



קפיאה בשמש

Giulia Castellani^{1*}, Gaëlle Veysiere², Frank Kauker^{3,4}, Michael Karcher^{3,4}, Julienne Stroeve^{5,6},
Jeremy P. Wilkinson², Hauke Flores¹, Marcel Nicolaus¹

¹המחלקה למדעי הביולוגיה – קבוצת האוקיינוגרפיה הביולוגית של הקוטב, מכון אלפרד ווגנר במרכז הלמהולץ למחקר קוטב וים, ברמהייבן, גרמניה
²מכון מחקר בריטיש אנטרקטיק, קיימברידג', בריטניה
³המחלקה למדעי האקלים – פיזיקה של קרח ים, מכון אלפרד ווגנר במרכז הלמהולץ למחקר קוטב וים, ברמהייבן, גרמניה
⁴מערכות אטמוספירה באוקיינוס GmbH, המבורג, גרמניה
⁵קבוצת מחקר קוטב, הקולג' האוניברסיטאי של לונדון, לונדון, בריטניה
⁶המחלקה לסביבה ולגיאוגרפיה, אוניברסיטת מניטובה, וויניפג, מניטובה, קנדה

סוקרים צעירים

ECOLE
PRIMAIRE
PAUL
BAUDRIN



גיל: 10

כשהאוויר קר מאוד, מים בפני השטח של האוקיינוס קופאים, ויוצרים קרח ים. כך, חלקים מהאוקיינוס הארקטי מכוסים בקרח כל השנה. לעיתים קרובות, שלג נופל על גבי קרח הים. חרף הקור, צמחים וחיית רבים יכולים לחיות באוקיינוס הארקטי, חלקם במים, וחלקם אפילו בקרח הים. בפרט, אצות יכולות לחיות בבועות קטנות בקרח הים. כמו צמחים אחרים, אצות זקוקות לאנרגיה כדי לגדול – אנרגיה אשר מגיעה ממזון ומאור שמש. אולם כיצד אור השמש יכול להגיע לאצות הקטנות האלה בתוך קרח הים? מהשמש, האור עובר דרך האטמוספירה, השלג, ולבסוף קרח הים עצמו. במאמר זה נתאר כיצד אצות קרח יכולות לחיות בסביבה המיוחדת הזו, ונסביר מה משפיע על כמות האור שמגיעה לאצות האלה ומאפשרת להן לגדול.

קרח ים: ביתן של האצות

קרח ים (Sea Ice)

מי אוקיינוס קפואים.

כיסוי מי מלח (Brine Pockets)

בועות קטנות של מי ים מלוחים בתוך קרח הים.

אם אתם חושבים על קוביות קרח, כמו אלה ששמים במשקאות קרים בקיץ, כמעט אי אפשר להאמין שמהו יכול לחיות בתוכן. אולם **קרח הים**, שהוא קרח שנוצר מקפיאה של מי ים, אכן יכול להיות ביתם של אורגניזמים זעירים. כיצד זה אפשרי, והיכן האורגניזמים האלה חיים? מי אוקיינוס מכילים גם מלח וגם אצות. כאשר המים קופאים, חלק מגרגירי המלח האלה, וחלק מהאצות, נותרים כלואים בקרח. גרגירי המלח ממיסים חלק מהקרח שסביבם, ויוצרים בועות קטנות שמלאות במים מלוחים [1]. הבועות האלה נקראות **כיסוי מי מלח**. כיסוי מי המלח יכולים להיות בגודל של עד חמישה מילימטרים, קוטרו של עיפרון, והם גדלים עוד במהלך עונות האביב והקיץ. מאחר שאצות הן קטנות יותר ממילימטר אחד, הן יכולות לחיות בנוחות בתוך כיסוי מי המלח (איור 1). כאשר קרח הים מתעבה, כיסוי מי המלח נדחפים אל עבר תחתית קרח הים. לכן, אצות חיות בעיקר בשכבה התחתונה של קרח הים (איור 1).

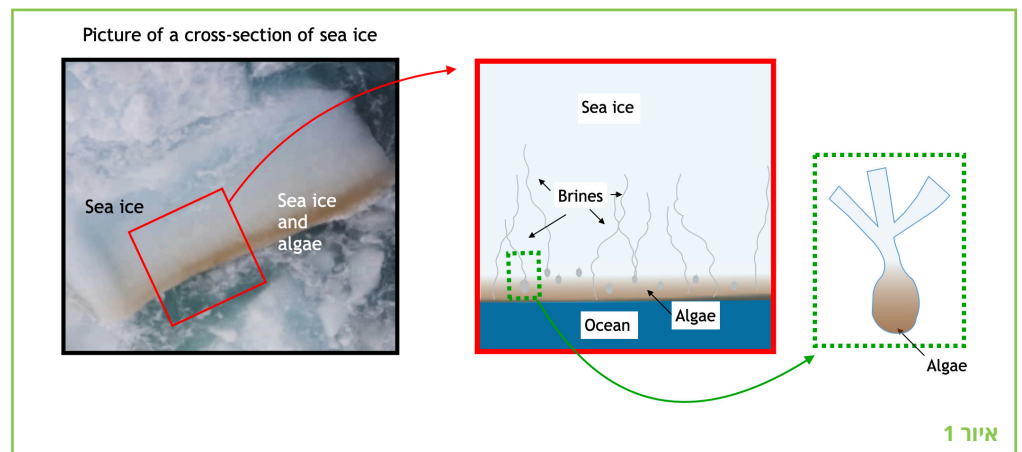
מה גודלו של בית האצות?

קוביית קרח במשקה שלכם היא קטנה יחסית; אתם יכולים לקחת אותה ביד בקלות. מה גודלו של קרח ים? קרח ים מכסה חלקים גדולים באוקיינוס הארקטי. הוא מתחיל להיווצר בסתיו, כאשר האוויר נעשה קר יותר ויותר, והוא מגיע להיקף המרבי שלו בחורף המאוחר (פברואר עד מרץ). קרח הים מתחיל להצטמצם שוב באביב המאוחר, כשהשמש מחממת את האטמוספירה ואת פני השטח של הקרח, וגורמת לקרח להימס. אנו יכולים לדמיין קרח ים כשמיכה גדולה שמכסה את האוקיינוס הארקטי. השמיכה הזו גדלה כשקר, ומתכווצת שוב כשחם יותר. קרח הים גם נעשה עבה יותר בחורף, ושוב דק יותר בקיץ. לעיתים, קרח הים מתקמט, והוא גם יכול להישבר לפיסות בגדלים משתנים – מפיסות קטנות בקוטר של כמה מטרים בלבד, ועד לפיסות גדולות של כמה קילומטרים. בחורף, הקרח הכי עבה, השמיכה היא הכי גדולה, וישנם הכי הרבה קמטים.

ההיקף של קרח הים בחורף יכול להגיע ל-14 מיליון קילומטרים רבועים, אזור בגודל של כ-2 מיליארד מגרשי כדורגל, והוא יכול בקלות להיות בעובי של 2 מטרים, כמו גובהו של שחקן כדורסל. כשהוא מתקמט, קרח הים יכול ליצור קפלים שנמצאים בגובה של 3 או 4 מטרים מעל למים, ויכולים להגיע לעומק של 10-15 מטרים אל תוך המים. יתרה מזו, בחורף, שלג מצטבר

איור 1

הפאנל השמאלי מראה תמונה של בלוק קרח ים, שמסובב אופקית. השכבה החומה של אצות נראית בתחתית. הפאנל האמצעי מראה את הבועות הקטנות, שמחוברות על ידי ורידים, אשר יוצרות את כיסוי מי המלח שהאצות חיות בתוכם. הפאנל הימני מראה כיס אחד שמלא באצות, אשר יוצרות צבע ירקק-חום.



איור 1

על גבי קרח הים. עוביו של השלג הוא בדרך כלל 20-30 סנטימטרים. אם אתם מדמיינים את קרח הים הארקטי כבית שמאכלס על ידי אצות, האצות יחיו במרתף, בחלק התחתון של קרח הים, שלעיתים קרובות מכוסה על ידי "גג" של שלג.

אצות צריכות לאכול... ולהיאכל

כדי שהאצות יחיו, הימצאותן של בית אינה מספיקה, כמובן; הן גם זקוקות למזון. אצות הן צמחים, ולכן זקוקות לאור שמש ולפחמן כדי לבצע **פוטוסינתזה** [2], וליצור את האנרגיה שדרושה לגדילתן. מי הים לרוב מכילים פחמן, ולכן בכל כיס מי מלח יש מעט פחמן שיכול לשמש את האצות. מה לגבי אור השמש? באוקיינוס הארקטי במהלך הקיץ, הימים נעשים כל כך ארוכים שאין לילה במשך חודשיים. מצד אחר בחורף, הלילות כל כך ארוכים שאין בכלל אור. לכן, האצות יכולות לגדול רק בקיץ, כאשר יש אור שמש, והן מתות בחורף, כשחשוך. אצות מתות מפורקות, וחומרי המזון שלהן ממוחזרים, באותו האופן שקורה לצמחים שגדלים על היבשה. אצות הן חשובות מאחר שהן מקור מזון לחיות. כמו על היבשה, האוקיינוס מאכלס על ידי חיות קטנות שאוכלות צמחים. החיות האלה דומות לשרימפס או לחרקים, אולם הן קטנות מאוד. החיות שאוכלות צמחים נאכלות לאחר מכן על ידי חיות גדולות יותר, כמו דגים. דגים נאכלים על ידי ציפורים ואריות ים, שבתורם נאכלים על ידי הטורפים הגדולים ביותר באזור הארקטי: דובי קוטב. אם כן, אצות קרח ים חשובות באזורי הקוטב מאחר שהן החוליה הראשונה בשרשרת המזון הימית הארקטית.

דרך ארוכה מהשמש אל כדור הארץ

האור שאנו מקבלים בכל יום על כדור הארץ מתחיל מהשמש, הכוכב המוכר שלנו. האור הזה, שנשלח באופן קבוע על ידי השמש בצורת קרניים, צריך לעשות מסע ארוך דרך מערכת השמש כדי להגיע לכדור הארץ. ברגע שקרני השמש מגיעות לכדור הארץ, הן צריכות לעבור את האטמוספירה לפני שהן יכולות לספק לנו אנרגיה ולחמם אותנו. האטמוספירה היא שכבה עצומה של אוויר סביב לפני השטח של כדור הארץ – אוויר שמאפשר לנו לנשום. היא מורכבת מהרבה **מולקולות** זעירות של גזים שונים. כאשר קרני השמש חוצות את האטמוספירה, חלק מהן מוחזרות חזרה לחלל על ידי מולקולות גז, וגם על ידי טיפות מים קטנות שיוצרות עננים (איור 2). קרניים אחרות נספגות על ידי החלקיקים. אם כן, רק מעט יותר ממחצית קרני השמש (55%) יגיעו אל פני השטח של כדור הארץ [3].

המסע הקשה של אור השמש דרך קרח הים

למדנו שאצות חיות בתחתית של קרח הים, שיכולה להיות מכוסה על ידי שלג. למדנו גם שכמו צמחים, אצות זקוקות לאור שמש כדי לגדול. אולם כיצד אור השמש מסוגל לעבור דרך הקרח העבה והשלג כדי בסופו של דבר להגיע לאצות הקטנות, ולספק להן אנרגיה? שכבת השלג מורכבת ממספר גדול של פתיתי שלג שארוזים יחד. מרבית אור השמש שפוגע בשלג מוחזר חזרה לאטמוספירה, מאחר שהשלג מתנהג כמעט כמו מראה. זוהי הסיבה לכך שקשה להסתכל ישירות על שלג בזהירות. ממש כמו באטמוספירה, חלק מאור השמש נספג על ידי פתיתי השלג, מחמם את השלג ותורם להמסה שלו. אך הרבה יותר קשה לאור

פוטוסינתזה

(Photosynthesis)

תהליך שבו צמחים משתמשים באור שמש כדי לייצר מזון ואנרגיה.

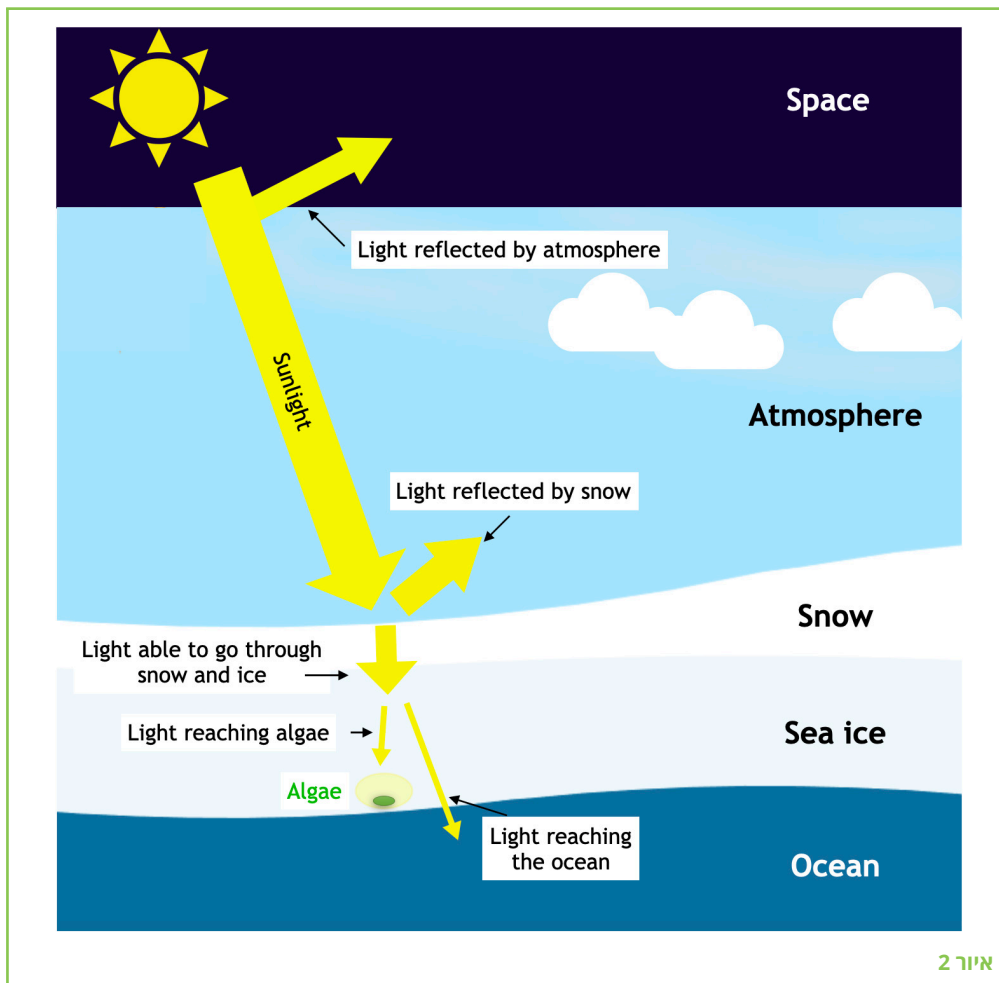
מולקולות

(Molecules)

חלקיקים קטנים מאוד שמהווים את החומר שממנו מורכב כל חומר מוצק, נוזל וגז.

איור 2

לאור יש דרך ארוכה וקשה מהשמש אל אצות קרח הים. החיצים הצהובים מייצגים את אור השמש. רוחב הפסים מייצג את כמות האור: ככל שהחץ צר יותר, כך פחות אור שמש זמין. חלק מקרני השמש משוקפות חזרה אל תוך האטמוספירה על ידי שכבת השלג, וחלק מהקרניים נספגות על ידי השלג והקרח. כמות האור שמגיעה לאצות קטנה מאוד בהשוואה לכמות האור שפגעה בשלג במקור.



השמש לעבור דרך שלג מאשר דרך האטמוספירה, מאחר שפיתית השלג ארוזים בצורה צפופה יותר ממולקולות הגז הזעירות באטמוספירה. אולם חלק מהקרניים מוצאות את דרכן. הקרניים האלה שכן עוברות דרך שכבת השלג, יפגשו את קרח הים שמתחתיה. לקרני השמש קל פי עשרה לעבור דרך קרח הים בהשוואה לשלג, מאחר שקרח הים לרוב נקי יותר מהשלג, עם פחות חלקיקים ובלי פיתית שלג. אך קרח הים בדרך כלל עבה יותר מהשלג, מה ששוב מקשה על אור השמש להגיע למקום המחיה של האצות. בסופו של דבר, חלק מקרני השמש מגיעות לבועות שבהן חיות האצות ומאפשרות לאצות ליהנות מקצת אור שמש. אולם זה לא הסוף! ברגע שקרני השמש מילאו את האצות באנרגיה, חלק מהקרניים שנותרו ממשיכות את מסען עמוק יותר אל מי האוקיינוס, ונותנות את האנרגיה שלהן לצמחים ולחיות אחרים, עד שנעשה שימוש בכל קרני השמש (איור 2).

מה לגבי עתיד האצות?

פעילויות רבות שאנו עושים כבני אדם הובילו לזיהום, שגרם להתחממות של האטמוספירה, מה שאנו מכנים **שינויי אקלים**, או **התחממות האקלים**. התחממות האקלים יכולה להימדד כבר כיום, והיא תמשיך להתקיים זמן רב בעתיד. חשוב שנבין מה תהיה המשמעות של ההתחממות הזו באזורים שונים בכדור הארץ לרבות באזור הארקטי. מתברר שהאזור הארקטי מתחמם מהר

שינויי אקלים / התחממות אקלים (Climate Change/ Climate Warming)

עלייה עולמית בטמפרטורה ושינוי באקלים כתגובה לפעילויות אנושיות.

יותר משאר כדור הארץ, מה שמוביל לכיסוי מופחת של שלג ולקרח ים דק יותר. כתוצאה מכך, קל יותר לאור השמש למצוא את דרכו דרך הקרח כדי להגיע לאצות. עבור האצות, משמעות הדבר היא שבעתיד ככל הנראה יהיה יותר אור שמש זמין, ולכן יותר אנרגיה להשתמש בה כדי לגדול. אולם מדענים מכל רחבי העולם חישבו שבזמן כלשהו בעתיד קרח הים ככל הנראה ייעלם לחלוטין בכל קיץ. אם כך יקרה, כבר לא יהיה בית שבו אצות קרח הים יוכלו לחיות. משמעות הדבר היא ששינויי אקלים מהווים איום גדול על אצות קרח הים.

מחקר ארקטי מנסה להבין את ההשלכות של שינויי אקלים על האזור הארקטי, על האטמוספירה, על קרח הים, על האוקיינוס, על הצמחים והחיות ועל בני האדם. המיקוד שלנו הוא באצות קרח הים ובמקום שבו הן חיות, שהוא כיסוי קרח הים של האוקיינוס הארקטי. אנו מספרים להרבה אנשים לרבות פוליטיקאים על עבודתנו ועל מה שגילינו לגבי השינויים באזור הארקטי, כדי שיוכלו לקבל מושג טוב יותר על מה שקורה כעת ועל מה שעשוי לקרות בעתיד. הידע הזה יסייע לנו לקבל את ההחלטות המתאימות עבור עתיד כדור הארץ שלנו.

מקורות

1. Glessmer, M. 2019. How does ice form in the sea? *Front. Young Minds* 7:79. doi: 10.3389/frym.2019.00079
2. Ghosh, T., and Mishra, S. 2017. How does photosynthesis take place in our oceans? *Front. Young Minds* 5:34. doi: 10.3389/frym.2017.00034
3. Fondriest Environmental, Inc. 2014. *Solar Radiation and Photosynthetically Active Radiation*. Fundamentals of Environmental Measurements. Available online at: <https://www.fondriest.com/environmental-measurements/parameters/weather/solar-radiation/>

פורסם אונליין: 23 ביוני 2022

נערך על ידי: Roxana Suehring

מנחה מדעי: Ascel Samba-Louaka

ציטוט: Castellani G, Veyssiere G, Kauker F, Karcher M, Stroeve J, Wilkinson JP, Flores H (2022) קפיאה בשמש. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.509101-he

תורגם והותאם: Castellani G, Veyssiere G, Kauker F, Karcher M, Stroeve J, Wilkinson JP, Flores H and Nicolaus M (2020) Freezing in the Sun. *Front. Young Minds* 8:509101. doi: 10.3389/frym.2020.509101

הצהרת ניגוד אינטרסים: Ocean Atmosphere Systems GmbH החברה על ידי הוועסקו על ידי MK-ו FK

שאר המחברים מצהירים כי המחקר נערך בהיעדר כל קשר מסחרי או כלכלי שיכול להתפרש כניגוד אינטרסים פוטנציאלי.

Castellani, Veysiere, Kauker, Karcher, Stroeve, 2022 © 2020 © **COPYRIGHT** Wilkinson, Flores and Nicolaus. 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.

סוקרים צעירים

10: גיל, ECOLE PRIMAIRE PAUL BAUDRIN

בבית ספר Aslonnes, ישנן חמש כיתות לילדים בני 3 עד 10. בכיתה CM2 שלנו (כיתה ה'), אנו 12 בנות ו-10 בנים. יש לנו כל מה שאנו צריכים כדי לעבוד ולעשות ספורט. התלמידים אינטליגנטים וחכמים מאוד, והמורים נחמדים מאוד. התעניינו ביותר בנושא של קרח ים, ואולי בעתיד חלק מהתלמידים יהיו מדענים.



הכותבים

GIULIA CASTELLANI

דוקטור Giulia Castellani היא מדענית איטלקית שעובדת בגרמניה במכון אלפרד ווגנר. מאז שהייתה נערה, היא הייתה מרותקת מאזורי הקוטב ומקרח. Giulia לקחה חלק בכמה מסעות מחקר לאזורים הארקטי והאנטרקטי. היא חוקרת את תכונות סביבת המחיה של קרח ים, ואת השפעותיהן על אצות קרח הים. חלק מעבודתה הוא גם לעבוד במחשב עם סביבות וירטואליות שיכולות לדמות את חיי האצות בקרח הים. [* giulia.castellani@awi.de](mailto:giulia.castellani@awi.de)



GAELE VEYSSIERE

דוקטור Gaëlle Veysiere היא מדענית קרח ים שעובדת במכון המחקר בריטיש אנטרקטיק בבריטניה. Gaëlle תמיד הייתה מרותקת מפני שטח שלגיים וקרחיים על פני כדור הארץ ומעבר לו. אחרי שחקרה שלג בהרי צרפת באמצעות נתוני לוויין במהלך הדוקטורט שלה, היא החליטה לחקור קרח ים ושלג באוקיינוס הארקטי, ואת מסע האור דרכם. כדי לעשות זאת, היא ביצעה עבודת שטח, ועבדה עם נתונים שנאספו בשטח ועם נתוני לוויין, וגם עם מודלים.



FRANK KAUKER

אני דוקטור לפיזיקה תיאורטית בהכשרתי. בתעודת הגמר שלי "הסתכלתי" על החלקיקים הקטנים ביותר של החומר שמוכרים לנו, הקווארקים. אחרי תעודת הגמר, רציתי לעבוד באזורים עם יותר רלוונטיות חברתית, ועשיתי את הדוקטורט שלי על שינויי אקלים בים הצפוני. בשנים האחרונות, התעסקתי בעיקר בשילוב בין תצפיות בכדור הארץ (במיקום המקורי או באמצעות לוויינים) עם מודלים ממוחשבים, כדי לספק תחזיות טובות יותר של תנאי קרח באזורי קוטב. זוהי גם התרומה שלי לפרויקט EcoLight: אני מסייע לנצל את התצפיות של EcoLight במודל ממוחשב של קרח הים באוקיינוס.



MICHAEL KARCHER

אני אוקיינוגרף פיזיקלי. תחומי העניין העיקריים שלי קשורים בהבנת האופן שבו האוקיינוסים נעים, כיצד הם מתפתחים עם הזמן ומתקשרים עם קרח הים והאטמוספירה, וגם כיצד זה משפיע על צמחים וחיית ימיים. אזור המחקר העיקרי שלי הוא האזור הארקטי, וכדי לחקור את האוקיינוס שלו, את הקרח שלו ואת מערכת האטמוספירה שלו, אני משתמש במודלים ממוחשבים ובמדידות. בפרויקט EcoLight אני עובד עם ביולוגים ועם חוקרים אחרים של הקוטב כדי להבין את ההשפעה שיש להצטמצמות קרח ים ארקטי על אצות קרח ים.





JULIENNE STROEVE

Julienne C. Stroeve עשתה דוקטורט בגיאוגרפיה באוניברסיטת קולורדו בולדר בשנת 1996, במסגרתו עבדה על הבנת שונות האקלים של גרינלנד. לאחר מכן, היא נהפכה לחוקרת ראשית במכון הלאומי לשלג ונתוני קרח (NSIDC) באוניברסיטת קולורדו, פרופסורית בקולג' האוניברסיטאי של לונדון, ולאחרונה גם חברה בתוכנית Canada 150 Chair באוניברסיטת מניטובה. תחומי המחקר שלה באוקיינוס הארקטי הם מגוונים, וכוללים חישה מרחוק, תחזיות של קרח ים, אינטראקציות אטמוספירה-קרח ים, שינויי אקלים והשפעות בתוך האוקיינוס הארקטי ומעבר לו.



JEREMY P. WILKINSON

דוקטור Jeremy Wilkinson חוקר את האוקיינוס הקפוא שבאזורים הארקטי והאנטרקטי. הוא עובד במכון המחקר בריטיש אנטרקטיק, קיימברידג', בריטניה. במהלך 25 השנים האחרונות הוא ארגן יותר מ-20 מסעות מחקר לקוטב והשתתף בהם, ובמהלך הזמן הזה הוא חזה באובדן של כמעט מחצית מקרח הים הארקטי בקיץ. ל-Jeremy יש ניסיון רב בעבודה עם מדענים ממדינות רבות, ובהרבה תחומים שונים במדע. הוא נהנה מקשרי עבודה מצוינים עם קהילה מדעית בינלאומית, ועם בעלי עניין נוספים באזורי הקוטב.



HAUKE FLORES

Hauke Flores למד ביולוגיה בהמבורג. לאחר מכן, הוא עבד כתצפיתן של חוות דיג (אדם שמתעד את הדגים שנתפסו עם כלי דיג מסחריים). במהלך תזת הדוקטורט שלו באוניברסיטת חרונינגן (2003-2009), Hauke חקר חיות שחיות בצד התחתון של קרח הים באנטרקטיקה. כאן, הוא פנה לקבוצת המדענים הצעירים Icefux ב-AWI. מאז 2017, ל-Hauke יש משרה קבועה כמדען ב-AWI. הוא השתתף ב-12 מסעות מחקר לאוקיינוסים האנטרקטי והארקטי.



MARCEL NICOLAUS

Marcel Nicolaus הוא בעל מומחיות גדולה בתכונות הפיזיקליות של שלג ים באוקיינוסים הארקטי והאנטרקטי מתצפיות שדה, סימולציות נומריות, מדידות של כלים מוטסים, פלטפורמות אוטונומיות ונתונים שנאספים מרחוק. הוא הצטרף ליותר מ-20 קמפיינים בשטח של קרח ים ארקטי ואנטרקטי בעונות שונות. כיום, הוא מועסק כמדען ראשי ב-AWI, והוא היה ועודנו חבר סגל בפרויקטים לאומיים ובינלאומיים שחוקרים את הקשר שבין קרח ים לבין האטמוספירה והאוקיינוס.

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



הוצאת פרונטיר מדע לצעירים ישראל
Hebrew version provided by



THE SAGOL NETWORK