



פלסטיק ופלנקטון בַּיָּמִים שלנו

Penelope K. Lindeque^{1*}, Zara L. R. Botterell^{1,2}, Rachel L. Coppock¹ | Matthew Cole¹

¹המעבדה הימית של פלימות', פלימות', בריטניה
²בית הספר למדעי החיים, אוניברסיטת אַסְקָס, קולצ'יסטר, בריטניה

סוקרים צעירים

MANUEL

גיל: 13



פסולת של מוצרי פלסטיק נמצאת בכל מקום – תוכלו למצוא פלסטיק כמעט בכל חוף ים ברחבי העולם. ידוע היטב שפסולת פלסטיק גדולה עשויה להזיק לבעלי חיים ימיים; ייתכן שראיתם תמונות עצובות של צבים שאוכלים שקיות פלסטיק, או של כלבי ים שהסתבכו ברשתות דיג עזובות. אולם מדענים מודאגים גם מפלסטיק בגודל מיקרוסקופי שבדרך כלל איננו רואים ומהבעיות שחלקיקי הפלסטיק הקטנים האלה יכולים לגרום ליצורים ימיים קטנים הנקראים זואופלנקטון. אנחנו נתמקד בקבוצה של זואופלנקטון – השְטֵרְגָלִיִּים. הסרטנאים הקטנים אך עוצמתיים האלה הם מהחיות הנפוצות ביותר על פני כדור הארץ, והם חיוניים לוויסות אקלים כדור הארץ. במאמר זה נסביר מה קורה כאשר שטרגליים פוגשים בפלסטיק המיקרוסקופי, מדוע הם אוכלים פלסטיק וכיצד הדבר משפיע על בריאותם ועל המערכת האקולוגית.

חלקיקי פלסטיק קטנים במי הים – בעיה גדולה לבעלי חיים קטנים

בני אדם מייצרים פלסטיק יותר מ-100 שנים. ברחבי העולם כיום מייצרים יותר מ-380 מיליון טונות של פלסטיק מדי שנה – משקל שווה-ערך ל-76,000,000 פילים בקירוב! פלסטיק

הוא חומר שימושי להפליא; הוא משמש לייצור ציוד רפואי, צעצועים, מכונות, טלפונים ניידים ומגוון מוצרים אחרים. עם זאת, כמעט מחצית מהפלסטיק המיוצר הוא פלסטיק חד-פעמי, פלסטיק המיועד לשימוש אחד בלבד ולאחריו הוא נזרק. מכיוון שהחומר כה עמיד, אין בכך כל היגיון. מלבד זאת, איננו יעילים במיוחד במחזור מוצרי פלסטיק או בטיפול בפסולת הפלסטיק, ולכן פלסטיק רב מגיע לנהרות שלנו, לימים ולאוקיינוסים. מדענים מצאו פסולת פלסטיק בכל מקום – מפני האוקיינוס ועד התעלות שבמעמקי הים, מאיים נידחים ועד כיפות הקרח בקטבים. פסולת פלסטיק מזהמת את הסביבה ומסכנת את החיים בים ובמערכות אקולוגיות אחרות, וייתכן שגם את בני האדם (איור 1).

איור 1

פסולת פלסטיק על החוף. אם תתבוננו מקרוב בתמונה זו של קו החוף, תוכלו לראות פיסות פלסטיק בתוך הפסולת. פלסטיק כמו זה, רק קטן יותר, מסכן זואופלנקטון וחיות ים אחרות.



איור 1

מיקרופלסטיק (Microplastics)

פיסות קטנות מאוד של פלסטיק במגוון צורות, גדלים, צבעים והרכבים. גודלן הוא 5 מילימטרים או פחות.

מדענים מודאגים מהנזק שפיסות פלסטיק קטנות מחוללות לימים שלנו. פיסות פלסטיק קטנות אלה נקראות **מיקרופלסטיק** מאחר שגודלן מיקרוסקופי (פחות מ-5

זואופלנקטון (Zooplankton)

אורגניזמים קטנים או מיקרוסקופיים הנסחפים עם זרמי המים.

מארג המזון הימי (Marine food web)

מערכת קשרי המזון בסביבה הימית: מה האורגניזמים אוכלים, ומה אוכל אותם.

שטרגליים (Copepods)

קבוצה של סרטנאים קטנים שנמצאים כמעט בכל מקווי המים, אם במים מתוקים ואם במי ים. שטרגליים הם מזונם של דגים רבים, ולכן הם רכיב חשוב במארג המזון הימי.

מחזור הפחמן (Carbon cycle)

מעבר של פחמן מהאטמוספירה (שכבת הגזים העוטפת את כדור הארץ) לביוספירה (יצורים חיים וסביבתם), להידרוספירה (אוקיינוסים, נהרות, אגמים) ולגאוספירה (סלעים, קרקעית הים) בתהליכים פיזיקליים וביולוגיים מחזוריים.

פיטופלנקטון (Phytoplankton)

אורגניזמים מיקרוסקופיים החיים באוקיינוס ובמקווי מים מתוקים. הם מייצרים את מזונם ממים ומפחמן דו-חמצני בעזרת אנרגיית השמש בתהליך הפוטוסינתזה.

מילימטרים). החלקיקים והסיבים הללו יכולים להיות במגוון צורות, גדלים, צבעים והרכבים, ומקובל לחלקם לשני סוגים: ראשוניים ושניוניים. חלקיקי מיקרופלסטיק ראשוניים מיוצרים מלכתחילה בגודל מיקרוסקופי. למשל, כדוריות הפלסטיק הקטנות (nurdles או "mermaid's tears" – דמעות בת הים) המשמשות חומר גלם לייצור מוצרי פלסטיק, וחרוזי הפלסטיק הקטנים מאוד המשמשים במשחות שיניים ובתעשייה. גם סיבי בד סינתטיים הם חלקיקי פלסטיק ראשוניים, והם משתחררים למי השופכין כשאנו שוטפים בגדים מניילון או מפוליאסטר. חלקיקי מיקרופלסטיק שניוניים נוצרים מפירוק של פסולת פלסטיק גדולה בעקבות חשיפה לשמש, קילוף או שחיקה. במחקר שערכנו ב-2020 מצאנו כי עשויות להיות אפילו 125 טריליון פיסות זעירות של פלסטיק שצפות על פני האוקיינוסים [1].

במחקר הזה בדקנו כיצד חלקיקי מיקרופלסטיק משפיעים על יצורים ימיים הקרויים **זואופלנקטון**. יצורים אלה חיים ברחבי האוקיינוסים שלנו, וממלאים תפקידים מכריעים במארגי המזון הימיים ובוויסות אקלים כדור הארץ. העובדה שיש בים כל כך הרבה חלקיקי מיקרופלסטיק ופולנקטון הובילה אותנו לשאול: "האם זואופלנקטון אוכלים חלקיקי מיקרופלסטיק, ואם כן – האם זו בעיה?"

מהם שטרגליים?

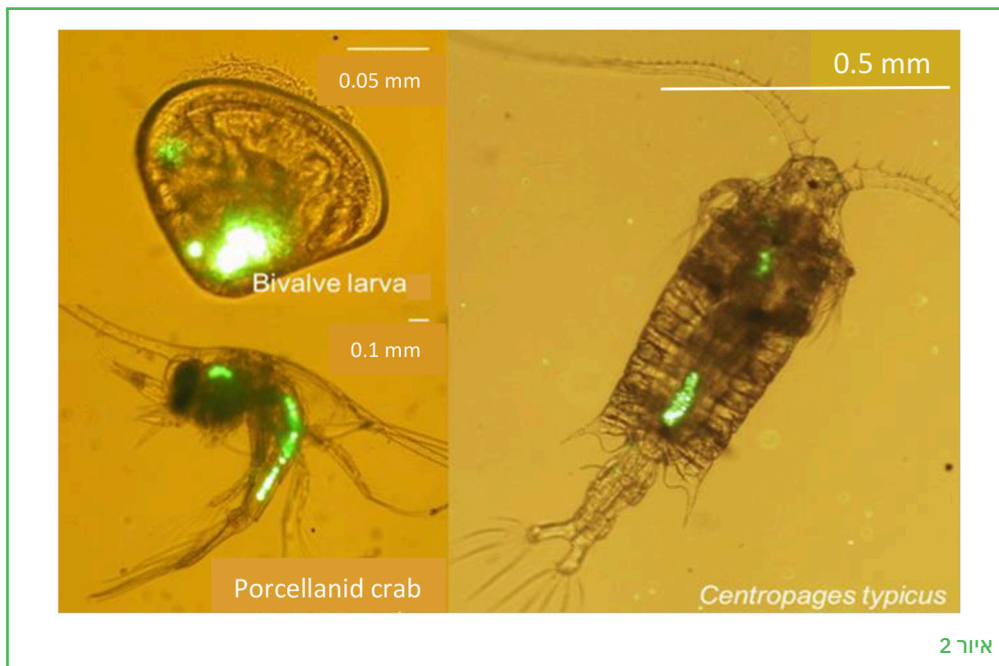
שטרגליים הם סרטנאים קטנים, קרובי משפחה רחוקים של סרטנים וחסילונים ומהחיות הנפוצות ביותר בכדור הארץ. שטרגליים הם גם מקור מזון חשוב לחיות רבות, בכללן דגים, עופות ימיים ולווייתנים, ולכן הם רכיב מרכזי במארג המזון הימי. לשטרגליים תפקיד חשוב מאוד במחזור הפחמן הימי – מעבר של פחמן, האטום החיוני לכל צורות החיים, מן האטמוספירה אל האוקיינוסים ומהם חזרה אל האטמוספירה. הפחמן הדו-חמצני (CO₂) שבאטמוספירה מתמוסס באוקיינוסים ומתערבב בשכבות האוקיינוס בתהליכים פיזיקליים (זרמי האוקיינוס) וביולוגיים. השטרגליים תורמים לתהליכים הביולוגיים במחזור הפחמן הימי. אורגניזמים ימיים מיקרוסקופיים הנקראים **פיטופלנקטון** קולטים את הפחמן דו-חמצני, ובתהליך הפוטוסינתזה הם מייצרים בעזרתו תרכובת פחמן בסיסית – סוכר. השטרגליים ניזונים בלילה מהפיטופלנקטון שעל פני האוקיינוס, וביום הם נודדים למים עמוקים כדי להתחמק מטורפים. כך הם נושאים עימם פחמן מהשכבה העליונה של המים לעומק האוקיינוס. שם הם פולטים אותו בנשיפה (נשימה) ובצואה. הפחמן שנפלט כמולקולה אורגנית מנוצל ע"י חיידקים ואורגניזמים אחרים לנשימה תאית. חלק אחר מהפחמן שוקע לקרקעית הים ויוצר שם מרבצים של מאובנים, או מתפרק ועולה שוב אל פני האוקיינוס. לכן כינינו את השטרגליים "קטנים אך עוצמתיים"; בנדידתם הם מסייעים לסלק פחמן מפני האוקיינוס, וכך הם תורמים לוויסות אקלים כדור הארץ.

מדוע בעצם שטרגליים אוכלים פלסטיק?

דמיינו שאתם אוכלים פלסטיק; לא נשמע טעים במיוחד, נכון? פלסטיק אינו נכלל בתפריט של שטרגליים. אבל כאשר חלקיקי מיקרופלסטיק מתערבבים במזון שלהם, שטרגליים עלולים לאכול גם אותם בטעות (איור 2), בעיקר משום שחלקיקים אלה מריחים לעיתים קרובות כמו המזון עצמו. כאשר חלקיקי מיקרופלסטיק מגיעים לים, חיידקים ופיטופלנקטון יכולים להיצמד לפני השטח של החלקיקים ולגדול שם. כמה מיני פיטופלנקטון מפרישים

איור 2

שלושה סוגים של זואופלנקטון: זחל של צדפה; סרטן צעיר ממשפחת החרסיתיים ושטרבל בוגר (*Centropages typicus*). בתוך כל אחת מהחיות אפשר לראות חלקיקי מיקרופלסטיק במגוון גדלים.



איור 2

כימיקל הנקרא דימתיל סולפיד (DMS). האם אתם נעשים רעבים כשאתם מריחים לחם שזה עתה נאפה? ניחוח זה מלמד בני אדם שישנו מזון באזור. באופן דומה, דימתיל סולפיד מסמן לשטרגליים שיש פוטופלנקטון טעימים בקרבתם. גם בני אדם יכולים להריח דימתיל סולפיד, אולם רק בריכוזים גבוהים בהרבה. "ריח הים" החזק שהרחתם ודאי באחד מביקוריכם בים נובע מדימתיל סולפיד.

במחקר הראינו כי כאשר חלקיקי המיקרופלסטיק מצופים דימתיל סולפיד, השטרגליים אוכלים מהם הרבה יותר משהם אוכלים חלקיקים שאינם מצופים. כלומר שטרגליים יכולים לאכול יותר חלקיקי מיקרופלסטיק אם הפלסטיק מריח כמו המזון שלהם. אך כיצד אכילת חלקיקי המיקרופלסטיק משפיעה על השטרגליים?

מה קורה לשטרגליים אם הם אוכלים פלסטיק?

אם שטרגליים אוכלים מעט מאוד פלסטיק, סביר להניח שלא יקרה להם דבר. אך אם השטרגליים ממשיכים לאכול פלסטיק, הם עלולים שלא לאכול את כמות המזון שהם זקוקים לה. כל החיות זקוקות למזון שיספק להם אנרגיה לתנועה ולגדילה. חששנו שבגלל חלקיקי המיקרופלסטיק השטרגליים אינם אוכלים כמות מספקת של מזון, ועל כן בריאותם עלולה להיפגע בסופו של דבר. ערכנו כמה ניסויים: לקבוצה אחת של שטרגליים נתנו את המזון הרגיל שלהם, ולקבוצה שנייה נתנו את המזון הרגיל בתוספת חלקיקי מיקרופלסטיק. מצאנו כי השטרגליים שבקבוצה השנייה אכלו 40% פחות ממה שהם רגילים לאכול בדרך כלל. לכן הם הטילו ביצים קטנות מהרגיל, ורק מעטות מהן בקעו בסופו של דבר [2].

הכימיקלים הרבים שבפלסטיק עלולים גם הם לסכן את החיים בים. הכימיקלים מקנים לפלסטיק צבע ועמידות לשרפות ומאפשרים לעצבו למוצרים מגוונים. אם פסולת פלסטיק נחשפת לאור שמש, היא נעשית שברירית והכימיקלים משתחררים מהפלסטיק. הכימיקלים

עלולים להשפיע על החיות שאוכלות חלקיקי פלסטיק. לדוגמה, מצאנו כי בַּנְזוֹפֶנוֹן, כימיקל השומר שהפלסטיק לא יתפרק בחשיפה ממושכת לשמש, עשוי להשתחרר מפיסות ניילון במי הים. עוד מצאנו שהכימיקל הזה זירז את התפתחותם של השטרגליים, והם הגיעו לבגרות מהר מהרגיל [3].

כיצד חלקיקי מיקרופלסטיק משפיעים על מחזור הפחמן הימי?

זכרו כי אף על פי שהשטרגליים זעירים, יש להם תפקיד חשוב מאוד במחזור הפחמן הימי. מצאנו כי אחרי שהשטרגליים אוכלים מיקרופלסטיק, החלקיקים מופרשים מגופם בצואה. הצואה, והפלסטיק שבתוכה, שוקעת לקרקעית הים, אל החיות הרעבות שממתינות שם. לכן היינו סקרנים לדעת אם חלקיקי מיקרופלסטיק אלה יכולים להשפיע על מחזור הפחמן.

ערכנו כמה ניסויים, ובהם האכלנו שטרגליים בפלסטיק, אספנו את הצואה שלהם ומדדנו כמה מהר היא שקעה. מצאנו כי אם הפלסטיק שאכלו השטרגליים יכול לצוף על פני מי הים, הצואה שוקעת באיטיות [4]. צואה ששוקעת לאט באוקיינוס תשהה זמן רב בשכבות המים העליונות והחמות ותתפרק מהר יחסית. בעקבות הפירוק ישתחררו חלקיקי המיקרופלסטיק חזרה למים, והפחמן לא יגיע אל מעמקי האוקיינוס. כאשר שטרגליים אוכלים חלקיקי מיקרופלסטיק שצפיפותם גדולה מזו של מי הים, הצואה שוקעת לקרקעית הים במהירות רבה יותר (איור 3) [5]. בעלי חיים רבים החיים על קרקעית הים או בתוכה ניזונים מצואת זואופלנקטון ומפגרים. אם יש בצואה חלקיקי מיקרופלסטיק, החיות שבקרקעית הים יאכלו אף אותם. במחקרנו האחרון גילינו כי בזמן שחיות אלה אוכלות או נעות, חלקיקי מיקרופלסטיק יכולים להתערבב במשקעים אחרים בקרקעית הים, כגון סלעים, מינרלים ושרידים של החי והצומח. כך חלקיקי מיקרופלסטיק נקברים לעד באוקיינוסים שלנו. יש מדענים הסבורים כי פלסטיק עשוי להשתמר בתוך משקעים שכאלה ולא להתפרק במשך מאות שנים, ואולי אפילו אלפי שנים. נראה כי בסופו של דבר חלקיקי מיקרופלסטיק יהיו חלק מתיעוד המאובנים.

תיעוד המאובנים (Fossil record)

תולדות החיים כפי שתועדו במאובנים.

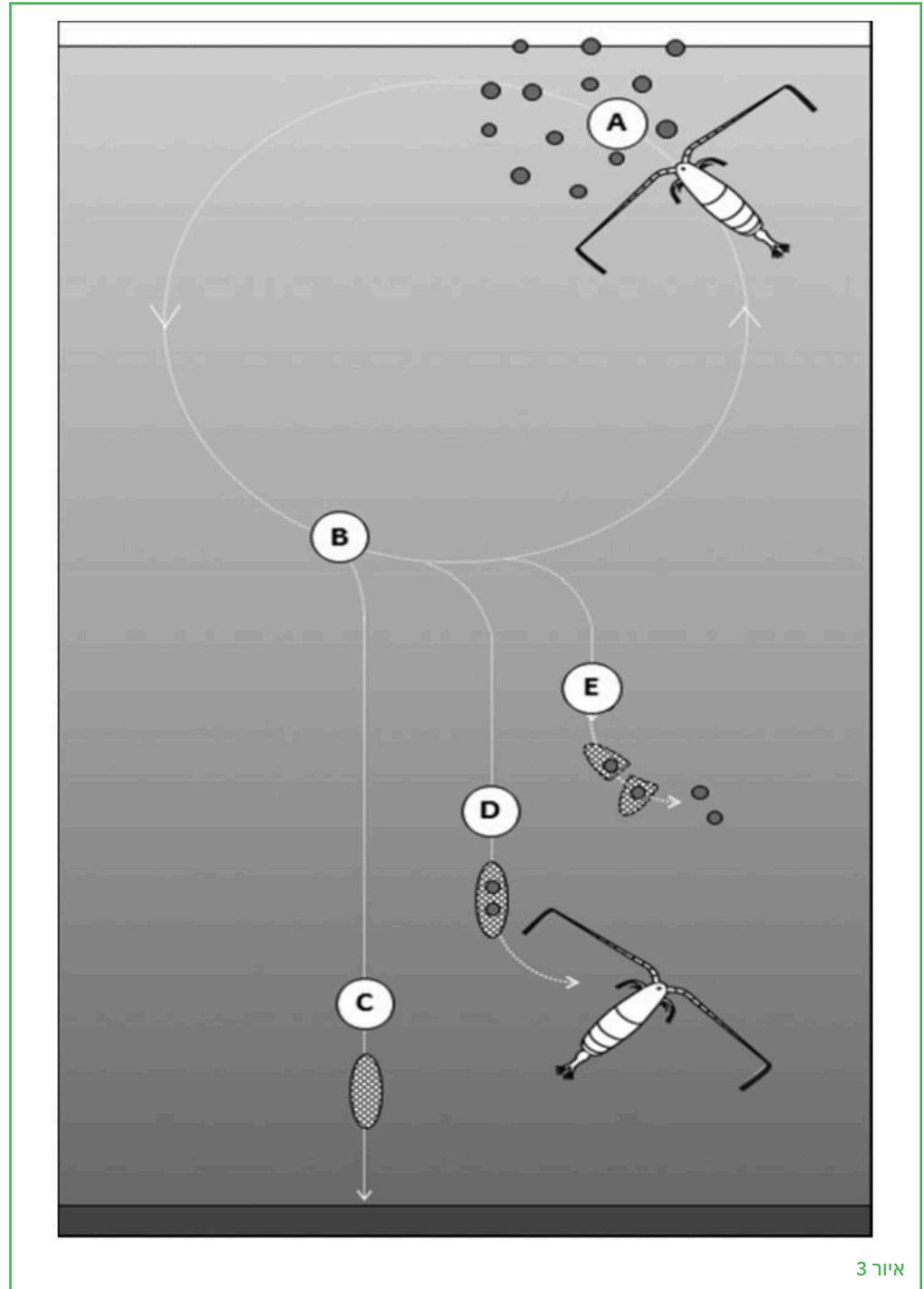
כיצד כולנו יכולים לעזור?

המחקר שלנו מסייע לאנשים להבין את הסכנה שבזיהום האוקיינוסים שלנו במיקרופלסטיק. סיפקנו רְאִיּוֹת מדעיות לפוליטיקאים בבריטניה, ועל סמך הראיות הוחלט לגבות תשלום על שקיות פלסטיק חד-פעמיות במרכולים ולאסור את השימוש בחרוזי מיקרופלסטיק בתכשירי פנים ובמשחות שיניים, חרוזים הנשטפים בכיור ובסופו של דבר מגיעים לאוקיינוס. עוד אנו חוקרים אם אפשר להשתמש בצדפות מולים ובעשבי ים כדי לעצור את סחיפת חלקיקי המיקרופלסטיק אל תוך הים.

אשר למי שאינם מדענים – כל מאמץ קטן משפיע! יותר מ-8 מיליארד בני אדם חיים על פני כדור הארץ. חשבו על כמות הפלסטיק שנוכל להפחית בכל יום אם נשתמש כולנו בבקבוק פלסטיק אחד פחות. כצעד ראשון תוכלו לצמצם את השימוש בפלסטיק חד-פעמי כשהדבר מתאפשר. תוכלו גם לשתות מבקבוק מים רב-פעמי, להשתמש בשקיות קניות רב-פעמיות או אולי לקנות במרכול מוצרי מזון המכילים מעט אריזות. בפעם הבאה שתטיילו בחוף הים או באזור מגוריתכם, אנא הקדישו שתי דקות מזמנכם לאיסוף פסולת. כך תסייעו להרחיק

איור 3

כיצד חלקיקי מיקרופלסטיק משפיעים על מחזור הפחמן? (A) שטרנל אוכל חלקיקי מיקרופלסטיק שעל פני האוקיינוס; (B) כמה מהחלקיקים מופרשים בצואה של השטרנל; (C) הצואה, ובתוכה הפחמן, שוקעת למעמקי האוקיינוס; (D, E) את הצואה, ובה חלקיקי המיקרופלסטיק, יכולים לאכול אורגניזמים שונים. לחלופין הצואה יכולה להתפרק ולשחרר את המיקרופלסטיק חזרה למים [4].



איור 3

את הפלסטיק מן הים. אם נפעל כולנו, מדענים ולא-מדענים כאחד, נוכל לצמצם את זיהום המיקרופלסטיק. מאמצים אלה יועילו לסביבה וישפרו את חייהם של השטרנגליים ושל יצורים רבים אחרים, וגם את החיים שלנו!

מקורות

1. Lindeque, P. K., Cole, M., Coppock, R. L., Lewis, C. N., Miller, R. Z., Wilson-McNeal, A. J. R., et al. 2020. Are we underestimating microplastic abundance in the marine environment?

- A comparison of microplastic capture with nets of different mesh-size. *Environ. Pollut.* 265(Pt. A):114721. doi: 10.1016/j.envpol.2020.114721
2. Cole, M., Lindeque, P., Fileman, E., Halsband, C., and Galloway, T. S. 2015. The impact of polystyrene microplastics on feeding, function and fecundity in the marine copepod *Calanus helgolandicus*. *Environ. Sci. Technol.* 49:1130–7. doi: 10.1021/ES504525U
 3. Cole, M., Coppock, R., Lindeque, P. K., Altin, D., Reed, S., Pond, D. W., et al. 2019. Effects of nylon microplastic on feeding, lipid accumulation, and moulting in a coldwater copepod. *Environ. Sci. Technol.* 53:7075–82. doi: 10.1021/acs.est.9b01853
 4. Cole, M., Lindeque, P. K., Fileman, E., Clark, J., Lewis, C., Halsband, C., et al. 2016. Microplastics alter the properties and sinking rates of zooplankton faecal pellets. *Environ. Sci. Technol.* 50:3239–46. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.06.009
 5. Coppock, R. L., Galloway, T. S., Cole, M., Fileman, E. S., Queirós, A. M., and Lindeque, P. K. 2019. Microplastics alter feeding selectivity and faecal density in the copepod, *Calanus helgolandicus*. *Sci. Tot. Environ.* 687:780–9. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.06.009

פורסם אונליין: 26 באפריל 2023

נערך על ידי: Hervé Claustre

מנחים מדעיים: Juan Sarasua

ציטוט: Lindeque PK, Botterell ZLR, Coppock RL | Cole M (2023) פלסטיק ופולנקטון בימים שלנו. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2021.588638-he

תורגם והותאם מ: Lindeque PK, Botterell ZLR, Coppock RL and Cole M (2021) Plastics and Plankton in Our Seas. *Front. Young Minds* 9:588638. doi: 10.3389/frym.2021.588638

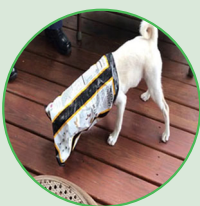
הצהרת ניגוד אינטרסים: המחברים מצהירים כי המחקר נערך בהעדר כל קשר מסחרי או פיננסי שיכול להתפרש כניגוד אינטרסים פוטנציאלי

זכויות יוצרים © 2021 © Lindeque, Botterell, Coppock | Cole 2023. זהו מאמר בגישה פתוחה שמופץ תחת תנאי רישיון [Creative Commons Attribution License \(CC BY\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). 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

MANUEL, גיל: 13

היי! קוראים לי מְנוּאֵל, ואני נער שאפתן. נולדתי בארצות הברית והוריי הם מדרום אמריקה. תמיד אהבתי חיות, לכן כשאגדל אני מקווה להיות מהנדס ביולוגיה או ביולוג ימי. התחביבים שלי כוללים משחקי וידאו, קריאה והקשבה לפודקאסטים על פשעים אמיתיים. מאז ומעולם אהבתי את הלא נודע ותעלומות, ואני תמיד מנסה ללמוד עוד!



הכותבים

**PENELOPE K. LINDEQUE**

אני ביולוגית ימית במעבדה הימית של פלימות'. עבודתי מתמקדת בזואופלנקטון, חיות קטנות בבסיס רשת המזון הימית. אני מפתחת ומשתמשת בשיטות מולקולריות שמטרתן לזהות זואופלנקטון, לחקור מה הם אוכלים ומה אוכל אותם, ולבחון את תגובותיהם לֶסְטֶרְס (עֵקָה) ולזיהום סביבתיים. כמו כן אני מתעניינת במקור של חלקיקי מיקרופלסטיק ומיקרו-שפוכת, בהתפלגותם ובהשפעתם על חיות ימיות, לרבות זואופלנקטון. כשאני עובדת, אני אוהבת להיות בתוך הים, עליו או לידו – לחתור, לגלוש, או לשחק עם משפחתי ועם הכלבים שלי. *pkw@pml.ac.uk

**ZARA L. R. BOTTERELL**

אני ביולוגית ימית במעבדה הימית של פלימות'. המחקר שלי בוחן מדוע זואופלנקטון אוכלים חלקיקי מיקרופלסטיק, לרבות אֵילוֹ גורמים עשויים להשפיע על העיכול שלהם, כמו למשל גודל, צורה או ריח. אני גם מתעניינת מאוד במה זואופלנקטון אוכלים כיום באוקיינוסים שלנו, וכיצד זה עשוי להשפיע על המערכת האקולוגית הרחבה יותר. המחקר האחרון שלי מתמקד בעיכול של מיקרופלסטיק על ידי זואופלנקטון בימים הארקטיים (של הקוטב הצפוני).

**RACHEL L. COPPOCK**

בתור אקולוגית ימית במעבדה הימית של פלימות', אני חוקרת את הסיכונים שחלקיקי מיקרופלסטיק מציבים בפני חיים ימיים ובפני המערכות האקולוגיות שהם חיים בתוכם. כמו כן אני מסייעת לחקור פתרונות מבוססי-טבע לזיהום מיקרופלסטיק ימי. אני מתעניינת בהשפעה של זיהום מיקרופלסטיק בימים הארקטיים, אשר מתחממים מהר יותר מכל מקום אחר בכדור הארץ. פיתחתי גם שיטה שמוציאה חלקיקי מיקרופלסטיק ממשקעים ימיים, במטרה לסייע להבין כמה פלסטיק נמצא בקרקעית הים, ומהו הגורל הסופי של אשפת מיקרופלסטיק ברחבי החופים שלנו.

**MATTHEW COLE**

אני אקולוג ימי במעבדה הימית של פלימות'. בעשור האחרון חקרתי כיצד חיים ימיים מתקשקשים עם פסולת מיקרופלסטיק. המחקר שלי היה הראשון שחשף כי חלקיקי מיקרופלסטיק יכולים להיאכל על ידי זואופלנקטון ימי. בשנים האחרונות, קבוצת המחקר שלנו בחנה כיצד חלקיקי מיקרופלסטיק עלולים להשפיע באופן שלילי על בריאותם של זואופלנקטון. כיום, אני חוקר אם אנו יכולים להשתמש בכוחם של מולים כדי להסיר חלקיקי מיקרופלסטיק משפכי נהרות!

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