

יחידת הוראה מבוא לשינוי האקלים עבור מורים לתלמידי תיכון

מהדורה מותאמת לחינוך החרדי.

הותאם ופותח על ידי

ד"ר דבורה סמט רוטשילד - גב' רות אלמליח

תשפ"ד - 2024





**מה הקשר
בין המונחים שלמדנו?**

יחידה 7

מה הקשר בין המונחים שלמדנו ?

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

מושגים: אקלים, משבר אקלים, שינוי 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.

מיומנויות בשיעור: אוריינות מידע - ייצוג מידע, אוריינות שפתית - הבעה בכתב ובעל פה, חשיבה ביקורתית - הטלת ספק, חשיבה יצירתית - יישום, יצירת הקשרים חדשים

פתיחה ליחידה:

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 על מהי 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.

מטלת מיפוי המושגים תוכל לשמש להערכה חלופית. יש להעריך את מידת ההתאמה בהקשרים שהתלמידים הוסיפו בין המושגים וההסברים שלהם.

כחלופה למטלה זו ניתן לבקש מהתלמידים לעצב עלון הסברה, אשר מסביר את שינוי האקלים לציבור הרחב. התלמידים יחפשו תמונות להמחשה. ניתן להציג לתלמידים עלונים לדוגמה או להדפיס חלק מהעלונים ולדון עם התלמידים על מרכיבי העלון: כותרות, הסברים, איורים, נתונים מספריים ועוד. אפשר לנתח אלו עלונים אפקטיביים יותר ומדוע. לאור המסקנות, התלמידים יתכננו ויעצבו עלון הסברה לקהל בישראל.

לחילופין ניתן לבקש מהתלמידים להציע רעיונות לדרך מעניינת / מקורית להצגת הנושא על כל מושגיו – למשל: להכין תשבץ, חידון, קריקטורות וכולי.

מיומנויות: חשיבה יצירתית - יצירת הקשרים חדשים

גוף היחידה: הכחשת שינוי אקלים

ידע למורה: בעידן של ריבוי מקורות מידע ושל "fake news" קשה מאוד לדעת מהי האמת. מכחישי שינוי האקלים מנצלים זאת כדי ליצור תמונת מצב מוטעה לפיה יש חוסר הסכמה מדעית בנושא שינוי האקלים באופן כללי, וספציפית לגבי הקשר בין העלייה בטמפרטורה העולמית הממוצעת והעלייה בריכוזי הפחמן הד-חמצני באטמוספירה. התנהלות זו דומה להתנהלות של תעשיית הטבק, ששנים רבות גייסה מדענים במטרה להטיל ספק בקשר בין סרטן לעישון סיגריות. כיום קיימת הסכמה רחבה בעולם המדעי לגבי השפעת פעילות האדם על אקלים כדה"א (יחידות 4, 5, ו-6). לתיאוריית זו יש מגוון רחב של תימוכין (IPCC ועוד). התנגדות להשקפה זו יכולה להיעשות על ידי פרסום מאמר מדעי בנושא. הקהילה המדעית תבחן את הטיעונים בתהליך של ביקורת עמיתים, בדומה לנהוג בשיטה המדעית, אשר מבוססת על הניסיון להפריך היפותזות וכך להתקדם. כמו במקרה של תעשיית הטבק, [מכונת הכחשת האקלים](#) משומנת היטב ומונעת משיקולים כלכליים. תכנים של הכחשת אקלים מופצים ברשתות החברתיות, בעיתונים, ברדיו ובטלוויזיה. מטרת יחידה זו אינה לתת במה להפצת טיעונים של הכחשת שינוי האקלים, אלא לתת לתלמידים כלים לחשוב באופן ביקורתי על הטיעונים שהם עלולים לפגוש בהמשך, תוך כדי שימת דגש על השיטה המדעית.

יחידה זו תעסוק בהיבטים שונים של [השיטה המדעית](#) ומשמעות המדע בהקשר של שינוי האקלים בעידן ה**פוסט-אמת**. נפתח בתרגיל מהימנות מקורות מידע ונדבר על מאמרים מדעיים כמקור מידע. בגוף היחידה נבדוק חלופות אשר מתייחסות להכחשת שינוי האקלים ולהבחנה בין עובדה, דעה, תיאוריה מדעית והשערה (היפותזה). בסיכום נדון בשאלה - האם ניתן להפריך תיאוריה מדעית? ויותר מכך - האם ניתן בכלל להוכיח תאוריה מדעית או רק לאשש (לאשר) אותה. בסיכום הפרק נגיע למסקנה כי ניתן בהחלט להפריך תאוריה מדעית, אם כי לא ניתן אף פעם להוכיח בוודאות תיאוריה מדעית אלא רק לאשש אותה.

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.

מיומנויות בשיעור: אוריינות מדעית - התמצאות מדעית, פרשנות נתונים וראיות, אוריינות מידע - הערכת מידע

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.

בהקשר של שינוי האקלים קשה לדעת מה "האמת" ומה "fake news" ולמי להאמין.

נקודות לדיון :

-מקור מידע ראשוני הוא יוצר או חווה המידע, שממנו נובע המידע; הוא החולייה הראשונה בשרשרת של העברת המידע. לעומתו, מקור מידע משני הוא מי שמעביר מידע שדווח לו או שהוא שמע או קרא עליו, וכדומה. כלומר, הוא חולייה 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 שינוי 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, בדרך 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. חשוב להדגיש שביקורת חייבת להיות ניטרלית ואובייקטיבית (לדאוננו לא תמיד חובה זו מתקיימת. לדוגמה: מאמרים מדעיים רבים שנכתבו על ידי מדענים ישראלים נידחים מסיבות שאינן מדעיות ...)

- 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?

מיומנויות: אוריינות מדעית - התמצאות מדעית, אוריינות מידע - הערכת מידע

חלופה 1: הבחנה בין עובדה (fact), דעה (opinion), השערה (hypothesis) ותיאוריה מדעית (scientific theory) בנוגע לשינוי האקלים

ביום המידע שקיים בנוגע לשינוי 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 שינוי 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 מאי ההבנות בתחום נוצרות בגלל הפער בין המשמעות היומיומית במילים הנ"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.

לאחר דיון בכיתה יתן המורה את ההגדרות המדויקות למושגים.

עובדה - נתון קיים וקבוע, שניתן לבדוק את אמיתותו ומשום כך אינו נתון לוויכוח. 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 שאלה ומעלים השערה שעונה עליה ושאפשר לבדוק את נכונותה. לאחר מכן הם מתכננים ניסוי שתוצאותיו יכולות לאשש את ההשערה או לפסול (להפריך) אותה.

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 שאושרו 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. 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 שהשלגון נעלם מהמקפיא כי הילד אכל אותו").

נשאל את התלמידים מדוע, לדעתם, כדאי להבחין בין המושגים הנ"ל בנוגע לשינויי האקלים?

נבקש מהתלמידים למיין משפטים לעובדה, דעה, השערה ותיאוריה מדעית. נשאל - האם יש הטיה במשפטים? אם כן, מה ההטיה? ניתן לקיים כדיון פתוח בכיתה או כדף לתלמיד (נספח 2 - דף לתלמיד + תשובות למורה)

מיומנויות: אוריינות מדעית - התמצאות מדעית, פרשנות נתונים וראיות.

חלופה 2: מכחישי שינוי 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 צפריר רינת וניר חסון בעיתון הארץ: משבר האקלים הוא לא תיאוריה אלא מציאות. הנה ההוכחות. (נספח 3)

2. מאמר של יונתן דובי [בעיתון הארץ](#) (נספח 4). המאמר הוא למעשה תגובה למאמר על שינוי האקלים של [צפריר רינת וניר חסון](#)

3. [מאמר התגובה של ניר חסון](#) (נספח 5) למאמר תגובה של דובי.

לאחר קריאה וניתוח המאמרים נחלק לתלמידים דף עבודה הכולל שאלות בנוגע למאמרים בנספחים 3-5 (נספח 6). המורה יוכל להוסיף לדף העבודה שאלות נוספות שעולות בדעתו וידון גם עליהן עם התלמידים בכיתה

מיומנויות: אוריינות מדעית - התמצאות מדעית.

סיכום:

לסיכום היחידה נפנה לקראת מאמרו של עמית פנדו "כשהמדע מסתכל על עצמו בראי" העוסק בפילוסופיה של המדע "על קצה המזלג" (נספח 7)

ננסה לראות מה היא ההסתכלות הנכונה על המדע והאם ניתן להפריך או לאשש תיאוריה מדעית. לאחר קראת המאמר ננסה לדון בנקודות הבאות:

- מדע אינו "האמת" אלא הדרך שבה אנו מתארים ומבינים את המציאות. מדוע בכל זאת מדענים בוחרים להסתכל על המדע בתור "אמת"?
- מה החשיבות של אוריינות מדעית בעיניכם?
- יש קונצנזוס מדעי רחב לגבי התחממות גלובלית ושינוי אקלים. האם, יהיה ניתן להפריך את התיאוריה אשר מקשרת בין התחממות גלובלית ופעילות האדם? אם כן- כיצד?

נספח 1 - מיון משפטים לעובדה, דעה, השערה ותיאוריה מדעית

1. עדיין אין קונצנזוס (הסכמה) מדעי לגבי שינוי אקלים.
2. "יורד שלג וקפוא בניו יורק. מה 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 ככל הנראה 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.

תשובות למורה:



1. דעה שגויה. כאשר בוחנים את הפרסומים המדעים אשר עוסקים בשינויי אקלים ניתן לראות כי למעלה מ-97% מסכימים לגבי התחממות גלובלית והקשר שלה לעלייה בריכוזי פד"ח. מידת הקונצנזוס יכולה להשתנות - ככל שנוסיף ידע מדעי, מדענים חוזרים ובוחרים את התיאוריות שוב לאור הראיות החדשות. עד היום רק מצטברות הראיות אשר תומכות בכך שהתחממות גלובלית ושינויי אקלים נגרמים בעקבות פעילות האדם.

2. דעה. הטלת ספק בהתחממות גלובלית בשל תצפית של קור ושלג.

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. עובדה - ניתן לדעת מה המקור של מולקולת פד"ח באטמוספירה כיוון ששריפת דלקים פוסיליים מתירה חותמת כימית. ניסויים מראים כי פד"ח הינו גז חממה.

4. עובדה - ריכוזי פד"ח נמדדים וניתן לראות עלייה חדה בריכוזו מזמן המהפכה התעשייתית, בה החלו בשריפה אינטנסיבית של דלקים פוסיליים.

5. עובדה - אקלים כדה"א משתנה. לאורך ההיסטוריה הגיאולוגית של כדה"א היו תקופות הרבה יותר חמות מהיום וגם תקופות קרה הרבה יותר קרות. שימוש בטיעון זה להכחשת שינוי האקלים הוא מטעה - לא רק עצם השינוי חשוב אלא קצב השינוי (ראו יחידה 4). קצב העלייה בריכוז גזי חממה ובטמפרטורות כיום הינם חריגים ביחס למה שקרה בהיסטוריה של כדה"א.

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 שינוי במסלול כדה"א (ראו יחידה 4).

7. השערה (היפותזה) - הקשר בין התחממות גלובלית לבין אירועי מזג אוויר קיצוני הינו מורכב.

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.

10. עיוות של עובדה כדי להטעות. פד"ח אכ"ן 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 ביחידה 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.

נספח 3 – משבר האקלים הוא לא תיאוריה אלא מציאות. הנה ההוכחות

חום שיא באוקיינוס הארקטי, שריפות וגל סופות - ההתחממות הגלובלית כבר כאן. שורת תחזיות ונתונים ממחישים מדוע רוב מוחץ של מדענים קושרים בין פעילות האדם למשבר האקלים. ברחבי העולם כבר הפכה הסוגיה לנושא הפוליטי החם ביותר, בישראל היא עדיין לא חלק מסדר היום



Steve Morgan, Greenpeace: קרחונים באנטארקטיקה צילום

[צפריר רינת](#)

[ניר חסון](#)

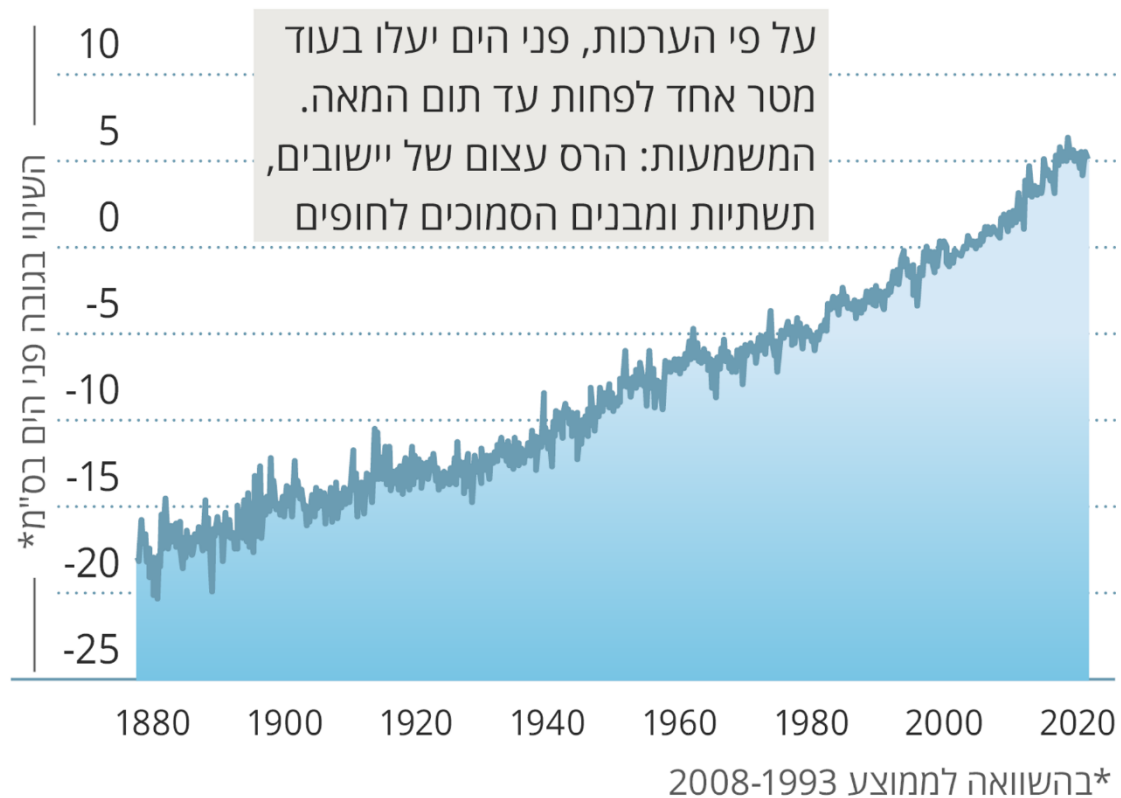
במאי 2019 27

חודש אחד בלבד הפריד בין אידאי לקנת, שתי סופות שהכו בחוזקה במוזמביק שבמזרח אפריקה, שכתוצאה מהן מאות נהרגו ומאות אלפים איבדו את בתיהם. היתה זו הפעם הראשונה בהיסטוריה המתועדת של המדינה ששתי סופות בעוצמה כזו מכות באותה עונה. שבועות ספורים חלפו מאז ובמהלכם נרשמו ברחבי העולם עוד מספר רב של אירועי אקלים חריגים: באוקיינוס הארקטי, בצפון-מערב רוסיה, נמדדו 29 מעלות - 17 מעל לממוצע בקיץ הארקטי; בדרום הודו הכתה סופת ציקלון; בבריטניה פרצו שריפות יער, אף כי הקיץ שם טרם החל; בעיר האמריקאית יוסטון היו הצפות ענק, שגרמו לעשרות אלפי הפסקות חשמל וגם לבריחתו של תנין גדול, שתמונותיו כיכבו בדיווחי החדשות. וזה לא הסוף. רק בשבוע שעבר נרשמו ביפן ובדרום מזרח ארה"ב גלי חום שוברי שיאים לחודש מאי, בו בזמן שבצפון-מרכז ארה"ב הכו שוב ושוב סופות טורנדו; גם באוסטרליה נרשמו סופות חריגות לעונה; וגם בצד הכי מוכר של הכדור, בישראל, נרשמו בשבוע שעבר שיאי חום חריגים לחודש מאי. בשילוב עם היובש ול"ג בעומר נוצרו תנאים אידיאליים להתפשטות שריפות שכילו עשרות בתים במבוא מודיעים ובהראל

הדמיה של שינויי הטמפרטורות בעולם ביחס לטמפרטורה הממוצעת

הקונצנזוס המדעי קובע כי אירועי אקלים קיצוניים מעין אלו ימשיכו ויחריפו בשנים ובעשורים הבאים, ומגוון הדרכים שבהן אלה יבואו לידי ביטוי, רחב. למשל עליית פני הים. לפני כשבועיים התפרסם בבריטניה דו"ח המזהיר מפני הצורך לפנות עיירות שלמות בשל כך. ולפי דו"ח אחר, שפורסם בקליפורניה, עליית מי הים בשילוב עם התגברות הסופות ימיטו אסון על המדינה שבחוף המערבי של ארה"ב, שיהיה חמור יותר מרעידת אדמה קשה. זאת ועוד, מחקר עדכני שנערך בארה"ב ופורסם בשבוע שעבר העריך כי עד סוף המאה עשוי מפלס פני הים לעלות בעוד כשני מטרים. המשמעות: כ-187 מיליוני בני אדם יאלצו לעקור מבתיהם

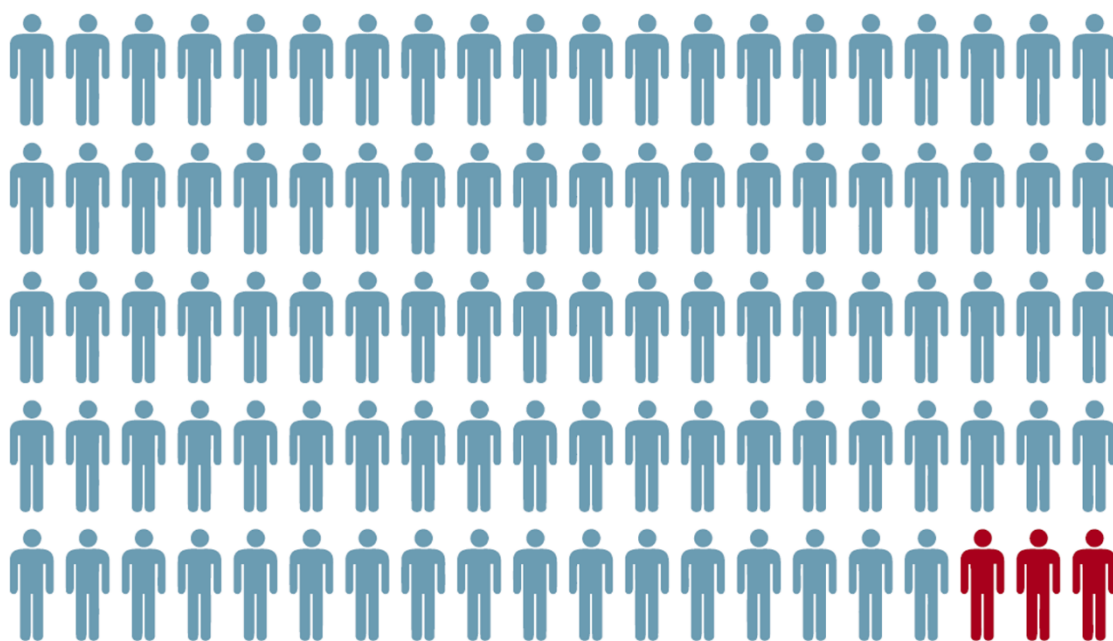
העלייה בגובה פני הים



גם הרחק מהחוף לא חסרות צרות. דו"ח מקיף של האו"ם קבע כי מיליון מינים של בעלי חיים עומדים בפני סכנת הכחדה, בשל ניצול משאבי כדור הארץ. בנוסף, מחקר עדכני שנערך באוניברסיטת אוקספורד מחזק את הקשר בין שינויי טמפרטורה עולמיים וגורמים כמו פעילות האדם והתפרצויות של הרי געש. "אין גורמים נסתרים המשפיעים על שינויי הטמפרטורה הממוצעת על פני כדור הארץ", אמר ד"ר פרדריק אוטו, אחד השותפים במחקר. "השינויים שבהם אנו מבחינים הם בגלל הגורמים שאנחנו מכירים. זה נשמע משעמם, אבל לפעמים תוצאות ממש משעממות הן באמת חשובות".

מכלל מדעני האקלים מסכימים כי בני אדם הם אלו הגורמים להתחממות הגלובלית

97%



מ
מ

מצד שמאל אוגוסט 2014 מצד ימין קרחון מויר באלסקה, אוגוסט 1941

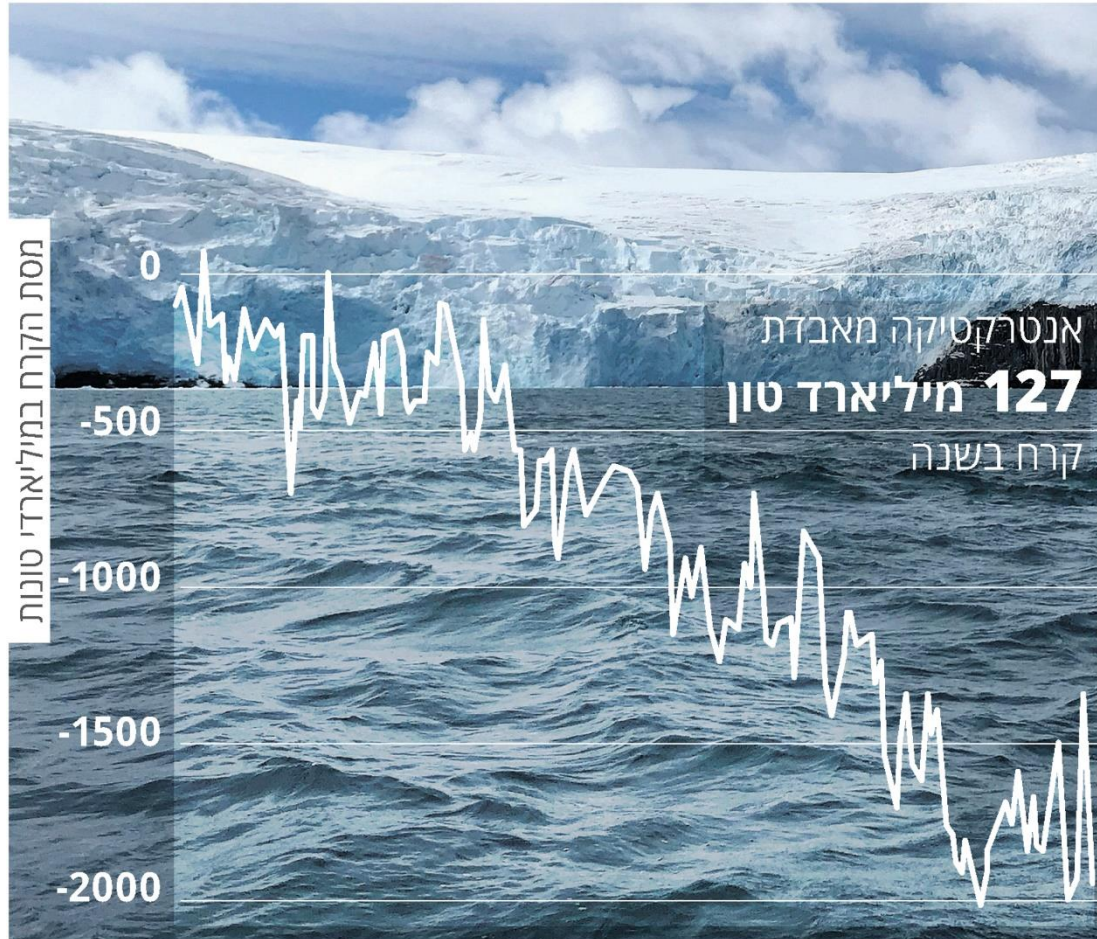
כאילו כדי לאושש את המגמות האלו, לפני שבועיים גם נמדדה הרמה הגבוהה
גז החממה (CO₂) ביותר בהיסטוריה האנושית של ריכוז הפחמן הדו-חמצני
העיקרי באטמוספירה: 415 חלקים למיליון

השורה התחתונה היא שאין באמת ויכוח; הקונצנזוס המדעי על תופעת שינויי
האקלים והקשר שלה לפעילות האנושית הוא כמעט מוחלט. בכל שנה נאספים
מיליוני נתוני אקלים: טמפרטורות, משקעים, אירועי מזג אוויר חריגים, שינויים
בהרכב הכימי של האוקיינוסים, היעלמות קרחונים ועוד. זה כמה עשורים
שהמגמה ברורה: האקלים בכדור הארץ משתנה במהירות שלא היתה כמוה מאז
שחר האנושות. הטמפרטורה הממוצעת עולה, הקרחונים מתכווצים, מספר
אירועי האקלים החריגים ועוצמתם גדלים, האוקיינוסים הופכים חומציים יותר,
פני הים עולים וכן הלאה. הנתונים גם מראים על התגברות של כל התופעות
הללו בשנים האחרונות

גם הצד השני של המשוואה כבר אינו שנוי במחלוקת. רוב מוחץ (97% על פי
הערכה שמרנית) מקרב מדעני האקלים בעולם סבורים שיש קשר בין הפעילות
האנושית לבין שינויי האקלים. תמצית הבעיה היא שהאנושות פיתחה ב-200
השנים האחרונות תלות באנרגיה שמקורה בדלקי מאובנים - נפט, פחם וגז.
שריפת הדלקים האלו בתחנות כוח ובמנועי בעירה פנימית של כלי רכב
משחררת לאטמוספירה גזים שיוצרים את אפקט החממה. אלה נפלטות גם

מתעשיית הבשר ומהתפרקות אשפה, ומשנים לאט אבל בהתמדה את האטמוספירה של כדור הארץ ואת האקלים שבו. תוצאות הניסוי העצום הזה בלתי ניתנות לשיעור

מסת הקרח באנטרקטיקה מאז 2002



2002 2004 2006 2008 2010 2012 2014 2016 2018

אנטארקטיקה, לפני כ-3 חודשים צילום: פאביאן קמברו/רויטרס
נתונים: נאס"א, סייע בהגשתם: פרופ' דניאל רוזנפלד, האוניברסיטה העברית

מצד שמאל יוני 2016 צילום: נאס"א

מצד ימין גרינלנד, יוני 2014

הראשונות לזהות

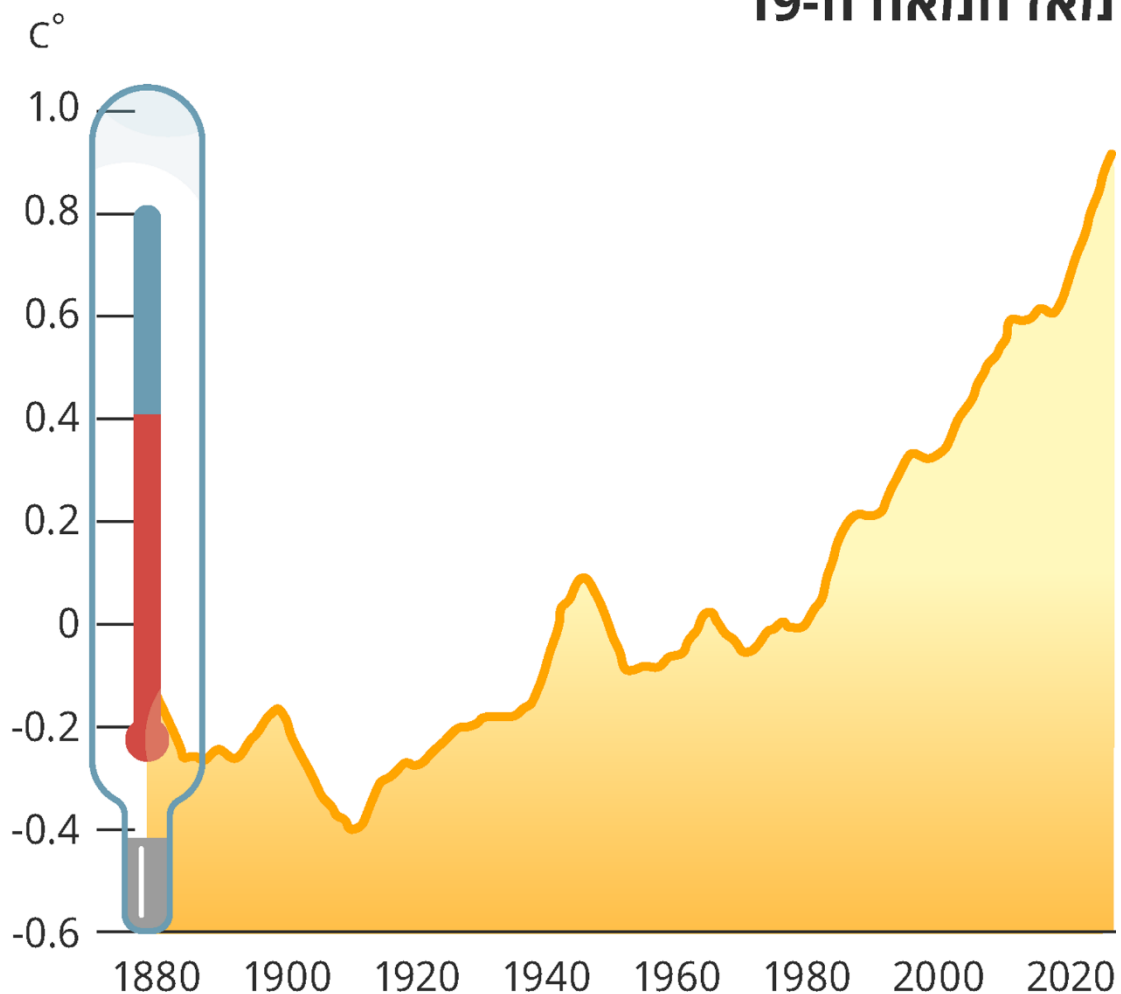
ואולם, למרות ההסכמה המדעית הנרחבת, ישנם מי שמכחישים את שינוי האקלים או את הקשר בין השינויים לפעילות האנושית. מחנה המכחישים מורכב ממיעוט זניח של מדענים, וכן מתאגידים ויחידים שיש להם מה להפסיד מהרפורמות הדרושות לעצירת שינויי האקלים. ביניהם חברות נפט וגז, יצרני רכב ויצרני אנרגיה; פוליטיקאים ועיתונאים פופוליסטיים מהימין; בעלי תיאוריות

קונספירציה, בורים והמוני בני אדם שמדחיקים את המציאות או מסרבים להתמודד איתה

על רקע זה יש להבין את הדיון בשינויי אקלים כפוליטי וכלכלי, ולא רק מדעי. כל אותם גורמים שיש להם עניין להנציח את המערכת הכלכלית-חברתית הקיימת, ובראשם יצרני הנפט, ימשיכו בניסיונותיהם לערער על קביעות המדענים והערכותיהם בכל הנוגע לעצם קיומם של שינויי אקלים, מידת חומרתם והדרכים למניעתם.

ההכרה המדעית בקשר הסיבתי בין ההתחממות העולמית ופעולות אנושיות - כמו שריפת דלקים, יצירת פסולת וגידול חיות משק - התפתחה בהדרגתיות. אין זה מפתיע שעם הראשונים שהיו מודעים לקשר זה נמנו דווקא יצרניות הנפט, שיש להן גם מידע וגם את האמצעים הדרושים לקידום מחקרים בנושא. חלקן זיהו את הקשר הזה והסתירו אותו, בדומה למה שניסו לעשות יצרניות החומרים. שגרמו לדילול שכבת האוזון.

השינוי בטמפרטורה הממוצעת בעולם מאז המאה ה-19



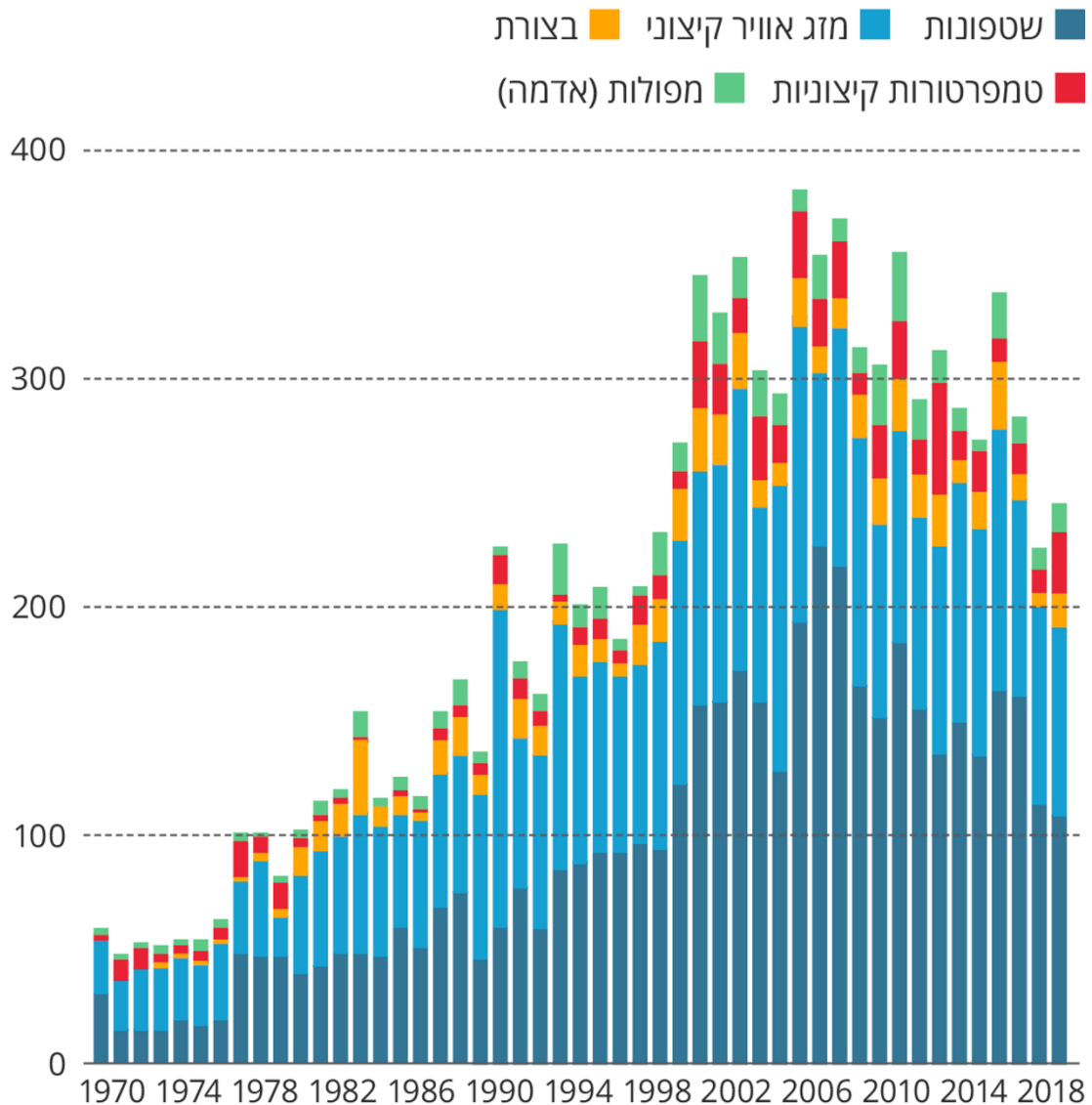
מאז הלך והעמיק המחקר, ותועדו תופעות הקשורות באופן מובהק בפליטת גזי חממה. ואולם, לצד עדויות מצטברות על התהליך ומשמעותו, התגלתה גם מורכבותו - המקשה לעתים להעביר את המסרים הנכונים לציבור הרחב, ומקילה על מי שמבקש לעורר ספקות בציבור בקשר שבין הכלכלה לשינויי האקלים.

כך למשל, ההשלכות של שינויי אקלים אינן אחידות ומשתנות בין אזורים שונים. בחלקם יהיה תהליך של התמעטות משקעים והתייבשות, ולעומתם יהיו אזורים שכמות המשקעים בהם תגדל בעקבות עלייה בעוצמת אירועי גשם. בחלק מאזורי העולם המערכת האקולוגית תהיה עמידה יותר, ותוכל לקלוט מינים שיימלטו משטחים בעייתיים יותר. באזורים אחרים יהיו מינים רבים שלא יוכלו להתקיים עוד.

מה שמסבך את התמונה עוד יותר הוא מנגנונים מורכבים של היזון חוזר (פידבק), הקיימים במערכת האקלים ומושפעים מהפעילות האנושית. למשל, זיהום אוויר יוצר כיסוי של חלקיקים באוויר, אלו מפחיתים את עוצמת קרינת השמש המגיעה לפני כדור הארץ - ובכך יוצרים אפקט של קירור.

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. 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.

אסונות טבע מדווחים ברחבי העולם



יש מה לעשות

המתנגדים לשינויי מדיניות ואורחות חיים כאמצעי להתמודדות עם שינויי אקלים טוענים כי המחיר הכלכלי שלהם גבוה מדי. טענה זו כבר הופרכה על ידי כלכלנים רבים, שהראו כי ניתן לבצע שינויים כאלה תוך כדי פגיעה מזערית. כלכלנים ומומחי סביבה אחרים מסכימים שאמנם יש צורך בשינויים כלכליים מרחיקי לכת, אבל מציינים שהתוצאה תהיה עולם חסין בפני האסון האקלימי, וצודק יותר בחלוקה ובניצול של משאבי הסביבה. כלומר, שווה לשלם את המחיר.

טענה נוספת של מתנגדי השינויים היא שפתרונות טכנולוגיים עתידיים יאפשרו להתמודד עם שינויי האקלים, ולכן אין צורך לזעזע את הכלכלה העולמית כעת. הבעיה בטיעון הזה היא שהאופטימיות הטכנולוגית היא שהובילה את המין האנושי למצב שבו הוא נמצא כיום. הטכנולוגיה היא כמובן תנאי הכרחי להתמודדות עתידית עם שינויי האקלים, אבל היא אינה תנאי מספיק, וממילא איש אינו מבטיח שהטכנולוגיה הנכונה תימצא ברגע הנכון בשביל להציל את

המצב. איש גם אינו יודע לחזות מה יהיו ההשלכות של שימוש באותה טכנולוגיה עתידית.

בד בבד עם הצטברות אירועי האקלים הקיצוניים והראיות המדאיות החלה לצמוח תנועה פוליטית וציבורית גלובלית שקוראת להתעוררות הממשלות. ביום שישי האחרון הפגינה התנועה הזו את כוחה כאשר מאות אלפים בכ-1,800 ערים ב-110 מדינות מסביב לעולם יצאו למחות בדרישה לפעול באופן נמרץ יותר נגד שינויי האקלים

הנערה השוודית, גרטה תונברג, היא הפנים של המחאה הזו. "העתיד שלנו נמכר כדי שקומץ אנשים יוכלו להרוויח הון לא יתואר", היא נזפה לפני כחודש בחברי הפרלמנט הבריטי. "הוא נגנב מאיתנו בכל פעם שאמרתם לנו שהשמיים הם הגבול ושחיים רק פעם אחת". בעקבות הנאום שלה והפגנות ענק בלונדון של תנועת "מרד ההכחדה" (Extinction Rebellion) קיבל הפרלמנט הבריטי החלטה

תקדימית להכריז על "מצב חירום אקלימי". לאחר מכן אומצה החלטה דומה גם בפרלמנט האירי, ובארה"ב נהפך ה"גרין ניו דיל" - תוכנית כלכלית של השמאל לצמצום פליטות והיערכות לשינויי האקלים - למונח הפוליטי החשוב של התקופה.

שוליה של המחאה הזו הגיעו גם לישראל, ביום שלישי שעבר הפגינו כמה מאות בני נוער מול הכנסת בדרישה לאמץ מדיניות אקלים אחראית גם כאן. אבל מלבד אותם בני נוער נראה שהנושא כלל אינו נמצא על סדר היום בארץ. מערכת הבחירות שזה עתה הסתיימה לא עסקה בנושאים סביבתיים גלובליים ובנושאי סביבה בכלל. החורף האחרון בישראל, שהיה גשום וקר מהרגיל, עורר גם כאן מכחישים למיניהם. אולי סדרת הגרפים והנתונים המוצגים כאן - שהם רק חלק קטן מאוד מהנתונים שמעידים על הדרמה המתרחשת בכל פינה בכדור הארץ - תגרום להם לחשוב שוב, ואולי גם לתהות מה עליהם לעשות כדי להבטיח שילדיהם לא יחיו בתוך אסון אקלימי מתגלגל

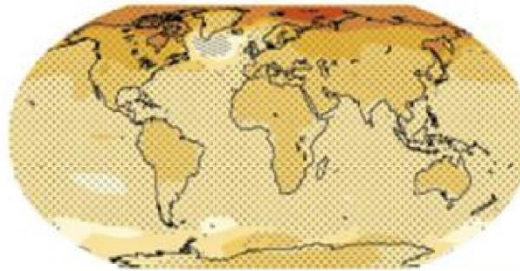
מפת הדרכים לשינוי

בשעה שהדו"חות והמחקרים הולכים ונערמים, רבים באקדמיה ובתקשורת העולמית עוסקים בשאלה מדוע הבשורות הרעות על משבר האקלים מתקבלות בציבור באדישות, לפחות יחסית. זאת, אף על פי שאין כמעט ספק שחיו של כמעט כל ילד שחי היום יושפעו, קרוב לוודאי לרעה, משינויי האקלים. ייתכן, שהאדישות הזו נובעת מתחושת חוסר אונים אל מול התהליכים העצומים שמשנים את הפלנטה

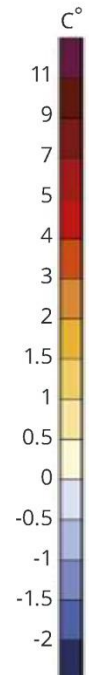
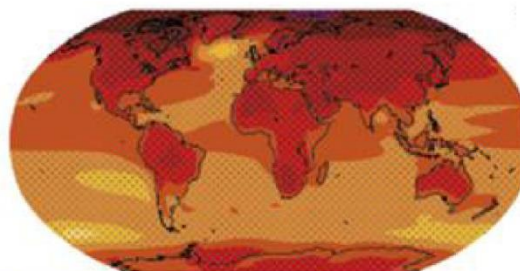
ואולם, כל דו"חות הפאנל הבין-ממשלתי של האו"ם, (IPCC) המאגד מדענים מכל העולם, קובעים כי עדיין אפשר לבלום את האסון, או לפחות את החלקים הקשים ביותר שלו. על פי הדו"ח האחרון, האנושות צריכה לעשות כל מאמץ לבלום את ההתחממות לפני שתגיע לעלייה של שתי מעלות בטמפרטורה הממוצעת ביחס לתקופה הטרומ־תעשייתית (עד היום עלתה הטמפרטורה הממוצעת במעלה אחת), ורצוי לפעול - כבר בשנים הקרובות - להשגת יעד נמוך יותר, של 1.5 מעלות.

השינוי הצפוי בממוצע הטמפרטורות בין סוף המאה ה-20 לסוף המאה ה-21

תסריט אופטימי
(מעבר מהיר של האנושות לאנרגיה מתחדשת)

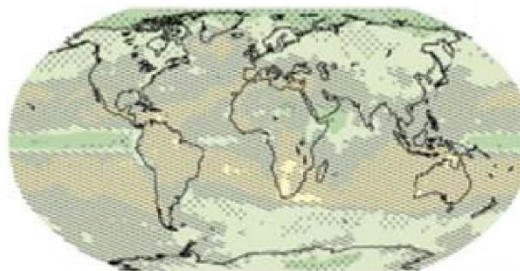


תסריט פסימי
(המשך ההתנהלות הנוכחית)

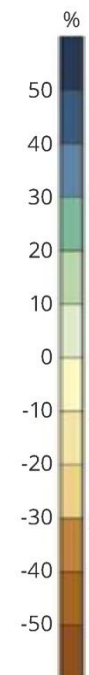


השינוי הצפוי בממוצע המשקעים בין סוף המאה ה-20 לסוף המאה ה-21

תסריט אופטימי
(מעבר מהיר של האנושות לאנרגיה מתחדשת)



תסריט פסימי
(המשך ההתנהלות הנוכחית)



מדענים סבורים כי האנושות תצליח להתמודד עם עלייה של מעלה וחצי ביחס לתקופה הטרום תעשייתית. שתי מעלות יותר כבר יהוו קטסטרופה

מפת הדרכים לשינוי כבר שורטטה, ויש בידי האנושות את הטכנולוגיות והמשאבים הדרושים לשם הקטנה מהירה ודרסטית בשחרור גזי החממה ואף לכידה של חלק מהם בחזרה כדי להפוך את המגמה: כבר היום מתחרה האנרגיה הסולרית בהצלחה באנרגיית המאובנים; מדינות כמו הודו וסין מפנות משאבי ענק לאנרגיה מתחדשת; באירופה מצליחים לייצר עשרות אחוזים מתצרוכת החשמל ממקורות מתחדשים כמו תחנות סולאריות, הידרו־אלקטריות ורוח; וקוסטה ריקה שבמרכז אמריקה מייצרת כבר עתה כמעט את כל תצרוכת החשמל שלה ממקורות מתחדשים.

גם בתחום התחבורה כבר ניתן לראות את השינוי: כלי הרכב החשמליים מהווים תחרות של ממש לכלי הרכב בעלי מנוע הבערה הפנימי הבזבזני בשריפת דלקים. בעיה ללא פתרון נראה לעין כיום הן הפליטות כתוצאה מטיסות

גם בתחום צריכת הבשר, אחת התעשיות המזהמות ביותר, הפתרון עדיין רחוק. למרות גל הטבעונות, ברמה העולמית לא ניכרת הפחתה בצריכת בשר. אבל באופק אולי תהיה בשורה בדמות בשר מעבדה, שיביא להפחתה חדה בפליטת גזי החממה בתעשייה זו. במקביל יהיה צורך לשמר ולעודד אזורי יערות שילכדו פחמן ואף להשתמש בטכנולוגיות הנדסת אקלים לתפיסת גזי חממה מהאטמוספירה או אפילו לחסימת קרינת השמש באמצעות עננות מלאכותית או אמצעים אחרים. טכנולוגיות אלו, יש לציין, עדיין שנויות במחלוקת מאחר שעשויות להיות להן גם השלכות סביבתיות שליליות.

ערים ומדינות בעולם כבר פונות לכיוון הזה ורבות מהן מתכננות הפחתה דרמטית בפליטת גזי החממה עד 2030 ואיפוס הפליטות ב-2050. מדיניות כזו דורשת מהפכות כלכליות וחברתיות מרחיקות לכת ונתקלות בהתנגדות מצד פוליטיקאים שמרנים. למרות זאת, נראה שהמהפכה הכלכלית והאקולוגית הזו תתרחש בסופו של דבר, השאלה היא אם תספיק למנוע את האסון.

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 שינוי 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 וצפריר רינת "משבר האקלים הוא לא תיאוריה אלא מציאות. הנה ההוכחות", הכותבים מתיימרים לספק את ההוכחות לקיומו של שינוי 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 לשינוי 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 שינוי 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 השינוי 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 ושינוי 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 והקוויז-גבישים, שהרבה יותר מ-97% מהמדענים חשבו שאינם אפשריים, בסוף דרך התחתים 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 "קטיפ-דובדבנים" (Cherry picking), 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- CO_2 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 וסטוק 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 נענית 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 בעיית 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 שינוי 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 גבוהה 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- CO_2 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 CO_2 .

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 אמיני (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

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 לשינוי 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 ששינוי 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 הייתה פרי מאמצים אדירים של חברות הנפט להסתיר מידע על ההתחממות מצד אחד ולנטוע ספק בלב הציבור והפוליטיקאים באשר לשינוי האקלים מן הצד השני. אין במשפט האחרון משום רמיזה למניעיו של פרופ' דובי כמובן.

לנו, במדור הסביבה של "הארץ" לא הייתה התלבטות לגבי פרסום המאמר, למרות הביקורת שבוודאי נספוג. הדילמה שלנו הייתה פשוטה, בין היתר בשל העובדה שפרופ' דובי תוקף ישירות כתבה שפורסמה על ידנו (צפריר רינת ואנוכי). עם זאת, חשוב לנו לשים את המאמר של פרופ' דובי בקונטקסט הנכון.

המדע מעצם טבעו לא נותן תשובות מלאות וניבויים מדויקים ומותר סימני שאלה. מכחישי שינוי האקלים ודובי בתוכם נתלים באותם ספקות וסימני שאלה כדי לפורר באמצעותם את התיאוריה כולה.

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 הקוויז-גבישים של פרופ' דני שכטמן, כהוכחה ניצחת לכך שגם קונצנזוס מדעי יכול להתגלות כשגוי. אכן, זו דוגמא 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 לשינוי 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 שינוי 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 שינוי האקלים. בניגוד לעבר, מכחישי שינוי 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- CO_2 שהייתה באטמוספירה היו עדיין נמוכות. הקלימטולוג, פרופ' דני רונזפלד 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 הייתה 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 מדידה 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 הייתה החמרה במצב.

דוגמאות ספציפיות של אירועי אקלים קיצוניים עלולות להטעות והתקשורת אכן נוטה להגזים לעיתים בעוצמת האירועים ובמובהקות הקשר שלהם לשינוי האקלים הגלובלי. אכן, אי אפשר לשייך אירוע בודד לשינוי באקלים, 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 הארקטי, 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 "שינויים 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- CO_2 לבין הטמפרטורה, ההיסטוריה (והגרף שהוצג בכתבה המקורית) מוכיחה שמתאם כזה הוא הפוך. כלומר שעליית הטמפרטורה מובילה לעליית ה- CO_2 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- CO_2 איחרה את עליית הטמפרטורה. אבל הקשר בין השניים הרבה יותר מורכב מזה. נסביר: מסלול כדור הארץ מסביב לשמש משתנה באיטיות, בזמנים מסוימים בחייו של הכדור הוא מתחמם בשל כך. כאשר מי הים מתחממים הם מסוגלים להכיל פחות CO_2 והעודף נפלט לאטמוספירה, בדומה לכוס מי סודה שמתחממת. לכן נרשמת עלייה ב- CO_2

באטמוספירה לאחר העלייה הראשונית בטמפרטורה. עליית ה- CO_2 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 הייתה להיות התקררות לקראת תקופת קרח חדשה (עניין של כעשרת אלפים שנים) אבל הגורם האנושי הקפיץ את רמות ה- CO_2 מעל לכל רמה שהייתה במאות אלפי השנים האחרונות. למעשה מאז שחר האנושות מעולם לא היו יותר מ-300 CO_2 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- CO_2 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 הפוסילים 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 שינוי האקלים. 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.

נספח 6 – שאלות בעקבות קריאת מאמרים על מכחישי שינוי 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 שינוי 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, 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- CO_2 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?
9. האם מוסכמת עליך קביעתו של העיתונאי חסון שהדוגמה שמביא פרופ' דובי בנוגע לפרופ' שכטמן הינה דוגמה יוצאת דופן בגלל שהוא מייצג את היוצא מהכלל ולא את הכלל?
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?
11. הסבירו את המונח "cherry picking" במובן של הצגת נתונים מדעיים. כיצד אסטרטגיה כזאת יכולה לשרת מכחישי אקלים?

תשובות למורה:

1. 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. 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. בדיון יש להתייחס להבדל בין דיון בזירה המדעית לבין דיון בזירה הציבורית. כל מדען אשר רוצה לעלות טיעונים אשר סותרים תיאוריה או היפותזה מסוימת יכול לעשות זאת ע"י פרסום מדעי. כך המדע מתקדם ומתחדש. לעומת זאת, בזירה הציבורית, אמנם תיאורטית פחות מתקיימת ביקורת עמיתים, אך בכל זאת כל מדען המעוניין יכול לכתוב מאמר ולטעון את טענותיו ולא ראוי ליצור מצב של "סתימת-פיות".
4. הן מהמאמר של יונתן דובי והן משאר המאמרים ברור שיש "קונצנזוס מדעי" בנוגע לסוגיית שינוי האקלים. אלא שפרופ' דובי טוען, שעל אף שיש קונצנזוס אין זו הוכחה לאמת מדעית. לדעתו: בבעיות מדעיות, לקונצנזוס אין משמעות מכרעת, רק לנתונים. דוגמא ידועה היא המקרה של פרופ' דני שכטמן והקוויז-גבישים, שהרבה יותר מ-97% מהמדענים חשבו שאינם אפשריים, בסוף דרך חתחתים התבררה צדקת טענתו והוכרה בפרס נובל. במדע, הדבר היחיד שחשוב הוא הנתונים. (לפעמים גם מדענים שוגים בקונספציה, שהם עצמם בנו, ואינם מסוגלים להשתחרר ממנה).
5. מודלי אקלים (בהם עסקנו ביחידה 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 ככלי לתחזיות שונות לעתיד. ניתן לבחון את המודלים ב"תחזית לאחור" ולראות את רמת הדיוק שלהם. (בכל מקרה גם אם המודלים אינם מדויקים בינתיים אין לנו כלי טוב יותר למחקר שינוי האקלים)
6. בדיון אפשר להעלות את העובדה שפעילות האדם פוגעת בסביבה במובנים רבים (ולא רק בגלל שינוי אקלים. לכן גם אם פרופ' דובי צודק צריך בכל מקרה, לטפל ברמת זיהום האוויר ולהוריד את רמת ה- CO_2 וכו').
7. 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 חיים עבורנו? ומבחינה מוסרית האם לא ראוי לצפות שאנו נוריד ולו במעט את איכות חיינו, כדי לאפשר איכות חיים סבירה לדורות הבאים?
8. הקשר בין אירועי מזג אוויר קיצוני ושינוי אקלים מאוד מורכב ומדעני האקלים מודעים לכך. דובי נותן דוגמא של סופות טורנדו והוריקן, שדווקא שם (כפי שראינו בשיעור 2) הקשר לשינוי 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 שמשתנה כל הזמן - הדברים מתבהרים ככל שחוקרים ולומדים עוד על המערכת.
- שאלות פתוחות וחוסר וודאות הן חלק בלתי נפרד מהמדע. מכחישי שינוי 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 אירועי קיצון מתגברים ומתארכים. ניתן לחזור לנתונים שראינו ביחידה 2.

9. ידועות דוגמאות לא מעטות בתחומי מדע שונים שבהם הקונצנזוס המדעי התגלה כמוטעה. לדוגמה: א. גלוי הטרספוזונים (= גנים קופצים שעוברים ממקום אחד לשני בכרומוזומים). כאשר פרופ' ברברה מקלינטוק טענה לקיומם בקילחי תירס מדענים התייחסו לדבריה בזלזול ובשלילה מוחלטים רק לאחר שנים רבות נמצא שאכן קיימת תופעה של גנים קופצים במיני יצורים רבים והיא קבלה על תגליתה פרס נובל.

ב. סיפורו של איגנץ פיליפ זמלווייס (1818-1865), הרופא ההונגרי, שדמותו הייתה לסמל של אדם הזועק אמת מצילת חיים אך נבלם בחומת הקונפורמיזם (חומת הקונספציה השגויה) של הקהילייה המדעית. בעזרת שמירה על כללי היגיינה קפדניים, כך גילה, ניתן למגר את "קדחת הלידה" הקטלנית ששטפה אז את אירופה ושבבתי חולים מסוימים גבתה את חייהן של כשליש מן היולדות. חיטוי ידיים יציל חיים, כך טען בלהט שוב ושוב, אך על אף ההוכחות הברורות שהציג – ירידה דרסטית בשיעור תמותת הנשים – תגליתו המשונה התקבלה בזלזול ובלעג. הוא הוקע מהקהילייה הרפואית וצעד יחיד-כמעט בנתיב האמת עד לסופו הטרגי. ההכרה בתגליתו מצילת החיים הגיעה באיחור של 40 שנה, מאוחר מדי בשבילו ובשביל רבבות נשים שקיפחו את חייהן.

ג. בשנת 1971 ערך פרופ' נתן אביעזר עם פרופ' משה קוה מחקר שעסק בהתנגדות של מתכות בטמפרטורות נמוכות. בניגוד לקונצנזוס שהיה מקובל (מקיר לקיר) עד מחקרם, אביעזר וקוה הצליחו לתת את ההסבר והתיאור הנכון והמדויק לתרומתה של האינטראקציה בין הפונונים לאלקטרונים להתנגדות. זאת, בניגוד לנוסחה המקובלת לפני פרסום מחקרם, שנכתבה על ידי חתן פרס נובל פליקס בלוך, והייתה מקובלת על כל הקהילה הפיזיקאית. הם הפריכו את הקונצנזוס המקובל עד מחקרם והצליחו להוכיח את הממצאים החדשים שלהם.

ישנן עוד מספר רב של דוגמאות לאורך כל ההיסטוריה המדעית בהם קונצנזוס מדעי הוכח לבסוף כשגוי. אכן צודק פרופ' דובי שטוען, שלקונצנזוס אין משמעות מכרעת אלא רק לנתונים. הדבר היחיד החשוב הוא הנתונים.

10. מערכת האקלים מורכבת - יש יותר מגורם אחד אשר משפיע על הטמפרטורה (ראו יחידה 4). לפעמים פד"ח מהווה את הגורם הדומיננטי אשר משפיע על הטמפרטורה - כפי שקורה היום כאשר רמות הפד"ח באטמוספירה גבוהות. אבל יש זמנים (למשל תקופות קרח) שפד"ח אינו הגורם הדומיננטי אשר משפיע על טמפרטורה ולכן הפד"ח עולה רק לאחר עליית בטמפרטורה.

11. קטיפף 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 הטעיה - 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. (טענה זו תקפה לשני צדדי המחלוקת).

נספח 7.

מתוך כתב העת "גחלילית" מכון דוידסון מכון ויצמן למדע
מחבר: עמית פנדו 29 באפריל 2023

כשהמדע מסתכל על עצמו בראי

הפילוסופיה של המדע בוחנת את המדע ללא הרף ועל ידי כך מתקנת ומשפרת את פעולתו, בין השאר דרך הודאה בטעויותיה

הפילוסופיה של המדע מבקרת שיטות מדעיות של תצפית, היסק וביקורת עצמית. היא לימדה את המדענים להודות בטעויותיהם ולזנוח תיאוריות כושלות. כך היא אפשרה לנו ללמוד על העולם יותר מכל שיטת מחשבה אחרת ונתנה לנו עוצמה גדולה יותר מכל כלי אחר בהיסטוריה. אבל כדי לשפר את המדע, הפילוסופיה של המדע נדרשת להחיל גם על עצמה קריטריונים של ביקורת עצמית והודאה בטעויות.

מהו מדע? איך נכון לעשות מחקר מדעי? האם המדע באמת מתאר את הטבע? עד כמה עלינו לסמוך על מסקנות של מדענים, ולמה? פילוסופים של המדע מנסים להבין את העקרונות המדעיים, כפי שפילוסופים אחרים מנסים להבין תחומים אחרים בקיומנו. במאות האחרונות פילוסופים הגו הסברים רבים לשאלות הללו. המטרה: להבין איך המדע מתקדם, איך מדענים יודעים אילו השערות לקבל ואילו לפסול?

ספקנות בריאה

התהליך המדעי נראה פשוט ביסודו: מדענים עורכים ניסוי, מודדים את התוצאות ומסיקים מהן חוק טבע. למשל בשלהי המאה ה-16 הפיל גלילאו גליליי עצמים כבדים במשקלים שונים מאותו גובה, וגילה שהם מגיעים לקרקע באותו זמן. הוא הסיק מהניסוי שמהירות הנפילה של גוף איננה תלויה במשקל שלו. כמאה שנה אחר כך ניסח אייזק ניוטון חוקים מתמטיים שהתבססו על הממצאים האלה.

במאה ה-18 הפילוסופיה של המדע החלה לערער על השיטה הזאת. הפילוסוף הסקוטי דיוויד הום (Hume) השתייך לזרם האמפיריציסטי, שגרס כי כל הידע שלנו מגיע מהעולם שמחוץ לנו והחושים שלנו מתווכים לנו את הידע הזה. ביתר פשטות, אנחנו לא נולדים עם הידע מהם שולחן, ריבוע או מספרים, למשל, אלא לומדים את המושגים האלה דרך החושים. יום הלך עם הגישה הזאת עד הקצה, וסבר שהדבר הוודאי היחיד הוא המידע שאנחנו קולטים בחושים.

יום טען שכשאנחנו רואים שני אירועים מתרחשים זה אחרי זה, אנחנו בדרך כלל חושבים שיש ביניהם קשר סיבתי. למשל כשאנו מוחאים כפיים אנו שומעים קול חזק מגיע מכיוון כפות ידינו. אנו עשויים להסיק שמחירת הכפיים היא הסיבה לקול החזק, ומכאן לגבש כלל שקובע כי בכל פעם שנמחא כפיים יישמע קול חזק. היסק כזה, שבו אנחנו גוזרים כלל מתוך דוגמאות, נקרא אינדוקציה.

יום טען שהרשמים שמגיעים מהחושים שלנו לא מצדיקים אינדוקציה. המידע שאנחנו קולטים בחושים, אמר, נוגע לעבר, לא לעתיד, ולכן אי אפשר להסיק ממנו כללים לגבי אירועים עתידיים. הבעיה היא שזה בדיוק מה שהמדע מנסה לעשות: מדענים חוזרים על ניסוי שוב ושוב ומסיקים ממנו כלל שאמור לחול תמיד. מכיוון שאישוש של כלל מדעי דורש אינדוקציה, ואינדוקציה מתבססת על ידע שאינו מגיע מהחושים, אי אפשר לאשש השערה מדעית באופן תקף מבחינה לוגית. מדענים יכולים רק לנסות להפריך טענות שגויות.

בתחילת המאה ה-20 ניסח הפילוסוף קרל פופר (Popper) את עקרון ההפרכה : אם כל מה שהמדע יכול לעשות זה להפריך טענות, אזי השערה היא מדעית רק אם אפשר להפריך אותה במקרה שהיא שגויה. לפי אמת המידה הזו, השערתו של גלילאו היא מדעית כי אפשר להפריך אותה : אם נפיל גופים במשקלים שונים ומשך הנפילה של אחד מהם יהיה שונה, נבין שההשערה שגויה. לעומת זאת, ההשערה "יש בכדור הארץ חייזרים שאי אפשר לגלות" איננה השערה מדעית, כי שום ממצא שאנו יכולים לחשוף לא יוביל להפרכתה.



היסק שבו אנחנו גוזרים כלל מתוך דוגמאות, נקרא אינדוקציה. אנשים מוחאים כפיים ומשמיעים קולות מחיאת כף | almazstock, Shutterstock

אריג של ידע

המדע, אם כן, מתקדם מהפרכה להפרכה : אנחנו מעלים השערות ומנסים לשלול אותן. האם כך נפריך את כל ההשערות השגויות ונשאר רק עם הנכונות? הפילוסופים של המדע הבינו עד מהרה שגם בתהליך הזה יש בעיות. הפיזיקאי וההיסטוריון של המדע פייר דוהם (Duhem) העלה בסוף המאה ה-19 את התהייה הבאה : אם ממצאיו של ניסוי סותרים השערה כלשהי, איך נוכל לדעת איזה חלק מהתיאוריה הופרך?

נחזור לדוגמה של גלילאו : אם הזמן שנדרש לגוף אחד להגיע לקרקע שונה מהזמן הדרוש לגוף אחר ליפול מאותו גובה, האם תצפית כזו באמת תפריך את ההשערה של גלילאו? הרי ייתכן שההשערה, ביסודה, נכונה, אבל הניסוי שנועד לבחון אותה מבוסס על הנחה מוטעית. למשל ניסוי שיתעלם מהשפעת האוויר על מהירות הנפילה עלול להפריך לכאורה את ההשערה אם ישווה את זמן הנפילה של משקולת ושל מצנח מאותו גובה.

כחמישים שנה לאחר מכן ניסח הפילוסוף האמריקאי וילארד ון-אורמן קוויין (van Orman Quine) את עקרון דוהם-קוויין, הקובע כי אי אפשר לבדוק השערה מדעית בודדת, כי כל חלקי הידע המדעי שזורים זה בזה כמו חוטים באריג.

הבה נשער, לצורך ההמחשה, שצורתם של כל התאים הביולוגיים היא קובייה. כדי לבחון את ההשערה, ניקח דגימה של תאים ונבחן אותה במיקרוסקופ. להפתעתנו נגלה שהם אינם קובייתיים כלל! נראה שזו הפרכה של השערת תאי הקובייה שלנו. אבל המסקנה שלנו מבוססת בין השאר על השימוש במיקרוסקופ, והשימוש הזה מבוסס על הידע שלנו באופטיקה, שמבוסס על הבנת האלקטרומגנטיות, וכן הלאה. איך נוכל לדעת אם ההשערה שלנו שגויה, או שהטעות נעוצה בהשערות קודמות שלנו על אופן הפעולה של המיקרוסקופ?

קוויין ודוהם הציבו, אם כן, אתגר בפני רעיון ההפרכה המדעית: אי אפשר להפריך השערה מדעית בודדת, אלא רק אוסף של השערות שלא יכול להיות שכולן ביחד נכונות. בדוגמה שלנו, לא ייתכן שגם המיקרוסקופ עובד כפי שאנחנו חושבים, וגם תאים הם בצורת קובייה. יכול להיות שהתאים הם בצורת קובייה, אבל הידע שלנו לגבי שימוש במיקרוסקופ שגוי, או להפך.

המדע דורש מהפכה

יום ופופר טענו, לפיכך, שאי אפשר לאשש השערות מדעיות אלא רק להפריך אותן. קוויין ודוהם טענו שאפשר להפריך רק קבוצות של השערות מדעיות, ולא השערה בודדת. אם אי אפשר להפריך או לאשש השערה מדעית, איך נוכל לשער השערות מדעיות ולחקור אותן? זה האתגר של הפילוסופיה של המדע במאה ה-20. גישות רבות ניסו להסביר איך פועל המדע ואיך הוא מתקדם. רובן מציירות את המדע בדרך שונה מהדרך הרציונלית וההגיונית שבה אנחנו נוטים לחשוב עליו.

הפילוסוף תומס קון (Kuhn), מחבר הספר "המבנה של מהפכות מדעיות", טען שהקהילה המדעית מחויבת **לפרדיגמות** – מערכות של טענות, הנחות וידע שעליהם מתבסס כל תחום מדעי. קפיצות הדרך הגדולות במדע מתרחשות כשהוא עובר מפרדיגמה אחת לאחרת. התהליך הזה מושפע בעיקר מתהליכים חברתיים ופוליטיים שאינם חלק מתהליך החקר המדעי עצמו, ולא בהכרח מראיה חותכת שמפריכה או מאששת השערה מדעית.

מדע תלוי חברה

קון הבין שבהיעדר היכולת לאשש או להפריך השערות בצורה חותכת, המדע מושפע מתהליכים חברתיים לא פחות מכפי שהוא מושפע מהיסקים מדעיים. בשנים שאחריו, פילוסופים של המדע הציעו גישות שהרחיקו את המפעל המדעי אף יותר מהתדמית הקרה והמחושבת שנהוג לייחס לו, והציגו אותו כעוד מפעל חברתי ואנושי. אם מדענים אינם יכולים לקדם את המדע בעזרת היסקים לוגיים, וההתקדמות המדעית מושפעת במידה רבה מתופעות חברתיות, איך יכול להיות שהמדע בכל זאת פועל? איך זה שאנחנו מצליחים לשגר לוויינים לחלל וחלליות לירח, לייצר תרופות יעילות למחלות קשות ולחזות הוריקנים? קשה לדמיין שכל זה קורה בדרך אגב, או רק בזכות צירופי מקרים חברתיים או פוליטיים.

לא ברור איך השיטה המדעית מצליחה לעקוף את המכשולים הלוגיים שעליהם הצביעו הפילוסופים של המדע. פול פייראבנד (Feyerabend), פילוסוף של המדע בן המאה ה-20, סיכם זאת ב-1975 בספרו "נגד השיטה" (Against Method). לדבריו,

במדע הכול הולך. מדענים משתמשים בכל כלי לוגי, מדעי ופוליטי זמין כדי לקדם את המדע ואת עמדותיהם, וטוב שכך, כי המדע עומד במבחן התוצאה ומקדם את החברה כולה.

אם כן, הפילוסופיה של המדע מעמידה בספק את היכולת של המדע לאשש או להפריך השערות, ומציגה את המדע כתופעה פחות רציונלית מכפי שאנו רוצים לחשוב. אף על פי כן, הלקח אינו שעלינו להשליך את המדע, אלא **עלינו להבין שהמדע, מוצלח ככל שיהיה, אינו חסר פניות ואובייקטיבי לחלוטין, ובוודאי אינו מושלם. די בכך שהוא הכלי הטוב ביותר שיש בידינו כדי להבין את המציאות.**