



position paper

נייר עמדה

## הנדסת אקלים: היבטי מדיניות בינלאומיים

השגריר ג' בכר<sup>2,1</sup>

1 חטיבת אפריקה, משרד החוץ, ירושלים

2 המרכז הבינתחומי, הרצליה

פרטי התקשרות: gideon.behar@mfa.gov.il

הדו-חמצני באמצעות מסננים, שיותקנו בפתחי הארובות של תחנות כוח המייצרות אנרגיה משריפת צמחים מהונדסים גנטית. בבסיס השיטה מונח הרעיון שהצמחים יהונדסו כך שהם יקלטו כמות מרבית של פחמן דו-חמצני מהאטמוספירה בתהליך הטבעי של הפוטוסינתזה. כאשר הם יישרפו לצורך ייצור אנרגיה, ייקלט הגז הנפלט מהם באמצעות מסננים, ויוזרם לשכבות הקרקע העמוקות או לתחתית הים.

שיטות אחרות מציעות להציב מראות ענק בחלל שיחזירו את הקרינה; לעבות את שכבת הקרח בקטבים; להלבין משטחים גדולים על פני כדור הארץ כדי להגביר את אפקט האלֶבְדו של החזרת קרינה, ואף להשתמש בצמחים מעובי שורשים מהונדסים גנטית כדי שיקלטו פחמן דו-חמצני מהאוויר ויקבעו אותו בקרקע. נוסף על כך נהגה גם הרעיון של זריעת האוקיינוסים בברזל. הברזל אמור לעודד צמיחת אצות, שיספחו פחמן דו-חמצני. כאשר האצות ישלימו את מחזור חייהן, הן תשקענה אל תחתית הימים עם הפחמן שספחו.

נוסף לשתי השיטות העיקריות שנזכרו – ניהול קרינת שמש וסילוק פחמן דו-חמצני מהאטמוספירה – גובשו שיטות אחרות, המוגדרות כ"פתרונות אקלים טבעיים" (Natural Climate Solutions → NCS). מהותן של שיטות אלה היא נטיעת עצים ויערות שתאפשר ספיחת פחמן בביומסה קשת פירוק, ושיקום מערכות אקולוגיות טבעיות. אף שלכל התערבות בטבע יש פוטנציאל לחולל תוצאות בלתי רצויות ובלתי צפויות, רמת הסיכון של פתרונות מסוג זה נמוכה לאין שיעור מהשיטות הטכנולוגיות. נוסף על כך, מעבֵר לשיטות ממשק של חקלאות משמרת מאפשר קיבוע פחמן בקרקע (Soil Carbon Sequestration), או לפחות הקטנת חמצון של פחמן אורגני מהקרקע. מדינות רבות אכן מגבירות את קצב נטיעת העצים בשטחן, והוא הולך וגדל בהתמדה בתהליך מקביל לכריתת יערות טרופיים. ככלל, יש מגמה של עלייה באחוז היערות הנטועים מסך כל שטח היערות

האנושות שואפת זה דורות להשיג את מה שהוא בעיניה הניצחון בה"א הידיעה של האדם על הטבע: השגת שליטה על האקלים ועל מזג האוויר. אלא שהדבר שהיה פעם בגדר חלום, הולך והופך לאפשרות מעשית, שיש לה השלכות חסרות תקדים על הקיום ועל מארג החיים על פני כדור הארץ. מחד גיסא, התפתחויות טכנולוגיות הופכות התערבות אנושית באקלים לדבר אפשרי ומוחשי. מאידך גיסא, הצורך במתן מענה למשבר האקלים המאיים על עתידנו מעורר דחף חזק לנקוט צעדים חריגים. לכך אפשר להוסיף גם אינטרסים כלכליים של בעלי עניין, המזהים בהנדסת אקלים אפשרות להפקת רווחים (Schneider, 2018).

אכן, הנדסת אקלים אינה עוד בגדר מדע בדיוני, היא אפשרות בת-ביצוע. למרבה האירוניה, שינויי האקלים הם עצמם סוג של הנדסת אקלים, אף על פי שהיא בלתי מכוונת. בדברם על הנדסת אקלים מתייחסים המדענים לשתי שיטות עיקריות. השיטה האחת נקראת ניהול קרינת שמש (Solar Radiation Management – SRM), והעיקרון המנחה שלה הוא צמצום קרינת השמש הנכנסת לאטמוספירה באמצעות החזרתה לאטמוספירה או דחיית חלק ממנה. דבר זה אפשרי, בין שאר אמצעים, בדרך של פיזור חלקיקים זעירים – אירוסולים – באטמוספירה או בדרך של אידוי כמויות גדולות של מים מן האוקיינוסים אל חלל האוויר. האירוסולים או חלקיקי המים אמורים לסייע בהחזרת חלק מקרינת השמש שתפגע בהם אל החלל החיצון, ובכך להפחית את חום השמש הנקלט על פני כדור הארץ.

השיטה השנייה מתבססת על סילוק גז החממה העיקרי, פחמן דו-חמצני (CO<sub>2</sub>), מן האטמוספירה, פעולה שצפויה להקטין את אפקט החממה. גז זה ניתן לסילוק בכמה דרכים. השיטה המדוברת ביותר כיום היא Geological Carbon Sequestration, המוכרת גם בשם CCS (Carbon Capture and Storage). המטרה היא לכלוא את הפחמן

למרות החסרונות שבהנדסת האקלים נשמעים קולות לא מעטים הטוענים שאם מצב האקלים יהיה חמור דיו, לא תיוותר ברירה אלא לנקוט שיטה זו, כדי למנוע אסונות גדולים עוד יותר. דעה כזו הציג השבועון "האקונומיסט" במאמרו "What they don't tell you about climate change" (The Economist, 2017). לעומתם אומרים המתנגדים שבמו ידיו אנו עלולים לגרום למערכת האקלימית העולמית לצאת מכלל איזון, והנזק שהתערבות הזאת תסב יהיה גדול מהתועלת שבה. זו סוגיה עקרונית המעלה את השאלה אם האנושות מוכנה להמלך כה קיצוני, שיכולות להיות לו השלכות דרמטיות על כל היבט של חיים על פני כדור הארץ, מבלי שניתן לחזות מראש את תוצאותיו.

המתנגדים מוסיפים ששיטה זו לא תמנע את המשך הפיכת מי האוקיינוסים לחומציים בשל הפחמן הדו-חמצני הנקלט בהם, והנזק למערכות האקולוגיות הימיות יימשך. הם סבורים שעצם החשיבה על מהלכים מסוג זה עלולה ליצור אשליה שיש פתרון, ולכן תסיט את קובעי המדיניות מהמטרה העיקרית שאליה עליהם לכוון את מאמציהם – הפחתת הפליטות. עיון בדוחות שפרסמו מומחי האמנה לשינויי אקלים של האו"ם מעלה כי אנו הולכים ומתרחקים מהיעד של התחממות מרבית של  $2^{\circ}\text{C}$ , כפי שנקבע בהסכם פריז בוועידת האקלים. לאור זאת היעד של  $1.5^{\circ}\text{C}$  שאליה התחייבו לשאוף מדינות העולם באותה וועידה, הולך ונראה בלתי ישים.

בנסיבות אלה עולה השאלה: כיצד תנהג מדינה בעלת יכולות טכנולוגיות וכספיות אם תרגיש שמצבה נעשה נואש על רקע שינויי האקלים, שהטמפרטורות בה עלו בצורה שאינה מאפשרת קיום של רבים מתושביה, ושייצור המזון שלה נפגע באופן המאיים על אוכלוסייתה ברעב ובמוות? האם אותה מדינה תקבל את רוע הגזירה או תנסה, ואולי אף בצעד של ייאוש, לשנות את האקלים? יתר על כן, האומנם אפשר לדוגמה למנוע ממדינה או מכמה מדינות מפיקות נפט להשתמש בהנדסת אקלים כדי לנטרל התנגדויות להמשך השימוש בנפט, ובכך לאפשר להן להמשיך ולמכור את הנפט שבו תלויה כלכלתן? לעת עתה אין לנו תשובות לשאלות אלה, אולם ברור שעל אומות העולם להיערך לתרחישים הללו ולדומיהם כבר כיום באמצעות הקמת מנגנונים בינלאומיים שיהיו גוף מחליט בנושא הנדסת אקלים. יש להיערך הן מבחינת החוק הבינלאומי והן מבחינת היחסים הבינלאומיים לאפשרות של שינוי מכוון באקלים כדי למנוע צעדים חד-צדדיים ובלתי מתואמים בעתיד (Parson, 2017).

יש להדגיש שוב את המובן מאליו: הדרך הטובה ביותר לעצור את שינויי האקלים היא באמצעות מעבר לכלכלה דלת-פחם, הפסקת השימוש בדלקים מאובנים וייצור אנרגיה מתחדשת. גם הפחתת צריכת מזון מן החי יכולה לתרום תרומה רבת-ערך למניעת משבר האקלים ולפנות לצורכי ייעור שטחים חקלאיים, שמנוצלים כיום לגידול בעלי חיים ולגידול מזון עבורם. אמצעים אלה הם השיטה הזולה והישימה ביותר העומדת בפנינו כיום. היא לבדה יכולה להביא לכשליש מסך הפעולות הדרושות כדי להימנע מחריגה מהרף של  $2^{\circ}\text{C}$  של התחממות גלובלית, כפי שהוחלט בוועידת פריז (Bronson et al., 2017). שיקום מערכות אקולוגיות ונטיעה מסיבית של עצים ויערות ברחבי העולם יסייעו באופן ניכר בספיחת הפחמן הדו-חמצני ובקירור האטמוספירה,

כיום תופסים יערות נטועים כ-7% מכלל שטח היערות בעולם בהשוואה לשיעורם – 4% – בשנת 1995. מדינות רבות דוגמת סין, פקיסטן והודו נוטעות עצים ויערות בהיקפים אדירים בשנים האחרונות. פקיסטן לדוגמה נטעה משנת 2014 מיליארד עצים כחלק מהיעד של נטיעת עשרה מיליארד עצים. באתיופיה ניטעו השנה ביום אחד 353 מיליון עצים כחלק מתוכנית ייעור רחבת-היקף.

כיוון שיש פתרונות טכנולוגיים, מדוע עלינו לדאוג? אחת הסיבות היא שאף לא אחת מהשיטות שהוזכרו (למעט הייעור) לא נוסתה בקנה מידה שיכול לתת סימן שיעיד על ההשלכות האפשריות שלה – לא על קירור האקלים ולא על תוצאות לוואי אחרות. האו"ם התייחס לכך בדוח "מעלה וחצי" של פנל המומחים הבינלאומי מאוקטובר 2018 (The Intergovernmental Panel in Climate Change – IPCC), <https://www.ipcc.ch/2018/10/08/summary-for-policymakers-of-ippc-special-report-on-global-warming-of-1-5c-approved-by-governments/>. השלכה אפשרית שחוזים מומחים היא שאידוי מי אוקיינוסים כדי לייצר לחות באטמוספירה עלול להביא להפחתת גשמים במדינות סמוכות ובכך להוביל אותן למשבר קיומי חמור.

ספיחת פחמן דו-חמצני בשיטת CCS נחשבת יקרה ביותר. למימושה נדרש להקים תשתיות נרחבות – שטחי קרקע אדירים, שמשמשים כיום לייצור מזון או ליער – ולהשתמש בכמויות גדולות של אנרגיה, שתגרום לפליטת כמויות גדולות של גזי חממה. השימוש בה יגדיל באורח ניכר את צריכת המים והדשנים תוך כדי יצירת בעיות סביבתיות, כלכליות וחברתיות חדשות. כל אלה מקטינים את יישומיות השיטה (Monbiot, 2019).

החסרונות של שתי השיטות הנזכרות ברורים, אולם יש ביניהן הבדלים, ההופכים את שיטת ניהול קרינת השמש (SRM) לאטרקטיבית יותר בקרב חוגים מסוימים. הבדל אחד מקורו בעלויות. ניהול קרינת שמש הוא תהליך זול בהרבה מאשר סילוק פחמן דו-חמצני מהאוויר, ולכן מבחינה תקציבית זו פעולה שמדינות ותאגידים גדולים יכולים לבצע. הבדל נוסף הוא מהירות היישום. ניהול קרינת שמש הוא פעולה שניתן לבצע במהירות יחסית מעת קבלת ההחלטה, בעוד ספיחת פחמן דו-חמצני באופן תעשייתי היא פעולה מורכבת, וביצועה הוא מהלך ארוך ויקר. כל אלה נותנים יתרון מוצק למצדדים בשיטת ה-SRM.

יש גם הבדל מהותי בין שתי השיטות. הבדל זה נעוץ בסוגיית הריבונות וביכולת למנוע את השימוש ב-SRM או לעכבו. פיזור אירוסולים או אדי מים באוויר נעשה בשטח בינלאומי, ולכן יש צורך בהסכמה או בתיאום בינלאומיים. לעומת זאת הקמת מפעלים לסינון פחמן דו-חמצני מהאוויר נעשית בשטח הריבוני של המדינה, ולמדינות אחרות אין זכות להתערב בכך (Hamilton, 2013). מצב העניינים כיום בזירת היחסים הבינלאומיים היא שאם תתקבל החלטה בידי גוף כמדינה, קבוצת מדינות או אפילו תאגיד גדול, שניהול קרינת שמש הוא עניין המשרת אותו או מונע בעדו להיקלע לאסון, אין דרך מעשית לעצור אותו ממימוש ההחלטה. עם זאת, מאחר שהשיטה אינה חפה מבעיות ותוצאותיה אינן ברורות, לא מן הנמנע שמדינות יצאו בעתיד למלחמות על רקע זה, או יגמלו אחת לרעותה באמצעות שימוש בנשק אקלים – מונח חדש שיתכן שבעתיד נצטרך להתרגל אליו.

Hamilton, C., 2015. Earthmasters: The dawn of the age of climate engineering. Yale University Press, *The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Special Report on 'Global Warming of 1.5°C'* (2018).

<https://www.ipcc.ch/2018/10/08/summary-for-policymakers-of-ipcc-special-report-on-global-warming-of-1-5c-approved-by-governments>

Parson, E. A., 2017. Starting the dialogue on climate engineering governance. A World Commission, Vol. 8. Centre for International Governance Innovation.

<https://www.cigionline.org/publications/starting-dialogue-climate-engineering-governance-world-commission>

Schneider, L., 2018. Geoengineering and environmental capitalism. Extractive industries in the era of climate change. <https://magazine.scienceforthepeople.org/geoengineering/geoengineering-environmental-capitalism>

The Economist, 2017. What they don't tell you about climate change.

<https://www.economist.com/news/leaders/21731397-stopping-flow-carbon-dioxide-atmosphere-not-enough-it-has-be-sucked-out>

כפי שהראה גם המחקר שערכו מומחי מכון ויצמן בשיתוף קק"ל ביער יתיר שבנגב בנושא ייעור באזורים צחיחים למחצה (רוטנברג ויקיר, 2018).

ניתן להניח כי על רקע המשך העלייה הגלובלית ברמת פליטות גזי החממה וההשלכות שיש לכך, נידרש בעתיד הקרוב לסוגיית הנדסת האקלים, שבכוחה להשפיע על החיים בכדור הארץ ועל היחסים הבינלאומיים. הנדסת אקלים תהפוך בקרוב לסוגיה מדינית מעשית – אולי הסוגיה החשובה ביותר שעיימה התמודדה האנושות מאז ומעולם.

## מקורות

רוטנברג, א', יקיר, ד', 2018. ייעור, אקלים ועתיד היערות בישראל. אקולוגיה וסביבה 9 (3), 22–33.

Bronson, W. G, et al., 2017. Natural climate solutions. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 114, 11645–11650.

Monbiot, G., 2019. averting climate breakdown by restoring ecosystems: A call to action. The Letter.

<https://www.naturalclimate.solutions/the-science>