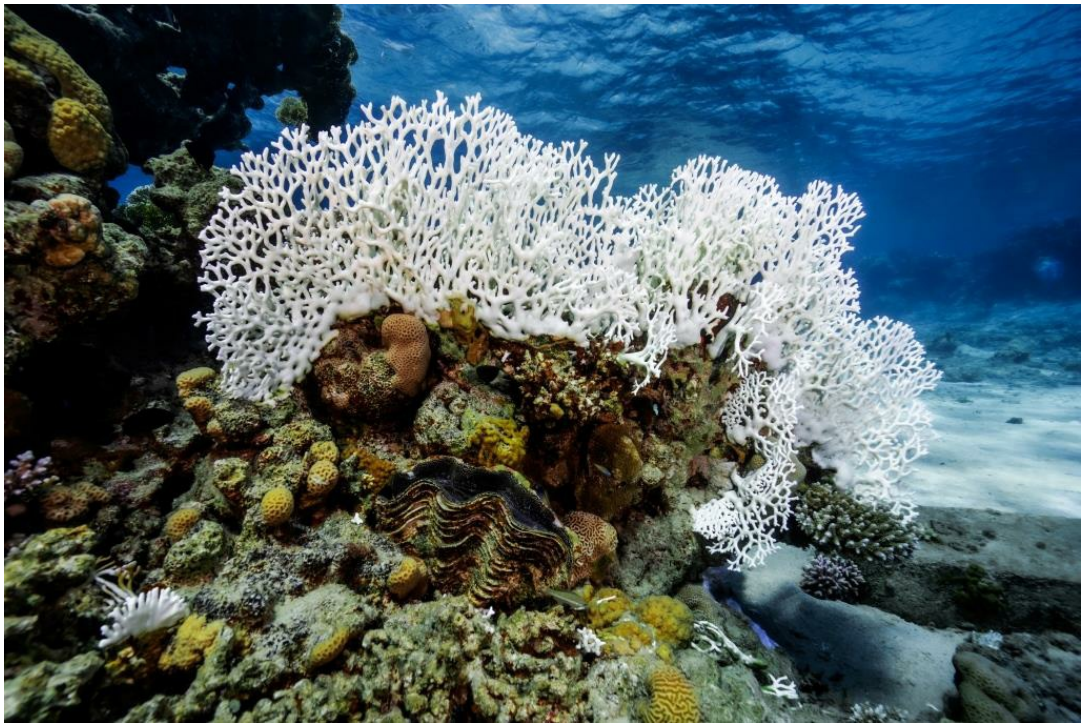


הלבנת אלמוגים בשונית מפרץ: הידרתיים מהמין *Millepora dichotoma* ("אלמוגי אש"), 8.9.2024 | צילום: עמרי יוסף עומסי

הלבנת אלמוגים במפרץ אילת – שוניות על סף נקודת מפנה?

בקצרה | גיליון חורף 2024 / כרך 15(4) | 4 בנובמבר, 2024

אסף זבולוני
מחוז דרום, רשות הטבע והגנים

מעוז פיין
המכון למדעי החיים ע"ש אלכסנדר סילברמן, האוניברסיטה העברית בירושלים; המכון הבין־אוניברסיטאי למדעי הים באילת

יונתן שקד
האוניברסיטה העברית בירושלים; המכון הבין־אוניברסיטאי למדעי הים באילת

ציטוט מומלץ

זבולוני א, פיין מ ושקד י. 2024. הלבנת אלמוגים במפרץ אילת – שוניות על סף נקודת מפנה? *אקולוגיה וסביבה* **15**(4).

באמצע חודש אוגוסט 2024 החלו להתקבל דיווחים חריגים על הלבנת אלמוגים (coral bleaching) בשוניות באילת – דבר המעורר חשש כבד לעתידן. הלבנת אלמוגים היא תופעה שנגרמת בגלל שינויים קיצוניים בתנאים הסביבתיים, לאחר שהסימביוזה בין האלמוגים והאצות השיתופיות שגדלות בתוכם מפסיקה להתקיים, והאצות נפלטות מתוך רקמות האלמוגים אל המים. הסימביוזה הזו הכרחית לקיומם של מינים רבים של אלמוגים, והיא מקור האנרגיה העיקרי שלהם. לאחר שהאצות נפלטות מהאלמוגים, ניתן לראות את השלד הלבן של האלמוגים דרך רקמותיהם השקופות, ומכאן מקור שמה של התופעה. בשלב הראשון של ההלבנה האלמוגים בדרך כלל חיים, אך הם סובלים מהרעבה חמורה. אם התנאים הסביבתיים אינם מתמתנים, התוצאה עלולה להיות תמותה של האלמוגים המולבנים. ברוב המקרים הגורם העיקרי להלבנת אלמוגים הוא עלייה חריגה בטמפרטורת מי הים. גורמי עקה נוספים, כמו זיהומים ואיכות מים ירודה, משפיעים על חוסנם (resilience) של האלמוגים ועל יכולתם להתמודד עם ההתחממות [4, 13]; ועל כן גם להם יש חלק בתופעה.

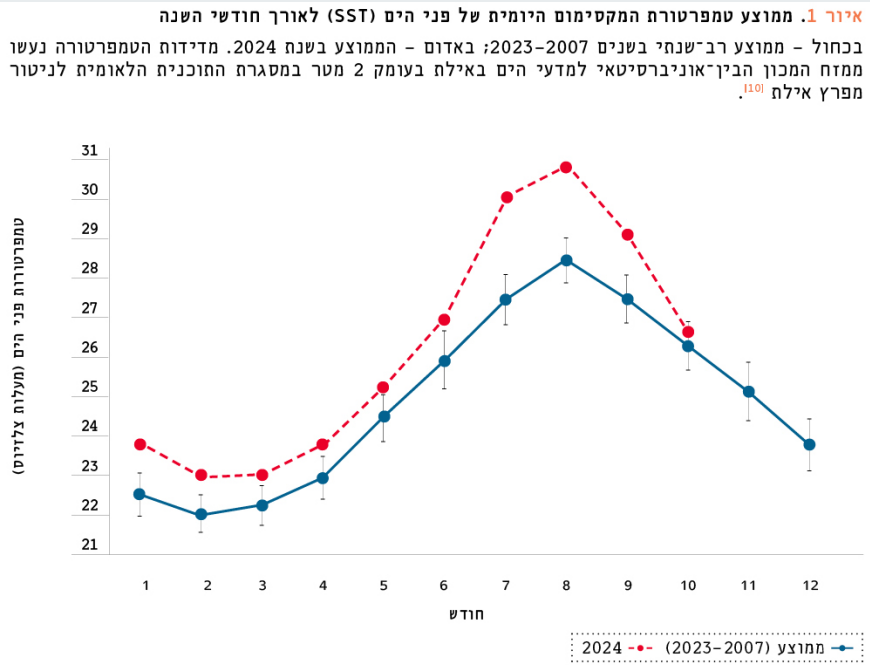
לאלמוגי מפרץ אילת חוסן טבעי ייחודי לעלייה בטמפרטורת מי הים ולתופעת הלבנת האלמוגים שנלווית לה [6]. חוסנם של אלמוגי מפרץ אילת הוא תוצאה של סלקציה לעמידות לטמפרטורות מים גבוהות שמתרחשת מזה אלפי שנים באזור מִצְרֵי באב אל־מנדב, "שער הכניסה" הדרומי של מים מהאוקיינוס ההודי לים סוף. הטמפרטורות הגבוהות השוררות באזור זה מאפשרות רק לפרטים עם גנוטיפים בעלי עמידות גבוהה לחום להיכנס לים סוף. במפרץ אילת הטמפרטורות נמוכות באופן משמעותי מאלה שבדרום ים סוף, אך האלמוגים שמאכלסים את המפרץ הם צאצאי אלמוגים שעברו את הסלקציה בדרום ים סוף.

סקר להבנת היקף תופעת הלבנת האלמוגים וכן שיעור ההתאוששות והתמותה של האלמוגים שהולבנו. מפרץ אילת, 19.9.2024 | צילום: עמרי יוסף עומסי

עד לקיץ האחרון עמד חוסנם של אלמוגי מפרץ אילת במבחן המציאות, וגם בשנים חמות מאוד שקדמו לשנה הנוכחית, תופעת הלבנת האלמוגים כמעט ולא נצפתה במפרץ אילת (למעט אלמוגים בודדים בשוניות הרדודות ואירועים סלקטיביים בשוניות המזופוטיות [שוניות בעומק 30–150 מטר] [5]). שנת 2024 הייתה חריגה מאוד מבחינת הטמפרטורות, אפילו ביחס לשנים החמות של העשור האחרון (איור 1). נתוני התוכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת [10] מראים שטמפרטורת המקסימום היומית הממוצעת באוגוסט 2024 הייתה 30.6 מעלות צלזיוס לעומת ממוצע רב־שנתי של 28.2±0.16 (ממוצע±סטיית תקן) בחודשי אוגוסט בשנים 2007–2023. בשנת 2024 טמפרטורת המקסימום היומית עלתה מעל ל־30 מעלות צלזיוס כבר ב־12 ביולי, וירדה מ־30 מעלות רק ב־12 בספטמבר. במשך חודשיים אלה, ממוצע טמפרטורת המקסימום היומית היה 30.4 מעלות, וב־4 באוגוסט נמדדה הטמפרטורה הגבוהה ביותר במהלך הקיץ – 31.9 מעלות. נוסף על כך, קיץ 2024 אופיין ברוחות חלשות מאוד ובמצבים המכונים "שתיל" (אוויר עומד), דבר שמנע ערבול של המים, הקטין את האידוי, ותרם ליצירת שכבת מים עליונה חמה מאוד [1].

איור 1. ממוצע טמפרטורת המקסימום היומית של פני הים (SST) לאורך חודשי השנה

בכחול – ממוצע רב־שנתי בשנים 2007–2023; באדום – הממוצע בשנת 2024. מדידות הטמפרטורה נעשו ממזח המכון הבין־אוניברסיטאי למדעי הים באילת בעומק 2 מטר במסגרת התוכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת [10].



איור 1
ממוצע טמפרטורת המקסימום היומית של פני הים (SST) לאורך חודשי השנה

בכחול – ממוצע רב־שנתי בשנים 2007–2023; באדום – הממוצע בשנת 2024. מדידות הטמפרטורה

נעשו ממזח המכון הבין־אוניברסיטאי למדעי הים באילת בעומק 2 מטר במסגרת התוכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת [10].

ב־12.8.2024 התקבלו דיווחים ראשונים על הלבנה של המין *Millepora dichotoma* – "אלמוגי אש" ממחלקת ההידרתיים. בשבועות שלאחר מכן נצפו יותר מעשרה מיני אלמוגים וכן שושנות ים שהראו סימני הלבנה (איור 2). בימים אלה אנו מבצעים סקרים שיעזרו לנו להבין את היקף התופעה ואת שיעור ההתאוששות והתמותה של האלמוגים שהולבנו.

איור 2

הלבנת אלמוגים בשוניות אילת, ספטמבר 2024

א. הידרתיים מהמין *Millepora dichotoma* ("אלמוגי אש"); ב. אלמוג אבן מהסוג גבשושן (Montipora); ג. אלמוג אבן מהסוג חרירן (Porites) שחלקו מולבן ושמידת ההלבנה שלו נבחנת בכרטיס צבעים (Coral Health Chart); ד. בלט שונית שעליו אלמוגי אבן מהסוג ספלולית (Astreopora); ה. תמותה חלקית באלמוג אבן מהסוג ספלולית. צילום: עמרי יוסף עומסי ואסף זבולוני.

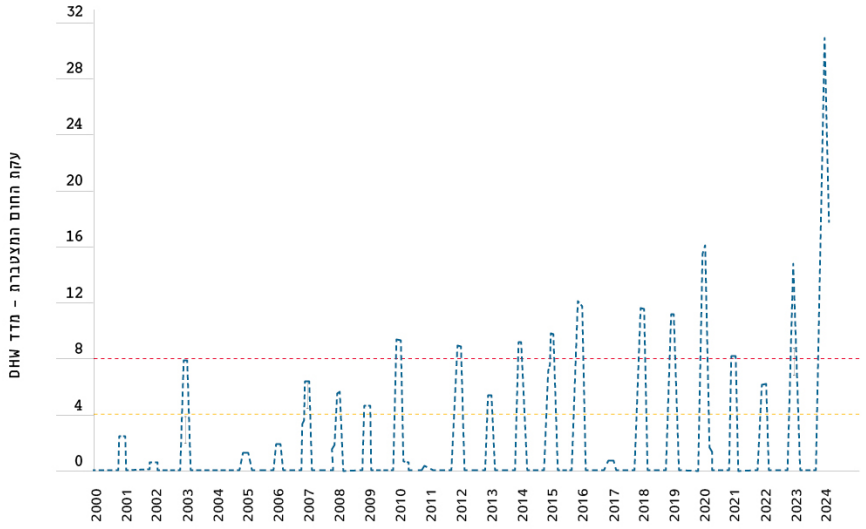
אלמוג מהסוג Goniopora שהחל להראות תמותה חלקית לאחר שהולבן. מפרץ אילת, 19.9.2024 | צילום: אסף זבולוני

אירוע ההלבנה שנצפה השנה העלה שאלה לגבי מידת החוסן של שוניות אילת לתופעת ההלבנה. מקובל להשתמש במדד שנקרא DHW - Degree Heating Week [9], לכימות עקת החום על שוניות אלמוגים. מדד זה משקלל לא רק את מידת עומס החום, אלא גם את משכו, כלומר, את עקת החום המצטברת. חישוב המדד במקומות רבים בעולם הראה שכאשר הוא עולה על 4, מתחילה תופעה של הלבנת אלמוגים (alert level 1), וכאשר הוא עולה על 8, היקף ההלבנה חמור (mass coral bleaching; alert level 2).

מבדיקה של נתוני לוויין שמפרסם NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration [12], עבור כל מפרץ אילת (ללא התמקדות בחלקו הצפוני) עולה שבמהלך עשר השנים שקדמו לשנה הנוכחית (2014–2023), למעט שנת 2017, מדד ה־DHW היה גבוה מ־4, ובמהלך שבע שנים מתוכן הוא אף היה גבוה מ־8, עם שיא של 15.6 בשנת 2020 (איור 3). באופן חריג במיוחד, השנה (2024) הגיע מדד ה־DHW ל־30 ב־22 בספטמבר. נכון ליום כתיבת מאמר זה (28 באוקטובר 2024) הוא ירד ל־16.6. כלומר, אם החוסן הטבעי של אלמוגי מפרץ אילת לא היה חריג כפי שהציעו Fine ואחרים [6], הרי שהיינו אמורים להיות עדים לאירועים משמעותיים של הלבנת אלמוגים במפרץ אילת במהלך שבע שנים בעשור שחלף, שמדד DHW היה גבוה בהן מ־8. בפועל, רק כשהמדד הגיע ל־17.7 (ב־12 באוגוסט 2024), החלו להיראות אלמוגים מולבנים בשוניות אילת. עד כה נראה שהלבנת האלמוגים באילת לא הגיעה למצב חמור, אולם מוקדם לקבוע מה יהיו תוצאותיה בטווח הארוך.

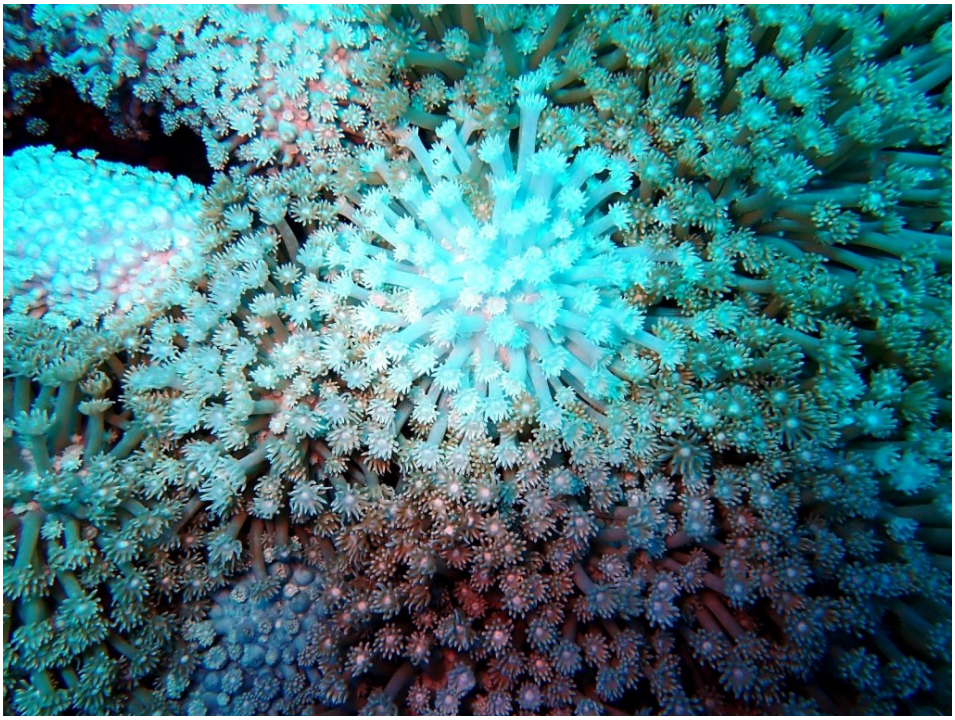
איור 3. עקת החום המצטברת במפרץ אילת במהלך השנים 2000-2024, המבוטאת על־ידי מדד DHW (Degree Heating Week) [9]

המדד מבטא את עקת החום המצטברת בכל נקודת זמן בהתאם לטמפרטורות במהלך 12 השבועות שקדמו לה, על־ידי שקלול מידת החריגה מערך סף מחושב וממשך החריגה. עבור רוב השוניות בעולם, הקו הצהוב המקווקו מסמן את המעבר למצב של סימני הלבנה (DHW=4, alert level 1) והקו האדום המקווקו מסמן את המעבר לאירוע הלבנה משמעותי (DHW=8, alert level 2). המדד חושב על סמך מדידות לוויין עבור כל מפרץ אילת [12].



איור 3
עקת החום המצטברת במפרץ אילת במהלך השנים 2000–2024, המבוטאת על־ידי מדד DHW [9]

המדד מבטא את עקת החום המצטברת בכל נקודת זמן בהתאם לטמפרטורות במהלך 12 השבועות שקדמו לה, על־ידי שקלול מידת החריגה מערך סף מחושב וממשך החריגה. עבור רוב השוניות בעולם, הקו הצהוב המקווקו מסמן את המעבר למצב של סימני הלבנה (DHW=4, alert level 1) והקו האדום המקווקו מסמן את המעבר לאירוע הלבנה משמעותי (DHW=8, alert level 2). המדד חושב על סמך מדידות לוויין עבור כל מפרץ אילת [12].



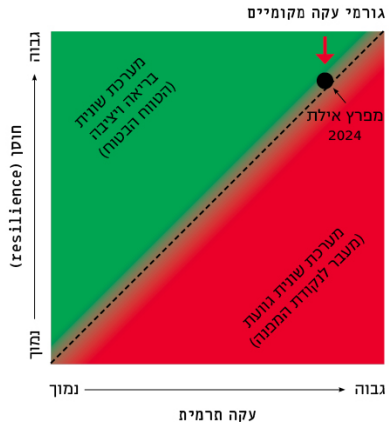
אלמוג אבן מהסוג Goniopora מולבן באופן חלקי. "אירוע ההלבנה שנצפה השנה העלה שאלה לגבי מידת החוסן של שוניות אילת לתופעת ההלבנה". מפרץ אילת, קיץ 2024 | צילום: אסף זבולוני

אף על פי שהחוסן של אלמוגי מפרץ אילת גבוה וייחודי ברמה העולמית, מסתבר שגם לו יש קו אדום, וסביר

שמערכת השונית הגיעה השנה אל סף נקודת המפנה (tipping point) (איור 4). טמפרטורות פני הים בקיץ 2024 היו גבוהות במיוחד, אך ישנם גם גורמי עקה מקומיים רבים שעלולים לפגוע בחוסן הטבעי [13,4]. מבחינת איכות המים, למשל, לשילוב של טמפרטורות גבוהות והעשרה בנוטריינטים יש השפעה מאגברת (סינרגית) קריטית על רגישות אלמוגים לתופעת ההלבנה [15,14]. כיום ישנה חריגה מכמות החנקות שמוזרמות מהחוף הישראלי לצפון מפרץ אילת (כגון תמלחות עשירות בחנקות, שהן מי הפלט של תהליך ההתפלה ושל חקלאות ימית). ערך הסף להזרמת חנקן למפרץ אילת הוא 22 טונות חנקן בשנה, כפי שקבעה ועדת מומחים שכינס המשרד להגנת הסביבה [2], אך כיום מוזרמות 26 טונות חנקן בשנה, וישנן אף דרישות להגדיל את החריגה. בהינתן העלייה הנצפית והצפויה בטמפרטורות פני הים והתדירות הגבוהה והבלתי צפויה של גלי חום, העשרה בנוטריינטים מסכנת באופן ישיר את שוניות האלמוגים, מכיוון שהיא מעלה בצורה ניכרת את ההסתברות לאירוע הלבנה חמור. ממצאים מדאיגים נוספים הם הימצאותם של מזהמים שונים באלמוגים במפרץ אילת, שמקורם בתרופות נפוצות שבשימוש האדם [11]. המזהמים האלה עלולים לפגוע עוד יותר בחוסנם של אלמוגי המפרץ.

איור 4. על סף נקודת מפנה – גרף רעיוני המבטא את השקפת הכותבים

הנקודה השחורה מייצגת את מצבו הנוכחי של מפרץ אילת (ב-2024) ביחס לנקודת המפנה (tipping point) המיוצגת בקו שחור מקווקו. מצד אחד, החוסן הטבעי של אלמוגי אילת גבוה מאוד ביחס למקומות רבים בעולם, ומאפשר לאלמוגים לעמוד בעומס גבוה מאוד של חום [6] (איור 3), אך מצד שני הוא מושפע גם מהפרעות מקומיות, כגון עומס נוטריינטים, הדוחפות את השוניות לנקודת המפנה [15,14].



איור 4
על סף נקודת מפנה – גרף רעיוני המבטא את השקפת הכותבים

הנקודה השחורה מייצגת את מצבו הנוכחי של מפרץ אילת (ב־2024) ביחס לנקודת המפנה (tipping point) המיוצגת בקו שחור מקווקו. מצד אחד, החוסן הטבעי של אלמוגי אילת גבוה מאוד ביחס למקומות רבים בעולם, ומאפשר לאלמוגים לעמוד בעומס גבוה מאוד של חום [6] (איור 3), אך מצד שני הוא מושפע גם מהפרעות מקומיות, כגון עומס נוטריינטים, הדוחפות את השוניות לנקודת המפנה [14,15].

חשוב לציין שבמקרים רבים, כאשר מערכות אקולוגיות ימיות נתונות לתנאים קיצוניים (כגון עומס חום וגורמי עקה מקומיים) ו"נדחפות" אל נקודת המפנה, התגובה עלולה להיות חריפה ופתאומית [3], כפי שקורה באזורי שונית רבים בעולם, ולאו דווקא התדרדרות ליניארית שהיא פרופורציונית לעוצמת ההפרעות. במקרים אלה, היכולת לחזור למצב ההתחלתי אינה קיימת, בייחוד לנוכח התנאים האקלימיים המשתנים שאינם בשליטתנו המיידית, ועומס גורמי העקה שלרוב גדל עם הזמן. על כן, בהינתן החוסן הייחודי שיש לאלמוגי מפרץ אילת המקנה להם חשיבות מיוחדת בקנה מידה בין־לאומי [6], על מדינת ישראל מוטלת האחריות להפחית ככל שניתן גורמי עקה מקומיים. מאמצי שימור מקומיים עשויים לשמר את החוסן, והם מהווים הזדמנות ייחודית להגן על שוניות האלמוגים במפרץ אילת [8] בעת ששוניות אלמוגים בעולם דועכות בקצב מהיר בגלל שינוי האקלים [7].

תודות

לד"ר רמי קליין על העצות וההערות הבונות.

מקורות

1. Abir S, McGowan HA, Shaked Y, et al. 2024. Air–sea interactions in stable atmospheric conditions: Lessons from the desert semi-enclosed Gulf of Eilat (Aqaba). *Atmospheric Chemistry and Physics* **24**(10): 6177–6195.

2. Berman-Frank I, Chernov D, Diamant A, et al. 2016. Scientific committee concerned with effluent discharge from aquaculture activities into the gulf of Eilat. Ministry of Environmental Protection, Israel.

3. Côté IM and Darling ES. 2010. Rethinking ecosystem resilience in the face of climate change. *PLoS Biology* **8**(7): e1000438.

4. Donovan MK, Burkepile DE, Kratochwill C, et al. 2021. Local conditions magnify coral loss after marine heatwaves. *Science* **372**(6545): 977–980.

5. Eyal G, Laverick JH, Ben-Zvi O, et al. 2022. Selective deep water coral bleaching occurs through depth isolation. *Science of the Total Environment* **844**: 157180.

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

7. Hughes TP, Kerry JT, Álvarez-Noriega M, et al. 2017. Global warming and recurrent mass bleaching of corals. *Nature* **543**(7645): 373–377.

8. Kleinhaus K, Al-Sawalmih A, Barshis DJ, et al. 2020. Science, diplomacy, and the Red Sea's unique coral reef: It's time for action. *Frontiers in Marine Science* **7**: 90.

9. Liu G, Rauenzahn JL, Heron SF, et al. 2013. NOAA coral reef watch 50 km satellite sea surface temperature-based decision support system for coral bleaching management. NOAA Technical Report NESDIS 143.

10. Meteo-Tech. Eilat Marine Weather. Viewed 28 Oct 2024.

11. Navon G, Nordland O, Kaplan A, et al. 2024. Detection of 10 commonly used pharmaceuticals in reef-building stony corals from shallow (5–12 m) and deep (30–40 m) sites in the Red Sea. *Environmental Pollution* **360**: 124698.

12. NOAA Coral Reef Watch. 2024. Gulf of Aqaba virtual station data. NOAA. Viewed 28 Oct 2024.

13. Starko S, van der Mheen M, Pessarrodona A, at al. 2024. Impacts of marine heatwaves in coastal ecosystems depend on local environmental conditions. *Global Change Biology* **30**(8): e17469.

14. Vega Thurber RL, Burkepile DE, Fuchs C, et al. 2014. Chronic nutrient enrichment increases prevalence and severity of coral disease and bleaching. *Global Change Biology* **20**(2): 544–554.

15. Wiedenmann J, D'Angelo C, Smith EG, et al. 2013. Nutrient enrichment can increase the susceptibility of reef corals to bleaching. *Nature Climate Change* **3**(2): 160–164.