



# זרקור טכנולוגיות נבחרות המשפיעות על החינוך

נכתב עבור וקטור הטכנולוגיה

כתבו

ד"ר עופר מורגנשטרן, ד"ר אהרון האופטמן

פברואר 2022

מחלקת המחקר  
אגף מו"פ ניסויים ויוזמות  
המינהל הפדגוגי



## תוכן

3.....	<b>מבוא</b>	<b>1.</b>
3.....	רציונל לכתביבת זרקור טכנולוגיות נבחרות	<b>1.1</b>
3.....	הטכנולוגיות הנבחרות	<b>1.2</b>
4.....	<b>בינה מלאכותית</b>	<b>2.</b>
4.....	הגדרות של בינה מלאכותית	<b>2.1</b>
5.....	מגמות בבינה מלאכותית	<b>2.2</b>
9.....	נתוני עֵתֶק ואנליטיקת למידה	<b>2.3</b>
10.....	השלכות הבינה מלאכותית על החינוך	<b>2.4</b>
14.....	<b>מציאויות חדשות</b>	<b>3.</b>
14.....	הגדרות של מציאויות חדשות	<b>3.1</b>
14.....	מגמות במציאויות החדשות	<b>3.2</b>
18.....	השלכות על החינוך של המציאויות החדשות	<b>3.3</b>
19.....	<b>העצמת בני אדם</b>	<b>4.</b>
19.....	הגדרות העצמת בני אדם	<b>4.1</b>
20.....	מגמות בהעצמת בני אדם	<b>4.2</b>
25.....	השלכות על החינוך של העצמת בני אדם	<b>4.3</b>
27.....	<b>חדשנות אחראית ואתיקה</b>	<b>5.</b>
29.....	<b>סיכום והמלצות</b>	<b>6.</b>
30.....	<b>נספח: בחירת טכנולוגיות לשימוש במערכת החינוך</b>	
34.....	<b>מקורות</b>	<b>7.</b>



## 1. מבוא

### 1.1 רציונל לכתובת זרקור טכנולוגיות נבחרות

זרקור טכנולוגיות נבחרות נכתב כחלק מפעילות וקטור הטכנולוגיה, המנוהל באגף מו"פ החל משנת תשפ"ב ובראייה רב שנתית. וקטור הטכנולוגיה הינו פרויקט מו"פי, שמטרתו גיבוש תפיסה כוללת לגבי שילוב טכנולוגיה וחינוך במערכת החינוך בשני מסלולים מרכזיים. המסלול הראשון עוסק בעיצוב תהליך שילוב טכנולוגיה וחינוך, הן בהקשר של קידום ההיבטים הפדגוגיים והארגוניים של החינוך באמצעות טכנולוגיה, והן בהקשר של עיצוב ויישום חינוך רלוונטי, המכין את התלמידים לעולם רווי טכנולוגיה.

המסלול השני, הוא הצורך לזהות ולהתמקד בטכנולוגיות נבחרות בעלות השפעה פוטנציאלית רבה על עולם החינוך בטווח של 5-10 שנים לכל היותר. מיקוד בטכנולוגיות נבחרות אלו יאפשר לאגף מו"פ ולמערכת החינוך למקד את מאמציהם כדי להיערך לניצול ההזדמנויות לקידום החינוך ולהתמודדות עם האתגרים שהן מייצרות עבור החינוך. דוח זרקור טכנולוגיות נבחרות מספק קלט לפעילות מסלול זה.

### 1.2 הטכנולוגיות הנבחרות

דוח הזרקור מתמקד בשלוש תחומי טכנולוגיה נבחרים, שלפי חברת גרטנר, הם בעלי פוטנציאל השפעה מהותי על העולם בכלל ועל החינוך בפרט בטווחי הזמן של 5-10 השנים הקרובות: **בינה מלאכותית (Artificial Intelligence)**<sup>1</sup> צפויה להיות ה"חשמל של המאה ה-21", המניע את גלגלי ההתנהלות של החברה האנושית. **מציאויות חדשות (New Realities \ Extended Reality)**<sup>2</sup> הן הבסיס למטאברס (Metaverse), היקום הווירטואלי בתלת ממד שיתנהל במקביל לעולם האמיתי, אשר על הקמתו שוקדות כל ענקיות הטכנולוגיה. **העצמת בני אדם (Human enhancement / Human Augmentation)**<sup>3</sup> תאפשר לנו לפרוץ את מגבלותינו האנושיות. עבור כל אחד מתחומי הטכנולוגיות הנבחרים מוצגות בדוח הגדרות למהות הטכנולוגיה, דוגמאות למגמות מובילות בטכנולוגיה ויישומיה והשלכות אפשריות של הטכנולוגיה על החינוך. לסיכום דוח הזרקור מוצגות מספר המלצות מדיניות לגבי אופני קידום תחומי הטכנולוגיה הנבחרים במסגרת וקטור הטכנולוגיה ובמערכת החינוך. דוח הזרקור מספק מבט ראשוני על שלושת תחומי טכנולוגיה אלו.

<sup>1</sup> [Gartner \(2021\) Reinforce Your Artificial Intelligence \(AI\) Ecosystem](#)

<sup>2</sup> [Gartner \(2021\) The Metaverse: Outside Eight Years but Meriting Awareness](#)

<sup>3</sup> [Gartner \(2020\) Top 10 Strategic Technology Trends for 2020: Human Augmentation](#)



## 2. בינה מלאכותית

### 2.1 הגדרות של בינה מלאכותית<sup>4</sup>

בינה מלאכותית, שהיא ענף של תחום מדעי המחשב, מוגדרת כיכולת של מכונה לבצע פונקציות קוגניטיביות באופן זהה או טוב יותר מבני אנוש. פונקציות אלה יכולות לכלול תפיסה, הבנת שפה, למידה, חשיבה, פתרון בעיות, הבנת הקשר, הסקת מסקנות ותחזיות, הפעלת יצירתיות ועוד<sup>5</sup>. הגדרה אפשרית נוספת היא "בינה מלאכותית היא שימוש במידע ובמערכות מחשב, המאפשר להציג התנהגות שנראית אינטליגנטית או ליצור ידע ותובנות שלא היו קיימים קודם לכן".

#### רמות בינה מלאכותית

מקובל להגדיר שלוש רמות של בינה מלאכותית, כאשר הטכנולוגיה הנוכחית שייכת לרמת הב"מ הצרה ועושה את צעדיה הראשונים לכיוון ב"מ חזקה (תרשים 1)

בינת"ע על "מלאכותית artificial super intelligence (ASI)	בינה מלאכותית כללית / חזקה artificial general intelligence (AGI)	בינה מלאכותית צרה artificial narrow intelligence (ANI)
שלב עתידי, לפיו מנגנוני בינה מלאכותית יהיו עדיפים על בינה אנושית בכל תחום	מחקה בינה אנושית ויכולתיה ומכסה מגוון תחומים: כוח חשיבה, פתרון בעיות וחשיבה מופשטת	מוגבלת לאזור פונקציונאלי אחד בו רובוטים / תחליפים מבצעים משימות יחיד

תרשים 1 – רמות בינה מלאכותית<sup>6</sup>

#### גישות לחקר ולפיתוח בינה מלאכותית

- **ב"מ המחקה חשיבה אנושית** – הבינה המלאכותית חושבת ומסיקה מסקנות באופן המחקה חשיבה של המוח האנושי.
- **ב"מ שאינה מחקה חשיבה אנושית** – הבינה המלאכותית חושבת ומגיע למסקנות בדרכים שונות מחשיבה של המוח האנושי.

<sup>4</sup> [Top 10 Strategic Technology Trends for 2020: Human Augmentation](#)

<sup>5</sup> [Future Today Institute \(2021\) 14th Annual Edition Tech Trends Report. Artificial Intelligence](#)

<sup>6</sup> UBS, The evolution of artificial intelligence, <https://www.ubs.com/microsites/artificial-intelligence/en/new-dawn.html>



## טכנולוגיות מרכזיות של בינה מלאכותית<sup>7</sup>

- **למידת מכונה (ML- Machine Learning)** – תת־תחום הנפוץ ביותר של בינה מלאכותית הוא למידת מכונה. למידת מכונה מאפשרת לאלגוריתמים ללמוד ממידע ולפתח פתרונות באופן עצמאי. שימוש באלגוריתמים מבוססי סטטיסטיקה אשר "לומדים" ממאגרי מידע גדולים מחקה יכולות קוגניטיביות אנושיות, ומאפשר התמודדות עם מטלות במצבים בלתי מוכרים. למידת מכונה מאפשרת לאלגוריתמים ללמוד באמצעות אימונים חוזרים וליצור תוצאות המשתפרות בהתאם להיקף האימון והניסיון של האלגוריתם. זאת, בשונה מתוכנה שנכתבת על ידי מתכנת אנושי. דוגמה לכך היא תוכנת בינה מלאכותית המקבלת מאגר מידע של אותיות שנכתבו בכתב יד, ולומדת להבחין בין אותיות הנכתבות בכתב יד, גם על ידי אדם, שכתב ידו לא קיים במאגר. ישנן מספר גישות ללמידת מכונה, כגון למידה תחת הנחיה, שבה המתכנת מבסס את הלמידה על מודל ראשוני קיים שאותו המכונה מטייבת; למידה ללא הנחיה, שבמסגרתה המערכות הלומדות מפתחות מודל משלהן, שאינו נשען על מודל קיים. גישה נוספת היא למידת חיזוק, שבמסגרתה התוכנה לומדת מניסוי וטעיה ולא ממאגר מידע קיים.
- **למידה עמוקה (Deep Learning)** – למידה עמוקה היא תת־תחום של למידת מכונה, אשר עושה שימוש ברשתות נוירונים. רשתות נוירונים אלו הן אלגוריתמים השואבים השראה מאופן הפעולה של רשת העצבים במוח האדם. הרשת העצבית לומדת על ידי תיקון הקשרים הרבים בתוכה, שבהם היא עורכת תיקונים קטנים באמצעות בחינת מידע רב, על מנת לטייב את דיוקה, כאשר הפלט של נוירון אחד הוא הקלט של נוירון אחר. למידה עמוקה נקראת כך מכיוון שהיא מבוססת על שכבות רבות של רשתות נוירונים מלאכותיות. בזכות הצלחות ראויות לציון, רשתות הנוירונים הפכו עם השנים לנפוצות ביותר מבין הגישות של למידת המכונה. הן אחראיות למגוון הישגים בתחום הבינה המלאכותית, ביניהם זיהוי פנים ברמה העולה על היכולת האנושית לזהות פנים; זיהוי עצמים בתמונות; שליטה בכלי רכב אוטונומיים וברחפנים; תמלול דיבור ברמה העולה על זו של מתמללים אנושיים מקצועיים; ותרגום שפות, לרבות אלו שהטכנולוגיה לא אומנה בהן.

## 2.2 מגמות בבינה מלאכותית

סוגים רבים של יישומי בינה מלאכותית, בעלי יכולות שונות, מוטמעים כיום בתחומי חיים רבים (תרשים 2).

<sup>7</sup> [Future Today Institute \(2021\) 14th Annual Edition Tech Trends Report, Artificial Intelligence](#)



התאמה אישית של שירותים	ראייה ממוחשבת ועיבוד תמונה	יכולות אוטונומיות	עיבוד שפה טבעית	עיבוד ודאו	ניתוח מאגרי מידע	
	✓	✓	✓	✓	✓	ביטחון לאומי
		✓			✓	סייבר
✓					✓	בנקאות ופיננסים
✓	✓	✓	✓	✓	✓	תחבורה
✓			✓	✓	✓	חינוך
	✓	✓	✓	✓	✓	עבודה וייצור
✓	✓	✓	✓	✓	✓	רפואה

תרשים 2 – יישומי בינה מלאכותית בתחומים שונים<sup>8</sup>

להלן מספר דוגמאות למגמות עדכניות בתחום יישומי בינה מלאכותית<sup>9</sup>:

#### ניתוח תוכן בקנה מידה אינטרנטי (Web-Scale Content Analysis)

כרייה של מערכי נתונים גדולים מאוד, לא מובנים, בהתבסס על יכולות עיבוד שפה טבעית מתקדמות המאומנות בזיהוי מילות מפתח. אלגוריתמים מיוחדים יכולים למיין במהירות, לסווג, ולתייג מידע כדי לזהות דפוסים כדוגמת דפוס דברי שטנה ברשתות חברתיות.

#### הדמיית אמפתיה ורגש (Affective Human Perception AI)

בינה מלאכותית יכולה למדוד סמנים ביולוגיים ולזהות מצבים רגשיים מורכבים של אדם, כגון התרגשות, עצב או ישנוניות בזמן אמת. זיהוי הרגשות מתבצע באמצעות סמנים ביולוגיים כגון הבעות פנים, נראות פיזית, דיבור, קול ועוד. לדוגמה, זיהוי נהגים ישנוניים במהלך נהיגה או זיהוי רמת בריכוז של תלמידים בעת למידה.

#### אינטליגנציה רגשית מלאכותית (Artificial Emotional Intelligence)

בינה מלאכותית תוכל להפגין באופן משכנע רגשות אנושיים כמו אהבה, אושר, פחד ועצב. טכנולוגיה זו תיושם בציאט בוטים לטיפול קליני, בעוזרים דיגיטליים כגון אלקסה, שיהפכו להיות חלק מהמשפחה, ברובוטים חברתיים, שיתמכו בלמידה של תלמידים בבית הספר, בקשישים בודדים, בחולים בבתי החולים ובאסירים בבתי הכלא.

<sup>8</sup> ענתבי ל. (2020) בינה מלאכותית וביטחון לאומי לישראל, המכון למחקרי ביטחון לאומי

<sup>9</sup> Future Today Institute (2021) 14th Annual Edition Tech Trends Report, Artificial Intelligence



### **תאומים דיגיטליים (Digital Twins)**

תאומים דיגיטליים הם ייצוגים וירטואליים של סביבות, מוצרים, או נכסים בעולם האמיתי למגוון מטרות. יצרנים ישתמשו בתאומים דיגיטליים כדי לנהל ביצועים ויעילות של מכונות ומפעלים, בעוד מתכנני ערים ישתמשו בהם כדי לדמות את ההשפעה של פיתוחים וכבישים חדשים. שימוש בתאומים דיגיטליים יכול לדמות בקלות תהליכים, להוביל להפחתת הוצאות הפיתוח ולמנוע סיכונים. במסגרת מגמה זו יפותח גם תאום דיגיטלי אישי הלומד את האדם ומייצג אותו באופן אותנטי במגוון אינטראקציות במגוון עולמות שונים כולל חינוך ובריאות.

### **יצירת זיהוי זיופים (Spotting Fakes)**

בינה מלאכותית מסוגלת, כבר היום, לחבר טקסטים שבני אדם אינם מסוגלים להבחין כי נכתבו על ידי מכונה. כלי בינה מלאכותית זולים מאפשרים יצירת תמונות וסרטונים מזויפים של אנשים. יכולות אלו מייצרת אתגרים כגון התמודדות עם פוסטים מזויפים ומטעים ברשתות חברתיות. אולם, בינה מלאכותית יכולה גם לזהות טקסטים שנוצרו על ידי מכונות, שכן הם מבוססים על דפוסים סטטיסטיים ואינם כוללים וריאציות לשוניות רבות.

### **מערכות תרגום מסיבי (Massive Translation Systems)**

בשנת 2020, פייסבוק השיקה מודל תרגום מבוסס בינה מלאכותית שיכול לתרגם 100 שפות. המודל מזהה את השפה ומשפטים בה לפי משמעותם. המטרה היא לשפר את התרגום הסימולטני בין שפות.

### **אפס ממשקי משתמש (Zero UIs)**

ממשקים מודרניים מסוגלים לעשות עבורנו יותר עם מינימום פעולות ישירות - ובכל זאת למשוך את תשומת הלב שלנו. מבוגר ממוצע מקבל כ-20,000 החלטות ביום - חלקן גדולות, כמו האם להשקיע בבורסה, ורובן קטנות, כמו האם להציץ בנייד כשהמסך נדלק. יכולת אפס ממשקי משתמש או בשמה האחר, מערכות מחשוב סביבתי, תתעדף את ההחלטות האלה, תאציל אותם בשמנו, ואפילו תייצר באופן אוטונומי תשובה בשמנו, בהתאם לנסיבות. חלק נכבד מקבלת ההחלטות הבלתי נראית הזו תקרה בלי פיקוח ישיר או קלט אנושי. ניתן לחשוב על כך כהשלמת פעולה אנושית מתוך כוונה מוערכת על ידי הבינה המלאכותית. יכולת זו מעלה שאלות ודילמות מהותיות לגבי סוגיות העברת ההחלטות מידי אדם למכונה.

### **עוזרים דיגיטליים (Digital Assistants)**

עוזרים וירטואליים מניעים את העולם עם רמות אוטומציה הולכות וגוברות, עלויות נמוכות ויצרנות. הם מביאים לידי ביטוי יכולות בינה מלאכותית ולמידת מכונה באמצעות הדמיית שיחה עם בני אדם, מציינים לכללים אוטומטיים ועושים שימוש ביכולות עיבוד שפה טבעית (NLP). ביצועיהם משתפרים כל העת, והם מסוגלים לענות על שאלות בסיסיות המתייחסות לתאריך ומזג



אוויר של היום כמו גם לבצע משימות מורכבות יותר. הצפי הוא שעוזרים ווירטואליים יחליפו או יסייעו לפעילות אנושית תוך שהם משתלבים בסביבה הטבעית של המשתמש.

### היבטים חוקיים, רגולטורים ואתיים של בינה מלאכותית

פרויקטים של בינה מלאכותית נכשלים לעתים קרובות עקב בעיות תחזוקה, הפצה, יישום, אתיקה ורגולציה<sup>10</sup>. לכן, נדרשת הנדסת בינה מלאכותית הכוללת טכניקות של **בינה מלאכותית אחראית** השמה דגש על התמודדות עם אתגרי אמון, שקיפות, אתיקה, הוגנות, פרשנות ותאימות. מעקב אחר אנשים באמצעים ביומטריים, חדירה לנפשו של אדם באמצעות מחשב רגשי, החלטות מוטות של בינה מלאכותית, ותכנים מזויפים, הם רק מקצת הדוגמאות האפשריות לאתגרים שמייצרת הבינה המלאכותית לחברה. לאחרונה הוצגה טיוטה לכללי רגולציה של מערכות בינה מלאכותית על ידי האיחוד האירופי, שסימן עצמו בשנים האחרונות כמוביל עולמי בכל הנוגע לאסדרה של חברות ומערכות טכנולוגיה<sup>11</sup>. המסר מעלה כמה עקרונות מרכזיים:

- איסור על שימוש בבינה מלאכותית למעקב נטול אבחנה
- איסור על מערכות בינה מלאכותית לדרג אשראי חברתי באמצעות הערכת אמינות, התנהגות חברתית או תכונות אופי של אדם
- קבלת אישור מיוחד לשימוש במערכות זיהוי ביומטרי במרחבים ציבוריים
- חובת מתן התרעה לאנשים כשהם מבצעים פעולה מול מערכת בינה מלאכותית
- פיתוח מערך פיקוח חדש על מערכות בינה מלאכותית היוצרות "סיכון-גבוה" לאדם (מכוניות אוטונומיות, מערכות גיוס עובדים, החלטות משפטיות ודירוג אשראי) כולל הערכת סיכונים מראש של מערכות אלו, טרום שימוש. והקמת מאגר מידע של מערכות סיכון-גבוה, שיהיה זמין לציבור.
- יצירת מועצה אירופאית לבינה מלאכותית (European Artificial Intelligence Board), שתכלול נציגים מכל המדינות החברות באיחוד, תסייע לנציבות האיחוד להחליט אילו מערכות בינה מלאכותית הן בסיכון-גבוה ותמליץ על שינויים ומגבלות מותאמות.

התקווה היא שהרגולציה החדשה תהווה תקן שלאורו יחוקקו חברות האיחוד חוקים מדינתיים בהן יידרשו לעמוד חברות הטכנולוגיה כגון פייסבוק, גוגל, אמזון ומיקרוסופט בפעילותן מול האיחוד.

<sup>10</sup> [Gartner Top Strategic Technology Trends for 2021](#)

<sup>11</sup> Floridi, L. (2019). Establishing the rules for building trustworthy AI. Nature Machine Intelligence, 1(6), 261-262.





## 2.3 נתוני עֵתֶק ואנליטיקת למידה

המונח **נתוני עֵתֶק** (big data) מתייחס לנתונים שמגיעים ממקורות שונים ומרובים, בכמויות עצומות, בפורמטים מגוונים, באיכויות שונות, ושלעתים אפילו אינם מאורגנים באופן שיטתי. השטח של נתוני עֵתֶק שייך לתחום מדעי הנתונים (data science). כאן יש לציין שיש שתי נקודות מבט על תחום מדעי הנתונים: יש הרואים בו בסיס לבינה מלאכותית, ויש מי שמתייחסים למדעי הנתונים כתחום הכולל בתוכו גם את הבינה המלאכותית. בכל מקרה, יש כיום קשר הדוק בין תחום הנתונים לבין הבינה המלאכותית. טכנולוגיות ניתוח של נתוני עֵתֶק משתמשות בשיטות של בינה מלאכותית, ומצד שני בינה מלאכותית, ובמיוחד למידת מכונה, מתבססת על כמויות גדולות של נתונים וטכנולוגיות תומכות של נתוני עֵתֶק.

נתוני עֵתֶק מאופיינים ע"י מה שקרוי V5 : Volume, Variety, Velocity, Volatility, Veracity.

- הנפח (Volume) - מתייחס לכמות הנתונים העצומה, הנמדדת בטר-בייטים ומעלה.
- הגיוון (Variety) - מתייחס להטרוגניות של הנתונים.
- המהירות (Velocity) – זהו מאפיין המתייחס למהירות שבה אפשר להנגיש את הנתונים.
- אי יציבות (Volatility) – מאפיין שמתייחס לקצב השינוי ו"אורך החיים" של הנתונים. לדוגמה, הנושאים ה"טרנדיים" ברשתות החברתיות משתנים בקצב מהיר ומאופיינים באי יציבות גבוהה.
- אי-אמינות (Veracity) – מתייחס למהימנות הנתונים, שבמקרים רבים אינה גבוהה. הנתונים יכולים להיות במתכונת מובנית (כמו מאגרי נתונים כמותיים מאורגנים היטב) או בלתי מובנית (תמונות, סרטי וידיאו ממצלמות אבטחה, תכני דוא"ל, פוסטים ברשתות חברתיות, וכו'). העלות הזולה יחסית של אמצעי האחסון שמאפשרת טכנולוגיית המחשוב כיום, והכמות הגדולה של מידע המגיע משלל מקורות, גורמים לכך שניתן לאגור כמויות עֵתֶק של מידע ללא מחיקה, וניתן להשתמש ביכולות ניתוח וזיהוי תבניות, שעשויות להועיל בשטחים שונים. כלים אנליטיים מתאימים (Big data analytical tools) מאפשרים טיפול גם בנתונים בלתי מובנים.

בתחום החינוך, כמויות עֵתֶק של נתונים מופקות באמצעות פעילויות למידה והוראה, במיוחד מקוונות. השימוש בכלים של נתוני עֵתֶק מאפשר למורים לקבל מידע על ביצועי התלמידים ודפוסי הלמידה שלהם, ולספק משוב מהיר. בשימוש נכון, משוב כזה יכול להשפיע באופן חיובי על ההישגים. הכלים האלה יכולים לאפשר למורים לנתח את פדגוגיית ההוראה שלם ולהתאימה לצרכי התלמידים. לניתוח של נתונים אדמיניסטרטיביים יכול היות תפקיד חשוב בטיפול בבעיות חינוכיות שונות. כל אלה גורמים לכך שהתחום של נתוני עֵתֶק הופך למרכיב חיוני בעולם החינוך, להבנת ההתפתחויות והמגמות החדשות בנתוני עֵתֶק וחינוך יש חשיבות גוברת עבור משרד החינוך. ריבוי המחקרים על שימוש בנתוני עֵתֶק בחינוך בשנים האחרונות מעיד שהעניין בכך גובר והולך וקרוב לוודאי יגבר עוד יותר בעשור הבא.



המושג **אנליטיקת למידה** (learning analytics) מבטא את ההשתקפות של המחקר והיישום של נתוני עתק בחינוך, כלומר את האפשרות לנצל את איסוף הנתונים כדי לשפר את איכות החינוך ואת קבלת החלטות בתחום החינוך. ההגדרה הפורמלית של אנליטיקת למידה היא איסוף, מדידה ודיווח נתונים על לומדים וסביבות הלמידה, כדי להבין ולשפר את הלמידה ואת הסביבה שבה נעשית הלמידה. זהו שטח שבו חוקרים, מפתחים ומיישמים שיטות ממוחשבות לגילוי דפוסים בעלי משמעות מתוך נתונים חינוכיים, אשר לא ניתן לגלותם בדרך אחרת עקב הכמות הגדולה של הנתונים. הנושא כרוך כמובן בסוגיות של אתיקה – כמו עצם הבעלות על הנתונים, הרשות לאסוף את הנתונים, לשתף אותם ולעשות בהם שימוש. אנונימיזציה של הנתונים היא פיתרון אפשרי, אבל הוא מציב קושי על השפעה אינדיבידואלית על תלמידים. וכמובן הסוגיה האתית מחמירה עם כניסת טכנולוגיות של חיישנים, עקיבת מיקום, זיהוי פנים ביומטרי וכו' – עם פוטנציאל של איסוף מידע גם בלי ידיעת ה"נעקבים".

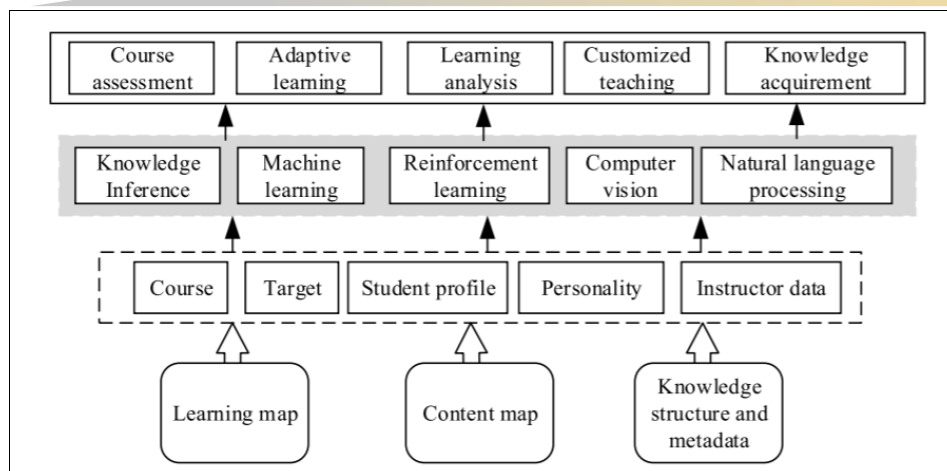
פעילות בתחום נתוני עתק ואנליטיקת למידה כבר קיימת במשרד החינוך, כולל שותפויות עם "ישראל דיגיטלית" וגיוינט אשלים. מינהל כלכלה ותקציבים במשרד החינוך מוביל מהלך רחבי משרדי לקידום השימוש בנתונים בשדה החינוך. קיימת מודעות להזדמנויות שהתחום מייצג, כמו:

- הובלת תהליכי שינוי ארגוני שעיקרם עידוד השימוש בנתונים ואוריינות נתונים לצורך לקבלת החלטות בכל הרמות: המשרד, הרשויות ובתי הספר;
- פיתוח מענים חכמים לאוכלוסיות ספציפיות: שימוש בנתונים לצורך התאמת מענים דיפרנציאליים ואיתור מצבי סיכון.

לפי עבודת חשיבה בתחום זה שנעשתה במשרד החינוך, הסדרת מערך איסוף הנתונים וארגונם לצורך למידה והפקת תובנות בעידן של נתוני עתק יאפשרו יצירת נקודת מבט אינטגרטיבית על תלמידים, עובדי-הוראה והמוסדות החינוכיים, קידום קבלת החלטות מבוססת נתונים בכלל מערכת החינוך, והפחתת הנטל הבירוקרטי.

## 2.4 השלכות הבינה מלאכותית על החינוך

טכנולוגיות בינה מלאכותית משתלבות בחינוך בשתי דרכים עיקריות: קידום החינוך באמצעות טכנולוגיות בינה מלאכותית והכנת הלומדים לעולם רווי בינה מלאכותית בהתייחס להזדמנויות ולאיומים שבו. קידום החינוך באמצעות טכנולוגיות בינה מלאכותית יכול להתבצע במספר היבטים של החינוך, המתבססים על טכנולוגיות בינה מלאכותית, ונתוני ישויות חינוכיות (תרשים 3).



תרשים 3 – יישומי בינה מלאכותית בתחומים שונים<sup>12</sup>

ניתן להתבונן על האופן בו בינה מלאכותית יכולה לקדם את החינוך באמצעות מיפוי של תרחישי יישום של בינה מלאכותית בחינוך לכלי בינה מלאכותית התומכים בהם (טבלה 1).

כלי בינה מלאכותית	תרחישי יישום בינה מלאכותית בחינוך
למידה אדפטיבית, למידה מותאמת אישית, ניתוח נתוני למידה	הערכת תלמידים ובית הספר
זיהוי תמונה, ראייה ממוחשבת, מערכות חיזוי	מתן ציונים והערכה של בחינות ועבודות
כריית מידע, מערכות הוראה חכמות, ניתוח נתוני למידה	הוראה חכמה מותאמת אישית
זיהוי פנים, זיהוי דיבור, מעבדות וירטואליות, מציאות מדומה ורבודה, טכנולוגיות חישה חזותיות וקוליות.	בית ספר חכם
ב"מ במחשוב קצה, עוזרים וירטואליים אישיים, ניתוח בזמן אמת	למידה מרוחקת מקוונת וניידת

טבלה 1 – מיפוי תרחישי יישום של בינה מלאכותית בחינוך לכלים תומכים<sup>13</sup>

<sup>12</sup> Chen, L., Chen, P., & Lin, Z. (2020). Artificial intelligence in education: A review. *IEEE Access*, 8, 75264-75278.

<sup>13</sup> ibid



נקודת מבט נוספת היא האופן בו טכנולוגיות בינה מלאכותיות יכולות לקדם את החינוך בהתייחס לתועלות שהיא יכולה לספק בהיבטי האדמיניסטרציה, ההוראה והלמידה (טבלה 2).

תחומי החינוך	האופן שבו בינה מלאכותית מקדמת את החינוך
אדמיניסטרציה	<ul style="list-style-type: none"> <li>ביצוע העבודה האדמיניסטרטיבית הגוזלת זמן של צוות ההוראה כגון מתן ציונים לבחינות ומתן משוב.</li> <li>זיהוי סגנונות והעדפות הלמידה של כל תלמיד וסיוע בבניי תוכנית למידה אישית</li> <li>סיוע למורים בקבלת החלטות ועבודה מונחית נתונים</li> <li>מתן משוב ועבודה עם תלמיד באופן ישיר ועיתי</li> </ul>
הוראה	<ul style="list-style-type: none"> <li>חיזוי של הצלחת תלמיד לעמוד בציפיות בפרויקטים ותרגילים ושל ההסתברות שינשור מהלימודים</li> <li>ניתוח הסילבוס והתוכן של קורס כדי להציע תוכן מותאם אישית</li> <li>תמיכה בהוראה ברמה גבוהה יותר ומעבר לכיתה תוך תמיכה בשיתופיות</li> <li>הוראה מותאמת אישית לכל תלמיד בהתאם לנתוניו ומאפייניו</li> <li>סיוע למורים לבנות תוכנית למידה מותאמת אישית לכל תלמיד</li> </ul>
למידה	<ul style="list-style-type: none"> <li>זיהוי מהיר של פערי הלמידה של כל תלמיד ומתן מענה מתאים</li> <li>התאמת יכולת הבחיר של הקורסים לצרכי התלמידים</li> <li>מעקב אחר מצב הלמידה ויישום התערבויות חכמות ומותאמות מול תלמידים</li> </ul>

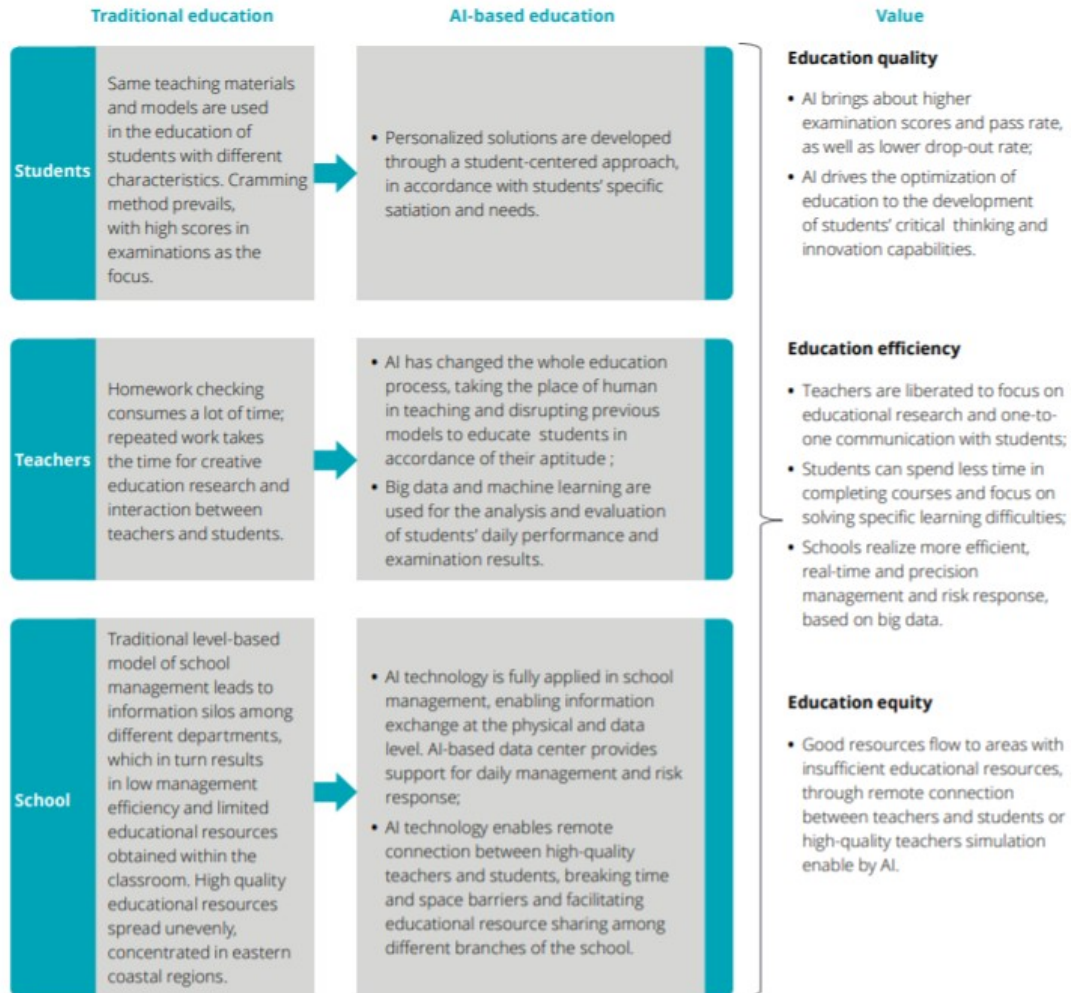
טבלה 2 – הצגת תועלות יישומי בינה מלאכותית בתחומי חינוך שונים<sup>14</sup>

טכנולוגיות בינה מלאכותית יכולות לחולל טרנספורמציה משמעותית במערכת החינוך המסורתי ולעצב מערכת חינוך מסוג אחר. הטרנספורמציה תתרחש בהיבטי למידה, הוראה וארגון והיא צפויה לייצר תועלות ושיפורים בהיבטי איכות, יעילות והוגנות החינוך (טבלה 3).

<sup>14</sup> Chen, L., Chen, P., & Lin, Z. (2020). Artificial intelligence in education: A review. *IEEE Access*, 8, 75264-75278.



**Figure 1-5: AI transforms traditional education and creates new value**



Source: Deloitte Research

טבלה 3 – הצגת תועלות יישומי בינה מלאכותית בתחומי חינוך שונים<sup>15</sup>

<sup>15</sup> Deloitte (2019) Global development of AI-based education



### 3. מציאויות חדשות

#### 3.1 הגדרות של מציאויות חדשות<sup>16</sup>

מציאויות חדשות, המקיימות יחסי גומלין עם המציאות הממשית, מתפתחות באמצעות תמהיל של טכנולוגיות שונות, וצפויות להשפיע באופן מהותי על האופנים בהם מתנהלת החברה האנושית. מציאויות אלה, המתווכות באופן דיגיטלי, משתרעות על פני קשת מציאויות הכוללת מציאויות AR, VR, MR, XR ו-DR ועוד כאלו שיתפתחו בעתיד:

- **מציאות מדומה (VR – Virtual Reality)** – מציאות וירטואלית מלאכותית או שמחקה את העולם האמיתי. זאת מציאות אופפת המציבה את המשתמש בתוך עולם דמיוני מרהיב ומייצרת חוויות ריאליסטיות.
- **מציאות רבודה (AR - Augmented Reality)** – מציאות פיזית עליה נוסף רובד של מציאות דיגיטלית. מציאות זו מוסיפה פריטים וירטואליים לסביבת העולם האמיתי, אשר נותר מרכזי, ומעשירה אותו בעזרת רובד דיגיטלי.
- **מציאות מופחתת (DR - Diminished Reality)** – מעין סוג של מציאות רבודה הפוכה. מציאות פיזית ממנה מופחתים אלמנטים חושיים, חזותיים, קוליים ואחרים.
- **מציאות מעורבת (MR - Mixed Reality)** – מציאות המעגנת אלמנטים וירטואליים לאלמנטים פיזיים תואמים במציאות הפיזית. ניתן ליצור אינטראקציה פיזית עם חפצים ומשטחים, אבל המראה והתגובתיות שלהם עשויים להשתנות או להשתפר. חוויות אינן מתרחשות במלואן במציאות הפיזית או הוירטואלית אלא בשילוב של השתיים.
- **מציאות מורחבת (XR – Extended Reality)** – מונח גג לרצף המציאויות החדשות הכולל AR, MR ו-VR. מציאות מורחבת מתכתבת עם תפישת ה-Metaverse.

#### 3.2 מגמות במציאויות החדשות

##### מציאות מופחתת (DR)

מציאות מופחתת מתמקדת בעיצוב החוויה של המציאות הפיזית של האדם על ידי מיסוך, צמצום, או דיכוי תכונות של המציאות הפיזית. יישומים לדוגמה הם אוזניות המבטלות רעשי סביבה או התקני שמע המאפשרים להתמקד בדובר ספציפי, בחדר בו מתנהלות שיחות רבות, משקפים אודיו ויזואליים חכמים המאפשרים הסרת פרסומות מהעין במהלך טיול במרכז העיר, סיוע לאוטוטיסטים על ידי נטרול אירועים חזותיים/קוליים המסיחים את הדעת ועוד. לצד יתרונות המציאות

<sup>16</sup> [Future Today Institute \(2021\) 14th Annual Edition Tech Trends Report. New Realities](#)



המופחתת בשיפור איכות החיים יש להתמודד עם הסיכונים, שהיא מייצרת כגון קיטוב חברתי, הנובע מכך שכל אדם חווה מציאות פיזית אישית שונה.

### **התקני ראש לתצוגה ותקשורת (HMDs)**

התקני ראש לתצוגה ותקשורת עשויים להחליף את הסמארטפונים כאמצעי התקשוב האישי הנייד, עמו יפעלו המשתמשים במציאויות החדשות. התקני ראש אלו יכולים להיות משקפים חכמים, הכוללים גם אלמנטים של תקשורת עם עוזר קולי, עדשות דיגיטליות חכמות ועוד. התקנים אלו יספקו גם אלטרנטיבה דיבורית רב-תכליתית, יהיו מעוצבים כמו משקפי ראייה מסורתיים מוכרים ויאפשרו ביצוע פשוט וקל של פעילויות יומיומיות. יצרנים שונים כגון גוגל, אמאזון, מיקרוסופט ופייסבוק מפתחים כיום מגוון גרסאות של התקני ראש אלו.

### **יישומים ארגוניים של מציאות רבודה (AR)**

למציאות רבודה יש מגוון יישומים ארגוניים הולך ומתפתח, החל מרצפות ייצור של מפעלים ועד לחדרי ישיבות וירטואליים ופגישות זום. דוגמא לכך היא ערכת HoloLens 2 של מיקרוסופט שתוכננה לספק פתרונות ארגוניים המשלבים פונקציונליות של ענן ו-AI. צבא ארה"ב משתמש בהתקן לצורך הדמיה תרמית וראיית לילה. דוגמא נוספת היא התקן ראש של חברת Neal, הכולל אוזניות ובעל יכולות מחשוב קצה, התומך ביישומים כגון ניטור שרשראות אספקה וציוד מורכב באמצעות תאומים דיגיטליים, אירוח פגישות מרוחקות בתלת מימד, הכשרות מקצועיות על בסיס מדריכי מציאות רבודה ועוד.

### **הולוגרמות**

הולוגרמות הן הקלטות ויזואליות של אובייקטים, שכאשר הן מופעלות הן מופיעות כייצוג ויזואלי תלת ממדי סטטי או דינמי של האובייקט. צורה תלת ממדית דינמית היא קריטית לאבולוציה של מציאות רבודה ווירטואלית כפי שהתקני ראש לתצוגה חיוניים כמכשירי תקשוב ניידים אישיים. הולוגרמות וטכנולוגיות מדיה סינתטית צפויות לאכלס את הסביבות היומיומיות שלנו. דוגמאות ליישומים קיימים של הולוגרמות הן כלי ה-AR של נטפליקס, המאפשר להקליט ולהעלות הודעת וידאו קצרה ולהפכה להולוגרמת מציאות רבודה; חברת Blank XR מפתחת פלטפורמת מציאות מעורבת שתאפשר לאפשר למעריצים לדבר עם הולוגרמות של מוזיקאים; הסטארט-אפ Portal השיק, תאים בגודל תא טלפון, שיכולים להקרין בזמן אמת הולוגרמה בגודל מלא של אדם או עצם; הולוגרמות של כוכבי עבר כגון רוי אורביסון ופרנק זאפה משתתפות כבר היום במופעים לציבור הרחב. בתחום החברתי, הולוגרמות יוכלו לייצג מגוון של דמויות כגון ידוענים, דמויות היסטוריות, אנשים אהובים שאבדו ועוד. בתחום הרפואי, מיפוי הולוגרפי יכול לספק לרופאים תצוגה של 360



מעלות של מערכות הגוף של מטופל, שתסייע באבחון ובביצוע ניתוחים. בתחום הארגוני, הולוגרמות יכולות להשתלב בפגישות מרוחקות והתחומי ההדרכה ושיתוף הפעולה.

### תצוגות מרחביות (Spatial Displays)

תצוגות מרחביות הולוגרפיות מאפשרות הצגת תכנים דיגיטליים באופן הולוגרפי במרחב הפיזי ללא צורך בהתקני תצוגת ראש. תצוגות מרחביות מתבססות על מצלמות, העוקבות אחר פני המשתמש במהירות גבוהה, ומזהות את מיקום עיני הצופה בזמן אמת. אלגוריתם ליצירת וידאו מגיב לעיני הצופה, בעוד עדשות זעירות מקרינות תמונות סטריאוסקופיות לכל עין. דוגמה קיימת היא תצוגת המציאות המרחבית של חברת סוני, שהושקה בשנה האחרונה. לעת עתה מכוונת טכנולוגיה זו למעצבים, אדריכלים ומשווקים. אבל כאשר תבשיל הטכנולוגיה, היא תשנה את האופן בו אנו צופים בסרטים, נוהגים ברכבים או משתתפים בפגישות. הרופאים יראו למטופליהם מה מתרחש בתוך גופם, והמורים יוכלו לקיים עם תלמידיהם מסעות למידה בחורבות ישנות שיקומו לתחייה.

#### וידאו 360°

סרטון 360 מעלות נוצר באמצעות התקן צילום מיוחד, שנועד ללכוד צילומים מכל הכיוונים. כאשר הסרטון מוקרן, הצופים יכולים לשנות את נקודת המבט שלהם, באמצעות עכבר, מסך מגע או מחוות בקרת תנועה, כדי לחקור את המציאות המוקרנת. הטכנולוגיה מציעה חווית צפייה סוחפת ופעילה לבידור, תיעוד, חינוך וחדשות, שניתן לקבלה באמצעות התקני מחשב קיימים כגון מסכים, מחשבים וסמארטפונים. זוהי חלופה פשוטה וזולה יחסית של מציאות חדשה.

#### וידאו נפחי (Volumetric Video)

וידאו נפחי הוא טכנולוגיה מהותית לפיתוח חוויות מציאות מורחבת (XR), וידאו נפחי מאפשר לכידת חלל, דמות או אירוע בתלת מימד והצגתו בסרטון באמצעות מכשירי XR. בזמן ההקרנה, הוידאו נפחי מאפשר לצופים לשנות נקודת מבט על האובייקטים המוצגים, לצפות בהם בתלת מימד ומכל הזוויות. דוגמא ליישום ווידאו נפחי היא הרשת בינלאומית Mixed Reality Capture Studios של מתקנים מוסמכים של מיקרוסופט ללכידת וידאו נפחי המיועד עבור יישומי MR. כאשר משקפיים חכמות יהיו הנורמה, נוכל לצפות ולחוות תכנים באופן נפחי, במקום באופן דו ממדי ושטוח.





## אודיו מרחבי (Spatial Audio)

בדיוק כמו שווידאו נפחי מספק פרספקטיבה ועומק לתוכן חזותי, אודיו מרחבי משודר בצורה כזו שהמאזין מפרש את הצלילים כמגיעים ממרחבים שונים בסביבתו. המהדורות האחרונות של ה-AirPods של אפל כוללות תכונה של טכנולוגיית שמע מרחבית – מתי הוא מופעל, צלילים נתפסים ביחס למיצוב של המאזין ולמיקום של התקן המקור. לדוגמה, אם אתה צופה בפעולה סרט בטלפון שלך ואתה מפנה את גבך אליו, אזי פיצוץ בסרט ישמע כאילו הוא מאחוריך. באופן דומה, כאשר אתה מזיז את הסמארטפון ביחס לראשך, הפרספקטיבה השמיעתית משתנה בהתאם למיקום המכשיר. לטכנולוגיית האודיו המרחבי יהיה תפקיד מרכזי ביצירת חווית חיים ריאלית במציאות XR.

## WebAR/WebVR

רוב חוויות AR ו-VR הזמינות כיום דורשות מהמשתמשים להוריד אפליקציה למכשיר שלהם. אולם, WebAR ו WebVR הם חלק מתחום מתפתח שבו חוויות AR ו-VR נגישות ישירות דרך הדפדפן. נגישות דרך הדפדפן עוקפת בהצלחה את בעיות אחסון הנתונים ואת מגבלות ובעיות התאימות למכשירים, העלולות לפגום בחוויה מבוססת אפליקציה. גישה דרך הדפדפן מסייעת להנגיש תוכן AR או VR לקהל רחב יותר בצורה יעילה יותר. התחום עדיין בחיתוליו, אבל מבטיח ליצור פרדיגמה חדשה עבור AR ו VR כולל יותר וזמין באופן מיידי.

## יקום ה-Metaverse

המטאברס מתואר לעתים קרובות כרשת קולקטיבית רציפה ומשותפת של מרחבים וירטואליים תלת-ממדיים של מציאות מורחבת בתוכה יכולים משתמשים שונים יכולים לנוע בחופשיות ולקיים אינטראקציות מגוונות. לפי רוב ההגדרות, המטאברס מקיף את כל ה-AR, הממלכות הווירטואליות והאינטרנט. חברות הטכנולוגיה הגדולות כגון פייסבוק, גוגל, אמזון, אפל, מייקרוסופט, אנבידיה ועוד, מנהלות מרוץ תחרותי בדרך להקמת המרחב העתידי הזה, שיהפוך כנראה למרכיב קבוע ודומיננטי בחיי היומיום שלנו. בניגוד לאינטרנט אליו בו אנו עושים שימוש מתוך המציאות הפיזית שלנו, אל יקום המטאברס ניכנס כדי לפעול בתוך מציאות ה XR. כל טכנולוגיות המציאות החדשות, שפורטו בפרק זה, יהיו חלק מיקום המטאברס ויאפשרו יצירת חוויה ריאליסטית של פעולה בתוכו.



### 3.3 השלכות על החינוך של המציאויות החדשות

למגמת המציאויות החדשות יש השלכות רבות ומהותיות על תחום החינוך. היא מייצרת עבור החינוך הזדמנויות רבות מחד אך גם אתגרים משמעותיים מאידך.

#### הזדמנויות לחינוך

- **יצירת חוויות למידה חדשות** - המציאויות החדשות מאפשרות לייצר חוויות למידה חדשות ואפקטיביות, שלא ניתן לייצרן במציאות הפיזית. כך למשל יכולים הלומדים לטייל בפועל בגוף האדם, לצלול אל האוקיינוס, לבקר ברומא העתיקה או לנחות על כוכבי לכת אחרים ולחקור אותם.
- **למידה סימולטיבית** – המציאות החדשות מאפשרות לייצר סימולציות שאינן קיימות, או שלא התקיימו במציאות הפיזית ולאפשר ללומדים להתנסות בהן וללמוד מהן. כך למשל יכול לומד לפתח כשירויות על ידי התמודדות עם עולמות בהן חוקי הפיזיקה שונים, לחוות היסטוריה אלטרנטיבית, לפעול ולחוות זהויות אחרות משלו או לבצע פעילויות שבמציאות הפיזית מסוכן מדי לבצען ועוד.
- **ביטול ההבדלים בין למידה פנים אל פנים ללמידה מרוחקת** – הלמידה במציאויות החדשות מעלימה את ההבדלים בין למידה פנים אל פנים לבין למידה מרוחקת, שכן במציאויות החדשות החוויה מבחינת הלומדים והמורים יכולה להיות זהה לחלוטין. מצב זה מאפשר לייצר אקו-סיסטם חינוכי אופטימלי בהתבסס על שילוב המציאויות החדשות.

#### אתגרים לחינוך

- **התמכרות למציאויות החדשות** – המציאויות החדשות יספקו, לעיתים קרובות, חוויה עוצמתית ומספקת יותר מזו שמספקת המציאות הפיזית. מצב זה עלול להוביל להתמכרות לשהייה במציאויות הווירטואליות ולבריחה אליה מפני מציאות פיזית מספקת פחות.
- **הגברת הקיטוב** – המציאויות החדשות הן פרסונליות במידה רבה ויכולות להעצים את תופעת הקיטוב אותה אנו חווים כבר כיום כאחת ההשלכות השליליות של כלכלת תשומת הלב באינטרנט. תופעה זו צפויה להתעצם אף יותר במציאויות החדשות שם כלכלת תשומת הלב תשפיע אף יותר ולמשתמשים תהיה יכולת לייצר בועה אישית לא רק במציאות הווירטואלית אלא גם בזו הפיזית.
- **שדה חדש לאלימות, בריונות ופשיעה** – תופעות האלימות הבריונות והפשיעה במציאויות החדשות יכולות להיות עוצמתיות בהרבה מאלו שאנו חווים במציאות הפיזית ובאינטרנט. אונס וירטואלי, גניבות של כסף וירטואלי, ניצול חוסר היכולת להבדיל בין המציאות פיזית לוירטואלית לביצוע פשעים ועוד.



## 4. העצמת בני אדם

### 4.1 הגדרות העצמת בני אדם

#### רקע:

טכנולוגיות להעצמת בני אדם כוללות יישומים ואמצעים אשר משפרים יכולות אנושיות, לצמיתות או זמנית. לדוגמה, טכניקות לגירוי עצבי כגון (Transcranial Direct-Current TDCS Stimulation) אשר יכולות לשפר ביצועים קוגניטיביים, חומרים פרמקולוגיים משפרי ביצועים, ואפילו ניתוחים קוסמטיים. בעתיד הקרוב והבינוני צפויים שתלים ואיברים תותבים מתקדמים שיעצימו יכולות אנוש באופנים שונים. מבחינים ב-6 קטגוריות של העצמה: קוגניטיבית, ריגושית (Affective), מוסרית, פיזית, קוסמטית, והארכת חיים. פירוט והרחבה בהמשך.

#### הגדרות:

אין הגדרה מוסכמת אחת של המושג "העצמת בני אדם" או "העצמת אנוש", וניתן למצוא בספרות הגדרות רבות. לצרכי סקירה זאת נאמץ את ההגדרה של הפרויקט האירופי SIENNA<sup>17</sup>, אשר התבססה על הגדרה קודמת של הפרלמנט האירופי<sup>18</sup>:

**"העצמת בני אדם" היא שינוי/התאמה (במקור: מודיפיקציה) המכוונת למען שיפור ביצועי אנוש ואשר מושגת ע"י התערבות בתוך גוף האדם או על גוף האדם, בהתבסס על מדע/טכנולוגיה.**

ההתערבות יכולה להיות בכל מיני אופנים: שימוש בתרופות, ניתוח, שימוש בהתקן לביש או תותב, שתל, וגם שילוב של תוכנה חדשנית עבור התקן טכנולוגי מסוים.

המונח "התערבות" הינו רחב, ויכול להתייחס למגוון רחב של "התערבויות". כל ניסיון לעשות קטגוריזציה או "תיחום" (Demarcation) של סוגי העצמה שונים הוא בעייתי ויכול להיות נושא לדיון ומחלוקת. למשל, אפשר לשאול האם תרופות "רגילות" שייכות לתיחום ההעצמה? אם הן משפרות את מצבו של החולה אז הן מעצימות אותו (מעניקות לו יכולות שנפגעו). ואם התרופה משפרת יכולת מסוימת של אדם בריא? היכן הגבול? להלן אחת הדוגמאות של "תיחום", אשר הוצעה ע"י הפרלמנט האירופאי (טבלה 4).

<sup>17</sup> [The SIENNA project](#)

<sup>18</sup> [Coenen, Christopher, et. al., Human Enhancement, EU Parliament, STOA, May 2009.](#)



Demarcation	Explanation	Example
<b>Restorative, preventative non-enhancing</b>	Intervention that have no known enhancement potential for healthy persons	Most traditional treatments and healthcare procedures, i.e. antibiotics, surgery, physical therapy
<b>Therapeutic enhancement</b>	Intervention commonly used to return diminished capability back to previous baseline, but may also improve capability beyond the initial baseline	Existing psychopharmaceutical cognitive enhancements (PCEs), i.e. methylphenidate or some beta-blockers, drugs like Viagra, LASIK surgery, and Tommy John surgery
<b>Non-therapeutic enhancement</b>	Intervention with no compelling therapeutic potential, just enhancement	Speculative intervention that grants the ability to see clearly in the dark, 'designer baby' engineering

טבלה 4 – תיחום הפרלמנט האירופי לגבי העצמה אנושית<sup>19</sup>

לפני שנכנסים לסקירה מפורטת יותר של המגמות בהעצמת בני אדם מן הראוי לציין שהנושא כולו טומן בחובו סוגיות אתיות ומוסריות, ומטבע הדברים הוא מעורר מחלוקות. חשוב להזכיר כאן שלוש עמדות ראשיות כלפי העצמת בני אדם:

הדוגלים בטרנסהומניזם (Transhumanism) תומכים בהאצת המחקר והפיתוח בתחום ההעצמה, לאור הפוטנציאל של טכנולוגיות ההעצמה להוביל לשיפור משמעותי של חיי האדם ולטובת החברה. העמדה ההפוכה היא של ה"ביו-שמרנים" (Bioconservatists) אשר דוגלים בזהירות קיצונית (אם לא התנגדות ממש), שכן לדעתם יישום טכנולוגיות כאלה עלול להזיק לחברה, מסיבות שונות. בתווך בין שני קצוות אלה יש עמדות ביניים שונות, למשל כאלה שהם בעד הפיתוח אבל תוך בחינה של כל מקרה לגופו, לפי התועלת והנזק הפוטנציאליים.

## 4.2 מגמות בהעצמת בני אדם

להלן קטגוריזציה של סוגי העצמה, לפי יעדי השימוש בהם:

- העצמה קוגניטיבית**: התערבות שמשפרת יכולות קוגניטיביות. היעדים הפוטנציאליים הם אינטליגנציה, בהירות (Clarity) ויצירתיות. המושג "בהירות" מתייחס ליכולת התמקדות וקפדנות בעת ביצוע מטלה קוגניטיבית. התקדמות בפיתוח טכנולוגיות ההעצמה קוגניטיבית מחייבת מחקר להעמקת ההבנה של, לדוגמה, הבסיס הנוירולוגי של יצירתיות או כושר המצאה.
- העצמה ריגושיית (Affective enhancement)**: התערבות שעשויה להשפיע על רגשות, מצב הרוח, ואמפתיה. לדוגמה, שליטה עצמית על שינויי מצב רוח (למשל מחרדה לתחושת נינוחות).

<sup>19</sup> [Jensen S.R. \(2018\) State-of-the-art Review, Human Enhancement, The SIENNA project](#)



- **העצמה מוסרית (Moral Enhancement)**: העצמה שמשפיעה על רמת השיפוט המוסרי וההתנהגות המוסרית של בני אדם.
- **העצמה פיזית (Physical Enhancement)**: התערבות שמשפרת יכולות פיזיות קיימות, או מעניקה יכולות פיזיות חדשות. המטרות יכולות להיות ביצועים פיזיים של הגוף, סיבולת, או חוספת יכולות חדשות לגמרי (כגון ראייה מעולה בחשיכה).
- **העצמה קוסמטית (Cosmetic Enhancement)**: התערבות שמשפרת תכונות קוסמטיות של האדם. כאן מבחינים בשתי תת-קטגוריות. האחת היא שיפור קוסמטי לצורכי אסתטיקה, כגון הניתוחים הפלסטיים הקוסמטיים המוכרים כיום. השנייה היא שינויים גופניים שנועדו להעניק לגוף תכונות חדשות (הנתפשות בעיקר כקוסמטיות, למרות שאפשר להתווכח על כך), למשל "התקנה" של קצות אצבעות מגנטיות. כאן יש לציין שהתקדמות בטכנולוגיה של פרוסתטיקה (איברים תותבים) עשויה לטשטש את ההבחנה בין העצמה פיזית ואסתטית, כי היא עשויה להוביל לכך שאנשים מסוימים יהיו מעוניינים למשל בגפיים תותבות שיעצימו את ביצועיהם מעבר לביצועים של גפיים ביולוגיות, מכיוון שהדבר ייתפש בעיניהם כעונה על צורך אסתטי ו/או פיזי.
- **העצמה של אריכות ימים (Longevity Enhancement)**: התערבות שנועדה להאריך את חיי האדם. זאת קטגוריה רחבה, שכן היא כוללת מניעת מחלות (כלומר הרפואה הקיימת ושיפוריה), וכן האטה/עצירה של תהליכי ההזדקנות בגוף.

טבלה 5 מפרטת את הקטגוריות הנ"ל, יחד עם תת-קטגוריות ודוגמאות.

Category	Sub-category	Example (often speculative)
<b>Cognitive</b>	Intelligence	Memory booster
	Clarity	'Smart' drugs, such as methylphenidate
	Creativity	Imagination booster
<b>Affective</b>	Mood	Psychopharmaceutical to improve state of mind
	Emotion	Psychopharmaceutical to induce happiness
	Empathy	Neurostimulation resulting in becoming more appreciative of other perspectives
<b>Moral</b>	Limited	Anaphrodisiac to curb deviant sexual behaviour
	Robust	Intervention to ensure one makes consequentialist or utilitarian choices in every circumstance
<b>Physical</b>	Performance	IPED allowing one to lift larger weights
	Endurance	IPED allowing one to run longer
	Additive	Surgical intervention allowing one to see in the dark
<b>Cosmetic</b>	Aesthetic	Plastic surgery: improved appearance
	Body modification	Magnetic fingernails
<b>Longevity</b>	Preventative	Vaccine: immunity to a disease
	Senescent	Pharmacological intervention to keep one's body from aging
	Durability	Surgical intervention allowing one to survive in the vacuum of space

טבלה 5 – דוגמאות מסוגות לקטגוריות של העצמה אנושית<sup>20</sup>

<sup>20</sup> [Jensen S.R. \(2018\) State-of-the-art Review, Human Enhancement, The SIENNA project](#)



שיטות היישום המתפתחות בתחום ההעצמה, ומגמות המחקר והפיתוח בתחום, מצביעות על מספר מגמות באופני המימוש של יעדי ההעצמה. אופני המימוש האפשריים העיקריים הם ע"י אמצעים פרמצאוטיים או ביו-רפואיים, העצמה המבוססת על מכשור והתקנים למיניהם, וכן התערבות גנטית בגוף האדם. מפורטים להלן אופנים אלה, לרבות דוגמאות אחדות לכל אחד מהם (טבלה 6).

שיטה	תיאור	דוגמאות
ביו-רפואית / פרמצאוטית	הליכים רפואיים פולשניים, אמצעים לא-פולשניים, תרופות/חיסונים, ננו-טכנולוגיה	גירוי עצבי, דם מלאכותי, Psychopharmaceutical Cognitive Enhancements (PCEs), Image & Performance-Enhancing Drugs (IPEDs)
מבוססת על מכשור	פרוסטיקה, ממשקי מוח-מחשב, התקנים לבישים	איברים תותבים המועצמים ע"י בינה מלאכותית, שתלים עצביים, עזרים אישיים אינטליגנטיים (IPAs)
התערבות גנטית	הנדסה גנטית, התערבות ברבייה, ברירת עוֹפְרִים	אבחון גנטי בטרם השרשה (Pre-implantation genetic diagnosis) עריכת גנים – CRISPR Cas-9 "תכנון תינוקות" (designer babies)

טבלה 6 – קטגוריות ראשיות של יישום טכנולוגיות להעצמת בני אדם<sup>21</sup>

כיום, רוב טכנולוגיות ההעצמה הקיימות שייכות לקטגוריה הביו-רפואית / פרמצאוטית. עם זאת, יש בפיתוח כמה וכמה טכנולוגיות מבוססות-מכשור. בעתיד, השיטות של התערבות גנטית עשויות להיות אלה שיטביעו את חותמן על תחום ההעצמה.

מה צפוי בתחום ההעצמה בטווח הזמן של 20 שנה החל מהיום? במהלך 20-10 השנים הבאות אפשר לצפות להתקדמות הדרגתית משמעותית בטכנולוגיות העצמה שונות לשיפור יכולות ספציפיות. ייתכן גם שההתקדמות תוביל להתלכדות (Convergence) של סוגי העצמה מסוימים אשר במשולב עשויים למשל לשפר את יכולת האדם להתקיים לאורך זמן בתנאי חלל (בהיעדר כוח כבידה). בנוסף, תיתכן התלכדות של בינה מלאכותית מתקדמת, רובוטיקה וטכנולוגיות של העצמת בני אדם. התלכדות כזאת עשויה להאיץ את הפיתוח של ממשקים עצביים ממוחשבים. זאת בהנחה שהתלכדות זאת תלווה במחקר להבטחת הבטיחות הנדרשת.

<sup>21</sup> [Jensen S.R. \(2018\) State-of-the-art Review, Human Enhancement, The SIENNA project](#)



ייתכן שההתקדמות החשובה ביותר בשנים הקרובות תהיה ביסוס "העצמת אנוש" כשדה פעיל של מחקר מדעי ופיתוח. זאת בהבדל מהמצב הקיים כיום שבו ההתפתחויות בתחום מתרחשות בדרך כלל כ"תוצר לוואי" של התקדמות בתחומים טכנולוגיים אחרים. קיימת אי-וודאות גבוהה בנוגע להבשלה ויישום של טכנולוגיות העצמה שונות בשנים הבאות, בעיקר בגלל החשיבות המיוחדת בתחום זה של היבטים משפטיים, אתיקה, זכויות אדם וכו' – שמשקלם מטבע הדברים הוא גדול בכל הקשור בהשפעה על גוף האדם או בהתערבות בגנטיקה האנושית.

על פי תמונת המצב כיום והמגמות המסתמנות, ההערכה הזehירה היא שב-5 השנים הקרובות ככל הנראה לא יופיעו הרבה יישומים ממש חדשים של טכנולוגיות העצמה. אבל אפשר לצפות שיישומים מפציעים מסוימים יבשילו, בעקבות המשך המחקר והפיתוח, למצב של כניסה לשוק, לפחות במדינות המפותחות. לדוגמה, יישומים כמו גירוי עצבי (Neurostimulation) ואמצעי העצמה קוגניטיבית פסיכו-פרמצאוטיים (PCE). כמו כן, התקדמות בפרוסטיקה תתחיל להעניק למטופלים יכולות שיהיו מעבר לסטנדרטים הביולוגיים הנורמליים. קרוב לוודאי שבשלב ראשון השימוש באיברים התותבים המתקדמים הללו ימשיך להיות מוגבל רק למטופלים חסרי גפיים. בעוד 5 עד 10 שנים מעריכים שאמצעים מסוימים שקיימים כיום אבל נחשבים כבלתי בטוחים לשימוש, יהפכו לבטוחים – לדוגמה, Image and Performance-Enhancing Drugs (IPEDs). התפתחויות בהעצמה רגשית (Affective Enhancement) יסללו את הדרך לאמצעים מסוימים של העצמה מוסרית. התקדמות בטכנולוגיות מחשוב תוביל לשתלי וויי-פיי, אשר יעניקו למשתמשים אפשרויות חדשות לתקשורת ואינטראקציה עם מכשירים מתקדמים למיניהם. התקדמות בבינה מלאכותית ככל הנראה תאפשר שדרוג של איברים תותבים, מה שעשוי להוביל לכך שהאנשים הבריאים הראשונים שירצו בכך, יעברו ניתוח להחלפת גפיים ביולוגיות בריאות באיברים תותבים משודרגים ע"י בינה מלאכותית.

בפרק הזמן של עוד 10 עד 20 שנה, אפשר לצפות שהדור הראשון של ממשק עצבי מושתל (INI) – (Implanted Neural Interface) יהפוך לזמין לשימוש. ממשק זה ישלב תכונות רבות של טכנולוגיות "חכמות" קיימות יחד עם שתלי וויי-פיי עתידיים, לסוג חדש של התקן שיבצע אינטראקציה ישירה עם מוח האדם. באותה מסגרת זמן, התקדמות במדעי המוח ובטכנולוגיות מחשוב עשויה לאפשר אחסון ואחזור של זיכרון ביולוגי. זה יהיה שלב בדרך לאפשרות שעשויה להתממש בעוד 20 שנים או יותר, והיא "העלאה" (Uploading) של כל המידע שבמוח אנושי אל מחשב. ההישג הזה, שמדובר בו רבות מזה שנים, אינו בטוח והוא כרוך באי-וודאויות רבות. מימושו תלוי ביכולת להתגבר על משוכות טכנולוגיות משמעותיות, כמו פיתוח סריקת מוח ברזולוציה גבוהה, והעמקת ההבנה של מהות התודעה ומרכיביה.

לעומת זאת, ההערכה היא שיש סבירות יותר גבוהה שבאותו פרק זמן התקדמות בתחום הגנומיקה תוביל להעצמה פיזית והעצמה של אריכות-ימים, כגון הענקת יכולת לבני אדם לשרוד לאורך זמן



בחלל, בסביבה של כבידה נמוכה או אפסית. באותו זמן ככל הנראה תושג התקדמות נוספת בהעצמה גשית שתוביל גם לשכלול של העצמה מוסרית.

להלן ההישגים החזויים של טכנולוגיות העצמת בני אדם, באופקי זמן שונים (טבלה 7).

Period	Expected applications
Next 5 years	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumer-market PCEs in Western nations</li> <li>• One or more neurostimulation device(s) widely endorsed for safe enhancement use by neuroscientists</li> <li>• Prosthetics that narrowly improve patients' capacities beyond the standard performance of biological limbs</li> <li>• Affective enhancements that target discrete affective states</li> <li>• Simple cosmetic body modifications, i.e. magnetic fingertips</li> </ul>
5-10 years	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Safe IPED endorsed by healthcare professionals</li> <li>• Limited moral enhancement</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wi-Fi enabled microchip implants</li> <li>• Advanced AI-assisted prosthetics</li> <li>• Consumer-market PCEs worldwide</li> </ul>
10-20 years	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HET implanted neural interfaces (INIs)</li> <li>• Affective enhancements that allow full control of one's disposition</li> <li>• Additive enhancements, i.e. intervention for night-vision</li> <li>• Biological memory storage/retrieval system</li> </ul>
20+ years	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Full brain uploading</li> <li>• Durability enhancements for low-gravity survival</li> <li>• Robust moral enhancement</li> </ul>

טבלה 7 – אופקי זמן לטכנולוגיות העצמה אנושית<sup>22</sup>

לכשהגל הראשון של טכנולוגיות העצמה יהיה זמין בשוק, כאמור בטווח של 5 השנים הבאות ככל הנראה, התחרות בשוק עשויה להתניע מגמה של הורדת עלויות ועקב כך הרחבת הנגישות לטכנולוגיות העצמה מסוימות לחלקים הולכים וגדלים של האוכלוסייה. ההתקדמות בטכנולוגיות פרוסתטיקה, בצד ירידת העלויות של איברים תותבים, עשויה לעודד את המגמה שבה אנשים בריאים ירצו להתקין לעצמם גפיים תותבות או איברים מלאכותיים אחרים לא מסיבות רפואיות אלא כדי להעצים את יכולותיהם הפיזיות. ההערכה היא שבמקרים מסוימים צפויה החלפה מרצון של גפיים בריאות בגפיים תותבות משוכללות. קשה לדעת עד כמה תופעה כזאת תהיה נפוצה. אבל מגמה כזאת עשויה להשפיע לדוגמה על העמקת הסגרגציה בתחום הספורט המקצועי, אולי עד כדי "ליגות מועצמות". כך גם אם ההתקדמות תוביל להוזלת האמצעים להעצמה קוגניטיבית, השימוש באמצעים כאלה עשוי להפוך בהדרגה לנפוץ ומקובל בנסיבות מסוימות, למשל ע"י תלמידים בלימודים מאתגרים או עובדים במקצועות תובעניים.

<sup>22</sup> [Jensen S.R. \(2018\) State-of-the-art Review, Human Enhancement, The SIENNA project](#)





### 4.3 השלכות על החינוך של העצמת בני אדם

לאמצעים לשיפור יכולת ריכוז ושיפור הזיכרון עשוי להיות תפקיד חשוב בחינוך. למעשה נושא זה אינו חדש, אף כי פיתוחים עתידיים עשויים להגביר עוד יותר את חשיבותו. במידה מסוימת בתחום החינוך יש כבר כיום שימוש בהעצמה קוגניטיבית באמצעים פרמצאוטיים, כמו ריטלין, אדראל, או פרוביגיל. קיימים חומרים פרמקולוגיים נוספים שנמצאו כשימושיים לצורך העצמה קוגניטיבית. השימוש בריטלין החל עוד בשנות ה-60 של המאה הקודמת, והוא נעשה נפוץ עם ההכרה הגוברת באבחוני ההפרעה ההיפר-אקטיבית בקרב תלמידים (ADHD).

מחקרים מהתקופה האחרונה הראו שחומרים פרמצאוטיים מסוימים אכן משפרים את הריכוז ואת היכולת לבצע מטלות קוגניטיביות מורכבות. בין השאר נמצא שקטגוריית התרופות שכוללת את התרופה אדראל (Adderall) משיגה השפעה חיובית חזקה על למידה וורבאלית, זיכרון מושהה, ערנות ושליטה עצמית<sup>23</sup>. דוגמה אחרת היא ההשפעה החיובית של מודפיניל (Modafinil) על ביצועים קוגניטיביים. שימוש בתרופות כמו ריטלין הוא כידוע מוקד לדיון מתמשך בתקשורת ולמחלוקת בקרב הציבור.

סביר להניח שבעתיד, אם וכאשר השימוש בטכנולוגיות להעצמת בני אדם יהיה נפוץ, ההשפעה על חיי אנשים בכלל ואנשים צעירים בפרט תהיה גדולה מאוד – ומכאן גם ההשפעה על סוגיות בתחום החינוך. כפי שכתב את החוקרים – שינויים בגוף ייצרו שינויים בתודעה<sup>24</sup>. אפשר לתהות מה תהיה ההשפעה של העצמת חושים, לדוגמה. קשה לדעת מה תהיה ההשפעה הנפשית והתודעתית של שדרוג יכולת הראייה, למשל יכולת לראות היטב בחשיכה, או ראיית אורכי גל שעין רגילה אינה רואה (למשל על-סגול או תת-אדום). מה תהיה ההשפעה של שמיעה משודרגת, תפישה של קול וצלילים השונה מאלה של אדם "רגיל"? של חוש מישוש משודרג?

אולי תלמידים עם יכולות חדשות, חסרות תקדים, להבחין בצבעים או בצלילים, עשויים לפתח יצירתיות מסוג חדש? איך יהיה אפשר לנצל זאת ללמידה? איך יוכלו המורים להבין את היכולות החדשות של התלמידים, אם הם עצמם לא יהיו "מועצמים"? תלמידים שהודות לאמצעים פרמקולוגיים או אחרים יוכלו היות מרוכזים יותר ולהתמקד במושגים מופשטים או מסובכים לאורך זמן, יהיו תלמידים מסוג אחר, אולי עם יתרונות משמעותיים בחשיבה מתמטית, למשל. ככל שמגוון סוגי ההעצמה ושיפורי היכולות יתפתח עם הזמן, יופיעו סוגיות חדשות ואתגרים חדשים בחינוך ולמידה.

ברמה הטכנית, טכנולוגיות מסוימות של העצמה עשויות לשמש גם ככלי לימודי במקצועות שונים, למשל בלימודי ביולוגיה ו/או הנדסה. אחת הדוגמאות היא שימוש בביו-הדפסה תלת ממדית

<sup>23</sup> Micoulaud, Fond G, "Neuroenhancement in Healthy Adults, Part I: Pharmaceutical Cognitive Enhancement: A Systematic Review," *Journal of Clinical Research & Bioethics* Vol. 06, No. 02, 2015

<sup>24</sup> Michael Eisenberg, "Transhumanism and Education", International Society of Learning Sciences (ICLS) 2018 Proceedings, <https://repository.isls.org/bitstream/1/861/1/507.pdf>



(שימוש בחומרים ביולוגיים להדפסת אובייקטים שונים). טכנולוגיה זאת משמשת כבר כיום לבניית שתלים רפואיים, ומכאן הזיקה לטכנולוגיות העצמה, אבל היא יכולה לשמש גם כלי עזר לימודי. בעתיד ייתכן שמדפסות תלת-ממד המשתמשות בחומרים ביולוגיים יהיו זמינות לכל דורש ויאפשרו יצירה ביתית של מוצרי העצמה, כגון רכיבים הדרושים להתקני גירוי עצבי מתוצרת-בית, ובתווך הארוך אולי גם PCE (אמצעי העצמה קוגניטיבית פסיכו-פרמצאוטיים). אם וכאשר יהיו זמינים ונפוצים איברים חליפיים המודפסים בהדפסה תלת-ממדית, ייתכן שתהיה אפשרות לעשות בהם שינויים לצורכי שיפור והעצמה של ביצועיהם – אם במסגרת מחקר ואם במסגרת לימודית (הכוונה כאן יותר לסטודנטים באוניברסיטה, אם כי אפשר לחשוב גם על שימושים בבתי הספר).

### **סוגיות חינוכיות, שאלות פתוחות ואתגרים**

היישום הפוטנציאלי העתידי של טכנולוגיות להעצמת בני אדם מציף שאלות שונות שמערכת החינוך תצטרך לתת עליהן את הדעת.

אחת הסוגיות הברורות היא סוגיית הבטיחות של ההעצמה. האם לסוגי ההעצמה השונים עלולות להיות גם השלכות שליליות? נכון להיום, אין מספיק ניסיון בנוגע להערכת ההשפעות ארוכות הטווח של סוגי העצמה שונים, על הבטיחות ובריאות האדם (הפיזית והנפשית). לדוגמה, איך יושפעו בטווח הארוך ילד או ילדה שיגדלו החל מגיל צעיר עם יכולת לראות צבעים ו/או לשמוע צלילים שבני אדם "רגילים" לא רואים או שומעים?

סוגיה אחרת היא סוגיית הנגישות והשוויון. האם אמצעי ההעצמה יהיו נגישים רק לעשירים? זאת שאלה שנכונה תמיד כשעוסקים בטכנולוגיות חדשות (ויקרות) בחינוך, אבל בתחום ההעצמה הבעיה תתעצם... האם צפוי "פער העצמה", שהוא עצמו העצמה בסדרי גודל של מה שהכרנו עד כה כ"פער דיגיטלי"? האם יש סכנה להיווצרות שני סוגים של בני אדם – מועצמים ובלתי מועצמים?

אפשר לדמיין תרחישים מעניינים של למידת בעלי יכולות משודרגות בזכות טכנולוגיות של העצמת אנוש שעשויות להיכנס לשימוש בעתיד, ולשאול שאלות מאתגרות, כפי שהוצע למשל במחקר של M. Eisenberg עבור מוסד המדע הלאומי של ארה"ב (NSF)<sup>25</sup>:

האם יהיה צורך בתוכניות לימודים שונות, מותאמות ל"מועצמים" מסוגים שונים? האם יהיה אפשר לפתח, לדוגמה, תוכנית לימודים בפיזיקה שתותאם במיוחד לתלמידים עם יכולת ראייה של תחום רחב יותר של הספקטרום האלקטרומגנטי? או תוכנית לימודי כימיה עבור תלמידים עם יכולת ויזואליזציה תלת-ממדית משופרת?

האם יהיה אפשר לתכנן סוגים חדשים של ממשקים עבור תלמידים עם יכולת מועצמת של תפעול ידיים או מישוש, או עם רמה מועצמת של קואורדינציה בין ידיים ועיניים?

האם יהיה צורך או אפשרות לשדרג ניסויי המחשה שונים בלימודי פיזיקה, כימיה או ביולוגיה כך שהלמידים יחוו תופעות שונות "מבפנים" הודות לתפישה החושית המשודרגת שלהם?

<sup>25</sup> Michael Eisenberg, "Transhumanism and Education", International Society of Learning Sciences (ICLS) 2018 Proceedings, <https://repository.isls.org/bitstream/1/861/1/507.pdf>



אלה רק דוגמאות אחדות לתרחישים שונים של הוראה ולמידה במציאות שבה טכנולוגיות העצמה שונות נכנסות לשימוש. מן הראוי לפתח תרחישים אלה, וגם נוספים, ביתר פירוט, ולדון בהשלכות הפוטנציאליות. עצם הדיון בתרחישים השונים עשוי להציף שאלות מאתגרות לגבי חינוך ולמידה, שעד עתה טרם זכו לתשומת לב.

ואולי, כפי שמציין Eisenberg במחקר שהוזכר לעיל, נעדיף דווקא שלא לעודד סוגים מסוימים של שדרוג יכולות אנוש, אפילו אם בפוטנציה הן עשויות לתרום ליצירת רעיונות חדשים באומנות או במדעים.

שאלה נוספת: מה יהיה תפקיד ההורים במציאות החדשה הזאת? האם הם יוכלו להחליט על יישום טכנולוגיית העצמה מסוימת אצל הילד או הילדה שלהם, או שהדבר ייאסר עליהם? מי יחליט? האם בגיל מסוים הבנים והבנות יוכלו להחליט על דעת עצמם להתנסות בהיעצמות פיזיות או מנטליות למיניהן, לרבות שינויים גנטיים בלתי הפיכים? כל אלה שאלות כבדות משקל שהן ככל הנראה רק "קצה הקרחון" שמציף תחום הטכנולוגיות להעצמת בני אדם. הדיון בהן ומציאת המענים יהיו אתגר משמעותי למערכת החינוך.

## 5. חדשנות אחראית ואתיקה

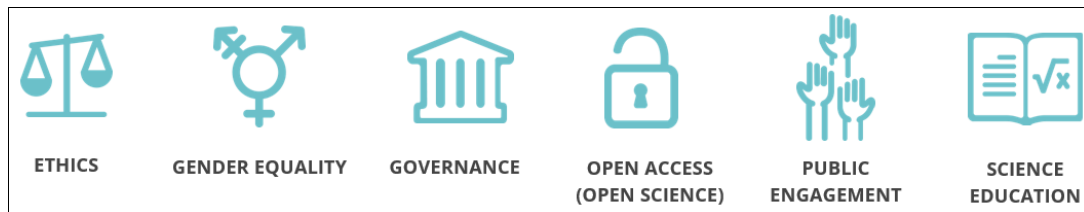
בשנים האחרונות מקודם ברחבי העולם הרעיון של "חדשנות אחראית", או "מחקר וחדשנות אחראיים": Responsible Research and Innovation - RRI. הכוונה היא, בעיקר, לגרום למירוב (מקסימיזציה) של ההשלכות החיוביות של חדשנות ופיתוח טכנולוגיות, ולמניעה או מזעור של ההשלכות השליליות. זאת מכיוון שכל פיתוח וכל חדשנות עלולה לטמון בחובה השלכות שליליות בלתי צפויות, שאפשר לצמצמן אם מקדישים לך מחשבה מספיק זמן מראש. די אם נחשוב על הפגיעה בפרטיות הכרוכה ביישומים של טכנולוגיות מידע והתקשורת כדי להמחיש את העניין.

מדובר למעשה על הקדשת תשומת לב גוברת לאחריות חברתית במסגרת מחקר מדעי, פיתוח טכנולוגיות, וחדשנות. יש הכרה גוברת בכך שתשומת לב זאת צריכה לבוא לידי ביטוי במדיניות של ממשלות וארגונים. יתר על כן – היא צריכה להיות מוטמעת במערכת החינוך עצמה, שממנה ייצאו המפתחים והחדשנים של העתיד. מטבע הדברים, יש זיקה בין הגישה של חדשנות אחראית לבין חקר עתידיים וחשיבת עתיד: די ברור שכדי להצליח, הגישה הזאת צריכה להיעזר בחשיבת עתיד – בדגש על זיהוי מוקדם של ההשלכות החברתיות הפוטנציאליות של פיתוחים וחיזושים שונים, לרבות ההשלכות השליליות.

על פי גישת האיחוד האירופי, המשמעות של RRI היא שהגורמים המעורבים (חוקרים, קובעי מדיניות, עסקים, ארגונים לא ממשלתיים, וגם כלל האזרחים) יפעלו יחד בכל תהליך המחקר והחדשנות כדי לוודא שהתהליך ותוצאותיו יעלו בקנה אחד עם הערכים, הצרכים והציפיות של החברה. מבחינה מעשית, הדגש הוא על הבטחת נגישות קלה לתוצאות של מחקר מדעי, מתן דגש על שיקולים אתיים, שוויון מגדרי, וכן תשומת לב לחינוך מדעי פורמלי ובלתי פורמלי. באופן



פורמלי ומפורט יותר, על פי גישת האיחוד האירופי המושג RRI מכיל שישה "ממדי מפתח" כדלקמן<sup>26</sup>:



תרשים 4: ששת ממדי המפתח במחקר וחדשנות אחראיים (RRI) לפי גישת האיחוד האירופי

- **אתיקה**: תשומת לב והתחשבות בסוגיות אתיות המעורבות בתהליך המו"פ והחדשנות
- **שוויון מגדרי**: הבטחת השוויון המגדרי בכל תהליכי המו"פ והחדשנות
- **משילות**: קואורדינציה מתאימה בתוך הארגון, המתוכננת כך שתקדם את האחריות במחקר ובחדשנות ותהפוך את הגישה לחלק בלתי נפרד מהארגון, לרבות אינטראקציה עם בעלי עניין רלוונטיים.
- **נגישות פתוחה** (open access) – הבטחת נגישות לכל תוצאות המחקר
- **מעורבות הציבור** (public engagement) – עידוד מעורבות של החברה בכללותה בפעילויות המחקר והחדשנות
- **חינוך מדעי** – קידום חינוך פורמלי ובלתי פורמלי בתחומי המדעים.

המשמעות של מרכיב האתיקה במסגרת מחקר אחראי וחדשנות אחראית היא כיבוד קפדני של זכויות אדם יסודיות ושל סטנדרטיים אתיים גבוהים ביותר, כדי להבטיח רלוונטיות חברתית מרבית וקבלה רחבה (ע"י החברה) של תוצאות המחקר והחדשנות<sup>27</sup>.

באופן ספציפי בנוגע לסוגיית האתיקה בהקשר לשימוש בטכנולוגיות חדשות בחינוך, חשוב להדגיש שהנושא מחייב מודעות, הבנה ושיקול דעת. הנושא רחוק מלהיות טריוויאלי, כפי שמראה למשל מחקר שנעשה לאחרונה על שימוש בבינה מלאכותית, נתוני עתק ואנליטיקות למידה, בתחום החינוך. בין השאר, המחקר הצביע על הצורך להבין ולעשות בחירות פדגוגיות אתיות, תוך הבאה בחשבון שתמיד קיים הסיכון של תוצאות שלא התכוונו אליהן. ההיבטים האתיים בהקשר לאנליטיקת למידה כוללים בין השאר סוגיות של פרטיות והסכמה מדעת (informed consent), פרשנות של נתונים, פרספקטיבות על נתונים (למשל פרספקטיבה מוסדית מול אינדיבידואלית), סיכוני "האקינג" וניצול לרעה, מי אחראי אם משהו משתבש, וגם סוגיות רחבות הרבה יותר כמו עקיבה, יחסי כוח, ומטרת החינוך בכלל<sup>28</sup>.

<sup>26</sup> <https://rri-tools.eu/>

<sup>27</sup> <https://tetrris.eu/what-is-responsible-research-and-innovation-rri/>

<sup>28</sup> Ethics of AI in Education: Towards a Community-Wide Framework, <https://link.springer.com/article/10.1007/s40593-021-00239-1>



## 6. סיכום והמלצות

תחומי הבינה המלאכותית, המציאויות החדשות והעצמת בני אדם הם תחומי על טכנולוגיים שהשפעתם על החברה האנושית בשנים הקרובות תהיה דרמטית ורחבת היקף. תחומים אלו משיקים ומתממשים באופנים רבים ולכן מדובר לא רק בהשפעה של כל אחד מן התחומים על החברה האנושית והחינוך לבדו כי אם גם בהשפעה המשולבת שלהם שתחולל טרנספורמציה כבירה בחברה האנושית. הבינה המלאכותית תהפוך להיות החשמל הבלתי נראה של המאה ה-21, המציאויות החדשות ייצרו יקומים חדשים של פעילות אנושית ואילו העצמת בני אדם תשנה את המהות של הגדרת האנושיות עצמה. ההזדמנויות הטמונות בשינוי טרנספורמטיבי למין האנושי הן אדירות אך כך גם האתגרים והדילמות אתם על המין האנושי להתמודד בבואו ליישמן.

חשוב להדגיש כי אין מדובר בשלוש טכנולוגיות ספציפיות אלא בשלושה תחומים על טכנולוגיים שבכל אחד מהם שלל טכנולוגיות בעלות קצב הבשלה שונה. מכאן נובע שבכל אחד מן התחומים יהיו יישומים שניתן להשתמש בהם כבר בהווה ויהיו כאלו שיבשילו באופקי זמן של העתיד הקרוב והרחוק יותר.

מערכות החינוך נדרשות להתמודד עם תחומי על טכנולוגיים אלו, הן בהיבט ניצול ההזדמנות הטכנולוגיות לקידום כלל היבטי החינוך והן בהתמודדות עם אתגר הכנת הלומדים לאתגרי העולם החדש והשונה כל כך, שטכנולוגיות אלו יעצבו. התמודדות עם אתגרים והזדמנויות אלו חייבת להיות מערכתית, מוטת עתיד ויסודית. על מערכת החינוך להיערך באופן מערכתי בהיבטים הבאים:

- בניית תוכנית מו"פ (וקטור הטכנולוגיה) לחקר תחומים אלו בהיבטים הבאים:
  - חקר מגמות, תרחישים, אתגרים והזדמנויות מעמיק ומתמיד
  - מיפוי חברות ומוצרים
  - ביצוע ניסויים במוצרים רלוונטיים בשדה הניסויים ובשטח
  - אסדרת היבטים אתיים, רגולטוריים וחוקיים
  - עיצוב מתודולוגיה לשילוב טכנולוגיות במערכת החינוך
- הובלת מהלך אסטרטגי של מערכת החינוך לשילוב תחומים טכנולוגיים אלו וחינוך בהיבטים הבאים:
  - קשב ניהולי ותהליכי עבודה המתייחסים לעבודת המו"פ בתחומים אלו.
  - עיצוב חזון מערכת חינוך בעידן של בינה מלאכותית, מטאברס והעצמת בני אדם
  - הגדרת מדיניות ופרויקטים ליישום טכנולוגיות אלו לקידום החינוך
  - הקמת והטמעת תוכניות לימודים להכנת לומדים לעולם רווי טכנולוגיות אלו



## נספח: בחירת טכנולוגיות לשימוש במערכת החינוך

בזרקור הטכנולוגיות נסקרו שלושה תחומים טכנולוגיים שזוהו כבעלי פוטנציאל השפעה משמעותי על העולם בכלל ועל החינוך בפרט בטווח הזמן של 5-10 השנים הקרובות: בינה מלאכותית, מציאויות חדשות, והעצמת בני אדם. דוח הזרקור מספק "מבט על" ראשוני על שלושת התחומים, שכל אחד מהם כולל בתוכו טכנולוגיות ספציפיות שונות.

בשלב הבא, ווקטור טכנולוגיה וחינוך אמור לבחור, מבין הטכנולוגיות הספציפיות שבכל אחד משלושת התחומים, את אלה שבהן יומלץ להתמקד לקראת שימוש מעשי בהן במערכת החינוך.

מטרת נספח זה היא להציע מספר קריטריונים אפשריים לבחירת הטכנולוגיות הספציפיות. יש להבהיר שהכוונה בעיקר לטכנולוגיות מפציעות (emerging technologies), כלומר טכנולוגיות שפותחו והודגמו (עברו הוכחת היתכנות)<sup>29</sup>, אך טרם הגיעו לשימוש מעשי נרחב, כלומר הפוטנציאל שלהן טרם בא לידי ביטוי מלא. יחד עם זאת, הווקטור עשוי לשקול ולבחור טכנולוגיות בשלות יותר אשר נעשה בהן כבר שימוש בעולם אך עדיין לא במערכת החינוך בישראל.

### הצעה לקריטריונים ושאלות מפתח נלוות:

#### 1. קריטריון חשיבות:

הטכנולוגיה תתרום להשגת יעדי משרד החינוך (כמפורט במסמך הייזום של ווקטור טכנולוגיה וחינוך), בדגש על –

- שיפור איכות ההוראה ו/או הלמידה
- שיפור בנייה והערכה של תוכניות לימודים
- שיפור יכולות התכנון, הניהול והייעול במערכת החינוך
- עידוד חדשנות בתחום החינוך תוך רתימת כל הגורמים הרלוונטיים במערכת, לרבות חברות הזנק מקומיות.

#### שאלות מפתח שעשויות לסייע להגדיר/להעריך את דגשי החשיבות<sup>30</sup>:

- ✓ מהן הבעיות שהטכנולוגיה תסייע לפתרון?
- ✓ במה היא תשפר את ההוראה/הלמידה/הניהול?
- ✓ מהו הערך הפדגוגי המיוחד של הטכנולוגיה?
- ✓ האם הטכנולוגיה מעניקה למערכת החינוך יכולות חדשות שאינן קיימות כיום?

<sup>29</sup> מקביל, בערך, לרמה 4 – 6 בסולם הבשלות הטכנולוגית TRL (Technology Readiness Level) הכולל 9 רמות ומקובל בתעשיות מסוימות. זאת אינה התאמה מדויקת והאזכור הוא רק לצורך אינדיקציה. למידע נוסף: [https://en.wikipedia.org/wiki/Technology\\_readiness\\_level](https://en.wikipedia.org/wiki/Technology_readiness_level)

<sup>30</sup> Identifying, Evaluating, and Adopting New Teaching and Learning Technologies | EDUCAUSE, <https://er.educause.edu/articles/2020/8/identifying-evaluating-and-adopting-new-teaching-and-learning-technologies>



**2. קריטריון ישימות: סבירות גבוהה לשימוש נרחב במערכת החינוך תוך 5 – 10 שנים**

**שאלות מפתח:**

✓ מדד ישימות טכנולוגית: מה נדרש לעשות כדי להביא הטכנולוגיה לרמת בשלות שתפשר שימוש נרחב? (האם ניתן להעריך את היקף ההשקעה שתידרש?)

✓ מדד ישימות תמיכה: מהי התמיכה שתידרש לצורך שימוש שוטף בטכנולוגיה?

✓ מדד עלות: האם הטכנולוגיה בת-השגה לאור היכולות / המשאבים של משרד החינוך

**2.1 חסמים שעשויים לעכב/למנוע שימוש, והקושי להסיר אותם:**

✓ מורכבות הטכנולוגיה (עד כמה היא מסובכת לשימוש)

✓ ישימות חוקית: האם השימוש נוגד חוקים/תקנות או עשוי לחייב שינוי/התאמה של תקנות

✓ ישימות ארגונית: היעדר מוכנות של "השטח" (הגורמים הרלוונטיים במשרד החינוך) להשתמש הטכנולוגיה. מה הן הסיבות להיעדר המוכנות, אם אכן הוא קיים?

✓ ישימות אתית: סוגיות אתיות העשויות לעורר התנגדות (למשל פגיעה בפרטיות התלמידים, התערבות בגוף, רתיעה). האם השימוש בטכנולוגיה עלול לגרום נזק, בצד התועלת?

על בסיס הקריטריונים שפורטו לעיל אפשר לשקול לבנות כלי להערכת טכנולוגיות, לאחר קביעת משקלות למרכיבי הקריטריונים השונים, שיאפשר להעניק ציונים לטכנולוגיות השונות כפי שמוצע בטבלה מס' 8 להלן:

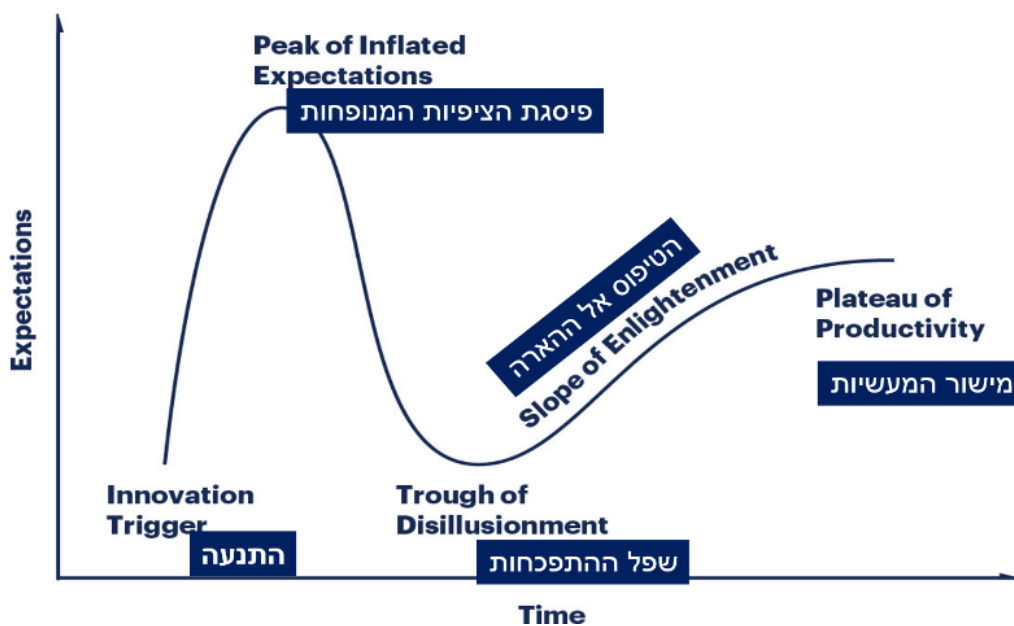
קריטריון	משקל	טכנולוגיה 1	טכנולוגיה 2	טכנולוגיה 3	טכנולוגיה 4
חשיבות	שיפור איכות הוראה/ למידה	ציון	ציון	ציון	ציון
	שיפור בנייה והערכה של תוכניות לימודים	ציון	ציון	ציון	ציון
	שיפור יכולות תכנון/ניהול/ יעול	ציון	ציון	ציון	ציון
	עידוד חדשנות בחינוך	ציון	ציון	ציון	ציון
ישימות	מדד ישימות טכנולוגית	ציון	ציון	ציון	ציון
	מדד ישימות תמיכה	ציון	ציון	ציון	ציון
	מדד עלות	ציון	ציון	ציון	ציון
	מורכבות	ציון	ציון	ציון	ציון
	ישימות חוקית	ציון	ציון	ציון	ציון
	ישימות ארגונית	ציון	ציון	ציון	ציון
	ישימות אתית	ציון	ציון	ציון	ציון
		<b>ציון כולל</b>	<b>ציון כולל</b>	<b>ציון כולל</b>	<b>ציון כולל</b>

טבלה 8: כלי אפשרי להערכת טכנולוגיות לפי קריטריונים שונים



## עקומות Hype Cycles – כלי עזר אפשרי להערכה ובחירה של טכנולוגיות על פי ישימותן הטכנולוגית בטווחי זמן שונים

כלי עזר בבחינה ובחירה של הטכנולוגיות המתאימות עשויות להיות העקומות של חברת גרטנר המוכרות בשם Hype Cycles.<sup>31</sup> עקומות אלה מתארות התפתחות טיפוסית של טכנולוגיות דרך מספר שלבים אופייניים, החל מהתנעה, דרך ציפיות מוגזמות (ואכזבה בעקבותיהן) ועד לבגרות. חברת גרטנר מפרסמת באופן שוטף עקומות כאלה עבור תחומים טכנולוגיים שונים. זהו כלי מועיל שיכול לסייע להעריך את הישימות הטכנולוגית בטווחי זמן רלוונטיים.



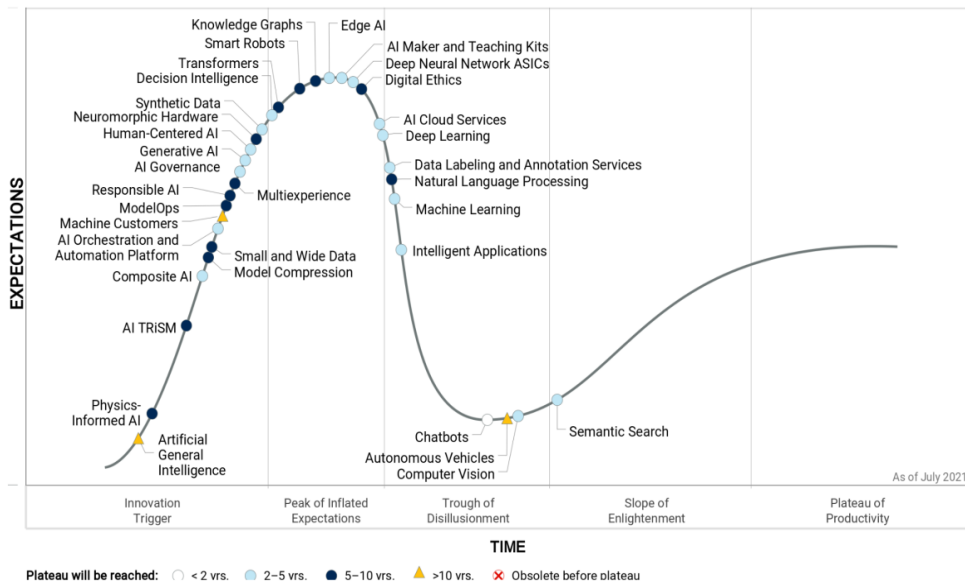
תרשים 5: Hype Cycle לפי חברת גרטנר, המתאר התפתחות טיפוסית של טכנולוגיות

לדוגמה, להלן עקומת Hype Cycle בתחום הבינה המלאכותית, שפורסמה בשנת 2021.<sup>32</sup> הסימונים השונים שעל העקומה מתייחסים להערכת הזמן (בשנים) שיחלוף עד שטכנולוגיה מסוימת תגיע ל"מישור המעשיות" שבקצה הימני של העקומה (ראו מפתח הסימונים בתחתית התרשים).

<sup>31</sup> <https://www.gartner.com/en/documents/3887767>

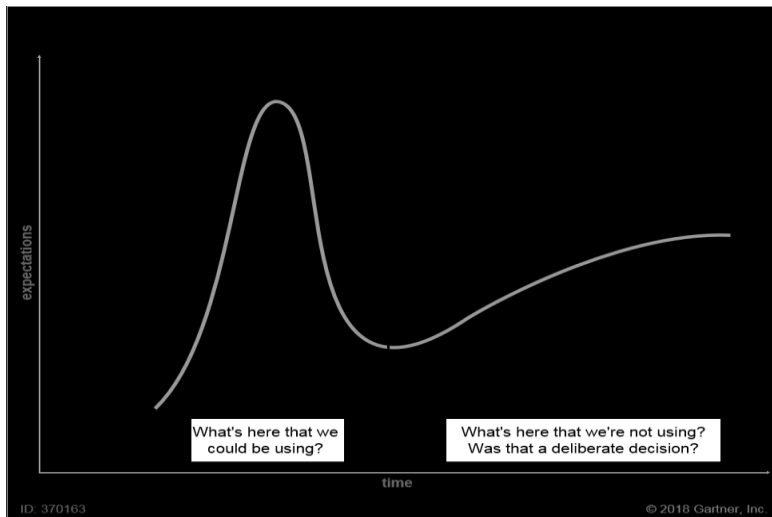
<sup>32</sup> <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2021-09-07-gartner-identifies-four-trends-driving-near-term-artificial-intelligence-innovation>





תרשים 6: עקומת Hype Cycle עבור תחום הבינה המלאכותית, 2021

התרשים הבא מציג את החלוקה של עקומת גרטנר לשני חלקים עיקריים, המשקפים את ההתייחסות לפוטנציאל של הטכנולוגיות, ובכך את האפשרות להיעזר בכלי זה במסגרת בחירת הטכנולוגיות שעשויות להתאים לאימוץ ויישום במערכת החינוך.



תרשים 7: שני חלקים בעקומת Hype Cycle המשקפים את פוטנציאל הטכנולוגיות



## 7. מקורות

### טכנולוגיות בינה מלאכותית

[ענתבי ל. \(2020\) בינה מלאכותית וביטחון לאומי לישראל, המכון למחקרי ביטחון לאומי](#)

Deloitte (2019) Global development of AI-based education

Chen, L., Chen, P., & Lin, Z. (2020). Artificial intelligence in education: A review, IEEE Access, 8, 75264-75278.

Floridi, L. (2019). Establishing the rules for building trustworthy AI. Nature Machine Intelligence, 1(6), 261-262.

[Future Today Institute \(2021\) 14th Annual Edition Tech Trends Report, Artificial Intelligence](#)

[Gartner \(2021\) Reinforce Your Artificial Intelligence \(AI\) Ecosystem](#)

[Top 10 Strategic Technology Trends for 2020: Human Augmentation](#)

[Gartner Top Strategic Technology Trends for 2021](#)

UBS, The evolution of artificial intelligence,  
<https://www.ubs.com/microsites/artificial-intelligence/en/new-dawn.html>

### טכנולוגיות מציאויות חדשות

[Future Today Institute \(2021\) 14th Annual Edition Tech Trends Report, New Realities](#)

[Gartner \(2021\) The Metaverse: Outside Eight Years but Meriting Awareness](#)



## טכנולוגיות להעצמת בני אדם

### [Gartner \(2020\) Top 10 Strategic Technology Trends for 2020: Human Augmentation](#)

SIENNA Project, <https://www.sienna-project.eu/enhancement/>

Coenen, Christopher, et. al., “Human Enhancement”, EU Parliament, STOA, May 2009. [https://www.its.kit.edu/downloads/etag\\_coua09a.pdf](https://www.its.kit.edu/downloads/etag_coua09a.pdf)

D3.1: State-of-the-art Review - Human Enhancement, SIENNA Project, [https://www.sienna-project.eu/digitalAssets/788/c\\_788666-1\\_1-k\\_d3.1sotahet.pdf](https://www.sienna-project.eu/digitalAssets/788/c_788666-1_1-k_d3.1sotahet.pdf)

Micoulaud, Fond G, “Neuroenhancement in Healthy Adults, Part I: Pharmaceutical Cognitive Enhancement: A Systematic Review,” Journal of Clinical Research & Bioethics Vol. 06, No. 02, 2015

Michael Eisenberg, “Transhumanism and Education”, International Society of Learning Sciences (ICLS) 2018 Proceedings, <https://repository.isls.org/bitstream/1/861/1/507.pdf>

## מחקר וחדשנות אחראיים

RRI Tools <https://rri-tools.eu/>

Responsible Research & Innovation (RRI) – what exactly is it? <https://tetris.eu/what-is-responsible-research-and-innovation-rri/>

Ethics of AI in Education: Towards a Community-Wide Framework, <https://link.springer.com/article/10.1007/s40593-021-00239-1>