



## הסרת גזי חממה מזיקים מהאוויר באמצעות אנרגיה מצמחים

Daniel L. Sanchez<sup>1</sup> and Daniel M. Kammen<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> הקבוצה לאנרגיה ולמשאבים, אוניברסיטת קליפורניה בברקלי, ברקלי, קליפורניה, ארצות הברית  
<sup>2</sup> בית ספר ע"ש Richard and Rhoda Goldman למדיניות ציבורית, אוניברסיטת קליפורניה בברקלי, ברקלי, קליפורניה, ארצות הברית

### סוקרים צעירים

INTERNATIONAL  
SCHOOL OF  
LAUSANNE



### שינוי האקלים (Climate change)

שינוי בתבניות מזג האוויר  
באזור מסוים או בכדור הארץ  
כולו.

### ביו-אנרגיה עם לכידה ואחסון של פחמן (BioEnergy with Carbon Capture and Sequestration – BECCS)

טכנולוגיה אשר מסירה CO<sub>2</sub>  
מהאטמוספירה תוך ייצור מוצרי  
אנרגיה כמו חשמל או דלקים.

פחמן דו-חמצני (CO<sub>2</sub>) שמשחרר בשריפה של דלקי מאובנים, גורם לשינוי האקלים – התחממות של כדור הארץ אשר גורמת לגלי חום חזקים, למזג אוויר קיצוני ולהשפעות שליליות אחרות על העולם שלנו. כיצד אנו יכולים לעצור את שינוי האקלים בעתיד? אפשרות אחת היא להסיר את ה-CO<sub>2</sub> מהאוויר שסביבנו. במאמר זה נתאר טכנולוגיה מקורית להסרת CO<sub>2</sub> שנקראת "ביו-אנרגיה עם לכידה ואחסון של פחמן" (BioEnergy with Carbon Capture and Sequestration) BECCS (-) ה- BECCS מייצרת אנרגיה מצמחים, עשבים או עצים תוך הסרת CO<sub>2</sub> מהאטמוספירה שלנו. מדענים רק מתחילים להבין את התפקיד ש- BECCS יכולה למלא בהפחתת שינוי האקלים. במאמר זה נתאר מחקר עכשווי שמראה כיצד העולם יכול לבנות רשת מערכות חשמל – רשת שמספקת חשמל לבתים שלנו – אשר מסירה CO<sub>2</sub>, במקום לשחררו. המערכות האלה שונות מאוד ממערכות החשמל הקיימות כיום, אשר משתמשות בכמויות גדולות של דלקי מאובנים.

אנו יודעים שאטמוספירת כדור הארץ מתפקדת כמו חממה: קרניים מגיעות מהשמש ומחממות את האוויר ואת האדמה. במקום לעזוב את החממה באותה הדרך שהן נכנסו אליה, הקרניים נכלאות בקירות ובתקרה של החממה והופכות אותה להיות חמה יותר מהאוויר שבחוץ. זה בדיוק מה שקורה במכונית ביום חם: אור עובר בחופשיות פנימה דרך החלון (יותר מ-90% מהאור מצליח לעבור), אולם אחרי שהאנרגיה שלו נספגת על-ידי המושבים והריפוד, היא משתחררת מחדש בצורה של חום אשר החלונות משקפים חזרה אל תוך הרכב. אם כן, האור יכול להיכנס,

אבל אינו יכול לברוח מהמכוננית ולכן היא תתחמם. לכדור הארץ יש את החממה הפרטית שלו – האטמוספירה, שְׁמִיכה של אוויר שכוללת חום בתהליך שנראה "אפקט החממה". אפקט החממה הוא דבר טוב – ללא האטמוספירה כדור הארץ היה קר יותר בכ-33°C, ורוב המים על פניו היו קופאים לקרח! הגזים שמחממים את כדור הארץ ידועים בשם "גזי חממה", והידוע שבהם הוא פחמן דו-חמצני (שסימונו הכימי הוא, כאמור, CO<sub>2</sub>).

אולם כמות גדולה מדי של CO<sub>2</sub> באוויר עשויה להוות בעיה. בני האדם אחראיים על ייצור כמות גדולה של CO<sub>2</sub>. מדי יום ביומו אנו משתמשים בדלקי מאובנים (כמו פחם, שמן או גז טבעי, שאותם אנו מוצאים במעמקי האדמה בצורת מוצק, נוזל או גז) ברכבים שלנו ובתחנות הכוח, או כשאנו כורתים עצים ביערות. כל הפעילויות האלה יחד מגדילות את כמות ה-CO<sub>2</sub> באטמוספירה לרמות שלא נראו כמותן ב-55 מיליוני השנים האחרונות. העלייה הזו בכמות גזי החממה מחממת את כדור הארץ. עליית הטמפרטורה גורמת בתורה לשינוי האקלים, שהוא שינוי בתבניות מזג האוויר באזור מסוים או בכדור הארץ בכללותו. מדענים חוזים ששינוי האקלים יגרום לעלייה במפלס הים, לגלי חום חזקים יותר, למזג אוויר קיצוני, להכחדה של זנים ביולוגיים ולהשפעות שליליות אחרות על העולם שלנו.

למזלנו, ישנם כמה צעדים שאנו יכולים לבצע במטרה להפחית את ההשפעות העתידיות של שינוי האקלים. מדענים בדרך כלל מחלקים את הפעולות המועילות האלה (אשר ידועות כ"מיתון שינוי האקלים") לשלוש קטגוריות: הפחתת פליטות מזיקות של CO<sub>2</sub> ושל גזי חממה נוספים (כלומר שחרורם של הגזים לתוך האטמוספירה); הפחתת כמות אור השמש שמגיעה לפני השטח של כדור הארץ והסרת CO<sub>2</sub> מהאטמוספירה. לכל אחת מהפעולות האלה יש עלויות, תועלות וסיכונים מסוגים שונים. חשוב שממשלות וקובעי מדיניות אחרים יבינו איזה חלק צריך להוות כל אחד מהפתרונות האלה מתוך התגובה לשינוי האקלים.

נתמקד בהסרת פחמן דו-חמצני (CDR – Carbon Dioxide Removal) מהאטמוספירה. לאיזה היקף של הסרת CO<sub>2</sub> אנו זקוקים כדי להיאבק בשינוי האקלים? הֶעֱרָכָה אחת מגיעה מהפאנל הבין-ממשלתי לשינוי האקלים (IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change), קבוצת מדענים מרחבי העולם שעובדים יחדיו כדי לענות על שאלות כמו זו. דו"ח ה-IPCC מכיל תוכנית מחמירה ביחס להגבלת עליית הטמפרטורה, כך ששינוי האקלים יואט. תוכנית ה-IPCC כוללת הן צעדים להפחתת פליטות ה-CO<sub>2</sub> לאוויר והן צעדים להסרת פחמן מהאטמוספירה תוך שימוש בטכניקות CDR. התוכנית הזו דורשת מטכנולוגיות ה-CDR להפחית עד לשנת 2,100 כמות CO<sub>2</sub> שערכה 25% מהכמות שמיוצרת בעולם כיום. הפחתות נוספות של CO<sub>2</sub> יאלצו להתרחש בדרכים אחרות, כולל שימוש במקורות אנרגיה חדשים שאינם מייצרים CO<sub>2</sub> כמו למשל אנרגיית שמש (אנרגיה סולרית) ואנרגיית רוח. באיור 1 אפשר לראות כיצד עשויות להיראות פליטות ה-CO<sub>2</sub> בעתיד אם נפעל לעבר "מיתון שינוי האקלים" או אם נבחר שלא להפחית את הפליטות וניישם מדיניות של "עסקים כרגיל".

ישנן כמה דרכים לביצוע CDR. לכל אחת מהדרכים האלה יש עלויות שונות, והן יכולות להסיר כמויות שונות של CO<sub>2</sub> מהאטמוספירה. רעיון אחד נקרא "לכידת CO<sub>2</sub> ישירות מהאוויר, והוא תהליך יקר אשר "מקרצף", או מסיר, פחמן דו-חמצני מהאוויר שאנו נושמים. דרכים אחרות להסרת CO<sub>2</sub> מהאטמוספירה כוללות אחסון כמות גדולה יותר של פחמן בעצים, באדמה או באוקיינוס. טכנולוגיה אחת חדשה להסרת CO<sub>2</sub> ידועה כאמור בתור "ביו-אנרגיה עם לכידה ואחסון של פחמן" (BECCS).

### מיתון שינוי האקלים (Climate change mitigation)

פעולות שמפחיתות את ההשפעות העתידיות של שינוי האקלים.

### הסרת פחמן דו-חמצני (CDR – Carbon Dioxide Removal)

פעולות שמסירות CO<sub>2</sub> מהאטמוספירה, מה שיגרום להפחתה בשינוי האקלים העתידי.

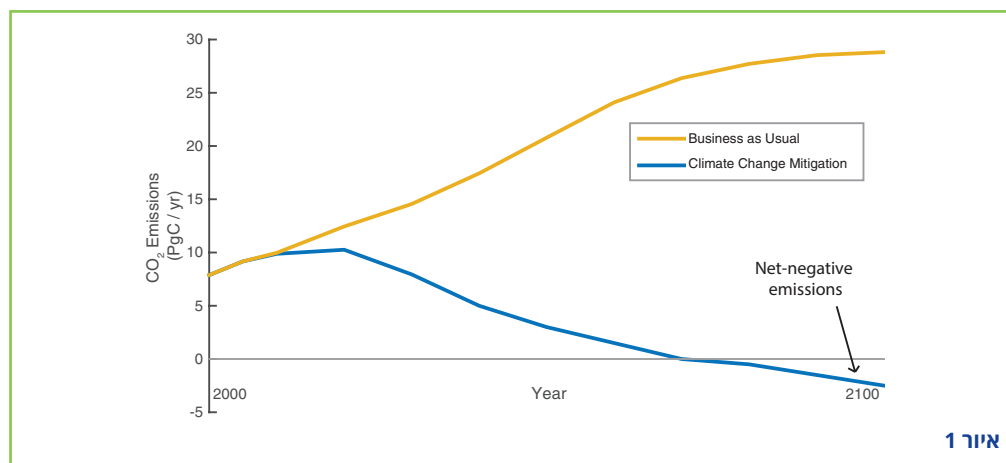
### הפאנל הבין-ממשלתי לשינוי האקלים (IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change)

קבוצת מדענים מרחבי העולם אשר מבצעת הֶעֱרָכָה למידע במטרה להבין את הסיכונים שבגרמים משינוי האקלים.

## איור 1

### הפליטה הכוללת של פחמן דו-חמצני עבור תרחישי "עסקים כרגיל" ו"מיתון שינוי האקלים". באיור

אפשר לראות את ההתפתחות העתידית המשוערת של פליטות ה- $CO_2$  (אשר מוצגות ביחידות של פטה-גרם פחמן לשנה, כאשר פטה-גרם אחד הוא  $10^{12}$  קילוגרם). בתרחיש "עסקים כרגיל" אנו משערים שהעולם ימשיך להשתמש בדלקי מאובנים באותה הדרך שמומשה בעבר, ובתרחיש "מיתון שינוי האקלים" אנו משערים שממשלות יבצעו פעור ערים שממשלות יבצעו פעור לות להפחתת פליטות ה- $CO_2$ . הגרף לקוח מ-IPCC [1].



איור 1

BECCS מסירה  $CO_2$  מהאטמוספירה תוך ייצור של מוצרי אנרגיה בעלי ערך כמו למשל חשמל או דלקים. יתרה מזו, BECCS יכולה להחליף צורות מלוכלכות יותר של הפקת אנרגיה מדלקי מאובנים. בשל המאפיינים האלה, מדענים מאמינים ש- BECCS יכולה לשחק תפקיד חשוב בהפחתת שינוי האקלים העתידי.

## ביו-אנרגיה (Bioenergy)

הפקת אנרגיה מביו-מסה. מקור האנרגיה הזו הוא מיצורים חיים כמו צמחים, עשבים או עצמים, והיא יכולה להיות אנרגיה שאינה מוסיפה פחמן דו-חמצני לאוויר.

## אנרגיה נייטרלית ביחס לפחמן (Carbon neutral energy)

אנרגיה שאינה מייצרת בסך הכול פליטות של  $CO_2$  במהלך הפקתה או צריכתה.

## לכידה ואחסון של פחמן (Carbon Capture and Sequestration (CCS -)

שיטת טיפול ב- $CO_2$  אשר כוללת  $CO_2$  ממקור כלשהו (למשל תחנת כוח), מעבירה אותו לאתר אחסון ומאחסנת אותו מתחת לאדמה. אחסון  $CO_2$  מתחת לאדמה מונע מהפחמן להיכנס לאטמוספירה של כדור הארץ.

## מערכת החשמל (Electricity system)

רשת אשר מספקת חשמל, מעבירה אותו ומשתמשת בו.

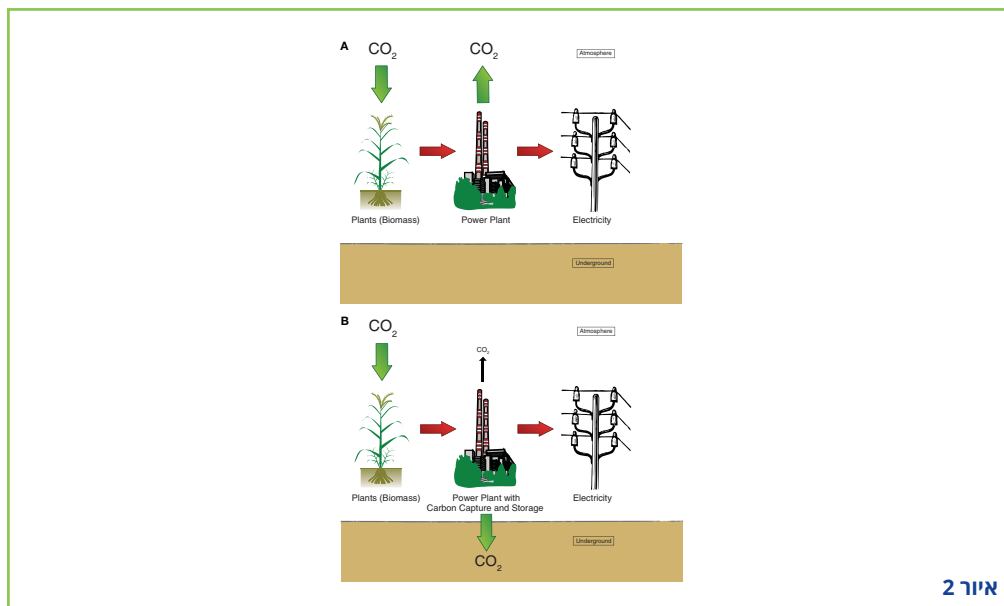
BECCS עובדת, ומדוע היא מסירה פחמן דו-חמצני מהאטמוספירה? בואו נראה כיצד הטכנולוגיה החדשה הזו מסירה גזי חממה מזיקים מהאוויר באמצעות אנרגיה מצמחים. במשך כל שנות קיומם בני אדם הפיקו אנרגיה מביו-מסה (Biomass) – חומר שמקורו ביצורים חיים כמו צמחים, עשבים ועצים. אנו מכנים את האנרגיה הזו מביו-מסה בשם **ביו-אנרגיה**. לדוגמה, בני אדם קדומים הפיקו חום מצמחים באמצעות אש, בדיוק כפי שאתם עושים כשאתם בונים מדורה. כיום, אנו משתמשים בביו-מסה כדי להפיק חום, חשמל או דלקים לתחבורה מסביב לעולם. ביו-מסה יכולה להיות מקור **לאנרגיה נייטרלית ביחס לפחמן**, מה שאומר שהיא אינה מגדילה את כמות ה- $CO_2$  באטמוספירה. הסיבה לכך היא שכמות ה- $CO_2$  שמשוחררת בעת הפקת האנרגיה היא אותה כמות ה- $CO_2$  שנצרכה מהאוויר לְשֵׁם גידול הביו-מסה (ראו איור 2A). אולם ביו-מסה היא נייטרלית ביחס לפחמן רק אם מגדלים אותה בצורה בר-ת-קיימא, כלומר, אם הביו-מסה גדלה מחדש אחרי שהיא נקצרת ועל כן אינה גורמת לפליטות מהאדמה (כמו שקורה בעקבות כריתת יערות). בדומה לאנרגיית שמש ורוח, ביו-אנרגיה יכולה להוות דרך מרכזית להפחתת כמות ה- $CO_2$  שנוצרת כשאנו מפיקים אנרגיה.

**לכידה ואחסון של פחמן (CCS)** היא שיטת טיפול ב- $CO_2$  אשר כוללת  $CO_2$  ממקור כלשהו (למשל תחנת כוח), מעבירה אותו לאתר אחסון ומאחסנת אותו מתחת לאדמה [2]. כתוצאה מכך פליטות  $CO_2$  שבאופן טבעי היו נכנסות לאטמוספירה, מאוחסנות במקום זאת מתחת לאדמה למשך מאות שנים או יותר. באמצעות מניעת כניסה של  $CO_2$  לאטמוספירה, CCS מפחיתה את שינוי האקלים העתידי. מרבית המדענים שואפים להשתמש ב-CCS בתחנות כוח קיימות ועתידיות אשר שורפות דלקי מאובנים (כמו למשל פחם, שמן וגז טבעי) כדי להפחית את פליטות ה- $CO_2$  מתחנות הכוח האלה בשיעור של עד 90%. אף על פי שמדענים ומהנדסים כבר בנו את הטכנולוגיה הדרושה עבור CCS, עדיין אין הרבה תחנות כוח שמשמשות בטכנולוגיה הזו. בעתיד, נצטרך לשלב את ה-CCS **במערכת החשמל**, אשר מפיקה חשמל ומובילה אותו לבתים שלנו. מערכת החשמל אחראית לחלק גדול מפליטות ה- $CO_2$  בעולם.

ביו-אנרגיה עם לכידה ואחסון של פחמן (BECCS) משתמשת הן בביו-אנרגיה והן ב-CCS במטרה להפיק אנרגיה ולהסיר  $CO_2$  מהאטמוספירה (ראו איור 2B). במקום לשחרר  $CO_2$

**איור 2**

**תרשים של שתי שיטות לייצור חשמל באמצעות ביו-אנרגיה.** A. תחנת כוח שפועלת על ביו-אנרגיה. B. תחנת כוח שפועלת על ביו-אנרגיה עם לכידה ואחסון של פחמן (BECCS). צמחים מסירים CO<sub>2</sub> מהאטמוספירה בעת גדילתם. אם אנו קוצרים את הביו-מסה ושורפים אותה בתחנת כוח, אנו יכולים להפיק חשמל. עם BECCS, איננו משחררים את כל ה-CO<sub>2</sub> שמתחרר בעת שריפת הביו-מסה, אלא מפרידים את הפחמן (לכידה) משאר תוצרי השריפה ומאחסנים אותו מתחת לאדמה (אחסון). בתהליך זה סך כמות ה-CO<sub>2</sub> באוויר יורדת.



**איור 2**

במהלך ייצור האנרגיה, כפי שעושות טכנולוגיות מסורתיות של ביו-אנרגיה, לוכדים את ה-CO<sub>2</sub> ומאחסנים אותו באמצעות טכנולוגיות CCS. התוצאה היא חשמל ודלקים אשר מסירים CO<sub>2</sub> במקום לשחררו. BECCS שונה מטכנולוגיות אחרות להסרת פחמן דו-חמצני (CDR) בכך שהיא גם מפיקה אנרגיה בתהליך, במקום רק להסיר CO<sub>2</sub> מהאוויר. כתוצאה מכך היא יכולה להחליף גם תחנות כוח שפועלות על דלקי מאובנים כמו פחם, שמן או גז טבעי.

מדעני אנרגיה ואקלים, כמו אלה ששותפים בפאנל ה-IPCC, רק מתחילים להבין את התפקיד ש-BECCS יכולה למלא בהפחתת שינוי האקלים. מודלים ממוחשבים שבהם משתמש פאנל ה-IPCC חוזים ש-BECCS וטכנולוגיות CDR אחרות יהיו יעילות מאוד, אבל עדיין חסרים להן כמה פרטים חשובים [1]. לדוגמה, היינו רוצים לדעת איזו כמות של ביו-מסה זמינה עבור ייצור אנרגיה, והיכן היא ממוקמת. מידע זה חשוב מאחר שהוא אומר לנו כמה אנרגיה אנו יכולים להפיק. אנו צריכים גם להבין היכן כדאי לאחסן את הפחמן הדו-חמצני מתחת לאדמה. המיקומים האלה לאחסון תת-קרקעי עשויים להיות שונים מאלה של הביו-מסה שאנחנו צריכים! לבסוף, עלינו להבין את המערכות שבהן ניתן יהיה להשתמש ב-BECCS, כמו מערכת החשמל שמעבירה חשמל אל הבתים שלנו. הבנה וסידור הגיוני של כל המידע הזה היא עבודתם של מהנדסים, גיאולוגים ומדענים אחרים ברחבי העולם.

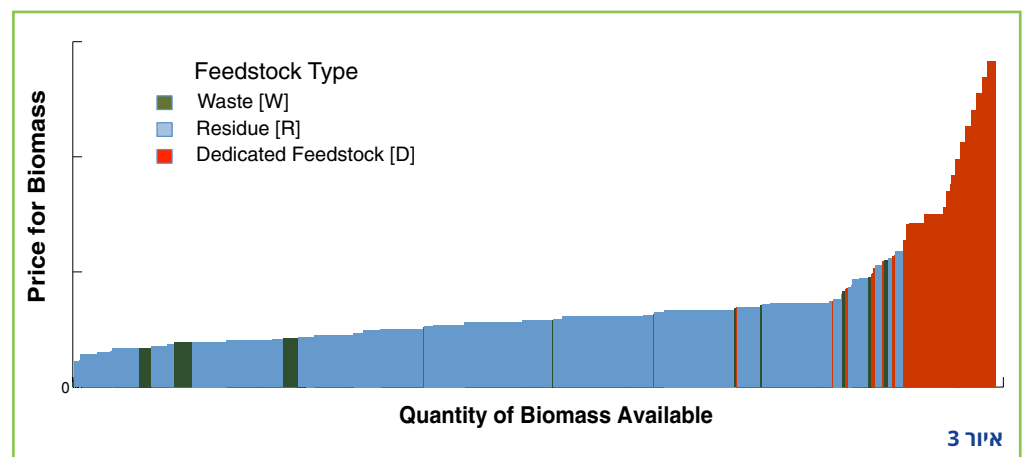
במטרה להבין טוב יותר כיצד ניתן להשתמש ב-BECCS השתמשנו במודלים ממוחשבים כדי לבחון את שימוש ה-BECCS במערכת החשמל של צפון-מערב אמריקה, אשר כוללת חלקים מארצות הברית, מקנדה וממקסיקו [3]. המודל הזה אוסף מידע חשוב על מיקומי הביו-מסה ועל מיקומים אפשריים לאחסון תת-קרקעי. המודל מכיל גם פרטים חשובים על האופן שבו מהנדסים יכולים לתכנן את מערכת החשמל בעתיד. כל המידע שבמודל דורש מחשבי-על, שהם מחשבים עם רמה גבוהה מאד של קיבולת חישובית. מחשבי העל האלה יכולים להיות מהירים פי 50 מיליון מאשר המחשב הנייד שלכם! שימוש במחשבי-על יכול לעזור לנו להבין טוב יותר את השימוש הנכון ב-BECCS, יותר מִשְׁאָנֵנו יכולים להבין באמצעות מודלים של ה-IPCC.

הצעד הראשון בהבנת השימוש האפשרי ב-BECCS הוא ברור של כמות הביו-מסה הזמינה ומיקומה. ביו-מסה מכילה פחות אנרגיה מזו שיש לאותה הכמות של דלקי מאובנים, והיא מפוזרת יותר ברחבי כדור הארץ מאשר הדלקים המרוכזים ממקורות הפחם או משדות השמן והגז. דרום-מערב אמריקה מכילה ביו-מסה מיערות, מחקלאות ומפסולת שאנו מייצרים, כמו למשל עץ שמשמש בבניית בתים או בהריסתם. אספקת הביו-מסה הזו מוגבלת על-ידי היכולת שלה לגדול מחדש אחרי השימוש שנעשה בה, על-ידי הצעדים שבהם אנו נוקטים כדי להבטיח שאיננו פוגעים באדמה, במים או באוויר שלנו ועל-ידי כמות האדמה הזמינה עבור גידול צמחים. מדענים אחרים שמתעניינים בהפקת אנרגיה מביו-מסה בנו מודלים שמעריכים את זמינות הביו-מסה. אנו משתמשים בהערכות הקיימות האלה כדי ליצור "עקומת אספקה" של ביו-מסה (ראו איור 3). עקומת האספקה הזו מראת את המחיר והכמות של הביו-מסה הזמינה. כמות הביו-מסה הזמינה לייצור אנרגיה תוך שימוש ב-BECCS יכולה לספק בערך 10% מצריכת החשמל החזויה של צפון-מערב אמריקה בשנת 2050.

באמצעות שימוש בנתונים שאנו יכולים להפיק מהמודלים שלנו, אנו בוחנים את האפשרות להשתמש ב-BECCS להפחתת שינוי האקלים שנגרם על-ידי מערכת החשמל. באותה העת, אנו מסתכלים גם על טכנולוגיות אחרות, כמו למשל ייצור חשמל מפחם בשילוב עם CCS וטכנולוגיות של אנרגיות מתחדשות (כלומר, אנרגיה ממקורות שאינם "נגמרים", כמו למשל

### איור 3

**עקומת האספקה של ביו-מסה.** איור זה מציג את כמות הביו-מסה הזמינה (ביח"ד) של פטה-ג'אול כלומר  $10^{15}$  ג'אול) לפי מקורותיה השונים (למשל יערות, תירס וחקלאות) ואת המחיר שלה (לפי שער הדולר האמריקאי בשנת 2013, ביחידות של דולר למיליון יחידות תרמיות בריטיות - BTU, כאשר כל יחידה תרמית בריטית מייצגת 1054.8 ג'אול). אנו מייינים את הביו-מסה לשלוש קבוצות: פסולת (בירוק, מה שבני אדם זורקים), שאריות (בתכלת, פסולת שנשארת בחוות או ביערות) וחומרי גלם ייעודיים (באדום, צמחים שאנו מגדלים במיוחד עבור ביו-מסה). האיור הותאם ממאמרם של Sanchez ואחרים [3].

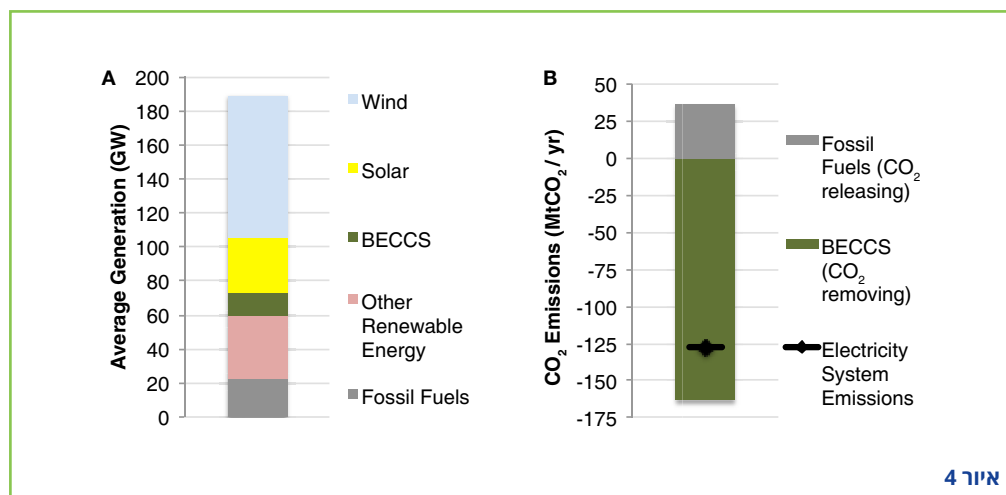


רוח או שמש). מצאנו שה-BECCS, בשילוב עם כמות גדולה של אנרגיה מתחדשת מהרוח ומהשמש והפחתה משמעותית של פליטות ה- $CO_2$  משריפת דלקי מאובנים, יכולות ליצור מערכת חשמל בצפון-מערב אמריקה שעד שנת 2050 תיקח יותר  $CO_2$  מהאטמוספירה מאשר שהיא תכניס אליו. תחנות הכוח העתידיות, אשר יסירו פחמן דו-חמצני מהאטמוספירה, יתבססו על מקורות מתחדשים, כולל ביו-מסה, כמקורות המפיקים עד 88% מהחשמל בשנת 2050 (ראו איור 4). כמות החשמל הגדולה ביותר תגיע מאנרגיית רוח. שארית החשמל, שלא תסופק ממקורות מתחדשים, תסופק על-ידי תחנות כוח שפועלות על דלקי מאובנים, ובמיוחד על אותן התחנות שפועלות על גז טבעי בשילוב עם CCS.

יתרה מזו, מאחר ש-BECCS מסירה  $CO_2$  מהאטמוספירה, היא עשויה לאפשר לחלק מפליטות ה- $CO_2$  מדלקי מאובנים להמשיך להתרחש בעתיד. מאחר שהפחתת הפליטות מהרכבים ומהמפעלים שלנו יכולה להיות יקרה, BECCS עשויה להפחית את עלויות האטת שינוי האקלים. אולם, כמות ה-CDR מוגבלת על-ידי כמות הביו-מסה הזמינה.

## איור 4

**ייצור חשמל שנתי ממוצע ופליטות פחמן דו-חמצני שנתיים חזויות. A.** כמות החשמל המיוצר במשך שנה אחת (ייצור ממוצע בג'יגה-ואט, כלומר מיליארד וואט) ממקורות שונים: רוח (תכלת), שמש (צהוב), BECCS (ירוק), מקורות אחרים של אנרגיה מתחדשת (ורוד), דלקי מאובנים (אפור). B. פליטות שנתיים חזויות של פחמן דו-חמצני (ביחידות של מגה-טון, כלומר אלף טון) בשנת 2050 עבור מערכת חשמל בצפון מערב אמריקה בעלת פליטות שליליות. BECCS מאפשרת למערכת הזו להגיע למצב של פליטות שליליות. פליטת CO<sub>2</sub> מדלקי מאובנים (אפור), הסרת CO<sub>2</sub> באמצעות BECCS (ירוק), פליטות של מערכת החשמל (שחור).



איור 4

למרות הטכנולוגיה המבטיחה של BECCS, עדיין ישנם כמה סיכונים וחוסר וודאות שמדענים יצטרכו להבין בעתיד ביחס לטכנולוגיה הזו. נושא מרכזי אחד הוא המידה שבה הביו-מסה הדרושה ל-BECCS היא בר-קיימא. מאמצים לגידול רב יותר של צמחים לשימוש העלאת זמינות הביו-מסה עשויים להשפיע על הסביבה שלנו בצורות שליליות. שתילה של צמחים נוספים עשויה להגדיל את הדרישה למים, לשטחי אדמה ולמדשנים. לדוגמה, כדי לגדל את כמות הצמחים הדרושה לענות על הערכת האספקה שלנו, ייתכן שיידרשו שטחים בגודל של כל מדינת מערב וירג'יניה! סיכון נוסף הוא שאחסון תת-קרקעי של פחמן דו-חמצני עשוי שלא להחזיק לעד. פחמן דו-חמצני שמאוחסן לאחר לכידתו בתהליך CCS עשוי לדלוף לאטמוספירה ולגרום לשינוי האקלים.

אולם חוסר הוודאות הגדול ביותר ביחס ל-BECCS נובע מכך שיש לנו ניסיון מועט בבנייה של המערכות האלה ותפעולן. מי ירצה לבנות את המתקנים האלה? באיזה גודל נרצה לבנות אותם? איך נוודא שהם יהיו רווחיים? כמה הם יעלו? וכיצד ממשלות יכולות לתמוך בטכנולוגיה הזו? בעתיד, נצטרך לוודא שטכנולוגיית ה-BECCS תפעל באופן יעיל, תהיה לא יקרה מידי וכן תהיה קלה לבנייה ולישימוש. כך, מדעני ומהנדסי המחר יוכלו להפוך את הטכנולוגיה הזו למציאות.

## מקורות

1. IPCC. 2014. IPCC WGIII Fifth Assessment Report – Mitigation of Climate Change 2014. Available at: <http://mitigation2014.org/>
2. Smit, B., Reimer, J. R., Oldenburg, C. M., and Bourg, I. C. 2014. Introduction to Carbon Capture and Sequestration. World Scientific. Available at: <https://www.worldscientific.com/worldscibooks/10.1142/p911#t=oc>
3. Sanchez, D. L., Nelson, J. H., Johnston, J., Mileva, A., and Kammen, D. M. 2015. Biomass enables the transition to a carbon-negative power system across western North America. Nat. Clim. Chang. 5:230–234. doi:10.1038/nclimate2488



פורסם אונליין: 31 במאי 2018

נערך על ידי: Berend Smit, University of California, Berkeley, USA

**ציטוט:** Sanchez DL and Kammen DM (2018) הסרת גזי חממה מזיקים מהאוויר באמצעות אנרגיה מצמחים.

Front. Young Minds. doi:10.3389/frym.2015.00014-he

### תורגם והותאם מ:

Sanchez DL and Kammen DM (2015) Removing harmful greenhouse gases from the air using energy from plants. Front. Young Minds 1:2. doi:10.3389/frym.2015.00014

**הצהרת ניגוד אינטרסים:** המחברים מצהירים כי המחקר נערך בהעדר כל קשר מסחרי או פיננסי שיכול להתפרש כניגוד אינטרסים פוטנציאלי.

**COPYRIGHT** © Sanchez and Kammen 2015. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון Creative Commons Attribution (CC BY). השימוש, ההפצה או ההעתקה מותרים לשימוש בפורומים אחרים ובלבד שיינתן קרדיט למחברים (ים) המקוריים ולבעל זכויות היוצרים, ושהפרסום המקורי בעיתון זה מצוטט בהתאם למקובל באקדמיה. השימוש, ההפצה או ההעתקה אינם מותרים אם הם אינם עומדים בתנאים אלה.

## סוקרים צעירים

### INTERNATIONAL SCHOOL OF LAUSANNE

בית הספר הבינלאומי של לוזן (Lausanne), אשר נוסד ב-1962, הוא בית ספר דובר אנגלית ללא מטרות רווח השייך לארגון החינוכי "בוגר בינלאומי" (IB – International Baccalaureate) וממוקם באזור אגם ז'נבה (Lac Léman). אנו מקבלים תלמידים בגילאי 3 עד 18 ומציעים מגוון תוכניות ופעילויות שמיועדות לפתח את הפוטנציאל הייחודי של התלמידים שלנו. אנו חוגגים מצוינות על כל צורתיה, עם מגוון מאוזן היטב של הזדמנויות ספורטיביות, יצירתיות ואקדמיות.

## הכותבים

### DANIEL L. SANCHEZ

אני משתמש במדע וכלכלה כדי לעזור לאחרים להפיק אנרגיה בצורה נקייה ויעילה יותר, ולהשתמש בה. בקולג' למדתי הנדסה כימית, ושם התחלתי להתעניין בשינוי האקלים ובאנרגיה מתחדשת. כיום אני עוזר לממשלות לקבל החלטות טובות יותר לגבי אנרגיה. בזמני הפנוי אני נהנה לטייל, לנגן ולפגוש חברים.

### DANIEL M. KAMMEN

גדל באיתקה, ניו-יורק ולמד להיות אסטרונוט על-ידי לימודי מדע, קבלת רישיון הטיס שלו וצפייה מרוכה ב-"Star Trek" וסדרות מדע בדיוני אחרות. אחרי שנכשל בבדיקת הראייה של נאס"א, דניאל הפך לפרופסור בקבוצת האנרגיה והמשאבים בבית ספר גולדמן למדיניות ציבורית באוניברסיטת קליפורניה, ברקלי, היכן שהוא הקים ומנהל כיום את המעבדה לאנרגיות מתחדשות והולמות קליפורניה, ברקלי, היכן שהוא הקים ומנהל כיום את המעבדה לאנרגיות מתחדשות והולמות (RAEL – Renewable and appropriate energy laboratory), ראו באתר (rael.berkeley.edu). דניאל והסטודנטים שלו מאמינים ל"בליבו מ"שר הטבעות", הם תמיד "מוכנים להרפתקה נוספת" ועובדים על אנרגיה נקייה ועל גישה לאנרגיה לעניים. זאת במסגרת פרויקטים שנעים ממערכות חכמות של אנרגיית שמש והתייעלות אנרגטית לבתים, לערים ולאזורים שונים בארצות הברית, ועד שימוש באנרגיה



מתחדשת בתור כלי לסיפוק שירותים וטיפול בקונפליקטים בפרויקטים המשתרעים מניקרגואה הכפרית, דרך בורנו ועד להעצמת קהילות בקניה ובדרום סודאן. משנת 1999, קאמן שימש כמתאם בדו"ח של הפאנל הבין-ממשלתי לשינוי האקלים (IPCC) ותומך של הפאנל אשר זכה בפרס נובל לשלום בשנת 2007. קאמן כיהן גם כמומחה טכני ראשי לאנרגיה מתחדשת ולהתייעלות אנרגטית בבנק העולמי, וכיום הוא מכהן כמזכיר המדינה של ארצות הברית בתור עמית בשותפות לאנרגיה ואקלים (ECPA - Energy and Climate Partnership). דן גר עם אישתו, Bamidele, עם שתי בנותיו המתבגרות ועם הכלב האדיר שלהם, Onyx. אתם יכולים לעקוב אחרי דן ואחרי תוכנית המחקר שלו בטוויטר ב-@dan\_kammen.

Hebrew version  
provided by

מוזיאון המדע ע"ש בלומפילד ירושלים (ער.)  
متحف العلوم على اسم بلومفيلد القدس  
Bloomfield Science Museum Jerusalem

