

האקלים בידיים שלנו²¹

עריכה: איתמר אבישי, רכז פיתוח הדרכה, אקוואשן.

מסמך זה מבוסס על שני ספרי לימוד שפותחו ע"י המשרד לחינוך אקלימי הצרפתי, ([Office of Climate Education](#)), שעוסקים בשינוי האקלים ביבשה, באוקיינוסים ובקריוספירה. המסמך תורגם, נערך והותאם לתלמידים בישראל ע"י איתמר אבישי, ממחלקת החינוך של עמותת אקוואשן, וע"י לוטם שגיא. קרא והעיר ד"ר אסף אריאל, המנהל המדעי של עמותת אקוואשן.

מבחינה מדעית מסמך רקע זה נסמך על הדו"ח המיוחד על מצב האוקיינוס והקריוספירה באקלים משתנה (Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate) (SROCC) ועל הדו"ח המיוחד על שינוי האקלים והיבשה (Special Report on Climate Change) (SRCCCL and Land) שהופק ע"י הפאנל הבין ממשלתי לשינוי אקלים (IPCC) של מדענים מומחים מטעם האו"ם, ופורסם בשנת 2019 (<https://www.ipcc.ch/srcccl/>) (www.ipcc.ch/report/srocc/). מטרת המסמך לספק סקירה רחבה של נושאי הליבה והמושגים אשר נחקרים במערכי השיעור המסופקים. אלא אם כן מוגדר אחרת, המידע במסמך זה נובע מהדו"ח של ה-SROCC, ה-SRCCCL, ודוחות נוספים של מוסדות מוכרים כמו איגוד המזון והחקלאות (FAO) של האו"ם.

הקדמה

שינוי האקלים מורגש בשנים האחרונות בחיינו. אנו מכירים אותו ביבשה, באזורים בהם אנו חיים אך הוא מורגש היטב על פני כל כדור הארץ. מלבד על היבשה, מושפעים על כדור הארץ גם האוקיינוסים והקריוספירה (השלג והקרח על כדור הארץ) אשר נמתחים מההרים הכי גבוהים עד לקרקעית האוקיינוס, מהאזורים הטרופים החמים והלחים ועד לקטבים הקרים והיבשים. פעם נהוג היה לחשוב שהאזורים האלה הם גדולים ורחוקים מדי בכדי להיות מושפעים מבני אדם.

כיום, אנחנו רואים שינויים מהירים הן ביבשה והן באוקיינוסים ובקריוספירה, הנובעים מפליטת גזי חממה ע"י בני אדם וגורמים מעשי אדם נוספים, המשפיעים גם על בני האדם וגם על המערכות האקולוגיות.

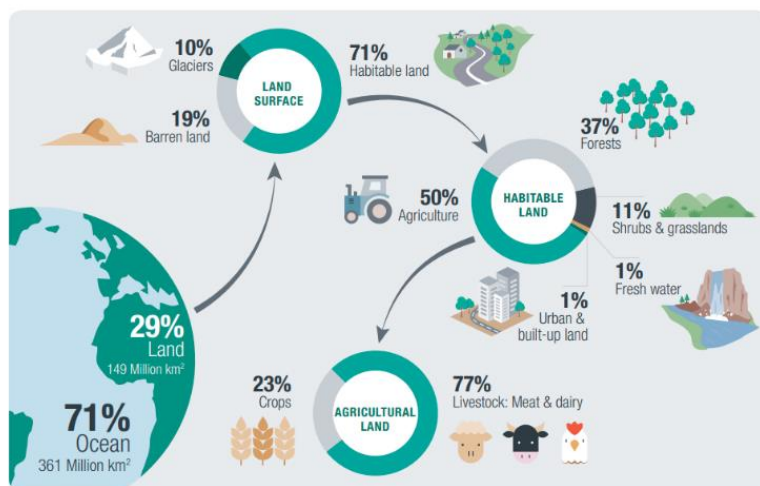
במסמך זה נסקור בכלליות שינויים אלה לרוחב שישה נושאים עיקריים:

- למה היבשה, האוקיינוסים והקריוספירה חשובים לנו.
- מה הוא האקלים ומדוע הוא משתנה.
- איך האקלים משתנה במהירות בעקבות פעילות בני האדם.
- איך היבשה, האוקיינוס והקריוספירה משתנים בגלל שינוי האקלים ובעקבות פעילות האדם.
- מה ההשפעה שיש לכך עלינו.
- מה אנחנו יכולים לעשות בכדי להקל ולהסתגל לשינוי האקלים.

¹ https://www.oce.global/sites/default/files/2020-01/Ocean-and-Cryosphere-web-final_1.pdf

² https://land.oce.global/sites/default/files/2022-03/teacher-s-guidebook-climate-change-and-land_0.pdf

מדוע בכלל חשובים לנו כל כך היבשה, האוקיינוסים והאזורים הקפואים?



How land is used (~2015). Although human settlements (cities, towns and villages) only take up about 1% of the total ice-free land surface, we use the land for many other purposes.
Source: UN Food and Agriculture Organization (FAO), Licensed under CC-BY by the authors Hannah Ritchie and Max Roser in 2019. Adapted from an infographic by Azotia.

היבשה היא היכן שאנחנו חיים. היא חיונית לקיומנו ולאיכות החיים שלנו, ומספקת לנו את מרבית המזון שלנו ושל החיות אותן אנו מגדלים, חומרי גלם בסיסיים כמו סיבים, או עץ גולמי ואנרגיה. נכון להיום בני האדם מעבדים כשלושה רבעים משטחי היבשה שאינם מכוסים בקרח על פני כדור הארץ (ראו איור).

מלבד היבשה, האוקיינוסים מכסים כשני שליש משטח כדור הארץ.

למעשה, זו הסיבה שהיו מי שטענו בעבר שכדאי היה לקרוא לכוכב הלכת שלנו "אוקיינוס" במקום "ארץ". בעוד שפני השטח של כדור הארץ עשויים להראות אחידים, הטמפרטורה, המליחות, הצבע והמערכות האקולוגיות שבו משתנים בהתאם למיקום הגאוגרפי. שוניות אלמוגים ויערות מנגרובים ניתן למצוא במי החופים החמימים באזורים טרופים, בעוד שקרח ים ואצות הקרח האופייניות לו ימצאו בסמוך לקטבים. עשבי ים (שהם צמחים עילאיים דמויי עשב) ימצאו לאורך החופים בכל מקום למעט בימות הקטבים³.

הקריוספירה גם היא רחבת ידיים, כששכבות הקרח היבשתיות של אנטרטיקה וגרינלנד לבדן מכסות כ-10% בקירוב משטח היבשה⁴. בנוסף, ברחבי העולם מוכרים היום מעל 200,000 קרחונים⁵, כולל אלו המצויים בהרים הגבוהים באזורים טרופים (שם קר מספיק בגובה למרות האקלים הטרופי). עובדה אפילו פחות מוכרת היא כי בקירוב רבע משטח האדמה במחצית הכדור הצפוני היא אדמת קרח עד (פרמפרוסט, אדמה שקפואה בכל ימות השנה)⁶. רכיבים מסוימים בקריוספירה משתנים באופן עונתי. לדוגמה, בכל חורף, שלג מכסה כשליש ממחצית הכדור הצפונית (שלג עונתי) בעוד שקרח ים באזור הארקטי והאנטרקטי מתרחב בכל שנה בחורף ומתכווץ בקיץ.

בני האדם ושאר היצורים החיים בטבע, חיים בצמידות לאוקיינוסים ולקריוספירה. רבות מהערים הגדולות בעולם, כולל טוקיו, בנגקוק וניו יורק ממוקמות על חוף הים. בשנת 2010 כ-30% מאוכלוסיית העולם חיה במרחק של פחות ממאה קילומטרים מחוף הים. בערך כ-10% מאוכלוסיית העולם חיים באזורים הרריים גבוהים, בעוד שכ-4 מיליון בני אדם, כולל בני שבטים ילידים, חיים באזור הארקטי. בניגוד לאזור הארקטי, האזור האנטרקטי מוגן ע"י אמנות בינלאומיות ולכן אין בו תושבים קבועים וניתן רק לבקר בו (מדענים, חוקרים ותיירים).

הן האוקיינוסים והן הקריוספירה כוללים אזורים נרחבים ועשירים במשאבים על פני כדור הארץ, והם מהווים בסיס חיוני בתרבות האנושית. הם מספקים לאדם טווח רחב של שירותים חומריים וסאנים חומריים החל ממזון וכלה בנופש ופנאי.

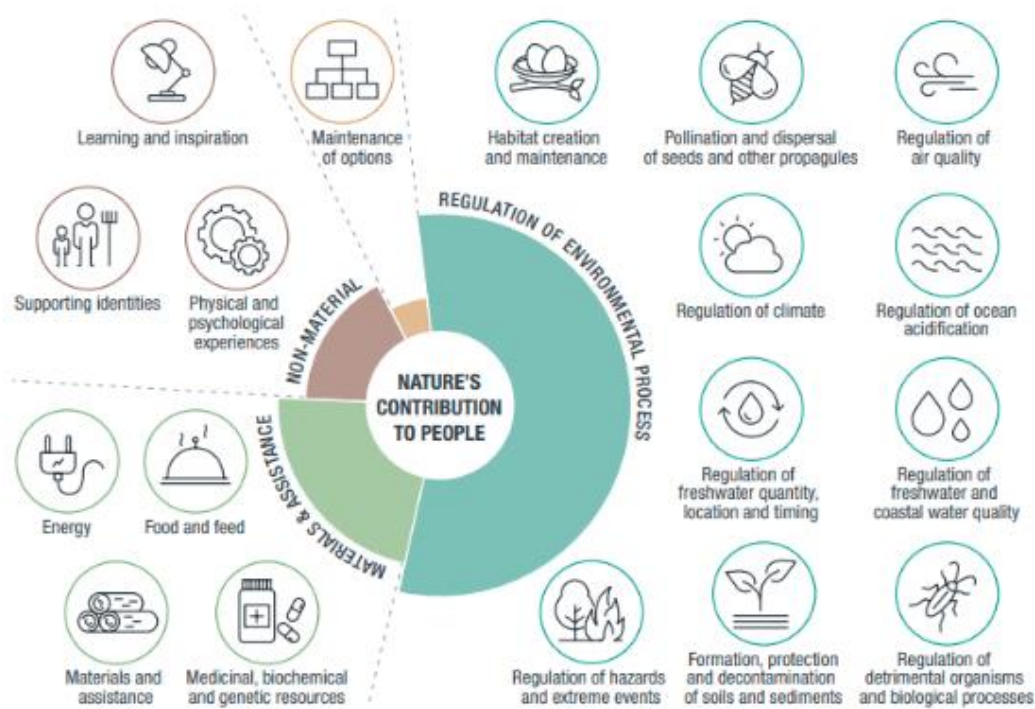
³ Short et al. (2007). Global seagrass distribution and diversity: a bioregional model

⁴ Chapter 4 WG1 AR5 IPCC Report: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>

⁵ Pfeffer et al. (2014). The Randolph Glacier Inventory: a globally complete inventory of glaciers

⁶ Gortnitz, V. (2019). Vanishing Ice: Glaciers, Ice Sheets and Rising Seas.

יש לזכור ששטח האדמה הוא שטח מוגבל וסופי. ככל שאוכלוסיית האדם גדלה אנו נסמכים על היבשה כפי שמעולם לא עשינו בעבר. האופן בו אנו בוחרים לנהל את שטח היבשה משפיע לא רק על פרנסתם של מיליארדי בני אדם אלא גם על המערכות האקולוגיות הטבעיות אשר תלויות ביבשה לקיומן ומספקות



Examples of ecosystem services.

Source: IPBES (adaptation). https://ipbes.net/sites/default/files/2020-02/ipbes_global_assessment_report_summary_for_policymakers_en.pdf

חלק משירותי המערכת האקולוגית (ראו באיור דוגמאות לשירותי המערכת האקולוגית על היבשה).

את המשאבים והשירותים אותם מספקים היבשה, האוקיינוסים והקריוספירה ניתן לחלק למספר שירותי מערכת, מהם קיימים ארבעה סוגים עיקריים: ויסות (regulating) אספקה (provisioning), תרבות (cultural) ושירותים תומכים (supporting).

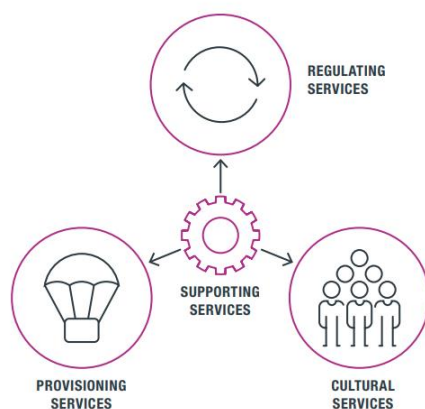
שירותי ויסות

האוקיינוס והקריוספירה עוזרים לווסת את האקלים על פני כל כדור הארץ באמצעות ההשפעה שלהם על מאזן האנרגיה של הכדור ועל מעגלי הפחמן. אלו הם שירותים מווסתים, הכוללים גם רכיבים נוספים כמו למשל הגנה על קו החוף המסופקת ע"י שוניות האלמוגים ויערות המנגרובים. שירותי הויסות כוללים מגוון רחב של תהליכים כמו ויסות האבקה, מניעת סחף קרקע, פיזור מרחבי של מים מתוקים ועוד.

שירותי אספקה

היבשה, האוקיינוסים והקריוספירה מספקים גם שירותי אספקה, הכוללים מזון, מים ואנרגיה. אזורי דיג מהווים מקור מזון עולמי חשוב ביותר, כשדגים

ורכיכות ימיות מהווים למעלה מ-50% מהחלבון מהחי הנצרך במדינות מתפתחות רבות⁷. האוקיינוסים מספקים אנרגיה מתחדשת בצורת אנרגית גלים ואנרגית גאות ושפל, בנוסף למשאבים כמו גז, נפט



⁷ <http://www.fao.org/fishery/topic/16603/en>

ומינרלים הנחצבים מקרקעית הים. קרחונים מהווים מקור מים לשתייה, השקיה או הפקת אנרגיה הידרואלקטרית באגני נהרות רבים. כ-800 מיליון בני אדם בקירוב תלויים למחייתם בנגר מקרחוני ההימלאיה לבדם⁸. **תעבורה** היא סוג נוסף של שירות אספקה. נהרות קפואים באזור הארקטי בחורף מהווים רשת הסעה (דרכי קרח), בעוד שרובן הגדול של הסחורות המוסעות על פני כדור הארץ מוסע על גבי ספינות המפליגות באוקיינוסים. שטחי היבשה מספקים לנו מזון וחומרי גלם וכולי.

שירותים תרבותיים

קטגוריה נוספת של שירותי מערכת הם שירותי תרבות. אלו כוללים **תעסוקה ונופש** (כמו ספורט מים או עבודות על החוף), **מסורות מקומיות ותרבותיות ואמונות דתיות**.

שירותים תומכים

לבסוף, קיימים שירותים התומכים באספקה של שלושת הסוגים שהזכרנו. שירותים אלו כוללים **יצרנות ראשונית, מחזור חומרי הזנה (כגון מחזור החנקן ומחזור הזרחן) והיווצרות קרקעות**.

בדומה לשירותי המערכת התומכים, **מגוון ביולוגי**, או מגוון האורגניזמים (מהמיקרו למאקרו) והקשרים שנוצרים ביניהם, גם הוא בעל השפעה על שירותי המערכת, כיוון שהוא תומך בתפקוד המערכת האקולוגית והוא מספק שירותי מערכת חשובים כמו יצור חמצן או לכידת פחמן. מחקרים רבים מעידים שמערכות אקולוגיות מגוונות יותר עמידות יותר לשינויי אקלים⁹.

המונח מגוון ביולוגי עוסק, כשמו כן הוא, במגוון האורגניזמים החיים בסביבה מסוימת. אנו מתייחסים למגוון ביולוגי במספר רמות. מגוון או שונות תוך מינית (intraspecific biodiversity), המתארת את השונות בין חברים מאותו המין, שונות בין מינית (interspecific biodiversity), המתארת את השונות בין המינים השונים, ומגוון מערכות אקולוגיות (ecosystem diversity) המתאר את השונות בין סביבות המחיייה השונות והמינים המאכלסים אותן.

מגוון ביולוגי ביבשה



Tropical forests are the ecosystems with the highest biodiversity on land.

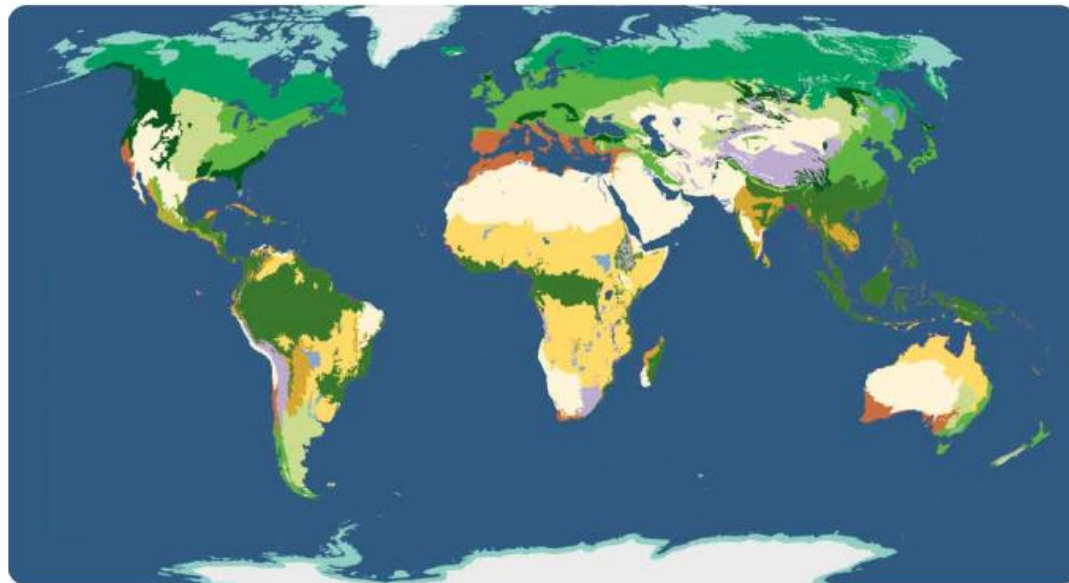
הפיזור הבלתי אחיד של אנרגיית השמש המגיעה לפני כדור הארץ, יחד עם הסידור המרחבי של היבשות ביחס לאוקיינוסים, מוביל ליצירת מגוון רחב של אזורי אקלים שונים על פני כדור הארץ. אזורי אקלים אלו, יחד עם השפעת הטופוגרפיה המקומית הובילו להתפתחותן של מערכות אקולוגיות ייחודיות באזורים שונים על פני הפלנטה. כלל המערכות האקולוגיות באזור מסויים נקראת ביומה (Biome), למשל מדבר או יער טרופי).

מגוון ביולוגי בקרקע

⁸ <https://www.aaas.org/news/spy-satellites-reveal-himalayan-ice-loss-has-doubled-2000>

⁹ Epple and Dunning (2014). Ecosystem resilience to climate change: What is it and how can it be addressed in the context of climate change adaptation? UNEP – WCMC

גם בתוך הקרקע קיים מגוון מינים רחב. מגוון זה כולל בין היתר חיידקים, תולעים, חרקים ופטריות. מיקרו ומאקרו אורגניזמים אלו משחקים תפקיד מפתח בפירוק חומר אורגני והפיכתו לחומר מינרלי ומכאן שמם – אורגניזמים מפרקים.



Biomes of the world

- | | | |
|---------------------------------------|--|--|
| ● Tundra | ● Temperate grasslands, savannas & shrublands | ● Flooded grasslands & savannas |
| ● Taiga | ● Tropical & subtropical coniferous forests | ● Deserts & Xeric shrublands |
| ● Montane grasslands & shrublands | ● Tropical & subtropical moist broadleaf forests | ● Mangrove |
| ● Temperate broadleaf & mixed forests | ● Tropical & subtropical dry broadleaf forests | ● Mediterranean forests, woodlands & scrub |
| ● Temperate coniferous forests | ● Tropical & subtropical grasslands, savannas & shrublands | |

Source: Wikimedia Commons

מגוון ביולוגי באוקיינוסים

באוקיינוסים מגוון מינים רחב מאוד, ובו נקודות עשירות במיוחד בחיים (נקודות חמות, או באנגלית - "hot spots") כמו למשל מערכות אקולוגיות של שוניות אלמוגים. אצות חד תאיות מיקרוסקופיות הנראות פיטופלנקטון מהוות את הבסיס לרוב מארגי המזון הימי והן נצרכות ע"י בעלי חיים זעירים הנקראים זואופלנקטון. בראש מארגי המזון האלו נמצאים הכרישים והיונקים הימיים, כמו כלבי הים והלווייתנים, שחלקם נודדים מרחקים ארוכים על פני האוקיינוס. עושר המינים שומר על תפקוד המערכת, אך לכל מערכת אקולוגית יש את מיני המפתח הייחודיים לה. בשוניות אלמוגים, לדוגמה, אלה כוללים אצות, תולעים, רכיכות, ספוגים, קיפודי ים ודגים בנוסף לאלמוגים עצמם. יערות קלפ הינם סוג של מערכות אקולוגיות חופיות של מים קרים המאופיינות באצות קלפ (אצות מאקרו) המספקות בנוסף מקור מזון ובית גידול למגוון רחב של אורגניזמים נוספים. למרות שההבנה שלנו לגבי המגוון הביולוגי באוקיינוסים צומחת במהירות, עם אלפי מינים חדשים המתגלים מדי שנה¹⁰, היא גם מוגבלת, וביולוגים ימיים מעריכים כי מאות אלפי מינים ימיים עדיין לא התגלו.

¹⁰ World Register of Marine Species – <http://www.marinespecies.org/index.php>

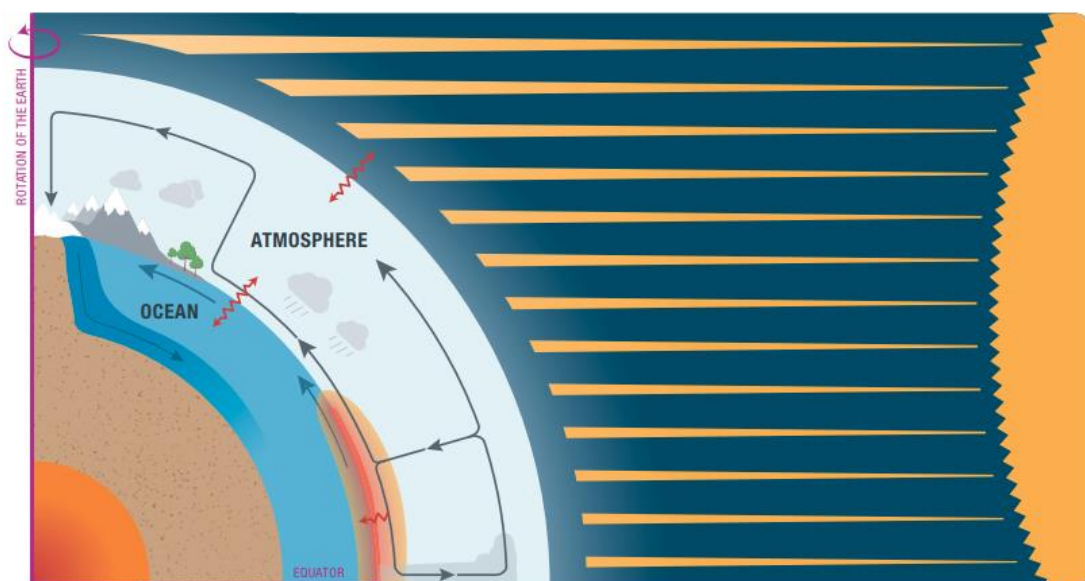


Healthy coral reef ecosystems are sustained by interactions between numerous animal and algal species.

אז מה הוא האקלים ומדוע הוא משתנה?

האקלים הוא הממוצע בזמן של מזג האוויר לאורך חודשים, שנים, עשורים, מאות שנים ויותר. באזורים הטרופים אנו מצפים שהאקלים יהיה חמים ולח (אקלים טרופי), למרות שהתנאים בכל יום ספציפי עדיין ישתנו (מזג האוויר) סביב "התנאים הממוצעים" האלה. מעבר למיקום הגיאוגרפי, המסביר את סוגי האקלים השונים שיש בכדור הארץ, מערכת האקלים הגלובלית היא מערכת דינמית בה אנרגיה, מים, פחמן ואלמנטים נוספים מוחלפים כל העת בין האטמוספירה, האוקיינוסים, הקריוספירה (השלג והקרח), האדמה והיצורים החיים.

אנרגיית השמש היא הגורם העיקרי המניע את מערכת האקלים. מכיוון שכדור הארץ הוא עגול, האנרגיה המגיעה עם קרני השמש מתפזרת באופן לא אחיד על פני הכדור, כשלקווי הרוחב הטרופיים (האזורים שנמצאים מצפון ומדרום לקו המשווה) מגיעה יותר אנרגיה בממוצע מהקטבים (ראו איור למטה). האטמוספירה והאוקיינוס שומרים על האקלים יציב ע"י הסעת האנרגיה העודפת מהאזורים הטרופיים לאזורי הקטבים, ובכך מווסתים את מערכת האקלים.



The climate system receives energy from the sun. The Sun's rays distribute the energy unequally on Earth.

למרות ששניהם תורמים למעבר האנרגיה שתיארנו, האוקיינוס והאטמוספירה עושים זאת בדרכים שונות מאוד: זרמים איטיים אך חזקים באוקיינוס, ביחד עם יציבות תרמית גבוהה של המים (הנובעת מקיבול חום גבוה: המים לא משחררים את החום שבהם בקלות), גורמים למעבר אנרגיה בעיקר בתוך קווי הרוחב הטרופים.

לעומת זאת, האטמוספירה משחררת את החום שבה ביתר קלות לסביבה אבל הזרמים שבה (הרוח) מהירים יותר, ויעילים במיוחד בלהעביר אנרגיה מחוץ לאזורים הטרופים ולכיוון הקטבים. באטמוספירה, האנרגיה המגיעה מהשמש חוזרת בסופו של דבר לחלל כקרינה אינפרא-אדומה וכך נשמר שיווי המשקל הגלובלי בין האנרגיה הנכנסת (מקרינת השמש) לאנרגיה היוצאת (כקרינה אינפרא-אדומה). קרינה אינפרא-אדומה היא הקרינה הנפלטת מכל גוף חם (פני השטח של כדור הארץ המתחממים ע"י קרינת השמש, למשל).

כדי לזהות שינויים באקלים ולהבין מה הגורם להם, מדענים צריכים קודם כל להבין את המנגנונים הגורמים להם, כשהאקלים משתנה הן כתוצאה מגורמים פנימיים והן כתוצאה מגורמים חיצוניים.

גורמים חיצוניים

קיימים שלושה מקורות עיקריים לשינויים אקלימיים חיצוניים:

שינוי באנרגיה המגיעה מהשמש (קשור לכתמי שמש או וריאציות במסלול כדור הארץ); לדוגמה, עונות השנה הן וריאציות אקלימיות הנובעות משינויים בכמות אור השמש המגיע לכדור הארץ במיקומים שונים במסלולו סביב השמש במשך השנה.

התפרצות געשית על פני כדור הארץ. התפרצויות גדולות מפזרות אפר וולקני ואירוסולים גופריתיים – חלקיקים קטנים – לחלק העליון של האטמוספירה, אשר יוצרים מעין מטריה החוסמת את קרינת השמש ומקררת את כדור הארץ במשך אפילו מספר שנים.

פליטת גזי חממה. גזי חממה הם גזים באטמוספירה שמאופיינים בכך שהם בעיקר שקופים לחדירת אור השמש, אבל אינם שקופים עבור קרינה אינפרא-אדומה הנפלטת מפני השטח החמימים של כדור הארץ. גזים אלו (הכוללים בעיקר אדי מים, פחמן דו-חמצני, מתאן, וחמצן דו-חנקני) **כולאים**

את האנרגיה האינפרא-אדומה ומחזירים

חלק ממנה חזרה לפני השטח, ובכך

מחממים את שכבת האטמוספירה

הנמוכה ואת פני השטח של כדור הארץ.

לתופעה הזו קוראים **אפקט החממה**.

אפקט החממה הוא תופעה טבעית

וקריטית לחיים על כדור הארץ – בלעדיה

הטמפרטורה הממוצעת הגלובלית הייתה

18° C - (מינוס שמונה עשרה מעלות

צלזיוס) במקום 15° C + (פלוס חמש

עשרה מעלות צלזיוס). בני האדם העלו את

כמות גזי החממה באטמוספירה, בעיקר

באמצעות פליטת פחמן דו-חמצני, מתאן

וחמצן דו-חנקני, שגורמים לשינוי אקלים

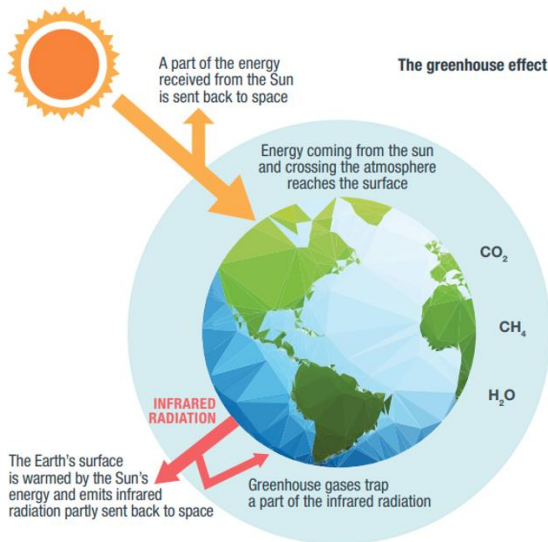
מעשי ידי אדם (אנתרופוגני). תופעה זאת

מוגדרת כגורם חיצוני המשפיע על מערכת

אקלים. לא לכל גזי החממה השפעה דומה-

לכל גז "עוצמת השפעה" שונה על אפקט

החממה והתחממות כדור הארץ.



גורמים פנימיים

בנוסף להשפעות החיצוניות, מערכת האקלים עוברת שינויים פנימיים גם בפני עצמה. **שינויים פנימיים אלו מעורבים מעברי האנרגיה בין האדמה, האוקיינוסים, האטמוספירה, והקריוספירה**. תופעת האל-ניניו, לדוגמה, היא המקור הכי אקטיבי לשינויים פנימיים בין שנה אחת לשניה (ראו בעמוד הבא). תופעת האל ניניו מתחילה באזור הטרופי באוקיינוס השקט, אבל היא משפיעה על רוב כדור הארץ.

שינויים בזרמי האוקיינוס גם גורמים לשינויים באקלים באזורים ספציפיים למשך עשרות שנים. לדוגמה, התקררות האוקיינוס האטלנטי בשנות ה-70 וה-80 של המאה העשרים הובילה לבצורת חריפות באיזור הסאהל שבדרום מדבר סהרה.

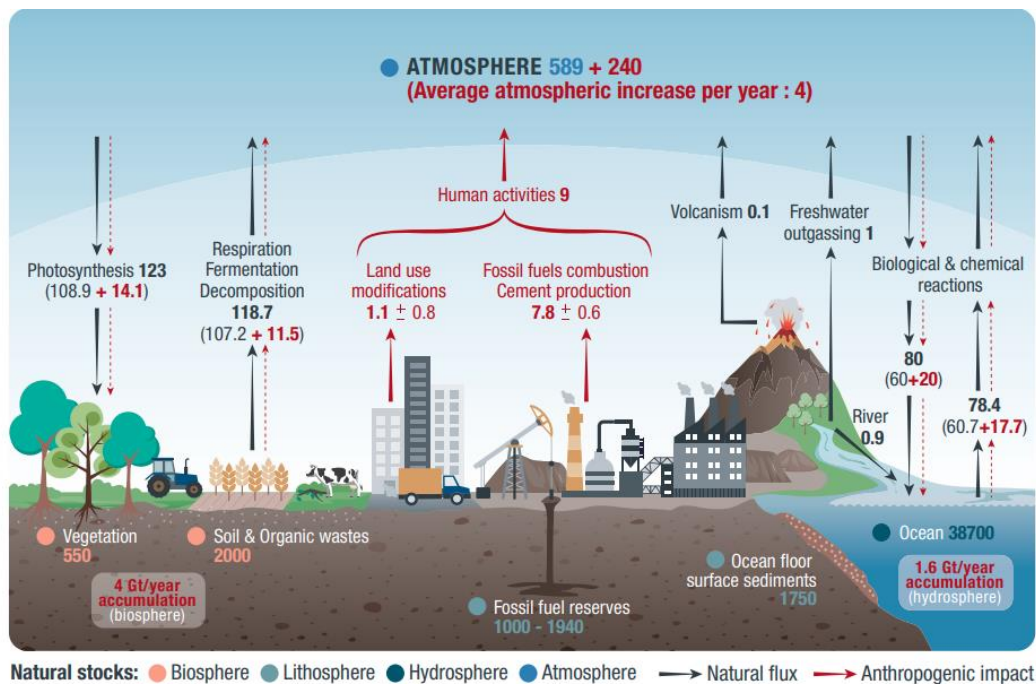
תפקידי היבשה, האוקיינוס והקריוספירה במערכת האקלים

היבשה (land) מהווה את החלק מפני השטח של כדור הארץ עליו מתיישבים בני האדם ואת הקרקע הפוריה המאפשרת להם לגדל מזון. היבשה מקיימת קשרי גומלין עם האטמוספירה התורמים לתפקוד מערכת האקלים.

הקרקע (soil) מהווה את פני השטח העליונים של היבשה והיא מורכבת מתערובת של חומרים אורגנים ומינרלים. בינה לבין האטמוספירה יחסי גומלין והיא מהווה גם מצע לצומח ולפירוק חומר אורגני, ובית גידול לאורגניזמים.

יבשה משתמרת כמות גדולה מאוד של פחמן המאוחסן במאגרים שונים בקרקע (בצורת חומר אורגני), בביוספירה, בסלעים ובדלקי מאובנים (כגון פחם, נפט וגז טבעי).

הפחמן הצבור אינו נשאר במאגרים השונים לנצח אלא נע בקצבי זמן שונים ממאגר אחד למשנהו, ומאגרים ביבשה גם למאגרים אחרים באטמוספירה, באוקיינוס, או בביוספירה הימית. תנועות אלו



The carbon cycle. The amount of carbon in each reservoir is given in gigatonnes (one gigatonne = one billion tonnes). Source: Adapted from SVT Dijon, data from AR5 IPCC 2014.

נקראות בשפה מקצועית 'שטפים'. דוגמה אחת לשטף פחמן הוא תהליך הפוטוסינתזה, הממיר פחמן מהאטמוספירה לצמחים ולבסוף למאגר בקרקע. מעגל הפחמן המלא מוצג למטה.

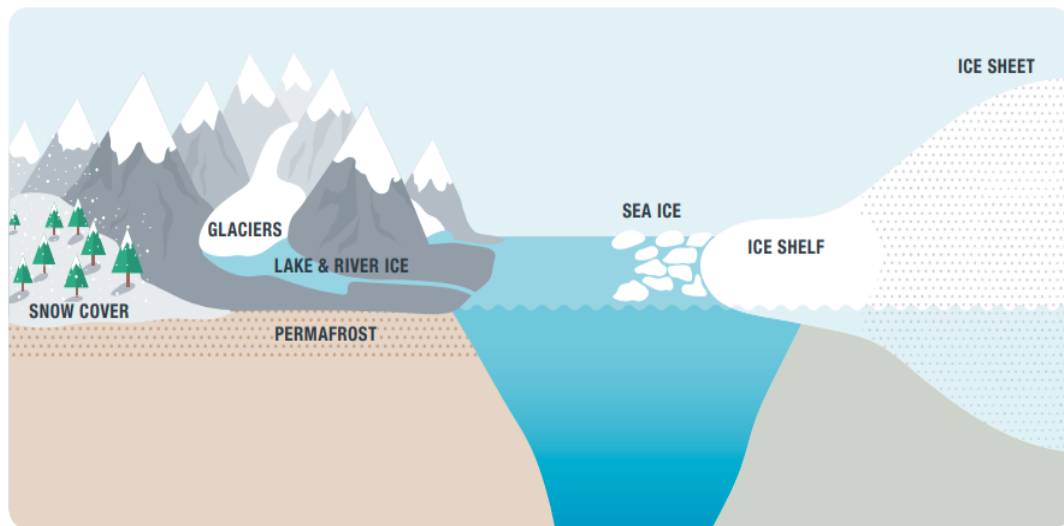
היבשה היא חלק ממערכת האקלים. היבשה מחליפה אנרגיה, מים, אירוסולים וגזי חממה עם האטמוספירה ועם האוקיינוסים. יחסי גומלין אלו נובעים גם מפעילות האדם אבל גם מתהליכים טבעיים. לכן ליבשה תפקיד חשוב במערכת האקלים.

האוקיינוס משמש חלק מרכזי במערכת האקלים. הוא יכול לשמור בתוכו כמות גדולה מאוד של חום. המטרים העליונים של האוקיינוס (שניים-שלושה) מכילים את אותה כמות של אנרגיה תרמית כמו האטמוספירה כולה. זאת הסיבה שבגללה לאוקיינוס השפעה רבה על מערכת האקלים על פני עונות ומאות שנים, הוא מווסת את כמות החום בכדור הארץ וגורם לשינויים פנימיים איטיים במערכת האקלים.

לתנועת המים ולזרמי האוקיינוס תפקיד משמעותי בוויסות האקלים וכן בתמיכה באורגניזמים החיים בים, באמצעות הסעת חום, פחמן, חמצן, וחומרים מזינים ברחבי האוקיינוס.

האוקיינוס גם מכיל כמות גדולה מאוד של פחמן. נכון להיום הוא מכיל בערך 38,000 גיגהטון של פחמן (גיגהטון 1 = 1,000,000,000 טון): בערך פי 16 מכל הצומח על האדמה ובתת הקרקע, ובערך פי 60 מכמות הפחמן באטמוספירה. האוקיינוס גם משחלף כמויות גדולות מאוד של פחמן עם שאר מערכת האקלים: בערך 100 גיגהטון של פחמן מוחלפים בכל שנה בין האוויר לים. באוקיינוס, חלוקת הפחמן נשלטת על ידי שתי "משאבות" של פחמן, המעבירות פחמן מפני השטח למעמקי האוקיינוס. המשאבה הפיזיקאלית מונעת מהעובדה שמי האוקיינוס המתקררים בקווי רוחב גבוהים מסוגלים לקלוט כמות גבוהה יותר של פחמן דו חמצני (CO_2) מומס מהאטמוספירה. גופי המים הקרים שוקעים לעומקים גדולים כשהם מסייעים את הפחמן הדו חמצני שבהם הרחק מהאטמוספירה ובכך מסלקים אותו מהמערכת לפרקי זמן ארוכים¹¹.

המשאבה השנייה היא המשאבה הביולוגית: צמחים ימיים (כמו פיטופלנקטון) קולטים פחמן דו חמצני בתהליך הפוטוסינתזה, בדומה לצמחי יבשה. חלק מהחומר האורגני הנוצר בתהליך זה שוקע לקרקעית האוקיינוס.



The components of Earth's cryosphere. Adapted from Fig. 4.25 of the IPCC WG1 AR5 report (2013).

הקריוספירה בנויה משלג וקרח בצורות שונות:

באוקיינוס: **קרח ים** הוא קרח הצף על פני האוקיינוס, עשוי ממי ים קפואים.

ביבשה: קרחונים יבשתיים, שכבות הקרח היבשתיות (בגרינלנד ובאנטארקטיקה) קרקעות קרח-עד (קרקעות הקפואות לאורך כל השנה, **Permafrost** **פֶרְמַפְרוֹסְט**) שלג עונתי ביבשה ואגמים ונהרות קפואים. קרחונים ושכבות קרח יבשתיות נוצרים ע"י הצטברות איטית של שלג שלאורך זמן נדחס לקרח ואז זורם, מאוד באיטיות, במורד. עובי שכבות הקרח היבשתיות בגרינלנד ובאנטארקטיקה יכול להגיע למספר ק"מ במקומות מסוימים. כששכבות קרח יבשתיות זורמות לקו החוף ואז לתוך האוקיינוס, הן יוצרות משטחי קרח צפים עבים המחוברים ליבשה ונקראים מדפי קרח.

הקריוספירה משפיעה על האקלים במספר דרכים. ראשית, היא חלק ממחזור המים הגלובלי ובה שבעים וחמישה אחוז מהמים המתוקים על כדור הארץ. שנית, בעקבות יכולת החזר הגבוהה שלהם הנקראת **אלבדו**, קרח ושלג משמשים כמעין מראות אשר מחזירות חלק גדול מקרינת השמש המגיעה

¹¹ https://www.ocean-climate.org/wp-content/uploads/2015/03/ocean-carbon-pump_ScientificItems_BD-2.pdf

לכדור הארץ בחזרה לחלל. שלישית, היווצרות והמסה של קרחים בקטבים תורמים לתנועת המים באוקיינוסים ע"י שינויים במליחות מי הים. ולבסוף, קרקעות קרח-עד מהוות רכיב חשוב ממעגל הפחמן של כדור הארץ.

כיצד משתנה האקלים במהירות כתוצאה מפעילות האדם?

בני האדם ושינוי האקלים

מאז ראשית המהפכה התעשייתית בני האדם שינו לצרכיהם את פיזור גזי החממה בין היבשה, האוקיינוסים והאטמוספירה ע"י פליטת כמויות גדולות של גזי חממה לאטמוספירה, בעיקר פחמן דו חמצני, מתאן וחמצן דו חנקני מה שהוביל לחוסר איזון של המערכת ובסופו של דבר לשינוי האקלים.

פעילות האדם גורמת לפליטות גזי חממה המובילים להתחממות גלובלית

תפקידם הפיסי של גזי חממה מובן היטב כבר עשרות שנים: **אם נעלה את ריכוזם של גזים אלו באטמוספירה, יותר אנרגיה תישאר סמוך לפני השטח של כדור הארץ, מה שיוביל להתחממות אותה אנו חווים היום.** פעילות בני האדם שינתה את ריכוז גזי החממה בשתי דרכים:

- דרך כריה של דלק פחממני עתיק (הנקרא גם דלק מחצבי, דלק מאובני, דלק פוסילי או לפעמים גם דלק מינרלי) ממעמקי האדמה (בצורת פחם גז או נפט) ושריפתו לאחר מכן (CO_2 → $\text{O}_2 + \text{C}$).
- דרך ביעור (כריתה מסיבית) יערות, המקטינה את שירותי הפחמן המסופקים ע"י אותם יערות כמו גם שירותים נוספים, וכן דרך שינויים באופן השימוש בקרקעות אחרות כמו למשל בנייה מואצת או ייבוש של אזורים לחים.

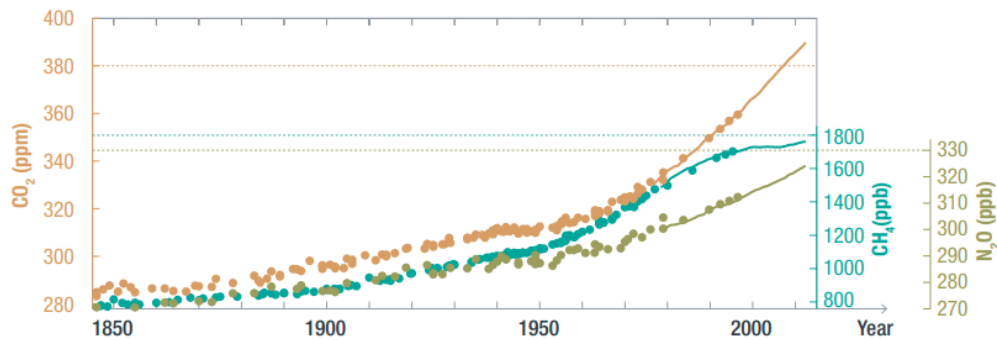
במשך מיליון השנים האחרונות רמות הפחמן הדו חמצני (CO_2) באטמוספירה נעו בין 180 ל-280 חלקים למיליון (ppm)¹², כשהערכים התחתונים תואמים לתקופות קרח (תקופות קרות) והערכים העליונים תואמים לתקופות בין קרחוניות (תקופות חמות יותר). כדור הארץ נמצא בתקופה בין קרחונית ב 10,000 השנים האחרונות, וב 50 השנים האחרונות ריכוז הפחמן הדו חמצני (CO_2) עלה ביותר מ-50% והוא עומד כיום (2022) על 421 חלקים למיליון!¹³

מרבית העליה התלולה מאוד הזו, מקורה **באופן ישיר משריפת דלק מחצבי**, שהחלה בקנה מידה גדול עם תחילתה של המהפכה התעשייתית במאה ה-19. בנוסף לעליה בפד"ח, באותה תקופה עלה ריכוז גם של גזי חממה נוספים, בעיקר מתאן (CH_4) אשר עלה ב 160% וריכוז החמצן הדו חנקני (N_2O) שעלה ב 20%. מקורות לפליטות הקשורים לפעילות האדם כוללים פליטות מתהליך העיכול של

¹² https://climate.nasa.gov/climate_resources/24/graphic-the-relentless-rise-of-carbon-dioxide/

¹³ <https://www.noaa.gov/news-release/carbon-dioxide-now-more-than-50-higher-than-pre-industrial-levels>

בקר, גידול חקלאי בהצפה (בעיקר אורז) ודליפות הנוצרות במהלך קידוחי גז ונפט. חמצן דו חנקני נפלט בעיקר בשימוש בדנים חנקניים סינטטיים לצרכים חקלאיים.

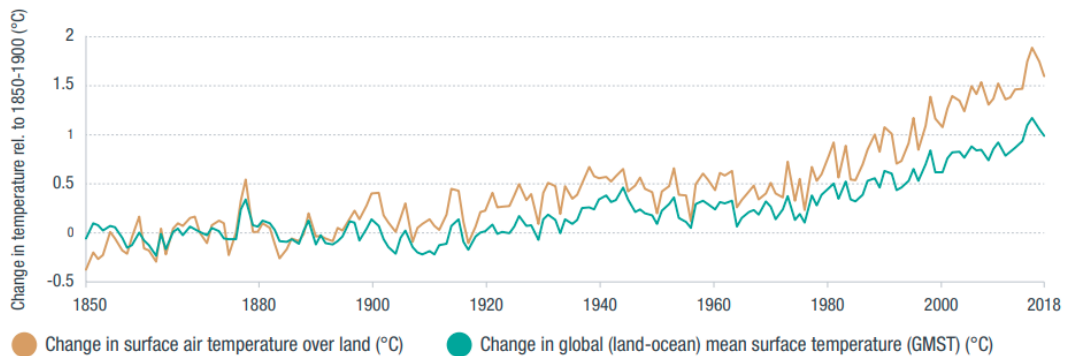


Average global greenhouse gas concentrations.
Source: Adapted from IPCC Assessment Report 5, Summary for Policy Makers.

כתוצאה מהעלייה בגזי החממה, הטמפרטורה העולמית הממוצעת עלתה כבר במעלת צלזיוס שלמה, מהתקופה של טרום המהפכה התעשייתית ועד שנת 2018. טמפרטורת פני השטח של היבשה עלתה אפילו יותר (כמעט 1.6 מעלות)¹⁴. מדענים מעריכים כי פליטת הפחמן הדו חמצני הישירה שלנו, פליטות המתאן שלנו והשינוי בשימושי קרקע (כמו ביעור יערות למשל) שווים בקירוב ל-70%, 20% ו-10% מההתחממות הגלובאלית, בהתאמה.

שינוי האקלים משנה את היבשה

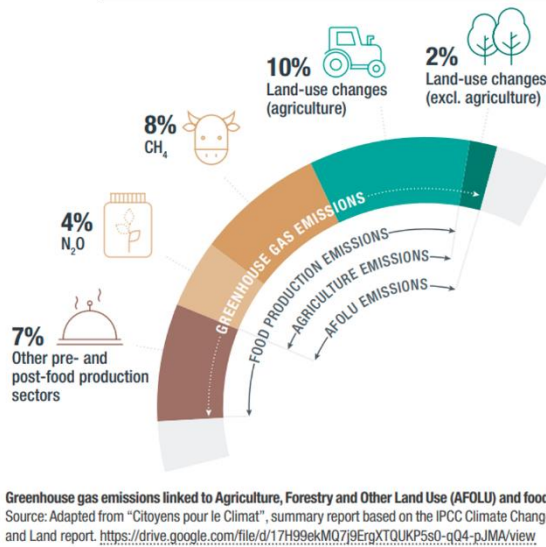
להבדל בין טמפרטורת פני השטח ביבשה לטמפרטורת פני השטח באוקיינוס יש שתי סיבות עיקריות. ראשית, כיוון שהאדמה עשויה כמעט כולה מחומר מוצק, קיבול החום שלה נמוך משמעותית משל מים נוזלים. זו הסיבה שהיבשה זקוקה להרבה פחות חום כדי שהטמפרטורה שלה תעלה. בנוסף, כשטמפרטורת האוקיינוס עולה, מתרחשת באופן טבעי תופעה שמקררת את המים – אידי. על פני היבשה יש הרבה פחות מים ולכן ההשפעה המצננת של האידי חלשה יותר.



Observed change in surface air temperature over land and in global (land and ocean) mean surface temperature for the period 1850–2018. Since the pre-industrial period (1850–1900) the observed mean land surface air temperature has risen considerably more than the global mean surface temperature (GMST).
Source: Adapted from IPCC, Special Report on Climate Change and Land. Summary for Policymakers.
<https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/summary-for-policymakers/>

¹⁴ IPCC Special Report “Global warming of 1.5°C”: <https://www.ipcc.ch/sr15>

תפקיד המגזר החקלאי ותעשיית המזון בשינוי האקלים



אף על פי שפליטת גזי חממה משריפת דלקים מחצביים גדולה בהרבה, פליטות מהיבשה הן עדיין בכמות משמעותית. סך כל השימוש בקרקעות על ידי האדם תורמים כ-24% מכלל הפליטות (ראה איור). מתוך גזי החממה העיקריים שנפלטים, מתאן וחמצן דו חנקני קשורים שניהם ישירות לתעשייה החקלאית, ולשניהם תרומה גבוהה יותר כגזי חממה מאשר פחמן דו חמצני.

המקור העיקרי לפליטת מתאן מחקלאות הן שיטות גידול בהצפה (כמו אורז למשל) וגידול בעלי חיים, בעוד שחמצן דו חנקני נפלט כתוצאה משימוש רחב בדשנים (גם דשנים כימיים וגם דשנים טבעיים כמו זבל פרות).

תעשיית המזון קשורה קשר הדוק לפעילות החקלאית והיא, כוללת את כל שלבי הייצור, השינוע, התינוש, המכירה, הצריכה והפסולת שנוצרת מהמזון שאנו צורכים. תעשיית המזון העולמית אחראית על 21-37% מסך פליטות גזי החממה ממקור אנושי, כשכמות הפליטות מתהליך זה צפויה לגדול בעתיד ככל שתגדל אוכלוסיית כדור הארץ ועם השינויים בהרגלי הצריכה ואיכות החיים. הגידול באוכלוסיית העולם ורמת החיים העולה הגבירו את קצב הצריכה של המשאבים על פני היבשה. נכון להיום, התעשייה החקלאית צורכת כ-70% מהמים השפירים בעולם, ומאז אמצע המאה הקודמת ייצור המזון עלה ב-240%. לא רק שאוכלוסיית העולם גדלה, אלא גם הרכב התזונה שלנו השתנה בעשורים האחרונים. שינוי זה הוביל לשינוי באופן בו אנו עושים שימוש בקרקעות חקלאיות. התזונה שלנו היום יותר דחוסה אנרגטית, היא עשירה בשומנים, ובעלת תכולה גבוהה של שמנים צמחיים, בשר וסוכר. שינויים תזונתיים אלו הובילו לתופעת משקל יתר אצל יותר משני מיליארד בני אדם בעולם. אף על פי כן, לכמעט מיליארד בני אדם אחרים אין גישה למספיק מזון גם היום, על אף ש 25-30% מכל המזון שמוצר אובד או מתבזבז.

האוקיינוסים והקרוספירה מאיטים את ההתחממות הגלובלית

כיום, מתוך 40 מיליארד טון של פחמן דו חמצני הנפלטים בכל שנה בעקבות פעילות האדם, פחות מ-50% נשאר באטמוספירה¹⁵. השאר נקלט שווה בשווה בקירוב ע"י הצמחיה על פני היבשה וע"י האוקיינוסים. ללא ספיחת הפחמן על ידי אלו, הייתה ההתחממות הגלובלית עולה בהרבה על מעלת צלזיוס אחת. בנוסף לסילוק פחמן דו חמצני שמקורו מפעילות האדם מהאטמוספירה, האוקיינוס מאט את התחממות כדור הארץ בדרך אחרת. בזכות קיבול החום העצום שלו, האוקיינוס ספח מעל ל-90% מהחום העודף אשר נוצר בעקבות ההתחממות הגלובלית, כשהוא מסיר אותו מהאטמוספירה. למרות התועלת הגדולה, לספיחת הפחמן והחום של האוקיינוס השלכות חריפות. כפי שיתואר בהרחבה בחלק הבא, ספיחת הפחמן והחום של האוקיינוסים מביאה לעליית טמפרטורת מי הים, החמצת האוקיינוסים ועליית גובה פני הים.

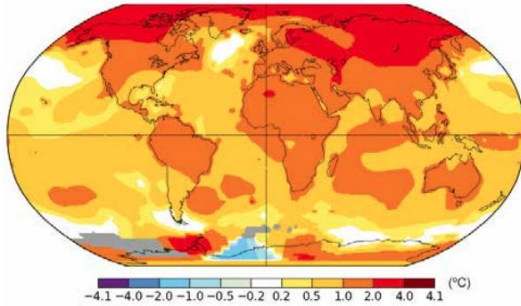
שינוי האלבדו בקרוספירה מגביר את ההתחממות הגלובלית

בחלקים של האזור הארקטי המכוסים בקרח עונתי, התחממות מהירה נובעת ממנגנוני המשוב החיובי הבאים: ככל שעולות הטמפרטורות, קרח ושלג נמסים, בכך קטנה השפעת ה"מראה" (החזרה חזרה

¹⁵ <https://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/> & IPCC Special Report "Global warming of 1.5°C"

של קרני השמש לחלל), כך שיותר חום יכול להקלט, מה שמגביר את החימום וההמסה הלאה. תהליך המשוב פועל גם באזורי קרחונים ובהרים מושלגים. **בערך 1% מהחום העודף הנובע מההתחממות הגלובאלית הולך להמסת קרחונים ושכבות קרח יבשתיות**, בכך מוסר החום מהאטמוספירה.

ההתחממות אינה זהה בכל מקום



Annual surface temperature anomaly 1950 - 2018. Observed global warming in degrees Celsius: change of surface temperature from 1950 to 2018. Source: NASA-GISS: https://data.giss.nasa.gov/gistemp/maps/index_v4.html

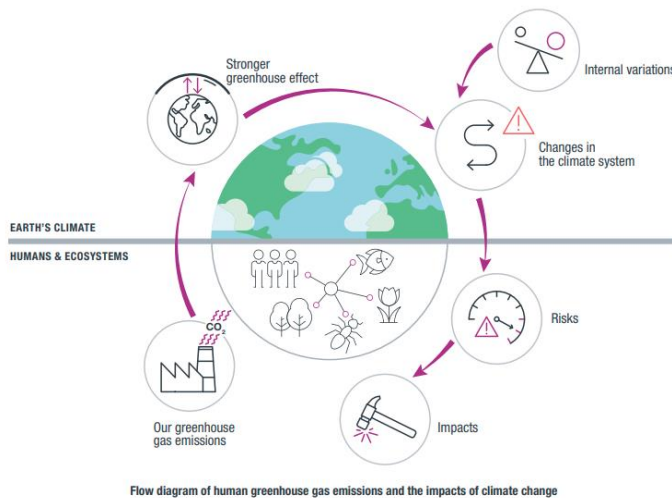
כפי שניתן לראות מפיזור ההתחממות הגלובאלית על פני כדור הארץ (ראו איור), האזורים שמחוץ לאזור הטרופי מתחממים יותר - האזור הארקטי מתחמם במהירות גבוהה פי שניים מהמוצע העולמי. האדמה, שלה קיבול חום קטן משמעותית ממים, אינה יעילה במיוחד בהסעת אנרגיה כלפי מטה, הרחק מפני הקרקע. לפיכך היא מתחממת יותר. אנו חווים את השפעת האפקט הזה באזור ממוזגים בקיץ, בו אזורים הסמוכים לאוקיינוס (אקלים אוקייני) נוטים להיות קרירים יותר מאזורים בפנים היבשות (אקלים יבשתי).

כיצד משתנים האוקיינוסים והקרוספירה בעקבות שינוי האקלים

גזי חממה הנפלטים בעקבות פעילות האדם מגבירים את אפקט החממה הטבעי בכדור הארץ. התחממות היבשה, האוקיינוס והאטמוספירה, הנגרמת מכך, יכולה להתגבר או להתמתן ע"י מנגנונים הפועלים על מערכת האקלים, הידועים בשם "תהליכי משוב" (כפי שראינו קודם עם אפקט האלבדו).

לדוגמה, עם העלייה בטמפרטורה הגלובאלית, יותר מים ממי האוקיינוסים ומאגמים מתאדים לאטמוספירה. זהו תהליך משוב חיובי המגביר את התופעה וגורם להתחממות נוספת, כיוון שאדי מים הם בפני עצמם גז חממה חשוב.

תרשים הזרימה למעלה ממחיש את הממשקים הרבים שבין פעילות האדם לבין מערכת האקלים. החצי



Flow diagram of human greenhouse gas emissions and the impacts of climate change

העליון של התרשים (מעל לקו האפורה) מראה את השינויים במערכת האקלים של כדור הארץ, בעוד שהחלק התחתון מראה גורמים הקשורים לאדם ולמערכות האקולוגיות. אם נעקוב אחרי החיצים, נראה את המסלול החל מפליטת גזי חממה (אותם ניתן למתן, או להפחית) משמאל דרך הסיכונים וההשלכות להם הם גורמים באמצעות התחממות כדור הארץ בצד ימין למטה. ביניהם נמצאים מה שנהוג לכנות "הסיכונים האקלימיים" שהם השינויים הפיזיים והכימיים במערכת

האקלים, הכוללים בין השאר אירועי מזג אוויר קיצוניים, האצת תהליכי מדבור, התחממות האטמוספירה והאוקיינוסים, המסת הקרחונים ושכבות הקרח היבשתיות, ועליית מפלס פני הים. עוצמתם תלויה

במידת ההתחממות הגלובאלית, ולפיכך תלויה בכמות גזי החממה אותם אנו פולטים. כשאנו מדברים על מיתון התופעה אנו מתכוונים לנקיטת צעדים להפחתת פליטות של גזי חממה.

בגלל השונות הפנימית של מערכת האקלים אותה הזכרנו קודם, אנחנו לא יכולים להגיד בוודאות מה תהיה ההשפעה המדויקת של שינוי האקלים בכל מקום נתון. לדוגמה, מקום מסוים עשוי לחוות מזג אוויר קיצוני שהשתנה בעקבות שינוי האקלים ועשוי גם שלא, למרות שברור שעצמתן ותדירותן של מערכות מזג אוויר סוערות משתנים ככל שכדה"א מתחמם. אם זאת, נוכל לנקוט בגישה מבוססת סיכון, לפיה נעריך כמיטב יכולתנו מה ההתכנות ומה יהיו ההשפעות של סופות כאלה. אז נוכל לנקוט בצעדים להפחתת רמת הסיכון (ובכך את רמת ההשפעה של סופה אם אכן תתרחש) באמצעות הסתגלות, כפי שנדגים בחלק האחרון של מסמך זה.

בהמשך חלק זה נבחן כל אחד מהחלקים השונים שמרכיבים את היבשה, האוקיינוסים והקרוסופירה בתורם, נראה כיצד משפיע עליהם שינוי האקלים כבר ומה צופן להם העתיד.

תגובת היבשה לשינוי האקלים

בין ההשפעות ההרסניות ביותר של שינוי האקלים על פני היבשה הם **אירועי מזג אוויר קיצוניים**. חימום כדור הארץ הוביל בין השאר להפרעה של מחזור המים הטבעי, מה שהוביל להתגברות **בשכיחות ובעוצמה של אירועי מזג אוויר קיצוניים** כמו גלי חום, בצורות וממטרים כבדים. גם סופות חול ואבק מופיעות בתכיפות ועוצמה מתגברים, כתוצאה מהתפשטות האזורים היבשים ומתהליכי המדבור המתגברים.

ככל שיותר פחמן דו חמצני נפלט לאטמוספירה והעולם שלנו מתחמם, צמחיית היבשה מגיבה לשינוי. במהלך שלושים השנים האחרונות, ראינו שינוי בצבע הירוק הנמדד מלווינים, הנובע מהמצאות כלורופיל, כלומר מצמחייה בריאה, **ועליה ביצרנות הצמחיה**, בחלקים מאסיה, אירופה, דרום אמריקה, מרכז צפון אמריקה ודרום מזרח אוסטרליה, חלה התארכות עונות הצמיחה – **כיוון שלצמחים יש יותר פחמן דו חמצני זמין לפוטוסינתזה ובעקבות שינויים בניהול הקרקע** (כניסה של אמצעי השקיה או דישון חדשים למשל).

באזורים אחרים לעומת זאת, לדוגמה בחלקים מצפון ארוסיה, צפון אמריקה, מרכז אסיה ואגן קונגו באפריקה, אנו עדים לתופעה הפוכה – הצמחייה הופכת לחומה יותר, ויש **ירידה בצמיחה החדשה** ומוות של צמחים, הנובע ממחסור במים שנגרם מהשינוי באקלים או בשימוש בקרקע, משריפות ענק או מבצורת הקשורות לשינוי האקלים. למעשה, במקומות מסוימים, **אזורים אקלימיים שלמים משתנים**. כמו לדוגמה אזורים קוטביים שמצטמקים או אזורים מדבריים שמתרחבים.

בני האדם משנים את היבשה

כשהאדמה מאבדת את פוריותה, הצמחייה, המים שבה, או חיי הבר שעליה, אנו אומרים **שאיכות הקרקע נפגעה**. פגיעה באיכות קרקעות, במאה העשרים האיצה באופן חלקי בעקבות אירועי מזג אוויר קיצוני כמו בצורת או שטפונות, אבל גם בעקבות שינויים בשימוש בקרקע שעושה האדם כמו תהליכי עיור (בניית ערים), ביעור יערות או חקלאות אינטנסיבית. נכון להיום, **כרבע משטח היבשה שאינו מכוסה בקרח חשוף לפגיעה באיכות הקרקע בעקבות פעילות האדם**.

ירידה באיכות הקרקע הקשורה לשינוי האקלים כמו פגיעה בחופים (ארוזיה חופית) המחמירה עקב עליית מפלס מי הים, הפרשת אדמות קרח-עד או שחיקת שכבת הקרקע העליונה והפורייה, **עלולה להוביל להגירה, מאבקים או עוני באזורים רבים בעולם**.

צורה קיצונית של פגיעה באיכות הקרקע באזורים צחיחים או צחיחים למחצה היא מדבור. בין שנות השמונים של המאה הקודמת לשנות האלפיים, **סביב 500 מיליון בני אדם חיו באזורים שעברו תהליך של מדבור**. שינוי האקלים מאיץ את תהליך המדבור, המשפיע על בני אדם בכל רחבי העולם, במיוחד בדרום מזרח אסיה, באזור מדבר הסהרה, בצפון אפריקה ובמזרח התיכון.

ביעור יערות משחרר פחמן דו חמצני ומשמיד את אחת הדרכים בהן פחמן דו חמצני מסולק מהאטמוספירה (פוטוסינתזה), כך קורה גם בתהליך המדבור. ארגון המזון העולמי (FAO) מעריך כי בין שנת 1990 לשנת 2019 כ-4.2 מיליארד דונם (420 מיליון הקטר) של יערות, שטח הדומה לשטח של מחצית משטח ארצות הברית, אבד ברחבי העולם לתהליך המדבור.

עם זאת, הירידה בכיסוי הצומח על היבשה מגבירה את האלבדו וכך היא מחזירה יותר חום מאשר קרקע מכוסה צמחיה, מה שתורם דווקא לקירור.

בטחון מזון

לשינוי האקלים השפעה מיוחדת על בני האדם גם בנוגע ל**בטיחות המזון** שאנו אוכלים. השינוי בדפוסי הממטרים, אירועי מזג אוויר קיצוניים תכופים יותר, וההתחממות באופן כללי תורמים כולם לירידה בתבואה של מקורות מזון חשובים כמו חיטה או תירס בקווי רוחב נמוכים. באפריקה, שינוי האקלים הוביל לירידה בקצב הגדילה של חיות משק ולצניחה ביצרנות באדמות מרעה. לעמת זאת, בחלק מהאזורים שנמצאים בקווי רוחב גבוהים, תפוקה מיבולים מסויים (כמו חיטה, תירס וסלק סוכר) דווקא עלתה.

השינויים באוקיינוסים והקרוספירה

המסת קרחונים ושכבות הקרח היבשתיות

ככל שעולה טמפרטורת האטמוספירה, פני השטח של שכבת הקרח היבשתית ושל הקרחונים נחשפים יותר ויותר לתנאי המסה (אבדן של מסת קרח), כשהצטברות של שלג חדש (תוספת מסה) אינה יכולה לפצות עליה תמיד. שכבות קרח וקרחונים לרוב מגיבים באופן מאוד איטי לשינויים בטמפרטורה (הם "אדישים" מבחינה טרמלית). מסיבה זו, יחד עם מנגנוני המשוב שתיארנו קודם, שכבות הקרח והקרחונים יוסיפו להמס במשך מאות או אלפי שנים גם אחרי שטמפרטורת כדור הארץ תפסיק לעלות. למעט מספר יוצאי דופן קרחונים בכל רחבי העולם מאבדים מסה ומתכווצים. בין השנים 2006 ל 2015, שכבת הקרח היבשתית בגרינלנד לבדה הצטמצמה בגודלה בקצב של 278 גיגהטון (גיגה טון אחד הם מיליארד טון) בכל שנה ושכבת הקרח האנטרקטית בקצב של 155 גיגהטון לשנה. המסה זו תואמת לעליית מפלס מי הים של 0.77 ושל 0.43 מ"מ בכל שנה. ברחבי העולם, קרחונים אבדו מהמסה שלהם בקצב דומה לשכבת הקרח היבשתית של גרינלנד.

המסת קרקעות קרח עד

קרקעות קרח עד, או פרמפרוסט, הן קרקעות (אדמה, סלע וכלי) הקפואות תמיד שהטמפרטורה בהן נמוכה מאפס מעלות צלזיוס והן לרוב מכוסות קרח. טמפרטורת קרקעות קרח עד לרוחב האזורים הארקטיים ובאזורים ההרריים ברחבי העולם עולה בתגובה לאטמוספירה המתחממת. אם טמפרטורת הקרקע תעלה מעל לאפס מעלות צלזיוס הקרקע תפשיר. לכך יש שתי השלכות עיקריות:

- ההפשרה מערערת את יציבות הקרקע, מה שעשוי לפגוע בבניינים או כבישים באור הארקטי או להוביל למפולות באזורים הרריים.
- ההפשרה מובילה להתפרקות חומר אורגני שהיה לכוד לפני כן בקרקע הקפואה, דבר המוביל בתורו לשחרור גזי חממה (פחמן דו חמצני ומתאן בעיקר) ובאופן פוטנציאלי גם לשחרור של ירוסים וחיידקים שנשתמרו מתקופות קדומות.

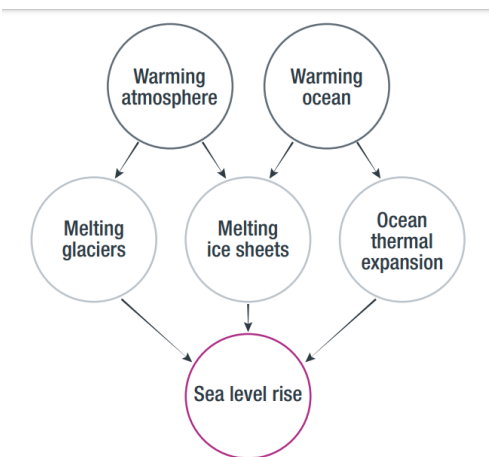
כמות הגזים שיפלטו מהפשרות קרקעות קרח עד במאה ה-21 תהיה תלויה ברמת התחממות הכדור, כשההערכות נעות בין עשרות למאות גיגהטונות. לצורך ההשוואה, בני האדם כבר פלטו כ 2,200 גיגהטון פחמן דו חמצני מאז ראשית המהפכה התעשייתית.

עליית מפלס מי הים

מפלס פני הים העולמי הממוצע עלה בכ- 15 ס"מ בקירוב מאז ראשית המאה ה-20, ומאז הקצב רק התגבר (מקצב של 1.5 מ"מ בשנה בתחילת המדידות 3.6 מ"מ לשנה בשנים האחרונות). עליית

מפלס פני הים נובעת מעלייה בנפח המים באוקיינוסים. כפי שנראה באיור, יש לכך שני גורמים עיקריים:

- **תוספת של מים למי האוקיינוס** בעקבות המסה של שכבות הקרח וקרחונים יבשתיים.
- **התפשטות של מי הים** ככל שהאוקיינוס הולך ומתחמם (התפשטות טרמית) - מים חמים יותר תופסים יותר מקום.



בערך כמחצית מעליית מפלס מי הים הנצפית מאז ראשית שנות התשעים של המאה העשרים מקורה מהתפשטות טרמית. החצי השני נובע מהמסת קרח על היבשה, שהוא הגורם הדומיננטי היום. **פני הים ימשיכו לעלות לאט במשך מאות שנים גם אחרי שתעצר ההתחממות.** גובה פני הים העולמי הממוצע צפוי לעלות בין 20 ס"מ למעל מטר עד סוף המאה הנוכחית, בהתאם לכמות גזי החממה שנפלוט וכמה מהר יגיבו כיפות הקרח בקטבים.

ברמה המקומית משפיעים גם גורמים נוספים. ראשית, ישנם אירועי גובה פני ים קיצוניים כמו עליית המפלס בחזית או אחרי סערות (storm surge) או בעקבות שינויים במשטר הרוחות המקומי. שינויים בגובה פני הקרקע - למעלה או למטה יכולים גם הם להשפיע על

קו המים ביחס ליבשה. לגורם האחרון יכולות להיות השלכות משמעותיות. בג'קרטה למשל, שאיבת מי תהום הובילה לשקיעה של האדמה, מה שגרם לחלקים מהעיר לשקוע במספר מטרים מאז שנת 1980.

קרח ים

למרות שקרח ים קיצי אינו תורם לעליית מפלס מי הים (הוא כבר נמצא באוקיינוס), אבדן מהיר של קרח ים נצפה באזור הארקטי בעשרות השנים האחרונות¹⁶. הכיסוי בקרח ים באזור הארקטי תלוי בשונות העונתית הטבעית, כשהוא מגיע לשיא באזור חודש מרץ ולשפל בסביבות ספטמבר. אף על פי כן, **כיסוי הקרח בספטמבר ירד בשיעור של כ-40% מאז 1980**¹⁷. בנוסף לשינויים בכיסוי הקרח, הממוצע של גיל הקרח ועובי הקרח ירדו אף הם. בחורף 1980, כ-30% מהקרח היה בין חמש או יותר שנים (כלומר קרח ששרד מספר עונות המסה קיציות) - כיום, נתון זה עומד על 2%. בנוסף, עוביו של קרח הים באזור הארקטי המרכזי הוא כרבע מהעובי שנמדד ב-1975 (1.25 מטר לעומת 3.5 מטר). ירידה זו בקרח הים הארקטי מושפעת ממנגנון המשוב החיובי בין קרח לאלבדו שהוזכר קודם. בניגוד למצב באזור הארקטי, **כיסוי הקרח בים הדרומי באזור אנטרקטיקה נחשב ליציב ב-40 השנים האחרונות. אם כי מחקרים שהתפרסמו לאחרונה מצביעים על כך כי גם נראית ירידה משמעותית בכיסוי הקרחונים.**

¹⁶ <https://nsidc.org/arcticseaicenews/charctic-interactive-sea-ice-graph/>

¹⁷ <http://nsidc.org/arcticseaicenews/2017/10/arctic-sea-ice-2017-tapping-the-brakes-in-september/>



An aerial view of the 60-meter-tall front of the Getz Ice Shelf with cracks, in Antarctica. NASA/Handout via REUTERS

שיכוב האוקיינוסים, גלי חום ימיים ואבדן חמצן

הטמפרטורה העולה משנה את המבנה הפיסי של האוקיינוסים ומשפיעה על החי בים. ככל שהאוקיינוס מתחמם מפני הים וכלפי מטה, פני השטח (הצפופים פחות) של האוקיינוס נעשים חמים מהר יותר מאשר השכבות העמוקות והצפופות יותר. תופעה זו מגבירה את ההבדל בין הצפיפויות בין המים בפני השטח ומי שכבות העומק (תהליך הנקרא שיכוב), ובכך מקשים על חומרי הזנה מעומק הים להגיע לאזור פני הים העני בחומרי הזנה. כיוון שהתהליך מקטין את הערבול בין פני השטח למי העומק, נוצרת גם ירידה בזמינות החמצן בשכבות העמוקות המגיע מהשכבות העשירות בחמצן שלמעלה (דה-אוקסיגנציה). מאז שנת 1970 איבדו 1,000 המטרים העליונים של האוקיינוסים כ-0.5% 3% מתכולת החמצן שבהם.

בנוסף לשינויים הדרגתיים אלו, אירועי קיצון בטמפרטורת מי האוקיינוס, הידועים בשם "גלי חום אוקייניים" (marine heat waves) נצפים בתדירות הולכת וגדלה. אירועי מים חמים כאלה עשויים להוביל למקרים של הלבנה או תמותה מסיבית של אלמוגים, כפי שנראה בין שנת 2014 לשנת 2017 כשאירועים גלובאליים השפיעו על 75% משוניות האלמוגים בעולם. מגמה זו צפויה להמשיך, כש-75% משוניות האלמוגים צפויים להעלם עד סוף המאה, במידה וטמפרטורת כדור הארץ תעלה בעוד כ-0.5 מעלת צלזיוס נוספת, ואם גורמי דחק (סטרוס) מפעילות האדם, אשר גם הם משפיעים על תמותת אלמוגים, לא יקטנו למינימום.

ירידה ביכולת ספיחת הפחמן בהמסה

בנוסף לתרומתם לגלי חום אוקייניים תכופים יותר, פני שטח של אוקיינוס חם יותר גם מפחית את יעילותה של משאבת הפחמן הדו חמצני הפיסיקאלית, מה שעשוי להשפיע על תפקידה המרכזי בהאטת התחממות האטמוספירה.

החמצת האוקיינוסים

העלייה בפחמן דו חמצני כתוצאה מפעילות האדם גורמת למי האוקיינוס להיות חומציים יותר (תהליך הנקרא "החמצת האוקיינוסים", ocean acidification). תופעה זו נקראת לפעמים בשם 'הבעיה הנוספת של הפחמן הדו חמצני'. אם ההתמוססות במי הים, פחמן דו חמצני יוצר חומצה פחמתית, אשר בתורה מופרדת ליונים שונים דרך סדרה של תגובות כימיות. כתוצאה מתגובות אלו עולה ריכוז יוני המימן (ובכך רמת החומציות), ויורד ריכוז יוני הקרבונט. יונים אלו הם מאבני הביניים החשובות המשמשות בעלי חיים ימיים המשקיעים שלד גירני, כמו רכיכות ואלמוגים, לבניית קונכייות ושלדים העשויים קלציום קרבונט. ממוצע ה pH העולמי של מי הים ירד ב 0.1 יחידות מאז המהפכה התעשייתית לסביבות 8.05 היום (ככל שה pH יורד התמיסה יותר חומצית)¹⁸. חשוב לציין כי לגבול בין

¹⁸ Summary for Policy Makers of the IPCC WG1 AR5: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>

חומצי לבסיסי כשערך ה pH שווה ל 7 יש חשיבות מעטה בהקשר של מי ים - כל ירידה ב pH יכולה להשפיע על יצורים משקיעי שלד גירני במהלך שלבי החיים השונים שלהם (כלומר, ה pH לא חייב לרדת מתחת ל-7 כדי שתהיה לו השפעה).

זרמי הים (הסירקולציה האוקיינית)

זרמי הים מונעים הן על ידי הרוח (זרמים בפני השטח) והן על ידי הבדלי צפיפות (הסירקולציה התרמוהלינית). זרמי פני שטח חמים, כמו זרם הגולף או הקורושיו, משפיעים על האקלים במורד הרוח, ותורמים לאקלים נוח יותר בצדן המערבי של יבשות, בקווי רוחב אמצעיים (כמו מערב אירופה או מערב ארצות הברית), בהשוואה לחופים מזרחיים.

הסירקולציה התרמוהלינית, היא תנועת מים מעגלית ועולמית: באגן האוקיינוס האטלנטי לדוגמה, מי פני שטח חמימים נעים צפונה, חוצים את קו המשווה מהדרום לצפון האטלנטי, לפני שהם מתקררים ושוקעים לקרקעית האוקיינוס בקווי רוחב גבוהים. אז, הם חוזרים דרומה בעומק הים, חוצים שוב את קו המשווה וממשיכים דרומה עד שהם מגיעים לים הדרומי סביב אנטרקטיקה, לפני שהם עולים שוב אל פני השטח, מאות שנים לאחר מכן, ומצטרפים שוב לזרם בפני השטח של האטלנטי. עוצמת הזרימה המעגלית הזו תורמת לויסות מערכת האקלים סביב העולם, ומשפיעה במיוחד על האקלים האירופאי, על ידי הסעת חום לצפון האטלנטי. החלק האטלנטי של תנועת המים הזו צפוי להחלש במאה ה-21, בשיעור שבין 10% ל 30%, בעקבות שינוי האקלים, אבל לא להעלם לגמרי. החלשות זו תעלה את מפלס מי הים לאורך החוף המזרחי של צפון אמריקה ותוביל להתגברות בסופות חורף באירופה. באזורים רבים נוספים סביב העולם, עוד לא ידוע עדיין איך התחממות כדור הארץ תשפיע על תנועת המים העולמית הן בפני השטח ובעומק.

שינויים בתפוצת מינים

מינים על פני היבשה ובים משנים את אזורי התפוצה שלהם בתגובה להתחממות כדור הארץ. הם נעים לאזורים גבוהים יותר (ביבשה) או לקווי רוחב גבוהים יותר, כך שיוכלו להשאר בטווח הטמפרטורות המתאים להם. המסת קרחונים, בתוספת אבדן שלג ואדמות קרח עד באזורים הרריים, יוצרים בתי גידול חדשים למינים מסויימים והורסים את בתי הגידול של המינים התלויים בשלג או בקרח. באזורים הארקטיים היער הבוריאלי (טייגה) צפוי להתרחב צפונה אל הטונדרה הארקטית נטולת העצים. באוקיינוס, מגוון רחב של יצורים, החל מפיטופלנקטון ועד יונקים ימיים נעים כולם לכיוון הקטבים, בממוצע של עד 5 ק"מ בכל שנה. עם אבדן קרח הים הארקטי, אנו צופים לראות תנועה מוגברת של דגים בין האוקיינוס השקט לאוקיינוס האטלנטי דרך האזור הארקטי. ניטור שינויים ביולוגיים הוא מאתגר במיוחד באזור אנטרקטיקה.

מה ההשפעה של השינוי עלינו?

כמשאב קריטי עבור בני האדם, היבשה כבר היום נמצאת תחת לחץ של דרישות המתחרות האחת בשניה. שינוי האקלים הופך את המצב המתגבר גם ככה לקשה יותר. יחד עם הגידול הצפוי באוכלוסיית העולם והשינויים בדפוסי הצריכה, שינוי האקלים יוביל לדרישה גדולה יותר למזון לבני האדם, מזון לבעלי החיים שאנו מגדלים ולמי שתייה. לשינויים אלו השלכות מרחיקות לכת, על המגוון הביולוגי, על שירותי המערכת האקולוגית ולפיכך גם על בטחון המזון וזמינות מי השתייה שלנו. ההשפעות שיהיו לכך על בני האדם ישתנו מאזור לאזור. עם העלייה בהתחממות, התדירות, העוצמה והמשך של אירועי קיצון הקשורים לחום (גלי חום, בצורת וכולי) יתגברו, במיוחד במזרח התיכון ודרום אפריקה. בצפון ודרום אמריקה, במזרח התיכון, בדרום אפריקה ומרכז אסיה צפויה התגברות של דליקות ענק. באזורים טרופיים, לפי תחזיות שונות, ההתחממות עלולה להוביל לאזורים שיהיו בלתי ראויים למגורי אדם עד סוף המאה.

באזורים צחיחים, שינוי האקלים ותהליך המדבור יובילו לירידה כללית בתפוקה של גידולים חקלאיים או חיות משק, ישנו את הרכב מיני הצומח באזור ויורידו את מגוון המינים. אפריקה ואסיה צפויות להיות היבשות בהן המספר הגבוה ביותר של בני אדם שעלולים להפגע מהתגברות תהליך המדבור. האזורים הטרופיים והסוב טרופיים צפויים להפגע הכי הרבה מירידה ביכולות הייצור של גידולי שדה.

לבסוף, שינוי האקלים עלול להגביר את תופעת ההגירה האנושית הנובעת מתופעות כמו מחסור במזון או מים, ירידה בפוריות הקרקע וכדומה, בתוך ארצות ובין ארצות, מה שיכול להגביר לחצים אנושיים היכולים להוביל לעימותים.

ככל ששינוי האקלים משנה את האוקיינוס והקריוספירה, נוצרים גם פה סיכונים עבור בני האדם והמערכות האקולוגיות, אשר יכולים להשפיע על משאבים, עבודות, פרנסה, תרבות ובריאות. בני האדם והמערכות האקולוגיות חשופים לאיומים רבים מהאוקיינוס ומהקריוספירה הקשורים לאקלים, הכולל בין היתר תדירות סופות גבוהה, גלי חום אוקיאניים, אבדן קרח ים והפשרת קרקעות קרח עד.

- **עם העלייה בגובה פני הים העולמי הממוצע, יותר אזורים יהיו חשופים להצפות - או כתוצאה מאירועי גאות ושפל מחזוריים או מאירועי קיצון כמו בחזית סערה. רמות גובה פני ים קיצוניות, אשר באופן היסטורי הם תופעה נדירה יחסית, יהיו נפוצים יותר ויותר במאה הנוכחית. אזורים נמוכים, כמו בנגלדש, או איים קטנים, הם בסיכון גבוה במיוחד. עד לשנת 2050, צפויות ערים גדולות רבות הנמצאות באזורים נמוכים, כמו גם איים קטנים רבים, לחוות מדי שנה הצפות שכיום אנו רואים פעם במאה שנה. בהיעדר הערכות מתאימה, דבר זה יוביל לתדירות מתגברת של הצפות חמורות. ההשלכות יכולות לכלול גם חדירה של מי ים למי התהום ומקווי מים, מה שיוריד את איכות המים ויכול להוביל לבעיות בריאותיות ופגיעה ביבולים. במספר מדינות השוכנות באיים נמוכים ובאזורים ארקטיים כבר החלו להכין תכניות למקרה שיצטרכו להגר וליישב מחדש את האוכלוסיה במקום אחר בעתיד.**

- **התדלדלות הקריוספירה משפיעה על בני האדם באזורים הארקטיים ובאזורי הרים גבוהים בעיקר בדרכים שליליות, עם השלכות על זמינות מי שתיה, הפקת אנרגיה הידרואלקטרית, תשתיות, תחבורה, זמינות מזון, תיירות ופנאי, בריאות ורווחה, וכן תרבות וערכים חברתיים עם אתגרים והזדמנויות המפוזרים באופן לא אחיד בין אוכלוסיות שונות. כשקרחונים נמסים, מי נגר השנתי בהתחלה מתגברים, עד למקסימום מסוים ואז מתחילה הזרימה לרדת. גם העיתוי העונתי של הנגר יכול להשתנות. באזורים מסויימים, אבדן קרח מקרחונים כבר מפחית תפוקות של יבולים (בהרי האנדים הטרופיים לדוגמה), במיוחד באזורים בהם קיימים גורמים נוספים המשפיעים באופן שלילי על הסביבה.**

- ככל שהאקלים משתנה, מערכות אקולוגיות, כמו גם המבנה הפיסי של הסביבה, משתנים בדרכים מורכבות, מה שמשפיע גם על שירותי המערכת שהן מספקות. באזור הארקטי, אבדן של קרח ים, צפוי להגביר את מעט את הגדילה של פיטופלנקטון בעקבות העלייה בזמינות אור השמש. ברמה גלובאלית, אנו צופים כי אוכלוסיות הדגים ינועו לכיוון הקטבים ככל שמי האוקיינוס יתחממו, מה שיפחית את עושר המינים באזורים טרופיים ויגביר אותו בקווי הרוחב



The village of Shishmaref in Alaska is an island community of Iñupiat Eskimo. Although the village has some protective structures to combat coastal erosion, residents have voted to relocate to the mainland.

האמצעיים והגבוהים. באותו הזמן, כמות הדגה אותה תופסים דייגים ברחבי העולם, שבעצמה כבר מושפעת מדייק יתר באזורים מסוימים, צפויה לרדת באופן כללי.

כיצד אנחנו יכולים לפעול על מנת למזער את הנזקים ולהתאים את עצמינו לשינוי האקלים?

ישנן שתי דרכים בהן נוכל לפעול על מנת להפחית את הסיכונים וההשלכות של שינוי האקלים בעשורים הקרובים:

- **מיטיגציה:** האחת היא הגבלת קצב התחממות כדור הארץ ע"י ביצוע פעולות הקשורות לגזי חממה. נוכל לעשות זאת ע"י הפחתת פליטות של גזי חממה לאטמוספירה הקשורות לפעילות האדם או ע"י שימוש בשיטות להסרה של פחמן דו חמצני מהאטמוספירה באופן פעיל, כמו נטיעת עצים. יחד, אנו קוראים לפעילויות האלה פעילויות מיטיגציה, כלומר פעילויות הפחתה או מזעור נזקים.
- **אדפטציה:** גישה שניה היא טיפול בהשלכות של שינוי האקלים ע"י הגבלת כמות האנשים, חיי הבר או הרכוש העומדים בפני סכנה או ע"י הקטנת השפעת הסכנה עליהם. פעולות אלה מוכרות בשם אדפטציה, או הסתגלות.

בפועל, שתי דרכי הפעולה, גם הפחתה וגם הסתגלות, נחוצות על מנת להתמודד עם שינוי האקלים. יתרה מכך, צריך לבחון את שתיהן בכול פרוייקט. לדוגמה, כשמתכננים בית ספר חדש, נוכל לבנות את הבניין נייטרלי מבחינת פחמן הן בבניה והן בתפעול (הפחתה), בעוד שאנו מוודאים שהוא יוכל להתמודד עם מגוון של סוגי אקלים אפשריים שיהיו בעתיד (הסתגלות). או, על מנת להעריך לעליית גובה פני הים באזורים הטרופיים, נוכל לשתול מנגרובים, ולהנות הן מהיכולת שלהם להפחתת אנרגיית הגלים ושחיקת החוף והן מהסרת פחמן דו חמצני מהאטמוספירה (המאוכסן בקרקעות עשירות בפחמן האופייניות לאזורי מנגרובים). שימור של שוניות אלמוגים יכול לתרום להגנה על אוכלוסיות באיים מאנרגיית גלים ומסופות ציקלון ולספק מקור מזון בר קיימא ומשאב כלכלי. לפתרונות המבוססים על שיקום וטיפוח מערכות טבעיות על מנת לקבל שירותי מערכת שונים קוראים 'פתרונות מבוססי טבע' (Nature Based Solutions).

הפחתה ומזעור נזקים (Mitigation)

האתגר בהפחתת פליטות גזי החממה מפעילות האדם הוא אתגר עצום. בעוד שנחוץ צמצום מהיר ביותר בפליטות בעשורים הקרובים ע"מ להגביל את שינוי האקלים, אוכלוסיית העולם, דרישות האנרגיה והצריכה רק גדלים. במקביל, כפי שבא לידי ביטוי ביעדי הפיתוח בר קיימא של האו"ם (SDG), עלינו להתמודד עם עוד מגוון אתגרים גלובליים משמעותיים, כולל גישה למזון, מים, תעסוקה ושירותי בריאות לאלו הנזקקים לכך, תוך הפחתת חוסר השוויון החברתי.

יש סיבות רבות לתקווה. לא רק שיש עליה במודעות הציבורית והפוליטית לצורך לפעול במהירות, גם מחיר הייצור של אנרגיות מתחדשות צונח, ונחתמים הסכמים בינלאומיים חדשים. כבר היום יש סיפורי הצלחה רבים. בבריטניה, הודות לצניחה בשימוש בפחם, רמות פליטת הפחמן הדו חמצני ירדו לרמות שנצפו לאחרונה רק ב 1890, בעוד שהשימוש בחשמל ממקור מתחדש בגרמניה עלה מ-6% בשנת 2000 ל 45.4% ב 2020¹⁹. בחודש מרץ 2018 ייצר החשמל ממקורות מתחדשים בפורטוגל סיפק לראשונה מעל מאה אחוז מצריכת החשמל החודשית²⁰ כשבשנת 2021 כבר 69% מכלל החשמל (בכל החודשים) יוצר ממקורות אנרגיה מתחדשים. אף על פי כן, כיוון שהתחממות גלובאלית תלויה בפליטות גלובאליות, לא מספיק שרק מספר מצומצם של מדינות יפעלו. האתגר העומד לפתח האנושות הוא עצום. למרות תפקידן המרכזי, השינוי לא יתרחש רק באמצעות פעילותן של

¹⁹ German Environment Agency, electricity demand.

https://www.bmwi.de/Redaktion/EN/Publikationen/Energie/renewable-energy-sources-in-figures.pdf?__blob=publicationFile&v=3

²⁰ <https://www.apren.pt/en/march-100-renewable-first-month-of-xxi-century-fully-supplied-by-renewable-electricity-sources/>

ממשלות, עסקים, או חקיקה בהפחתת כמות הפליטות, כפי שנבחן בהמשך, גם לארגונים מקומיים וליחידים ישנו תפקיד חיוני ביצירת השינוי.

טביעת הרגל הפחמנית

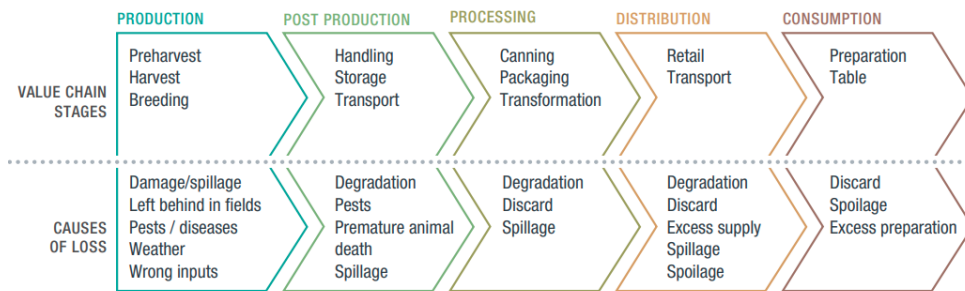
טביעת רגל פחמנית מוגדרת לרוב ככמות הכוללת של גזי החממה הנפלטים ע"י מקור מסוים. את טביעת הרגל הפחמנית ניתן לחשב לגופים ממגוון רחב של סוגים, כמו אדם בודד, מדינה או מוצר. לדוגמה, הכמות הכוללת של גזי חממה הנוצרים בתהליכי הייצור, השינוע והשימוש של חולצת טריקו. גזי חממה שאינם פחמן דו חמצני מיוצגים במדידה באופן שידמה השפעה שוות ערך של פחמן.

חישוב טביעת הרגל יעזור לך או לקבוצה אליה את/ה שייכת לזהות אלו מהפעולות אותן אתם מבצעים תורמת הכי הרבה לפליטות גזי חממה, ולפיכך תהיה החשובה ביותר לתיקון. יותר משהמטרה היא לקבל הערכה מדוייקת של כל רכיב התורם לטביעת הרגל, אנו שואפים לקבל הערכה איכותית של התרומה היחסית של כל רכיב, כך שנוכל לזהות את הרכיב הגדולים ביותר והחשובים ביותר לצמצום. חשוב לזכור גם שיש הגבלה למה שאדם יחיד או קבוצה יכולים להשיג ללא תמיכה חקיקתית או אחרת.

הפחתת טביעת הרגל שלי

הינה מספר דרכים בהם תוכלו להפחית את טביעת הרגל הפחמנית שלכם/:

- **צמצום צריכה** של אנרגיה או חומרים ע"י הפחתת צריכה, שימוש חוזר ומחזור. ע"י שימוש בפחות מוצרים ושירותים, תוכלו להוריד את צריכת האנרגיה שלכם ולפיכך גם את פליטת גזי החממה הנוצרים מהפקתה. לדוגמה, תליית בגדים לייבוש בשמש בניגוד לייבוש במייבש, שימוש בתחבורה שצורכת פחות פחמן או נסיעה של מספר אנשים ברכב אחד במקום כל אחד ברכב משלו, ברכישת מכשיר חשמלי חדש רצוי להעדיף כזה עם צריכת חשמל נמוכה (או יעילות אנרגטית גבוהה).
- **השתמשו במכשירי חשמל או בכלי רכב הפועלים על מקורות אנרגיה דלי פחמן.** השתמשו בחשמל ממקורות "ירוקים" (כמו חשמל סולארי) והשתמשו במידת האפשר בכלי רכב חשמליים או מונעים ע"י אנרגיה שאינה דלק פחמימני. שימו לב שכשבוחרים להחליף מכשיר חשמלי או מכונת שעושים שימוש בדלק מאובנים כמקור אנרגיה מומלץ לבדוק אם ההחלפה כדאית, בהתחשב בפליטות גזי החממה מתהליך הייצור של המכשיר החדש וכמובן מהסילוק של המכשיר הישן.
- **הימנעו מאבדן מזון.** באופן גלובלי, כשליש מכמות המזון שבני האדם מייצרים מתבזבזת²¹. אם אתה אוכל בשר, תוכל לשקול לצרוך פחות בשר. מקורות הבשר בעלי טביעת הרגל הגבוהה ביותר הן בקר וכבשים, כך שהימנעות או החלפה שלהם במקורות אחרים תפחית את טביעת הרגל האיטית שלך.



Food losses along the food chain.

Source: Adapted from the UNCCD. https://www.unccd.int/sites/default/files/documents/2017-09/GLO_Full_Report_low_res.pdf

- **המנע מפעילויות הפולטות כמות גדולה של גזי חממה** או החלף אותן בפעילויות הפולטות פחות. לדוגמה, המנע מנסיעות לטווח רחוק, או אם אתה חייב לנסוע, נסה לקחת רכבת במקום לטוס (במידת האפשר כמובן). על מנת להגיע לעבודה או לבית הספר, סע באופניים, לך ברגל או השתמש בתחבורה ציבורית במקום להשתמש ברכב פרטי.
- עבור פליטות שאינך יכול להימנע מהן, ניתן לשקול רכישה של שירותי "קיזוז פחמן" ממקור מהימן. זכור כי אחוז גבוה מאוד מהפחמן הדו חמצני שאנו פולטים יישאר באטמוספירה גם עוד מאה שנים, אז רק שירותים שמטרתם סילוק פחמן מהאטמוספירה לטווח ארוך ישיגו קיזוז אמיתי.

²¹ 4 IPCC Special Report on Climate Change and Land, 2019: <https://www.ipcc.ch/srccl/>

שיטות להפחתת ומזעור נזקים

בעוד שהפחתת פליטות נראית על פניו כפתרון פשוט, הסיפור המלא מורכב יותר.

- **יש להתחשב בכל סוגי הפליטות.** על מנת להעריך באופן מיטבי את פליטות הפחמן הדו חמצני הקשורות למוצר שקנינו או לפעילות מסוימת, יש לקחת בחשבון את כל גזי החממה שנפלטו בתהליך. ניקח לדוגמה רכישה של חולצת טריקו. נצטרך למדוד את הפליטות המתרחשות בכל אחד מהשלבים במחזור החיים של המוצר, מה'עריסה' (הייצור) עד 'לקבר' (סיום השימוש). שלבים אלו כוללים פליטות מגידול הכותנה, אריגת הבד וצביעתו, הובלת הבגד המוכן מהיצרן, דרך כל שרשרת האספקה ועד החנות וכולי. רצוי אפילו להכניס לחישוב את הפליטות במהלך כביסת הבגד וייבושו במהלך חייו. ייתכן ומרבית הפליטות התרחשו במדינות אחרות. כשמדינות מודדות את טביעת הרגל הפחמנית שלהן, הן עשויות לא להכניס לחישוב את המקורות מהן הגיעו מוצרים מחוץ למדינה, כך שהן לפעמים נחשבות "ירוקות" יותר ממה שהן באמת.
- **יש להתחשב במכלול ההשלכות הסביבתיות.** טביעת הרגל הפחמנית מודדת רק דרך אחת בה אנו משפיעים על הסביבה (פליטת גזי חממה). **קיימים גורמים נוספים שיש להתחשב בהם על מנת להקטין את טביעת הרגל שלנו.** למשל, אם נחזור לדוגמת חולצת הטרקו, גידול הכותנה, שצורך נפח גדול של מים, עשוי לעשות שימוש במקור מים שאינו בר קיימא. נוכל גם לשאול את עצמנו האם החקלאי שגידל את הכותנה קיבל תגמול הולם עבור היבול, או האם הוא השתמש בחומרי הדברה, דבר שמסכן את מגוון המינים או את מי התהום. לרוע המזל, לרוב קשה לדעת האם מוצרי צריכה מיוצרים באופן הוגן, אתי ובר קיימא, אף על פי שמידע שימושי ניתן למצוא בד"כ על אריזת המוצר. למשל ארץ הייצור, חומרי הגלם (שמן דקל לדוגמה) והאם למוצר יש חותמת של סחר הוגן. בכל מקרה חשוב לשמור על חשיבה ביקורתית ולבחון כל פתרון לעומק כיוון שלפעמים הוא יכלול השלכות שליליות חבויות.
- **צדק סביבתי.** אף על פי שהסכמי פריז וההסכמים שבאו אחריהם אינם מציניים באופן מפורש כיצד יראו הפחתות הפליטות בכל מדינה, קיימת ציפייה כי הדבר יעשה באופן צודק. קיימות מספר גישות בנושא, אך אופן החלוקה – כלומר בכמה ובאיזה אופן תפחית כל מדינה את כמות פליטות גזי החממה שבה אינה מוסכמת על כל מדינות העולם.

הסתגלות (אדפטציה)

רמת השפעת שינוי האקלים על מקום מסוים תלויה לא רק במידת השינוי אלא גם ברמת הרגישות או הפגיעות של אוכלוסיית המקום, המערכות האקולוגיות והתשתיות שבו לשינוי ורמת החשיפה שלו לשינוי. הסתגלות לשינוי האקלים משמעה עשייה מכוונת להפחתת החשיפה (של מה שבסיכון) ומזעור רמת הפגיעות שלהם לשינוי. חשיפה לשינוי ורגישות לשינוי לעיתים קרובות קשורות לעוני. לדוגמה, לאנשים שלהם פחות אמצעים, בנוסף לכך שיש להם גם פחות יכולת להתמודד, יחיו לרוב בסביבה הכי חשופה לשינוי.

הפחתת רמות החשיפה והרגישות לשינוי

בהתאם להשפעות הצפויות משינוי האקלים בכל אזור, ניתן לעשות שימוש באמצעים שונים ע"מ להקטין את רמת החשיפה או הרגישות. לדוגמה, באזורים המושפעים יותר מעליית מפלס הים הממוצע או עליית מפלס הים באופן זמני בעקבות סערות גדולות (storm surge), יכול להוביל להצפות שטחים עצומים במקומות מסוימים בעולם) הקטנת החשיפה יכולה להתבצע על ידי הרחקת נכסים מקו המים, הגברת ההגנה (למשל בניית קירות ים, שימור ושיקום של שוניות אלמוגים, יערות מנגרובים או בתי גידול לחים לאורך החוף) או אפשרו של הצפות תקופתיות על ידי בנייה מוגבהת. על שטחי חקלאות ניתן למשל להגן ע"י גידול מינים בעלי עמידות גבוהה למליחות.

פתרונות שיוכלו לעזור בהפחתת הסיכון והסתגלות לשינוי האקלים באזורים שיפגעו ממדבור מואץ יכולים לכלול שיטות לקציר מים מהאוויר, השקיה מדויקת (מיקרו השקיה, בטפטפות למשל) שיקום קרקעות באמצעות צמחיה מתאימה ועמידה ליובש, ייעור מחדש או שימוש בשיטות אגרו-אקולוגיות אחרות המבוססות סביב צרכי המערכת האקולוגית. ייעור למשל, או נטיעת עצים, יכול לסייע בהפחתת סופות חול, לעזור בהפחתת שחיקת הקרקע העליונה ע"י הרוח, לתרום להטמעת פחמן, תוך תרומה ליצירת מיקרו אקלים משופר, להשבחת הקרקע ולליכידת מים.

גם באופן אישי נוכל להקטין את רמת החשיפה שלנו והרגישות שלנו לאירועי מזג אוויר קיצוניים. במהלך גל חום למשל, נוכל לחפש צל או להכנס לבתים מצוננים (ובכך להקטין את החשיפה), ולשתות הרבה מים (ובכך להקטין את רמת הפגיעות האישית). לרוע המזל, במקרים מסוימים, יש גבול למה שנוכל לעשות על מנת להעריך להשפעות הצפויות. עם עליית מי הים למשל, יהיו אזורים נמוכים שבסופו של דבר יוצפו או יעשו בלתי ניתנים ליישוב והאוכלוסיות שחיות בהם יאלצו להגר.

חינוך

חינוך הוא מרכיב ליבה בהסתגלות ויכול להתרחש באופנים רבים, כמו הכרות טובה יותר עם הסביבה הקרובה, העברת הידע שלנו בנושא שינוי האקלים לחברים או לבני משפחה, או הכשרה מקצועית שיכולה לתרום ליישום פתרונות מתאימים למקום מגוריהם.

שיטות בהסתגלות לשינוי האקלים

הגישה המתמשכת

כדי שנוכל לתכנן וליישם את אופן ההסתגלות של סביבת מגורינו לשינוי האקלים אנו זקוקים להבנה מעמיקה של סך כל הסיכונים ששינוי האקלים מהווה ברמה המקומית. מכיוון שרבות מההשפעות העתידיות של שינוי האקלים על אזור ספציפי אינן ודאיות, תהליך ההסתגלות שלנו חייב להיות תהליך המשכי, ובו בחינה מתמדת של האסטרטגיות בהן אנו עושים שימוש והמשך התאמתן לאתגרים ככל שהידע המדעי משתפר עם הזמן. מעורבות של מגוון רחב של אנשים וגופים במאמצי ההסתגלות יכולה לסייע בכך שכל נקודות ההשקפה נבחנות והמעמסה שביישום הפעולות הנדרשות, יחד עם ההשלכות החיוביות והשליליות שלהן, מחולקות באופן הוגן.

התייחסו לסוגיות סביבתיות נוספות.

מקום טוב להתחיל בו בהסתגלות של סביבת מגורינו הוא זיהוי וטיפול בבעיות סביבתיות מקומיות קיימות שעוללות, אם לא יטופלו, להחמיר את השלכות שינוי האקלים בעתיד. לדוגמה, שקיעת קרקע שנגרמת מפעילות האדם מחמירה את השפעת עליית מפלס מי הים בערי חוף במקומות רבים בעולם. ניתן לנקוט בצעדים להאטת השקיעה כמו הפחתת שאיבת מי התהום. זיהום (חוץ מגזי חממה) הוא תחום בו יש דוגמאות רבות. למשל, לענף הבנייה יכולה להיות השפעה על האור המגיע אל שוניות האלמוגים (זיהום אור) או לחקלאות עשויה להיות השפעה על חומרי הדשן הנשטפים אל המערכת החופית. דוגמאות נוספות מיני רבות מהסביבה הימית הן למשל חלקיקי פלסטיק המצטברים במי האוקיינוס או דיג יתר. בקריוספירה, חלקיקי פיח משריפת דלק מאובנים הנוחתים על השלג עשויים להגביר את המסת השלג או הקרחונים הנובעת משינוי האקלים, כך שהפחתת הפליטות עשויה לעזור גם בהפחתת תהליכי ההמסה.

חשוב להדגיש כי הסתגלות לשינוי האקלים הוא לא תהליך העוסק בהשפעות השליליות של שינוי האקלים בלבד, אלא גם בזיהוי השפעות חיוביות.

הסכמים בינלאומיים

בשל שינויי האקלים, עלה צורך בהתארגנות בינלאומית לצורך טיפול במצב. כבר בשנת 1992 התכנסה בברזיל ועידת פסגה של האו"ם, שנקראה פסגת כדור הארץ. במסגרת הוועידה נחתמו מספר הסכמים ונוצרו תכניות פעולה. בין היתר, נחתמה אמנת המסגרת של האו"ם בנושא שינוי אקלים (UNFCCC), אשר מהווה את המסגרת להתכנסויות השנתיות של הוועדה.

בהתאם לכך, ועידות האומות המאוחדות לשינוי אקלים (United Nations Climate Change conference, הידועה גם כ"ועידת האקלים של האו"ם") מתכנסת אחת לשנה, במסגרת אמנת המסגרת של האו"ם בנושא שינוי אקלים. הוועידה מתכנסת כדי לדון בהתמודדות עם שינוי האקלים העולמי; כדי לנהל משא ומתן על אמנת קיוטו (1997) - הדנה בהפחתת פליטת גזי חממה במדינות המפותחות; וכדי לדון בהסכם פריז (2015) העוסק בנושא דומה²².

²²https://he.wikipedia.org/wiki/%D7%A2%D7%99%D7%93%D7%95%D7%AA_%D7%94%D7%90%D7%95%D7%9E%D7%95%D7%AA_%D7%94%D7%9E%D7%90%D7%95%

הסכם פריז

מטרתו של הסכם פריז של האו"ם היה להשאיר את רמת ההתחממות הגלובאלית מתחת ל-2 מעלות צלזיוס תוך שאיפה להגביל את העלייה רק למעלה וחצי, ההסכם מציינ כי יש להפחית בין 40%-ל-60 מסך פליטות הפחמן בעולם תוך עשור, על מנת להגיע ליעד של אפס פליטות (נטו) עד שנת 2050²³. עד לנובמבר 2017, חתמו על ההסכם 195 מדינות, ביניהן גם ישראל (חתמה על ההסכם ב-22.4.2016). הסכם פריז היה ההסכם המקיף הראשון בעולם בתחום האקלים. ההתחייבות המרכזית של כל מדינה החתומה על הסכם פריז היתה להגיש מדי חמש שנים תוכנית שבה יפורטו האמצעים שתנקוט על מנת להתמודד עם שינויי האקלים. האסטרטגיה להשגת המטרות כונתה 20/20/20: הפחתה של פליטת פחמן דו-חמצני ב-20%, הגדלת נתח השוק של אנרגיה מתחדשת ב-20%, ועלייה ב-20% חסכון באנרגיה עד שנת 2020.

בסוף שנת 2019 העריכו גורמים באו"ם, בהתאם לדו"ח תכנית הסביבה של האו"ם (UNEP) שעל פי הממצאים העדכניים יש לעדכן את היעדים שנקבעו בהסכם פריז, שכן אלו לא יספיקו כדי למנוע את ההתחממות בקצב שנשאף אליו בהסכם פריז. בנוסף העריכו באו"ם שלא נעשה מספיק גם כדי לעמוד ביעדי ההסכם המקוריים, ושהמדינות החתומות עליו מתקשות להגיע ליעדים שנקבעו. עם זאת, דו"ח של צמיחת פליטת הפחמן לשנת 2019 הראה שאמנם גדלה כמות הפליטות, אך קצב הצמיחה קטן (גידול של 0.6% לעומת שנת 2018, זאת בהשוואה לגידול בשנה קודם לכן שעמד על 2.1%). על ההסכם הובעה ביקורת. בין היתר על כך שכל מדינה שלחה מסמך התחייבויות אך המדינות לא נדרשו להזכיר גזי חממה בהתחייבויותיהן, וכל מדינה יכלה להתחייב לדבר מסוים שהיא כבר התחייבה לו בעבר, או לחלופין להתחייב לפחות ממנו.

ועידת גלזגו – COP26

ועידת האומות המאוחדות לשינוי אקלים 2021 היא הוועידה ה-26 בנושא. הוועידה התקיימה בגלאזגו, סקוטלנד. הוועידה נדחתה בשנה בשל מגפת הקורונה. בוועידה השתתפו כ-25,000 נציגים מכ-200 מדינות, כולל ישראל. מספר דמויות מפתח כמו נשיא סין שי ג'ינפינג, נשיא רוסיה ולדימיר פוטין ונשיא ברזיל ז'איר בולסונארו הודיעו כי לא ישתתפו בוועידה.



כחלק מהסכם שקודם עוד לפני הוועידה, יותר מ-100 מנהיגי מדינות התחייבו להביא להפחתה של 30% בפליטת גז המתאן עד לשנת 2030. למרות שהסכם פריז לא קבע יעד של עלייה מרבית של 1.5 מעלות כרף של מניעת תופעות קטסטרופליות, ולא חייב סך של אפס פליטות עד 2050, שני ההיבטים הללו קיבלו התייחסות רשמית בהצהרת גלזגו, שעליה חתמו 197 מדינות.

בהסכם הודגש יעד של 45% הפחתת פליטות פחמן דו חמצני עד שנת 2030, ומעקב שנתי אחר התקדמות היעדים בעשור הקרוב (בניגוד לדיווחים כל חמש שנים שהיו נהוגים קודם לכן). היעד של ישראל ל-2030 הוא 27% הפחתה, ונחשב נמוך בקנה מידה עולמי.

נושא האדפטציה - ההערכות לשינויי אקלים, קיבל התייחסות משמעותית יותר בהצהרת גלזגו, כשנקבע שלא ראשונה יאומץ יעד גלובלי להערכות. זאת, בין השאר בלחץ המדינות המתפתחות, שסובלות כבר כעת מהשלכות השינוי ודוחקות במדינות המפותחות לפעול בדחיפות על מנת לסייע להן כלכלית להיערך לאסונות שבדרך. בעקבות הוראות השקיפות שהתקבלו בוועדה, גם ישראל תידרש מעתה לדווח על תמיכתה במימון אקלימי.

[D7%97%D7%93%D7%95%D7%AA_%D7%9C%D7%A9%D7%99%D7%A0%D7%95%D7%99_%D7%90%D7%A7%D7%9C%D7%99%D7%9D](https://www.ipcc.ch/sr15)

²³ IPCC Special Report "Global warming of 1.5°C": <https://www.ipcc.ch/sr15>

בנוסף, כ-100 ממנהיגי העולם הסכימו להפסיק כריתת יערות עד שנת 2030. וסוכם כי יוקצו כמעט עשרים מיליארד דולר לפיצויים ושיקום היערות. מומחי אקלים בירכו את המהלך, אולם הזכירו כי גם בהסכם פריז הוחלט על האטה בקצב כריתת העצים, אך המדינות לא הצליחו לעמוד בהתחייבויותיהן. ההסכם כולל "הפחתה הדרגתית" של שימוש בפחם, ניסוח שהכעיס חלק מהמדינות המשתתפות שקיוו להפסקה מוחלטת בשימוש בפחם.

בסיום הוועידה אומצה הצהרה שמאמצת את הממצאים של מספר דוחות מדעיים עדכניים לפיהם הפעילות האנושית כבר גרמה לעלייה של 1.1 מעלות צלסיוס בטמפרטורה העולמית ונותנת הכרה בכך שההשפעות השליליות של עליה ב- 1.5 מעלות יהיו נמוכות משמעותי יותר מאשר ב- 2 מעלות ולכן יש לנקוט בכל המאמצים להגביל את עליית הטמפרטורה ל- 1.5 מעלות, מה שמחייב פעולות מהירות ומקיפות ובראשן הפחתת פליטות פחמן דו חמצני עד לאפס פליטות גזי חממה נטו עד אמצע המאה. ההצהרה מכירה בכך כי הממצאים המדעיים מצביעים על הצורך לנקוט פעילות מואצת כבר בעשור הקרוב.²⁴

הוועידה הבאה, COP27 תתקיים בשארם א-שייח מה-6 ועד ה-18 לנובמבר 2022. נציגות ישראלית ממשלתית ושל החברה האזרחית (כולל נציגות של אקוואשן) והמגזר העיסקי הולכת להשתתף בוועידה ולקיים אירועי צד ותצוגות ולראשונה יוצג ביתן ישראלי בוועידת האקלים של האו"ם.

רצים נגד הזמן

ב-30/9 יצא לדרך מגלזגו, מארחת ה-COP26, לשארם א-שייח שבמצרים, שתארח את ה-COP27, מרוץ השליחים הגדול בעולם, במטרה להעלות את המודעות למשבר האקלים ולצורך לפעול בדחיפות. המרוץ חולף על פני כ-7800 ק"מ ב-18 מדינות, במשך 38 ימים ו-24 שעות ביממה, ובין 1/11 ו-4/11 הוא שווה בישראל, בה הוא חולף לכל אורכה, מראש הנקרה ועד אילת. חלקו של המרוץ מתבצע בריצה וחלקו באופניים, ומהלכו מועבר שרביט המרוץ בין המשתתפים, מגלזגו ועד שארם א-שייח. שרביט המרוץ יגיע אל ועידת האקלים של האו"ם (COP27) בשארם א-שייח ובמהלכה יחשף בפני מנהיגי העולם מסר המוטמן בשרביט בנוגע לצורך לפעול בדחיפות.

לסיכום

בסקירה זו בחנו את תפקידם השונה של מערכות כדור הארץ – היבשה, האוקיינוסים והקריוספירה בהקשר לשינוי האקלים.

דנו בכך שהיבשה מהווה מרכיב חשוב במערכת האקלים והיא חלק ממעגלי החום, המים והפחמן הגלובליים, והזכרנו שהיבשה גם מספקת לנו חלק ניכר מהמזון אותו אנו אוכלים ומהמזון לבעלי החיים אותם אנו מגדלים, כמו גם את הסיבים, חלק מהדלק, ומי השתייה. הראנו כי משאבים אלו נמצאים בעשרות השנים האחרונות תחת איום כתוצאה מקצב חסר תקדים של ניצול שטחי האדמה ושל המים הזמינים לשתייה, תופעה המתעצמת בעקבות הטמפרטורות העולות והשינוי במשטר הגשמים. בנוסף, בחנו כיצד האוקיינוסים והקריוספירה מהותיים הן למערכת האקלים על כדור הארץ והן לתרבות האנושית, כיצד הם משתנים במהירות בעקבות שינוי האקלים וגורמים נוספים, וכיצד השינוי שלהם בתורו משפיע על בני האדם והמערכות האקולוגיות.

לבסוף, דנו בדרכים בהן נוכל להתמודד עם שינוי האקלים, הן באמצעות הפחתת פליטות ואמצעים חדשניים לקליטת פחמן מהאטמוספירה (מיטיגציה), והן באמצעות הסתגלות והערכות (אדפטציה) לסיכונים ולהשלכותיהם.

²⁴ סיכום וועידת האקלים בגלזגו, סקוטלנד COP26 - . המשרד להגנת הסביבה.

https://www.gov.il/BlobFolder/news/minister_zandberg_presented_cabinet_review_of_glasgow_climate_conference2021/he/news_files_2021_Glasgow_cop26_21112021_zandberg.pdf

ניהול נכון של שימוש בקרקעות על היבשה ושימוש באזורים ימיים (כמו אזורים המיועדים לבנית תשתיות, או אזורי דייג), כולל ניהול יערות או מערכות אקולוגיות והקמת שמורות טבע, עשוי לתרום באופן משמעותי ליכולת שלנו למזער את הנזקים שכבר נגרמים ולהתאים את סביבת חיינו לשינוי האקלים. אזורים רבים על היבשה ובים ניתן לשמר או לשקם, או לעשות בהם שימוש באופן בר קיימא.

אנו מזמינים אתכם, צוותי החינוך, לעשות שימוש בתכנים ובמערכי השיעורים הבנויים לפי סקירה זו. אנו מקווים כי הם יסייעו לכם להנחות את תלמידיכם לשקול את התפקיד האישי שלהם, של הקהילות בהן הם חיים ושל מדינת ישראל בהתמודדות עם האתגר העצום של המאה ה-21- שינוי האקלים.