

בין זהירות מונעת לרשלנות פושעת

עופר מוקדי¹

המאמר סוקר את תולדות הבנתנו את שינויי האקלים, מדגיש את החשיבות של ידע מדעי רחב ומעמיק הדרוש להבנה זו, מעלה את שאלת חלקו של האדם בתופעה, את המחיר הסביבתי והכלכלי שלה ומציג מה עושות מדינות העולם כדי להפחית את התופעות הללו בכללן ישראל – לא עושות מספיק!

הנטל הכלכלי של הייצוב הנדרש, מציבה האמנה שאלות רבות שמשלבות מרכיב ערכי גבוה עם הצורך בידע מדעי רחב ומעמיק: איזה שינוי נחשב "התאמה" של מערכת אקולוגית ומה נחשב כ"פגיעה"? מה נחשב כפיתוח "בר-קיימא"? ובכלל – מהי התערבות "מסוכנת"? (Grassl & Metz, 2013).

תולדות הבנתנו את שינויי האקלים

ארהניוס (Arrhenius, 1896) היה, אולי, הראשון שהצביע על הקשר בין שריפת דלקים פוסיליים להתחממות גלובלית. בדמיון מרשים לאומדן המודרני, הוא חזה שהכפלת ריכוז הפחמן הדו-חמצני (פד"ח) באטמוספירה תגרום עליה של 3-5 מעלות צלזיוס (מ"צ); הטווח המקובל כיום הוא 2-4.5 מ"צ (IPCC, 2007). מאוחר יותר הציג קלנדר (Callendar, 1938) את הקשר בין שינוי בריכוזי הגזים לבין ההתחממות על פני חצי מאה. הקהילה המדעית לא התרגשה מכך, בלשון המעטה, בין היתר מתוך חוסר אמון במדידות עצמן. אכן, לשם הערכה אמינה של שינוי ריכוז פד"ח, מתוך שיתוף פעולה בינלאומי בין מעבדות אנליטיות, צריך היה להמתין עד שנות השישים, ובאשר לשני השחקנים החשובים האחרים בתחום "גזי החממה" – חמצן דו-חנקני (nitrous oxide – N₂O, חד"ח) ומתאן (CH₄) – אפילו עד שנות השמונים המאוחרות.

בראשית שנות השישים הוקמו תחנות ניטור לריכוזי פד"ח במקומות מרוחקים מהשפעות אדם (אנטארקטיקה, הוואי),

"כדי להאן על הסביבה, אישת עקרון המהירות האנושית תיוסס בצורה נרחבת על ידי מדינות, בהתאם ליכולותיהן. במקרים שבהם קיים איום של נפק חמור או בלתי הפיך, היעדר ודאות מדעית מלאה לא יספיק להימנע משימוש באמצעים יעילים למניעת הידרדרות סביבתית."

(סעיף 15 ב"הצהרת ריו" שנכתבה עם סיומה של פסגת כדור הארץ" [Rio declaration, 1992])

החתימות החשובות באמת של נציגי 153 המדינות שהשתתפו בפסגת כדור הארץ בריו-דה-ז'נירו, ברזיל, הן אלה ששורבטו ביוני 1992 על "אמנת המסגרת של האו"ם בעניין שינויי האקלים" – מסמך המצהיר על מטרה מרכזית ברורה: "להביא לייצוב ריכוז גזי החממה באטמוספירה ברמה שתמנע התערבות אנושית מסוכנת במערכת האקלימית. יש להשיג ייצוב זה במסגרת זמן שיש בה כדי לאפשר למערכות אקולוגיות להתאים את עצמן באופן טבעי לשינויי האקלים, להבטיח שייצור המזון אינו בסיכון, ולאפשר המשך פיתוח כלכלי בר-קיימא" (UNFCCC, 1992).

המסמך אושרר בתוך כשנתיים על-ידי 189 מדינות (כולל ישראל), והוא כולל התפתלויות מורכבות, לא לגמרי מחייבות משפטית, שפירושן המעשי הוא (בערך): מדינות מפותחות ישתדלו לייצב את פליטות גזי החממה לרמתם בזמן מוקדם כלשהו (לא לגמרי מוגדר...), עד סוף המאה העשרים.

מעבר לקשיים שמשקפים הניסוחים הפתלתלים, בעיקר באשר לחלקן היחסי של המדינות המפותחות והמתפתחות בנישיאת

1 ד"ר עופר מוקדי, מפמ"ר מדע וטכנולוגיה, המזכירות הפדגוגית, משרד החינוך.



העשורים החמים ביותר מאז 1850. האוקיינוסים הם קולטי החום העיקריים, ואפשר לקבוע בוודאות מוחלטת ששכבת המים העליונה (עד לעומק של כ-700 מטר) התחממה לאורך 40 השנה האחרונות. כיפות הקרח בגרינלנד ובאנטארקטיקה מאבדות מסה בהתמדה, וכך גם הקרחונים ברחבי העולם. מראשית המאה העשרים עד היום עלו פני האוקיינוסים בכ-20 ס"מ. ריכוז הפד"ח עלה בכ-40% מלפני העידן התעשייתי, ובאוקיינוסים (הקולטים העיקריים!) יש לכך השפעה משמעותית של החמצה (הורדת ה-pH).

מה חלקו של האדם?

התשובה לשאלה "עד כמה אחראי האדם להתחממות?" התפתחה אף היא בהדרגה. דוח IPCC השני (IPCC, 1995) קבע כי "מאזן העדויות מציג השפעה אנושית מוחשית על האקלים הגלובלי". הדוח השלישי (IPCC, 2001) הציג "עדויות חדשות וחזקות יותר לכך שרוב ההתחממות במחצית השנייה של המאה העשרים נגרמה בהשפעת האדם", ואילו הדוח הרביעי (IPCC, 2007) קבע "ברמת ביטחון גבוהה מאוד", שפעילות האדם הובילה להתחממות גלובלית מאז 1750. התייחסות זו, המחלקת את תולדות שינוי האקלים ל"לפני" ו"מאז" העידן התעשייתי, עוברת כחוט השני בכל המחקרים והפרשנויות.

בשנים שקדמו לפרסום הדוח החמישי עלו ערעורים על המשקל שיש לייחס לפעילות האנושית, וכתוצאה מכך – לקביעה שהאדם מסוגל, ואף אחראי במידה רבה, לנקוט צעדים לשיפור המצב. בדוח החמישי (IPCC, 2014) ההתבטאות חריפה בהרבה גם בקשר להשפעת האדם. הדוח מציג ראיות לכך שהשפעת האדם ניכרת בכל היבטי ההתחממות ותוצאותיה. הוא קובע "בסבירות גבוהה במידה קיצונית" שפעילות אנושית הייתה הגורם הדומיננטי להתחממות הגלובלית מאז אמצע המאה העשרים. עוד מרחיב הדוח ומעיד על כך שפליטות אנושיות גברו בהתמדה מאז ראשית העידן המתועש, כחלק מגידול האוכלוסייה והתפתחות הכלכלה, והובילו לריכוז גזי חממה ללא תקדים לאורך 800 אלף השנים האחרונות!²

ובתום העשור הראשון לפעולתן כבר הסתמנה עלייה יציבה בריכוז הפד"ח של 0.4% בשנה; עלייה שרק מתגברת מאז. תחנות ניטור נוספות שהוקמו מציגות עלייה יציבה בריכוז הפד"ח (NOAA, 2011). כפי שאפשר לראות בפרסומי [מעבדת הניטור הגלובלית](#) – ב-40 השנה האחרונות עלה ריכוז הפד"ח בכ-22%, מ-340 חלקים למיליון (חל"מ) לכ-415 חל"מ, שמבטאים עלייה של קצת פחות מ-0.5% בשנה. ריכוזי מתאן החלו להימדד משנות השמונים המאוחרות ומראים גם הם עלייה יציבה, וכך גם חד"ח, שנמדד מראשית האלף הנוכחי.

הפאנל הבין-ממשלתי לשינוי אקלים (IPCC)

ההבנה שהמדע הוא אשר צריך להניח את תשתית הידע לשם קביעת מדיניות נמצאת בלב העיסוק בנושא שינוי האקלים. הבנה זו הובילה, בין היתר, להקמת קבוצות העבודה הנרחבות הפועלות מאז 1988 במסגרת ה-IPCC, שנחשב לסמכות המדעית העליונה עבור קובעי המדיניות: קבוצת עבודה 1 (WGI) עוסקת בריכוז המחקרים באשר לשינויים עצמם, ובאשר למעורבות פעילות האדם בגרימתם; קבוצה 2 (WGII) עוסקת בהשפעות של השינויים; קבוצה 3 (WGIII) עוסקת בצעדים שאפשר לנקוט נוכח השינויים. להלן אני סוקר על קצה המזלג כמה מן הממצאים הבולטים בדוחות שהוגשו במסגרת זו, והפרשנויות שניתנו להם.

מעבר לקביעה שיש עלייה ניכרת בריכוז גזי חממה כתוצאה מפעילות אדם, הציג הדוח הראשון (IPCC, 1990) מתאם גבוה בין ריכוז פד"ח לטמפרטורה הגלובלית, לפי ליבות קרח המתעדות כ-160,000 שנה (Jouzel et al., 1989). עליית טמפרטורה דרסטית של סוף תקופות קרח מאופיינת בעליית ריכוז פד"ח לרמה של כ-270 חל"מ, ובשיא תקופות קרח – בריכוז פד"ח נמוך (כ-200 חל"מ).

תיאור שינויי האקלים השתכלל והתחדד לאורך שנות ה-IPCC. כיום, על פי הדוח החמישי (IPCC, 2014), "ההתחממות האקלים ברורה באופן חד-משמעי". כל אחד משלושת העשורים האחרונים היה חם יותר, ובקנה מידה גלובלי היו אלה

² מומלץ מאוד לצפות עם תלמידים באנימציה המציגה מחזוריות בריכוז הפד"ח על פני כ-800 אלף שנה, וממשיכה עד לעלייה המזעזעת בתקופתנו...



מה המחיר הסביבתי? והכלכלי?

אף שכל הדוחות עסקו בתוצאות ההשפעה של ההתחממות הגלובלית, הדוח הרביעי (IPCC, 2007) היה הראשון שנקב במחירים סביבתיים קונקרטיים. ברובד הפיזי, מתאר הדוח הגברה בתדירות ובחומרה של אירועי מזג אוויר קיצוני; שינויים במערכות הידרולוגיות בעקבות שינוי במשטר המשקעים, והתכת שלגי-עד ומשטחי קרח-עד; הצפת נהרות מצד אחד ובצורות מתמשכות מצד שני; שיבושים חריפים באזורי חוף בעקבות עליית מפלס הים, כולל הצפות הרסניות של אזורים נרחבים. ברובד הביזי נכר הנזק למערכות ימיות (בין היתר בעקבות החמצת מי האוקיינוס); ריבוי אירועי שריפות ענק; שינויים בתפוצתם של מינים רבים, בדגמי הנדידה שלהם ובהתנהגותם בעקבות כל השינויים שנזכרו לעיל. הנזקים לרובד האנושי נגרמים גם בעקיפין, דרך שינויים לרעה ביבולים חקלאיים ופגיעות נוספות בייצור מזון, אך גם בנזקים ישירים לבריאות.

הדוח הרביעי אף העמיד תחזיות עתידיות קודרות למדי באשר למחיר הסביבתי. למשל, 20%-30% ממיני החי והצומח שנבחנו צפויים לסכנת הכחדה בהתחממות של יותר מ-1.5-2.5 מ"צ. הדוח החמישי (IPCC, 2014) מרחיב ומפרט את התחזיות, בדרגה גבוהה יותר של ביטחון, במרחב ובזמן. הסיכונים העתידיים בהחלט אינם אחידים על פני כדור הארץ, ופגיעתם באוכלוסיות ובאזורים מוחלשים עתידה להיות חמורה יותר. ניתוח קודר במיוחד עוסק בזמינות המזון בשני היבטים – ירידה דרמטית בדגה ובמזון-ימי אחר, וירידה ביבולים חקלאיים כמו חיטה, תירס, אורז וסויה.

אז מה עושים?

בזה אחר זה, בדרגות פירוט וודאות גדלות והולכות, הבהירו דוחות IPCC שקיימים אמצעים טכנולוגיים ומדיניותיים לייצוב האקלים. לצד דוחות אלה ראוי לציין דוח כלכלי נרחב של שטרן (Stern, 2007), מתוכו חשוב להדגיש שתי קביעות; ראשית, ניתן עדיין למנוע את ההשפעות החמורות ביותר של שינוי האקלים אם ננקוט פעולה מיידית. שנית, אפשר לעמוד בעלויות של ייצוב האקלים, ודחיית הפעולה תהיה יקרה בהרבה ואף מסוכנת!

חמש שנים אחרי החתימה הראשונית על אמנת המסגרת (UNFCCC, 1992), בשנת 1997, נחתם ביפן "פרוטוקול קיוטו",

המטיל על המדינות המפותחות מחויבות להפחתת פליטות גזי חממה (UNFCCC, 1997). מדינות אלה התחייבו להפחית את הפליטות ב-5.2% יחסית לרמה בשנת 1990, שנקבעה כשנת בסיס, ולעמוד ביעד זה במהלך 2008-2012. ערכו היישומי של הפרוטוקול נשחק מאוד, בכך ששתי התורמות הגדולות ביותר לפליטות גזי החממה – ארצות הברית וסין – לא השתתפו בנטל המחויבות. ארצות הברית פרשה מההסכם ב-2001 במחאה על כך ש-80% מהעולם אינו נושא בנטל המחויבות, ובכלל זה ריכוזי אוכלוסייה גדולים כמו סין והודו. סין (וכאמור, הודו, ומדינות נוספות) הייתה משוחררת מלכתחילה. פרישתה של קנדה ממחויבותה לפרוטוקול קיוטו, ב-2012, חיזקה את השחיקה בערכו של הפרוטוקול.

תקווה מחודשת ניצתה ב-2015, כאשר התכנסו שוב נציגי 196 מדינות בפריז, מתוך הכרה מחוזקת עוד יותר בהכרח לנקוט פעולה לייצוב האקלים (UNFCCC, 2015). ככלות הכול, באותו שלב כבר החלו להתפרסם חלקי הדוח החמישי של IPCC, והיה ברור שאין כל אפשרות להמתין. כל המדינות התחייבו לעשות את "הכמעט-בלתי-אפשרי" – להגביל את ההתחממות הגלובלית "הרבה מתחת ל-2 מ"צ" (בשפת המקור – "well below"), וככל האפשר אף מתחת ל-1.5 מ"צ, יחסית לטמפרטורה טרם העידן המתועש. גם הבסיס לקיום המחויבות נראה מבטיח יותר – כל מדינה תגדיר לעצמה את "תרומתה" למאמץ העולמי, תצהיר עליה ואף תעדכן אותה אחת לחמש שנים [באתר אינטרנט ייעודי](#) (סעיף 4.2 [בהסכם פריז](#)). נכון להיום הגישו 186 מדינות הגדרות ראשונות, ו-4 כבר הגישו גם עדכון.

התרומה של ישראל

אף שהתועלת המעשית בתרומתה של מדינת ישראל להפחתת הפליטות העולמיות, מעצם חלקה הזניח בסך הפליטות של גזי חממה (כ-0.2%), יש חשיבות הצהרתית, ציבורית ואף חינוכית בשותפותה בהסכם פריז. ביעד ההפחתה שהגישה ישראל בנובמבר 2016, היא מתחייבת להוריד את הפליטה לנפש בשיעור שאפתני של 26% (7.7 טון פד"ח ב-2030 לעומת 10.4 טון ב-2005), על ידי הפחתה של 17% בצריכת החשמל כתוצאה מהתייעלות, מעבר לייצור 17% מהחשמל ממקורות אנרגיה ירוקים, ומעבר של 20% מתחבורה פרטית לתחבורה ציבורית.

בינתיים - המצב "לא משהו"

בנובמבר 2019 הודיעה ארצות הברית של הנשיא טראמפ על פרישתה מהסכם פריז, צעד שייכנס לתוקף בנובמבר 2020 (שנה מיום ההכרזה). מזכיר המדינה פומפאו, אשר מסר את הודעת הפרישה, ציין כי "הנטל הכלכלי אינו הוגן" ואילו הנשיא טראמפ נקט ניסוח אופייני לו - "הסכם פריז הוא עסקה רעה לאמריקנים... ממשל אובמה נשא ונתן על ההסכם וחתם מתוך ייאוש".

כפי שמראים הנתונים שנסקרו לעיל, נכון להיום הפליטות עדיין בעלייה. לרוע המזל, יש להניח שפרישתה של ארצות הברית לא תעודד מדינות אחרות למאמץ, וגדולה מאוד הסכנה שגם הסכם פריז לא יניב את הפרי הנדרש.

הוראת מדע וטכנולוגיה - אמרנו?

תפקידה של הוראת מדע וטכנולוגיה בהקשר של שינוי האקלים הוא הגברת המודעות של תלמידים לבעיות אלה, הרחבה והעמקה של הידע הרלבנטי בתחומי הפיזיקה, הכימיה, הביולוגיה והטכנולוגיה, ואף מדעי כדור הארץ (כולם רלבנטיים!), תוך שילוב והנכחה ברורה של המרכיב הערכי. ככל מנוף חינוכי, גם כאן מדובר בהשפעה לטווח הבינוני והארוך, ובהיעדר פעולות ממשלתיות בטווח המיידי, יש מקום לחשוש לירידת המוטיבציה החינוכית. עם זאת, חובתנו לקבל את המשימה החינוכית הזאת ולבצעה על הצד המלא ביותר.

כיום, כמעט שלושה עשורים אחרי ועידת ריו, חרף מחקר מעמיק וודאות כמעט-מוחלטת בדבר הסכנות והדרכים למניעתן, עדיין רב המרחק מהיעד של ייצוב האקלים...

מאחר שזה מכבר אין האנושות נוקטת את הנדרש על פי עקרון הזהירות המונעת, יש חשש ברור שכל המתנה או דיחוי הם בגדר רשלנות פושעת!

חצי מעלה - מה זה משנה?

עד היום ההתחממות הגלובלית, בעיקר בעקבות פליטת גזי חממה בפעילות האדם, הובילה לעליית טמפרטורה של קצת פחות מ-1 מ"צ יחסית לטרם העידן המתועש (יטע"מ). המשך המגמה הנוכחית צפוי להוביל לעליית טמפרטורה של 1.5 מ"צ יטע"מ בטווח הזמן שבין 2030 ל-2055. הסכם פריז מדגיש את החשיבות במאמץ להגביל את עליית הטמפרטורה לערך זה, ולא להגיע ל-2 מ"צ יטע"מ. למה, בעצם? מה כבר ההבדל?

מתברר שלצד ההבדל של 0.5 מ"צ בטמפרטורת פני השטח, צפויים להיגרם הבדלים משמעותיים בכל ההיבטים הבאים, בסיכוי של למעלה מ-67% (רמת ביטחון "גבוהה" ומעלה):

- אירועי שרב קיצוניים.
- פגיעה במגוון המינים ובהיבטים נוספים של המערכות הטבעיות, כולל פגיעה ב"שירותי הטבע" לאדם.
- עליית טמפרטורת האוקיינוסים, החמצתם וירידה בריכוז החמצן במים. הפגיעה במערכות חי ימיות תפגע גם בשירותי המערכות לאדם.
- סיכונים בריאותיים קשורי-אקלים.
- ביטחון תזונתי ואספקת מי שתייה.
- היבטים כלכליים, ובכללם עלות הצעדים שיידרשו להתמודדות עם המצב. בכך תהיה פגיעה ברווחה הכלכלית העתידית.

חשוב לדעת:

- דרוש מאמץ גבוה יותר על מנת להתייצב על 1.5 מ"צ יטע"מ. למשל, נדרשת הפחתת פליטות של 45% מ-2010 עד 2030, ואיפוס הפליטות כבר ב-2050. על מנת להתייצב על 2 מ"צ יטע"מ אפשר להסתפק בהפחתה של 25% בין 2010 ל-2030, ולהגיע לאיפוס הפליטות רק ב-2070.
- ההתחייבויות הנוכחיות של מדינות, במסגרת הסכם פריז, אינן מספיקות לשם ייצוב על 1.5 מ"צ יטע"מ.

(דוח מיוחד - IPCC, 2018)



רשימת ספרות

- IPCC (2018). [Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty](#) [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor & T. Waterfield (eds.)]. In Press.
- Jouzel, J., Barkov, N.I., Barnola, J.M., Genthon, C., Korotkevitch, Y.S., Kotlyakov, V.M., Legrand, M., Lorius, C., Petit, J.P., Petrov, V.N., Raisbeck, G., Raynaud, D., Ritz, C. & Yiou, F. (1989). Global change over the last climatic cycle from the vostok ice core record (Antarctica). *Quaternary International* 2:15-24.
- NOAA (2011). [Global monitoring laboratory](#). National Oceanic and Atmospheric Administration.
- Rio Declaration (1992). [Rio Declaration on Environment and Development](#).
- Stern, N.(2007). The Stern review on the economics of climate change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- UNFCCC (1992). [United Nations Framework Convention on Climate Change](#).
- UNFCCC (1997). [Kyoto Protocol to The United Nations Framework Convention on Climate Change](#).
- UNFCCC (2015). [Adoption of the Paris Agreement](#).
- Arrhenius, S. (1896). On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. *The London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science* 5:237-276.
- Callendar, G.S. (1938). The artificial production of carbon dioxide and its influence on climate. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 64:223-240.
- Grassl, H.& Metz, B. (2013). Climate change: science and the precautionary principle. In: Late lessons from early warnings: science, precaution, innovation. European Environment Agency report 1/2013. p. 308-346.
- IPCC (1990). First Assessment Report, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC (1995). [Climate Change 1995: A report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change](#). IPCC
- IPCC (2001). [Climate Change 2001: Synthesis Report. A Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change](#) [Watson, R.T. and the Core Writing Team (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA.
- IPCC (2007). [Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change](#) [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.
- IPCC (2014). [Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change](#) [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland.

