

## סיפור הפחמן של הקוטב הצפוני הנמס

Johan C. Faust<sup>1\*</sup>, Christian März<sup>1</sup>, Sian F. Henley<sup>2</sup>

<sup>1</sup> בית הספר לכדור הארץ והסביבה, אוניברסיטת לידס, לידס, בריטניה

<sup>2</sup> בית הספר לניאוו-מדעים, אוניברסיטת אדינבורו, אדינבורו, בריטניה

### סוקרות צעירות

CLAIRE

גיל: 15



JULIETTE

גיל: 15

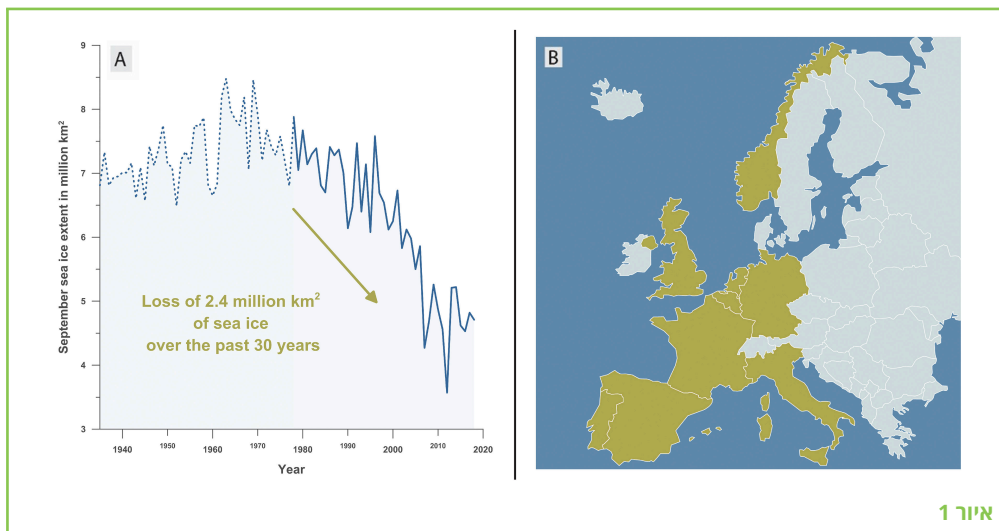


אזורים גדולים בקוטב הצפוני של כדור הארץ, שנקרא גם האזור האַרְקְטִי, היו מכוסים בקרח באופן קבוע במשך אלפי שנים, אולם כיום זה משתנה. על-ידי שריפת דלקי מאובנים כמו פחם ושמן, אנו מחזירים באופן מהיר פחמן שנאגר במשך מיליוני שנים בכרום כדור הארץ, חזרה לאטמוספירה. העלייה הזו בריכוז הפחמן הדו-חמצני (CO<sub>2</sub>) באטמוספירה, גורמת לטמפרטורת כדור הארץ לעלות. טמפרטורות גבוהות יותר והתמוססות של קרחונים וקרח בים, משנים את הסביבה הארקטית. בעוד כמה עשורים, הקוטב הצפוני יכול להיות נטול קרח בפעם הראשונה בהיסטוריה האנושית. קוטב צפוני חם יהיה בעל השלכות גלובליות, דרך מפלסי ים גבוהים יותר, שינויים באקלים ובדפוסי המשקעים ואובדן של דגים, ציפורים ויונקים ימיים. במאמר זה אנו דנים באופן שבו השינויים בסביבה הארקטית יכולים להשפיע על כדור הארץ כולו.

### קוטב נמס בעולם מתחמם

האזורים הארקטי והאנטרקטי הם הקטבים הצפוני והדרומי של כדור הארץ. הם יוצאי דופן בכוכב שלנו בהיותם מְדַבְּרִים עוינים וקפואים עם ממוצע טמפרטורות חורף של -40 מעלות צלזיוס בקוטב הצפוני, ו-60- מעלות צלזיוס בקוטב הדרומי. במהלך החורף, אזורי הקוטב חווים

**איור 1**



איור 1

**(A)** כמות קרח הים הארקטי לפי שנה (בספטמבר) בין השנים 1935-2018. בין 1935 ל-1979 (קו כחול מקווקו), כמות הקרח הוערכה באמצעות מדידות של טמפרטורה אטמוספירית [1]. משנת 1979 והלאה (קו כחול מלא), כמות הקרח נמדדה ישירות על-ידי לוויינים. אתם יכולים לראות שמאז 1970, כמעט 40% מקרח הים הארקטי נמס. **(B)** גודלו של האזור של כל הארצות הצהובות (פורטוגל, ספרד, צרפת, איטליה, בלגיה, הולנד, בריטניה, גרמניה ונורווגיה) הוא בערך 2.4 מיליוני קילומטרים רבועים – אותו הגודל כמו האזור שאבד מהתמוססות קרח הים הארקטי במהלך 30 השנים האחרונות.

**אקלים**

**(Climate)**

שינוי בטמפרטורת האוויר, במהירות הרוח ובכיוונה, במשקעים ובכיסוי העננים בתקופת זמן של שעות, ימים ושבעות היא מה שאנו מכנים "מזג אוויר". אקלים הוא ממוצע של מזג האוויר על פני תקופות זמן ארוכות יותר (עשורים עד מיליוני שנים) במיקום מסוים. בלתי אפשרי לראות אקלים, להרגיש אותו, או למדוד אותו.

**סביבת מחיה**

**(Habitat)**

סביבת מחיה היא סביבה שבה צמח או בעל חיים חי וגדל באופן רגיל.

**חומרי מזון**

**(Nutrients)**

חומר מזון הוא כימיקל שדרוש לאורגניזם כדי לחיות.

**שרשרת המזון**

**(Food Chain)**

שרשראות מזון מתחילות עם חיי הצמחים, אשר ממירים אנרגיית שמש למזון באמצעות פוטוסינתזה. חיות שאוכלות צמחים נאכלות על-ידי חיות שאוכלות בשר. חיות אוכלות בשר קטנות יותר נאכלות על-ידי חיות אוכלות בשר גדולות יותר. לדוגמה, גורים נאכלים על-ידי ארנבים, ארנבים נאכלים על-ידי שועלים ושועלים נאכלים על-ידי דובים.

חודשים של חושך מוחלט, בעוד שבמהלך הקיץ השמש מעולם לא שוקעת שם. אף על פי ששני אזורי הקוטב קרים ומקבלים את אותה כמות אור שמש במהלך השנה, ישנם הבדלים משמעותיים בין האזור הארקטי ובין האזור האנטרקטי.

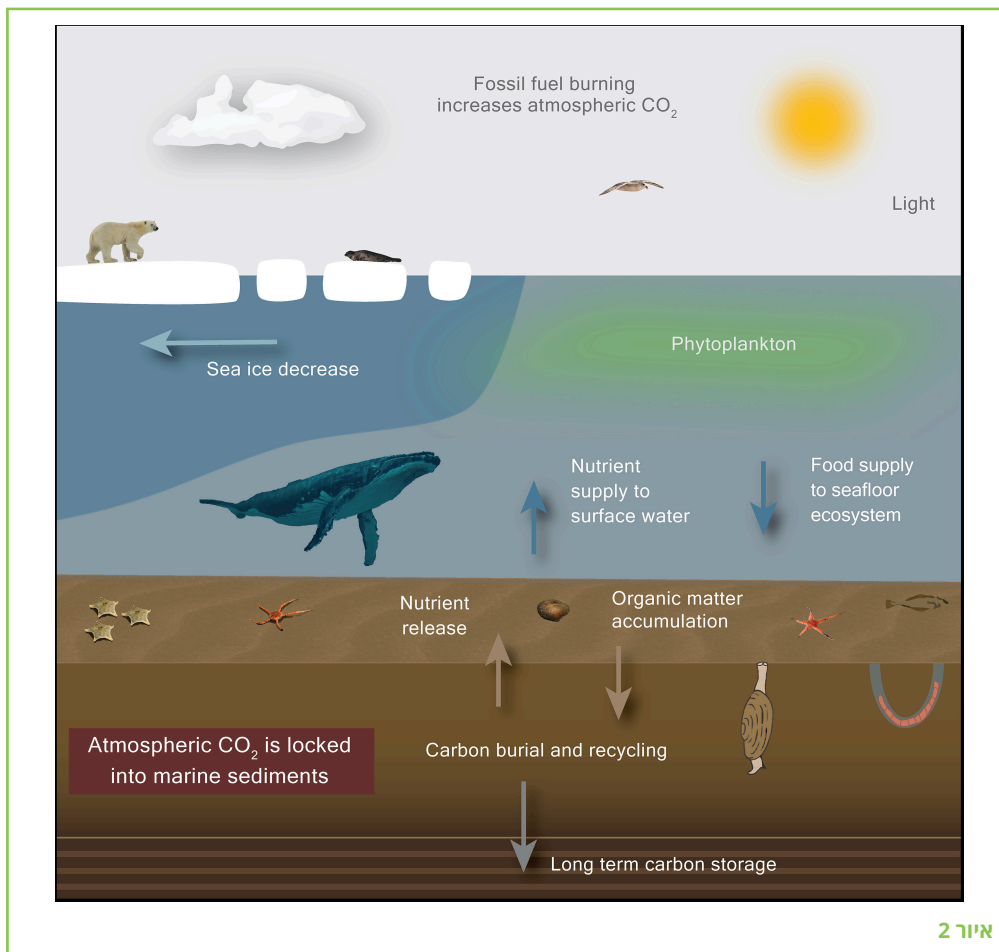
אנטרקטיקה היא יבשת שמכוסה בקרח ומוקפת על-ידי האוקיינוס הדרומי. האזור הארקטי הוא בעיקר אוקיינוס שמכוסה על-ידי קרח ים ומוקף על-ידי שלוש יבשות: צפון אמריקה, אסיה ואירופה. שינויי האקלים הנוכחיים מעלים את טמפרטורות האוויר והאוקיינוס, וגורמים לאזור שמכוסה בקרח להצטמק. במהלך 30 השנים האחרונות, כ-2.4 מיליוני מטרים רבועים של קרח ים ארקטי נמסו – זה שקול לאזור בגודל של מערב אירופה (איור 1). אף על פי שהאזור הארקטי הוא אוקיינוס, קרח הים משמש כמו משטח אדמה שיוצר **סביבת מחיה** חשובה לחיות כמו אריות ים ודובי קוטב (איור 2). מאז שנות ה-70 של המאה הקודמת, כמעט 40% מקרח הים הארקטי נעלם, וחיות קטנות וגדולות שחיות על הקרח הזה מאבדות את בתיהן וצריכות למצוא אזורי מחיה אחרים, לפני שהן ייכחדו. מצד אחר מיני דגים מסוימים ואצות שידועות בשם פיטופלנקטון יכולים כעת לשגשג באזורים נטולי הקרח החדשים (איור 2).

**קליטת פחמן דו-חמצני על-ידי פלנקטון**

שינויי האקלים הנוכחיים גורמים לטמפרטורות האוויר לעלות בערך פי שתיים מהר יותר מממוצע הטמפרטורות בשאר העולם [2]. הטמפרטורות העולות באזור הארקטי לא רק ימיסו את הקרח, אלא גם יגרמו לכמויות גדולות יותר של מים מתוקים מקרחונים נמסים לזרום לתוך האוקיינוס הארקטי. המים המתוקים האלה יכולים להיות עשירים בחומרי מזון שמספקים דלק הכרחי לגדילת פיטופלנקטון. אצות פיטופלנקטון הן חשובות מאוד; כמו צמחים על האדמה, האורגניזמים האלה נמצאים בתחתית **שרשרת המזון**, ולכן הם הבסיס של כמעט כל צורת החיים באוקיינוס. אולם אצות פיטופלנקטון הן יותר מרק מקור מזון עבור חיות קטנות וגדולות, כמו דגים ושרימפסים. כמו כל הצמחים, אצות פיטופלנקטון לוקחות פחמן דו-חמצני (CO<sub>2</sub>) מהאטמוספירה, ובאמצעות אנרגיית השמש מפרקות אותו ל**פחמן** (C) ולחמצן (O<sub>2</sub>). החמצן משוחרר חזרה לאוויר או למים. הפחמן משמש את אצות הפיטופלנקטון ליצירת הרקמות

**איור 2**

שינויי האקלים גורמים לקרח הים להימס, והופכים את האזור הארקטי ממדבר קרח לאוקיינוס פתוח. דובי ים ואריות ים עלולים לאבד את סביבות המחיה שלהם, גדילת פיטופלנקטון עשויה לעלות ולתדלק את שרשרת המזון הארקטית, מה שעלול להוביל לעלייה בקצבי קבירת הפחמן, וייתכן שגם לירידה בכמות ה- $CO_2$  אטמוספירה.



איור 2

שלהן. לכן, לצמחים יש יכולת ייחודית להתמיר  $CO_2$  מהאטמוספירה לתרכובות אחרות במהלך הפוטוסינתזה, ובקרוב תראו מדוע זה חשוב.

**מחזור הפחמן**

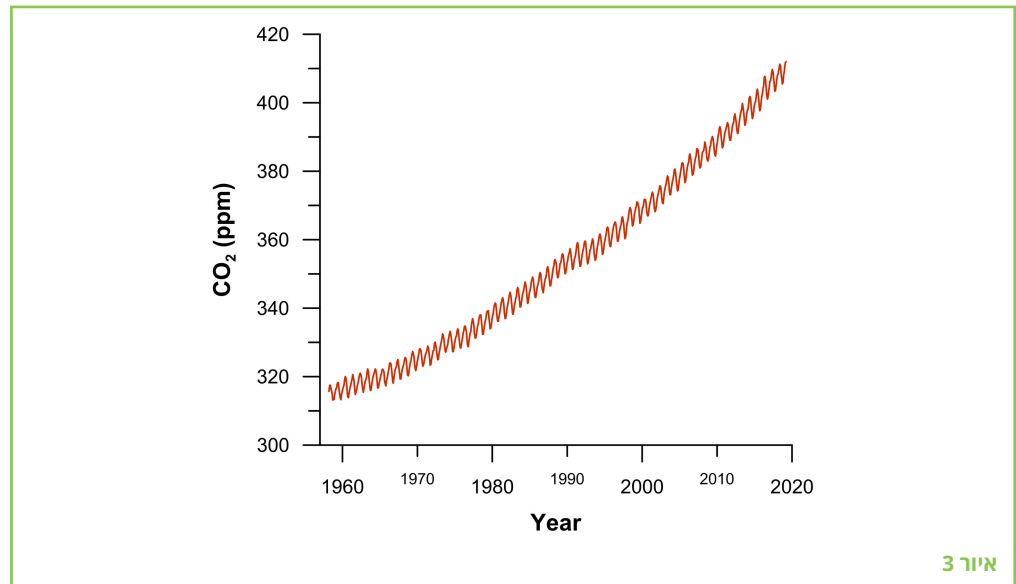
מתוך 118 היסודות הכימיים הידועים, כמות קטנה בלבד אפשר למצוא באורגניזמים חיים. באופן מדהים, המורכבות העצומה של חיים על כדור הארץ מורכבת כמעט לחלוטין מארבעה יסודות בלבד: פחמן (C), מימן (H), חמצן (O) וחנקן (N). לדוגמה, כ-99% מהגוף שלכם מכיל את ארבעת היסודות האלה! אם אורגניזמים כמו בני אדם או פיטופלנקטון מתים, הגוף שלהם מתפרק ל- $C$ ,  $H$  ו- $O$ . במהלך התהליך הזה, הפחמן מותמר חזרה ל- $CO_2$ . כפי שאמרנו, אצות פיטופלנקטון יכולות לצרוך  $CO_2$  במהלך פוטוסינתזה, מה שמפחית את כמות ה- $CO_2$  באטמוספירה. אולם כשאצות פיטופלנקטון מתות ונרקבות, אותה כמות ה- $CO_2$  שהן קלטו משתחררת חזרה אל האטמוספירה. זה לא קורה רק עם פיטופלנקטון – כשעצים בחצי הכדור הצפוני מאבדים את עליהם באביב, ריכוז ה- $CO_2$  העולמי עולה, ובסתיו, כשעלים חדשים גדלים חזרה, ריכוז ה- $CO_2$  העולמי שוב צונח (איור 3). אז, בטבע,  $CO_2$  מוסר באופן רציף מהאטמוספירה, ומוסף חזרה לאטמוספירה. זה נקרא מחזור הפחמן הביולוגי. אם הייצור והצריכה של פחמן נמצאים בשיווי משקל, ריכוז ה- $CO_2$  באטמוספירה צריך להיות קבוע. אולם שינויי סביבה גדולים ופעילויות אנושיות יכולים לשבור את שיווי המשקל הזה. לדוגמה, אם יער

**פחמן (Carbon)**

פחמן הוא יסוד כימי שמשומן ב- $C$ , והוא אחד היסודות השכיחים ביותר על פני כדור הארץ, וביקום כולו. בצורתו הטהורה, פחמן קיים כגרפיט או יהלום. הוא קיים בכל האורגניזמים החיים, והוא חלק חשוב מפחם ומשמן. כשפחמן נשרף, הוא מגיב עם חמצן (O) ויוצר גז שנקרא פחמן דו-חמצני ( $CO_2$ ).

### איור 3

ריכוז חודשי ממוצע של  $\text{CO}_2$  ביחידות של חלקים למיליון (ppm;  $400 \text{ ppm} = 0.04\%$ ), שנמדד על-ידי מצפה מנואה לואה בהוואי, משנת 1958 ועד היום. עלייה הדרגתית ב- $\text{CO}_2$  נגרמת על-ידי שריפת דלקי מאובנים. השינויים קצרי הטווח למעלה או למטה נגרמים בעיקר על-ידי שינויים עונתיים של קליטת  $\text{CO}_2$  ושחרורו על-ידי גדילת צמחים בחצי הכדור הצפוני. הנתונים לקוחים מ: דוקטור פיטר טאנס, NOAA/ESRL (<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>) ודוקטור ראלף קילינג, מכון סקריפס לאוקיינוגרפיה ([scrippsco2.ucsd.edu/](http://scrippsco2.ucsd.edu/)).



איור 3

טרופי מוחלף על-ידי מדבר עם צמחים בודדים, הפחמן שמאוחסן ביער ישתחרר לאטמוספירה ולא ייקלט חזרה.

למרות מה שאולי שמעתם בחדשות,  $\text{CO}_2$  אינו תמיד הבחור הרע!  $\text{CO}_2$  הכרחי עבור ויסות טמפרטורת כדור הארץ. ללא גזי חממה כמו  $\text{CO}_2$ , החיים על פני כדור הארץ לא היו מתקיימים מאחר שטמפרטורת כדור הארץ הממוצעת הייתה צונחת ל-18 מעלות צלזיוס, והיא הייתה קרה מדי עבור יצורים חיים [3]. אולם על-ידי שריפת דלקי מאובנים, אנו משחררים במהרה כמויות גדולות של  $\text{CO}_2$  לאטמוספירה. מאחר שה- $\text{CO}_2$  הזה לא יכול להיקלט חזרה באותה המהירות שבה הוא משתחרר על-ידי שריפת דלקי מאובנים, ישנו חוסר איזון במחזור הפחמן, ועלייה בכמות ה- $\text{CO}_2$  באטמוספירה (איור 3). חוסר האיזון הזה הוא מה שמניע את שינויי האקלים הגלובליים המהירים שגורמים לכאלה בעיות היום. כדי להבין ולצפות טוב יותר את האקלים העתידי של כדור הארץ, חשוב להבין ולזהות את הדרכים שבהן  $\text{CO}_2$  משוחרר לאטמוספירה, ואת הדרכים שבהן הוא מוסר מהאטמוספירה. בזמן שהאזור הארקטי משתנה ממדבר קרח לאוקיינוס פתוח, אנו צריכים להבין כיצד השינוי הסביבתי הגדול הזה ישפיע על מחזור הפחמן הגלובלי.

### קבירת פחמן במשקעים ימיים ארקטיים

הדרך העיקרית להפחית את כמות ה- $\text{CO}_2$  באטמוספירה לטווח ארוך היא לאחסן את הפחמן במשקעים של כדור הארץ – שם הוא אוחסן עד שהוא שוחרר על-ידי שריפת דלקי מאובנים. האחסון הזה מתרחש באופן טבעי כשיצורים חיים, כמו פיטופלנקטון, מתים ושוקעים למטה למשקעים שעל קרקעית הים (איור 2). האורגניזמים המתים שמגיעים לקרקעית הים מהווים מקור מזון לאורגניזמים אחרים שחיים שם כמו כוכבי ים, תולעים וחיידיקים. החיות האלה צורכות חומר אורגני ומפרקות אותו למרכיבים שלו (איור 2). מרבית הפחמן והיסודות האחרים שמשחררים במהלך התהליך הזה נשארים במים ומזינים אורגניזמים אחרים, אולם כמויות קטנות של פחמן נקברות ומאוחסנות במשקעי האוקיינוס. אף על פי שכמות הפחמן שנלכדת באופן הזה קטנה [4], ברגע שהוא נלכד הוא לא יכול להשתחרר בחזרה אל האטמוספירה.

מאחר שאוקיינוסים מכסים יותר מ-70% משטח כדור הארץ, לתהליך הזה יש השלכה אדירה על מחזור הפחמן. אנו קוראים ללכידה הזו בשם קבירת פחמן, והיא מנגנון חשוב מאוד שוויסת את ריכוזי ה- $\text{CO}_2$  באטמוספירה, ולכן את טמפרטורת כדור הארץ, במשך מיליארדי שנים. התהליכים ששולטים בקבירת הפחמן עדיין לא מובנים בצורה טובה, ומדענים עובדים כדי להבין אותם טוב יותר.

## האם התחממות של האזור הארקטי תגדיל קבירת פחמן במדפי משקעים ארקטיים?

האוקיינוס הארקטי עמוק מאוד באזורים מסוימים, כמעט 5.5 קילומטרים, אולם הוא רדוד (רק 340-50 מטרים) ליד האדמות שמקיפות אותו. החלקים הרדודים האלה מייצגים כמחצית מהאוקיינוס הארקטי. פיטופלנקטון רב גדל באזורים הרדודים האלה במהלך הקיץ, כשאור השמש מאיר 24 שעות ביממה. גדילת הפיטופלנקטון תומכת במערכות אקולוגיות עשירות ומגוונות באוקיינוס, על הקרח ובקרקעית הים, כך שאזורי המדף הארקטיים האלה חשובים במיוחד למחזור הפחמן ולקבירת פחמן. השערה אחת היא שאם ישנם מספיק חומרי מזון כדי לתמוך בגדילה של פיטופלנקטון, התחממות האזור הארקטי עשויה להוביל לפריחה גדולה של פיטופלנקטון, מה שיכול לגרום לקליטה רבה יותר של  $\text{CO}_2$  מהאטמוספירה ואחסון שלו בקרקעית האוקיינוס הארקטי (איור 2). אולם תגובות הסביבה לשינויים בקרח הים מורכבות, מגוונות, ולא מובנות כל כך. לדוגמה, מצפי לוויינים הראו שבחלק מהאזורים הארקטיים עונות קרח ימי קצרות יותר, ולכן עונות גדילה ארוכות יותר, הגדילו את כמות הפיטופלנקטון הכוללת, אולם באזורים אחרים, נראה שהפחתה בכמויות קרח הים השפיעה על תחלופת המים, אשר שינתה את זמינות חומרי המזון והפחיתה את כמות הפיטופלנקטון.

מאחר ש- $\text{CO}_2$  באטמוספירה מחולק באופן שווה סביב לעולם, שינויים במחזור הפחמן הארקטי ישפיעו על כדור הארץ כולו. לכן, שינויים בכמות קבירת הפחמן באזור הארקטי חשובים גם הם לשאר העולם. נדרש מחקר רב יותר במטרה להבין את התפקיד החשוב והקריטי של מחזור הפחמן באוקיינוס הארקטי באקלים הגלובלי. מדענים ברחבי העולם מעורבים במאמץ המחקרי העצום הזה. כתוספת אחרונה למאמץ המחקרי הבינלאומי הזה, פרויקט שינויים בקרקעית הים הארקטי (ChAOS) הוא שיתוף פעולה בבריטניה שחוקר כיצד מערכות אקולוגיות בקרקעית הים מושפעות על-ידי התחממות ואובדני קרח ים באזור הארקטי, וכיצד השינויים האלה יכולים להשפיע על קבירת פחמן כיום ובעתיד.

מדעני ChAOS מנסים למצוא תשובות לשאלות כאלה, כמו למשל: כיצד חיות ומיקרואורגניזמים שחיים בקרקעית האוקיינוס יגיבו לשינויים בקרח הים ולתהליכים באוקיינוס? האם ירידה בקרח הים תגדיל את אספקת המזון למערכות אקולוגיות בקרקעית הים? כיצד אורגניזמים שחיים בקרקעית הים ישנו את האופן שבו הם ממחזרים חומרי מזון ופחמן בין קרקעית הים לבין האוקיינוס? וכיצד כמות הפחמן שמאוחסן במשקעי קרקעית הים תשתנה עם שינוי האקלים הגלובלי? האזור הארקטי הוא רחוק ועוין, ורק כמות קטנה של אנשים תגיע אליו בחייהם. על-ידי שריפת דלקי מאובנים בני אדם התחילו שינוי סביבתי אדיר באזור שבו חיים רק מעט אנשים באופן קבוע. אנו יכולים לצפות ששינויים משמעותיים במערכת האקולוגית הארקטית, והשפעות על קבירת פחמן, יעצימו את גלי החום בכדור הארץ. מאחר ששינויים בקטבים משפיעים על כל אחד מאיתנו, לא משנה היכן אנו גרים, הכרחי לענות על שאלות

מדעיות בסיסיות כדי שנוכל להבין טוב יותר את ההשפעות של שינויי הסביבה האדירים האלה על הציוויליזציה האנושית.

## מימון

העבודה הזו מפרויקט ChAOS (NE/P006493/1), חלק מתוכנית השתנות האוקיינוס הארקטי, מומנה עם מועצת מחקר הסביבה הטבעית UKRI (NERC) והמשרד הפדרלי הגרמני לחינוך ומחקר (BMBF).

## מקורות

1. Connolly, R., Connolly, M., and Soon, W. 2017. Re-calibration of Arctic sea ice extent datasets using Arctic surface air temperature records. *Hydrol. Sci. J.* 62:1317–40. doi: 10.1080/02626667.2017.1324974
2. Screen, J. A., and Simmonds, I. 2010. The central role of diminishing sea ice in recent Arctic temperature amplification. *Nature* 464:1334–7. doi: 10.1038/nature09051
3. Lacis, A. A., Schmidt, G. A., Rind, D., and Ruedy, R. A. 2010. Atmospheric CO<sub>2</sub>: principal control knob governing Earth's temperature. *Science* 330:356–9. doi: 10.1126/science.1190653
4. Berger, W. H., Smetacek, V. S., and Wefer, G. 1989. Ocean productivity and paleoproductivity—an overview. *Life. Sci. R* 44:1–34

פורסם אונליין: 30 בדצמבר 2021

נערך על ידי: Noemie Ott

**ציטוט:** Faust JC, März C and Henley SF (2021) סיפור הפחמן של הקוטב הצפוני הנמס. *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2019.00136-he

**תורגם והותאם:** Faust JC, März C and Henley SF (2019) The Carbon Story of a Melting Arctic. *Front. Young Minds* 7:136. doi: 10.3389/frym.2019.00136

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

**COPYRIGHT** © 2019 © Faust, März and Henley 2021. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון Creative Commons Attribution License (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.

## סוקרות צעירות

### CLAIRE, גיל: 15

אני הולכת לתיכון בניו-יורק, שם אני מבלה את זמני בכתיבת שירה ובנגינה על פסנתר.



### JULIETTE, גיל: 15

קוראים לי Juliette וכיום אני בכיתה י'. נוסף על העניין שלי במדע ובמתמטיקה, אני אוהבת לשחק שח; למדתי כיצד לשחק בגיל צעיר, והתחריתי מאז, בדרך כלל בסופי שבוע, שזה ממש כיף. אני גם עושה סוגי ספורט שונים, כמו למשל סִיף וחתירה. אני גם אוהבת לשחק! אני אוהבת לעשות הופעות מסוג "תיאטרון קופסה שחורה" (black box performances) בבית הספר שלי.

## הכותבים

### JOHAN C. FAUST

אני גיאומדען ימי. המחקר שלי מתמקד באופן שבו שונות של אקלים משפיעה על הסביבה הארקטית. בפרט, אני חוקר כיצד שינויים בקרח באוקיינוס הארקטי והתפלגות של מסת מים משפיעים על קבורת פחמן במשקעים מים ברנץ (Barents Sea). עשיתי תואר ראשון באוניברסיטת ברמן, גרמניה, והשלמתי דוקטורט במכון המחקר הגיאולוגי של נורווגיה באוניברסיטת טרומסו. מאז 2017 אני עובד באנגליה באוניברסיטת לידס. \*j.faust@leeds.ac.uk

### CHRISTIAN MÄRZ

גיאולוג בהכשרה וגיאומאי ימי מבחירה, חקרתי במשך 10 השנים האחרונות את התנהגותם של חומרי מזון ומתכות במשקעים באוקיינוס הארקטי, ובצפון האוקיינוס הפסיפי. המוקד העיקרי שלי הוא הבנייה המחודשת של תנאי סביבה קודמים מהארכיון של שכבות בוץ בקרקעית הים, וגם התמרה של תהליכי מחזור של יסודות כימיים כמו ברזל, מגנזיום, פחמן, גופרית, זרחן וסיליקה.

### SIAN F. HENLEY

אני ביו-כימאית ימית, עם תשוקה לאוקיינוסים של הקטבים. אני מרותקת מהאופן שבו מחזורים של פחמן וחומרי מזון משתנים בתגובה לשינויי האקלים והסביבה, מדוע השינויים האלה חשובים למערכות אקולוגיות ימיות, ומהן ההשלכות של השינויים המתרחשים באוקיינוסים על מערכת האקלים של כדור הארץ. אני ברת מזל מספיק לעבוד באנטרסקטיקה ובקוטב הצפוני, עם אנשים מעוררי השראה ואמצעים מצוינים. במהלך 11 השנים האחרונות טיילתי יותר מ-17,000 קילומטרים בים בספינות מחקר, וביליתי יותר משנתיים באזור הקוטב הנהדרים, מוקפת בחיי טבע מרהיבים ותרחישים מעוררי השתאות.



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



הוצאת גרסה עברית  
Hebrew version provided by



THE SAGOL NETWORK