

## האוקיינוס הארקטי: אוקיינוס הפוך

Yueng Djern Lenn<sup>1\*</sup>, Benjamin Lincoln<sup>1</sup>, Markus Janout<sup>2</sup>

<sup>1</sup> בית הספר למדעי האוקיינוס, אוניברסיטת בנגור, בנגור, בריטניה

<sup>2</sup> מרכז הלהולץ למחקר קוטב ולמחקר ימי, מכון אלפרד ווגנר, ברמהייבן, גרמניה

האוקיינוס הארקטי ממוקם בקוטב הצפוני, ולעיתים נחשב כפסגת העולם. אולם האוקיינוס הזה נקרא האוקיינוס ה"הפוך" (upside-down) על ידי האוקיינוגרף המפורסם פרידטיוף נאנסן. ברחבי מרבית כדור הארץ, פני השטח של האוקיינוס מתחממים על ידי השמש, והם מאבדים מים מתוקים דרך אידוי, מה שהופך אותם לחמים ולמלוחים יותר מהמים שנמצאים מתחתם. באוקיינוס הארקטי, מים מתוקים וקרים נמצאים מעל למים חמים ומלוחים יותר שמגיעים מהאוקיינוסים הפסיפי והאטלנטי. אנו נסביר מדוע מי האוקיינוס הארקטי מרובדים באופן הזה, כיצד שינוי אקלים משפיע על השכבות האלה, ומדוע כל זה חשוב לנו.

### מדוע האוקיינוס הארקטי הוא הפוך

האוקיינוסים מכסים 70% מכדור הארץ, ומרבית המים האלה נמצאים בקווי רוחב שבהם הם מקבלים אור שמש במשך כל השנה. כל אור השמש הזה מחמם את פני השטח של האוקיינוס, וגם מניע את האידוי שמסיר מים מתוקים מפני השטח של האוקיינוס, מה שמשאיר את מלחי הים מאחור. משמעות הדבר היא, שבמרבית האוקיינוסים אנו מצפים למצוא מים חמים ומלוחים בפני השטח, בעוד שהמים העמוקים יותר נוטים להיות קרים יותר ופחות מלוחים. לכן,

#### סוקרות צעירות

DEVONPORT  
HIGH  
SCHOOL  
FOR GIRLS  
(YR 9/2020)



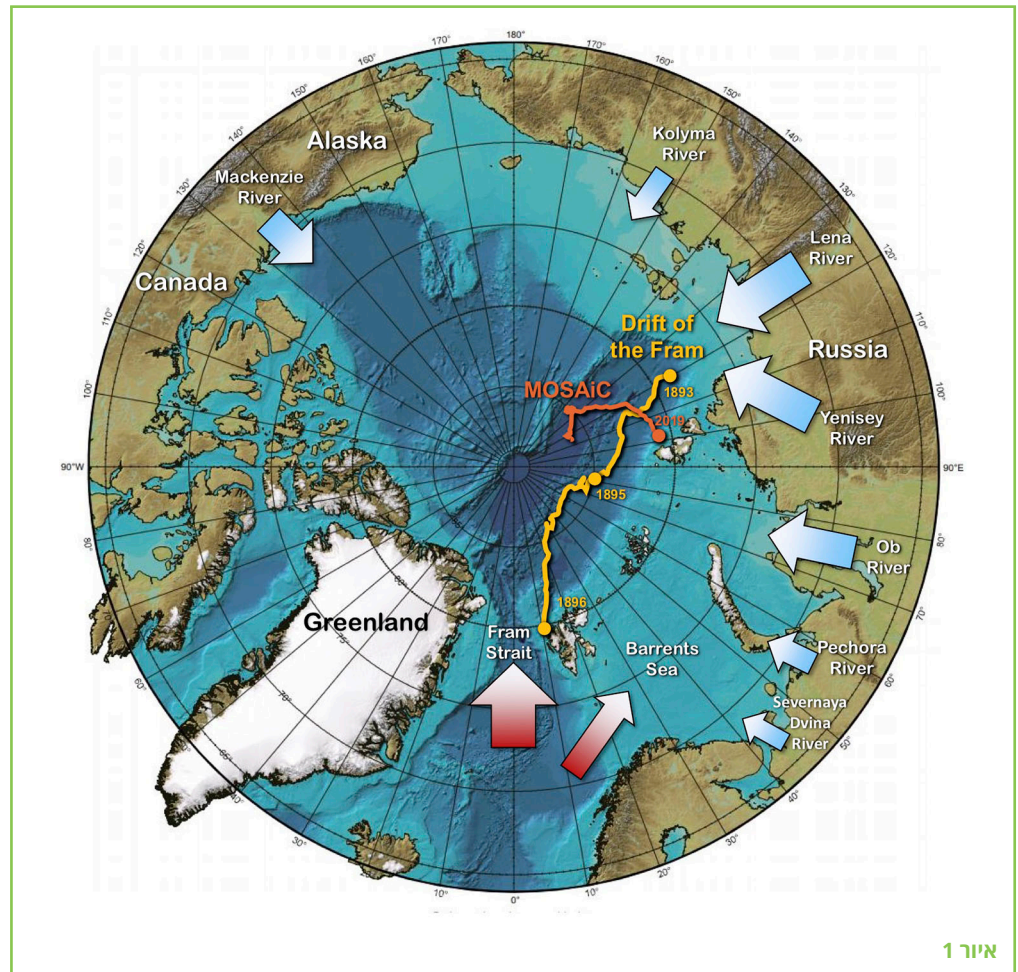
גיל: 14-13

#### מים מתוקים (Freshwater)

מים שאין בהם מלח. נהרות, גשם, שלג וקרח-ים שנמסו הם מקורות טבעיים של מים מתוקים באוקיינוס הארקטי.

## איור 1

מפה של האוקיינוס הארקטי שמראה את ההיסחפות של ספינתו של נאנסן, ששמה פארגם, במהלך מסע המחקר שלו שמשומן בצהוב. חיצים כחולים מראים את המקורות העיקריים של מים קרים ומתוקים מנהרות האזור הארקטי, בעוד שחיצים אדומים מראים מקורות של מים מלוחים וחמים של האוקיינוס האטלנטי דרך פתחיהם של מצר פראם וים ברנטס. נתיב הסחיפה של משלחת מוזאיק על גבי ספינת פולרסטרן מוצג בכתום, שימו לב שהפולרסטרן עזבה את אזור הקרח כדי לבצע החלפת צוות ביוני 2020 בסוולברד, ותחזור לאזור הקרח כדי להמשיך את המסע. מפת עומק קרקעית הים באדיבות IBCAO [1].



איור 1

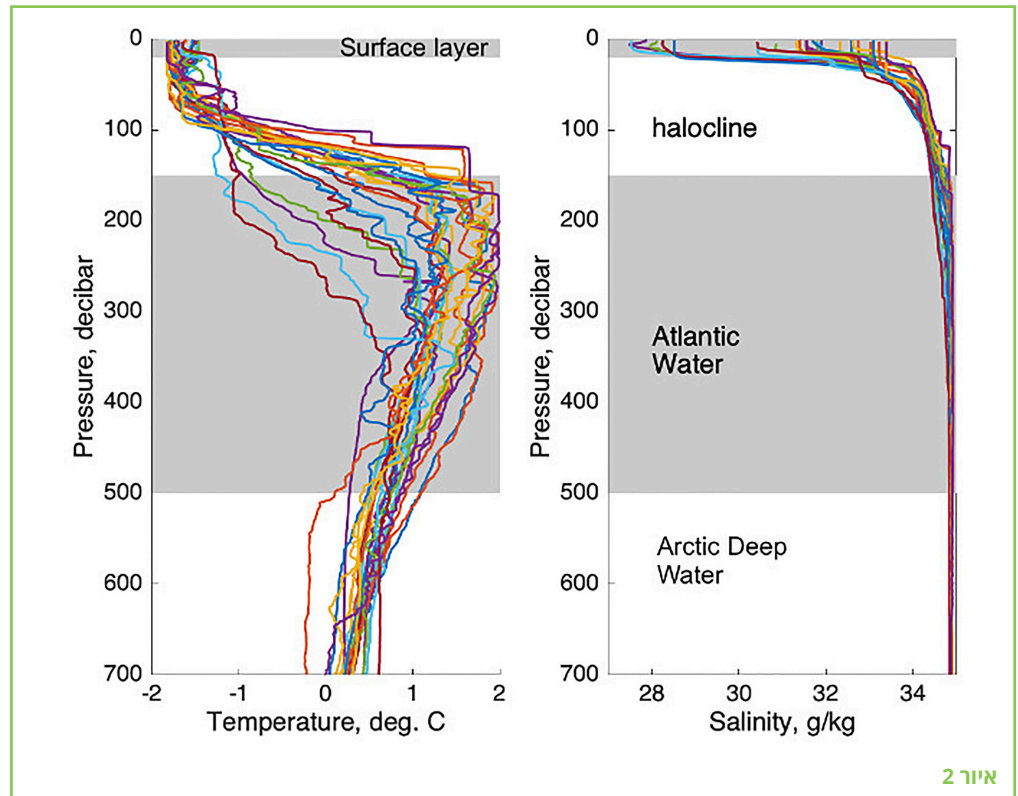
כאשר החוקר הנורווגי פרידטיוף נאנסן שט עם ספינתו פראם אל תוך הקרח הארקטי בשנים 1893-1896 (איור 1) ומצא מים קרים ומתוקים בפני השטח ומים חמים יותר ומלוחים יותר מתחתם, הוא תיאר את האוקיינוס הארקטי כאוקיינוס "הפוך" (upside-down) [2]. התצפית המוקדמת הזו של מבנה מי האוקיינוס הארקטי אושרה על ידי כמה אוקיינוגרפים מאז תגליתו של נאנסן. נאנסן ידע שהאוקיינוס הארקטי מכוסה בקרחים, ושהכיוון שבו קרח-הים נסחף יכול לשאת את ספינת המחקר שלו מסיביר, דרך הקוטב הצפוני, וחזרה לכיוון נורווגיה. בעוד שהם פספסו את הקוטב בכמה מאות קילומטרים בלבד, המסע יצר עושר של ממצאים חדשים שסיפקו ידע חשוב עבור מדעי האוקיינוס הארקטי המודרניים.

מאז זמנו של נאנסן, האזור הארקטי חווה שינוי אקלים בקצב כפול ממה שנחווה באזורים אחרים בכדור הארץ, והאוקיינוס הארקטי איבד הרבה מקרח-הים הישן. שינויי אקלים באוקיינוס הארקטי לא משפיעים רק על קרח-הים. טמפרטורות חמות יותר משפיעות גם על המים שנמצאים מתחת לפני השטח של האוקיינוס. מסע המחקר של המוזאיק (MOSAIC), ראשי תיבות של Multidisciplinary Drifting Observatory for the Study of Arctic Climate), הושק באוקטובר 2019 ובתקווה יספק תשובות לגבי האופן שבו שינוי האקלים משפיע על קרח-ים באוקיינוס הארקטי, על האוקיינוס הארקטי עצמו, ועל המערכת האקולוגית הארקטית. נכון ליוני 2020, מסע המוזאיק נמצא שבעה חודשים בתוך הקמפיין שמטרתו לעקוב אחרי המסלול המתוכנן של נאנסן (איור 1)<sup>1</sup>. בינתיים, כדי להבין כיצד שינוי האקלים

<https://follow.mosaic-expedition.org/>

## איור 2

מידות של טמפרטורה ומליחות המים ב-700 המטרים העליונים של האוקיינוס הארקטי, שבוצעו באוקטובר 2008 בצפון סיביר. השכבות השונות של מים מוצגות עם הצללות לבנות ואפורות מתחלפות. אתם יכולים לראות ששכבת פני השטח קרה מאוד ומתוקה, בעוד שגם הטמפרטורה וגם המליחות עולות בשכבת ההלוקליין שמתחת. קל לאתר מים אטלנטיים כשכבת המים החמים ביותר (בליטה גדולה מצד מימין), ושכבה תחתונה של מים ארקטיים עמוקים שהיא שוב קרה יותר ומעט מלוחה יותר.



איור 2

## צפיפות (Density)

היחס בין המסה לנפח של חומר. מטר מעוקב של מסת מי ים צפופים תהיה כבדה יותר ממטר מעוקב של מים פחות צפופים. לכן, הצפיפויות של מסות מים יקבעו איזו מסת מים נמצאת בפני השטח, ואיזו נמצאת בקרקעית.

## מליחות (Salinity)

ריכוז של מלח במי ים. זה בדרך כלל נמדד בגרמים לקילוגרם. לכן, מליחות של 35 משמעותה שבקילוגרם של מי ים ישנם 35 גרם של מלחים.

## הלוקליין (Halocline)

שכבה תת-קרקעית של מים שנוצרים חלקית דרך ערבוב של מים מתוקים קרים מפני השטח של האוקיינוס הארקטי שמעליה, והמים המלוחים והחמים יותר של האוקיינוס האטלנטי או הפסיפי מתחתיה. מליחות עולה באופן חד מהחלק העליון לחלק התחתון של הלוקליין.

עשוי להשפיע על האוקיינוס הארקטי, עלינו להבין מדוע ישנן שכבות שונות של סוגי מים (או מסות מים) באוקיינוס הארקטי, ולחשוב על המקום שממנו הן מגיעות.

## המבנה של האוקיינוס הארקטי

הצפיפות של מי ים תלויה גם בריכוז המלח, או המליחות שלהם, וגם בטמפרטורה שלהם. כשטמפרטורת המים עולה, המים מתרחבים והצפיפות שלהם יורדת, מה שגורם להם להיות קלים יותר. מלחים מומסים מוסיפים מסה למים ומגדילים את הצפיפות שלהם. במים חמים יותר, שמרכיבים את מרבית האוקיינוסים של העולם, השפעת הטמפרטורה על הצפיפות חשובה יותר מהשפעת המלח. לכן, באופן טיפוסי תמצאו מים חמים יותר שנמצאים מעל למים קרים, ללא תלות במליחות של המים.

במים קרים, כמו למשל אלה שבאוקיינוס הארקטי, השפעת המלח על הצפיפות גוברת על השפעת הטמפרטורה. באוקיינוס הארקטי, תמצאו מים קרים ומתוקים בפני השטח. המים המתוקים האלה מגיעים מקרח ים מומס ומנהרות ארקטיים שמתרוקנים לתוך האוקיינוס (איור 2). מתחת לשכבת פני השטח הקרה מאוד והמתוקה, נמצאים מים צפופים, מלוחים אך חמים יותר שהגיעו מהאוקיינוסים הפסיפי או האטלנטי. כאשר מסות המים החמות והמלוחות האלה מתערבבות עם שכבת המים הקרים והמתוקים שמעליהן, הן יוצרות שכבת ביניים שידועה כהלוקליין הארקטי (איור 2). שכבת ההלוקליין הזו משמשת כמחסום למעבר חום, ומונעת מהמים החמים והעמוקים להמיס את קרח-הים. מתחת לשכבת המים החמים והמלוחים, האוקיינוס הארקטי מלא במסת מים מעט מלוחים וקרים יותר, שידועים כמים ארקטיים עמוקים.

## מהיכן מגיעים מים של האוקיינוס הארקטי?

נהרות ארקטיים הם מקור עיקרי של מים מתוקים שזורמים לתוך האוקיינוס הארקטי. ישנה זרימה גדולה כל כך של מים מתוקים מנהרות ארקטיים, שהאוקיינוס הארקטי הוא המתוק ביותר מכל אגני האוקיינוס בכדור הארץ. מי נהרות מתוקים מתפשטים דרך האוקיינוס על ידי רוחות, גאות וזרמים באוקיינוס, עם הרבה מים מתוקים שבסופו של דבר מצטברים בפני השטח במרכז האגן הקנדי. חלק ממי הנהר מתערבבים עם מי הים המלוחים יותר באזורים חופיים רדודים יותר, צוברים צפיפות ומסיימים בהלוקליין הארקטי, ולא בפני השטח של האוקיינוס.

מקור מים מתוקים אחר עבור האגנים הארקטיים המרכזיים הוא קרח-ים עם מליחות נמוכה מאוד שנסחף מאזורי חוף הים השטוחים שם הוא נוצר. כאשר קרח-ים נוצר, גבישי קרח נוצרים ממי ים ומרבית המלח נדחה כמי מלח צפופים. מי המלח הצפופים האלה שוקעים דרך מי האוקיינוס ובסופו של דבר זולגים למטה אל המדרון היבשתי וממלאים את מי האוקיינוס העמוקים.

### מי מלח (Brine)

תמיסה של מים מלוחים מאוד. חלק מהדגים המשומרים מגיעים מאוחסנים במי מלח.

המים החמים ביותר באוקיינוס הארקטי מגיעים מהאוקיינוס האטלנטי. מים אטלנטיים נכנסים לאוקיינוס הארקטי דרך מצר פראם, בין גרינלנד לבין סוולברד, כמו גם דרך מפתח ים ברנטס, בין סוולברד לבין יבשת נורווגיה (איור 1). כתוצאה מסיבוב כדור הארץ, מים אטלנטיים נעים ימינה אחרי שהם עוזבים את מצר פראם, ועוקבים אחרי המדרון היבשתי סביב לאוקיינוס הארקטי, בתנועה שהיא נגד כיוון השעון. כשמים אטלנטיים חמים ומלוחים נכנסים לראשונה לאוקיינוס הארקטי דרך מצר פראם, הם נמצאים קרוב לפני השטח, אולם הם שוקעים במהרה מתחת למים של פני השטח הקלים יותר, המתוקים והקרים, כשהם זורמים מזרחה. מים מעט מתוקים וחמים יותר מהאוקיינוס הפסיפי מצטרפים להקפה כנגד כיוון השעון הזה כשהם נכנסים לאוקיינוס הארקטי דרך מצר ברלינג. המים הפסיפיים עוצרים ממש מעל למים האטלנטיים.

## האוקיינוס הארקטי משפיע על אקלים גלובלי

כאשר המים הפסיפיים והאטלנטיים מסתובבים סביב לאוקיינוס הארקטי, הם מתערבבים עם מסות מים ארקטיות אחרות, נעשים קרים ומתוקים יותר ומאבדים יותר חום לקרח-ים ולאטמוספירה שמעליהם. המים מהאוקיינוס הארקטי בסופו של דבר יוצאים מהאוקיינוס דרך ארכיפלג קנדי, או בתור זרם עמוק, קר ומתוק בחלק המערבי של מצר פראם. באופן הזה, האוקיינוס נושא אנרגיית שמש שנספגת כחום באזורים הטרופיים והסאב-טרופיים, עד לאוקיינוס הארקטי, שם הוא משמש כמקור חום למזג האוויר של חצי הכדור הצפוני. יתרה מזו המים הצפופים והעמוקים שזורמים החוצה מוחלפים על ידי זרימת פני שטח פנימה של מים אטלנטיים ופסיפיים, שמוודאים כי החילוף הזה בין קווי הרוחב הטרופיים והקוטביים ממשיך כמו מסוע ימי ענק.

## שינוי האקלים משפיע על האוקיינוס הארקטי, על הקרח שלו ועל המערכות האקולוגיות שלו

מדידות לוויינים במהלך כמה עשורים אחרונים הראו שקרח הים הארקטי חווה ירידה חדה (איור 3) [3]. קרח חדש נוצר כל חורף, אולם בשנים האחרונות עונת ההמסה הגיעה מוקדם יותר

## איור 3

מפה של האוקיינוס הארקטי שמראה את האזור הממוצע שמכוסה על ידי קרח-ים קיצי בספטמבר 1980 (בלבן) ובספטמבר 2019 (בכחול). הייתה ירידה חדה בכיסוי קרח הקיץ ב-40 השנים האחרונות (התמונה באדיבות מרכז נתוני השלג והקרח הלאומי, אוניברסיטת קולורדו, בולדר).



איור 3

ונמשכה זמן רב יותר. זה הגדיל את ההמסה וצימק את כיסוי קרח-הים כפי שנמדד בספטמבר, שזהו הזמן בשנה עם הכי פחות קרח. כאשר תכולת קרח-הים פחתה, הקרח גם איבד עובי, בזמן שהקרח הרב-שנתי הישן יותר נמס או הוצא מהאוקיינוס הארקטי דרך מצר פארם.

### קרח רב-שנתי (Multi-year Ice)

זהו קרח-ים שלא נמס במהלך הקיץ, וקיים כמה שנים, בעודו מתעבה בכל שנה.

מחקרים אחרונים מראים לנו שישנם גורמים רבים לאובדן קרח-ים. מאחר שקרח ים הוא לבן, הוא משקף הרבה יותר מאנרגיית השמש חזרה לחלל, בהשוואה למי-ים נטולי קרח כהים יותר, אשר סופגים אנרגיית שמש. לכן, כשיותר מים נחשפים על ידי קרח-ים שנמס, כך יותר חום מאוחסן באוקיינוס. החום המאוחסן הנוסף הזה ממיס עוד את הקרח, מה שיוצר מעגל מסוכן של התחממות [4].

יותר מים פתוחים משמעותם גם אזורים גדולים יותר שבהם רוח יכולה לערבב שכבות אוקיינוס שונות. הערבוב הזה עשוי לאפשר ליותר חום תת-שכבתי אטלנטי/פסיפי להגיע לפני השטח של האוקיינוס. באותו הזמן, הטמפרטורה של מי הים האטלנטיים הנכנסים עלתה, והאוקיינוס נושא יותר חום צפונה. לסיכום, יותר חום מגיע לאוקיינוס הארקטי, או נספג על ידו, מה שיוצר הזדמנויות נוספות להביא את אותו החום למגע עם קרח-ים.

### פוטוסינתזה

#### (Photosynthesis)

תגובה כימית מונעת אור שמש בין מים לבין פחמן דו-חמצני שמייצרת סוכרים וחמצן. התגובה הזו מתרחשת על ידי צמחים ואורגניזמים דמויי צמחים כדי ליצור דלק לתמוך בחיים.

### פיטופלנקטון

#### (Phytoplankton)

אורגניזמים מיקרוסקופיים זעירים שיכולים לבצע פוטוסינתזה כמו צמחים. ישנם הרבה סוגים של פיטופלנקטון, כולל חיידקים מסוימים וחלק מהאורגניזמים החד-תאיים דמויי הצמח, שהרבה מהם יכולים ליצור אקזוסקלטונים דמויי צדפה.

היעלמות של קרחים מובילה לאזורים גדולים יותר של מי ים, שם האוקיינוס והאטמוספירה יכולים להחליף חום ומים מתוקים באופן ישיר. מאחר שטמפרטורת מי הים בדרך כלל חמה יותר מהאוויר, האוקיינוס הוא מקור חשוב יותר ויותר של חום לאטמוספירה. טמפרטורות אוויר ליד מי אוקיינוסים חמים נראו כעולות בתגובה לעליית טמפרטורת האוקיינוס. היעלמות קרחים גם אומרת שיותר אור שמש חודר לאוקיינוס למשך תקופות ארוכות יותר, מה שמספק יותר אנרגיה ל**פוטוסינתזה** על ידי אצות ים ואורגניזמים זעירים דמויי צמחים שנקראים **פיטופלנקטון**. מדידות לוויינים הראו גדילה של האורגניזמים האלה בבסיס של כל שרשראות המזון באוקיינוס הארקטי [5]. כשתנאי האוקיינוס משתנים באוקיינוס הארקטי, אנו גם רואים שינוי במיני הפיטופלנקטון שחיים שם, עם עלייה במספרם של מינים קטנים שמשגשגים בתנאים עתירי חומרי מזון שנגרמים על ידי ערבוב של מים פסיפים ואטלנטיים עם מים ארקטיים [6].

## מדוע כל זה משנה?

מקריאת מאמר זה, כעת אתם יודעים שטמפרטורות קרות מאוד והרבה מים מתוקים הופכים את האוקיינוס הארקטי לאוקיינוס ייחודי הפוך. משמעותן של הטמפרטורות הנמוכות האלה היא שאנרגיית שמש שנספגת ומרווחת על ידי האוקיינוס באזורים הטרופיים ונישאת צפונה, נאבדת באוקיינוס הארקטי, ומספקת חום לאקלים חצי הכדור הצפוני. כאשר האוקיינוס הארקטי חווה התחממות גלובלית, קרח-הים נמס והמספרים של אורגניזמים שחיים באוקיינוס הארקטי עשויים להשתנות ולהשפיע על כל חלק בשרשרת המזון. אובדן קרחים מתחיל להשפיע על ציידים שתלויים בקרח, כמו למשל דובי קוטב, אריות ים וסוסי ים. מיני דגים ממים חמים יותר מהגרים לאוקיינוס הארקטי במספרים הולכים וגדלים, מאחר שהאוקיינוס הארקטי מתחמם. מדענים צריכים להמשיך לחקור כיצד שינויים באוקיינוס הארקטי משפיעים על חיים ימיים ועל האקלים הגלובלי שלנו, מאחר שהשינויים האלה ישפיעו על הרבה אנשים – הרבה מעבר למעגל הארקטי.

## מקורות

1. Jakobsson, M., Mayer, L., Coakley, B., Dowdeswell, J.A., Forbes, S., Hodnesdal, H., et al. 2012. The international bathymetric chart of the Arctic ocean (IBCAO) version 3.0. *Geophys. Res. Lett.* 39:L12609. doi: 10.1029/2012GL052219
2. Nansen, F. 1898. *Farthest North: Being the Record of a Voyage of Exploration of the Ship "Fram" 1893–96 and the Fifteenth Months' Sleigh Journey* (George Newnes, by Arrangement With Archibald Constable). Cambridge: Cambridge University Press.
3. Stroeve, J., Holland, M. M., Meier, W., Scambos, T., and Serreze, M. 2007. Arctic sea ice decline: faster than forecast. *Geophys. Res. Lett.* 34. doi: 10.1029/2007GL029703
4. Perovich, D. K., Richter-Menge, J. A., Jones, K. F., and Light, B. 2008. Sunlight, water, and ice: extreme arctic sea ice melt during the summer of 2007. *Geophys. Res. Lett.* 35. doi: 10.1029/2008GL034007
5. Arrigo, K. R. and van Dijken, G. L. 2015. Continued increases in arctic ocean primary production. *Prog. Oceanogr.* 136:60–70. doi: 10.1016/j.pocean.2015.05.002
6. Li, W. K., McLaughlin, F. A., Lovejoy, C., and Carmack, E. C. 2009. Smallest algae thrive as the arctic ocean freshens. *Science* 326:539. doi: 10.1126/science.1179798

פורסם אונליין: 10 ביוני 2022

נערך על ידי: Penelope Kate Lindeque

מנחה מדעי: Oliver Chapman

**ציטוט:** Lenn YD, Lincoln B and Janout M (2022) האוקיינוס הארקטי: אוקיינוס הפוך. Front. Young Minds. doi: 10.3389/frym.2020.00105-he

**תורגם והותאם:** Lenn YD, Lincoln B and Janout M (2020) The Arctic: An Upside-Down Ocean. Front. Young Minds 8:105. doi: 10.3389/frym.2020.00105

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

**COPYRIGHT** © 2020 © Lenn, Lincoln and Janout 2022. 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.

## סוקרות צעירות

### DEVONPORT HIGH SCHOOL FOR GIRLS (YR 9/2020), גיל: 13-14

אנו קבוצה של תלמידות נלהבות בכיתה ט שהתנדבו לסקור את המאמר, מאחר שאנו מתעניינות במדע. אנו נהנות ללמוד מהמנטורית המדעית שלנו, דוקטור צ'פמן, על האופן שבו המדע ותהליך הסקירה של מאמרים מדעיים עובדים. אנחנו: Naomi-I, Imogen, Charlotte, Martha, Rowan, Daisy, Tanzeena, Victoria, Izzy, Anya, Aneura.



### YUENG DJERN LENN

אני מדענית שחוקרת כיצד שכבות שונות של האוקיינוס יכולות להניע חום ומלח ברחבי כדור הארץ, כיצד השכבות האלה מתערבבות זו עם זו באוקיינוס בקטבים, ומהיכן מגיעה אנרגיית הערבוב. אני גם מלמדת אוקיינוגרפיה באוניברסיטת בנגור בוויילס, בריטניה, ואני נהנית לארח ילדים מבקרים שרוצים לדעת עוד על מדעי הים. ילדיי (בני 7 ו-9) לעיתים נאלצים לעזור לי לתכנן ולתרגל ניסויים והדגמות חדשים עבור הביקורים האלה. \*y.lenn@bangor.ac.uk



### BENJAMIN LINCOLN

אני מדען באוניברסיטת בנגור שעורך מדידות באוקיינוס במטרה להבין כיצד הרוח והגלים מייצרים זרמים באוקיינוס, מערבולות וערבול. אני משתמש במדידות האלה כדי לענות על שאלות כמו: מה מספק חומרי מזון לפלנקטון ולדגים? כיצד המים החמים העמוקים ממיסים את קרח הים? כיצד אנו יכולים לבנות מכשירי אנרגיה מתחדשת אמינים באוקיינוס? כדי לערוך את המדידות האלה אני יוצא לים בכלי מחקר גדולים, כמו למשל שוברי קרח. אם יש לי מזל, יש אור במשך 24 שעות וחיים ימיים מדהימים, ואם אין לי מזל יש 24 שעות חושך והאוקיינוס הוא יריעת קרח מלאה ברוחות.

**MARKUS JANOUT**

אני אוקיינוגרף ואני עובד במרכז מחקר קוטב בגרמניה במטרה לחקור את המסות ואת הזרמים באוקיינוס הארקטי, כמו גם באוקיינוס שסביב לאנטרקטיקה. לעיתים קרובות אני מצטרף למסעות של שוברי קרח במטרה לחקור כיצד האוקיינוסים בקוטב משתנים, וכיצד זה משפיע על המערכת האקולוגית ועל החיות שחיות על קרח הים ובאוקיינוס שמתחתיו.

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**