

משבר האקלים - קונצנסוס מדעי לנוכח התעלמות והכחשה

ועדת ההיגוי של האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים להתמודדות עם משבר האקלים



חברי הוועדה: פרופ' דן יקיר (יו"ר), פרופ' צבי בן-אברהם, פרופ' נעמה גורן-ענבר, פרופ' יוסף ג'בארין, פרופ' נדב דוידוביץ', פרופ' יואב יאיר, פרופ' יוסי לוי, פרופ' שלומית פז, פרופ' מליה פישור, פרופ' דניאל רונפלד, פרופ' איתן ששינסקי.

שינויי האקלים והשפעת האדם עליהם הם עובדות בעלות בסיס מדעי איתן, המצביע על קשר סיבתי בין עליית כמות גזי החממה באטמוספירה, ההתחממות הגלובלית, עליית מפלס מי הים והגברת שכיחותם של אירועי מזג אוויר קיצוניים.

טענות המכחישים (ההולכות ומתמעטות) אינן עומדות במבחן המדע ואסור שיעכבו את ההתמודדות עם המשבר המתפתח. המשבר דורש נקיטת פעולות דחופות מצד מקבלי ההחלטות, קהילת המחקר והציבור כאחד להפחתת פליטות גזי חממה (אפחות; מיטיגציה) ולהסתגלות של כלל המערכות למציאות המשתנה (אדפטציה).

תקציר

מדעני האקלים שבים ומתריעים כי פליטות גזי חממה שמקורן בפעילות האדם (תעשייה, אנרגיה, תחבורה, חקלאות, פעילות ביתית ועוד) מביאות להשתנות האקלים, והשתנות זו משפיעה דרמטית על הסביבה, על המערכות האקולוגיות ועל מרבית ההיבטים של תנאי החיים על כדור הארץ. אף על פי כן רווחות ההכחשה, ההדחקה, ההתעלמות והספקנות הן בנוגע לשינויי האקלים עצמם והן בנוגע לאחריות האדם להם. גישה זו פוגעת ביכולת ההתמודדות עם משבר האקלים ומעכבת נקיטת פעולות דחופות שיסייעו לבלימתו. המסמך שלהלן סוקר את האסמכתאות המדעיות המוצקות לעצם התחממות כדור הארץ וכן להשפעת האדם עליה. הוכחות המדענים עומדות על שני יסודות אלו: ראשית, הבנה יסודית של התהליכים שגורמים להתחממות הגלובלית, ובראשם פליטות גזי החממה (כגון פחמן דו-חמצני ומתאן); שנית, עמידה על "טביעות האצבע" הברורות של פעילות האדם המעידות שהיא הגורם הדומיננטי להתחממות, כגון שינוי בהרכב הכימי של גזי החממה וכן קצב השינויים הנמדדים בריכוזי הגזים ובטמפרטורה בעשורים האחרונים, אשר לא נצפו באלפי השנים הקודמות.

חלק ניכר מטענות הנגד לדברים שלעיל אינן עומדות במבחן המדע, או הפכו בלתי רלוונטיות עם הצטברות התצפיות ושיפור איכות המדידות במהלך הזמן. עלינו לוודא שהגורמים המעלים טענות אלו לא יפגעו במאמצים להתמודדות עם משבר האקלים. מדינת ישראל אשררה את אמנת המסגרת של האו"ם לצמצום השפעות שינויי האקלים כבר בשנת 1996. מאז הוקמה מנהלת היערכות לאומית והוכנו טיוטות להצעות חוק בנושא, אך ההתקדמות איטית וזמן רב אבד. בהסתמך על הבסיס המדעי האיתן המסוכם במסמך זה, אנו קוראים למקבלי ההחלטות, לקהילה המדעית ולציבור כולו לקדם פעולות דחופות להפחתת פליטות גזי חממה (אפחות; מיטיגציה) ולהסתגלות של כלל המערכות במדינה לאקלים המשתנה (אדפטציה).

כבר בשנת 1896 חישב סוונטה אוגוסט ארניוס (Svante August Arrhenius) השוודי, על בסיס פיזיקה בסיסית, שהכפלת ריכוז הפחמן הדו-חמצני (פד"ח) באטמוספירה תביא להתחממות של כ- 5°C . ריכוזו באוויר היה אז כ-280 חלקי מליון (ח"מ), ואילו כיום ריכוזו עומד על כ-420 ח"מ. בכינוס של ראשי תעשיית האנרגיה האמריקאית ב-1959 הזהיר פרופ' אדוורד טלר (Edward Teller), מראשי 'פרויקט מנהטן', כי פליטות נרחבות של פד"ח לאטמוספירה יביאו להגברת אפקט החממה, וזו תתבטא בהתחממות, הצפת ערי חוף והמסת כיפות הקרח בקטבים. מאז, ובעיקר ב-30 השנים האחרונות, שבים מדעני האקלים ומתריעים כי פליטות גזי חממה נרחבות שמקורן בפעילות האדם (תעשייה, אנרגיה, תחבורה, חקלאות, פעילות ביתית ועוד) גורמות לשינוי בהרכב האטמוספירה, להתחממות פני כדור הארץ ולהשתנות של האקלים, תהליכים בעלי השפעה דרמטית על הסביבה, על מערכות אקולוגיות ועל כל ההיבטים של תנאי החיים בכדור הארץ. אף על פי כן רווחות ההכחשה, ההדחקה, ההתעלמות והספקנות הן בנוגע לעצם שינויי האקלים והן בנוגע לאחרייתו של האדם להם. גישה זו פוגעת ביכולת ההתמודדות עם משבר האקלים ומעכבת נקיטת פעולות דחופות של אפחות (מיטיגציה; הפחתת פליטות) ואדפטציה (הסתגלות) שיסייעו לבלמתו. מסמך זה נועד לסקור בקצרה את טענות המכחישים ואת התשובות המדעיות לעיקריהן, במטרה להבהיר לקובעי המדיניות ולציבור כי ההכחשה מסכנת את ההתמודדות עם משבר האקלים.

1. הכחשת משבר האקלים - מאפיינים, סיבות וסיכונים

למרות המציאות הטופחת על פנינו והממצאים המצטברים מכל רחבי כדור הארץ לשינויי האקלים, ולמרות הקונצנזוס המדעי בדבר הגורמים לשינויים אלו, בחוגים מסוימים עדיין רווחות ההתעלמות וההדחקה, ההכחשה או הספקנות הן באשר לעצם קיומו של משבר האקלים והן באשר לגורמים לו. הכחשת משבר האקלים היא הביטוי הבולט ביותר של תופעת הכחשת המדע וממצאיו, והיא העומדת ביסוד ההתנגדות להגנה על הסביבה ועל החברה. להכחשה גרסאות שונות: הכחשת מגמת ההתחממות, פקפוק באחרייתו של הגורם האנושי למשבר, הכחשת ההשפעות השליליות של ההתחממות וכן הטלת ספק בהסבר המדעי להתחממות.

המכחישים עצמם משתייכים למספר קבוצות: תעשיינים וארגונים עסקיים שפעילותם פוגעת בסביבה, כגון חברות העוסקות בהפקת נפט או פחם ותעשיית המלט והפלדה; פוליטיקאים ואנשי ממשל שמסיבות פוליטיות מונעים במודע פעולות לבלימת המשבר; ארגונים פוליטיים ודתיים הפועלים בדרך של הכחשת מדע באמצעות תיאום בין צוותי חשיבה, קרנות ומכונים; מיעוט של מדענים שאינם בעלי מומחיות בתחום האקלים; גופי תקשורת שונים; קבוצות בציבור. ברקע הדברים משבר אמון חמור בין בעלי העניין השונים - הציבור, מומחים למיניהם, קובעי מדיניות, ממשלות וגופים בין-לאומיים. סקרים שבוצעו בארצות הברית כבר לפני עשור הראו כי אמריקאים המזהים עצמם כליברלים או דמוקרטים נוטים לקבל את קיומה של ההתחממות הגלובלית יותר מאלה המחזיקים בדעות שמרניות או רפובליקניות, וכי ההכחשה נפוצה יותר בקרב גברים לבנים שמרנים.

לתפיסה השגויה של העובדות המדעיות הסברים מגוונים. למשל: הסבר פסיכולוגי - הכחשת העובדות היא תגובה למה שנתפס כבעיה בלתי ניתנת לפתרון; הסבר סוציולוגי - אנשים נוטים להסתמך באופן סלקטיבי על מידע מפוליטיקאי שהם סומכים עליו; הסבר של ערכים ותפיסות עולם - הכחשת משבר האקלים עולה בקנה אחד עם השקפות עולם אינדיווידואליסטיות, אנתרופוצנטריות וקפיטליסטיות. לעיתים מדובר לא רק בתפיסות עולם של יחידים אלא בהכחשה מאורגנת. מחקרים שונים, בעיקר באמריקה הצפונית, חקרו

לעומק כיצד "מכונת הכחשה" שהתבססה על שתדלנות ותעמולה מצד ארגונים פוליטיים, תעשייתיים ודתיים הביאה להכחשה בקרב פוליטיקאים ובקרב אזרחים חסרי רקע מדעי.

מחקרים אמפיריים מתחומי מדיניות שונים מראים כי הכחשת מדע מאורגנת מצד גורמים בעלי הון פוליטי או כלכלי, שמצטרפים אליהם מדענים המציגים עצמם כבעלי ידע בתחום אף שהם חסרים את המומחיות המדעית הנדרשת, עשויה להשפיע על תפיסותיו של הציבור ועל האופן שבו החברה מגיבה לאיומים או לבעיות חמורות. להכחשת משבר האקלים השפעה שלילית ניכרת על היכולת לקדם מהלכים דחופים של אפחות ואדפטציה. כיום אין ספק כי הכחשה, הדחקה, חוסר מודעות וחוסר עניין בקרב מקבלי ההחלטות והציבור לאורך שנים רבות מנעו את נקיטת הפעולות ההכרחיות לבלימת שינויי האקלים (בהן הפחתת פליטות, פיתוח נרחב של אנרגיות חלופיות מתחדשות והיערכות למציאות המשתנה) והובילו את האנושות להתמודדות עם האתגר הגדול בתולדותיה כשהוא על סף נקודת האל-חזור. השימוש של מכחישי האקלים בשפה מדעית של הטלת ספק גורם לטענותיהם להישמע כוויכוח מדעי בין שני צדדים שווי ערך, אך הרוב המוחלט של אנשי המדע דוחה את הכחשת משבר האקלים. ניתן להצביע על דוגמאות מהעבר הקרוב לשימוש של גורמים אינטרסנטיים באמצעי זה, בייחוד כאשר אינטרס כלכלי כבד משקל מעורב בעניין - למשל תעשיית הטבק בנוגע לנזקי העישון והתעשייה הכימית בנוגע לנזקי האזבסט. בהתרחשויות אלו הפסידה האנושות שנים יקרות וחיי אדם.

2. משבר האקלים והקונצנזוס המדעי בעניינו

דוחות ה-IPCC (הפאנל הבין-ממשלתי של האו"ם לחקר שינויי האקלים), המתבססים על אלפי מחקרים מדעיים מכל רחבי העולם, מראים זה שנים - ובאופן גובר והולך בעשור האחרון - כי שינויי האקלים בני זמננו הם עובדה קיימת. בדוח משנת 2013 נכתב כי התחממות מערכת האקלים אינה ניתנת להכחשה וכי מאז שנות החמישים של המאה העשרים רבים מהשינויים הנצפים, וכן הקצב והעוצמה שלהם, חסרי תקדים. בדוח ה-IPCC שפורסם עשור לאחר מכן - בשנת 2023 - המדענים מדגישים ביתר שאת את חומרת מגמת ההתחממות ומציינים כי פליטה של גזי חממה לאטמוספירה בהיקפים חסרי תקדים, הנובעת מפעילות האדם, היא הגורם לעלייה בטמפרטורה הגלובלית בפרט ולשינויי האקלים בכלל.

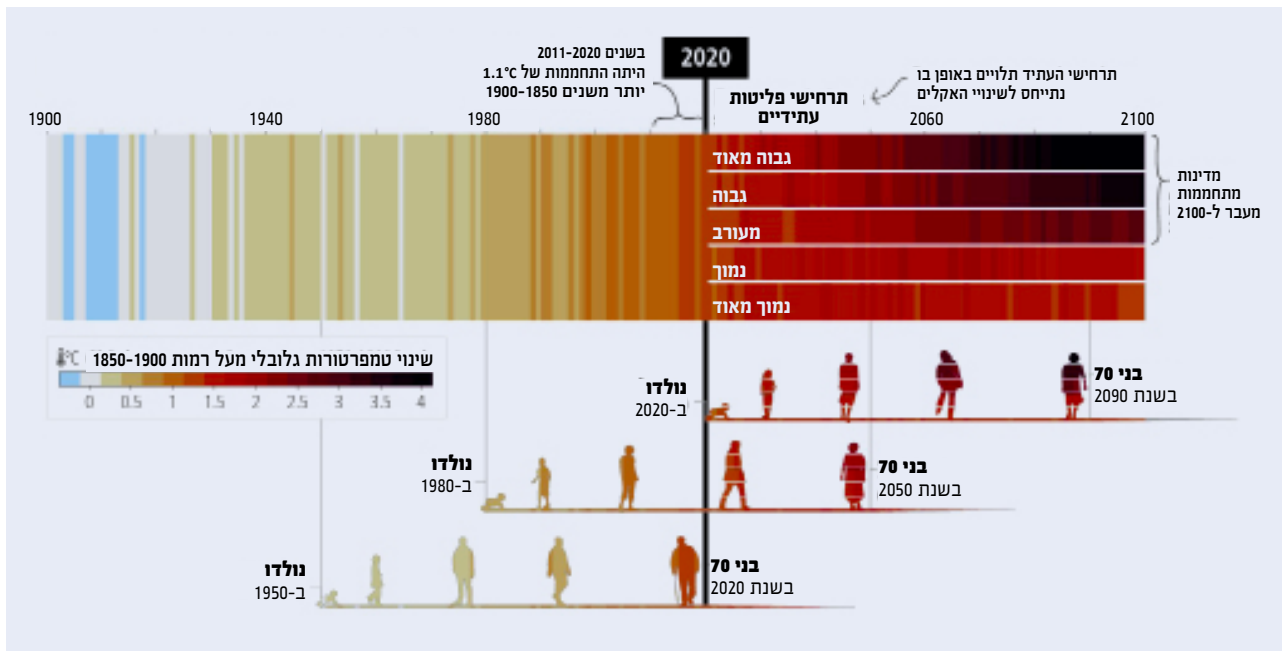
על הקשר בין פליטות גזי חממה שגורם האדם למשבר האקלים הנוכחי יש הסכמה מוחלטת בקרב כלל מדעני האקלים ובקרב כל גופי המחקר המובילים בעולם, בהם הארגון המטאורולוגי העולמי, NASA, NOAA (סוכנות החלל והסוכנות לחקר האקלים והאוקיינוסים בארצות הברית), האקדמיה הלאומית למדעים של ארצות הברית, מרכזי המחקר של האיחוד האירופי, השירות המטאורולוגי הבריטי (Met Office) ואוניברסיטאות המחקר של בריטניה.

שינויי אקלים מסיבות אסטרונומיות (היינו מתנודות בזווית של כדור הארץ ביחס לשמש ובמרחק ממנה) הם חלק מהתהליכים הטבעיים המתרחשים בכדור הארץ, ושינויים אלה גרמו בתולדות כדור הארץ למשברים קשים, שהידועים שבהם הם תקופות הקרח. שינויים אלה מתרחשים ללא כל השפעה אנושית בקצב איטי של מאות אלפי שנים או מיליוני שנים. שינויי האקלים בני זמננו שונים מהם מהותית הן מבחינת מקורם של גזי החממה - פעילות האדם - ושיעורם באטמוספירה והן מבחינת הקצב המהיר שבו עלייה זו מתרחשת. הבדל נוסף קשור בעובדה שמעולם לא חיו על פני כדור הארץ שמונה מיליארד בני אדם. אוכלוסייה אנושית זו ההולכת וגדלה, במקביל לעלייה דרמטית ברמת החיים של רבים ממנה, אחראית כאמור לפליטות אדירות של גזי חממה בכל תחום של פעילותה - תעשייה, כלכלה, אנרגיה, תחבורה, תעופה, חקלאות, פעילות ביתית ועוד. פליטות אלה מגבירות את אפקט החממה ומערערות את האיזונים הטבעיים שלו ובפועל יצרו כבר עתה משבר אקלימי שעתידי להתעצם ולהחמיר.

משבר האקלים בא לידי ביטוי כבר עתה, בשני אופנים עיקריים. האחד - התחממות שניכרת בכל רחבי כדור הארץ. בשנים 2011-2020 הטמפרטורה הגלובלית הממוצעת בפני הקרקע הייתה גבוהה ב- 1.09°C מזו שבשנים 1850-1900, וכצפוי, העלייה הממוצעת של הטמפרטורה בפני היבשות (1.59°C) הייתה גבוהה מזו שבפני האוקיינוסים (0.88°C). מאז שנות השבעים של המאה העשרים לא רק שקצב ההתחממות עלה במידה ניכרת אלא שכל השנים החמות ביותר מאז תחילת המדידות היו בעשור האחרון, וכל אחד מהעשורים האחרונים חם יותר מקודמיו.

הביטוי השני של משבר האקלים הוא מגמת הקצנה ברורה ומובהקת בכל רחבי העולם של אירועי מזג אוויר כמו טמפרטורות חריגות, סופות עזות, שיטפונות ואירועי בצורת ממושכים. ההקצנה באה לידי ביטוי בשכיחותן של תופעות אלה, בעוצמתן ובמשך האירוע. הדוגמאות לכך הולכות ומתרבות ובהן אפשר למנות דוגמאות קיצוניות מהשנים האחרונות: גל החום הקיצוני שפקד את קולומביה שבקנדה ביוני-יולי 2021, שבו הגיעו הטמפרטורות ל- 50°C ; שיטפונות שהוגדרו "קטסטרופליים" בגרמניה ביולי 2021 ושיטפונות הרסניים שגבו חיי אדם בפקיסטן ב-2022; גל קור חריג וקיצוני בצפון-מערב אמריקה הצפונית שהוגדר "פצצת ציקלון" וכלל צניחה של טמפרטורת האוויר בתוך שעות ספורות בדצמבר 2022; סופת ההוריקן הארוכה אי פעם שפגעה במדינות מזרח אפריקה בפברואר-מרץ 2023; גלי חום קיצוניים ברחבי אירופה בעונות הקיץ 2022-2023; שריפות ענק בקנדה בקיץ 2023, עונת השריפות החמורה בתולדותיה שהשפיעה השפעה דרמטית על זיהום האוויר במדינה ומעבר לה, בארצות הברית ועוד.

על פי ארגון הבריאות העולמי (WHO) משבר האקלים הוא הסכנה הגדולה ביותר הניצבת בפני האנושות בימינו אלה ובעשורים הבאים. אכן, שינויי האקלים משפיעים כבר עתה על כל אחד מהיבטי הסביבה האנושית והפיזית, ובהם ענפי החקלאות והביטחון התזונתי, הספקת המים, הכלכלה, האנרגיה והתשתיות, הבריאות והרווחה, קונפליקטים אזוריים, המערכות האקולוגיות ושירותי המערכת (התרומות של המערכות והתהליכים האקולוגיים לרווחת האדם). על פי כל המודלים והתחזיות לעשורים הבאים, ללא הפחתה ניכרת של פליטות גזי חממה ילכו מגמות אלה ויחריפו ברמה הגלובלית, ברמה האזורית וברמה הלאומית, והדורות הבאים יאלצו להתמודד עם תנאי חום גבוהים הרבה יותר (איור 1).



איור 1 | דרגות החום שיחוו הדורות הבאים, על פי שנות הלידה, נתלות באופן קבולת ההחלטות ויישומן בנוגע להפחתת פליטות גזי חממה (מקור: IPCC, 2023)

3. משבר האקלים בישראל - תמונת מצב

אגן הים התיכון והמזרח התיכון הם אזורים רגישים במיוחד להשפעות משבר האקלים, וכבר עתה קצב עליית הטמפרטורה הממוצעת במדינות האזור עולה על קצב ההתחממות הגלובלי. על פי דוח השירות המטאורולוגי הישראלי משנת 2021 קצב עליית הטמפרטורה בישראל כפול מזה של הקצב העולמי. מדינת ישראל, כמו שאר מדינות האזור, נתונה כבר עתה להשפעות הקשות של משבר האקלים, בהן עלייה בתדירות ובעוצמה של גלי חום קיצוניים מסכני חיים ועימה עלייה בסכנה לשריפות יער, לשינויים בדפוסי הגשם (בצורות ושיטפונות), לעלייה במפלס פני הים, לנזקים לתשתיות, לערעור נוסף של היציבות האזורית ועוד. מודלים שונים המתייחסים לתרחישים מגוונים מראים כי ללא נקיטת פעולה דחופה להפחתת פליטות גזי חממה מגמות אלה צפויות להתעצם ולהחמיר.

4. היסודות שעליהם עומדות ההנחות המדעיות להתחממות הגלובלית

הוכחות המדענים עומדות על שני יסודות: ראשית, הבנת התהליכים שגורמים להתחממות הגלובלית ולשינויי האקלים הנלווים אליה; שנית, עמידה על "טביעות האצבע" הברורות של הפעילות האנושית המעידות שהיא הגורם הדומיננטי להתחממות.

א. התצפיות המדעיות

האקלים על פני כדור הארץ השתנה במשך כל ההיסטוריה הגאולוגית שלו, ולעיתים אף שינויים דרמטיים. אחד המאפיינים הבולטים של שינויים אלו הוא הקצב וטווח הזמן שבהם הם התרחשו: ברוב המקרים של המקרים השינויים היו איטיים והתרחשו בטווח זמן שבין מאות אלפי שנים למיליוני שנים. לדוגמה, התקופה הגאולוגית הנוכחית מאופיינת בתקופות קרח אשר מגיעות לשיאן כל כ-100,000 שנים. תקופת הקרח האחרונה הסתיימה לפני כ-15,000 שנים והביאה לאקלים הנוח והיציב המאפיין את כדור הארץ בכ-11,000 השנים האחרונות.

לעומת זאת, ב-150 השנים האחרונות מתרחש שינוי אקלימי מהיר במיוחד (בקצב של פי עשרות אלפים מהשינויים המוזכרים לעיל). ואלה סימני ההיכר העיקריים של השינוי, אשר ניתנים למדידה:

- עלייה גדולה בריכוז גזי חממה באטמוספירה (ב-50% עד כה; מכ-280 ח"מ לכ-420 ח"מ)
- עליית הטמפרטורה (בשיעור של כ-1.1 °C בממוצע גלובלי, בקצב נוכחי של 0.32 °C לעשור)
- המסת קרחונים יבשתיים (ירידה של כ-27.5 מ' בעומק הקרח ב-100 שנה)
- התכווצות שטחי הקרח הימי באזור הארקטי (התכווצות של כ-13% בעשור; מעל 80,000 קמ"ר מאז 1979)
- תמותה עולמית של למעלה מ-30% מהאלמוגים בשוניות טרופיות באוקיינוסים (בשל עליית טמפרטורת מי הים, הגורמת לתופעת ההלבנה - bleaching)
- עלייה בחומציות מי האוקיינוסים (בשיעור של 30%)
- עליית מפלס פני הים (ב-20-25 ס"מ ב-100 השנים האחרונות)
- עלייה בתכיפותם ובעוצמתם של אירועי קיצון - גלי חום וקור, שיטפונות עוצמתיים, אירועי בצורת ועוד שינויים אלה נמדדים בעזרת מכשור מדעי על הקרקע, באוויר ובחלל (לוויינים) ואינם ניתנים לערעור. השאלה שעדיין מעוררת ויכוח היא אם פעילות האדם היא שגורמת להם. עמדת הקהילה המדעית היא שעוצמת השינויים ב-150 השנים האחרונות אינה ניתנת להסבר ללא השפעת פעילות האדם בתקופה זו. פעילות זו

מבוססת בעיקר על שריפת דלקי המאובנים, שהחלה לאחר המהפכה התעשייתית באמצע המאה השמונה-עשרה ונעשת באופן גובר והולך מהמחצית השנייה של המאה העשרים, הגורמת לפליטה לאטמוספירה של גזי חממה כמו פד"ח, מתאן, חמצן דו-חנקני וגזים סינתטיים המשמשים בקירור.

ב. התהליכים הגורמים להתחממות הגלובלית

- לפי כמות הקרינה המגיעה אלינו מהשמש, טמפרטורת כדור הארץ הייתה אמורה להיות כ- 17°C (כלומר 17°C מתחת לאפס), אך למעשה הטמפרטורה הממוצעת היא כ- 13°C . פער זה מוסבר בהשפעת גזי החממה באטמוספירה, המאפשרים מעבר של קרינה קצרת גל המגיעה מהשמש אך מונעים חלקית (באמצעות בליעת הקרינה התת-אדומה) את פליטת החום מפני כדור הארץ בחזרה לחלל. זהו "אפקט החממה", המאפשר את קיומם של החיים שאנו מכירים בעולמנו ובלעדיו הטמפרטורות היו נמוכות מדי והמים היו מתקיימים כקרח בלבד. תופעה זו ניתנת לחישוב מדויק על בסיס התכונות הכימיות של גזי החממה, המוכרים היטב. לפי הסבר זה, הוספת גזי חממה לאטמוספירה חייבת להביא להתחממות נוספת ולהגברה של אפקט החממה.
- התחממות האטמוספירה מביאה עימה בהכרח עלייה בתכולת אדי המים באוויר, שכן אוויר חם יותר יכול להכיל יותר אדי מים. מאחר שאדי מים הם גז חממה, הם מגבירים מאוד את ההתחממות הנובעת מראשיתה מפליטת גזי החממה משריפת הדלקים.
- אף על פי שאין ספק בעצם הקשר בין ריכוז גזי החממה לטמפרטורה, קשר זה על פני כדור הארץ מורכב בגלל תהליכי משוב שונים, כגון אגירת חום באוקיינוסים המאיטה את התחממות האטמוספירה, וכן עקב שינויים בזרמי האוקיינוסים המשפיעים על העברת החום בין פני השטח למים העמוקים. בנוסף, תופעות אקלים טבעיות כמו "אל-ניניו" יכולות להביא להתחממות ולשינוי במשטר הגשמים ולמסך את המגמה הכללית של שינויי האקלים כתוצאה מפעילות האדם לתקופות קצרות, או להחריף אותה.
- יש מספר מקרים מתועדים של שינויי אקלים מהירים יחסית, אך להם הסברים ייחודיים. לדוגמה, שחרור של מאגרי מתאן מהאוקיינוסים לפני כ-55 מיליון שנים, שינויים דרמטיים בזרמי העומק באוקיינוסים, פגיעת מטאורים או התאוששות מפעילות וולקנית אינטנסיבית - כולם תהליכים המסבירים שינויי אקלים מהירים יחסית שנבחנו במהלך ההיסטוריה הגאולוגית של כדור הארץ, אך אינם קשורים לשינויים שאנו עדים להם ב-150 השנים האחרונות.

ג. "טביעות האצבע" של פעילות האדם בשינויי האקלים במאה השנים האחרונות

- העלייה בריכוזי גזי החממה, ובעיקר הפד"ח, באטמוספירה תואמת כמותית את כמות הפליטות של האנושות (בהתחשב בהמסה חלקית של פד"ח במי הים ובקליטתו על ידי צמחייה בפוטוסינתזה).
- ההרכב האיזוטופי של הפד"ח מצביע בבירור כי מקורו בדלקי מאובנים, שלהם חתימה איזוטופית ייחודית. פליטות הפד"ח שמקורן בדלקי מאובנים משנות את ההרכב האיזוטופי של האטמוספירה. גם כאן השינוי בהתאמה כמותית לכמות הפליטות של האנושות.
- שינויים בטמפרטורות כמו אלה הנמדדים בשנים האחרונות לא נמדדו ב-1,000 השנים שקדמו להן, וכנראה גם במיליון השנים האחרונות, הן במידת ההתחממות והן בקצב שלה. שחזור השינויים בטמפרטורת פני כדור הארץ בעבר נעשה בכ-150 השנים האחרונות בעזרת מכשירי מדידה שונים, ומאז שנות השמונים של המאה העשרים - גם בעזרת מדידות לוויינים. ניתן לשחזר שינויי טמפרטורה על פני כדור הארץ באמצעות ניתוח טבעות עצים ואלמוגים לאורך כ-1,000 השנים האחרונות. מעבר לטווח זה מיליוני שנים אחורה הנתונים מבוססים על שחזור שינויים במפלס מי הים ושינויי אקלים אחרים ה"נרשמים" בצורה כימית במשקעים בקרחונים, בים, באגמים ובסלעים.

- בארכיון קידוחי גלעיני קרח נבדקו בוועות אוויר שנלכדו בקרח שהצטבר באנטארקטיקה עד לעומק של קרוב ל-3 ק"מ ושנצבר במשך למעלה מ-800 אלף שנה, ולא נמצא בהן ריכוז פד"ח מעל כ-280 ח"מ. לעומת זאת, כפי שצוין לעיל, ב-150 השנים האחרונות עלה הריכוז בכ-50%, מ-280 ח"מ ל-420 ח"מ, ובקצב גדול בהרבה מכל שינוי שנצפה בגלעיני הקרח במשך קרוב למיליון שנה.
- התקיימותן של התחזיות האקלימיות שצפו התחממות בפני השטח של כדור הארץ ובמקביל התקררות בסטרטוספירה (שכבה גבוהה יותר באטמוספירה שבה נמצא עיקר ריכוזו של גז האוזון) מאשרת כי ההתחממות נגרמת מגזי חממה ולא מגורמים אחרים כמו שינוי בקרינת השמש.
- האצת נסיגת הקרחונים היבשתיים בפסגות ההרים בשלושים השנים האחרונות, ולא מאז "תקופת הקרח הקטנה" שהסתיימה ב-1850, מאשרת שהנסיגה אינה חלק מהמחזור הטבעי של היציאה מתקופת הקרח הקטנה.
- אותה טענה תקפה גם בנוגע להאצה בעליית מפלס פני הים דווקא בעשורים האחרונים (ב-3.5 ס"מ לעשור, כפי שנמדד בלוויינים).
- אחת מטביעות האצבע של השפעת האדם על האקלים היא קצב השינויים. המחקר על השתנות האקלים לאורך ההיסטוריה הגאולוגית של כדור הארץ התקדם רבות בעשורים האחרונים, והוא מראה שב-4-5 מיליארד השנים של תולדותיו חלו באקלימו שינויים דרמטיים בהשפעת שינויים ארוכי טווח בעוצמת קרינת השמש ובהרכב האטמוספירה, תנועת יבשות, היקף משתנה של כיסוי הקרח ופעילות טקטונית וגעשית. עם זאת, המחקר מראה בבירור שתהליכים אלה התרחשו בקצב איטי, לרוב במשך מיליוני שנים ולעיתים במשך מאות אלפי שנים, בניגוד לתהליך המהיר המתרחש כעת.

ד. התמודדות עם טענות המנחישים את שינויי האקלים

גורמי מדע ואחרים שהטילו ספק בעבר בהתחממות הגלובלית כפרו בין השאר באמינות התצפיות המוזכרות לעיל. אולם עם הזמן הצטברו עוד ועוד תצפיות ושופרה איכות המדידות, עד שכעת אי אפשר עוד להתכחש לעצם ההתחממות. לפיכך הצטמצמו הטענות בעיקר להטלת ספק בחלקה של האנושות בגרימת ההתחממות ולתחזיות לעתיד. הספק מובע בנוגע לחלק מהנתונים שהובאו בסעיף ג, אולם נתונים אלו נשענים הן על תצפיות והן על הבסיס התאורטי שמסביר אותן. כיום יותר ויותר קשה להתכחש להצטברות העדויות, למדידות המדויקות ולניתוח המוצע של התהליכים המעורבים.

סוג אחר של טענות הוא הצעת הסברים חלופיים לשינויי האקלים הנצפים, הסברים שאינם מבוססים על התערבות האדם. הינה מספר דוגמאות:

- אחת הטענות הנפוצות היא שההתחממות נגרמת על ידי שינויים בעוצמת קרינת השמש. עוצמת קרינת השמש נמדדת בדיוק רב, ואכן, בשל "סערות שמש" יש בה שינויים קלים לאורך זמן בתנודות מחזוריות (כמו מחזור 11 השנים, הידוע יותר, וגם מחזוריים של עשרות אלפי שנים, נוסף על המחזוריות הקבועה של עונות השנה). אולם שינויים אלה קטנים ואינם יכולים להסביר את ההתחממות הגלובלית הנמדדת. ההתחממות הגלובלית משקפת שינוי ממוצע במאזן האנרגיה של כדור הארץ של כ-4 וואט למ"ר של פני כדור הארץ, ואילו השינויים הנמדדים במחזוריים הארוכים בעוצמת השמש הם בסדר גודל של פחות מעשירית (1/10) הוואט למ"ר של פני כדור הארץ במשך כ-100 שנים. מחזור 11 השנים יכול להתבטא בשינוי של כ-1 וואט למ"ר, אך זו תופעה קצרה ובעוצמה נמוכה והיא אף אינה מתבטאת במחזוריות דומה באקלים.

יש מקרים מיוחדים - למשל התקופה המכונה "המינימום של מונדר" (Maunder Minimum), שבה ירדה עוצמת קרינת השמש למשך כ-50 שנה (בערך בין שנת 1650 לשנת 1700) בסדר גודל של כ-1 וואט למ"ר, אך ההתאוששות בעוצמת הקרינה מאז אינה דומה למהלך ההתחממות הגלובלית ב-150 השנים האחרונות. מיטב ההערכות המדעיות הן ששינויים בעוצמת קרינת השמש יכולים לגרום לכל היותר לשינויים של עשיריות מעלות בטמפרטורה הממוצעת של כדור הארץ.

- טענה נפוצה נוספת היא שההתחממות היא חלק משינויי האקלים הטבעיים. אך כאמור, אי אפשר להסביר את קצב השינויים והתזמון בעשורים האחרונים בעזרת המנגנונים היוצרים את השינויים הטבעיים. כמו כן ראוי לציין שכל מאמצי המדענים להסביר את השינויים שנמדדו ב-150 השנים האחרונות בלי לכלול את השפעת פעילות האדם נכשלו. רק הפליטה המסיבית של גזי חממה בעקבות פעילות האדם מאפשרת להסביר ולשחזר את השינויים הנצפים בעזרת חישובים כמותיים ומודלים מתמטיים.
- טענות מסוימות שהועלו נוגעות לבעיות אמיתיות שהתעוררו במחקר האקלים. לדוגמה, נטען כי לפי שחזור האקלים מגלעיני הקרח באנטארקטיקה עלה הפד"ח לאחר עליית הטמפרטורה, בעוד שלפי התאוריה העלייה בפד"ח גורמת להתחממות ולא להפך. מתברר שחשוב מאוד לדייק בתיארוך בועות האוויר שבקרח, שבהן נמדד הפד"ח, לעומת תיארוך הקרח עצמו, המשמש לחישוב הטמפרטורה, לאורך 800,000 השנים שבהן הם נצברו. נדרשו מספר שנות מחקר כדי לפתור את בעיות התיארוך (לדוגמה, השפעה שונה של הגרוויטציה על תזוזות בקרח לעומת תזוזות בועות האוויר במשך מאות אלפי שנים), אך כשאלה נפתרו התברר סדר הדברים והתקבל על ידי הקהילה המדעית.
- דוגמה נוספת היא הקושי שהיה למדוד את טמפרטורת האטמוספירה. בתחום זה נדרשו פיתוחים טכנולוגיים לשיפור המדידות ולפתרון בעיות טכניות שהקשו לאשר את תחזיות ההתחממות קרוב לפני הקרקע וההתקררות באטמוספירה הגבוהה. במקרים אלה התקדמות המחקר והטכנולוגיה (לדוגמה שיפור ההגנה של חיישני הטמפרטורה של הלוויינים מפני קרינת השמש) שיפרה את דיוק המדידות והסירה מעל סדר היום המדעי את טענות מכחישי ההתחממות.
- הופעתן של הפוגות (hiatuses) של מספר שנים בהתחממות הגלובלית (כמו בשנות השמונים של המאה העשרים) שימשה את המכחישים לטעון שנפסקה התחממות כדור הארץ אף שלא חל שינוי בפעילות האדם, אולם מאחר שהפוגות אלו היו קצרים וחלפו, ולאחריהן אף גבר קצב ההתחממות, טענה זו איבדה מתוקפה - במיוחד לאור ההבנה של היחסים המורכבים בין העלייה בריכוז הפד"ח לעליית הטמפרטורה שהוזכרו לעיל (לדוגמה שינויים באגירת החום באוקיינוסים יכולים למתן ואף למסך את התחממות האטמוספירה).
- מכחישי ההתחממות הטילו ספק באמינות המודלים המשמשים בסיס חיוני להבנת שינויי האקלים ולהערכת השינויים הצפויים בעתיד. מידול מערכת האקלים של כדור הארץ הוא מהאתגרים החשובים הגדולים של ימינו. המודלים (General Circulation Models – GCM) מורכבים מאוד, מכילים אלפי משוואות פיזיקליות ודורשים את כוח המחשוב החזק ביותר האפשרי (מחשבי-על).
- חשוב לציין כי עצם ההתחממות הצפויה בעקבות עליית הפד"ח ניתנת להסקה מעקרונות פיזיקליים בסיסיים, ללא מודלים. עם זאת המודלים דרושים לחיזוי ואזורי ולחיזוי השפעת ההתחממות, למשל על משקעים. המודלים הלכו והשתפרו עם הזמן ונבחנה שוב ושוב יכולתם לשחזר את שינויי האקלים שהתרחשו עד היום.
- יתרה מזאת, כיוון שהרצת המודלים האלה התחילה בשנות השישים של המאה העשרים, כיום כבר ניתן לבחון את תחזיות המודלים המוקדמים בעזרת הנתונים שהצטברו מאז ואפשר לראות שהמודלים החשובים (למשל זה של ג'יימס האנסן [James Hansen] מ-NASA) אכן הצליחו בתצפיותיהם במידה רבה. עם זאת במודלים מורכבים כל כך בלתי נמנע שאי-הודאות תהיה גדולה יחסית. לכן כיום המחקר בתחום זה מבוסס על הרצה בו-זמנית של כמה עשרות מודלים במרכזי מחקר שונים, בדיקת מידת ההתאמה ביניהם והשימוש בתוצאות הממוצעות של כולם. זהו פתרון מיטבי אשר מאפשר ביקורת הדדית ושיפור מתמשך ובכך הוא משמש כלי חיוני להבנת שינויי האקלים (ואף זכה לאחרונה בפרס נובל).
- גם בקרב מדענים בתחום האקלים הועלו ספקות פרטניים בנוגע להתחממות הגלובלית וגורמיה. דוגמה מפורסמת היא ג'ון קריסטי (John Christy), מדען אקלים שהצביע לפני כעשור על חולשת הטענות להתחממות הגלובלית המבוססות על שילוב נתוני לוויינים וחישובי מודלים. אך טענות אלה התבססו על נתוני הטמפרטורה הממוצעת של האטמוספירה (ממוצע של כ-17 ק"מ) ולא הטמפרטורה של פני

השטח. שיפור בהפרדה בין טמפרטורת פני השטח (המתחממים) לתקרת הטרופוספירה (המתקררת), וכן שימוש בנתונים משופרים הזמינים כיום, פתרו את ההתאמה בין חישובי המודלים לנתוני הלוויןנים והפחיתו את הביקורת על יעילות השימוש במודלים.

- את התאוריה של "אפקט האיריס" (שינויים בעננות המזכירים תגובה של העין) הציע ב-2001 ריצ'רד לינדזן (Richard Lindzen), מדען שהתמחה בפיזיקה של האטמוספירה. מדובר במנגנון המאפשר ייצוב האקלים בתגובה להתחממות: התחממות האוקיינוסים באזור הטרופים תביא לירידה בעננות הגבוהה שם ("תפתח את האיריס") ולכן לפליטה מוגברת של קרינה תרמית לחלל ולהתקררות שתייצב את האקלים, תהליך שימנע התחממות גלובלית. זהו מנגנון אפשרי תאורטי, אך אינו נתמך בנתונים ובתצפיות ולכן לא התקבל בקרב הקהילה המדעית.
- טענה אחרת התייחסה לרגישות הנמוכה של מערכת האקלים לשינויים בפד"ח (climate sensitivity) שמשמעותה שינוי גדול בפד"ח לא יביא לשינוי גדול בטמפרטורה. אולם מהרצת עשרות מודלים ומניית נתונים מאירועים רבים של שינויי האקלים לאורך ההיסטוריה של כדור הארץ (כולל נתוני גלעיני הקרח המוזכרים לעיל) הצטברו עדויות רבות ל"רגישות אקלים" של כ-3°C להכפלת ריכוז הפד"ח באטמוספירה.

5. קריאה לפעולה מיידית ברמה הלאומית

המסמך המוגש כאן סקר את האסמכתאות המדעיות להבנה כי שינויי האקלים והתחממות כדור הארץ הם עובדה חד-משמעית העומדת על עקרונות פשוטים ומוכחים מדעית (סעיף 4, א-ב) וכי ההוכחות להשפעת האדם על שינויים אלה מראשית המהפכה התעשייתית, ובאופן גובר והולך בעשורים האחרונים, אינן ניתנות לערעור (סעיף 4, ג). זאת בניגוד לטענות המכחישים, ההולכים ומתמעטים שכן השיפור הרב באיכותן ובדיוקן של המדידות הקטין את חוסר הוודאות מחד גיסא וסייע להראות שמרבית הטענות אינן עומדות במבחן המדע מאידך גיסא (סעיף 4, ד).

מדינת ישראל אשררה את אמנת המסגרת של האו"ם לצמצום השפעות שינויי האקלים כבר בשנת 1996. מאז הוקמו ועדות, התקבלו החלטות, הוקמה מנהלת היערכות לאומית ובעיקר הוצהרו הצהרות בלתי מחייבות על יעדיה של ישראל להפחתת פליטות. גם "חוק האקלים", שעבר בקריאה ראשונה בימי ממשלת בנט-לפיד (ביוני 2022) וחזר לשולחן הממשלה בספטמבר 2023, כולל יעדי הפחתת פליטות מוגבלים ביותר הרחוקים מלעמוד ביעדים ההכרחיים הנדרשים מישראל כחלק משותפותה במאמץ העולמי לבלימת המשבר.

בדוח מיוחד שפרסם מבקר המדינה בנושא ב-2021 נאמר: "מדינת ישראל לא ערוכה למשבר האקלים ועדיין לא חל שינוי תפיסה במדיניות הישראלית לנושא. ישראל היא מהמדינות המעטות בעולם שעדיין אינה פועלת על בסיס תוכנית היערכות לאומית מתוקצבת ומאושרת, זאת אף שהיא מצויה באזור בעל סיכון מוגבר, ולפיכך חשופה עוד יותר לסיכונים של שינויי האקלים. נתונים אלו מהווים נורת אזהרה" (משרד מבקר המדינה, 2021). בדו"ח מעקב של המבקר שפורסם ב-2024 נאמר כי "אף שמקצת הגופים תיקנו ליקויים, מרבית הליקויים לא תוקנו כלל או לא תוקנו במלואם"

האקדמיה הלאומית הישראלית למדעים התגייסה לסייע בתחום זה והקימה ועדת אקלים רב תחומית, אשר עוסקת בזיהוי נושאים מרכזיים בתחומי האפחות (מיטיגציה) וההסתגלות (אדפטציה) ובקידומם.

כבר בצעדיה הראשונים העלתה הוועדה **מספר המלצות** לשיפור יכולותיה של ישראל להתמודד עם משבר האקלים: בראש וראשונה הקמת מרכז חישובים אקלימי (בחסותו של השירות המטאורולוגי) שיהיה בעל יכולות חישוביות גדולות שאינן קיימות כיום בישראל ויאפשר יצירת תחזיות אקלימיות ברזולוציה הדרושה

כבסיס להסתגלות בכל התחומים. מעבר לכך התריעה הוועדה על הצורך החיוני בתמחור פחמן (כפי שנעשה ברחבי העולם) כצעד הכרחי להשגת יעדים של הפחתת פליטות פד"ח ובקידום השימוש במימן במדיניות האנרגיה של ישראל לאור היתרונות הייחודיים של ישראל בתחום.

זמן רב אבד, וייתכן שכרגע עומדת לפנינו ההזדמנות האחרונה לתקן. אחריות כבדה לפעולה מיידית מוטלת על בני דורנו, על הציבור בכלל ועל מקבלי ההחלטות בפרט. אנו קוראים לפעולות דחופות הן של מקבלי ההחלטות והן של קהילת המחקר לקידום האפחות של פליטות גזי חממה, הרחבת תשתיות של אנרגיות חלופיות מתחדשות ופיתוח שיטות טכנולוגיות לאיפוס פחמן, בד בבד עם קידום ההסתגלות וההיערכות של כלל המערכות למציאות המשתנה.

זוהי חובתנו לטובת הדור הנוכחי ולמען עתידם של בני ובנות הדורות הבאים. אל לנו לשעות לגורמים שונים, שחלקם בעלי אינטרסים ברורים, המנסים להטיל ספק בקונצנזוס המדעי אשר התגבש בעשרות השנים האחרונות בנושא שיש לו השפעה כה כבדה על כדור הארץ ועלינו, ואשר יש לו פוטנציאל פגיעה חמור דווקא בחלקים החלשים ביותר של החברה ושל המערכת האקולוגית.

השירות המטאורולוגי, 2021. ישראל מתחממת?

משרד מבקר המדינה ונציב תלונות הציבור, 2021. פעולות ממשלת ישראל והיערכותה למשבר האקלים.
משרד מבקר המדינה ונציב תלונות הציבור, 2024. פעולות ממשלת ישראל והיערכותה למשבר האקלים.
ביקורת מעקב מורחבת.

Climate change in the Mediterranean: MedECC, 2020. Climate and Environmental Change in the Mediterranean Basin - Current Situation and Risks for the Future. First Mediterranean Assessment Report [Cramer, W., Guiot, J., Marini, K. (eds.)] Union for the Mediterranean, Plan Bleu, UNEP/MAP, Marseille, France.

Environmental science denial:

Björnberg, K.E., Karlsson, M., Gilek, M. and Hansson, S.O., 2017. Climate and environmental science denial: A review of the scientific literature published in 1990–2015. *Journal of Cleaner Production*, 167, 229-241.

Dunlap, R.E., 2013. Climate change skepticism and denial: An introduction. *American Behavioral Scientist*, 57(6), 691-698.

IPCC, 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers.

Knox, P., 2018. [Edward Teller warns petroleum industry about carbon dioxide problems in 1959.](#)

McCright, A.M., Dunlap, R.E. and Xiao, C., 2014. Increasing influence of party identification on perceived scientific agreement and support for government action on climate change in the United States, 2006–12. *Weather, Climate, and Society*, 6(2), 194-201.

Oreskes, N. and Conway, E.M., 2011. Merchants of doubt: How a handful of scientists obscured the truth on issues from tobacco smoke to global warming. Bloomsbury Publishing USA.

Schmid, P. and Betsch, C., 2019. Effective strategies for rebutting science denialism in public discussions. *Nature Human Behaviour*, 3(9), 931-939.

The state of the climate: IPCC Reports:

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf

IPCC, 2023. IPCC AR6 SYR, [Summary for Policymakers.](#)

Climate and Health: WHO, 2021. [Climate change and health.](#)

Global climate change: NASA, 2023. [Global climate change – vital signs of the planet.](#)

Global carbon budget: <https://www.globalcarbonproject.org/>

Global Warming Basics: Tziperman E, *Global Warming Science: A Quantitative Introduction to Climate Change and Its Consequences*, Princeton University Press, 2022.

Arrhenius greenhouse effect: https://www.rsc.org/images/Arrhenius1896_tcm18-173546.pdf

Isotopic fingerprints: <https://gml.noaa.gov/ccgg/isotopes/otherisotopes.html>

Edward Teller Early Warning: <https://www.theguardian.com/environment/climate-consensus-97-per-cent/2018/jan/01/on-its-hundredth-birthday-in-1959-edward-teller-warned-the-oil-industry-about-global-warming>

Climate Models: <https://www.carbonbrief.org/analysis-how-well-have-climate-models-projected-global-warmin>

Mountain glaciers: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-mountain-glaciers>

Arctic sea ice: <https://www.nytimes.com/2023/09/22/climate/arctic-sea-ice-minimum.html#:~:text=Since%20satellite%20observations%20of%20Arctic,average%2C%20of%20the%20Arctic%20Ocean.>

Ocean acidification: <https://www.noaa.gov/education/resource-collections/ocean-coasts/ocean-acidification>

Coral reefs:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590332221004747?via%3Dihub>

Ice Cores Basics:

<https://www.antarcticglaciers.org/glaciers-and-climate/ice-cores/ice-core-basics>

Stratospheric Cooling:

<https://newsroom.ucla.edu/releases/stratospheric-cooling-vertical-fingerprinting>

Sea level rise: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/sea-level>

<https://www.nationalgeographic.com/environment/article/sea-level-rise-1>

Climate models:

<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/2019GL085378>

<https://climate.nasa.gov/news/2943/study-confirms-climate-models-are-getting-future-warming-projections-right/>

Climate sensitivity: <https://www.carbonbrief.org/explainer-how-scientists-estimate-climate-sensitivity/>