

אמציה גנין

המכון הבינאוניברסיטאי למדעי הים
באילת והמחלקה לאקולוגיה,
אבולוציה והתנהגות, האוניברסיטה
העברית בירושלים

ציטוט מומלץ

גנין א. 2023. עשרים שנות ניטור
במפרץ אילת – מה למדנו ובמה
הועלנו? אקולוגיה וסביבה 14(3).



המגוון הביולוגי העשיר של שוניית האלמוגים באילת. בתמונה נראים האלמוגים המסיביים *Platygyra Favia* (בחלק העליון), *Porites* בחלק התחתון, ואלמוגים מעופפים (*Pocillopora* ו-*Acropora*) ביניהם. הדג הכתום הוא פזית ים-סוף (*Pseudanthias squamipinnis*), והשחור-לבן הוא כרומית דו-גונית (*Chromis dimidiata*) | צילום: אסף זבולוני

עשרים שנות ניטור במפרץ אילת – מה למדנו ובמה הועלנו?

31 באוקטובר, 2023

גיליון סתיו 2023 / כרך 14(3)

[בקצרה](#)

בימים אלה חוגגת התוכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת 20 שנה להקמתה. התוכנית הוקמה במימון המשרד להגנת הסביבה לצורך יצירת תשתית ידע עובדתית ארוך-טווח על מצב המערכת האקולוגית בצפון המפרץ. המטרה העיקרית בהקמתה הייתה לזהות מגמות שינוי, אם מתקיימות, ולגבש המלצות ביצועיות לפתרון בעיות אקולוגיות ולסייע בניהול ממשק סביבתי מושכל, מבוסס מדע.

אושיות התוכנית כוללות (א) הפעלת מערך מתקדם למדידה קבועה ומתמשכת של הגורמים האקולוגיים המרכזיים בבתי הגידול העיקריים במפרץ אילת, כולל שוניית האלמוגים והמים הפתוחים; (ב) ביצוע ארוך-טווח של פעילויות הניטור על-ידי צוות קבוע; (ג) פתיחת [נתוני הניטור](#) לשימוש הציבור, כולל חוקרי המפרץ מהארץ ומחו"ל.

במהלך השנים תרמה תוכנית הניטור לבנייתן של תובנות רבות לגבי הגורמים והתהליכים העיקריים הקובעים את תפקודן האקולוגי של המערכות האקולוגיות במפרץ אילת. התובנות האלה מסייעות בקבלת החלטות מבוססות נתונים על-ידי המוסדות המנהלים את משאבי המפרץ וסביבתו ועל-ידי גורמי התכנון. להלן פירוט עיקרי התובנות.



האלמוגים המסיביים *Favia* ו-*Platygyra* (בחלק העליון), *Porites* בחלק התחתון, ואלמוגים מעונפים (*Acropora*) ו-*Pocillopora* ביניהם. הדג הכתום הוא פזית ים-סוף (*Pseudanthias squamipinnis*), והשחור-לבן הוא כרומית דו-גונית (*Chromis dimidiata*) | צילום: עופר בן צבי

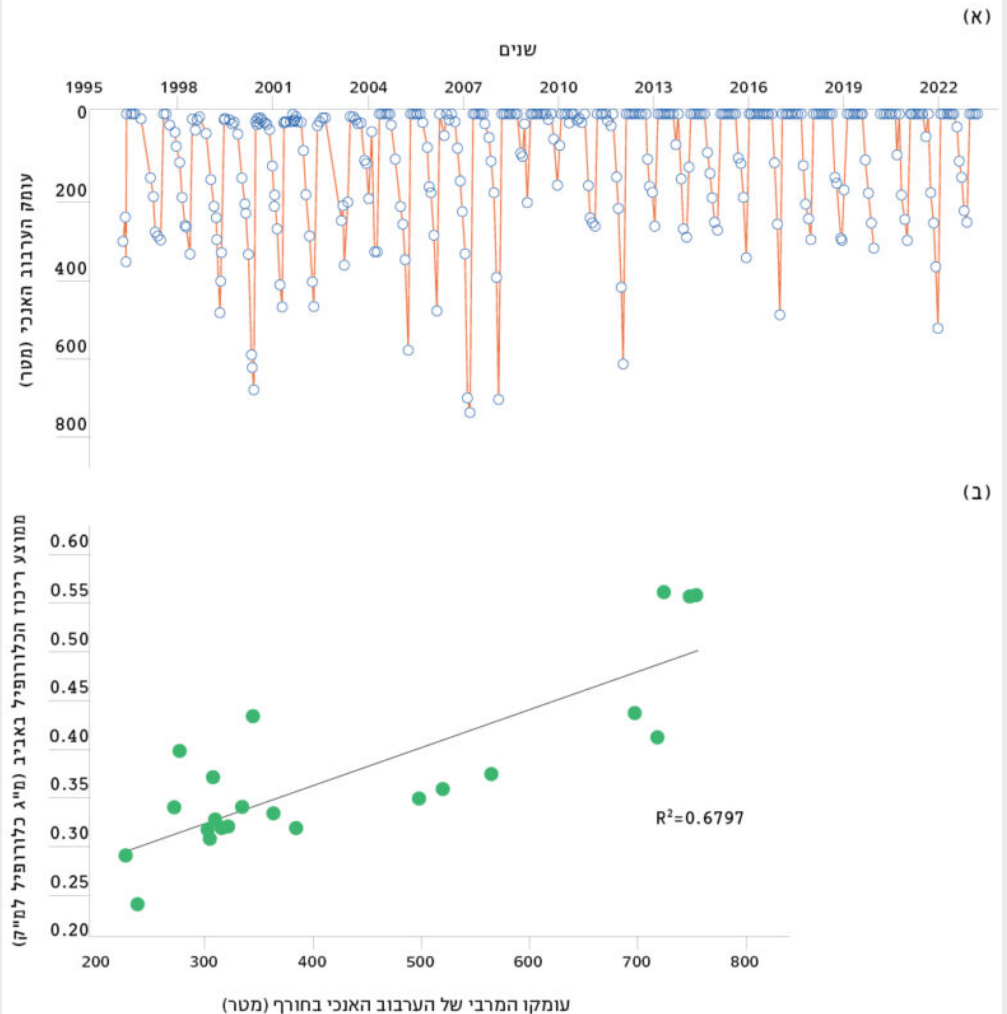
הערבוב האנכי של עמודת המים הוא הגורם העיקרי בקביעת תהליכים אקולוגיים במפרץ אילת

בדומה לרוב האוקיינוסים בעולם, כך גם במפרץ אילת, עמודת המים משוכבת בחודשים החמים של השנה, כלומר, המים העליונים חמים יחסית למים שמתחתיהם. מכיוון שהם חמים יותר, הם צפופים פחות, ומשקלם הסגולי נמוך מזה של המים הקרים שבעומק, ולכן הם צפים מעליהם. מצד שני, במפרץ אילת המים העמוקים חמים יחסית, כ-21 מעלות צלזיוס בעומק של מאות מטרים, בהשוואה ל-10 מעלות או פחות באוקיינוס "רגיל", ולכן השיכוך חלש. קירור המים העליונים בסתיו ובחורף גורם לקירור של המים העליונים ולשקיעתם לעומק. שקיעה זו גורמת לערבוב השכבה העליונה, בתהליך הנקרא ערבוב אנכי (convective mixing). במהלך הקירור הולך הערבוב ומעמיק ([איור 1א](#)). עומקה המרבי של השכבה המעורבת גדול יותר בחורפים קרים יותר. מכיוון שריכוזי החנקות והזרחות (נוטריינטים) עולים עם העומק, מידת דישון המים העליונים תלויה בעומק הערבוב. לכן, בחורפים קרים שהמים העליונים בהם מדושנים ביתר שאת, ריכוזי הפלנקטון גבוהים ([איור 1ב](#)), וגידול האצות בשונית מוגבר. בשנים שהחורף בהן קר מאוד, השונית מתכסה במרבד אצות, הגורם לתמותת אלמוגים מתחתיו ([איור 2](#)). "פריחת" האצות והפלנקטון משפיעה גם על יצורים נוספים בשונית, אם בדרך ישירה (לדוגמה, כמות מזון) ואם בדרך עקיפה (לדוגמה, שיעור התיישבותן של לרוות שהישרדותן בשלב ההפצה תלויה בזמינות המזון – פלנקטון – במים).

איור 1. עומקי הערבוב האנכי בעמודת המים במהלך השנים 1996–2023

(א) הדינמיקה העונתית והרב-שנתית של עומק הערבוב בצפון מפרץ אילת מראה עומקי ערבוב רדודים (פחות מ-400 מטר) בשנים עם חורף חם יחסית מול ערבוב עמוק (מעבר ל-700 מטר) בשנים עם חורף קר. בעקבות העלייה ההדרגתית בטמפרטורת פני הים נראית ירידה בתדירותם של חורפים עם ערבובים עמוקים בעשור האחרון.

(ב) הקשר שבין עומק הערבוב המרבי בחורף לבין שפע הפיטופלנקטון (מוצג באיור כריכוז כלורופיל a) בעת "פריחתו" באביב שלאחר מכן. קשר הדוק זה נובע מכמות חומרי הדשן (נוטריינטים) המועלית בעת הערבוב מהמים העמוקים לשכבה העליונה של עמודת המים, שם עוצמת האור חזקה דיה לתמוך ביצרנות ראשונית.



איור 1

עומקי הערבוב האנכי בעמודת המים במהלך השנים 1996–2023

(א) הדינמיקה העונתית והרב-שנתית של עומק הערבוב בצפון מפרץ אילת מראה עומקי ערבוב רדודים (פחות מ-400 מטר) בשנים עם חורף חם יחסית מול ערבוב עמוק (מעבר ל-700 מטר) בשנים עם חורף קר. בעקבות העלייה ההדרגתית בטמפרטורת פני הים נראית ירידה בתדירותם של חורפים עם ערבובים עמוקים בעשור האחרון.

(ב) הקשר שבין עומק הערבוב המרבי בחורף לבין שפע הפיטופלנקטון (מוצג באיור כריכוז כלורופיל a) בעת "פריחתו" באביב שלאחר מכן. קשר הדוק זה נובע מכמות חומרי הדשן (נוטריינטים) המועלית בעת הערבוב מהמים העמוקים לשכבה העליונה של עמודת המים, שם עוצמת האור חזקה דיה לתמוך ביצרנות ראשונית.

איור 2. שוניית האלמוגים באילת מכוסה "מרבד" אצות

התמונות צולמו בסופו של חורף קר, שהערבוב האנכי בו הגיע ליותר מ-800 מטר. בתמונה מימין נראית השוניית המכוסה במרבד האצות, בעוד שהתמונה משמאל ממחישה את עוביו (30-40 ס"מ). מעטה האצות כלל מין אחד של אצה חוטית: ירוקייה (*Ulva sp.*) | צילום: אמציה גנין.



איור 2

שוניית האלמוגים באילת מכוסה "מרבד" אצות

התמונות צולמו בסופו של חורף קר, שהערבוב האנכי בו הגיע ליותר מ-800 מטר. בתמונה מימין נראית השוניית המכוסה במרבד האצות, בעוד שהתמונה משמאל ממחישה את עוביו (30-40 ס"מ). מעטה האצות כלל מין אחד של אצה חוטית: ירוקייה (*Ulva sp.*) | צילום: אמציה גנין.



מין נוסף של דגים צמודי מקום הוא אלמוגית שוליים (*Dascyllus marginatus*). המחסה המועדף לדגים ממין זה הוא אלמוג השיטית (*Acropora*). הפניית הגוף של הדגים שמאלה מעידה שבעת צילום התמונה כיוון הזרם היה משמאל לימין | צילום: עופר בן צבי

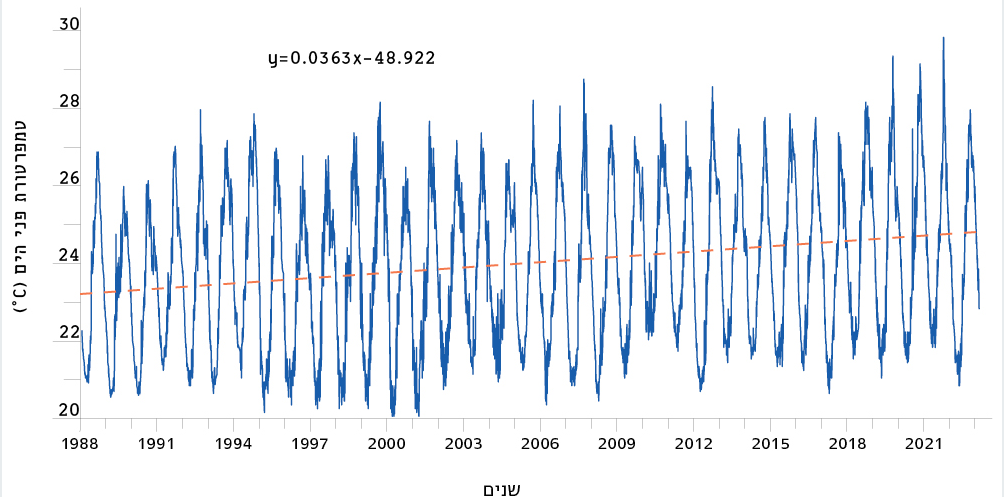
התחממות הים איננה אחידה וצפויה לערער את משטר הערבוב האנכי במפרץ אילת

המים העליונים במפרץ מתחממים בקצב של 0.037 מעלות לשנה, כלומר, למעלה משליש מעלה בעשר שנים (איור 3). קצב זה

תואם את טווח קצבי ההתחממות המתועדים ברחבי האוקיינוסים. אולם קצב ההתחממות באילת קטן באופן ניכר עם העומק. לדוגמה: קצב ההתחממות בעומק 600 מטר עומד על כחמישית המעלה לעשור. משמעותו של הבדל זה היא התחזקות השיכוב בעמודת המים, דבר שכבר הביא להקטנה בתדירותם של ערבובי קיצון בחורף (איור 1). הקטנה זו צפויה להחריף עם הימשכות התחממות האוקיינוסים, דבר שאמור להביא לשינויים אקולוגיים מפליגים בכל המערכות האקולוגיות במפרץ, כולל שונות האלמוגים.

איור 3. טמפרטורת פני הים באילת בשלושת העשורים האחרונים

ההשתנות העונתית והרב-שנתית של טמפרטורת פני הים (Sea-Surface Temperature, SST) הנמדדת מעל שונות האלמוגים באילת אחת ליום מאז 1988. הקו הכתום המקווקו מציג את קו הרגרסיה הליניארית, ששיפועה (0.0363) הוא ממוצע קצב ההתחממות השנתי ב-35 השנים שחלפו.



איור 3

טמפרטורת פני הים באילת בשלושת העשורים האחרונים

ההשתנות העונתית והרב-שנתית של טמפרטורת פני הים (Sea-Surface Temperature, SST) הנמדדת מעל שונות האלמוגים באילת אחת ליום מאז 1988. הקו הכתום המקווקו מציג את קו הרגרסיה הליניארית, ששיפועה (0.0363) הוא ממוצע קצב ההתחממות השנתי ב-35 השנים שחלפו.

לי חום מסכנים את שרידות דגי השונות

להתחממות המים במפרץ נלווים "גלי חום". המדידות המטאורולוגיות והימיות בתוכנית הניטור אפשרו להבין את הקשר בין גל החום הקיצוני בקיץ 2017 לבין תמותה נרחבת של דגי השונות באותו קיץ. הסיבה לתמותה לא הייתה הטמפרטורה המרבית של אותו גל חום, שהיה בינוני בעוצמתו, אלא הקצב המהיר של התחממות המים בתחילתו: עלייה של 4.2 מעלות ב-2.5 ימים. קצב התחממות כה מהיר מערער את מערכת החיסון של דגים. באירוע זה גרם ערעור מערכת החיסון למותם של מאות דגים מלמעלה מ-40 מינים שונים. המוות נגרם מחידק סטרפטוקוקוס מצוי, שדגים בעלי מערכת חיסון תקינה מתמודדים איתו בהצלחה. חוקרי אקלים חוזים עלייה משמעותית בתדירות גלי החום ובעוצמתם עם המשך ההתחממות העולמית. עלייה זו מעלה חשש כבד לגורלם של דגי השונות ודאגה מפני שינויים שעלולים להתרחש בתהליכים אחרים המושפעים מאותם דגים.



קבוצה של דפדוף הפסים (*Abudefduf vaigiensis*), שגם הוא דג שאיננו צמוד מקום. הוא ניזון מזואופלקטון, אלא שבניגוד לכחל המשחר לטרף בעמודת המים שמחוץ לשונית, הדפדוף נמצא תמיד סמוך לשונית/צילום: עופר בן צבי

גלמוגי אילת עמידים בפני התחממות האוקיינוסים

טמפרטורת פני המים במפרץ מגיעה כמעט ל-31 מעלות, כלומר גבוהה ביותר מ-1.5 מעלות מממוצע הטמפרטורה המרבית ששררה במפרץ בעשור האחרון של המאה הקודמת. עדויות מהעולם מראות שבהתחממות שכזו אלמוגי השונית עוברים "הלבנה" (bleaching) ומתים. למרות זאת, האלמוגים באילת לא נפגעו, ואלה חדשות מעודדות. בכל האוקיינוסים, למעט במפרץ אילת, כשליש עד כמחצית מאלמוגי העולם מתו בעקבות הלבנה. נתוני תוכנית הניטור שימשו בסיס למציאת ההסבר לתעלומת עמידותם זו של אלמוגי מפרץ אילת^[1].

פתרון התעלומה קשור להכחדה המוחלטת של שוניות האלמוגים בים סוף בתקופת הקרח האחרונה (לפני כ-20,000 שנה). לאחר סיומה של תקופה זו, לפני כ-8,000 שנה, כאשר החלו לרוות של אלמוגים להגיע עם זרמים מהאוקיינוס ההודי לים סוף, האקלים באזורנו היה כבר דומה לזה השורר כיום. לכן, רק לרוות שעמידות לטמפרטורת המים הגבוהה בדרום ים סוף (34 מעלות) שרדו במעבר. מפאת אורך חייהן הקצר של הלוות, אלה ששרדו במעבר עצמו, בהכרח התיישבו על הקרקעית באזור וגדלו במים החמים שנתיים לפחות שלאחריהן התרבו ושחררו לרוות שהמשיכו את צעדי ההתפשטות צפונה. בסיכומם של צעדים אלה, בני 100–300 ק"מ כל אחד, הגיעו האלמוגים עד למפרץ אילת. במילים אחרות, המים החמים בדרום ים סוף שימשו מחסום בררני שדרכו יכלו לעבור צפונה רק גנוטיפים שמסוגלים לשרוד במים בטמפרטורה של 34 מעלות. מכיוון שטמפרטורת המים הממוצעת באילת איננה עולה (בינתיים) על 30 מעלות (איור 3), הגנוטיפים העמידים ב-34 מעלות מאפשרים לאלמוגי אילת להמשיך ולהתקיים ללא הלבנה גם כאשר טמפרטורת המים עוברת את ערך הסף הנצפה באוקיינוסים אחרים (1.5 מעלות מעל ממוצע הטמפרטורה המרבית).



חבצלת ים (Lamprometra) על אלמוג Turbinaria. חבצלות הים שייכות לקבוצה מגוונת של חסרי חוליות ליליים בעלי "זרועות מניפה", שהן פורסות כדי לסנן מהמים הזורמים את טרפם (פיטופלנקטון). בעת השקיעה יוצאות החבצלות ממקום מסתורן ומטפסות על אלמוגים וסלעים בולטים, שם הן נחשפות לזרמים חזקים יחסית. לפני הזריחה חוזרות החבצלות למקום המסתור. בשנת 1989 נעלמו חבצלות הים כמעט לחלוטין מהשונית באילת. מאז 2004 תועדה בתוכנית הניטור חזרתן ההדרגתית לשונית, וכיום הן מצויות ביותר | צילום: רותי ריף

זנכלוסיית האלמוגים גדלה, אך אינה חסינה מפגיעות

ניטור שונית האלמוגים בעשור האחרון תיעד עליה מתונה בשפע האלמוגים. עם זאת, המגמה החיובית נקטעה ב-2017 כאשר [סערת קיצון הכתה בחופי אילת](#) שונות מרהיבות נהרסו, ואלמוגים נעקרו ממקומם ומתו ([איור 4](#)). התאוששות השונית מאז הייתה איטית, ונזקי הפגיעה באלמוגים נראים עד היום. יש לציין את איטיות התאוששותה של השונית לאחר הסערה, דבר שעשוי להיות קשור לקצב הנמוך של אספקת לרוות או לרגישותם הגבוהה של אלמוגים צעירים להפרעות אחרות (מזהמים, פגיעה פיזית על-ידי מבקרים, סערות, כיסוי בחול וכד').

איור 4. סערה דרומית עזה במפרץ אילת

מימין: סערת הקיצון שהכתה בחופי אילת (12-13 במרץ 2020). סערה בעוצמה כה גדולה לא זכורה מאז החלו תצפיות ימיות באילת. יש הסבורים שזו סערה של "פעם ב-50 שנה" ואולי אף 100 שנה. התמונה ממחישה את עוצמת הגלים על רקע המזח של המכון הבינאוניברסיטאי | צילום: יואב לינדמן.

משמאל: השונית המרהיבה של אלמוגי אבן מסיביים, לפני שנהרסה כמעט כליל בסערה. אלמוגים ענקיים, בהם כאלה שהיו בני עשרות שנים, נעקרו ממקומם, התדרדרו במורד המדרון, ומתו זמן מה לאחר מכן | צילום: עופר בן צבי.



איור 4

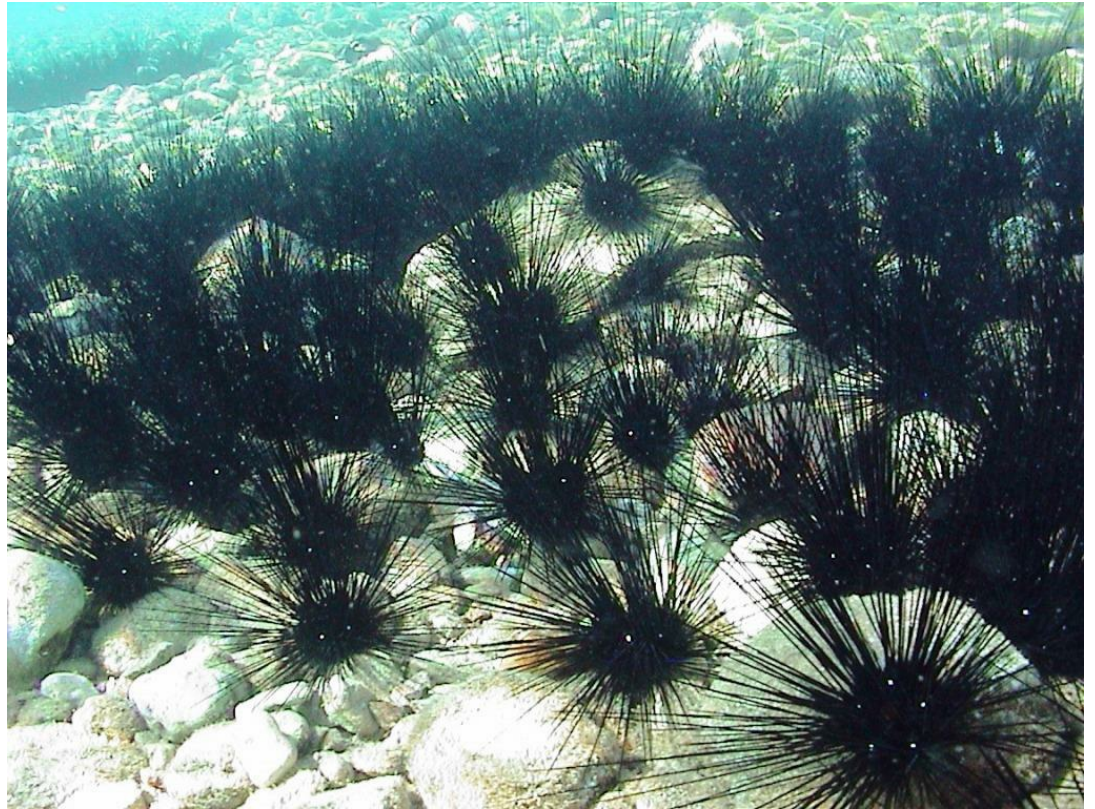
סערה דרומית עזה במפרץ אילת

מימין: [סערת הקיצון שהכתה בחופי אילת](#) (12-13 במרץ 2020). סערה בעוצמה כה גדולה לא זכורה מאז החלו תצפיות ימיות באילת. יש הסבורים שזו סערה של "פעם ב-50 שנה" ואולי אף 100 שנה. התמונה ממחישה את עוצמת הגלים על רקע המזח של המכון הבינאוניברסיטאי | צילום: יואב לינדמן.

משמאל: השונית המרהיבה של אלמוגי אבן מסיביים, לפני שנהרסה כמעט כליל בסערה. אלמוגים ענקיים, בהם כאלה שהיו בני עשרות שנים, נעקרו ממקומם, התדרדרו במורד המדרון, ומתו זמן מה לאחר מכן | צילום: עופר בן צבי.

תנודתיות רב-שנתית ניכרת בגודלן של אוכלוסיות חסרי החוליות בשונית

כימות השפע של חסרי חוליות שונים החיים בשונית האלמוגים מצביע על תנודות רב-שנתיות ניכרות, בפרט בקרב מספר מחלקות של קווצי עור (Echinodermata): [קיפודים](#), [חבצלות](#) ונחשוניים ענקיים, הנקראים נחשונק (*Astroboa*). לדוגמה, חבצלות הים שנעלמו ב-1989, שבו ב-2004, ומאז התפשטו ונעשו נפוצות ביותר. כמותן, גם נחשונק שהיה נדיר בתחילת תקופת הניטור, נעשה מצוי למדי כיום. עם זאת, מדאגה ביותר היא הירידה החדה המתועדת מאז 2016 בשפע של קיפוד הים השחור נזרית ארוכת-קוצים (*Diadema setosum*), שאפיין בעבר את השונית באילת ומאז השפע שלו צנח, ושל הקטיפן האילתי (*Tripneustes gratilla elatensis*), קיפודים שהיה נפוץ ביותר במים הרדודים. מינים אלה ניזונים מאצות, והיעדרם העלה חשש להתרבות האצות. כאשר שפע האצות גדל, הדבר עלול להביא לתמותת אלמוגים בוגרים ([איור 2](#)) ולפגוע בהתיישבותם של אלמוגים צעירים בשונית. עם זאת, נתוני תוכנית הניטור המכמתת את שיעורה של רעיית האצות בשונית, מצביעים על כך שבינתיים רועי אצות אחרים, בפרט דגים וחלזונות, מפצים ביעילות על היעדרם של קיפודי הים. שפע האצות בשונית לא עלה מאז היעלמות קיפודי הים.

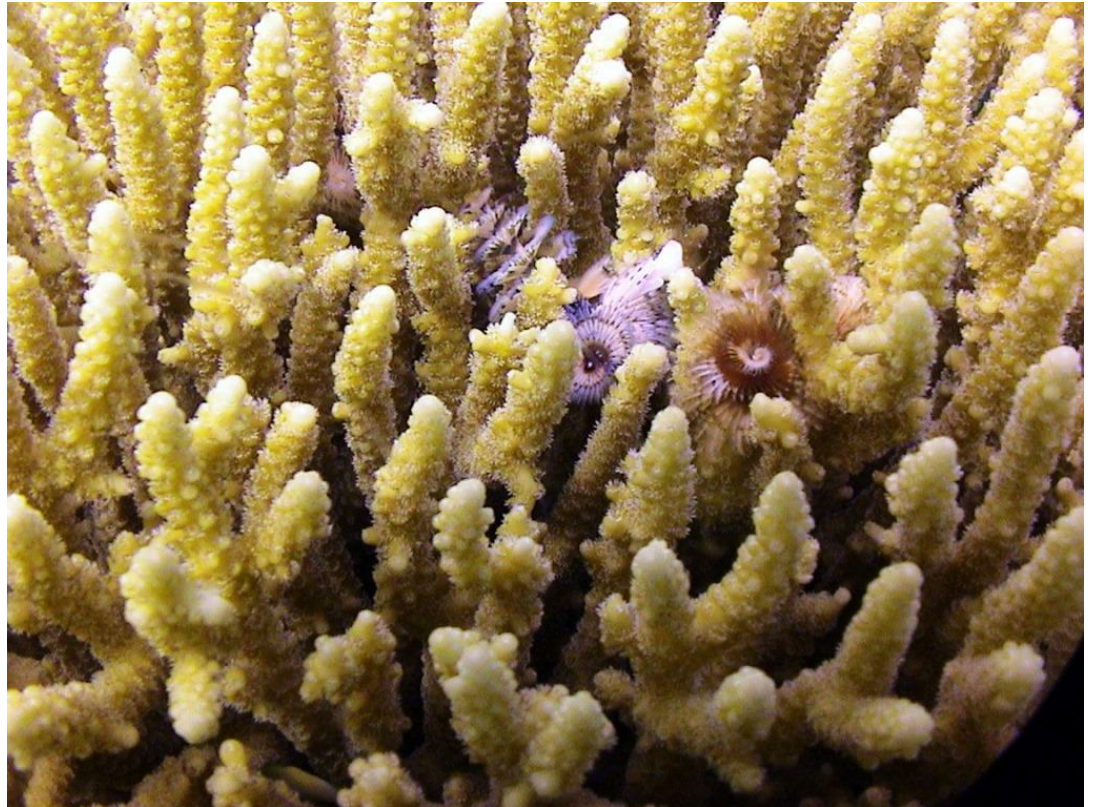


אוכלוסייה צפופה של קיפודים שחור מהמין נזרית ארוכת-קוצים (*Diadema setosum*) באילת בשנות ה-90 של המאה הקודמת. אוכלוסיית המין הלכה ודעכה במהלך שלושת העשורים האחרונים, וכיום (2023) כמעט ולא נראים קיפודים ממין זה באילת/צילום: עופר בן צבי

הוצאת כלובי הדגים הייתה מוצדקת

מדירות ריכוזי הנוטריינטים והחמצן בתוכנית הניטור אפשרו השוואה בין ריכוזיהם בתקופה שכלובי הדגים היו באילת, לתקופה שאחרי הוצאתם מהים. מסתבר, שבעקבות ההוצאה ירדו ריכוזי הנוטריינטים, וריכוז החמצן במים העמוקים עלה. משלהי המאה הקודמת גרמו כלובי הדגים להיעלמות חברת עשב הים מהאזור ולהתפתחות תנאים אנאירוביים בפני הקרקעית שמתחת לכלובים. לאחר הוצאתם עלה בהדרגה ריכוז החמצן בקרקעית, היצורים שאפיינו את חברת הקרקעית החולית לפני כן חזרו, ושבה והתפתחה באזור חברת עשב ים עשירה ומגוונת. כלומר, הוצאת כלובי הדגים תרמה להתאוששותם של משטחי עשב הים וחברת הקרקעית החולית בחוף הצפוני. השוואת ריכוזי הנוטריינטים והחמצן איששה את הטענה שהוצאת כלובי הדגים הייתה מוצדקת. נוסף על כך, ההשוואה אפשרה לקבוע ערך מרבי לשחרור נוטריינטים ממתקנים יבשתיים לים. ערך זה (22 טונות חנקן לשנה) משמש את המשרד להגנת הסביבה בהחלטותיו לגבי היתרי הזרמה לים על-ידי מפעלים קיימים וכאלה המיועדים להקמה.

לסיכום, מפרץ אילת הוא בית גידול ייחודי בקנה מידה עולמי. לצמצום הפרעות סביבתיות בבית גידול שכזה ולמניעתן יש חשיבות עולמית, משום שהשונית במקום בנויה מאלמוגים עמידים להתחממות העולמית. לפיכך, שמירתה של השונית באילת חשובה לעתיד שונית האלמוגים בעולם. היא חשובה גם לעתיד השונית באזורנו, מן הטעם שזוהי שונית האלמוגים היחידה בישראל. לכן, יש לצמצם ואף להסיר את גורמי ההפרעה הסביבתית העיקריים במפרץ, למשל לצמצם את פעילות שינוע הנפט ממזח קצא"א היושב ממש על השונית, להטיל מגבלה אפקטיבית על הדיג באזור החופי, בפרט של דגים אוכלי אצות, ולצמצם את הזרמתם של חומרי דשן למפרץ. יש להקפיד לערב גורמי סביבה מקצועיים, כולל אנשי מחקר וניטור, בתכנון של כל פעילויות "הפיתוח" העתידי בים ובאזור החופי.



תמונת תקריב של האלמוג המעונף שיטית (*Acropora*). גדלים עליו שני פרטים של תולעת רב-זיפית ממין סלילנית ענק (*Spirobranchus*) | צילום: עופר בן צבי

תודות

הישגי תוכנית הניטור נזקפים כולם לעבודתם המסורה והמקצועית של חברי צוות הניטור היום: ד"ר יוני שקד, ענבל איילון, טניה ריבלין, מוריאל דריי, אירנה קולסניקוב וד"ר טל עמית, ובעבר: ד"ר ניצן שגב, רחמים שם טוב, מרק צ'רניחובסקי לירז לוי, רותי ריף, יעל אלדמן, רוני להב וד"ר ג'ק סילברמן. כולם ראו ורואים בעבודתם בניטור שליחות ותרומה חשובה להגנת הסביבה הימית במפרץ אילת. תודתנו נתונה גם לאנשי המשרד להגנת הסביבה לדורותיו, בפרט לרני עמיר ויצחק (בנדה) בן דוד, המלווים את התוכנית מיום הקמתה, ולדרור צוראל, אלי שטרן, סיניה נתניהו, ארנה מצנר, ונגה קרונפלד-שור, על סיוע, תמיכה ועידוד לכל אורך הדרך.

מקורות

1. Fine M, Gildor H, and Genin A. 2013. A coral reef refuge in the Red Sea. *Global Change Biology* **19**(12): 3640–3647.