



שינויי אקלים

יחידת הוראה המעודדת אוריינות מדעית במקצוע הביולוגיה

פיתוח וכתובה: ד"ר אביס דפה-ברגר
ניהול פרויקט: ד"ר אוהד לבקוביץ
תרמו בעצות והערות: ד"ר אוהד לבקוביץ, דקלה פינקלשטיין, דיקלה קורן דיין וד"ר אירית שדה
ייעוץ אקדמי: פרופ' ענת ירדן
ייעוץ מדעי: פרופ' איתי הלוי וד"ר אופיר לוי
עריכה לשונית: ענבל גיל
עימוד: אבי טל
עיבוד גרפים: עדנה רולניק
תמונות שער: אתר shutterstock.com

הנוסח ביחידה זו נכתב בלשון זכר מטעמי נוחות בלבד, אך מיועד לנשים וגברים כאחד.

אין להפיץ, לשכפל, להעתיק, למכור, לשדר, לפרסם, או לאפשר לאחרים לעשות כן בדרכים אלה או בכל דרך אחרת את התכנים בקובץ זה, לרבות באתרי אינטרנט אחרים, בפרסומים אלקטרוניים, בפרסומים מודפסים וכדומה, לכל מטרה, בין שהיא מסחרית ובין שאינה מסחרית אלא אם ניתנה לכך רשות כתובה בכתב וחתומה על ידי המרכז למורי הביולוגיה במכון ויצמן למדע.

כל הזכויות שמורות למשרד החינוך ©

אוגוסט 2022

מרכז המורים מופעל על ידי המחלקה להוראת המדעים במכון ויצמן למדע עבור משרד החינוך במסגרת מכרז מס' 22/11.2020: הקמה והפעלה של מרכזי מורים ארציים במקצועות הבאים: מדעים, טכנולוגיה ומתמטיקה.

יחידת הוראה המעודדת אוריינות מדעית במקצוע הביולוגיה

5	מבוא
11	1. האם בזמן האחרון נצפות תופעות אביטיות חריגות בתדירות גבוהה?
13	1.1 טמפרטורות קיצוניות, גל קור, גל חום
15	1.2 המסת קרחונים ועלייה בגובה פני הים
16	1.3 שיטפונות, בצורות ושרפות
18	2. האם תופעות אביטיות חריגות יכולות להוביל לשינויים בעולם הביוטי?
22	2.1 עץ הקקאו
23	2.2 עץ הזית
23	2.3 אלמוגים
25	3. האם ישנם שינויי אקלים ובאיזו מידה?
27	3.1 עדויות לעלייה בטמפרטורה ובריכוז ה- CO_2 באטמוספירה, שיטות מדידה
27	3.1.1 עלייה בטמפרטורה הגלובלית הממוצעת ושיטות מדידה
35	3.1.2 עלייה בריכוז ה- CO_2 באטמוספירה ושיטות מדידה
51	3.2 עלייה בריכוז ה- CO_2 ועלייה בטמפרטורה – מתאם וסיבתיות
57	3.3 השפעות של שינוי האקלים על מערכות אקולוגיות
57	3.3.1 מגוון ביולוגי
61	3.3.2 בריאות ורווחת האדם



סימולציה



פעילות



מן הרשת



סרטון

ללא אפקט החממה וללא מים, נראה שהחיים על פני כדור הארץ לא היו יכולים להתפתח כפי שאנחנו מכירים אותם. השמש היא מקור האנרגיה העיקרי לחיים והאטמוספירה היא מעטפת גזים המאפשרת את אפקט החממה, שהוא תהליך ההילכדות באטמוספירה של אנרגיית חום המוחזרת מכדור הארץ. השוני בעוצמות הקרינה של השמש; קיום מאגרי מים גדולים; וגבהים שונים מעל פני הים – כל אלה יצרו בתי גידול רבים ומגוונים. בתי גידול מאופיינים בגורמים אביוטיים שונים הקשורים למזג האוויר, כמו טמפרטורה, משקעים, כיוון ועוצמת הרוח, קרינה סולארית, לחות ועוד. אקלים הוא דפוס מזג האוויר לאורך זמן במקום מסוים. גורמים שונים קובעים את האקלים, והוא משתנה במחזוריות לאורך זמן. שינוי באחד מהגורמים הקובעים את האקלים, למשל הרכב הגזים באטמוספירה, יכול לערער את יציבות המערכת ולגרום לשינויי אקלים ארוכי טווח, משמעותיים ולעיתים בלתי הפיכים. שינויים אלו הם תוצאה של שינויים טבעיים, ולאחרונה מושפעים בעיקר מפעילות האדם.

משחר ההיסטוריה האנושית, התעניין האדם במזג האוויר ובחיזוי הטמפרטורות, המשקעים והרוחות בחיי היום-יום. במשך דורות סברו בני האדם שמזג אוויר הוא תוצר של כוחות מיסטיים שאינם ניתנים להבנה ולחיזוי. אמונות רבות על משקעים התפתחו והסגידה לאלוהי הגשמים הרחיקה לכת. תלותו של האדם במשקעים הובילה בתרבויות שונות למיתוסים ולטקסים רבים. גם ביהדות, תלותם של יבולי ארץ ישראל בגשם נתנה להופעתו, בזמן ובמידה הנדרשת, חשיבות רבה. נוסף על שימוש בחושיו ובאמונותיו, פיתח האדם כלים לצורך מדידה ותיעוד לאורך זמן של נתונים אקלימיים.

בעזרת כוח המדידה, התיעוד והניתוח, נעשה חיזוי קצר טווח (מזג האוויר) אפשרי עם הזמן, בעוד שחיזוי ארוך טווח (האקלים) נותר כמשימה מורכבת עד היום. במהלך העשורים האחרונים, האדם מפתח מכשור למדידה ומודלים פיזיקליים לחיזוי של יחסי הגומלין בין הגורמים האביוטיים היוצרים אקלים מסוים. דוגמה למכשור היא שימוש בדגם משופר של המכ"ם הצבאי (מגלה כיוון ומרחק) לאחר מלחמת העולם השנייה לצורך חיזוי עננות. התפיסה המדעית המקובלת כיום היא שלצד גורמים אביוטיים כמו השמש, האטמוספירה והמים, הגורמים הביוטיים משפיעים אף הם על האקלים. ההשפעה הביוטית אינה רק אזורית אלא כלל-עולמית.

בעידן המודרני, עם כניסתו של כוח המחשוב לחיינו והמחקרים המולטי-דיסציפלינריים, קיימים מודלים מדויקים יותר להתנהגות מזג האוויר בפרט והאקלים בכלל. הסקרנות הטבעית של האדם והמחקר המדעי קידמו את הבנתנו בגורמים המעצבים את האקלים. תגליות במדע והתפתחות מהירה של טכנולוגיות הקנו לאדם מושג ראשוני על הפרת האיזון העדין בין הגורמים שצוינו ועל האצת שינויי האקלים אשר גוררת אחריה האצה בשינויים במגוון המינים ומאיימת על הביטחון התזונתי והבריאות של האדם.

¹ המידע במבוא מציג את הרציונל בהוראת יחידת הלימוד: שינויי האקלים בדגש על אוריינות מדעית.

על מנת להתמודד עם איומים גלובליים אלו, על החברה לגבש תפיסה אחידה לנושא שינויי האקלים². גם כיום תפיסות האדם לגבי תופעות אקלימיות מושפעות מגורמים שונים כמו אמונות, טכנולוגיות, אינטרסים, לאומיות, בורות ועוד, המובילים לעמדות מקוטבות ביחס לנושא שינויי האקלים. קיטוב זה מתבטא בעמדות שונות בקשר לגורמים לשינויי האקלים, גורמים טבעיים לעומת גורמים אנתרופוגניים (שמקורם בפעילות האדם). קיטוב זה מעכב שיתוף פעולה גלובלי, ההכרחי לפתרונות הנדרשים. ביסוס מדידה, ניתוח וחיזוי של התופעות האקלימיות בשיטות מדעיות מוסכמות יכול להיות המכנה המשותף הנדרש לגיבוש התפיסה האחידה.

התקדמות משמעותית בגיבוש תפיסה אחידה התרחשה באוגוסט 2021, עם פרסום [הדו"ח ה-6 של הפאנל הבין ממשלתי לשינויי האקלים](#), או: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). פאנל זה הוא גוף בינלאומי המספק בשלושים השנים האחרונות הערכות קבועות של הבסיס המדעי של שינויי האקלים, השפעותיו והסיכונים העתידיים, וכן אפשרויות הסתגלות והפחתה. הפאנל סוקר מעל 15,000 פרסומים מדעיים מרחבי העולם ושותפים לכתיבתו מעל 200 מדעניות ומדענים. הדו"ח עובר בקרת עמיתים בידי מאות מומחים חיצוניים וקיבל הכרה כסמכות העולמית המובילה בנושא שינויי האקלים. הפאנל הבין-ממשלתי לשינויי האקלים קיבל, יחד עם [סגן נשיא ארצות הברית לשעבר] אל גור, את [פרס נובל לשלום לשנת 2007](#), על פעילותם להגברת המודעות לשינויי האקלים ולהתחממות העולמית.

האדם תופס את המציאות בעזרת חושיו, מעצב דעה בעזרת חשיבתו ומגבש עמדה המשלבת את הפן הקוגניטיבי, את הפן הרגשי ואת הפן האמוני כלפי תופעה מסוימת. בעידן המודרני המשופע באמצעים של מדיה גלובלית, אנחנו עדים לא רק לשינויי האקלים המתרחשים כאן אלא גם לתופעות אקלימיות חריגות המתרחשות אלפי קילומטרים מכאן. אנחנו ניזונים ממקורות מידע רבים. דוגמאות לגופים המעבירים לציבור בישראל מידע מדעי הם האתרים [מכון דוידסון](#), [זווית בחינוך](#), [הידען](#) ועוד. אנו עדים לעלייה בסיקור התופעות הללו גם בעיתונות הכתובה המיועדת לכלל הציבור, כמו "[ידיעות אחרונות](#)", "[מעריב](#)", "[הארץ](#)", "[מקור ראשון](#)", "[ישראל היום](#)", אתרי החדשות [ynet](#), [וואלה](#) ו[מאקו](#) ועוד. מקורות שלעיתים הם פחות מהימנים הם המדיות החברתיות השונות, אתרים בעלי אינטרס כלכלי, ועוד.

"פליטות גזי החממה על ידי האדם הן הסיבה העיקרית להתחממות כדור הארץ" קובע הדו"ח ה-6 של IPCC (אוגוסט 2021). כיצד ההסכמה הכללית בין המדענים והמדעניות לגבי הראיות והסיבתיות יכולה לחלחל לתלמידי תיכון? כיצד השפה המדעית יכולה להיות ברורה יותר לתלמידי תיכון? אחד מהכלים היעילים ללימוד הנושא הוא האוריינות המדעית. אוריינות מדעית היא שם כולל למגוון המיומנויות הנדרשות מאדם חוקר. [אוריינות מדעית](#) היא בקיאות לא רק במדע אלא גם בתהליך המדעי. זו היכולת לעשות שימוש בידע, במושגים וברעיונות מדעיים על מנת לתאר תופעות ולהסבירן. ולא זאת בלבד, אלא לזהות שאלות לחקירה מדעית, להסיק מסקנות מבוססות ראיות ולהשתמש בנתונים אובייקטיביים

² האגודה הישראלית לאקולוגיה.

ובידע מדעי בהיבטים לימודיים, חברתיים ואישיים. כל זאת מתוך הבנת הרלבנטיות והנחיצות של המדע לחיי היום-יום. בכוחן של ארבע יכולות ליבה³ – התמצאות מדעית; מתן הסבר מדעי של תופעות; תכנון, ביצוע והערכת מחקר; וכן פרשנות מדעית של נתונים וראיות – להוביל לגיבוש זהות מדעית ותפיסה אחידה לגבי שינויי אקלים, ולאפשר אקטיביות בחתירה לצדק חברתי וסביבתי. נוסף על כך, חשיפת הלומדים למדע שינויי האקלים היא פלטפורמה לפיתוח מיומנויות בדגש אוריינות מדעית ומאפשרת ללומד להתפתח כאדם חוקר אשר המסוגל להבין את הממצאים המדעיים ולעשות בהם שימוש מושכל. במטרה לפתח אוריינות מדעית ולבסס דעה אצל הלומדים, ביחידה זו נשאלות חמש שאלות מרכזיות לפני ואחרי פעילויות אורייניות בהקשר של שינויי האקלים:

- האם נצפות בזמן האחרון תופעות אביוטיות קיצוניות בתדירות גבוהה?
- האם תופעות אביוטיות קיצוניות מובילות לשינויים בעולם הביוטי?
- האם ישנם שינויי אקלים ובאיזו מידה?
- האם שינויי האקלים הם תוצאה של פעילות האדם?
- מה אפשר לעשות על מנת למנוע או למתן את שינויי האקלים?

התמודדות עם שאלות אלו, יחד עם חשיפה לממצאים מדעיים ולשיטות מדידה, למודלים ולחשיבה מערכתית בדגש על הגורמים ועל היכולות שלנו למתן את השינויים, יכולה לאפשר פיתוח של מיומנויות בתחום האוריינות המדעית. אנו מקווים שהתהליך הרפלקטיבי על הדעה האישית של כל לומד יוכל להוביל להבנה עמוקה יותר לא רק של גילויי המדע אלא גם של אופי המדע.

ביחידה זו, המתבססת על הממצאים המדעיים שפורסמו בדו"ח ה-6 של IPCC, נראה את העלייה המתמדת של הטמפרטורה הממוצעת הכלל-עולמית במשך 150 השנים האחרונות והצפי העתידי אשר תלוי במגמות הפעילות האנושית, ונציג את ההשפעות של עליית הטמפרטורה אפילו במעלה וחצי על הפשרת קרחונים ועליית גובה פני הים; נפרש את השפעת העלייה בטמפרטורה על תדירות השיטפונות, הבצורות, הסופות והשרפות באזורים שונים על פני הגלובוס וכן את השפעתם על השינוי במגוון המינים ועל הביטחון התזונתי והבריאותי של האדם; נבין את הגורם הראשוני שהמדענים משערים שהוא הגורם להתחממות הגלובלית: העלייה בריכוזו באטמוספירה של גז החממה הפחמן הדו-חמצני (CO₂), כנראה כתוצאה מהפעילות המואצת של האדם; יחד, ננסה לחשוב מה אפשר לעשות על מנת למנוע או למתן את שינויי האקלים, לשנות את אורח החיים אפילו במקצת על מנת לשמור על גן העדן הזה, ככתוב: "וַיִּקַּח יְהוָה אֱלֹהִים אֶת-הָאָדָם וַיִּנְחָהוּ בְּגֶן-עֵדֶן לְעֲבֹדָה וּלְשִׁמְרָה" (בראשית ב, ט"ו).

³ דמות הבוגרת והבוגר במערכת החינוך הישראלית, משרד החינוך, 2022.

בחוברת זו תמצאו את חלקה הראשון של יחידת הלימוד. בחלק זה מופיעות התופעות, המושגים והפעילויות בשלושת השאלות הראשונות (ראו תרשים יחידת הלימוד בעמוד 9 וכן את רשימת הפעילויות בעמוד 10). בהמשך השנה יפורסם החלק השני של יחידת הלימוד שיכלול תופעות, מושגים ופעילויות בשתי השאלות האחרונות, וכן יכלול את הפרק – "מודלים ותחזיות הטמפרטורה" המשולב במסגרת השאלה השלישית.

האם בזמן האחרון נצפות תופעות אביוטיות חריגות בתדירות גבוהה?

שיטפונות, בצורת
ושרפות

המסת קרחונים
ועלייה בגובה פני הים

טמפרטורות קיצוניות,
גל קור, גל חום

האם תופעות אביוטיות חריגות מובילות לשינויים בעולם הביוטי?

אלמוגים

עץ הזית

עץ הקקאו

האם ישנם שינויי אקלים ובאיזו מידה?

עדויות לעלייה בטמפרטורה ובריכוז ה- CO_2 באטמוספירה, שיטות מדידה

עלייה בריכוז ה- CO_2 ושיטות מדידה

עלייה בטמפרטורה ושיטות מדידה

עלייה בריכוז ה- CO_2 באטמוספירה ועלייה בטמפרטורה - מתאם וסיבתיות

מודלים ותחזיות הטמפרטורה

מדבור

משקעים

החמצת ים

גובה פני הים

שטח קרחונים

טמפרטורה

ריכוזי CO_2

ההשפעה של העלייה בטמפרטורה על מערכות אקולוגיות

בריאות האדם

מגוון ביולוגי

האם שינויי האקלים הם תוצאה של פעילות האדם?

הכחשת
שינויי
אקלים

תעשיית
האופנה

תחבורה

תעשיית
האנרגיה

בירוא יערות
וחקלאות
אינטנסיבית

מה ניתן לעשות על מנת למנוע או למתן את שינויי האקלים?

מעורבות וערכים

מנהיגות
לשינוי

מחזור
וצרכנות נבונה

ביסוס
במדע

מודעות
לקיימות

אנרגיה
מתחדשת

ייעור והשבת צמחים
בסכנת הכחדה

אופטימיזם אקולוגי

האם בזמן האחרון נצפות תופעות אביוטיות חריגות בתדירות גבוהה?

פעילות 1: "חדשות אביוטיות"

האם תופעות אביוטיות חריגות מובילות לשינויים בעולם הביוטי?

פעילות 2: "ארוחה חגיגית"

האם ישנם שינויי אקלים ובאיזו מידה?

עדויות לעלייה בטמפרטורה ובריכוז ה- CO_2 באטמוספירה, שיטות מדידה

פעילות 7: "סיפורו של קלינג
ומדידת ריכוז ה- CO_2 באוויר"
פעילות 8: "מדידת CO_2 באוויר"
פעילות 9: "לקרוא מפות CO_2 "
פעילות 10: "מאזן תקציבי"

פעילות 3: "מדידת טמפרטורה"
פעילות 4: "תמונות של שינוי"
פעילות 5: "מפות טמפרטורה"
פעילות 6: "שינויי טמפרטורה"

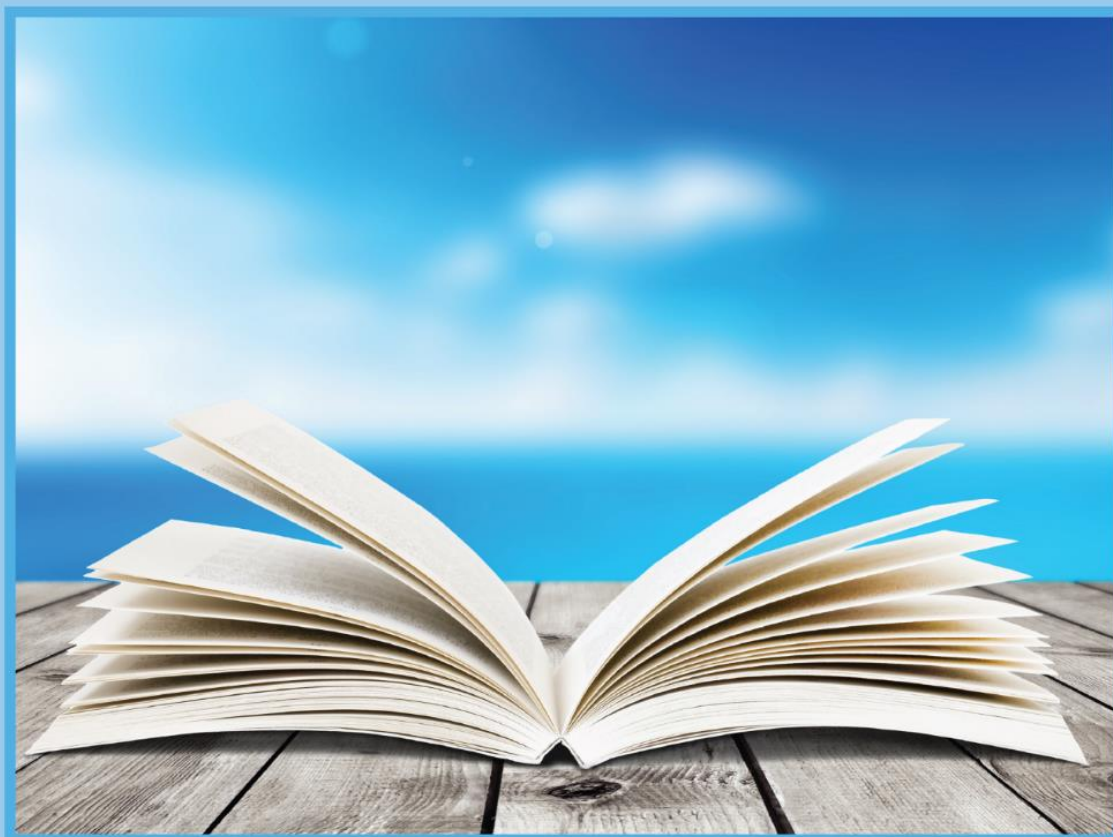
עלייה בריכוז ה- CO_2 באטמוספירה ועלייה בטמפרטורה - מתאם וסיבתיות

פעילות 11: "עלייה בריכוז ה- CO_2 ושינויי טמפרטורה"

ההשפעה של שינויי אקלים על מערכות אקולוגיות

פעילות 13: "בריאות ורווחת האדם"

פעילות 12: "מגוון ביולוגי"



**האם בזמן האחרון נצפות תופעות אביוטיות
חריגות בתדירות גבוהה?**

1. האם בזמן האחרון נצפות תופעות אביוטיות חריגות בתדירות גבוהה?

גורמים אביוטיים וגורמים ביוטיים הם שני מושגים חשובים בביולוגיה. גורמים אביוטיים הם כלל המרכיבים בסביבה שאינם יצורים חיים המשפיעים על בית גידול, כמו אור, טמפרטורה, אוויר, מים, סוג קרקע וכיוצא באלה; בעוד שגורמים ביוטיים הם אורגניזמים חיים. בפרק הפתיחה ניחשף לתופעות אביוטיות חריגות כפי שהן מדווחות בכלי התקשורת ונשאל מה הן התופעות האביוטיות החריגות הנצפות בתדירות גבוהה. על מנת להיחשף לסיפורים אביוטיים חריגים ולדון בשאלה מוצעת פעילות מס' 1.

פעילות מס' 1: "חדשות אביוטיות"



בפעילות זאת שמונה סיפורים אביוטיים המתוארים בכתבות פופולריות⁴ על העלייה בטמפרטורה ועל תופעות אקלימיות כגון שיטפונות, סופות, בצורות ושרפות. ההצעה לפעילות היא:



1. חלוקת הכיתה לשמונה צוותים לפי בחירת הלומדים.
2. כל צוות קורא סיפור אחד.
3. כל צוות בוחר דרך מעניינת לשתף את הכתבה. לדוגמה, כתבי חדשות מהשטח, חזאי מזג האוויר, שיח בחברה, ארוחה משפחתית ועוד. הצגת הסיפור תכלול ייצוגים חזותיים כמו סרטון, טבלה, תמונה, גרף ועוד. אפשר לשלב גם סיפור או חוויה אישית של הלומדים הקשורים לסיפור המרכזי של הצוות.
4. כל צוות מציג את הכתבה. כל הצגה מוגבלת לשלוש עד חמש דקות. המורה נותן משוב על עבודת הצוות ומציג שאלות: האם לדעתכם נצפות בזמן האחרון יותר תופעות אביוטיות חריגות? האם ייתכן שמדובר בתופעות לא חריגות, אשר מקבלות ביטוי יתר בתקשורת? מה המשמעות של ליקוט כתבות אלה?
5. דיון ושאלות מנחות. הלומדים יכולים לכתוב על הלוח (או באמצעות כלים דיגיטליים) את התשובות ויחד רואים את התפלגות התשובות. המורים יכולים לשאול שאלות מעוררות חשיבה, כגון:
 - מה המסקנה הכללית מכל המידע שנחשפנו אליו בכתבות אלו?
 - האם לדעתכם מקורות המידע אמינים?
 - אם המידע היה מופיע ברשתות חברתיות, האם רמת הביטחון לגבי המסקנות הייתה עולה או יורדת?

⁴ בפרק הפתיחה נבחרו בכוונה כתבות פופולריות שהלומדים פוגשים בחיי היום-יום.

- אם המידע היה מופיע בכתב עת מדעי, האם רמת הביטחון לגבי המסקנות הייתה עולה או יורדת?
- מה תאריך פרסום הכתבות?
- האם אפשר להסיק על סמך כתבות אלו מסקנות לגבי תדירותן של תופעות חריגות? יחסית למה?
- האם תדירות הפרסום חריגה? האם יש להשוות למספר הידיעות שדווחו בתקופות מוקדמות יותר? האם ישנה בעיה באיסוף מכוון של הידיעות? (המושג "קטיף דובדבנים" יפורט בהמשך בהקשר של הכחשת שינויי האקלים). לומדים שאינם מאמינים למקורות המידע מוזמנים להציע רעיונות כיצד אפשר לענות על השאלה בביטחון.
- האם אחרי החשיפה לכתבות הלומדים חושבים אחרת?
- האם הלומדים חושבים שיש קשר בין הכתבות?
- באילו כתבות אפשר להבין את התדירות היחסית של התופעה?
- מהם הגורמים האביוטיים בכתבות? – זיהוי גורמים.
- מה השפעתם של הגורמים האביוטיים זה על זה? – הזדמנות לבניית מפת מושגים עם קשרים אפשריים בין הגורמים השונים, שבה הטמפרטורה היא המושג שנקבע כגורם המרכזי. המפה יכולה להיות לא שלמה ולא מדויקת. בשלב זה נערך בירור תפיסות בקרב הלומדים. זה המקום לעודד חשיבה רפלקטיבית בקרב הלומדים.

1.1 טמפרטורות קיצוניות, גל קור, גל חום

סיפור אביוטי ראשון: מסביב לעולם בשמונים מעלות – "זווית: סוכנות ידיעות למדע ולסביבה" (כולל סרטון באורך 1:13), 15 ביולי 2018. ברחבי העולם נמדדות טמפרטורות קיצוניות שגורמות למקרי מוות ולנזקים אחרים. גל חום? כנראה שזה הרבה יותר מדאיג מזה.



תמונה מס' 1: מסביב לעולם בשמונים מעלות (shutterstock)



היישובים שבהם נקבעו שיאי טמפרטורות ליולי

היום	ממוצע דב שנתי ביולי (2009-1995)	טמפרטורת המקסימום הקודמת	
חיפה	39.7	31.6	(31/7/2002) 37.8
עין החורש	40.4	31.1	(2/7/1995) 38.6
תל אביב	38.7	29.9	(2/7/1995) 37.4
בית דגן	41.5	31.5	(25/7/2018) 39.8
באר שבע	42.4	34.7	(10/7/2018) 42.0
שדה בוקר	41.6	33.4	(10/7/1945) 40.9
סדום	49.9	40.7	(25/7/2018) 47.9

תמונה מס' 2: שיאי השרב הקיצוני –
הטמפרטורה הגבוהה בתולדות המדינה
(אחיה ראב"ד, פורסם: 17.07.19, 19:48)

סיפור אביוטי שני: שיאי השרב הקיצוני: הטמפרטורה הגבוהה בתולדות המדינה, 17.07.19, YNET, ב-2019 נמדדה בסדום טמפרטורה של 49.9 מעלות, הגבוהה בכל ישראל מאז 1942. בתל אביב ובחיפה נשברו שיאי הטמפרטורות ביולי, ובאילת ירד גשם קל. השירות המטאורולוגי שופך אור על היום הנדיר: "צפוי גידול במספר גלי החום הקיצוניים".



תמונה מס' 3: במאי 2020 היכה בישראל גל חום חריג. באותו שבוע מתו 157 איש (הארץ)

סיפור אביוטי שלישי: במאי 2020 היכה בישראל גל חום חריג. באותו שבוע מתו 157 איש, הארץ, 09 ביולי 2021. בזמן שישראל יצאה מהסגר הראשון והרשויות עסקו כמעט רק בהתפרצות המגפה, הקשר בין התמותה החריגה לאירוע האקלים הקיצוני לא נבחן לעומק. במשרד הביטחון סירבו להכניס גלי חום למפת האיומים, למרות תחזיות לגלי חום של 50 מעלות ומעלה.



תמונה מס' 4: חודש מרץ שובר שיאים: כל הפרטים על גל הקור הפוקד אותנו שלג בעפרה (צילום: מועצה אזורית בנימין)

סיפור אביוטי רביעי: חודש מרץ שובר שיאים: כל הפרטים על גל הקור הפוקד אותנו, מעריב, 16/03/2022. מזג האוויר הקר שפקד את אזורנו בשילוב מערכת המשקעים הנאה, גרמו לחודש מרץ 2022 להיות חריג ברצף הימים הקרים ובמקומות בהם ירד שלג, עם מספר שיאים שלא נראו מאז תחילת המדידות.

1.2 המסת קרחונים ועלייה בגובה פני הים

סיפור אביוטי חמישי: כשהים טובע: הסכנות מעליית מפלס פני הים בחופי ישראל, 30/7/21, YNET. מחקר חדש חושף סכנה שמאיימת על אחד מבתי הגידול הימיים העשירים והייחודיים של ישראל, ושלא זכתה להתייחסות של ממש עד כה.



תמונה מס' 5: כשהים טובע; הסכנות מעליית מפלס פני הים בחופי ישראל (shutterstock)

1.3 שיטפונות, בצורות ושרפות



תמונה מס' 6: שיטפונות
הרכב שנתקע בנחל קנה
(צילום: מועצה אזורית שומרון)

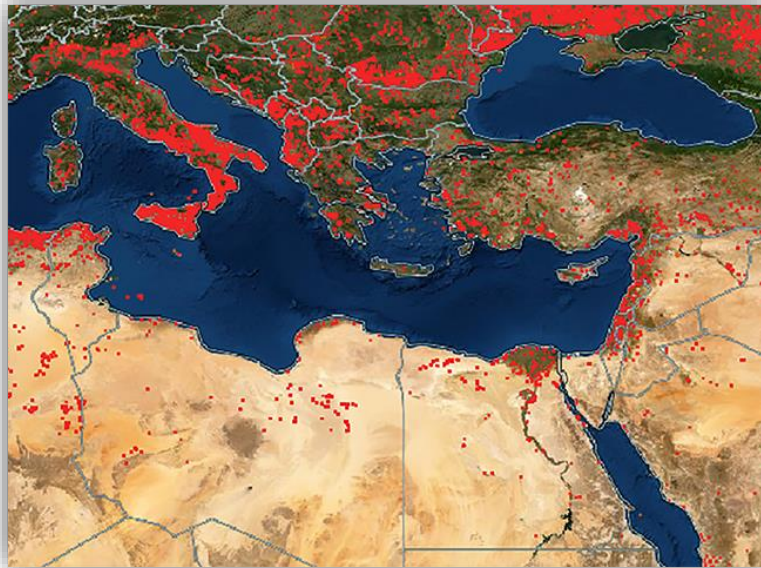
סיפור אביוטי שישי - גשמים עזים והצפות: שניים חולצו מרכב שנסחף, פארק המדע ברחובות הפך לנהר, YNET, 16/1/22. בנחל קנה שבשומרון חולצו בן 20 ובן 11 שנתקעו בשיטפון, בשכונת עמישב שבפתח תקווה חולצו אם ותינוקת, הצפות גם ביישובים רבים אחרים.



תמונה מס' 7: בצורת
(צולם על ידי אביס דפה-ברגר, 2022)

סיפור אביוטי שביעי: התחזית לחורף: גם השנה סכר דגניה לא צפוי להיפתח, מקור ראשון, 19/9/21. מגמת הירידה בכמות המשקעים תימשך גם השנה (2021), אם כי באזור מישור החוף ייתכנו בחודשי הסתיו ממטרים בעוצמה חזקה בזמנים קצרים.

סיפור אביוטי שמיני: אוגוסט בוער סביב הים התיכון: שריפות מאלג'יריה, דרך ישראל ועד צרפת, YNET, 21/8/17. שינויי האקלים מורגשים היטב כבר עכשיו כששילוב של יובש ומיעוט גשמים מזה תקופה ארוכה גרם לשריפות ענק במספר רב של מדינות באגן הים התיכון. באו"ם מזהירים ממגה-שריפות רבות בעתיד הקרוב. מומחה ישראלי: זו רק ההתחלה.



תמונה מס' 8: שרפות

השרפות באזור אגן הים התיכון בשבועיים הראשונים של אוגוסט 2021 (צילום: NASA)
(ירון דרוקמן, סוכנויות הידיעות, פורסם ב-17.08.21 20:21)

לסיום: פעילות רפלקטיבית – הלומדים יענו על השאלה, **מה הן התופעות האביוטיות החריגות הנצפות בתדירות גבוהה? אפשר לעשות שימוש בכלים דיגיטליים לשיתוף התשובות בפורום הכיתה.**



**האם תופעות אביוטיות חריגות מובילות
לשינויים בעולם הביוטי?**

2. האם תופעות אביוטיות חריגות יכולות להוביל לשינויים בעולם הביוטי?

גורמים אביוטיים כמו אוויר, טמפרטורה, משקעים, רוחות, וכיוצא באלה משפיעים זה על זה. לדוגמה, הבדלי טמפרטורה בין שני מקומות שונים גורמים לתנועה של אוויר וכתוצאה מכך לרוחות. גורמים ביוטיים הם אורגניזמים חיים, חלק מהם או אורגניזמים שמתו לפני זמן קצר. גם הגורמים הביוטיים משפיעים זה על זה ביחסי גומלין של הדדיות, תחרות, טריפה ועוד. יש השפעות הדדיות בין הגורמים האביוטיים לגורמים הביוטיים. לדוגמה, עוצמת הרוח וכיוונה משפיעים על פיזור גרגירי אבקה של צמחים; וחילוף גזים בצמחים ובבעלי חיים משפיע על הרכב האוויר. כתוצאה מהשפעות הדדיות אלו נוצרת מערכת מורכבת בבית הגידול והאיזון בה עדין. שינוי חריג באחד הגורמים, אביוטי או ביוטי, יכול להפר את האיזון ולהוביל לשרשרת אירועים חריגים כגון הכחדת מינים. פרק זה עוסק בשאלה "האם תופעות אביוטיות חריגות יכולות להוביל לשינויים בעולם הביוטי?"⁵

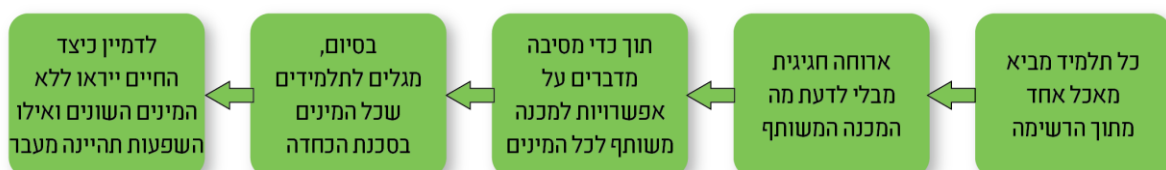
פעילות מס' 2: "ארוחה חגיגית"

לפעילות זו שלושה שלבים.



שלב 1

התארגנות לארוחה חגיגית. כל לומד בוחר להביא לארוחה החגיגית פריט אחד מתוך הרשימה: עוגות שוקולד, שוקולד, עוגיות שוקולד, זיתים, תותים, עוגיות וניל, תפוחים, צ'יפס, קפה, עגבניות, דובדבנים. המשותף לרשימה זו הוא שהמינים של קקאו, וניל, זית, תפוח עץ, תפוח אדמה/צ'יפס, פופקורן, קפה, עגבנייה, דובדבן וכולי הם מינים שעלולים להיפגע משינויים באקלים. המשמעות הישירה היא שלא יהיה אפשר להשיג פרטי מזון אלה והם ייעלמו מהתפריט. הלומדים אינם מודעים לכך. תוך כדי שיתוף המאכלים בארוחה חגיגית, לצד מוזיקה טובה, הלומדים מדברים על המכנה המשותף האפשרי של כל המאכלים. לקראת סיום החגיגה מגלים ללומדים את הסוד (אם טרם התגלה) ומנהלים דיון על השפעת שינויי האקלים על הכחדת המינים וכתוצאה מכך על החיים שלנו. השפעה זו יכולה לבוא לידי ביטוי לא רק באי הזמינות המיידית של מאכל מסוים, אלא באופן רחב יותר במחירים, בכלכלה, בתעסוקה, בהנאה, בתזונה ועוד.



⁵ המידע בפסקה זו מוצג ללומדים בסוף הפעילות.

חיים בלי שוקולד? חיים ללא וניל? כיצד נוכל להתמודד עם זה? מה עוד ייעלם לנו מהצלחת בעקבות שינויי אקלים? נתאר לעצמנו אם בדרך לצלילה באילת כדי לצפות באלמוגים צבעוניים, נרצה לשתות כוס קפה או להתענג על גלידת שוקולד-וניל ולא נוכל. נתאר לעצמנו שבטיול לאמזונס, אחרי הצבא, נרצה ליהנות משפע המינים של בעלי חיים וצמחים ולא נוכל. הכחדת מינים רבים ובקצב גבוה היא תופעה מדאיגה הרבה מעבר להנאות הקטנות שלנו בחיים. הכחדת מינים רבים היא סכנה לאיזון בכל בית גידול בפרט ולמערכת האקולוגית בכלל. מדוע מינים אנדמיים⁶ הם בראש רשימת היצורים הנמצאים בסכנת הכחדה? מדוע ישנם מינים אחרים ששורדים? האם מתרחשת התאמה מחודשת של המינים לתנאי בית הגידול?

שלב 2

מצורפים שלושה סיפורים ביוטיים מתוך כתבות פופולריות המתארות את השפעת שינויי האקלים על שלושה מינים שונים: עץ הקקאו, עץ הזית ואלמוגים.



הנחיות להכנת פוסטרים:

- תיאור האורגניזם מבחינה ביולוגית (שם טקסונומי, אנטומיה / מורפולוגיה, פיזיולוגיה / תזונה, סוג רבייה, זנים ועוד)
- ציור / תמונה של האורגניזם
- תפוצה – מקומות גידול האורגניזם בעולם
- תנאי בית הגידול של האורגניזם (טמפרטורה, משקעים, קרינה, ועוד)
- אורגניזמים שלהם יחסי גומלין ישירים עם האורגניזם (הדדיות, האבקה, טפילות, הזנה, תחרות ועוד)
- הפקת תוצרים, שימושים, מחיר מוצר גלם
- מקור סכנת ההכחדה
- מקורות מידע
- החיבור האישי לאורגניזם
- האורגניזם בתרבות (לדוגמה, מה הוא מסמל)

⁶ מין אנדמי – מין בעל תפוצה גאוגרפית מוגבלת, התפתח במקום מסוים, נמצא רק בו ולא באף מקום אחר.

בחלק השלישי של הפעילות (אפשר להשאיר משימה זו למפגש הבא), הרחבה על **בעלי חיים** בסכנת הכחדה כמו דוב הקוטב, קואלה, הפיל האסיאתי, הפינגווין הקיסרי ועוד.

אפשרות א': כל לומד "מאמץ" בעל חיים בסכנת הכחדה ומכין תעודת זהות לבעל החיים במצגת משותפת, לפי ההנחיות:

- שם ותמונה
- תיאור מבנה: גודל, צבע ועוד
- תיאור בית גידול ותפוצה
- תיאור התנהגות: תנועה, תזונה, רבייה
- השפעה אחת של בית הגידול על האורגניזם והשפעה אחת של האורגניזם על בית הגידול
- מה הסכנה של הכחדה מואצת עבור האורגניזם?

אפשרות ב': חלוקת הכיתה לשתי קבוצות.

בקבוצה הראשונה, כל לומד מציג את המאפיינים של בעל חיים בסכנת הכחדה בעקבות שינויי האקלים ומסביר מהי התופעה האקלימית המסכנת את בעל החיים. בקבוצה השנייה, כל לומד מציג את המאפיינים של בעל חיים שאינו בסכנת הכחדה בהקשר של שינויי האקלים. מה המנגנונים המאפשרים לבעלי חיים אלו לשרוד את שינויי האקלים?

אפשרות הרחבה: פעילות המבוססת על המאמר "להתנהג בהתאם, שינויי התנהגות כתגובה לשינויי אקלים" (עלון מורי הביולוגיה, גיליון 199, עמוד 17, 2020).



הגירת הדגים והפרפרים הגדולה, רחלי ווקס, זווית, סוכנות ידיעות למדע ולסביבה, 2020. בעלי חיים וצמחים המושפעים משינויי האקלים העולמי נודדים לאזורים חדשים שבהם יוכלו לשגשג. כיצד המהלך הזה משפיע עליהם ועל הסביבה?

מזיזים ת'רגליים: הפינגווינים נודדים למקומות שמעולם לא הגיעו אליהם. סרטון (7:06) של



"כאן חדשות", 2022. יבשת אנטארקטיקה הפכה בשנים האחרונות לאחד מסמלי ההתחממות הגלובלית. בימים אלו ממש משייטת מול חופיה ספינת מחקר של גרינפיס, שמשימתה העיקרית היא לספור מושבות של פינגווינים. למה זה חשוב? הפינגווינים האלה הם אחד מתמרורי האזהרה הבולטים לשינויי האקלים, והם נודדים עכשיו למקומות שלא היו בהם מעולם. (הכתבה של איתמר מאירי, מתוך חדשות הערב 22/1/31).

[כיצד מתמודדות הציפורים עם משבר האקלים?](#) הידען, 2022. חוקרים מצאו שינויים במבנה גופם של עופות, שנובעים כנראה מהסתגלות⁷ להתחממות הגלובלית.

[כיצד משבר האקלים הורג אותנו?](#) מכון דוידסון

ועדה שמונתה לחקור את ההשלכות של ההתחממות הגלובלית מצאה: תפוצת המחלות המידבקות עולה, וכך גם מחלות הקשורות לזיהום האוויר.

2.1 עץ הקקאו

[אוכל הולך ונעלם](#), חיים בלי שוקולד: המזון שייעלם לנו מהצלחת בגלל שינויי האקלים. סרטון (2:05). קפה, תפוחים ואפילו שוקולד – רשימת המאכלים שייעלמו מהצלחת שלנו בגלל השפעות שינוי האקלים הולכת ומתארכת. מה אפשר לעשות על מנת שלא נישאר בלי מזון לנחמה?



[האם השוקולד בדרך להיכחד מהעולם?](#) מאקו, סרטון (7:45). ההתחממות הגלובלית מאיימת כמעט על כל היבט בחיינו – גם על תעשיית השוקולד. מומחים בארה"ב מזהירים כי התנאים הסביבתיים המחרפים פגעו קשות בגידולי הקקאו וכי תוך כמה עשורים השוקולד ייעלם מן העולם. היצרנים הגדולים השכילו להבין את הסכנות לתעשייה שמגלגלת 100 מיליארד דולרים בשנה, ופועלים להבטיח את האספקה בעתיד.



תמונה מס' 9: עץ הקקאו (Shutterstock)

⁷ הזדמנות נהדרת לקיים דיון עם התלמידים על ההבדל בין הסתגלות להתאמה.

נוסף על כך: **סכנת שינוי האקלים: מה אפשר ללמוד מ"אפקט הווניל"?** YNET. "אפקט הווניל", שהוביל לעלייה חדה במחירו ברחבי העולם, הוא רק דוגמה אחת להשפעה של שינויי האקלים על המזון של כולנו. והווניל ממש לא לבד.

2.2 עץ הזית

שינויי האקלים והשפעה על ענף שמן הזית. זווית בחינוך, סרטון (1:26). נס לא קרה לנו: שינויי האקלים נותן את אותותיו גם על ענף שמן הזית ומביא איתו בצורות, גלי קור ומזיקים.



כיצד נערכים בישראל לפגיעה בתוצרת?

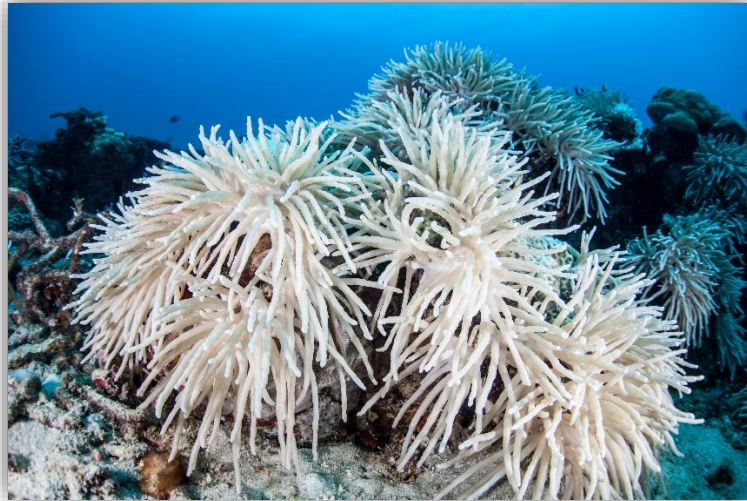


תמונה מס' 10: עץ הזית (Shutterstock)

2.3 אלמוגים

יופי הולך ונעלם: זה הנזק שנגרם לאלמוגים בים התיכון כתוצאה ממשבר האקלים, ישראל היום, 2022. מחקר חדש מגלה כי עליות קיצוניות בטמפרטורות המים, הנגרמות כתוצאה משינויי האקלים, מביאות להכחדה של אלמוגים בים התיכון⁸. במקרים מסוימים אוכלוסיית האלמוגים הצטמצמה בכ-80-90%. אחד החוקרים: "הנתונים מדאיגים ומצביעים על כך למשבר יש השלכות ברורות על הנופים התת ימיים".

⁸ שוניות האלמוגים נפגעות בבתי גידול ימיים רבים, אך מחקר זה מעיד על פגיעה בשוניות אלמוגים בים התיכון.



תמונה מס' 11: אלמוגים מלבינים (Shutterstock)

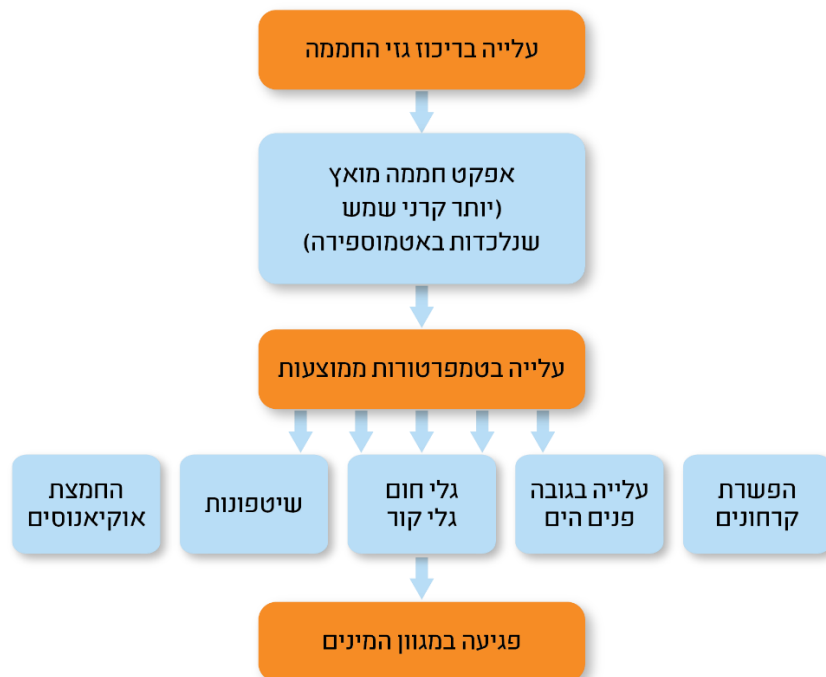
לסיום: פעילות רפלקטיבית – הלומדים יענו על השאלה: **האם התופעות האביוטיות החריגות יכולות להוביל לשינויים בעולם הביוטי? אפשר לעשות שימוש בכלים דיגיטליים לשיתוף התשובות בפורום הכיתתי.**

3. האם ישנם שינויי אקלים ובאיזו מידה?

מהם **שינויי** אקלים? מזג האוויר הוא מושג הכולל תופעות כגון גשם או גל חום, המתרחשות בזמן קצר יחסית של עד כמה ימים. המושג אקלים כולל את מכלול התנאים האביוטיים המאפיינים אזור מסוים במשך תקופת זמן נרחבת של כשלושים שנה או יותר. תנאים אלו מוערכים באמצעות ערכים סטטיסטיים כמו **ממוצעים**, **ערכי קיצון**, **שכיחות**. שינויי אקלים הם שינויים בתנאים אביוטיים אלו בפרק זמן של עשרות שנים או יותר בהשוואה לערכים ממוצעים של תקופה מסוימת. שינויי אקלים יכולים לנבוע הן מתהליכים טבעיים כגון שינויים במחזור השמש או התפרצויות געשיות והן מתרומה אנושית כגון פליטה עודפת של גז החממה CO_2 .

כיום נעשים מחקרים תצפיתיים רבים להערכת המידה של שינויי אקלים שהתרחשו בעבר וכאלו הצפויים להתרחש בעשורים הקרובים. מחקרים אלה מתבססים על מדידות ישירות של נתונים, כמו ריכוז ה- CO_2 באטמוספירה וטמפרטורה; על הערכה של נתונים אלה לאורך אלפי שנים; ועל מודלים מתמטיים המנבאים את ערכם העתידי.

על סמך המדידות וההערכות, המדע חוקר את הקשר בין הגורמים השונים במטרה להבין את התופעות ולהציע פתרונות. כיום, כתוצאה מהעלייה המתמדת הנצפית בריכוז גזי חממה ובראשם ה- CO_2 , פחות אנרגיה נפלטת מהאטמוספירה לחלל, מה שגורם לעליית הטמפרטורות הממוצעות בעולם. העלייה בטמפרטורות גורמת להמסת קרחונים ולעליית פני הים, וכן לאירועים אקלימיים חריגים כמו גלי חום וקור, שיטפונות, בצורות, וכתוצאה מכך לפגיעה במגוון המינים.



תמונה מס' 12: תרשים שרשרת נסיבתית של שינויי אקלים

לאחרונה נאמר רבות על שינויי אקלים והשפעותיהם. בפרקים הראשון והשני נחשפנו לתופעות אביוטיות חריגות ולתופעות ביוטיות מדאגות. בפרק זה נשאל: האם ישנם שינויי אקלים ובאיזו מידה? על מנת לענות על שאלה זו חשוב להבין כיצד אפשר למדוד נתונים אקלימיים ולהעריך את השינויים. בפרק זה ניחשף לדרכי מדידה של נתונים אקלימיים, נצפה בממצאים הנוגעים לטמפרטורות הממוצעות לאורך אלפי שנים ולריכוז ה- CO_2 באטמוספירה. באמצעות לווייני NASA נתבונן מהחלל על כדור הארץ ונלמד לקרוא נתונים רבים ולהפיק מהם תובנות מדעיות.

3.1 עדויות לעלייה בטמפרטורה ובריכוז ה- CO_2 באטמוספירה, שיטות מדידה

3.1.1 עלייה בטמפרטורה הגלובלית הממוצעת ושיטות מדידה

בפרק זה ארבע פעילויות: "מדידת טמפרטורה" ברחבי בית הספר; "תמונות של שינוי"; "מפות טמפרטורה"; ו"שינויי טמפרטורה". מטרת הפעילויות היא להציג באופן מדורג את עליית הטמפרטורה הגלובלית הממוצעת של פני השטח, החל מדרך המדידה, עבור דרך שינויים בפני השטח בעקבות שינויי אקלים וקריאה והבנה של מפות טמפרטורה – וכלה בשינויי טמפרטורה כפי שמוצג בדוח ה-IPCC.

פעילות מס' 3: "מדידת טמפרטורה"



מטרת הפעילות היא הבנה של:

- מהי טמפרטורה ממוצעת של כדור הארץ? בית ספר כמודל, בדגש על טמפרטורות במקומות שונים.
 - מהו שינוי טמפרטורה? הדגש הוא על טמפרטורות בזמנים שונים.
- מגוון מקומות המדידה ישמש להסבר על טמפרטורה ממוצעת בכדור הארץ, וההשוואה של שני ממוצעים בזמנים שונים תשמש להסבר על השינוי הממוצע.

לפעילות זו שני שלבים:

שלב 1

מדידת טמפרטורה באזורים שונים בבית הספר. חלוקת הלומדים לזוגות והסבר על מבנה מד הטמפרטורה ודרך המדידה. החלטה משותפת על אזורי מדידה, כמו בכיתה בתחילת שיעור, במסדרונות בית הספר, בכיתה אחרת, בחצר בשמש, בחצר בצל, בכיתה בסוף שיעור (הדלתות סגורות וללא הפעלת מזגן), בתוך מקרר במעבדה, ועוד. בכל אזור מתבצעות שלוש מדידות לפחות על ידי כל זוג גם באותו זמן וגם בזמנים שונים לאורך היום (במקרה של המקרר אפשר גם להבין את מושג ההומאוסטזיס – יש להשקיע אנרגיה לשמירת הטמפרטורה בתוך המקרר). מדידות אלו מאפשרות

הכרה של כלי המדידה ותרגול השימוש בהם לקראת הסיור האקולוגי.



שאלות מנחות לדיון:

- מהן השאלות שמסקרנות אותנו?
- מהן ההשערות לשאלות האלו?
- באילו מקומות בבית הספר נמדוד את הטמפרטורות?
- באילו זמנים נמדוד את הטמפרטורות? רק יום אחד? שעות שונות במהלך היום? במהלך עונות השנה?
- כמה חזרות נעשה על המדידות?
- מהם הגורמים הקבועים במדידות? האם תמיד נמדוד בצל?
- איך נדע שמדי הטמפרטורה מכוילים ומודדים נכון?
- איך נאסוף את הנתונים? באיזו פלטפורמה נבצע את איסוף הנתונים? האם נוכל להשתמש בבינה מלאכותית לאיסוף הנתונים?
- איך נחשב ערכים ממוצעים?
- מדוע חשוב לחשב ערכים ממוצעים?
- האם הערכים הממוצעים של הטמפרטורה היו מתארים את המציאות בדיוק רב יותר אילו היינו מבצעים יותר מדידות?
- מדוע איננו מבצעים מדידות בכל שנייה? אולי כי אנחנו רוצים ללמוד עוד מקצועות במהלך היום?
- איך לדעתכם נוכל בכל זאת למדוד בכל שנייה? אולי על ידי שימוש בבינה מלאכותית לאיסוף הנתונים?
- באיזה סוג גרף נבחר להציג את התוצאות?
- איזה משתנה יהיה בציר X? ואיזה בציר Y?
- באיזה מקום בבית הספר הטמפרטורה הממוצעת היא הגבוהה ביותר ביום מסוים? בשעה מסוימת?
- באיזה מקום בבית הספר הטמפרטורה הממוצעת היא הנמוכה ביותר ביום מסוים? בשעה מסוימת?
- מהי הסיבה לכך שבשמש הטמפרטורה גבוהה? (קרינה ישירה)
- מהי הסיבה לכך שהטמפרטורה בכיתה גבוהה יותר בסוף השיעור מאשר בתחילתו? (נשימה תאית)
- כיצד אפשר לדעת מהן הטמפרטורות במהלך הערב והלילה? באמצעות מד עם רישום?

כיצד מודדים טמפרטורה בקנה מידה עולמי? כיצד מחשבים טמפרטורה גלובלית ממוצעת של פני כדור הארץ? יש כמה שיטות למדידת טמפרטורה: שיטה אחת היא בעזרת **מדידות ישירות** באמצעות מדי טמפרטורה בתחנות מטאורולוגיות הפזורות על פני כדור הארץ. ככל שתהיינה יותר מדידות פרוסות על פני השטח ותדירות המדידה תהיה גבוהה יותר, כך מדידת הטמפרטורה הממוצעת תהיה מדויקת יותר. שיטת מדידה ישירה נוספת היא בעזרת לוויינים המצוידים בחיישנים לקליטת קרינה תת-אדומה על מנת למדוד את הטמפרטורה מהחלל בעזרת קליטת הקרינה הנפלטת מכדור הארץ. דוגמה למד משולב של מספר גורמים אביוטיים (מד קרינה, מד כיוון רוח, מד טמפרטורה, מד מהירות רוח, מד משקעים) מוצגת באיור מס' 13.



תמונה מס' 13: מד גורמים אביוטיים
(image credit: Blundells.org)

סרטון (0:40) [How NASA Scientists Measure Global Temperatures](#). טמפרטורות פני השטח של כדור הארץ ב-2016 היו החמות ביותר מאז החלו הרישומים ב-1880, על פי ניתוחים של NASA והמנהל הלאומי לאוקיינוסים ואטמוספירה (NOAA). מדעני NASA מנתחים נתונים מ-6300 תחנות מזג אוויר, מדידות טמפרטורת פני הים ותחנות מחקר באנטארקטיקה – הכול על מנת לקבוע כיצד הטמפרטורה הממוצעת על פני השטח משתנה.



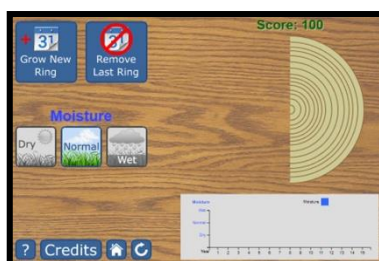
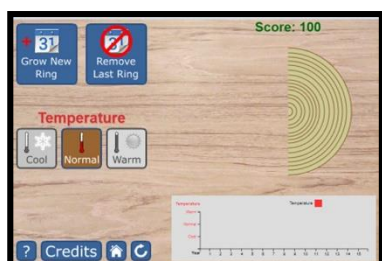
כיצד מעריכים את הטמפרטורות ששרו בתקופות קדומות, לפני המצאת מד הטמפרטורה והלוויינים? החוקרים מעריכים טמפרטורות עתיקות באמצעות **שיטות עקיפות למדידת** טמפרטורה באמצעות ארכיונים טבעיים (סמני אקלים), כגון שלדי אלמוגים, טבעות עצים, ליבות קרח קרחוני ועוד. האלמוגים בים והעצים ביבשה יכולים לספר על הטמפרטורות ששרו על פני כדור הארץ לפני מאות שנים. לדוגמה,

הרכבם של שלדי אלמוגים אינו משתנה במשך מאות שנים. על ידי דגימת שכבות שלד אלמוגים ומדידת יחסי יסודות קורט (יסודות בכמות קטנה מאוד) לסידן (היסוד העיקרי), מדענים יכולים להסיק כרונולוגיה של טמפרטורת האוקיינוס במקומות שבהם חיו האלמוגים. נוסף על כך, מדעני אקלים משווים את שיאי צמיחת העצים לשיאי מזג אוויר מקומיים. הם משתמשים ברוחב הטבעות על מנת להעריך את הטמפרטורה לאורך חיי העץ. חשוב לזכור שהאלמוגים כמו גם העצים הם יצורים חיים וייתכן שגורמים נוספות השפיעו על הרכב או עובי הטבעות. אלה שיטות עקיפות ובעלות יתרונות וחסרונות, אך כשהן משולבות יחד הן יכולות לתת הערכה טובה לגבי נתוני האקלים לפני מאות שנים.

סימולציית פיענוח האקלים בעזרת טבעות עצים⁹



טבעות עצים עוזרות למדענים ללמוד על אקלים בעבר על ידי פיענוח דפוסי הטבעות. סימולציה אינטראקטיבית זו מלמדת כיצד דפוסי טבעות עצים מספרים לנו על תנאי אקלים בעבר.



א. מסך ראשי ב. סימולציית לחות (level 1) ג. סימולציית טמפרטורה (level 2)

תמונה מס' 14: מעבדה וירטואלית של טבעות עצים

- לחיצה על level 1 במסך ראשי (א) תוביל למסך סימולציית לחות (ב).
- במסך של סימולציית לחות (ב) אפשר לקבוע רמות שונות של לחות ולראות שוני בטבעות העץ על ידי לחיצה על grow new ring.
- בתחתית יש גרף המתאר את רמות הלחות לאורך השנים של גדילת העץ (על סמך הקביעה שלנו). במציאות, אנליזה של טבעות עצים מעריכה את רמות הלחות שהיו בעבר במקומות שונים על כדור הארץ.
- באופן דומה, לחיצה על level 2 במסך ראשי (א) תוביל למסך סימולציית הטמפרטורה (ג).
- במסך סימולציית טמפרטורה (ג) אפשר לקבוע רמות שונות של טמפרטורה ולראות שוני בטבעות העץ על ידי לחיצה על grow new ring.
- בתחתית יש גרף המתאר את הטמפרטורה לאורך השנים של גדילת העץ (על סמך הקביעה שלנו). במציאות, אנליזה של טבעות עצים מעריכה את הטמפרטורות שהיו בעבר במקומות שונים על כדור הארץ.
- לחיצה על הבית בתחתית הסימולציה תוביל למסך הראשי (א).
- בסימולציה ישנם מצבים נוספים של שילוב טמפרטורה ולחות.

⁹ UCAR, התאגיד האוניברסיטאי לחקר אטמוספירה, המרכז לחינוך מדעי.

לדגם טבעת עץ זה כמה מגבלות:

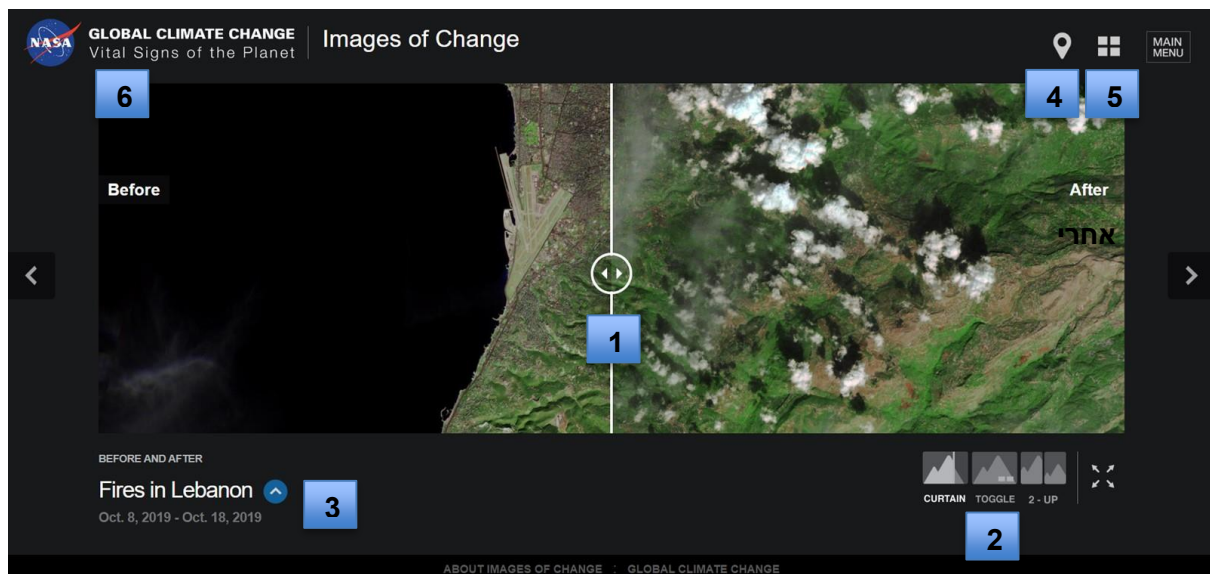
- חתכי טבעות של עצים אמיתיים אינם עגולים לחלוטין או סימטריים, כמו אלה שבדגם זה.
- סוגים שונים של עצים קצב צמיחה שונה בתגובה לטמפרטורה ולמשקעים. חלקם משגשים בתנאים חמים, בעוד שאחרים גדלים במהירות כאשר מזג האוויר רטוב במיוחד.
- משתנים אחרים (מלבד טמפרטורה ומשקעים) משפיעים על קצב הצמיחה של עצים.

פעילות מס' 4: "תמונות של שינוי" (למידה באמצעות אתר NASA)



מטרת הפעילות היא התרשמות משינויים באזורים שונים על פני כדור הארץ כפי שצולמו על ידי לוויינים של NASA לאורך שנים: **IMAGES OF CHANGE – NASA**. שינויים אלו הם רבים, ובהם למשל הקטנת שטחי קרח, הצפות, בצורות, שרפות ועוד. בתמונה מס' 15 מוצגים מוקדי שרפות בלבנון בשנת 2019. כדי לראות תמונות לפני ואחרי יש להיכנס לאתר ולבצע את הפעולות הבאות:

1. הזזה ימינה של הסמן במרכז התמונה מציגה את התמונה לפני התרחשות התופעה, והזזה שמאלה חושפת את התמונה של אותו מקום לאחר התרחשות השינויים (CURTAIN). שינויים אלו יכולים להיות לאורך שנים וגם קצרי טווח כמו מוקדי השרפות בלבנון באוקטובר 2019 המוצגים כאן.

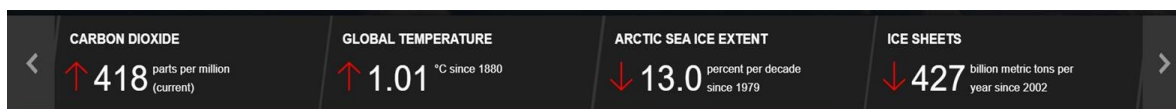


תמונה מס' 15: תמונות של שינויים כפי שצולמו על ידי לווייני NASA

2. אפשר להתרשם מהשינויים בשתי תצוגות נוספות של תמונת המקום: לפני ואחרי (TOGGLE) וגם במקביל (2-UP).
3. אפשר לקרוא בהרחבה על האירוע בלחיצה על החץ כלפי מעלה. לדוגמה: תמונה שצולמה ב- 8 באוקטובר 2019 מציגה חלק מלבנון לפני השרפות. התמונה של 18 באוקטובר מראה מוקדי אש ותוצאות השרפה? נראות ככתמים חומים בתחתית התמונה.
4. לחיצה על סימן מיקום תפתח מפת עולם ויהיה אפשר לבחור מקום אחר ולהתרשם מהשינוי.

5. לחיצה על החלון תפתח את כל תמונות השינוי ויהיה אפשר לבחור תופעות שונות, כגון היקף שטחים מכוסים קרח, שיטפונות ועוד.

6. לחיצה על תפריט ראשי (Global Climate Change) תוביל לדף הראשי של האתר ובו נוכל לראות סמנים חיוניים של כדור הארץ בתחתית העמוד, כגון ריכוז גז החממה CO₂, עלייה בטמפרטורה, ירידה באחוזי השטח המכוסה קרח בים הארקטי, ועוד.



פעילות מס' 5: "מפות טמפרטורה"



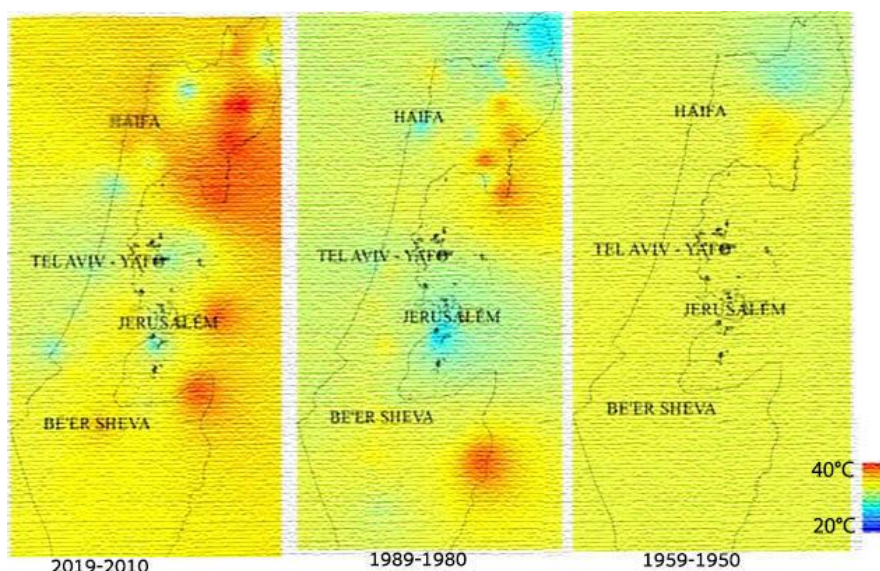
באתר האינטרנט [Climate Time Machine - NASA](#) מוצגים נתונים של ארבעה מאפייני אקלים. יש לבחור במשבצת הימנית ביותר: Global Temperature. מפה זו מציגה את שינויי הטמפרטורה הגלובלית על פני השטח מאז 1884. כחול כהה מציין אזורים קרירים מהמוצע. אדום כהה מציין אזורים חמים מהמוצע. אפשר לגרור את הסמן בסרגל השנים בתחתית המפה ולהתרשם מנתוני שינויי הטמפרטורה משנת 1884 ועד 2021. שימו לב שהנתונים הם ביחידות פרנהייט בטווח של -4 ועד 4.

אפשרות נוספת היא לצפות בשינויי טמפרטורה בטווח של -2 ועד 2 מעלות צלזיוס, בסרטון

הבא: [Global Warming from 1880 to 2021](#)



בסרטון ובאתר מוצגת טמפרטורת פני השטח הגלובלית הממוצעת של כדור הארץ בשנים 1880–2021, על פי ניתוח של NASA. בהמשך למגמת ההתחממות ארוכת הטווח של כדור הארץ, הטמפרטורות העולמיות בשנת 2021 היו 0.85 מעלות צלזיוס מעל הממוצע בהשוואה לתקופה 1951–1980. הממצאים מראים כי שמונה השנים האחרונות הן החמות ביותר מאז החל התייעוד המודרני בשנת 1880.



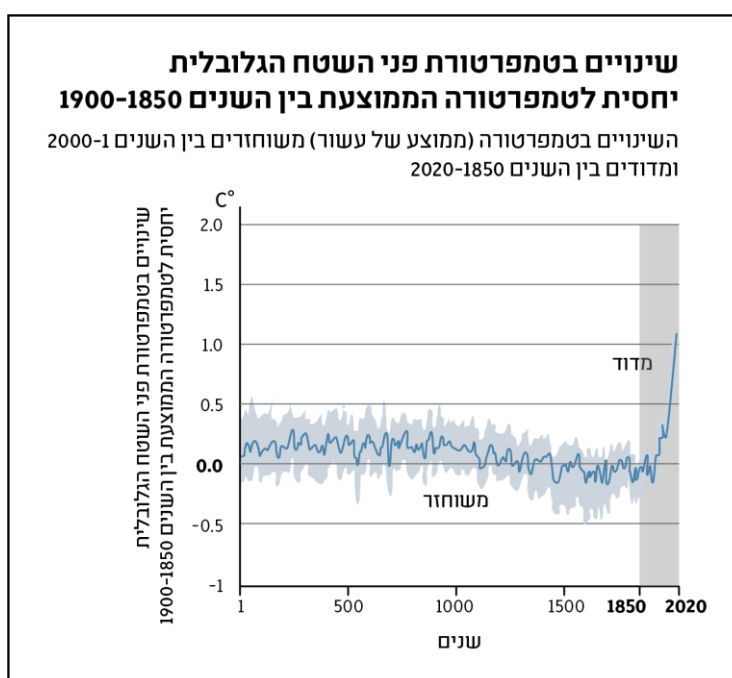
תמונה מס' 16: השינוי בעומס החום הממוצע ביולי-אוגוסט (YNET)

במחקר ישראלי נעשה שימוש בנתונים מתחנות מדידה קרקעיות של השירות המטאורולוגי הישראלי וממידע של לוויין תצפית אמריקאי כדי למפות את עומס החום הממוצע בשעות הצהריים של חודשי יולי-אוגוסט בישראל משנות השבעים של המאה העשרים ועד היום. המחקר הראה עומס חום הולך ומחמיר בכל חלקי הארץ.

פעילות מס' 6: "שינויי טמפרטורה"



בפעילויות 4 ו-5 התרשמנו באופן איכותי מתצלומי לוויין ומפות המציגים שינויי טמפרטורה ותופעות אקלימיות נוספות. בפעילות זו המטרה היא שהלומד יקרא ויבין את גרף שינויי הטמפרטורה הממוצעת על פי הנתונים המעודכנים של דו"ח ה-IPCC לשנת 2021. שינויי הטמפרטורה נמדדים (ממוצע של עשור) יחסית לטמפרטורה הממוצעת המשוחזרת של אלפיים שנה, שנמדדה במהלך השנים 1850–1900 (תמונה מס' 17).



תמונה מס' 17: שינויים בטמפרטורת פני השטח הגלובלית (על פי דו"ח ה-IPCC לשנת 2021)

שינויים בטמפרטורת פני השטח הגלובלית משוחזרים באמצעות **הערכה עקיפה** באמצעות ארכיונים טבעיים (סמני אקלים: שלדי אלמוגים, טבעות עצים, ליבות קרח קרחוני) (קו אפור, שנים 1–2000) ומתוך **תצפיות ישירות** (קו שחור, 1850–2020). שינויים אלו הם ביחס לטמפרטורות ממוצעות בין השנים 1850–1900. ההצללה האפורה מציגה את הטווחים הסבירים מאוד לשחזורי טמפרטורה.

שאלות המעודדות הקניית פרשנות מדעית לנתונים וראיות על פי תמונה מס' 17:

1. האם התוצאות המופיעות בגרף הן תוצאותיו של ניסוי מבוקר או של מחקר תצפיתי?

תשובה: מחקר תצפיתי. בתצפיות, בדומה לניסויים מבוקרים, יש גורם משפיע וגורם מושפע. אך במחקר תצפיתי, בשונה מניסויים מבוקרים, אין גורם שהחוקרים יכולים לשנות באופן מכוון. אף על

- פי כן, הטרימינולוגיה אינה משתנה ואפשר להשתמש במונחים משתנה בלתי תלוי ומשתנה תלוי. הגורם המשפיע נקרא משתנה בלתי תלוי ואילו הגורם המושפע נקרא משתנה תלוי.
2. עבור אילו שנים מופיעים שינויי הטמפרטורה הגלובלית בגרף?

תשובה: עבור השנים 1–2020.

3. מהו המשתנה התלוי?

תשובה: שינוי בטמפרטורת פני השטח הגלובלית.

4. מהן יחידות המשתנה התלוי?

תשובה: מעלות צלזיוס.

5. האם יש יחידות אחרות למדידת טמפרטורה?

תשובה: כן. למשל מפות וטבלאות נתונים ניתנים במעלות פרנהייט:

Celsius To Fahrenheit	Fahrenheit To Celsius
$F = \frac{9}{5}C + 32$	$C = \frac{5}{9}(F - 32)$

המרה של מעלות פרנהייט וצלזיוס

6. כיצד נמדד המשתנה התלוי?

תשובה: בין השנים 1–1850 נמדד המשתנה התלוי על ידי שחזור הטמפרטורות במדידות עקיפות; בין השנים 1850–2000 הוא נמדד על ידי מדידה ישירה של מד טמפרטורה ולוויינים. שינויים אלו הם ביחס לטמפרטורות ממוצעות בין השנים 1850–1900.

7. מהי נקודת הייחוס של חישוב שינויי הטמפרטורה?

תשובה: נקודת הייחוס היא הטמפרטורה הממוצעת בין השנים 1850–1900.

8. מדוע לדעתך קבעו את הטמפרטורה הממוצעת בין השנים 1850–1900 כנקודת ייחוס?

תשובה: בעקבות [המהפכה התעשייתית](#) שהתרחשה במאות השמונה-עשרה והתשע-עשרה. המהפכה התעשייתית היא תהליך איטי והדרגתי של מעבר משיטת ייצור ידנית לשיטת ייצור ממוכנת ותעשייתית. המהפכה החלה בסוף המאה השמונה-עשרה באנגליה ובמהלך המאה התשע-עשרה התפשטה למדינות נוספות. מהפכה זו לוותה במעבר מחשיבה אינטלקטואלית דתית לחשיבה רציונלית ומדעית, המבוססת על חקירה, ניסוי ותצפית.

9. גרף רציף כולל נתונים מספריים רציפים. מדוע לדעתך בחרו המדענים בגרף רציף?

תשובה: מאחר שהזמן הוא משתנה רציף.

10. מה מסמנת ההצללה האפורה בין השנים 1–1850?

תשובה: ההצללה מסמנת מדידה עקיפה. אלה הערכות על סמך נתונים משוחזרים, ורמת הוודאות פחותה מזו של מדידה ישירה.

11. מדוע העקום המתאר את שינויי הטמפרטורה בין השנים 1850–2000 אינו כולל הצללה אפורה?

תשובה: אלה נתונים של מדידה ישירה, ורמת הוודאות היא גבוהה אף על פי שקיימת שגיאה של

מדידה וחישוב ממוצעים, אך היא זניחה יחסית לשגיאה של שחזור.

12. מה טווח התנודות בטמפרטורה בין השנים 1850–1?

תשובה: כ-0.5 מעלות צלזיוס.

13. מה היה השינוי המקסימלי בטמפרטורה בין השנים 1850–2000?

תשובה: מעל 1 מעלת צלזיוס.

14. השלימו את המשפטים:

במהלך השנים 1850–1, ככל שהזמן התקדם, השינוי בטמפרטורה הממוצעת...

תשובה: נע בין 0.5 ל-5.0 מעלות.

במהלך השנים 1850–2000, ככל שהזמן התקדם, השינוי בטמפרטורה הממוצעת...

תשובה: עלה עד מעל 1 מעלה.

15. מה המסקנה העיקרית שאפשר להסיק מהגרף?

תשובה: המסקנה העיקרית היא שהעלייה בטמפרטורה במאה האחרונה היא הגדולה ביותר

(לאחר מבחן סטטיסטי) וחוצה את רף המעלה לראשונה באלפיים השנים האחרונות. מה יכולה

להיות הסיבה לכך?

3.1.2 עלייה בריכוז ה- CO_2 באטמוספירה ושיטות מדידה

פעילות מס' 7: "סיפורו של קילינג ומדידת ריכוז ה- CO_2 באוויר"



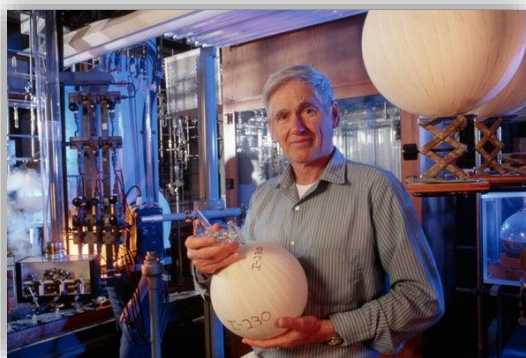
מטרת הפעילות היא להבין את הערכים של ריכוז ה- CO_2 באטמוספירה לאורך השנים על ידי

שימוש ביישומון, וכן להבין את דרך המדידה, ישירה או עקיפה. לפעילות זו חמישה שלבים.



שלב 1: סיפורו של קילינג

זה קרה בהוואי, בשנת 1958. בזמן שרוב האנשים היו עסוקים בגלישה על פני גלים בים, מדען צעיר ושמו צ'רלס דייוויד קילינג טיפס על ראש המאונה לואה, הר הגעש הגבוה באי הוואי. על ראש ההר הוא התקין מנומטר, מתקן שהמציא למדידת כמויות גז החממה CO_2 . במשך שנה שלמה מדד קילינג יום אחר יום את ריכוז ה- CO_2 באטמוספירה. כאשר ערך את תוצאות המדידות בגרף, קילינג גילה שרמות ה- CO_2 ירדו בתלילות בקיץ, לאחר הפריחה באביב של עצים וצמחים רבים. בתקופת הקיץ, העלים



תמונה מס' 18: צ'רלס דייוויד קילינג

Charles David [Keeling](#). Credit: [Jim Sugar Getty](#)

החדשים על העצים קלטו בתוך צבען ירוק שנקרא כלורופיל, CO_2 מן האטמוספירה, קרני אור מן השמש ומים מן האדמה, והפיקו אנרגיה ומולקולות לבניית תאים לעצמם.

בחודשי החורף, כאשר העצים והצמחים השירו את עליהם, רמות הפחמן הדו-חמצני עלו, שכן לא הייתה פעילות רבה של פוטוסינתזה, כלומר, נקלטה כמות פחותה בהרבה של CO_2 . הטבע מילא את תפקידו היטב¹⁰. העונות באו והלכו והעצים והצמחים הגיבו כראוי לחילופי העונות. קילינג הוקסם כל כך

מהשינויים העונתיים ברמות הפחמן הדו-חמצני, עד שהמשיך למדוד את ריכוזו במשך שלושה עשורים תמימים. לא עבר זמן רב וקילינג הבחין בתופעה קיצונית. זוהי העקומה המציגה את רמות ה- CO_2 נטתה יותר ויותר כלפי מעלה. ריכוזי ה- CO_2 בחורף הוסיפו לעלות, ואילו הריכוזים הנמוכים של הקיץ לא הגיעו לרמתם הנמוכה כבעבר. ריכוז ה- CO_2 באטמוספירה של כדור הארץ עלה בכל שנה. איזו תגלית! עקומת קילינג התפרסמה בעולם וכיום היא מקובלת על מדענים וגולשים בכל רחבי תבל. מה תגידו?

שלב 2: שני סרטונים המתארים את תגליתו של קילינג

[Science Bulletins: Keeling's Curve – The Story of \$\text{CO}_2\$](#) (3:37). גז החממה המוביל,



ה- CO_2 הוא אחד המרכיבים הנצפים ביותר באטמוספירה. הבדיקה החלה בשנת 1958, כאשר גאוכימאי צעיר בשם צ'רלס קילינג החל למדוד באופן קבוע על גבי הר געש בהוואי את ריכוז ה- CO_2 וגילה כמה דפוסים מסקרנים (American Museum of Natural History).

[Animation of Keeling Curve History Updated to Include 2019 Milestone](#)



(1:00). אנימציה של עקומת קילינג. רמות ה- CO_2 העולמיות באטמוספירה הגלובלית עלו

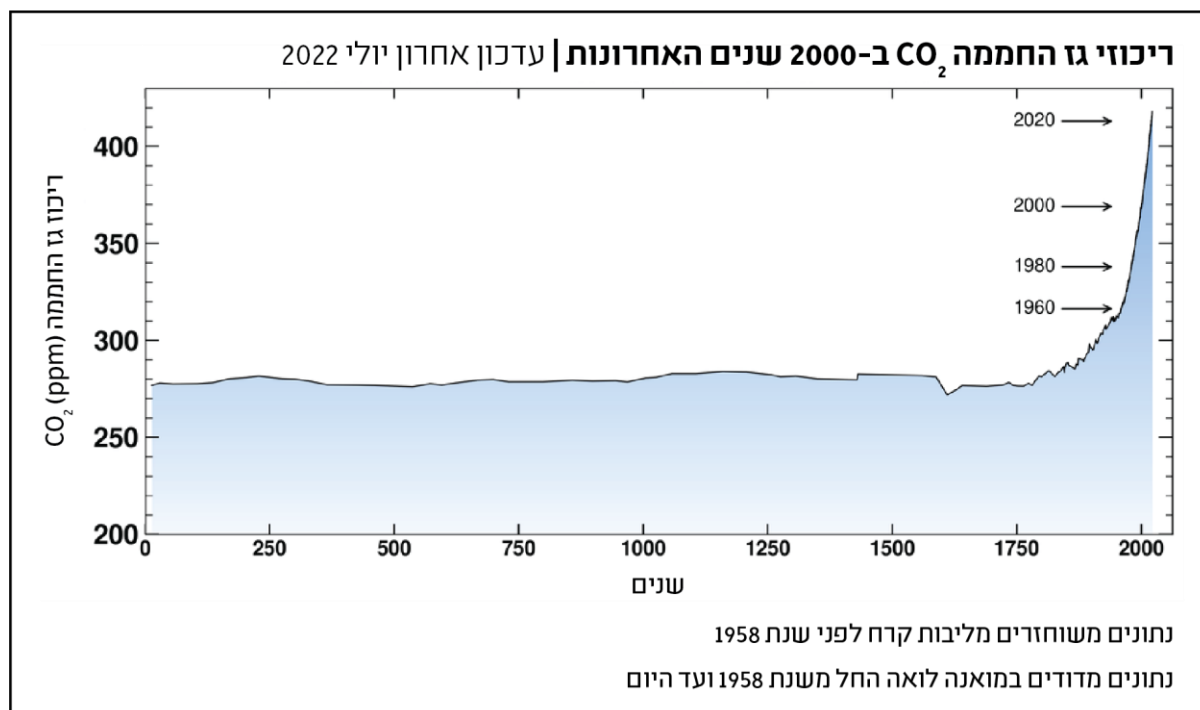
מעל 419 ppm (חלקים למיליון) בשנת 2019 (UC San Diego).

¹⁰ האם הטבע מילא את תפקידו היטב? מהו תפקידו של הטבע? האם לטבע יש תפקיד? – סיפור זה מצוטט מתוך הספר "המדריך להתחממות כדור הארץ" מאת לורי דייוויד וקמבריה גורדון, הוצאת כתר, 2002, עמ' 28–30 (בעריכה קלה). זאת הזדמנות נהדרת לפתוח עם הלומדים דיון קצר על כתיבה ודיוק מדעי בספר קריאה פופולרי לעומת ספר לימוד, על חשיבה ביקורתית ועל פיתוח אוריינות מדעית.

[עקומת קילינג](#) (The Keeling Curve) היא תיעוד יומי של ריכוז ה-CO₂ באטמוספירה הנשמר על ידי מכון סקריפס לאוקיינוגרפיה באוניברסיטת קליפורניה בסן דייגו. בשלב זה של הפעילות נעשה שימוש ביישומון גרפי של ריכוזי ה-CO₂ באטמוספירה לאורך שנים. עקומת קילינג נבנית על ידי מדידות ישירות ומדידות עקיפות של ערכים היסטוריים משוחזרים מליבות קרח (שיטת המדידה מפורטת בהמשך). התיעוד נעשה בעשרה גרפים שונים המציגים טווחי זמן שונים. על מנת לנווט בין הגרפים יש להשתמש בתפריט המסומן בכחול מעל לגרף. לדוגמה, בחירת 800K YEARS תראה את טווח הזמן המקסימלי של נתונים.



דוגמה לנתונים המובאים בעקומת קילינג היא גרף המציג את ריכוזי ה-CO₂ במהלך 2000 שנה. אפשר לראות בגרף זה את השילוב של הממצאים בשתי המדידות השונות, הישירה והעקיפה לפי שחזור שנעשה בעזרת ליבות קרח. הנתונים עד שנת 1958 הם ערכים של ריכוז ה-CO₂ במדידה עקיפה (ערכים משוחזרים מליבות קרח) והנתונים משנת 1958 ועד היום הם ערכים מדודים מעל מאונה לואה.



תמונה מס' 19: עקומת קילינג (<https://keelingcurve.ucsd.edu>)

שאלות בעקבות הגרפים המוצגים ביישומון

1. באיזה אתר אינטרנטי הנתונים מוצגים?
תשובה: באתר אוניברסיטת קליפורניה, סן דייגו.
2. האם אפשר לסמוך על הנתונים באתר זה? בסו את טענתכם.
תשובה: כן, מדובר באתר אקדמי ללא מטרות רווח.
3. מי מבצע את המדידות?
תשובה: מכון סקריפס לאוקיינוגרפיה, מצפה הכוכבים.
4. היכן נעשו המדידות לפני 1958?
תשובה: בנתונים מליבות קרח בקטבים.
5. תוצאותיו של איזה סוג ניסוי מתוארות בגרפים המוצגים באתר?
תשובה: תוצאותיו של ניסוי תצפיתי.
6. מהו טווח הזמן המינימלי שעבורו מופיעים נתונים של ריכוז ה- CO_2 באטמוספירה?
תשובה: שבוע.
7. מהו טווח הזמן המקסימלי שעבורו מופיעים נתונים של ריכוז ה- CO_2 באטמוספירה?
תשובה: לפני 800 אלף שנים ועד היום.
8. למה הכוונה ב-800k?
תשובה: 800 אלף שנים.
9. מהו המשתנה התלוי?
תשובה: ריכוז ה- CO_2 באטמוספירה.
10. מהן יחידות המשתנה התלוי?
תשובה: ppm - part per million - חלק למיליון, חל"מ. רמת ה- CO_2 באטמוספירה היא 421.10 ppm (נכון ל-22/6/12), כלומר 421.10 מולקולות של פחמן דו-חמצני לכל מיליון מולקולות באוויר.
11. כאשר מביטים בערכי ה- CO_2 באתר אפשר לראות ערכים ממוצעים של ריכוז ה- CO_2 באטמוספירה. איזה סוג של ממוצעים אלו?
תשובה: ממוצע יומי, שבועי, חודשי.
12. באיזו דרך נמדד המשתנה התלוי? אין צורך לתאר את השיטות בהרחבה.
תשובה: בין השנים 1858–1: על ידי שיטת מדידה עקיפה של קידוח ליבת קרח; אחרי שנת 1858: על ידי מדידה ישירה של מד ריכוז ה- CO_2 באטמוספירה. (השיטות מוסברת בהרחבה בהמשך).
13. האם שילוב ממצאים המתקבלים מאיסוף נתונים בשיטות מדידה שונות (ישירה ועקיפה) בגרף אחד, היא דרך מתאימה לייצוג המידע?
תשובה: כעיקרון לא, אבל כאשר מדובר בתצפית והערכה לאורך אלפי שנים ואי אפשר לעשות זאת בדרך אחרת לצורך הערכה והבנת מגמתיות, זוהי דרך טובה.
14. מדוע לדעתך בחרו המדענים בגרף רציף?

תשובה: הזמן משתנה רציף.

15. התבוננו בגרף FULL RECORD. מדוע לדעתכם העקום בגרף זה הוא משוון?

תשובה: הסיבה לכך היא שינויים בריכוז ה- CO_2 במהלך עונות השנה כפי שמוסבר בטקסט.

16. עבור כמה שנים בסך הכול ישנו מידע על ריכוזי CO_2 ביישומון הגרפי?

תשובה: 800 אלף שנים.

17. מה הערך המקסימלי של ריכוז CO_2 באטמוספירה עד 100,000 שנים לפני?

תשובה: 300 חל"מ.

18. מהו ריכוז ה- CO_2 באטמוספירה נכון להיום?

תשובה: מעל 421.10 חל"מ, כפי שיופיע ביום הפעילות כתוב בגדול מעל הגרף: Latest CO_2 *

reading: 421.10 ppm

19. כיצד מדענים יודעים שהפליטות הגעשיות של הר מאונה לואה בהוואי אינן משפיעות על נתוני ה-

CO_2 שנאספים שם?

תשובה: התוכנית של NOAA (המנהל הלאומי לאוקיינוסים ואטמוספירה בארצות הברית) למחקר

מדעי כדור הארץ מודדת גם CO_2 בדגימות בקבוקים שבועיות שנלקחו בלמעלה מ-60 מקומות

מרוחקים ברחבי העולם. ריכוזי ה- CO_2 של מצפה הכוכבים במאונה לואה תואמים היטב למדידות

של צלוחיות שנלקחו בקו רוחב דומה ברחבי העולם, מה שמאשר שה- CO_2 הוולקני אינו משפיע

על התוצאות הסופיות שלנו. כל המדידות הללו מראות עליות משמעותיות ב- CO_2 במהלך השנים

האחרונות. (תוכלו למצוא מידע זה עד סוף 2007 באתר האינטרנט שכתובתו:

www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg).

הסיבה למחזוריות של רמות ה- CO_2 באטמוספירה, כפי שניכר בגרף 800K, היא עידני הקרח. כדור

הארץ מסתובב סביב השמש במסלול אליפטי שאינו נסגר על עצמו, כלומר, כדור הארץ נמצא

במרחקים שונים מהשמש בתקופות שונות במהלך השנה. נוסף על כך, גודל השטחים המכוסים

קרח (אפקט האלבדו) וגם ההטיה של ציר כדור הארץ משפיעים על האקלים לאורך מאות שנים,

כמו שאפשר לראות בסרטון: 6:34 - [How Ice Ages Happen: The Milankovitch Cycles](#).

20. מהי המסקנה העיקרית שאפשר להסיק על בסיס הנתונים המוצגים בגרפים שביישומון הגרפי?

תשובה: הערך המקסימלי שהיה לריכוז CO_2 באטמוספירה לאורך שנים רבות היה 300 חל"מ,

והיום לראשונה ריכוז ה- CO_2 מעל 420 חל"מ.

21. מהי רמת השכנוע שלך בנוגע לדיוק בנכונות הנתונים הנאספים מליבות הקרח? האם הממצאים

מהימנים בעיניך?

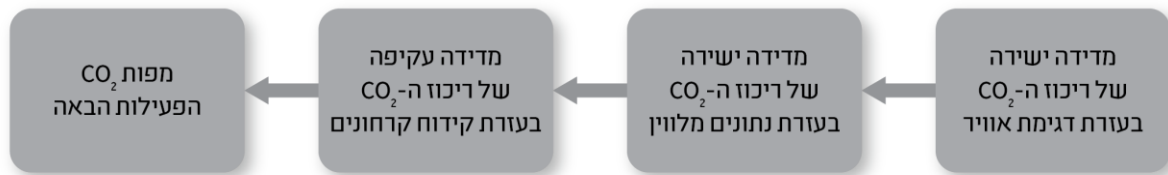
תשובה: השאלה פתוחה למענה לומדים על פי תפיסותיהם באותה העת שבה הם עונים על

השאלות. אפשר לפתוח את הפעילות לדיון כיתתי.

פעילות מס' 8: "מידת CO₂ באוויר"



מטרת פעילות זו היא ללמוד על שלוש שיטות מדידה של ריכוז ה-CO₂ באטמוספירה, שתיים מהן ישירות ומתבססות על דגימת אוויר ועל נתונים לווייניים ושלישית היא עקיפה ומתבססת על קידוח ליבות קרח.



שלב 1



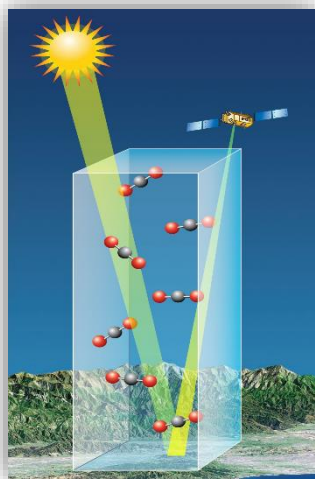
כיצד מתבצעת מדידת ריכוז של CO₂ באטמוספירה? בדומה למדידת טמפרטורה, גם עבור ריכוז ה-CO₂ באטמוספירה נעשות מדידות ישירות ומדידות עקיפות. המדידות הישירות נעשות באמצעות מכשיר (מנומטר) והן מתוארות בסרטון המצורף - [How Scientists Measure Carbon Dioxide in the Air - 2:24](#), "כיצד מדענים מודדים CO₂ באוויר".

נוסף על מדידות ריכוז ה-CO₂ באוויר נעשות גם בדיקות של סוג הפחמן (איזוטופ), המאפשרות לדעת את מקור הפחמן, אם הוא מגיע לאטמוספירה ממכונת, מצמח או מאוקיינוס. ככל שפריסת המדידות גדולה יותר על פני השטח, בגבהים שונים ובתדירות מדידה גבוהה – כך הערכים של ריכוז ה-CO₂ באטמוספירה מדויקים יותר.

שאלות בעקבות הסרטון

- מיהו הדובר בסרטון?
תשובה: ראלף קילינג, בנו של צ'רלס קילינג.
- תארו את המכשיר למדידה ישירה של ריכוז ה-CO₂ באטמוספירה.
תשובה: המכשיר למדידה הוא כדור זכוכית שקוף שמשולבים בו ברזים שאפשר לפתוח כדי למלא את הכדור באוויר.
- בסרטון מתואר תהליך נטילת דגימה של אוויר לצורך מדידת ריכוז ה-CO₂. סדרו את שלבי המדידה לפי הסדר הנכון:
 - הוצאת כל האוויר מהכדור (כלי המדידה) ליצירת ואקום.
 - הבאת כלי המדידה למקום ביצוע המדידה.
 - פתיחת הברז לכמה שניות כדי לאפשר לאוויר להיכנס פנימה.
 - סגירת הברז.
 - הבאת כלי המדידה כולל הדגימה למעבדה.
 - חיבור כלי המדידה למכשיר המודד ריכוז גזים באוויר.

- ז. פתיחת הברז ואנליזה של הרכב האוויר ובמיוחד של ריכוז ה- CO_2 בו.
 ח. רישום תוצאות.
 ט. חזרה על המדידות (באותו מקום ובאותו זמן, וכן לאורך זמן).
 י. חישוב ערכים ממוצעים.
 יא. בניית גרף – עקומת קילינג.
4. בנו של קילינג מראה את המכשיר שאביו השתמש בו כדי למדוד את ריכוז ה- CO_2 באוויר. מה שמו של המכשיר?
תשובה: manometer.
5. מה היה ריכוז ה- CO_2 בשנת 1958 במדידות של קילינג?
תשובה: 315 חל"מ.
6. מהו ריכוז ה- CO_2 היום?
תשובה: מעל 420 חל"מ.
7. האם מדידת ריכוז ה- CO_2 באוויר היא המדידה היחידה המתוארת בסרטון?
תשובה: לא. בסרטון מתוארת גם אנליזה של סוג האיזוטופ של הפחמן, על מנת לדעת את מקורו: מכונית, צמח, אוקיינוס.
8. מדוע לדעתכם חשוב לדעת את מקור הפחמן באטמוספירה?
תשובה: על מנת להעריך את ההשפעה האנטרופוגנית בעליית ריכוז ה- CO_2 באטמוספירה.
9. בכמה עלה ריכוז ה- CO_2 באוויר יחסית לנתונים המוצגים בסרטון?
תשובה: הריכוז בזמן הסרטון (שנת 2018) – 410 חל"מ, הריכוז היום (שנת 2022) – 421 חל"מ. ההפרש: 11 חל"מ.
10. מהי הסיבה לעלייה בריכוז ה- CO_2 באוויר לפי הנאמר בסרטון?
תשובה: שרפת דלקים מאובנים.
11. הציעו דרך נוספת למדידה של ריכוז CO_2 באטמוספירה.



שלב 2

שיטת מדידה ישירה נוספת היא בעזרת נתונים לווייניים הכוללים טכנולוגיה אשר מודדת את עוצמת אור השמש המוחזרת מנוכחות מולקולות CO_2 בעמודת אוויר באטמוספירה. באיור שלהלן מתוארת שיטת המדידה:

תמונה מס' 20: מדידות ריכוז CO_2 בעזרת לוויין

[Orbiting Carbon Observatory-2, NASA](#)

מולקולת ה- CO_2 מוצגת כשלושה כדורים מחוברים יחדיו, אטום פחמן בצבע אפור ושני אטומי חמצן בצבע אדום. התיבה מתארת יחידת נפח למדידה.

מדידה זו ייחודית כמו טביעת אצבע ואפשר להשתמש בה לצורך זיהוי על ידי הלווין וחישוב ריכוז CO_2 . OCO-2 (Orbiting Carbon Observatory-2) הוא שם של לוויין ששיגרה ע"י NASA בשנת 2014 במטרה לעקוב מהחלל אחרי רמות ה- CO_2 באטמוספירה של כדור הארץ. מדידות אלו נעשות באופן רציף לאורך הזמן ובאנימציה המצורפת אפשר לראות כיצד הנתונים נאספים:

[Animation: Atmospheric CO2 measurements from NASA's OCO-2 satellite](#) (1:07)

הנתונים הגולמיים שנאספים באופן רציף על ידי הלווין מעובדים. התוצאות המעובדות מוצגות כמפות של ריכוז CO_2 באטמוספירה. בשיטת מדידה זו ובתצוגת מפות אפשר לראות ריכוזי CO_2 מקומיים מעל כדור הארץ.

לדוגמה, הסרטון הבא – (3:11) [Earth Science Data Visualizations – How to Read a Heat Map](#) – מציג הדמיה של ריכוזי CO_2 באטמוספירה ותנועת הצטברויות אלו לאורך שנה אחת (2006)¹¹. הצטברויות של CO_2 מתערבלות ומשתנות כשהרוחות מפזרות את גז החממה הרחק ממקורותיו. ההדמיה גם ממחישה הבדלים ברמות ה- CO_2 בחצי הכדור הצפוני ובחצי הכדור הדרומי וכן תנודות ברורות בריכוזי ה- CO_2 העולמיים ככל שמחזור הצמיחה של צמחים ועצים משתנה עם עונות השנה. אפשר לפתח דיון קצר על השפעת הצמחים על ריכוז ה- CO_2 באטמוספירה. מדוע מחזוריות הצמיחה משפיעה על ריכוזי ה- CO_2 באטמוספירה? האם גורמים ביוטיים יכולים להשפיע על גורמים אביוטיים? מהו המנגנון שדרכו צמחים משפיעים על ריכוז ה- CO_2 באטמוספירה?

שלב 3

לאחר שקילינג הצעיר מצא דרך למדוד את ריכוזי ה- CO_2 באטמוספירה, בראשית שנות החמישים והשישים של המאה העשרים, העלו מדענים את השאלה: האם אפשר לבדוק את ריכוזי ה- CO_2 באטמוספירה הקדומה, כפי שהייתה לפני אלפי שנים? נראה שהדבר בלתי אפשרי. מסעות בזמן מתנהלים רק בספרים ובסרטי קולנוע. אך בכל הנוגע לחקר קרחונים, אנטארקטיקה דומה למכונת זמן¹².

זוהי שיטת מדידה עקיפה והיא מתבצעת בדרך המתוארת בסרטון הבא:

[What Antarctic ice cores tell us about climate change | Natural History Museum](#) (2:40). מדענים קודחים ליבות קרח באנטארקטיקה ומנתחים אותן כדי לגלות מה היו בעבר הטמפרטורה של כדור הארץ וריכוז ה- CO_2 . בסרטון, מדענית ליבת הקרח חושפת כיצד אנו חוקרים

¹¹ קרדיט: מרכז טיסות החלל של NASA.

¹² המדריך להתחממות כדור הארץ, 2002.

קרח לאורך הדורות, וכיצד זה נותן לנו תובנות על האופן שבו אקלים כדור הארץ משתנה.

שאלות בעקבות הסרטון

1. מדוע חשוב לדעת מה היו מאפייני האקלים בעבר?
תשובה: חשוב לדעת על מנת להבין כיצד מתרחשים השינויים באקלים ואילו שינויים צפויים בעתיד.
2. איפה נעשות המדידות בסרטון?
תשובה: אנטארקטיקה בקוטב הדרומי (מול הארקטיקה).
3. מה נדרש מהמדען בשטח כדי שהפרויקט יצליח?
תשובה: לא רק להיות מדען, אלא לדעת לעבוד בתנאים מאתגרים ולהפעיל מיומנויות חיים רבות.
4. כיצד נלקחות דגימות של ליבות קרח?
תשובה: על ידי קידוח של 1.5 מטר בכל פעם.
5. עד איזה עומק הגיעו בקידוח בפרויקט המצוין בסרטון ולאילו תקופה דגימות האוויר בליבות הקרח שייכות?
תשובה: 364 מטר עומק, ודגימות אלו שייכות לתקופה שלפני עשרים אלף שנה.
6. בכמה עלתה הטמפרטורה באנטארקטיקה בחמישים השנים האחרונות?
תשובה: ב-2 מעלות צלזיוס.
7. איזו תופעה נצפית בתדירות גוברת בשנים האחרונות באנטארקטיקה?
תשובה: נפילה והמסה של קרחונים.
8. בסרטון מתואר תהליך קידוח ליבות קרח על מנת לגלות מה היו בעבר הטמפרטורה של כדור הארץ וריכוז ה- CO_2 . סדרו את שלבי המדידה לפי הסדר הנכון:
 - א. בחירת מיקום להקמת מעבדת שטח.
 - ב. הקמת אוהלים והכנת ארוחה.
 - ג. קידוח ליבות קרח (בעומק של 1.5 מטר בכל פעם).
 - ד. חיתוך ליבות הקרח לדסקיות באמצעות מסור.
 - ה. סימון הדסקיות לפי עומק ותקופה.
 - ו. אנליזה של הרכב בועות האוויר הכלואות בתוך הקרח כדי לדעת את הרכב הגזים באטמוספירה של אותה תקופה.
 - ז. חישוב ריכוז גזי החממה והערכת הטמפרטורה בתקופות שונות לאורך ההיסטוריה.
 - ח. הבנת שינויי אקלים בעבר.
9. מדוע לדעתכם אפשר לסמוך על דרך מדידה זו במטרה להסיק מסקנות על שינויי אקלים?
תשובה: בועות האוויר הכלואות בקרח הן מבודדות, והרכבן לא היה יכול להשתנות עם הזמן. מדידת ההרכב היא סוג של מסע בזמן.
10. הציעו דרך נוספת למדידת ריכוז CO_2 ששרר בעבר.
תשובה: בדומה לקרח, המדע יכול להסיק נתונים על ריכוזי ה- CO_2 באטמוספירה במהלך ההיסטוריה גם לפי סלעים או גזעי עצים.

בסרטון [CO₂ in the Ice Core Record](#) 3:01 מתוארות ספריות של ליבות קרח עתיקות ממקומות שונים בכדור הארץ. ספריות אלה מכילות דגימות של בועות אוויר הכלואות בתוכן ומעידות כי רמות ה-CO₂ של היום אינן דומות לרמות ה-CO₂ בשום תקופה זה למעלה מ-400,000 שנה.

שאלות בעקבות הסרטון

1. בתחילת הסרטון מדובר על ספרייה במעבדה הלאומית של ארצות הברית בקולורדו. מה מכילה ספרייה זו?

תשובה: ספרייה זו מכילה דגימות של ליבות קרח ממקומות רבים בכדור הארץ.

2. מהי הטמפרטורה בספרייה ומדוע?

תשובה: הטמפרטורה בספרייה הקפואה היא -35°C , וזאת כדי לשמר את ליבות הקרח קפואות ואת בועות האוויר כלואות.

3. מהי ליבת הקרח העתיקה ביותר בספרייה?

תשובה: ליבת הקרח העתיקה ביותר בספרייה שייכת לתקופה שלפני 400,000 שנה.

4. האם המדידה היא ישירה או עקיפה?

תשובה: המדידה היא עקיפה. בעזרת הרכב האוויר הכלוא בליבות הקרח משוחזרים ריכוזי CO₂ באוויר בהיסטוריה.

5. מדוע המדען לובש מעיל, כפפות קור ומעליהן כפפות מעבדה?

תשובה: המעיל וכפפות הקור מגינים על המדען מפני הטמפרטורות הנמוכות במעבדה המונעות מליבות הקרח להפשיר. כפפות המעבדה מגינות על הדגימות החשובות מפני זיהום עקב מגע עם הידיים.

6. כיצד מתארכים את המיקום בתוך ליבת הקרח?

תשובה: התיארוך נעשה על ידי התבוננות בצפיפות השונה של הקרח התואמת את עונות השנה.

7. איזו תופעה נוספת נצפית בליבת הקרח ומוצגת בסרטון?

תשובה: התפרצות הר געש.

8. כיצד החוקרים מודדים את ריכוז ה-CO₂ באטמוספירה עתיקה?

תשובה: על ידי אנליזה של הרכב הגזים באטמוספירה הכלואה בבועות אוויר בתוך ליבת הקרח.

9. לאחר אנליזה ואיסוף נתונים, המדענים גילו תבנית שבה ריכוז ה-CO₂ באטמוספירה עלה וירד במחזוריות. מה היה טווח הריכוזים?

תשובה: טווח הריכוזים היה 180–280 חל"מ לאורך 400,000 שנה.

10. המדענים יכולים לשחזר גם ערכים של טמפרטורה לאורך ההיסטוריה על סמך אנליזות של אטומי החמצן הנמצאים בבועות האוויר הכלואות. מה הייתה המסקנה לגבי תנודתיות הטמפרטורות לאורך 400,000 שנה?

תשובה: ערכי הטמפרטורה הראו גם הם תבנית של עלייה וירידה מחזורית לאורך השנים. מחזוריות זו תואמת את תקופות הקרח בכדור הארץ.

11. האם המונח present (נוכחי) בגרף מתייחס לשנת 2022?
תשובה: לא. הערך של ריכוז ה- CO_2 בגרף בזמן המוגדר "נוכחי" הוא 380 חל"מ. היום ערך זה הינו מעל 420 חל"מ.
12. הסרטון פורסם ב-9 לאפריל 2012. האם תאריך זה הוא המציין את המונח present?
תשובה: ככל הנראה לא. תלוי לכמה זמן המונח מתייחס, אם ב"נוכחי" הכוונה לחודש הנוכחי, לשנה הנוכחית או לעשור הנוכחי.
13. במהלך כמה שנים חלה העלייה המשמעותית בריכוז ה- CO_2 באטמוספירה מעבר לטווח הריכוזים ההיסטורי?
תשובה: רק במהלך 250 שנים האחרונות.
14. מהי מגמת ריכוז ה- CO_2 באטמוספירה?
תשובה: מגמת עלייה, ללא כל סימן למיתון או לעצירה.
15. מה יכולה להיות הסיבה לעלייה מתמדת ומואצת זו?
תשובה: פליטות CO_2 לאטמוספירה כתוצאה מפעילות האדם.



תמונה מס' 21: קידוח ליבת קרח באנטארקטיקה לצורך הערכה של ריכוז פד"ח באטמוספירה בהיסטוריה

פעילות מס' 9: "לקרוא מפות CO₂"



בדומה למפות טמפרטורה או למפות שינויי טמפרטורה, יש גם מפות המציגות ריכוזי CO₂ באטמוספירה. מטרת פעילות זו היא להיחשף לנתונים ולראות את מגמת העלייה בריכוזי CO₂ לאורך השנים 2002–2016. בפעילות זו שני שלבים.



שלב 1

פתיחת הדמיה של ריכוזי CO₂: [Climate Time Machine - NASA](#)¹³



לאחר כניסה לקישור בוחרים ב-Carbon Dioxide ומגיעים לסדרת מפות המציגה שינויים גלובליים בריכוז והפצה של CO₂ מאז 2002 בטווח גובה של 3–13 ק"מ מכדור הארץ. בתחתית מפת העולם אפשר לראות את טווח ריכוזי ה-CO₂ באטמוספירה ביחידות של חלקים למיליון בטווח של 365–425 חל"מ; ערכים גבוהים מצוינים בצבעים צהובים-אדומים, ואזורים כחולים-ירוקים מצביעים על ריכוזים נמוכים יותר. באמצעות גרירת הסמן ימינה אפשר לעבור בין תאריכים שונים (2002–2016) ולראות את רמות ה-CO₂ במקומות שונים על פני כדור הארץ.

שלב 2

שאלות בעקבות ההדמיה

1. איזה סוג של תוצאות מופיע בהדמיה?
תשובה: תוצאות של מחקר תצפיתי.
2. עבור איזו תקופת זמן מופיעים הנתונים של ריכוז ה-CO₂ באטמוספירה?
תשובה: עבור השנים 2002–2016.
3. מהו המשתנה התלוי?
תשובה: ריכוז CO₂ באטמוספירה (טרופוספירה) בחל"מ.
4. מה טווח הערכים של המשתנה התלוי?
תשובה: 365–425 חל"מ.
5. כיצד המשתנה התלוי נמדד?
תשובה: בעזרת לוויין.
6. מדוע לדעתך חשוב לדעת ריכוז ממוצע של CO₂ באטמוספירה במקום מסוים בזמן מסוים?
תשובה: על מנת לקבל ערך אמיתי המייצג את ריכוז ה-CO₂ באטמוספירה במקום המסוים בזמן המסוים.

¹³ באתר זה של NASA אפשר לראות גם הדמיות של טמפרטורה, קרח ופני הים. ההסברים על השימוש בהדמיה ביחס לגורמים אלו נמצאים בפרקים הרלבנטיים ואין צורך להתעמק בשלב זה בכולם.

7. מדוע לדעתך חשוב למדוד ריכוז ממוצע של CO_2 באטמוספירה לאורך זמן?

תשובה: על מנת לראות מגמתיות.

8. מדוע לדעתך חשוב לדעת גם ריכוזים של CO_2 במקומות שונים על פני הגלובוס?

תשובה: על מנת להבין את מקור הפליטות, להבין פיזור ולחשוב על פתרונות.

9. האם אפשר לראות תבנית מסוימת של ריכוז CO_2 גבוה באזור מסוים?

תשובה: לא.

10. האם אפשר לומר ברמה גבוהה של דיוק מהם הריכוזים של CO_2 ששרו מעל ישראל בדצמבר 2016?

תשובה: לא, הרזולוציה של המפה אינה מאפשרת לדעת במדויק.

11. מה צריך לעשות כדי לדעת את הערכים?

תשובה: לפנות למאגרי מידע המוצגים בפורמט של טבלאות כדי לראות את הנתונים.

יש להתבונן בסרטון [NASA: Video: Super HD view of global carbon dioxide \(0:30\)](#),



ולמנות בפני הלומדים כמה עובדות:

א. הנתונים המוצגים בסרטון הם נתונים גלובליים של ריכוזי ה- CO_2 באטמוספירה בחודשים אוגוסט עד ספטמבר 2006.

ב. בסוף הקיץ אפשר לראות את ריכוזי ה- CO_2 הגבוהים מעל יבשת אפריקה עקב שרפות.

ג. מסוף הסתיו עד תחילת החורף, הצבעים האדומים המייצגים ריכוזים גבוהים של CO_2 מראים את שלושת המוקדים העיקריים של שרפת דלק מאובנים: מזרח ארצות הברית, אירופה וסין. הרוחות מעיפות חלק גדול מה- CO_2 לכיוון הקוטב הצפוני.

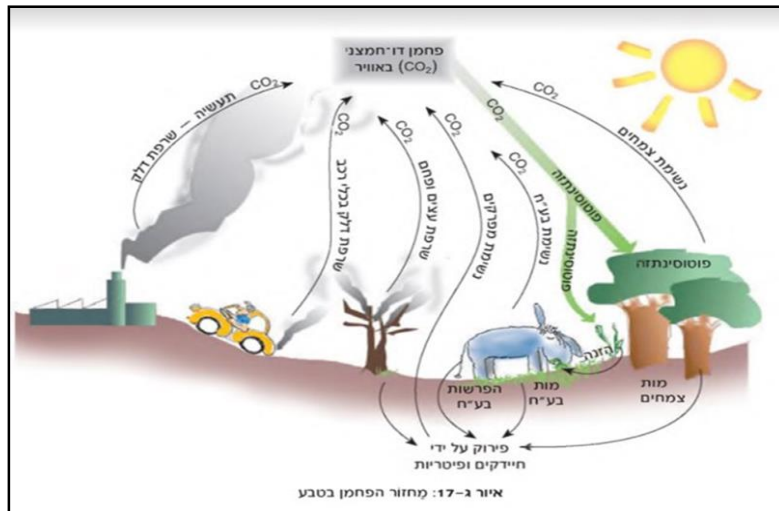
פעילות מס' 10: "מאזן תקציבי"



מדוע ריכוז ה- CO_2 עולה בלילה?

בלילה, או במהלך הסתיו והחורף, צמחים מפחיתים או אף מפסיקים את תהליך הפוטוסינתזה, ורק משחררים CO_2 בחזרה לאוויר בתהליך הנשימה התאית. תופעה זו מכונה לעיתים קרובות "מחזור הפחמן הטבעי". מחזור הפחמן מתאר את חילופי הפחמן בין מערכות כדור הארץ שונות, כגון האטמוספירה, הביוספירה וההידרוספירה (ראו תמונה מס' 22). נוסף על כך, חצי הכדור הצפוני שולט במחזור השנתי של ריכוז CO_2 , מכיוון שיש לו שטח יבשתי ובימסה צמחית גדולים הרבה יותר מאלה שבחצי הכדור הדרומי.

באתר **קמפוס IL**, בקורס החדש "אקולוגיה" ישנו פרק על מקורות אנרגיה ומעברי חומרים ואנרגיה. בתת-פרק 3.6 מופיעים חומרי הוראה נפלאים על [מחזור הפחמן](#) בטבע, כולל תרגול.



תמונה מס' 22: מחזור הפחמן בטבע¹⁴

מטרת הפעילות היא להבין מודל של מאזן וקצב הוצאות והכנסות. על סמך אנלוגיית הכסף אפשר להבין את המאזן הטבעי של הפחמן בטבע. לפעילות זו שני שלבים.



שלב 1: מאזן כסף

- רישום כמות הכסף הקיימת בחשבון הבנק (PRESENT).
- רישום הוצאותיכם החודשיות.
- סיכום של הוצאותיכם החודשיות (UTO).

דוגמאות להוצאות:

הוצאות קבועות: שכר דירה, ועד בית, קופת חולים, הוראות קבע לחיסכון, מנויים.

הוצאות תקופתיות: ארנונה, מים וביוב, חשמל, גז, רכישות ושירותים לבית, שכר לימוד, רכב (ביטוחי רכב + טסט, תיקוני רכב), בריאות (תרופות ומומחים, טיפולי שיניים, אופטיקה), טיפוח (ביגוד והנעלה, תספורת וקוסמטיקה), פנאי (בילויים – חופשה / טיול / מסעדה / תחביבים).
הוצאות שוטפות: מזון, תחבורה ציבורית, דלק וחניה, טלפון (מכשיר + תוכנית), שיעורים פרטיים.

- רישום הכנסותיכם החודשיות ממקורות שונים.
- סיכום של הכנסותיכם החודשיות (NI).

דוגמאות להכנסות:

עבודה אחר הצהריים, כמו מלצרות, מכירה בחנות בגדים, שמרטפות ועוד, מתנות ימי הולדת וחגים, דמי כיס.

¹⁴ רות אמיר, פרקים באקולוגיה, האוניברסיטה העברית בירושלים, המרכז להוראת מדעים, 2007.

- חישוב של סכום כסף עתידי (FUTURE).
משוואת המאזן:

PRESENT + IN – OUT = FUTURE

אם ערך ה-FUTURE הוא שלילי, כלומר, יש יותר הוצאות מהכנסות, אתם חיים באופן לא מאוזן ומגדילים את חובותיכם מדי חודש. אתם נחשפים למצב של חובות שלא יוכל להימשך זמן רב, ורמת החיים שלכם תרד על מנת להחזיר את החובות. אם ערך ה-FUTURE הוא חיובי, תוכלו לחסוך מדי חודש כסף שיעזור לכם לממן את הוצאותיכם העתידיות ולהעלות את רמת החיים שלכם.

שלב 2: מאזן CO₂

- רישום כמות נוכחית של CO₂ באטמוספירה (PRESENT)
 - רישום פליטות CO₂ שנתיות ממקורות שונים (הגדלה של כמות ה-CO₂ באטמוספירה).
 - סיכום של פליטות שנתיות (IN).
- דוגמאות לפליטות:
- מקורות טבעיים כמו הרי געש, נשימה תאית ביצורים חיים.
 - מקורות כתוצאה מפעילות האדם, כמו שרפת דלק מאובן.
- רישום ספיגות CO₂ שנתיות על ידי כדור הארץ (הקטנה של כמות ה-CO₂ באטמוספירה).
 - סיכום של ספיגות ה-CO₂ השנתיות (OUT).
- דוגמאות לספיגה:
- תהליך הפוטוסינתזה שבו נקשר הפחמן האנאורגני לתרכובת פחמן אורגנית של ביומסה.
 - ספיגת CO₂ על ידי האוקיינוסים.
- חישוב של כמות CO₂ עתידית (FUTURE).
משוואת המאזן:

PRESENT + IN – OUT = FUTURE

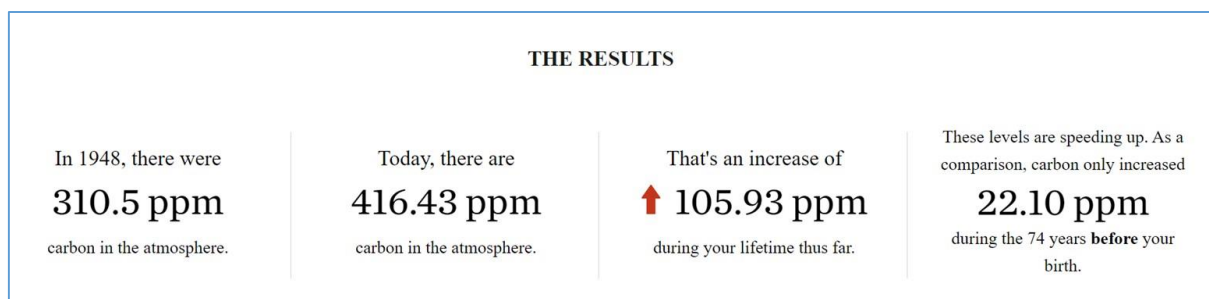
PRESENT – כמות נוכחית של CO₂ באטמוספירה
IN – פליטת CO₂ לתוך האטמוספירה
OUT – ספיגת CO₂ מחוץ לאטמוספירה
FUTURE – כמות עתידית של CO₂ באטמוספירה

אם ערך ה-FUTURE הוא שלילי (כמות עתידית של CO₂ באטמוספירה נמוכה יותר), כלומר, יש יותר ספיגות מפליטות, אפקט החממה קטן ומערכת האקלים שואפת לאיזון. כתוצאה מכך איכות החיים תעלה. אם ערך ה-FUTURE הוא חיובי (כמות עתידית של CO₂ באטמוספירה גדולה יותר), כלומר, יש יותר פליטות מספיגות, כמות ה-CO₂ באטמוספירה עולה, אפקט החממה קטן ונעשה איטי יותר. כתוצאה מכך איכות החיים תרד.



כמה פחמן היה באטמוספירה כשנולדת?

בסימולציה הוזנה השנה 1948 והתקבלו ריכוזי ה-CO₂ באטמוספירה. בסימולציה חושב ההפרש בריכוזי ה-CO₂ באטמוספירה אז בהשוואה להיום, וכן חושב ההפרש בריכוזי ה-CO₂ באטמוספירה בין השנים 1948 ל-1874.



- כמה פחמן יש היום באטמוספירה?
- בכמה עלה ריכוז הפחמן מאז קום המדינה?
- בכמה עלה ריכוז הפחמן במהלך 74 שנה שלפני קום המדינה?
- בקירוב, פי כמה עלה קצב עליית ריכוז הפחמן באטמוספירה ב-74 השנים האחרונות יחסית ל-74 השנים שקדמו להן?

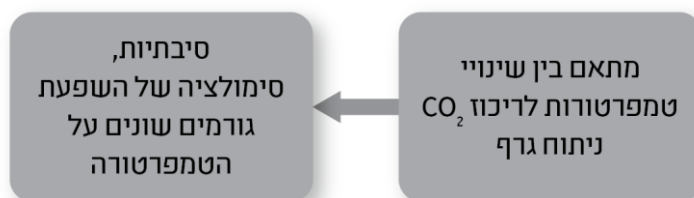
3.2 עלייה בריכוז ה- CO_2 ועלייה בטמפרטורה – מתאם וסיבתיות

במדע ישנם **מחקרים של ניסויים מבוקרים** או **מחקרים תצפיתיים**. במחקר ניסויי, החוקרים מגדירים את המשתנים של שאלת המחקר (משתנה בלתי תלוי ומשתנה תלוי) וחוקרים את הקשר ביניהם. ניסוי מבוקר נעשה תוך שמירה על יתר הגורמים הקבועים ושימוש בבקורות (חיוביות ושליליות). במחקר תצפיתי, החוקרים אינם מתערבים במערכת הניסוי, אלא חוקרים אותה רק על ידי תצפיות ומדידות במערכת בתנאים טבעיים. בשני סוגי המחקרים, המטרה היא לתאר תופעה ולמדל אותה (לבנות מודל סטטיסטי לתיאור מתמטי של התופעה). יש מערכות שמחקר תצפיתי הוא האפשרות היחידה לגביהן. לדוגמה, האקלים הוא מערכת מורכבת המכילה מספר רב של גורמים וסדר גודל שאינם מאפשרים לבצע בה שינויים מכוונים. לאחר איסוף הנתונים, נחקרים הקשרים בין הגורמים במערכת, בשאיפה למצוא מתאם ולבחון אם קיימת סיבתיות. כל זאת במטרה להבין את התופעות הטבעיות.

פעילות מס' 11: "עלייה בריכוז ה- CO_2 ושינויי טמפרטורה"



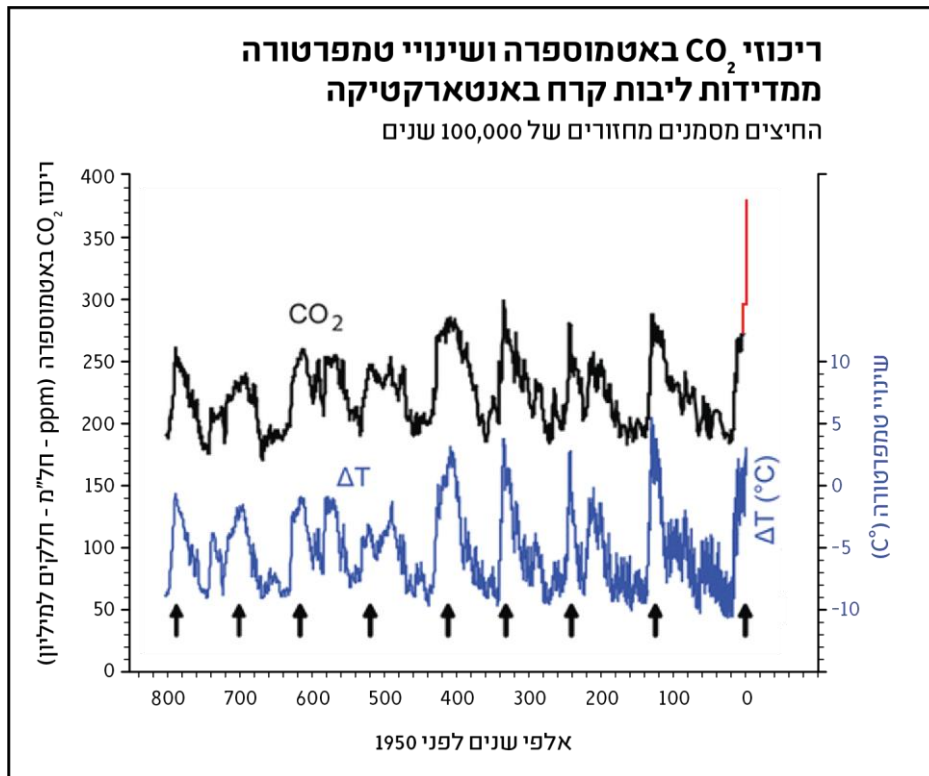
מטרת הפעילות היא לבחון את המתאם האפשרי בין טמפרטורה לריכוזי ה- CO_2 ולהבין את הסיבתיות שבין העלייה בריכוז ה- CO_2 ובין אפקט החממה המואץ. בפעילות זו שני שלבים.



שלב 1

בשלב זה נעשית בדיקה של מתאם אפשרי בין שינויי טמפרטורות לריכוז ה- CO_2 , באמצעות ניתוח גרף.

מדידות הטמפרטורה וריכוז ה- CO_2 באטמוספירה הן חשובות, אך התגלית החשובה מכול היא ההתאמה האפשרית בין השינויים בשיעור ריכוזי ה- CO_2 לבין השינויים בטמפרטורה באנטארקטיקה, במהלך אלפי שנים. אפשר לראות זאת בתמונה מס' 23: ריכוזי ה- CO_2 באטמוספירה ושינויי טמפרטורה ממדידות ליבות קרח באנטארקטיקה. החיצים מסמנים מחזורים של 100,000 שנים.



תמונה מס' 23: מדידות ריכוז ה-CO₂ באטמוספירה ושינויי טמפרטורה לאורך אלפי שנים

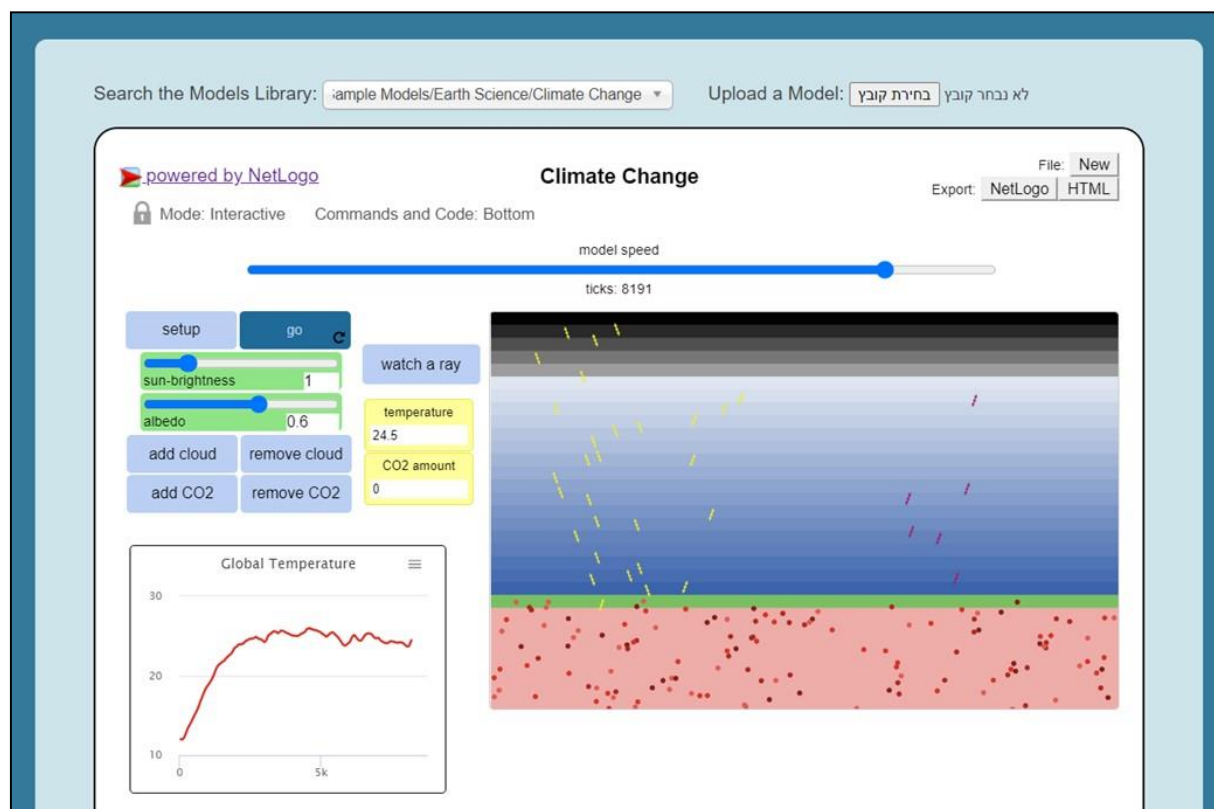
שאלות בעקבות הגרף

1. עבור איזה פרק זמן מופיעים בגרף נתונים של ריכוזי ה-CO₂ באטמוספירה ושינויי הטמפרטורה הגלובלית?
תשובה: אלפי שנים לפני 1950.
2. מדוע שתי העקומות מוצגות בצבעים שונים?
תשובה: שתי העקומות מוצגות בצבעים שונים על מנת להבדיל בין המשתנים לבין הצירים.
3. מהו המשתנה הבלתי תלוי?
תשובה: ריכוז ה-CO₂ באטמוספירה ביחידות חל"מ.
4. מהו המשתנה התלוי?
תשובה: שינויי טמפרטורה ממוצעת ביחידות של מעלות צלזיוס.
5. מדוע לדעתכם מוצגות שתי העקומות על מערכת צירים אחת?
תשובה: על מנת לראות את ההתאמה בין שינויים בריכוזי ה-CO₂ באטמוספירה לבין שינויי הטמפרטורה לאורך אלפי שנים.
6. מדוע לדעתכם חשוב לראות נתונים של תקופת שנים כה ארוכה?
תשובה: כדי לראות שינויים לאורך זמן רב, במטרה להבין את ההתנהגות המחזורית של השינויים בשני המשתנים.

7. מה היה הערך המקסימלי של ריכוז ה- CO_2 לאורך אלפי שנים? מה היה הערך המינימלי?
תשובה: 170–300 חל"מ.
8. מה היה טווח שינויי הטמפרטורה לאורך אלפי השנים המתוארות בגרף?
תשובה: בין 10 ל-5 מעלות צלזיוס.
9. האם גרף זה עדכני היום מבחינת ריכוז ה- CO_2 באטמוספירה?
תשובה: לא, לפי פעילות קודמת ראינו שכבר נחצה קו ריכוז ה-400 חל"מ.
10. האם על סמך הנתונים בגרף אפשר להבין כיצד מערכת האקלים מאזנת את עצמה?
תשובה: לא.
11. מדוע לדעתכם יש התאמה בין שתי העקומות?
תשובה: בגלל אפקט החממה; ככל שריכוז ה- CO_2 באטמוספירה גבוה יותר, אפקט החממה גדול יותר, יותר קרני שמש נקלעות לאטמוספירה והטמפרטורה עולה.
12. אם הייתם מתבקשים לבנות גרף של שני המשתנים, "שינויי טמפרטורה" ו"ריכוז CO_2 באטמוספירה", איזה משתנה היה על ציר X ואיזה על ציר Y?
תשובה: ריכוז CO_2 על ציר X ושינויי טמפרטורה על ציר Y.
13. על גרף זה, האם הקשר בין המשתנים הוא קשר חיובי / קשר ישר; או קשר שלילי / קשר הפוך?
תשובה: קשר חיובי / קשר ישר. ככל שריכוז ה- CO_2 עולה, כך גם השינויי בטמפרטורה עולה. זה נכון גם שככל שריכוז ה- CO_2 יורד, כך גם השינויי בטמפרטורה יורד.
14. ציינו דרך אחת אפשרית שבה שינויי טמפרטורה יכולים להשפיע על ריכוז ה- CO_2 באטמוספירה.
תשובה: דוגמה אחת: עלייה בטמפרטורה גורמת לעלייה בקצב תהליך הנשימה התאית בצמחים, וכתוצאה מכך יותר CO_2 משתחרר באטמוספירה. דוגמה שנייה: עלייה בטמפרטורות יכולה לגרום לשרפות וכתוצאה מכך לעלייה בריכוז ה- CO_2 . דוגמה שלישית: עלייה בטמפרטורה גורמת להרגשת חום כבדה אצל בני האדם, כתוצאה מכך לעלייה בשימוש במזגנים, כתוצאה מכך לצריכת חשמל גדולה יותר, כתוצאה מכך לשרפת פחם בהיקף גדול יותר – שמובילה לעלייה בריכוז ה- CO_2 באטמוספירה.
15. מדוע לדעתכם עלייה בריכוז ה- CO_2 ועלייה בטמפרטורה מואצות במאה השנים האחרונות?
תשובה: יש לכך כמה סיבות: המהפכה התעשייתית ושרפת דלק מאובנים (פחמן דינוזאורים); יחס בין יצרנים לצרכנים בעולם (כמה עצים יש בעולם?); יכולת ספיגה של האוקיינוסים והקרקע, ועוד.
16. האם רק ריכוז ה- CO_2 משפיע על שינויי הטמפרטורה, או שגם שינויי הטמפרטורה משפיעים על ריכוז ה- CO_2 באטמוספירה?
תשובה: מאז הגילוי שריכוזי ה- CO_2 באטמוספירה היו נמוכים יותר בתקופות הקרח הקודמות, הסיבה הייתה בגדר תעלומה. כעת, מאובנים של אצות מגלים שהיחלשות בנסיקה באוקיינוס האנטארקטי שמרה יותר CO_2 באוקיינוס העמוק בתקופת הקרח.

שלב הסיבתיות: סימולציה של השפעת גורמים שונים על הטמפרטורה¹⁵

זהו מודל של זרימת אנרגיה בכדור הארץ, ובמיוחד אנרגיית חום. חשוב לוודא שבצד שמאל בחלקו העליון של העמוד ב-Search the Models Library מוצגת כותרת המודל Sample Models / Earth Science / Climate Change.



תמונה מס' 24: סימולציה של השפעת גורמים שונים על הטמפרטורה

לחיצה על **setup** תציג את כדור הארץ בצבע ורוד, את פני השטח כרצועה ירוקה, את האטמוספירה כשכבה כחולה ואת החלל בצבע שחור. עוצמת הקרינה של השמש ניתנת לשינוי בין 0-5; 5 היא העוצמה המקסימלית. אפקט האלבדו מוגדר בין 0-1; 1 מייצג את המצב התיאורטי שלפיו כל הקרינה של השמש מוחזרת לחלל וכלל אינה נבלעת בכדור הארץ. אפשר להוסיף לאטמוספירה עננים ומולקולות CO₂, ולחיצה חוזרת תגביר את עוצמת העננות ואת ריכוז גז ה-CO₂. עננים חוסמים את קרני השמש הנכנסות או היוצאות, ומולקולות ה-CO₂ מייצגות את גזי החממה החוסמים את הקרינה האינפורה-אדום (IR) שנפלטת מכדור הארץ.

לחיצה על **go** תציג חיצים צהובים הזורמים כלפי מטה ומייצגים את אנרגיית אור השמש. חלק מאור השמש מוחזר מעננים וחלק מפני השטח של כדור הארץ. אם אור השמש נספג בכדור הארץ, הוא הופך

¹⁵ מקורה של הסימולציה מאתר NetLogo Web

לנקודה אדומה, המייצגת אנרגיית חום (אנרגיה תרמית). כל נקודה מייצגת את האנרגיה של ראש חץ צהוב אחד של אור שמש. הנקודות האדומות נעות באקראי והטמפרטורה קשורה למספר הכולל שלהן. חלק מהאנרגיה התרמית (המיוצגת על ידי הנקודות האדומות) הופכת לקרינת אור אינפרה אדום המוקרנת לכיוון החלל. ההסתברות שאנרגיה תרמית תהפוך לקרינת אינפרה אדום פרופורציונלית לטמפרטורת כדור הארץ.

יש קשר בין מספר הנקודות האדומות בכדור הארץ לבין הטמפרטורה של כדור הארץ. הסיבה לכך היא שטמפרטורת כדור הארץ עולה ככל שהאנרגיה התרמית הכוללת גדלה. אנרגיה תרמית מתווספת לכדור הארץ על ידי קרינת אור השמש המגיעה לפני השטח וחלקה נבלעת ומחממת אותם. כדור הארץ המתחמם פולט יותר קרינת אינפרה אדום לחלל, אך חלק מקרינה זו פוגע בגזי החממה ונשאר בכדור הארץ. האיזון של קרינת אינפרה אדום המצליחה לצאת לבין קרינת השמש הנבלעת בכדור הארץ קובע את האנרגיה התרמית בכדור הארץ, שהיא פרופורציונלית לטמפרטורה.

נוסף על כך, אפשר לכוון את מהירות ההרצה של המודל על ידי הזזה של הנקודה הכחולה ב- model speed, עוצמת הקרינה של השמש (0–5) על ידי הזזה של הנקודה הכחולה ב-sun brightness, ואת עוצמת אפקט האלבדו (0–1) על ידי הזזה של הנקודה הכחולה ב-albedo. אלבדו הוא היחס בין כמות הקרינה המוחזרת מגוף או משטח לבין כמות הקרינה שפגעה בו. אם יחס זה שווה ל-0, המשמעות היא שהקרינה נבלעת לתוך החומר, אינה מוחזרת ממנו ובתוך כך גורמת לעליית הטמפרטורה שלו. אלבדו של משטח שחור הוא 0, מכיוון שכל הקרינה נבלעת ואי אפשר לראותו. לעומתו, כאשר ערך של אלבדו הוא 1, המשמעות היא שרוב הקרינה מוחזרת. לקרח ישנו אלבדו גבוה. משטחים לבנים של קרח גורמים לרוב קרני השמש להיות מוחזרות אל החלל, מחוץ לאטמוספירה. כאשר הקרח נמס, פני השטח של המים הינם בעלי אלבדו נמוך, ורוב הקרינה נספגת לתוך המים וגורמת לעליית הטמפרטורה של המים.

ראוי לשים לב כי יש הרבה הפשטות במודל הזה. כדור הארץ אינו בעל טמפרטורה אחת, אין לו אלבדו אחד ואין לו קיבולת חום אחת. אף דגם אינו מדויק לחלוטין. מה שחשוב הוא שמודל מגיב במובנים מסוימים כמו המערכת שהוא אמור למדל. מודל זה מראה כיצד אפקט החממה הנגרם על ידי גז ה-CO₂ וגזי חממה נוספים שמחזירים אל כדור הארץ קרינת אינפרה אדום גורמים להתחממות

כיצד להשתמש במודל

- המחווין SUN-BRIGHTNESS שולט בכמות אנרגיית השמש הנכנסת לאטמוספירה של כדור הארץ. ערך של 1.0 מתאים לשמש שלנו. ערכים גבוהים יותר מאפשרים לראות מה יקרה אם כדור הארץ היה קרוב יותר לשמש, או אם השמש תתבהר.
- המחווין ALBEDO שולט בכמות הנספגת מתוך אנרגיית השמש הפוגעת בכדור הארץ. אם האלבדו הוא 1.0, כדור הארץ מחזיר את כל אור השמש. זה יכול לקרות אם כדור הארץ קפא ומכוסה על

ידי משטח לבן. אם האלבדו הוא אפס, כדור הארץ סופג את כל אור השמש, והוא יסומן כמשטח שחור. האלבדו של כדור הארץ הוא בערך 0.6.

- אפשר להוסיף ולהסיר עננים באמצעות כפתורים. עננים חוסמים את אור השמש אך לא קרינת האינפרא אדום.
- אפשר להוסיף ולהסיר גזי חממה, המיוצגים כמולקולות. גז ה- CO_2 חוסם קרינת אינפרא אדום, אך לא אור שמש. הכפתורים מוסיפים ומפחיתים מולקולות בקבוצות של 25 עד 150.
- הטמפרטורה של כדור הארץ קשורה לכמות החום בכדור הארץ. ככל שרואים יותר נקודות אדומות, כך כדור הארץ חם יותר.

שאלות נוספות שכדאי לשאול

- צפו בראש חץ אחד של אור שמש. הדבר קל יותר אם אתם מאיטים את הדגם באמצעות המחווה בחלק העליון שלו. אתם יכולים להשתמש גם בלחצן WATCH A RAY.
- מה קורה לראש החץ כשהוא פוגע בכדור הארץ? תארו את דרכו המאוחרת. האם הוא בורח מכדור הארץ? מה קורה אז?
- שחקו בדגם. שנו את האלבדו והפעילו את המודל. הוסיפו עננים ו- CO_2 לדגם ולאחר מכן צפו בראש חץ אור שמש בודד. מהי טמפרטורת כדור הארץ הגבוהה ביותר שאתם יכולים לייצר?
- חקרו את ההשפעה של האלבדו כשכל שאר המשתנים קבועים. האם הגדלת האלבדו מעלה או מורידה את טמפרטורת כדור הארץ? בעת ניסוי, הקפידו להפעיל את המודל די זמן כדי שהטמפרטורה תתייצב.
- חקרו את השפעת העננים שמחזיקים את כל שאר המשתנים הקבועים.
- חקרו את ההשפעה של הוספת 100 מולקולות CO_2 . מה הסיבה לשינוי שאתם רואים? עקבו אחר ראש חץ אחד מאור השמש¹⁶.



מזג אוויר מול שינויי אקלים, סרטון (2:09).

¹⁶ Tinker, R. & Wilensky, U. (2007). NetLogo Climate Change model. : Model
<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/ClimateChange>. Center for Connected Learning
and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL.
: Wilensky, U. (1999). NetLogo. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>. NetLogo software
Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University,
Evanston, IL.

3.3 השפעות של שינויי האקלים על מערכות אקולוגיות

שינויי האקלים משפיעים על מערכות אקולוגיות בכלל ועל מגוון המינים ובריאות האדם בפרט. פרק זה עוסק בחשיבותו של המגוון הביולוגי, בהתאמות של אורגניזמים לשינויי האקלים, בהשפעות של שינויי האקלים על בריאות האדם ועל הביטחון התזונתי, ועוד.

3.3.1 מגוון ביולוגי

מהו מגוון ביולוגי ומדוע חשוב לשמור עליו?

המושג "[מגוון ביולוגי](#)" (biodiversity) מתייחס לעולם החי (bio) והמגוון (diverse). המגוון מתבטא בשלוש רמות ארגון: מגוון גנטי, מגוון המינים ומגוון מערכות אקולוגיות. המגוון הביולוגי הוא תוצאה של תהליכים אבולוציוניים של יחסי גומלין בין המינים ובינם לבין הסביבה. המגוון הרב במערכות האקולוגיות בעקבות תנאי סביבה שונים כגון אקלים, טופוגרפיה ועוד, מקיים מגוון מינים ומגוון גנטי לאורך מיליוני שנים; המגוון הגנטי – השוני בגנים בין הפרטים בני אותו מין – מאפשר למין להתאים לתנאי סביבה משתנים ולשרוד; מגוון המינים מתאר את העושר של המינים בממלכות העולם החי של בעלי החיים, צמחים, מיקרואורגניזמים ועוד. שני מדדים עיקריים משמשים להערכת [מגוון המינים](#): עושר המינים, כלומר, מספר המינים החיים במקום מסוים; שפע הפרטים, כלומר, מספר הפרטים מכל מין ביולוגי.

הסרטון [Biodiversity \(7:34\)](#) מסביר את המושג מגוון המינים ואת חשיבותו. לאחר תיאור סוגים של מגוון ביולוגי, כגון מגוון המינים, מגוון גנטי או מגוון מערכות אקולוגיות, מוסברת חשיבותו של מגוון המינים, דרך שתי דוגמאות: היגואר ולוטרת הים. הסרטון מסתיים בציטוט ממי שנחשב לאבי המגוון הביולוגי, אדוארד א' וילסון: "התהליך היחיד שעובר כעת וייקח מיליוני שנים לתקן הוא אובדן המגוון הגנטי והמינים על ידי הרס של בתי גידול טבעיים. זו האיוולת שצאצאיו הכי פחות יסלחו לנו עליה."



המערכות האקולוגיות המגוונות והמשגשגות על פני כדור הארץ נראות קבועות ויציבות, אבל הן למעשה דינמיות ופגיעות. יערות עד יכולים להפוך למדבריות, ושוניות יכולות להפוך לסלעים חסרי חיים. מה הופך מערכת אקולוגית אחת לחזקה ואחרת לחלשה נוכח השינוי? התשובה לשאלה זו, במידה רבה, היא המגוון הביולוגי. הסרטון [Why is biodiversity so important? \(4:18\)](#)¹⁷ מציג את החיוניות של מארג המגוון הביולוגי בשמירה על איזון בטבע, וכולל דוגמאות כמו יערות הגשם של אמזונס ושוניות אלמוגים. גם אנחנו, בני האדם, ארוגים בתוך המגוון הביולוגי הזה. מארג המגוון הביולוגי מספק לכל היצורים, כולל בני האדם, תנאי קיום בסיסיים כמו אוויר, מים, מזון, דלק, תרופות, וכן יציבות וביטחון.

¹⁷ בדקה ה-1:28 בסרטון יש לשים לב לניסוח תכליתי שרצוי להתייחס אליו: האם מיקרואורגניזמים מפרקים כדי להעשיר את הקרקע?

כאשר רק כמה חוטים אובדים, לדוגמה מין אחד נעלם, המערכת האקולוגית נפגעת אך אינה מתמוטטת. המגוון הביולוגי הקיים במערכת האקולוגית גורם לעמידותה ולשיקום מהשינוי. אם מספר רב של חוטים נעלמים, כל המארג בסכנה קיומית.

האם שינויי אקלים יכולים להשפיע על המגוון הביולוגי?

המקור העיקרי לסכנות הנשקפות למגוון הביולוגי הוא שינויי האקלים המהירים. שינויי טמפרטורה, גלי חום וקור מעבר לסף העמידות של בעלי חיים, שינויים קיצוניים בבית הגידול כמו הפשרת קרחונים, שיטפונות, בצורות, שרפות, החמצת האוקיינוסים ועוד – כל אלה הם תופעות הגורמות לצמצום המגוון הביולוגי.

התאמת העולם הבייתי לשינויי האקלים המהירים מתרחשת במגוון דרכים, אך לא תמיד בהצלחה. במיוחד נמצאים בסכנה המינים האנדמיים אשר מתקיימים בנישה אקולוגית מוגדרת ויחידה בעולם. בסרטון שלהלן מוגדרת הסכנה למינים האנדמיים בעקבות ההתחממות הגלובלית: **בהתחממות של 3 מעלות צלזיוס ומעלה, 100% מהמינים האנדמיים החיים באיים צפויים להיכחד (0:45)**. דוגמאות למינים אנדמיים הם דוב הקוטב, קואלה, שנונית באר שבע¹⁸, חבצלת הנגב, אירוס הארגמן, ועוד.



מגוון המינים בארץ – סרטון המגוון הביולוגי (6:20). מיליוני ציפורים חולפות בשמינו מדי שנה בנדידתן ומעשירות בעונות המעבר את המגוון הביולוגי העצום של ישראל. מגוון ביולוגי מתאר את יחידות הנוף, את מגוון המינים והשונות הגנטית ביחידות אלה, את מקומות חיותן ואת חשיבותן לקיומו של האדם. בישראל קיים מגוון ביולוגי עשיר במיוחד בזכות מיקומה הגאוגרפי כגשר בין שלוש יבשות ובשל מגוון סוגי האקלים שבה.

דו"ח מצב הטבע 2022 בישראל סוקר את תופעות שינויי האקלים ומציג כיצד השינויים הנצפים והצפויים משפיעים על המגוון הביולוגי.



הצעה לפרויקטים של **מדע אזרחי** (Citizen Science), המשלב לומדים בביצוע מחקרים מדעיים בנושאים ובתחומים מגוונים מעולם המדע, הוא התפתחות חדשה בנוף המדע המודרני. במיזמי מדע אזרחי, הלומדים משתתפים בפעילויות כמו ניטור תופעות אקלימיות, איכות מים, תפוצת ציפורים ועוד. הרעיון בבסיס המחקר והעשייה הוא כי המדע אינו נחלתם של יחידים סגולה, אלא נגיש לכלל הציבור. פרויקטים אשר שמים דגש על מגוון המינים הם: תעלומת החמציצים, אפקט הדבורה, תצפיטבע. הכמות הגדולה של הנתונים הנאספים בפרויקטים אלה משמשת בסיס נרחב לחקר ומחקר על ידי מדענים ולומדים כאחד. לרשות בתי הספר עומדים מערכי שיעור, הפעלות, סיוע והנחיה בבנייה וביצוע של מחקר בדגש על עיבוד הנתונים.

¹⁸ נועה פישר, משבלול החרמון ועד שנונית באר שבע: חיות שנמצאות רק בישראל, YNET, 2022.



אירוס הגלבוש ועוד 39 צמחים בסכנת הכחדה בישראל

ישראל עשירה במיני צמחים ביחס לעולם, אף על פי שהיא מדינה קטנה, וזאת בזכות מיקומה במפגש בין יבשות ומגוון אזורי האקלים המאפיינים אותה. בכתבה מוצגים מינים אנדמיים המצויים בסכנת הכחדה בישראל. מדו"ח של רשות הטבע והגנים עולה שהצמחים המצויים בסכנת הכחדה בארץ מוגנים יותר – 95% מהם נכללים כיום ברשימת המינים המוגנים, לעומת 16% בלבד בעשור הקודם.

המגוון הביולוגי ואנחנו (מוזיאון הטבע ת"א)

חיינו שזורים במגוון הביולוגי בארץ ובעולם. המגוון הביולוגי מעצב את התנאים על פני כדור הארץ ומספק לנו, בני האדם, מגוון רחב של שירותים ותועלות – שירותי המערכות האקולוגיות.

פעילות מס' 12: "מגוון ביולוגי"



מטרת הפעילות היא ללמוד לנסח שאלות ולהעריך שאלות ותשובות. בפעילות זו חמישה שלבים. הפעילות מתקיימת לאורך מספר שיעורים. תפקיד המורה הוא ללוות את הצוותים השונים לאורך התהליך. המספר האופטימלי בצוות הוא שניים עד שלושה לומדים. חשוב לחשוף את הלומדים בהדרגה לשלבים השונים על מנת לשמור על מתח לימודי חיובי ולשתף את הלומדים בהתאמת השלב לקבוצה. העבודה נעשית בקבצים משותפים עם הרשאות מוגדרות בכל שלב ושלב. אפשר לבחור מאמרים נוספים ולהרחיב את הפעילות.



שלב 1

קבוצת הלומדים מתחלקת לשלושה צוותים. כל צוות קורא מאמר ומנסח שלוש שאלות בעקבות המאמר. השאלות יכולות להיות שאלות שהתשובה עליהן נמצאת בתוך הטקסט, שאלות של סקרנות מעבר לכתוב במאמר, שאלות הקשורות לנושאים הנלמדים בתוכנית הלימודים, ועוד. לדוגמה, בעקבות המאמר "להתנהג בהתאם – שינויי התנהגות כתגובה לשינויי אקלים" יכולות לעלות שאלות כגון: מהו היצור עליו מדובר במאמר? (הפיקה האמריקאית); כיצד ההתנהגות של הפיקה האמריקאית משתנה בעקבות שינויי אקלים? האם זאת התאמה או הסתגלות? ועוד.

1. הנשאים והעוברים – השפעת ההתחממות הגלובלית על תפוצת אורגניזמים, עלון מורי הביולוגיה, גיליון 199, שינויי אקלים, עמוד 9, 2020.
2. להתנהג בהתאם – שינויי התנהגות כתגובה לשינויי אקלים, עלון מורי הביולוגיה, גיליון 199, שינויי אקלים, עמוד 17, 2020.
3. שעון גמיש – השפעת ההתחממות הגלובלית על פוטופריודיזם, עלון מורי הביולוגיה, גיליון 199, שינויי אקלים, עמוד 23, 2020.

שלב 2

כל צוות בוחר מאמר נוסף, קורא אותו ועונה לשאלות שנוסחו קודם לכן על ידי צוות אחר.

שלב 3

כל צוות מנסח תשובות לשאלות שהוא עצמו ניסח במאמר הראשון, בונה סוג של פתרון.

שלב 4

הערכת עמיתים. כל צוות מעריך את התשובות של צוות אחר, תוך הקפדה על רכיבים שונים בתשובה כגון דיוק מדעי, עושר טרמינולוגי מקצועי, כתיבה מעניינת, ועוד. ההערכה יכולה להיות רחבה יותר ולכלול גם הערכה של ניסוח ובהירות השאלות, עומק ועניין בשאלות, ועוד. כדאי לבנות מחוון יחד עם הלומדים.

שלב 5

מצגת. כל צוות מומחים יבנה מצגת על המאמר שבעקבותיו ניסח שאלות. המצגת תהיה בהיקף של שקף או שניים, תעלה בקובץ משותף, ותציג לכל הקבוצה את הרעיון המרכזי במאמר ואת עיקרי תוצאות המחקר. לאחר הצגת המאמרים אפשר להוסיף רכיב מתאים בהערכת העמיתים. בסיום ההצגות תתקיים רפלקציה על תהליך הלמידה, על הקשיים, על מידת ההנאה בלמידה שונה, ועוד. לסיכום יוכרזו המנצחים לפי הערכות העמיתים עבור כל השלבים.

רעיון לפרויקט מלווה – "אמץ אורגניזם" – הלומדים יכולים לבחור באורגניזמים המצויים בסכנת הכחדה ובאורגניזמים שאינם מוגדרים בסכנה, להכיר אותם מקרוב לאורך השנה או בתקופה של שלוש שנים, לחקור את דרכי ההסתגלות או ההתאמה של האורגניזמים לשינויי האקלים.



דפוס אוריגמי

רוצים ללמוד כיצד להכין אוריגמי של חיות? לחצו על תמונת החיה לקבלת הוראות שלב אחר שלב להדפסה.

3.3.2 בריאות ורווחת האדם

הבריאות והרווחה שלנו קשורות קשר בל ינתק לסביבתנו הטבעית. לשינויי האקלים יכולות להיות השפעות חיוביות או שליליות על מערכות אקולוגיות, וכתוצאה מכך על הבריאות והרווחה. דוח ההערכה השישי של ה-IPCC, שינויי אקלים 2022: השפעות, הסתגלות ופגיעות, מראה שרוב ההשפעות עד כה הן שליליות. השפעותיו של שינוי אקלים יכולות להיות ישירות על בריאות האדם, לדוגמה, התמותה באירופה בעקבות גלי החום בקיץ הנוכחי, מגפות ומחלות.

נוסף על כך, העלייה בריכוז ה- CO_2 באטמוספירה, העלייה בטמפרטורה הממוצעת ובתדירותן של טמפרטורות קיצוניות, שינויים בכמות ומועדי המשקעים – כולם משפיעים על יכולתה של החקלאות העולמית לספק מזון לתושבי כדור הארץ. שינויי האקלים משנים את התפוצה, ההתפרצות והעוצמה של מזיקים ומחלות בצמחים ובבעלי חיים, כמו גם את התפוצה של מינים פולשים. לאחרונה הופיעו זנים אלימים חדשים של מחוללי מחלות בחיטה המותאמים לטמפרטורות גבוהות, התפשטו במהירות ובאופן מפתיע בחמש יבשות וגרמו למגפות באזורי גידולים חדשים שקודם לכן לא היו מתאימים למזיקים אלו ושלא קיימים בהם עדיין זני חיטה עמידים ומותאמים¹⁹.

עלייה בגובה פני הים עלולה לסכן שטחים שחיה בהם אוכלוסייה גדולה; סופות, שרפות ומשקעים חזקים לפרקי זמן קצרים הם סכנה לחיי אדם ולבתים, מדבור לתקופות ארוכות יכול להיות בעיה למקורות המים לשתייה ולחקלאות; מינים פולשים המשנים מקום מחייה בעקבות שינויי אקלים, או מגפות הן של בני אדם והן של גידולים חקלאיים – יכולים לסכן את הבריאות ואת הביטחון התזונתי.

¹⁹ ד"ר דורית אדלר, הפורום הישראלי לתזונה בת-קיימא: בטחון תזונתי ומשבר האקלים: השפעות הגומלין של המזון על הסביבה ומגפות ההשמנה, אי בטחון תזונתי ועת החירום האקלימית.

פעילות מס' 13: "בריאות ורווחת האדם"



מטרת הפעילות היא לפתח חשיבה מערכתית, לרבות זיהוי הרכיבים במערכת (שינויי אקלים מול היבטים בבריאות וברווחת האדם), זיהוי הקשרים ביניהם וחיזוי ההשפעה של שינוי רכיב אחד או יותר של אקלים על בריאות האדם ורווחתו. פעילות זו משמשת גם חזרה על הגורמים האביוטיים, הבנת יחסי הגומלין בין הגורמים במערכת אקולוגית ובנוסף נוגעת בתהליך החיזוי. בפעילות זו חמישה שלבים.



שלב 1

חזרה על הגורמים האביוטיים בהקשר של אקלים ויחסי הגומלין ביניהם. רישום על הלוח של תרשים השרשרת הנסיבתית של שינויי אקלים (תמונה מס' 12).

שלב 2

הלומדים מתחלקים לצוותים וכל צוות כותב לעצמו השפעות אפשריות של שינויי האקלים על היבט אחד ברווחת האדם. דוגמאות להשפעות אפשריות הן עלייה בטמפרטורה, כולל גלי קור וגלי חום, והשפעתה על מחלות; שיטפונות ובצורות והשפעתם על גידולים חקלאיים; עלייה בגובה פני הים וסופות והשפעתה על בתי מגורים; עלייה בטמפרטורה והשפעתה על הסיכוי להתפשטות של מחלות מידבקות, ועוד. זוהי הזדמנות טובה לשלב גם נושאים אחרים בתוכנית הלימודים, כמו גוף האדם, נגיפים וחיידקים, ועוד.

שלב 3

כל צוות מציג את ההשפעות שכתב והצוותים מקיימים דיון קצר במליאה. יחד מנסים לבנות את המשך תרשים השרשרת הנסיבתית של שינויי האקלים, בתוספת ההשפעות האפשריות על בריאותו של האדם ורווחתו.

שלב 4

כל צוות מחפש באינטרנט דוגמאות להשפעות אפשריות שהציג ולהשפעות נוספות שלא הועלו במליאה.

שלב 5

רפלקציה על תהליך הלמידה.

דוגמאות למקורות:

[חם יותר בישראל, לח יותר וגם מסוכן יותר](#), (2022) YNET, כתבה וסרטון (1:44). לפי מחקר ישראלי חדש, עומס החום בישראל – השילוב המעיק בין הטמפרטורה והלחות – רק הולך ומתגבר. בדיוק כמו שכולנו מרגישים. זה לא "רק" לא נעים – זה גם מאוד לא בריא בטווח הארוך.

[מחקר: משבר האקלים יגדיל את הסיכוי להתפשטות מחלות מידבקות](#), הארץ (2022). מודל ממוחשב חוזה שהאקלים המתחמם יגרום למינים רבים של בעלי חיים לחפש אזורי מחייה קרים יותר. המגע עם בעלי חיים חדשים יגרום למעבר של נגיפים בין מיני יונקים – וחלקם עשויים להדביק בני אדם.

[Climate Change Could Affect Global Agriculture within 10 Years](#), סרטון (2:04)²⁰. על פי מחקר חדש של NASA, התשואות הממוצעות ביבול העולמי של התירס צפויות לרדת בכ-24% עד לסוף המאה, בעוד שהביקוש רק הולך וגדל. ביחס לחיטה, לעומת זאת, צפויה עלייה של כ-17% בתשואות היבול. השינוי בתפוקות נובע מהעליות הצפויות בטמפרטורה, השינויים בדפוסי הגשמים וריכוזי ה-CO₂ על פני השטח עקב פליטת גזי חממה הנגרמת על ידי אדם. [Impact of Climate Change on Global Agricultural Yields](#). הדמיית נתונים של יבולי חיטה ותירס הצפויים להשתנות עד סוף המאה העשרים ואחת, בהתבסס על מכלול של מודלים העוסקים ביבולים ובשינויי אקלים.

²⁰ אפשר לראות את הסרטון בקישור [Climate Change Could Affect Global Agriculture Within 10 Years](#) ולהפעיל תרגום סימולטני לעברית.

סיכום

פעילויות חוץ

- [זה מתחמם](#), תערוכת מוזיאון הטבע בת"א
- ביקור בתחנת כוח [חברת חשמל חדרה](#)
- ביקור בתחנה [הסולארית אשלים](#)
- ביקור בתחנת רוח [חוות הרוח בגלבע](#)
- מרכז המבקרים "שירותי אקולוגיה": [/https://visit.eco-srv.com](https://visit.eco-srv.com)
- [יחידות השירות המטאורולוגי](#)

עקרונות אוריינות מדעית אקלימית

1. השמש היא מקור אנרגיה ראשונית.
2. האקלים הוא מורכב.
3. החיים משפיעים על האקלים והאקלים משפיע על החיים.
4. האקלים משתנה.
5. האדם משפיע על האקלים.

"על מנת להמשיך ולהשתנות נצטרך להשאיר מאחור הרבה ממה שאנחנו כבר מכירים, ולהרגיש נוח עם הלא-נודע. לרוע המזל, הרבה יותר קשה ללמד ילדים להתמודד עם הלא-נודע מאשר לזכור משוואה פיזיקלית או תאריך של קרב מפורסם. אי אפשר ללמוד דברים כאלה בקריאת ספר או בהקשבה להרצאה"²¹.

²¹ יובל נח הררי, **21 מחשבות על המאה ה-21**, כנרת זמורה-ביתן דביר, 2018.