

# הוראת STEM ולמידת STEM בבתי ספר - הגדרות, מטרות ודרכי ההערכה והשלכותיהן לגבי הכשרת מורים

שרון שטיינברג\*

**מילות מפתח:** STEM, למידה מבוססת פרויקטים (PBL), בין-תחומי, על-תחומי, הערכה

<https://doi.org/10.54301/ZQMO2444>

בספרות המחקרית אין הגדרה אחידה להמשגה של המונח 'STEM'. ראשי התיבות 'STEM' הם

1. Science - מדעים: פיזיקה, כימיה וביולוגיה

2. Technology - טכנולוגיה

3. Engineering - הנדסה

4. Mathematics - מתמטיקה (Gao et al., 2020; Granovskiy, 2018; Timms et al., 2018).

הספרות כוללת מגוון של שימושים במונח STEM. לפני שנת 2000 המונח התייחס לדיסציפלינות הנפרדות - שם נרדף למדעים. מחקרים התמקדו בצורך לשפר הצלחות במקצועות אלה, כמעט ללא שילוב של הנדסה וטכנולוגיה (Gao et al., 2020; Li et al., 2020). גם בשני העשורים האחרונים יש המשתמשים במונח כתחליף למושג 'מדעים', לתיאור תחום דעת אחד מבין התחומים: כימיה, פיזיקה, ביולוגיה ומתמטיקה (Gao et al., 2020; Granovskiy, 2018; Timms et al., 2018). ישנה מחלוקת לגבי מספר מקצועות ה-STEM וסוגם החייבים להיות משולבים יחד. לפי חלק מההגדרות, שילוב של שניים או שלושה מהמקצועות המרכיבים את המונח STEM ייחשב לחינוך STEM, ואילו על פי

\* ד"ר שרון שטיינברג בעלת תואר שלישי באפידמיולוגיה, תואר שני בהוראת המדעים ותואר ראשון במתמטיקה ומדעי המחשב. עבדה כאפידמיולוגית ומדענית נתונים במכון מחקר של שירותי בריאות כללית. מרצה בכירה במכללה האקדמית לחינוך על שם קיי. חוקרת בעזרת שיטות מחקר כמותיות, איכותניות ובגישות מעורבות. הספר 'חירום שגרה: משמעות החיים עבור ישראלים החיים בעוטף עזה' שפרסמה לאחרונה (2022) על משמעות החיים בעוטף עזה, משלב בין התחומים: פסיכולוגיה, היסטוריה, אזרחות וחינוך לשלום.

הערת מערכת לקסי-קיי: בהיעדר חלופה עברית תקינה או עממית ל-STEM (נכון לכל הפחות לתקופת הפקת גיליון זה), הקיצור STEM יישמש אותנו ככינוי בלעדי בערך.

גישה אחרת חייבים לשלב יחד רכיבים של הנדסה, טכנולוגיה, מתמטיקה ולפחות מקצוע מדעי אחד (Kelley & Knowles, 2016; Timms et al., 2018). אולם, קיימת ביקורת שההתמקדות במספר תחומי הדעת ובשאלה אילו תחומים יש לשלב, מגבילה מדי וחשוב יותר להתמקד בפרקטיקות ובתהליכי חציית גבולות של תחומי הדעת. מסיבה זאת יש הכוללים נוסף לתחומי הדעת המקוריים, גם תחומים נוספים, למשל, מפסיכולוגיה ומדעי החברה, כגון כלכלה או פוליטיקה וממשל או מחשבים ומדעי הנתונים (Granovskiy, 2018) או רפואה. לפעמים מוסיפים אות לראשי התיבות, למשל STEMM לתיאור שילוב של רפואה המקורי הרווח STEM, אך העקרונות רלוונטיים גם לתוספות של תחומי דעת. המונח STEM התכלולי (אינטגרטיבי) מתאר הוראה שחוצה תחומי דעת שונים ומשלבת ביניהם (Kelley & Knowles, 2016).

קיימות פרקטיקות שונות עם מדרג עולה של מידת השילוב בין תחומי הדעת השונים, הבאות לידי ביטוי בשלושה מונחים מקובלים. בקצה האחד המונח המקובל לתיאור למידה של מספר תחומי דעת נפרדים הוא למידה רב-תחומית. באמצע המדרג נמצא המונח למידה בין-תחומית ובקצה השני של המדרג - למידה על-תחומית, למידה המשלבת בין תחומים (Tolk, et al., 2021). על פי גישת הלמידה הבין-תחומית הנהוגה באוניברסיטאות, יש ללמוד תחילה לעומק כל תחום דעת בנפרד, כדי שאלה יהיו אבני בניין שתאפשרנה יצירת קשרים משמעותיים בין תחומי הדעת כדי לפתור בעיות מהעולם האמיתי.

דוגמאות למגמות לימוד ותארים כאלה באוניברסיטאות הן מדעי המוח, מדעי הנתונים, ביוכימיה וביוטכנולוגיה. אולם, ישנה תפיסה כי תחומים אלה יכולים להיחשב כדיסציפלינות חדשות (אבן זהב ואחרים, 2019). המונח 'בין-תחומי' בחינוך STEM מתאר גישה השמה דגש על הקשרים בין תחומי הדעת השונים מתוך הבנה שברוב מערכות החינוך מלמדים תחומי דעת נפרדים, ויש צורך לעזור לתלמידים להבין את הקשרים ביניהם. על פי הגישה המתמקדת בתחום דעת מסוים, משתמשים בתחום דעת אחד, למשל בעיצוב הנדסי, כדי לעזור לתלמידים לפתח ידע במתמטיקה או במדעים. על-פי גישה זאת תחום דעת מסוים מתועדף ותחום הדעת הנוסף משמש אמצעי ולא המוקד של הלמידה וההערכה (Falloon et al., 2020; Gao et al., 2020).

לעומת זאת, גישה על-תחומית מתמקדת במרחב הבעיה או הנושא הנלמד (למשל, בעיות הקשורות לאיכות הסביבה),

במדעי הנתונים הכוללים חשיבה ביקורתית, יכולת לזהות צורך בנתונים ולהגדיר את המטרות לצורכי לימודים, מחקר ותעסוקה וכן ידע ומיומנות בקשר לאופן האיסוף והניתוח השיטתי המדעי שלהם. כישורים אלה יתרמו ליכולת ההבנה של מחקרים במדעים, ולהיבטים אנושיים וחברתיים (האקדמיה הישראלית למדעים, 2021; נחמיה, 2022).

על פי נקודת המבט של מדעי הרוח, הטכנולוגיה משפיעה על המבנה החברתי והתרבותי של המשתמשים, היא משמשת ערכים אנושיים ומשפיעה על עיצובם. לעומת זאת, לפי נקודת המבט ההנדסית, טכנולוגיה כוללת דרך פעולה או פעילות שמטרתה ליצור טכנולוגיה חדשה. הרכיב ההנדסי לרוב כולל יצירה ומבוסס על תיאוריות של למידה מתוך עשייה. אולם הביקורת על גישה זאת היא שחלק מתחומי ה-STEM בעיקרם תיאורטיים, ולכן הם אינם מתאימים ללמידה מבוססת תוצר (Kelley & Knowles, 2016). לעומת זאת, הרכיב ההנדסי המתחום של הנדסת תעשייה וניהול, יכול לכלול הצגה וויזואלית של ממצאי מחקר באמצעות לוחות (Dashboards) (האקדמיה הישראלית למדעים, 2021).

### חינוך STEM על-תחומי במערכת החינוך

אתרים רשמיים של משרד החינוך מתייחסים להוראה וללמידה של STEM כאל גישה שמטרתה לפרוץ את גבולות תחומי הדעת תוך יצירת מגוון של קשרים ביניהם. מודגש כי תהליך הלמידה כולל היבטים שונים של אוריינות. היבטי האוריינות הם הידע וההבנה של מושגים מדעיים ומתמטיים והתהליכים הנדרשים לקבלת החלטות ולפתרון בעיות אמיתיות בנושאים אזרחיים ותרבותיים ובכלכלה יעילה (פורטל עובדי הוראה/ מרחב פדגוגי - חינוך ל-STEM, א"ת). ישנו מיזם של משרד החינוך שמטרתו לפתח ולהטמיע תוכניות STEM תכלוליות (אינטגרטיביות) המקדמות הוגנות בבתי הספר היסודיים על ידי חתירה למתן הזדמנויות למידה שוות לכל הילדים (פורטל עובדי הוראה/ מרחב פדגוגי - מיזם לפיתוח גישת חינוך ה-STEM הבינ-תחומי מקדם ההוגנות בבית הספר היסודי, א"ת).

רוב תוכניות חינוך ה-STEM העל-תחומיות מתמקדות בתוכניות העשרה בתחומים של חינוך לבריאות ולאיכות הסביבה. תוכניות לאומיות של משרד החינוך בשיתוף עם גופים נוספים שמות דגש על הצורך בתוכניות לימוד הכוללות בעיות גלובליות, כמו משבר האקלים וחינוך לבריאות, תוך דגש על החשיבות של קידום נושאים אלה בבתי הספר כמרכזים קהילתיים. הן מדגישות את החשיבות של יצירת קהילה סביב הפעילויות הבית ספריות לקידום הרווחה של התושבים ופרויקטים של שמירה על איכות הסביבה, מניעת מפגעים סביבתיים, קידום בריאות וקיימות, כמו גינות אקולוגיות, גינות מאכל וליווי בתי ספר ירוקים (ידידותיים לסביבה) (איגוד ערים לאיכות הסביבה נפת אשקלון, 2020; לאופר, 2022).

בלי להתמקד בתחומי הדעת הנפרדים. זוהי גישה שבוחנת את הידע ואת המיומנויות ללא מסגור דיסציפלינרי. על פי גישה זאת אין תיעודף לידע מתחום דעת מסוים, אלא מצפים שישתמשו בתחומי ידע שונים בהתאם לצורך העולה במטרה לפתור את הבעיה המוגדרת. מסיבה זאת מבחני ידע דיסציפלינריים אינם מתאימים לבחינת המיומנויות הנדרשות בגישת ההוראה הזאת (Falloon et al., 2020; Gao et al., 2020).

הגישה העל-תחומית יכולה להתמקד בלמידה מבוססת בעיה (Problem Based Learning), הנשענת על הצורך בפתרון בעיות מורכבות מהעולם האמיתי בתחומים כמו מדיניות וכלכלה, חברה ובעיות סביבתיות (Gao et al., 2020). המונח המקורי של PBL כָּלֵל P במובן של Product (תוצר של יצירה פיזית), ובהמשך גם התפתחה גרסה מורחבת יותר: P-Project (פרויקט). למידה מבוססת פרויקטים היא למידה המאורגנת סביב פרויקט או סדרה של פרויקטים שבהם יש צורך בלמידה ובביצוע סדרה של פעולות, ויש מגוון רחב של תוצרים אפשריים מהלמידה, למשל: עבודה כתובה, פרזנטציה של מצגת או מיצג אומנותי, הצגה או תוצר פיזי כלשהו (The Education Glossary, Project Based Learning, 2013).

המטרות המוצהרות לגבי החשיבות של הגישה העל-תחומית באמצעות למידה מבוססת פרויקטים, כוללות פיתוח של מיומנויות שנדרשות בעולם העבודה של ימינו, בפרט של חשיבה ביקורתית ופתרון בעיות (קוזמינסקי ואחרים, 2022. Gao et al., 2020; Timms et al., 2018). נוסף לכך יש הטוענים כי למידה זאת מפתחת "מיומנויות רכות" וכישורים כלליים נוספים שחשובים לחיים ולעולם העבודה: שיתוף פעולה, יצירתיות, יזמות וחדשנות (קוזמינסקי ואחרים, 2022; 2018. Granovskiy et al., 2018). זוהי גישה המעודדת למידה אוטונומית ומכוננת עצמית. מחקרים מראים שמעט מאוד מורים מיישמים הוראה מבוססת פרויקטים בהוראתם. אחת הסיבות לכך היא הלחץ של הדרישות למבחנים סטנדרטיים כמו מבחני המיצ"ב (קוזמינסקי ואחרים, 2022; רייכמן ואסף, 2022; Falloon et al., 2020). הביקורת על למידה מבוססת פרויקטים (PBL) היא שלמידה זאת היא שטחית והיא אינה יכולה להיות תחליף להוראת כל אחד מתחומי הדעת הנפרדים (The Education Glossary, Project Based Learning, 2013).

### פרקטיקות של STEM תכלוליות (אינטגרטיבי) - בין תחומי או על-תחומי

על פי קלי וקנולס (Kelley & Knowles, 2016) תכלוליות (אינטגרטיבי) יכול להיות מיושם כדי לפתור בעיות גלובליות אותנטיות בהקשר של אנרגיה, בריאות וסביבה. נוסף לכך, רכיב הטכנולוגיה יכול לכלול גם מיומנויות של שימוש במרשתת (אינטרנט) ובמידע. חשוב לפתח בקרב תלמידי מערכת החינוך וכן בקרב בוגרי האקדמיה אוריינות נתונים: כישורים בסיסיים

בתהליכים ובשינוי, ולא רק הגדרות של הצלחה במונחים של הצלחה או כישלון (Frye & Hemer, 2012; Patton, 2021).

לסיכום, המושג 'STEM' מאפשר ליישם מגוון של שילובים שונים - החל מהעשרת תחומי הדעת הנפרדים וכלה בשילוב פרויקטים תכלוליים (אינטגרטיביים) בגישות בין-תחומיות ועל-תחומיות לפתרון בעיות אותנטיות מהעולם האמיתי תוך קידום המיומנויות הדרושות במאה ה-21.

## המקורות

אבן זהב, ע', כהן, ה' וחזן, א' (2019). למידה בין-תחומית במערכת החינוך. **לקסי-קיי**, 12, 11-14.

בק, ש'. (28.5.2018). להפסיק לסרס את המורים. *The Marker*. <https://www.themarker.com/opinion/1.6120232>

בנימיני, י' ואחרים (2021). דוח הוראת מדעי הנתונים בכל תחום ידע באוניברסיטה. **מדיניות מדע בישראל**. האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים. <https://academy.ac.il/Index3/Entry.aspx?nodeId=769&entryId=21279>

חינוך ל-STEM. פורטל עובדי הוראה/ מרחב פדגוגי - מדינת ישראל, משרד החינוך. [https://pop.education.gov.il/tchumey\\_daat/mada-tehnologia/yesodi/technology-science-pedagogy/stem-education](https://pop.education.gov.il/tchumey_daat/mada-tehnologia/yesodi/technology-science-pedagogy/stem-education)

לאופר, א' (2022). התוכנית לקידום בריאות בבתי הספר. משרד החינוך המנהל הפדגוגי יחידת הבריאות. <https://meyda.education.gov.il/files/briut/plan2022.pdf>

להד, מ' (2020). ירח הדבש חלף לאן אנו צועדים מכאן? כיצד לסייע לקהילות להתמודד עם התקופה הנוכחית? מרכז משאבים - לפיתוח משאבי התמודדות לשעת חירום. <https://meyda.education.gov.il/files/YeledNoarBesikun/KidumNoar/dvash.pdf>

מיזם לפיתוח גישת חינוך ה-STEM הבין-תחומי מקדם ההוגנות בבית הספר היסודי. פורטל עובדי הוראה/ מרחב פדגוגי - מדינת ישראל, משרד החינוך. <https://pop.education.gov.il/equity-education/stem>

נחמיה, ר' (2022). **מגמת מידע ונתונים (Data analysis) במשרד החינוך**. [סרט]. [https://www.youtube.com/watch?v=ITNmJ4s8h\\_g](https://www.youtube.com/watch?v=ITNmJ4s8h_g)

קוזמינסקי, ל', גלסנר, א' וגולדשטיין, א' (2022). למידה בגישת ה-PBL ומקומה במכללת קיי. בתוך א', גולדשטיין ול' קוזמינסקי, (עורכות). **פורצים גבולות באקדמיה: שילוב למידה מבוססת פרויקטים בהוראה**. (עמ' 11-25). מכון מופ"ת.

רייכמן, ב' ואסף, מ' (2022). אימוץ למידה מבוססת פרויקטים במכללה ולהכשרת מורים: מבט כולל על המחקר ותובנות שלו. בתוך א', גולדשטיין ול' קוזמינסקי, (עורכות). **פורצים גבולות באקדמיה: שילוב למידה מבוססת פרויקטים בהוראה**. (עמ' 243-253). מכון מופ"ת.

Allen, S., & Peterman, K. (2019). Evaluating Informal STEM Education: Issues and Challenges in Context: Evaluating

בספרות המחקרית יש מחלוקות לגבי אופן ההערכה והמדידה של מה נחשב להצלחה של תוכנית STEM במערכת החינוך (Gao et al., 2020). ישנו פער בין המטרות המוצהרות של תוכניות ה-STEM לבין המדדים להערכת תוכניות אלה, שלרוב הם מדדי הערכה סטנדרטיים המתמקדים בהערכת ידע דיסציפלינרי (Allen & Peterman, 2019) ולפעמים גם על-תחומי (Gao et al., 2020).

במחקר שהתמקד בחינוך STEM בלתי פורמלי, שהוגדר כלמידת תחומי הידע לאורך החיים, במגוון רחב של הקשרים וחוויות מחוץ לכיתה הפורמלית - סוג למידה זאת אופיין כמכוון על ידי תחומי העניין וחופש הבחירה של הלומד, למידה אישית ומתמשכת ולמידה שיתופית. למידה זאת היא לא לינארית ולכן קשה יותר לכמת את התרומה שלה לידע ולמיומנויות שמתפתחות לאורך זמן בטווח הארוך (Allen & Peterman, 2019).

הצלחה של תוכניות STEM בלתי פורמליות היא קשה למדידה, משום שמעבר למדידה של ידע ומיומנויות על ידי מבחנים סטנדרטיים יש מיומנויות שקשה יותר לכמת, כמו עניין, מעורבות בלמידה ובתהליכים של בניית זהות. כדי שההערכה תשקף בצורה טובה את הלמידה צריך להתחשב במטרות של צורות הלימוד הבלתי פורמליות, הכוללות חופש בחירה וחשיבה יצירתית מחוץ לקופסה, ללא חשש מפגיעה משמעותית בציון (Allen et al., 2020; Peterman, 2019). למידה בלתי פורמלית עלולה להישמע כלמידה שטחית, אולם אנשים בעלי מוטיבציה יכולים להגיע לרמה מעמיקה מאוד של ידע, הבנה ומיומנות, כמו אנשים שמגיעים לרמת מיומנות גבוהה מאוד בתחום של התחביב שלהם (Allen & Peterman, 2019).

משום המגוון הרחב כל כך של תפיסות לגבי משמעות המושג ובעקבותיו גם מגוון רחב מאוד של פרקטיקות שונות המבוססות על הפרשנויות השונות, עולה השאלה: כיצד מוסדות להכשרת מורים אמורים להכשיר סטודנטים להוראת STEM? מה ייחשב להצלחה של תוכניות להכשרת מורים לחינוך בתחום ה-STEM? מהי דמות הבוגר האידיאלי בתוכנית כזאת?

אם מניחים כי הצלחה היא אך ורק הטמעת תוכניות הכוללות שילוב של לפחות ארבעה מהמרכיבים, אז יהיו כישלונות רבים, כי הצלחה תימדד כהשגה של הכול או כלום. נוסף לכך על פי בק (2018), קשה מאוד למורים להנהיג וליזום רפורמות חדשניות במערכת החינוך בגלל מגבלות האוטונומיה של מורים והלחץ המופעל עליהם להכין תלמידים למבחנים סטנדרטיים, כגון בחינות בגרות ומיצ"בים. אולם בתוכנית לימודים ניתן לחשוף סטודנטים למגוון רחב של דרכים לפריצה של גבולות תחומי הדעת הנפרדים.

מחקרי הערכה מדגישים את החשיבות של הסתכלות

- Informal STEM Education. *New Directions for Evaluation*, 2019(161), 17–33. <https://doi.org/10.1002/ev.20354>
- Falloon, G., Hatzigianni, M., Bower, M., Forbes, A., & Stevenson, M. (2020). Understanding K-12 STEM Education: A Framework for Developing STEM Literacy. *Journal of Science Education and Technology*, 29(3), 369–385. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09823-x>
- Frye, A. W., & Hemmer, P. A. (2012). Program evaluation models and related theories: AMEE guide no. 67. *Medical teacher*, 34(5), e288-e299. <https://dx.doi.org/10.3109/0142159x.2012.668637>
- Gao, X., Li, P., Shen, J., & Sun, H. (2020). Reviewing assessment of student learning in interdisciplinary STEM education. *International Journal of STEM Education*, 7(1), 24. <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00225-4>
- Granovskiy, B. (2018.). Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM) Education: An Overview. *Congressional Research Service*. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED593605.pdf>
- Kelley, T. R., & Knowles, J. G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM Education*, 3(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0046-z>
- Li, Y., Wang, K., Xiao, Y., & Froyd, J. E. (2020). Research and trends in STEM education: A systematic review of journal publications. *International Journal of STEM Education*, 7(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00207-6>
- Patton, M. Q. (2021). Evaluation criteria for evaluating transformation: Implications for the coronavirus pandemic and the global climate emergency. *American Journal of Evaluation*, 42(1), 53-89. <https://doi.org/10.1177/1098214020919498>
- Project-Based Learning. (29.8.2013). *The Glossary of Education Reform*. <https://www.edglossary.org/project-based-learning/>
- Timms, M. J., Moyle, K., Weldon, P. R., & Mitchell, P. (2018). *Challenges in STEM learning in Australian schools: Literature and policy review*. Australian Council for Educational Research (ACER). [https://research.acer.edu.au/policy\\_analysis\\_misc/28](https://research.acer.edu.au/policy_analysis_misc/28)
- Tolk, A., Harper, A., & Mustafee, N. (2021). Hybrid models as transdisciplinary research enablers. *European Journal of Operational Research*, 291(3), 1075-1090. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.10.010>