

# סקירת ספרות: STEM

## במסגרת הערכת תוכנית פיתוח פדגוגיה ברוח ה-STEM

צוות מכון דוידסון

ד"ר חגית ניסן

ויואן דיזנדרוק

נעמה בר-און

זוהי סקירה מקיפה אך ראשונית. הסקירה תפתח ותכלול תוספות בהתאם להתפתחות המיזם ובהתאם למחקרים רלוונטיים המתעדכנים בספרות המקצועית

### המושג החינוך STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics)

הופיע על במת החינוך המדעי בשנות התשעים של המאה הקודמת. זוהי תפיסה חינוכית מבטיחה, שצוברת תאוצה בשנים האחרונות ככזו שמעוררת בקרב תלמידים עניין בארבע הדיסציפלינות האלה: מדעים, מתמטיקה, טכנולוגיה והנדסה. השימוש במושג STEM אף מצליח למשוך קהלים נוספים לשדה המדע ומשתמשים בו לרוב כשואף לשיפור ההבנה, לעידוד יצירתיות, לפיתוח יכולות יישומיות ועוד. על פי רוב מיוחסות לשימוש במושג גישות של הוראה אינטגרטיבית, שבבסיסן שילוב של ארבע הדיסציפלינות בדרכים שונות ולמידה מותאמת ורלוונטית לחיי היום-יום של אוכלוסיית התלמידים. כיום ישנה התייחסות ל-STEM הן כאל "גישות" עצמאית והן כאל נושא אינטגרטיבי, המבוסס על אינטגרציה של ידע מהתחומים השונים. בהתחשב בהכרח בחדשנות מתמדת בעולם התעסוקה, בהתייעלות ובצמיחה הכלכלית, מקצועות STEM הם גורם קריטי במדינות רבות בעולם לבניית הון אנושי וכוח עבודה מותאם למקצועות המאה ה-21.

## 1. היסטוריה והתפתחות מושג ה-STEM

המונח STEM הוא תולדה של שילוב מדעים-טכנולוגיה-חברה, שהתרחב למונח המוכר היום ושמיכל בתוכו מערכת מיומנויות הנגזרות משילוב ארבע הדיסציפלינות, וישמש את בוגרי העתיד של המאה ה-21. חוזקו של הרעיון הוא, בין היתר, במעורבות מנעד רחב של גורמים ובעלי עניין ובהשפעתו על הכלכלה המתפתחת. חינוך STEM אינטגרטיבי מתייחס לחינוך STEM שמשלב את הדיסציפלינות השונות תוך כדי נקיטת גישה בין-תחומית. אוריינות STEM מכילה את הבנת העקרונות של כל אחת מארבע הדיסציפלינות, את יישומם ואת השילוב ביניהן.

### 1.1 התפתחות המונח STEM

בתחילת שנות השמונים הוגדר השילוב מדעים-טכנולוגיה-חברה – STS (Science-Technology-Society) – כמטרה מרכזית בלימודי המדעים. המוקד של גישה זו היה טיפול בנושאים רלוונטיים לחיי היום-יום, מתוך הבנה שעבודה על נושאים מסוג זה תצריך הקשרים

ותהליכים שנחשבים בסיסיים (Weld, 2017). כיום אפשר לראות ב-STEM תולדה של STS והרחבה שלה, כשהמגמה היא למלא את החוסרים שעמדו בפני קידום STS כתפיסת חינוך מובילה במדעים, כגון חומרי הוראה מדויקים והערכות מתאימות. תפיסת STEM, בניגוד לתופעה חולפת, העירה צורך בלמידה בשילוב גישות חדשניות ומגוונות בהוראה, סטנדרטים חדשים, ריבוי תוכניות מעשיות מצוינות ותמיכת המגזר העסקי.

ולד (2017) מראה, כי מגזרים רבים ממלכתיים בארצות הברית התוו את האסטרטגיה והפעולות שיינקטו לחיזוק ולהטמעת נושא STEM ברמה הלאומית, ובכלל זה צבא ארה"ב, משרד העבודה והתחבורה וכמובן משרד החינוך. ברמת הקהילה STEM הוא מושג מאחד בין הפרטי לציבורי, מאחר שיש בו התייחסות לכל בעלי העניין – למורים, הורים, גופים תעשייתיים ועסקיים וכמובן לתלמידים. בראייה זו, המורים מועצמים על ידי חידוד יכולתם לקשור בין רעיונות מרכזיים בתחומי הדעת השונים ועל ידי הובלת התלמידים כלומדים פעילים. הקהילה העסקית מרוויחה שותפים בדמות המורים, ולא רק זאת אלא שהיא משתתפת בתכנון שיעורים שיש בהם ערך למקומות העבודה העתידיים. מנהיגים וקובעי מדיניות מעניקים מימון נדיב יותר כשנראה שקיימת הכרה בהשכלה כגורם הכרחי, ותלמידים רואים את בית הספר ככך שיגור לחיים.

התעוררות העניין ב-STEM בעשורים האחרונים מוגדרת כתגובה למצוקה של מערכת החינוך ושל נגזרותיה – הבוגרים האקדמאים, עובדים וקהילות מקומיות וגלובליות – מאחר שחסרים להם הכישורים הנדרשים לעולם העבודה העכשווי (Weld, 2017). תחום זה ממוצב כעת כגורם מרכזי המשפיע על בתי הספר בהתפתחותם כמכניס את בוגרי האקדמיה ובעלי הקריירות העתידיות. STEM נתפס כמושג בר־קיימא ולא כתחום חולף, מאחר שהוא נמצא בבסיס תיאוריית הלמידה. יתרה מכך, STEM הוא חלק מתוכנית הלימודים, מבתי הספר, מהקהילה ומהחברה כולה.

על פי המצדדים בעמדה זו, ארגז הכלים של STEM מצייד את הלומד במערכת מיומנויות יעילה לחברה הטכנולוגית של המאה ה־21: בוגריה נתפסים כאזרחים וכעובדים מפרנסים, המשתכרים באופן ראוי ובכך STEM נתפס כזכות בסיסית בלתי ניתנת לשינוי. כך, נושאי בשורת ההשכלה בתפיסת STEM רואים בה הכרח לחיזוק החברה. כפועל יוצא, התפתחות הגדרת המונח החלה משילוב של ארבע הדיסציפלינות לתחום המייצג שינוי בהשכלה וחיזוק הכלכלה הלאומית.

## 1.2 חמש אבני בניין בהוראת STEM

ישנן חמש אבני בניין בהוראת STEM (Vasquez et al., 2013):

- 1) **אינטגרציה**: רעיון זה מתבסס על הסרת הגבולות המסורתיים בין ארבעת תחומי הדעת ושילוב של שניים או יותר מתוך הארבעה, כך שהתלמידים יבינו את היחס ביניהם.
- 2) **ביסוס רלוונטיות**: הנחיה של התלמיד לראות את המשמעות עבורו דרך יישום ידע

- (3) **עבודה על מיומנויות המאה ה-21**, במטרה לאפשר לתלמידים להיות רלוונטיים ככוח עבודה עכשווי.
- (4) **תכנון פרויקטים**, משימות ופעילויות של הצוות החינוכי, כך שיהיו אתגר ליכולות התלמידים ולהבנה שלהם, ויהוו שדה חדש של תחומי העניין שלהם.
- (5) **הקפדה על גיוון שיעורים ופעילויות לתלמידים**, תוך כדי למידה פרויקטלית שתבטא את יחידות STEM.
- STEM בגישה זו אינה רכיב קוריקולארי, כי אם כלי להבנה ויישום הנחיות, יישום ידע, עבודת צוות וביקורת עמיתים והבנת הרלוונטיות של הידע הנרכש.
- כישורי המאה ה-21 (מעבר להגדרת המיומנויות הנפוצה) משלבים מאפיינים קוגניטיביים, בין-אישיים ותוך-אישיים, שיאפשרו למידה מעמיקה והעברת מידע באופן מעמיק ([Honey et al., 2014](#)). כישורים קוגניטיביים כוללים חשיבה ביקורתית וחדשנות, ותכונות בין-אישיות לרבות תקשורת, שיתופי פעולה, ולקיחת אחריות. יכולות תוך-אישיות כוללות גמישות, יזמות ומטא-קוגניציה.
- נראה שעם התקדמותם של השדה ושל המחקר, הנושא של **אינטגרציה** בין מרכיבי STEM השונים הולך ומקבל דגש רב יותר. בהתאם לכך, חוקרים טבעו לאחרונה את המושג – או תתיקטוריה – של חינוך STEM אינטגרטיבי. מושג זה עונה על חינוך STEM שמשלב דיסציפלינות שונות תוך כדי נקיטת גישה בין-תחומית ([Sanders et al., 2012](#)).
- ההכרח וחשיבות התמיכה בביסוס תרבות STEM מתבטאים בהיבטים כלכליים ומוסריים ([Weld, 2017](#)). ולד טוען כי כדי להבטיח הצלחה ביישום מושכל של תרבות כזו, יש לנקוט גישה מערכתית ולא נקודתית או מקומית. בכלל זה מתקיימים כל הממדים החינוכיים: הכשרה והתפתחות מקצועית של מורים, לוחות זמנים מותאמים, יחסי תלמידים-הורים, תוכנית הלימודים, הערכה, מרחב למידה מותאם, שילוב קהילה ומגזר עסקי ותקציבים. לפי דוח זה, STEM נתפסת כמפתח מרכזי להתפתחות ההשכלה.

### 1.3 אוריינות STEM

מטרת לימודי STEM אינה בהכרח לגדל את דור העתיד של המדענים והמהנדסים, גם אם מטרה זאת מושגת בעקיפין ([Vasquez et al., 2013](#)). המטרה היא שכלל התלמידים יהיו מסוגלים לתפקד בהצלחה בעולם המתפתח טכנולוגית. השכלה מוצלחת של STEM בלימודי בתי הספר כוללת **היבטים שונים של אוריינות** - הידע וההבנה של מושגים מדעיים ומתמטיים והתהליכים הנדרשים לקבלת החלטות, השתתפות בנושאים אזרחיים ותרבותיים ובכלכלה יעילה. בעלי עניין, כגון אנשי עסקים, אקדמיה ומנהיגים, גורסים כי חינוך ל-STEM חיוני לא רק במובן החדשנות, אלא גם כבסיס לתעסוקה הן בתחומי STEM והן בתחומי תעסוקה אחרים. גם מי שאינו עוסק ישירות בתחומים אלה, בקרב אזרחי העתיד וההווה יש נחיצות באוריינות בסיסית של טכנולוגיה ומדע. כך, למשל, צריכה נבונה וקבלת החלטות, מונעות בין היתר בזכות מיומנויות אלה

ומשתמשות בהן (Honey et al., 2014). אוריינות STEM מרכזת בתוכה אוריינות של כל ארבע הדיסציפלינות. היא מתאפיינת בידע של מושגי המפתח, העקרונות והתיאוריות (ידע מדעי, טכנולוגיות High Tech ו-Low Tech, ועיצוב), וביכולת לקשר ידע זה בין הדיסציפלינות. כן מתאפיינת אוריינות STEM במינוף הידע ושימוש בהגדרות, בנייתוח בעיות רלוונטיות לחיי היום-יום של הלומד ושל החברה, ובפתרון בעיות אלה. אוריינות STEM אינה תהליך רגעי וקצר מועד, אלא השתלשלות דינמית שממשיכה להתפתח בחיי הלומד. אוריינות STEM כוללת את המאפיינים הבאים:

- (1) מודעות לתפקיד המדע, הטכנולוגיה, ההנדסה והמתמטיקה בחברה המודרנית.
  - (2) היכרות לפחות עם חלק מההקשרים הבסיסיים בכל תחום.
  - (3) יישום, ברמה בסיסית לפחות, למשל יכולת לזהות את התוכן המדעי או ההנדסי בחדשות היומיות, לנהל תהליך בסיסי של פתרון תקלות טכנולוגיות, ושימוש במתמטיקה בסיסית בחיי היום-יום.
- בהתאם לכך, ייחודיות מושג STEM אינה מתבטאת רק בהקשר ובלמוד ההוליסטי של ארבע הדיסציפלינות, אלא גם בממשקים שלהן עם עקרונות מתחומי דעת אחרים. השימוש בהנדסה ובטכנולוגיה בהוראת המדעים והמתמטיקה המסורתיות, הנלמדות בנפרד, מאפשר למעשה את ההקשרים המתבקשים בין מדעים למתמטיקה.

#### 1.4 ארבע דרכי האינטגרציה האפשריות ב-STEM

- (1) דיסציפלינריות: עקרונות ומיומנויות נרכשים בנפרד בתוך כל דיסציפלינה.
  - (2) מולטידיסציפלינריות: עקרונות ומיומנויות נרכשים בנפרד בכל דיסציפלינה אך תחת נושא מרכזי.
  - (3) אינטרדיסציפלינריות: עקרונות ומיומנויות נרכשים מתוך דיסציפלינה אחת או יותר, במטרה להעמיק את הידע והמיומנויות.
  - (4) טרנסדיסציפלינריות: עקרונות ומיומנויות שנרכשים מתוך דיסציפלינה אחת או יותר, ומיושמים בפתרון בעיוקיים ת ופרויקטים הנוגעים לחיי היום-יום ככלי להתנסות
- הלמידה (Vasquez et al., 2013).

גישה אינטגרטיבית מאפשרת לא רק למידת תוכן אלא גם יישום שלו: בעוד שהנושאים נלמדים בנפרד, פתרון הבעיות חוצה דיסציפלינות.

## 2. הצורך במקצועות STEM וההיערכות להוראתם בכלל, ובשכבות

### החלשות בפרט

מחקרים וסקירות שונות מלמדים על הצורך בהרחבת מספר הלומדים את מקצועות STEM. הדבר ייתכן, בין השאר, באמצעות הרחבת שיעור הלומדים בקרב האוכלוסיות החלשות

– היבט שמקדם בראש ובראשונה הוגנות בחינוך. בין ההמלצות מצוין כי יש לבסס הכנה מוקדמת של תלמידים לפני בחירת מקצוע ההשכלה הגבוהה באמצעות קורסים ברמה אקדמאית, תמיכה במורים ובמערך הבית ספרי, התערבויות בהוראה בגיל צעיר בחינוך הפורמלי והאפורמלי, ותיאום תנאי קבלה בין האוניברסיטאות.

## 2.1 הצורך בהכנה מוקדמת

דוח תחזיות [תעסוקת STEM](#) (Vilorio, 2014) מראה שעד 2022 הדרישה בתעשייה למקצועות התמחות ב-STEM תעלה בעוד 13%. לפי ארגון [ACT](#) (ארגון ללא מטרת רווח הפועל לשוויון בהשכלה ובתעסוקה)<sup>1</sup> בדוח משנת 2017 מספר מקומות העבודה בארה"ב בתחומי STEM גדל ב-10.5% בשנים 2009 ועד 2015. מחד גיסא, זהו גידול של יותר מפי שניים מקצב הגידול של התעסוקה שאינה בתחומי STEM, ומאידך גיסא קיימת ירידה בעניין בלימודים אלו. רק כרבע מתוך בוגרי בית הספר התיכון שהביעו עניין בלימודי STEM לאחר בית הספר התיכון התאימו למדד המוכנות של STEM לפי ארגון ACT. לכן יש מגמה להקצות משאבים לארגוני השכלה מקומיים לצורכי הטמעת תוכניות לעידוד עניין ועיסוק במקצועות STEM. נראה כי ממוצע ציונים גבוה בתיכון חוזה את מידת ההצלחה של התלמידים בלימודים ועבודה במקצועות STEM בצורה טובה הרבה יותר יחסית לניבוי מתוך מידת העניין שהם מביעים במקצועות אלו. במילים אחרות, עידוד תלמידים לבחירת מקצועות STEM בלבד אינו גורם יעיל דיו לניבוי הצלחתם, אלא שיש לבסס את הכנתם בצורה יעילה יותר. חוסר הכנה טובה לבחירת מקצועות STEM באקדמיה מביא לכך שתלמידים המביעים עניין ב-STEM, ומתחילים ללמוד באחד מהם כמקצוע ראשי באוניברסיטה, נוטים לנשור או להחליף את תחום הלימודים האקדמאיים שבחרו עקב הקושי שמעלה הלמידה במקצועות STEM. משום כך שיפור המוכנות נמצא בראש סדר העדיפויות עבור תלמידים שהביעו עניין, אך לא קיבלו הכנה ראויה. תלמידים אלה נמנים עם קבוצות מיעוט אתניות, מעוטי יכולת, או ילדים להורים ללא השכלה אקדמאית.

לפי הדוח השנתי של ארגון [ACT](#) (2019), שבדק את מידת המוכנות של בוגרי התיכון ללימודים אקדמאיים, ישנם כמה צעדים מומלצים לקידום מוכנות לקראת לימודי וקריירה בתחומי STEM, ואלה הם:

- (1) קורס מקדים ברמה אקדמאית, שמעניק יתרון לתלמידים.
- (2) הקניית כלים למורים והכשרתם ליישם הנחיות מותאמות לתלמידים על פי צורכיהם האישיים.
- (3) הקפדה על הערכה מותאמת, במטרה לשפר את המיומנויות כבר מגיל צעיר.
- (4) התייחסות לכל תלמיד/ה כאל ישות הוליסטית, הן בכישורים החברתיים והרגשיים והן באלו הקשיחים (המתבטאים בציונים).

<sup>1</sup> <http://www.act.org/>

ארצות הברית שמה לה למטרה לתמוך בתלמידי תיכון, במורים ובמערך הבית ספרי (כולל אספקת ציוד נחוץ), ולקדם את הישגיהם במתמטיקה ובמדעים באמצעות קורסים מתקדמים; קהל היעד העיקרי שלה היה תלמידים מקבוצות מעוטות יכולת. שרמן ועמיתים (2017) סקרו את התוכנית, שהחלה באינדיאנה ובקולורדו ב־58 בתי ספר בשנים 2012–2013 ונמשכה שלוש שנים. תלמידי קבוצת המדגם קיבלו קורסים ברמה אוניברסיטאית. בבסיס התוכנית ישנם ארבע רכיבים עיקריים: ניהול התוכנית, דהיינו שינוי התרבות הפנימית של בית הספר ווידוא הטמעת עקרונות התוכנית; תמיכה במורים; תמיכה בתלמידים; ומענקים. בתום שלוש שנות התוכנית, בתי הספר שימרו את היכולות ואת המשאבים באופן עצמאי. עוד קודם להחלת התוכנית בבתי הספר, ניתנה הכשרה מקוונת בת שבוע להתמחות אנשי קשר שיעבדו עם בתי הספר. אנשי קשר אלו ניטרו את התוכנית, ליוו את הכשרות המורים, פתרו אתגרים, כגון הבדלים בתפיסות ובגישות שונות של מורים שונים ושל בתי ספר שונים. רכיב הכשרות מורים היה רכיב קריטי בתוכנית. קבוצות המורים כללו את מורי כל הכיתות (בכל הגילים) במטרה להתאים את ההנחיות לכל הכיתות. התמיכה במורים יועדה לצורכי העשרת התכנים והידע של המורים, ולקבלת הנחיות מפורשות להעברת הקורסים. המורים קיבלו הכשרות בצורת השתלמויות, הנחיות אישיות וקבוצתיות, סדנאות וקהילות מורים. כדי להביא את המורים להיות מומחים ומנחים של מורים אחרים בתוכנית, כך שיובילו להתפתחות התלמידים, נדרשה הנחיה אישית פרטנית למורים. ההעשרות ניתנו הן ברמת התוכן והן ברמת הפדגוגיה, והתלמידים קיבלו לפחות 40 שעות העשרה בשנה מעבר לשעות הלימודים.

## 2.2 הוגנות בחינוך ו-STEM

**ממצאים שונים מלמדים על פערים בין קבוצות מובחנות באוכלוסייה בכישורי STEM. פערים אלה מתקשרים עם פערים בתעסוקה ובהכנסה. בהמשך הפרק נציג את הפערים ואת דרכי ההתמודדות עמם. היבט אחר של הוגנות בחינוך הוא ההערכה כי תחום ה־STEM, מעצם טיבו, מאפשר צמצום פערים, בכך שהוא מאפשר מעקף של חסכים שיש לתלמידים מרקע מחולש במיומנויות בסיס כמו שפה או חשבון ומקנה חוויות הצלחה שבתורן מקדמות את יכולת התלמידים להשלים גם פערים ראשוניים אלה.**

אחת ההבטחות של חינוך STEM היא להרחיב את מידת העניין בקרב תלמידים באופן כללי בשדה ה־STEM. אך סוגיה יותר ספציפית שמעסיקה חוקרים, קובעי מדיניות ומחנכים היא זאת של הייצוג החסר של קבוצות חברתיות מסוימות בלמידה ובעיסוק במדעים (נשים, מיעוטים, מצב סוציאקונומי נמוך ועוד), והפער בהישגים בין קבוצות שונות של תלמידים. סוגיית הפערים וההבדלים בנגישות לחינוך מדעי מתכתבת עם המושג של הוגנות בחינוך (equity). מקגי בנקס ובנקס מגדירים הוגנות בחינוך כאסטרטגיות הוראה ואווירה כיתתית אשר מסייעות לתלמידים מרקעים שונים לרכוש ידע, מיומנויות וגישות אשר יאפשרו להם לתפקד היטב בחברה, תוך כדי שהם מסייעים לבנות ולתחזק חברה הוגנת, הומנית, ודמוקרטית (McGee Banks & Banks, 1995) אך הוגנות, לפי הגישה הזאת, לא מסתכמת ברכישת ידע, סגירת פערי הישגים, הגברת

הנגישות או מוביליות חברתית כשלעצמה. היא דורשת הטמעה בקרב התלמידים של גישה רפלקטיבית, חשיבה חברתית ביקורתית ומוטיבציה וכלים לקידום שינוי חברתי. החוקרת אינגליש מבטאה אופטימיות בנוגע ליכולת של הוראת STEM **לסייע בסגירת פערים** ובשילוב קבוצות מודרות בלמידת המדעים. בהקשר הזה, היא מציינת שהשילוב של אומניות בחינוך STEM (חינוך STEAM), תופס תאוצה לאחרונה כמנוף נוסף למשיכת קהלים נוספים באמצעות הזיקה לאומנויות (English, 2017). תוספת זאת, שכשלעצמה עשויה לקדם גיוון, אינה חפה מאתגרים. אתגרים פוטנציאליים כוללים את סוגיית ההכשרה של מורים בתחום ידע חמישי, וערעור נוסף של הביטחון של האחרונים, אשר יכולים להשפיע לרעה על נכונותם להירתם לקידום הגישה (Kim & Bolger, 2016). יתר על כן, גישת ה-STEM ככלל לא מתייחסת לרובד של פיתוח מנהיגות ואזרחות אקטיבית. מכאן שנראה שקידום של הוגנות על פי הגדרתם של מקגי בנקס ובנקס, באמצעות חינוך STEM/STEAM, דורש התאמות ושילובים נוספים שנראה שטרם נחקרו.

דוח צמצום פערים והוגנות בחינוך בארה"ב (Morrell et al., 2015) מראה שהחלק היחסי של הנשים במקצועות ההנדסה, מחשבים וייצור, לא עלה מאז 2001, ועל אף שהחלק היחסי של קבוצות אתניות בשוק העבודה עלה, חלקן במקצועות STEM דווקא בירידה. עד היום, המודלים מכוונים להכשרות מורים, ומקנים להם יכולות דידקטיות, אך אינם מתמקדים בהקניית מיומנויות רכות. כפועל יוצא חסרה להם מוכנות לעולם העבודה בתחומי STEM.

לפי דוח זה, כדי להרחיב את כוח העבודה בתחומי STEM, וכדי לטפל היטב בנושא

ההוגנות בחינוך ובאוריינות STEM, ישנם שני חסמים מרכזיים שאותם יש להסיר:

1) פערים בהישגים אקדמאיים ניכרים בקרב קבוצות אתניות בקורסים ובתוכניות

STEM.

קבוצות אלו נחשפות פחות לקורסים במתמטיקה ובמדעים, והפערים נובעים מהשתתפות מעוטה בקורסים אלו ומהישגים נמוכים. פערים אלה אף הולכים וגדלים במעברים, בייחוד מהחטיבה והתיכון לאקדמיה, ומשם לעולם העבודה. בקרב אוכלוסיות אלו צריך גם לצמצם את הפערים בזכאות לתעודת בגרות בכלל, ולא רק במקצועות STEM. אחת הבעיות היא שלצוותי ההוראה ומתכנני התוכניות יש הבנה מועטה הן לגבי הצרכים של התלמידים כאלה, והן לגבי התרבויות שמהן הם מגיעים והשפעותיהן: אלה קשורות להישגיהם הנמוכים ולמידת העניין שלהם בתחומי הלמידה. יתרה מכך, ניסיונות ויוזמות להתמקדות בתלמידים בעלי הישגים נמוכים בקורס או בתוכנית, עלולים להשיג תוצאה הפוכה ולהעצים את הדימוי שאותו מנסים לבטל.

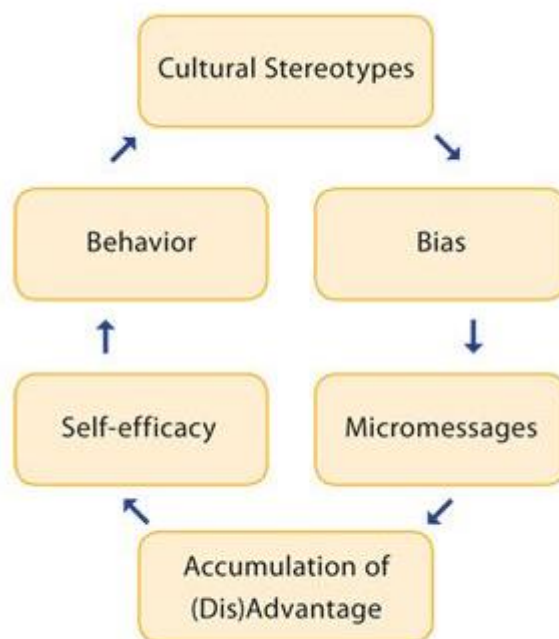
2) חוסר עניין בתחומי STEM, השתתפות מועטה בקורסים בנושא ובפיתוח קריירה

בתחומים אלה. נושא זה ניכר בעיקר בקרב בנות, קבוצות אתניות ובעלי ליקויי למידה, מה שנובע מגישה תרבותית טבועה היטב ומאמונות שגויות לגבי יכולות.

ההשפעות התרבותיות על רקע מגדרי ואתני יוצרות מחסומים להוגנות בכיתה. כמו כן, חוסר השוויון בשכר בקבוצות אלו בתחומי STEM הם גורמים מכריעים המביאים קבוצות אלו להימנע מתחומי STEM, לנשור מהם בקלות או להיכשל.

לפיכך מוצעים שני מודלים שעשויים להביא לסביבת למידה שוויונית:

1. שינוי מסרים - מדובר על מילים ופעולות מרומזות, מודעות ולא מודעות, שמעבירות מסרים סמויים על ידי צוותי ההוראה. לעיתים תקשורת לא מילולית זאת של אמונות לא מודעות או רמיזות, עשויות לרפות את ידי הקבוצות המגדריות והאתניות מלהתמיד בקורסים ובתוכניות STEM, בניגוד לכוונת צוותי ההוראה.



מתוך: Morrell et al., 2015

המעגל המוצג מדגיש את הכוח העצום שיש למסרים הסמויים כנקודת השפעה – חיובית או שלילית – על תחושת המסוגלות של התלמידים. תמיכה בתלמידים והכוונתם לפתח חסינות כנגד המסרים הסמויים של אי-שוויון, ובבד בבד לקבל מסרים של אישור, מאפשרת לצוותי ההוראה לשבור את מעגל הדימוי התרבותי שגלום במסרים השליליים.

2. יצירת בית ספר ומרחב כללי-מחוזי של הוגנות. לפי מודל זה, יש צורך בהכשרה לנושא ההוגנות של מנהלי בתי ספר ועוד בעלי תפקידים מובילים, זאת לשם יצירת סביבה תומכת. לפי רעיון זה, ההיערכות היא מעבר לגבולות הכיתה אל עבר שינוי קבע במדיניות, בתוכניות, במבנה ובתהליכים התורמים לביצועים נמוכים של תלמידים. מהלך זה יוביל לשינוי בתוצאות של בתי ספר חלשים, של מורים ושל תלמידים.

באותו דוח מופיעות המלצות למקבלי ההחלטות ולקובעי המדיניות, כלהלן:



- לשלב הערכה עם הכוונה. ליצור תהליכים ומנגנוני מימון כדי לעקוב אחרי יוזמות ולהעריך אם כתוצאה מהן כל צוותי ההוראה מסוגלים ומוסמכים לספק סביבת למידה נגישה שוויונית לכל הלומדים בתפיסת STEM. מובילי חינוך בבתי ספר ובמחוזות זקוקים להכשרה כדי להבין את הגישה, ההוגנות והמגוון כדי לקחת אחריות, לדווח על צמצום ההישגים והעניין בקרב התלמידים, ולבקר תהליך זה. גם אם עדיין לא ברור איך נכון להשיג ולהעריך שוויון והוגנות בחינוך, יש לבדוק ולעשות זאת באינטגרציה של גורמי חינוך.
- לייצב רף הכשרה גבוה להכשרה איכותית בדוקה כפיתוח מקצועי. בהכשרות מסוג זה צוותי ההוראה יקבלו את הידע, הכלים המקורות, הזמן, התהליכים והתמריצים הדרושים לבניית סביבת למידה הוגנת בכיתה ובבית הספר.
- מדידת התהליך עם נתונים סוציודמוגרפיים ברמה מקומית, אזורית וארצית. בניית מסד נתונים של מחקר ויישום, בין היתר על ידי עבודה עם גופים ללא מטרות רווח, לצורך תיעוד הנתונים על מצבים סוציאקונומיים.
- להוביל מחקר ממוקד שיבדוק תוכניות ותהליכים שמביאים להצלחת צמצום הפערים. יש מחסור בפרקטיקות מוצלחות שיבססו בניית מודלים לקידום הנושא. מחקרים כאלה צריכים להוביל, ולקבל תעדוף ותקצוב ברמה ארצית ממשרדי חינוך. כמו כן, על מנת לוודא המשכיות והשפעה לטווח רחוק של התוכניות, על הגורמים המובילים לקיים שותפויות עם העולם העסקי ועם מוסדות ההשכלה הגבוהה.

לפי דוח של ארגון [Sutton Trust \(2017\)](#), שיצא באנגליה, ישנם שלושה זרזים למוביליות

חברתית:

- (1) הזדמנויות כלכליות (סוגי עבודות איכותיות ומתגמלות).
  - (2) יכולת התפתחות (יש לצייד את האזרחים במיומנויות וביכולות לביצוע עבודות אלה).
  - (3) גישה הוגנת להזדמנויות בהשכלה ובתעסוקה בלא תלות ברקע, במגדר או במוצא. אותו דוח קבע, כי ישנם כמה צעדים שעשויים לסייע בהתפתחות האישית של התלמידים, לרבות הצעדים האלה:
- התערבויות בגילים צעירים: ככל שהתערבויות להתמודדות עם אי-שוויון בקרב התלמידים ייעשו בגילים צעירים יותר, כך ישנו פוטנציאל השפעה גדול יותר. בתוך כך מומלץ על הגדרה כללית של מוכנות בתי הספר וקרנות תמיכה ליוזמות מסוג זה.
  - שיפור איכות ההוראה, בעיקר בבתי ספר מוחלשים, דרך שיפור שכר המורים, שעות העבודה והכרה במעמדם.
  - "פער החופשות" מעניק יתרון לתלמידים מרקע סוציאקונומי חזק, מאחר שהם מתפתחים ולומדים גם בתקופות חופשה מבתי הספר. פתרון אפשרי להשוואת תנאי התלמידים מרקעים אחרים הוא לתמוך, בין השאר, בתוכניות לימוד דיגיטליות לתקופת החופשות. דוגמה לכך היא הקורסים המקוונים של MOOCs.

• דגש על טיפוח מיומנויות רכות בקרב תלמידים מוחלשים, על ידי תוכניות העשרה ופעילויות בבתי הספר מעבר לתוכנית הקוריקולרית.

ההתפתחות הטכנולוגית מביאה איתה דרישה מוגברת למיומנויות ולמקצועות STEM כמענה לייצור, עיצוב, ותפעול מכשור מתקדם עתידי (כדוגמת רובוטיקה, מדפסות תלת־ממד, רחפנים וכדומה, כמו גם מיומנויות הדרושות בתעשיית הייטק, כגון ננוטכנולוגיה). בדרישה זו קיימת גם ציפייה למיומנויות העונות על יכולות אנליטיות, רפלקציה ופתרון בעיות, ושאינן נסמכות על ידע מבוסס תוכן בלבד. אך דווקא ההתפתחות הטכנולוגית עלולה להותיר מאחור כוח אדם ממעמד סוציאקונומי חלש. מחקרים מראים שיש שיעור גבוה יותר של סטודנטים ממעמד סוציאקונומי נמוך במקצועות STEM יותר מאשר במקצועות כמו עריכת דין או רפואה, ולכן זוהי הזדמנות למפנה במוביליות חברתית.

בדוח הבריטי נמנו גם צעדים שעשויים להבטיח שוויון הזדמנויות וחשיפה בהשכלה ובשוק העבודה, ובהם:

- תיאום בין האוניברסיטאות ביחס לתנאי קבלה: הפער בקבלה לאוניברסיטאות היוקרתיות על רקע סוציאקונומי הוא מחסום למוביליות חברתית, ויש להסיר אותו על ידי תיאום בין האוניברסיטאות.
- שיתוף פעולה של מדיניות כל־ארצית עם מובילים עסקיים: שיתוף פעולה כזה הכרחי ליצירת מערכת מדידות להתמודדות עם מוביליות חברתית בשוק העבודה, ועל בסיס זה ליצור שיתופי פעולה לקליטת בוגרים מרקע סוציאקונומי מוחלש.

### 2.3 שוויון והוגנות

מוביליות חברתית עוסקת בערעור הקשר בין הרקע המשפחתי של האדם להזדמנויות הפרושות בפניו בדרך למיצוי המלא של פוטנציאל ההכנסה והתעסוקה. מדובר על הזדמנויות טובות ושוות יותר לכל דור, ועל אפשרות הוגנת וגישה להזדמנויות אלו, שאינן תלויות רקע. כך הישגי התלמידים מנותקים מהרקע הסוציאקונומי, מהמבנה המשפחתי ומהמיקום הגיאוגרפי שמהם הגיעו. על רקע זה קיימות שתי מערכות שונות: האחת פועלת מנקודת מוצא של שוויון, האחרת מנקודת מבט של הוגנות. מערכת חינוך שוויונית מתאפיינת בבתי ספר שמאפשרים לכל תלמידיהם את אותה רמת השכלה והזדמנויות שוות כדי להשיג השכלה זו. לעומת מערכת זו, מערכת המתאפיינת בהוגנות בחינוך מבטיחה כי כל לומד, כל אינדיבידואל, מקבל את צרכיו המותאמים לו כדי להגיע להישגים מוגדרים, גם בהינתן שלצורך השגת מטרה זו, המשאבים הקיימים במערכת מחולקים באופן לא שווה (Levitan, 2016). יחד עם זאת, המטרה (ההישגים שאותם צריכים התלמידים להשיג), צריכה להיות שווה.

בהשוואה לשני זרמים אלו, שוויון והוגנות, ישנה גישה חינוכית הממקדת את המטרות לכאלו המותאמות לכל תלמיד, והדוגלת בתמיכה בהשגת המטרות. גישה זו נוקטת עידוד היכולת של התלמיד לקבל החלטות שמבוססות על הידע, המיומנויות וההבנה הנחוצים לשם השגת יעדי. לפי תפיסה זו התלמיד הוא גורם בעל זכויות ויכולות משלו, והיא שואפת לבטל חוסר צדק היסטורי שנעשה בקרב אוכלוסיות ותלמידים כמו, למשל, גישה לא שווה להשכלה.

קלוטייה ועמיתיו (2016) מראים כיצד פעילויות מחנה קיץ, לדוגמה, יכולות לתרום להשגת המטרה של עידוד תלמידים מרקע אתני מיעוטי לבחירת מקצועות STEM. לפי החוקרים, הדבר מצריך איזון התוכן בין ידע ובין חוויה והנאה. על פי רוב, פעילויות hands-on (מעשיות) מעוררות התלהבות בקרב לומדים, אך חסרות לעיתים את רכיב העמקת הידע והחשיבה. במחקר זה השתתפו תלמידים בנים ממוצא אתני מיעוטי ובגילי חט"ב, כולם בעלי הישגים לימודיים חלשים מאוד. הבנים שהו במחנה קיץ לתלמידי חט"ב. המחנה סבב סביב תחומי ספורט שעניינו במיוחד את קבוצת המשתתפים, ובה בעת התקיים שיוך לנושאי STEM והודגשו פעילויות hands-on/minds-on כדי לחזק את רכיב העמקת הידע והחשיבה, את עבודת הצוות של המשתתפים, והנחיה של קבוצות קטנות על ידי מנחה ייעודי. מתכנני המחנה היו שני חוקרים במתמטיקה, מהנדס ושני בוגרי מדעי ספורט ורפואת ספורט. נעשתה הערכה לפני המחנה ולאחריו, במטרה לבחון את השינוי במידת העניין שהביעו התלמידים ב-STEM. בכל יום שולב במערכת שיעור קצר הקושר את ענפי הספורט ל-STEM באופן אינטראקטיבי. המנחים עודדו את התלמידים לשאול שאלות ולענות עליהן, ולהיות חלק מקבוצת דיון. נראה כי חלה עלייה בעניין בנושאי STEM ובעיקר במתמטיקה. תצפיות בקבוצות מצאו כי יש חשיבות לאווירה בכיתה המייצרת אינטראקציות בין המנחה ללומד. נראתה גם מחויבות רבה יותר של המשתתפים ללמידה עצמה, בהינתן שהוקצה להם זמן משמעותי לפעילויות אקטיביות והם הגיבו טוב לפעילויות שמתבססות על פתרון בעיות הכוללות אתגרים בעיצוב והנדסה ומשחקי מתמטיקה. יחד עם זאת, קבוצת המדגם הייתה קטנה מכדי להסיק מסקנות גורפות.

במקרה נוסף נבדקה ההשפעה של למידה אפורמלית בקיץ על תפיסת לימודי STEM בקרב תלמידי יסודי בכיתות הגבוהות ותלמידי חט"ב, בעיקר מאוכלוסיות מוחלשות (Roberts et al., 2018). נמצא שסביבת הלמידה הלא-פורמלית סייעה לתלמידים ליצור הקשר ותכלית ומטרה ללימודי STEM הפורמליים בכיתה, וסיפקה להם הזדמנות לפגוש אנשי מקצוע בתחומי STEM במקומות העבודה הטבעיים שלהם, בסביבת STEM אותנטית. בסדנת קיץ זו נחשפו התלמידים לתכנים, לרקע ולחומרים שאינם נגישים בדרך כלל לתלמידים בני גילם. הם השתתפו בפעילויות אקטיביות (hands-on) מקוריות בצוותים, שאותן פיתחו שותפים מפקולטות להנדסה, אמנות ומדעי הרפואה.

## 2.4 אתגרים ודמויות כמודלים להשראה מהווים כלי להצלחה בהוגנות בתחומי

### STEM

במקרים שונים נצפו הצלחות – בעיקר במתמטיקה – בקרב בני מיעוטים, כדוגמת תוכניות ההטמעה שהחיל ארגון NMSI (the National International Math and Science Initiative)<sup>2</sup>. אנשי הארגון הסיקו, בין השאר, שתלמידים מחויבים ופעילים בכיתה עושים שימוש

<sup>2</sup> <https://www.nms.org/News-and-Views/Press-Release/Department-of-Defense-Selects-Coalition.-Including.aspx>

רב יותר במיומנויות של חשיבה ביקורתית. כן הצביעו על כך שהצבת אתגרים היא כלי עיקרי המביא אותם לידי מחויבות. נמצא גם שבמיוחד בקרב תלמידים בני מיעוטים ישנה חשיבות לדמות שתהיה עבורם מודל והשראה, ושתבסס חשיפה עקבית שלהם לעקרונות STEM בגיל צעיר.

#### 2.4.1 מגדר ומוצא אתני

במחקר שנעשה באנגליה, ניסתה קודירולי (2016) לעמוד על טיב היחסים של הפערים בבחירת המקצועות בכלל, ומקצועות STEM בפרט, בהתייחס לרקע משפחתי, אתני ומגדרי, זאת תוך בחינת ההקשר בין פרמטרים אלה. נמצא שבאופן כללי בנות נוטות לבחור פחות בעיסוק במקצועות STEM ובלימודים של מקצועות אלה (בכללם גם מקצועות רפואה). בקרב בנות מיעוטים (ממוצא אתני) יש נטייה רבה יותר למקצועות STEM ולמקצועות (Social ) SLB (sciences, Law and Business and Administrative) בהינתן רקע משפחתי (הורים משכילים והכנסה בינונית-גבוהה). אף שיש דמיון בתפיסת התלמידות את הנושאים הלימודיים, נראה פער בין בנות מרקעים אתניים שונים, למשל בין בנות ממוצא אפריקני-אמריקני ובנות לבנות, אך לא נמצא פער כזה בקרב הבנים. נראה שהסיבה לכך היא בהבדלי תרבות שמשפיעים יותר על בנות מאשר על בנים. כאשר ניתן הרקע המשפחתי המתאים והישגים קודמים, תלמידים – ובעיקר תלמידות – ממוצא אתני מיעוטי, נוטים להרחיב יותר את מקצועות STEM. המחקר התייחס לרקע המשפחתי, לרבות הכנסה משפחתית, השכלת הורים ומקצוע ההורים. נמצא שהשכלת הורים משפיעה באופן חיובי על בחירת מקצוע STEM: בקרב בנות, השכלת האב משפיעה באופן חיובי על בחירת מקצועות STEM בתיכון – אך לא בתואר, ולעומת זאת השכלת האם משפיעה באופן חיובי על בחירת התואר. כלומר, פערים בין סטודנטים על רקע מוצא אתני גדלים עוד יותר בהינתן שיש הישגים קודמים דומים. פערים בבחירת תואר STEM על רקע השכלת ההורים נותרים עקביים גם בהינתן הישגים קודמים, בעיקר בקרב בנות עם רקע משפחתי עם השכלה נמוכה.

מכאן, ההמלצה לקובעי המדיניות היא לעודד להישגיות בקרב תלמידים בעלי רקע סוציאלקונומי נמוך; אולם, בהתחשב גם בהשפעת הנתון של השכלת ההורים, ייתכן שזה לבדו לא יצמצם לחלוטין את הפער. נדרש מחקר נוסף כדי להבין מדוע תלמידים בעלי הישגים דומים, שלהם רקע משפחתי שונה, בוחרים מקצועות שונים – ומדוע פערים אלה מחריפים בבחירת מקצועות התיכון ביחס לבחירה בתואר אקדמי.

מודל The Diversifying STEM Equity Model (D-STEM) להוגנות בחינוך STEM מתרכז בשני צירים מרכזיים בהתייחס להוגנות בחינוך על רקע אתני (במקרה זה ההתייחסות היא לתלמידים אפריקנים-אמריקנים והיספנים בארה"ב) (Coleman A., 2019). בציר האחד מתמקד המודל בגורמים המניעים תלמידים אלו ומעודדים אותם למעורבות ב-STEM. הציר השני מתמקד בזיהוי ובטיפול בנושאים הקשורים וגורמים לאישיוויון ב-STEM על הרקע האתני. נמנו מספר בעיות שבגינן יש אישיוויון בהוראת ובקריירה בתחומי STEM על רקע אתני, ובהן: חזון,

הזדמנות, תפיסות תרבותיות, פערים כלכליים, פערי דורות, זהות ופערים במקצועיות צוותי ההוראה.

אסטרטגיית הטיפול בנושאים אלו היא הוליסטית, כלומר ישנה התייחסות אליהם כמקשה אחת ולא באסטרטגיות טיפול נפרדות. במניין הגורמים המעוררים מוטיבציה ללימוד והתפתחות בתחומי ה-STEM בקרב תלמידים מקבוצות אתניות אלו נמצאו: חשיפה מוקדמת למקצועות STEM, תוכניות לימודי STEM המתכתבות עם מאפיינים תרבותיים, שיחות בנושא מוצא, הערכה מותאמת אישית ופיתוח מנהיגות STEM. קולמן מצביע על השלמה של שני הצירים זה את זה, כשתשתית של גורמים מעוררי מוטיבציה מהווה קרקע למניעת או לפתרון בעיות על רקע אתני בהשכלת STEM. לשם כך יש צורך בהטמעת מדיניות המספקת מקורות מימון ליוזמות STEM בגילים צעירים (החל מגיל הגן) ולהתמקצעות לבוחרים בקריירת STEM. גם במקרה זה, כמו ביוזמות אחרות, נדרשים שיתופי פעולה והתגייסות של בעלי עניין, תעשייה, קובעי מדיניות ואנשי חינוך.

#### 2.4.2 מודלים לחיקוי

45 מחקרים בנושא הדוגמה האישי נסקרו בעבודתם של לונר ועמיתים (2019). הדוגמה האישי במובן זה היא המודל לחיקוי שניתן לתלמידים מקבוצות אתניות מוחלשות, או תלמידים מקבוצות לא מחולשות שנוטים פחות לבחירת מקצועות STEM (בנות). נבדקו מודלים לחיקוי מהקבוצה שאליה משתייכים המשתתפים, ושאליה הפרט חש שייכות והזדהות. המחקר סקר את השפעת המודל לחיקוי על איכות ההישגים, ועל העניין שהביעו תלמידי אוכלוסיות ממוצא אתני מוחלש ובנות, במספר היבטים: האם המודל לחיקוי מקבוצות הפנים אפקטיבי, ותחת אילו תנאים; מה היקף ההשפעה שלו; ואם העלות והתועלת מצדיקים את ההשקעה של ביסוס מודל כזה בקרב בנות ובקרב קבוצות אתניות הנוטות פחות ללימוד מקצועות STEM. נמצא שלדמות מודל לחיקוי מהקבוצה שאליה משתייכים המשתתפים ישנה השפעה חיובית – אם כי קטנה בלבד – על הביצועים ועל מידת העניין של התלמידים בלימודי STEM. מודגש שנוכחות דמות מודל לחיקוי לבדה אינה מספיקה כדי לגרום להשפעה, אלא שיש לבחור אותה בקפידה ולהכשיר אותה ביסודיות.

בעוד שלמגדר המרצה באוניברסיטה יש השפעה קטנה על סטודנטים בנים, יש לכך השפעה משמעותית חיובית על הישגי סטודנטיות במתמטיקה ובמדעים בקורסי מבוא, השפעה שלא ניכרה בקורסים הומניים (Carrell et al., 2009). נראתה גם השפעה חיובית של מרצות, הן על הבחירה של סטודנטיות בקורסים במקצועות אלו, והן על המוטיבציה שלהן לסיים תואר ב-STEM.

לאחרונה נערך סקר בקרב בוגרים שבחרו במקצועות STEM, שהרקע שלהם מאוכלוסיות מוחלשות, ומגדר שונה (בנות). הסקר הראה שבוגרים אלה העידו שיש חשיבות בעיניהם למנטור בתחומי STEM מאותו מגדר ומאותו מוצא (Kriconian et al., 2020). ההנחה היא שגם מנטור "וירטואלי", שפוגשים אותו באמצעות מדיה, יכול להיות אפקטיבי, כלומר יש צורך

בוויזואליזציה. הנשאלים העידו שליווי כזה יגרום לאוכלוסיות אלו להרגיש "שייכים" יותר לתחומי STEM, וכך גם יביא להישגים גבוהים יותר בתחום.

### 3. גישות להוראת STEM אינטגרטיבית

שילוב בין תחומי STEM מאפשר ללומד העברת מידע, הבנה ופיתוח כישורים לטיפול במצבים חדשים. קידום הוראת STEM אינטגרטיבית יכול להיעשות, בין השאר, על ידי עידוד עבודת צוות ותהליכים חברתיים, התנסויות המשולבות באופן מפורש ומוגדר בהוראה, וביסוס הידע של הלומד בדיסציפלינות השונות. מומלץ לפתח שפה אחידה להגדרה ולתיאור עבודת מתכנני התוכנית וצוותי ההוראה. הכשרות מורים הן מפתח מרכזי בביסוס הוראת STEM אינטגרטיבי.

בשנת 2014 הובילו האני ועמיתים את הוועדה להוראת STEM אינטגרטיבית של האקדמיה הלאומית למדעים בארה"ב ([Honey et al., 2014](#)). הוועדה זיהתה את הגישות להוראת STEM אינטגרטיבית במסגרות החינוך הפורמליות והלא פורמליות בגילי גן עד י"ב ואפיינה אותן. כן אפיינה את השפעת האינטגרציה ואת תוצאותיה. מבחינת ההשפעות של אינטגרציה של לימוד תחומי STEM השונים עלה, ששילוב כזה מאפשר ללומד העברת מידע, הבנה וכישורים למצבים חדשים ולא מוכרים. כן הצביעה הוועדה על יכולת להציג את אותו רעיון, למשל בתחומי דעת שונים, בדרכים שונות כעל כלי יעיל בלמידה. עם זאת, גרסו חברי הוועדה כי יש לעשות זאת בצורה יעילה, מאחר שאינטגרציה גם עלולה לדרוש יכולות ומשאבים קוגניטיביים רבים מדי, כגון חלוקת תשומות קוגניטיביות (תשומת לב) וזיכרון רב.

אותה ועדה מצאה כי ישנם אלמנטים הכרחיים לקידום למידת STEM אינטגרטיבית, ובכלל זה למידת עמיתים ועבודת צוות; מעורבות פעילה בדיון על נושא נלמד; וקבלת החלטות ופתרון בעיות במשותף.

#### 3.1 כלים לקידום הוראת STEM אינטגרטיבי

האני ועמיתיו ([2014](#)) בחנו כמה תוכניות במחקרם, ומצאו כמה כלים ורעיונות יעילים לקידום הוראת STEM אינטגרטיבית, ובהם שילוב תהליכים חברתיים; טכניקות כמו "פיגומים" (scaffolding) ועבודת צוות. עוד מצאו החוקרים כי יש צורך בשילוב מפורש ומוצהר של STEM בחומרי הלימוד, ביחידות הלימוד ובייצוגי ההוראה. מאחר שהתלמידים אינם משתמשים באלמנטים אלו בטבעיות ובספונטניות, קבעו החוקרים כי יש חשיבות בתכנון התנסויות המספקות עזרה מכוונת ומפורשת לתלמידים להבניית ידע ולפיתוח מיומנויות. מרכיב חשוב אחר בקידום הוא תמיכה לידע של התלמיד בתוך הדיסציפלינות הנפרדות, מכיוון שיצירת הקשר בין תחומי הדעת עלול להיות קשה עד בלתי אפשרי במקרה בו חסרה ההבנה של רעיון רלוונטי לא ברור דיו ללומד.

האתגרים, כמו גם היתרונות הפוטנציאלים של קשירת ארבעת נושאי STEM, מראים את

חשיבותה של גישה אסטרטגית מדידה כדי להטמיע הוראת STEM אינטגרטיבית, שתובא בחשבון

כחלק מתהליכי הלמידה והקוגניציה. ההמלצה לחוקרים, למתכנני התוכניות ומתרגליהן, ולארגונים העומדים מאחוריהם, היא לפתח שפה אחידה להגדרת עבודתם ולתיאור של עבודה זו. נוסף על כך מוצע להגדיר במפורש את המטרות שאותן ירצו להשיג, ולתכנן את ההתנסויות בהתאם. נדרש גם ניסוח מפורש של ההיפותזה המניחה מדוע וכיצד התנסות מסוימת ב-STEM תשיג תוצאות מסוימות, וכיצד ניתן למדוד אותן.

לפי גישה זו על מתכנני הוראת STEM לנקוט כמה צעדים. ראשית, יש לייצר הזדמנויות שיהפכו את ההקשרים ב-STEM מפורשים וברורים ללומדים ולמלמדים. דוגמה לכך היא כאמור שיטת הפיגומים, וכן הזדמנויות לפעילויות הדורשות רעיונות בהקשרים. שנית, יש להיות קשובים למטרות הלמידה ולהתקדמות הלמידה בכל דיסציפלינה נפרדת של STEM כדי להימנע ממצבים שלמידת התלמיד תתערער. ולבסוף, מומלץ לספק למורים התנסויות שתסייענה להם לזהות את ההקשרים בין ארבע הדיסציפלינות, ולהבהיר הקשרים אלה לתלמידיהם. המורים צריכים לקבל גם הכשרות מקצועיות לעבודה בשיתופי פעולה עם קולגות כחלק מהתפתחותם המקצועית. סקירת תוכניות שונות העלתה, שאך מעט מהן הגדירו מפורשות את מטרותיהן כיצירת הקשרים בין התחומים (Honey et al., 2014). עם זאת, חומרי ההדרכה הראו שהמטרות שהוגדרו לתלמידים משויכות להקשרים המתאימים ל-STEM. כך, לדוגמה, המחישו זאת המיומנויות הבאות: זיהוי רעיונות בעלי משמעויות שונות, או יישומים שונים בתחומים השונים של אותו רעיון. כן הופיע עיסוק בפעילות STEM תוך כדי שימוש בידע מתחום ידע אחר ב-STEM; ושילוב פעילות מעשית של שניים או יותר מהתחומים לצורך פתרון בעיות או פיתוח פרויקט. מיומנות נוספת שנצפתה היא יכולת לזהות רעיון או יישום המופיעים באופן משולב בין שני תחומים או יותר; וכן שליפה של ידע מתחום אחד כדי לבסס ולקדם למידה משולבת, והיכולת לדעת מתי לעשות זאת.

את אופי האינטגרציה והיקפה מתווים שלושה אלמנטים עיקריים: סוג ההקשרים, הדגשת הדיסציפלינה ומשך-גודל-מורכבות הפרויקט. בדרך כלל, הוראת STEM בשילוב הדיסציפלינות באה לידי ביטוי בכך שאחד הנושאים (למשל מדעים) תופס תפקיד מרכזי במפורש, בין שהוא הנושא המוגדר ובין שהוא המיומנות המוגדרת של הפרויקט, של התוכנית, או של בית הספר. על פי רוב שילוב של רעיונות מנושאים אחרים מיועד לתמוך בלמידת הנושא המרכזי ובהבנתו, או להעמיק בהן. היקף האינטגרציה כולל מגוון פרמטרים כמו משך היוזמה החינוכית, הרקע שלה, גודלה ומורכבותה. יוזמה חינוכית יכולה להתמקד בפרויקט של שעה יחידה, או להתפרש למשך תקופה, בארגון של קורס שלם, במספר קורסים בתוכנית הלימודים ואפילו לאורך כל שנות הלימוד בבית הספר.

מכל אלה אפשר למקד שלושה גורמים מרכזיים – אף שאינם יחידים – בהובלת תהליך הוראת STEM. אלה שלושת הגורמים:

1. תכנון ההוראה: ישנן גישות מסורתיות, בעלות הנחיות מובנות, שיטות השמות את הלומד במרכז הלמידה תוך כדי התנסויות לא מוגבלות, שכוללות על פי רוב למידה פרויקטלית ופתרון בעיות. בהקשר זה לחקר מדעי, לתהליך תכנון הנדסי וללמידה פרויקטלית יש מאפיינים דומים, המזמנים ללומדים הזדמנויות ליישום רעיונות, ומחייבים אותם בשילוב רעיונות

רלוונטיים וביישום STEM. פרויקטים כאלו מורכבים ממספר משימות, הדורשות מהלומד להשתמש בידע ובמיומנויות מכמה דיסציפלינות.

בלמידה מבוססת פתרון, בעיות הלומד נמצאות במרכז. העבודה נעשית בקבוצות עבודה קטנות שאותן מנחה המורה. הבעיה היא גורם מעורר או עומדת במוקד הלימוד, ורכישת המידע נעשית בלמידה עצמית.

2. הכשרת צוותי ההוראה ותמיכה בהם, בדגש על שיפור תחום הידע ובפרקטיקות פדגוגיות התומכות באינטגרציה ומועברות עוד קודם לפיתוח המקצועי ובמהלכו.

3. התאמות לסביבת הלמידה כרוכות לעיתים בהארכת תקופות קורסים, שתאפשר ללומד זמן חזרה רב יותר על התנסויות, או חזרה כדי לשפר תכנון, כמו גם הארכת זמן שיעור. כמו כן, נדרש קידום קהילות מקצועיות, שיזמנו שותפויות בין צוותי הוראה בבית הספר ובסביבת למידה שמחוצה לו, כגון מוזיאוני מדע והאקדמיה.

תוכניות רבות לשילוב STEM כיוונו את מטרותיהן למורים, ולא בהכרח ישירות לתלמידים. דבר זה נעשה כחלק מפיתוח מקצועי ובהלימה לתוכנית הלימודים, החל מחיזוק תחום הידע, עבור דרך תוכן פדגוגי רלוונטי לנושאי STEM בנפרד, וכלה ביצירת ההקשרים בין הנושאים.

מכל מקום, בכל דרך שבה תבוצע הוראת STEM, מומלץ לקיים תהליך תיעוד מפורט של הביצוע המעשי ותוצאות התוכנית כדי למקד את ההבנה של הרכיבים הקריטיים, ובקבלת החלטות נכונות על אופן המשך התוכנית.

### 3.2 בדיקת תוצאות בשילוב STEM

כאשר ניגשים לבדוק מהן תוצאות שילוב STEM בהוראה, עולה שמחקרים על הישגי התלמידים בתחום הידע, בפתרון בעיות וביכולת לעשות הקשרים מוגבלים במסקנותיהם בנוגע לגישות השונות. יחד עם זאת, המסקנות הראשונות שאותן הגדירו העלו שישנו שיפור בלמידה הקונספטואלית (conceptual learning) בדיסציפלינות, אך ההשפעות משתנות כתלות באופן האינטגרציה, המדדים שנבחרו והידע המוקדם של התלמידים (Honey et al., 2014).

רוב המחקרים בוחנים את השינוי בתחום דעת אחד; ואילו יכולות לעשות הקשרים בין תחומי הדעת, או בקיאות עם מיומנויות, כגון יכולת עבודה בצוות או פתרון בעיות – נבדקות אך מעט מאוד. זאת כפי הנראה מאחר שההערכה המסורתית, באמצעות מבחן למשל, אינה יכולה לשקף את היכולות הללו. מאחר שידע משולב, כגון זה של מקצועות STEM, מתפתח בהדרגה, נדרש זמן לחוקרים – בין שבועות לשנים – לעקוב אחר השפעתם על הידע של התלמידים. לכן לא הותוו עד כה הנחיות פרקטיות בהוראת STEM.

לפי האני ועמיתיו (2014), ממעט המחקרים הקיימים, נראה כי שילוב של מתמטיקה ומדעים יכול להיות מחוזק יותר על ידי חיבור התלמידים להמצאה ולעדכון של מודלים מתמטיים של מערכות טבעיות. יישום חשוב של שילוב זה הוא שלימוד מדעים כרוך בלמידה של התנהגויות של מערכות טבעיות כמו מודלים מתמטיים. לעומתו, נראה ששילוב מתמטיקה במדעים או

בהנדסה לא שיפר בהכרח את הבנת העקרונות המתמטיים בצורה טובה יותר. הצלחה נרשמה רק



במקרים בודדים, כאשר המורים המלמדים עברו הכשרה מדויקת לגבי אופן השילוב בשיתוף עם מורי מתמטיקה. בהכשרות אלו נחשפו המורים לאפשרויות מפורשות עבור התלמידים, אפשרויות הממקדות את הלמידה ברעיונות מתמטיים – ולא רק לשימוש במתמטיקה בהקשר של המקצוע הנלמד. אם כן, בלמידת מדעים ומתמטיקה בהקשר של תכנון והנדסה, נראה שיש צורך ברור במסגרת מדויקת של הוראות והנחיות לתלמידים כדי שיישמו את ההקשר למדעים.

יש לציין כי ישנם חוסר עקביות וחוסרים ביישום תוכניות STEM ובהערכתן. למשל, ההשפעה החיובית על למידה הייתה שונה כתוצאה מהתלות בגישה החינוכית, מאופן השילוב של מקצועות STEM, ומאופן התמיכה הניתנת כחלק מהמשימה ובמהלך ההנחיות. במילים אחרות, באין הגדרה מפורשת של האינטגרציה – ההמלצות הן מוגבלות. בהינתן מגבלה כזאת אי אפשר להגדיר את הפדגוגיה, או אף להשוות בין תוצאות המחקרים, כדי לפתח תמונת מצב והמלצות לגבי אם ליישם גישות שונות לשילוב וכיצד לשלבן. כמו כן, בהיעדר מערכת מדדים מוגדרת וקריטריונים לתיעוד, אין בסיס מוצק מספיק להשוואת נתונים.

### 3.3 עניין זהות

כדי ששילוב STEM יהיה מוצלח – בהתייחס ללמידה והישגים – תלמידים צריכים להיות מסוגלים לעבור הלוך ושוב בין הידע של הדיסציפלינה, וליישם מיומנויות בהגדרת בעיות שמתקשרות לכישורים ממספר דיסציפלינות, ובפתרון שלהן. התנסויות STEM מזמנות ללומדים מעורבות בדרכים שבהן הם מסוגלים "להתאים" את זהותם בהתייחס ל-STEM. הנחה זו מקבלת משנה תוקף בעיקר בקרב אוכלוסיות שבעברן שיעורי STEM היו אתגר, ושהיו מיעוט בתוכניות השכלה גבוהה במקצועות STEM.

בבחינת תוכניות שמחוץ לשעות בית הספר, בקורסי בחירה שניתנו לתלמידים, עולה שעידוד עניין וחיבור לזהות הם גורמי מפתח לביסוס מעורבות של התלמידים בפעילויות STEM ולהמשכיות שלה. נראה שתוכניות שמחוץ לבית הספר מתמקדות בזהות ובעניין, ואילו תוכניות בית ספריות מתמקדות יותר בתוצאות ההישגיות.

יצירת עניין מתחילה בדרך כלל במניע, גורם מעורר, שממנו מתפתחות השקעה, סקרנות והתמדה. עניין מיוחס גם לתחושת מסוגלות עצמית. זהות מתייחסת ל"מי אני" או "מי הייתי רוצה להיות", כמו גם ל"איך אני מזהה על ידי אחרים". בהתייחס ל-STEM, זהות היא איך ולמה האינדיבידואל מעורב בכיתה, נרשם לקורס STEM, ומשתמש ברעיונות STEM מחוץ לכיתה.

בבחינת השאלה האם STEM אינטגרטיבי תומך בהגברת העניין או הזהות, או שניהם, הממצאים אינם חד-משמעיים בגלל איכות ההערכה, מיעוט מחקרים וקבוצות מדגם מעטות יחסית. למרות זאת, אפשר לסמן ממצאים שהעלו כי יש חשיבות לתכנן פרויקטים וליישם, כשבפרויקטים אלה יש פעילויות ונושאים לבחירת התלמידים, וכאשר הם מקיימים חיבור לתרבות שממנה מגיעים התלמידים ולקהילה. כך ניצבת בפני התלמידים הזדמנות להיתפס בעיני הקהילה כמומחים.

### 3.4 תכנון התנסויות STEM

התנסויות STEM אינטגרטיביות יכולות לתמוך בלמידה, בחשיבה, בעניין ובהיות. התנסויות אלה משתנות כתלות במטרתן, שיכולה להיות העמקה בידע ובמיומנויות בדיסציפלינה מסוימת, או במטרה לקיים אינטגרציה של ידע בין הדיסציפלינות. אינטגרציה כזו מסוגלת להיות אפקטיבית, מאחר שיכולות בסיסיות בקוגניציה מקושרות לרעיונות שהלומד אינו קושר ביניהם. בהתנסויות כגון אלה חשובה בניית ידע בהקשרים: במובן שמומחיות אינה רק תוצר של ידע נרחב בנושא מסוים, אלא גם כרוכה בהבנה כיצד רעיונות קשורים זה לזה, ומה חשיבותם בתוך הנושא. הבסיס לבניית ידע הוא הניסיון של הלומד: ידע חדש נבנה על בסיס ידע קיים תוך כדי יצירת קשרים מהתנסויות קודמות להקשר החדש. אך הלומדים לא תמיד משייכים את הידע הקודם שרכשו למשימות חדשות, ואינם מעבירים ידע באופן עצמאי. משום כך הם זקוקים להכוונה ולהנחיות מפורשות כדי לייצר אותם הקשרים. בהעברת ידע מתייחסים להעברה בין תחומים, רעיונות, בין שנות לימוד שונות ובין לימודים פורמליים ללא פורמליים, ולהתנסויות מחוץ לגבולות בית הספר.

הוראת STEM אינטגרטיבית עומדת בדרך כלל בקנה אחד עם הדרכים האפקטיביות הידועות כתומכות למידה (עבודת צוות, שימוש בייצוגים, קישור לחיי היומיום, פתרון בעיות). שימוש בעזרים פיזיים בלמידת Project-Problem Based Learning מקילה על הלמידה, מאחר שהיא מפצה על מגבלות ההבנה וגם מזמנת למידת עמיתים.

לפי הדו"ח של האני ועמיתיו (2014), בתכנון הוראת STEM והתנסויות שלה אפשר להגדיר את האלמנטים החשובים הבאים:

- אינטראקציה של הלומד עם המורה וצוות ההוראה, עם הורים ועמיתים, מספקת ללומד מודלים בעבודה על פתרון בעיות בהקשר של STEM. אנשים אלה הם מקור לעידוד, גירוי ללמידה, גירוי לתחושות מסוגלות ולהמשך מעורבות.
- פעילות מעוררת עניין, שתינתן בשלב המוקדם של התפתחות העניין של הלומד דרך חיבור לחיי היומיום ולהתנסויות קודמות. אחד האלמנטים המזוהים עם גישות משולבות כגון STEM הוא כאמור החיבור לחיי היומיום של הלומדים: אלה עשויים להעמיק את הלמידה מצד אחד, ומצד שני הם עשויים להיות עבורם אתגר. בשלב מאוחר יותר יש לעורר עניין דרך קבוצות עבודה, התאמה אישית ויצירת משמעות – כולן נחוצות לשימור העניין של הלומד. שמירה על העניין של הלומד נעשית ע"י סביבת למידה פתוחה יותר כגון למידה מבוססת פרויקטים כמו גם הזדמנויות לחקר ממושך.

במערכת החינוך ישנם כמה אלמנטים שעשויים לקדם הזדמנויות ל-STEM אינטגרטיבי או להגבילן דווקא: סטנדרטים אחידים, הערכה, הכשרת מורים והשכלתם, ומחויבות בית הספר לקידום STEM.

סטנדרטים אחידים מוגדרים ברמה כוללת של מערכת החינוך וברמה פרטנית אזורית. סטנדרטים אלה מוחלים על אופן האינטגרציה, המטרות, נקודות ממשק והבדל בין הדיסציפלינות השונות, סוגי הפעילויות, וכו'.

הערכה נמדדת החל מהערכה מעצבת ברמת הכיתה ועד להערכה כוללת ברמת הארצית. ההערכה עלולה גם להגביל את הרחבת שילוב STEM בגילי הגן ובית הספר, זאת בגלל הקושי לתכנן הערכה אפקטיבית גם לדיסציפלינות הספציפיות וגם ללמידה האינטגרטיבית. הערכה קוהרנטית תכיל את המטרות, תוכנית הלימודים והערכת התוכניות והפרויקטים בכל הרמות (כיתה, בית ספר, מחוז, מדינה) וכן הערכה לאורך זמן. הערכה זו תביא בחשבון גם את השינויים הצפויים ברמת הידע והתרגול. לשם כך נדרשות גישות ואסטרטגיות הערכה שונות במטרה לענות על שאלות שונות. הערכת תוכניות STEM צריכה למדוד גם את הידע וגם את המיומנויות וזאת במהלך הפעילויות ותוך התחשבות בשכבות הגיל השונות.

הכשרת מורים והשכלתם הן אחד האלמנטים החשובים בקידום הזדמנויות הוראת STEM. אלמנט זה כולל את צוותי ההוראה בחינוך הפורמלי והא-פורמלי. בקטגוריה זו נכלל גם תחום הידע של אנשי ההוראה: הנחת העבודה היא שברוב המקרים לאנשי ההוראה יש ידע חלקי בלבד בתחום הידע הספציפי שאותו הם מלמדים, ושלרוב המלמדים בבתי הספר היסודיים אין תואר במדעים. בנוסף לכך יש צורך בהעמקת הידע במקצועות STEM מעבר לידיע הדרוש למורה ללמד את המקצועות בנפרד.

עוד רכיב חשוב בתחום הוא תחושת המסוגלות של המורים. תחושה זו תלויה ברקע שיש למורים במקצועות STEM, הידע הפדגוגי שלהם (יכולתם להעביר ביעילות את הידע), וביטחון בשני האלמנטים האלו. חשוב גם להביא בחשבון פיתוח מקצועי למורים: הן בתחום הידע והן בפיתוח אסטרטגיות הוראה לשילוב מקצועות STEM. אך אין די בפיתוח מקצועי, ישנה חובה גם לבסס את תמיכת בית הספר לקבלת הוראת STEM אינטגרטיבית ולקידומה. נמצא כי מעורבות מורים אפקטיבית יותר אם קיבלו הכשרה ארוכת טווח (לפחות שבוע בחופשת הקיץ) והמשך תמיכה והנחיה לאורך השנה, גם בבית הספר עצמו. תקופת הכשרה ממושכת דרושה על מנת להביא לשינוי של ממש בתפיסות ובאמונות, בהכנה הפדגוגית ובהעמקת תחום הידע של המורה. ההכשרות צריכות לכלול גם מומחים מהתעשייה, למשל מהנדסים שיציגו למורים את תהליך התכנון. כמו כן חשובות קהילות מורים: אלה מהוות רשת תמיכה להתפתחות מקצועית מתמשכת, פרקטיקות ולעדכונים, ומכאן גם להעלאת תחושת המסוגלות של המורים.

בכל אלה נדרשת גם מחויבות בית הספר לקידום STEM. מדיניות בית הספר, הנורמות והפרקטיקות הנהוגות בו הן גורם משפיע. גם השפעת הורים, מנהיגי הקהילה והעסקים המקומיים, החשובים לקידום הטמעת STEM.

### 3.5 STEM אינטגרטיבי – תפיסות ומודלים שונים

#### 3.5.1 תפיסות בקרב צוותי ההוראה

מחקרים מראים שעדיין קיימת אי־בהירות באשר למהות תפיסת STEM, ומה המשמעויות לגבי תוכנית הלימודים והתוצאות המצופות מהתלמידים. כדי לחולל שינוי במצב זה, בראש ובראשונה יש לבחון ולהתמקד בקהל המורים ולהתמקד בו (Holmlund et al., 2018). במחקר זה בחנו הכותבים את התפיסות המשותפות והשונות בקרב צוותי הוראה לגבי הוראת STEM. הנתונים נאספו מצוותי הוראה של חטיבת הביניים, מבית ספר שהוגדר כבית ספר ממוקד STEM, וממורי התפתחות מקצועית בהכשרה מחוזית. נאספו מפות מושגים וראיונות מאנשי הוראה בעלי תפקידים שונים – גם מורי STEM וגם מורים שאינם מלמדים STEM, אנשי מנהלה ומורים מנחים בהשתלמויות.

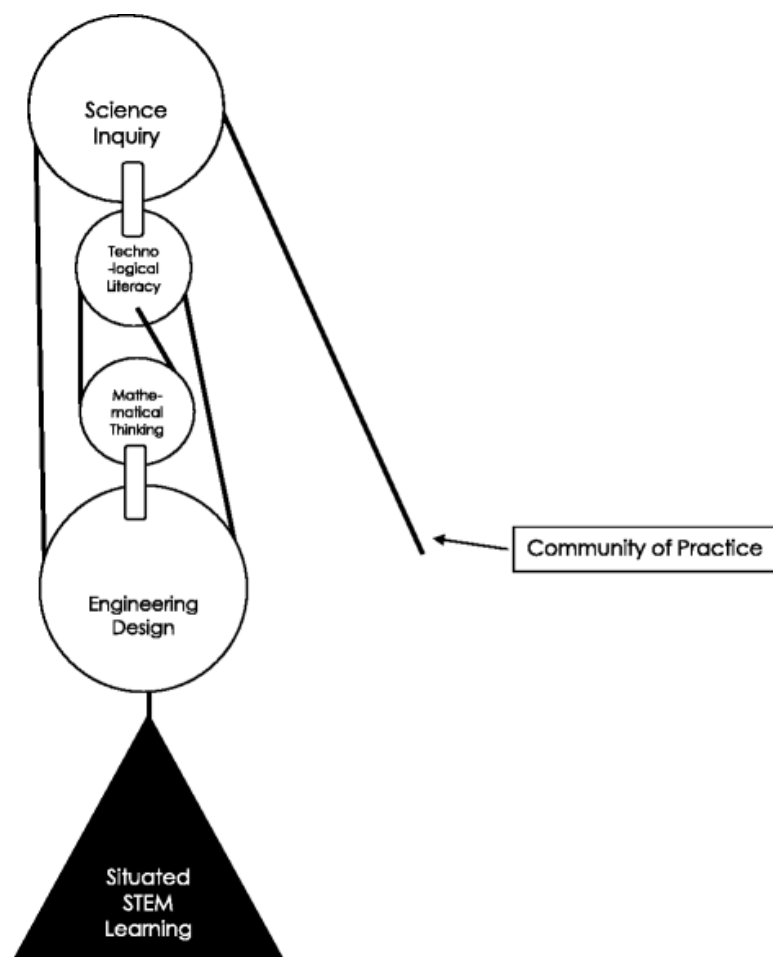
שלושה נושאים עלו בקרב 70% ממפות המושגים ביחס למהות ה-STEM: (1) הקשרים אינטרדיסציפלינריים, (2) צורך בפרקטיקות ובשיטות עבודה חדשניות בהוראת STEM, (3) ומעורבות תלמידים בפתרון בעיות מחיי היום־יום. כאן נמצאו הבדלים בין צוותים בעלי תפקידים שונים. אך נמצאו שני מכנים משותפים אצל כל המשתתפים בקבוצות המחקר: האחד, השימוש של התלמידים בטכנולוגיה, והשני – החשיבות של הוראת STEM במתן גישה והזדמנות להצלחת כלל התלמידים.

**בהינתן פרקטיקות הוראה שונות ומגוונות וסגנונות שונים של בתי ספר, נראה מחד גיסא שהגדרה אחידה כללית של הוראת STEM אינה הכרחית. מאידך גיסא, ישנה חשיבות רבה לכך שצוותים מאותה מערכת יבינו את הרכיבים המשותפים המשויכים ל-STEM, ויבנו במשותף חזון אחיד המאפשר הזדמנויות לכל תלמידיהם בהשגת מטרות STEM.** עוד עולה שתפיסות משותפות חוצות תפקידים. הולמלנד ועמיתיו ממליצים להשיג אחידות בהנחיות בכל אחת מן המערכות (בית ספרית או מחוזית). הנחיות אלה נוגעות בתוכנית הלימודים, בהזדמנויות ללמידה, בהערכה ובמבנה בית הספר. תהליכים משותפים עם רפלקציה ועקביות יכולים להציף את המשותף והשונה בתפיסות האנשים, ומכאן לבסס את האחידות במתן הזדמנויות ללמידה לכל התלמידים. עוד הציעו החוקרים שיעשה תהליך המשגה משותף כחלק משיח מקצועי בתכנון הטמעת הוראת STEM. כך, כאשר התנסויות בהתפתחות מקצועית והצהרות בית הספר לגבי החזון אינן באות לידי ביטוי ישיר בכיתה, יש צורך לזהות ולהגדיר מפורשות את הרעיונות שצוותי ההוראה בוחרים ומשמרים. רעיונות אלה יכולים לאפיין את הלמידה המקצועית הכללית.

הוראת STEM אינטגרטיבי צריכה להיעשות בתהליך של העברת תוכן במקביל לחלק המעשי. גם הידע וגם הפרקטיקה הכרחיים כדי למקסם הן את הלמידה הן את ההבנה של הרציונל ללמידה. הנחת היסוד היא שבתהליך שלבי מובנה זה התלמידים יזהו את הדמיון לאופי העבודה של המדענים, המהנדסים, אנשי הטכנולוגיה והמתמטיקאים, וכי בכך אולי יקבלו החלטה לגבי קריירה במסלול STEM. מכאן גם עולה הצורך בהכשרה מקדימה לצוותי ההוראה, שתבסס את הבנתם הקונספטואלית את ההוראה האינטגרטיבית של STEM – זאת על ידי לימוד תיאוריות עיקריות, וגישות פדגוגיות (Kelley & Knowles, 2016).

עד עתה נסקרו המלצות לגישות האינטרדיסציפלינרית והטרנסדיסציפלינרית בתוכניות להוראת STEM. לצד המלצות אלה עדיין ישנה נטייה לחיזוק, העמקה ועניין של התלמידים בדיסציפלינה כזאת או אחרת. נטייה זו ניכרת יותר במתמטיקה ובהנדסה, שהן הדיסציפלינות שמתבטאות פחות בהוראת STEM אינטגרטיבית. כדי להתגבר על נטיות אלו, ממליצה לין אנגליש (2016) להתרכז בפיתוח תוכניות STEM עם הגדרת המטרות והתוצאות המצופות מהמורים ומהתלמידים. אנגליש מדגישה את הצורך לבסס שפת STEM בעלת טרמינולוגיה משותפת שתבסס את הוראת המושג.

חוקרים אחרים הציעו מסגרת רעיונית להוראת STEM אינטגרטיבית, שתוביל לתוצאות למידה משמעותיות (Kelley & Knowles, 2016). לפי מסגרת זו, בבסיס הרעיון של הגישה האינטגרטיבית נעשים קשרים בין תחומי STEM והקשרים רלוונטיים לחיי היומיום לצורך למידת התוכן: זאת תחת הוראת התוכן והמיומנויות, שלאחריהן התלמידים יצטרכו לזהות את ההקשר לחיי היומיום.



מתוך: Kelley & Knowles, 2016

הוראת STEM אינטגרטיבית מקשרת למידה מצבית (situated STEM learning) למערכת שלמה של תכנון והנדסה, חקר מדעי, אוריינות מדעית וחשיבה מתמטית. במערכת זו כל רכיב משול לגלגלת, שמקשרת בין פרקטיקות משותפות. אין להסיק מכך שכל ארבעת הרכיבים ייכללו בכל התנסות, אך למורים צריכה להיות הבנה מעמיקה של הקשרים שיכולים להתבסס בין הרכיבים, ולהיעזר בכינון קהילת לומדים פעילה שמתמקדת בעשייה.

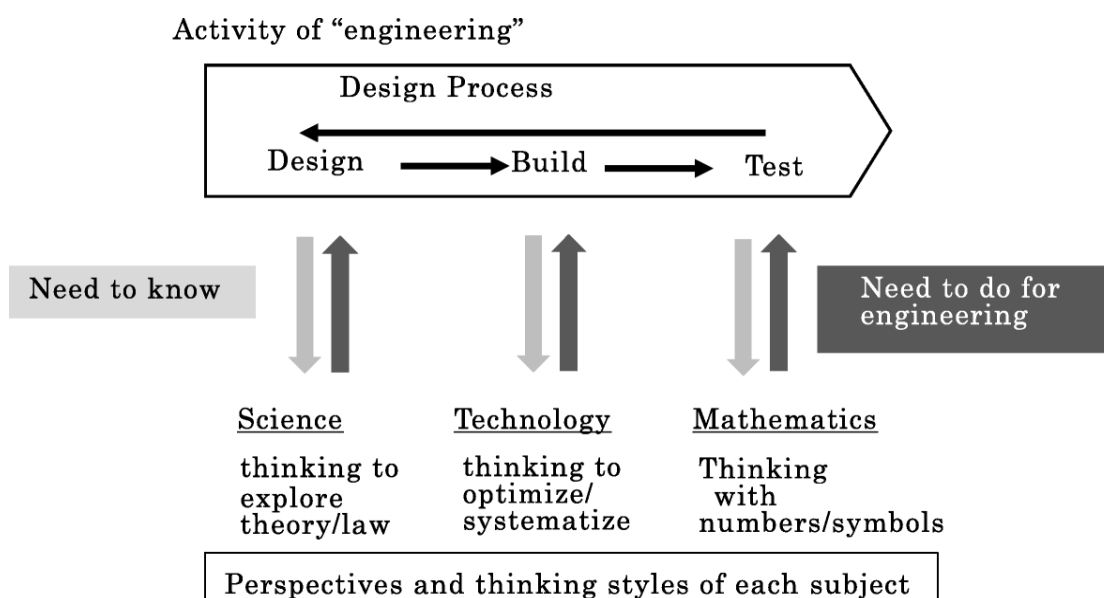
ואכן, לפי החוקרים, רוב הוראת STEM מונחית על ידי למידה מצבית, שבה מתקיים קשר בין הסביבה ובין הגורמים הפועלים בה. הבסיס ללמידה מצבית הוא הרעיון שההבנה כיצד ידע ומיומנויות יכולים לבוא לידי ביטוי חשובה לפחות כמו למידת הידע והמיומנויות עצמה. כך, ההקשרים הפיזיים והחברתיים של הפעילות הנתונה הכרחיים לתהליך הלמידה. למידת STEM אינטגרטיבית דורשת אפוא תכנון הנדסי, שמהווה פלטפורמה והקשר מצבי. ייתכנו כמובן תכנים שיהיו פחות רלוונטיים, ולכן המודל מתרכז בתכנים שיכולים להיות מיושמים בלמידה מצבית. התכנון ההנדסי מאפשר הזדמנות למינוף הוראת מדעים, מכיוון שהוא מזמן יישום ידע מדעי וחקר עם תוכן רלוונטי ללמידת מתמטיקה, ודורש הנמקה בקבלת החלטות במהלך תהליך התכנון. החלק האנליטי של התכנון ההנדסי מאפשר לתלמידים להשתמש בחקר מדעי ומתמטי, כדי לבצע ניסויים שיבססו ידע על הפונקציונליות והביצועים בפתרונות אפשריים עוד קודם לבניית המודל. התנסויות STEM הכוללות היבט מתמטי אנליטי הכרחיות להערכה של הפתרון ההנדסי ומספקות לתלמיד את הרציונל ללמידת המתמטיקה וההקשרים שלה. בהיבט הטכנולוגי, צוותי ההוראה צריכים לספק ללומדים הזדמנויות לחשיבה באמצעות טכנולוגיה ככלי לשינוי השפעות רצויות ולא רצויות על התרבות, המדיניות, הכלכלה והסביבה. מהפך של חקר מדעי, יש צורך בפיתוח מקצועי פדגוגי וידע התוכן של מורים, כדי שינחו את התלמידים בחקר נכון. גם בהקשר זה, וכפי שייסקר בהמשך, נראה ששיתוף פעולה עם מדענים בהכשרת מורים נמצא כמעודד ובעל יתרון רב בהכשרת מורים בחקר.

STEM אינטגרטיבי מהווה פלטפורמה ליצירת קהילת לומדים וליצירת שיח חברתי. קלי ונולס (2016) מציעים שתוצרי הלמידה יהיו משותפים לכלל משתתפי הקהילה. קהילה יכולה להיות מוגדרת כקהילת מומחים באחד מהתחומים, שתפקידה למקד את הלמידה סביב הקשרים לחיי היום-יום. גם ברכיב זה יש להתחשב במגבלה אפשרית, שבה למידת עמיתים וקהילות לומדים אינן בהכרח קרקע פורייה לכלל התלמידים, ודווקא שם יצטרכו תמיכה על מנת להביא את יכולותיהם לידי ביטוי תוך נקיטת חלופות מתאימות. עם זאת, נראה שלמורים מסוימים יש יכולת ליצוק תכנים של מיומנויות רגשיות חברתיות בעיקר תחומים של חינוך לערכים וחינוך האופי, וכן בהוראת האנגלית. נראה שדווקא עמיתיהם, המלמדים מדעים ומתמטיקה, מתקשים להקנות יכולות חברתיות אלה לתלמידיהם. (Ee et al., 2014).

מעבר לכך שמחקרים מצביעים על מחסור במערך הגדרות אחיד ושיטות אחידות להוראת STEM, ישנו חוסר בהירות במיוחד בהבנת "המעמד" והאפיון של הפן הטכנולוגי. לאחרונה הציעו חוקרים מסגרת עבודה תיאורטית לפרקטיקה של הרכיב הטכנולוגי בהוראת STEM (Yata et al., 2020). מסגרת עבודה זו, המותאמת לתוכנית הלימודים של מערכת החינוך היפנית, מציעה

שהמשאבים לשיפור פרקטיקות הוראת STEM הם שימור העקרונות המדעיים, הטכנולוגיים

והמתמטיים בפעילויות מעולם ההנדסה. המחברים הגדירו הנדסה כיצירה, תהליכים ומערכות, וייחסו אותה לנקודות מבט וחשיבה על נושאים במתמטיקה, מדעים וטכנולוגיה. המודל התיאורטי הוא תהליכי, ומוצג כחזרה על שלבי העיצוב, הבנייה והבדיקה של התוצר וחשיבה שונה בכל דיסציפלינה במובן של "צריך לדעת" ו"צריך לעשות". לפי מודל זה, הוראת STEM משלבת את התחומים באופן אינטרדיסציפלינרי, תוך כדי שימוש גם בממשקים דומים ביניהם, אך גם בייחודיות האופיינית לכל תחום. יחד עם זאת, יש להתחשב בכך שפעילויות מעולם ההנדסה אינן מכסות את כל תחומי הלימוד במדעים, במתמטיקה ובטכנולוגיה; ולכן הוראה ספציפית בכל תחום ורעיון חייבת להינתן גם היא.



מתוך: [Yata et al., 2020](#)

גם לי ועמיתים (2019) הראו את חשיבות השילוב של חשיבה עיצובית לא רק בהנדסה ובטכנולוגיה, אלא בכלל ב-STEM, בשיפור את הישגי התלמידים במתמטיקה ובקבלת ההחלטות שלהם בתהליכי תכנון כך שיהיו מבוססי ידע והבנה.

### 3.5.3 טיפוח ידע ומיומנויות הנדסיות בקרב מורים

אחד האתגרים העומדים בפני מורים בהוראת STEM הוא ידע זל יחסית בעולם ההנדסה, ובכלל זה בהבנה והיישום של עקרונות הנדסיים. בראנד (2020) הציגה יוזמה שבה התאחדה קבוצת מורי מתמטיקה, מדעים וטכנולוגיה בחטיבות ביניים עם דוקטורנטים וסגלי הוראה מהפקולטות במדעים, מתמטיקה והנדסה, וכן עם מפקחים על הוראת המדעים במתמטיקה, מדעים וטכנולוגיה. מהלך זה נוצר במטרה לפתח מסגרת הוראה לשילוב הנדסה ולהטמעתה בהוראת STEM בתוכנית הלימודים. המורים נחשפו למידע והבינו את חשיבותן ותרומתן של פרקטיקות משולבות מדעים והנדסה, ועקב כך נרתמו לפתח פרקטיקות הוראה. במהלך ההכשרה מורים עברו תהליך חקר דומה לזה של תלמידיהם, מה שדחף אותם לקבל כלים

לבקר ולשנות את הפרקטיקות שפיתחו. מכאן הטמיעו המורים את ההנחיות כך שיותאמו לתלמידיהם ויהיו יעילות בעבורם.

בהשתלמות מורים אחרת שבה הוכשרו מורים בפועל, ומורים לסטודנטים להוראה ועבדו בשיתוף עם מהנדסים, הם התנסו בפעילויות בתחום ההנדסה והעיצוב והאינטגרציה ב-STEM, ופיתחו יחד שיעורים מתאימים. בעוד שהמשתתפים העלו דרכים מגוונות לשלב את לימודי ההנדסה בדיסציפלינות השונות, הם התקשו ליישם בהוראה האינטגרטיבית ולהסביר זאת בכיתה (Estapa & Tank, 2017).

בהשתלמות אחרת, שבה מורי מדעים, טכנולוגיה והנדסה בתיכונים עבדו בצמוד לשותפים מהתעשייה ומהאקדמיה, הם פיתחו בעצמם את ההתנסויות, בצוותי עבודה מתחומי דעת שונים: לימוד מדעים דרך הנדסה וטכנולוגיה (Kelley et al., 2020). נראה שלאחר ההכשרה המקצועית חלה עלייה בתחושת המסוגלות העצמית בקרב מורי המדעים, אך בקרב מורי ההנדסה והטכנולוגיה לא נראתה השפעה כזאת. האתגר שעולה מכאן הוא שמורים עלולים להגביל את ההוראה שלהם בראייה הרחבה של STEM, כשהם מלמדים את תחום הדעת המוכר להם. מכל אלה ניכר ששילוב גורמי תעשייה ואקדמיה בהשתלמויות כאלו הוא כלי חשוב.

#### 4. STEM בבתי ספר יסודיים – דוגמאות ותובנות

ישנה חשיבות יתרה להחלת גישת STEM בגילאי בתי ספר יסודיים, בהם תלמידים מפתחים את תחושת המסוגלות וההערכות העצמית כלומדי STEM. בשנים אלה אפשר להתגבר על פערי ידע טוב יותר יחסית לגילאים בוגרים יותר. לימודי STEM עשויים לעכב את הירידה בסקרנות, הנפוצה לאורך שנות בית הספר היסודי, ולהתאים למנעד לומדים מגוון תוך כדי שימוש בפעילויות יצירתיות, עבודת צוות וחשיבה ביקורתית. המלצות הנוגעות להוראת STEM בחטי"ב ובחטי"ע נכונות גם ליסודי: הכשרת מורים כמפתח להטמעה ובשילוב מומחים מהאקדמיה ומהתעשייה, הוראה אינטגרטיבית כבסיס לפיתוח המיומנויות – חשיבה ביקורתית יצירתיות, תקשורת ועבודת צוות, למידה פעילה ולמידת חקר תוך שילוב בעיות מחיי היומיום של התלמידים כשהמורה מנחה והתלמידים לוקחים אחריות על תהליך החקר והלמידה. ניתן דגש גם על שילוב עבודת הנדסה ועיצוב, ההתנסות והלמידה מכישלון בהקשר זה כבסיס להתפתחות והעצמת התלמיד.

מאמר סקירה על הוראת STEM בבתי ספר יסודיים (Rosicka, C. 2016) מציין כי החלק היחסי של עבודות STEM בבתי ספר יסודיים קטן. יחד עם זאת, מצוינות התנסויות חיוביות מהכשרות מורים בנושא, בנות 30 שעות לפחות אשר השפיעו על הביטחון העצמי של המורים בתחום וגם על הידע ועל המיומנויות של התלמידים. המחברת ממליצה גם על ליווי ותמיכה לאורך השנה כך שישפיקו למורים בסיס לתהליך רפלקציה מתמשך על ההוראה שלהם בכיתה. נמצא גם שעבודה על חקר ועבודה פרויקטאלית הינן כלי משמעותי בקידום הוראת STEM אינטגרטיבית, כמו גם דגש על "חקר פתוח". במקרה של חקר פתוח נראה כי הנחיה מסוג זה תרמה לביטחון העצמי של המורים ואפשרה לכל תלמיד לממש את הפוטנציאל האישי ולחזק מיומנויות חשיבה מסדר גבוה.



בחקר פתוח התלמידים מקבלים אחריות רבה יותר על התהליך, מחויבים לו ומסוגלים להסביר את הרעיונות בשפתם שלהם. כל רכיבי מסגרת חקר פתוח משפרים את עמדותיהם למדע.

במחקר איכותני של תוכנית התערבות STEM בת שניים, בקרב תלמידי כיתות ד'–ו' ותלמידי ה'–ז' (Blažev, et al., 2019), ניסו החוקרים לאתר את הסיבות הכמוסות שיכולות להיות בסיס לשיעור רצון מתוכנית התערבות; את הסיבות הכמוסות שעשויות להשפיע על תוצאות התוכנית; ואת הסיבות הכמוסות להיתכנות השפעה רחבה של התוכנית או להיעדרה. התלמידים השתתפו בסדנאות מולטידיסציפלינריות, סיירו במעבדות אוניברסיטאות ומכוני מחקר ושמעו הרצאות בבית הספר. הסדנאות התמקדו בנושאים כמו רובוטיקה, תכנות, אלקטרוניקה, אינטרנט וכו', תוך כדי למידה אינטראקטיבית, שימוש בציוד מתאים ופתרון בעיות בצוות: הסיכוי שהתלמידים היו נחשפים לנושאים אלה בצורה אחרת היה קטן ביותר. בביקורים במכונים, במעבדות ומול מומחים העוסקים ב-STEM, נחשפו התלמידים ל-STEM כתחום עיסוק בקריירה. כך הם הבינו איך מורכב יום משימות של העוסקים בתחום, ואיך מתקיימת ההשפעה, בסופו של דבר, על חיי היומיום כדוגמת ייצור תרופות, תעשיית מזון, תחבורה וכו'.

המשתתפים בתוכנית הראו שביעות רצון בתחילתה – עם החשיפה לראשונה לפעילויות חדשות חוץ-קוריקולריות. עם זאת, שביעות הרצון פחתה לאורך השנה – כנראה בגלל חזרה על סגנון פעילויות דומה. שביעות הרצון גברה שוב בשנה השנייה, שבה נחשפו התלמידים למגוון פעילויות חדש. לכן ממליצים החוקרים שבתכנון תוכנית ארוכת טווח יש להבטיח את שימור ההשפעה החיובית האחרונה, כדי לשמור על רמת עניין גבוהה. נקודה זו עלולה להטות תוצאות המתקבלות במדידת תוכניות קצרות טווח. החוקרים גם ממליצים על תכנון פעילויות פרקטיות בצוותים, לאפשר עצמאות בפעילויות ובלמידה, להדגיש את החשיבות בנושא הפעילות בחיי היומיום של הלומדים, לספק לתלמידים חומרים ופעילויות STEM גם בבית – בעיקר בקרב תלמידים ממצב סוציאקונומי מוחלש – ולהתמקד בגילים צעירים. לצורך תיקון סטריאוטיפים על מדענים, יש לתכנן פעילות של ביקור ומפגשים עם מדענים. זאת ועוד, לשם העברת מסר של שוויון בין המינים מומלץ להקפיד על הרכב קבוצות מעורבות. כדי להשיג השפעה רחבה על כלל התלמידים יש לוודא מעורבות הן של כל הצוות החינוכי בבית הספר והן של ההורים.

מעבר לקבלת הידע בתחומי STEM, יש חשיבות להבנת התלמידים בנוגע לאופן שבו ידע זה נוצר. שאלות המפתח בהקשר זה הן: האם הידע שלנו מוחלט או משתנה עם הזמן? האם לשאלות מדעיות יש תשובה אחת נכונה? האם ידע מומלץ מטעם סמכויות מקצועיות, או מתפתח דרך אינטראקציות חברתיות? תשובות לשאלות אלו מיוחסות לתפיסות על טבעו של הידע (האמונה מהו ידע זה) וידיעת המדע (האמונה לגבי מהו התהליך הדרוש כדי לדעת), להלן – אמונות אפיסטמטיות. חוקרים בחנו תוכנית שמטרתה לפתח את מחשבות התלמידים על הידע וההיכרות עם תחומי המדעים (אמונות אפיסטמטיות) (Schiefer et al., 2019). במחקר נאספו נתונים מתלמידי כיתות ג'–ד' בגרמניה. התלמידים השתתפו מבחירה בתוכנית העשרה אקסטרקטוריקולרית ב-STEM, תוכנית בת עשרה שבועות שתכננו חוקרים מהאקדמיה. בתוכנית התלמידים היו חוקרים צעירים ו"ניהלו" מחקר משלהם. ההתנסויות זימנו לתלמידים הבנה שתיאוריות נבנות על ממצאים חדשים

ושהיפותזות מושפעות מאינטראקציות בין מדענים. כן הבינו התלמידים שתצפיות המדענים, תפיסותיהם והפרשנויות שלהם את הממצאים עשויות להיות מוגבלות ואף פגומות. בקורס התקיים דיון על פרויקט החקר שעליו עבדו התלמידים בבית, היכרות קצרה עם הנושא, הנחיה ממורה או ממנחה הקורס, שלב החקר המעשי, הצגה לקבוצה, דיון בתוצאות ורפלקציה. התלמידים עברו הכשרה בהכנה ובהצגת החקר.

התוצאות הראו השפעות חיוביות קטנות ובינוניות על אמונות אפיסטמטיות וסקרנות אפיסטמטית יחסית לקבוצת הביקורת. סקרנות אפיסטמטית משקפת את הרצון לדע שמוביל למוטיבציה ללמוד רעיונות חדשים, לצמצם פערי ידע ולפתור בעיות אינטלקטואליות. התוצאות הראו שאפשר לשפר את האמונות האפיסטמטיות ואת המוטיבציה בקרב תלמידים בגילים אלו, אך לא נראתה השפעה מידית על מידת העניין שלהם כחוקרים. יש לשים לב לכך שהתלמידים שהשתתפו במחקר בחרו לקחת חלק בתוכנית ומכאן ייתכן שהמוטיבציה שלהם לנושאי STEM הייתה גבוהה מראש.

## 5. יוזמות חינוכיות

### 5.1 דגש על ראייה הוליסטית של הלומד

בשנת 2019 פורסמה בפינלנד [תוכנית חדשה](#), שמדגישה את הראייה ההוליסטית של הלומד. התוכנית נועדה להיות חלק מהתוכנית הקוריקולרית במדינה. לצורך כך נעשה פיתוח בשיתוף עם מדענים מהתחומים השונים. התוכנית יסודה בהוראה בהקשר של משמעותה הרחבה של הדיסציפלינה להיבטים סביבתיים וחברתיים בעולם שבו אנו חיים. אלה הם עקרונותיה המרכזיים:

**מתמטיקה:** לימוד המשמעות של המתמטיקה בתרבות המודרנית. זיהוי הנחיצות של השימוש במתמטיקה בתחומים שונים כמו טכנולוגיה, רפואה, כלכלה, מדעי החברה ואמנות, וכן הקשר בין מתמטיקה ותחומי לימוד אחרים. תלמידים יונחו להשתמש בשפה המתמטית כדיבור ובכתיבה. הלימוד גם יביא לשיפור מיומנויותיהם בחישוב, חשיבה יצירתית, פרדיקציות ופתרון בעיות. יתרה מכך, התלמידים יישמו את המיומנויות שרכשו בלימודי מתמטיקה באופן שבו יניחו הנחות, יבנו טיעונים, יעבדו נתונים ויקבלו החלטות.

**ביולוגיה:** בלימודי הביולוגיה, התלמידים יבינו שידע ביולוגי מבוסס על מחקר וייחשפו למחקר שנעשה בארצם. יילמדו גם השימוש של התחום ויישומו ברפואה, בתעשייה ובחקלאות. הוראת הביולוגיה תסייע לתלמידים בהבנה של ביולוגיה ככוח מניע בקידום רווחת המין האנושי וכלל היצורים החיים. ההוראה תיעשה בסביבת מעבדה, כמו גם בסביבה דיגיטלית ובסביבה החוץ-בית ספרית, כולל מוסדות מחקר והשכלה גבוהה. תופעות בתחום ייחקרו ויילמדו בממשק עם כימיה, פיזיקה, גיאוגרפיה, פסיכולוגיה ובריאות. הוראת הביולוגיה תביא להבנת התלמידים את המשמעות של המגוון הביולוגי בטבע, ושל סביבה בריאה ברוחה, נפשית וגופנית, של בני האדם. דרך לימוד הביולוגיה יבינו התלמידים את השוני והגיוון בין פריטים בטבע ואת הרקע הביולוגי לכך, ויקבלו כלים להבנת משמעות המגוון. הם ישפרו את כישורי התקשורת שלהם על ידי הצגת טיעונים, והערכה של נקודת מבטם ושל אחרים בעזרת מידע שרכשו בלימוד תחום זה ביולוגיה. הידע שרכשו התלמידים יאפשר להם נקיטת עמדה מבוססת ידע בנושאי חברה, וכן צריכת מידע

תקשורת באופן מבוקר. התלמידים יקבלו כלים לקבלת החלטות ובחירות יציבות ומבוססות בחיי היום-יום שלהם וישמו את הידע הביולוגי שצברו מתוך התחשבות בשיקולים אתיים.

**גיאוגרפיה:** מטרת ההוראה בתחום זה היא לתת לתלמידים הבנה גיאוגרפית כללעולמית, לפתח את יכולתם בהבנת תופעות גלובליות, אזוריות ומקומיות ואת השינויים בהן לאורך זמן, כמו גם בעיות מקומיות ופתרונות אפשריים. התלמידים ילמדו לזהות גורמים משפיעים בעולם, לנקוט עמדה באשר לשינויים החלים בסביבתם ובכלל העולם, ואף להשתתף כפעילים בשיפור הסביבה הטבעית ובשימורה. התלמידים יבינו את האינטראקציה בין האדם לטבע ויבינו את העולם כסביבה משתנה ומגוונת תרבותית. גיאוגרפיה תילמד בהקשר של מדעי הטבע עם מדעי החברה, מתוך בחינת שאלות אתיות בנושאי סביבה, זכויות אדם ואחריות אזרחית.

**פיזיקה:** גם בתחום זה יושם דגש על הלמידה בראי הסביבה, החברה, הטכנולוגיה ופיזיקה בחיי היום-יום. הלימוד ינחה את התלמידים להשתמש בשפה ובמינוחים מעולם הפיזיקה, ולזהות את הקשר של הפיזיקה לדיסציפלינות אחרות. לימוד מקצוע זה יביא את התלמידים להבין את העקרונות הפיזיקליים ברמה כמותית כמו גם איכותנית. התנסויות קודמות של תלמידים, תצפיות חדשות ונקודות מבט חדשות, יתכנסו לכדי הבנה קוהרנטית של מושגים מהמציאות סביבם, באמצעות אינטראקציה עם המורה ובין התלמידים ותוך כדי שימוש בתיאוריות בפיזיקה. הנחיות בפיזיקה מבוססות על תצפית על הסביבה. תלמידים יפתחו את עבודת הצוות שלהם, יצירתיותם וחשיבתם הביקורתית. הם ילמדו לקבל אחריות על עבודתם ולהשתמש במגוון מתודות. התלמידים יבינו את הפיזיקה בראי העתיד: נחיצות הפיזיקה בפתרון בעיות סביבתיות ורווחת המין האנושי ברמה המקומית, הלאומית והעולמית. בלימודי הפיזיקה תלמידים יתרגלו כתיבה, מתן פרשנות מושכלת וקריאת טקסטים. יעשה שימוש בטכנולוגיה לצורך חיפוש מידע, איסוף נתונים, עיבוד נתונים מניסויים, הצגת עבודות ומידול.

## 5.2 מודל לפיתוח כישורי הוראת STEAM באמצעות כלים מקוונים ובאמצעות קהילות

קבוצת [DAISSY](http://daissy.eap.gr/en/) (Dynamic Ambient Intelligent Social Systems)<sup>3</sup> פיתחה מודל שהחל לפעול ביוון, ושדן בהוראת STEAM – Science Technology Engineering Art Math. במרכז המודל שפיתחה הקבוצה עומדים מורים ואנשי הוראה דומיננטיים שייבחרו להשתתף בפרויקט, בהטמעת הוראת STEAM והמדיניות שלה. המשתתפים הנבחרים יעברו קורס כחלק מהתפתחותם המקצועית, בין היתר בשיתוף קהילות עם בעלי עניין משפיעים בתחום. הקורס יהיה משולב בהנחיה מקוונת. כחלק מתוצאות הקורס, המשתתפים יעבדו בצוותים לפיתוח פעילויות ומדיניות STEM. הנבחרים מבין המשתתפים יהיו מקור להשראה והפצת חדשנות ברמת המערכת הכללית.

## 5.3 גישת הוראה חדשנית קוריקולרית, שלפיה משולבים מקצועות STEM עם מקצועות

### שאינם STEM

<sup>3</sup> <http://daissy.eap.gr/en/>

ארגון אירופאי נוסף, [CHOICE<sup>4</sup>](#), שם לו למטרה להגביר את המוטיבציה של תלמידים צעירים (בגילי 13–18) לבחירת קריירה בתחומי STEAM. ארגון זה מבקש לקדם גישת הוראה חדשנית קוריקולרית, שלפיה משולבים מקצועות STEM עם מקצועות שאינם STEM. בפרויקט ננקטים שיתופי פעולה עם מוסדות להשכלה גבוהה, רשויות מקומיות, תעשייה, תורמים מקומיים ובעלי עניין, במטרה לקבל את תמיכתם בפרויקט ואת השפעתם על בחירת הקריירה של התלמידים במקצועות STEM. במרכז העשייה תינתן הכשרה למורים וצוותי הוראה, יוקנו גישות הוראה גמישות ומותאמות וכן בסיס לשיתופי פעולה של המורים עם הגופים ובעלי העניין.

### תמצית המלצות וראייה עתידית

עד כה הוצגו מחקרים, התנסויות ותובנות מבוססות עשייה. כעת נציג את הוראת STEM בראייה עתידית, ונסקור את עיקרי ההמלצות המוצגות במסמך לעיל.

לאחרונה נסקרו עמדות המורים לגבי הוראת המדעים ([Kettler & Margot, 2020](#)).

בסקירה זו עלו כמה נקודות לשיפור, במטרה להטמיע יוזמות חינוכיות ב STEM בבתי ספר:

- בראי התלמידים, מורים הדגישו את חשיבותה של השתתפות התלמידים בפעילויות STEM בהישגיהם הלימודיים.
- המורים גם הכירו בכך שקושי, ואפילו חוויית כישלון, הם מרכיבים חשובים בתהליך התכנון ההנדסי.
- האמונה וההכרה של המורים בערך הוראת STEM משפיעות על מידת נכונותם להטמיע STEM בתוכנית הלימודים.
- מורים גילו הבנה לכך שפדגוגיות STEM דורשות מהם שינויים באופן ההוראה שלהם ובהובלת הכיתה, אך לא כולם ראו שינויים אלו באור חיובי.
- מורים הצביעו על כך שמבנה בית הספר והתנהלותו עשויים לעכב את הטמעת הוראת STEM: כלומר יש צורך בשינוי ובהתגייסות כלל בית ספרית.
- למורים חסרים בעיקר כלי הערכה מתאימים, תכנון זמן והעמקת הידע בדיסציפלינות השונות. גם תמיכה ושיתופי פעולה עם קולגות נמצאו כרכיבים מרכזיים לייעול הוראת STEM והטמעתה; כך גם שיפור תוכנית הלימודים והתאמתה, תמיכה מתוך גורמי הוראה באזור, התנסויות והתפתחות מקצועית יעילה.

ברמת המערכת התומכת, נושא שיתופי הפעולה וההתגייסות של בעלי העניין הוא פרמטר קריטי בקידום נושא הוראת STEM. לשם כך יש לרתום את קובעי המדיניות ברמה ארצית,

<sup>4</sup> [https://cesie.org/en/project\\_category/innovation-education/](https://cesie.org/en/project_category/innovation-education/)

מוסדות השכלה, תעשייה וארגונים קהילתיים לתהליכים משותפים. כדי להבטיח הצלחה ביישום מושכל של הוראת STEM יש לנקוט גישה מערכתית, ולא נקודתית או מקומית. בקצרה, נאמר שאלה הכלים היעילים לקידום הוראת STEM אינטגרטיבית במטרה לסייע לתלמידים להצליח במשימות ולקדם את רמת הידע וההבנה שלהם:

- שילוב תהליכים חברתיים.
  - טכניקות כמו "פיגומים" (scaffolding).
  - עבודת צוות.
  - שילוב באופן מפורש ומוצהר, שילוב STEM בחומרי וביחידות הלימוד ובייצוגי הוראה.
  - תמיכה לידע של התלמיד בתוך הדיסציפלינות הנפרדות.
- מסקירת מחקרים בתחום נראה שיוזמות חינוכיות נעשות בשילוב של החינוך הפורמלי עם הא-פורמלי. כך ניתן להכיל את הלומד העצמאי ואת הלמידה האישית שעומדות בבסיס רעיון הוראת STEM.

**כדי להתגבר על נושא ההוגנות בחינוך STEM, נמנו מספר כלים:** קורסי הכנה ברמה אקדמאית, הקניית כלים והכשרות למורים להנחיות מותאמות לתלמידים על פי צורכיהם האינדיבידואליים; הקפדה על הערכה מותאמת במטרה לשפר את המיומנויות כבר מגיל צעיר, חיבור לתרבות ממנה מגיעים התלמידים ולקהילה; והתייחסות לתלמידים כאל ישות הוליסטית הן בכישוריהם החברתיים והרגשיים והן באלו הקשיחים (המתבטאים בציונים). כמו כן, יש צורך קריטי בשיתוף פעולה של מדיניות כלל-ארצית עם מובילים עסקיים. שיתוף פעולה זה הכרחי ליצירת סט מדידות להתמודדות עם מוביליות חברתית בשוק העבודה, ועל בסיס זה ליצור שיתופי פעולה לקליטת בוגרים מרקע סוציאקונומי מוחלש.

בכל דרך שבה תבוצע הוראת STEM, מומלץ לקיים תהליך הערכה כמו גם תיעוד מפורט של הביצוע המעשי ותוצאות התוכנית על מנת למקד את ההבנה של הרכיבים הקריטיים ובקבלת החלטות על אופן המשך התוכנית. מומלץ גם להחיל את התוכניות ולחשוף את התלמידים בעודם צעירים.

על אף החשיבות הגדולה בהטמעת מסגרות עבודה בכלל, ובהוראת STEM במיוחד, פעמים רבות השיטות והממצאים אינם מפורסמים. חוקרים מצאו שלצורך כך חשוב להגדיר את הרכיבים הייחודיים הקריטיים בתוכנית ההטמעה, לתכנן כלים ומסמכים (תצפיות, פרוטוקולים, ראיונות מורים ותלמידים) בהתאם לרכיבים הקריטיים, ולזהות דפוסים ביישום התוכנית למשל בין שכבות גיל שונות, שיעודכנו בתוכנית הלימודים ובהכשרות המקצועיות של המורים (Gale et al., 2020).

נראה שדרושים עוד מחקר רב והערכה לאיסוף ולאגוד נתונים לגבי אופי האינטגרציה ותוצאותיה (כמו "פיגומים", שבהם השתמשו, ההנחיות שניתנו וכיוב'). יש צורך באיסוף תוצאות ומדדים בכמה מישורים: חוקרים צריכים לתעד באופן מפורט את ההתערבויות הלימודיות שעשו,

ההקשר לתוכנית הלימודים, והתוכניות שהוטמעו. יש צורך באיסוף תוצאות, הערכה מעמיקה ומדדים לגבי קידום STEM את הלמידה, החשיבה והעניין של התלמידים ושל המורים.

- ACT. (2015). The condition of college & career readiness 2015. *The Condition of College & Career Readiness 2013 Report*, 1–40. doi: 10.1037/e725652011-001
- Banks, J. A. (1995). Equity pedagogy: An essential component of multicultural education. *Theory Into Practice*, 34(3), 152–158. <https://doi.org/10.1080/00405849509543674>
- Blažev, M., Jaguš, T., Pale, P., Petrović, P. & Burušić, J. (2019). Qualitative analysis of experience, beliefs, and attitudes of primary school children towards a STEM intervention programs: how to understand outcome and plan future STEM intervention. *Napredak: Časopis Za Interdisciplinarna Istraživanja u Odgoju i Obrazovanju*, 160(1–2), 125–148.
- Brand, B. R. (2020). Integrating science and engineering practices: outcomes from a collaborative professional development. *International Journal of STEM Education*, 7(1). doi: 10.1186/s40594-020-00210-x
- Cloutier, A., Dwyer, J., & Sherrod, S. E. (2016). Exploration of hands-on/minds-on learning in an active STEM outreach program. In *Proceedings of the 123rd ASEE Annual Conference and Exposition*. New Orleans, LA. Retrieved from: <https://www.asee.org/public/conferences/64/papers/16121/view>
- Codioli, N. (2015). Inequalities in students' choice of STEM subjects: An exploration of intersectional relationships. *CLS Working Paper 2015/2016*.
- Coleman, B. A. (2020). D-STEM equity model : Diversifying the STEM education to career pathway. *Athens Journal of Education* 7(3), 1–24.
- Ee, J, Zhou, M. & Wong, I. (2014). Teachers' infusion of social emotional learning. *Journal of Teaching and Teacher Education*, 2(1), 27–45. doi: 10.12785/jtte/020103
- English, L. D. (2016). STEM education K-12: perspectives on integration. *International Journal of STEM Education*, 3(1), 1–8. doi: 10.1186/s40594-016-0036-1
- English, L. D. (2017). Advancing Elementary and Middle School STEM Education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 15(July), 5–24. <https://doi.org/10.1007/s10763-017-9802-x>

- Estapa, A. T., & Tank, K. M. (2017). Supporting integrated STEM in the elementary classroom: a professional development approach centered on an engineering design challenge. *International Journal of STEM Education*, 4(1). doi: 10.1186/s40594-017-0058-3
- Gale, J., Alemdar, M., Lingle, J., & Newton, S. (2020). Exploring critical components of an integrated STEM curriculum: an application of the innovation implementation framework. *International Journal of STEM Education*, 7(1), 1–17. doi: 10.1186/s40594-020-0204-1
- Hayes, S. (2017). Preparation matters most in STEM. ACT Research & Policy. Retrieved from: <https://www.act.org/content/dam/act/unsecured/documents/R1647-preparation-matters-in-stem-2017-05.pdf>
- Holmlund, T. D., Lesseig, K., & Slavit, D. (2018). Making sense of “STEM education” in K-12 contexts. *International Journal of STEM Education*, 5(1). doi: 10.1186/s40594-018-0127-2
- Honey, M. A., Pearson, G., & Schweingruber, H. (Eds.) (2014). *STEM integration in K-12 education: status, prospects, and an agenda for research*. Washington D.C.: The National Academies Press.
- Kelley, T. R., & Knowles, J. G. (2016). A conceptual framework for integrated STEM education. *International Journal of STEM Education*, 3(1). doi: 10.1186/s40594-016-0046-z
- Kelley, T. R., Knowles, J. G., Holland, J. D., & Han, J. (2020). Increasing high school teacher's self-efficacy for integrated STEM instruction through a collaborative community of practice. *International Journal of STEM Education*, 7(1). doi: 10.1186/s40594-020-00211-w
- Kim, D., & Bolger, M. (2017). Analysis of Korean Elementary Pre-Service Teachers' Changing Attitudes About Integrated STEAM Pedagogy Through Developing Lesson Plans. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 15(4), 587–605. <https://doi.org/10.1007/s10763-015-9709-3>
- Kricorian, K., Seu, M., Lopez, D., Ureta, E., & Equils, O. (2020). Factors influencing participation of underrepresented students in STEM fields: matched mentors and



mindsets. *International Journal of STEM Education*, 7(1). doi: 10.1186/s40594-020-00219-2

Lawner, E., Quinn, D., Camacho, G., Johnson, B., & Pan-Weisz, B. (2019). Ingroup role models and underrepresented students' performance and interest in STEM: A meta-analysis of lab and field studies. *Social Psychology of Education*, 22(3), 1169–1195. doi: 10.1007/s11218-019-09518-1

Levitan, J. (2016). The difference between educational equality, equity, and justice... and why it matters. *American Journal of Education Forum*. Retrieved from: <http://www.ajeforum.com/the-difference-between-educational-equality-equity-and-justice-and-why-it-matters-by-joseph-levitan>

Li, Y., Schoenfeld, A. H., diSessa, A. A., Graesser, A. C., Benson, L. C., English, L. D., & Duschl, R. A. (2019). Design and design thinking in STEM education. *Journal for STEM Education Research*, 2(2), 93–104. doi: 10.1007/s41979-019-00020-z

Margot, K. C., & Kettler, T. (2019). Teachers' perception of STEM integration and education: a systematic literature review. *International Journal of STEM Education*, 6(1). doi: 10.1186/s40594-018-0151-2

Morrell, C., Consultant, S., & Parker, C. (2015). Solving the education equation: A new model for improving STEM workforce outcome through academic equity. *Report developed for the Multi-stakeholder Coalition for Building a Diverse U. S. STEM Workforce*. Retrieved from: <https://www.napequity.org/nape-content/uploads/Report-Solving-the-Education-Equation-9-15-15-final.pdf>

Pizzo, I. (2020, February). *Increasing young people's motivation to choose STEM careers through an Innovative Cross-disciplinary STE(A)M approach to education – CHOICE (project ref, 612849)* [Power Point Slides]. Education, Audiovisual & Culture Executive Agency, European Commission. [https://eacea.ec.europa.eu/sites/eacea-site/files/612849\\_choice\\_p4.pdf](https://eacea.ec.europa.eu/sites/eacea-site/files/612849_choice_p4.pdf)

Roberts, T., Jackson, C., Mohr-Schroeder, M. J., Bush, S. B., Maiorca, C., Cavalcanti, Cremeans, C. (2018). Students' perceptions of STEM learning after participating in a summer informal learning experience. *International Journal of STEM Education*, 5(1). doi: 10.1186/s40594-018-0133-4

- Rosicka, C. (2016). Translating STEM education research into practice. *Professional Development for Teachers and School Leaders*, June, 1–20. [https://research.acer.edu.au/professional\\_dev/10](https://research.acer.edu.au/professional_dev/10)
- Sanders, M. E. (2012). Integrative STEM education as “best practice”. *Design and Engineering Education 2*, 103–117. Griffith Institute for Educational Research, Queensland, Australia.
- Schiefer, J., Golle, J., Tibus, M., Herbein, E., Gindele, V., Trautwein, U., & Oschatz, K. (2019). Effects of an extracurricular science intervention on elementary school children’s epistemic beliefs: A randomized controlled trial. *British Journal of Educational Psychology*, 90(2), 382–402. doi: 10.1111/bjep.12301
- Sherman, D., Li, Y., Darwin, M., Taylor, S., & Song, M. (2017). Final report of the impacts of the National Math + Science Initiative’s (NMSI’s) college readiness program on high school students' outcomes, *American Institutes for Research*. Retrieved from: <https://eric.ed.gov/?id=ED577450>
- Scientix (2019, November). *STEM parts of the new Finnish national core curriculum in Finland*. Retrieved from [http://storage.eun.org/resources/upload/482/20191112\\_140830068\\_482\\_Finnish\\_curriculum\\_Scientix\\_English-Nov2019.pdf](http://storage.eun.org/resources/upload/482/20191112_140830068_482_Finnish_curriculum_Scientix_English-Nov2019.pdf)
- The Boston Consulting Group, Sutton Trust (2017, July). The state of social mobility in the UK. [https://image-src.bcg.com/Images/BCGSocial-Mobility-report\\_tcm38-165914.PDF](https://image-src.bcg.com/Images/BCGSocial-Mobility-report_tcm38-165914.PDF)
- Vasquez, J. A., Sneider, C., & Comer, M. (2013). *STEM lesson essentials, grades 3–8: Integrating science, technology, engineering, and mathematics*. Portsmouth: Heinemann.
- Vilorio, D. (2014). STEM 101: Intro to tomorrow’s jobs. *Occupational Outlook Quarterly*, 1(1), 2–12. Retrieved from: <https://www.bls.gov/careeroutlook/2014/spring/art01.pdf>
- Yata, C., Ohtani, T., & Isobe, M. (2020). Conceptual framework of STEM based on Japanese subject principles. *International Journal of STEM Education*, 7(1). doi: [10.1186/s40594-020-00205-8](https://doi.org/10.1186/s40594-020-00205-8)
- Weld, J. (2017). *Creating a STEM culture for teaching and learning*. Arlington, Virginia: NSTA