

## כיצד שינוי האקלים משפיע על חיים ימיים באוקיינוס הארקטי?

Michael R. Heath<sup>1\*</sup>, Deborah Benkort<sup>2</sup>, Andrew S. Brierley<sup>3</sup>, Ute Daewel<sup>2</sup>, Richard Hofmeister<sup>2</sup>, Jack H. Laverick<sup>1</sup>, Roland Proud<sup>3</sup>, Douglas C. Speirs<sup>1</sup>

<sup>1</sup>המחלקה למתמטיקה ולסטטיסטיקה, אוניברסיטת סטרטקלייד, גלזגו, בריטניה  
<sup>2</sup>הלמהולץ-זנטרום גיסטאכט, המרכז לחקר חומרים וחופים, גיסטאכט, גרמניה  
<sup>3</sup>מכון האוקיינוסים הסקוטי, בית הספר לביולוגיה, אוניברסיטת סיינט אנדרו, בריטניה

### סוקרת צעירה

LILU  
גיל: 11



הטמפרטורות העולות ממסות את כיסוי הקרח של האוקיינוס הארקטי, מה שמאפשר לאור השמש לחדור למים שהיו חשוכים במשך אלפי שנים. אזורים שוממים שקודם לכן היו מכוסים קרח מותמרים לאזורים ימיים יצרניים. במאמר זה, נסביר כיצד מידול ממוחשב יכול לשמש לחזות כיצד ההתמרה הזו תשפיע על שרשרת המזון שמחברת פלנקטון לדגים ולטורפי-על, כמו לווייתנים ודובי קוטב. תמונות של דובי קוטב מורעבים היו לסמל של השפעות ההתחממות הגלובלית. הימסות קרח הים צפויה להפחית את יכולתם של הדובים לצוד אריות ים. אולם, באותו הזמן, שרשרת המזון שבה הדובים תלויים נעשית יצרנית יותר, ולכן לא לחלוטין ברור מה יהיו התוצאות בסופו של דבר. מודלים ממוחשבים מסייעים לנו להבין את המערכות האלה, ולקבל החלטות של מדיניות על ניהול המשאבים הזמינים החדשים באוקיינוס הארקטי.

## הקדמה

הקטבים הם בין הסביבות הקשות ביותר למחיה בכדור הארץ. בחורף, השמש אף פעם לא עולה, טמפרטורות האוויר קרות להפליא, והשלג והקרח מצטברים. בקיץ, השמש אף פעם לא שוקעת, חם יותר, והקרח נמס בחזרה אל הקטבים. אולם אין ספק שכמות הקרח מצטמקת כשכדור הארץ שלנו מתחמם. זה קורה על האדמה ובים. על האדמה קרחונים נמסים ונסוגים במקומות כמו אנטרקטיקה, גרינלנד ואלסקה. בים, האזור של קרח צף, שאנו קוראים לו **קרח-ים**, נעשה קטן יותר משנה לשנה [1] (איור 1).

### קרח-ים (Sea-ice)

קרח צף שנוצר על ידי קפיאת פני השטח של הים.

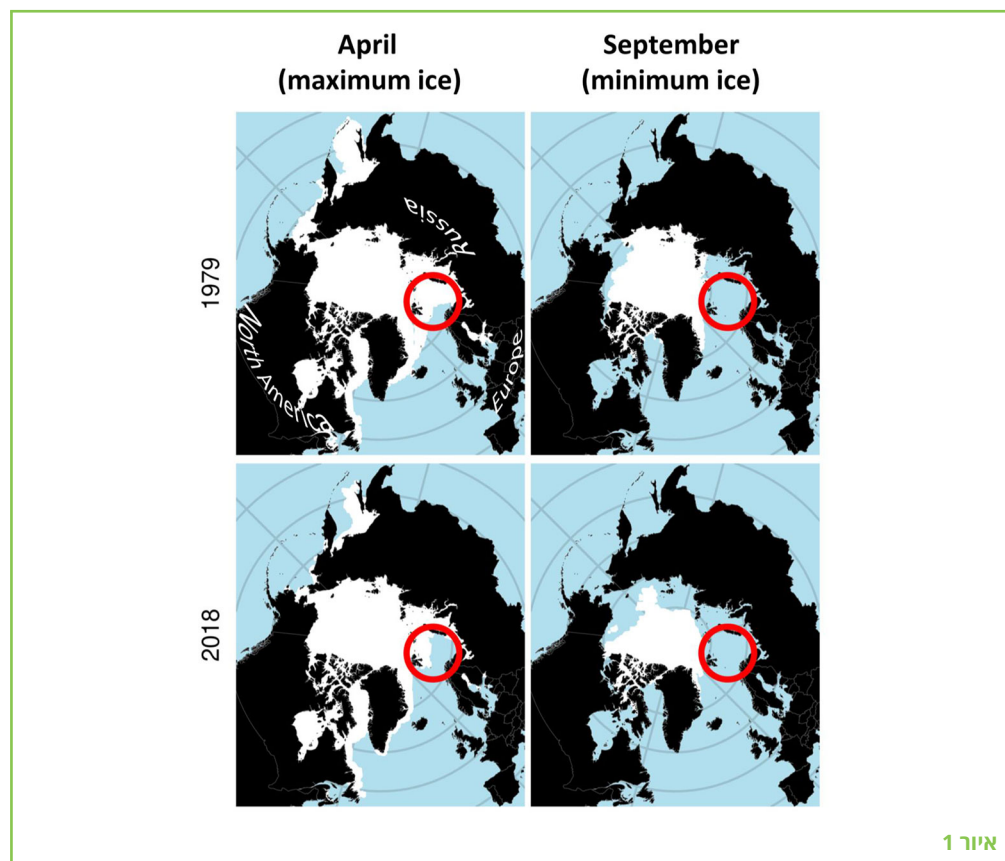
וידיאו של נשיונל ג'יאוגרפיק של דובי קוטב מורעבים עם הכתוביות "ככה נראים שינויי האקלים" היה לסמל בינלאומי של השפעות של הימסות קרחונים על המערכות הארקטיות [2, 3]. הסיפור שמאחורי הווידיאו הוא שדובי קוטב תלויים בהיותם מסוגלים להסתובב על גבי הקרח בחיפוש אחר אריות ים לאכול. מאחר שהקרח מצטמק, הם מתקשים למצוא מספיק מזון. במאמר הזה נסביר מדוע הסיפור עשוי להיות מורכב יותר ממה שהוא נראה במבט ראשון, וכיצד מודלים ממוחשבים של מערכות אקולוגיות יכולים לשמש כדי לסייע לנו להבין את המורכבויות האלה.

## שרשראות מזון ומערכות אקולוגיות

מערכת אקולוגית היא תְּבַרָה של חיידקים, צמחים וחיות שמאכלסות את אותה סביבת המחיה. כל האורגניזמים במערכת האקולוגית קשורים זה לזה על ידי רשת של קשרי מי-אוכל-את-מי.

### איור 1

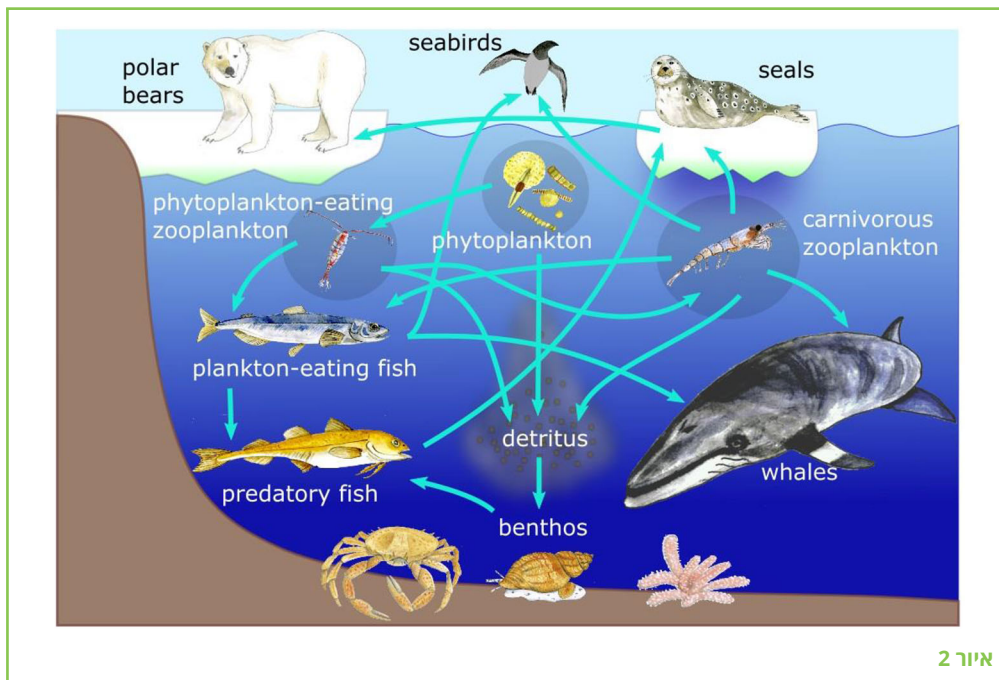
שינויים בקרח הים (אזורים לבנים) באוקיינוס הארקטי בין 1979 ל-2018. משמאל, אתם יכולים לראות קרח-ים באפריל כשקר והקרח נמצא במקסימום. מימין, אתם יכולים לראות אזור קרח בספטמבר כאשר חם יותר והקרח במינימום. כל מפה ממורכזת בקוטב הצפוני; אדמה מוצגת בשחור, כאשר צפון אמריקה נמצאת בפינה השמאלית התחתונה, רוסיה בפינה הימנית עליונה, ואירופה בפינה הימנית התחתונה. העיגולים האדומים מראים את ים ברנטס, שהוא האזור שמראה את השינויים הגדולים ביותר בכיסוי הקרח (מקור: <https://www.ncdc.noaa.gov/snow-and-ice/extent/>).



איור 1

**איור 2**

**שרשרת מזון של מי-אוכל-את-מי באוקיינוס הארקטי.** החיצים מחברים כל קבוצת טרף לקבוצת הטורף שלה. (עבודת אומנות: Douglas Speirs).



איור 2

אנו קוראים לזה שרשרת מזון (איור 2). בכל מקום שבו ישנו אור שמש ומספיק חומרי מזון, צמחים מייצרים את החומרים שהם צריכים לחיים בתהליך שנקרא **פוטוסינתזה**. פוטוסינתזה מספקת אנרגיה לתמוך בכל החיות בשאר שרשרת המזון.

בים, מרבית הצמחים הם מיקרוסקופיים ואנו קוראים להם **פיטופלנקטון**. פיטופלנקטון נאכלים על ידי מגוון של חיות זעירות עד לגודל של בערך גרגיר אורז, שנקראות **זואופלנקטון**. זואופלנקטון נאכלות על ידי זואופלנקטון גדולים יותר, מדוזות ודגים אוכלי-פלנקטון, כמו למשל טרוטנית. הפסולת שהם מייצרים (שנקראת **שפכת**) מפורקת על ידי חיידקים כשהיא נופלת את קרקעית הים, שם היא מספקת מזון לחיות שחיות בקרקעית (שנקראות **בנטוס**). דגים אוכלי פלנקטון ובנטוס הם מזון עבור דגים טורפים כמו למשל בקלה וזאב ים, ציפורי ים, ויונקים כמו למשל אריות ים ולווייתנים. באוקיינוס הארקטי, כל החיות האלה ניצודות על ידי טורפי-על, כמו למשל דובי קוטב. בני אדם גם הם טורפי-על בשרשרת המזון, מאחר שהם יכולים לתפוס דגים ולצוד אריות ים ולווייתנים.

**כיצד ההתחממות של כדור הארץ משפיעה על שרשראות מזון ארקטיות?**

להתחממות יש השפעה ישירה על כל האורגניזמים החיים. **חילוף חומרים** תלוי בטמפרטורה [4]. חילוף חומרים כולל את התהליכים שמאפשרים לאורגניזמים להפיק אנרגיה מהמזון שהם אוכלים. לכל האורגניזמים יש טווח טמפרטורות שבו חילוף החומרים שלהם יכול לשמור עליהם חיים בנוחות. מינים טרופיים פחות סבלניים לתנאים קרים מאשר מיני קוטב. משמעות הדבר היא שכאשר האוקיינוס מתחמם, אנו מצפים ממינים שנמצאים באזורים חמים להתפשט בהתפלגויות שלהם, ואנו יכולים לצפות שהמינים שמעדיפים מים קרים יותר כדי לסגת לקראת הקטבים. במהלך 50 השנים האחרונות, מדענים הבחינו בחלק ממיני הזואופלנקטון והדגים נעים לקראת הקטבים, כאשר האוקיינוסים נעשים חמים יותר [5].

**פוטוסינתזה**

**(Photosynthesis)**

תגובה כימית בצמחים ובחלק מהחיידקים. היא משתמשת באנרגיה מהאור כדי להמיר פחמן דו-חמצני ומים לתרכובות אורגניות.

**פיטופלנקטון**

**(Phytoplankton)**

תאים של צמחים מיקרוסקופיים שנסחפים במים. ישנם הרבה מינים של פיטופלנקטון.

**זואופלנקטון**

**(Zooplankton)**

מונה כללי למגוון עצום של חיות זעירות שנסחפות במים.

**שפוכת**

**(Detritus)**

שאריות של אורגניזמים מתים או פסולת שמוצרת על ידי אורגניזמים חיים.

**בנטוס**

**(Benthos)**

מונה כללי שמתאר טווח רחב של חיות שחיות בתוך קרקעית הים ועליה.

**חילוף חומרים**

**(Metabolism)**

שילוב של תגובות כימיות שנדרשות לקיום חיים ביולוגיים.

ההשפעות של ההתחממות על קרח-הים גם חשובות במיוחד לשרשרת המזון הארקטית. הנוכחות של קרח-ים מפחיתה משמעותית את כמות אור השמש שנכנס לאוקיינוס. האזור המתכווץ של קרח-ים (איור 1) משמעותו שחלק מהאזורים באוקיינוס נחשפים לאור השמש בפעם הראשונה מזה הרבה אלפי שנים. האור מאפשר לפיטופלנקטון לגדול ולעשות פוטוסינתזה באזורים שקודם לכן היו שוממים, מה שמגדיל את היצרנות של האוקיינוס הארקטי.

העלייה בפיטופלנקטון יכולה להיחשב כשינוי חיובי, שמוביל לעוד חיים בים ולעוד מזון עבור זואופלנקטון, בנטוס, ובסופו של דבר לדגים, ציפורים, אריות ים, לווייתנים ודגי קוטב [6]. אולם חלק מהמינים הארקטיים התפתחו כך שהם תלויים בנוכחות של קרח. קרח-ים מספק אמצעים לאריות ים ולסוסי ים לצאת החוצה מהמים. הם צריכים לעשות זאת כדי לנוח, להתרבות ולהימנע מטורפים ימיים אחרים, כמו למשל לווייתנים צדים. יונקים אחרים, כמו למשל דובי קוטב, נסמכים על היכולת לטייל על הקרח הימי כדי לצוד אריות ים. קרח נמס גורם לטיולים להיות קשים יותר מאחר שהקרח הדק לא יכול לתמוך במשקלם של הדובים. מצד שני, קרח הוא מחסום למיני לווייתנים מאחר שהם צריכים להיות מסוגלים להגיע לאוויר ולנשום. בסך הכול, לא ברור לגמרי אלו טורפים בשרשרת המזון יתרמו מהימסות קרח הים, ואלו יפגעו ממנה.

## חיזוי של מה יקרה באוקיינוס הארקטי

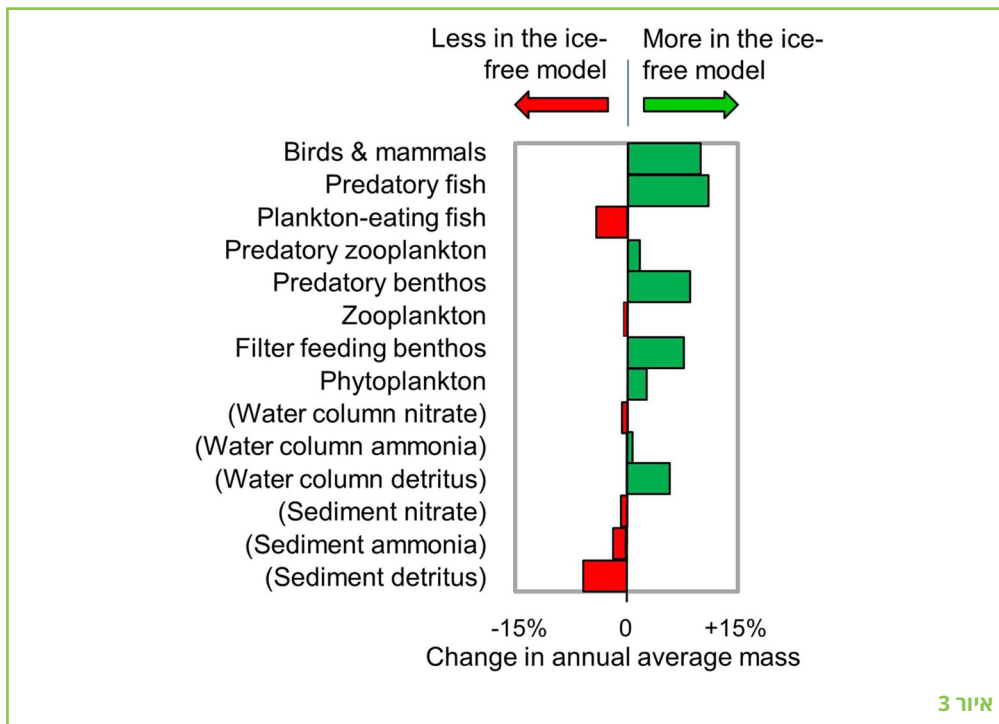
אנו משתמשים במודלים ממוחשבים במטרה לבצע חיזויים על ההשפעות שיהיו לשינויים בקרח הים על שרשרת המזון. כדי ליצור את המודלים האלה, ראשית אנו צריכים לכתוב את תהליכי ורכיבי המפתח של שרשרת המזון כמושוואות מתמטיות. אלה כוללות הזנה, חילוף חומרים, פוטוסינתזה ומי-אוכל-את-מי. לאחר מכן, אנו ממירים את המשוואות לקוד מחשב. זה נותן לנו עולם וירטואלי שבו אנו יכולים לערוך ניסויים על מודל המערכת האקולוגית. הניסויים מעוצבים כדי לסייע לנו להבין כיצד המערכת האקולוגית יכולה להשתנות בעתיד.

בנינו מודל פשוט של המערכת האקולוגית של ים ברנטס באזור הארקטי של נורווגיה/רוסיה (איור 1). המודל הזה מכיל נתונים על קרח ועל תנאי טמפרטורה, ומשוואות שמייצגות חלק ממה שאנו יודעים על המערכות האקולוגיות של צמחים וחיית. ההפשטה העיקרית היא שחלק מהמינים משולבים לקבוצות שחולקות מאפיינים דומים כמו למשל גודל, מבנה, או דיאטה. לדוגמה, שילבנו את כל הציפורים והיונקים לקבוצה אחת, מאחר שהם חמי דם, מה שאומר שהם יכולים להשתמש באנרגיה מהמזון שלהם כדי לשמור על טמפרטורת גוף גבוהה ללא תלות בסביבה, שלא כמו פלנקטון ומרבית הדגים. ההפשטה הזו משמעותה שבמודל שלנו איננו יכולים להבחין בין דובי קוטב לבין לווייתנים, לדוגמה. אף על פי שהמודל המפושט שלנו אינו מושלם, הוא עדיין משחזר את התגובות הכלליות של המערכת האקולוגית של ים ברנטס.

המשוואות של המודל כוללות משתנים שקובעים את התוצאות. במודל שלנו, הן כוללות לדוגמה מקסום של קצבי הזנה, או ירידה של קצבי שפוכת. בחירת הערכים עבור המשתנים היא צעד חשוב בבניית המודל. אנו מנסים לבחור ערכים שמאפשרים למודל שלנו להתאים כמה שיותר לנתונים האמיתיים מהמערכת האקולוגית. זה מוודא שהמודל שלנו הוא כמה שיותר ריאליסטי. ברגע שהמודל רץ, אנו יכולים לשנות את תנאי הקרח והטמפרטורות למה שהם עשויים להיות בעתיד, ולהשתמש במודל כדי לחזות מה עשוי לקרות בחיים האמיתיים. באיור 3, אנו מראים דוגמה של השוואה בין תוצאות של מודלים של ההווה ושל העתיד. המודל של ההווה מייצג את

**איור 3**

תוצאות ממודל מחשב שמשווה את המסה של רכיבים שונים במערכת האקולוגית (שממוצעים על פני שנה) בעתיד אפשרי, חם יותר וחסר קרח בים ברנטס, בהשוואה להיום. רכיבים בסוגריים הם חומרי מזון לא-אורגניים או חומר מת. העמודות הירוקות מימין מראות שאיכות רכיב שרשרת המזון גדול יותר במודל העתידי מאשר כיום. בניגוד לכך, העמודות האדומות משמאל מראות על פחות מסה של הרכיבים האלה במודל העתידי.



איור 3

ים ברנטס כמו שהוא היום. המודל העתידי הוא נטול קרח, עם מים בטמפרטורות גבוהות ב-0.5 מעלת צלזיוס במשך כל השנה. כפי שצפינו, הפוטוסינתזה גבוהה יותר במודל העתידי. החיות שמרוויחות מכך הן בנטוס, דגים טורפים וקבוצות של ציפורים ויונקים. זואופלנקטון ופלנקטון שאוכלים דגים הם פחות שכיחים ממה שהם היום. הסיבה לכך היא שפיטופלנקטון ושפוכת, שמהם בנטוס וזואופלנקטון ניזונים, שוקעים לקרקעית הים מהר יותר כאשר אין קרח. מאחר שאיננו יכולים להבחין בין טורפי ציפורים ויונקים שונים במודל הזה, איננו יכולים להשתמש בו כדי לומר בדיוק אלו מינים יהיו יותר או פחות שכיחים בעתיד. אולם המודל חוזה שקבוצות ציפורים ויונקים ככלל יאכלו דיאטה שונה מהיום, עם יותר הזנה מדגים טורפים ופחות מדגים אוכלי פלנקטון.

**מדוע כל זה משנה?**

האזור הארקטי מתחמם מהר יותר משאר כדור הארץ. הטמפרטורות השנתיות הממוצעות באזור הארקטי עלו בסביבות שתי מעלות צלזיוס בין 1970 לבין 2010 בהשוואה ל-0.6 מעלות צלזיוס עבור כדור הארץ כמכלול [7]. טמפרטורות הקיץ באזור הארקטי הקנדי גבוהות יותר כיום מאשר בכל זמן אחר ב-44,000 השנים האחרונות [8]. בתוך תקופת חיים של אדם, האוקיינוס הארקטי הגיח באופן חלקי מתחת לאלפי שנים של כיסוי בקרח.

ישנו מרוץ בין אומות להשתלטות על קרקעית הים ועל משאבי האוקיינוס הארקטי כשהוא מגיח מתוך הקרח. נתיבים חדשים יתאפשרו להפלגות של ספינות בין אירופה, אסיה וצפון אמריקה. ב-30 בנובמבר 2017, האיחוד האירופי ותשע אומות דיג מרכזית הסכימו לא לפתח חוות דיג באוקיינוס הארקטי עד 2033 לפחות. זה אמור לאפשר זמן למדענים לפתח את המודלים הנדרשים לניהול מלאי הדגים באופן בר-קיימא [9]. הרבה מחקר צריך להיערך לפני שתהיה לנו הבנה מלאה של ההשפעות של ההתחממות של האוקיינוס הארקטי.

## מקורות

1. Comiso, J. C. 2012. Large decadal decline of the arctic multiyear ice cover. *J. Clim.* 25:1176–93. doi: 10.1175/JCLI-D-11-00113.1
2. Gibbens, S. 2017. *Heart-Wrenching Video Shows Starving Polar Bear on Iceless Land*. Available online at: <https://www.nationalgeographic.com/news/2017/12/polar-bear-starving-arctic-sea-ice-melt-climate-change-spd/>
3. Mittermeier, C. G. 2018. *Starving-Polar-Bear Photographer Recalls What Went Wrong*. Available online at: [www.nationalgeographic.com/magazine/2018/08/explore-through-the-lens-starving-polar-bear-photo/](http://www.nationalgeographic.com/magazine/2018/08/explore-through-the-lens-starving-polar-bear-photo/)
4. Gillooly, J. F., Brown, J. H., West, G. B., Savage, V. M., and Charnov, E. L. 2001. Effects of size and temperature on metabolic rate. *Science* 293:2248–51. doi: 10.1126/science.1061967
5. Kortsch, S., Primicerio, R., Fossheim, M., Dolgov, A. V., and Aschan, M. 2015. Climate change alters the structure of arctic marine food webs due to poleward shifts of boreal generalists. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 282:20151546. doi: 10.1098/rspb.2015.1546
6. Darnis, G., Robert, D., Pomerleau, C., Link, H., Archambault, P., Nelson, R. J., et al. 2012. Current state and trends in Canadian Arctic marine ecosystems: II. Heterotrophic food web, pelagic-benthic coupling, and biodiversity. *Clim. Change* 115:179–205. doi: 10.1007/s10584-012-0483-8
7. IPCC. 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge; New York, NY: Cambridge University Press.
8. Miller, G. H., Lehman, J. J., Refsnider, K. A., Southon, J. R., and Zhong, Y. 2013. Unprecedented recent summer warmth in Arctic Canada. *Geophys. Res. Lett.* 40:5745–51. doi: 10.1002/2013GL057188
9. Hoag, H. 2017. Nations agree to ban fishing in Arctic Ocean for at least 16 years. *Science*. doi: 10.1126/science.aar6437

פורסם אונליין: 10 ביוני 2022

נערך על ידי: Roxana Suehring

מנחה מדעי: Nathan Good

Heath MR, Benkort D, Brierley AS, Daewel U, Hofmeister R, Laverick JH, Proud R and Speirs DC (2022) כיצד שינוי האקלים משפיע על חיים יחיים באוקיינוס הארקטי? *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00103-he

Heath MR, Benkort D, Brierley AS, Daewel U, Hofmeister R, Laverick JH, Proud R and Speirs DC (2020) How Is Climate Change Affecting Marine Life in the Arctic? *Front. Young Minds* 8:103. doi: 10.3389/frym.2020.00103

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

Heath, Benkort, Brierley, Daewel, Hofmeister, 2022 © 2020 © **COPYRIGHT** Laverick, Proud and Speirs. 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 (המקוריים ולבעל זכויות היוצרים, ושהפרסום המקורי בעיתון זה מצוטט בהתאם למקובל באקדמיה). השימוש, ההפצה או ההעתקה אינם מותרים אם הם אינם עומדים בתנאים אלה.

## סוקרת צעירה

**LILU, גיל: 11**

אני אוהבת דובי קוטב ונלחמת בשינוי האקלים כדי להציל אותם! אני אוהבת את הגור שלי, וגם חזירי ים.



## הכותבים

**MICHAEL R. HEATH**

אני פרופסור במחלקה למתמטיקה ולסטטיסטיקה באוניברסיטת סטרת'קלייד, סקוטלנד, וחקרתי אקולוגיה ימית במשך כ-40 שנים. תחומי העניין המחקריים שלי כיום הם מידול סטטיסטי ומתמטי של חברות דגים וחוות דיג, והדינמיקות של מערכות אקולוגיות. \*m.heath@strath.ac.uk

**DEBORAH BENKORT**

אני מדענית בהלמהולץ-זנטרום גיסטכט, גרמניה, שעובדת על מידול הכימיה והפלנקטון של האוקיינוס הארקטי. במהלך הדוקטורט שלי, מחקרי התמקד בדינמיקה של זואופלנקטון במפרץ של סיינט לורנס בחוף המזרחי של קנדה. אני מפתחת מודלים במטרה לחקור את הגדילה ואת ההתרבות שלהם.

**ANDREW S. BRIERLEY**

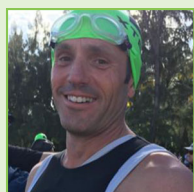
אני אקולוג במכון האוקיינוסים הסקוטי, אוניברסיטת סיינט אנדרוז, סקוטלנד. חקרתי אזורי קוטב מאז שנות ה-1990. אני מתמחה בשימוש במפיקי צילי היד כדי לחקור זואופלנקטון ודגים. אולם כיום אני עובד באגם ויקטוריה, מזרח אפריקה. זוהי דרך ארוכה מהאוקיינוס הארקטי, אולם מערכות אקולוגיות של אגמים נשלטות על ידי אותם סוגים של שרשראות מזון שאנו מוצאים בים, ולכן ישנו חוס מקשר במחקר שלי.

**UTE DAEWEL**

אני מדענית בהלמהולץ-זנטרום גיסטכט, גרמניה. אני מתמקדת בחקירת האופן שבו פיזיקה משפיעה על הביולוגיה של סוגי אורגניזמים שונים בים. אני עושה זאת על ידי פיתוח של מודלים מתמטיים. אחת המטרות העיקריות שלי במחקר הנוכחי היא להבין שינויים בשרשרת המזון הימית.

**RICHARD HOFMEISTER**

קיבלתי את הדוקטורט שלי באוקיינוגרפיה פיזיקלית באוניברסיטת הוסטוק בגרמניה. המחקר שלי בהלמהולץ-זנטרום גיסטכט ובאוניברסיטת המבורג מתמקד במידול של זרמים אוקייניים במטרה לקבוע כיצד פלנקטון מועברים ברחבי הימים.





### JACK H. LAVERICK

יש לי דוקטורט בחקר סביבה מאוניברסיטת אוקספורד, שם חקרתי מאות מערכות אקולוגיות ימיות. השתמשתי בשילוב בין למידת מכונה ומידול כדי לחקור את מבנה החברות המשתנה לאורך גרדיאנט העומק. כיום, אני חוקר פוסט-דוקטורנט באוניברסיטת סטרט'קלייד, סקוטלנד.

### ROLAND PROUD

אני חוקר פוסט-דוקטורנט במכון האוקיינוסים הסקוטי, אוניברסיטת סיינט אנדרוז, סקוטלנד. יש לי דוקטורט באקולוגיה ימית, תואר שני בפיזיקה ובאסטרופיזיקה, ותואר שני נוסף בניהול מבוסס מערכות אקולוגיות של מערכות ימיות. אני עורך מחקר על אקולוגיה ועל ביולוגיה של זואופלנקטון ומיקרונקטון שחיים באוקיינוס הפתוח.

### DOUGLAS C. SPEIRS

אני מרצה בכיר במחלקה למתמטיקה ולסטטיסטיקה באוניברסיטת סטרט'קלייד, סקוטלנד. המחקר שלי מערב פיתוח של מודלים ממוחשבים יעילים של חברות זואופלנקטון ומלאי דגים. במודלים האלה יש ייצוגים מפורטים של ביולוגיה, כולל גדילה של פרטים כשהם מתבגרים, והאופן שבו החברות שלהם נעות ברחבי האוקיינוס.

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



הוצאת פרונטירז מדע לצעירים ישראל  
Hebrew version provided by



THE SAGOL NETWORK