

## כיצד אנו בוחרים טכנולוגיות לחקר אורגניזמים ימיים באוקיינוס?

Emmanuel Boss<sup>1\*</sup>, Sasha J. Kramer<sup>2</sup>

<sup>1</sup> בית הספר למדעי הים, אוניברסיטת מיין אורנו, מיין, ארצות הברית

<sup>2</sup> התוכנית הבין-מחלקתית לתארים מתקדמים במדעי הים, אוניברסיטת קליפורניה, סנטה ברברה, סנטה ברברה, קליפורניה, ארצות הברית

### סוקרים צעירים

STEVENSON  
MIDDLE  
SCHOOL  
גיל: 12-13



האורגניזמים שחיים באוקיינוס נעים בגודלם ובסוגיהם מפלנקטון מיקרוסקופי, שמשמש באור השמש כדי להפיק אנרגיה, ועד ללווייתנים גדולים שאוכלים מיקרובים אחרים וחיות ל"תדלוק". האורגניזמים האלה מתקיימים יחד באוקיינוס הגדול, שמכסה כמעט שלושה רבעים מפני השטח של כדור הארץ. מדענים שחוקרים את האוקיינוס מתמודדים עם אתגר כשהם מנסים לספור את כל סוגי האורגניזמים השונים האלה ולתאר אותם: כיצד הם יכולים לבחור את הכלים והטכנולוגיות הנכונים כדי למדוד במדויק את האורגניזמים האלה בסביבות המחיה שלהם? כאשר מדענים שוקלים באלה כלים וטכנולוגיות להשתמש במטרה לענות על השאלות שלהם לגבי האוקיינוס, הם צריכים לאזן בין עלות המדידות לבין המידע שהם יקבלו מהמדידה. במאמר הזה, נתאר חלק מהשיטות השונות שמדענים משתמשים בהן כדי לחקור יצורים חיים באוקיינוס, החל מרשתות או בקבוקים שמשמשים לאיסוף דגימות מים שמובאות חזרה לספינה או למעבדה, דרך רובוטים ששוחים למעלה ולמטה כדי לאסוף מידע על האוקיינוס העמוק, ועד ללווייתנים מרוחקים ששולחים אותות חזרה לכדור הארץ בנוגע לפני השטח של האוקיינוס. ישנן אפילו דרכים שבהן ילדים יכולים להיות מעורבים ולסייע בתצפיות על האוקיינוס!

## קשה לחקור אורגניזמים באוקיינוס!

האוקיינוס מכסה יותר מ-72% מפני השטח של כדור הארץ, ועומקו הממוצע הוא 3,700 מטרים. כיצד אי פעם נוכל לנסות לחקור נפח מים גדול כל כך, שמכיל כל כך הרבה יצורים חיים שונים?

אוקיינוגרפים (מדענים שחוקרים את האוקיינוס) משתמשים בכמה כלים שונים כדי לחקור את האוקיינוס, החל מלוויינים שיכולים לתצפת על פני השטח של האוקיינוס באופן יומיומי, דרך רכבי מחקר (ישנם כיום כ-400 רכבים שמופעלים על ידי 50 מדינות שונות [1]), ועד לרובוטים ששוקעים ועולים באופן תקופתי ומצוידים בחיישנים (כיום ישנם בערך 5000 רובוטים בשימוש). מרבית הכלים האלה מודדים תכונות פיזיות של האוקיינוס כמו הטמפרטורה והמליחות של המים, כאשר בערך אחד מעשרה כלים גם אוסף מידע על החיים באוקיינוס.

האוקיינוס מכיל אורגניזמים מכל הגדלים, החל מאורגניזמים זעירים בגודל של 0.2-20 מיקרון (מיליונית המטר) שהם קטנים מדי כדי שנראה אותם בעין בלתי מזוינת, כמו למשל חיידקים, מרבית הפיטופלנקטון וזואופלנקטון קטנים, ועד לאורגניזמים גדולים בגודל של 0.2-20 מטרים, כמו למשל מרבית הדגים והיונקים הימיים. מִסְתָּם של אורגניזמים זעירים שווה בקירוב למסה של האורגניזמים שאנו רואים [2] – ישנם הרבה אורגניזמים זעירים באוקיינוס! לדוגמה, בכפית של מים, ישנם כ-5 מיליון חיידקים וכ-250,000 פיטופלנקטון (אורגניזמים שמשתמשים באור השמש כדי לגדול), וככל הנראה זואופלנקטון גדול אחד (זואופלנקטון אוכלים אורגניזמים אחרים; חלק נראים כמו הדמות "פלנקטון" מסדרת הטלוויזיה "בובספוג"). הבדלי הגדלים בין זואופלנקטון לבין חיידקים הם כמו הבדל הגדלים שבין מגדל אייפל לבין בן אדם! בעוד שחיידקים זעירים יכולים להתרבות בכל כמה שעות, זואופלנקטון גדולים צריכים למצוא בן זוג כדי להתרבות, והם חיים במשך שנה אחת בקירוב.

## שיטות שונות נדרשות כדי לחקור אורגניזמים שונים באוקיינוס

מאחר שאורגניזמים שחיים באוקיינוס מגיעים בכל כך הרבה גדלים, החל מזעירים וכלה בעצומים, אוקיינוגרפים לא יכולים להשתמש באותן שיטות כדי לחקור את כל האורגניזמים באוקיינוס. לדוגמה, פיטופלנקטון זעירים, שנמצאים בכל מקום באוקיינוס שבו יש אור שמש, הם מקור אנרגיה לשרשרת המזון הימית. פיטופלנקטון משמשים כמזון עבור אורגניזמים אחרים, ולכן חשוב לחקור אותם. אולם אוקיינוגרפים לא יכולים לחקור פיטופלנקטון באותו האופן שהם חוקרים טורף עליון כמו, למשל, לווייתן ארקה. בעוד שפיטופלנקטון תמיד נמצאים בכל מקום באוקיינוס המואר, עשוי להיות לווייתן אחד בודד במפרץ שלם בזמן נתון. פיטופלנקטון קטנים מדי כדי לספור אותם באמצעות עין בלתי מזוינת, אולם לווייתנים גדולים קלים לזיהוי ללא כלים נוספים.

כדי לחקור את האורגניזמים הקטנים ביותר כמו למשל חיידקים, פיטופלנקטון וזואופלנקטון, אוקיינוגרפים משתמשי בספינות במטרה לאסוף דגימות מים ולחקור אותן במעבדה. הם עשויים להסתכל על האורגניזמים האלה באמצעות מיקרוסקופ או להשתמש באלומת לייזר מיוחדת כדי להבין את מספר התאים, גודל התאים וסוג התאים שנוכחים בדגימה. באותו

### לוויין

#### (Satellite)

אובייקט בחלל שמסתובב סביב לכדור הארץ, ואפשר לחבר לו חיישנים כדי לצפות בכדור הארץ.

### רובוט

#### (Robot)

אובייקט שיש לו שליטה מסוימת על התנועה של עצמו ועל אלה חיישנים יכולים להיות מחוברים.

### חיישן

#### (Sensor)

אובייקט עם רכיבים אלקטרוניים שרושם אותות שמיוצרים על ידי הסביבה.

### פיטופלנקטון

#### (Phytoplankton)

אורגניזמים מיקרוסקופיים חד-תאיים שמשתמשים באור השמש, בגזים מומסים ובחומרי מזון עבור הפקת אנרגיה לבניית חומר תאי.

### זואופלנקטון

#### (Zooplankton)

חיות שאוכלות מיקרובים ליצירת אנרגיה ולבניית חומר תאי.

**איור 1**

תמונה צבעונית של האוקיינוס שצולמה מלוויין, שמציגה מערבולות וזרמי אדי עם ריכוזים שונים מאוד של כלורופיל a, פיגמנט משותף לכל הפיטופלנקטון. האזורים הירוקים ביותר הם אזורים עם יותר כלורופיל a, ולכן יותר פיטופלנקטון. הטקסט שמתחת לתמונה מתאר את ההבדלים הגדולים בריכוזים של סוגים שונים של אורגניזמים פלנקטוניים, הנכחים בכפית אחת של מי אוקיינוס: 1 זואופלנקטון, כ-250,000 פיטופלנקטון, כ-5 מיליון בקטריות וכ-250 מיליון וירוסים. תמונת הלוויין לקוחה מ: <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/gallery/>

In one teaspoon of ocean water...

- ~1 large zooplankton
- ~250,000 phytoplankton
- ~5 million bacteria
- ~250 million viruses

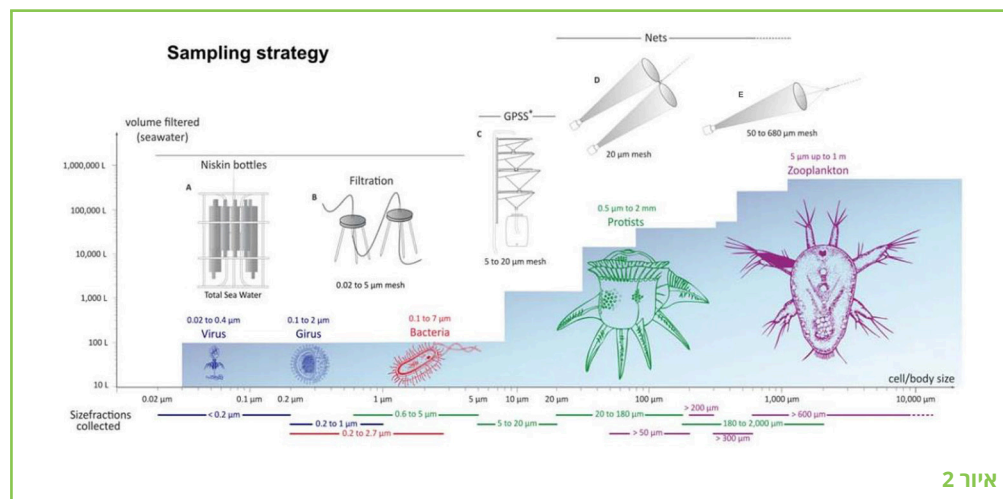
**איור 1**

האופן שבני אדם עשויים להסתכל על הדנ"א שלהם כדי למצוא מהיכן הגיעו האבות הקדומים שלהם, וכיצד הם היו עשויים להיראות, מדענים מסתכלים על החומר הגנטי של אורגניזמים שנאספו מדגימות במי האוקיינוס כדי למצוא איזה סוג אורגניזמים נמצאים במים. כדי לעשות זאת, מדענים צריכים לפענח את החומר הגנטי ולראות אם הוא תואם לאורגניזמים ידועים אחרים שהקודים הגנטיים שלהם נחקרו בעבר ונוספו לספרייה של קודים גנטיים.

דנ"א גם יכול לספק מידע על האופי של אורגניזמים שנאספו מהמערכת האקולוגית - כמו האם אורגניזמים יכולים לשרוד ללא חמצן או לא. דגימות מים גם עשויות להיות מנותחות עבור חומרים מיוחדים שנמצאים באורגניזמים מסוימים. לדוגמה, אוקיינוגרפים לעיתים קרובות מחפשים מולקולה שנקראת כלורופיל a בדגימות המים שלהם. כלורופיל a הוא פיגמנט שמשמש פיטופלנקטון באיסוף אור שמש עבור יצירת אנרגיה, ממש כמו שעצים עושים על היבשה. כמות הכלורופיל a במים היא מדד אחד לכמות הפיטופלנקטון שנמצאים במים.

**איור 2**

מדענים צריכים להשתמש בשיטות שונות כדי לאסוף דגימות של אורגניזמים באוקיינוס בגדלים שונים. כשאנו עורכים **דגימה הוליסטית**, אורגניזמים זעירים, כמו וירוסים, נאספים באמצעות סוגים שונים של מערכות סינון שמסירות אותם ממי האוקיינוס. זואופלנקטון, שהם גדולים יותר מפי מיליון מוורוסים, נאספים באמצעות רשתות שמורדות לאוקיינוס. הגרף הזה מראה את כמות המים (בציר שמצד שמאל) שנדרש לסנן כדי לאסוף אורגניזמים מגדלים ומסוגים שונים (בציר שמלמטה). מעל לאורגניזמים מוצגות תמונות של מערכות סינון ומקורות מים מסוימים (בקבוקים או רשתות) שמסומנות באותיות **A-E**. האיור לקוח מ- Karsenti et al. [3].



**איור 2**

פיטופלנקטון בפני השטח של מי האוקיינוס משפיעים על צבע המים (איור 1). לוויינים שמסתכלים למטה על כדור הארץ מצלמים את פני השטח של האוקיינוס. מדענים משתמשים בתמונות האלה כדי למפות את התפלגות הפיטופלנקטון. אף על פי שהם כל כך קטנים שאי אפשר לראות אותם בעיניים שלנו, מספר גדול של פיטופלנקטון (שנקרא פריחה) שממלאים שטח גדול אפשר לראות בבירור מהחלל.

כדי לחקור אורגניזמים גדולים יותר, כמו למשל זואופלנקטון שאוכלים פיטופלנקטון, מדענים מורידים מצלמות מרכבי מחקר, מרובטים, או מצוללות. המצלמות האלה מצלמות את האורגניזמים שנמצאים במים. מי אוקיינוס מעבירים קול בצורה טובה. אוקיינוגרפים משתמשים בחיישנים אקוסטיים, ששולחים פולס של קול, ומקשיבים לגל המוחזר, כדי למפות את ההתפלגויות של זואופלנקטון ושל דגים. השיטה הזו פועלת מאחר שהאורגניזמים האלה מפזרים את הקול חזרה לחיישן באופן שונה, כתלות בגודל ובצורה שלהם. הקשבה לקולות של חיות היא דרך אחרת לחקור את ההתפלגות של אורגניזמים שמפיקים קולות, כמו למשל לווייתנים. ידוע שלווייתנים "מדברים" זה עם זה על פני מרחקים של אלפי קילומטרים!

לבסוף, רשתות משמשות לאיסוף אורגניזמים מעומקים שונים (איור 2). השיטה הזו דומה לאופן שבו ספינות דגיג תופסות דגים באוקיינוס. הרשתות בנויות מסבך חוטים שתפורים יחד עם הרבה חורים ביניהם. כתלות בגודל החורים, אורגניזמים ימיים שונים נתפסים ברשתות, בגדלים משתנים החל מפיטופלנקטון ועד לדגים גדולים.

**אפשר להשתמש ברובטים כדי לאסוף נתונים מהאוקיינוס**

באופן מסורתי, אוקיינוגרפים שחוקרים אורגניזמים מהאוקיינוס משתמשים בספינות שמצוידות ברשתות ובאוספי מים (בקבוקים גדולים שניתן לסגור בעומק מסוים, כך שמים מעומק האוקיינוס יוכלו לעלות לפני השטח ללא הפרעה). נוסף על כך אפשר להוריד חיישנים אוטומטיים מספינות או מרובטים. כמו סוגי ספינות שונים, רובטים ימיים משתמשים באסטרטגיות שונות כדי לנוע. חלק מהרובטים הימיים נעים באמצעות מנועים, לחלק יש מפרשים, וחלק משנים את העומק שלהם במים באמצעות שינוי הציפה שלהם (האם הם שוקעים או צפים). כיום, ישנם אלפי רובטים ימיים כאלה שמסתובבים ברחבי האוקיינוס

### איור 3

#### דוגמאות

#### לפלטפורמות דגימה.

פלטפורמות אוטונומיות שכוללות דאונים (a), דאוני גלים (b), אורגניזמים ימיים עם חיישנים שמחוברים אליהם, כמו כלבי ים (c), מצופי פני שטח (d), כלי שיט אוטונומיים (e), ומצופים שמפיקים פרופילים (f). כל אלה מכילים חיישנים שחוקרים את האקווינוס, ואין להם מנוע (החיישנים ומכשירי התקשורת מופעלים על ידי סוללות).

לוויינים מנטרים את האנרגיה שמוחזרת או נפלטת מכדור הארץ (g). ספינות עם רשתות ומערכות דגימה אחרות, אוספות דגימות לניתוח במעבדה (h), בעוד שכלי מעגן קבועים עם חיישנים אוספים נתונים במקום שבו הם נמצאים (i). קרדיט

לתמונה: (a) ALPS II report <https://alps-ocean.us/documents/>

(b) A. Snyder, in ALPS II D. Costa, in (c) report.

(d) ALPS II report.

(e) ALPS II report.

Saildrone Inc., in ALPS II E. Boss, (f) report

(g) University of Maine.

NASA PACE project

photo gallery

<https://pace.oceansciences.org/gallery.htm>

(h) (i) gallery.htm

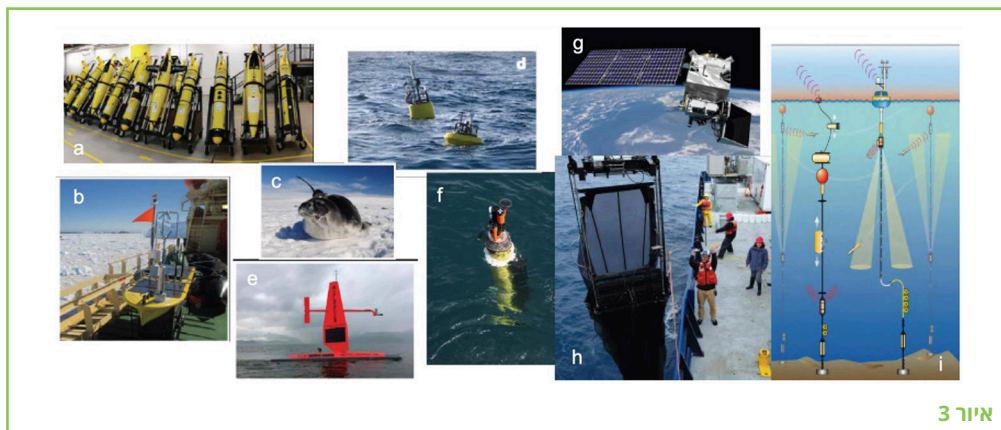
NASA PACE project

photo gallery

<https://pace.oceansciences.org/gallery.htm>

(i) gallery.htm

<https://oceanobservatories.org/>



איור 3

(תמונות של חלק מהם אפשר לראות באיור 3), והרבה מהם שולחים את הנתונים שלהם חזרה לחופים באמצעות לוויינים. באופן הזה, אוקיינוגרפים יכולים להסתכל על האוקיינוס בזמן שהם נשארם על החוף.

כדי להבין מדוע המספרים של חלק מהאורגניזמים משתנים באזורים שונים באוקיינוס, אוקיינוגרפים אוספים מגוון של נתונים מהסביבה. הנתונים האלה כוללים את טמפרטורת המים ואת כמות האור בעומק שבו הדגימות נאספו; נוכחות וכמות הטורפים, כמו גם נוכחות של כימיקלים שעשויים להשפיע על אורגניזמים. חלק מהכימיקלים האלה, כמו חומרי מזון מומסים, מועילים עבור פיטופלנקטון, ופועלים כמו שמדשנים פועלים עבור צמחים ביבשה. כימיקלים אחרים, כמו הכימיקלים שגורמים למים להיות חומציים, עשויים להיות לא טובים לאורגניזמים. במים חומציים, חלק מהאורגניזמים יתקשו לבנות קליפה, מאותה הסיבה ששיניים מתמוססות בכוס של קוקה קולה.

במטרה לחקור אינטראקציות בין אורגניזמים שנמצאים באזורים מסוימים באוקיינוס, אוקיינוגרפים צריכים להשתמש בגישה של דגימה הוליסטית. גישה הוליסטית משמעותה שמביאים בחשבון כל חלק של שרשרת המזון ושל הסביבה גם יחד. כדי להסתכל על אזור באוקיינוס באופן הוליסטי, צריך למדוד את כל החלקים של שרשרת המזון באותו הזמן. לדוגמה, אם אוקיינוגרפים קובעים שלפיטופלנקטון באזורים מסוימים יש מספיק שמש וחומרי מזון כדי לגדול, יהיה קשה להסביר מדוע מספר הפיטופלנקטון לא גדל, אלא אם מבצעים הרבה מדידות של כמות אוכלי העשב שאוכלים את הפיטופלנקטון בזמן שהם גדלים.

### אתגרים בחקר אורגניזמים ימיים

מאחר שהאוקיינוס גדול כל כך, ומאחר שהוא משתנה עם הזמן, חקירת אורגניזמים ימיים יכולה להעלות הרבה אתגרים עבור אוקיינוגרפים. קושי אחד שמדענים נתקלים בו כשהם מנסים לחקור את האוקיינוס נקרא צמֶדָה ימית (biofouling). צימדה ימית מתרחשת כאשר אורגניזמים יוצרים מושבה (מתחילים לגדול) על חיישנים ופלטפורמות דגימה, מה שגורם למדידות גרועות. אורגניזמים באוקיינוס לעיתים קרובות מחפשים פני שטח לגדול עליהם, וחיישנים אוקיינוגרפיים מספקים מקום מושלם לגדילה של אצות וסרטנים.

קושי אחר הוא העובדה שאורגניזמים, כמו למשל דגים, נמשכים למבנים או לאורות באוקיינוס, מה שעשוי להשפיע על המדידות מאותם מכשירים. דייגים יודעים שדגים נמשכים למקומות האלה, והם עשויים לבוא לדוג ליד מעגנים באוקיינוס. ההשפעה הזו מדגימה את האתגר באוקיינוגרפיה: כשאנו מודדים את האוקיינוס, אנו לעיתים משנים אותו.

מאחר שכמות הכסף הזמין לעריכת מחקרים אוקיינוגרפים היא מוגבלת, מדענים צריכים לחשוב בזהירות על השאלות שהם שואלים, וכיצד הם יכולים לקבל את המידע שהכי מתאים לענות על השאלות האלה. מחקר מדעי טוב מביא בחשבון את המאפיינים של האורגניזמים הרלוונטיים.

אוקיינוגרפים עשויים לשאול שאלות כמו:

- כמה מים אנו צריכים לנתח כדי לדעת את ריכוזו של אורגניזם X? אם אנו סופרים רק דלי אחד של מים, האם יהיו בו מספיק אורגניזמים כדי לנחש כמה אורגניזמים יש בכל המפרץ הזה?
- במשך כמה זמן המדידות שערכנו ישארו נכונות? אם לקחנו את הדגימה הזו לפני שבוע, האם אותם אורגניזמים עדיין נמצאים במים היום, או האם המספרים שלהם השתנו?
- כמה מהאוקיינוס המדידה הזו מייצגת? האם אנו יכולים להגיד משהו על כל האוקיינוס באמצעות המדידות שלנו, או רק לגבי המפרץ שחקרנו?

השבה על שאלות כמו אלה היא המפתח להחליט כמה מדידות לבצע, באיזו תדירות ובאיזה מרחק. האסטרטגיה הזו מוודאת שכספי המחקר מושקעים בצורה טובה. החדשות הטובות הן שהתפתחויות בטכנולוגיה במשך השנים סייעו להוזיל את העלויות של חלק משיטות המדידה האלה, כמו גם עלייה בכמות המידע שאוקיינוגרפים יכולים לאסוף ממדידה אחת. אם מדענים לא יכולים לענות על שאלות המחקר שלהם ללא כלי מסוים, והמדידה הזו ניתנת לביצוע רק מתוך ספינה, אז הם צריכים לבקש כסף וזמן כדי לצאת לים על גבי רכב מחקר. אולם אולי ניתן לענות על השאלה שלהם באמצעות נתוני לוויין שנאספים כל יום ברחבי הגלובוס, וספינה אינה נדרשת למעשה. הפתרון הזה עשוי לחסוך כסף.

## כיצד אנו יכולים לשפר מדידות של אורגניזמים באוקיינוס?

כדי להרחיב עוד יותר מדידות באוקיינוס, מדענים זקוקים לעזרה. חלק מהתוכניות האחרונות כוללות אנשים שאינם אוקיינוגרפים (כולל ילדים) שעורכים מדידות באוקיינוס. לתוכניות "המדע האזרחי" האלה יש פוטנציאל גדול להגדיל מאוד את יכולתנו לדגום את האוקיינוס. להרבה אנשים אכפת מאוד מהאוקיינוס – הם אוהבים ללכת לחוף ולשחות באוקיינוס, והם מעריכים את החיות שחיות בים. האוקיינוס הוא עצום, וישנם מעט אוקיינוגרפים (כולל הרובוטים!) שיכולים לדגום את האוקיינוס בזמן נתון. לכן, אנו זקוקים לעזרה של אנשים שאכפת להם מהאוקיינוס, שיאספו דגימות ויחלקו תצפיות לגבי הים. נתונים שימושיים אפילו יכולים להיאסף על ידי גולשים (<https://smartfin.org/>)! אם אתם רוצים להצטרף לתוכנית מדע אזרחי כזו, במטרה לסייע לאוקיינוגרפים לאסוף מידע על הים, הסתכלו על הקישורים הבאים כדי לראות כיצד אתם יכולים לעזור!

או <https://oceanservice.noaa.gov/citizen-science/>

או <https://planktonplanet.org/>

[https://www.whoi.edu/what-we-do/educate/k-12-students-and-teachers/  
resources-for-teachers-citizen-science-projects/](https://www.whoi.edu/what-we-do/educate/k-12-students-and-teachers/resources-for-teachers-citizen-science-projects/)

<https://medium.com/@TheW2O/citizen-science-and-the-ocean-4dff1b7e0d84>

## מקורות

1. Dinsmore, R. P. 2001. "Ships," in *Encyclopedia of Ocean Sciences, 2nd Edn.*, ed J. H. Steele (Academic Press). p. 409–18. doi: 10.1016/B978-012374473-9.00299-X
2. Sheldon, R. W., Prakash, A., and Sutcliffe, W. H. 1972. The size distribution of particles in the ocean. *Limnol. Oceanogr.* 17:327–40.
3. Karsenti, E., Acinas, S. G., Bork, P., Bowler, C., De Vargas, C., Raes, J., et al. 2011. A holistic approach to marine eco-systems biology. *PLoS Biol.* 9:e1001177. doi: 10.1371/journal.pbio.1001177

פורסם אונליין: 24 בפברואר 2022

נערך על ידי: Carolyn Scheurle

מנחה מדעי: Anuschka Faucci

**ציטוט:** Boss E and Kramer SJ (2022) כיצד אנו בוחרים טכנולוגיות לחקר אורגניזמים ימיים באוקיינוס? *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2020.00003-he

Boss E and Kramer SJ (2020) How Do We Choose Technologies to Study Marine Organisms in the Ocean *Front. Young Minds* 8:3. doi: 10.3389/frym.2020.00003

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

**COPYRIGHT** © 2020 © Boss and Kramer 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.

## סוקרים צעירים

### 13-12, STEVENSON MIDDLE SCHOOL, גיל:

הכיתות שסקרו את המאמר הזה מורכבות מ-63 תלמידי מדעים בכיתה ז במדינה היפהפייה הוואי. אנו שתי כיתות של מוחות מבריקים בעלי דעות חזקות, שעובדים במטרה לחדד את כישורי החשיבה הביקורתית שלנו בזמן שאנו מרחיבים את תפיסת העולם שלנו באמצעות עדשותיו של המדע!



## הכותבים

### EMMANUEL BOSS

Emmanuel הוא פיזיקאי ימי שמפתח שיטות לחקור את הכמויות והמאפיינים של חומרים שונים במים (לדוגמה, פיטופלנקטון ומשקעים). הוא משתמש בחיישנים שמורכבים על לוווינים, שנמצאים על רובוטים, שקשורים למבנים מקובעים, או שמורדים מספינות כדי להשוות בין הקריאות עבור ניתוחי מעבדה של מה נמצא במים. יחד עם סטודנט, הוא פיתח אפליקציה שמוזדדת את עכירות המים דרך טלפונים ניידים. הוא הכי שמח כשהוא נמצא במים (הוא צוללן ושחיין נלהב). \*emmanuel.boss@maine.edu

### SASHA J. KRAMER

Sasha היא מועמדת לדוקטורט במדעי הביולוגיה שחוקרת, באמצעות שיטות שונות, פיטופלנקטון מיקרוסקופי שחיים על פני השטח של האוקיינוס. היא לוקחת דגימות מהאוקיינוס כדי להסתכל על הכמות של פיטופלנקטון במים והסוגים שלהם, ומחפשת דרכים לחבר בין המדידות האלה לנתונים שנאספים מלווינים. Sasha גדלה בניו-אינגלנד שם היא הייתה הולכת לחופים של קייפ קוד ושוחה באוקיינוס האטלנטי, אולם כיום היא גרה בסנטה ברברה, קליפורניה, ושוחה באוקיינוס הפסיפי! בזמנה הפנוי, Sasha אוהבת לטפס ולאפות. sasha.kramer@lifesci.ucsb.edu



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