



מדוע חסר חמצן באסטוארים של נחלי החוף בישראל

Yair Suari*, Hadar Sedaka, Tal Sade, Tomer Blumenfeld | Tom Topaz

המרכז האקדמי רופין, הפקולטה למדעי הים

סוקרים צעירים

ILAY
גיל: 10



בתרבות ההודית, סמסרה פירושה מחזור החיים. במדע המערבי, אפשר לחשוב על הסמסרה כמו על מעגל החומר הביולוגי: מחזור שבו צמחים מייצרים מזון וחמצן בתהליך שנקרא פוטוסינתזה, שבו הם משתמשים באור ובפחמן דו-חמצני. לאחר מכן, בעלי חיים נושמים משתמשים בחמצן לעיכול הצמחים שהם אוכלים, ובתהליך הזה משתחרר שוב פחמן דו-חמצני. כך נמשך מחזור שמאפשר חיים בטבע – כל עוד יש מספיק חמצן. אבל באזורים מסוימים במים יש מחסור בחמצן. באסטוארים, אזורי חיבור בין נחל לים נמצא הרבה פעמים מחסור בחמצן. המחסור בחמצן בולט מאוד במים העמוקים המלוחים והעכורים של האסטוארים בישראל. מאמר זה מסביר את התהליכים שמובילים למחסור בחמצן, שמאיים על בריאותן של מערכות אקולוגיות, ומציע דרכים להקל עליו.

חמצן במערכות אקולוגיות

שלום לקוראים. מאז שהחלטתם לקרוא את המאמר שלנו, לפני מספר דקות, נשמתם כנראה שתיים או שלוש נשימות. דרך הנשימה אנחנו מקבלים חמצן מהאוויר. בלי חמצן, גופנו לא יוכל להפיק אנרגיה מהמזון שאכלנו וכנראה שלא נוכל להמשיך לקרוא את המאמר. כמו אנשים, גם שאר החיות זקוקות לחמצן כדי לעכל את מזונן ולהתקיים. חיות מים, כמו דגים, משתמשות בחמצן המומס במים. אבל ברבים מנחלי החוף בישראל ריכוז החמצן המומס נמוך וזה מקשה עליהן לחיות שם בנוחות.

החמצן הוא גז שנמצא באטמוספירה, והוא מיוצר על ידי צמחים וחיידקים בתהליך שנקרא פוטוסינתזה [1]. התהליך הזה הוא פעולה כימית שבה אור, גז שנקרא פחמן דו-חמצני ומים הופכים לחמצן ולסוכר – שהוא מקור האנרגיה של בעלי החיים [1]. הפוטוסינתזה היא "סוד החיים" כי גופם של הצמחים שיוצר באמצעות הפוטוסינתזה, הוא מזונם של כל שאר היצורים החיים [1]. יצורים חיים שמבצעים פוטוסינתזה, הם ירוקים וצומחים טוב יותר כשמדשנים אותם. לכן חקלאים וגננים מדשנים את האדמה. בין חומרי הדשן נציין את הגזרן והנקטן.

אנחנו מקווים שגם אתם (כמונו) יוצאים לפעמים עם המשפחה כדי לראות פריחה, לטפס על עצים וליהנות ממגוון הצמחים. בים ובנחלים אין בדרך כלל עצים גדולים או אפילו שיחים הדומים לאלו שנמצאים ביבשה. רוב הצמחים במים הם יצורים זעירים שנקראים פִּיטוֹפְּלַנְקְטוֹן. הם נסחפים עם המים וגופם הוא האוכל שממנו ניזונים רוב בעלי החיים הימיים – הם הבסיס של מארג המזון¹.

אסטוארים ושיכוך המים

מי גשמים בישראל מתנקזים לנחלים, שרובם זורמים מההרים אל הים התיכון. לאורך חוף הים נמצאים שפכייהם של שלושה-עשר נחלים. רבים מהנחלים משתנים עם הגיעם למישור החוף (איור 1a), הם הופכים מנחלי אֶקְבָּב הזורמים רק בחוף לנחלי איתן. מדידות שערכנו מראות שבקטע הקרוב לחוף, רוחב ועומק המים גדול יותר ומהירות הזרימה נמוכה.

למים בקטע הנחל שקרוב לים יש מאפיינים ייחודיים. שמו של הקטע הזה הוא אֶסְטוּאָר. דרך השִׁפְך, שבו הנחל פוגש את הים, חודרים מי ים אל תוך הנחל והופכים את המים למלוחים יותר [2]. מאפייני המים הייחודיים באסטואר גורמים לשינוי במיני הצמחים ובעלי החיים שסביבו. יצורים ימיים חודרים לאסטואר וחיים בו, חלקם אף משתמשים בו כבית גידול לצאצאים ולכן האסטוארים הם בית גידול מגוון ועשיר מאוד.

המים באסטוארים מחולקים לשתי שכבות: למעלה – מים מתוקים יותר, ולמטה – מים מלוחים וצפופים יותר. בגלל שמים מלוחים "כבדים" יותר [3], הם שוקעים ולא מתערבבים עם השכבה העליונה. זה נקרא שִׁיכוּך (איור 1b). נשמע לא סביר שהמים בעומק ובפני השטח לא יתערבבו, אבל כל מי שניסה לערבב מים ושמן יודע שקשה לערבב נוזלים בעלי צפיפות שונה². בנוסף, גלי הים יוצרים מחסום של חול בקו החוף שמגביל את חדירת מי הים

פוטוסינתזה (Photosynthesis)

תהליך שבו אורגניזמים משתמשים באור, פחמן ומים לייצור אנרגיה כימית וחומרי בניין לגופם (חומר אורגני). החומר האורגני הזה נאכל על ידי בעלי חיים אחרים שבונים ממנו את גופם ומפיקים ממנו אנרגיה.

פִּיטוֹפְּלַנְקְטוֹן (Phytoplankton)

יצורים זעירים הנסחפים עם המים ומסוגלים לבצע פוטוסינתזה. רוב החומר האורגני בים מיוצר על ידי פִּיטוֹפְּלַנְקְטוֹן.

https://youtu.be/2lqhJN1gn_Wg?si=0YVibRL49n0om9kM

אֶסְטוּאָר (Estuary)

גוף מים הנמצא במפגש נהר או נחל ים. אסטוארים מתאפיינים במים שהם תערובת של מי-ים מלוחים ומי-נחל מתוקים. כמעט תמיד המים בעומק יהיו מלוחים יותר מהמים בפני השטח.

שִׁיכוּך (Stratification)

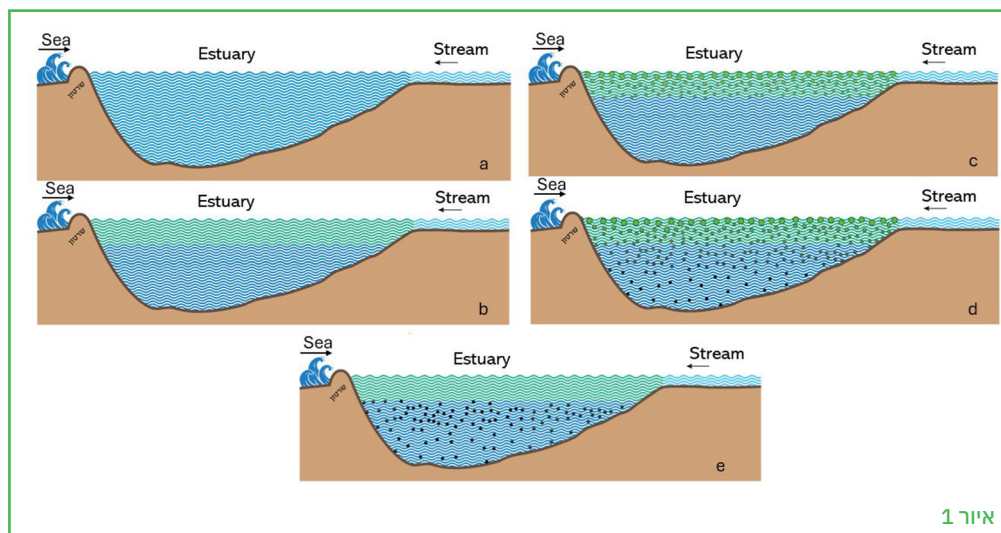
תופעה שנוצרת כשמיים זורמים (נוזלים או גזים) בעלי צפיפות שונה נפגשים. במצב כזה הזרם הצפוף יותר יתמקם מתחת לזרם הצפוף פחות. ברוב המקרים, ניתן לערבב את שני הזרמים אבל צריך להשקיע אנרגיה כדי לעשות זאת.

<https://www.youtube.com/watch?v=52LTbZu67HE>

איור 1

חתך צד של המקטע החופי (אֶסְטוּאָרִי) האופייני של נחלי החוף בישראל. האיור

מציג את זרימת המים מהמזרח (מימין), שם נכנסים מי הנחל, ועד למערב (משמאל), שם הם נשפכים לים, כאשר ביניהם שוכן האסטואר. (a) מבנה של אסטואר, ניתן לראות ששיא העומק נמצא במרכז ובקצותיו הוא רדוד יותר (b) שיפוט מי האסטואר (הפרדה בין שכבות מים מתוקים שהגיעו מהנחל (למעלה) למים המלוחים שהגיעו מהים (למטה), (c) יצרנות ראשונית (פוטוסינתזה) מוגברת בפני השטח, (d) כאשר הפיטופלנקטון מת או נאכל, חומר אורגני שוקע למי העומק ולקרעית, (e) תנאים של חוסר חמצן ורעילות במים העמוקים.



איור 1

(איור 1) בשפכי האסטוארים לכן המים בעומק האסטואר נשארים שם הרבה זמן (אפילו כ-20 ימים ויותר).

מים וחומרי דשן בנהרות

אנחנו משתמשים במים לצרכים רבים, מבישול ומקלחת ועד שטיפה בשירותים ולכן המים שיוצאים מהבתים לא מריחים טוב ונקראים ביוב או שפכים. כדי למנוע מחלות, הביוב חייב לעבור טיפול המתבצע במתקני טיפול בשפכים. ישראל היא מובילה עולמית בטיפול ומחזור של ביוב ומשתמשת בכתשעים אחוז מהשפכים המטופלים (שנקראים קולֶ'חים) להשקיית שדות. גם השפכים וגם הקולחים מכילים כמויות גדולות של חומרי דשן, כמו זרחן וחנקן [4], וחלק מהם מגיע לנחלים שזורמים לאסטוארים.

כך קורה שהשכבה העליונה של המים באסטוארים (איור 1c) מכילה הרבה חומרי דשן וחשופה לאור השמש ולכן הפיטופלנקטון מתרבה בה מאוד והופך את צבעה לירוק (איור 1d). חלק מהפיטופלנקטון שוקע למים העמוקים והמלוחים. רוב היצורים החיים ניזונים מחומר שמקורו בפיטופלנקטון. באסטוארים יש הרבה מהחומר הזה ולכן בעלי חיים, וחיידקים במי העומק מתרבים וניזונים ממנו. בעלי חיים אלו נושמים חמצן והופכים אותו לפחמן דו-חמצני (איור 1e).

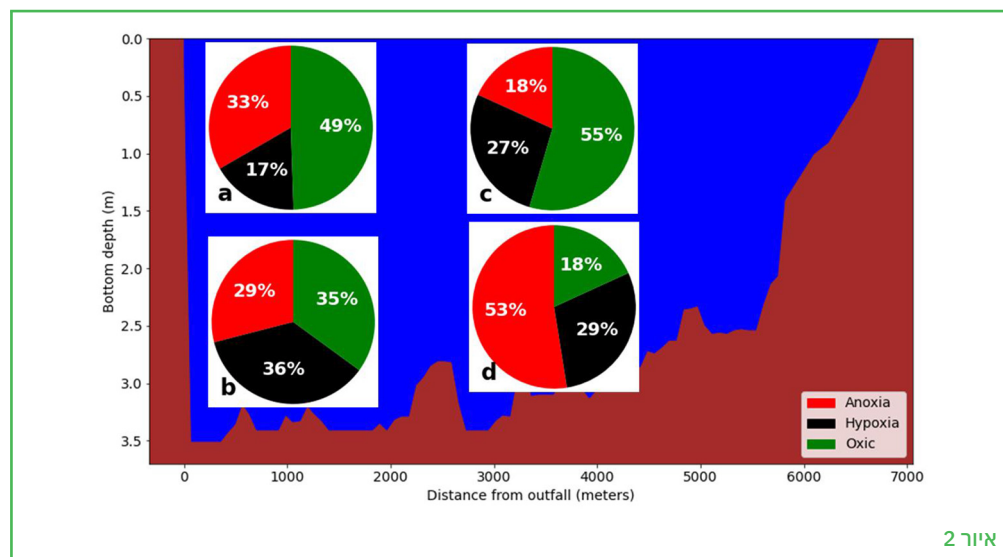
חמצן במים מגיע משני מקורות: פוטוסינתזה וחדירה מהאטמוספירה. לאחר שהחמצן הגיע למים, הוא נמס בהם וזורם איתם. כמות החמצן במים יורדת כאשר יצורים משתמשים בו לנשימה, למשל כשחיידקים נושמים כדי לפרק פיטופלנקטון ששקע.

השמש החזקה בישראל יחד עם ריכוז הדשנים הגבוה באסטוארים מגבירים את קצב הפוטוסינתזה במים בפני השטח. כתוצאה מכך קצב צריכת החמצן עולה. בעומק האסטוארים המים חשוכים (יש ריכוז גבוה של חלקיקים במים שיוצר צל ומסנן את האור). בנוסף, קצב תחלופת המים והחמצן בעומק הוא נמוך. החושך והתחלופה הנמוכה גורמים לכך שריכוז החמצן הוא נמוך מאוד לאורך פרקי זמן ארוכים (איור 2). לעומת זאת בפני

השטח המוארים מתאפשרת גם המסת חמצן מהאטמוספירה וגם זרימה מהירה יותר ולכן ריכוז החמצן גבוה יותר (איור 2).

איור 2

מבנה הקרקעית ומחסור בחמצן באסטואר נחל אלכסנדר. ברקע מוצג בחום מבנה הקרקעית של אסטואר נחל אלכסנדר ובכחול המים. גרפי העוגה, (a, c) שניים לפני המים ושניים למי העומק (b, d) שניים למיקום קרוב לשפך האסטואר לים (a, b) ושניים למרכז האסטואר (c, d) מציגים את פלחי הזמן בהם ריכוז החמצן במים תקין (בירוק), הפלח בו האסטואר סובל ממחסור בחמצן (בשחור) והפלח בו אין חמצן במי האסטואר (באדום).



איור 2

הפוטוסינתזה בפני השטח גבוהה במהלך היום, כשיש אור, ונמוכה בלילה, כשחשוך, ולכן ריכוזי החמצן במשך היום יכולים להיות גבוהים מאוד, ולרדת מאוד בלילה (איור 3). בנחלים, הזרימה מהירה ואין הבדלים בסוג המים בין פני השטח לעומק ומתאפשר מעבר של חמצן ממי פני השטח לעומק. לעומתם באסטוארים החמצן לא זורם מטה ולכן מי העומק סובלים יותר ממחסור בחמצן (איור 2) זכרו: כשאין חמצן בעלי חיים לא יכולים לנשום (דמיינו שהייתם צריכים להפסיק לנשום עד מחר ותבינו את המשמעות).

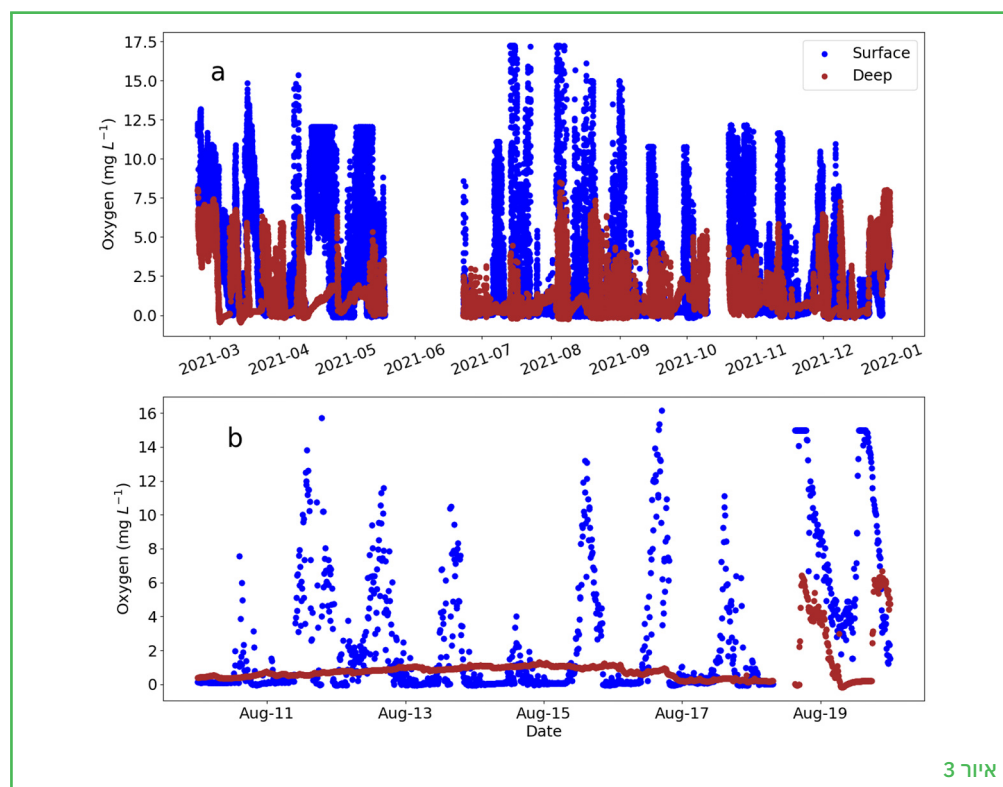
לעיתים, מי העומק חווים תקופות ארוכות של היעדר חמצן, לפעמים אפילו שבועות ברציפות. תקופות אלו מחמירות את המצב אפילו יותר עקב העובדה שהן גורמות לשחרור של חומרים רעילים למי האסטואר (איור 1e). השילוב של מחסור בחמצן ושחרור חומרים רעילים מונע כמעט לגמרי התיישבות וקיום של בעלי חיים כמו חלזונות וצדפות שבעבר היו נפוצות מאוד בקרקעית האסטוארים.

מה ניתן לעשות במטרה להעלות את ריכוזי החמצן באסטוארים?

לסיכום, הסברנו שמי האסטוארים בישראל סובלים ממחסור בחמצן, דבר הגורם נזק לסביבה הטבעית. אך מכיוון שמערכות אלו קטנות כל כך – אנחנו יכולים לתקן אותן במהירות. כל הגורמים להיעלמות החמצן – החל מהדשנים במי הנחל [5] ועד למחסום החול החוסם את הים – הם נושאים שאנחנו, כבני אדם, יכולים לשלוט בהם. על ידי מניעת הגעת שפכים לנחלים, ניהול זרימת הנחל ואפילו הסרת מחסומי החול [2], נוכל להחזיר את החמצן למים העמוקים. כך נבריא את האסטוארים ונאפשר שוב את קיומם של החלזונות, הצדפות והדגים שחיו שם בעבר. המערכות האקולוגיות הקטנות והשביריות הללו זקוקות לעזרתכם כדי לשגשג!

איור 3

ריכוז החמצן בפני השטח של אסטואר נחל אלכסנדר בזמנים שונים בשנת 2021. כל נקודה מייצגת מדידת חמצן אחת והמדידות מתקיימות אחת לעשר דקות. באדום: מדידות מעומק המים. בכחול: מדידות מפני השטח. נקודות גבוהות מייצגות ריכוז חמצן גבוה ונקודות נמוכות מציגות ריכוז חמצן נמוך. (a) כל המדידות משנת 2021. ריכוזי החמצן בעומק (אדום) משתנים פחות ונמוכים יותר מריכוזי החמצן בפני השטח. (b) המדידות בשבעת הימים החל מ-10 באוגוסט 2021. יש עלייה בריכוז החמצן בכל יום בשעות האור. המדידות מהעומק משתנות לאט מאוד.



איור 3

בפעם הבאה שתהיו ליד נחל חופי, זכרו שהגנה על המים היא אחת הדרכים המהירות ביותר להציל אוצר טבע חיוני.

תודות

אנחנו, החוקרים במרכז לחקר האסטוארים רוצים להודות לקרן יד הנדיב והקרן הקיימת לישראל שממנות את המחקר.

תודה גם לאנשים הרבים שהשתתפו במחקר: לי שיש, שעושה עכשיו דברים חשובים יותר; טל עמית ומרב גלבוע שכשימצאו זמן לצאת מהמים או לרדת מהספינה יוכלו אולי להקריא את סיפור החמצן לילדים שנולדו להן בינתיים; ראובן רוזנבלט שאנחנו יודעים שלא ימצא זמן לצאת מהמים ולכן יקריא לנכדים מתחת למים. ולאלו ששכחנו – תתנחנו בכך שאנחנו אוהבים אתכם.

הצהרת כלי בינה מלאכותית

טקסט חלופי הנלווה לאיורים במאמר זה נוצר על ידי פרונטירז בסיוע כלי בינה מלאכותית, ונעשו מאמצים על מנת להבטיח את דיוקו, כולל בדיקה על ידי כותבי המאמר כאשר הדבר התאפשר. אם ברצונכם לדווח על בעיה, אנו צרו איתנו קשר.

מקורות

1. Buick, R. 2008. When did oxygenic photosynthesis evolve? *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 363:2731–43. doi: 10.1098/rstb.2008.0041
2. Suari, Y., Amit, T., Gilboa, M., Sade, T., Krom, M. D., Gafny, S., et al. 2019. Sandbar breaches control of the biogeochemistry of a micro-estuary. *Front. Marine Sci.* 6. doi: 10.3389/fmars.2019.00224
3. Aubrey, D. G., and Friedrichs, C. T. 1996. *Buoyancy Effects on Coastal and Estuarine Dynamics*. Washington, D.C.: Wiley, 359.
4. Carey, R. O. and Migliaccio, K. W. 2009. Contribution of wastewater treatment plant effluents to nutrient dynamics in aquatic systems: a review. *Environ. Manage* 44:205–17. doi: 10.1007/s00267-009-9309-5
5. Topaz, T., Boxall, A. B. A., Suari, Y., Egozi, R., Sade, T., and Chefetz, B. 2020. The ecological risk dynamics of pharmaceuticals in micro-estuary environments. *Environ. Sci. Technol.* 54:11182–90. doi: 10.1021/acs.est.0c02434

פורסם אונליין: 26 בינואר 2026

נערך על ידי: Idan Segev

מנחים מדעיים: Katy Bibi

ציטוט: Suari Y, Sedaka H, Sade T, Blumenfeld T ו Topaz T (2026) מדוע חסר חמצן באסטוארים של נחלי החוף בישראל. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2025.1701304-he

תורגם והותאם מ: Suari Y, Sedaka H, Sade T, Blumenfeld T and Topaz T (2025) What Causes Lack of Oxygen in the Estuaries of Coastal Streams? *Front. Young Minds* 13:1701304. doi: 10.3389/frym.2025.1701304

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

זכויות יוצרים © 2026 Suari, Sedaka, Sade, Blumenfeld ו Topaz. 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

ILAY, גיל: 10

אני בכיתה ה', אוהב לבנות לגו, לקרוא ספרים, לשחק מאיינקרפט לבד או עם חברים ואוהב אוריגמי.



אני סקרן, משתתף בתוכנית מצטיינים במכללת אורנים ואח בכור לשתי אחיות. לומד לנגן על פסנתר, קלרינט וחצוצרה.

הכותבים

YAIR SUARI

אני עובד במרכז האקדמי רופין, שם אני מלמד מחשבים ומדעי הים. מאז שאני זוכר את עצמי אני נמצא המון בים ולכן בחרתי בעבודה הזו. חוץ מזה אני מנסה להיות הרבה עם הילדים שלי.
*yairsuari@gmail.com

HADAR SEDAKA

אני עובדת במעבדה לחקר אסטוארים בפקולטה למדעי הים ומורה במגמת מדעי הים בתיכון החברתי. בין העבודה בנחל לשיעורים על הים, אני מטפסת, צוללת ומטיילת כמה שאפשר.

TAL SADE

אני מנהלת מעבדה בפקולטה למדעי הים וחלק מצוות ניטור האסטוארים, שמנתר בין הים ליבשה ממש כמו האסטואר. או כמו שהילדים שלי קוראים לו כשהם משחקים ים-יבשה "ימבשה".

TOMER BLUMENFELD

אני עוזרת מחקר במעבדת נחל במרכז האקדמי רופין וחובבת הרפתקאות, גרה בחדרה אבל הלב שלי נמצא בים התיכון. כשאני לא מנהלת ניסויים במעבדה, אני מנהלת צוות חיפוש אוצרות על היאכטה המשפחתית עם בן זוגי ו"כלבת הים" שלנו.

TOM TOPAZ

אני חוקר את הימצאות והשפעת חומרים מזהמים על החי והאדם וכמוהם התחלתי ביבשה וזרמתי עד האסטואר והים. כשאני לא חוקר אני מנגן ושר אבל עדיין לא כתבתי שיר על אסטואר.

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



קרן פשפחת
שעשוע
Shashua Family Foundation