

יחידת הוראה

מבוא למשבר האקלים

עבור מורים לתלמידי תיכון

ד"ר נירית לביא אלון | ד"ר הגר ליס
אוגוסט 2020



יחידת הוראה מבוא למשבר האקלים

יחידת מבוא

יחידה זו נועדה לתת לתלמידים רקע מקיף על משבר האקלים העולמי. התלמידים ייחשפו לתופעות שונות הממחישות את משבר האקלים. הם יכירו את אפקט החממה והשפעתו על ההתחממות הגלובלית. התלמידים ילמדו על הגורמים להתחממות הגלובלית ויכירו את התחזיות הצפויות על פי מודלים לחיזוי אקלים. התלמידים יכירו את המחלוקת סביב פרשנות הנתונים המדעיים והקשר בין פעילות האדם לשינויי אקלים, יעסקו בהיבטים מוסריים הקשורים לאחריות לפליטות גזי החממה ולסוגיות של צדק סביבתי בנושא. התלמידים יעסקו בפתרונות למשבר האקלים ויקדמו פעילויות לצמצום משבר האקלים שבתחום השפעתם האישית.

יש לקחת בחשבון שנושא משבר האקלים עלול לגרום לפחדים ולחרדות. לכן, עלינו להיות קשובים לתלמידים ולתת מקום לביטוי רגשות וחששות. בשיעורים השתדלנו לא להדגיש את התרחיש הגרוע ביותר, אלא את הפתרונות האפשריים וגם את המקום של הפרט להשפיע ולשנות. חשוב להציג גישה חיובית - יש לנו את האפשרות ואת היכולת לשנות את המציאות.

יחידה זו נועדה לתת מענה לרעיונות הגדולים הבאים:

- התפתחות הטכנולוגיה והקדמה נותנת מענה לצרכים ולבעיות החברה האנושית ומשפיעות על החברה הכלכלה והסביבה.
- לאדם מחויבות לצמצום הפגיעה בסביבה באמצעים טכנולוגיים והתנהגותיים.
- משבר האקלים הוא תוצאה של התערבות האדם בסביבה והוא בעל השלכות על הכלכלה החברה והסביבה.

מושגים שילמדו ביחידת המבוא:

אפקט החממה, גזי חממה, קרינה תת-אדומה, אטמוספירה, מחזור הפחמן, אירועי אקלים קיצוניים, התחממות גלובלית (התחממות עולמית), שינויי אקלים, משבר האקלים, מדבור, הפשרת קרחונים, אֶמֶנֹות והסכמים בינלאומיים: הגבלת הפליטה של גזי חממה, צדק סביבתי, דלקים פוסילים, תיאוריה מדעית, מתאם (קורלציה) וסיבתיות, דוחות שינויי האקלים של ה-IPCC, אלבדו, חלקים למיליון (ppm), מחזור הפחמן, רגישות אקלימית, מאזן אנרגיה של כדה"א, עלייה במפלס הים.

ידע קודם נדרש: שכבות האטמוספירה, זיהום אוויר והגורמים העיקריים (טבעיים ומלאכותיים) - ילמד בכיתה י

בהמשך ליחידה זו נכתבו יחידות נוספות העוסקות בנושאים הבאים:

- השפעות משבר האקלים על הטבע ועל החברה
- פתרונות למשבר האקלים - כיצד נצמצם את התלות שלנו בדלקים פוסילים?

פיתוח וכתובה: ד"ר נירית לביא אלון וד"ר הגר ליס, אוגוסט 2020

תודותינו למפמ"ר מדעי הסביבה הגב' סאמיה אבו חיט, למדריכה מרכזת שרית אמיתי, לד"ר רוחמה ארנברג משרד החינוך, לפרופ' טלי טל יו"ר ועדת המקצוע במדעי הסביבה, לד"ר עונוי גבארה על הקריאה וההערות.

רצף שיעורים ביחידה

שיעור	שם השיעור	רעיונות מרכזיים	מושגים
1- פתיחה	משבר האקלים ואני	* יצירת הזדהות וקשר אישי לנושא * הכרת מושגי יסוד * העלאת ידע קודם ותפיסות שגויות * התייחסות להיבט הרגשי	אקלים, משבר אקלים, שינויי אקלים, התחממות גלובלית, גזי חממה, פחמן דו חמצני, דלקים פוסילים, אפקט חממה, חור באוזון, אטמוספירה
2- התנסות נירית	ראיות לשינויי אקלים	* הכרת תופעות אקלים קיצוני	אקלים, מזג אוויר, אירועי אקלים קיצוניים, מצב חרום אקלימי, עליית מפלס הים, שריפות, גלי קור, גלי חום, הפשרת קרחונים, אובך, החמצת אוקיינוסים, משטר גשמים, מדבור
3- התנסות	אפקט החממה והתחממות גלובלית	* הבנת אפקט החממה באמצעות ניסוי או סימולציה * הכרת גזי החממה ומקורם * הכרת מאזן האנרגיה בכדה"א	גזי חממה, אפקט חממה, התחממות גלובלית, דלקים פוסילים, קרינה תת-אדומה
4- התנסות הגר	הקשר בין פעילות האדם, פד"ח וטמפרטורה	* בחינת הקשר בין פד"ח אטמוספרי וטמפרטורה לאורך זמן. * הבחנה בין מתאם (קורלציה) לסיבתיות	מתאם (קורלציה), סיבתיות, פחמן דו חמצני, אטמוספירה, שריפת דלקים פוסילים, תקופת קרח
5- התנסות	פד"ח ומחזור הפחמן	* הבנה של המקורות ומבלעים של פחמן אטמוספרי. * היכרות עם מחזור הפחמן בדגש על פד"ח.	פוטוסינתזה/יצרנות ראשונית, נשימה תאית, שריפת דלקים פוסילים,
6- התנסות	מודלי אקלים - תחזיות לעתיד	* הבנה של מודל חיזוי אקלים ומגבלותיו * התנסות במודל בסיסי * ניתוח מודלים לחיזוי אקלים	מודל חיזוי אקלים
7- המשגה	מה הקשר בין המונחים שלמדנו?	* צירת קשרים בין המושגים שנלמדו לכדי "תמונה גדולה".	המושגים שנלמדו עד כה
8- יישום	מכחישי משבר האקלים	* דיון מהימנות מקורות מידע. * התמודדות עם טיעונים של מכחישי משבר האקלים.	מידע כוזב (fake news), עובדה (fact), דעה (opinion), תיאוריה מדעית (scientific theory)

תיאוריית האקלים, IPCC, הכשת אקלים			
גזי חממה, טביעת רגל פחמנית, צדק סביבתי, אמנת אקלים, מדיניות אקלים, סחר פליטות, קיזוז פחמן, פרוטוקול קיוטו, ועידת אקלים, הסכם פריז	*דיון בשאלות אתיות - על מי נופלת האחריות של פליטת גזי חממה וצדק סביבתי. *חשיפה למדיניות אקלים ולמידה על אמנות אקלים.	גזי חממה - של מי האחריות?	9- התנסות
	* פעילות לצמצום פליטות אישית/קהילתית *פעילות הערכה - השלמת טקסט ושאלות חשיבה ביקורתית * נסיים את היחידה ברמה האישית - הבעת תחושות ורגשות ביחס למשבר האקלים, תוך השוואה לתחילת לימוד היחידה.	משבר האקלים ואני - מה אני יכול לעשות?	10- סיכום
	הצעה להערכה חלופית על סמך מטלות מהשיעורים ביחידה שאלות חשיבה ביקורתית		הערכה

בשיעורים אלו יש התייחסות לגורמים קבועים:

גורם	ניסויים והתנסויות	המחשבות והדגמות	מענה לשונות	הקשרים וחיידושים	היסטוריה ופילוסופיה של המדע
הסבר	קישורים להנחיות ניסויים והתנסויות אפשריות	קישורים לסימולציות, סרטונים, הנחיות להדגמות והמחשבות	פעילויות של הוראה דיפרנציאלית הנותנות מענה לשונות התלמידים	חיידושים במדע ובטכנולוגיה בתחום היחידה	מהלך המחקר בנושא היחידה, סיפור גילוי התופעות המרכזיות, סיפורי מחקר בתחום. מדעניות/ים בולטות/ים
שיעור 1			פתיחה - אפשר לבחור את רמת המשפטים לפי רמת התלמידים	מהלך השיעור חלופה 1 - הצגת מחקרים על קצב עליית מפלס הים	
שיעור 2		פתיחה - סרטון מסביר את ההבדל בין מזג אוויר	מהלך השיעור - ניתן לבחור חלופה המתאימה לרמת	מהלך השיעור חלופה 1 - כרטיסיות הכוללות נתונים	

	ממחקרים מדעיים	התלמידים בכיתה	לאקלים		
	פתיחה - מידע על גזי חממה ומקורותיהם	מהלך השיעור - ניתן לבחור חלופה המתאימה לאופי הכיתה - ניסוי או סימולציה ממוחשבת	פתיחה - הדמיית אפקט החממה לרכב סגור ביום חם או חממת צומח מהלך השיעור חלופה 1 - ניסוי ממחיש אפקט חממה חלופה 2 - סימולציה	מהלך השיעור חלופה 1 - ניסוי אפקט חממה חלופה 2 - סימולציה ממוחשבת על אפקט החממה	שיעור 3
פתיחה - הבנת השיטה המדעית להוכחת קשר בין גורמים מהלך השיעור חלופה 1 - ההיסטוריה של מחקר האקלים (עקומת קילינג)	מהלך השיעור - חלופה 1,2 - מחקרים על קשר בין פד"ח לעליית טמפרטורה סיכום - ממצאי דוח ה IPCC	מהלך השיעור - חלופה 1 יותר חישובית (חישוב קצבים) + ניתוח נתונים גרפיים בעוד שחלופה 2 פחות חישובית ומבוססת על ניתוח סרטון וגרפים.	פתיחה - גרפים להמחשת סיבה ותוצאה, סרטון מהלך השיעור חלופה 2 - סרטון על הסיבות לעלייה בטמפ' הממוצעת		שיעור 4
		מהלך השיעור - ניתן לבחור את רמת ההעמקה במחזור הפחמן חלופה 1 (שאלה 3) - ניתן לבחור את רמת השאלות בהתאם לרמת התלמידים	פתיחה - אנלוגיה של הפד"ח באטמוספירה למים באמבטיה מהלך השיעור חלופה 1 - הדמיה של NASA + סרטון על ריכוזי פד"ח אטמוספרי; חלופה 2 - סרטון חלופה 3 - סימולציה של מחזור הפחמן	מהלך השיעור - הכנת שרטוט למחזור הפחמן חלופה 3 - סימולציה של מחזור הפחמן	שיעור 5
פתיחה - הבנה של מהו מודל, כיצד נבנה וכיצד ניתן לחזות באמצעותו מצב עתידי	מהלך השיעור חלופה 2 - השוואה בין מודלים, הבנת תרחישי אקלים לפי IPCC	מהלך השיעור - חלופה 2 יותר מאתגרת מחלופה 1.	פתיחה - הגדרת המושג מודל מדעי והבנת השימוש בו מהלך השיעור חלופה 1 - מודל ממוחשב הקשר בין גורמים שונים אשר משפיעים על טמפרטורת כדה"א. חלופה 2 - ניתוח תוצאות מודלים החוזים טמפרטורה עתידית.	מהלך השיעור חלופה 1 - התנסות במודל ממוחשב תוך כדי הבנה של גורמים הכלולים בו. חלופה 2 - ניתוח והשוואה בין מודלים לטמפרטורה עתידית	שיעור 6

			מהלך השיעור חלופה 1, 2 - הדגמת קמפיינים / פליירים שונים	פתיחה - בניית מפת חשיבה מהלך השיעור - התנסות ביצירת קמפיין/פלייר	שיעור 7
פתיחה - הבנת השיטה המדעית ככלי ליצירת עובדות, הבחנה בין מקורות מידע ראשוניים ומשניים, ביקורת עמיתים מהלך השיעור חלופה 1 - הבחנה בין עובדה, דעה, השערה ותיאוריה מדעית		מהלך השיעור - ניתן לבחור חלופה המתאימה לרמת התלמידים בכיתה	מהלך השיעור חלופה 1 - סרטון סיכום - סרטון	פתיחה- תרגיל במהימנות מקורות מידע. מהלך השיעור חלופה 1 - מיון משפטים לעובדה, דעה, השערה ותיאוריה מדעית חלופה 3 - ניסוח טיעונים ביחס למאמרים	שיעור 8
	מהלך שיעור חלופה 1 - נתוני פליטות פד"ח של מדינות		מהלך השיעור חלופה 2 - סרטון	פתיחה - מחשבון טביעת רגל פחמנית מהלך השיעור חלופה 3 - מחשבון טיסות	שיעור 9
		הערכה - התאמה לרמות שונות: השלמת מילים בקטע עם מחסן מושגים/ללא מושגים; שאלות חשיבה עם חומר פתוח/בלי חומר פתוח		מהלך השיעור חלופה 3 - מחשבון טיסות	שיעור 10

הערכה

בשיעור המסכם מוצגות שתי הצעות לפעילות הערכה. כמו כן ניתן להעריך את התלמידים באמצעות הערכה חלופית על סמך מטלות מהשיעורים ביחידה. להלן רשימת מטלות אפשריות להערכת התלמידים:

מספר שיעור ונושא	מטלה בשיעור	אופן ההערכה	הצעה לחלק יחסי בציון %
2. ראיות להתחממות גלובלית	גוף השיעור - עבודה בקבוצות להכרת ראיות לתופעות חלופה 1 - כרטיסיות נתונים חלופה 2 - דפי מידע, ג'יקסו	א. השתתפות התלמיד בעבודת הקבוצות ב. הבנת הנתונים (חלופה 1) / ארגון המידע על ההיבטים השונים של התופעות (חלופות 2,3) ג. אופן ההצגה לשאר הקבוצות	10

		חלופה 3 - איסוף מידע סיכום השיעור - הצגת התופעות	
15	א. מידת ההשתתפות של התלמיד בביצוע הניסוי / הסימולציה ב. רמת התשובות של התלמידים לדף העבודה המלווה לניסוי/סימולציה	גוף השיעור חלופה 1 - ניסוי + דף עבודה חלופה 2 - סרטון + דף עבודה	3. אפקט החממה והתחממות גלובלית
10	רמת התשובות של התלמידים לדף העבודה בכל חלופה	גוף השיעור חלופה 1 - דף עבודה לגבי נתוני פליטות פד"ח חלופה 2 - סרטון + דף עבודה	4. הקשר בין האדם לפד"ח ולעליית הטמפרטורות
10	רמת התשובות של התלמידים לדף העבודה בכל חלופה	גוף השיעור חלופה 1 - סרטון + דף עבודה חלופה 2 - סרטון + דף עבודה חלופה 3 - סימולציה + דף עבודה	5. פד"ח ומחזור הפחמן
10	רמת התשובות של התלמידים לדף העבודה בכל חלופה	גוף השיעור חלופה 1 - סימולציה + דף עבודה חלופה 2 - דף עבודה להשוואה בין מודלים + תרחישים שונים למודל של IPCC	6. מודלי אקלים ותחזיות לעתיד
15	יש להעריך את נכונות הקשרים שהתלמידים הוסיפו בין המושגים וההסברים שלהם. א. השתתפות התלמיד בפעילות הקבוצתית ב. מידת הדיוק והבהירות של המסר / המושגים בקמפיין/פלייר ג. מידת היצירתיות וההשקעה בתוצר	פתיחה - בניית מפת חשיבה או גוף השיעור חלופה 1 - יצירת קמפיין בישראל חלופה 2 - יצירת פלייר הסבר	7. המשגה ווישום
15	בנוסף להערכת השתתפות התלמידים בדיונים ובעבודה בקבוצתית, נעריך בחלופה 1 את מסמך ההמלצות שיגישו - רמת ההצעות והביסוס שלהן, בחלופה 2 נעריך את רמת התשובות לשאלות בדף העבודה, בחלופה 3 נעריך את נייר העמדה של כל תלמיד ביחס לקיזוז פחמן ומידת הביסוס של הטענות בו.	גוף השיעור חלופה 1 - דיון + מסמך המלצות לאום חלופה 2 - סחר פליטות סרטון + דף עבודה חלופה 3 - עמדה אישית ביחס לקיזוז פחמן	9. גזי החממה - של מי האחריות?
15	א. מידת השתתפות התלמידים בדיונים ובפעילות הקבוצתית. ב. חלופה 1 - ניתן להעריך את תוצר הסקר בשלב התכנון - רמת השאלות והתאמתן למטרות, רמת הביצוע של איסוף הנתונים - מידת ההשקעה בהפצה ובביצוע הסקר, את שלב ניתוח הנתונים והסקת המסקנות. חלופה 2 - ניתן להעריך את הפרויקטים לפי הקריטריונים שהוצעו ע"י התלמידים. לגבי חלופה 3 -	גוף השיעור חלופה 1 - תכנון וביצוע סקר וגיבוש המלצות להפחתת פליטות ביישוב חלופה 2 - תחרות פרוייקטים לצמצום פליטות + בניית קריטריונים חלופה 3 - העלאת רעיונות לצמצום טיסות ולהגדלת החשיפה לרעיונות אלו	10. משבר האקלים ואני

	<p>ניתן להעריך את התלמידים על פי רמת היצירתיות וההשקעה בפיתוח המלצות לצמצום טיסות וברעיונות להגדלת החשיפה להמלצות אלו.</p>		
--	--	--	--

הגדרות - יחידת מבוא

אנומליית הטמפרטורה: סטייה של הטמפרטורה הנמדדת מערך מוגדר - בדרך כלל ממוצע ארוך טווח. למשל הסטייה מהטמפרטורה הממוצעת בין השנים 1961-1990 (טווח השנים יכול להשתנות). ערכים חיוביים מעידים על עלייה בטמפרטורה ביחס לממוצע הזה בעוד שערכים שליליים מעידים על ירידה ביחס לטמפרטורה הממוצעת בין 1961-1990 (או טווח שנים אחר). להסבר נוסף, כנסו [לקישור](#) (אנגלית).

אטמוספירה: מעטפת של גזים המקיפה את כדור הארץ (וחלק מכוכבי הלכת) ונמשכת לגוף הכוכב בזכות כוח-המשיכה שלו. אטמוספירת כדור הארץ שומרת על טמפרטורה ממוזגת (בזכות גזי חממה) ומגינה על בעלי החיים בכדור-הארץ על ידי סינון הקרינה האולטרה-סגולית של השמש (בזכות האוזון). [קישור](#) להסבר יותר מקיף האתר של מכון דוידסון.

אלבדו: מידת ההחזרות של משטח או גוף. למשטח בהיר אלבדו גבוה - יחזיר את רוב קרינת השמש שפוגעת בו. ואילו משטח כהה יבלע את רוב הקרינה שפוגעת בו ויתחמם (אלבדו נמוך). למידע נוסף [אתר של מטח](#).

אפקט חממה: בעברית "תוצא החממה". תהליך שבו גזי חממה באטמוספירה של כוכב לכת גורמים להחזר של קרינה תת אדומה אל פני השטח שלו, ובכך גורמת להתחממות שלו. להסבר נוסף כנסו [לקישור](#).

אקלים: אקלים הנו דפוס מזג-האוויר ארוך טווח באזור מסוים וכולל נתונים על הטמפרטורה, על המשקעים ועל הרוחות. הגדרה נוספת - אקלים הוא הממוצע של אירועי מזג האוויר לתקופה ארוכה. למידע נוסף, כנסו [לקישור](#).

אקלים קיצוני: הקצנה בתופעות מזג האוויר לאורך זמן. למשל - בצורת ממושכת, שטפונות, סופות טרופיות, ברד כבד, קיפאון או טמפרטורות גבוהות ונמוכות קיצוניות, שעלולות להגיע לכדי משבר האקלים.

גזי חממה: שם כולל לחומרים גזים כגון פחמן דו-חמצני ומתאן, אשר נמצאים באטמוספירה. גזים אלו מאפשרים לקרינת השמש לחזור את האטמוספירה לפני לכה"א אבל מונעים מחלק מאנרגיית החום הנפלט בחזרה כקרינה תת-אדומה להיפלט לחלל ובכך תורמים לאפקט החממה. [קישור](#) לאתר של מכון דוידסון.

הפשרת קרחונים: הקרחונים הם גושי קרח ענקיים המורכבים ממים שקפאו והפכו לקרח. קרחונים יכולים להיות על היבשה או בים. מרבית המים בכדור הארץ נמצאים בקרחונים. כתוצאה מהתחממות גלובלית הקרחונים נמסים ונסוגים. [קישור לסרטון](#) (עם תרגום) הנקשר בין הפשרת קרחונים ועליית מפלס הים.

התחממות גלובלית (התחממות עולמית): תיאוריה מדעית שעל פיה כמויות מוגברות של גזי חממה באטמוספירה לוכדים יותר מדי חום וכך הטמפרטורה הממוצעת של כדה"א עולה.

חלקים למיליון (PPM - parts per million): יחידה של ריכוז. במהלך השיעורים נתיחס לריכוז פד"ח באטמוספירה ביחידות של PPM - כמה חלקיקים מתוך מיליון חלקיקי אוויר הם פד"ח.

מאזן אנרגיה של כדה"א: מאזן האנרגיה של כדה"א מתאר את המאזן בין האנרגיה אשר מגיעה מהשמש לבין האנרגיה החוזרת לחלל.

מדבור: התרחבות אזורי המדבר על-פני כדור-הארץ כתוצאה התחממות גלובלית. [קישור למאמר של זווית](#).

מזג אוויר: תנאים יומיומיים של טמפרטורה, משקעים, כיוון הרוח ועוצמתה וכדומה. למידע נוסף על ההבדל בין מזג אוויר לאקלים כנסו [לקישור](#).

משבר האקלים: מונח המשמש לתיאור מכלול אסונות הטבע האקלימיים שהתרחשו בשל שינוי האקלים והתחממות כדור הארץ, והשלכותיהם.

מתאם (קורלציה): מתאם (קורלציה) בין שני גורמים הינו מדד סטטיסטי שמעריך את המידה שבה הגורמים קשורים או תלויים אחד בשני. מתאם מעלה את האפשרות, אך לא מוכיח, כי קיים קשר בין שני הגורמים.

סיבתיות: היגרמות של דבר אחד מדבר אחר או קשר של סיבה ותוצאה.

קרינה תת-אדומה: קרינה תת-אדומה (או אינפרה-אדום) היא קרינה אלקטרומגנטית שאורך הגל שלה ארוך משל האור הנראה. כל עצם על פני כדור הארץ, ובפרט גוף האדם ובעלי חיים, פולטים קרינת חום בתחום זה. בהקשר של התחממות גלובלית - קרינת השמש נספגת ע"י כדה"א וחלקה מוחזרת חזרה לחלל בתור קרינה תת-אדומה. קישור [לסרטון](#) ממחיש.

שינוי אקלים: שינוי ארוך טווח ומשמעותי באקלים כדור הארץ, כתוצאה משינויים טבעיים (בעבר) או כתוצאה מפעילות אנושית (שינוי אקלים של היום).

רגישות אקלימית: שיעור ההתחממות שנובע מהכפלה בריכוז ה- CO_2 כלומר כמה הטמפרטורה תשתנה בהתאם לעלייה בפד"ח.

תיאוריה מדעית: תיאוריה היא הסבר מבוסס היטב ומקיף של תופעות מסוימות בעולם. ההסבר הזה מגובה בכמות נכבדת של ראיות, ובהיפותזה (השערה) אחת או יותר שאוששו במחקרים ובתצפיות שוב ושוב ולאורך זמן. תיאוריות אינן "ניחושים" אלא הסברים מגובים בעובדות על העולם האמיתי. בנוסף, הן מאפשרות לפתח תחזיות על התופעות שהן מסבירות.

IPCC הפאנל הבין-ממשלתי לשינוי האקלים: גוף בינלאומי הפועל משנת 1988 כמת את שינוי האקלים ולהציג את הסיכונים הנובעים ממנו. הפאנל שם דגש מיוחד על נתוני ההתחממות העולמית. הפאנל מבסס את פרסומיו בעיקר על סמך עבודות מדעיות או טכניות שפורסמו או עברו ביקורת עמיתים. הפאנל פרסם ארבעה דו"חות הערכה בשנים 1990, 1995, 2001 ו-2007. דו"ח משלים פורסם ב-1992.

עוד בנושא משבר האקלים למורים:

בשנים האחרונות גוברת המודעות והחשיפה התקשורת לנושא משבר האקלים. ברשת האינטרנט ניתן למצוא חומרי הוראה רבים בנושא כגון הרצאות מוקלטות, מערכי שיעור, פעילויות לא פורמליות ועוד. למשל:

- [בתיקיה שיתופית של מורים למען האקלים](#)
- [באתר אקלים ישראל / חינוך - https://climatechangeisrael.org/education/](https://climatechangeisrael.org/education/)
- [באתר זווית בחינוך/שינוי אקלים](#)
- [באתר מפמ"ר מדעי הסביבה](#)

מורים המעוניינים להרחיב את פעילותם בנושא מוזמנים להצטרף לקבוצת מורים למען האקלים [בפייסבוק](#). כמו כן חשוב להכיר את מיזם [מצעד האקלים](#) המתרחש מידי שנה במרץ ולהצטרף אליה עם תלמידים.

A person with their back to the camera, wearing a dark green long-sleeved shirt, holds a large, rectangular sign made of brown cardboard. The sign has the words "WE NEED A CHANGE" written in bold, black, hand-painted capital letters. The person is standing in a large, crowded outdoor area, likely a public square or a protest site, with many other people visible in the background. The scene is brightly lit, suggesting a sunny day. The bottom of the image features a dark brown, curved banner with white Hebrew text.

WE NEED
A CHANGE

אני והמשבר

שיעור 1

פתיחה : משבר האקלים ואני (45 דק')

ידע למורה: שיעור זה נועד לאפשר "כניסה רכה" ליחידה של מבוא למשבר האקלים: יצירת קשר אישי של תלמיד וכן עניין ומוטיבציה לעסוק בנושא. בשיעור התלמידים יכירו את מושגי היסוד ויחשפו ידע קודם ומה הם מרגישים ביחס למשבר האקלים. בשיעור נתייחס לדעות קדומות אם יעלו, נקנה מושגים באופן ראשוני, נתייחס לרגש של התלמידים. הנושא קשה ועלולות לעלות חרדות ולכן, כבר בשיעור פתיחה מוצגות הצעות שידגישו שיש מקום לעשייה אישית.

מושגים: אקלים, משבר אקלים, שינויי אקלים, התחממות גלובלית, גזי חממה, פחמן דו חמצני, אפקט חממה, חור באוזון, אטמוספירה.

פתיחה לשיעור:

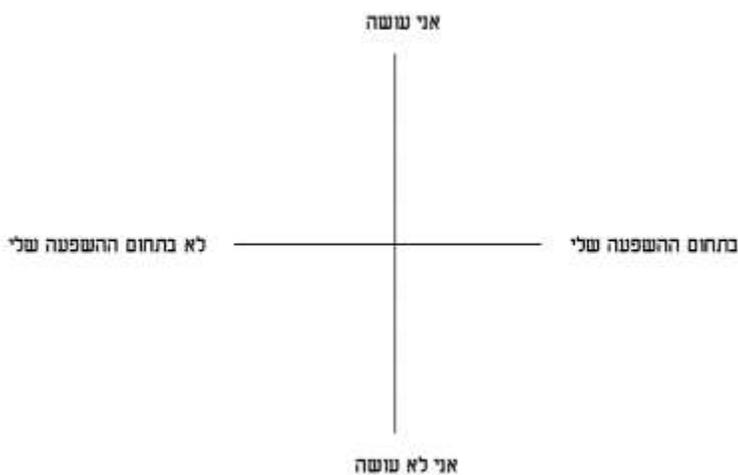
ענן מילים (מה אני יודע) - התלמידים יוספו לכלי של המערכת מילים/אסוציאציות שקשורות לנושא משבר האקלים. נבחן את תמונת הענן שמתקבלת, לפיה ככל שמילים הוזכרו יותר פעמים הן בולטות יותר. נתייחס למושגים השונים שיופיעו בענן ובעיקר נציין את המושגים שאליהם נתייחס בהמשך, בשיעורים הבאים של היחידה.

נזמין את התלמידים לסמן **נכון/ לא נכון למשפטים** שבנספח 1 (אפשר לבחור רק חלק מתוכם לתלמידים מתקשים, או לבחור את רמת המשפטים לפי רמת התלמידים. בבדיקת התשובות כדאי להסביר בקצרה מושגים חשובים):

גוף שיעור :

חלופה 1: כיצד שינויי אקלים עשויים להשפיע עלי? - נחשוף את התלמידים למקרה פרטי בו שינויי אקלים משפיעים על בני אדם (למשל נציג סדרת תמונות על תושבי [איים במערב האוקיינוס השקט](#) ומחקר על היעלמות האיים. נדון בפגיעה בתושבים ככל שמפלס המים עולה). נערוך דיון האם וכיצד שינויי אקלים יכולים להשפיע עלינו? שלב זה הוא הזדמנות לחשיפת ידע מוקדם של התלמידים לכן יש להקשיב לתלמידים ללא שיפוט.

חלופה 2: תרגיל אני יכול ואני עושה - הבנה תחום ההשפעה שלנו ובחינת נכונות העשייה שלנו



נצייר על הרצפה מערכת צירים גדולה (אפשר עם סלוטיפ או חבלים) נשים פתקים בקצה הצירים, כך שציר אחד יהיה "בתחום ההשפעה שלי" "לא בתחום ההשפעה לי", וציר שני "אני עושה", "לא עושה" (איור)

נקריא את המשפטים שלהלן ונבקש מכל תלמיד להיעמד במערכת הצירים במקום שמייצג את רמת ההשפעה שלו ורמת העשייה שלו בתחום. אחרי כל משפט, נבחן היכן עומדים רוב התלמידים - האם הם עומדים במשבצת

שמייצגת גם יכולת השפעה וגם עשייה? אולי עומדים רק על ציר ההשפעה ללא עשייה? נשים לב שבין

המשפטים יש התפתחות במעגל ההשפעה של לתלמידים. ייתכן שככל שמעגל ההשפעה מתרחק, יש להם פחות תחושת של יכולת השפעה ו/או פחות עשייה. נדון בכך.

- פח אשפה של הבניין גולש על גדותיו.
- שטחים נרחבים של חוף הים מזהמים בזבל.
- צבי ים נחנקים בגלל פסולת פלסטיק.
- בנחלים זורם ביוב
- פליטת גזי חממה גורמים לחימום גלובלי.

חלופה 3: תרגיל הצעדים - הבנת הפער בין מודעות לעשייה. הוראות: נזמין את התלמידים לעמוד בשורה ישרה על קו אחיד. הם מתבקשים להתקדם צעד אחד קטן כל פעם אם הם מסכימים לנאמר (חשוב שיתקדמו בצעדים בגודל אחיד. להדגיש שזו לא תחרות בין המשתתפים):

1. אכפת לי שהבית שלי מבולגן
 2. אכפת לי מהציונים שלי בלימודים
 3. אכפת לי כשאני רואה צינור שהתפוצץ ומים זורמים ברחוב
 4. אכפת לי שיש זיהום אוויר ואנשים מתים מזיהום אוויר
 5. אכפת לי שמשאבי כדור הארץ הולכים ומתכלים
 6. אכפת לי שבעלי חיים וצמחים מאבדים את בית הגידול שלהם
 7. אכפת לי שיש אנשים רעבים בעולם \ בארץ
 8. אכפת לי שאנשים מתים בגלל משבר האקלים
- כעת, התלמידים עומדים במרחקים מסוימים מקו ההתחלה. יש לסמן את הנקודה בה הם נעצרו במסקנטייפ או סימן אחר. עליהם לחזור לקו ההתחלה. ולהתקדם הפעם לפי הטענות הבאות:

1. אני מסדר ומנקה את הבית שלי
2. אני מכין שיעורי בית / מתכוון למבחנים
3. אני מתקשר לעירייה או לועד הבית ומבקש שיפעלו לסגירת הצינור
4. אני מקטין את זיהום האוויר ע"י צמצום השימוש בחשמל / מעדיף תחבורה ציבורית על פרטית
5. אני מצמצם את הצריכה שלי / משתמש במוצרים יד שניה
6. אני חותם על עצמות / יוצא להפגנות לשמירת השטחים הפתוחים
7. אני משתדל למנוע בזבז מזון / מתנדב בעמותות סיוע
8. אני מצמצם את פליטות גזי החממה שלי - מוותר על טיסות / נמנע מאכילת בשר

מסמנים גם כאן לאן הגיעו התלמידים. על פי רוב נוצר פער בין המקום אלו הגיעו בסדרת השאלות הראשונה (המתארת את מדד האכפתיות, או המצב הרצוי) לבין המקום אליו הגיעו בסדרת השאלות השנייה (המתארת את מדד העשייה או המצב הרצוי). נשאל את התלמידים מה הגורם לפער בין אכפתיות לבין עשייה או בין המצב הרצוי למצב המצוי? מה צריך לעשות על מנת לשנות את המצב?

סיכום:

מה נרצה לדעת? - נערוך סיעור מוחות (שמש אסוציאציות) על הקשרים שונים של משבר האקלים. נשאל את התלמידים מה היו רוצים לדעת על משבר האקלים? מה לדעתם חשוב לדעת בנושא?

בהיבט הרגשי - נבקש מהתלמידים לשתף בתחושות ורגשות ביחס למשבר האקלים, מתוך הבנה שמשבר האקלים עלול להעלות תחושות של פחד, דאגה, תסכול וייאוש.

נספח 1 - משפטים נכון/לא נכון :

1. שינויי האקלים ישפיעו רק על האוכלוסיות מעוטות היכולת וקבוצות באוכלוסיות רגישות יותר כגון קשישים וחולים כרוניים.
2. לפי התחזית של השירות המטאורולוגי בישראל, צפויה מגמה מובהקת של התחממות בכל אזורי הארץ.
3. עליה בריכוז גזי חממה מגדילה את החשיפה לקרינה על סגולה (אולטרה סגולה) ולכן מעלה את הסיכוי לחלות בסרטן העור
4. ריכוז הפחמן הדו חמצני באטמוספירה עלה עלה ביותר מ-30% במהלך 250 השנים האחרונות
5. הגורם העיקרי לפליטה אנושית של פחמן דו חמצני היא שריפת דלקים פוסיליים.
6. שנות ה-90 במאה הקודמת היו העשור החם ביותר במאה השנים האחרונות
7. הסיבה העיקרית להתחממות כדור הארץ היא עלייה בפליטות גזי חממה
8. אם פליטת גזי חממה תמשיך בקצב הנוכחי, הטמפרטורה הממוצעת הגלובלית עשויה לעלות בין 3-5 מעלות צלזיוס עד 2100
9. ארצות הברית היא המדינה שלה פליטת הפחמן הדו חמצני הגדולה ביותר בעולם
10. 33% מסך פליטות הפחמן הדו חמצני לאטמוספירה הן מתחבורה
11. העליה בטמפרטורות בישראל צפויה להיות גבוהה יותר מהממוצע העולמי (1.5 מעלות צלזיוס בממוצע העולמי)
12. אקלים מתאר תנאים ממוצעים של אזור מסוים במשך שנים רבות ואילו מזג אוויר מתאר את התנאים המידיים של אזור מסוים.
13. גזי חממה הם כמו שמירה באטמוספירה לוכדים חום וגורמים להתחממות של כדור הארץ
14. חמצן דו-חנקני (NO_2), מתאן (CH_4) ואדי מים (H_2O), אינם גזי חממה.
15. משבר האקלים מתייחס רק לעלייה בטמפרטורה של פני כדור הארץ
16. ללא הפעילות של המין האנושי, לא היו גזי חממה
17. הסיבות האנושיות לפליטת פחמן דו חמצני הן גם שריפת דלקים פוסיליים וגם שינויים בשימושי קרקע כמו כריתת יערות ופינוי קרקע.
18. צפוי ששינויי אקלים ישפיעו באופן משמעותי על משאבים טבעיים (כמו מים) שהאדם תלוי בהם.
19. פעולות של אנשים (כמו למשל החלפת כל הנורות הישנות לנורות פלורוסנט) יסייעו להפחית את כמות גזי החממה באטמוספירה.

ملحق 1 – جُمْل صحِيحة / غير صحِيحة :

1. يؤثر التغيّر في المناخ فقط على الفئات التي قدرتها منخفضة وعلى المجموعات الحساسة، مثل: كبار السن والمصابين بأمراض مزمنة.
2. وفقًا لتوقعات دائرة الأرصاد الجوية في إسرائيل، من المتوقع أن يكون توجه واضح لارتفاع الحرارة في جميع أنحاء البلاد.
3. يؤدي ارتفاع غازات الدفيئة (غازات الاحتباس الحراري) إلى ازدياد التعرّض للأشعة فوق البنفسجية، لذا يزداد احتمال الإصابة بسرطان الجلد.
4. ارتفع تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي أكثر من 30% خلال الـ 250 سنة الأخيرة.
5. السبب الرئيسي لانبعاث ثاني أكسيد الكربون الذي يُطلقه الإنسان هو احتراق الوقود المتحجرة.
6. كانت سنوات الـ 90 في القرن السابق، الأكثر حرارة في المائة سنة الأخيرة.
7. السبب الرئيسي لارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية هو ازدياد انبعاث غازات الدفيئة.
8. إذا استمر انبعاث غازات الدفيئة بالوتيرة الحالية، قد يرتفع معدل درجة الحرارة العالمي بين 3-5 درجات مئوية حتى 2100.
9. الولايات المتحدة هي أكثر دولة، في العالم، تُطلق ثاني أكسيد الكربون.
10. 33% من مُجمل انبعاث ثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي من المواصلات.
11. من المتوقع أن يكون ارتفاع درجة الحرارة في إسرائيل أعلى من المعدل العالمي (المعدل العالمي 1.5 درجة مئوية).
12. يصف المناخ معدل ظروف معينة خلال سنوات كثيرة، أما حالة الطقس تصف الظروف الفورية لمنطقة معينة.
13. غازات الدفيئة في الغلاف الجوي كالبطانية التي تلتقط الحرارة وتؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية.
14. ثاني أكسيد النيتروجين (NO_2)، ميثان (CH_4) وبخار الماء (H_2O) ليست من غازات الدفيئة.
15. تتطرق أزمة المناخ إلى ارتفاع درجة الحرارة على سطح الكرة الأرضية فقط.
16. دون نشاط الإنسان، لا تكون غازات الدفيئة.
17. الأسباب البشرية التي أدت إلى انبعاث ثاني أكسيد الكربون هي: حرق الوقود المتحجرة وتغيير استخدام الأرض، مثل: قطع الغابات وإخلاء الأرض.
18. من المتوقع أن يؤثر تغيير المناخ على الموارد الطبيعية (كالماء الضروري للإنسان) بشكل كبير جدًّا.
19. نشاطات الإنسان (مثلًا: تبديل المصباح القديمة بالمصباح الفلوروسنتية) تساهم في تقليل كمية غازات الدفيئة في الغلاف الجوي.

תשובות למורה:

1. לא נכון. שינוי אקלים משפיע על כלל האוכלוסייה אך האוכלוסיות הפגיעות ביותר עלולות להיות קבוצות מעוטות יכולות ורגישות
2. נכון, אם כי השינוי בטמפרטורה לא יהיה אחיד: באזורים המערביים בארץ – מישור החוף, השפלה, צפון הנגב ואזור ההר – שיעור ההתחממות יהיה גדול יותר ביחס לאזור העמקים, המזרח והצפון שבהם יהיה שיעור ההתחממות קטן יותר.
3. לא נכון, משפט זה משקף בלבול בין החור באוזון להתחממות הגלובלית - שכבת האוזון מסננת את הקרינה האולטרה-סגולה המגיעה מהשמש. כששכבת האוזון מתדלדלת "החור באוזון", חדירת קרינה אולטרה סגולה מהווה סכנה לסרטן העור
4. נכון, כתוצאה מהעלייה בשימוש בדלקים פוסיליים
5. נכון
6. לא נכון, העשור של 2010-2020 היה החם ביותר שנרשם אי פעם על פני כדור הארץ. שנת 2019 הייתה השנה השנייה הכי חמה בהיסטוריית המדידות בעולם, כשרק 2016 חמה ממנה.
7. נכון
8. נכון
9. לא נכון. סין פולטת כ-30% מסך הפליטות בעולם וארצות הברית היא המדינה השנייה האחראית על כ-15% מסך הפליטות
10. לא נכון, התחבורה גורמת ל-14% מסך פליטות גזי החממה לאטמוספירה. חשמל וחימום אחראי ל 25%
11. נכון, ישראל נמצאת באזור יובשני ולכן העליה צפויה להיות גבוהה מהמוצע העולמי
12. נכון
13. נכון
14. לא נכון, כולם גזי חממה. ישנם גם גזי חממה נוספים כמו גופרית שש פלואורידית (SF₆), פחמימה-פלואורידית (HFC)
15. לא נכון, מתייחס לשלל תופעות נוספות כמו מזג אוויר קיצוני, שינויים במפלס הים ועוד
16. לא נכון, חלק מגזי החממה הם גזים טבעיים, בלי קשר לנוכחות האדם. האדם גרם לעלייה משמעותית בכמות גזי החממה באטמוספירה
17. נכון
18. נכון
19. נכון



ראיות לשינויי אקלים

שיעור 2

התנסות: ראיות לשינויי אקלים (90 דק')

ידע למורה: בשיעור זה נציג עדויות לשינויי אקלים. נבין מהם אירועי אקלים קיצוניים. העדויות: עליית מפלס הים, שריפות, גלי קור, גלי חום, הפשרת קרחונים, אובך, שינויים בדפוסי גשמים, תקופות יובש, מדבור. הפעילות תערך בקבוצות. כל קבוצה תבחן נושא אחד או יותר ותלמד את הקבוצות האחרות.

מושגים: אקלים, מזג אוויר, מזג אוויר קיצוני, מצב חרום אקלימי, עליית מפלס הים, שריפות, גלי קור, גלי חום, הפשרת קרחונים, אובך, משטר גשמים

פתיחה לשיעור :

חלופה 1 - מה ההבדל בין אקלים למזג אוויר? - נשאל את התלמידים מה לדעתם ההבדל בין אקלים למזג אוויר. נציג [סרטון](#) (הסרטון מסביר את ההבדל בין מזג אוויר לאקלים, באנגלית 4.5 דקות) ונדייק את ההגדרות וההבחנה בין המושגים: אקלים מתאר תנאים ממוצעים של אזור מסוים (כמו טמפרטורת אוויר, לחות אוויר, כמות משקעים) במשך שנים רבות (מינימום 30 שנה), ואילו מזג אוויר מתאר את התנאים המידיים של אזור מסוים.

נסביר את המושג ארוע אקלים קיצוני - את ההבדלים בינו לבין שינויים רגילים במזג האוויר.

על פי דוח מגמות באירועי מזג אוויר קיצוניים בישראל "אירוע קיצוני" מוגדר כאירוע בו נחצים ערכי סף משמעותיים. למשל:

גשם (שני ערכי סף): כמות גשם יומית השווה ל-110 מ"מ ומעלה; כמות סופה מצטברת של 200 מ"מ ויותר.

שלג (שני ערכי סף): עובי שלג של 10 ו-20 ס"מ ומעלה בתחנת ירושלים מרכז ו/או בצפת.

אירועי חום - גלי חום ממושכים ושרבים קצרים (שלושה ערכי סף): טמפרטורה יומית ממוצעת העולה על הממוצע הרב שנתי 1981-2000 ב-6 מעלות צלסיוס או יותר במשך 3 ימים רצופים בחודשי הקיץ; טמפרטורה מקסימלית של 35 מעלות צלסיוס או יותר במשך שלושה ימים רצופים; טמפרטורת מקסימום הגבוהה מהממוצע הרב שנתי 1981-2000 ב-15 מעלות צלסיוס או יותר.

נשאל האם היום קיימת הקצנה בעוצמה או בתדירות של ארועים קיצוניים לעומת שנים קודמות?

חלופה 2: ניתן לתלמידים [קטע קריאה](#) (מזג האוויר אינו אקלים, מעובד תוך אתר הידען) ונבקש שיענו בעקבותיו על השאלות הבאות (נספח 1):

- האם גל הקור שאפיין את צפון אמריקה בינואר 2019, המתואר בכתבה, הוא עדות לשינויי במזג האוויר או לשינויי באקלים? נמקו את תשובתכם
- אלו עדויות לשינויים בישראל מתוארים בכתבה? האם אלו עדויות לשינויים במזג האוויר או באקלים?
- למאמר זה התפרסמו שלוש תגובות - שתיים מהן טוענות שההתחממות הגלובלית מוטלת בספק. מה דעתכם בנידון? הסבירו את עמדתכם

גוף השיעור:

כל ההצעות שלהלן מבוססות על למידה עצמית ועבודה בקבוצות. ניתן להמיר את חלופה 1 או 2 לשיעור פרונטלי בו המורה ילמד את התוכן הנמצא באחת או יותר מכרטיסיות המידע והתלמידים יענו על השאלות בע"פ, לחלופין ניתן לבחור חלופה המתאימה לרמת התלמידים בכיתה. פעילות 1 מתאימה יותר לתלמידים מתקדמים.

ראיות - חלופה 1: תחנות עבודה - כל תחנה תעסוק בראייה אחרת לשינוי אקלים: מדבור, שינויי טמפרטורה, עליית מפלס פני הים, השתנות כיפת הקרח בקוטב. בכל תחנה יהיו כרטיסי עבודה המבוססים על נתונים כמותיים בצורת גרפים או טבלאות (נספח 1). התלמידים יעברו בין התחנות בקצב שלהם (לבד או בקבוצות קטנות). כל קבוצה תעבור 2-3 התחנות. פעילות זו מתאימה לתלמידים מתקדמים. יש לעבור בין הקבוצות ולוודא שהתלמידים מבינים את האיורים והנתונים.

ראיות - חלופה 2: שיעור ג'יגסו (jigsaw). התלמידים יתחלקו לקבוצות מומחים שילמדו נושא מסוים ואז יתפזרו לקבוצות בהן כל "מומחה" ילמד את חברי הקבוצה האחרים. הנושאים: עליית מפלס הים, שריפות, גלי קור, גלי חום, הפשרת קרחונים, אובך, שינויים בדפוסי גשמים, תקופות יובש (טבעות עצים) יוצגו באמצעות תמונות וקטעי מידע (נספח 2). כל קבוצה תתבקש להתייחס להיבטים הבאים:

- שם התופעה
- כיצד היא מתרחשת (הגורמים)
- היכן היא מתרחשת
- סוג ורמת הפגיעה שהיא גורמת
- כיצד ניתן לצמצם את הפגיעה מהתופעה

ראיות - חלופה 3: נציג רשימת תופעות. כל קבוצה תחפש מידע ברשת על אחת התופעות לפי בחירתה, תסכם אותו בשקופית במצגת כיתתית שיתופית, תוך הצגת הפרטים הבאים:

- שם התופעה
- כיצד היא מתרחשת (הגורמים)
- היכן היא מתרחשת
- סוג ורמת הפגיעה שהיא גורמת
- כיצד ניתן לצמצם את הפגיעה מהתופעה

- פעילות זו תוכל לשמש להערכה חלופית: ניתן להעריך את התלמידים על פי
- א. מידת ההשתתפות של התלמיד בפעילות הקבוצתית.
 - ב. הבנת הנתונים בחלופה 1 או ארגון הנתונים לפי ההיבטים השונים בחלופות 2-3.
 - ג. אופן הצגת הראיות בפעילות הסיכום.

סיכום:

כל קבוצה תציג נושא / נבקש מתנדבים להצגת כל תופעה לכיתה כולה. ניתן לבקש משאר התלמידים לרשום שאלות העולות להם בזמן ההצגה בטבלה שיתופית.

המשגה: נשאל את התלמידים לאחר שיכירו את כל התופעות - האמנם הן מעידות על שינויי אקלים? נבקש מהתלמידים להסיק מסקנה.

נספח 1 - קטע קריאה ושאלות

מזג אוויר אינו אקלים, מאת דר. אסף רוזנטל. פורסם בפברואר, 2019 באתר [הידען](#)

מחקרים מזדהרים כי העולם מתקדם בצעדי ענק למצב שבו לא יהיה אפשר לעצור את ההתחממות שגורמת לשינויי האקלים הקיצוניים, ובשעה שיש גם הטוענים כי עברנו את הסף שבו ניתן היה למתן את השפעת הפליטות, ולמרות זאת, בכל פעם שגל קור מכה בצפון אמריקה יוצא הנשיא מהבית הלבן בציוץ בנוסח: "זו ההתחממות שממנה מזדהרים המדענים המזוייפים?". הוא אינו היחידי שאינו מבדיל בין מזג אוויר לאקלים.

החל מתחילת ינואר 2019 חלקים נרחבים של צפון-אמריקה מכוסים בשלג ואזהרות מפני סופות שלג מוכרזות ברחבי היבשת. כמו הנשיא, כך גם רבים אחרים נופלים למלכודת בה מבלבלים בין אקלים למזג אוויר, הסופות והשלג בצפון אמריקה מהווים דוגמה למזג אוויר שימשך שבועות מספר, אבל בסוף הסופה תחלוף, השמיים יתבהרו ויגיע קיץ שבכל שנה נהיה חם יותר בשל שינויי האקלים.

כך גם אצלנו, בשל האקלים המשתנה בגלל ההתחממות העולמית, אזורנו חווה יותר תקופות בצורת ויובש. אם עד לפני מספר עשורים ידענו שהנגב הוא מדבר ומצפון לו יש אקלים ממוזג, הרי שהיום האקלים המדברי זוחל צפונה בתהליך קבוע ומתמשך. גשמי ברכה ושלג בחרמון בחורף אחד אמנם ישפיעו על הממוצע הרב שנתי ועל מאזן המים ומפלס הכנרת, אבל המגמה הכללית היא התחממות והתייבשות.

אז מה ההבדל בין מזג אוויר לאקלים? ברמה הפשוטה ביותר מזג אוויר הוא מצב יום יומי של האטמוספירה, טמפרטורה מרבית, מצב העננים, מהירות הרוח, גשם או שלג. לעומת זאת אקלים הוא מצב האטמוספירה לאורך שנים רבות, ממוצע רב שנתי של גשם, רוח, טמפרטורה והעונות בהן יורד הגשם או זורחת השמש.

על-פי חישובי ארגון המטאורולוגיה העולמי כדי להגדיר מדדי אקלים יש צורך בנתונים של שלושים שנים לפחות. אפשר להבין זאת על ידי השוואה לארון הבגדים שיסמל את האקלים. מול בחירת הביגוד היום-יומי בהתאם למזג האוויר. על-פי מזג האוויר אנחנו בוחרים מה נלבש היום או מחר. שינויים במזג האוויר מידי יום יכתיבו את בחירת הבגדים. לעומת זאת האקלים יקבע את הרכב פריטי הלבוש שנחזיק בארון.

את תחזית מזג האוויר למחר או למספר ימים נוכל לדעת על-פי מפות סינופטיות או על-פי מידע שימסר באמצעי התקשורת, לא כך התחזית האקלימית שכן זו נובעת מדיגום אזורי שונים ומניתוח של נתונים שנאספים במשך עשורים ומאפשרים לחזות את האקלים בשנים הבאות. תחזית אקלימית תאפשר לנו לתכנן את תכולת ארון הבגדים בעשורים הבאים.

לכן בהתאם לאזורים שבהם חיים אנשים ועל-פי התחזיות האקלימיות המקובלות על 99.9% ממדעני האקלים, יש מעטים שיצטרכו להכין מטריות חזקות ועמידות, אבל לעומתם רבים יותר יזדקקו לאמצעי קרור ואגירת מים לתקופות יבשות. אין ספק כי על פי תחזיות האקלים המשתנה, רבים יצטרכו לשנות לא רק את תכולת ארון הבגדים אלא גם ובעיקר לשנות התנהגות ולהסתגל לתנאי אקלים קשים בהרבה מכל מה שאנו מכירים.

ענו על השאלות:

- האם גל הקור שאפיין את צפון אמריקה בינואר 2019, המתואר בכתבה, הוא עדות לשינוי במזג האוויר או לשינוי באקלים? נמקו את תשובתכם
- אלו עדויות לשינויים בישראל מתוארים בכתבה? האם אלו עדויות לשינויים במזג האוויר או באקלים?
- [למאמר זה](#) התפרסמו שלוש תגובות - שתיים מהן טוענות שההתחממות הגלובלית מוטלת בספק. מה דעתכם בנידון? הסבירו את עמדתכם

נספח 2 - כרטיסי מידע לחלופה 1

ראיות לשינוי אקלים - מדבור

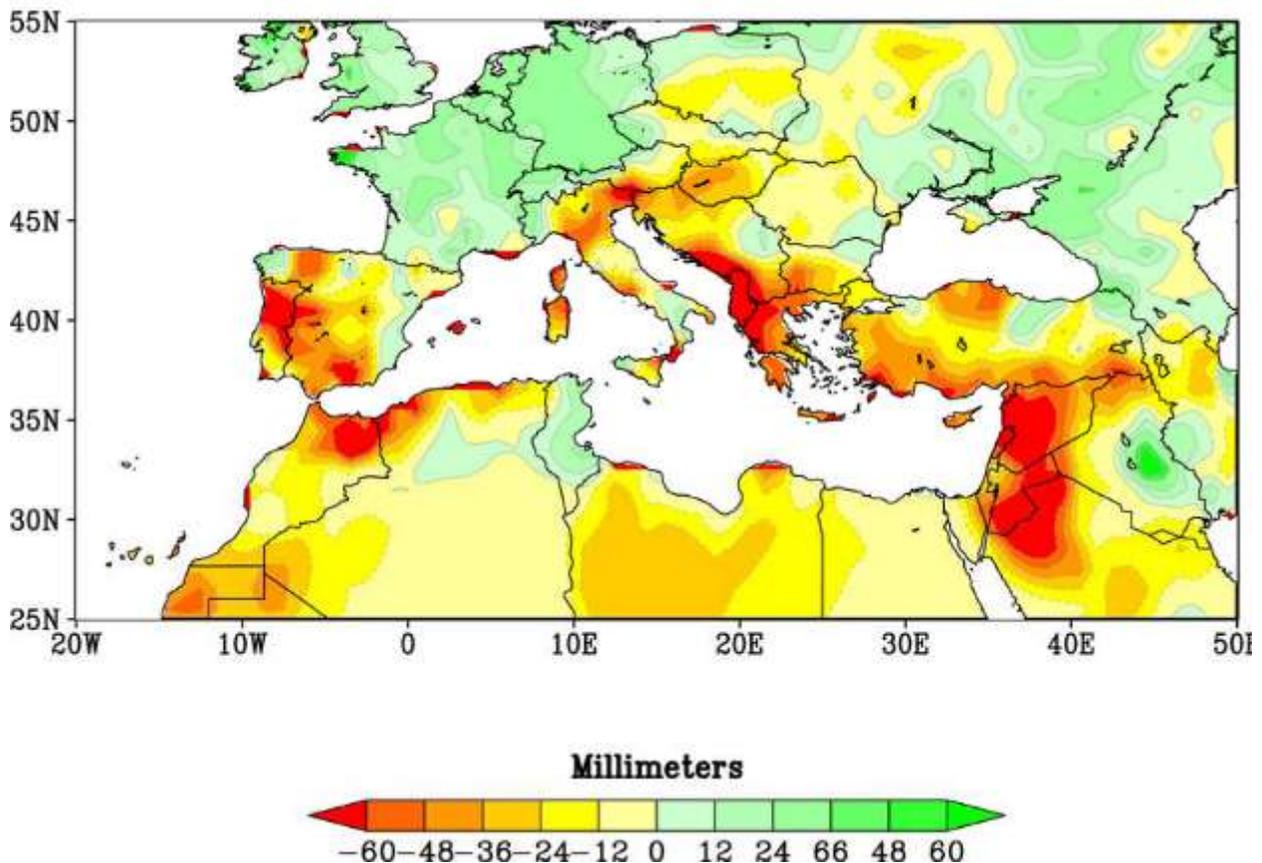
באזורים צחיחים למחצה*, כמו למשל באפריקה, במזרח התיכון ובישראל, בולטת תופעת התפשטות המדבור (מדבור). הדבר נובע משילוב בין ניצול יתר של משאבים על ידי האדם – רעיית יתר, ניצול מוגזם של מים וקרקע – ובין עליית הטמפרטורה, ירידת כמות המשקעים והתגברות אירועי הבצורת.

* אקלים צחיח למחצה המכונה גם אקלים ערבתי, הוא אקלים בו כמות המשקעים נמוכה במעט מכמות הנוזלים המתאדה. אקלים צחיח למחצה נמצא מבחינה אקולוגית וחקלאית בין אקלים צחיח לאקלים טרופי (WIKI)

עיינו בשני האיורים וענו על השאלות:

איור א. מפת הצבעים מציגה השוואה של ממוצע ירידת גשמים באזור הים התיכון. לשם כך חושב ממוצע גשמים שירדו באזור בשתי תקופות זמן: א. בין השנים 1902-2010 ב. בין השנים 1971-2010.

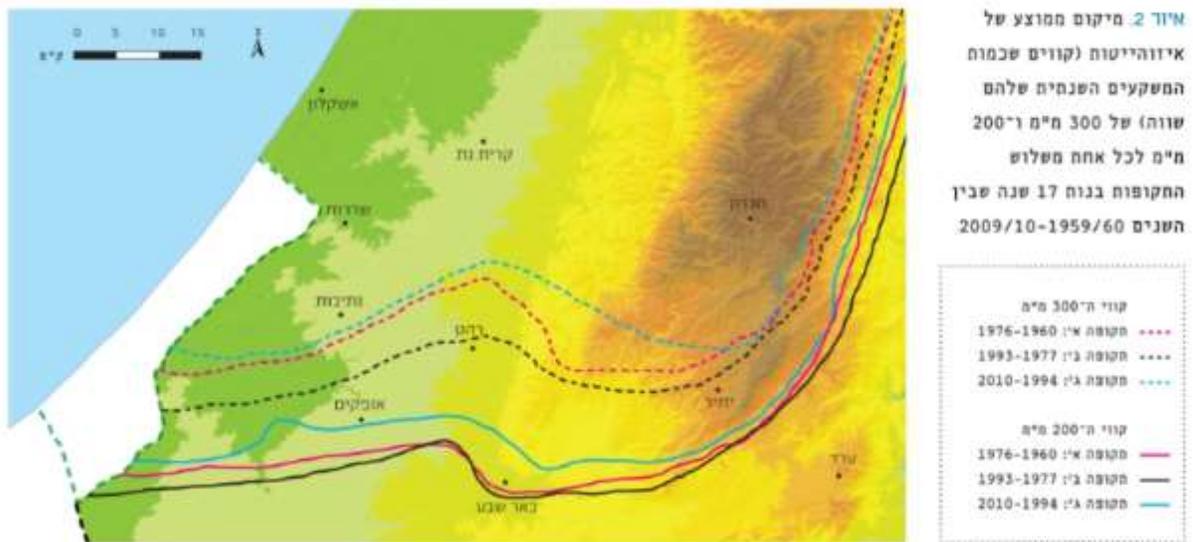
צירי הגרף הם קווי אורך ורוחב. הצבעים במקרא מסמלים את ההפרש בכמות הגשמים (מ"מ) בין שתי התקופות - אזורים אדומים וכתומים מצביעים על חורפים יבשים יותר בממוצע בין השנים 1971-2010, לעומת התקופה 1902-2010.



מקור הנתונים והתמונה: (אקו-ויקי) - NOAA - [הסוכנות הלאומית לאוקיינוסים ולאטמוספירה של ארצות הברית](#), [מחקר משנת 2011](#).

1. מה ניתן ללמוד באופן כללי מהאיור?
2. שימו לב שבאיור א נערכה השוואה בין ממוצע של 40 שנה (1971 - 2010) לבין ממוצע של כ-100 שנים (1902 - 2010). האם זה נכון מדעית? מדוע לדעתכם נערכה השוואה כזו?
3. מה מצבה של ישראל בהשוואה למדינות הים התיכון?

איור ב. השתנות ממוצע משקעים שנתי של 200 מ"מ משקעים (קו רציף) ושל 300 מ"מ משקעים (קו מקווקו) בישראל, בהשוואה בין שלוש תקופות זמן: 1960 - 1976 (קו אדום), 1977 - 1995 (קו שחור), 1996 - 2010 (קו כחול). (כחול).



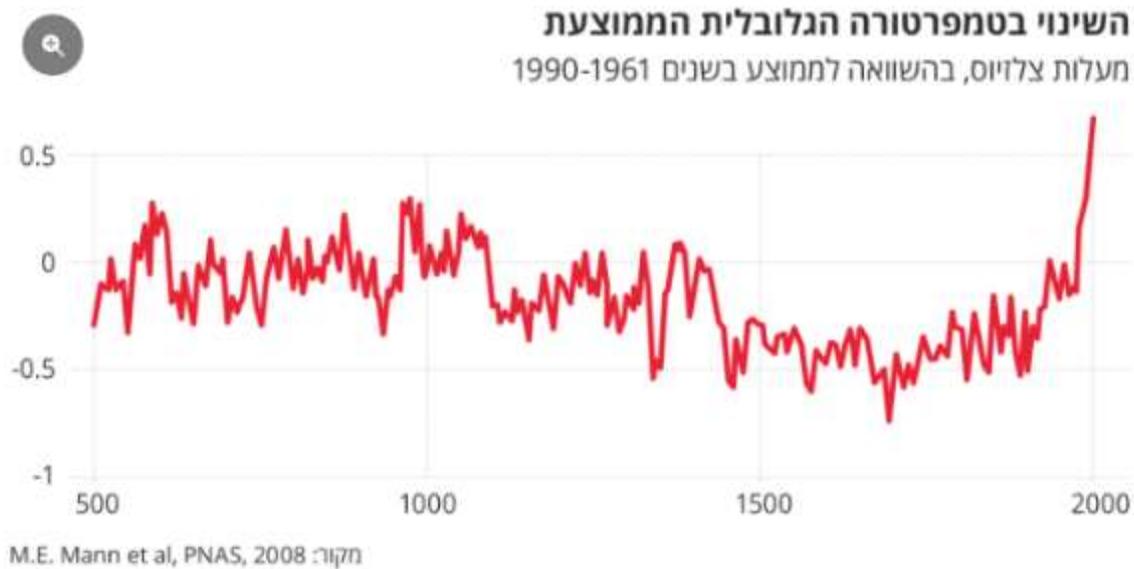
מקור האיור: תנודות בגשמי הנגב בחמישים השנים האחרונות – האם עדות לשינוי באקלים?, הדס סערוני, ברוך זיו, רואי פרגמנט, נעם חלפון, אבנר פורשפן ואיזבלה אוסטינסקי-צדקי. אקולוגיה וסביבה, פברואר 2012, גליון 1, (עמ' 62-72)

4. מה ניתן ללמוד מאיור ב'?
5. מדבור (Desertification) הוא התהליך של שינוי אדמה פוריה למדבר, הרס של קרקעות באיזורים דלי משקעים. הוא נובע ממגוון של גורמים כמו שינויי אקלים, רעיית יתר וצריכת מים על ידי בני אדם לצרכי חקלאות, מגורים ותעשייה, המלחת הקרקע ועוד (אקו-ויקי). מדבור הוא בעיה סביבתית קשה שמשפיעה הן על מערכות אקולוגיות והן על אקלים וחקלאות. יש הטוענים שתופעת המדבור מתגברת באזורים צחיחים למחצה. האם האיורים שהוצגו לעיל תומכים בטענה זו?

ראיות לשינוי אקלים - עלייה בטמפרטורות

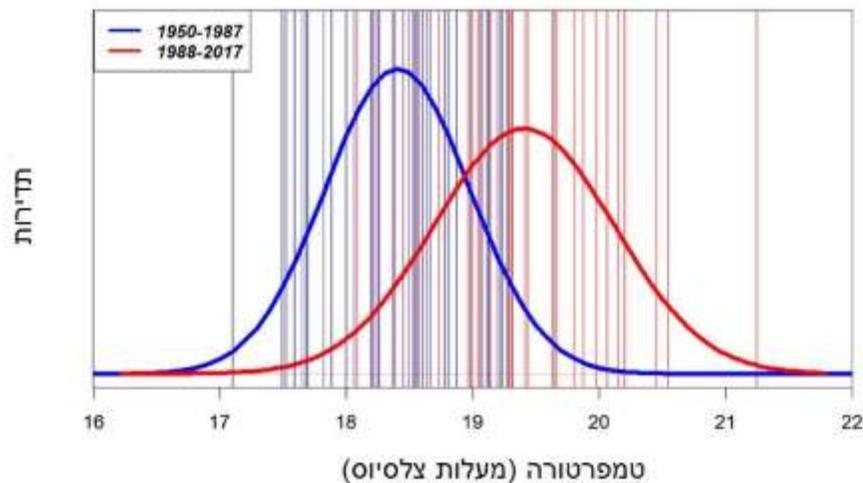
עיינו בשני הגרפים וענו על השאלות:

א. גרף המציג את הסטייה של הטמפרטורה העולמית (ציר X הוא השינוי במעלות צלזיוס, ציר Y מציג את השנים) מהטמפרטורה הממוצעת של השנים 1961-1990 (אנומליית טמפרטורה היא סטייה של הטמפרטורה הנמדדת מאיזה שהוא ערך מוגדר - בדרך כלל ממוצע ארוך טווח. למשל בגרף זה מוצגת הסטייה מהממוצע של השנים 1961-1990).



מקור האיור: [הארץ, 22.09.19](https://www.earthdata.nasa.gov/data/temperature)

ב. גרף המציג את טמפרטורת המינימום בחודשי הקיץ בירושלים ואת ההשתנות שלה בין השנים 1950 - 1987 (בכחול) לבין השנים 1988 - 2017 (באדום). מקור: [השירות המטאורולוגי הישראלי](https://www.earthdata.nasa.gov/data/temperature)

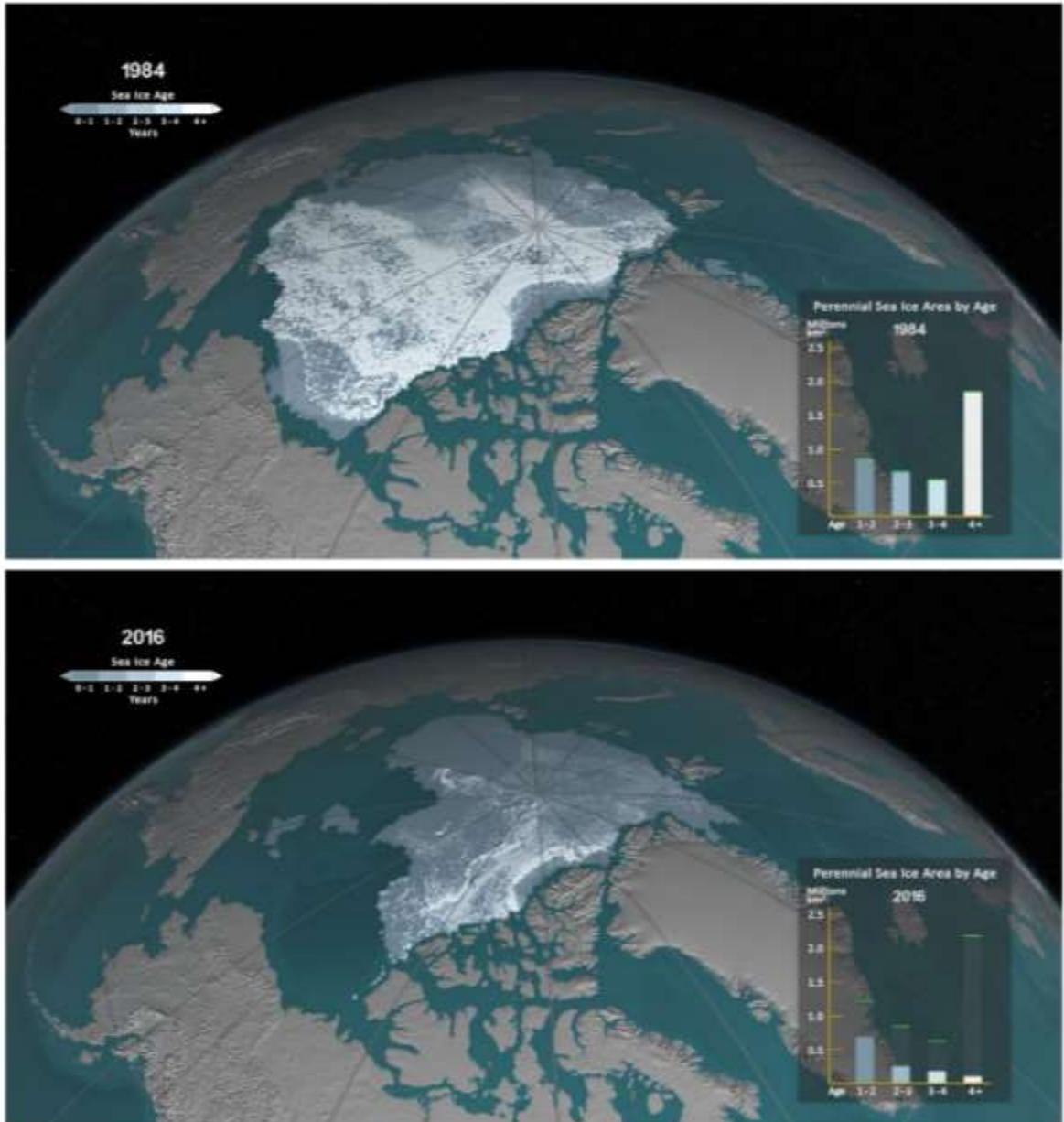


התפלגות טמפרטורת המינימום הממוצעת בחודשים יוני, יולי ואוגוסט, בירושלים בשנים 1950-1987 (בכחול) ובשנים 1988-2017 (באדום).

1. בגרף א' - מה מייצג ירידה של העקום מתחת ל-0 ומה מייצג העלייה מעל ל-0?
2. מה ניתן ללמוד מגרף א'?
3. האם יש משמעות לעלייה או ירידה בחצי מעלת צלזיוס?
4. מה ניתן ללמוד מגרף ב'?
5. בשני הגרפים מציגים הבדלי טמפרטורה של ממוצע רב שנים. מדוע לדעתכם לא משווים בין שנה אחת לשנייה אלא בין ממוצעים ארוכי טווח?
6. בגרף א' מוצגים שינויים בטמפרטורה העולמית ובגרף ב' שינויים בטמפרטורות בירושלים. האם לדעתכם יש יתרון בהסתכלות על טמפרטורות מקומיות לעומת טמפרטורות עולמיות?

ראיות לשינוי אקלים - שטח הקרחונים בקוטב הצפוני

עיינו בתמונות המראות את גודל השטח המכוסה קרחונים בשנת 1984 מול 2016. הצבעים לבן מול אפור מייצגים את גיל הקרחון 1-2 שנים, 2-3 שנים, 3-4 שנים ומעל 4 שנים (גיל הקרחון מחושב על פי העובי שלו). הגרפים בפינה של כל תמונה מראים את שטח הקרחון (ביחידות של מליון קמ"ר) לפי קבוצת הגיל.

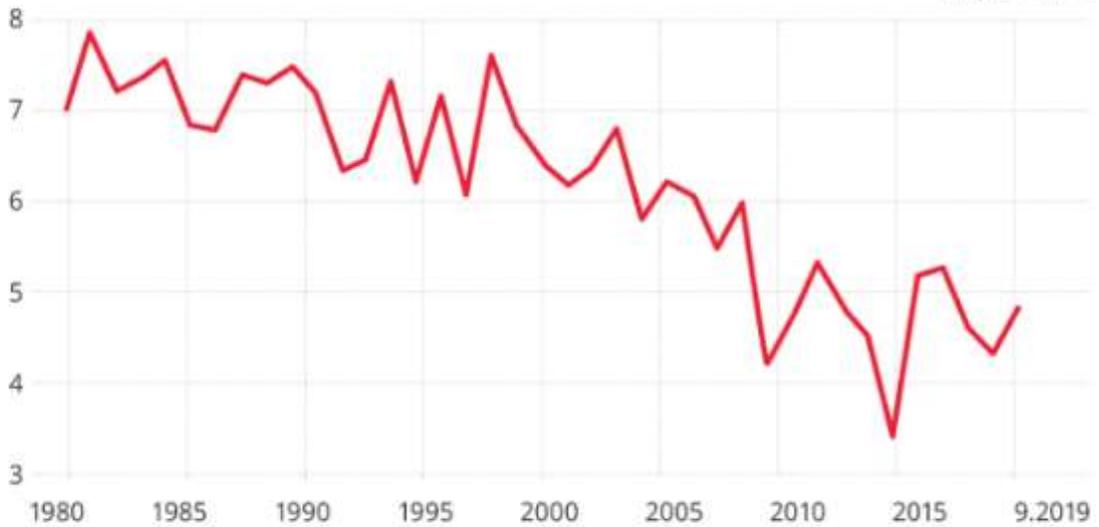


מקור האיור: [Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment, Volume I U.S. Global Change Research Program,](#)

1. מה ניתן ללמוד מהשוואת השנים הללו?
2. עיינו בגרף המציג מדידות שנתיים של שטח כיפת הקרח בקוטב הצפוני (ציר X מציג את השנים בהן נעשו תצפיות, ציר Y מציג את שטח כיפת הקרח במיליוני קמ"ר) - האם הגרף תומך או מנוגד לממצאים שהוצגו לעיל?
3. מדוע לדעתכם קטן השטח המכוסה הקרחונים?

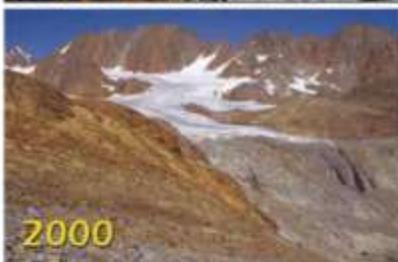
שטח כיפת הקרח בחוג הקוטב הצפוני

במיליוני קמ"ר



מקור: NSIDC/NASA

מקור האיור: [22.09.19 הארץ](https://www.earthdata.nasa.gov/data/2019/09/22)



המחשה נוספת ניתן לראות בתמונת הקרחון האוסטרי מ 1985 בהשוואה לשנת 2000

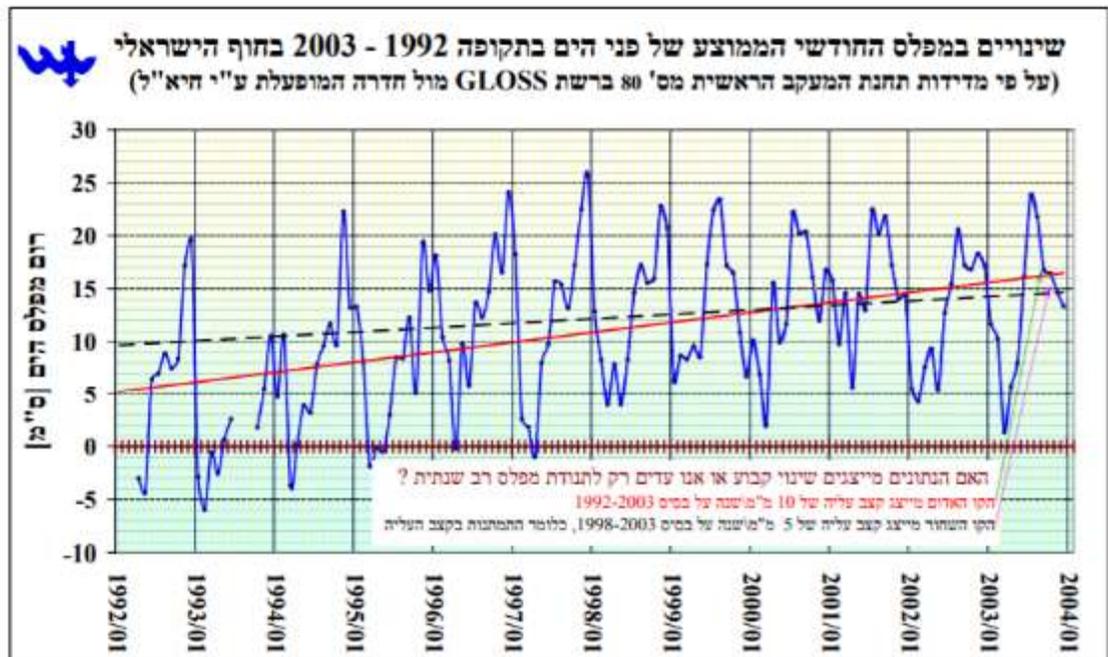
איור 8: הקרחון Vernagtferner באוסטריה, תמונה משנת 1985 לעומת שנת 2000 (מקור: Braun and Weber 2002 appears in EAA (2005:20)

ראיות לשינוי אקלים - מפלס פני הים

הגרף הראשון מתאר את העלייה העולמית במפלס פני הים מאז 1993 במילימטרים, על פי בדיקות שנעשו מדי שנה. (ציר X מציג את השנים בהן נעשו תצפיות, ציר Y מציג את העליה במפלס הים במ"מ, בהשוואה למדידה של 1993) הגרף השני מתאר את השינויים במפלס הים בחופי ישראל, שנבדקו בין השנים 1992 ל 2003. (הקו הכחול מציג את הנתונים שנמדדו מספר פעמים בשנה. הקו האדום והקו השחור המקווקו הם קווי מגמה- האדום מייצג עלייה של 10 מ"מ השנה ובשחור המקווקו מייצג עליה של 5 מ"מ בשנה).



מקור האיור: [הארץ, 22.09.19](https://www.ynet.co.il/2019/09/22)



מקור: שינוי מפלס הים ובחינת ההשלכות על מצב חופי הים התיכון של ישראל, דב ס. רוזן

ענו על השאלות:

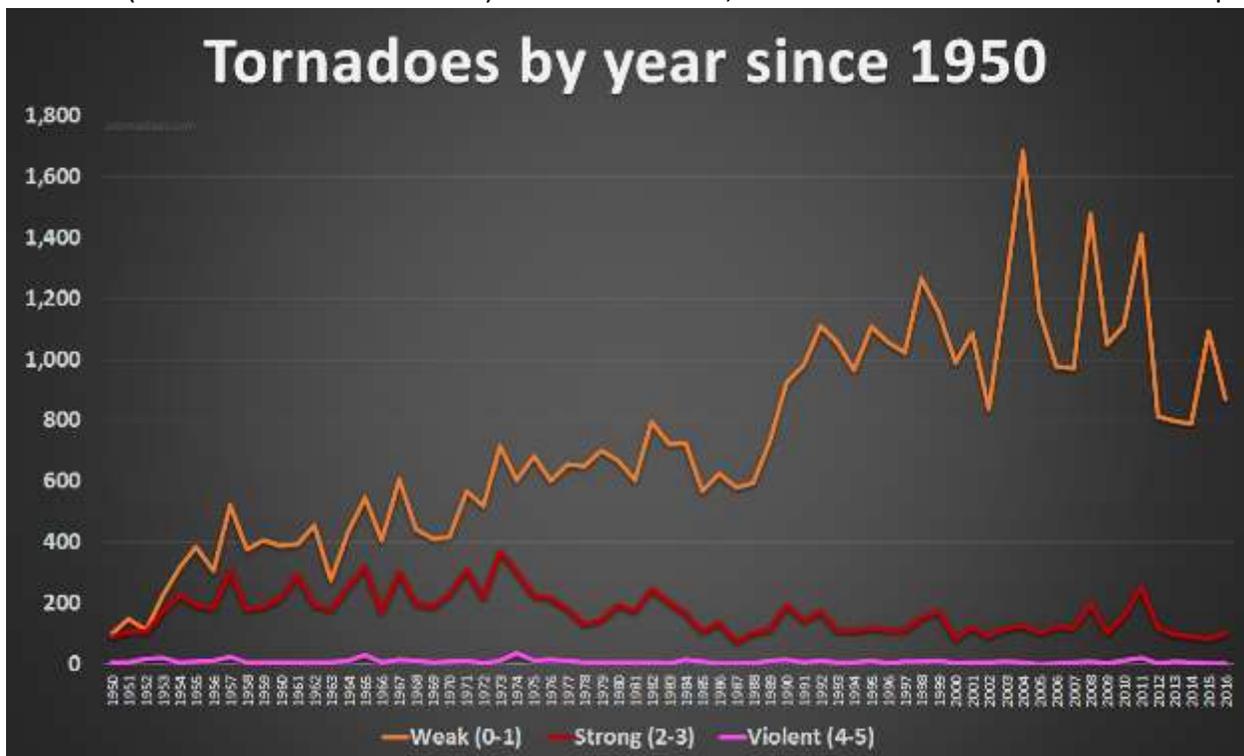
1. מה גורם לעלייה במפלס פני הים?
2. מה ניתן ללמוד משני הגרפים הללו?
3. האם המצב בחופי ישראל תואם למצב העולמי?

ראיות לשינוי אקלים - סופות טרופיות

סופות טרופיות הן סופות מסוגים שונים (הוריקן, טיפון או ציקלון) הנוצרות באזורים טרופיים. הן נוצרות מעל האוקיינוס כתוצאה מהפרשי טמפרטורות בין מי האוקיינוס החמים שמתאדים ומחממים את האוויר לבין האוויר הקר שבאטמוספירה. האוויר החם עולה, ומשאיר אחריו אזור לחץ אוויר נמוך בשכבות האטמוספירה הנמוכות. אוויר קר מגיע כדי למלא את החסר, נפגש עם זרם האוויר החם העולה, נוצרים ענני סערה ואלו מסתובבים במהירות סביב מרכז לחץ האוויר הנמוך. מרכז הסופה מכונה עין הסערה. ניתן לראות כיצד נוצרות סופות כאלו בסרטון (4.11 דקות, בעברית).

יש הטוענים כי בשנים האחרונות יש עלייה בכמות הסופות הטרופיות כפי שנראה בגרף להלן:

גרף א - מספר סופות טורנדו בשנה מאז 1950, לפי עוצמת הסופות (הנמדדות ע"י מספר ימי הסופה)



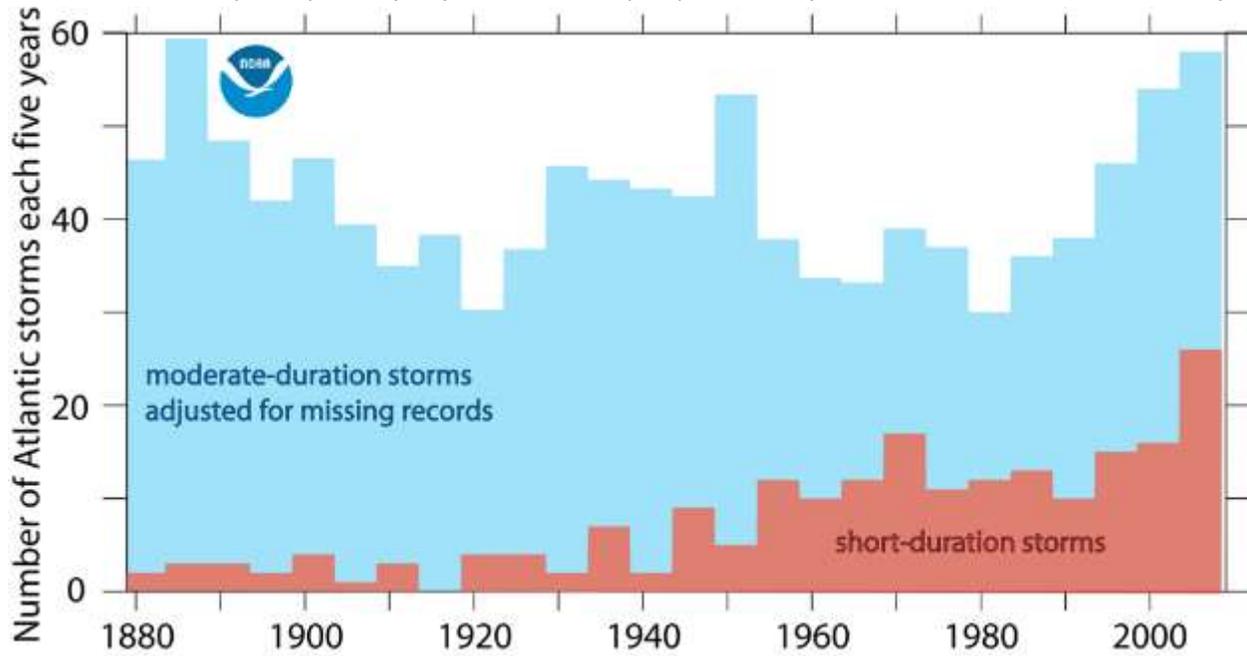
מקור הגרף: www.e-education.psu.edu

מאידך, יש הטוענים שהעלייה של מספר הסופות בעשורים האחרונים המוצגת בגרף, נובעת מהשיפור בניטור ובתיעוד של הסופות ולא באמת מעלייה במספרן. לשם כך נעשתה הערכה של מספר סופות שהיו בעבר ולא תועדו.

בנוסף למספר הסופות, מעניין לבחון אם חל שינוי לאורך השנים בעוצמת הסופות. נהוג להבחין בין סופות קצרות טווח (פחות מיומיים) לסופות בעלות משך זמן בינוני.

התבוננו בגרף ב' המתאר את שכיחות הסופות לפי סופות קצרות טווח (חום) וסופות של משך זמן בינוני (תכלת). בגרף זה נעשה תיקון והוא כולל גם הערכה של סופות שלא תועדו.

גרף ב' - שכיחות הסופות לפי סופות קצרות טווח (חום) וסופות של משך זמן בינוני (תכלת).



מקור האיור: [Historical Changes in Atlantic Hurricane and Tropical Storms](#)

1. האם יש הבדלים בתדירות הסופות בין 1880 ל 2010?

ملحق 1 – قطعة للقراءة وأسئلة

حالة الطقس ليست مناخ، من إعداد דב. אסף רוזנטל. نُشر في فبراير، 2019 في موقع [הידען](#)

تُحذر الأبحاث أن العالم يتقدم بخطوات كبيرة نحو وضع لا يمكن أن نوقف فيه ارتفاع درجة الحرارة التي تؤدي إلى تغيرات مناخ متطرف، وفي الوقت الذي يدعي فيه علماء أننا تجاوزنا العتبة التي يمكن أن نخفف فيها تأثير الانبعاث، وفي كل مرة تضرب موجة باردة شمال أميركا، يخرج الرئيس من البيت الأبيض بالتغريدة الآتية: "هل هذا ارتفاع درجة الحرارة الذي يحذر منه العلماء المزيقون؟". هو ليس الوحيد الذي لا يميز بين حالة الطقس والمناخ.

ابتداء من بداية كانون الثاني سنة 2019 هناك أقسام واسعة من شمال – أميركا مغطاة بالثلوج، وأعلنت تحذيرات عن عواصف ثلجية في أنحاء القارة. كما هو الأمر مع الرئيس، لا يميز كثيرون بين المناخ وحالة الطقس، العواصف والثلوج في شمال أميركا تُشكل مثال لحالة طقس تستمر عدة أسابيع، لكن في النهاية تمرّ العاصفة، تصبح السماء صافية ويكون الصيف في كل سنة حار أكثر بسبب تغيرات المناخ.

هكذا حدث عندنا أيضًا، بسبب تغيرات المناخ التي تحدث بسبب ارتفاع درجة الحرارة العالمية، عانت منطقتنا كثيرًا من فترات القحط والجفاف. إذا كنا نعرف قبل عدة عقود أن النقب صحراء وشماله معتدل المناخ، نلاحظ اليوم أن المناخ الصحراوي يزحف نحو الشمال بعملية ثابتة ومستمرة. الأمطار الغزيرة والثلوج في جبل الشيخ، في شتاء واحد، تؤثر على المعدل المتعدد السنوات وعلى اتزان الماء ومستوى سطح بحيرة طبريا، لكن التوجه العام أكثر حرارة وجفافًا.

ما هو الفرق بين حالة الطقس والمناخ؟ حالة الطقس هي الحالة اليومية للغلاف الجوي، درجة حرارة قصوى، حالة الغيوم، سرعة الرياح، المطر أو الثلج. أما المناخ فهو حالة الغلاف الجوي على مرّ سنوات كثيرة، معدل متعدد السنوات للأمطار، الرياح، درجة الحرارة والمواسم التي يهطل فيها المطر أو تشرق الشمس.

حسب حسابات منظمة الأرصاد الجوية العالمية نحتاج إلى معطيات عن ثلاثين سنة، على الأقل، لتحديد مقاييس المناخ. يمكن أن نفهم ذلك إذا أجرينا مقارنة مع خزانة الملابس التي تمثل المناخ. مقابل اختيار اللباس اليومي المناسب لحالة الطقس. حسب حالة الطقس نختار ماذا نلبس اليوم أو غدًا؟ التغيرات في حالة الطقس، كل يوم، تُحدّد اختيار الملابس. أما المناخ يحدد مكونات الملابس في الخزانة.

يمكن أن نعرف توقعات حالة الطقس ليوم الغد أو لعدة أيام حسب خرائط جوية أو حسب النشرة الجوية التي تنشرها وسائل الاتصال، أما توقعات المناخ ليست كذلك، فإنها تعتمد على عينات من مناطق مختلفة وعلى تحليل معطيات تمّ تجميعها خلال عقود، وهي تُتيح توقعات المناخ في السنوات القادمة. توقعات المناخ تُتيح لنا تخطيط محتويات خزانة الملابس في العقود القادمة.

لذا وفقًا لمناطق يعيش فيها الناس وحسب توقعات المناخ المقبولة على 99.9% من علماء المناخ، هناك القليل الذين يحتاجون إلى تحضير شمسيات قوية ومتينة، لكن مقارنة بهم سيحتاج الكثيرون إلى وسائل تبريد وإلى تخزين مياه لفترات الجفاف. لا شك أنه حسب توقعات المناخ المتغير، سيحتاج الكثيرون إلى تغيير محتويات خزانة الملابس، إلى تغيير سلوكياتهم وإلى التكيف إلى ظروف مناخ أصعب بكثير من الظروف التي نعرفها.

أجيبوا عن الأسئلة:

- هل موجة البرد التي ضربت شمال أميركا في شهر كانون الثاني سنة 2019، الموصوفة في القطعة، هي دلالة لتغيرات حالة الطقس أم تغيرات المناخ؟ عللوا إجاباتكم.
- ما هي الدلائل للتغيرات في إسرائيل، الموصوفة في القطعة؟ هل هي دلائل لتغيرات في حالة الطقس أم في المناخ؟
- [لهذا المقال](#) نُشرت ثلاثة ردود فعل – اثنتان منهما تدعي أن ارتفاع درجة الحرارة في العالم في موضع الشك. ما رأيكم بالموضوع؟ اشرحوا موقفكم.

ملحق 2 – بطاقات معلومات كبديل 1

دلائل لتغيرات المناخ - تصحر

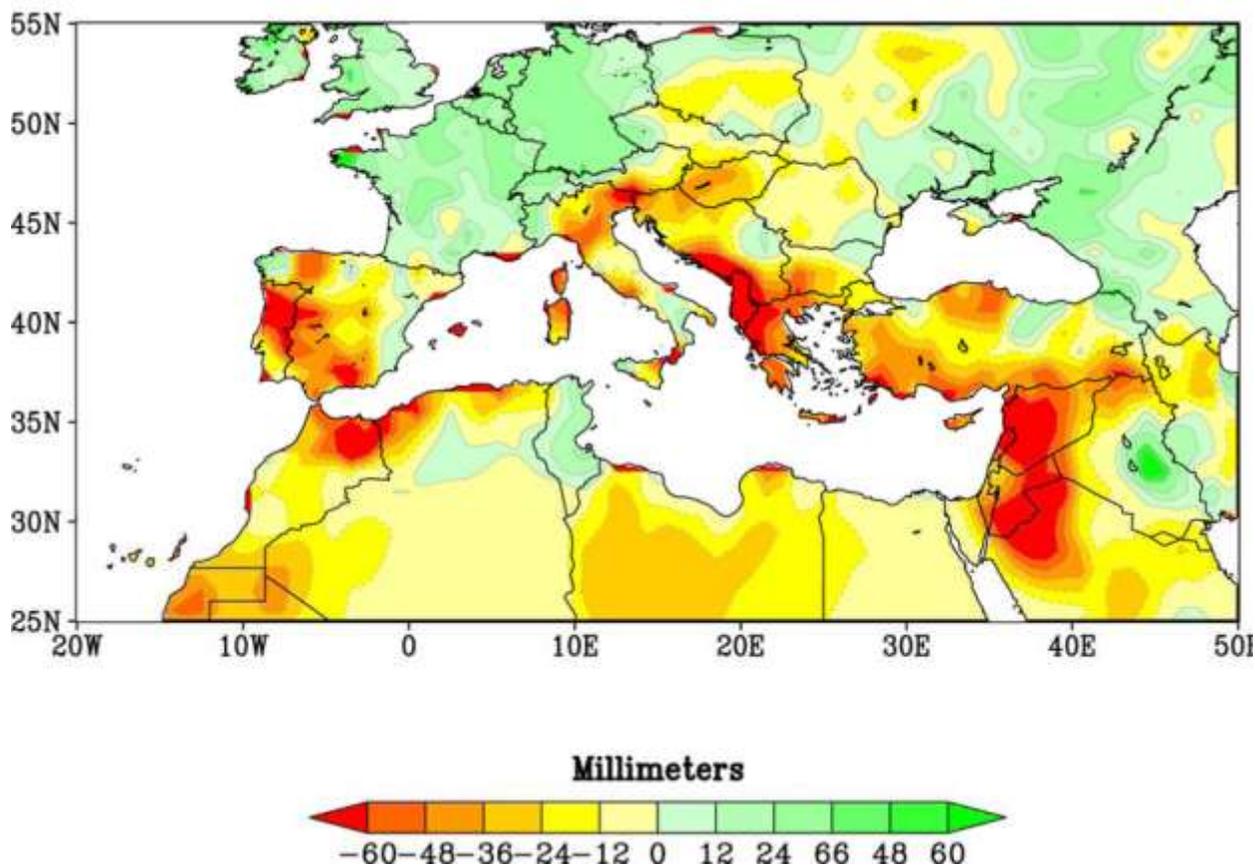
في مناطق شبه صحراوية*، مثل: أفريقيا، الشرق الأوسط وإسرائيل، تزداد ظاهرة انتشار الصحراء (التصحر). ينبع ذلك من الدمج بين استغلال الإنسان الزائد للموارد – الري الزائد، الاستغلال الزائد للماء والتربة - وبين ارتفاع درجة الحرارة، انخفاض كمية الرواسب وازدياد أحداث القحط.

* المناخ الشبه الصحراوي الذي نسميه مناخ شبه قاحل، هو مناخ فيه كمية الرواسب أقل بقليل من السوائل المتبخرة. المناخ الشبه صحراوي يقع من ناحية بيئية وزراعية بين مناخ صحراوي ومناخ استوائي (WIKI)

تمعنوا في الرسمين التوضيحين، وأجيبوا عن الأسئلة:

الرسم التوضيحي أ: تعرض خريطة الألوان مقارنة بين معدل انخفاض الرواسب في منطقة البحر الأبيض المتوسط. لذا تمّ حساب معدل الأمطار التي هطلت في المنطقة في فترتين مختلفتين: أ. بين السنوات 1902-2010 ب. بين السنوات

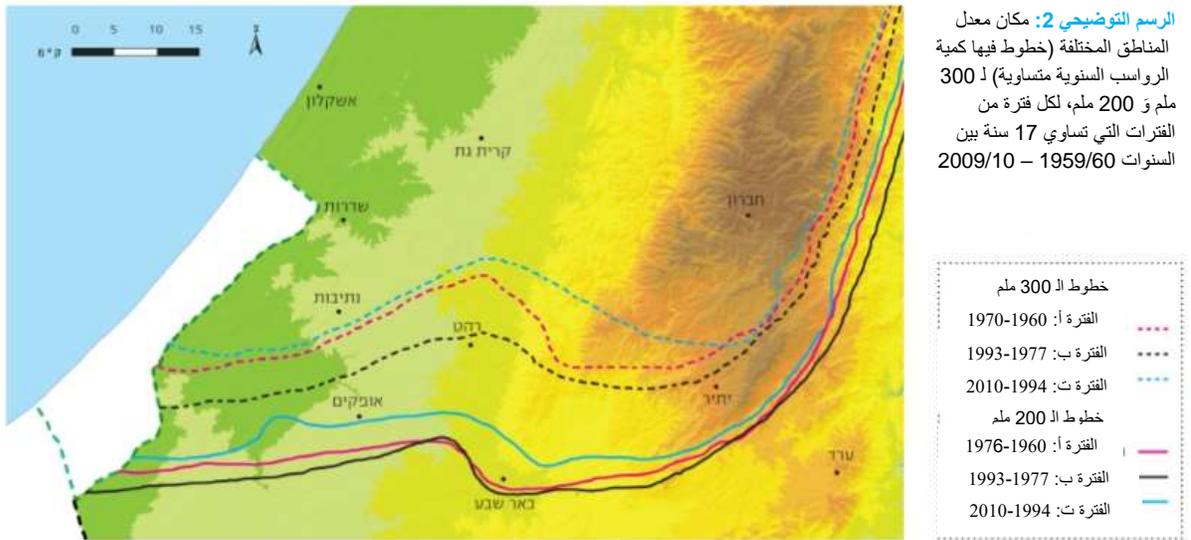
1971-2010. محاور الرسم البياني هي خطوط الطول والعرض. ترمز الألوان في الدليل إلى الفرق في كمية الأمطار (ملم) بين الفترتين – المناطق الحمراء والبرتقالية تُشير إلى معدل فصول شتاء جافة أكثر بين السنوات 1971-2010، وذلك مقارنة بالسنوات 1902-2010.



مصدر المعطيات والصورة: (أكو-ويكي) - NOAA - [הסוכנות הלאומית לאוקיינוסים ולאטמוספירה של ארצות הברית, מחקר משנת 2011.](#)

1. ماذا يمكن أن نتعلم، بشكل عام، من الرسم التوضيحي؟
2. انتبهوا في الرسم التوضيحي أ إلى أنّ المقارنة تمّت بين معدل 40 سنة (1971 - 2010) ومعدل حوالي 100 سنة (1902 - 2010). هل هذا صحيح من ناحية علمية؟ لماذا أجريت، حسب رأيكم، هذه المقارنة؟
3. ما هو الوضع في إسرائيل مقارنة بدول البحر الأبيض المتوسط؟

الرسم التوضيحي ب: تغيرات في معدل الرواسب السنوي لـ 200 ملم رواسب (خط متواصل) و 300 ملم رواسب (خط متقطع) في إسرائيل، تمت المقارنة بين ثلاث فترات زمنية: 1960 - 1976 (خط أحمر)، 1977 - 1995 (خط أسود)، 1996 - 2010 (خط أزرق).



مصدر الرسم التوضيحي: تقلبات الأمطار في النقب، في السنوات الخمسين الأخيرة – هل هي دلائل لتغيرات المناخ؟
 הדס סערוני, ברור זיו, רואי פרגמנט, נעם חלפון, אבנר פורשפן ואיזבלה אוסטינסקי-צדקי. אקולוגיה וסביבה, פברואר 2012, גליון 1, (עמ' 62-72)

1. ماذا يمكن أن نتعلم من الرسم التوضيحي ب؟
2. التصحر (Desertification) هو عملية تتغير فيها الأرض من خصبة إلى صحراء، وتدمير الأراضي في مناطق قليلة الرواسب. ينبع التصحر من عوامل مختلفة، مثل: تغيرات المناخ، الرعي الزائد، استهلاك الماء للزراعة، السكن والصناعة، ملوحة التربة وغير ذلك (أوكوي). التصحر هو مشكلة صعبة في البيئة المحيطة، وهو يؤثر على أنظمة بيئية وعلى المناخ والزراعة. هناك من يدعي أن ظاهرة التصحر تزداد في مناطق شبه صحراوية. هل تدعم الرسوم التوضيحية التي عُرضت هذا الادعاء؟

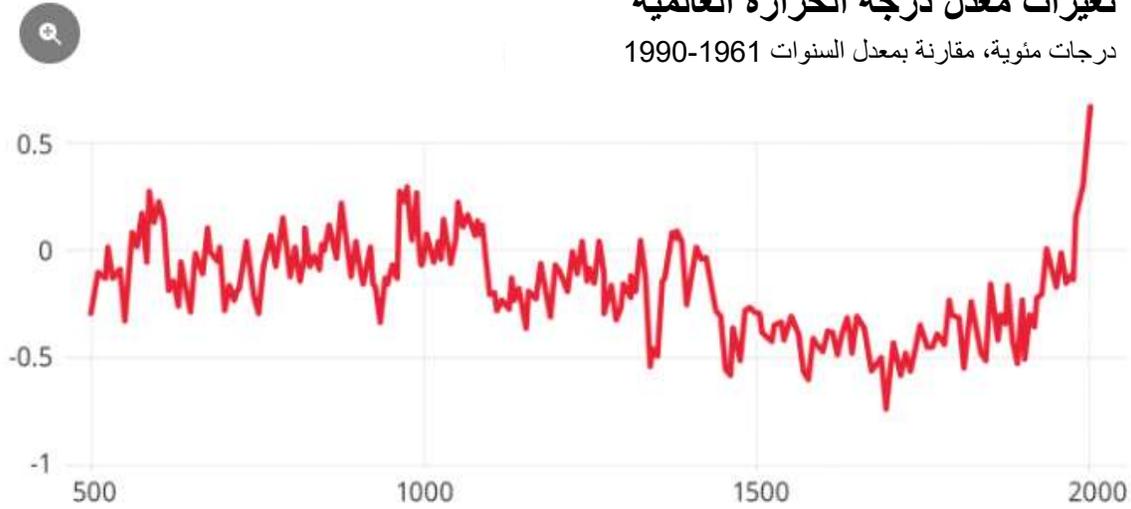
دلائل لتغيرات المناخ – ارتفاع درجة الحرارة

تمعنوا في الرسمين البيانيين وأجيبوا عن الأسئلة:

أ. أمامكم رسم بياني يعرض انحراف درجة الحرارة العالمية (محور X هو التغير بدرجات مئوية، محور Y يمثل السنوات) عن معدل درجة حرارة السنوات 1961-1990 (شذوذ درجة الحرارة هو انحراف درجة الحرارة المُقاسة عن قيمة معرّفة – عادة معدل طويل الأمد. مثلًا: يعرض هذا الرسم البياني انحراف عن معدل السنوات 1961-1990).

تغيرات معدل درجة الحرارة العالمية

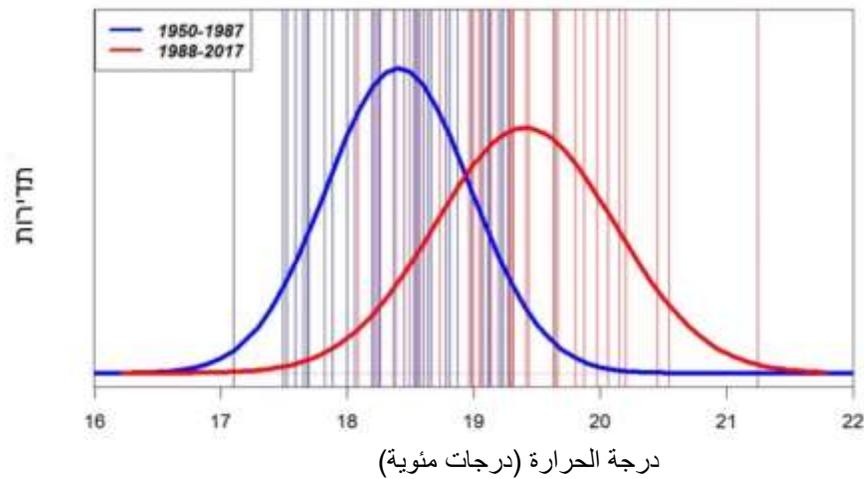
درجات مئوية، مقارنة بمعدل السنوات 1990-1961



מקור: M.E. Mann et al, PNAS, 2008

מصدر الرسم البياني: [הארץ, 22.09.19](#)

ב. أمامكم رسم بياني يعرض معدل درجة الحرارة الدنيا في أشهر الصيف في القدس وتغيراتها بين السنوات 1950–1987 (بالأزرق) والسنوات 1988–2017 (بالأحمر). المصدر: [השירות המטאורולוגי הישראלי](#)

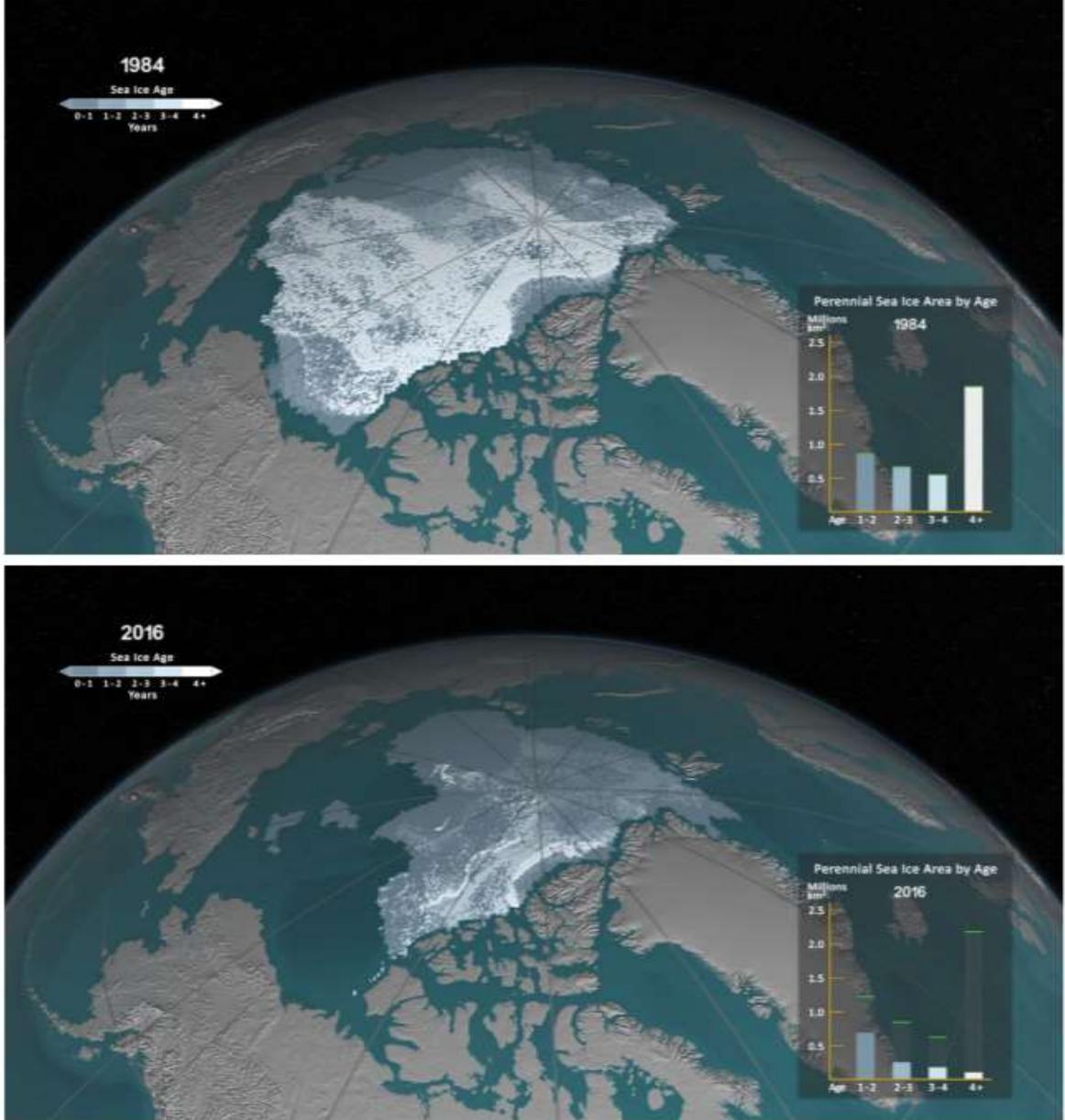


توزيع معدل درجات الحرارة الدنيا في الأشهر حزينان، تموز وأب، في القدس، في السنوات 1950-1987 (بالأزرق) وفي السنوات 1988-2017 (بالأحمر)

1. في الرسم البياني أ – ماذا يمثّل انخفاض المنحنى تحت الـ 0. وماذا يمثّل ارتفاع فوق الـ 0؟
2. ماذا يمكن أن نتعلّم من الرسم البياني أ؟
3. هل يوجد معنى لارتفاع أو انخفاض نصف درجة مئوية؟
4. ماذا يمكن أن نتعلّم من الرسم البياني ب؟
5. يعرض الرسمان البيانيان فروق في معدل درجة حرارة متعددة السنوات. لماذا لا تتم المقارنة، حسب رأيكم، بين سنة معينة
وسنة أخرى، بل تتم بين معدلات طويلة الأمد؟
6. يعرض الرسم البياني أ تغيرات في درجة الحرارة العالمية، ويعرض الرسم البياني ب تغيرات درجة الحرارة في القدس.
هل هناك أفضلية للمقارنة بين درجات حرارة محلية ودرجات حرارة عالمية؟

دلائل لتغيرات المناخ - مساحة الجليد في القطب الشمالي

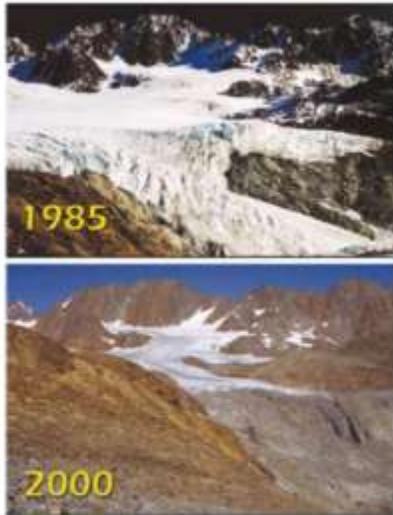
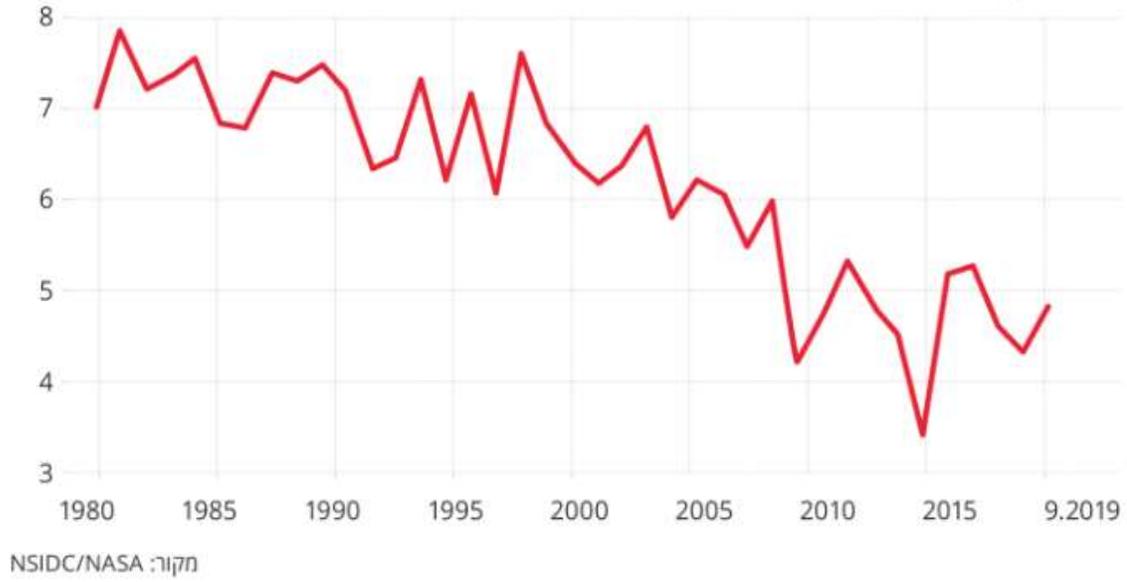
تمعنوا في الصور التي تُبين المساحة المغطاة بالجليد سنة 1984 مقابل سنة 2016. اللون الأبيض مقابل الرمادي يمثل عُمر الجليد 1-2 سنوات، 2-3 سنوات، 3-4 سنوات وأكثر من 4 سنوات (تم حساب عُمر الجليد حسب سُمكه). تُبين الرسوم البيانية، في زاوية كل صورة، مساحة الجليد (بوحدة مليون كم مربع) حسب فئة العُمر.



مصدر الرسم التوضيحي: [Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment, Volume I U.S. Global Change Research Program,](#)

1. ماذا يمكن أن نتعلم من المقارنة بين هذه السنوات؟
2. تمعنوا في الرسم البياني الذي يعرض قياسات مساحة القبة الجليدية السنوية في القطب الشمالي (يعرض محور X السنوات التي تمت فيها المشاهدات، ويعرض محور Y مساحة القبة الجليدية بملايين كم مربع) – هل يدعم الرسم البياني أم يتناقض مع النتائج المعروضة أعلاه؟
3. لماذا انخفضت، حسب رأيكم، المساحة المغطاة بالجليد؟

שטח כפיפת הקרח בחוג הקוטב مساحة القبة الجليدية في القطب الشمالي במיליוני קמ"ר بملايين كم مربع



الرسم التوضيحي 8: الجليد Vernagtferner في النمسا،
صورة لسنة 1985 مقارنة بسنة 2000 (المصدر):

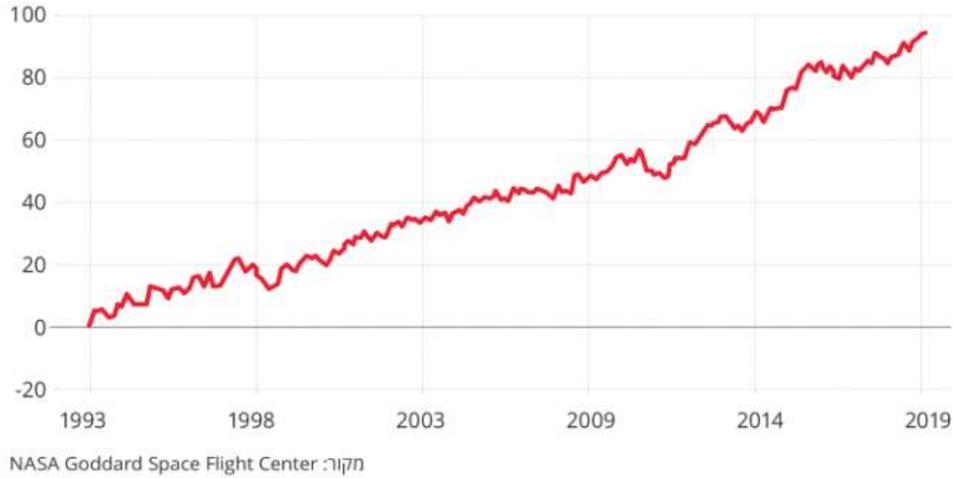
מصدر الرسم التوضيحي: [הארץ, 22.09.19](https://www.ynet.co.il/article/220919)

يمكن مشاهدة تجسيد إضافي في صورة الجليد النمساوي سنة 1985 مقارنة
بسنة 2000.

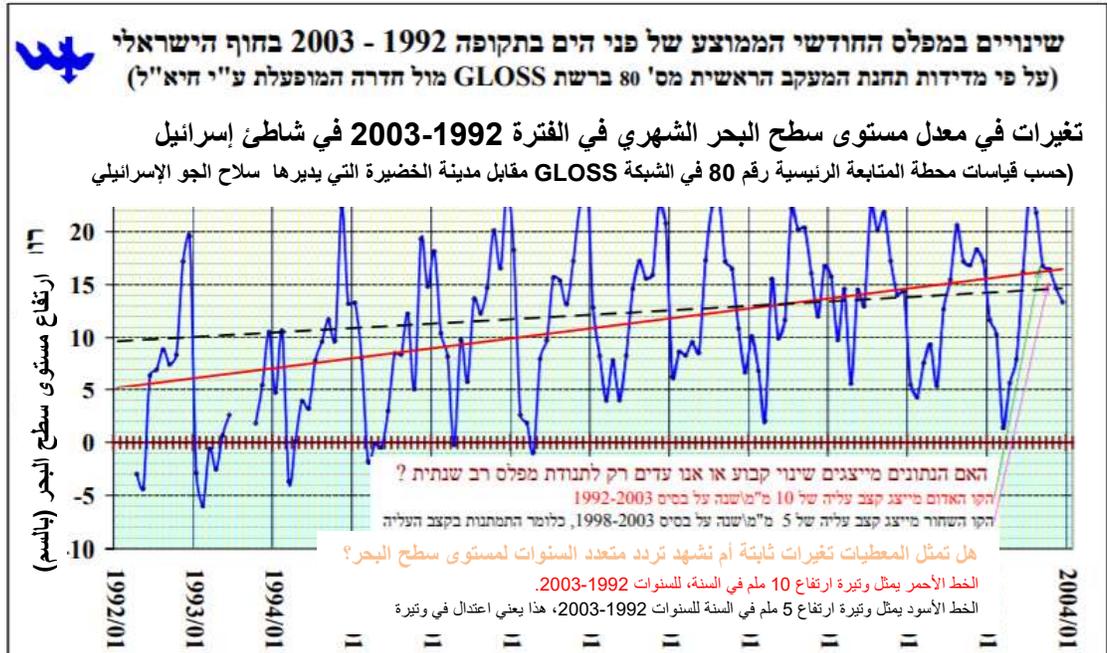
دلائل لتغيّرات المناخ - مستوى سطح البحر

يصف الرسم البياني الأول الارتفاع العالمي لمستوى سطح البحر منذ 1993 بالملم، حسب فحوصات أُجريت كل سنة. (يعرض محور X السنوات التي تمّت فيها المشاهدات، ويعرض محور Y ارتفاع مستوى سطح البحر بالملم، مقارنة بقياس سنة 1993). يصف الرسم البياني الثاني التغيرات في مستوى سطح البحر في شواطئ إسرائيل، أُجري الفحص بين السنوات 1992 إلى 2003. (يعرض الخط الأزرق المعطيات التي تمّ قياسها عدة مرات في السنة. الخط الأحمر والخط الأسود المتقطع، هما خطان يصفان التوجه - الأحمر يمثل ارتفاع 10 ملم في السنة، والأسود المتقطع يمثل ارتفاع 5 ملم في السنة).

ارتفاع مستوى سطح البحر منذ سنة 1993 بالملترات



مصدر الرسم التوضيحي: www.earthdata.nasa.gov, 22.09.19



المصدر: [שינוי מפלס הים ובחינת ההשלכות על מצב חופי הים התיכון של ישראל, דב ס. רוזן](#)

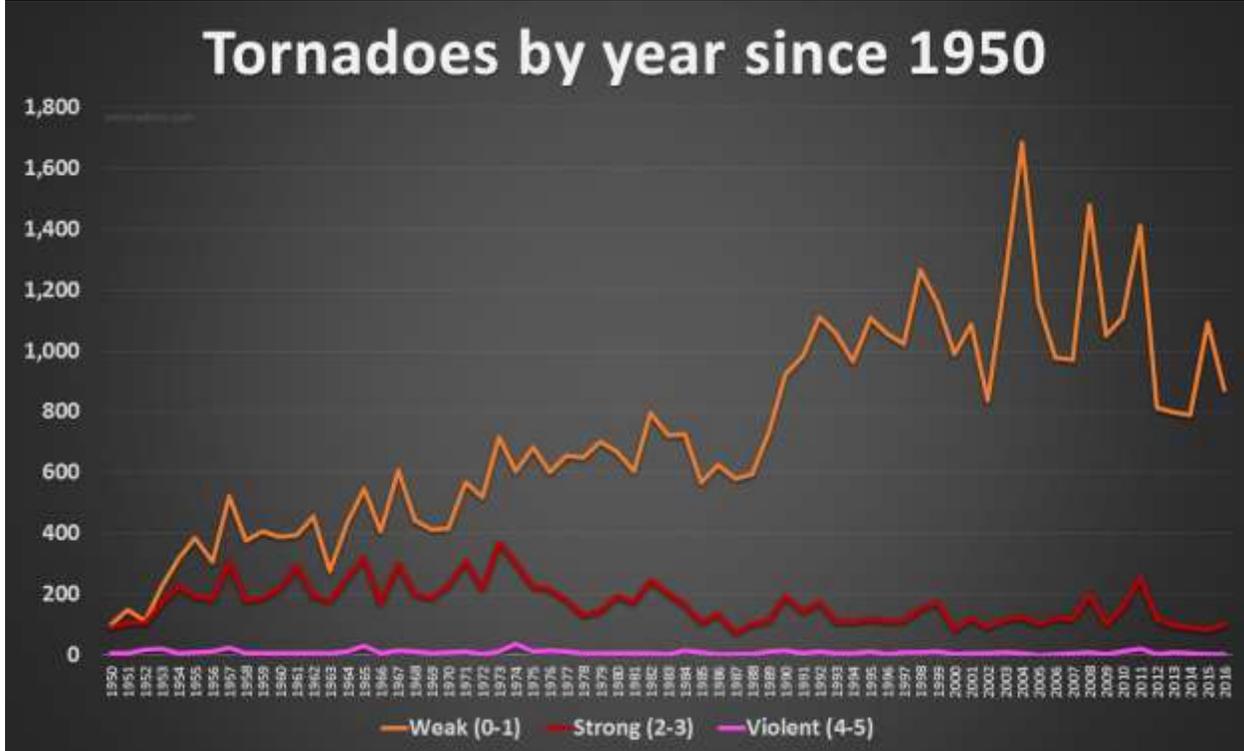
أجيبوا عن الأسئلة:

1. ما الذي يؤدي إلى ارتفاع مستوى سطح البحر؟
2. ماذا يمكن أن نتعلم من هذين الرسمين البيانيين؟
3. هل يتوافق الوضع في شواطئ إسرائيل مع الوضع العالمي؟

دلائل لتغيرات المناخ - عواصف استوائية

العواصف الاستوائية هي أنواع مختلفة من العواصف (هوريكن، تايفون أو سيكلون)، وهي تُنتج في مناطق استوائية. تُنتج فوق المحيط نتيجة للفرق في درجة الحرارة بين مياه المحيط الساخنة المتبخرة التي تسخن الهواء وبين الهواء البارد في الغلاف الجوي. يصعد الهواء الساخن إلى أعلى، ويترك خلفه منطقة ضغط هواء منخفضة في الطبقات المنخفضة في الغلاف الجوي. يصل هواء بارد كي يملئ الناقص، يلتقي مع تيار الهواء الحار المتصاعد، تُنتج سحابة عاصفة تدور بسرعة حول مركز ضغط الهواء المنخفض. نسمي مركز العاصفة عين العاصفة. يمكن أن نرى كيف تُنتج هذه العواصف في [الفيلم القصير](#) (4.11 دقائق، بالعبرية).

هناك من يدعي أنه في السنوات الأخيرة طرأ ارتفاع في كمية العواصف الاستوائية، كما يظهر في الرسم البياني الآتي: الرسم البياني أ - عدد عواصف تورنادو في السنة منذ 1950، حسب شدة العواصف (التي تم قياسها بواسطة عدد أيام العاصفة).

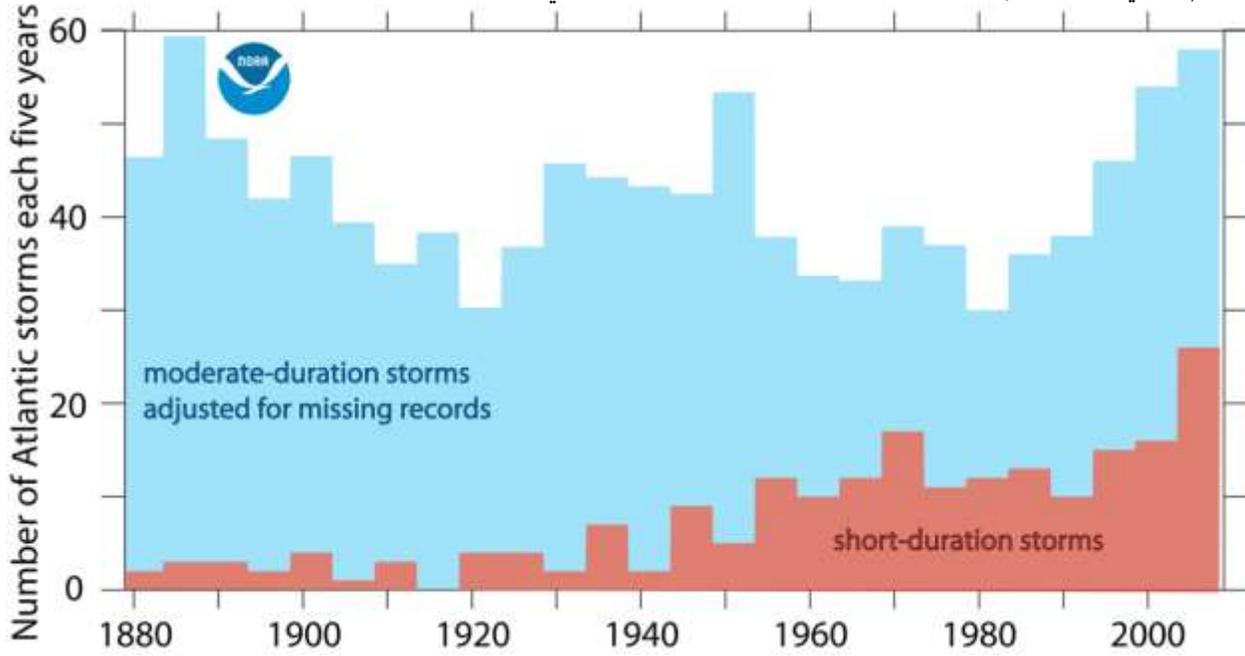


مصدر الرسم البياني: www.e-education.psu.edu

من ناحية أخرى، هناك من يدعي أن ارتفاع عدد العواصف، في العقود الأخيرة، المعروضة في الرسم البياني ناجم من تحسين رصد وتوثيق العواصف وليس بسبب ارتفاع عددها. لذا أجري تقييم لعدد العواصف التي كانت في الماضي ولم يتم توثيقها. بالإضافة إلى عدد العواصف، من المهم أن نفحص هل طرأ تغيير في شدة العواصف على مرّ السنين. نميز عادة بين عواصف قصيرة الأمد (أقل من يومين) وعواصف مدتها الزمنية متوسطة.

تمعنوا في الرسم البياني ب الذي يصف تكرارية العواصف حسب عواصف قصيرة الأمد (بني) وعواصف مدتها الزمنية متوسطة (أزرق). أُجري تصحيح في هذا الرسم البياني، وهو يشمل أيضًا تقدير عواصف لم يتم توثيقها.

الرسم البياني ب - تكرارية العواصف حسب عواصف قصيرة الأمد (بني) وعواصف مدتها الزمنية متوسطة (أزرق).



مصدر الرسم التوضيحي: [Historical Changes in Atlantic Hurricane and Tropical Storms](#)

1. هل يوجد فروق في تكرار العواصف بين السنوات 1880 إلى 2010؟

ראיות לשינוי אקלים תשובות למורה:

מדבור

1. באופן כללי - באזור הים התיכון יש ירידה בכמות המשקעים הממוצעת, כשמשוויים את הממוצע של הגשמים בשנים 1971-2010 לעומת הממוצע של הגשמים בשנים 1902-2010. במערב ארופה ובטורקיה, לעומת זאת, יש עלייה בכמות הגשמים הממוצעת.
2. מכיוון שמדובר בממוצע של השנים, ניתן להשוות בין פרקי זמן שונים. יחד עם זאת, יש להניח שבממוצע של 40 שנה יראו הבדלים משמעותיים יותר בהשוואה לממוצע של 100 שנה. ייתכן ובחרו לבחון דווקא נתונים אלו על מנת להמחיש את הטענה של ירידה בכמות הגשמים.
3. בישראל, כמו גם ביוון ובצפון אלג'יר ומרוקו, יש ירידה של 60 מ"מ גשמים בממוצע שהיא חריפה יותר בהשוואה למרבית המדינות בים התיכון.
4. בשנים האחרונות (1996 - 2010) קו ה-200 מ"מ משקעים וקו ה-300 מ"מ משקעים נמצאים צפונה בהשוואה למקומם בתקופות קודמות. כלומר, האזורים שמדרום לקווים אלו מקבלים בממוצע פחות משקעים ולפיכך, המדבר מתפשט צפונה.
5. הגורמים למדבור הם ניצול יתר של השטח, עלייה בטמפרטורות, ירידה בכמות המשקעים ועלייה בארועי בצורת. הנתונים באיורים מתייחסים להשתנות כמות המשקעים והם תומכים בטענה של התגברות תופעת המדבור.

עלייה בטמפרטורות

1. הקו מעל האפס מתאר עלייה בטמפרטורה הגלובלית הממוצעת ומתחת לאפס ירידה בטמפרטורה בהשוואה לשנים אלו.
2. על פי גרף א', בסוף המאה ה-19 חל גידול של יותר מ-0.5 מעלות צלזיוס, המעיד על התחממות הטמפרטורה העולמית. ניתן גם לראות שקצב שינוי הטמפרטורה באותה תקופה חריג ביחס לשנים קודמות.
3. השינוי בחצי מעלה הוא שינוי של ממוצע עולמי - יש מקומות בעולם שבהם לא יחול שינוי ויש מקומות שבהם יחול שינוי של שלוש מעלות צלזיוס או יותר, כפי שנראה בגרף ב'. לכל שינוי בטמפרטורה, קטן כגדול, יש השפעה מצטברת על המערכות האקולוגיות ובאופן עקיף וגם ישיר יש לשינויים הללו גם השפעה על האדם.
4. מגרף ב' עולה שטמפרטורת המינימום בקיץ בירושלים בשנים 1950 - 1987 השתנתה בין 17 ל 20 מעלות צלזיוס כאשר, טמפ' שבין 18 ל 19 מעלות צלזיוס היתה השכיחה ביותר. טמפרטורת המינימום בקיץ בירושלים בשנים 1988 - 2017 השתנתה בין 17.8 ל 21 מעלות צלזיוס כאשר, טמפ' שבין 19 ל 20 מעלות צלזיוס היתה השכיחה ביותר. מתוך כך ניתן להבין שחלה עליה בתדירות ימים בעלי טמפרטורת מינימום גבוהה יותר.
5. ההשוואה של טמפרטורות בממוצע רב שנים מבטיח דיוק גדול יותר לעומת השוואה של שנה אחת, משום שיכולות להיות שנים חריגות שאינן מייצגות תקופה.
6. הטמפרטורות העולמיות מייצגות תמונה גלובלית רחבה. אולם, במקרים מסוימים, התמונה המקומית שונה מהתמונה העולמית באופן משמעותי. כך למשל ישראל, מייצגת אקלים יבש וחם יחסית לעולם ולכן בישראל השינוי הממוצע בטמפרטורות גבוה יותר בהשוואה לשינוי הממוצע העולמי. הסתכלות על טמפרטורות מקומיות נותנת הבנה טובה יותר של המצב המקומי.

שטח הקרחונים בקוטב הצפוני

1. ניתן לראות שבין השנים 1984 ל 2016 שטח הקרחונים ירד משמעותי ובפרט שטח הקרחונים מעל 4 שנים ירד משני מליון קמ"ר ב 1984 לכ 0.1 מליון קמ"ר ב 2016.
2. על אף שהמספרים המתארים את גודל השטח במליוני קמ"ר אינם זהים בשני הגרפים, הגרף מציג מגמה דומה של ירידה בגודל השטח המכוסה קרחונים.
3. שטח הקרחונים מצטמצם באופן דרסטי בגלל המסת הקרחונים אשר נובעים מעלייה בטמפרטורה.

מפלס פני הים

1. המסת הקרחונים והעלייה בטמפרטורת האוקיינוסים גורמות לעליית פני הים ברחבי העולם.
2. משני הגרפים ניתן ללמוד על שתי תופעות:
 - א. תנודתיות רבה במפלס פני הים לאורך השנה, כפי שניתן לראות בקו הכחול
 - ב. מפלס פני הים נמצא במגמה של עלייה כפי שניתן לראות בקו מגמה האדום.
 3. כן, בדומה למצב העולמי, גם בחופי ישראל ניכרת תנודתיות וגם עליה במפלס פני הים בשיעור של 5-10 מ"מ

סופות טרופיות

1. לפי הגרף נראה שאין שינוי בתדירות הסופות הבינוניות (בתכלת) אבל, יש עליה משנות החמישים במספר הסופות הקצרות.

סופות וסערות (הוריקן, טייפון, ציקלון וטורנדו)



מקור התמונה: [אקלים קיצון - יחידת הוראה, משרד החינוך](#)

רוח היא תנועה של האוויר. הרוח נוצרת בשל הפרשים בלחץ האוויר. הרוח מאופיינת בכיוון ובמהירות, אשר משתנים כל הזמן ויש להן השפעה על תופעות מזג אוויר רבות כמו גשמים, אובך ועוד. רוחות מסווגות לפי אופיין והסיבות להיווצרותן.

סופות טרופיות רבות עוצמה נוצרות מעל האוקיינוסים. הן זכו לשמות שונים בעולם: הוריקן (סופה מעל האוקיינוס האטלנטי). טייפון (במערב האוקיינוס השקט) או ציקלון (במפרץ בנגל ובאוקיינוס ההודי).

סערת הוריקן נוצרת בעיקר בקיץ ויכולה להתגבש תוך ימים או שעות ספורות. זוהי סופה אשר נעה סביב עצמה וגורמת רוחות חזקות וגשם רב. היא נוצרת מעל החלקים החמים באוקיינוס. בשילוב עם מצבור של ענני סערה (קומולונימבוס) נוצר אזור של לחץ נמוך, והוא שואב לתוכו אוויר ואדי מים מן הסביבה. מנגנון זה של "משאבה" מגביר את עוצמת הרוחות ואת כמות האנרגיה של המערבולת, עד להיווצרות של תהליך שבו הסופה מעצימה את עצמה. עוצמת הסופה מדורגת בין דרגות 1-5 עפ"י מהירות הרוח שבה. קוטרה של הסופה מגיע ל- 500-750 ק"מ ועוצמת הרוח עולה על 120 קמ"ש. כאשר סופת הוריקן מגיעה אל החוף, גלים עצומים מתנפצים בעוצמה על הקרקע ויחד עם הגשמים העזים גורמים לנזק רב והרסני בנפש וברכוש. תוך זמן קצר מאוד חופים שלמים יכולים להיעלם ולהיבלע, יבולים נהרסים, בתים ועצים יכולים להיעקר, נגרמים הצפות ושיטפונות. בשנים

האחרונות אנו עדים להתרחשות של סופות כאלה בתדירות גדולה ובעוצמה גבוהה יותר ממה שהיו בעבר. לדוגמה סופת ההוריקן "קטרינה" בשנת 2005, "סנדי" בשנת 2012, ועוד.

בים התיכון סופות כאלה לא יכולות להתרחש כי ענני סערה כאלה לא יכולים להיווצר בשל לחץ אוויר גבוה באטמוספירה.

לעומת המערבולת הגדולה של ההוריקן המשתרעת על פני שטחים רחבים, סופת הטרנדו היא סופה קטנה המשתרעת על שטח מצומצם יותר. בניגוד להוריקן המגיע מן האוקיינוסים, סופת הטרנדו מתגבשת וגורמת לנזק באזורי היבשה. סופת טורנדו נוצרת בעננים של סופות רעמים, המכונים קומולונימבוס, כשיש תנאים מיוחדים באטמוספירה. סופת טורנדו נראית כמערבולת דמוית משפך צר. היא נמשכת מספר דקות, וקוטר מגיע למאות מטרים עד קילומטרים אחדים. מהירות הרוח במערבולת הטרנדו מגיעה עד 500 קמ"ש, והיא יוצרת יניקה עצומה "השואבת" לתוכה כל דבר הנקרה בדרכה: בתים ומכוניות עלולים לעוף, עצים להיעקר ממקומם. הטרנדו נוצר בעיקר באביב ובקיץ. בישראל הטרנדו נדיר יחסית. בשנת 2006 התרחש טורנדו במערב הגליל וגרם לנזקים.

כשיש מידע על הגעת הוריקן או טורנדו ננקטים בדרך כלל צעדי התגוננות, ומקובל לפנות את התושבים, להצטייד בתאורת חירום ובאספקה, שכן צפוי ניתוק ובידוד של אזורים רבים בשל הסופות.

מקורות מידע

1. [הוריקנים, אתר בריינפופ](#)
2. [איך נוצרת סופת הוריקן? ד"ר ארז גרטי, מכון דוידסון.](#)
3. [הוריקן, אתר סבבה.](#)
4. [רוח, אתר בריינפופ](#)
5. [טרנדו, אתר בריינפופ](#)
6. מסע ברחבי האטמוספירה: מזג אוויר ואקלים- פרקים נבחרים. ד"ר יואב יאיר, מאירה שגב ובילי סביר, הוצאת מט"ח.
7. [רוחות וסופות, ד"ר יואב יאיר וד"ר רמי קליין, מט"ח.](#)

גלי חום קיצוני (שרב, חמסין)

חוקרים רבים בארץ ובעולם מסכימים כי בשנים האחרונות חלה עליה משמעותית בהתחממות כדור הארץ ובמספר התופעות האקלימיות הקיצוניות בעולם. הטמפרטורה הממוצעת של כדור הארץ עלתה בכ-0.6 מעלות צלזיוס במאה השנים האחרונות. כל עשור היה חם יותר מקודמו. זה אולי לא נשמע משמעותי אבל כל עלייה של עשירית מעלה עלולה לגרום שינויים מרחיקי לכת באקלים ולתופעות טבע קיצוניות.

גלי חום הם תופעה של מספר ימים בהם מזג אוויר חם במיוחד באופן יחסי למזג האוויר השגרתי לעונה. בגלי חום יש לעיתים גם לחות גבוהה או יובש רב (כמו שרב בישראל). אזורים בעלי אקלים ים תיכוני, חשופים יותר לגלי חום. גלי חום חמורים עלולים לגרום למכות חום במקרה של פעילות גופנית ואפילו למוות. בקיץ 2003 נספו יותר מ 15,000 אנשים בגל חום כבד שפקד את אירופה.

אירועים קיצוניים של עומס חום אינם חריגים באקלים הישראלי וחוזרים על עצמם אחת לכמה שנים. חוקרים רבים בארץ ובעולם סבורים שיש עלייה משמעותית במספר התופעות האקלימיות הקיצוניות בעולם בעקבות התחממות כדור הארץ.



מקור התמונה: [אקלים קיצון - יחידת הוראה, משרד החינוך](#)

מקורות מידע

1. [החמסין הישראלי התחממות גלובלית, וגלי חום קיצוניים](#), ד"ר רן טבעוני, מכון דוידסון.
2. [מדענים מנסים להציל את כדור הארץ מסכנות ההתחממות הגלובלית, אבל אולי כל זה כבר מאוחר מדי](#), יותם פלדמן, "הארץ".
3. [מהו עומס חום ומהו מדד חום?](#) השרות המטאורולוגי הישראלי.

ערפיח/אובך

אובך (Haze) הוא תופעה של הימצאות חלקיקים כמו חול, זיהום אוויר ואבק בכמות רבה באוויר, המקשים על הריאות ועל הנשימה וגורמים לזיהום אוויר חריג. על פי רוב, אובך ייווצר בסיומו של גל חום ומשינוי מערכות של מזג אוויר. לרוב האובך מגיע במקביל לסופת אבק. האובך נוצר כאשר שכבת אוויר יציבה וכבדה מונעת מהזיהום הנגרם לעלות למעלה ולכן נשאר על פני האדמה. גם רוחות חלשות תורמות לכך שהאובך לא מתפוגג. זרמי אוויר מדבריים הם גורמים עיקריים לאובך. אובך מתרחש בדרך כלל בתקופת המעבר: באביב, לעיתים בחורף.

במקרים מסוימים יכול האובך להיות גם מעשה ידי אדם. למשל שריפות גדולות, או מדורות ל"ג בעומר. במקרים רבים, בערים מתועשות האובך שנוצר בשל זיהום אוויר ממפעלי תעשייה או כלי רכב הוא קיצוני ושורר במשך כל השנה עד כדי כך שאור השמש לא מגיע לקרקע. (בכדי לנקות את האוויר בבייג'ין לפני האולימפיאדה, היה צורך להפסיק את פעילות המפעלים והרכבים למשל חודשיים). מבחינה בריאותית, חולי לב-ריאות, קשישים, ילדים ונשים בהריון חייבים להימנע מלשהות בעת האובך באוויר הפתוח.

ערפיח (Smog) הוא זיהום אוויר הנוצר כתוצאה משילוב בין ערפל ופיח. הוא מופיע לרוב באזורים עירוניים צפופים שיש בהם פליטת מזהמים רבים, כתוצאה מתחבורה או מפעלי תעשייה. המזהמים בערפיח הם חלקיקי עשן ואבק, פחמן חד-חמצני ותרבויות חנקן. המזהמים הללו גורמים לתגובות כימיות באוויר, היוצרות מזהמים נוספים כמו האוזון ותרחיפים אורגניים רעילים. כאשר טיפות הערפל סופחות אליהן את חלקיקי המזהמים נוצר ערפל בגוון צהוב, הוא הערפיח. הערפיח גורם למחלות ריאה והתקפות אלרגיה שונות. הוא עלול להיות קטלני, במיוחד לקשישים ולסובלים מקשיי נשימה.

מקור התמונה: [אקלים קיצון - יחידת הוראה](#),

[משד החינך](#)

מקורות מידע

1. [מה זה אובך?](#), אאוריקה.
2. [תחזית מזג האוויר בישראל](#), בועז דיין.
3. [מהו ערפיח?](#) אאוריקה



המסת/התכת קרחונים

נמצא כי בשנים האחרונות כמות הקרח בקטבים נמצאת בירידה מתמשכת. קרחוני הענק של אנטארקטיקה נסדקים ונסחפים אל האוקיינוס האטלנטי הדרומי. נצפית הפשרה של קרחונים מהרי ההימלאיה. הפשרת הקרחונים נגרמת בשל עליית הטמפרטורה והשינויים באקלים. עליית טמפרטורת האוקיינוסים, גורמת להתאדות מוגברת ולהתחממות נוספת של האטמוספירה. התכת הקרחונים בקטבים גורמת להקטנה בהחזרת האור מכדור הארץ, מה שגורם להתחממות נוספת.

ההתחממות הגדולה ביותר נמדדה בקטבים – באלסקה, בסיביר, באנטארקטיקה ובמרבית האוקיינוסים. יחד עם זאת כמעט כל הקרחונים בראשי ההרים, ברחבי העולם כולו, נסוגים ומצטמצמים. קרחונים הקיימים מאז תקופת הקרח (לפני כ-10,000 שנים) נמסים. רק הפחתת ההתחממות, תגרום להפחתת הפשרת הקרחונים.

מקורות מידע:



1. [המסת קרחונים](#), הידען.
2. [המסת קרחונים](#), שער לביולוגיה סביבתית.
3. [הפשרת קרחונים ועלייה בגובה פני הים](#), ד"ר ארז גרטי, מכון דוידסון.
4. [כבר לא תחזית: שינוי אקלים מציפים את חופי ארה"ב](#), ג'סטין גיליס, ניו יורק טיימס, הארץ.

מקור התמונה: [אקלים קיצון - יחידת הוראה, משרד החינוך](#)

שטפונות



מקור התמונה: [אקלים קיצון - יחידת](#)

[הוראה, משרד החינוך](#)

שיטפון הוא זרם מים חזק, בדרך כלל פתאומי, המציף שטחים נמוכים ויבשים, תוך זמן קצר. בעבר אירועי משקעים התפרסו על פני ימים רבים יותר והורידו בממוצע פחות גשם. כיום הסערות מורידות כמות גדולה יותר של גשם בזמן קצר יותר. גורמים נוספים לשיטפונות הם סופות, התכת שלג ועלייה של נהרות על גדותיהם.

השיטפונות נוצרים משילוב של מספר גורמים: סופת גשמים שמורידה גשם רב תוך זמן קצר, אגן ניקוז גדול האוסף לתוכו כמויות מים עצומות, פני שטח שאינם מאפשרים חדירה של מים אל הקרקע ובכך הם מגבירים את הזרימה על פני השטח, צמחייה מעטה מדי שאינה מאטה את זרימת המים. בניינים, מדרכות וכבישים אוטמים את הקרקע ומונעים מן המים לחלחל.

שיטפונות והצפות עלולים לגרום לאובדן חיי אדם וכן לנזקים גדולים לתשתיות ולנוף, הפסקות חשמל ובעיות תעבורה. שיטפונות עלולים להשמיד שדות שלמים של יבולים, לגרום לתקופות ארוכות של רעב. מי ההצפה העומדים הם מקור להתפתחות של מחלות ועוד.

ההצפות הן אסון הטבע הנפוץ והנרחב ביותר. ניתן לנקוט בכמה פעולות שמטרתן לחסום או למתן את זרימת המים: להעמיק את אפיקי הנחלים הנוטים לעלות על גדותיהם בעונות הגשומות, לקיים תחזוקה קבועה של תעלות הניקוז לאורך הדרכים וביישובים ולפצל את נתיב המים הראשי לתעלות רבות. לבנות סכרים קטנים וגדולים (יש להם חשיבות כמאגר מים לחקלאות ולייצור חשמל). בשנים גשומות הסכר משמש להסטת הגשם ממקום ישוב ולצמצום פגעי השיטפונות. להקים מערכות לחיזוי השיטפונות, בעקבותיהם יכולים לפנות אוכלוסייה העלולה להיפגע. כדאי להימנע מהקמת יישובים באזורים של מניפות סחף ומישורי הצפה של נהרות גדולים.

בישראל מתרחשים לעיתים שיטפונות באפיקי הנחלים והוואדיות במדבר יהודה ובנגב, אך גם בכל רחבי ישראל, כתוצאה מארועי גשמים חריגים, כמו אלו שארעו בינואר 2020.

מקורות מידע:

1. [שיטפונות](#), בריינפופ. 2. [שיטפונות](#), אאוריקה. 3. [שיטפונות והצפות](#), הידען.

שריפות

שריפה היא בעירה של אש אשר יצאה משליטה ומתפשטת על שטח גדול בצורה לא מבוקרת. כדי שתיווצר אש צריכים להתקיים 3 תנאים: חומר בעירה, חמצן וחום. לאלו נוספת תגובת שרשרת כימית. שריפה עלולה להיגרם מסיבות שונות: בעירה שלא כוונה ויצאה משליטה (בדל סיגריה בוער, מדורה שלא כוונה כראוי וכו'), קצר חשמלי, קווי מתח שנפלו, תאונה, מכת ברק ולעיתים השמש עצמה או הצתה בזדון. כתוצאה משינויי האקלים חלה עלייה בטמפרטורה הממוצעת בעולם, ובתקופות יובש ארוכות יותר. חומרי הבעירה יבשים יותר ולכן בוערים בקלות רבה יותר.

כדי להילחם בשריפה יש לסלק את אחד מהגורמים להיווצרותה. לוחמי האש מתיזים מים או מים מהולים בחומרים מעכבי בעירה. גם פיזור חול- מצנן את חומר הבעירה ומונע את פליטת האדים הדליקים המלבים את האש. כדי לנסות להפחית את נזקי השריפה נסללים שבילי אש ביערות – שטחים ללא צמחיה אשר אמורים לאפשר כניסת רכבי כיבוי והצלה או שנעשות פעולות לדילול הצומח על מנת למנוע את התפשטות השריפה. במהלך ההיסטוריה אירעו שריפות ענק אחדות שכילו ערים שלמות. לדוגמה: בשנת 1666 ארעה שריפה גדולה בלונדון, 1945 שריפה גדולה בשיקגו, 1962- השריפה הגדולה של רומא.

בישראל- 1995- שריפה בשער הגיא, 2010 שריפה גדולה בכרמל אשר גבתה גם חיי אדם, וב 2016 היה גל שריפות שהתרחשו במספר אזורים ובמספר ימים, כילו שטחי חורש רחבים ואף רכוש.

השרות המטאורולוגי הישראלי מספק תחזיות יומיות לסכנת שריפות המחושבת על פי "אינדקס התפשטות"-



המבטא את מידת הקושי לשלוט בשריפה שפרצה ו"אינדקס ההתלקחות" המבטא סיכוי בין 0-100 שמקור אש יהפוך לשריפה הדורשת כיבוי.

מקורות מידע:

1. [שריפות יער](#), בריונפופ.
2. [האש והתפשטות השריפה](#), מכון דוידסון.
3. [השירות המטאורולוגי הישראלי](#), אינדקס שריפות.

מקור התמונה: [אקלים קיצון - יחידת הוראה, משרד החינוך](#)

גלי קור קיצוניים

סופות שלגים מתרחשות באזורי אקלים ממוזג או קוטבי (ארקטי). בחורף הן מתרחשות גם באזורים בגובה פני הים. אירועים אלו מתקיימים מספר פעמים בשנה ואז הם משתקים את התחבורה הציבורית באוויר וביבשה. לרוב הם מלווים באירועי קרה משמעותיים. אירועי קרה עלולים לפגוע גם בחקלאות ולהביא לנזקים גדולים.

סופת שלגים מפורסמת היא הסופה "נמו" שהתרחשה בצפון אמריקה במשך ארבעה ימים ב-2013. אלפי בתים נהרסו ומאות אלפי בתים נותרו ללא חשמל. בחודש ינואר בשנת 2016 התרחשה סופת שלגים מהחמורות בניו יורק. בפברואר 2017 סערה סופת שלגים המלווה ברוחות עזות בחוף המזרחי של ארה"ב.

בישראל ידועים בחורף אירועי שלג אך הידוע והמשמעותי היה בשנת 1950 בו ירד שלג בכל רחבי הארץ, למעט הערבה ודרום הנגב, כולל במישור החוף ובתל אביב. על פי סקירות אירועי מזג האוויר שנערכו ע"י השירות המטאורולוגי נמצא כי בשני העשורים האחרונים חלה ירידה במספר אירועי סופות השלגים בישראל. תופעה כזו נצפית גם בעולם וניתן לשייך זאת להתחממות הגלובלית ולעלייה בטמפרטורה.

מקורות מידע

1. [מגמות בארועי מזג אוויר קיצוני בישראל](#), השירות המטאורולוגי.
2. [תופעות אקלימיות, סופות שלגים](#), תחזית מזג האוויר בישראל, בועז דיין.
3. [שינויים פתאומיים באקלים](#), פרופ' ריצ'ארד ב' אלי, מט"ח.



מקור התמונה: [אקלים קיצון - יחידת הוראה, משרד החינוך](#)

עליית מפלס הים

מתצפיות שנעשו על ידי לוויינים ניתן לראות שבמאה ה-20 פני הים עלו בשיעור של 1-2 מ"מ מדי שנה. על פי דו"ח הפאנל הבינלאומי לשינוי אקלים משנת 2013, העלייה הגלובלית הממוצעת החזויה עד סוף המאה ה-21 בפני הים היא של כ-74 סנטימטרים לפי התרחיש המחמיר ביותר. אבל, מחקרים מעודכנים יותר מדברים על עלייה חמורה עוד יותר, של כשלושה מטרים כבר במהלך 50 השנים הבאות. לטענת החוקרים, שכאשר משטחי הקרח של גרינלנד ושל אנטארקטיקה יימסו מעבר לרמה מסוימת, קצב עליית המפלס יכפיל עצמו שוב ושוב. לטענתם, כדאי להיערך לכך שהעלייה בפני הים תהיה פתאומית וחדה ולא דווקא הדרגתית, כפי שנהוג להניח.

עליית המפלס גורמת לנסיגה של קו החוף ופגיעה בחופים ובמבנים בקרבת החוף. מיליוני בני אדם הגרים באזורי החופים עלולים להיפגע - עליית מפלס פני הים עלולות לפגוע במישורים המיושבים בצפיפות, ולגרום להגירה של פליטים המחפשים בית חדש. כמו כן צפויה פגיעה בשטחי חקלאות, המלחה של בארות של מי שתייה ופגיעה במערכות האקולוגיות ובמגוון הביולוגי שבהן.

לגבי ישראל, יש תחזיות הטוענות שעליית פני הים בישראל תהיה בקצב גבוה מנתוני הממוצע העולמי. בין השנים 1958-2009 לא נרשמה עלייה ארוכת טווח במפלס הים בישראל, אולם במהלך שנות ה-90 של המאה ה-20 נרשמה בים התיכון ובישראל עלייה מהירה באופן חריג של כ-10 מ"מ בשנה, שהתמתנה מעט במהלך העשור הראשון של המאה ה-21, אך נשארה מהירה יותר מהממוצע העולמי במהלך המאה ה-20. עם זאת, יש לציין כי מדובר בתקופת מדידה קצרה ביותר, ואין להסיק מכך על הבאות.

מה ניתן לעשות? כדי למנוע הצפות עקב עליית מפלס הים, מוצע להגביה שטחים נמוכים המועדים להצפה, כולל רחובות וכבישים, ע"י הוספת אדמה, תוך התקנת ניקוזים חדשים ומשאבות ענק, המסוגלות לדחוף את המים חזרה אל המפרץ. הגישה הזאת כבר הוכיחה את עצמה בכמה שכונות בארצות הברית.

מקורות מידע:

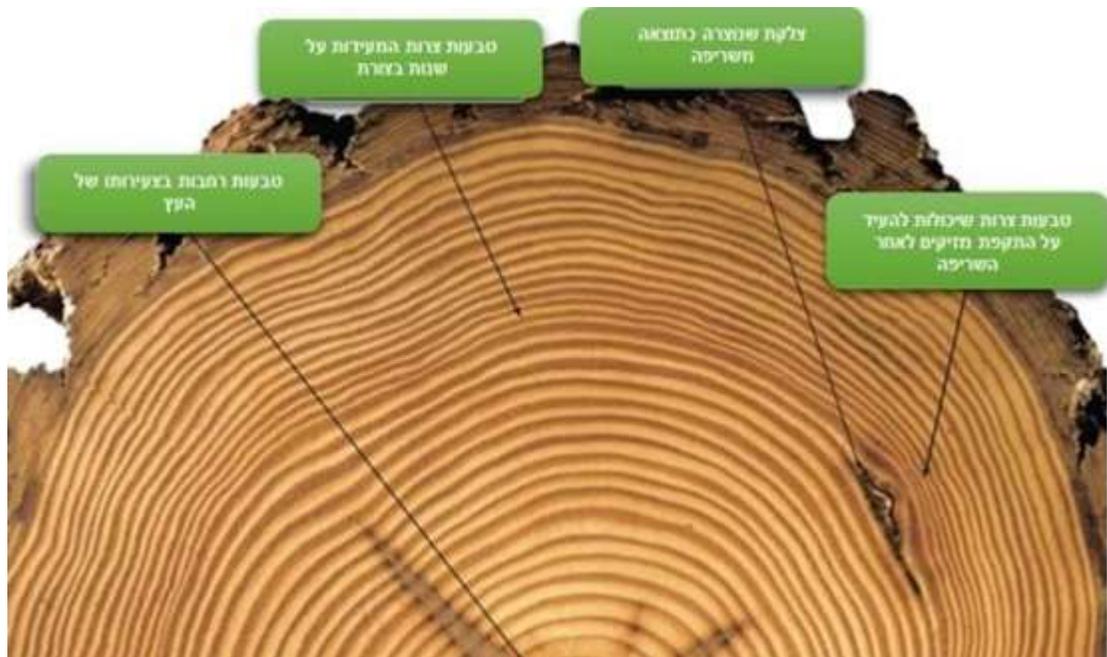
1. [התכונן לעליית פני הים, זווית.](#)
2. [עליית מפלס הים: האם הבית שלכם בסכנת הצפה? Ynet,](#)
3. [מבט ישראלי על שינויי מפלס הים, אקולוגיה וסביבה](#)

שינויים במשטר הגשמים

מחקרים שונים מצביעים על שינויים בכמויות המשקעים הכוללות, ונוסף על כך, עוצמת המשקעים היורדים באירועים קיצוניים גדלה ותדירותם עולה, אך מגמות אלו משתנות על פני כדור הארץ.

גם בישראל, על פי נתוני תחנות הגשם מעשרות השנים האחרונות, ניכרת מגמה של ירידה בתדירות המשקעים, ירידה בכמויות גשם שנתיות, במספר ימי הגשם ובאורך העונה – אולם ברוב המקרים המגמות הללו אינן מובהקות סטטיסטית. חוקרים ומצאו שב־30 השנים האחרונות חלה ירידה של כ־10 עד 15 אחוזים בכמויות המשקעים בצפון הארץ לעומת יציבות ואף עלייה קלה בכמויות הגשמים במרכז הארץ. תמונה זו של התייבשות באזורינו, עולה גם מהתחזית להמשך, שנעשתה על פי מודלים אקלימיים.

ניתן ללמוד על שינויים בכמויות גשמים מן העבר גם באמצעות מדידה מדוייקת של טבעות הגדילה של העצים. מדע זה מתבסס על שוני בעובי טבעות הגדילה של העץ, בהתאם לקצבי הגדילה השונים של העץ בעונות השנה המתחלפות. בחתך של עץ, ניכר שהטבעות הפנימיות שלו רחבות, וככל שמתווספות יותר טבעות, כך הן הופכות צרות יותר, הסיבה היא גידול מואץ יותר של העץ בצעירותו והאטה בגידול עם ההתבגרות. עוד דבר מעניין הוא צבע הטבעות – טבעות בהירות מצביעות על עונה שבה היו הרבה מים (חורף, אצלנו), ואילו הכהות מצביעות על עונה יבשה (קיץ, אצלנו). בחורף 1991-1992, למשל, שהיה גשום במיוחד נמצא טבעת בהירה ורחבה.



טבעות העץ. עיבוד תמונה: יניב זליג, קק"ל. מקור: אתר קק"ל לצעירים

מקורות מידע:

1. [השפעת שינוי האקלים על משטר המשקעים ועל המשטר ההידרולוגי במזרח הים התיכון ובישראל](#), אקולוגיה וסביבה
2. [עומד להיות חם ויבש](#), גליליאו.
3. [מגמות שינוי במשטר הגשמים בישראל](#), הרצאה מוקלטת של ד"ר ברוך זיו מהאוניברסיטה הפתוחה.

عواصف وأعاصير (هوريكن، تايفون، سيكلون وتورندو)



مصدر الصورة: [مناخ متطرف - وحدة تدريسية، وزارة التربية](#)

الرياح هي حركة هواء. تُنتج الرياح بسبب الفرق في الضغط الجوي. تتميز الرياح باتجاه معين وسرعة معينة، وهما يتغيران كل الوقت ولهما تأثير على ظواهر كثيرة في حالة الطقس، مثل: كمّية الأمطار، الضباب وغير ذلك. يتم تصنيف الرياح حسب مميّزاتها وأسباب حدوثها.

تُنتج أعاصير استوائية كثيرة وشديدة فوق المحيطات. وسُمّيت بأسماء مختلفة في العالم. هوريكين (أعاصير حدثت فوق المحيط الأطلنطي)، تايفون (في غرب المحيط الهادئ) أو سيكلون (في خليج البنغال والمحيط الهندي).

تحدث أعاصير هوريكين في فصل الصيف بالأساس، وهي تستطيع أن تتكوّن خلال أيام أو عدّة ساعات. تتحرّك هذه العاصفة حول نفسها وتؤدي إلى رياح شديدة وأمطار كثيرة. وتنتج فوق الأقسام الساخنة في المحيط. عندما تتراكم غيوم العاصفة (سحب ركامية) تنتج منطقة فيها ضغط منخفض، وهو يسحب إلى داخله هواء وبخار ماء من البيئة المحيطة. تؤدي آلية "السحب" إلى ازدياد شدة الرياح وكمّية طاقة الدوامة حتى تنتج العملية التي بواسطتها تستطيع الدوامة أن تؤدي إلى ازدياد شدتها بذاتها. شدّة الإعصار مدرجة بين 1-5 درجات، وذلك حسب سرعة الرياح فيها. يبلغ قطر الإعصار 500-750 كم وسرعة الرياح أكثر من 120 كم في الساعة.

عندما تصل أعاصير هوريكين الشاطئ تصطدم الأمواج بالأرض بشدّة، وتؤدي مع الأمطار القوية إلى أضرار كبيرة في الأرواح والممتلكات. خلال فترة قصيرة جدًا يمكن أن تختفي شواطئ ويتم ابتلاعها، كما يتم تدمير محاصيل، تقلع الأعاصير البيوت والأشجار، تحدث سيول وفيضانات. نلاحظ في السنوات الأخيرة أنّ هذه الأعاصير تحدث بتكرارية كبيرة وبشدّة أعلى مما كان في الماضي. مثلًا: عاصفة هوريكين "كترينا" سنة 2005، "سندي" سنة 2012 وغير ذلك.

لا تحدث هذه الأعاصير في البحر الأبيض المتوسط، لأنَّ غيوم هذه الأعاصير لا تُنتج بسبب الضغط الجوي العالي في الغلاف الجوي.

مقارنة بالدوامة الكبيرة للهوريكين التي تنتشر على مساحة واسعة، الإعصار تورنادو هو إعصار صغير ينتشر على مساحة قليلة. يصل الهوريكين من المحيطات، أما الإعصار تورنادو يتبلور ويؤدي إلى أضرار في منطقة اليابسة. يُنتج الإعصار تورنادو في غيوم عاصفة رعدية، سُحب ركامية، عندما تكون ظروف خاصة في الغلاف الجوي. يظهر إعصار تورنادو كدوامة تشبه قمع ضيق. تستمرّ عدّة دقائق ويبلغ قطرها مئات الأمتار حتى عدّة كيلومترات. تبلغ سرعة الرياح في الدوامة حتى 500 كم في الساعة، وهي تُنتج عملية "شفط" وسحب هائلة تؤدي إلى "شفط" كل ما يأتي في طريقها: بيوت، تتطاير سيارات وتُقتلع الأشجار من أماكنها. يحدث التورنادو، بشكل خاص، في فصلي الربيع والصيف. التورنادو في إسرائيل نادر جدًا. في سنة 2006 حدث تورنادو في الجليل الغربي وأدى إلى أضرار.

عندما تتوفر معلومات عن وصول هوريكين أو تورنادو تتم عادة إجراءات وقائية، ومن المعتاد إخلاء السكان، والتزوّد في إضاءة طوارئ وموادّ غذائية، لأنّه من المتوقع أن يتمّ فصل وعزل مناطق كثيرة بسبب العواصف.

مصادر معلومات

1. [הוריקנים, אתר בריינפופ](#)
2. [איך נוצרת סופת הוריקן? ד"ר ארז גרטי, מכון דוידסון](#)
3. [הוריקן, אתר סבבה.](#)
4. [רוח, אתר בריינפופ](#)
5. [טורנדו, אתר בריינפופ](#)
6. מסע ברחבי האטמוספירה: מזג אוויר ואקלים- פרקים נבחרים. ד"ר יואב יאיר, מאירה שגב ובילי סביר, הוצאת מט"ח.
7. רוחות וסופות, ד"ר יואב יאיר וד"ר רמי קליין, מט"ח.

מوجات حرارية متطرفة (خماسين، رياح خماسين)

يتفق باحثون كثيرون في البلاد والعالم على أنه، في السنوات الأخيرة، طرأ ارتفاع كبير في درجة حرارة الكرة الأرضية (الاحتباس الحراري) وفي عدد الظواهر المناخية المتطرفة. ارتفع معدل درجة حرارة الكرة الأرضية بحوالي 0.6 درجة مئوية خلال المائة سنة الأخيرة. كل عقد كان أسخن من العقد السابق له. ربما يبدو ذلك قليلاً، لكن ارتفاع درجة الحرارة بـعشر درجة يؤدي إلى تغييرات بعيدة الأمد في المناخ وفي ظواهر طبيعية متطرفة.

الموجات الحرارية هي ظاهرة تحدث عدّة أيام، حيث تكون فيها حالة الطقس حارة جداً بشكل خاص مقارنة بحالة الطقس العادية الموسمية. في الموجات الحرارية ترتفع أحياناً الرطوبة أو يحدث جفاف كبير (مثلاً: الخماسين في إسرائيل). تتعرض المناطق التي مناخها متوسطي كمنحاح حوض البحر الأبيض المتوسط إلى موجات حرارية كثيرة.

قد تؤدي موجات حرارية خطيرة إلى ضربات حرارية في حالة النشاط الجسماني وإلى الموت أيضاً. في صيف 2003 مات أكثر من 15,000 شخص بسبب الموجة الحرارية القاسية التي اجتاحت أوروبا.

الأحداث المتطرفة للعبء الحراري ليست شاذة في المناخ الإسرائيلي، وهي تتكرر كل عدّة سنوات. يعتقد باحثون كثيرون في البلاد والعالم أنّ هناك ارتفاع كبير في عدد ظواهر المناخ المتطرفة، في العالم، في أعقاب ارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية.



رياح خماسين/خماسين

מקור התמונה: [אקלים קיצון - יחידת הוראה, משרד החינוך](#)

מקורות מידע

1. [החמסין הישראלי התחממות גלובלית, וגלי חום קיצוניים](#), ד"ר רן טבעוני, מכון דוידסון.
2. [מדענים מנסים להציל את כדור הארץ מסכנות ההתחממות הגלובלית, אבל אולי כל זה כבר מאוחר מדי, יותם פלדמן, "הארץ"](#).
3. [מהו עומס חום ומהו מדד חום?](#) השרות המטאורולוגי הישראלי.

الضبخان/ ضباب دخاني

الضبخان (Haze) هو ظاهرة وجود ملوثات، مثل: الرمل، تلوث الهواء والغبار بكميات كبيرة في الهواء، حيث تؤثر هذه الملوثات على الرؤية والتنفس، وتؤدي إلى تلوث شاذ في الهواء. يُنتج الضبخان، على الأغلب، في نهاية موجات حرارية ونتيجة لتغيرات في أنظمة حالة الطقس، ويصل على الأغلب بالموازاة لعاصفة غبار. يُنتج الضبخان عندما تمنع طبقة هواء ثابتة وثقيلة من التلوث الناتج الصعود إلى أعلى. وهكذا لا يصعد الضبخان ولا ينتشر، بل يبقى على سطح الأرض. وتساهم رياح خفيفة في أن لا يتلاشى الضبخان أيضًا. تيارات الهواء الصحراوية هي السبب الرئيسي لحدوث الضبخان.. يُنتج الضبخان، عادة، في الفترات الانتقالية: في الربيع وفي الشتاء أحيانًا.

في حالات معينة يمكن أن يُنتج الضبخان بسبب نشاطات الإنسان، مثل: حرائق كبيرة أو مواقد نار في لاق بعومر. في حالات كثيرة، في مدن صناعية، الضبخان الذي يُنتج بسبب تلوث الهواء من المصانع أو المركات يكون متطرف ويسود المكان خلال كل السنة، ولا تصل أشعة الشمس الأرض (قبل الألعاب الأولمبية، توقف عمل المصانع وحركة السير لمدة شهرين لتنظيف الهواء في بكين). من ناحية صحية، لا تسمح لمرضى القلب - الرئتين، كبار السن، أطفال ونساء حوامل بالمكوث خلال حدوث الضبخان في الهواء المفتوح.

الضباب والسناج (Smog) هو تلوث هواء يُنتج نتيجة للدمج بين الضباب والسناج. وهو يظهر، على الأغلب، في مناطق مدنية كثيفة تنبعث فيها ملوثات كثيرة نتيجة للمواصلات ولعمل المصانع الصناعية. الملوثات في حالة الضباب - سناج هي: دخان وغبار، أول أكسيد الكربون ومركبات النيتروجين. تؤدي هذه الملوثات إلى تفاعلات كيميائية في الهواء، وتنتج ملوثات إضافية، مثل: الأوزون ومواد عضوية سامة. عندما تمتاز قطرات الضباب ملوثات يُنتج ضباب لونه أصفر، وهو ضباب - سناج. يؤدي الضباب - سناج إلى أمراض في الرئتين وإلى نوبات حساسية مختلفة. وقد يكون قاتلاً، بشكل خاص، للمسنين والأشخاص الذين يعانون من صعوبات في التنفس.

מקור התמונה: [אקלים קיצון - יחידת הוראה, משרד החינוך](#)

מקורות מידע

1. [מה זה אובך?](#), אאוריקה.
2. [תחזית מזג האוויר בישראל](#), בועז דיין.
3. [מהו ערפיח?](#) אאוריקה



ذوبان / انصهار الجليد

وُجد في السنوات الأخيرة انخفاض مستمر في كمّية الجليد في الأقطاب. يتشقق الجليد الضخم في أنتاركتيكا ويُجرف إلى المحيط الأطلنطي الجنوبي. شوهد انصهار جليد في جبال همالايا. يؤدي ارتفاع الاحتباس الحراري العالمي الذي يحدث بواسطة الإنسان إلى تغيّرات في المناخ. يؤدي ارتفاع درجة حرارة المحيطات إلى ازدياد التبخر وإلى تسخين إضافي للغلاف الجوي. يؤدي انصهار الجليد في الأقطاب إلى انخفاض انعكاس الضوء من الكرة الأرضية، مما يؤدي ذلك إلى تسخين إضافي. ارتفعت الحرارة بشكل كبير في مناطق الأقطاب، مثل: ألاسكا، سيبير، أنتاركتيكا وفي معظم المحيطات. بالإضافة إلى ذلك، تراجع الجليد وتقلص في جميع قمم جبال العالم تقريبًا. ينصهر الجليد منذ العصر الجليدي (قبل حوالي 10,000 سنة). انخفاض ارتفاع درجة الحرارة، فقط، يؤدي إلى انخفاض انصهار الجليد.

מקורות מידע:

1. [המסת קרחונים](#), הידען.
2. [המסת קרחונים](#), שער לביולוגיה סביבתית.
3. [הפשרת קרחונים ועלייה בגובה פני הים](#), ד"ר ארז גרטי, מכון דוידסון.
4. [כבר לא תחזית: שינוי אקלים מציפים את חופי ארה"ב](#), ג'סטין גיליס, ניו יורק טיימס, הארץ.

מקור התמונה: [אקלים קיצון - יחידת הוראה, משרד החינוך](#)



فيضانات

مصدر الصورة: [مناخ متطرف – وحدة تدريس، وزارة التربية](#)



الفيضان هو تيار ماء قوي، يحدث بشكل مفاجئ، وهو يغمر مساحات منخفضة وجافة خلال فترة زمنية قصيرة. تُوَزَع هطول الرواسب، في الماضي، على أيام كثيرة، وكان معدل هطول الأمطار قليل. أما اليوم تؤدي العواصف إلى هطول كمّيات كبيرة من الماء خلال عدد قليل من الأيام في وقت قصير. الأسباب التي تؤدي إلى فيضانات هي: عواصف، انصهار الثلج و فيضان الأنهار على

ضفافها. تحدث الفيضانات نتيجة لدمج عدّة أسباب: تؤدي عاصفة أمطار إلى هطول أمطار كثيرة خلال فترة زمنية قصيرة، حوض تصريف ماء يجمع كمّيات هائلة من الماء، سطح تربة لا يُتيح تغلغل المياه داخل التربة، مما يؤدي إلى ازدياد تدفق الماء على سطح الأرض، كمّية النباتات القليلة لا تخفف من تدفق المياه. البنايات، الأرصفة والشوارع تُغلق التربة وتمنع من تغلغل المياه.

تؤدي الفيضانات والغمر إلى ضحايا وأضرار كبيرة في البنية التحتية والمناظر، كما تؤدي إلى انقطاع التيار الكهربائي وإلى مشاكل في المواصلات، وقد تبيد محاصيل حقول كاملة وتؤدي إلى فترات طويلة من الجوع. مياه الغمر الساكنة هي مصدر تطوّر أمراض وأشياء أخرى.

الغمر هو كارثة طبيعية شائعة وواسعة جداً. يمكن أن نتبع عدّة عمليّات هدفها إيقاف أو تخفيف تدفق الماء: تعميق أحاديّ الجداول التي تميل إلى صعود ضفافها في المواسم الماطرة، صيانة قنوات التصريف على طول الشوارع في المناطق السكنية بشكل دائم وتوزيع مسار المياه الرئيسي إلى قنوات كثيرة. بناء سدود صغيرة وكبيرة (يوجد لها أهميّة كمجمّع ماء للزراعة ولاستخراج الكهرباء). يُستخدم السد في السنوات الماطرة لإبعاد المطر عن الأماكن السكنية ولتقليل أضرار الفيضانات. يمكن إنشاء أنظمة تتنبأ حدوث الفيضانات لإخلاء السكان الذين يمكن أن يتضرروا من الفيضانات. من الأفضل أن لا نبني بلدات في مناطق مهددة بخطر الغمر والانجراف بواسطة أنهار كبيرة. تحدث أحياناً، في إسرائيل، فيضانات في أحاديّ الجداول والوديان في صحراء יהودا والنقب، لكن يمكن أن تحدث في جميع أنحاء إسرائيل، نتيجة لهطول كميات استثنائية من الأمطار، كما حدث في شهر يناير 2020.

מקורות מידע:

1. [שיטפונות](#), בריינפופ. 2. [שיטפונות](#), אאוריקה.
3. [שיטפונות והצפות](#), הידען.

حرائق

الحرائق هي اشتعال نار خارج عن نطاق السيطرة، وهي تنتشر في مساحات واسعة بشكل غير مضبوط. يجب أن تتحقق 3 شروط لحدوث الحريق: مادة الاشتعال، أكسجين وحرارة. بالإضافة إلى سلسلة تفاعلات كيميائية، يمكن أن يحدث الحريق لأسباب مختلفة: اشتعال لم يتم إطفائه وخرج عن نطاق السيطرة (سيجارة مشتعلة، موقد لم يتم إطفائه بالشكل الصحيح وغير ذلك)، تماس كهربائي، سقوط أسلاك كهربائية، حادث عمل، برق وأحياناً الشمس ذاتها أو الإحراق المتعمد. نتيجة لتغيرات المناخ يطرأ ارتفاع في معدل درجة الحرارة العالمية وأصبحت فترات الجفاف طويلة، حيث تكون مواد الاحتراق جافة أكثر، ومن السهل جداً أن تحترق.

لمواجهة الاحتراق يجب إبعاد أحد عوامل الاحتراق. يرش الإطفاء بين مياه أو مياه تحتوي على مواد تثبط عملية الاحتراق. كما يؤدي نثر الرمال إلى تبريد مادة الاحتراق ومنع انبعاث البخار القابل للاشتعال الذي يؤدي إلى ازدياد التهاب النار. لتقليل أضرار الحريق يتم شق مسارات نار في الغابات، وهي مسارات دون نباتات تتيح دخول سيارات الإطفاء والإنقاذ، أو يتم تقليل نباتات لمنع انتشار الحريق. حدثت على مدار التاريخ عدّة حرائق ضخمة أدت إلى إبادة مدن كاملة. مثلاً: في سنة 1666 حدث حريق كبير في لندن، في سنة 1945 حدث حريق كبير في شيكاغو وفي سنة 1962 حدث حريق كبير في روما. في إسرائيل، حدث في سنة 1995 حريق في شاعر هاجاي، ، في سنة 2010 حدث حريق كبير في الكرمل، راح ضحيته قتلى وفي سنة 2016 حدثت حرائق في عدّة مناطق لعدّة أيام، وقد أبادت أحراش كثيرة وممتلكات. تزود خدمة الأرصاد الجوية الإسرائيلية توقعات يومية لحدوث حرائق، حيث يتم حساب ذلك حسب "مؤشر الانتشار" الذي يعبر عن مدى صعوبة السيطرة على اندلاع الحريق، وحسب "مؤشر الاحتراق" الذي يعبر عن احتمال (بين 0-100) تحوّل مصدر نار إلى حريق يحتاج إلى إطفاء.



حرائق

מקורות מידע:

1. [שריפות יער, בריינפופ.](#)
2. [האש והתפשטות השריפה, מכון דוידסון.](#)
3. [השירות המטאורולוגי הישראלי,](#)
אינדקס שריפות.
מקור התמונה: [אקלים קיצון - יחידת הוראה, משרד החינוך.](#)

موجات برد متطرفة

تحدثت عواصف الثلوج في مناطق يسودها مناخ معتدل - قطبي. كما تحدثت في فصل الشتاء في ارتفاع سطح البحر في مناطق معينة.

تحدثت هذه العواصف عدّة مرّات في السنة، وهي تُعطل المواصلات الجوية والبرية. ترافقها عادة أحداث صقيع كبيرة. قد تضر أحداث الصقيع الزراعة وتؤدّي إلى أضرار كبيرة.

عاصفة الثلوج المشهورة هي عاصفة "نامو"، حدثت في شمال أميركا لمدة 4 أيام سنة 2013. هُدمت آلاف البيوت، وبقيت مئات البيوت دون كهرباء. حدثت في شهر يناير سنة 2016، في النيويورك، عاصفة ثلوج، وقد كانت من أخطر العواصف. حدثت في شهر فبراير، سنة 2017، في الشاطئ الشرقي في الولايات المتحدة عاصفة ثلوج. وقد رافقتها رياح قوية. تسقط الثلوج، في إسرائيل، كلّ شتاء، لكن في سنة 1950 سقطت ثلوج في جميع أنحاء البلاد، باستثناء العربا وجنوب النقب، بما في ذلك السهل الساحلي وتل أبيب. حسب استطلاع أحداث حالة الطقس الذي أجرته خدمات الأرصاد الجوية وُجد، في العقدين الأخيرين، انخفاض في عدد عواصف الثلوج في إسرائيل. وُجدت هذه الظاهرة في أماكن أخرى في العالم، ويمكن أن ننسبها إلى الاحتباس الحراري العالمي وإلى ارتفاع درجة الحرارة.

מקורות מידע

1. [מזג אוויר קיצוני](#), השירות

המטאורולוגי.

2. [תופעות אקלימיות, סופות](#)

[שלגים](#), תחזית מזג האוויר

בישראל, בועז דיין.

3. [שינויים פתאומיים באקלים](#),

פרופ' ריצ'ארד ב' אלי, מט"ח.

מקור התמונה: [אקלים קיצוני](#)-

[יחידת הוראה, משרד החינוך](#)



ارتفاع مستوى سطح البحر

من المشاهدات التي أُجريت بواسطة أقمار اصطناعية يمكن أن نشاهد في القرن الـ 20 ارتفاع في مستوى سطح البحر بمقدار 1-2 ملم كل سنة. حسب تقرير اللجنة الدولية لتغيرات المناخ سنة 2013، معدل ارتفاع سطح البحر العالمي المتوقع حتى القرن الـ 21 حوالي 74 سنتيمتراً حسب السيناريو الأكثر صرامة. لكن، تُشير أبحاث محتلنة أكثر إلى زيادة أكثر حدة، حوالي 3 أمتار خلال الـ 50 سنة القادمة. حسب ادعاء الباحثون، عندما تنصهر سطوح الثلج في جرينلاند وأنتاركتيكا أكثر من مستوى معين تتضاعف وتيرة ارتفاع مستوى سطح البحر مراراً وتكراراً. وفقاً لادعائهم، من الأفضل الاستعداد إلى أن يكون ارتفاع سطح البحر فجأة وحاد، وليس تدريجياً بالضرورة، كما هو معتاد.

يؤدي ارتفاع مستوى سطح البحر إلى تراجع خط الشاطئ وإلى إلحاق الأضرار في الشواطئ والمباني القريبة من الشاطئ. قد يتضرر ملايين الناس الذين يسكنون في مناطق الشواطئ – قد يؤدي ارتفاع مستوى سطح البحر إلى أضرار في السهول المكتظة بالسكان وإلى هجرة لاجئين يبحثون عن بيت جديد. ومن المتوقع أن تحدث أضرار في الزراعة، ارتفاع ملحوظ آبار مياه الشرب، أضرار في الأنظمة البيئية وفي التنوع البيولوجي فيها.

بالنسبة لإسرائيل، هناك توقعات أن تكون وتيرة ارتفاع مستوى سطح البحر، في إسرائيل، أعلى من وتيرة المعدل العالمي. بين السنوات 1958-2009 لم يتم تسجيل ارتفاع طويل الأمد في مستوى سطح البحر في إسرائيل، لكن خلال سنوات التسعينيات من القرن العشرين، طرأ في البحر المتوسط وإسرائيل ارتفاع سريع بشكل استثنائي بمستوى سطح البحر بمقدار 10 ملم في كل سنة، وقد انخفض هذا الازدياد قليلاً خلال العقد الأول من القرن الحادي والعشرين، لكنه بقي أسرع من المعدل العالمي في القرن العشرين 20. على الرغم من ذلك، بودنا أن نذكر أنّ فترة القياس كانت قصيرة، ولا يمكن الاستنتاج من ذلك حول السنوات القادمة.

ماذا يمكن أن نعمل؟ لمنع فيضانات في أعقاب ارتفاع مستوى سطح البحر، نقترح رفع أماكن منخفضة معرضة للغمر، بما في ذلك طرق وشوارع، حيث يتم ذلك بواسطة إضافة تربة، تركيب شبكة تصريف جديدة ومضخات ضخمة تدفع الماء إلى الخليج. أثبتت هذه الطريقة نفسها في عدة أحياء في الولايات المتحدة.

مصادر المعلومات:

1. [להתכונן לעליית פני הים](#), זוית.
2. [עליית מפלס הים: האם הבית שלכם בסכנת הצפה?](#) Ynet ,
3. [מבט ישראלי על שינויי מפלס הים](#), אקולוגיה וסביבה

تغيرات في نظام هطول المطر

بيّنت أبحاث مختلفة تغيرات في كمية الرواسب الكلية، وبالإضافة إلى ذلك، ازدادت شدة الرواسب التي تهطل في أحداث متطرفة وازداد تكرارها، لكن هذه التوجهات تتغير على سطح الكرة الأرضية. في إسرائيل أيضًا، حسب معطيات محطات الأرصاد عن كمية الأمطار التي هطلت في السنوات العشر الأخيرة، طرأ انخفاض كبير في تكرار الرواسب، كميات الأمطار السنوية، عدد الأيام الماطرة ومدة الموسم – لكن في معظم الحالات، هذه التوجهات لم تكن لها دلالات إحصائية واضحة. وجد الباحثون خلال الـ 30 سنة الأخيرة انخفاض بحوالي 10 حتى 15 بالمائة في كميات الرواسب في شمال البلاد، مقارنة بثبات وحتى ارتفاع قليل بكمية الرواسب في مركز البلاد. ظهر هذا الجفاف في منطقتنا في توقعات أخرى حسب نماذج مناخية. يمكن أن نتعلم عن التغيرات في كميات الأمطار في الماضي بواسطة قياس دقيق لحلقات نمو الأشجار. يعتمد هذا العلم على تغيرات سُمك حلقات نمو الشجرة، وفقًا لوتيرة النمو المختلفة للشجرة في مواسم السنة المتناوبة. نرى في مقطع الشجرة أنّ حلقاته الداخلية واسعة، وكلما ازداد عدد الحلقات، ازدادت ضيقًا، السبب لذلك هو النمو السريع للشجرة عندما تكون صغيرة وتباطؤ نموها عندما تكبر. هناك شيء آخر مهم، وهو لون الحلقات – الحلقات الفاتحة تُشير إلى موسم ماطر جدًا (الشتاء في بلادنا)، أما الحلقات الغامقة تُشير إلى موسم جاف (الصيف في بلادنا). مثلًا: شتاء 1991-1992 كان ماطرًا بشكل خاص، لذا نجد حلقة فاتحة وواسعة.



حلقات الشجرة: إعداد الصورة: ينيب زليغ، كك"ل. מקור: [אתר קק"ל לצעירים](#)

מصادر معلومات:

1. [השפעת שינוי האקלים על משטר המשקעים ועל המשטר ההידרולוגי במזרח הים התיכון ובإسرائيل](#), אקולוגיה וסביבה
2. [עומד להיות חם ויבש](#), גליליאו.
3. [מגמות שינוי במשטר הגשמים בישראל](#), הרצאה מוקלטת של ד"ר ברוך זיו מהאוניברסיטה הפתוחה.



התחממות גלובלית

שיעור 3

התנסות: אפקט החממה והתחממות גלובלית (90 דקות)

ידע למורה: בשני השיעורים הראשונים בחנו את נושא משבר האקלים. מדענים סבורים שהגורם העיקרי למשבר הוא פעילות האדם, ובפרט, פליטת גזי חממה והגברת אפקט החממה אשר גורם להתחממות גלובלית. נתחיל את השיעור בהצפת ידע קודם ותפיסות שגויות. נציג את גזי החממה ונדבר על המקור שלהם. בגוף השיעור התלמידים יתנסו בניסוי אשר מדמה את אפקט החממה (חלופה 1). בניסוי גם נמחיש את קיבול החום של מים, כלומר את היכולת שלהם "לספוג" חום וכך להאט את קצב שינוי הטמפרטורה האוויר. לחלופין ניתן לתת לתלמידים להתנסות בסימולציה ממוחשבת בה יוכלו לתמוך ריכוז פד"ח ולראות כיצד הדבר משפיע על טמפרטורה תוך כדי מעקב אחר כניסת אנרגיית שמש ויציאה של אנרגיית חום (חלופה 2). נסכם את מה שנלמד בהתנסות ע"י הסתכלות על מאזן האנרגיה של כדה"א.

רקע למורה על אפקט החממה:

אפקט החממה הוא תהליך שבו נלכד חום בתוך האטמוספירה של כדור-הארץ בגלל גזי חממה באטמוספירה שלא נותנים לחום "לברוח" כמו קירות זכוכית בחממה.

כיצד זה קורה? בקצרה - כאשר אנרגיית השמש מגיעה לכדור הארץ, חלק ממנה מוחזרת לחלל על ידי עננים, ע"י חלקיקים אחרים באטמוספירה או ע"י משטחים בהירים מחזירי אור כגון אזורים מושלגים. אנרגיית השמש הנותרת שחודרת דרך האטמוספירה, נבלעת ע"י קרקע ומים אשר מתחממים כתוצאה מכך. חלק מהחום הזה נפלט חזרה מפני השטח בתור קרינה תת-אדומה. חלק מהקרינה התת-אדומה עוברת באטמוספירה ויוצאת לחלל וחלקה נבלעת ע"י מולקולות של גזי חממה אשר מחזירים את הקרינה התת-אדומה בחזרה אל פני כדה"א אשר סופגים את האנרגיה המוקרנת מחדש. כתוצאה מכך, יש התחממות של פני כדה"א ושל השכבה התחתונה של האטמוספירה. ככל שריכוז גזי החממה עולה, כך גם מוגבר אפקט החממה.

חשוב לציין כי אפקט החממה חיוני לקיום חיים על פני כדה"א - ללא גזי חממה, כדה"א היה קר מידי בכדי לתמוך בחיים. כאשר גזי חממה נמצאים באטמוספירה בעודף, הדבר גורם להגברת אפקט החממה ולעלייה בטמפרטורה הגלובלית הממוצעת - תופעה אשר מכונה התחממות גלובלית.

למידע נוסף על אפקט החממה :

[סרטון](#) באנגלית

[כתבה](#) של מכון דוידסון (כוללת גם קישור לסימולציה מצויינת).

מושגים: אפקט החממה, קרינה תת-אדומה, אטמוספירה, גזי חממה (מתאן, אדי מים, פחמן דו חמצני, חמצן - דו חנקני), התחממות גלובלית, דלקים פוסילים (מאובנים), מאזן אנרגיה

פתיחה: נפתח את השיעור באמירה כי רוב המדענים סבורים שכדה"א מתחמם כתוצאה מהגברת אפקט החממה ע"י פעילות האדם. לאחר מכן נעלה מספר שאלות על אפקט החממה (להלן). בשלב זה חשוב לתת לתלמידים להביע את עצמם וכך למפות ידע קודם ותפיסות שגויות. ניתן לשאול מי מסכים או לא מסכים עם אמירה מסוימת וכך למפות נקודות שצריכות חיזוק או הבהרה. שאלות לדיון:

האם שמעתם על אפקט החממה? באיזה הקשר?

האם תוכלו לחשוב על דוגמה אשר מדמה את אפקט החממה בקנה מידה קטן?

דוגמאות - רכב סגור החונה בשמש ביום חם או חממת צמחים. בשתי הדוגמאות החום נכנס ונכלא בפנים - דבר אשר גורם להתחממות.

מה גורם לאפקט החממה?

אנרגיית השמש מגיעה אל כדה"א. חלק מהאנרגיה מוחזרת לחלל וחלק נבלעת. חלק מאנרגיית החום המוחזר לא יוצא לחלל אלא נכלא ע"י גזי חממה באטמוספירה של כדה"א וגורם להתחממות.

* ייתכן שכאן יעלו תפיסות שגויות אשר קשורות לחור באוזון. למידע נוסף בנושא כנסו לקישור.

שימו לב - אפקט החממה אינו קשור לחור באוזון. אבל הגז אוזון עצמו (O_3) מהווה גז חממה.

גזי חממה - מי הם ומה מקורם ?

נראה לתלמידים גרפים המתארים את זהות גזי החממה ואת מקורם ונקיים דיון קצר.

* למידע נוסף על גזי חממה ניתן להכנס לאתר של NASA (אנגלית).

גרף 1- גזי חממה ותורמתם היחסי לאקפט החממה באחוזים.

גרף 2- גזי חממה עיקריים בפליטות לפי (א) סוג הגזים ו (ב) מקור הפליטות.

גרף 3- מקורות לפליטת גזי חממה בישראל.

נקודות מרכזיות לדיון:

הערה : המידע כאן מהווה בסיס לדיון כיתתי ונותן גם ידע נוסף למורה. מידת ההעמקה בשיעור תלויה כמובן בזמן ובצרכי הכיתה.

- אדי מים הם גז חממה הכי נפוץ שגם תורם הכי הרבה לאפקט החממה (בממוצע 60%).

שימו לב! אדי מים אמנם תורמים רבות לאפקט החממה אבל הם אינם מניעים שינויי טמפרטורה (כמו פד"ח). להיפך, ריכוז אדי המים באטמוספירה משתנה בעקבות שינויים בטמפרטורה - כמות אדי המים באטמוספירה תלויה בטמפרטורה. בנוסף, עלייה בלחות יכולה לגרום לעלייה בעננות וגם לגשם אשר מורידים את הטמפרטורה (משוב שלילי). נקודה אחרונה וחשובה מאוד - זמן השהות של אדי מים באטמוספירה היא קצרה (ימים) לעומת זמן השהות של גזי חממה אחרים כמו פד"ח, מתאן וכו... (שנים עד מאות שנים). למידע נוסף על אדי מים כנסו לקישור הבא (עברית).

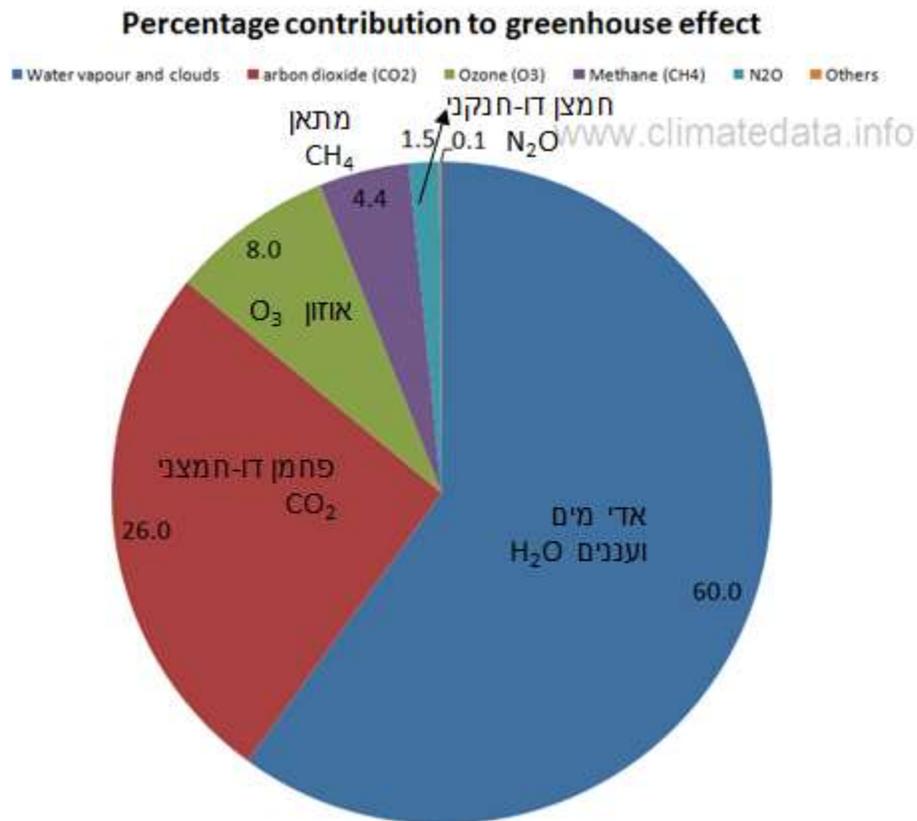
פחמן דו חמצני הינו גז חממה מאוד משמעותי (למרות שהוא מהווה רק 0.04% מהגזים באטמוספירה). השני בעוצמה לאחר אדי מים (גרף 1). מגיע ממקורות טבעיים כגון התפרצויות געשיות כתוצר לוואי בנשימה תאית (כפי שנלמד בשיעור 5 על מחזור הפחמן). אבל כיום יש עודפי פד"ח באטמוספירה כתוצאה של בעירת דלקים פוסילים, שינויים בשימוש קרקעות וכריתת יערות. בעצם מהווה יותר מ-60% הפליטות (גרף 2).

- יש גזי חממה נוספים שניתן לדון בהם :

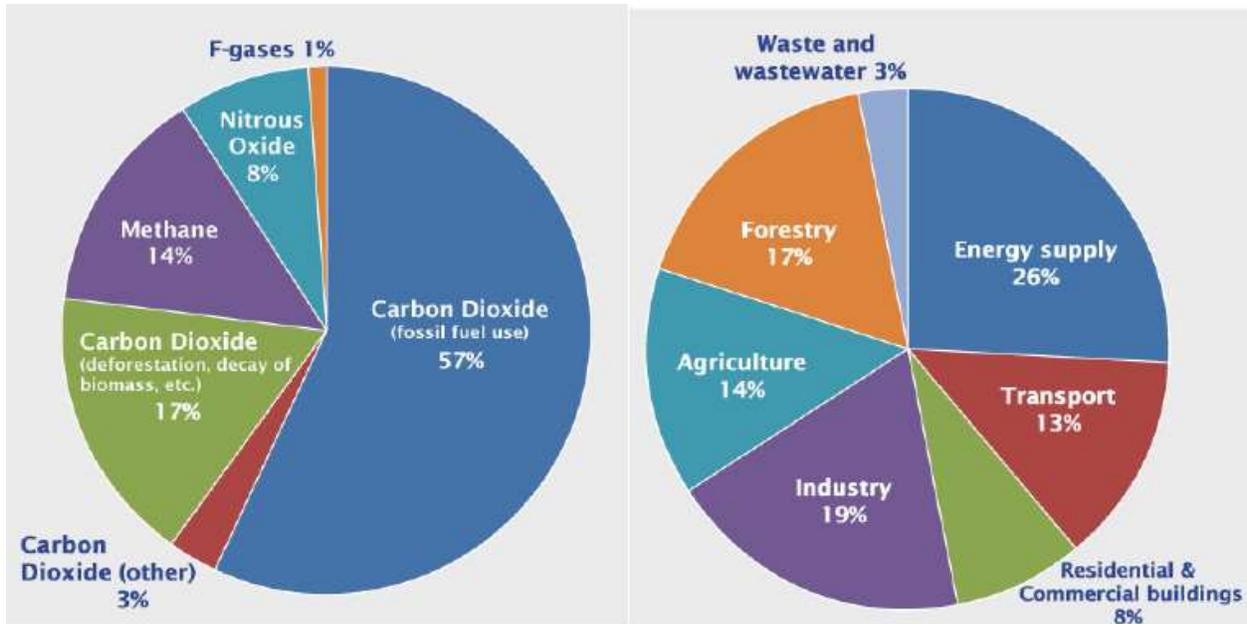
*חמצן דו-חנקני (nitrous oxide, N₂O) גם ידוע בתור גז צחוק. גזי חממה השלישי בעוצמתו. משתחרר ממקורות תעשייתיים וחקלאיים. [קישור למאמר של YNET](#) על חמצן דו-חנקני.

*מתאן (CH₄, Methane) - הנוצר ממקורות טבעיים וגם מפעילות האדם כמו ייצור והובלה של פחם, גז טבעי ונפט, חקלאות (בקר) ופירוק חומר אורגני באתרי פסולת. למידע נוסף על מתאן כנסו [למאמר של גיליאן](#).

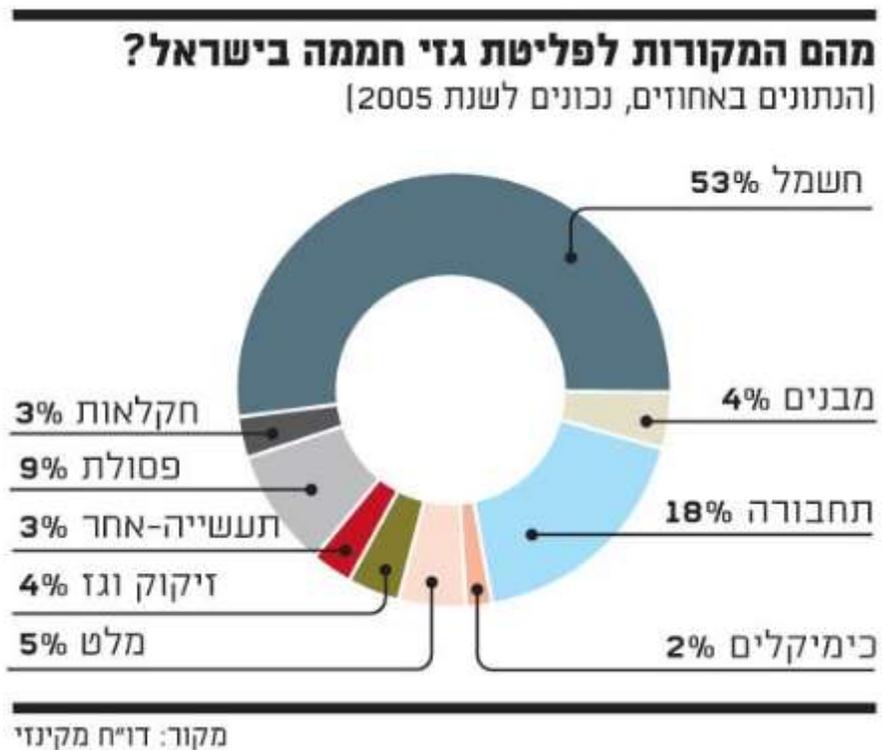
*תרכובות פלואור (F-gases : fluorinated gases) נמצאים בשימוש נרחב במערכות קירור - מזגנים ומקררים וממקורות תעשייתיים. למידע נוסף, כנסו [לכתבה של הידען](#).



גרף 1 - גזי חממה עיקריים והתרומה שלהם היחסית לאפקט החממה. מקור: <http://www.climatedata.info/forcing/gases/>



גזי חממה בפליטות (שמואל) ומקור פליטות (ימין). מקור: (Global greenhouse gas emissions a) by type of gases, b) by type of sources (IPCC, 2007)



גרף 3- מקורות לפליטת גזי חממה בישראל.

גוף השיעור:

חלופה 1 - ניסוי אפקט החממה: נתנסה במודל פשוט של אפקט החממה אשר מדגים את היכולת של גזי חממה באטמוספירה ללכוד חום. חלקו את הכיתה לקבוצות עבודה. הניסוי מתבצע בתוך מיכלים שקופים בהם מודדים את הטמפרטורה. טמפרטורת האוויר בתוך כל מיכל מדמה את טמפרטורת האטמוספירה, ומשקפת את יכולת הבידוד של כיסוי המיכל אשר מקביל לגזי חממה. דף שאלות מלווה את הניסוי (נספח 1 - דף לתלמיד + תשובות למורה). יש שאלות שעל התלמידים לענות עליהן לפני או תוך כדי הניסוי. יש שאלות מקדימות שמבקשות מהתלמידים לעלות השערות לגבי תוצאות הניסוי. לאחר ביצוע הניסוי יש שאלות אשר מתייחסות לתוצאות הניסוי והחיבור שלהן לאפקט החממה.

*במידת הצורך מצורפות תוצאות לדוגמה. יש אופציה לטבלה (כך שהתלמידים יעשו לבד גרף).

בניסוי 3 מיכלים (ראו איור):

1. **מיכל פתוח (1)** מדמה את כדה"א ללא גזי חממה באטמוספירה.
2. **מיכל סגור (2)** מדמה את כדה"א עם גזי חממה (המכסה). מדגים את אפקט החממה.
3. **מיכל סגור עם מיכל יותר קטן של מים בתוכו (3)**. בשל קיבול החום הגבוה של מים ביחס לאוויר, קצב עליית טמפרטורת האוויר תהיה יותר איטית מאשר במיכל 2. מדגים את החשיבות של גופי מים קליטת אנרגיית חום.



חלופה 2: התנסות בסימולציה של Concord Consortium להמחשת אפקט החממה. בסימולציה תלמידים יוכלו לשנות את ריכוז הפד"ח באטמוספירה ולראות כיצד הדבר משפיע על טמפרטורה. כמו כן, נוכל לעקוב אחר האנרגיה ונכנסת ויוצאת מכדה"א. תלמידים יכולים לעבוד עם הסימולציה בקבוצות קטנות ע"פ דף עבודה (נספח 2 - דף עבודה לתלמידים + תשובות למורים).

פעילות זו יכולה לשמש להערכה חלופית. יש לבחון את מידת השתתפות התלמיד בפעילות הניסוי או הסימולציה וכן להעריך את רמת התשובות לשאלות בדף העבודה המלווה לניסוי/סימולציה.

סיכום:

נראה לתלמידים תמונה של מאזן אנרגיה של כדה"א ונדון בה.



מקור: <https://inbalskits.com/parisconference/>

נקודות לדיון:

- השמש היא מקור האנרגיה בכדה"א. אנרגיית השמש מגיעה לכדה"א בתור קרינה (פוטונים).
- חלק מהקרינה מוחזרת לחלל על ידי פני שטח של כדה"א (אזורים בהירים) או ע"י האטמוספירה (חלקיקים)
- חלק מקרינת השמש חוזרת דרך האטמוספירה ומחממת את פני שטח כדה"א. גם את הקרקע וגם את המים. חשוב להדגיש כי מים מכסים כ-71% מפני שטח כדה"א. ניתן להזכיר (חלופה 1) שמים מתחממים לאט (צריך להשקיע הרבה אנרגיה יחסית כדי לגרום למים להתחמם).
- פני שטח פולטים חזרה חום (לאחר שהתחממו) בצורה של קרינה תת-אדומה.
- חלק מהקרינה התת-אדומה יוצאת חזרה לחלל. חלק נפגשת עם גזי חממה ומוקרנת מחדש לכל מיני כיוונים, כולל גם לכיוון פני השטח. זה גורם להתחממות של פני השטח ושל האטמוספירה התחתונה.

נספח 1 - הנחיות לניסוי ושאלות נלוות

רשימת ציוד לקבוצת עבודה אחת:

1. 3 מיכלים שקופים זהים. יש כמה אפשרויות למיכלים : בבקבוקי פלסטיק של 2 ליטר שמורידים לו את החלק העליון; צנצנות או כלי זכוכית

אחרים כמו כוס כימית

2. מיכל קטן שניתן להכניס לתוך אחד המיכלים הגדולים. -יכול להיות צנצנת, ביקר קטן או אפילו מיכל פלסטיק שניתן להניח מד חום בפנים.

-נמלא את המיכל במים בטמפרטורת החדר.

3. שני כיסויים למיכלים + גומיות. הכיסוי יכול להיות ניילון שקוף (שקית או ניילון

נצמד) שמהדקים בעזרת גומיה. חשוב להדק את הכיסוי.

4. ארבעה מדי חום.

חשוב שמדי החום לא יגעו בתחתית או בצדי הכלי. כדי להניח את מדי החום בתוך המיכלים בצורה נוחה נדביק אותם לחתיכת קרטון מעט ארוכה ורחבה יותר מהמד חום עצמו. כך ניתן להעמיד את המד חום בתחתית המיכל, כאשר הוא נשען בזווית קטנה כנגד הקיר. את המד חום שיעמוד במים ניתן להדביק על חומר עמיד למים.

5. מקור אור : חשוב להשתמש במקור אור שמייצר חום. במידה וחם מספיק ניתן לעבוד בחוץ עם שמש ישירה. ניצן להשתמש בנורת להט או נורת חום. יש להקפיד על כללי בטיחות בזמן שימוש בנורות מתחממות.

6. טבלה לרישום תוצאות הניסוי - ניתן להדפיס (פריט #) , לחילופין התלמידים יכולים להעתיק מראש.

הוראות לניסוי

1. מספרו את המיכלים מ-1 עד 3.
2. הניחו מד חום בכל מיכל, כאשר המד חום דבוק לקרטון והקרטון נשען על קיר המיכל בזווית. שימו לב שמקור האור לא יפגע ישירות במד חום אלא בגב הקרטון עליו מודבק.
3. במיכל 3 הניחו כלי קטן מלא במים כמעט עד הסוף (מים בטמפרטורת החדר) ובתוך המיכל הניחו מד חום.
4. תנו למדי חום לעמוד חמש דקות ולאחר מכן רשמו את הטמפרטורה ההתחלתית באוויר בכל מיכל ואת טמפרטורת המים במיכל 3. זו הטמפרטורה בזמן אפס.
5. כסו את מיכלים מספר 2 ו-3 בעזרת גומיה וכיסוי (ניילון נצמד או שקית).
6. העמידו את המיכלים במרחק שווה ובזווית דומה למקור האור (שמש או נורה). במידה שאתם עובדים עם מנורות, הדליקו את האור **(הזהרו - הנורה ובית המנורה מתחממים!)**
7. הפעילו טיימר.
8. רשמו את טמפרטורת האוויר בכל אחד מהמיכלים ושל המים (מיכל 3) כל 5 דקות במשך חצי השעה

- הראשונה של הניסוי. לאחר מכן, רשמו את הטמפרטורה כל 15 דקות.
 9. האם ניתן לראות שינויים בתוך המיכלים? אם כן, רשמו מה ניתן לראות.
 10. במידה ועוצמת האור משתנה במהלך הניסוי יש לרשום זאת.
 11. המשיכו את הניסוי עד שניתן לראות הבדלים ניכרים בין המיכלים בטמפרטורת.

שאלות לפני/ תוך כדי הניסוי

- א. האם אתם מצפים שיהיה הבדל בקצב שינוי טמפרטורת האוויר במיכל 1 ובמיכל 2? נמקו את תשובתכם.
 ב. לאיזה מיכל נכון להשוות את התוצאות ממיכל מספר 3? נמקו.
 ג. מה לדעתכם יקרה לטמפרטורת המים והאוויר במיכל 3 לאורך לעומת המיכל שציינתם בסעיף ב'? נמקו את תשובתכם.

שאלות לאחר הניסוי:

1. איירו גרף אשר מראה את תוצאות הניסוי. מה יהיה ציר X? מה יהיה ציר Y? מה המשתנה התלוי והבלתי תלוי?
 2. מלאו את הטבלה הבאה אשר מסכמת את שינוי הטמפרטורה בכל אחד מהמיכלים:
 א. מה הטמפרטורה המקסימלית ומה הטמפרטורה המינימלית בכל מיכל?
 ב. מה טווח הטמפרטורות (מקסימום פחות מינימום) בכל מיכל?
 ג. האם יש הבדל בקצב שינוי הטמפרטורה בכל אחד מהמיכלים? ניתן להתייחס לשיפוע העקומים באופן איכותי (לפי העין) או בצורה כמותית (חישוב $\Delta Y/\Delta X$ באזור ליניארי של העקום).

מיכל 3 -מים	מיכל 3 - אוויר	מיכל 2- אוויר	מיכל 1- אוויר	
				טמפ' מינימום
				טמפ' מקסימום
				טווח טמפרטורה
				קצב שינוי טמפ'
				הערות

3. השוו את התוצאות שהתקבלו עבור מיכל 1 ומיכל 2. הציעו הסבר להבדלים.
 4. ערכו השוואה בין מיכל 2 למיכל 3. הציעו הסבר להבדלים.
 5. במיכל 3 - מה קורה לטמפרטורת המים לעומת טמפרטורת האוויר? הציעו הסבר.

צפו בסרטון (החל מ:02:20) בנושא אפקט החממה וענו על השאלות הבאות :

6. קרינת השמש חודרת את האטמוספירה של כדה"א. מה קורה לאנרגיית הקרינה הזאת?
 7. מהי קרינה תת-אדומה להבנתכם? ניתן להיעזר בגוגל.
 8. הסבירו מהו אפקט החממה במילים שלכם.
 9. בסרטון מזכירים גזים כגון מתאן (CH₄), אדי מים (H₂O), פחמן דו-חמצני (CO₂) וחמצן דו-חנקני (N₂O). אלו גזי חממה. מה הקשר בין גזי חממה לאפקט החממה?

10. הניסוי שעשיתם מדמה את אפקט החממה , אמנם ללא גזי חממה במערכת הניסויית. מה מייצג המיכל? מה מייצג הכיסוי למיכל?
11. התחממות גלובלית היא תיאוריה מדעית לפיה הטמפרטורה הממוצעת של כדה"א עולה. מה הקשר בין אפקט החממה, גזי חממה והתחממות גלובלית?
12. ללא אפקט החממה, הטמפרטורה על פני כדה"א הייתה -18 מעלות צלזיוס! הסבירו מדוע.
13. מים מכסים כ-71% מפני שטח כדה"א, כאשר רוב המים נמצאים באוקיינוסים. לאוקיינוסים חשיבות גדולה מאוד בוויסות טמפרטורת כדה"א. שערו מה החשיבות של האוקיינוסים בהקשר של התחממות גלובלית. התייחסו לתוצאות שקיבלתם במיכל 3.

ملحق 1 – تعليمات التجربة وأسئلة مرافقة

قائمة التجهيزات لمجموعة عمل واحدة:

1. ثلاثة أوعية شفافة متماثلة. هناك عدة إمكانيات للأوعية: قناني بلاستيك سعتها 2 لتر بحيث نُزيل قسمها العلوي، مرطبات أو أوعية زجاجية أخرى، مثلاً: كأس كيميائية.

2. وعاء صغير يمكن إدخاله إلى أحد الأوعية

الكبيرة. يمكن أن يكون مرطبان، كأس كيميائية صغيرة، وعاء بلاستيك يمكن أن نضع داخله مقياس درجة حرارة.

- نملئ الوعاء بالماء في درجة حرارة الغرفة.

3. غطاءان للوعاءين + حلقات مطاطية

(مغطات بالعامية). الغطاء يمكن أن يكون

نايلون شفاف (كيس أو نايلون لاصق)، يتم

تثبيتته بحلقة مطاطية. من المهم أن نُثبت الغطاء.

4. أربعة أجهزة قياس درجة حرارة.

من المهم أن لا يتلامس مقياس درجة الحرارة بأرضية أو جدران الوعاء. نلصق مقياس درجة الحرارة على قطعة كرتون أوسع وأطول من مقياس درجة الحرارة كي نضعه بشكل سهل وصحيح. وهكذا نضع مقياس درجة الحرارة في أسفل الوعاء بحيث يتركز بزواوية صغيرة على جدار القنينة. مقياس درجة الحرارة الذي نضعه في الماء، نلصقه على مادة مناسبة للماء.

5. مصدر الضوء: من المهم استعمال مصدر ضوء يُنتج حرارة. إذا كان حارًا بشكل كافٍ يمكن أن نستعمله في الخارج مع الشمس مباشرة. يمكن استعمال مصابيح توهج أو مصابيح حرارة. يجب التشديد على قواعد الأمن والوقاية خلال استعمال المصابيح الساخنة.

6. جدول لتسجيل نتائج التجربة – يمكن طباعته أو ينسخه التلاميذ مسبقًا.

تعليمات التجربة

1. رقموا الأوعية من 1 حتى 3.

2. ضعوا مقياس درجة حرارة في كل وعاء بحيث يكون مقياس درجة الحرارة ملتصق على قطعة كرتون، يتركز بزواوية على جدران الوعاء. انتبهوا أن لا يصطدم الضوء مباشرة بمقياس درجة الحرارة، بل يصطدم بظهر الكرتون الملتصق عليها مقياس درجة الحرارة.

3. ضعوا وعاء صغير مليء بالماء حتى النهاية تقريبًا في وعاء رقم 3 (ماء بدرجة حرارة الغرفة)، وضعوا مقياس درجة الحرارة داخل الوعاء.

4. بعد مرور 5 دقائق، اكتبوا درجة الحرارة الابتدائية في هواء كل وعاء، ودرجة حرارة الماء في وعاء رقم 3. هذه درجة الحرارة بالزمن صفر.

5. غطوا الوعاءين 2 و 3 بمساعدة غطاء (نايلون لاصق أو كيس) وحلقتين مطاطيتين.

6. ضعوا الأوعية على أبعاد متساوية وبزاوية شبيهة نسبة لمصدر الضوء (شمس أو مصباح). إذا كنتم تعملون مصابيح، أضيئوا المصابيح (احذروا، المصباح وبيته يسخنان!)

7. شغلوا جهاز قياس الزمن (مؤقت).

8. اكتبوا درجة حرارة الهواء في كل وعاء وفي وعاء الماء (وعاء رقم 3) كل 5 دقائق خلال نصف الساعة الأولى من بداية التجربة. بعد ذلك، اكتبوا درجة الحرارة كل 15 دقيقة.
9. هل تلاحظون تغيير داخل الأوعية؟ إذا كانت الإجابة نعم، اكتبوا التغيرات التي طرأت.
10. إذا تغيرت شدة الإضاءة خلال التجربة، يجب تسجيل ذلك.
11. استمروا في التجربة حتى ترون فروق ملحوظة في درجة الحرارة بين الأوعية المختلفة.

أسئلة قبل / خلال التجربة

- أ. هل تتوقعون أن يكون فرق في وتيرة تغيرات درجة حرارة الهواء بين الوعاءين 1 و 2؟ عللوا إجاباتكم.
- ب. أي وعاء من الصحيح أن نقارن به نتائج وعاء رقم 3؟ عللوا.
- ت. ماذا يحدث، حسب رأيكم، لدرجة حرارة الماء والهواء في وعاء 3 مقارنة بالوعاء الذي ذكرتموه في بند ب؟ عللوا إجاباتكم.

أسئلة بعد التجربة:

1. ارسموا رسمًا بيانيًا يُبين نتائج التجربة. ماذا يكون محور X؟ ماذا يكون محور Y؟ ما هو المتغير المتعلق؟ وما هو المتغير غير المتعلق؟
2. أكملوا الجدول الآتي الذي يلخص تغيرات درجة الحرارة في كل وعاء:
- أ. ما هي درجة الحرارة القصوى وما هي درجة الحرارة الدنيا في كل وعاء؟
- ب. ما هو مجال درجة الحرارة (القصوى ناقص الدنيا) في كل وعاء؟
- ت. هل يوجد فرق في وتيرة تغيرات درجة الحرارة في كل وعاء؟ يمكن التطرق إلى ميل المنحنيات بشكل كافي (حسب العين) أو بشكل كمي (حساب $\Delta Y/\Delta X$ في منطقة مستقيمة في الخط البياني).

وعاء 3 - ماء	وعاء 3 - هواء	وعاء 2 - هواء	وعاء 1 - هواء	
				درجة الحرارة الدنيا
				درجة الحرارة القصوى
				مجال درجة الحرارة
				وتيرة تغيرات درجة الحرارة
				ملاحظات

3. قارنوا بين نتائج الوعاءين 1 و 2. اقترحوا شرحًا للفروق.
4. قارنوا بين نتائج الوعاءين 2 و 3. اقترحوا شرحًا للفروق.
5. في الوعاء 3 - ماذا يحدث لدرجة حرارة الماء مقارنة بدرجة حرارة الهواء؟ اقترحوا شرحًا.

شاهدوا الفيلم القصير (ابتداءً من 0:22) في موضوع الاحتباس الحراري (ظاهرة الدفيئة)، وأجيبوا عن الأسئلة الآتية.

6. تخترق أشعة الشمس الغلاف الجوي للكرة الأرضية. ماذا يحدث لهذه الطاقة المشعة (طاقة الإشعاع)؟
7. ما هي الأشعة تحت الحمراء؟ يمكن الاستعانة بجوجل.
8. اشرحوا الاحتباس الحراري (ظاهرة الدفيئة) بكلماتكم.
9. ذُكرت في الفيلم غازات، مثل: الميثان (CH_4)، بخار الماء (H_2O)، ثاني أكسيد الكربون (CO_2) وأكسيد النيتروز (N_2O). أي منها غازات الدفيئة؟ ما العلاقة بين غازات الدفيئة والاحتباس الحراري؟
10. التجربة التي أجريتموها هي محاكاة لظاهرة الدفيئة، لكن دون غازات الدفيئة في نظام التجربة. ماذا يمثل غطاء الوعاء؟
11. الاحتباس الحراري العالمي هو نظرية علمية تُشير إلى ارتفاع معدل درجة حرارة الكرة الأرضية. ما العلاقة بين ظاهرة الدفيئة، غازات الدفيئة وارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية؟
12. لولا ظاهرة الدفيئة لكانت درجة حرارة الكرة الأرضية 18 درجة مئوية! اشرحوا لماذا.
13. يُغطي الماء حوالي 71% من سطح الكرة الأرضية، ومعظم المياه موجودة في المحيطات. المحيطات لها أهمية كبيرة جدًا في تنظيم درجة حرارة الكرة الأرضية. افترضوا ما هي أهمية المحيطات في سياق ارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية. تطرقوا إلى النتائج التي حصلتم عليها في وعاء 3.

תשובות למורה

1. ציר X - זמן (משתנה בלתי תלוי), ציר Y - טמפרטורה (משתנה תלוי)

2. טבלה מסכמת של שינוי הטמפרטורה בכל אחד מהמיכלים:

- א. הטמפרטורה המקסימלית ומה הטמפרטורה המינימלית בכל מיכל
 ב. טווח הטמפרטורות (מקסימום פחות מינימום) בכל מיכל
 ג. הבדל בקצב שינוי הטמפרטורה בכל אחד מהמיכלים

מיכל 3-מים	מיכל 3 - אוויר	מיכל 2- אוויר	מיכל 1- אוויר	
				טמפ' מינימום
				טמפ' מקסימום
				טווח טמפרטורה
				קצב שינוי טמפ'
				הערות

3. מיכל 1 פתוח בעוד שמיכל 2 סגור. קצב עליית הטמפרטורה במיכל 2 יותר גבוה כיוון שהכיסוי מונע מהחום לצאת מהמיכל.

4. מיכלים 2 ו-3 סגורים, אבל במיכל 3 יש כלי עם מים. קצב עליית הטמפרטורה במיכל 3 יותר איטי מאשר במיכל 2. הסיבה לכך היא נוכחות המים. למים יש יכולת מצויינת "לאגור" חום לעומת אוויר, כלומר דרושה השקעה של יותר אנרגיה כדי להעלות את הטמפרטורה של מים לעומת האנרגיה הדרושה להעלות את הטמפרטורה על אוויר (תכונה של יכולת "לאגור" חום מכונה קיבול חום).

5. טמפרטורת המים כמעט ולא משתנה או משתנה מעט. זה קשור ליכולת של מים "לאגור" אנרגיה - דרושה הרבה אנרגיה יחסית כדי להעלות את הטמפרטורה של מים לעומת הטמפרטורה של אוויר.

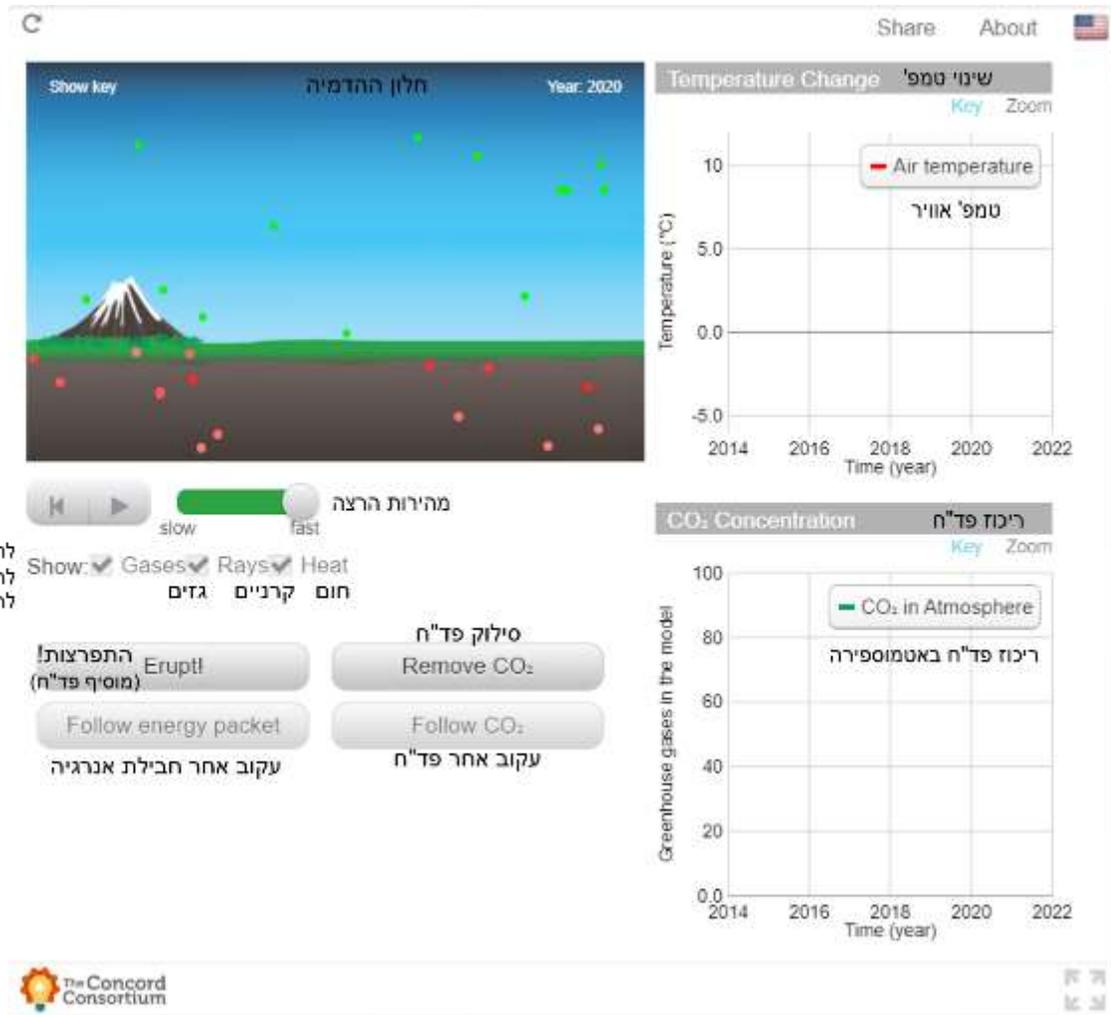
6. מחצית מאנרגיית השמש נכנסת לאטמוספירה ומחממת את כדה"א (שער האנרגיה מוחזרת לחלל ע"י עננים, חלקיקים באוויר וע"י משטחים בהירים). פני שטח כדה"א קולטים את האנרגיה הזאת ופולטים חזרה חלק ממנה בתור בקרינה תת-אדומה, או במילים אחרות כחום.

7. קרינה תת-אדומה היא למעשה חום.

*קרינת השמש היא בתחום האור הנראה. קרינה תת-אדומה היא באורך גל יותר ארוך והעין האנושית אינה יכולה להבחין בה. מצלמות תרמויות יכולות לצלם קרינה תת-אדומה.

נספח 2 - הנחיות לתלמידים לפעילות בסימולציה:

כדי לראות כיצד אפקט החממה משפיע על טמפרטורת כדה"א, נעבוד עם [סימולציה](#) של ה-Concord Consortium. כנסו לקישור וצפו בחלון הבא :



הסבר כללי :

מצד שמאל נמצא חלון ההדמייה ולחצני הפעלה. מצד ימין ניתן לראות גרפים של שינוי בטמפרטורת אוויר (גרף עליון) וריכוז פד"ח באטמוספירה (גרף תחתון). בכל אחד מהגרפים ניתן ללחוץ על "key" כדי להעלים את המקראה של הגרף. בחלון ההדמייה ניתן גם ללחוץ על "show key" כדי לראות את המקראה של הסימונים :

ניתן להוסיף פד"ח ממקור טבעי (התפרצויות געשיות) לאטמוספירה ע"י לחיצה על "התפרצות" או **Erupt!**.



ניתן לסלק פד"ח מהאטמוספירה ע"י לחיצה על "סילוק פד"ח" או "**Remove CO2**".

ניתן לעקוב אחר אנרגיה (**follow energy packet**) ופד"ח (**follow CO2**) בזמן הרצת ההדמייה. כדי להספיק לעקוב אחר מולקולת פד"ח או אנרגיית קרינה לחצו שוב על אותו כפתור ("stop following").

כדי להריץ/לעצור את ההדמייה לוחצים על **play**. שאלות:

הריצו את ההדמייה ע"י לחיצה על לחצן **play**. האטו את ההדמייה (גרירה של המהירות ל- "**slow**").

1. עקבו אחר אנרגיית קרינת השמש (נקודות צהובות). תארו שני מסלולים אפשריים של אנרגיית הקרינה.

ניתן להיעזר בעקוב אחר אנרגיה "**follow energy packet**".

2. קרינה תת-אדומה היא למעשה חום. הסתכלו על ההדמייה - מה המקור של הקרינה התת-אדומה (חצים סגולים)?

3. מה קורה לקרינה תת-אדומה (חיצים הסגולים) כאשר הם נפגשים עם מולקולת פד"ח?

4. מה קורה לקרינה התת-אדומה (חצים סגולים) אם היא לא נפגשת עם מולקולת פד"ח?

5. בהסתמך על תשובתכם לשאלה 3, הסבירו מהו אפקט החממה ומה הקשר לגזי חממה כמו פד"ח?

6. האם גזי החממה מזיקים או מועילים? כדי לענות על שאלה נבחן תחילה מצב התחלתי שאותו נשווה לשני מקרי קצה - ללא גזי חממה ועודף גזי חממה.

א. מצב ההתחלתי - אפסו את ההדמייה ע"י לחיצה על הכפתור "**Reset**". הריצו את ההדמייה (לחיצה על **play**). המתינו עד שהשינוי בטמפרטורה מתייצב. רשמו את ריכוז הפד"ח ואת השינוי בטמפרטורה.

ב. אטמוספירה ללא גזי חממה - לחצו על "**remove CO2**" עד שכל הפד"ח בהדמייה נעלם והריצו את ההדמייה עד שהטמפרטורה מתייצבת. מה קורה לטמפרטורה? מדוע?

ג. אטמוספירה עם עודף גזי חממה - לחצו על "**Erupt!**" עד שיש כ-50 יחידות פד"ח באטמוספירה. תארו מה קורה לטמפרטורה והציעו הסבר לתצפיות שלכם.

ד. האם גזי החממה מזיקים או מועילים?

7. צפו [בסרטון](#) (החל מ0:22) בנושא אפקט החממה. האם נותרו לכם שאלות פתוחות?

ملحق 2 – تعليمات للتلاميذ للعمل في المحاكاة:

للتعرّف على كيفية تأثير ظاهرة الدفيئة على درجة حرارة الكرة الأرضية، نستعمل [المحاكاة Concord Consortium](#) . ادخلوا إلى الرابط، وتمعنوا في الشباك الآتي:



شرح عام :

نرى على اليسار شبك محاكاة وأزرار تشغيل. ويظهر في الجهة اليمنى رسم بياني لتغيرات درجة الحرارة في الهواء (الرسم البياني العلوي)، ورسم بياني لتركيز ثاني أكسيد الكربون (الرسم البياني السفلي). في كل رسم بياني يمكن أن نضغط على "key" كي يختفي دليل الرسم البياني. في شبك المحاكاة يمكن أن نضغط على "show key" كي نرى دليل الرموز:

يمكن إضافة ثاني أكسيد الكربون من مصدر طبيعي (انفجار بركاني) إلى الغلاف الجوي بواسطة الضغط على "انفجار" أو **Erupt**!

يمكن إبعاد ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي بواسطة الضغط على "إبعاد ثاني أكسيد الكربون" أو **Remove CO₂**.

يمكن متابعة الطاقة (**follow energy packet**) وثاني أكسيد الكربون (**follow CO₂**) خلال تشغيل المحاكاة. لمتابعة جزيء ثاني أكسيد الكربون أو طاقة إشعاع اضغطوا مرة أخرى على الزر ("stop following")

لتشغيل/لإيقاف المحاكاة اضغط على **play**.

أسئلة:

شغلوا المحاكاة بواسطة الضغط على الزر **play**. أبطئ المحاكاة (نجرّ السرعة إلى "slow").

1. تابعوا طاقة أشعة الشمس (نقاط صفراء). صفوا مسارين ممكنين لطاقة الإشعاع. يمكن الاستعانة بتتبع الطاقة "**follow energy packet**".
2. الأشعة تحت الحمراء هي حرارة. انظروا إلى المحاكاة. ما مصدر الأشعة تحت الحمراء (الأسهم البنفسجية)؟
3. ماذا يحدث للأشعة تحت الحمراء (الأسهم البنفسجية) عندما تلتقي مع جزيئات ثاني أكسيد الكربون؟
4. ماذا يحدث للأشعة تحت الحمراء (الأسهم البنفسجية) عندما لا تلتقي مع جزيئات ثاني أكسيد الكربون؟
5. اعتمادًا على إجاباتكم عن سؤال 3، اشرحوا ما هي ظاهرة الدفينة وما علاقتها بغازات الدفينة كثاني أكسيد الكربون؟
6. هل غازات الدفينة ضارة أم مفيدة؟ للإجابة عن السؤال، نحص في البداية الوضع الابتدائي الذي نقرنه لطرفين مختلفين – دون غازات الدفينة ومع فائض غازات الدفينة.

أ. وضع ابتدائي – ابدأوا المحاكاة من الصفر بواسطة الضغط على الزر "Reset". شغلوا المحاكاة

(اضغطوا على **play**). انتظروا حتى يثبت التغير في درجة الحرارة. اكتبوا تركيز ثاني أكسيد الكربون وتغيرات درجة الحرارة.

ب. غلاف جوي دون غازات الدفينة – اضغطوا على "**2remove CO**" حتى يختفي كل ثاني أكسيد الكربون في

المحاكاة، وشغلوا المحاكاة حتى تثبت درجة الحرارة. ماذا يحدث لدرجة الحرارة؟ لماذا؟

ت. غلاف جوي مع فائض من غازات الدفينة – اضغطوا على "**Erupt!**" حتى يصبح حوالي 50 وحدة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي.

صفوا ماذا يحدث لدرجة الحرارة؟ واقترحوا شرحًا لمشاهداتكم.

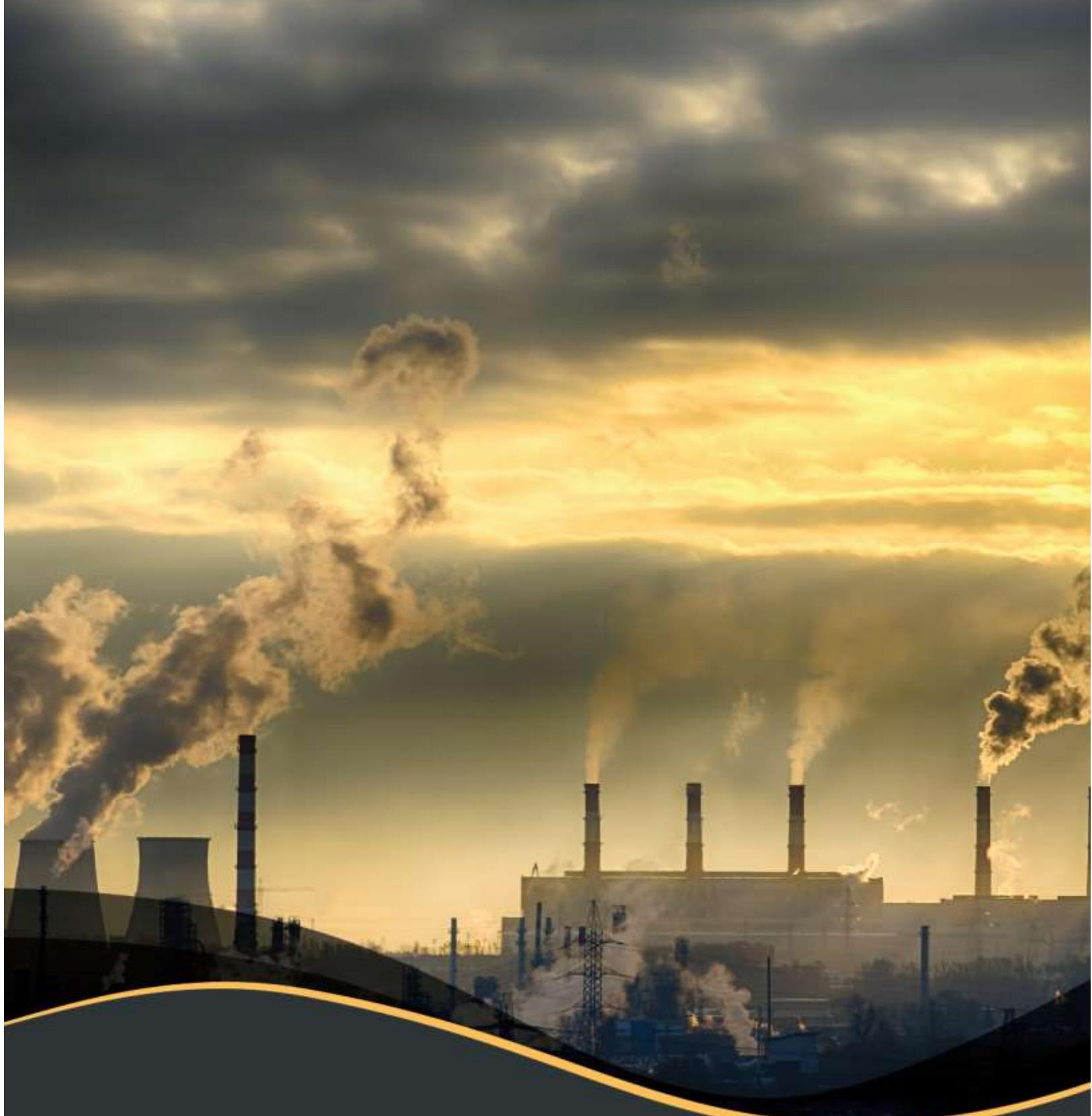
ث. هل غازات الدفينة ضارة أم مفيدة؟

7. شاهدوا الفيلم القصير (ابتداءً من 0:22) في موضوع ظاهرة الدفينة. هل بقيت لديكم أسئلة مفتوحة؟



תשובות למורה

1. מסלול 1 - אנרגיית הקרינה פוגעת בפני השטח וכתוצאה מכך פני השטח מתחממים (נקודות אדומות מייצגות אנרגיית חום). כלומר יש מעבר אנרגיה מאנרגיית קרינה לאנרגיית חום בפני השטח.
- מסלול 2 - אנרגיית קרינה פוגעת בפני השטח ומוחזרת.
2. הקרינה התת-אדומה יוצאת מפני השטח. מקורה מהחום שפני השטח מקרינים חזרה אחרי שאנרגיית השמש/קרינה חיממה אותם.
3. כאשר קרינה תת-אדומה פוגשת מולקולת פד"ח, הקרינה חוזרת חזרה לפני השטח (החץ הסגול יורד חזרה למטה ולא ממשיך בדרכו החוצה אל החלל).
4. הקרינה התת-אדומה יוצאת מהאטמוספירה של כדה"א אל החלל.
5. אפקט החממה הוא תהליך שבו נלכד חום בתוך האטמוספירה של כדור-הארץ בגלל גזי חממה באטמוספירה שאינם נותנים לחום "לברוח" כמו קירות זכוכית בחממה ששומרות על החום בפנים. בסימולציה רואים את החצים הסגולים שנתקלים במולקולת פד"ח וחוזרים חזרה כלפי הקרקע וכך גורמים לחימום.
6. א שינוי בטמפרטורה - סביב 2.5 מעלות. פד"ח - 18 יחידות
6. ב אטמוספירה ללא גזי חממה - הטמפרטורה יורדת (שינוי בטמפרטורה שלישי). קרינת השמש מחממת את פני שטח כדה"א. החום נפלט מפני השטח כקרינה תת-אדומה אשר יוצאת חזרה לחלל. אין שום דבר שישמור על החום.
6. ג הטמפרטורה עולה ככל שריכוז הפד"ח עולה. זה גורם להגברת אפקט החממה.
6. ד מצד אחד גזי חממה חיוניים לחיים על פני כדה"א. ללא גזי חממה באטמוספירה, לא יכלו לשרוד כאן חיים. מצד שני, עודף גזי חממה יכולים לגרום להתחממות יתרה ולהתחממות גלובלית.



הקשר בין פעילות האדם, פחמן דו חמצני וטמפרטורה

שיעור 4

התנסות: הקשר בין פעילות האדם, פד"ח וטמפרטורה

ידע למורה: בשיעור הקודם (שיעור 3), התלמידים רכשו בסיס ידע מדעי בנושא גזי חממה, אפקט החממה וכיצד הם תורמים להתחממות גלובלית. ראינו שפחמן דו חמצני (פד"ח) הוא שחקן מרכזי בתהליך התחממות הגלובלית. בשיעור זה נעסוק בקשר בין גזי חממה, ובפרט בפד"ח, להתחממות גלובלית. האם פעילות האדם אכן גורמת לעלייה בפד"ח ובעקבותיה לעליית הטמפרטורה? או האם הגורמים לעלייה הם שינויים בפעילות השמש או תופעות מחזוריות טבעיות של כדה"א? בשיעור נתייחס לשאלות האלו תוך כדי התבוננות בנתונים עכשוויים ומהעבר הגיאולוגי של כדה"א.

השיעור נפתח בהבדל בין מתאם לסיבתיות (correlation and causation) - מושגים מהותיים לבחינת הקשר בין פד"ח לטמפרטורה. בגוף השיעור התלמידים יבחנו נתוני פד"ח וטמפרטורה ממוצעת לאורך ההיסטוריה של כדה"א וימצאו שקיים מתאם בין ריכוזי פד"ח באטמוספירה לבין טמפרטורה גלובלית ממוצעת. נתייחס לשאלה - האם וכיצד ניתן להוכיח כי האחד (ריכוז פד"ח) אכן גורם לשני (עלייה בטמפרטורה ממוצעת)? בסיכום נכיר את העמדה של ה-IPCC בנושא הקשר בין פעילות האדם להתחממות גלובלית.

מושגים: מתאם (קורלציה), סיבתיות, פחמן דו חמצני (פד"ח), אטמוספירה, שריפת דלקים פוסילים, תקופת קרח

פתיחה: מתאם וסיבתיות - הנתונים המוצגים ביותר לציבור בהקשר של משבר האקלים מראים מתאם הדוק בין פד"ח לבין טמפרטורה לאורך ההיסטוריה הגיאולוגית של כדה"א. נפתח את השיעור בנושא של מתאם וסיבתיות, כלומר האם מדובר על סיבה ותוצאה? מתאם (קורלציה) בין שני גורמים הינו מדד סטטיסטי שמעריך את המידה שבה הגורמים קשורים או תלויים אחד בשני. מתאם מעלה את האפשרות, אך לא מוכיח, כי קיים קשר בין שני הגורמים. למשל יש מתאם בין מספר הסיגריות שמעשנים ביום לבין הסיכוי לחלות ולמות מסרטן ריאות. אבל האחד אכן גורם לשני?

בפתיחה נראה לתלמידים שני גרפים אשר מראים מתאם ונדון בקשר הסיבתי בין הגורמים המוצגים. הגרפים מבוססים על נתוני אמת אבל רק בגרף הראשון הקשר בין הגורמים (עישון ומוות מסרטן ריאות) נחקר והוכח. בגרף השני רואים כי קיים מתאם בין מכירות גלידה לבין התקפות כרישים אך אין קשר סיבתי בין הגורמים. המתאם ביניהם נובע מקשר לגורם שלישי - קיץ. ניתן להוכיח קשר סיבתי דרך מחקר אשר בוחן את הקשר באמצעות השיטה המדעית.

ניתן להראות את [הסרטון](#) הבא (עם כתוביות בעברית, אורך כ-6 דק') אם יש זמן בסוף הפתיחה או לתת לתלמידים בתור העשרה.

נספר לתלמידים על מחקר בקרב תלמידי תיכון שהראה שתלמידים בעלי ביטחון עצמי גבוה יותר קבלו ציונים יותר גבוהים במבחנים. כלומר, קיים מתאם (קורלציה) בין מידת הביטחון העצמי של התלמידים לבין ההישגים שלהם במבחנים. מתאם בין גורמים הינו מדד סטטיסטי המעריך את המידה שבה הגורמים קשורים או תלויים זה בזה. נשאל את התלמידים: האם לדעתכם יש קשר סיבתי (סיבה- תוצאה) בין ציונים לביטחון עצמי? מה לדעתכם הגורם המשפיע (משתנה הבלתי תלוי) ומה הגורם המושפע (משתנה התלוי) בדוגמה הזאת?

נמצא שיש קשר, אבל לא בכיוון שחשבו - קבלת ציונים גבוהים היא זו שגורמת לביטחון עצמי גבוה ולא להיפך. למעשה עודף ביטחון עצמי עלול לפגוע בציונים. לכן הגורם הבלתי תלוי (המשפיע) הוא קבלת ציונים גבוהים והגורם התלוי (המושפע) הוא ביטחון העצמי.

נשאל את התלמידים האם הם יכולים לחשוב על דוגמאות נוספות למתאם בין גורמים? בכל דוגמא יש לציין מה הגורם המשפיע ומה הגורם המושפע. (למשל הקשר בין אור להתפתחות הצמח)

נבקש מהתלמידים לעבוד בדף עבודה בנושא מתאם וקשר סיבתי (נספח 1 - דף עבודה + תשובות למורים):

גוף השיעור:

חלופה 1: התלמידים יעבדו בקבוצות קטנות על דף עבודה (נספח 2 - דף עבודה + תשובות למורה) בו ינתחו נתוני פד"ח וטמפרטורה שנאספו לאורך זמן. הנתונים מראים מתאם (קורלציה) ברור בין פד"ח לטמפרטורה. בהתנסות נשים דגש על בחינת הקשר הסיבתי (causation) ביניהם. נסיים את חלק א' בדיון בתשובות לשאלות. ניתן לתת לתלמידים להשוות תשובות ואז לקיים דיון.

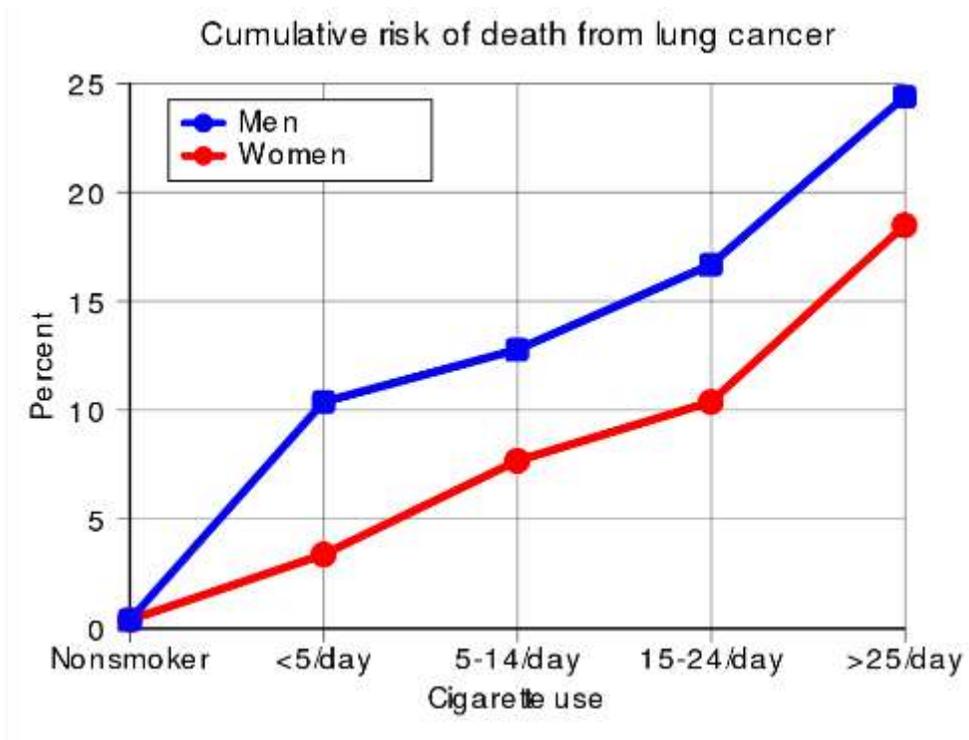
חלופה 2: בשיעור התלמידים יצפו [בסרטון](#) בו נבחנות סיבות שונות לעלייה בטמפרטורה הממוצעת של כדה"א. ניתן לנהל את השיעור כדף עבודה לתלמידים (נספח 3 - דף עבודה לתלמידים + תשובות למורה) או כדיון בו עוצרים את הסרטון לסירוגין. בתשובות לשאלות יש חומר עזר.

סיכום:

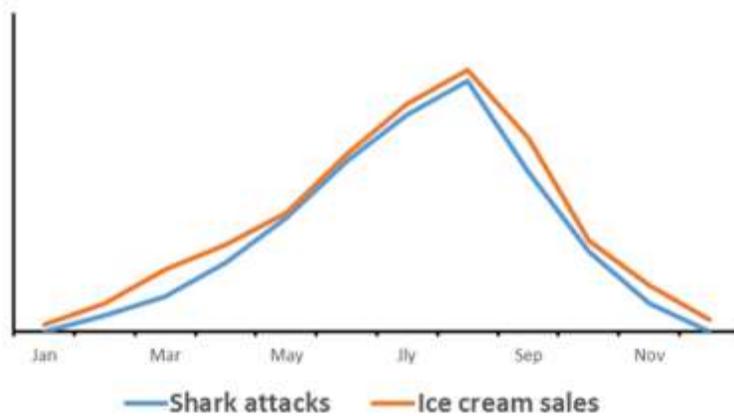
התלמידים יקראו וידונו בסיכום מתוך אחד [הדוחות של ה-IPCC](#) וידונו בתובנות הוועדה (נספח 4).

נספח 1 - דף עבודה בנושא מתאם וקשר סיבתי

גרפים 1 ו-2 מציגים נתוני אמת אשר מראים מתאם בין שני גורמים. התבוננו בגרפים וענו על השאלות:



גרף 1 - הסיכון המצטבר למוות מסרטן ריאות באחוזים כפונקציה של מספר הסיגריות שמעשנים ביום בקרב נשים (עקום התחתון, אדום) וגברים (עקום העליון, כחול). ציר X מציג מספר סיגריות ליום וציר Y מציג סכנת מוות מסרטן ריאות באחוזים. מקור: NIH.



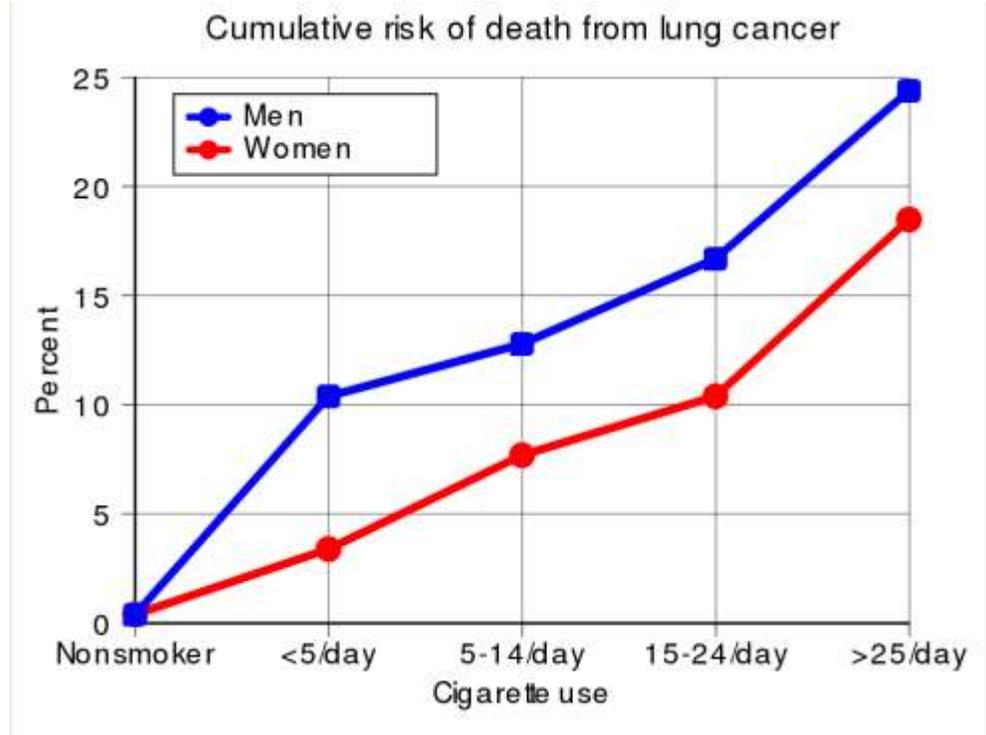
גרף 2 - מכירות גלידה (כתום) ומספר תקיפות כריש (כחול) לאורך השנה (ציר X מראה את חודשי השנה). ציר ה-Y הוא כמות שרירותית. (סכנה, גלידה!).

מקור: <http://csm-cambridge.com/services/data/predictive-analytics>

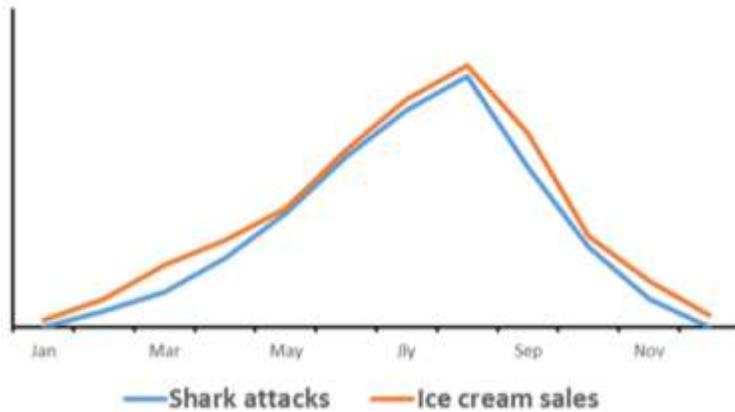
1. תארו את המגמות שניתן לראות בגרף 1.
2. מה ניתן להסיק לגבי עישון סיגריות מגרף 1?
3. תארו את המגמות שניתן לראות בגרף 2.
4. מה ניתן להסיק מגרף 2?
5. האם המסקנות משני הגרפים אמינות באותה מידה בעיניכם? מדוע?
6. החל מ-1912, מדענים ורופאים ראו כי קיים מתאם בין עישון סיגריות לבין תחלואה בסרטן ריאות. למרות המתאם המובהק, בשנות ה-50 של המאה הקודמת עדיין מתחו ביקורת קשה על כך שקשרו קשר סיבתי בין הגורמים. כיצד הייתם מוכיחים כי עישון גורם לסרטן ריאות?
7. ניתן להוכיח קשר סיבתי דרך מחקר אשר בוחן את הקשר באמצעות [השיטה המדעית](#). למשל- התרנגול קורא בקול כאשר השמש זורחת. כיצד נוכיח כי התרנגול קורא כיוון שהשמש זורחת ולא הפוך (השמש זורחת כי התרנגול קורא בקול).
8. מתאם לא בהכרח מעיד על קשר סיבתי. הציעו סיבות נוספות שבעקבותן ניתן לראות מתאם בין שני גורמים.

ملحق 1 - ورقة عمل في موضوع الارتباط والسببية

يعرض الرسمان البيانيان 1 و 2 معطيات حقيقية تُبيّن ارتباط بين عاملين. تمعنوا في الرسمين البيانيين وأجيبوا عن الأسئلة:



الرسم البياني 1 - الخطورة المتراكمة للموت من سرطان الرئتين بالنسبة المئوية كدالة لعدد السجائر التي تدخنها النساء في اليوم (المنحنى السفلي، الأحمر) والتي يدخنها الرجال في اليوم (المنحنى العلوي، الأزرق). محور X يعرض عدد السجائر في اليوم ومحور Y يعرض خطر الموت من سرطان الرئتين بالنسبة المئوية. المصدر: [NIH](#).



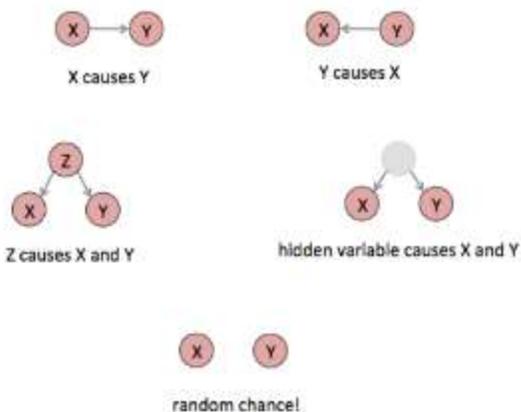
الرسم البياني 2 – مبيعات البوظة (برتقالي) وعدد هجمات سمك القرش (أزرق) خلال السنة (محور X يعرض أشهر السنة). محور Y هو كمية عشوائية. (خطر، بوظة!). المصدر: <http://csm-cambridge.com/services/data/predictive-analytics>

1. صفوا التوجهات التي يمكن مشاهدتها في الرسم البياني 1.
2. ما الذي يمكن استنتاجه من تدخين السجائر من الرسم البياني 1؟
3. صفوا التوجهات التي يمكن مشاهدتها في الرسم البياني 2.
4. ما الذي يمكن استنتاجه من الرسم البياني 2؟
5. هل تعتقدون أن الاستنتاجات، من الرسمين البيانيين، يمكن الاعتماد عليها بنفس المقدار؟ لماذا؟
6. ابتداءً من سنة 1912، بيّن العلماء والأطباء أن هناك ارتباط بين تدخين السجائر والمرض بسرطان الرئتين. على الرغم من الارتباط الواضح، في سنوات الخمسينيات من القرن السابق، كان هناك انتقاد لاذع على الارتباط السببي بين العوامل. كيف تثبتون أن التدخين يؤدي إلى سرطان الرئتين؟
7. يمكن أن نبرهن علاقة سببية بواسطة بحث يفحص العلاقة بواسطة [الطريقة العلمية](#). مثلاً: الديك يصح بصوت عال عند شروق الشمس. كيف نبرهن أن الديك يصيح بسبب شروق الشمس وليس العكس (الشمس تشرق لأن الديك يصيح).
8. الارتباط لا يدل بالضرورة على علاقة سببية. اقترحوا أسباب أخرى في أعقابها يمكن أن نرى ارتباط بين عاملين.

תשובות למורה:

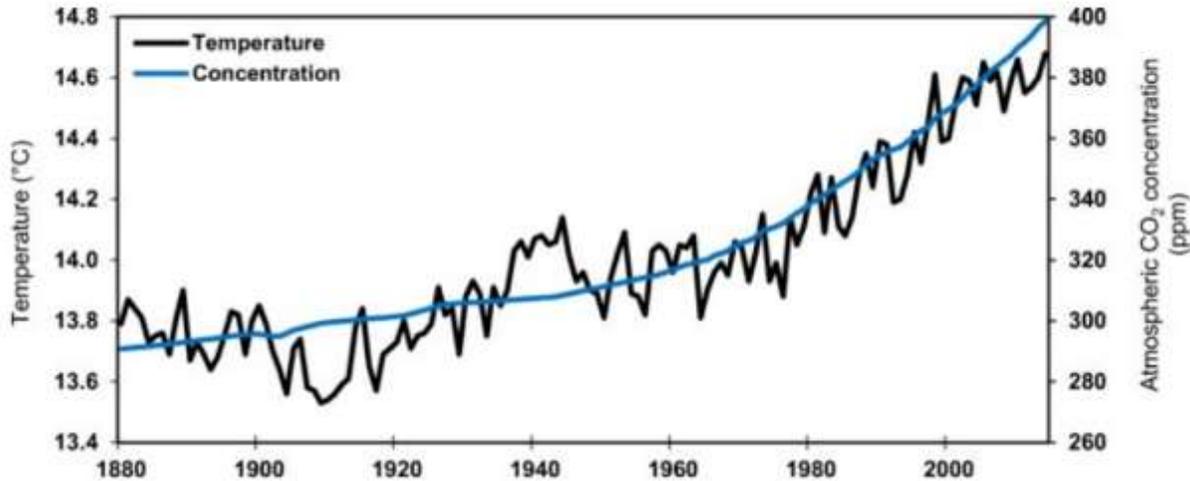
1. מגמות בגרף 1 - ככל שמעשנים יותר סיגריות כך גם עולה הסיכון המצטבר למוות מסרטן הריאות בקרב גברים ונשים.
2. יש מתאם ברור בין הגורמים. ניתן להסיק שככל שמעשנים יותר סיגריות הסיכון לחלות ולמות מסרטן ריאות עולה. הסיבה-תוצאה במקרה זו נראה לנו מובן מאליו אבל הקשר הסיבתי בין עישון סיגריות לסרטן ריאות לא היה ברור עד שנות ה-60 של המאה הקודמת. למרות המתאם בין הגורמים, רבים פקפקו בקשר הסיבתי ביניהם.
3. מגמות בגרף 2 - ניתן לראות השתקפות ע"י כרישים וגם מכירת גלידות עולים בחודשי הקיץ.
4. גם בגרף 2 יש מתאם בין הגורמים. ניתן לראות שתקיפות ע"י כרישים ומכירת גלידה מראים את אותן המגמות. מכאן ניתן לשער כי קיים קשר בין הגורמים - עלייה במכירות גלידה גורמת לעלייה בתקיפות כרישים, או הפוך.
5. בגרף 1 קיים מתאם בין עישון ומוות מסרטן ריאות. מחקרים רבים הראו היא הקשר בין הגורמים הוא סיבתי - עישון סיגריות אכן מעלה את הסיכון לחלות בסרטן ריאות.
- בגרף 2 אמנם יש מתאם בין הגורמים אך הקשר אינו סיבתי. שניהם קשורים לגורם שלישי - קיץ. בקיץ חם וקונים יותר גלידה ובקיץ יותר אנשים הולכים לים ולכן גם מספר תקיפות כרישים עולה.
6. ניתן לערוך תצפיות - כמה מתוך אוכלוסיית המעשנים חולה בסרטן ריאות לעומת אוכלוסיית הלא מעשנים. האם, למשל, קיים קשר בין כמות הסיגריות שמעשנים ליום לבין הסיכוי לחלות בסרטן ריאות. כמו כן, ניתן לערוך ניסויים של תרבויות תאים או על בע"ח כדי להראות את ההשפעה המזיקה של עישון.
7. אפשר לראות האם השמש זורחת גם בהיעדר קריאות התרנגול והאם התרנגול קורא בקול רק כאשר השמש זורחת.
8. מתאם לא בהכרח מעיד על קשר סיבתי כיוון שיש גורמים אחרים (ידועים או לא ידועים) אשר יכולים להשפיע על הנתונים. א' יכול לגרום לב' או הפוך, ב' יכול לגרום לא'. הגורמים יכולים להיות קשורים לגורם חיצוני אחר ולכן יש מתאם ביניהם. לפעמים קיים מתאם המקריות (למשל עיינו באתר הזה לדוגמאות מוזרות ומצחיקות של מתאם <https://www.tylervigen.com/spurious-correlations>) :
ניתן להציג את התשובה באופן גרפי :

How correlation happens



נספח 2 - נתוני פד"ח וטמפרטורה לאורך זמן

פחמן דו חמצני (פד"ח) נחשב לאחד מגזי החממה המרכזיים אשר גורמים להתחממות גלובלית (שיעור 3). בעירת דלקים פוסילים כגון פחם, גז טבעי ודלק ממקורות כמו תעשייה, תחבורה או ייצור חשמל גורמת לפליטת פד"ח לאטמוספירה. מחקרים רבים מראים שריכוז הפד"ח באטמוספירה נמצא בעלייה מתמדת מאז המהפכה התעשייתית שהחלה בסוף המאה ה-18. בשנת 1958 החל מדען בשם [צ'רלס קילינג](#) לחקור את השינויים בריכוז הפד"ח באטמוספירה. ריכוז פד"ח נמדד ביחידות של חלקים למיליון (ppm - parts per million) - כמה חלקיקים מתוך מיליון חלקיקי אוויר הם פד"ח. המדידות התבצעו במאונה לואה שבאיי הוואי משום שכך יכל קילינג למדוד אוויר רחוק מהשפעת אדם. הנתונים שהצטברו (מכונים עקומת קילינג), ביחד עם נתונים שנמדדו במאה ה-19 מוצגים באיור 1.



איור 1: כמות פד"ח באטמוספירה (בחלקים למיליון) וטמפרטורה עולמית ממוצעת בין השנים 1880 ל-2014. שימו לב הציר Y עבור טמפרטורה נמצא בצד שמאל והציר Y עבור פד"ח בצד ימין.

מקור:

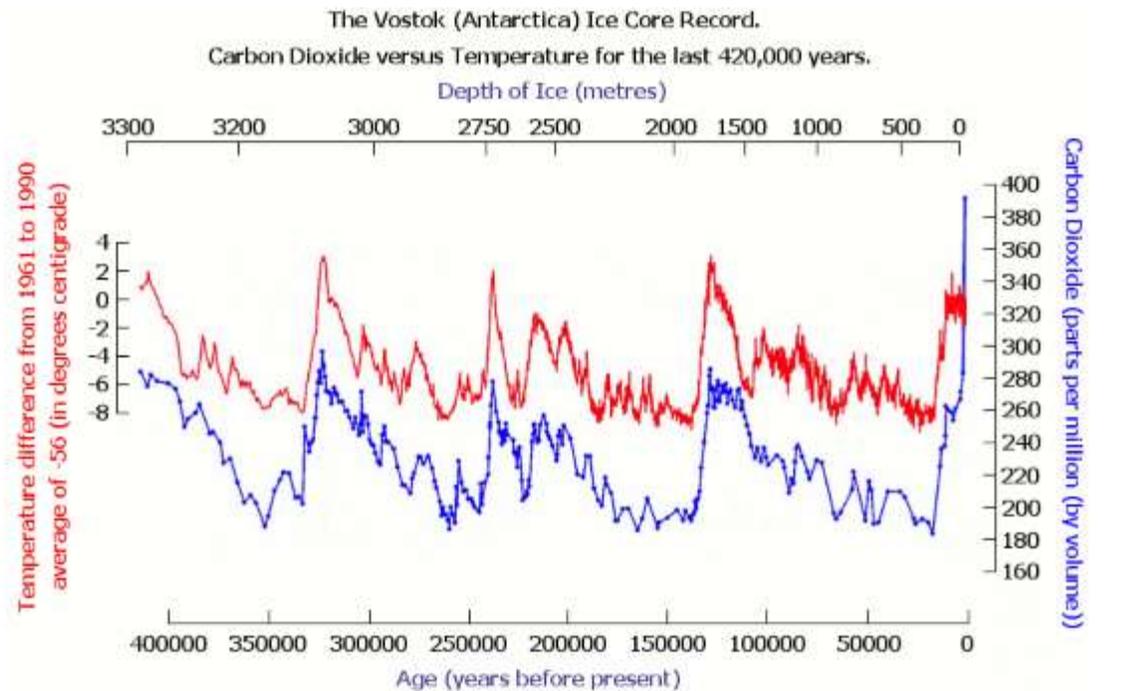
[https://www.researchgate.net/publication/335336077 A new methodology for assessing the energy use-environmental_degradation_nexus/figures?lo=1](https://www.researchgate.net/publication/335336077_A_new_methodology_for_assessing_the_energy_use-environmental_degradation_nexus/figures?lo=1)

עיינו באיור וענו על השאלות הבאות :

1. תארו את התוצאות המוצגות באיור 1.
2. הציעו מדוע יש מתאם בין פד"ח לטמפרטורה.

מדענים יכולים לשחזר טמפרטורה וגם ריכוז פד"ח אטמוספרי מן העבר הרחוק של כדה"א. אנטארקטיקה וגרינלנד יש תחנות מחקר שם קודחים לתוך הקרח ומוציאים גלעיני קרח בהם נלכדו בוועות אוויר עתיקות אשר משמרות את ההרכב האטמוספירי ההיסטורי, כולל ריכוז פד"ח. בנוסף, אנליזה כימית של מים עתיקים בגלעיני הקרח מאפשרת למדענים להעריך את הטמפרטורה ששררה באותו הזמן. שיטות נוספות מאפשרות לקבוע את גיל הקרח וכך ניתן לשחזר ריכוזי הפד"ח וטמפרטורה מהעבר הרחוק של כדה"א (איור 2). בעזרת הנתונים המוצגים באיור 2, נבחן את הקשר הנסיבתי בין טמפרטורה לבין פד"ח.

שימו לב - באיור 2 ניתן לראות את השינוי בטמפרטורה (לעומת הטמפרטורה הממוצעת בין 1961-1990) באדום ביחד עם השינוי בריכוז פד"ח בכחול. כיוון שמראים נתונים עם יחידות שונות (טמפרטורה במעלות פרנהייט וריכוז פד"ח בחלקים למיליון) יש צורך בשני צירי Y. יחידות של טמפרטורה מוצגים בציר Y מצד שמאל (אדום) והיחידות של פד"ח מוצגים בציר מצד ימין (כחול).



איור 2: נתוני טמפרטורה ופד"ח אשר נלקחו מגלעיני קרח מתחנת המחקר בווסטוק, אנטארקטיקה. הטמפרטורה מוצגת בתור הסטייה מהטמפרטורה הממוצעת בין השנים 1961-1990 (מה שמכונה אנומליית טמפרטורה). ערכים חיוביים מעידים על עלייה בטמפרטורה ביחס למוצע הזה בעוד שערכים שליליים מעידים על ירידה ביחס לטמפרטורה ממוצעת בין 1961-1990. מקור: <https://andthentheresphysics.wordpress.com/vostok-temp-vs-co2/>

3. מתאם בין ריכוז אטמוספירי של פד"ח לבין טמפרטורה מעלה את האפשרות כי קיים קשר נסיבתי בין שני הגורמים. אם אכן קיים קשר סיבתי בין שני גורמים, הרי נצפה שהמתאם ביניהם ישאר יציב לאורך זמן. לפניכם

נתונים מ-400,000 השנים האחרונות בכדה"א (איור 2). מה ניתן לומר לגבי טיב המתאם בין טמפרטורה לפד"ח לאורך זמן?

4. כפי שניתן לראות באיור 2, לאורך ההיסטוריה הארוכה של כדה"א התרחשו שינויים הן בריכוז הפד"ח והן בטמפרטורה. היו תקופות קרות ממושכות אשר מכונות תקופות קרח, וגם תקופות שבממוצע, היו [הרבה יותר חמות מהיום](#). בתקופות חמות אלו, לא היה קרח או שלג בקטבים ויש עדויות שהיו צמחים ויצורים טרופים בקווי רחב גבוהים. יש הטוענים כי השינויים אשר מתרחשים היום הם חלק מהמחזוריות הטבעית של כדה"א ולא תוצאה של פעילות האדם.

א. כדי להתייחס לטענה זו נתחיל בתרגיל מחשבתי - נדמה את העלייה בטמפרטורות ובפד"ח לעלייה בהר. אדם (ללא משקל על גבו) עולה להר. לאחר מכן הוא מטפס (שוב ללא משקל על גבו) להר שני שיותר גבוה מההר הראשון. האם המאמץ הנדרש מאותו אדם להגיע לפסגה יהיה תלוי אך ורק לגובה אליו צריך לטפס, או האם תוכלו לחשוב על גורמים נוספים אשר יכתיבו את דרגת המאמץ?

כיצד ניתן לקשר זאת לניתוח נתונים של פד"ח וטמפרטורה?

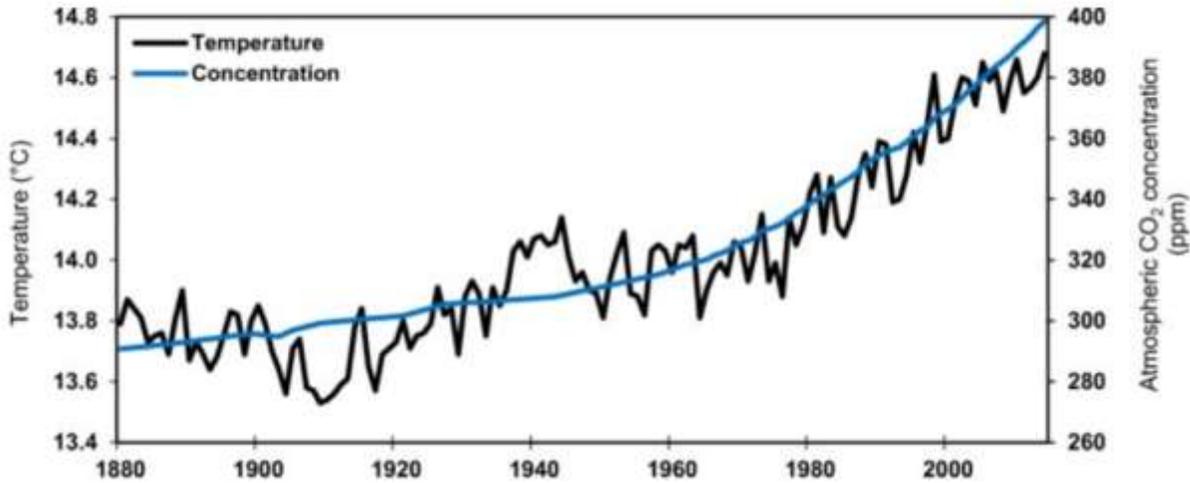
ב. להלן טבלה עם נתוני פד"ח וטמפרטורה ממועדים שונים לפני הספירה (לפנה"ס) וגם מהעידן המודרני. פד"ח נמדד ביחידות של חלקים למיליון (ppm) והטמפרטורה היא הסטייה ביחס לטמפרטורה הממוצעת בין השנים 1961-1990.

תאריך	ריכוז פד"ח (ppm)	אנומליית הטמפרטורה (°C)
48,000 לפנה"ס	190.4	-5.18
400 לפנה"ס	284.7	0
1901	296.1	0.16-
2011	391.6	0.51

- בכמה השתנו ערכי הפד"ח והטמפרטורה מ-48,000 לפנה"ס ועד 400 לפנה"ס?
 - בכמה השתנו ערכי הפד"ח והטמפרטורה מ-1901 ועד 2011?
 - מה קצב השינוי בפד"ח ובטמפרטורה בין 48,000 לפנה"ס ועד 400 לפנה"ס?
 - מה קצב השינוי בפד"ח ובטמפרטורה בין 1901 ועד 2011?
5. מה ניתן ללמוד מן החישוב בסעיף 4?

ملحق 2 – معطيات ثاني أكسيد الكربون مع مرور الزمن

يُعتبر ثاني أكسيد الكربون أحد غازات الدفيئة المركزية التي تؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة العالم (درس 3). احتراق الوقود المتحجرة، مثل: الفحم الحجري، الغاز الطبيعي ووقود من مصادر أخرى، مثل: الصناعة، المواصلات أو إنتاج الكهرباء تؤدي إلى انبعاث ثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي. بينت أبحاث عديدة أن تركيز ثاني أكسيد الكربون، في الغلاف الجوي، يتزايد بشكل مستمر منذ الثورة الصناعية التي بدأت في نهاية القرن الـ 18. في سنة 1958 بدأ العالم [تشارلس كيلينج](#) في بحث التغيرات في تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. تمّ قياس ثاني أكسيد الكربون بوحدات أجزاء من المليون- (ppm - parts per million) - كم جزء من ثاني أكسيد الكربون في مليون جزء؟ تمت القياسات في مونا لوا في جُزر هاواي، وهكذا استطاع كيلينج أن يقيس الهواء بعيدًا عن تأثير الإنسان. يعرض الرسم التوضيحي 1 المعطيات المتراكمة (المسماة منحنى كيلينج) والمعطيات التي تمّ قياسها في القرن الـ 19.



الرسم التوضيحي 1: كمية ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي (في أجزاء من مليون) ومعدل درجة الحرارة العالمية بين السنوات 1880 حتى 2014. انتبهوا، يقع محور γ الذي يمثل درجة الحرارة على اليسار، ويقع محور γ الذي يمثل ثاني أكسيد الكربون على اليمين.

المصدر: [https://www.researchgate.net/publication/335336077 A new methodology for assessing the ene_rgy_use-environmental_degradation_nexus/figures?lo=1](https://www.researchgate.net/publication/335336077_A_new_methodology_for_assessing_the_ene_rgy_use-environmental_degradation_nexus/figures?lo=1)

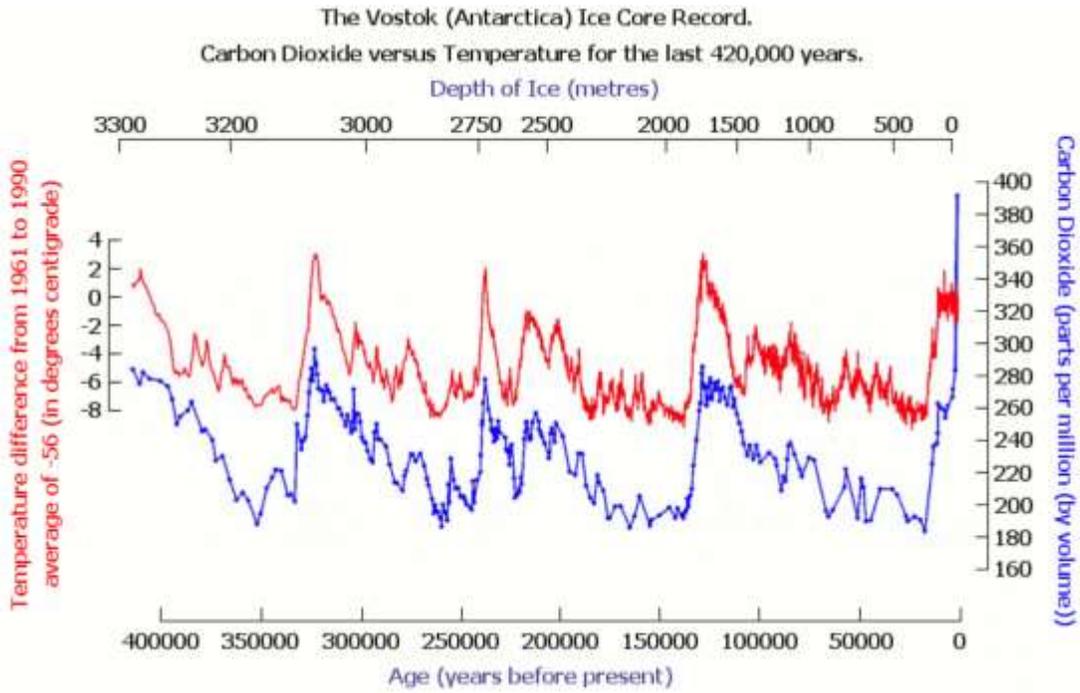
تمعنوا في الرسم التوضيحي، وأجيبوا عن الأسئلة الآتية:

1. صفوا النتائج المعروضة في الرسم التوضيحي 1.

2. اشرحوا لماذا يوجد ارتباط بين ثاني أكسيد الكربون ودرجة الحرارة؟

يستطيع العلماء استعادة درجة الحرارة وتركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي من الماضي البعيد للكرة الأرضية. يوجد في أنتاركتيكا وجرينلاند محطات بحث، يحفرون داخل الجليد ويُخرجون لُب جليد يحتجز فقاعات هواء قديمة تحفظ مكوّنات الغلاف الجوي التاريخي، بما في ذلك تركيز ثاني أكسيد الكربون. بالإضافة إلى ذلك، التحليل الكيميائي للماء القديم في لُب الجليد يُتيح للعلماء تقدير درجة الحرارة التي كانت سائدة في تلك الفترة. تُتيح طرق إضافية تحديد عُمر الجليد، وهكذا يمكن استعادة تركيز ثاني أكسيد الكربون ودرجة الحرارة من الماضي البعيد للكرة الأرضية (الرسم التوضيحي 2). بمساعدة المعطيات المعروضة في الرسم التوضيحي 2 نفحص العلاقة السببية بين درجة الحرارة وثاني أكسيد الكربون.

انتبهوا – يمكن أن نلاحظ في الرسم التوضيحي 2 تغيرات في درجة الحرارة (مقارنة بمعدل درجة الحرارة بين السنوات 1961-1990) بالأحمر، وتغيرات ثاني أكسيد الكربون بالأزرق. نحتاج إلى محورَي ٧، لأن المعطيات بوحدة مختلفة (درجة الحرارة بدرجات فهرنهايت وتركيز ثاني أكسيد الكربون بأجزاء من مليون). يعرض محور ٧ في الطرف الأيسر (أحمر) وحدات درجة الحرارة، ويعرض محور ٧ في الطرف الأيمن (أزرق) وحدات ثاني أكسيد الكربون.



الرسم التوضيحي 2: معطيات درجة الحرارة وثاني أكسيد الكربون، التي أُخذت من لُب الجليد، من محطة البحث في فوستوك، أنتاركتيكا. تمّ عرض درجة الحرارة على أنها انحراف عن معدل درجة الحرارة بين السنوات 1961-1990 (المسمى شذوذ درجة الحرارة). تُشير القيم الإيجابية إلى ارتفاع درجة الحرارة مقارنة بهذا المعدل، أما القيم السالبة تُشير إلى انخفاض درجة الحرارة مقارنة بمعدل درجة الحرارة بين السنوات 1961-1990. المصدر:

<https://andthentheresphysics.wordpress.com/vostok-temp-vs-co2/>

3. الارتباط بين تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي ودرجة الحرارة يرفع من إمكانية وجود ارتباط سببي بين العاملين. إذا كان هناك ارتباط سببي بين العاملين، نتوقع أن يكون الارتباط بينهما ثابتاً لمدة زمنية طويلة. أمامكم معطيات من 400,000 سنة من السنوات الأخيرة في الكرة الأرضية (الرسم التوضيحي 2). ماذا يمكن القول عن جودة الارتباط بين درجة الحرارة وثاني أكسيد الكربون مع مرور الزمن؟

4. نلاحظ في الرسم التوضيحي 2 حدوث تغيرات في تركيز ثاني أكسيد الكربون ودرجة الحرارة عبر التاريخ الطويل للكرة الأرضية. كانت فترات باردة مستمرة سُميت فترات جليدية، وكانت فترات معدل درجة حرارتها أعلى من درجة حرارة اليوم. في هذه الفترات الحارة، لم يكن جليد أو ثلج في الأقطاب، وهناك أدلة على وجود نباتات وكائنات حية استوائية، في خطوط عرض عالية. هناك من يدعي أن التغيرات التي تحدث اليوم هي جزء من الدورية الطبيعية للكرة الأرضية وليست بسبب نشاط الإنسان

أ. لمعالجة هذا الادعاء نبدأ بتمرين تفكيري - نُشبّه ارتفاع درجة الحرارة وثاني أكسيد الكربون بصعود الجبل. يصعد شخص (دون وزن على ظهره) جبلاً. بعد ذلك يصعد (مرة أخرى دون وزن على ظهره) جبلاً أعلى من الجبل الأول. هل الجهد المطلوب من الشخص نفسه أن يصل القمة متعلق فقط بالارتفاع الذي يجب أن يصل إليه، أو هل تستطيعون أن تفكروا بعوامل إضافية تُحدّد درجة الجهد؟

كيف يمكن أن نربط ذلك بتحليل معطيات ثاني أكسيد الكربون ودرجة الحرارة؟

ب. أمامكم جدول مع معطيات ثاني أكسيد الكربون ودرجة الحرارة من فترات مختلفة قبل الميلاد ومن العصر الحديث. تمّ قياس ثاني أكسيد الكربون بوحدة أجزاء من مليون (ppm) ودرجة الحرارة هي الانحراف مقارنة بمعدل درجة الحرارة بين السنوات 1961-1990.

تاريخ	تركيز ثاني أكسيد الكربون (ppm)	شذوذ درجة الحرارة (°C)
48,000 قبل الميلاد	190.4	-5.18
400 قبل الميلاد	284.7	0
1901	296.1	0.16-
2011	391.6	0.51

- كم تغيّرت قيم ثاني أكسيد الكربون ودرجة الحرارة من سنة 48,000 قبل الميلاد وحتى سنة 400 قبل الميلاد؟
 - كم تغيّرت قيم ثاني أكسيد الكربون ودرجة الحرارة من سنة 1901 وحتى سنة 2011؟
 - ما هي وتيرة تغيّر ثاني أكسيد الكربون ودرجة الحرارة من سنة 48,000 قبل الميلاد وحتى سنة 400 قبل الميلاد؟
 - ما هي وتيرة تغيّر ثاني أكسيد الكربون ودرجة الحرارة من سنة 1901 وحتى سنة 2011؟
5. ماذا يمكن أن نتعلّم من الحساب في بند 4ب؟

תשובות למורה:

1. יש מתאם בין טמפרטורה לריכוז פד"ח באטמוספירה. ניתן לראות עלייה הן בריכוז הפד"ח והן בטמפרטורה, כאשר קצב העלייה (השיפוע של העקומים) גבר באופן משמעותי אחרי 1960. ניתן גם לראות שלאחר שנת 2000 יש התייצבות של הטמפרטורה, אך לא של הפד"ח. למידע נוסף בנושא כנסו [לקישור](#) (באנגלית).

2. פד"ח הינו גז חממה. עלייה בריכוז הפד"ח באטמוספירה יגרום להגברת אפקט החממה ולכן להתחממות.

3. המתאם נמשך לאורך מאות אלפי שנים. כלומר יש מתאם מאוד חזק בין הגורמים. שימו לב שהנתונים רועשים - קיימים גורמים נוספים (פעילות השמש, מסלול סיבוב כדה"א סביב השמש וכו... עליהם יש מידע נוסף בחלופה 2) אשר משפיעים על טמפרטורה וגם על ריכוזי פד"ח. למרות הרעש, המגמות מאוד ברורות - יש מתאם בין טמפרטורה לפד"ח לאורך כל היסטוריית כדה"א.

*הערה למורה: מכחישי אקלים מציינים שיש נקודות לאורך ההיסטוריה הגיאולוגית של כדה"א בהם ניתן לראות שטמפרטורה עולה לפני עלייה בפד"ח. הדבר נכון אבל אינו מעיד על חוסר מתאם בין הגורמים. מערכת האקלים מאוד מורכבת וכאמור, יש גורמים נוספים אשר משפיעים על אקלים כדה"א. פד"ח לא תמיד הגורם הדומיננטי. כאשר ריכוזי הפד"ח מאוד גבוהים, כמו היום, פד"ח הוא הגורם הדומיננטי אשר משפיע על אקלים כדה"א. למידע נוסף למצוא [באן](#) (עברית) או באתרי NASA (אנגלית) המסבירים על [פעילות השמש](#) ועל [מחזורי מילנקוביץ'](#).

4. א. השיפוע וקצב העלייה. אם נעלה להר נמוך בדרך תלולה מאוד, יהיה יותר קשה מאשר לעלות להר גבוה בדרך מתונה יותר. נחזור לשינויי טמפרטורה ופד"ח - למרות שהיו טמפרטורות יותר גבוהות בעבר, צריך להסתכל גם על קצב שינויי הטמפרטורות (כפי שמחשב בסעיף ב').

4. ב. השינוי ערכי הפד"ח והטמפרטורה מ-48,000 לפנה"ס ועד 400 לפנה"ס:

- פד"ח : $284.7 - 190.4 = 94.3 \text{ ppm}$
- טמפ' : $0 - (-5.18) = 5.18$ מעלות צלזיוס.

כלומר בין השנים 48,000 לפנה"ס ועד 400 לפנה"ס הפד"ח עלה ב-94.3 ppm והטמפרטורה עלתה ב 5.18 מעלות צלזיוס.

*שימו לב לא להתבלבל בתאריכים. 48,000 לפנה"ס מוקדם מ-400 לפנה"ס.

השינוי בערכי הפד"ח והטמפרטורה מ-1901 ועד 2011:

- פד"ח : $391.6 - 296.1 = 95.5 \text{ ppm}$
- טמפ' : $0.51 - (-0.16) = 0.67$ מעלות צלזיוס.

כלומר בין השנים 1901 ועד 2011 הפד"ח עלה ב-95.53 ppm והטמפרטורה עלתה ב 5.18 מעלות צלזיוס.

קצב השינוי בפד"ח ובטמפרטורה בין 48,000 לפנה"ס ועד 400 לפנה"ס - כדי לחשב קצב, עלינו לחלק את השינוי בפד"ח/טמפ' במספר השנים שעברו. במקרה זה, 47,600 שנים.

- פד"ח : $94.3 / 47,600 = 0.002 \text{ ppm}$ לשנה
- טמפרטורה : $5.18 / 47,600 = 0.00011$ מעלות צלזיוס לשנה

קצב השינוי בפד"ח ובטמפרטורה בין 1901 ועד 2011 - כדי לחשב קצב, עלינו לחלק את השינוי בפד"ח/טמפ' במספר השנים שעברו. במקרה זה, 110 שנים.

- פד"ח : $110/95.5 = 0.868$ ppm לשנה
- טמפרטורה : $110/0.67 = 0.0061$ מעלות צלזיוס לשנה

5. ניתן לראות שפד"ח וטמפרטורה בין 48,000 לפנה"ס ועד 400 לפנה"ס עלו יותר מאשר בין 1901 ל-2011. אבל כאשר לוקחים בחשבון את מספר השנים עליהם התפרש שינוי זה (47,600 לעומת 110 שנה) רואים כי שקצבי העלייה בפד"ח ובטמפ'. למעשה, מדובר בעלייה בקצב חריג לעומת העליות בעבר.

נספח 3 - הסיבות לעליה הממוצעת בטמפרטורת כדה"א

צפו [בסרטון הבא](#) וענו על השאלות:

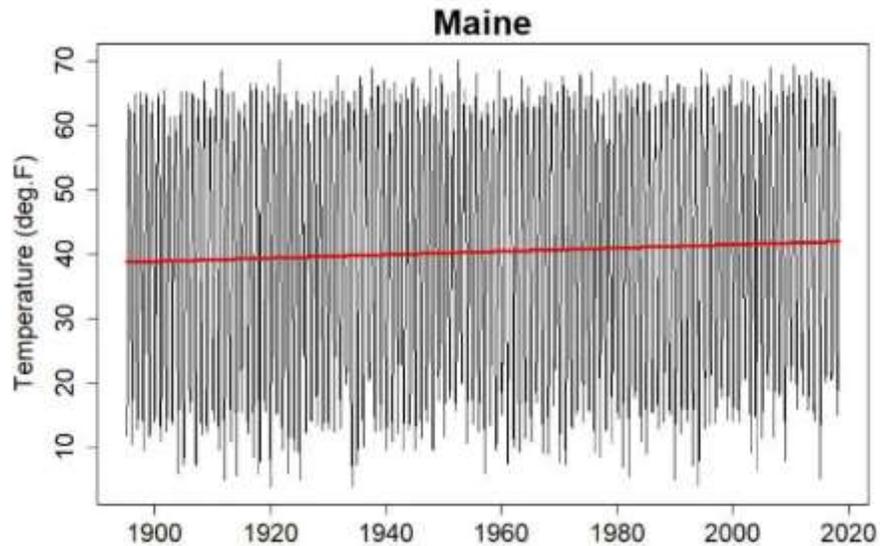
1. בזמן 0:27 בסרטון רואים גרף אשר מתאר את השינוי בטמפרטורה (מעלות צלזיוס) לאורך הזמן מהשנה 1880 ועד שנות ה-2000. בגרף זה הטמפרטורה מוצגת בתור אנומליית טמפרטורה, כלומר הסטייה מהטמפרטורה הממוצעת של שנה מסוימת מהטמפרטורה הממוצעת בין השנים 1961-1990. מה, לדעתכם, הקושי במדידת טמפרטורה עולמית?

2. מדוע לדעתכם נהוג להציג טמפרטורה ממוצעת שנתית (כמו בגרף שמופיע ב-0:28 בסרטון) ולא את הטמפרטורה של כל חודש או של כל יום? היעזרו בגרפים 1 ו-2 כדי לענות על השאלה.

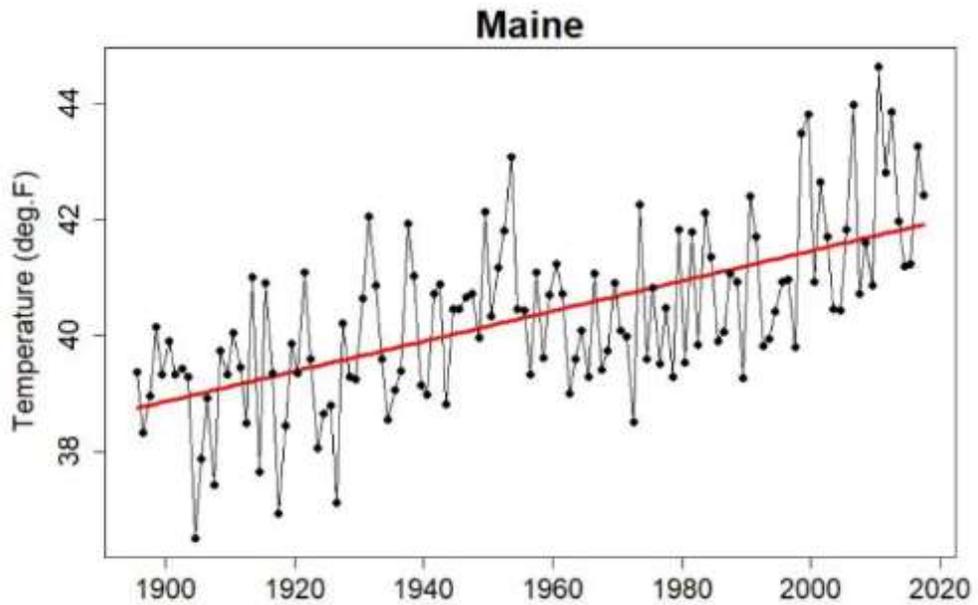
בסרטון מציגים את התצפית שכדה"א מתחמם. השאלה היא מדוע (1:45). כעת נבחן את האפשרויות השונות אשר יכולות להסביר את מגמת ההתחממות.

3. הציעו כיצד שינויים בצורת המסלול של כדה"א סביב השמש (1:50) או שינויים בנטיית ציר כדה"א (1:58) יכולים לגרום לעלייה בטמפרטורות. שימו לב ששינויים אלו משנים את המיקום של כדה"א ביחס לשמש.

4. שינויים במסלול כדה"א סביב השמש מתרחשים כל 100,000 שנה והשינויים בנטיית ציר כדה"א מתרחשים כל 41,000 שנה. כמו כן, מדידות לוויין של סוכנות החלל האמריקאית, NASA, מראים שכמות אנרגיית השמש אשר מגיעה לכדה"א קטנה. האם עובדות אלו עולות בקנה אחד עם התחממות כדה"א ב-140 שנים האחרונות?



גרף 1: הטמפרטורה החודשית הממוצעת במדינת מיין אשר נמצאת בצפון מזרח ארצות הברית. הקו האדום מייצג את קו המגמה הכללי שעובר דרך הנתונים. מקור [https://www.noaa.gov/ NOAA](https://www.noaa.gov/)



גרף 2: הטמפרטורה השנתית הממוצעת במדינת מיין אשר נמצאת בצפון מזרח ארצות הברית. הקו האדום מייצג את קו המגמה הכללי שעובר דרך הנתונים. מקור NOAA <https://www.noaa.gov/>

5. שינויים בפעילות השמש עשויים אף הם להשפיע על האקלים. בסרטון מוצג גרף (2:22) אשר מראה את השינויים בקרינה הסולרית (ממוצע מוצג בקו כחול רציף) ואת אנומליית הטמפרטורה (ממוצע מוצג בקו רציף אדום) לאורך הזמן.

א. תארו את התוצאות המוצגות בגרף. בתשובתכם התייחסו למתאם בין פעילות השמש לבין טמפרטורות.

ב. ע"פ מידע זה, האם ניתן לייחס את העלייה בטמפרטורות לשינויים בפעילות השמש?

6. בשיעור 3 למדנו על אפקט וחממה וגזי חממה. פד"ח הוא גז חממה מרכזי אשר גורם להתחממות גלובלית. ע"פ המידע בסרטון, האם יש אפשרות שמקורות טבעיים לפד"ח כגון הרי געש (2:47) גורמים לעלייה בריכוז באטמוספירה ולהתחממות?

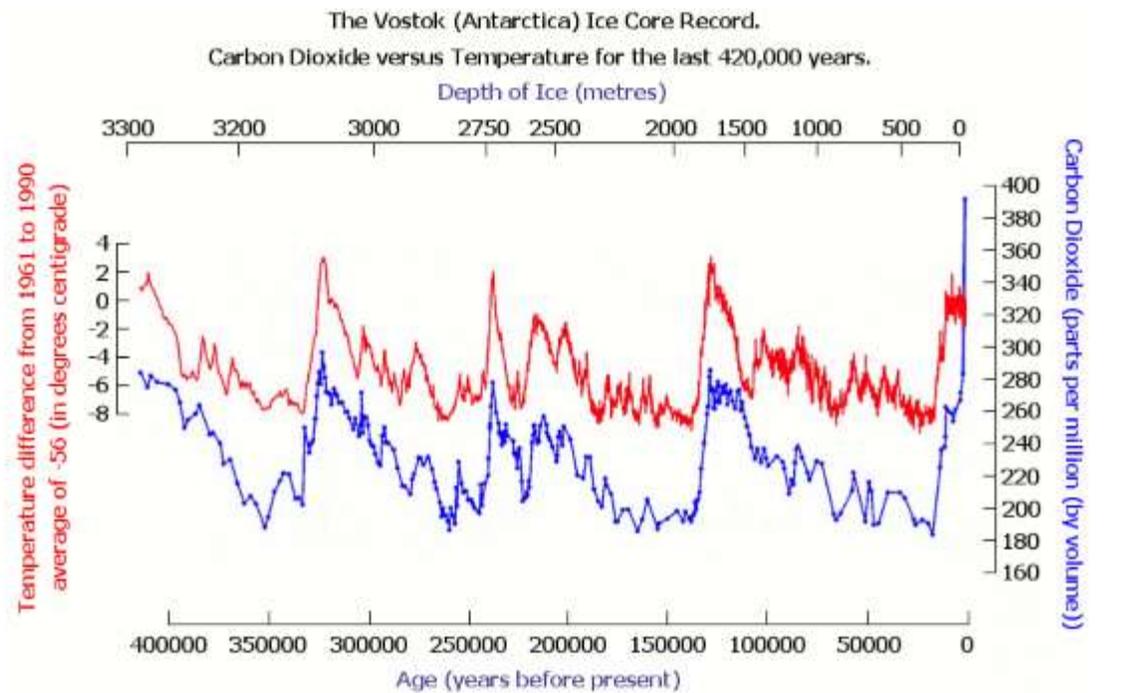
7. לפעילות האדם יכולה להיות גם השפעה מקררת. למרות זאת, טמפרטורות ממשיכות לעלות. תנו כמה דוגמאות מתוך הסרטון לפעילויות שיכולות לגרום לקירור (החל מ 3:02).

8. להלן גרף (גרף 3) אשר מתאר את הקשר בין טמפרטורה לריכוזי פד"ח באטמוספירה לאורך 400,000 שנים האחרונות.

א. תארו את התוצאות. התייחסו למתאם בין טמפרטורה לריכוזי פד"ח לאורך זמן.

ב. מתחילת המאה ה-20 ועד השנה 2020, כלומר ב-120 שנים האחרונות, ריכוזי פד"ח עלו בכ- 120 חלקים למיליון (ppm) והטמפרטורה העולמית הממוצעת עלתה במעלה אחת. לעומת זאת מ-48,000 לפנה"ס ועד 400 לפנה"ס, כלומר בתקופה של 47,600 שנה, ריכוזי פד"ח עלו בכ- 94 חלקים למיליון (ppm) והטמפרטורה עלתה ב-5.1 מעלות. מה ניתן לומר על קצב העלייה בטמפרטורה ובפד"ח ב-120 שנים האחרונות לעומת בעבר?

ג. האם תשובתכם לסעיף 8 מחזקת או מחלישה את הטענה שהתחממות כדה"א הוא תוצאה של פעילות האדם?



גרף 3 - נתוני טמפרטורה ופד"ח אשר נלקחו מגלעיני קרח מתחנת המחקר בווסטוק, אנטארקטיקה. הטמפרטורה מוצגת בתור הסטייה מהטמפרטורה הממוצעת בין השנים 1961-1990 (מה שמכונה אנומליית טמפרטורה). ערכים חיוביים מעידים על עלייה בטמפרטורה ביחס למוצע הזה בעוד שערכים שליליים מעידים על ירידה ביחס לטמפרטורה ממוצעת בין 1961-1990.

מקור: <https://andthentheresphysics.wordpress.com/vostok-temp-vs-co2/>

9. הסבירו את המונח "shifting baselines" כפי שמתואר בסרטון (4:40).

ملحق 3 – أسباب ارتفاع معدل درجة حرارة الكرة الأرضية

شاهدوا [الفيلم القصير الآتي](#) وأجيبوا عن الأسئلة:

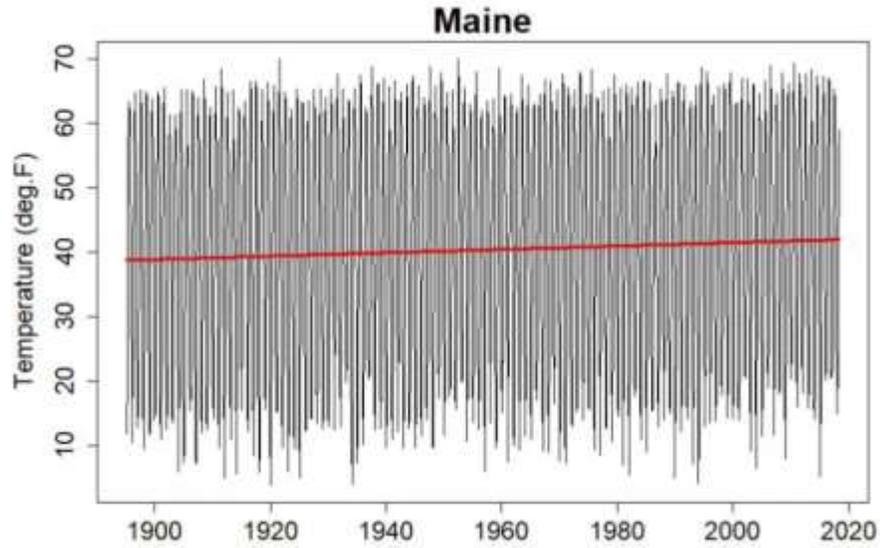
1. في الزمن 0:27 في الفيلم القصير نرى رسم بياني يصف تغيرات درجة الحرارة (درجات مئوية) خلال الفترة الزمنية من سنة 1880 حتى سنة 2000. تم عرض درجة الحرارة في هذا الرسم البياني كشذوذ درجة الحرارة، أو انحراف معدل درجة حرارة سنة معينة مقارنة بمعدل درجة الحرارة بين السنوات 1990-1961. ما هي الصعوبة، حسب رأيكم، في قياس درجة الحرارة العالمية؟

2. لماذا تعتقد أنه من المعتاد عرض معدل درجة حرارة سنوي (كما يظهر في الرسم البياني في الزمن 0:28 في الفيلم القصير)، وليس درجة حرارة كل شهر أو كل يوم؟ استعينوا بالرسمين البيانيين 1 و 2 للإجابة عن السؤال.

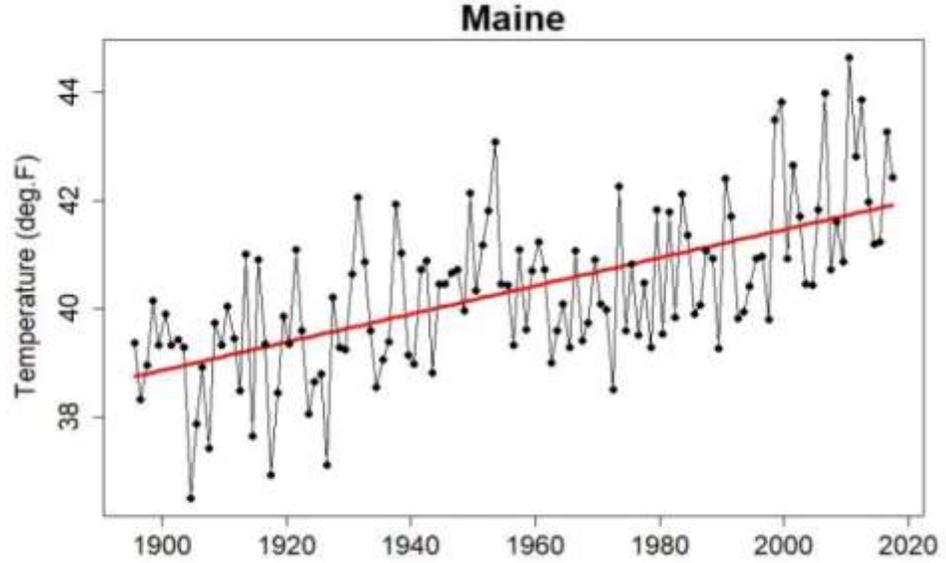
يعرض الفيلم القصير مشاهدة ارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية. السؤال الذي يطرح نفسه لماذا (1:45) نفحص الآن الإمكانيات المختلفة التي يمكن أن تشرح توجه ارتفاع درجة الحرارة؟

3. اقترحوا كيف يمكن أن يؤدي تغيير في شكل مسار الكرة الأرضية حول الشمي (1:50) أو تغيير بميل محور الكرة الأرضية (1:58) إلى ارتفاع درجة الحرارة. انتبهوا إلى أن هذه التغيرات تغير مكان الكرة الأرضية نسبة للشمس.

4. يحدث تغيير في مسار الكرة الأرضية حول الشمس كل 100,000 سنة، ويحدث تغيير في ميل الكرة الأرضية كل 41,000 سنة. كما بينت قياسات القمر الصناعي، التابع لوكالة الفضاء الأمريكية، NASA، انخفاض في الطاقة الشمسية التي تصلنا. هل تتوافق هذه الحقائق مع ارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية في الـ 140 سنة الأخيرة؟



الرسم البياني 1: معدل درجة الحرارة الشهري في دولة مين، في شمال شرق الولايات المتحدة. يمثل الخط البياني الأحمر خط التوجه العام الذي يمر عبر المعطيات. المصدر NOAA <https://www.noaa.gov/>



الرسم البياني 2: معدل درجة الحرارة السنوي في دولة مين، في شمال شرق الولايات المتحدة. يمثل الخط البياني الأحمر خط التوجه العام الذي يمر عبر المعطيات. المصدر: NOAA <https://www.noaa.gov/>

5. قد تؤثر تغيرات في نشاط الشمس على المناخ. في الفيلم القصير، تم عرض رسم بياني (2:22) يصف تغيرات أشعة الشمس (الخط البياني الأزرق المتواصل يعرض معدل الإشعاع) وشذوذ درجة الحرارة (الخط البياني الأحمر المتواصل يعرض معدل شذوذ درجة الحرارة) مع مرور الوقت.

أ. صفوا النتائج المعروضة في الرسم البياني. تطرقوا في إجاباتكم إلى الارتباط بين نشاط الشمس ودرجة الحرارة.

ب. حسب هذه المعلومات، هل نستطيع أن نُنسب ارتفاع درجة الحرارة إلى التغيرات في نشاط الشمس؟

6. تعلّمنا في درس 3 عن ظاهرة الدفيئة وغازات الدفيئة؟ ثاني أكسيد الكربون هو غاز دفيئة مركزي يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة العالم. حسب المعلومات التي وردت في الفيلم القصير، هل يمكن أن تؤدي مصادر طبيعية لثاني أكسيد الكربون كالجبال البركانية (2:47) إلى ارتفاع تركيزه في الغلاف الجوي وإلى ارتفاع درجة الحرارة؟

7. يمكن أن يكون لنشاط الإنسان تأثير تبريد أيضًا. على الرغم من ذلك، تستمر درجات الحرارة في الارتفاع. أعطوا عدة

أمثلة، من الفيلم القصير، يمكن أن تؤدي إلى التبريد (ابتداء من 3:02).

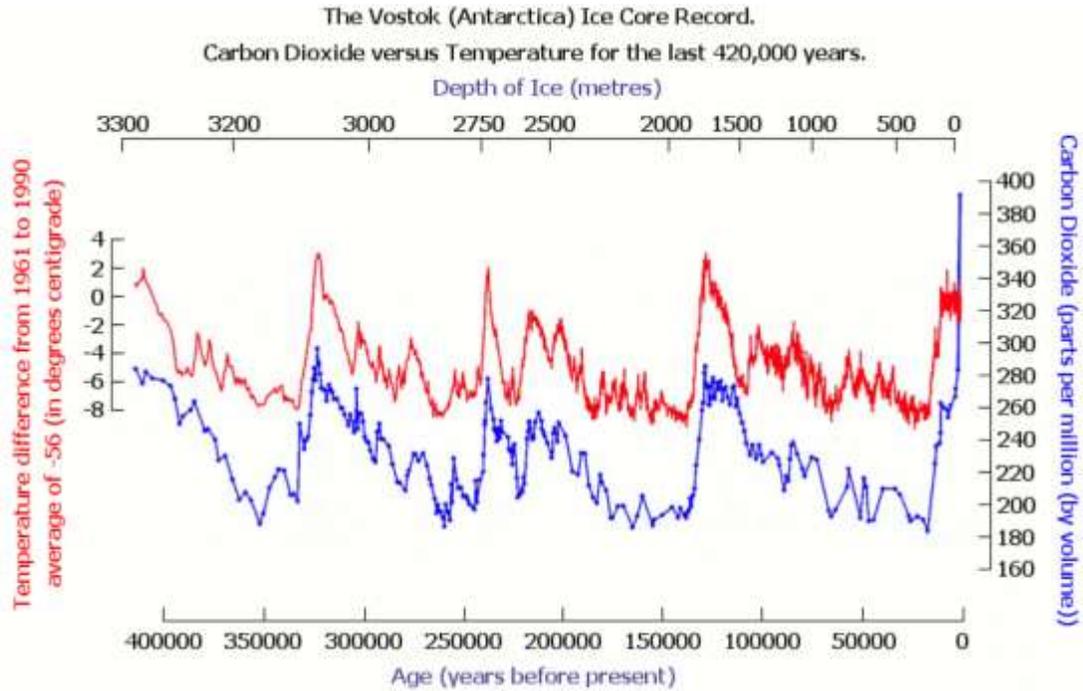
8. فيما يلي رسم بياني (رسم بياني 3) يصف العلاقة بين درجة الحرارة وتركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي

خلال الـ 400,000 سنة الأخيرة.

أ. صفوا النتائج. تطرقوا إلى الارتباط بين درجة الحرارة وتركيز ثاني أكسيد الكربون مع مرور الوقت.

ب. منذ بداية القرن الـ 20 وحتى سنة 2020، في الـ 120 سنة الأخيرة، ازداد تركيز ثاني أكسيد الكربون بحوالي 12 جزء من مليون (ppm) وارتفع معدل درجة الحرارة العالمي بدرجة واحدة. أما من سنة 48000 قبل الميلاد وحتى سنة 400 قبل الميلاد، خلال 47600 سنة، ارتفع تركيز ثاني أكسيد الكربون بحوالي 94 جزء من مليون (ppm) وارتفعت درجة الحرارة بـ 5.1 درجة. ماذا يمكن القول عن وتيرة ارتفاع درجة الحرارة وتركيز ثاني أكسيد الكربون في الـ 120 سنة الأخيرة مقارنة بالماضي؟

ب. هل إجاباتكم في بند 8 ب تدعم أو تُضعف الادعاء أن ارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية نتيجة لنشاط الإنسان؟



الرسم البياني 3 - معطيات عن درجة الحرارة وثنائي أكسيد الكربون، أُخذت من نُب الجليد، من محطة البحث بوستوك، أنتاركتيكا. تم عرض درجة الحرارة كانهراف عن معدل درجة الحرارة بين السنوات 1961-1990 (نسميه شذوذ درجة الحرارة). تُشير القيم الموجبة إلى ارتفاع درجة الحرارة مقارنة بهذا المعدل، أما القيم السالبة تُشير إلى انخفاض درجة الحرارة مقارنة بمعدل درجة الحرارة بين السنوات 1961-1990.

المصدر: <https://andthetheresphysics.wordpress.com/vostok-temp-vs-co2/>

9. اشرحوا المصطلح "shifting baselines" كما هو معروض في الفيلم القصير (4:40).

תשובות למורה:

1. מטרת השאלה להבין את חשיבות הממוצעים וכיצד בכלל מחשבים טמפרטורה עולמית. לא ניתן לדעת טמפרטורה עולמית ממדידה במקום אחד בלבד. לכן יש חשיבות לשאלות הבאות: איפה הטמפרטורה נמדדת? הרי שצריך איזון בין תחנות האזורים חמים ותחנות באזורים קרים; כמה מדידות יש? יש יתרון ומספר רב של תחנות - יותר ייצוג; האם הטמפרטורה נמדדת ביבשה או בים? בשיעור 3 ראינו שהטמפרטורה במים משתנה יותר לאט מאשר ביבשה. צריך לקחת את זה בחשבון.
2. בגרף 1 ניתן לראות הרבה עליות וירידות בטמפרטורה החודשית. כלומר, הנתונים מאוד רועשים וקשה לראות מגמות. הסיבה לכך היא קשורה לעונות השנה, בקיץ חם ובחורף קר. כאשר מחשבים ממוצע שנתי, מנטרלים חלק גדול מהרעש העונתי כיוון הטמפרטורות החודשיות נכנסות לחישוב הממוצע. כך ניתן להבחין במגמות ברורות.
3. שינויים אשר יקרבו את כדה"א לשמש יגרמו לעלייה באנרגיית שמש אשר מגיעה לפני כדה"א ולכן גם להתחממות.
- *אכן קיימים שינויים בצורת המסלול של כדה"א סביב השמש וגם בנטיית ציר כדה"א אשר גורמים לשינויים משמעותיים באקלים. שינויים אלו מחזוריים ומכונים מחזורי מילנקוביץ' על שם המדען שגילה אותם. למידע נוסף ניתן להכנס [לדף ויקיפדיה בנושא](#) (עברית) או לאתר של [NASA](#) (אנגלית) שם תמצאו גם הדמיות.
4. העובדות המצוינות בשאלה סותרות את האפשרות ששינויים במסלול כדה"א סביב השמש ובנטיית ציר כדה"א הם אלו שגורמים להתחממות. שינויים בגורמים האלו מתרחשים על פני זמנים של מאות אלפי ועשרות אלפי שנה בעוד שמדובר על התחממות שהתרחשה על פני כ-150 שנים. יותר חשוב מזה, אין שינויים בכמות אנרגיית השמש אשר מגיעה לפני כדה"א (למעשה יש ירידה).
5. א. קיים מתאם בין קרינה סולרית לבין אנומליית טמפרטורה בערך עד השנה 1960. כאשר יש עלייה בקרינה, יש גם עלייה בטמפרטורה. לאחר 1960 חלה ירידה בקרינה הסולרית אבל הטמפרטורה ממשיכה לעלות.
5. ב. לא. אם היה קשר סיבתי בין טמפרטורה ופעילות השמש, הינו מצפים שהמתאם ביניהם ישמר לאורך זמן. למידע נוסף, כנסו לקישור [באתר הידען](#). *שימו לב: מתאם אינו מחייב קשר סיבתי אך, לרוב, קשר סיבתי מחייב מתאם.
6. לא. כמות הפד"ח אשר נפלטת כתוצאה מהתפרצויות הרי געש היא זניחה לעומת הפד"ח שנפלט כתוצאה מפעילות האדם (פי 100 פחות).
7. כריתת עצים גורמת לכך שפני כדה"א יותר בהירים ולכן מחזירים יותר אנרגיית שמש בחזרה לחלל (העצים כהים לעומת הקרקע). גם אירוסולים*, מזהמים מסוימים ועננים מחזירים יותר אנרגיית שמש לחלל ולכן גורמים להתקררות.
- *אירוסולים: חלקיקים זעירים שמרחפים באטמוספירה. מקורם יכול להיות טבעי (למשל מהתפרצויות הרי געש) או מלאכותי (למשל כתוצאה של שריפת דלקים)
8. א. קיים מתאם בין פד"ח לטמפרטורה עולמית ממוצעת לאורך ההיסטוריה הארוכה של כדה"א. כאשר פד"ח עולה, גם טמפרטורה עולה ולהפך - כאשר פד"ח יותר, טמפרטורות יורדות.

8.ב קצב העלייה בריכוז הפד"ח ובטמפרטורה ב-120 שנה האחרונות הרבה יותר מהיר (ניתן לחשב את הקצבים אם רוצים, ע"י חילוק ההפרש בריכוזי פד"ח/טמפרטורה במספר השנים שעברו).

8.ג קצב העלייה בריכוז הפד"ח ובטמפרטורה חריג בהשוואה לעבר. למרות שהיו תנודות בריכוזי פד"ח ובטמפרטורות, השינויים האלו התרחשו על פני מספר רב מאוד של שנים. דבר זה מחזק את ההשערה שפעילות בני אדם היא זו שגורמת להתחממות.

9. כדי להבין מה הן טמפרטורות חריגות, קודם צריך להגדיר מהן טמפרטורות "רגילות" - מהו קו הבסיס שממנו מתחילים? הרעיון אומר שאנחנו מעריכים שינויים בהתאם למה שמשווים אותם, כלומר בהתאם למה שאנו מגדירים כ"קו הבסיס". אם אנחנו נשווה את הטמפרטורה הממוצעת של היום לזו של לפני שנה או שנתיים לא נבחין בשינויים משמעותיים. רק אם נשווה את הטמפרטורה ל"קו בסיס" של טמפרטורה הממוצעת מ-150 שנים האחרונות, נבחין בעלייה משמעותית.

נספח 4 - תמצית הממצאים של ה-IPCC

הפאנל בין ממשלתי לשינוי אקלים, ה- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) הוקם בשנת 1988 על ידי התוכנית הסביבתית של האוּם – UNEP והארגון המטאורולוגי העולמי - WMO. הפאנל הוקם כממשק בין מדע למדיניות בנושא שינוי אקלים, שמטרתו להעריך ולתכלל את הידע המדעי הקיים בנושא שינוי אקלים והשלכותיו, באמצעות בחינת אלפי מאמרים ומחקרים, ולנתח את רמת אי הוודאות ופערי הידע הקיימים. קראו את תמצית הממצאים של ה-IPCC בהקשר של התחממות גלובלית ועליה בריכוז הפד"ח וענו על השאלה בעקבותיה:

תמצית הממצאים:

בסוף ספטמבר 2013 פורסם החלק הראשון של הדוח החמישי של ה- IPCC – Assessment Report 5, הבוחן את הנתונים המדעיים לתופעות שינוי אקלים.

יותר מ-800 מדענים מ-85 מדינות היו מעורבים בחיבור הדוח האחרון-5AR, ועוד אלפי מומחים ערכו בקרה עליו, כדי להבטיח שמגוון הדעות המדעיות ייוצגו בו.

הדו"ח פורסם זמן קצר לפני מפגש הצדדים ה-19 לאמנת שינוי אקלים, שהתקיים בוורשה בנובמבר 2013. הצדדים לאמנת האקלים ימשיכו במו"מ לקראת אימוץ הסכם גלובלי חדש שאמור להיחתם בפריז ב-2015 ולהיכנס לתוקף בשנת 2020.

החלק ה-1 של הדו"ח החמישי מחזק מאד את הבסיס המדעי להנחה כי פעילות האדם היא הגורם העיקרי להתחממות הגלובלית שנרשמה מאמצע המאה ה-20, תופעה אשר תמשיך גם אם יינקטו צעדי הפחתה משמעותיים של גזי חממה, וזאת בגלל היקף גזי החממה שכבר נפלטו ונמצאות באטמוספירה.

הדו"ח קובע בוודאות של 95% שהתחממות כדור הארץ מאז שנת 1950 נגרמת על ידי פעילות אנושית (כגון: פעילות של שריפת דלקים פוסיליים). חשוב להדגיש, כי בדו"ח שפורסם בשנת 2007 רמת הוודאות המדעית נקבעה על 90%; בדוח השלישי שפורסם בשנת 2001 נקבעה רמת הוודאות על 66% ובדו"ח שפורסם עוד ב-1995 עמדה רמת הוודאות נקבעה על 50%.

עיקרי הדוח מצביעים על התופעות הבאות:

- חלה עלייה במספר הימים והלילות החמים

- כל אחד משלושת העשורים האחרונים היה חם יותר מקודמו, והחם ביותר מאז 1850. ברמת סבירות גבוהה נקבע, כי בחצי הצפוני של כדור הארץ, שלושת העשורים האחרונים היו החמים ביותר ב-1,400 השנים האחרונות;
- ברמת וודאות של 95%, ההתחממות הגלובלית מתרחשת בעקבות פעילות האדם;
- האוקיינוסים (הקולטים 30% מה-CO2 הנפלט) חומציים יותר;
- מפלס הים עלה במאה האחרונה ב-19 ס"מ, ועליית המפלס עוד תגדל על פי ההערכות בין 26 ל-82 ס"מ, גם בשל הפשרת שלגים וקררונים. הסיבה לעליית מפלס פני הים הינה בעיקר עקב קליטת החום (כ-90% ממנו וכ-30% מפליטות CO2 בידי אדם) דבר אשר גורם להמסת קרחונים ולהתפשטות המים ועליית המפלס;
- כתוצאה משינויי האקלים 35%-85% מהקרחונים ייעלמו במהלך המאה הקרובה, בכפוף לצעדים שיינקטו (אמנם באנטרקטיקה נרשם גידול קטן בקרח הימי, אך הסיבות לכך לא ברורות);
- תופעות אקלים קיצוניות יתרחבו, וצפוי שמספר גלי החום ועוצמותיהם יעלו. אזורים לחים יהיו רטובים יותר, ואזורים יבשים יהפכו צחיחים יותר;
- ריכוזי CO2 וגזי חממה הקיימים כיום באטמוספירה הם הגבוהים ביותר בצורה משמעותית ב-800,000 השנים האחרונות לפחות;
- ריכוז ה-CO2 באטמוספירה עלה ב-40% מאז המהפכה התעשייתית;
- 20% מה-CO2 הנפלט יישאר באטמוספירה למשך 1,000 שנה, גם לאחר שייפסקו הפליטות לאוויר, ולכן חלק מתופעות שינוי האקלים הן בלתי הפיכות, אלא אם תימצא דרך לשאוב את ה-CO2 מהאטמוספירה.

ענו על השאלות הבאות:

1. מה העמדה של ה-IPCC בנוגע לקשר בין התחממות גלובלית ועלייה בריכוזי פד"ח באטמוספירה? כיצד ומדוע השתנתה רמת הוודאות של מסקנות הוועדה עם הזמן?
2. לאור מה שלמדתם בשיעור, הסבירו מה הקשר בין פעילות האדם, פד"ח וטמפרטורה עולמית ממוצעת. נמקו את תשובתכם.

ملحق 4 – تلخيص نتائج IPCC

في سنة 1988، أجرت خطة هيئة الأمم المتحدة للبيئة المحيطة – UNEP ومنظمة الأرصاد الجوية العالمية WMO اجتماعًا حكوميًا دوليًا بخصوص تغيّر المناخ. تمّ إنشاء هذا الاجتماع للتنسيق بين العلم والسياسة بموضوع تغيرات المناخ، والهدف منه تقييم وتركيز المعرفة العلمية الموجودة بخصوص تغير المناخ وانعكاساته، وقد تمّ ذلك بواسطة فحص آلاف المقالات والأبحاث، وتحليل مستوى الشك والفجوات المعرفية الموجودة.

اقرأوا تلخيص IPCC في سياق ارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية وتركيز ثاني أكسيد الكربون، وأجيبوا عن السؤال في أعقابه:

تلخيص النتائج:

في نهاية أيلول 2013، نُشر القسم الأول من التقرير الخامس IPCC – Assessment Report 5، الذي يفحص المعطيات العلمية لظواهر تغيرات المناخ.

اشترك أكثر من 800 عالم من 85 دولة في كتابة التقرير الأخير 5AR، وفحصه أكثر من آلاف المختصين للتأكد من أن تظهر فيه جميع الآراء العلمية المتنوعة.

تمّ نشر التقرير قبل اللقاء الـ 19 لميثاق تغيرات المناخ، الذي عُقد في وارسو في شهر تشرين ثانٍ 2013. استمر الأطراف المشتركون في ميثاق المناخ في المفاوضات، من أجل تبني اتفاق عالمي جديد كي يُوقع عليه في باريس سنة 2015، ويدخل حيز التنفيذ سنة 2020.

القسم 1 من التقرير الخامس يدعم الأساس العلمي للافتراض أن نشاط الإنسان هو السبب المركزي لارتفاع درجة الحرارة العالمية، التي بدأت من منتصف القرن العشرين، وتستمر هذه الظاهرة حتى لو اتخذت تدابير لتقليل غازات الدفيئة بشكل كبير بسبب كمية الغازات الدفيئة التي انبعثت وموجودة في الغلاف الجوي.

بيّن التقرير بشكل مؤكد أنّ 95% من ارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية، منذ سنة 1950، بسبب نشاط الإنسان (مثلًا: حرق الوقود المتحجرة). من المهم أن نشدد على أن التقرير الذي نُشر سنة 2007، بيّن هذه العلاقة بشكل مؤكد بنسبة 90%، وفي التقرير الثالث الذي نُشر سنة 2001 كانت نسبة التأكيد 66%، وفي التقرير الثالث الذي نُشر سنة 1995 كانت نسبة التأكيد 50%.

يُشير التقرير إلى الظواهر المركزية الآتية:

- طرأ ارتفاع في عدد الأيام التي فيها النهار والليل حار جدًا.

- كل عقد من العقود الثلاثة الأخيرة، كان حارًا أكثر من العقد السابق له، والأكثر سخونة منذ سنة 1850. حُدِّدَ باحتمال كبير أن العقود الثلاثة الأخيرة، في النصف الشمالي للكرة الأرضية، كانت الأكثر سخونة خلال السنة الأخيرة.
- يحدث ارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية بسبب نشاط الإنسان بشكل مؤكد بنسبة 95%.
- المحيطات (التي تستوعب 30% من ثاني أكسيد الكربون CO₂ المنبعث) أصبحت أكثر حموضة.
- ارتفع مستوى سطح البحر، في القرن الأخير، 19 سم، وسيزداد ارتفاع مستوى سطح البحر حسب التقديرات بين 26 إلى 82 سم بسبب انصهار الثلوج والجليد أيضًا. السبب المركزي لارتفاع مستوى سطح البحر هو استيعاب الحرارة (حوالي 90% منه وحوالي 30% من انبعاث CO₂ بسبب الإنسان)، مما يؤدي إلى انصهار الجليد، تمدد الماء وارتفاع مستوى سطح البحر.
- نتيجة لتغيرات المناخ سيختفي 35%-85% من الجليد خلال القرن القادم، وذلك وفقًا للخطوات التي تُتخذ (في الواقع، ارتفع الجليد البحري في أنتاركتيكا بنسبة قليلة، والأسباب لذلك غير واضحة).
- تزداد ظواهر المناخ المتطرفة، ومن المتوقع أن تزداد موجات الحرّ وشدتها. المناطق الرطبة تكون أكثر رطوبة، والمناطق الجافة تكون أكثر جفافًا.
- تركيز CO₂ وغازات الدفيئة الموجودة اليوم في الغلاف الجوي، هي الأعلى بشكل ملحوظ خلال الـ 800,000 سنة الأخيرة على الأقل.
- ارتفع تركيز CO₂ في الغلاف الجوي بنسبة 40% منذ الثورة الصناعية.
- 20% من الـ CO₂ المنبعث يبقى في الغلاف الجوي لمدة 1000 سنة، بعد أن تتوقف عملية الانبعاث إلى الهواء أيضًا، لذا قسم من ظواهر تغيير المناخ غير عكسية، إلا إذا وُجدت طريقة لشفط الـ CO₂ من الغلاف الجوي.

أجيبوا عن الأسئلة الآتية:

3. ما موقف IPCC بالنسبة للعلاقة بين ارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية وارتفاع تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي؟ كيف ولماذا تغير مستوى التأكد من استنتاجات اللجنة مع مرور الوقت؟
4. على ضوء ما تعلمتم في الدرس، اشرحوا العلاقة بين نشاط الإنسان، ثاني أكسيد الكربون ومعدل درجة الحرارة العالمي. عللوا إجاباتكم.

תשובות למורה:

1. IPCC קבעו שהתחממות גלובלית היא תוצאה של העלייה בריכוזי פד"ח באטמוספירה. רמת הוודאות השתנתה משום ככל שמדענים חוקרים את מערכת האקלים יותר כך מבינים יותר לעומק את מנגנוני הפעולה של אותה מערכת - מחזקים השערות מסוימות וסותרים השערות אחרות. ככל שהידע והתובנות מתקדמות כל גם עולה מידת הביטחון לגבי המסקנות. יש להדגיש כי רמות ביטחון של 90% הינה מאוד גבוהה ודורשת תימוכין מכמה מקורות בלתי תלויים.



פחמן דו חמצני ומחזור הפחמן

שיעור 5

התנסות: פד"ח ומחזור הפחמן

ידע למורה: כפי שלמדנו בשיעור 4, בעידן המודרני ריכוז יתר של פחמן דו חמצני (פד"ח) באטמוספירה הוא אחד הגורמים העיקריים להתחממות הגלובלית. היכרות עם הדינמיקה של פד"ח באטמוספירה מהווה בסיס חשוב להבנה של השפעת פעילות האדם על האקלים וגם לדיון בפתרונות למשבר האקלים (ראו יחידת פתרונות). בשיעור זה נעסוק במחזור הפחמן בדגש על פד"ח. נלמד מה הם המקורות ומה הם המבלעים (גורמי סילוק) של פד"ח אטמוספרי. נפתח את השיעור באנלוגיית אמבטיה בה התלמידים יבינו שריכוז הפד"ח באטמוספירה נשלט ע"י כניסה וגם ע"י יציאה של פד"ח. בגוף השיעור נלמד על מנגנוני כניסה (מקורות) ומנגנוני יציאה (מבלעים) של פד"ח לאטמוספירה. בסיכום נחזור לאנלוגיה כדי לקשור יחד את מה שלמדנו.

פתיחה:

נפתח את השיעור באנלוגיה בה נשווה את הפד"ח באטמוספירה למים באמבטיה (ניתן לצייר אמבטיה על הלוח או להקרין את התמונה שמופיעה בהמשך). האמבטיה היא האטמוספירה והפד"ח המים. מים יכולים לזרום פנימה ולצאת החוצה מהאמבטיה. כאשר כמות המים שנכנסת לאמבטיה ביחידת זמן (שטף* המים פנימה) שווה לכמות המים היוצאת ליחידת זמן (שטף מים החוצה) - מפלס המים באמבטיה לא משתנה. אבל אם מעלים את שטף המים פנימה (הוספת פד"ח לאטמוספירה ע"י פעילות האדם) מבלי לשנות את השטף היוצא החוצה, האמבטיה תתמלא ולבסוף המים יגלשו החוצה. ע"י שימוש באנלוגיה זו, התלמידים יבינו שריכוז הפד"ח באטמוספירה נשלט ע"י גורמים שמזרימים פד"ח פנימה (מקורות) וגם ע"י גורמים שמוציאים פד"ח מהמאגר האטמוספרי (מבלעים או גורמי סילוק). בגוף השיעור נלמד על אותם המקורות ומבלעים לפד"ח. להלו הנחיות לדיון:

שימו לב - האנלוגיה אינה מושלמת. מה יקרה אם נעצור לחלוטין את פליטת גזי החממה ממקור אנתרופוגני? באנלוגיה שלנו, זרם המים פנימה יקטן משמעותית ועודפי המים מתרוקנים מייד. בעולם האמיתי, לגזי חממה יש זמן שהות ממושך באטמוספירה. גם אם הפליטות יפסקו לחלוטין, יקח שנים רבות עד שריכוזם באטמוספירה ירד.

*שטף - כמות החומר (למשל מים או אנרגיה) שנכנס/יוצא ליחידת זמן.

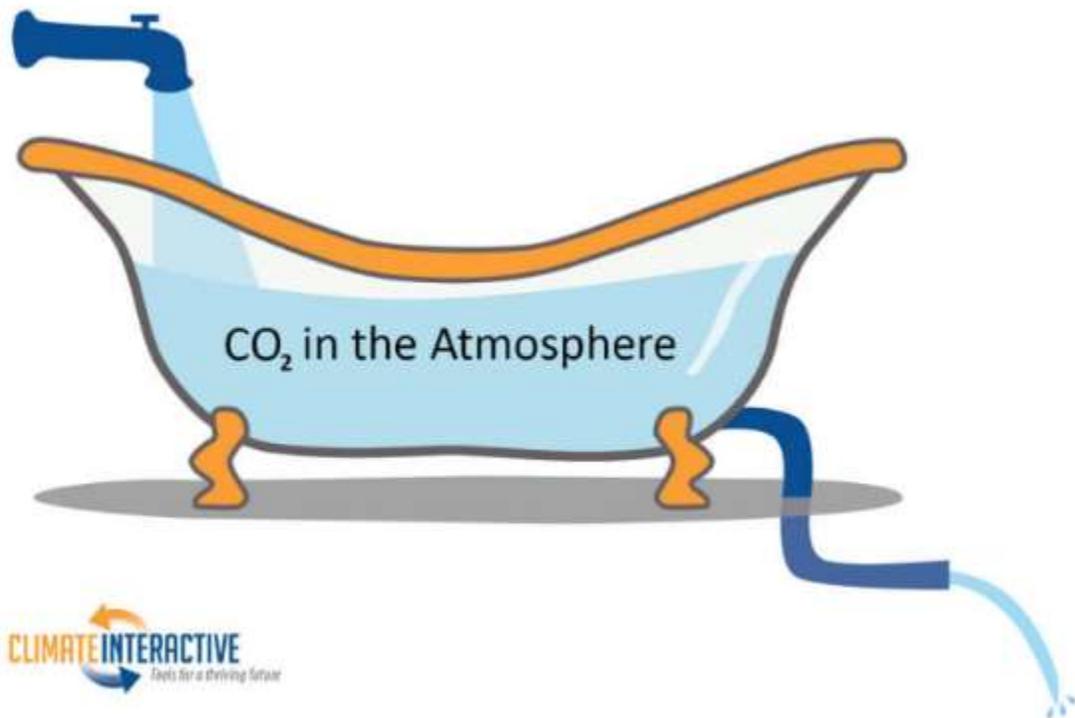
אנו יודעים שפחמן דו חמצני (פד"ח) הינו גז חממה (שיעור 3) שיש לו השפעה חזקה על אקלים כדה"א (שיעור 4). דמיינו שהאטמוספירה של כדה"א היא אמבטיה. מים נכנסים לאמבטיה דרך הברז ומים יכולים גם לצאת מהאמבטיה.

1. מה קובע את מפלס המים באמבטיה?

2. המים מייצגים את הפד"ח באטמוספירה. יש גורמים אשר מכניסים פד"ח למערכת וגם גורמים אשר מוציאים פד"ח מהמערכת. מה יקרה אם זרימת המים פנימה תגבר מאוד (בהנחה שכמות המים היוצאים לא משתנה)?

3. ככל שבני אדם ממשיכים לצרוך דלקים פוסילים וכך לפלוט גזי חממה כמו פד"ח לאטמוספירה (האמבטיה), מפלס המים באמבטיה ממשיך לעלות. מה ניתן לעשות כדי להחזיר את מפלס המים ל"נורמה"?

בשיעור הזה נלמד על התהליכים כשמזרימים פד"ח לאטמוספירה (מקורות) וגם על התהליכים שמוציאים פד"ח מהאטמוספירה (מבלעים).



Overall framing by Dr. John Sterman, MIT Sloan

<https://www.climateinteractive.org/tools/climate-bathtub-simulation/>

תשובות

1. מפלס המים נקבע ע"י כמות המים שנכנסים ויוצאים ליחידת זמן. אם כמות המים הנכנסים שווה לכמות המים היוצאים ליחידת זמן, אז מפלס המים ישאר קבוע.
2. אם זרימת המים תתגבר - האמבטיה תתמלא
3. על מנת להחזיר את מפלס המים ל"נורמה" יש להפחית את הזרם פנימה או להגביר את הזרם היוצא החוצה.

גוף השיעור:

חלופה 1 - התלמידים יתבוננו בהדמייה של [NASA](#) אשר מראה שינויים בריכוזי פד"ח אטמוספירי בעולם במהלך שנה. לאחר מכן נדון במקורות ובמבלעים (גורמי סילוק) של הפד"ח. ניתן לנהל את השיעור כדיון ע"פ שאלות מנחות ודגשים או לחלופין ניתן לתת את השאלות בתור דף עבודה לתלמיד (נספח 1 - דף שאלות + תשובות למורה). ניתן לבחור את הרמה ואת דרגת ההעמקה אשר מתאימים לכיתה.

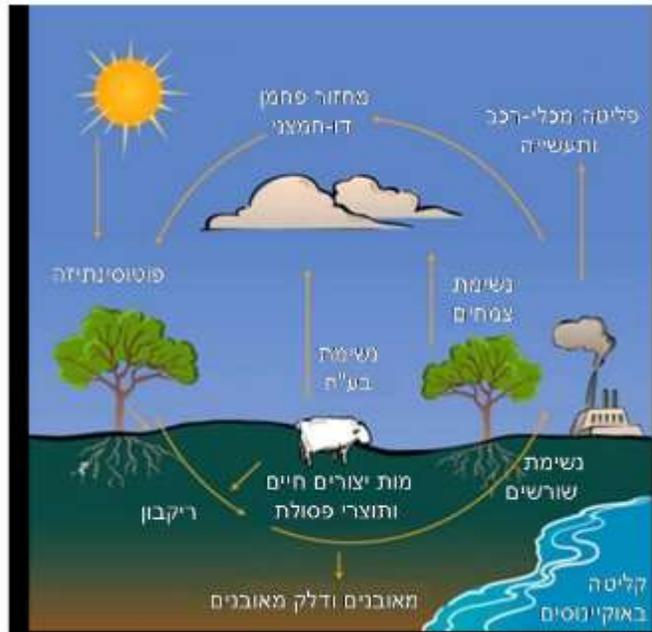
הערות על הסרט: עדיף להראות לתלמידים את הסרטון ללא קול בהתחלה כדי שלא ישמעו את ההסבר. לאחר מענה על השאלות ודיון ניתן לראות שוב עם הסבר. בסרטון מוצג מודל של ריכוזי פד"ח אטמוספירי בעולם. מודל זה נבנה בעזרת מחשב-על ומכיל נתוני פד"ח של שנה שלמה. כמחצית מהפד"ח שנפלט מבעירת דלקים פוסילים נשאר באטמוספירה והחצי השני עובר למאגרי פחמן ביבשה ובים. ניתן לשים לב שבחצי כדור הארץ הצפוני

הפד"ח מרוכז סביב מקורות פליטה גדולים באירופה, אסיה וצפון אמריקה. הפד"ח אינו נשאר במקום ומתפשט עם הרוח הרחק ממקור הפליטה. חצי כדה"א הדרומי פולט פחות פד"ח ביחס לצפון.

בחצי הדרומי של כדה"א פוטוסינתזה בים (ע"י מיקרואצות) וביבשה (ע"י צמחים) גורמת לירידה בריכוזי פד"ח בחודשי הקיץ והאביב. ניתן לראות את הירידה הזאת כאשר הצבעים האדומים או סגולים נעלמים.

בסרטון גם מוזכרת פליטת פחמן חד-חמצני. ניתן להרחיב בנושא אך אין התייחסות לזה במסגרת השיעור.

חלופה 2 - התלמידים יצפו בסרטון (יש תרגום בעברית) ויקיימו דיון. מצורפות שאלות מנחות (יחד עם תשובות) שיכולות לשמש את המורה לצורך הדיון.



1. בסרטון מתארים מחזור פחמן בסיסי. שרטטו את המחזור הזה. שימו לב למקורות ולמבלעים (תהליכים אשר מסלקים) של פד"ח.

מחזור פחמן לדוגמה:

מקור האזור: מכון דוידסון

2. האם יש מקורות או מבלעים לפד"ח אשר לא מוזכרים בסרטון? הוסיפו אותם לשרטוט.

לא מוזכרים:

- קליטה של פד"ח ע"י הים (תהליכים פיזיקליים) - פד"ח מתמוסס בים.
- פוטוסינתזה בים. שימו לב - פוטוסינתזה ימית ע"י מיקרו-אצות חשובה מאוד ואחראית על כ-50% היצרנות הראשונית בכדה"א.
- גם צמחים מבצעים נשימה תאית ומשחררים פד"ח (אבל הם נטו מבלע ולא מקור)
- רקבון של חומר מת משחרר פד"ח

3. מהו המקור של דלקים פוסיליים? מה הקשר שלהם למחזור הפחמן?

המקור של דלקים פוסיליים הם צמחים ובע"ח שמתו בעבר, נקברו במעמקים ותחת לחץ החומר האורגני הפכו לדלקים פוסיליים (מאובנים). בדרך כלל חומרים אלו נותרים מתחת לקרקע אלא שבני אדם מוציאים אותם בקידוחים ושורפים אותם. בעירת דלקים פוסיליים משחררת פחמן לאטמוספירה, בצורת פד"ח, שהיה נשאר מתחת לקרקע אילולי פעילות האדם.

קישור לסרטון כיצד נוצרים נפט וגז (עברית, כ 2.5 דקות).

4. מה קורה בזמן בעירת דלקים פוסילים?

שחרור של פד"ח (וגזי חממה אחרים) לאטמוספירה.

5. בסרטון נאמר שאנחנו מעמיסים על מחזור הפחמן וש "אנחנו מתקיפים את מחזור הפחמן משני הכיוונים". מה הכוונה בכך?

מצד אחד פעילות בני אדם גורמת לשחרור של פד"ח לאטמוספירה ע"י בעירת דלקים פוסילים ומצד שני בני אדם גם כורתים עצים שהם מבלע חשוב של פד"ח.

חלופה 3- סימולציה של מחזור הפחמן

מידע למורה: בגוף השיעור התלמידים יתנסו בהרצת [סימולציה](#) פשוטה אשר מבוססת על מחזור הפחמן. (נספח 2 - דף הנחיות לתלמידים + תשובות למורה). ההדמייה דומה לאלו אשר משמשים הדמיות שלה - IPCC. ההדמייה מאפשרת לתלמידים להכיר ולבחון מקורות ומבלעים של פד"ח אטמוספרי תוך כדי בחינה של השפעתם על הטמפרטורה בעתיד. בפרט, הסימולציה מתייחסת לפליטת פד"ח ע"י בעירת דלקים פוסילים (מקור) ולכריתת יערות / ייעור וקליטת פד"ח ע"י האוקיינוס.

מקור הסימולציה וגם הבסיס לתוכן השאלות:

<https://test-learnermedia.pantheonsite.io/wp-content/interactive/envsci/carbon/index.html>

פעילות זו יכולה לשמש להערכה חלופית. בכל אחת מהחלופות ניתן להעריך את רמת התשובות של התלמידים לשאלות בדפי העבודה.

סיכום:

לסיכום נחזור לאנלוגיה של האמבטיה. נשאל את התלמידים:

- מה מייצג זרם המים פנימה (מקורות של פד"ח)?
- מה מייצג זרם המים החוצה (מבלעים)?
- ע"פ מודל האמבט - האם הם יוכלו לעלות רעיונות כיצד להתמודד עם התחממות גלובלית ברמת העקרון? (להקטין פליטות או לעלות את גורמי הסילוק).
- האם יש להם הצעות לאנלוגיות אחרות שיכולות לתאר את ריכוז הפד"ח באטמוספירה? (למשל, חשבון בנק)

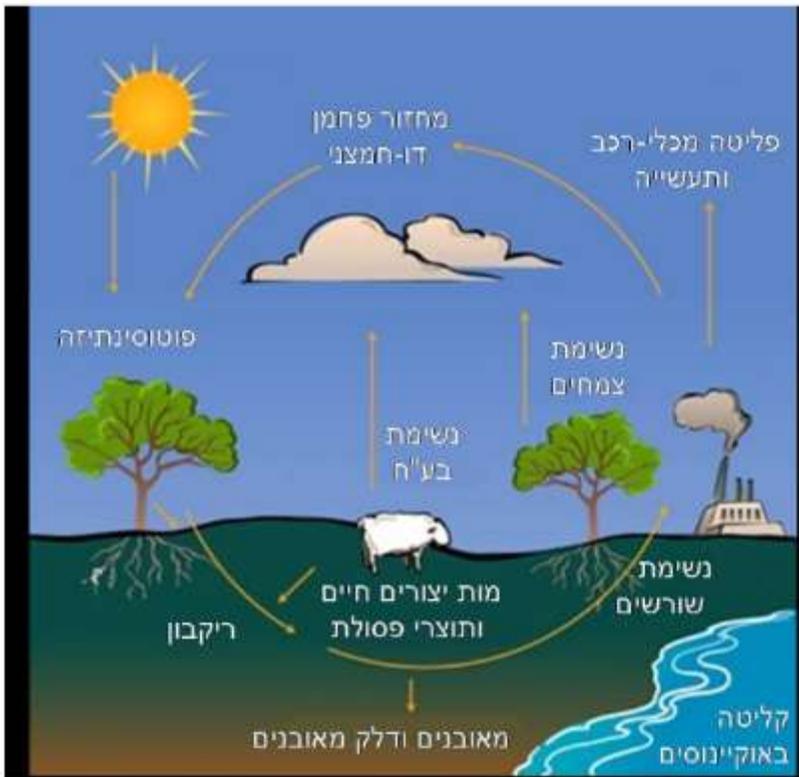
נספח 1 - שינויים בריכוזי פד"ח אטמוספירי בעולם

צפו הדמייה של [NASA](#) אשר מראה שינויים בריכוזי פד"ח אטמוספירי בעולם במהלך שנה.

1. בהדמיית הפד"ח של NASA ניתן לראות שינויים בריכוזים של פד"ח עם הזמן - ענני פד"ח מופיעים או נעלמים, עולים ויורדים בריכוז. שערך מאיפה הפד"ח מגיע, כלומר מה המקורות לפד"ח אטמוספירי? לאן הפד"ח "נעלם", כלומר מה הם המבלעים של פד"ח? כאשר אתם עונים על השאלות קחו בחשבון את התהליכים אשר תורמים לפד"ח ואת אלו שמסלקים פד"ח?

2. האם יש דפוסים שניתן לשים לב אליהם בסרטון? האם תוכלו להסביר את הדפוסים?

3. מחזור הפחמן. ניתן לבחור בין אופציות א,ב,ג,



אפשרות א.

האיור מראה את מחזור הפחמן עם דגש על הפד"ח באטמוספירה. רשמו את כל התהליכים שמהווים מקור לפד"ח וגם את אלו שמהווים מבלע (כלומר מסלקים) לפד"ח מהאטמוספירה.

הגדירו מה הם דלקים פוסילים (דלקים מאובנים) ומה הקשר שלהם למחזור הפחמן.

מקור האיור: מכון דוידסון

אפשרות ב.

באיור ניתן לראות מאגרי הפחמן בלבן או בצהוב, כאשר גודל המאגר מצוין בסוגריים ליד שמו. כמו כן מוצגים השטחים השנתיים (כמות פחמן לשנה) של פחמן אשר עובר ממאגר אחד לשני. באדום מוצג פחמן שמקורו בעירת דלקים פוסילים. למידע נוסף כנסו [לאתר של NASA](#) בנושא מחזור הפחמן.

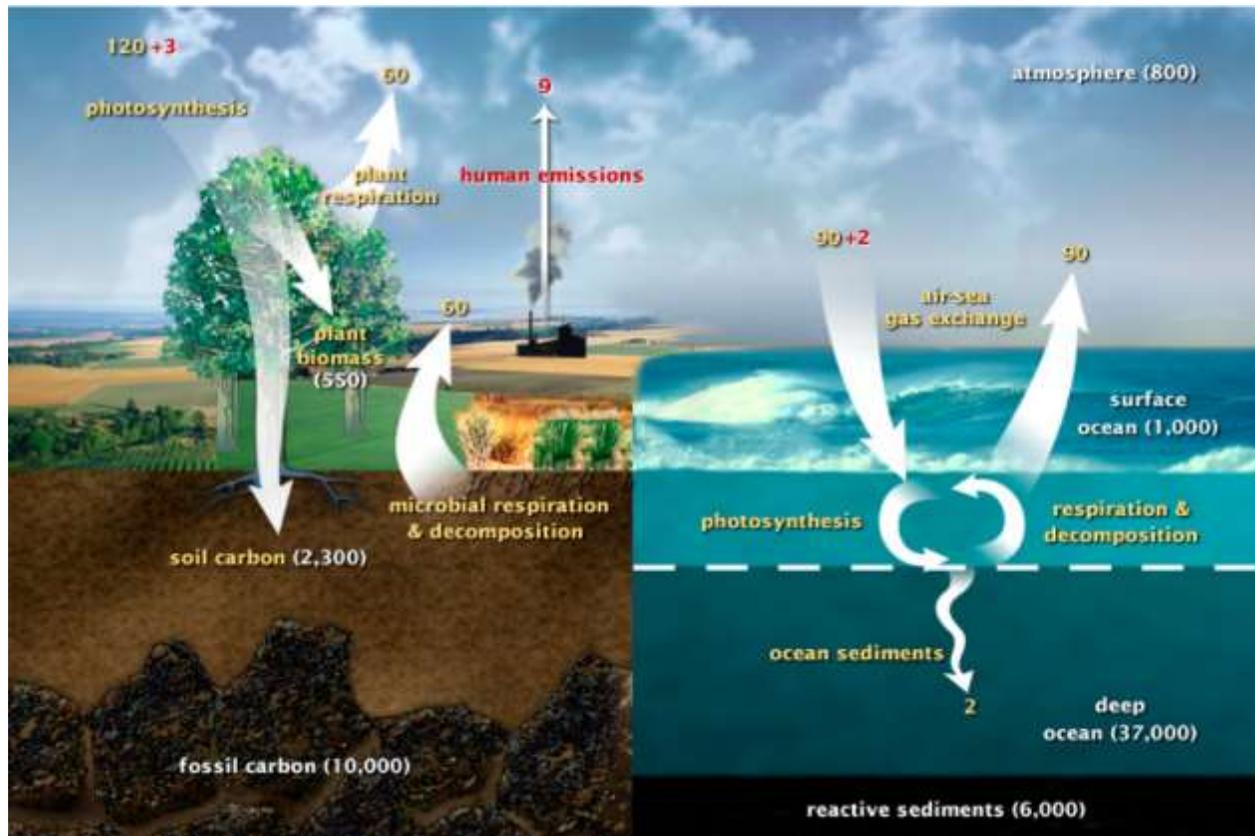
שאלות:

1. מהו המאגר הגדול ביותר של פחמן (מספרים לבנים בסוגריים)?

2. מה המאגר הכי קטן של פחמן?

3. שטף פליטות פחמן ע"י בני אדם אינם גדולים. למה בכל זאת יש להם השפעה כל כך גדולה?

4. שימו לב למאגר הגדול של דלקים פוסילים. מה הקשר של דלקים פוסילים (דלקים מאובנים) למחזור הפחמן?



מקור האיור: <https://earthobservatory.nasa.gov/features/CarbonCycle>

אפשרות ג.

הכינו שרטוט בסיסי של מחזור הפחמן. בשרטוט יש לציין את מאגרי הפחמן, כלומר איפה ניתן למצוא פחמן (ים, יבשה, אטמוספירה, בע"ח וצמחים) ואת התהליכים והמעברים של פחמן בין המאגרים. שימו לב לכלול את המאגר של הדלקים הפוסיליים (דלקים מאובנים) ולקשרו למחזור הפחמן ולהתחממות גלובלית.

הערה - דלק פוסילי (מאובן) כשמו הוא דלק הנוצר מהתאבנות של אורגניזמים בסביבה מחוסרת חמצן. גילם של האורגניזמים ושל דלק המאובנים שנוצר מהם הוא בדרך-כלל מיליוני שנים, ולעיתים אף מעל 650 מיליון שנה. דלקי המאובנים שנוצרים הם פחם, נפט וגז טבעי – שמכילים כולם כמות גדולה של פחמן.

קשר למחזור הפחמן - הפחמן הנמצא טמון בדלקים פוסילים בד"כ נשאר שם לפרקי זמן מאוד ארוכים (כמו מיליוני שנה) ולכן אינו משתתף במחזור הפחמן ה"מהיר" המונע ע"י תהליכים ביולוגיים כמו נשימה תאית ופוטוסינתזה. בני אדם כורים את הדלקים הפוסילים ושורפים אותם וכך משתחרר פד"ח לאטמוספירה ומצטבר שם.

למידע נוסף על דלקים פוסילים כנסו לקישור של מכון וויצמן.

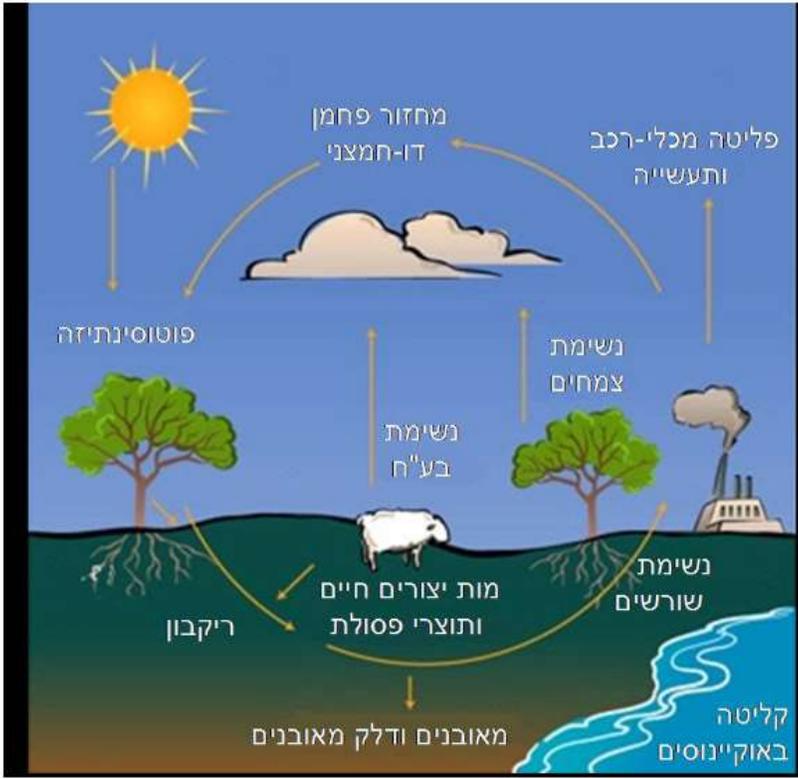
ملحق 1 - تغيرات تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، في العالم

شاهدوا محاكاة [NASA](#) التي تُبيّن تغيرات تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، في العالم خلال سنة.

1. يمكن أن نرى في محاكاة NASA تغيرات في تركيز ثاني أكسيد الكربون مع مرور الوقت - ظهور أو اختفاء سحابات ثاني أكسيد الكربون، ارتفاع وانخفاض تركيزها. افترضوا، من أين يصل ثاني أكسيد الكربون؟ ما هي مصادر ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي؟ إلى أين "يختفي" ثاني أكسيد الكربون، أو ما هي مبتلعات ثاني أكسيد الكربون؟ عندما تُجيبون عن الأسئلة خذوا بعين الاعتبار العمليات التي تساهم في ارتفاع ثاني أكسيد الكربون والعمليات التي تُبعد ثاني أكسيد الكربون؟

2. هل يوجد في الفيلم القصير أنماط يمكن الانتباه إليها؟ هل نستطيعون أن نشرحوا الأنماط؟

3. دورة الكربون. يمكن أن نختار إحدى الإمكانيات أ، ب، ت.



إمكانية أ.

يصف الرسم التوضيحي دورة الكربون مع التركيز على ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. اكتبوا جميع العمليات التي تشكل مصدر لثاني أكسيد الكربون والتي تشكل مبتلع (تُبعده) لثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي.

عرّفوا ما هي الوقود المتحجرة (الوقود الأحفورية)، وما علاقتها بدورة الكربون؟

مصدر الرسم التوضيحي: معهد ديفيدسون.

إمكانية ب.

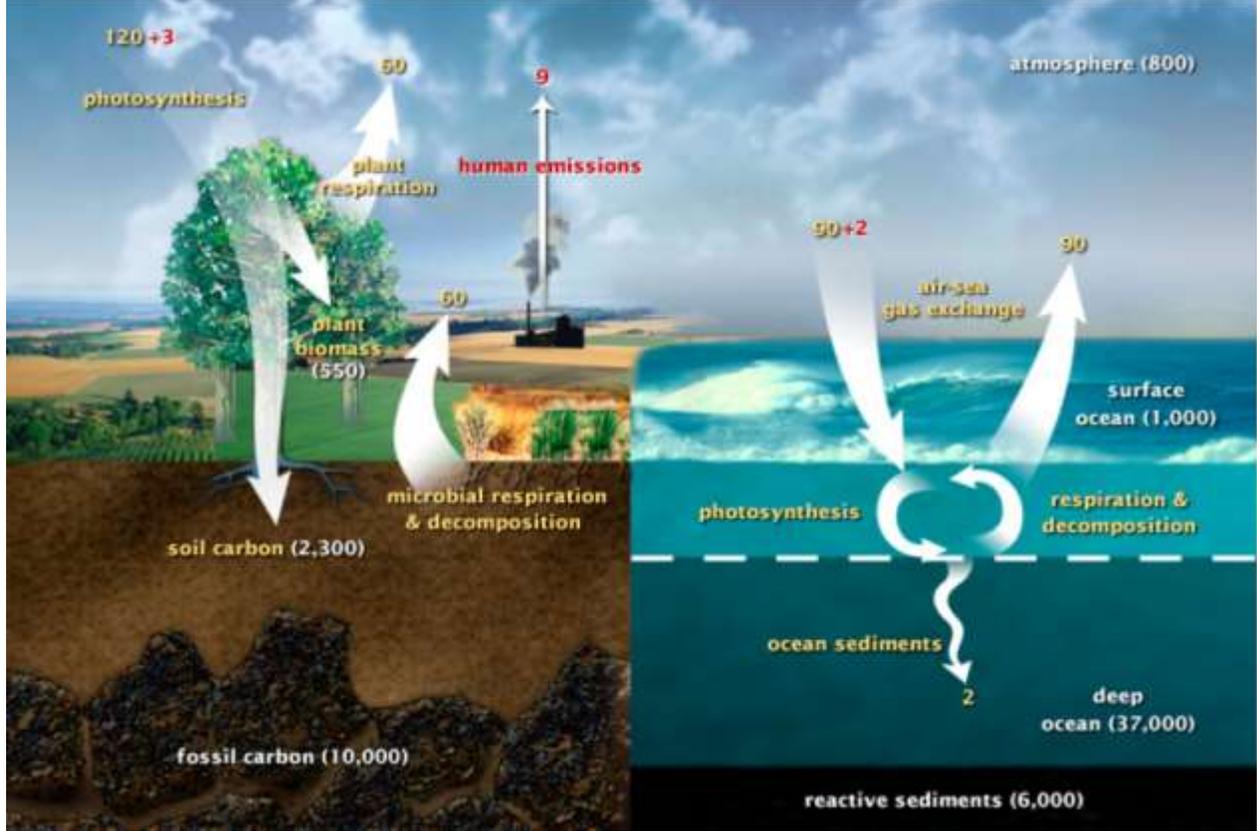
يمكن أن نرى في الرسم التوضيحي مجمعات الكربون (باللون الأبيض أو الأصفر)، وقد كُتب كبر المجمع بين قوسين إلى جانب الاسم. كما نرى التدفق السنوي (كمية الكربون في السنة) للكربون الذي ينتقل من مجمع إلى آخر. تمّ عرض الكربون الذي مصدره من احتراق الوقود المتحجرة باللون الأحمر. للمزيد من المعلومات ادخلوا موقع [NASA](#) واقراءوا عن دورة الكربون.

أسئلة:

1. ما هو أكبر مجمع للكربون (الأعداد البيضاء بين قوسين)؟

2. ما هو أصغر مجمع للكربون؟

3. تدفق انبعاث ثاني أكسيد الكربون بواسطة الإنسان ليس كبيرًا. لماذا على الرغم من ذلك يوجد له تأثير كبير جدًا؟
4. انتبهوا إلى مجّمع الوقود المتحجرة الكبير. ما العلاقة بين الوقود المتحجرة (الوقود الأحفورية) ودورة الكربون؟



مصدر الرسم التوضيحي: <https://earthobservatory.nasa.gov/features/CarbonCycle>

إمكانية ت.

حضّروا رسمة أساسية لدورة الكربون. اذكروا في الرسمة مجمعات الكربون، أين يمكن أن نجده (بحر، يابسة، غلاف جوي، حيوانات ونباتات) وما هي العمليات وكيفية انتقال الكربون بين المجمعات. انتبهوا إلى إضافة مجّمع الوقود المتحجرة (الوقود الأحفورية) وربطه بدورة الكربون وبارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية.

ملاحظة: الوقود المتحجر (الأحفوري) هو وقود يُنتج من تحجر كائنات حية في بيئة محيطة لا يوجد فيها أكسجين. عُمر الكائنات الحية والوقود المتحجرة التي نتجت منها هو ملايين السنوات تقريبًا، وأحيانًا أكثر من 650 مليون سنة. الوقود المتحجرة الناتجة هي: الفحم الحجري، النفط والغاز الطبيعي – تحتوي جميعها على كميات كبيرة من الكربون.

العلاقة بدورة الكربون – الكربون الموجود في الوقود المتحجرة يبقى هناك فترات زمنية طويلة (ملايين السنوات)، لذا لا يشترك بدورة الكربون "السريعة" التي تُحركها عمليات بيولوجية، مثل: التنفس الخلوي والتركيب الضوئي. يستخرج الإنسان الوقود المتحجرة ويحرقها، وهكذا ينطلق ثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي ويتراكم هناك.

للمزيد من المعلومات عن الوقود المتحجرة ادخلوا إلى [رابط](#) معهد وايزمن.

תשובות למורה

1. מקורות ומבלעים לפד"ח באטמוספירה - הטבלה הבאה מפרטת את המקורות ומבלעים העיקריים במערכת ואינה מקיפה את כולם. למידע נוסף כנסו [לקישור הבא](#) באתר של NASA (אנגלית) או [לאתר של מכון דוידסון בנושא](#) (עברית).

מקורות לפד"ח אטמוספרי	מבלעים לפד"ח אטמוספרי
נשימה תאית תוצר לוואי של תהליך הפקת אנרגיה בגוף של יצור חי. אנחנו, צמחים, בעלי חיים וגם ויצורים אחרים כמו חיידקים פולטים פד"ח.	פוטוסינתזה / יצרנות ראשונית תהליך בו צמחים ויצורים פוטוסינתטיים אחרים כמו אצות הופכים פד"ח לסוכרים בעזרת אנרגיית השמש. יצורים אלו מקבעים פד"ח (תהליך הקיבוע הוא תהליך בו הופכים פחמן אי-אורגני, פד"ח, לפחמן אורגני בצורת סוכרים). *כמחצית מהיצרנות הראשונית העולמית מתרחשת בים!
ריקבון - תהליכי פירוק חומר אורגני ע"י חיידקים.	
התפרצויות הרי געש - פולטים פד"ח אבל מעט יחסית לשטפים אחרים של פד"ח.	הים - מאגר פחמן מאוד גדול. פד"ח אטמוספרי מתמוסס במים שם הוא נמצא לרוב כיון ביקרבונט (HCO_3). *האוקיאנוסים סופגים כמחצית מהפד"ח אשר נפלט לאטמוספירה כתוצאה של שעירת דלקים פוסילים.
בעירת דלקים פוסילים - נפט, פחם, גז טבעי וכו...	

2. דפוסים בסרטון - ניתן לראות ענני פד"ח עולים ונישאים ע"י רוח מהמקור שלהם וכך מגיעים אל אזורים אחרים. ניתן לשים לב להבדלים בין חצי כדה"א הדרומי והצפוני - יש יותר פליטות בחצי הצפוני. שמים לב גם להבדלים עונתיים. ירידה עונתית בפד"ח בעקבות יצרנות ראשונית/ פוטוסינתזה.

3. מחזור הפחמן.

[אפשרות א.](#) דלק פוסילי (מאובן) כשמו הוא, דלק הנוצר מהתאבנות של אורגניזמים בסביבה חסרת חמצן. גילם של האורגניזמים ושל דלק המאובנים שנוצר מהם הוא בדרך-כלל מיליוני שנים, ולעיתים אף מעל 650 מיליון שנה. דלקי המאובנים שנוצרים הם פחם, נפט וגז טבעי – שמכילים כולם כמות גדולה של פחמן.

קשר למחזור הפחמן - הפחמן הנמצא טמון בדלקים פוסילים בד"כ נשאר שם לפרקי זמן מאוד ארוכים (כמו מיליוני שנה) ולכן אינו משתתף במחזור הפחמן ה"מהיר" המונע ע"י תהליכים ביולוגים כמו נשימה תאית ופוטוסינתזה. בני אדם כורים את הדלקים הפוסילים ושורפים אותם וכך משתחרר פד"ח לאטמוספירה ומצטבר שם.

מידע נוסף על דלקים פוסילים ב[קישור](#) של מכון וויצמן.

תהליך ההיווצרות כולל קבורה של החומר האורגני, שקיעה ודחיסה אל מתחת לפני האדמה ו"בישול" (בטמפרטורה ולחצים ספציפיים) לאורך זמן. תהליך זה יוצר סוגים שונים של דלק מאובנים. תנאי הסביבה שהופעלו על החומר הם הקובעים איזה סוג של דלק מאובנים יוצר: פחם, נפט או גז טבעי.

בנוסף ניתן לצפות בסרטון ו/או לקרוא את [קטע הקריאה](#) באתר של מכון דוידסון.

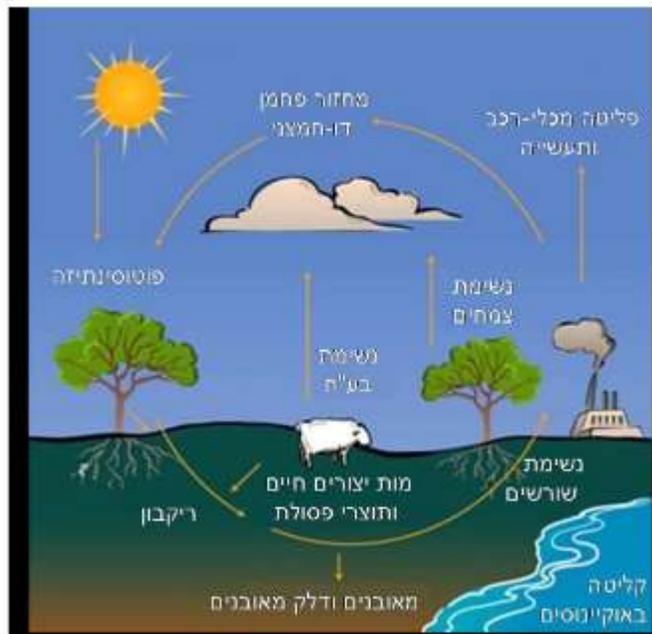
אפשרות ב. 1. לפי האיור, המאגר הגדול ביותר של פחמן הוא האוקיינוס העמוק.

2. המאגר הקטן ביותר של פחמן הוא ביומסה

3. השפעה של שטף הפליטות של האדם היא גדולה: יש איזון טבעי בין התהליכים אשר פולטים ומסלקים פד"ח מהאטמוספירה: שטף פד"ח (מספרים צהובים) לתוך האטמוספירה נשימה תאית או מהאוקיינוס שווה לשטף הפד"ח אשר יוצא ע"י פוטוסינתזה ואל תוך האוקיינוס. בעירת דלקים פוסילים מוסיפה פד"ח נוסף שאין לו לאן ללכת ולכן מצטבר באטמוספירה.

בנוסף, שימו לב שמאגר הפחמן באטמוספירה קטן ביחס למאגרים אחרים (כמו האוקיינוס למשל) ולכן הוא רגיש גם לשינויים קטנים. למעשה פעילות האדם מוציאה את הפחמן מתוך המאגר של דלקים פוסילים (איפה שהוא היה יושב למיליוני שנה אם לא היו מוציאים אותו) ומעבירה את הפחמן הזה לאטמוספירה ע"י תהליך בעירה.

4. הקשר של דלקים פוסילים (דלקים מאובנים) למחזור הפחמן: דלק פוסילי (מאובן) כשמו הוא דלק הנוצר מהתאבנות של אורגניזמים בסביבה מחוסרת חמצן. גילם של האורגניזמים ושל דלק המאובנים שנוצר מהם הוא בדרך-כלל מיליוני שנים, ולעיתים אף מעל 650 מיליון שנה. דלקי המאובנים שנוצרים הם פחם, נפט וגז טבעי – שמכילים כולם כמות גדולה של פחמן.



קשר למחזור הפחמן - הפחמן הנמצא טמון בדלקים פוסילים בד"כ נשאר שם לפרקי זמן מאוד ארוכים (כמו מיליוני שנה) ולכן אינו משתתף במחזור הפחמן ה"מהיר" המונע ע"י תהליכים ביולוגים כמו נשימה תאית ופוטוסינתזה. בני אדם כורים את הדלקים הפוסילים ושורפים אותם וכך משתחרר פד"ח לאטמוספירה ומצטבר שם.

מידע נוסף על דלקים פוסילים [בקיטור](#) של מכון וויצמן. בנוסף ניתן לצפות בסרטון ו/או לקרוא את [קטע הקריאה](#) באתר של מכון דוידסון.

אפשרות ג. מחזור פחמן לדוגמה. מקור האיור: מכון דוידסון

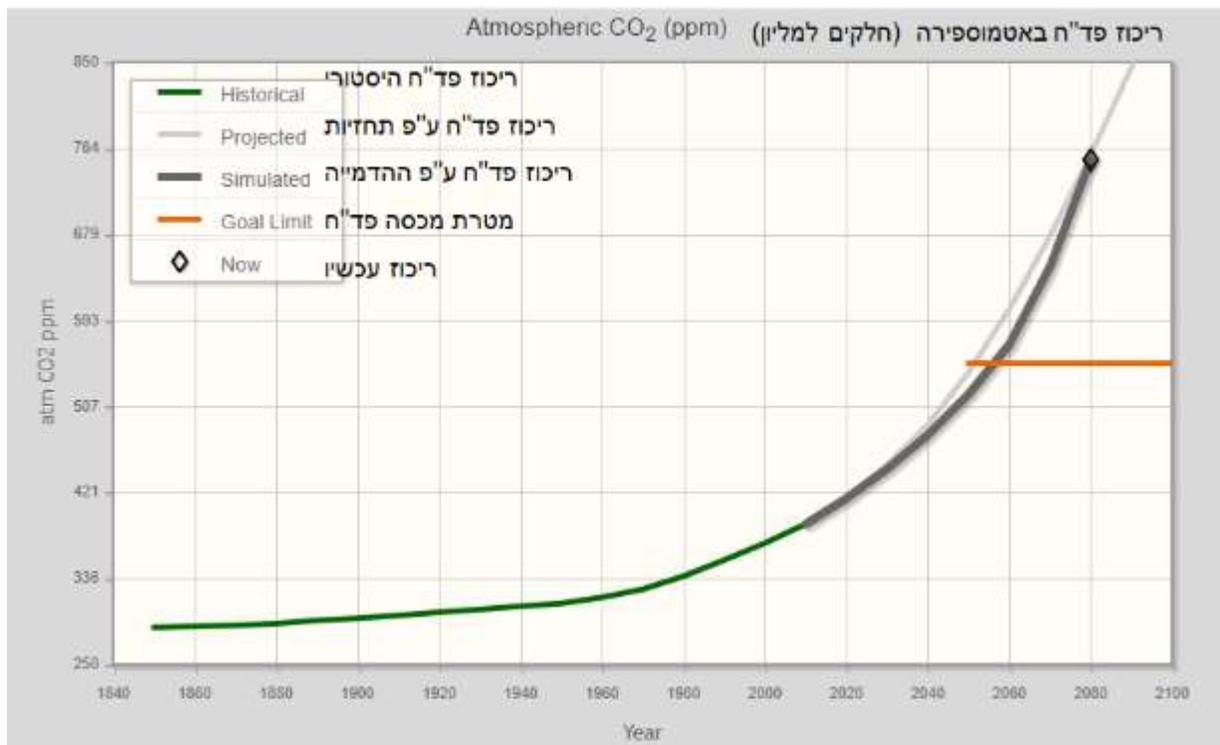
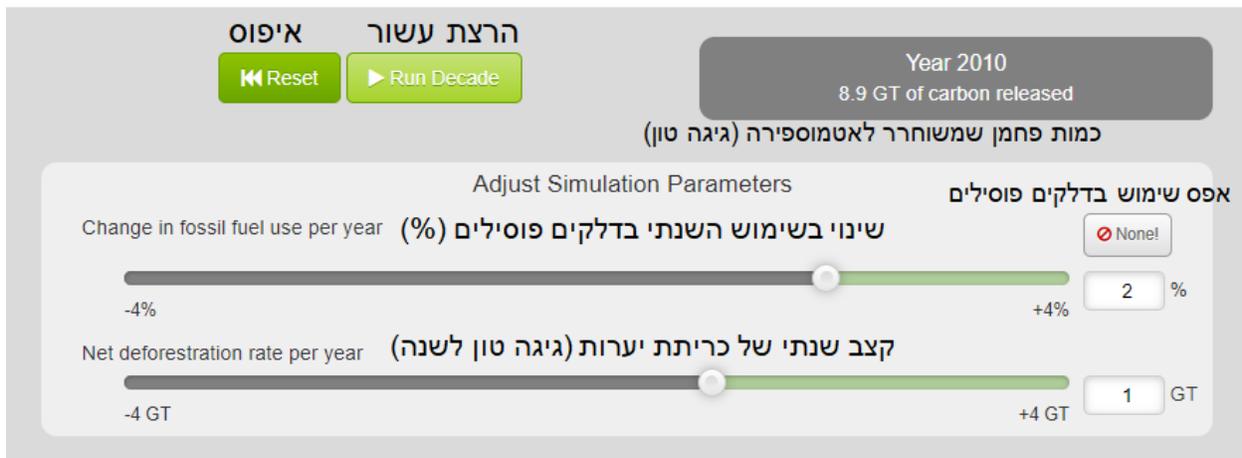
נספח 2 - הנחיות לעבודה בסימולציה של מחזור הפחמן ושאלות

בין השנים 1850 - 2020, ריכוז הפד"ח באטמוספירה עלה מ- 290 חלקים למיליון (ppm) ליותר מ- 400 חלקים למיליון (כ- 416 ppm). רמות אלו של פד"ח הן הגבוהות ביותר על פני כדור הארץ ב- 30 מיליון שנה האחרונות. כיצד צפויים ריכוזי הפד"ח להשפיע על טמפרטורות עתידיות? בעזרת מודל פשוט תחקרו כיצד פעילות האדם תורמת לעלייה זו ותבחנו תרחישים עתידיים שונים.

פתחו את הסימולציה [בקישור הבא](#).

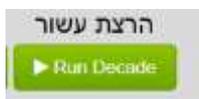
<https://test-learnermedia.pantheonsite.io/wp-content/interactive/envsci/carbon/carbon.html>

תרגום:



שאלות:

1. בסימולציה מוצגים המאגרים של פחמן בתור מלבנים אפורים (מאגר -היכן הפחמן נמצא במערכת). מה הם המאגרים שנכללו בסימולציה? שימו לב - כל מלבן אפור מייצג 25 גיגה טון (מטרי) של פחמן.



2. הריצו את הסימולציה מבלי לשנות אף אחד מהמשתנים. לחצו על "הרצת עשור" . שימו לב למלבנים האפורים אשר מייצגים פחמן בתוך מאגר מסוים .

א. מה קורה לפחמן במאגר של דלקים הפוסילים עם הזמן? הציעו הסבר.

ב. מה קורה לפחמן במאגרים האחרים עם הזמן? הציעו הסבר.

3. מה הם המקורות של פד"ח אטמוספירה ומה הם המבלעים (גורמי הסילוק) בסימולציה?

4. ניתן לשנות את קצב השימוש בדלקים פוסילים לשנה ואת קצב השנתי של כריתת יערות. הסבירו כיצד שינוי בכל אחד מהגורמים הנ"ל צפויים להשפיע על ריכוז הפד"ח באטמוספירה.

5. עם הגידול באוכלוסיית העולם ועם הכלכלות הצומחות במדינות מתפתחות, קצב עלייה בשימוש בדלקים פוסילים עומד על כ- 2.5%. שנו את הערך בהתאם (ראו חץ האדום). השאירו את ערך כריתת היערות על גיגטון אחד.



הריצו את הסימולציה, כל פעם בעשור ע"י לחיצה על "הרצת עשור" (run decade).

תוך כדי ההרצה מלאו את הטבלה הבאה (סמנו +/- היכן שיש שינוי) ואז ענו על השאלות :

שנה	פד"ח באטמוספירה	תוספת פד"ח בקרקע	פד"ח בצמחי יבשה	פד"ח בים (פני שטח)	פד"ח בים העמוק
2010					
2020					
2050					
2100					

5א. האם הסימולציה מצליחה לחזות את ריכוז הפד"ח האטמוספרי של שנת 2020 : כ-416ppm?

5ב. בעזרת אנרגיית אור, פד"ח אטמוספרי עובר קיבוע ומשמש ליצירת לסוכרים בתהליך הפוטוסינתזה בצמחים. ע"פ הסימולציה, מה קורה לכמות הצמחים עם הזמן כאשר פליטות הפד"ח ממשיכות לעלות? הציעו הסבר.

6. בניח שמחר בני אדם עוברים למקור אנרגיה חלופי נקי ומפסיקים לפלוט פד"ח לאטמוספירה לחלוטין, כלומר אפס פליטות.

א. שערך מה יקרה לריכוז הפד"ח באטמוספירה - האם הוא יגיע לערכים שקדמו למהפכה התעשייתית (כ-290 ppm) ? ואם כן, תוך כמה זמן לדעתכם?



ב. נבחן את השאלה בעזרת הסימולציה. לחצו על אפס פליטות,

שימו לב שעכשיו יש -100% (מינוס 100%) בקצב עלייה בפליטות. הריצו את הסימולציה עד השנה 2200 ומלאו את הטבלה. האם התוצאות תואמות את השערה שלכם ? הציעו הסבר.

שנה	פד"ח באטמוספירה (ppm)
2010	
2020	
2050	
2100	
2200	

7. הפסקה מוחלטת של בעירת דלקים פוסילים הינו תרחיש דמיוני. חוקרי אקלים מציבים מטרה יותר מציאותית - לא לעבור את ה- 550 ppm פד"ח במאה השנים הקרובות (זה בעצם הכפלה של רמות פד"ח האטמוספירי לעומת הריכוזים שקדמו למהפכה התעשייתית). מדענים רבים מסכימים שעמידה ביעד הזה יכולה למנוע את הנזקים החמורים יותר של שינויי אקלים. בעזרת הסימולציה בדקו עד כמה צריכים לצמצם את השימוש השנתי בדלקים הפוסיליים על מנת שלא נגיע לריכוז פד"ח העולה על 550 ppm בשנת 2100?

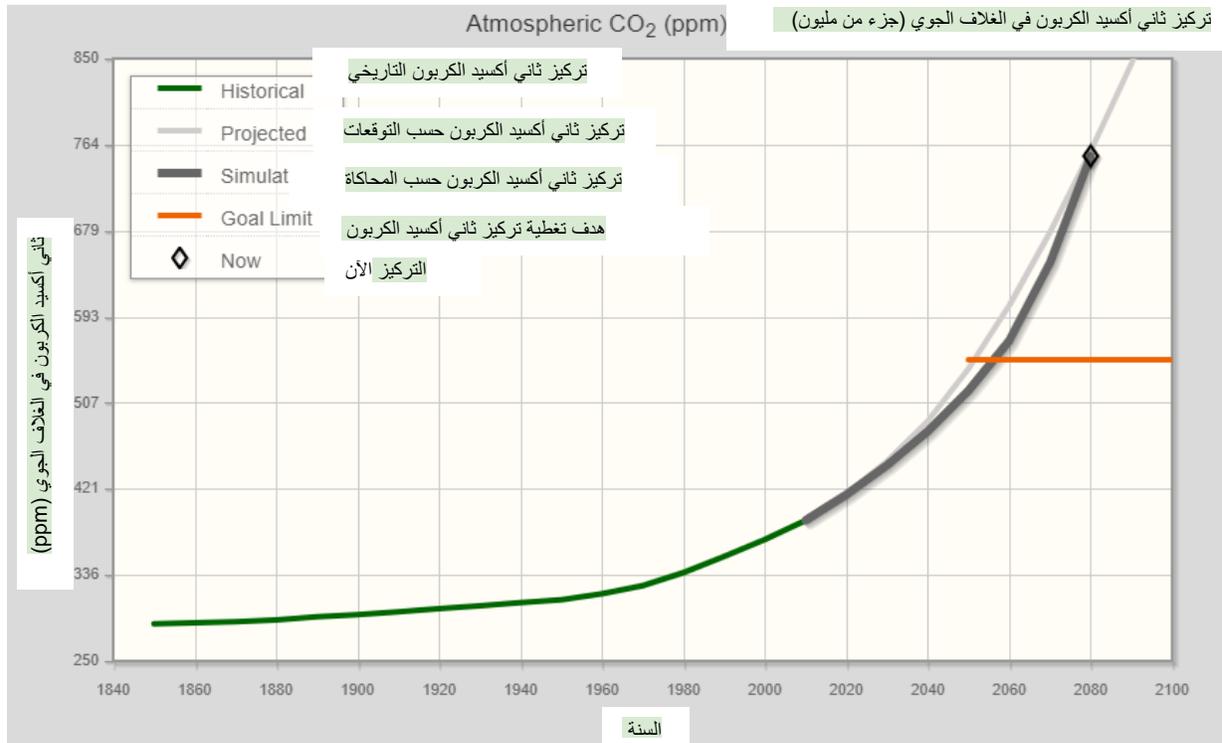
*שימו לב - כאשר משנים את קצב השינוי בשימוש השנתי דלקים פוסילים ל-0% המשמעות אינה אפס פליטות אלא שאין גידול בשימוש דלקים פוסילים, הוא נשאר אותו הדבר. ערכים שליליים הם הקטנה בשימוש בדלקים פוסילים.

ملحق 2 – تعليمات للعمل في محاكاة دورة الكربون وأسئلة

في السنوات 1850 - 2020، ارتفع تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي من 290 جزء من مليون (ppm) إلى أكثر من 400 جزء من مليون (حوالي 416 ppm). هذه المستويات لثاني أكسيد الكربون هي الأعلى على سطح الكرة الأرضية في الـ 30 مليون سنة الأخيرة. كيف من المتوقع أن تؤثر هذه التراكيز على درجات الحرارة المستقبلية؟ بمساعدة نموذج بسيط، يمكنكم أن تبحثوا كيف يساهم نشاط الإنسان في هذا الارتفاع؟ وتفحصون سيناريوهات مستقبلية مختلفة.

افتحوا المحاكاة في الرابط الآتي.

<https://test-learnermedia.pantheonsite.io/wp-content/interactive/envsci/carbon/carbon.html>



أسئلة:

1. تعرض المحاكاة مجمعات الفحم الحجري (مستطيلات رمادية)، المجمع يُشير إلى مكان الفحم الحجري في النظام. ما هي المجمعات التي تشملها المحاكاة؟ انتبهوا – كل مستطيل رمادي يمثل 25 جيجا طن من الفحم الحجري.

הרצת עשור

▶ Run Decade

2. شغلوا المحاكاة دون أن تغيروا أي واحد من المتغيرات. اضغطوا على "تشغيل عقد"

انتبهوا إلى المستطيلات الرمادية التي تمثل الفحم الحجري داخل مجّمع معين.

أ. ماذا يحدث للفحم الحجري في مجمع الوقود المتحجرة مع مرور الوقت؟ اقترحوا شرحًا.

ب. ماذا يحدث للفحم الحجري في المجمعات الأخرى مع مرور الوقت؟ اقترحوا شرحًا.

3. ما هي مصادر ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، وما هي المبتلعات (عوامل الإبعاد) في المحاكاة؟

4. يمكن أن نغير وتيرة استعمال الوقود المتحجرة للسنة وتيرة قُطع الغابات السنوية. اشرحوا كيف من المتوقع أن يؤثر كل

واحد من العوامل أعلاه على تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي؟

5. مع ازدياد تعداد سكان العالم ومع النمو الاقتصادي في الدول النامية، بلغت وتيرة ازدياد استعمال الوقود المتحجرة حوالي

2.5%. غيروا القيمة المناسبة لذلك (انظروا السهم الأحمر). اتركوا قيمة قُطع الغابات على جيجا طن واحد.



הרצת עשור

▶ Run Decade

شغلوا المحاكاة، كل مرة عقدة واحدة بواسطة الضغط على "تشغيل العقدة" (run decade).

عندما تشغلون المحاكاة أكملوا الجدول الآتي (اكتبوا +/- في المكان الذي يوجد فيه تغيير)، وعندئذٍ أجبوا عن الأسئلة:

السنة	ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي	إضافة ثاني أكسيد الكربون في التربة	ثاني أكسيد الكربون في نباتات البر	ثاني أكسيد الكربون في البحر (سطح الماء)	ثاني أكسيد الكربون في أعماق البحر
2010					
2020					
2050					
2100					

5. هل نجحت المحاكاة في توقع تركيز ثاني أكسيد الكربون في سنة 2020: حوالي 416ppm؟

5 ب. بمساعدة طاقة الضوء، يتم تثبيت ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي، ويُستعمل لإنتاج سكريات في عملية التركيب الضوئي. حسب المحاكاة، ماذا يحدث للنباتات مع مرور الوقت عندما يستمر ازدياد انبعاث ثاني أكسيد الكربون؟ اقترحوا شرحًا.

6. نفترض أن الناس ينتقلون غدًا إلى استعمال مصدر طاقة بديل نقي، ويتوقفون عن إطلاق ثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي تمامًا، هذا يعني أن كمية الانبعاث صفر.

أ. افترضوا ماذا يحدث لتركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي – هل سيبلغ القيم التي سبقت الثورة الصناعية (حوالي



290 ppm)؟ إذا كانت الإجابة نعم، كم من الوقت يستغرق ذلك، حسب رأيكم؟

ب. نفحص السؤال بمساعدة المحاكاة. اضغطوا على صفر انبعاث،

انتبهوا الآن، يوجد - 100% (ناقص 100%) في وتيرة ازدياد الانبعاث. شغلوا المحاكاة حتى سنة 2200 وأكملوا الجدول. هل يوجد توافق بين النتائج وفرضيتكم؟ اقترحوا شرحًا.

السنة	ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي (ppm)
2010	
2020	
2050	
2100	
2200	

7. التوقف التام لحرق الوقود المتحجرة هو سناريو خيالي. حدد باحثو المناخ هدفًا أكثر واقعيًا – أن لا نتجاوز الـ 550 ppm

ثاني أكسيد الكربون في المئة السنة القربية (وهذا ضعف مستوى ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي مقارنة بالتركيز الذي سبق الثورة الصناعية). يتفق العديد من العلماء على أن تحقيق هذه الغاية يمكن أن يمنع الأضرار الخطيرة لتغير المناخ.

افحصوا بمساعدة المحاكاة كم يجب تقليص استعمال الوقود المتحجرة السنوي كي لا يصبح تركيز ثاني أكسيد كربون

أعلى من 550 ppm في سنة 2100؟

* انتبهوا – عندما نغيّر وتيرة استعمال الوقود المتحجرة السنوي إلى 0%، معنى ذلك أنّ الانبعاث ليس صفرًا، لا يزداد استعمال الوقود المتحجرة ويبقى ثابتًا. القيم السالبة هي انخفاض في استعمال الوقود المتحجرة.

תשובות למורה

1. המאגרים בסימולציה הם: האטמוספירה, הים (פני השטח וים העמוק), הקרקע, צמחי יבשה, דלקים פוסילים הערה - דלק פוסילי (מאובן) כשמו הוא דלק הנוצר מהתאבנות של אורגניזמים בסביבה מחוסרת חמצן. גילם של האורגניזמים ושל דלק המאובנים שנוצר מהם הוא בדרך-כלל מיליוני שנים, ולעיתים אף מעל 650 מיליון שנה. דלקי המאובנים שנוצרים הם פחם, נפט וגז טבעי – שמכילים כולם כמות גדולה של פחמן. קשר למחזור הפחמן - הפחמן טמון בדלקים פוסילים בד"כ נשאר שם לפרקי זמן מאוד ארוכים (כמו מיליוני שנה) ולכן אינו משתתף במחזור הפחמן ה"מהיר" המונע ע"י תהליכים ביולוגים כמו נשימה תאית ופוטוסינתזה. בני אדם כורים את הדלקים הפוסילים ושורפים אותם וכך משתחרר פד"ח לאטמוספירה ומצטבר שם. למידע נוסף על דלקים פוסילים כנסו לקישור של מכון וויצמן.
- 2א. הפחמן במאגר של דלקים פוסילים הולך ונעלם. בני אדם חוצבים ומוציאים דלקים פוסילים. הפחמן במאגר הזה עובר בעירה ומשתחרר לאטמוספירה.
- 2ב. בעוד שרואים מלבנים אפורים נעלמים ממאגר הדלקים הפוסילים המבלנים מתחילים להופיע במאגרים אחרים. זה משקף את מחזור הפחמן. ניתן לראות שפחמן מצטבר באטמוספירה, בקרקע, הצמחים וגם בים.
3. מקורות פד"ח באטמוספירה - בעירת דלקים פוסילים (העננה האפורה של עשן) מבלעים (גורמי סילוק) - צמחים ביבשה (ע"י פוטוסינתזה) והים (ע"י תהליכים כימיים ופיזיקליים) *שימו לב - לא כוללים פוטוסינתזה ימית
4. שינוי בקצב שימוש דלקים פוסילים (המהווים מקור לפד"ח) - ככל שהקצב עולה, כך גם ריכוז הפד"ח יעלה. שינוי בכריתת יערות - הרס של מבלע (גורם סילוק) לפחמן. יגרום ליותר פחמן להצטבר באטמוספירה וגם בים.
5. הרצת עשור:

שנה	פד"ח באטמוספירה	תוספת פד"ח בקרקע	פד"ח בצמחי יבשה	פד"ח בים (פני שטח)	פד"ח בים העמוק
2010	391		700		
2020		+		+	+
2050		+		+	+
2100		+		+	+

5.א. כן. ע"פ הסימולציה ב-2020 ריכוז הפד"ח באטמוספירה הוא 417ppm. הסימולציה מאוד פשוטה ולוקחת בחשבון מקורות פד"ח מפעילות האדם ואת הגורמים העיקריים במחזור הפחמן. אלו כנראה הגורמים הדומיננטים אשר קובעים את ריכוז הפד"ח באטמוספירה.

5.ב. ניתן לראות שהפחמן במאגר הצמחים היבשתיים הולך ועולה. מתחילים ב-GT 700 ב-2010 ועד סוף המאה ב-2100, מגיעים ל-GT 909. כלומר, ע"פ המודל הצמחים גדלים. הסבר אפשרי - פד"ח מהווה חומר גלם לפוטוסינתזה. כאשר ריכוזי פד"ח עולים, כך גם פוטוסינתזה עולה ולכן כמות הצמחים עולה.

הערות:

*בסימולציה מאגר הפחמן בצמחייה אינו ממשיך לגדול עם המשך עלייה בפד"ח, אלא מתייצב על ערך מסוים. זה בגלל שגידול של צמחים יש מגבלות נוספות כגון מים, נוטריינטים וכו...

*ההשפעה של שינויי אקלים על יצורים פוטוסינתטיים מורכבת ממה שמוצג בסימולציה - מצד אחד יש עלייה בפד"ח, אבל מצד שני יש השפעות של שינויי טמפרטורה ומשקעים שיכולים להשפיע על גידול של צמחים.

6. מה יקרה אם תופסק פליטת פד"ח לאטמוספירה: השערה למשל - ריכוז הפד"ח באטמוספירה ירד תוך כמה עשורים לערכים שקדמו למהפכה התעשייתית כיוון שאין יותר פליטות מבעירת דלקים פוסילים.

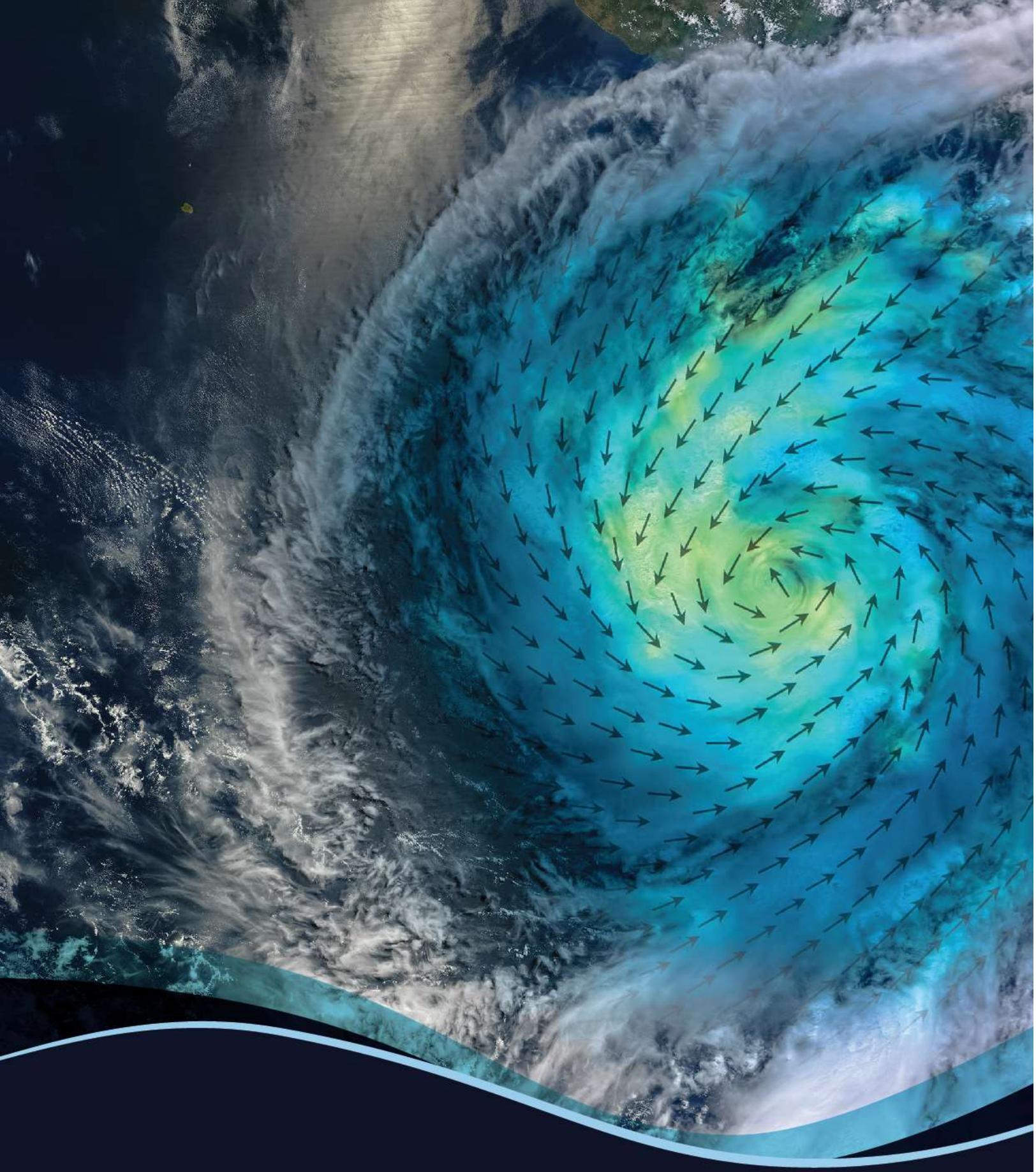
שנה	פד"ח באטמוספירה (ppm)
2010	391
2020	
2050	
2100	
2200	

מהסימולציה ניתן לראות שעודפי הפד"ח הנפלטים לאטמוספירה מבעירת דלקים פוסילים לא נעלמים במהרה. בשנת 2200 הפד"ח עומד על 348 ppm. ברגע שמשחררים פד"ח לאטמוספירה הוא לא פשוט נעלם, אלא מצטבר. המערכת הטבעית יכולה להגיע לאיזון מחדש אבל הדבר יכר זמן רב מאוד כיוון שהמערכת מוצפת בפד"ח. טווחי הזמן להגעה לאיזון מחדש אינם רלוונטים לטווח חיי אדם.

*ומה בנוגע לטמפרטורות? המשך העלייה בטמפרטורה הממוצעת תבלם אבל הטמפרטורות לא ירדו. מידע נוסף בכתבה או לסרטון (שניהם באנגלית, סרטון 6 דקות).

7. הרצה של הסימולציה מראה שעל מנת שלא נגיע לריכוז פד"ח העולה על 550 ppm בשנת 2100, חייבים להשאיר את שימוש בדלקים הפוסילים כפי שהם ולא לעלות אותם (גידול של 0%).

הבעיה היא שאנו תלויים בדלקים פוסילים - רכב, מכונת כביסה, חשמל, מים זורמים וכו... בעירת דלקים פוסילים מקנה לנו איכות חיים. גם אם לא נגדיל את קצב השימוש בדלקים פוסילים, אוכלוסיית העולם ממשיכה לגדול וגם יש צמיחה כלכלית במדינות מתפתחות - המשמעות היא שמישהו יהיה חייב לוותר על איכות חיים.



מודלי אקלים - תחזיות לעתיד

שיעור 6

התנסות: מודלי אקלים - תחזיות לעתיד

ידע למורה: מודלי אקלים הם חלק מרכזי ובלתי נפרד מחקר אקלים כדה"א. מודלים הם כלי מחקרי אשר עוזר למדענים להבין את מערכת האקלים בעבר הרחוק, את האקלים בהווה וגם לעשות תחזיות לגבי האקלים העתידי. מודלי האקלים של כדור הארץ הם מודלים כמותיים שמתארים בעזרת משוואות את התהליכים ואת יחסי הגומלין אשר מניעים את מערכת האקלים. המודל הפשוט ביותר מתייחס לכדור הארץ כנקודה הקולטת ומחזירה חום (מאזן אנרגיה פשוט). מודלים מורכבים יותר יבטאו את מעברי האנרגיה (אנרגיית קרינה / חום) קרינה תת-אדומה וכו... ומעברי החומר (כגון פחמן במחזור הפחמן) בין האטמוספירה, האוקיינוסים, הקרקע והקרחונים. מודלי אקלים מבוססים על תהליכים פיזיקליים, כימיים וביולוגיים במערכות כדה"א. עם השנים המודלים הולכים ונהיים מורכבים ומדויקים יותר הודות לחקר האקלים בעבר הגיאולוגי של כדור הארץ, הבנה עמוקה יותר של הגורמים ושל התהליכים המשפיעים על האקלים, וגם בעקבות שיפור בכוח המחשוב. חשוב לזכור שמודלי אקלים אינם מושלמים ואינם "המציאות", אלא קירוב של המציאות. בשיעור נשים דגש על השימושים במודלים ובפרט כיצד התחזיות של המודלים משתנות בתרחישים שונים של פליטת גזי חממה.

בפתיחת השיעור נערוך היכרות עם מודלים - נגדיר מהו מודל, נבין את המורכבות בבניית מודלים ונדון בשימושים של מודלי אקלים. בגוף השיעור שתי חלופות - הראשונה מבוססת על מודל פשוט בו התלמידים יכולים לשנות גורמים שונים, כגון עננות או פליטת פד"ח, ולראות מה ההשפעה על טמפרטורה. שימו לב יש חפיפה מסוימת בין החלופה הראשונה בשיעור זה לבין הסימולציה בחלופה 2, שיעור 3. החלופה השנייה עוסקת במודלים אשר מבוססים על תרחישי פליטות שונים. בסיכום נצפה בסרטון ונדון ביתרונות ובמגבלות של מודלי אקלים. בתום השיעור התלמידים ידעו לתאר מהו מודל ויבינו מה החשיבות של מודלים שמובן של משבר האקלים.

למידע נוסף נכנסו [לאתר וויקי](#) בעברית.

מושגים: מודל מדעי, מודל לחיזוי אקלים, אלבדו (חלופה 1), רגישות אקלימית (חלופה 2)

פתיחה:

למורה: בפתיחה לשיעור נעשה היכרות עם מודלים באופן כללי ומודלי אקלים בפרט. שימוש במודלים אינו מוגבל לעולם המדע ואנו מכירים דוגמאות רבות כגון מודלים לכלכלה או התפשטות של מחלות. לאחר הגדרה בסיסית, נתחיל במודל מוכר לכולם מחיי היום יום - מודל מזג אוויר. חשוב להדגיש שוב בפני התלמידים את ההבדל בין מזג אוויר לאקלים (הוזכר בשיעור 2). משם נעבור למודלי אקלים, נבין מה תפקידם וכיצד מדענים מרכיבים ומריצים מודלים לאקלים. ניתן לנהל את הפעילות כדיון ואז נחלק את הכיתה לקבוצות. נציג שאלה אחת, כל קבוצה תערוך דיון בין חברי הקבוצה ולאחר מכן נערוך דיון בכיתה לגבי אותה שאלה. לאחר מכן, נעבור לשאלה הבאה, או לחילופין כדף לעבודה עצמית (נספח 1).

שאלות דיון ותשובות למורה :

1. כולנו שמענו את המונח מודל במהלך חיינו. מהו מודל? האם תוכלו לחשוב על כמה דוגמאות?

מודל הם ייצוג של מערכות מורכבות או תהליכים מורכבים. מודל הינו מערכת פשוטה יחסית המדמה במאפייניה החשובים מערכת מסובכת יותר. חשוב להדגיש שמודל הינו קירוב של המציאות ולא המציאות כולה. במדע מודלים הם כלי רב עוצמתי שמסייע לנו להבין ולהסביר תהליכים וגם לעשות תחזיות לעתיד. מודלים יכולים וויזואליים (למשל איורים או תרשימי זרימה), מודל פיזי (מודל של גוף האדם, תא או כדה"א למשל), או הדמייה אשר מתארת את המציאות באמצעות מערכת משוואות.

דוגמאות: מודל כלכלי, מודל פסיכולוגי, מודל התנהגותי, מודל של כיצד פועל בית ספר או מפעל, מודל סטטיסטי, מודלים של גוף האדם או כדה"א, מודל של מבנה האטום/מולקולות, מודל של התפשטות תחלואה וכו..

2. הטיול השנתי מתוכנן לשבוע השני של חודש דצמבר. ההכנות לטיול מתחילות והתלמידים מתרגשים. עשרה ימים לפני תאריך היציאה תחזית מזג האוויר צופה גשם. מנהל בית הספר רוצה לשלוח לתלמידים ולהורים הודעה על ביטול הטיול. סגנית המנהל חולקת עליו וממליצה להמתין עם הודעת הביטול ולבדוק שוב את התחזית בעוד כמה ימים. עם מי אתם מסכימים? מדוע?

כולנו יודעים שתחזית מזג האוויר יכולה לשגות. הסיכויים לחוסר דיוק גדלים כאשר מנסים לתת תחזית לטווח הרחוק. לכן, לא כדאי לסמוך לחלוטין על תחזית שניתנת עשרה ימים מראש וכדאי להמתין ולבדוק שוב יותר קרוב למועד הטיול. תחזית מזג אוויר נחשבת לאמינה בטווח של פחות משבוע מראש.

*חשוב להדגיש שהסיבה לחוסר הדיוק נעוצה בכך שמערכת מזג האוויר היא מאוד דינמית ולא סדירה ולכן קשה לצפות אותה.

3. כדי לחזות מזג אוויר, מטאורולוגים (מדענים שחוקרים מזג אוויר) משתמשים בהדמיות שבעזרתן ניתן לצפות את השינויים במזג האוויר עם הזמן. הדמיות אלו הן למעשה מודלים. מהו, לדעתכם, מודל בהקשר זה?

מודלים עוזרים לנו להבין כיצד דברים פועלים. מודל מייצג את האינטראקציה בין רכיבים שונים במערכת בצורה כזאת שיהיה ניתן להשתמש בו כדי לחזות תרחישים שונים בהתאם לשינויים באחד או יותר ממרכיבי המערכת. מודלים נחוצים כאשר המערכת הנלמדת גדולה או מורכבת מידי לבודד כל רכיב ולהבין כיצד הוא משפיע על מרכיבים אחרים במערכת. ניתן להשתמש במודלים כדי לעשות תחזיות או כדי להסביר תצפיות.

כדי לעשות מודלים לחיזוי מזג אוויר מדענים מכניסים את הנתונים האטמוספריים (לחץ אוויר, טמפרטורה וכדומה) לתוך משוואות מתמטיות אשר מתארות את ההשפעה של גורמים שונים על מזג האוויר. מריצים את המודל על מחשב (בדרך כלל מדובר על מחשב עם יכולת עיבוד מאוד גבוהה) וניתן להציג את הנתונים המתקבלים בצורת מפה סינופטית המציגה את המצב החזוי למועד מסוים.

4. אחת מהטענות של מכחישי שינויי אקלים היא - אם מודלים לא יכולים לחזות מדויק את מזג האוויר בשבוע הבא, כיצד ניתן להשתמש במודלים לחזות את האקלים בעוד 50 שנה? כיצד הייתם עונים לאותם המבקרים? בתשובתכם התייחסו להבדלים שבין מזג אוויר לאקלים.

מזג האוויר מתייחס לתנאים יומיומיים של טמפרטורה, משקעים, כיוון הרוח ועוצמתה וכדומה. לעומת זאת אקלים מתייחס לטמפרטורה ממוצעת או ממוצע המשקעים לאורך זמן באיזור מסויים (או בכדה"א כולו). לפיכך מודלי מזג אוויר פועלים במימדים של שעות עם נתונים מקומיים, כך למשל ניתן תחזית לגשם באזור ירושלים למחרתיים. לעומת זאת, מודלי אקלים פועלים על קנה מידה הרבה יותר גדול הן בזמן והן במרחב ונותנים תחזיות בטווח של שנים. מזג האוויר יכול להשתנות מהיום למחר עקב שינויים מקומיים קטנים אבל כיוון שאקלים מתייחס לערכים ממוצעים - הוא הרבה פחות מושפע מתנודות קטנות.

*הערה: ניתן להשוות את המודלים להטלת קוביה או מטבע. בהטלה אחת (מזג אוויר) קשה לחזות מה יצא. אבל ניתן לחזות את הסיכוי שיצא מספר מסויים בקוביה או צד מסוים במטבע (אקלים).

5. מודלי אקלים מורכבים ממשוואות מתמטיות מורכבות, המתארות את התהליכים המתרחשים במערכת האקלים. מודלי אקלים דורשים כח חישובי עצום והם רצים על מחשבי-על (supercomputers). כיצד, לדעתכם, מודלים כאלו יכולים לשמש אותנו במובן של משבר האקלים?

למודלי אקלים יש מגוון שימושים :

*מעמיקים את ההבנה שלנו של מערכת האקלים. מדענים מחליטים אילו גורמים לכלול במודל וכיצד אותם הגורמים ישפיעו על האקלים. ניתן "לשחק" עם המודל ולבחון האם וכיצד גורמים שונים משפיעים על מערכת האקלים. האם, למשל, נוכל לחזות באופן מדויק את האקלים שהיה בעבר באמצעות המודל שלנו (מה שמכונה חיזוי לאחור - backtesting או hindcasting). בודקים את התחזיות של המודל אל מול נתוני אמת מהעבר וכך ניתן לבחון את מידת ההבנה שלנו במערכת ואת אמינות המודל.

*יכולת חיזוי - מודלים יכולים לתת לנו תחזיות עתידיות בתרחישים שונים. למשל ניתן להריץ מודל בו פליטות פד"ח לאטמוספירה קטנים ב-50% ולבדוק מה יקרה לטמפרטורות.

*עוזרים למקבלי החלטות - בזכות היכולת שלהם לחזות תרחישים עתידיים, מודלים מסייעים בתכנון אסטרטגיות להתמודדות עם שינויי האקלים.

6. כפי שלמדנו, אחד מהשחקנים המרכזיים בהתחממות גלובלית ומשבר האקלים הינו גז החממה - פחמן דו-חמצני. אתם מפתחים מודל אקלים ורוצים לכלול בו את הגורמים אשר משפיעים על ריכוז הפד"ח באטמוספירה.

א. ערכו רשימה של גורמים אלו ומה הקשר של כל גורם לריכוז פד"ח באטמוספירה.

ב. ערכו דיון כיצד כל גורם ברשימה שלכם ישתנה בעתיד לאור ההתחממות הגלובלית ושינויי אקלים.

הערה למורה לגבי השאלה: מטרת השאלה היא להמחיש את המורכבות הרבה של מערכות אקלים תוך כדי חזרה על החומר שנלמד בשיעורים 3 עד 5. נסביר לתלמידים שבמודל מכניסים את כל אחד מהגורמים האלו בתוך משוואה אשר מתארת את הקשר בין אותו גורם לבין ריכוז הפד"ח באטמוספירה.

ניתן לחלק את הגורמים אשר משפיעים על ריכוז פד"ח באטמוספירה למקורות (גורמי פליטה) ולמבלעים (גורמי סילוק) :

מקורות	מבלעים
בעירת דלקים פוסילים - ישנוני בעתיד תלוי בהרבה מאוד גורמים כגון גדילה באוכלוסיית העולם, רמת החיים של אוכלוסיית העולם, מדיניות של הקטנת פלינטות, פיתוח ושימוש באנרגיות מתחדשות וכו...	פוטוסינתזה - האם קצב הפוטוסינתזה בעתיד יגבר או יפגע? אולי עלייה בפד"ח וטמפרטורות יעודדו יצרנות ראשונית. לחילופין עלייה בטמפרטורות וירידה במשקעים יכולים לפגוע ביצרנים ראשוניים. כריתת יערות יכול לפגוע בקיבוע פחמן העולמי.
נשימה תאית - ראו דוגמה על קפאת-על.	הים סופג פד"ח. אבל התחממות הים יכולה לגרום לירידה בכמות הפד"ח שיכול להתמוסס בתוכו.
* (העשרה) הפשרה של קפאת-עד (permafrost) - אדמה שנמצאת מתחת לטמפרטורת הקיפאון. כאשר קרקע קפואה עוברת הפשרה, פעילות חיידקית מתחדשת (וגם נשימה תאית ותהליכי ריקבון) - משחרר פד"ח לאטמוספירה. למידע נוסף כנסו לכתבה של מכון דוידסון.	

7. פד"ח אטמוספרי הינו גורם עיקרי בהתחממות גלובלית אך הוא אינו הגורם היחיד אשר משפיע על טמפרטורות ממוצעות בעולם. הציעו גורמים נוספים שכדאי לקחת בחשבון בבניית מודל אקלים של טמפרטורות.

הערה למורה: המטרה של השאלה היא להבין את המורכבות הרבה אשר כרוכה בבנייה של מודלי אקלים. למרות שפד"ח גורם מרכזי בהתחממות, יש מגוון גורמים נוספים שצריך לקחת בחשבון (ראו חלופה 2, שיעור 4). אין צורך להעמיק בנושאים שפחות מוכרים למורה או לתלמידים.

יש מגוון גורמים נוספים שיכולים לעודד את תהליך ההתחממות וגם גורמים שיכולים להאט את ההתחממות -

*קרבה של כדה"א לשמש. יש שינויים במסלול כדה"א סביב השמש וגם נטיית ציר הסיבוב של כדה"א. שינויים אלו יכולים לשנות את כמות אנרגיית האור המגיעה לכדה"א. (שיעור 4)

* הטמפרטורה הממוצעת מושפעת מהסעת חום ע"י רוחות וע"י זרמים בים. שינויים במשטר הרוחות או בזרמי הים יכולים לשנות אקלים. מידע נוסף: כתבה באתר של הידען על זרמי ים, או סרטון על מערכת האקלים (אנגלית, 4 דקות).

*עננים: לעננים יש השפעה מקררת על כדה"א כיוון שהם חוסמים ומחזירים חלק מאנרגיית השמש בחזרה לחלל.

*כיסוי קרח - משטי כדה"א אשר מכוסים בקרח הינם לבנים וכן מחזירים יותר אור בחזרה לחלל ומאטים את תהליך ההתחממות. אבל כאשר הטמפרטורות עולות, הקרח נמס ונחשפת קרקע כהה אשר סופגת יותר קרינה וגורמת ליותר חימום.

גוף השיעור:

חלופה 1: חלופה זו מבוססת על הדמיה בה ניתן לראות את ההשפעה של גורמים שונים על הטמפרטורה (הגורמים: ריכוז פד"ח, עוצמת השמש, אלבדו ועננות). בצורה זו התלמידים לומדים "hands-on" על תהליך המידול של אקלים כדה"א (כמובן באופן בסיסי). תלמידים יכולים לעבוד בקבוצות קטנות. (נספח 2 - דף הנחיות לתלמידים + תשובות למורה)

חלופה 2: פעילות זו מבוססת על השוואה של מודלי אקלים שונים ותרחישי פליטות שונים. התלמידים יכולים לעבוד על הפעילות בקבוצות קטנות (נספח 3 - דף הנחיות לתלמידים + תשובות למורה). פעילות זו יכולה לשמש להערכה חלופית. בכל אחת מהחלופות ניתן להעריך את רמת התשובות של התלמידים לשאלות בדפי העבודה.

סיכום:

נערוך עם התלמידים דיון על חשיבותם של מודלי אקלים.

-כלי להבנה של מערכות מורכבות כמו האקלים. אפשר לעשות חיזוי לאחור ולראות האם מודל מסוים מדייק. אם לא, ניתן לשפר אותו (ע"י שינוי/הוספה של המשוואות שמתארות את המערכת). כך ניתן להבין מה הגורמים אשר משפיעים על מערכת האקלים ומה מידת השפעתן.

-כלי לתחזיות האקלים העתידי: חשוב מאוד ללקיחת החלטות מדיניות וכלכליות וגם לתכנון אסטרטגיות להתמודדות עם משבר האקלים.

-מודלי אקלים מראים לנו מה מידת ההשפעה של פעילות האדם על מערכת האקלים.

נספח 1 - דף לתלמיד - מהו מודל אקלימי?

1. כולנו שמענו את המונח מודל במהלך חיינו. מהו מודל? האם תוכלו לחשוב על כמה דוגמאות?
2. הטיול השנתי מתוכנן לשבוע השני של חודש דצמבר. ההכנות לטיול מתחילות והתלמידים מתרגשים. עשרה ימים לפני תאריך היציאה תחזית מזג האוויר צופה גשם. מנהל בית הספר רוצה לשלוח לתלמידים ולהורים הודעה על ביטול הטיול. סגנית המנהל חולקת עליו וממליצה להמתין עם הודעת הביטול ולבדוק שוב את התחזית בעוד כמה ימים. עם מי אתם מסכימים? מדוע?
3. כדי לחזות מזג אוויר, מטאורולוגים (מדענים שחוקרים מזג אוויר) משתמשים בהדמיות שבעזרתן ניתן לצפות את השינויים במזג האוויר עם הזמן. הדמיות אלו הן למעשה מודלים. מהו, לדעתכם, מודל בהקשר זה?
4. אחת מהטענות של מכחישי שינויי אקלים היא - אם מודלים לא יכולים לחזות מדויק את מזג האוויר בשבוע הבא, כיצד ניתן להשתמש במודלים לחזות את האקלים בעוד 50 שנה? כיצד הייתם עונים לאותם המבקרים? בתשובתכם התייחסו להבדלים שביים מזג אוויר לאקלים.
5. מודלי אקלים מורכבים ממשוואות מתמטיות מורכבות, המתארות את התהליכים המתרחשים במערכת האקלים. מודלי אקלים דורשים כח חישובי עצום והם רצים על מחשבי-על (supercomputers). כיצד, לדעתכם, מודלים כאלו יכולים לשמש אותנו במובן של משבר האקלים?
6. כפי שלמדנו, אחד מהשחקנים המרכזיים בהתחממות גלובלית ומשבר האקלים הינו גז החממה - פחמן דו-חמצני. אתם מפתחים מודל אקלים ורוצים לכלול בו את הגורמים אשר משפיעים על ריכוז הפד"ח באטמוספירה.
 - א. ערכו רשימה של גורמים אלו ומה הקשר של כל גורם לריכוז פד"ח באטמוספירה.
 - ב. ערכו דיון כיצד כל גורם ברשימה שלכם ישתנה בעתיד לאור ההתחממות הגלובלית ושינויי אקלים.הערה למורה לגבי השאלה: מטרת השאלה היא להמחיש את המורכבות הרבה של מערכות אקלים תוך כדי חזרה על החומר שנלמד בשיעורים 3 עד 5. נסביר לתלמידים שבמודל מכניסים את כל אחד מהגורמים שהאלו בתור משוואה אשר מתארת את הקשר בין אותו גורם לבין ריכוז הפד"ח באטמוספירה.
7. פד"ח אטמוספרי הינו גורם עיקרי בהתחממות גלובלית אך הוא אינו הגורם היחיד אשר משפיע על טמפרטורות ממוצעות בעולם. הציעו גורמים נוספים שכדאי לקחת בחשבון בבניית מודל אקלים של טמפרטורות.

ملحق 1 – ورقة عمل للتلميذ – ما هو نموذج (موديل) المناخ؟

1. كلنا سمعنا المصطلح نموذج (موديل) خلال حياتنا. ما هو النموذج؟ هل تستطيعون أن تفكروا في عدة أمثلة؟
 2. تم تخطيط الرحلة السنوية إلى الأسبوع الثاني من شهر ديسمبر (كانون ثان). بدأ التحضير للرحلة والتلاميذ متحمسون. أعلن الراصد الجوي قبل الخروج في الرحلة بعشرة أيام أنه من المتوقع هطول أمطار. أراد مدير المدرسة أن يُرسل للأهل والتلاميذ إشعار بخصوص إلغاء الرحلة. لم توافق نائبة المدير على ذلك، وأوصت أن لا يُرسل الإشعار وأن يفحص توقعات الطقس بعد مرور عدة أيام. مع من أنتم موافقون؟ لماذا؟
 3. عندما يتنبأ خبراء الأرصاد الجوية حالة الطقس يستعملون محاكاة بمساعدتها يمكن أن نتوقع التغيرات في حالة الطقس مع مرور الوقت. هذه المحاكاة هي نموذج. ما هو النموذج، حسب رأيكم، في هذا السياق؟
 4. أحد ادعاءات معارضي تغيرات المناخ هو – النماذج لا تستطيع أن تتنبأ حالة الطقس بدقة في الأسبوع القادم، كيف يمكن استعمال نماذج لتنبؤ المناخ بعد 50 سنة؟ كيف تجيبون هؤلاء المعارضون؟ تطرقوا في إجاباتكم إلى الفروق بين حالة الطقس والمناخ.
 5. نماذج المناخ مكونة من معادلات رياضية معقدة تصف العمليات التي تحدث في نظام المناخ. تحتاج نماذج المناخ إلى عمليات حسابية هائلة، وهي تتم في حواسيب عملاقة (فائقة) (supercomputers). كيف يمكن، حسب رأيكم، استعمال هذه النماذج في مفهوم أزمة المناخ؟
 6. تعلمنا أن غاز الدفيئة – ثاني أكسيد الكربون هو أحد العوامل المركزية في ارتفاع درجة حرارة العالم وفي أزمة المناخ. مطلوب منكم أن تطوروا نموذج مناخ، وتريدون أن يشمل العوامل التي تؤثر على تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي.
- أ. حضروا قائمة بأسماء هذه العوامل، ما هي العلاقة بين كل عامل وتركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي؟
- ب. تناقشوا كيف يتغير كل عامل في قائمتكم على ضوء ارتفاع درجة حرارة العالم وتغيرات المناخ؟
- ملاحظة للمعلم بخصوص السؤال: يهدف السؤال إلى تجسيد مدى تعقيد أنظمة المناخ، من خلال مراجعة المادة التي تعلمناها في الدروس 3 حتى 5. نشرح للتلاميذ أنه في هذا النموذج يتم إدخال كل عامل من هذه العوامل كمعادلة تصف العلاقة بين العامل وتركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي.
7. ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي هو عامل مركزي في ارتفاع درجة حرارة العالم، لكن ليس العامل الوحيد الذي يؤثر على معدل درجة الحرارة العالمي. اقترحوا عوامل إضافية من الأفضل أن تؤخذ بعين الاعتبار في بناء نموذج مناخ درجة الحرارة.

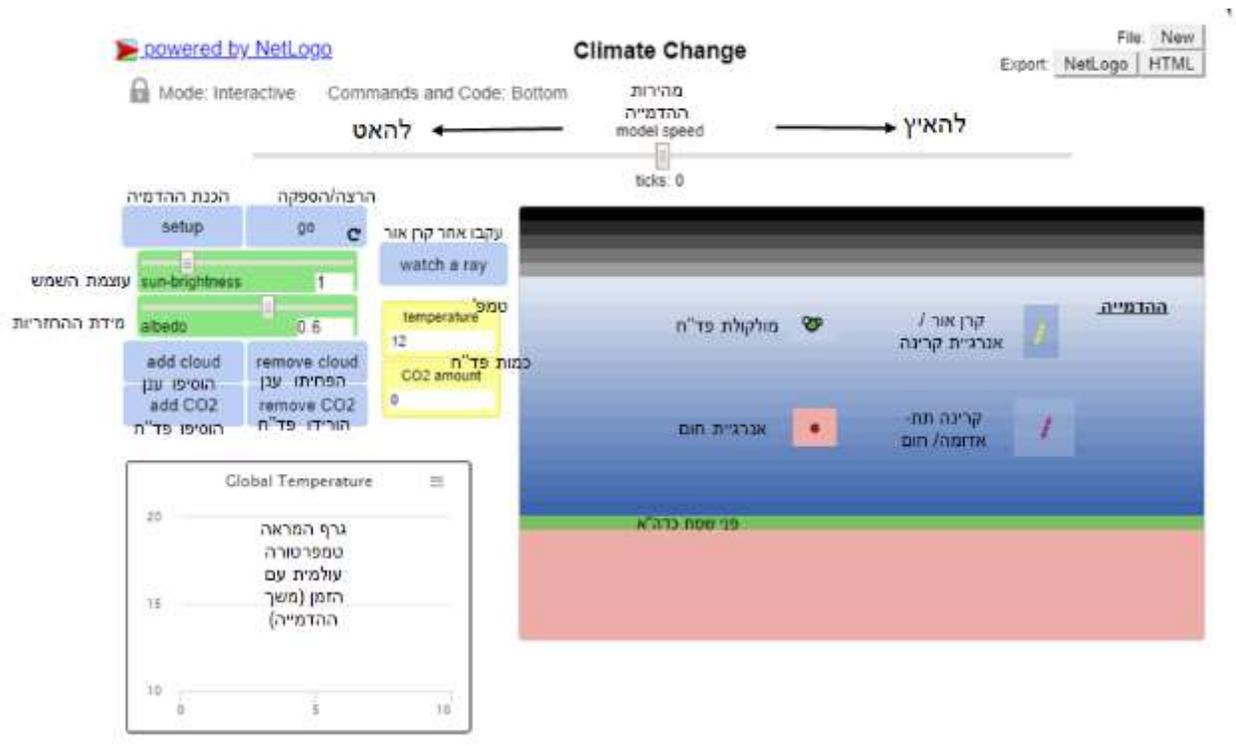
נספח 2 - סימולציה על השפעת גורמים שונים על הטמפרטורה

כנסו להדמייה הבאה :

<http://www.netlogoweb.org/launch#http://www.netlogoweb.org/assets/modelslib/Sample%20Models/Earth%20Science/Climate%20Change.nlogo>

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

הסבר על ההדמייה:



להכנת ההדמייה לחצו על "setup". פני השטח של כדור הארץ מוצגים בצבע ירוק, היבשה בצבע ורוד.

כדי להתחיל להריץ את ההדמייה לחצו על "go".

ניתן לשנות את מהירות ההרצה על ידי הזזה של הסליידר "model speed".

ענו על השאלות הבאות :

1. הריצו את הסימולציה ללא פד"ח במערכת.

א. שימו לב לפסים הצהובים אשר מייצגים את אנרגיית הקרינה (קרני אור) שנכנסת לכדור הארץ ותארו את מסלולם. ניתן לעקוב אחר קרן אור אחת ע"י לחיצה על "watch ray".

ב. שימו לב לנקודות האדומות אשר מייצגות אנרגיית חום. מה המסלול / מסלולים האפשריים שלהן? מומלץ להאיץ את ההרצה.

ג. לאחר זמן מה של הרצה הטמפרטורה מתייצבת. מדוע?

2. כעת הוסיפו פד"ח לאטמוספירה ע"י לחיצה על "add CO2". הוסיפו 50 מולקולות פד"ח.

א. שימו לב למסלול של הנקודות האדומות אשר מייצגות אנרגיית חום או קרינה תת-אדומה. האם יש שינוי במסלולם?

ב. מה קורה לטמפרטורה (ציינו ביחס למצב ללא פד"ח)? מדוע זה קורה?

3. מלבד ריכוז גזי חממה כמו פד"ח באטמוספירה יש גורמים נוספים אשר יכולים להשפיע על טמפרטורה. בהדמייה ניתן לבחון את ההשפעה של כמה גורמים נוספים:

- עוצמת השמש (**sun-brightness**). ערך של 1 מייצג את השמש שלנו כפי שהיא היום. ערכים גבוהים מ-1 מעידים על עוצמה יותר גדולה.
- אלבדו (**albedo**) - מידת ההחזרה של אור ממשטח או מגוף. למשטח בהיר יש אלבדו גבוהה - הוא יחזיר את רוב קרינת השמש שפוגעת בו. לעומת זאת, משטח כהה יבלע את רוב הקרינה שפוגעת בו ויתחמם (אלבדו נמוך). תחשבו מה עדיף ללבוש לטיול ביום חם בשמש - בגדים לבנים או שחורים? למידע נוסף כנסו [לאתר של מטח](#) בנושא.
- עננות (**add/remove cloud**) - כמה עננים יש בשמיים.

כמות האנרגיה אשר מגיעה מהשמש עלולה להשתנות (שיעור 4, חלופה 2). יש שינויים [במסלול כדה"א סביב השמש](#), כך שלעיתים הוא נמצא יותר קרוב או יותר רחוק ולכן גם כמות הקרינה הנכנסת תשתנה בהתאם. בנוסף, יש שינויים [בפעילות השמש](#) עצמה. אפסו את ההדמייה - לחצו על "go" כדי לעצור את ההרצה ולחצו על "setup" שוב.

א. תארו מה קורה בהדמייה כאשר מעלים את עוצמת השמש מבלי לשנות את הגורמים האחרים. מה קורה לטמפרטורה? הסבירו.

ב. אפסו את ההדמייה. החזירו את עוצמת השמש "sun-brightness" לערך של 1. ניצור מצב של התחממות גלובלית - הוסיפו 100 יחידות פד"ח לאטמוספירה, המתינו עד להתייצבות של הטמפרטורה (אפשר להאיץ את ההרצה) ורשמו מה הטמפרטורה הממוצעת. נניח והיינו צובעים את פני כדה"א ללבן כדי להגדיל את ההחזרה, כלומר מעלים מאוד את האלבדו (העלו את האלבדו לערך 1, שימו לב מה קורה לצבע פני השטח).

ב. (i) מה קורה לטמפרטורה - ציינו בכמה היא משתנה ביחס לאלבדו התחלתי של 0.6? הציעו הסבר.

ב. (ii) האם לדעתכם העלאת האלבדו של פני שטח כדה"א יכול להוות פתרון להתחממות גלובלית? הציעו פתרון להתחממות גלובלית אשר מבוסס על העלאת האלבדו של פני כדה"א.

ג. כעת נבחן את ההשפעה של עננות על הטמפרטורה.

(i) לפני שנריץ את ההדמייה, שערו כיצד עננות תשפיע על טמפרטורת כדה"א. נמקו את תשובתכם.

(ii) אפסו את ההדמייה. החזירו את ערך האלבדו ל-0.6. הוסיפו 50 יחידות פד"ח והתחילו את ההרצה. תנו להדמייה לרוץ עד שהטמפרטורה מתייצבת. לאחר מכן התחילו להוסיף עננים. מה קורה לטמפרטורה? למה?

4. בעירת דלקים פוסילים גורמת לעלייה בריכוזי גזי חממה באטמוספירה ולהתחממות גלובלית. להלן רשימה של תהליכים נוספים אשר יכולים להשפיע על טמפרטורת כדה"א. שערך עביר כל אחד מהתהליכים האם הוא יגביר או יאט את תהליך ההתחממות. נמקו את קביעתכם. הערה: מודלי אקלים לא יכולים להתבסס על ריכוזים אטמוספיריים של פד"ח בלבד. אחת מהסיבות לכך היא שההתחממות עצמה גורמת להשפעות משניות על האקלים (ע"י תהליכים אשר מכונים תהליכי משוב) שיכולים להגביר או לצמצם את ההתחממות. כך למשל הפשרת קרחונים גורמת לירידה באלבדו והגברת ההתחממות (משוב חיובי).
- א. פני שטח של כדה"א הופכים לכהים יותר עקב הפשרת קרחונים ושלגים.
- ב. כתוצאה של התחממות גלובלית יותר מים מתאדים. אדי מים הינם גז חממה עצמתי.
- ג. הפשרה של קרקעות קפואות (permafrost) יכול לגרום לשחרר מתאן, גז חממה, לאטמוספירה.
5. אילו גורמים נוספים אשר משפיעים על טמפרטורת כדה"א ניתן להוסיף להדמייה?

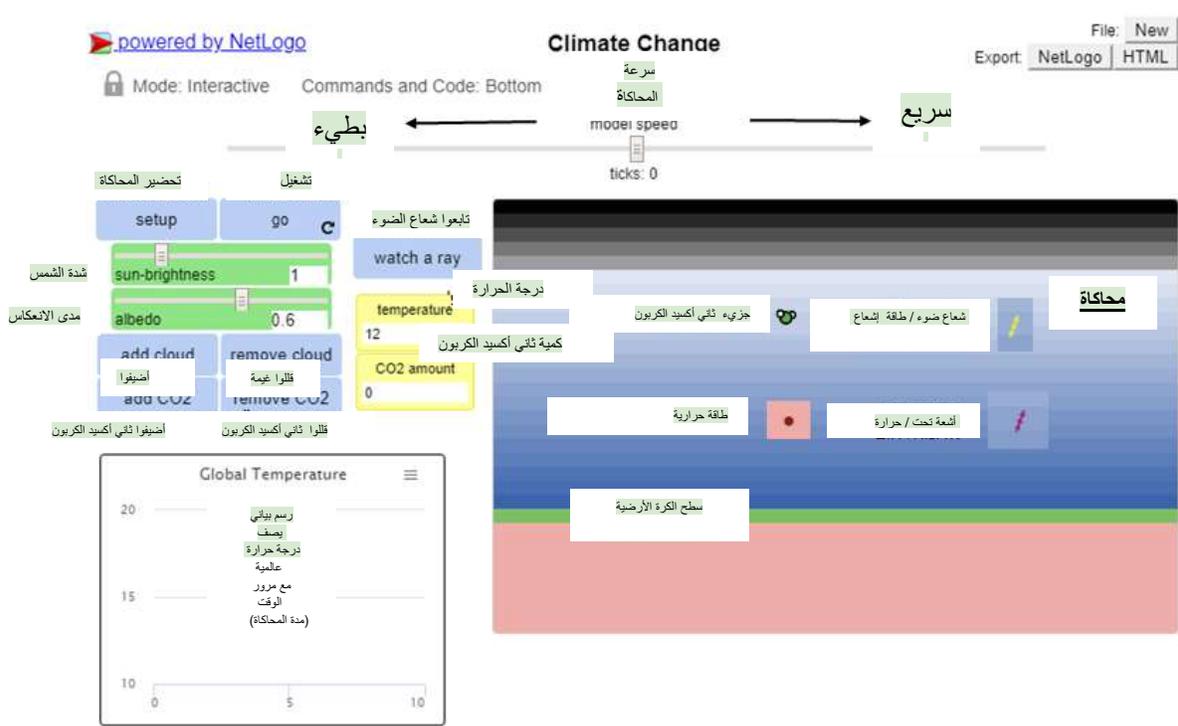
ملحق 2 - محاكاة عن تأثير عوامل مختلفة على درجة الحرارة

ادخلوا إلى المحاكاة الآتية:

<http://www.netlogoweb.org/launch#http://www.netlogoweb.org/assets/modelslib/Sample%20Models/Earth%20Science/Climate%20Change.nlogo>

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

شرح عن المحاكاة:



لتحضير المحاكاة اضغطوا على "setup". تعرض المحاكاة سطح الكرة الأرضية باللون الأخضر واليابسة باللون الزهري.

للبدا في تشغيل المحاكاة، اضغطوا على "go".

يمكن تغيير سرعة التشغيل بواسطة تحريك مفتاح التمرير "model speed".

أجيبوا عن الأسئلة الآتية:

1. شغلوا المحاكاة دون ثاني أكسيد الكربون في النظام.

أ. انتبهوا إلى الأشرطة الصفراء التي تمثل طاقة الإشعاع (أشعة الضوء) التي تدخل الكرة الأرضية، وصفوا مسارها.

يمكن متابعة شعاع ضوء واحد بواسطة الضغط على "watch ray".

ب. انتبهوا إلى النقاط الحمراء التي تمثل طاقة الحرارة. ما هو مسارها / مساراتها الممكنة؟ نوصي بتسريع التشغيل.

ت. بعد مرور زمن معين من التشغيل تصبح درجة الحرارة ثابتة. لماذا؟

2. الآن، أضيفوا ثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي بواسطة الضغط على "2add CO". أضيفوا 50 جزيء ثاني أكسيد الكربون.

أ. انتبهوا إلى مسار النقاط الحمراء التي تمثل الطاقة الحرارية أو الأشعة تحت الحمراء. هل يوجد تغيير في مسارها؟

ب. ماذا يحدث لدرجة الحرارة؟ (قارنوا بالحالة التي لا يوجد فيها ثاني أكسيد الكربون). لماذا يحدث ذلك؟

3. بالإضافة إلى تركيز غازات الدفيئة، مثلاً: تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، هناك عوامل إضافية يمكن أن تؤثر على درجة الحرارة. يمكن أن نفحص في المحاكاة عدة عوامل إضافية:

- شدة الشمس (sun-brightness). القيمة 1 تمثل الشمس كما هي اليوم. نُشير قيم أكبر من 1 إلى شدة أكبر للشمس.

- الانعكاس (albedo) – مدى انعكاس الضوء عن سطح أو جسم معين. السطح الفاتح له مدى انعكاس عالٍ – وهو يعكس معظم أشعة الشمس المصطدمة به. أما السطح القاتم، يبتلع معظم أشعة الشمس التي تصطدم به ويسخن (مدى انعكاس منخفض). فكروا أيهما أفضل أن تلبسوا في يوم حار، ملابس بيضاء أم سوداء؟ للمزيد من المعلومات عن الموضوع ادخلوا إلى [موقع مطاح](#).

- غيوم (add/remove cloud) - كم غيمة في السماء؟

قد تتغير كمية الشمس التي تصلنا من الشمس (درس 4، بديل 2). يوجد تغيرات في مسار الكرة الأرضية حول الشمس، أحياناً يكون قريب أو بعيد، لذا تتغير كمية الأشعة التي تدخل وفقاً لذلك. بالإضافة، يوجد تغيرات في [نشاط الشمس ذاتها](#). عينوا المحاكاة على الصفر – اضغطوا على "go" لإيقاف التشغيل واضغطوا على "setup" مرة أخرى.

أ. صفوا ماذا يحدث في المحاكاة عندما نرفع شدة الشمس دون أن تغير العوامل الأخرى؟ ماذا يحدث لدرجة الحرارة؟ اشرحوا.

ب. عينوا المحاكاة على الصفر. أعيدوا شدة الشمس "sun-brightness" إلى القيمة 1. ننتج حالة ارتفاع في درجة الحرارة

العالمية – أضيفوا 100 وحدة ثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي، انتظروا حتى تصبح درجة الحرارة ثابتة (يمكن

أن نسرّع التشغيل، وكتبوا معدل درجة الحرارة. نفترض أننا قمنا بطلاء سطح الكرة الأرضية باللون الأبيض كي نرفع

الانعكاس، هذا يعني أننا نرفع مدى الانعكاس بشكل كبير جداً (ارفعوا مدى الانعكاس إلى 1، انتبهوا إلى ماذا يحدث للون

السطح؟).

ب. (i) ماذا يحدث لدرجة الحرارة – كم تتغير مقارنة بمدى الانعكاس الابتدائي 0.6؟ اقترحوا شرحاً.

ب. (ii) هل يستطيع، حسب رأيكم، رفع مدى الانعكاس عن سطح الكرة الأرضية أن يكون حلاً لارتفاع درجة حرارة الكرة

الأرضية؟ اقترحوا حلاً لارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية بحيث يعتمد على ارتفاع مدى الانعكاس عن سطح الكرة

الأرضية؟

ت. الآن، نفحص تأثير الغيوم على درجة الحرارة.

(i) قبل تشغيل المحاكاة، افترضوا كيف تؤثر الغيوم على درجة حرارة الكرة الأرضية؟ عللوا إجاباتكم.

(ii) عينوا المحاكاة على الصفر. أعيديوا قيمة مدى الانعكاس إلى 0.6. أضيفوا 50 وحدة ثاني أكسيد الكربون وابدأوا التشغيل؟

اتركوا المحاكاة تعمل حتى تصبح درجة الحرارة ثابتة. بعد ذلك، أضيفوا الغيوم. ماذا يحدث لدرجة الحرارة؟ لماذا؟

4. يؤدي احتراق الوقود المتحجرة إلى ارتفاع تركيز غازات الدفيئة في الغلاف الجوي وإلى ارتفاع درجة حرارة الكرة

الأرضية. فيما يلي قائمة عمليات إضافية يمكن أن تؤثر على درجة حرارة الكرة الأرضية. افترضوا لكل عملية ما إذا

كانت ترفع أو تقلل عملية ارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية. عللوا تحديدكم.

ملاحظة: لا يستطيع نموذج المناخ الاعتماد على تركيز ثاني أكسيد الكربون فقط في الغلاف الجوي. أحد الأسباب لذلك أن

ارتفاع درجة الحرارة ذاتها تؤدي إلى تأثيرات ثانوية على المناخ (بواسطة عمليات نسميها مردودية)، مما ترفع أو تقلل

ارتفاع درجة الحرارة. مثلاً: يؤدي انصهار الجليد إلى انخفاض مدى الانعكاس وإلى ازدياد ارتفاع درجة الحرارة (مردودية

إيجابية).

أ. في أعقاب انصهار الجليد والثلوج يتحوّل سطح الكرة الأرضية إلى غامق أكثر.

ب. تتبخّر كمية مياه أكثر نتيجة لارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية. بخار الماء هو غاز دفيئة قوي.

ت. قد يؤدي انصهار تربة متجمدة (permafrost) إلى انبعاث ميثان، غاز الدفيئة، إلى الغلاف الجوي.

5. أي عوامل أخرى تؤثر على درجة حرارة الكرة الأرضية يمكن إضافتها إلى المحاكاة؟

תשובות למורה:

- 1.א. מסלול קרני האור: חלק מקרני האור פוגעות בפני השטח של כדה"א וחוזרות בחזרה לחלל. חלקן פוגעות בפני השטח ו"נבלעות" - אנרגיית קרינה גורמת לחימום פני השטח של כדה"א (מעבר של אנרגיית אור לאנרגיית חום).
- 1.ב. מסלולים של אנרגיית החום: אנרגיית החום מצטברת בפני שטח כדה"א (יותר ויותר נקודות אדומות מצטברות בחלק הוורוד). מדי פעם ניתן לראות שחרור חום מהיבשה (נקודה אדומה עפה החוצה). זוהי בעצם קרינה תת-אדומה שנפלטת מהיבשה.
- 1.ג. הטמפרטורה מתייצבת לאחר זמן מה של ההרצה כשנוצר שיווי משקל בין האנרגיה הנכנסת לכדה"א (קרינה שגורמת לחימום פני השטח) לבין האנרגיה שנפלטת מכדה"א (החזרה של קרינת אור מפני השטח ופליטה של קרינה תת-אדומה מפני השטח).
- 2.א. כן, חל שינוי במסלול הנקודות האדומות. חלק מהפסים אדומים (קרינה תת-אדומה) נתקלים במולקולות פד"ח וחוזרים חזרה לפני שטח כדה"א. למעשה גזי חממה בולעים או מחזירים קרינה תת-אדומה הנפלטת מכדור הארץ.
- 2.ב. הטמפרטורה עולה כיוון שפד"ח הינו גז חממה - הוא בעצם כולא אנרגיית חום (מחזיר את אנרגיית החום בחזרה לפני השטח וכך גורם להתחממות).
- 3.א. עלייה בעוצמת השמש גורמת לעלייה באנרגיית הקרינה אשר מגיעה לפני כדה"א (יותר פסים צהובים נראים במסך ההדמייה). כתוצאה מכך יש עלייה בטמפרטורה כיוון שיותר אנרגיית חום מצטברת ביבשה. שימו לב שגם יותר אנרגיית חום נפלטת מכדה"א (פסים אדומים יוצאים - קרינה תת-אדומה) והטמפרטורה מתייצבת על ערך יותר גבוהה. החימום מתרחש גם ללא גזי חממה באטמוספירה.
- 3.ב. (i). עלייה באלבדו של פני שטח כדה"א גורמת לירידה מהירה בטמפרטורות. הטמפרטורה צונחת ומתייצבת על 21 מעלות, בערך 10 או 11 מעלות יותר קר לעומת מצב בו האלבדו 0.6. ההתקררות נובעת מכך שיותר קרני אור חוזרות חזרה לחלל ולכן יש פחות חימום של פני השטח (פחות הצטברות של נקודות אדומות).
- 3.ב. (ii). פתרון להתחממות גלובלית אשר מבוסס על העלאת האלבדו של פני כדה"א יכול להיות צביעת גגות של בתים בלבן.
- יש מחלוקת בעולם המדעי בנוגע ליעילות הפתרון (והאם הוא לא בעצם יפגע במקום להועיל). ניתן לקרוא עוד על הרעיון באתר [זווית](#) (עברית) או על המחלוקת ומחקרים בנושא [בבלוג הסביבתי של אוניברסיטת ייל](#) (אנגלית).
- 3.ג. (i). כל הסבר מתקבל כל עוד הוא מנומק בצורה הגיונית.
- למשל - עננים יכולים לקרר כיוון שהם מונעים חדירה של אנרגיית קרינה.
- או עננים יכולים לחמם כיוון שהם כולאים חום קרוב לפני שטח כדה"א.
- (למעשה שני ההסברים הנ"ל נכונים - השפעת עננות על אקלים היא מורכבת - ראו תשובה ל-ii)
- 3.ג. (ii). בהדמייה לעננים יש השפעה מקררת על כדה"א. ניתן לראות שקרני השמש (הקווים הצהובים) לא חוזרים דרך העננים ומוחזרים חזרה לחלל ולכן יש השפעה של קירור.

למעשה ההשפעה של עננים על טמפרטורה היא מורכבת. השפעתו של ענן על האקלים תלויה בגובה הענן ובעובי שלו ולכן עננות יכולה לגרום לקירור או לחימום. למידע נוסף כנסו לאתר של [NASA](#) (באנגלית)

4.א. ירידה של אלבדו כדה"א (נעשה כהה יותר) יגרום להגברת ההתחממות הגלובלית.

4.ב. יותר גזי חממה יגרמו ליותר חימום. כלומר, להגברת התחממות גלובלית.

4.ג. יותר גזי חממה יגרמו ליותר חימום. כלומר, להגברת התחממות גלובלית.

5. גורמים נוספים אשר משפיעים על טמפרטורת כדה"א שניתן להוסיף להדמייה:

- למדנו על מחזור הפחמן בשיעור 5 - כל גורם אשר משפיע על ריכוז פד"ח באטמוספירה יכול להשפיע על טמפרטורה עולמית ממוצעת. למשל - קצב וכמות של יצרנות ראשונית/פוטוסינתזה בים וביבשה.
- זרמי אוקיינוס (כפי שהזכרנו בשיעור 2).
- כמות האנשים ורמת החיים שלהם תשפיע על השימוש בדלקים פוסילים.

נספח 3 - פעילות על מודלי אקלים ותרחישי פליטות שונים

1. חוקרי אקלים משלושה מכוני מחקר שונים יצרו מודלי אקלים אשר חוזים את השינוי בטמפרטורה הממוצעת העולמית את השינויים בכמות המשקעים הממוצעת בעולם בעקבות הכפלה בריכוז הפד"ח באטמוספירה. להלן הנתונים:

מודל	עלייה עולמית ממוצעת בטמפ' (°C)	אחוזי עליה בכמות המשקעים הממוצעת בעולם יחסית להווה (%)
NCAR- National Centre for Atmospheric Research	3.5	7.1 +
OSU- Oregon State University, Corvallis, Oregon	2.8	7.8 +
UKMO- United Kingdom Meteorological Office	5.2	15.0 +

א. כל מודל מורכב ממשוואות שונות, אשר מתארות את יחסי הגומלין ואת הקשרים בין הגורמים השונים במערכת האקלים. הסתכלו על התחזיות לשינוי טמפרטורה לשינוי במשקעים - איזה מודל שונה מהאחרים בצורה משמעותית?

ב. לאיזה מודל או מודלים כדאי למקבלי החלטות להתייחס לדעתכם? נמקו את תשובתכם.

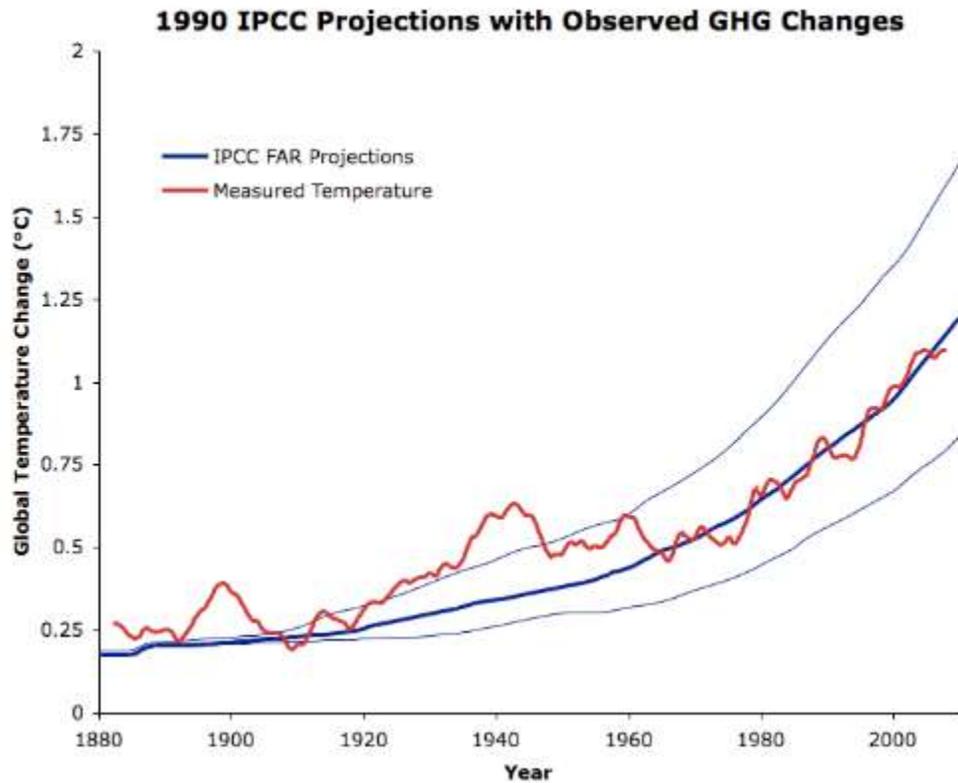
ג. האם התחזיות של המודלים האלו יכולות לעזור לנו להיערך לשינויי אקלים כאן בישראל? נמקו את תשובתכם.

2. בשנת 1990 הפאנל הבין-ממשלתי לשינוי האקלים (IPCC) פרסם דו"ח הערכה ראשון שמטרתו הייתה לבחון את הידע המדעי הקיים לגבי מערכת האקלים ולגבש תוכנית פעולה מציאותית להתמודדות עם שינויי אקלים. כדי לעשות זאת, השתמשו במודלים כדי לחזות תרחישים עתידיים. כיום ניתן להסתכל אחורה על אותם המודלים ולראות האם הצליחו לחזות את האקלים בצורה מדוייקת.

איור 1 מראה את התחזית של אותם המודלים בשנת 1990 בתרחיש של "עסקים כרגיל" (business as usual). בתרחיש זה אין הפחתה בפליטות גזי חממה ואנשים ממשיכים בביערת דלקים פוסילים כרגיל. בנוסף ניתן לראות את הטמפרטורות הממוצעות אשר נמדדו בפועל.

א. מדוע כדאי להשוות בין תחזיות מודל משנת 1990 לבין נתוני אמת?

ב. מה ניתן ללמוד על אותו המודל מהנתונים באיור 1?



איור 1: טמפרטורה ממוצעת עולמית נמדדת (אדום) וטמפרטורה ע"פ מודלים שנוסחו בשנת 1990 (כחול) בתרחיש "עסקים כרגיל". יש שלושה עקומים כחולים אשר מייצגים רגישות אקלימית שונה. רגישות אקלימית (climate sensitivity) מוגדרת כשיעור ההתחממות שנובע מהכפלה בריכוז ה- CO_2 כלומר כמה הטמפרטורה תשתנה בהתאם לעלייה בפד"ח. הקו הכחול העליון מייצג רגישות גבוהה - עלייה גבוהה בטמפרטורה כתגובה לעלייה בפד"ח. הקו הכחול התחתון מייצג רגישות נמוכה הקו האמצעי המודגש מייצג רגישות ביניים.

מקור: <https://www.skepticalscience.com/print.php?n=960>

3. הפאנל הבין-ממשלתי לשינוי האקלים (IPCC) פרסם תחזיות אקלים לעתיד על בסיס מספר מודלים. איור 2 מציג את התחזיות שפורסמו ב-2007. נתוני העבר מוצגים בשחור. לאחר שנת 2000 ניתן לראות ארבעה תרחישים (יש עוד הרבה תרחישים, כאן מוצגים חלקם). המספרים אשר מופיעים בצבעים שונים בתחתית הגרף מציינים את מספר המודלים אשר בחנו את אותו התרחיש. הסתכלו על איור 2 וענו על השאלות.

רשימת תרחישים המופיעים באיור:

תרחיש 2A (אדום): קצב גבוה של גידול אוכלוסיית העולם. התפתחות טכנולוגית וכלכלית איטית. שימוש גבוה באנרגיה.

תרחיש A1B (ירוק): התפתחות כלכלית מאוד מהירה, גידול איטי בגודל האוכלוסייה ושימוש מאוזן באנרגיות מתחדשות ובדלקים פוסילים

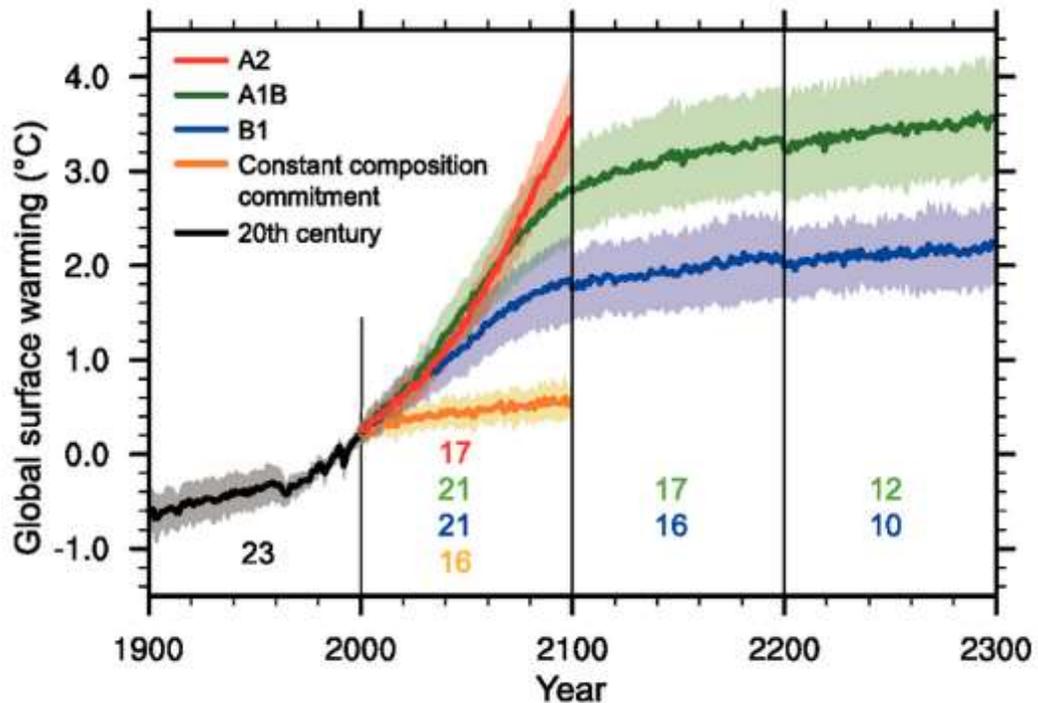
תרחיש 1B (כחול): אוכלוסיית העולם גדלה בקצב איטי. התפתחות טכנולוגית כלכלית מהירה. מודעות סביבתית וחברתית גבוהה. שימוש מועט באנרגיה. ייעור מחדש של יערות הגשם, פחות שימוש קרקעות לצורך חקלאות.

תרחיש הרכב קבוע (כתום): תרחיש זה הינו תרגיל מחשבתי בו משאירים את הרכב גזי החממה באטמוספירה קבוע משנת 2000 ובודקים מה יקרה בעוד 100 שנים אם הרכב זה נשמר לאורך זמן.

א. מדוע, לדעתכם, בוחנים מספר תרחישים?

ב. למה משמש תרחיש ההרכב הקבוע (צהוב) בו משאירים את הרכב גזי החממה באטמוספירה משנת 2000 קבוע לאורך 100 שנים הבאות?

ג. אלו החלטות הייתם מקבלים על סמך המודלים המוצגים באיור 2 כדי להתמודד עם שינויי אקלים?



איור 2: מודלים אשר בוחנים את העלייה בטמפרטורה הממוצעת על פני שטח כדה"א ביחס לשנים 1980 - 1999. הרצת המודלים בוחנת 100 שנה כל פעם.

מקור: https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/figure-10-4.html

ملحق 3 – عمل نموذج المناخ وسيناريوهات انبعاث مختلفة

1. بنى باحثو مناخ، من ثلاثة معاهد، نماذج مناخ تتوقع تغيرات معدل درجة الحرارة العالمي، تغيرات معدل كمية الرواسب في العالم في أعقاب مضاعفة تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. فيما يلي المعطيات:

النموذج	ارتفاع معدل درجة الحرارة العالمي (°C)	ارتفاع معدل كمية الرواسب في العالم مقارنة بالوقت الحاضر (%)
NCAR- National Centre for Atmospheric Research	3.5	7.1 +
OSU- Oregon State University, Corvallis, Oregon	2.8	7.8 +
UKMO- United Kingdom Meteorological Office	5.2	15.0 +

- أ. كل نموذج مكوّن من معادلات مختلفة تصف العلاقات المتبادلة والعلاقات بين العوامل المختلفة في نظام المناخ. تمنعونا في توقعات تغيرات درجة الحرارة وتغيرات الرواسب – أي نموذج يختلف عن النماذج الأخرى بشكل كبير جداً؟
- ب. أي نموذج أو نماذج، حسب رأيكم، من الأفضل أن يأخذها صانعو القرار بعين الاعتبار؟ عللوا إجاباتكم.
- ت. هل تساعدنا توقعات هذه النماذج على الاستعداد لتغيرات المناخ في إسرائيل؟ عللوا إجاباتكم.

2. في سنة 1990، نشرت هيئة الحكومات المعنية بتغيرات المناخ (IPCC) تقرير تقييم أول لفحص المعرفة العلمية الموجودة

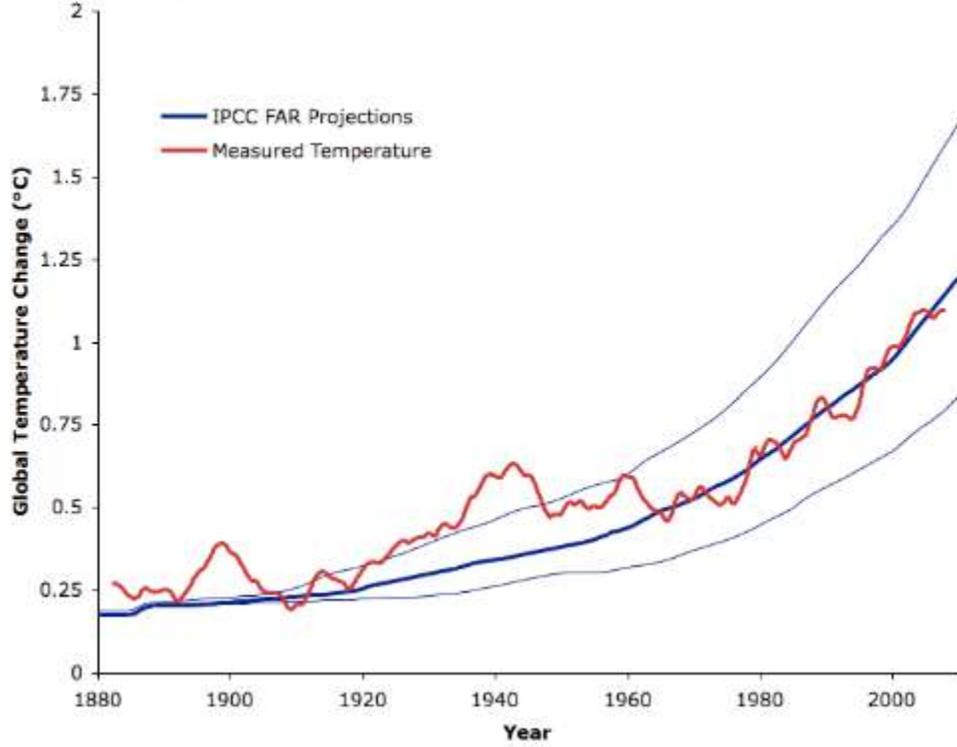
بالنسبة لنظام المناخ، ولبلورة خطة عمل واقعية لمواجهة تغيرات المناخ. لتنفيذ ذلك، استُعملت نماذج تتوقع سيناريوهات

- مستقبلية. نستطيع اليوم النظر إلى الماضي على تلك النماذج، وفحص ما إذا كانت ناجحة في توقع المناخ بشكل دقيق. يصف الرسم البياني 1 توقعات تلك النماذج، في سنة 1990، في سيناريو "بقاء الأمور على حالها" (business as usual). في هذا السيناريو لا يوجد انخفاض في انبعاث غازات الدفيئة، والناس مستمرين في حرق الوقود المتحجرة كالمعتاد. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن نرى معدل درجة الحرارة التي تمّ قياسها في الواقع.

أ. لماذا من المهم المقارنة بين توقعات النموذج سنة 1990 والمعطيات الواقعية؟

ب. ماذا يمكن أن نتعلم عن النموذج من معطيات الرسم البياني 1؟

1990 IPCC Projections with Observed GHG Changes



الرسم البياني 1: معدل درجة الحرارة العالمي التي تم قياسها (أحمر) ودرجة الحرارة حسب نماذج تمت صياغتها سنة 1990 (أزرق)، في سيناريو "بقاء الأمور على حالها". يوجد ثلاثة منحنيات تمثل حساسية مختلفة للمناخ. حساسية المناخ (climate sensitivity) معرفة كنسبة ارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية الناجمة من تركيز CO_2 ، بكلمات أخرى، كم تتغير درجة الحرارة وفقاً لارتفاع ثاني أكسيد الكربون؟ الخط الأزرق العلوي يمثل حساسية عالية. ارتفاع حاد في درجة الحرارة كرد فعل لارتفاع ثاني أكسيد الكربون. الخط الأزرق السفلي يمثل حساسية منخفضة، الخط الأوسط البارز يمثل حساسية متوسطة.

المصدر: <https://www.skepticalscience.com/print.php?n=960>

3. نشرت هيئة الحكومات المعنية بتغيرات المناخ (IPCC) تنبؤات المناخ في المستقبل بناء على عدة نماذج. يعرض الرسم البياني 2 التنبؤات التي نُشرت سنة 2007. عُرضت معطيات الماضي بالأسود. بعد سنة 2000، يمكن أن نرى أربعة سيناريوهات (هناك سيناريوهات كثيرة، تم عرض قسم منها هنا). الأعداد التي تظهر بألوان مختلفة، في أسفل الرسم البياني، تُشير إلى عدد النماذج التي فحصت نفس السيناريو. تمعنوا في الرسم البياني 2، وأجيبوا عن الأسئلة.

قائمة سيناريوهات تظهر في الرسم البياني:

سيناريو 2A (أحمر) : يزداد تعداد سكان العالم بوتيرة عالية. التطور التكنولوجي والاقتصادي بطيء. استعمال عالي للطاقة.

سيناريو A1B (أخضر) : تطور اقتصادي سريع جداً، نمو بطيء في تعداد السكان العالم واستعمال متوازن للطاقة المتجددة والوقود المتحجرة.

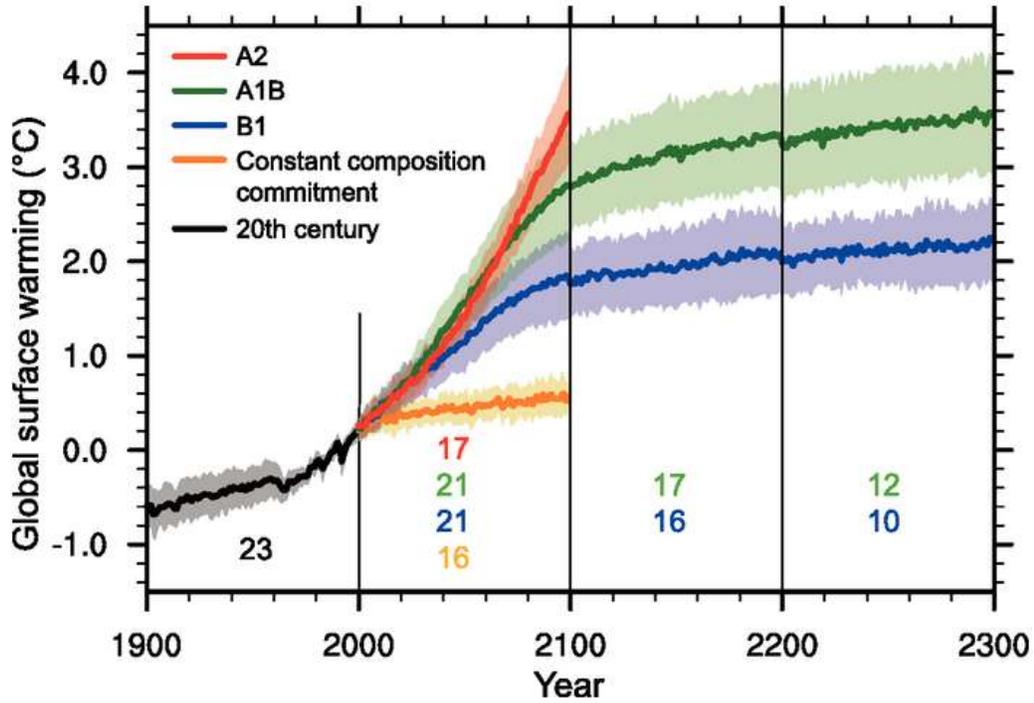
سيناريو 1B (أزرق) : يزداد تعداد سكان العالم بوتيرة بطيئة. التطور التكنولوجي والاقتصادي سريع. الوعي للبيئة المحيطة وللمجتمع عالٍ. استعمال قليل للطاقة. حراجه غابات المطر من جديد، استعمال قليل للأراضي لاحتياجات زراعية. سيناريو مكونات ثابتة (برتقالي): هذا السيناريو هو تمرين للتفكير، حيث تبقى مكونات الغازات الدفيئة في الغلاف الجوي ثابتة من سنة 2000، ونفحص ماذا يحدث بعد مرور 100 سنة إذا بقيت هذه المكونات ثابتة مدة زمنية طويلة؟

أ. لماذا يفحصون، حسب رأيكم، عدة سيناريوهات؟

ب. لأي غرض يُستخدم سيناريو المكونات الثابتة (الأصفر)، الذي تبقى فيه مكونات الغازات الدفيئة في الغلاف الجوي ثابتة منذ

سنة 2000 على طول الـ 100 سنة القادمة؟

ت. أي قرارات تتخذون بناء على النماذج المعروضة في الرسم البياني 2 لمواجهة تغيرات المناخ؟



الرسم البياني 2: نماذج تفحص ارتفاع معدل درجة الحرارة على سطح الكرة الأرضية مقارنة بالسنوات 1980 - 1999 . عندما نشغل النموذج يفحص 100 سنة في كل مرة.

المصدر: https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/figure-10-4.html

תשובות למורה

1.א. המודל של ה-UKMO שונה באופן משמעותי. המודלים של NCAR ו של OSU דומים בנוגע לתחזית לשינוי משקעים ולא שונים בהרבה בתחזית לשינוי טמפרטורה (יש שיניהם הבדל ב-0.7 מעלות). לעומת זאת המושל של UKMO נותן תחזית של כמעט פי שתיים יותר משקעים גם תחזית לעלייה יוצר משמעותית בטמפרטורה.

1.ב. כל תשובה מנומקת תתקבל. למשל

- צריך להתייחס למודל המחמיר כדי להיות ערוכים לתרחישי קיצון.
- אפשר לכלול שני מודלים או יותר כדי לקבל ממוצע שכולל יותר מנקודת מבט אחת
- אפשר לבחון את תפקוד המודלים ע"י "חיזוי לאחור" (hindcasting) - היכולת שלהם "לחזות" אקלים בעבר ואז להשוות לנתוני אמת כדי להבין מה מידת הדיוק של המודלים.

1.ג. אלו מודלים גלובליים אשר חוזים מגמות בממוצעים עולמיים. לכן למרות שבעולם יש תחזית לעלייה בכמות המשקעים למשל, זה לא בהכרח מעיד שגם בישראל ירד יותר גשם (למעשה ראינו בשיעור 2 שההפך - בישראל יש תחזית לפחות משקעים). עבור ישראל עדיף להסתכל על מודל אקלים מקומי ולא עולמי.

2.א. כאשר משווים תחזיות של מודלים לנתוני אמת זה מאפשר לנו לבחון את המהימנות של אותם המודלים. כך ניתן לפתח ולשפר את המודלים וכן להעמיק את ההבנה שלנו של מערכת האקלים.

2.ב. ניתן לראות שהמודל נותן תחזיות קרובות מאוד (בתרחיש של רגישות אקלימית ביניים) לטמפרטורה הממוצעת אשר נמדדות בפועל משנת 1990 ואילך. המודל פחות מדויק כאשר הולכים אחורה בזמן.

3.א. בוחנים מספר תרחישים כדי להיערך כדאי לבחון גורמים שונים אשר יכולים להשפיע של טמפרטורה - גידול באוכלוסיה, צמצום פליטות גזי חממה ע"י מודעות סביבתית וחברתית אשר משפיעה על שימוש באנרגיה, שימוש באנרגיות חלופיות והתפתחות כלכלית וטכנולוגית.

3.ב. תרחיש ההרכב הקבוע משמש בנקודת ייחוס או כבקרה. ניתן לראות שגם אם היינו ממשיכים כרגיל, לא נבלום את ההתחממות הגלובלית.

3.ג. שימוש מאוזן באנרגיה מתחדשת ובאנרגיה פוסילית הוא לא פיתרון מספק דיו משום שיש עליה בהתחממות הגלובלית, התרחיש הטוב ביותר עבור ההתחממות הגלובלית הוא התרחיש התכלת ואחריו הכחול.

צמצום פליטת גזי חממה ע"י העלאת מודעות סביבתית וחברתית ושימוש יותר נכון באנרגיה, פיתוח ושימוש אנרגיות חלופיות, האטה בקצב גידול אוכלוסיית העולם וכו....



מה הקשר בין המונחים שלמדנו?

שיעור 7

המשגה ויישום: מה הקשר בין המונחים שלמדנו ?

ידע למורה: בששת השיעורים האחרונים התלמידים נחשפו לגוף רחב של ידע ולמגוון מושגים. בשיעור זה נקשר את המושגים יחד, תוך כדי דגש על הקשר ביניהם.

מושגים: אקלים, משבר אקלים, שינויי אקלים, התחממות גלובלית, גזי חממה, פחמן דו חמצני, דלקים פוסילים, אפקט החממה, אטמוספירה, מזג אוויר, אירועי אקלים קיצוני, עליית מפלס הים, שריפות, גלי קור, גלי חום, הפשרת קרחונים, אובך, החמצת אוקיינוסים, משטר גשמים, מדבור, קרינה תת-אדומה, פוטוסינתזה, נשימה תאית, תקופת קרח, מחזור פחמן, מודל אקלים.

פתיחה (המשגה של שיעורים 1-6):

התלמידים יירשמו על דף את כל המושגים שנלמדו על סמך הזיכרון שלהם או מהמחברות. המורה ישלים את רשימת המושגים במידת הצורך, מתוך הרשימה שלעיל. נבקש מהתלמידים למפות את הקשר בין המושגים ע"י מפת חשיבה (לאחר שניתן הסבר ומתן דוגמה למהי מפת חשיבה).

למורה: מפת חשיבה היא כלי גרפי לייצוג ידע ולארגון תהליכי חשיבה. במפת חשיבה ניתן למפות מושגים ורעיונות במבנה היררכי, של ענפים ותתי-ענפים, המציגים קשרים. כדאי להוסיף אייקונים, איורים ותמונות וכן להשתמש בצבעים שונים ולהסביר במלל את הקשרים, תחת החיצים על מנת שהמפה תהיה גרפית ככל האפשר. ניתן לבצע ידנית או להציע להשתמש בכלי דיגיטלי כמו [poplet](#); [mindmup2](#); [XMind](#) (לכולם יש סרטי הדרכה ברשת).

הסברים נוספים והדגמה - [סרטון מערכת החינוך](#)

מידע נוסף על פרקטיקת הוראה לשימוש במארגני ידע (כמו מפות חשיבה) - [כאן](#).

מטלה זו תוכל לשמש להערכה חלופית. יש להעריך את נכונות הקשרים שהתלמידים הוסיפו בין המושגים וההסברים שלהם.

גוף השיעור (יישום):

חלופה 1: קמפיין למשבר האקלים - נסביר את ההתפתחות ההיסטורית של השמות לתופעה. נציג קמפיינים להגברת המודעות הציבורית לנושא. נדון עם התלמידים - האם נכון "להפחיד" את הציבור או איך כדאי לבסס קמפיין תקשורתי. נבקש מהתלמידים לחשוב על שם חדש / מיתוג לנושא והצעות לקמפיין בישראל.

למורה: קמפיין האקלים עבר תהליך של שינוי במושגים מהתחממות גלובלית דרך שינוי אקלים ועד למשבר האקלים: התחממות הגלובלית הוזכרה לראשונה בשנות ה-50, כשהופק דו"ח המזהיר מפני עליית ריכוז הפחמן הדו חמצני באטמוספירה והשלכותיה. רק ב 1972, החל שיתוף הפעולה הבינלאומי בועידת האומות המאוחדות על סביבת האדם שהתקיימה בשטוקהולם. במפגש זה נוסד הארגון של האו"ם שעסק בנושאי סביבה (UNEP). בהמשך, הוקמו הפאנל הבין-ממשלתי לשינוי האקלים, ועידת המסגרת של האו"ם בנושא שינויי אקלים, וכן ועידות האומות המאוחדות לשינוי אקלים, אשר מתכנסת מדי שנה מאז 1995. השימוש במילה "משבר" במקום "שינוי", נעשה בידי סגן נשיא ארצות הברית לשעבר, אל גור, מאז סוף שנות ה-80 של המאה ה-20. החל מתחילת שנות האלפיים המונח הפך רשמי.

מהו קמפיין? קמפיין הוא מסע הסברה נרחב הכולל סדרה של אמצעי פרסום סביב רעיון אחד להשגת מטרה משותפת, באמצעות תקשורת שיווקית. בד"כ נבחר מסר מרכזי המיוצג לעיתים באמצעות משפט קצר המביע את הרעיון, וכן סמליל (לוגו) - סמל מייצג שבו ייזכר נושא הקמפיין ו/או המפיץ שלו.

דוגמאות לקמפיינים בתחום הסביבה: בשנת 2005 השיק המשרד להגנת הסביבה את קמפיין "הולכים על נקי" במטרה לשמור על ניקיון החופים. קמפיין כלל תשדירי רדיו, טלוויזיה, שלטי חוצות ופרסומות באתרי האינטרנט. בשנת 2018 השיקה רשות המים את קמפיין "ישראל מתייבשת" על מנת לצמצם את השימוש במים בגינה, בשירותים, במקלחת ובמטבח וזאת במטרה להתמודד עם הבצורת ומחסור המים במשך הישראלי.

דוגמאות קמפיינים לנושא ההתחממות הגלובלית/ שינויי אקלים ניתן למצוא ברשת, תחת חיפוש בגוגל תמונות: climate change campaign או global warming campaign. אפשר לבחור תמונות מסוימות ולשאול את התלמידים מהו המסר העולה מהן? ניתן להדפיס תמונות אחדות ולבקש מהתלמידים למיין אותן לפי קטיגוריות שיציעו, למשל: הצגת תמונת עתיד מפחידה; קריאה כללית לפעולה; הצעות פרקטיות לפעילות שכל אחד מאיתנו יכול לבצע וכו'.

בישראל אין כמעט התייחסות פרסומית לנושא. קבוצת המרד בהכחדה פרסמה [סרטון](#) לפני הבחירות ב 2019 הממחיש את ההתעלמות של נבחרה הציבור מהנושא. מספר פרסומים יצאו ע"י קואליציות של ארגוני הסביבה לפני מצעד האקלים ב 2019 וב 2020.



מקור התמונה: <https://betterbybus.org/>



מקור התמונה: [Fridays For Future](#)



מקור התמונה: [מגמה ירוקה](#)



מקור התמונה: [החברה להגנת הטבע](#)



מקור התמונה: [צדק חברתי - חדר מצב](#)

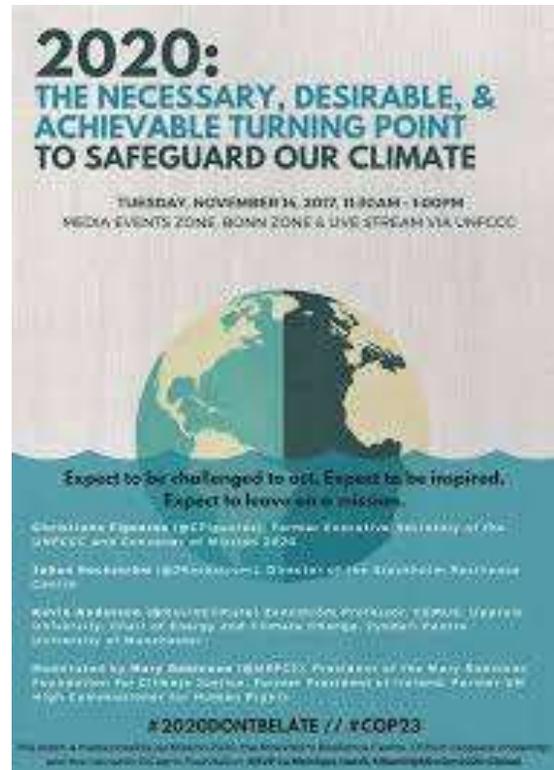


מקור התמונה: [מגמה ירוקה](#)

חלופה 2: נבקש מהתלמידים לעצב פלייר (עלון הסברה) אשר מסביר את משבר האקלים לציבור הרחב. תמונות להמחשה ניתן למצוא ברשת, תחת חיפוש climate change flyer בגוגל תמונות. ניתן להציג עלונים לדוגמה או להדפיס חלק מהעלונים ולדון עם התלמידים על מרכיבי הפלייר: כותרות, הסברים, איורים, נתונים מספריים ועוד. אפשר לנתח אלו עלונים אפקטיביים יותר ומדוע ולאור המסקנות התלמידים יתכננו ויעצבו פלייר לקהל הישראלי.



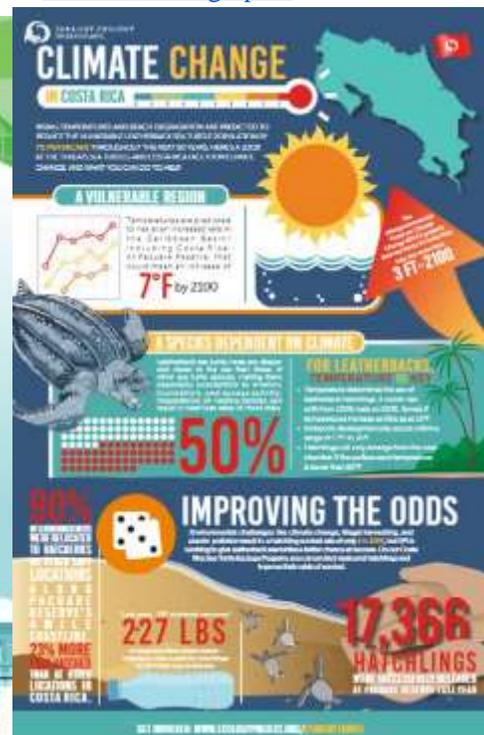
מקור התמונה: Stockholm Resilience Centre



מקור התמונה: Canadian Geographic



מקור התמונה: climate-change-on-guyana-s-coast Ecology project international



מטלה זו תוכל לשמש להערכה חלופית.

סיכום:

נציג לתלמידים [סרטון](#) מסכם שיסייע בהמשגה של כלל המושגים משיעורים קודמים: מה הסיפור של שינוי האקלים? נערוך דיון בעקבותיו:

- האם בסרטון מוזכרים מושגים שלא נלמדו עד כה? או שחסרים בסרטון מושגים שנלמדו בכיתה?
- בסרטון נאמר שתוצאות ההתחממות הגלובלית יורגשו היטב במישורים הביטחוניים, הכלכליים והבריאותיים - נשאל את התלמידים למה הכוונה?
- לחלופין נבקש מהתלמידים להציע רעיונות לדרך מעניינת / מקורית להצגת הנושא על כל מושגיו - למשל, להכין תשבץ, חידון, לערוך בעצמם סרטון, להכין קריקטורות וכו'.

מטלה זו תוכל לשמש להערכה חלופית.



מכחישי משבר האקלים

שיעור 8

יישום : מכחישי משבר האקלים

ידע למורה: בעידן של ריבוי מקורות מידע ושל "fake news" קשה מאוד לדעת מהי האמת. מכחישי משבר האקלים מנצלים זאת כדי ליצור תמונת מצב מוטעה לפיה יש חוסר הסכמה מדעי בנושא משבר האקלים באופן כללי, וספציפית לגבי הקשר בין העלייה בטמפרטורה העולמית הממוצעת והעלייה בריכוזי הפחמן הד-חמצני באטמוספירה. התנהלות זודומה להתנהלות לתעשיית הטבק, ששנים רבות גייסה מדענים להטיל ספק בקשר בין סרטן לעישון סיגריות. כיום קיימת הסכמה רחבה בעולם המדעי לגבי השפעת פעילות האדם על אקלים כדה"א (שיעורים 4, 5, ו-6). לתיאוריית אקלים יש מגוון רחב של תימוכין (IPCC ועוד). כל מי שרוצה להתנגד יכול לעשות זאת בצורה של פרסום מאמר מדעי בנושא. הקהילה המדעית תבחן את הטענות בתהליך של ביקורת עמיתים, בדומה לנהוג בשיטה המדעית אשר מבוססת על הניסיון להפריך היפותזות וכך להתקדם. כמו במקרה של תעשיית הטבק, מכונת הכשת האקלים משומנת היטב ומונעת משיקולים כלכליים. תכנים של הכחשת אקלים מופצים ברשתות החברתיות, בעתונים, ברדיו ובטלוויזיה. מטרת שיעור זה אינה לתת במה להפצת טענות של הכחשת משבר האקלים, אלא לתת לתלמידים כלים לחשוב באופן ביקורתי על הטענות שהם עלולים לפגוש בהמשך, תוך כדי דגש על השיטה המדעית.

שיעור זה יעסוק בהיבטים שונים של השיטה המדעית ומשמעות המדע בהקשר של משבר האקלים בעידן הפוסט-אמת. נפתח בתרגיל מהימנות מקורות מידע ונדבר על מאמרים מדעיים כמקור מידע. בגוף השיעור שלוש חלופות אשר מתייחסות להכחשת משבר האקלים ולהבחנה בין עובדה, דעה, תיאוריה מדעית והשערה (היפותזה). בסיכום נדון בשאלה - האם ניתן להפריך תיאוריה מדעית?

המלצה לצפייה: הסרט "Merchants of Doubt" או "סוחרי הספק" עורך מספר כיצד יוצרים רושם של וויכוח מדעי במקום שהוא למעשה אינו קיים: מנושאהתחממות העולמית ועד הקשר בין עישון לסרטן ריאות, והקשר בין פעילות האדם וגשם חומצי והחור באוזון.

מושגים: מידע כוזב (fake news), פוסט-אמת, מקור מידע ראשוני/משני, עובדה (fact), דעה (opinion), תיאוריה מדעית (scientific theory), השערה (היפותזה), תיאוריית האקלים, IPCC, מכחישי אקלים.

פתיחה:

תרגיל במהימנות מקורות מידע - בשנת 2016 בחר מילון אוקספורד את המושג 'פוסט-אמת' למילת השנה והגדירו כך: "מושג המצביע על נסיבות שבהן העובדות האובייקטיביות משפיעות פחות על עיצוב דעת הקהל מאשר פניות לרגש ולאמונה אישית".

נדון עם התלמידים מה המשמעות של המילה "פוסט-אמת" עבורם.

*קישור למאמר מעניין בנושא (העשרה).

בהקשר של משבר האקלים קשה לדעת מה "האמת" ומה "fake news" ולמי להאמין. נסתכל על מספר כותרות ממקורות מידע שונים ונדון ב"אמת" בתקשורת. בתרגיל (נספח 1) ניתן לתלמידים כותרות ממקורות מידע שונים ובבקש מהם למיין את המקורות לפי מידת המהימנות שלהם. רצוי להשתמש באינטרנט כדי לברר מי הם המקורות המידע השונים.

מקורות המידע בתרגיל:

1 - פייסבוק

2 - אתר Natural News (זהו ארגון המזוהה עם הימין הקיצוני בארצות הברית. בין השאר עוסקים בתיאוריות קונספירציה, מפיצים מידע נגד חיסונים והכחשת אקלים ועוד...) בשנת 2019 פייסבוק הורידה את הפרופיל שלהם בעקבות הפצת מידע כוזב)

3 - אתר חדשות מקור ראשון (שבועון ישראלי שנוסד ב-1997 ומאז 2014 נמצא בבעלות קבוצת ישראל היום)

4 - אתר חדשות Ynet

5 כתב עת מדעי "Science" (אחד מכתבי עת המדעיים היוקרתיים ביותר בעולם)

נקודות לדיון :

מקור מידע ראשוני הוא יוצר או חווה המידע, שממנו נובע המידע; הוא החוליה הראשונה בשרשרת של העברת המידע. לעומתו, מקור מידע משני הוא מי שמעביר מידע שדוח לו או שהוא שמע או קרא עליו, וכדומה. כלומר, הוא חוליה שנייה (לפחות) בשרשרת העברת המידע. ככל שהמקור קרוב יותר לאירוע, לחוויה עצמה או למידע עצמו, אנו נוטים לסמוך עליו יותר. מאמרים מדעיים הינם מקור מידע ראשוני.

מידע על משבר האקלים מגיע במידה מאוד גדולה ממקורות מדעיים, כלומר ממחקרים. פרסום של מחקרים מדעיים נעשה בכתבי עת מדעיים שם משתמשים בתהליך של ביקורת עמיתים. בתהליך זה העיתון מעביר מאמרים אנונימיים למדענים בתחום (בד"כ לשניים או שלושה מדענים) שקוראים את המאמר באופן ביקורתי, בובדרך כלל באופן אנונימי. מדענים אלה יכולים להמליץ על פרסום המאמר תוך כדי מתן הערות ובקשות להסברים או ניסויים נוספים, או להמליץ על דחיית המאמר. שיטה זו משמשת לשמירה על איכות המדע, צמצום שגיאות והרחקה של עבודה לא מדעית והונאות למיניהן. ראוי לציין, שרובם הגדול של המאמרים שמוגשים לפרסום, אינם עוברים את שלב ביקורת העמיתים ונדחים.

- יש חשיבות רבה למקור המידע. האם קיים ניגוד אינטרסים? למשל, חוקר בתחום מדעי החיים טוען כי לא ניתן להוכיח קשר סיבתי בין עישון סיגריות לסרטן. האם הייתם מתייחסים שונה לטענתו אם הייתם יודעים כי חברות הטבק ממנות את המחקרים של אותו החוקר?

גוף השיעור:

חלופה 1 - הבחנה בין עובדה (fact), דעה (opinion), השערה (hypothesis) ותיאוריה מדעית (scientific theory) בנוגע למשבר האקלים

ביום המידע שקיים בנוגע לשינויי אקלים, קשה מאוד לדעת מה ה"אמת". גורמים בעלי אינטרסים מכל קשת הדעות ממכחישי אקלים ועד לפעילי אקלים מנצלים זאת על מנת ליצור תמונת עולם שעלולה להטעות. דיון ביקורתי ומעמיק בנושא משבר האקלים יכול להתקיים רק לאור הבנה של תהליך המדעי אשר עומד בבסיס תיאוריית האקלים. בפעילות זו נעסוק בהבדל בין עובדה, דעה, השערה (היפותזה) ותיאוריה מדעית. חלק מאיה-הבנות בתחום נוצרות בגלל הפער בין משמעות היומיומית במילים ה"ל לבין משמעותן במובן המדעי. נראה כיצד ניתן לנצל את הבלבול הזה כדי לתת מסרים לא מדויקים.

נשאל את התלמידים מה ההבדל בין עובדה, דעה, השערה ותיאוריה מדעית.

בשלב זה יש רק לרשום את התשובות שעולות על הלוח או במערכת מבלי לתקן.

לאחר דיון בכיתה נקריין את [הסרטון](#) (7 דקות) ונשאל את התלמידים האם ירצו לשנות את ההגדרה שלהם של כל אחד מהמונחים.

עובדה - נתון קיים וקבוע, שניתן לבדוק את אמיתותו ומשום כך אינו נתון לויכוח. למשל - השמש עולה בבוקר.

דעה - ביטוי למחשבות או לרגשות אישיים (למשל: היום יום בהיר ויפה)

השערה - השערה (היפותזה) היא הסבר אפשרי וניתן לבדיקה לתופעה מסוימת, כלומר מעין ניחוש מושכל או תחזית הנשענת על תצפיות ומידע מוקדם. במדע אי אפשר להוכיח את נכונותה של השערה אלא רק לאשש אותה או להפריכה. השערות ממלאות תפקיד חשוב בשיטה המדעית – החוקרים שואלים ומעלים השערה שעונה עליה ושאפשר לבדוק את נכונותה. לאחר מכן הם מתכננים ניסוי שתוצאותיו יכולות לאשש את ההשערה או לפסול (להפריך) אותה. (מתוך אתר של מכון [דוידסון](#))

לדוגמה - אני רואה מתאם (קורלציה) בין ריכוזי פד"ח באטמוספירה וטמפרטורה לאורך ההיסטוריה הגיאולוגית של כדה"א ומעלה את ההשערה כי שינוי בריכוזי פד"ח הם אלו שגורמים לשינויים בטמפרטורה. כעת אני צריכה למצוא דרכים שונות לתמוך בהשערה שלי.

(השימוש היומיומי: ניחוש, הנחה או רעיון לא מבוסס.)

תיאוריה מדעית - תיאוריה היא הסבר מבוסס היטב ומקיף של תופעות מסוימות בעולם. ההסבר הזה מגובה בכמות נכבדת של ראיות, ובהיפותזה (השערה) אחת או יותר שאוששו במחקרים ובתצפיות שוב ושוב ולאורך זמן. תיאוריות אינן "ניחושים" אלא הסברים מגובים בעובדות על העולם האמיתי. בנוסף, הן מאפשרות לפתח תחזיות על התופעות שהן מסבירות.

תיאוריות הן פסגת הידע המדעי והן נחשבות להסברים הנכונים ביותר הקיימים בעולם המדע. תיאוריה מפסיקה להיחשב נכונה אם הפריכו אותה, כלומר הדגימו שהיא אינה נכונה או שחלק מההיפותזות שהיא נשענת עליהן אינן נכונות. תיאוריית המצב היציב, שעל פיה היקום סטטי ואינו משתנה, התחרתה בתיאוריית המפץ הגדול, שעל פיה היקום מתפשט ויש לו נקודת התחלה. היא הופרכה כשהודגם שוב ושוב שתחזיותיה לא מתקיימות, בניגוד לאלה של המפץ הגדול. תיאוריות גם עשויות להשתכלל: הן מתעדכנות והופכות מדויקות יותר.

(השימוש היומיומי: הרבה פעמים אנשים אומרים "תיאוריה" ומתכוונים בעצם להשערה (ע"ע) – תחושה, ניחוש או רעיון שלא אומת. "יש לי תיאוריה שהגרב נעלם ממכונת הכביסה כי שדון גנב אותו").

נשאל את התלמידים מדוע, לדעתם, כדאי להבחין בין המושגים הנ"ל בנוגע למשבר האקלים?

נבקש מהתלמידים למיין משפטים לעובדה, דעה, השערה ותיאוריה מדעית. נשאל - האם יש הטייה במשפטים? אם כן, מה ההטייה? ניתן לקיים כדיון פתוח בכיתה או כדף לתלמיד (נספח 2 - דף לתלמיד + תשובות למורה)

חלופה 2: אלגוריתם ההמלצות של יוטיוב - נקרא מאמר מעובד על אלגוריתם ההמלצות של יוטיוב ונדון בהשלכותיו (נספח 3- מאמר מעובד).

נקודות שניתן לשלב בדיון:

- האם צריכה להיות אחריות ל- youtube (או כל כל פלטפורמה חברתית דיגיטלית) לתת מידע מהימן בנושא משבר האקלים?
- למעלה מ-97% מהמדענים מסכימים כי שינויי אקלים נגרמים בעקבות פעילות האדם. האם צריך לתת במה למכחישי משבר האקלים?
- דיון בכל אחד משלושת הפתרונות שמציעים לבעייה (יתרונות/חסרונות).

קישור למחקר של Avaaz (באנגלית)

חלופה 3: מכחישי משבר אקלים - התלמידים יקראו וינתחו מאמר בקבוצות קטנות. כל קבוצה בוחרת מאמר. רצוי שחצי כיתה תעסוק במאמר של דובי והחצי השני יעסוק במאמר של חסון. בתוך הקבוצה, התלמידים יקראו את המאמר וינסחו את הטענות המרכזיים. תוך כדי, הם גם ירשמו שאלות פתוחות שעולות מתוך הקריאה.

המאמרים: 1. מאמר של יונתן דובי בעיתון הארץ (נספח 4). המאמר הוא למעשה תגובה למאמר על משבר האקלים של צפירי רינת וניר חסון (2). מאמר התגובה של ניר חסון (נספח 5) למאמר תגובה של דובי.

לאחר קריאה וניתוח המאמרים ננהל דיון כיתתי בו נעלה את הטענות המרכזיים של מכחישי אקלים (ע"פ המאמר של יונתן דובי). נרשום את הטענות על הלוח וננסח תשובות לאותם הטענות. במידה ולא יודעים כיצד לענות (מצב שרובנו נתקלים בו במהלך החיים), נציין את השאלות הפתוחות ורעיונות כיצד נתמודד עם אותן השאלות. ניתן למצוא הצעות לנקודות מרכזיות לדיון וקישורים למידע נוסף בפריט "הצעות לדיון". במקום דיון ניתן לתת את השאלות האלו (ונספות שעולות למורה) כדף עבודה (נספח 6).

הצעות לנקודות מרכזיות לדיון:

1. האם המאמר של פרופ' דובי היה משכנע? נמקו.

התייחסות למקור המידע - נמצא בעיתון מוכר (הארץ) ונכתב ע"י מדען.

התייחסות לסגנון הכתיבה.

התייחסות לשאלה - גם אם יש בכתבה אמירות שגויות ומטעות, איך עלינו לדעת את זה? למעשה קשה מאוד ולכן נוכל לשאול- מי הכותב? מה ההכשרה שלו?

2. פרופ' יונתן דובי עוסק בכימיה תיאורטית וניר חסון הוא עיתונאי ועורך מדור הסביבה בעיתון "הארץ". מדוע חשוב לקחת בחשבון את הרקע המקצועי של מביעי דעות בנושאים מדעיים?

כמו שלא היינו הולכים לרופא שיניים עם בעיות לב (או הפוך), גם חשוב לשים לב להתמחות של מי שמספר לנו על סוגיות מדעיות, במיוחד כאשר סוגיות אלו שנויות במחלוקת. המקור הכי מהימן למידע על משבר האקלים הוא מדעני אקלים שמפרסמים מאמרים מדעיים בנושא. מאמרים אלו עוברים ביקורת עמיתים וכך נוצר גוף עבודה רחב שבעצם מבוסס על הידע וניסיון של קהילת מדענים שלמה.

3. ניר חסון טוען ש"רבים בתנועות הסביבתיות ובקרב פעילי אקלים סבורים שאין מקום עוד לפרסום מאמרים כמו מאמרו של פרופ' יונתן דובי". מה דעתכם בנושא?

בדיון יש להתייחס להבדל בין דיון בזירה המדעית לבין דיון בזירה הציבורית. כל מדען אשר רוצה לעלות טיעונים אשר סותרים תיאוריה או היפותזה מסויימת יכול לעשות זאת ע"י פרסום מדעי. כך המדע מתקדם ומתחדש. לעומת זאת, בזירה הציבורית לא קיים אפשרות לביקורת עמיתים - ניתן לדון מה הבעייתיות בכך.

4. האם יש "קונצנזוס מדעי" בנוגע לסוגיית משבר האקלים?

למרות שבמאמר של יונתן דובי מצטייר שלא (על בסיס ניתוח מאמר בודד בנושא) התשובה לכך היא כן. מספר מאמרים בדקו את הנושא (כפי שניתן לראות באיור). אין וויכוח בקרב קהילת חוקי האקלים בנוגע להשפעת האדם על האקלים.

5. מה דעתכם בנושא שימוש במודלי אקלים? האם כדאי להשתמש בהם למרות שמדענים לא יודעים הכל לגבי מערכות אקלים? האם כדאי להשתמש בהם למרות שמידת הדיוק שלהם לא מושלמת?

מודלי אקלים (בהם עסקנו בשיעור 5) אינם "האמת" אלא סימולציה המבוססת על משוואות מתמטיות אשר מתארות את מערכת האקלים. המודלים מהווים כלי מחקרי להעמקת ההבנה שלנו של מערכת האקלים וגם כלי לתחזיות שונות לעתיד. ניתן לבחון את המודלים ב"תחזית לאחור" ולראות את רמת הדיוק שלהם. ניתן לקרוא עוד בנושא כאן.

6. הביעו עמדה בנוגע לדברים של ניר חסון: " עתה יש לשאול מה אנחנו, כבני אדם, ארגונים ומדינות צריכים לעשות לנוכח המצב. לשיטתו של פרופ' דובי, אין צורך לעשות דבר שכן אין באמת בעיה. אם הוא צודק וכל מדעני האקלים טועים, אז באמת אין בעיה, נמשיך לשרוף דלקים פוסיליים (מאובנים), הפחמן הדו-חמצני ימשיך להצטבר באטמוספירה והאקלים ממילא עושה מה שהוא רוצה. אבל מה לגבי האפשרות שכולם צודקים ודווקא פרופ' דובי טועה? המשמעות היא הימור כמעט מטורף על חייהם של מיליוני אנשים, על אושרם ואורח חייהם של כמעט כל שאר בני האדם ועל הישרדותם של אינספור מינים אחרים שחולקים איתנו את כדור הארץ. מה ההחלטה המעשית והמוסרית שיש לקבל לנוכח המצב הזה?"

בדיון אפשר לעלות את העובדה פעילות האדם פוגעת בסביבה בהמונ מובנים (ולא רק בגלל שינויי אקלים).

7. פרופ' דובי כותב: "שגם לו היינו רוצים להקטין את פליטות ה-2CO של האנושות, לא נראה כי יש בידינו כלים לעשות זאת ללא השפעה דרמטית לרעה על איכות החיים". מה דעתכם בנושא? האם ניתן ללמוד משהו על היכולת של האנושות לשנות דפוסי התנהגות בתקופת הקורונה?

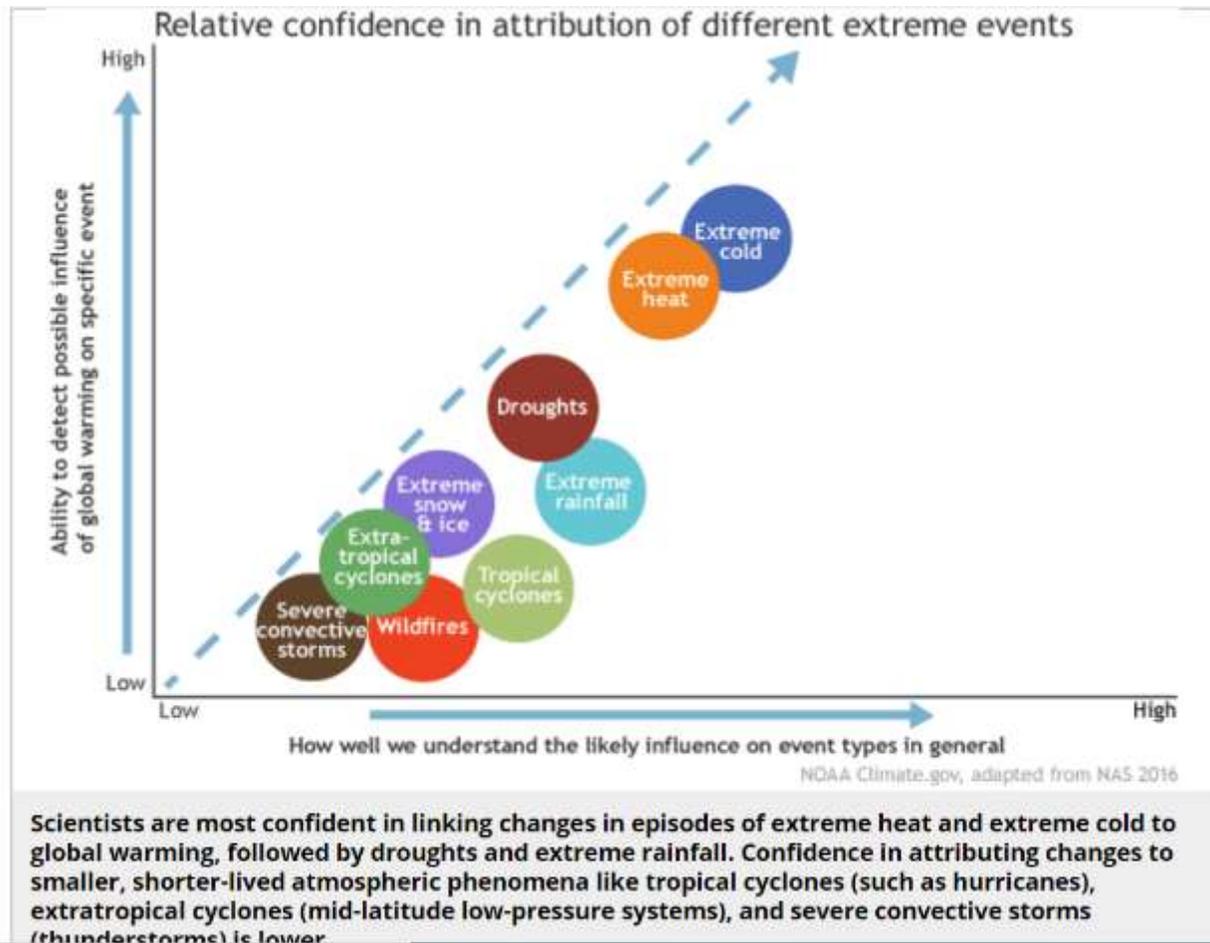
התייחסות למשבר האקלים מצריכה שינויים גדולים גם בחיי היומיום שלנו בפרטים (צרכנות/ תחבורה/ וכו... וגם שינויים מדיניים, כלכליים שצריכים לעמוד בלחצים של תעשיות מאוד חזקות. מכאן נשאלת השאלה - מהי איכות לחיים עבורינו? האם בתקופת הקורונה בה נסענו פחות וצרכנו פחות האיכות נפגעה?

8. מהם הטיעונים של דובי והתשובה של חסון לגבי הקשר בין התחממות גלובלית לאירועי מזג אוויר קיצוני? ניתן למצוא עוד מידע בנושא בקישור הזה (אנגלית).

הקשר בין אירועי מזג אוויר קיצוני ושינויי אקלים מאוד מורכב ומדעני האקלים מודעים לכך. דובי נותן דוגמה של סופות טורנדו והוריקן, שדווקא שם (כפי שראינו בשיעור 2) הקשר לשינויי אקלים פחות ברור. ניתן להראות את הגרף למטה אשר מציג את מידת הביטחון של מדענים שאירועי מזג אוויר מסוימים נגרמים ע"י התחממות גלובלית. חשוב להדגיש שזו תמונת מצב שמשנתנה כל הזמן - הדברים מתבהרים ככל שחוקרים ולומדים עוד על המערכת.

-שאלות פתוחות וחוסר וודאות הן חלק בלתי נפרד מהמדע. מכחישי אקלים (ובכלל מי שרוצה לסתור טיעונים מדעיים) מנצלים עובדה זו כדי לפקפק בכל גוף העבודה המדעית.

-יונתן דובי מצביע על עליות וירידות נקודתיות אבל מתעלם מהמגמה הכללית (ובאקלים חשוב להתייחס למגמות ארוכות טווח) - המגמה היא בעלייה ברורה כפי שמציין חסון. בנוסף, חסון כותב אירוני קיצון מתגברים ומתארכים. ניתן לחזור לנתונים שראינו בשיעור 2.



מקור: https://www.e-education.psu.edu/meteo3/l10_p9.html

9. מהי התשובה של חסון לטיעונים של דובי בנוגע לעלייה במפלס הים?

"האם על סמך העובדה שבתקופת המקרא חלה ירידה בפני הים אמורה להרגיע אותנו כאשר אנו רואים עלייה חדה שלא הייתה כדוגמתה מעולם? וגם כאן הטיעון לא ברור, הרי אין מחלוקת שכדור הארץ מתחמם, כלומר פחות קרח בקרחונים והתרחבות של מי הים. אם ההתחממות תימשך, כפי שצופים המדענים כולם, גם עליית פני הים תימשך. האם היא תאפשר להתמודד איתה? דובי מרגיע שהיא איטית למדי ושנחנו מסוגלים להתמודד עם הבעיה ההנדסית הזו בקלות יחסית. השאלה החשובה שיש לשאול היא את מי אנחנו כוללים במילה "אנחנו". האם היא כוללת גם את תושבי בנגלדש או האיים טובאלו שליד אוסטרליה וגהורמרה שבהודו? כי נראה שבעבורם הבעיה אינה פשוטה כלל כבר היום."

10. אנו שוב עוסקים בשאלה של הקשר בין מתאם (קורלציה) לסיבתיות - בין ריכוזי פד"ח וטמפרטורות. פרופ' דובי טוען שהמתאם אינו מושלם ויש דוגמאות בהן הטמפרטורות עולות לפני העלייה בריכוזי פד"ח. מה התשובה של חסון לכך?

מערכת האקלים מורכבת - יש יותר מגורם אחד אשר משפיע על הטמפרטורה (ראו שיעור 4, חלופה 2). לפעמים פד"ח מהווה את הגורם הדומיננטי אשר משפיע על הטמפרטורה - כפי שקורה היום כאשר רמות הפד"ח באטמוספירה גבוהים. אבל יש זמנים (למשל תקופות קרח) שפד"ח אינו הגורם הדומיננטי אשר משפיע על טמפרטורה ולכן הפד"ח עולה רק לאחר עליית בטמפרטורה. מידע נוסף ניתן למצוא [באן](#) (עברית) או באתרי NASA (אנגלית) המסבירים על [פעילות השמש ועל מחזורי מילנקוביץ'](#).

11. הסבירו את המונח "cherry picking" במובן של הצגת נתונים מדעיים. כיצד אסטרטגיה כזאת יכולה לשרת מכחישי אקלים?

קטיפ דובדבנים (cherry picking) - דימוי המתאר הצגה סלקטיבית (בררנית) של נתונים במטרה לתמוך בעמדה מסוימת. כלומר, בחירת נתונים כדי לאשש דעה או טענה כלשהי, תוך התעלמות מנתונים אשר יכולים להפריך דעה או טענה זו או להחלישה.

הצגה חלקית של נתונים יכולה ליצור הטעייה - למשל, אם נסתכל על הטמפרטורה הממוצעת בין 1998-2012 נראה כאילו אין שינוי אבל אם נציג את כל הנתונים משנת 1880 רואים תמונה שונה של עלייה ברורה. ניתן לראות אנימציה [באן](#) (ויקיפדיה).

סיכום:

האם ניתן להפריך תיאוריה מדעית? נצפה [בסרטון](#) של ניל דה-גראס טייסון, אסטרופיזיקאי ואסטרונום אמריקאי ונשאל את התלמידים מה הם חשבו עליו. ניתן לשלב את הנקודות הבאות בדיון:

- מדע הוא חלק מהמציאות שלנו. ניתן לדון כיצד המדע משפיע על חיי היומיום שלנו.
- טייסון טוען שבמאה ה-21 אנשים איבדו את היכולת להבחין באמת להחליט מה אמין ומה אינו אמין. מה לדעתכם תורם למצב זה של פוסט-אמת? כיצד אתם מחליטים מהי "האמת"?
- טייסון מזהיר מפני עלייה לשלטון של אנשים שלא מבינים מדע ומכחישים מדע. מה הבעייה בכך?
- ניתן לדבר על הדוגמאות של הכחשת מדע שמופיעות בסרטון: תכנון תבוני אל מול אבולוציה (שימו לב שפוליטיקאי שמופיע סרטון אינו מבין מה המשמעות המדעית של תיאוריה), התנועה נגד חיסונים, איסור על גידולים מהונדסים גנטית וגם כמובן - משבר האקלים.
- טייסון מתאר את המדע כתרגיל במציאת "האמת". האם אתם מסכימים איתו?
- מדע אינו "האמת" אלא דרך שבה אנו מתארים ומבינים את המציאות. מדוע בכל זאת טייסון בוחר לתאר את המדע בתור אמת?
- מה החשיבות של אוריונות מדעית בעיניכם?

שאלה לדיון: יש קונצנזוס מדעי רחב לגבי התחממות גלובלית ושינויי אקלים. האם, יהיה ניתן להפריך את התיאוריה אשר מקשרת בין התחממות גלובלית ופעילות האדם? אם כן- כיצד?

נספח 1 - תרגיל מקורות מידע

מיינו את מקורות המידע הבאים לפי מידת המהימנות שלהם. רצוי להשתמש באינטרנט כדי לברר מי הם מקורות המידע השונים.

מקור מידע #1: פייסבוק

shared a post.

An important report
[- See original](#) · [Rate this translation](#)



דו"ח: פליטת מתאן ממאגרי הגז תמר ולוויתן

נכתב ע"י [צוות אדם טבע ודין](#) | 03/06/20



מתאן (CH₄) הינו המרכיב העיקרי בגז הטבעי שנמצא ומופק ממאגרי תמר ולוויתן. מתאן הינו גז חממה חזק ביותר.

שומרי הבית
9 June at 08:45 · 🌐

אדם טבע ודין מפרסמים השבוע דו"ח חשוב בנושא פליטת המתאן ממאגרי הגז בישראל והשפעתה על ההתחממות הגלובלית ומשבר האקלים. נקודות מרכזיות בדו"ח, המחזקות אמירות שלנו לא... See more

NATURAL NEWS
Defending Health, Life and Liberty

EXPLORE MORE: [NEWSTARGET.COM](#) [BRIGHTON.COM](#) [CENSOREDNEWS](#) [NATURALNEWSRADIO.COM](#) [STORE](#) Search Natural

Most Viewed Articles

Today | Week | Month | Year

Full video now released: How to make your own colostrum elter using silver coins, step by step - [naturalnews.com](#)

BREAKING: Antifa terrorists to be lured to Sparks, Illinois with orders to burn farm houses and kill livestock in rural "white" areas - [naturalnews.com](#)

The Lancet, New England Journal of Medicine turned into laughing stocks as widely touted hydroxychloroquine study found to be based on fabricated data organized by science fiction writer and adult content model - [naturalnews.com](#)

How to protect yourself from 3 waves of food and shelter seekers after TEOFWANKI - [naturalnews.com](#)

NBC News brooked hydroxychloroquine to protect lucrative vaccine profits while Americans needlessly suffer and die - [NaturalNews.com](#)

Candace Owens: George Floyd was a violent criminal felon, and racially motivated police brutality against blacks is a fabricated media myth - [NaturalNews.com](#)

Yes, it's REAL: Coronavirus patients are losing their sense of smell and taste - and aren't getting them back! - [NaturalNews.com](#)

Sweden's controversial coronavirus plan caused

Climate change myth SMASHED as scientists confirm solar activity is a significant driver of Earth's climate

Saturday, April 15, 2017 by Russell Limon
תרגום: אנטוניו גוארדאדואה, דניאל גרונברג, אריאל גרונברג, אריאל גרונברג, אריאל גרונברג

23K

<https://www.naturalnews.com/2017-04-16-climate-change-myth-smashed-as-scientists-confirm-solar-activity-is-a-significant-driver-of-earths-climate.html>

מקור ראשון

15/04/2017

חם, חם, מתקרר: האם תיאוריית ההתחממות הגלובלית היא בלוף?

על החף יצרות לוחטט, דובי הקוטב חוזרים להמשיך להתחמם: מחקרים חדשים נשנים שערך פרופ' גור שכיב מופחים שבדור האנוש אינו חוה התחממות חממת, וזה מטרומטאורוגיות עולות, בני השנים לא האשנים בקי.

15/04/2017 11:55:20 (11:55:20) 11:55:20 (11:55:20) 11:55:20 (11:55:20) 11:55:20 (11:55:20) 11:55:20 (11:55:20)

<https://www.makorrishon.co.il/news/29833/>

ملحق 1 – تمرين حول مصادر معلومات

صنفوا مصادر المعلومات الآتية حسب مدى مصداقيتها. من الأفضل استخدام الإنترنت لتحديد مصادر المعلومات المختلفة الموثوق بها.

مصدر المعلومات #1: فيسبوك

shared a post.

An important report
[- See original](#) · [Rate this translation](#)



דו"ח: פליטת מתאן ממאגרי הגז תמר ולוויתן

נכתב ע"י צוות אדם טבע ודין | 03/06/20



מתאן (CH₄) הינו המרכיב העיקרי בגז הטבעי שנמצא ומופק ממאגרי תמר ולוויתן. מתאן הינו גז חממה חזק ביותר.

שומרי הבית
9 June at 08:45 · 🌐

אדם טבע ודין מפרסמים השבוע דו"ח חשוב בנושא פליטת המתאן ממאגרי הגז בישראל והשפעתה על ההתחממות הגלובלית ומשבר האקלים. נקודות מרכזיות בדו"ח, המחזקות אמירות שלנו לא... See more

The screenshot shows the Natural News website header with the logo and tagline "Defending Health, Life and Liberty". Below the header, there are navigation links for "EXPLORE MORE" including "NEWSTARGET.COM", "BRIGHTON.COM", "CENSOREDNEWS", and "NATURALNEWSRADIO.COM". A search bar is also present. The main article is titled "Climate change myth SMASHED as scientists confirm solar activity is a significant driver of Earth's climate", dated Sunday, April 16, 2017, by Russel Davis. The article features a large image of the sun. On the left side, there is a "Most Viewed Articles" section with several article teasers, including one about antifeminists in Spain, another about the Lancet journal, and one about George Floyd.

<https://www.naturalnews.com/2017-04-16-climate-change-myth-smashed-as-scientists-confirm-solar-activity-is-a-significant-driver-of-earths-climate.html>

The screenshot shows the Makor Rishon website header with the logo "מקור ראשון". Below the header, there is a navigation menu with links for "בית", "חדשות", "ספורט", "כלכלה", "פוליטיקה", and "אמנות". The main article is titled "חם, חם, מתקרר: האם תיאוריית ההתחממות הגלובלית היא בלוף?" (Hot, hot, cooling: is the theory of global warming a hoax?). The article features a large image of a person in a dark, hooded garment. The text below the image discusses the theory of global warming and its impact on the climate.

<https://www.makorrishon.co.il/news/29833/>

מקור מידע #4: אתר חדשות



The screenshot shows the Ynet website interface. At the top, there is a navigation bar with various categories in Hebrew. Below that is a search bar and social media icons. The main headline reads "בעלי חיים animals" (Animals). A sub-headline for the featured article is "הדגים והפרפרים נודדים בעקבות שינוי האקלים" (Fish and butterflies migrate due to climate change). The article text discusses how climate change is affecting migration patterns of species like fish and butterflies. There are social media sharing icons and a timestamp of 15:37, 18.02.20.

<https://www.ynet.co.il/articles/0,7340,L-5679274,00.html>

מصدر المعلومات #5: دورية علمية



Climatic Change: Are We on the Brink of a Pronounced Global Warming?
Author(s): Wallace S. Broecker
Source: *Science*, New Series, Vol. 189, No. 4201 (Aug. 8, 1975), pp. 460-463
Published by: American Association for the Advancement of Science
Stable URL: <http://www.jstor.org/stable/1740491>
Accessed: 24/10/2009 13:53

https://en.gariwo.net/dl/201912121000_broeckerglobalwarming75.pdf

נספח 2 - מיון משפטים לעובדה, דעה, השערה ותיאוריה מדעי

1. עדיין אין קונצנזוס (הסכמה) מדעי לגבי שינויי אקלים.
2. "יורד שלג וקפוא בניו יורק. מה לעזאזל קרה להתחממות גלובלית?" דונלד טראמפ (2012)
3. פחמן דו חמצני, תוצר לוואי של בעירת דלקים פוסילים, הוא גז חממה, אשר גורם להתחממות כדה"א
4. עלייה בצריכת דלקים פוסילים ע"י האדם במאתיים השנים האחרונות היא אחד הגורמים לעלייה בריכוז הפד"ח באטמוספירה לרמות מעל 400 חלקים למיליון.
5. "ברור שאקלים כדה"א משתנה. הוא השתנה בעבר והוא ימשיך להשתנות". (**Patrick Moore, Prager U**)
6. כתוצאה מעלייה בריכוז פד"ח באטמוספירה, הטמפרטורה העולמית הממוצעת עלתה בערך במעלה אחת צלזיוס מאז 1880.
7. התחממות גלובלית כבר גורמת לאירועי מזג אוויר קיצוניים כגון סופות ובצורות.
8. "משבר האקלים הוא לא תיאוריה אלא מציאות. הנה ההוכחות" (עיתון הארץ).
9. פעילות השמש היא הגורם להתחממות העכשווית.
10. "פד"ח הוא גז חיוני לצמחים ולא מזהם המאיים של האנושות כולה. אם פד"ח היה כל כך מזיק לכדה"א, אז העלאת ריכוז הפד"ח באופן מלאכותי בחממות היה הורג את הצמחים" (**Mike Adams, Natural News**)
11. לא ניתן לסמוך על מודלים לאקלים. הם כל הזמן משתנים והם רגישים יותר מידי לפד"ח.

ملحق 2 – تصنيف جُمل إلى حقيقة، رأي، فرضية ونظرية علمية

1. لا يوجد حتى الآن إجماع علمي حول تغير المناخ.
2. "يسقط ثلج وَبَرْد في النيويورك. ماذا حدث (إلى الجحيم) لارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية؟ دونالد ترامب (2012).
3. ثاني أكسيد الكربون هو ناتج ثانوي لاحتراق الوقود المتحجرة، وهو غاز دفيئة يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية.
4. ارتفاع استهلاك الإنسان للوقود المتحجرة في المائتين سنة الأخيرة هو أحد العوامل لارتفاع تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي إلى مستوى أعلى من 400 جزء من مليون.
5. "من الواضح أن مناخ الكرة الأرضية يتغير" تغير في الماضي وهو يستمر في التغير" (Patrick Moore, Prager U).
6. نتيجة لارتفاع تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، ارتفع معدل درجة الحرارة العالمي بدرجة مئوية واحدة تقريبًا منذ سنة 1880.
7. يؤدي ارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية بالفعل إلى أحداث طقس متطرفة، مثل: العواصف والجفاف.
8. "أزمة المناخ ليست نظرية بل واقع. هذا هو الدليل" (صحيفة هآرتس).
9. نشاط الشمس هو السبب لارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية الحالي.
10. "ثاني أكسيد الكربون هو غاز ضروري للنباتات، وليس ملوث يهدد كل البشرية. إذا كان ثاني أكسيد الكربون ضار للكرة الأرضية، فإن ارتفاع تركيز ثاني أكسيد الكربون بشكل اصطناعي، في الدفيئة، يقتل النباتات" (Mike Adams, Natural News)
11. لا يمكن الاعتماد على نماذج المناخ. فهي تتغير كل الوقت وحساسة جدًا لثاني أكسيد الكربون.

תשובות למורה:

Studies into scientific agreement on human-caused global warming



GRAPHIC: BRUNNEN/SCIENCE

1. דעה שגויה. כאשר בוחנים את הפרסומים המדעים אשר עוסקים בשינויי אקלים ניתן לראות למעלה מ-97% מסכימים לגבי התחממות גלובלית והקשר שלה לעלייה בריכוזי פד"ח. מידת הקונצנזוס יכולה להשתנות - ככל שנוסיף ידע מדעי, מדענים חוזרים ובוחנים את התיאוריות שוב לאור הראיות החדשות. עד היום רק מצטברות הראיות אשר תומכות בכך שהתחממות גלובלית ושינויי אקלים נגרמים בעקבות פעילות האדם. ניתן לקרוא עוד בנושא [כאן](#).

2. דעה. הטלת ספק בהתחממות גלובלית בשל תצפית של קור ושלג.

התחממות גלובלית מתייחסת לעליה בטמפרטורה הממוצעת של כל כדה"א. עדיין ייתכן מזג אוויר קר. מעבר לכך כאן יש בלבול בין מזג אוויר (אירועים שנתונים לשינויים יומיומיים) לאקלים (שינויים ארוכי טווח). בכל השנים האחרונות מדווחים על עלייה בטמפרטורה הממוצעת ביחס לשנים קודמות.

3. עובדה - ניתן לדעת מה המקור של מולקולת פד"ח באטמוספירה כיוון ששריפת דלקים פוסילים מתירה חותמת כימית. ניסויים מראים כי פד"ח הינו גז חממה (ראו קישור להדגמה יפה, מ1:44).

4. עובדה - ריכוזי פד"ח נמדדים וניתן לראות עלייה חדה בריכוזו מזמן המהפכה התעשייתית, בה החלו בשריפה אינטנסיבית של דלקים פוסילים.

5. עובדה - אקלים כדה"א משתנה. לאורך ההיסטוריה הגיאולוגית של כדה"א היו תקופות הרבה יותר חמות מהיום וגם תקופות קרח הרבה יותר קרות. שימוש בטיעון זה להכחשת משבר האקלים הוא מטעה - לא רק עצם השינוי חשוב אלא קצב השינוי (ראו שיעור 4). קצב העלייה בריכוז גזי חממה ובטמפרטורות כיום הינם חריגים ביחס למה שקרה בהיסטוריה של כדה"א. ניתן לקרוא עוד בנושא [כאן](#).

6. תיאוריה מדעית. קיימות מספר רב של עדויות בלתי תלויות לכך שיש קשר סיבתי בין העלייה בריכוזי פד"ח באטמוספירה לבין התחממות גלובלית. כמו כן, לא ניתן לקשר את ההתחממות של היום לגורמים אחרים שיכולים להשפיע על האקלים כגון פעילות השמש או שינויי במסלול כדה"א (ראו שיעור 4).

7. השערה (היפותזה) - הקשר בין התחממות גלובלית לבין אירועי מזג אוויר קיצוני הינו מורכב. קישור למאמר בנושא (אנגלית).

8. אמירה שגויה ומטעה. יש כאן בלבול מהי תיאוריה מדעית (פסגת הידע המדעי), לעומת תיאוריה בשפה יומיומית (ניחוש). כמו כן, מציגים תיאוריה מדעית בתור עובדה. דבר זה בעייתי כיוון שחלק מהותי מהמדע הוא הדינמיות - מדע יכול וצריך להשתנות לאור התקדמות וממצאים חדשים.

9. השערה (היפותזה). אמנם מדענים רואים קשר בין פעילות השמש לטמפרטורת כדה"א (למשל רואים קשר בין פעילות השמש בעידני קרח בעבר), אולם, רוב המדענים סבורים ששינויים בפעילות השמש אינם יכולים להסביר את השינויים הקיצוניים בטמפרטורה שרואים היום. ניתן לקרוא עוד בנושא [באן](#).

10. עיוות של עובדה כדי להטעות. פד"ח אכן מהווה חומר גלם לפוטוסינתזה ולכן הוא חיוני לצמחים. אין סתירה בין עצם היותו גז חממה לבין פד"ח כחומר חיוני לפוטוסינתזה.

11. דעה. מודלי אקלים (בהם עסקנו בשיעור 6) אינם "האמת" אלא סימולציה המבוססת על משוואות מתמטיות אשר מתארות את מערכת האקלים. המודלים מהווים כלי מחקרי להעמקת ההבנה שלנו של מערכת האקלים וגם ככלי לתחזיות שונות לעתיד. ניתן לבחון את המודלים ב"תחזית לאחור" ולראות את רמת הדיוק שלהם. ניתן לקרוא עוד בנושא [באן](#).

נספח 3 - מאמר מעובד - הקורבן האחרון של אלגוריתם ההמלצות של יוטיוב הוא משבר האקלים מאת עומר כביר. פורסם בבלבליסט 23.1.20

גוגל טענה לאחרונה שהיא שינתה את אלגוריתם ההמלצות שלה. אך מחקר חשף ממצאים מבהילים מהם עולה שהאלגוריתם מקדם מידע מוטעה על משבר האקלים וחושף אליו מיליוני משתמשים.

במשך שנים, יודע כל גולש, אם רצית למצוא תוכן מסוים ומלהיט שישלהב את היצרים הנמוכים ביותר, אחד המקומות הטובים ביותר למצוא אותו היתה פלטפורמת שיתוף הווידאו של גוגל, יוטיוב. מערכת ההמלצות של יוטיוב המבוססת בינה מלאכותית, היתה מוכוונת על מנת לשדר קונספירציות הזויות, מסרים גזעניים והומופוביים, הפצת מידע מסכן חיים כמו דיסאינפורמציה של מתנגדי חיסונים. אבל כעת, מחקר של ארגון אוואז (Avaaz), חושף תחום חדש שבו מדרדר האלגוריתם של יוטיוב את השיח: משבר האקלים. והפעם, ההשלכות עלולות להיות רחבות הרבה יותר מהקצנה בדעות ועיוות תפיסת העולם של משתמשים.

כמה וכמה מחקרים קשרו בשנים האחרונות את האלגוריתם של יוטיוב, להקצנת דעות ועמדות פוליטיות של צופים. "הכוונה היא למצב שבו אדם רואה סרטונים מסוימים, ומתחילה לולאת משוּב שבו אלגוריתם ההמלצות שולח לו תוכן יותר ויותר קיצוני ויותר מסוּת", אמרה פרופ' קרין נהון מהמרכז הבינתחומי בהרצליה. "ואם הוא צופה בתוכן הזה, האלגוריתם לומד אותו, מעודד ודוחף עוד ועוד תכנים קיצוניים". לדברי נהון, לולאת המשוּב הזו נוצרת מכיוון שהאלגוריתם של יוטיוב מיועד להאריך את זמן השהייה באתר, ולכן מוכוון על מנת להמליץ על סרטונים שישאבו את המשתמש להמשך צפייה. "כבר שנים יודעים שמידע קיצוני יותר מסוּת, ושלדיסאינפורמציה יש יכולת להתפשט לקהלים רחוקים יותר, מגוונים יותר ולהרבה יותר אנשים, ומן הסתם להשפיע על מערכת ההמלצות של יוטיוב, וכן של פייסבוק שגם לגביה יש המון מחקרים", הסבירה נהון. "ככל שאנחנו יותר זמן ביוטיוב, גוגל עושה יותר כסף. האלגוריתם 'מבין' שמה שמדביק אותנו זה תוכן יותר קיצוני ומסוּת ממה שהתחלנו".

בתחילת 2019, בעקבות התגברות הביקורת והמחקרים בנושא, הודיעה יוטיוב על שינוי באלגוריתם על מנת להגביל המלצה על תכנים שהיא הגדירה כ"גבוליים", כלומר תוכן מסוּת וקיצוני, תיאוריות קונספירציה וכו'. אבל המחקר החדש של אוואז מעלה שהאלגוריתם של יוטיוב עדיין סובל מבעיית המלצות, לפחות ככל שמדובר בסרטונים שעוסקים במשבר האקלים.

לצורך המחקר, ערך הארגון חיפושים ביוטיוב לפי השאלות "התחממות גלובלית", "שינוי אקלים" ו"מניפולציית אקלים", באמצעות כלי מידע של יוטיוב (YouTube Data Tools). חיפושים אלו הניבו רשימה של 5,537 סרטונים. הסרטונים נותחו לפי כמות הפעמים שהומלצו לצפייה לצד סרטון אחר. כלומר, מספר הפעמים שהסרטונים מתוצאות החיפוש הופיעו ברשימת הסרטונים המומלצים "Up Next", שמופיעה מתחת לסרטון באפליקציית המובייל או מימין לו בגלישה מהמחשב (לפי הערכות 70% מזמן הצפייה של משתמש ביוטיוב הוא בסרטונים שהומלצו באופן זה). החוקרים זיהו את 100 הסרטונים המומלצים ביותר מכל אחת משלוש תוצאות החיפוש, וניתחו את תוכנם על מנת לאתר את אלו מביניהם שמפיצים מידע מוטעה בנושא משבר האקלים.

הממצאים מבהילים, ולדברי אוואז עולה מהם שהאלגוריתם של יוטיוב מקדם בצורה פעילה מידע מוטעה על משבר האקלים וחושף אליו מיליוני משתמשים. 16% מתוך 100 הסרטונים המומלצים ביותר שהופיעו בתוצאות

החיפוש לשאלתה "התחממות גלובלית" הכילו מידע מוטעה על משבר האקלים, וכך גם 8% מהסרטונים המומלצים בתוצאות של "שינוי אקלים" ו-21% מהסרטונים המומלצים בתוצאות של "מניפולציית אקלים". הסרטונים עם מידע מטעה נצפו בסך הכל 21.2 מיליון פעמים. אוואז סיווג סרטונים כמכחישי אקלים או כאלו שמפיצים מידע מוטעה בנושא, אם הם מכילים מידע שניתן לוודא שהוא שקרי או מטעה, ושיכול לגרום נזק ציבורי דוגמת פגיעה בתמיכה הציבורית במאמצים להגביל את השפעת האדם על שינוי האקלים.

המחקר, אמנם, סובל מבעיות שונות, אך רובן נובעות מהמגבלות שמטילה יוטיוב על גישה למידע על אופן עבודת האלגוריתם, מה שמאפיין את כל המחקרים העצמאיים בתחום. "הם חוסמים גישות למחקרים מעמיקים", אמרה נהון. "מחקר אקדמי בלתי-תלוי, שיכול להאיר ולתת מידע על איך האלגוריתם עובד, לא יכול להתבצע לעומק בצורה מתוקפת וחזקה. אנחנו הרבה פעמים עוברים על כללי הפלטפורמה על מנת להצליח לעשות מחקר. זה לא הגיוני. חלק מהאחריות של הפלטפורמות היא לאפשר ביקורת על הצורה שבה האלגוריתם שלהן עובד, וזה נכון לכלל הפלטפורמות הגדולות".

אז מה עושים עם הממצאים? לאוואז יש שלוש המלצות פשוטות. הראשונה, לטהר את האלגוריתם. "החברה חייבת לעצור את הקידום של מידע מטעה באמצעות הוצאות סרטונים כאלו מאלגוריתם ההמלצות שלה, ולכלול הפצת מידע מוטעה בנושא אקלים במדיניות התוכן ה'גבולי' שלה (תוכן שיכול להופיע ביוטיוב, אך נתון למגבלות שונות, כמו החרגה מאזור ההמלצות)".

ההמלצה השנייה היא למנוע אפשרות ליצר הכנסות מסרטונים מסוג זה: "יוטיוב צריכה לוודא שתוכן כזה לא כולל פרסומות ולא זוכה לתמריצים פיננסיים". לבסוף, ממליץ הארגון ליוטיוב לתקן את המעוות ולעבדו עם ארגוני בדיקת עובדות עצמאיים על מנת לידע משתמשים שנחשפו לסרטונים כאלו שמדובר במידע שהוכח כשגוי או מטעה, ולהציג תיקונים אלו לצד הסרטונים.

"אוואז מאמין שליוטיוב יש אפשרות להיות חלוצה במאבק בדיסאינפורמציה", מסכמים מחברי הדו"ח. "החברה כבר התחייבה לפתור את הבעיה וליצור סביבה טובה ובטוחה יותר למשתמשיה. עכשיו הגיע הזמן שיוטיוב תפעל באופן דחוף ושיטתי כדי ליישם פתרונות, על מנת לוודא שהעשור החדש לא יסבול בחריפות גדולה יותר מבעיית המידע המוטעה שהחלה בעשור הקודם. בדומה, מפרסמים חייבים לוודא שהם עומדים במחויבויות החברתיות שלהם ובדקים איזה תוכן כספי הפרסום שלהם מממנים".

שחיקה של האמון הציבורי בעובדות המדעיות המוכחות לגבי קיומה של התחממות גלובלית כתוצאה מפעילות אנושית, יכולה לחבל משמעותית במאמצים הגלובליים לצמצם את פליטות גזי חממה. ליוטיוב יש, בהערכה שמרנית, מאות מיליונים משתמשים. אם תוצאות המחקר אכן מדויקות, יש כאן חשש להכנסה של מיליוני משתמשים פוטנציאליים להליך הקצנה בכל הנוגע למשבר האקלים, ולהרחקתם מהקונסנזוס המדעי בנושא. יש הרבה דברים יקרים, מורכבים וקשים שארגונים יכולים לעשות על מנת לתרום את חלקם למאבק במשבר האקלים. לאיים על יוטיוב בחרם הוא לא אחד מהם. כל מה שצריך זה מכתב מנוסח היטב. חברות שעתיד כדור הארץ חשוב להן, חייבות לעשות לפחות את זה.

ملحق 3 – مقال مُقتبس – الضحية الأخيرة لألجوريتم (خوارزميات) توصيات يوتيوب هو أزمة المناخ، إعداد عومر كبير. نُشر في [دولابست 23.1.20](#)

ادعت جوجل في الآونة الأخيرة أنها غيرت ألجوريتم (خوارزميات) توصياتها. بيّن بحث معيّن نتائج مقلقة، اتضح أن الألجوريتم يعزز معلومات غير صحيحة عن أزمة المناخ إلى ملايين المستخدمين.

على مر السنين، يعرف كل متصفح، إذا أردت أن تجد محتوى يُثير التحريض ومشاعر سيئة، فإن أحد الأماكن التي يمكن أن تجد فيها هذه الأمور، هو منصة المشاركة بالفيديو التابعة لجوجل ويوتيوب. يعتمد نظام توصيات يوتيوب على الذكاء الصناعي، وكان موجّهًا لبث مؤامرات وهمية، رسائل عنصرية والخوف من المثليين، نشر معلومات تشكل خطرًا على الحياة، مثلًا: بث معلومات خاطئة عن المعارضين للتطعيم. لكن الآن، كشف بحث منظمة أوأز (Avaaz) مجال جديد فيه ألجوريتم يوتيوب يدهور الخطاب حول أزمة المناخ، وفي هذه المرة، قد تكون الانعكاسات أكبر من التطرف في الآراء وتشويه الرؤية العالمية للمستخدمين.

وجدت عدة أبحاث في السنوات الأخيرة علاقة بين ألجوريتم يوتيوب وتطرف آراء ومواقف سياسية للمشاهدين. "القصص هو الحالة التي يرى فيها شخص أفلام قصيرة معينة، وتبدأ حلقة المردودية في الألجوريتم لإرسال توصيات لمشاهدة محتوى متطرف أكثر ومُحرض أكثر"، قالت بروفيسور كرين نهون من مركز متعدد المجالات في هرتسليفا. "إذا شاهدنا هذا المحتوى، الألجوريتم يتعرف عليه، يشجعه ويدفع إلى محتويات متطرفة أكثر وأكثر". حسب أقوال نهون، تنتج حلقة المردودية، لأن ألجوريتم يوتيوب معد لإطالة زمن المشاهدة في الموقع، لذا فهو موجه لتقديم توصيات لأفلام قصيرة تجذب المشاهد إلى الاستمرار في المشاهدة.

"عرفنا منذ سنوات أن المعلومات المتطرفة، التحريض والمعلومات الخاطئة يمكن أن تنتشر إلى جماهير كثيرة، بعيدة ومتنوعة، وربما تؤثر على نظام توصيات يوتيوب، وكذلك الأمر بالنسبة لشركة فيسبوك التي أجري عليها أبحاث كثيرة"، شرحت نهون. "كلما قضينا وقتًا أكثر في اليوتيوب، جوجل تربح أموالًا أكثر. "يفهم" الألجوريتم أن المحتوى الأكثر تطرف وتحرير من السابق له، هو الذي يجذبنا".

في بداية 2019، في أعقاب ازدياد الانتقاد والأبحاث في الموضوع، أعلنت يوتيوب عن تغيير في الألجوريتم كي يحد من التوصيات على محتويات عرفتها كـ "حدودية"، مثل: محتوى مُحرض ومتطرف، معلومات خاطئة وغير ذلك. لكن بيّن البحث الجديد الذي أجرته أوأز أن ألجوريتم يوتيوب ما زال يعاني من مشكلة التوصيات، على الأقل فيما يتعلق بالأفلام القصيرة التي تتناول أزمة المناخ.

من أجل البحث، أجرت المنظمة بحث في اليوتيوب حسب الاستفسارات الآتية: "ارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية، تغيرات المناخ" و "تلاعب المناخ"، وقد تمّ ذلك بواسطة أدوات المعرفة التابعة ليوتيوب (YouTube Data Tools). وجد الباحثون 5,537 فيلمًا قصيرًا عن الموضوع. تمّ تحليل الأفلام حسب كمية المرات التي تمت التوصية عليها مقارنة بأفلام أخرى. بكلمات أخرى، عدد المرات التي ظهرت فيها الأفلام نتيجة للبحث في قائمة الأفلام الموصى بها "Up Next" ، والتي تظهر تحت الفيلم القصير في تطبيق الهاتف المحمول أو على يمين الفيلم عندما نشاهد الفيلم في الحاسوب (حسب التقدير، 70% من زمن مشاهدة المستخدم في اليوتيوب يكون في الأفلام التي تمت التوصية عليها بهذه الطريقة). وجد الباحثون الـ 100 فيلم الأكثر توصية في نتائج البحث الثلاث، وحلّوا محتواها كي يجدوا بينها الأفلام التي تنشر معلومات خاطئة في موضوع أزمة المناخ.

النتائج مقلقة، واتضح حسب أقوال أوواز أن ألاجوريتم يوتيوب يقدم بشكل فعال معلومات غير صحيحة عن أزمة المناخ ويعرضها لملايين المستخدمين.

ظهر في نتائج بحث "ارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية" 100 فيلم موصى بها، احتوت 16% من هذه الأفلام على معلومات خاطئة عن أزمة المناخ، وكذلك الأمر في 8% من الأفلام الموصى بها في نتائج بحث "تغيرات المناخ" و 21% من الأفلام الموصى بها في نتائج بحث "تلاعب في المناخ". تمت مشاهدة الافلام التي يوجد فيها معلومات غير صحيحة 21.2 مليون مرة.

صنف أوواز الأفلام كأفلام تنكر أزمة المناخ أو تنشر معلومات غير صحيحة عن الموضوع، أو تحوي معلومات يمكن التأكد من أنها كذب أو غير صحيحة، ويمكن أن يؤدي إلى ضرر عام، مثلاً: انتهاك الدعم الشعبي في جهود الحد من تأثير الإنسان على تغيرات المناخ.

ومع ذلك، يعاني البحث من مشاكل مختلفة، لكن تتبع معظمها من المحدودية التي تفرضها يوتيوب بخصوص عمل الألوغريتم، وهذا ما يميز جميع الأبحاث المستقلة في المجال. قالت نهون: "يمنعون الوصول إلى بحث عميق". البحث الأكاديمي المستقل الذي يمكن أن يُضيء وأن يوفر معلومات عن كيفية عمل الألوغريتم، لا يمكن أن يتم بعمق بطريقة مثبتة وقوية. في كثير من الحالات، لا تطبق قواعد منصة برمجية الشركة كي تتمكن من تطبيق البحث. وهذا غير منطقي. يقع جزء من المسؤولية على منصة برمجية الشركة، لأنها لا تتيح لنا مراقبة وانتقاد الشكل الذي يعمل به الألوغريتم، وهذا صحيح لجميع المنصات الكبيرة".

ماذا نعمل مع النتائج؟ اقترحت أوواز ثلاث توصيات بسيطة. الأولى، تنقية الألوغريتم. "يجب على الشركة إيقاف تعزيز المعلومات الخاطئة بواسطة إخراج هذه الأفلام من ألاجوريتم توصياتها، ويجب أن تشمل نشر معلومات خاطئة، في موضوع المناخ، في سياسة المحتوى "الحدودي" (محتوى يمكن أن يظهر في اليوتيوب، لكنه يخضع لمحدوديات مختلفة، مثلاً: استثناءه من منطقة التوصيات)"

الإمكانية الثانية أن نمنع إمكانية إنتاج دخل مالي من هذا النوع من الأفلام القصيرة: "يجب على يوتيوب أن تتأكد من أن هذا المحتوى لا يحوي إعلانات ولا يحصل على حوافز مالية". وفي النهاية، توصي المنظمة ليوتيوب أن تصحح التشوية، وأن تعالجه مع منظمات مستقلة لإبلاغ المستخدمين الذين تعرضوا إلى هذه الأفلام القصيرة وأن هناك إثبات أن هذه المعلومات غير صحيحة أو خاطئة، وأن يتم عرض تصحيح إلى جانب هذه الأفلام.

اختتم مؤلفو التقرير أن "أوواز يؤمن أن يوتيوب يمكن أن يكون الطلائعي في مواجهة تضليل المعلومات". "التزمت شركة يوتيوب أن تحل المشكلة وأن تُنتج بيئة جيدة وآمنة أكثر لمستخدميها. الآن هو الوقت المناسب أن تعمل يوتيوب بشكل عاجل ومنهجي لتطبيق الحلول، للتأكد من أن لا يعاني العقد الجديد من مشكلة المعلومات الخاطئة التي بدأت في العقد السابق. وبشكل شبيه، يجب على الناشرون أن يتأكدوا من أنهم يفون بالتزاماتهم الاجتماعية، وأنهم يفحصون أي محتوى وتمويل النشر والدعاية".

انخفاض ثقة الجمهور بالحقائق العلمية المثبتة بشأن ارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية نتيجة لنشاط الإنسان، قد تضر بشكل كبير بالجهود العالمية لتقليص انبعاث غازات الدفيئة. نقدر بحذر أن مئات الملايين يستخدمون يوتيوب. إذا كانت نتائج البحث دقيقة، هناك تخوف من ادخال ملايين المستخدمين إلى التطرف بكل ما هو متعلق بأزمة المناخ، وإبعادهم عن الإجماع العلمي في الموضوع. تستطيع المنظمات تنفيذ أشياء ثمينة، معقدة وصعبة كي تساهم في مواجهة أزمة المناخ. تهديد يوتيوب بالمقاطعة ليس واحداً منها. كل ما نحتاجه هو صياغة رسالة جيدة. الشركات التي يهتمها مستقبل الكرة الأرضية، يجب أن تعمل ذلك على الأقل.

נספח 4 מאמר של יונתן דובי, "משבר אקלים? אל תמהרו להאמין ל"הוכחות" פורסם ב"הארץ" ב-20.8.19

הטענה ש-97% ממדעני האקלים מייחסים את משבר האקלים לפעילות האדם - מעוותת. ההתמקדות בפליטת פחמן דו-חמצני - שגויה, והגרפים המבהילים על העלייה בטמפרטורות ובפני הים מציגים תמונה חלקית מאוד.

בכתבתם של ניר חסון וצפיר רינת "משבר האקלים הוא לא תיאוריה אלא מציאות. הנה הוכחות", הכותבים מתיימרים לספק את ההוכחות לקיומו של משבר אקלימי מעשי-ידי-אדם. שמחתי על מאמר זה, מכיוון שבאמת רציתי לראות הוכחות לדברים האמורים, אולם התבדיתי. לצערי, המאמר עמוס בשגיאות לוגיות, טעויות והטעויות.

מתחמם, אבל

נכון, כדור הארץ מתחמם. מגוון מדידות בלתי-תלויות, במגוון שיטות, מראות שהטמפרטורה הממוצעת של כדור-הארץ עולה בהדרגה, החל בערך משנת 1880. השאלה היא כמובן - מה הגורם לעלייה? חסון ורינת קובעים ללא סייגים כי האדם ופעילותו, באמצעות פליטת פחמן דו חמצני (CO_2) לאטמוספירה, הוא הגורם לעלייה. CO_2 הוא גז-חממה וזו עובדה ידועה. נכונה גם העובדה שהאדם פולט CO_2 לאטמוספירה בצורה מהירה. ומכאן שהאשמה היא ב- CO_2 . אולם לא ראוי לנהוג בחופזה במקרה זה. הטמפרטורה של כדור הארץ היא עניין מסובך, המושפע מכמות אדירה של גורמים, שריכוז ה- CO_2 הוא רק אחד מהם - ומידת השפעתו אינה ידועה מספיק.

מבחינה מדוקדקת של הגרפים של נתוני CO_2 והטמפרטורה בין השנים 1820 - 2010 עולה כי ריכוזי ה- CO_2 באטמוספירה עלו עליה מתונה מ-1820 ועד 1940 ובעלייה חדה החל מ-1950. הטמפרטורה לעומת זו עולה באופן קבוע מאז תחילת המאה, מלבד תקופה של כ-20 שנה מאז סוף שנות ה-40.

מכאן שתי מסקנות: הראשונה היא שעליית הטמפרטורה של השנים האחרונות היא בוודאי לא אירוע יוצא דופן - הוא כבר קרה ולא מזמן. השנייה היא שהטמפרטורה בתחילת המאה עלתה למרות שלא היה שינוי משמעותי בריכוז ה- CO_2 באטמוספירה. כלומר מה שמתואר כגורם המרכזי כעת לא יכול היה להיות האחראי להתחממות הקודמת.

ולכן, אם רוצים להוכיח שעליית הטמפרטורה של השנים האחרונות היא בגלל ה- CO_2 האנושי, מה שצריך לעשות זה לברר מה הגורמים הטבעיים שהביאו לעליית הטמפרטורה של תחילת המאה, ולהראות בוודאות כי גורמים אלו אינם מתקיימים עוד באופן משפיע משמעותי.

אקדח מעשן שכזה, למיטב ידיעתי, עדיין לא התגלה. למעשה, ישנן מספר תיאוריות המסוגלות להסביר את ההתחממות של המאה וחצי האחרונות. למשל בפעילות סולארית. ניסיונותי לקבל הסברים משכנעים, עדות חד משמעית או אקדח מעשן ממספר מומחי אקלים נכשלו, למרות בקשות חוזרות. מה שכן שמעתי היא האמירה כי "ריכוז הפחמן הדו חמצני כל כך גדול - זו חייבת להיות הסיבה", ללא הצדקה מבוססת נתונים.

לספור אירועי קיצון

חסון ורינת מתארים גם אירועי מזג אוויר קיצוניים כהוכחה למשבר האקלים. אבל המציאות אחרת. אמנם יש עלייה בטמפרטורות, אבל אין עלייה מובהקת נמדדת באירועי קיצון אחרים. הנה מספר דוגמאות: כמות סופות הטורנדו וההוריקן בארה"ב אפילו קצת ירדה. כך גם מספר הבצורות והשריפות בארה"ב. חלק מאירועי הקיצון

מתגברים, חלק נחלשים. בכל מקרה, אין הוכחה ישירה לקשר ישיר בין שינויים אלו לבין הטמפרטורה הגלובאלית, בכך מודים אפילו כותבי דו"ח של פאנל האו"ם לנושא שינויי האקלים, ה-IPCC.

בחינה מדוקדקת של הגרף שהוצג בכתבה המקורית תראה ירידה ב-13 השנים האחרונות - למשל בכמות השיטפונות (כחול כהה) ועליה בימים עם טמפרטורות קיצוניות (אדום). נראה גם שאירועי "מזג אוויר קיצוני" (כחול בהיר) שומרים על יציבות ב-30 השנים האחרונות, כנ"ל לגבי מפולות (ירוק). הבצורות (צהוב) אף נמצאות בירידה. מה זה אומר? ובכן, כלום! וזו בדיוק הנקודה - מהנתונים האלו לא ניתן להסיק שום מסקנה לגבי האקלים.

גם בחינה מקרוב של נתוני עליית מי הים שמוצגים כהוכחה לעומק המשבר תראה שאכן פני הים עולים, בערך בקצב של 1-3 מ"מ בשנה. אבל, הם עולים באופן די אחיד החל משנת 1880. לא נראה בנתונים שקרה משהו מיוחד בסביבות 1950, שם התחלנו לפלוט CO₂ בקצב משמעותי. זאת ועוד בסביבות 750 לפני הספירה נצפתה ירידה בקצב דומה של פני הים. כלומר ששינויים טבעיים כאלו הם אפשריים והם אינם קשורים לפליטות CO₂.

המסקנה העולה היא שאין שום הוכחה שמקשרת בין עליית פני הים לבין הפליטות של האנושות. עליית פני הים אכן יכולה להיות בעייתית, אך היא איטית מספיק על מנת לאפשר שימוש בפתרונות ידועים ומוכחים. בהולנד, למשל, מצאו פתרונות ושליש משטחה נמצא מתחת לפני הים.

האמנם קונצנזוס מדעי?

טענה נוספת שחוזרת כמה פעמים בכתבתם של חסון ורינת היא ש"97% מכלל מדעני האקלים מסכימים כי בני האדם הם אלו הגורמים להתחממות הגלובאלית". ובכן, זוהי טעות נפוצה, שמבוססת על סדרה של עיוותים של מאמר משנת 2013, שבו הכותבים סרקו 944,11 מאמרים בנושא ההתחממות הגלובלית ושינויי אקלים (מהשנים 1991-2011), ומתוך מיונם לקטגוריות שונות של תמיכה, הגיעו למסקנה כי "97.1% מהתקצירים תמכו בעמדה הקונצנזואלית שבני-אדם גורמים להתחממות הגלובאלית".

רבות נכתב כבר על המחקר הזה, ורק אסכם את עיקרי הדברים כאן. ראשית, הם סרקו רק את התקצירים, ולא קראו את המאמרים המלאים. שנית, הרוב המוחלט של התקצירים (66.4%) כלל לא הביעו דעה בנושא. מבין 33.6% הנותרים, למעשה כל מאמר שלא הביע התנגדות ישירה (בתקציר!) לאמירה "בני-אדם משפיעים על האקלים דרך פליטת CO₂" נחשב כמאמר שתומך בעמדה שבני אדם הם הגורמים להתחממות הגלובאלית. זאת למרות שאפילו "ספקנים מוחלטים" יגידו שהאמירה "בני-אדם משפיעים על האקלים דרך פליטת CO₂" היא משפט-אמת, השאלה היא רק כמה הם משפיעים. מאמרים מהסוג הזה היוו 73% מכלל המאמרים (כאמור), אחרי שהוצאו 66% מהתקצירים מהחשבון). עוד 23% טענו ישירות שבני האדם משפיעים על האקלים, אך לא אמרו בכמה. רק 1.6% מהתקצירים הנותרים (0.5% מסה"כ התקצירים!) טענו בפירוש שבני אדם הם הגורם העיקרי שמשפיע על האקלים וכימתו זאת במספר.

חשוב מכך, בבעיות מדעיות, לקונצנזוס אין משמעות מכרעת, רק לנתונים. דוגמא ידועה היא המקרה של דני שכטמן והקוזיז-גבישים, שהרבה יותר מ-97% מהמדענים חשבו שאינם אפשריים, בסוף דרך חתחתים התבררה צדקת טענתו והוכרה בפרס נובל. במדע, הדבר היחיד שחשוב הוא הנתונים.

מתאם לא תואם

בכתבתם של חסון ורינת מוצגת תמונה שמוכיחה לכאורה מתאם מרשים בין רמות ה- CO_2 לבין הטמפרטורה לאורך מאות אלפי שנים. עבורי הגרף הזה היה נקודת השבר, שהביא להחלטתי לכתוב את המאמר הזה. מפני שהגרף הזה חוטא במה שקרוי במדע "קטיף-דובדבנים" (**picking-Cherry**), כלומר הצגה חלקית של הנתונים על מנת לתמוך בטענה. במילים פשוטות - לקוראים הוצגו רק חלק מהנתונים, מכיוון שהנתונים במלואם אינם תומכים בטענה הראשית. ראשית, הכותרת מטעה. CO_2 אינו גז החממה העיקרי. גז החממה העיקרי, בכמותו ובחשיבותו, הוא אדי מים, שמרכיבים כ-96% מגזי החממה, ובעלי חשיבות מכרעת בקביעת האקלים על פני כדור הארץ. למעשה, חשיבותם היא עצומה, כי הם קובעים את מנגנון ההיזון-החוזר שבגללו ל- $2CO$ בכלל יש השפעה על האקלים (מנגנון שאינו מובן לגמרי).

שנית, לגבי הגרף עצמו. הנתונים נלקחו ממחקר המבוסס על ניתוח של ליבות קרח שנחפרו מקרחונים בתחנת ווסטוק באנטארקטיקה. אלא שבתמונה לא מוצגים כל הנתונים, אלא רק נקודות במרווחי זמן גדולים מאוד (קפיצות של עשרות אלפי שנים). כך נראה לקורא כי הטמפרטורה וה- CO_2 האטמוספירי מתואמים זה עם זה, ומכאן המסקנה המתבקשת שאם כיום ריכוז ה- CO_2 הוא גבוה, הטמפרטורה גבוהה בהתאמה. אולם, סקירה יותר מעמיקה של הנתונים שנאספו מראה שלמעשה, לפחות לפי מדידה זו, כמות ה- CO_2 באטמוספירה מאחרת אחרי עליית הטמפרטורה בכ-800 שנה בקירוב.

המסקנה האפשרית היא שאולי העלייה בטמפרטורה היא הגורם לעלייה בריכוז ה- CO_2 ולא להיפך. במילים אחרות, אין בנתונים התאמה בין רמת ה- CO_2 לטמפרטורה. המסקנות העולות מהתבוננות בכלל הנתונים הן שישנן ואריאציות טבעיות הן של הטמפרטורה, כתוצאה מגורמים טבעיים - כנראה פעילות סולארית וגעשית. לשאלתי לכותבי המאמר בעניין זה, נענה לי כי "אכן במחזורים של תקופות הקרח ה- CO_2 היה משוב של שינויי הטמפרטורה בשל השינויים בקרינת השמש ולא CO_2 היה הגורם. אבל כיום הגורם לשינוי הוא הגדלת כמות ה- CO_2 באטמוספירה על ידי האדם". כלומר - בעבר אכן הטמפ' גרמה לעליית ריכוז ה- CO_2 , אבל היום זה כבר לא ככה.

מייד לאחר כך נעניתי כי: "מטרת הגרף הייתה להראות שכיום נשבר הקשר הטבעי בין ה- CO_2 לטמפרטורה כך שה- CO_2 שהוכנס על ידינו לאטמוספירה גבוה בהרבה מן הערך המתאים לטמפרטורה גם בתקופות חמות מאשר כיום. במצב זה תגובת ההתחממות כמובן מאחרת אחרי ה- CO_2 ". כלומר, המטרה של הגרף הייתה להראות שהקשר הסיבתי הטבעי נשבר היום, כי רמות ה- CO_2 גבוהות משהיו בעבר. אבל הנתונים אינם תומכים באמירה זו. להבנתי, זו גם לא הייתה מטרת הגרף - כותרתו מעידה על מטרתו, שהיא להצביע על המתאם ההיסטורי בין ה- CO_2 לטמפרטורה. לדעתי, לא משנה מה המטרה, היא אינה מצדיקה הצגה חלקית ומטעה של הנתונים.

בסיכום כותבים חסון ורינת כי "גם המדענים לא תמיד עוזרים בהעברת מסרים. אצל חלקם קיימת נטייה לייחס את השפעת שינויי האקלים למגוון רחב של תופעות סביבתיות, שיכולות להיות להן הסברים נוספים". במילים אחרות - המדענים האלו, במקום "ליישר קו" ו"לעזור" עם המסרים שלנו, יש להם "נטייה" לחשוב שאולי בעית האקלים היא יותר מורכבת מ"עלייה ב- CO_2 שמובילה לעלייה בטמפרטורות ולאסון נורא". מדענים טובים אינם אמונים על העברת מסרים. תפקידם היחיד הוא חקר האמת, מבוססת נתונים. זו אינה "נטייה", זו הגדרת תפקידם.

ואז בכנות מפתיעה, כותבים חסון ורינת כי " כמו כן, יש לזכור כי בכל מה שקשור להשפעה העתידית של שינויי אקלים, ההערכה המדעית עדיין מתבססת במידה רבה על מודלים שרמת הדיוק שלהם טעונה הוכחה". זוהי לשון המעטה. האמת היא שהמודלים האקלימיים שבידינו הם די גרועים, ויש דרך פשוטה לבדוק זאת - לבדוק אותם מול נתוני העבר ("פוסט-דיקציה", או "חיזוי לאחור") מסתבר שהרוב המוחלט של המודלים האקלימיים מנבא טמפרטורות גלובליות גבוהות יותר מהטמפרטורות שנמדדו וגם קצב עליית טמפרטורות גבוה מהנמדד. מעניינת עוד העובדה כי לפי הנתונים, אין שיפור משמעותי ביכולות החיזוי של מודלים מאוחרים יותר. כלומר, המודלים לא משתפרים משמעותית עם הזמן.

איך זה יכול להיות? ובכן, התשובה הפשוטה היא שקביעת האקלים היא בעיה מאוד מאוד מסובכת, שצריכה לקחת בחשבון כמות אדירה של תהליכים ונתונים, ואת חלקם המדענים פשוט לא מכירים, ותהליך גילויים הוא איטי ומסובך. על כל אלו, נוספת העובדה, שגם לו היינו רוצים להקטין את פליטות ה-**CO2** של האנושות, לא נראה כי יש בידינו כלים לעשות זאת ללא השפעה דרמטית לרעה על איכות החיים - במיוחד פגיעה בשכבות החלשות במדינות המפותחות ועל חשבון שיפור רווחת העניים במדינות מתפתחות. לא ניתן באמצעים הטכנולוגיים של ימינו לשמור על אורח חיינו - הדורש כמויות גדולות של אנרגיה בצורות שונות - ללא פליטת **CO2**.

לאור אלו, כל מי שדואג באמת לרווחת האדם, שיפור איכות הסביבה ויחסי הגומלין ביניהם, צריך להתבונן בבעיות האמיתיות שמולנו: ריכוזי פסולת אדירים ללא טיפול, זיהום חלקיקי אמיתי (כמו תחמוצות גופרית, תחמוצות חנקן, חלקיקי אפר ועוד), זיהום מקורות מים והידלדלותם, הידלדלות שטחי מחיה לבעלי חיים ודגה, ועוד. על אלו נוספות הבעיות האנושיות - שהולכות יד ביד עם הבעיות הסביבתיות - של עוני, בורות וקיצוניות דתית. אם האנושות חפצת חיים, מוטב לה להתרכז בבעיות אלו.

פרופ' יונתן דובי הוא חוקר במחלקה לכימיה באוניברסיטת בן גוריון

ملحق 4: مقال يونتان دوبي " أزمة المناخ؟ لا تتسرعوا في تصديق "الإثباتات" نُشر في صحيفة "هآرتس" بتاريخ

20.8.19

الادعاء أن 97% من علماء المناخ ينسبون أزمة المناخ إلى نشاط الإنسان، هو ادعاء غير صحيح. التركيز على انبعاث ثاني أكسيد الكربون غير صحيح، والرسوم البيانية المذهلة عن ارتفاع درجة الحرارة وسطح البحر تعرض صورة جزئية جدًا.

في مقال نير حسون وتسفيرير رينات "أزمة المناخ ليست نظرية بل واقع. هذا هو الإثبات"، أراد مؤلفو المقال أن يقدموا إثباتات لوجود أزمة مناخ من صنع الإنسان. كنت سعيدا بهذا المقال، لأنني أرغب في رؤية إثباتات لهذه الأمور، لكنني خُذت. للأسف، المقال مليء بأخطاء منطقية، أخطاء وخداع.

ترتفع درجة الحرارة، لكن

صحيح، ترتفع درجة حرارة الكرة الأرضية. قياسات متنوعة مستقلة، بطرق متنوعة تُشير إلى ارتفاع معدل درجة حرارة الكرة الأرضية تدريجيًا، ابتداءً من سنة 1880. السؤال الذي يطرح نفسه بالطبع – ما هو السبب لهذا الارتفاع؟

حدد حسون ورينات دون تردد أن الإنسان ونشاطه، بواسطة انبعاث ثاني أكسيد الكربون (CO_2) إلى الغلاف الجوي، هو المسبب لارتفاع درجة الحرارة. CO_2 هو غاز دفيئة، هذه الحقيقة معروفة. وصحيحة الحقيقة أن الإنسان يُطلق CO_2 إلى الغلاف الجوي بشكل سريع. ومن هنا جاء اتهام CO_2 بذلك. ومع ذلك، غير مناسب أن نتسرع في هذه الحالة. درجة حرارة الكرة الأرضية هي شيء معقد، تتأثر من كمية هائلة من العوامل، وتركيز CO_2 هو أحد العوامل فقط – ومدى تأثيره غير معروف بشكل كافٍ.

عندما نتمعن بدقة في الرسوم البيانية التي تعرض معطيات CO_2 ودرجة الحرارة بين السنوات 1820-2010 نلاحظ أن تراكيز CO_2 ارتفعت بشكل معتدل من سنة 1820 حتى 1940، ونلاحظ ارتفاع حاد ابتداءً من سنة 1950. أما درجة الحرارة ترتفع بشكل ثابت منذ بداية القرن، باستثناء فترة 20 سنة منذ نهاية سنوات الأربعينيات.

نستنتج من ذلك استنتاجين: الأول أن ارتفاع درجة الحرارة في السنوات الأخيرة هو حدث ليس استثنائيًا بالتأكيد – وقد حدث بالفعل وليس منذ وقت طويل. والاستنتاج الثاني أن درجة الحرارة ارتفعت في بداية القرن على الرغم من عدم وجود تغيير كبير في تركيز CO_2 في الغلاف الجوي. هذا يعني أن الموصوف الآن كعامل مركزي لا يمكن أن يكون المسؤول عن ارتفاع درجة الحرارة السابقة.

لذا، إذا أردنا أن نثبت أن ارتفاع درجة الحرارة في السنوات الأخيرة بسبب CO_2 البشري، يجب أن نعرف العوامل الطبيعية التي أدت إلى ارتفاع درجة الحرارة في بداية القرن، ويجب أن نبيّن بشكل مؤكد أن هذه العوامل لم تعد موجودة بطريقة مؤثرة بشكل كبير.

حسب معرفتي، لم يتم حتى الآن اكتشاف هذا الدليل. في الواقع، هناك عدة نظريات تستطيع أن تشرح ارتفاع درجة الحرارة في القرن والنصف الأخير. مثلًا: النشاط الشمسي. محاولاتي الحصول على شروح مقنعة، دلالة لا لبس فيها أو إثبات من المختصين في المناخ باءت بالفشل، على الرغم من طلباتي المتكررة. المقولة التي سمعتها أن "تركيز ثاني أكسيد الكربون كبير جدًا، لذا يجب أن يكون هو السبب"، دون أي مبرر، ولا تعتمد على معطيات.

عدّ الأحداث المتطرفة

يصف حسون وريبات أحداث حالة طقس متطرفة كإثبات لأزمة المناخ. لكن الواقع غير ذلك. على الرغم من ارتفاع درجات الحرارة، لكن لا يوجد ارتفاع كبير في الأحداث المتطرفة الأخرى. فيما يلي عدة أمثلة: انخفضت قليلاً كمية عواصف التورنادو والهوريكن في الولايات المتحدة. يزداد قسم من الأحداث المتطرفة ويضعف قسم منها. لا يوجد إثبات مباشر لعلاقة مباشرة بين هذه التغيرات ودرجة الحرارة العالمية، وقد اعترف بذلك مؤلفو تقرير هيئة الأمم المتحدة المعنية بتغيرات المناخ، IPCC.

عندما نفحص بدقة الرسم البياني المعروض في المقال الرسمي نلاحظ انخفاض في الـ 13 سنة الأخيرة، مثلاً: طراً انخفاض بكمية الفيضانات (أزرق غامق) وارتفاع في الأيام التي درجة حرارتها متطرفة (أحمر). نرى أيضاً أن أحداث "حالة الطقس المتطرفة" (أزرق فاتح) ثابتة في الـ 30 سنة الأخيرة، كذلك الأمر بالنسبة للانهايارات الجليدية (أخضر). وحتى الجفاف (أصفر) في انخفاض. على ماذا يدل ذلك؟ حسناً، لا شيء! وهذا هو الأمر بالضبط - من هذه المعطيات لا نستطيع الاستنتاج بالنسبة للمناخ.

وإذا فحصنا أيضاً معطيات ارتفاع مياه البحر المعروضة كإثبات لعمق الأزمة، نرى ارتفاع في سطح البحر، بوتيرة 1-3 ملم في السنة. لكنها ترتفع بشكل ثابت جداً منذ سنة 1880. لا نرى في المعطيات حدوث شيء خاص حول سنة 1950، هناك بدأ انبعاث CO_2 بوتيرة كبيرة. بالإضافة إلى ذلك، في سنة 750 قبل الميلاد طراً انخفاض شبيه في مستوى سطح البحر. هذا يعني أن هذه التغيرات الطبيعية ممكنة، وهي غير مرتبطة بانبعاث CO_2 . الاستنتاج من ذلك أنه لا يوجد أي إثبات يربط بين ارتفاع سطح المياه وانبعاثات البشرية. يمكن أن يشكل ارتفاع مستوى سطح البحر مشكلة، لكنها بطيئة جداً، مما يُتيح ذلك استخدام حلول معروفة ومثبتة، مثلاً: في هولندا، وجدوا حلولاً، وتُلت مساحتها تقع تحت مستوى سطح البحر.

هل هو إجماع علمي؟

تكرر ادعاء آخر عدة مرات في مقال حسون وريبات، "97% من مجمل علماء المناخ متفقون أن الإنسان هو السبب لارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية". وهذا خطأ شائع يعتمد على سلسلة من التشويهات التي وردت في مقال سنة 2013، وقد استطلع المؤلفون 944,11 مقالاً في موضوع ارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية وتغيرات المناخ (من السنوات 1991-2011)، ومن خلال تصنيفها إلى فئات مختلفة من الدعم، توصلوا إلى استنتاج أن 97.1% من الخلاصات دعمت الموقف التوافقي أن الإنسان هو السبب لارتفاع درجة حرارة العالم".

كُتب الكثير عن هذا البحث، وألخص هنا الأمور الأساسية. أولاً، قرأوا الخلاصات ولم يقرأوا المقالات الكاملة. ثانياً، في معظم الخلاصات (66.4%) لم يعبر المؤلفون عن آراءهم في الموضوع. من بين الـ 33.6% المتبقية، كل مقال لم يذكر اعتراض مباشر (في الخلاصة!) للادعاء "يؤثر الإنسان على المناخ عبر انبعاث CO_2 " تمّ اعتباره كمقال يدعم الموقف أن الإنسان هو السبب لارتفاع درجة حرارة العالم. هذا على الرغم من أن "المشككون المطلقين" يقولون أن الادعاء "يؤثر الإنسان على المناخ بواسطة انبعاث CO_2 " هو ادعاء صادق، السؤال الذي يطرح نفسه، كم يؤثر الإنسان؟ مقالات من هذا النوع شكلت 73% من مجمل المقالات (كما ذكر، بعد إخراج 66% من الخلاصات من الحساب). ادعى 23% من مؤلفو المقالات أن الإنسان يؤثر على المناخ، لكن لم يذكروا كمية التأثير. فقط 1.6% من الخلاصات المتبقية (0.5% من مجمل الخلاصات) ادعت بوضوح أن الإنسان هو السبب الرئيسي الذي يؤثر على المناخ وحددوا كمية هذا التأثير بعدد.

الأهم من ذلك، في المشاكل العلمية لا يوجد معنى حاسم للإجماع، المعطيات فقط هي التي تحسم الموضوع. مثال على ذلك: داني شختمن وشبه البلورات، ففكر أكثر من 97% من العلماء أنها غير ممكنة، في نهاية الأمر اتضح أن ادعائه صحيح وحاز على جائزة نوبل. في العلم، الشيء الوحيد المهم هو المعطيات.

ارتباط غير متطابق

عَرَضَ حسون وريبات في مقالهما صورة تثبت، على ما يبدو، ارتباط رائع بين مستوى CO_2 ودرجة الحرارة على طول مئات آلاف السنين. كان هذا الرسم البياني السبب لقراري بكتابة هذا المقال. الخطأ في هذا الرسم البياني من الناحية العلمية أنه يعتمد على طريقة نسميها في العلم "قطف الكرز" (picking-Cherry)، هذا يعني أن نعرض معطيات بشكل جزئي لدعم ادعاء. بكلمات بسيطة – تم عرض قسم من المعطيات للقراءة، لأن كل المعطيات لا تدعم الادعاء الرئيسي. أولاً، العنوان مضلل. CO_2 ليس غاز الدفيئة المركزي. غاز الدفيئة المركزي بكميته وأهميته هو بخار الماء، الذي يكون 96% من غازات الدفيئة، وهو الغاز المهم والحاسم في تحديد المناخ على سطح الكرة الأرضية. في الواقع، أهميته هائلة، لأنه يحدد آلية التغذية المرتدة (المردودية) التي بسببها يوجد تأثير لثاني أكسيد الكربون CO_2 على المناخ (آلية غير مفهومة بالكامل).

ثانيًا، بالنسبة للرسم البياني نفسه. أخذت المعطيات من بحث اعتمد على تحليل لب الجليد الذي تم حفره في محطة ووستوق في أنتاركتيكا. لم يتم عرض جميع المعطيات، بل عُرضت نقاط في فترات زمنية كبيرة (قفزات بعشرات آلاف السنين).

هذا ما يراه القارئ أن هناك ارتباط وثيق بين درجة الحرارة و CO_2 ، والاستنتاج المطلوب اليوم أنه إذا كان تركيز CO_2 عال، فإن درجة الحرارة عالية بالتناظر. لكن إذا نظرنا بعمق إلى المعطيات التي جمعها، نلاحظ حسب هذا القياس أن ارتفاع كمية CO_2 في الغلاف الجوي يحدث بعد ارتفاع درجة الحرارة بحوالي 800 سنة.

الاستنتاج الممكن أن ارتفاع درجة الحرارة هو السبب لارتفاع CO_2 وليس العكس. بكلمات أخرى، لا يوجد تطابق بين مستوى CO_2 ودرجة الحرارة. الاستنتاج من جميع المعطيات أن هناك اختلاف طبيعي في درجة الحرارة نتيجة لعوامل طبيعية – على ما يبدو نشاط الشمس وبراكين. عندما سألت مؤلفو المقال عن هذا الأمر، أجابوا: " في الواقع، في دورات العصور الجليدية كان CO_2 رد فعل لتغيرات درجة الحرارة بسبب تغيرات أشعة الشمس ولم يكن CO_2 هو السبب. لكن اليوم، السبب للتغيير هو ازدياد كمية CO_2 في الغلاف الجوي بسبب الإنسان". هذا يعني أن درجة الحرارة أدت في الماضي إلى ارتفاع تركيز CO_2 ، لكن اليوم لم يعد الأمر كذلك.

بعد ذلك مباشرة أجبته: "كان الهدف من الرسم البياني أن يبين انكسار العلاقة الطبيعية بين CO_2 ودرجة الحرارة، وأن CO_2 الذي أدخله الإنسان إلى الغلاف الجوي، كان أكثر بكثير من القيمة المناسبة لدرجة الحرارة في فترات حارة أكثر من اليوم. في هذه الحالة، يتأخر رد فعل ارتفاع درجة الحرارة بعد ال CO_2 .

بكلمات أخرى، كان الهدف من الرسم البياني أن يبين أن العلاقة السببية الطبيعية انكسرت اليوم، لأن مستويات CO_2 أعلى مما كانت في الماضي. لكن المعطيات لا تدعم هذا الادعاء. حسب رأيي، لم يكن هدف الرسم البياني ذلك – عنوانه يدل على هدفه، وهو أن يُشير إلى ارتباط تاريخي بين CO_2 ودرجة الحرارة. حسب رأيي، غير مهم ما الهدف، المهم أن لا نعرض معطيات جزئية مضللة.

أشار حسون وريبات في التلخيص أن "العلماء لا يساعدون دائمًا في نقل الرسائل المطلوبة. يميل قسم منهم إلى الربط بين تغيرات المناخ وظواهر بيئية محيطية واسعة المجال، التي يمكن أن تكون شروح إضافية". بكلمات أخرى – بدلاً من أن "يساعد" هؤلاء العلماء، يميلون إلى التفكير أن مشكلة المناخ ربما معقدة أكثر من "ارتفاع CO_2 ، الذي يؤدي إلى ارتفاع درجة الحرارة وإلى كارثة رهيبية".

العلماء الجيدون وظيفتهم الوحيدة هي بحث الحقيقة التي تعتمد على معطيات. ويكتب حسون وريانات بصراحة مفاجئة "بالإضافة إلى ذلك، يجب أن نتذكر أنّ كل ما يتعلق بالتأثير المستقبلي لتغيرات المناخ، التقييم العلمي يعتمد بمدى كبير على نماذج مستوى دقتها بحاجة إلى إثبات". الحقيقة هي أن نماذج المناخ التي بين أيدينا سيئة جداً، وهناك طريقة بسيطة لفحص ذلك - نفحصها مقابل معطيات الماضي ("التنبؤ العكسي")، اتضح أن معظم النماذج المناخية تتنبأ درجات حرارة عالمية أعلى من درجات الحرارة التي تمّ قياسها، ووتيرة ارتفاع درجة الحرارة أعلى من التي تمّ قياسها. المثير للاهتمام أكثر، الحقيقة أن قدرات النموذج على التنبؤ حسب المعطيات لا تتحسن بشكل كبير. هذا يعني أن النموذج لا يتحسن مع مرور الوقت.

كيف يمكن أن يحدث ذلك؟ الإجابة بسيطة، تحديد المناخ مشكلة معقدة جداً جداً، يجب أن تأخذ بالحسبان كميات هائلة من العمليات والمعطيات، وقسم منها غير معروف للعلماء، وعملية اكتشافها بطيء ومعقد. بالإضافة إلى كل ذلك، هناك حقيقة أخرى، لو أردنا أن نقلل من انبعاث ثاني أكسيد الكربون CO_2 الذي يُنتجه الإنسان، لا يوجد لدينا أدوات لتنفيذ ذلك دون أن نؤثر بشكل سيء جداً على جودة الحياة - خاصة تتضرر الطبقات الضعيفة في الدول النامية، ويكون ذلك على حساب تحسين رفاهية الفقراء في الدول النامية. لا نستطيع بالوسائل التكنولوجية المتوفرة اليوم أن نحافظ على نهج حياتنا - الذي يحتاج كميات كبيرة من الطاقة بأشكال مختلفة - دون انبعاث CO_2 .

على ضوء كل ذلك، كل من يهتم برفاهية الإنسان بالفعل، بتحسين جودة البيئة المحيطة والعلاقة بينهما، يجب أن ننظر إلى مشاكلنا الحقيقية: كميات هائلة من النفايات دون معالجة، الملوثات (مثل: أكاسيد الكبريت، أكاسيد النيتروجين حبيبات الرماد وغير ذلك)، تلوث مصادر المياه وتناقصها، تناقص مساحات معيشية للحيوانات والأسماك وغير ذلك. بالإضافة إلى ذلك، هناك مشاكل بشرية تسير جنباً إلى جنب مع مشاكل البيئة المحيطة، مثل: الفقر، الجهل والتطرف الديني. إذا أرادت البشرية الحياة، من الأفضل أن تتركز بهذه المشاكل.

بروفسور يونتان دوبي هو باحث في قسم الكيمياء في جامعة بن غوريون.

נספח 5 - מאמר של ניר חסון כתגובה למאמר של יונתן דובי "מכחישי משבר האקלים משקפים מציאות שאינה קיימת", פורסם ב"הארץ" ב 20.8.19

לשיטתו של פרופ' יונתן דובי, אין צורך לעשות דבר בנוגע למשבר האקלים שכן אין באמת בעיה. אם הוא צודק וכל מדעני האקלים טועים, אז באמת אין בעיה. אבל מה לגבי האפשרות שכולם צודקים ופרופ' דובי טועה? האם ראוי להמר על גורלה של האנושות?

רבים בתנועות הסביבתיות ובקרב פעילי אקלים סבורים שאין מקום עוד לפרסום מאמרים כמו מאמרו של פרופ' יונתן דובי "משבר אקלים? אל תמהרו להאמין ל"הוכחות". ואכן מאמרים מסוג זה הופכים להיות נדירים מאוד בשיח המתקדם סביב נושא האקלים. הסיבה איננה רצון להגביל את חופש הביטוי או חוסר סובלנות לדעות אחרות. הסיבה היא שמאמרים מסוג זה משקפים מציאות שאינה קיימת. הם מייצרים אשליה שמשבר האקלים נתון בוויכוח מדעי ופוליטי. אבל האמת היא שבעולם שמחוץ לאותם מאמרים אין באמת ויכוח. לא בשאלה האם כדור הארץ מתחמם בקצב מסוכן ולא בחלקה של הפעילות האנושית בשינוי הזה. לכן מאמרים מסוג זה מייצרים מציאות מעוותת. סיבה נוספת לכך היא שלאורך השנים הסתבר כי הספקנות האקלימית הזו אינה תמימה אלא היתה פרי מאמצים אדירים של חברות הנפט להסתיר מידע על ההתחממות מצד אחד ולנטוע ספק בלב הציבור והפוליטיקאים באשר למשבר האקלים מן הצד השני. אין במשפט האחרון משום רמיזה למניעיו של פרופ' דובי כמובן.

לנו, במדור הסביבה של "הארץ" לא היתה התלבטות לגבי פרסום המאמר, למרות הביקורת שבוודאי נספוג. הדילמה שלנו היתה פשוטה, בין היתר בשל העובדה שפרופ' דובי תוקף ישירות כתבה שפורסמה על ידנו (צפיר רינת ואנוכי). עם זאת, חשוב לנו לשים את המאמר של פרופ' דובי בקונטקסט הנכון. המדע מעצם טבעו לא נותן תשובות מלאות וניבויים מדויקים ומותיר סימני שאלה. מכחישי משבר האקלים ודובי בתוכם נתלים באותם ספקות וסימני שאלה כדי לפורר באמצעותם את התיאוריה כולה. דומה הדבר למטיפי הבריאתנות והתכנון התבוני שנתלים בכל סימן שאלה ותהיה של חוקרי האבולוציה כדי לטעון שהתיאוריה כולה קורסת. אבל כמו שאין בנמצא ביולוגים שיחלקו על עקרונותיה של פרדיגמת האבולוציה כך אין קלימטולוגים שיטענו שתופעות האקלים ומזג האוויר שאנו רואים בשנים האחרונות אינן קשורות לשחרור גזי חממה.

צודק פרופ' דובי שכותב שאין משמעות לקונצנזוס מדעי, אלא לראיות. אבל כוחה של תיאוריה מדעית היא בכך שהיא הופכת לפרדיגמה בסיסית שמסבירה מגוון רחב של תופעות וכאשר מחקרים רבים מתחומים שונים משתלבים בתוכה ומרחיבים אותה. זה בדיוק מה שקרה עם התיאוריה של התחממות כדור הארץ בשל פליטת גזי חממה. בשלב מסוים המדענים הפסיקו להתווכח עליה וכיום היא מקובלת על כולם ואין בנמצא מודל אחר שמסביר את תופעות האקלים מלבד זה המתחשב בפליטת גזי החממה. פרופ' דובי מזכיר את הזלזול של העולם המדעי במחקר על הקוונז-גבישים של פרופ' דני שכטמן, כהוכחה ניצחת לכך שגם קונצנזוס מדעי יכול להתגלות כשגוי. אכן, זו דוגמה יוצאת דופן למהפכה מדעית. אבל מבחינה סטטיסטית, מספרן של דעות שהיו מחוץ לקונצנזוס המדעי והוכחו כשגויות גדול לאין שיעור ממספר הדעות האלו שהתבררו כנכונות לבסוף. שכטמן יוצא דופן בדיוק בגלל שהוא מייצג את היוצא מן הכלל ולא את הכלל.

דובי מנתח את מחקרו של ג'ון קוק מ-2013 - שקבע ש 97% מהמחקרים מקבלים את ההנחה שהפעילות האנושית אחראית למשבר האקלים. המאמר הזה הוא מהמאמרים המצוטטים ביותר בתחום והנתון הזה קנה לו אחיזה בשיח הציבורי סביב הנושא. ככזה הוא הותקף מכיוונים שונים על ידי מכחישי משבר האקלים. מספר מדענים ניסו לשחזר את הבדיקות שערך קוק. שבעה מחקרים דומים התפרסמו בכתבי עת מוכרים, כולם מצאו ששיעור ההסכמה בין המדענים נע בין 90%-100%. עוד הסתבר שההסכמה גבוהה יותר ככל שמידת ההתמחות של הכותב קשורה למדעי אקלים ולא לתחומים משיקים (כמו כימיה, פיזיקה וכו'). זאת ועוד, כאשר חוקרים בחנו את שלושת האחוזים הנותרים ממאמרו של קוק התגלו באותם מחקרים שגיאות שמערערות אותם.

אבל חשוב מכך, בעולם יש קונצנזוס נוסף וחשוב יותר בעניין הזה והוא הקונצנזוס הפוליטי והוא מוחלט לא פחות מזה המדעי. 197 מדינות, שהן כל מדינות העולם, כולל כל יצרניות הנפט, חתמו על הסכם פריז. בסיס ההסכם הוא הדו"חות המדעיים שמתארים את האסון המתגלגל מעשה ידה של האנושות. לכל ממשלות העולם יש להוסיף גם את כל הארגונים הבינלאומיים, כולל כמובן האו"ם והאיחוד האירופי וכן כל הסוכנויות המדעיות הממשלתיות. כך שבעולם האמיתי, בו מתקבלות ההחלטות, אין ויכוח.

עתה יש לשאול מה אנחנו, כבני אדם, ארגונים ומדינות צריכים לעשות לנוכח המצב. לשיטתו של פרופ' דובי, אין צורך לעשות דבר שכן אין באמת בעיה. אם הוא צודק וכל מדעני האקלים טועים, אז באמת אין בעיה, נמשיך לשרוף דלקי מאובנים, הפחמן הדו-חמצני ימשיך להצטבר באטמוספירה והאקלים ממילא עושה מה שהוא רוצה. אבל מה לגבי האפשרות שכולם צודקים ודווקא פרופ' דובי טועה? המשמעות היא הימור כמעט מטורף על חייהם של מיליוני אנשים, על אושרם ואורח חייהם של כמעט כל שאר בני האדם ועל הישרדותם של אינספור מינים אחרים שחולקים איתנו את כדור הארץ. מה ההחלטה המעשית והמוסרית שיש לקבל לנוכח המצב הזה? האם בשביל הסיכוי הקלוש שבשל קונספירציה-על סודית כלשהי, כל המדענים, הממשלות והארגונים בעולם טועים ומטעים עלינו לעמוד מנגד ולא לעשות דבר?

עתה לשגיאות עליהן מצביע מאמרו של דובי, שהן ברובן חזרה על טענות שנשמעות באופן תדיר מפי מכחישי משבר האקלים.

בניגוד לעבר, מכחישי משבר האקלים כיום אינם טוענים יותר שכדור הארץ אינו מתחמם. אין דרך אחרת לקרא את הנתונים. גם דובי לא חולק על כך, אך טוען שאין קשר בין שחרור פחמן דו חמצני לאטמוספירה לבין ההתחממות. הראיה שלו לכך היא ההתחממות בתחילת המאה ה-20 - בקצב דומה להיום למרות שרמות ה-**CO2** שהיתה באטמוספירה היו עדיין נמוכות. הקלימטולוג, פרופ' דני רוזנפלד מהאוניברסיטה העברית, מסביר שמחקרים כבר נתנו תשובה לתהייה הזו. המודלים שבאמצעותם חוזים את ההתחממות העתידית משחזרים גם את הטמפרטורות העולמיות בעבר. כאשר מריצים את המודלים ללא השפעות האדם, הם משחזרים היטב את עליית הטמפרטורה לפני 100 שנה ואת הירידה שלה באמצע המאה ה-20, כפי שאכן קרה מסיבות טבעיות ברובן. אולם, אותם מודלים מצביעים על כך שבמצב טבעי אמורה היתה הירידה שהרגשנו בשנות ה-70, להימשך. העובדה שבמקום ירידה אנו חווים עלייה חדה קשורה בפעילות האנושית.

למרות שהוא לא חולק על נתוני ההתחממות של כדור הארץ שחריגים בכל קנה מידה המוכר לנו, פרופ' דובי טוען שההתחממות הזו לא באה לידי ביטוי במספר אירועי הקיצון במזג האוויר (למצער, לא בגרף שהצגנו

בכתבה המקורית). מכאן שהוא מותיר שאלה פתוחה: כיצד יתכן שעלייה חדה שכזו בטמפרטורה הממוצעת הגלובלית לא תביא לאירועי קיצון אקלימיים? אבל גם מבלי לענות על השאלה הזו, ומבלי להבין בסטטיסטיקה ניתן לראות בגרף בקלות כי ישנה עלייה מזדה בסך כל האירועים הקיצוניים. מערכת האקלים העולמית אכן סבוכה לאין שיעור ומרובת משתנים ובשנים מסוימות ישנה ירידה במספר האירועים אבל המגמה ברורה. זאת ועוד, חלק מאירועי האקלים הפכו להיות גדולים כל כך שהם מאחדים שניים או יותר אירועים שהיו בעבר. כלומר, אם בעבר נספרו שני גלי חום שנמשכו שלושה ימים, הרי שהיום גל חום שיימשך שמונה ימים יספר כאחד. כך הגרף יראה ירידה במספר גלי החום, למרות שפועל היתה החמרה במצב.

דוגמאות ספציפיות של אירועי אקלים קיצוניים עלולות להטעות והתקשורת אכן נוטה להגזים לעיתים בעוצמת האירועים ובמובהקות הקשר שלהם למשבר האקלים הגלובלי. אכן, אי אפשר לשייך אירוע בודד למשבר האקלים, כי אירועים חריגים קרו גם בעבר, אבל יש כיום עליה בתדירות ובעוצמת האירועים, כפי שהמודלים מנבאים שיקרה. לפחות חלק מהאירועים החריגים שחוונו השנה קשורים, ללא ספק, לתופעה הגלובלית: שריפות הענק בחוג האקרטי, גלי חום שהכו באירופה ובהודו, השיטפונות במרכז ארה"ב, אירועי השלג החריגים בצפון ארה"ב, אבדן הקרח בגרינלנד ועוד. כולם אירועים שהתרחשו בעבר, אך לא בעוצמה ובתדירות שאנו רואים היום.

דובי גם מבטל את החששות מפני עליית פני הים בטענה שלפני 2750 שנה הייתה ירידה של פני הים בקצב דומה ומכאן "ששינויים טבעיים כאלו הם אפשריים". האם על סמך העובדה שבתקופת המקרא חלה ירידה בפני הים אמורה להרגיע אותנו כאשר אנו רואים עלייה חדה שלא הייתה כדוגמתה מעולם? וגם כאן הטיעון לא ברור, הרי אין מחלוקת שכדור הארץ מתחמם, כלומר פחות קרח בקרחונים והתרחבות של מי הים. אם ההתחממות תימשך, כפי שצופים המדענים כולם, גם עליית פני הים תימשך. האם היא תאפשר להתמודד איתה? דובי מרגיע שהיא איטית למדי ושנחנו מסוגלים להתמודד עם הבעיה ההנדסית הזו בקלות יחסית. השאלה החשובה שיש לשאול היא את מי אנחנו כוללים במילה "אנחנו". האם היא כוללת גם את תושבי בנגלדש או האיים טובאלו שליד אוסטרליה וגהורמרה שבהודו? כי נראה שבעבורם הבעיה אינה פשוטה כלל כבר היום.

הטיעון החזק ביותר, לדבריו של דובי, הוא העובדה שאין מתאם בין רמת ה-2CO לבין הטמפרטורה, ההיסטוריה (והגרף שהוצג בכתבה המקורית) מוכיחה שמתאם כזה הוא הפוך. כלומר שעליית הטמפרטורה מובילה לעליית ה-2CO ולא להיפך. כלומר שאין צורך להיות מודאגים מריכוז הגז באטמוספירה כי הוא ממילא לא משפיע על הטמפרטורה. ובכן כאן יש צורך בהסבר מורכב יותר. אכן, לאורך ההיסטוריה עליית ה-2CO איחרה את עליית הטמפרטורה. אבל הקשר בין השניים הרבה יותר מורכב מזה. נסביר: מסלול כדור הארץ מסביב לשמש משתנה באיטיות, בזמנים מסויימים בחייו של הכדור הוא מתחמם בשל כך. כאשר מי הים מתחממים הם מסוגלים להכיל פחות 2CO והעודף נפלט לאטמוספירה, בדומה לכוס מי סודה שמתחממת. לכן נרשמת עלייה ב-2CO באטמוספירה לאחר העלייה הראשונית בטמפרטורה. עליית ה-2CO תורמת לעלייה נוספת בטמפרטורה בשל תופעת החממה וחוזר חלילה. זהו מנגנון היזון חוזר שאורך מאות שנים, וזה מה שמוצג בגרף. בתקופתנו נמצאת הארץ במסלול בו אמורה היתה להיות התקררות לקראת תקופת קרח חדשה (עניין של כעשרת אלפים שנים) אבל הגורם האנושי הקפיץ את רמות ה-2CO מעל לכל רמה שהיתה במאות אלפי השנים האחרונות. למעשה מאז שחר האנושות מעולם לא היו יותר מ-300 חלקי 2CO למיליון באטמוספירה שלנו. כיום אנו עומדים על למעלה מ-400 והרמה ממשיכה לעלות בכל שנה. המשמעות של כל זה היא שהמנגנון הטבעי של

הטמפרטורות וה-2CO שניהל את האקלים בכדור הארץ מאז ומעולם נשבר. ייתכן והיינו צריכים להסביר את העניין הזה כבר בכתבה המקורית ועל כך אנחנו מודים לפרופ' דובי שדחק בנו לעשות כן. לבסוף, טוען דובי כי מאמץ להקטין את הפליטות יפגע בראש ובראשונה בשכבות החלשות, במיוחד במדינות המתפתחות, וכי ממילא אין בידי האנושות את הטכנולוגיה שמסוגלת להחליף בצורה יעילה את הדלקים הפוסיליים הישנים והטובים. ובכן, מדינות בכל רחבי העולם מוכיחות בדיוק את ההיפך, מגרמניה, הודו ועד מרוקו, כולן בונות מתקני ענק לאנרגיה מתחדשת ומצליחים להעביר חלקים גדולים מייצור החשמל שלהן לאנרגיה ירוקה וזולה. פיתוחים טכנולוגיים וייצור המוני העבירו את מחירי האנרגיה הסולארית לירידה חדה ובחלקים גדולים מהעולם (כולל בישראל) הם למעשה זולים באופן משמעותי מאשר אנרגיה ממקורות מסורתיים. לאחרונה קבע אחד הבנקים הגדולים בעולם כי מחירי הנפט יצטרכו לרדת ביותר מחצי כדי להתמודד עם המחירים של האנרגיה המתחדשת.

פיתוחים בתחומי התחבורה, המזון, החקלאות ובעיקר האנרגיה מבטיחים כי יש בידי האנושות את הכלים להפחית דרמטית את פליטות גזי החממה ולמנוע את הנזקים הקטסטרופליים של המשבר. זאת ועוד, למעבר לעולם שאינו תלוי באנרגיה פוסילית יש גם יתרונות כלכליים. המצב עגום אבל לא אבוד. כדי למנוע את האסון עלינו לשנות את אורחות חיינו, לצרוך פחות, לאכול פחות בשר, לטוס פחות. עלינו גם לפרק מנגנונים כלכליים אדירים ובעלי עוצמה וליצור שיתופי פעולה חוצי לאומים, אבל בראש ובראשונה עלינו להישיר מבט אל המציאות.

ملحق 5 - مقال نير حسون كرد فعل لمقال يونتن دوبي "منكرو أزمة المناخ يعكسون واقع غير موجود" نُشر في صحيفة "هآرتس" بتاريخ 20.8.19

حسب طريقة بروفيسور يونتان دوبي، لا توجد حاجة لعمل أي شيء يتعلق بأزمة المناخ، لأنه لا توجد مشكلة حقيقية. إذا كان هو صادق وأخطئ جميع علماء المناخ، لا توجد مشكلة. لكن ماذا بالنسبة للإمكانية أن الجميع صادقين وبروفيسور دوبي غير صادق؟ هل من المعقول أن نغامر في البشرية؟

يعتقد الكثير من الحركات البيئية المحيطة ومن النشطاء من أجل المناخ أنه لا يوجد مجال لنشر مقالات كمقال بروفيسور يونتان دوبي "أزمة المناخ؟ لا تتسرعوا في تصديق الإثباتات". وهكذا يصبح هذا النوع من المقالات نادر جدًا في الحوار حول موضوع المناخ. السبب لا ينبع من الرغبة في أن نحد من حرية التعبير عن الرأي أو لا عدم التسامح مع آراء أخرى. السبب أن مقالات من هذا النوع تعكس واقع غير موجود. فهي تُنتج وهمًا أن أزمة المناخ هي موضع نقاش علمي سياسي. لكن الحقيقة، أنه خارج هذه المقالات لا يوجد نقاش في الواقع. ليس حول السؤال، هل تسخن الكرة الأرضية بوتيرة خطيرة؟ وليس في النشاط البشري الذي أدى إلى هذا التغيير. لذا هذه المقالات تُنتج واقع مشوه. السبب الإضافي لذلك أنه على مر السنين اتضح أن هذا الشك في المناخ ليس بريئًا، بل نتج من جهود كبيرة لشركات النفط أن تخفي معلومات عن ارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية، وأن تغرس الشك في قلوب الجمهور والسياسيون بالنسبة لأزمة المناخ. لا نُشير في الجملة الأخيرة إلى دوافع بروفيسور دوبي بالطبع.

في قسم البيئة المحيطة في صحيفة "هآرتس" لم يكن لدينا تردد في نشر هذا المقال، على الرغم من الانتقادات التي ستوجه لنا. كان صراعنا بسيطًا، ومن بين الأمور الأخرى، الحقيقة أن بروفيسور دوبي هاجم مقالًا نشرته مع تسفيرير رينات. على الرغم من ذلك، من المهم أن نضع مقال بروفيسور دوبي في السياق الصحيح. العلم في طبيعته لا يُعطي إجابات كاملة وتنبؤات دقيقة، بل يترك علامات استفهام وتساؤلات.

منكرو أزمة المناخ ومن بينهم دوبي يتمسكون بشكوك وبعلامات استفهام لتفكيك نظرية كاملة. وهذا يشبه دعاة الخلق والتخطيط الذكي الذين يتمسكون بكل علامة استفهام من بينها لباحثون في النشوء والارتقاء كي يدعوا انهيار النظرية. ولكن مثلما لا يوجد علماء أحياء يختلفون مع مبادئ نموذج النشوء والارتقاء، لا يوجد علماء مناخ يدعون أن ظاهرة المناخ وحالة الطقس التي نشاهدها في السنوات الأخيرة ليست مرتبطة بانبعاث غازات الدفيئة.

صحيح ما كتبه بروفيسور دوبي أنه لا معنى للإجماع العلمي، بل للدلائل. لكن قوة النظرية العلمية بأنها تتحول إلى نموذج أساسي يشرح ظواهر متنوعة، وتندمج فيها أبحاث كثيرة من مجالات مختلفة تساهم في توسيعها. هذا ما حدث بالضبط مع نظرية ارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية بسبب انبعاث غازات الدفيئة. في مرحلة معينة، توقف النقاش بين العلماء على هذه النظرية واليوم هي مقبولة على الجميع، ولا يوجد نموذج آخر يشرح ظواهر المناخ باستثناء ذلك الذي يأخذ بعين الاعتبار انبعاث غازات الدفيئة. ذُكر بروفيسور دوبي استهتار العالم العلمي ببحث شبه البلورات للبروفيسور داني شختمن كإثبات أن الإجماع العلمي يمكن أن يكون غير صحيح. صحيح، هذا مثال استثنائي لثورة علمية. لكن من ناحية احصائية، عدد الآراء التي لا تتوافق مع الإجماع العلمي وأثبت أنها غير صحيحة أكبر بكثير من عدد الآراء التي اتضح في النهاية أنها صحيحة. شختمن استثنائي لأنه يمثل الاستثناء وليس العام.

حلل دوبي بحث جون كوك من سنة 2013، الذي حدد أن 97% من الأبحاث تقبل الافتراض أن النشاط البشري مسؤول عن أزمة المناخ. هذا المقال هو أحد المقالات الأكثر اقتباسًا في المجال، وهذا المعطى منحه مكانة في حوار الجمهور حول الموضوع.

يعرض هذا المقال انتقادات من اتجاهات مختلفة بواسطة منكرو أزمة المناخ. حاول بعض العلماء إعادة الفحص الذي أجراه كوك. نُشرت سبعة أبحاث في دوريات علمية معروفة، ووجد جميعهم أن نسبة الموافقة بين العلماء تتراوح بين 90% - 100%.

اتضح أيضًا أن الموافقة كانت أعلى كلما كان تخصص الكاتب قريب لعلوم المناخ وليس لمجالات قريبة (مثل: الكيمياء، الفيزياء وما شابه). بالإضافة إلى ذلك، عندما فحص باحثون الثلاثة بالمئة المتبقية من مقال كوك وجدوا في تلك الأبحاث أخطاء تُثيرهم.

لكن الأهم من ذلك، في العالم يوجد إجماع إضافي وأهم في هذا الموضوع، وهو الإجماع السياسي وهو مُطلق ليس أقل من الإجماع العلمي. 197 دولة، وهي جميع دول العالم، بما في ذلك الدول المنتجة للنفط، وقعت على اتفاق باريس. قاعدة الاتفاق هو التقارير العلمية التي تصف الكارثة التي تتدحرج من صنع الإنسان. بالإضافة إلى حكومات العالم، يجب إضافة جميع المنظمات الدولية، بما في ذلك هيئة الأمم المتحدة، الاتحاد الأوروبي وجميع الوكالات العلمية الدولية. وهكذا في العالم الحقيقي الذي تُتخذ فيه قرارات، لا يوجد جدال.

يجب أن نسأل الآن، ماذا يجب علينا كبشر، منظمات ودول أن نعمل في الوضع الحالي. حسب طريقة دوبي، لا حاجة للقيام بأي شيء، لأنه لا توجد في الواقع مشكلة. إذا كان هو صادق وجميع علماء المناخ غير صادقين، عندئذٍ لا توجد مشكلة، ونستمر في حرق الوقود المتحجرة، يستمر ثاني أكسيد الكربون في التراكم في الغلاف الجوي والمناخ يعمل ما يريد. لكن ماذا بالنسبة للإمكانية أن يكون الجميع صادقين وبروفسور دوبي غير صادق؟ معنى ذلك، مغامرة خطيرة على حياة ملايين الناس، على سعادة ونهج حياة سائر البشر وعلى بقاء عدد لا نهائي من أنواع الكائنات الحية التي تعيش معنا على الكرة الأرضية. ما هو القرار العملي والأخلاقي الذي يجب أن نتخذه في الوضع الحالي؟ هل بسبب الاحتمال الضئيل للمؤامرة الخفية السرية أن جميع العلماء، الحكومات ومنظمات العالم غير صادقة ومضللة يجب علينا أن لا نعمل أي شيء؟

نتطرق الآن إلى الأخطاء التي وردت في مقال دوبي، معظمها تكرر لادعاءات نسمعها بشكل متكرر من منكرو أزمة المناخ. على عكس الماضي، منكرو أزمة المناخ اليوم لا يدعون أن درجة حرارة الكرة الأرضية لا ترتفع. لا توجد طريقة أخرى لقراءة المعطيات. لا يختلف دوبي مع ذلك أيضًا، لكنه يدعي أنه لا توجد علاقة بين انبعاث ثاني أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي وارتفاع درجة الحرارة. إثباته لذلك أن وتيرة ارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية في بداية القرن الـ 20 تشبه وتيرة اليوم على الرغم من أن مستويات CO_2 في الغلاف الجوي كانت منخفضة.

عالم المناخ، بروفسور داني روزنفلد من الجامعة العبرية، يشرح أن الأبحاث قدمت إجابة على هذا السؤال. النماذج التي بواسطتها تنتبأ ارتفاع درجات الحرارة المستقبلية تُعيد قياس درجات حرارة العالم في الماضي. عندما نشغل النموذج دون تأثير الإنسان يُعيد جيدًا ارتفاع درجة الحرارة قبل 100 سنة وانخفاضها في منتصف القرن الـ 20، كما حدث بالفعل في الغالب لأسباب طبيعية. لكن، تُشير نفس النماذج إلى أنه في الحالة الطبيعية، كان يجب على الانخفاض الذي شعرناه في سنوات السبعينيات أن يستمر. الحقيقة أن الانخفاض لم يستمر بل ارتفع بشكل حاد نتيجة لنشاط الإنسان.

على الرغم من أنه لا يعترض على معطيات ارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية الاستثنائية، يدعي بروفيسور دوبي أن هذا الارتفاع في درجة الحرارة لا ينعكس في عدد الأحداث المتطرفة في الطقس (السوء الحظ ، ليس في الرسم البياني الذي قدمناه في المقالة الأصلي). فهو يطرح سؤالاً مفتوحاً: كيف يمكن أن لا يؤدي مثل هذا الارتفاع الحاد في معدل درجة الحرارة العالمي إلى أحداث متطرفة في المناخ؟

ولكن حتى بدون الإجابة عن هذا السؤال، وبدون فهم الإحصائيات يمكن أن نرى بسهولة في الرسم البياني أن هناك زيادة قابلة للقياس في العدد الإجمالي للأحداث المتطرفة. النظام المناخي العالمي معقد ومتعدد المتغيرات بشكل لا يمكن قياسه ، وفي بعض السنوات هناك انخفاض في عدد الأحداث ولكن الاتجاه واضح. علاوة على ذلك، أصبحت بعض الأحداث المناخية كبيرة جداً لدرجة أنها توحد حدثين أو أكثر حدثاً في الماضي، أي أنه إذا في الماضي تم عدّ موجتين حراريتين دامت ثلاثة أيام ، فإن الموجة الحرارية التي تستمر ثمانية أيام تُحسب اليوم كموجة واحدة. يظهر في الرسم البياني انخفاض في عدد موجات الحرارة ، على الرغم من تدهور الوضع.

يمكن أن تكون هناك أمثلة خاصة لأحداث مناخية متطرفة مضللة، وتميل وسائل الإعلام إلى المبالغة في بعض الأحيان في شدة الأحداث، وفي مدى علاقتها بأزمة المناخ العالمية. في الواقع ، لا يمكن أن نربط حدث واحد إلى أزمة المناخ ، لأن أحداثاً استثنائية حدثت في الماضي أيضاً ، ولكن هناك الآن زيادة في تكرار وشدة الأحداث، كما تتوقع النماذج أن يحدث. بعض الأحداث الاستثنائية التي شهدناها هذا العام تتعلق بلا شك بظاهرة ارتفاع درجة حرارة العالم: حرائق ضخمة في الدائرة القطبية الشمالية، موجات حرارة ضربت أوروبا والهند، فيضانات في مركز الولايات المتحدة، أحداث ثلجية غير معتادة في شمال الولايات المتحدة، فقدان الجليد في غرينلاند وغير ذلك. حدثت جميع الأحداث في الماضي، لكن ليس في نفس الشدة والتكرار الذي نراه اليوم.

يرفض دوبي أيضاً المخاوف بشأن ارتفاع مستوى سطح البحر، وهو يدعي أنه قبل 2750 عامًا كان هناك انخفاض في مستوى سطح البحر بوتيرة مماثلة وبالتالي "يمكن لهذه التغيرات الطبيعية أن تكون ممكنة". هل استناداً إلى حقيقة أنه في فترة الكتاب المقدس، كان هناك انخفاض في مستوى سطح البحر، يجب أن نطمئن عندما نرى ارتفاعاً حاداً لم نشهده من قبل؟ وهنا أيضاً، الحجّة غير واضحة، حيث لا يوجد خلاف على ارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية، مما يعني انخفاض الجليد في الأنهار الجليدية وتوسع مياه البحر. إذا استمر ارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية كما يتوقع جميع العلماء، يستمر ارتفاع مستوى سطح البحر أيضاً. هل يمكن مواجهة ذلك؟

دوبي يطمئنا أنها بطيئة للغاية، وأننا قادرون على مواجهة هذه المشكلة الهندسية بسهولة نسبياً. السؤال المهم الذي يجب طرحه هو من هم الذين نشملهم في كلمة "نحن". هل تشمل أيضاً سكان بنغلاديش أو جزر توفالو قبالة أستراليا وجورميت في الهند؟ لأنه يبدو أن المشكلة بالنسبة لهم ليست بسيطة على الإطلاق حتى اليوم.

الحجة القوية وفقاً لأقوال دوبي، هي حقيقة أنه لا يوجد ارتباط بين مستوى ثاني أكسيد الكربون CO_2 ودرجة الحرارة، التاريخ (والرسم البياني الذي عرضناه في المقال الأصلي) يُثبت أن هذا الارتباط عكسي. وهذا يعني أن ارتفاع درجة الحرارة يؤدي إلى ارتفاع ثاني أكسيد الكربون CO_2 وليس العكس. هذا يعني أنه لا داعي للقلق بشأن تركيز الغاز في الغلاف الجوي، لأنه لا يؤثر على درجة الحرارة على أي حال. حسناً، هناك حاجة إلى شرح أكثر تعقيداً. في الواقع، عبر التاريخ، حدث ارتفاع ثاني أكسيد الكربون CO_2 بعد ارتفاع درجة الحرارة. لكن العلاقة بين الاثنين أكثر تعقيداً من ذلك. الشرح: يتغير مسار الكرة الأرضية حول الشمس ببطء، نتيجة لذلك، في أوقات معينة ترتفع درجة حرارة الكرة الأرضية.

عندما يسخن ماء البحر يستطيع أن يحتوي على كمية أقل من ثاني أكسيد الكربون CO_2 وينبعث الفائض إلى الغلاف الجوي، وهذا يشبه كأس من مياه الصودا الساخنة، لذا يطرأ ارتفاع في CO_2 في الغلاف الجوي بعد الارتفاع الأولي لدرجة الحرارة. يساهم ارتفاع ثاني أكسيد الكربون CO_2 في ارتفاع إضافي في درجة الحرارة بسبب ظاهرة الدفيئة وهكذا دواليك. هذه آلية تغذية مرتدة (مردودية) تستغرق مئات السنين، وهذا ما يظهر في الرسم البياني. في عصرنا، تسير الكرة الأرضية على مسار فيه كان من المفترض أن يكون هناك تبريد نحو عصر جليدي جديد (حوالي عشرة آلاف سنة) ولكن العامل البشري رفع مستويات ثاني أكسيد الكربون CO_2 فوق أي مستوى كان في مئات الآلاف من السنين الماضية.

في الواقع، منذ فجر الإنسانية، لم يكن هناك أكثر من 300 جزء من مليون من ثاني أكسيد الكربون CO_2 في غلافنا الجوي. اليوم بلغ التركيز أكثر من 400 والمستوى يستمر في الارتفاع كل عام. كل هذا يعني أن الآلية الطبيعية لدرجات الحرارة وثاني أكسيد الكربون CO_2 التي أدارت المناخ في الكرة الأرضية، قد تم كسرها دائمًا. ربما كان من الواجب أن نشرح هذه الأمور في المقال الأصلي، ولهذا نشكر البروفيسور دوبي الذي حثنا على القيام بذلك.

وأخيرًا، ادعى دوبي أن الجهود المبذولة للحد من الانبعاثات تضر بالدرجة الأولى الطبقات الضعيفة، خاصة في البلدان النامية، وأنه على أي حال لا تمتلك البشرية التكنولوجيا لاستبدال الوقود الأحفوري القديم والجيد. حسنًا، أثبتت دول في جميع أنحاء العالم عكس ذلك تمامًا، ألمانيا، الهند والمغرب، كلها تبني منشآت ضخمة للطاقة المتجددة، ونجحت في نقل أجزاء كبيرة من توليد الكهرباء إلى طرق تعتمد على طاقة خضراء وريخية. أدت التطورات التكنولوجية والإنتاج الضخم إلى انخفاض حاد في أسعار الطاقة الشمسية، وفي أجزاء كبيرة من العالم (بما في ذلك في إسرائيل)، فهي في الواقع أرخص بكثير من الطاقة المستخرجة من المصادر التقليدية. صرح أحد أكبر البنوك في العالم مؤخرًا أن أسعار النفط يجب أن تنخفض بأكثر من النصف لتتماشى مع أسعار الطاقة المتجددة.

تضمن التطورات في مجالات النقل، الغذاء، الزراعة وخاصة الطاقة أن تمتلك البشرية الأدوات اللازمة للحد بشكل كبير من انبعاثات غازات الدفيئة ومنع الضرر الكارثي للأزمة. علاوة على ذلك، فإن الانتقال إلى عالم مستقل عن الطاقة الأحفورية له فوائد اقتصادية أيضًا. الوضع كئيب لكن يمكن تحسينه. لتجنب الكارثة يجب أن نغير أنماط حياتنا، نستهلك أقل، نأكل لحمًا أقل ونطير بالطائرة أقل. يجب علينا أيضًا تفكيك الآليات الاقتصادية الضخمة والقوية وخلق التعاون عبر الحدود الوطنية، ولكن أولاً وقبل كل شيء يجب أن ننظر إلى الواقع.

נספח 6 – שאלות בעקבות קריאת מאמרים על מכחישי האקלים

1. האם המאמר של פרופ' דובי היה משכנע? נמקו.
2. פרופ' יונתן דובי עוסק בכימיה תיאורטית וניר חסון הוא עיתונאי ועורך מדור הסביבה בעיתון "הארץ". מדוע חשוב לקחת בחשבון את הרקע המקצועי של מביעי דעות בנושאים מדעיים?
3. ניר חסון טוען ש"רבים בתנועות הסביבתיות ובקרב פעילי אקלים סבורים שאין מקום עוד לפרסום מאמרים כמו מאמרו של פרופ' יונתן דובי". מה דעתכם בנושא?
4. האם יש "קונצנזוס מדעי" בנוגע לסוגיית משבר האקלים?
5. מה דעתכם בנושא שימוש במודלי אקלים? האם כדאי להשתמש בהם למרות שמדענים לא יודעים הכל לגבי מערכות אקלים? האם כדאי להשתמש בהם למרות שמידת הדיוק שלהם לא מושלמת?
6. הביעו עמדה בנוגע לדברים של ניר חסון: " עתה יש לשאול מה אנחנו, כבני אדם, ארגונים ומדינות צריכים לעשות לנוכח המצב. לשיטתו של פרופ' דובי, אין צורך לעשות דבר שכן אין באמת בעיה. אם הוא צודק וכל מדעני האקלים טועים, אז באמת אין בעיה, נמשיך לשרוף דלקים פוסיליים (מאובנים), הפחמן הדו-חמצני ימשיך להצטבר באטמוספירה והאקלים ממילא עושה מה שהוא רוצה. אבל מה לגבי האפשרות שכולם צודקים ודווקא פרופ' דובי טועה? המשמעות היא הימור כמעט מטורף על חייהם של מיליוני אנשים, על אושרם ואורח חייהם של כמעט כל שאר בני האדם ועל הישרדותם של אינספור מינים אחרים שחולקים איתנו את כדור הארץ. מה ההחלטה המעשית והמוסרית שיש לקבל לנוכח המצב הזה?"
7. פרופ' דובי כותב: "שגם לו היינו רוצים להקטין את פליטות ה-CO2 של האנושות, לא נראה כי יש בידינו כלים לעשות זאת ללא השפעה דרמטית לרעה על איכות החיים". מה דעתכם בנושא? האם ניתן ללמוד משהו על היכולת של האנושות לשנות דפוסי התנהגות בתקופת הקורונה?
8. מהם הטיעונים של דובי והתשובה של חסון לגבי הקשר בין התחממות גלובלית לאירועי מזג אוויר קיצוני? ניתן למצוא עוד מידע בנושא בקישור הזה (אנגלית).
9. מהי התשובה של חסון לטיעונים של דובי בנוגע לעלייה במפלס הים?
10. אנו שוב עוסקים בשאלה של הקשר בין מתאם (קורלציה) לסיבתיות - בין ריכוזי פד"ח וטמפרטורות. פרופ' דובי טוען שהמתאם אינו מושלם ויש דוגמאות בהן הטמפרטורות עלולות לפני העלייה בריכוזי פד"ח. מה התשובה של חסון לכך?
11. הסבירו את המונח "cherry picking" במובן של הצגת נתונים מדעיים. כיצד אסטרטגיה כזאת יכולה לשרת מכחישי אקלים?

ملحق 6 – أسئلة في أعقاب قراءة مقالات عن منكري أزمة المناخ

1. هل كان مقال بروفيسور دوبي مقنعًا؟ عللوا.
2. البروفيسور يوناتان دوبي يبحث في مجال الكيمياء النظرية ونير حسون صحفي ومحرر قسم البيئة المحيطة في صحيفة "هآرتس". لماذا من المهم أن نأخذ بالحسبان الخلفية المهنية للأشخاص الذين يبدو آرائهم حول مواضيع علمية؟
3. يدعي نير حسون أنّ "العديد من الحركات البيئية المحيطة ونشطاء المناخ يعتقدون أنه لا مكان لنشر مقالات مثل مقال البروفيسور يوناتان دوبي". ما رأيكم في ذلك؟
4. هل هناك "إجماع علمي" حول قضية أزمة المناخ؟
5. ما رأيكم في استخدام النماذج المناخية؟ هل يجب استخدامها على الرغم من أن العلماء لا يعرفون كل شيء عن أنظمة المناخ؟ هل يجب استخدامها على الرغم من أن دقتها ليست مثالية؟
6. عبروا عن موقفكم بخصوص أقوال نير حسون: "علينا الآن أن نسأل ما الذي يجب علينا كبشر، منظمات ودول أن نفعله في مواجهة الوضع. وفقًا لطريقة بروفيسور دوبي، ليست هناك حاجة للقيام بأي شيء، لأنه لا توجد مشكلة حقًا. إذا كان على حق وكل علماء المناخ مخطئون، لا توجد مشكلة حقًا، نستمر في حرق الوقود الأحفوري (الوقود المتحجرة)، يستمر ثاني أكسيد الكربون في التراكم في الغلاف الجوي والمناخ يفعل ما يريد على أي حال. لكن، ماذا بالنسبة للإمكانية أن يكون الجميع على حق وأن البروفيسور دوبي على خطأ؟ هذا يعني أن نغامر بشكل متطرف على حياة الملايين من الناس، على سعادة ونهج حياة جميع البشر تقريبًا وعلى بقاء عدد لا يحصى من أنواع الكائنات الحية الأخرى التي تعيش معنا على الكرة الأرضية. ما هو القرار العملي والأخلاقي الذي يجب اتخاذه في مواجهة هذا الوضع؟".
7. كتّبت بروفيسور دوبي: "حتى لو أردنا تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون CO_2 التي ينتجها الإنسان، لا يبدو أن لدينا الأدوات اللازمة للقيام بذلك دون تأثير دراماتيكي سيء على جودة الحياة." ما رأيكم في ذلك؟ هل يمكن أن نتعلم أي شيء عن قدرة البشرية على تغيير أنماط السلوك خلال فترة الكورونا؟
8. ما هي حجج دوبي وإجابة حسون فيما يتعلق بالعلاقة بين ارتفاع درجة حرارة العالم وأحداث الطقس المتطرفة؟ يمكن الحصول على المزيد من المعلومات حول هذا الموضوع في هذا الرابط (الإنجليزية).
9. ما هو رد حسون على حجج دوبي حول ارتفاع مستوى سطح البحر؟
10. نتناول مرة أخرى مسألة العلاقة بين الارتباط والسببية - بين تركيز ثاني أكسيد الكربون ودرجة الحرارة. يدعي بروفيسور دوبي أن الارتباط ليس كاملاً، وهناك أمثلة ترتفع فيها درجة الحرارة قبل ارتفاع تركيز ثاني أكسيد الكربون. ما هو رد حسون على ذلك؟
11. اشرحوا مصطلح "قطف الكرز". "cherry picking" في سياق عرض المعطيات العلمية. كيف تستطيع هذه الاستراتيجية أن تخدم منكري المناخ؟



**גזי חממה -
של מי האחריות?**

שיעור 9

התנסות: גזי חממה - של מי האחריות?

ידע למורה: בשיעור זה התלמידים יכירו את ההבדלים בין מקורות פליטה של גזי חממה ויבינו את ההשפעה האישית שלהם בנושא באמצעות התנסות בחישוב טביעת הרגל הפחמנית. התלמידים יחקרו את תרומתן של מדינות שונות, או לחילופין יכירו חלק מסל הכלים הבינלאומיים להקטנת פליטות ולסחר בפליטות וידונו בשאלות אתיות הנוגעות לאחריות וצדק סביבתי. התלמידים יבחנו את תרומתה של ישראל לפליטות וידונו באופן ביקורתי על מאמציה בתחום.

מושגים: גזי חממה, טביעת רגל פחמנית, צדק סביבתי, אמנת אקלים, מדיניות אקלים, סחר פליטות, קיזוז פחמן, פרוטוקול קיוטו, ועידת אקלים, הסכם פריז

רקע בנושאים הנידונים במהלך השיעור:

בשנת 1972, החל שיתוף פעולה בינלאומי בנושא האקלים בועידת האומות המאוחדות על סביבת האדם שהתקיימה בשטוקהולם. במפגש זה נוסדה התוכנית הסביבתית של האו"ם - ארגון שעוסק בנושאי סביבה (UNEP).

בשנת 1988, הוקם הפאנל הבין-ממשלתי לשינוי האקלים ע"י התוכנית הסביבתית של האו"ם - UNEP והארגון המטאורולוגי העולמי - WMO. הפאנל הוקם כממשק בין מדע למדיניות בנושא שינוי אקלים, במטרה להעריך ולתכלל את הידע המדעי הקיים בנושא שינוי אקלים והשלכותיו, באמצעות בחינת אלפי מאמרים ומחקרים, ולנתח את רמת אי הוודאות ופערי הידע הקיימים.

בשנת 1992 התכנסה בריו דה ז'נרו בברזיל ועידת פסגה של האו"ם, שנקראה פסגת כדור הארץ. במסגרת הוועידה נחתמו מספר הסכמים ונוצרו תוכניות, כגון אג'נדה 21. בין היתר, נחתמה אמנת המסגרת של האו"ם בנושא שינוי אקלים (UNFCCC) המכונה אמנת האקלים. אמנה זו נועדה לקדם שיתוף פעולה בין-לאומי על מנת להגביל את העלייה בטמפרטורה הגלובלית ולמנוע את שינוי האקלים. האמנה הגדירה את מסגרת הפעילות העולמית שיש לבצע על מנת להפחית את פליטות גזי החממה. האמנה נחתמה לראשונה בשנת 1992 ונכנסה לתוקף ב-1994. מתוקף אמנה זו, משנת 1995 ואילך, מידי שנה מתכנסת ועידת האומות המאוחדות לשינוי אקלים. 189 מדינות, ביניהן ישראל, חתמו ואישרו את האמנה. האמנה מבחינה בין שתי קבוצות של מדינות החברות בה: מדינות "מפותחות" (37 המדינות המתועשות אשר תרמו בעבר לעליית רוב ריכוז גזי החממה באטמוספירה) ומדינות "מתפתחות". במדינות המפותחות שיעור הפליטות ביחס לנפש גבוהות על פי רוב מהפליטות לנפש של המדינות המתפתחות ויש להן יכולת כלכלית ותשתית מסודרת להירתם לטיפול בבעיה זו. יתר המדינות, ביניהן ישראל, סווגו בתור מדינות מתפתחות.

בשנת 1995, מדינות העולם הבינו שההוראות לצמצום פליטה המופיעות באמנה היו לקויות ומנגנוני ההפחתה לא הוגדרו מספיק, ולכן פעלו להוספת נספח - פרוטוקול קיוטו. בשנת 1997 התכנסה ועידת האומות המאוחדות לשינוי אקלים בעיר קיוטו, יפן. השתתפו בה 161 מדינות. בפגישה זו נחתם פרוטוקול קיוטו, הסכם משפטי המחייב את המדינות החתומות עליו להפחית את פליטת פחמן דו-חמצני וחמישה גזי חממה אחרים ולפעול לצמצום פליטת גזי חממה. המדינות החתומות צריכות להפחית את גזי החממה בשיעור של 5.2% יחסית לשיעור שנמדד ב-1990. לפי שיעור הפליטה המשוער עבור שנת 2010, המדינות ידרשו להפחתה בשיעור של 29%. הפרוטוקול נחתם ב-1999 ונכנס לתוקף בשנת 2005 כש 141 מדינות חתמו עליו. אחד המכשולים היה סירובה של ארה"ב לעמוד בהסכם, משום שטענה (ב-2001) שהביצוע יקר מדי ומשום שמדינות מתפתחות כמו סין אינן מחויבות ליישם אותה. היום, חתומות על ההסכם, 169 מדינות.

הפרוטוקול מציע למדינות המתועשות שלוש דרכים להפחתת פליטת גזי החממה שלהן:

א. סחר בפליטות: המדינות המפותחות יכולות לסחור בפליטות גזי חממה בינן לבין עצמן. משמעות הדבר היא שאם מדינה מסוימת לא "מנצלת" את מלוא כמות הפליטה של גזי חממה המותרת לה, על פי הסכמים בין-לאומיים, מותר לה "למכור" את הזכות לפלוט גזי חממה למדינה אחרת.

ב. מנגנון פיתוח נקי (**Clean Development Mechanism - CDM**): מדינות המחויבות בהפחתת פליטות יכולות להשקיע בהפחתות כאלה במדינות מתפתחות, כאשר ההפחתה נרשמת לטובת המדינה המפחתת.

ג. יישום משותף (**Joint Implementation**): מנגנון נוסף המאפשר למדינות מפותחות להשקיע במדינות מתפתחות מסוימות וכך לרשום לעצמן הפחתות בפליטת גזי החממה.

בשנת 2009 התכנסה ועידת אקלים נוספת בקופנהגן שבדנמרק. שם נחתם הסכם נוסף שמבקש מהמדינות לנקוט פעולות כדי לשמור על עליית טמפרטורה מרבית של שתי מעלות צלזיוס. המסמך לא היה מחייב מבחינה משפטית ולא הכיל התחייבויות לצמצום פליטת פחמן דו-חמצני ועל כן מדינות רבות וארגונים לא-ממשלתיים התנגדו להסכם זה.

בשנת 2015 התכנסה ועידת האקלים בפריז בה נחתם הסכם פריז - הסכם אקלים עולמי תקדימי לצמצום פליטת גזי חממה. בתום הוועידה, 195 מדינות, בהן ארצות הברית אישרו את הסכם פריז, הקובע יעד לפליטת גזי חממה כך שהתחממות כדור הארץ לא תעלה מעבר ל-2 מעלות צלזיוס, בהשוואה לתקופה הטרומ תעשייתית - המאה ה-18, עד שנת 2050. בהמשך, הודיע ממשל טראמפ כי ארצות הברית נסוגה מן ההסכם.

במפגש ועידות האומות המאוחדות לשינוי אקלים שהיה ב-2019 עסק בין היתר בשאלת האחריות המשותפת אך הדיפרנציאלית והוסכם בו שמדינות מפותחות צריכות להוביל את הטיפול במשבר האקלים ומדינות מתפתחות צריכות לכוון לייצב את פליטות גזי החממה שלהן.

מערכת הסחר בפליטות:

בשנת 2005 הקים האו"ם את מערכת הסחר בפליטות. המפעלים שפועלים במדינות המתפתחות ומצליחים לחסוך בפליטת גזי חממה, יכולים לקבל זיכוי מהאו"ם על ההפחתה, ולמכור אותו למפעל במדינה מפותחת שחייב בהפחתה, אך לא מצליח לעמוד במכסה שהוקצבה לו. המערכת יוצרת תמריץ פיננסי עבור המדינות המפותחות לקצץ בפליטות. האו"ם מטיל מכסה (cap) על הכמות הכוללת של גז חממה שחברות יכולות לפלוט כל שנה ודורש מעקב אחר הפליטות האלה. מונפק מספר קבוע של קצבאות (allowances), בחלק יחסי של שוק הפחמן (carbon market). כל שנה, חברות מחזיקות מספיק קצבאות כדי לכסות את הפליטות שלהן; ואם הן לא עושות כן, הן מקבלות קנסות גדולים. אם אין לחברה קצבה מספקת לפליטה, אזי היא צריכה לחתוך בפליטות, או אם יש לה עודף, היא יכולה לשמור אותן למקרה הצורך, או למכור אותן לחברה אחרת שזקוקה לכך. כלומר, מתאפשר סחר בין חברות בקצבאות של פליטות. עם הזמן, המכסה הכוללת (cap) פוחתת, קצבאות חדשות מונפקות, טכניקות חדישות לחתוך בפליטות מיוצרות, והכמות הכוללת של הפליטות יורדת. בשנת 2020, פליטות מהסקטורים התעשייתיים המשתמשים במערכת-הסחר-בפליטות, תהיינה 21% פחות מאשר בשנת 2005.

הסחר בפליטות ומנגנון פיתוח נקי מגלגלים מליארדי דולרים מדי שנה. הם מאפשרים הזדמנות עסקית ליזמים המפתחים טכנולוגיות לאנרגיות נקיות, למפעלים המבקשים ליישם טכנולוגיות המביאות להפחתה בפליטות, לאנשי מסחר מניות העוסקים בסחר בפליטות, לקרנות ולמשקיעים בפרויקטים וכמובן לכל היועצים בתחום. [מידע](#)

[נוסף באתר משרד הכלכלה והתעשייה](#)

טביעת רגל פחמנית

מונח טביעת רגל פחמנית מתייחס לסך הפליטות של גזי חממה על ידי ארגון, אירוע או אדם בתהליך הייצור, השימוש והמסחר של המוצר. טביעת רגל פחמנית הינה הכלי היחידי שמאפשר מדידה כמותית של ההשפעה על הסביבה. טביעת רגל פחמנית יכולה להיבדק לפי חיי מוצר או לפי הארגון והיא מושפעת מאוכלוסייה, תוצר כלכלי, אנרגיה וריכוז פחמני של הכלכלה.

ארגונים וכלכלנים סביבתיים מתרכזים בגורמים אלה על מנת להוריד את טביעות הרגל הפחמנית במשק מסוים. שתי הדרכים המרכזיות על מנת להוריד את טביעות הרגל הפחמנית הן הורדת צריכת האנרגיה לייצור או להוריד את רמת הצריכה של דלקים פולטי פחמן.

שלבי ניתוח טביעת הרגל הפחמנית:

1. ניתוח Process Map - בניית תרשים זרימה של מהלך החיים של המוצר, משלב חומר הגלם ועד לפסולת, כולל כל התשומות וכל התוצרים.
2. קביעת גבולות החישוב – איזה מקורות פליטה נכללים בחישוב.
3. איסוף נתונים על הפעילות וגורמי פליטה אמינים.
4. חישוב טביעת הרגל הפחמנית
5. הערכת מידת הדיוק של הבדיקה

תו הפחמן

תו הפחמן הוא סימון של טביעת הרגל הפחמנית על מוצרים. מטרת הסימון להראות כמה זיהום כרוך בייצור 100 גרם של מוצר ולאפשר לצרכנים וללקוחות לבחור את המוצר המזהם פחות מבין המוצרים המתחרים על המדף. הסימון הוא וולנטרי ואינו מחויב על פי החוק, אך חברות שבחרו לסמן את מוצריהן עושות זאת גם משום שמדידת טביעת הרגל הפחמנית מניעה תהליכים ניהוליים בתוך החברה ותהליך זה יוצר לחץ על כל שרשרת האספקה ומוביל את החברה להתייעלות ולאחריות סביבתית. Carbon Trust הוא אחד הארגון המרכזיים בסימון טביעת רגל פחמנית של מוצרים.

התחייבויות ישראל ופעילותה לצמצום פליטת גזי חממה

ממשלת ישראל אישרה את אמנת האקלים בספטמבר 1996 וחתמה על פרוטוקול קיוטו בשנת 1998. בפברואר 2004 אושר הפרוטוקול על ידי ממשלת ישראל. ישראל מוגדרת באמנה כמדינה מתפתחת, על כן, לא חלות עליה הגבלות לעניין פליטת גזי חממה. עם זאת, השוואת פליטות פחמן דו-חמצני בין ישראל למדינות אחרות מראה כי ישראל נמצאת ברמה אחת עם המדינות המפותחות.

למרות שישראל אינה מחויבת על פי האמנה להפחית את פליטת גזי החממה, בוועידת קופנהגן בשנת 2009 הכריזה ישראל כי תפעל לצמצם את פליטות גזי החממה שלה. במרץ 2010, בהתאם להתחייבות הישראלית, אישרה הממשלה הקמת ועדה בין-משרדית לגיבוש תכנית לאומית להפחתת פליטת גזי חממה.

"מנגנון הפיתוח הנקי" (CDM) מאפשר למדינות מתועשות להשקיע בפרויקטים המבוצעים במדינות מתפתחות (ביניהן ישראל) אשר מביאות להפחתה בפליטות של גזי חממה באופן וולונטרי. ישראל כאמור סווגה בפרוטוקול

קיוטו כמדינה מתפתחת עד לאחרונה, לפיכך מנגנון הפיתוח הנקי הוא אמצעי להשגת השקעות הון זר בפרויקטים המבוצעים בארץ ואשר באמצעותם מושגת הפחתה בפליטות גזי חממה.

בהסכם פריז, שנחתם בוועידת האקלים של האו"ם בדצמבר 2015, קבעה ממשלת ישראל יעד לאומי להפחתת פליטות גזי חממה. היעד נקבע במונחי פליטה לנפש, ל-7.7 טון פחמן דו חמצני לשנת 2030 וכן יעד ביניים של 8.8 טון 2CO בשנת 2025. נוסף על כך, על מנת להשיג יעדים אלה התחייבה ישראל ליעדים סקטוריאליים לצמצום צריכת החשמל (17%), לייצור חשמל מאנרגיות מתחדשות (17%) ולצמצום היקף הנסועה הפרטית (20%). לצורך יישום היעדים הלאומיים, אישרה ממשלת ישראל בחודש אפריל 2016 תוכנית לאומית להפחתת פליטות גזי חממה והתייעלות אנרגטית, ובה שורה של צעדים ואמצעים ליישום היעדים הלאומיים. כחלק מתכנית זו הוקם על ידי המשרד להגנת הסביבה, בשיתוף כלל גורמי הממשלה הרלוונטיים, מערך לאומי למעקב ובקרה אחר יישום התכנית והיעדים הלאומיים ולבחינת האפקטיביות של כלי המדיניות השונים*. המערך והמתודולוגיה להפעלתו נקבעו על בסיס הנחיות האו"ם, כנדרש בהסכם פריז.

להלן עיקר ממצאי הדו"ח:

- סך פליטות גזי החממה (גז"ח) של ישראל בשנת 2016 עמד על כ-78.6 מיליון טון שהם כ-2.9 טון גז"ח לנפש. בשנת 2017 סך הפליטות עמד על כ-78.3 מיליון טון גז"ח שהם כ-9 טון לנפש.
- במהלך 2016 הופחתו כ-2.6 מיליון טון פד"ח וב-2017 הופחתו כ-6.7 מיליון טון פד"ח
- עיקר ההפחתה שהושגה בשנת 2017 נובעת מצמצום ייצור החשמל בתחנות כוח פחמיות קיימות, צמצום שהביא לידי הפחתה של כ-7 מיליון טון פד"ח. הפחתה נוספת של כ-1 מיליון טון פד"ח צפויה בזכות הקמת מתקני אנרגיה מתחדשת, במסגרת מכסות שכבר מומשו על ידי יזמים בתחום.
- מדיניות הממשלה שיושמה בפועל עד סוף שנת 2017, אינה מביאה לעמידה ביעדי הממשלה להפחתת פליטות לנפש לשנים 2025 ו-2030.
- יישום של מדיניות אשר אושרה עד סוף 2017 אך טרם יושמה, צפוי להביא לעמידה ביעד הפליטה לנפש שנקבע עבור שנת 2025 אך לא ביעד לשנת 2030.
- המדינה אינה צפויה לעמוד ביעד הפליטה וביעדים הסקטוריאליים שנקבעו ל-2025 ו-2030 ללא פעולות ממשלתיות נוספות על אלו שיושמו ואושרו עד סוף שנת 2017.
- באוקטובר 2018 הציג שר האנרגיה תוכנית ליעדי משק האנרגיה לשנת 2030, שעיקרה הפסקת השימוש בייצור חשמל ומעבר לתחבורה מונעת בחשמל וגז טבעי. יישום הצעדים המפורטים בתוכנית זו ועמידה ביעדים שהותוו בה צפוי להביא להפחתה משמעותית של פליטות גזי החממה בישראל ולהביא את הממשלה לקראת עמידה ביעד הלאומי של 7.7 tCO₂ לנפש בשנת 2030.

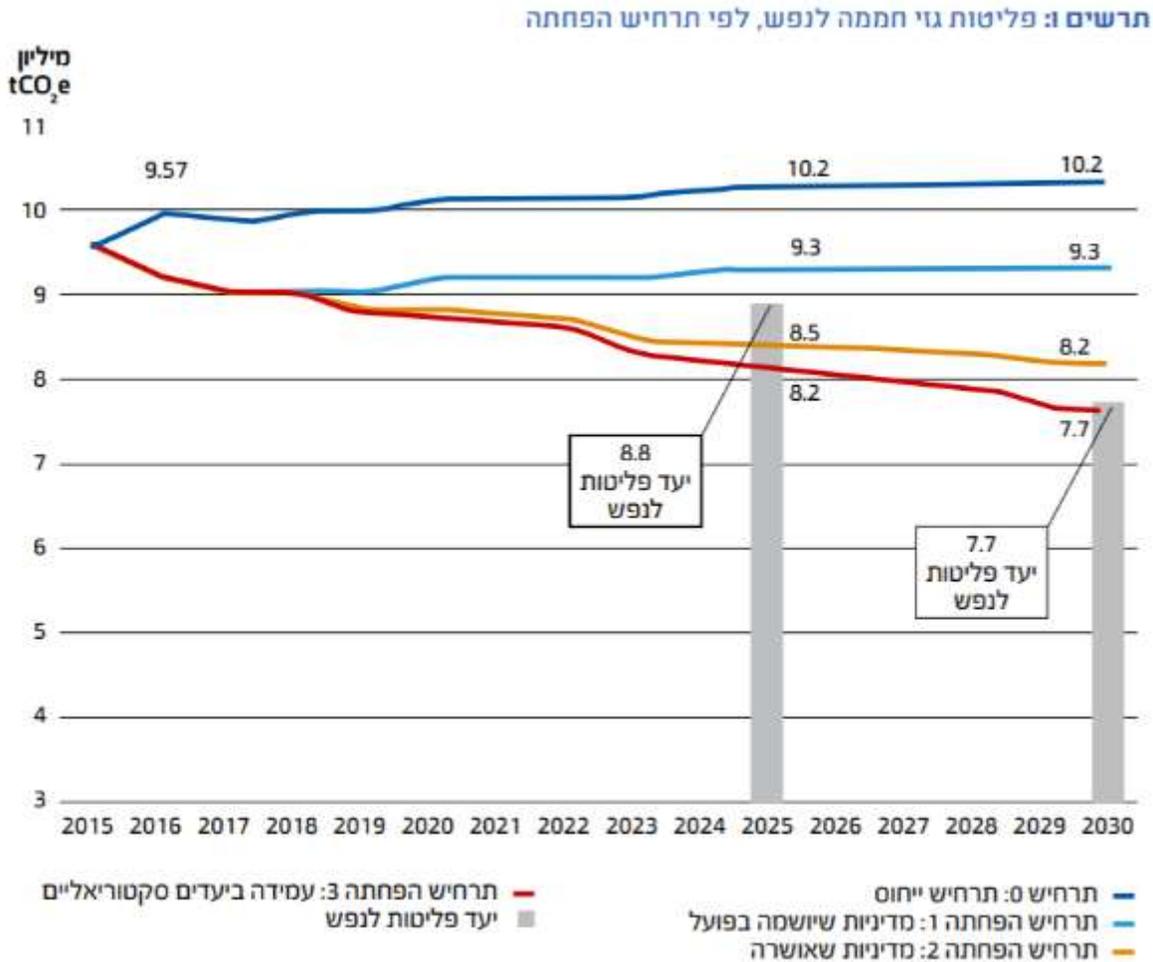
*המערך מאפשר בניית תחזיות עתידיות בארבעה תרחישים שונים (שיעור 6 הוקדש להכרה ולהבנה של אופן פעולתם של מודלים):

תרחיש 0: תרחיש הייחוס - משקף את הגידול הטבעי בפליטות גזי חממה במשק ללא יישום של מדיניות ממשלתית חדשה, להפחתת פליטות גזי חממה, לאחר שנת 2015 (שנת הבסיס).

תרחיש הפחתה 1: מדיניות שיושמה - משקף את הפליטות הצפויות בהינתן מדיניות להפחתת פליטות, שיושמה בפועל עד סוף שנת הדיווח.

תרחיש הפחתה 2 : מדיניות שאושרה - משקף את הפליטות הצפויות בהינתן הטמעה של מדיניות להפחתת פליטות, שאושרה עד סוף שנת הדיווח, אך טרם יושמה.

תרחיש הפחתה 3 : עמידה ביעדים סקטוריאליים - משקף את הפליטות הצפויות בהינתן עמידה ביעדי הממשלה בדבר התייעלות אנרגטית בצריכת החשמל, ייצור חשמל מאנרגיה מתחדשת, והפחתת הנסועה ברכבים פרטיים.

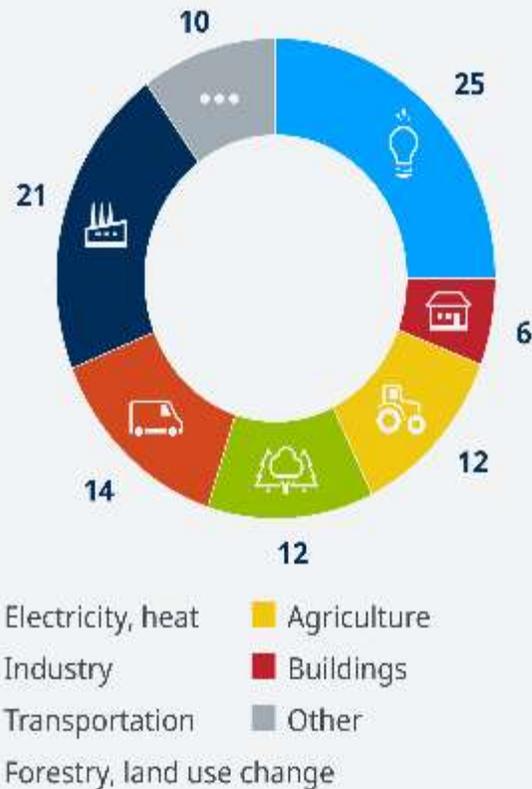


למידע נוסף: [הפחתת פליטות גזי חממה בישראל - דו"ח מעקב שנתי אחר יישום התוכנית והיעדים הלאומיים להפחתת פליטות גזי חממה, נובמבר 2018](#)

פתיחה:

מי אחראי לפליטת גזי החממה? - נציג גרף המשווה בין מקורות פליטת גזי חממה שונים (נתונים דומים הוצגו בשיעור 3), כגון:

Global greenhouse gas emissions by sector (2014)



Source: Statista

© DW

מקור האיור: [DW](#)

נשאל את התלמידים - לאור הנתונים המוצגים, של מי האחריות על פליטת גזי החממה - של הממשלות? התעשייה? הציבור? ... האם גם אנחנו אחראים לפליטות גזי חממה, כיצד?

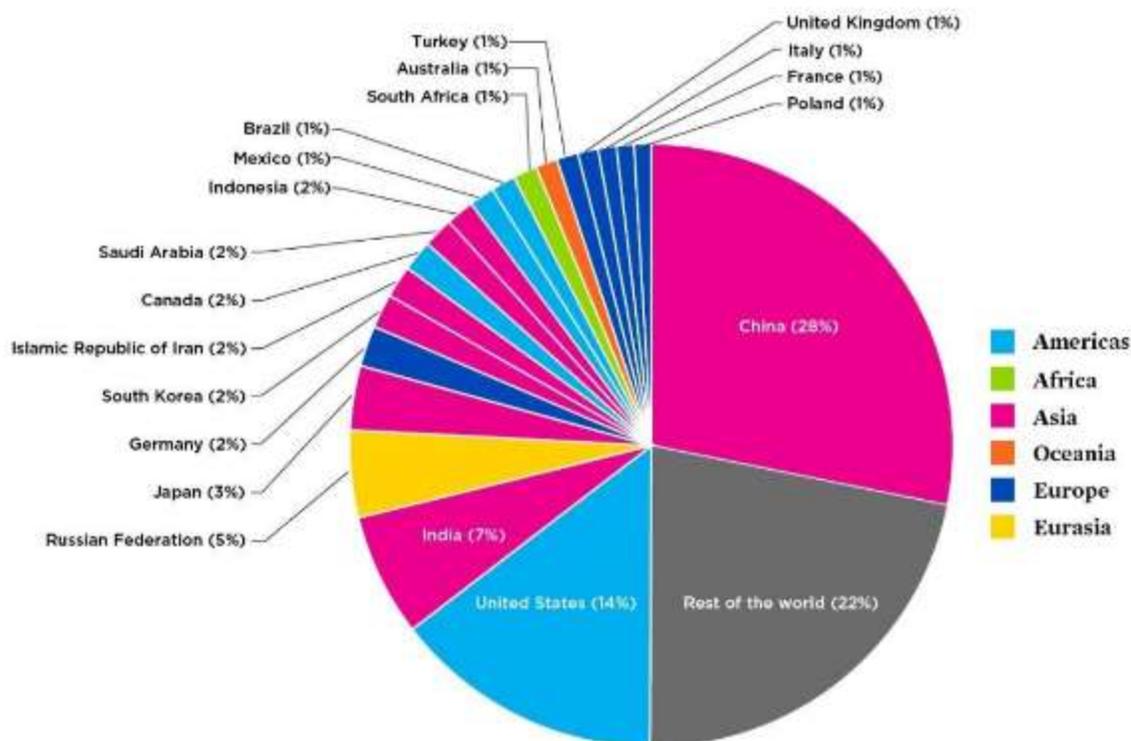
נבקש מהתלמידים לענות על שאלון טביעת הרגל הפחמנית שלהם (נספח 1). על מנת לעמוד בזמני השיעור ניתן לבקש מהתלמידים למלא את השאלון מראש, לפני השיעור.

לאחר מילוי השאלון התלמידים יחלקו עם חבריהם את התוצאות שקיבלו. כדאי להדגיש את ארבעת התחומים שמוזכרים בשאלון על הלוח ולדון בהשפעות של כל תחום בנפרד: א. הרגלי תזונה וצרכנות ב. הרגלי הפרדה ומחזור אשפה ג. הרגלי צריכת אנרגיה ד. הרגלי שימוש בתחבורה

בנוסף, ניתן להראות לתלמידים מחשבוני ברשת לחישוב טביעת הרגל הפחמנית, אם כי אין כרגע מחשבון כזה בעברית: <https://www.carbonfootprint.com/calculator.aspx>

גוף השיעור:

חלופה 1: מי פולט ומי נפגע? - נציג לתלמידים גרף המשווה את פליטות גזי החממה של מדינות שונות. גרף וטבלה עדכניים ל 2017 ניתן לראות באתר של [The Union of Concerned Scientists](#). גזי החממה מיוצגים ע"י פליטת פחמן דו חמצני. גרף העוגה מציג את האחוז שכל מדינה פולטת, כאשר הצבעים מייצגים את היבשת. ניתן לשאול את התלמידים איזו יבשת היא המזהמת ביותר? איזה פחות?



איור: אחוז פליטת פחמן דו חמצני של מדינות לפי יבשת. מקור: [The Union of Concerned Scientists](#)

לחילופין, ניתן להתבונן באתר [Our World in Data](#) המציג נתוני פליטות לפי מדינה לפי שנים. כאשר מעבירים את העכבר על סרגל הפליטות (לפי הצבעים), מודגשות המדינות לפי הפליטות שבסרגל. ניתן גם לבחור מדינה ספציפית ואז מתקבל גרף המראה את סך הפליטות לפי שנים. ניתן להוסיף מדינות אחרות לגרף וכך להשוות את המגמות ושינויי הפליטות, למשל בין ישראל לשוויץ (שתי מדינות בעלות אוכלוסיה דומה, אך הבדל גדול בפליטות לאורך השנים) בין מדינות אחרות לפי בחירתכם.

בטבלאות שבהמשך, ניתן לראות בטבלה הראשונה את עשרים המדינות שפלטו הכי הרבה גזי חממה ב 2017 (gigatonnes). אחד ג'יגטון שווה ל 1 ביליון metric (1,000,000,000) טון. מטריק טון שווה ל 1000 ק"ג) ובטבלה השנייה את כמות הפליטות ביחס לנפש (במטריק טון). ניתן לשאול את התלמידים מה לדעתם נכון יותר להציג, את סה"כ פליטות בערך מוחלט או פליטות ביחס לכמות האוכלוסייה בכל מדינה?

מדובר בשאלה מעניינת. כך למשל, סין וארה"ב אחריות ביחד ליותר מ 40% מסה"כ פליטות גזי החממה לאטמוספירה. אם נבחן את התרומה שלהן לפי כמות מוחלטת הן יעמדו במקום הראשון והשני ברשימת המדינות, אבל ביחס לכמות האוכלוסייה שלהן הן במקום השלישי (ארה"ב) והן 12 (סין). מכיוון שהנזק לאטמוספירה

והשלכות של שינויי האקלים מושפעות מסה"כ כמות גזי חממה שנפלטים, נכון יותר להתייחס לערך המוחלט ולא לפליטות ביחס לאוכלוסיה, אבל כאשר חושבים איך ניתן לקצץ פליטות, צריך לקחת בחשבון פליטות לנפש.

למורה: מערכת מורכבת יותר של נתוני פליטות גזי חממה לפי מדינות ולפי מקורות פליטה ניתן לראות באתר [World Resources Institute](http://WorldResourcesInstitute.com).

Rank	Country	CO2 emissions total
1	China	9.3GT
2	United States	4.8GT
3	India	2.2GT
4	Russian Federation	1.5GT
5	Japan	1.1GT
6	Germany	0.7GT
7	South Korea	0.6GT
8	Islamic Republic of Iran	0.6GT
9	Canada	0.5GT
10	Saudi Arabia	0.5GT
11	Indonesia	0.5GT
12	Mexico	0.4GT
13	Brazil	0.4GT
14	South Africa	0.4GT
15	Australia	0.4GT
16	United Kingdom	0.4GT

17	Turkey	0.4GT
18	Italy	0.3GT
19	Poland	0.3GT
20	France	0.3GT

טבלה 1: 20 המדינות שפלטו הכי הרבה פד"ח בשנת 2017, רק מבעירת דלק. הנתונים במטריק ג'יגטון.

Rank	Country	CO2 emissions (per capita)
1	Saudi Arabia	16.1T
2	Australia	15.6T
3	Canada	14.9T
4	United States	14.6T
5	South Korea	11.7T
6	Russian Federation	10.6T
7	Japan	8.9T
8	Germany	8.7T
9	Poland	8.1T
10	South Africa	7.4T
11	Islamic Republic of Iran	7.0T
12	China	6.5T
13	United Kingdom	5.4T
14	Italy	5.3T

15	France	4.7T
16	Turkey	4.7T
17	Mexico	3.6T
18	Brazil	2.1T
19	Indonesia	1.9T
20	India	1.6T

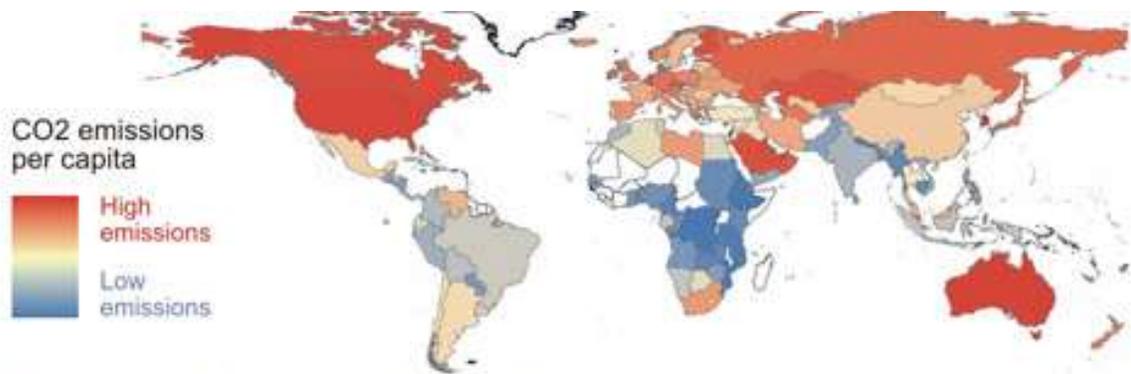
טבלה 2: דירוג המדינות שפלטו הכי הרבה פד"ח לנפש בשנת 2017, רק מבעירת דלק. הנתונים במטריק טון.

במידה ויש התעניינות לגבי מקומה של ישראל בכמות הפליטות, ניתן להציג את המידע הנמצא באתר worldometers המעודכן ל 2016 לפיו, ישראל פלטה 0.065 GT דו חמצני והפליטה שלה לנפש היא 8.04 טון. לא ברור מדוע ישראל לא מופיעה בטבלה, על אף שסך הפליטה לנפש שלה היא גבוהה למדי. בסיכום השיעור נתייחס למקומה ישראל ומאמצייה להפחתת הפליטות.

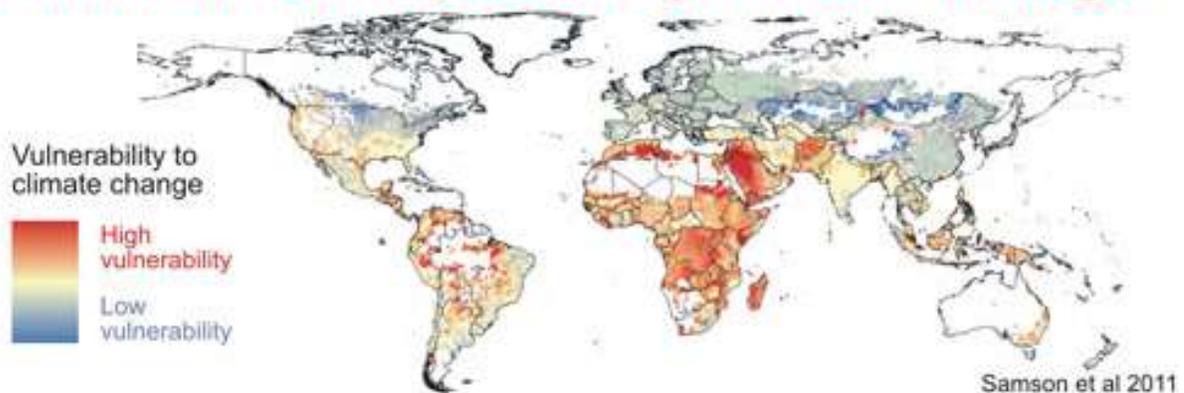
לאחר מכן, נציג לתלמידים את האיור הבא, הכולל שני חלקים:

1. האיור העליון מציג את פליטות גזי חממה לנפש (אדום = פליטה גבוה לנפש, כחול = פליטה נמוכה לנפש)
2. האיור התחתון מציג את מידת הפגיעות של התושבים לשינוי אקלים (אדום = פגיעות גבוהה, כחול = פגיעות נמוכה).

מקור האיור באתר Skeptical Science



Those who contribute the least greenhouse gases will be most impacted by climate change



נבקש מהתלמידים לבחון את ההבדל בין מדינות חצי הכדור הצפוני למדינות חצי הכדור הדרומי משני היבטים: א. כמות הפליטות שלהם ב. מידת עמידותם בשינויי האקלים. נדון בהיבטים המוסריים ובמושג צדק (אי צדק) סביבתי.

לאחר הצגה ודיון בנתונים, נגיד לתלמידים שהם נבחרו לכהן בוועדה מיוחדת של האו"ם שעליה להמליץ איזו מדינה צריכה להפחית בפליטות גזי החממה ובאיזה שיעור. עליהם להגיש מסמך המלצות מנומק לאו"ם, על בסיס הנתונים שנחשפו עליו בשיעור. נקצה זמן לפעילות בקבוצות ונבקש מכל קבוצת תלמידים להציג את המלצותיה לשאר הקבוצות. נערוך דיון לגבי ההסכמות והמחלוקות בין הקבוצות.

חלופה 2: סחר פליטות - האם כדאי? האם ראוי? - נציג לתלמידים את ציר התפתחות מדיניות האקלים העולמית בוועידות האקלים השונות, מפרוטוקול קיוטו (1997), קופנהגן (2009), הסכם פריז (2015). נציג [סרטון](#) (באנגלית, 3 דקות) העוסק בנושא סחר פליטות ונבקשם לענות על שאלות בעקבות הסרטון (אפשר כדיון או כדף עבודה (נספח 2 - דף לתלמיד + תשובות למורה)).

המשך: **הצד האפל של סחר הפליטות** - קריאת [מאמר](#) מאתר "הידען" על ההשפעות החברתיות של רכישת שטחים להרחבת הייעור באפריקה ומענה על שאלות (נספח 3 - דף לתלמיד + תשובות למורה), דיון בעד / נגד מנגנון סחר בפליטות.

התלמידים ידונו ביתרונות ובחסרונות של סחר הפליטות, בהשלכות המוסריות של סחר פליטות וינקטו עמדה בנושא.

חלופה 3: קיזוז פחמן (carbon offsets) - נציג לתלמידים את הרעיון של קיזוז פחמן - אדם יכול לחשב את פליטת הפחמן לאטמוספירה שנגרמה מפעולות שלו כמו קניות, טיסות, גלישה באינטרנט, נסיעה ברכבים וכיו"ב ולהשקיע בתמורה במיזמים המצמצמים פליטת פחמן ע"י תרומת כסף למיזמים כמו שתילת עצים, בניית טורבינות רוח וכדומה. כך ניתן לפצות על הנזק הסביבתי שאנו גורמים. קיזוז פחמן הופך בשנים האחרונות ליותר ויותר פופולרי בקרב חברות מזהמות כמו תעשיות, חברות השכרת רכבים.

אפשר להציג לדוגמה את מחשבון פליטת פחמן דו חמצני מטיסות, ביוזמת האנרגיה הטובה - <https://www.goodenergy.org.il/co2/>. הזמינו את התלמידים או תלמיד מתנדב למלא את המחשבון ביחס לטיסה אחרונה שלו. לאחר חישוב הפחמן שנפלט בטיסות, מוצעות שתי יוזמות ישראליות שניתן לתרום להן כסף על מנת לקזז את הפליטות - נטיעת עצים ביער האקלים והקמת לוחות סולארים על גגות.

נציג כלי נוסף לקיזוז פחמן: Ecosia - מנוע חיפוש אקולוגי. רווחי החברה מוקדשים לנטיעת עצים באזורים נדרשים. בעשר השנים מאז הקמתה נטעה החברה כמעט 60 מיליון עצים. לדברי החברה, כל 45 חיפושים במנוע החיפוש מניבים עץ אחד. לפי נתוני מחקר, כל עץ סופג כ-12.5 ק"ג פחמן דו חמצני מדי שנה בממוצע במשך 80 שנה. על פי החישוב של החברה, 45 החיפושים במנוע החיפוש גורמים לפחות מחצי קילו פחמן דו חמצני. לפיכך המיזם של חברת Ecosia לא רק מנטרל את פליטת הפחמן הדו חמצני אלא אף תורם לצמצומו. אילו היו משתמשים במנוע החיפוש Ecosia באותה תדירות שבה משתמשים בגוגל וכתוצאה מכך נוטעים עצים, האזורים המיוערים מחדש היו יכולים לספוג 15% מגזי החממה שהאדם מייצר, כך על פי אומדן של חברת Ecosia. מקור המידע: <https://www.goethe.de/ins/il/he/kul/mag/21621622.html>

נדון עם התלמידים ביתרונות ובחסרונות של האופציה לקזז פחמן - מצד אחד יש כאן דרך להגברת מודעות ולתיקון ההשפעות הסביבתיות של הפעולות שלנו, מצד שני בדרך זו אנשים יכולים להמשיך ואולי אף להגביר את הפליטות שלהם בהנחה שהם עושים פעולות פיצוי, במקום לפעול להימנע ולצמצם פליטות. לקיזוז פחמן יש השלכות מוסריות ולעיתים פעילויות לקיזוז פחמן לא יעילות ויכולות אפילו לפגוע בסביבה.

כך למשל בדף של עמותת [atmosfair](https://www.atmosfair.org/) העוסקת בקיזוז פחמן מטיסות כתוב:

"For climate protection reasons, CO₂ avoidance should have priority over other measures. If it is not possible to avoid CO₂ emissions, at least measures should be taken in order to reduce them as much as possible"

"קיזוז אינה הדרך הטובה ביותר - עדיף להימנע מפליטת פחמן או לפחות לצמצם את התופעה"

ניתן להציג [סרטון](https://www.atmosfair.org/) המסביר מהו קיזוז פחמן ומעלה שאלות ביקורתיות בנושא.

נשאל את התלמידים מה דעתם בנידון - האם בעד הפתרון של קיזוז פחמן? נבקש מכל תלמיד לכתוב עמדה מנומקת.

פעילות זו יכולה לשמש כהערכה חלופית. בנוסף להערכת השתתפות התלמידים בדיונים ובעבודה בקבוצתית, נעריך בחלופה 1 את מסמך ההמלצות שגישו - רמת ההצעות והביסוס שלהן, בחלופה 2 נעריך את רמת התשובות לשאלות בדף העבודה, בחלופה 3 נעריך את נייר העמדה של כל תלמיד ביחס לקיזוז פחמן ומידת הביסוס של הטענות בו.

סיכום:

תמונת הפליטות של ישראל - נספר לתלמידים על ההתחייבויות של ישראל לצמצום גזי החממה, נציג את עיקרי התכנית הלאומית של ישראל לצמצום גזי החממה ונדון בתמונת המצב של יישום התוכנית על פי מדיניות הממשלה והעמידה (אי) בהן. ניתן להיעזר במידע ובאיור שבתקציר החוברת [הפחתת פליטות גזי חממה בישראל - דו"ח מעקב שנתי אחר יישום התוכנית והיעדים הלאומיים להפחתת פליטות גזי חממה, נובמבר 201](#) ומופיע גם בידע למורה.

נזכיר לתלמידים שישראל אינה מחויבת בהסכם האקלים לפעול לצמצום הפליטות אך בחרה לעשות זאת באופן וולנטרי. נבקש מהתלמידים לדון בשאלה האם באמת ישראל צריכה להשתתף במאמץ העולמי להפחתת הפליטות אם אינה מחויבת לכך ואם סך הפליטות של ישראל זניחות יחסית לשאר המדינות? (אם כי יש לציין שהפליטות לנפש הן גבוהות למדי).

חלופה: תו הפחמן - נספר לתלמידים מהו תו הפחמן (ראה ידע למורה). נבקש מהם להעלות יתרונות וחסרונות של סימון מוצרים בתו פחמן, ולנקוט עמדה לגבי החלת תו הפחמן בישראל. ניתן לבקש שיציעו הצעה לעיצוב של תו הפחמן על סמך [דוגמאות מהעולם](#).

נספח 1: טביעת רגל פחמנית – שאלון לבדיקה עצמית (נבנה על בסיס שאלון [טביעת הרגל האקולוגית](#), מרכז השל)

הרגלי תזונה וצרכנות

1. באיזו תדירות את/ה אוכל מזון מן החי (בשר, עוף, דגים, ביצים, מוצרי חלב)?
 - א. אף פעם
 - ב. לפעמים (לרוב בלי בשר ועוף, כל יום דגים וביצים)
 - ג. בדרך כלל (שלוש פעמים בשבוע ויותר)

2. כמה מהאוכל שאת/ה אוכל/ת הוא אוכל קפוא, ארוז או מעובד (שלא בצורתו הטבעית)?
 - א. מעט מאוד. רוב האוכל שאני אוכל/ת הוא אוכל טרי
 - ב. בערך חצי מהאוכל שאני אוכל/ת הוא קפוא, ארוז או מעובד
 - ג. רוב האוכל שלי הוא קפוא, ארוז או מעובד

3. כמה מהדברים שאת/ה קונה, מגיעים בתוך אריזה או שקית?
 - א. אני לא קונה דברים שמגיעים בתוך אריזה/שקית
 - ב. חלק גדול מהדברים שאני קונה מגיעים בתוך אריזה/שקית
 - ג. אני קונה רק דברים שמגיעים בתוך אריזה/שקית

4. מהיכן מגיעים המוצרים שאת/ה קונה?
 - א. אני קונה רק תוצרת הארץ
 - ב. לא יודע/ת וגם לא מתעניין/ת
 - ג. אני קונה רק מותגים מחוץ לארץ

5. האם את/ה קונה רק דברים שאת/ה צריך/ה?
 - א. כן. אני קונה תמיד רק מה שאני צריך/ה
 - ב. אני משתדל/ת לחשוב פעמיים לפני קניה אם זה משהו שאני צריך/ה
 - ג. לא. אני קונה דברים שאני צריך/ה וגם דברים שאני חוצה

הרגלי הפרדה ומחזור אשפה

6. האם את/ה מפריד/ה אשפה ומביא/ה למרכז המחזור (פלסטיק, נייר, זכוכית, בטריות, שאריות מזון)?
- א. משתדל/ת כמה שיותר
 - ב. רק חלק מהדברים
 - ג. בכלל לא
7. האם את/ה מוסר חפצים ובגדים מיותרים למרכזי סיוע/בזקקים?
- א. אני מקפיד/ה למסור לבזקקים את מה שאני לא צריך/ה יותר
 - ב. לפעמים, אם זה לא מאמץ גדול מדי
 - ג. אף פעם. מה שאני לא צריך/ה אני זורק/ת
8. האם את/ה קונה בחנויות יד שנייה?
- א. אף פעם לא
 - ב. כבר יצא לי, לא שולל/ת שיצא שוב
 - ג. אני מאוד אוהב/ת לקנות בחנויות יד שניה

הרגלי צריכת אנרגיה

9. האם את/ה חוסך/ת בחשמל?
- א. מקפיד/ה תמיד לכבות אורות ומכשירים חשמליים כשהם לא בשימוש
 - ב. משתדל/ת לכבות אורות ואת המזגן כשאין בהם צורך
 - ג. לא חושב/ת על זה
10. כמה מכשירי חשמל יש בחדר רגיל שבביתך (בממוצע)?
- א. אחד או שניים
 - ב. שלושה עד חמישה
 - ג. חמישה ויותר

11. כשבמשפחתך קונים מכשיר חשמל חדש, באיזו מידה מתחשבים בכמות חשמל שהוא צורך (כמה הוא חסכוני בחשמל)?

א. קונים רק מכשירים חסכוניים בחשמל

ב. מסתכלים גם על זה אבל יש עוד שיקולים

ג. לא מתחשבים בכלל

12. כל כמה זמן מחליפים בביתך מכשירי חשמל?

א. לא מחליפים אלא מתקנים ומשתמשים שוב

ב. מחליפים רק כשמתקלקל

ג. קונים חדש גם אם המכשיר הישן עדיין טוב

הרגלי שימוש בתחבורה

13. מהו אמצעי התחבורה שבו את/ה מגיע/ה לבית הספר?

א. אני הולכת/ברגל או נוסע/ת באופניים רגילים

ב. אני נוסע/ת באוטובוס או באופניים חשמליים

ג. אני נוסעת ברכב פרטי

14. האם את/ה משתמש/ת בתחבורה ציבורית?

א. אני נוסע/ת רק בתחבורה ציבורית

ב. לפעמים, רק לבית ספר/חוגים/חברים

ג. אף פעם

15. כמה פעמים בשבוע את/ה נוסע/ת ברכב פרטי?

א. אף פעם

ב. פעם אחת או פעמיים

ג. שלוש פעמים ומעלה

16. כמה רכבים מחזיקה המשפחה שלך?

א. אין לנו רכב פרטי

ב. רכב אחד

ג. שני רכבים ויותר

17. באיזו תדירות את/ה טס/ה לחו"ל או בתוך הארץ?

א. לא טסתי אף פעם

ב. פעם בשנתיים או פחות

ג. פעם בשנה או יותר

חשבו את התוצאה שלכם על פי האינדקס הבא:

א = 2 נקודות

ב = 4 נקודות

ג = 6 נקודות

34-52 נקודות: טביעת הרגל הפחמנית שלכם קטנה מאד, כל הכבוד!!

52-88 נקודות: טביעת הרגל הפחמנית שלכם בינונית. יש מקום לשיפור.

88-102 נקודות: טביעת הרגל הפחמנית שלכם גדולה מאד. נסו להקטינה.

بصمة قدم كربونية – استبيان للفحص الذاتي

بُني اعتمادًا على استبيان بصمة القدم البيئية، مركز هاشل

عادات التغذية والاستهلاك

1. كم مرّة تتناول، أنت/ أنتِ، غذاء من الحيوان (لحوم، دجاج، أسماك، بيض، منتجات الحليب)؟
 - أ. ولا مرّة.
 - ب. أحيانًا (على الأغلب دون لحوم ودجاج، كلّ يوم أسماك وبيض).
 - أ. عادةً ثلاث مرّات في الأسبوع وأكثر.
2. ما كمّيّة الطعام الذي تتناوله، أنت/ أنتِ، هو طعام مجمد، مغلف أو مُصنّع (ليس في حالته الطبيعية)؟
 - أ. قليل جدًّا. معظم الطعام الذي أتناوله هو طعام طازج.
 - ب. حوالي نصف الطعام الذي أتناوله هو مجمد، مغلف أو مُصنّع.
 - ت. معظم طعامي مجمد، مغلف أو مُصنّع.
3. كم غرضًا من الأغراض التي تشتريها، أنت/ أنتِ، تكون داخل رزمة أو كيس؟
 - أ. أنا لا أشتري أغراض داخل رزمة أو كيس.
 - ب. قسم كبير من الأشياء التي أشتريها تكون داخل رزمة أو كيس.
 - ت. أنا أشتري أشياء تكون داخل كيس أو رزمة فقط.
4. من أين تصلك/ تصلكِ المُنتجات التي تشتريها؟
 - أ. أنا أشتري من إنتاج البلاد فقط.
 - ب. أنا لا أعرف ولا يهمني.
 - ت. أنا أشتري ماركات تجارية من خارج البلاد فقط.
5. هل تشتري، أنت/ أنتِ، أشياء تحتاجها فقط؟
 - أ. نعم أنا أشتري دائمًا الأشياء التي أحتاجها فقط.
 - ب. أنا أحاول أن أفكر مرّتين قبل الشراء ما إذا كنت بحاجة إلى هذا الشيء.
 - ت. لا. أنا أشتري أشياء أحتاجها وأشياء أرغبها أيضًا.

عادات فصل النفايات وإعادة تدويرها

6. هل تفصل، أنت/ أنتِ، بين النفايات وتبعثها إلى مركز إعادة التدوير (بلاستيك، ورق، زجاج، بطاريات بقايا غذاء)؟
 - أ. أحاول أكثر ما يمكن.
 - ب. قسم من الأغراض فقط.
 - ت. لا على الإطلاق.
7. هل ترسل، أنت/ أنتِ، أغراض وملابس غير ضرورية إلى مراكز المساعدة أو إلى المحتاجين؟
 - أ. أنا أشدد أن أعطي المحتاجين الأشياء التي لا أحتاجها.

- ب. أحياناً، إذا لم يحتاج ذلك إلى بذل جهد كبير.
- ت. ولا مرة، أرمي كل شيء لا أحتاجه.
8. هل تشتري، أنت/ أنتِ، من حوانيت تباع أشياء مستعملة؟
- أ. أبداً.
- ب. اشتريت، ولا أنفي أن أشتري مرة أخرى.
- ت. أنا أحب أن أشتري أشياء من حوانيت تباع أشياء مستعملة.

عادات استهلاك الطاقة

9. هل توفر، أنت/ أنتِ، في استهلاك الكهرباء؟
- أ. أشدد دائماً على إغلاق الضوء والأجهزة الكهربائية غير المستعملة.
- ب. أحاول إغلاق الأضواء والمكيف التي لا حاجة لها.
- ت. لا أفكر في ذلك.
10. كم جهازاً كهربائياً يوجد في غرفة عادية في بيتك (بالمعدل)؟
- أ. واحد أو اثنان.
- ب. ثلاثة حتى خمسة.
- ت. خمسة وأكثر.
11. عندما تشتري عائلتك جهاز كهربائي جديد، بأي مدى تأخذ بالحسبان كميّة الكهرباء التي يستهلكها الجهاز (كم يوفر باستهلاك الكهرباء)؟

- أ. نشترى أجهزة توفر في استهلاك الكهرباء فقط.
- ب. نأخذ ذلك بالحسبان، لكن هناك اعتبارات أخرى.
- ت. لا نأخذ ذلك بالحسبان بتاتاً.
12. بعد مرور كم من الزمن يغيرون في بيتكم أجهزة كهربائية؟
- أ. لا يغيرون، نصلحها ونستعملها مرة أخرى.
- ب. نغيّر ها عندما تخرب فقط.
- ت. نشترى جهاز جديد حتى لو كان الجهاز القديم جيد.

عادات استعمال المواصلات

13. ما هي وسيلة المواصلات التي تصل بها، أنت/ أنتِ، إلى المدرسة؟
- أ. أنا أذهب إلى المدرسة سيراً على الأقدام أو أذهب بدراجة هوائية عادية.

ب. أنا أسافر بالحافلة أو بدراجة كهربائية.

ت. أنا أسافر بمركبة خصوصية.

14. هل تستعمل، أنت/ أنتِ، المواصلات العامة؟

أ. أنا أسافر بالمواصلات العامة فقط.

ب. أحياناً، إلى المدرسة /الدورات/الأصدقاء.

ت. ولا مرّة.

15. كم مرّة، في الأسبوع، تسافر، أنت/ أنتِ، بالمركبة الخصوصية؟

أ. ولا مرّة.

ب. مرّة واحدة أو مرتين.

ت. ثلاث مرّات وأكثر.

16. كم سيّارة يوجد في عائلتكم؟

أ. لا يوجد لدينا سيّارة خصوصية.

ب. سيّارة واحدة.

ت. سيّارتان وأكثر.

17. كم مرة تطير، أنت/ أنتِ، بالطائرة إلى خارج البلاد أو داخل البلاد؟

أ. لم أسافر في الطائرة بتاتاً.

ب. مرّة كلّ سنتين أو أقلّ.

ت. مرّة في السنة أو أكثر.

احسبوا نتيجتكم حسب المؤشر التالي:

أ = 2 نقاط

ب = 4 نقاط

ت = 6 نقاط

52-34 نقطة: بصمت قدمكم الكربونية صغيرة جداً. كلّ الاحترام!!!

88-52 نقطة: بصمت قدمكم الكربونية متوسطة. هناك حاجة للتحسين.

102-88 نقطة: بصمت قدمكم الكربونية كبيرة جداً. حاولوا أن تصغروها.

נספח 2 - סחר פליטות

1. על פי [הסרטון](#), מהן היחידות הסחירות של הפחמן?
2. מהו פרוטוקול קיוטו ומהי מטרתו?
3. מהו מנגנון סחר הפליטות?
4. מה לדעתכם היתרונות והחסרונות של סחר הפליטות?
5. איזו דרך נוספת מוצגת בסרטון כאמצעי להפחתת גזי חממה? מדוע לדעתך קיים המנגנון הזה?
6. מה תפקיד האו"ם במערכת סחר הפליטות?

ملحق 2 – تداول الانبعاثات (تجارة الانبعاثات)

1. حسب الفيلم القصير، ما هي وحدات تداول الكربون؟
2. ما هو بروتوكول كيوتو وما هو الغرض منه؟
3. ما هي آلية تداول الانبعاثات؟
4. ما هي حسنات وسيئات تداول الانبعاثات، حسب رأيكم؟
5. ما هي الطريقة الأخرى التي تظهر في الفيلم القصير كوسيلة لتقليل غازات الدفيئة؟ لماذا تعتقد أن هذه الآلية موجودة؟
6. ما هي وظيفة هيئة الأمم المتحدة في نظام تداول الانبعاثات؟

תשובות למורה

1. היחידות הסחירות של הפחמן הן רשות לפלוט 1 טון של פד"ח (שווה ערך לפד"ח הנפלט בטיסה מאוסלו לבנקוק של נוסע אחד או 5 חודשי נהיגה ממוצעת ברכב)
2. פרוטוקול קיוטו הוא אמנה שחתמו עליה מרבית מדינות העולם, בה התחייבו להפחית את הפליטות שלהם בין 2008 ל 2012 ב 5% ביחס לפליטות שלהן מ 1990.
3. כל מדינה מקבלת היתר לכמות מוגבלת של פליטות פד"ח (שהיא נמוכה מעט מתחזית הפליטות שלה), כלומר X יחידות פליטה. אם המדינה פולטת פחות מההיתר שניתן לה, היא רשאית לסחור ביחידות הפליטה העודפות שלה ולמכור אותן למדינות שלא עומדות בהיתר שקיבלו ויש להן חוסר. מחיר היחידות נקבע לפי כמות היחידות הסחירות שיש בשוק, בדומה להתנהלות של שוק מניות, כלומר לפי ביקוש והיצע.
4. יתרונות - תמריץ למדינות לצמצם בפליטות שלהן על מנת לסחור בעודפים ולהרוויח כסף. בסה"כ הגלובלי יש צמצום בפליטות בעולמיות.
- חסרונות - תמריץ שלילי למדינות שלא עומדות במכסה שהוקצבה להן - בגלל היכולת לקנות היתרי פליטה ממדינות אחרות.

5. מפעל / מדינה שלא עומדים ביעד הפליטה שלהם, יכולים להשקיע באמצעים להפחתת פליטות במפעל/מדינה מתפתחת ובהתאם לצמצום הפליטות של המדינה המתפתחת הם יקבלו הגדלה של היתר הפליטות שלהם. המנגנון הזה מעודד השקעות במדינות מתפתחות שאין להן מספיק כספים לפעול בעצמן לצמצום הפליטות.
6. האו"ם מחלק את ההקצבה של הפליטות לכל מדינה וגם עוקב אחר העמידה ביעדי הפליטה. הוא מאשר את סחר החליפין ואחראי גם על שוק הפליטות.

נספח 3 - הצד האפל של סחר בפליטות

קראו את המאמר וענו על השאלות:

סחר בפחמן דו־חמצני או שווד קרקעות? מאת דר. אסף רוזנטל, [פורסם בהידען](#) 30.9.2015

חברות רוכשות שטחים נרחבים בדרום אמריקה, באפריקה ובדרום-מזרח אסיה, בהם ניטעים יערות ובעיקר שטחי גידול לצמחים שימשו לייצור ביו-דלק, כמו ז'טרופיה או דקל-שמן, רכישת השטחים והנטיעות מאפשרים מימוש לסחר בפחמן דו־חמצני אך בדרך מגורשים התושבים המקומיים.

אמנת קיוטו נוצרה כדי לעצור את פליטת המזהמים לאטמוספירה ובעיקר לעצור את פליטת הפחמן הדו־חמצני שנוצר כתוצאה משריפת דלק מחצבי, מתוך הכרה כי הגורמות העיקריות לפליטות הן הארצות ה"מפותחות" בעיקר ארצות המערב המתועשות.

רוב המדינות החתומות על האמנה התחייבו להפחית את פליטות הפחמן הדו־חמצני. ההפחתה אמורה להיעשות בעיקר ע"י פיתוח שיטות טכנולוגיות לסינון המזהמים, מעבר לדלק "נקי" ופיתוח מקורות אנרגיה מתחדשים. הכלי המרכזי באמנה הוא "הסחר בפחמן דו־חמצני", כאשר לכל מדינה מוקצבת פליטה מותרת בצמוד להתחייבות להפחית את הפליטות.

מדינה שלא הגיעה לסף הפליטה המותרת רשאית למכור את היתרה למדינה שעוברת את הסף המותר, כלומר מי שפולט יותר חייב בתשלום. לסירוגין ניתנת האפשרות לפעול להפחתת כמות הפחמן הדו־חמצני באטמוספירה שנעשית בעיקר ע"י נטיעת יערות או פעילות לשימור יערות בארצות "מתפתחות".

נוצר מצב בו מדינות "מפותחות" מהמערב משלמות כסף למדינות "מתפתחות", כדי שאלה ימנעו מכריתת יערות. כל מדינה שחתומה על האמנה אוכפת את מכסת הפליטות על התעשייה שבתחומה, כך נוצר מצב בו חברות תעשייתיות שגורמות לפליטת מזהמים זקוקות לסחור בפליטות כלומר לקזז את הפליטות מול שטחים ויערות שקולטים פחמן דו־חמצני.

לשם כך רוכשות חברות שטחים נרחבים בדרום אמריקה, באפריקה ובדרום-מזרח אסיה, בהם ניטעים יערות ובעיקר שטחי גידול לצמחים שימשו לייצור ביו-דלק, כמו ז'טרופיה או דקל-שמן, רכישת השטחים והנטיעות מאפשרים מימוש לסחר בפחמן דו־חמצני.

יש מי שמשוכנע כי פעילות זאת של "סחר בפחמן דו־חמצני" מהווה פתרון חיובי למיתון הפליטות, שמשולב בעזרה לאוכלוסיות מקומיות שזקוקות לאמצעי פיתוח. מסתבר כי הפעילות ה"סביבתית" אינה נקייה מפגיעה באוכלוסיות מקומיות עד כדי כך שיש מי שמגדיר פעילות זאת כ"שווד קרקעות".

צוות חוקרים שסקר את הנושא באוגנדה פרסם דו"ח בשם "הצד האפל של הירוק, נטיעות ואלימות פחמן דו־חמצני באוגנדה". על פי הסקר מתבררות עדויות כי נטיעת יערות כמו גם יוזמות אחרות בשוק הפחמן הדו־חמצני פוגעות באיכות החיים ובאקולוגיה של המקומיים. אלא, שפגיעות כאלה אינן מחושבות ב"סחר בפחמן דו־חמצני" או לחלופין מוצדקות כתופעות לוואי שיש לקבלן כחלק ממניעת האסון האקלימי, כהגדרת מחברי הסקר.

אחת החברות שפועלות בקנה מידה גדול באפריקה היא "מקורות ירוקים" (Green Resources) שמטרתה המוצהרת היא "מיתון פליטות הפחמן הדו־חמצני". לפעילותה של החברה השפעה שלילית עמוקה על מספר

גדול של אנשים. לחברה מיזמי נטיעות ויערנות מהם היא מייצרת עץ ופחם במוזמביק, טנזניה ואוגנדה. עבור מיזמים אלה היא מקבלת "תשואת פחמן דו־חמצני".

באוגנדה בה התמקד המחקר יש לחברה רישיון לכ-120 קמ"ר של מה שמוגדר כשמורת יער פגועה, בו היו שטחי חקלאות ומרעה שפרנסו כ-8,000 מקומיים. מתוקף הרישיון שניתן לחברה ע"י הממשלה מפונים רבים מהתושבים מביתם ומאדמתם. רבים מהמפונים מדווחים על אלימות וחלקם נאסרו באשמת "הסגת גבול". התושבים בני שבטים שרובם לקטים ציידים וכנאלה תלויים ביער למחיתם, מסולקים משטחים שהיו חיוניים לקיומם ונאסר עליהם איסוף מוצרים מהיער, שהיוו מקור קיום מסורתי. כמו כן יש מידע על שטחי קרקע ומקורות מים שזוהמו ע"י חומרי דישון בהם משתמשת החברה, שגרם לפגיעה ביבולים ובחיות משק.

החוקרים מגדירים כל זאת כאלימות שקשורה ישירות לכלכלת הפחמן הדו־חמצני של החברה ולפעילות השוק של הסחר בפחמן דו־חמצני ע"י החברה. כלומר פעילות החברה היא "אלימות פחמן דו־חמצני".

כדי להמשיך ולעמוד בתקנות שמאפשרות סחר בפחמן דו־חמצני ממשיכה החברה במיזמי הנטיעות שלדברי החוקרים מקצינים את האלימות. חקלאים קטנים ואוכלוסיות עניות נושאים בעלות הכבדה כתוצאה מהרחבת הייעור לצורך הסחר העולמי בפחמן דו־חמצני.

לחברה יש צורך להצדיק את "אלימות הפחמן הדו־חמצני" ולכן היא יוזמת פעילויות פיתוח עבור האוכלוסייה. אלא שהפיתוח מתבצע במקומות נגישים ונראים בעוד שהנפגעים נשארים פגועים. משיחות עם איכרים באזורים הפגועים מסתבר, כי הבעיה הקשה ביותר היא גישה לשטחים ולקרקע שיאפשרו הספקת מזון ויצור, בעיה שהחברה אינה פותרת.

בעקבות המחקר ומחקרים נוספים יש קריאות לתיקון (רפורמה) ביוזמות העולמיות לייעור ונטיעות שקשורות לשוק הפחמן הדו־חמצני, שיאפשר הרחבת הייעור תוך כדי מניעת הפגיעות אותן סובלים כפריים. בד בבד יש קריאות לשנות ולתקן את פעילותן של חברות תעשייתיות כך שאוכלוסיות מקומיות ירוויחו מהפעילות.

החוקרים מציעים לעשות זאת ע"י הפחתת ההפרש בין "המרוויחים" ל"מפסידים" בשוק הפחמן הדו־חמצני. "חובה להכיר בזכות הקניין הציבורי וחופש הגישה למקורות פרנסה עבור המקומיים." זאת תוך כדי "הערכה לילידים שמכירים את היער ומוודעים לניהול הסביבתי".

ראוי לציין כי לצורך הגדרת המדינות הפולטות, ישראל לא נחשבה כ"מפותחת" ולכן לא הייתה התחייבות לצמצום עד הצהרתו של נשיאנו בקופנהאגן, הצהרה שלאחרונה לוותה בהחלטת ממשלה שיש לקוות כי תיושם.

1. מדוע חברות עסקיות ממדינות מפותחות קונות שטחים נרחבים במדינות מתפתחות בדרום אמריקה, באפריקה ובדרום-מזרח אסיה?
2. מהי מטרת הסחר בפליטות וכיצד מתבצע?
3. על פי הכתבה - מהן ההשפעות השליליות של סחר בפליטות?
4. מהי "אלימות פחמן דו חמצני" ?
5. אלו הצעות מופיעות בכתבה לתיקון התופעה? האם תוכלו לחשוב על פתרונות נוספים?
6. מנו יתרונות וחסרונות לסחר בפליטות בין מדינות מתפתחות ומדינות מפותחות

ملحق 3 - الجانب المظلم لتداول (تجارة) الانبعاثات

اقرأوا المقال وأجيبوا عن الأسئلة:

تداول ثاني أكسيد الكربون أم الاستيلاء على الأراضي؟ إعداد د. أسف روزنتل، نُشر في [במהלך 30.9.2015](#) ,

تشتري شركات مساحات كبيرة في أمريكا الجنوبية، أفريقيا وجنوب شرق آسيا، حيث تُزرع غابات وخاصة زراعة نباتات يتم استخدامها لإنتاج وقود حيوي مثل زيتروبييا أو زيت النخيل، حيث يُتيح شراء الأراضي والمزروعات تحقيق تداول ثاني أكسيد الكربون، لكن في الطريق يتم طرد السكان المحليين.

تم إنشاء بروتوكول كيوتو لإيقاف انبعاث الملوثات في الغلاف الجوي وخاصة إيقاف انبعاث ثاني أكسيد الكربون الناتج عن حرق الوقود الأحفوري، لأن الدول "المتقدمة" خاصة الدول الغربية الصناعية هي السبب الرئيسي للانبعاثات.

تعهدت معظم الدول الموقعة على خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. يجب أن يتم التخفيض بشكل رئيسي من خلال تطوير أساليب تكنولوجية لتصفية الملوثات، الانتقال إلى وقود "نظيف" وتطوير مصادر طاقة متجددة. الأداة الرئيسية في الاتفاقية هي "تداول ثاني أكسيد الكربون"، حيث يُخصص لكل دولة انبعاثات مسموح بها بالإضافة إلى الالتزام بخفض الانبعاثات.

يجوز للدولة التي لم تصل إلى عتبة الانبعاثات المسموح بها أن تبيع الرصيد إلى دولة تجاوزت العتبة المسموح بها. أي أن أولئك الذين يُطلقون ملوثات أكثر يجب أن يدفعوا. من ناحية أخرى، يمكن تقليل كمية ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي بواسطة زراعة غابات أو الحفاظ على الغابات في الدول "النامية".

نشأ وضع تدفع فيه الدول "المتقدمة" من الغرب أموالاً للدول "النامية" كي لا تقطع هذه الدول الغابات. تفرض كل دولة موقعة على الاتفاقية حصة من الانبعاثات على الصناعة في أراضيها، مما يخلق وضعاً تحتاج فيه الشركات الصناعية التي تسبب الملوثات إلى تداول الانبعاثات، أي تعويض الانبعاثات مقابل المناطق والغابات التي تستوعب ثاني أكسيد الكربون.

للقيام بذلك، تشتري شركات مساحات كبيرة في أمريكا الجنوبية، أفريقيا وجنوب شرق آسيا، حيث تُزرع غابات وخاصة زراعة نباتات يتم استخدامها لإنتاج وقود حيوي مثل زيتروبييا أو زيت النخيل، حيث يُتيح شراء الأراضي والمزروعات تحقيق تداول ثاني أكسيد الكربون.

البعض مقتنع بأن هذا النشاط من "تداول ثاني أكسيد الكربون" هو حل إيجابي لخفض الانبعاثات، لأنه يساعد السكان المحليين الذين يحتاجون إلى وسائل تنمية.

اتضح أن النشاط "البيئي المحيط" ليس خاليًا من الأذى الذي يلحق بالسكان المحليين لدرجة أن البعض يعرّف هذا النشاط على أنه "سرقة الأرض". نشر فريق من الباحثين الذين يتابعون القضية، في أوغندا، تقريراً بعنوان "الجانب المظلم للأخضر، زراعة وعنف ثاني أكسيد الكربون في أوغندا". وفقاً للدراسة، اتضح أدلة على أن زراعة الغابات بالإضافة إلى مبادرات أخرى في سوق ثاني أكسيد الكربون تضر بوجود الحياة وبيئة السكان المحليين. ومع ذلك، لا يتم حساب هذه الأضرار في "تداول ثاني أكسيد الكربون"، أو يتم تبريرها كأثر جانبية يجب قبولها كجزء من الوقاية من كارثة المناخ، كما حددها مؤلفو الدراسة.

إحدى الشركات التي تعمل على نطاق واسع في أفريقيا هي "مصادر خضراء" (Green Resources)، وهدفها المعلن هو "تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون". لأنشطة الشركة تأثير سلبي عميق على عدد كبير من الناس. لدى الشركة مشاريع زراعة وغابات تُنتج منها الخشب والفحم في موزمبيق، تنزانيا وأوغندا. مقابل هذه المشاريع تحصل هذه الشركة على "عائدات من ثاني أكسيد الكربون".

في أوغندا، حصلت الشركة على ترخيص مساحته 120 كيلومتراً مربعاً لما يُعرف بأنه محمية غابات متضررة، والتي كانت تحوي أراضي زراعية ومراعي توفر لقمة العيش لحوالي 8000 نسمة من السكان المحليين.

بموجب الترخيص الممنوح للشركة من قبل الحكومة، يتم طرد العديد من السكان من منازلهم وأراضيهم. وأبلغ العديد من الذين تم إجلاؤهم عن عنف، وتم اعتقال بعضهم بتهمة "التعدي على ممتلكات الغير". السكان هم أبناء قبائل معظمهم صيادين، ويعتمدون على الغابات في معيشتهم، وقد تم طردهم من المناطق التي كانت ضرورية لوجودهم، ويحظر عليهم جمع المنتجات من الغابة، والتي كانت مصدرًا تقليديًا لكسب الرزق. هناك أيضًا معلومات عن أراضي ومصادر مياه ملوثة بالأسمدة التي تستخدمها الشركة، والتي أدت إلى أضرار في المحاصيل وحيوانات المزرعة. يعرّف الباحثون كل هذا على أنه عنف يرتبط مباشرة باقتصاد ثاني أكسيد الكربون للشركة وبنشاط الشركة في سوق تداول ثاني أكسيد الكربون. وبعبارة أخرى، فإن نشاط الشركة هو "عنف ثاني أكسيد الكربون".

من أجل الاستمرار وبكى تفي الشركة بقوانين وأوامر تداول ثاني أكسيد الكربون، تواصل الشركة مشاريع الزراعة التي يقول الباحثون أنها تؤدي إلى تفاقم العنف. يتحمل صغار المزارعين والسكان الفقراء تكاليف باهظة نتيجة لتوسيع التشجير من أجل التداول العالمي بثاني أكسيد الكربون.

تحتاج الشركة إلى تبرير "عنف ثاني أكسيد الكربون"، لذا تبادر بتنفيذ نشاطات تنمية من أجل السكان. لكن التنمية تتم في أماكن يسهل الوصول إليها ومرئية، بينما لا يزال الضحايا مصابين. اتضح من الحديث مع المزارعين في المناطق المتضررة أن أصعب مشكلة هي الوصول إلى الأراضي التي تُتيح تزويد الغذاء وإنتاجه، والشركة لا تحل هذه المشكلة.

في أعقاب البحث وأبحاث أخرى، هناك دعوة لإصلاح مبادرات الغابات العالمية والمزارع المتعلقة بسوق ثاني أكسيد الكربون، بحيث تُتيح توسيع الغابات وتمنع الأضرار التي يعاني منها سكان القرى. في الوقت نفسه، هناك دعوات لتغيير وتصحيح أنشطة الشركات الصناعية بحيث يستفيد السكان المحليون من هذه الأنشطة.

يقترح الباحثون القيام بذلك عن طريق تقليل الفرق بين "الرابحين" و "الخاسرين" في سوق ثاني أكسيد الكربون. "يجب الاعتراف بحقوق الملكية العامة وحرية الوصول إلى مصادر الرزق للسكان المحليين." حيث يتم ذلك من خلال "تقدير السكان الأصليين الذين يعرفون الغابة والذين هم على دراية بالإدارة البيئية المحيطة".

من الجدير بالذكر أنه من أجل تحديد الدول التي تُطلق ثاني أكسيد الكربون، لم تُعتبر إسرائيل من الدول الـ "متطورة". لذا لم يكن هناك التزام بتخفيض الانبعاث حتى تصريح رئيسنا في كوبنهاغن، وقد صاحب هذا التصريح مؤخرًا قرار حكومي نتمنى تنفيذه.

1. لماذا تشتري شركات تجارية من دول متقدمة مساحات كبيرة في الدول النامية في أمريكا الجنوبية، أفريقيا وجنوب شرق آسيا؟
2. ما الهدف من تداول الانبعاثات وكيف يتم تنفيذه؟
3. حسب المقال - ما هو التأثير السلبي لتداول الانبعاثات؟
4. ما هو "عنف ثاني أكسيد الكربون"؟
5. ما هي الاقتراحات التي تظهر في المقال لتصحيح الظاهرة؟ هل يمكنكم التفكير في المزيد من الحلول؟
6. اذكروا حسنات وسيئات تداول الانبعاثات بين الدول النامية والدول المتقدمة.

תשובות למורה

1. חברות תעשייתיות שגורמות לפליטת מזהמים זקוקות לסחור בפליטות כלומר לקזח את הפליטות שלהם מול שטחים ויערות שקולטים פד"ח. לשם כך הן רוכשות חברות שטחים נרחבים, בהם נוטעים יערות ושטחים לגידול צמחים שישמשו לייצור ביו-דלק. בפעולות אלו הם מקזחים את הפליטות שלהם כלומר סוחרים בפד"ח.

2. הסחר בפליטות הוא כלי לצמצום פליטות פחמן דו חמצני שנוצר במסגרת אמנת קיוטו. האמנה מבחינה בין מדינות "מפותחות" הגורמות העיקריות לפליטות למדינות "מתפתחות". כל מדינה מתחייבת להפחית את הפליטות ויש לה קצבת פליטה מותרת. מדינה שלא מימשה את כל הקצבה המותרת לה, רשאית למכור את היתרה למדינה שעוברת את הסף המותר. לסירוגין מותר למדינות המפותחות לפעול להפחתת כמות הפחמן הדו-חמצני בארצות "מתפתחות", ע"י הקמת טכנולוגיות לצמצום פליטות או נטיעה ושימור של יערות.

3. לפני הכתבה, חברות שרוכשות שטחים לצורך הרחבת הייעור עשויות לפגוע באוכלוסיה המקומית ובמשאבי הטבע שלהן. כך למשל, חברת "מקורות ירוקים" שרכשה שטחים באפריקה, נוטעת שטחים לייצור עץ ופחם במזמביק, טנזניה ואוגנדה. עבור מיזמים אלה היא מזדכה על מכסות פחמן דו-חמצני. בשטחים אלו מפונים התושבים המקומיים ונאסר עליהם להשתמש ביערות לציד ולקט כפי שהיו רגילים להתקיים באופן מסורתי. בנוסף, החברה פגעה בשטחי קרקע ובמקורות מים שזוהמו ע"י חומרי דישון שהחברה השתמשה וגם גרמה לפגיעה ביבולים ובחיות משק.

4. אלימות פחמן דו-חמצני היא אלימות שקשורה ישירות לכלכלת הפד"ח ולפעילות השוק של הסחר בפד"ח, פעילות של חברה המנסה לצמצם פליטות פחמן וכתוצאה מכך פוגעת בזכויות של תושבים מקומיים.

5. הצעות בכתבה:

- מוצע לתקן את החקיקה הנוגעת ליוזמות העולמיות של ייעור ונטיעות הקשורות לשוק הפחמן הדו-חמצני - כלומר לאפשר הרחבת הייעור תוך כדי מניעת הפגיעה באוכלוסיה המקומית, למשל להכיר בזכות הקניין הציבורי וחופש הגישה למקורות פרנסה של המקומיים.
- מוצע לתקן את פעילותן של חברות תעשייתיות, כך שאוכלוסיות מקומיות ירוויחו מהפעילות.
- יש לצמצם את הפער בין "המרוויחים" ל"מפסידים" בשוק הפחמן הדו-חמצני.

הצעות נוספות:

- להקים מנגנון שיפקח על פעולות של חברות העוסקות בסחר פחמן במדינות מתפתחות
- לחייב מדינות שפוגעות באוכלוסיה מקומית לפצות אותן

6. יתרונות לסחר בינלאומי בפליטות פד"ח חסרונות לסחר בפליטות:

כלי לצמצום פליטות עולמיות של פד"ח	נדרש מנגנון חקיקה ואכיפה על סחר בפליטות
כלי כלכלי המניע סחר בינלאומי	יש חשש לניצול רעה של מדינות מתפתחות, חלשות ועניות ע"י מדינות מפותחות
כלי לפיתוח מדינות מתפתחות ע"י השקעה חיצונית בהן	חשש שמיזמים בינלאומיים חיצוניים יגרמו לפגיעה באוכלוסיה המקומית



**משבר האקלים ואני -
מה אני יכול לעשות?**

שיעור 10

יישום וסיכום : משבר האקלים ואני - מה אני יכול לעשות?

ידע למורה: בשיעור זה התלמידים יציעו פעילויות לצמצום פליטות גזי החממה שבתחום השפעתם ויביעו את התחושות והרגשות ביחס למשבר האקלים. נדון האם חלו שינויים בתחושותיהם בהשוואה לשיעור הראשון בתחילת לימוד היחידה.

מושגים: סקר

פתיחה:

בידינו הדבר - נציג [סרטון Ted של גרטה תונברג](#), שצולם ב 2018 נבקש מהתלמידים להתייחס לתחושות שהסרטון מעלה, לפתרונות שמוצעים בו, ליכולות שלהם לפעול בהשראתה.

שאלות לדיון בעקבות הסרטון:

מהן הבעיות שגרטה מתארת?

הבעיות:

- העדר התייחסות למשבר האקלים בתקשורת
- העדר חקיקה ומדיניות מספקים, בפרט לגבי שריפת דלקים
- גם אם נפסיק פליטות - יש גזי חממה באטמוספירה שימשיכו את תהליך ההתחממות
- הכחדת מינים אינטנסיבית (ההכחדה השישית) של כ 200 מינים ביום, בקצב של 1000-10000 מהיר יותר מבעבר
- אי צדק סביבתי בין מדינות עשירות לעניות
- חוסר מודעות ואדישות של האוכלוסיה לגבי תוצאות המעשיות של חיי היום יום והשינויים הנדרשים
- המשך של טיסות ושל צריכת מוצרי בשר וחלב
- חושבים רק על העתיד הקרוב ולא מעבר ל 2050 - מה נשאר לילדים ולנכדים שלנו?

גרטה מתבוננת על המשבר בצורה מאוד פסקנית - שחור או לבן - האם גישה זו נכונה לדעתכם?

גרטה טוענת שיש לנו כבר את כל הפתרונות למשבר האקלים וכל מה שנדרש הוא עשייה ולא תקווה. האם אתם מסכימים עם טענה זו? הסבירו

גוף השיעור:

חלופה 1: פעילות מקומית - התלמידים יערכו סקר ויציעו מהלכים להקטנת פליטת הפחמן ביישוב שלהם.

סקר הוא כלי המשמש במחקר לאיסוף נתונים מכמות גדולה של אנשים, ע"י שאילת שאלות. נתונים אלו משמשים כבסיס למסקנות שאותן ניתן להכיל על כלל האוכלוסייה. שאלו את התלמידים האם נתקלו במישהו שערך סקר (בטלפון, ברחוב, מדלת לדלת, ברשתות החברתיות). ערכו דיון לגבי השאלות הבאות:

- מהי המטרה בסקר? (איסוף נתונים/מידע)

- מה ניתן לעשות עם המידע שנאסף בסקר? (להסיק מסקנות, לפעול לשינוי/לשימור)

- אילו יתרונות יש בסקר? (מידע בזמן אמת מ"השטח" ומכמות גדולה של אנשים)
- אילו חסרונות יש בסקר? (עלולות להיות הטיות כגון אנשים עונים מה שחושבים ש"נכון")

לאחר הדיון הקצר בקשו מהתלמידים להתחלק לקבוצות של שלושה עד ארבעה תלמידים בקבוצה ולבחור את אחד מתחומים שהופיעו בשאלון טביעת הרגל הפחמנית משיעור 9. לכל נושא ניתן להציע מספר תתי נושאים לסקרים נפרדים כמפורט בטבלה להלן:

הרגלי תזונה וצרכנות	הרגלי הפרדה ומחזור אשפה	הרגלי צריכת אנרגיה	הרגלי שימוש בתחבורה
הרגלי התזונה וצריכת המזון הביתית	מערך פתרונות הקצה ביישוב	הרגלי צריכת האנרגיה הביתית	הרגלי שימוש ברכב פרטי
בזבז מזון בחנויות ובמסעדות	הרגלי הפרדה ומחזור ביישוב (בתים פרטיים)	הרגלי צריכת האנרגיה בבתי העסק	מערך התחבורה הציבורית ביישוב
הרגלי קנייה של מוצרי צריכה	הרגלי הפרדה ומחזור ביישוב (בתי עסק)	הרגלי צריכת האנרגיה במוסדות ציבור וברחובות ביישוב	מערך שבילי האופניים והפנאי ביישוב

על הקבוצה לבנות סקר הבודק את הרגלי התושבים בעיר בהקשר לתחום שאותו בחרה (נספח 1 - סקר תחבורה ציבורית לדוגמה). רצוי שיכינו סקר מקוון, למשל בגוגל פורמס (Google Forms). הנחיות:

- יש לתכנן היטב את השאלות בסקר, על מנת לקבל את המידע שבו מעוניינים
- בכדי להקל על ניתוח הסקר, עדיף להשתמש בשאלות רבות-ברירה (של כן/לא, בחירה בין מספרים, בחירה בין אפשרויות מוגבלות) מאשר בשאלות פתוחות של טקסט
- בכדי לקבל את מירב הנתונים למסקנות, רצוי לשאול בתחילת הסקר גם שאלות הקשורות למצב האישי של המשיב, כגון מגדר/ גיל / השכלה וכיו"ב, אך אין צורך בפרטים מזהים (ראו דוגמה בנספח של סקר בנושא תחבורה ציבורית).

בקשו מהתלמידים להעלות את הסקרים ברשתות החברתיות של היישוב בו הם גרים (דף פייסבוק, אתר מועצה/עירייה, קבוצות ווצאפ). אפשרות נוספת היא לשאול אנשים באקראי ברחוב ולמלא דרך אפליקציית גוגל פורמס בטלפון. בנוסף, אפשר לבקש מהתלמידים להעביר את הסקר אצלם בבית, בקרב תלמידי בתי הספר ומשפחותיהם, אצל שכנים, חברים או לעבור בין תושבי היישוב.

בפעילות ההמשך, על התלמידים לנתח את התוצאות שהתקבלו מהסקרים ולהסיק מסקנות לגבי תמונת המצב הפחמנית של משתתפי הסקר - כל קבוצה תציג את החלק שלה ויחד תתקבל תמונת מצב לגבי כל ארבעת התחומים שנבדקו. הצגת התוצאות תעשה על הלוח, או בעזרת מצגת שיתופית שאותה יכינו התלמידים. על כל קבוצה להכין הצעות לפעולות הרלוונטיות לטיפול בתמונת המצב בתחום שבדקו - למשל לפנות למשרד התחבורה לבקש שינויים בקווי תחבורה ציבורית/ במועדי נסיעות/ במיקום תחנות האוטובוס. לפנות לרשות המקומית שתסייע בפניה למשרד התחבורה / שתממן קווי תחבורה פנימיים לנקודות מרכזיות ביישוב. להקים קבוצת ווצאפ יישובית של נסיעות משותפות וכו'.

רצוי בהמשך להקצות לתלמידים זמן לביצוע הפעולות שהציעו ולבקש מהם לעדכן על תוצאות פעילותם.

חלופה 2: תחרות פרויקטים לצמצום פליטות - ספרו לתלמידים שהמשרד להגנת הסביבה מעוניין להוציא קול קורא לתחרות של פרויקטים לצמצום פליטות גזי חממה.

בשלב הראשון בקשו מהתלמידים להציע קריטריונים לבחינת ההצעות שיוגשו. למשל:

- מידת הישימות של הפרויקט המוצע
- יעילות הפרויקט המוצע
- מורכבות הפרויקט
- יכולת יישום לאורך זמן
- כמות גזי חממה שהפרויקט עשוי לצמצם
- עלויות הביצוע

בקשו מהם להסכים על 5 קריטריונים מרכזיים, כאשר הניקוד לכל קריטריון יהיה 20 נקודות.

בשלב השני, חלקו את התלמידים לקבוצות ובקשו מהם להעלות הצעות לפרויקטים, תוך שהם מתייחסים לקריטריונים שנבחרו.

בשלב השלישי, בקשו מכל קבוצה להציג את הפרויקט לשאר הקבוצות. בזמן ההצגה על שאר הקבוצות לתת ניקוד לפרויקט המוצג לפי הקריטריונים שנקבעו. כמובן שהקבוצה לא נותנת ציון לפרויקט של עצמה אלא רק לפרויקטים האחרים. רצוי להכין מראש טבלה שבה ימלאו את הניקוד. ניתן גם להוסיף הערה לכל קריטריון או משוב כללי לכל הפרויקט. למשל:

פרויקט מס' 4	פרויקט מס' 3	פרויקט מס' 2	פרויקט מס' 1	
				שם הפרויקט
				צוות משתתפים
				ניקוד לקריטריון 1 _____
				ניקוד לקריטריון 2 _____

				ניקוד לקריטריון 3 _____
				ניקוד לקריטריון 4 _____
				ניקוד לקריטריון 5 _____
				משוב כללי לפרויקט
				סה"כ ניקוד

בתום ההצגה אספו את דפי הניקוד של הקבוצות וחשבו את הניקוד המצטבר לכל פרויקט. הכריזו על שלושת הפרויקטים שזכו בניקוד הגבוה ביותר וציינו לשבח גם את שאר הפרויקטים.

חלופה 3: טיסות או לא להיות? הזכירו לתלמידים את מחשבון פליטת פחמן דו חמצני מטיסות, ביוזמת האנרגיה הטובה - <https://www.goodenergy.org.il/co2/> שהכירו בשיעור 9 (במידה ובחרתם לעסוק בנושא קיזוז הפחמן) או לחלופין הציגו להם את המחשבון והזמינו מתנדב לחשב את הפחמן שפלט בטיסה האחרונה שלו.

הדגישו שלטיסות יש מחיר סביבתי כבד מאוד. בעידן של "שמיים פתוחים" התרבו מאוד הטיסות. באיחוד האירופי, פליטת גזי חממה מהתעופה גדלה ב-87% בין 1990 ל-2006. על פי הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, ב-2017 יצאו לחו"ל 3.8 מיליון ישראלים ב-7.6 מיליון נסיעות, רובן המכריע (7.1 מיליון) בטיסה. תעשיית התיירות העולמית אחראית, על פי הערכות, לכ-5 אחוזים מסך פליטות גזי החממה בעולם.

בימי משבר הקורונה נסגרו השמיים ובבת אחת הופסקו כל הטיסות. האם יכול להיות מצב דומה בו יפחיתו את הטיסות על מנת לצמצם את פליטות הפחמן? שאלו את התלמידים האם יהיו מוכנים לוותר על טיסות לטובת צמצום פליטת גזי חממה? בקשו מהם לנמק את עמדם אישית.

רוב הסיכויים שמרבית התלמידים לא יסכימו לוותר על הטיסות שלהם. שאלו אותם מה ניתן לעשות על מנת לצמצם את ההשפעות הסביבתיות של הטיסות? בקשו מהתלמידים לקרוא את המאמר [לטוס ולשמור על הסביבה](#) שפורסם ב Ynet ב 2018 ולרכז את ההמלצות המרכזיות העולות מהכתבה (נספח 2 - מאמר ומשימה + תשובה למורה)

שאלו את התלמידים - אלו מבין ההמלצות הכירו קודם או עד כמה ההמלצות חדשות עבורם? כיצד ניתן להפיץ את ההמלצות הללו ולהגדיל את המודעות להשפעות הסביבתיות של הטיסות?

בקשו מהתלמידים להעלות רעיונות לצמצום ההשפעות הסביבתיות של טיסות ולהגדלת החשיפה להמלצות אלו - למשל לחפש ולפרסם לציבור אתרים שעורכים השוואה בין חברות התעופה ובוחנים את מידת הסביבתיות שלהם, לפנות למשרדי ממשלה בהצעה לקמפיין פרסומי שיעורר מודעות, לפנות לחברות תעופה פופולריות בישראל ולבקש שיציעו לנוסעים תוכנית לקיזוז פחמן וכו'.

פעולות אלו יוכלו לשמש להערכה חלופית. יש להעריך את התלמידים על השתתפותם בדיונים ובפעילות הקבוצתית. לגבי חלופה 1 ניתן להעריך את תוצר הסקר בשלב התכנון - רמת השאלות והתאמתן למטרות, את

רמת הביצוע של איסוף הנתונים - מידת ההשקעה בהפצה וביצוע הסקר, את שלב ניתוח הנתונים והסקת המסקנות. לגבי חלופה 2 ניתן להעריך את הפרויקטים חלפי הקריטריונים שהוצעו ע"י התלמידים. לגבי חלופה 3 ניתן להעריך את התלמידים על פי רמת היצירתיות וההשקעה בניתוח המלצות לצמצום טיסות ורעיונות להגדלת החשיפה להמלצות אלו.

סיכום:

פעילות הערכה - נבקש מהתלמידים למלא את הטקסט ולהשלים בו את המושגים החסרים (נספח 3 טקסט + תשובות למורה). ניתן לבחור את רמת הקושי - עם הצגת מחסן המושגים למתקשים וללא הצגת מחסן המושגים למתקדמים.

לחילופין נבקש מהתלמידים לענות על שאלות מסכמות ליחידה (נספח 4 - שאלות לתלמיד + תשובות למורה). ניתן לאפשר לתלמידים לענות על השאלות עם חומר פתוח. במידה ורוצים יותר לאתגר, ללא חומר פתוח. כמו כן, ניתן לבחור את השאלות ע"פ צרכי הכיתה.

מה אני מרגיש/ה? - לסיכום יחידת המבוא לנושא משבר האקלים, בקשו מהתלמידים לשתף בתחושות, תובנות, מחשבות ושאלות שעלו בהם בעקבות לימוד היחידה. בקשו מכל תלמיד לחשוב מעט על הנקודות הבאות ולכתוב אותן על דף ו/או לשתף במליאה:

- משהו שאהבתי בשיעורים / לשימור شيء أعجبني في الدروس / أحتفظ به
- משהו שגרם לי דאגה או פחד شيء جعلني أقلق أو أخاف
- משהו שלא אהבתי / לשיפור شيء لم يعجبني / للتحسين
- משהו שאני לוקח איתי מהלמידה ביחידה شيء آخذه معي من التعلّم في الوحدة
- שאלה שעולה לי בעקבות הלמידה ביחידה سؤال يخطر في ذهني في أعقاب تعلّم الوحدة
- ציטוט / אמירה שנאמרו במהלך השיעורים שאני אקח איתי הלאה اقتباس / قول ذكر خلال الدروس آخذه معي
- רעיון מדליק שלקחתי فكرة رائعة أخذتها
- משהו חדש שלמדתי / משהו שאזכור شيء جديد تعلمته / شيء أتذكره
- כלים שקיבלתי أدوات تلقيتها
- משהו שאני הולך ליישם شيء سأقوم بتطبيقه
- משהו שהתחברתי אליו شيء ارتبطت به

נבחן האם חלו שינויים בתחושותיהם בהשוואה לשיעור הראשון בתחילת לימוד היחידה.

נספח 1 סקר תחבורה ציבורית לזוגמה:

1. מין: זכר / נקבה
2. גיל: 15-20 / 20-35 / 30-45 / 45-60 / 60-75
3. מצב משפחתי: בלי ילדים / עם ילדים קטנים (עד גיל 15) / עם ילדים בוגרים (מעל גיל 15)
4. האם את/ה משתמשת בתחבורה ציבורית? לעתים קרובות / לעתים רחוקות / אף פעם לא (עבור לשאלה 8)
5. אם כן, לאיזו מטרה את/ה משתמשת בדרך כלל בתחבורה ציבורית?
- להגיע לעבודה / לעשות קניות / לצאת לבלות או לבקר חברים / לכל דבר אחר (פרט)
6. מה הסיבה שאת/ה בוחר לנסוע בתחבורה ציבורית?
- זה יותר טוב לסביבה / זה יותר זול / אפשר לנצל את הזמן לדברים אחרים חוץ מלנהיגה / אין לי רכב פרטי / אחר (פרט)
7. האם את/ה מרוצה ממערך התחבורה הציבורית של הישוב? כן / לא
8. אם לא, מדוע אינך מרוצה ממערך התחבורה הציבורית של הישוב? אין מספיק תחנות אוטובוס / זמני ההגעה של האוטובוס ארוכים / אין התאמה בזמנים של התחבורה הציבורית (אוטובוסים, רכבת, מוניות שירות) / לוקח יותר מדי זמן להגיע / אחר (פרט)
9. אם אינך משתמשת בתחבורה ציבורית, מדוע? תחנת האוטובוס רחוקה לי / זמני ההגעה של האוטובוס לא מתאימים לי / אין התאמה בין הזמנים של האוטובוס והרכבת / לוקח יותר מדי זמן להגיע / יש לי רכב פרטי / אחר (פרט)

מסקר כזה ניתן למשל להסיק מהו חתך הגילאים ומצב משפחתי של משתמשי התחבורה הציבורית, מדוע אנשים משתמשים/לא משתמשים בתחבורה ציבורית, לאיזה צורך משמשת התחבורה הציבורית ועוד. נתונים אלו יאפשרו בסיס להסקת מסקנות לגבי הצורך בשימור/שיפור של המצב הקיים, בהנחה שאנו רוצים לעודד אנשים לעשות שימוש במערך התחבורה הציבורית או לפעול לשם קידום ושיפור התחבורה הציבורית.

مثال لاستبيان: عادات استعمال المواصلات العامّة

1. الجنس
 - ذكر
 - أنثى

2. العمر:
 - 15-20
 - 20-35
 - 30-45
 - 45-60
 - 60-75

3. الحالة الشخصية:
 - دون أولاد.
 - مع أطفال صغار (حتى سن 15).
 - مع أطفال كبار (أكثر من سن 15).

4. هل تستعمل، أنت/ أنتِ، المواصلات العامّة؟
 - في كثير من الأحيان.
 - نادرًا.
 - أبدًا (انتقل إلى سؤال 8)

5. إذا كانت الإجابة نعم، لأيّ هدف تستعمل، أنت/ أنتِ، المواصلات العامّة عادةً؟
 - الوصول إلى العمل.
 - المشتريات.
 - الخروج أو زيارة أصدقاء.
 - لكلّ شيء.
 - إذا كان غير ذلك (فصل).

6. لماذا تختار، أنت/ أنتِ، السفر بالمواصلات العامّة؟

- أفضل للبيئة المحيطة.
 - أرخص.
 - يمكن استغلال الزمن لأشياء أخرى باستثناء قيادة المركبة.
 - لا يوجد عندي مركبة خصوصية.
 - إذا كان غير ذلك (فصل).
7. هل أنت/ أنت مسرور من هيئة المواصلات في بلدتكم؟
- نعم
 - لا
8. إذا كانت الإجابة لا، لماذا أنت/ أنت غير مسرور من هيئة المواصلات في بلدتكم؟
- لا يوجد محطات كافية للحافلات.
 - أوقات وصول الحافلة طويلة.
 - لا يوجد توافق بالتوقيت بين المواصلات العامة (الحافلات، قطار، تكسيات أجرة).
 - يستغرق وقتاً طويلاً للوصول بالمواصلات العامة.
 - إذا كان غير ذلك (فصل).
9. لماذا لا تستعمل، أنت/ أنت، السفر بالمواصلات العامة؟
- محطة الحافلة بعيدة.
 - أوقات وصول الحافلات غير مناسبة لي.
 - لا يوجد توافق بين أوقات الحافلة والقطار.
 - يستغرق وقتاً طويلاً للوصول.
 - يوجد عندي مركبة خصوصية.
 - إذا كان غير ذلك (فصل).

נספח 2 - לטוס ולשמור על הסביבה

קראו את המאמר לטוס ולשמור על הסביבה מאת רן בן מיכאל [שפורסם ב Ynet](#), ב 24.3.2019

ישראלים אוהבים לטוס לחו"ל. כמה אוהבים? על פי הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, ב-2017 יצאו לחו"ל 3.8 מיליון ישראלים ב-7.6 מיליון נסיעות, רובן המכריע (7.1 מיליון) בטיסה.

על פי הנתונים, הקבוצה הגדולה ביותר היא כנראה של אלו שעושים "קפיצה קטנה לחו"ל" ונוסעים פעם בשנה לארבעה ימים. אם אתם שייכים לקבוצה זו, נראה שהסביבה היא לא בראש מעייניכם או שאתם קצת בהכחשה. נראה שאפילו לא הרגשתם ששנת 2017 הייתה שנת תיירות בת קיימא של האו"ם.

תעשיית התיירות העולמית אחראית, על פי הערכות, לכ-5 אחוזים מסך פליטות גזי החממה בעולם (קשה לכמת במדויק, שכן תיירות מורכבת ממגוון גורמים שפולטים גזי חממה, מטיסות, בניית מלונות ועד מיזוג או חימום החדרים). אם לא יחול כל שינוי לטובה בפליטות גזי החממה של תעשיית התעופה, יגדלו הפליטות של הסקטור כולו ביותר מפי שניים עד 2050.

אם ענייני קיימות ומשבר האקלים בכל זאת חשובים לכם ואתם רוצים, אפילו ממש רוצים, להפוך את הנסיעה לחו"ל למעט "ירוקה" יותר, הנה כמה נתונים שחשוב שתכירו - ואחריהם, טיפים חשובים שיוכלו לעזור לכם לטוס לחו"ל ולחזור עייפים, מרוצים וסביבתיים.

טסים בלי חשבון

מקור האנרגיה של ענף התעופה כיום הוא אך ורק דלק ממקור מתכלה, כלומר - דלק מאובנים שנשאב ממעמקי האדמה או הים, ונשרף במנועי המטוסים תוך שהם פולטים גזי חממה וגזים מזהמים אחרים. מדובר על כמות לא מבוטלת של 5 מיליון חביות נפט ליום. תעשיית התעופה, כמו גם הספנות, הוחרגה מן ההסכמים הבינלאומיים שנוגעים להפחתת פליטות פחמן דו-חמצני, ואף שענף התעופה הגיע להסכם עצמאי בתחום, מדובר בהסכם חלש ואינו מחייב. כך, למעשה, ענף התעופה ממשיך לגדול ולהתרחב מבלי שהוא עושה הרבה כדי לצרוך פחות דלק.

למרות פריצות דרך של שימוש בחומרים חדשים או הנדסה, הטכנולוגיה של מנוע הסילון השורף דלק מאובנים ושל בניית המטוסים לא השתנתה מזה עשרות שנים. השימוש במקורות אנרגיה אחרים, למשל דלק ממקור ביולוגי, הוא עדיין בהיקף זניח. גם הישג ההיסטורי של סולאר אימפולס לפני יותר משנה, להקיף את העולם באמצעות מטוס סולארי, כנראה לא מבשר שמטוס הנוסעים הסולארי נמצא מעבר לפינה, ושימוש מסחרי בתאי דלק של מימן נוזלי עדיין רחוק גם הוא.

גם לתשתית - שדות התעופה - חתימת פחמן גבוהה, החל במיזוג האוויר וכלה בכלי הרכב שמסיעים את המטוסים מהשרוול. נמל התעופה של הלסינקי בפינלנד הצהיר כי הפך באוגוסט האחרון לניטרלי מבחינת פליטות בהתאם לתו תקן בינלאומי. אך זו רק טיפה בים: יש בערך 1,200 שדות תעופה בינלאומיים - תלוי כיצד סופרים אותם - ועוד אלפים שמשרתים תעבורה פנים-ארצית.

טיסות זולות, מחיר סביבתי גבוה

כל עוד לא יתרחש שינוי מדיניות בתחום, כנראה לא נראה שינוי בהשפעה הסביבתית - אך מהלך כזה מתעכב, ממספר מניעים. בראש ובראשונה, הסיבה לכך היא שרוב הפעילות הכלכלית הגלובלית שהתרגלנו אליה כל כך תלויה בענף התעופה (דמיינו את ההזמנה הבאה מעלי אקספרס מגיעה בספינה), והוא תומך בתיירות, שהיא

מרכיב חשוב בכלכלתן של מדינות רבות, כולל ישראל. אפילו פעילות לטובת הסביבה תלויה בתעופה זמינה: למשל, ארגוני שמירת טבע בינלאומיים יתקשו להגיע לאתרי הפעילות שלהם ללא טיסות זולות.

ענף התעופה גם חסין במידת-מה בפני כלי מדיניות רגילים: האם פוליטיקאים יכולים לבצע רגולציה על שוק הלוואו-קוסט, שממנו נהנים עשרות ומאות מיליונים ברחבי העולם - כנוסעים או כמועסקים? האם גם נבחרינו יהיו מוכנים לוותר על האפשרות לקפוץ לשנייה לחו"ל בעצמם לצורך פעילות פרלמנטרית וקצת שופינג?

אם התעשייה לא ממש עושה שינוי, אולי השינוי יבוא מהתנהגות הצרכנים? כנראה שגם לא, סקר עולמי של האתר booking.com מהשנה שעברה מראה הרבה כוונות טובות אבל פחות מודעות ועוד פחות עשייה מצד התייר הבודד. אז מה אפשר לעשות? הנה כמה נקודות למחשבה בפעם הבאה שאתם מחפשים כרטיס זול באחד מעשרות האתרים והיישומונים הזמינים לכם.

- חשבו פעמיים לפני שתבחרו חברת תעופה: נסו לבחור חברת תעופה שיש לה פרופיל טוב יותר מבחינת הפעילות הסביבתית - צי מטוסים צעיר יותר עם מודלים חדשים (יעילות אנרגטית ורעש מופחת), ניהול מושבים (יותר נוסעים משמעותו ניצול יעיל יותר של המטוס ופחות פליטות במוצא לכל נוסע), מדיניות צמצום וטיפול בפסולת וכדומה. עדיין אין רשימה מוסכמת של חברות תעופה "ירוקות" והדברים מתבססים לעתים על התרשמות סובייקטיבית, אבל אפשר להתחיל כאן וכאן, ולהמשיך בחיפוש עצמאי ברשת.

- הקטינו את מספר הטיסות: אם אתם נוסעים מתמידים, אולי כבר ראיתם הכול. אם אתם יכולים לטוס בטיסה ישירה, זה עדיף על טיסה עם חניות ביניים. במקום טיסת המשך קצרה, אפילו לנהיגה או לנסיעה בתחבורה ציבורית יש יתרון על פני טיסה; לעתים גם של זמן, אבל בוודאי של פליטות גזי חממה. אתם יכולים גם לחשוב על האפשרות לצאת לחופשה ארוכה יותר במקום שתי נסיעות ליעדים סמוכים (נאמר ברצלונה ומדריד) לזמן קצר בכל אחד מהם.

- אל תתפנקו: אם אתם לא בררנים, גם כשאתם יכולים (והסטארט-אפ המצליח שלכם מרשה), מחלקת תיירים עדיפה; חתימת הפחמן של מחלקת עסקים או מחלקה ראשונה גבוהה יותר. טיסות לואו-קוסט עדיפות עוד יותר; הסיבה לכך היא שחברות אלו מטיסות יותר נוסעים - שכולם שווים זה לזה מבחינת מושב ושירותים בטיסה - ומקפידות על משקל הכבודה. וזכרו גם שאתם לא באמת צריכים הכול: ארזו פחות לנסיעה; המשקל הכולל של המטוס משפיע על כמות הדלק שנצרך, בעיקר בהמראה ובנחיתה.

- מצאו חלופה לטיסה: בצעו "נסיעה" מקדימה בעזרת גוגל earth ותוכלו לקיים ביקור באמצעות מציאות מדומה באתרים רבים. אם אתם נוסעים לפגישת עסקים או לכנס, בררו אם אפשר לקיימה או לנכוח בו בעזרת אמצעים טכנולוגיים.

- רכשו קיזוז פחמן: קיזוז פחמן מאפשר לפצות על פליטות הפחמן שנעשו בטיסה שלכם באמצעות תמיכה בפעילויות או בארגונים שחוסכים פליטות פחמן. ראשית חשבו את טביעת הרגל הפחמנית שלכם באמצעות מחשבון פחמן, ואז בדקו אלו חלופות קיימות עבורכם כדי להפחית את טביעת הרגל הפחמנית הזו - דרך חברת התעופה, אתר מכירת הכרטיסים או חברות למסחר פחמן. על אף שהביקורת גורסת שקיזוז פחמן אינו שווה ערך להפחתת פליטות במקור (כמו הדרכים שהוצעו למעלה), לעתים יש טיסות שאי אפשר לוותר עליהן. טיפ נוסף: אם הגעתם ליעד ואתם שוכרים רכב, מספר חברות מציעות תכניות קיזוז פחמן בעצמן, או כלי רכב היברידיים וחשמליים שכדאי כמובן להעדיף.

מהן ההמלצות המרכזיות העולות מהכתבה?

ملحق 2 - الطيران والحفاظ على البيئة المحيطة

اقرأوا المقال الطيران والحفاظ على البيئة المحيطة بقلم ران بن ميخائيل نُشر في Ynet بتاريخ 24.3.2019

يحب الإسرائيليون السفر إلى خارج البلاد، كم عدد الذين يحبون السفر؟ حسب دائرة الإحصاء المركزية، في سنة 2017 سافر 3.8 مليون إسرائيلي إلى خارج البلاد في 7.6 مليون رحلة، الغالبية العظمى (7.1 مليون) في الطائرة.

حسب المعطيات، ربما تكون أكبر مجموعة من أولئك الذين يقومون بـ "فترة قصيرة جدًا إلى خارج البلاد" ويسافرون مرة واحدة في السنة لمدة أربعة أيام. إذا كنتم تنتمون إلى هذه المجموعة، يبدو أن البيئة المحيطة ليست في سُلّم أولوياتكم، أو أنكم تنكرون الحفاظ على البيئة المحيطة قليلاً. يبدو أنكم لم تشعروا حتى أن عام 2017 كان عامًا في السياحة المستدامة لهيئة الأمم المتحدة.

السياحة العالمية مسؤولة وفقا للتقديرات عن حوالي 5 في المائة من انبعاثات غازات الدفيئة في العالم (من الصعب تحديد الكمية بدقة، لأن السياحة تتكون من مجموعة متنوعة من العوامل التي تنبعث منها غازات الدفيئة، مثل: الرحلات الجوية، بناء فنادق وتبريد أو تدفئة الغرف). إذا لم يحدث تغيير للأفضل في انبعاثات غازات الدفيئة في طيران السياحة، فإن انبعاثات القطاع بأكمله ستزيد بأكثر من ضعفين بحلول عام 2050.

إذا كانت الاستدامة وأزمة المناخ لا تزال مهمة بالنسبة لكم، وتريدون أن تجعلوا الرحلة إلى خارج البلاد "خضراء" قليلاً، نعرض عليكم بعض المعلومات المهمة التي يجب أن تعرفوها، بالإضافة إلى نصائح مهمة يمكن أن تساعدكم على السفر إلى خارج البلاد، أن تستمتعوا وأن تحافظوا على البيئة المحيطة.

طيران بدون حساب

مصدر الطاقة في فرع الطيران اليوم هو وقود من مصدر يتناقض فقط، أي الوقود الأحفوري الذي تم ضخه من أعماق الأرض أو البحر، ويتم حرقه في محركات الطائرات التي تُطلق انبعاث غازات الدفيئة وغازات ملوثة أخرى. يدور الحديث عن كمية كبيرة مقدارها 5 ملايين برميل من النفط يوميًا. تم استثناء الطيران والشحن من الاتفاقيات الدولية المتعلقة بخفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. على الرغم من أن فرع الطيران توصل إلى اتفاق مستقل في هذا المجال، إلا أن الاتفاقية ضعيفة وغير ملزمة. وبالتالي، في الواقع، يستمر الطيران في النمو والتوسع دون أن يبذل جهد لتقليل استهلاك الوقود.

على الرغم من الانجازات العلمية في استخدام مواد جديدة أو الهندسة، إلا أن تكنولوجيا المحرك النفاث الذي يحرق الوقود الأحفوري وبناء الطائرات لم تتغير منذ عقود. استخدام مصادر الطاقة الأخرى، على سبيل المثال الوقود من مصدر بيولوجي، لا يزال ضئيلاً. الإنجاز التاريخي لـ Solar Impulse، منذ أكثر من عام، حول استخدام طائرة شمسية، ربما لا تبشر بأن طائرة الركاب الشمسية قريبة الاستعمال، ولا يزال الاستخدام التجاري لخلايا وقود الهيدروجين السائل بعيد المنال.

البنية التحتية - المطارات - لها بصمة كربون عالية أيضًا، ابتداءً من تكييف الهواء وانتهاءً بالمزكبات التي تقود الطائرات داخل المطار. صرح مطار هلسنكي في فنلندا أنه أصبح محايدًا في أغسطس الماضي من حيث الانبعاثات وفقًا للمعيار الدولي.

لكن هذه مجرد قطرة في بحر: هناك حوالي 1200 مطار دولي، هذا يتعلق بكيفية عدها، وهناك آلاف المطارات الأخرى التي تخدم حركة المرور المحلية.

رحلات رخيصة، ثمن بيئي محيط عالٍ

طالما لا يوجد تغيير في السياسة في هذا المجال، من المحتمل أن لا يكون هناك أي تغيير في التأثير على البيئة المحيطة - لكن تأخر هذا التغيير لعدة أسباب. أولاً وقبل كل شيء، السبب هو أن معظم النشاط الاقتصادي العالمي الذي اعتدنا عليه يعتمد بشكل كبير على الطيران (تخيل أن الطلب القادم من موقع AliExpress يصلكم عن طريق السفينة)، وهو يدعم السياحة التي تعد مكونًا مهمًا في اقتصاد العديد من الدول، بما في ذلك إسرائيل. حتى الأنشطة لصالح البيئة المحيطة تعتمد على طيران

متوافر: على سبيل المثال، ستجد المنظمات الدولية للحفاظ على الطبيعة صعوبة في الوصول إلى مواقع نشاطها بدون رحلات رخيصة.

فرع الطيران محصن إلى حد ما من القرارات السياسية العادية: هل يستطيع السياسيون تنظيم سوق الطيران منخفض التكلفة (Low Cost)، الذي يستفيد منه عشرات ومئات الملايين حول العالم - كمسافرين أو كموظفين؟ هل سيكون ممثلونا المنتخبون على استعداد للتخلي عن إمكانية السفر إلى خارج البلد لمدة ثانية بمفردهم للأنشطة البرلمانية وبعض التسوق؟

إذا كانت السياحة لا تُحدث التغيير، ربما يأتي التغيير من سلوك المستهلك. ربما ليس كذلك، بين استطلاع عالمي لموقع booking.com على الإنترنت، من العام الماضي، الكثير من النوايا الحسنة، لكن الوعي قليل والنشاط قليل جدًا من جانب السائح الوحيد. إذن ما الذي يمكن أن نفعله؟ أمامكم بعض النقاط التي يجب أن تفكرون فيها في المرة القادمة التي تبحثون فيها عن تذكرة رخيصة في واحد من عشرات المواقع والتطبيقات المتاحة لكم.

• فكروا مرتين قبل اختيار شركة الطيران: حاولوا اختيار شركة طيران تتمتع بمواصفات أفضل من حيث النشاط البيئي المحيط - أسطول طائرات حديث مع طائرات جديدة (كفاءة طاقة عالية وضوضاء قليلة)، تنظيم المقاعد (المزيد من الركاب يعني استخدام الطائرة بنجاحة أكثر، ومعدل انبعاثات أقل لكل راكب)، سياسة تقليل ومعالجة النفايات وما شابه ذلك. لا توجد حتى الآن قائمة متفق عليها لشركات طيران "خضراء"، وهذا يعتمد أحياناً على الانطباع الذاتي، لكن يمكنك البدء هنا، ومواصلة البحث المستقل في الإنترنت.

• تقليل عدد رحلات الطيران: إذا كنتم من الذين يسافرون باستمرار، ربما شاهدتم كل شيء. إذا كان بإمكانك السفر بطائرة مباشرة، فهذا أفضل من رحلة فيها محطات توقف. بدلاً من رحلة طيران قصيرة، يمكن قيادة سيارة أو السفر بوسائل نقل عامة، لأن ذلك يوفر الوقت أحياناً، وبالتأكيد يقلل من انبعاثات غازات الدفيئة. يمكنكم التفكير أيضًا في إمكانية إجازة طويلة بدلاً من رحلتين إلى مكانين قريبين لفترة قصيرة في كل منهما (مثل: برشلونة ومدريد).

• لا تتدللوا: بصمة الكربون للسفر في درجة رجال الأعمال، أو الدرجة الأولى العليا، عالية. الطيران منخفض التكلفة (Low Cost) أفضل من ذلك، لأن هذه الشركات تنقل الكثير من الركاب - وجميعهم متساوون من حيث المقاعد والخدمات على متن الطائرة - وتشد هذه الشركات على وزن الأمتعة. تذكروا أيضًا أن تأخذوا أشياء قليلة تحتاجونها إلى الرحلة، لأن الوزن الإجمالي للطائرة يؤثر على كمية الوقود المستهلك، خاصة أثناء الإقلاع والهبوط.

• ابحث عن بديل للطيران: نفذوا "رحلة" تمهيدية بمساعدة برنامج Google Earth لزيارة العديد من المواقع، من خلال الواقع الافتراضي. إذا كنتم مسافرون لاجتماع عمل أو مؤتمر، افحصوا ما إذا كان يمكن عقده أو حضوره بوسائل تكنولوجية.

• اشترتوا تعويض الكربون: يُتيح تعويض الكربون الحصول على تعويض مقابل انبعاثات الكربون الناتجة عن رحلتك، من خلال دعم الأنشطة أو المنظمات التي توفر انبعاثات الكربون. أولاً احسبوا بصمتكم الكربونية باستخدام حاسبة الكربون، ثم افحصوا البدائل المتاحة لك لتقليل بصمة الكربون، يمكنكم تنفيذ ذلك من خلال شركة الطيران أو موقع مبيعات التذاكر أو شركات تداول الكربون. على الرغم من أن الانتقاد لذلك يُشير إلى أن تعويض الكربون ليس مكافئاً لخفض الانبعاثات الناجمة من الأصل (كالطرق المقترحة أعلاه)، في بعض الأحيان هناك رحلات لا يمكن التنازل عنها. نصيحة أخرى: إذا وصلت إلى المكان واستأجرت سيارة، تقترح العديد من الشركات استعمال طريقة تعويض الكربون، أو تقترح السيارات الهجينة والكهربائية التي من الأفضل استعمالها.

ما هي التوصيات الرئيسية التي ظهرت في المقال؟

תשובות למורה:

- לבחור חברת תעופה סביבתית - צי מטוסים עם מודלים חדשים (יעילות אנרגטית ורעש מופחת), ניהול מושבים (יותר נוסעים משמעותו ניצול יעיל יותר של המטוס ופחות פליטות בממוצע לכל נוסע), מדיניות צמצום וטיפול בפסולת וכדומה.
- להקטין את מספר הטיסות - טיסה ישירה עדיפה על טיסה עם חניות ביניים. במקום טיסת המשך קצרה, עדיפה נהיגה או נסיעה בתחבורה ציבורית. עדיף לצאת לחופשה ארוכה יותר במקום שתי נסיעות ליעדים סמוכים לזמן קצר בכל אחד מהם.
- להעדיף מחלקת תיירים וטיסות לואו-קוסט - כשיש יותר נוסעים פר מטוס.
- לארוז פחות לנסיעה ולהפחית בכבודה - המשקל הכולל של המטוס משפיע על כמות הדלק שנצרך, בעיקר בהמראה ובנחיתה.
- למצוא חלופה לטיסה - טיול בעזרת גוגל earth או ביקור באתרים באמצעות מציאות מדומה. להעדיף פגישות עסקים או השתתפות בכנסים באמצעים טכנולוגיים.
- לקזז פחמן - לפצות על פליטות הפחמן שנעשו בטיסה שלכם באמצעות תמיכה בפעילויות או בארגונים שחוסכים פליטות פחמן. יש לחשב את טביעת הרגל הפחמנית באמצעות מחשבון פחמן, לקזז אותן דרך חברת התעופה, אתר מכירת הכרטיסים או חברות למסחר פחמן.
- תמכו בשינוי המיסוי על כרטיסי טיסה: אם אתם טסים רק פעם אחת לא תשלמו מס כלל, אם אתם טסים יותר, המס יעלה בהתאם.

נספח 3 - השלמת מושגים

אחת הסיבות הפסיכולוגיות שגורמות לנו להתקשות לתפוס את שינוי האקלים הגלובלי היא העובדה שכולנו מרגישים שינויים תכופים וקיצוניים ב_____ מדי יום ומדי עונה, ומתמודדים אתם היטב (קר לנו? נלבש סוודר. חם לנו? נוריד סוודר). _____, לעומת זאת, הוא תהליך ארוך הרבה יותר שמתרחש במקומות שונים במקביל, ולכן הוא הרבה פחות מוחשי.

המושג "_____ " מוגדר כתנאים המטאורולוגיים והאטמוספריים השוררים ברגע נתון במקום מסוים, ונמדדים במונחים משתנים הכוללים בין היתר _____, משקעים, עננות, לחות ורוחות. " _____ ", לעומת זאת, מוגדר כממוצע של מזג האוויר במקום מסוים על פני פרקי זמן של עשרות שנים, ואף של עשרות אלפי שנים. בעוד ה _____, המתייחס למגמה מתמשכת של _____ במקום מסוים, נותר פחות או יותר קבוע, באותו המקום משתנה מדי יום ואף משעה לשעה.

המושג "שינוי האקלים" מבטא שינויים מהירים, של פחות מכמה עשרות שנים, במצב הממוצע של ה _____ על פי רוב חוקרי האקלים בעולם, שינויים אלה נובעים בעיקר מהשפעות הפעילות האנושית על הרכב _____ מאז החלה _____, ובאופן מואץ יותר החל מן המחצית השנייה של המאה ה-20. אחד מאותם שינויי אקלים הוא ה" _____ " של כדור הארץ, כלומר העלייה הנצפית בממוצע הטמפרטורה קרוב לפני שטח כדור הארץ ובאטמוספירה. התחממות זו מתרחשת בעיקרה כתוצאה מעלייה בפליטת _____ על ידי פעילויות האדם.

לצד ההתחממות הגלובלית, שינוי האקלים מתבטא גם בטמפרטורות קיצוניות של קור ולכן התופעה הכוללת שאליה אנו מתייחסים היא " _____ " ולא רק התחממות כדור הארץ.

במשך מיליוני שנים, נכנס לאטמוספירה גז _____ מהתפרצויות של _____, מחומר צמחי שנרקב, ומ _____ של יצורים חיים. הפחמן הדו חמצני עוזב את האטמוספירה כשצמחים משתמשים בו לצורך תהליך ה _____, הוא נספג על ידי ה _____, או נאגר במעבה הקרקע. תיאור זה הוא של _____ הכולל _____.

באופן טבעי פני כדור הארץ מתחממים מקרני האור הקצרות והאנרגטיות שמגיעות מה _____ גזי החממה שנמצאים באטמוספירה, וביניהם הפחמן הדו-חמצני, לוכדים חלק מה _____ שפולט כדור הארץ לאחר שהתחמם מקרינת השמש, ומונעים ממנה לברוח אל מחוץ לאטמוספירה אל החלל – בדומה למתרחש ב _____, לכן, פחמן דו-חמצני נקרא _____.

פחמן דו-חמצני אינו גז החממה היחיד, אך הוא אחד העיקריים שבהם. וכך, יחד עם גזי החממה האחרים, הוא יוצר שכבה של חום, שידוע כ" _____ ". זוהי תופעה טבעית, שבהיעדרה הייתה הטמפרטורה הממוצעת של פני כדור הארץ _____ בכ-40 מעלות צלסיוס מן הערכים הנוכחיים, ולכן לגזי החממה יש תפקיד חיוני בוויסות ה _____ ובקיום החיים על פני כדור הארץ. אולם ככל שריכוז גזי החממה באטמוספירה _____ יותר, כך יותר חום נלכד, מה שגורם להתחממות מוגברת של כדור הארץ.

עם תחילתה של המהפכה התעשייתית, לפני כ-200 שנה בערך, התחלנו לכרות פחמן שהיה אגור ב _____ . הדלקים הפוסיליים (מאובנים) – _____ – עשויים מאותם שאריות של צמחים וחיות שמתו עוד הרבה לפני שהאדם התהלך על פני הקרקע. ה _____ שאגורה בהם מסוגלת לספק כוח למפעלי תעשייה, לתחנות ייצור חשמל, ולכלי רכב. אולם שריפת דלקים אלו גם "מזרימה" _____ לכדור הארץ. במקביל, התחלנו לכרות יערות לטובת תעשיית העץ, חקלאות, תעשייה ועיור, וכך הפחתנו את יכולת כדור הארץ להסיר את הפד"ח מהאטמוספירה.

העלייה בריכוז הפחמן הדו-חמצני באטמוספירה מאיצה את _____ על ידי לכידת _____ רב יותר קרוב לפני השטח וגורמת לקרחונים יבשתיים ולכיפות הקרח ב _____ להימס. המסת הקרח היבשתי גורמת לעלייה ב _____ מה שמסכן אוכלוסיות המתגוררות באזורי ה _____ . בהתחשב בעובדה שרוב תושבי כדור הארץ חיים בקרבת _____ , מדובר בתופעה מדאיגה ביותר.

בנוסף, התחממות כדור הארץ גורמת לכך שמזג האוויר הופך להיות קיצוני יותר במשך הזמן, דבר הבא לידי ביטוי בעלייה בתדירותם של _____ קיצוניים, וכן באירועי _____ ובצורות. כל אלו הם רק חלק מהתוצאות של התחממות כדור הארץ ההולכת וגוברת. תוצאות שהשפעתן תורגש היטב גם במישורים הכלכליים, הביטחוניים והבריאותיים.

מחקרים מדעיים רבים הראו כי _____ הוא האחראי העיקרי לעליית רמות הפחמן הדו-חמצני באטמוספירה במאתיים השנה האחרונות, עקב שריפת דלקים פוסיליים. כמו כן, כבר הסברנו את הקשר שבין עלייה ברמות הפחמן הדו-חמצני באטמוספירה לבין התעצמות " _____ " ושינוי האקלים הגלובלי. כמעט כל _____ טוענים שאין ספק שרוב שינוי האקלים הנצפה מקורו בפעילות אנושית.

_____ , לעומת זאת, טוענים כי תרומת האדם לסך כל גזי החממה היא מזערית (כ-10 אחוז בלבד).

הסכם _____ נחתם ב-12 בדצמבר 2015 במהלך _____ . הסכם זה נועד לספק את הכלים הנדרשים להגבלת ההתחממות הגלובלית לפחות מ _____ בממוצע, בין היתר על ידי עידוד צמצום _____ והגברת המימון והתמיכה בפרויקטים למזעור נזקי שינוי אקלים ברחבי העולם. כדי להבטיח את יישום ההסכם התחייבה כל מדינה לגבש סדרת יעדים וצעדים ברורים ליישום, כאשר מדי חמש שנים יתכנסו ממשלות העולם לדווח על מצב ההתקדמות.

קטע זה מבוסס על [הכתבה בזוויית: מה הסיפור של שינוי האקלים](#)

מחסן מושגים (כל מושג יכול לחזור מספר פעמים): האדם, הרי געש, אפקט החממה, חופים, אוקינוסים, גלי חום, מזג אוויר, טמפרטורה, מחזור הפחמן, שינוי האקלים, אטמוספירה, ועידת האקלים של האו"ם, נשימה, אנרגיה, פליטת גזי חממה, קטבים, אקלים, שתי מעלות צלזיוס, התחממות גלובלית, נמוכה, אדמה, פריז, מכחישי שינוי האקלים, מקורות ומבלעים, חוקרי האקלים, שיטפונות, מפלס פני הים, גבוה, חום, פחמן, שמש, חממה, פוטוסינתזה, גז חממה, פחמן דו-חמצני, פחם, נפט וגז טבעי, קרינה התת אדומה, מהפיכה תעשייתית.

ملحق 3 - اكمال مصطلحات

أحد الأسباب النفسية التي تجعل من الصعب علينا فهم تغير المناخ العالمي هو حقيقة أننا جميعًا نشعر بتغيرات متكررة ومتطرفة في _____ كل يوم وكل موسم، ونتعامل معها بشكل جيد. (نشعر بالبرد نرتدي جاززة، نشعر بالحر نخلع. أما _____ فهي عملية طويلة تحدث في أماكن مختلفة في نفس الوقت، وبالتالي فهو أقل ملموس.

المصطلح " _____ " مُعرّف على أنه ظروف الأرصاد الجوية والظروف السائدة في الغلاف الجوي في لحظة معينة في مكان معين، ويتم قياسها بمقاييس متغيرة تشمل، من بين الأمور الأخرى، _____، هطول الأمطار، السحب، الرطوبة والرياح. أما " _____ " مُعرّف على أنه معدل الطقس في مكان معين على مدى عقود، وحتى عشرات الآلاف من السنين. بينما _____ يتطرق إلى توجه مستمر للـ _____ في مكان معين، يبقى ثابتًا تقريبًا، الـ _____ يتغير في نفس المكان يوميًا، وحتى من ساعة إلى ساعة.

مصطلح "تغير المناخ" يعبر عن تغيرات سريعة، أقل من بضعة عقود، في حالة معدل _____ حسب معظم باحثي المناخ في العالم، تتبع هذه التغيرات بشكل أساسي من تأثيرات النشاط البشري على مكونات _____ منذ أن بدأت _____، وبسرعة أكبر منذ النصف الثاني من القرن العشرين. واحد من تلك التغيرات المناخية هو " _____ " الكرة الأرضية، أي ارتفاع معدل درجة الحرارة بالقرب من سطح الأرض وفي الغلاف الجوي. يحدث هذا الارتفاع في درجة الحرارة بشكل رئيسي نتيجة لزيادة انبعاثات _____ من الأنشطة البشرية.

إلى جانب ارتفاع درجة حرارة العالم، ينعكس تغير المناخ أيضًا في درجات حرارة متطرفة _____، وبالتالي فإن الظاهرة العامة التي نتطرق إليها هي " _____ " وليس مجرد ارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية.

خلال ملايين السنين، دخل غاز _____ إلى الغلاف الجوي من انفجار _____، من تحلل مواد نباتية ومن _____ الكائنات الحية. يترك ثاني أكسيد الكربون الغلاف الجوي عندما تستخدمه النباتات في عملية _____، أو تمتصه _____، أو يتراكم في أعماق التربة. هذا الوصف هو لـ _____ التي تشمل _____.

بشكل طبيعي يسخن سطح الأرض من أشعة الضوء القصيرة التي تحمل طاقة وتأتي من _____. تُلتقط غازات الدفيئة في الغلاف الجوي، بما في ذلك ثاني أكسيد الكربون، قسم من _____ التي تبعثها الكرة الأرضية بعد أن سخنت من أشعة الشمس، وتمنعها من الهروب من الغلاف الجوي إلى الفضاء - على غرار ما يحدث في _____. لذلك، يُسمى ثاني أكسيد الكربون _____.

ثاني أكسيد الكربون ليس غاز الدفيئة الوحيد، لكنه واحد من الغازات الرئيسية. ومع غازات دفيئة أخرى، يشكّل طبقة من الحرارة، تعرف باسم " _____ ". هذه الظاهرة طبيعية، في حالة نقصها يكون معدل درجة حرارة سطح الكرة الأرضية _____ بحوالي 40 درجة مئوية من القيم الحالية، لذلك، تلعب غازات الدفيئة دورًا ضروريًا في تنظيم _____ وفي الحفاظ على الحياة على سطح الكرة الأرضية. ومع ذلك، كلما _____ تركيز غازات الدفيئة في الغلاف الجوي أكثر ازدادت الحرارة المحجوزة، مما يؤدي ذلك إلى ازدياد ارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية.

مع بداية الثورة الصناعية، قبل حوالي 200 سنة تقريبًا، بدأنا في استخراج الكربون المخزون في _____ . الوقود الأحفوري (المتحجرة) - _____ - مصنوع من نفس بقايا النباتات والحيوانات التي ماتت، بوقت طويل، قبل وجود الإنسان على سطح الأرض. إن _____ المخزونة فيها قادرة على توفير قوة للمنشآت الصناعية ومحطات الطاقة والمركبات. لكن حرق هذه الوقود يؤدي إلى أن "يتدفق" إلى الكرة الأرضية. في الوقت نفسه، بدأنا بقطع الغابات لصناعة الأخشاب، الزراعة، والصناعة والتمدن، وهكذا قللنا من قدرة الكرة الأرضية إزالة ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي.

يؤدي ارتفاع تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي إلى ازدياد _____ بواسطة التقاط _____ كثيرة بالقرب من السطح، مما تؤدي إلى انصهار الأنهار الجليدية والقمم الجليدية في _____. يؤدي انصهار الجليد في اليابسة إلى ارتفاع _____، مما يُعرض السكان الذين يعيشون في مناطق _____ للخطر. إذا أخذنا بعين الاعتبار الحقيقة أن معظم سكان الكرة الأرضية يعيشون بالقرب من _____، فإن هذه الظاهرة مقلقة للغاية.

بالإضافة إلى ذلك، يؤدي ارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية إلى أن يكون الطقس أكثر تطرفاً بمرور الوقت، مما يؤدي ذلك إلى ازدياد تكرار _____ متطرفة وإلى حدوث _____ وقحط. كل هذه الأحداث جزء من نتائج ارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية المتزايدة مع مرور الوقت. سنشعر بتأثير هذه النتائج جيداً في المجالات الاقتصادية، الأمنية والصحية.

بيّنت أبحاث علمية كثيرة أن _____ هو المسؤول الرئيسي عن ارتفاع مستويات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، على مدى المائتي سنة الماضية، بسبب حرق الوقود الأحفوري. شرحنا العلاقة بين ارتفاع مستوى ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي وشدة " _____ " وتغيّر المناخ العالمي. يدعي معظم _____ أنه ليس هناك شك في أن معظم تغير المناخ الذي نشهده ناجم عن النشاط البشري. من ناحية أخرى، يدعي _____ أن مساهمة الإنسان، في مجمل غازات الدفيئة، ضئيل (حوالي 10 بالمائة فقط).

تم توقيع اتفاقية _____ في 12 ديسمبر 2015 خلال _____ . تهدف هذه الاتفاقية إلى توفير الأدوات اللازمة للحد من ارتفاع درجة حرارة العالم بمعدل أقل من _____، من بين الأمور الأخرى، من خلال التشجيع على الحد من _____ وزيادة التمويل والدعم للمشاريع لتقليل أضرار تغيّر المناخ في جميع أنحاء العالم. لضمان تنفيذ الاتفاقية، تعهدت كل دولة بصياغة سلسلة من الأهداف والخطوات الواضحة للتنفيذ، حيث تجتمع حكومات العالم كل خمس سنوات للتقرير عن حالة التقدم.

اعتمدت هذه القطعة [على المقال 11111111](#): ما هي قصة تغيّر المناخ؟

قائمة مصطلحات (يمكن استعمال كل مصطلح عدة مرات): الإنسان، البراكين، تأثير الدفيئة، الشواطئ، المحيطات، موجات الحرارة، الطقس، درجة الحرارة، دورة الكربون، تغيّر المناخ، الغلاف الجوي، مؤتمر المناخ للأمم المتحدة، التنفس، الطاقة، انبعاث غازات الدفيئة، القطبين، المناخ، درجتين مئويتين، ارتفاع درجة حرارة العالم، منخفض، التربة، باريس، منكرو تغيّر المناخ، مصادر وابتلاع، باحثو المناخ، الفيضانات، مستوى سطح البحر، الحرارة، عالية، الكربون، الشمس، دفيئة، التركيب الضوئي، غاز الدفيئة، ثاني أكسيد الكربون، الفحم الحجري والنفط والغاز الطبيعي، أشعة تحت حمراء، ثورة صناعية.

תשובות למורה

אחת הסיבות הפסיכולוגיות שגורמות לנו להתקשות לתפוס את שינוי האקלים הגלובלי היא העובדה שכולנו מרגישים שינויים תכופים וקיצוניים במזג האוויר מדי יום ומדי עונה, ומתמודדים אתם היטב (קר לנו? נלבש סוודר. חם לנו? נוריד סוודר). שינוי האקלים, לעומת זאת, הוא תהליך ארוך הרבה יותר שמתרחש במקומות שונים במקביל, ולכן הוא הרבה פחות מוחשי.

המושג "מזג אוויר" מוגדר כתנאים המטאורולוגיים והאטמוספריים השוררים ברגע נתון במקום מסוים, ונמדדים במונחים משתנים הכוללים בין היתר טמפרטורה, משקעים, עננות, לחות ורוחות. "אקלים", לעומת זאת, מוגדר כממוצע של מזג האוויר במקום מסוים על פני פרקי זמן של עשרות שנים, ואף של עשרות אלפי שנים. בעוד האקלים, המתייחס למגמה מתמשכת של מזג האוויר במקום מסוים, נותר פחות או יותר קבוע, מזג האוויר באותו המקום משתנה מדי יום ואף משעה לשעה.

המושג "שינוי האקלים" מבטא שינויים מהירים, של פחות מכמה עשרות שנים, במצב הממוצע של האקלים. על פי רוב חוקרי האקלים בעולם, שינויים אלה נובעים בעיקר מהשפעות הפעילות האנושית על הרכב האטמוספירה מאז החלה המהפכה התעשייתית, ובאופן מואץ יותר החל מן המחצית השנייה של המאה ה-20. אחד מאותם שינויי אקלים הוא ה"התחממות הגלובלית" של כדור הארץ, כלומר העלייה הנצפית בממוצע הטמפרטורה קרוב לפני שטח כדור הארץ ובאטמוספירה. התחממות זו מתרחשת בעיקרה כתוצאה מעלייה בפליטת גזי חממה על ידי פעילויות האדם.

לצד ההתחממות הגלובלית, שינוי האקלים מתבטא גם בטמפרטורות קיצוניות של קור ולכן התופעה הכוללת שאליה אנו מתייחסים היא "שינוי האקלים" ולא רק התחממות כדור הארץ.

במשך מיליוני שנים, נכנס לאטמוספירה גז פחמן דו-חמצני מהתפרצויות של הרי געש, מחומר צמחי שנרקב, ומנשימה של יצורים חיים. הפחמן הדו חמצני עוזב את האטמוספירה כשצמחים משתמשים בו לצורך תהליך הפוטוסינתזה, הוא נספג על ידי האוקיינוסים, או נאגר במעבה הקרקע. תיאור זה הוא של מחזור הפחמן הכולל מקורות ומבלעים.

באופן טבעי פני כדור הארץ מתחממים מקרני האור הקצרות והאנרגטיות שמגיעות מהשמש. גזי החממה שנמצאים באטמוספירה, וביניהם הפחמן הדו-חמצני, לוכדים חלק מהקרינה התת אדומה שפולט כדור הארץ לאחר שהתחמם מקרינת השמש, ומונעים ממנה לברוח אל מחוץ לאטמוספירה אל החלל – בדומה למתרחש בחממה. לכן, פחמן דו-חמצני נקרא גז חממה.

פחמן דו-חמצני אינו גז החממה היחיד, אך הוא אחד העיקריים שבהם. וכך, יחד עם גזי החממה האחרים, הוא יוצר שכבה של חום, שידוע כ"אפקט החממה". זוהי תופעה טבעית, שבהיעדרה הייתה הטמפרטורה הממוצעת של פני כדור הארץ נמוכה בכ-40 מעלות צלסיוס מן הערכים הנוכחיים, ולכן לגזי החממה יש תפקיד חיוני בוויסות הטמפרטורה ובקיום החיים על פני כדור הארץ. אולם ככל שריכוז גזי החממה באטמוספירה גבוה יותר, כך יותר חום נלכד, מה שגורם להתחממות מוגברת של כדור הארץ.

עם תחילתה של המהפכה התעשייתית, לפני כ-200 שנה בערך, התחלנו לכרות פחמן שהיה אגור באדמה. הדלקים הפוסיליים (מאובנים) – פחם, נפט וגז טבעי – עשויים מאותם שאריות של צמחים וחיות שמתו עוד הרבה לפני שהאדם התהלך על פני הקרקע. האנרגיה שאגורה בהם מסוגלת לספק כוח למפעלי תעשייה, לתחנות ייצור חשמל, ולכלי רכב. אולם שריפת דלקים אלו גם "מזרימה" פחמן לכדור הארץ. במקביל, התחלנו לכרות יערות לטובת תעשיית העץ, חקלאות, תעשייה ועיור, וכך הפחתנו את יכולת כדור הארץ להסיר את הפד"ח מהאטמוספירה.

העלייה בריכוז הפחמן הדו-חמצני באטמוספירה מאיצה את אפקט החממה על ידי לכידת חום רב יותר קרוב לפני השטח וגורמת לקרחונים יבשתיים ולכיפות הקרח בקטבים להימס. המסת הקרח היבשתי גורמת לעלייה במפלס פני הים, מה שמסכן אוכלוסיות המתגוררות באזורי החופים. בהתחשב בעובדה שרוב תושבי כדור הארץ חיים בקרבת חופים, מדובר בתופעה מדאיגה ביותר.

בנוסף, התחממות כדור הארץ גורמת לכך שמזג האוויר הופך להיות קיצוני יותר במשך הזמן, דבר הבא לידי ביטוי בעלייה בתדירותם של גלי חום קיצוניים, וכן באירועי שיטפונות ובצורות. כל אלו הם רק חלק מהתוצאות של התחממות כדור הארץ ההולכת וגוברת. תוצאות שהשפעתן תורגש היטב גם במישורים הכלכליים, הביטחוניים והבריאותיים.

מחקרים מדעיים רבים הראו כי האדם הוא האחראי העיקרי לעליית רמות הפחמן הדו-חמצני באטמוספירה במאתיים השנה האחרונות, עקב שריפת דלקים פוסיליים. כמו כן, כבר הסברנו את הקשר שבין עלייה ברמות הפחמן הדו-חמצני באטמוספירה לבין התעצמות "אפקט החממה" ושינוי האקלים הגלובלי. כמעט כל חוקרי האקלים טוענים שאין ספק שרוב שינוי האקלים הנצפה מקורו בפעילות אנושית.

מכחישי שינוי האקלים, לעומת זאת, טוענים כי תרומת האדם לסך כל גזי החממה היא מזערית (כ-10 אחוז בלבד).

הסכם פריז נחתם ב-12 בדצמבר 2015 במהלך ועידת האקלים של האו"ם. הסכם זה נועד לספק את הכלים הנדרשים להגבלת ההתחממות הגלובלית לפחות משתי מעלות צלזיוס במוצא, בין היתר על ידי עידוד צמצום פליטת גזי חממה והגברת המימון והתמיכה בפרויקטים למזעור נזקי שינוי אקלים ברחבי העולם. כדי להבטיח את יישום ההסכם התחייבה כל מדינה לגבש סדרת יעדים וצעדים ברורים ליישום, כאשר מדי חמש שנים יתכנסו ממשלות העולם לדווח על מצב ההתקדמות.

נספח 4 - שאלות חשיבה - נכון / לא נכון

- רשמו האם כל אחד מהמשפטים הבאים הוא נכון או לא נכון. נמקו את תשובתכם (למה נכון או למה לא נכון).
במידה ולא נכון, תקנו את התשובה.
1. החור באוזן מחמיר את משבר האקלים כיוון שהוא מעצים את אפקט החממה.
 2. אין התחממות גלובלית - הרי מזג האוויר בחורף עדיין קר ויש גלי קור.
 3. מדענים סבורים כי שינויי אקלים קשורים לפליטת גזי חממה לאטמוספירה בעקבות פעילות האדם והתחממות גלובלית.
 4. אפקט החממה היא תופעה טבעית שאינה קשורה להתחממות גלובלית ושינויי אקלים.
 5. בעבר היו טמפרטורות גבוהות יותר מאשר הטמפרטורות של היום. לכן אין לנו מה לדאוג מההתחממות הגלובלית של היום.
 6. הקהילה המדעית הגיעה להסכמה ששינויי אקלים מתרחשים אך עדיין אין הסכמה מלאה לגבי הגורם לשינויים אלו - פעילות האדם או הטבע.
 7. לאוקיינוס תפקיד חשוב בבלימת קצב ההתחממות של כדה"א
 8. צמחים עושים פוטוסינתזה והם קולטים את עודפי הפד"ח אשר נפלטים לאטמוספירה כתוצאה משריפת דלקים פוסילים. לכן אין צורך לדאוג מעלייה בריכוזי פד"ח באטמוספירה.
 9. לא ניתן לסמוך על מודלים לאקלים כיוון שהם לא יכולים לכלול את כל מרכיבים ולא את כל המורכבות של מערכת האקלים.
 10. מלבד עלייה בטמפרטורה אין עוד סימנים שהתחממות גלובלית הינו דבר בעייתי.
 11. פד"ח ואדי מים הם גזי החממה הכי חזקים.
 12. גם אם בני אדם יפסיקו לפלוט גזי חממה לאטמוספירה מחר, התחממות גלובלית לא תפסיק מיד.

ملحق 4 - أسئلة تفكير - صحيح / غير صحيح

اكتبوا ما إذا كانت كل جملة من الجمل التالية صحيحة أم غير صحيحة. عللوا إجابتكم (لماذا صحيح أو لماذا غير صحيح). إذا كانت الجملة غير صحيحة، صححوا الإجابة.

1. يؤدي ثقب في طبقة الأوزون إلى تفاقم أزمة المناخ، لأنه يزيد من تأثير الاحتباس الحراري (الديفيئة).
2. لا يوجد ارتفاع في درجة حرارة العالم - لا يزال الطقس باردًا في الشتاء وهناك موجات باردة.
3. يعتقد العلماء أن تغيّر المناخ مرتبط بانبعاث غازات الدفيئة، في الغلاف الجوي، بسبب نشاط الإنسان وارتفاع درجة حرارة العالم.
4. ظاهرة الديفيئة هي ظاهرة طبيعية لا علاقة لها بارتفاع درجة حرارة العالم وتغيّر المناخ.
5. في الماضي، كانت درجات الحرارة أعلى من درجات الحرارة اليوم. لذلك لا داعي للقلق بشأن ارتفاع درجة حرارة العالم اليوم.
6. توصل المجتمع العلمي إلى اتفاق أنّ تغير المناخ يحدث، لكن لا يوجد حتى الآن اتفاق كامل حول سبب هذه التغيّرات - نشاط الإنسان أو الطبيعة.
7. للمحيط وظيفة مهمة في كبح وتيرة ارتفاع درجة حرارة العالم.
8. تقوم النباتات بعملية التركيب الضوئي وتستوعب فائض ثاني أكسيد الكربون المنبعث في الغلاف الجوي نتيجة لحرق الوقود الأحفوري. لذلك لا داعي للقلق بشأن ارتفاع تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي.
9. لا يمكن الاعتماد على النماذج المناخية، لأنها لا تستطيع أن تشمل جميع مكونات النظام المناخي ولا تشمل كل تعقيداته.
10. باستثناء ارتفاع درجة الحرارة، لا توجد دلالات أخرى على أنّ ارتفاع درجة حرارة العالم يُشكّل مشكلة.
11. ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء هما أقوى غازات الدفيئة.
12. حتى لو توقف الإنسان عن انبعاث غازات الدفيئة في الغلاف الجوي غدًا، لا يتوقف ارتفاع درجة حرارة العالم على الفور.

תשובות למורה

1. לא נכון. שכבת האוזון מסננת את הקרינה האולטרה-סגולה המגיעה מהשמש. כששכבת האוזון מתדלדלת נוצר "חור באוזון". אין לזה קשר לאפקט החממה.

שימו לב - אוזון (O_3) הינו גז חממה ומהווה חלק מזיהום אוויר (תלוי איפה הוא נמצא). כאשר אוזון נמצא בשכבות הנמוכות של האטמוספירה הוא מזדהם ובעייתי, אבל כאשר הוא נמצא בשכבות הגבוהות של האטמוספירה, הוא חוסם קרינה האולטרה-סגולה ושם היתרונות שלו עולים על החסרונות כגד חממה.

2. לא נכון. התחממות גלובלית מתייחסת לעלייה בטמפרטורה הממוצעת של כל כדה"א. עדיין ייתכן מזג אוויר קר. מעבר לכך כאן יש בלבול בין מזג אוויר (אירועים שנתונים לשינויים יומיומיים) לאקלים (שינויים ארוכי טווח). בכל השנים האחרונות מדווחים על עלייה בטמפרטורה הממוצעת ביחס לשנים קודמות.
3. נכון. למרות שהקשר בין אירועי מזג אוויר קיצוני ושינויי אקלים מאוד מורכב ומדעני האקלים מודעים לכך. בשיעור 2 למדנו על תופעות אשר קשורות ברמת מובהקות גבוהה להתחממות גלובלית: מדבור, עלייה מטמפרטורה ממוצעת ובמספר ועוצמה של גלי חום קיצוניים ושינויים במשטר הגשמים - מעט או עודף גשמים.
4. לא נכון. החלק הראשון של המשפט נכון - אפקט החממה אכן תופעה טבעית בה גזי חממה באטמוספירה לוכדים חום וכך גורמים להתחממות פני כדה"א. אבל כאשר פעילות האדם גורמת לשחרור עודף גזי חממה לאטמוספירה, זה גורם להעצמה של אפקט החממה והתחממות גלובלית.
5. המשפט הראשון נכון - אכן היו הטמפרטורות יותר גבוהות בעבר של כדה"א. המסקנה הנגזרת מכך במשפט השני אינה נכונה. קצב שינוי הטמפרטורות היום גבוה מאוד לעומת השינויים בעבר (בערך פי 10 יותר מהר מאשר התחממות לאחר תקופת קרח) והשינויים המהירים האלו יכולים לגרום נזק למערכות אקולוגיות וגם לאדם.
6. לא נכון. יש הסכמה רחבה מאוד בקרב מדענים כי ההתחממות הנוכחית נגרמת ע"י פעילות האדם, ובפרט פליטת גזי חממה לאטמוספירה.
7. נכון. למים יש יכולת "לספוג" הרבה מהחום (למים יש קיבול חום גבוה, שיעור 3, חלופה 1).
8. נכון שצמחים משתמשים בפד"ח כחומר גלם בתהליך הפוטוסינתזה אבל לא נכון שהם מסוגלים לספוג את עודפי הפד"ח הנפלטים לאטמוספירה. יש כמה סיבות - מלבד פד"ח, יש גזי חממה אחרים שנפלטים בזמן שריפת דלקים פוסילים, אין מספיק עצים כדי לספוג את כל העודפים של פד"ח (יש הרבה פד"ח עודף וקצבי הפוטוסינתזה אינם מדביקים את העודף), צריך לקחת בחשבון שיש מחזור מהיר של פחמן במערכות ביולוגיות (פד"ח נקלט ע"י פוטוסינתזה אך משתחרר בזמן נשימה תאית), לא ברור האם התחממות גלובלית מיעלת או פוגעת בסה"כ הפוטוסינתזה בעולם.
9. לא נכון. מודלי אקלים (בהם עסקנו בשיעור 6) אינם "האמת" אלא סימולציה המבוססת על משוואות מתמטיות אשר מתארות את מערכת האקלים. המודלים מהווים כלי מחקרי להעמקת ההבנה שלנו של מערכת האקלים וגם ככלי לתחזיות שונות לעתיד. ניתן לבחון את המודלים ב"תחזית לאחור" ולראות את רמת הדיוק שלהם. ניתן לקרוא עוד בנושא באן.
10. לא נכון. בשיעור 2 למדנו על עלייה במפלס הים ועל המסה של קרחונים, על מדבור ועל שינויים במשטר הגשמים. גם החמצת האוקיינוסים כתוצאה מעלייה בריכוזי פד"ח (ראו יחידה על ההשפעה על מערכות ביולוגיות).
11. נכון. ראו שיעור 3. אדי מים הם גז חממה הכי נפוץ שגם תורם הכי הרבה לאפקט החממה (בממוצע 60%). אדי מים אמנם תורמים רבות לאפקט החממה אבל הם אינם מניעים שינויי טמפרטורה (כמו פד"ח). להיפך, ריכוז אדי המים באטמוספירה משתנה בעקבות שינויים בטמפרטורה - כמות אדי המים באטמוספירה תלויה בטמפרטורה. בנוסף, עלייה בלחות יכולה לגרום לעלייה בעננות וגם לגשם אשר מורידים את הטמפרטורה (משוב שלילי). נקודה אחרונה וחשובה מאוד - זמן השהות של אדי מים באטמוספירה היא קצרה (ימים) לעומת זמן השהות של גזי חממה אחרים כמו פד"ח, מתאן וכו... (שנים עד מאות שנים). למידע נוסף על אדי מים כנסו לקישור הבא (עברית).
12. נכון. לגזי חממה יש זמן שהות יחסית ארוך באטמוספירה - הם לא נעלמים מיד.