

## חימום העולם ושינוי האקלים - עמדת החברה הגיאולוגית הישראלית ועמותת מדעי הים בישראל<sup>1</sup>

מאז המהפכה התעשייתית ועד היום כדור הארץ עובר תהליך מואץ של חימום עולמי ושינוי האקלים<sup>2</sup>. ניתן לייחס חלק נכבד משינויים אלו לפליטת גזי חממה שמקורם בפעילות אנושית<sup>2</sup>. המשך פליטה של גזי חממה צפוי להוביל להמשך ההתחממות ולשינויים הולכים וגוברים של האקלים העולמי. פעולות מדיניות נדרשות על מנת לצמצם את פליטת גזי החממה ולהיערך כראוי לשינוי האקלים ונגזרותיו. החברה הגיאולוגית הישראלית ועמותת מדעי הים בישראל רואות במאבק לעצירת החימום העולמי אינטרס לאומי ראשון במעלה, ומתחייבות לפעול לקידום מחקר של מדע בסיסי ויישומי ולהפצת תוצאותיהם לציבור, לדרגים המקצועיים בממשלה ובגופים ציבוריים וכן למקבלי ההחלטות, על מנת לאפשר הבנה של עוצמת השינויים, דרכי התמודדות עימן ובחינת פתרונות להפחתת פליטות של גזי חממה.

הצהרה זו: 1. סוקרת בקצרה את העדויות לשינוי האקלים במרוצת המאה ה-20 וראשית המאה ה-21 ואת הסיבות לו. 2. מציגה את התחזיות העדכניות ביותר לתהליכים שיקרו בעולם ובישראל בעשורים הקרובים. 3. דנה בהשלכות של החימום העולמי ושינוי האקלים. 4. מציגה את הפעולות הנדרשות על מנת למנוע המשך התחממות והתמודדות עם ההשלכות של החימום הגלובלי.

### העדויות לשינוי האקלים והסיבות להם

במרוצת 120 השנים האחרונות<sup>2</sup>: א. הטמפרטורה הממוצעת של כדור הארץ עלתה בכ-1.1 מעלות צלזיוס, כאשר כמחצית מההתחממות הזו התרחשה מאז 1975. ב. טמפרטורת פני הים עלתה ב-0.88 מעלות. ג. כמות הקרח הימי בים הארקטי קטנה בעשרות אחוזים. ד. מפלס הים עלה ב-20 ס"מ. אלו העדויות הברורות ביותר לשינוי האקלים המהיר המתרחש בחיינו, אולם שינויים אקלימיים וסביבתיים נוספים התרחשו בעשרות השנים האחרונות. אחת התרומות המשמעותיות של הקהילה הגיאולוגית והאוקיאנוגרפית למחקר החימום העולמי היא ההבנה שהחימום העולמי הנוכחי אינו מחזור אקלים טבעי<sup>3,4</sup>. המחקר הגיאולוגי מראה שבמרוצת מיליון השנים האחרונות מחזורי אקלים טבעיים, המונעים על ידי שינויים בעוצמת קרינת השמש ומועצמים על ידי תהליכי המשוב העיקריים בכדור הארץ (משוב הפחמן הדו-חמצני ומשוב הקרח), הינם תופעה מחזורית הן בתדירות והן בעוצמה<sup>2,4</sup>. החימום הנוכחי סוטה מדגם זה ואינו תואם בזמן או בעוצמה למחזוריות האקלים הטבעית במיליון השנים האחרונות, ולכן ניתן לקבוע שהחימום הנוכחי אינו תוצר של מחזור אקלים טבעי.

הסיבה לחימום העולמי החריג היא פעילות האדם, בעיקר פליטה מואצת של גזי חממה כתוצאה משריפת דלקים מאובנים (פחם, נפט וגז)<sup>2,5</sup>. מאז תחילת המאה ה-20, ריכוזי גזי החממה באטמוספירה (פחמן דו-חמצני, מתאן וחמצן דו-חנקתי ונוספים) עלו, וכיום הם מגיעים לרמה שלא התקיימה בכדור הארץ לפחות 800,000 שנה<sup>6</sup>. גזי החממה מונעים מחום שנפלט מכדור הארץ להשתחרר לחלל ולכן העלאת ריכוזם באטמוספירה כתוצאה משריפת דלקים מאובנים גורמת להתחממות העודפת הנמדדת בכדור הארץ ושינוי האקלים<sup>2</sup>. העדויות לכך שהאנושות היא האחראית לעליית ריכוז הפחמן הדו-חמצני באטמוספירה הן: 1. סכימת הפחמן הדו-חמצני שנפלט משימוש בדלקים מאובנים במרוצת 120 השנים האחרונות מספיקה בשביל לגרום לעליה המדודה בריכוז הפחמן הדו-חמצני באטמוספירה<sup>2</sup>. 2. ההרכב האיזוטופי של הפחמן הדו-חמצני שנמדד כיום באטמוספירה מעיד שמקור הפחמן הדו-חמצני הנוסף לאטמוספירה הינו בפחמן אורגני עתיק, תצפית המעידה על דלקים מאובנים כמקור לעלייה<sup>7</sup>. 3. מדידות מראות שכמות החמצן באטמוספירה יורדת בכמות המתאימה לצריכה על ידי בעירה<sup>8</sup>. בנוסף לשימוש בדלקים מאובנים, גם תיעוש, יצירת מלט, חקלאות, כריתת יערות, הפשרת קרקעות קפואות-עד ועוד תורמים לעלייה בריכוז גזי החממה באטמוספירה<sup>2</sup>. היכולת לייחס את שינוי האקלים לפעילות האדם גם מוכחת

בעזרת השוואה בין מודלים עם ובלי השפעת האדם<sup>2</sup>. השוואה זה מראה שפעילות האדם גרמה וגורמת לשינוי האקלים<sup>2</sup>. המשך שימוש בדלקים מאובנים ושאר הפעולות הגורמות להעלאת ריכוז גזי החממה באטמוספירה יובילו להמשך עליית הטמפרטורה העולמית ויחד איתה לעליית מפלס הים ולשינויים אקלימיים וסביבתיים נוספים.

### התחזיות המדעיות

האז"ם הקים ב-1988 את הפאנל הבין-ממשלתי לשינוי האקלים (IPCC), גוף בינלאומי של מדענים שתפקידו לכתוב דו"חות המיועדים לקובעי המדיניות ובהם הערכה מדעית של מצב שינוי האקלים, המתבססת על איסוף וסיכום הנתונים המדעיים שפורסמו בעיתונות מדעית שעברה ביקורת עמיתים. הדו"ח האחרון, שיצא ב-2021 מבסס את תחזיותיו גם על 50-60 מודלים אקלימיים, כאשר התחזית מתבססת על הממוצע של המודלים השונים, ואי-הודאות בתחזית נובעת מהפיזור בין המודלים השונים. על מנת להתמודד עם אי-היכולת לצפות את כמות הפליטות העתידיות, ה-IPCC מציג תחזיות על בסיס תרחישי פליטה שונים (הנקראים SSP), כאשר תרחיש SSP5-8.5 - הנקרא "עסקים כרגיל", הוא חמור ביותר, ותרחיש SSP1-2.6 הוא התרחיש בו פליטת גזי חממה מואטת בצורה משמעותית וההשפעה האקלימית היא הקטנה ביותר. להלן, התחזיות של תרחיש SSP1-2.6 יוצגו בפונט רגיל ותחזיות תרחיש SSP5-8.5 יוצגו בפונט גדול.

התחזיות לשנת 2081-2100 של הדו"ח האחרון של ה-IPCC הן כדלקמן<sup>2</sup>:

- הטמפרטורה הממוצעת של כדור הארץ תעלה (ביחס לממוצע 1850-1900) ב:  $1.8 \pm 0.5$  (ב-  $4.4 \pm 1.2$ ) מעלות צלזיוס. מה שבעייתי עוד יותר הוא שהיבשה צפויה להתחמם יותר מהים.

- שיאי חום צפויים להישבר, הן מבחינת תדירות והן מבחינת עוצמה. לדוגמא: דו"ח של נאס"א יחד עם אוניברסיטת קולומביה ועריית תל אביב חוזה שב-2100 יהיו בתל אביב 66 (129) ימים בשנה שהטמפרטורה הממוצעת תהיה מעל 33 מעלות (לעומת 30 ימים כיום). אירועי שרב ימשכו 10 (30) ימים (לעומת 6 ימים)<sup>9</sup>.

- כמות הגשם הממוצעת בעולם תגדל, אולם אזורים שהם יבשים כיום, כמו ישראל, ילכו וייתיישו. דו"ח של השירות המטאורולוגי<sup>10</sup> קובע שכמות הגשם בישראל תפחת בכ-7% (25%) עד שנת 2100.

- מפלס הים צפוי לעלות ב-  $15 \pm 60$  (90±20) ס"מ ביחס למפלסו בשנת 1900.

- בנוסף, בחלקים ממערכת האקלים, המודלים צופים שינוי דרמטי, חד כיווני, שהשפעתם על מערכת האקלים כולה יכולה להיות משמעותית מאוד. החשש הוא מהחלשות זרימת העומק באוקיינוס האטלנטי, המסת קרחונים מואצת, שחרור מתאן קפוא, תמותת אלמוגים ועוד. שינויים אלו אפשריים אבל סבירותם קטנה בעתיד הקרוב.

### השלכות החימום הגלובלי ושינוי האקלים

בעשורים האחרונים, ישנה השפעה ניכרת של החימום העולמי ושינוי האקלים על מערכות טבעיות רבות. שינויים של הטמפרטורה, משטר הגשמים וסופות הגשם, המסת קרח וקרקות קפואות-עד, ועלייה באירועי אקלים קיצוניים משנים את המערכות ההידרולוגיות והאקולוגיות, ומשפיעים על תפוצות מיני בעלי חיים<sup>1,2</sup>. אוכלוסיות אנושיות מוחלשות נפגעות משינוי האקלים יותר מאשר אוכלוסיות חזקות. הדבר בא לידי ביטוי בירידה בתפוקה חקלאית, התעצמות פגעי מזג אוויר, ועלייה במחירי המזון<sup>11</sup>.

עליית מפלס הים בכ-60 ס"מ, תוביל להצפה והריסת אזורים מגורים של כ-300 מיליון איש ברחבי העולם<sup>12</sup>. עליית הטמפרטורה והשינויים הצפויים בעוצמה ובתפוסת הגשמים יובילו לכך שעד 2050, כ-100 מיליון איש נוספים באזורים עירוניים יחוו מחסור במים<sup>13</sup> ומאות מיליונים באזורים חקלאיים יחוו מחסור במים ומזון<sup>11</sup>. המשך שינוי האקלים צפוי לגרום לירידה בתפוקה החקלאית ובביטחון התזונתי ויגרום לעליית מחירי המזון (במידת סבירות בינונית)<sup>11</sup>.

### הפעולות הנדרשות למניעת המשך ההתחממות והתמודדות עם השלכות של החימום הגלובלי

שריפת דלקים מאובנים לצורכי אנרגיה הם הגורם העיקרי לחימום העולמי, לכן הפסקת שריפת דלקים מאובנים ופליטה של שאר גזי החממה הינה הכרחית למניעת המשך ההתחממות<sup>14</sup>. בכדי לספק את צורכי האנרגיה של העולם ללא שימוש בדלקים מאובנים יש צורך לעבור לאנרגיות מתחדשות. מעבר כזה דורש פיתוחים טכנולוגיים ורגולטורים משמעותיים. בנוסף לצמצום הפליטות, יש צורך בהוצאה אקטיבית של פחמן דו-חמצני מהאטמוספירה

למשל על ידי לכידה במקור, שאיבה ישירה מהאוויר או האצת מחזורים טבעיים<sup>15</sup>. לשם כך, יש צורך במחקר ופיתוח של טכנולוגיות חדשות וכן חובה לוודא שטכנולוגיות אלו לא יפגעו בסביבה.

התמודדות עם ההשלכות של ההתחממות העולמית היא חובה לעתיד האנושות וכורח המציאות. קיים מגוון רחב של אפשרויות התמודדות. ה-IPCC מציע<sup>14</sup> שיצירת מנגנונים מדיניים ורב-לאומיים אפקטיביים שיקדמו טכנולוגיות ותשתיות מקיימות וסביבתיות יחד עם קידום התנהגות מקיימת יגבירו את כושר ההתמודדות אל מול שינוי האקלים הצפוי.

- 
- [1] עמדת החברה הגיאולוגית הישראלית ועמותת מדעי הים בישראל בנוגע לחימום העולמי ושינוי האקלים מצטרפת לעמדות של: [האגודה המלכותית הבריטית והאקדמיה האמריקאית הלאומית למדע](#), מכתב [חתני פרס נובל](#), [החברה הגיאופיזית האמריקאית](#), [החברה הגיאולוגית האמריקאית](#), [האגודה האירופאית למדעי כדור הארץ](#) ועוד חברות וארגונים אקדמיים ומקצועיים רבים בעולם.
- [2] IPCC AR6. Climate Change 2021. Working Group I: The Physical Science Basis. *Cambridge University Press*. (2021).
- [3] Marcott, S. *et al.* A Reconstruction of Regional and Global Temperature for the Past 11,300 Years. *Science*. **339**, 1198–1201 (2013).
- [4] Hays, J. D., *et al.* Variations in the Earth's Orbit: Pacemaker of the Ice Ages. *Science*. **194**, 1121–1132 (1976).  
Lisiecki, L. E. & Raymo, M. E. A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic  $\delta^{18}O$  records. *Paleoceanography* **20**, PA1003 (2005).
- [5] Le Quéré, C. *et al.* Trends in the sources and sinks of carbon dioxide. *Nat. Geosci.* **2**, 831–836 (2009).
- [6] Augustin, L. *et al.* Eight glacial cycles from an Antarctic ice core. *Nature* **429**, 623–628 (2004).  
Petit, J. R. *et al.* Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature* **399**, 429–436 (1999).
- [7] Keeling, R. F. *et al.* Atmospheric evidence for a global secular increase in carbon isotopic discrimination of land photosynthesis. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **114**, 10361–10366 (2017).
- [8] Keeling, R. F. & Garcia, H. E. The change in oceanic  $O_2$  inventory associated with recent global warming. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **99**, 7848–7853 (2002).
- [9] Municipality Tel Aviv -Yafo. *Resilience Accelerator Tel-Aviv-Yafo, Urban Heat and the Future of the Public Realm*. (2019).
- [10] Yosef, Y. *et al.* *Climate change in Israel – historical trends and future predictions of temperature and precipitation*. *Israel Meteorological Service*. (2019). הערך של 7% הוא עבור תרחיש RCP4.5.
- [11] IPCC AR5, Working Group II: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects (2014).
- [12] Kulp, S. A. & Strauss, B. H. New elevation data triple estimates of global vulnerability to sea-level rise and coastal flooding. *Nat. Commun.* **10**, (2019).
- [13] McDonald, R. I. *et al.* Urban growth, climate change, and freshwater availability. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **108**, 6312–6317 (2011).
- [14] IPCC AR5. *Climate Change 2014 Synthesis Report Summary Chapter for Policymakers*. (2014).
- [15] The Royal Society and Royal Academy of Engineering & Royal Academy of Engineering. *Greenhouse Gas Removal. The Royal Society* (2018).