



מגמות עתיד בחינוך STEM

המכון לחקר עתידים בחינוך, מינהל חדשנות וטכנולוגיה, משרד החינוך
תשפ"ה, מאי 2025

תוכן עניינים

1. רקע.....	5
הגדרת STEM ומשמעותו בהקשר החינוכי העכשווי	5
מטרות המחקר, המסגרת התיאורטית, מתודולוגיה ושיטות מחקר	9
2. מגמות STEEP המשפיעות על חינוך STEM (כולל רב דוריות)	10
השלכות, אתגרים והזדמנויות לחינוך בישראל	30
3. חינוך STEM משולב ורציף	35
חינוך STEM המשלב בין תחומי ה-STEM	35
רצף חינוכי בחינוך STEM	41
4. חינוך מותאם אישית ומבוסס כשירויות בתחום ה-STEM	46
חינוך מותאם אישית בתחום ה-STEM	46
כשירויות ומיומנויות הנדרשות בחינוך STEM	52
5. טכנולוגיות וחדשנות בחינוך STEM	58
טכנולוגיות תומכות הוראה למידה והערכה בחינוך STEM	58
רובטיקה ואוטומציה	63
למידה היברידית	69
6. ניהול הון אנושי בתפיסת ה-STEM	72
ייחודיות ההון האנושי ב-STEM	73
מחסור במורים מותאמים	74
הכשרה, העשרה והתפתחות מקצועית	75
7. מסקנות והמלצות	78
מסקנות מרכזיות לגבי התפיסה הפדגוגית בחינוך STEM עתידי	78
כיווני פעולה מומלצים למדיניות של יישום חינוך STEM	82
8. סיכום	84
9. מקורות	85

תקציר מנהלים

STEM מציע פרדיגמה חדשה בכלל ובחינוך בפרט, לפיה, מדעים, טכנולוגיה, הנדסה ומתמטיקה משולבים באופן אינטגרטיבי, ואינם נתפסים כתחומים נפרדים. במקום שכל תחום ילמד בפני עצמו, מודל ה-STEM מקדם את רעיון הלמידה המשותפת שמחברת בין התחומים, וכך, הלומדים לא רק רוכשים ידע בכל תחום בנפרד, אלא מפתחים גם כישורים כמו חשיבה יצירתית, פתרון בעיות ושיתוף פעולה בין התחומים השונים. גישה זו מאפשרת חיבור בין עקרונות מדעיים, טכנולוגיים והנדסיים, ומקנה כישורים להתמודד עם אתגרי העתיד.

המסמך נכתב על מנת להדגיש את המשמעות של שילוב התחומים הללו בחינוך ולבצע שינוי בגישות הלמידה. הוא מציע דרכים לפתח כישורים אינטרדיסציפלינריים שמחברים בין התחומים ומקדמים פתרון בעיות יצירתי וחדשני. ה-STEM לא רק משנה את הדרך בה אנו מלמדים, אלא גם את התפיסה של תהליך הלמידה עצמו, ככזה הממוקד בהבנה מעמיקה של העולם הטכנולוגי והמדעי. ולכן, קהל היעד של המסמך כולל קובעי מדיניות, מנהיגי חינוך ומורים, ומטרתו להנחות את המערכת החינוכית בתכנון מערכות שמשלבות את תחומי STEM באופן רחב.

החינוך בתחום STEM (מדעים, טכנולוגיה, הנדסה ומתמטיקה) הפך לגורם מכריע בהכנת תלמידים לעתיד בעולם טכנולוגי המשתנה במהירות. השילוב של תחומים אלה מאפשר יצירת חוויות לימודיות אשר מספקות לתלמידים כלים להתמודד עם אתגרים גלובליים, לעודד חשיבה ביקורתית, ולפתח כישורים טכנולוגיים הכרחיים לשוק העבודה העתידי.

מגמות עולמיות - העתיד של חינוך STEM נמצא בשילוב בין-תחומי של מדעים וטכנולוגיה עם תחומים נוספים, כמו STEAM (כולל אמנויות), על מנת ליצור סביבות למידה המשלבות יצירתיות עם חשיבה אנליטית. מגמות נוספות כוללות את השפעת הבינה המלאכותית, רובוטיקה, מציאות מורחבת, ולמידה היברידית על אופי הלמידה בחינוך STEM. בנוסף, תחום זה מבקש לפתח את כישורי הלמידה של תלמידים ולהכיןם לתנאים המשתנים של שוק העבודה בעתיד.

מגמות עתיד - חברתיות, טכנולוגיות, כלכליות, סביבתיות ופוליטיות (STEEP) - מגמות חברתיות ושינויים דמוגרפיים מצביעים על כך שלדורות צעירים יהיה תפקיד מרכזי בשימור והובלת החדשנות, בעוד שדור המבוגרים יישא את הידע הניהולי. מגמות אלו דורשות מערכת חינוך מותאמת אישית שתשפיע על כל תחום החינוך ובמיוחד בתחום STEM, תוך שימת דגש על פיתוח כישורים גמישים.

המשכיות בחינוך STEM - החינוך ב-STEM חייב להיות רציף ומבוסס על תהליך למידה מתמשך. יש להתחיל כבר בגיל צעיר להנחיל לילדים את עקרונות מדעי הטבע, ההנדסה, המתמטיקה והטכנולוגיה, תוך שילובם בסביבות למידה מציאותיות, על מנת להבטיח את המשכיותם של התלמידים עד גיל העבודה. בנוסף, יש לפתח תוכניות לימודים המתמקדות בשילוב בין הדיסציפלינות, המובילות לחשיבה מערכתית ולהבנת הרלוונטיות של הידע.

כישורים ומיומנויות - מערכת החינוך המודרנית נדרשת לפתח כישורים רכים לצד כישורים טכנולוגיים: יכולת שיתוף פעולה, חשיבה יצירתית, פתרון בעיות ויכולת ללמוד טכנולוגיות חדשות. עם זאת, אחד האתגרים הגדולים הוא מחסור במורים מיומנים, דבר שמחייב הכשרה מתמשכת, פיתוח מקצועי, ושימוש בטכנולוגיות חדשניות כדי להנגיש את חווית הלמידה לכלל התלמידים.

הטכנולוגיות שעתידות לשנות את החינוך - בינה מלאכותית, רובוטיקה, ולמידה היברידית, מהווים את אבני היסוד של חינוך STEM בעתיד. כל אחת מהטכנולוגיות הללו תאפשר לא רק למידה מותאמת אישית אלא גם יצירת סביבות למידה וירטואליות המהוות חוויה מעוררת השראה. למשל, שימוש במציאות מורחבת ובסביבות אימרסיביות יעשיר את חוויות הלמידה ויאפשר לתלמידים להתנסות בעבודת צוות ובפתרון בעיות בצורה אפקטיבית.

אתגרים והזדמנויות לחינוך STEM בישראל - האתגרים בישראל כוללים את ההתמודדות עם המהירות שבה תעשיות טכנולוגיות מתפתחות, וכן את הצורך בהכשרה של מורים בתחום ה-STEM. עם זאת, ישנן הזדמנויות רבות, ביניהן קידום חדשנות בחינוך והתאמת החינוך לצרכים משתנים של שוק העבודה. החינוך צריך לפתח את כישורי התלמידים בצורה מתקדמת שיכולה להתמודד עם טכנולוגיות חדשות ולהכין את התלמידים לקריירות עתידיות מבוקשות.

מסקנות והמלצות - העתיד של חינוך STEM דורש שינוי מהותי במערכת החינוך. יש להמשיך ולפתח תוכניות לימודים המתמקדות בהיבטים בין-תחומיים, תוך שילוב טכנולוגיות חדשות כמו בינה מלאכותית ורובוטיקה. בנוסף, יש לקדם את ההכשרה המקצועית של המורים ולדאוג לכך שתהיה להם גישה לטכנולוגיות המתפתחות במהירות. יש צורך בהשקעה מתמשכת במחקר ופיתוח בתחום חינוך STEM כדי להבטיח שהמערכת תהיה מוכנה לכל אתגרי העתיד.

לסיכום - העתיד של חינוך STEM נמצא בהתפתחות מתמדת. על המערכת החינוכית להתאים את עצמה למציאות טכנולוגית משתנה ולוודא שהתלמידים יקבלו את הכלים המתקדמים ביותר להצלחה בעולם העבודה העתידי.

1. רקע

הגדרת STEM ומשמעותו בהקשר החינוכי העכשווי

חינוך ה-STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) - מדעים, טכנולוגיה, הנדסה ומתמטיקה מתייחס לתחומים הנתפסים כיום כבסיס לחדשנות וצמיחה, לכן במערכת החינוך המודרנית מושם דגש על שילובם זה בזה¹. שילוב המהווה אבן יסוד בהכנת תלמידים לעולם המשתנה במהירות, המונע על ידי התקדמות טכנולוגית, גלובליזציה ואתגרים מדעיים מורכבים.

בניגוד ללמידה המסורתית שבה כל מקצוע נלמד בנפרד, ה-STEM מדגיש גישה בינתחומית המבטלת מחיצות בין הדיסציפלינות ומאפשרת לתלמידים להבין את העולם כשלם ולא כאוסף חלקים נפרדים. ובמילים אחרות, מטרת החינוך בתחום היא להקנות ללומדים **אוריינות STEM**, קרי, שילוב ידע מדעי, טכנולוגי, הנדסי ומתמטי – על מנת לטפח יכולות חשיבה ביקורתית, פתרון בעיות וחדשנות ושימוש בטכנולוגיה, כחלק מהכשרתם להתמודדות עם אתגרי העולם המודרני. חינוך STEM נתפס כיום כחלק בלתי נפרד מחינוך איכותי מתוך הכרה שהעידן הנוכחי דורש בוגרים המסוגלים **לייצר ידע חדש וליישם מיומנויות טכנולוגיות לפתרון בעיות מורכבות**. בעידן שבו החדשנות מהווה מנוע מרכזי לצמיחה כלכלית ולפיתוח חברתי, ובשל ההתקדמות המהירה בתחומים כמו בינה מלאכותית, מדעי הנתונים, הנדסה ביו-רפואית ואנרגיה מתחדשת, אנשי STEM ממלאים תפקיד קריטי בהובלת מחקר ופיתוח, פתרון בעיות גלובליות ושיפור איכות החיים. מה שמדגיש את הצורך הגובר בעובדים בעלי כישורי STEM מתקדמים, המסוגלים להתמודד עם אתגרי המאה ה-21.

כאמור, ה-STEM אינו מתמקד רק בהקניית ידע טכני, אלא גם בפיתוח מיומנויות קריטיות כמו חשיבה ביקורתית, פתרון בעיות, יצירתיות ושיתוף פעולה. מיומנויות אלו נחוצות לא רק לקריירות מדעיות או הנדסיות, אלא גם לכל תחום שבו נדרשת הבנה מעמיקה של מידע מבוסס נתונים, תהליכים מורכבים וחדשנות. לכן, מעבר לחשיבותו הכלכלית והטכנולוגית, חינוך STEM ממלא תפקיד מכריע בהכשרת אזרחים בעלי אוריינות מדעית וטכנולוגית, המסוגלים לקבל החלטות מושכלות במציאות שבה טכנולוגיות מתפתחות מעצבות את חיינו².

על מנת להבטיח שחינוך STEM יהיה רלוונטי ומותאם לעידן הדיגיטלי, יש לאמץ גישות פדגוגיות חדשניות המקדמות מעורבות פעילה של הלומדים. שיטות כגון למידה מבוססת פרויקטים (Problem Based Learning - PBL), למידה מבוססת תופעות³ (PhenoBL - Phenomenon Based Learning), כיתה הפוכה וחשיבה עיצובית

(Design Thinking) המאפשרות לתלמידים לפתח פתרונות חדשניים ומגוונים לאתגרים אמיתיים ולרכוש כלים שיסייעו להם להשתלב בעולם העבודה העתידי. בנוסף, שילוב טכנולוגיות מתקדמות, כגון בינה מלאכותית, מציאות מדומה ורבודה (VR/AR) מאפשר להפוך את הלמידה לדינמית, חווייתית ורלוונטית.

כל אלו משפיעים גם על מבנה הכיתה, כאשר יצירת **מרחבי למידה גמישים ועיתירי אמצעים**, מעודדת שיתוף פעולה ופתרון בעיות יצירתי. טכנולוגיות למידה חדשות, כמו מעבדות וירטואליות ומציאות מדומה (VR), מאפשרות הדמיה של ניסויים מורכבים וסיורים וירטואליים בסביבות שאין אליהן גישה פיזית. כלי למידה אדפטיביים המונעים בבינה מלאכותית מסייעים בניטור ביצועי התלמידים ובהתאמת המשימות ללומד. ושילוב רובוטיקה, באמצעות ערכות כמו LEGO⁴ ו Mindstorms⁵ – לצד **מדפסות תלת-ממד**, מעשיר את חוויית הלמידה והופך אותה לאינטראקטיבית ומותאמת יותר לצורכי כל תלמיד.

ולבסוף, חינוך ה-STEM חשוב גם להטמעת **גישה של למידה לאורך החיים**. בעולם שבו טכנולוגיות חדשות מתפתחות במהירות, היכולת להסתגל, ללמוד כישורים חדשים ולהתפתח באופן מתמיד היא קריטית. על כן, יש לעודד למידה עצמאית, עבודה שיתופית ויישום של כישורי מחקר ופיתוח. בנוסף, ה-STEM נתפס כמה שמאפשר **לצמצם פערים חברתיים-כלכליים** על ידי מתן גישה שווה לידע וטכנולוגיה, ועידוד השתתפות של מגוון אוכלוסיות בתחומי מדע והנדסה.

ה-STEM נתפס כיום לא רק כאוסף מקצועות אלא כשינוי פרדיגמטי ללמידה אינטגרטיבית ופעילה. מחקרים מצביעים על תרומת חינוך ה-STEM להישגים אקדמיים במתמטיקה ובמדעים, ללא תלות ברקע דמוגרפי, וללא הבדלים מגדריים מובהקים. מטא-מחקר (מ – 2021 שכלל 64 מחקרים)⁶, הדגיש את ההשפעה הרבה של STEM על הישגים לימודיים. מחקרים נוספים הראו כי תוכניות STEM משפרות כישורים רבים כגון פתרון בעיות ושיתוף פעולה, וכן מעלות את המוטיבציה ללימודי מדעים בתיכון. לכן, אין זה מפתיע שמערכות חינוך רבות בעולם משקיעות **בשילוב מובנה של STEM כבר משלבי החינוך המוקדמים** ומפתחות תכניות לימודים **בינתחומיות** שבהן נושאי מדע, טכנולוגיה, הנדסה ומתמטיקה משולבים יחד סביב בעיות או פרויקטים.

העתיד מצביע על המשך ההטמעה בכל הגילים, שילוב טכנולוגיות חדשות והרחבת התחום, לצד הצורך הבולט בליווי מחקרי שיספק תובנות מבוססות נתונים להמשך פיתוחו. אך למרות הפוטנציאל הברור, עולות שאלות לא פשוטות לגבי הכשרת מורים לגישה בינתחומית והתאמת התוכניות לצרכים מגוונים של תלמידים. כמו כן, חסר עוד מידע רב לגבי אופן הטמעת חינוך ה-STEM בעולם

בראש וראשונה, **לא קיים קונצנזוס לגבי הגדרת חינוך ה-STEM**, יתר על כן, נמצא שקיימים **אתגרים מתודולוגיים** הנגזרים מהטיות **תרבותיות** הבאות לידי ביטוי בהבדלים תפקודיים בשל הבדלים תרבותיים ולשוניים⁷ וקשיי **מיפוי** הנובעים מההבדלים במיפוי בין כישורי OECD 2030 לבין תקנים לאומיים⁸.

גם **אופן היישום של ה-STEM שונה מאוד בין מדינות העולם**, במבנה, בדגשים ובשיטות ההוראה. בפועל, אופן הלמידה מושפע מסדרי עדיפויות לאומיים, צורכי המשק ומדיניות החינוך. כמו כן, לא קיימת תמימות דעים באשר לדרך היעילה ביותר לניהול ולקידום STEM וקיים ויכוח האם נכון לאחד את התחום תחת ניהול מרכזי, או לאפשר גישה מבוזרת, שבה לכל מוסד חינוכי תהיה עצמאות. ולבסוף, למרות שהמונח מציע גישה משולבת **הוא לא תמיד נתפס כתחום ידע אחוד הן ברמת המדינה והן ברמת מערכת החינוך**. יש הרואים בו מטה-דיסציפלינה, המשלבת ידע מדיסציפלינות שונות לכדי שלם חדש⁹. אחרים מתייחסים לכל אחד מהתחומים בנפרד, ומתמקדים בנושאים בודדים ולא בגישה משולבת.

זאת ועוד, קיימות **גרסאות שונות של STEM**, לדוגמא, **STEAM**¹⁰ - כולל אומנויות (Arts) המשלב יצירתיות ועיצוב (דרום קוריאה, בריטניה). **STEMM** - כולל רפואה (Medicine) בדגש על בריאות וביוטכנולוגיה (סינגפור). ו- **STREAM** - כולל קריאה ואומנויות (Reading & Arts) ורבים אחרים **(בהרחבה בהמשך)**.

באשר **לאחריות מקומית על ה-STEM**, במדינות כמו סינגפור וסין האחריות על כל תחומי ה-STEM היא תחת משרד חינוך כתחום ידע אחוד. יש מדינות בהן האחריות מפוצלת, כאשר מדעים ומתמטיקה מנוהלים על ידי משרד החינוך, וטכנולוגיה והנדסה שוהים תחת אחריות משרדים אחרים, כמו משרד החדשנות, הכלכלה או ההשכלה הגבוהה. ויש מערכות חינוך בהן חינוך ה-STEM מבוזר לחלוטין ובתי ספר חופשיים ליישם את הגישה המתאימה להם, כמו בארה"ב או פינלנד¹¹, שבה לרשויות מקומיות ובתי ספר יש אוטונומיה, למרות שהם כפופים לעקרונות שמכתיב משרד החינוך. גם בהיבט של **אחריות גלובלית**, אין ישות אחת האחראית לחינוך STEM, אלא מחזיקי עניין שונים ממלאים תפקידים מכריעים ומספר ארגונים מעצבים מדיניות STEM ברחבי העולם, לדוגמא: **UNESCO** תומך במדיניות STEM במיוחד במדינות מתפתחות, על ידי מתן משאבים, שיתוף שיטות עבודה ועידוד שיתוף פעולה בינלאומי, תוך שימת דגש על **חשיבות התאמת האסטרטגיות להקשרים מקומיים** כדי לשפר תוצאות חינוכיות גלובליות;¹² **OECD** ומבחני **PISA** מודד ביצועי STEM של תלמידים ברחבי העולם; **הפורום הכלכלי העולמי (WEF)** מזהה כישורי STEM הדרושים לשוק העבודה העתידי; **אולימפיאדות בינלאומיות למתמטיקה ומדעים** מקדמות הצטיינות ב-

STEM ברמה גלובלית; וסוכנויות לאומיות – כמו ה NSF - בארה"ב¹³, ה - STEM Futures בבריטניה¹⁴ קואליציית ה - STEM של האיחוד האירופי, והמדיניות הלאומית של סין¹⁵ מעצבות מדיניות STEM ברמה מקומית.

למרות שארגונים בינלאומיים מובילים רואים חשיבות רבה ב - STEM, נראה שהם בעיקר מספקים מסגרות המאפשרות השוואה בין מדינות ומתמקדים בסיווגים חינוכיים רחבים או ספציפיים, והיוזמות הבינלאומיות גם אם הן מסייעות לקבוע מטרות משותפות ולהעריך תוצאות, אינן מתרגמות למסגרת גלובלית אחידה. בפועל, **לא מוקדשת מחשבה מעמיקה להגדרת כשירויות STEM ולא מפותחת או מאושרת מסגרת אוניברסלית לפיתוח הכשירויות הללו**. אפילו הבנק העולמי אשר דן בצורך ההולך וגובר במיומנויות STEM תוך הדגשת שינויים בהתנהגות ואתגרי חינוך (במיוחד באפריקה ובדרום אסיה), מתייחס בעיקר לאתגרי יישום במקום להציע מסגרת לכשירות STEM גלובלית מלוכדת¹⁶. לפיכך, מערכות חינוך לאומיות, לצד יוזמות אזוריות וצד-שלישי, ממשיכות להגדיר וליישם חינוך STEM בהתאם לסטנדרטים וצרכים מקומיים.

במציאות זו מדינת ישראל, שהינה בעלת מסורת של חדשנות טכנולוגית ויזמות חינוכית, ניצבת היום בפני הזדמנות ייחודית להפוך למובילה עולמית בעיצוב חינוך ה-STEM. יכולתה למנף את יתרונותיה הייחודיים – חשיבה יצירתית, טכנולוגיה מתקדמת, וקשרים הדוקים בין מחקר, צבא ותעשייה עשוי לתרום לעיצוב עתיד חינוך STEM בעולם. מאחר והתחום כולו עדיין נמצא בשלבי גיבוש, ללא סטנדרטים אחידים וללא פרדיגמות עבודה מגובשות, נוצר חלון הזדמנויות משמעותי. מדינות וגורמים חינוכיים ברחבי העולם מחפשים כיוונים חדשים להטמעת STEM באופן אפקטיבי, והמדינה או המערכת שתשכיל להגדיר מודלים חדשניים, לקבוע נורמות עבודה וליצור מסגרות מקצועיות תהפוך למובילת דרך. יתר על כן, בהיעדר מדיניות גלובלית אחידה בתחום, **מי שיקדים לבנות מערכות הכשרה למורים, לפתח מתודולוגיות למידה חדשניות ולהנגיש כלים טכנולוגיים ללמידה מותאמת אישית – יהפוך לשחקן מרכזי בזירה החינוכית הבינלאומית.**

החינוך הטכנולוגי בישראל, שכבר משלב הוראה רב-תחומית, פיתוח כישורים מעשיים וחדשנות, יכול לשמש קרקע פורייה לגיבוש מתודולוגיות STEM מתקדמות. פיתוח מסגרת ברורה להטמעת STEM בכל שכבות הגיל, תוך שילוב בין מערכת החינוך, הצבא, האקדמיה והתעשייה, תמצב את ישראל כמובילה בתחום ותהפוך למודל לחיקוי בקרב מדינות מתפתחות ומפותחות.

מטרות המחקר, המסגרת התיאורטית, מתודולוגיה ושיטות מחקר

מטרת המחקר היא לבחון את האופן המיטבי שבו חינוך ה-STEM עשוי להשתלב בחינוך הטכנולוגי, ולשרטט כיווני מחשבה לגבי האופן האופטימלי להטמעתו. על בסיס הממצאים, המחקר שואף לספק לקובעי מדיניות במערכת החינוך את הכלים לקבלת החלטות מיטביות שיבטיחו את האימוץ וההטמעה של חינוך STEM בחינוך הטכנולוגי, באופן שיקדם את הלומדים בכל היבט, תוך התמודדות עם מציאות משתנה ומורכבת.

בבסיס המחקר נמצא תהליך **סריקת וניתוח מגמות עתיד עולמיות**, תוך מיקוד במגמות בעלות פוטנציאל השפעה על מערכת החינוך בישראל בתחומי ה-STEM- והחינוך הטכנולוגי. במסגרת זו קיימת התייחסות גם למחקר המדעי המשתנה אף הוא במציאות הנתונה (פרק 2). בהמשך, יזוהו מודלים שונים של הטמעת חינוך, STEM כולל **שילוב בין תחומי STEM** לבין עצמם ושילוב STEM עם תחומים נוספים, זאת לצד בחינת חשיבות הרצף החינוכי (פרק 3). תבחן האפשרות **להתאמה אישית** בהוראה ולמידה של חינוך STEM ופיתוח **כשירות STEM** רלוונטית (פרק 4). כמו כן ייבדק כיצד נכון לעשות שימוש **בטכנולוגיות חדשניות** כגון בינה מלאכותית, רובוטיקה, מציאות מורחבת ולמידה היברידית (פרק 5). ייבחנו ההיבטים של **ניהול הון אנושי** בהטמעת חינוך STEM, כולל הכשרת מורים ופיתוח מקצועי (פרק 6). ולבסוף יגובשו **מסקנות והמלצות** מעשיות לגבי אופן הטמעת חינוך STEM בחינוך הטכנולוגי בתיכונים בישראל (פרק 7).

המחקר יתבסס על **מסגרת תאורטית רחבה**, הכוללת: **תאוריות חינוך STEM** - סקירה של תאוריות וגישות חינוכיות רלוונטיות לתחום, תוך בחינת מודלים של שילוב בין תחומי דעת ופיתוח מיומנויות רלוונטיות. שימוש **בתאוריות ושיטות מחקר מעולם חקר העתידים**, כגון ניתוח מגמות STEEP וטכניקות חיזוי עתיד. **תאוריות של חדשנות וטכנולוגיה בחינוך** - סקירה של תאוריות וגישות בנוגע לשילוב טכנולוגיות חדשניות בחינוך, במיקוד בטכנולוגיות רלוונטיות לחינוך STEM. **ותאוריות של פיתוח מקצועי וניהול הון אנושי** - סקירה של תאוריות וגישות בנוגע לפיתוח מקצועי של מורים וניהול הון אנושי בהוראה רב תחומית.

הייחודיות במסמך זה הוא **באופן ההסתכלות על ה-STEM בהתבסס על חקר עתידים וזיהוי מגמות העתיד ומנועי השינוי, אלו יאפשרו לנו לזהות מה הכיוונים שיתמכו ביכולת להטמיע את ה-STEM באופן מיטבי במערכת החינוך**. כאמור, על בסיס המידע הזה, יוכלו קובעי מדיניות במערכת החינוך לקבל החלטות מיטביות שיבטיחו אימוץ והטמעה של ה-STEM באופן שיקדם את הלומדים בכל היבט, במציאות המתעתעת סביב.

2. מגמות עתיד בתחום ה-STEM

מגמות STEEP המשפיעות על חינוך STEM (כולל רב דוריות)

העולם עומד בפני תמורות חסרות תקדים במגוון תחומי חיים, הצפויות להשפיע באופן משמעותי על עתיד האנושות בכלל וחינוך ה-STEM בפרט.

מגמות חברתיות (Social)

שינויים דמוגרפיים ואורבניזציה מואצת מגמות ילודה והגירה משנות את מבנה האוכלוסייה. במדינות רבות נרשמת **ירידה דרמטית בשיעור הילודה** לצד **הזדקנות אוכלוסייה**¹⁷ ויותר מבוגרים ופחות צעירים תורמים לשינוי ביחסי התלות ולחץ על מערכות רווחה. במקביל, כוחות העיור גוברים, למעלה ממחצית מאוכלוסיית העולם גרה כיום בערים, וצפוי גידול לכ-68% עד 2050¹⁸. מעבר מאסיבי לערים יוצר **מגה-ערים צפופות** עם אתגרים בתחבורה, דיור וזיהום, ומחייב תכנון עירוני מתקדם להתמודדות עם אי-שוויון ופגיעה.

בריאות הנפש ובדידות כאתגר גלובלי – סדרת משברים (מגפה, אי-יציבות כלכלית, איומי אקלים) הגבירה תחושות חרדה ובדידות ברחבי העולם. רשויות בריאות ציבור מזהירות **שבעיות בריאות הנפש מתגברות**, למשל, משבר הקורונה לווה בזינוק של 25% בשיעורי דיכאון וחרדה בעולם²⁰. דו"ח פינלנדי עדכני מצא שהשילוב בין שינויים בעולם העבודה, משבר האקלים וחוסר ודאות לעתיד **שוחק את החוסן הנפשי** של הציבור²¹ במיוחד בקרב צעירים וארגון הבריאות העולמי מדווח שאחד מכל שבעה מתבגרים בעולם מתמודד עם הפרעת נפש²². בנוסף, ההתמודדות עם "מגפת הבדידות" הפכה דחופה, שכן בדידות ממושכת נקשרת לתוצאות בריאותיות שליליות ברמת הציבור.

חיים דיגיטליים וזהויות וירטואליות – הטמעת הטכנולוגיה בחיי היומיום יוצרת מציאות חברתית חדשה. יותר ויותר אינטראקציות חברתיות, קהילות ואפילו מרחבי עבודה וחינוך מתנהלים באופן וירטואלי. צעירים גדלים בעולם של **זהויות מקוונות מרובות** וקהילות דיגיטליות, למשל במרחבי מטאורס ומשחקי רשת, מאפשרים לכל אדם "להמציא את עצמו מחדש" במספר זירות. במקביל, מתפתחת תופעת **שבטיות וירטואלית** – אנשים מתגבשים בקהילות מקוונות סביב תחומי עניין או אידאולוגיות משותפות, לעיתים על חשבון קשרים בקהילה. מגמות אלו מרחיבות את גבולות הזהות וההשתייכות החברתית, אך גם מעלות חשש מפני **התנתקות חברתית** בעולם האמיתי והעמקת הבועות החברתיות והקיטוב ברשת ובכלל.

ערכים חברתיים משתנים – בעשור הקרוב צפויה האצה בשינוי ערכים ודפוסי תרבות. דור ה-Z - והאלפא מביאים עמם דגש על **גיוון, הכלה ושוויון** ושינוי בגישות כלפי עבודה, חינוך ומשפחה. במקביל, גוברת המוכנות האזרחית להתאגד סביב מטרות – מתנועות אקלים עולמיות ועד מחאות למען צדק חברתי. אנו עדים **להקצנת קיטוב פוליטי-חברתי** בחברות רבות: פילוג בין קבוצות אידאולוגיות וגיאוגרפיות, אובדן אמון במוסדות ותפוצה רחבה של מידע כוזב ברשתות החברתיות. תופעת **פוסט-אמת** זו פוגעת בלכידות החברתית ובאמון בין אזרחים לממשל (**פירוט בהיבט הפוליטי**). מנגד, אותם כלים דיגיטליים בדיוק מאפשרים גם ארגון מהיר של מחאה אזרחית והגברת מודעות ציבורית. שתי המגמות הסותרות הללו, **פולריזציה מול התעוררות אזרחית**, יעצבו את המרקם החברתי בשנים הבאות.

עתיד העבודה והלמידה – הסתגלות מתמדת – המהפכה הטכנולוגית משנה מהיסוד את אופי התעסוקה וההשכלה, **אוטומציה ובינה מלאכותית** נכנסות לכל תחומי המשק, ודוחפות ארגונים ואינדיבידואלים לאמץ מודלים חדשים. לפי הפורום הכלכלי העולמי, 42% ממשימות העבודה צפויות להתבצע באופן אוטומטי כבר בשנת 2027²³, מה שעלול לייתר תפקידים מסורתיים רבים, לפגוע במיוחד באוכלוסיות מוחלשות ולהרחיב פערים סוציאקונומיים. כדי להתמודד, אנו צפויים לראות דגש על **למידה לאורך החיים** (Lifelong Learning) והסתגלות מהירה לשינויים. מערכות חינוך מתנסות בשילוב למידה מרחוק, הכשרות ממוקדות מיומנויות, וגישות גמישות המתעדפות חשיבה ביקורתית ויצירתיות, חשיבה אנליטית, חוסן וגמישות, מנהיגות והשפעה, חשיבה יצירתית ומודעות עצמית, כישורים שקשה להחליף במכונה. שוק העבודה עצמו נעשה גמיש ו"GIIG" יותר, עם עליית הפלטפורמות לעבודה במיקור חוץ וכלכלה שיתופית. מגמות אלו מצריכות מדיניות חברתית-כלכלית חדשה (דוגמת תוכניות להסבת מקצוע ומערכי רשת ביטחון) כדי למנוע אבטלה מבנית והעמקת אי-השוויון.²⁴

מגמות טכנולוגיות (Technological)

מהפכת הבינה המלאכותית ולמידת מכונה: הבינה המלאכותית צועדת לעבר מרכז הבמה הטכנולוגית. שנת 2023 סימנה זינוק אדיר בבינה המלאכותית היוצרת. דגמים כמו 4-GPT ויוצרי אומנות מבוססי בינה מלאכותית פרצו לתודעה ציבורית, עם עלייה של כמעט 700% בחיפוש אחר בינה מלאכותית יוצרת ברשת. טווח הנתונים שטכנולוגיות אלו יכולות לעבד גדל פי 20 בשנתיים, וכיום הן מסוגלות לנתח טקסט, תמונה, אודיו ווידאו יחד. כיום, הבינה המלאכותית מחלחלת לכל תחום, משימוש כעוזרי מחקר וכותבי תוכן, דרך צ'טבוטים חכמים בשירות לקוחות ועד האצת גילוי תרופות. במקביל, מתפתחים דגמי **בינה מלאכותית כללית (AGI)** המסוגלים לבצע

משימות מורכבות ברמת גמישות דמוית-אדם. מהפכת הבינה המלאכותית צפויה להעצים פרודוקטיביות אך גם להחליף משרות רבות ומעלה סוגיות אתיות של הטיה, פרטיות ואמינות. לצד הבינה המלאכותית טכנולוגיות נלוות כמו נתוני עתק, ענן ואינטרנט של הדברים (IoT) יוצרות מערכות מקושרות ורוויות נתונים, הדורשות גם פתרונות **אמון דיגיטלי** והגנת סייבר משופרת.

הנדסה ביולוגית ותעצום אנושי (Human Augmentation) - קו התפר בין טכנולוגיה לאדם מיטשטש עם התקדמות הביוטכנולוגיה. פיתוחי **עריכת גנים** (CRISPR) מאפשרים לרפא מחלות תורשתיות ואפילו לתכנן בעלי חיים וצמחים בעלי תכונות חדשות. **ריפוי גנטי** ומחקרי הארכת חיים מצביעים על עתיד של חברה מאריכת ימים מבוססת חזון של הזדקנות איטית יותר וייתכן אף היפוך תהליכי ההזדקנות באמצעות התערבות מדעית. ולצד זה **ביולוגיה סינתטית** מתפתחת ליצירת אורגניזמים חדשים מאפס, ייצור בשר מתורבת וחלבונים חלופיים, מהפכה שעשויה לשנות את שרשראות המזון והתעשייה הרפואית מן היסוד.

ממשק אדם מכונה וטרנס הומניזם - תחום ה**סייבורגים** צובר תאוצה. שתלי שבבים במוח (ממשקי מוח-מכונה) וטכנולוגיות לבישות מתקדמות עשויים להרחיב את היכולות החושיות והקוגניטיביות של בני אדם וניסויים כבר הדגמו כיצד חזרה יכולת תנועה למשותקים באמצעות שתלים מוחיים. הדבר מעלה תהיה האם **שילוב בין אדם למכונה הוא טרנס-הומניזם**²⁵ ? ונראה שהתשובה לכך תלויה במטרת השילוב. אם השילוב מיועד לשיקום או תמיכה רפואית (כגון שתלים לשיקום שמיעה, לב מלאכותי) מדובר בטכנולוגיה רפואית מתקדמת. **שילוב מכון לשיפור היכולות האנושיות מעבר לטבעי** (שתלים מוחיים להגברת אינטליגנציה, גוף עמיד להזדקנות, ממשקי מוח-מחשב, פרוטזות חכמות, שבבים לזיכרון משופר, ותוספות קיברנטיות שמרחיבות יכולות פיזיות וקוגניטיביות) משמעו **טרנס-הומניזם** מובהק, והוא קורה כבר היום בתחומים כמו **רפואה** (שתלים נוירולוגיים, עיניים ביוניות), **חינוך** (שיפור למידה עם ממשקים מוחיים), **וביטחון** (חיילים עם חיישנים מתקדמים). כאשר **המטרה היא יצירת מיזוג הדוק של תודעה אנושית ובינה מלאכותית**, כמו העלאת תודעה לענן או יצירת אדם סייבורג עם תודעה משופרת כבר מדובר ב**פוסט-הומניזם** - זהו שלב קיצוני יותר הבוחן כיצד טכנולוגיה, בינה מלאכותית, ביו-הנדסה וממשקי מוח-מחשב יכולים **לשנות לחלוטין את מהות האנושיות** ואף להוביל ליצורים חדשים שחורגים מהגדרת ה"אדם" כפי שמוכר לנו כיום. אין ספק שזוהי מגמה רדיקלית שתעלה דילמות אתיות, כמו לדוגמא, פער בין אנשים משופרים ולא-משופרים.

מחשוב קוונטי ודור חדש של עוצמת מחשוב - המרוץ למחשבי-על קוונטיים צובר

תאוצה ככל שארגונים וממשלות משקיעים בטכנולוגיה שעשויה לפתור בעיות חישוב שהיו בלתי-פתירות עד כה. מערכות קוונטיות יכולות בתוך עשור להגיע לרמת חישובים שתשבור סטנדרטים קיימים של הצפנה ואבטחה. מגמה זו מעוררת גם **מרוץ חימוש במרחב הסייבר** – מדינות מנסות לפתח הצפנות פוסט-קוונטיות כדי להגן על מידע רגיש. במקביל, טכנולוגיות חומרה חדשניות כמו **חומרים תלת-ממדיים/ארבע-ממדיים** (חומרים משתנים) ומוליכי-על בטמפרטורת חדר נמצאים במחקר, והם עשויים לאפשר דור חדש של מחשוב מהיר ויעיל באנרגיה. התקדמות המחשוב תספק תשתית לפיתוחי בינה מלאכותית מתקדמים, ניתוח כמויות עתק של מידע בזמן אמת, וסימולציות מורכבות (כמו חיזוי אקלים מדויק או עיצוב תרופות באופן וירטואלי). אולם, היא גם תדרוש התאמה רגולטורית ואבטחתית כדי להתמודד עם כוחה העצום של הטכנולוגיה.

טכנולוגיה אימרסיבי – חוויות מציאות מדומה, רבודה ומטאורס (Immersive tech) - אנו מתקרבים למציאות בה הגבולות בין הממד הפיזי לדיגיטלי מיטשטשים. מציאות מדומה ורבודה (VR/AR) נעשות נגישות ונטמעות בתחומי בידור, חינוך ועבודה. חברות מובילות עובדות על יצירת **מטאורס**, מרחבי-על וירטואליים מקוונים בהם אנשים יכולים לעבוד, לשחק ולתקשר באמצעות אווטרס (יצגנים). כבר כיום מתפתחות טכנולוגיות **לצלילה רב-חושית** – שילוב הולוגרמות, מישוש וקול ליצירת חוויה דיגיטלית מלאה. מגמה זו משנה את פני הקמעונאות (חנויות וירטואליות), התיירות (סיורים במציאות מדומה), וההכשרה המקצועית (סימולציות בינה מלאכותית למסוכן ולמורכב). במקביל צומח שוק **אסימון חסר תחליף – NFT** (Non fungible tokens) המייצג נכס ייחודי בכלכלת היצירה הדיגיטלית, שבה זהויות ופריטים וירטואליים מקבלים ערך ממשי. האתגר יהיה לבנות תשתיות מהירות (G/6G5) ומחשוב קצה שיאפשרו חוויה חלקה למיליוני משתמשים בו-זמנית, וכן להסדיר את המרחב הווירטואלי (בעלות על נכסים דיגיטליים, פרטיות, רגולציית תוכן) כדי להגן על המשתתפים.

אוטומציה רובוטית ועצמאות מכונה – שילוב התקדמות בבינה מלאכותית חיישנים וחומרה מניע דור חדש של **רובוטים אוטונומיים**. אנו צפויים לראות התרחבות של **קהילות רובוטיות מקושרות**, בהן רובוטים מתקשרים ומשתפים פעולה זה עם זה בסביבות שונות, כאשר תחבורה אוטונומית היא דוגמה בולטת: רכבים ללא נהג כבר נוסעים בערים מסוימות ומערכות תחבורה ציבורית אוטונומיות מתוכננות להפחית תאונות ועומסי תנועה. גם בתחומים כמו לוגיסטיקה (מחסנים חכמים עם רובוטים), חקלאות (מכונות חקלאיות רובוטיות) ובריאות (רובוטים מסייעים בניתוחים או בטיפול בקשישים) האוטומציה מתרחבת. בשנת 2023 נרשם עניין שיא ברובוטיקה תעשייתית,

בין היתר בהשפעת הזינוק בבינה המלאכותית. המרוץ לאוטומציה רחבת היקף מאיץ את הפרודוקטיביות אך מחייב היערכות לשוק עבודה משתנה (הרחבה בהיבט הכלכלי). כמו כן, עולה חשיבות **אבטחת סייבר** למערכות אוטונומיות, מחשש לשיבושים בזדון בתשתיות רובוטיות קריטיות.

ההתכנסות הטכנולוגית (Technological Convergence) מהווה את השלב הבא של האבולוציה הטכנולוגית - מגמת זו מסמנת מעבר מגישות נפרדות של פיתוחים טכנולוגיים **לתפיסה מערכתית שבה טכנולוגיות שונות מתחומים מגוונים משתלבות ויוצרות מכלול חדשני, שבו כל טכנולוגיה תורמת את חלקה**. מגמה זו מהווה את שלב ההתפתחות הבא של הטכנולוגיה, שבו החדשנות אינה מתמצה בפיתוח תחומים ספציפיים, אלא ביצירת אינטגרציה בין דיסציפלינות שונות, מה שמוביל לפריצות דרך טכנולוגיות מרחיקות לכת. מגמה זו באה לידי ביטוי באופן מובהק בתחום **הביו-קונברג'נס** (Bio-Convergence), המשלב ביולוגיה, הנדסה, פיזיקה, כימיה, מדעי המחשב ומתמטיקה ליצירת פתרונות פורצי דרך בתחומים כמו בריאות, חקלאות ואנרגיה. דוגמא לביטויים של ביו-קונברג'נס בטכנולוגיה אורגנית²⁶: **פיתוח ננו-רובוטים ביולוגיים** לשינוע מדויק של תרופות בגוף האדם, משפר את היעילות ומפחית תופעות לוואי; ומהפכה בבדיקות פרמצבטיות המבוססת על **אורגנואידים** - מודלים תאיים תלת ממדיים שמקורם בתאי מטופל²⁷ המספקים פלטפורמות רלוונטיות לבדיקת תרופות ובדיקות רעילות של הפרט, מפחיתים את ההסתמכות על מודלים של בעלי חיים ומאפשרים רפואה מותאמת אישית; **ואיבר על שבב**²⁸, הכולל שילוב רקמה ביולוגית על שבבים אלקטרוניים מאפשר לבחון השפעות תרופתיות ולשפר תהליכי פיתוח רפואיים. ולבסוף, שילוב אורגנואידים עם מכשירים **מיקרופלואידיים** (מיקרופלואידיקה - מדע החוקר התנהגות נוזלים דרך מיקרו-ערוצים, וגם טכנולוגיה של ייצור מכשירים ממוזערים המכילים תאים ומנהרות שדרכם נוזלים זורמים/כלואים), מאפשרת לחוקרים לחקות תפקודי איברים אנושיים במבחנה. מערכות אלו משפרות את החיזוי של תגובות לתרופות, מאפשרות הסקת מסקנות איכותית ומפחיתות בחדות את הניסויים בבעלי חיים.

מגמות כלכליות (Economic)

שינויים בשוק העבודה - מגמות השינוי המבני בשוק העבודה צפויות לשנות 22% מהתעסוקה הנוכחית עד 2030. מגמות אלו יובילו ליצירת 170 מיליון משרות חדשות, אך הצמיחה תתאזן על ידי אובדן של 92 מיליון משרות, מה שיביא לגידול נטו של 7% בסך התעסוקה, כלומר 78 מיליון משרות נוספות. דוח "עתיד המשרות 2025" של הפורום הכלכלי העולמי מזהה מספר כוחות מרכזיים שישפיעו על שוק העבודה העולמי עד שנת 2030: **שינוי טכנולוגי, פירוק גאו-כלכלי, חוסר ודאות כלכלי, שינויים**

דמוגרפיים ומעבר לכלכלה ירוקה. כל אחד מהכוחות הללו, בנפרד ובשילוב, צפוי לעצב את השוק בצורה משמעותית. **ההרחבה של הגישה הדיגיטלית** צפויה להיות המגמה המשפיעה ביותר, עם 60% מהמעסיקים שמצפים שהיא תשפיע על עסקיהם עד 2030. בנוסף, התקדמות בבינה מלאכותית (86%), רובוטיקה (58%) וייצור אנרגיה (41%) צפויים לשמש ככוחות שינוי משמעותיים. מגמות אלו יובילו לצמיחה מהירה של תפקידים מסוימים וירידה בתפקידים אחרים, ויגדילו את הביקוש לכישורים טכנולוגיים כמו בינה מלאכותית, נתוני עתק ואבטחת סייבר. **עליית יוקר המחיה** מדורגת במקום השני מבחינת השפעתה על שוק העבודה, עם מחצית מהמעסיקים שמצפים שתשפיע על עסקיהם עד 2030. האטה כלכלית צפויה לשנות 42% מהעסקים, עם צפי לאובדן 1.6 מיליון משרות ברחבי העולם. מגמות אלו יגבירו את הביקוש לחשיבה יצירתית, חוסן וגמישות. **הפחתת שינויי האקלים**, הקשורה למעבר לכלכלה ירוקה, מדורגת במקום השלישי. הסתגלות לשינויי האקלים מדורגת במקום השישי, עם 47%-41% מהמעסיקים, בהתאמה, שמצפים שמגמות אלו ישפיעו על עסקיהם. מגמות אלו יובילו לביקוש למשרות בתחום האנרגיה המתחדשת והרכבים החשמליים, ויגבירו את ההתמקדות באחריות סביבתית. **שינויים דמוגרפיים** כמו הזדקנות אוכלוסיות בגיל העבודה, במיוחד בכלכלות עתירות הכנסה, לצד התרחבות אוכלוסיות בגיל העבודה בכלכלות מעוטות הכנסה, מגדילים את הביקוש לכישורים בניהול כישרונות, חינוך והדרכה. אוכלוסיות מזדקנות יוצרות ביקוש למשרות בתחום הבריאות, בעוד אוכלוסיות צעירות מגדילות את הצורך במורים. **ופירוק גאו-כלכלי** בשל מתחים גיאופוליטיים צפוי להניע שינוי במודלים העסקיים של כשליש מהארגונים. מגבלות גוברות על סחר והשקעות משפיעות על פעילות העסקית, ומניעות ביקוש לתפקידי אבטחה, כישורים טכנולוגיים נוספים ומיומנויות ניהוליות כמו חוסן וגמישות.

שינוי מוקדי הכוח בכלכלה הגלובלית – המשק העולמי מתקדם אל עבר מציאות **רב-קוטבית**. בעוד כלכלות מערביות מסורתיות חוות האטה מסוימת, מדינות מתפתחות מובילות צמיחה מהירה. למשל, סין, הודו ומדינות דרום-מזרח אסיה מתחזקות כמרכזי כוח כלכלי, ואפריקה **מסתמנת כזירת צמיחה מרכזית** בעשורים הבאים כאשר המשמעות היא שינוי בתבניות הסחר וההשקעה. יותר חברות מתרחבות לשווקים מתפתחים, ושרשרות אספקה מסתעפות מעבר למערב. במקביל, גוברת **הטיה אסימטרית** בכלכלה הגלובלית – אסיה צפויה לתפוס נתח גדול עוד יותר מהתוצר העולמי. כאמור, שינויי הכוח הללו כבר מעוררים מתחים גאו-כלכליים: לדוגמה, יחסי ארה"ב-סין רצופים במתחים מסחריים וטכנולוגיים המשפיעים על רה-ארגון שרשרות האספקה²⁹. יש הרואים במצב זה עליית **הגלובליזציה 2.0** - **מעבר מכלכלה גלובלית ריכוזית לכלכלה מבוזרת ורב-מוקדית**.

אוטומציה, תעסוקה ומודלי רווחה חדשים – הבינה המלאכותית, הרובוטיקה והאוטומציה מעצבות מחדש את שוק העבודה העולמי. הערכות עדכניות של קרן המטבע הבינלאומית מצביעות על כך שכ-40% מהמשרות בעולם חשופות להשפעת הבינה המלאכותית חלקן ייעלמו וחלקן ישתנו וידרשו מיומנויות חדשות³⁰. למעשה, במדינות מפותחות עד 50-60% מהמשרות עלולות להיפגע אם משימותיהן יבוצעו ע"י בינה מלאכותית בעוד שבשווקים מתפתחים השיעור נמוך יותר (25-40%) בשל ריכוז תעסוקה בענפים פחות אוטומטיביים. מציאות זו תחייב **חשיבה מחודשת על מודלי רווחה**, וכבר קיים שיח בינלאומי על רעיונות כמו **הכנסה בסיסית אוניברסלית** (UBI) כדי לתמוך במובטלי טכנולוגיה. כמו כן, יושם דגש על הסבה מקצועית והכשרות בעבודות העתיד (למשל בתחומי טכנולוגיה, נתונים וטיפול באנשים). מגמות אלו יוצרות לחץ על הממשלות לאזן בין **הזינוק בפריזון הכלכלי** שמביאה האוטומציה, לבין **מניעת אבטלה ופערי אי-שוויון** המחריפים כתוצאה מאובדן מקומות עבודה של עובדים מיושני-מיומנות.

מודלים פיננסיים חדשים וכלכלה מבוזרת – החדשנות הטכנולוגית והתמורות החברתיות יוצרות גם **אבולוציה של מודלים כלכליים**. בעידן הדיגיטלי צומחות צורות חדשות של כסף ועסקים: **מטבעות דיגיטליים** (מטבעות קריפטוגרפים או מטבעות דיגיטליים של בנקים מרכזיים) משנים את פני המערכת המוניטרית, ופלטפורמות בלוקצ'יין מאפשרות עסקאות מאובטחות ללא מתווכים מסורתיים. במקביל, כלכלת השיתוף (Uber, Airbnb) ודומיהן הפכה למיינסטרים, ומודלים כמו **הכל כשירות** (XaaS - Everything as a Service) צוברים תאוצה. גם **כלכלה מעגלית** המקדמת מיחזור מלא של משאבים ומניעת פסולת, מתפתחת בתגובה ללחצי הקיימות, ועסקים מאמצים מודלים של ייצור מחדש ושימוש חוזר. מגמה נוספת היא **מהפכת הפרסונליזציה בכלכלה**: ניצול נתוני עתק כדי להתאים מוצרים ושירותים באופן אישי לכל צרכן. שינויים אלו מערערים מודלים עסקיים ותיקים, למשל קמעונאות מסורתית מול eCommerce, בנקים מול פינטק, אך גם פותחים הזדמנויות לחדשנות ויעילות. עם זאת, הרגולציה ניצבת בפני אתגר להדביק את הקצב, בעיקר בתחומי הפינטק, הקריפטו והגנת המידע בעידן הכלכלה הדיגיטלית.

לחץ לקיימות ושילוב ערכים חברתיים בכלכלה – משבר האקלים והסביבה לצד לחצי החברה האזרחית, מובילים לשילוב שיקולי קיימות וצדק חברתי בלב המערכת הכלכלית. יותר משקיעים מאמצים קריטריונים של ESG (סביבה, חברה וממשל), ושווקים מפתחים **מנגנוני תמחור פחמן ומסחר בזכויות פליטה** – קרי, כלים כלכליים להפחתת פליטות גזי חממה. **מס פחמן**³¹ – מטיל תשלום ישיר על פליטות, מה שיוצר תמריץ כלכלי להפחתתן. **ומערכת סחר בפליטות** (Cap-and-Trade³²) – מגבילה את

כמות הפליטות הכוללת ומאפשרת לחברות לסחור בזכויות פליטה, כך שחברות שמצליחות להפחית פליטות יכולות למכור את היתרה לחברות אחרות. מנגנונים אלה מסייעים במעבר לכלכלה דלת-פחמן ומעודדים חדשנות באנרגיה נקייה. כדי לתמרץ הפחתת גזי חממה בשנת 2023, הושקעו טריליוני דולרים באנרגיה מתחדשת³³ תוך הבנה **שמעבר ירוק אינו רק דרישה סביבתית אלא גם הזדמנות עסקית.**

כלכלת הטיפול והבריאות – המכונה **כלכלת דאגה** גם היא צומחת לאור ההכרה בכך ששלומות האזרחים היא נכס כלכלי. הדבר מוביל להשקעות במערכות בריאות, טיפול באוכלוסייה מזדקנת, ותמיכה נפשית. במקביל, אי-שוויון גדל מעורר דיון בדבר **כשלים במודל הקפיטליסטי הנוכחי** בו העושר מרוכז בידי קומץ קטן יותר של אנשים, בעוד רבים נותרים מאחור. כתוצאה, גובר קול הקורא ל"קפיטליזם קשוב" או מודלים אלטרנטיביים כגון **צמיחה דו-ערכית** (³⁴Inclusive Growth), משמע צמיחה כלכלית המבטיחה שהיתרונות מתחלקים באופן שווה בין כל שכבות החברה, תוך צמצום פערים חברתיים וכלכליים. גישה זו שואפת להרחיב הזדמנויות כלכליות, להשקיע בהון אנושי, ולעודד חדשנות מכלילה, כדי לוודא שהשגשוג הכלכלי מחלחל לכלל האוכלוסייה. ההערכה היא שעסקים וממשלות שיעניקו עדיפות לקיימות, אחריות חברתית והוגנות עשויים לזכות בלגיטימציה וביציבות גבוהות יותר, גם אם היום התחושה היא שהפרוגרסיביות המוחצנת פגעה במגמה זו.

אסטרטגיות להגדלת חוסן כלכלי – העולם חווה בעת האחרונה אי-יציבות ועמידות כלכלית בעידן של זעזועים משמעותיים – מגפה עולמית, מלחמות אזוריות (המלחמה באוקראינה ובישראל ומתחים נוספים בעולם) ומשברי אנרגיה. אירועים אלו חשפו את **שביריותן של שרשראות אספקה גלובליות** ואת הסיכון בהסתמכות על יצרן יחיד או אזור יחיד לאספקת מוצרים קריטיים. כתוצאה, במטרה להפחית סיכונים גיאופוליטיים, חברות ומדינות מאמצות אסטרטגיות להגדלת חוסן כלכלי באמצעות פיזור ייצור ואחסון, השקעה במלאים קריטיים, ואף העברת ייצור חזרה למדינה (on-shoring) או למדינות ידידותיות (friend-shoring). בנוסף, הבנקים המרכזיים והרגולטורים מזוהים את הצורך לייצר מרחבי ביטחון פיננסיים, כמו דרישות הון גבוהות יותר בבנקים ויצירת קווי חילוץ במשברים. בעשור הקרוב, כלכלה שתדע לספוג ולהתאושש מזעזועים (Resilient Economy) תהיה יעד מרכזי. הדבר מתבטא גם **בחדשנות בתחומי ביטוח ואקטואריה**, המנסים לתמחר סיכונים חדשים (כמו אירועי אקלים קיצוניים) בתוך המודלים. אמנם לא ניתן למנוע משברים לחלוטין, אך בניית עמידות תגביר את היציבות הכלכלית ותקנה אמון למשקיעים ולאזרחים.

מגמות סביבתיות (Environmental)

החרפת שינוי האקלים והשלכותיו – משבר האקלים מאיץ והולך בקצב מעורר דאגה, והעשור הקרוב עלול להביא לנקודות מפנה בלתי-הפיכות. ארגון המטאורולוגיה העולמי (WMO) קבע כי **2023 הייתה השנה החמה ביותר שתועדה אי פעם** עם עלייה של כ-1.45° צלזיוס בממוצע הגלובלי מעל העידן הטרומ-תעשייתי³⁵. המשמעות היא שגלי חום קיצוניים, שריפות ענק, שיטפונות ובצורות הופכים לתופעות תכופות ונרחבות. מדענים מזהירים שאנו מתקרבים לנקודות אל-חזור (tipping points) במערכת האקלים – למשל, התכת קרחוני גרינלנד ואנטארקטיקה שעשויה להעלות משמעותית את מפלס הים, או הפשרת קרקעות קפואות (Permafrost) שעלולה לשחרר כמויות עתק של מתאן לאטמוספירה³⁶. השפעות אלו מציבות סיכון קיומי לחברות אנושיות: אזורים נמוכים עלולים להפוך בלתי-ראויים למגורים, מערכות חקלאיות ותשתיות יעמדו תחת עומס, וגלי **הגירה אקלימית** יצברו תאוצה. לפיכך, בשנים הקרובות נראה דגש גובר על **היערכות והסתגלות** – בניית סכרים ומחסומים מפני הצפות, תכנון ערים עמידות לחום, שדרוג מערכי חירום והצלה, ועוד. במקביל, מתחולל דיון גלובלי סביב פתרונות קיצוניים כגון הנדסת אקלים (Geoengineering) התערבות מכוונת במערכת האקלים (למשל פיזור חלקיקים באטמוספירה לחסימת שמש) כאמצעי חירום לבלימת ההתחממות³⁷. טכנולוגיות אלה צוברות עניין אך גם חששות רבים ומחייבות רגולציה בינלאומית למניעת שימוש לא אחראי.

משבר המגוון הביולוגי והכחדה המונית – משבר הטבע מהווה איום רדיקלי בפני עצמו. דו"ח WWF (2024) התריע על **קריסה קטסטרופלית במגוון המינים**, לאור ירידה ממוצעת של 73% בגודל אוכלוסיות חיות הבר בעולם מאז 1970. מדובר על הרס בתי גידול, ניצול יתר של משאבי טבע וזיהום והתפשטות מצד מינים פולשים. דעיכת המגוון הביולוגי מסכנת את **שרשרת המערכות האקולוגיות** התומכות בחיי האדם – האבקה יבולים, טיהור מים, יציבות אקלים וכד'. **מדענים מזהירים שאנו ניצבים בפני אירוע הכחדה המוני שישי בהיסטוריה הגיאולוגית, הפעם כתוצאה מפעילות אדם**. ההשלכות הכלכליות והחברתיות עלולות לכלול: קריסה של ענפי דיג וחקלאות, התפרצות מחלות (ככל שמערכות אקולוגיות מתערערות), ופגיעה בתרבויות מקומיות התלויות בטבע. בתגובה, העולם מתחיל להקים שמורות ימיות נרחבות וקובע יעדים לשיקום מערכות אקולוגיות. גם המודעות הצרכנית לערכי טבע גדלה (למשל ביקוש למוצרים שאינם פוגעים בסביבה). אולם הפער בין קצב ההרס לקצב התיקון עדיין עצום. בשנים הבאות יידרשו מאמצי השימור לכלול צעדים רדיקליים יותר כמו **השבת מינים לחיים** (de-extinction) או **הנדסה גנטית להצלת מינים נכחדים**, צעדים הנשמעים כמו מדע בדיוני עשויים להפוך למציאות אפשרית.

מהפכת האנרגיה הנקייה והפחתת הפחמן – תחום האנרגיה עובר טרנספורמציה מהירה לטובת **מקורות מתחדשים ודלי-פחמן**, במטרה לבלום את פליטות גזי החממה. שנת 2023 הייתה שיאנית בהתקנות אנרגיה מתחדשת: לפי סוכנות האנרגיה הבינלאומית, התווספו בעולם כ-440 גיגה-ואט של כושר ייצור מתחדש חדש, יותר מכל כושר הייצור החשמלי של גרמניה וספרד גם יחד. סין לבדה הוסיפה באותה שנה יותר מתקני שמש משהיה בארה"ב עד אז. מעבר זה מונע לא רק מדאגה סביבתית אלא גם מסיבות כלכליות, עלות החשמל הסולארי והרוח צנחה מתחת לעלות דלקים פוסיליים ברוב אזורי העולם, מה שהופך את הבחירה באנרגיה נקייה למשתלמת. נוסף על כך, מדיניות ציבורית תומכת, המקצה מאות מיליארדים לאנרגיה ירוקה, מדרבנת את המעבר. התוצאה היא שווקים חדשים בהיקף טריליוני דולרים: אנרגיה סולארית, רוח, סוללות ואגירת אנרגיה, רשתות חשמל חכמות, רכבים חשמליים, ומימן ירוק. מומחי אקלים מציינים כי **הטרנספורמציה האנרגטית היא כעת בלתי נמנעת** – גם אם תהיה התנגדות מצד תעשיות נפט וגז, המגמה הכלכלית-טכנולוגית כבר ברורה. בעשור הקרוב נראה האצה נוספת בטכנולוגיות כדוגמת היתוך גרעיני (כמקור אנרגיה נקי בלתי מוגבל) ומערכות אגירה מתקדמות, לצד מאמצים מדינתיים ובינלאומיים להגיע ליעדי **נטו-אפס פליטות** באמצע המאה.

מחסור במשאבים חיוניים והשלכותיו הגאו-פוליטיות – עם גידול האוכלוסייה והכלכלה, עולה הלחץ על משאבי טבע מוגבלים. מים מתוקים, הופכים למשאב נדיר ומשבר מים חמור מאיים על מיליונים במזרח התיכון, אפריקה ודרום אסיה בשנים הקרובות. גם מחצבים ומתכות נדירים (כמו ליתיום, קובלט ונחושת), החיוניים לטכנולוגיות ירוקות ולמוצרי אלקטרוניקה, צפויים להימצא בביקוש גבוה בהרבה מההיצע הגלובלי. **התחרות הגוברת על משאבים קריטיים עלולה להצית מתחים גאו-פוליטיים**, לאור "המרוץ למינרלים" בין מעצמות יוצר חשש מפגיעה בביטחון הלאומי, כאשר מדינות שואפות להבטיח גישה לחומרי גלם אסטרטגיים. כפועל יוצא, עשויים להתגבש שיתופי פעולה בינלאומיים חדשים – כגון **קרטלים של מתכות נדירות או בריתות מים אזוריות** – לצד פיתוחים טכנולוגיים שיאפשרו מיחזור מתקדם יותר ושימוש בחומרים חלופיים, כמו חומרים ביולוגיים במקום פלסטיק.

שרשראות אספקה בנות קיימא ורגולציה סביבתית – בעקבות המחסור במשאבים והדרישה הגוברת למוצרים בני-קיימא, עסקים וממשלות מקדמים מודלים של **שרשראות אספקה ירוקות** – מנגנוני ייצור ושינוע שנועדו לצמצם השפעות סביבתיות ולהבטיח שימוש יעיל במשאבים. מגמה זו כוללת מעבר לכלכלה מעגלית, שבה תאגידי ענק מתנסים במודלים של **אפס פסולת**³⁸ – עיקרון השואף למזער ככל האפשר את ייצור הפסולת באמצעות מניעה, שימוש חוזר, מיחזור וקומפוסטציה. במקביל, **שקיפות**

סביבתית מלאה³⁹ הופכת לדרישה מרכזית: ארגונים מחויבים לחשוף באופן גלוי ומפורט את השפעתם הסביבתית, כולל פליטות מזהמות, צריכת משאבים ומחזור חיי מוצרים. כתוצאה, ממשלות מטמיעות רגולציות חדשות, כמו חובת דיווח על טביעת הרגל הפחמנית של מוצרים, כדי לכוון את השוק לניצול משאבים צודק ויעיל יותר.

שתי המגמות האחרונות משלימות זו את זו - מחסור במשאבים מחייב חדשנות ושיתופי פעולה גלובליים, בעוד שהמעבר לשרשראות אספקה ירוקות ורגולציות סביבתיות נועד להבטיח קיימות כלכלית וסביבתית בטווח הארוך.

משבר האקלים - המאבק בין לחץ ציבורי להתנגדויות פוליטיות וכלכליות - ההתעוררות הציבורית והמדינית למשבר הסביבתי מתאפיינת בשילוב צעדים פרואקטיביים לצד אתגרים והתנגדויות משמעותיות⁴⁰. מחד, מיליוני צעירים ברחבי העולם משתתפים במחאות אקלים, ותנועות כמו **ימי שישי למען העתיד** הדורשות שינוי, לוחצות על ממשלות לנקוט בפעולה. כתוצאה, מדינות רבות מכריזות על מצב חירום אקלימי ומגבשות חקיקה שאפתנית, כמו ה - ⁴¹European Green Deal של האיחוד האירופי, שנועד להפחית פליטות גזי חממה ולשמור על הסביבה. גם בזירה הבינלאומית נחתמים הסכמים חדשים המכוונים ליציאה הדרגתית מדלקים פוסיליים ולהקמת מנגנוני מימון שיסייעו למדינות הפגיעות ביותר לשינויי האקלים. עם זאת, למרות הקונצנזוס המדעי הרחב בנוגע למשבר האקלים, **קיימת תנועה נגדית משמעותית המטילה ספק בצעדים הירוקים, ולעיתים אף חותרת תחתיהם**. התנגדויות אלה נפוצות בקרב קבוצות פוליטיות, תעשיינים ובעלי אינטרסים כלכליים. יתרה מזאת, למרות הצהרות ומחויבויות פומביות של ממשלות, הפערים בין המדיניות המוצהרת ליישום בפועל ניכרים, כאשר במדינות רבות, כולל ישראל, ההתקדמות ביישום צעדים להפחתת פליטות גזי חממה נותרת איטית. המעבר לכלכלה ירוקה דורש השקעות אדירות ועשוי להשפיע על תעשיות מסורתיות, ומעורר חששות בנוגע לאובדן מקומות עבודה והשפעות מקרו-כלכליות רחבות. לכן, הלחץ הציבורי והממשלתי אמנם מניע שינוי, אך כדי שהשינוי יהיה אמיתי ובר-קיימא, יש צורך להתמודד עם האתגרים הרבים שממשיכים לעכב את התקדמותו.

מגמות פוליטיות (Political)

המאבק בין דמוקרטיה לאוטוקרטיה מחריף - דמוקרטיה ותירות רבות חוות שחיקה, והמערכת הפוליטית הגלובלית ניצבת בפני התנגשות ערכים בין מודלים דמוקרטיים לאוטוקרטיים. בשנים האחרונות מואצת המגמה בה מנהיגים פופוליסטיים ואתנו-לאומניים מערערים נורמות דמוקרטיות מבפנים, ואפילו במדינות מערביות מבוססות, **עקרונות הדמוקרטיה מאתגרים** וגוברת פנייה לדרכי ממשל אוטוריטריות⁴². תקופת

החירום בקורונה למשל, נוצלה לריכוז סמכויות בידי ממשלות והגבלת חירויות אזרח, ובמדינות אחדות נמשכים ניסיונות לערער על תקינות בחירות ולצמצם את עצמאות מערכות המשפט. מנגד, משברים גיאופוליטיים כמו הפלישה הרוסית לאוקראינה **עוררו את החברה האזרחית** במדינות דמוקרטיות והזכירו את חשיבות ההגנה על ערכי חופש, והמאבק על אוקראינה נתפס כמאבק על עתיד הדמוקרטיה מול האוטוריטריות. בעולם המתפתח, ציבור רחב דורש השתתפות ושקיפות, אך נתקל לעיתים קרובות בדיכוי, כפי שנראה באיראן, סין ומדינות אחרות שבהן יש ניטור אזרחים הדוק ודיכוי מחאות. במישור הגלובלי, מוסדות בינלאומיים כמו האו"ם מתקשים לגבש חזית מאוחדת כאשר חבריהן חלוקים בין ערכים דמוקרטיים לאוטוריטיים. מגמה זו יוצרת עולם מפוצל בערכים, בו המחנה הדמוקרטי והמחנה האוטוריטרי, מתחרים על השפעה, ומשטרים סמכותיים משתפים פעולה ותומכים זה בזה כמשקל נגד למערב.

עולם גיאופוליטי רב-קוטבי ומתוח – לאחר תקופה של הגמוניה מערבית, חוזרים **מאבקי הכוח הגלובליים** במלוא עוצמתם. המתח בין מעצמות העל, בראשן ארה"ב וסין, מגביר סיכונים לעימות כלכלי ואף צבאי עקיף. ארה"ב רואה בעליית סין את האתגר המרכזי לקיום סדר עולמי ומחזקת בריתות באסיה, בעוד סין מרחיבה את השפעתה דרך יוזמת **החגורה והדרך**⁴³ פרויקט הדגל של נשיא סין, שי ג'ינפינג. הידועה גם בכינוי "דרך המשי החדשה" שמרמז על מטרת העל האסטרטגית שלה, להחזיר את סין למעמדה ההיסטורי מאותה תקופה. שמה הרשמי של היוזמה נגזר משתי הדרכים, החגורה היבשתית והדרך הימית. **תהליך ההתפרקות של הסדר העולמי הישן** מוביל להיווצרות **שני גושים אסטרטגיים נפרדים** עם הפרדה כלכלית-טכנולוגית (כגון פיצול שרשראות אספקה). המאפיינים המרכזיים הם: **התגבשות גושים יריבים** – חלוקה דיכוטומית בין מחנה בהובלת המערב (נאט"ו, ארה"ב, אירופה, בעלות ברית ערביות, למרות שהתנהלותו של טראמפ מאז כניסתו לתפקיד מערערת את הברית בין אירופה וארה"ב שגובשה אחרי מלחמת העולם השנייה) לבין מחנה המורכב מרוסיה, סין ואיראן. **מתחים צבאיים גוברים**, מלחמת אוקראינה החזירה עימות צבאי רחב-ממדים לאירופה ובמקביל יש מתיחות בדרום אסיה (הודו-סין) ובאוקיינוס השקט. **מרוץ חימוש מתקדם** – התקדמות בטכנולוגיות צבאיות (הייפרסוניות, בינה מלאכותית צבאית) לצד פרישה מהסכמי בקרת נשק ישנים. קיימים **ניסיונות ייצוב אזוריים ורב-כיווניות של מעצמות בינוניות** באמצעות גופים כמו האיחוד האירופי המנסים לשמור על יציבות, ומעצמות כמו הודו וטורקיה הפועלות בשני הכיוונים כדי למקסם את האינטרסים שלהן. אך **העולם פחות יציב עם שותפויות זמניות** במקום סדר עולמי קבוע, נראה כי העשור הקרוב יתאפיין בבלימה הדדית, הסכמים משתנים ושותפויות אד-הוק עד ליצירת איזון חדש בין הכוחות.

לוחמה קיברנטית ועימותים עוברים לממד הדיגיטלי – הטכנולוגיה מגדירה מחדש את הזירה הביטחונית. **סכסוכים מדינתיים עוברים לזירת הסייבר** ומתקפות כופרה, שיתוק תשתיות, גניבת מידע והשפעה על דעת קהל באמצעות פריצה וחשיפה, הפכו לכלים בידי מדינות וארגונים. המושג מלחמה וירטואלית כבר אינו תיאורטי, ומתבטא במתקפות סייבר על רשתות חשמל, בנקים ואתרי ממשל. בד בבד, מתפתח מרוץ חימוש מבוסס בינה מלאכותית, מערכות **נשק אוטונומי** (כטב"מים תוקפים, רובוטי לחימה) מעלות סוגיות אתיות וביטחוניות כבדות משקל. החלל הפך אף הוא לזירת תחרות ועימות פוטנציאלי, לאור פיתוח יכולות נגד-לווייניות על ידי מעצמות כאשר התלות הגוברת בלווייני תקשורת ו GPS - הופכת אותם לנקודות תורפה אסטרטגית. תופעה המכונה **אזרח כנשק** מערבת אזרחים בלוחמת סייבר (האקרים פטריוטיים) ובלוחמת מידע. מגמות אלו דורשות הגדרת נורמות בינלאומיות חדשות, מאחר ואמנות קיימות (כמו אמנת ז'נבה) אינן ערוכות לעידן הסייבר והבינה המלאכותית. בשנים הקרובות עתיד גם להתעצם הדיון על **אמנת נשק אוטונומי בהיבט העולמי**, אך בינתיים מדינות ימשיכו לפתח ולפרוס יכולות מתקדמות, מחשש לפיגור טכנולוגי בזירה הביטחונית.

מודלים חדשים של משילות ושיתוף הציבור – משבר האמון וההתפתחות הטכנולוגית דוחפים לחיפוש צורות ממשל חדשות, שיתאימו למאה ה-21. אחת המגמות היא **העצמת רשויות מקומיות וערים גלובליות** – ערים גדולות (מטרופולינים) הופכות לשחקן פוליטי חשוב בזירה הבינ"ל, כיוון שהן צוברות כוח כלכלי ודמוגרפי. יש הרואים ברשת **ערי עולם** את הגוף שעתידי להשפיע יותר ממדינות לאום מסוימות. למשל, ראשי הערים בערי ענק כמו ניו יורק, לונדון, שנחאי ודובאי משתפים פעולה ישירות בנושאי אקלים, הגירה וטכנולוגיה, לעיתים בנפרד מממשלותיהם. מגמה נוספת היא **משילות דיגיטלית מבוזרת** – פרויקטים של **דמוקרטיה דיגיטלית** - כגון פלטפורמות שבהן אזרחים מצביעים או מציעים חקיקה באופן מקוון) ניסיוניים כבר מיושמים בכמה מדינות וערים, מתוך כוונה להגביר את מעורבות הציבור ולשקף טוב יותר את רצון העם. לדוגמה, אסטוניה הנהיגה **אזרחות דיגיטלית** המאפשרת לכל אדם בעולם לקבל תעודת זהות אלקטרונית אסטונית ולגשת לשירותי ממשל מקוונים, זאת לצד ניסויים **בתקציב משתף** (budget participatory) לפיו תושבים מחליטים ישירות על הקצאת משאבים בקהילתם. הטכנולוגיה גם מאפשרת מודלים של **התייעצות המונים**, שימוש בבינה מלאכותית לניתוח דעת קהל או שלל הצעות מדיניות מהציבור. במציאות זו, שינוי פרדיגמה אפשרי הוא **הגברת שיתוף הפעולה הגלובלי בממשל**, בעיות חוצות גבולות (אקלים, מגפות ופנדמיות, בינה מלאכותית וכד') עשויות לחייב הקמת מוסדות על-לאומיים חזקים או חיזוק משמעותי של קיימים, כגון ארגון בריאות עולמי משופר, רגולציית בינה מלאכותית בינלאומית ועוד. נכונות לקדם כיוון זה תלויה ברצון הפוליטי של מדינות לשתף ריבונות, אתגר לא מבוטל בתקופה של לאומיות

מתחדשת. אך לנוכח גודל האתגרים, ייתכן ויעלו פתרונות משילות לא-שגרתיים החל ממועצות אזרחיות עולמיות ועד ממשלות-צללים טכנולוגיות במטרה לנווט את האנושות דרך העשור הקריטי.

דה-לגיטימציה של מידע ואובדן אמון ציבורי – עידן **מידע הכזב** יימשך ויעמיק, כחלק מרכזי במאבקים פוליטיים. הפצת דיסאינפורמציה, תעמולה ברשתות חברתיות, ושימוש בבוטים וב"דיפ פייק" לערעור המציאות, מציבים אתגר חסר תקדים למשטרים דמוקרטיים. יש ממשלות המנצלות כלים אלה כדי **לערער אמון בצדקת היריב** ולבלבל אוכלוסיות למשל, מאמצי רוסיה להשפיע על בחירות במערב או סין. במערב, תיאוריות קונספירציה מתפשטות, לעיתים מעודדות על ידי פוליטיקאים המבקשים לנצלן. התוצאה היא **ציבור מקוטב וחשדני** ובו חלקים גדלים מהאוכלוסייה לא מאמינים למוסדות מדינה, לתקשורת המסורתית או אפילו למדע. דוגמה בולטת זוהתה בתחום החיסונים והקורונה, אך התופעה משתרעת גם על הכחשת אקלים, בחירות ועוד. מדד האמון הגלובלי (2023 Edelman Trust Barometer⁴⁴) הראה ירידה עקבית באמון הציבורי ברוב המדינות. **אובדן האמון פוגע ביכולת המשילות**, ממשלות מתקשות לגייס תמיכת ציבור במדיניות ארוכת טווח, והמרחב הציבורי נעשה רעיל ומפולג. כדי להתמודד, גובר הדיון בצעדים כמו **רגולציית תוכן**, קרי, הסרת תכני שטנה וכזב אימות זהות ברשת, וחינוך לחשיבה ביקורתית במדיה. מנגד, קולות מודאגים טוענים שמהלכים כאלה עלולים להיות מנוצלים ככלי צנזורה. **המתח בין חופש ביטוי להגנת מרקם חברתי יהיה ציר מרכזי בפוליטיקה של העשור הקרוב.**

שכתוב ההיסטוריה על ידי בעלי אינטרסים – המגמה המתעצמת נוגעת **לשינוי נרטיבים היסטוריים, הנעשית על ידי גורמים פוליטיים, חינוכיים ותקשורתיים** במטרה לעצב את הדרך בה נתפסים אירועים חשובים בתולדות האנושות. במיוחד, בולטים ניסיונות לטשטש, להכחיש או לשכתב אירועים חשובים כמו מלחמות עולם, אכזריות או טיהור אתני. המדיה, מערכות החינוך והפוליטיקה ממלאות תפקיד מכריע בעיצוב התודעה הציבורית וההיסטורית, ולעיתים גם במניפולציות פוליטיות שמטרתן להציג את העבר באופן שמשרת את מטרות ההווה. מנהיגים מניפים את ההיסטוריה כנשק נגד יריבים בניסיון לצבור נקודות תעמולה, ובתי המחקרים מאמצים חוקי זיכרון שנויים במחלוקת המגדירים מה ניתן ומה אסור לומר על העבר, ומציתים סערות של ביקורת בינלאומית. בעוד **מוסדות פוליטיים מגבשים נרטיבים של זיכרון לאומי, אזרחים נאבקים להשלים את הפערים בהיסטוריה המשפחתית שלהם** שהותירו האירועים הטרגיים שהרסו את מדינותיהם⁴⁵. בעשורים האחרונים, מערכות תקשורת דיגיטליות וערוצים חינוכיים גלובליים החלו להשפיע בצורה מיידית ורחבה על העברת מידע והבנת ההיסטוריה. והתקשורת המודרנית, מהיותה נגישה וכוללת כלי מדיה

חברתית ומאגרים אינטרנטיים, מקלה על תהליכים של שינוי ועריכה של תכנים, דבר שמאפשר גם את השכתוב והסילוף של ההיסטוריה באופן נרחב יותר מאי פעם.

בהיבט הישראלי, מגמה זו נוגעת במיוחד בנרטיב ההיסטורי של הקשר בין מדינת ישראל ליהדות והשואה ומאז ה - 7 באוקטובר 2023, מתעצמת התופעה. מזה עשורים, בולטת התופעה בה נתפס הקשר ההיסטורי הזה בצורה מעורפלת או ממוזערת, הן בחומרי לימוד והן במקורות מידע כמו ויקיפדיה וחומרי לימוד במדינות שונות, שמובילים לעיוותים בהבנת הזהות היהודית והקשר שלה למדינת ישראל. השואה, שהיא אירוע מקדש במורשת היהודית, גם היא נתונה לעיתים לעיוותים, וקיימים ניסיונות להמעיט או להציג אותה בצורה שאינה משקפת את האמת ההיסטורית.⁴⁶

מגמות בעתיד המחקר המדעי

בעשור הקרוב צפוי המחקר המדעי להפוך למשולב יותר, מונע נתונים וחוצה-תחומיים. במקום לחלק את הידע לתחומים צרים, ניתן דגש על חשיבות **ההתכנסות** כמנגנון לפתרון אתגרים גלובליים מורכבים. תחזיות של ארגונים כמו הפורום הכלכלי העולמי⁴⁷ (WEF), ה - OECD ואונסק"ו⁴⁸ כמו דוחות של בעלי עניין נוספים, מראים שהתקדמות מדעית עתידית מונעת על ידי טכנולוגיות רוחביות ומערכות בינה מלאכותית טרנספורמטיביות החוצות את הגבולות הדיסציפלינריים המסורתיים. כפועל יוצא, שילובים כמו בינה מלאכותית בביולוגיה או הנדסה גנטית ברפואה מאפשרים הבנה מעמיקה יותר של תהליכים מורכבים. ומודלים מערכתניים מעודדים שיתופי פעולה בין מעבדות, אוניברסיטאות, חברות פרטיות וגופים ממשלתיים, ומובילים להאצת תהליכי גילוי וחדשנות.

טכנולוגיות רוחביות מעצבות את עתיד המחקר - ממצא שחוזר על עצמו בדו"חות מדעיים גלובליים, מזהה טכנולוגיות רוחביות קריטיות להתקדמות בין-תחומית המהוות פלטפורמות חוצות תחומים ומקדמות אשכולות של תחומי מחקר⁵⁰⁴⁹, ואלו הן: בינה מלאכותית (AI), נתוני עתק (Big Data), בלוקצ'יין (Blockchain), מציאות רבודה (AR), ומציאות מדומה (VR). טכנולוגיות אלו מזהות בעקביות כאלו אשר לא רק משפרות את סינתזת הנתונים והאוטומציה⁵¹ של המחקר, אלא גם מעודדות שיתוף פעולה וחקירה מדעית משולבת⁵².

שינוי פרדיגמה - התכנסות על פני התמחות - מחקרי חיזוי מצביעים בעקביות על כך שהמודל המסורתי של התמחות מפנה את מקומו **להתכנסות**, וכ-60% מניתוחי מדיניות המחקר שמים דגש על **טיפוח נוף מחקר בינתחומי**. הפורום הכלכלי העולמי

מדגיש התכנסות בינתחומית בטכנולוגיות רוחביות שהן: בינה מלאכותית, בלוקצ'יין וביוטכנולוגיה. ב-OECD מראים ש-65% נותנים עדיפות למחקר מתכנס על פני התמחות מסורתית. ובאונסק"ו (2025) העדיפו גישות מחקר משולבות, בדגש על מחקר מתכנס ובינתחומי. התכנסות זו מונעת מההכרה שרבים מהאתגרים בעולם, שינויי אקלים, אנרגיה מתחדשת ומשברי בריאות עולמיים, **אינם ניתנים לפתרון בתוך הגבולות התחומיים של דיסציפלינות בודדות**. לכן, הופכות חיוניות גישות מחקר משולבות ופלטפורמות שיתופיות.

התפקיד הטרנספורמטיבי של בינה מלאכותית וכלים שאינם תלויי תחום – בינה מלאכותית מתגלה כטכנולוגיה טרנספורמטיבית חוצת תחומים, שלא רק מאיצה תהליכי מחקר מסורתיים אלא גם מניעה צורות חדשות של חדשנות⁵³. למשל: **AI Co-Scientist** של Google⁵⁴ – מייצרת השערות מחקר, מתכננת ניסויים ומנתחת נתונים. **Sakana.ai** של **Scientist**⁵⁵ מסייע בכתיבת מאמרים מדעיים ויצירת רעיונות מחקר חדשים. ומגוון **מודלים גנרטיביים ו LLMs**⁵⁶ – תומכים בניתוח נתונים, כריית מידע ויצירת השערות מדעיות. כלים אלו מאפשרים לחוקרים להתמקד בשאלות מהותיות במקום במשימות חזרתיות ומשפרים את יעילות המחקר ואת כמותו. נמצא שפרסומים מדעיים קשורים מוכפלים בערך כל 22 חודשים עם צפי של קצב צמיחה שנתי של 59%⁵⁷ ותהליכים שבעבר דרשו שנים רבות מתבצעים כיום בחודשים או שבועות. המדע הופך לגמיש יותר, עם מתודולוגיות המאפשרות התאמות בזמן אמת ותגובה מהירה לתגליות בלתי צפויות. גמישות זו מאפשרת לחוקרים להתמודד בצורה יעילה עם אתגרים מורכבים ולהתאים את המחקר לצרכים המשתנים.

דמוקרטיזציה של המדע: נגישות ושיתוף ציבורי – המדע הופך ליותר פתוח ונגיש, עם עלייה במעורבות הציבור בתהליכי מחקר. פלטפורמות קוד פתוח, מאגרי מידע ציבוריים ופרויקטים של "מדע אזרחי" מאפשרים לציבור הרחב להשתתף באיסוף וניתוח נתונים. שיתוף פעולה זה מוביל להרחבת בסיס הידע המדעי ולהגברת אמון הציבור במחקר. כמו כן, טכנולוגיות כמו בלוקצ'יין מסייעות בשמירה על שקיפות ומניעת זיופים במחקרים, מה שמחזק את אמינות התוצאות המדעיות.

מאיסוף נתונים לחיזוי מדעי וממחקר בסיסי למחקר יישומי – המחקר המדעי מתמקד יותר ויותר ביכולת לנבא ולתכנן תרחישים עתידיים. שימוש במודלים חישוביים מתקדמים ובינה מלאכותית מאפשר חיזוי מדויק של תהליכים מורכבים, כגון שינויי אקלים, התפשטות מחלות או תגובות כימיות⁵⁸. יכולת החיזוי מאפשרת למקבלי החלטות להתכונן ולהגיב בצורה מושכלת לאתגרים עתידיים, ומשפרת את היעילות והאפקטיביות של התערבויות מדעיות. במקביל מתרחבת המגמה המעודדת מחקר

יישומי המכוון למציאת פתרונות מעשיים לאתגרים עכשוויים, יחד עם שיתופי פעולה בין אקדמיה לתעשייה, חברות הזנק ורגולטורים, אלו מובילים לפיתוחים טכנולוגיים וחדשנות. **המחקר האקדמי הופך למנוף לחדשנות ופיתוחים מסחריים**, עם יישומים מידיים בעולם האמיתי, מה שמגביר את הרלוונטיות של המחקר המדעי ומשפיע ישירות על הכלכלה והחברה.

אתגרים אתיים וחקיקה חדשה סביב גבולות המחקר – התקדמות טכנולוגית מעלה את הצורך בהגדרת גבולות אתיים וחקיקה מתאימה. שאלות כמו מי אחראי על מחקר גנטי, כיצד מונעים שימוש לרעה בבינה מלאכותית, ומהם הגבולות האתיים במחקר על בני אדם, הופכות למרכזיות. עולה חשיבות הרגולציה והמדיניות המדעית, במיוחד בתחומים כמו עריכת גנים, פיתוח בינה מלאכותית ויישום מדעי נתונים בהיקפים גדולים. ממשלות וגופים בינלאומיים נדרשים לקבוע קווים מנחים שיבטיחו איזון בין חדשנות ואחריות מוסרית, כדי שהמחקר המדעי ישרת את טובת החברה, וגופי ממשל ורגולציה חייבים להגדיר עקרונות שיאפשרו חדשנות תוך שמירה על אחריות מוסרית.

חסמי אימוץ – המסלול ל"התכנסות" אינו פשוט, ודו"חות רבים מציינים אתגרים הנובעים ממכשולים באינטגרציה והיעדר סטנדרטיזציה. לדוגמא:

- **ספקים והתייעלות מחקרית**⁵⁹ – המערכת האקולוגית של ספקי כלי הבינה המלאכותית נמצאת בצמיחה מואצת. מחד, יותר ויותר ספקים קטנים נכנסים לשוק. מה שמקשה על האינטגרציה של הכלים בינם לבין עצמם ובין המערכות השונות שמספקות לעיתים כלים שאינם "מתאימים" אחד לשני. בנוסף, לא כל הכלים נותנים פתרונות שמתאימים לכל סוגי המחקרים. מאידך, המגמה משתנה, שחקנים גדולים בשוק מתחילים לרכוש את חברות ההזנק הקטנות, מה שהופך את השוק ליותר "מרוכז" ומאורגן, מוריד חסמי שימוש בכלים ומייעל את המחקר. אמנם עדיין אין נתונים מדויקים לגבי ההבדלים בין כלי בינה מלאכותית כלליים לבין כלים ייעודיים למחקר ספציפי, אבל עדויות מהשטח מראות שהאוטומציה המוצעת בכלים החדשים מקצרת משמעותית את זמן המחקר משנים למספר ימים, במיוחד בתחומים כמו חקר שימוש מחדש בתרופות.
- **פערי נתונים כמותיים** – למרות היתרונות הברורים של שימוש בבינה מלאכותית במחקר, כמו שיפור יעילות, עלייה בתפוקה ויצירת השערות חזקות יותר, חסרים מדדים כמותיים ברורים שיכולים להציג צמיחה ממשית בעקבות אוטומציה או אימוץ בינה מלאכותית למטרות כלליות במוסדות מחקר.
- **אתגרי אינטגרציה** – חסמים בתחום האינטגרציה של מערכות בינה מלאכותית,

כוללים: צורך בסטנדרטיזציה של זרימות עבודה, יכולת פעולה הדדית של מערכות ניהול נתונים שונות, וצורך להבטיח שאינטגרציות של בינה מלאכותית יהיו ניתנות להרחבה בצורה יעילה. דוחות ומחקרים שונים, כמו סקרי IEEE ודוחות מחקר וחדשנות בבריטניה מכירים באתגרים אלו, עם זאת, אין נתונים בנוגע לאחוזי האימוץ של פתרונות בתחום.

- **חששות אתיים ותפעוליים** – למרות היתרונות הטכנולוגיים של השימוש בבינה מלאכותית, הגידול בשימוש בה במגוון תחומים מעלה חששות אתיים, במיוחד בנוגע לשקיפות, הטיה ואבטחת סייבר. יש צורך לטפל בקפדנות בשיקולים אתיים, כמו דיוק בבינה מלאכותית ופוטנציאל להטיות אלגוריתמיות, על מנת להבטיח שהאימוץ המהיר של הטכנולוגיה לא יבוא על חשבון יושרה או אמון חברתי.

העתיד השיתופי של המחקר – תחום המחקר המדעי משתנה מהותית וכולל מעבר לתהליכים משולבים, מרובי-תחומים ומבוססי בינה מלאכותית. גישות חוצות-תחומים הופכות לסטנדרט, והן יהיו סימני ההיכר של הדור הבא של גילויים מדעיים. **עם התכנסות גוברת, שימוש נרחב בטכנולוגיות רוחביות, והתרחבות משמעותית של המימון והיישומים המעשיים, המחקר העתידי צפוי להפוך למהיר, שיתופי ויעיל יותר מאי פעם.**

ממצאים ממחקרי חזון, הערכות טכנולוגיות ודוחות מימון מצביעים על כך שהמחקר המדעי בעתיד יכלול:

- **שימוש נרחב בבינה מלאכותית ונתוני עתק** כבסיס לכל תחומי המחקר.
- **התכנסות בין-תחומית** שתהפוך לסטנדרט ולא לחריג.
- **מימון משמעותי** – בשנת 2024 פלטפורמות למידת מכונה גייסו מעל 24 מיליארד דולר⁶⁰, עם צפי צמיחה של 36.6% עד 2030.
- **שיפור ביעילות המחקר** – טכנולוגיות חדשות מקצרות מחזורי מחקר, ומאפשרות פיתוחים מהירים יותר.
- **אבולוציה של ספק ומערכת אקולוגית** – שוק ספקי כלי בינה מלאכותית מתפצל אך מתייצב כשחברות גדולות רוכשות חברות הזנק, ומאפשרות גישה לכלים משולבים.

מגמות גלובליות בחינוך STEM

מגמות העתיד בתחום ה-STEM – מציבות אתגרים והזדמנויות ייחודיים בכלל ובהיבט הביו-דורי בפרט. הפער הדיגיטלי בין הדורות, שבו הדור הצעיר גדל בסביבה טכנולוגית

בעוד הדורות המבוגרים נדרשים להסתגל לטכנולוגיות חדשות, מעורר צורך בשיתוף פעולה ואימוץ תפקידים שונים בהעברת ידע. בעוד שהצעירים מלמדים את המבוגרים כיצד להתמודד עם הטכנולוגיה, המבוגרים משאירים את חותמם בחוכמת חיים ובניסיון מקצועי. קצב השינוי המהיר, החושף כל דור ליותר ויותר חוויות טכנולוגיות ביחס לדור הקודם, יוצר פערי הבנה, אך גם מאפשר שיתוף פעולה אינטרדורי. בעולם שבו מקצועות משתנים או נעלמים בשל אוטומציה ובינה מלאכותית, יש צורך בהכשרה מחדש ובמעבר של ידע בין הדורות השונים בכוח העבודה. לכל דור יש תפיסות שונות לגבי השימוש בטכנולוגיה, פרטיות וההשלכות החברתיות של חידושי טכנולוגיה, ולכן **דיאלוג בין-דורי יכול לתרום להשלמת פערים וליצירת איזון נכון. וכאשר למידה לאורך החיים הופכת לשגרה, יש צורך במודל חינוכי שיחבר בין דורות במרחבי למידה משותפים.** במציאות זו, דורות ותיקים שמביאים עמם ניסיון בפתרון בעיות יכולים לתרום גם בעידן החדש, בעוד שצעירים מביאים גישות חדשניות להתמודד עם אתגרים גלובליים כמו שינויי אקלים, ביטחון סייבר ואתגרים בריאותיים גלובליים. השילוב בין הידע הישן לחדש, יחד עם שיתוף פעולה אינטרדורי, מהווה את המפתח להתמודדות מוצלחת עם אתגרי העתיד בתחומי ה-STEM.

למידה אינטראקטיבית, מותאמת אישית ואימרסיבית – דור Z ודור אלפא מעדיפים חוויות למידה אינטראקטיביות ומותאמות אישית באמצעות כלים כמו מציאות וירטואלית, רבודה ומורחבת, תוך שמירה על שיתוף פעולה המבוסס על גילוי עצמאי. גישות אלו מערערות את הדגשים המסורתיים של הוראה פרונטלית ומובילות שיטות למידה המבוססות יותר על חקירה עצמאית. לדוגמה, דור אלפא עשוי להשתמש בטכנולוגיות של ניתוח רגשות ואמפתיה דיגיטלית כדי להבין ולהזדהות עם חוויות אחרים, מה שמוביל למידה שיתופית בין-דורית ועשוי לשפר את הבנת הרגשות והחוויות של תלמידים בגילאים שונים⁶¹.

ההיבט הבין-דורי בולט במיוחד כאשר התלמידים הם בני דור ה-Z ואלפא, המצפים לגישות מותאמות אישית, אינטראקטיביות ואימרסיביות, שעה שמורים בני דור ה-X והבومרס (Boomers) מציעים שיטות מסורתיות כמו הרצאות ומדריכים מובנים. הפער הזה בין דור לדור דורש אימוץ שיטות למידה חדשות ומחייב את המורים להסתגל לגישות חדשות, ולשילוב כלים טכנולוגיים, על מנת להתאים עצמם לצרכים של הדורות הצעירים⁶².

שיתוף פעולה בין-דורי – הדור הצעיר, במיוחד דור אלפא מעודד "מנטורינג הפוך", שבו תלמידים מלמדים את המורים ואפילו את ההורים טכנולוגיות דיגיטליות חדשות. גישה זו שמה דגש על שיפור האוריינות הדיגיטלית בין כל הדורות ומערערת את

היררכיות החינוך המסורתיות. שיתוף פעולה זה מביא את ההורים, במיוחד מדור Boomers - לאמץ כישורים דיגיטליים ולהיות שותפים פעילים בתהליך הלמידה של ילדיהם. הדבר מעודד תחושת שיתוף בין הדורות ומאפשר לתלמידים לקחת תפקיד מוביל במערכת החינוך.⁶³

שינויים בתפקודי המורים ואוטומציה של תהליך הלמידה - הטכנולוגיות המתפתחות, במיוחד בינה מלאכותית משפרות את המעורבות והתאמת הלמידה לצרכים האישיים של כל תלמיד. המורים, במקום להיות רק מעבירי ידע, הופכים למנחים ומדריכים. תפקיד זה מציב אתגרים לדור ה-X ודור ה-Boomers הרגילים לתפקידי מורה מסורתיים, ומחייב אותם להסתגל לגישות חדשות שכוללות יותר אינטראקציה עם תלמידים. מורים הופכים למנחים בתוך סביבה של למידה אוטונומית שבה תלמידים עשויים ללמוד באופן עצמאי, ללא תלות במורה מסורתי⁶⁴. כבר כיום טכנולוגיות כמו בינה מלאכותית יוצרות הזדמנויות להפוך את תהליך הלמידה לאוטומטי, והופכת את התלמידים למורים של עצמם. בעתיד, מערכות חינוך עשויות להשתמש בבינה מלאכותית כדי לנהל את הלמידה, לבנות מסלולי לימוד מותאמים אישית לכל תלמיד ולהוריד את הצורך במורים "מסורתיים". טכנולוגיות אלו עשויות לשפר את ההתאמה האישית של הלמידה, אך גם להעמיק את הפערים בין דורות שמתקשים להסתגל לשינויים מהירים⁶⁵.

תפקודי ההורים - הורים מדור המילניום ודור ה-Z משתתפים באופן פעיל בלמידה של ילדיהם, במיוחד בעת שימוש בטכנולוגיות חדשות. לעומתם, הורים מדור הבומרס עדיין נוטים להעדיף שיטות חינוך מסורתיות, דבר שיוצר פערים בין הדורות. בעיות אלו גם גורמות לקונפליקטים בנוגע לבעלות על נתונים וארכוב, שכן הדורות השונים רואים את שמירת המידע בצורה שונה⁶⁶ (דיגיטלית מול פיזית).

הפיכת הלמידה למשחק - למידה מבוססת משחקים תיהפך לנפוצה יותר, במיוחד בדור אלפא. ילדים ילמדו לא רק דרך משאבים דיגיטליים אלא באמצעות משחקים שדורשים כישורים יצירתיים, טכנולוגיים ופתרון בעיות, מה שיתרום ללמידה יותר אינטראקטיבית ומאתגרת. עם גידול במודל של למידה מבוססת משחקים, ייתכן כי מורים מבוגרים יותר ייתקלו בקשיים בהסתגלות למיומנויות החדשות של תלמידיהם.

המגמות המתפתחות הללו לא רק מגדירות מחדש את האופן שבו אנו מלמדים ולומדים מקצועות STEM, אלא גם מדמיינים מחדש את התשתית, המודלים הפיננסיים ומבני הממשל העומדים בבסיס מערכות החינוך בעולם. על ידי מינוף אסטרטגי של גורמים מגוונים אך קשורים זה לזה, מחנכים וקובעי מדיניות יכולים לבנות מערכת אקולוגית חזקה, מסתגלת ומכילה ביותר לחינוך, המכשירה את הדורות הבאים לאתגרים

ולהזדמנויות של המחר. מגמות אלו, הכוללות שבירת היררכיות חינוכיות מוחלטת, למידה אוטונומית, אוטומציה של תהליך הלמידה ויותר, ידרשו התמודדות עם אתגרים לא פשוטים ויתבעו מאמץ לשיתוף פעולה בין-דורי כדי להבטיח שהמערכת החינוכית תהיה מותאמת כבר בהווה לאתגרי העתיד.

השלכות, אתגרים והזדמנויות לחינוך בישראל

ההשלכות של הטמעת חינוך STEM בישראל הן עמוקות ומשפיעות לא רק על תחום החינוך, אלא גם על הכלכלה, החברה והביטחון לאומי. מדובר בשינוי משמעותי שלא רק יכול להבטיח את מעמדה והישרדותה של ישראל בעידן טכנולוגי משתנה, אך גם להוות מנוע לחיזוק חוסן לאומי והישרדות מדינית.

צמצום פערים חברתיים ושילוב אוכלוסיות מגוונות – יצירת מסגרת חינוכית טכנולוגית נגישה לכלל האוכלוסיות, כולל לפריפריה ולמגזרי מיעוטים, תאפשר לכלל התלמידים, ללא קשר לרקע סוציאקונומי, גיאוגרפי או מיגדר, להתמחות במקצועות עתידיים. הדבר יוביל לשילוב נשים ואוכלוסיות מגוונות במקצועות טכנולוגיים ובתעשייה, יקדם השתלבות בחברה הישראלית, וכפועל יוצא יחזק את הדינמיקה החברתית והכלכלית במדינה.

חיזוק המעמד הכלכלי-טכנולוגי – ישראל, הנחשבת כ"אומת סטארט-אפ", תוכל לשמור ולהעמיק את יתרונה התחרותי בתעשיית ההייטק העולמית המניעה את כלכלה המדינה באמצעות התמחות מדעית וטכנולוגית מהירה.

ביטחון לאומי – מדינת ישראל, הממוקמת באזור גיאופוליטי רגיש, זקוקה לטכנולוגיות מתקדמות בתחומים כמו סייבר, רובוטיקה ובינה מלאכותית לצד טכנולוגיות מזון, חקלאות וחלל, כדי לשמור על יתרון טכנולוגי בתחום הביטחוני. חינוך STEM יבטיח כי יהיו לדור הבא הכלים להבטיח את ביטחונה של ישראל ולהשאיר אותה בחזית החדשנות הביטחונית.

תרבות של חדשנות – חינוך מתמקד לא רק בכישורים טכנולוגיים, אלא גם ביצירתיות, יזמות וחשיבה מחוץ לקופסה. חינוך ה-STEM יחזק את המודעות לכך שחדשנות אינה רק טכנולוגיה, אלא גם תרבות של פתרון בעיות יצירתי בכל היבט ותחום.

המשכיות בין-דורית – חינוך STEM מבטיח כי לא ייווצר פער בין הדורות בעולמות העבודה והטכנולוגיה, ותתקיים המשכיות בין-דורית תעשייתית, שתחזק את הכלכלה הלאומית ותשמור על יכולת ההתמודדות עם אתגרי העתיד.

התאמת הכישורים לצורכי שוק העבודה בעתיד גלובלי לא יציב – חינוך STEM תורם לפיתוח כשירויות ומיומנויות רלבנטיות לשוק העבודה. אלו ישפיעו על מידת המוכנות של הלומדים להתמודד עם האתגרים הטכנולוגיים, הכלכליים וגלובליים כמו שינויי אקלים, אתגרי סייבר ובריאות גלובלית.

חינוך איכותי בתקופות חירום – חינוך STEM נוגע גם להיבט של המשכיות החינוך בתקופות של מתיחות ביטחונית או חירום. הוא מאפשר להסתגל לצרכים של הלמידה מרחוק במצבי חירום, תוך שמירה על רציפות הלמידה והיכולת לספק לתלמידים את הכלים הטכנולוגיים הדרושים להם גם בזמנים של משבר.

ההשלכות של חינוך STEM שצוינו לעיל, מציבות בפני מערכת החינוך אתגרים והזדמנויות.

אתגרים

האתגרים הנגזרים מהטמעת חינוך STEM בישראל הם רבים ומגוונים, ונוגעים בהיבטים של חברה, כלכלה, ביטחון, ותרבות. הטמעה מוצלחת של חינוך STEM תדרוש מעבר לפתרונות טכנולוגיים, גם התמודדות עם אתגרים חברתיים, פוליטיים ותרבותיים. האתגרים המרכזיים שנגזרים מהשלכות הטמעת חינוך ה-STEM יהיו:

פערים דיגיטליים בין אוכלוסיות – הפערים הבולטים הם מול הפריפריה, בין יהודים וערבים, ובין אוכלוסיות סוציו-אקונומיות שונות. פערים אלו, הנגזרים לרוב מחוסר זמינות למשאבים טכנולוגיים ולתשתיות חינוך, עלולים להעמיק פערים כלכליים וחברתיים, אלא אם כן, יינתן פתרון הולם באמצעות הנגשת חינוך STEM גם לאוכלוסיות במיקומים גיאוגרפיים או חברתיים פחות מרכזיים.

הכשרה ושימור מורים מקצועיים – במקצועות STEM הוא אתגר מרכזי. מחסור במורים מקצועיים בתחום, שהינם בעלי ידע טכנולוגי מתקדם, המוכנים להטמיע שיטות הוראה חדשניות ולשלב טכנולוגיות חדשות בכיתה, לא יאפשר לחינוך STEM להתפשט בצורה אחידה ואיכותית בכל רחבי המדינה.

קונפליקטים בין ערכים מסורתיים לטכנולוגיה – האתגר העיקרי הוא לשמור על האיזון בין שימור הערכים המסורתיים ובין הדרישה לחינוך מדעי וטכנולוגי מתקדם, בסביבה בה קבוצות מסורתיות עלולות להתנגד ללמידת טכנולוגיה מאחר והן רואות בה איום על הערכים התרבותיים והחינוכיים שלהן.

הכנה לאי-ודאות טכנולוגית וגלובלית – מעבר להכשרה טכנולוגית נדרשת הכנה

לעולם שבו חדשנות טכנולוגית משנה את המציאות באופן מואץ, והעתיד הכלכלי והחברתי לא ברור. לכן יש להכין את הדור הצעיר לפעול תוך אי-ודאות רבה במציאות עמומה ולא ידועה, כדי לשמור על היתרון הלאומי ולשמור על יציבות ביטחונית וחברתית.

הגדלת השתתפות נשים במקצועות STEM – למרות שיפור מסוים, עדיין קיימת תפיסה מגדרית המגבילה השתתפות נשים בתחומים טכנולוגיים, במיוחד במדעי המחשב, הנדסה ואלקטרוניקה. תפיסה סטריאוטיפית מגדרית זו, מונעת מנשים לממש את הפוטנציאל האישי שלהן, וברמת המדינה גורמת לחוסר מימוש של הון אנושי איכותי.

שימור איכות חינוכית בעת חירום – בתקופות חירום ביטחוניות או אקלימיות, קשה עד בלתי אפשרי לשמור על רציפות הלמידה ולהמשיך להעניק חינוך איכותי לתלמידי ישראל.

שילוב מיומנויות רכות ופיתוח חשיבה יצירתית לצד מצוינות – כדי להתמודד עם אתגרי השוק העולמי, נדרש שילוב של מיומנויות בין-אישיות רכות כגון עבודת צוות, חשיבה ביקורתית ופתרון בעיות. לצד גישה חינוכית המובילה לחשיבה יזמית וחדשנית השואפת למצוינות אקדמית. יחד הן יאפשרו לפתח פתרונות יצירתיים ויישומים טכנולוגיים חדשים.

אתגרים אלו אינם בהכרח בלתי ניתנים להתמודדות, אך הם דורשים פתרונות מערכתיים יצירתיים ומדיניות חינוכית שיכולה לפתח פתרונות טכנולוגיים ותרבותיים כאחד, על מנת להבטיח כי הטמעת חינוך STEM בישראל תהיה משמעותית ומועילה לכלל האוכלוסייה.

הזדמנויות

הזדמנויות הנגזרות מהטמעת חינוך STEM בישראל גם הן רבות ומגוונות, מעבר לשיפור החינוך עצמו, הן גם משפיעות על החברה, הכלכלה, הביטחון הלאומי ויכולת ההובלה של ישראל בזירה הגלובלית.

ישראל כמובילה טכנולוגית עולמית – ישראל, אמנם מוכרת כ"אומת סטארט-אפ", אך התחרות העולמית גדלה והיא חייבת להמשיך ולמנף את יתרונה בתחום ההייטק על כל היבטיו. כל דור חדש של תלמידים שיתחנך בתחום STEM יוכל להוביל לפיתוחים טכנולוגיים שימשכו השקעות, חידושי טכנולוגיה ושיתוף פעולה עם מדינות אחרות.

חיזוק הביטחון הלאומי והיכולת הגנתית – טכנולוגיות כמו סייבר, בינה מלאכותית, רובוטיקה ומדע הנתונים, קריטיים לשמירת האיכות והיכולות של צה"ל ותעשיות הביטחוניות. מדינת ישראל, המתמודדת עם איומים גיאופוליטיים, יכולה להרוויח רבות מחינוך המתמקד בהכשרת כוח אדם בתחום טכנולוגי מתקדם אשר ישפר את היכולת שלה לפתח פתרונות טכנולוגיים בתחום הגנה, מודיעין ורובוטיקה.

ביסוס תרבות של חדשנות ויזמות – חינוך STEM מתמקד לא רק בידע טכנולוגי, אלא גם בשיפור הכישורים היזמיים של הדור הצעיר. מיומנויות כמו יצירתיות, פתרון בעיות, וניהול פרויקטים יצירתיים יאפשרו לדור הבא לפתח פתרונות חדשים ולקדם את תעשיות ההייטק. והמדינה, עשויה להפוך למוקד עולמי למגוון יזמים טכנולוגיים שיובילו את תחומי העתיד, כמו מדעי החיים, האנרגיה המתחדשת, והביוטכנולוגיה.

הגדלת המגוון בחברה ובתעשייה וצמצום פערים חברתיים-כלכליים – חינוך STEM יכול לשמש כגשר לשילוב מגוון אוכלוסיות מסביבות מוחלשות, בתעשיות טכנולוגיות חדשניות. קידום שוויון הזדמנויות ועידוד השתלבות בשוק העבודה התחרותי, ימנע בידול חברתי, יוביל ליצירת חברה משולבת ומאוחדת יותר ויתרום לצמצום פערים ואי שוויון במדינה, מה שיוביל ליציבות כלכלית, צמיחה וכלכלה יציבה ומגוונת.

יותר נשים בתחום הטכנולוגיה – כאשר יותר נשים ילמדו את מקצועות ה-STEM תהיה לכך השפעה ישירה ועוצמתית על התעשיות והחדשנות במדינה. הגברת המעורבות של נשים במדעי המחשב, הנדסה ומקצועות טכנולוגיים אחרים תעשיר את השטח, תעודד יצירתיות ותשפר את הגיוון בכל תחום מקצועי.

הכנה לעתיד גלובלי ושוק עבודה משתנה – הטכנולוגיות המתקדמות, האוטומציה והבינה המלאכותית צפויות להוביל להיעלמותם של תחומים מסוימים, בעוד אחרים יתפתחו ויתחזקו. במציאות משתנה זו, חינוך STEM לא רק יעזור ללומדים להשיג הישגים גבוהים במדעים ובמתמטיקה, אלא גם יסייע בפיתוח כישורי חשיבה ביקורתית ויצירתית, לצד מיומנויות טכנולוגיות ויכולת הסתגלות. כל אלה יהיו כלים חיוניים להצלחה בשוק העבודה העתידי.

פיתוח מיומנויות רכות ושיתוף פעולה בין-איש – חינוך STEM לא מתמקד רק בטכנולוגיה ובמיומנויות טכנולוגיות, אלא גם מפתח מיומנויות רכות כמו עבודת צוות, אינטליגנציה רגשית ויכולת תקשורת בין-אישית. מיומנויות רכות אלו חשובות מאוד לשוק העבודה המודרני, בו עבודות צוות ויכולת אינטראקציה בהיבט לוקלי וגלובלי, חשובים מאוד להצלחה. **אמפתיה גם היא מיומנות ליבה חשובה ב-STEM**, שכן היא מאפשרת ללומדים לפתח לא רק יכולות טכנולוגיות, אלא גם הבנה של ההשפעה

החברתית והאנושית של פתרונות טכנולוגיים. שילוב אמפתי בחינוך STEM מציע הזדמנות לפתח יצירות טכנולוגיות שמשרתות את טובת החברה כולה, ולא רק אוכלוסיות מסוימות. הלומדים יכולים לזהות כיצד הפיתוחים שלהם משפיעים על קבוצות שונות ולהתמקד בפתרונות שמקדמים קיימות ושוויון, תוך שמירה על ערכים אנושיים ורגשיים.

השקעת משאבים בהכשרה טכנולוגית מתאימה ובקידום שוויון הזדמנויות, באמצעות חינוך STEM עשוי להיות גורם מפתח להצלחתה של ישראל בעידן טכנולוגי המשתנה במהירות. ההזדמנויות שמספק חינוך STEM לישראל לא רק מעניקות כלים להצלחה בתחום הטכנולוגי, אלא גם מציבות את המדינה בעמדה חזקה ומובילה בזירה הגלובלית. הטמעתו עשויה לקדם את החברה והכלכלה המקומית, תוך שיפור יכולת ישראל להתמודד עם אתגרים עולמיים, פוליטיים וביטחוניים. כל זאת, תוך שמירה על חוסן לאומי יציב, חיזוק הכלכלה המקומית והרחבת המעמד של ישראל ברחבי העולם.

זאת ועוד, ההתפתחויות בתחום ה-STEM – לא רק מגדירות מחדש את הדרך בה נלמדים מקצועות אלו, אלא גם **מובילות לשינויים בתשתיות החינוך, במודלים הפיננסיים ובמבני הממשל של מערכות החינוך ברחבי העולם.** בעזרת מינוף של גורמים שונים אך מקושרים, מחנכים וקובעי מדיניות יכולים ליצור מערכת אקולוגית חזקה, גמישה ומכילה יותר לחינוך מותאם עתיד, שתכין את הדורות הבאים לאתגרים וההזדמנויות של המציאות המשתנה. לכן, חינוך STEM עתידי לא יהיה מוגבל יותר למסגרות כיתתיות מסורתיות, אלא יתפוס פרספקטיבה הוליסטית שתשקף את הצורך לשלב כישורים טכנולוגיים, יצירתיים וחברתיים. **מבחינה חברתית:** נדרש לשלב ערכים תרבותיים מגוונים וגישות למידה לכל החיים, כדי להבטיח שוויון, הכלה וחינוך מותאם אישית לכל דמוגרפיה של התלמידים. **מבחינה טכנולוגית:** יש למנף חידושים פורצי דרך בלמידה סוחפת - כגון מחשוב קוונטי, מציאות מורחבת, ממשקים עצביים ובינה מלאכותית, ללשם יצירת סביבות חינוכיות דינמיות ואינטראקטיביות. **מבחינה כלכלית:** יש לאמץ מודלים רדיקליים של מימון תומך בלוקצ'יין, מימון מבוזר והשקעות מבוססות תוצאות המבטיחות שקיפות, הסתגלות מקומית וקיימות. **מבחינה סביבתית:** יש להתאים הן את תוכנית הלימודים והן את התשתית הפיזית לטיפול באירועי אקלים קטסטרופליים, תוך שילוב אמצעי חוסן הכוללים הן התאמה פיזית והן פריסת טכנולוגיות סימולציה מתקדמות. **ומבחינה פוליטית:** נדרשת מדיניות ואימוץ מודלים של ממשל חדשים המדגישים היענות תרבותית, מעורבות קהילתית והכלה - מה שמבטיח שההתפתחות של חינוך STEM מתיישרת עם יעדים חברתיים וכלכליים רחבים יותר.

3. חינוך STEM משולב ורציף

חינוך STEM המשלב בין תחומי ה-STEM

חינוך STEM משולב מהווה אסטרטגיה חדשנית להכנת תלמידים לאתגרים בעולם האמיתי. זאת על ידי איחוד מדע, טכנולוגיה, הנדסה ומתמטיקה הנרכשים באמצעות חוויות למידה משמעותיות, מעשיות ובינתחומיות. לימוד מקצועות ה-STEM - באופן משולב דורש גישה סינרגטית המחברת בין עקרונות פדגוגיים, מתודולוגיות הוראה וסביבות למידה ייעודיות. הדבר מחייב שילוב ידע מעולמות שונים, תוך התמקדות בכישורים המכינים את הלומדים לאתגרי המאה ה-21. מסגרות STEM מאוחדות משלבות מספר ממדים קריטיים היוצרים יחד מערכת אקולוגית חינוכית עשירה. רכיבים אלה כוללים:

אופן ההערכה

- **שילוב הערכות מעצבות ומסכמות** – מאפשר הערכת שליטה בתוכן ופתרון בעיות בינתחומיות. לדוגמה, הערכות מבוססות ביצועים, מחזורי משוב מתמשכים והערכות מרובות פורמטים (כגון בכתב, בעל פה, ותצפיות) מבטיחות שלמידת התלמידים נמדדת בצורה הוליסטית. הערכה מעצבת מתמשכת כוללת שימוש במגוון כלים לא פורמליים, כמו תצפיות ותגובות עמיתים, לצד מטלות ביצוע המלוות ברשימות הערכה/קריטריונים, המיועדים לבדיקת כשירויות כמו פתרון בעיות ושיתוף פעולה. גישה זו מאפשרת להעריך את תהליך הלמידה כולו ולא רק את התוצר הסופי⁶⁸⁶⁷.
- **הערכה מסכמת מבוססת פרויקטים** – הערכה של תוצרים סופיים של פרויקטים רב-תחומיים, בדגש על יישום ידע אינטגרטיבי ועל תהליכי חשיבה ביקורתית. הערכה זו שמה דגש על החיבור בין תחומי ה-STEM השונים ומחייבת את הלומדים להפעיל חשיבה יצירתית וחדשנית⁶⁹.

אסטרטגיות הוראה משולבות

- **פדגוגיה של פרויקטים ריאליים** – פיתוח יחידות לימוד המבוססות על אתגרים מעולם התעשייה והקהילה, תוך שילוב מיומנויות מתמטיות, הנדסיות ומדעיות לפתרון בעיות אמיתיות. תהליך הלמידה מבוסס על פרויקטים, חקירה וחשיבה עיצובית, כאשר הלומדים עוסקים בפרויקטים פתוחים לפתרון בעיות אותנטיות⁷⁰ ומתן מענה לאתגרים בעולם האמיתי, באמצעות יישום ידע בתחומים שונים.

- **למידה מבוססת תופעות** – גישת הוראה ממוקדת לומד, רב-תחומית, המבוססת על חקירת תלמידים ופתרון בעיות⁷¹. לא נלמד נושא ספציפי, וגם אין יעד למידה מוגדר מראש. במקום זאת, התלמידים מתוודעים לתופעות אותנטיות המחייבות אותם לפתח פתרונות מרובי פנים, והם חוקרים ופותרים את השאלות שלהם על ידי יישום הנושאים הרלוונטיים לבעיה תוך שימוש בידע STEM משולב.
- **למידת חקר רב-תחומית** – שילוב של למידה מבוססת חקר (Inquiry-Based Learning - IBL) עם תהליך העיצוב ההנדסי (Engineering Design Process) (EDP). קרי, למידה באמצעות תהליך איטרטיבי, הכולל סדרה של שלבים בהם משתמשים מהנדסים ביצירת מוצרים ותהליכים פונקציונליים, לטיפול בבעיות מורכבות המצריכות אינטגרציה בין דיסציפלינות שונות.
- **כיתה הפוכה** (Flipped classroom) – שיטת הוראה שבה התלמידים לומדים בבית ובעצמם, מסרטונים ומחומרי לימוד בענן. ובכיתה הם דנים בחומר, מתרגלים באופן עצמאי ובקבוצות ושואלים שאלות. המורה מכוון, מסייע, מנחה, מקדם ומעודד כל תלמיד ותלמיד ברמתו - לחשיבה על החומר הנלמד.⁷²
- **משחקנות** (gamification) – מעודדת פתרון בעיות יצירתי, חוויית למידה פעילה ומוטיבציה גבוהה. שילוב אלמנטים משחקיים כמו אתגרים, נקודות ורמות תורם להנאה ולמוטיבציה של התלמידים, ומחבר בין ידע תיאורטי ליישום מעשי. משחקים קבוצתיים מעודדים שיתוף פעולה וחשיבה ביקורתית, ובנוסף, משחקנות מאפשרת מעקב בזמן אמת אחרי התקדמות התלמידים ומספקת משוב מיידי לשיפור הלמידה⁷³.
- **מציאות רבודה (AR) ומדומה (VR) בחינוך STEM משולב** – המציאויות השונות הן טכנולוגיות חינוכיות שמתפתחות במהירות ומשמשות ככלים חשובים בלימודי STEM מאחר והן מאפשרות לתלמידים להתנסות בנושאים מורכבים בצורה חווייתית ומעמיקה, מציאויות אלו מרחיבות את היכולת של הלומד, שיכול בסביבה וירטואלית שמחקה מציאות, להתנסות בניסויים, לחקור עולמות וללמוד בצורה אינטראקטיבית. לדוגמה, לבצע ניסויים במעבדה וירטואלית, לבחון תופעות גיאולוגיות, לבצע ניסויים מדעיים תוך כדי שמירה על קשר עם המציאות שמסביבם, לתפעל מודלים תלת ממדיים ולעסוק בהדמיה אינטראקטיבית שיתופית המשפרת פתרון בעיות חוצה-תחומיות⁷⁴.

למידה חווייתית ומעשית

כדי ליצור סביבות למידה אפקטיביות עבור לימוד STEM יש לשלב עקרונות עיצוביים המאפשרים גמישות פיזית, טכנולוגיה מתקדמת, עבודה שיתופית ויישום מעשי של הידע הנלמד. שילוב זה מאפשר לתלמידים לחוות חוויות למידה משמעותיות ומעשיות, תוך שמירה על אינטגרציה בין תחומי ה-STEM השונים. להלן המרכיבים המרכזיים:

- **מעבדות ומרחבי מייקרים** – מספקים מרחב להתנסויות מעשיות, תוך שימוש בטכנולוגיות מתקדמות כמו ערכות רובוטיקה ומעבדות וירטואליות. העיצוב מבטיח שילוב ידע תיאורטי עם יישום מעשי, ומספק לתלמידים כלים לפיתוח רעיונות חדשניים תוך ביצוע ניסויים ופתרון בעיות טכנולוגיות. יש ליצור מעבדות גמישות שמאפשרות למידה פרטנית וקבוצתית במקביל, תוך שמירה על מרחבים ייעודיים לכל תחום.
- **סביבות עבודה שיתופיות** – עיצוב גמיש של כיתות ומעבדות מאפשר עבודה קבוצתית לצד לימוד עצמאי. כיתות ומעבדות אלו צריכות להיבנות כך שיתנו מקום מרווח לפעילות לכל תלמיד, תוך עידוד שיתוף פעולה, חילופי רעיונות ופתרון בעיות קבוצתי. עבודה משותפת מעודדת יצירתיות ופתרון בעיות אינטגרטיבי, ותומכת בלמידה בין-תחומית
- **סביבות למידה גמישות** – עיצוב סביבות גמישות חיוני להבטחת מעבר חלק בין סוגי למידה שונים – פרטני, קבוצתי והדגמות טכנולוגיות. שימוש בריהוט מודולרי ומרחבים המאפשרים מעבר חלק בין אזורים שונים מבטיח חוויית למידה עשירה ומגוונת. סביבה שבה התלמידים יכולים לעבור בקלות בין תחומים שונים מאפשרת לכל תלמיד ללמוד בקצב שלו ולהתנסות במגוון פעילויות בצורה אינטראקטיבית⁷⁵.
- **שילוב טכנולוגיות דיגיטליות מתקדמות** – טכנולוגיות הדיגיטליות כמו לוחות חכמים, מדפסות תלת מימד, מצלמות ומערכות סימולציה מאפשרות אינטראקציה בין תאוריה ליישום מעשי. טכנולוגיות אלו גורסות חיבור ישיר בין ידע תיאורטי לבין ביצוע מעשי, ומאפשרות לתלמידים לשלב את מה שלמדו במצבים מעשיים⁷⁶.
- **מפרטי כיתה ומעבדה** – העיצוב של כיתות ומעבדות עבור STEM צריך לקחת בחשבון את הצורך בגמישות פיזית ושמירה על שטח אישי לכל תלמיד, לפחות 30 אינץ' של מקום אישי ו-3.75 רגל מרובע של שטח עיבוד. יש לדאוג למעברים חלקים בין פרויקטים קבוצתיים ובין משימות פרטניות. כמו כן, עבור מעבדות כימיות ורובוטיקה, יש להקצות אזורים ייעודיים – מעבדות רטובות ויבשות – לשם ניתוח נתונים ועבודה חשובית. כל אלו מבטיחים סביבת למידה שמטפלת בצרכים הטכנולוגיים של התחומים השונים ומספקת מקום לשיתוף פעולה ולחדשנות

פיתוח מקצועי של מורים ומעורבות קהילתית

- **פיתוח מקצועי מתמשך עם דגש אינטגרטיבי** – בונה את יכולת המורים להשתמש בשיטות הוראה משולבות דוגמת Bootcamps ממוקדים, שיתוף פעולה עם עמיתים ופיתוח תוכניות הוראה המשלבות התנסות מעשית בפרויקטים רב-תחומיים תוך שימוש במודלים חדשניים. כל אלו מעניקים למורים כלים להוביל פרויקטים המשלבים בין תחומי STEM באופן אינטגרטיבי, ומאפשרים להם ללמד בצורה חווייתית ומועילה.

- **רשתות שיתופיות ושותפויות קהילתיות** מאפשרות לצוות החינוכי להביא מומחיות מהעולם האמיתי לכיתות, ומשפרות את האותנטיות של חוויות STEM בבית ספר⁷⁷.
- **שיתוף פעולה עם תעשייה** – יצירת שותפויות עם גורמים חיצוניים, כמו מהנדסים ומדענים, מעשירות את הפרקטיקה הפדגוגית ומביאות אתגרים אותנטיים לכיתה. הדבר לא רק מביא ידע מעשי, אלא גם מסייע למורה להסביר לתלמידים להבין את הקשר בין הלמידה התיאורטית לעולם האמיתי⁷⁸.

רמות אינטגרציה של מסגרות STEM

ניתן לקדם את תהליכי האינטגרציה של ה-STEM בשלבים, כמצוין:

- **נמוך** – אינטגרציות בסיסיות עם יישומים חוצי-תחומיים מוגבלים (למשל, פרויקטים פשוטים).
- **בינוני** – אינטגרציה מתונה עם נושאים משותפים בין דיסציפלינות (למשל, מפגשי מעבדה משותפים).
- **גבוה** – אינטגרציה מקיפה עם פרויקטים בינתחומיים בשיתוף פעולה מלא⁸⁰⁷⁹.

טכניקות רצף זמני ללמידת STEM משולבת

- **תיאום אנכי** – תוכניות הלימודים מעוצבות כך שהתלמידים יחזרו על מושגים מרכזיים ברמות מורכבות הולכות וגדלות עם הזמן, תוך בניית הידע הקודם שלהם⁸¹.
- **הוראה בספירלה** – רעיונות מרכזיים חוזרים על עצמם באופן תקופתי, כאשר כל סבב כולל יישומים מתקדמים יותר ופרויקטים בין-תחומיים⁸².
- **מעגלים תמטיים/חקירתיים** – מחזורי חקירה מובנים שמחברים בין נושאים שונים, כך שהתלמידים יכולים לשלב בין פרספקטיבות דיסציפלינריות שונות על פני תקופה מסוימת.

עקרונות מנחים לאימוץ מודלים חדשניים של תכניות לימודים

ייחודיות הגישה המשלבת את כל מרכיבי ה-STEM – טמונה בשילוב בין עקרונות הערכה דיפרנציאליים, סביבות למידה טכנולוגיות-קוגניטיביות, והכשרת מורים, כל אלו מיועדים לטשטש גבולות דיסציפלינריים. גישה זו מאפשרת פדגוגיה סינרגטית שמחברת בין תחומים שונים, מכינה את התלמידים לאתגרים עתידיים ומספקת להם את הכלים הנדרשים כדי להצליח בעולם המהיר והמשתנה של היום. אך בעת יישום מושגי STEM בכיתה באמצעות מודלים חדשים, קיימים לא מעט אתגרים.

השיטות להתגברות על בעיות פוטנציאליות שעלולות להתעורר בעת שילוב המודלים
הן:

- **פיתוח חשיבה ביקורתית כערך על** – הטמעת מיומנויות מטה-קוגניטיביות בכל יחידת לימוד דרך שאלות פתוחות וניתוח ביקורתי של מקורות מידע. שתאפשר לתלמידים לפתח יכולות לחשוב באופן עצמאי ולבצע הערכות עצמיות.
- **גמישות פדגוגית** – מתן אוטונומיה למורים בבחירת שילוב הדיסציפלינות תוך תמיכה במערך כלים מתודולוגי גמיש. גישה זו מאפשרת למורים להתאים את הלמידה לפי צורכי תלמידיהם, תוך שמירה על אינטגרציה בין תחומי ה- STEM - השונים⁸³
- **תכנון מקיף** – תכנון קפדני ומפורט, כולל עיצוב תכניות לימודים, הקצאת משאבים ואסטרטגיות יישום במטרה לזהות ולצמצם מכשולים מראש.
- **שיתוף פעולה ותקשורת** – שיתוף פעולה בין מורים, מנהלים ובעלי עניין כדי לשתף רעיונות, לקדם שיטות עבודה מומלצות ולהקצות משאבים כדי לקדם סביבה תומכת ליישום.
- **הסתגלות וגמישות** – פתיחות להתאמה ושינוי תכנית הלימודים בהתבסס על משוב ואתגרים מתעוררים. הגמישות מאפשרת התאמות הנותנות מענה לצרכים ולנסיבות ספציפיים של התלמידים וסביבת הלמידה.
- **שיתוף פעולה קהילתי** – שילוב הורים, תעשיות מקומיות וארגונים קהילתיים כדי ליצור מערכת אקולוגית תומכת ליישום מודלים חדשניים של תכניות לימודים STEM. שיתוף פעולה עם שותפים חיצוניים יכול לספק משאבים נוספים, הזדמנויות חונכות וקשרים מהעולם האמיתי לסטודנטים.
- **הקצאת משאבים** – כולל מימון, טכנולוגיה וחומרים, כדי לתמוך ביישום מודלים חדשניים כדי לאפשר למורים לספק חוויות למידה מרתקות ומעשיות.

חינוך STEM המשולב עם תחומים נוספים

קיימות גרסאות שונות של STEM, בראש וראשונה יש את STEM + elements – תכנית עם דגש על הוספת תחומים נוספים כמו עיצוב, יזמות, חינוך חברתי או מדעי החברה. זוהי גישה שמרחיבה את גבולות ה- STEM לתחומי ידע אשר נוספים ליד השם, לדוגמא:

- **STEM for Agriculture** או **AG STEM**⁸⁴ – שילוב טכנולוגיות STEM לצורכי חקלאות לשם שיפור הייצור, החקלאות החכמה, והפיתוחים בתחום הסביבה והאקולוגיה (ארה"ב, הודו, וייטנאם ואוסטרליה).
- **STEM in Sustainability**⁸⁵ – מיקוד בקיימות, לקידום פתרונות בני קיימא

בעזרת תחומים כמו אנרגיה מתחדשת, חקלאות חכמה ומחזור, תוך שימוש בטכנולוגיות מתקדמות. (הודו, שוודיה, והולנד).

- **MINT** (בגרמנית) – גרסה של STEM בשפות גרמניות, המתמקדת במתמטיקה, אינפורמטיקה, מדעי הטבע והנדסה (גרמניה).

ויש תכניות STEM העושות שימוש באותיות נוספות המסמלות תחום ידע אחד או יותר, כאשר במקומות שונים מפרשים באופן שונה את ה"אותיות" או ההגדרות כמו שניתן לראות בהמשך. לדוגמא:

- **STEAM**⁸⁶ – כולל אומנויות Arts = A משלב יצירתיות ועיצוב. מתמקד בפיתוח מיומנויות כמו יצירתיות ופתרון בעיות (דרום קוריאה ובריטניה).
- **STEMM** – כולל רפואה Medicine = M בדגש על בריאות וביטכנולוגיה (סינגפור וארה"ב).
- **STREAM** – כולל קריאה ואומנויות Reading & Arts – RA (ארה"ב וקנדה).
- **C-STEM** – C = Creativity שילוב יצירתיות במטרה להדגיש את החשיבות של חשיבה יצירתית לפתרון בעיות טכנולוגיות ומדעיות (ארה"ב).
- **T-STEM** – T = Technology עוסק בעיקר בטכנולוגיה ובמה שהיא מביאה לעולם המדע וההנדסה, עם פחות דגש על מתמטיקה (ארה"ב).
- **E-STEM** – E = Equity פרשנות המתמקדת ביצירת חינוך STEM יותר כוללני, ועיצוב תוכניות שנועדו לשרת קבוצות שאינן מיוצגות⁸⁷ (תלמידי צבע, סטודנטים מהדור הראשון) כדי להגביר את המגוון בתחומי STEM (ארה"ב וקנדה). יש גם E = Environment משמע סביבתי – תכנית לימודים באוניברסיטת קורנל⁸⁸.
- **eSTEM** – e = Electronic אוריזציה המתמקדת בחוויות חונכות אלקטרונית כדי לשפר את זהות ה-STEM במיוחד עבור תלמידי תיכון מיוצגים באזורים כפריים (ארה"ב).
- **I-STEM** – I = Indigenous משמע "ילידי", יוזמות שמיועדות לשילוב חינוך STEM בקהילות ילידיות ולקדם את הייצוג של הקהילות הללו בתחומי STEM (אוסטרליה וקנדה).

בנוסף, קיימות עוד תוכניות מרובות הנושאות את הכותרת STEM בבתי ספר מקומיים ו/או העוסקות נושאים ייעודיים. אך למרות המגוון הרחב לכאורה, דו"ח חדש של האיחוד האירופי⁸⁹, טוען **שלמרות שהגישות המשולבות נראות מביחות ועומדות**

על בסיס תיאורטי חזק, הן מוגדרות ומיושמות בצורה לא עקבית, מה שמקשה על פיתוח תוכניות לימוד והערכה. ובמקביל קיים מחסור בביצוע מחקרים מדעיים הבוחנים את יעילותן מה שמקשה להעריך את השפעת החינוך המשולב לטווח הארוך.

גם בהיבט זה, כאן עולה ההזדמנות לקידום חיבורים רב-תחומיים במערך ה-STEM באמצעות מודולריות אחידה ויצירת בסיס גמיש ואחיד ללמידה. בניית תחום ה-STEM במבנה מודולרי אך אחיד מציעה בסיס המאפשר פיתוח מערך מושכל של חיבורים בין תחומי הדעת המדעיים לבין תחומים נוספים כמו רפואה, חקלאות, קיימות, מדעי החברה ועוד. גישה זו תומכת ביצירת רצפים פדגוגיים שממחישים לתלמידים כיצד עקרונות מדעיים והנדסיים משתלבים במציאות חייהם ונוגעים באתגרים גלובליים ומקומיים כאחד. באמצעות תכנון מובנה וגמיש, ניתן לשלב תכנים מגוונים באופן המדגיש הקשרים בין תחומי הידע, מעודד חשיבה מערכתית, ומעמיק את תחושת הרלוונטיות והמשמעות של הלמידה. כך נבנית יכולת אינטרדיסציפלינרית בקרב התלמידים, לצד ראיית עתיד ויישום של ידע מדעי וטכנולוגי לפתרון בעיות מורכבות – מתוך סקרנות, הקשר ומעורבות אישית.

רצף חינוכי בחינוך STEM

חשיבות הרצף החינוכי של STEM

המשכיות בחינוך STEM אינה רק צבירת ידע, אלא תהליך הדרגתי ורציף שמתחיל בילדות המוקדמת ונמשך לאורך כל החיים. הרצף החינוכי בתחום STEM חשוב במיוחד כי הוא מאפשר לתלמידים לפתח כישורים חיוניים להצלחה בעולם שבו טכנולוגיה וחדשנות משחקות תפקיד מרכזי. מטרת ה-STEM היא להבטיח שכלל התלמידים יוכלו לתפקד בהצלחה כאזרחי העתיד, במציאות משתנה ומאתגרת⁹⁰. לכן, תפקיד החינוך הטכנולוגי הוא להבטיח שהלומדים ירכשו ידע והבנה של מושגים מדעיים ומתמטיים, יתנסו בתהליכים שמובילים לקבלת החלטות מושכלות, וישתתפו באופן פעיל בנושאים אזרחיים ותרבותיים, תוך כדי מעורבות יעילה בכלכלה. כדי להבטיח שהדרישות הללו יעמדו בציפיות ויטפחו חדשנות, יש צורך להתחיל בחינוך STEM רציף ומתמשך, שילווה את התלמידים מלידה ועד זיקנה⁹¹, יתחיל כבר בגיל צעיר להצית תשוקה לתחומים של מדע, טכנולוגיה, הנדסה ומתמטיקה, ויטפח מערך כישורים שמהווה יתרון קריטי במגוון רחב של קריירות STEM.

חינוך STEM בגיל הרך – הנחת היסודות

חשיפה מוקדמת ל-STEM – הינה חיונית להתפתחות הקוגניטיבית של ילדים צעירים, הן בהיבט של רכישת מיומנויות כמו זיהוי דפוסים, לוגיקה וניתוח, והן בהתפתחות

החברתית-רגשית. מחקרים מצביעים על כך שבניית סקרנותם הטבעית של ילדים תורמת למוטיבציה ולנחישות, ובכך משפיעה על כישוריהם הקוגניטיביים ושיפור הלמידה⁹². למידה מוקדמת בתחום STEM מקדמת גם את ההתפתחות החברתית-רגשית, הכוללת כישורים כמו חשיבה ביקורתית, שיתוף פעולה ויכולת פתרון בעיות⁹³. החשיפה לגישות STEM בגיל הרך תורמת לפיתוח גישות חיוביות כלפי מדע והנדסה, מסייעת לגשר על פערים מגדריים ומבנה את המיומנויות החיוניות כמו יצירתיות והתמדה⁹⁴. חינוך STEM מוקדם לא רק תורם להתפתחות קוגניטיבית, אלא גם מגביר את יכולות הזיהוי, הלוגיקה והניתוח של הילדים. פעילויות מדעיות בגיל הרך משפרות את כישורי התצפית, המיון, המדידה, התקשורת, ההסקת מסקנות, החיזוי והניסוי, ומניחות את הבסיס לפיתוח קוגניטיבי וחברתי⁹⁵. ילדים שלא נחשפו למדעים בגיל הרך עלולים להיתקל בקשיים בהמשך דרכם החינוכית⁹⁶.

למידה המבוססת על משחק וגישות חקר הן דרכים יעילות להציג מושגי STEM בחינוך בגיל הרך. ניסויים פשוטים וחקירת טבע יכולים לתרום להבנת מושגים בסיסיים, וצעצועים חינוכיים כמו טאבלטים עם אפליקציות קידוד יכולים להציג תכנות בצורה מהנה. אספקת חומרי בנייה פתוחים מעודדת ילדים לתכנן ולבנות, ומקדמת מודעות מרחבית ומושגי הנדסה. פעילויות כמו חיפוש חפצים בטבע, שתילת זרעים ואתגרי קוביות בנייה מתאימות ללמידת STEM בגיל הגן⁹⁷. שילוב של מדע ואמנות יכול לשפר עוד יותר את היצירתיות והחשיבה הביקורתית⁹⁸.

כדי ליצור רצף בין חוויות מוקדמות לבית הספר הפורמלי, יש לנצל את הסקרנות הטבעית של הילדים ולהניח בסיס חזק ללמידה עתידית. קידום למידת STEM בגיל הרך מנצל את רצונם של הילדים להבין את עולמם ומסייע בהנחת בסיס למיומנויות שיכולות להוביל לקריירות מבוקשות. חשיפה מוקדמת ל STEM – נותנת לילדים יתרון התחלתי ברכישת מיומנויות בתחומים קריטיים. כדי להבטיח מעבר חלק לחינוך STEM ב-K-12 יש להמשיך לפתח מיומנויות בסיסיות ולשמור על מעורבות פעילה של התלמידים⁹⁹. המשכיות בחינוך STEM מבטיחה למידה רציפה ומתקדמת, המבוססת על יסודות חזקים. קוהרנטיות בין תחומי STEM השונים מקדמת גישה משולבת ומביאה להבנה הוליסטית של המושגים השונים. שילוב מושגים ממספר נושאים מאפשר פיתוח תוכנית לימודים מעמיקה ומועילה, תוך שמירה על אסטרטגיות זמן נכון שמסייעות לתלמידים ולהכשרת המורים לכך¹⁰⁰.

חינוך STEM ב-K-12: בניית מיומנויות וטיפול עניין

חינוך STEM בבתי ספר יסודיים ותיכונים (K-12) הוא קריטי לפיתוח חשיבה ביקורתית, יצירתיות ויכולת פתרון בעיות. כאמור, גישת STEM נועדה להבטיח שהתלמידים יהיו

מוכנים להצליח כאזרחי העתיד, כשהם מצוידים ביכולת לנתח ולפתור בעיות מהמציאות היומיומית והחברתית. חינוך STEM הכולל גישות משולבות, מקדם לא רק את חשיבתם הביקורתית והיצירתית של התלמידים, אלא גם את יכולת העבודה בצוות ופתרון בעיות¹⁰¹. בנוסף, הוראת STEM בגיל מוקדם מעבר להנחת יסודות לקריירות עתידיות בתחום, גם תורמת לחיים האישיים של התלמידים בכך שהיא מעודדת אותם לחשוב בצורה מסודרת וממוקדת¹⁰². חינוך STEM מקדם מיומנויות כמו תכנון, הסקת מסקנות וחשיבה ברמות גבוהות, ומכין את התלמידים להתמודד עם אתגרים טכנולוגיים¹⁰³.

בשלב ה-K-12 חינוך STEM משחק תפקיד מכריע בהכנת התלמידים להשכלה גבוהה וקריירות עתידיות. החינוך בתחום זה מפתח מיומנויות נדרשות ומגביר את העניין בתחומים טכנולוגיים, מדעיים והנדסיים. בתי הספר חייבים להטמיע חינוך STEM איכותי כדי למנוע מתלמידים להישאר מאחור בשוק העבודה המשתנה במהירות¹⁰⁴. חינוך STEM מכין את התלמידים לקריירות בתחום טכנולוגי ומאפשר להם לעבור במהירות לשוק העבודה, תוך שמירה על יתרון תחרותי. והכרות עם גישת ה-STEM בגיל צעיר פותחת בפני התלמידים הזדמנויות לחקור ולהתעניין בנושאים טכנולוגיים, מה שכאמור עשוי להוביל למגמות לימודים וקריירות עתידיות¹⁰⁵. חינוך זה מצייד אותם בכישורים וידע חשובים שמציעים להם הזדמנויות למגוון קריירות. לכן, חינוך STEM איכותי ב-K-12 הוא מאמץ חיוני, שמקדם חשיבה אנליטית וביקורתית ומטפח את הדור הבא של חדשנים ויזמים.

STEM באקדמיה: טיפוח מחקר, חדשנות ויזמות

לימודי STEM באוניברסיטאות ממלאים תפקיד חיוני בפיתוח כישורי מחקר, כולל ניתוח נתונים, חשיבה מתמטית, חקר מדעי ותקשורת¹⁰⁶. תוכניות מחקר אקדמיות בתחום STEM מיועדות לשמר סטודנטים במערכת, להבטיח את הצלחתם בתחומי ההנדסה והמדעים, ולחזק את האוריינות ההנדסית, הכמותית והמדעית.

תפקיד האקדמיה הוא להתאים את תוכניות הלימוד שלה על מנת לענות על הצרכים המשתנים של שוק העבודה, דרישות התעשייה והצורך לטפח חדשנות ויזמות. חינוך STEM בעידן של התקדמות טכנולוגית מהירה וחדשנות, מהווה את עמוד השדרה של החברה, מניע את הקדמה ומגשר על הפער בין מחקר אקדמי לחדשנות שוק¹⁰⁷. הוא כולל תחומים טכניים כמו מדעי המחשב, ומדגיש מיומנויות כמו פתרון בעיות, חשיבה ביקורתית ותכנון. ההשכלה הגבוהה צריכה להרחיב את הגישה ללמידה לאורך החיים, להציע למידה מותאמת אישית, לשתף פעולה עם התעשייה ולשלב טכנולוגיות חדשות בתוכנית הלימודים על מנת להתאים לשוק העבודה המשתנה¹⁰⁸. במיוחד מאחר

ותפקידים בין-תחומיים המשלבים מיומנויות STEM ועסקים נמצאים במגמת עלייה וביקוש¹⁰⁹.

בנייה נכונה של יסודות ה-STEM ב-12-K - משפרת את תוצאות STEM בהשכלה הגבוהה על ידי הבטחת כניסת סטודנטים עם ידע בסיסי חזק ותשוקה לתחום¹¹⁰. ל-STEM אקדמי יש חשיבות רבה בהנעת התקדמות טכנולוגית וצמיחה כלכלית, באמצעות הכשרת בוגרים מיומנים ולטיפוח מחקר. היות ותחומי STEM מהווים את עמוד השדרה של החברה ומניעים את הקדמה בתחומים שונים, וקריירות בתחום STEM הן בין התפקידים הצומחים והמתגמלים ביותר, ההשקעה בחינוך STEM חיונית הן להכשרת כוח העבודה העתידי והן לשימור התחרותיות הכלכלית.

STEM בצבא: פיתוח יכולות טכנולוגיות מתקדמות

לכישורי STEM יש חשיבות רבה במגוון תפקידים צבאיים, כולל בהנדסה, רפואה, סייבר ומודיעין¹¹¹. תחום זה הוא קריטי למהפכה בתעשיית הביטחון, בכך שהוא מניע פיתוח טכנולוגיות מתקדמות ומערכות ביטחוניות¹¹². שדה הקרב המודרני, המנוהל באמצעות טכנולוגיה דורש תפקידים צבאיים מומחי STEM הכוללים: מהנדסים, טכנולוגים, מדענים, חוקרים, אנשי רפואה ומומחי סייבר¹¹³.

תוכניות ההכשרה הצבאיות משלבות מיומנויות טכנולוגיות מתקדמות, לרוב באמצעות חוויות מעשיות ויישומים בעולם האמיתי¹¹⁴. הניסיון שנצבר בצבא יכול לשמש כאבן דרך להמשך לימודים בתחום STEM או קריירה אזרחית, על ידי תרגום מיומנויות צבאיות לכישורים אזרחיים. יוצאי צבא נושאים עימם מומחיות טכנית ייחודית, כישורי פתרון בעיות, מנהיגות ויכולת הסתגלות, התואמים את דרישות התחום¹¹⁵. הצבא תורם למאגר הכישרונות הלאומי ב-STEM על ידי מתן הכשרה ויצירת עניין בתחום, ובכך תומך בביטחון הלאומי של המדינה.

STEM בעולם התעסוקה: מיומנויות חיוניות לכלכלה המודרנית

הדרישה לכישורי STEM בשוק העבודה הולכת וגדלה, עם מקצועות מבוקשים כמו מפתחי תוכנה, אנליסטים של נתונים, מהנדסים ואנשי מקצוע בתחום הבריאות. תחום ה-STEM חווה צמיחה מהירה, עם הזדמנויות רבות לקריירות מתוגמלות הצפויות בעתיד.

התנסויות STEM אקדמיות וצבאיות גם הן מספקות בסיס חזק להצלחה בקריירות STEM בכוח העבודה האזרחי¹¹⁶. ולכוח עבודה מיומן ב-STEM יש יתרונות כלכליים וחברתיים משמעותיים, בהם הנעת חדשנות, צמיחה כלכלית ויכולת להתמודד עם אתגרים גלובליים. לכן, כוח עבודה חזק בתחום STEM חיוני לשגשוג כלכלי לאומי,

חדשנות ויכולת לפתור בעיות מורכבות.

לאור זאת, תפקידה של מערכת החינוך להכין את התלמידים לקריירות STEM על ידי התאמת תוכניות הלימודים ולטפח מיומנויות רלוונטיות. עליה להתמקד בפיתוח מיומנויות כגון פתרון בעיות, חשיבה ביקורתית, עבודת צוות ויכולת הסתגלות על מנת להכין את התלמידים לצבא ולשוק העבודה המתפתח¹¹⁷.

למידת STEM לאורך החיים: רצף חינוכי מעורבות מתמשכת והתאמה

ההתקדמות המהירה בטכנולוגיה ושוק העבודה המתפתח מחייבים למידה מתמשכת בתחום STEM. כדי להישאר תחרותיים, על אנשי STEM להמשיך ללמוד לאורך כל החיים, מאחר ושימור ושיפור הכישורים הינם חיוניים. למידה לאורך החיים בגישת STEM מעודדת צמיחה אישית ומקצועית, ומדגישה את היתרונות שלה לקידום קריירה ויכולת הסתגלות. הדבר משפר את הסיכוי להתפתח מקצועית ותורם ליכולת להתמודד עם אתגרים עתידיים. למידה לאורך החיים חיונית לשמירה על חברה תחרותית וחדשנית, בכך שהיא מבטיחה כוח עבודה מיומן שמסוגל להסתגל לצרכים המתפתחים של הכלכלה ולפתור את האתגרים של המאה ה-21. חברה המאמצת למידה לאורך החיים בתחום STEM תתרום לפיתוח תרבות של חדשנות מתמשכת ותספק כוח עבודה שמתאים לדרישות העתיד.

גישה הוליסטית ורציפה לחינוך STEM לאורך כל שלבי החיים, תוך שמירה על הקשר בין כל שלב ושלב בתהליך הלמידה, מציעה יתרונות רבים. הדבר מאפשר לתלמידים להבין את הקשרים בין תחומי STEM שונים ומצייד אותם בכישורים ובידע הדרושים לעולם המורכב סביב. הכישורים והידע הנרכשים בכל שלב של חינוך STEM נבנים אחד על השני, ויוצרים אפקט מצטבר של למידה. חוויות STEM מוקדמות מניחות בסיס חזק ומאפשרות לתלמידים להתקדם בצורה חלקה בשלב הבא של הלמידה. על מנת ליצור רצף טבעי ויעיל בחינוך STEM יש לתכנן בקפידה את תוכניות הלימודים ולוודא שהן מתואמות ברמות החינוך השונות, תוך כדי השקעה בהכשרה מתמדת למורים. יצירת רצף חלק בחינוך STEM דורשת שילוב תוכניות לימודים בין תחומים שונים ובין רמות שונות בכיתה, מה שיתרום לפיתוח מקצועי של המורים ולייעול הלמידה.

מערכת חינוך מבוססת STEM מגובשת ומתמשכת לכל החיים תשפיע בטווח הארוך על הישרדות החברה, על ידי יצירת אוכלוסייה מוכנה לעתיד, המסוגלת להניע חדשנות ולפתור בעיות מורכבות. חינוך STEM רציף וכולל לאורך כל החיים יאפשר לפתח דור חדש של יזמים ומובילים בתחום החדשנות והטכנולוגיה. לכן, קידום חינוך STEM לאורך כל שלבי החיים, החל מהגיל הרך ועד לבגרות, חיוני ליצירת חברה מוכנה לעתיד. רצף חינוכי זה מבטיח פיתוח מתמשך של מיומנויות חיוניות, טיפוח חדשנות והכנה

להתמודד עם אתגרים מורכבים. על מקבלי ההחלטות וצוותי היישום במערכת החינוך לפעול יחד כדי ליצור ולתמוך במערכת STEM רציפה והוליסטית, שתאפשר לכל אדם למצות את הפוטנציאל שלו ולתרום לחברה משגשגת ומתקדמת.

4. חינוך מותאם אישית ומבוסס כשירויות בתחום ה-STEM

חינוך מותאם אישית בתחום ה-STEM

למידה מותאמת אישית מייצגת שינוי פרדיגמה חינוכית, המתרחקת מהמודל המסורתי שבו כל התלמידים מקבלים את אותה הדרכה באותו הקצב¹¹⁸. גישה זו מתאימה את החוויות החינוכיות כדי לענות על הצרכים הייחודיים, ההעדפות וסגנונות הלמידה של כל תלמיד בנפרד¹¹⁹ לאור ההכרה שתלמידים לומדים בקצב שונה ובאמצעות שיטות שונות, והיא מאתגרת את הסטנדרטיזציה ההיסטורית שאפיינה מערכות חינוך.

החשיבות של למידה מותאמת אישית עולה במיוחד בהקשר של נוף טכנולוגי המתפתח במהירות והדרישות של כוח העבודה של המאה ה-21¹²⁰. העולם המודרני דורש אנשים בעלי מערך מגוון של כישורים ויכולת להסתגל לשינוי מתמשך. למידה מותאמת אישית יכולה לטפח תכונות אלה על ידי טיפוח למידה בהכוונה עצמית, חשיבה ביקורתית וכישורי פתרון בעיות המותאמים לחוזקות ולתחומי העניין האישיים. גם אופי העבודה עובר שינוי עקב התקדמות הטכנולוגיה, ותחומי STEM נמצאים בחזית האבולוציה הזו. לכן, כדי להכין את התלמידים כראוי לקריירות עתידיות, החינוך חייב להתמקד בפיתוח הסתגלות וחדשנות, תחומים שבהם למידה מותאמת אישית יכולה לספק תמיכה מכרעת.

חינוך STEM מותאם אישית הינו בעל פוטנציאל לשפר באופן משמעותי את מעורבות התלמידים והשליטה שלהם במושגים מורכבים. מקצועות STEM המאתגרים לעיתים את הלומדים, נעזרים בגישות מותאמות אישית המפרקות רעיונות מורכבים ומספקות מענה לנתיבי למידה אינדיבידואליים. גישה כזו יכולה להפחית את חרדת התלמידים, לחזק את ביטחונם בהתמודדות עם מקצועות אלו, ולהוביל להגברת המעורבות ולשיפור תוצאות הלמידה.

הספרות האקדמית מספקת יותר ויותר עדויות למגמה גוברת של למידה מותאמת אישית בחינוך STEM, המתאפשרת לרוב על ידי שילוב של בינה מלאכותית¹²¹. המספר הרב של מחקרים ופרסומים בנושא זה מדגיש את הרלוונטיות והפוטנציאל של הנושא בתוך הקהילה האקדמית. מחקרים שניתחו את ההשפעה של למידה מותאמת אישית

על תוצאי התלמידים ב-STEM חשפו מגמות חיוביות, כולל שיפור ביצועים אקדמיים ושיפור מיומנויות דיגיטליות. מטה-אנליזה שבחנה את האפקטיביות של מערכות למידה אדפטיביות המופעלות על ידי בינה מלאכותית מצאה גודל אפקט חיובי בינוני עד גדול על תוצאי הלמידה הקוגניטיביים של התלמידים בהשוואה להתערבויות למידה לא אדפטיביות¹²². באופן דומה, גם בהשכלה גבוהה דווח כי גישות כאלה הגדילו את הביצועים האקדמיים ברוב המחקרים¹²³. נתונים סטטיסטיים מראים שלומדים בתוכניות למידה מותאמות אישית נוטים להשיג ציונים גבוהים משמעותית גם במבחנים סטנדרטיים ומדגימים ביצועים טובים יותר במקצועות כמו מתמטיקה וקריאה¹²⁴. כמו כן, נמצא גם שיישומים נייחים המופעלים על ידי בינה מלאכותית בחינוך STEM הוכחו כיעילים בשיפור מיומנויות מעשיות של התלמידים יותר מאשר שיטות הוראה מסורתיות¹²⁵. הממצאים החיוביים הללו תומכים נחרצות בטענה שלמידה מותאמת אישית, במיוחד כאשר היא מוגברת על ידי בינה מלאכותית, הינה בעלת השפעה מועילה על הישגי התלמידים ב-STEM.

יתר על כן, המחקר מדגיש כי אסטרטגיות מותאמות אישית יכולות לשפר באופן משמעותי את המוטיבציה והמעורבות של התלמידים בלמידה, את חוויית הלמידה הכוללת של התלמידים ואת תחושת ההשתתפות שלהם. סביבות למידה מותאמות אישית מציגות שיעורי מוטיבציה ומעורבות גבוהים משמעותית של התלמידים בהשוואה למסגרות כיתתיות מסורתיות. וכפועל יוצא, המוטיבציה הפנימית הופכת את תהליך הלמידה למרגש ורלוונטי יותר עבור כל תלמיד בנפרד¹²⁶ ומובילה לעלייה ניכרת בשיעורי ההשתתפות שלהם. הדבר מוכיח שלמידה מותאמת אישית מתמודדת ביעילות עם אתגר מרכזי בחינוך STEM, והוא השמירה על העניין והמוטיבציה של התלמידים.

העקרונות של למידה מותאמת אישית נחקרים ומיושמים גם מעבר לחינוך K-12, היישום של למידה מותאמת אישית ברמת התואר השני בתחומי STEM מצביע על הפוטנציאל שלה לתת מענה לאתגרים ספציפיים של ההשכלה הגבוהה, כמו הכנת סטודנטים לנתיבי קריירה מגוונים ומתן תמיכה נאותה לסטודנטים מרקע סוציו-אקונומי שונה וחסר ייצוג. הדבר מצביע על כך שלמידה מותאמת אישית היא גישה רב-תכליתית עם רלוונטיות על פני כל הספקטרום החינוכי.

יתרונות וחסרונות של חינוך STEM מותאם אישית:

מחקרים מצביעים בעקביות על יתרונות פוטנציאליים של חינוך STEM מותאם אישית, שהם: **שיפור ביצועים אקדמיים ושיפור מיומנויות דיגיטליות.** חוויות למידה מותאמות גם הוכחו כמגבירות משמעותית את **מעורבות התלמידים והמוטיבציה שלהם**¹²⁷. לכן, חינוך STEM מותאם אישית יכול ליעל את תהליך הלמידה, ולהוביל

לרכישת ידע באופן יעיל יותר ולהבנה ארוכת טווח. הלמידה גם הופכת לנגישה ומרתקת יותר מעצם ההבנה שלתלמידים שונים יש חוזקות שונות, כגון העדפות חזותיות, שמיעתיות או קינסטטיות, ולמידה מותאמת אישית יכולה לספק תוכן ופעילויות התואמות לחוזקות אלה.

פיתוח כשירויות עתיד – למידה מותאמת אישית ב-STEM משלבת לרוב מתודולוגיות כמו למידה מבוססת פרויקטים/תופעות ולמידה מבוססת חקר, המטפחות באופן טבעי את **כישורי חשיבה ביקורתית, פתרון בעיות, יצירתיות ושיתוף פעולה**. במקום קליטה פסיבית של מידע, למידה מותאמת אישית של STEM כוללת לרוב מעורבות פעילה הדורשת מהתלמידים לחשוב בצורה ביקורתית, לשתף פעולה ביעילות ולמצוא פתרונות יצירתיים. תלמידים עם יותר שליטה על נתיב הלמידה שלהם המקבלים תמיכה מותאמת אישית, סביר **שיפתחו ביטחון רב יותר ביכולותיהם ויפגינו פעלנות בתהליך המסע החינוכי שלהם, מה שיוביל בתורו להגברת היעילות העצמית ולהעצמת תחושת הבעלות על הלמידה**. ואכן, למידה מותאמת אישית מעצימה את התלמידים לקבל החלטות לגבי הלמידה שלהם, להציב יעדים, לעקוב אחר ההתקדמות שלהם, ולטפח פעלנות שתוביל להגברת המוטיבציה ולשיפור התוצאות האישיות.

לצד היתרונות קיימים גם אתגרים ומגבלות, כמו:

חששות אתיים בנוגע לפרטיות הנתונים – איסוף וניתוח של נתוני תלמידים, החיוני להתאמה אישית, מעורר חשש לאור הפוטנציאל לשימוש לרעה במידע רגיש זה.

סיכון מוגבר של תלות טכנולוגית – דורש שמירה על איזון בין שימוש בטכנולוגיה לאינטראקציה אנושית. בעוד שהטכנולוגיה היא כלי רב עוצמה, היא צריכה להשלים, לא להחליף, את תפקידם החיוני של המורים כמנטורים, מנחים ומספקי תמיכה חברתית ורגשית.

גישה לא שוויונית לטכנולוגיה ולמשאבי למידה באיכות – פערים בגישה עלולים להחריף את פערי ההישגים הקיימים, ולערער את המטרה של חינוך שוויוני.

מאמץ משמעותי בתכנון תכניות לימודים, פיתוח הערכה והכשרת מורים – למידה מותאמת אישית מחייבת מעבר מהערכות סטנדרטיות לשיטות גמישות ומעצבות יותר שיכולות לעקוב אחר הצמיחה האישית של התלמידים ולספק משוב משמעותי. הרחבת תוכניות למידה מותאמות אישית ביעילות, במיוחד בתוך מערכות חינוך גדולות, יכולה להיות עתירת משאבים ועלולה להיתקל במכשולים לוגיסטיים הקשורים לתשתית, טכנולוגיה וקיבולת מורים. יישום יעיל של למידה מותאמת אישית מצריך פיתוח מקצועי ותמיכה מתמשכים במורים הנדרשים לרכוש מיומנויות וגישות פדגוגיות חדשות כדי

להנחות ולתמוך בתלמידים בסביבות אלה. כמו כן, אנשי חינוך נדרשים להכשרה בתחומים כמו ניתוח נתונים, הוראה מותאמת, שילוב טכנולוגיה ופדגוגיה ממוקדת תלמיד.

עלויות ההשקעה הראשוניות הקשורות ליישום למידה מותאמת אישית, כולל תשתית טכנולוגית ופיתוח מקצועי, עלולות להוות חסם משמעותי עבור חלק מהמוסדות חינוכיים¹²⁸. אך מאחר ולמידה מותאמת אישית עשויה להציע יתרונות ארוכי טווח, יש לשקול בקפידה את ההשקעה הכספית הראשונית מול התשואות הפוטנציאליות במונחים של שיפור תוצאי התלמידים ויתרונות חינוכיים אחרים.

ניתן לזהות שהיתרונות של חינוך STEM בהתאמה אישית מתייחסים יותר לפיתוח אישי של הלומד בכל הקשור להיבט המקצועי ולרכישת מיומנויות וכשירותים בה בשעה שהחסמים והאתגרים עוסקים בעיקר בהיבט הארגוני ובאקוסיסטם של תכניות הטמעת ה-STEM.

חינוך STEM מותאם אישית למול שיטות מסורתיות

ההבדלים הפדגוגיים המרכזיים בין חינוך STEM, הכולל לרוב מרכיבים מותאמים אישית, לבין חינוך מסורתי, כוללים: **גישת הלמידה** (הדגשת עשייה על פני שינון); **מיקוד** (מתן עדיפות ליישום על פני סקירה רחבה); **סגנון ההוראה** (נטייה ללמידה בהכוונה עצמית של התלמידים ולא להוראה מונחת מורה); **ושילוב המקצועות**¹²⁹. הממצאים לגבי האפקטיביות של שתי גישות אלה אינם תמיד חד משמעיים, מה שמרמז שההשפעה של למידה מותאמת אישית עשויה להיות תלויה בגורמים שונים. גורמים אלה יכולים לכלול את איכות היישום שלה, את מקצוע STEM הספציפי הנלמד, את המאפיינים של התלמידים המעורבים ואת המדדים הספציפיים המשמשים להערכת ההצלחה.

השוואה בין חינוך STEM מסורתי ומותאם אישית

תכונה	חינוך STEM מסורתי	חינוך STEM מותאם אישית
גישת למידה	למידה על ידי קריאה/שינון ¹³⁰	למידה על ידי עשייה, פעילויות מעשיות
מיקוד	מגוון רחב של מקצועות, סקירה של כל אחד ¹³¹	העמקה במקצועות STEM, יישום ידע
סגנון הוראה	מונחה מורה, הרצאות, שיעורים מתוכננים מראש	מונחה תלמיד, תלמידים מובילים דיונים, ניסויים
קצב	אחיד לכל התלמידים	גמיש, מותאם לצרכים אישיים

הערכה	בעיקר מבחנים ומשימות אישיות	מגוונת, כולל משימות ופרויקטים ביצועיים ¹³²
תפקיד התלמיד	מקבל פסיבי של מידע	משתתף פעיל, פותר בעיות, משתף פעולה
תפקיד המורה	במרכז הבמה, מעביר הדרכה	מנחה, מדריך, תומך בצרכים אישיים
שילוב בין מקצועות	המקצועות נלמדים לעתים קרובות בנפרד, לעיתים כתוכניות מיוחדות	גישה משולבת המחברת בין דיסציפלינות STEM

אין ספק שלמידה מותאמת אישית יכולה לשפר את הבנת התלמידים, חשיבתם הביקורתית ושימורם לטווח ארוך, באופן יעיל יותר מאשר שיטות הוראה מסורתיות. שיטה זו משפיעה גם על המוטיבציה של התלמידים כלפי STEM דבר שעשוי לשפר הצלחה אקדמית ולתמוך בבחירות קריירה בעתיד.

כאמור, מערכות למידה אדפטיביות מבוססות בינה מלאכותית משפרות את תהליך הלמידה, באמצעות התאמת תוכן לרמת התלמיד והענקת תמיכה בזמן אמת. שילוב בינה מלאכותית ולמידת מכונה צפוי להתרחב בתוכניות STEM ובפלטפורמות למידה מותאמות אישית, ולשפר את החדשנות בתוכניות לימוד, הערכה ואסטרטגיות הוראה. גישות אלו מאפשרות לתלמידים מעבר ללמידה בקצב אישי גם לשלב בין תחומים שונים, כמו אומנויות, מדעי הרוח, חקלאות ורפואה, מה שמוביל לגישה הוליסטית וחדשנית.¹³³

מגמות אלו דורשות מדיניות שתתמוך ביישום אתי ושוויוני של טכנולוגיות למידה מותאמת אישית, תוך שמירה על פרטיות הנתונים והגברת הגישה השוויונית לטכנולוגיה. יש להשקיע בהכשרת מורים ובפיתוח מקצועי, ולבצע מחקר ופיתוח מתמשכים כדי להנגיש פתרונות חסכוניים הניתנים להרחבה בעתיד כמו כן, לצד מחקרי ההמשך בתחום, יש לוודא הערכה מתמשכת של תוכניות למידה STEM מותאמות אישית החיונית למדידת השפעתן ולשיפורן.

כשירות STEM – האם קיימת בכלל?

ארגונים בינלאומיים ומוסדות חינוך מציעים הגדרות שונות למושג כשירות STEM. אנציקלופדיית בריטניקה מגדירה חינוך STEM **כגישה רב-תחומית המשלבת מושגים אקדמיים עם שיעורים מהעולם האמיתי, כאשר התלמידים מיישמים מדע, טכנולוגיה, הנדסה ומתמטיקה בהקשרים המקשרים בין בית הספר, הקהילה,**

העבודה והארגון הגלובלי, ובכך מאפשרים פיתוח אוריינות STEM¹³⁴. הגדרה זו מדגישה את חשיבות האינטגרציה בין התחומים השונים ואת היישום הפרקטי של הידע הנרכש. יחד עם זאת, המונח "אוריינות STEM" מרמז על רמה בסיסית של הבנה ויכולת שימוש בידע STEM, מה שעשוי להעלות את השאלה האם "כשירות STEM" היא רמה גבוהה יותר של יכולת, הכוללת מיומנויות מעבר לידע בסיסי?

משרד החינוך בורג'יניה ארה"ב מתייחס לחינוך STEM **כחווית למידה אותנטית ובין-תחומית המקשרת בין תחומי המדע, הטכנולוגיה, ההנדסה והמתמטיקה¹³⁵.** כאשר הדגש בהגדרה הוא על פיתוח אזרחים בעלי אוריינות STEM המסוגלים לקבל החלטות מושכלות ולהשתתף בשיח ציבורי בנושאים קשורים לתחומי STEM. תפיסה זו מחברת את כשירות STEM לא רק לידע טכני אלא גם **ליכולת להבין את ההשלכות של STEM על החברה ולפעול כאזרחים מעורבים.** האיגוד הלאומי למורי מדע (NSTA) בארה"ב תומך בחינוך STEM כגישה בין-תחומית המקשרת בין תוכן הלימוד ליישומים אותנטיים ורלוונטיים¹³⁶. ההגדרה לפיו מתמקדת בפדגוגיה ובמוכנות עתידית, ומרמזת על כך **שכשירות STEM אינה רקידע אלא גם יכולת פעולה והתמודדות עם אתגרים עתידיים.** ולבסוף, ארגון STEM Education Greece מדגיש את שילוב ההנדסה והתכנות בתהליך החינוכי, תוך מתן עדיפות לחינוך היסודי¹³⁷ כחלק מבניית כשירות STEM, מה שמדגיש את **החשיבות של מיומנויות מעשיות ויישומיות.**

הגדרות אקדמיות נוספות הגדרות מעמיקות יותר מנסות לפרק את המושג כשירות STEM למרכיביו השונים. ויליאמס (2018) הציע הגדרה המדגישה את עומק ההבנה ואת היכולת ליישם ידע באופן גמיש, לצד מרכיבי חשיבה וחקר, וטען **שהבנה של ידע דיסציפלינרי ותהליך בנייתו, ויישום גמיש שלו לפתרון בעיות אישיות הם מרכיבים בסיסיים של כשירות¹³⁸,** הכוללת: מושגים מדעיים, חשיבה מדעית ופרקטיקה של חקר. דימיטרובה וגטבה (2023) הגדירו כשירות STEM **כיכולת של הפרט ליישם ביעילות ידע, מיומנויות ועמדות בחיי היום-יום, במקום העבודה או בסביבה החינוכית¹³⁹**¹⁰. ההגדרה זו מרחיבה את תחום היישום של כשירות STEM מעבר למסגרת האקדמית וכוללת גם את מרכיב ה"עמדות", דבר המרמז על חשיבות המוטיבציה, הסקרנות וההתמדה בתחומי STEM. קלויאנובה ופפאנצ'בה (2023) הציגו את כשירות STEM **כמבנה כללי עם מרכיבים מגוונים, המתחלק לשתי קבוצות עיקריות: ידע, עמדות וערכים הקשורים לדיסציפלינות STEM, והמיומנויות ליישם ידע זה בהתאם לשיקולים אתיים¹⁴⁰.** ההגדרה זו מוסיפה את הממד האתי ליישום ידע STEM, ושילוב "ערכים" מדגיש את האחריות החברתית והמוסרית של אנשים בעלי כשירות STEM. ויש המדגישים כי **תחומי ה-STEM בכלל קריטיים לקידום חדשנות וצמיחה כלכלית¹⁴¹** כאשר הקשר לקידום חדשנות וצמיחה כלכלית מדגיש את הערך המעשי של כשירות STEM.

ניתן לראות כי הגדרות כשירות STEM הן מגוונות ומשקפות נקודות מבט שונות של ארגונים, מוסדות חינוך וחוקרים. עם זאת, קיים מכנה משותף רחב סביב הרעיון של **שילוב ידע מתחומי המדע, הטכנולוגיה, ההנדסה והמתמטיקה עם מיומנויות חשיבה, פתרון בעיות ויכולת יישום בהקשרים שונים.**

האופן שבו כשירות STEM תוגדר ותיושם בעתיד צפוי להיות מושפע ממגמות עכשוויות בחינוך, טכנולוגיה ושוק העבודה. אחת המגמות המרכזיות והבולטות היא **המעבר מלימוד דיסציפלינרי נפרד לגישה משולבת (Integrated STEM)**, המדגישה את הקשרים בין תחומי המדע, הטכנולוגיה, ההנדסה והמתמטיקה המקודמת מתוך הבנה שהעתיד דורש חשיבה הוליסטית ושילוב ידע ממגוון תחומים גם מעבר לתחומי ה-STEM כמו אמנות, חקלאות, רפואה ועוד. מגמה נוספת היא **דגש על מיומנויות רכות (Soft Skills) הכוללות חשיבה ביקורתית, פתרון בעיות, עבודת צוות ויצירתיות.** גם בשוק העבודה העתידי, יידרשו **פיתוח מיומנויות בסיסיות חזקות וגמישות מקצועית,** אך בסבירות גבוהה כל אלו יידרשו על ידי כלל האזרחים כדי שיוכלו להשתתף באופן פעיל בחברה טכנולוגית. ולבסוף, גם **שימוש בטכנולוגיות מתקדמות כמו בינה מלאכותית, רובוטיקה ואינטרנט של הדברים** צפוי להשפיע על הגדרת כשירות STEM בעתיד, לאור הצורך באוריינות טכנולוגית וכישורי תכנות.

המגמות הללו מצביעות על כך שכשירות STEM תמשיך להתפתח ותכלול שילוב בין-תחומי, מיומנויות רכות, טכנולוגיות מתקדמות ואוריינות STEM רחבה. השפעתן של מגמות אלו על מערכת החינוך תדרוש התאמות משמעותיות, ומעקב מתמשך, לכן, יש להמשיך ולפתח את הדיון והמחקר בתחום, במיוחד בהקשר הישראלי.

כשירויות ומיומנויות הנדרשות בחינוך STEM

חינוך STEM מהווה מסגרת אינטגרטיבית לפיתוח לומדים בעלי יכולת הסתגלות, חשיבה מורכבת ויישום ידע במצבים משתנים. עם התפתחות עולם העבודה והחברה בעידן הדיגיטלי, מודגשת החשיבות של **פיתוח כשירויות (competencies)** מעבר לפיתוח **מיומנויות (skills)** ה-OECD, מגדיר כשירויות מדעיות כמאפיינים שחשוב לצעירים **לדעת, להעריך ולהיות מסוגלים לעשות במצבים הדורשים שימוש בידע מדעי וטכנולוגי**¹⁴². כשירויות אלו נתפסות כתוצאות חינוכיות מרכזיות המאפשרות לתלמידים לעסוק בנושאים הקשורים למדע, להבין רעיונות מדעיים ולהשתמש בהם לקבלת החלטות מושכלות. דו"ח של Cambridge Assessment, תוך התייחסות לעבודת ה-OECD, מגדיר כשירות יכולת **לשלב ולהחיל ידע, מיומנויות וגורמים פסיכו-סוציאליים** (כגון אמונות, גישות, ערכים ומוטיבציות) המתאימים להקשר, כדי לבצע בהצלחה באופן עקבי בתחום מוגדר¹⁴³. הגדרה זו מדגישה כי כשירות אינה רק

החזקה בידע או במיומנויות בנפרד, אלא היכולת לשלב אותם ולהשתמש בהם ביעילות במצבים אמיתיים. UNESCO תומך גם הוא בגישה של תכניות לימודים מבוססות כשירות, המכילות צעירים עם הידע, המיומנויות, הגישות והערכים הדרושים בעולם משתנה במהירות¹⁴⁴. לפיכך, בעוד **שמימנות** מתארת יכולת ספציפית הניתנת לרכישה באמצעות תרגול (כגון מדידה, פתרון משוואה או תכנות), **כשירות** מתייחסת ליכולת רחבה יותר הכוללת שילוב של ידע, מיומנויות, עמדות, ערכים, מוטיבציה, והיכולת ליישם אותם במצבים בלתי שגרתיים או מורכבים. לכן, **כשירויות STEM נתפסות כיעד העל של החינוך המדעי-טכנולוגי במאה ה-21**.

אך גם אם קיימת הסכמה על חשיבות הכשירויות עצמן, הגופים השונים העוסקים ב-STEM מתמקדים בכשירויות שנתפסות על ידיהן כמובילות. **מסגרת PISA למדע של ה-OECD** מגדירה שלוש כשירויות מדעיות מרכזיות: **הסבר תופעות באופן מדעי, תכנון והערכה של חקר מדעי וחיפוש ושימוש במידע מדעי**. היא גם מתארת שלוש כשירויות במדעי הסביבה הקשורות **להשפעת האינטראקציות האנושיות עם מערכות כדור הארץ, קבלת החלטות מושכלות לקיימות והפגנת כבוד ותקווה**. המסגרת מדגישה את חשיבות הידע התוכני, הפרוצדורלי והאפיסטמי, כמו גם את זהות המדע. **מצפן הלמידה 2030 של ה-OECD** מתאר "**כשירויות טרנספורמטיביות (יצירת ערך חדש, יישוב מתחים ודילמות, לקיחת אחריות)** הנתמכות על ידי ידע, מיומנויות, גישות וערכים"²¹⁴⁵. תוך שהיא מדגישה את פעלונות התלמיד והשלומות שלו.

ברית ה-STEM העולמית (¹⁴⁶ Global STEM Alliance – GSA) – **של האקדמיה למדעים בניו יורק, המובילה תוכניות ממוקדות, STEM העוסקות באתגרים בעולם האמיתי וכוללות חונכות של למעלה מ-100 שותפים למול סטודנטים ביותר מ-50 מדינות** מפרטת 26 מאפיינים של חינוך STEM איכותי בשלושה תחומים: **כשירויות ליבה**: חשיבה ביקורתית, פתרון בעיות, יצירתיות, תקשורת, שיתוף פעולה, אוריינות דיגיטלית, מדעי המחשב, אוריינות נתונים. **תכונות תומכות**: חוסן, התמדה, יוזמה, אתיקה, מודעות תרבותית, מנהיגות **עיצוב הוראה ויישום**: תכנון למידה מותאם, גיוון שיטות הוראה, שילוב טכנולוגיה¹⁴⁷. 1. Hu & Guo זו התייחסו להגדרה המרחיבה של כשירויות (¹⁴⁸ STEM competencies) והתייחסו לחמש כשירויות יסוד אשר נבחנו, עוגנו תיאורטית, ונמצאו קריטיות ללמידה אפקטיבית, רב-תחומית ויישומית.

ראייה מערכתית של כשירויות STEM מדגישה 4 עקרונות בסיסיים:

- נשענות על **ידע מגוון** (תוכני, פרוצדורלי, אפיסטמי)
- מחייבות **שילוב** בין היבטים קוגניטיביים, רגשיים ואתיים
- תומכות ב**התמודדות** עם מציאות דינמית, עמומה, ומורכבת

- דורשות **טיפוח** של לומד עצמאי, סקרן, מחויב וערכי.

למרות השוני בין הארגונים השונים, נמצא שקיימת הסכמה ברורה לגבי חשיבות 9 הכשירויות המשמעותיות עבור חינוך STEM. (חוסר האחידות בהצגת הכשירויות נגזר מהדגשים השונים של הארגונים). ואלו הן:

1. **מושגים מדעיים** (Scientific Concepts) – כשירות המתמקדת בהבנה עמוקה של רעיונות ועקרונות מדעיים, הן בתוך תחומי דעת ספציפיים והן בהקשרים בין-תחומיים. מדובר ביכולת להבין את הדרך בה נבנים מושגים מדעיים, את אופיים של חוקים ותיאוריות מדעיות, ואת יישומם להבנת תופעות בעולם האמיתי. לומד שמפתח כשירות זו מסוגל לא רק לזכור עובדות, אלא ליישם ידע מדעי לפתרון בעיות, להסביר תופעות, לחשוב באופן מושגי, לשלב ידע ממקורות שונים ולעשות בו שימוש בהסבר תופעות.

רכיבים מרכזיים:	מיומנויות נדרשות:
• ידע ליבה מדעי ומתמטי • הבנת תהליכי בניית ידע מדעי • קשרים בין-תחומיים בין מושגים • יישום ידע בהקשרים מציאותיים	• שליפה ואחזור ידע מדעי מדויק • הכללה של רעיונות מדעיים • זיהוי והסבר של תופעות מדעיות • קישור בין מושגים שונים במצבים משתנים

2. **חשיבה מדעית** (Scientific Thinking) – כשירות המתייחסת לדרכי חשיבה המאפיינות את העשייה המדעית, כמו חשיבה ביקורתית, לוגית, יצירתית וחשובית, תוך שימוש בטיעונים מבוססי ראיות, בניית מודלים, בחינה שיטתית של רעיונות ופתרונות, יכולת להסביר תופעות באופן מדעי ופרשנות ביקורתית של נתונים. לומד בעל חשיבה מדעית מפתח גמישות מחשבתית, יכולת להטיל ספק, לחשוב בצורה חדשנית, ולנתח מידע באופן עצמאי. הוא מסוגל להתמודד עם מידע לא שלם או מורכב, ולבנות עמדות מושכלות ומבוססות.

רכיבים מרכזיים:	מיומנויות נדרשות:
• חשיבה ביקורתית • חשיבה יצירתית • חשיבה חשובית • טיעון מדעי ולוגי • מודלינג והפשטה	• בניית והערכת טענות מדעיות • פתרון בעיות באמצעות תהליכים לוגיים • יצירת והערכת מודלים • פירוק בעיות מורכבות לרכיבים פשוטים

ניסוח שאלות פתוחות •	
----------------------	--

3. **תרגול חקר** (Inquiry Practice) – כשירות הכוללת את כל שלבי תהליך החקר המדעי ו/או ההנדסי המאפשרת תכנון והערכה של תהליכי חקר מדעי, כולל: שאילת שאלות, תכנון חקירה, ביצוע ניסויים או פיתוח פתרונות, ניתוח נתונים והסקת מסקנות. לומד שמתרגל חקר הופך ללומד פעיל, עצמאי, יוזם ובעל יכולת פתרון-בעיות. הוא מתנסה בלמידה דרך עשייה, מפתח יכולת למידה עצמית, חקירה שיטתית, עבודה בצוות, ותשומת לב לפרטים.

רכיבים מרכזיים:	מיומנויות נדרשות:
- ניסוח שאלות והשערות - תכנון ניסוי/פתרון - איסוף וניתוח נתונים - הסקת מסקנות - תיעוד ושיח מדעי	- תכנון מערך חקר - ביצוע מדידות וניסויים - שימוש בכלים טכנולוגיים - לאיסוף נתונים - ניתוח סטטיסטי בסיסי - הצגת ממצאים בצורה ברורה ומשכנעת

4. **אוריינות מידע** (Information Literacy) – היכולת לאתר, להעריך, לנתח ולהשתמש במידע אמין ורלוונטי לצורך למידה ופתרון בעיות, תוך מודעות לאתיקה של המידע והשפעתו. לפי PISA הכשירות היא של "חיפוש, הערכה ושימוש במידע מדעי", בדגש על הבחנה בין עובדות לדעות, בניית טיעונים ומודעות למקורות. לומד בעל אוריינות מידע מפעיל שיקול דעת ביקורתי, מסתגל למידע משתנה, יודע להבחין בין עיקר לטפל, ולפעול בעולם דיגיטלי מבלי ללכת לאיבוד בשפע המידע הקיים. אין ספק שזו כשירות חיונית בעידן של עומס מידע, דיסאינפורמציה ואתגרים טכנולוגיים.

רכיבים מרכזיים:	מיומנויות נדרשות:
- איתור מידע רלוונטי - הערכת מהימנות מידע - שילוב בין מקורות שונים - עיבוד והפקת משמעות - אתיקה ובטיחות דיגיטלית	- ניסוח מילות חיפוש אפקטיביות - סינון מקורות לא אמינים - ניתוח תוכן מורכב - הפקת תובנות ממקורות מגוונים - ייחוס מקורות ועמידה בכללי אתיקה

5. **עמדות ואחריות** (Attitudes and Accountability) – כשירות זו מדגישה את

עמדות הלומד כלפי מדע, טכנולוגיה וחברה, וכוללת מוטיבציה, פתיחות, אתיקה, סקרנות, ואחריות לפעולה מוסרית ובת קיימא. לומד שמפתח כשירות זו מגלה עניין אישי בלמידה, מחויבות להשפעה חיובית, ורגישות לערכים מוסריים וסביבתיים. הוא מסוגל להוביל, לפעול מתוך שליחות, ולחבר בין ידע לערכים. לפי Hu & Guo זוהי אחת הכשירויות הקריטיות להשתתפות אזרחית מעורבת בעולם של אתגרים מורכבים.

רכיבים מרכזיים:	מיומנויות נדרשות:
• סקרנות ומוטיבציה פנימית • אחריות מוסרית וחברתית • פתיחות מחשבתית • רגישות לשונות תרבותית • התמודדות עם דילמות ערכיות	• ביטוי עמדות מושכלות בדיון • קבלת החלטות אתיות במצבי אי-ודאות • זיהוי השלכות חברתיות של פתרונות טכנולוגיים • ניהול שיח מתוך כבוד לאחר • חיבור בין ידע מדעי לערכים אישיים

6. **חשיבה ביקורתית ופתרון בעיות** – מחקרים מצביעים על כך שחשיבה ביקורתית ופתרון בעיות הן כשירויות מרכזיות הנדרשות מעובדים ומלומדים בתחומי STEM. הן כוללות יכולת ניתוח מידע, גיבוש שיפטים מבוססים, פתרון בעיות מורכבות, והצעת חלופות חדשניות. כשירות זו דורשת לא רק מיומנויות לוגיות אלא גם גישה של התמדה וחוסן מחשבתי. לפי PISA היא תחת "תכנון חקר ופרשנות ממצאים" ונמצאת בכל אחת מהמסגרות המרכזיות לכשירויות המאה ה-21.

7. **יצירתיות וחדשנות** – "יצירתיות" מזוהה כיום ככשירות מרכזית ל STEM - המתבטאת ביכולת ליצור רעיונות חדשים, לגשת לבעיות מנקודות מבט שונות ולפתח פתרונות מקוריים. לפי ה OECD – יצירתיות היא מרכיב של "יצירת ערך חדש" כשירות טרנספורמטיבית קריטית. הגישה כוללת סקרנות, פתיחות ומוכנות לקחת סיכונים. הערכים כוללים מקוריות ורצון לתרום להתקדמות חדשנות. כיישום יצירתי, כשירות זו מופיעה גם בתיאוריות של Hu & Guo כנגזרת מחשיבה מדעית.

8. **תקשורת ושיתוף פעולה** – אין מדובר רק בעבודה עצמאית אלא גם בשיתוף פעולה בצוותים, העברת מידע מדויק, בניית שיח משותף וקשב לאחר. מסגרת PISA מדגישה את אופיו ה"קהילתי" של המדע ואת חשיבות התקשורת בייצור ואימות ידע. המיומנויות כוללות הקשבה פעילה, יכולת הבעה ברורה, ועבודת צוות. הגישה כוללת פתיחות לדעות שונות ואחריות קולקטיבית.

9. **ויסות עצמי ולמידה לאורך החיים** ב-OECD – קיים דגש על ויסות עצמי כחלק מ"לקיחת אחריות" במסגרת מצפן הלמידה. מדובר ביכולת להציב מטרות, לנהל זמן, להעריך התקדמות, להתמיד בלמידה ולבצע רפלקציה. הגישה כוללת משמעת עצמית, חוסן רגשי ומחויבות ללמידה מתמשכת. כשירות זו חיונית במיוחד בסביבות משתנות, ומוזכרת גם במסגרת Hu & Guo כתשתית ללומד עצמאי ויוזם.

טבלה מסכמת של כשירויות STEM מובילות והמיומנויות הרלבנטיות של כל כשירות:

מיומנויות רלוונטיות (Relevant Skills)	כשירות (Competency)	
שליפה ואחזור ידע מדעי, הכללה של רעיונות, הסבר תופעות, קישור מושגי	מושגים מדעיים (Scientific Concept)	1.
ניסוח שאלות פתוחות, פירוק בעיות מורכבות, פתרון בעיות לוגי, טיעון מדעי, מודלינג	חשיבה מדעית (Scientific Thinking)	2.
תכנון ניסוי, שימוש בכלים טכנולוגיים, איסוף וניתוח נתונים, הסקת מסקנות, תיעוד ממצאים	תרגול חקר (Inquiry Practice)	3.
ניסוח שאלות, סינון מקורות, ניתוח מידע, הפקת תובנות, עמידה בכללי אתיקה דיגיטלית	אוריינות מידע ודיגיטלית (Information & Digital Literacy)	4.
ביטוי עמדות מושכלות, קבלת החלטות, אתיות, זיהוי השלכות, ניהול שיח מכבד, חיבור ידע לערכים	עמדות ואחריות (Attitudes and Accountability)	5.
ניתוח מידע אובייקטיבי, גיבוש שיפוטיות, הגדרת מטרות, התמדה, חוסן מחשבתי	חשיבה ביקורתית ופתרון בעיות	6.
יצירת רעיונות חדשים, פתרונות יצירתיים, חשיבה רב-ממדית, לקיחת סיכונים	יצירתיות וחדשנות	7.
הקשבה פעילה, הבעה בהירה, עבודת צוות, תקשורת בין-תרבותית	תקשורת ושיתוף פעולה	8.
ניהול זמן, הצבת מטרות, רפלקציה, למידה עצמית, התמדה בלמידה	ויסות עצמי ולמידה לאורך החיים	9.

למידה מבוססת כשירויות ב STEM אינה רק יעד פדגוגי אלא תנאי הכרחי לפיתוח אזרחים מוכנים לעולם המחר.

5. טכנולוגיות וחדשנות בחינוך STEM

טכנולוגיה וחדשנות - יחסי גומלין – הטכנולוגיה, היא כוח מניע רב עוצמה בפיתוח חדשנות, והחדשנות מהווה מקור עיקרי ליתרון תחרותי בכל תחום. הטכנולוגיה שזורה בליבה של החדשנות, היא מובילה לחדשנות מאחר וככל שהטכנולוגיה מתקדמת היא יכולה להציע פתרונות חדשים שלא היו אפשריים בעבר, מה שמאפשר חדשנות נוספת. הטכנולוגיה מהווה זרז לחדשנות, מאחר והתקדמות טכנולוגית חדשה מובילה לעתים קרובות לדרכים חדשות לפתרון בעיות, יצירת מוצרים חדשים ושיפור תהליכים קיימים. הדבר מוביל לעיתים לצמיחה או לעיתים מאתגר את המצב הקיים כדי למצוא מגוון פתרונות שאולי לא היו נשקלים קודם לכן. יחסי הגומלין בין חדשנות לטכנולוגיה אינם לינאריים אלא איטרטיביים. כל שינוי או שיפור באחד מהתחומים יכול להשפיע ולהניע שינויים נוספים בתחום השני. החדשנות דוחפת את הטכנולוגיה קדימה, ורעיון חדשני יכול להניע את הפיתוח של טכנולוגיות חדשות כדי להגשים את הרעיון הזה. חדשנות וטכנולוגיה הן שני צדדים של אותו מטבע. הן משפיעות זו על זו באופן תמידי, ויחד הן מניעות התקדמות במדע, בתעשייה, ובחברה בכלל.

טכנולוגיות תומכות הוראה למידה והערכה בחינוך STEM

הנוף הטכנולוגי המתפתח במהירות דורש בחינה מעמיקה של האופן בו ניתן למנף כלים וגישות חדשניות כדי לשפר את חוויית הלמידה ואת תוצאותיה בתחומי STEM לטובת שלומות כוללת של דור העתיד. מאז מגפת הקורונה, שימוש בטכנולוגיה במערכת החינוך הפך לנפוץ הרבה יותר, מה שהוביל לשינויים משמעותיים בגישות ההערכה, ההוראה והלמידה ויצרה הזדמנויות חדשות לשיפור תהליך הלמידה העצמאי בקרב לומדים. כיום, טכנולוגיה כבר אינה רק כלי עזר, אלא מרכיב אינטגרלי בליבת לימודי STEM המאפשרת ללומדים לבצע מחקרים, לתכנן פרויקטים, ליישם חקירות ולתקשר תוצאות ומידע בצורה יעילה יותר¹⁴⁹. היא הופכת את הלמידה לאינטראקטיבית ומרתקת, מטפחת חשיבה ביקורתית ויצירתיות, שהן תכונות מוערכות ביותר הן בחיים האישיים והן בעולם העבודה¹⁵⁰, ומשפרת את ההכנה של הלומדים לקריירות עתידיות באמצעות רכישת כישורים דיגיטליים חיוניים שדרושים בחיים בכלל ובשוק העבודה המודרני בפרט.¹⁵¹

טכנולוגיה בתהליכי הוראה – משנה את הדרך בה הלמידה מתבצעת, ומציעה כלים המאפשרים למורים ליצור חוויות לימודיות מרתקות ומותאמות אישית, הן עבורם והן עבור התלמידים. במהלך מגפת הקורונה, הטכנולוגיה יצרה "שינוי תפיסתי" בנוגע ללמידה היברידית ומקוונת, והציבה בפני המורים אפשרויות חדשות לאימוץ כלים טכנולוגיים מתקדמים. נכונות לאימוץ טכנולוגיות בהוראה תומך בהוראה חווייתית

שמחברת את התלמידים לעולם האמיתי, ומכינה אותם לעתידם האישי והמקצועי שבו השימוש בטכנולוגיה הוא חלק בלתי נפרד מהחיים. היא מסייעת בהוראת מקצועות STEM בצורה חדשנית, ומאפשרת למורים להקנות לתלמידים מיומנויות של פתרון בעיות, יצירתיות ושיתוף פעולה. כלים דיגיטליים כמו לוחות אינטראקטיביים, מציאות רבודה, מדפסות תלת-מימד וערכות רובוטיקה מאפשרים למורים להנחות שיעורים אינטראקטיביים ומעוררי עניין, בהם התלמידים חווים את החומר בצורה חווייתית ומעשית. כלים אלו לא רק משפרים את הלמידה, אלא גם מספקים למורים אפשרויות להנחות את התלמידים בזמן אמת, להציע להם משוב מיידי ולהתאים את ההוראה לצרכים האישיים, הרצון והקצב של כל תלמיד.

כמו כן, הטכנולוגיה מאפשרת למורים לייעל ולהקל על תהליכי פתרון בעיות ולשפר את שיתוף הפעולה בין תלמידים באמצעות כלים דיגיטליים שמקנים לתלמידים את היכולת לתקשר ולשתף פעולה בצורה טובה יותר. כל אלו תומכים בתהליך שינוי תפקיד המורה, ממעביר ידע חד-צדדי למנחה, מתווך ידע ואורגן פדגוגי, שתפקידו ללוות את הלומדים בדרך חווייתית, מהנה ומעורבת יותר.

טכנולוגיה בתהליכי למידה – מאפשרת יצירת חוויות למידה אינטראקטיביות ומרתקות, שמחזקות את מעורבות התלמידים בתהליך הלמידה ומעשירות את חוויתם. כלים כמו סימולציות, סיורים וירטואליים, משחק ולמידה מותאמת אישית מספקים לתלמידים הזדמנויות לחקור נושאים ותופעות בעולם האמיתי ולבחון אותם בצורה מעשית, תוך שמירה על עניין והתלהבות מהחומר הנלמד. הטכנולוגיה גם מאפשרת לתלמידים גישה רחבה יותר למשאבים ולמומחים בתחום, מפשטת את חוויית החקר העצמי, ומסייעת להם ללמוד בקצב אישי ולהתאים את תוכן הלמידה לצרכיהם האישיים. והכלים הדיגיטליים מאפשרים לתלמידים לקבל משוב מיידי, לפתח יצירתיות ולהתנסות בכישורים טכנולוגיים באופן אקטיבי.

הטכנולוגיה ממלאת תפקיד אינטגרלי במערכת החינוך, במיוחד בתחומי STEM, מאחר שהיא מאפשרת ללומדים לבצע מחקרים, לתכנן פרויקטים, ליישם חקירות ולתקשר תוצאות ומידע בצורה יעילה ומתקדמת¹⁵². כלים כמו סימולציות, משחק, למידה מותאמת אישית וסיורים וירטואליים מחברים את הלומדים לעולם האמיתי, ומסייעים בפיתוח מיומנויות חיוניות כמו חשיבה חשבונית, פתרון בעיות וחשיבה ביקורתית. הטכנולוגיה גם מעודדת את התלמידים לחקור נושאים המעניינים אותם ומספקת להם את הכלים לפיתוח כישורים חיוניים להצלחה בחיים ובקריירות עתידיות. בנוסף, כלים אינטרנטיים תומכים בשיפור מיומנויות דיגיטליות חיוניות, תוך עידוד התלמידים ללמוד בקצב האישי שלהם ולפתח את יכולותיהם תוך מתן משוב בזמן אמת, היכולת של המורים לעקוב אחרי התקדמות כל תלמיד ולהתאים את הלמידה לצרכיו האישיים,

מעודדת את פעלונות הלומדים ומבטיחה שהם ימשיכו להתקדם באופן עצמאי ומותאם, תוך שמירה על איכות הלמידה ותהליך ההתפתחות שלהם.

הטכנולוגיה בתהליכי הערכה – תומכת בהערכת תוצרי הלמידה ובתהליך עצמו, ומספקת למורים כלים חדשים להעריך את הלמידה בצורה מעמיקה ומדויקת יותר. כלים כמו סימולציות, מדפסות תלת-מימד וערכות רובוטיקה מאפשרים לבחון את יכולת התכנון ופתרון הבעיות של התלמידים בצורה מעשית ומקצועית. הערכה מבוססת טכנולוגיה היא דינמית ומבוססת נתונים, המסייעים להעריך את תהליך הלמידה כולו ולא רק את התוצר הסופי. באמצעות כלים המספקים למורים מדדים אמיתיים ניתן למדוד את התקדמות התלמידים, וכאמור, להעריך גם את הדרך שבה הגיעו אליה. השינוי המשמעותי בתהליך נגזר מהיכולת של המורים להעניק משוב מיידי וממוקד יותר, ולעקוב אחרי התקדמות הלומדים באופן רציף. בנוסף, הערכה הוליסטית שמתבצעת באמצעות טכנולוגיה מתמקדת בהיבטים כמו יצירתיות, פתרון בעיות ויכולת להסתגל למצבים משתנים, מה שמאפשר להעריך את הלמידה בצורה רחבה ומגוונת יותר¹⁵³. שיטות הערכה אלו לא מוגבלות לבחינות רגילות, אלא כוללות גם הערכה של תהליכים ומיומנויות, כמו חשיבה יצירתית ויכולת ללמוד באופן עצמאי, ששיטות הערכה מסורתיות לא תמיד מצליחות למדוד.

שימוש בטכנולוגיה בתהליכי הערכה המאפשר למורים להעריך לא רק את התוצר הסופי, אלא גם את תהליך הלמידה עצמו, תוך שמירה על גמישות רבה יותר ומיקוד בצרכים האישיים של כל תלמיד, מוביל לשיפור מתמיד בתהליך הלמידה.

בעולם האקדמי, הטכנולוגיה מאפשרת ללומדים להשתתף בצורה פעילה יותר בתהליכי תכנון ולמידה, תוך קידום חוויות למידה חווייתיות יותר. כלים כמו סימולציות מתקדמות, מדפסות תלת-מימד, ומציאות רבודה מאפשרים להעמיק את ההבנה ולספק חוויות לימוד מציאותיות יותר. הם עוזרים לפתח מיומנויות של המאה ה-21 כמו חשיבה חישובית ופתרון בעיות בצורה מעשית.

אתגרים בשימוש בטכנולוגיה – למרות היתרונות הרבים של השימוש בטכנולוגיה, קיימים אתגרים בשימוש בה, במיוחד כאשר מורים לא מנצלים את כל הפוטנציאל שלה או משתמשים בה בעיקר למטרות אדמיניסטרטיביות. קיימים קשיים גם ביכולת ההטמעה של הכלים הדיגיטליים במערכת החינוך, בעיקר לאור מחסור במשאבים מותאמים, מה שבפועל עלול להגביל את השימוש בטכנולוגיה בצורה יעילה¹⁵⁴. בנוסף, לעיתים יש קושי בהבנת השיטות החדשות בהוראה מבוססת טכנולוגיה ו/או מקוונת, דבר שדורש הכשרה מקצועית מתמשכת.

שימוש בטכנולוגיות מתקדמות משפר את חוויית ההוראה, הלמידה וההערכה בתחום STEM. כלים כמו מערכות ניהול למידה (LMS) תוכנות סימולציה, כלים לשיתוף פעולה ולוחות חכמים מאפשרים התאמת חומרי לימוד, מעקב אחר התקדמות תלמידים והערכת תוצרים בצורה דינמית ומבוססת נתונים. שילוב טכנולוגיות מתקדמות במערכות החינוך תורם להגברת המעורבות של הלומדים ולהעצמת המורים, תוך פיתוח מיומנויות המאה ה-21.¹⁵⁵

אך לא די בכך, כי יש לפתח בקרב צוותי הוראה ולומדים **פתיחות ונכונות לאימוץ טכנולוגיות חדשות בעולם המודרני מאחר וקצב ההתפתחות הטכנולוגית רק הולך ומואץ**. מי שאינו מפתח יכולת לאמץ טכנולוגיות חדשות במהירות עלול למצוא את עצמו לא רלוונטי במהירות מפתיעה. זה נכון במיוחד כיום, כשקצב החידושים הטכנולוגיים נמצא בהאצה חסרת תקדים. בעידן שבו טכנולוגיות חדשות צצות וגם מתיישנות בקצב מסחרר, **היכולת ללמוד ולהסתגל במהירות אינה רק יתרון - היא צורך הישרדותי**. זו לא רק שאלה של יתרון תחרותי אלא של השתתפות בסיסית בחברה ובכלכלה. זאת בפרט בעידן הבינה המלאכותית, שמציג לנו אתגרי הסתגלות רבים, הפער בין מי שיודע להשתמש בכלים החדשים לבין מי שאינו מסוגל לכך מתרחב במהירות. ובישראל, כמדינת סטארט-אפ, יכולת אימוץ מהירה של טכנולוגיות חדשות היא קריטית במיוחד לשמירה על היתרון התחרותי הלאומי.

בינה מלאכותית

בינה מלאכותית (AI) ממלאת כיום תפקיד מרכזי ומשמעותי בחינוך STEM, במיוחד בזכות יכולתה לשדרג את הלמידה ולהתאים אותה לצרכים האישיים של כל תלמיד. בינה מלאכותית מאפשרת יצירת תכנים דינמיים וחדשניים, כמו שאלות מותאמות אישית, תרגולים אינטראקטיביים והערכה חכמה של ביצועים. דוגמה לכך היא השימוש ב-ChatGPT ככלי שיכול לספק הסברים ופתרונות בזמן אמת לתלמידים בשאלות מורכבות במתמטיקה או במדעים. או כלי כמו Khanmigo מאפשר יצירת תרגולים המותאמים לכל רמת קושי, בהתאם להתקדמות של כל תלמיד¹⁵⁶.

שימוש ב-בינה מלאכותית בלמידה מותאמת אישית - שימוש בבינה מלאכותית ב-STEM מאפשרת התאמת תוכן הלמידה לכל תלמיד באופן פרטני. לדוגמה, אם תלמיד מתקשה בהבנת מושגים פיזיקליים מסוימים, מערכת מבוססת בינה מלאכותית יכולה לזהות זאת ולספק לו חומרי למידה נוספים המתאימים לרמתו. כלים כמו Gradescope מספקים הערכה חכמה של עבודות פתוחות ומסייעים למורים לנהל את משוב בצורה ממוקדת ומדויקת יותר¹⁵⁷. גם בתחום לימודי המדע, בינה מלאכותית יכולה לעזור ללומדים לתכנן ניסויים מדעיים תוך התאמה אישית של התהליך, בהתאם לרמת הבנתם של התלמידים את הנושא הנלמד.

הכשרה של תלמידים להבנה טכנולוגית, אתית וחברתית של מערכות בינה מלאכותית – לפי UNESCO¹⁵⁸ (2023) שילוב יעיל של בינה מלאכותית בחינוך מצריך הכשרה ממוקדת של תלמידים על העקרונות הטכנולוגיים, האתיים והחברתיים של מערכות בינה מלאכותית. תלמידים נדרשים להבין כיצד פועלים אלגוריתמים, מהי למידת מכונה ולנתח את ההטיות האפשריות במערכות, כל זאת כדי לפתח אוריינות בינה מלאכותית שתסייע להם להתמודד עם אתגרים טכנולוגיים ואחרים במציאות המשתנה. הכשרה זו עוזרת לתלמידים לא רק להשתמש בטכנולוגיה אלא גם להבין את עקרונותיה ואת השפעותיה החברתיות והאתיות.

תמיכה במורים בעזרת בינה מלאכותית לתכנון שיעורים והתאמת תוכניות לימוד – בינה מלאכותית לא רק מסייעת לתלמידים, אלא גם תומכת במורים בתכנון שיעורים מותאמים אישית. לדוגמה, כלים כמו Colleague מבוססי בינה מלאכותית מאפשרים למורים ליצור תוכניות לימוד שמותאמות אישית לכל תלמיד, תוך אפשרות להוסיף משוב בזמן אמת¹⁵⁹. מערכות חונכות חכמות יכולות לייעוץ למורים כיצד לשפר את האופן שבו הם מעבירים חומר, על ידי ניתוח נתונים לגבי הביצועים של כל תלמיד. כמו כן, באמצעות בינה מלאכותית, המורים יכולים גם למנוע בעיות עתידיות באמצעות זיהוי מוקדם של תלמידים שמתמודדים עם קשיים במתמטיקה או במדע, ולספק להם תמיכה מדויקת וממוקדת.

בינה מלאכותית והעתיד של הלמידה האימרסיבית וממשקי אדם-מכונה – העתיד של הלמידה האימרסיבית טמון בשילוב של בינה מלאכותית עם טכנולוגיות כמו מציאות מורחבת (MX) לגווניה. דוגמה לכך הן סימולציות מעבדה מדעיות וירטואליות בהן תלמידים יכולים לערוך ניסויים עם חומרים וציוד שלא היו זמינים להם בכיתה רגילה או לערוך ניסויים שבמעבדה רגילה היו עלולים לסכן אותם וסיכונים אלו נמנעים במעבדה וירטואלית. תלמידים יכולים להפעיל ניסוי פיזיקלי ולקבל משוב בזמן אמת על תוצאות הניסוי, מה שמסייע להעמיק את ההבנה ולשפר את פתרון הבעיות.

בינה מלאכותית ויצירתיות בפרויקטים STEM באמצעות טכנולוגיות יצורות (גנרטיביות) – בינה מלאכותית יוצרת מציעה לתלמידים הזדמנויות ליצור פרויקטים יצירתיים בשדות ה-STEM. לדוגמה, כלי כמו DALL-E יכול לעזור לתלמידים ליצור תמונות, אמנות ומדיה ויזואלית כחלק מפרויקטים מדעיים וטכנולוגיים. גם פלטפורמות יצירתיות אחרות מבוססות בינה מלאכותית מאפשרות לתלמידים לשלב את המדע והטכנולוגיה עם יצירתיות, כמו למשל יצירת מוזיקה בעזרת בינה מלאכותית המשלבת עקרונות של אלגוריתמים קוגניטיביים או פיתוח רובוטים חכמים¹⁶⁰.

בינה מלאכותית ושיפור נגישות הלמידה עבור תלמידים עם אתגרים פיזיים או קוגניטיביים – בינה מלאכותית יכולה לשפר את הנגישות ללמידה עבור תלמידים עם מוגבלויות פיזיות או קוגניטיביות. לדוגמה, כלים כמו תרגום בזמן אמת וכתוביות אוטומטיות יכולים לאפשר לתלמידים עם קשיי שמיעה להשתתף באופן פעיל בשיעורים. פלטפורמות כמו Google Classroom עם כלים לשיפור נגישות מאפשרות לתלמידים עם מוגבלויות פיזיות גישה ללמידה מותאמת אישית¹⁶¹. דוגמה נוספת היא שימוש בעוזרי קולי חכמים לתלמידים עם לקויות למידה, המסייעים להם להיעזר בהסברים בזמן אמת ולפתור בעיות במתמטיקה ובמדעים בצורה נגישה יותר.

ההשפעה העתידית של בינה מלאכותית על חוויות הלמידה והתפתחות כישורים בעולם המשתנה – בינה מלאכותית משנה את הדרך בה תלמידים לומדים ומורים מלמדים ומעריכים. כלים מתקדמים מבוססי בינה מלאכותית מאפשרים חוויות למידה מותאמות אישית, פיתוח יצירתיות, שיפור חשיבה ביקורתית, והעצמה של כישורים כמו פתרון בעיות וחשיבה לוגית. בעתיד, ניתן לצפות לשינויים נוספים בתחום הלמידה המותאמת אישית והאימרסיביות, שיביאו ליעילות גבוהה יותר בהוראה ויפתחו כישורים חיוניים שיכינו את התלמידים לעולם המשתנה במהירות. בינה מלאכותית לא רק משפרת את הלמידה הפרטנית, אלא גם מבטיחה שהתלמידים יוכלו להתמודד עם אתגרים חדשים ולהתאים את כישוריהם לצורכי העולם המודרני¹⁶².

רובוטיקה ואוטומציה

רובוטיקה ואוטומציה מספקות מיקרוקוסמוס של טכנולוגיות התומכות בחינוך STEM, תוך שמירה על הדגשים החינוכיים במדע, טכנולוגיה, הנדסה ומתמטיקה. הרובוטיקה מאפשרת לתלמידים להתמודד עם אתגרים מעשיים כמו בניית רובוטים או פתרון בעיות טכנולוגיות תוך שימוש בידע תיאורטי. לדוגמה, פלטפורמות כמו LEGO Mindstorms ו-VEX Robotics מספקות לתלמידים הזדמנויות לתכנן, לבנות ולתכנת רובוטים. פעילות כזו מספקת הזדמנויות לפתח מיומנויות הנדסה, קידוד ופתרון בעיות תוך שילוב עקרונות מתמטיים ומדעיים^{163,164}. והאוטומציה תורמת להבנה כיצד טכנולוגיות יכולות לשפר תהליכים בעולמות העבודה המודרניים, כמו בקרה חכמה, אוטומציה תעשייתית ומערכות אוטונומיות.

יתרונות הרובוטיקה והאוטומציה בהכשרה ובפיתוח מיומנויות – הרובוטיקה מציעה הזדמנויות למידה חווייתיות ומעשיות, תוך טיפוח מיומנויות הנדסה, קידוד, תכנות וחשיבה ביקורתית. התלמידים לא רק לומדים את הידע התיאורטי, אלא גם מיישמים אותו בהקשרים אמיתיים, דבר שמעודד פתרון בעיות בזמן אמת וחדשנות. לדוגמה, תלמידים שבונים רובוטים או מערכות אוטומטיות נדרשים להשתמש בידע

בגיאומטריה, טריגונומטריה ואלגברה כדי להצליח במשימותיהם. כך הם לא רק מפתחים כישורים טכניים, אלא גם לומדים כיצד ליישם עקרונות מתקדמים של אוטומציה ופתרון בעיות. האוטומציה משפרת את האפקטיביות של התהליכים החינוכיים על ידי הפשטת תהליכים ושיפור הדיוק והמהירות של הפעולות. שילוב רובוטיקה ואוטומציה בבתי ספר מקדם את אוריינות STEM ומחזק את יכולות התלמידים בתחום.

השלב המעשי של רובוטיקה ואוטומציה: פתרון בעיות בזמן אמת – היתרון של למידת רובוטיקה ואוטומציה הוא בחשיפת תלמידים לעולם המודרני של פתרון בעיות בזמן אמת. פרויקטים של רובוטיקה מאפשרים לתלמידים להתמודד עם אתגרים מעשיים, תוך שימוש בעקרונות טכנולוגיים מתקדמים. לדוגמה, בתחרויות רובוטיקה כמו FIRST Robotics, התלמידים נדרשים לתכנן ולבנות רובוטים שמבצעים משימות תוך הגבלת זמן, מה שמחייב פתרון בעיות יעיל וחדשני. תחום האוטומציה מהווה את ההיבט המודרני של פתרון בעיות בזמן אמת, שבו מערכות אוטומטיות מבצעות משימות באופן עצמאי, כך שהתלמידים לומדים על טכנולוגיות אוטונומיות שמבצעות עבודה ברמה גבוהה של דיוק¹⁶⁵.

רובוטיקה כאמצעי לשיפור המוטיבציה והעניין ב - STEM – רובוטיקה אינה רק אמצעי חינוכי, אלא זהו תחום שמספק חוויות למידה מרתקות ומעוררות עניין. כאשר תלמידים משתתפים בתחרויות רובוטיקה או בפרויקטים מעשיים, הם מתמודדים עם אתגרים שמקנים להם תחושת הישג ומעורבים באופן פעיל בתהליך הלמידה. לדוגמה, בפרויקטים כמו הרובוטים של נאס"א, תלמידים לומדים על חקר החלל ומפתחים רובוטים שמסוגלים להתמודד עם משימות בעולם האמיתי. תחרויות כאלה מעוררות את סקרנות התלמידים ומסייעות להם להפיק תועלת הלכתית ממושגים מדעיים ותיאורטיים בצורה מוחשית¹⁶⁶. לצד זה, שימוש באוטומציה תורם לייעול תהליכים לימודיים כגון בדיקות אוטומטיות של עבודות מאפשר זמן למידה נוסף ומשפר את היעילות של הכיתה.

הקשר בין רובוטיקה ואוטומציה לבין חינוך STEAM – רובוטיקה ואוטומציה מציעות הזדמנויות לחיבור בין המדע, טכנולוגיה, הנדסה, מתמטיקה ואמנות (STEAM). פלטפורמות רובוטיות כמו LEGO Mindstorms מאפשרות לתלמידים לתכנן, לתכנת ולבנות רובוטים תוך שילוב של מיומנויות טכניות עם יצירתיות. תלמידים יכולים להשתמש ברובוטים כדי להפיק מוזיקה או ליצור יצירות אמנות, מה שמעודד שילוב של עקרונות הנדסיים וטכנולוגיים עם ביטוי אישי. תחום האוטומציה מקדם את היישום המעשי של STEM בשילוב עם אמנויות, בכך שהוא מאפשר לתלמידים להבין כיצד טכנולוגיות אוטומטיות יכולים לשפר יצירתיות ולהגביר את חדשנותם¹⁶⁷.

העתיד של רובוטיקה ואוטומציה בחינוך STEM – טמון בשילוב טכנולוגיות מתקדמות כמו תעשייה 4.0, שבה הרובוטים ואוטומציה משחקים תפקיד חשוב בעולמות העבודה המודרניים. תעשיות כמו אוטומציה תעשייתית, רובוטיקה רפואית ורובוטיקה לצורכי חלל תורמות להכשרה של תלמידים עם כישורים טכנולוגיים גבוהים. בתחום האוטומציה, התלמידים ילמדו כיצד מערכות אוטומטיות מבצעות משימות בצורה עצמאית, ומיומנויות אלו יכינו אותם לתעשיות העתיד. פיתוח כישורי תכנות, שליטה בטכנולוגיות מורכבות ועקרונות של בקרה חכמה הם הכישורים המובילים שהתלמידים ירכשו, על מנת להתמודד עם סביבות עבודה מודרניות ומורכבות¹⁶⁸.

רובוטיקה ומיומנויות קריירה עתידיות – רובוטיקה היא תחום חשוב מאוד בהכנה לקריירות STEM העתידיות. תלמידים שמפתחים מיומנויות ברובוטיקה לומדים גם מיומנויות חיוניות לעבודה צוותית, ניהול פרויקטים וחשיבה יצירתית. שעה שתחום האוטומציה מציע לתלמידים הזדמנויות לעבוד עם טכנולוגיות אוטונומיות, מה שיכין אותם לקריירות המשלבות רובוטיקה, בינה מלאכותית והנדסה

מציאות מורחבת ועולמות אימרסיביים

מציאות מורחבת (XR) מתייחסת לטכנולוגיות שמשלבות את העולם הפיזי עם העולם הווירטואלי, וכוללת: מציאות מדומה (VR) מציאות רבודה (AR) ומציאות מעורבת (MR - Mixed Reality). כל אחת מהטכנולוגיות הללו מציעה חוויות שונות, אך כולן שואפות ליצור סביבות אינטראקטיביות שמחברות את הלומדים לעולמות וירטואליים עם או בלי אינטראקציה עם העולם הפיזי.

מציאות מדומה – טכנולוגיה שכוללת סביבה וירטואלית מלאה שבה המשתמש "טובל" (immersed) כשהוא מנותק מהמציאות הפיזית לחלוטין. חוויה זו מאפשרת לנוע ולהתנסות בסביבות שלא קיימות בעולם האמיתי, כמו ביקור בחלל או ביצוע ניסויים מדעיים.

מציאות רבודה – טכנולוגיה המשלבת אלמנטים וירטואליים עם העולם הפיזי, כך שהמשתמש רואה את המידע הדיגיטלי או המודל התלת-ממדי על גבי אובייקטים פיזיים. הדבר מאפשר להוסיף שכבות מידע למבנים הקיימים בעולם האמיתי, כמו שרטוטים של מבנה מולקולרי או הדמיה של ניסוי פיזיקלי.

מציאות מעורבת – זהו שילוב של מדומה ורבודה שבה המשתמש לא רק רואה את העולם הפיזי בשילוב עם אלמנטים וירטואליים, אלא גם יכול לתקשר איתם באופן דינמי, למשל על ידי מגע במודלים תלת-ממדיים ויצירת אינטראקציה איתם¹⁶⁹.

עולמות אימרסיביים כוללים את השימוש בטכנולוגיות מציאות מורחבת ליצירת חוויות חינוכיות והפקת סימולציות ואינטראקציות שהופכות את הלמידה למרתקת ומעוררת. עולמות אימרסיביים מיועדים ליצירת סביבות שבהן התלמידים לא רק צופים במידע אלא הם "חיים" את החוויה באופן אינטראקטיבי ומרגישים חלק ממנה. סביבות וירטואליות אלו מאפשרות אינטראקציה פעילה של הלומד, ותורמות ללמידה חווייתית שממחישה בצורה מעשית את המושגים התיאורטיים של המדע, המתמטיקה וההנדסה.

מציאות מורחבת ועולמות אימרסיביים, מייצגים קפיצת מדרגה משמעותית שמשנה את חוויית הלמידה מקצה לקצה. הם מאפשרים גישה חדשה למושגים מורכבים, והופכים את התהליך לאינטראקטיבי, אישי ומותאם למציאות המשתנה בקצב מואץ. והיתרון הגדול שלהם טמון ביכולת לגשר בין התיאוריה לבין היישום המעשי, תוך יצירת סביבה שבה התלמידים הם לא רק צופים פסיביים, אלא משתתפים פעילים. היתרונות הבולטים שהם כוללים:

המחשה של מושגים מורכבים – תחומי ה-STEM מלאים ברעיונות שקשה לתפוס דרך מילים או תרשימים דו-ממדיים בלבד. לדוגמה, איך אפשר להבין באמת את התנועה של גלי קול או את המבנה התלת-ממדי של DNA בלי "לחוות" אותם? מציאות רבודה מאפשרת להקריין שכבות של מידע על העולם האמיתי – תלמיד יכול להחזיק מודל של מולקולה בידו ולסובב אותו, בעוד שמציאות מדומה לוקחת את זה צעד קדימה ומאפשרת "להיכנס" לתוך המולקולה הזו ולראות איך האטומים מתחברים במרחב. הדבר לא רק עוזר להבין את המושגים ברמה ויזואלית, אלא גם מפעיל את הזיכרון המרחבי של המוח, מה שמשפר את השימור לטווח ארוך ואת היכולת לזכור את החומר לאורך זמן. כאשר תלמידים מתנסים באופן פעיל בתהליך הלמידה, הם מפנימים את התוכן בצורה עמוקה ומשמעותית יותר.. ובמקביל, הדבר מפחית את התסכול שתלמידים רבים חשים כשהם נתקלים לראשונה במושגים מופשטים.

מעורבות והנעה – תלמידים רבים מאבדים עניין בלימודים מאחר והשיעורים נתפסים כיבשים או מנותקים מהחיים שלהם. עולמות אימרסיביים משנים את התמונה הזו על ידי הפיכת הלמידה לחוויה דומה למשחק מחשב או סרט הרפתקאות. כאשר "מטיילים" על פני הירח, בונים רובוט וירטואלי או חוקרים את מעמקי האוקיינוס, מפתחים מעורבות רגשית, ובולטת המוכנות להשקיע יותר זמן ומאמץ, מה שמוביל לתוצאות למידה טובות יותר. יתרה מזו, הסביבה האימרסיבית מעודדת סקרנות טבעית – תלמיד ש"מגלה" בעצמו איך פועל מנוע חשמלי דרך סימולציה יהיה סקרן ללמוד עוד ולא יראה בלמידה עול.

למידה חווייתית ומעשית: תלמידים יכולים "ללמוד על ידי עשייה", לדוגמה על ידי ביצוע ניסויים במעבדות וירטואליות או חקר תרחישים מדעיים במציאות מדומה, מבלי להיתקל בסיכון או בטעות¹⁷⁰. אחת הבעיות בחינוך המסורתי היא המרחק בין תיאוריה ליישום. במעבדות פיזיות יש מגבלות של זמן, תקציב ובטיחות – לא כל תלמיד יכול לערוך ניסוי מסוכן או יקר כמו פיצוץ כימי מבוקר או חקר חור שחור. עולמות אימרסיביים מבטלים את המגבלות האלה. תלמיד יכול, לבנות גשר וירטואלי ולבדוק איך הוא עומד בעומסים שונים, או לנתח את זרימת הדם בלב אנושי תוך כדי תנועה בתוכו. החוויה הזו לא רק ממחישה את החומר, אלא גם מפתחת חשיבה ביקורתית ומיומנויות פתרון בעיות, מאחר והתלמידים לומדים דרך ניסוי וטעייה בסביבה שבה אין סיכון אמיתי.

גישור על הפער בין תיאוריה לפרקטיקה – מציאות רבודה מאפשרת לתלמידים להבין מושגים מופשטים במדעים, מתמטיקה והנדסה באמצעות סימולציות אינטראקטיביות ומודלים תלת-ממדיים¹⁷¹. דוגמה לכך היא אינטראקציה עם אובייקטים תלת-ממדיים כמו מבנים מולקולריים או הדמיות של ניסויים פיזיקליים, שמסייעים בהבנת תהליכים מורכבים.

התאמה אישית וגמישות – כל תלמיד לומד בקצב ובסגנון שונה, אבל בכיתה מסורתית המורה מוגבל ביכולתו להתאים את השיעור לכל אחד. מציאות מורחבת פותרת את הבעיה הזו על ידי יצירת חוויות למידה מותאמות אישית. לדוגמה, תלמיד מתחיל במתמטיקה יכול להשתמש במודל מציאות רבודה פשוט כדי להבין גיאומטריה בסיסית, בעוד תלמיד מתקדם יכול להשתמש במציאות מדומה כדי לפתור בעיות מורכבות של חשבון אינטגרלי במרחב תלת-ממדי. הטכנולוגיה יכולה גם להתאים את רמת הקושי בזמן אמת על סמך ביצועי התלמיד, ולהציע הסברים נוספים או אתגרים בהתאם. הדבר מאפשר לכל אחד להתקדם בקצב שלו, מה שמפחית תסכול ומגביר את תחושת ההצלחה.

למידה שיתופית – עולמות אימרסיביים מאפשרים לתלמידים לעבוד יחד במרחבים וירטואליים משותפים. וטכנולוגיות מציאות מורחבת מאפשרות עבודת צוות תוך כדי פתרון בעיות בסביבות וירטואליות, ומטפחות שיתוף פעולה, תקשורת וחשיבה קבוצתית.

הכשרה מתקדמת – מגמות לימוד כמו אוטומציה, רובוטיקה וביוטכנולוגיה יעשו שימוש במציאות מדומה ורבודה ללמידה, תוך שימוש בסימולציות וירטואליות של אתגרים הנדסיים או רפואיים, דוגמת נתיחות וירטואליות ובניית אבות טיפוס וירטואליים.

מעבדות מציאות מורחבת ב- STEM – טכנולוגיות מציאות מורחבת תאפשרנה לבתי ספר, אוניברסיטאות ותעשיות ליצור מעבדות וירטואליות שבהן התלמידים יוכלו להעמיק את הבנתם בנושאים כמו כימיה, פיזיקה, אקולוגיה והנדסה, מבלי להיות מוגבלים למגבלות הזמן והמרחב של מעבדות פיזיות¹⁷². (40)

צמצום פערים – תלמידים ממקומות גיאוגרפיים פריפריאליים, או כאלה שמגיעים מרקעים חברתיים-כלכליים מגוונים, יכולים בזכות הטכנולוגיות הללו להיחשף לתכנים ולחוויות שבעבר היו שמורות למעטים – ביקור במעבדות מחקר בינלאומיות, סיורים וירטואליים באתרים מדעיים, או תרגול עם ציוד מתקדם.

פיתוח מיומנויות המאה ה-21 – סביבות מציאות מורחבת תומכות בלמידה שיתופית, פיתוח כישורי פתרון בעיות וחדשנות, ומקדמות את המיומנויות החשובות לקריירות עתידיות. סביבות אימרסיביות תומכות בפיתוח הכישורים שמערכת החינוך שואפת לטפח: חשיבה מערכתית, פתרון בעיות מורכבות, תכנון הנדסי, תכנות, הדמיה, וניהול תהליכים תוך שיתוף פעולה בין לומדים. באמצעות סימולציות ניתן לתרגל מצבים מסוכנים או מורכבים, לחקור תרחישים עתידיים, ולהתנסות בקבלת החלטות בעולם בטוח, הפועל לפי כללים מדעיים מדויקים אך מאפשר טעייה ולמידה מתוך התנסות. העולם שבו התלמידים של היום יעבדו כבר מלא בטכנולוגיות מתקדמות – מהנדסים משתמשים בסימולציות, רופאים מסתמכים על הדמיות תלת-ממד, ומדענים חוקרים דרך מודלים וירטואליים. על ידי שימוש במציאות מורחבת במהלך הלימודים, התלמידים לא רק לומדים את תוכן ה-STEM, אלא גם מתרגלים עבודה עם הכלים שיהיו חלק מהקריירה העתידית שלהם. הם מפתחים את תחושת הנוחות אל מול טכנולוגיה, חשיבה חדשנית ומיומנויות שיתוף פעולה (למשל, בעבודה על פרויקטים אימרסיביים בצוותים). מה שנותן להם יתרון תחרותי בשוק העבודה ומכין אותם לעולם שבו היכולת להסתגל לטכנולוגיות חדשות היא קריטית.

העתיד של מציאות מורחבת ועולמות אימרסיביים בחינוך STEM – נמצא בשילובן המעמיק יותר בחינוך, עם סביבות וירטואליות ותרחישים אימרסיביים שיכולים לשנות לחלוטין את חוויות הלמידה. למשל, פלטפורמות כמו **המטאוורס**, שמאפשרות חוויות לימודיות אינטראקטיביות במרחבים וירטואליים, יאפשרו לתלמידים לחוות רעיונות מדעיים בתרחישים מורכבים ולהתנסות בהם בצורה מוחשית. כבר ברור שמציאות מורחבת ועולמות אימרסיביים הם לא רק טרנד חולף – אלו הם כלים שמשנים את האופן שבו אנו מלמדים ומבינים STEM. הם מאפשרים למידה עמוקה יותר, מעוררת השראה ומותאמת לעתיד, תוך גישור על הפער בין התיאוריה למציאות. עבור מורים, הם מציעים דרך חדשה להגיע לכל תלמיד; עבור תלמידים, הם הופכים את המסע החינוכי להרפתקה. ככל שהטכנולוגיה ממשיכה להתפתח ולהפוך לנגישה יותר,

השפעתה על החינוך רק תגדל, והיא תמשיך להכין את הדורות הבאים לאתגרים ולגילויים של המציאות המשתנה בקצב מואץ.

למידה היברידית

למידה היברידית משלבת בין למידה מסורתית פנים אל פנים עם למידה מקוונת, ומספקת גישה גמישה ויעילה שמתאימה לצרכים השונים של הלומדים. גישה זו מאפשרת למורים להעניק הדרכה בזמן אמת גם בכיתה וגם מרחוק, ובכך מספקת גמישות בלוחות הזמנים ובמיקומים¹⁷³. היתרון הגדול של למידה היברידית הוא **הגמישות** שהיא מספקת. למידה היברידית מאפשרת שילוב של למידה פנים אל פנים עם למידה מקוונת, מה שמעניק לתלמידים את החופש ללמוד בקצב שלהם ובזמן שנוח להם, תוך כדי התאמה לצרכים האישיים של כל תלמיד. לומד יכול להקדיש יותר זמן לנושאים שקשים לו ולהתמקד בנושאים שדורשים תשומת לב נוספת. מאידך, תלמידים שיכולים להתקדם מהר יותר, יכולים "לרוץ" מבלי להרגיש שהם עוצרים את תהליך הלמידה.

הדבר גם מאפשר גישה למשאבים חינוכיים מרובים (כמו סרטונים, סימולציות, ומעבדות וירטואליות) בכל זמן ומכל מקום, ובכך שומר על המעורבות של הלומדים ומחזק את התהליך הלימודי. בנוסף, הגמישות בלוחות הזמנים ובמיקומים מאפשרת לתלמידים להרגיש שליטה רבה יותר בתהליך הלמידה שלהם, ומפחיתה את הצורך בהסתמכות על מסגרת זמן או מקום מסוימים. הדבר מועיל במיוחד לתלמידים עם אילוצים אישיים או מגבלות גיאוגרפיות, ומספק פתרון גם כאשר אין אפשרות ללמוד בכיתה פיזית¹⁷⁴. ההיברידיות של הלמידה מספקת חוויות למידה מעשיות גם בשיעורי פנים אל פנים עם כלים דיגיטליים כמו פלטפורמות אינטרנטיות, אפליקציות למידה, ומאגרי מידע מקוונים. כלים אלו עוזרים לשפר את המעורבות וההבנה של הסטודנטים, תוך שהם מעשירים את חווית הלמידה.

למידה היברידית ו- STEM

לחינוך STEM יש את הפוטנציאל להרוויח רבות משילוב למידה היברידית. חינוך STEM דורש גישה חווייתית ומעשית, והלמידה ההיברידית מאפשרת לשלב את הלמידה בכיתה עם כלים טכנולוגיים חכמים שמעשירים את ההבנה והיישום המעשי של התכנים. המערכות הדיגיטליות שמלוות את הלמידה ההיברידית כוללות מגוון של כלים ומשאבים – סימולציות, מעבדות וירטואליות, סרטונים, מאמרים מקוונים ומסמכים אינטראקטיביים – יכולים לסייע בשיפור ההבנה והיישום המעשי של התכנים¹⁷⁵. כלים אלו מאפשרים לסטודנטים להעמיק במושגים מופשטים, להבין טוב יותר תהליכים מדעיים, ולבצע תרגולים מעשיים שקשורים לעולם האמיתי. כמו כן, באמצעות הלמידה

ההיברידית, תלמידים יכולים לעבוד על פרויקטים אמיתיים בשיתוף פעולה עם עמיתים מרחבי העולם, לקשר בין תיאוריות מדעיות ויישומם בעולם האמיתי, וליישם את מה שלמדו בפתרון בעיות בצורה מעשית. זאת באמצעות הכלים הדיגיטליים המנגישים להם סדנאות, סימולציות ותרגולים גם באזורים גיאוגרפיים מרוחקים¹⁷⁷. ואכן, מחקר של Education Endowment Foundation¹⁷⁸ מצא כי מודלים היברידיים מגבירים את ההישגים בלמידת STEM כאשר הם משולבים באופן מושכל עם פעילות בכיתה.

יתרונות של הלמידה ההיברידית ב - STEM כוללים:

הנגשה רחבה של חומרים חינוכיים – למידה היברידית מאפשרת גישה למשאבים חינוכיים רבים מעבר לספרי הלימוד המסורתיים. מורים יכולים לשלב מגוון חומרים דיגיטליים כמו מאמרים, סרטונים, הרצאות מקוונות, ומצגות, ובכך להעשיר את התוכן המועבר בכיתה. בנוסף, המידע זמין לכל תלמיד בכל עת, מה שממקסם את זמן הלמידה.

הכנה טובה יותר לעתיד הדיגיטלי – היכולת לעבוד עם כלים טכנולוגיים שונים – כמו פלטפורמות מקוונות, מעבדות וירטואליות, ומשאבים דיגיטליים – מעניקה לתלמידים הכנה טובה יותר לעולם הדיגיטלי והטכנולוגי שהם עתידים להתמודד איתו. כמו כן, למידה היברידית משפרת את כישורי האוריינות הדיגיטלית, שהיא מיומנות קריטית בעידן המודרני.

פיתוח לומד פעיל – למידה היברידית מעודדת את הלומדים להיות פעילים ומספקת להם את הכלים הדרושים לניהול זמן, קבלת החלטות על תוכן הלמידה, ויכולת לאתר ולהשתמש במשאבים חינוכיים באופן עצמאי. כמו כן, היא מאפשרת לתלמידים לבחור כיצד ללמוד את החומר – במובן של עיתוי, קצב הלמידה, וצורת הלמידה (פנים אל פנים או מקוונת). גמישות זו מביאה להגברת המעורבות והאחריות האישית של התלמידים, מסייעת להם להרגיש שליטה על תהליך הלמידה שלהם, ומכינה אותם לעולם שבו הפרדיגמה היא למידה לאורך החיים.

הפחתת לחץ על המורים – למידה היברידית מאפשרת למורים להתמקד בהכוונה ובתמיכה אישית בתלמידים תוך כדי שמירה על ניהול מקצועי של השיעור. מורים יכולים לנצל את הזמן בכיתה בצורה טובה יותר, ולספק תמיכה מותאמת אישית לכל תלמיד בעזרת טכנולוגיות חינוכיות מתקדמות.

העשרת מיומנויות תקשורת – המעבר בין למידה מקוונת ולמידה פנים אל פנים מאפשר לתלמידים לפתח מיומנויות תקשורת מתקדמות. הם נדרשים לתקשר עם חבריהם ועם המורים בשיטות שונות – בין אם מדובר בהודעות אינטרנטיות, פורומים

מקוונים, או שיחות ישירות בכיתה. פיתוח מיומנויות אלו הוא חיוני בעולם העבודה המשתנה של היום.

הפחתת חסמים גיאוגרפיים – למידה היברידית מספקת פתרון מצוין למי שנמצא במיקומים מרוחקים או לא נגישים מבחינה גיאוגרפית. היא מספקת גישה למורים ומשאבים חינוכיים מבלי שהסטודנטים יצטרכו להימצא בכיתה פיזית. הדבר חשוב במיוחד למוסדות חינוך המשרתים אוכלוסיות באזורים מרוחקים או בקבוצות מיעוט.

שיפור הגמישות בלוחות הזמנים והמשכיות הלמידה גם בזמני משבר – למידה היברידית מעניקה לתלמידים את האפשרות לבחור את לוח הזמנים המתאים להם ביותר. דבר זה יכול להקל על תלמידים עם אילוצים אישיים או עבודה במשרה חלקית, ומאפשר להם לגשת לחומר הלימוד בכל עת ובמקום שנוח להם. יתר על כן, למידה היברידית מספקת את האפשרות להמשיך את תהליך הלמידה גם כאשר ישנן הפרעות בכיתה (כמו סגרים ומגבלות של מגפות, מלחמה, אסון טבע וכד'), שכן לומדים יכולים להמשיך ללמוד באמצעות הכלים המקוונים מבלי להיות תלויים בנוכחות פיזית בכיתה.

הערכה מותאמת אישית – למידה היברידית מאפשרת למורים להשתמש בניתוחי נתונים כדי לעקוב אחרי ההתקדמות של כל תלמיד, להעריך את יכולותיו ולספק לו משוב בזמן אמת. כל תלמיד מקבל הערכה שמתאמת אישית לצרכיו, מה שתורם לשיפור בתוצרי הלמידה, גם אם התלמידים לומדים בקצב שונה.

אינטראקציות עם תעשייה/בעלי עניין – למידה היברידית מאפשרת גישה לפלטפורמות מקוונות המחוברות בין הלומדים לתעשיות ולמגוון אנשי מקצוע ובעלי עניין רלבנטיים. כלים מקוונים מאפשרים לסטודנטים לגשת למשאבים עדכניים, ללמוד על יישומים מעשיים של תיאוריה, ולהתנסות במצבים אמיתיים שדורשים פתרונות יצירתיים. למידה זו עוזרת לגשר על הפער בין הכיתה והחיים האמיתיים ובין הידע התיאורטי שנלמד בכיתה לבין היישום המעשי בשטח¹⁷⁹.

קידום שיתוף פעולה בין-לאומי ובין-תרבותי – למידה היברידית מספקת הזדמנויות לשיתוף פעולה בין תלמידים ממדינות ותרבויות שונות. בעידן הגלובליזציה, גישה כזו מאפשרת לתלמידים לפתח מיומנויות של עבודה בצוות בינלאומי ובין-תרבותי, תורמת להבנה רחבה יותר של העולם ומפחיתה חסמים תרבותיים.

למידה היברידית בכלל וב-STEM בפרט משלבת שני אופני למידה: פנים אל פנים ומקוונת. בעוד שלמידה מסורתית בכיתה מאפשרת לתלמידים חוויות מעשיות והדרכה ישירה מהמורים, למידה מקוונת מספקת גמישות רבה יותר, ומאפשרת לתלמידים ללמוד בקצב אישי, לחזור על נושאים ולהתנסות במשאבים דיגיטליים כמו סימולציות, סרטונים ומאמרים.

למידה מסורתית לבדה, אף שהיא חיונית ומועילה, לא תמיד מאפשרת את אותה רמת גמישות בזמן ובמקום, וכוללת לרוב מסגרת זמן מוגבלת בתוך כיתה. גישה כזו עשויה להגביל את האפשרות ללמוד בקצב אישי או לנצל את המשאבים הטכנולוגיים הזמינים. לעומת זאת, הלמידה ההיברידית מאפשרת לתלמידים להעמיק בנושאים תוך כדי למידה עצמאית מחוץ לשעות הכיתה, בזמן ובמקום שנוח להם, ובכך היא מספקת את החופש להתנסות ולחקור בצורה שמותאמת לצרכים האישיים של כל תלמיד.

השילוב בין למידה מסורתית למקוונת מגביר את הגמישות בהתמודדות עם נושאים מורכבים או טכנולוגיות חדשות, ומסייע לפתח פתרונות יצירתיים, לעודד שיתוף פעולה עם עמיתים ולבצע למידה מבוססת פרויקטים – תהליכים חשובים מאוד בתחומים של STEM.

6. ניהול הון אנושי בתפיסת ה-STEM

בעידן המודרני של תחרות טכנולוגית וכלכלית, הידע והכישורים של ההון האנושי הם המשאב החשוב ביותר לביטחון לאומי ולשגשוג כלכלי¹⁸⁰. בני האדם, או ליתר דיוק, הידע, הכישורים, ההשכלה, המוטיבציה והשלומות שלהם, הם ללא ספק המשאב הלאומי החשוב ביותר¹⁸¹. המאפשר השקעות ארוכות טווח. ואסטרטגיות לפיתוח ההון האנושי הן קריטיות, לכלכלה בריאה ולמחקר דינמי, לפיתוח תעשיות העתיד וכדי להכין את המדינה להגיב לאתגרים גלובליים.

השקעות ארוכות טווח בהון האנושי אינן רק אמצעי להניע את הכלכלה ולשפר את רמת החיים, אלא הן גם הכרחיות לקידום חדשנות ושימור מעמדה התחרותי של המדינה בזירה הבינלאומית. פיתוח וגיוס הון אנושי איכותי ובעל יכולות גבוהות, במטרה לעודד חדשנות ותחרותיות, דורשים תיאום ושיתוף פעולה בין-מגזרי, הן בתחומי המחקר והן בחינוך. התחרות המקומית והבינלאומית על כישרונות בתחומי STEM מניעה מוסדות העוסקים במחקר וחדשנות לשקול מדיניות ושותפויות חדשות לצורך בנייה וניהול של ידע וכישורים בתחומי המדע, הטכנולוגיה, ההנדסה והמתמטיקה. השקעה נרחבת בהון האנושי על מנת להעצים את החדשנות והתחרותיות של המדינה מחייבת שיתוף פעולה הדוק בין מוסדות אקדמיים, תוכניות פיתוח והכשרה, ארגוני עובדים, חברות ומממנים של מחקר וחינוך.

ההגדרה של כוח האדם ב-STEM התרחבה מעבר לתפקידים מסורתיים כמו מהנדסים, חוקרים ומדעני מחשב, וכעת היא כוללת גם אנשי מקצוע בתחומים מתפתחים כמו ניתוח נתונים, בינה מלאכותית, אבטחת סייבר ומדעי הסביבה.

יתרה מכך, קרן המדע הלאומית של ארה"ב מרחיבה את הגדרת כוח האדם ב-STEM מעבר לתחומים טכניים אלה וכוללת גם מחנכים, קובעי מדיניות ואנשי צוות ממקצועות תומכים המאפשרים למדע ולטכנולוגיה להתקדם¹⁸².

חינוך STEM וכוח אדם מיומן ממלאים תפקיד מכריע בהתפתחות כלכלית של מדינות. תחומים אלה תורמים באופן משמעותי לתוצר המקומי הגולמי (תמ"ג) ומהווים מקור הכנסה משמעותי ממסים¹⁸³. השקעה בחינוך STEM והגדלת מספר המהנדסים ומדעני המחשב עשויים להוביל לצמיחה כלכלית משמעותית ולהוספת אלפי מקומות עבודה חדשים¹⁸⁴. יתרה מכך, אנשי מקצוע בעלי השכלה ב-STEM נוטים להרוויח שכר גבוה יותר וליהנות משיעורי אבטלה נמוכים יותר, מה שמדגיש את הערך של כישורים אלה בשוק העבודה¹⁸⁵. לאור הנאמר ברור שהשקעה אסטרטגית וניהול הוליסטי של ההון האנושי הם בסיסיים לשמירה על יתרון תחרותי בנוף ה-STEM העולמי ולהנעת חדשנות.

ייחודיות ההון האנושי ב-STEM

עובדי STEM מחזיקים בכישורים וידע מיוחדים התומכים בפעילויות מחקר ופיתוח, ומגבירים את הפריון של כלל העובדים במשק וכישוריהם חיוניים לשמירה על התחרותיות הכלכלית והצמיחה של המדינה¹⁸⁶. ההגדרה של כישורי STEM התפתחה וכיום היא כוללת לא רק מומחיות טכנית, אלא גם כישורים כמו פתרון בעיות, חשיבה ביקורתית, יצירתיות ועיצוב¹¹. שילוב זה של כישורים קשים ורכים חיוני כדי לענות על הדרישות הדינמיות והבין-תחומיות של כוח העבודה המודרני ב-STEM.

בנוסף לכישורים הטכניים, מעסיקים במקצועות STEM מעריכים במיוחד מועמדים המפגינים יכולת הסתגלות וזריזות להתמודד עם קצב השינויים חסר התקדים. יכולת למידה מהירה של כלים, מסגרות עבודה או מתודולוגיות חדשות, יחד עם נכונות לאמץ שינויים, יכולות שיתוף פעולה, תקשורת ומנהיגות חזקות, נדרשות גם הן לצד כישורים טכניים על מנת להבטיח עבודה יעילה בצוותים מגוונים ושילוב תובנות מתחומים שונים¹⁸⁷. כמו כן, עובדים בתחומי STEM נהנים לרוב משכר חציוני גבוה יותר ושיעורי אבטלה נמוכים יותר בהשוואה לעובדים שאינם בתחום זה, מה שמחדד על הערך הרב של כישורי STEM בשוק העבודה.

בהיבט של הוראת STEM, יישום של עקרונות ניהול משאבי אנוש בקרב צוותי חינוך והוראה STEM, הפך חיוני בשנים האחרונות, בשל הצורך להתמודד עם אתגרים בתחום הגיוס ושימור המורים. עקרונות אלו כוללים גישות כמו גיוס מורים איכותיים, שימורם לאורך זמן, קידום גיוון והכלה, ושיפור אסטרטגיות לפיתוח מקצועי. על ידי יישום גישות

אלו, ניתן למשוך מורים מוכשרים, לפתח את יכולותיהם ולשמור עליהם במערכת החינוך, ובכך לתרום לפיתוח כוח עבודה חזק ומגוון בתחום ה-STEM אשר ישפיע באופן ישיר הן על איכות ההוראה והן על ההצלחה של התלמידים במקצועות אלה¹⁸⁸.

לצוותי הוראת ה-STEM יש תפקיד מכריע בפיתוח יכולות הניתוח ופתרון הבעיות של התלמידים¹⁸⁹. מורי STEM יעילים ניחנים בתכונות כמו גמישות, שימוש בטכניקות הוראה מתקדמות, יכולת הנחיית תהליך הלמידה, שימוש באסטרטגיות מעשיות, הדרכה וחניכה, הצבת ציפיות גבוהות וחתימה ללמידה מתמשכת¹⁹⁰. הם צריכים להיות בעלי ידע רב אך גם פתוחים ללמידה חדשה, ולעודד חשיבה עצמאית בקרב תלמידיהם. בנוסף, מאחר וחינוך STEM משלב תחומי דעת שונים תוך נקיטת גישה בין-תחומית, ומאופיין בידע של מושגי מפתח וביכולת לקשר ידע זה בין הדיסציפלינות¹⁹¹. הוראת STEM דורשת כישורים ייחודיים, כגון היכולת לקשר בין דיסציפלינות שונות, לנתח בעיות מהעולם האמיתי ולטפח חשיבה ביקורתית¹⁹². צוותי ההוראה ב-STEM מאופיינים בכישורים טכניים ורכים מיוחדים, כולל תערובת ייחודית של מומחיות פדגוגית וידע תוכן כדי לחנך ביעילות את אנשי המקצוע העתידיים ב-STEM. בתהליך זה הם לעיתים קרובות מידי, מתמודדים עם אתגרים כמו: מחסור במשאבים ומימון, קשיים בשילוב תכניות לימודים, הכנה והתפתחות מקצועית לא מספקות, התמודדות עם תפיסות שגויות, התמודדות עם אתגרי הנעת תלמידים וצורך להתעדכן בטכנולוגיות מתפתחות ללא הרף¹⁹³.

מחסור במורים מותאמים

נתונים סטטיסטיים רבים מעידים על מחסור במורים מוסמכים ל-STEM בעולם כמו בישראל, במיוחד במקצועות כמו פיזיקה, מדעי המחשב ומתמטיקה¹⁹⁴. מדינות רבות מדווחות על מחסור במורי STEM, במיוחד בבתי ספר בעלי צורך גבוה ובעלי הכנסה נמוכה¹⁹⁵. בבריטניה, קיים מחסור משמעותי במורים לפיזיקה, מדעי המחשב ומתמטיקה¹⁹⁶. ובישראל קיים מחסור שנתי של כ-400 מורים בחינוך הטכנולוגי בישראל¹⁹⁷. זאת ועוד, שיעורי הנשירה בקרב מורי STEM גבוהים יותר בהשוואה למקצועות אחרים ושיעורי התחלופה הם גבוהים יותר באופן עקבי בהשוואה למקצועות אחרים שבהם קיים מחסור בצוותי הוראה, מה שמחמיר את המצב.

הסיבות למחסור החמור של צוותי הוראה דווקא בתחומי ה-STEM – נגזר ממספר סיבות:

הראשונה, מספר הסטודנטים במכללות ללימודי הוראה נמצא במגמת ירידה כבר מספר שנים, ומה שמחמיר את המצב בישראל זו העובדה שקצב הגידול במספר התלמידים

גדול ביחס לקצב גיוס המורים. שנית, קיים "קנס שכר" מאחר ובוגרי STEM יכולים להרוויח הרבה יותר בקריירות STEM שאינן הוראה, מה שהופך את ההוראה לפחות אטרקטיבית מבחינה כלכלית. שלישית, תנאי עבודה מלחיצים, חוסר תמיכה, הזדמנויות מוגבלות לפיתוח מקצועי ומסלולי קידום קריירה תורמים גם הם לנשירת מורים. וגם אם יש בוגרי מקצועות STEM שמתעניינים בהוראה, הם נתקלים בחסמים כאשר הם שוקלים לעבור למערכת החינוך, כמו העלות הגבוהה של לימודי הוראה וחששות לגבי שחיקה¹⁹⁸.

הסיבות הללו בולטות במיוחד כיום, מאחר וכבר **בתקופת** מגפת הקורונה הוחמר המצב במערכות חינוך וגברה נשירת מורים¹⁹⁹. כל אלו הופכים את הגיוס והשימור של צוותי ההוראה ב-STEM לקשים במיוחד.

הכשרה, העשרה והתפתחות מקצועית

הכשרה - הכשרה מוצלחת של מורי STEM שואפת לצייד את המורים כך שיוכלו לאפשר לכל התלמידים לתפקד בהצלחה בעולם המתפתח מבחינה טכנולוגית²⁰⁰. הצלחה כוללת מורים המפתחים את הידע והכישורים שלהם ב-STEM²⁰¹, ונמדדת בכך שהמורים מרגישים מסוגלים ומוכנים לקראת קריירות בתחומי ה-STEM²⁰². הכשרה מוצלחת מובילה את המורים לשלב טכנולוגיות ואסטרטגיות פדגוגיות חדשות, ולשפר את תוצאות התלמידים²⁰³. לכן, הצלחה בהכשרת מורים ל-STEM יכולה להימדד באמצעות הישגי התלמידים במקצועות ה-STEM, יעילות עצמית של התלמידים, מעורבות ועניין התלמידים ב-STEM וכן מוכנותם למכללה ולקריירה בתחומים אלה.

בטווח המיידי:

- לספק פיתוח מקצועי יעיל המעצים מורים ללמד STEM, ללא קשר לרקע שלהם²⁰⁴.
- להקים מועדוני קריאה משותפים לצוותי מורים ותיקים עם חדשים בנושאי STEM לצורך חניכה ושיתוף ידע.
- להביא מומחים מקצועיים בתחומי STEM מעולם החינוך כדי לספק חשיפה ראשונית למורים בנושאי STEM.
- לשלב אמנות בשיעורי מדע ולהשתמש בכלי סימולציה מקוונים כדי לשפר את המעורבות.
- לנצל מורים קיימים בעלי רקע STEM או ניסיון תעשייתי על ידי הצעת מסלולים נוחים ואטרקטיביים להוראה אם במשרה מלאה או חלקית²⁰⁵.

בטווח הבינוני:

- לשפר את תכנית הלימודים במדעים לחטיבת הביניים והיסודי כולל שיעורי העשרה משולבי STEAM.
- לאפשר שיתוף פעולה ומעבדות STEM באמצעות השקעות בטכנולוגיות בכיתה.
- לעודד למידה לאורך החיים על ידי קידום פרויקטים בהנחיה עצמית והצעת הזדמנויות לפיתוח מקצועי⁸¹.
- ליישם גישות למידה מבוססות פרויקטים וחקירה²⁰⁶.
- לפתח וליישם תוכניות חניכה המספקות תמיכה והדרכה מתמשכות למורי STEM, במיוחד למורים חדשים בתחום²⁰⁷.

בטווח הארוך:

- לפתח תוכניות אסטרטגיות מקיפות לחינוך STEM ברמה הלאומית והאזורית²⁰⁸.
- לטפח חשיבה צומחת בקרב מורים ולעודד אותם לאמץ אתגרים ולראות בכישלון הזדמנות ללמידה²⁰⁹.
- ליצור מודלים בני קיימא לפיתוח מקצועי, מודלים מתמשכים, שיתופיים המתמקדים ביישום מעשי.
- לקדם שינויים מערכתיים ליצירת היצע בר קיימא של מורים מוסמכים ל-STEM, כולל טיפול בנושאי שכר ותנאי עבודה²¹⁰.
- ליצור מסלולי קריירה ברורים למורי STEM, המציעים הזדמנויות לקידום ותפקידי מנהיגות במערכת החינוך.

תכניות העשרה (סדנאות, השתלמויות, כנסים וקהילות מקצועיות):

העשרה - הצלחה בתחום ההעשרה המקצועית של מורי STEM פירושה שיפור הביטחון והכשירות של המורים בתכני STEM ופדגוגיה. כולל טיפוח חשיבה צומחת בקרב המורים ונכונות לאמץ אתגרים. הצלחה משמעה מתן הזדמנויות למורים ללמוד אסטרטגיות פדגוגיות חדשות ולהתעדכן במגמות החינוך העדכניות ביותר. והיא כרוכה ביצירת קהילות למידה שיתופיות שבהן מורים יכולים לשתף שיטות עבודה מומלצות וללמוד זה מזה.

בטווח המיידי:

- לעודד מורים להשתתף בסדנאות, סמינרים וכנסים הקשורים ל-STEM²¹¹.
- להקל על הקמת קהילות למידה מקצועיות (PLCs) למורי STEM בתוך בתי הספר והמחוזות.

- להשתמש בפלטפורמות מקוונות ובסמינרים מקוונים לפיתוח מקצועי נגיש.
- לארגן מפגשי הדרכה אינטנסיביים קצרי טווח בנושאי STEM במהלך חופשות בתי הספר או בסופי שבוע²¹².

בטווח הבינוני:

- לארגן סדנאות וסמינרים קבועים בנושאי STEM בהנחיית מומחים ואנשי מקצוע מהתעשייה.
- לתמוך בהשתתפות מורים בכנסים אזוריים ולאומיים בנושאי חינוך STEM.
- להקים תוכניות חניכה המקשרות אנשי מקצוע מנוסים מתעשיית ה-STEM עם מורים ל-STEM.
- לפתח ולתמוך בהשתתפות מורים בקהילות ובפורומים מקוונים בנושאי STEM לצורך למידה ושיתוף פעולה מתמשכים.

בטווח הארוך:

- לשלב הזדמנויות לפיתוח מקצועי בלוחות הזמנים ובמסלולי הקריירה הרגילים של המורים.
- ליצור מודלים בני קיימא לקהילות למידה מקצועיות המוטמעות בתרבות בית הספר.
- לפתח שותפויות עם אוניברסיטאות ומוסדות אחרים כדי להציע תוכניות פיתוח מקצועי מתמשכות המתמקדות ב-STEM.
- להקים אקדמיות או מכונים למורים המתמקדים בחינוך STEM כדי לספק הזדמנויות העשרה מקיפות ומתמשכות.

התפתחות מקצועית (קידום מקצועי וצמיחה אישית):

התפתחות מקצועית - הצלחה בתחום ההתפתחות המקצועית המתמשכת של מורים ל-STEM, משמעה מורים המשפרים ללא הרף את שיטות ההוראה שלהם וכפועל יוצא משפרים גם את למידת התלמידים²¹³. היא כוללת מורים המפתחים הבנה מעמיקה יותר של מושגי STEM וכישורים פדגוגיים²¹⁴. ומבטיחה טיפוח חשיבה צומחת בקרב מורים, ונכונות לאמץ אתגרים ולהתמיד בכך. ולבסוף, הצלחה כרוכה ביצירת הזדמנויות למורים לקבל תפקידי מנהיגות, להתקדם ולפתח את קריירה עתידית בכל תחום.

בטווח המייד:

- להציב יעדים ברורים לפיתוח מקצועי התואמים את יעדי בית הספר.
- לחפש קורסים מקוונים, סמינרים מקוונים וכנסים המתמקדים בחינוך²¹⁵ STEM.
- להשתתף ביוזמות למידה עמיתים ולבנות רשתות חזקות עם מחנכי STEM אחרים.
- להתנדב לתפקידי מנהיגות בתוך בית הספר או המחוז, כגון הובלת מועדוני STEM או ועדות²¹⁶.

בטווח הבינוני:

- לרכוש תארים מתקדמים או הסמכות מיוחדות בתחומי STEM או בחינוך.
- לחפש ולהשתתף בתוכניות חניכה ואימון באופן פעיל.
- לפתח מומחיות בתחומי STEM ספציפיים או בטכנולוגיות מתפתחות הרלוונטיות לחינוך²¹⁷.
- לעסוק בפרויקטים של מחקר פעולה כדי לשפר את שיטות ההוראה ולתרום לתחום²¹⁸.

בטווח הארוך:

- ליישם תמיכה מערכתית לפיתוח מקצועי מתמשך, כולל הקצאת זמן ומשאבים ייעודיים.
- ליצור מסלולי קריירה ברורים למורי STEM עם הזדמנויות להתקדמות לתפקידי מנהיגות²¹⁹.
- לטפח תרבות של למידה ושיפור מתמידים בתוך מערכת בתי הספר.
- לפתח מודלים בני קיימא להתמחויות ולמידת מורים כדי לספק הכשרה מעשית ותמיכה למורים חדשים ל-STEM.

7. מסקנות והמלצות

מסקנות מרכזיות לגבי התפיסה הפדגוגית בחינוך STEM עתידי

מגמה של רב תחומיות ובינתחומיות – כרובד נוסף

למידה מסורתית במערכת הינה בעיקר **תוך-תחומיות** (Intradisciplinarity) – כלומר, למידה המתמקדת בתחום דעת אחד, מבלי לקשור אותו לתחומים נוספים. בשנים

האחרונות גוברת הנטייה לשלב בין תחומים, אם באמצעות **למידה רב-תחומית** (Multidisciplinarity) – המציעה שפע של זוויות הסתכלות על נושא אחד תוך שמירה על גבולות התחום, ואם באמצעות **למידה בין-תחומית** (Interdisciplinarity) – המבקשת לשלב בין תחומי הידע לשם יצירת הבנה חדשה, עמוקה ורלוונטית יותר. ההבדל בין הגישות משמעותי במיוחד בלמידת STEM, שכן אופן הלמידה משפיע על תהליכי ההוראה והמחקר, ומשנה את חוויית הלמידה של הלומדים. באקלים חינוכי המתמודד עם עולם משתנה, המעבר מרב-תחומיות לבין-תחומיות אינו רק שינוי פדגוגי, אלא שינוי פרדיגמה ותפיסה חינוכית.

דוגמה: נושא **האנרגיה – בגישה רב-תחומית**, תלמידים יפגשו את מושגי האנרגיה במגוון שיעורים בנפרד. במדעים – ילמדו על סוגי אנרגיה, חוק שימור אנרגיה ומקורות אנרגיה מתחדשת. במתמטיקה – יתמודדו עם חישובים של צריכת חשמל ועלויות. בטכנולוגיה, יכירו אמצעים טכנולוגיים להפקת אנרגיה, ובשיעור הנדסה/מדעים יישומיים, יתכננו דגם של מערכת הפקת אנרגיה. מאחר וכל תחום פועל בנפרד, אין הכרח שהתלמיד יחבר בין העולמות. לעומת זאת, בגישה **בין-תחומית**, סביב נושא האנרגיה נבנית **בעיה אותנטית הדורשת פתרון הוליסטי**. כמו למשל: כיצד ניתן לתכנן בית חסכוני באנרגיה שמתאים לאקלים המקומי? כאן נדרשים הלומדים לשלב בין הידע המדעי (הבנת סוגי אנרגיה והתנהגותם), ליכולות מתמטיות (חישוב צריכת אנרגיה, עלויות תכנון), להבנת תהליכים טכנולוגיים (שימוש במערכות חכמות) ולמיומנויות הנדסיות (תכנון מבנה פיזי או דיגיטלי). התוצר יכול להיות מודל של בית חכם, הדמיה תלת-ממדית, פוסטר או מסמך המלצות.

כיום, נראה שאנו בדרך לשלב הבא שהוא **העל-תחומיות** (Transdisciplinarity). בהיבט של STEM הכוונה לשילוב עם תחומים נוספים כמו: אמנות, פילוסופיה, רפואה, חקלאות וכד', לצד שיתוף פעולה עם הקהילה ו/או עם מציאות חוץ-אקדמית (בהרחבה בפרק 3.2 חינוך STEM המשולב עם תחומים נוספים).

STEM מבוסס חינוך מותאם אישית – מגמה שתשפיע על התפיסה

למידה מותאמת אישית אינה רק שיטת הוראה, היא מייצגת שינוי בסיסי באופן שבו חושבים על חינוך STEM. במקום One Size Fits All, היא מציעה מסגרת גמישה המתמקדת בלומד הבודד ובצרכיו הייחודיים. שינוי זה משפיע על כל היבט של חינוך STEM, החל מהגדרת מטרותיו ועד לאופן ההערכה את הלומדים. ההשלכות המרכזיות של שינוי זה כוללות: **הגדרה רחבה יותר של הצלחה:** בחינוך מסורתי, ההצלחה נמדדת באמצעות ציונים במבחנים סטנדרטיים. למידה מותאמת אישית בוחנת חשיבה

ביקורתית, פתרון בעיות, יצירתיות, תקשורת ושיתוף פעולה, מעורבות ומוטיבציה של לומדים. **תפקיד משתנה של המורה:** בחינוך מסורתי, המורה "מעביר ידע", בלמידה מותאמת אישית, הוא מנחה/ מדריך המספק תמיכה והכוונה ללומדים, כדי להשיג את יעדי הלמידה שלהם. **דגש על פעלונות הלומד:** בלמידה מותאמת אישית "הלומדים במרכז", הם בוחרים כיצד, מתי ומה ללמוד, מציבים יעדים ועוקבים אחר התקדמותם. **שימוש מוגבר בטכנולוגיה:** ככלי חיוני ללמידה מותאמת אישית. הטכנולוגיה מציעה חוויות למידה סוחפות, המותאמות לצרכי ויכולות הלומדים. **דגש על מיומנויות וכשירויות:** הינו חיוני להצלחה בכל תחום, ובמיוחד בתחומי STEM, מאחר והשינויים המהירים דורשים יכולת הסתגלות ויכולת למידה עצמאית.

אך מעבר לידע ומיומנויות, למידה מותאמת אישית משפיעה גם על הכישורים החברתיים והרגשיים של הלומדים, ולמידה מותאמת אישית עשויה לשפר: **מסוגלות עצמית:** הצלחה בלמידה מגבירה את ביטחון התלמידים ביכולתם ללמוד ולהצליח. **מוטיבציה ומעורבות:** התאמת הלמידה לצרכים ותחומי העניין של הלומדים מגבירה מוטיבציה פנימית, ופיתוח תחושת בעלות על הלמידה שלהם, מגבירה את מעורבותם. **שיתוף פעולה:** למידה מותאמת אישית עם פעילויות שיתופיות מטפח מיומנויות חברתיות כמו עבודת צוות, תקשורת ומשא ומתן, יכולת להשיג מטרה משותפת, לתקשר ביעילות, ולבנות נקודות חוזק אישיות.

מאידך, **קיימים אתגרים הדורשים מודעות ותשומת לב** כמו: **בידוד חברתי:** יישום לא מחושב של למידה מותאמת אישית תגרום לתלמידים לבלות את רוב זמנם באינטראקציה עם טכנולוגיה ופחות זמן באינטראקציה עם מורים ועמיתים. **פערים חברתיים:** חוסר נגישות לטכנולוגיה ולמשאבים עלול להרחיב פערים חברתיים ובמיוחד בקרב תלמידים ממשפחות מוחלשות. **הסתמכות יתר על הטכנולוגיה** עלולה לצמצם את יכולת התלמידים לחשוב באופן עצמאי ולפתור בעיות ללא עזרת מחשב. **חששות אתיים:** שימוש בנתונים אישיים כדי להתאים את הלמידה מעלה חששות לגבי פרטיות, אבטחה ופוטנציאל לשימוש לרעה. בנוסף, כדי להבטיח שלמידה מותאמת אישית תתרום להתפתחות הכוללת של התלמידים, חשוב לשלב: **אינטראקציה חברתית:** הזדמנויות לשיתוף פעולה בין תלמידים, דיונים בכיתה ופרויקטים קבוצתיים. **תמיכה רגשית:** תשומת לב לרווחתם הרגשית של התלמידים באמצעות משוב חיובי, עידוד וטיפול חוסן. **נגישות ושוויוניות:** הבטחה שלכל התלמידים תהיה גישה שווה לטכנולוגיה ולמשאבים הדרושים ללמידה מותאמת אישית. **ואוריינות דיגיטלית:** הקניית לתלמידים את הכישורים הדרושים לשימוש בטכנולוגיה בצורה יעילה ואחראית.

הכשרת צוותי הוראה של STEM – צריכה לענות על האתגרים בהתאם לעקרונות הבאים:

- **שיתופי פעולה עם האקדמיה:** תוכניות ומחקר משותפים, השתלמויות מותאמות,
- **התנסות מעשית:** סטאז' בתעשייה, השתתפות בפרויקטים מחקרניים.
- **דגש על חדשנות:** הכשרה טכנולוגית, פיתוח משחקים, למידה מקוונת.
- **למידה בין-תחומית:** שילוב עם אמנות, מדעי החברה, רפואה, חקלאות ועוד.
- **פיתוח מקצועי מתמשך:** השתתפות בסדנאות, השתלמויות וקהילות למידה.

קשר עם הצבא והתעשייה – שיתוף פעולה בין מערכת החינוך, הצבא והתעשייה הוא קריטי לקידום חינוך STEM. לשם כך נדרש "גוף" מתכלל לשיתוף פעולה זה, ולקידום יוזמות כמו:

- פיתוח תוכניות לימוד רלוונטיות
- הענקת מלגות וחסויות לסטודנטים מצטיינים
- ארגון סדנאות והכשרות משותפות
- הקמת מרכזי מחקר ופיתוח משותפים
- הנגשת מנטורים מהתעשייה והצבא

חיבור בין פורמלי לא-פורמלי בצורה פורמלית: חיבור בין מסגרות חינוך פורמליות (בתי ספר) ללא-פורמליות (מוזיאוני מדע, מרכזי מבקרים, חוגים) יכול להעשיר את חוויית הלמידה של התלמידים. המולמו"פ (מרכזי מדע ופיתוח) יכולים לשמש גשר בין שני סוגי החינוך, באמצעות:

- פיתוח תוכניות לימוד משלימות
- הכשרת מורים לשילוב פעילויות לא-פורמליות בכיתה
- ארגון סיורים ופעילויות העשרה
- הקמת קהילות למידה משותפות

לסיכום, מחקרים מראים שמערכות חינוך STEM מוצלחות מתאפיינות בתכונות הבאות:

1. **נגישות:** לכל התלמידים יש גישה לחוויות למידה איכותיות של STEM
2. **המשכיות:** הוראת STEM כספקטרום מתמשך של חוויות על פני דיסציפלינות מרובות
3. **גישה ממוקדת תלמיד:** חקירות ועיצוב מניעים תוצאות למידה

4. **קשרי קריירה:** חשיפה להזדמנויות עתידיות ושותפויות בתעשייה
5. **מיקוד בין-תחומי:** מינוף פרקטיקות ממדע, טכנולוגיה, הנדסה ומתמטיקה
6. **למידה שיתופית:** דגש על עבודת צוות ורעיונות משותפים²²¹²²⁰
7. **למידה מבוססת חקר:** טיפוח תרבות של תשאול וחקירה
8. **פתרון בעיות:** הצגת אתגרים בעולם האמיתי לחשיבה ביקורתית
9. **שילוב טכנולוגי:** שימוש בטכנולוגיה מודרנית לשיפור חוויות למידה
10. **מסלולים גמישים:** ריבוי מסלולי חינוך והסמכה²²²

כיווני פעולה מומלצים למדיניות של יישום חינוך STEM

רקע וצורך בשינוי – במערכת החינוך כיום, מורים ניצבים בפני עומס של גורמים מתחרים על זמנם המקצועי: גופים פרטיים, מפמ"רים, הנהלת בית הספר, תכתיבי מערכת, יוזמות רשותיות ועוד. כתוצאה מכך, הפיתוח המקצועי נדחק לעיתים לשוליים, מתנהל ללא סדר עדיפויות ברור, וללא ניהול כולל שמבטיח רלוונטיות, רציפות והשפעה. נדרשת גישה מערכתית חדשה – רדיקלית ככל שתהיה – שתמקם את הפיתוח המקצועי של המורה בליבת העשייה החינוכית, ותבטיח את מימושו לאורך זמן.

התשובה המרכזית: קהילות למידה מקצועיות (PLCs - Professional Learning Community) – קבוצות צוותי חינוך המתאגדות בקביעות ומתמקדות בלמידה משותפת, חקירה של שאלות רלוונטיות, ניתוח נתונים ומדידת השפעה על התלמידים. קהילות אלו מהוות מסגרת טבעית להתמודדות עם פיזור משאבים וריבוי גופים, בכך שהן שייכות למורים עצמם, פועלות מתוך בתי הספר/קבוצות עניין מקצועיות, ומאפשרות מסגרת שיתופית, רלוונטית ומתמשכת להתפתחות מקצועית. **יישום מעשי שלהן דורש:**

- הקצאת זמן ייעודי בתוך מערכת השעות לפעילות קהילתית.
- הכשרה וליווי למורים להקמת וניהול קהילות אפקטיביות.
- מיקוד בשיפור תוצרי הלמידה של התלמידים והערכת ההשפעה על ההוראה.
- טיפוח תרבות ארגונית תומכת בשיתוף פעולה, יוזמה ולמידה מתמשכת.

לאור זאת, **מצ"ב הצעות לפתרונות מערכתיים**, לטווח הקצר, בינוני וארוך:

טווח קצר (1-2 שנים):	טווח בינוני (3-5 שנים):	טווח ארוך (5 שנים ומעלה):
מיפוי וריכוז משאבים: לאחר כפילויות, לזהות פערים ולהקים מאגר מידע	בניית מסלולי התפתחות אישיים: התאמה אישית של תהליכי הלמידה לפי שלב	שינוי תרבות ארגונית: מעבר מתרבות של "השתלמות" לתרבות של

למידה מקצועית מתמשכת. שילוב הפיתוח בהכשרת מורים: לעצב את דמות המורה כלומד מתמיד כבר בשלב ההכשרה. מחקר והערכה שיטתיים: הקמת מערך מלווה למדידת האפקטיביות והשפעה של כל התהליך.	מקצועי, תחום עניין ותפקיד. הטמעת PLCs כמודל חובה: לקבע את קהילות הלמידה כחלק משגרת העבודה המוסדית. שימוש מושכל בטכנולוגיה: יצירת תשתית דיגיטלית תומכת שתאפשר קהילות חוצות מוסדות וגבולות גיאוגרפיים.	דיגיטלי מרכזי לניהול ההיצע הקיים. כלי הערכה: לפתח מדדים ברורים ואחידים לאיכות תוכניות הפיתוח המקצועי. הכשרה ממוקדת למנהלים: לפיתוח היכולת להוביל תהליכים בית-ספריים מבוססי פיתוח מקצועי. גמישות ותמריצים: לאפשר למורים לבחור מסלולים מגוונים ולתמרץ על השתתפות משמעותית.
---	---	---

אין עוררין על כך שהשקעה במורים היא השקעה בעתיד של מערכת החינוך והחברה כולה, לכן, יש לקדם **מדיניות מותאמת של התפתחות מקצועית**, ולשם כך יש:

1. לשלב את הפיתוח המקצועי בתוך מערכת השעות
2. להכיר בפיתוח מקצועי כמרכיב מוערך המקדם מקצועית
3. לקדם מודל מורה-חוקר
4. לבטל השתלמויות גנריות
5. ליצור קונסורציום ידע לאומי
6. לתת זכות בחירה מלאה למורה על התפתחותו
7. לקדם קהילות פתוחות מבוססות עמיתים

דרישות בסיס ליישום המדיניות

1. הקצאת משאבים
2. הכשרת מנהלים
3. מגוון אפשרויות
4. שותפויות מקצועיות
5. מעקב והערכה

עקרונות להתפתחות מקצועית

1. למידה מתמשכת
2. מותאמת אישית
3. בחירה ואחריות אישית
4. יישום רלוונטי
5. למידה שיתופית .
6. הכרה, תמיכה והערכה

כאשר המורים מתפתחים וצומחים, מערכת החינוך כולה משתפרת ולכן נדרשים **מדדי הצלחה**, שהם:

1. שיפור מתמיד באיכות ההוראה
2. התקדמות בהישגי התלמידים
3. חיזוק תחושת המסוגלות והמקצועיות של צוות ההוראה

8. סיכום

החינוך בתחום STEM (מדעים, טכנולוגיה, הנדסה ומתמטיקה) הוא גורם מרכזי בהכנת תלמידים לעתיד טכנולוגי ומורכב. המגמות העולמיות בתחום מצביעות על שילוב של תחומים שונים כגון STEAM, שמחבר בין תחומי המדעים והאמנויות. כמו כן, הטכנולוגיות המתקדמות כמו בינה מלאכותית, רובוטיקה, מציאות מורחבת ולמידה היברידית משפיעות על אופי הלמידה ומאפשרות יצירת סביבות לימוד מותאמות אישית.

המשמעות של חינוך STEM היא לא רק פיתוח מיומנויות טכנולוגיות, אלא גם פיתוח כישורים רכים כמו יצירתיות, חשיבה ביקורתית ויכולת פתרון בעיות. מגמות STEEP (חברתי, טכנולוגי, כלכלי, פוליטי וסביבתי) מראות שדור העתיד, התלמידים, יעמדו בפני אתגרים חדשים ושינויים דמוגרפיים וירצו פתרונות חינוכיים מותאמים אישית שמתאימים לעידן המשתנה.

אחד האתגרים העיקריים של חינוך STEM הוא פערי הכשרה בתחום המורים, דבר שמחייב יצירת תוכניות הכשרה מתקדמות המשלבות טכנולוגיות חדשות. מצד שני, ישנם גם יתרונות גדולים, כמו הזדמנויות לחדשנות בחינוך והכנה לדרישות שוק העבודה העתידי.

לסיכום, החינוך ב-STEM נמצא בעיצומו של שינוי. על מערכת החינוך להתאים את עצמה לטכנולוגיות המתפתחות, תוך שילוב של תוכניות לימודים בין-תחומיות שיאפשרו לתלמידים להתמודד עם האתגרים של העולם המשתנה. השקעה בהכשרה מתמשכת של מורים ובפיתוח תוכניות לימודים חדשניות תהווה מפתח להצלחה עתידית.

9. מקורות

- ¹ [מה זה STEM? מהשיבות עד לאפשרויות קריירה - ועידת האקטואליה](#)
- ² [Innovative approaches to STEM teaching: Preparing the next generation](#)
- ³ [Phenomenon-based Learning: Augmenting Upper and Early Learning STEM Lessons - Scaffolding Magic](#)
- ⁴ [LEGO® Education](#)
- ⁵ [MINDSTORMS EV3 | STEAM for High School | LEGO® Education](#)
- ⁶ TOJET, Editor in Chief. Sakarya-Turkey. Page 4. [Volume 20, Issue 4 October 2021](#)
- ⁷ [A systematic review of STEM education research in the GCC countries: trends, gaps and barriers](#)
- ⁸ [Future of Education and Skills 2030/2040 | OECD](#)
- ⁹ Strategic Future Directions for Developing STEM Education in Higher Education in Egypt as a Driver of Innovation Economy [source](#)
- ¹⁰ [STEAM IT State of play Heb](#)
- ¹¹ Poom-Valickis, K., & Elvisto, T. (2024). Phenomenon-based learning in Finland: A critical overview of its implementation and research perspectives. *Cogent Education*, 11(1), 2309733. [source](#)
- ¹² [What Is STEM Education? | ACE Blog](#)
- ¹³ [Science, Technology, Engineering and Math \(STEM\) Education America must provide students with a strong education in science, tec](#)
- ¹⁴ [STEM Futures - Government Science & Engineering](#)
- ¹⁵ [What Is STEM Education? | ACE Blog](#)
- ¹⁶ [Engendering Access to STEM Education and Careers in South Asia](#)
- ¹⁷ [23 Mega Trends and 70 Sub Trends that will Influence Future Markets 2024-2040: Social Evolutions, Business Models, Economic & Political Shifts, Environmental Priorities, and Technological - ResearchAndMarkets.com | Business Wire](#)
- ¹⁸ [Understanding 7 Megatrends for 2024 to Shape Your Tomorrow](#)
- ¹⁹ [Future of Jobs Report 2025 | World Economic Forum](#)
- ²⁰ [COVID-19 pandemic triggers 25% increase in prevalence of anxiety ...](#)
- ²¹ [Megatrends 2023](#)
- ²² [Mental health of adolescents - World Health Organization \(WHO\)](#)
- ²³ [The Future of Jobs Report 2023 | World Economic Forum](#)
- ²⁴ [AI Will Transform the Global Economy. Let's Make Sure It Benefits Humanity.](#)
- ²⁵ [Posthumanism vs. Transhumanism: From the "End of Exceptionalism" to "Technological Humanism" | Herald of the Russian Academy of Sciences](#)
- ²⁶ [Future of Jobs Report 2025 | World Economic Forum](#)
- ²⁷ [אורגנואיד - ויקיפדיה](#)

-
- [איבר על שבב - ויקיפדיה](#)²⁸
- [The global trends shaping our future | State of the State 2023 | Deloitte New Zealand](#)²⁹
- [AI Will Transform the Global Economy. Let's Make Sure It Benefits Humanity.\) \(AI Will Transform the Global Economy. Let's Make Sure It Benefits Humanity.](#)³⁰
- [מס פחמו - אקו-ויקי](#)³¹
- [Cap and trade system - Climate Jargon Buster](#)³²
- [Seven Sustainability Trends to Watch in 2024](#)³³
- [Inclusive growth - Wikipedia](#)³⁴
- [Climate change indicators reached record levels in 2023: WMO](#)³⁵
- [WWF Living Planet Report 2024: A Planet in Crisis - WWF Arctic](#)³⁶
- [Geoengineering and Climate Change in an Age of Disinformation and Strategic Competition - The Council on Strategic Risks](#)³⁷
- [אפס פסולת - ויקיפדיה](#)³⁸
- [Climate Transparency | UNEP - UN Environment Programme](#)³⁹
- [משבר האקלים - קונצנזוס מדעי לנוכח התעלמות והכחשה](#)⁴⁰
- [The European Green Deal](#)⁴¹
- [מהו דו"ח V-DEM ומה ניתן ללמוד מהדירוג החדש של ישראל ?](#)⁴²
- [יוזמת החגורה והדרך - פרויקט הדגל הגאו-אסטרטגי של סין aboutchina -](#)⁴³
- [2023 Edelman Trust Barometer](#)⁴⁴
- [History, Memory, and the Politics of History | Wilson Center](#)⁴⁵
- [FOREIGN INFLUENCE AND ANTI- ISRAEL BIAS IN K-12 CLASSROOMS](#)⁴⁶
- [AI in Action: Beyond Experimentation to Transform Industry](#)⁴⁷
- [Foresight on Demand:](#)⁴⁸
- [Research Futures 2.0](#)⁴⁹
- [Future of Jobs Report 2025 | World Economic Forum](#)⁵⁰
- [Accelerated Materials Experimentation Enabled by the Autonomous Materials Innovation Infrastructure \(AMII\) A Workshop Report](#)⁵¹
- [1. AI for scientific discovery - Top 10 Emerging Technologies of 2024 | World Economic Forum](#)⁵²
- [Artificial Intelligence Market Size, Share | Industry Report, 2030](#)⁵³
- [Accelerating scientific breakthroughs with an AI co-scientist](#)⁵⁴
- [The AI Scientist: Towards Fully Automated Open-Ended Scientific Discovery](#)⁵⁵
- [Machine learning experiment management tools: a mixed-methods empirical study](#)⁵⁶
- [Artificial Intelligence Market Size, Share | Industry Report, 2030](#)⁵⁷
- [25 largest R&D funding rounds 2024](#)⁵⁸
- [Artificial Intelligence \(AI\) Software Market Size: 2024 to 2030](#)⁵⁹
- [25 largest R&D funding rounds 2024](#)⁶⁰

How to Ensure Digital Literacy Amongst Gen Alpha	61
Gen Z Perspectives on STEM Education	62
source How AI is Reshaping the Classroom: Education Trends for 2025 (2024)	63
history-of-the-future-2025-2040	64
What's the state of STEM?	65
HoloLAB Champions Review for Teachers Common Sense Education	66
Integrated STEM Education: A Systematic Review of Instructional Practices in	67
Secondary Education	
Integrated STEM Assessment Model	68
Promoting STEM education through design	69
Integrated STEM Education: A Systematic Review of Instructional Practices in	70
Secondary Education	
What is Phenomenon-based Learning? Its Benefits & Examples	71
מהי הכיתה ההפוכה? - אנציקלופדיה אאוריקה	72
Anderson, C. A., & Dill, K. E. (2000). <i>Video games and aggressive thoughts, feelings,</i>	73
<i>and behavior in the laboratory and in life.</i> Journal of Personality and Social Psychology,	
78(4), 772-790	
Augmented and Mixed Reality STEM HoloLens Program for Angelo State University 	74
Groove Jones	
Interdisciplinary STEM Education, M.Ed.	75
10 Tips for Adopting an Interdisciplinary Approach to Science – Digital Promise	76
Explore the 8 elements of STEM schools	77
STEM Professional Development at WPI & Online Worcester Polytechnic Institute	78
Student Program for Innovation in Science and Engineering is a launching pad toward	79
possibility » MIT Physics	
Knowles Teacher Initiative	80
Tennessee STEM and STE(A)M School Designation Rubric	81
TEA STEM Rubric PK-20 STEM Education Fidelity of Implementation Rubric	82
Emerging trends and effective strategies in STEM teacher professional development:	83
A systematic review Humanities and Social Sciences Communications	
Emerging Research in Agricultural Teacher Education: 9798369327661: Education	84
Books IGI Global Scientific Publishing	
STEM Education's Role in Environmental Sustainability	85
המצב הנוכחי בהוראת STEM אינטגרטיבי	86
About - STEM Equity Empowering diversity of research in STEM education	87
E-STEM Education eePRO	88
STEM education: report highlights need for more policy efforts and research	89
חינוך ל-STEM מדע וטכנולוגיה יסודי מרחב פדגוגי פורטל עובדי הוראה	90

Long-Term Benefits of Early STEM Education for Future Success	91
Early STEM Learning	92
Why STEM is Crucial in Early Childhood Education Science4Us.	93
STEM Education in the Early Years: Igniting a Passion for Discovery	94
The Importance of STEM Education in the 21st Century Learning from the Perspectives of Pre-Service Kindergarten Teachers: A Survey Study	95
Why STEM is Crucial in Early Childhood Education Science4Us	96
25 Preschool STEM Activities For Early Childhood Teachers: Inquiry-Based Learning	97
דעת- מדע בגו	98
The Power of Continuity and Coherence in STEM Education - STEMVOX	99
STEM Integration from Kindergarten to High School	100
חינוך בגישת STEM אינטגרטיבי	101
How K-12 Can Get a Head Start on Science, Technology, Engineering and Math EdTech Magazine	102
STEM Education Teaching and Learning NSTA	103
Why STEM Education is a Must-Have in Your Curriculum	104
5 Benefits of Introducing STEM Education in Elementary Schools - Tinkrworks	105
STEM Academic Research and Training (START) Wake Tech	106
IGE graduate STEM awards fostering entrepreneurship NSF - National Science Foundation	107
How colleges and universities adapt to changing job markets - Watermark Insights	108
The Rise of Interdisciplinary Roles: STEM and Business in the Job Market	109
STEM בין-תחומי לקידום הוגנות STEM	110
Closing the Gap: Officer Advanced Education STEM+M (Management)	111
The transformative power of STEM in the defense industry Ultra I&C	112
STEM Careers Blog Series: Military Paths Involving STEM Higher Orbits	113
U.S. Military Making a Difference in STEM Education.	114
Veterans in STEM: Bridging the Gap Between Military Service and Science Careers - Warrior Allegiance – VA Disability Claim Assistance	115
מצבא להוראה: מסעם של שני יוצאי צבא בשנה הראשונה בהוראה - פורטל מס"ע	116
Why STEM Education Matters in Today's Competitive Job Market	117
AI Stem Education Leveraging Technology to Teach Stem	118
Grand Challenges Scholars Program - Admission & Student Engagement	119
Crafting personalized learning paths with AI for lifelong learning: a systematic literature review	120
The Impact of Personalized Learning Driven by Artificial Intelligence on STEM Education in Primary and Secondary Schools Francis Academic Press	121

The Efficacy of Artificial Intelligence-Enabled Adaptive Learning Systems From 2010 to 2022 on Learner Outcomes: A Meta-Analysis – Xiaoman Wang, Rui “Tammy” Huang, Max Sommer, Bo Pei, Poorya Shidfar, Muhammad Shahroze Rehman, Albert D. Ritzhaupt, Florence Martin, 2024	122
Personalized adaptive learning in higher education: A scoping review of key characteristics and impact on academic performance and engagement – PMC	123
Effectiveness of Personalized Learning: Statistics on Outcomes in Diverse Educational Settings	124
Revolutionizing STEM Education: The Impact of AI-Powered Mobile Applications on Personalized Learning Request PDF	125
6 benefits of personalized learning RingCentral Blog	126
(PDF) Personalized Learning Strategy as a Tool to Improve Academic Performance and Motivation of Students	127
Personalized adaptive learning in higher education: A scoping review of key characteristics and impact on academic performance and engagement – PMC	128
What Is STEM Education? ACE Blog	129
STEM School Versus Traditional School – Everything You Need To Know	130
The Pros and Cons of STEM Education	131
110 Examples of Personalized Learning for High School Students	132
STEM Education 2025: Key Trends to Inspire Young Innovators	133
STEM Description, Development, & Facts Britannica	134
STEM-H מה זה	135
STEM Education Teaching and Learning NSTA	136
what-is-stem	137
Toward the Development of Key Competencies: A Conceptual Framework for the STEM Curriculum Design and a Case Study	138
CRITERIA AND INDICATORS FOR ASSESSING ACADEMIC AND KEY STEM COMPETENCIES – PROJECTIONS IN ELEMENTARY SCHOOL	139
(PDF) Assessment of STEM Competences – Systematic Overview of Model Solution and Practices	140
STEM: מה זה אומר ולמה כדאי ללמוד אותו? – מחדשים לכם	141
PISA 2025 Science Framework	142
What is competence? A shared interpretation of competence to support teaching, learning and assessment Cambridge Assessment	143
Exploring STEM competences for the 21st century	144
Future of Education and Skills 2030/2040 OECD	145
'Global STEM Alliance' Brings Lessons to Students Worldwide Education World	146
Exploring STEM competences for the 21st century	147
Toward the Development of Key Competencies: A Conceptual Framework for the STEM Curriculum Design and a Case Study	148

Practical Technology Applications in STEM Education	149
Technology Integration in STEM Education: Tools and Techniques	150
The Role of Technology in Improving STEM Education – 21stCenturyEd	151
Systematic Review of Technology-Based STEM Education Research in the United States	152
The Role of Assessment of Technology in STEM Education Request PDF	153
Technology-Enhanced Differentiated Instruction in STEM Education: Teacher Candidates' Development and Curation of Learning Resources – CITE Journal	154
Education at a Glance 2021 OECD	155
Top 5 Innovations in STEM Education 2025	156
The role of artificial intelligence in STEM: Opportunities and challenges	157
AI and education: Guidance for policy-makers	158
AI & STEM Education: Leveraging Technology to Teach STEM	159
The Benefits of Introducing AI in Early STEM Education	160
Artificial Intelligence in STEM Higher Education: Opportunities, Challenges & Ethical Dilemmas NORC at the University of Chicago	161
Artificial Intelligence: An Untapped Opportunity for Equity and Access in STEM Education	162
Emerging Technologies in STEM Education	163
Exploration of the prospective utilization of educational robotics by preschool and primary education teachers	164
STEM Education & Robotics: How Does Hands-On Learning Help? Lenovo US	165
Exploring the benefits of Educational Robots in STEM Learning: A Systematic Review (PDF) Integration of Robotics into STEM Education for Facilitating Environmental Sustainability	166
Explore the Seven Benefits of Robotics in Education for Students	167
View of Immersive Learning Technology for Teacher Education: A Systematic Literature Review	168
How AR and VR are Enhancing STEM Learning in K-12 Schools	169
Transforming STEM Learning with AR and VR Technologies	170
(PDF) Immersive Extended Reality (XR) Technology in Engineering Education: Opportunities and Challenges	171
The Ultimate Guide to Hybrid Learning: What to Know	172
What is Hybrid Learning? Pros and Cons [2025] - DigitalDefynd	173
K-12 Blended Learning for STEM Education: Engaging Students in Real-World Problem-Solving	174
The Effectiveness of Blended Learning on STEM Achievement of Secondary School Students	175

Integrating Blended Learning and STEM Education: Innovative Approaches to Promote Interdisciplinary Learning	177
Remote learning: rapid evidence assessment	178
e-Learning Challenges in STEM Education	179
Developing Human Capital to Support U.S. Innovation Capacity - NCBI Bookshelf	180
Developing Human Capital to Support US Innovation Capacity A Workshop National Academies	181
Bridging the future: Defining and empowering the STEM workforce of tomorrow NSF - National Science Foundation	182
Cogent Blog Diversity in STEM: How does it impact the US economy?	183
PRESS RELEASE: Heartland Forward Report Shows STEM Education Can Add\$3.9 Billion and 19,000 Jobs to Arkansas Economy	184
The STEM Labor Force of Today: Scientists, Engineers, and Skilled Technical Workers NSF - National Science Foundation	185
STEM: The Beating Heart of the U.S. Innovation Economy - The Build Fellowship	186
What Skills do STEM Employers Look For?	187
Integrating human resources principles in STEM education: A review	188
The Importance of a Great Teacher in STEM - STEMpedia Blog	189
Important Qualities that Every STEM Teacher Should Have CoderZ Blog	190
גישת החינוך STEM בין-תחומי מקדם הוגנות בבתי הספר היסודיים	191
STEM–Beyond the Acronym	192
9 Challenges of Teaching STEM & How to Overcome Them	193
STEM teachers are in short supply - World Education Blog	194
STEM Teachers Needed - American Board Blog	195
חמש דרכים לשילוב מקצועות המדעים, הטכנולוגיה, ההנדסה והמתמטיקה (STEM) פורטל מס"ע	196
מנהלת מתעשייה להוראה בחינוך הטכנולוגי	197
First Cohort of Grasmick Scholars Tackles STEM Teacher Shortage in Baltimore	198
STEM teacher workforce in high-need schools resilient despite shrinking supply and increasing demand - EdWorkingPapers.com,	199
STEM : מה זה אומר ולמה כדאי ללמוד אותו? - מחדשים לכם - עמוד הבית,	200
STEM Teacher Professional Learning Through Immersive STEM Learning Placements in Industry: a Systematic Literature Review - PubMed Central,	201
Evaluating Impact: Measuring Success in STEM Education Programs	202
Professional Development for STEM Teachers: What Works? - 21stCenturyEd	203
STEM Training for Teachers: 5 Ways to Boost Engagement with AI - EDforTech	204
משבר כוח ההוראה במערכת החינוך הישראלית : האם היוזמה החדשה של משרד החינוך וצה"ל תועיל? עמי סלנט 	205
STEM Teaching Strategies for Elementary & Middle School	206

Effective Practices for STEM Teacher Persistence through Community-Building	207
Basic skills and STEM action plan to support education and training	208
Empowering Teachers: The Key to Unlocking Student Success in STEM	209
A Systematic Review of STEM Teaching in Higher Education (2014-2023)	210
How Do We Train STEM Educators? Lenovo US	211
משרד החינוך STEM	212
A systematic approach to teacher professional development	213
Professional development for STEM Educators: Enhancing teaching effectiveness through continuous learning	214
Taking A Fresh Look At STEM Professional Development	215
Teacher Career Advancement: Step-by-Step Guide	216
Professional Development for STEM Teachers: What Works? - 21stCenturyEd.	217
Sustainable professional development for STEM teachers in Saudi Arabia - Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education	218
Teacher Career Pathways and Advancement Options	219
10 Characteristics of Effective STEM Classrooms – Starfish Education	220
Six Characteristics of a Great STEM Lesson (Opinion)	221
Factors in Successful STEM Learner Engagement A case study approach Final Report for Education Scotland	222