AI-assisted pair programming on student motivation and learning outcomes. STEM Education Journal.
<https://stemeducationjournal.springeropen.com/articles/10.1186/s40594-025-00537-3>
- Riiid. (2024). Discover Next RESEARCH. <https://riiid.com/research>
- Schwarz, J. (2025, March 11). Without feedback, AI systems learn to explore. CS.Princeton.
<https://www.cs.princeton.edu/news/without-feedback-ai-systems-learn-explore>
- Shavit, Y., Kornblith, S., Le, Q. V., & Sutskever, I. (2023). Test-time adaptation via self-training with nearest neighbor information retrieval for end-to-end speech recognition. arXiv preprint arXiv:2308.01552.
- SmythOS. (2024). AI Agent Ethics: Understanding the Ethical Considerations.
<https://smythos.com/ai-agents/ai-agent-development/ai-agent-ethics/>
- South Korean Government. (2023). National strategy for artificial intelligence of South Korea.
<https://dig.watch/resource/the-national-strategy-for-artificial-intelligence-of-south-korea>
- Squirrel AI Learning. (2023). Squirrel AI Learning Sets Guinness World Record for "The most users to take an online mathematics lesson in 24 hours".
<https://www.wboy.com/business/press-releases/cision/20241206CN50601/squirrel-ai-learning-sets-guinness-world-record-for-the-most-users-to-take-an-online-mathematics-lesson-in-24-hours/>
- Squirrel AI Learning. (2024). Squirrel AI Learning | Top Hottest Artificial Intelligence Company-2020. <https://www.cioreviewapac.com/squirrel-ai-learning>
- Stanford. (2023). Generative Agents: Interactive Simulacra of Human Behavior.
<https://arxiv.org/pdf/2304.03442>
- Stanford HAI. (2023). Using AI To Train Peer Counselors.
<https://hai.stanford.edu/news/using-ai-train-peer-counselors>

- Stanford HAI. (2024). How to Build a Likable Chatbot.
<https://hai.stanford.edu/news/how-build-likable-chatbot>
- Stoyanova, M. (2024). Ai Agents For Education And Training. In Conferences of the department Informatics (No. 1, pp. 105-112). Publishing house Science and Economics Varna.
<https://informatics.ue-varna.bg/conference/Proceedings2024.pdf#page=106>
- Student Privacy Pledge. (2023). Student Privacy Pledge 2.0. Future of Privacy Forum & Software & Information Industry Association.
- Symons, J., & Abumusab, S. (2024). Social agency for artifacts: Chatbots and the ethics of artificial intelligence. Digital Society.
https://www.researchgate.net/profile/John-Symons-3/publication/376878702_Social_Agency_for_Artifacts_Chatbots_and_the_Ethics_of_Artificial_Intelligence/links/674f88ffa7fbc259f1aafa7c/Social-Agency-for-Artifacts-Chatbots-and-the-Ethics-of-Artificial-Intelligence.pdf
- Talview Blog. (2024). Navigating Ethical Concerns for AI Agents in Exam Proctoring.
<https://blog.talview.com/en/navigating-ethical-concerns-for-ai-agents-in-exam-proctoring>
- Tang, X., Yin, Y., Yang, Q., & Yang, D. (2022). What drives students' AI learning behavior: a perspective of AI anxiety. Interactive Learning Environments.
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10494820.2022.2153147>
- Taylor, P. (2024). An Epistemological challenge for developing Strong/General Intelligence.
<https://www.linkedin.com/pulse/epistemological-challenge-developing-strong-general-paul-taylor>
- TeacherToolkit. (2023). The Number One Platform You Should Be Using.
<https://www.teachertoolkit.co.uk/2021/06/07/century-2021/>
- Tepperspectives. (2024). The Ethical Challenges of AI Agents.
<https://tepperspectives.cmu.edu/all-articles/the-ethical-challenges-of-ai-agents/>
- TestWe. (2024). In South Korea, artificial intelligence is being used to personalise education.
<https://testwe.eu/en/blog/in-south-korea-artificial-intelligence-is-being-used-to-personalise-education/>

Tools for Humans AI. (2025). Gradescope Review 2025 - Features, Pricing & Deals.
<https://www.toolsforhumans.ai/ai-tools/gradescope>

Towards Data Science. (2023). Google's Minerva, solving math problems with AI.
<https://towardsdatascience.com/googles-minerva-solving-math-problems-with-ai-4f0a6aaabaf1/>

Trade.gov. (2024). South Korea Artificial Intelligence in Public Schools.
<https://www.trade.gov/market-intelligence/south-korea-artificial-intelligence-public-schools>

Turnitin. (2024). Turnitin AI. <https://www.turnitin.com/products/features/ai/>

Turnitin Press. (2025). Turnitin launches Turnitin Clarity, bringing transparency and integrity insights to education.
<https://www.turnitin.com/press/turnitin-launches-turnitin-clarity-bringing-transparency-and-integrity-insights-to-education>

U.S. Department of Education. (2023). Artificial Intelligence and the Future of Teaching and Learning.
<https://www.ed.gov/sites/ed/files/documents/ai-report/ai-report.pdf>

Understated AI. (2024). Future of Education: Multimodal AI.
<https://understated.ai/multimodal-ai-future-of-education/>

UNESCO. (2023). Guidance for generative AI in education and research.
<https://www.unesco.org/en/articles/guidance-generative-ai-education-and-research>

UNESCO. (2024). What you need to know about UNESCO's new AI competency frameworks for students and teachers.
<https://www.unesco.org/en/articles/what-you-need-know-about-unescos-new-ai-competency-frameworks-students-and-teachers>

University of Florida CITT. (2024). Gradescope - Center for Instructional Technology and Training.
<https://citt.ufl.edu/services/learning-innovation--technology/gradescope/>

University of Miami. (2024). AI-Assisted Grading with Gradescope| Learning Platforms.
<https://www.lpt.it.miami.edu/resources/faculty-and-staff/leverage-ai-tools/ai-assisted-grading/index.html>

University of Pretoria. (2024). Being human in the age of AI: Rethinking 21st-century skills.

https://www.up.ac.za/news/post_3282041-being-human-in-the-age-of-ai-rethinking-21st-century-skills

Verdi22. (2024). The Empathy Paradox: Consumer Relationships with AI Is an Illusion?
<https://www.verdi22.com/2024/03/10/the-empathy-paradox-consumer-relationships-with-ai-agents-may-reveal-as-illusion/>

VictoryXR. (2024). 3D Spatial AI for Teaching, Training, and Simulations.
<https://www.victoryxr.com/ai/>

Vizologi. (2024). What is Squirrel AI's business model? <https://vizologi>

Vizologi. (2024). What is Squirrel AI's business model?
<https://vizologi.com/business-strategy-canvas/squirrel-ai-business-model-canvas/>

Wang, E. (2024). We believe in human-centered AI. Turnitin AI.
<https://www.turnitin.com/products/features/ai/>

Wang, H., Wang, C., Chen, Z., Liu, F., & Bao, C. (2025). Impact of AI-agent-supported collaborative learning on the learning outcomes of University programming courses. *Education and Information Technologies*.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10639-025-13487-8>

Washington Learning Source. (2024). Engageli.
<https://www.walearningsource.org/solution-provider-resources/solution-providers/engageli>

WBOY. (2024). Squirrel Ai Learning Sets Guinness World Record for "The most users to take an online mathematics lesson in 24 hours".
<https://www.wboy.com/business/press-releases/cision/20241206CN50601/squirrel-ai-learning-sets-guinness-world-record-for-the-most-users-to-take-an-online-mathematics-lesson-in-24-hours/>

World Bank. (2024). Teachers are leading an AI revolution in Korean classrooms.
<https://blogs.worldbank.org/en/education/teachers-are-leading-an-ai-revolution-in-korean-classrooms>

WorldViz. (2024). How to Leverage AI Agents in a VR Lab.
<https://www.worldviz.com/post/how-to-leverage-ai-agents-in-a-vr-lab>

Young, N. (2025, January 8). AI agents in education: Transforming learning and teaching in 2025. Teachfloor Blog.
<https://www.teachfloor.com/blog/ai-agents-in-education>

Yatani, K., Sramek, Z., & Yang, C. L. (2024). AI as Extraherics: Fostering Higher-order Thinking Skills in Human-AI Interaction. *arXiv preprint arXiv:2409.09218*.

Zerkowska, A. M. (2024). Personalized Language Learning in the Age of AI. Leveraging Large Language Models for Optimal Learning Outcomes. <https://gupea.ub.gu.se/bitstream/handle/2077/81934/Anika%20Zerkowska%20-%20Thesis%20Final.pdf?sequence=1>

יישומי בינה מלאכותית שסייעו בביצוע הסקירה:

Claude, NotebookLM, Genspark, Gemini, Napkin