

נקודת מבט

ותפיסת הפחמן הדו-חמצני שנוצר בשרפה; שרפה של שאריות חומר אורגני והפיכתן לפחם ביולוגי (biochar); שיקום ביצות ויצירת ביצות חדשות; ניהול מיטבי של יער תוך ייצור מוצרי עץ ארוכי-קיום. כמובן שהיריעה כאן קצרה מלהסביר כל שיטה בפירוט, אך ברור ששיטה מבטיחה היא כזאת שמאפשרת לסלק במחיר סביר (כיום פחות מ-100 דולר לטונה פחמן) כמויות ניכרות של פחמן מהאטמוספירה בלי לגרום לבעיות סביבתיות או חברתיות חדשות.

מבדיקות שנערכו מתברר שאף אחת מהטכנולוגיות המוצעות לסילוק הפחמן אינה בשלה לשימוש בהיקף שדרוש להאטת שיבוש האקלים באופן ניכר ^[1,3,4,5]. חלק גדול מהשיטות דורש השקעת אנרגיה רבה (לדוגמה, טחינת סלעים או תפיסה ישירה מהאוויר). כמובן שיהיה זה אבסורד להפעיל מערכת תפיסה מהאוויר שמקור האנרגיה שלה הוא דלקי מחצבים. תומכי השיטות האלה טוענים שהאנרגיה תבוא ממקורות מתחדשים (רוח ושמש), אך כל עוד רוב צרכי האנרגיה העולמית אינם מגיעים ממקורות כאלה, יעיל יותר להשקיע במעבר כולל לשימוש במקורות מתחדשים במקום בדלקי מחצבים, מאשר להשקיע בסילוק פחמן אטמוספרי בעוד השימוש הנרחב בדלקי מחצבים נמשך. רעיונות אחרים, כמו נטיעת יערות, חשופים לסכנות של שיבוש האקלים עצמו, שיגרום לעלייה בצורות ובשרפות יער. שיטות רבות אחרות כרוכות בעלויות גבוהות, שלא ברור כיצד ניתן להפחיתן בעתיד הנראה לעין, ואחרות פשוט אינן בעלות פוטנציאל להרחקת מספיק פחמן, גם אם ייושמו באופן נרחב. כמו כן, חלק מהן, למשל הצעות לדישון האוקיינוסים, מסכנות אקולוגיה של מערכות טבעיות, ואחרות, כמו ההצעה לגידול צמחים לייצור אנרגיה בשדות חקלאיים, מסכנות את ביטחון ייצור המזון. סכנה מרכזית היא ש"פתרון הקסם", לכאורה, גורם לציבור להאמין שתימצא דרך פשוטה וקלה להימנע משיבוש האקלים, ולכן אין צורך להתייחס לתחזיות מעוררות החשש. נראה שלמרות הכוונות הטובות של רבים מאלה שמקדמים את גישת סילוק הפחמן, קידומה מעורר גל נוסף של הכחשה בצורך בפעולה עכשיו (גלים קודמים זכו לעידוד מצד תעשיות הנפט והפחם: "אין התחממות", "יש התחממות אבל אין הוכחה שאנחנו אחראים לה", "נכון שאנחנו אחראים, אבל כבר עברנו את נקודת האל-חזור ולכן אין מה לעשות"). הגישה שנשמעת גם בקרב מקבלי החלטות ויועצים, ולפיה יש לחכות לפיתוח טכנולוגיה לסילוק פחמן ועד אז לנהוג כרגיל, מרחיקה את תשומת הלב הציבורית ^[2] מהצורך בשינוי התנהגות ובהשקעת כספים בפתרונות מוכחים. כך, פעולות כגון העלאת יעילות השימוש באנרגיה, מעבר לשימוש נרחב באנרגיות שמש ורוח, קליטת פחמן

סילוק פחמן מהאטמוספירה – פתרון קסם או אשליה מסוכנת?

אלון אנגרט

המכון למדעי כדור הארץ, האוניברסיטה העברית בירושלים
angert@gmail.com

שיבוש האקלים הנגרם בגלל פליטת גזי חממה (גזים מזהמים לוודי חום) נחזה על-ידי חוקרי מדעי כדור הארץ כבר לפני עשרות שנים. ההחרפה באירועי קיצון – כולל טמפרטורות חריגות, שרפות ענק ושיטפונות – התחילה לאחרונה להניע יותר ממשלות, חברות, חוקרים ואזרחים מודאגים לפעול להגבלת העלייה בריכוז גזי החממה באטמוספירה כדי למנוע אסונות ונזקים נוספים. דו"חות ה-IPCC קובעים כי הגבלת העלייה בריכוז של פחמן דו-חמצני (גז החממה האנתרופוגני העיקרי) תושג בעיקר באמצעות צמצום פליטות: אם דרך יעול השימוש באנרגיה, מעבר לשימוש באנרגיות ממקורות מתחדשים (בעיקר שמש ורוח) או על-ידי תפיסת פחמן דו-חמצני בארובות של תחנות כוח והטמנתו בתצורות גאולוגיות מתאימות או בים העמוק (CCS – Carbon Capture and Storage), תפיסת פחמן מפליטות והטמנתו). הגישות האלה תורמות למרבית הצמצום המתוכנן, שרוב מדינות העולם חתמו עליו בהסכם פריז (2015) להפחת פליטות גזי חממה. עם זאת, ההסכם מכיר בכך שיש מקורות פליטה שקשה לצמצם או לתפוס בהם את הפחמן הדו-חמצני בקצה צינור הפליטה (למשל מטוסים), ולכן יהיה צורך גם בסילוק פחמן דו-חמצני מהאטמוספירה עצמה (CDR – Carbon Dioxide Removal, להלן סילוק פחמן).

גישת סילוק הפחמן זוכה עכשיו לעניין רב, וגורמת לרבים לראות בה פתרון קסם טכנולוגי (techno-fix) המבטל את הצורך בצמצום פליטות ובשינויים מרחיקי לכת במערכת הכלכלית ובאורחות החיים. השיטות המוצעות לסילוק פחמן מתחלקות לשיטות שהן טכנולוגיות לחלוטין, כמו מערכות שיסננו אוויר, יתפסו ממנו את הפחמן הדו-חמצני, ויעבירו אותו להטמנה (DAC – Direct Air Capture), תפיסה ישירה מהאוויר, ולשיטות שהן פתרונות מבוססי טבע, כלומר שגורמות לשינוי במערכות אקולוגיות טבעיות. הגישות מבוססות הטבע כוללות, בין השאר: בליה מואצת של מינרלים שמבוססת על פיזור רסק של סלעי יסוד (כגון בזלת) בשדות חקלאיים; הוספת סלעי גיר מרוסקים למי האוקיינוסים; דישון האוקיינוסים בברזל; נטיעת יערות; גידול צמחים כחומר דלק (ביומסה) לתחנות כוח





תרחיש אבסורדי שבו תחנת כוח פחמית מספקת חשמל להפעלת מערכת לסילוק פחמן מהאטמוספירה | איור: אלון אנגרפ, באמצעות מערכת בינה מלאכותית ChatGPT

מקורות

- [1] Anderson K, Buck HJ, Fuhr L, et al. 2023. Controversies of Carbon Dioxide Removal. *Nature Reviews Earth and Environment* 4(12): 808–814.
- [2] Campbell-Arvai V, Hart PS, Raimi KT, and Wolske KS. 2017. The influence of learning about Carbon Dioxide Removal (CDR) on support for mitigation policies. *Climatic Change* 143: 321–336.
- [3] Field CB and Mach KJ. 2017. Rightsizing Carbon Dioxide Removal. *Science* 356(6339): 706–707.
- [4] Rosa L, Sanchez DL, and Mazzotti M. 2021. Assessment of Carbon Dioxide Removal potential via BECCS in a carbon-neutral Europe. *Energy and Environmental Science* 14(5): 3086–3097.
- [5] Smith SM, Geden O, Gidden MJ, et al (Eds). 2024. The state of Carbon Dioxide Removal 2024 — A global, independent scientific assessment of Carbon Dioxide Removal, 2nd ed.

דו-חמצני בתחנות כוח והטמנתו במאגרים גאולוגיים, מעבר לשימוש נרחב בתחבורה ציבורית, בניית ערים נוחות להליכה ברגל ובניינים מותאמי אקלים ועוד, אינן מתוקצבות בצורה נאותה, אם בכלל. עם זאת, אף על פי שכיום אין שיטה מבטיחה לסילוק פחמן אטמוספרי, ייתכן שבעתיד תתגלה כזאת. לכן, עדיין כדאי להשקיע במחקר בנושא, אבל המימון חייב להיות רק להצעות שעברו בדיקה מקדימה קפדנית, ולא לבוא על חשבון גישות מוכחות לצמצום פליטות. בסופו של דבר, על הציבור להכיר בכך שהתמודדות עם שיבוש האקלים תדרוש מאמצים ומשאבים רבים, וסילוק פחמן יוכל לשמש רק כלי משלים, שיש לפתח בד בבד עם צמצום פליטות משמעותי ונרחב.

גילוי נאות: הכותב שותף בכתיבת הצעה לות"ת להקמת מרכז לבחינה ולהערכה של שיטות לסילוק פחמן אטמוספרי ושל שיטות להטמנה גאולוגית וימית.