

# חינוך בנושא שינוי אקלים כבר כאן, ובכל מקום אחר בעולם

ליאורה ביאלר, שרמן רוזנפלד וארנה פליק<sup>1</sup>

מאמר זה סוקר את הספרות ומתייחס לחינוך בנושא שינוי האקלים בעולם בקרב תלמידי ומורי חטיבות הביניים (חט"ב) ובגילים אחרים.

## הרצוי: מהן מטרות הלמידה-הוראה של החינוך לשינוי האקלים?

בשנת 1992 האו"ם קבע את חשיבותה ונחיצותה של פעילות למען העצמת הציבור לעסוק בסוגיית שינוי האקלים (Action for Climate Empowerment), לפי שלוש ההנחיות הבאות: (1) חינוך והכשרה; (2) מודעות ציבורית ונגישות ציבורית למידע; (3) שיתוף פעולה ציבורי ובינלאומי.

בשנת 2015 קבע האו"ם 17 יעדים לפיתוח בר-קיימא, (Sustainable Development Goals ובקיצור SDGs). יעד מספר 13 כוון לפעילות למען האקלים, וכלל מטרות לימודיות בשלוש קטגוריות: (א) מטרות לימודיות קוגניטיביות; (ב) מטרות לימודיות חברתיות-רגשיות; (ג) מטרות לימודיות התנהגותיות; כמפורט להלן (UNESCO, 2017).

## א. מטרות לימודיות קוגניטיביות עוסקות בהבנה וידע של הלומד בנושאים:

1. אפקט החממה כתופעה טבעית הנגרמת על ידי שכבה מבודדת של גזי חממה.
2. שינוי האקלים הנוכחי כתופעה הנגרמת על ידי האדם.

האתגר הגדול העומד בפני האנושות בשנים הבאות הוא התמודדות עם ההשפעות של שינוי האקלים. אתגר זה חל על בני דורנו, אך יותר מכך יחול על דור התלמידים המתחנכים היום בבתי הספר. לחינוך יש תפקיד חשוב בהכרה של תופעת שינוי האקלים, בהבנת המושגים והעקרונות המדעיים הקשורים לתופעה זו וכן בהבנת השלכותיה. תלמידים אלה יידרשו לקבל החלטות כדי לפתור בעיות שייגרמו כתוצאה ממשבר האקלים.

מאמר זה מתייחס לחינוך בנושא שינוי האקלים בעולם בקרב תלמידי ומורי חטיבות הביניים (חט"ב) ובגילים אחרים. הוא מבוסס על סקר ספרות ודן בסוגיות הבאות:

## הרצוי: מהן מטרות הלמידה-הוראה של החינוך לשינוי האקלים?

**המצוי:** מהם המחסומים להגשמת מטרות אלו בקרב התלמידים, המורים ומחברי חומרי למידה?

**המומלץ:** מהן המלצות הספרות המקצועית ביחס לגישור הפער בין המצוי לרצוי, כדי לתת ביטוי ל"קול של התלמידים" בתהליך הלמידה בנושא שינוי האקלים?

<sup>1</sup> ד"ר ליאורה ביאלר, ד"ר שרמן רוזנפלד, ד"ר ארנה פליק, מרכז מורים ארצי למורי מו"ט בחט"ב, המחלקה להוראת המדעים, מכון ויצמן למדע.



3. לצפות, לאמוד ולהעריך את ההשפעה של החלטות או פעולות אישיות, מקומיות ולאומיות על אנשים אחרים ועל אזורים עולמיים.
4. לקדם מדיניות ציבורית המגינה על האקלים.
5. לתמוך בפעילות כלכלית ידידותית לאקלים.

במאמר זה נשתמש במטרות הלימודיות הללו בלבד ובידיעה כי קיימים ניסוחים של מטרות נוספות בנושא.

### **המצוי: מהם המחסומים להגשמת המטרות שנזכרו לעיל בקרב התלמידים, המורים ומחברי חומרי למידה?**

בסקר הספרות מצאנו כמה מחסומים להגשמת המטרות הלימודיות הקוגניטיביות, החברתיות-רגשיות וההתנהגותיות.

לגבי המטרות הלימודיות הקוגניטיביות, הרבה תלמידים בני 11-12 מבלבלים בין מושגים בסיסיים, כגון **שינויי אקלים עולמיים**, **התחממות עולמית** ו**אפקט החממה** (Svihla & Linn, 2012). המושג **שינויי אקלים עולמיים**

מתייחס להתרחשות בעתיד ובהווה, להתחממות פליאו-אקלימית (שחזור האקלים) ולמגמות התקררות מסיבות טבעיות או אנתרופוגניות. המושג **התחממות עולמית** מתייחס לעליית הטמפרטורה הממוצעת העולמית. התחממות כזו התרחשה פעמים רבות במהלך ההיסטוריה של כדור הארץ ומרבית הקהילה המדעית מאמינה שהיא מתרחשת כרגע. המושג **אפקט החממה** מתייחס למנגנון המרכזי ביותר של התחממות כדור הארץ, שבו גזים מסויימים קולטים ושומרים את אנרגיית השמש. התהליך הזה טבעי ויוצר את סביבות החיים על פני כדור הארץ, אך הוספת גזי חממה (בעיקר  $CO_2$ ) על ידי שריפת דלקים פוסיליים יכולה להעלות את הטמפרטורה של כדור הארץ לרמות מסוכנות. תלמידים רבים בחט"ב קשרו במחקר זה את גזי אפקט החממה והתחממות הגלובלית יחד, אך ההסברים לכך כללו תפיסות חלופיות, כמו: השמש עשויה מגזים, והיא המקור לאנרגייה בעולם, לכן גזים רבים יותר הופכים את העולם לחם יותר. ייתכן שהרעיון כאן מתקשר לגזי החממה הנוצרים מהפחם שנשרף, שזוהי פעולה אקסותרמית. הסבר נוסף הוא כי העולם מתחמם בשל שריפתו של הפחם הנשרף והוא מקור החום הגורם לשינויי אקלים. תלמידים אחרים קישרו את

(פעילות אנתרופוגנית), הנובעת מהעלייה בפליטות גזי החממה.

3. הפעילויות האנושיות – ברמה העולמית, הלאומית, המקומית והפרטנית – הן התורמות ביותר לשינוי האקלים.

4. ההשלכות האקולוגיות, החברתיות, התרבותיות והכלכליות העיקריות של שינוי האקלים באופן מקומי, ארצי וגלובלי, וכיצד השלכות אלה יכולות בעצמם להיות זרזים של גורמים לשינוי האקלים.

5. אסטרטגיות מניעה (prevention), הפחתה (mitigation) והתאמה (adaptation) ברמות שונות (עולמיות ופרטניות), וקשריהן עם תגובה לאסון ולהפחתת סיכון לאסון.

### **ב. מטרות לימודיות חברתיות-רגשיות העוסקות במסוגלות הלומד:**

1. להסביר את הדינמיקה של המערכת האקולוגית ואת ההשפעה הסביבתית, החברתית, הכלכלית והאֶתית של שינוי אקלים.
2. לעודד אחרים לבצע פעולות להגנה מפני שנוי האקלים.
3. לשתף פעולה עם אחרים ולפתח אסטרטגיות מוסכמות נפוצות להתמודדות עם שינוי האקלים.
4. להבין את השפעתו האישית על האקלים העולמי, מנקודת מבט מקומית עד לנקודת מבט עולמית.
5. להכיר בכך שההגנה על האקלים העולמי היא משימה חיונית עבור כולם וכי עלינו להעריך מחדש את השקפת עולמנו ולשנות לחלוטין את ההתנהגויות היומיומיות שלנו לאור זאת.

### **ג. מטרות לימודיות התנהגותיות העוסקות במסוגלות הלומד:**

1. להעריך אם פעולותיו ביום-יום ובעבודה מגינות על האקלים ולתקן את אלה שאינן כאלה.
2. לפעול לטובת אנשים המאוימים משינוי האקלים.



המטרות הלימודיות החברתיות-רגשיות, נראה כי תלמידים מושפעים הרבה מכלי התקשורת. בהקשר לכך, מחקר שנערך ב-2007 בקרב 600 ילדים בני 10-14 ברחבי אוסטרליה, ועסק בדאגות של ילדים ונוער, הראה כי 44% מהילדים מודאגים מאוד משינוי האקלים, בעוד ש-25% מהילדים מודאגים שהעולם יבוא אל קיצו בתקופת חייהם. החוקרים חושבים שמקור הדאגות נובע מהמדיה שאליה הם חשופים (Tucci, Mitchell & Goddard, 2007).

המחסום העיקרי של יישום המטרות הלימודיות ההתנהגותיות הוא שלפי מחקרים רבים – לגבי תלמידים ולגבי מורים – אין בהכרח קשר בין רכישת ידע בנושא שינוי האקלים לבין התנהגות הולמת בנושא. למשל, במחקר בהשתתפות 80 מורים, רובם הביעו דאגה מן המצב, אך המוכנות שלהם לפעול בהקשר של שינוי האקלים הייתה נמוכה יותר. (Seroussi, Rothschild, Kurzbaum, Yaffe & Hemo, 2019). החוקרים גם הבחינו בפער בשימוש במושגים בין העולם המדעי הפורמלי לבין שפת התלמידים. למשל, המושג "קיימות" נתפס אצל התלמידים כבלתי-משמעותי מאחר שאינו מסייע להם לקשר את הבעיות לחייהם.

### המומלץ: מתן ביטוי "ליקול" של התלמידים בתהליך הלמידה בנושא שינוי האקלים

התוכניות והגישות המתוארות בספרות לחינוך בנושא שינוי אקלים מערבות חלק מהיעדים וחלק מהמחסומים שנסקרו עד כה. במחקר מקיף שזיהה 959 ציטוטים בתוך מסד הנתונים האקדמי של EBSCOhost, העוסקים בחינוך בנושא שינוי אקלים, נמצאו אסטרטגיות לימודיות ש"יכולות להוביל להתערבויות מועילות". בתוך כך זוהו שש אסטרטגיות המשותפות לרוב התוכניות המועילות לחינוך הסביבתי בכלל ולחינוך בנושא שינוי אקלים בפרט: (1) התמקדות במידע רלבנטי, משמעותי ואישי; (2) שימוש בשיטות הוראה פעלתניות ומרתקות; (3) מעורבות הלומדים בדיונים; (4) אינטראקציה עם מדענים; (5) התייחסות לתפיסות חלופיות; (6) יישום פרויקטים במישור הבית-ספרי והקהילתי (Monroe et al, 2019). להלן מוצגות דוגמאות לכל אסטרטגיה.

ההתחממות לתהליך הנשימה, שבו נפלט  $CO_2$ , שכן, לטענתם, בשעה שנושמים יש יותר פחמן דו-חמצני באוויר, המעלה את החום. כאן ישנה הקבלה בין תהליך הנשימה לפעולת האגוז במכונית.

כמו כן, תלמידים רבים הפגינו ידע מקוטע בנושאים הקשורים לשינוי האקלים. למשל, מחקר שבדק את הסיבות לשינוי האקלים בקרב 142 תלמידי ח'-'י מצא כי תלמידים התקשו בהבנת מחזור הפחמן וכי הם זיהו מספר קטן של מרכיבים במחזור הפחמן, אך עקבו אחר אטומי הפחמן רק ברמת האורגניזם. נוסף על כך, תלמידים התקשו לזהות את תרכובות הפחמן האורגניות, בעיקר במהלך התהליך שבו תרכובות הפחמן עברו שינויים (Düsing, Asshoff & Hammann, 2019). בנוסף, מתוך תשובות התלמידים ניכר כי הם התקשו ליישב את הרעיונות שלומדים בבית הספר עם רעיונות מחיי היום-יום שלהם. יש טווח של מקורות שמהם ניזונים התלמידים היוצרים סתירות, וכדי לגשר על פער זה התלמידים יוצרים צירוף והקשר משלהם (Svihla & Linn 2012). נמצא עוד כי חוסר הבנה ותפיסות נפוצות וטבועות אלה קיימים לא רק בקרב תלמידי חטיבות הביניים אלא גם בקרב תלמידי תיכון ואף בתלמידים הלומדים במכללות (Gowda, Fox & Magelky, 1997; Lombardi & Sinatra, 2012).

לגבי מורים, סקר מקיף שהתפרסם בעיתון המדעי היוקרתי Science והקיף 1,500 מורי חט"ב ותיכון הראה שמרבית המורים למדעים בארצות הברית משקיעים מעט זמן בהוראת שינוי אקלים בכיתותיהם, ושהבנתם בנושא – הן במושגים מדעיים והן בגורמים פוליטיים – היא "בלתי מספקת" ו"עשויה להפריע להוראה יעילה" (Plutzer et al., 2016).

ראוי לציין כי קיימים הבדלים משמעותיים בחומרי הלמידה על שינוי האקלים, הן מבחינת רמת התמיכה בדעה הרווחת שבני האדם אחראים לשינוי האקלים עקב השימוש שלהם בדלקים פוסיליים (מגישה תומכת לגישה מהססת ועד לגישה לא תומכת) והן מבחינת השילוב של מושגים מדעיים עם חומרי הלמידה שמתייחסים לאַמנות בינלאומיות וחקיקות רגולטוריות (Casey, Brett, Levy & Collet-Gillard, 2018). לגבי יישום



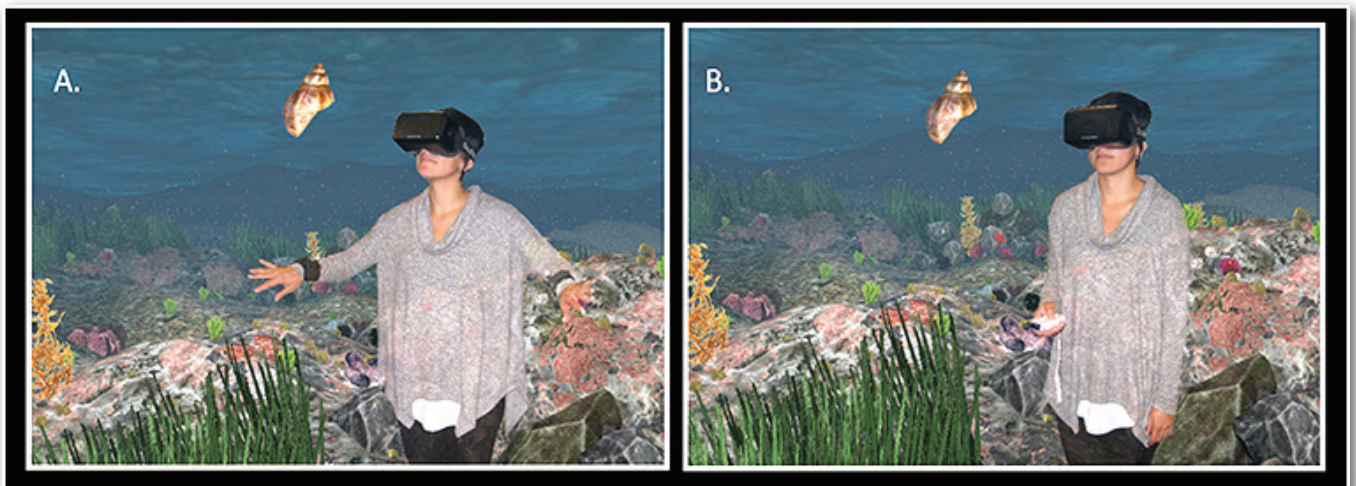
## (1) התמקדות במידע רלבנטי, משמעותי ואישי

מה מעניין ורלבנטי לתלמידים בהקשר של שינוי האקלים? מחקר שבדק אילו סוגי שאלות שאלו תלמידי תיכון על אודות שינוי האקלים (Tolppanen & Aksela, 2018) מצא ש-355 השאלות שהעלו התלמידים התייחסו למורכבות והרב-תחומיות של הנושא. השאלות הראו התעניינות בפן המדעי של הנושא אך גם בהקשר של פוליטיקה, פסיכולוגיה, התנהגות והשלכות על הפרט. רוב השאלות עסקו בפתרונות מעשיים שהמשתתפים יכולים לתרום להם (69%), חלקן עסקו בתרומה של ידע מדעי וטכנולוגי ספציפי לפתרון הבעיה (19%) והיתר התייחסו לפתרונות המבוססים על אנרגייה ומשאבים מתחדשים (12%). לדעת החוקרים, שאלות של בני נוער יכולות להיות מנוף ללמידה רב-תחומית של נושא שינוי האקלים. הסוגיות שבהן עסקו השאלות נמצאו בהלימה עם סוגיות שהגדירו חוקרים כראויות ליישום בהוראת "שינוי האקלים". לדעת החוקרים, יש להתייחס לסוגיות הללו באופן הוליסטי, כדי לתמוך בחשיבה מערכתית. הוראת הנושא צריכה להתייחס לפחות להיבטים המדעי, הטכנולוגי, החברתי, האישי והמוסרי, ואף לקשרים שבין היבטים אלו. יש אף צורך להתייחס לאופיו של המדע, כדי לתת ללומדים כלים לבחון אמינות של מחקרים בנושא.

## (2) שימוש בשיטות הוראה פעלתניות ומרתקות

מחקרים מלמדים כי שימוש במציאות מדומה, בסימולציות ובמשחקים מסייע ללמידה על שינוי אקלימי בהקשרים מקומיים או גלובליים. בכל האמצעים הללו יש אפשרות לתת לתלמיד חוויה שבה הוא יכול "לנסוע בזמן" ולחוות כיצד היו נראים חייו לו חי בעתיד (תמונה 1) (Nussbaum, et al., 2015; Markowitz, Laha, Perone, Pea & Bailenson, 2018).

המחקרים אף מציעים שימוש במשחק תפקידים המאפשר התנסות בדיון בינלאומי וקבלת החלטות תוך שמירה על האינטרסים הכלכליים של מדינתם של התלמידים, מחד גיסא, לבין קבלת החלטות הנוגעות לאקלים הגלובלי, מאידך גיסא. המעורבות ונטילת תפקיד במשחק מגבירים אמפתיה ומוטיבציה ומשפיעים על עמדות וערכים. הצורך הפסיכולוגי לנצח במשחקים משפיע על האופטימיות והנחישות למצוא פתרון לבעיות המוצגות בהם. המשחק מאפשר לבחון השלכות של פעולות, ללא הסיכון הקיים ביישום אמיתי שלהן (Mendler de Suarez, Suarez & Bachofen, 2012). נוסף על כך, שיטות הלמידה המפעילות הנהוגות בשיעורי מדעים, כמו ניסוי מעבדה ולמידה בדרך החקר, הומלצו אף הן על ידי כמה מהחוקרים ככאלה המשפיעות ומביאות לבניית ידע אישי והסקת מסקנות על בסיס החקר בנושא שינוי האקלים והשלכותיו (Karpudewan, Roth & Abdullah, 2015).



תמונה 1: דוגמה לשימוש במציאות מדומה בלימוד על שינוי האקלים. בתמונה נראית קונכייה בשני מצבי תלת-ממד. מתוך: Markowitz, Laha, Perone, Pea & Bailenson, 2018.



איור 1: דוגמה לאחד מתוצרי המחקר המשותף הוא ספר ערוך הכולל מאמרים, שירים, רישומים, סיפורים שנוצרו בשיתוף עם החוקרים. בתמונה השמאלית דמות מקומיקס המופיעים בספר (מצד ימין). מתוך: Cutter-Mackenzie & Rousell, 2019

סוגיות סביבתיות, ובהן שינוי האקלים, וריאיוני עמיתים בנושא, צילמו סרטונים, תיעדו והכינו תערוכה מקיפה של תוצרי החקר, שהוצגה בשמונה ספריות ציבוריות ונחשפו אליה לפחות 10,000 בני אדם (איור 1). ההשתתפות בחקר המשותף, החופש בבחירת סוג התוצר והמעורבות באופן הצגתו חשפו ידע שאינו מוגבל ושגוי והראו כי התלמידים הם בעלי תובנות בנושא, יצירתיים ומעורבים פוליטית. מן הראיונות וניתוח התוצרים גילו החוקרים מה מעניין את התלמידים וכיצד הם מקשרים את הסוגיות לחייהם. ידע זה השפיע על עיצוב תוכנית הלימודים המשכית של הפרויקט. בנוסף מסקנת החוקרים היא כי יש להעמיק את הידע של המורים על אודות ההשלכות של שינוי האקלים על חיי היום-יום ועל הדרכים שיש לנקוט להאטה או עצירה של התהליך (Cutter-Mackenzie & Rousell, 2019).

### (5) התייחסות לתפיסות חלופיות

חשוב לטפל במושגים מוטעים בצורה ישירה. למשל, מחקר חינוכי קבע את הקשיים של תלמידים בקשר למעגל הפחמן, והציע להשתמש באסטרטגיה שבה יידרשו התלמידים לעקוב אחר אטומי הפחמן ברמות שונות של מערכות ביולוגיות, תוך חיבור ל"ידע המקוטע" שלהם, על ידי שילוב של ידע מתחומים שונים כמו פיזיולוגיה, ביוכימיה ואקולוגיה כאשר נושא מחזור הפחמן נלמד (Düsing, Asshoff & Hammann, 2019). על בסיס מחקר זה, חוקרים אחרים קבעו תהליך למידה (learning

### (3) מעורבות הלומדים בדיונים

ביחידה על אפקט החממה וההתחממות הגלובלית צפו החוקרים בדיונים של תלמידים ובשינוי תפיסתם. החוקרים גילו שהדיונים אפשרו לתלמידים להתייחס לפערים בהבנתם וליצור מודלים מנטליים מועילים. לדוגמה, ניכר שינוי בתפיסתם של התלמידים ביחס לשכבת האוזון כגורם המשפיע על שינוי האקלים, שנבע משיחותיהם עם תלמידים אחרים. באמצעות דיון והדרכת המורה, התלמידים הצליחו לזהות כיצד התיאוריות שלהם לגבי שינוי האקלים סתרו את התיאוריות המקובלות, ולשולל כמה מהרעיונות הראשוניים שלהם. החוקרים הצביעו על כך שתוצאות אלה תומכות בחשיבות של גירויים בדיונים קבוצתיים, המאפשרים לתלמידים להפוך את אמונותיהם האישיות לתפיסות מנומקות (Mason & Santi, 1998). אף שהמחקר נערך בקרב תלמידי כיתה ה', נראה שהמסקנות תקפות גם לגבי תלמידי חט"ב.

### (4) אינטראקציה עם מדענים

במסגרת תוכנית אחת, שימשו תלמידים בני 9-14 חוקרים שותפים למדענים בחקר תופעות טבע המושפעות משינוי האקלים וקיימו סיורים לצורך איסוף נתונים. תלמידים אחרים היו חוקרים שותפים למדען בהערכת הידע ועמדות של אחרים בסוגיות של שינוי האקלים, וקולם נשמע בנושא בקהילות שלהם. במסגרת המחקר המשותף למדו תלמידים על אודות



על (Assaraf & Orion, 2005). אף שחוקרים רבים ממליצים על פיתוח כישורי חשיבה מערכתית (למשל, Blonder & Rosenfeld, 2019), לפי סקר הספרות שלנו, כמעט ולא זוהו תוכניות בנושא שינוי האקלים שניסו לשלב חשיבה מערכתית ו / או שילוב בין תחומי הדעת החברתיים והמדעיים. תם ולא נשלם.

### רשימת ספרות

Anderson, A. (2012). Climate change education for mitigation and adaptation. *Journal of Education for Sustainable Development* 6(2): 191-206.

Assaraf, O & Orion, N. (2005). Development of system thinking skills in the context of earth system education. *Journal of Research in Science Teaching* 42 (5): 518-560.

Blonder, R. & Rosenfeld, S. (2019). Integrating the human element in the responsible research and innovation framework into systems thinking approaches for teachers' professional development. *Journal of Chemical Education* 96: 2700-2703.

Casey, R.M., Levy, B.L.M. & Collet-Gildard, L. (2018). Global climate change in U.S. high school curricula: Portrayals of the causes, consequences, and potential response. *Science Education* 102: 498-528.

Cutter-Mackenzie, A. & Rousell, D. (2019) Education for what? Shaping the field of climate change education with children and young people as co-researchers. *Children's Geographies* 17(1): 90-104.

Düsing, K., Asshoff, R. & Hammann, M. (2019) Students' conceptions of the carbon cycle: Identifying and interrelating components of the carbon cycle and tracing carbon atoms across the levels of biological organisation. *Journal of Biological Education* 53(1): 110-125.

Gowda, M.V.R., Fox, J.C. & Magelky, R.D. (1997). Students' understanding of climate change: Insights for scientists and educators. *Bulletin of the American Meteorological Society* 78: 2232-2240.

(progression) מפורט על לימוד מעגל הפחמן שהצליח במידה רבה לחבר בין התחומים השונים בקרב התלמידים (Jin, Zhan & Anderson, 2013).

### (6) יישום פרויקטים במישור הבית-ספרי והקהילתי

פרויקטים הקשורים בשינוי האקלים ובחינוך סביבתי הם מוצלחים ביותר כאשר הם מתמקדים בהיבטים מקומיים, מוחשיים ומעשיים, במיוחד כאשר אפשר להתייחס אליהם באמצעות שינוי ההתנהגות הפרטנית של התלמידים (Anderson, 2012). במסגרת פרויקט "Climate Change + Me" תלמידים בני 9-14 מאוסטרליה שימשו כחוקרים שותפים למדענים בחקר תופעות טבע המושפעות משינוי האקלים וקיימו בתוך כך סיורים בסביבה הקרובה לאיסוף נתונים הנוגעים לסוגיות סביבתיות, ובהן שינוי האקלים (Cutter-Mackenzie & Rousell, 2019).

### סוף המאמר אך לא סוף דבר

אף שהיינו רוצים להאמין שהוא כבר כאן, ובכל מקום אחר בעולם, כיום שינוי האקלים אינו נושא לימוד חובה ברוב מדינות העולם. איטליה היא יוצאת דופן בהקשר זה: החל משנת הלימודים 2019-2020 הפך "שינוי האקלים" לנושא לימוד חובה בכל שכבות הגיל (Nace, 2019).

הצעד המעשי הראשון המשתמע מתוך סקירת הספרות במאמר זה, שנדרש כדי שמורים ישלבו מטרות לימודיות קוגניטיביות, חברתיות-רגשיות והתנהגותיות שיחנכו לשינוי האקלים, הוא פיתוחם המקצועי של המורים, אשר יכלול את הרחבת הידע והתובנות שלהם בנושא, ואת האמנות וההתנהגות הנוגעות לידיע ולתובנות בנושא. בנוסף מומלץ להכיר תוכניות לימוד מועילות הקיימות בארץ ובעולם בחינוך בנושא שינוי אקלים.

כמו כן, כדי למנוע "ידע מקוטע" בנושא, מומלץ לפתח במורים מיומנויות של חשיבה מערכתית. חשיבה מערכתית היא חשיבה שיוצרת הבנת ידע על אודות הקשרים בין מרכיבים בתוך מערכת מסוימת כמו גם בין מערכות שונות. מכיוון ששינוי האקלים קשור למערכות רבות במדע ובחברה, נראה שפיתוח החשיבה המערכתית יכול להוביל להבנה טובה יותר של הנושא בקרב תלמידים. "כוכב הלכת הכחול" הוא דוגמה ליחידת לימוד שפותחה עבור תלמידי חט"ב במסגרת לימודי המו"ט ולוותר במחקר שהצביע כי תלמידים פיתחו חשיבה מערכתית בנושא



Markowitz, D.M., Laha, R., Perone, B.P., Pea, R.D. & Bailenson, J.N. (2018) Immersive virtual reality field trips facilitate learning about climate change. *Frontiers in Psychology* 30 (November 2018) <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02364>

Mendler de Suarez, J., Suarez, P. & Bachofen, C. (eds) (2012). [Games for a New Climate: Experiencing the complexity of future risks. Boston Univ.](#), The Frederick S. Pardee Center for the Study of the Longer-Range Future.

Nussbaum, E.M., Owens, M.C., Sinatra, G.M., Rehm, A.P., Cordova, J.R., Ahmad, S., et al. (2015). Losing the lake: Simulations to promote gains in student knowledge and interest about climate change. *International Journal of Environmental & Science Education* 10(6): 789–811.

Seroussi, D.-E., Rothschild, N., Kurzbaum, E., Yaffe, Y. & Hemo, T. (2019). Teachers' knowledge, beliefs, and attitudes about climate change. *International Education Studies* 12(8): 33–45.

Svihla, V. & Linn, M.C. (2012). A design-based approach to fostering understanding of global climate change. *International Journal of Science Education* 34(5): 651–676, <http://dx.doi.org/10.1080/09500693.2011.597453>

Tolppanen, S. & Aksela, M. (2018). Identifying and addressing students' questions on climate change. *The Journal of Environmental Education* 49(5): 375–389.

Tucci, J., Mitchell, J. & Goddard, C. (2007). *Children's Fears, hopes and heroes: Modern childhood in Australia*. Melbourne: Australian Childhood Foundation.

UNESCO (2017). *Education for sustainable development goals: Learning objectives*.

Jin, H., Zhan, L. & Anderson, C.W. (2013). Developing a Fine-grained learning progression framework for carbon transforming processes. *International Journal of Science Education* 35 (10): 1663–1697, doi:10.1080/09500693.2013.782453

Karpudewan, M., Roth, W.-M. & Abdullah, M.N. (2015). Enhancing primary school students' knowledge about global warming and environmental attitude using climate change activities." *International Journal of Science Education* 37(1): 31–54.

Lombardi, D. & Sinatra, G.M. (2012). College students' perceptions about the plausibility of human-induced climate change. *Research in Science Education* 42: 201–217, doi:10.1007/s11165-010-9196-z

Mason, L. & Santi, M. (1998). Discussing the greenhouse effect: Children's collaborative discourse reasoning and conceptual change. *Environmental Education Research* 4(1): 67–85.

Monroe, M.C., Plate, R.R., Oxarart, A., Bowers, A. & Chaves, W.A. (2019). Identifying effective climate change education strategies: A systematic review of the research. *Environmental Education Research* 25(6): 791–812, DOI: 10.1080/13504622.2017.1360842

Nace, T. (2019). Italian law to require climate change education in grade school. *Forbes*. Retrieved from: <https://www.forbes.com/sites/trevornace/2019/11/19/italy-law-to-require-climate-change-education-in-grade-school/#17c478155dae>

Plutzer, E., McCaffrey, M., Hannah, A.L., Rosenau, J., Berbeco, M. & Reid, A.H. (2016). Climate confusion among U.S. teachers. *Science* 351(6274): 664–665. Retrieved from: <https://science.sciencemag.org/content/351/6274/664>