

המכון הבינאוניברסיטאי למדעי הים באילת
The Interuniversity Institute for Marine Sciences in Eilat
Founded by the H. Steinitz Marine Biology Laboratory ע"ש ה. שטייניץ



אושר בישיבת הוועד המנהל: 3 יולי 2024

התוכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת

דו"ח מדעי לשנת 2023



מוגש לוועד המנהל של תכנית הניטור על ידי:

ד"ר יונתן שקד, מנהל תכנית הניטור
פרופ' מעוז פיין, מנהל מדעי, תכנית הניטור

התכנית ממומנת ע"י המשרד להגנת הסביבה

ת"ד 469, אילת 88103, Israel • P.O. Box 469, Eilat 88103, Israel • טל' +972-8-6360111 • פקס +972-8-6374329
www.lui-eilat.ac.il • lui@vms.huji.ac.il



חברי הוועד המנהל:

פרופ' נגה קרונפלד-שור, מדענית ראשית, המשרד לאיכות הסביבה ואוניברסיטת תל אביב, יו"ר

פרופ' שמשון בלקין, האוניברסיטה העברית בירושלים
מר יצחק בן דוד, סמנכ"ל בכיר לאכיפה, המשרד לאיכות הסביבה
פרופ' חזי גלדור, האוניברסיטה העברית בירושלים
פרופ' רועי הולצמן, אוניברסיטת תל אביב
ד"ר אסף זבולוני, רשות הטבע והגנים
פרופ' ברק חרות, חקר ימים ואגמים לישראל
פרופ' אורן לוי, אוניברסיטת בר אילן
פרופ' בועז לזר, האוניברסיטה העברית
פרופ' דבי לינדל, הטכניון
מר פרד ארזואן, ראש היחידה הארצית להגנת הסביבה הימית, המשרד לאיכות הסביבה
ד"ר דרור צוראל, היחידה הארצית להגנת הסביבה הימית, המשרד לאיכות הסביבה
פרופ' אלדו שמש, מכון וייצמן למדע
ד"ר יהושע שקדי, רשות הטבע והגנים

צוות הניטור:

פרופ' מעוז פיין, מנהל מדעי
ד"ר יונתן שקד, מנהל התכנית

ענבל אילון, ביולוגיה
מוריאל דריי, כימיה
ד"ר טל עמית, אקולוגיה
טניה ריבלין, כימיה
אירנה קולסניקוב, ביולוגיה

יעוץ וסיוע:

ד"ר שי אורון, אוניברסיטת חיפה והמכון הבינאוניברסיטאי (מאספי פורמיניפרים בסדימנט)
ד"ר גלעד אנטלר, אוניברסיטת בן גוריון בנגב (פחמן אנאורגני מומס)
ד"ר אייל וורגפס, ז"ל, האוניברסיטה הפתוחה והאוניברסיטה העברית (פחמן אנאורגני מומס, pH)
פרופ' עדי טורפשוטין, האוניברסיטה העברית (חומר חלקיקי בעמודת המים)
ד"ר נינה קמניה, אוניברסיטת בן גוריון בנגב, המכון לחקר המדבר בשדה בוקר (ספירות תאי פיטופלנקטון)
ד"ר איל רהב, חקר ימים ואגמים לישראל (יצרנות ראשונית)
תום רייך, אוניברסיטת חיפה וחקר ימים ואגמים לישראל (יצרנות ראשונית)
פרופ' יעלה שקד, האוניברסיטה העברית (אבק מרחף, פיטופלנקטון, pH)

עזרה במכון הבינאוניברסיטאי:

נחום סלע
עמנואל ססטרי
דמיטרי צ'ורילוב
אסף ריבלין
תומר שאולוב

תוכן העניינים

1	
5	א. מבוא
5	א.1. מטרת הניסוח במפרץ אילת
5	א.2. הקדמה
8	א.3. תקציר התוצאות והמסקנות
12	תנודות רב-שנתיות ומגמות שינוי
14	א.4. תקציר באנגלית, <i>English Abstract</i>
22	א.5. מסקנות והמלצות
24	א.6. רשימת טבלאות ואיורים, <i>List of Tables and Figures</i>
29	ב. שונית האלמוגים
29	ב.1. סקר חברת השונית
51	שולחן השונית
55	דיון ומסקנות
58	ב.2. חברת האלמוגים בלגונת שמורת האלמוגים
63	ב.3. התיישבות אלמוגים בשונית
68	ב.4. סקר חסרי חוליות ניידים בשונית
74	ב.5. קצב גידול מאקרו-אצות בשונית
81	ב.6. סקר דגי השונית
94	ג. ניסוח הסביבה החופית
94	ג.1. מי הים בקרבת החוף
96	מדדים כימיים
106	מדדים פיסיקליים
110	דיון
111	ג.2. לריות דגים בסמוך לשונית ובחוף הצפוני
113	ג.3. קרקעית חולית במים רדודים – אפיון החי בסדימנט
113	אפיון החי בקרקעית רכה בשני אתרים (בחוף הצפוני ובחוף הדרומי)
120	שינויים במאספי פורמיניפרים בנתוניים בצפון המפרץ לאחר פינוי כלובי הדגים
124	ג.4. כיסוי עשב ים בקרקעית חולית
128	ד. עמודת המים בים העמוק
131	ד.1. טמפרטורה ומליחות
138	ד.2. חמצן, pH ואלקליניות, נוטריותים ופחמן חלקיקי
161	ד.3. כלורופיל <i>a</i> , פלואורסנציה
165	דיון – עמודת המים
167	ד.4. פוטופלנקטון וחידקים בעמודת המים
171	ד.5. זואופלנקטון בעמודת המים
174	ד.6. יצרנות ראשונית בעמודת המים
179	ד.7. שטף החלקיקים בעמודת המים
182	ה. מדידות סביבתיות בתדירות גבוהה
182	ה.1. כלורופיל בפני הים בשמורת חוף אלמוג
184	ה.2. טמפרטורת המים בפני הים בשמורת חוף אלמוג
186	ה.3. משתנים מטאורולוגיים
188	מדידות אטמוספירות
192	מדידות בים
195	ה.4. גלים וזרמים
195	גלים:
197	זרמים:
200	ה.5. אבק מרחף
202	ו. ביבליוגרפיה
204	ז. נספחים

204.....	ז.1: מפות אתרי הניטור
205.....	ז.2. רשימת סוגי האלמוגים
206.....	ז.3. מצאי דגי השונית שנסקרו

א. מבוא

א.1. מטרת הניטור במפרץ אילת

מטרת התכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת היא יצירת תשתית ידע רב שנים על מצב הסביבה הימית (אקולוגית, כימית ופיסקלית) בצפון מפרץ אילת, ככלי לגיבוש מדיניות וניהול תוכניות ממשק סביבתי. בסיס ידע זה נדרש בתכיפות גוברת נוכח אתגרי שימור מול פיתוח מקיים של אזור החוף והמים של מפרץ אילת בתחום מדינת ישראל.

תכנית הניטור מפעילה מערך מתקדם למדידה קבועה ומתמשכת של הגורמים האקולוגיים, הביולוגיים, הפיסיקליים והכימיים המרכזיים בבתי הגידול העיקריים במפרץ אילת. התכנית בוחנת את קיומן של מגמות שינוי ואומדת את עצמתן בראייה ארוכת טווח. תכנית הניטור הלאומית למפרץ אילת שמה לה למטרה להנגיש את הנתונים לכל דורש ומקפידה על חופש המידע.

תכנית הניטור מדווחת על מצב המערכת האקולוגית, מתריעה על סכנות הנשקפות לה וממליצה על דרכים לשימור המערכת.

א.2. הקדמה

הדו"ח שלהלן מתאר את עבודת הניטור הלאומי בצפון מפרץ אילת בשנת 2023. הדו"ח מחולק לפרקים התואמים סביבות ושיטות עבודה שונות. כל פרק כולל תיאור קצר של שיטות המדידה, תוצאות מפורטות (אזורים, טבלאות) ודיון קצר במסקנות. תיאור מפורט של השיטות נמצא בדו"ח השנתי הראשון (2003) וסיכום פעילויות הניטור ותדירותן, ומיקום תחנות הניטור העיקריות, מופיעים בטבלה 1 ובאיור 1, בהתאמה. תכנית הניטור פועלת במתכונת אחידה מאז שנת 2004 וכך ניתן לבחון מגמות על פני כשני עשורים באמצעות נתונים אשר נאספו בשיטות אחידות ועל ידי צוות קבוע. הדבר מקנה עצמה אנליטית רבה לניתוח התוצאות ההשוואתיות.

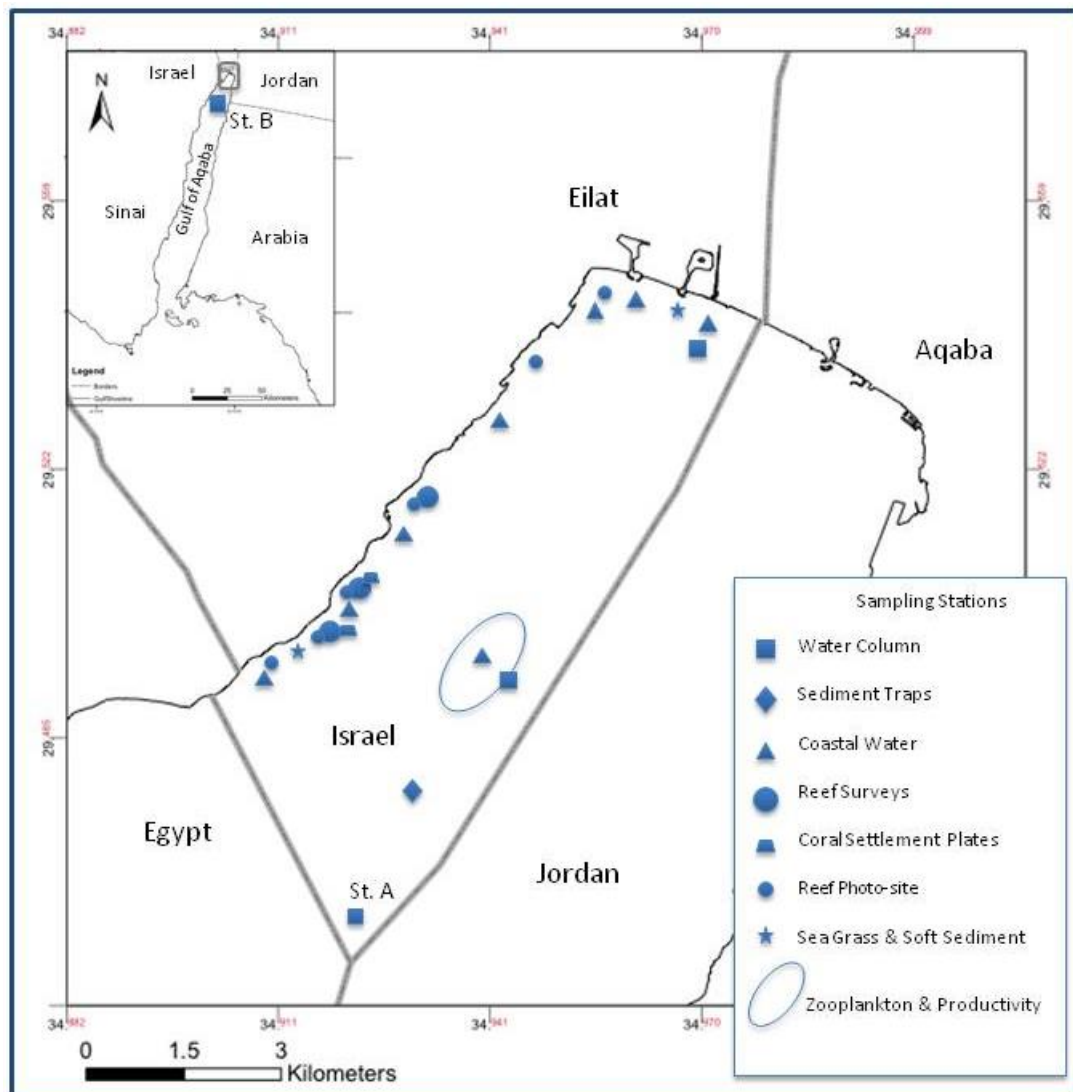
בדו"ח 2004 נעשתה השוואה בין נתונים הקודמים לתכנית הניטור ובין נתוני תכנית הניטור. בדו"ח הנוכחי מוזכרים לעיתים נתונים משנים קודמות, ובמקרים אלה מאוזכר המקור. בשנה החולפת (2022) נוספו מדידות של גלים מול המכון הבינאוניברסיטאי ומדידות זרמים בקרבת פני הים, בסמוך לחוף המכון. במהלך 2023 נכנסו מדידות אלה לשגרת מדידה רציפה באופן הצבה קבוע. מדידות פרופילים של ריכוזי פחמן אנאורגני מומס (DIC) בעמודת המים בתחנה A נעשו בשנה הקודמת בשיתוף עם פרופ' א. וורגפס, ז"ל, וג. אדברדסון מהאוניברסיטה הפתוחה והאוני' העברית. השנה, לאחר פטירתו של חברנו אייל וורגפס, נעשו מדידות אלה על ידי ד"ר ג. אנטלר מאוניברסיטת בן גוריון במעבדתו שבמכון הבינאוניברסיטאי. מים למדידות אלה נדגמים בזמן הפלגות הניטור החודשיות והאנליזה נעשית מיד לאחר ההפלגה. ספירות של תאי מיקרו-פלנקטון וחיידקים בעמודת המים חודשו השנה בשיתוף פעולה עם ד"ר נינה קמנאיה מאוניברסיטת בן גוריון והתחנה לחקר המדבר בשדה בוקר. אנו מקווים שמדידות אלה יכנסו לשגרה קבועה ומתמשכת.

מאידך, מדידות היצרנות הראשונית (בשיתוף פרופ' א. רהב ות. רייך מחקר ימים ואגמים לישראל) נעשו בשנה הקודמת ברזולוציה דו-חודשית אך השנה תדירות המדידות נמוכה יותר. עולה צורך להחזיר את האחריות והביצוע של מדידות יצרנות ראשונית לידי תכנית הניטור. צילומי הנקודות הקבועות בשונית לא נותחו השנה ואנו שוקדים על שיפור מערך צילומים שיתאים לכלים החשובים המצויים כיום.

נתוני תכנית הניטור, החל משנת 2004, מאוכסנים בבסיס נתונים אלקטרוני והגישה אליהם פתוחה לכל דורש דרך אתר תכנית הניטור במכון הבינאוניברסיטאי למדעי הים באילת: <http://www.iui-eilat.ac.il/NMP>. מאגר הנתונים נמצא בשנה האחרונה בתהליך של בנייה מחדש ושדרוג. עד שיסתיים התהליך, במידה ונמצאו תקלות או קשיים בהשגת נתונים, ניתן לפנות בדוא"ל: yonathan.s@mail.huji.ac.il

Table A1: Activities of the monitoring program and their frequency.

פעילות	תדירות (משך הזמן לסקרים)
שונית	
סקר חברת השונית	אחת לשנה, בקיץ (מספר שבועות)
ניטור שולחן השונית	אחת לשנה, בקיץ (שבוע)
צילום ריבועים קבועי מקום + ניתוח הצילומים	אחת לשנה, באביב (מספר שבועות)
ניטור חברת האלמוגים בלגונה	אחת לשנה, בקיץ (שבוע)
התיישבות אלמוגים בשונית	עונתית, כל חודשיים
ניטור חסרי חוליות נידים בשונית	אחת לשנה, בקיץ (מספר שבועות)
ניטור מאקרואצות בשונית	אחת לחודש
ניטור דגי השונית	אחת לשנה, בסתיו (מספר שבועות)
תחנות חופיות	
אפיון מי החופים (מדדים פיסיים, כימיים, ביולוגיים)	אחת לחודש
חברת הבנתוס בקרקעית רכה	אחת לשנה, בקיץ
כיסוי עשב ים	פעמיים בשנה, חורף וקיץ
לרוות דגים	אחת לשנה, בסתיו
ים עמוק	
אפיון עמודת המים (מדדים פיסיים, כימיים, ביולוגיים)	אחת לחודש
יצרנות ראשונית	אחת לחודשיים
ניטור זואופלנקטון	אחת לחודש
ניטור חומר חלקיקי בעמודת המים	כל שלושה חודשים
מדידות בתדירות גבוהה בסמוך למכון הבינאוניברסיטאי	
מדידות יומיות של טמפרטורה וכלורופיל במזח	מדי יום
תחנה מטאורולוגית + כרית	כל 10 דקות
גלים וזרמים	כל 30 ו-10 דקות, בהתאמה
אבק מרחף	איסוף רציף, ממוצע שבועי



איור א1: מיקום תחנות הניטור, ראו גם מפה ז.1 בנספח 1.
Figure A1: Location of monitoring sites. See also map G.1 in Appendix 1.

ממצאי השנה החולפת

שונית האלמוגים

1. כיסוי אלמוגי אבן חיים – כיסוי האלמוגים בשוניות אילת הרדודות נפגע קשות בסערה הדרומית של מרץ 2020. הפגיעה לא היתה אחידה במרחב ולא כל השוניות נפגעו במידה שווה. בעקבות הסערה ירד אחוז כיסוי האלמוגים הממוצע באתרי קדמת השונית בשנים 2020-2021, אך בשנתיים האחרונות (2022-2023) נמדדה עלייה בכיסוי האלמוגים הממוצע בקדמת השונית. כיסוי האלמוגים הממוצע אשר נמדד השנה היה $24.4 \pm 3.9\%$, גבוה בהשוואה לשנה הקודמת וקרוב לכיסוי הממוצע שנמדד בקיץ 2019, לפני הסערה ($24.9 \pm 4.5\%$). גם צפיפות המושבות הממוצעת שנמדדה השנה גבוהה בהשוואה לשנתיים האחרונות, 51.9 ± 5.5 מושבות למ"ר. גם באתר שולחן השונית שחוה ירידה בכיסוי האלמוגים מאז הסערה, נמדדה בשנתיים האחרונות עליה (כיסוי של $19.1 \pm 1.5\%$ נמדד השנה) אך כיסוי האלמוגים שם עדיין נמוך בהשוואה לשנים שלפני הסערה ($22.5 \pm 2.9\%$ בשנת 2019).
- כיסוי האלמוגים החיים בשוניות אילת גבוה משהיה בשנות הניטור הראשונות אולם עדיין לא ברור האם השנתיים האחרונות אכן מסמנות מגמה של התאוששות לאחר פגיעת הסערה החזקה בשנת 2020.
2. גודל מושבות אלמוגי אבן – בין אתרי השונית המנוטרים ישנם הבדלים בגודל מושבות האלמוגים האופייני. באתר המעבדה חלקן של המושבות הקטנות רב ביותר (כ- 80% באתר IUI-10), ואילו באתרי השמורה הרדוד והעמוק חלקן המועט ביותר ומושבות גדולות וענקיות נפוצות שם יותר מאשר באתרים אחרים. לאורך השנים הסתמנה ירידה בחלקן של המושבות הקטנות ועליה בחלקן של המושבות הבינוניות והגדולות. ובשנים האחרונות חלקן התייצב. השנה, לראשונה מזה חמש שנים, נמצאה עליה בצפיפות המושבות הקטנות. מכיוון שמושבות קטנות מהוות רוב גדול באוכלוסיית אלמוגי אילת, ישנה התאמה בין צפיפות המושבות הקטנות וצפיפות כלל המושבות. בסקרי קיץ 2023, כאמור, נמצאה עליה בצפיפות מושבות האלמוגים באתרי השונית באילת.
3. מגוון מיני אלמוגים – מדד Shanon-Wiener למגוון, בעזרתו נאמד מגוון אלמוגי האבן בשוניות אילת, מראה תנודות קלות ולא מגמתיות בין השנים. לרוב, ערך המגוון באתרים רדודים נמוך בהשוואה לאתרים עמוקים. השנה חושב מדד נוסף למגוון – "מספר מינים אפקטיבי" (effective number of species), שמשמעותו מספר המינים בעלי שכיחות זהה אשר היו נותנים את ערך המדד המחושב ועל כן הוא מהווה מדד ישיר למגוון. סדרת הזמן של מדד זה לאורך תקופת הניטור מגלה עליה קלה במגוון האלמוגים הממוצע. עקומות צבירה (rarefaction curves) של סוגי אלמוגים מציירות תמונה דומה, של תנודות קלות, וכך גם מספר סוגי האלמוגים הצפוי בספירת אלף וחמש מאות מושבות אקראיות. בכל המדדים השניניים במגוון האלמוגים בין השנים קטנים.
4. פריחת אצות בשונית – בשנה הקודמת (2022) היה ערבוב עמוק של עמודת המים ובעקבות זאת פריחה חזקה של אצות פלנקטוניות ובנתוניות שנמשכה במהלך מרץ-אפריל. הערבוב השנה לא היה עמוק ופריחת האצות היתה, כצפוי, קטנה בהרבה כשעיקרה בתחילת החורף. בכל האתרים הנסקרים נראה כי רעיית האצות בשונית מווסתת את כיסוי האצות בצורה יעילה על אף תמותת קיפודי הים (ראה סעיף 7).
5. לגונת שמורת האלמוגים – בשנים האחרונות נמצאה ירידה בצפיפות מושבות אלמוגי האבן בלגונה וצפיפות המושבות הממוצעת אשר נמדדה בלגונה השנה היתה הנמוכה ביותר אשר נמדדה תכנית הניטור עד כה, פחות ממושבה (0.96) למ"ר. זו ירידה דרמטית מאז שנת 2017 (2.32 מושבות למ"ר). מכיוון שבלגונה התנאים הסביבתיים קשים, חברת האלמוגים נשלטת על ידי מינים דומיננטיים והמגוון קטן יחסית לאתרי קידמת השונית. האלמוג הנפוץ ביותר בלגונה במשך שנות הניטור הוא *Stylophora pistillata* אך הוא גם הנפגע העיקרי בסערות ואלמוג האש *Millepora* הדומיננטי בשנים האחרונות נמצא אף הוא בירידה.
6. התיישבות אלמוגים בשונית – בכל השנים בהן עוקבת התכנית אחר התיישבות אלמוגים על גבי לוחיות המוצבות בשונית נמצא כי באתר השמורה כמות המגוייסיים גדולה יותר והם גדלים טוב יותר מאשר באתרים האחרים. באתר המעבדה, ואולי גם באתר קצא"א, תבנית ההתיישבות פחות ברורה ונראה כי

- ישנה מגבלת שרידות גדולה יותר. עם זאת, כמות הנתונים בשלב זה אינה מאפשרת לקבוע האם ההבדלים בין האתרים ובין השנים מבחינת תבנית ההתיישבות נובעת מהבדלים באספקה או בקשיי גיוס וגדילה.
7. קיפודי ים – קבוצת הרועים החשובה ביותר בשונית מבין חסרי החוליות היא קיפודי הים, ומתוכה המין הנפוץ ביותר בשוניות אילת הוא *Diadema setosum*. צפיפות קיפוד הים *D. setosum* משתנה מאד בין השנים ומכתיבה גם את התנודות בגודל אוכלוסיות מיני הקיפודים בכלל. מאז שנת 2016 נמדדת ירידה מתמשכת בצפיפות *D. setosum* וצפיפות מיני קיפודי ים בכלל. בשנה הקודמת על אף הערוב העמוק לא נמדדה עליה משמעותית.
- בתחילת השנה נצפתה תמותה המונית של קיפודי ים באילת** אשר פגעה קשות באוכלוסיית *D. setosum* המדולדלת וסקרי השנה מצאו רק פרטים בודדים של קיפוד זה. גם קיפודים מהסוג *Tripneustes* נפגעו מתמותה המונית ובסך הכל אוכלוסיית הקיפודים באילת קטנה במידה מדאגה ביותר.
8. דגי שונית – חברת דגי השונית באתרי המכון ובשמורת האלמוגים באילת יציבה במשך תקופת הניטור, (מאז שנת 2007) עם שינויים קלים במהלך השנים שנובעים ככל הנראה מתנודות של להקות מזדמנות ולא משינוי מהותי בהרכב ושכיחות הדגים. בין האתרים הנסקרים לא נמצא הבדל מובהק בשפעת והרכב הדגים.

הסביבה החופית

9. ריכוז נוטריינטים וכלורופיל במים החופיים – התהליך השולט ברוב המדדים הכימיים, הפיסיקליים והביולוגיים הנמדדים בתחנות הניטור החופיות הוא מחזור הערוב השנתי וערכי רוב המדדים במי השטח גבוהים יותר בחודשי החורף מאשר בקיץ. בשנה הקודמת (2022) עורבבה עמודת המים לעומק הקרקעית בתחנה A (< 700 מטר) לאחר עשור של ערוב עונתי בינוני או רדוד, וכתוצאה מכך היתה פריחת אצות חזקה וממושכת. השנה שוב עורבבה עמודת המים לעומק של כ-400 מטרים בלבד וריכוזי הנוטריינטים היו נמוכים בהשוואה לשנה הקודמת וגם ריכוז הכלורופיל המרבי אשר נמדד בתחנת הים הפתוח היה כמחצית מהערך שנמדד בשנה הקודמת.
- עבור המדידות החופיות, ריכוזים המוגדרים כחריגים הם כאלה השונים משמעותית מהריכוזים הנמדדים בתחנות האחרות, ובפרט בתחנת הים הפתוח אשר עבורה מקור זיהום מקומי אינו סביר. אירועי העשרה מקומיים היו תדירים יותר בשנים שלפני 2007, ואחר כך נצפתה ירידה בתדירותם ועצמתם. בשנים האחרונות היינו שוב עדים לעליה במספר ועצמת "החריגים" בתחנות שונות, ובפרט בתחנות הצפוניות. על אף זאת, 2023 אופיינה בריכוזים נמוכים וגם הערכים החריגים אשר נמדדו היו נמוכים בהשוואה לשנה הקודמת.
10. טמפרטורת פני הים – טמפרטורת פני הים השנתית הממוצעת שנמדדה בהפלגות החופיות בתחנת הים הפתוח היתה גבוהה בהשוואה לשנה הקודמת, אך עדיין נמוכה מקו המגמה רב-השנים. עם זאת, ניכר שמגמת החימום של פני הים נמשכת ושיעורה במדידות אלה עומדת על כחצי מעלה לעשור.
11. לרוות דגים בסמוך לשונית ובחוף הצפוני – ב-2022, אולי בעקבות הערוב העמוק ואולי מסיבות אחרות, היו כמויות הלרוות שנספרו גדולות בהרבה מהמצאי ברוב השנים שקדמו לה. השנה חזרה צפיפות הלרוות לשקף את המצב "הרגיל" והיתה דומה למצאי בשנים 2019-2021. לרוב נמצאות יותר לרוות באזור החוף הצפוני מאשר בחוף הדרומי ליד השמורה. התקופה בה מתקיים סקר זה במתכונתו הנוכחית עדיין קצרה מכדי לאפשר הסקת מסקנות בנוגע להבדלים בין השנים ובין האתרים.
12. פורמיניפרים בנתונים בקרקעית חולית – לאחר שבשנים האחרונות (מאז 2020) נמצאו פרטים מעוותים של פורמיניפרים בנתונים, בעיקר בתחנות החוף הצפוני הקרובות למיקומם הקודם של כלובי הדגים, השנה לא נמצאו פרטים כאלה. מציאתם של פרטים מעוותים עשויה להצביע על גורמי זיהום הנצברים בסדימנט ופוגעים בהתפתחות השלד. ממצאים אלה, בנוסף לריכוז המתכות הגבוה אשר נמדד בתחנה שתחת מיקום הכלובים, תומכים באפשרות שבעקבות הסערה של מרץ 2020 נחשפו סדימנטים בעלי תכולת מתכות גבוהה אשר גרמו לעיוותי שלד בפורמיניפרים.
13. עשבי ים – סקרים של כיסוי עשב הים נערכו בשתי עונות, חורף וקיץ, ובין העונות נמצאו הבדלים גדולים בכיסוי עשב הים. בחוף הדרומי נמצא כיסוי עשיר יותר בחורף ואילו בחוף הצפוני – בקיץ. לרוב, כיסוי עשב ים בקיץ עשיר יותר מאשר בחורף.
- בשנת 2020 נמדדה ירידה גדולה בכיסוי עשב הים בשני האתרים, אולי כתוצאה מפגיעת הסערה הדרומית בחודש מרץ 2020. השנה נמצאה בחוף הדרומי ירידה בכיסוי בהשוואה לשנה הקודמת ואילו בחוף הצפוני נמצאה עליה. נראה כי בחוף הצפוני כיסוי עשב הים יורד בעומקים גדולים מ-20 מטרים,

ואילו בחוף הדרומי הכיסוי דווקא גדל בעומקים אלה. מרבד עשב הים בחוף הדרומי בעל כיסוי פחות יציב מאשר בחוף הצפוני, ובעומק רדוד מ 10 מטרים נעלם כמעט לחלוטין בשנים האחרונות.

עמודת המים בים העמוק

14. עומק הערבוב – השנה עורבבה עמודת המים עד לעומק של כ-400 מטרים, עומק "בינוני". בחורף 2022 הגיע הערבוב לעומק הקרקעית בתחנת המדידה (תחנה A, עומק קרקעית של כ-730 מטרים), לראשונה מאז שנת 2012 והיה זה המרווח הארוך ביותר המתועד בין ערבובים עמוקים במפרץ. בעקבות הערבוב העמוק היתה במרץ-אפריל 2022 פריחה חזקה וממושכת וירדו ריכוזי הנוטריינטים במים העמוקים.
15. ריכוזי חמצן ונוטריינטים מומסים במים העמוקים – ערבוב עמודת המים בשנת 2022 היה עמוק וריכוזי הנוטריינטים במים העמוקים ירדו במקביל לעלייה בריכוזי החמצן המומס. מכיוון שהשנה ערבוב עמודת המים הגיע לכ-400 מטרים, הנוטריינטים החלו להצטבר במים העמוקים יותר וריכוזי החמצן שם החל לרדת, וזאת במידה גדולה מהצפוי בהשוואה לשנים שאחרי הערבוב העמוק של 2012.
- משך הערבוב ב-2022 היה קצר ויתכן שמסיבה זו כמות הנוטריינטים שיצאה מהמערכת דרך מיצרי טיראן היתה קטנה יחסית. אולי לכן היתה הפריחה בשנה הקודמת ממושכת כל כך והצטברות הנוטריינטים בעומק מהירה יחסית, אך אולי ישנה כניסה מוגברת של נוטריינטים (ממקורות יבשתיים) בשנים האחרונות. לחילופין, אולי ישנה כאן השפעה של גלים פנימיים והסעה אופקית.
16. כלורופיל – על אף התנודתיות העונתית, מתחילה להסתמן מגמה של עלייה בריכוזי כלורופיל, כאשר ריכוזים שנתיים גבוהים נמדדים לעיתים בחודשי הקיץ ולא רק באביב. גם כאשר מחשבים את כמויות הכלורופיל בעומק 60-100 מטרים בחודשי הקיץ בלבד – בולטת מגמה של עלייה. כך נראה שריכוזי הכלורופיל הנמדדים אינם תלויים רק בעומק הערבוב ונוטריינטים העולים איתו מהעומק ושינויי המליחות החזקים בסוף תקופת הערבוב תומכים בהשערה זו. מגמה זו ייתכן ומצביעה על מקורות נוטריינטים נוספים על אלו המגיעים ממי המפרץ העמוקים.
17. טמפרטורת המים העמוקים – במי העומק, ובפרט בעומקים הגדולים מכ-500 מטרים, נמשכת מגמה של עליית הטמפרטורה. בשנים בהם היה ערבוב עמוק ירדה מעט הטמפרטורה במים העמוקים, אך מאז נמדדת עלייה קלה בטמפרטורות המים העמוקים. על אף הערבוב העמוק של שנת 2012, לא נמצאה אז ירידה בטמפרטורת המים העמוקים מ-500 מטרים ועליית הטמפרטורה במים העמוקים נמשכה גם בשנה הקודמת למרות הערבוב העמוק.
18. זואופלנקטון – ריכוזי הזואופלנקטון אשר נמדדו ב-2023 היו גבוהים יחסית, בדומה למה שנמדד בשנה הקודמת. ברוב השנים בהן בוצע ניטור אחר ריכוזי זואופלנקטון בעמודת המים העליונה נמדד שיא גבוה באחד החודשים של תחילת השנה והביומסה הגבוהה ביותר במסגרת תכנית הניטור (מאז 2011) נמדדה בפברואר 2016 למרות שבשנים 2012 ו-2022 היה ערבוב עמודת המים עמוק יותר. כך, נראה כי למשך הערבוב ולאופן התפתחותו בזמן השפעה על כמות הזואופלנקטון בעמודת המים. בשנה הקודמת היה הריכוז המרבי בחודש יוני והשנה כמו במרבית השנים, מוקדם יותר.
19. יצרנות ראשונית – השנה נמשכו מדידות היצרנות בשיטות עם פרופ' אייל רהב ותום רייך מחיאל, אך בתדירות נמוכה. השינויים ביצרנות בחודשי החורף גדולים ומהירים ויתכן כי המדידות אינן מספיקות על מנת לאפיין את המערכת בתקופה זו. בעונת הקיץ, לעומת זאת, השינויים קטנים יותר והמערכת מצויה במצב "אוליגוטרופי". על רקע זה, שינויים מערכתיים מתמשכים ניתן יהיה, אולי, לגלות דווקא בעונה זו. מהתבוננות בערכי היצרנות בחודשי הקיץ ניתן להתרשם כי השנים 2010-2023 דומות זו לזו, עם ערך גבוה ביותר בשנת 2016, ועם זאת, ניתן אולי להבחין בעלייה קלה, שאינה מובהקת, ביצרנות הקיץ במפרץ.

מדידות רציפות משלימות

20. כלורופיל בפני הים בסמוך לשונית (מדידה יומית) – ריכוזי הכלורופיל בסמוך לשונית מראים, לרוב, תנודות חדות יחד עם תבנית עונתית של ערכים גבוהים יותר בחודשי החורף והאביב ונמוכים יותר בקיץ ובסתיו. השנה, השיא הנמדד בריכוז הכלורופיל הגיע מוקדם יחסית, בתחילת חודש מרץ, והיה גבוה בהשוואה לרוב המדידות בעונה זו. למעשה, היה זה ריכוז הכלורופיל הגבוה ביותר אשר נמדד על ידי התכנית בשנים בהן לא היה ערבוב עמוק. למרות זאת, במשך רוב השנה היו ריכוזי הכלורופיל נמוכים יחסית לממוצע הרב שנתי והריכוז המרבי היה כמחצית מהערך המרבי בשנה הקודמת, בה היה ערבוב עמוק.

21. טמפרטורת פני הים בסמוך לשונית (מדידה יומית) – במשך כל השנה היתה טמפרטורת המים הנמדדת מדי יום בסמוך למצפה התת-ימי גבוהה מהערך הממוצע הרב-שנתי. בתחילת 2023, ההבדל היה קטן, אך מאמצע חודש יולי ועד אמצע אוגוסט היתה טמפרטורת פני הים כ- 1.5 מעלות מעל לממוצע הרב שנתי. גם קצב עליית הטמפרטורה היה מן המהירים שתועדו – קרוב לשתי מעלות בשבוע. הטמפרטורה בקיץ זה היתה גבוהה מ- 90% מהמידות הקיימות אך לא הגבוהה ביותר אשר נמדדה על ידי התכנית. גם בחודשי החורף נותרה טמפרטורת המים גבוהה מהערך הממוצע, ובסך הכל היתה טמפרטורת פני הים השנתית הממוצעת גבוהה בכחצי מעלה מאשר בשנה הקודמת. מאז תחילת המדידות האלה (בשנת 1988 ע"י מעבדת פרופ' אמציה גנין) עולה טמפרטורת פני הים השנתית הממוצעת בשיעור ממוצע של כ- 0.34 מעלות בכל עשר שנים ומאז 2004 בכ- 0.42 מעלות בכל עשר שנים.
22. מטאורולוגיה (מדידות רציפות) – התנאים המטאורולוגיים אשר נמדדו השנה לא היו חריגים בהשוואה לשנים קודמות, עם מספר אירועים של רוחות דרומיות שיצרו סערות, אך לא חזקות במיוחד. טמפרטורות האויר הנמדדת מעל הים היתה גבוהה גם בקיץ וגם בחורף בהשוואה לשנה הקודמת, בהפרש של כשתי מעלות בערכי המקסימום והמינימום.
- מצב הים (מדידות רציפות) – טמפרטורת המינימום שנמדדה במדידות הרציפות ממזח המכון הבינאוניברסיטאי היתה גבוהה בכחצי מעלה מזו שנמדדה בשנה הקודמת בזמן הערבוב העמוק של עמודת המים (21.0°C). בבחינת הטמפרטורות המזעריות בכל שנה לאורך תקופת המדידות (5% מהמים הקרים ביותר בכל שנה, 18 הקריאות המינימליות הנמוכות ביותר בכל שנה) נמצאת עלייה מתמשכת של טמפרטורות המינימום במפרץ.
- הטמפרטורה המרבית הגבוהה ביותר שנמדדה במסגרת זו היתה של השנה הקודמת (31.0°C), בשנת 2021.
23. בשנת 2021 החלה תכנית הניטור למדוד גלים במפרץ. למיטב ידיעתנו, זוהי מדידת הגלים הרציפה היחידה שנעשת בצפון מפרץ אילת. המדידות מאפשרות לאפיין את הגלים הנוצרים בחופי אילת הדרומיים תחת משטר רוחות צפוניות (גובה גלים משמעותיים עד כ- 0.2 מטר, וגובה מרבי נמוך מ-0.5 מטר) וכבר נמדדו גם מספר אירועי סערות דרומיות. השנה תועדו חמישה אירועים כאלה, בהם גובה הגלים המשמעותי היה גדול מ-1 מטר. גובה הגל המרבי הגדול ביותר אשר נמדד השנה היה מעט יותר מ-2 מטרים, בדומה למדידות השנה הקודמת. סערות אלה לא היו חזקות במיוחד.
24. בקיץ 2022 הצבנו מד זרמים אקוסטי המודד ברציפות בסמוך לפני הים מול המכון הבינאוניברסיטאי. המדידות המצטברות מגלות זרמים דומיננטים במקביל לחוף, המשנים כיוון בהשפעת מחזוריות גאות ושפל, כאשר זרמים חזקים ביותר נמדדו לכיוון דרום (עד כ-0.5 מטר\שניה) ובסמיכות לזמני גאות. זרמים לכיוון דרום גם נפוצים יותר מאשר זרמים בכיוון צפון, וחבילת מים היפוטטית שמתחילה את דרכה בחודשי הקיץ תנודד דרומה כ-500 מטרים עד לסוף השנה.

שונית האלמוגים

1. כיסוי אלמוגי אבן – אחוז הכיסוי של אלמוגי אבן חיים הוא אחד המדדים המקובלים לתאר את מצב השונית לאורך זמן. בין השנים ובין האתרים המנוטרים ישנם הבדלים במידת הכיסוי. בשנות הניטור הראשונות (2004-6) כיסוי האלמוגים הממוצע בשונית אילת היה 19-20%. בשנים 2007-12 עלה הכיסוי הממוצע ונע בטווח הערכים 21.5-23.9% ובשנת 2013 נמדד הכיסוי המרבי בתקופת הניטור, $26.4 \pm 5.2\%$. לאחר מכן, נע הכיסוי הממוצע בטווח $24.0-25.3\%$. בשנת 2020 נפגעו שוניות אילת בסערה דרומית חזקה ושיעור הפגיעה לא היה אחיד בין האתרים המנוטרים על ידי התכנית. בעקבות הסערה המשיך כיסוי האלמוגים לרדת באתרי קדמת השונית אך בשנתיים האחרונות נמדדה עליה בכיסוי האלמוגים. כיסוי האלמוגים הממוצע אשר נמדד השנה עמד על $24.4 \pm 3.9\%$, קרוב לכיסוי שנמצא לפני פגיעת הסערה. בסך הכל, כיסוי האלמוגים החיים באתרי קדמת השונית עלה במשך תקופת הניטור.
2. צפיפות וגודל מושבות אלמוגי אבן – בצפיפות מושבות האלמוגים הממוצעת בין כל האתרים נמצאו תנודות בין השנים אך השינויים בין שנה לשנה בדרך כלל קטנים. צפיפות המושבות הממוצעת שנמדדה השנה גבוהה בהשוואה לשנתיים האחרונות, 51.9 ± 5.5 מושבות למ"ר. לאורך השנים מסתמנת ירידה בחלקן של המושבות הקטנות ועליה בחלקן של המושבות הבינוניות והגדולות המצביעה על שרידות טובה. השנה, לראשונה מזה חמש שנים, נמצאה עליה בצפיפות המושבות הקטנות.
3. מדד הרקמה החיה באלמוגי אבן – מדד זה מצוי בירידה, מאז 2012. עם זאת, השינויים במדד זה קטנים, כ- 1% בשנה. יתכן והירידה בערך המדד משקפת את מגמת העליה בשרידות וגדילת מושבות, הנחשפות עם הזמן לפגיעות מצטברות ברקמת האלמוג.
4. מגוון המינים – מגוון המינים, כמו גם הרכב חברת האלמוגים באתרי הניטור משתנים אך מעט משנה לשנה, עדות להרכב חברה יציב. סדרת הזמן של "מספר המינים האפקטיבי" (מדד אחיד למגוון המחושב על ידי טרנספורמציה של מדד שאנון) לאורך תקופת הניטור מגלה עליה קלה במגוון האלמוגים הממוצע.
5. קיפודי ים – קבוצת הרועים החשובה ביותר בשונית מבין חסרי החוליות היא קיפודי הים, ומתוכה המין הנפוץ ביותר הוא *Diadema setosum*. צפיפות קיפודי הים *D. setosum* השתנתה מאד בין השנים ומכתיבה גם את התנודות בגודל אוכלוסיית הקיפודים בכלל. מאז שנת 2016 נמדדת ירידה מתמשכת בצפיפות *D. setosum* וצפיפות קיפודי הים וגודל האוכלוסייה הקיימת קטן מאד בהשוואה לשנות הניטור הראשונות. גם הערבוב העמוק של השנה הקודמת לא סייע להתאוששות האוכלוסייה והשנה תועדה תמותה המונית של קיפודי ים באילת, ככל הנראה כתוצאה מפגיעת פתוגן. בשנים האחרונות אוכלוסיית הקיפודים באילת קטנה במידה מדאיגה ביותר.

הסביבה החופית

6. ריכוזי נוטריינטים בתחנות חופיות – ריכוזי נוטריינטים במי השטח בדרך כלל גבוהים יותר בחודשי החורף מאשר בקיץ, עקב ערבוב עמודת המים המעלה מי עומק עשירים בנוטריינטים בחודשי החורף. מצד שני, ריכוזים גבוהים באופן חריג בתחנות החופיות נפוצים יותר בחודשי הקיץ ומעידים על העשרה מקומית בנוטריינטים. אירועים של העשרה מקומית היו תדירים עד לשנת 2007 ואחריה ירדה תדירותם, אך בשנים האחרונות שוב נמדדים מדי פעם ריכוזי נוטריינטים חריגים בתחנות חופיות ובפרט בתחנות "צפוניות" דבר המעלה חשש לכניסת נוטריינטים ממקורות יבשתיים.
7. פורמניפרים בנתונים בקרקעית הרכה באתר כלובי הדגים – באתר כלובי הדגים לשעבר מתועדת התאוששות בחברת הפורמניפרים הבנתונים מאז הוצאת הכלובים בשנת 2008 (Oron et al., 2014). סדרת שטפונות פגעו באתר בחורף 2012-13, ולאחריו החלה מגמת התאוששות שהיתה מהירה בהרבה מההתאוששות שתועדה בעקבות הוצאת כלובי הדגים ומעידה על מערכת בריאה. פרטים מעוותים נמצאו באתרים החוליית מול מוצא הקינט/כלובי הדגים בשנת 2020, אולי כתוצאה מחשיפת סדימנט מזהם על ידי הסערה החזקה בחודש מרץ אותה שנה. פרטים מעוותים נמצאו גם באתרים רחוקים יותר בשנתיים הבאות, אך השנה לא נמצאו פרטים מעוותים באף אתר נדגם ואולי פירוש הדבר שמקור הזיהום דולל ונעלם.

עמודת המים בים העמוק

8. ריכוזי נוטריינטים וחמצן מומס – הדינמיקה השנתית של ריכוזי נוטריינטים וחמצן במים וזמינותם לאוכלוסיות הפיטופלנקטון בים הפתוח, מונעת בעיקר על ידי הערבוב העונתי בעמודת המים. הדינמיקה

- הרב-שנתית מושפעת מעומק הערבוב ומשכו ומכמויות הנוטריינטים שנצברו במי העומק. בשנה הקודמת עורבבה עמודת המים לפחות לעומק הקרקעית בתחנת המדידה (תחנה A, 730 מטר) ומי העומק עורבבו עם המים העליונים: ריכוזי החמצן במים העמוקים עלו במקביל לירידה בריכוזי הנוטריינטים שהובאו לאזור הפוטי והניעו פריחות אצות. השנה החלו נוטריינטים להצטבר מחדש במים העמוקים, במקביל לירידה בריכוזי החמצן שם – בקצב מהיר מן הצפוי על סמך הערבוב העמוק הקודם (בשנת 2012).
9. כלורופיל בעמודת המים העליונה – על אף הרעש העונתי הגדול, והערכים הגבוהים בשנים של ערבוב עמוק, מתחילה להסתמן מגמה של עלייה בריכוזי כלורופיל, כאשר ריכוזים שנתיים גבוהים נמדדים לעיתים בחודשי הקיץ ולא רק באביב. כך נראה שריכוזי הכלורופיל הנמדדים אינם תלויים רק בעומק הערבוב ונוטריינטים העולים איתו מהעומק.
10. טמפרטורת המים – טמפרטורת מי העומק ירדה בשנים 2007-2008 כתוצאה מהערבוב העמוק בשנים אלה, ובשנים שאחרי כן נמדדת עלייה בטמפרטורות במים העמוקים. על אף הערבוב העמוק בשנים 2012 ו-2022, לא ניכרת ירידה בטמפרטורת המים העמוקים מ-500 מטרים ומגמת העלייה בטמפרטורת המים העמוקים נמשכת. עליה מתמשכת נמדדת גם בטמפרטורת פני הים מאז 1988.

The Israel National Monitoring Program in the Northern Gulf of Aqaba
Funded by Israel's Ministry of Environmental Protection

Scientific report 2023

Dr. Yonathan Shaked, Program Manager
Prof. Maoz Fine, Scientific Director
(April, 2024)

Introduction

This report describes the work and results of Israel's National Monitoring Program in the Gulf of Aqaba (Eilat) – NMP – in the year 2023. It is divided into chapters according to habitats and the methods employed. Each chapter includes a short description of the methods used, a detailed description of the results including data and figures and a discussion of the findings. A comprehensive description of the methods used is given in the NMP annual scientific report of 2003. While most of the text in this report is in Hebrew, all figures and figure captions are given in English.

The NMP has been operating since 2004, collecting continuous data by using predetermined standard methods and a dedicated team. The ability to review consistently collected data provides increased analytical power and confidence in our findings, allowing us to seek inter-annual patterns and trends. A comparison of the present-day state of the reef with historical, pre-monitoring, data can be found in the NMP annual scientific report of 2004.

The NMP has added several new measurements and variables since its initiation, and these are introduced in the respective annual reports of their initiation year.

Among the new measurements implemented or resumed this year, are DIC profiles at Station A. These were measured in the previous year by Prof. E. Wurgalt, RIP and G. Edvardson of the Open University and the Hebrew University and this year measurements were assumed by Dr. Gilad Antler of Ben Gurion University. DIC measurements are still somewhat patchy but are now being done consistently during the NMP monthly cruises. Primary Productivity at the upper 100 meters of the water column were measured intermittently together with Prof. E. Rahav and T. Reich of Israel Oceanographic and Limnological Research). Measurement of cell counts for pico-phytoplankton were resumed this year, by Dr. Nina Kamennaya of Ben Gurion University from sample collected during the monthly NMP cruises.

In addition, we have placed sensors for surface currents and waves near the IUI (southern coast of Eilat) and these are beginning to characterize water movements at that location.

On the other hand, analyses of photos from permanent photo-sites were discontinued as we search for a better method that will match the present-day technology. Photos at the permanent sites were taken and will be available for future analyses if required.

The NMP reports are available through the NMP page in the IUI web-site: <http://iui-eilat.ac.il/>. A database that includes data collected by the NMP since 2004 is available for public download from the NMP page. This database is currently being upgraded for better availability and accessibility.

For questions or comments please contact yonathan.s@mail.huji.ac.il

Key findings of this year

The coral reefs of Eilat

1. Live cover of stony corals – Coral cover was greatly damaged by the strong southern storm that hit Eilat in March 2020. The storm's effect was not uniform across the reefs of Eilat and most damage occurred in the shallow reefs. Following the storm, the average live coral cover at Eilat's forereef sites declined in 2020-2021, but in the last two years (2022-2023) the average coral cover in Eilat increased. Coral cover this year was $24.4 \pm 3.9\%$, higher than the previous year and close to the 2019 pre-storm value ($24.9 \pm 4.5\%$). Colony density was also higher this year relative to the previous two years, 51.9 ± 5.5 colonies per square meter.
Coral cover at the reef-flat site also decreased following the storm and here too an increase was measured in the last two years, but it is still lower than the pre-storm value ($19.1 \pm 1.5\%$ and 22.5 ± 2.9 this year and in 2019, respectively).
Live coral cover in Eilat is higher than it was in the initial years of monitoring, but it is not yet clear whether the last two years signify a recovery trend following the storm damage of 2020.
2. Size of stony coral colonies – The characteristic size of coral colonies varies between monitored sites. At the IUI site the fraction of small colonies is largest whereas at the shallow NR site it is smallest and large and huge colonies are more common there than at other sites.
Over the years, a decrease in the fraction of small colonies and an increase in that of medium and large colonies is documented, but this has stabilized in over the past few years. This year, for the first time in five years, we find an increase in the density of small coral colonies. Since most of the colonies in Eilat are of the small size class, an increase in the overall density of corals was measured, as noted above.
3. Coral diversity – The Shanon-Wiener diversity index used for estimating coral diversity at the reefs of Eilat, displays small, indeterminate, fluctuations between years. Coral diversity at shallow sites is generally lower than at deeper sites. This year we calculated the "effective number of species" – an exponential transformation of the Shanon index that amounts to the evenly-distributed number of species that would result in the derived value and thus provides a more universal and meaningful measure of diversity. A time series of this index over the monitored period displays a slight increase in the average coral diversity in Eilat. These findings are corroborated by Rarefaction curves and the expected number of coral taxa per 1,500 random individuals, display a similar picture of small fluctuations.
4. Algae blooms – In the previous year, deep mixing of the water column produced sustained strong algal blooms, both phytoplankton and benthic, that lasted through March and April into May. Mixing this year was not deep and, accordingly, algae blooms on the shallow seafloor at the monitored reef sites was much smaller and occurred only in the early winter. At all monitored sites it seems that grazing is efficient enough to moderate benthic algae growth.
5. The coral reserve lagoon – In recent years a considerable decrease in coral density was noted at the Nature Reserve lagoon. This year average coral density was smaller than 1 colony per square meter (0.96), the lowest value measured by the monitoring program and a dramatic decrease from the $2.32/\text{m}^2$ measured in 2017. Environmental conditions at the lagoon are harsh and so it is dominated by a small number of coral

taxa and coral diversity is low. The dominant coral at the nature reserve lagoon over the years is *Stylophora pistillata*, but it is also the coral most affected by storms. In the recent years the fire coral *Millepora* was the most abundant at the lagoon but it too is declining.

6. Coral settlement in the reef – Throughout the monitored period, more coral settlers are found at the nature reserve (NR) site than at the other monitored sites, and they also seem to grow better. At the IUI site, and perhaps at Katza too, spat growth over the season is less regular – implying, perhaps, that settler survivorship is less successful. Having said that, the monitored period is not yet long enough to draw firm conclusions.
7. Sea urchins – Of the invertebrates, sea urchins are the most important group of reef grazers and of this group, *Diadema setosum* is the most abundant species in Eilat. Its density fluctuates from year to year and dictates the density of the entire urchins population. Sea urchins density is declining since 2016 and over the past few years, urchins density has decreased dramatically despite the deep mixing of 2022. Early this year mass mortality of urchins occurred in Eilat, affecting *D. setosum* as well as *Tripneustes* urchins and only few individuals were encountered in this year's surveys. The urchins population in Eilat is currently ominously small and recovery may be very slow – if at all.
8. Reef fish – Fish surveys are conducted since 2007, although there have been some modifications and new sites were added in recent years. The fish community in Eilat (Nature Reserve and IUI sites) seems stable in composition, diversity and size, with fluctuations between years that are likely caused by incidental passing of fish schools during the survey rather than actual changes. Fish communities between the sites and depths surveyed are not significantly different.

Coastal Environs

9. Nutrient concentrations in coastal waters – Concentrations of nutrients are commonly high during winter and very low during summer. The process that dictates these dynamics is the seasonal mixing driven by cooling of the sea surface in winter, which brings nutrient-rich deep waters to shallow coastal areas. In the previous year (2022), after a decade of shallow to intermediate mixing, the water column in Eilat was mixed to a depth greater than 700 meters and as a result a strong and lengthy phytoplankton bloom ensued. This year, the water column was mixed to a shallower ~400m depth and nutrient concentrations were much lower. Maximal chlorophyll-*a* concentration at the Open Sea sampling station was approximately half of that measured in the previous year.
Within the coastal monitoring, irregular concentrations are those that are notably different than those measured at other stations – and particularly the Open Sea station – during a single sampling campaign. Local nutrient enrichments were more common prior to 2007, but in recent years irregularly high nutrient concentrations are again more frequent, particularly in the northern sampling stations. Nevertheless, this year was characterized by low concentrations and even the anomalies were low compared with the previous year.
10. Sea surface temperatures – This year's annual average SST measured in the coastal monitoring campaign was higher than the previous year, but still lower than the multi-annual trend line. However, it is obvious that the warming SST trend continues, and in these measurements amounts to ca. 0.5 degree per decade.
11. Fish larvae next to the reef and at the northern beach – In 2022, perhaps following the deep mixing of the water column or maybe due to other reasons, fish larvae were much more abundant than in the years before it. This year, larvae abundances were

back to “normal”, similar to the values found in 2019-2021. There are usually more larvae at the northern site than in the southern site, close to the nature reserve. The time span of this series is not yet sufficient to draw conclusions regarding spatial and temporal variations.

12. Benthic foraminifera – Deformed benthic foraminifera were first found at several of the soft sediment seafloor sampling stations at the northern beach (previous location of aquaculture cages) in 2020 and were later found at other stations as well. The presence of deformed specimen may indicate contaminated sediments, and in samples from the eastern-most station (previous location of fish cages and across from the Kinet Channel) elevated metal concentrations were found. This year, deformed specimens were not found at any sampled location. These findings support the hypothesis that contaminated sediments were exposed by the 2020 southern storm.
13. Seagrass at the northern and southern beaches – Seagrass surveys are conducted in winter and in summer and a marked difference was found between seasons. Generally, sea grass cover is denser during the summer. In 2020 a strong southern storm occurred between the seasonal surveys and in the summer only a sparse cover remained at both monitored sites and all depths. Seagrass cover recovered since then and this year cover at the northern beach was higher than previous year and at the southern beach it was lower. It seems that at the northern site seagrass cover diminishes at depths greater than 20 meters whereas at the southern site it is denser at these depths. Seagrass cover at the southern site is less stable and disappeared at depths 10 meters and shallower.

The deep water column

14. Vertical mixing – This year, the water column mixed to an intermediate depth of ~400 meters. In the previous year, mixing of the water column reached deeper than the seafloor at the sampling station (Station A, 730 meters) for the first time since 2012. That was the longest interval between deep mixing events on record and a strong phytoplankton bloom ensued for several months, coupled with decreased nutrient concentrations in the deep waters.
15. Concentrations of oxygen and nutrients in the deep waters – The water column was deeply mixed in the previous year and concentrations of nutrients decreased in the deep waters, while oxygen concentrations increased. Following this year’s intermediate mixing depth, nutrients started accumulating in waters deeper than 400 meters – and at a higher rate than expected only one year after deep mixing, as compared to the years following the deep mixing of 2012. Mixing duration was short in the previous year and so perhaps only a relatively small amount of nutrients left the Gulf through the Straits at the south. Maybe that is why phytoplankton blooms were so extended and nutrient accumulation in the deep water so rapid, but maybe nutrient input to the northern gulf has increased in recent years. Conversely, perhaps there an effect of internal waves and lateral transport.
16. Chlorophyll-a concentrations – Even considering the large seasonal variations, a trend of rising chlorophyll-a concentrations begins to emerge, and peak annual values are now sometimes measured during summer months. Even considering the amount of integrated chlorophyll-a at depths of 60 to 100 meters during the summer season, to reduce seasonal effects, a rising trend emerges. It appears that chlorophyll concentrations are not driven only by vertical mixing and changes in salinity at the

end of the mixing season may indicate water intrusion that is, perhaps, associated with high chlorophyll concentrations.

17. Deep-water temperatures – The temperature in the deep waters, and especially deeper than 500 meters, continues to rise. In deep-mixing winters temperature at depth commonly dropped slightly, but that did not happen following 2012 and 2022 deep mixing. A sustained overall trend of rising temperatures at depth is apparent.
18. Zooplankton – Zooplankton concentrations were high this year and similar to the previous year. Usually, peak zooplankton concentration is measured in one of the months at the start of the calendar year and the highest value measured by the monitoring program (since 2011) was in February 2016 although that was not a year of deep mixing. relative to the past few years but lower than the high values of February 2016. This suggests that the duration and intensity of mixing may also play a role. In the previous year, peak concentration occurred in June and this year it was earlier as is more common.
19. Primary productivity – This year measurements of primary productivity continued, in collaboration with Prof. E. Rahav and T. Reich, of IOLR, but an irregular and low temporal resolution. Variations in productivity are large and rapid during winter and it is likely that our measurements are not sufficient to capture these details. During summer, on the other hand, variations are smaller, and the system is in an “oligotrophic” state. Therefore, summer productivity may provide a better chance of recognizing long-term patterns. It seems that summer productivity in the years 2010-2023 is rather uniform, with highest values in 2016, but still, there may be a slight increase in summer productivity over the years.

Supplementary continuous measurements

20. Sea surface chlorophyll-a next to Eilat's coral reef (daily measurement) – Chlorophyll-a concentrations fluctuate sharply and frequently with a seasonal pattern of higher values in winter and spring and lower values in summer. This year, peak chlorophyll concentrations were measured early, in early March, and was higher than most measurements from other years of that period. It was the highest concentration measured by the monitoring program other than in deep mixing years. Despite that, during most of the year chlorophyll concentrations were lower than the multi-annual average and the peak concentration was about half that of the previous year, in which mixing was deep.
21. Sea surface temperatures next to Eilat's coral reef (daily measurement) – Throughout the year, SST measured daily next to the Underwater Observatory and the nature reserve reef was higher than the multi-annual average. At first, the difference was small but from mid-July to mid-August SST was ~1.5 degrees above the average. The rate of SST rise during that period was also among the fastest on record: approximately 2 degrees per week. SST this summer was higher than the 90th percentile of existing measurements but not the highest recorded. Into winter SST remained higher than average and overall, the annual average SST was approximately half a degree higher than last year. Since the start of these measurements (in 1988, by Prof. Amatzia Genin's lab) the annual average SST rises at an average rate of ~0.34 degrees per decade and since 2004 at a rate of ~0.42 degrees per decade.
22. Meteorology (continuous measurement) – This year's meteorological measurements were not extraordinary and included several southern storms events that were not particularly strong. The ambient air temperatures recorded over the sea from the pier

at the IUI were higher than last year's both in winter and in summer by ~ 2 degrees in the maximum and minimum values.

Sea conditions (continuous measurement) – The minimal SST recorded at the IUI pier this year was about half a degree higher than that measured in last year during the deep mixing of the water column (21.0°C). Looking at the minimal annual temperatures (coldest 5%, 18 days of every year) we find a continuous rise of the minimal SSTs over the years.

The highest maximal SST on record is 31.0°C, measured in 2021.

23. In 2021 the NMP started collecting wave data. To our knowledge this is the only (nearly) continuous wave measurement at the northern Gulf of Eilat. The data collected to date allows characterization of the typical waves generated near the IUI (southern shore of Eilat) by northern winds – significant wave height of up to 0.2 meters and maximum wave heights not larger than 0.5 meters. The record also contains several southern storm events, though not particularly strong. This year, five such events were recorded with the highest significant wave a bit over 1 meter and the highest maximal wave a little over 2 meters – similar to last year's measurements.
24. In the summer of the previous year, we placed a surface acoustic current meter next to the IUI pier. Measurements available so far reveal that the dominant currents are parallel to shore, the southerly direction is more dominant than the northerly direction, and that the strongest southerly currents are stronger than the strongest northerly currents. Strong currents seem to be associated with peak high and low tides, with the strongest currents on record reaching 0.5 meters/second in a southerly direction parallel to the shore. A hypothetical water parcel that began its travel this summer next to the IUI would migrate about 500 meters to the south by the end of the year.

Multi-annual variations and trends

The coral reefs of Eilat

1. Live stony coral cover – Live coral cover is the most simple and significant metric reflecting the state of the reef, and substantial variations in the live coral cover between sites and interannual changes have been recorded.
During the initial years of monitoring (2004-6) average coral cover in Eilat was 19-20%. In the interval of 2007-12 average cover increased and fluctuated in the range of 21.5-23.9% and in 2013 the highest average cover was recorded: 26.4%. After that maximum, the average coral cover at Eilat ranged between 24.0% and 25.3%. In March 2020 the coral reefs of Eilat were hit hard by a severe southern storm and damage to the reef varied between the monitored sites. Following the storm average coral cover decreased significantly but in the last two years an increased average coral cover was measured, and it now stands at $24.4 \pm 5.2\%$, close to the pre-storm value. Overall, live coral cover at most monitored sites is higher than it was at the initial years of monitoring.
2. Stony coral density and size – Average coral density between all monitored sites varies from year to year, although annual changes are small. The average coral density measured this year is high, compared to the previous two years, 51.9 ± 5.5 colonies per square meter. Throughout the monitored period there is a gradual decrease in the fraction of small colonies and an increase in the fraction of medium and large coral colonies, indicating improved coral survival over time. This year, for the first time in five years, an increase in the fraction of small colonies was recorded.
3. Live tissue index in stony corals – This index is decreasing since 2012, albeit at a slow rate, ca. 1% per year. The decrease in the average percentage of live tissue in living coral colonies possibly reflects the growth and improved survival of coral colonies that are thus more exposed to partial mortality.
4. Diversity – Stony coral diversity in Eilat's reefs, as well as the coral community composition change only slightly from year to year, indicating a stable community structure. A time-series of the “effective number of species” (a normalized metric of diversity derived from transformation of the Shannon-Wiener diversity index) reveals a slight increase in coral diversity over the monitored period.
5. Sea urchins – The most important group of invertebrate reef grazers are the sea urchins and the dominant sea urchin in Eilat is *Diadema setosum*. The density of *D. setosum* fluctuates from year to year and dictates the abundance of sea urchins at the monitored sites. Since 2016 a gradual decline in sea urchin abundance is observed and the population size seems but a fraction of that in the initial monitoring years. Even following the deep-water column mixing of 2022 urchin population in Eilat did not recover.
This year, mass mortality of urchins in Eilat was documented, most likely due to a bacterial pathogen. In recent years urchin population in Eilat is ominously small and recovery may be very slow – if at all.

Coastal Environs

6. Nutrient concentrations in coastal waters – Nutrient concentrations are usually higher during winter than they are during summer months, due to water column mixing that brings nutrient rich waters from depth. Conversely, abnormal concentrations at individual sampling stations are found mostly in stratified summer months.

Abnormally high concentrations, indicating local nutrient enrichment, were common until 2007 and became less so in later years. However, abnormally high concentrations of nutrients, particularly at the northern sampling stations, are again occasionally recorded in recent years.

7. Benthic foraminifera in soft sediment at the former location of aquaculture cages – The benthic foraminifera community beneath the former aquaculture cages at the northern shore of Eilat displays gradual recovery since 2008 (Oron *et al.*, 2014). A series of floods covered the sea floor at the site with terrigenous clay sediments during the winter of 2012-13 and decimated the local foraminifera community. Recovery following the floods was considerably more rapid than the recovery from the impact of aquaculture cages indicating a healthy habitat. Morphologically deformed individual foraminifera were first discovered following the storm of 2020 at the northern sampling station at the former location of fish cages and opposite the Kinet outlet, perhaps indicating ongoing contamination of the sediments at the site. In the following two years deformed individuals were discovered at other sampling stations, but this year we did not find deformed foraminifera and that may indicate that the contaminated sediment was diluted and dispersed by transport.

The deep sea water column

8. Concentrations of dissolved oxygen and nutrients – The Gulf's ecology, particularly the annual dynamics of dissolved oxygen and nutrients and their availability to phytoplankton, is controlled by seasonal mixing of the water column. The multi-annual dynamics are controlled by the depth and duration of mixing, and the concentration of nutrients in the deep waters. In the previous year mixing depth was greater than the water depth at the sampling station (Station A, ~730 meters). Deep waters were mixed with the upper water column, ending a decade-long cycle since the previous deep mixing in 2012. Oxygen concentrations at the deep waters rose and nutrient concentrations decreased after fueling algal blooms at the photic zone. This year, oxygen began to decrease and nutrients started to re-accumulate in the deep waters – at a higher rate than expected when compared to the preceding deep mixing event of 2012.
9. Chlorophyll-*a* in the upper water layer – Despite the large seasonal fluctuations, and even considering the high values attributed to years of deep mixing, a trend of rising Chlorophyll-*a* concentrations begins to emerge, where peak annual values are sometimes measured during summer and not spring. It seems that Chlorophyll-*a* concentrations are affected by processes in addition to the seasonal mixing of the water column.
10. Water temperature – The temperature measured in the deep water was at a low in the years 2007-2008 due to deep mixing and has been slowly rising since. Despite deep mixing in 2012 and 2022, a drop in the temperature was not noted at depths greater than 500 meters. Thus, the documented trend of rising deep-sea water temperatures continues. A trend of rising sea surface temperatures in Eilat is documented since 1988.

א.5. מסקנות והמלצות

I. במשך תקופת הניטור תועדה צמיחה בשוניות האלמוגים של אילת והן מצויות במצב טוב יותר בשנים האחרונות בהשוואה לשנים הראשונות של הניטור. אולם, החל מאמצע התקופה, 2015 בערך, נראה היה כי שינויים לטובה איטיים יותר וישנם גם מדדים המצויים בירידה. בחודש מרץ 2020 פגעה סערה דרומית חזקה במיוחד בחופי אילת וגרמה לנזק רב לאורך החופים. הפגיעה אמנם לא השפיעה בכל האתרים במידה שווה אך בשנתיים שאחרי הסערה תועדה ירידה גדולה בכיסוי האלמוגים הממוצע בשוניות אילת. בשנתיים האחרונות מתועדת התאוששות ועלייה בכיסוי האלמוגים הממוצע והשנה הכיסוי הממוצע קרוב למה שהיה לפני הסערה. עם זאת, מוקדם לקבוע האם זו מגמה של התאוששות ועליה בכיסוי אשר תמשך גם בשנים הקרובות. שונית האלמוגים פגיעה למגוון לחצים אנושיים וטבעיים. גם גורמים "טבעיים" מושפעים, בחלקם, מהתערבות אנושית, למשל, הצטברות חומרי דשן במי הים או מי נגר השוטפים אל הים מעודדים פריחת אצות, וחזירת חיידקים פתוגנים עשויה לגרום לפגיעה קשה בבע"ח מקומיים. תנודות בכיסוי האלמוגים ופריחת אצות הם חלק מהמערכת הטבעית, ואחת ממטרות הניטור היא לעקוב ולזהות מחזורים שכאלה. אנו ממליצים לנקוט משנה זהירות בכל הנוגע לפעולות העוללות לפגוע בשונית. בין היתר רצוי, כמובן, למנוע פגיעה פיסית בשונית אך גם למנוע העשרה בנוטריינטים שתעודד פריחת אצות, פגיעה בבתי הגידול התומכים, כגון עשבי הים, ולנקוט זהירות בכל הנוגע לפלישות פתוגנים לצפון המפרץ. צימצום הסיכון לעקת כרונות או קיצוניות ממקור אנושי (דוגמת דליפות נפט) חשוב כעת יותר מתמיד.

II. בשנות הניטור מתועדות תנודות באוכלוסיית קיפודי הים, אחת משתי קבוצות הרועים החשובות בשונית (הקבוצה השנייה היא דגים רועים) והקבוצה העיקרית הניזונה ממרבדי אצות חוטיות (turf algae). הרועים מווסתים פריחת של אצות צמודות מצע המתחרות עם אלמוגים על שטחי השונית. מדידות מראות כי בשנות הניטור ויסות הפריחת על ידי רועים נעשה ביעילות. מאז שנת 2016 מתועדת ירידה בשיפעת קיפודי הים באתרי הניטור ועל אף שבשנת 2022 היה ערבוב עמוק אשר לרוב נמצא בקורלציה עם עלייה בצפיפות קיפודים, צפיפותם בשונית הוסיפה לרדת. בנוסף לכך, בתחילת השנה תועדה תמותה המונית של קיפודי ים מסוגים שונים, ככל הנראה כתוצאה מפגיעת חיידק פתוגן. אוכלוסיית הקיפודים שנסקרה בקיץ השנה קטנה במידה מדאיגה. על אף התנודות הגדולות באוכלוסייה זו במשך השנים, נראה כי האוכלוסייה הקיימת קטנה מכדי להגיב גם בתנאים מיטבים והתאוששות, אם תתרחש, תהיה איטית. בהינתן התנודות בחברת הרועים, יש לנסות ולהפחית את הלחץ האנושי על הקיפודים והדגים הרועים. בפרט אנו ממליצים לאסור כליל דיג של דגים אוכלי אצות בצפון המפרץ ולפעול להגנתם מפני פגעים נוספים. בנוסף לזה, יש להקפיד על אכיפת האיסור לפגוע בקיפודי ים לאורך חופי אילת ושמירה על בתי גידול סלעיים במים הרדודים.

III. מדי פעם נמדדות "חריגות" בריכוזי נוטריינטים בתחנות הניטור החופיות, בפרט באתרים הצפוניים. חריגות בריכוזי נוטריינטים בקרבת מקור חופי מעלות חשש לכניסה מקומית של מים נושאי חומרים מומסים מהיבשה לים באזורים אלה. בשנים האחרונות נראה כי תעלת הקינט מהווה מקור סביבו נצפות פריחת מרובות וחזקות ונמדדים שם ריכוזי נוטריינטים גבוהים במיוחד. מומלץ לבחון האם השינויים שנעשו בשנים האחרונות ואלה שעדיין מתוכננים יצליחו למזער את הבעיה. בפרט, כדאי לבחון האם השתנה עומס הנוטריינטים וחומרים מומסים אחרים המגיעים לים דרך תעלת הקינט. יש להגביר את המאמצים לצמצם כניסת חומרי מזון ומומסים אחרים למי המפרץ.

IV. בשלוש השנים הקודמות נמצאו בתחנות הניטור בחוף הצפוני, ובשנה הקודמת גם בחוף הדרומי, פרטים של פורמיניפרים בנתונים בעלי עיוות מורפולוגי, המעיד אולי על זיהום של הקרקעית החולית. מחקר שנעשה באילת בשנות השמונים קושר בין עיוותים מורפולוגיים בקווצי עור ובין זיהום סביבתי ולפיכך עולה חשש שהעיוותים בפורמיניפרים מצביעים על זיהום שכזה בבית הגידול החולי בצפון המפרץ. בבדיקת ריכוזי מתכות בסדימנט בשתי נקודות ניטור בחוף הצפוני נמצא כי ריכוז המתכות בנקודה המזרחית – מול מוצא הקינט ובמקום בו היו בעבר כלובי הדגים, גבוה במידה רבה מהריכוזים שנמצאו מערבית לה. עולה החשש שמקור המתכות בחשיפת סדימנט מזוהם בעקבות הסערה של 2020, או בכניסת מזהמים דרך תעלת הקינט הסמוכה. השנה לא נמצאו פרטים מעוותים בסקר הקרקעית החולי ונראה כי מקור הזיהום התפזר – אך עולה החשש לקיומו של סדימנט מזוהם באזור המזרחי בחוף הצפוני אשר עלול להיחשף מדי פעם בסערות דרומיות ולהתפשט במפרץ. הסביבה החולית ומרבדי עשב הים בחוף הצפוני של אילת מהווים – בנוסף לערכם העצמי – גם בית גידול ותחנת מעבר לשלבים מוקדמים של דגי שונית. יש לפעול לשימורן של חברות הקרקעית הטבעיות בבית הגידול החולי בחופים הצפוניים, ולמנוע חדירת מזהמים לסביבה זו.

V. התנודות במצב בתי הגידול במפרץ, בפרט בשונית האלמוגים ומשטחי עשב הים, מדגישות את רגישותם הרבה של חברות אלה. במשך תקופת הניטור כולה נמדדת התאוששות של מגוון בתי גידול ונראה כי גם ריכוזי הנוטריינטים המומסים בעמודת המים ירדו במשך הזמן. עם זאת, המערכת האקולוגית בצפון המפרץ מצויה באיזון עדין כפי שמעידה הפגיעה בבתי הגידול כתוצאה מהסערה הדרומית החזקה במרץ 2020, התמותה ההמונית של קיפודי הים בתחילת השנה והעובדה שריכוזי נוטריינטים במים העמוקים היו השנה גבוהים מהצפוי שנה בלבד לאחר ערבוב עמוק. לא ניתן להצביע על גורם נקודתי אחד בשטחנו בו ניתן לטפל ישירות, אך נראה כי יכולתה של המערכת להתמודד עם עקות אינה גדולה. הקושי צפוי אף לגדול עם התגברות גורמים "גלובליים" כגון חימום מי הים ושינוי רמת חומציותם. על כן, ראוי למנוע עד כמה שניתן הצטברות גורמי עקה מקומיים הניתנים למניעה מכיוון שמערכת מוחלשת תתקשה להתמודד עם מגוון עקות הפועלות במקביל.

Tables

Table A1: Activities of the monitoring program and their frequency.	6
Table B1: Locations and depths of the reef census line-transect survey sites.	29
Table B2: Summary of cover data collected in line transects at the monitoring sites.	38
Table B3: The twenty most abundant corals (% cover) in the monitored area	50
Table B4: The most abundant stony corals (by cover percentage) at the reef table and the fore-reef sites.....	54
Table B5: The number of colonies, relative abundance and average density (colonies per square meter) of the coral taxa found this year at the lagoon.	59
Table B6: Total abundance and average density (number per 1m ²) of mobile invertebrates at the monitored sites.....	69
Table B7: Sample size, the number of fish (individuals) and corals at the Eilat reef sites surveyed this year.	83
Table B8: Average occurrence (per sampling unit) of fish families and corals at the Eilat reef sites	84
Table B9. The 20 rarest fish species observed in the survey.	86
Table C1: Locations of the coastal-water monitoring stations.	96
Table C2: Benthic foraminifera identified at the North and South beach sites.....	116
Table C3: Meiofauna groups identified at the North and South beach sites (listed alphabetically).	119
Figure D44: The array of sediment traps placed on a mooring line at 605 meters depth at the center of the northern basin of the gulf. Since summer 2021 only the large, automated trap (circled) is active.	180
Figure D45: Particulate fluxes caught in sediment traps since early 2014. High resolution (2-4 days) measurements captured in the automatic sampling trap placed at 400 meters depth.....	181
Table E1: Setup of the meteorological station at the end of the IUI pier, list of sensors.....	186
Table G1: List of stony corals and the number of colonies of each taxa found in the coral reef line-transect survey, 2023.	205
Table G2: Fish abundance and occurrence of fish families at the reef sites surveyed this year.	206
Table G3: Fish community according to families in NR_10 (called NR_7 in previous reports) throughout the monitored period. Numbers are normalized to sampling unit.....	207

Figures

Figure A1: Location of monitoring sites. See also map G.1 in Appendix 1.	7
Figure B1: Aerial photo of the northwestern shore of the gulf, south of Eilat, showing the coral reef sampling sites.....	30
Figure B2: Diver during reef surveys at the nature reserve.....	30
Figure B3: The average live stony coral cover (top) and colony density (bottom) at each site, in 2023.	32
Figure B4: Cumulative percent cover of live corals, sand, rock and dead corals.....	33
Figure B5: Live stony coral cover versus unconsolidated (sandy) sea floor at the sites examined.	33
Figure B6: Utilization of available substrate by stony corals in 2023.	34
Figure B7: Average live stony coral cover at each site and the average for all forereef sites, as percent of total area.....	35
Figure B8: Utilization of rocky substrate by stony corals (percent of live stony coral coverage out of the total consolidated substrate at each site) and the average of all forereef sites.....	36
Figure B9: Average density of stony corals (colonies per square meter) at each site and the average for all forereef site.	37
Figure B10: Size frequency distribution of coral colonies in the surveyed sites.....	40
Figure B11: Top: Changes in average relative size fraction abundance and density (per square meter) by size class of Eilat coral colonies (corrected for transect based count bias) during the monitored period. Bottom: Average coral density (per square meter) by size class in Eilat.....	41
Figure B12: Live Tissue Index (LTI) for corals in the surveyed sites.	42
Figure B13: Changes in the state of coral colonies over time according to the average percentage of living coral tissue (LTI) from all sites over the monitored period.	43
Figure B14: Top, the average percentage of living coral tissue (LTI) from all sites in 2023, grouped by colony size class. Bottom, change to the LTI since 2007 in the various coral size classes.	44
Figure B15: The Shannon-Wiener diversity index of coral taxa estimated this year for each site	45
Figure B16: The Shannon-Wiener diversity index of coral taxa estimated for each site over time	45
Figure B17: The average effective number of species for stony corals at the Eilat reefs since 2004.....	46
Figure B18: Rarefaction curves of taxa richness based on colony counts, calculated for each site with the Past software (Hammer et al., 2001).	47
Figure B19: Rarefaction curves of taxa richness based on colony counts, calculated with the Past software (Hammer et al., 2001) for the "Eilat Reefs" since 2004.....	47
Figure B20: The expected number of stony coral taxa per 1000 and per 1500 random coral colonies in the "Eilat Reefs" since 2004 based on the rarefaction curves.	48
Figure B21: The five most abundant coral taxa in the reefs of Eilat during the monitoring period	49
Figure B22: Cumulative percent cover of live corals, sand, rock and dead corals at the reef table. Values are averages of line transect values.	51
Figure B23: Percent cover of live corals and density of coral colonies on the reef table since 2007.....	52
Figure B24: The number of coral genera encountered at the Reef Flat monitoring surveys.	53
Figure B25: Top –Shannon-Wiener diversity of stony corals in the years since 2007, bottom – rarefaction curves for coral genus diversity on the reef table since 2007.	53
Figure B26: The percentage of live coral cover at the "Eilat Reefs" (the average of the eight surveyed fore-reef sites), in black, and the reef-table site, in blue.....	56
Figure B27: Top, coral colony density by size groups during the monitoring period. Bottom, density of "small" coral colonies versus the density of all coral colonies in the "Eilat" reefs.	57
Figure B28: The sampling design in the lagoon.	58
Figure B29: Relative abundance (by colony number) of the 10 most abundant coral genera in the lagoon.	59
Figure B30: Top- the average density (colonies/square meter) of all coral genera and the dominant corals <i>Stylophora pistillata</i> and <i>Millepora</i> found in the lagoon during the monitored period. Bottom- the total number of colonies and of coral taxa surveyed in the lagoon since 2004.	60
Figure B31: Changes to the Shannon-Wiener diversity index of corals in the lagoon since 2004, estimated using the Past software (top), and the effective number of species calculated from it (bottom).....	61
Figure B32: Arrays of coral settlement plates in Eilat's reef.....	63
Figure B33: Tiny coral colonies (spats) on settlement plates retrieved from the reef.	64
Figure B34: Top – the average density of coral spats (per m ²) at different time intervals this year. Bottom – the average number of polyps per spat (size).	65
Figure B35: The average number of recruits found on coral settlement plates versus the average number of	

polyps per recruit (recruit size).....	66
Figure B36: Inter-annual and seasonal comparison of coral settlement.....	67
Figure B37: Belt-transect survey of motile invertebrates.....	68
Figure B38: The average density (per m ²) of all mobile invertebrates (top) and sea urchins (bottom) at the sampling sites.	70
Figure B39: The average density (individuals per m ²) of all sea urchins at the fore-reef sites (top) and at the lagoon (bottom).....	71
Figure B40: The average density (individuals per m ²) of <i>Diadema setosum</i> and other urchins at the forereef and lagoon sites.....	72
Figure B41: The average density (per m ²) of feather-stars (top), Sea Cucumbers (middle) and Sea Stars (bottom) at the fore-reef sites and the lagoon.	73
Figure B42: Algae settlement plates.....	74
Figure B43: Average chlorophyll a on exposed and caged settlement plates in 2023.....	75
Figure B44: Top – Average chlorophyll a on exposed and caged settlement plates since 2004. Bottom – Potential (Chl-a from protected, caged, plates) versus grazing pressure.....	76
Figure B45: Average chlorophyll a during the months April-May on exposed and caged settlement plates since 1997.....	77
Figure B46: Average chlorophyll a on exposed (blue) and caged (red) settlement plates at the Nature Reserve in 2023.	78
Figure B47: Average chlorophyll a on exposed and caged settlement plates at the Nature Reserve since 2007.	79
Figure B48: An exposed algae settlement plate from the lagoon.	80
Figure B49: The annual average potential benthic algae growth on the reef slope across the IUI versus the mixing depth, since 2004. Years of deep mixing are marked.	80
Figure B50: Fish community by families in the surveyed sites.	84
Figure B51: Fish community by families, excluding schooling species, in the surveyed sites.	85
Figure B52: Number of fish per sampling unit at the surveyed sites since 2020.	85
Figure B53: Species richness (top) and diversity (bottom) of fish communities at the surveyed sites.....	87
Figure B54: Individual based rarefaction curves for species richness (top) and diversity (bottom)	88
Figure B55: Sample-based rarefaction curves for species richness (top) and diversity (bottom).....	88
Figure B56: Rényi diversity profiles for reef fish communities at the surveyed sites.....	89
Figure B57: Distribution of reef fish according to trophic levels at the surveyed sites.	90
Figure B58: Distribution of reef fish according to trophic levels at the surveyed sites in 2020-2023.....	90
Figure B59: Distribution of reef fish according to trophic level (left) and major families (right) at NR 10 since 2007.	91
Figure B60: Distribution of reef fish according to habitat, and number of inhabited and non-inhabited corals.	92
Figure C1: Map of the coastal-water monitoring stations in the territorial waters of Israel in the Gulf of Eilat..	95
Figure C2: Top, pH values measured this year at the coastal stations. Bottom, Monthly pH values at all coastal water monitoring stations since October 2006.	97
Figure C3: Top, alkalinity measured this year at the coastal stations. Bottom, Monthly alkalinity at all coastal water monitoring stations since October 2004.	98
Figure C4: Top, concentrations of total oxidized nitrogen (TON, nitrate+nitrite) measured this year at the monitoring coastal stations. Bottom, monthly TON concentrations at the coastal water sampling stations since 2004.	100
Figure C5: Top, ammonia (NH ₄) concentrations measured this year at the monitoring coastal stations. Bottom, monthly ammonia concentrations at the coastal water sampling stations since 2004.	101
Figure C6: Top, phosphate (PO ₄) concentrations measured this year at the monitoring coastal stations. Bottom, monthly phosphate concentrations at the coastal water sampling stations since 2004.	102
Figure C7: Top, silicate (Si(OH) ₄) concentrations measured this year at the monitoring coastal stations. Bottom, monthly silicate concentrations at the coastal water sampling stations since 2004.	103
Figure C8: Top, dissolved oxygen concentrations measured this year at the “Open Sea” and “Fish Farms” monitoring stations. Bottom, monthly oxygen concentrations at these sampling stations since 2004.	104
Figure C9: Top, chlorophyll- <i>a</i> concentrations measured this year at the monitoring coastal stations. Bottom, monthly chlorophyll- <i>a</i> concentrations at the coastal water sampling stations since 2004.	106
Figure C10: Top, salinity measured this year at the coastal stations. Bottom, Monthly salinity at all coastal water monitoring stations since October 2004. <i>Gaps in the data reflect failure of the analytical instrument.</i> ..	106

Figure C11: Top, sea surface temperatures measured this year at the coastal stations. Bottom, Monthly SSTs at all coastal water monitoring stations since October 2004.	107
Figure C12: Annual average SST at the "Open Sea" sampling station displays a rising trend greater than 1/2°C per decade.	108
Figure C13: Top, Secchi depths measured this year at the coastal stations. Bottom, Monthly Secchi depths at all coastal water monitoring stations since October 2004.	109
Figure C14: Locations of larvae net tows adjacent to the North Beach and the Coral Nature Reserve of Eilat.	111
Figure C15: Fish larvae collected close to shore at the northern beach of Eilat (NB) and close to the reefs of the Coral Beach nature reserve (NR).	112
Figure C16: Densities of fish larvae close to shore at the northern beach of Eilat (NB) and close to the reefs of the Coral Beach nature reserve (NR).	112
Figure C17: Grain size distribution (weight percent) for soft sediment at two sites, at the north beach (NB) and south beach (SB) of Eilat.	114
Figure C18: The density of foraminifera individuals (number/gram sediment) at two soft sediment sites, at the north beach (NB) and south beach (SB) of Eilat.	115
Figure C19: Deformed benthic foraminifera found at the FF sampling locations offshore from the Kinet channel outlet.	117
Figure C20: Abundance of meiofauna genera dwelling in the upper layer of two soft sediment sites, at the north beach (NB) and south beach (SB) of Eilat.	118
Figure C21: Grain size distribution (weight percent) for soft sediment at the sampling locations near the former fish cages site.	120
Figure C22: The density of live benthic foraminifera individuals at the "Fish Farm" site following the removal of the last fish cages	122
Figure C23: The number of live foraminifera species per gram dry sediment at sampled locations since summer 2008.	123
Figure C24: Seagrass cover along the 20m depth transect on the southern coast of Eilat (photo: L. Levy).	124
Figure C25: Seagrass cover during winter and summer at four depths in the southern and northern beach sites of Eilat.	125
Figure C26: Seagrass cover during summer in the southern and northern beach sites of Eilat.	126
Figure C27: The average seagrass cover in recent years at four depths in the northern and southern beach sites of Eilat.	127
Figure D1: Temperature profiles measured using a CTD during the monthly monitoring cruises.	132
Figure D2: Changes in water temperature at Station A since 2004.	133
Figure D3: Changes in water temperatures at Station A since 2000	134
Figure D4: Salinity profiles measured using a CTD during the monthly monitoring cruises	136
Figure D5: Changes in salinity at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths.	137
Figure D6: Dissolved oxygen concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises	139
Figure D7: Changes in concentrations of dissolved oxygen in the water column at Station A since 2004.	140
Figure D8: Changes in the dissolved oxygen inventory in the water column at Station A since 2004.	141
Figure D9: Dissolved oxygen concentrations in 400m to 700m water depth at Station A, since 2000.	141
Figure D10: Depth profiles of pH values measured during the monthly monitoring cruises.	142
Figure D11: Changes in pH in the water column at Station A since November 2006.	143
Figure D12: Alkalinity profiles measured during the monthly monitoring cruises.	144
Figure D13: Changes in alkalinity in the water column at Station A since 2004.	144
Figure D14: Nitrite (NO ₂ ⁻) concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises.	146
Figure D15: Nitrate (NO ₃ ⁻) concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises.	147
Figure D16: Changes in the concentration of total oxidized nitrogen (TON= NO ₃ +NO ₂) in the water column at Station A since 2004	148
Figure D17: Changes in the nitrate (NO ₃) inventory in the water column at Station A since 2004.	149
Figure D18: Changes in nitrate concentration water depth of 400m to 700m at Station A since 2000.	150
Figure D19: Phosphate (PO ₄ ⁻³) concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises.	151
Figure D20: Changes in the concentration of phosphate in the water column at Station A since 2004	152
Figure D21: Changes in the phosphate inventory in the water column at Station A since 2004.	153
Figure D22: Silicate (Si(OH) ₄) concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises.	154
Figure D23: Changes in the concentration of silicate in the water column at Station A since 2004.	155
Figure D24: Changes in the silica inventory in the water column at Station A since 2004.	156
Figure D25: Changes in silicate concentration water depth of 400m to 700m at Station A since 2000.	157

Figure D26: Particulate organic carbon (POC) concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises.	158
Figure D27: Changes in the concentration of particulate carbon in the water column at Station A since 2011	159
Figure D28: Dissolved inorganic carbon (DIC) concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises.	160
Figure D29: Fluorescence profiles measured using a CTD during the monthly monitoring cruises.	161
Figure D30: Chlorophyll-a concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises.	162
Figure D31: Changes in the concentration of chlorophyll-a in the water column at Station A since 2004.	163
Figure D32: Chlorophyll-a at Station A at the deep chlorophyll maximum (DCM), at water depths of 60, 80 and 100 meters since 2000.	164
Figure D36: A double plankton net ("Bongo") towed from the boat in deep waters.	171
Figure D37: Monthly zooplankton concentrations at the upper 100m of the deep sea.	172
Figure D38: Zooplankton concentrations at the upper 100m of the deep sea since 2011.	173
Figure D39: Monthly primary productivity and chl- <i>a</i> concentrations at the upper water column.	175
Figure D40: Primary productivity (top) and Chl- <i>a</i> concentrations (bottom) at the upper water column since 2010.	176
Figure D41: Integrated values of primary productivity in the upper 100m of the water column	177
Figure D42: Monthly primary productivity in the upper 100m of the water column since 2010.	178
Figure D43: Average daily primary productivity in the upper 100m of the water column for the months June-October, since 2010.	178
Figure D44: The array of sediment traps placed on a mooring line at 605 meters depth at the center of the northern basin of the gulf.	180
Figure D45: Particulate fluxes caught in sediment traps since early 2014.	181
Figure E1: Chlorophyll-a concentrations sampled daily at the Underwater Observatory pier in 2023 (red line) and the long-term average (1988-2022, green line).	183
Figure E2: Chlorophyll- <i>a</i> concentrations at the sea surface, sampled daily at the Underwater Observatory pier since 2004.	183
Figure E3: Daily sea-surface temperatures measured from the Underwater Observatory pier during 2023 (red line), the average SST for 1988-2022 (green line)	184
Figure E4: Top – Daily sea surface temperatures measured from the Underwater Observatory pier since 2004	185
Figure E5: The meteorological station at the end of the IUI pier.	187
Figure E6: Top- Maximum daily wind speed (m/sec). Bottom- Maximum daily wind speed and direction since January 2007.	189
Figure E7: Maximum and minimum (red and blue, respectively) daily air temperature above the sea.	190
Figure E8: Maximum daily global radiation (top), ultraviolet radiation (middle) and photosynthetically available radiation (bottom).	191
Figure E9: Maximum and minimum (red and blue, respectively) daily values of relative humidity over the sea.	192
Figure E10: Maximum and minimum (red and blue, respectively) daily water temperature at ~2m depth. Bottom, the coldest 18 days of every year (lowest 5% of minimal daily SST)	193
Figure E11: Maximum and minimum (red and blue, respectively) daily sea-level measurements.	194
Figure E12: Significant (top) and maximum (bottom) wave heights. Events of southern winds accompanied by high waves are marked with red arrows.	196
Figure E13: Near-surface currents off the Inter-University Institute.	197
Figure E14: Measured current directions and velocities at the sea surface close to the IUI. Current direction switches in a near-regular fashion, governed by the tidal cycle.	198
Figure E15: Overall motion of currents since mid-August	199
Figure E16: Weekly dust concentrations in the air above the sea	201
Figure G1: Study sites of water sampling (surface water and water column). Station B (not shown) is located 10 km south of Station A.	204

ב. שונית האלמוגים

ב.1. סקר חברת השונית

מטרה

אמזן השיפעה, "מצב הבריאות" ומבנה החברה באתרי השונית העיקריים לאורך חופי מדינת ישראל בצפון מפרץ אילת. סקר חברת השונית כולל אלמוגי אבן, אלמוגים רכים, וחסרי חוליות נייחים עיקריים. כמו כן מבוצע סקר סוגי קרקעית הים (מצע) לצורך אמזן פוטנציאל ההתיישבות בכל אתר.

שיטות

חברת האלמוגים נדגמת בשלושה אתרים שונים, בעומקים שונים לפי הפירוט המופיע בטבלה ב1 ובתצלום האווירי (איור ב1). סקר חברת השונית נעשה אחת לשנה, בתקופת הקיץ, ונמשך מספר שבועות.

טבלה ב1: האתרים והעומקים בהם נערכו סקרים בשיטת חתכי קו.

Table B1: Locations and depths of the reef census line-transect survey sites.

אתר	סימול	קו רוחב	קו אורך	עומקים (מ')
המכון הבינאוניברסיטאי (מעבדה ימית)	IUI	34°55'.02	29°30'.07	5,10,15
השמורה הסגורה (גנים יפנים)	NR	34°55'.26	29°30'.33	1,5,10,20
קצא"א (בין המזחים)	KATZA	34°56'.04	29°31'.37	10, 20

סקר חברת האלמוגים נעשה על פי שיטת חתכי הקו שפותחה על-ידי Loya et al. (1972). בכל אתר גיאוגרפי נפרס סרט מדידה מנקודת התחלה אקראית לאורך קו עומק כמפורט בטבלה ב1. לאורך סרט המדידה נבחרה מראש נקודת ההתחלה של החתך על-ידי מחולל מספרים אקראיים. מנקודה זו בוצעו חתכים באורך 10 מטרים לאורך סרט המדידה, כשביניהם מפרידים מטרים ספורים. מספר החתכים באתר (אתר הוא שילוב של מיקום גיאוגרפי ועומק) נע, בדרך כלל, בין 10 ל-25, ונקבע לפי תוצאות הסקר עד לקבלת דיוק גבוה מ-20% במדד אחוז כיסוי האלמוגים.

בכל מקטע של עשרה מטרים נרשם ההיטל של כל מה שנמצא תחת סרט המדידה בדיוק של סנטימטר אחד (איור ב2). אלמוגים חיים (אלמוגי אבן ואלמוגים רכים) וחסרי חוליות אחרים זוהו לרמת הסוג, ובמידה והתאפשר אף לרמת המין (רשימת האלמוגים שנמצאו בכלל החתכים מופיעה בנספח 2ז, טבלה 1ז). בכל חתך נרשם גם סוג המצע תחת סרט המדידה (סלע חשוף, חול, חלוקים, אלמוגים מתים, וכו').

מושבות האלמוגים תחת סרט המדידה חולקו לאחת מארבע קבוצות גודל ואחוז הרקמה החיה בכל מושבה הוערך ונרשם. ארבע קבוצות הגודל הן: > 5 ס"מ, $5-15$ ס"מ, $15-30$ ס"מ ו- < 30 ס"מ (L, M, S ו-H בהתאמה).

עבור כל אלמוג תחת סרט המדידה התבצעה הערכה של אחוז הרקמה החיה בהתחשב בכלל שטח המושבה. לא כל השלד במושבות אלמוגים חיים מכוסה ברקמה ואחוז הרקמה החיה של המושבה הוגדר כאחוז שטח המושבה שאינו מת, לבן או מכוסה באצות. הרקמה היא הראשונה להיפגע מטריפה, ממחלות ומפגיעה מכאנית. במקרים רבים, בעיקר לאחר פגיעה מזערית, הרקמה הפגועה מחלימה. כאשר האלמוג מאבד חלק משמעותי מרקמתו, החלמת האזור הפגוע היא במקרים רבים חלקית או חסרה לחלוטין. לעיתים, בפרט כאשר האלמוג נמצא במצב עקה או כאשר הסיבה לפגיעה היא מחלה, הפגיעה הראשונית עלולה להתפשט לאזורים סמוכים במושבה. בתכנית הניטור אנו משתמשים באומדן שיעור הרקמה הלא פגועה באלמוג כמדד ל"בריאותו". מדד זה, להלן (Live Tissue Index, LTI) נאמד עבור כל אחד מאלפי האלמוגים הנכללים בחתכי הקו בשונית, על ידי קביעה ויזואלית (על ידי הצולל הסוקר) של אחוז שטח המושבה המכוסה ברקמה חיה. מדד זה, אשר כונה בדו"חות הניטור הראשונים (2004-2007) "מדד הבריאות" (Health Index, HI), מחושב עבור כל אתר כממוצע אחוז הרקמה החיה של כל המושבות החיות שנסקרו באתר זה.

בדיקה של אמינות ההערכה נעשתה באמצעות סימולציה ממוחשבת בשנת 2008. תוצאות הסימולציה הצביעו על דיוק גבוה של ההערכה ושל המדד המחושב ממנה (התכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת דו"ח מדעי 2008, נספח 3ז).

איור ב1: תצלום אווירי של קטע החוף הצפון-מערבי של המפרץ, דרומית לעיר אילת, עליו מצוינים האתרים בהם נסקרה חברת השוניית, מהמעבדה הימית בדרום ועד לקצא"א בצפון. הקווים הצהובים מייצגים את האתרים הנסקרים: (1) המעבדה הימית, (2) שמורת האלמוגים, (3) קצא"א. קו קנה המידה השחור המופיע בתחתית התמונה מייצג 100 מ'.

Figure B1: Aerial photo of the northwestern shore of the gulf, south of Eilat, showing the coral reef sampling sites. The yellow lines represent sampling sites at the IUI (1), the Nature Reserve (2) and the oil terminal (3). Black scale line is 100 m.



איור ב2: סקר השוניית בשמורת האלמוגים. סרט מדידה נפרש על השוניית, ועל הדף נרשם ההיטל של כל מה שנמצא תחת החתך ברמת דיוק של סנטימטר אחד. צילום: ניצן שגב.

Figure B2: Diver during reef surveys at the nature reserve. A measuring tape is spread over the reef and the divers record the projected length of all the organisms and substrate underneath the line-transect to a resolution of 1 cm. Photo: N. Segev.

אתר נסקר מוגדר כשילוב של מיקום גיאוגרפי ועומק. עבור כל אתר נמדדו אחוזי כיסוי האלמוגים החיים, כיסוי החול והסלע, צפיפות מושבות אלמוגים, מגוון האלמוגים ועושר המינים, מדד הרקמה החיה לבריאות האלמוגים באתר והתפלגות גודל המושבות.

מגוון מינים לפי מדד Shannon Wiener (משוואה ב1, כש- P_i הוא פרופורציית מספר המושבות של מין (או סוג) i מתוך סה"כ n המינים (או הסוגים) שנספרו) הוערך בשנים קודמות על ידי על ידי תכנת EstimateS (Colwell, 2005; <http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS>) ומשנת 2022 באמצעות תכנת Past (Hammer et al., 2001) <https://www.nhm.uio.no/english/research/resources/past>). עבור כל אחד מהאתרים. התכנה מייצרת חזרות סטטיות על מספר הפרטים/יחידות המדידה והסוגים שנמדדו ויוצרת עקומת רוויה: ככל שנוספים פרטים או נוספות יחידות מדידה (חתכים) הערך המוערך מתקרב לערך האמיתי באתר עד למצב בו תוספת אינה משפיעה על הערך המוערך. בשלב זה הערך המוערך קרוב לערך האמיתי.

$$H' = - \sum_{i=1}^n P_i \cdot \ln(P_i) \quad \text{משוואה ב1:}$$

מדד המגוון של Shannon Wiener נבחר מכיוון שהוא המדד בו השתמשו סוקרי השונית באילת בעבר (Loya, 1972) וכך מתאפשרת השוואה בין נתונים שנאספים במסגרת תוכנית הניטור לנתונים שנאספו בעבר. יחד עם זאת, מגוון המינים בעבודות הקודמות לתוכנית הניטור חושב עבור חתך בן עשרה מטרים בכל אתר, ולא עבור האתר כולו (דיון מקיף מובא בדו"ח התכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת, 2006). ניתוח נוסף למגוון המינים נעשה באמצעות עקומות צבירה (rarefaction curves) המחושבות באמצעות התכנה ומתוכן מחושבת גם תוחלת המינים הצפויה בספירה של 1500 מושבות מתוך כלל שוניות אילת.

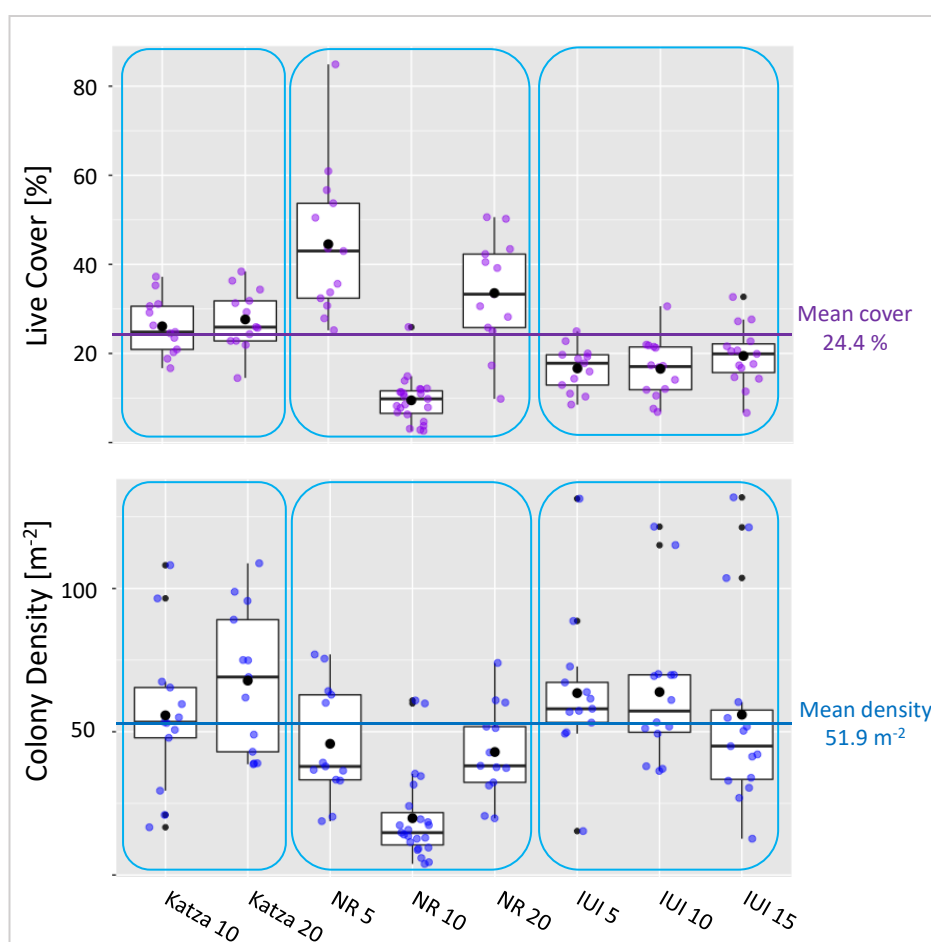
שולחן השונית בשמורת חוף אלמוג נסקר כאתר נפרד. ההחלטה להוסיף אתר זה לסקר נבעה מחשיבותו של שולחן השונית, לאור נתונים קודמים, לפיהם שולחן השונית נפגע ומצוי במצב של הידרדרות בעשורים האחרונים (ראו למשל Loya, 2004), והן בזכות הקמתה של תחנה מטאורולוגית על ידי תוכנית הניטור המאפשרת לעקוב (בין היתר) אחר אירועים אקלימיים קיצוניים להם חשוף שולחן השונית יותר מאתרי קדמת השונית. יחד עם זאת בשל ההבדלים הניכרים בין שולחן השונית וקדמת השונית (ראו דו"ח התכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת, 2007) מוקדש לשולחן השונית תת-פרק נפרד בדו"ח זה. קווי שגיאה מייצגים את שגיאת התקן, אלא אם מצוין אחרת.

תוצאות:

כיסוי אלמוגים וצפיפות מושבות

אחוז השטח המכוסה אלמוגי אבן חיים שונה מאד בין האתרים, וכך גם צפיפות האלמוגים (איור ב3). כיסוי האלמוגים הגדול ביותר נמצא בשוניית הרדודה בשמורת האלמוגים (5-NR), בה נמדד השנה כיסוי אלמוגי אבן של $44.5 \pm 4.6\%$. הכיסוי הנמוך ביותר נמצא גם השנה באתר השמורה בעומק עשרה מטרים (10-NR), עם $9.5 \pm 1.1\%$ כיסוי בלבד. אתר זה הוא גם האתר עם צפיפות המושבות הנמוכה ביותר (19.8 ± 3.2 מושבות למ"ר) ומצב זה משקף בעיקר את היותו אתר חולי ברובו והשונית בו בעלת אופי כתמי. אתר השמורה הרדוד, לעומתו, הוא אתר של מבנה שונית מסיבי ורציף, והכיסוי הגבוה בו (יחד עם צפיפות נמוכה באופן יחסי, 45.8 ± 5.5 מושבות למ"ר) משקף אכלוס על ידי מושבות אלמוגים גדולות.

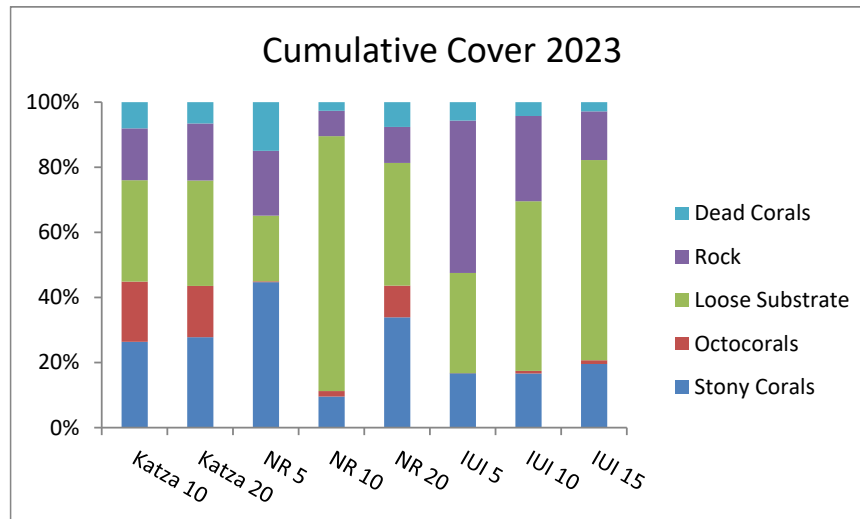
השנה נמדד כיסוי אלמוגים חיים נמוך בהשוואה לשנה הקודמת, בשני אתרים, 10-NR ו-5-IUI, ובשאר האתרים כיסוי האלמוגים אשר נמדד השנה ללא שינוי או גבוה מזה שנמדד בשנה הקודמת. כיסוי האלמוגים הממוצע באתרי השונית הנסקרים עלה השנה לעומת השנתיים האחרונות ועמד על $24.4 \pm 3.9\%$ (לעומת $22.6 \pm 3.2\%$ ו- $21.9 \pm 3.0\%$ בהתאמה) ודומה לכיסוי שנמדד בשנת 2019. גם צפיפות המושבות הממוצעת עלתה השנה בהשוואה לשנתיים הקודמות, 51.9 ± 5.5 מושבות למ"ר (לעומת 38.2 ± 4.2 ו- 44.4 ± 5.8 בהתאמה).



איור ב3: שטח הכיסוי הממוצע (למעלה) וצפיפות המושבות (למטה) של אלמוגי אבן חיים בכל אתר בשנת 2023. בכל "קופסה" קו אמצע מייצג את החציון והקופסה מייצגת את האחוזונים ה-25 וה-75 כפי שחושבו על ידי תכנת R; הממוצע בכל אתר מוצג על ידי עיגול שחור גדול וממוצע כל האתרים בקווים אופקים.

Figure B3: The average live stony coral cover (top) and colony density (bottom) at each site, in 2023. Center lines of boxes are the medians; box limits indicate the 25th and 75th percentiles determined by R software; large black dots represent site means and the lines are the averages of all sites.

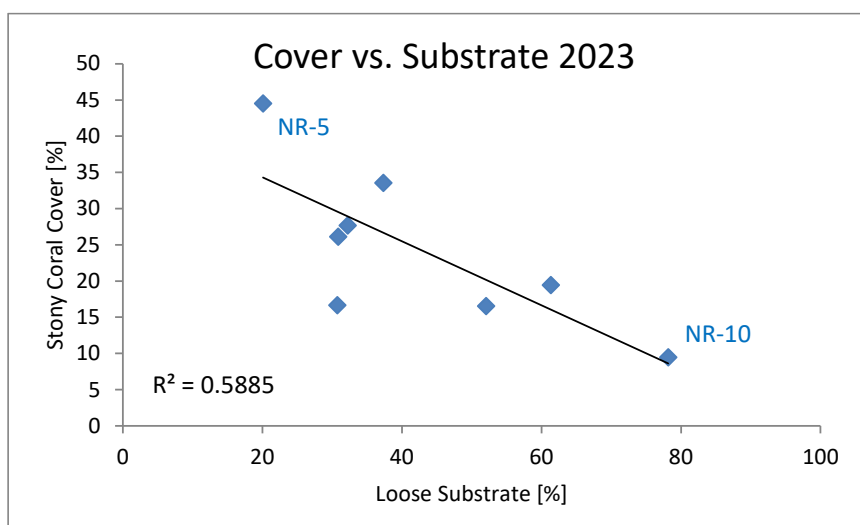
ההבדלים בין האתרים באחוז כיסוי האלמוגים משקפים בעיקר את אופייה השונה של בתי הגידול. הבדלים גדולים בין האתרים הנסקרים (מלבד הבדלים בעומק) ניכרים בהתפלגות סוג המצע עליו עשויים אלמוגים להתיישב (איור ב4). אתר השמורה 10-NR בו כיסוי האלמוגים קטן ביותר הוא אתר חולי ברובו, ואילו רדוד יותר – אתר 5-NR – הוא אתר שרובו שוניית רציפה ואחוז המצע הלא-מלוכד בו נמוך. ההבדלים באופי המצע בין האתרים נשארים יציבים בין השנים וכמות הקרקעית הלא מלוכדת (חולית, בעיקר) מכתיבה את מידת הכתמיות של השוניית בכל אתר.



איור ב4: אחוזי הכיסוי המצטברים של אלמוגים, חול, סלע, ואלמוגים מתים. אחוזי הכיסוי הם ממוצע כל החתכים באותו אתר.

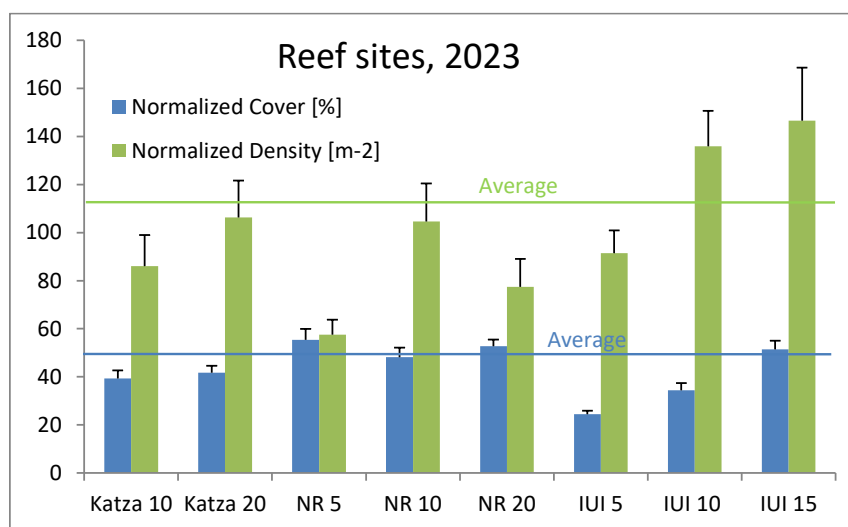
Figure B4: Cumulative percent cover of live corals, sand, rock and dead corals. The presented percent cover is an average of all transects at each site.

אחוז הכיסוי של אלמוגי אבן חיים באתר נמצא בהתאמה הפוכה לכמות המצע ה"לא מלוכד" (unconsolidated), הכולל חול וחלוקים, באותו אתר (איור ב5). המתאם השנה עומד על $R^2=0.59$ וכך נמצא שחלק גדול מן ההבדל באחוז הכיסוי החי בין האתרים מוסבר באמצעות הבדלים באחוז המצע הלא מלוכד אשר אינו מתאים להתיישבות אלמוגים. בשנים קודמות היה לעיתים מתאם גבוה יותר, למשל $R^2=0.77$ בשנת 2019, ויתכן כי ירידה במתאם מהווה עדות עקיפה לנזקי הסערה החזקה של מרץ 2020, אשר פגעה באלמוגי השוניית וחשפה מצע קשה באתרי השוניית.



איור ב5: אחוז הכיסוי של אלמוגי אבן חיים כנגד אחוז המצע הלא-מלוכד (קרקע חולית) באתרים השונים.
Figure B5: Live stony coral cover versus unconsolidated (sandy) sea floor at the sites examined.

לצורך השוואה בין אתרים ועל מנת לאתר הבדלים בצמיחת אלמוגים באתר זה או אחר שאינם נובעים מסוג המצע, ניתן לנטרל את ההבדלים בכמות הקרקע הלא מלוכדת בין האתרים על ידי התבוננות באחוז כיסוי האלמוגים על גבי קרקע מלוכדת בלבד. ניצול המצע המתאים להתיישבות אלמוגים מחושב כיחס בין אחוז הכיסוי החי וסכום האחוזים של הקרקע המלוכדת והכיסוי החי (ושלדי אלמוגים מתים), בהנחה שהמצע המתאים להתיישבות אלמוגים הוא קרקע מלוכדת (סלעית) בלבד ושכל האלמוגים יושבים על מצע כזה (איור 6).
בהתבוננות זו נראה כי ההבדלים במידת ההצלחה של אלמוגי האבן בין האתרים, קטנים יותר. אתרי שמורת האלמוגים וקצא"א בעומקים השונים בעלי משרעת של כיסוי מנורמל הנעה בין $55.4 \pm 4.5\%$ (5-NR) לערך נמוך של $39.4 \pm 3.4\%$ (10-KATZA). באתרי המכון ישנה משרעת של כיסוי מנורמל נמוך ביותר בעומק הרדוד, $24.4 \pm 1.5\%$, וגבוה יותר בעומק 15 מטרים, $51.4 \pm 3.6\%$.
הכיסוי הממוצע של אלמוגי אבן על גבי מצע מלוכדת באתרי קדמת השונית היה השנה $43.5 \pm 3.7\%$, מעט גבוה בהשוואה לשנתיים האחרונות.
בממוצע נמצא השנה 100.7 ± 10.4 מושבות בנירמול למטר רבוע של קרקע מלוכדת, כאשר בעומקים דומים, צפיפות המושבות המנורמלת גבוהה ביותר באתרי המכון ונמוכה ביותר באתר השמורה הרדוד.

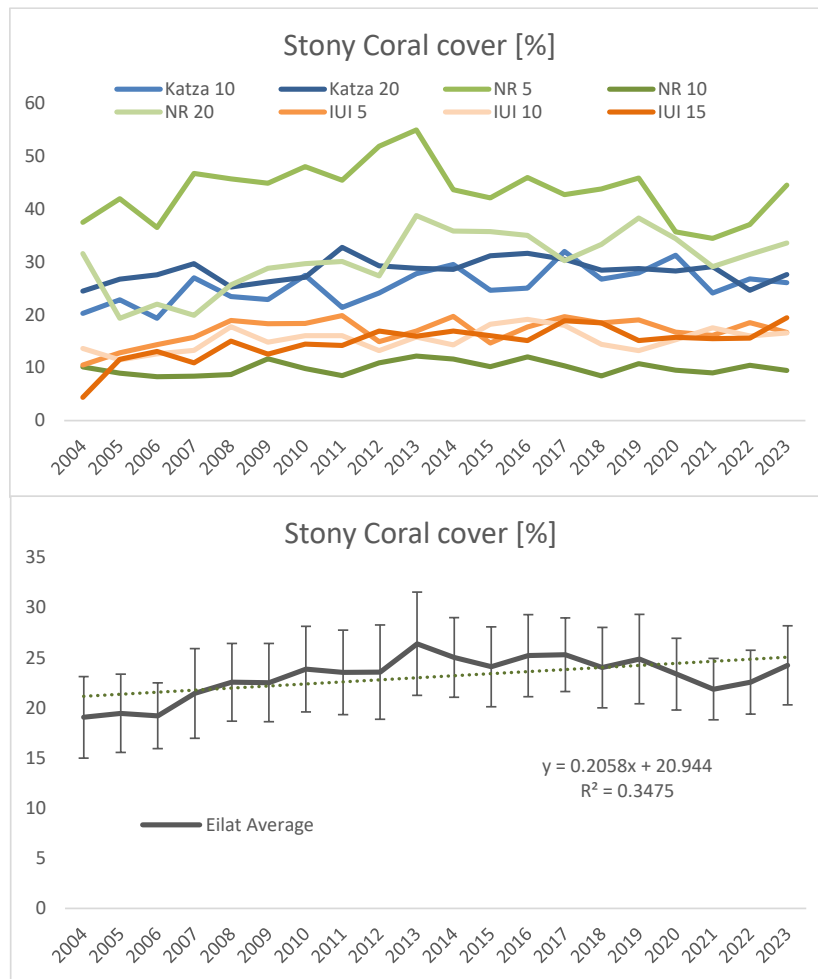


איור 6: ניצול המצע המתאים להתיישבות אלמוגים בשנת הניטור 2023. אחוז הכיסוי וצפיפות המושבות של אלמוגי אבן חיים על גבי קרקע סלעית בכל אתר.

Figure B6: Utilization of available substrate by stony corals in 2023. The percent cover and colony density of live stony corals on hard consolidated seafloor at each monitored site.

בהשוואה לשנים קודמות, כיסוי אלמוגי האבן הממוצע בשוניות אילת אשר נמדד השנה, $24.2 \pm 3.9\%$, גבוה מזה שנמדד בשנתיים הקודמות ($22.6 \pm 3.2\%$ ו- $21.9 \pm 3.0\%$, בהתאמה) וקרוב לכיסוי הממוצע אשר נמדד בקיץ 2019, לפני הסערה החזקה של חורף 2020 ($24.9 \pm 4.5\%$), איור 7.
הכיסוי הממוצע באלמוגים חיים הנמדד באתרי אילת היה $19.1 \pm 4.1\%$ בתחילת הניטור (שנת 2004) וגבוה ביותר בשנת 2013 ($26.4 \pm 5.1\%$). על אף שההבדלים בין שנים עוקבות אינם מובהקים, במבט לאורך תקופת הניטור נמצאה מגמה מתונה של עליה לאורך זמן עד לשנת 2019 ואז – בעקבות הסערה באו שנתיים של כיסוי נמוך יחסית עם תחילה של התאוששות בשנה האחרונה. בבחינה סטטיסטית מדוקדקת של סדרת הנתונים עד לשנת 2017 נמצא כי מגמת השינוי (עלייה) בכיסוי האלמוגים הממוצע היתה מובהקת (תכנית הניטור, דו"ח מדעי 2017). מאז תחילת הניטור השינוי בכיסוי האלמוגים מסתכם בעליה ממוצעת של כ- 0.21% בשנה.

כפי שצוין למעלה, בין האתרים שנסקרו ישנם הבדלים גדולים בשטח הכיסוי של אלמוגי אבן חיים ומכאן שערך מייצג לכיסוי האלמוגים לאורך חופי המפרץ בשטח ישראל ("כיסוי האלמוגים הממוצע בשוניות אילת") יהיה בהכרח מספר שאינו תואם לאף אתר ספציפי. לכל אתר התפתחות משלו בזמן אך ברובם ניתן להבחין באותה מגמה של עליה בשנותיה הראשונות של תכנית הניטור וירידה או התייצבות השנים האחרונות.



איור ב7: שטח הכיסוי הממוצע של אלמוגי אבן חיים בכל אתר וכמוצע כל אתרי קדמת השונית, באחוזים מכלל השטח.
Figure B7: Average live stony coral cover at each site and the average for all forereef sites, as percent of total area.

במשך תקופת הניטור יעילות האלמוגים בניצול קרקע מלוכדת להתיישבות ובניית שונית (כיסוי אלמוגים מנורמל, ראו למעלה) מראה אף היא עלייה בתקופה הראשונה לניטור ויציבות בשנים האחרונות (איור ב8). השפעתה של הסערה הגדולה בחודש מרץ 2020 על כיסוי האלמוגים המנורמל, ובפרט על הערך הממוצע בשונית אילת הנסקרות - קטנה. השנה נמדדה עליה בכיסוי המנורמל ברוב האתרים וכך גם בכיסוי המנורמל הממוצע לשונית אילת.

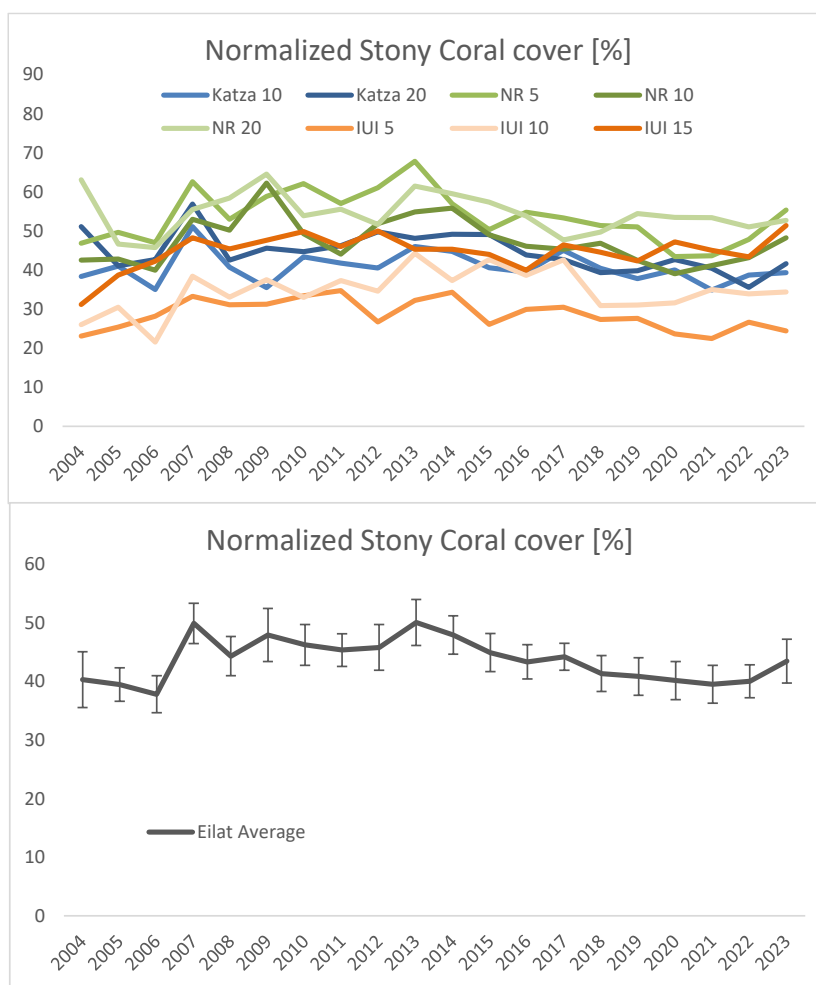
תנודות בכיסוי האלמוגים המנורמל מושפעות מגידול או הרס אלמוגים, אך משקפות גם שינויים בכיסוי פני קרקעית הים הקשורים בעיקר לתנועת סדימנט. שינוי קטן בחשיפת סלע באתר, העשוי לנבוע מתנועת סדימנט, צפוי להשפיע במידה רבה על הערך המנורמל באותו אתר (בהיותו שינוי במכנה), בפרט באתרים רדודים בהם תנועת סדימנט צפויה להיות גדולה יותר. עובדה זו באה לידי ביטוי בקפיצות בין השנים בחלק מן האתרים. מכיוון שכך, נראה שהשימוש בערך הכיסוי המנורמל מועיל בהשוואה בין אתרים אך פחות יעיל לצורך השוואה בין שנים באותו אתר. ההבדלים בין רוב האתרים באופי הקרקעית גדולים מספיק שלתנועת סדימנט תהיה השפעה קטנה בלבד על הערכים המנורמלים בהשוואה ביניהם.

כך, למרות התנודות בין השנים נמצא כי בתקופת הניטור ניצול המצע על ידי אלמוגים הוא הגבוה ביותר באתרי השמורה בכל העומקים, ונמוך יותר באתרי המעבדה הימית (בפרט ברדודים). לאורך השנים אתר המעבדה הרדוד, IUI-5, הוא האתר בו ניצול המצע המתאים להתיישבות הוא הנמוך ביותר ולעומתו, אתרי השמורה NR-20 ו-5-NR לאורך השנים בעלי הכיסוי המנורמל הגבוה ביותר.

על אף שההבדלים בין האתרים קטנים כאשר מנרמלים את הכיסוי למצע, נראה כי ההבדלים בין קצא"א, השמורה והמעבדה הימית אינם קשורים רק בזמינות מצע אלא במכלול תנאים המשפיעים על הצלחת השונית. עוד נראה כי הבדלים בין העומקים בכל מיקום נשמרים גם הם, בדרך כלל, לאורך זמן ומשקפים כנראה הבדלים

בתנאים.

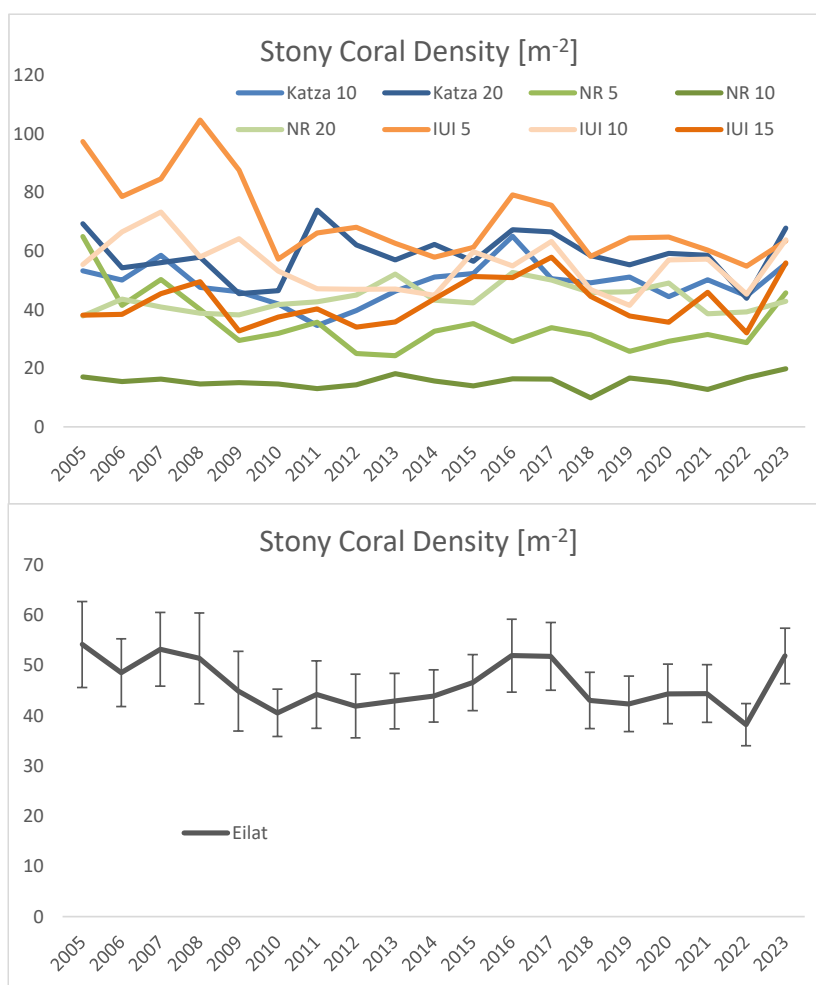
יוצא מן הכלל הוא האתר 15-IUI אשר ניצול המצע הזמין בו גבוה מזה של אתרי IUI הרדודים על אף שסך הכיסוי בו בדרך כלל נמוך יותר.



איור ב8: ניצול המצע הסלעי על ידי אלמוגים (שטח הכיסוי הממוצע מתוך הקרקעית הסלעית) באתרי קדמת השוניית וממוצע הערכים בכל האתרים.

Figure B8: Utilization of rocky substrate by stony corals (percent of live stony coral coverage out of the total consolidated substrate at each site) and the average of all forereef sites.

צפיפות מושבות האלמוגים למטר רבוע מחושבת מתוך חתכי הקו באמצעות תיקון ההטיה של שיטה זו כנגד מושבות קטנות (Zvuloni et al. 2008). בהשוואה לשנה הקודמת, בכל האתרים הנסקרים נמצאה השנה עלייה בצפיפות הממוצעת של מושבות אלמוגי אבן למטר רבוע (איור ב9). צפיפות מושבות האלמוגים הממוצעת בין כל האתרים היתה גבוהה בשנים הראשונות של הניטור וירדה עד לשנת 2010 אז החלה לעלות עד לערך מרבי של כ-52 מושבות למ"ר, בממוצע, בשנים 2016-7. צפיפות המושבות בשנים 2018-2021 היתה נמוכה יותר אך יציבה ובשנה הקודמת נמדדה הצפיפות הנמוכה ביותר בתקופת הניטור, 38.2 ± 4.2 מושבות למ"ר, בממוצע. השנה נמדדה עלייה בצפיפות המושבות בכל האתרים והצפיפות הממוצעת באתרי קדמת השוניית באילת היתה 51.9 ± 5.5 מושבות למ"ר, מהערכים הגבוהים יותר שנמדדו בתקופת הניטור. שינויים בצפיפות מושבות משנה לשנה נובעים מהיחס שבין תמותת אלמוגים והתיישבות אלמוגים חדשים, וכך ירידה מתמשכת בצפיפות המושבות מעידה על עודף תמותה על פני התיישבות. כיוון שהתמותה פוגעת באלמוגים מכל מיני גדלים ואילו התיישבות היא על ידי אלמוגים קטנים בלבד צפוי שירידה בצפיפות תלווה בירידה בכיסוי האלמוגים.



איור ב9: הצפיפות הממוצעת של אלמוגי אבן חיים (מספר מושבות למטר רבוע) בכל אתר וכמוצע כל אתרי קדמת השונית.

Figure B9: Average density of stony corals (colonies per square meter) at each site and the average for all forereef site.

בין אתרי הניטור ישנם הבדלים גדולים בכיסוי האלמוגים, התפלגות סוג הקרקעית וצפיפות מושבות האלמוגים (טבלה ב2). מכך נובע שלכל אתר אופי ותנאים שונים ואין אתר אחד המייצג נאמנה את כלל השוניות הנסקרות. הממוצע הנידון בפרק זה הוא ערך סטטיסטי שימושי לצורך השוואה בין שנים, מכיוון שבכל שנה מיוצגים בו אותם אתרים.

בחברת השונית קיימות תנודות משנה לשנה ואין די בשינוי בין שנים עוקבות להעיד על מגמות. מאז תחילת הניטור (2004) כיסוי האלמוגים עלה באופן משמעותי ברוב האתרים, והממוצע לשוניות אילת עלה במידה ניכרת ומובהקת. בשנים 2020-2021 נמצאת ירידה בכיסוי האלמוגים באילת, אולי בעקבות הסערה החזקה אשר פגעה באילת בחודש מרץ 2020. בשנה הקודמת נבלמה הירידה בכיסוי האלמוגים הממוצע והעלייה אשר נמדדה השנה מעידה כנראה על תחילתו של תהליך התאוששות. הצפיפות הממוצעת של מושבות אלמוגים באתרי הניטור התייצבה בשנים האחרונות על ערך נמוך מהערך הגבוה של שנת 2017 אך השנה נמדדה חזרה של צפיפות המושבות לערכים הגבוהים שנמדדו בתקופת הניטור.

טבלה 2: סיכום נתוני הכיסוי שנאספו בחתכי הקווים באתרי קדמת השונית בשטח הניטור. הנתונים מוצגים כאחוזים הממוצעים שנמדדו בכל החתכים של אותו אתר (שילוב של מיקום ועומק) עם סטיית התקן, שגיאת התקן ומקדם השונות, מלבד "ממוצע אילת" המוגדר כממוצע האתרים. צפיפות ניתנת כמספר מושבות למטר רבוע, "נרמול" הוא עבור מצע קשה.

Table B2: Summary of cover data collected in line transects at the monitoring sites. Data is given as average percent cover measured in all transects at each site (combination of location and depth) with associated standard deviation, standard error and variance coefficient, except for the "Eilat average" that is the average between sites. Density is the number of colonies per square meter, "Normalized" is for hard substrate.

	Katza 10	Katza 20	NR 5	NR 10	NR 20	IUI 5	IUI 10	IUI 15	Eilat
Number of Transects	13	13	13	23	13	13	14	15	117
Stony coral [%]	26.1	27.6	44.5	9.5	33.6	16.6	16.5	19.4	24.2
stdev	6.3	6.7	16.7	5.1	12.3	5.0	6.6	6.6	11.2
SE	1.7	1.9	4.6	1.1	3.4	1.4	1.8	1.7	3.9
CV	0.2	0.2	0.4	0.5	0.4	0.3	0.4	0.3	2.2
Octocoral [%]	18.4	15.7	0.3	1.7	9.6	0.0	0.8	1.2	6.0
stdev	12.3	10.2	0.5	2.1	6.1	0.2	1.1	1.1	7.5
SE	3.4	2.8	0.1	0.4	1.7	0.0	0.3	0.3	2.7
CV	0.7	0.7	1.6	1.2	0.6	3.6	1.4	0.9	0.8
GRV+Sand [%]	30.8	32.2	20.1	78.2	37.3	30.7	52.1	61.3	42.8
stdev	12.9	13.6	12.0	12.1	15.0	16.7	9.0	10.2	19.4
SE	3.6	3.8	3.3	2.5	4.2	4.6	2.4	2.6	6.8
CV	0.4	0.4	0.6	0.2	0.4	0.5	0.2	0.2	2.2
Rock [%]	15.8	17.4	19.9	7.7	11.0	46.8	26.2	14.8	20.0
stdev	11.5	7.8	16.2	7.4	7.1	13.4	9.3	7.2	12.2
SE	3.2	2.2	4.5	1.5	2.0	3.7	2.5	1.9	4.3
CV	0.7	0.4	0.8	1.0	0.6	0.3	0.4	0.5	1.6
Dead Coral [%]	8.0	6.5	14.9	2.7	7.5	5.7	4.2	2.9	6.6
stdev	6.9	6.2	10.5	3.0	5.6	4.9	3.2	2.5	3.9
SE	1.9	1.7	2.9	0.6	1.5	1.4	0.9	0.6	1.4
CV	0.9	0.9	0.7	1.1	0.7	0.9	0.8	0.9	1.7
Norm. cover [%]	39.3	41.7	55.4	48.2	52.7	24.4	34.4	51.4	43.5
stdev	12.1	10.4	16.2	18.5	10.0	5.5	11.1	14.0	10.5
SE	3.4	2.9	4.5	3.8	2.8	1.5	3.0	3.6	3.7
CV	0.3	0.2	0.3	0.4	0.2	0.2	0.3	0.3	4.1
Density [m⁻²]	55.7	67.8	45.8	19.8	42.9	63.5	63.9	55.9	51.9
stdev	26.1	25.0	19.7	15.4	16.1	26.2	26.1	35.1	15.6
SE	7.2	6.9	5.5	3.2	4.5	7.3	7.0	9.1	5.5
CV	0.5	0.4	0.4	0.8	0.4	0.4	0.4	0.6	3.3
Norm. Density [m⁻²]	86.0	106.4	57.6	104.6	77.5	91.5	135.9	146.5	100.7
Stdev	46.9	55.0	22.3	76.1	41.6	34.0	55.0	85.5	29.5
SE	13.0	15.3	6.2	15.9	11.5	9.4	14.7	22.1	10.4
CV	0.5	0.5	0.4	0.7	0.5	0.4	0.4	0.6	3.4

גודל מושבות אלמוגים

מושבות אלמוגים תחת סרט המדידה משויכות לאחת מקבוצות הגודל קטן <5 ס"מ; בינוני >15 ס"מ; גדול >30 ס"מ; ענק >30 ס"מ על פי הערכת הסוקר. בחלוקה זו לקבוצות גודל ישנם טווחי גודל שונים כאשר הקבוצה "ענק" מכילה כל מושבה גדולה מ-30 ס"מ. לכאורה, על מנת להציג התפלגות גדלי מושבות אלמוגים, צריך לפרק קבוצה זו לתת-קבוצות רבות אשר יגלמו טווחי גודל של 5-10 ס"מ בדומה לקבוצות האחרות. אולם מספר המושבות בקבוצת גודל זו קטן כל כך בהשוואה לקבוצות הגודל האחרות שלא ניתן יהיה במרבית האתרים להציגן על אותם צירים. יתרה מזו, עניין מרכזי הוא אחוז המושבות הקטנות מכלל מושבות האלמוגים, ולצורך כך אין חשיבות לתת-החלוקה של קבוצות הגודל הגדולות יותר.

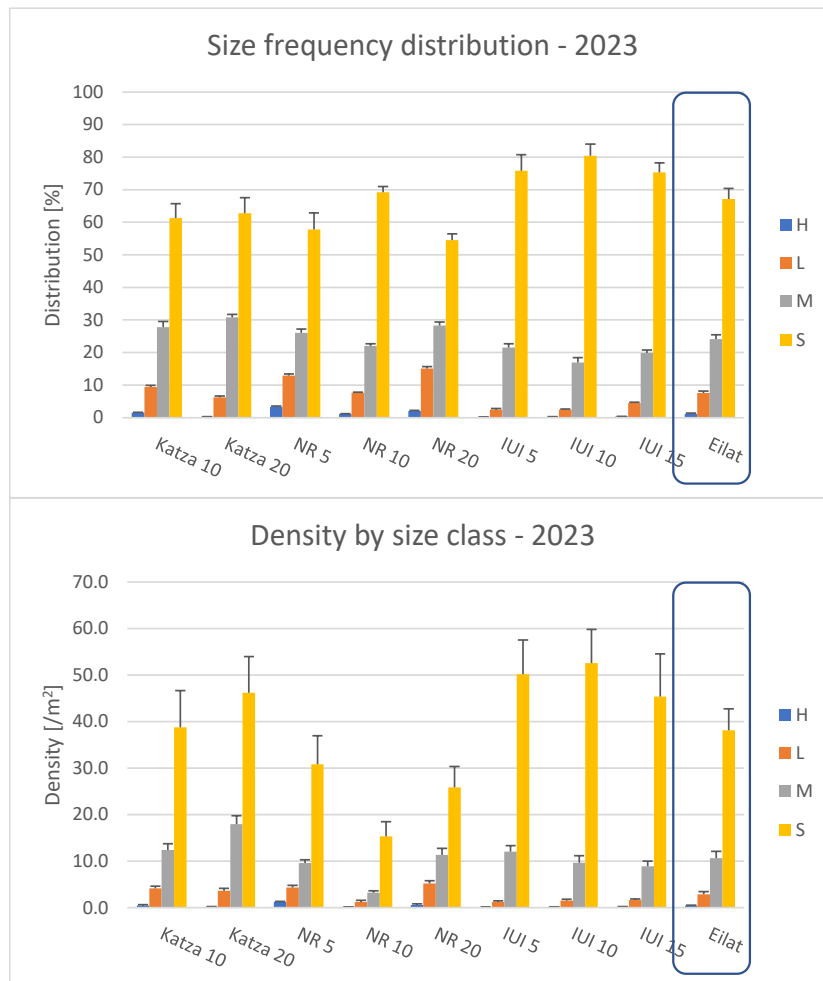
השימוש בשיטת חתכי קו ליצירת התפלגות גודל מושבות סובלת מהטייה הנובעת מכך שלמושבות קטנות סיכוי קטן יותר להיכלל בסקר (Zvuloni et al. 2008). במילים אחרות: חלקן היחסי של מושבות קטנות הנספרות בפועל בסקר זה הוא קטן מחלקן היחסי באוכלוסייה. לפיכך, נעשה תיקון מתמטי בו מחושב השטח האפקטיבי הנדגם עבור כל קבוצת גודל, בהתחשב ברדיוס הממוצע של קבוצת הגודל הנבחרת, וצפיפות המושבות מנורמלת לשטח (איור ב10).

מספר מושבות האלמוגים הלא-מעונפים גדול בערך פי 4 ממספר מושבות האלמוגים המעונפים. על כן התפלגות גדלי כל האלמוגים דומה במידה רבה להתפלגות הגדלים בקבוצת האלמוגים הלא-מעונפים (ראו דו"חות הניטור הקודמים). על ההפרדה בין שתי הקבוצות מקשה העובדה שבגודל הקטן קשה, לעיתים, להבחין במופע המעונף וישנם אלמוגים אשר להם מופעים בשתי הקבוצות.

חלקן של מושבות האלמוגים הקטנות באתרי IUI גדול יותר מחלקן באתרי הניטור האחרים. באתר 10-IUI נמצאה צפיפות ממוצעת של 52.6 ± 7.2 מושבות קטנות למ"ר והן מהוות כ-80% מכלל המושבות באתר זה. לעומת זאת, באתר השמורה 10-NR הצפיפות הממוצעת של מושבות קטנות היא הנמוכה ביותר, 15.3 ± 3.1 מושבות למ"ר בלבד, והן מהוות כ-69% מכלל המושבות. חלקן של המושבות הקטנות מכלל המושבות נמוך ביותר השנה באתר השמורה העמוק, 20-NR, בו הן מהוות כ-55% מכלל מושבות האלמוגים.

באתר השמורה הרדוד, 5-NR, חלקן של המושבות "הענקיות" הוא הגדול ביותר והשנה הן מהוות שם כ-3% מכלל המושבות, לעומת כ-8% בשנה הקודמת. הירידה בחלקן היחסי של מושבות ענקיות באתר זה נובעת מהעלייה בצפיפות המושבות הקטנות השנה.

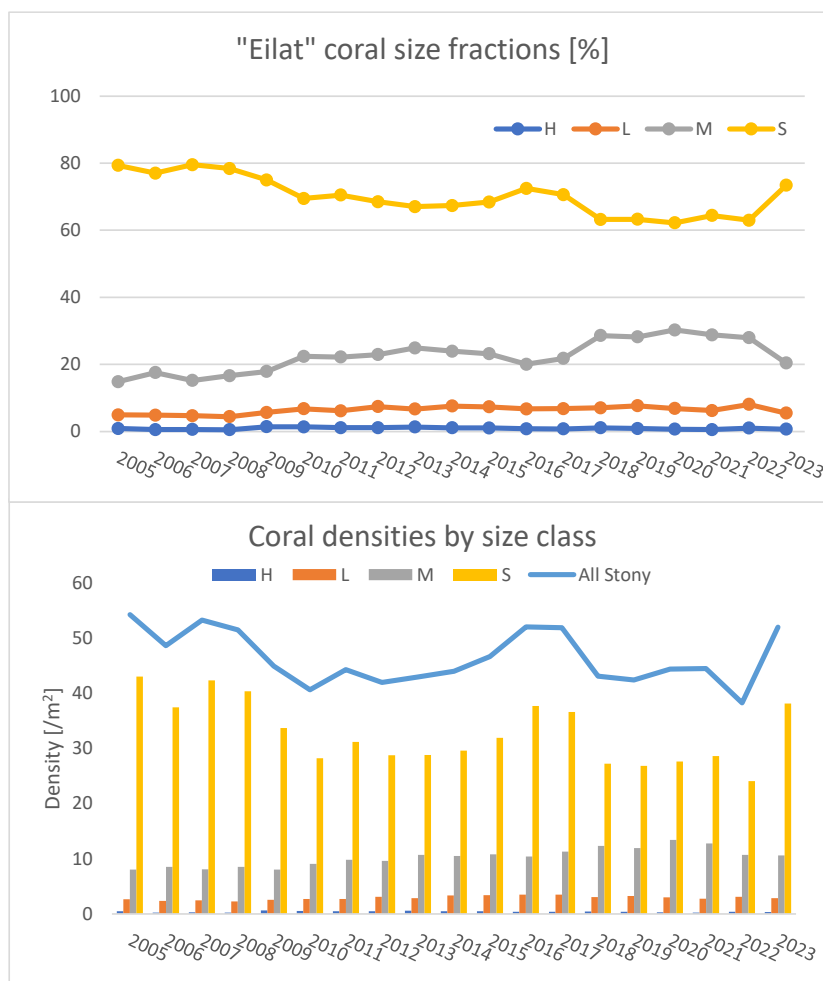
מושבות אלמוגים "ענקיות" תופסות שטח גדול במיוחד וכך אתר זה חריג ביחס בין צפיפות המושבות וכיסוי האלמוגים בו.



איור ב10: התפלגות גודל מושבות האלמוגים באתרים הנסקרים. חלוקת הגדלים לפי המפתח הבא: Small < 5 ס"מ; 5 ס"מ < Medium < 15 ס"מ; 15 ס"מ < Large < 30 ס"מ; Huge > 30 ס"מ. למעלה מוצגים אחוזים מסך המושבות מאותה קבוצה באתר. למטה מוצגת צפיפות המושבות החלוקה לקבוצות גודל בכל אתר והממוצע לכלל האתרים. הערכים מוצגים לאחר תיקון ההטיה המובנית לספירות גודל בשיטת חתכי הקו (על פי Zvuloni et al. 2008).

Figure B10: Size frequency distribution of coral colonies in the surveyed sites. Size classes are: Small < 5 cm; 5 cm < Medium < 15 cm; 15 cm < Large < 30 cm; Huge > 30 cm. Top, values are percent of the total number of colonies of each size group at each site. Bottom, colony densities of each size class at the monitored sites and the average of all sites. Values are presented after correction for the bias of size counts in line transects (Zvuloni et al., 2008).

במשך שנות הניטור, ובפרט מאז שנת 2008, נמצאה ירידה בחלקן היחסי של מושבות האלמוגים הקטנות בשוניות אילת. מגמה זו אינה חריפה ובשנים האחרונות, בין 2018 ו-2022, חלקן של המושבות הקטנות בשוניות אילת נותר יציב, כ- 63%, אך השנה נמדדה עלייה גדולה בחלקן של המושבות הקטנות, כ- 73% (איור ב11). במקביל, יורד חלקן של המושבות בקבוצות הגדולות יותר. שינויים אלה מעידים על העלייה הגדולה אשר נצפתה השנה בצפיפותן של מושבות האלמוגים הקטנות = גיוס אלמוגים צעירים לשוניות אילת. מבחינה מספרית, נמצאה ירידה בצפיפות מושבות האלמוגים (מספר מושבות למטר רבוע מחושב על פי נתוני הספירה) בין השנים 2007 ו-2013, וירידה זו נבעה בעיקר מהתמעטות במספר המושבות הקטנות בעוד שצפיפות המושבות הבינוניות עלתה אך מעט. נראה שבשנים אלו נפגעה אוכלוסית האלמוגים הקטנים וגיוס אלמוגים חדשים לשוניות אילת לא פיצה על האבדן. בין השנים 2018-2021 היתה צפיפות המושבות הממוצעת באילת, יציבה למדי ועומדה על כ- 43 מושבות, בממוצע, מכל קבוצות הגודל למ"ר. בשנה הקודמת נמדדה ירידה בצפיפות מושבות האלמוגים בשוניות אילת וצפיפותן הממוצעת עמדה על כ- 38 ואילו השנה נמדדה עלייה והצפיפות הממוצעת עומדת על כ- 52 מושבות למ"ר.



איור ב11: למעלה: שינויים בחלקן היחסי הממוצע של מושבות אלמוגים מקבוצות הגודל השונות בשוניות אילת (מתוקן להטיית הספירה בחתכי קו). למטה: צפיפות מושבות אלמוגים בשוניות אילת (למטר רבוע) לפי קבוצות גודל, מחושבת על סמך ספירות מחתכי הקו ומתוקנת להטיית הספירה. חלוקת הגדלים לפי המפתח הבא: Small < 5 ס"מ; 5 ס"מ < Medium < 15 ס"מ; 15 ס"מ < Large < 30 ס"מ; Huge > 30 ס"מ.

Figure B11: Top: Changes in average relative size fraction abundance and density (per square meter) by size class of Eilat coral colonies (corrected for transect based count bias) during the monitored period. Bottom: Average coral density (per square meter) by size class in Eilat, calculated from transect count data and corrected for size bias. Size groups are: Small < 5 cm; 5 cm < Medium < 15 cm; 15 cm < Large < 30 cm; Huge > 30 cm.

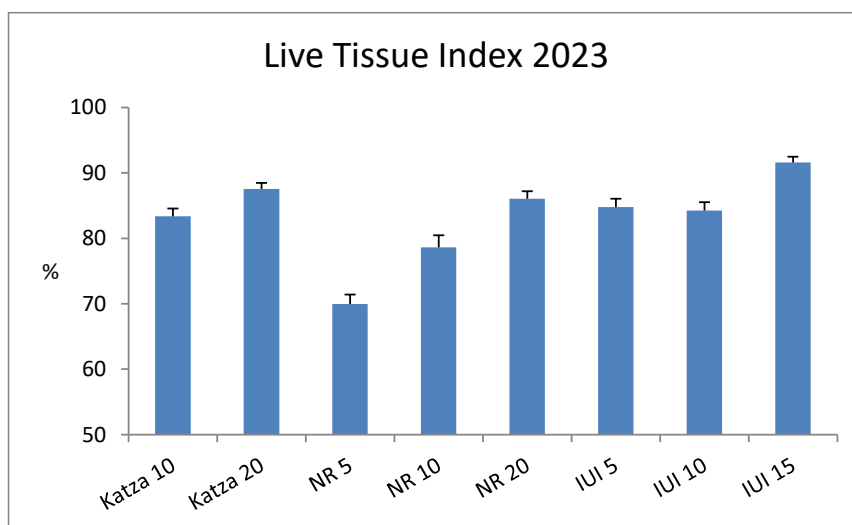
בריאות אלמוגים

בתכנית הניטור נעשה שימוש באומדן שיעור הרקמה הלא פגועה באלמוג כמדד ל"בריאותו". מדד זה, להלן Live Tissue Index (LTI) נמדד עבור כל אחד מאלפי האלמוגים הנכללים במקטעי הקו הנסקרים בשונית, על ידי קביעה ויזואלית (על ידי הצולל הסוקר) של אחוז שטח המושבה המכוסה ברקמה חיה. למרות שאומדן אחוז הרקמה החי במושבה הוא איכותי, כמות המושבות המשתתפות בסקר (אלפים), העובדה ששגיאת ההערכה עשויה להיות לשני הכיוונים, והמשמעות הקטנה של שגיאת הערכה בסדר של 10% או פחות עבור מושבה בודדת לגבי ממוצע כל המושבות, מבטיחה מדד אמין. על מנת לוודא כי האומדן הוויזואלי אכן מדויק בטווח של 10%, וכי אין הטיה מגמתית בהערכה, ערכנו בשנת 2008 ניסוי מבוקר להערכת דיוק השיטה. תוצאות הניסוי מצביעות על דיוק גדול בהרבה מהצפוי (התוכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת, דו"ח מדעי 2008, נספח 3).

גם השנה, כמו בכל השנים הקודמות, האתר בו מדד הרקמה החיה לבריאות אלמוגים נמוך ביותר הוא אתר השמורה הרדוד, 5-NR, כ-70%. באתר זה מדד הרקמה החיה נמוך במיוחד עקב ריבוי המושבות הגדולות והענקיות בו, מושבות שגילן, כנראה, רב יותר ולכן אחוז הפגיעה ברקמותיהן מהווה סכימה (אינטגרציה) של שנים

רבות.

המדד הגבוה ביותר נמצא גם השנה באתר IUI-15, כ- 92% (איור ב12).



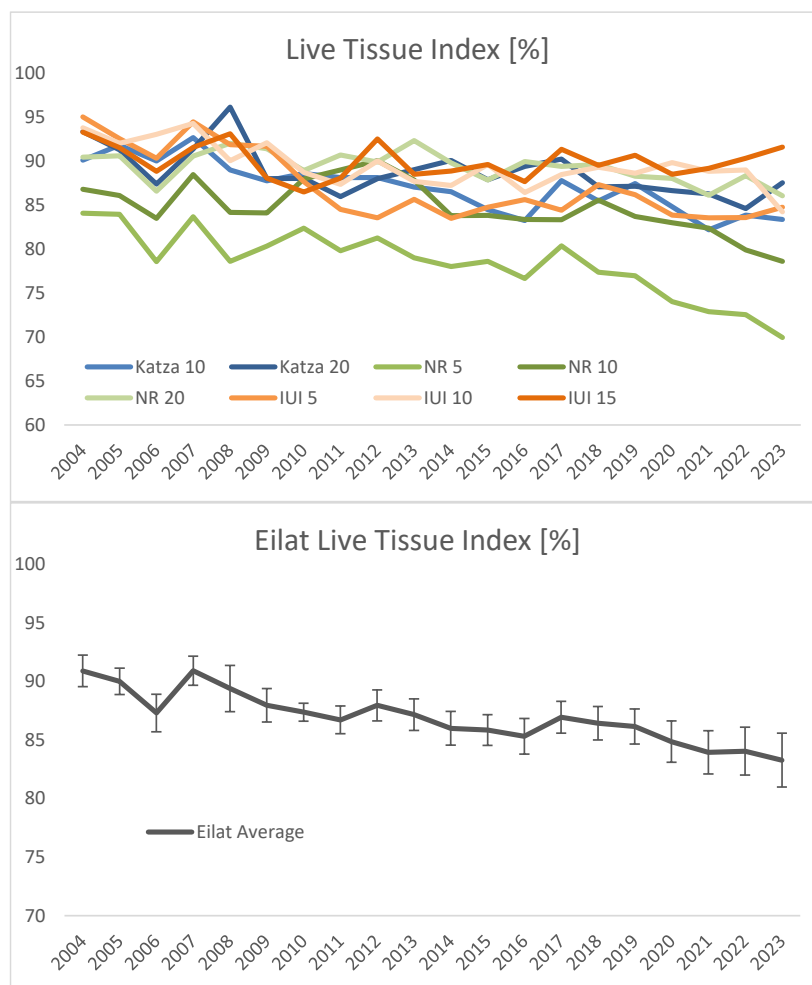
איור ב12: מדד אחוז הרקמה החיה של אלמוגים באתרים הנסקרים. המדד מוגדר כממוצע באתר של אחוז השטח החי/בריא מסך השטח של כל מושבת אלמוגים חיה.

Figure B12: Live Tissue Index (LTI) for corals in the surveyed sites. The LTI is the site average of the percent area of live/healthy coral tissue for each living colony.

מעקב אחר אחוז הרקמה החיה באלמוגים יעיל יותר לזיהוי שינויים בזמן, ופחות להשוואה בין אתרים בה קשה לייחס משמעות להבדלים במדד עקב אופיים השונה של האתרים. מגמת הירידה בערך המדד נמשכת מאז תחילת הניטור והשנה נמדד בשוניות אילת מדד רקמה חיה ממוצע של כ- 83.3% (איור ב13). על אף שערכו הממוצע של המדד השנה דומה לזה של השנתיים הקודמות, נראה כי מגמת הירידה נמשכת מאז שנת 2017, ובאתרים מנוטרים רבים נמדדה ירידה השנה.

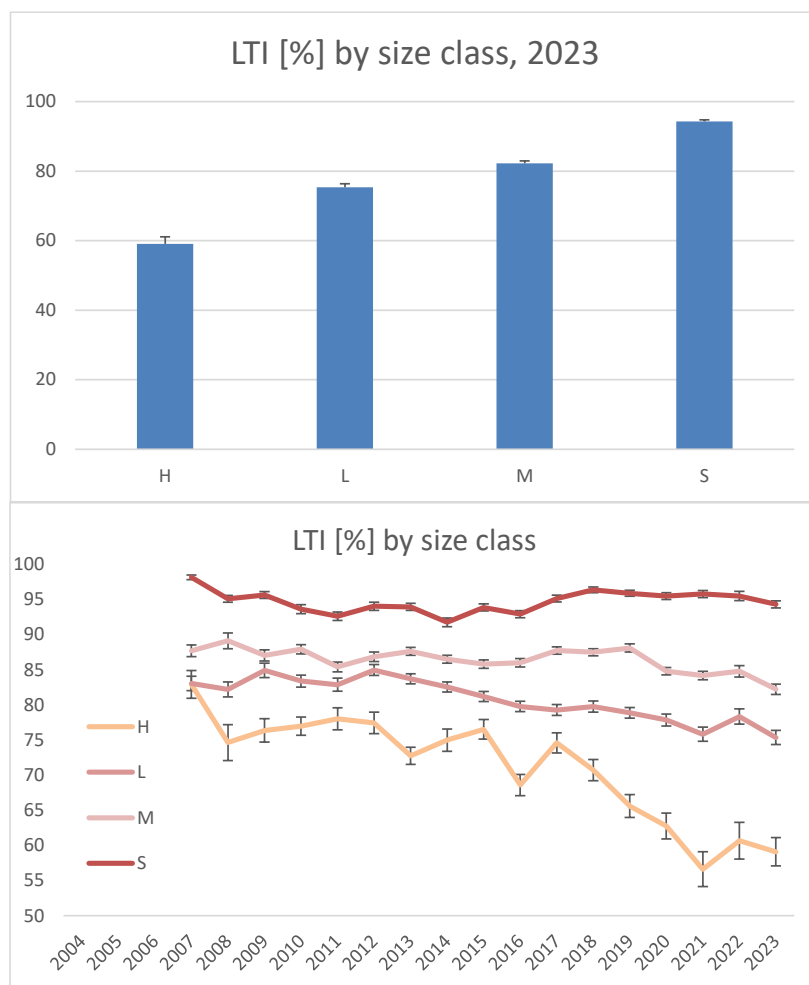
הירידה המתמשכת בערך מדד הרקמה החיה אינה רציפה אך המגמה הכללית היא של ירידה והשינוי בערך מדד הרקמה החיה באלמוגים בין השנים הינו מובהק. לאורך תקופת הניטור ערך המדד הממוצע לאתרי קדמת השונית יורד בשיעור ממוצע של כ- 0.4% לשנה.

יתכן כי הירידה המתמשכת קשורה בעלייה בגודל המושבות ברוב האתרים, אשר כאמור למעלה מייצגות זמן רב יותר ופוטנציאל גבוה יותר לפגיעה חלקית ברקמה. מדד רקמה חיה נמוך צפוי באתרים בהם האלמוגים גדולים, מכיוון שתמותה חלקית פוגעת באלמוגים גדולים/בוגרים יותר מאשר באלמוגים קטנים/צעירים (איור ב14) – אולי מכיוון שאלמוגים קטנים ימותו עם הפגיעה ולא יכללו במדד, או כי ההסתברות לפגיעה והצטברות של פגיעות עולה עם הגיל. במושבות "ענקיות" ו"גדולות" מדד הרקמה יורד לאורך תקופת הניטור ואילו במושבות "קטנות" ערך המדד ללא שינוי עם הזמן. במושבות "בינוניות" היה המדד יציב במשך רוב שנות הניטור אולם מאז שנת 2019 ישנה ירידה קלה.



איור ב13: השינוי במצב האלמוגים על פי האחוז הממוצע של רקמה חיה במושבות אלמוגים (LTI) באילת בשנות הניסור.

Figure B13: Changes in the state of coral colonies over time according to the average percentage of living coral tissue (LTI) from all sites over the monitored period.



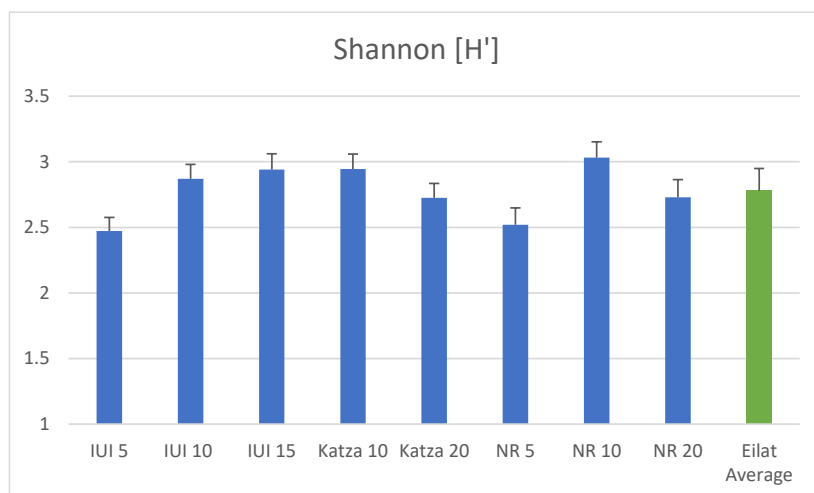
איור ב14: למעלה, האחוז הממוצע של רקמה חיה במושבות אלמוגים (LTI) באילת בשנת 2023 בחלוקה לפי קבוצות גודל מושבות. למטה, סדרת זמן של שינוי בערך המדד מאז 2007 לפי חלוקת מושבות לקבוצות גודל.
Figure B14: Top, the average percentage of living coral tissue (LTI) from all sites in 2023, grouped by colony size class. Bottom, change to the LTI since 2007 in the various coral size classes.

מגוון מינים

מגוון המינים לפי מדד Shannon-Wiener (H') הוערך בשנים קודמות באמצעות תכנת EstimateS (Colwell, 2005) והחל משנת 2022 באמצעות תכנת Past (Hammer et al., 2001). בתכנות אלה מחושב מגוון המינים לאתר על ידי צבירת נתוני כל החתכים עד לקבלת הערכה הנסמכת על מספר הפרטים המרבי שנספרו, תוך התחשבות במינים נדירים (ראו דיון מפורט בדרכים להערכת מגוון המינים בדו"ח הניטור 2006). התוצאות ניתנות כהערכת מגוון המינים עבור כל אתר בשלמותו בהסתמך על נתוני חתכי הקו וחישובי EstimateS/Past. בתכנית הניטור נעשה שימוש במגוון המינים המבוסס על מספר מושבות האלמוגים בחתכים. בהשוואות שנעשו בין מדדים המבוססים על אורך מצטבר ("שטח") של אלמוגים לעומת מספר מושבות נמצא כי ערך המדד המבוסס על ספירה גבוה מעט מהערך המבוסס על שטח.

מגוון המינים לפי מדד Shannon-Wiener שונה בין אתרי הניטור (איור ב15). מכיוון שמדד Shannon-Wiener מושפע מאד ממידת האחידות (evenness) של אלמוגים מסוגים שונים, כמו גם ממצאותם או העדרם של מינים נדירים, נמצא מגוון גבוה באתרים בהם הכתמיות גדולה.

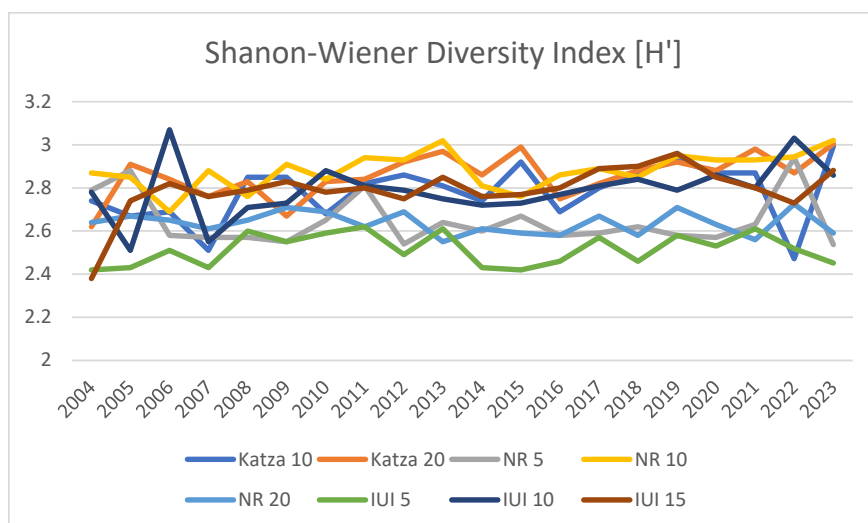
המגוון הנמוך ביותר נמצא גם השנה באתר 5-IUI, $H'=2.45$ והמגוון הגבוה ביותר חושב השנה עבור אתר 20-KATZA, $H'=3.01$. ערך המדד הממוצע לכלל אתרי קדמת השונית היה השנה 2.79.



איור ב15: מגוון הסוגים של אלמוגים לפי מדד Shannon-Wiener כפי שהוערך השנה עבור כל אתר על ידי תכנת (Hammer et al., 2001) Past. הערך הממוצע עבור אילת הוא ממוצע האתרים.

Figure B15: The Shannon-Wiener diversity index of coral taxa estimated this year for each site by the Past software (Hammer et al., 2001). The value for Eilat is calculated as the average of all monitored sites.

במשך שנות הניטור מדד מגוון המינים באתרים השונים עלה וירד, אך נמצא תמיד בטווח ערכים מצומצם אפייני (איור ב16). באתרים Katza-20 ו-10-NR, היה מדד Shannon-Wiener למגוון האלמוגים גבוה מן הממוצע כמעט בכל שנות הניטור, ובאתרים IUI-5 ו-20-NR תמיד היה נמוך מן הממוצע. גם באתר 5-NR מגוון המינים לרוב נמוך מן הממוצע. מדד המגוון של Shannon-Wiener ב"שונות אילת" המחושב כממוצע כל האתרים משתנה אך מעט לאורך שנות הניטור ואינו מציג שינוי מגמתי.



איור ב16: מגוון הסוגים של אלמוגים לפי מדד Shannon-Wiener כפי שהוערך עבור כל אתר בכל שנות הניטור על ידי תכנת (Colwell, 2005) EstimateS והחל משנת 2022 בתכנת (Hammer et al., 2001) Past.

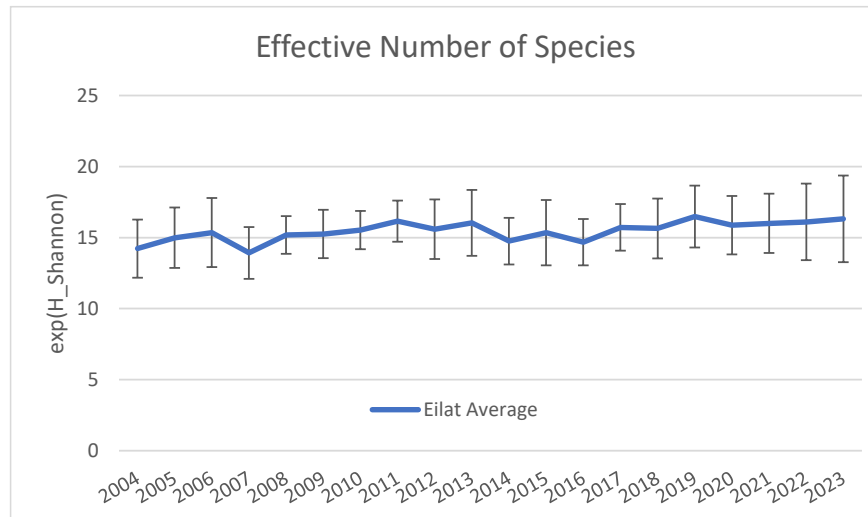
Figure B16: The Shannon-Wiener diversity index of coral taxa estimated for each site over time by the EstimateS software (Colwell, 2005) and starting 2022 by the Past software (Hammer et al., 2001).

מדד המגוון על פי Shannon-Wiener מתחשב הן בעושר המינים (richness) והן במידת האחידות (evenness) במפזר, וכך שם משקל גם על נוכחותם/העדרם של מינים נדירים. מדד זה טוב לשם השוואה בין השנים או בין אתרים, אולם לערכו המספרי אין משמעות ממשית. כך קשה לדעת מה משמעותו של הפרש הערכים מלבד שמדד גבוה "טוב יותר" ממדד נמוך, וז"א מצביע על מגוון גדול יותר. לאחרונה הוצע להמיר מדדי מגוון שונים לערך אחד המייצג "מספר מינים אפקטיבי". מספר המינים האפקטיבי הוא מספר המינים בעלי שכיחות זהה

אשר היו נותנים את ערך המדד המחושב ועל כן הוא מהווה מדד ישיר למגוון. עבור מדד Shannon-Wiener חישוב מספר המינים האפקטיבי הוא על ידי הנוסחה:

$$\text{Effective number of species} = \exp(H_{\text{Shannon}})$$

באופן זה מתקבל מספר בעל משמעות ואשר ניתן להשוותו בין אוכלוסיות שונות ומדדים שונים. מספר המינים האפקטיבי הממוצע בשוניות אילת נע במשך תקופת הניטור מ-14 בשנים הראשונות ועד 16 בתקופה האחרונה (איור ב17). כאמור, השינויים במגוון האלמוגים בשוניות אילת במשך תקופת הניטור הינם קטנים ואין בהם מגמה ברורה.



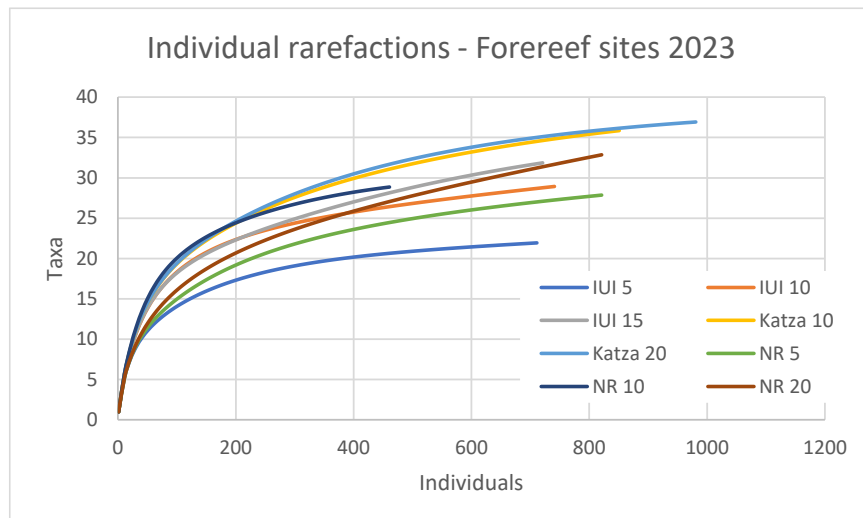
איור ב17: ממוצע מספר המינים האפקטיבי של אלמוגי אבן בשוניות אילת לאורך תקופת הניטור. מספר זה מחושב מתוך מדד Shannon-Wiener המוערך על ידי תכנת EstimateS (Colwell, 2005) והחל משנת 2022 בתכנת Past (Hammer et al., 2001).

Figure B17: The average effective number of species for stony corals at the Eilat reefs since 2004. This is calculated from the Shannon-Wiener diversity index of coral taxa estimated by the EstimateS software (Colwell, 2005) and starting 2022 by the Past software (Hammer et al., 2001).

מגוון האלמוגים נבחן גם באמצעות עקומות צבירה (rarefaction) של פרטים מול סוגים. מעקומות הצבירה ניתן ללמוד מספר דברים: ככל שהעקומה תלולה יותר כך האחידות גדולה יותר, ככל ששיא העקומה גבוה יותר כך עושר המינים גדול יותר, וככל שסוף העקומה אופקי יותר כך נראה כי מאמץ הדיגום ממצה את הפוטנציאל של השטח הנדגם. בחינה של תוספת מאמץ לדיגום והשפעתה על עקומות הצבירה נעשתה בשנת 2013 (ראו דו"ח הניטור לשנת 2013).

בהשוואה בין עקומות הצבירה מן האתרים השונים (איור ב18) ניתן לראות כי באתר 5-IUI התוחלת הנמוכה ביותר של סוגי אלמוגים, ואילו באתר KATZA התוחלת הגבוהה ביותר ובהם, יחד עם אתר 10-NR, גם האחידות הרבה ביותר.

עושר האלמוגים הגדול ביותר, 37 סוגי אלמוגים, נמצא השנה באתר 20-KATZA, והנמוך ביותר, 22, נמצא באתר 5-IUI.

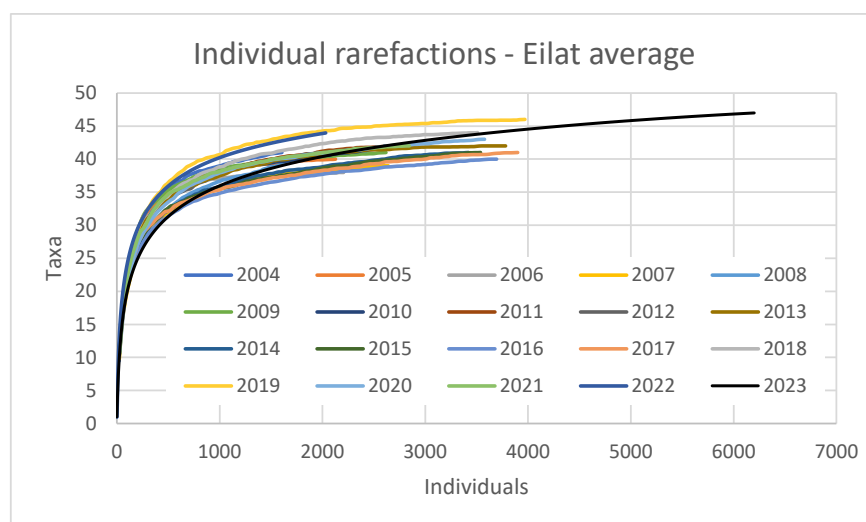


איור ב18: עקומות צבירה של מספר סוגי האלמוגים מול מספר המושבות כפי שחושבו עבור כל אתר על ידי תכנת Past (Hammer et al., 2001).

Figure B18: Rarefaction curves of taxa richness based on colony counts, calculated for each site with the Past software (Hammer et al., 2001).

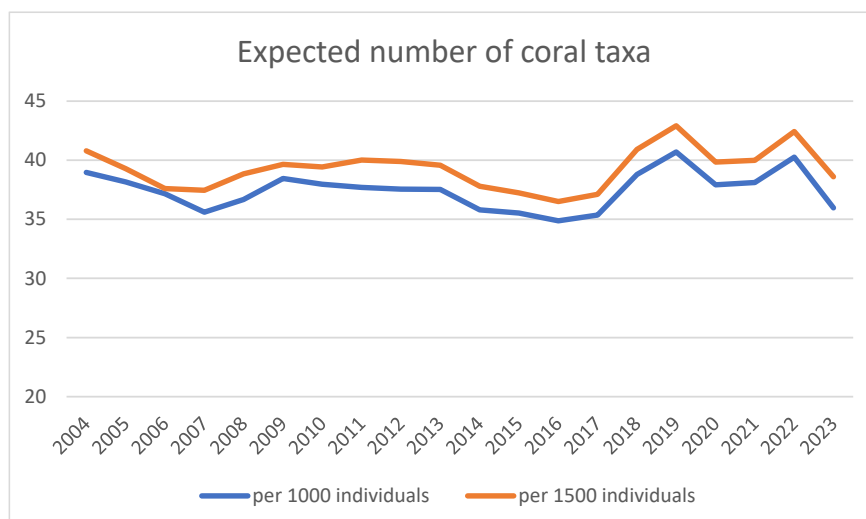
בהשוואה בין השנים של כל נתוני המגוון (ספירת מושבות) אשר נאספו על ידי תכנית הניטור נראה כי ההבדלים בין השנים קטנים ומאמץ הדיגום הכללי בהחלט ממצה את עושר האלמוגים ב"שוניות אילת". עושר סוגי האלמוגים שנמצא השנה היה 46, מעט גבוה בהשוואה לרוב השנים – אף כי הסיבה ככל הנראה מספר רב יותר של מושבות אשר נכללו במדגם (איור ב19).

מספר סוגי האלמוגים הצפוי להתקבל בספירה אקראית של אלף ושל אלף וחמש מאות מושבות אלמוגים ב"שוניות אילת", בהתבסס על עקומות הצבירה, לא השתנתה באופן מובהק מאז שנת 2004. השנה מספר הסוגים הצפוי עמד על 36 ו-39, בהתאמה (איור ב20). מבחינת מאמץ הדגימה, נראה כי ספירה אקראית של 500 פרטים נוספים, אחרי שכבר נספרו אלף, צפויה לגלות רק שלושה מינים שלא נכללו באלף הראשון.



איור ב19: עקומות צבירה של מספר סוגי האלמוגים מול מספר המושבות כפי שחושבו על ידי תכנת Past (Hammer et al., 2001) עבור "שוניות אילת" בכל שנה מאז 2004.

Figure B19: Rarefaction curves of taxa richness based on colony counts, calculated with the Past software (Hammer et al., 2001) for the "Eilat Reefs" since 2004.



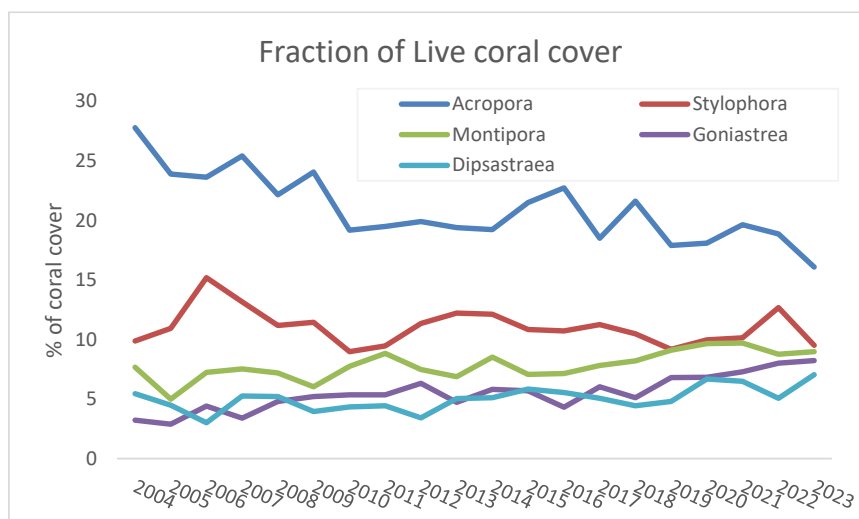
איור ב20: מספר סוגי האלמוגים הצפוי להתקבל בספירה אקראית של 1000 ו-1500 מושבות ב"שוניות אילת" מאז שנת 2004, מבוסס על עקומות הצבירה.

Figure B20: The expected number of stony coral taxa per 1000 and per 1500 random coral colonies in the "Eilat Reefs" since 2004 based on the rarefaction curves.

במהלך שנות הניטור ירד חלקו של האלמוג הדומיננטי *Acropora*. אלמוגים אלה היוו כרבע משטח האלמוגים בשנים הראשונות לניטור ועד לשנת 2009, והחל משנת 2010 ירד חלקם לחמישית. השנה היה חלקם מכלל כיסוי האלמוגים בשוניות אילת 16%. האלמוג *Stylophora* הוא השני נפוץ ביותר (כ-10% השנה) ונותר יציב במהלך השנים. גם שלושה האלמוגים האחרים מבין חמשת הנפוצים ביותר שמרו על חלקם מתוך כלל כיסוי האלמוגים בשוניות אילת (איור ב21). על אף שאלמוגי *Acropora* הינם הנפוצים ביותר, חברת האלמוגים באילת מגוונות ויציבה. השינויים בהרכב סוגי האלמוגים הנפוצים באילת לאורך שנות הניטור אינם גדולים, חלקם של חמישה האלמוגים הנפוצים היה לאורך כל שנות הניטור גבוה מ-50%, והשנה הם מהווים כ-50% מסך כיסוי האלמוגים בשוניות אילת. עשרים האלמוגים הנפוצים ביותר מהווים השנה כ-92% (לפי אורך נמדד על סרט המדידה) מכלל האלמוגים באילת בדומה לנתוני השנים האחרונות.

מאז 2017 נעשו בסיווג האלמוגים של תכנית הניטור באילת שינויים בהתאם לשינויים שנעשו בטקסונומיית האלמוגים בשנים האחרונות. כך למשל האלמוג *Dipsastrea* נקרא בשנים הקודמות *Favia*, והאלמוג המכונה *Paramontastrea* שוייך בשנים קודמות לסוג *Favites*. כך יוצא ש"נוסף" סוג אלמוגים חדש על אף שהיה מוכר בשנים קודמות אך נכלל בקבוצה אחרת. במקביל, מספר האלמוגים של קבוצת *Favites* נמוך בשנתיים אלה מאשר בשנים קודמות מכיוון שחלק מן המושבות זכו לסטטוס חדש.

טבלה ב3 מציגה את עשרים סוגי האלמוגים הנפוצים באתרי הניטור ואת אחוזי הכיסוי שלהם בכל אתר. בטבלה זו נרשם אחוז הכיסוי מסך השטח הנמדד בחתכי הקו.



איור ב21: חמישה סוגי האלמוגים הנפוצים ביותר בשוניות אילת בתקופת הניטור מסודרים לפי סדר התפוצה בשנה האחרונה. חלקם של האלמוגים מחושב כממוצע אורכם המצטבר מתוך סך אורך האלמוגים הנמדד בסקרי הקו בשוניות אילת.

Figure B21: The five most abundant coral taxa in the reefs of Eilat during the monitoring period, arranged according to their abundance in the last year. The fraction percent is the average accumulated length of a coral taxa out of the total coral length measured in line transect surveys of the Eilat reefs.

טבלה ב3: עשרים האלמוגים הנפוצים (לפי אחוז כיסוי) בשטח הניטור, ואחוז הכיסוי הממוצע שלהם בכל אחד מאתרי הניטור.

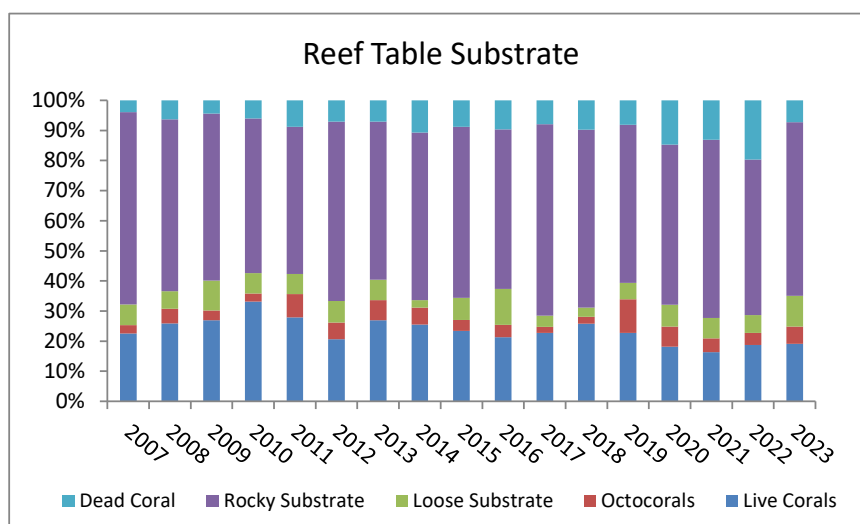
Table B3: The twenty most abundant corals (% cover) in the monitored area and their average cover in each site as a percent of the total transect length at each site.

	Katza 10	Katza 20	NR 5	NR 10	NR 20	IUI 5	IUI 10	IUI 15	Eilat (Average)
<i>Acropora</i>	5.0	2.5	4.7	1.2	9.6	1.9	2.0	4.8	4.38
<i>Montipora</i>	2.9	3.0	3.4	0.6	6.3	0.5	1.0	1.6	2.65
<i>Stylophora</i>	1.9	2.4	5.6	0.6	1.0	2.6	2.4	1.6	2.33
<i>Goniastrea</i>	2.8	1.6	7.9	1.1	0.5	2.5	0.4	0.3	2.23
<i>Echinopora</i>	2.4	2.5	5.5	0.3	3.2	0.2	0.2	0.4	1.86
<i>Lobophyllia</i>	0.2	0.3	9.5	0.0	1.1	0	0	0.0	0.93
<i>Cyphastrea</i>	1.1	0.9	1.4	0.3	3.0	1.8	1.6	0.5	0.91
<i>Dipsastraea</i>	1.2	1.0	0.3	1.0	1.4	2.8	1.7	1.0	0.83
<i>Paramontastraea</i>	0.8	2.9	0.2	0.2	1.2	0.2	0.6	1.0	0.75
<i>Porites</i>	0.7	1.3	0.8	0.6	2.1	0.0	0.4	1.0	0.73
<i>Favites</i>	0.8	1.0	0.1	0.3	1.1	1.1	0.8	0.9	0.71
<i>Leptastrea</i>	0.9	1.4	0.3	0.3	0.0	0.2	0.2	0.4	0.44
<i>Mycodium</i>	1.0	0.2	2.2	0	0.1	0	0	0.1	0.42
<i>Pocillopora</i>	0	0.3	0.3	0.7	0.2	0.2	0.8	1.1	0.37
<i>Gyrosmlia</i>	0	0.2	0	0.1	0.1	0	0.4	2.6	0.37
<i>Pavona</i>	0.5	2.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0	0.0	0.29
<i>Millepora</i>	0.0	0.2	0.1	0.1	0.2	0.9	1.1	0.5	0.25
<i>Platygyra</i>	0.6	0.2	0.4	0.3	0.2	0.8	0.3	0.1	0.25
<i>Astreopora</i>	0.3	0.2	0.5	0.4	0.6	0	0.2	0.0	0.20
<i>Plesiastrea</i>	0.3	0.1	0.2	0.5	0.1	0.2	0.5	0.0	0.20

שולחן השונית מהווה אזור ייחודי בשונית, אשר לו חשיבות גדולה בהיותו הנראה ביותר והנלמד ביותר בעבודות קודמות שסקרו את שונית האלמוגים באילת. במסגרת תכנית הניטור נסקר שולחן השונית בחלקה הדרומי, הסגור למבקרים, של שמורת חוף אלמוג. זהו אתר שונה במהותו משאר אתרי הניטור בשונית, המצויים כולם באזורי "קידמת שונית", בהיותו מושפע משפלים קיצוניים ומסערות. שולחן השונית גם חשוף ביותר לפגיעה פיסית על ידי מבקרים, חפצים הצפים בים וכלי שיט, אם כי סגירת חלקה הדרומי של השמורה למבקרים מקטין את ההשפעות הללו.

עם הקמתה של תחנת המדידה המטאורולוגית במזח המכון הבינאוניברסיטאי על ידי תכנית הניטור בספטמבר 2006 ניתן לעקוב אחר הגאות והשפל, ועצמת הרוחות וכיוון ("סערות" במפרץ לרוב מאופיינות ברוח חזקה מכיוון דרום) וכך להוסיף מידע שהיה חסר בעבר לפירוש תצפיות הנוגעות לשולחן השונית. סקרי שולחן השונית במסגרת תכנית הניטור החלו בשנת 2007.

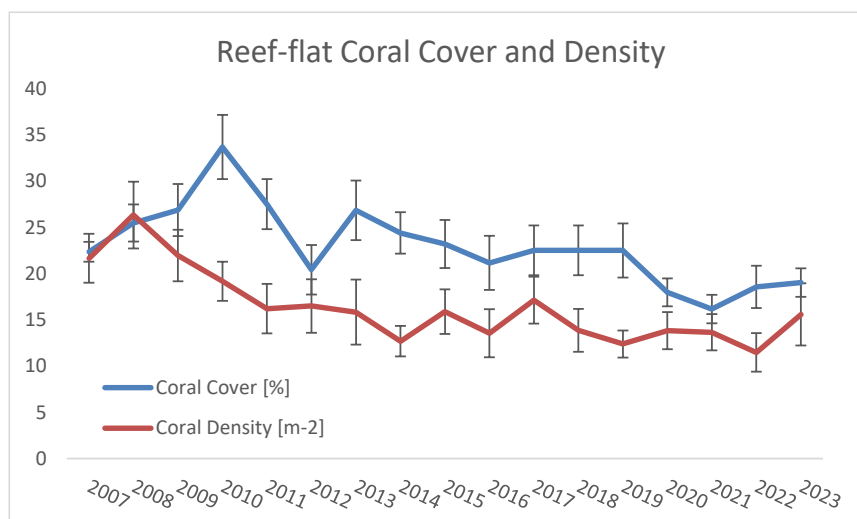
אופיו השונה של שולחן השונית ניכר, בין היתר, בהתפלגות סוגי התשתית שבו. סלע שונית מלוכד מהווה את רב שטח התשתית בשולחן השונית. בניגוד לאתרי קידמת השונית, שם האחוז הגבוה ביותר של סלע מלוכד חשוף שנמדד השנה הוא כ-47% (באתר 5-IUI), בשולחן השונית שטח הסלע המלוכד החשוף אשר נמדד השנה הוא כ-58%. כתוצאה מכך ההבדל בין אחוז הכיסוי החי לאחוז הכיסוי המנורמל (מתוך סך המצע הקשה) בשולחן השונית אינו גדול. במשך השנים נצפות תנודות בחלק הקרקע הלא-מלוכדת, ובשטח התשתית הסלעית בשולחן השונית, אולם לא ניכרת מגמה בתנודות אלה (איור ב22).



איור ב22: אחוזי הכיסוי המצטברים של אלמוגים, חול, סלע, ואלמוגים מתים בשולחן השונית. האחוזים הם ממוצעים מתוך כל חתכי הקו שנעשו באתר.

Figure B22: Cumulative percent cover of live corals, sand, rock and dead corals at the reef table. Values are averages of line transect values.

כיסוי אלמוגי האבן החיים בשולחן השונית, כ- $19.1 \pm 1.5\%$, עלה מעט לעומת השנתיים הקודמות, אך נותר נמוך בהשוואה לשנים שלפני הסערה במרץ 2020 ($22.5 \pm 2.9\%$ בשנת 2019). הירידה של השנים האחרונות קשורה, אולי, לפגיעת אותה סערה דרומית חזקה (איור ב23). הכיסוי הגבוה ביותר שנמדד במסגרת הניטור היה $33.7 \pm 3.5\%$ בשנת 2010. גם צפיפות מושבות האלמוגים השנה גבוהה בהשוואה לזו של השנים האחרונות (15.6 מושבות למ"ר), אף כי מאז שנת 2014 השינויים בצפיפות מושבות אלמוגי האבן על שולחן השונית – קטנים.



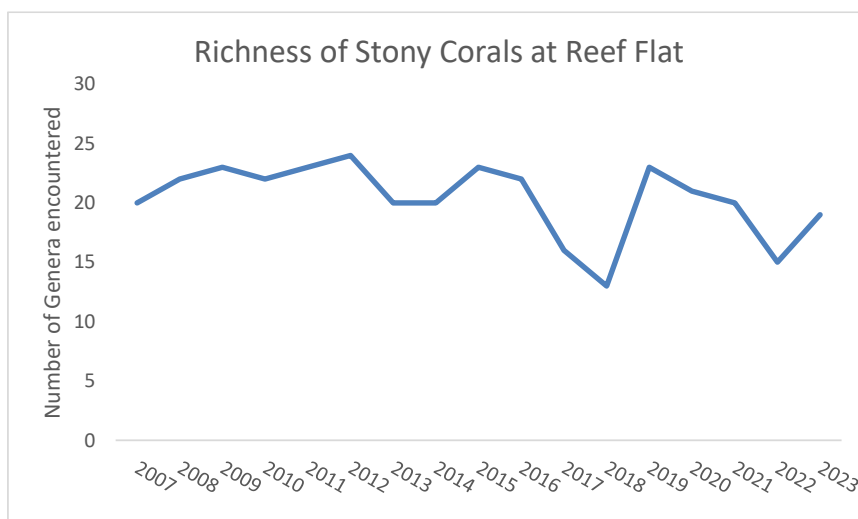
איור ב23: אחוז כיסוי האלמוגים וצפיפות מושבות בשולחן השוני מאז שנת 2007.
Figure B23: Percent cover of live corals and density of coral colonies on the reef table since 2007.

בשולחן השוני נמצאו השנה בסך הכל 19 סוגים של אלמוגי אבן. ברוב שנות הניטור נמדד עושר סוגים בטווח שבין 20 ל-23, עם ערכים נמוכים יותר בשנים 2022 ו-2018-2017 (איור ב24). עושר המינים בשולחן השוני נמוך מאשר בכל אתרי קדמת השוני (46 אלמוגי אבן וזהו השנה באתרי קדמת השוני יחדיו).

מגוון המינים לפי מדד Shanon-Wiener כפי שמוערך על ידי התכנות EstimateS (Colwell, 2005) ו-Past (Hammer et al., 2001) היה השנה 2.68 ומספר המינים האפקטיבי היה 14.6, בין הערכים הגבוהים אשר נמדדו עד כה (איור ב25).

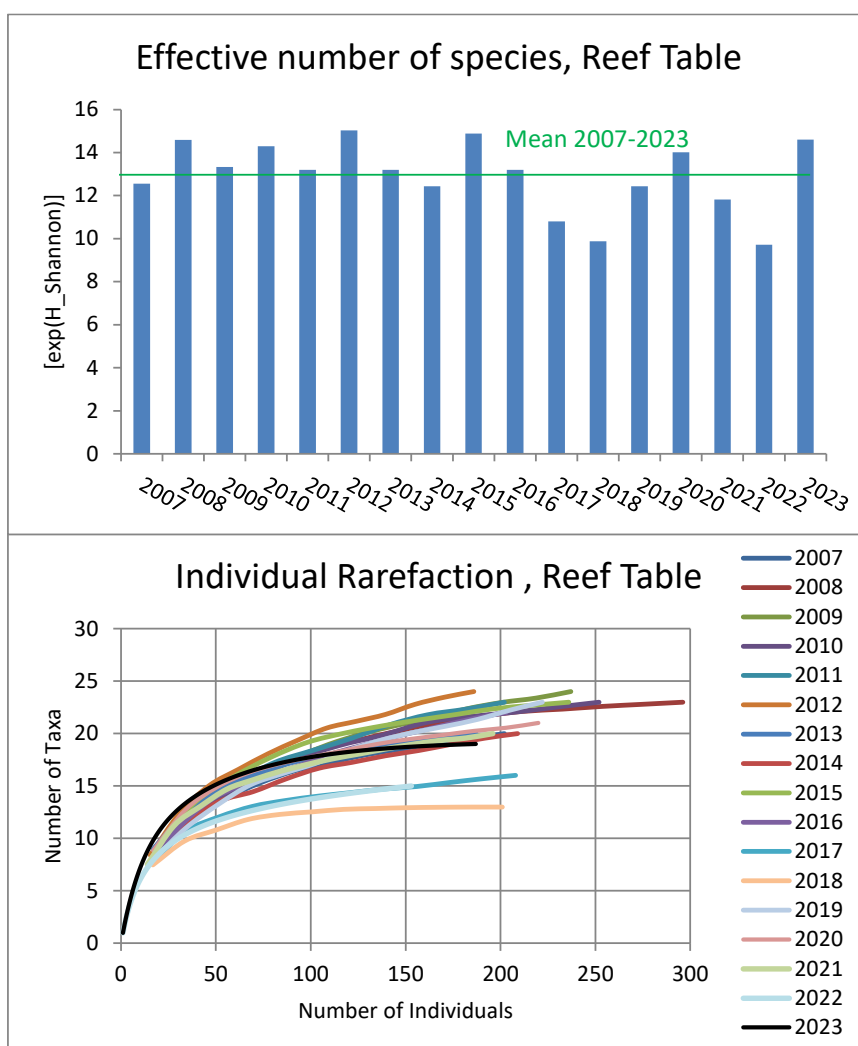
עקומת הצבירה של סוגי אלמוגים בשולחן השוני אשר חושבה מנתוני הסקר השנה בעלת שיפוע תלול יותר וערך סופי גבוה בהשוואה לשנה הקודמת אך לא חריגה בין רוב שנות הניטור. בכל השנים נראה כי מדד המגוון בשולחן השוני, ובעיקר עושר המינים שם, נמוך מהערך הממוצע באתרי קדמת השוני (ראו למעלה). עובדה זו צפויה, עקב התנאים האחרים והקיצוניים יותר בשולחן השוני.

ישנה חפיפה גדולה בין האלמוגים הנפוצים בקדמת השוני לאלמוגים הנמצאים בשולחן. מתוך 19 הסוגים של אלמוגי אבן אשר נמצאו בשולחן השוני, 15 נמצאים ברשימת 20 האלמוגים הנפוצים באתרי קדמת השוני. עם זאת, ישנם הבדלים בתפוצה היחסית של סוגי האלמוגים בשולחן השוני לעומת אתרי קדמת השוני (טבלה ב4). ההבדלים בעושר ומגוון המינים בין השנים מושפעים מאד מנוכחותן או העדרן של מושבות אלמוגים "נדירים" בשולחן השוני, מהם נמצאות בדרך כלל רק מושבה או שתיים בסקר השנתי.



איור ב24: מספר סוגי האלמוגים שנמצאו בסקרי שולחן השונית לאורך תקופת הניטור.

Figure B24: The number of coral genera encountered at the Reef Flat monitoring surveys.



איור ב25: למעלה – מדד Shannon-Wiener למגוון המינים של אלמוגי אבן בשולחן השונית מאז שנת 2007.

למטה – עקומות צבירה למספר סוגי האלמוגים בשולחן השונית מאז 2007.

Figure B25: Top –Shannon-Wiener diversity of stony corals in the years since 2007, bottom – rarefaction curves for coral genus diversity on the reef table since 2007.

טבלה ב4: אלמוגי האבן הנפוצים (לפי אחוזי כיסוי) בשולחן השוניית ובאתרי קדמת השוניית.

Table B4: The most abundant stony corals (by cover percentage) at the reef table and the fore-reef sites.

Rank	Reef Table	Fore-Reef
1	<i>Platygyra</i>	<i>Acropora</i>
2	<i>Dipsastraea</i>	<i>Montipora</i>
3	<i>Acropora</i>	<i>Stylophora</i>
4	<i>Millepora</i>	<i>Goniastrea</i>
5	<i>Stylophora</i>	<i>Echinopora</i>
6	<i>Favites</i>	<i>Lobophyllia</i>
7	<i>Echinopora</i>	<i>Cyphastrea</i>
8	<i>Goniastrea</i>	<i>Dipsastraea</i>
9	<i>Hydnophora</i>	<i>Paramontastraea</i>
10	<i>Pocillopora</i>	<i>Porites</i>
11	<i>Acanthastrea</i>	<i>Favites</i>
12	<i>Goniopora</i>	<i>Leptastrea</i>
13	<i>Montipora</i>	<i>Mycedium</i>
14	<i>Galaxea</i>	<i>Pocillopora</i>
15	<i>Lobophyllia</i>	<i>Gyrosmlia</i>
16	<i>Cyphastrea</i>	<i>Pavona</i>
17	<i>Pavona</i>	<i>Millepora</i>
18	<i>Porites</i>	<i>Platygyra</i>
19	<i>Leptastrea</i>	<i>Astreopora</i>
20		<i>Plesiastrea</i>

ניטור מצב השוניות באילת מבוצע באמצעות מספר סקרים אקולוגיים המותאמים לסביבות ומטרות שונות. חלק הארי של הסקר האקולוגי מבוצע באתרי קדמת השונית ושולחן השונית בשיטת חתכי הקו. אפיון סטטיסטי של אתרי השונית באמצעות סקרים בשיטת חתכי הקו מצביע על מצב השונית בכל אתר, ואינו מתייחס לגורלה של מושבת אלמוגים זו או אחרת. חזרה על הסקרים בעקביות לאורך תקופה ארוכה מאפשרת מעקב אחר שינויים בזמן של מאפייני חברת שונית האלמוגים בשוניות הנמצאות בשטח ישראל. מדידה לאורך חתכים קווים יעילה במיוחד למדידת מאפיינים הקשורים לשטח (אחוזי כיסוי, התפלגות מצע וכד'), ופחות יעילה למדידות המבוססות על ספירה (התפלגות גדלים, צפיפות מושבות וכד') עקב ההטיה המובנית כנגד מושבות בגודל קטן. על כן, בדו"ח זה מוצגים נתוני צפיפות המושבות והתפלגות גדלי המושבות לאחר תיקון מתמטי המאפשר הערכה מדויקת יותר של היחסים המספריים בין מושבות מקבוצות גודל שונות (Zvuloni et al., 2008).

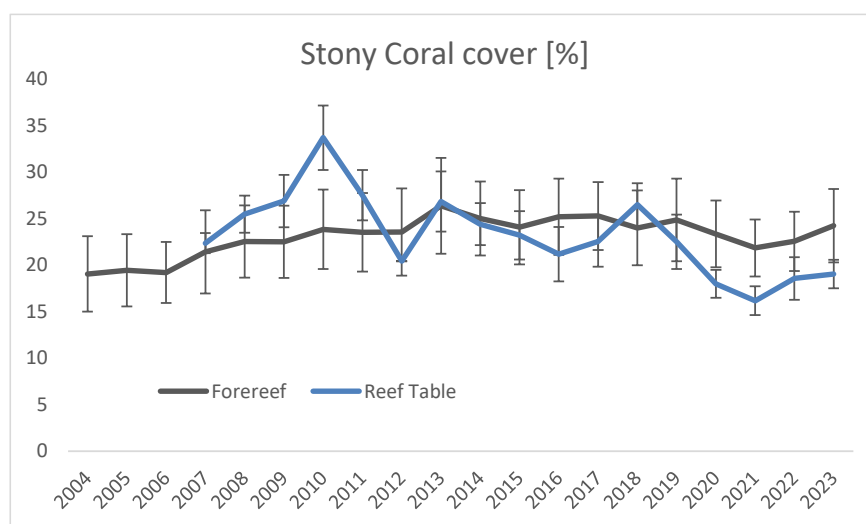
התפתחות טבעית של "שונית" וכך גם השינויים במאפייני שונית שאינם תוצאה של הפרעה קיצונית הינם תהליכים איטיים ולא בהכרח מונוטוניים. השונית הרבה בתוך האתרים וביניהם, הן בסביבה הפיסית והן בחברת האלמוגים, עלולה למסך את יכולתנו הסטטיסטית לאבחן מגמות קלות, לא קיצוניות. עם זאת, נתוני תכנית הניטור יוצרים תמונה אקולוגית של אתרי שונית באילת מדי שנה, והשוואת הנתונים בין השנים נועדה לאבחן ולהתריע על מצבי קיצון והתפתחויות מדאיגות, כמו גם לגלות מחזורים טבעיים בעלי זמן מחזור ארוך או מגמות שינוי איטיות. עם הצטברות הנתונים משנה לשנה משתפרת יכולת האבחון הסטטיסטית. בין האתרים הנסקרים בתכנית ישנם הבדלים גדולים כתוצאה מהבדלי העומק, הבדלים בסוג המצע והבדלים אוקינוגרפיים הנובעים ממיקומם השונה של האתרים. להבדלים טבעיים אלה השפעה גדולה וראשונית על אופי השונית בכל אחד מהאתרים הנסקרים. הממוצע המורכב משמונה אתרי קדמת השונית הנסקרים, המכונה כאן "שוניות אילת", הוא ישות סטטיסטית לצורכי השוואה בין שנים ועם מקומות אחרים בעולם, אולם – כדרכם של ממוצעים – אינו מייצג אף אחד מהאתרים בנפרד. בחודש יולי 2017 נפתח לציבור קטע חוף שהיה לפניו מוגבל על ידי חברת קצא"א. השטח שנפתח לשימוש הציבור הוא החלק הצפוני של חוף קצא"א, אזור המוגבל לרחצה על ידי חבלי מצופים. אתרי השונית בהם מבצעת תכנית הניטור את סקריה מצויים מחוץ לאזורים המסומנים כפתוחים לרחצה, אולם ניתן לצפות כי כמות הצוללים העוברים בהם תגדל עקב פתיחת החוף. לפי שעה לא ניתן לאבחן שינוי מגמתי הקשור בפתיחת החוף, אך יהיה מעניין לראות אם בשנים הקרובות יתגלו שינויים כאלו אף כי, באופן פורמלי, אתרי הניטור מצויים מחוץ לאזור שנפתח.

סערה דרומית חזקה במיוחד הכתה בחופי אילת במרץ 2020. הרוחות היו החזקות ביותר שנמדדו במסגרת תכנית הניטור והנזקים באזורים הרדודים והחופיים היו גדולים. הסערה אירעה בתקופה בה מגיפת הקורונה מנעה עבודה יסודית ומדוקדקת והערכת הנזקים המשוויכים לסערה נשענת על הסקרים השנתיים אותם עורכת תכנית הניטור מידי קיץ. לרוב, ההבדלים בין שנים אינם גדולים (ראו למעלה) ובמהלך 15 השנים הראשונות לפעילותה מדדה התכנית בעיקר שיפור איטי ומתמשך. לפיכך, שינוי גדול המתגלה לאחר סקר קיץ 2019 עשוי להצביע על השפעת הסערה. בסקרים של קיץ 2020 וקיץ 2021 אכן נמצאה ירידה חדה בכיסוי האלמוגים הממוצע בשוניות אילת. בסקר קיץ 2022 נמצאה עליה קלה בכיסוי האלמוגים הממוצע אך זו לוותה בירידה בצפיפות מושבות האלמוגים ובפרט מושבות קטנות. הירידה בצפיפות המושבות קטנות, אולי, בערוב העמוק של חוף 2022, אשר גרר פריחת אצות חזקה. עם זאת, נראה היה שהעליה הקלה בכיסוי האלמוגים עשויה לסמן את בלימתה של ההידרדרות המיוחסת לסערה.

הסערה פגעה באופן לא אחיד באתרי השונית הנסקרים, והאתר שנפגע ביותר היה אתר השמורה הרדוד, 5-NR בו נמדד בשנת 2019 כיסוי אלמוגים של $45.9 \pm 2.8\%$ ובשנים 2020-2022 נמדד כיסוי שנע בין 35-37%. השנה נמדד באתר זה כיסוי אלמוגים דומה לזה שלפני הסערה, $44.5 \pm 4.6\%$, וכן נמצאה עליה גם בצפיפות המושבות. מכיוון שבאתר זה כיסוי האלמוגים הוא הגדול ביותר, והירידה שנמצאה בו לאחר הסערה היא הגדולה ביותר שנמדדה באתרי השונית, השפעתו על הערך הממוצע הנקרא "שוניות אילת" גדולה יחסית.

אחוז הכיסוי הממוצע של אלמוגי אבן חיים באתרי קדמת השונית היה $24.9 \pm 4.5\%$ בקיץ 2019, לפני הסערה, ירד לערך מזערי של $21.9 \pm 3.0\%$ בשנת 2021, והשנה נמצא כיסוי של $24.2 \pm 3.9\%$, קרוב לכיסוי שלפני הסערה. גם באתר שולחן השונית נמדדה השנה עליה בכיסוי אלמוגי האבן, $19.1 \pm 1.5\%$. לשם השוואה, הכיסוי בשנת

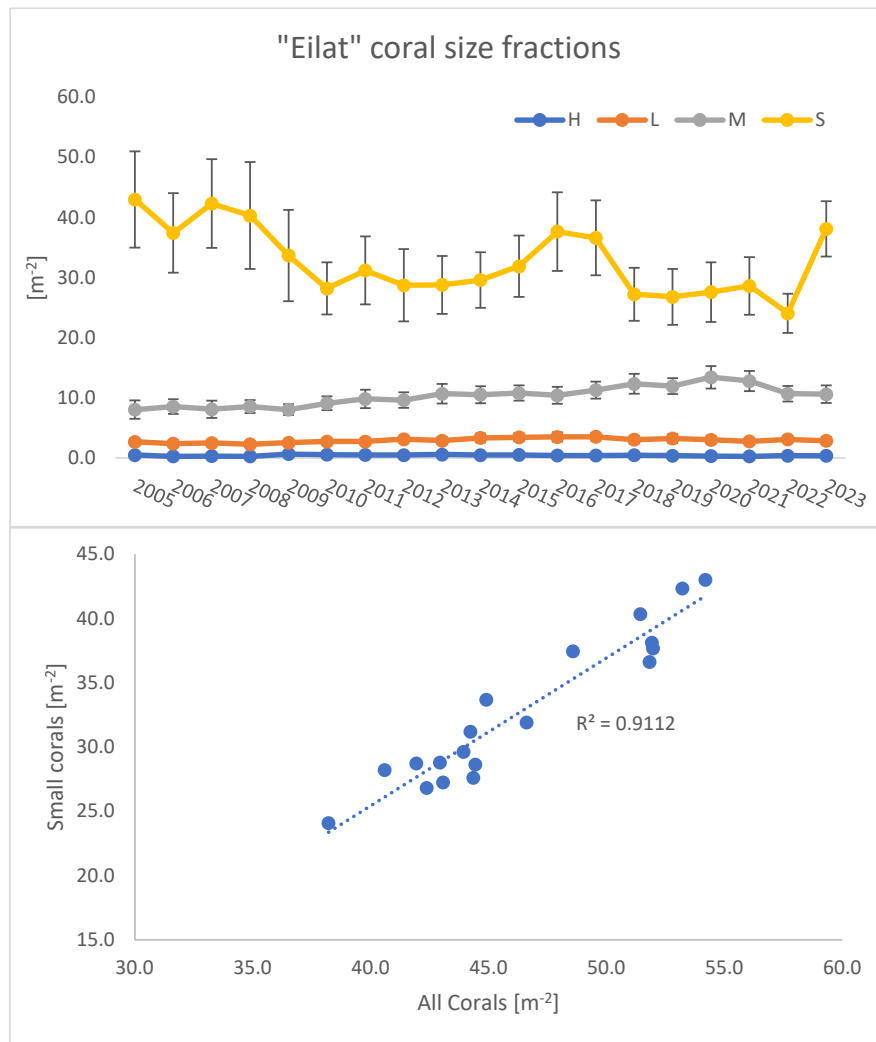
2019, לפני הסערה, היה $22.5 \pm 2.9\%$ והערך המזערי לאחר הסערה היה $16.2 \pm 1.5\%$, בשנת 2021. הירידה החדה בכיסוי האלמוגים שנמצאה בשנים 2020-2021 באה לאחר מספר שנים של יציבות, ולאור העליה שהחלה בשנה הקודמת ונמשכה השנה מתחזקת ההשערה שהשינויים הנמדדים קשורים לפגיעתה של הסערה הדרומית בחודש מרץ 2020. נראה כי כבר ניתן להבחין בתחילתו של תהליך התאוששות, אולם מוקדם לקבוע זאת בוודאות. באתר שולחן השונית ישנן תנודות גדולות יותר בין השנים כתוצאה מפגיעותו למגוון תנאי סביבה והסערה הדרומית גרמה שם לירידה ניכרת ואובדן של כחמישית מכיסוי אלמוגי האבן החיים. בשני האזורים, קדמת השונית ושולחן השונית, נמצאה השנה עליה בכיסוי בהשוואה לשנים האחרונות, ובפרט באתרי קדמת השונית הכיסוי מתקרב לערכים שנמדדו בשנת 2019, לפני פגיעת הסערה (איור ב26).



איור ב26: אחוז השטח המכוסה אלמוגי אבן חיים ב"שוניות אילת" (ממוצע שמונה אתרי קדמת השונית), בשחור, ובאתר שולחן השונית, בכחול. באתר שולחן השונית תנודות גדולות בין השנים המשקפות את רגישותו של בית גידול זה.

Figure B26: The percentage of live coral cover at the "Eilat Reefs" (the average of the eight surveyed fore-reef sites), in black, and the reef-table site, in blue. The reef-table monitoring site displays large fluctuations, reflecting the high sensitivity of this habitat.

שינויים בצפיפות מושבות האלמוגים היו בשנים האחרונות פחות דרמטיים מהשינויים אשר נמדדו בכיסוי האלמוגים, אך בשנה הקודמת (2022) נמצאה ירידה ניכרת בצפיפות המושבות הממוצעת (איור ב27). מושבות אלמוגים קטנות מהוות את חלק הארי של מושבות האלמוגים בשונית אילת (בשנים האחרונות נע חלקן של המושבות הקטנות בין 63-74% מכלל המושבות) וזוהי גם קבוצת הגודל אשר נפגעה ביותר בשנה הקודמת. הצפיפות הממוצעת של מושבות קטנות באתרי קדמת השונית היתה בשנה הקודמת 24.1 ± 3.3 מושבות למ"ר והשנה נמצאה עליה משמעותית, 38.1 ± 4.6 . מושבות אלמוגים קטנות אמנם נפוצות ביותר, מספרית, בשונית אילת, אולם תרומתם לכיסוי האלמוגים קטנה יחסית. צפיפות המושבות "הבינוניות" עולה באופן מתון ומתמשך מאז תחילת הניטור ומצביעה על שיפור בשרידות האלמוגים לאורך תקופה זו, אך גם עבור קבוצה זו נמצאה בשנה הקודמת ירידה קלה והשנה נשארה צפיפותן ללא שינוי. התאמה בין צפיפות המושבות הבינוניות, ובעיקר הגדולות, ואחוז הכיסוי החי בשונית אילת נמצאה במשך רוב תקופת הניטור ומצביעה על כך שלקבוצות גודל אלה תרומה גדולה לכיסוי האלמוגים.



איור ב27: למעלה, צפיפות מושבות אלמוגים על פי קבוצות גודל בתקופת המיטור. למטה, צפיפות מושבות אלמוגים קטנות מול סך צפיפות מושבות האלמוגים בשוניות אילת.

Figure B27: Top, coral colony density by size groups during the monitoring period. Bottom, density of “small” coral colonies versus the density of all coral colonies in the “Eilat” reefs.

ב.2. חברת האלמוגים בלגונת שמורת האלמוגים

מטרה

אמדן השיפעה, מבנה החברה וסוגי המצע בלגונה של שוניות האלמוגים בחלקה הדרומי (הסגור למבקרים) של שמורת חוף אלמוג.

שיטות

מרכיבי חברת השונית שנסקרו בלגונה הם אלמוגי אבן, אלמוגים רכים, וחסרי חוליות נייחים. קרקעית הים (=מצע) חולקה לחול וחצץ (=מצע לא מלוכד), סלע, ושונית. מפאת מיעוט האלמוגים, שיטת מקטעי הקו אינה מתאימה לסקר החברה בלגונה. לפיכך, נעשה שימוש ביחידת דגימה של ריבוע בגודל 1X1 מ'. הריבועים מונחים באופן סדור לאורך סרט מדידה שנפרש בניצב לחוף (להלן "קו דגימה") ממרחק של כ- 9 מ' מקו החוף ועד לשולחן השונית, במרווחים של 5 מטרים זה מזה. "קו החוף" מוגדר כקו הברור בו מתחילה חשיפה של סלעי החוף (beach rocks). בכל קו דגימה נספרו עד ששה ריבועים, על מנת להימנע מספירת אלמוגים בגב השונית או מהטיה הנובעת מהבדלים ברוחב הלגונה. בסה"כ כלל הסקר השנה 102 מטרים רבועים ב-17 קווי דגימה לאורך החוף הדרומי בשמורת חוף אלמוג, מגדר הגבול הדרומי של השטח הפתוח למבקרים ודרומה כ-400 מטרים (עד כ-50 מטר מצפון למזח המצפה התת-ימי) (איור ב28). בכל ריבוע נספרו האלמוגים וזוהו לרמת המין או לרמת הסוג, כפי שניתן היה. בנוסף, נרשמה הערכה ויזואלית של אחוז כיסוי האלמוגים החיים ואחוז וסוג המצע.

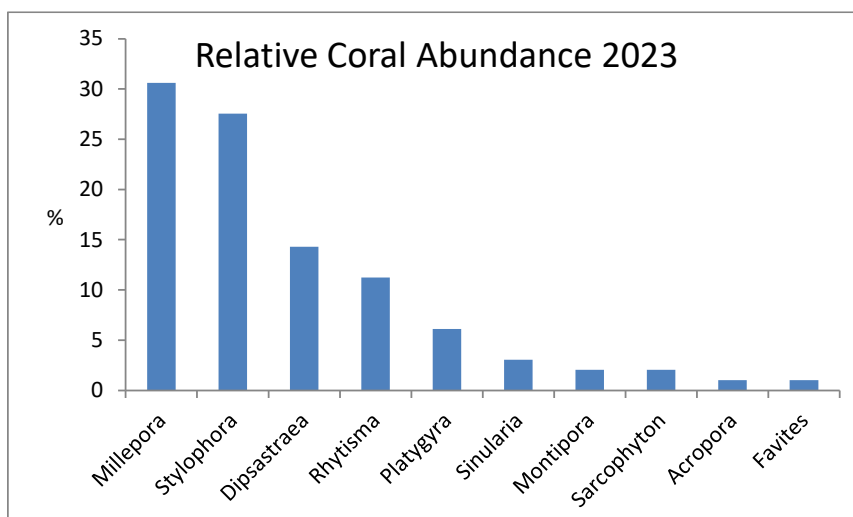


איור ב28: תיאור מערך הדיגום של חברת האלמוגים בלגונת השמורה באזור הסגור לקהל. ריבועים בגודל של 1 מ"ר (באדום) הונחו באופן סדור במרחק של 5 מטרים זה מזה לאורך סרט מדידה שהונח בניצב לחוף והתחיל ממרחק 9 מטרים מ"קו החוף" ועד לשולחן השונית (קו דיגום). כל קו דיגום כולל בין 5 ל-6 ריבועים, (על אף שבאיור משורטטים רק 4 לכל חתך). סה"כ בוצעו 17 קווי דיגום בשטח הלגונה.

Figure B28: The sampling design in the lagoon. 1 m² quadrates (red circles) were placed 5 m apart along a measuring tape laid cross shore, 9 m from the "shoreline" to the reef table. Each cross shoreline includes 5 or 6 quadrates (though in this figure only 4 are depicted). 17 cross-shore lines were evenly spread to cover the lagoon area.

תוצאות

השנה נספרו ב-102 ריבועי דגימה של 1 מ"ר בלגונה שבשמורת חוף אלמוג 98 מושבות אלמוגים, מהן 82 אלמוגי אבן אשר סווגו ל-8 סוגים ו-16 אלמוגים רכים השייכים לשלושה סוגים. בעוד שמספר מושבות האלמוגים הרכים דומה בשנים האחרונות, מספר המושבות של אלמוגי אבן קטן בשנים שמאז 2010 בהשוואה לשנים הראשונות של הניטור. בעקבות סופה דרומית חזקה (מרץ 2020) נמדדה ירידה בצפיפות מושבות האלמוגים בלגונה אשר נמשכת גם השנה, ובפרט אלמוגי האבן מהם נמצאו בשנה הקודמת 118 מושבות, בשנת 2021 נמצאו 138 מושבות, ובשנת 2019 – לפני הסערה – 165 מושבות של אלמוגי אבן. עיקר הפגיעה היא באלמוג האבן הנפוץ ביותר הוא *Stylophora pistillata* אשר היווה השנה כ-28% מכלל מושבות האלמוגים אשר נסקרו (בשנה הקודמת היווה כ-36% מסך המושבות). בשנים האחרונות, וגם השנה, נמצא לעיתים שאלמוג האש *Millepora* הוא הנפוץ ביותר בלגונה, אך השנה נמצאו 30 מושבות בלבד, לעומת 34 מושבות בשנה הקודמת ו-69 בשנת 2021. אלמוג האש מהווה השנה כ-31% מכלל המושבות בלגונה (איור ב29).



איור ב29: השכיחות היחסית (באחוזים, על פי מספר המושבות) של עשרה סוגי האלמוגים העיקריים בלגונה.
Figure B29: Relative abundance (by colony number) of the 10 most abundant coral genera in the lagoon.

הצפיפות הממוצעת של מושבות אלמוגים מכל סוג בלגונה היתה השנה הנמוכה ביותר שמדדה תכנית הניטור עד כה, בממוצע – פחות ממושבה למ"ר (0.96). בתקופה האחרונה ירדה צפיפות המושבות בלגונה מ 2.32 למ"ר בשנת 2017 ל- 1.89 בשנת 2019, 1.74 בשנת 2021 ובשנה הקודמת 1.37 מושבות מכל הסוגים למ"ר. צפיפותם הממוצעת של אלמוגי אבן היתה השנה 0.80 מושבות בלבד למ"ר (טבלה ב5).

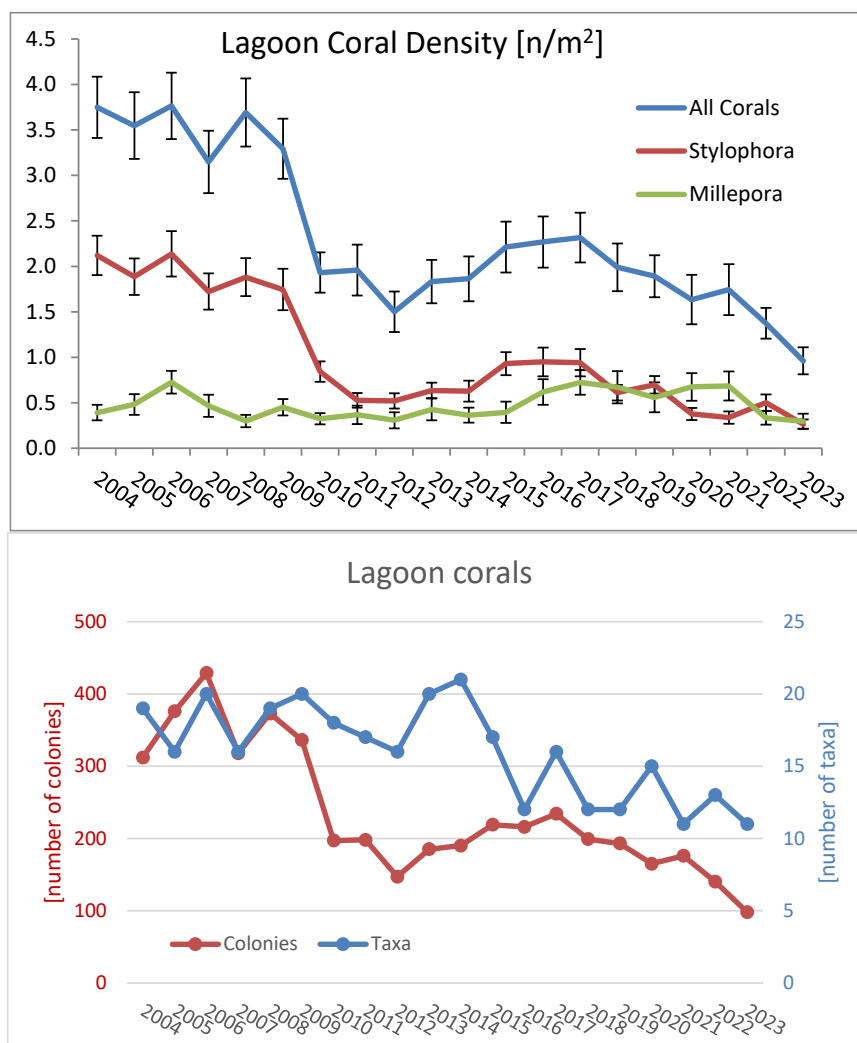
טבלה ב5: מספר המושבות, תפוצתן היחסית וצפיפותן הממוצעת (מספר מושבות למטר רבוע) של סוגי האלמוגים שנמצאו השנה בלגונה.

Table B5: The number of colonies, relative abundance and average density (colonies per square meter) of the coral taxa found this year at the lagoon.

Species	n	Relative abundance [%]	n/m ²
<i>Millepora</i>	30	30.6	0.29
<i>Stylophora</i>	27	27.6	0.26
<i>Dipsastraea</i>	14	14.3	0.14
<i>Rhytisma</i>	11	11.2	0.11
<i>Platygyra</i>	6	6.1	0.06
<i>Sinularia</i>	3	3.1	0.03
<i>Montipora</i>	2	2.0	0.02
<i>Sarcophyton</i>	2	2.0	0.02
<i>Acropora</i>	1	1.0	0.01
<i>Favites</i>	1	1.0	0.01
<i>Pocillopora</i>	1	1.0	0.01

צפיפות האלמוגים בלגונה ידעה תנודות גדולות בין שנות הניטור. בפרט, בין השנים 2009-2010 נמצאה ירידה דרמטית בצפיפות האלמוגים בלגונה, ובפרט בצפיפות האלמוג הנפוץ *Stylophora pistillata*, ומאז שנת 2012 נמצאה עליה איטית בצפיפות המושבות אשר נעצרה בשנים האחרונות. בשנת 2020, בעקבות פגיעת סערה דרומית חזקה, שוב ירדה צפיפות המושבות בלגונה וזו נמשכה גם השנה (איור ב30). התנודות הגדולות ניכרות בעיקר במספר המושבות של האלמוג העיקרי בלגונה לאורך השנים - *Stylophora pistillata* - אשר ממנו נספרו בשנים 2012-2017 יותר מ- 90 פרטים, והשנה רק 51. שינויים אלה מכתבים את התנודות הנצפות לגבי סך צפיפות מושבות האלמוגים הנספרים בלגונה. בשנות הניטור הראשונות היתה צפיפות האלמוגים בלגונה בערך כפולה מהצפיפות שנמדדה בשנים 2010-2012, בשנים 2012-2017 נמדדה התאוששות אך צפיפות האלמוגים נותרה נמוכה בהרבה מאשר בשנים הראשונות של הניטור. הסיבה לירידה החדה בין השנים 2009 ו-2010 נעוצה, ככל הנראה בסדרת סערות דרומיות חזקות שאירעו בחורף 2009-10 ובשנת 2020 שוב הכתה את חופי אילת סערה דרומית חזקה שפגעה קשות במושבות האלמוגים בלגונה.

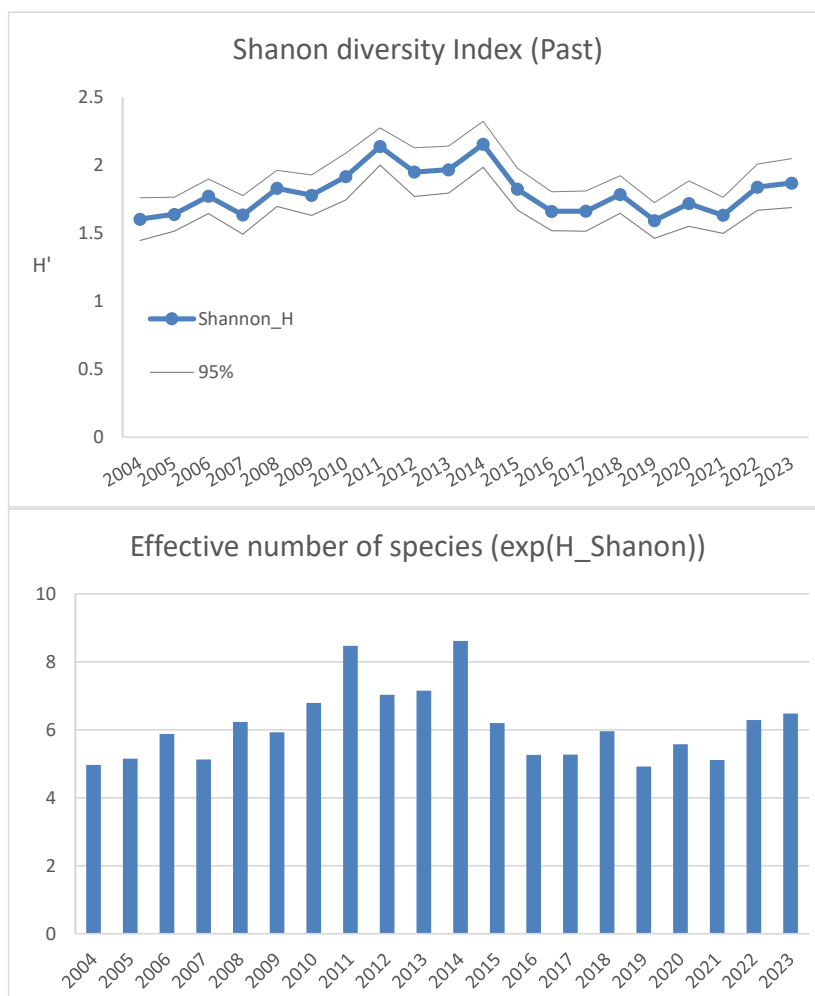
בנוסף לירידה המתמשכת במספר המושבות הנספרות בלגונה, נמצאת ירידה גם בעושר המינים (מספר סוגי האלמוגים) שם.



איור ב30: למעלה- הצפיפות הממוצעת (מושבות למטר רבוע) של אלמוגים בלגונה, ובפרט האלמוגים העיקריים *Stylophora pistillata* ו- *Millepora* מאז תחילת הניטור. למטה- מספר המושבות הכולל ומספר סוגי האלמוגים בלגונה מאז תחילת הניטור.

Figure B30: Top- the average density (colonies/square meter) of all coral genera and the dominant corals *Stylophora pistillata* and *Millepora* found in the lagoon during the monitored period. Bottom- the total number of colonies and of coral taxa surveyed in the lagoon since 2004.

בשנת 2022 עברנו לחשב את מדדי המגוון (בפרט, מדד המגוון של Shannon-Wiener) באמצעות תכנת Past (Hammer et al. (2001)) וערכי המגוון של כל השנים חושבו מחדש באמצעות תכנה זו. ערכו של מדד Shannon-Wiener למגוון סוגי האלמוגים בלגונה דומה לשנה למדד הקודמת, אך לא באופן דרמטי (1.87 ו-1.84, בהתאמה, איור ב31). השינויים במדד המגוון נובעים במידה רבה משינויים במספר מושבות המין הדומיננטי בלגונה, האלמוג *Stylophora* וירידה באלמוג זה מכתיבה עליה במדד המגוון, ולהיפך. הערכה טובה יותר למגוון האלמוגים בלגונה ניתנת על ידי "מספר המינים האפקטיבי", המחושב ממדד Shannon-Wiener. מדד זה מייצג את מספר המינים בעלי שפע דומה שהיו נותנים ערך זהה לאינדקס המגוון של Shannon-Wiener. מספר המינים האפקטיבי הגבוה ביותר (8.6) נמצא בלגונה בשנת 2014. השנה מספר המינים האפקטיבי הוא 6.5, נמוך בכ- 25% מהערך הגבוה עד כה.



איור ב31: השינויים במגוון מיני האלמוגים על פי מדד המגוון של Shannon-Wiener בלגונה מאז 2004 כפי שהוערכו בעזרת תכנת Past (למעלה) ומספר המינים האפקטיבי המחושב ממנו (למטה).
Figure B31: Changes to the Shannon-Wiener diversity index of corals in the lagoon since 2004, estimated using the Past software (top), and the effective number of species calculated from it (bottom).

דיון ומסקנות

בשנות הניטור הראשונות (2004-2009) נעה צפיפות האלמוגים בלגונה בין 3.75 ל- 3.29 מושבות למ"ר. בחורף 2009-2010 פגעה באילת סדרת סערות דרומיות חזקות ובקיץ 2010 נמדדה צפיפות של 1.93 מושבות אלמוגים למ"ר. הצפיפות הנמוכה ביותר באותה תקופה נמדדה בשנת 2012, 1.50 מושבות למ"ר, ואחריה נצפתה עליה איטית עד לשנים האחרונות. בעקבות הסערה החזקה של מרץ 2020, ירדה צפיפות המושבות בלגונה ל- 1.63 והשנה נמצאה צפיפות של 0.96 מושבות אלמוגים למ"ר בלבד, הערך הנמוך ביותר בשנות הניטור. הפגיעה העיקרית הינה באלמוג הדומיננטי *Stylophora pistillata* ותנודות באוכלוסיית אלמוג זה הכתיבו את השינויים הנצפים בחברת הלגונה בכלל, ובמידה רבה גם את ערך המדד למגוון המינים. אלמוג שיחני זה מהיר לצמוח, אך גם פגיע למגוון עקות ובעיקר נשבר בקלות תחת מפץ הגלים. צפיפות המושבות של אלמוג האש *Millepora* יציבה למדי לאורך השנים אך בעקבות הפגיעה באלמוג *Stylophora pistillata* הפך אלמוג האש לדומיננטי במידה דומה. למרות זאת, בשנתיים האחרונות נמדדת ירידה גם בשיפעת האלמוג הזה והוא נמצא במספרים נמוכים בהשוואה לשנים 2020-21.

אוכלוסיית האלמוג *Stylophora* ידעה תנודות רבות במשך השנים (הקודמות לשנות פעילותה של תכנית הניטור) והתאוששה כעבור זמן. בתקופת הניטור בלגונה, הירידה במספר המושבות בכלל ומושבות *Stylophora* בפרט בין שנת 2009 ושנת 2010 מהווה חריגה מהמצב "הרגיל", בשנים לאחר מכן ניכר תהליך התאוששות, אולם בשנים האחרונות שוב נמדדה ירידה במספר המושבות בלגונה. סביר שהשינויים במספר מושבות אלמוגי *Stylophora* הדומיננטי הם שהכתיבו גם את התנודות במדד מגוון המינים.

לסערות דרומיות דוגמת אלו של 2020 ושל חורף 2009-2010 השפעה ניכרת בלגונה והן, כנראה, שהביאו לירידה הגדולה בצפיפות האלמוגים בלגונה. נראה שגם שטפונות באזור החוף הדרומי, המסיעים כמות סדימנט גדולה אל החופים כפי שאירע בשנים האחרונות, פוגעים באלמוגי הלגונה. בעקבות זאת, בשנים האחרונות ירדה שיפעת האלמוגים בלגונה במידה רבה בהשוואה לשנים הראשונות של הניטור ועלינו להמשיך ולעקוב אחר שינויים בחברת האלמוגים בלגונה ולנסות לבודד את הגורמים לשינויים אלה.

ב.3. התיישבות אלמוגים בשונית

מטרה

אמדן קצבי גיוס של אלמוגים בשונית באמצעות לוחיות התיישבות כמדד לאספקת אלמוגים צעירים ופוטנציאל הגיוס לשונית.

שיטות

בשני אתרים, המעבדה הימית ושמורת חוף אלמוג, הוצבו בשנת 2017 שלושה מערכי רשת שלכל אחד מהם הוצמדו 12 לוחיות קרמיות ללא זיגוג שגודלן 25X25 ס"מ. בשנת 2019 התווספו מערכים זהים גם באתר קצא"א. לוחיות קרמיות ללא זיגוג נמצאו כמצע יעיל להתיישבות אלמוגים ונעשה בהן שימוש במחקרי התיישבות רבים. טרם הכנסתן לים, נשמרות הלוחיות במיכל מי ים זורמים במשך מספר שבועות לצורך "איקלום". מערכי הלוחיות מוכנסים לים באביב (מרץ) ומוצמדים למערכים שהונחו באופן שרירותי בסמוך לסלע שונית בעומק 7-10 מטרים (איור ב32).



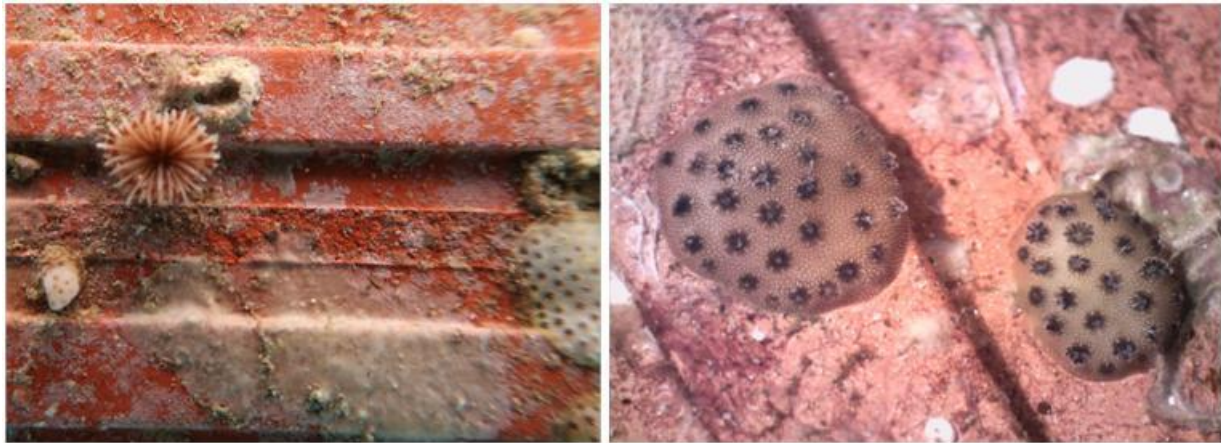
איור ב32: מערכי לוחיות התיישבות בשונית.

Figure B32: Arrays of coral settlement plates in Eilat's reef.

אחת לחודשיים נאספות מכל מערך שלוש לוחיות, כך שהאיסוף הראשון, בסוף מאי הוא של לוחיות ששהו בים כחודשיים והאיסוף האחרון, בסוף נובמבר, הוא של לוחיות אשר שהו בים במשך כשמונה חודשים. התקופה בה שהו לוחיות בים כוללת את כל עונת הרבייה של אלמוגים באילת כפי שמוכרת מהספרות ומנתוני הצבות קודמות על ידי תכנית הניטור. לאחר הוצאתן מובאות הלוחיות למעבדה לצורך ספירת מושבות אלמוגים (איור ב33).

הלוחיות נשמרות במי ים עד לספירה המתחילה מיד עם הוצאתן. הספירה נעשית באמצעות מיקרוסקופ אור מוחזר (בינוקולר) ופנס אור כחול המאפשר, בעזרת פילטר צהוב, להבחין בפלואורסנציה של פרוטאינים ירוקים (green fluorescent proteins, GFP) המאפיינים פוליפים של אלמוגים. בנוסף למספר המתיישבים נרשם גם מספר הפוליפים בכל מושבה.

לאחר הספירה הלוחיות מגורדות במברשת ונשמרות עד להחזרתן למערכים בשונית, בשנה הבאה.



איור ב33: מושבות אלמוגים זעירות על לוחיות התיישבות שהוצאו מהשונית.
Figure B33: Tiny coral colonies (spats) on settlement plates retrieved from the reef.

[לוחיות התיישבות הוצבו לראשונה בשונית בסוף אפריל-תחילת מאי 2015 (מעבדה ימית וחוף אלמוג, בהתאמה). ובמשך שנתיים כלל הניטור החלפת זוג לוחיות (שהיו עשויות PVC ממוחזר) מדי חודשיים כך שכל זוג שהיה בים במשך ששה חודשים. בעונה הראשונה (שנת 2015) התקבלו תוצאות מעניינות אך מספר המתיישבים היה קטן ולא ניתן היה להסיק ממנו לגבי תבנית ההתיישבות. בעונה השנייה היה מספר המתיישבים קטן יותר ולא התקבלו תוצאות משמעותיות (דו"ח הניטור לשנת 2016). בכל זאת, התצפיות הצביעו על התיישבות האלמוגים מוצלחת יותר בשנת 2015 בהשוואה לשנת 2016, ועל כך שבאתר השמורה ישנו מספר גדול יותר של מתיישבים, הגדלים מהר יותר, מאשר באתר המעבדה הימית.

עונת הרבייה המוכרת של אלמוגים במפרץ היא עונת הקיץ (ראו נספח 3 בדו"ח תכנית הניטור 2015, תקציר עבודת המוסמך של תום שלזינגר אשר מצא, בהתאמה לעבודות קודמות, כי עיקר הגיוס לשונית מתרחש בחודש אוגוסט), ואכן על גבי לוחיות ששהו בים מחוץ לעונה זו נמצאו מעט מאד מתיישבים. גודלן הקטן של המושבות שנמצאו על לוחיות ההתיישבות שנבחנו במסגרת הניטור בשנים 2015-6 אינו מאפשר לקבוע את סוג האלמוגים. על סמך המראה בלבד, נראה שלפחות חלקם ממשפחת Pocilloporidae (Babcock et al., 2003) וסביר שמשתייכים למין *Stylophora pistillata* הנפוץ בשוניות אילת.

בשנת 2017 שונה פרוטוקול הדגימה לזה המתואר למעלה ואכן התקבלה כמות תצפיות גדולה הרבה יותר לגבי תבנית גיוס אלמוגים בשונית. בין לוחיות מאותו מערך ישנה שונות גדולה וכך גם בין המערכים מאותו אתר. לוחיות מאותו מערך (3 בכל פרק זמן) קובצו לקבלת "גודל דוגמה" (= שטח התיישבות) גדול יותר בכדי לקבל מספר מתיישבים משמעותי. שלושת המערכים בכל אתר הם החזרות על הדגימה באתר.]

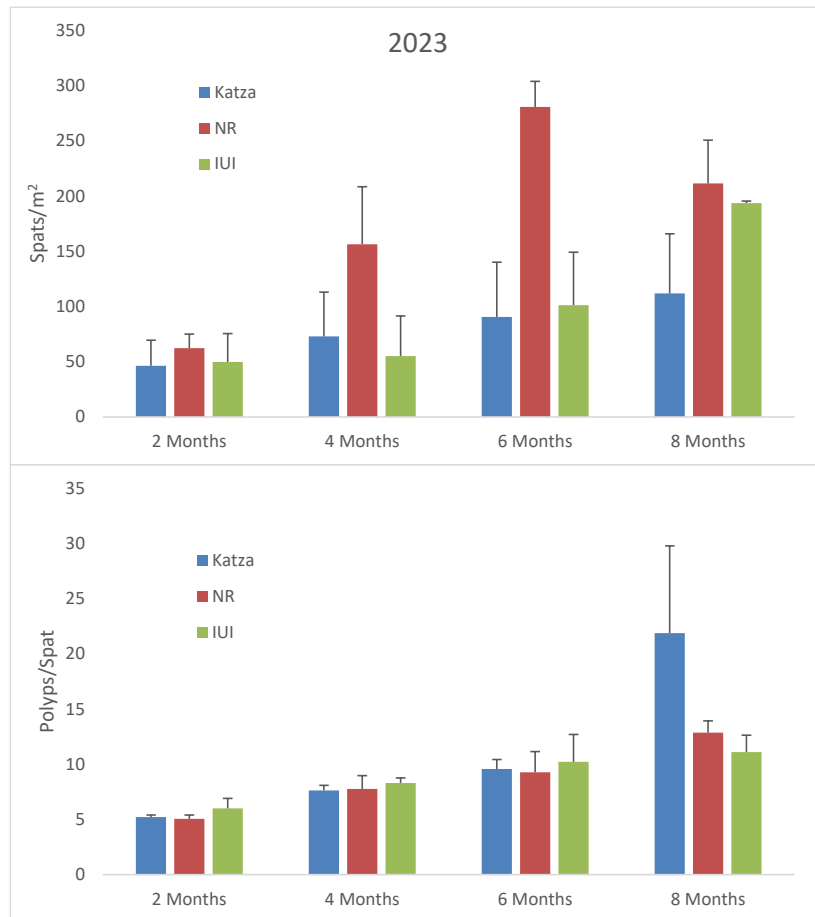
תוצאות

לאורך התקופה בה שהו לוחיות ההתיישבות בים ניתן לעקוב הן אחר הצטברות מתיישבים (מספר מתיישבים, Spats) והן אחרי גידול המתיישבים (מספר פוליפים בכל מתיישב). מכיוון שהרוב המכריע של מתיישבי אלמוגים על גבי הלוחיות נמצאו על צידן התחתון, המוגן, של לוחיות המעקב, ניתן ללמוד בעיקר על אספקת מגויסים ויכולתם לשרוד את השלבים הראשונים של ההתיישבות (ללא לחצי טריפה אשר פוגעים במתיישבים בשונית הטבעית).

לרוב, כמות המתיישבים באתר המעבדה היא הנמוכה ביותר, אך השנה נמצאו שם מתיישבים רבים יותר מאשר באתר קצא"א, ובאתר השמורה נמצא (גם) השנה המספר הגדול ביותר של מתיישבים. בשנה הקודמת, כמות המתיישבים שנספרו על לוחיות התיישבות באתרי המעבדה והשמורה היתה קטנה מאשר בשנים שקדמו לה, והשנה חזרו כמויות המתיישבים לטווח הערכים הקודמים. בסך הכל נספרו השנה על גבי לוחיות התיישבות באתר המעבדה 225 מתיישבים (לעומת 45 בשנה הקודמת ו-115 בשנת 2021, על פני אותה תקופה). באתר השמורה נספרו השנה 400 מתיישבים (365 מתיישבים בשנה הקודמת ו-557 בשנת 2021). באתר קצא"א נספרו השנה 181 מתיישבים, בדומה לשנים האחרונות.

הפער בכמות המתיישבים בין האתרים גדל בדרך כלל ככל שנמשכת תקופת המדידה, אך השנה צפיפות המתיישבים באתרי המעבדה והשמורה בסוף התקופה היו דומות (איור ב34). צפיפות המתיישבים הממוצעת למטר

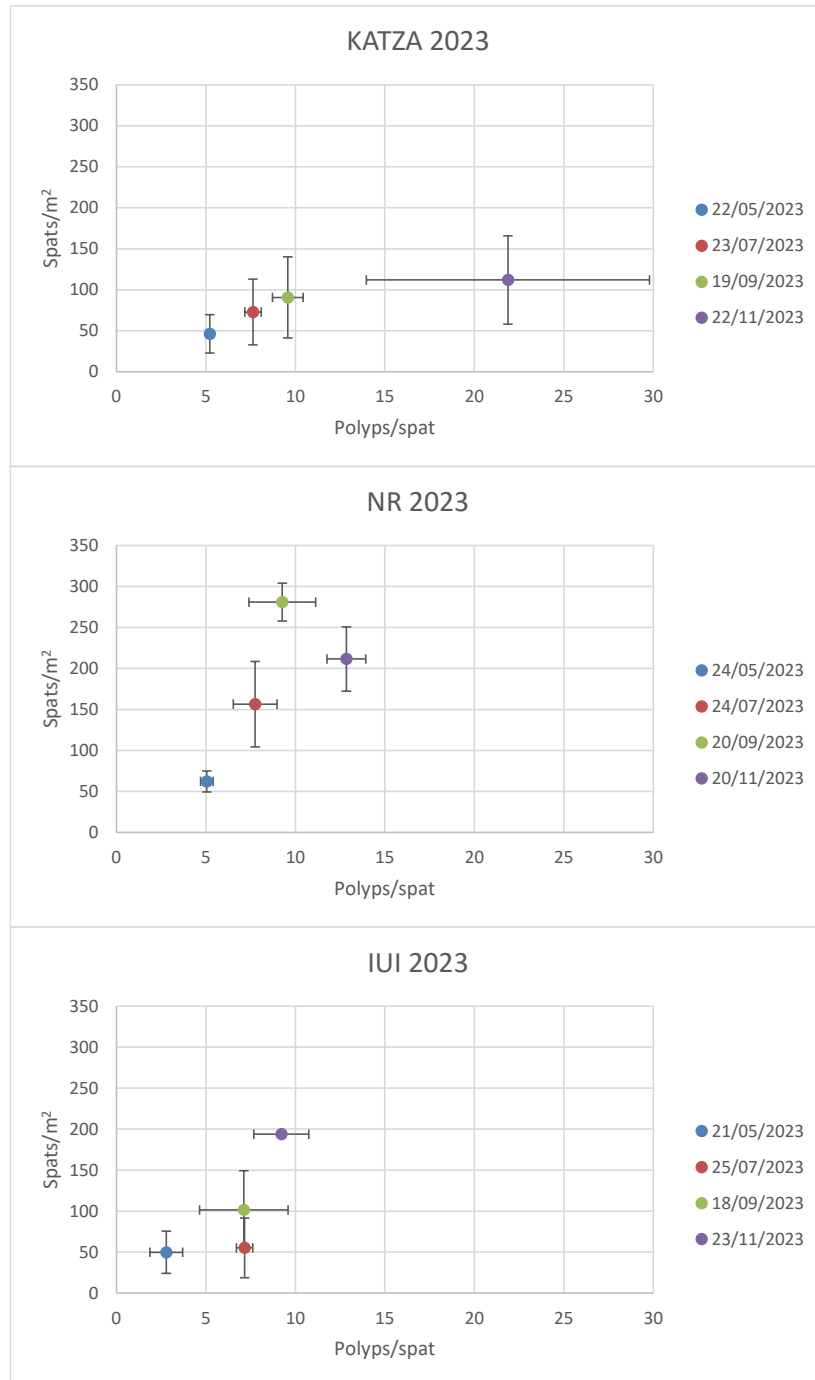
רבע בסוף התקופה עמדה השנה על 194 ± 2 באתר המעבדה, 112 ± 54 בקצא"א ו- 212 ± 39 באתר השמורה. תבנית זו שונה מהתבנית שנצפתה בשנים הקודמות בכך שאתר המעבדה הוא לרוב בעל מספר המתיישבים הנמוך ביותר, בהפרש גדול. צפיפות המתיישבים באתר השמורה היתה בסוף התקופה נמוכה מזו של אמצע התקופה, עובדה העשויה להצביע על עונת גיוס קצרה יותר השנה או על תחלופה של מתיישבים עקב תמותה לאחר הגיוס. מספר הפוליפים הממוצע לאלמוג מתיישב (גודל המתיישבים הממוצע) עלה בכל האתרים ככל שהעונה התקדמה, עדות לגדילה של מגויסים אשר שרדו. גדילת המתיישבים באתרים המעבדה והשמורה היתה השנה דומה, וזאת בניגוד לשנים הקודמות בהן גדילת מתיישבים בשמורה היתה רבה יותר. באתר קצא"א נמצאו בסוף התקופה מעט מתיישבים גדולים במיוחד. הבדלים בכמות ההתיישבות ובגדילת המתיישבים עשויים להצביע על תקופת גיוס ארוכה יותר ו/או על שרידות טובה יותר של מגויסים באתר זה או אחר.



איור ב34: למעלה – צפיפות המתיישבים הממוצעת (למטר רבוע) בכל אתר בפרקי הזמן הנדגמים השנה. למטה – מספר הפוליפים הממוצע לאלמוג מתיישב (גודל האלמוג).

Figure B34: Top – the average density of coral spats (per m²) at different time intervals this year. Bottom – the average number of polyps per spat (size).

תבנית גיוס אלמוגים על פני התקופה אפריל-נובמבר 2023 מוצגת באיור ב35. התיישבות אלמוגים החלה בפרק הזמן הראשון (חודשים אפריל-מאי) עם מספר מתיישבים דומה בתקופה זו בכל האתרים. בתקופה הבאה מספרי האלמוגים המתיישבים על לוחיות באתר המכון לא גדלו באופן ניכר, אך מספר הפוליפים הממוצע למגויס גדל ואילו באתרי השמורה וקצא"א נמצאו בתקופה זו הן גידול בכמות המתיישבים והן במספר הפוליפים הממוצע למתיישב. בהמשך העונה מגמה זו נמשכה במתינות באתר קצא"א, ואילו באתרי המעבדה והשמורה נמצא גידול מהיר יותר במספר המתיישבים עם גידול קטן יותר בגודלם. באתר השמורה נמצא על גבי לוחיות שהוצאו בסוף העונה (נובמבר) מספר קטן יותר של מתיישבים מאשר על גבי לוחיות שהוצאו בחודש ספטמבר. בשנים קודמות נצפתה באתרים קצא"א והמכון תבנית דומה של התיישבות של אלמוגים חדשים בחלקה הראשון של התקופה ולאחר מכן נראית צמיחה רציפה של המגויסים. השנה נוספו באתר המעבדה מתיישבים רבים גם בחלקה השני של העונה, בדומה לאתר השמורה.

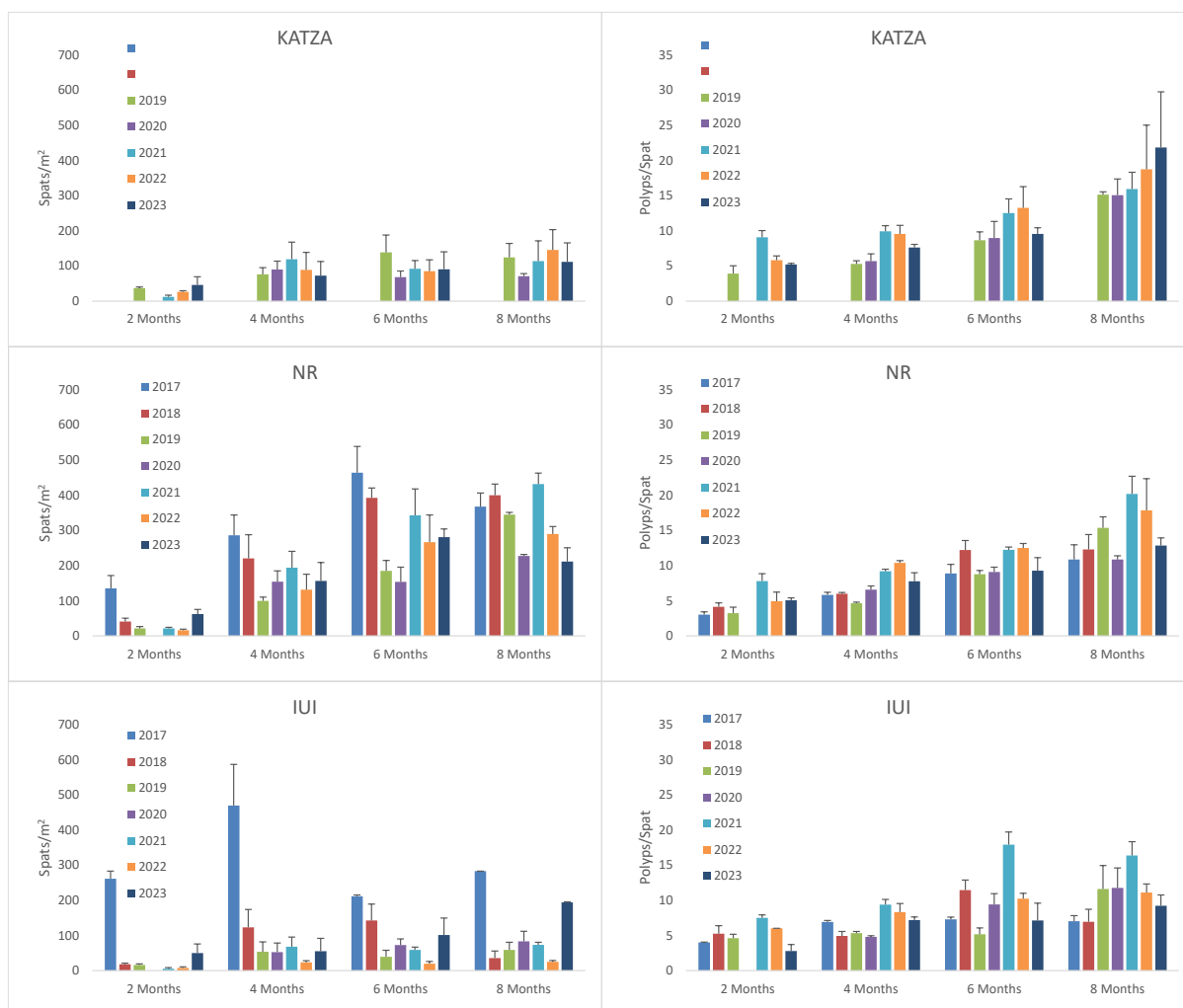


איור ב35: מספר המגוייסים הממוצע כנגד מספר הפוליפים הממוצע למגוייס (גודל המגוייסים) באתרים קצא"א (למעלה), השמורה (באמצע) והמכון (למטה) במשך התקופה הנבדקת.

Figure B35: The average number of recruits found on coral settlement plates versus the average number of polyps per recruit (recruit size) at the KATZA site (top), the nature reserve (middle) and the Interuniversity site (bottom), throughout the examined period.

ניטור מגוייסים לשונית מבוצע במתכונתו הנוכחית מאז שנת 2017 ובפרק זמן זה עדיין אין אפשרות להסיק מסקנות ברורות לגבי הבדלים בין השנים. עם זאת, ניתן לעקוב אחר תבנית הגיוס העונתית בשנים האחרונות בשלושה אתרי שונית עיקריים, אתרי קצא"א, השמורה ואתר המכון (איור ב36). לרוב, כמות המגוייסים באתר השמורה גדולה יותר והם גדלים טוב יותר מאשר באתרים האחרים. באתר המעבדה תבנית ההתיישבות פחות ברורה ונראה כי בדרך כלל עונת ההתיישבות שם קצרה יותר ואולי ישנה גם מגבלת שרידות גדולה יותר, אך השנה נמצאה שם עונת גיוס ארוכה וגדילה מתמשכת לאורך העונה. לאור ההבדלים בין השנים, נראה כי בשלב זה

כמות הנתונים אינה מאפשרת לקבוע האם ההבדלים בתבנית ההתיישבות והגדילה בין האתרים ובין השנים קבועים, והאם הם נובעים מהבדלים באספקה או בקשיי גיוס וגדילה.



איור ב36: השוואה בין השנים ובין העונות באתר השמורה (למעלה), בקצא"א (באמצע) ובאתר המכון (למטה). משמאל – צפיפות המתיישבים הממוצעת בכל אתר בפרקי הזמן הנדגמים. מימין – מספר הפוליפים הממוצע למגויס. Figure B36: Inter-annual and seasonal comparison of coral settlement at the Nature Reserve (top), Katza (middle) and Interuniversity Institute (right). Left – the average density of coral spats at different time intervals between. Right – the average number of polyps per spat (size).

ב.4. סקר חסרי חוליות ניידים בשונית

מטרה

אמזן שיפעת חסרי החוליות הניידים העיקריים בשונית האלמוגים בחוף הדרומי של אילת.

שיטות

סקר חסרי החוליות הניידים נערך בשעות הלילה, מכיוון שבשעות היום מרביתם מסתתרים. הסקר מתמקד בשוניות האלמוגים במעבדה הימית ובשמורת חוף אלמוג (באזור הסגור למבקרים) בעומקים 5 ו-10 מטרים (במקביל לעומקים בהם נערכים חתכי האלמוגים), ובלגונה. הספירה מתחילה כשעה אחר רדת החשיכה, לאחר יציאת חסרי החוליות ממסתורם לשם שיחור מזונם. החל מ-2006 מבוצע הסקר בשיטת מקטעי-רצועה (belt-transect) לעומת ריבועי דגימה (quadrates) סדורים בשנים 2004-2005. מקטעי הרצועה, באורך 50 מטרים, נפרסים החל מנקודה שרירותית לאורך העומק הנבחר. מנקודת ההתחלה מתקדם צולל המחזיק מתקן בצורת T וסופר כל פרט הנמצא תחת המוט הניצב, אשר אורכו מטר אחד (איור ב37). בשיטה זו ניתן לכסות שטח גדול ביעילות רבה, ובמקרה זה את מרבית שטחו של כל אתר לאורך קו העומק הנבחר, עובדה בעלת חשיבות עקב מספרם הקטן של חסרי החוליות. מירב השטח באתר נסקר לאורך קו העומק המבוקש לקבלת ספירה מדויקת ככל האפשר, אולם אבדה יכולת ההערכה של פרמטרים סטטיסטיים התלויים בחזרות רבות של יחידות מדידה קטנות הדוגמות את האתר. הפרטים הנספרים, חסרי החוליות הניידים (קוצי עור ורכיכות), מסווגים לפי סוג או משפחה.



איור ב37: שיטת חתכי הרצועה לסקר חסרי חוליות ניידים: לאורך סרט מדידה עובר הסוקר האוחז מוטות צלובים בצורת T וסופר את הפרטים הנמצאים תחת המוט הניצב, אשר אורכו מטר אחד. נסקרת רצועה אשר אורכה נקבע על ידי סרט המדידה ורוחבה על ידי המוט הניצב (1 מ'). צילום: תומר שאולוב

Figure B37: Belt-transect survey of motile invertebrates: a diver holding a T-shaped stick passes along a measuring tape counting the individuals found under the cross-arm. This makes a sampling unit whose length is defined by the measuring tape and whose width by the 1 meter long cross-arm. Photo: Tomer Shaulov

תוצאות

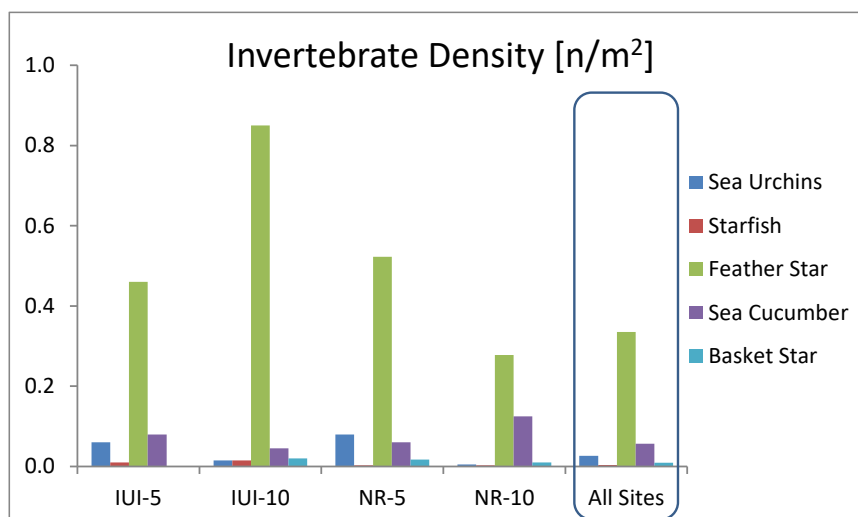
השנה נסקרו בכל האתרים 1100 מטרים רבועים, לפי הפירוט בטבלה ב6. השטח הנסקר השנה היה קטן מאשר בשנים קודמות ומספר הפרטים שנמצאו עבור רוב היצורים הנסקרים היה קטן מכדי שלצפיפות המחושבת תהיה משמעות (מקרים אלה צבועים אפור בטבלה).

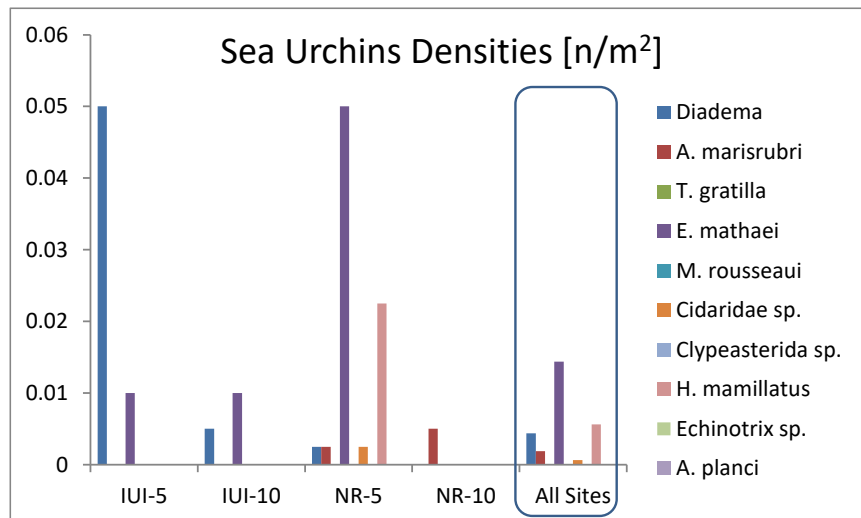
טבלה ב6: שכיחות (מספר הפרטים וצפיפותם למ"ר) חסרי החוליות הניידים באתרים הנסקרים.

Table B6: Total abundance and average density (number per 1m²) of mobile invertebrates at the monitored sites.

	IUI-5		IUI-10		NR-5		NR-10		Lagoon	
	Density	Number	Density	Number	Density	Number	Density	Number	Density	Number
Diadema	0.05	5	0.005	1	0.003	1		0		
Other Urchins	0.01	1	0.01	2	0.078	31	0.005	2		
Total Urchins	0.06	6	0.015	3	0.08	32	0.005	2		
Starfish	0.01	1	0.015	3	0.003	1	0.003	1		
Feather star	0.46	46	0.85	170	0.523	209	0.278	111		
Sea Cucumber	0.08	8	0.045	9	0.06	24	0.125	50		
Basket Star		0	0.02	4	0.018	7	0.01	4		
m ² surveyed		100		200		400		400		

קבוצת הרועים החשובה ביותר בשונית מבין חסרי החוליות היא קיפודי הים, אשר להם תפקיד חשוב בנקיון השונית מאצות. ברוב שנות הניטור קבוצת קיפודי הים היתה הקבוצה הנפוצה ביותר בסקרי הניטור כאשר הקבוצה השנייה הנפוצה היא חבצלות הים, אולם בשנים האחרונות התהפכו היוצרות וקבוצת חבצלות הים נפוצה יותר באתרי הניטור מאשר קיפודי הים (איור ב38). השנה נמדדה ירידה נוספת בצפיפות קיפודי הים, אפילו בהשוואה לשנה הקודמת ונכון לסקר זה צפיפות קיפודי הים בשוניות אילת נמוכה ביותר. בין קיפודי הים, ברוב השנים היה המין הנפוץ ביותר *Diadema setosum*. בשנים האחרונות נצפתה עליה בשיפעת קיפודי ים מסוגים אחרים באתרי הלגונה והשמורה הרדודה וקיפוד הים *Echinometra mathaei* היה נפוץ יותר. בשנה הקודמת עלתה מעט צפיפות הקיפוד *D. setosum*, בעיקר באתר השמורה הרדוד, והוא חזר להיות הנפוץ ביותר. השנה פגעה מחלה בקיפודי הים באילת, ובפרט בקיפוד הים *D. setosum*, וקיפוד זה כמעט ולא נמצא באתרים הנסקרים וכך שוב, הקיפוד הנפוץ ביותר השנה היה *E. mathaei*. צפיפות קיפודי ים גדולה ביותר באתרים הרדודים, אך השנה רק באתר השמורה הרדוד נמצאו יותר מקיפודים ספורים. בשנת 2014 נצפה לראשונה בסקרי הניטור נחשונק (*Basket Star*, *Astroboa nuda*) ומאז מתרבות התצפיות של יצור זה. בשנתיים הקודמות נספרו 23 פרטים בסך הכל בכל האתרים, והשנה נספרו 15 בלבד (אף כי, כאמור, השטח הנסקר היה קטן יותר). נראה שיצור זה הולך ומתבסס באילת.





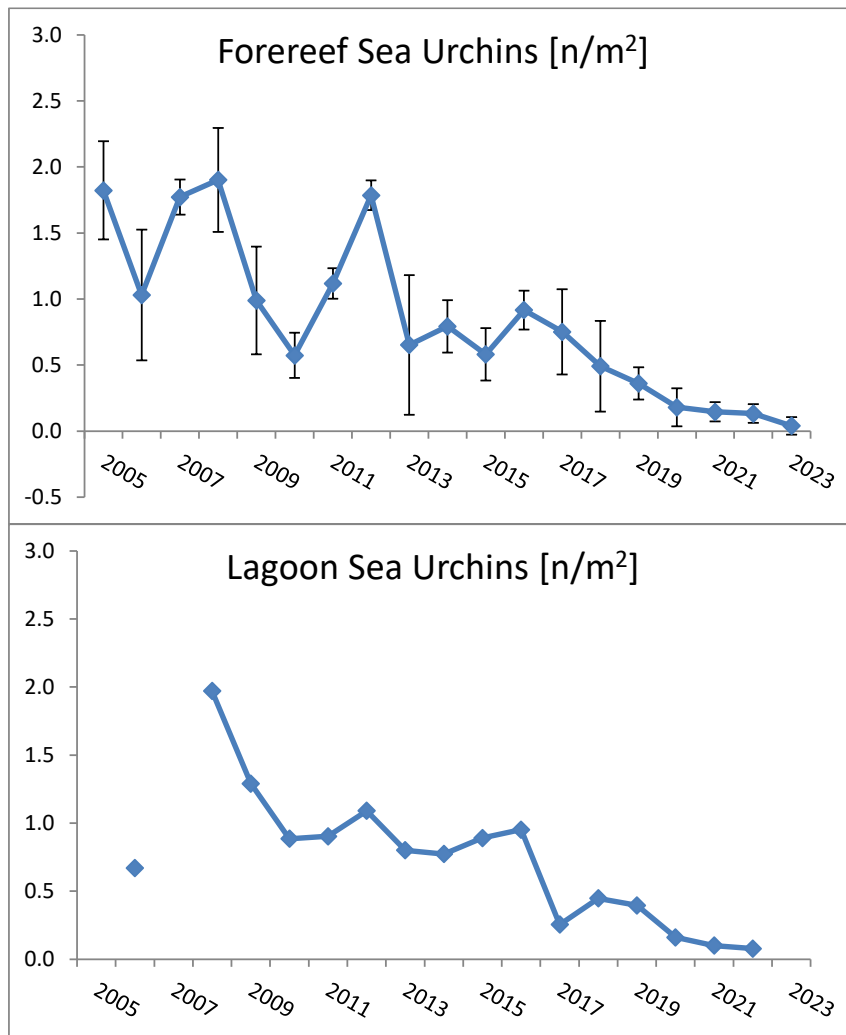
איור ב38: הצפיפות הממוצעת (פרטים למ"ר) של כלל חסרי החוליות הניידים (למעלה) וקיפודי ים (למטה) באתרי הניטור.

Figure B38: The average density (per m²) of all mobile invertebrates (top) and sea urchins (bottom) at the sampling sites.

במשך שנות הניטור נמדדו תנודות גדולות בצפיפות קיפודי ים אך במבט לאורך זמן נראה שאוכלוסיית הקיפודים באתרי אילת קטנה במשך תקופת הניטור, ובפרט מאז שנת 2016 (איור ב39). בשנים האחרונות צפיפות קיפודי הים כל כך קטנה שקשה לעמוד על תנודות שנתיות ולמעשה נדמה שהאוכלוסיה קרסה. השנה נספרו בכל האתרים הנסקרים 43 פרטים של קיפודי ים מכל הסוגים. זה פחות מרבע ממספר הקיפודים בשנה הקודמת, וכחמישית מהמספר בשנת 2021. גם בהתחשב בכך שהשטח הנסקר השנה היה קטן יותר מאשר בשנים קודמות (קטן בכ-30%) – תוצאות אלה מדאיגות ביותר.

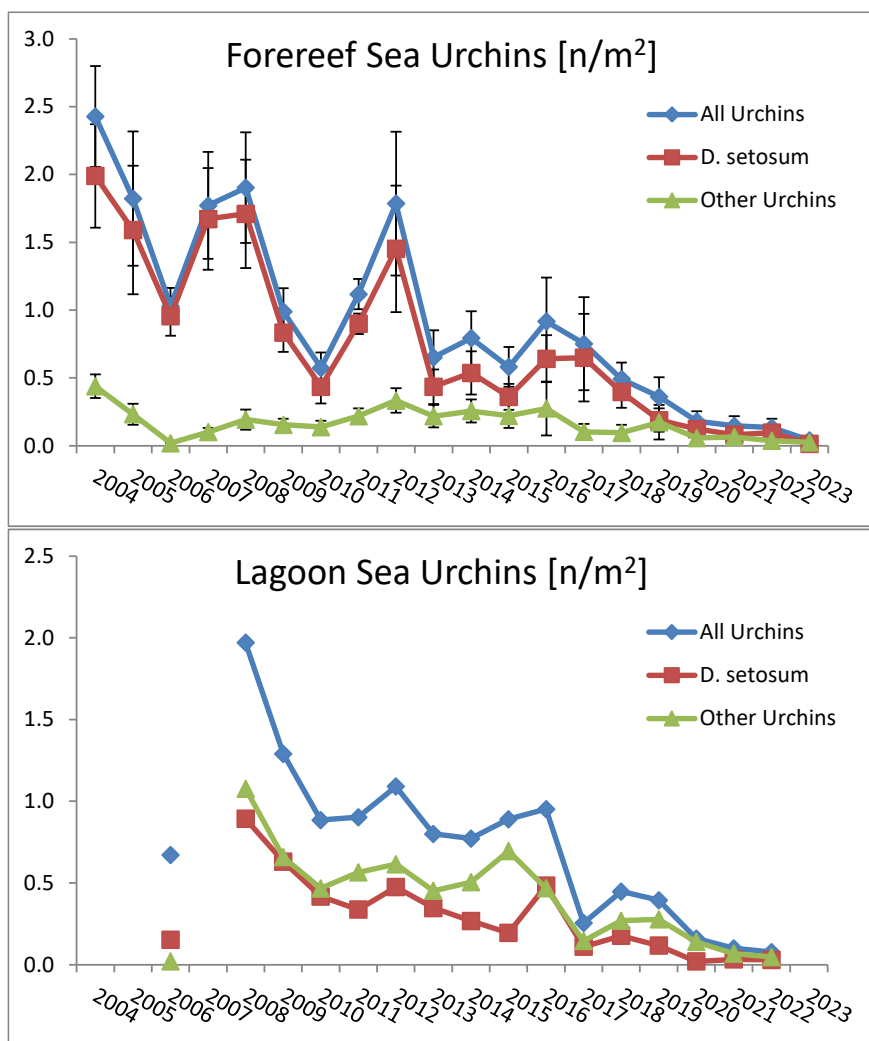
צפיפות גבוהה של קיפודי ים נמדדה בשנים הראשונות לניטור (2004-5) וכן בשנים 2007-8 ובשנת 2012. בין שיאים אלה מפרידות שנים בהן צפיפות האוכלוסיה קטנה בכ-50%. השינויים בצפיפות קיפודי הים שיקפו, כנראה, מחזוריים טבעיים בגודל האוכלוסייה, או השפעות סביבתיות מחזוריות כגון עומק הערבוב ואספקת מזון. עומק ערבוב קטן בשנים הקודמות ל-2022 בתוספת פגיעתן של סערות דרומיות חזקות ובפרט הסערה החזקה במרץ 2020, פגעו באוכלוסיית הקיפודים באופן ניכר. בשנה הקודמת, על אף עומק ערבוב גדול לא זינקה אוכלוסיית הקיפודים בחזרה ונראה היה שהאוכלוסיה קטנה מכדי להגיב במהירות לשינוי.

בנוסף לכך, לאחר שנצפתה בים התיכון, אובחנה בחודש ינואר השנה תמותה המונית של קיפודים מהמין *D. setosum* גם באילת ובמקומות אחרים, אשר נקשרה בהתפרצות פתוגנים חיידקים. בחודש פברואר גם תועדה תמותה של קיפודים מהסוג *Tripneustes*. נראה כי אוכלוסיית הקיפודים באילת קטנה מכדי להתמודד עם פגיעות אלה והתאוששות, אם תרחש, תהיה איטית.



איור ב39: הצפיפות הממוצעת (פרטים למ"ר) של כלל קיפודי הים באתרי קדמת השונית (למעלה) ובלגונה (למטה).
Figure B39: The average density (individuals per m²) of all sea urchins at the fore-reef sites (top) and at the lagoon (bottom).

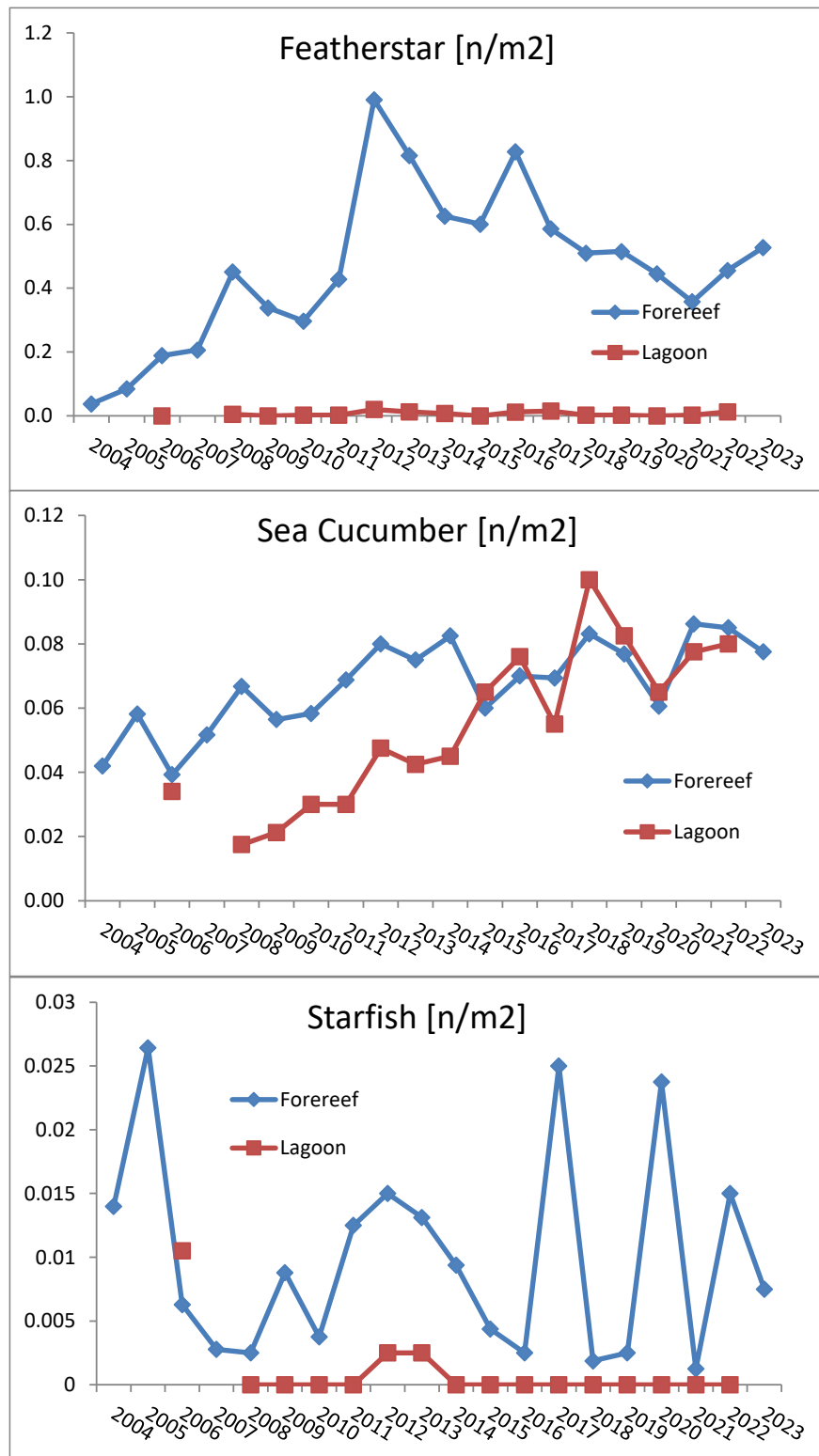
באתרי קדמת השונית תבנית השינוי המחזורי בגודל אוכלוסיית קיפודי הים עוקבת אחרי התנודות באוכלוסיית *D. setosum* ואילו בלגונה תלות זו פחות בולטת (איור ב40). בלגונה צפיפות קיפוד הים מהמין *E. mataei* היא הגדולה ביותר.



איור ב40: הצפיפות הממוצעת (פרטים למ"ר) של קיפודי הים *Diadema setosum* ושל קיפודי ים אחרים בקדמת השונית ובלגונה.

Figure B40: The average density (individuals per m²) of *Diadema setosum* and other urchins at the forereef and lagoon sites.

צפיפות חבצלות הים באתרי קדמת השונית עלתה במידה רבה מאז שנות הניטור הראשונות, ונמצאה בשיא בשנת 2012. מאז ירדה צפיפות החבצלות אך נותרה גבוהה יחסית לשנות הניטור הראשונות (איור ב41). בלגונה צפיפות חבצלות ים קטנה במידה ניכרת מאשר בקדמת השונית לאורך כל תקופת הניטור. מאז תחילת הניטור נמצאת אוכלוסיית מלפפוני הים בעליה מתמשכת בכל האתרים. בשנתיים הקודמות נמצאה ירידה מסויימת אך השנה הצפיפות המלפפונים גבוהה יותר מאשר בשנה הקודמת. צפיפות כוכבי ים נמוכה בכל האתרים, אם כי גבוהה יותר בקדמת השונית מאשר בלגונה. צפיפותם של מלפפוני ים וכוכבי ים נמוכה מאד ועל כן קשה להסיק לגבי תנודות מחזוריות או שינויים מגמתיים, גם בהינתן שנות הניטור הרבות.



איור ב41: הצפיפות הממוצעת (פרטים למ"ר) של חבצלות ים (למעלה), מלפפוני ים (באמצע) וכוכבי ים (למטה) באתרי קדמת השוניית ובלגונה.

Figure B41: The average density (per m²) of feather-stars (top), Sea Cucumbers (middle) and Sea Stars (bottom) at the fore-reef sites and the lagoon.

ב.5. קצב גידול מאקרו-אצות בשונית

מטרה

אומדן קצבי ההתיישבות והצמיחה של אצות צמודות-מצע וחשיבות הרעייה לויסות כמות האצות.

שיטות

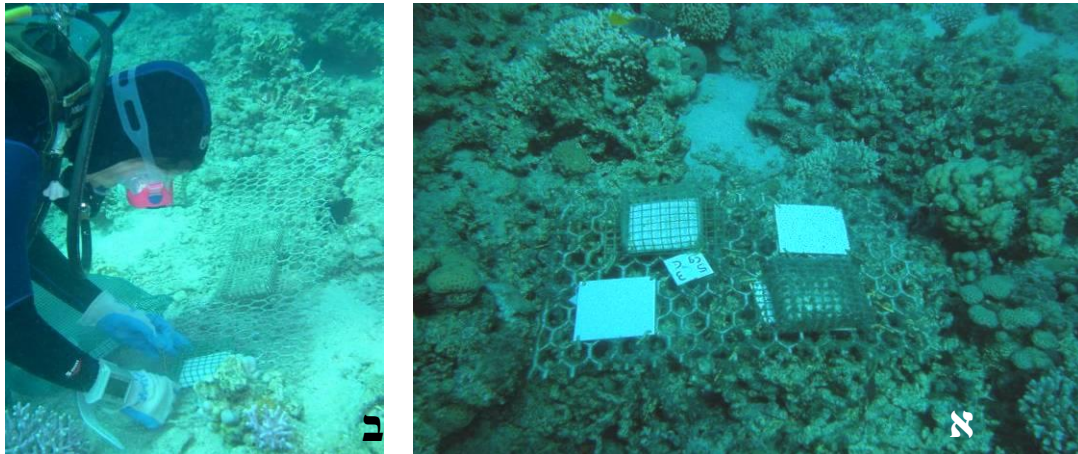
שלושה מערכים בהם שני זוגות של לוחיות PVC סמוכות, שגודלן 10X10 ס"מ וצידן העליון חוספס על מנת להקל על התיישבות אצות, הוצבו באופן שרירותי בעומקים שבעה עד עשרה מטרים בשונית שמול המכון הבין-אוניברסיטאי. בשנת 2007 הוצבו מערכים דומים גם בחלקה הדרומי של שמורת חוף אלמוג, בעומקים 20 מ', 5 מ', ובלגונה. בכל מערך שתי לוחיות חשופות ושתי לוחיות מכוסות כלוב מתכת בעל גודל עין של 1X1 ס"מ (איור ב42). הלוחיות משמשות להתיישבות אצות צמודות מצע, ומהוות מודל להתיישבות אצות בשטחים חשופים בשונית. אחת לחודש מוחלף בכל מערך זוג מצומד של לוחיות (חשופה-מכוסה) בלוחיות נקיות – זמן השהות בים של כל לוחית כחודשיים.

האצות מגורדות מהלוחיות שהוצאו מהמים ומסוננות על פילטר סיבי זכוכית GF/A. הפילטרים מושרים בתמיסת אצטון:מתנול (50:50) (v/v) למיצוי הפיגמנטים הפוטוסינתטיים המשמשים לאומדן מסת האצות. עצמת בליעת האור באורכי הגל המתאימים לפיגמנטים הפוטוסינתטיים (E664, E647, E630) נמדדת ב-Spectrophotometer ומשמשת לחישוב כמות ה-chlorophyll a, הפיגמנט העיקרי באצות אלה, באמצעות המשוואה:

$$[Chl_a] \frac{mg}{cm^2} = (30 \cdot (11.85E_{664} - 1.54E_{647} - 0.08E_{630})) / 100$$

הלוחיות המוגנות על ידי כלובי המתכת משמשות לאומדן כמות האצות הפוטנציאלית, בכך שהכלובים מונעים רעייה של דגים, קיפודי ים, וחלזונות גדולים שהם הצרכנים העיקריים של אצות אלה. פוטנציאל הגידול של אצות נשלט במידה רבה על ידי זמינות חומרי המזון (נוטריינטים) במים. הלוחיות החשופות מהוות מדד לכמות האצות בפועל וכך גם למידת הרעייה על אצות.

בשל השונות הגבוהה של כמות האצות (= ריכוז chlorophyll a) על לוחיות הניסוי, כל מדידה חודשית מחושבת על-פי ממוצע שלוש הלוחיות המוגנות ושלוש הלוחיות החשופות שהוצאו באותו אתר באותו חודש. בכל המקרים בהם מופיעים קווי שגיאה, הם מייצגים את שגיאת התקן (Error bars represent the standard error).



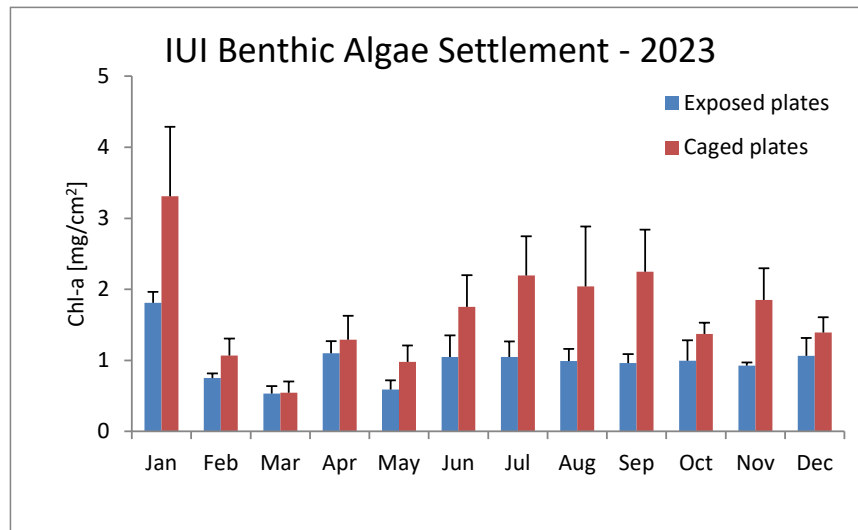
איור ב42: (א) מערך של לוחית התיישבות. שתי לוחיות חשופות לרעייה, ושתיים מוגנות על ידי כלוב מתכת. צילום: ניצן שגב (ב) החלפת לוחיות בצלילה, מדי חודש מוחלפות הלוחיות ששהו חודשיים בים. צילום: רותי ריף
Figure B42: Algae settlement plates. (A) Two plates in the array are exposed to grazing by herbivores, and two are protected by a wire cage. Photo: Nitzan Segev (B) Every month divers replace the two settlement plates that have been in the sea for two months. Photo: Ruti Reef.

תוצאות

לאחרונה נתקלנו לעיתים בתבנית עונתית של צמיחת אצות ישיבות המראה שיאים בפוטנציאל הגדילה דווקא בחודשי הקיץ והסתיו. השנה שיא פוטנציאל הצמיחה נמדד דווקא בחודש ינואר (3.31 mg/cm^2) אך גם בחודשי הקיץ, יולי-ספטמבר, נמצא על לוחיות מוגנות (= פוטנציאל גידול האצות בשונית) ריכוז כלורופיל גבוה מאשר

בשאר חודשי החורף והאביב (איור ב43). פריחת מאקרו-אצות השנה היתה ממושכת וחזקה פחות מאשר בשנה הקודמת בה ערבוב עמודת המים היה עמוק ושיא הפוטנציאל הנמדד היה 5.33 mg/cm^2 , בחודש פברואר 2022. עם זאת, הערך הנמדד השנה גבוה מזה של לפני שנתיים, אז שיא הפוטנציאל הנמדד אירע בפריחת קיץ, mg/cm^2 2.90 בחודש יולי 2021.

צמיחת אצות בפועל (= ריכוז הכלורופיל על גבי לוחיות התיישבות חשופות לרעייה) עוקבת לרוב אחר השינויים בפוטנציאל וההפרש ביניהם קטן, אך בחודשים בהם פוטנציאל הצמיחה גבוה נמצא הפרש גדול יותר בינו ובין הצמיחה בפועל. כך, בחודש ינואר השנה נמדד שיא של 1.81 mg/cm^2 על גבי הלוחיות החשופות, ונראה כי בחודשים אלה הרעייה אינה מגיבה מהר מספיק לצמיחת האצות והתבנית העונתית ניכרת הן בפוטנציאל צמיחת האצות והן בגידול האצות בפועל.



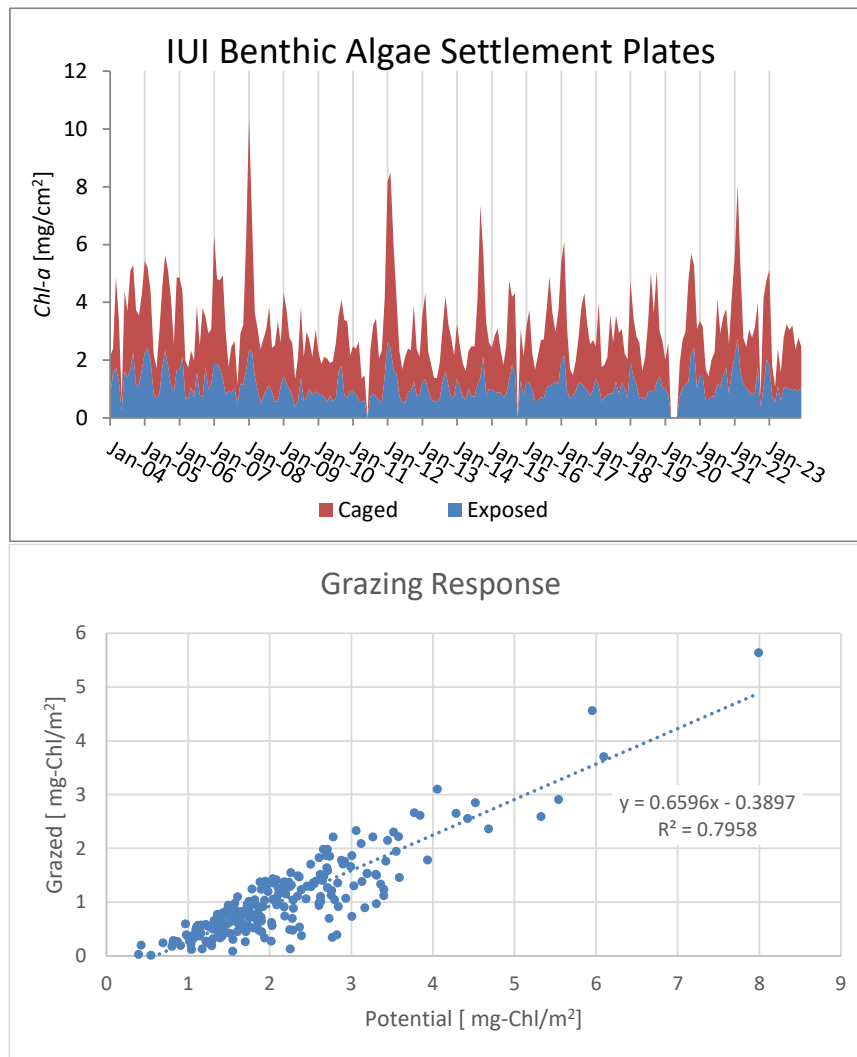
איור ב43: ממוצע כמות chlorophyll a על לוחיות חשופות ומוגנות בכלובים בשנת 2023. כל עמודה מייצגת חודש אחד (מחושבת על-פי שלוש לוחיות ששהו בים חודשיים).

Figure B43: Average chlorophyll a on exposed and caged settlement plates in 2023. Each bar represents one month (calculated as an average of three plates submerged in the sea for two months).

בהרבה מהשנים נמצאו שני שיאים בפוטנציאל פריחת האצות הישיבות, חורף וקיץ, כאשר בשנים של ערבוב עמוק ערך השיא של החורף גבוה מזה של הקיץ. בספטמבר 2014 נמדד שיא בפוטנציאל פריחת אצות ישיבות שהיה חריג בעצמתו עבור שנה של ערבוב רדוד, 5.96 mg/cm^2 , ולא נמצא לו הסבר מספק, אם כי ברור שאינו תוצאה של ערבוב עמודת המים המגיע לשיאו בחורף וגורם לשיא פריחה אז. בשנים 2015-2020 פוטנציאל גידול האצות נותר נמוך יותר, אם כי השיאים הנמדדים לרוב גבוהים מאלו של שנות ערבוב רדוד בתקופה שלאחר 2007.

פוטנציאל גידול האצות הגבוה ביותר שנמדד על גבי לוחיות מוגנות מרעיה מול המעבדה הימית במסגרת תכנית הניטור היה 7.99 mg/cm^2 , בינואר 2008, שנה בה היה ערבוב עמודת המים עמוק במיוחד. גם בשנים 2007, 2012 ו-2022 היה ערבוב עמוק של עמודת המים, ונמדדו שיאים בפוטנציאל גידול אצות ישיבות באתר המעבדה הימית (איור ב44).

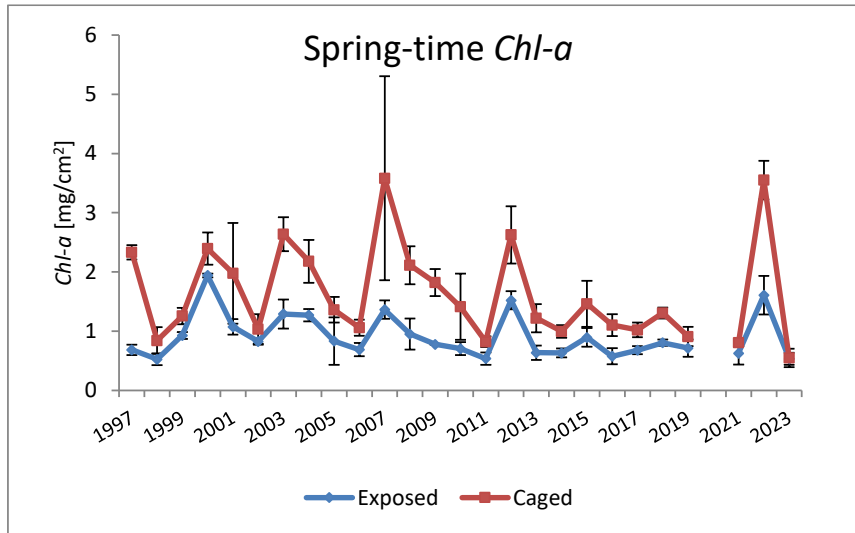
כמות האצות על גבי לוחיות החשופות לרעייה קטנה מהפוטנציאל המגולם בלוחיות המוגנות. ברוב המקרים משרעת ערכי הכלורופיל בלוחיות החשופות קטנה בהרבה מזו של הפוטנציאל, עדות ליעילות הרעייה בווסות כמות האצות. בשנים בהן פוטנציאל האצות נמוך ההבדלים בין הלוחיות החשופות והמוגנות קטנים מאד. בשנים בהן הפוטנציאל גבוה עשוי להיווצר מרווח זמן (time lag) בין הגידול המהיר של האצות ובין ויסות הגידול באמצעות רעייה. מרווח זה נגרם מירידה בלחצי הרעייה לגרם אצה בשלב בו האצות גדלות במהירות. בסיכומו של דבר, נראה כי אוכלוסיית הרועים מווסתת את גידול האצות בשונות באופן יעיל, אם כי לעיתים נדרש זמן להתגבר על עלייה מהירה בשיפעת האצות בשנים בהן פוטנציאל הגידול גבוה, ולעולם אינה מנצלת את כל האצות (איור ב44, למטה).



איור ב44: למעלה – ממוצע כמות *Chlorophyll a* ע"ג לוחית חשופות ומוגנות בכלובים מאז 2004. למטה – פוטנציאל (כלורופיל על גבי לוחיות מוגנות) מול לחץ הרעייה (ההפרש בין כמות הכלורופיל על לוחיות מוגנות ובין ריכוזו על לוחיות חשופות).

Figure B44: Top – Average chlorophyll a on exposed and caged settlement plates since 2004. Bottom – Potential (Chl-a from protected, caged, plates) versus grazing pressure (the difference between potential and the realized (chl-a on exposed plates) algae growth).

מול המעבדה מתנהל מעקב רב-שנים, שהחל לפני הקמת תכנית הניטור, אחר כמות הכלורופיל על גבי לוחיות ששהו במים משך חודשיים באביב (מרץ-אפריל) ובו נצפים שינויים גדולים משנה לשנה בפוטנציאל גידול האצות בשונית בעונה זו (איור ב45). על אף שתזמון פריחת האצות הישיבות בשונית (= שיא פוטנציאל גידול האצות/ריכוז הכלורופיל על גבי לוחיות מוגנות מרעה) משתנה משנה לשנה, מאפשרים נתונים אלה השוואה על פני זמן ארוך יותר. בסדרת זמן זו נראה כי פריחה חזקה של אצות ישיבות באביב מתרחשת כל שלוש-חמש שנים, אך בין השיא האחרון של שנת 2012 – שנה של ערבוב עמוק – והשיא של שנת 2022 עברה תקופה ארוכה יותר. בתקופה זו, פריחת האביב של אצות ישיבות היתה חלשה בהשוואה לתקופה שקדמה לה, אולם יתכן כי עיקר פריחת האצות הישיבות בשנים אלה התרחשה דווקא בחודשי הקיץ (ראו דיון למעלה).



איור ב45: ממוצע ריכוז Chlorophyll a בחודשי האביב (מרץ-אפריל) על-גבי לוחית חשופות ומוגנות בכלובים, החל משנת 1997. כל נקודה היא ממוצע של שלוש לוחיות ששהו בים חודשיים.

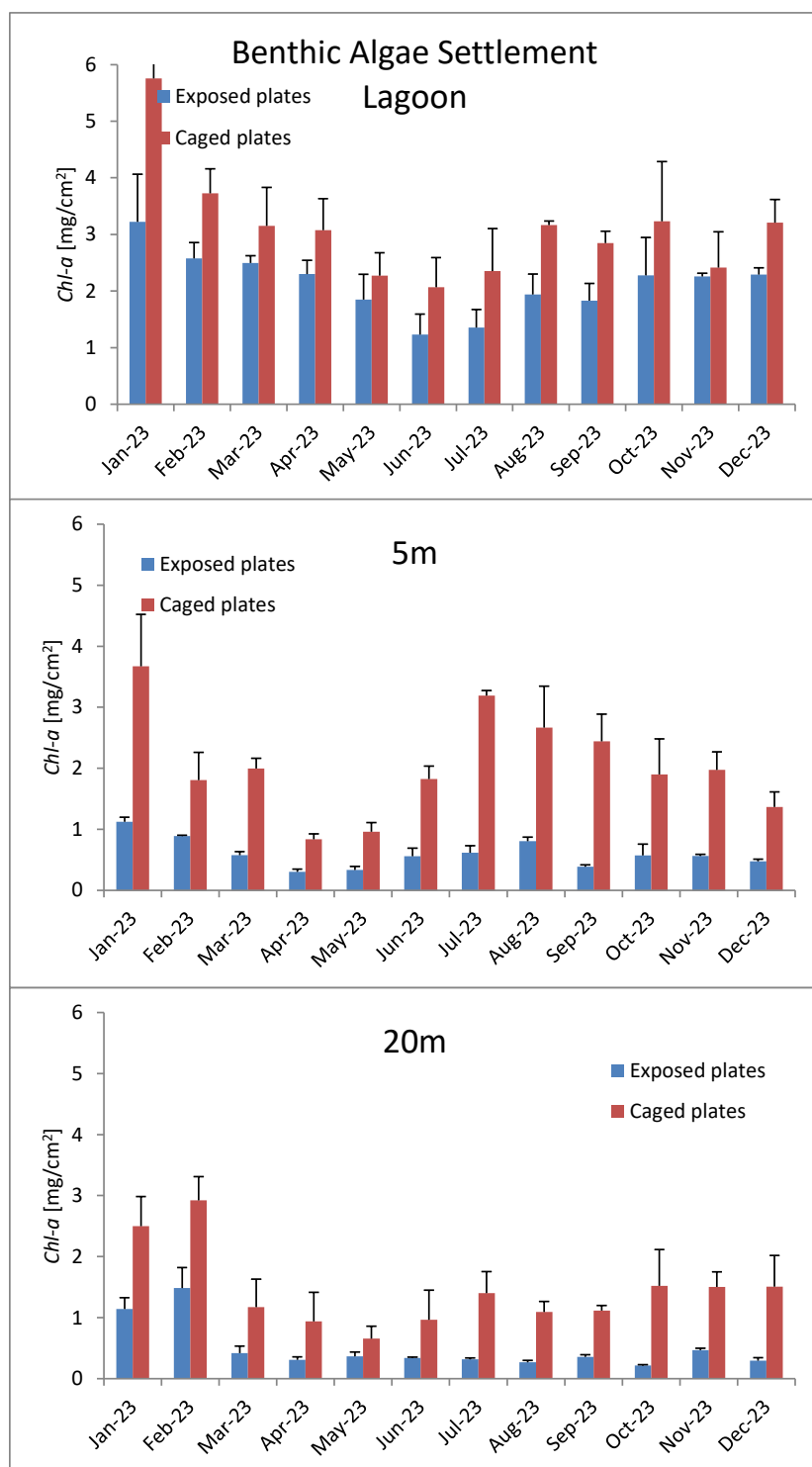
Figure B45: Average chlorophyll a during the months April-May on exposed and caged settlement plates since 1997. Each point is an average of three plates submerged in the sea for two months.

התיישבות אצות צמודות-מצע בחלקה הדרומי של שמורת חוף אלמוג ("הגנים היפנים") נמדדת מאז שנת 2007 בשלושה עומקים מייצגים שלוש סביבות שונות, ובהתאם לכך גם תבנית פריחת האצות הישיבות באתרים אלה אינה זהה (איור ב46). בלגונה עומק המים נע סביב 1.5 מטרים (כתלות בגובה פני הים), ולכן עוצמת האור באתר זה גבוהה יותר מזו שבאתרים האחרים בהם הוצבו לוחות התיישבות. אתר זה גם קשור ישירות לתהליכים חופיים ומאידך, גם חשוף לפעולת גלים בעת סערה והקרקע החולית בו אינה יציבה ועשויה לכסות את לוחיות התיישבות. השילוב בין לוחיות שכוסו לעיתים בחול ובין צמיחת אצות אשר לעיתים מילאו את כל כלובי ההגנה סביב הלוחות גורם לעיתים להבדלים גדולים בין שלושת מערכי הדגימה בלגונה (שגיאות תקן גדולות) ומקשה על ניתוח התוצאות. התבנית העונתית של ריכוזי כלורופיל על גבי לוחיות בלגונה אינה מסודרת, אך למרות זאת, אין ספק כי פוטנציאל גידול אצות ישיבות בלגונה עשוי להיות גבוה בהרבה מזה שבועמקים גדולים יותר. תבנית פוטנציאל פריחת האצות הישיבות (לוחיות מוגנות מרעייה) בלגונה כולל, לרוב, ערכים גבוהים בחודשי החורף וסוף הקיץ ונמוכים יחסית בחודשי האביב והקיץ. תבנית זו בולטת גם השנה, עם ריכוזי כלורופיל מרבי על גבי לוחיות מוגנות, 5.76 mg/cm^2 , בחודש ינואר – בהמשך לערכים הגבוהים שנמדדו בנובמבר-דצמבר של השנה הקודמת. ריכוזי הכלורופיל הנמוך ביותר השנה על גבי לוחיות התיישבות בלגונה היה 2.01 mg/cm^2 , בחודש יוני.

מערכי הלוחיות בעומק 5 מ' מוצבים באזור של סלע שונית ועל כן לרוב אינם מתכסים בסדימנט חולי. ריכוזי הכלורופיל המרביים באתר זה נמוכים לרוב מאלה הנמדדים בלגונה, ודומים לערכים הנמדדים באתר המעבדה הימית בעומק דומה. גם בעומק זה נמצא השנה פוטנציאל גדילה מרבי בחודש ינואר, 3.67 mg/cm^2 , אך ערכים גבוהים נמדדו גם בחודשי הקיץ, יולי-ספטמבר. בשנים האחרונות ערכים גבוהים באתר זה נמדדו דווקא בחודשי הקיץ. בעומק זה ההפרש בין ריכוזי הכלורופיל על לוחיות מוגנות ולוחיות חשופות גדול במשך כל השנה, עדות לפעילות נמרצת יותר של רועים בכל העונות, אך גם כאן ההפרש גדל בחודשי הקיץ.

ריכוזי הכלורופיל על גבי לוחיות בעומק 20 מ' בדרך כלל נמוכים יותר מאשר באתרים הרדודים. עצמת האור בעומק זה נמוכה יותר, והשפעת שינויים בפני הים (גלים, סערות, ותרמוקלינות יומיות) קטנה יותר. משרעת הערכים של ריכוזי כלורופיל על לוחיות מוגנות קטנה יותר בדרך כלל, והשנה נמדד הערך המרבי בחודש פברואר, 2.92 mg/cm^2 . התבנית העונתית השנה בעומק 20 מטרים כללה ערכי שיא בחודשי החורף והרבה פחות ככל שהתקדם הקיץ. ההבדלים בין לוחיות מוגנות ולוחיות חשופות היו גדולים במשך כל השנה.

בכל האתרים נראה כי הרעייה מסוגלת לווסת ביעילות את גדילת האצות בפועל – ריכוזי כלורופיל על גבי לוחיות חשופות לרעה נמוכים משמעותית מאלו של הלוחיות המוגנות. עם זאת, בחודשים בהם פוטנציאל צמיחת האצות גדול, גם הריכוזים (השארתיים) על הלוחיות החשופות גבוהים מאשר בחודשים בהם פוטנציאל הגדילה נמוך. בהתאם לכך, גם ריכוזי הכלורופיל על לוחיות חשופות בלגונה גבוהים לרוב מאלו שנמדדים בעומקים הגדולים יותר. באופן כללי נראה כי הרעה באתר השמורה יעילה יותר מאשר באתר המעבדה.



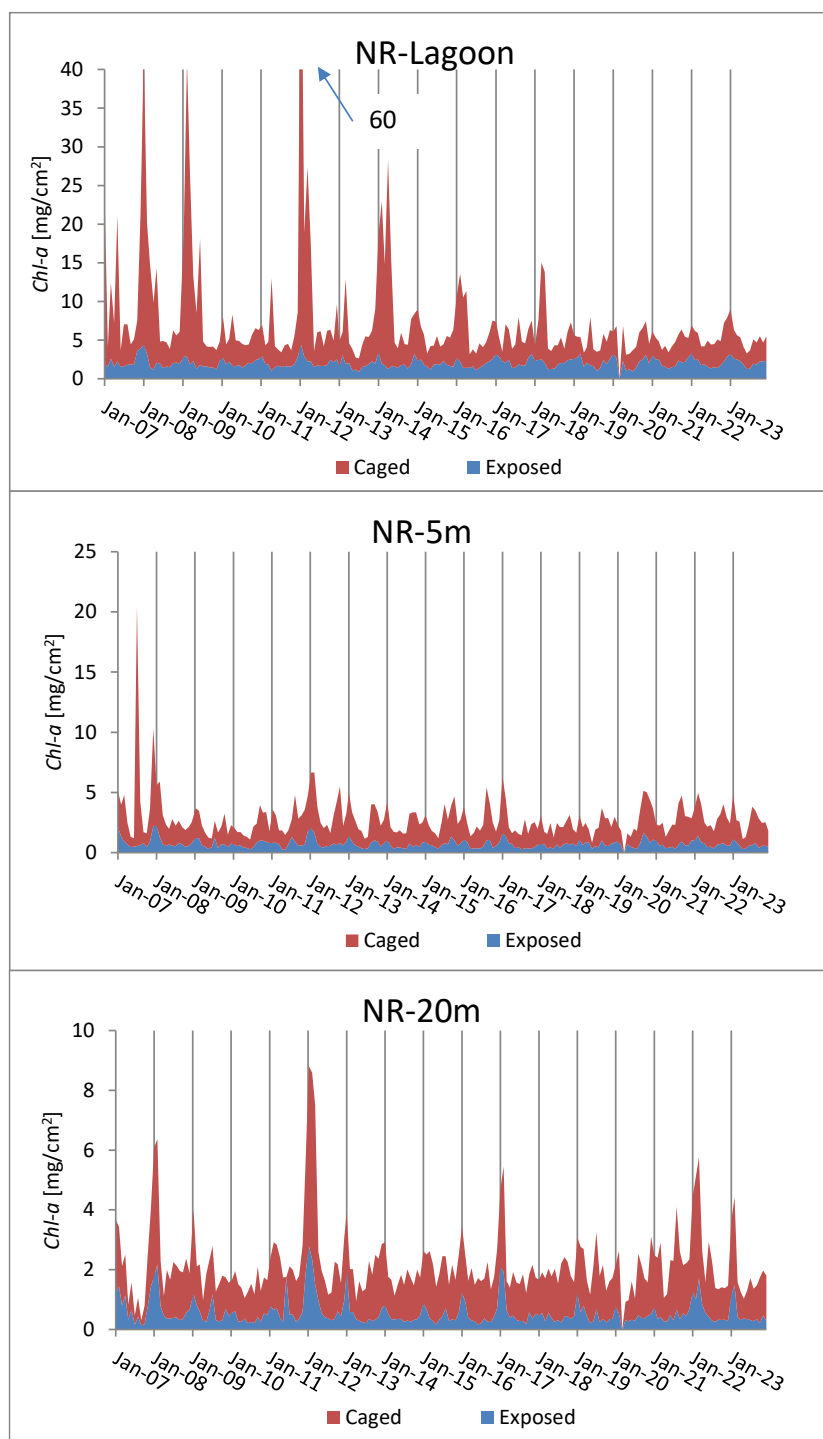
איור ב46: ממוצע כמות Chlorophyll a ע"ג לוחית חשופות ומוגנות בכלובים בשמורת חוף אלמוג בשנת 2023. כל נקודה מייצגת חודש אחד (מחושבת על-פי שלוש לוחיות ששהו בים חודשיים). למעלה – לוחיות שהוצבו בלגונה, באמצע – לוחיות מעומק 5 מטרים, למטה – לוחיות מעומק 20 מטרים.

Figure B46: Average chlorophyll a on exposed (blue) and caged (red) settlement plates at the Nature Reserve in 2023. Each point represents one month (calculated as an average of three plates submerged in the sea for two months). Top – the lagoon, middle – at 5 meters depth, bottom – at 20 meters.

באתר השמורה ריכוזי כלורופיל על גבי לוחיות התיישבות היו השנה דומים לאלה של השנים האחרונות. רק

בעומק 20 מטרים נצפה שיא פריחה משמעותי שהיה מעט נמוך השנה מזה של השנה הקודמת (איור ב47). בשנים של ערבוב עמוק נרשמו לעיתים בשמורה שיאים גבוהים בסדר גודל מאשר בשנים של ערבוב רדוד. באתר העמוק, שמורה בעומק 20 מטרים, נמדד שיא פריחה גם בחורף 2017, וגם זה לא נמצא באתרי השמורה הרדודים יותר.

ההבדלים בין השנים בולטים בעיקר בריכוזים הנמדדים מלוחיות מוגנות המשקפות פריחת אצות ללא ויסות על ידי רעייה. פעילות הרעייה מווסתת ביעילות את צמיחת האצות, בפרט בלגונה (איור ב48), כך שההבדלים בין השנים בריכוזי הכלורופיל על גבי לוחיות חשופות אינם גדולים.



איור ב47: ממוצע כמות Chlorophyll a ע"ג לוחית חשופות ומוגנות בכלובים בשמורת חוף אלמוג מאז שנת 2007. למעלה – לוחיות שהוצבו בלגונה, באמצע – לוחיות מעומק 5 מטרים, למטה – לוחיות מעומק 20 מטרים.
Figure B47: Average chlorophyll a on exposed and caged settlement plates at the Nature Reserve

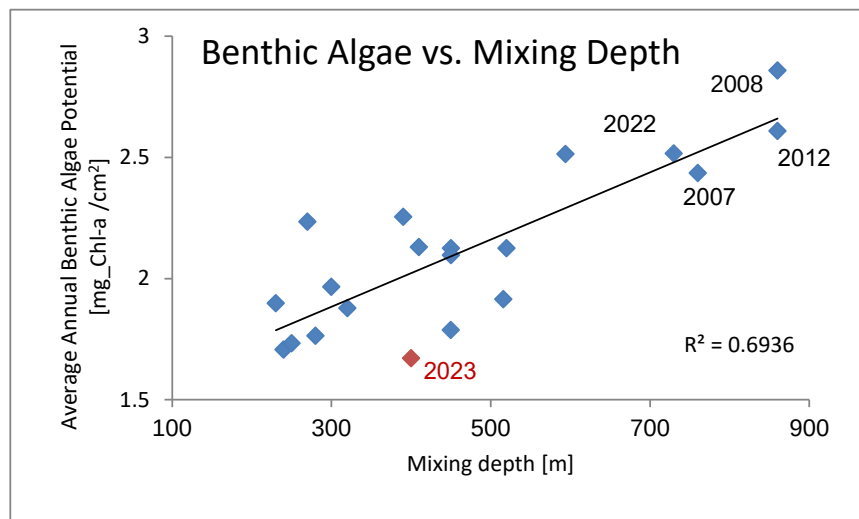
since 2007. Each point represents one month. Top – the lagoon, middle – at 5 meters depth, bottom – at 20 meters.



איור ב48: לוחית התיישבות אצות שהיתה חשופה לרעייה באתר הלגונה.

Figure B48: An exposed algae settlement plate from the lagoon.

ההבדלים בין השנים בממוצע השנתי של פוטנציאל גידול אצות ישיבות באתר המעבדה מצביעים על הקשר ההדוק בין עומק אליו הגיע ערבוב עמודת המים ופריחת אצות ישיבות על גבי מדרונות השונית (איור ב49). פריחת האצות השנה היתה חלשה מהצפוי על סמך עומק הערבוב ומצביעה על כך שבשנים של ערבוב רדוד קשר זה אינו חזק.



איור ב49: הממוצע השנתי של פוטנציאל פריחת אצות צמודות מצע במדרון השונית מול המכון הבינאוניברסיטאי כנגד עומק הערבוב, מאז שנת 2004. שנים של ערבוב עמוק מסומנות.

Figure B49: The annual average potential benthic algae growth on the reef slope across the IUI versus the mixing depth, since 2004. Years of deep mixing are marked.

ב.6. סקר דגי השונית

מטרה

מעקב אחר שינויים בשפעת וכמות דגי השונית העיקריים בשונית שמורת האלמוגים.

שיטות

סקר דגי השונית של תכנית הניטור נערך באתר השמורה מאז שנת 2007 ובאתר המכון מאז 2020. דגי השונית נסקרו עד לשנת 2018 בחלקה הדרומי של שמורת חוף אלמוג, "הגנים היפנים", באזור קדמת השונית בעומקים 5-8 מטרים. תדירות הסקר אחת לשנה, בתקופת הקיץ. עם השנים נוספו אתרים והחל משנת 2020 הוקבלו סקרי הדגים לסקרי השונית במידת האפשר. השנה סקרי הדגים במכון ובשמורה נעשו בהקבלה מלאה לסקרי האלמוגים באותם אתרים ובאותם עומקים. האתרים והעומקים אשר נסקרו השנה הם אתר השמורה (NR) בעומק 5, 10 ו-20 מטרים ואתר המכון (IUI) בעומקים 5, 10 ו-15 מטרים. לשם השוואה אחורה בזמן, אתר השמורה NR 7 שנסקר בעבר מושווה לאתר NR 10 בעל המאפיינים הדומים, אשר נסקר השנה. מתוך כלל אוכלוסיית הדגים נבחרו 70 סוגים על סמך שני שיקולים: (1) דגים עיקריים (2) סוגים מייצגים של קבוצות פונקציונאליות בשונית. הבחירה נעשתה על סמך הניסיון המצטבר בשוניות אילת (Khalaf et al., 2003) ובעצה אחת עם ד"ר ערן ברוקוביץ. בשנת 2016 נעשה שינוי בחלוקת הדגים לקבוצות פונקציונאליות בעקבות (Mouillot et al., 2014), ובעצה עם פרופ' רועי הולצמן מאוניברסיטת ת"א. חלוקת הדגים לקבוצות כמפורט להלן חושבה מחדש עבור כל השנים מאז 2007. סיווג הדגים נעשה לפי סוג המזון, גודל הלהקה, זיקתם לקרקעית ומיקום בעמודת המים לפי המפתח הבא:

זיקה לקרקעית –

Benthic, Benthopelagic, Pelagic

גודל להקה (Schooling) –

Solitary/Pair (sol/Pair), Small Group (3-20), M Group (20-50), L Group (>50)

תזונה –

Herbivorous-Detritivorous: turf or filamentous algae, and/or undefined organic material (H/HD)

Invertivorous - Sessiles: sessile invertebrates (corals, sponges, ascidians) (IS)

Invertivorous - Mobiles: crustaceans etc (IM)

Planktivorous: feeding on small particles in the water column (PK)

Piscivorous: fish and cephalopods (FC)

Omnivorous: both animal and vegetal material (OM)

הדגים נספרו בסדרה של מנסרות ישירות בעלות בסיס מלבני 7X1 מ'. בכל פעם (=צלילה בודדת של צוות הניטור) נדגם מערך סדור של מנסרות סמוכות המופרדות 3 מ' זו מזו לאורך סרט מדידה אשר מיקומו נבחר באופן שרירותי. מימדי המנסרה נקבעו על פי שיקולים של טווח ראייה: על הצולל להיות מסוגל לראות את כל נפח המנסרה בבת אחת והמרחק בין מנסרות נועד לאפשר עבודה בטוחה בצלילה וקשר עין בין דוגמים. יחידות הדגימה עבור דגי עמודת המים הן נפח מנסרה עם בסיס מלבני 7X1 מ' על קרקעית הים ועד לפני המים, ופרק זמן של עשר דקות. עבור הדגים שוכני הקרקעית נסקר בסיס יחידת הדגימה (המנסרה) וכל מושבות האלמוגים המעונפים בתחומה.

קצותיהם של שני סרטי מדידה מחוברים למוט באורך מטר קובעו לקרקעית הים (נקשרו לשונית) ונמתחו במקביל על ידי צולל השוחה עם המוט. קצות רצועות דיגום (אורך כל רצועה 7 מ', בסיס המנסרה) סומנו לאורך סרטי המדידה בעזרת מוטות נוספים. לאחר חלוקת השטח ליחידות דיגום מתרחקים הצוללים וממתינים 5 דקות לאפשר חזרת הדגים לפעילות רגילה. לאחר פרק זמן זה מתחילה ספירת הדגים שוכני עמודת המים אשר עוברים בנפח המנסרה במשך עשר הדקות הבאות. עבור להקות דגים, מספר הדגים בלהקה מוערך על ידי ספירה כמות קטנה של דגים מתוך הלהקה כפול הערכת הנפח של הלהקה כולה. בשל כך, די בשתיים שלוש להקות גדולות על מנת לתרום אחוז ניכר מהדגים הנספרים ולכן נצפות תנודות גדולות בהערכת מספר הדגים בין השנים. לאחר ספירת הדגים השוכנים בעמודת המים במשך עשר דקות, נספרים הדגים שוכני הקרקעית המאכלסים את מושבות האלמוגים בתחומי בסיס המנסרה. יחד איתם נספרות מושבות האלמוגים המאוכלסות והמושבות

בכל אתר נבחנו מבנה חברת הדגים, מדדים שונים של מגוון מינים וצפיפות כללית של המינים שנצפו בחתכים. מכיוון שגודל המדגם בכל אתר משתנה מעט בין השנים ובין אתרים, השוואת הנתונים בין השנים ובין האתרים נעשתה על ידי נרמול מספר הדגים ליחידת דגימה, וכלל המדדים חושבו כערך ממוצע ליחידת דגימה. קווי השגיאה מייצגים רווח בר סמך של 95%.

מבנה חברת הדגים נבחן על ידי שימוש באנליזה רבת משתנים (Multivariate analyses). על מנת לבחון את השוני בין חברות הדגים חושב מדד אי הדימיון (Bray–Curtis dissimilarity index), המתאר עד כמה האתרים שונים אחד מהשני מבחינת הרכב המינים והשכיחות שלהם. השפעתם של האתרים השונים על מבנה חברת הדגים נבחנה באמצעות מבחני ANOVA (Analyses Of Variance). על מנת לבחון מגוון ושוויוניות (evenness) של מיני דגים בין האתרים או השנים השונות, חושבו מדד עושר המינים ומדד שאנון למגוון (Shannon-Wiener Index, Chao et al. 2014). "מספר מינים אפקטיבי" מעריך את המגוון בחברה בהתבסס על עושר ושוויוניות ומבוסס על טרנספורמציה של מדד שנון למגוון (Jost 2006). מדד זה מאפשר השוואה ישירה בין אתרים שונים: אם, למשל, באתר מסוים יש מספר מינים אפקטיבי גבוה פי 2 מאתר אחר, המגוון באתר זה אכן גבוה פי 2. מדד זה מבטא בפרק זה את מגוון המינים.

תוצאות

חברת הדגים היא מאסף כל מיני הדגים החיים בבית גידול מסוים ומקיימים ביניהם יחסי גומלין. מבנה החברה הוא דינאמי ומשתנה כתלות בזמן, במרחב, בעומק, ובאופי בית הגידול. בין מיני הדגים, קיימים מינים להקתיים, נודדים, שאינם קבועי מקום ולכן יהיו חלק מהחברה רק בזמנים מסויימים. לעומתם יש מינים קבועי מקום שתפוצתם מוגבלת וקבועה, ולכן, כל עוד לא חל שינוי דרסטי בבית הגידול, יהיו תמיד חלק מחברת הדגים. לכן, חברת הדגים כפי שהיא נבחנת בשיטה זו מהווה תמונת מצב של החברה בזמן ביצוע הסקר, ויכולה להשתנות בין שנה לשנה בלא שתהיינה לכך סיבות אקולוגיות. עם זאת, הסקרים מתקיימים באותה עונה ועל ידי אותם סוקרים מזה 17 שנה, דבר המאפשר מעקב אחר חברת הדגים לאורך תקופת הניטור.

בסקר השנה נספרו בסך הכל 11,151 דגים ב-135 חתכים בכל אתרי הדגימה, השייכים ל-98 מינים ול-24 משפחות. גודל המדגם ומספר הפרטים בכל אתר נתונים בטבלה ב7 ופירוט תוצאות הסקר נתון בטבלה ב8. בכלל החתכים שנעשו בכל אתרי הסקר נספרו בממוצע 9 ± 76 דגים ביחידת דגימה. מדגם הדגים כלל השנה 1230 דגים השוכנים בצמוד לקרקעית ולמסתור, 7865 דגים נודדים השוכנים בקרבת הקרקעית, וכ-928 דגים חיים בעמודות המים העליונה. כמו כן נספרו 934 מושבות אלמוגים, אשר מחציתן היו מיושבות על ידי דגים. רשימת המינים שנצפו, מספרם ומאפייניהם בששת האתרים הנסקרים נתונה בטבלה ב2 בנספח 3.

השנה לא נמצאו הרבה להקות גדולות של דגים ממשפחת ה-Atherinidae בסקרי הדגים. הופעתן או היעדרן של להקות אלו מגדילה מאוד את שונות המדגם, ולכן הוא נספר בשנים האחרונות אך לא הוכנס למאזן הכללי המוצג למטה. השנה נצפו רק כארבע להקות שהוערכו בכ-100-300 דגים ללהקה באתר הרדוד בשמורה (NR 5), ומספרם הכללי במהלך הסקר נאמד בכ-1000 דגים (לעומת כ-3000 בשנה הקודמת).

באתר השמורה נצפו יותר דגים ליחידת דגימה מאשר באתר המכון (83 ± 14 דגים לחתך ממוצע בשמורה לעומת 67 ± 11 באתר המכון), אך הבדל זה אינו מובהק סטטיסטית. שפעת דגים גבוהה יותר צפויה באתר השמורה בהיותו אתר שונית עשיר יותר, אף כי לא נמצא הבדל מובהק באחוז האלמוגים המיושבים בין האתרים. מספר הדגים הגבוה ביותר ליחידת דגימה נצפה באתר המכון העמוק (IUI 15, טבלה ב7). באתר זה גם נמצא אחוז האלמוגים המיושבים על ידי דגים הגבוה ביותר. מספר הדגים הנמוך ביותר ליחידת דגימה, כמו גם אחוז האלמוגים המיושבים על ידי דגים הנמוך ביותר נמדדו באתר המכון הרדוד (IUI 5).

טבלה ב7: גודל המדגם ומספר הדגים והאלמוגים שנספרו, בכלל האתרים הנסקרים.

Table B7: Sample size, the number of fish (individuals) and corals at the Eilat reef sites surveyed this year.

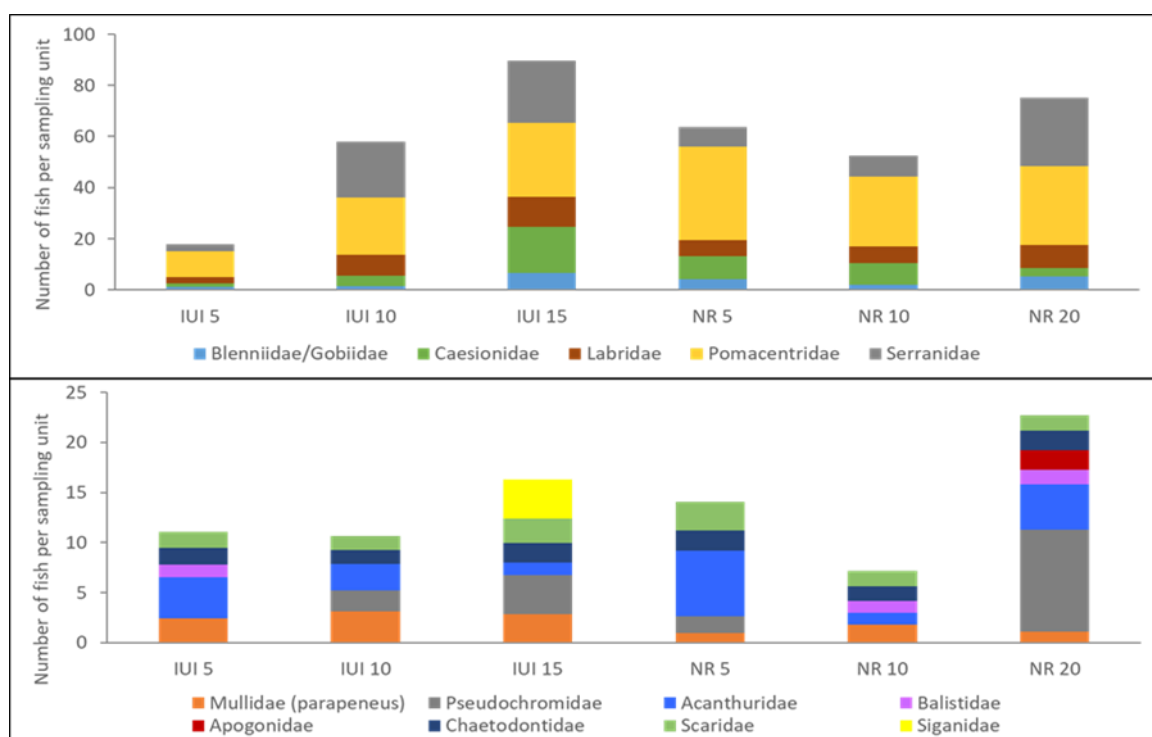
Site	IUI 5 m	IUI 10 m	IUI 15 m	NR 5 m	NR 10 m	NR 20 m	Total
Number of sampling units	23	24	20	20	22	25	135
Total number of fish observed	732	1690	2160	1699	1369	2501	10151
Number of fish per sampling unit	31.8±7.4	70.4±17.6	108±19.8	85±21.4	62.2±24.9	100±26.6	75.8±9
Number of corals per sampling unit	6.3±1.1	7.9±3.1	7.1±2.5	6.4±1.6	4.1±1	9.7±1.5	6.9±1.5
Percentage of corals inhabited by fish	37.9±13.2	60.5±9.5	61.2±14.2	38.1±10.5	59±13.9	59.7±7.9	52.7±11.5

רוב הדגים הנפוצים בסקרים השנה שייכים למינים להקתיים, פלנקטיבוריים. המשפחה הנפוצה ביותר בכל אתרי הסקר (26 ± 11 דגים ליחידת דגימה ממוצעת) הייתה משפחת השוניתיים (Pomacentridae) (טבלה ב8, איור ב50), בעיקר בשל להקות של אלמוגית השוליים (*Dascyllus marginatus*), של כרומית ירקרקת (*Chromis viridis*), ושל שוניית מירי (*Neopomacentrus miryae*), שלושה מיני דגים להקתיים ופלנקטיבוריים שחיים בעמודת המים, אך בזיקה לקרקעית. דג נוסף שתורם לשכיחותה הגדולה של משפחה זו הוא שוניית לבן זנב (*Pomacentrus trichourus*), דג אוכל-כל שחי בלהקות קטנות סמוך לקרקעית. המשפחה השנייה הנפוצה בכל אתרי הסקר הייתה משפחת ה-Serranidae, שהגיעה לצפיפות ממוצעת של 15 ± 10 דגים ליחידת דגימה בכל אתרי הסקר. המין הנפוץ ביותר במשפחה זו היה פזית ים סוף, (*Pseudanthias squamipinnis*) דג שחי בלהקות גדולות בעמודת המים וניזון מפלנקטון. משפחת ה-Caesionidae, המאופיינת בלהקות פלנקטיבוריות בינוניות-גדולות החיות בעמודת המים, הייתה נפוצה מאוד בכל האתרים, אבל נצפתה בשכיחות הגבוהה ביותר באתר המכון העמוק (IUI 15). גם להקות בינוניות של המין הדורנית טמן קווית (*Paracheilinus octotaenia*), מין פלנקטיבורי ממשפחת ה-Labridae נצפו בעיקר באתר המכון העמוק ביותר (IUI 15). מבין המשפחות שאינן להקתיות, הקברנוניים/קרנוניים (Blenniidae/Gobiida) נמצאו בשכיחות הגבוהה ביותר. מינים במשפחה זו חיים באופן סוליטארי, צמודים למצע. גם מיני דקרים שונים (*Epinephelus* sp., *Cephalopholis* sp.) ממשפחת ה-Serranidae נצפו בשכיחות גבוהה יחסית (4-1 פרטים לחתך, בכ-89 יחידות דגימה) באתרים העמוקים ביותר בשמורה ובמכון (NR 20 ו-IUI 15). משפחת ה-Acanthuridae הייתה השכיחה ביותר מבין המשפחות הפחות נפוצות, עם שכיחות גבוהה בעיקר בעומקים הרדודים בשני האתרים. מתוך משפחה זו, המין הלהקתי בתרן שחום (*Acanthurus nigrofusus*), היה הנפוץ ביותר ונצפה בכ-22 מתוך 25 יחידות דגימה ב-NR 20. בעומק זה בשמורה נפוץ מאוד גם המין הסוליטארי צבעוני פרידמן (*Pseudochromis fridmani*), ממשפחת ה-Pseudochromidae. מינים ממשפחת ה-Pseudochromidae נצפו רק באתר IUI 15. לא נמצא הבדל מובהק בהרכב חברת הדגים בין האתרים השונים עם ובלי המינים הלהקתיים. עם זאת, ללא ספירת הדגים הלהקתיים, היה הבדל מובהק בצפיפות הדגים ליחידת דגימה בין השמורה למכון ($p < 0.05$), כאשר אתר השמורה מאופיין ביותר דגים שאינם להקתיים ליחידת דגימה. ללא המינים הלהקתיים, צפיפות הדגים הממוצעת ליחידת דגימה הגבוהה ביותר נצפתה באתר NR 20 (51 ± 13 דגים ליחידת דגימה) ואילו הנמוכה ביותר נמצאה באתר IUI 5 (18 ± 4 דגים ליחידת דגימה, איור ב51).

טבלה 8: השכיחות הממוצעת (ליחידת דגימה) של משפחות דגים ומושבות אלמוגים באתרי שוניית שנסקרו השנה.

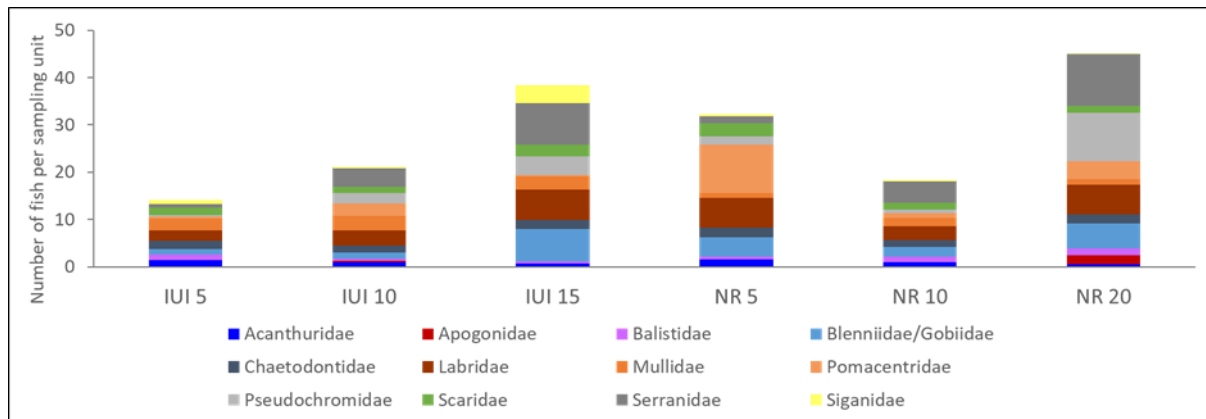
Table B8: Average occurrence (per sampling unit) of fish families and corals at the Eilat reef sites surveyed this year.

Family	Habitat	Fish abundance at each site (Total number of fish observed)						Mean fish number per sampling unit (±95% confidence interval of the mean)					
		IUI 5 m	IUI 10 m	IUI 15 m	NR 5 m	NR 10 m	NR 20 m	IUI 5 m	IUI 10 m	IUI 15 m	NR 5 m	NR 10 m	NR 20 m
<i>Blenniidae/Gobiidae</i>	Benthic	28	34	135	84	45	131	1.2(±0.9)	1.4(±0.8)	6.8(±2.7)	4.2(±2.5)	2(±1.1)	5.2(±1.5)
<i>Mullidae</i>		55	74	56	19	39	27	2.3(±0.8)	3.1(±1)	2.8(±1.6)	1(±0.8)	1.8(±1)	1.08(±0.7)
<i>Pinguipedidae</i>		8	3	0	0	1	0	0.3(±0.2)	0.1(±0.1)	0	0	0.0	0.0
<i>Pseudochromidae</i>		9	51	79	34	15	255	0.4(±0.2)	2.1(±0.7)	4(±1.8)	1.7(±0.7)	0.7(±0.4)	10.2(±3)
<i>Scorpaenidae</i>		0	0	2	0	1	0	0	0	0.1(±0.1)	0.0	0.0	0.0
<i>Synodontidae</i>		15	3	1	2	4	6	0.6(±0.3)	0.1(±0.1)	0.1(±0.1)	0.1(±0.1)	0.2(±0.2)	0.2(±0.2)
<i>Tetraodonitidae/Diodonitidae</i>		3	1	0	10	1	0	0.1(±0.1)	0	0	0.5(±0.5)	0.0	0
<i>Acanthuridae</i>	Benthic-pelagic	96	63	25	131	26	113	4(±1.3)	2.6(±1.1)	1.3(±0.7)	6.6(±1.6)	1.2(±0.5)	4.5(±1.3)
<i>Apogonidae</i>		0	7	0	0	0	49	0.0	0.3(±0.3)	0.0	0.0	0.0	2(±1.9)
<i>Balistidae</i>		28	8	11	10	26	37	1.2(±0.5)	0.3(±0.2)	0.6(±0.4)	0.5(±0.4)	1.2(±0.7)	1.5(±1.7)
<i>Chaetodontidae</i>		38	34	39	40	33	48	1.6(±0.6)	1.4(±0.8)	2(±0.9)	2(±0.9)	1.5(±0.9)	1.9(±0.6)
<i>Labridae</i>		54	198	236	129	144	228	2.3(±1.2)	8.3(±7.2)	11.8(±6.8)	6.5(±1.7)	6.6(±8.3)	9.1(±5.5)
<i>Lethrinidae</i>		1	3	11	7	20	3	0	0.1(±0.2)	0.6(±0.5)	0.4(±0.2)	0.9(±0.8)	0.1(±0.2)
<i>Ostraciidae</i>		5	3	4	4	1	0	0.2(±0.2)	0.1(±0.1)	0.2(±0.2)	0.2(±0.2)	0	0
<i>Pomacanthidae</i>		4	9	5	15	4	23	0.2(±0.2)	0.4(±0.3)	0.3(±0.2)	0.8(±0.4)	0.2(±0.2)	0.9(±0.5)
<i>Pomacentridae</i>		237	532	578	731	604	772	9.9(±3.9)	22.2(±7.8)	28.9(±9.7)	36.6(±15.9)	27.5(±18.5)	30.9(±11.1)
<i>Scaridae</i>		37	33	49	57	33	38	1.5(±0.7)	1.4(±0.6)	2.5(±1.8)	2.9(±1)	1.5(±0.9)	1.5(±1)
<i>Serranidae</i>		63	525	489	153	179	668	2.6(±2.7)	21.9(±12.5)	24.5(±13)	7.7(±6.9)	8.1(±7.9)	26.7(±15)
<i>Siganidae</i>		20	7	78	9	6	1	0.8(±0.8)	0.3(±0.4)	3.9(±5.5)	0.5(±0.4)	0.3(±0.3)	0
<i>Atherinidae</i>	Pelagic	0	0	0	1000	0	0	0	0	0	50(±51.5)	0.0	0.0
<i>Caesionidae</i>		30	100	356	177	184	80	1.3(±2.6)	4.2(±4.8)	17.8(±14)	8.9(±6.7)	8.4(±5.2)	3.2(±3.3)
Coral inhabited by fish		55	112	81	45	51	138	2.3(±0.8)	4.7(±0.9)	4.1(±0.9)	2.4(±0.7)	2.4(±0.7)	5.5(±0.8)
Coral without fish		89	78	60	82	38	105	3.7(±1)	3.3(±0.8)	3.2(±2.3)	4.3(±1.4)	1.7(±0.7)	4.4(±1.1)



איור 50: חברת הדגים, על פי משפחות, באתרים הנסקרים. למעלה, השכיחות הממוצעת (ליחידת דגימה) של חמשת המשפחות הנפוצות ביותר. למטה, השכיחות הממוצעת (ליחידת דגימה) של שאר המשפחות שנצפו. משפחות שלא נצפו בהם בממוצע לפחות דג אחד ליחידת דגימה אינן מוצגות.

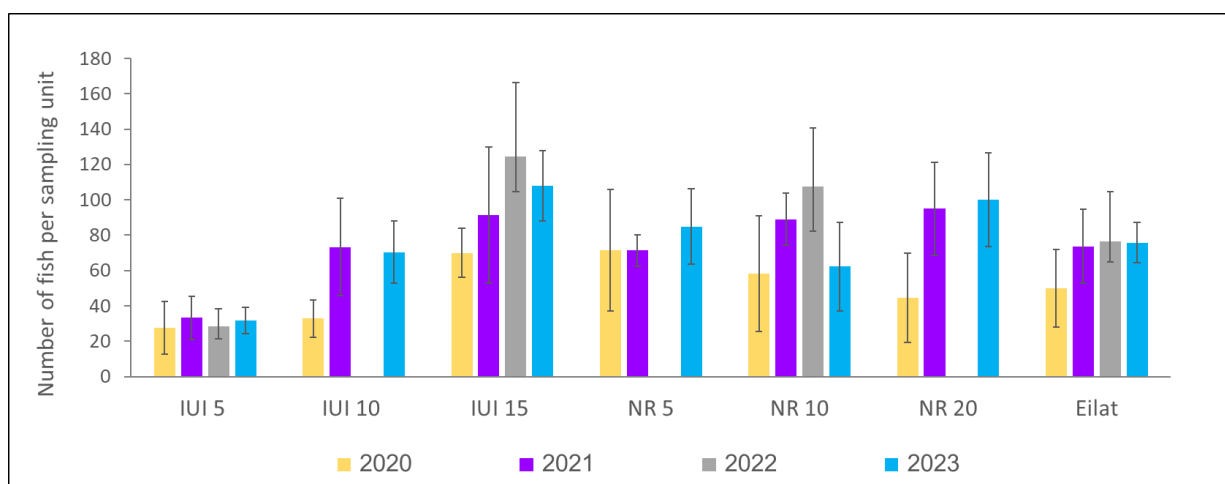
Figure B50: Fish community by families in the surveyed sites. Top, number of fish per sampling unit of the five most common families. Bottom, number of fish per sampling unit of all other observed families. Families with <1 fish per sampling unit are not shown.



איור ב51: חברת הדגים על פי משפחות ללא המינים הלהקתיים, באתרים הנסקרים. משפחות שלא נצפה בהם בממוצע לפחות דג אחד ליחידת דגימה אינן מוצגות.

Figure B51: Fish community by families, excluding schooling species, in the surveyed sites. Families with <1 fish per sampling unit are not shown.

בשלוש השנים האחרונות, צפיפות הדגים הכללית באתרים הנסקרים גבוהה בהשוואה לשנת 2020 בה הייתה צפיפות הדגים נמוכה במיוחד, אולי בעקבות הסערה הדרומית החזקה במרץ 2020. כבר ב-2021 נמצאה עלייה חדה בצפיפות הדגים ברוב האתרים (איור ב52), המעידה כי השפעת הסערה על חברת הדגים הייתה נקודתית בזמן וקצרה. ההבדלים בצפיפות הדגים בין השנה לשנתיים הקודמות אינם מובהקים. באתר NR 10 7) NR בדו"חות קודמים) ובאתר IUI 15 נמצאה ירידה בצפיפות הדגים לעומת שנה הקודמת.



איור ב52: השכיחות הממוצעת (ליחידת דגימה) באתרים הנסקרים בשנים 2020-2023.

Figure B52: Number of fish per sampling unit at the surveyed sites since 2020.

מתוך סך המינים שנספרו בסקרים, 20 המינים הנדירים ביותר נספרו בשכיחות של פחות מ-0.05 ליחידת דגימה (טבלה ב9). לא נצפה קשר מובהק בין תצפיות הדגים הנדירים לאתר מסוים או עומק מסוים.

טבלה ב9. עשרים המינים הנדירים ביותר שנצפו בסקרי הדגים.

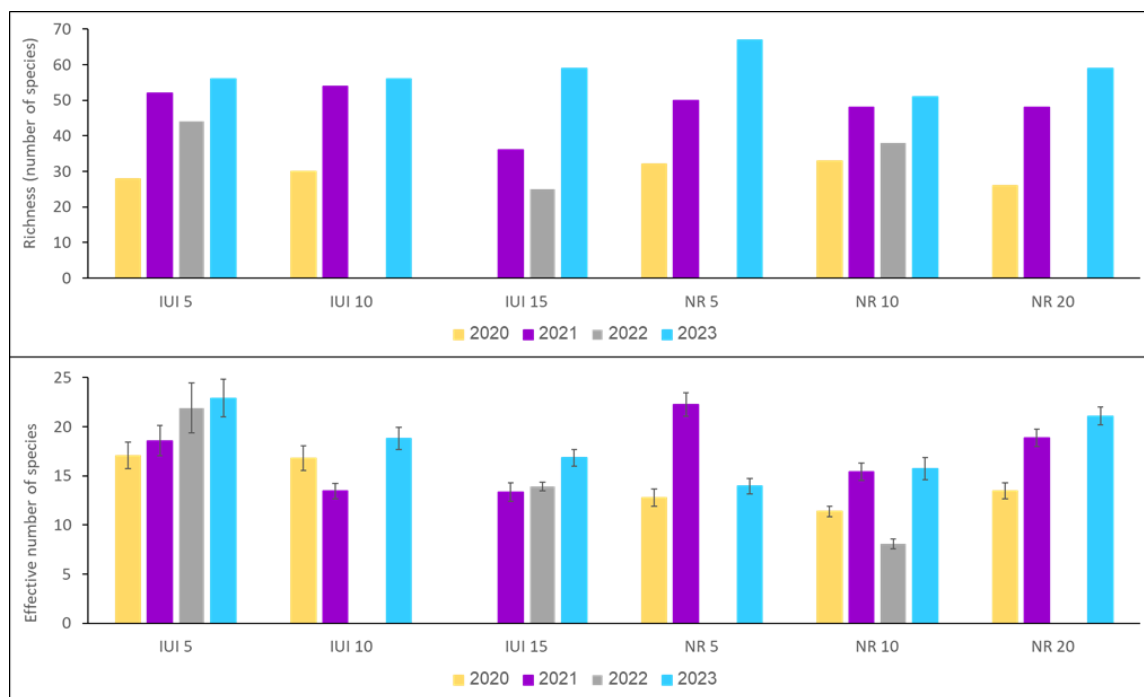
Table B9. The 20 rarest fish species observed in the survey.

Family	Species	Hebrew name	Number of fishes observed	mean number per sampling unit
Acanthuridae	<i>Acanthurus sohal</i>	בתרן סוהל	1	0.01
Scorpaenidae	<i>Pterios sp.</i>	זהרון	1	0.01
Monacanthidae	<i>Aluterus scriptus</i>	דג קוץ עדין	1	0.01
Siganidae	<i>Siganus stellatus</i>	סיבן הכוכבים	1	0.01
Chaetodontidae	<i>Chaetodon auriga</i>	פרפרון החוט	2	0.01
Chaetodontidae	<i>Chaetodon lineolatus</i>	פרפרון שחור גב	2	0.01
Labridae	<i>Anampses lineatus</i>	מרגנון מקווקו	2	0.01
Labridae	<i>Anampses twistii</i>	מרגנון צהוב גרון	2	0.01
Labridae	<i>Cheilinus abudjubbe</i>	תפאר ים סופי	3	0.02
Scaridae	<i>Scarus fuscopurpureus</i>	תוכינן כחול שפה	3	0.02
Siganidae	<i>Siganus luridus</i>	סיבן הודי	3	0.02
Siganidae	<i>Siganus argenteus</i>	סיבן כסוף פצול זנב	4	0.03
Blenniidae/Gobiidae	<i>Aspidontus tractus</i>	חקיין נקאי	4	0.03
Labridae	<i>Cheilinus lunulatus</i>	תפאר הסהרון	4	0.03
Labridae	<i>Oxycheilinus mentalis</i>	תפאר ארוך ראש	4	0.03
Ostraciidae	<i>Ostracion cubicus</i>	קופסינן נקוד	4	0.03
Ostraciidae	<i>Ostracion cyanurus</i>	קופסינן סגול	3	0.03
Ostraciidae	<i>Tetrasomus gibbosus</i>	שריונן גבנוני	2	0.03
Pomacanthidae	<i>Apolemichthys xanthurus</i>	קיסרון עטור	5	0.04
Pomacentridae	<i>Dascyllus trimaculatus</i>	אלמוגית שחורה	6	0.04

עושר המינים ליחידת דגימה נע בין 5 ל- 18 מינים, ובין 51-67 מינים באתר. חשוב לזכור שהסקר בוחן רק קבוצות דגים מסויימות אשר נקבעו מראש (ראו למעלה, וטבלה 3 בנספח 3) ולא את כלל הדגים במערכת.

בהשוואה בין כל אתרי הסקר, נראה שהמגוון (מספר המינים האפקטיבי, ראו למעלה) ועושר המינים אינם שונים באופן מובהק בין האתרים (איור ב53). מגוון המינים הממוצע עבור כל האתרים היה 18.2 ± 1.1 מינים. אתר NR 5 הוא האתר היחידי שנמדדה בו ירידה במגוון המינים מאז שנסקר ב-2021, עם ערך מגוון המינים הנמוך ביותר מבין כל האתרים השנה. עם זאת, עושר המינים בו הוא הגבוה ביותר השנה (67 מינים) מבין כל האתרים, וגם הגבוה ביותר שתועד מאז 2020.

עושר המינים הנמוך ביותר נמדד ב- NR 10. אתר IUI 5 מאופיין במגוון המינים הגבוה ביותר, אך בעושר מינים נמוך, דבר המעיד על שיויוניות גבוהה בין המינים השונים באתר זה. השנה נמדדו ערכי עושר המינים הגבוהים ביותר בכל האתרים שנסקרו מאז 2020. בשלושת האתרים שנסקרו גם בשנה הקודמת (IUI 5, IUI 15, ו- NR 10) נמצאה השנה עלייה במגוון המינים.

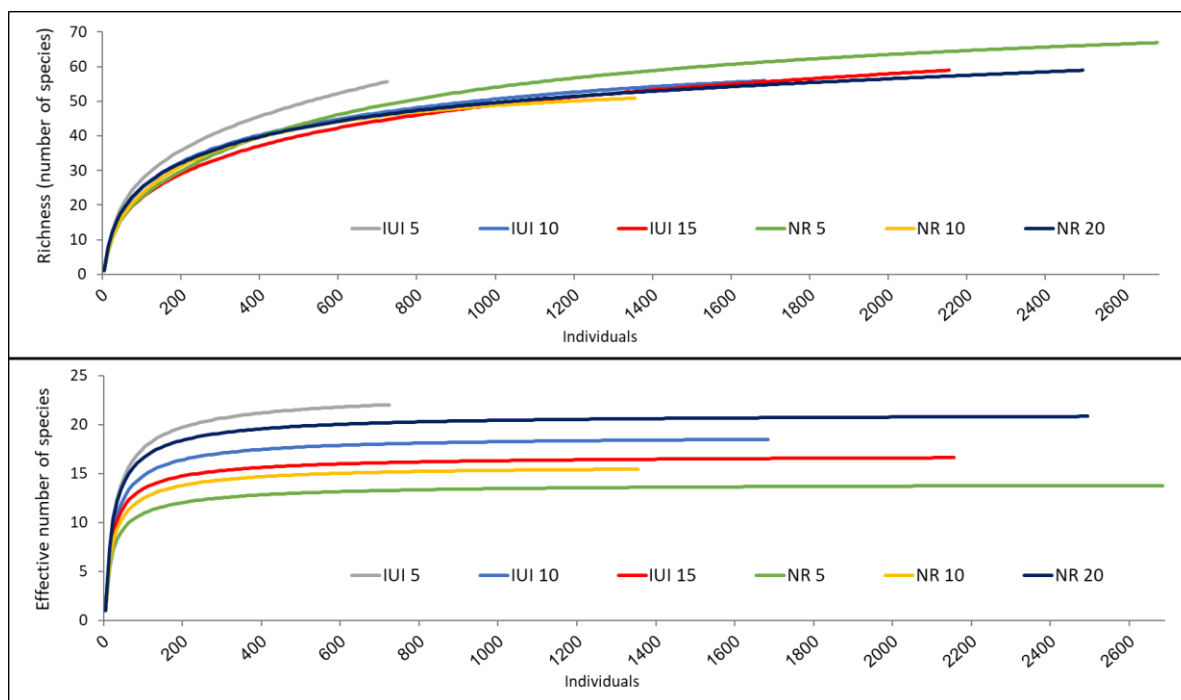


איור ב53: עושר (למעלה) ומגוון המינים (למטה) בחברת הדגים באתרים הנסקרים בשנים 2020-2023.
Figure B53: Species richness (top) and diversity (bottom) of fish communities at the surveyed sites since 2020.

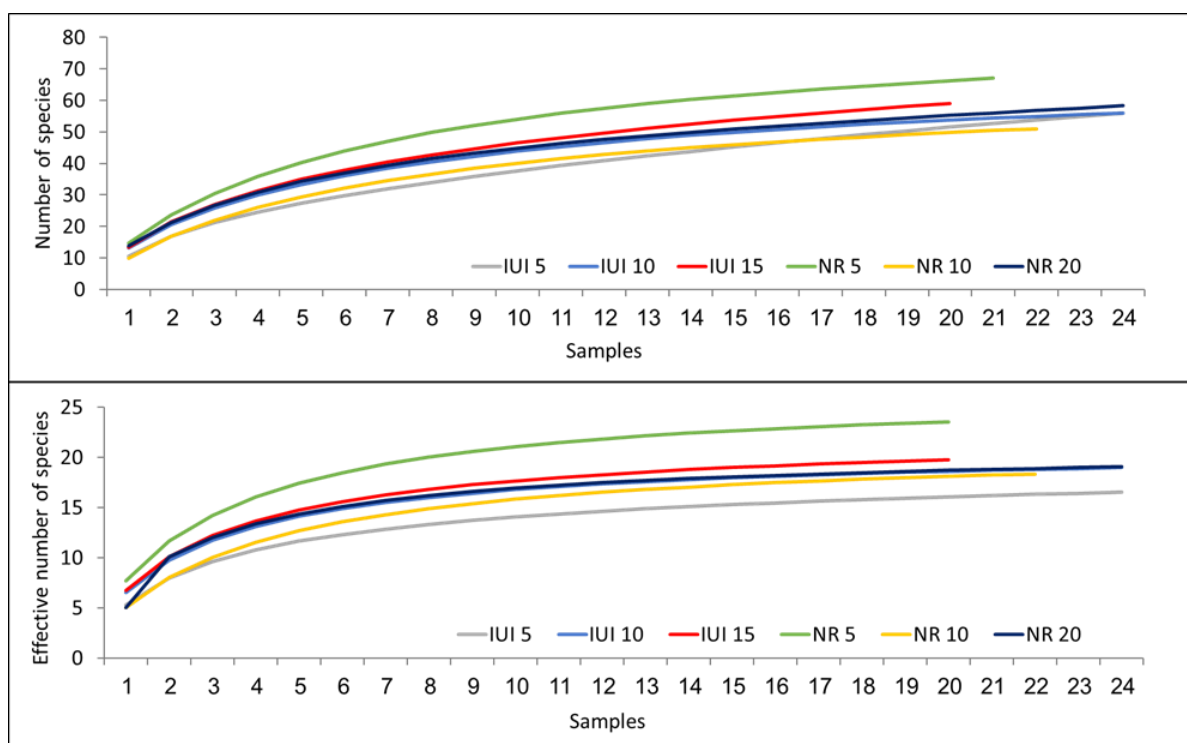
עושר מינים הוא מדד רגיש במיוחד למאמץ דגימה. עקומות צבירה (Rarefaction) מאפשרות לבחון את עושר המינים ללא ההטייה של מאמץ הדגימה. בניתוח זה, נדגמות יחידות באופן אקראי מתוך סך הדגימות באתר וכך נצברת עקומה של מגוון ועושר המינים כפונקציה של מספר הדגימות (sample base rarefaction) או מספר הפרטים (individual based rarefaction) באתר. ניתוח זה בוצע עבור הדגים שזוהו לרמת המין באתרים הנסקרים.

בעקומות עושר המינים על פי כמות הפרטים שנדגמו (איור ב54 למעלה) נראה כי עבור כל האתרים מלבד 5 IUI נספרו מספיק פרטים כדי למצות את עושר המינים הקיים. מספר מינים קטן ביותר עבור אותו מספר פרטים נמצא באתר IUI 15 וגדול ביותר נמצא באתר IUI 5. בשונה מעקומת עושר המינים, עקומת המגוון על פי פרטים (איור ב54 למטה) נמוכה ביותר עבור אתר 5 NR.

על פי עקומות הצבירה למספר הדגימות שנעשו (איור ב55), נראה כי מאמץ הדגימה היה מספק עבור כל האתרים הן עבור עושר והן עבור מגוון. עבור אותו מספר דגימות, עושר ומגוון המינים היו הגבוהים ביותר עבור אתר 5 NR. אתר זה הגיע לרוויה לאחר מספר דגימות גדול יחסית, יתכן בגלל ריבוי המינים הנדירים בו והצורך בייצוג גבוה יותר של בית הגידול המורכב הנ"ל.



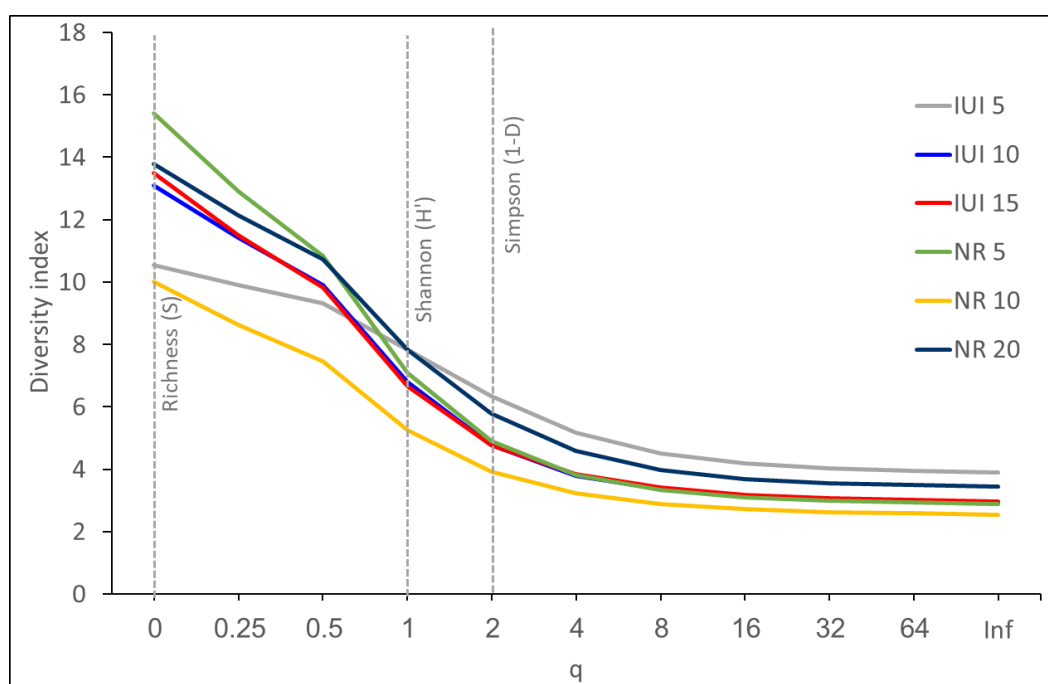
איור ב54: עקומות צבירה לעושר (למעלה) ומגוון מינים (למטה) על פי מספר פרטים באתרים הנסקרים.
Figure B54: Individual based rarefaction curves for species richness (top) and diversity (bottom) at the surveyed sites.



איור ב55: עקומות צבירה על פי יחידות דגימה לעושר (למעלה) ומגוון מינים (למטה) באתרים הנסקרים.
Figure B55: Sample-based rarefaction curves for species richness (top) and diversity (bottom) at the surveyed sites.

מדדי מגוון מינים משקללים את מספר המינים שנמצאו ואת שכיחותם היחסית. כל מדד מייחס מידת חשיבות שונה למינים הנדירים בחברה. בעקומות רייני (Rényi diversity profiles) המשקל הניתן למינים נדירים יורד עם העליה בערך q (ציר ה-x באיור ב56). ככל שעקומה גבוהה יותר לאורך ציר ה-y כך היא מייצגת חברה "מגוונת" יותר. עושר המינים מיוצג במקום $q=0$, $q=1$ מייצג את מדד שאנון ומדד סימפסון (Simpson) מיוצג על ידי $q=2$.

ערך ה- q המקסימלי (אינסוף-Inf), מייצג את המשקל של המינים העיקריים במערכת. אתר מגוון יותר מאתר אחר רק כאשר מגוון המינים נשאר גבוה עבור כל אחד מערכי ה- q שנבחנו. על פי עקומות אלה נמצא שאתר השמורה NR 10 פחות מגוון מהאתרים האחרים שנסקרו. עושר המינים בו הוא הנמוך ביותר ומשקל המינים העיקריים בו הוא הקטן ביותר. גם עקומות אלה מעידות שעושר המינים באתר 5 NR גבוה אך המגוון בו נמוך. ניתן לראות זאת גם בכך שמשקל המינים העיקריים בו נמוך יחסית לרוב האתרים. גם על פי עקומות אלו מגוון הדגים הגבוה ביותר נמצא באתרים NR 20 ו- IUI 5. על אף שצפיפות הדגים באתר IUI 15 גדולה בהרבה מאתר IUI 10, העקומות עושר ומגוון המינים שלהם מתנהגות דומה מאוד.

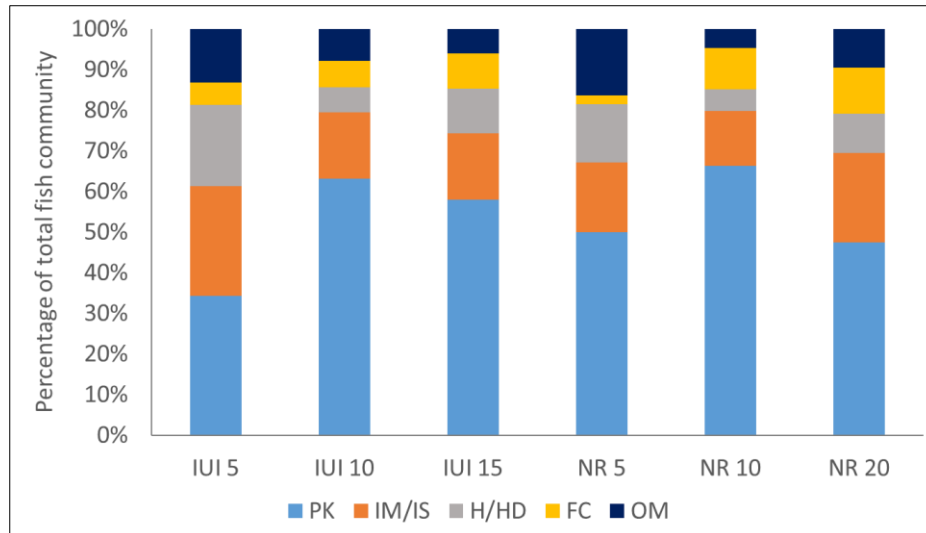


איור B56: עקומות מגוון על פי אינדקס רייני (Rényi diversity profiles) להרכב חברת דגי השוניית באתרים השונים.
Figure B56: Rényi diversity profiles for reef fish communities at the surveyed sites.

חלוקת הדגים לפי הרמה הטروفית (העדפת מזון) מלמדת על התפקוד האקולוגי של דגי השוניית. גם השנה, כמו בשנים קודמות, חלקם של הדגים אוכלי הפלנקטון היה הגדול ביותר: $53\% \pm 12\%$ מכלל הדגים ביחידות הדגימה היו פלנקטיבורים. דגים פלנקטיבורים מהווים חוליה חיונית במארג המזון ברכוז חומרי מזון מהרמות הנמוכות בגוף המים. חלקה הגדול ביותר של קבוצה זו היה באתר NR 10 (66%), ואילו חלקה הקטן ביותר היה באתר 5 IUI (32% מהדגים ביחידת דגימה, איור ב57).

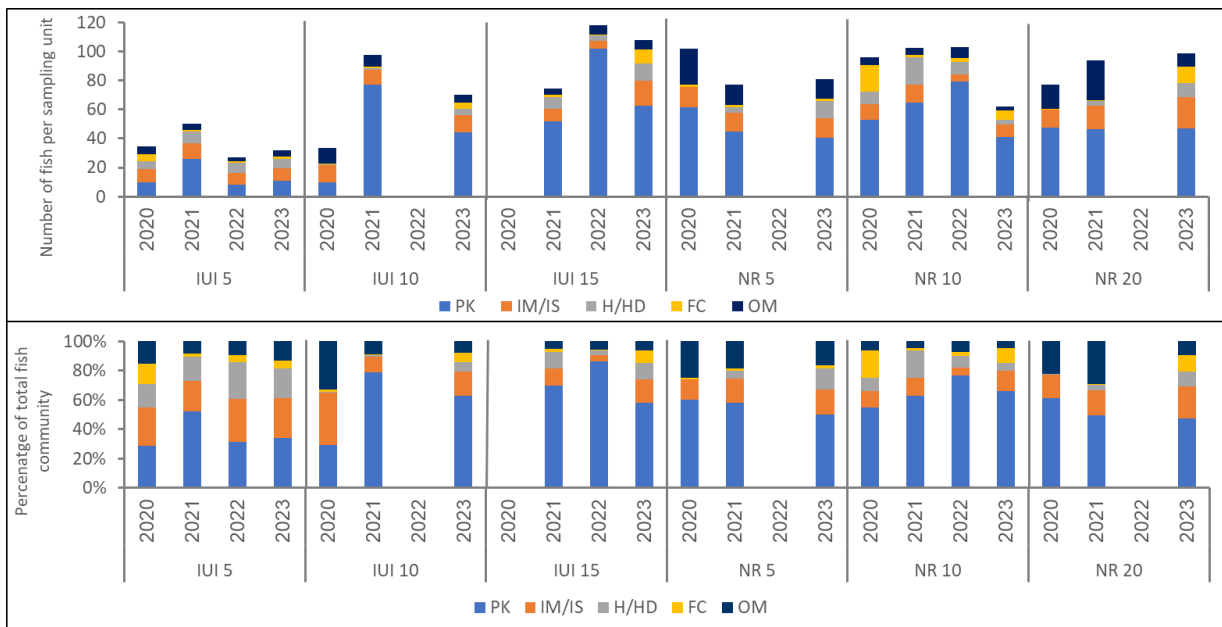
מרבית הדגים הפלנקטונים שנסקרו שייכים ללהקות של פזית ים סוף (*Pseudanthias squamipinnis*), אלו דגים קטנים יחסית הנעים בלהקות בהן מספר גדול של פריטים ונוכחות להקה אחת או יותר של דגים אלה עשויה לשנות את משקלם הייצוגי, אך תמיד נמצא מספר גדול של דגים אלה בשוניית. מלבד להקות אלו, גם להקות דגים ממשפחת השוניתיים (*Pomacentridae*), כמו שוניית מירי (*Neopomacentrus miryae*), אלמוגית השוליים (*Dascyllus marginatus*), כרומית ירקרקת (*Chromis viridis*) וכרומית דו גונית (*Pycnochromis dimidiata*) היוו חלק גדול מאוכלי הפלנקטון.

הקבוצה הטروفית השנייה בגודלה בסקר היא אוכלי חסרי החוליות (IM/IS). קבוצה זו הייתה הגדולה ביותר באתר IUI 5, בעיקר בשל נוכחות דג הטווסון (*Thalassoma* sp.). מלבד הטווסונים, גם להקות קטנות של שפתנית שש פסית (*Pseudocheilinus hexataenia*), מין נוסף הניזון על חסרי חוליות, נצפו במספר גבוה בכל האתרים.



איור ב57: התפלגות דגי השוניית על פי הרמה הטروفית באתרים הנסקרים.
Figure B57: Distribution of reef fish according to trophic levels at the surveyed sites.

הרכבה הטרופי של חברת הדגים באתרי הדיגום יציב בשנים 2020-2023 (איור ב58).
 באתר IUI 5 הרכב החברה מבחינת רמות טרופיות היה שונה במובהק מהאתרים האחרים. החברה באתר זה הומוגנית יותר מבחינת רמות טרופיות, עם ייצוג גדול יותר של מינים טרופי חסרי חוליות (26.9% מהחברה) ומינים הרביבורים (20% מהחברה) מאשר באתרים האחרים (< 15%). בכל אתרי הדיגום מלבד האתרים הרדודים (IUI 5- NR 5) עלתה שכיחותם של הדגים הטורפים, בעיקר בעקבות תצפיות רבות של דקרים ממשפחת ה-Serranidae.



איור ב58: התפלגות דגי השוניית על פי הרמה הטروفית באתרים הנסקרים בשנים 2020-2023. למעלה צפיפויות, למטה באחוזים.
Figure B58: Distribution of reef fish according to trophic levels at the surveyed sites in 2020-2023. Top, fish densities; bottom, fractions.

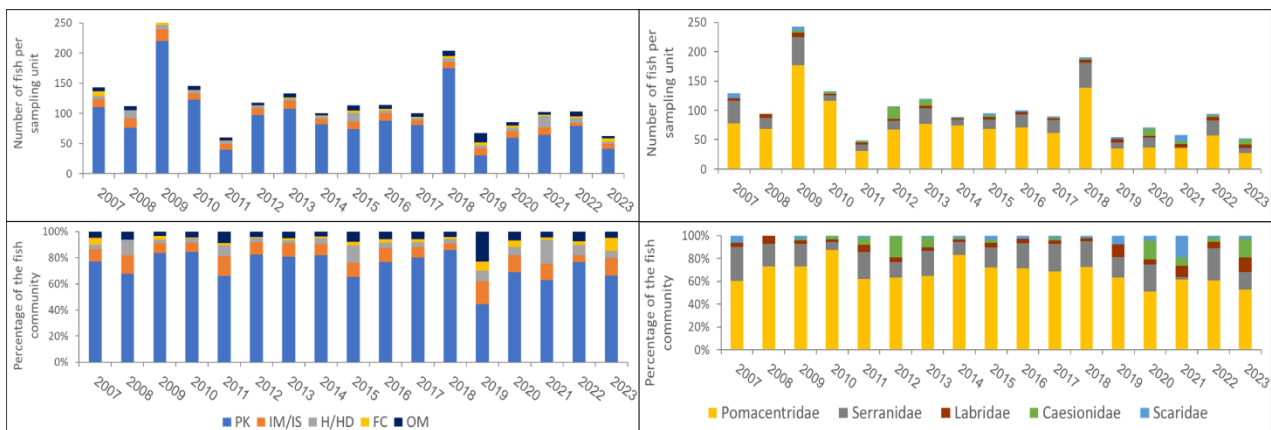
באתר NR 10, שבו חברת הדגים נסקרת כבר 17 שנה (אתר NR 7 בדו"חות קודמים), נשמרים היחסים הכמותיים בין משפחות הדגים הנפוצות והרמות הטروفיות השונות ומעידים על יציבות במבנה אוכלוסיית הדגים

בשונית (איור ב59). עם זאת, השנה צפיפות הדגים באתר זה היתה נמוכה משנים קודמות. הצפיפות הממוצעת באתר זה לאורך השנים הינה 121.4 ± 25.1 דגים ליחידת דגימה, בעוד שהשנה צפיפות הדגים ליחידת דגימה הגיעה לכמחצית מכך (62.2 ± 24.9 דגים ליחידת דגימה).

המשפחה הנפוצה ביותר לאורך השנים באתר זה, משפחת השוניתיים (Pomacentridae), נצפתה השנה בצפיפות הנמוכה ביותר מכל שנות הניטור (27.5 ± 18.5 דגים ליחידת דגימה). משפחה זו מהווה את חלק הארי בחברת הדגים באתר השמורה לאורך כל תקופת הניטור, כאשר המינים הנפוצים ביותר בה הינם פלנקטיבורים. התנודות החדות שניתן לראות בשנים 2009 ו-2018 הם בשל נוכחות להקות גדולות של דגים פלנקטוניים ממשפחה זו. לעומתה, משפחת הכחליים (Caesionidae) נצפתה באתר זה בצפיפות גבוהה יחסית למרבית השנים (אך לא הגבוהה ביותר). כמו בשנים קודמות, הקבוצה הטורפית השנייה בגודלה באתר NR 10 (אחרי הדגים אוכלי הפלנקטון) מורכבת ממינים טורפים חסרי חוליות ניידים וניחים בשונית (IM/IS). דגים אלו מווסתים את אוכלוסיית חסרי החוליות בשונית וכך מונעים התפרצויות של מינים מקבוצות אלו, העשויות להיות הרסניות לשונית.

השנה, בניגוד לשנים קודמות, הדגים הטורפים (FC) נספרו בשכיחות גבוהה יותר מהדגים הרועים (H/HD), אוכלי אצות צמודות מצע) באתר NR 10. לדגים הטורפים ייצוג משתנה באתר זה לאורך השנים, בין 10%-2 מחברת הדגים. השנה צפיפותם הייתה גבוהה יחסית לשנים קודמות (6.2 דגים ליחידת דגימה מול ממוצע של 2.9 ± 1.1 דגים ליחידת דגימה בשנים קודמות).

מספר הדגים הרועים ליחידת דגימה באתר NR 10 היה נמוך השנה לעומת שנים קודמות (3.4 השנה לעומת ממוצע של 7.3 ± 2.6 בשנים קודמות). ביחד עם הדגים הניזונים מחסרי חוליות, דגים אלה מווסתים את צמיחת האצות בשונית ומאפשרים שטחי שונית נקיים להתיישבות אלמוגים.



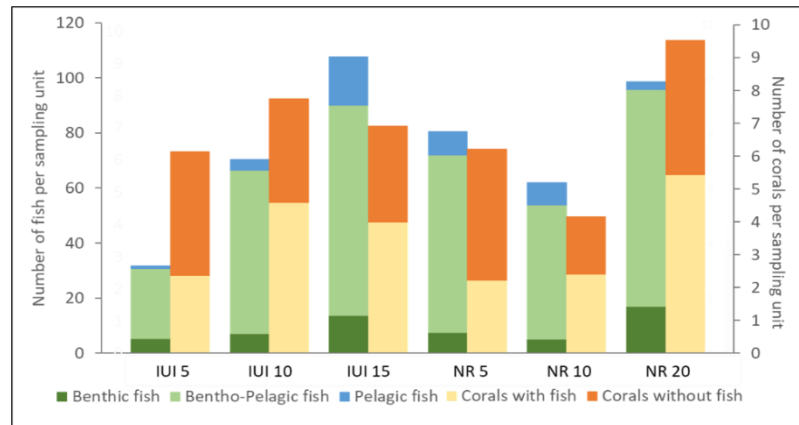
איור ב59: התפלגות דגי השונית על פי הרמה הטורפית (משמאל) ועל פי משפחות עיקריות (מימין) באתר NR 10 מאז שנת 2007.

Figure B59: Distribution of reef fish according to trophic level (left) and major families (right) at NR 10 since 2007.

הרכב חברת דגי השונית לפי חלוקה לבתי גידול לא נבדל באופן מובהק בין האתרים הנסקרים. בכל האתרים מרבית הדגים (70-85%) הם מינים שחיים בעמודת המים עם זיקה לקרקעית (Benthopelagic) (איור ב60). מכיוון שמדובר בסקרים המתרכזים בדגי השונית (החתכים נעשים במנסרות מעל השונית עצמה), אין זה מפתיע שמרבית הדגים הנסקרים חיים בזיקה לשונית. מינים אלו, על אף שרובם פלנקטיבורים (כלומר, אינם נסמכים על השונית לאספקת מזון), זקוקים לשונית למחסה, כאתר רבייה, ועוד. מיעוט הדגים הפלאגיים כללו בעיקר להקות קטנות- בינוניות (עד 30 פרטים) של כחליים (משפחת ה-Caesionidae), שחיות בחלק העליון של עמודת המים (משפחת ה-Atherinidae אינה נכללת במאזן זה).

לא נמצאה קורלציה בין מספר הדגים הבנטיים, החיים בתוך השונית, לבין מספר האלמוגים או אחוז האלמוגים המיושבים. אחוז הדגים הבנטיים ליחידת דגימה היה בממוצע $12 \pm 3.2\%$ מסך הדגים הכללי ליחידת דגימה. ברוב האתרים, מעל מחצית מהאלמוגים שנמצאו בחתכים היו מיושבים ע"י דגים.

באתר השמורה נמצאה קורלציה בין מספר הדגים הכללי לבין מספר האלמוגים. למשל, באתר NR 20 שבו נצפה מספר הדגים הגבוה ביותר ליחידת דגימה, נמצא גם מספר האלמוגים הגבוה ביותר. עם זאת, לא הייתה קורלציה בין אחוז האלמוגים המיושבים למספר הדגים.



איור ב60: התפלגות דגי השוניית על פי בתי הגידול, ומספר האלמוגים המיושבים והלא מיושבים על ידי דגים באתרים השונים.

Figure B60: Distribution of reef fish according to habitat, and number of inhabited and non-inhabited corals at surveyed sites.

דיון

ישנן שיטות רבות לסקרי דגים הנהוגות בעולם ועל כן השוואה בין הנתונים המוצגים כאן ובין נתונים ממקומות אחרים לא תמיד קבילה. עם זאת, תכנית הניטור עוקבת אחר אותם אתרים ובאותן שיטות כבר 17 שנה וכך מתאפשרת השוואה לאורך זמן בין האתרים הנסקרים במפרץ אילת. על בסיס השוואה זו, נראה שחברת דגי השוניית באתרי המכון ובשמורת האלמוגים באילת יציבה במשך תקופת הניטור, עם שינויים אקראיים במהלך השנים שנובעים ככל הנראה מתנודות של להקות מזדמנות ולא משינוי מהותי בהרכב ושכיחות הדגים. בין האתרים הנסקרים לא נמצא השנה הבדל מובהק בשפעת והרכב הדגים. כל האתרים שנדגמו הם אתרים אסורים לדייג, וממוקמים מחוץ לאזור העירוני ומבחינת ההשפעה האנתרופוגנית נחשפים לתנאים דומים. נראה כי שכיחות הדגים הלהקתיים באתרים השונים אינה משפיעה על הרכב החברה, וכי הלהקות שכיחות בכל האתרים הנסקרים. עם זאת, נראה כי אתר השמורה מאופיין ביותר דגים שאינם להקתיים, לעומת המכון. בהשוואה בין האתרים הנסקרים מאז הסערה הגדולה של חורף 2020, ניתן לראות התאוששות מהירה בצפיפות הדגים מאז 2020, שבה הייתה צפיפות דגים נמוכה ליחידת דגימה (הסקרים נערכו בקיץ שאחרי הסערה). כבר ב-2021 נמצאה עלייה חדה בצפיפות הדגים ליחידת דגימה בכל האתרים (מלבד NR 5), המעידה כי השפעת הסערה על חברת הדגים הייתה זמנית וקצרה. בהשוואה לשנה הקודמת, השנה עלה מגוון המינים באתרים הנסקרים. עם זאת, בבחינת מגוון המינים מאז 2020, נראה כי מגוון המינים דווקא ירד בעוד שמדד עושר המינים לא השתנה באופן מובהק. כך למשל אתר NR 5, שלא נסקר בשנה הקודמת, מראה ירידה במגוון המינים עם השנים מאז 2020. אתר זה מאופיין בריכוז מינים נדירים, שיתכן שבית הגידול שלהם נפגע במהלך הסערה הגדולה ב-2020. גם אחוז האלמוגים המיושבים עלה השנה בכל אתרי הסקר לעומת השנה הקודמת, אולי כחלק ממגמת התאוששות של חברת הדגים והאלמוגים מאז הסערה הגדולה של 2020. אתר המכון בעומק 5 מטרים מאופיין במיעוט דגים יחסית לאתרים האחרים, בעושר מינים נמוך, אך במגוון מינים גבוה יחסית. נראה כי הדבר נובע משוויוניות גבוהה יותר בין המינים. אפשר לראות את זה גם בהרכב הטרופי של החברה: החברה באתר זה הומוגנית יותר מבחינת רמות טרופיות, עם ייצוג גדול יותר של מינים טרופי חסרי חוליות ומינים הרביבורים מאשר באתרים האחרים. מחקרים מראים כי שוניית שתשית פגועה תתאפיין בד"כ בחברות דגים עם שכיחות ועושר מינים נמוך, אך עם שוויוניות גבוהה (Cymys 2000). יתכן כי השוניית באתר זה מצויה במצב הירוד ביותר מבין אתרי הדיגום, שכן הוא חשוף לפעילות צלילה אינטנסיבית יותר מאשר האתרים הנסקרים האחרים וגם נפגעה קשה בסערה של מרץ 2020. הסערה פגעה קשה באתר זה עקב המפנה החשוף לגלים והסעה מדרום ויתכן שפגיעות כאלה משפיעות עליו לעיתים מזדמנות. פגיעת הסערה, בנוסף לתנאים המשתנים עם העומק עשויה להסביר גם את ההבדלים בין אתר זה והאתרים העמוקים יותר שמול המכון. אתר NR 10, שנסקר לאורך 17 שנה, פחות מגוון מהאתרים האחרים שנסקרו. עושר המינים בו הוא הנמוך ביותר ומשקל המינים העיקריים בו הוא הקטן ביותר. עם זאת, היחסים הכמותיים בין משפחות הדגים הנפוצות והרמות הטרופיות השונות נשמרים באתר זה באופן יחסי ומעידים על יציבות במבנה אוכלוסיית הדגים בו. השנה

צפיפות הדגים באתר NR 10 הייתה נמוכה יחסית, אולי בגלל שכיחות נמוכה יחסית של להקות ממשפחת השוניתיים.

במשך התקופה הנסקרת בכל האתרים, ההרכב הטרופי של חברת הדגים נותר יציב, כאשר מרבית הדגים הינם פלנקטיבורים. השנה עלתה שכיחותם של הדגים הטורפים, שהינם גם מינים גדולים יחסית ומספר הדגים הרועים היה נמוך יחסית. מכיוון שלדגים אלו תפקיד חשוב מאוד בוויסות צמיחת האצות בשונית וחשיפת שטחים להתיישבות אלמוגים, יש להמשיך ולעקוב אחרי מגמה זו בשנים שיבואו.

ג. ניטור הסביבה החופית

ג.1. מי הים בקרבת החוף

מטרה

מעקב אחר משתנים כימיים, פיסיקליים, וביולוגיים במי הים בקרבת החוף וזיהוי מגמות או מקורות זיהום העשויים לפגוע בחברת השונית.

שיטות

אחת לחודש מבוצעות מדידות של משתנים כימיים וביולוגיים על דוגמאות ממי השטח בשבע תחנות לאורך החוף הישראלי של המפרץ ובתחנת ים פתוח כפי שמפורט באיור ג1 ובטבלה ג1. הדגימה נעשית מסירה בשעות הבוקר. במהלך הפלגה רציפה נלקחות משמונה התחנות דוגמאות מים מעומק של כ-1 מ' לצורך מדידות במעבדה, באמצעות בקבוק ניסקין בנפח 5 ליטר של חברת GOFLO. בנוסף, נמדדת טמפרטורת מי השטח באמצעות מד-חום כספית ונאמדת עכירות המים לפי עומק סקי (secchi): מדידה בה מורדת מהסירה דסקה צבועה בלבן ובעלת קוטר קבוע ונרשם העומק אשר מעבר לו לא ניתן להבחין בה. כל התחנות נדגמות בפרק זמן של כשעה וחצי.

מיד עם החזרה מהפלגת הדגימה מחולקים המים לצורך המדידות הכימיות הבאות:

חמצן מומס: ריכוז החמצן נקבע בשיטת ווינקלר שהיא ריאקציה סתירה המבוצעת בטיטרציה. הדגימות מקובעות ע"י הוספת שני ריאגנטים MnSO_4 ו- $\text{KI} + \text{NaOH}$ ומטוטרות עם $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ בריכוז 0.1N. הטיטרציה מתבצעת באמצעות טיטרטור אוטומטי מסוג Titrino 702 SM של חברת Metrohm, שווייץ.

ערך הגבה, pH: עד לאמצע שנת 2022 נעשו מדידות ה-pH במי הים בטמפרטורה קבועה של 25°C באמצעות אלקטרודת pH מזכוכית (combined pH electrode) דגם pHHC2401-7 ומד pH דגם PHM 93 שניהם של חברת Radiometer Copenhagen. כיול האלקטרודה מתבצע בעזרת תמיסות סטנדרטיות מסחריות ומוכרות כתמיסות כיול בינלאומיות (IUPAC/NIST certified standards).

תמיסות כיול אלו הן במליחות נמוכה ולכן מספקות מידע על pH בסקלת אקטיביות המימן או סקלת pH_{NBS} לפי ההגדרה של Miller et al. 1993: $\text{pH}_{\text{NBS}} = -\log \{H^+\}$

מחקרים רבים במי ים מדווחים את תוצאותיהם בסקלה של ריכוז כולל של יוני המימן סקלת pHT המוגדרת כ:

$$\text{pHT} = -\log [H^+]_T$$

כאשר $[H^+]_T$ כולל גם את ריכוז יוני HSO_4^- .

מעבר בין הסקלות מתאפשר באמצעות חישוב קבוע האקטיביות של יון המימן (f_H). קבוע זה הנו תלוי טמפרטורה ומליחות וניתן לחישוב באמצעות אלגוריתם לפי (Miller et al. 1988). מאחר וכל מדידות ה-pH של הניטור מתבצעות באותה טמפרטורה, ומליחות מי הים בצפון מפרץ אילת משתנה במידה מזערית, ערכו של קבוע האקטיביות של יון המימן הוא 0.72 במשך כל השנה ובכל עמודת המים. הפעלת קבוע זה על מדידות ה-pH המדווחות בניטור גורם להפחתת 0.14 יחידות pH. כלומר במידה ויש צורך להשתמש בנתוני הניטור בסקלת ה-pHT, יש להפחית 0.14 מכל המדידות (Shaked 2008).

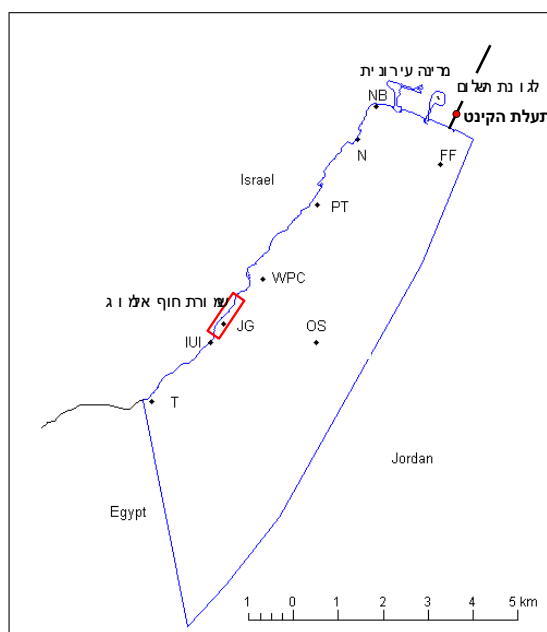
בעצה אחת עם ד"ר אייל וורגפס (האוניברסיטה העברית והאוניברסיטה הפתוחה, ד"ר ג'ק סילברמן (חיא"ל) וד"ר גלעד אנטלר (אוניברסיטת בן גוריון בנגב) רכשה תכנית הניטור מכשיר ספקטרופוטומטר ייעודי למדידה אופטית של ערך הגבה (Contros HydroFIA pH, Jena Engineering).

בהדרכתו הצמודה של ד"ר אייל וורגפס התחלנו בקיץ 2022 למדוד ערכי הגבה באמצעות ספקטרופוטומטר FIA על פי סקלת מי ים. על מנת להתאים בין המדידות נעשתה סדרה של מדידות מקבילות של אותן דוגמאות בשתי השיטות: מי הים שנאספו בתחנה A טופלו באמצעות HCl ו-NaOH על מנת להעלות או להוריד את ערך הגבה, בהתאמה. טווח ערכי הגבה ששימשו לצורך הכיול ההדדי היה 7.4-8.4. ערכי גבה טבעיים בים נעים בין 8.05 ו-8.2 (בסקלת המדידות הפוטנציומטרית באמצעות אלקטרודות) כך שטווח זה מכסה היטב את הטווח הטבעי הצפוי. לאחר תוספת החומצה/בסיס לדוגמאות המים כל דוגמה נמדדה באמצעות אלקטרודות ומיד אחר כך באמצעות הספקטרופוטומטר. בכל שיטה נמדד ערך הגבה שלוש פעמים וממוצע המדידות הפוטנציומטריות שורטט כנגד ממוצע המדידות בספקטרופוטומטר. בין המדידות על מרחב זה הועבר קו רגרסייה לינארי. התאמת הקו למדידות היתה מצויינת ($R^2=0.99993$), שיפוע הקו 0.971 וחיתוכו עם הציר האנכי 0.126.

$$\text{pH}_{\text{spectro}} = 0.971207 * \text{pH}_{\text{electrode}} + 0.126038$$

בנוסף לכך, במשך שלושה חודשי ניטור כל דוגמאות המים הטבעיות נמדדו בשתי השיטות על מנת לבחון את טיב ההתאמה בין השיטות. נמצא שקו הרגרסייה מייצג היטב את הקשר בין המדידות. שיפוע קו הרגרסייה מאפשרת

כיול המדידות זו לזו וכל הערכים שנמדדו בעבר בשיטה הפוטנציומטרית באמצעות אלקטרודות חושבו מחדש על מנת שיתאימו לסקלת המדידות החדשה. ערכי הגבה אשר ידווחו מעתה והלאה על ידי תכנית הניטור הם הערכים המתאימים לסקלת המדידה של מי ים באמצעות ספקטרופוטומטר Contros HydroFIA pH מליחות: מדידה במד מליחות מדגם Micro-Salinometer MS-310e של חברת RBR, קנדה. המדידה מבוססת על השוואה מגנטית תוך השוואה של מוליכות הדגימה לזו של סטנדרט. נוטריינטים: QuikChem 8000 flow injection analyzer נמדדים במכשיר NO_2 , NO_3 , Si(OH)_4 , PO_4 של חברת Lachat Instruments, Milwaukee, ארה"ב. המדידה מבוססת על תגובת צבע שיוצר כל אחד מהנוטריינטים עם הריאגנט הייחודי לו ליצירת קומפלקס צבע בעל אורך גל בתחום האור הנראה, הנקלט בספקטרופוטומטר של המכשיר. אלקליניות: נקבעת ע"י טיטרציה Gran עם HCl בריכוז 0.05N המתבצעת באמצעות טיטרטור אוטומטי מדגם DL67 ואלקטרודת pH מזכוכית (combined pH electrode) דגם DG111, שניהם של חברת Mettler, Toledo, שווייץ. כלורופיל: המים מסוננים דרך פילטרים מסוג GF/F. הפילטרים ממוצים באצטון 90% בחושך (במקרר 4°C) ל-24 שעות. בתום המיצוי, ריכוז הכלורופיל (chlorophyll-a) נמדד בפלואורומטר מדגם TD-700 של חברת Turner Designs, קליפורניה, ארה"ב. אמוניה: אמוניה נמדדת באמצעות פלואורומטר DyNA QuantTM 2000 של חברת Hoefer לאחר הדגרת הדוגמאות בחושך בתוספת ריאגנט צבע המכיל orthophthaldialdehyde למשך 3 שעות.



איור ג1: מפת תחנות הדיגום החופי במפרץ אילת.

Figure C1: Map of the coastal-water monitoring stations in the territorial waters of Israel in the Gulf of Eilat.

טבלה ג1: מיקום ותיאור תחנות הדיגום החופי של תכנית הניטור הלאומי.

Table C1: Locations of the coastal-water monitoring stations.

שם תחנה	תיאור מיקום	קו רוחב (N)	קו אורך (E)
FF	כלובי הדגים	29°32.527"	34°58.219"
NB	חוף צפוני מול מלון דן	29°32.689"	34°57.776"
N	מול קצה צפוני של בסיס חיל הים \מלון מרידיאן	29°32.678"	34°58.204"
PT	מסוף טעינת פוספטים	29°31.724"	34°56.468"
WPC	תחנת היחידה למניעת זיהום ים	29°30.893"	34°55.686"
NR	גנים יפניים שמורת חוף אלמוג, בקרבת המצפה התת-ימי	29°30.251"	34°55.211"
T	מול מעבר הגבול בטאבה	29°29.478"	34°54.316"
OS	ים פתוח צפונית ל – IUI	29°30.183"	34°56.148"

תוצאות

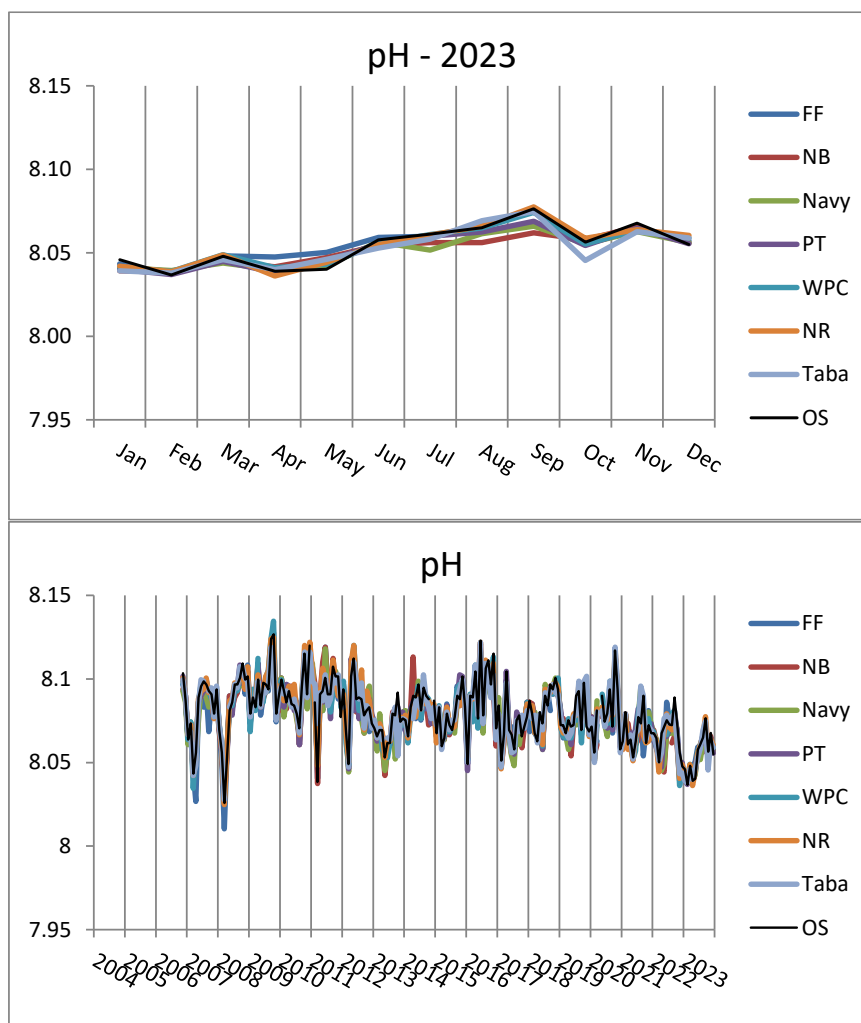
מדדים כימיים

רמת חומציות המים (pH)

תזכורת: עקב התיישנות תמיסות התייחסנו אל כל ערכי pH אשר נמדדו במסגרת תכנית הניטור מאז חודש אוקטובר 2003 ועד לחודש נובמבר 2006 כחשודים ולא קבילים. הערכים המוצגים למטה מאז שנת 2007 הינם אמיתיים. הערכים הנמדדים מאז סוף 2006 דומים לערכים שנמדדו לפני אוקטובר 2003 ומעידים על כך כי לא ניתן לאבחן מגמה ארוכת טווח של שינוי בערכי pH (בניגוד לאמור בדו"ח הניטור 2005, שם הוצגו מדידות שגויות).

מחודש אוקטובר 2022 מדידות ה-pH נעשות באנליזה ספקטרופוטומטרית בסקלה המתאימה למי ים. לאחר תקופה של גיבוש הפרוטוקול וכיול (הן באמצעות מי ים מוחמצים או בתוספת בסיס ליצירת טווח ערכי כיול גדול והן באמצעות מדידה מקבילה של הדוגמאות בשתי השיטות במשך שלושה חודשים) נמצא קשר לינארי מובהק בין תוצאות המדידה באלקטרודות והאנליזות החדשות (ראו מעלה). לפיכך, כל ערכי הגבה אשר נמדדו על ידי התכנית בשנים הקודמות חושבו מחדש ומדווחים כאן על פי הסקלה החדשה.

ערכי ה-pH בחורף נמוכים, בדרך כלל, מאשר בקיץ. זהו מחזור עונתי בו ערכי pH גבוהים נמדדים בחודשי הקיץ והסתיו וערכים נמוכים יחסית נמדדים בחורף המעורבב. השנה לא היתה שונה משנים אחרות, עם ערך נמוך בתחנת הים הפתוח של 8.037 בחודש פברואר וערך גבוה ביותר בחודש ספטמבר, 8.077 (איור ג2). ערך מרבי זה מעט נמוך בהשוואה לשנה הקודמת, 8.089, ובסך הכל ערכי ה-pH בים הפתוח השנה מעט נמוכים יותר מאשר בשנה הקודמת. הערך הנמוך ביותר אשר נמדד השנה היה 8.036, בשמורת חוף אלמוג בחודש אפריל. בשנים הראשונות של המדידות היו שיאים נמוכים, בעיקר בשנים של ערבוב עמוק (2008, 2007, 2012) והשנה נמדדו ערכים נמוכים במשך רוב הזמן עם משרעת ערכים לא גדולה. ערך הגבה של 8.010 הוא הערך הנמוך ביותר שנמדד במסגרת תכנית הניטור, בחודש מרץ 2008 (בזמן הערבוב העמוק ביותר), במקום בו היו כלובי הדגים בחוף הצפוני של אילת.



איור ג2: למעלה, ערכי pH שנמדדו השנה בתחנות החופיות. למטה, ערכי pH חודשיים בכל התחנות החופיות מאז אוקטובר 2006.

Figure C2: Top, pH values measured this year at the coastal stations. Bottom, Monthly pH values at all coastal water monitoring stations since October 2006.

ערכי pH בים מושפעים ממגוון של תהליכים, אשר החשובים שבהם כוללים תהליכי נשימה-פוטוסינטזה, תהליכי שיחלוף גזים עם האטמוספירה, ותהליכי ערבוב של מי שטח עם מי עומק בהם ה-pH נמוך יותר. מחזור הערבוב צפוי להשפיע על כל גוף המים, בעוד יחס נשימה-פוטוסינטזה עשוי להשתנות גם באופן מקומי. המחזור השנתי של ערכי pH בכל תחנות המדידה מושפע קרוב לודאי על ידי מחזור הערבוב השנתי. בתקופת החורף מתערבבים מי השטח עם מים עמוקים בהם ה-pH נמוך כתוצאה מעודף נשימה על פוטוסינטזה. בעונת הקיץ מופרדים מי השטח ומי העומק, ובמים העליונים פעילות פוטוסינטטית גורמת לעליית ה-pH. ערכי pH נמוכים ביותר נמדדו בשנות הערבוב העמוק 2007-8. השנה היה הערבוב לעומק בינוני, כ-400 מטרים, ולא נצפו ערכים קיצוניים של pH.

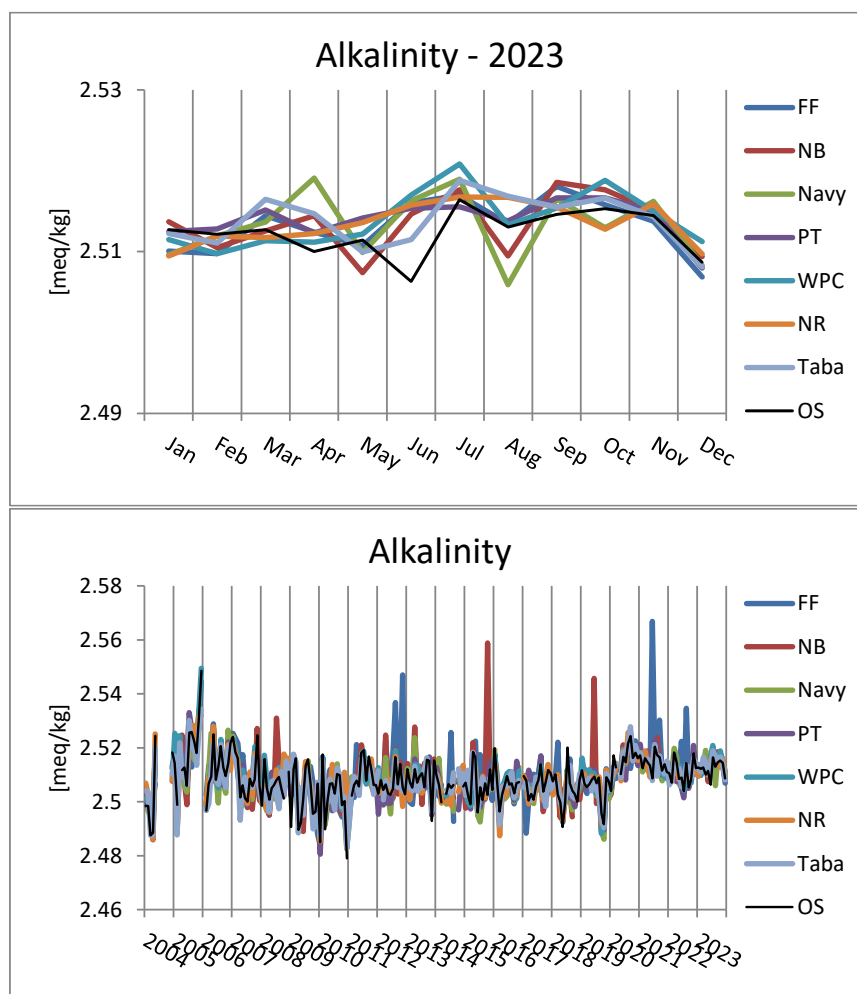
לערכי pH חשיבות רבה לבריאות השונית, כיוון שסביבה חומצית (pH נמוך) פוגעת בהשקעת שלד גירני. לאחרונה עולים חששות מפני ירידת pH ועליית החומציות באוקיינוסים כחלק מהשינויים הגלובליים בכדור הארץ, והשפעה אפשרית של מגמה כזו על שוניות האלמוגים. מדידות ה-pH הנעשות במסגרת תכנית הניטור מאז אוקטובר 2006 מראות מגמה חלשה של ירידה ב-pH.

אלקליניות

האלקליניות היא מדד לסך החומצות החלשות במים והתהליכים העשויים להשפיע עליה הם תהליכי אידוי ומיחול (מליחות), ותהליכי השקעה/המסה של קלציום-קרבונט. שינויים במליחות הינם קטנים ביותר ותהליכי השקעת קלציום-קרבונט צפויים להיות קטנים במים פתוחים. על כן לא צפויים שינויים קיצוניים בערכי אלקליניות

במי הים ניתן לעקוב אחר מחזור עונתי בו האלקליניות מעט נמוכה בחודשי החורף וגבוהה יותר בחודשי הקיץ. ערכי האלקליניות אשר נמדדו השנה בתחנות החופיות מעט נמוכים בהשוואה לשנה הקודמת, והערך הגבוה ביותר נמדד בתחנת "היחידה למניעת זיהום ים" בחודש יולי, $[2.521 \text{ meq/kg}]$. בתחנת "הים הפתוח" הערך הגבוה ביותר נמדד גם כן ביולי, $[2.521 \text{ meq/kg}]$. בשנתיים הקודמות נמדדה אלקליניות גבוהה במיוחד בתחנת "כלובי הדגים" אך השנה לא נמצאה חריגה כזו (איור ג3). השנה לא נמצאו ערכי אלקליניות גבוהים במיוחד בתחנות החופיות, אף כי בשנים האחרונות נמדדו ערכים גבוהים, המצביעים על כך שאלקליניות גבוהה ביחס לשאר התחנות אינה אירוע חריג בחודשי הקיץ בחוף הצפוני של אילת ובפרט בתחנת "כלובי הדגים". הערך הנמוך ביותר אשר נמדד השנה בתחנת הים הפתוח היה 2.506 [meq/kg] בחודש יוני, דומה למדידת השנה הקודמת.

ערך האלקליניות הגבוה ביותר אשר נמדד במסגרת תכנית הניטור הוא 2.567 [meq/kg] בתחנת "כלובי הדגים" בשנת 2021, אך גם בתחנות אחרות בחוף הצפוני של אילת נמדדת מדי פעם אלקליניות גבוהה, למשל בתחנת "החוף הצפוני" בחודש אוקטובר בשנת 2015, 2.559 [meq/kg] . גם מדידה זו היתה חריגה ביחס לערכי התחנות האחרות באותו יום (25 באוקטובר 2015) ונעשתה יום לאחר סופת גשמים שגרמה לכניסת נגר לים. ביום זה אפיינו את דוגמת המים מהחוף הצפוני אלקליניות גבוהה וריכוזי נוטריינטים גבוהים. בשנות הניטור לא ניתן לאבחן מחזוריות סדירה בערכי האלקליניות, או תבנית ברורה בין התחנות. מגמת עלייה אשר הסתמנה בשנים 2004-5 לא נמשכה בשנת 2006, ומאז שנת 2007 ערכי האלקליניות די יציבים. מדידות גבוהות במיוחד או נמוכות במיוחד, במידה ונמצאו, נמדדו לרוב באחת מן התחנות הצפוניות. משרעת הערכים הנמדדת מאז 2011 בים הפתוח קטנה מזו המאפיינת את מדידות השנים שקדמו לה.



איור ג3: למעלה, ערכי אלקליניות שנמדדו השנה בתחנות החופיות. למטה, ערכי אלקליניות חודשיים בכל התחנות החופיות מאז אוקטובר 2004.

Figure C3: Top, alkalinity measured this year at the coastal stations. Bottom, Monthly alkalinity at all coastal water monitoring stations since October 2004.

חנקן אנאורגאני מחומצן ($\text{Total Oxidized Nitrogen} = \text{NO}_3 + \text{NO}_2$)

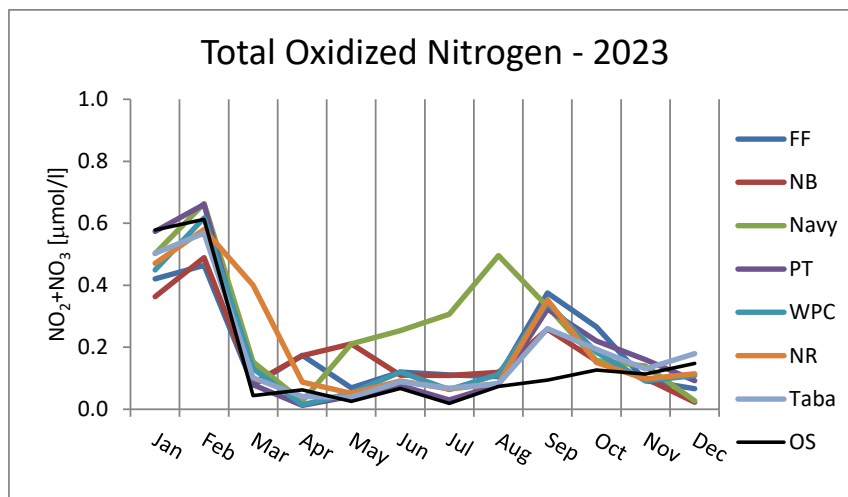
המחזור השנתי של ריכוז חנקן אנאורגאני מחומצן נשלט על ידי מחזור הערבוב של עמודת המים. חודשי הקיץ, בהם עמודת המים משוככת, נחשבים לתקופה "אוליגוטروفית" בה השכבה הפוטית (שכבת המים העליונה אליה חודר האור) ענייה בנוטריינטים, מכיוון שאלו נצרכו על ידי פיטופלנקטון ואין ערבוב בין מי השטח (העניים בנוטריינטים) למי העומק (שם מצטברים נוטריינטים). ערבוב עמודת המים בחודשי החורף מביא להעשרת המים העליונים בחנקן מחומצן שמקורו במים העמוקים. לפיכך, ערכי חנקן אנאורגאני מחומצן נמוכים מאוד בחודשי הקיץ וגבוהים יותר בחודשי החורף.

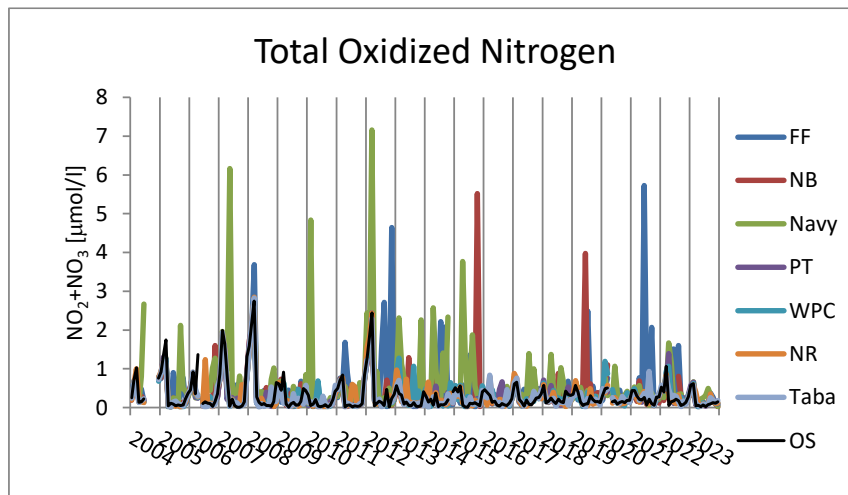
בקיץ זמינות החנקן מהווה גורם מגביל לגידול אצות, ואספקתו – אם ממקור חיצוני ואם ממי העומק בתקופת הערבוב – גורמת לפריחתן. פריחת אצות ממושכת ו\או אינטנסיבית עשויה לפגוע בשוניית.

ריכוזי החנקן השנה היו נמוכים בהשוואה לשנה הקודמת, עם ערכים גבוהים בכל התחנות בחודש פברואר וערך מרבי בתחנת "חיל הים", $0.664 \mu\text{mol/l}$. בתחנה זו נמדדו ערכים גבוהים בהשוואה לשאר התחנות בחודשים מאי-ספטמבר, וגם בשנה הקודמת נמדדו שם ריכוזי חנקן גבוהים במיוחד עם ערך מרבי של $1.664 \mu\text{mol/l}$, בחודש אפריל 2022 (איור 4).

ערכים גבוהים בהרבה נמדדו בחודש יוני 2021 בתחנת "כלובי הדגים" ($5.729 \mu\text{mol/l}$ בחודש יוני) וייצגו ללא ספק תרומת נוטריינטים ממקור חיצוני – ככל הנראה דרך מוצא תעלת הקינט. זה היה ריכוז החנקן הגבוה ביותר אשר נמדד במסגרת ניטור התחנות החופיות מאז הערבוב העמוק של שנת 2012, וריכוזי החנקן השנה היו נמוכים בהרבה.

גם באוקטובר שנת 2015 נמדד בתחנת החוף הצפוני ריכוז חנקן חריג ($5.518 \mu\text{mol/l}$) אשר שיקף כניסת מי נגר לים בעקבות סופת גשמים. על רקע מדידות השנים האחרונות בתחנות החופיות, הערכים הגבוהים הנמדדים מפעם לפעם בתחנות הצפוניות גבוהים במידה רבה מאד מערכי הים הפתוח והתחנות הדרומיות ומייצגים כניסת מים מהיבשה. כניסות אלה יכולות להיות כתוצאה ממי נגר בהקשר לאירועי גשמים בחורף, אך – בעיקר בקיץ – קשורים כנראה להזרמה מתעלת הקינט כפי שמשתקף בערכים גבוהים אשר נמדדים במוצא התעלה. ריכוז החנקן הגבוה ביותר בים הפתוח היה השנה בחודש פברואר, $0.613 \mu\text{mol/l}$, נמוך מהריכוז המרבי בשנה הקודמת בה היה ערבוב עמוק. ריכוזי חנקן גבוהים הרבה יותר נמדדו בתחנת "הים הפתוח" בחורפים של ערבוב עמוק בשנים 2012, 2008 ו-2007.





איור ג4: למעלה, ריכוזי חנקן מחומצן (ניטריט + ניטראט, TON) שנמדדו השנה בתחנות החופיות. למטה, ריכוזי חנקן מחומצן חודשיים בתחנות הניטור החופי מאז שנת 2004.

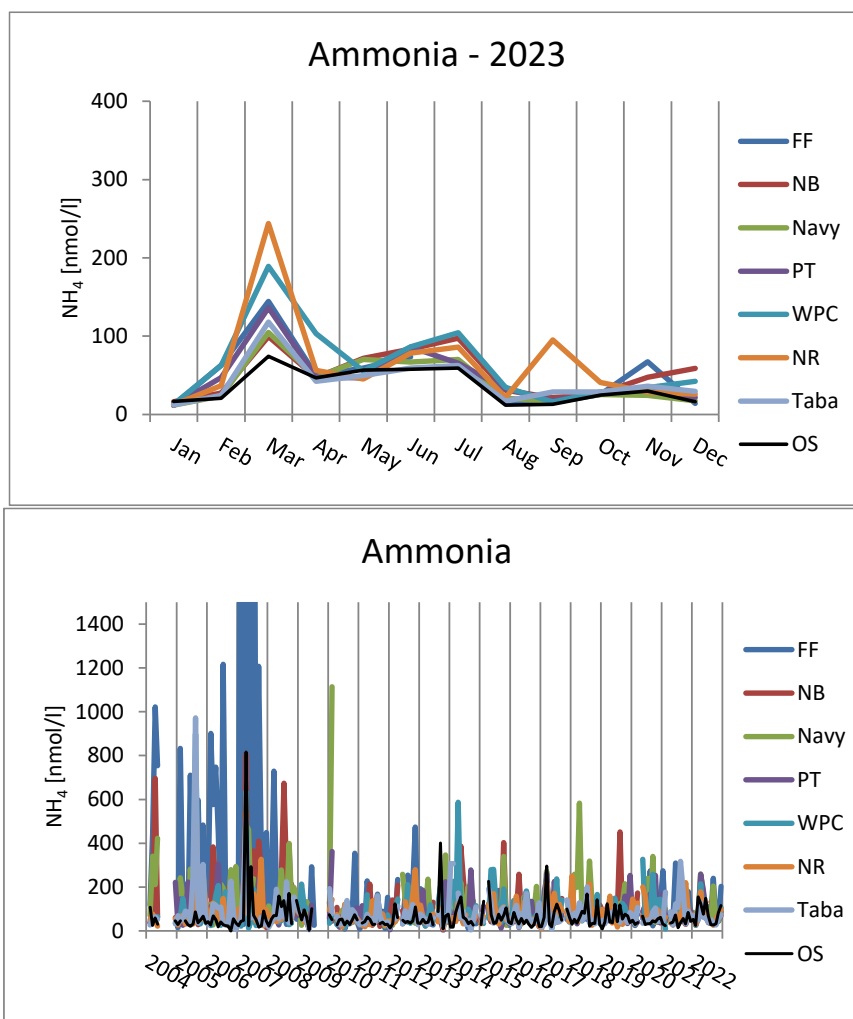
Figure C4: Top, concentrations of total oxidized nitrogen (TON, nitrate+nitrite) measured this year at the monitoring coastal stations. Bottom, monthly TON concentrations at the coastal water sampling stations since 2004.

אמוניה (NH_4)

קשיי דגימה אשר מקורם בבלאי מתמשך של בקבוקי הדגימה גרמו לכך שבתקופה מסוימת הועברו מים מהבקבוקים לכלי המעבדה בזמן ההפלגה. תהליך זה גרם לעיתים "לזיהום" של דוגמאות האמוניה, אשר מדידתם רגישה ביותר, ועקב כך רבים מערכי האמוניה אשר נמדדו לא עמדו במבחן בדיקות האיכות ואינם מובאים להלן. תכנית הניטור רכשה בשנת 2009 בקבוקי דגימה (Go-Flo) נוספים על מנת להבטיח איכות המדידות. נראה כי המדידות נקיות יותר מאז תחילת השימוש בצידוד החדש.

האמוניה היא צורת חנקן זמינה מאוד ונצרכת במהירות על ידי פיטופלנקטון וחיידקים, ועל כן ריכוזה בים (ובפרט בתנאים אוליגוטרופיים) צפוי להיות נמוך ביותר. ריכוזי אמוניה גבוהים מעודדים גידול אצות העשויות לפגוע בשונית. מכיוון שהאמוניה נצרכת במהירות על ידי פיטופלנקטון, נוכחות אמוניה במים מעידה על מקור העשרה מקומי.

המחזור העונתי בריכוזי האמוניה מתגלה במדידות תחנת הים הפתוח עם ערכים גבוהים בסוף החורף ונמוכים בסוף הקיץ. פעמים רבות נמדדים בתחנות החופיות ריכוזי אמוניה גבוהים מאשר בתחנת הים הפתוח. השנה נמצאו ריכוזים גבוהים בחודש מרץ, עם ערך מרבי בשמורת חוף אלמוג, 244 nmol/l (איור ג5). גם ריכוזי האמוניה היו נמוכים השנה, בהשוואה למרבית השנים הקודמות ובסך הכל, מאז שנת 2008 ערכי אמוניה בתחנות החופיות בדרך כלל נמוכים. בפרט בתחנות הצפוניות, ריכוזי השנים האחרונות נמוכים בהשוואה לערכים הגבוהים אשר נמדדו לפני 2008.



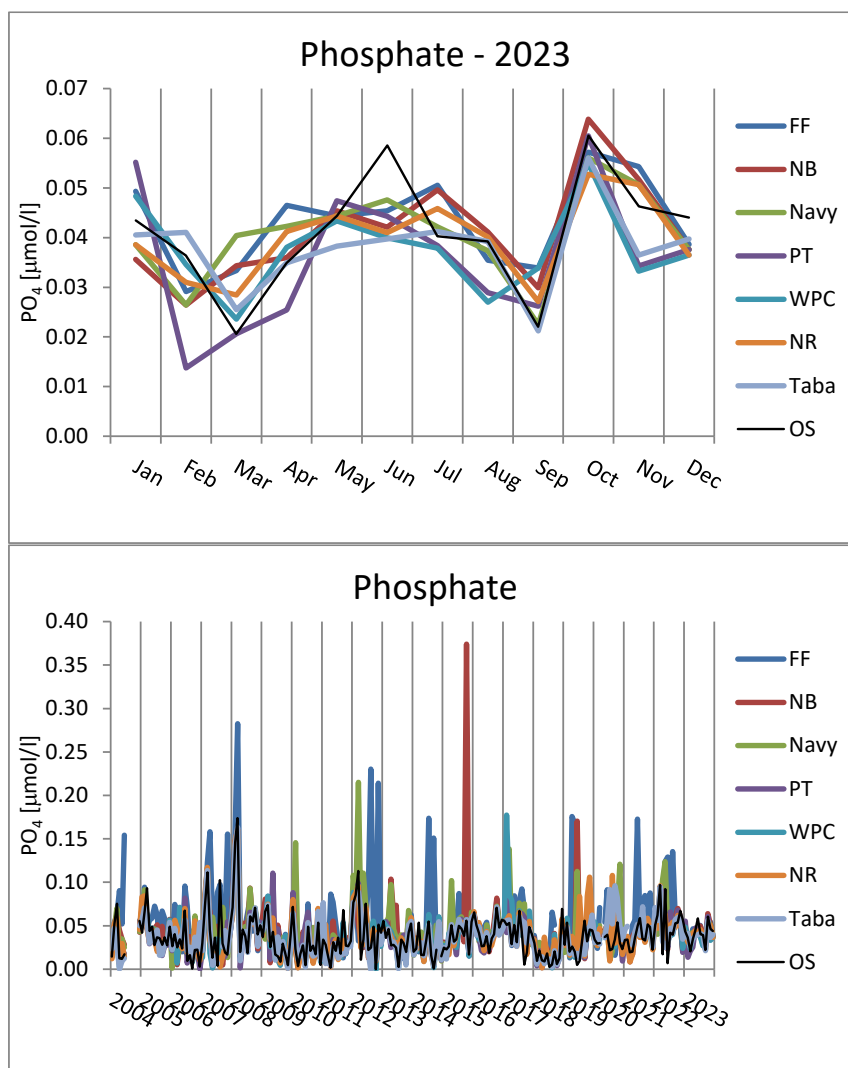
איור 5: למעלה, ריכוזי אמוניה (NH_4) שנמדדו השנה בתחנות החופיות. למטה, ריכוזי אמוניה חודשיים בתחנות הניטור החופי מאז שנת 2004.

Figure C5: Top, ammonia (NH_4) concentrations measured this year at the monitoring coastal stations. Bottom, monthly ammonia concentrations at the coastal water sampling stations since 2004.

פוספט (PO_4^{3-})

ריכוזי פוספט בתחנות החופיות ובים הפתוח מראים, לרוב, מחזוריות שנתית חלשה של ערכים גבוהים יחסית בחורף ונמוכים בקיץ. הפוספט גם הוא נוטריינט חשוב ליצרנות ראשונית, ועל כן ריכוזו בפני הים בקיץ נמוך עקב צריכה על ידי יצרנים ראשוניים. בחורף ריכוזו עולה עקב ערבוב מי השטח עם מי עומק עשירים בנוטריינטים אך הוא נצרך בתהליכי היצרנות הראשונית. ריכוזי פוספט מקומיים גבוהים באופן חריג בתחנות החופיות עשויים להצביע על העשרה מקומית בנוטריינטים, אך השנה לא נמדדו ריכוזים חריגים (איור 6).

הריכוז הגבוה ביותר בים הפתוח נמדד השנה דווקא בחודש אוקטובר, $0.060 \mu\text{mol/l}$, נמוך מהערך המרבי בשנה הקודמת, כצפוי מהיותה של השנה הקודמת שנה של ערבוב עמוק.



איור 6: למעלה, ריכוזי פוספט (PO_4) שנמדדו השנה בתחנות החופיות. למטה, ריכוזי פוספט חודשיים בתחנות הניטור החופי מאז שנת 2004.

Figure C6: Top, phosphate (PO_4) concentrations measured this year at the monitoring coastal stations. Bottom, monthly phosphate concentrations at the coastal water sampling stations since 2004.

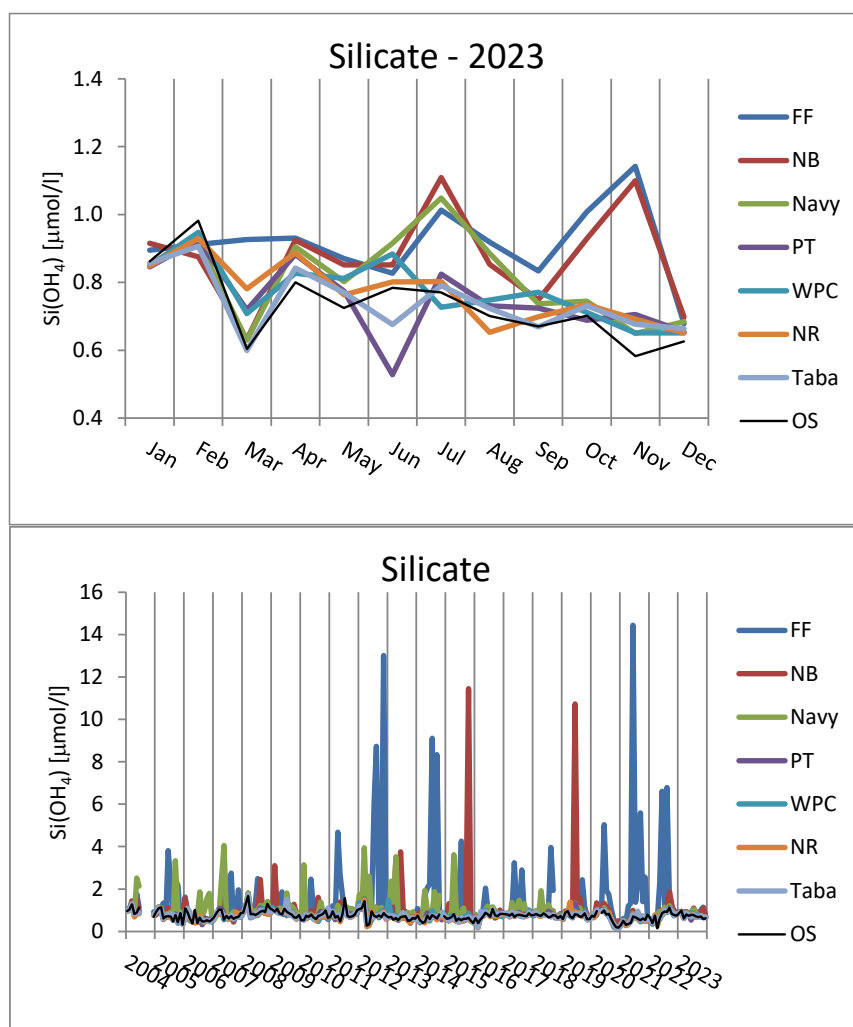
סיליקה (Si(OH)_4)

סיליקה היא רכיב מומס המשמש בהשקעת שלד צורני במגוון של פיתו/זואו-פלנקטון (דוגמת דיאטומאות) בעמודת המים. בהתאם לכך הסיליקה נצרכת במי השטח על ידי יצורים אלה וריכוזה נמוך במיוחד בקיץ וגבוה מעט יותר בחורף עם ערבוב מי השטח במי עומק עשירים יותר. היצורים המשקיעים שלד צורני זקוקים לסביבה עתירת נוטריינטים ועל כן מציאותם מסמנת חריגה מהמצב האוליגוטרופי. סילוק הסיליקה מהמים העליונים מרמז על השקעת שלדים צורנים.

ריכוזי הסיליקה בים הפתוח וברוב התחנות החופיות היו נמוכים לאורך כל השנה, ובמיוחד במרץ בו כנראה היה שיא פריחת האביב של אצות צורניות. עם זאת, בתחנת "כלובי הדגים" לא נמדדה ירידה בריכוזי הסיליקה בחודש מרץ וגם בחודשים יולי ונובמבר נמדדו שם ובתחנות הצפוניות ריכוזי סיליקה (איור ג7). על אף האמור לעיל, ריכוזי הסיליקה המרביים בתחנות אלה השנה ($1.14 \mu\text{mol/l}$, בנובמבר בתחנת "כלובי הדגים") נמוכים בהרבה מאלה שנמדדו שם בשנים האחרונות ($6.78 \mu\text{mol/l}$ באוגוסט השנה הקודמת).

מאז שנת 2018 לא נמדדו שיאים בריכוזי הסיליקה בסמוך לתחנת "חיל הים" והדבר נובע, כנראה, מעצירת השימוש במי תהום עשירים בנוטריינטים לקירור מערכות במלון הסמוך לתחנה, מים אשר הוזרמו לים לאחר השימוש. בחודש יולי השנה נמדד שם ריכוז סיליקה דומה לזה שבתחנות הצפוניות ומקורו כנראה משותף להן. באזור החוף הצפוני של אילת עדיין נמדדים לעיתים קרובות ריכוזי סיליקה גבוהים יחסית לערכי הים הפתוח

והתחנות הדרומיות, אף כי מידת החריגה השנה היתה נמוכה בהשוואה לשנים האחרונות. כאשר נמדדים ריכוזים גבוהים הם מצומדים לרוב עם ריכוזים גבוהים של נוטריינטים אחרים ומצביעים על העשרה מקומית, כנראה זרימת מים לים דרך תעלת הקינט.



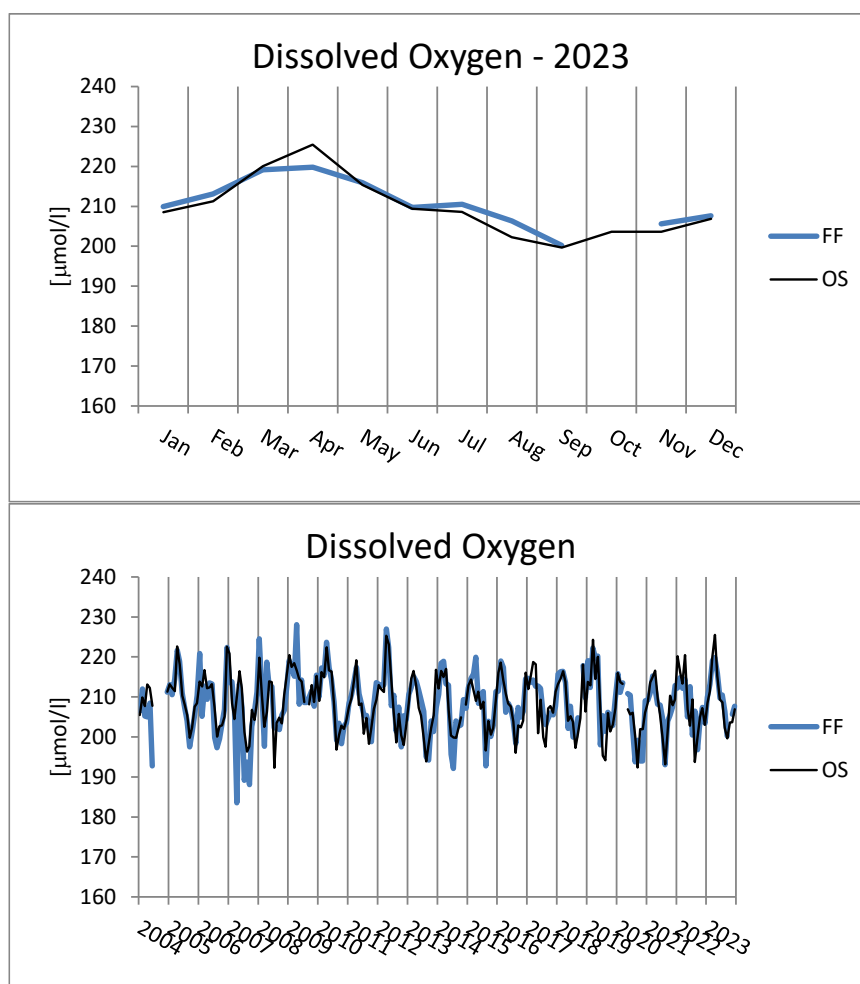
איור 7: למעלה, ריכוזי סיליקה (Si(OH)_4) שנמדדו השנה בתחנות החופיות. למטה, ריכוזי סיליקה חודשיים בתחנות הניטור החופי מאז שנת 2004.

Figure C7: Top, silicate (Si(OH)_4) concentrations measured this year at the monitoring coastal stations. Bottom, monthly silicate concentrations at the coastal water sampling stations since 2004.

חמצן מומס

חמצן מומס נמדד בשתי תחנות, בתחנת "כלובי הדגים" שבחוף הצפוני ובתחנת הים הפתוח. ריכוז החמצן המומס עולה בחודשי האביב, ויורד בקיץ-סתיו. שלושה גורמים צפויים להשפיע על ריכוז החמצן המומס: טמפרטורה, חמצון חומר אורגני ותהליך הנשימה/פוטוסינתזה. בטמפרטורה נמוכה עולה מסירות החמצן וריכוז חמצן מומס במים צפוי לעלות. חמצון חומר אורגני ותהליכי נשימה במים צורכים חמצן, ואילו תהליכי פוטוסינתזה עשויים לשחרר חמצן למים. ריכוזי החמצן הגבוהים בסוף החורף-אביב עשויים לנבוע הן מהטמפרטורה הנמוכה בפני הים והן עקב עליה בפעילות פוטוסינתטית בתקופה זו (ראה מדידות כלורופיל a למטה). דינאמיות של שינויים בריכוזי החמצן עשויה להצביע על מחזוריים של פריחות פיטופלנקטון וקריסתן. לא צפויים להיות הבדלים במרחב (בין התחנות השונות) בריכוז החמצן המומס. ובכל שנה צפויה שכבת המים העליונה להיות רוויה בחמצן. משרעת הריכוזים של חמצן מומס בתחנת הים הפתוח נעה השנה בין $225 \mu\text{mol/l}$ בחודש אפריל ל- $\mu\text{mol/l}$ 200 בספטמבר (איור 8). ריכוזי החמצן בתחנת "כלובי הדגים" אינם שונים בהרבה, וריכוזי החמצן המומס

שנמדדו השנה דומים ומעט גבוהים מאלה של השנה הקודמת. בסך הכל, אין הבדלים גדולים בריכוזי החמצן המומס בפני הים בשנים האחרונות. כאמור, נראה שבכל שנה מגיעים המים העליונים לרוויה מבחינת תכולת החמצן המומס. ריכוזי החמצן המומס בתחנת "כלובי הדגים" אינם חורגים ממשרעת הערכים אשר נמדדו בים הפתוח, בניגוד להבדלים הגדולים אשר נמדדו לפני 2009 – אז פריחות מקומיות כתוצאה מהעשרה בנוטריינטים וניצול החמצן לצורך חימצון חומר אורגני גרמו לעיתים קרובות למשרעת ריכוזי חמצן מומס גדולה יותר בתחנת "כלובי הדגים".



איור 8: למעלה, ריכוזי חמצן מומס שנמדדו השנה בתחנות הים הפתוח ו"כלובי הדגים". למטה, ריכוזי סיליקה חודשיים בתחנות אלה מאז שנת 2004.

Figure C8: Top, dissolved oxygen concentrations measured this year at the "Open Sea" and "Fish Farms" monitoring stations. Bottom, monthly oxygen concentrations at these sampling stations since 2004.

כלורופיל a

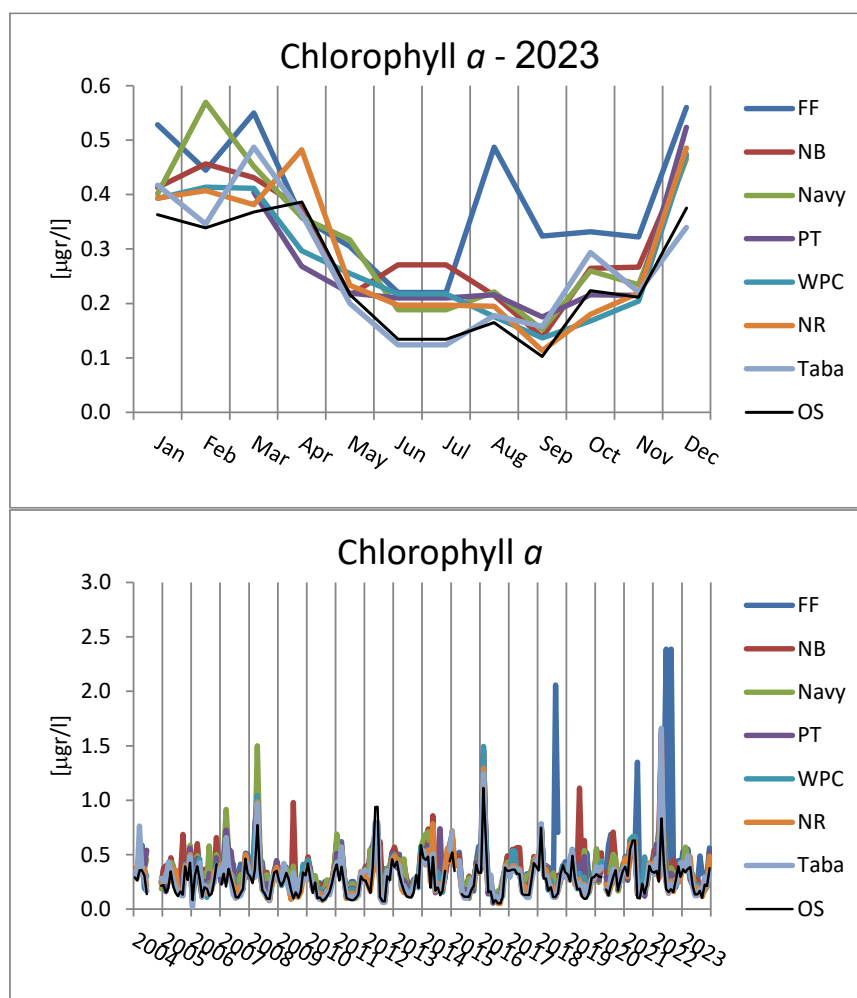
ריכוז כלורופיל a קשור ישירות למחזור הערבוב השנתי המספק חומרי מזון ויוצר פריחות פיטופלנקטון בחודשי האביב. בדרך כלל נמדדים ריכוזים נמוכים יותר בתחנת הים הפתוח ובתחנות הדרומיות, וגבוהים יחסית בתחנות הצפוניות.

ריכוז כלורופיל a משמש מדד לצפיפות הפיטופלנקטון במי השטח ועל כן בעל אופי מקומי יותר מריכוזי התרכובות המומסות (הן בזמן והן במרחב). בימים אוליגוטרופיים (=עניים בחומרי מזון) מוגבלת כמות האצות על ידי זמינות נוטריינטים ולכן אספקת נוטריינטים עשויה לגרום לפריחה מקומית של אצות. עליית ריכוז הכלורופיל בחודשי החורף והאביב נובעת מערבוב מי השטח עם מי עומק עשירים בנוטריינטים הגורמים לפריחת אצות. יש לזכור כי כלורופיל a אינו מדד ישיר לריכוז נוטריינטים ואף לא ליצרנות ראשונית, כיוון שריכוז אצות בים עשוי להיות בעל אופי כתמי, ומושפע גם מתהליכי רעייה, ומהבדלים פיסולוגיים בפיטופלנקטון.

לרוב נמדדים בתחנות החופיות ריכוזי כלורופיל גבוהים מהריכוזים בים הפתוח וכך היה גם השנה (איור ג9). עם זאת, ריכוזי הכלורופיל בכל התחנות היו השנה נמוכים בהשוואה לשנה הקודמת בה היה ערבוב עמוק. ריכוז הכלורופיל הגבוה בתחנת הים הפתוח נמדד בחודש אפריל, $0.39 \mu\text{gr/l}$ (לעומת $0.83 \mu\text{gr/l}$ בשנה הקודמת). בחודשי החורף היו ריכוזי הכלורופיל בכל התחנות החופיות גבוהים בהשוואה לים הפתוח, אך ריכוזים חריגים נמצאו בחודשי הקיץ, בפרט באוגוסט בתחנת "כלובי הדגים" שם נמדדו $0.49 \mu\text{gr/l}$, לעומת $0.17 \mu\text{gr/l}$ בים הפתוח. גם חריגה זו קטנה בהשוואה לשנה הקודמת בה נמדדו שם בחודשים בחודשים יוני וספטמבר ערכים גבוהים בהרבה מערכי חודש אפריל ($2.39 \mu\text{gr/l}$) ונבעו, כנראה, מהזרמות נוטריינטים דרך תעלת הקינט. השיא הקודם בריכוז הכלורופיל נמדד על ידי הניטור בחודש אוגוסט 2018 בתחנת "כלובי הדגים", $2.06 \mu\text{gr/l}$, והיה כנראה קשור גם הוא להזרמות בתעלת הקינט.

בשנים בהן הערבוב רדוד נמצא בדרך כלל בפני הים ריכוז כלורופיל נמוך יחסית לשנים בהן ערבוב עמוק. המים עמוק. ריכוז הכלורופיל הגבוה ביותר אשר נמדד בתחנת הים הפתוח היה בינואר 2016, $1.11 \mu\text{gr/l}$, גבוה מהערכים שנמדדו בעקבות אירועי הערבוב העמוק בשנים 2007, 2008, 2012 ו-2022. בתחילת החורף של 2016 העמיק הערבוב במהירות ונוטריינטים שהועלו למים הרדודים גרמו לריכוזי כלורופיל גבוהים בחודש ינואר. התקררות פני הים פסקה בהמשך ותהליך הערבוב נעצר, כך שריכוזי הכלורופיל בשאר חודשי 2016 לא היו גבוהים באופן מיוחד.

במדידות הקודמות לשנת 2008 נמצאו לעיתים קרובות ריכוזי כלורופיל גבוהים המצביעים על פריחות אצות. בשנת 2014 תבנית ריכוזי הכלורופיל הזכירה את המצב בתקופה ההיא, עם חריגות רבות בתחנות החופיות ובשנים האחרונות שוב נמדדו לעיתים ריכוזי כלורופיל מקומיים גבוהים, בפרט בתחנות הצפוניות, ומצב זה דורש מעקב אחר מקורות כניסת חומרים לים. השנה, כאמור, היו ריכוזי הכלורופיל נמוכים בהשוואה לשנה הקודמת וגם החריגות בתחנת "כלובי הדגים" היו נמוכות יחסית.



איור ג9: למעלה, ריכוזי כלורופיל- a שנמדדו השנה בתחנות החופיות. למטה, ריכוזי הכלורופיל החודשיים בתחנות הניטור החופי מאז שנת 2004.

Figure C9: Top, chlorophyll-a concentrations measured this year at the monitoring coastal stations. Bottom, monthly chlorophyll-a concentrations at the coastal water sampling stations since 2004.

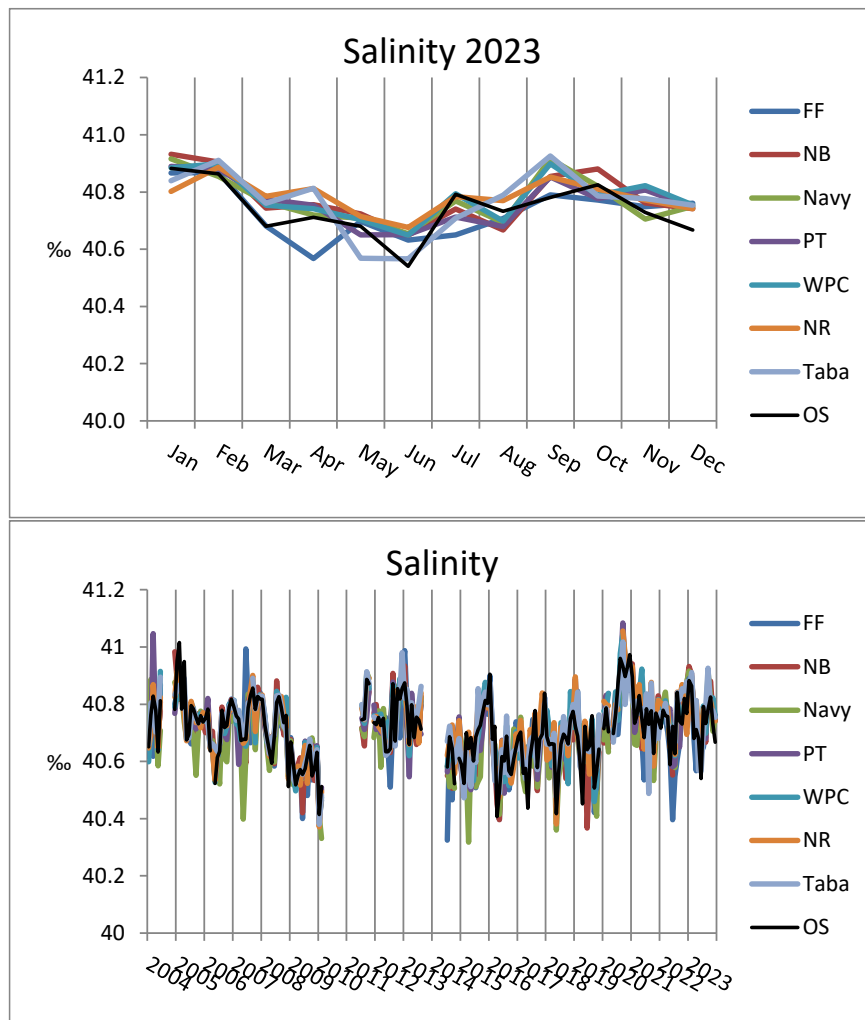
מדדים פסיקליים

מליחות

[בפברואר 2010 אובחנה נדידה חזקה של תוצאות מדידות המליחות במד המליחות במעבדה. התוצאות החשודות אינן מוצגות, והחל מחודש יולי 2011 מוצגות מדידות אשר נעשות במד מליחות חדש שרכשה התכנית בשיתוף עם המכון הבינאוניברסיטאי. מדידות המליחות במכשיר החדש עברו בדיקות וכיולים לפני שצורפו לרישום המליחות ארוך הטווח אשר מבצעת תכנית הניטור. חוסרים בנתונים נובעים מתקלות אנליטיות].

מליחות הים הפתוח מראה לרוב מחזוריות של ערכים נמוכים יחסית בחודשי החורף וגבוהים יותר בחודשי הקיץ. סביב מדידות אלה ישנו "רעש" גדול בתחנות החופיות הנובע משינויים מקומיים ותחלופה מוגבלת באזורים הרדודים.

השנה נמדדה מליחות נמוכה יחסית בתחנת "כלובי הדגים" בחודש אפריל (40.568 ‰) וערך דומה בתחנת "טאבה" במאי. גם ערכים אלה פחות בולטים מהערך הנמוך בתחנת "כלובי הדגים" בשנה הקודמת (40.396 ‰). מלבד אלה, ההבדלים בין התחנות החופיות ובינן לבין תחנת הים הפתוח לא היו גדולים השנה (איור 10).



איור 10: למעלה, ערכי מליחות שנמדדו השנה בתחנות החופיות. למטה, ערכי מליחות חודשיים בכל התחנות החופיות מאז אוקטובר 2004. מרווחים בנתונים נובעים מתקלות במכשיר המדידה.

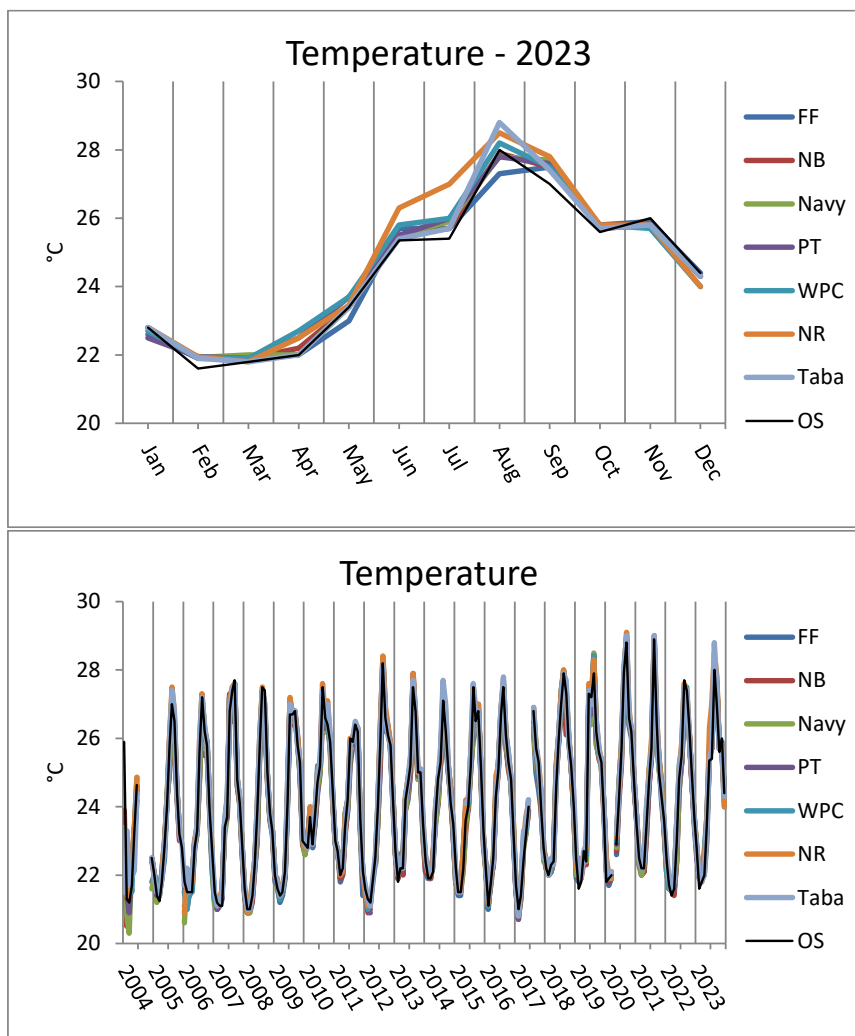
Figure C10: Top, salinity measured this year at the coastal stations. Bottom, Monthly salinity at all coastal water monitoring stations since October 2004. Gaps in the data reflect failure of the analytical instrument.

טמפרטורה

[מדידות הטמפרטורה בחורף 2004 משתרעות על טווח של למעלה משתי מעלות באותו בוקר. למרות שהבדלי טמפרטורה מקומיים עשויים לשמש עדות לגופי מים שונים, או הזרמת מים מהחוף אל הים, המשרעת הגדולה חודש אחר חודש והעדר תבנית מרחבית מעמידה בספק את אמינות המדידות בתחילת 2004 (באותה תקופה נעשה שימוש במד טמפרטורה דיגיטלי אשר הוחלף במד חום כספית מדויק).]

טמפרטורת מי השטח מראה מחזור עונתי מובהק של ערכים נמוכים בחודשי החורף וערכים גבוהים בקיץ. הבדלי הטמפרטורה בין התחנות החופיות באותו מסע דגימה קטנים, וכולן דומות לערך הנמדד בים הפתוח ובתחנה A. עם זאת, בחודשים בהם נמדדים ערכי קיצון פעמים רבות מראות התחנות החופיות ערכים קיצוניים יותר מאשר תחנת הים הפתוח. השנה נמדדה עליה חדה, בשיעור של כ- 3°C , בטמפרטורת פני הים בין חודש יולי לאוגוסט והטמפרטורה המרבית שנמדדה היתה 28.8°C בתחנת טאבה בחודש אוגוסט – רק מעט נמוך מהטמפרטורה המרבית שנמדדה עד כה במסגרת הניטור החופי (29.1°C , ב"שמורת האלמוגים" בשנת 2020). גם בתחנת "שמורת האלמוגים" נמדדו טמפרטורות גבוהות יחסית השנה, ונראה כי התחנות הדרומיות היו "חמות" יותר מהתחנות הצפוניות בקיץ השנה.

טמפרטורת פני הים הגבוהה אשר נמדדה השנה בתחנת הים הפתוח היתה 28.0°C בחודש אוגוסט, מעט גבוהה מאשר בשנה הקודמת. הטמפרטורה המזערית היתה 21.6°C בחודש פברואר, גבוהה מהערך המזערי של השנה הקודמת, 21.04°C בחודש מרץ 2022, בה היה חורף קר שהוביל לערבוב עמוק (איור ג11).

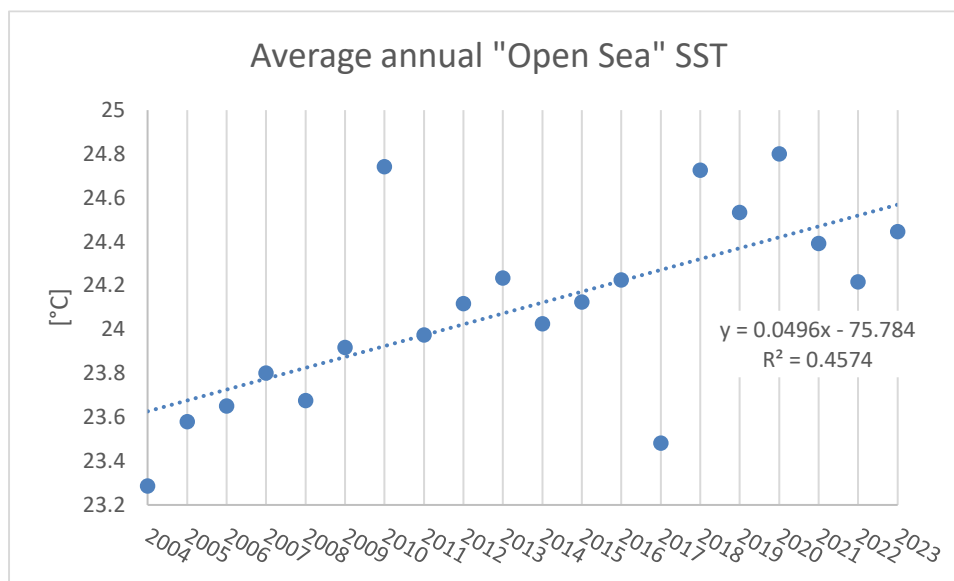


איור ג11: למעלה, טמפרטורות פני הים שנמדדו השנה בתחנות החופיות. למטה, טמפרטורות פני הים החודשיות בכל התחנות החופיות מאז אוקטובר 2004.

Figure C11: Top, sea surface temperatures measured this year at the coastal stations. Bottom,

Monthly SSTs at all coastal water monitoring stations since October 2004.

ממוצע הטמפרטורות השנתי המדוד בתחנת הים הפתוח היה השנה 24.4°C , מעט גבוה מהערך הנמוך של השנה הקודמת בה היה ערבוב עמוק, 24.2°C , ודומה לזה של שנת 2021 (איור ג12). הממוצע השנתי הגבוה ביותר בתחנת הים הפתוח היה בשנת 2020 אשר היתה "החמה" ביותר עד כה, עם ממוצע מדידות של 24.8°C . השנה החמה ביותר הקודמת היתה 2010 (24.7°C) אז היתה משרעת טמפרטורות קטנה והממוצע היה גבוה בעקבות טמפרטורת חורף גבוהה. במשך הזמן מתועדת עליה מתמשכת בטמפרטורת פני הים השנתית הממוצעת הנמדדת בתחנת "ים פתוח" במסגרת ניטור התחנות החופיות. מגמת העליה היא בשיעור של כחצי מעלה בעשור ($\sim 1/2^{\circ}\text{C} / 10 \text{ years}$).



איור ג12: טמפרטורת פני הים השנתית הממוצעת הנמדדת בתחנת "ים פתוח" במסגרת ניטור התחנות החופיות נמצאת במגמת עליה בשיעור גדול מחצי מעלה בעשור.

Figure C12: Annual average SST at the "Open Sea" sampling station displays a rising trend greater than $1/2^{\circ}\text{C}$ per decade.

עכירות

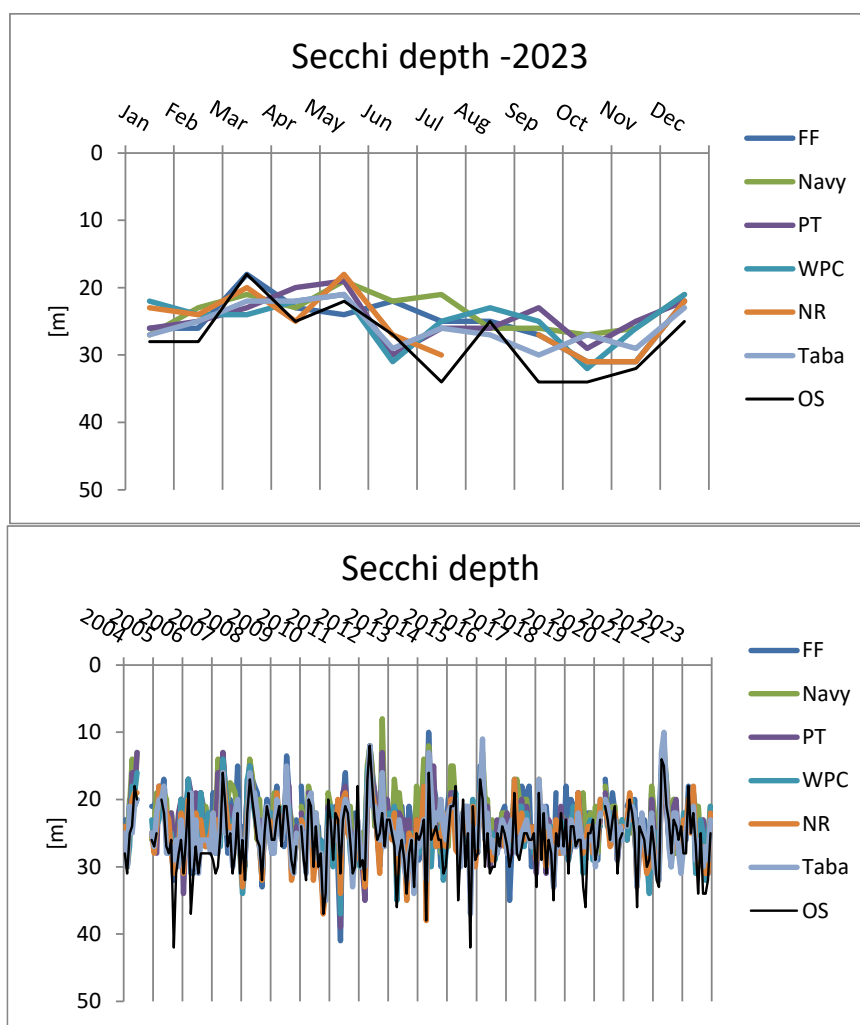
הערכת עכירות המים נעשית לפי מדידת "עומק סקי" (Secchi), שיטה בה הדיוק אינו גבוה בהיותה מושפעת גם מגורמים כגון מצב הים (היינו, שבירת אור על פני המים בים גלי), זווית השמש, והערכה סובייקטיבית של המודד. גורמים אלה גם עשויים ליצור הפרשים גדולים יחסית של ערכים בין תחנות. יחד עם זאת המדידה פשוטה, זמינה, ונעשית מזה שנים רבות בכל העולם.

עומק הסקי גדול בסוף הקיץ (= מים צלולים יחסית) ונמוך יותר באביב. המחזור השנתי של שינויים בעומק סקי (המהווה מדד לצלילות המים) נובע בעיקר ממחזור הערבוב אשר גורם לפריחת אצות ועליה בעכירות. אולם, עכירות המים בקרבת החוף מושפעת גם מגורמים נוספים כגון סוג קרקעית הים ומשטר זרמים וגלים העשויים לגרום להרחפת סדימנט, תוספת מים בעלי עכירות גבוהה מהחוף, תוספת חומר חלקיקי לים, או פריחת אצות מקומית הנובעת מהעשרה בנוטריונים. העכירות הגבוהה יחסית הנמדדת לעיתים קרובות בתחנות הצפוניות עשויה לנבוע מכל אחד מגורמים אלה.

בשנה הקודמת, בעקבות הערבוב העמוק היתה פריחת פיטופלנקטון חזקה וארוכה והמים היו עכורים במשך שבועות רבים. בים הפתוח נמדד בחודשים אפריל ומאי 2022 עומק מזערי של 14 ו-15 מ' בחודשים אפריל ומאי. השנה נמדדו עומקי סקי "רגילים", עם עומק מזערי של 18 מ' בחודש מרץ בים הפתוח (איור ג13). בקיץ היה עומק הסקי בים הפתוח באוגוסט היה 34 מטרים בדומה לקיץ 2021. בתחנות החופיות נמדד לרוב עומק סקי מעט נמוך מאשר בים הפתוח.

במשך תקופת הניטור המחזוריים העונתיים הם הדומיננטים בעומקי הסקי הנמדדים ואיננו מבחינים בשינוי מגמתי, אף כי בשנים הראשונות לניטור משרעת העומקים בין התחנות היתה לעיתים קרובות גדולה יותר וברוב

התחנות נמדדו עומקים קטנים יותר מאשר בים הפתוח. בשנים האחרונות ההבדלים בין התחנות קטנים יותר.



איור ג13: למעלה, מדידות עכירות (עומק סקי) השנה בתחנות החופיות. למטה, מדידות עכירות (עומק סקי) החודשיות בכל התחנות החופיות מאז אוקטובר 2004.

Figure C13: Top, Secchi depths measured this year at the coastal stations. Bottom, Monthly Secchi depths at all coastal water monitoring stations since October 2004.

ערכי רוב המדדים במי השטח גבוהים יותר בחודשי החורף מאשר בקיץ. התהליך השולט ברוב המדדים הכימיים, הפיסיקליים והביולוגיים הנמדדים בתחנות הניטור החופיות הוא מחזור הערבוב השנתי. מחזור זה נשלט על ידי קירור וחימום מי השטח, אשר להם מחזוריות עונתית ברורה. בעונת החורף טמפרטורת מי השטח דומה לטמפרטורה בעומק, ונוצר גוף מים אחיד במאות המטרים העליונים במפרץ. בקיץ, מים חמים בפני הים יוצרים שכוב תרמי המפריד את עמודת המים למי שטח ולמי עומק אשר מעבר החומר ביניהם מועט. לאחר הערבוב העמוק של השנה הקודמת (2022) ערבוב עמודת המים השנה הגיע לעומק בינוני, כ- 400 מטרים, בתחילת החורף – בין הפלגת חודש פברואר להפלגה במרץ. בין שנת 2012 לשנת 2016 נע עומק הערבוב בין 250 ל-300 מטרים בלבד. עובדה זו השפיעה על ריכוזי הנוטריינטים שנמדדו בחודשי החורף (נמוכים) ועל עצמת פריחות פטופלנקטון בסוף החורף (קטנה). בשנים 2016-7 עורבבה עמודת המים לעומק בינוני של 450-550 מטרים בתחילת החורף, אך הערבוב נפסק כבר בחודשים פברואר-מרץ. בשנת 2018 היה ערבוב עמודת המים רדוד במיוחד, כ- 320 מטרים בלבד, ובשנים לאחר מכן עומק הערבוב נע סביב 450 מטרים. לפיכך, בכל אותו עשור נצברו חומרי דשן (נוטריינטים) במים העמוקים והערבוב העמוק של חורף 2022 העלה אותם לשכבה המוארת שם הזינו פריחות חזקות וממושכות. השנה, כאמור ערבוב עמודת המים היה עד לעומק של כ-400 מטרים וערכי המדדים בתחנות החופיות היו נמוכים הרבה יותר מאשר בשנה הקודמת.

בנוסף למחזור השנתי הטבעי הזה, נראה כי למי החופים חודרים לעיתים זיהומים ממקורות חיצוניים אשר משנים את הרכבם. שינויים אלה נמדדים לרוב רק בקרבת מקור הזיהום, או במורד הזרם ממנו. מיהול וערבוב יעילים יותר בחודשי החורף בהם גוף המים העליונים גדול יותר, ועל כן קשה יותר לזהות זיהומים בחורף. בקיץ לעומת זאת, עשויה להתפתח גם תרמוקלינה יומית אשר מבדדת את המטרים העליונים של מי השטח משאר המים העליונים. המיהול המוגבל במקרה שכזה עלול להביא לכך שזיהום נקודתי במים העליונים יגרום לריכוזים גבוהים של החומר המזהם בפני המים.

עבור המדידות החופיות, ריכוזים המוגדרים כחריגים הם כאלה השונים משמעותית מהריכוזים הנמדדים בתחנות האחרות, ובפרט בתחנות הים הפתוח אשר עבורה מקור זיהום מקומי אינו סביר, ואם היה כזה, המהילה שם רבה יותר מאשר בקרבת החוף. אירועי העשרה מקומיים היו תדירים יותר בשנים שלפני 2007, ואחר כך נצפתה ירידה בתדירותם ועצמתם. בשנים האחרונות היינו שוב עדים לעליה במספר ועצמת "החריגים" בתחנות שונות, ובפרט בתחנות הצפוניות. על אף זאת, השנה אופיינה בריכוזים נמוכים וגם הערכים החריגים אשר נמדדו היו נמוכים בהשוואה לשנה הקודמת.

תכנית הניטור ביצעה גם השנה מדידות במוצא תעלת הקינט אל הים, בסמוך לתחנת "כלובי הדגים" (עומק המים בהם נדגמות תחנות הניטור החופי הוא 20 מטרים והמדידות בפתח תעלת הקינט נעשו בעומק מים של כשני מטרים בלבד). גם במדידות אלה, במוצא הקינט, הערכים הנמדדים היו נמוכים השנה בהשוואה לשנה הקודמת. יש לציין שהימים בהם מתבצעות מדידות הקינט שונים מהימים בהם נדגמים מים בתחנות החופיות (לרוב יום לפני או יום אחרי) ועל כן אין התאמה ברורה בין המדידות.

מגמת החימום של פני הים נמשכת על אף ששלוש השנים האחרונות לא היו, בממוצע, חמות במיוחד. בחודשי הקיץ נמדדה עליה חדה בטמפרטורת המים, בשיעור של כ-3 מעלות בין החודשים יולי ואוגוסט והטמפרטורה המרבית אשר נמדדה היתה נמוכה אך במעט מהטמפרטורה הגבוהה ביותר אשר נמדדה עד כה במסגרת ניטור מי החופים (29.1°C , בקיץ 2020). ראוי לציין שגם אז וגם השנה הטמפרטורה הגבוהה נמדדה בתחנות הדרומיות.

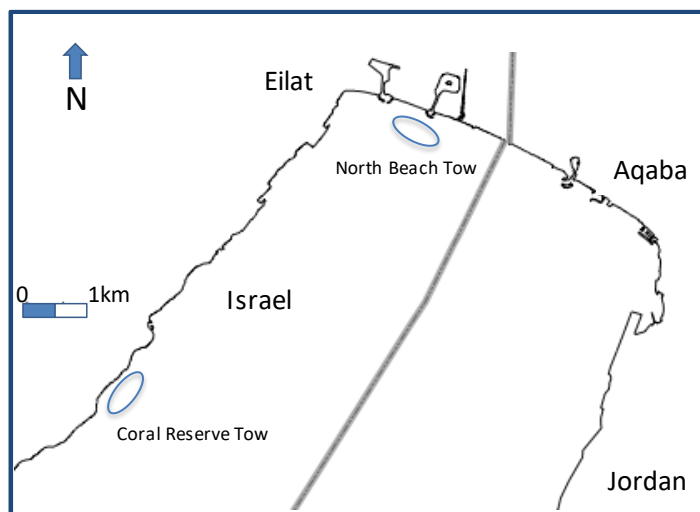
ג.2. לרוות דגים בסמוך לשוניית ובחוף הצפוני

מטרה

מעקב כמותי אחר שינויים באספקת לרוות של דגים לשוניות האלמוגים של אילת.

שיטות

אמדין כמותי של כמות לרוות הדגים המצויות בסמוך לחופי אילת בשני אזורים – החוף הצפוני והחוף הדרומי בסמוך לשמורת חוף אלמוג (איור ג14). בשני האזורים נעשית גרירה מבוקרת של רשת פלנקטון בשלושים מטרים העליונים של עמודת מי החוף. תוך כדי שיוט במהירות מבוקרת ואיטית מעל קרקעית בעומק כ-60 מטרים מורדת רשת פלנקטון עד לעומק של 30 מטרים ונמשכת חזרה לסירה. רשת כפולה (bongo) של 300 מיקרו-מטר בקוטר של 0.7 מטר נגררת במהירות של עד 2 קשר למשך חמש דקות. לכל גרירה נעשות שלוש חזרות. נפח המים העובר ברשת נמדד באמצעות מד שטף (TSK) והתוצאות מנורמלות לנפח מים. הדוגמאות נשמרות על קרח עד להגעה למעבדה. במעבדה הדוגמאות מקובעות בפורמלין 4% והדוגמה כולה עוברת ספירה ומיון תחת בינוקולר.



איור ג14: מיקום גרירות הרשת לאיסוף פלנולות ולרוות, בסמוך לחוף הצפוני ולשמורת חוף אלמוג.

Figure C14: Locations of larvae net tows adjacent to the North Beach and the Coral Nature Reserve of Eilat.

תוצאות

זו השנה החמישית בה נעשות גרירות לאיסוף לרוות בפרוטוקול גרירה אחיד. השינויים שנערכו בהשוואה לשנה הראשונה (2018) הם שימוש ברשת כפולה לצורך איסוף לרוות, עבודה ברצף מספינת המחקר, המאפשרת שליטה טובה יותר במיקום וקצב ההפלגה, ומועד הגרירות שונה לעונת קיץ. השנה נעשו הגרירות ב- 5.9.2023, בשעות הבוקר.

הרשת לדגימת לרוות הינה רשת כפולה מסוג bongo ובממוצע נפח המים המחושב אשר סונן בכל גרירה היה כ- 300 מ"ק. כמות הלרוות (איור ג15) הנלכדות בצורה זו גבוהה משמעותית מהכמות אשר נלכדה בשנה הראשונה בה נעשה הסקר.

השנה, כמו ברוב השנים הקודמות, צפיפות הלרוות בחוף הצפוני גדולה משמעותית מאשר בחוף הדרומי באזור השמורה. השנה צפיפויות הלרוות היו דומות לאלו שנמצאו בשנים 2019-2021, וקטנות במידה רבה מאלו שנמצאו בשנה הקודמת (2022). בשנה הקודמת היה ערבוב עמוק של עמודת המים ואולי בעקבות כך נספרו אז כמויות לרוות גדולות בערך פי שלושה בשמורה וכמעט פי ששה בחוף הצפוני בהשוואה לשנים אחרות. מול שמורת האלמוגים נספרו השנה בסך הכל 362 לרוות דגים (לעומת 856 בשנה הקודמת), ומול החוף הצפוני 897 (1822). צפיפות (מספר פרטים למ"ק) היתה השנה כ- 0.4 מול שמורת האלמוגים (לעומת כ- 1.3 בשנה הקודמת) וכ- 1.0 בחוף הצפוני (לעומת 3.3 בשנה הקודמת, איור ג16).

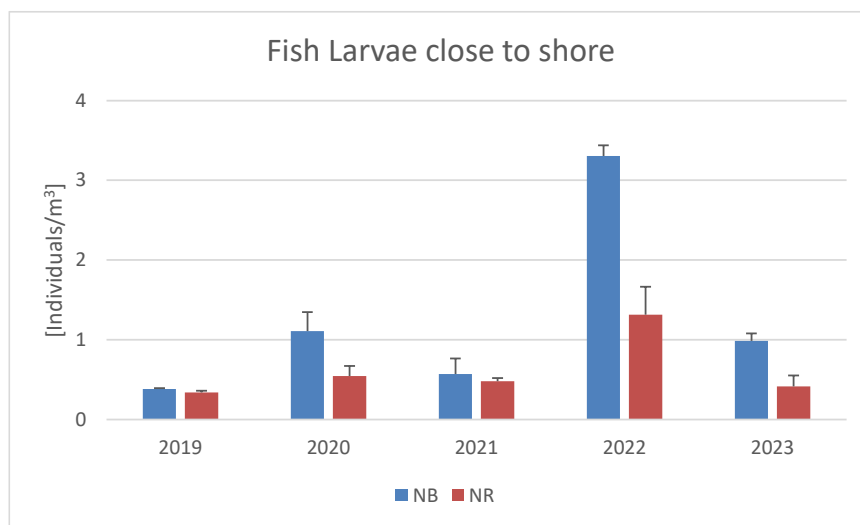
התקופה בה מתקיים סקר זה במתכונתו הנוכחית עדיין קצרה מכדי לאפשר הסקת מסקנות בנוגע להבדלים בין

השנים אך מסתמן שבאופן עקבי בחוף הצפוני ישנה צפיפות לרבות דגים גדולה יותר מאשר בחוף הדרומי (מול שמורת האלמוגים).



איור 15: לרבות דגים שנאספו בקרבת החוף באתר החוף הצפוני (NB) ובקרבת שוניית האלמוגים באתר שמורת חוף אלמוג (NR).

Figure C15: Fish larvae collected close to shore at the northern beach of Eilat (NB) and close to the reefs of the Coral Beach nature reserve (NR).



איור 16: צפיפות לרבות דגים בקרבת החוף באתר החוף הצפוני (NB) ובקרבת שוניית האלמוגים בשמורת חוף אלמוג (NR).

Figure C16: Densities of fish larvae close to shore at the northern beach of Eilat (NB) and close to the reefs of the Coral Beach nature reserve (NR).

ג.3. קרקעית חולית במים רדודים – אפיון החי בסדימנט

מטרה

סקר הקרקעית החולית, אפיון המצע וחברת החי בו נועד לזהות שינויים העשויים להצביע על שינוי בתנאי הסביבה.

שיטות

דגימת הסדימנט והטיפול בו נעשים לפי סטנדרטים מדעיים המקובלים בספרות המקצועית. דוגמאות סדימנט מקרקעית רכה נלקחות בשני אתרים בעומק של כ-20 מטרים. בחוף הצפוני נדגמת נקודה מול חוף הדתיים, מזרחית למוצא תעלת הקינט (נ"צ מקורב: $29^{\circ} 32.491'N$, $34^{\circ} 58.362'E$) ובחוף הדרומי מול כפר הצוללים (נ"צ בכניסה למים: $29^{\circ} 29.966'N$, $34^{\circ} 54.866'E$).

בנוסף לאלה, נדגם סדימנט לצורך אפיון מאסף הפורמיניפרים הבנתונים בשלוש נקודות דגימה במקום בו היו עד לשנת 2008 כלובים לגידול דגים מסחרי.

דוגמאות סדימנט לספירות מיאופאונה נלקחו באמצעות 3 כוסיות ייעודיות בקוטר 10 ס"מ ואורך 8 ס"מ לקבלת נפח קבוע, עם חיפוי רשת בגודל 100 מיקרו-מטר בצד אחד ומכסים משני הצדדים המאפשרים סגירת הדוגמה. לאחר האיסוף נשמרו הדוגמאות בקרור עד לטיפול ומיון. סדימנט לצורך חלוקה לגדלי גרגר נדגם באמצעות שלושה גלעינים בעלי קוטר של 3.7 ס"מ ובאורך 10 ס"מ.

הטיפול בדוגמאות לצורך מיון בע"ח כולל קיבוע בפורמלין (4%) עם בופר של Sodium-tetraborat ב pH של 8.2 במשך יממה, שטיפה במי ברז דרך נפות (250 ו-500 מיקרומטר), והדגרה של פרקציות הגודל באתנול (70%) עם רוזבנגל (rose bengal, 1 גרם/לליטר) למשך שבוע. את הדוגמה שוטפים במים ומשיכים לתמיסת אתנול (70%). מיון הפאונה נעשה תחת בינוקולר והפרטים הממוינים נשמרים באתנול 70%. מספר הפרטים בדוגמה מנורמל לשטח פנים של 10 ס"מ².

עבור מיון וספירת פורמיניפרה נלקחו דוגמאות בעזרת מבחנות 50 מ"ל שנחתכו לצינורות אותם ניתן לפקוק עם שליפתם מן הסדימנט, ונשמרו במצב אנכי ובקרור עד לטיפול במעבדה. מכל גלעין סדימנט נחתך הסנטימטר העליון (פני הקרקע) לצורך ספירה ואפיון פורמיניפרים בנתונים. הסדימנט המיועד למיון וספירת פורמיניפרים בנתוניים נשמר באתנול ורוזבנגל (2 גרם/לליטר) למשך 14 יום ואז הדוגמאות מיובשות ונשקלות. לאחר מכן הדוגמאות נשטפות דרך נפה (125 מיקרומטר) ומיובשות. כל דוגמה יבשה מחולקת באמצעות ספליטר ותת הדוגמה ממויינת ונספרת.

סדימנט מגלעינים למדידת התפלגות גדלי גרגר מיובש בטמפרטורה של 100 מעלות במשך 24 שעות. הדוגמאות היבשות נשקלות ואז נשטפות דרך נפה של 63 מיקרומטר על מנת לסלק את הפרקציה הדקה (חרסית). לאחר ייבוש נוסף הדוגמאות נשקלות שוב ואז מועברות לשייקר עם סט נפות בגדלים של 500, 1000, 2000, 63, 125, 250 מיקרומטר למשך 10 דקות. כל פרקציית גודל נשקלת בנפרד ואחוז המשקל היחסי שלה מחושב מתוך הסך-הכל.

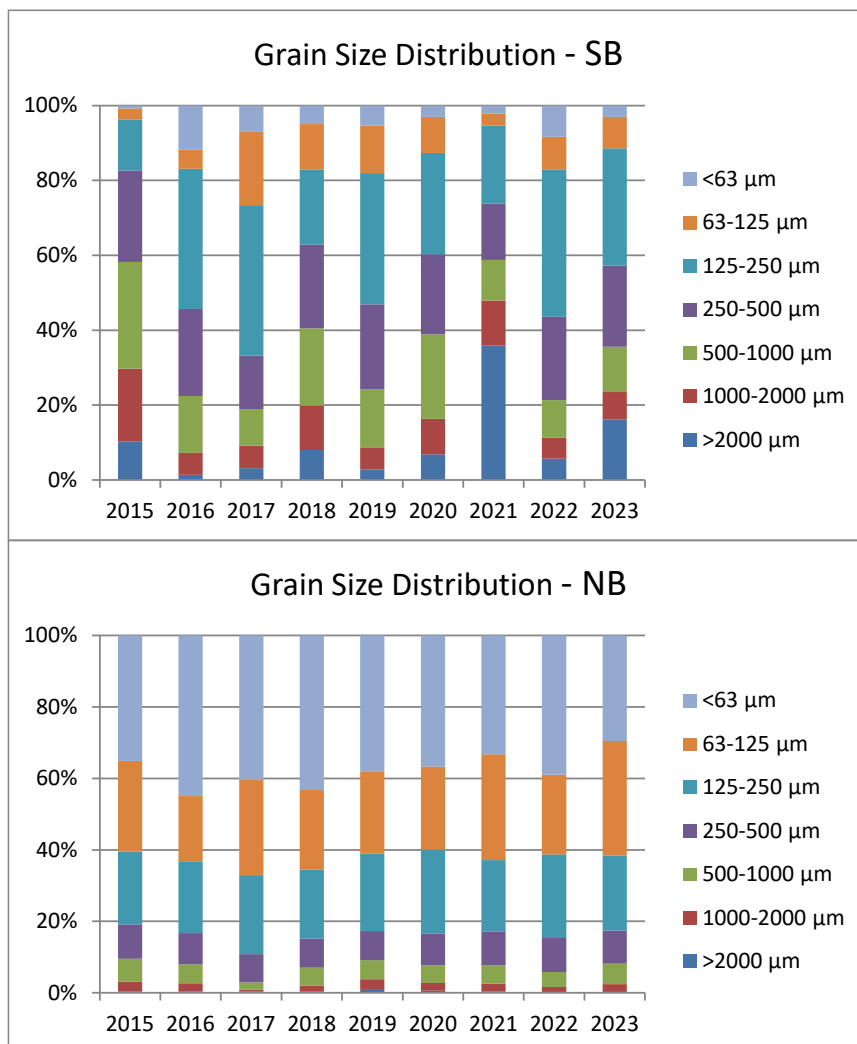
תוצאות:

אפיון החי בקרקעית רכה בשני אתרים (בחוף הצפוני ובחוף הדרומי) שני האתרים הנבחרים, בחוף הצפוני ובחוף הדרומי, בעלי מאפיינים פיסיוגרפים שונים. אתר החוף הצפוני בעל שיפוע קרקעית מתון וחשיפה גדולה לכניסת נגר מן החוף, אם באירועי שיטפונות או דרך תעלת הקינט. הקרקעית החולית מאופיינת בהרבה חומר ממוצא יבשתי, ומרבדים של עשב ים נפוצים באזור. אתר החוף הדרומי נמצא על המדרון המערבי של המפרץ באזור בעל שיפוע קרקעית תלול, ללא מוצא ניקוז קרוב ובסביבת שונית האלמוגים. באזור זה גדול יותר המרכיב הביוגני בסדימנט.

חלוקת גדלי הגרגר בשני האתרים מראה את הבדלי המצע בין אזורי הסקר: בשנים בהן בוצע הסקר (2015-2023) אתר החוף הצפוני מאופיין במרכיב גדול (לרוב, יותר מ-60%) של סדימנט דק, בעל גודל גרגר קטן מ- $125 \mu m$, ובחוף הדרומי מרכיב זה קטן מ-30% וברוב השנים גם נמצא קטן מ-20% (איור 17). הסדימנט הדק, הנפוץ באתר החוף הצפוני, מאפיין שקיעה מעמדות המים באנרגיה נמוכה ורובו נגזר ממרכיבים יבשתיים (חרסית וסילט בעלי גודל גרגר קטן מ- $63 \mu m$, חול דק מאוד מוגדר עד לגודל גרגר של $125 \mu m$).

באתר החוף הצפוני נצפו שינויים קלים בלבד בהתפלגות גדלי הגרגר בסדימנט, ואילו באתר החוף הדרומי מתועדות תנודות גדולות יותר בהתפלגות גדלי הסדימנט: הפרקציה הקטנה מ- $250 \mu m$ גדלה מאד בין השנים

2015-7, ואז ירדה מחדש עד לשנת 2022 בה שוב נצפתה עלייה בפרקציית הגודל הקטן בחוף הדרומי והיא היוותה יותר ממחצית משקל הסדימנט. גם שאר פרקציות הגודל בחוף הדרומי מראות שינויים במהלך שנות הניטור. ברוב השנים המרכיב הגס, גדול מ- $2000\ \mu\text{m}$, קטן מ-20% ואפילו מ-10%, אך בשנת 2021 היווה גודל זה כ-35% מכלל משקל הסדימנט בתחנת הניטור הדרומית ובשנה הקודמת הוא כ-6% בלבד. השנה פרקציית הגודל הגדול מ- היוותה כ-16% מכלל משקל הסדימנט.

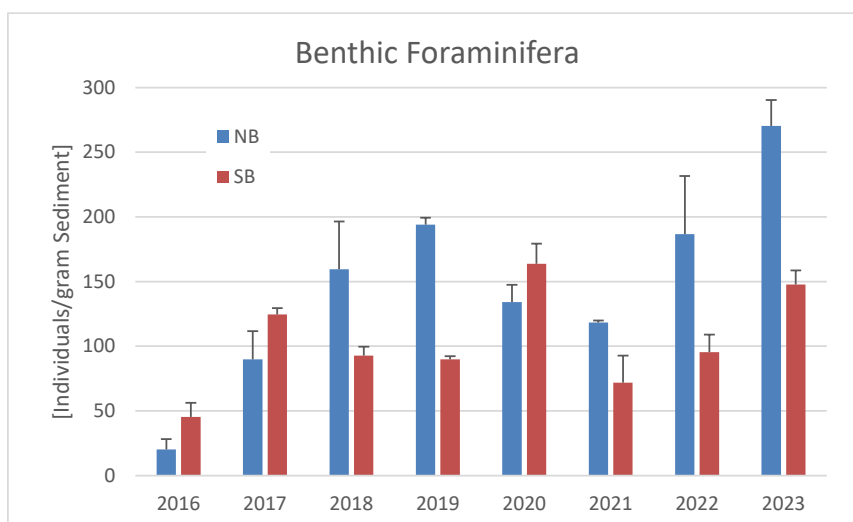


איור ג17: חלוקת סדימנט לגדלי גרגר (באחוז משקלי) בשני אתרים, בחוף הצפוני (NB) ובחוף הדרומי (SB).
Figure C17: Grain size distribution (weight percent) for soft sediment at two sites, at the north beach (NB) and south beach (SB) of Eilat.

בשנת 2015 נעשה שימוש בפרוטוקול ספירה שונה עבור פורמיניפרים בנתונים, ושגיאות הספירה היו גדולות. יחד עם זאת, ניתן היה לומר כי מתוך 20 מיני פורמיניפרים בנתונים אשר זוהו, המינים *Amphisorus*, *Assilina*, *Peneroplis*, *Nonion*, *Amphistegina* היוו את חמישה המינים הנפוצים ביותר בחוף הדרומי, ובחוף הצפוני, חמשת המינים הנפוצים היו: *Sorites*, *Borelis*, *Hauerina*, *Amphistegina*, *Amphisorus*. בשנים האחרונות נעשה שימוש בפרוטוקול ספירה יעיל יותר ויכולת הזיהוי השתפרה.

השנה זוהו באתר החוף הצפוני בסך הכל 50 מיני פורמיניפרה (בשנה הקודמת זוהו 59) ובאתר החוף הדרומי 39 (54). מספרי המינים השנה דומים למה שנמצא באתרים הנסקרים במשך רוב השנים, בהתחשב בכך שבשנת 2016 – השנה הראשונה למתכונת זו של ספירה – זוהו פחות מינים ככל הנראה עקב מיומנות טקסונומית נמוכה יותר. בשנה הקודמת זוהה המספר הגדול ביותר של מיני פורמיניפרים בנתונים בשני האתרים. מכיוון שזיהוי פורמיניפרים לרמת המין הוא מורכב ועם העליה ביכולות הזיהוי צפויים שינויים במספרים

המדווחים, קובצו המינים לסוגים. באתר החוף הצפוני זוהו השנה 30 סוגים ובאתר החוף הדרומי 27. בשני האתרים נמצאו בשנה הקודמת 33 סוגים (טבלה ג2). ברוב השנים הקודמות זוהו מיני וסוגי פורמיניפרים אשר לא זוהו בסקרים קודמים, אולם השנה לא נמצאו מינים שלא זוהו בשנים הקודמות. צפיפות הפרטים בחוף הצפוני גבוהה לרוב מזו שבחוף הדרומי, אולם לא בכל שנה (איור ג18). נראה כי פגיעתן של סערות דרומיות חזקות, ואולי גם שטפונות משפיעה על צפיפות הפרטים, בעיקר בחוף הצפוני. צפיפות הפרטים הממוצעת בגרם סדימנט בחוף הדרומי היתה השנה 148 פרטים\גרם ואילו בחוף הצפוני נמצאה צפיפות פרטים ממוצעת של 270 פרטים\גרם סדימנט (בשנה הקודמת נמצאו 95 ו-187 פרטים\גרם באתרים אלה, בהתאמה). זו השנה השנייה ברציפות בה עולה צפיפות הפרטים בסדימנט אם כי, בין השנים ישנן תנודות בצפיפות הפרטים. צפיפות הפרטים אשר נמצאה השנה בחוף הצפוני היא הגדולה ביותר שנמצאה עד כה במסגרת הניטור, בחוף הדרומי רק בשנת 2020 נמצאה צפיפות מעט גבוהה יותר מאשר השנה.



איור ג18: צפיפות הפרטים של פורמיניפרים (מספר לגרם סדימנט) בשני אתרים, בחוף הצפוני (NB) ובחוף הדרומי (SB).

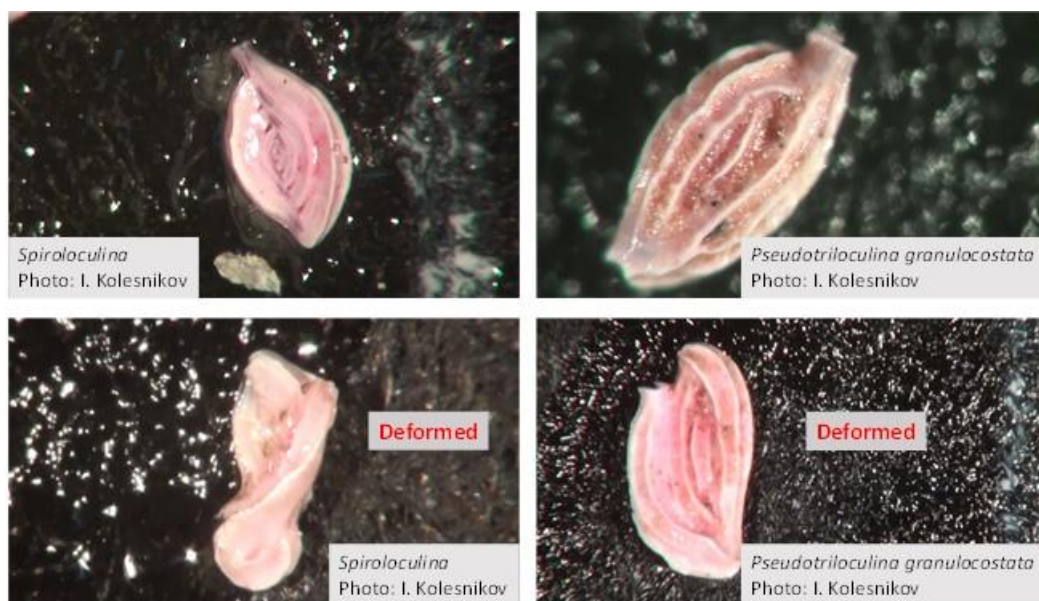
Figure C18: The density of foraminifera individuals (number/gram sediment) at two soft sediment sites, at the north beach (NB) and south beach (SB) of Eilat.

טבלה ג2: סוגי פורמיניפרים בנתונים שוכני הסדימנט הרך שזוהו באתר החוף הצפוני (NB) ובאתר החוף הדרומי (SB).
Table C2: Benthic foraminifera identified at the North and South beach sites.

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
<i>Affinetrina</i> cf. <i>A. quadrilateralis</i>		NB	SB	NB				
<i>Agglutinella</i>		NB	SB+NB	SB	NB	NB		
<i>Ammonia</i>	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	NB
<i>Amphisorus hemprichii</i>	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB	SB+NB	SB+NB
<i>Amphistegina</i>	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB
<i>Articulina</i>	SB	NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	NB	SB+NB	NB
<i>Assilina amonoides</i>	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB
<i>Bolivina</i>	SB				SB+NB			
<i>Borelis schlumbergeri</i>	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	NB	NB	SB+NB	NB
<i>Brizalina</i>	SB+NB	SB+NB	NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB
<i>Challengerella bradyi</i>		SB						
<i>Cibicides</i>	NB	NB	NB	SB+NB	NB	NB	SB+NB	SB+NB
<i>Clavulina angularis</i>		SB+NB	SB					
<i>Coscinospira hemprichii</i>				SB				
<i>Cycloforina</i>	SB+NB	SB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB
<i>Cymbaloporeta</i>	SB	SB+NB	NB		SB+NB			
<i>Discorbinella rhodiensis</i>	SB	SB+NB	SB	SB	SB	SB		NB
<i>Elphidium</i>	SB+NB	SB+NB	NB	NB	NB	NB	SB+NB	SB+NB
<i>Epistomoroides punctatus</i>	NB	SB+NB		NB			SB+NB	NB
<i>Epoindes repandus</i>	NB	SB+NB		NB				
<i>Fursenkoina</i>	NB	NB				SB		
<i>Globigirinoidea ruber</i>				SB+NB	SB			
<i>Globafissurella</i>			SB		NB			
<i>Hauerina</i>	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB
<i>Heterocyclus tuberculata</i>			SB					
<i>Labrospira jeffreysii</i>	NB	SB+NB	NB		SB	SB	SB+NB	SB
<i>Lachlanella</i>	SB	SB+NB	SB	NB	SB+NB	SB	SB+NB	SB+NB
<i>Lagenammina</i>	SB+NB	NB			SB+NB			
<i>Miliolides</i>	SB+NB							
<i>Miliolinella</i>	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB	SB	SB	SB
<i>Nonion</i>	SB+NB	SB+NB	NB	NB	SB+NB	SB+NB	NB	SB+NB
<i>Paratrochammina madeirae</i>	SB							
<i>Peneroplus planatus</i>	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB
<i>Planogypsina</i>	SB		SB+NB	SB			NB	SB+NB
<i>Planorbulinella larvata</i>			SB		NB			
<i>Planorbulinoides reticulata</i>				NB				
<i>Pseudoaurinella dissidens</i>	SB	SB						
<i>Pseudocibicides</i>	SB+NB	SB+NB	SB+NB	NB	NB	SB	SB	NB
<i>Pseudomassilina</i>	NB	SB+NB	SB+NB	NB	SB+NB	SB+NB		
<i>Pseudoschlumbergerina ovata</i>	SB	SB	SB	SB	SB			
<i>Pseudotriloculina</i>	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB
<i>Pyrgo</i>	NB		NB	SB	NB	NB	NB	
<i>Quinqueloculina</i>	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB
<i>Reusela</i>	NB	SB	SB	NB	NB	NB	SB+NB	SB+NB
<i>Rosalina</i>	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB
<i>Schlumbergerina alveoliniformis</i>	NB							
<i>Siphonaperta</i>	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB		
<i>Sorites</i>	SB+NB	SB	SB	SB	NB	NB	NB	NB
<i>Spirillina</i>		NB			SB+NB	SB	SB	
<i>Spiroculina</i>	SB+NB	SB+NB		SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB
<i>Textularia</i>	SB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB
<i>Triloculina</i>	SB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB
<i>Trochulina</i> sp. A	NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB		
<i>Varidentella</i> cf. <i>V. neostriatula</i>	SB+NB	SB	NB	SB+NB		SB+NB		
<i>Vertebralina striata</i>		SB		SB+NB	NB	SB+NB		
<i>Wiesnerella auriculata</i>					SB			
others	SB+NB	SB	SB+NB	SB	SB	SB+NB	SB+NB	SB+NB

בשנת 2020 נמצאו לראשונה בחוף הצפוני (תחנות w40 ו-w80, המתוארות למטה) פרטים מעוותים של פורמיניפרים (איור ג'19). המבנה הקרבונטי של פרטים אלה חורג בצורות שונות מהצפוי וכל אחד מהם שונה מחברו. בשנתיים שלאחר מכן נמצאו פרטים מעוותים בתחנות השונות ואף בתחנת החוף הדרומי והיוו כ-1% מכלל הפרטים בסדימנט הנדגם.

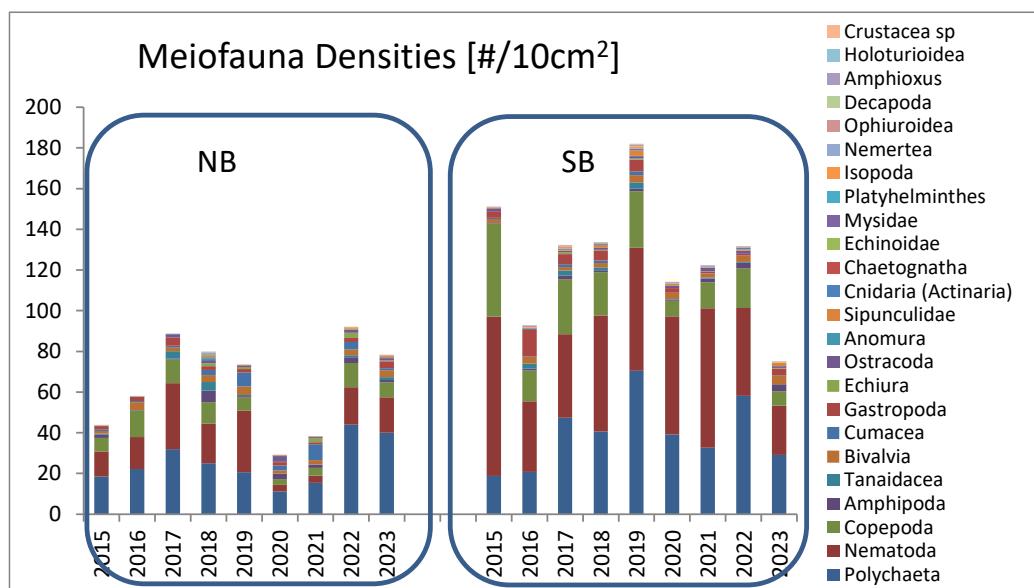
השנה לא נמצאו פרטים מעוותים באף אחת מן התחנות הנדגמות. דוגמאות סדימנט מהתחנות w0 ו-w80 נמסרו בשנה הקודמת למדידה של ריכוזי מתכות (פרופ' נגה קרונפלד שור ומאיה אלדר מאוניברסיטת תל אביב, האנליזות נעשו ב- Arizona laboratory for emerging contaminants, U. of Arizona, Tucson AZ). נמצא שריכוזי כל המתכות היו גבוהים פי 4-1.5 בתחנה המזרחית, w0 במיקום בו היו בעבר כלובי הדגים, מאשר בתחנה w80 המרוחקת 80 מטרים מערבית לה (נספח ז. 4 בדו"ח המדעי השנתי של ניטור מפרץ אילת לשנת 2022). ממצאים אלה תומכים באפשרות שבעקבות הסערה של מרץ 2020 נחשפו סדימנטים בעלי תכולת מתכות גבוהה באזור בו היו בעבר כלובי הדגים ואלה גורמות לעיוותי שלד בפורמיניפרים. התפשטות התופעה בשנתיים שלאחר מכן מצביעה, אולי, על נדידת סדימנט מזוהם שנחשף באזור כלובי הדגים לאורך חופי אילת. העובדה שהשנה לא נמצאו פרטים מעוותים עשויה להצביע על כך שהסדימנט המזוהם נמהל ועורבב וכבר לא מצוי בריכוזים גבוהים בקרבת פני קרקעית הים.



איור ג'19: פרטים מעוותים של פורמיניפרים בנתונים בתחנות כלובי הדגים.
Figure C19: Deformed benthic foraminifera found at the FF sampling locations offshore from the Kinet channel outlet.

בספירות בע"ח שוכני סדימנט שאינם פורמיניפרים נמצא כי קבוצות ה- *Copepoda*, *Polychaeta*, *Nematoda* הן הנפוצות ביותר בסדימנט בשני האתרים בשנים בהן מבוצע הניטור (איור ג'20). באתר החוף הצפוני זוהו השנה בסך הכל 17 קבוצות ובחוף הדרומי 18 (טבלה ג'3). בשנה הקודמת זוהו בשני האתרים, 16 קבוצות. צפיפות הפרטים בסדימנט החוף הצפוני היתה השנה 78 פרטים מכל הסוגים ל-10 סמ"ר סדימנט, ובחוף הדרומי צפיפות דומה, 75 פרטים ל-10 סמ"ר. ברוב השנים בהן מבוצע הניטור נמצאת צפיפות פרטים גבוהה יותר בחוף הדרומי.

הצפיפות הגדולה ביותר נמדדה בחוף הדרומי בשנת 2019, 182 פרטים ל-10 סמ"ר, והשנה היתה הצפיפות הנמוכה ביותר אשר נמדדה עד כה במסגרת הניטור. בחוף הצפוני הצפיפות הגדולה ביותר נמדדה בשנה הקודמת (2022), 92 פרטים ל-10 סמ"ר והקטנה ביותר נמדדה בשנת 2020 לאחר הסערה הדרומית החזקה, 29 פרטים ל-10 סמ"ר בלבד.



איור ג'20: משפחות בע"ח שוכני מצע רך בקרקעית הים בשני אתרים, בחוף הצפוני (NB) ובחוף הדרומי (SB).
Figure C20: Abundance of meiofauna genera dwelling in the upper layer of two soft sediment sites, at the north beach (NB) and south beach (SB) of Eilat.

טבלה ג3: קבוצות שוכני הסדימנט הרך (לא כולל פורמיניפרים) שזוהו באתר החוף הצפוני ובאתר החוף הדרומי (לפי סדר א"ב).

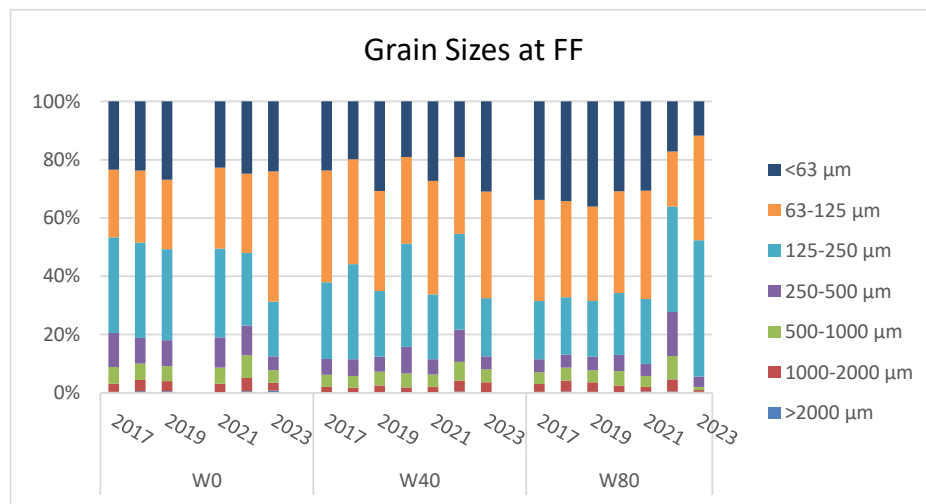
Table C3: Meiofauna groups identified at the North and South beach sites (listed alphabetically).

	NB									SB								
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Amphioxus										*	*	*	*	*	*	*	*	*
Amphipoda	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Anomura		*	*	*		*		*			*	*	*	*		*		*
Bivalvia	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Chaetognatha				*								*						
Cnidaria (Actinaria)				*		*		*	*			*	*	*			*	
Copepoda	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Crustacea sp									*			*			*			*
Cumacea	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Decapoda	*	*		*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		*
Echinoidae				*			*						*				*	*
Echiura				*	*	*	*	*	*			*	*	*		*		*
Gastropoda	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Holoturioidea													*	*		*	*	*
Isopoda	*			*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Mysidae				*		*	*		*				*					
Nematoda	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Nemertea				*		*						*	*	*	*	*		
Ophiuroidea	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	
Ostracoda	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Platyhelminthes				*									*			*		
Polychaeta	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Sipunculidae				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Tanaidacea	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

שינויים במאספי פורמיניפרים בנתונים בצפון המפרץ לאחר פינוי כלובי הדגים

בנוסף לשני האתרים בחוף הדרומי ובחוף הצפוני, בעומק 20 מטרים (ראו למעלה), בהן החלה התכנית לעקוב אחר מאספי החי בסדימנט רך, מתקיים באתר כלובי הדגים לשעבר – בחוף הצפוני בעומק מים של 27 מטרים – מעקב אחר מאספי פורמיניפרים בנתונים אשר החל בשנת 2008, בסמוך להוצאת כלובי הדגים מהים. המעקב החל במסגרת עבודת מחקר של ד"ר שי אורון (M.Sc. באוניברסיטת בן-גוריון בנגב, בהנחיית פרופ' ס. אברמוביץ ופרופ' מ. כיפלאווי), ביוזמתו של ד"ר ד. אנג'ל ובשיתוף עם ד"ר ב. גודמן צ'רנוב (אוני' חיפה). הדו"ח המסכם את המחקר, אשר הוגש למשרד התשתיות, הופיע כלשונו כנספח בדו"ח המדעי של תכנית הניטור בשנת 2010, ובו תיעוד תהליכי שיקום קרקעית הים באזור בו נמצאו עד לקיץ 2008 כלובי דגים של חקלאות ימית במפרץ. בשנת 2014 הופיע הפרסום המדעי המתאר את הממצאים (Oron et al. 2014). תכנית הניטור לקחה על עצמה בשנת 2010 להמשיך את המעקב באתר זה, בתדירות דגימה שנתי, על מנת לשמר סדרת זמן ארוכה במקום. ניטור זה נעשה בהדרכת ד"ר שי אורון.

הנקודות אותן דוגמת תכנית הניטור פרוסות לאורך קו המתרחק מערבה ממיקום כלובי הדגים (W0), במרחקים 40 ו-80 מטרים. התפלגות גודל הסדימנט בנקודות אלה יציבה בשנים האחרונות. בתחנה W80 ההתפלגות דומה לזו של אתר החוף הצפוני בעומק 20 מטר (ראו למעלה), ולרוב נמצאת שם 50-60% פרקציה דקה מ- $125\ \mu\text{m}$. השנה כ-70% מהסדימנט שייך לפרקציית הגודל הזו. בתחנות הקרובות יותר לאתר הכלובים נמצאה בדרך כלל פרקציה דקה מעט קטנה יותר. בשנתיים האחרונות נמצאה בתחנה W80 פרקציה דקה קטנה מאשר בשנים הקודמות, סביב 40% (איור 21).



איור 21: חלוקת סדימנט לגדלי גרגר (באחוז משקלי) בנקודות הדגימה באתר בו היו כלובי הדגים.
Figure C21: Grain size distribution (weight percent) for soft sediment at the sampling locations near the former fish cages site.

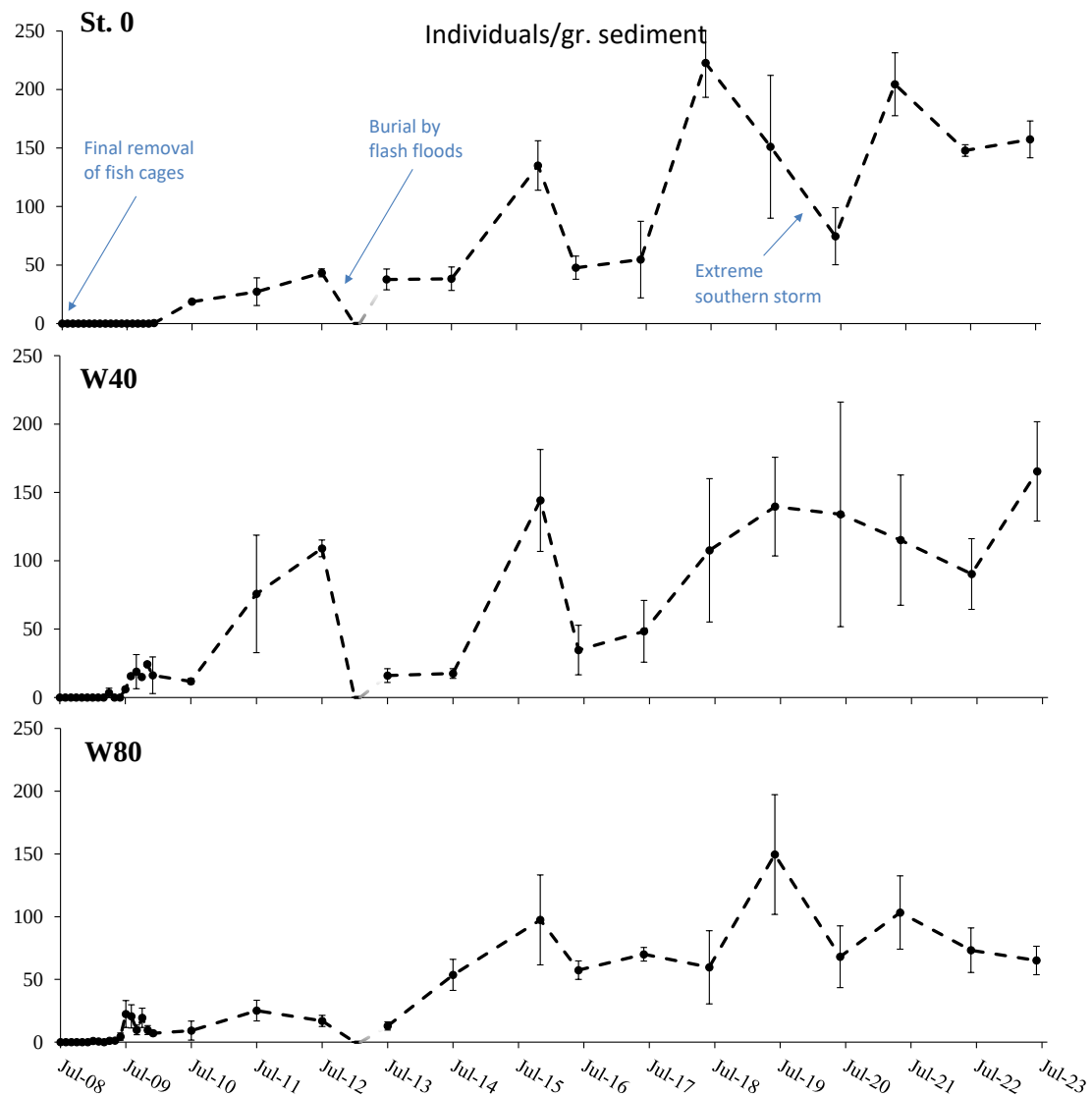
ההעשרה האורגנית מכלובי הדגים בזמן פעילותם יצרה איזור אזואי (חסר חיים) בסביבתם המיידית, עד לתקופה של כשישה חודשים לאחר פינוי הכלובים. בחודש ינואר 2009 החלו להופיע לראשונה פרטים חיים של פורמיניפרים השייכים בעיקר למין *Operculina ammonoides* (בדו"חות עד לשנת 2016, נקרא מין זה *Assiluna ammonoides*). בדיקות מולקולאריות הראו כי מדובר באותו המין ובספרות המעודכנת נהוג לכנותו *Operculina ammonoides*, מספרי הפרטים החיים הלכו וגדלו עד לסיום תקופת הדגימות החודשיות בדצמבר 2009, כאשר מספרי הפרטים החיים בתחנה המרוחקת 40 ו-80 מטרים ממיקום הכלובים גדולים באופן מובהק מאלה בתחנות הנמצאות במרחק 0 ו-20 מטרים ממיקום הכלובים (איור 22). בדגימות שנלקחו ביולי 2010-2012 נמצא כי הרכב המינים בסדימנט עדיין נשלט על ידי *O. ammonoides* וכמות הפרטים לגרם סדימנט נמצאת במגמת עליה בתחנות 0, W20 ו-W40. בחורף 2012-2013 חוותה המערכת האקולוגית באזור המעקב סדרת שיטפונות חזקים, אשר גרמו לכיסוי חלקים נרחבים של הסביבה הבנתונית בחומר דק גרגר ממקור יבשתי. מיד לאחר השיטפונות לא נמצאו פרטים חיים בסדימנט, והשכבה העליונה הורכבה מחומר דק שמקורו יבשתי. ביולי 2013, חמישה חודשים לאחר

השיטפונות, מספר הפרטים החיים לגרם סדימנט, כמו גם מגוון המינים, היו נמוכים יותר מאשר ב 2012. התאוששות חברת הפורמיניפרים הבנתונים לאחר השיטפונות היתה מהירה יחסית ובשנת 2015 היה מספר הפרטים בסדימנט ברוב התחנות (מלבד תחנה w20) גדול משהיה בשנת 2012. מעבר לכך, מספר הפרטים הגדול ביותר נמצא בתחנות w0 ו-w40 – להבדיל מתהליך החזרה שלאחר הוצאת הכלובים אשר התקדם ממערב למזרח (מתחנה w80 לכיוון תחנה w0).

בשנת 2016 מתועדת ירידה במספר הפרטים החיים בגרם סדימנט בכל התחנות מלבד תחנה w20. הסיבה לירידה זו אינה ידועה, אך שיטפון שהתפשט מירדן אל החוף הצפוני בסתיו 2015 (דו"ח הניטור 2015) עשוי היה, אולי, לפגוע בחברת הסדימנט שם. מאז שנת 2016 לא נמשך הניטור בתחנה w20, והמרווח בין תחנות ניטור נקבע על 40 מטרים.

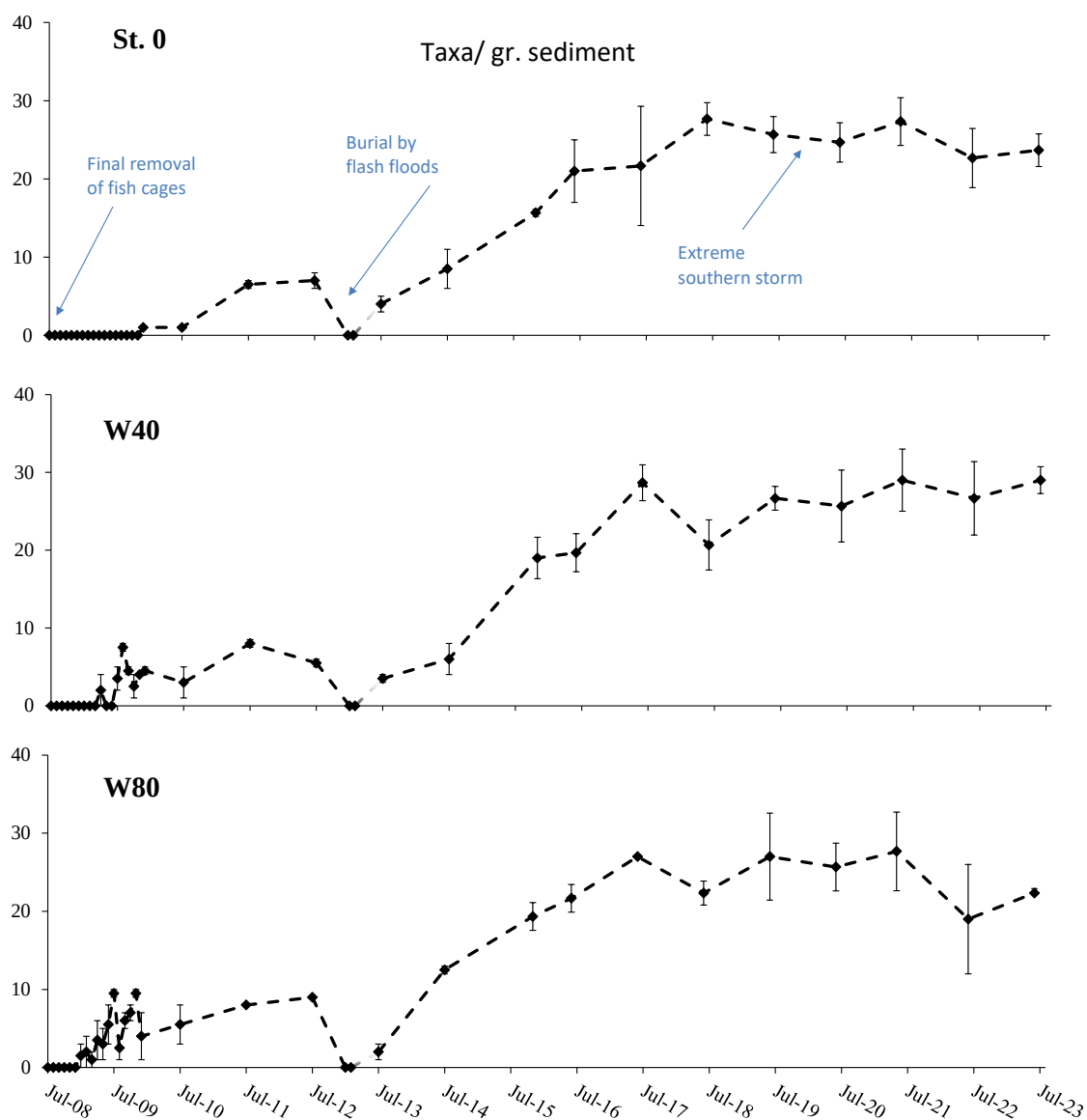
מאז 2016 נמצאה עליה בצפיפות הפרטים בכל התחנות, שהגיעה לשיא בשנת 2018 (בתחנה w0) או 2019 (בתחנות w40 ו-w80). בשנת 2020 נמצאה ירידה בצפיפות הפרטים, אולי כתוצאה מפגיעת הסערה הדרומית החזקה של חודש מרץ באותה שנה שהרחיפה סדימנט רב ופגעה, אולי, בבית הגידול החולי בחוף הצפוני. בשנים מאז עלתה צפיפות הפרטים והיא דומה השנה למה שנמצא בתלנות השונות לפני הסערה של 2020. היעדרם המוחלט של פרטים חיים בסדימנט בתחנות הדגימה בחודשים הראשונים שלאחר פינוי הכלובים מצביע על כך שסביבה זו לא אפשרה קיום של פורמיניפרים בנתונים. יתרה מכך, העדר עשב הים *stipulacea* הנפוץ באופן טבעי באזור העיד על מגבלות סביבתיות חמורות. הופעה מחודשת של עשב הים באזור שבו היו ממוקמים כלובי הדגים תועדה לראשונה בחודש אוגוסט 2009 ומסמלת כניסה של מרכיב אקולוגי חשוב המסייע להתבססות של מינים אפיפטים באזור. בשנים שלאחר מכן, על אף הפרעות של סערות ושיטפונות אוכלוסיית הפורמיניפרים הבנתונים מתאוששת מהר.

בשנים שלאחר הוצאת כלובי הדגים ניתן היה לעקוב אחר דפוס שיקום שהראה תהליך איטי של סוקסציה וכניסת מיני פורמיניפרים חדשים, כאשר התהליכים התרחשו בקצב שונה בתחנות הדיגום השונות והיו איטיים יותר בתחנות הקרובות למיקום בו היו כלובי הדגים (איור ג23). לאחר השיטפונות של חורף 2013 מתועדת חזרה מהירה של מיני פורמיניפרים בנתונים לאזור, ומספר הסוגים המזוהים עלה מהר יותר מאשר לאחר פינוי כלובי הדגים. עם כניסתה של תכנית הניטור לעיבוד הסדימנט, בשנת 2015, הושקע מאמץ גדול בשיפור יכולות הזיהוי והמיון של מיני פורמיניפרים בנתונים ומגוון המינים שזוהו גדול בהרבה מאשר בשנים קודמות. לא ברור כמה מהשינוי קשור ביכולת הזיהוי שהשתפרה וכמה מייצג שינוי אמיתי של החברה, אך בשנים מאז 2015 מתייצב מספר המינים המזוהים בתחנות על ערכים גבוהים מאשר בשנים הקודמות. מאז שנת 2017 מספר המינים נותר כמעט יציב, עם תנודות קלות ונראה כי הסערה הגדולה בשנת 2020 לא השפיעה על הרכב המינים.



איור 22: צפיפות הפרטים של פורמיניפרים בנתוניים חיים מאתר "כלובי הדגים" החל מהחודש בו הוצאו אחרוני הכלובים (נתונים עד לשנת 2010: ד"ר שי אורון, Oron *et al.*, 2014).

Figure C22: The density of live benthic foraminifera individuals at the "Fish Farm" site following the removal of the last fish cages (2008-2010 data from Dr. Shay Oron, Oron *et al.*, 2014).



איור 23: מספר מיני הפורמניפרים החיים לגרם סדימנט יבש בתחנות השונות מיולי 2008, מיד לאחר הוצאת כלובי הדגים.

Figure C23: The number of live foraminifera species per gram dry sediment at sampled locations since summer 2008, immediately after fish cages were removed from the area.

ג.4. כיסוי עשב ים בקרקעית חולית

מטרה

הערכת כיסוי הקרקעית החולית בעשב ים נועדה לאמוד את חוסנו של בית גידול חשוב זה.

שיטות

כיסוי עשב הים על קרקעית חולית נאמד בעונת הקיץ החל משנת 2015 ובעונת החורף החל משנת 2020, בארבעה עומקים, 10, 15, 20 ו-30 מטרים. הסקר נעשה בשני אתרים: בחוף הצפוני (מול מוצא "לגונת השלום", נ"צ (בעשרה מטרים): $29^{\circ} 32.655' N$, $34^{\circ} 57.997' E$) ובחוף הדרומי (מול כפר הצוללים, נ"צ בכניסה למים: $29^{\circ} 29.966' N$, $34^{\circ} 54.866' E$).

הערכת הכיסוי נעשת בשיטת "דגימת נקודה" (point sampling) מתוך צילומים של קרקעית הים (איור 24). בכל עומק נפרס סרט מדידה באורך 60 מטרים במקביל לחוף ותמונה ששטחה מטר רבוע ($1m^2$) צולמה כל חמישה מטרים לאורך הסרט. במעבדה נדגמו מאה נקודות סדורות בכל תמונה בעזרת תכנת CPCe (Kohler & Gill, 2006) ועבור כל נקודה נקבע אם יש או אין תחתיה עשב ים. התוצאות עובדו לכיסוי עשב הים עבור כל תמונה וממוצע וסטיית תקן לאתר חושבו מתוך סך התמונות באתר.



איור 24: צילום של עשב ים מחתכי הסקר בעומק עשרים מטרים באתר החוף הדרומי (צילום: ל. לוי).

Figure C24: Seagrass cover along the 20m depth transect on the southern coast of Eilat (photo: L. Levy).

תוצאות

[עשב הים במפרץ אילת בעומקים רדודים נסקר באופן שיטתי על ידי Winters et al., Mejia et al. (2016) (2017) שמצאו מרבדים נרחבים לאורך שולי צפון המפרץ בתחום ישראל, והעריכו את מצבם. לעשבי הים חשיבות גדולה כבית גידול ייחודי השומר על איכות המים בהקשר של בריאות הציבור (Lamb et al., 2017) וכסביבה תומכת בהתפתחות שוניות אלמוגים, ועל כן יש עניין רב בבריאותם. עשבי ים גם רגישים ביותר לאיכות המים ועשויים להוות אינדיקטור להידרדרות איכות בית הגידול החולי אותו הם מאפיינים.]

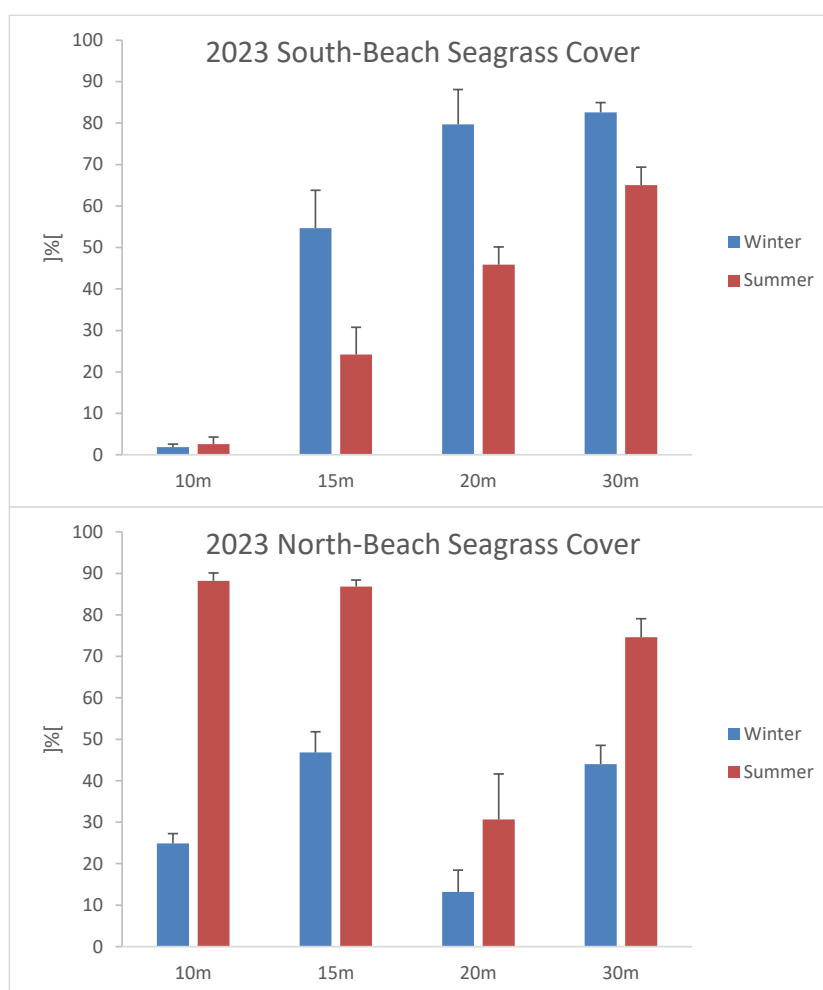
האתרים הנסקרים על ידי תכנית הניטור, בחוף הצפוני ובחוף הדרומי, שונים באופיים: באתר החוף הדרומי המדרון תלול והעומקים הנסקרים קרובים זה לזה קרבה פיסית. כניסת סדימנט מהחוף קטנה, בלטי אלמוגים פזורים במים הרדודים ומושבבות אלמוגים מצויות גם במדרון התלול. לעומת זאת, ישנה שם פעילות שחיינים וצוללים אינטנסיבית. בחוף הצפוני המדרון מתון ומרחק גדול מפריד בין העומקים הנסקרים. קרקעית הים בחוף הצפוני מכילה סדימנט דק ומעטים בה האלמוגים כמו גם שחיינים וצוללים, אך ישנה פעילות שיט ערה. מסקרים איכותיים שבצעה תכנית הניטור למציאת העומק המקסימלי של השתרעות עשב ים באילת, עולה כי בחוף הצפוני נמצאים מרבדי עשב ים נרחבים בטווח העומקים 1-25 מטרים, ועמוק יותר לעשבי הים הופעה

כתמית שמדלדלת עד שנעלמת בטווח העומקים 35-40 מטרים. בחוף הדרומי מרבדי עשב ים פחות נפוצים והופעתם מקוטעת (על ידי שוניות ומצע קרקעית קשה) אך במקומות בהם נמצאים עשבי ים ישנם מרבדים עשירים עד לעומק של כ- 40 מטרים.

בשנים בהן נסקר כיסוי עשב ים במסגרת תכנית הניטור נמצא כי, באופן כללי, מרבדי עשב הים באתרים שנסקרו, הן בחוף הצפוני והן בחוף הדרומי, עשירים ומכסים אחוז ניכר מפני הקרקע החולית. הכיסוי הרב-שנתי הממוצע בשלושת העומקים (10, 15 ו-20 מטרים) בעונת הקיץ בשנים האחרונות עומד על כ- 37% בחוף הדרומי וכ- 60% בחוף הצפוני. הערך הממוצע בקיץ השנה באותם עומקים היה כ- 24% בחוף הדרומי וכ- 69% בחוף הצפוני. במשך השנים בהן נעשה הסקר נצפו תנודות גדולות בכיסוי עשב הים וערכי השנה אינם חריגים. הערך הנמוך בחוף הדרומי נובע מדלילות כיסוי עשב הים בעומק הרדוד, 10 מטרים, כפי שנצפה לעיתים גם בשנים קודמות.

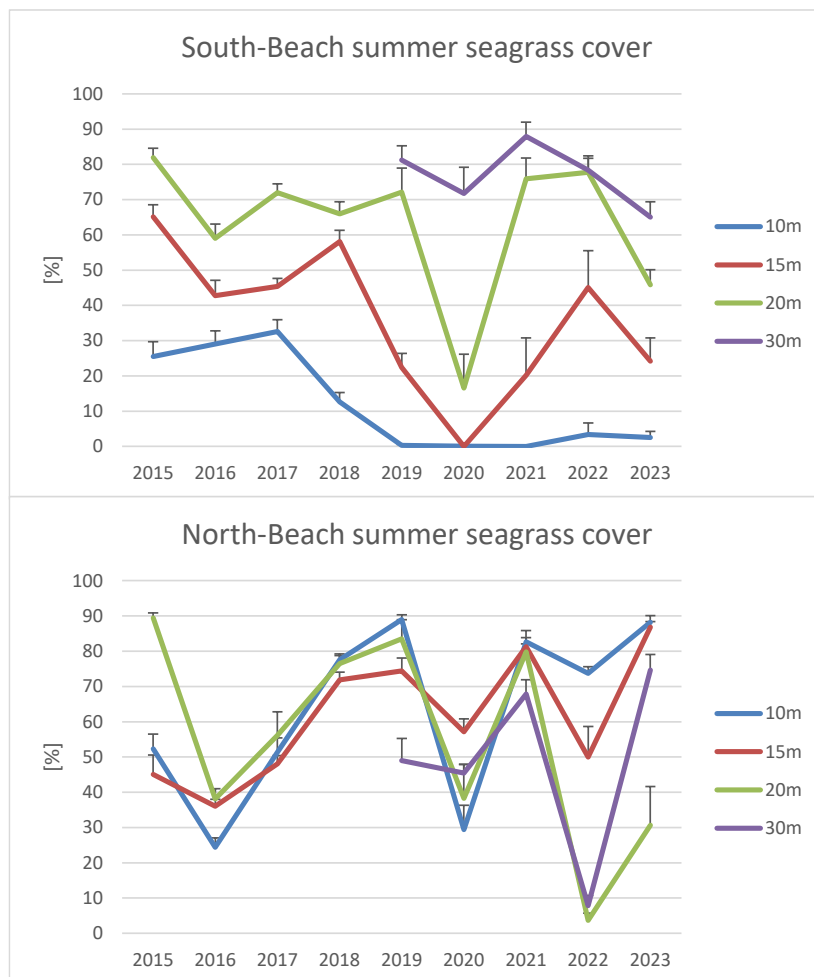
סקרים של כיסוי עשב הים נערכים בשתי עונות, חורף וקיץ, ובין העונות נמצאים תמיד, וגם השנה, הבדלים גדולים בכיסוי עשב הים (איור ג25). גם השנה, בשתי העונות, כמעט ולא נמצא עשב ים בעומק 10 מטרים באתר החוף הדרומי, וזאת בדומה לשנים האחרונות בהן כבר נעלם מרבד עשב הים מעומק זה. לעומת זאת, בעומקים הגדולים יותר, ובפרט ב- 20 ו-30 מטרים, מרבד עשב ים עשיר למדי באתר זה – בפרט בסקר החורף (מעל 80% כיסוי). בדומה לתוצאות השנים האחרונות, יתכן שמתועדת כאן "נדידה" של מרבד עשב הים בחוף הדרומי לעומקים גדולים יותר.

גם בחוף הצפוני נמצא השנה הבדל גדול בין העונות בפרט בעומקים הרדודים. באתר זה כיסוי עשב הים בקיץ היה גבוה יותר מאשר בחורף, בכל העומקים. הבדל עיקרי בין האתרים הוא שבחוף הצפוני כיסוי עשב הים בעומק הרדוד, 10 מטרים, הוא פעמים רבות הגבוה ביותר, ובחוף הדרומי כיסוי עשב הים בעומק זה מזערי.



איור ג25: כיסוי עשב הים בחורף ובקיץ בארבעה עומקים באתרי החוף הדרומי והחוף הצפוני של אילת.
Figure C25: Seagrass cover during winter and summer at four depths in the southern and northern beach sites of Eilat.

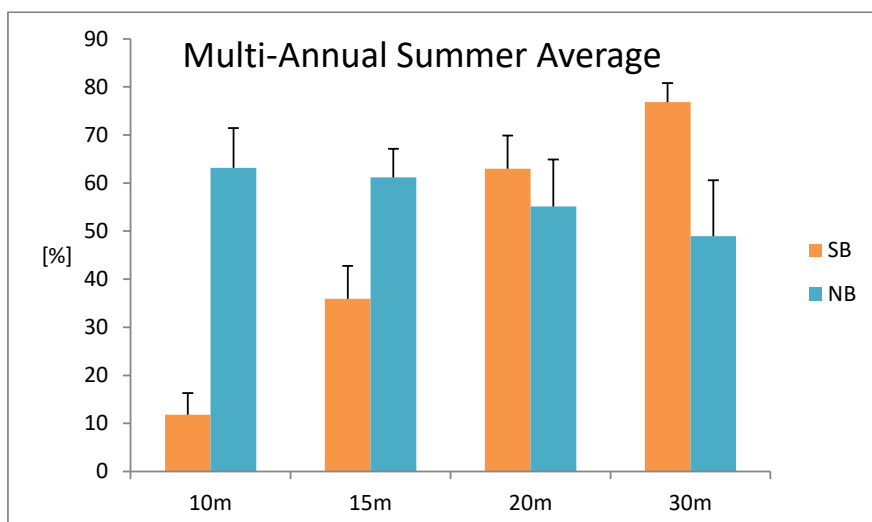
בסדרת הזמן של עונות הקיץ נראה כי בשנת 2020 נמדדה ירידה גדולה בכיסוי עשב הים בשני האתרים, אולי כתוצאה מפגיעת הסערה הדרומית בחודש מרץ 2020 (איור ג26). בשנת 2022 נמצאה ירידה בכיסוי עשב הים בחוף הצפוני אך לא בחוף הדרומי. השנה עלה הכיסוי בחוף הצפוני בכל העומקים, ובחוף הדרומי כיסוי עשב הים בעומק 10 מטרים אפסי מאז שנת 2019.



איור ג26: כיסוי עשב הים בעונות הקיץ באתרי החוף הדרומי והחוף הצפוני של אילת.
Figure C26: Seagrass cover during summer in the southern and northern beach sites of Eilat.

כיסוי עשב הים הממוצע בעומק של 20 מטרים מאז שנת 2015 דומה בשני האתרים (55-65%) ובעומקים הרדודים יותר, כיסוי עשב הים בחוף הצפוני גבוה מאשר בחוף הדרומי. ההבדל גדול ביותר בעומק הרדוד, 10 מטרים, שם כיסוי עשב הים הממוצע בחוף הצפוני בשנים האחרונות עומד על קרוב ל- 65% ואילו בחוף הדרומי ממוצע השנים האחרונות עומד על כ- 12% בלבד ובשנים האחרונות על אחוזים בודדים, אם בכלל. במשך השנים ההבדל בכיסוי בין העומקים עד 20 מטרים באתר החוף הצפוני אינו גדול ואילו באתר החוף הדרומי כיסוי עשב הים גדל מאד עם העומק (איור ג27). בעומק 30 מטרים, אשר נסקר בעונת הקיץ מאז שנת 2019, עומד הכיסוי הממוצע בחוף הצפוני על כ- 47% ואילו בחוף הדרומי הכיסוי הממוצע הוא כ- 79%.

נראה כי בחוף הצפוני כיסוי עשב הים יורד בעומקים גדולים מ-20 מטרים, ואילו בחוף הדרומי הכיסוי דווקא גדל בעומקים אלה. מרבד עשב הים בחוף הדרומי יציב פחות מאשר בחוף הצפוני, ובעומק 10 מטרים נעלם כמעט לחלוטין בשנים האחרונות. נראה שזהו העומק המזערי להתפתחות מרבדי עשב ים בחוף הדרומי.



איור ג'27: כיסוי עשב הים הממוצע בשנים האחרונות בארבעה עומקים באתרי החוף הצפוני והחוף הדרומי של אילת. העומקים 10-20 מטר נסקרו מאז 2015 ועומק 30 מטר נסקר מאז 2019.

Figure C27: The average seagrass cover in recent years at four depths in the northern and southern beach sites of Eilat. Depths of 10-20 meters surveyed since 2015, and 30 meters depth surveyed since 2019.

ד. עמודת המים בים העמוק

מטרה

מעקב אחר משתנים כימיים, פיסיקליים, וביולוגיים במי הים העמוק לשם זיהוי מגמות שינוי ארוכות טווח באיכות המים העשויות להשפיע על המערכת האקולוגית בצפון מפרץ אילת.

שיטות

אחת לחודש מבוצעת בספינת מחקר הפלגה לתחנה A ולצפון המפרץ, בסמוך למקום בו היו כלובי הדגים (FF). כשמתאפשר, כתלות במצב המדיני, מבוצעת פעמיים בשנה (אביב וסתיו) הפלגה ארוכה יותר בשיתוף עם מדענים מירדן, הכוללת גם תחנה מול גבול ירדן-סעודיה בעומק מים גדול מ-800 מטרים, תחנה B. תחנה A נמצאת על הקו החוצה של המפרץ (גבול ישראל-ירדן) קרוב לנקודה הדרומית ביותר של המים הטריטוריאליים של ישראל במפרץ אילת, בעומק קרקעית גדול מ-700 מטר (מפה 1 בנספח 1.1). עומק הקרקעית בתחנת כלובי הדגים כ-55 מטר.

בתחנות הימיות נאספות דגימות מים מעומקים שונים, על ידי הורדת 'רוזטה' אל הים, כשעליה 11 בקבוקי ניסקין של עשרה ליטרים (חברת GoFlo), וסגירת הבקבוקים מתוך הספינה בעומקים הרצויים. אל הרוזטה נלווה מכשיר מדידה CTD המודד משתנים פיסיקליים באופן רציף. בתחנה A ובתחנה B נלקחים מספר קסטים (cast = הורדת רוזטה), קסט עמוק וקסט רדוד, בכדי לקבל רזולוציה גבוהה של דגימות סביב התרמוקלינה ובעומדות המים העליונה. בתחנות רדודות נלקח רק קסט אחד, כיוון שעומק המים קטן יותר. עומק הדגימה המרבי בכל תחנה תלוי בעומק הקרקעית ובכל מקרה הבקבוק התחתון נסגר מטרים ספורים מעל הקרקעית. בכל תחנה מתבצע חתך אנכי רציף (פרופיל) של מדידות טמפרטורה, מליחות, לחץ, ופלווארסנציה במכשיר CTD של Sea-Bird Electronics. דגימות המים הנאספות בעומקים קבועים מחולקות לבקבוקים שונים לצורך מדידת חמצן מומס (DO), pH, אלקליניות (A_T), נוטריינטים מומסים (NO_2^- , NO_3^- , $Si(OH)_4$, PO_4^{3-}), פחמן חלקיקי (POC), מליחות, כלורופיל ($Chl-a$), והתפלגות אוכלוסיית הפיטופלנקטון. סינון הדוגמאות לצורך מדידת כלורופיל ואוכלוסיית הפיטופלנקטון, וקיבוע דוגמאות לצורך מדידת חמצן מומס נעשו בספינה. המדידות נעשות במעבדה לפי השיטות המתוארות בפרק העוסק במי החופים.

כל הפלגה אורכת יום שלם ובהשוואת הנתונים ממקומות שונים או מקסטים שונים יש לזכור את הפרש הזמן בין המדידות. דגימות מים לצורך מדידת יצרנות ראשונית וגרירות רשת פלנקטון למדידת מסת זואופלנקטון במים העליונים נעשות בנפרד מהפלגה החודשית לדגימת עמודת המים. גם איסוף והצבה מחדש של מלכודות סדימנט נעשה בהפלגה ייעודית.

[על פי המלצת צוות חשיבה של מדענים שהתכנס במהלך 2008 (סיעור מוחות מדענים העוסקים באוקיינוגרפיה בנושא המדידות הימיות במסגרת תכנית הניטור, אשר כונסה על ידי תכנית הניטור בחודש ינואר 2008 במכון למדעי כדור הארץ, האוניברסיטה העברית ירושלים, בעקבות המלצת הוועד המנהל של התכנית בעת הדיונים על דו"ח הניטור 2007) הוחלט לוותר על תחנת הדיגום OS – תחנת ים פתוח – מכיוון שנראה היה שתחנה זו אינה מוסיפה מידע חיוני. מאז אין דוגמים מים בתחנה זו, אולם נמדד פרופיל עמודת המים באמצעות ה-CTD].

[בשנים האחרונות, 2019-2023, לא ניתן היה להפליג בשיתוף פעולה עם מדענים מהתחנה המקבילה בירדן ולא התבצעו הפלגות לתחנה B].

להלן שיטות המדידה של מדידות שאינן מפורטות בפרק מי החופים:

יצרנות ראשונית (Primary Productivity) – החל מהשנה הקודמת – 2022 – מדידות היצרנות הראשונית נעשות בשיתוף עם מעבדתו של ד"ר אייל רהב מחיאל, על ידי מר תום רייך.

מי השכבה המוארת (100 המטרים העליונים) נדגמים באמצעות בקבוקי ניסקין מפני הים ומהעומקים 20, 40, 60, 80 ו-100 מטרים, בשעות החשכה. כבר בסירה מועברים המים למיכלים אטומים לאור, ובמעבדה מוכנס לכל מיכל פחמן רדיואקטיבי באקטיביות של 0.04 מיקרוקירי ^{14}C למ"ל מים. המים מכל עומק מחולקים לארבעה בקבוקי הדגרה בנפח 250 מ"ל + דוגמה למדידת האקטיביות במים "בזמן אפס".

דוגמאות המים המסומנות מוחזרות לים בבקבוקי הדגרה למשך 24 שעות כשהן תלויות ממצוף כך שכל דוגמה מצויה בעומק ממנו נלקחה. בכל עומק ישנו בקבוק הדגרה אחד אטום לאור (dark), ושלושה בקבוקים שקופים למדידת היצרנות הפוטוסינטטית.

הדוגמאות מוחזרות למעבדה למחרת, בשעות החשכה, ומכל בקבוק הדגרה מסוננים 50 מ"ל מים על גבי

פילטר (NC-45). הפילטרים מיובשים בדסיקטור בנוכחות אדי חומצה כלורית למשך 24 שעות ואח"כ נקראים במונה סינטילציה. בנוסף לפילטרים נלקחת מכל בקבוק הדגרה דוגמת מים לקריאת הרדיואקטיביות הכללית במים (added activity, AA) במונה הסינטילציה.

בשנת 2011 הוחלף מד הסינטילציה במכון הבינאוניברסיטאי, ומשך הקריאה נקבע על ידי המכשיר בהסתמך על השינוי בין שתי קריאות עוקבות. בנוסף לכך הוחלט לשנות את נוסחת החישוב ולהתאים את התוצאות מן השנים הקודמות לתוצאות הנמדדות כעת. שיטת החישוב הנוכחית מסתמכת על מספר הקריאות בדקה (cpm) במקום על מספר ההתפרקויות המוערך לדקה (dpm) וזאת כדי להימנע מכיוול יתר שפוגע באמינות התוצאות. מספר הקריאות במונה (cpm) משמש לחישוב קליטת הפחמן על ידי הפיטופלנקטון בכל בקבוק הדגרה לפי הנוסחה הבאה:

$$[\text{mgC}/\text{m}^3/\text{day}] = \{(\text{CPM}_{(\text{sample})} - \text{CPM}_{(\text{dark})}) * 25008\} / \{\text{Volume}_{(\text{filtered})} * (\text{CPM}_{(\text{AA})} / \text{Volume}_{(\text{AA})})\}$$

בנוסחה זו:

- $\text{CPM}_{(\text{sample})}$ - האקטיביות של הפילטר עליו סוננו מים מבקבוקי ההדגרה
- $\text{CPM}_{(\text{dark})}$ - האקטיביות של הפילטר מההדגרה בבקבוק מוחשך מאותו עומק
- $\text{CPM}_{(\text{AA})}$ - האקטיביות הכללית במים מבקבוק ההדגרה
- $\text{Volume}_{(\text{filtered})}$ - נפח המים מבקבוק ההדגרה, אשר סונן על גבי הפילטר (50ml)
- $\text{Volume}_{(\text{AA})}$ - נפח המים בו נבדקת האקטיביות בבקבוק ההדגרה (לרוב 250μl)
- המספר 25008 מהווה אומדן לריכוז הפחמן (מ"ג למטר מעוקב) במי ים.

פחמן חלקיקי (POC) – דוגמאות מעמודת המים נאספות בבקבוקי ניסקין מהרוזטה ומסוננות דרך רשת 200μm למיכלים בנפח 6 ליטרים. למחרת ההפלה מסוננים המים על גבי פילטרים GF/F אשר חוממו מבעוד מועד בטמפרטורה של 450 מעלות למשך ארבע שעות לפחות, על מנת שיהיו נקיים מפחמן. לאחר הסיון כל פילטר נשמר בצלחת פטרי ומיובש בטמפרטורה של 60 מעלות למשך 24 שעות לפחות. הפילטרים היבשים מאוחסנים במקום יבש עד לאנליזה.

מדידת תכולת הפחמן בפילטרים נעשית במכשיר Total Organic Carbon analyzer של חברת Shimadzu Instruments, בו הפחמן המצוי בדוגמה מחומצן בטמפרטורה גבוהה (900-980 מעלות) ליצירת פחמן דו-חמצני (CO₂). הפחמן הדו-חמצני נישא על ידי חמצן לגלאי IR ויוצר אות אשר שיטחו פרופורציונלי לכמות הפחמן. לצורך כיוול משמשים סוכרים המכילים פחמן בכמות ידועה. למעשה, בשיטה זו נמדד סך הפחמן החלקיקי בעמודת המים (TPC), אך ההפרש בין סך הפחמן והפחמן האורגני אינו גדול.

ספירת תאי פיטופלנקטון: ספירת תאי פיטופלנקטון וחידקים הטרוטרופים התבצעה במכשיר FACSCalibur Becton Dickinson flow cytometer בו הזרקת הדוגמא נעשתה בעזרת משאבת המזרק. הספירה נעשתה במעבדה של נינה קמנאיה במכון לחקלאות וביטכנולוגיה של אוזורים צחיחים של אוניברסיטת בן-גוריון בנגב. תאי פיטופלנקטון נמדדו בדוגמאות מים של 750μl ותאי חידקים נמדדו בדוגמאות מים של 250μl אשר נצבעו בצבע לחומצות גרעין (SYBER green I). דוגמת המים עוברת בזרימה למינארית מול קרן לייזר הפוגעת בכל תא בנפרד, נשברת, ונקלטת על ידי חיישנים המספקים מידע על גודל התא, צורתו ותכולה של חומצון הגרעין הצבועות, וכן פלורסנציה באורכי גל המאפיינים אוכלוסיות בעלות פיגמנטציה שונה זו מזו. בתוכנית הניטור נספרות אצות אאוקריוטיות, חידקים הטרוטרופים, וציאנובקטריות מהמינים *Synechococcus* ו-*Prochlorococcus*.

ניטור ריכוזי זואופלנקטון במאה מטרים העליונים של עמודת המים: דגימות זואופלנקטון נאספות אחת לחודש מתוך סירה בים העמוק. מעל עומק מים מינימלי של 300 מטרים מתחילים בגרירת רשת פלנקטון כפולה (מחוברת למסגרת "Bongo") בגודל חור של 200μm. הרשת מורדת לעומק של 100 מטרים ומועלה תוך כדי שיוט, כך שנעשה מיצוע של עמודת המים עד לעומק של 100 מטר. למסגרת מחובר מד שטף המודד את כמות המים העוברת דרך הרשת בכדי שניתן יהיה להמיר את כמויות הפלנקטון הנאספות לריכוז ביחידת נפח. בכל מסע דגימה נעשות שלוש חזרות על הגרירה.

במעבדה מחולקות הדגימות באמצעות קולונה לתת דגימות בגדלים 200μm, 500μm, 1000μm. כל תת דגימה מסוננת על גבי פילטר GF/F אשר עבר מראש שריפה בטמפרטורה של 450 °C, ואז כל פילטר מיובש בתנור ייבוש בטמפרטורה 60°C למשך שלושה ימים. לאחר הייבוש נשקל כל פילטר ואז מועבר לשריפה בטמפר' של 450 °C למשך 4 שעות. הפרש המשקלים של הפילטר לפני ואחרי השריפה מהווה מדד לביומסה (ash-free)

(dry weight).

מעקב אחר חומר חלקיקי באמצעות מלכודות סדימנט: איסוף והצבה של מלכודות סדימנט לדגימת חומר חלקיקי בעמודת המים נעשה בהפלגה ייעודית בשיתוף עם ד"ר עדי טורפשוין מהמכון למדעי כדור הארץ באוניברסיטה העברית. בשנתיים הראשונות (2015-16) נעשתה הפלגה חודשית בה נאספו המלכודות והוצבו מחדש, לצורך איפיון המערכת והערכים האופייניים. מאז נעשות ההפלגות בתדירות נמוכה יותר, אחת לשלושה חודשים. שיטות העבודה נתונות בפרק ד7.

ריכוזי פחמן אנ-אורגני מומס (dissolved inorganic carbon, DIC) בעמודת המים: דוגמאות מי ים לצורך האנליזה נאספות בבקבוקי דגימה ייעודיים במהלך ההפלגה ומטופלות ונמדדות מיד באותו יום. המדידה נעשית במעבדתו של ד"ר גלעד אנטלר מאוניברסיטת בן גוריון בנגב, המצויה במכון הבינאוניברסיטאי באילת. מתוך כל דוגמה נשאבים בעזרת מזרק 1 מ"ל של מי ים לתמיסה המכילה 1.5 מ"ל חומצה זרחתית 3% (Phosphoric acid) ב-10% NaCl. התמיסה מוזרקת לראקטור במכשיר האנליטי (automatic analyzer, AS-C6L, Apollo Sci Tech, USA) ושם משתחרר הפחמן המומס כפחמן דו-חמצני (CO_2) הנישא באמצעות גז אינרטי לקריאה בחיישן אינפרא-אדום לאנליזת CO_2 ו- H_2O (LI-COR 7815). לכל דוגמה נעשות מדידות חוזרות עד שנמצאת דייקנות של 0.2% בשלוש קריאות רציפות. גבולות השגיאה הניתנים הם סטיית התקן של שלוש קריאות אלה. כיוול המדידה נעשה על ידי מדידת נפחים שונים של סטנדרט מוכר (Certified Reference Material, CRM, from Dr. Dickson's laboratory in Scripps, Batch #184) בתחילת ובסיום כל סדרת קריאות.

ד.1. טמפרטורה ומליחות

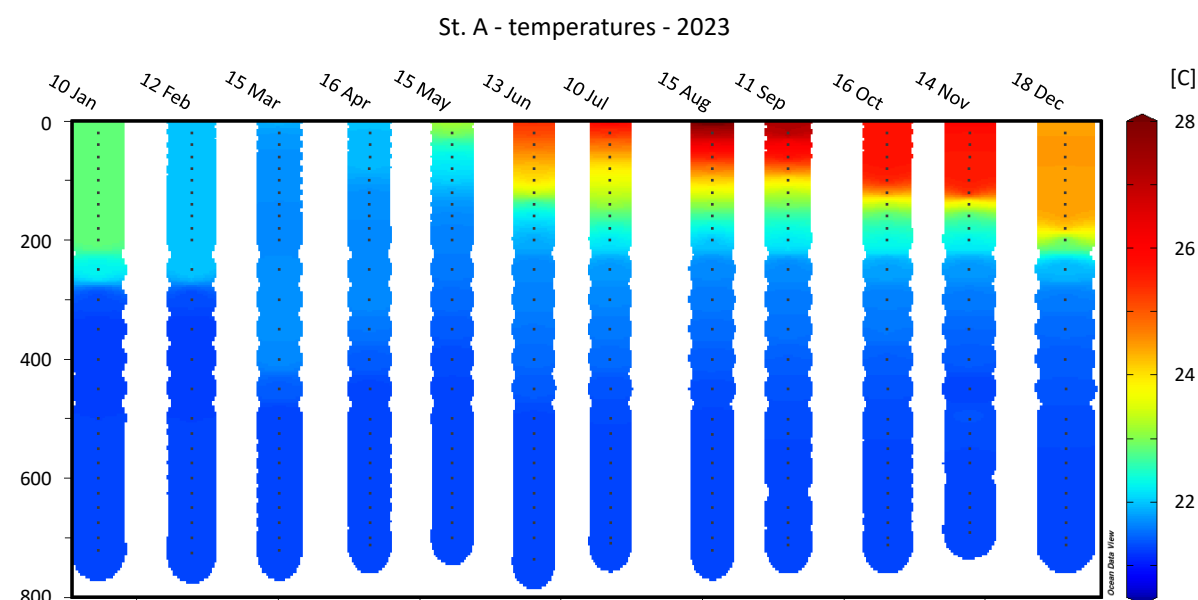
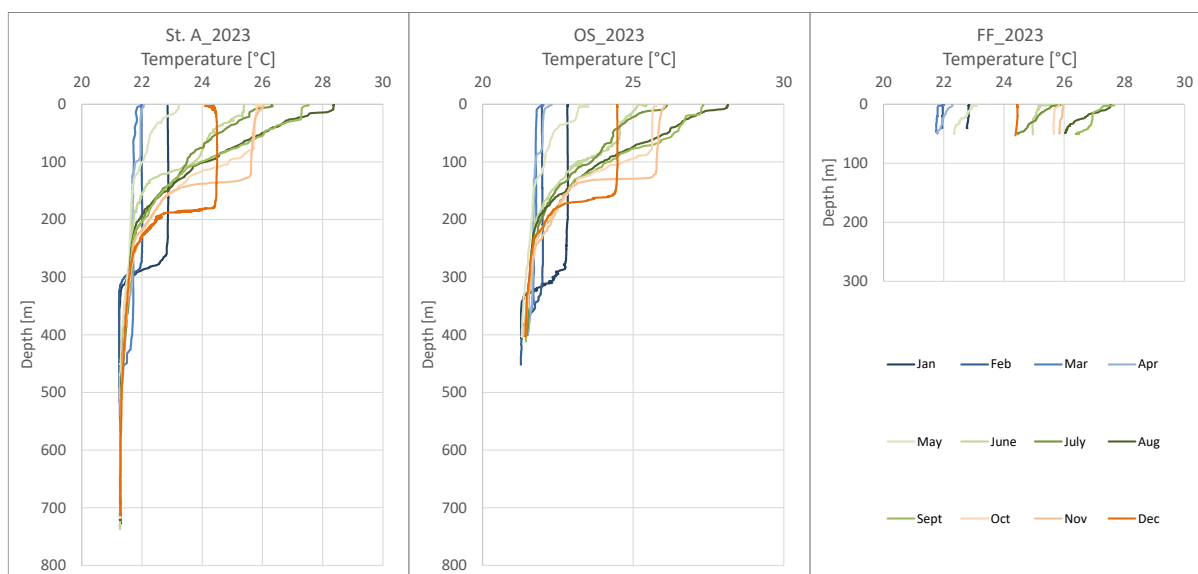
פרופילים רציפים של טמפרטורה, מליחות ופלווארסנציה בעמודת המים נמדדים על ידי מכשיר CTD בהפלגות הניטור החודשיות. נתונים אלה מראים את השינוי העונתי במבנה עמודת המים ברזולוציה גבוהה, ובעזרתם ניתן לעקוב אחר התפתחות הערבוב ככל שהחורף מתקדם, וחזרת המבנה המשוכב של עמודת המים עם ההתחממות באביב ובקיץ. מבט ארוך טווח יותר ניתן על ידי סקירה פרטנית של מדדים אלה בשנים האחרונות כפי שנרשמו בעת סגירת בקבוקי דגימת המים שעל הרוזטה (rosette) אליה מחובר מכשיר ה-CTD. לצורך השוואה זו בין השנים נעשה בדרך כלל שימוש במדידות המליחות הפרטניות שנעשות במעבדה על דוגמאות המים. מכשיר ה-CTD מכויל בחברה על פי הוראות הייצור. הכיול האחרון נעשה ביולי 2022. הפלגה לתחנה B, בשיתוף עם מדענים מתחנת המחקר בעקבה שבירדן, לא התבצעה בשנים האחרונות (2019-2023).

[בשנת 2008, בעת שמכשיר ה-CTD נשלח לטיפול וכיול, נעשה בהפלגות החודשים מאי-יוני-יולי 2008 שימוש במכשיר חלופי אשר לו דירוג עומק של 600 מטרים בלבד. מדידות חודשים אלה מוגבלות לפיכך לעומק זה והן, כמו מדידות אחרות בהן לא הגיע עומק הדגיגים ל-700 מ' בתחנה A, אינן כלולות בהערכת גודל המאגרים של נוטריינטים בעמודת המים.]

טמפרטורה

ערבוב עמודת המים בעונת החורף עקב קירור המים מלמעלה, במגע עם האטמוספירה, הוא גורם מרכזי בדינאמיקה של המערכת האקולוגית במפרץ. הערבוב השנה היה עד לעומק של כ-400 מטרים בתחנה A. זהו עומק בינוני-רדוד, בפרט בהשוואה לשנה הקודמת בה הגיע עומק הערבוב לקרקעית הים בתחנת המדידה, כ-750 מטרים. עדות לערבוב המירבי נמדדה בהפלגת חודש מרץ, אף כי עמודת המים העליונה באותה הפלגה כבר הראתה עדויות לקריסת הערבוב (איור ד1). בהשוואה לשנה הקודמת בה נמצא עומק הערבוב המרבי רק באפריל, אנו למדים כי למשך התקופה הקרה ולא רק לעוצמתה ישנה השפעה גדולה על ערבוב עמודת המים. בחודש מרץ הטמפרטורה בעמודת המים העמוקים מ-500 מטרים היתה 21.27 מעלות והתרמוקלינה נמתחה על פני כ-100 מטרים עד לעומק של כ-400 מטר, ומשם היתה הטמפרטורה 21.69-21.67 מעלות. הטמפרטורה המרבית אשר נמדדה השנה בפני הים בתחנה A היתה 28.1 מעלות, קצת יותר מחצי מעלה גבוה בהשוואה לשנה הקודמת אך כמעט מעלה פחות מאשר בשנת 2021.

[דיוק חיישן הטמפרטורה שבמכשיר ה-CTD 0.001 מעלה, עם סטייה של עד 0.002 מעלות בשנה. המכשיר שבשימוש תכנית הניטור כוייל באוגוסט 2013, באוקטובר 2015, בספטמבר 2017, באוגוסט 2019 ולאחרונה ביולי 2022.]

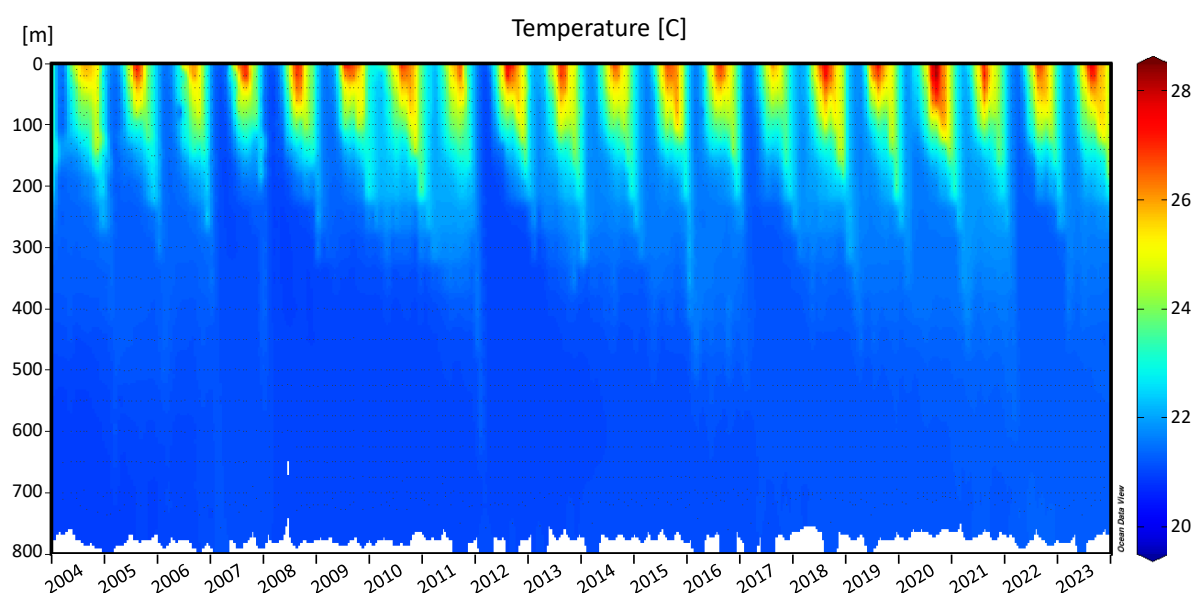


איור ד1: טמפרטורות עמודת המים כפי שנמדדה במכשיר ה-CTD בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים (<700 מ'), תחנה OS בחצי הדרך לחוף הצפוני בעומק מים של כ-400 מטרים ותחנה FF בחוף הצפוני של אילת בעומק של כ-50 מטרים. למטה – סדרת זמן שנתית של טמפרטורות עמודת המים בתחנה A בעומקים מהם נדגמו מים לאנליזות (נקודות שחורות).

Figure D1: Temperature profiles measured using a CTD during the monthly monitoring cruises. Station A is on the Israeli/Jordanian/Egyptian border (>700m), station OS is halfway to the northern shore at water depth of ca. 400 meters and the Fish Farms station is close to the northern shore of the Gulf at ca. 50 meters depth. Bottom – an annual time series of temperatures at Station A at the depths in which water was sampled for analyses (black dots).

המחזוריות העונתית של ערבוב-שיכוב עמודת המים ניכרת היטב בכל שנות הניטור, כאשר השנים נבדלות הן בטמפרטורה המרבית בפני הים בקיץ והן במידת הקירור של פני הים בחורף ובעומק ומשך הערבוב. סיום הערבוב ותחילת השכוב נגרם ככל הנראה על ידי חדירת מים חמים יותר מדרום (Biton & Gildor, 2011). במשך תקופת פעילותה הסדירה של תכנית הניטור, מאז 2004, תועדו ארבע שנים בהן עורבבה עמודת המים עד לקרקעית הים בתחנה A: השנים 2007, 2008, 2012 ו-2022 (איור ד2). לאחר הערבוב העמוק של שנת 2012 היו שלוש שנים של ערבוב רדוד, עד כ-300 מטרים, ואחריהן שנתיים בהן היה ערבוב מוקדם לעומק בינוני של כ-500 מטרים אשר נמשך זמן קצר בלבד. מאז שנת 2018 ועד לשנת 2022, ערבוב עמודת המים היה רדוד

מ-500 מטרים. לאחר הערבוב העמוק בשנה הקודמת (2022) שוב עורבבה השנה עמודת המים עד לעומק של כ-400 מטרים בלבד.

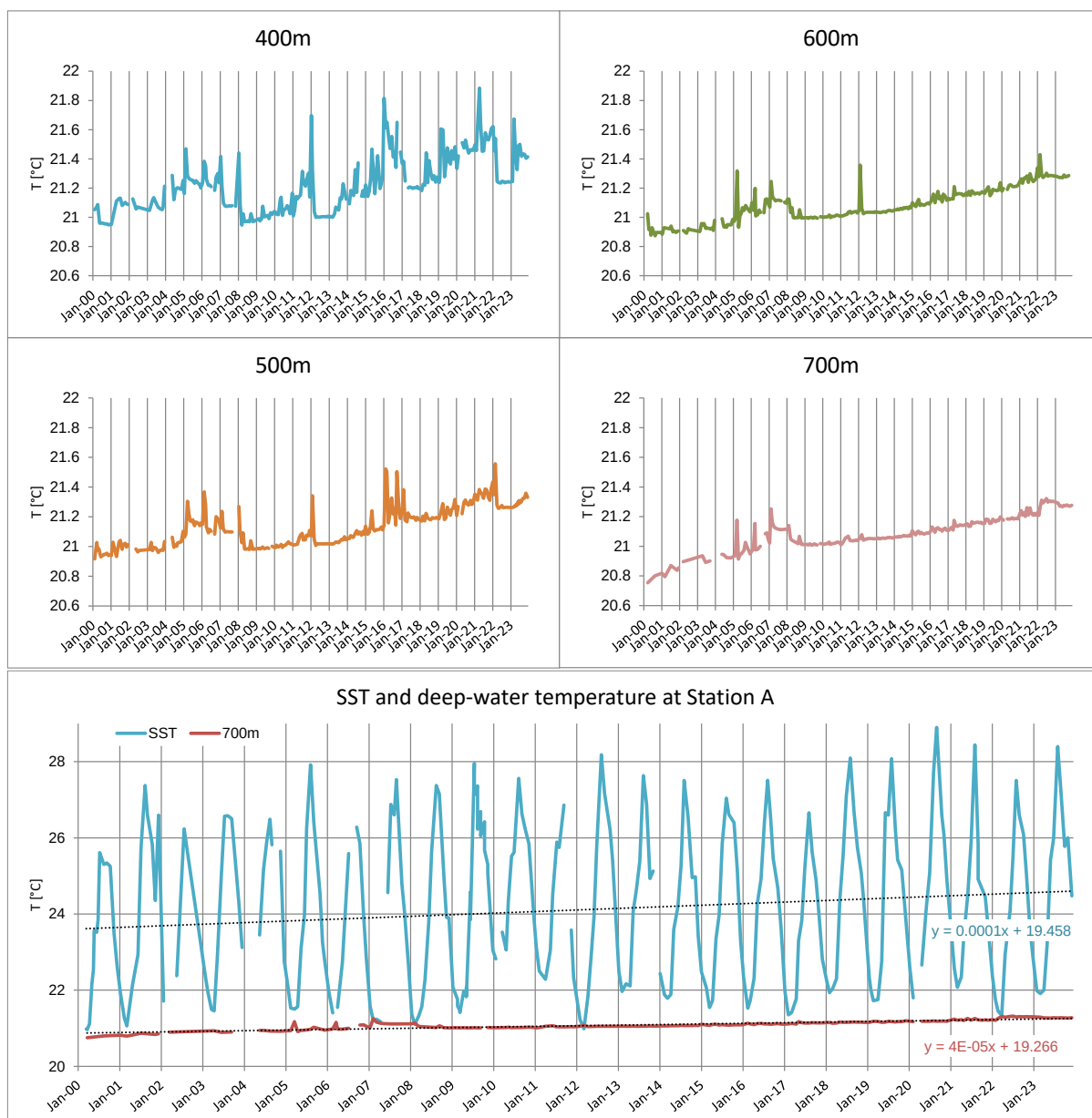


איור ד2: שינויי טמפרטורה בתחנה A מאז ינואר 2004. הנקודות השחורות מייצגות את עומק המדידה.
Figure D2: Changes in water temperature at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths.

במבט לטווח ארוך יותר, מאז שנת 2000 (נתונים הקודמים לתכנית הניטור נאספו במסגרת פרויקט "פארק השלום" ומובאים באדיבותם של פרופ' י. ארז ופרופ' ב. לזר), נראה שמי העומק מוסיפים להתחמם. כתוצאה מהערבוב של השנים האחרונות, ניכרים שינויי טמפרטורה קצרי מועד בעומקים הרדודים, אך אלה דועכים בעומקים הגדולים, 600 מטר ומטה, לעומת זאת השפעת הערבוב העמוק של השנה הקודמת ניכרת בכל העומקים (איור ד3). לאחר הערבוב טמפרטורת מי העומק מעט גבוהה משהיתה לפניו.

בהשוואה בין קצב חימום פני הים והמים העמוקים (700 מטרים) בתחנה A מאז ראשית המאה הנוכחית (כ-4 מעלות וכ-1.6 מעלות במאה שנה, בהתאמה) נראה שקצב החימום בפני הים גבוה כמעט פי שלושה מזה של המים העמוקים (איור ד3, למטה). עובדה זו עשויה לגרום לכך ששיכוב עמודת המים יהיה יציב יותר – בהתאמה לתחזיות IPCC – ואירועי ערבוב עמוק של עמודת המים במפרץ יהיו נדירים יותר.

קצב החימום של פני הים בתחנה A גבוה בהרבה מקצב חימום האוקיינוסים העולמי, העומד על 1.8 מעלות למאה שנה מאז ראשית המאה (ncdc.noaa.gov).



איור ד3: שינויי טמפרטורה במי הים בתחנה A מאז ינואר 2000. למעלה, טמפרטורת המים בעומקים 400 עד 700 מטרים; למטה, מגמות החימום של פני הים ושל מי העומק (700 מטרים) בתחנה A. נתונים הקודמים לתכנית הניטור נאספו במסגרת פרויקט פארק השלום ומובאים באדיבותם של פרופ' י. ארז ופרופ' ב. לזר.

Figure D3: Changes in water temperatures at Station A since 2000. Top, Water temperatures at 400 to 700 meters depth; bottom, water temperature trends at the sea surface and at 700m depth at Station A. Data from the years 2000-2002 were collected during the Peace Park Project and are provided courtesy of prof. J. Erez and prof. B. Lazar.

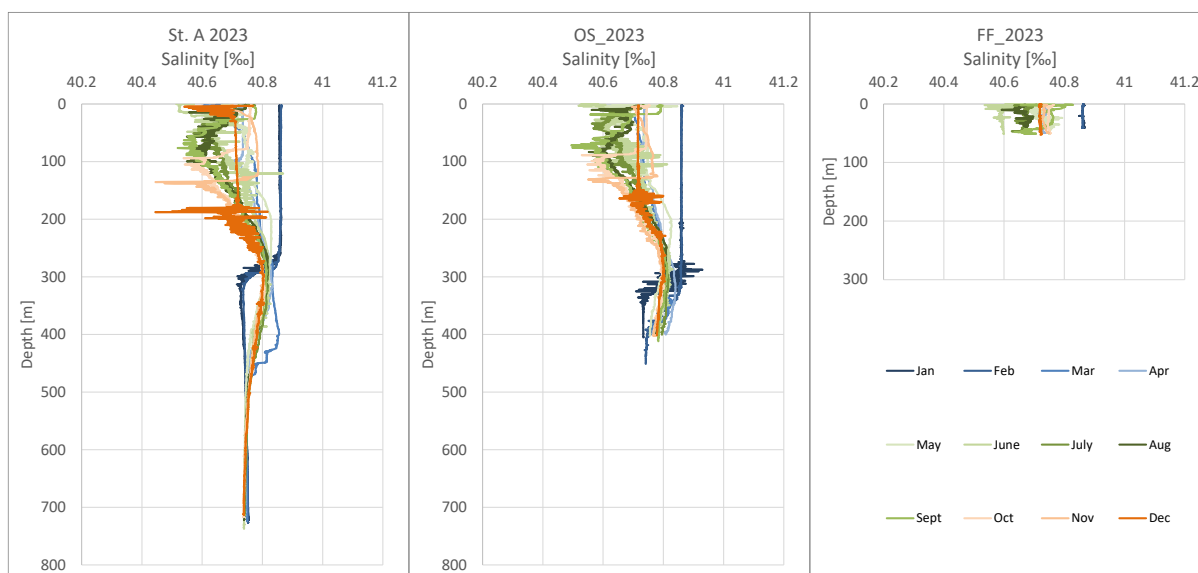
מליחות

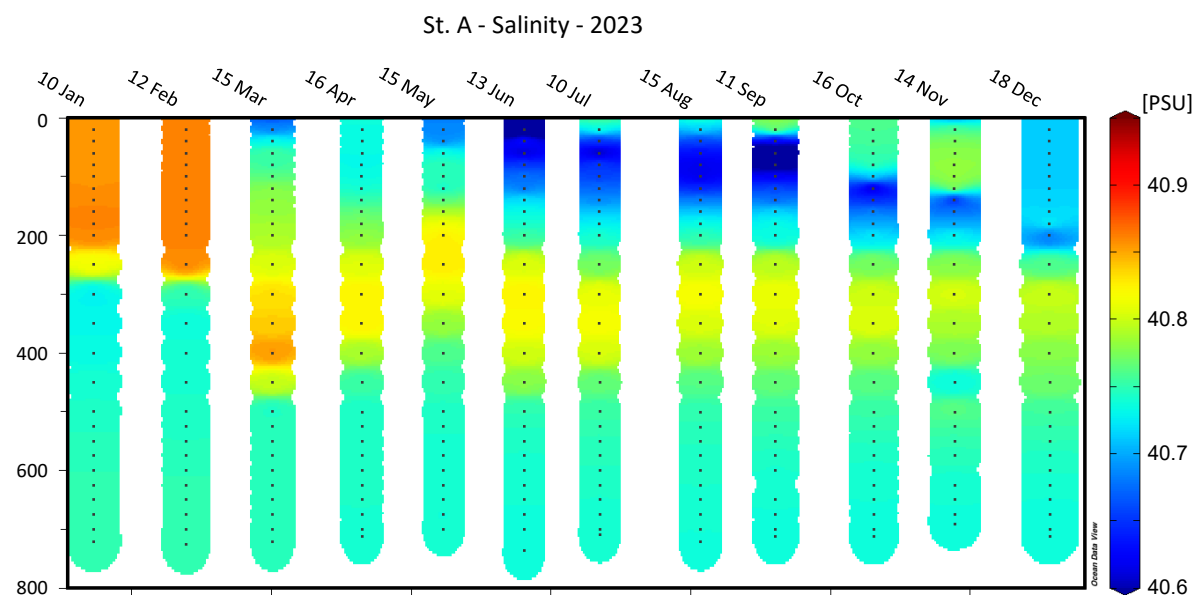
[בשנת 2010 אובחנה נדידה חזקה של תוצאות מדידות המליחות במד המליחות במעבדה. כתוצאה מכך הוחלט לא להציג תוצאות מליחות שנמדדו במעבדה החל מחודש פברואר 2010 ועד ליולי 2011. עבור תקופה זו מוצגות מדידות המליחות בים העמוק אשר נעשו גם באמצעות מד מליחות אלקטרוני כחלק מפרופיל ה-CTD. התכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת, בשיתוף עם המכון הבינאוניברסיטאי למדעי הים, רכשה מד מליחות חדש אשר החל לפעול בחודש יולי 2011 ותוצאותיו מופיעות בדו"חות המדעיים מאז.

בשנת 2014 שוב נמצאה בעיה במד המליחות, ונתוני המליחות מהחודשים האחרונים של שנה זו חסרים, מלבד ממדידות חיישן ה-CTD].

למדידות המליחות מחזור עונתי אופייני של היווצרות שכבת מים בעלת מליחות נמוכה יחסית בעומקים ~25-200 מטרים בתקופה המשוכבת (איור 4). שכבת "המליחות המינימלית" בעמודת המים בתקופת השכוב נוצרת עקב חדירת מים בעלי מליחות נמוכה יחסית מדרום המפרץ בסביבות חודש יוני. לאחר מכן נכנסים למפרץ מים בעלי מליחות גבוהה יותר, אך חמים יותר ועל כן "קלים". בנוסף לזאת, אידוי בפני הים גורם לעליית המליחות במים העליונים בהשוואה לשכבת המים שמתחת. עם התערעורת המבנה המשוכב בסוף הקיץ ותחילת הערבוב, גם מים אלה מתערבבים, ועומק "המליחות המינימלית" השאריתית גדל, עד שהשכבה נעלמת.

בחודשי החורף בתחילת שנה היתה מליחות המים העליונים גבוהה אך החל מחודש מאי החלה להצטבר שכבה בעלת מליחות נמוכה בקרבת פני הים. לקראת סוף הקיץ, בחודשים ספטמבר-אוקטובר, המליחות בפני הים עלתה והשכבה בעלת המליחות הנמוכה נדחקה מטה ונמהלה.

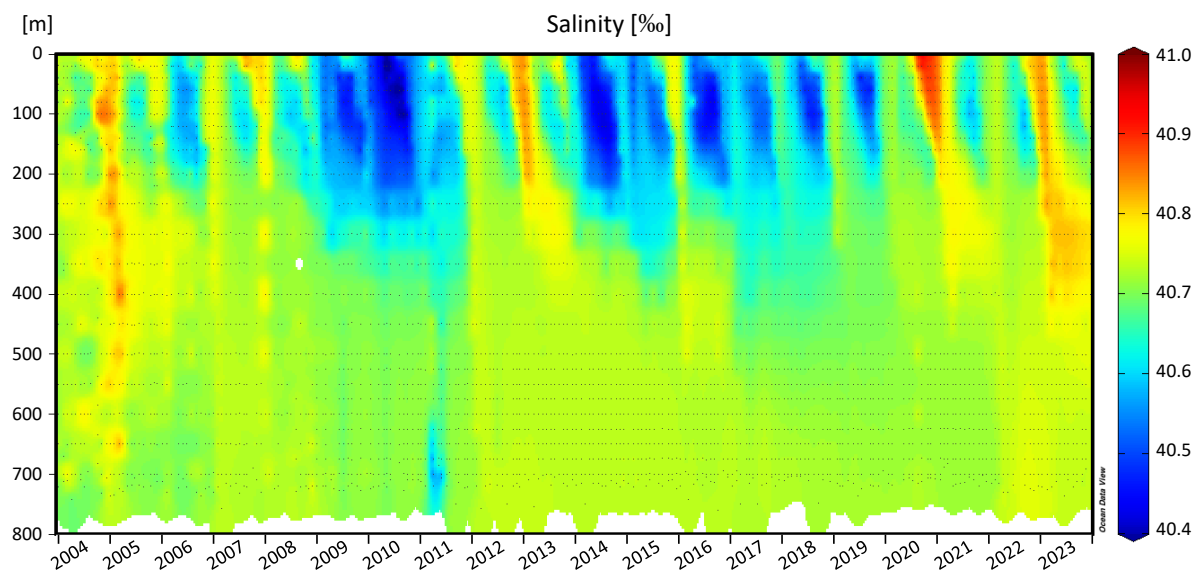




איור ד4: מליחות בעמודת המים כפי שנמדדה במכשיר ה-CTD בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים (<700 מ'), תחנה OS בחצי הדרך לחוף הצפוני בעומק מים של כ-400 מטרים ותחנה FF בחוף הצפוני של אילת בעומק של כ-50 מטרים. למטה – סדרת זמן שנתית של מליחות עמודת המים בתחנה A בעומקים מהם נדגמו מים לאנליזות (נקודות שחורות).

Figure D4: Salinity profiles measured using a CTD during the monthly monitoring cruises. Station A is on the Israeli/Jordanian/Egyptian border (>700m), station OS is halfway to the northern shore at water depth of ca. 400 meters and the Fish Farms station is close to the northern shore of the Gulf at ca. 50 meters depth. Bottom – an annual time series of salinity at Station A at the depths in which water was sampled for analyses (black dots).

חדירת מים בעלי מליחות נמוכה הייתה חזקה ביותר בשנים החמות 2009-2010, ובשנתיים אחר כך נמצאו הפרשי מליחות קטנים יותר בשכבת המליחות המינימלית. לאחר מכן שוב נמדדה מליחות נמוכה בעמודת המים העליונה, אך בשנים האחרונות עולה המליחות ובשנת 2020 נמדדה מליחות גבוהה במיוחד במים העליונים (איור 5ד). גם השנה נמצאה מליחות גבוהה בתחילת השנה ובהמשכה נדחקה השכבה המלוחה לעומקי הביניים, תחת שכבת המליחות המינימלית. שינויי המליחות בעמודת המים הינם מחזוריים בעיקרם, ועל אף שניתן לזהות תבניות שונות במהלך תקופת הניטור לא ניכרת מגמה של שינוי ארוך טווח מגמתי. ההבדלים בין השנים קשורים יותר לגופי המים החודרים לאזורינו מדרום מאשר למאזני האידוי המקומיים, אם כי חדירת גופי המים המלוחים קשורה אולי בעומק הערבוב או בטמפרטורת הים מדרום.



איור ד5: שינויי מליחות בתחנה A מאז ינואר 2004. הנקודות השחורות מייצגות את עומק המדידה.
Figure D5: Changes in salinity at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths.

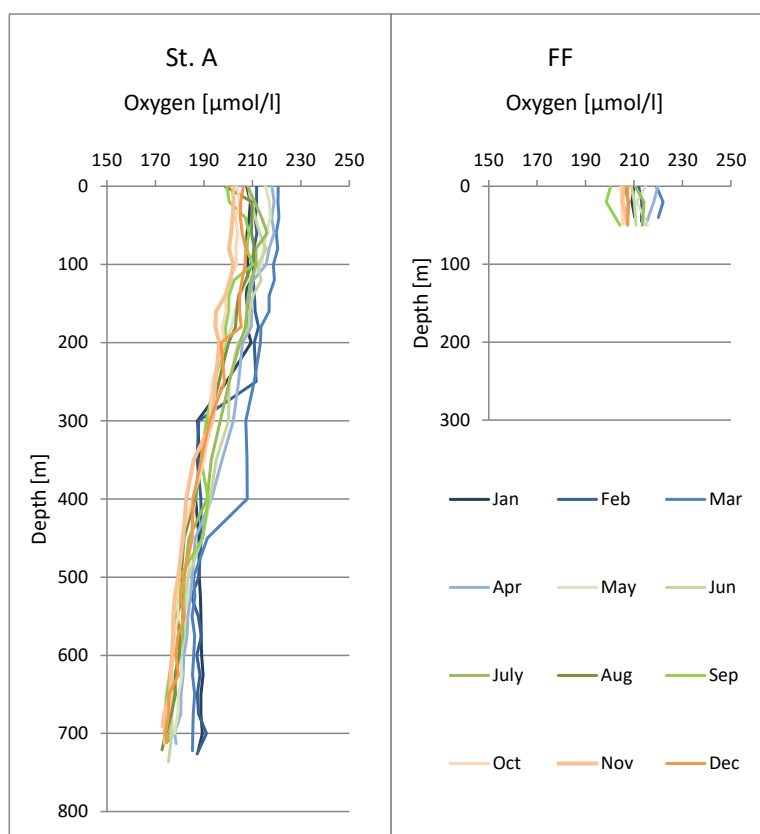
2.ד. חמצן, pH ואלקליניות, נוטריינטים ופחמן חלקיקי

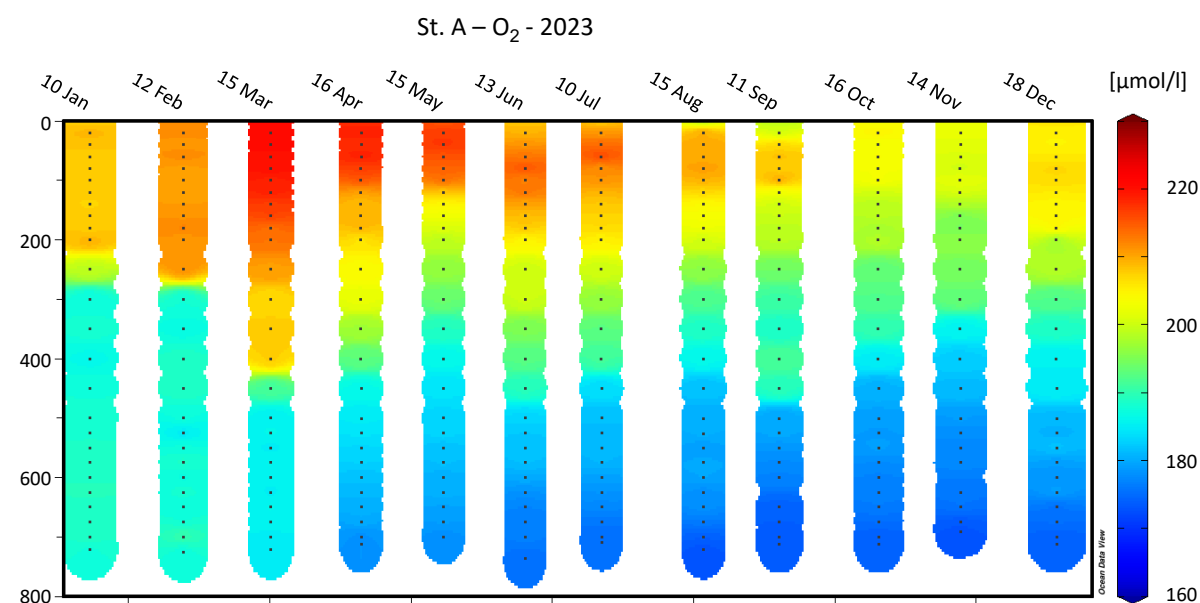
חמצן (O_2)

הגורם העיקרי המשפיע על ריכוזי החמצן במי הים הוא המחזור העונתי של שכוב-ערבוב בעמודת המים. בתקופה הקרה (עונת הערבוב) ישנה ירידה בטמפרטורת המים ועל כן עלייה בקליטת חמצן אטמוספירי במים העליונים, אולם מים אלה מתערבבים עם מי עומק עניים בחמצן, וכך, למרות שמאגר החמצן המומס בעמודת המים גדל, נמצא החמצן בתת-רוויה. עם תום תקופת הערבוב ותחילת התקופה המשוכבת עולה היצרנות בעמודת המים העליונה ונוצר ריכוז גבוה של חמצן מומס קרוב לעומק הכלורופיל המרבי (DCM), ועם עליית הטמפרטורות במים העליונים נוצרת בתקופה זו על-רוויה בחמצן.

ערבוב עמודת המים השנה היה לעומק של כ-400 מטרים, ועמודת המים אשר נדגמה בחודש מרץ בתחנה A "אווררה" לעומק זה, אף כי במועד ההפלגה לא היתה עמודת המים העליונה מעורבת לחלוטין (איור ד6). ריכוז החמצן המרבי בתחנה A נמדד השנה בחודש מרץ בעומק של 40 מטרים, $221.0 \mu\text{mol/l}$. ריכוז החמצן במי העומק היה לפני הערבוב $187.8 \mu\text{mol/l}$, לעומת כ- $200 \mu\text{mol/l}$ אחרי הערבוב העמוק בשנה הקודמת אך עדיין גבוה מריכוזו לפני הערבוב העמוק, כ- $167 \mu\text{mol/l}$. הריכוז המזערי שנמדד השנה בפני הים בתחנה A היה $199.5 \mu\text{mol/l}$, בחודש ספטמבר, דומה לערך המזערי בשנים האחרונות.

בתחנת כלובי הדגים היה הריכוז המרבי שנמדד $222 \mu\text{mol/l}$, בחודש מרץ והריכוז המזערי היה $198 \mu\text{mol/l}$ בספטמבר.





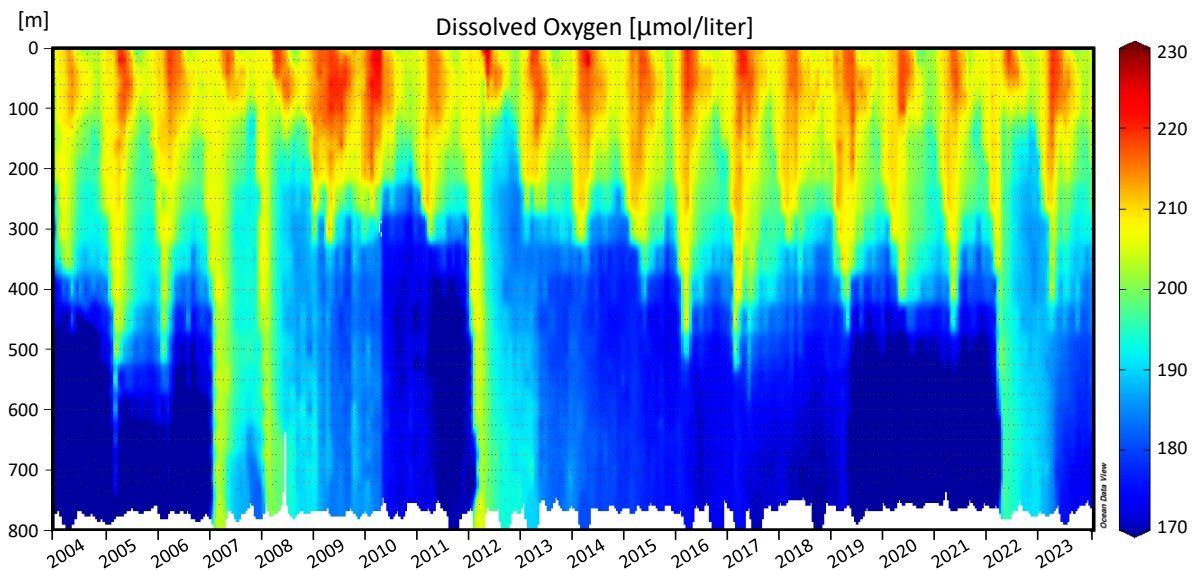
איור ד6: ריכוזי חמצן מומס בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק גדול מ-700 מטרים ותחנה FF בחוף הצפוני של אילת בעומק של כ-50 מטרים. למטה – סדרת זמן שנתית של ריכוזי חמצן מומס בעמודת המים בתחנה A.

Figure D6: Dissolved oxygen concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Station A is on the Israeli/Jordanian/Egyptian border at ca. 700 meters depth and the Fish Farms station is close to the northern shore of the Gulf at ca. 50 meters depth. Bottom – an annual time series of dissolved O₂ concentrations at Station A.

במשך רוב חודשי השנה מופרדים מי העומק מהמים העליונים, ובהיעדר יצרנות ראשונית החמצן המומס בהם הולך ונצרך בתהליכי חמצון של חומר אורגני במים או בסדימנט. על כן, כבר בהפלגת חודש אפריל ניכר שריכוזי החמצן נמוכים מאשר בזמן הערבוב הפעיל. חידוש מלאי החמצן המומס במים העמוקים מתרחש בשנים קרות באמצעות ערבוב מי העומק עם מים רדודים עשירים בחמצן. והשנה מי העומק עדיין עשירים בחמצן לעומת השנים האחרונות לפני הערבוב העמוק של שנת 2022.

בשנות הניטור 2004-6 לא היה ערבוב עמודת המים עמוק דיו כדי לאוורר את המים העמוקים מכ-600 מ' וריכוזי החמצן בעומק היה נמוך, אולם בשנים 2007 ו-2008 עורבבה כל עמודת המים בתחנה A וריכוזי החמצן במים העמוקים השתווה לריכוזו במי השטח בחודשי הערבוב. בשלוש השנים שלאחר מכן (2009-2011), נצרך החמצן במים העמוקים וריכוזו ירד בהדרגה. הערבוב העמוק ב-2012 מלא את מאגרי החמצן בעמודת המים והעלה מחדש את ריכוזו במים העמוקים וכך נסגר מחזור שלם של דלדול ומילוי התלויים בעומק הערבוב. הערבוב העמוק בשנה הקודמת השלים מחזור נוסף של העשרה-דילדול-העשרה של מי העומק באמצעות ערבוב עמוק של עמודת המים. המחזור האחרון, עשר שנים, היה ארוך ממחזורים דומים שתועדו בעבר (איור ד7).

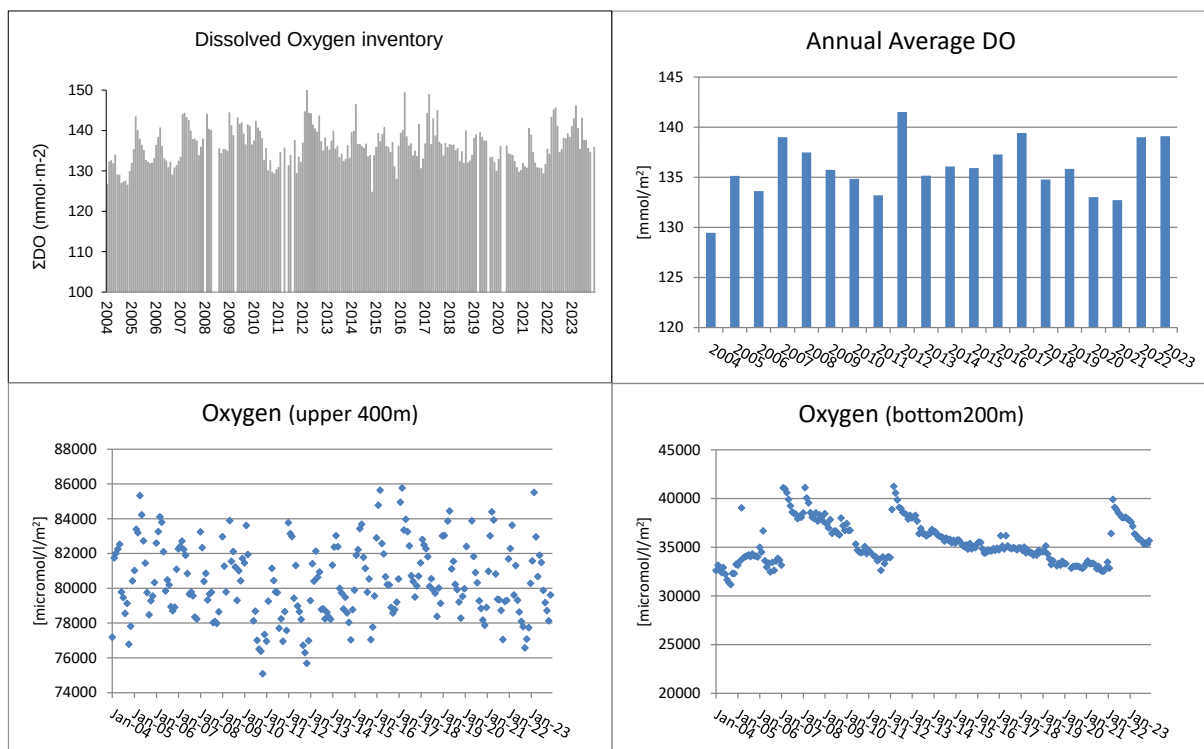
נראה כי במחזור הרב שנתי האחרון, אשר הסתיים בשנה הקודמת, דלדול עמודת המים בחמצן היה איטי יותר מאשר בשני המחזורים הקודמים. כאמור למעלה, צריכת החמצן במי העומק תלויה בכמות החומר האורגני המגיע מעמודת המים העליונה ועל כן נראה כי זו ירדה בשנים האחרונות. בשנת 2021, תשע שנים לאחר הערבוב העמוק של שנת 2012, ריכוזי החמצן המומס בעומקים 600-700 מטרים היה דומה לזה שנמדד בשנת 2011, שלוש שנים בלבד לאחר הערבוב בשנת 2008. נראה שהערבוב של 2022 היה קצר יחסית לשנות הערבוב העמוק הקודמות ומעניין יהיה לראות באיזה קצב ידלדל מאגר החמצן במי העומק עד לערבוב העמוק הבא.



איור ד7: שינויים בריכוז החמצן המומס בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. הנקודות השחורות מייצגות את עומק המדידה.

Figure D7: Changes in concentrations of dissolved oxygen in the water column at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths.

מאגרי החמצן בעמודת המים מייצגים את כמות החמצן המומס בכל עמודת המים. בשנים של ערבוב עמוק מים מכל העומקים באים במגע עם האטמוספירה וריכוז החמצן בהם מגיע לשיווי משקל, כאשר יצרנות פוטוסינתטית עשויה להביא את ריכוזי החמצן באזור הפוטי למעבר לדרגת המסיסות (על-רוויה). בשנים בהן הערבוב רדוד, מדלדל מאגר החמצן כשריכוז החמצן במים העמוקים יורד כתוצאה מחימצון חומר אורגני. מאז שנת 2012 קטן מאגר החמצן בהדרגה ובשנת 2021 היה מאגר החמצן השנתי הממוצע נמוך מעט מזה שחושב עבור השנים 2006 ו-2011, לפני הערבובים העמוקים של 2007 ו-2012. בשנה הקודמת, בעקבות הערבוב העמוק, עלה מאגר החמצן השנתי הממוצע בעמודת המים לערך דומה לזה שנמדד בשנת 2007 (איור ד8).



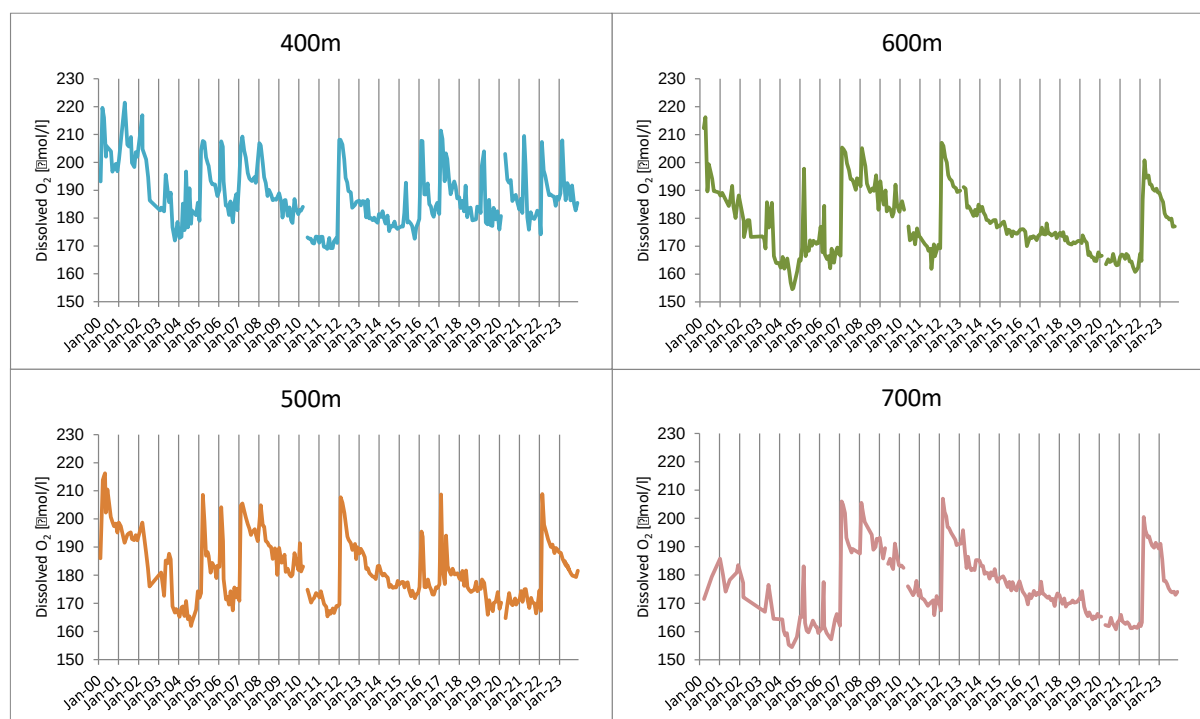
איור ד8: שינויים במאגר החמצן המומס בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. למעלה: סך המאגר במדידות

חודשיות (משמאל) וממוצע שנתי (מימין). למטה: המאגר ב-400 המטרים העליונים (משמאל) ובמאיתיים המטרים העמוקים (מימין).

Figure D8: Changes in the dissolved oxygen inventory in the water column at Station A since 2004. Top: monthly inventories (right) and annual averages (left). Bottom: the upper 400m (left) and the deep water (right).

סדרות הזמן של ריכוזי החמצן במים העמוקים מאז שנת 2000 מראות בבירור את תלות ריכוז החמצן בעומק הערבוב (איור 9). במים העמוקים יורד ריכוז החמצן המומס בשנים של ערבוב רדוד, ועולה בשנים של ערבוב עמוק.

בשנת 2021, תשע שנים לאחר הערבוב העמוק הקודם, בהן ריכוז החמצן במי העומק ירד בהדרגה, הגיע ריכוז החמצן המומס המזערי בעומק 700 מטרים ל- $161 \mu\text{mol/l}$. ריכוז זה נמוך מהריכוז הנמוך שנמדד לפני הערבוב העמוק בשנת 2012, אך עדיין גבוה מהריכוז הנמוך שקדם לערבוב העמוק בשנת 2007. בשנה הקודמת, בעקבות הערבוב העמוק, עלה ריכוז החמצן במים העמוקים ועמד על $200 \mu\text{mol/l}$ בעומק 700 מטרים בחודש אפריל סמוך לאחר הערבוב, ועל $190 \mu\text{mol/l}$ בעומק זה בסוף שנת 2022. עד סוף השנה הנוכחית (2023) הוסיף ריכוז החמצן בעומק 700 מטרים לרדת, ועמד על $174 \mu\text{mol/l}$ בהפלגת חודש דצמבר.



איור 9: ריכוזי החמצן המומס בעומקים 400 עד 700 מטרים בתחנה A מאז שנת 2000.

Figure D9: Dissolved oxygen concentrations in 400m to 700m water depth at Station A, since 2000.

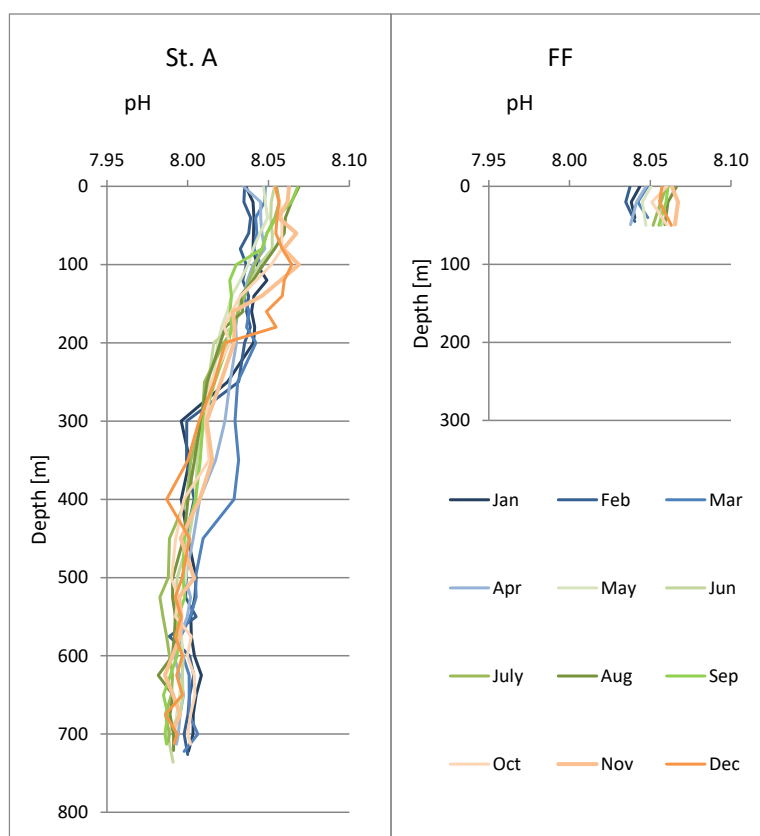
ערך הגבה (רמת חומציות המים, pH)

עד לשנת 2022 נמדד ערך הגבה (pH) באמצעות אלקטרודות ודווה בסקלת pH_{NBS} לפי ההגדרה של Millero et al. (1993): $\text{pH}_{\text{NBS}} = -\log \{H^+\}$. לפרטים ראו פירוט "שיטות" בפרק מי החופים למעלה. בעצה אחת עם ד"ר אייל וורגפס ז"ל (האוניברסיטה העברית והאוניברסיטה הפתוחה), ד"ר ג'ק סילברמן (חיא"ל) וד"ר גלעד אנטלר (אוניברסיטת בן גוריון בנגב) רכשה תכנית הניטור מכשיר ספקטרופוטומטר ייעודי למדידה אופטית של ערך הגבה (Contros HydroFIA pH, Jena Engineering). לאחר שלב של התאמות וכיולים (ראו למעלה בפירוט השיטות בפרק מי החופים) נמצאה התאמה לינארית מצויינת בין שיטות המדידה. על כן, כל הערכים שנמדדו בעבר בשיטה הפוטוציטומטרית באמצעות אלקטרודות חושבו מחדש על מנת שיתאימו לסקלת המדידות החדשה. ערכי הגבה אשר ידווחו מעתה והלאה על ידי תכנית הניטור הם הערכים המתאימים לסקלת המדידה של מי ים באמצעות ספקטרופוטומטר Contros HydroFIA pH.

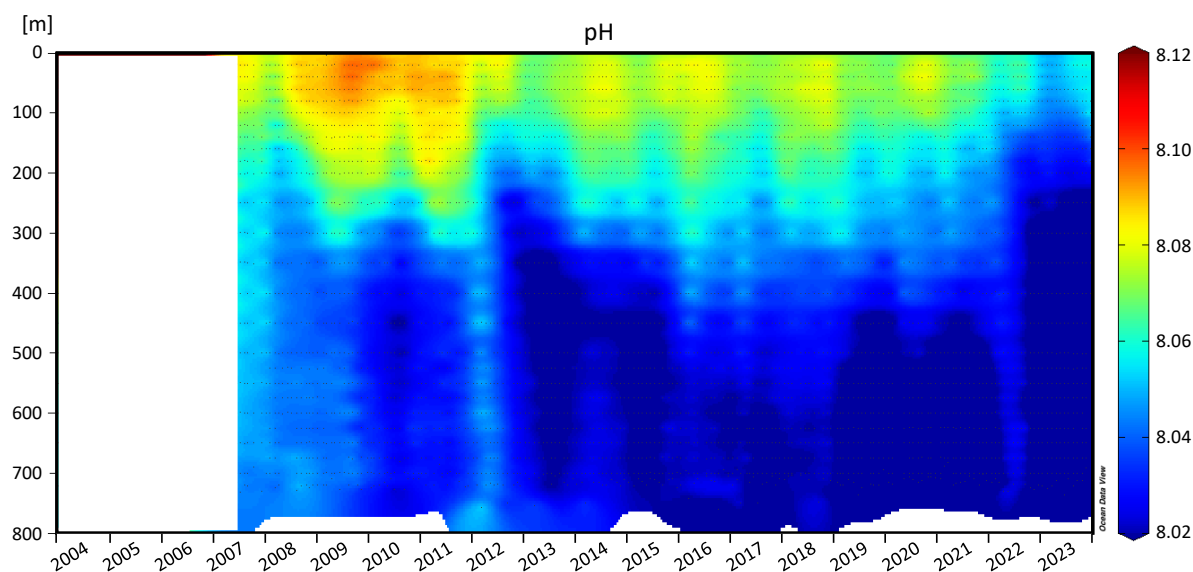
[תזכורת: במהלך שנת הניטור 2006 נמצאה הטייה של ערכי ה-pH הנמדדים לעבר ערכים גבוהים מדי, עקב התיישנות תמיסות הכיול. נערך בירור אשר במהלכו זוהה תאריך תחילת הבעיה (אוקטובר 2003), ולפיכך הכרונו בדו"ח 2007 על אי קבילותן של מדידות ה-pH מאותו תאריך ועד להחלפת התמיסות הבעייתיות ותיקון הבעיה בנובמבר 2006.]

ערכי ה-pH במי העומק בדרך כלל נמוכים יותר מאשר במים הרדודים ועל כן מושפעת גם רמת החומציות בעמודת המים ממחזור הערבוב-שכוב העונתי. מבנה הפרופיל של ערך הגבה (pH) בעמודת המים דומה, לרוב, לזה של החמצן המומס מכיוון ששני המשתנים תלויים בקצבי הפוטוסינתזה והנשימה. ערכי ה-pH הגבוהים ביותר בתחנה A השנה (8.07) נמדדו במים העליונים בחודשים אוגוסט ונובמבר (איור 10).

במים העמוקים, ערך הגבה עולה כתוצאה מערבוב עמודת המים ויורד בשנים בהן הערבוב רדוד. במים הרדודים התמונה הפוכה. בשנים 2008-11 נמדדו ערכי הגבה גבוהים במים העליונים ואלו ירדו מאד בעקבות הערבוב העמוק בשנת 2012 (איור 11). בשנים שחלפו מאז נותר ה-pH בעמודת המים בערכים נמוכים. ובשנה הקודמת, 2022, נמדדה ירידה נוספת בערך הגבה. גם השנה נמצאו ערכי גבה נמוכים בהשוואה לשנים הקודמות.



איור 10: ערכי הגבה (רמת חומציות) בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק גדול מ-700 מטרים, ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים.
Figure D10: Depth profiles of pH values measured during the monthly monitoring cruises. Station A is on the Israeli/Jordanian/Egyptian border at >700 meters depth, and the Fish Farms station is close to the northern shore of the Gulf at ca. 50 meters depth.

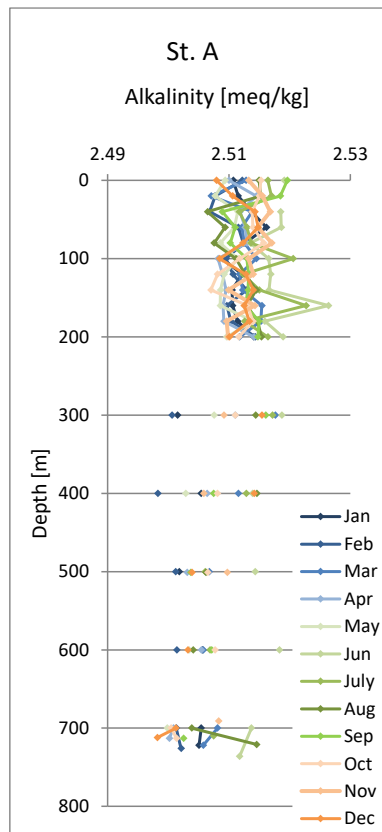


איור ד11: שינויים ברמת החומציות בעמודת המים בתחנה A מאז נובמבר 2006. הנקודות השחורות מייצגות את עומק המדידה.

Figure D11: Changes in pH in the water column at Station A since November 2006. Black dots represent the sampling depths.

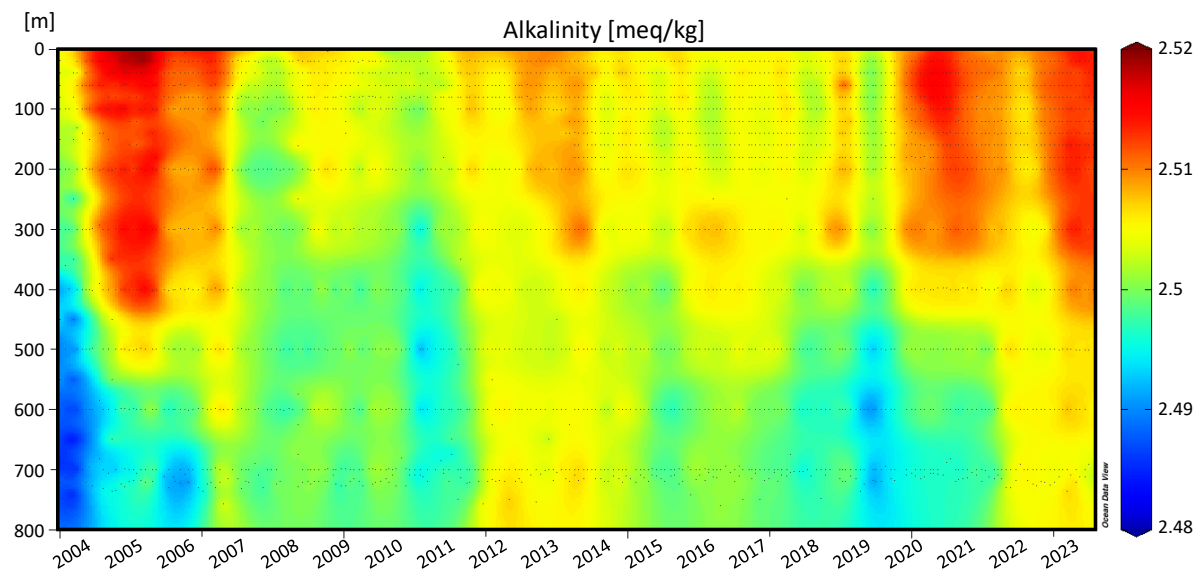
אלקליניות

האלקליניות היא מדד לריכוז החומצות החלשות במים, ובעיקר לריכוז יוני הקרבונט והביקרבונט (CO_3^{2-} ו- HCO_3^- בהתאמה). טווח הערכים במדידות האלקליניות קטן מאוד, הן בשינויים העונתיים והן בין העומקים והשנה טווח זה היה מצומצם עוד יותר, בהשוואה לשנה הקודמת. ערכים נמוכים יחסית של אלקליניות במים העמוקים נרשמים לאחר הקיץ, וערכים גבוהים יותר בחודשי הערבוב. עם זאת, נמצאו השנה בחודשים יוני ויולי בעומק 160 מטרים ערכי אלקליניות מעט גבוהים בהשוואה לשאר, עם ערך מרבי של 2.526 meq/kg (איור ד12). שינויים באלקליניות אינם מונעים רק על ידי מחזורי הערבוב. בשנים 2004-2006 נמדדה אלקליניות גבוהה בעמודת המים, ובפרט במים העליונים, ולאחר הערבוב העמוק בשנת 2007 ירדה האלקליניות הנמדדת. בשנים 2012-2014 שוב נמדדה אלקליניות גבוהה יחסית, אם כי לא באותה מידה, ואחר כך נמצאה ירידה קלה בערכי האלקליניות הנמדדים בעמודת המים. בשנים האחרונות שוב נמדדו ערכי אלקליניות גבוהים מעט – בשנה הקודמת נמצאה ירידה אך השנה הערכים שוב גבוהים (איור ד13).



איור ד12: ערכי אלקליניות בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700 מטרים.

Figure D12: Alkalinity profiles measured during the monthly monitoring cruises. Station A is on the Israeli/Jordanian/Egyptian border at ca. 700 meters depth.



איור ד13: שינויי אלקליניות בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. הנקודות השחורות מייצגות את עומק המדידה.

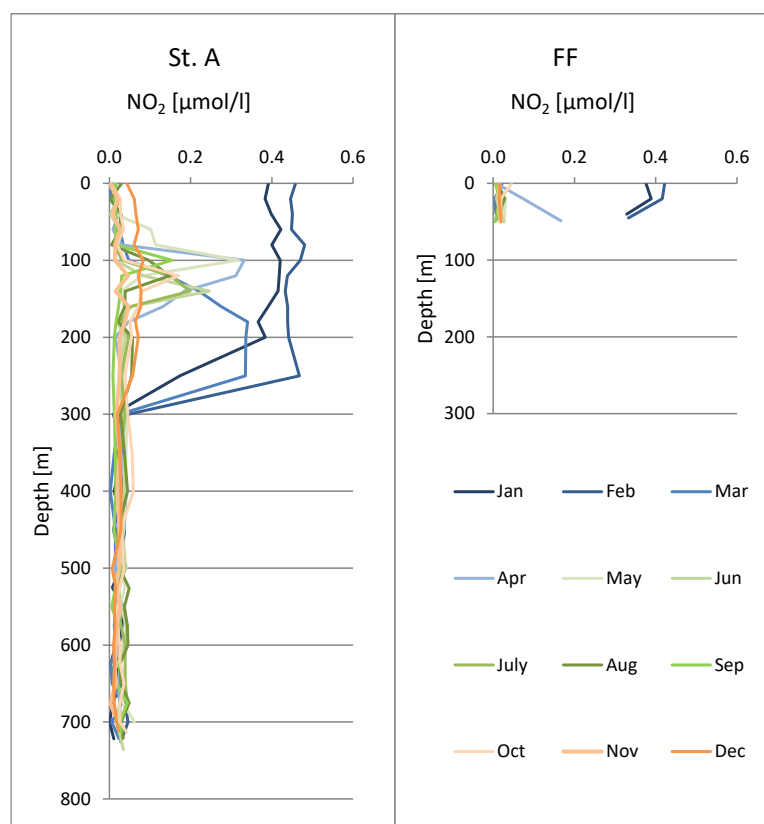
Figure D13: Changes in alkalinity in the water column at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths.

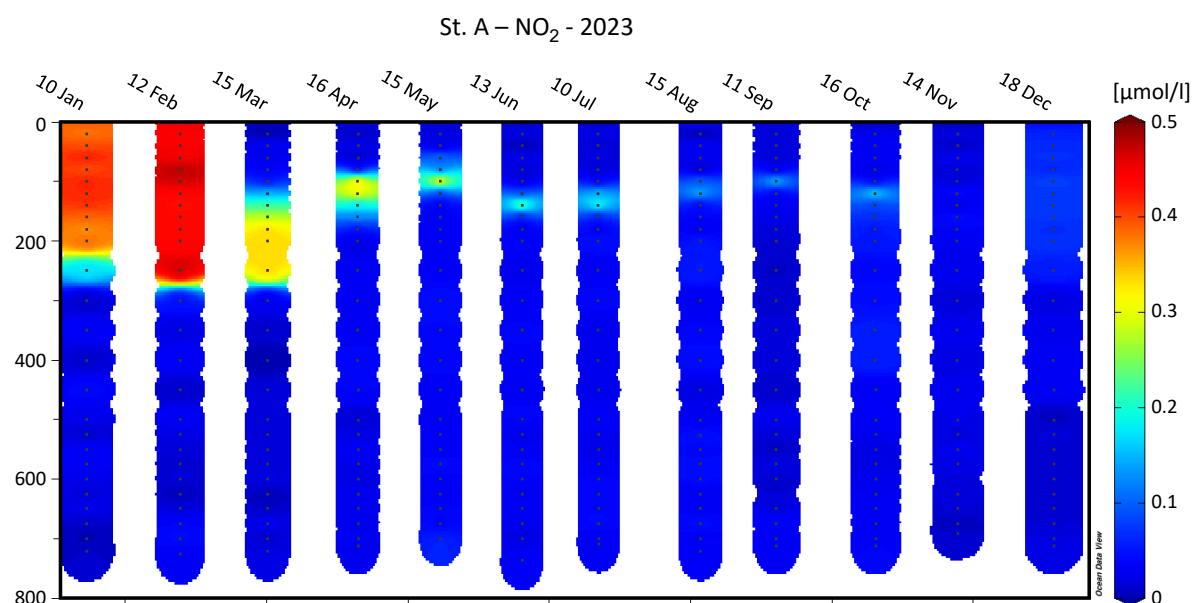
ניטריט (NO_2^-) וניטראט (NO_3^-)

ניטריט נצרך הן על ידי פיטופלנקטון באזור הפוטי (המואר) והן על-ידי בקטריות וארכיאה המחמצנים אותו לניטראט בתהליך הניטריפיקציה המתרחש בכל עמודות המים, ועל כן ריכוזי הניטריט במים נמוכים מאוד. ניטריט יכול להיווצר גם על ידי דניטריפיקציה, חיזור ניטראט על ידי חיידקים אנאירובים, אולם תהליך זה פחות סביר במי המפרץ המחומצנים. יתכן שדניטריפיקציה מתרחשת בסדימנט. עקב היותו צורן מעבר בריכוזים נמוכים, נוכחותו מהווה אינדיקציה טובה לעומק הערבוב.

ריכוזי הניטריט גבוהים יחסית בתקופת הערבוב בחורף, ועם תחילת השכוב נוצר בין העומקים 100 ו-300 מ' (מתחת לשכבה הפוטית) אזור בו ריכוז הניטריט גבוה יחסית. באזור זה מתרחשים תהליכי פרוק חומר אורגני וחמצון בקטריאלי של אמוניה. ככל שעמודת המים מתייצבת, מאגר הניטריט באזור זה קטן והולך (איור ד14).

ריכוז הניטריט המרבי בתחנה A נמדד השנה בחודש פברואר ($0.481 \mu\text{mol/l}$), כמעט חצי מהריכוז המרבי בשנה הקודמת בה היה ערבוב עמוק. בחודשים שלאחר מכן הלך וקטן ריכוז הניטריט בעומקי הביניים, עד שנבלע בריכוזי הרקע לאורך עמודת המים.





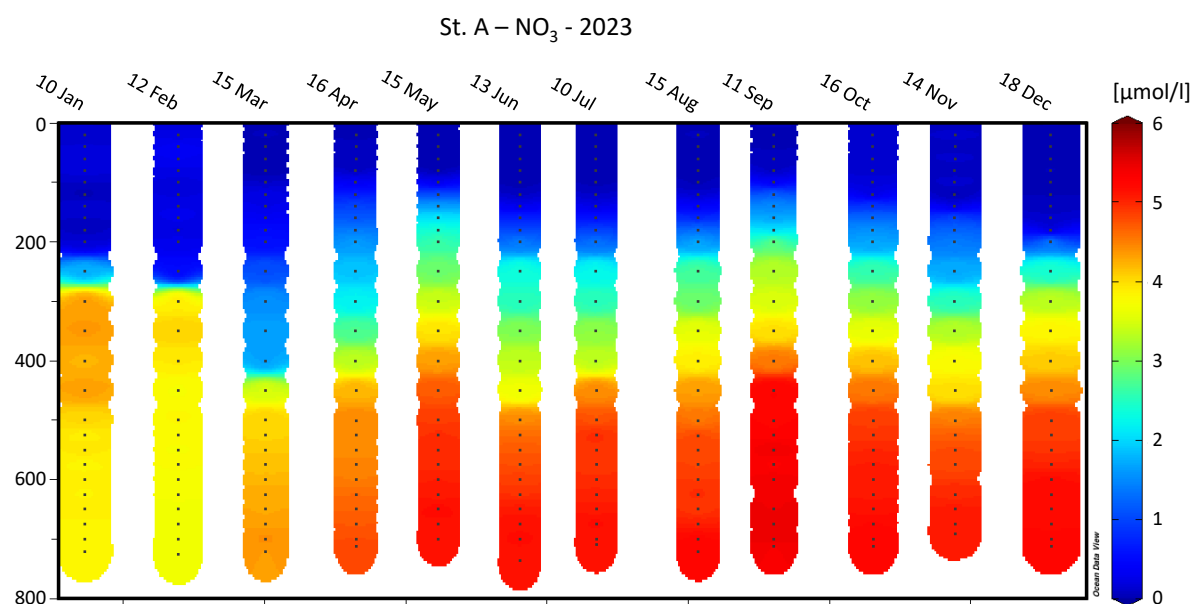
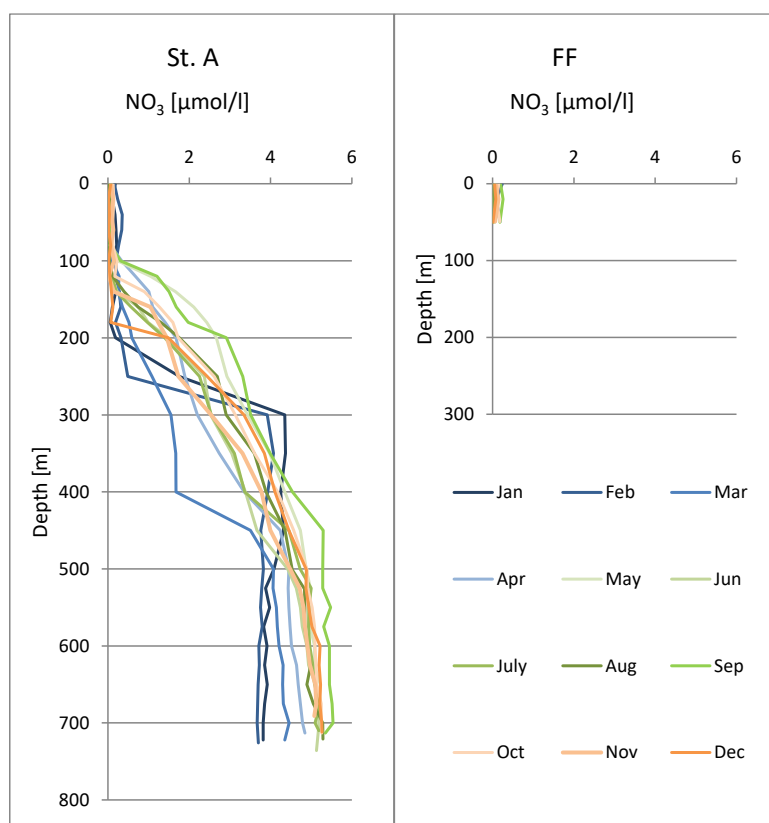
איור ד14: ריכוזי ניטריט (NO_2^-) בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700 מטרים, ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים. למטה – סדרת זמן שנתית של ריכוזי ניטריט מומס בעמודת המים בתחנה A.

Figure D14: Nitrite (NO_2^-) concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Station A is on the Israeli/Jordanian/Egyptian border at >700 meters depth, and the Fish Farms station is close to the northern shore of the Gulf at ca. 50 meters depth. Bottom – an annual time series of dissolved NO_2 concentrations at Station A.

ניטראט הוא המרכיב העיקרי של מאגר החנקן האנאורגני המחומצן במי העומק. הניטראט הינו התוצר הסופי של תהליך הניטריפיקציה שתחילתו חמצון בקטריאלי של אמוניה ועל כן מהווה מדד לכמות החומר האורגני שפורק בתהליכי נשימה במים העמוקים. בחורף גורם הערבוב להעשרה של מי השטח בניטראט המגיע מהעומק. קליטת הניטראט על ידי פיטופלנקטון בשכבה הפוטית מהווה גורם מרכזי בהגברת היצרנות הראשונית ב"פריחת האביב". עקב צריכתו הגבוהה, ריכוזו בשכבה הפוטית נמוך מהריכוז הנמדד במים העמוקים. בתקופת השכוב ריכוז הניטראט בשכבה העליונה קרוב לאפס, ובזמן הערבוב, ריכוזו עולה.

עמודת המים עורבבה השנה לעומק בינוני ונמשך זמן קצר. בחודש פברואר הגיע הערבוב לעומק של 250 מטרים בלבד, ובהפלגת חודש מרץ נראה על פי ריכוזי הניטראט שהערבוב הגיע לכ-400 מטרים – אך כבר נפסק וריכוז הניטראט החל לרדת במים העליונים (איור ד15). ריכוז הניטראט המרבי אשר נמדד בפני הים בתחנה A היה השנה $0.06 \mu\text{mol/l}$, נמוך בסדר גודל מהשנה הקודמת בה היה ערבוב עמוק של עמודת המים. במים העליונים נמדד ריכוז מרבי של $0.35 \mu\text{mol/l}$ בחודש פברואר (בעומק 40 מטרים) וגם זה נמוך בסדר גודל בהשוואה לשנה הקודמת.

במים העמוקים נמדד השנה ריכוז ניטראט מרבי של $\sim 5.5 \mu\text{mol/l}$, יותר מאשר לאחר הערבוב העמוק בשנה הקודמת אך נמוך בהשוואה לריכוזו במים העמוקים לפני הערבוב העמוק.



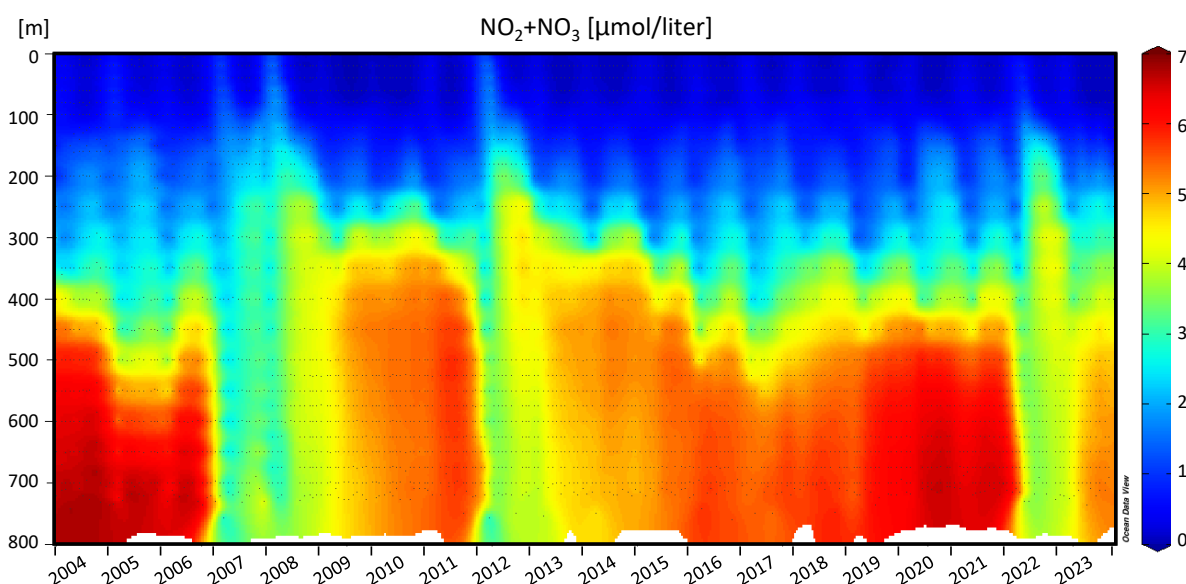
איור 15: ריכוזי ניטראט (NO_3^-) בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700 מטרים, ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים. למטה – סדרת זמן שנתי של ריכוזי ניטראט מומס בעמודת המים בתחנה A.

Figure D15: Nitrate (NO_3^-) concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Station A is on the Israeli/Jordanian/Egyptian border at >700 meters depth, and the Fish Farms station is close to the northern shore of the Gulf at ca. 50 meters depth. Bottom – an annual time series of dissolved NO_3^- concentrations at Station A.

ריכוז החנקן המחומצן בעמודת המים (Total Oxidized Nitrogen) דומה לריכוז מרכיבו העיקרי, הניטראט. בשנים הראשונות לתכנית הניטור, נמדדו ריכוזי חנקן מחומצן גבוהים במים העמוקים. ערבוב עמודת המים בחורף 2004-5 הגיע עד לכ-600 מטר וריכוז החנקן ירד עד לעומק זה, אולם ב-2006 שוב נמדדו ריכוזים דומים לאלה.

של שנת 2004. שנתיים של ערבוב עמוק (2007 ו-2008) הורידו משמעותית את ריכוזי החנקן במים העמוקים, אך בין פברואר 2008 וחורף 2012, נמצאה מגמת עליה בריכוזי החנקן במים העמוקים מכ- 350 מטרם. בשנת 2012, בעקבות ערבוב עמוק, ירדו מאד ריכוזי הניטראט והחנקן המחומצן בכלל במים העמוקים. מאז תחילת השכוב בשנת 2012 ריכוזי החנקן במים העמוקים ובמי הביניים עלו באופן עיקבי אך איטי במידה ניכרת ממה שנראה במחזוריים הקודמים.

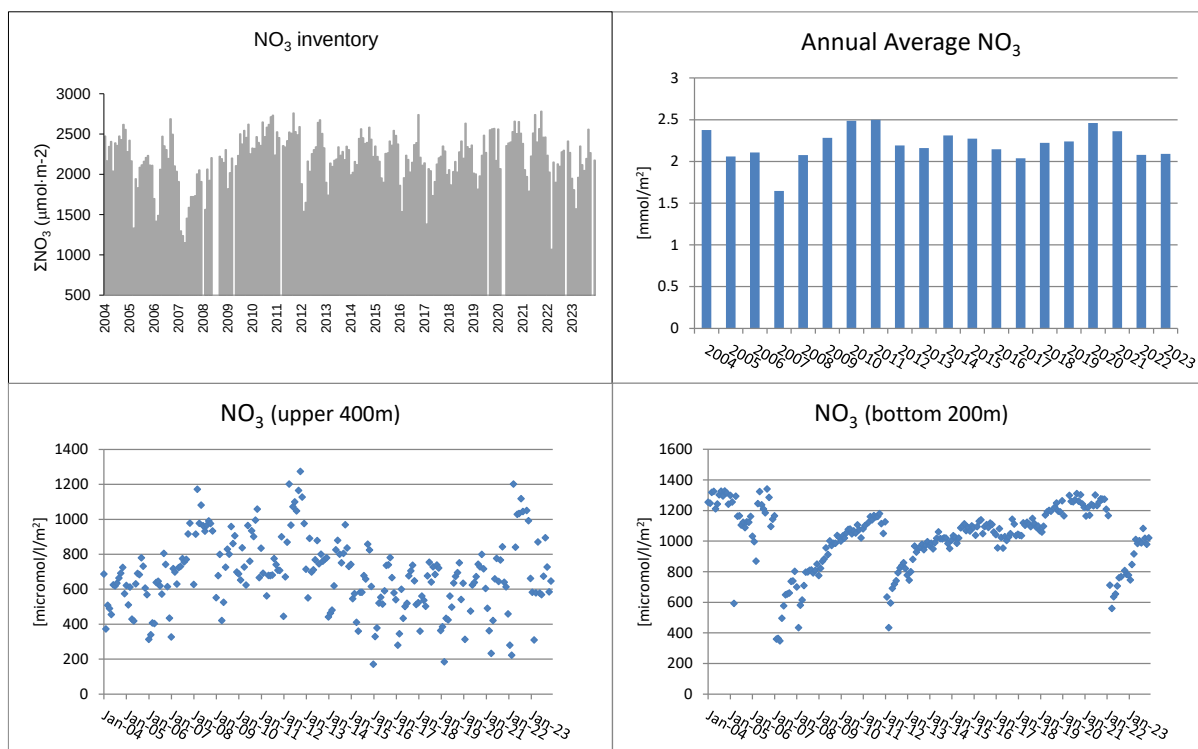
בשנים 2020-2021 נמצאו בסמוך לקרקעית ריכוזי חנקן גבוהים מאלה שנמדדו בשנת 2011, שלוש שנים לאחר הערבוב העמוק של שנת 2008 אך עדיין נמוכים מאלה שנמצאו בשנים 2004-6. בשנה הקודמת (2022), בעקבות ערבוב עמוק המים עד לעומק הקרקעית בתחנה A, ירדו ריכוזי הניטראט במים העמוקים במידה ניכרת, בדומה לשנת 2012. השנה ריכוזי החנקן בעמודת המים העמוקה מתחילים שוב לעלות, ונראה כי העליה מהירה מזו שנצפתה אחרי ערבוב 2012, אולם יש לעקוב עוד שנה-שנתיים כדי לדעת בוודאות.



איור ד16: שינויים בריכוזי החנקן המחומצן ($\text{TON} = \text{NO}_3 + \text{NO}_2$) בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. הנקודות השחורות מייצגות את עומק המדידה.

Figure D16: Changes in the concentration of total oxidized nitrogen (TON= $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$) in the water column at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths.

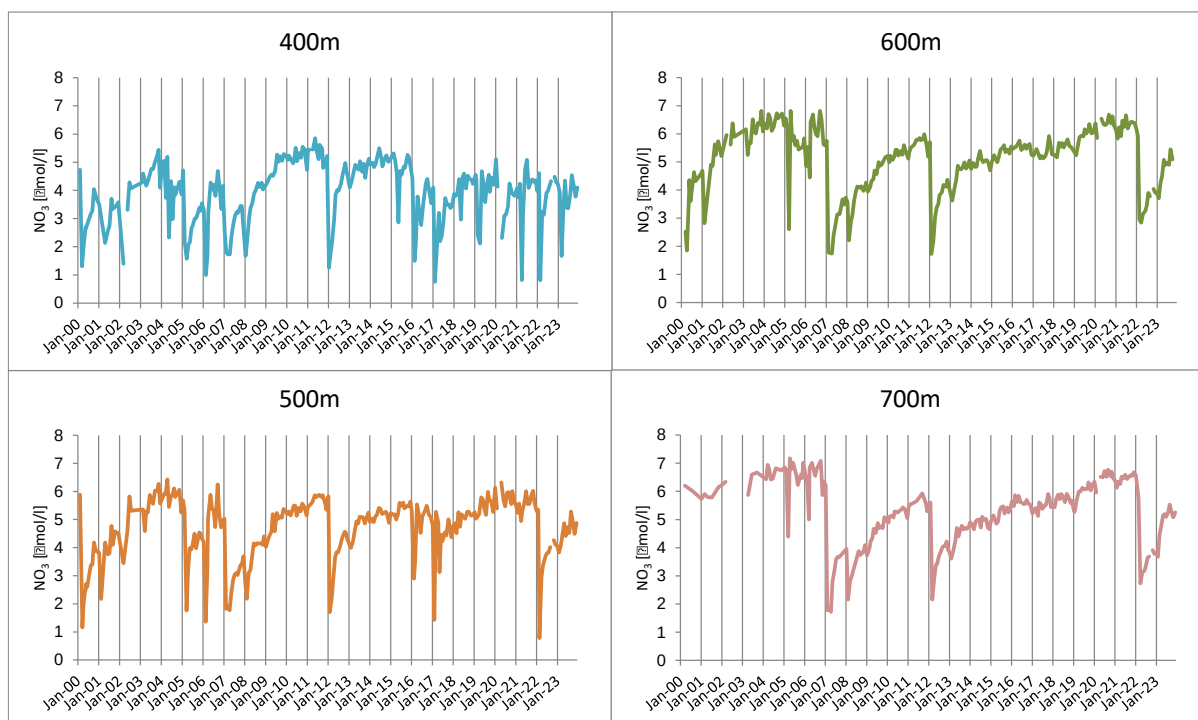
מאגר הניטראט בעמודת המים מאז 2004 מראה עליה בכמות החנקן בין השנים 2008-11, אך מאז הערבוב העמוק של שנת 2012 השינויים במאגר הניטראט היו קטנים יותר עד לשנה הקודמת. החל מחודש מרץ 2022 ירד מאד מאגר החנקן במים העמוקים (עד לערך מזערי של $560 \mu\text{mol}/\text{m}^2$), אף כי – בשל משך הערבוב הקצר – לא הגיע לערכים המזעריים של 2012 ($435 \mu\text{mol}/\text{m}^2$) או 2007, 2008 ($347 \mu\text{mol}/\text{m}^2$, $435 \mu\text{mol}/\text{m}^2$). לאחר תום הערבוב העמוק ובשל הערבוב הרדוד יותר השנה נצפית עלייה במאגר החנקן במים העמוקים, ובתום השנה נמצאו ערכים דומים לאלו של שנת 2015. זו עלייה מהירה יותר מאשר מחזור הערבוב העמוק הקודם. מאגר הניטראט השנתי הממוצע בכל עמודת המים, לעומת זאת, עדיין נמוך מזה שחושב עבור שנת 2012, ודומה למאגר הממוצע שחושב עבור שנת 2008, אף כי עלה מעט בהשוואה לשנה הקודמת (איור ד17).



איור ד17: שינויים במאגר הניטראט (NO_3) בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. למעלה: סך המאגר במדידות חודשיות (משמאל) וממוצע שנתי (מימין). למטה: המאגר ב-400 המטרים העליונים (משמאל) ובמים העמוקים (מימין).

Figure D17: Changes in the nitrate (NO_3) inventory in the water column at Station A since 2004. Top: monthly inventories (right) and annual averages (left). Bottom: the upper 400m (left) and the deep water (right).

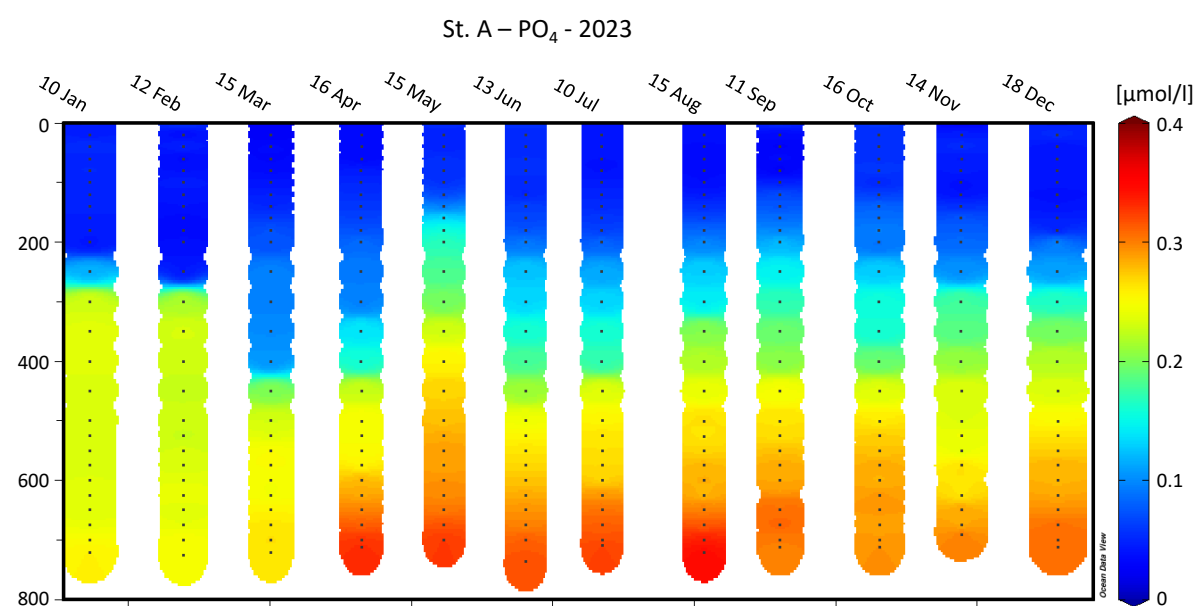
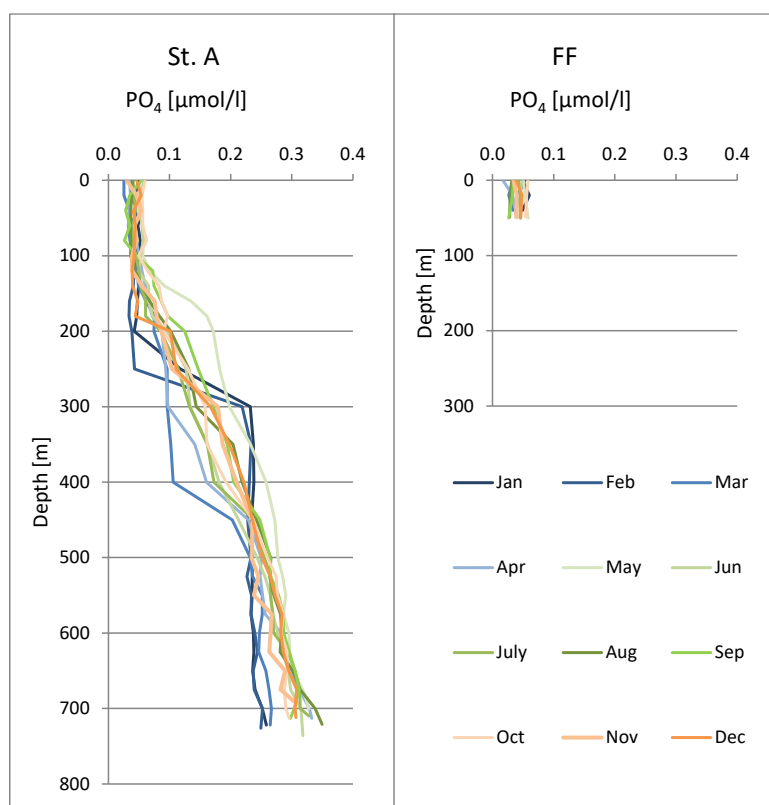
סדרת זמן של ריכוזי ניטראט בעומקים קבועים בעמודת המים מגלה מחזורים עונתיים ורב-שנתיים התלויים בעומק הערבוב (איור ד18). מאז שנת 2000 ניתן לעקוב אחר שלושה מחזורים של ערבוב עמוק ואחריו מספר שנים בהן הערבוב רדוד. בין השנים 2000 ו-2007 ריכוזי הניטראט במים העמוקים (~700 מטר) היו גבוהים ($6.7\text{--}7\text{ }\mu\text{mol/l}$) וכמעט קבועים. גם בעומק 600 מטרים, המושפע יותר מהערבוב העונתי, נמצאו בשנים 2003-7 שינויים קטנים וחזרה מהירה לריכוזים גבוהים ($6.4\text{--}6.8\text{ }\mu\text{mol/l}$). ערבוב עמודת המים בתקופת החורף מוריד את ריכוז הניטראט בעומק אליו מגיע הערבוב, אולם החזרה לערכים קודמים היתה מהירה. בסוף שנת 2006 נמדדו במים העמוקים ריכוזי ניטראט של $7.09\text{ }\mu\text{mol/l}$. הערבוב העמוק בשנת 2007 הוריד משמעותית את ריכוזי הניטראט בעומק (ערך מינימום בתקופה זו כ- $1.7\text{ }\mu\text{mol/l}$ בעומק 700 מטר), והעלייה שאחריו היתה איטית יותר: בסוף 2007 ריכוז הניטראט בעומק 700 מטרים היה כ- $3.9\text{ }\mu\text{mol/l}$. בשלוש השנים 2009-2011 כלל לא הגיע הערבוב למים העמוקים וריכוזי הניטראט הוסיפו לעלות בכל העומקים הגדולים מ-400 מטרים. ריכוז הניטראט בסתיו 2011 היה $5.9\text{ }\mu\text{mol/l}$ בעומק 700 מטרים ו- $6.0\text{ }\mu\text{mol/l}$ בעומק 600 מטרים – נמוך מהערכים של לפני שנת 2007. הערבוב העמוק בשנת 2012 הוריד את הריכוזים בכל העומקים ($2.16\text{ }\mu\text{mol/l}$ בעומק 700 מ' במרץ 2012). בסוף 2021, תשע שנים לאחר הערבוב העמוק של שנת 2012, עמד ריכוז הניטראט בעומק 700 מטרים על $6.7\text{ }\mu\text{mol/l}$, גבוה מאשר בשנת 2011. לאחר הערבוב העמוק של 2022, נמדד בעומק 700 מטרים ריכוז של $2.7\text{ }\mu\text{mol/l}$ ובסוף השנה ריכוז הניטראט הנמדד היה $3.8\text{ }\mu\text{mol/l}$. הערבוב השנה לא השפיע על המים העמוקים וריכוז הניטראט שם הוסיף לעלות ועמד, בסוף הקיץ על $5.3\text{ }\mu\text{mol/l}$.



איור ד18: שינויים בריכוז הניטראט בעומקים (400 עד 700 מטר) בתחנה A מאז ינואר 2000. נתונים הקודמים לתכנית הניטור נאספו במסגרת פרויקט "פארק השלום" ומובאים באדיבותם של הפרופ' י. ארז והפרופ' ב. לזר.
Figure D18: Changes in nitrate concentration water depth of 400m to 700m at Station A since 2000. Data from the years 2000-2002 were collected during the Peace Park Project and are provided courtesy of Prof. J. Erez and Prof. B. Lazar.

פוספט

בדומה לנוטריינטים אחרים, ריכוזי הפוספט בעמודת המים נמוכים בקרבת פני הים וגבוהים יותר בעומק (איור ד19). במים הרדודים נצרכים חומרים אלה על ידי היצרנים הראשוניים בתהליכי יצירת חומר אורגני, ובעקבות שקיעת חלקיקים אורגנים מהמים הרדודים ופירוקם בעומק עולה ריכוז הנוטריינטים, ובכלל זה הפוספט, עם העומק. המחזור העונתי של הפוספט דומה לזה הנראה עבור חנקן ומאופיין בעליית הריכוזים בפני הים בעת הערבוב, אך ריכוז הפוספט נמוך בהרבה משל החנקן המחומצן המומס (TON, ניטריט + ניטרט). ריכוז הפוספט המרבי בפני הים בתחנה A היה השנה $0.060 \mu\text{mol/l}$ בחודש אוקטובר, לעומת $0.111 \mu\text{mol/l}$ באפריל השנה הקודמת בעקבות הערבוב העמוק. הריכוז המרבי בבסיס הנוטריקלינה, היה $0.232 \mu\text{mol/l}$, בעומק של 300 מטרים בחודש ינואר. במים העמוקים הגיע ריכוז הפוספט ל- $0.35 \mu\text{mol/l}$, בסוף הקיץ.

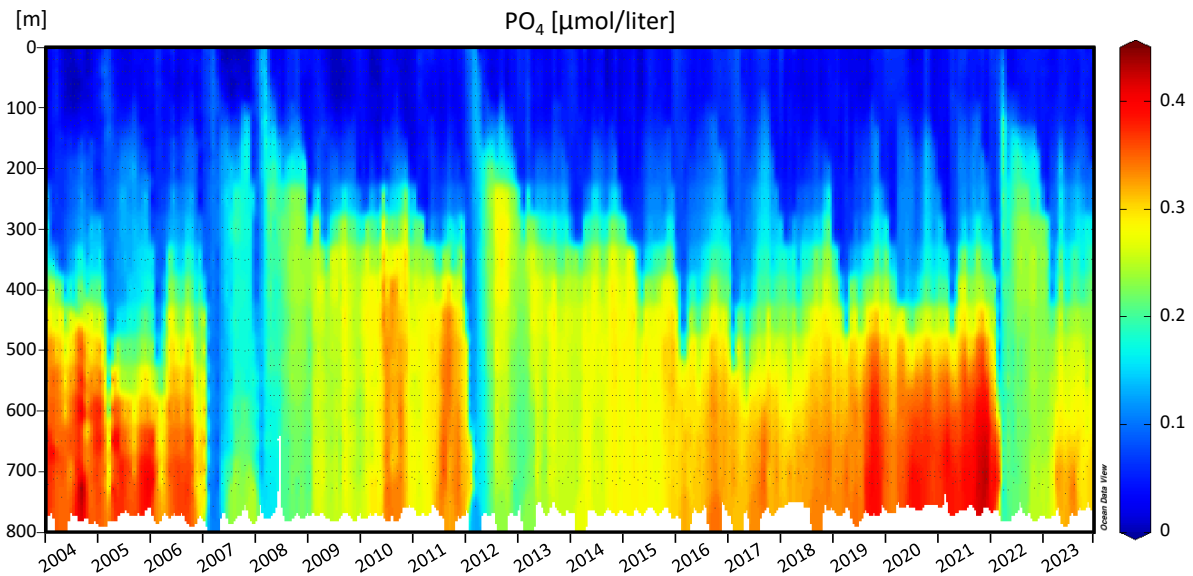


איור 19: ריכוזי פוספט (PO_4^{3-}) בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700 מטרים, ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים. למטה – סדרת זמן שנתית של ריכוזי פוספט מומס בעמודת המים בתחנה A.

Figure D19: Phosphate (PO_4^{3-}) concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Station A is on the Israeli/Jordanian/Egyptian border at >700 meters depth, and the Fish Farms station is close to the northern shore of the Gulf at ca. 50 meters depth. Bottom – an annual time series of dissolved PO_4 concentrations at Station A.

ריכוזי הפוספט במים העמוקים היו גבוהים ($0.36\text{--}0.4 \mu\text{mol/l}$) בחודשי הסתיו בשנים 2004-6 ובעקבות הערבוב העמוק בשנת 2007 ואחר כך שוב בשנת 2008 ירדו ריכוזי הפוספט בעמודת המים, ובפרט במים העמוקים, במידה רבה. בשלוש השנים שלאחר מכן עלה ריכוז הפוספט במים העמוקים בהדרגה עד לערך של

0.35 $\mu\text{mol/l}$ בסוף שנת 2011. הערבוב העמוק בשנת 2012 שוב גרם לירידת ריכוזי הפוספט במים העמוקים, ואחריו ריכוזי הפוספט במי הביניים ובמים העמוקים עלו בהדרגה. בשנים האחרונות ריכוזי הפוספט המרבי במים העמוקים בתחנה A היה גבוה מזה של שנת 2011 ובשנת 2021 ריכוזו במים העמוקים היה גבוה מהריכוזים אשר נמדדו בשנים 2004-6. בשנה הקודמת ירדו ריכוזי הפוספט במידה ניכרת בכל עמודת המים, עקב הערבוב העמוק אך השנה עלה ריכוזי הפוספט במים העמוקים לערכים גבוהים מהצפוי רק שנה אחת לאחר ערבוב עמוק (איור 20).

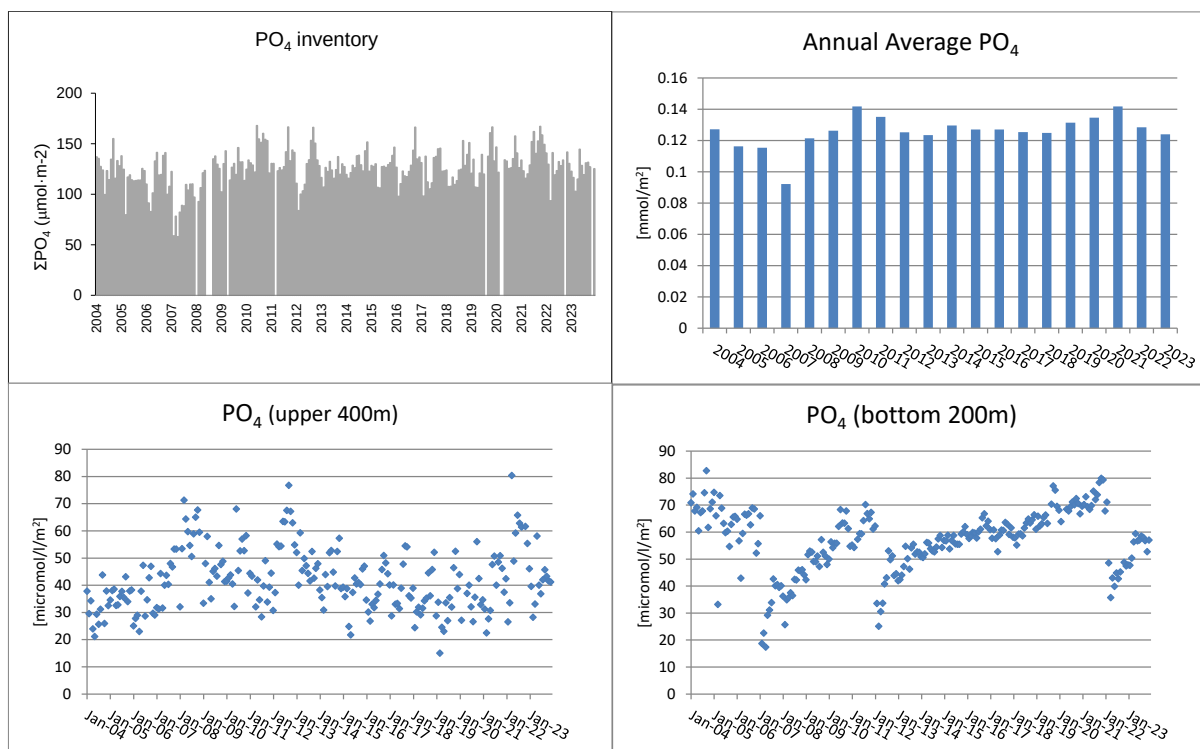


איור 20: שינויים בריכוזי הפוספט בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. הנקודות השחורות מייצגות את עומק המדידה.

Figure D20: Changes in the concentration of phosphate in the water column at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths.

בשנת 2007 הצטמצם מאגר הפוספט המומס במים אולם החל משנת 2008 שב ונבנה. בחורף 2012 כמות הפוספט בעמודת המים ירדה מאד, אולם בקיץ עלתה שוב. בשנים האחרונות גדל מאגר הפוספט במים העמוקים אך בשנה הקודמת שוב קטן בעקבות הערבוב העמוק - אך לא במידה שנצפתה עבור שנות ערבוב עמוק קודמות, 2007-8 ו-2012 (איור 21). בנוסף לכך, כאמור למעלה, כמות הפוספט האגורה במים העליונים עלתה השנה לערך הצפוי רק כשלוש שנים לאחר ערבוב עמוק.

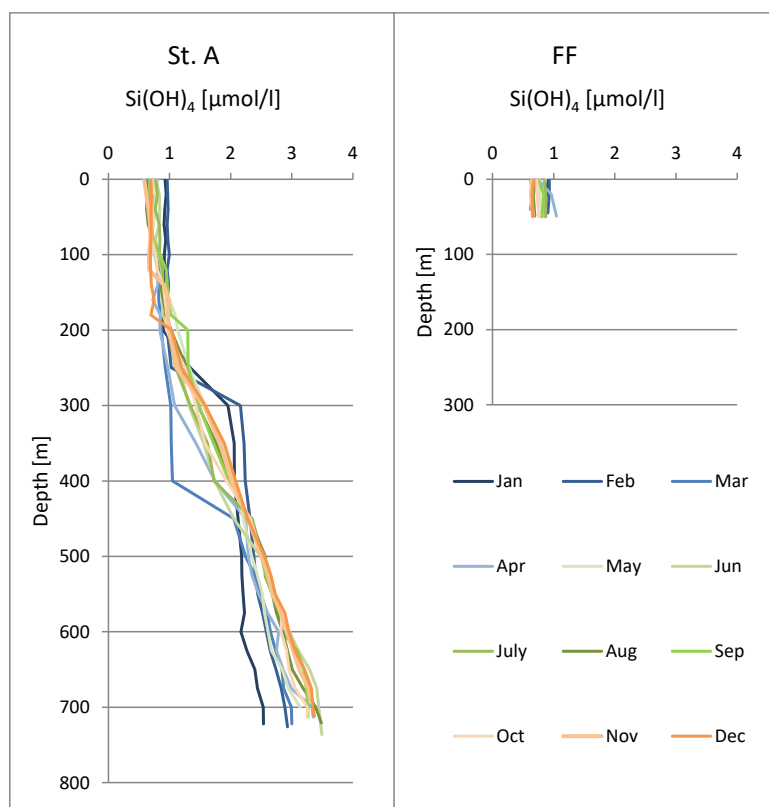
כמות הפוספט השנתית הממוצעת המומסת בעמודת המים הגיעה לערך מרבי בשנת 2010, ובשנים האחרונות השינויים קטנים אך החל משנת 2018 נמצאה עליה מתמשכת עד לערבוב העמוק בשנת 2022. בשנת 2021 כמות הפוספט הממוצעת האגורה בעמודת המים היתה הגבוהה ביותר שנמדדה במשך שנות הניטור ובעקבות הערבוב העמוק קטן המאגר השנתי הממוצע של פוספט מומס - אך לא במידה שנמצאה בשנים 2007 ו-2008. הממוצע השנתי השנה מעט נמוך מזה של השנה הקודמת.



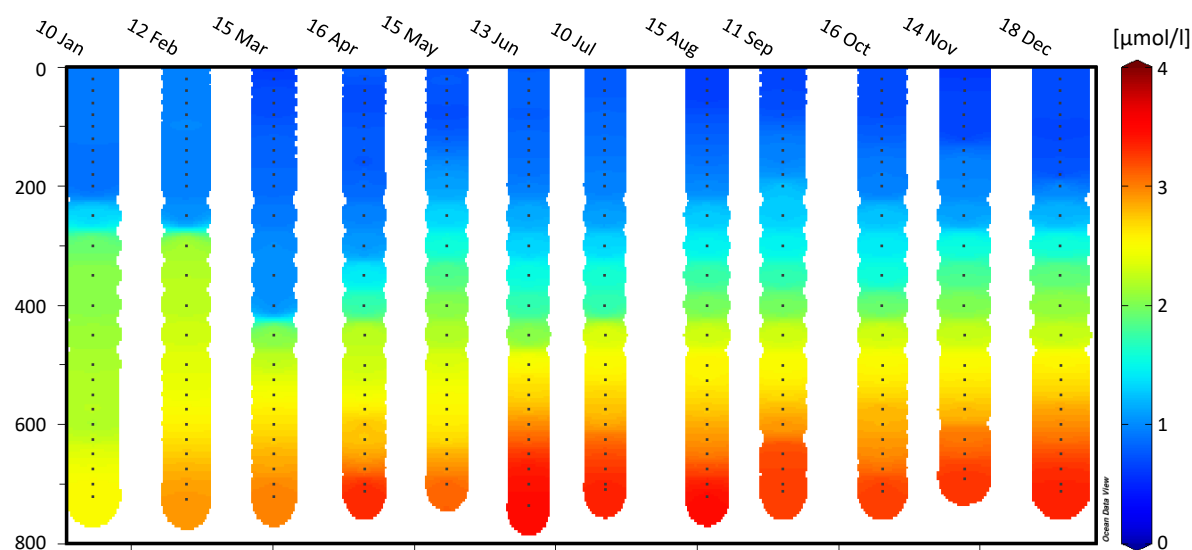
איור ד21: שינויים במאגר הפוספט בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. למעלה: סך המאגר במדידות חודשיות (משמאל) וממוצע שנתי (מימין). למטה: המאגר ב-400 המטרים העליונים (משמאל) ובמים העמוקים (מימין).
Figure D21: Changes in the phosphate inventory in the water column at Station A since 2004. Top: monthly inventories (right) and annual averages (left). Bottom: the upper 400m (left) and the deep water (right).

סיליקה

גם ריכוזי הסיליקה בעמודת המים הראו השנה את התבנית האופיינית לנוטריינטים האחרים, עם עמודת ריכוזים אחידה לעומק של כ-400 מטרים בחודש מרץ. בפני הים בתחנה A נמדד ריכוז סיליקה מזערי של $0.58 \mu\text{mol/l}$ בנובמבר, וערך מרבי של $0.96 \mu\text{mol/l}$ בפברואר, בזמן הערבוב. במים העמוקים (700 מטרים) היה ריכוז הסיליקה בתחילת השנה $2.54 \mu\text{mol/l}$, ובסופה $3.49 \mu\text{mol/l}$ (איור ד22). ברבים מהחודשים נמצאה עלייה קלה בריכוזי הסיליקה ב-20 המטרים הסמוכים לקרקעית, וזו מצביעה על מקור סיליקה בסדימנט – המסת סיליקה ממוצא יבשתי או שלדים סיליקטים של פלנקטון, בעיקר אצות צורניות [diatoms].



St. A – Si(OH)₄ - 2023

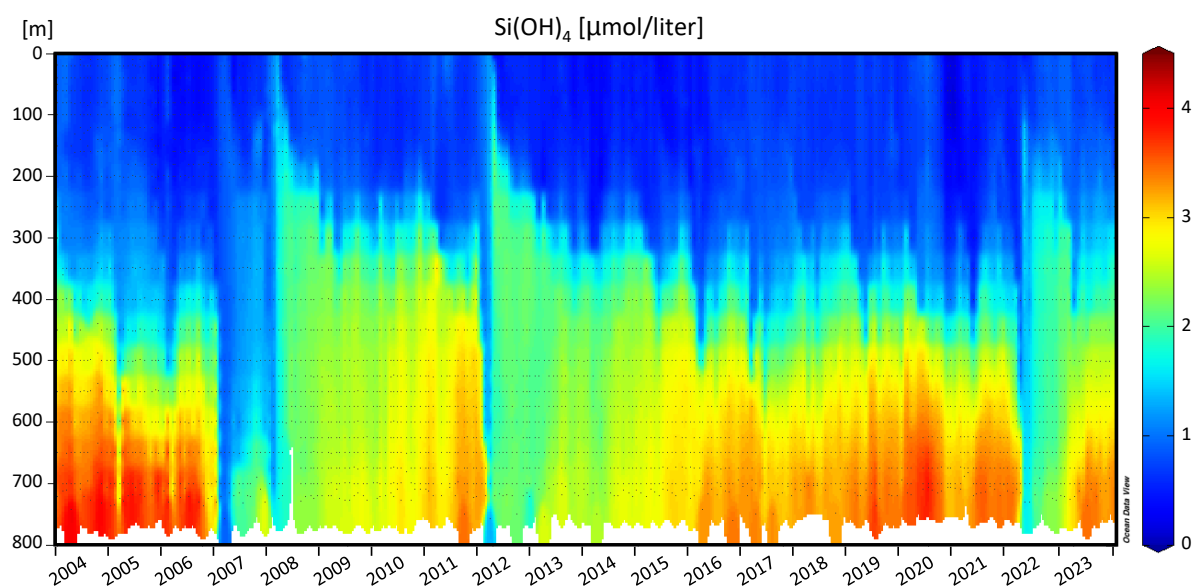


איור ד22: ריכוזי סיליקה (Si(OH)₄) בעמודות המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700 מטרים ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים. למטה – סדרת זמן שנתית של ריכוזי סיליקה מומס בעמודות המים בתחנה A.

Figure D22: Silicate (Si(OH)₄) concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Station A is on the Israeli/Jordanian/Egyptian border at >700 meters depth and the Fish Farms station is close to the northern shore of the Gulf at ca. 50 meters depth. Bottom – an annual time series of dissolved Si(OH)₄ concentrations at Station A.

מחזורי הערבוב העמוק ניכרים בעליית ריכוזי סיליקה במים הרדודים בחורפים של ערבוב עמוק וירידה מתמשכת בשנים של ערבוב רדוד, ובעיקר - בתמונה הפוכה במים העמוקים (איור ד23). גם בסיליקה, כמו בנוטריינטים אחרים, ניכרים מחזוריים רב-שנתיים הקשורים לערבוב עמודות המים. בשנים 2007 ו-2008, שנתיים

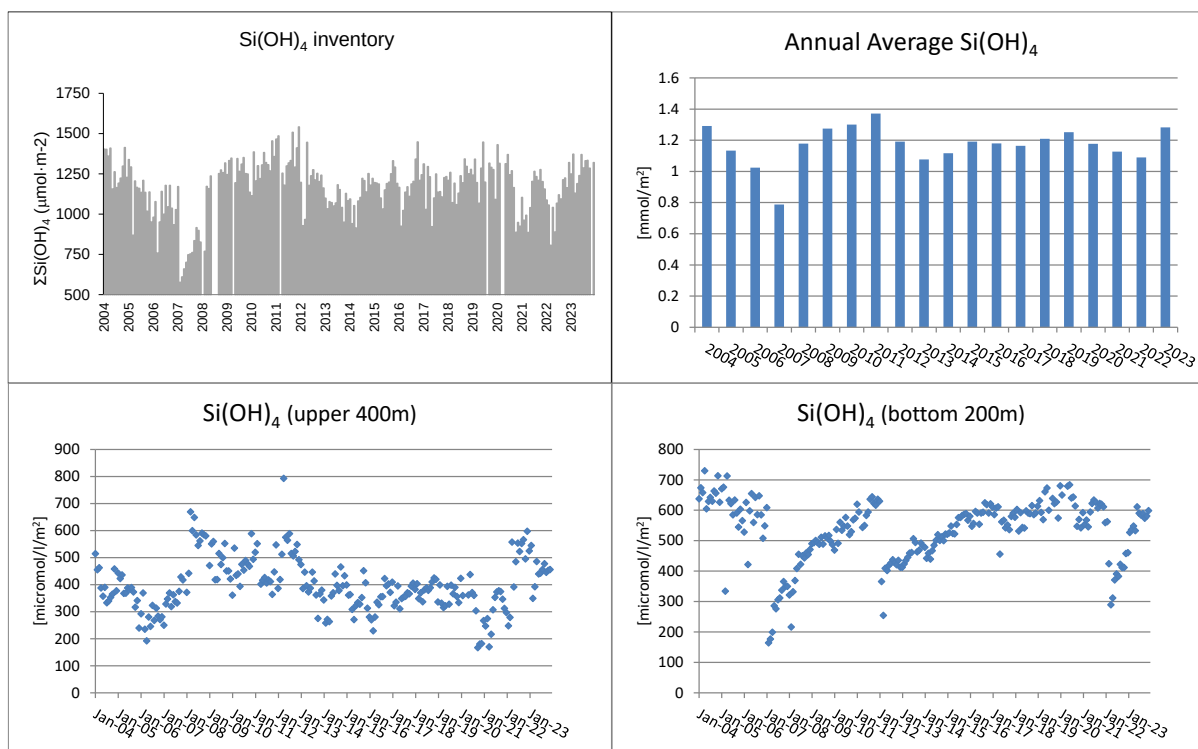
רצופות של ערבוב עמוק וממושך, ירדו ריכוזי הסיליקה במים העמוקים לערכים נמוכים ביותר ואילו בערבובים העמוקים של שנת 2012 ו-2022 ריכוזי הסיליקה בסמוך לקרקעית נותרו מעט גבוהים יותר. השנה גם ריכוזי הסיליקה עלו בקצב גבוה מהצפוי.



איור ד23: שינויים בריכוז הסיליקה בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. הנקודות השחורות מייצגות את עומק המדידה.

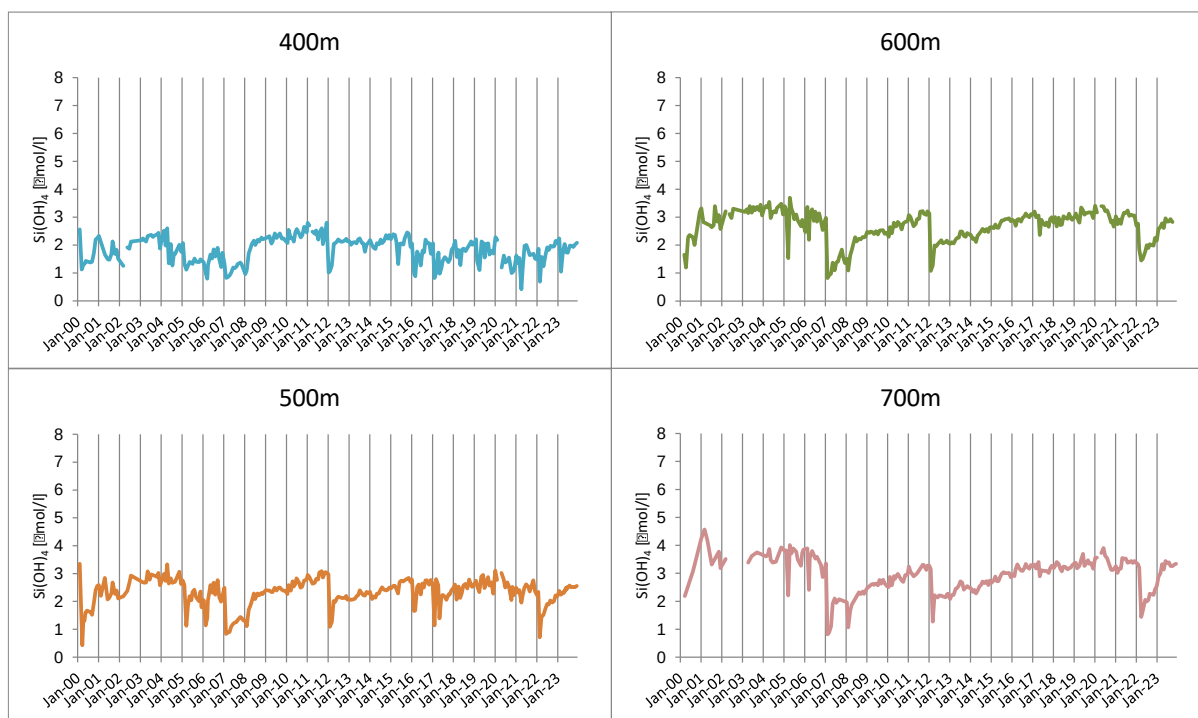
Figure D23: Changes in the concentration of silicate in the water column at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths.

מאגר הסיליקה בעמודת המים הגיע לערכים נמוכים ביותר בשנת 2007, אז העלה הערבוב סיליקה לאזור הפוטי והזין פריחת אצות צורניות. בשנים שלאחר מכן עלתה כמות הסיליקה המומסת במים עד שירדה שוב בחורף 2012, אם כי במידה פחותה – נראה כי בעקבות הערבוב בשנת 2012 לא התרחשה פריחה חזקה של אצות צורניות שיסלקו סיליקה מהמים. אחרי שנת 2012 מאגר הסיליקה השנתי הממוצע בעמודת המים גדל במתינות עד לערך מרבי בשנת 2019, ובשנתיים שאחר כך ירד מעט. בשנה הקודמת חושבה ירידה נוספת במאגר הסיליקה האצור בעמודת המים, המונעת בעיקר מירידה בסיליקה במים העמוקים בעקבות הערבוב העמוק ופריחת אצות צורניות. השנה שוב נמצאה עלייה במאגר הסיליקה המומס בעמודת המים (איור ד24).



איור ד24: שינויים במאגר הסיליקה בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. למעלה: סך המאגר במדידות חודשיות (משמאל) וממוצע שנתי (מימין). למטה: המאגר ב-400 מטרים העליונים (משמאל) ובמים העמוקים (מימין).
Figure D24: Changes in the silica inventory in the water column at Station A since 2004. Top: monthly inventories (right) and annual averages (left). Bottom: the upper 400m (left) and the deep water (right).

מאז שנת 2000 ריכוז הסיליקה הגבוה ביותר בעומק 700 מטרים נמדד במרץ 2001, $4.57 \mu\text{mol/l}$, ונגרם כנראה מקריסת הפריחה של אצות צורניות שהתרחשה בעקבות הערבוב העמוק של שנת 2000. לאחר מכן ועד לערבוב העמוק בשנת 2007 נעו ריכוזי הסיליקה הגבוהים בעומק 700 מטרים סביב $3.7\text{--}3.8 \mu\text{mol/l}$. הערבוב העמוק בשנים 2007 ו-2008 גרם לירידת ריכוז הסיליקה במי העומק, ועד לאוקטובר 2011 עלה הריכוז ל- $3.3 \mu\text{mol/l}$. לאחר הערבוב העמוק בשנת 2012 שוב ירד ריכוז הסיליקה במים העמוקים. ריכוז הסיליקה בעומק 700 מטר לאחר הערבוב העמוק של השנה הקודמת היה $2.4 \mu\text{mol/l}$ ובסוף השנה הנוכחית, $3.3 \mu\text{mol/l}$ (איור 25ד).

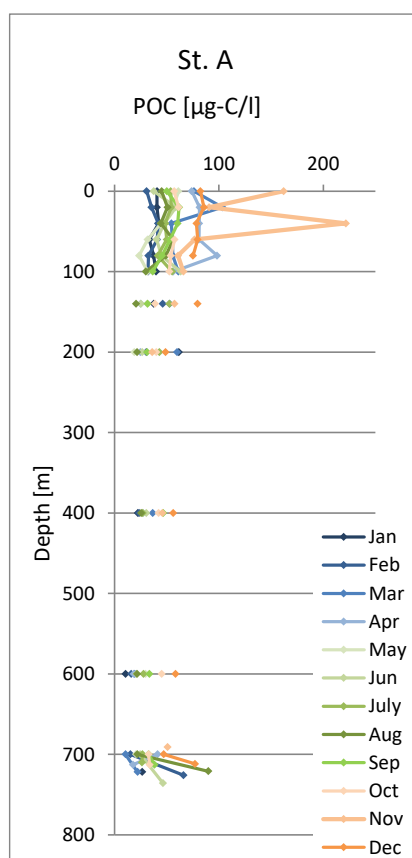


איור ד25: שינויים בריכוז הסיליקה בעומקים (400 עד 700 מטר) בתחנה A מאז ינואר 2000. נתונים הקודמים לתכנית הניטור נאספו במסגרת פרויקט "פארק השלום" ומובאים באדיבותם של הפרופ' י. ארז והפרופ' ב. לזר.
Figure D25: Changes in silicate concentration water depth of 400m to 700m at Station A since 2000. Data from the years 2000-2002 were collected during the Peace Park Project and are provided courtesy of Prof. J. Erez and Prof. B. Lazar.

פחמן אורגני חלקיקי (POC)

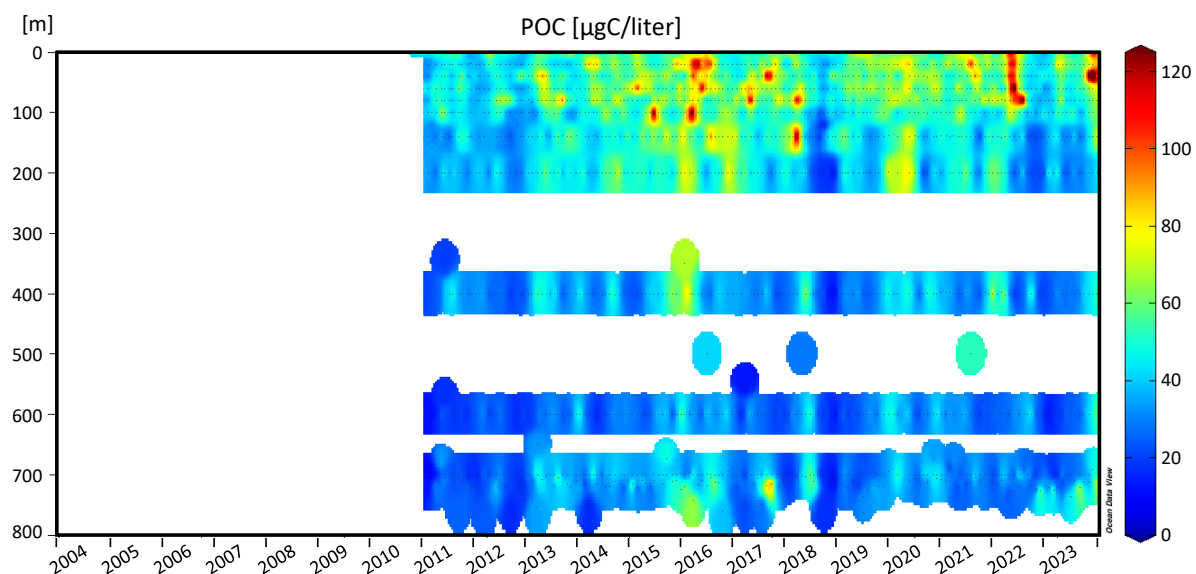
[בעקבות המלצת תת-הועדה המיוחדת בנושא הכימיה בים (אשר כינסה תכנית הניטור בשנת 2008) להוסיף מדדים אשר יסייעו לכמת את מחזור הפחמן בצפון המפרץ, הוחל בשנת 2009 במדידות פחמן אורגני חלקיקי. המדידה מתאפשרת בזכות מכשור אנליטי (Total Organic Carbon analyzer של חברת Shimadzu Instruments), אשר נרכש במכון הבינאוניברסיטאי ומצוי במעבדת הכימיה של פרופ' בעז לזר. המדידה נעשית על פי הפרוטוקול הסטנדרטי של חברת Shimadzu. המדידה היא למעשה של כלל הפחמן החלקיקי, מכיוון שהדוגמאות אינן עוברות אדי חומצה לפני המדידה, אך ההפרשים בין כלל הפחמן החלקיקי והפחמן החלקיקי האורגני אינם גדולים]

פרופילים של ריכוז הפחמן החלקיקי נמדדים בעמודות המים בתחנה A, עם צפיפות דגימות גדולה בשכבה הפוטית, וקרוב לקרקעית. ריכוזי הפחמן החלקיקי גבוהים במיוחד ב-100 המטרים העליונים של עמודות המים והערכים הגבוהים ביותר נמדדים לרוב בחודשי האביב, אף כי השנה נמדדו הריכוזים הגבוהים ביותר בחודש נובמבר (איור ד26). ריכוזים מרביים נמדדו אז בפני הים בעומק 60 מטרים (162 $\mu\text{gC/l}$ - 222 $\mu\text{gC/l}$, בהתאמה). אלה ערכים גבוהים וחריגים גם ביחס לשנים אחרות של ערבוב רדוד, דומים לערכים המרביים אשר נמדדו בשנה הקודמת, והן ביחס למדידות שאר החודשים השנה. ריכוז הפחמן החלקיקי גבוה במים העליונים בהשוואה למים העמוקים, עם עלייה בריכוז בקרבת קרקעית הים המצביעה על הרחפת חלקיקים מהקרקעית. בשנים 2016 ו-2017 וכן בשנה הקודמת (ערבוב עמוק) והשנה, נמצאו ריכוזי פחמן חלקיקי גבוהים יחסית לשאר השנים בהן מתבצעת מדידה זו (איור ד27).



איור ד26: ריכוזי פחמן אורגני חלקיקי (POC) בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700 מטרים.

Figure D26: Particulate organic carbon (POC) concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Station A is the southern station on the Israeli/Jordanian/Egyptian border at ca. 700 meters depth.



איור ד27: שינויים בריכוז פחמן חלקיקי בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2011. הנקודות השחורות מייצגות את עומק המדידה.

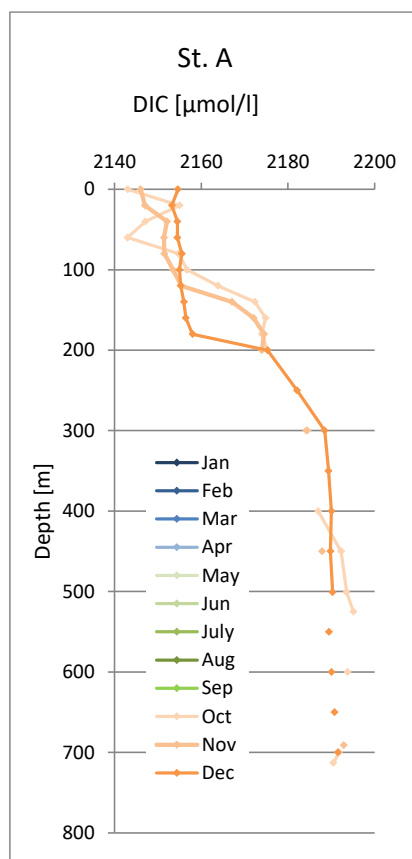
Figure D27: Changes in the concentration of particulate carbon in the water column at Station A since 2011. Black dots represent the sampling depths.

פחמן אנ-אורגני מומס (DIC)

[בעקבות המלצת תת-הוועדה המיוחדת בנושא הכימיה בים (אשר כינסה תכנית הניטור בשנת 2008) להוסיף מדדים אשר יסייעו לכמת את מחזור הפחמן בצפון המפרץ, התחלנו בשנה הקודמת (2021) למדוד ריכוזי פחמן אנ-אורגני מומס בעמודת המים בתחנה A ובתחנת כלובי הדגים במקביל למדדים האחרים על דוגמאות המים הנאספות בהפלגות הניטור החודשיות.

בשנת 2022 נעשתה המדידה במעבדתו של ד"ר אייל וורגפז ז"ל, מהאוניברסיטה הפתוחה והאוניברסיטה העברית והחל מהשנה במעבדתו של ד"ר גלעד אנטלר מאוניברסיטת בן גוריון בנגב]

על אף שהמדידות החלו בשנת 2021, מערך הדגימה והמדידה עדיין לא התייצב והשנה נעשתה המדידה במעבדתו של ד"ר גלעד אנטלר מאוניברסיטת בן גוריון בנגב. בדו"ח זה אנו מציגים רק את המדידות מהשנה הנוכחית – החודשים אוקטובר, נובמבר ודצמבר (איור ד28). פרופיל הפחמן המומס המתקבל דומה לפרופילים של נוטריינטים עם ריכוזים נמוכים יחסית במים העליונים וגבוהים יותר במים העמוקים.



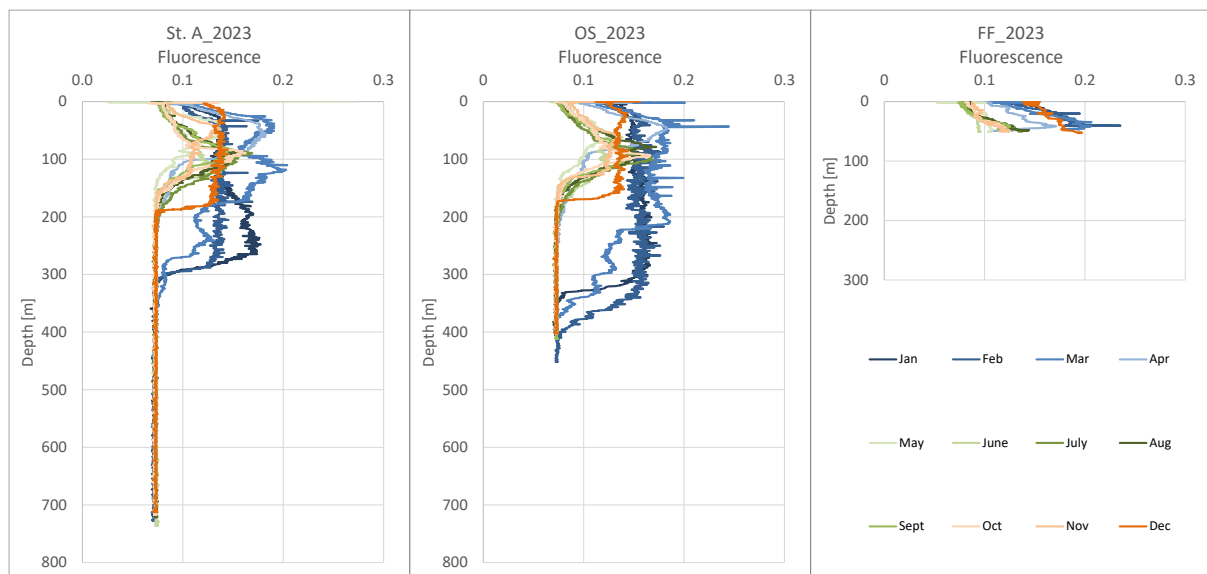
איור ד28: ריכוזי פחמן אנ-אורגני מומס (DIC) בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הנישור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700 מ.

Figure D28: Dissolved inorganic carbon (DIC) concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Station A is the southern station on the Israeli/Jordanian/Egyptian border at ca. 700 meters depth.

ד.3. כלורופיל a , פלואורסנציה

כלורופיל a הוא הפיגמנט הפוטוסינתטי העיקרי, ועל כן משמש ריכוזו אינדיקציה לכמות האצות והפעילות הפוטוסינתטית בעמודת המים. ריכוזי הכלורופיל משתנים במחזוריות עונתית של ריכוזים נמוכים יחסית בסוף הקיץ, הגדלים עם תחילת הערבוב ועליית נוטריינטים מהעומק לשכבה הפוטית. אזור של ריכוז כלורופיל גבוה במים העליונים נוצר עם תחילת השיכוב בסוף התקופה המערבבת. במים העמוקים אין כלורופיל ללא ערבוב. הפלואורסנציה הנמדדת על ידי מכשיר ה-CTD משמשת מדד *in-situ* לריכוז הכלורופיל בעמודת המים. ערכי הפלואורסנציה מוצגים ביחידות שרירותיות הניתנות לכויל באמצעות מדידות ישירות של כלורופיל. מדידות הפלואורסנציה רועשות אולם למרות זאת ניתן לקבל מהן תמונה של מבנה עמודת המים בה נמצא ערך מרבי בעומק של 60-100 מ' בתקופה המשובכת. אזור זה מכונה DCM (Deep Chlorophyll Maximum). יתרון נוסף למדידות הפלואורסנציה בעזרת מכשיר ה-CTD הוא שמתקבל פרופיל רציף המכסה על הפערים שבין דגימות המים הבדידות בהן נמדד ריכוז הכלורופיל. מכיוון שקריאות פלואורסנציה ללא כלורופיל שואפות לאפס, ערכים נמדדים של פלואורסנציה מעידים על כלורופיל. מכיוון שתאי פיטופלנקטון מתפרקים תוך ימים ספורים מהווה הפלואורסנציה מדד טוב לעומק הערבוב בסמוך לזמן ההפלגה. מתוך מדידות הפלואורסנציה ניכר שהפלגות ינואר ופברואר נערכו בזמן שהערבוב היה פעיל, והגיע עד כ-330 מטר (בפברואר), אך הפלגת חודש מרץ כבר נערכה לאחר שתם הערבוב הפעיל ואמנם ערכי הפלואורסנציה היו מרביים במים העליונים, אך בעומק גדול מכ-250 מטרים הפלואורסנציה כבר ירדה מאד

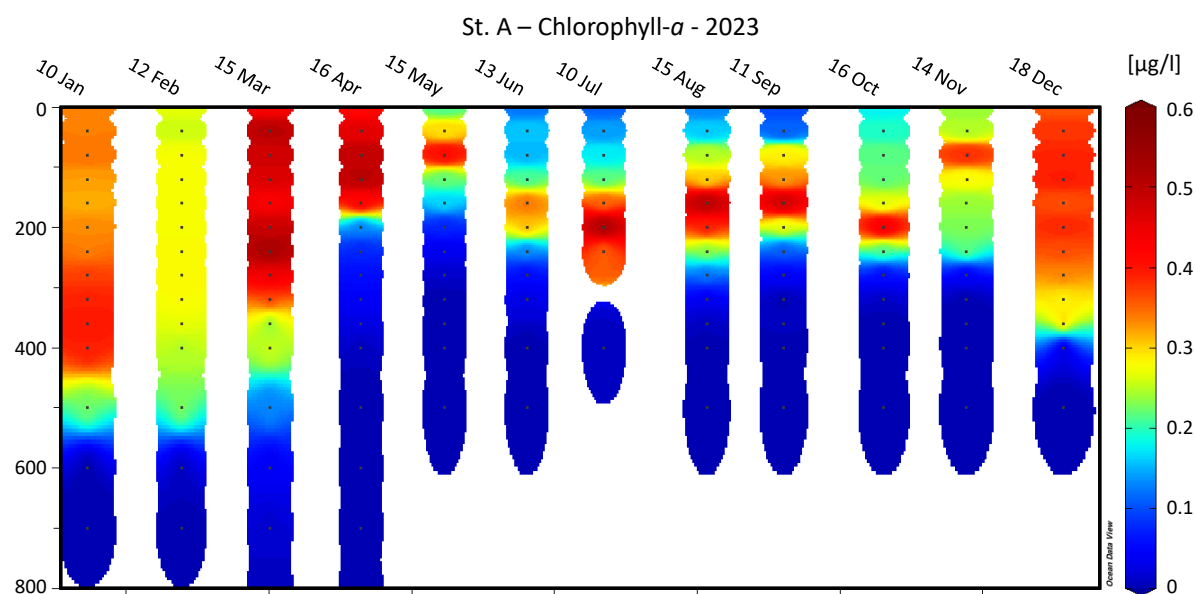
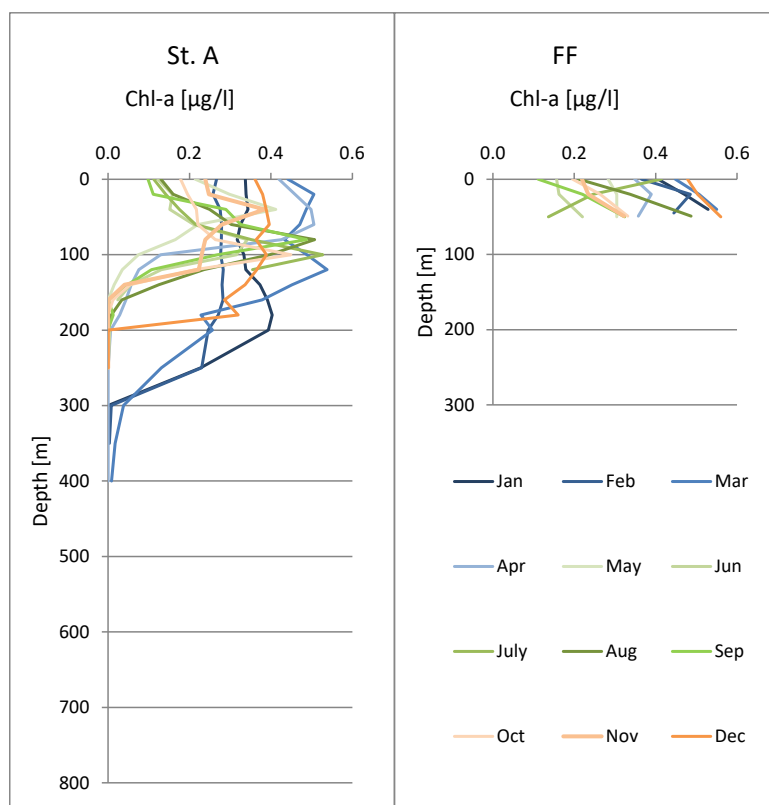
במרץ נמצאו שני שיאים לפלואורסנציה, בעומק רדוד, 30-60 מטרים ובבסיס האזור הפוטי, בעומק של 100-120 מטר. באפריל נותר רק השיא הרדוד וזה העמיק בחודשים הבאים ליצירת DCM בעומק 70-120 מטר (איור 29).



איור 29: פלואורסנציה בעמודת המים כפי שנמדדה במכשיר ה-CTD בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים (<700 מ'), תחנה OS בחצי הדרך לחוף הצפוני בעומק מים של כ-400 מטרים ותחנה FF בחוף הצפוני של אילת בעומק של כ-50 מטרים.

Figure D29: Fluorescence profiles measured using a CTD during the monthly monitoring cruises. Station A is on the Israeli/Jordanian/Egyptian border (>700m), station OS is halfway to the northern shore at water depth of ca. 400 meters and the Fish Farms station is close to the northern shore of the Gulf at ca. 50 meters depth.

ריכוזים גבוהים של כלורופיל a נמדדים בתקופה המשובכת בעומקים 80-100 מטרים (deep chlorophyll maximum). עומק יותר מה-DCM עוצמת האור קטנה וריכוז הכלורופיל יורד לאפס, ורדוד יותר ישנה בתקופה המשובכת מגבלת נוטריינטים וריכוזי הכלורופיל בפני הים נמוכים. ריכוז הכלורופיל המרבי אשר נמדד השנה בתחנה A היה $0.54 \mu\text{g/l}$, בחודש מרץ בעומק 120 מטרים (איור 30). ריכוזי הכלורופיל לאורך השנה בעלי מבנה דומה לפרופילי הפלואורסנציה. והריכוז המרבי אשר נמדד השנה הוא כשליש מזה אשר נמדד בשנה הקודמת בזמן הערבוב העמוק.



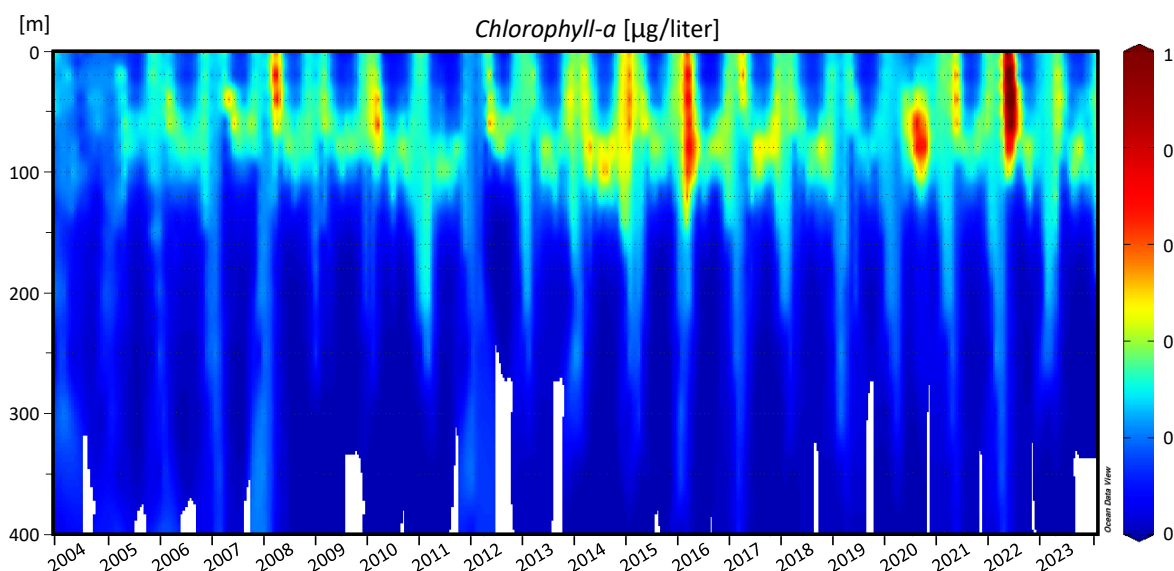
איור ד30: ריכוזי כלורופיל a בעמודות המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700 מטרים, ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים. למטה – סדרת זמן שנתית של ריכוזי כלורופיל בעמודות המים בתחנה A.

Figure D30: Chlorophyll-a concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Station A is on the Israeli/Jordanian/Egyptian border at ca. 700 meters depth, and the Fish Farms station is close to the northern shore of the Gulf at ca. 50 meters depth. Bottom – an annual time series of chlorophyll-a concentrations at Station A.

בשנות הניטור לא תמיד חפפו ריכוזי כלורופיל מרביים לשנים של ערבוב עמוק, עדות לכך שריכוזי כלורופיל ופריחות פייטופלנקטון מושפעים מתהליכים נוספים, כגון כניסות מים (בעיקר מדרום) ונוכחות רועים בעמודות

המים. למשל, בשנת 2020 היו ריכוזי הכלורופיל בעמודת המים העליונה גבוהים במיוחד, על אף שהערבוב לא היה עמוק, וגם בשנים 2015-16 היו ריכוזי כלורופיל גבוהים (איור ד31). מעבר לכך, ריכוזי כלורופיל גבוהים נמדדו לעיתים גם בחודשי הקיץ.

על אף שבשנים של ערבוב עמוק לא בהכרח נמצאו ריכוזי כלורופיל מרביים, בשנה הקודמת (2022) היו ריכוזי הכלורופיל בעמודת המים העליונה הגבוהים ביותר אשר מדדה תכנית הניטור, הפריחה נמשכה זמן רב וגוון המים העליונים היה ירקרק כמעט עד לסוף חודש מאי. השנה, ריכוזי הכלורופיל היו נמוכים, כצפוי בשנה של ערבוב רדוד לאחר ערבוב עמוק.



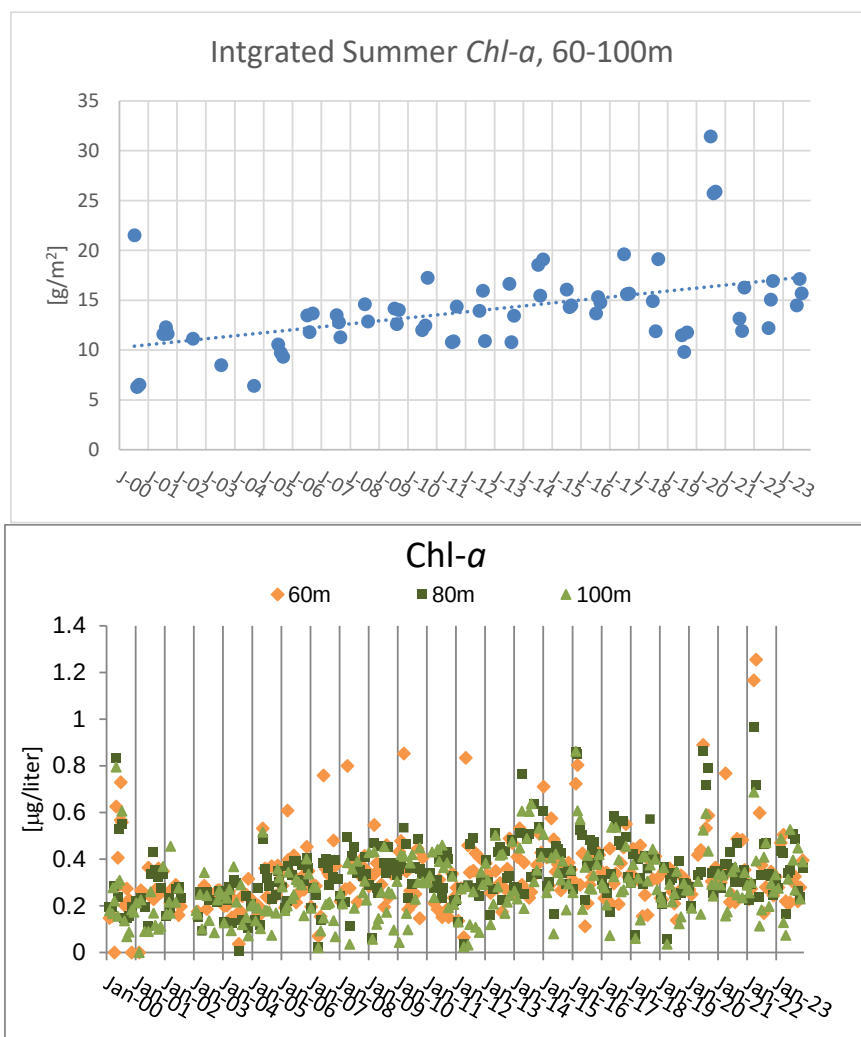
איור ד31: שינויים בריכוז כלורופיל a בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. הנקודות השחורות מייצגות את עומק המדידה.

Figure D31: Changes in the concentration of chlorophyll-a in the water column at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths.

במבט לטווח ארוך יותר על כמות הכלורופיל בעומק הריכוז המרבי (DCM) בחודשי הקיץ (יולי-ספטמבר) מאז שנת 2000, מסתמנת מגמה מתונה ומובהקת של עליה (איור ד32).

בשנים 2000, 2007, 2008 ו-2012 בהן היה ערבוב עמוק נמצאו ריכוזי כלורופיל גבוהים באביב, אך ריכוזים גבוהים נמדדו גם בשנת 2010 ובשנים 2015-2017 (כאמור, גבוהים ביותר בשנת 2016) ושוב בשנת 2020, 2021 ובעיקר בשנה הקודמת בה היה ערבוב עמוק לאחר עשור של ערבובים לעומק בינוני-רדוד. בשנת 2020 גם נמדד כלורופיל גבוה במיוחד בחודשי הקיץ.

אין בידינו הסבר מוכח לעליה בריכוזי הכלורופיל עם הזמן, אך יתכן שעליה זו קשורה גם בעליה המהירה יחסית של ריכוזי נוטריינטים לאחר הערבוב העמוק בשנה הקודמת, ואולי בכניסת מים מזרחיים בסוף הערבוב.



איור ד32: כלורופיל a בתחנה A מאז ינואר 2000 באזור הכלורופיל המרבי העמוק (deep chlorophyll maximum, DCM), בעומקים 60, 80 ו-100 מטרים. למעלה – מאגר הכלורופיל בחודשי הקיץ (יולי-ספטמבר). למטה, ריכוזי כלורופיל בכל התקופה. נתונים הקודמים לתכנית הניטור נאספו במסגרת פרויקט פארק השלום ומובאים באדיבותם של הפרופ' י. ארז והפרופ' ב. לזר.

Figure D32: Chlorophyll-a at Station A at the deep chlorophyll maximum (DCM), at water depths of 60, 80 and 100 meters since 2000. Top, Chl-a inventor during summer (July-September). Bottom, chlorophyll-a concentrations throughout the period. Data from the years 2000-2002 were collected during the Peace Park Project and are provided courtesy of Prof. J. Erez and Pro. B. Lazar.

דיון – עמודות המים

עמודות המים העמוקים מעוצבת בעיקר על ידי המחזור העונתי, המורכב מירידת טמפרטורות בפני הים בחורף וכתוצאה מכך ערבוב של המים העליונים עם מים עמוקים. הערבוב בין גופי המים גורם להעלאת נוטריינטים, חומרי דשן, מהעומק והעשרת מי העומק בחמצן. כשמתחילה העונה החמה, חדירת מים חמים יותר שמקורם בדרום המפרץ יוצרת שכוב יציב המונע ערבוב בין מי השטח והמים העמוקים. במהלך עונה זו נצרכים הנוטריינטים במים העליונים ונצברים נוטריינטים במים העמוקים, ובמקביל מדלדל מאגר החמצן המומס במי העומק. הדינאמיקה העונתית של ריכוזי נוטריינטים וחמצן במים וזמינותם לאוכלוסיות הפיטופלנקטון בעמודות המים העליונה מכתיבה את פרופיל הריכוזים של המרכיבים השונים בעמודות המים לאורך השנה. הדינאמיקה הרב שנתית מושפעת בעיקר מעומק ומשך הערבוב וכמויות הנוטריינטים שנצברו במי העומק (ז"א, הזמן שחלף מאז ערבוב קודם לאותו עומק).

בשנה הקודמת (2022) עורבבה עמודות המים עד לעומק הקרקעית בתחנת המדידה (תחנה A, עומק קרקעית של כ-730 מטרים), לראשונה מאז שנת 2012. המרווח הזה של עשר שנים בין ערבובים עמוקים במפרץ הוא הארוך ביותר המתועד. בעקבות הערבוב נוצרה פריחה חזקה וממושכת וירדו ריכוזי הנוטריינטים במים העמוקים. השנה ערבוב עמודת הגיעה לכ-400 מטרים ונוטריינטים החלו להצטבר במים העמוקים. הערבוב העמוק בשנה הקודמת השלים מחזור שלישי בתקופת הניטור של דינאמיקה רב-שנתית הנשלטת על ידי עומק הערבוב. המחזור הקודם, אשר כולו תועד במסגרת תכנית הניטור, היה קצר יותר וכלל ערבוב עמוק בשנים 2007-8, שלוש שנים של ערבוב רדוד (2009-2011) ושוב ערבוב עמוק בשנת 2012. השנה אנו נמצאים בתחילתו של מחזור רב-שנתי רביעי.

תחילת הניטור (2004) בתקופה של ערבובים לעומקים בינוניים (סביב 500 מטרים) בין הערבוב העמוק של שנת 2000 והערבוב העמוק של שנת 2007. בתקופה זו נצברו נוטריינטים רבים במים העמוקים וריכוזי החמצן שם היו נמוכים. בעקבות הערבוב העמוק בשנים 2007 ו-2008 ירד משמעותית ריכוז הנוטריינטים במים העמוקים ועלה ריכוז החמצן המומס בהם. בשנים שלאחר מכן נמדדה עלייה בריכוזי הנוטריינטים במים העמוקים והמאגרים המומסים התמלאו, אם כי לא הגיעו לערכים הגבוהים של השנים 2004-2006.

בשנת 2012 (ערבוב עמוק) שוב תועדה ירידה חדה בריכוזי ומאגרי הנוטריינטים בעמודות המים בחודשי החורף ועליה בחמצן המומס. יחד עם זאת, עליית הטמפרטורות בסוף חורף 2012 הייתה מהירה וגדולה הרבה יותר מאשר בעקבות הערבוב העמוק של 2007 ו-2008 ומאגרי הנוטריינטים המומסים התמלאו על אף שהריכוזים במי העומק נותרו נמוכים. בשנים שאחרי שנת 2012, עלו ריכוזי הנוטריינטים במי העומק בהדרגה ובמקביל ירד ריכוז החמצן המומס במים העמוקים. יחד עם זאת, בהשוואה למחזור הרב-שנתי הקודם השינויים בריכוזים במים העמוקים היו איטיים יותר, ורק בשנים האחרונות, כעשר שנים לאחר הערבוב של שנת 2012, הערכים הנמדדים נמצאו גבוהים מאלו שנמדדו בשנת 2011, שלוש שנים בלבד לאחר הערבוב העמוק של שנת 2008. ערבוב עמוק, אף כי קצר, בשנת 2022 העלה את הנוטריינטים האגורים במים העמוקים לאזור הפוטי שם הזינו פריחת פיטופלנקטון חזקה וארוכה. בסוף השנה ריכוזי נוטריינטים במים העמוקים נמוכים במידה ניכרת משהיו בתחילתה, אך בדרך כלל לא נמוכים כפי שהיו לאחר הערבובים הארוכים יותר (ואולי גם העמוקים יותר – קשה לדעת ללא ההפלגות לתחנה B המצויה בשטח ירדן) אשר תועדו בתקופת הניטור בשנים 2007, 2008 ו-2012.

השנה, הצטברו הנוטריינטים במים העמוקים מ-400 מטר, שנה לאחר הערבוב העמוק, היתה מהירה מהצפוי. במחזורי ערבוב עמוק קודמים שתועדו על ידי תכנית הניטור (2007-8, 2012) היתה צבירת הנוטריינטים בעומק איטית בהשוואה לשנות הניטור הראשונות, ונראה היה כי זו עדות לירידה בקצב חדירת נוטריינטים לצפון המפרץ. בעקבות מדידות השנה עולה שאלה לגבי כניסת נוטריינטים – האם כמויות הנוטריינטים הנכנסות גבוהות יותר בשנים האחרונות בהשוואה לעשור הקודם?

בנוסף לכך, מגמה של עלייה בכמויות כלורופיל (~ ריכוז פיטופלנקטון) בשנים האחרונות מוסיפה להדאיג וקשורה אולי באותם תהליכים. על אף הרעש העונתי הגדול, העלייה בריכוזי הכלורופיל מובהקת, וריכוזים שנתיים גבוהים נמדדים לעיתים בחודשי הקיץ ולא רק באביב. גם כאשר מחשבים את כמויות הכלורופיל בעומק 60-100 מטרים בחודשי הקיץ בלבד – בולטת מגמה של עלייה. כך נראה שריכוזי הכלורופיל הנמדדים אינם תלויים רק בעומק הערבוב ונוטריינטים העולים איתו מהעומק אלא שיתכן מקור חיצוני. שינויי המליחות החזקים בסוף תקופת הערבוב תומכים בהשערה זו.

בשנים הראשונות לפעולת הניטור נמדדה עליה בריכוזי נוטריינטים בקרבת קרקעית הים העמוק אך זו לא

נמצאה לאחרונה ונראה היה שפחת שיחרור נוטריינטים מפני הסדימנט בשנים האחרונות. מעניין יהיה לעקוב אחר היבט זה בשנים הקרובות ואולי לקבל אינדיקציה נוספת לגבי צבירת הנוטריינטים.

במי העומק, ובפרט בעומקים הגדולים מכ-500 מטרים, נמשכת מגמה של עליית הטמפרטורה. הטמפרטורה במים העמוקים ירדה בשנים 2007 ו-2008 כתוצאה מהערבוב העמוק בשנים אלה, אך מאז נמדדת עלייה קלה בטמפרטורות המים העמוקים. על אף הערבוב העמוק של שנת 2012, לא נמצאה ירידה בטמפרטורת המים העמוקים מ-500 מטרים ועליית הטמפרטורה במים העמוקים נמשכה גם בשנה הקודמת, על אף הערבוב העמוק. עליית טמפרטורת המים מהירה יותר בפני הים מאשר במי העומק וזו עשויה להשפיע על תדירות העירבובים העמוקים של עמודת המים וכך גם על הצטברות נוטריינטים במפרץ שתוביל לפריחות אצות תדירות וחזקות יותר גם בשנים של ערבוב בינוני.

ד.4. פיטופלנקטון וחידקים בעמודת המים

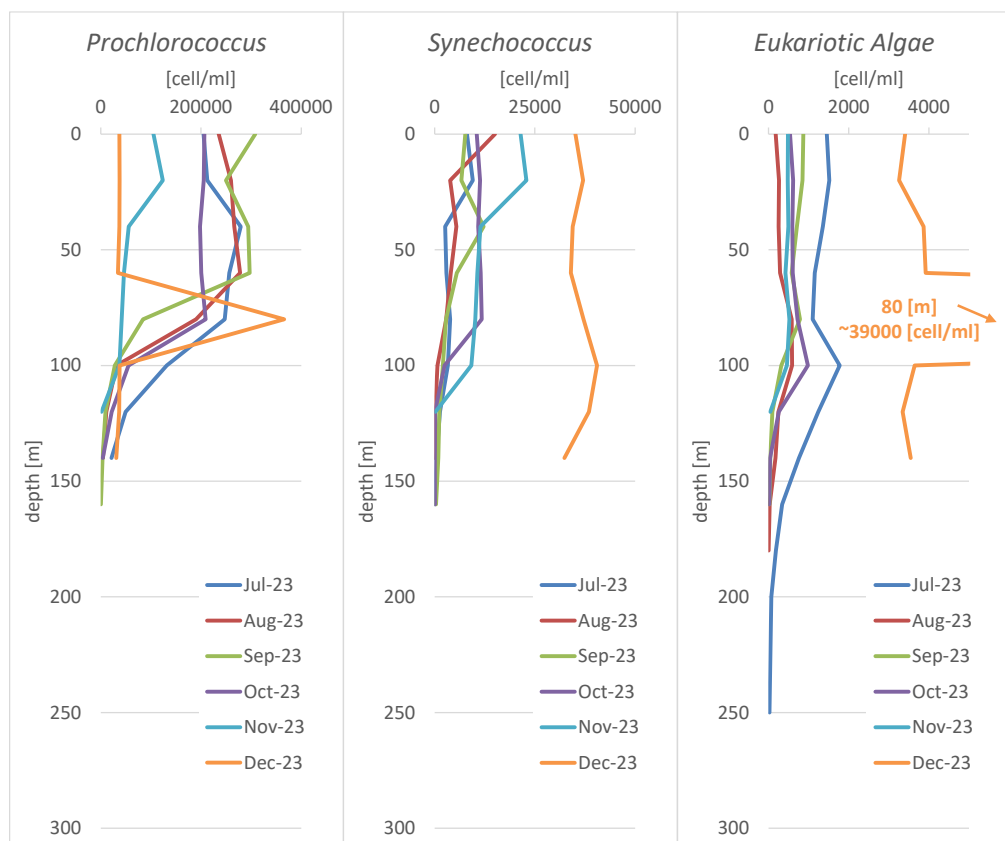
[לאחר מספר שנים בהן לא נספרו תאי פיטופלנקטון וחידקים, החלה תכנית הניטור לשלוח דוגמאות לספירת תאים ליחידת ה-flow cytometry במחלקת התשתיות של מדעי החיים וההנדסה בטכניון. למדידות שם קדם תהליך ארוך של יצירת פרוטוקול המדידה, ובו היה שותף מרכזי ד"ר גיתי יהל מבית הספר למדעי הים במכמורת של המרכז האקדמי רופין.

בשנים האחרונות, התקשתה תכנית הניטור לבצע את ספירות תאי הפיטופלנקטון – מגבלות קורונה פגעו בסדר ההפלגות והתלות במדידות על ידי גורם חיצוני פגעה גם כן בקבלת תוצאות ועל כן ישנם חודשים חסרים במדידות. מדידות 2022 נמצאו בלתי סבירות והתגלתה בעייה במערכת האנליטי אליו נשלחות הדוגמאות והוחלט לא לפרסם תוצאות אלה. דופליקטים של הדוגמאות נשמרים על ידי התכנית וניתן יהיה לבצע אנליזה שלהם בעתיד. השנה החל שיתוף פעולה עם ד"ר נינה קמנאיה המכון לחקלאות וביוטכנולוגיה של אזורים צחיחים של אוניברסיטת בן גוריון בנגב. החל מחודש יולי 2023 הצטרפה ד"ר קמנאיה להפלגות הניטור ודגמה ומדדה את הדוגמאות במעבדתה.]

מיון וספירת פיטופלנקטון כוללים תאי פיטופלנקטון פרוקריוטי (*Synechococcus, Prochlorococcus*) ואאוקריוטי (Pico-Eukaryotic) וחידקים הטרוטרופים בדגימות מים עמוק, הנאספות בהפלגות הניטור החודשיות. חשוב לשים לב להבדלים בריכוזים בין התאים הנמדדים: התאים האאוקריוטיים ו-*Synechococcus* נמדדים באלפים, תאי *Prochlorococcus* נמדדים בעשרות אלפים, וחידקים הטרוטרופים נמדדים במאות אלפים עד מיליונים למיליטר.

השנה החלה מדידת התאים בחודש יולי, עם יצירת שיתוף הפעולה עם ד"ר נינה קמנאיה, ועל כן אין בידינו נתונים מחודשי החורף והאביב. בפרופילים ניתן לראות בעיקר את הריכוזים הגבוהים של *Proc.* בהשוואה לתאים אחרים ואת השינויים בחודש דצמבר – הריכוז הגבוה של *Synec.* בכול המים העליונים, ירידה בריכוז *Proc.* מלבד שיא בעומק 80 מטרים ועליה בריכוז אצות אאוקריוטיות במים העליונים עם שיא חזק בעומק 80 מטרים (איור ד33).

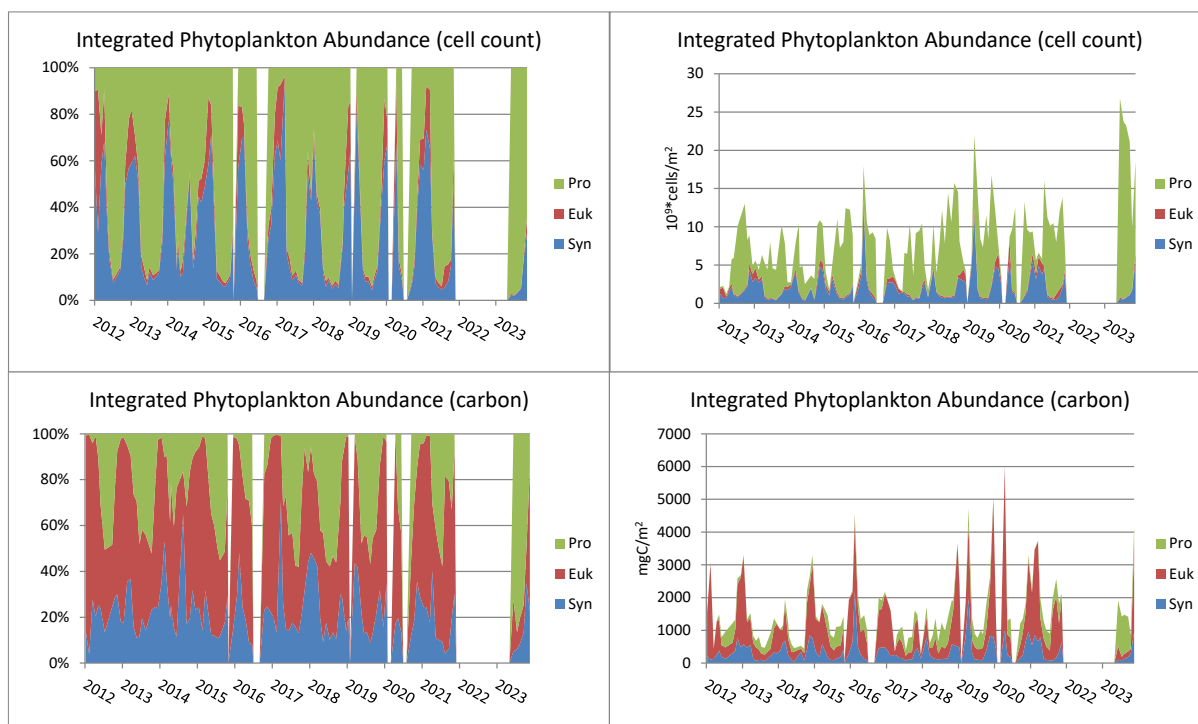
תמונה זו תואמת את היחסים הכמותיים בין שלוש הקבוצות במשך השנים, בה ניתן להבחין בהבדלים עונתיים ברורים כאשר ריכוזי *Synec.* גבוהים בחודשי החורף והאביב ואילו ריכוזי *Proc.* גבוהים בחודשי הקיץ. ריכוזי האאוקריוטים עולים בחודשי החורף ובדרך כלל נמוכים ביותר בחודשי הקיץ, אז הם מהווים אחוזים בודדים בלבד מסך תאי הפיטופלנקטון. השנה, כאמור אין בידינו נתונים מחודשי החורף ורק השינוי בחודש דצמבר מעיד על דינמיקה זו.



איור ד33: ריכוזים חודשיים של תאי פייטופלנקטון פרוקריוטים (*Synechococcus*, *Prochlorococcus*) ואצות אאוקריוטיות בעמודת המים בתחנה A.

Figure D33: Monthly phytoplankton concentrations of prokaryotes (*Synechococcus* and *Prochlorococcus*) and pico-eukaryotes in the water column at Station A.

בהמרה לביומסה מתגלה תמונה שונה (לצורך ההמרה נעשה שימוש בערכים מתוך Campbell et al. 1998, וזאת בעקבות עבודת הדוקטורט של א. מידר (2012) ובעצה עם פרופ' יעלה שקד. ערכי ההמרה הם: בחודשי החורף ועונות המעבר מהווים האאוקריוטים את מרבית הביומסה, בהיותם התאים הגדולים ביותר, ורק בחודשי הקיץ מהווים ה- *Proc.* את החלק העיקרי, בין 40-50% מכלל מסת הפייטופלנקטון בחודשים יולי - נובמבר. השנה ריכוזי *Proc.* גבוהים ברוב חודשי המדידה ועל כן דומיננטים גם בביומסה.

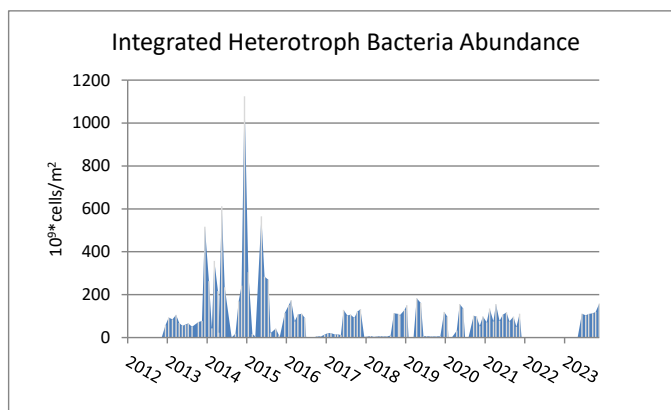
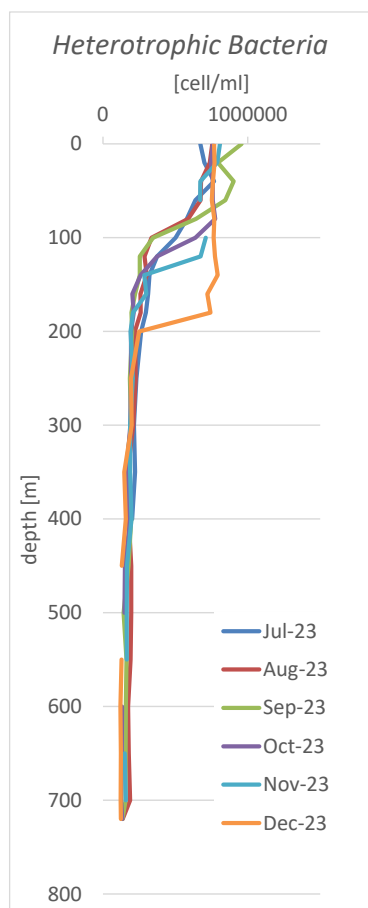


איור ד34: אינטגרלים חודשיים של תאי פיטופלנקטון פרוקריוטים (*Synechococcus*, *Prochlorococcus*) ואאוקריוטים ב-250 המטרים העליונים של עמודת המים בתחנה A, והתפלגות היחסים הכמותיים בין שלוש הקבוצות מאז פברואר 2012. למעלה לפי מספר התאים ולמטה לפי ביומסה.

Figure D34: Monthly integrated phytoplankton abundances in the upper 250 meters for prokaryotes (*Synechococcus* and *Prochlorococcus*) and pico-eukaryotes at Station A, and their relative abundance since February 2012. Top – according to the cell count and bottom – according to biomass.

ריכוזי החיידקים ההטרורופים נמוכים במשך רוב חודשי השנה, וגבוהים בחודשי הקיץ, עד עומק של כ-300 מטרים. בקיץ השנה נמצאו ריכוזי חיידקים גבוהים יחסית באזור הפוטי ורק בדצמבר נמדדו ריכוזים כאלה עד לעומק של כ-200 מטר (איור ד 35).

במשך הזמן ניכרים שינויים גדולים בריכוזי החיידקים ההטרורופים הנמדדים בעמודת המים (אינטגרל עד לעומק של כ-700 מטרים). על אף שישנם חודשים בהם חסרות מדידות חיידקים נראה כי בשנים 2014-2015 היו ריכוזים גדולים של חיידקים ובשנים מאז נמדדים ריכוזים קטנים יותר. הריכוזים שנמדדו השנה אינם שונים מאלה שנמצאו ברוב השנים בהן מבוצעת המדידה.



איור ד35: משמאל, ריכוזים חודשיים של חיידקים הטרוטרופים בעמודת המים בתחנה A בשנה זו; מימין, סדרת זמן של אינטגרל ריכוזי החיידקים (עד עומק 700 מטר) מאז 2013.

Figure D35: Monthly phytoplankton concentrations of heterorophic bacteria in the water column at Station A this year; right, time series of integrated bacteria concentrations (to 700 meters depth) since 2013.

ד.5. זואופלנקטון בעמודת המים

קבוצת הזואופלנקטון כוללת יצורים הטרוטרופים זעירים החיים בעמודת המים והניזונים מפיתופלנקטון, חיידקים ומזואופלנקטון אחר. הזואופלנקטון מהווים חוליה מקשרת עיקרית במארג המזון בים – המעבר מיצרנים ראשוניים לבעלי חיים ברמות טרופיות גבוהות יותר, כמו גם חוליה חשובה בלולאה המיקרוביאלית בים (קליטת חומר אורגני מומס המופרש מיצורים שונים על ידי חיידקים, ואכילתם לאחר מכן על ידי מיקרוזואופלנקטון אשר נאכלים על ידי זואופלנקטון גדול יותר). תכנית הניטור מבצעת מעקב קבוע וסדיר אחר שינויים בביומסה של זואופלנקטון בשכבה הפוטית לפי פרקציות גודל החל מחודש מרץ 2011. הניטור נועד לתעד שינויים כמותיים בזואופלנקטון בכלל, כמו גם בהרכב קבוצות הגודל בקרבן.

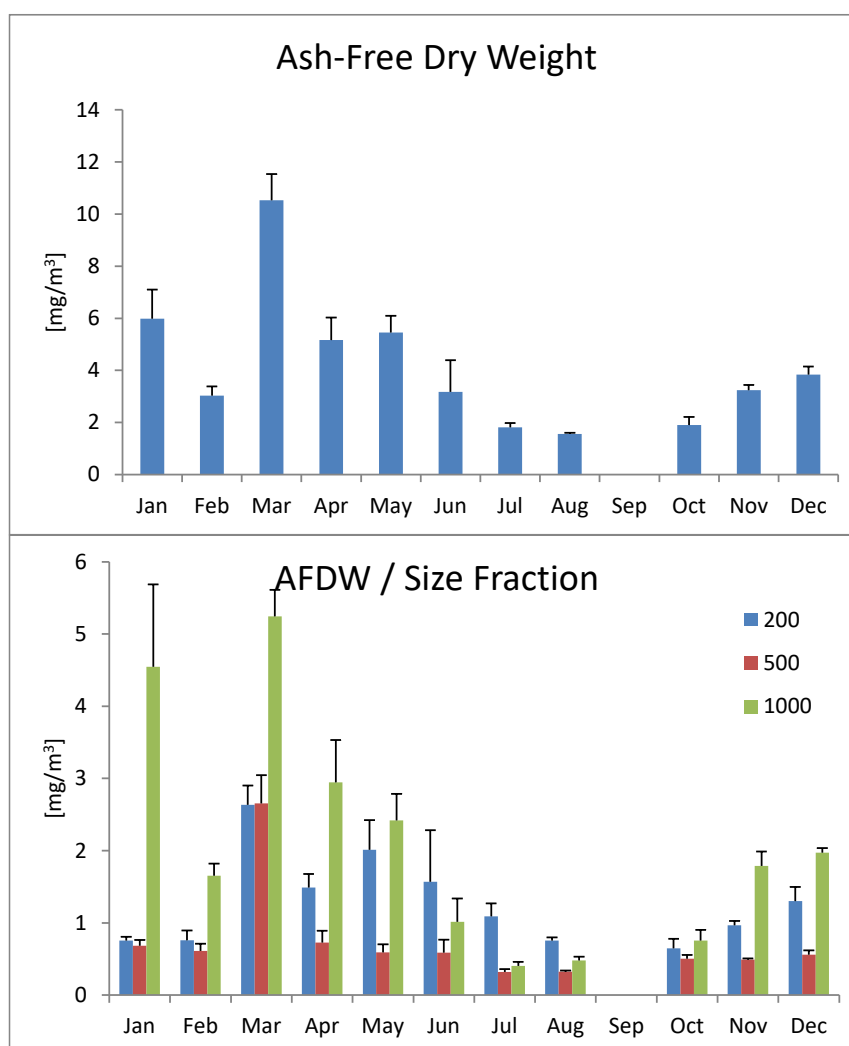
דגימות זואופלנקטון נאספות מדי חודש בים העמוק (עומק קרקעית 300-400 מ'), באמצעות גרירה אלכסונית של רשת פלנקטון כפולה ("Bongo") עם גודל חור של $200\mu\text{m}$ (איור ד36). הדגימה מתבצעת בשעות הבוקר (בין השעות 9-11), בדרך כלל בשבוע האחרון של כל חודש. הגרירה מתחילה בהורדת רשת הפלנקטון באיטיות לעומק של כ-100 מ' ומיד עם הגעת הרשת לעומק זה היא מועלית חזרה לפני השטח. במשך כל זמן ההורדה וההעלאה הסירה שטה במהירות של כ-2 קשר (1 מ' לשניה) וזוית חבל הגרירה (140 מ' ארכו) נשמרת סביב 45 מעלות. משך הגרירה כ-10 דקות. בסה"כ מתבצעות בכל מסע דגימה 3 גרירות (= 6 דגימות מאותו יום בכל חודש), כולן במים העמוקים מול החוף הדרומי של אילת. לאחר כל גרירה הדגימות מוצאות מקצה הרשת ומועברות לצנצנות פלסטיק הנשמרות בצידנית עם קרח עד לטיפול במעבדה מיד עם החזרה לחוף. במעבדה כל דגימה מופרדת לשלוש פרקציות גודל באמצעות סינון על קולונה עם שלוש רשתות פלנקטון בגודל חור של 200, 500 ו-1000 מיקרון. לאחר מכן מסוננת כל פרקציה על פילטר סיבי זכוכית GF/A (גודל חור נומינלי של $1.6\mu\text{m}$) אשר נשרף מראש בתנור ב 450°C למשך 4 שעות ומשקלו ידוע. לאחר מכן הפילטרים עוברים ייבוש בתנור 60°C למשך שלושה ימים לפחות, נשקלים שוב (לקבלת המשקל היבש של הזואופלנקטון בתת הדגימה) ואח"כ נשרפים ב 450°C למשך 4 שעות לקבלת משקל יבש של החומר האורגני (Ash Free Dry Weight –AFDW). התוצאות מוצגות בגרם למ"ק (ממוצע ושגיאת תקן של שלוש גרירות רשת) ומייצגות את הביומסה של זואופלנקטון ב-100 מ' העליונים של עמודת המים (שהיא השכבה המוארת).



איור ד36: רשת הפלנקטון הכפולה ("Bongo") נגררת מהסירה בים העמוק. צילום: מ. צ'רניחובסקי
Figure D36: A double plankton net ("Bongo") towed from the boat in deep waters. Photo: M. Chernihovsky

תוצאות

השנה ערבוב עמודת המים היה לעומק בינוני והסתיים מוקדם (לפני הפלגת חודש מרץ, 15/3/2023) ובהתאמה, שיא הביומסה, כמדד לריכוזי זואופלנקטון, נמדד השנה בחודש מרץ (איור ד37). להשוואה, בשנה הקודמת בה היה ערבוב עמוק של עמודת המים, היתה בחודשי האביב פריחת פיטופלנקטון חזקה וארוכה ובהתאם, השיא בריכוזי הזואופלנקטון (ביומסה) נמדד בחודש יוני. באופן מפתיע, שיא הביומסה אשר נמדד במרץ השנה היה גבוה מהערך המרבי אשר נמדד בשנה הקודמת (10.53 mg/m^3 ו- 9.85 mg/m^3 , בהתאמה). בחודשים בהם נמדדת לרוב מסה גדולה של זואופלנקטון, היא מורכבת בעיקר מקבוצת הגודל הקטנה ומקבוצת הגודל הגדולה (יותר מ- $1000 \mu\text{m}$). השנה ערך השיא (ובכלל, ריכוזי תחילת החורף) היו בעיקר מקבוצת הגודל הגדולה, כאשר קבוצת הגודל הקטנה הפכה מרכזית רק בחודשי הקיץ.



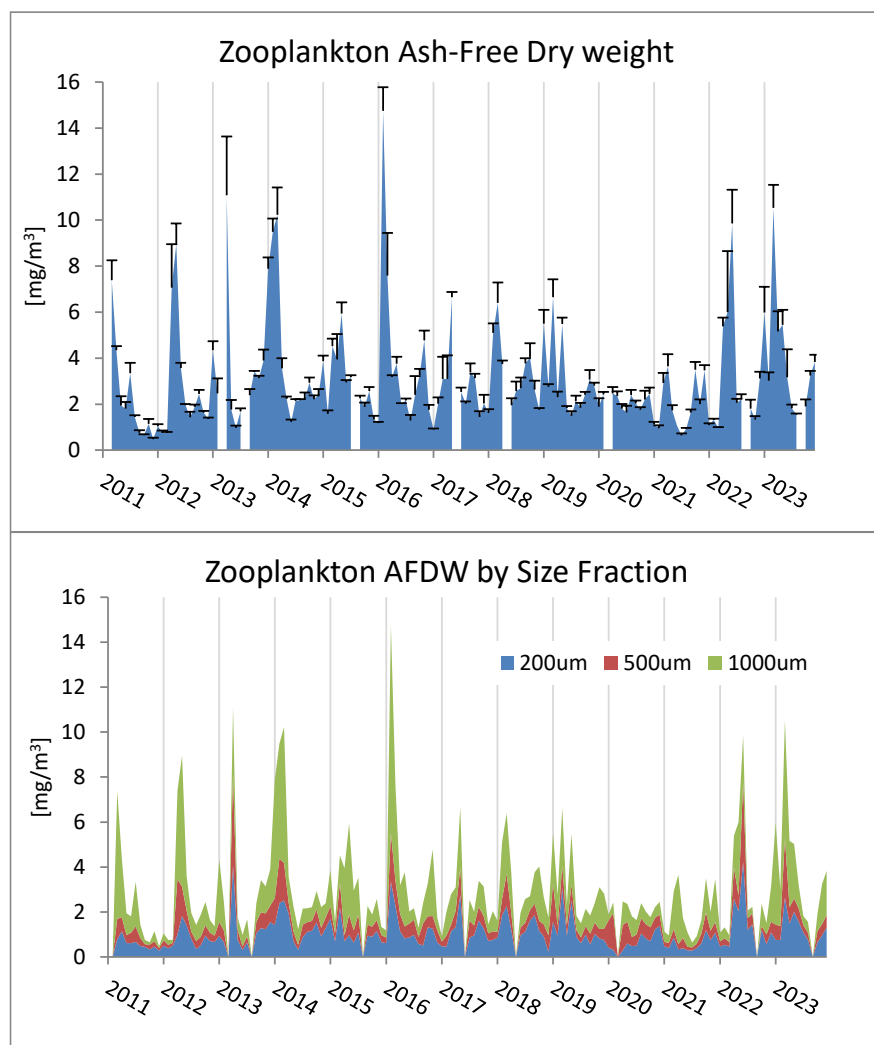
איור ד37: ריכוזי זואופלנקטון חודשיים ב-100 המטרים העליונים בים העמוק. למעלה – סך הזואופלנקטון, למטה – חלוקה לפרקציות גודל מסוננות על פילטר של 200, 500 ו-1000 מיקרון (ירוק, אדום וכחול, בהתאמה).

Figure D37: Monthly zooplankton concentrations at the upper 100m of the deep sea. Top – all zooplankton, bottom – divided to size fractions filtered on 1000, 500 and 200 μm filters (green, red and blue, respectively).

ברוב השנים בהן בוצע ניטור אחר ריכוזי זואופלנקטון בעמודת המים העליונה נמדד שיא גבוה באחד החודשים של תחילת השנה (איור ד38). בחודש פברואר של שנת 2016 נמדדה הביומסה הגבוהה ביותר במסגרת תכנית הניטור (מאז 2011), למרות שבשנים 2012 ו-2022 היה ערבוב עמודת המים עמוק יותר. בשנת 2016 גם היו ריכוזי כלורופיל גבוהים במיוחד על אף שהערבוב לא היה עמוק במיוחד. מעקב אחר מסת זואופלנקטון במסגרת תכנית הניטור החל אמנם רק בשנת 2011 ועל כן אינו כולל את השנים 2007 ו-2008 בהן היה ערבוב עמוק, אך הנתונים המצויים בידינו עד כה אינם מצביעים על קשר הדוק בין עומק הערבוב ומסת הזואופלנקטון בעמודת המים

העליונה. נראה כי למשך הערבוב ולאופן התפתחותו בזמן השפעה על כמות הזואופלנקטון בעמודות המים. בשנת 2019, למשל, הערבוב נוצר ונחקק מספר פעמים ונמדדו שלושה שיאים במסת זואופלנקטון שהריכוזים בהם לא היו גבוהים במיוחד ובשנה הקודמת (2022), נמצאו ריכוזים גבוהים במשך שלושה חודשים אפריל-יוני כאשר השיא היה דווקא בחודש יוני.

לרוב, השיא בריכוזי זואופלנקטון עוקב אחר העונה המערבבת בה עולים ריכוזי הנוטריינטים והפיטופלנקטון, ומונע על ידי צמיחה של קבוצת הגודל של זואופלנקטון גדול ($>1000\mu\text{m}$). עם זאת יתכן כי כניסת מים "זרים" לצפון המפרץ משפיעה אף היא על פריחת הפיטופלנקטון וכך גם על כמות הזואופלנקטון.



איור ד38: ריכוזי זואופלנקטון ב-100 המטרים העליונים בים העמוק, מאז שנת 2011. למעלה – סך הזואופלנקטון, למטה – חלוקה לפרקציות גודל מסוננות על פילטר של 1000, 500 ו-200 מיקרון (ירוק, אדום וכחול, בהתאמה).
Figure D38: Zooplankton concentrations at the upper 100m of the deep sea since 2011. Top – all zooplankton, bottom – divided to size fractions filtered on 1000, 500 and 200 μm filters (green, red and blue, respectively).

6.ד. יצרנות ראשונית בעמודת המים

בשנת 2009 נוספו לתכנית הניטור מדידות חודשיות של יצרנות ראשונית בעמודת המים הרחק מן החוף, וזאת בעקבות הרחבת פעילות הניטור כפי שהומלץ בפגישת תת-הוועדה לנושא הכימיה של מי המפרץ. למדידת יצרנות ראשונית בעמודת המים חשיבות גדולה בהערכת מצב המערכת האקולוגית במפרץ מכיוון שהעשרה בנוטריינטים עשויה לגרום לפעילות מוגברת של פיטופלנקטון. פעילות מוגברת לא בהכרח תגרום לעלייה משמעותית בריכוז הפיטופלנקטון (המוערך באמצעות ריכוז הכלורופיל) מכיוון שקצב הרעיה של פיטופלנקטון על ידי זואופלנקטון עשוי גם הוא לעלות. לפיכך עלייה ביצרנות עשויה להיות אינדיקציה אמינה ואולי יחידה בשלבים הראשונים, של שינוי מצב במעבר ממערכת כמו-אוליגוטרופית בה היצרנות הראשונית נמוכה והתנאים נוחים לאלמוגים, למערכת אוטרופית בה היצרנות גבוהה.

מדידת היצרנות מסובכת וקשה מבחינה טכנית, הן עקב הפעילות הימית המורכבת והן עקב פעילות המעבדה והשימוש באיזוטופים רדיואקטיביים, ועל כן בעבר לא בוצעה במפרץ אילת באופן סדיר. מדידות יצרנות בוצעו בין השנים 1989-2002 במסגרת התכניות הקודמות לתכנית הניטור (Reeflux, Red Sea Program, Red Sea Marine Peace Park). תכנית הניטור התאימה את פרוטוקול המדידה אשר פותח על ידי ד"ר דוד אילוז ופרופ' יונתן ארז (Iluz, 1991) במפרץ אילת ושימש בווריאציות שונות בתכניות הקודמות, תוך שימוש בפרוטוקול מתחנת המדידה של ברמודה (BATS, <http://bats.bios.edu/>) וסיוע של ד"ר דוד אילוז (מכללת בית ברל) פרופ' יונתן ארז (המכון למדעי כדור הארץ, האוניברסיטה העברית) וד"ר יוסף יעקובי (המעבדה לחקר הכנרת ע"ש יגאל אלון, חקר ימים ואגמים). מדידות יצרנות החלו להתבצע באופן סדיר מאמצע 2009 ומאותן דוגמאות מים נמדדו גם ריכוז הכלורופיל.

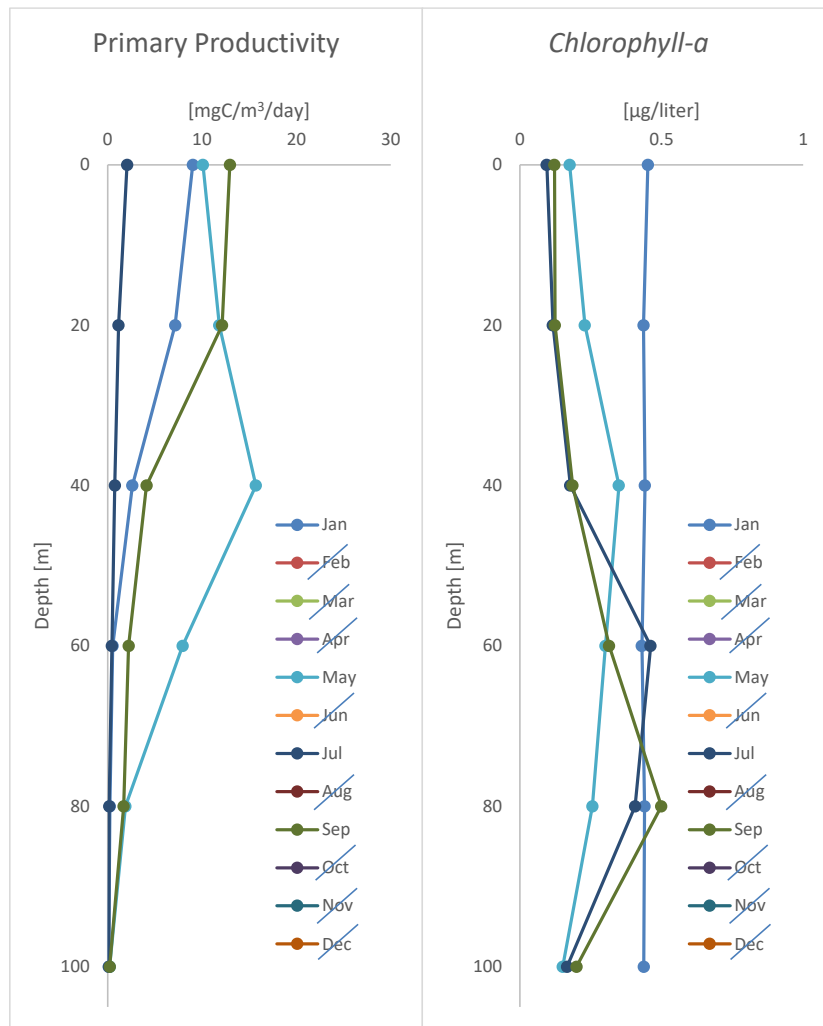
[החל מסוף 2011 נמדדת היצרנות בעזרת מונה סינטילציה חדש אשר נרכש במכון הבינאוניברסיטאי. מונה זה אמין יותר ואינו סובל מבעיות בהן נתקלנו בעבר, ועל כן ביצענו בשנת 2011, בעצה עם פרופ' יונתן ארז, תיקון בחישוב היצרנות (מבוסס על מניית cpm) ולא על התפרקויות מחושבות (dpm)) ונתוני היצרנות משנים הקודמות המוצגות כאן חושבו מחדש. השוואת תוצאות החישוב בשני האופנים בהתבסס על נתוני המכשיר החדש וניסויים במעבדה הראתה התאמה טובה.

בשנים האחרונות שוב נתקלנו בקושי במדידות היצרנות והמדידה מבוצעת באופן פחות סדיר. לאחרונה, חידשה תכנית הניטור את המדידות בשיתוף פעולה עם מעבדתו של פרופ' איל רהב מחקר ימים ואגמים לישראל ובפרט תום רייך ונטאשה בלקין. המדידות נעשות בתדירות של אחת לחודשיים-שלושה, בסמיכות למועד הפלגת הניטור החודשית.

תוצאות

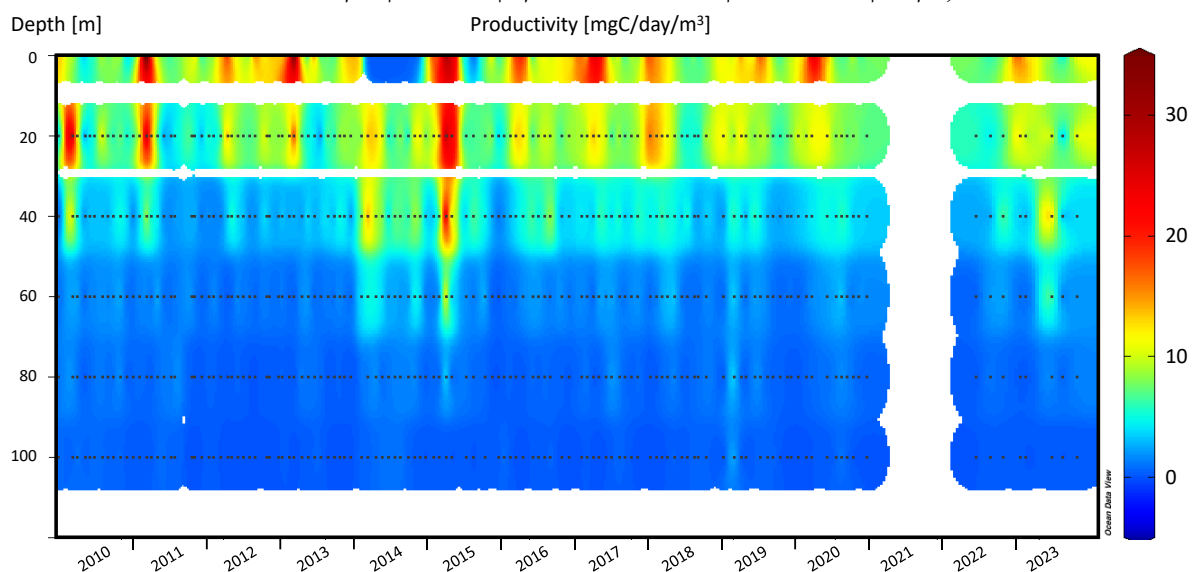
השנה יש בידינו נתוני יצרנות מהחודשים ינואר, מאי, יולי וספטמבר. בחודשים אלה, היצרנות גבוהה יותר בקרבת פני הים ודועכת עם העומק, כתלות בחדירות האור. לעומת זאת, ריכוז הכלורופיל גבוה בדרך כלל דווקא בעומק גדול יותר, DCM (איור 39).

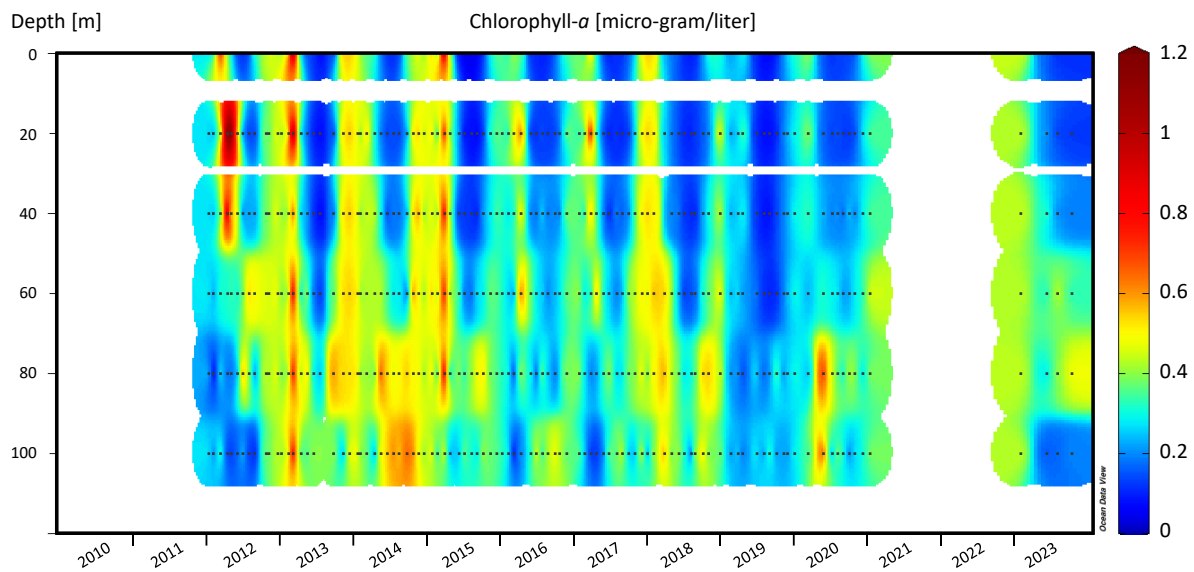
מדידות היצרנות השנה היו נמוכות מעט מאשר בשנה הקודמת אשר גם בה, על אף הערבוב העמוק שהסתיים באפריל, מדידות היצרנות בחודש מאי היו נמוכות. הערך המרבי שמדדה התכנית בפני הים היה בשנת 2015 $33.6 \text{ mgC/m}^3/\text{day}$ והשנה הערך המרבי אשר נמדד בפני הים היה $12.9 \text{ mgC/m}^3/\text{day}$, בחודש ספטמבר.



איור ד39: יצרנות ראשונית וריכוזי כלורופיל חודשיים בעמודת המים העליונה.
Figure D39: Monthly primary productivity and chl-a concentrations at the upper water column.

במשך תקופת הניטור נשמרת התבנית של יצרנות גבוהה בקרבת פני הים וריכוזי כלורופיל שפעמים רבות גבוהים יותר דווקא בתחתית האזור הפוטי (איור ד40). בנוסף לכך, לא תמיד ישנה חפיפה בין יצרנות גבוהה וריכוזי כלורופיל גבוהים, אך עקב הפערים הקיימים בסדרות הזמן קשה להסיק מכך לגבי גורמים ותהליכים.

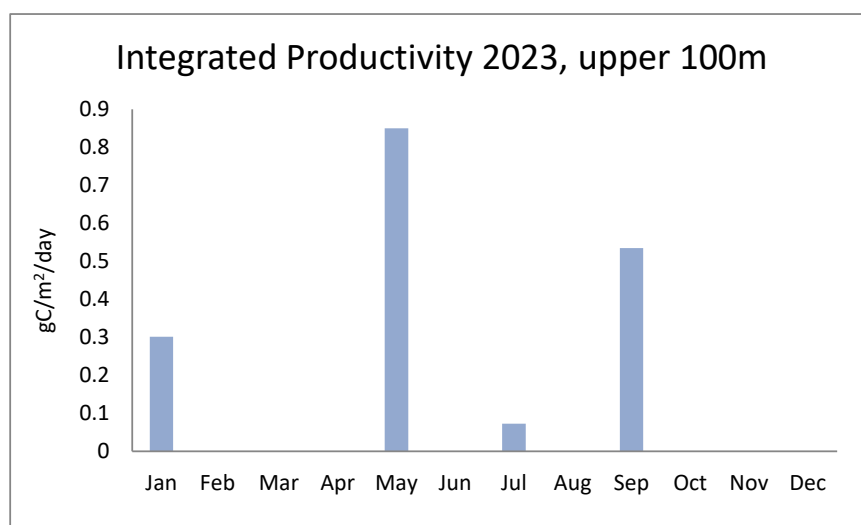


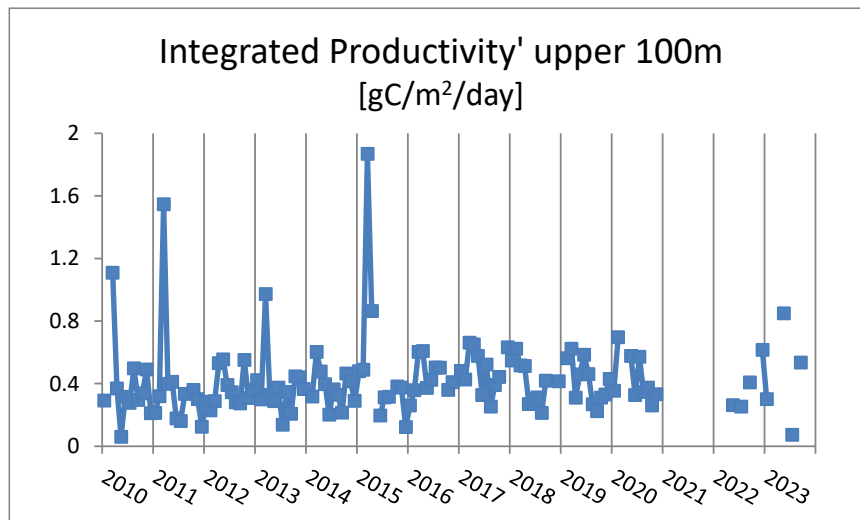


איור ד40: יצרנות ראשונית (למעלה) וריכוזי כלורופיל (למטה) בעמודת המים העליונה מאז 2010.
Figure D40: Primary productivity (top) and Chl-a concentrations (bottom) at the upper water column since 2010.

אינטגרציה של היצרנות בעמודת המים בכל אחד מהימים בהן נעשתה המדידה מראה כי היצרנות הגבוהה ביותר שנמדדה השנה היתה בחודש מאי (איור ד41), בזכות היצרנות הגבוהה יחסית שנמצאה בעומק 40 מטרים. היצרנות הממוצעת בעמודת המים בחודשים יולי-ספטמבר עמדה על $0.30 \text{ gC/m}^2/\text{day}$ דומה ומעט נמוך יותר מאשר בשנה הקודמת. היצרנות הממוצעת הגבוהה ביותר שנמדדה בחודשים אלה על ידי תכנית הניטור היתה $0.50 \text{ gC/m}^2/\text{day}$ בשנת 2016.

היצרנות בחודש יולי השנה נמוכה בהשוואה לרוב הערכים שנמדדו בשנים קודמות אך בחודשים מאי וספטמבר נמדדה יצרנות יחסית גבוהה. שיאים ביצרנות נמדדו על ידי תכנית הניטור בחודש מרץ בשנים 2010, 2011, 2013, 2015 כאשר זה האחרון היה הגבוה ביותר שנמדד עד כה - $1.87 \text{ gC/m}^2/\text{day}$. נראה כי מדידות היצרנות אינן משקפות באופן ישיר את עומק הערבוב בעמודת המים: הערבוב הגדול ביותר מאז 2010 אירע בשנת 2012, בה מדידות היצרנות של תכנית הניטור נמוכות. לצערינו, אין בידנו מדידות מחודשי הערבוב בשנה הקודמת, אשר גם בה היה ערבוב עמוק.





איור ד41: אינטגרציה של היצרנות הראשונית במאה המטרים העליונים של עמודת המים, מתוך מדידות היצרנות המוצגות באיור ד39. למטה - היצרנות הראשונית במאה המטרים העליונים של עמודת המים מאז 2010.
Figure D41: Integrated values of primary productivity in the upper 100m of the water column, based on the productivity profiles presented in Figure D39. Bottom - primary productivity in the upper 100m of the water column since 2010.

באמצעות מדידות היצרנות הנעשות אחת לחודש ניתן לחשב אינטגרל יומי ממוצע בעמודת המים העליונה ועליו לבסס חישוב יצרנות שנתי. בשנים 2010-2014 חושבה יצרנות שנתיית די קבועה ($134-141 \text{ gC/m}^2/\text{year}$) ובשנת 2015 חושבה יצרנות הגבוהה ביותר, $197 \text{ gC/m}^2/\text{year}$. מאז היצרנות השנתית המחושבת גבוהה מ- $150 \text{ gC/m}^2/\text{year}$. בשנתיים האחרונות, פחות ניתן לסמוך על חישובי יצרנות "שנתית" מכיוון שתדירות המדידה ירדה ואינה אחידה. בפרט, חסרות בשנתיים האחרונות מדידות יצרנות מחודשי הערבוב. היצרנות השנתית הממוצעת בצפון המפרץ בשנים 2010-2020 היא $153.7 \text{ gC/m}^2/\text{year}$. בדו"ח הביניים הראשון של תכנית הניטור (גנין וסילברמן, 2003) מובאים ערכי יצרנות אשר נמדדו בחודשים ינואר ו־אפריל בשנים 2000-3. המדידות נעשו תוך שימוש בפרוטוקול הדגרה קצר (כארבע שעות) ותוצאות אותן מדידות נעו בטווח $0.14-0.78 \text{ gC/m}^2/\text{day}$. לשם השוואה, בתחנות הניטור הקבועות בימים האוליגוטרופים שמול הוואי וברמודה, נמדדים ערכים ממוצעים רב-שנתיים הנעים סביב $0.5 \text{ gC/m}^2/\text{day}$ (<http://hahana.soest.hawaii.edu/hot/>), (http://bats.bios.edu/bats_form_prod.html). על סמך מדידות הניטור היומית הממוצעת במפרץ אילת בתקופה 2010-2020 היא $0.42 \text{ gC/m}^2/\text{day}$.

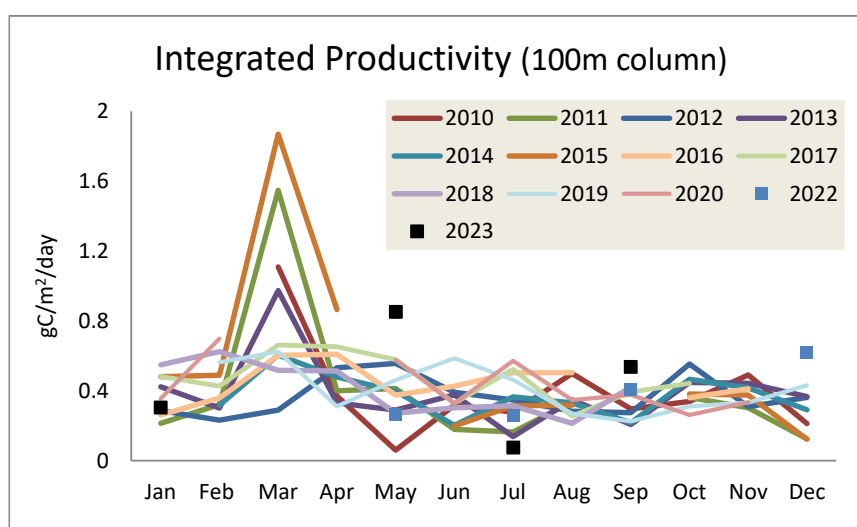
משנות ה-70 ועד לתחילת שנות ה-90 של המאה ה-20 היצרנות הראשונית בצפון מפרץ אילת נאמדה ב- $80 \text{ gC/m}^2/\text{year}$ (Iluz, 1991, Levanon-Spanier *et al.*, 1979) ובשנים 2000-2004 עלתה למוצע שנתי של $170 \text{ gC/m}^2/\text{year}$ (Lazar *et al.*, 2008), עם ערך גבוה של כ- $230 \text{ gC/m}^2/\text{year}$ בשנת 2004. היצרנות השנתית הממוצעת הנמדדת על ידי תכנית הניטור מאז 2010 עומדת, כאמור, על $153.7 \text{ gC/m}^2/\text{year}$. יש לזכור שממוצעים מושפעים מאד מערכי שיא ויתכן שתדירות מדידות היצרנות בתכנית הניטור בעונת החורף אינה מספיקה לאפיין נכונה את היצרנות הממוצעת. למשל, בזמן פריחת קצרת המועד באפריל 2008 של דיאטומאות (אצות צורניות גדולות) נמדדה בעשרים המטרים העליונים עליה ביצרנות מערכים סביב $15 \text{ mgC/m}^3/\text{day}$ ל- $30 \text{ mgC/m}^3/\text{day}$ (Iluz *et al.*, 2009). השינוי היומי הגדול עליו מדווחים Iluz *et al.* (2009) מדגים את הדינאמיקה המהירה של יצרנות במפרץ ומלמד כי מדידות בדידות עשויות לסטות משמעותית מממוצע היצרנות. גם מדידות הניטור מראות את הקושי באפיון היצרנות, בפרט בתקופת החורף.

מדידות יצרנות במסגרת תכנית הניטור נעשו אחת לחודש והערכים הגבוהים ביותר נמדדו בדרך כלל בחודש מרץ, אך בשנתיים האחרונות אין מדידות מחודש זה (איור ד42). במרץ שנת 2015, שנה בה ערבוב עמודת המים היה רדוד, נמדדה היצרנות הגבוהה ביותר (ומצומדים עליה גם ריכוזי כלורופיל גבוהים), ובשנת 2012, שנה בה

היה הערבוב עמוק (אם כי קצר) ונמדדו שפע של נוטריינטים בעמודת המים העליונה, לא נמדד ערך גבוה של יצרנות.

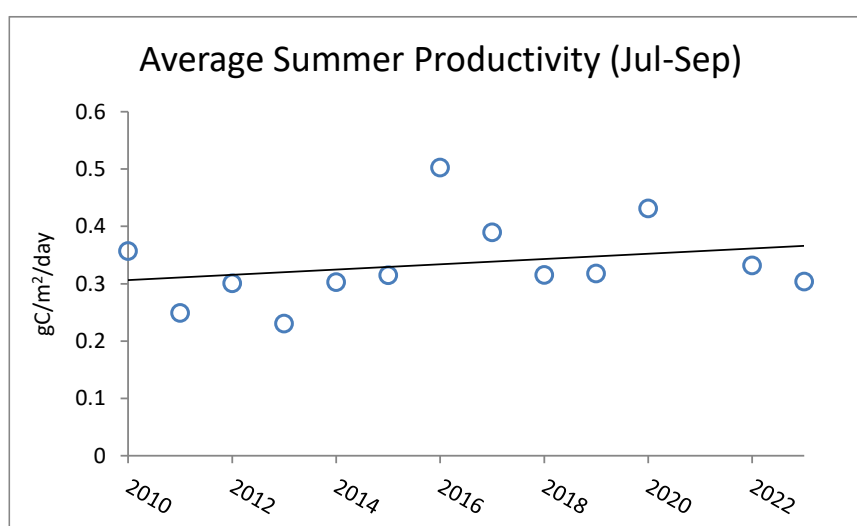
נראה כי השינויים ביצרנות בחודשי החורף גדולים ומהירים ויתכן כי תדירות המדידות אינה גבוהה מספיק על מנת לאפיין את המערכת בתקופה זו. מכיוון שכך, יתכן גם כי חישובי האינטגרל השנתי אינם מדויקים דיים (למשל, היצרנות השנתית הגבוהה מאד המחושבת עבור שנת 2015 נשענת על יצרנות גבוהה במיוחד אשר נמדדה בחודש מרץ ועל כך שבשנה זו חסרות שתי מדידות חודשיות, במאי ובספטמבר, חודשים בהם היצרנות לרוב נמוכה).

בעונת הקיץ, לעומת זאת, השינויים קטנים יותר והמערכת מצויה במצב "אוליגורופי". על רקע זה, שינויים מערכתיים מתמשכים ניתן יהיה, אולי, לגלות דווקא בעונה זו. מהתבוננות בערכי היצרנות בחודשי הקיץ ניתן להתרשם כי השנים 2010-2023 דומות זו לזו, עם ערך גבוה ביותר בשנת 2016 (איור ד43). עם זאת, ניתן אולי להבחין בעלייה קלה, שאינה מובהקת, ביצרנות הקיץ במפרץ.



איור ד42: היצרנות הראשונית החודשית במאה המטרים העליונים של עמודת המים מאז 2010.

Figure D42: Monthly primary productivity in the upper 100m of the water column since 2010.



איור ד43: ממוצע היצרנות הראשונית היומית במאה המטרים העליונים של עמודת המים בחודשים יוני-אוקטובר, מאז 2010.

Figure D43: Average daily primary productivity in the upper 100m of the water column for the months June-October, since 2010.

ד.7. שטף החלקיקים בעמודת המים

מטרה

מעקב אחר שטפי חומר חלקיקי במורד עמודת המים מבסיס האזור הפוטי ועד לקרקעית על מנת לאמוד את השינויים עם העומק, את כמויות החומר המגיע לקרקעית ואת השינויים העונתיים והבין-שנתיים ולנסות לקשור את המידע לתהליכים בעמודת המים.

שיטות

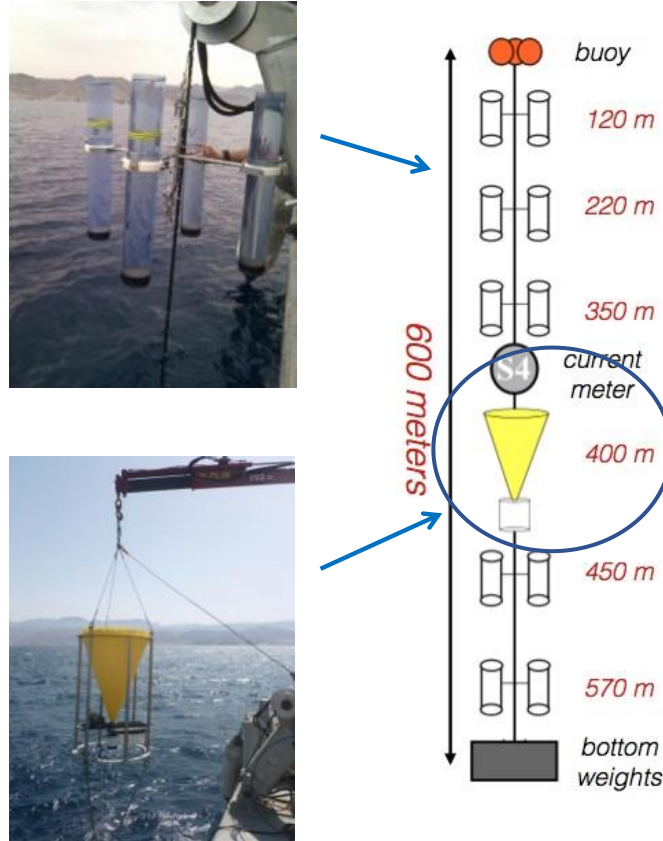
בשנים 2014-2019 הוצבה סדרת מלכודות סדימנט בים העמוק (עומק מים של כ- 605 מטרים), עגונה לקרקעית ונתמכת על ידי סדרת מצופים (איור ד42). הסדרה כללה חמישה מערכים של שתי מלכודות צינור הקולטות את שטף החלקיקים החודשי, ומלכודת אחת בה מוחלף צינור האיסוף באופן אוטומטי מדי יום, לערך. המלכודות החודשיות מוצבות בעומקים 570, 450, 350, 220 ו-120 מטרים, לערך, והמלכודת היומית מוצבת בעומק 400 מטרים לערך. בשנתיים הראשונות נאסף המערך מדי כחודש, המלכודות הוחלפו והמערך הוחזר לים. כתוצאה משינויים קטנים במיקום ומהחלפת חבלים לפי הצורך ישנם הבדלים קלים בעומק המלכודות מפעם לפעם. בשנת 2017 הוחלט לצמצם את תדירות הדגימה למלכודות "החודשיות" לחודשים מייצגים בחורף, באביב ובסוף הקיץ (חודשים ינואר, מאי וספטמבר/אוקטובר). הדגימה באמצעות המלכודות האוטומטית ("יומית") ירדה לרזולוציה של אחת לשלושה-ארבעה ימים בין ההפלגות, ורזולוציה דו-יומית בחודשים ינואר, מאי וספטמבר. בנובמבר 2019 נקרא הכבל הנושא את המערך והמלכודות אבדו. מדידות של ריכוזי חומר חלקיקי מרחף בעמודת המים חודשו בקיץ 2021, במערך פשוט יותר הכולל רק את המדידות ברזולוציה גבוהה, כל 2-4 ימים, באמצעות מלכודת קונית בעלת פתח גדול ו-21 בקבוקי דגימה הנסגרים אוטומטית בהתאם לזמן ההצבה המתוכנן (PARFLUX-78H21 של חברת McLane).

המלכודת אוספת חלקיקים הנושרים דרך עמודת המים ונאספים בתחתית בקבוק האיסוף המכיל תמלחת רוויה עם תוספת של מעט $HgCl$, שנועדה למנוע פעילות ביולוגית בתוך המלכודת העלולה לשנות את מאסף החלקיקים שנלכדו.

לאחר האיסוף, הדוגמאות נשמרות בקירור למשך הלילה ולמחרת נשאבים המים העליונים והמשקע מסונן דרך נפה של 1 מ"מ על מנת להוציא זואופלנקטון גדול שנלכד. החומר המסונן עובר סדרת שטיפות במים מזוקקים להרחקת המלחים, מושקע מחדש ומיובש.

הצבת ואיסוף מלכודות הסדימנט, כמו גם הטיפול בדוגמאות הן פעולות יקרות הדורשות כח אדם ומיומנות רבה. לפיכך, זוהי הפעם הראשונה שמלכודות סדימנט מוצבות באופן קבוע ולאורך זמן במים העמוקים שבצפון המפרץ ומידע שיתקבל צפוי להאיר תהליכים רבים המתרחשים בעמודת המים ובקרקעית הים. בניטור השטף החלקיקי בעמודת המים משתפת תכנית הניטור פעולה עם פרופ' עדי טורפשטיין מהמכון למדעי כדור הארץ באוניברסיטה העברית אשר מוביל מחקר שעניינו השטף החלקיקי ותרומתו לסדימנט במפרץ. עיקר הדוגמאות ממלכודות הסדימנט מעובד במעבדתו של פרופ' טורפשטיין, ומשמשות למחקרים מבוססי כימיה עדינה (יסודות קורט ואיזוטופים) וביולוגיה, המקדמים את הבנת התהליכים המתרחשים בעמודת המים ובסדימנט (למשל, Torfstein et al., 2020).

תכנית הניטור עוקבת אחר הדינאמיקה העונתית והרב שנתי בשטף החלקיקי בעמודת המים.



איור ד44: מערך מלכודות הסדימנט אשר נאסף ומוצב בעומק מים של 605 מטרים במרכז צפון המפרץ. מאז קיץ 2021 מוצבת רק המלכודת האמצעית הגדולה (מסומנת בעיגול).

Figure D44: The array of sediment traps placed on a mooring line at 605 meters depth at the center of the northern basin of the gulf. Since summer 2021 only the large, automated trap (circled) is active.

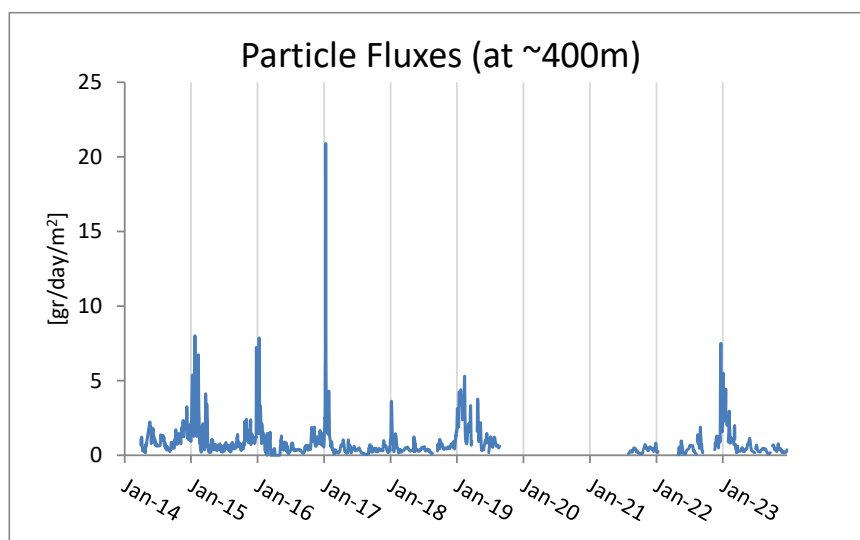
תוצאות

המלכודות הוצבו לראשונה בינואר 2014, והמערך עבר שינויים קלים במשך החודשים הראשונים. התוצאות המדווחות כאן כוללות את שטף החלקיקים בכל המלכודות מאז פברואר 2014, וברזולוציה היומית מאז הוצבה המלכודת האוטומטית לראשונה, באפריל 2014.

בנובמבר 2019, בזמן שליפת המלכודות מן הים, נקרע כבל הפלדה עליו תלוי המערך וכולו שקע ואבד בים. המדידות חודשו רק באוגוסט 2021 במערך מצומצם הכולל רק מלכודת אוטומטית חדשה המודדת ברזולוציה של 2-4 ימים.

השטף החלקיקי בעמודות המים בצפון המפרץ בעל מחזור עונתי ברור, עם שטפים גדולים יותר בעונה בה היצרנות במפרץ גבוהה, בחורף ובאביב (איור ד43). לא כל החומר החלקיקי הוא ממקור ביוגני בעמודות המים, ובשטפים היומיים ניתן להבחין באירועי אבק חזקים כפי שאירעו בפברואר, ספטמבר ונובמבר 2015, ובאירועי גשם ושיטפונות באותה שנה. בחורף 2016 נמדדו שני שיאים קצרי מועד, ב-30 בדצמבר 2015, וב-14 בינואר 2016, שיאים אלה אינם מתיישבים עם גורמים חיצוניים מוכרים, כגון סופות אבק ושיטפונות, ומייצגים – כנראה – דינאמיקה פנימית של ערבול בעמודות המים. עדיין לא ברור מה גרם לשיאים אלה בשטף החלקיקי, וממצא זה מצוי כעת בתהליך של מחקר. בינואר 2017 נמדד במלכודת המוצבת בעומק 400 מטר ומודדת ברזולוציה גבוהה שטף קצר וגבוה במיוחד. מדידה זו גבוהה פי שתיים ויותר ממדידות השיא של השנים הקודמות, ובסדר גודל יותר מערכי הרקע הממוצעים. בסמיכות לתאריך זה לא זוהה שום גורם חיצוני שיכול ליצור שיא שכזה, ונראה שמקורו בתהליכי הסעה פנימיים בעמודות המים. לצערנו, אין בידנו מדידות מחורף 2022, בו היה ערבוב עמוק והוחמצה ההזדמנות לבחון את השפעת הערבוב העמוק על השטף החלקיקי. בסוף דצמבר 2022 נמדד שיא קצר בשטף החלקיקי, אולי בהקשר לאירועי גשם

וזרימת נגר באזור אילת. השנה, נמצאה התבנית העונתית הצפויה של שטף גבוה בחורף ונמוך בחודשי הקיץ, ללא אירועים חריגים.



איור ד45: שטפי חומר חלקיקי בעמודת המים מאז תחילת 2014. המדידה ברזולוציה גבוהה 2-4 ימים כפי שנתפסה במלכודת האוטומטית המוצבת בעומק 400 מטרים.

Figure D45: Particulate fluxes caught in sediment traps since early 2014. High resolution (2-4 days) measurements captured in the automatic sampling trap placed at 400 meters depth.

במידות השנים הראשונות נמצא שהשטף החלקיקי העמוקים גבוה מזה במים הרדודים והזכר נכון בפרט בחודשי החורף. בחודשי הקיץ בהם השטף נמוך, ההבדלים בין העומקים קטנים. התמונה שהתקבלה ברזולוציה יומית תאמה את השטף החודשי הממוצע אשר נלכד במלכודות הצינור ועם זאת, ניכרה השפעתם הגדולה של אירועים קצרי מועד על הממוצע החודשי. נובע מכך שהבדלים בין שנים עשויים להיות גדולים בהיותם מונעים במידה רבה על ידי מספר קטן של אירועים בדידים וחזקים.

ה. מדידות סביבתיות בתדירות גבוהה

ה.1. כלורופיל בפני הים בשמורת חוף אלמוג

מטרה

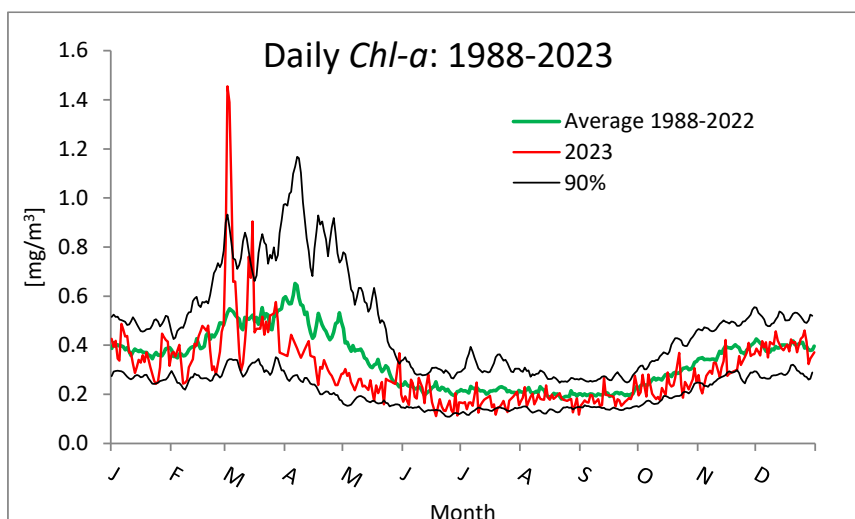
מעקב רציף ורב שנים אחר שינויים בכמות פיטופלנקטון באזור השונית של שמורת האלמוגים.

שיטות

מדידה יומית של ריכוז כלורופיל a במים כמדד לשינויים בכמות הפיטוקלנקטון. מדי בוקר בין שמונה לתשע נלקחות שתי דגימות מים של 300 מ"ל כל אחת ממי השטח בנקודה קבועה במזח המצפה התת-ימי מעבר לשולחן השונית, בקדמתה. המים מסוננים במקום דרך רשת $100\mu\text{m}$ להוצאת זואופלנקטון, ומובאים למדידה במעבדה, שם מסוננת כל דוגמה על פילטר GF/F. מיצוי הכלורופיל נעשה ב-10 מ"ל Acetone (90%) במשך 24 שעות בחושך ב-4°C. האצטון כולל בופר של מגנזיום קרבונט. מדידת ריכוז הכלורופיל מתבצעת בפלואורומטר (Turner Designs TD-700) ומכוילת באמצעות מדידה יומית של סטנדרט עם הדוגמאות. מדידות הכלורופיל היומיות נערכות במתכונת זו מאז שנת 1988 (תחילתן במעבדתו של פרופ' אמציה גנין), ומספקות מדד ארוך טווח מעבר לתקופת פעילותה של תכנית הניטור. עבור ימים בהם לא נדגם הכלורופיל (סופי שבוע וחגים) נעשתה אינטרפולציה להשלמת הנתונים החסרים.

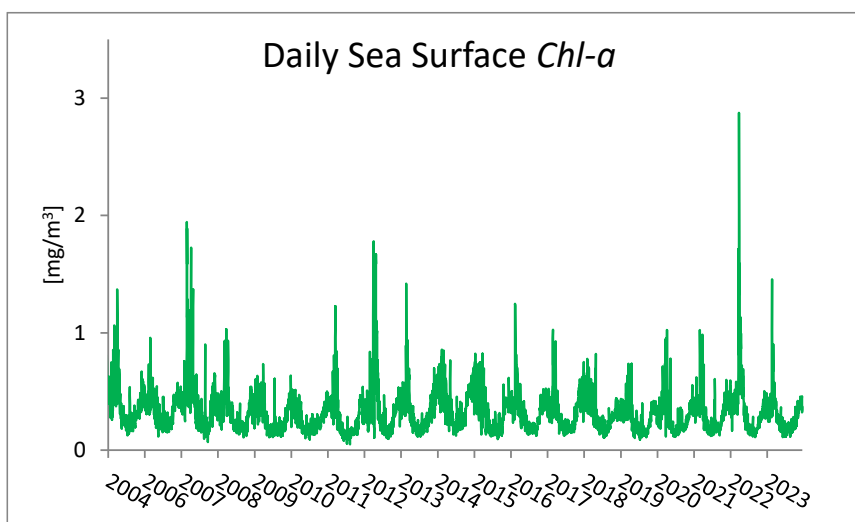
תוצאות

בתחילת השנה, במשך רוב החורף והאביב, היו ריכוזי הכלורופיל בסמוך לשונית נמוכים בהשוואה למוצע הרב-שנתי (1988-2022), אך שיא הפריחה הגיע מוקדם, בתחילת חודש מרץ, והיה גבוה בהשוואה לרוב התצפיות במועד זה (איור ה-1). הערך המירבי שנמדד אז היה 1.455 mg/m^3 , ב-2 במרץ. ערך זה הוא בערך מחצית מהערך המרבי אשר נמדד בשנה הקודמת, בעקבות הערבוב העמוק שהיה אז, 2.875 mg/m^3 ב-7 באפריל 2022. הפריחה השנה היתה גם קצרה וכאמור, בדרך כלל היו ריכוזי הכלורופיל נמוכים בהשוואה לרוב השנים בהן נעשתה המדידה. חשוב לציין כי ריכוז הכלורופיל המרבי אשר נמדד בתחילת מרץ השנה הוא הגבוה ביותר אשר נמדד בשנים בהן אין ערבוב עמוק של עמודת המים. בתקופת הניטור היו השנים 2012 ו-2007-2008 שנים של ערבוב עמוק. בשנת 2012 היה ריכוז הכלורופיל המרבי 1.78 mg/m^3 , בשנת 2008 הייתה פריחה ארוכה אך ריכוז הכלורופיל המרבי הגיע ל- 1.03 mg/m^3 בלבד, ובשנת 2007 היה הריכוז המרבי 1.95 mg/m^3 (איור ה-2). ריכוז הכלורופיל אשר נמדד בשנה הקודמת (2022) הוא הגבוה ביותר אשר נמדד בסמוך לשונית במסגרת הניטור הלאומי. בסדרת הזמן הארוכה יותר (מאז 1988) ישנן רק שתי מדידות גבוהות יותר, בשנת 2000, 3.05 mg/m^3 , ובשנת 1992, 3.35 mg/m^3 . מהתבוננות בסדרת הזמן של ריכוזי כלורופיל בפני הים ליד שמורת האלמוגים ניכר כי ריכוזי כלורופיל גבוהים במיוחד נמדדו בשנים של ערבוב עמוק. הערבוב בשנת 2022 ככל הנראה לא היה עמוק יותר או ממושך יותר מאירועי הערבוב העמוק הקודמים בתקופת הניטור והסיבה לערכים הגבוהים יותר השנה קשורה אולי למשך הזמן הארוך מאז הערבוב הקודם (בשנת 2012). במדידות ריכוזי הכלורופיל היומיות בסמוך לשונית האלמוגים לא מזוהה מגמה ארוכת טווח של עליה בריכוזי הכלורופיל. למעשה, ישנה אולי מגמה חלשה של ירידה בריכוזי הכלורופיל לאורך זמן.



איור 1: ריכוז כלורופיל a בפני הים בשמורת חוף אלמוג (בסמוך למזח המצפה הימי). קו אדום - בשנת הניטור 2023, קו ירוק - ממוצע רב שנתי (1988-2022), קוים שחורים גבולות 90% מהנתונים שהצטברו כולל השנה הקודמת.

Figure E1: Chlorophyll- a concentrations sampled daily at the Underwater Observatory pier in 2023 (red line) and the long-term average (1988-2022, green line). Black lines mark the 90% of accumulated data including the previous year.



איור 2: ריכוז כלורופיל a בפני הים בשמורת חוף אלמוג (בסמוך למזח המצפה הימי) במשך תקופת הניטור.

Figure E2: Chlorophyll- a concentrations at the sea surface, sampled daily at the Underwater Observatory pier since 2004.

ה.2. טמפרטורת המים בפני הים בשמורת חוף אלמוג

מטרה

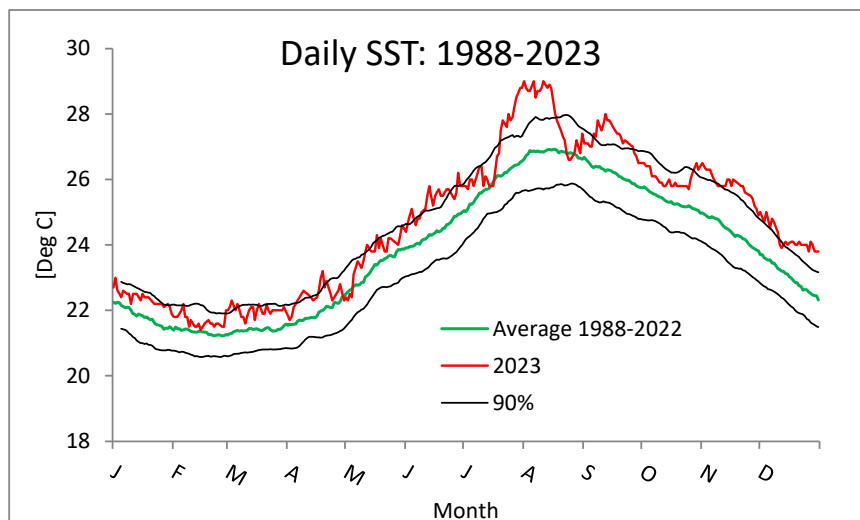
מעקב רציף ומתמשך אחר טמפרטורת המים בפני הים בסמוך לשונית האלמוגים.

שיטות

טמפרטורת המים בפני הים נמדדת בצמידות למדידה היומית של הכלורופיל בקצה מזח המצפה הימי, בעזרת מד חום כספית מדויק עד כדי עשירית המעלה. עבור ימים בהם לא נדגם הכלורופיל (סופי שבוע וחגים) נעשתה אינטרפולציה להשלמת החוסרים.

תוצאות

במשך כל השנה היתה טמפרטורת פני הים בסמוך לשונית גבוהה בהשוואה לערך הממוצע הרב-שנתי מאז 1988. בתחילת השנה, בחודשי החורף והאביב היה ההבדל בין הערכים קטן, אך הוא גדל לתוך הקיץ וחודשי הסתיו. מאמצע חודש יולי ועד לאמצע אוגוסט היתה טמפרטורת פני הים גבוהה בכ- 1.5 מעלות בהשוואה לממוצע הרב-שנתי (איור ה-3). הערכים הגבוהים של יולי-אוגוסט חרגו מעבר לגבולות 90% של סך המדידות משנים קודמות, אך עם זאת רובן לא היו הגבוהות אשר נמדדו אי-פעם על ידי התכנית. עליית הטמפרטורה מאמצע חודש יולי היתה מהירה ביותר: בשבוע שבין 16 ביולי ל-22 בו התחממו פני הים ב- 1.9 מעלות. בשבועיים וחצי שבין ה- 16 ביולי ועד ה-1 באוגוסט התחממו פני הים ב- 3.2 מעלות. הטמפרטורה המרבית שנמדדה השנה במסגרת זו היתה 29.0° מעלות, בתחילת אוגוסט, גבוהה במעלה שלמה מאשר בשנה הקודמת, אך נמוך מהערך המרבי אשר נמדד ב-8 באוגוסט 2021, 29.9° . הטמפרטורה הנמוכה אשר נמדדה השנה היתה 21.4° , ב-14 במרץ (לעומת 20.8° בשנה הקודמת (2022) בה היה ערבוב עמוק של עמודת המים).

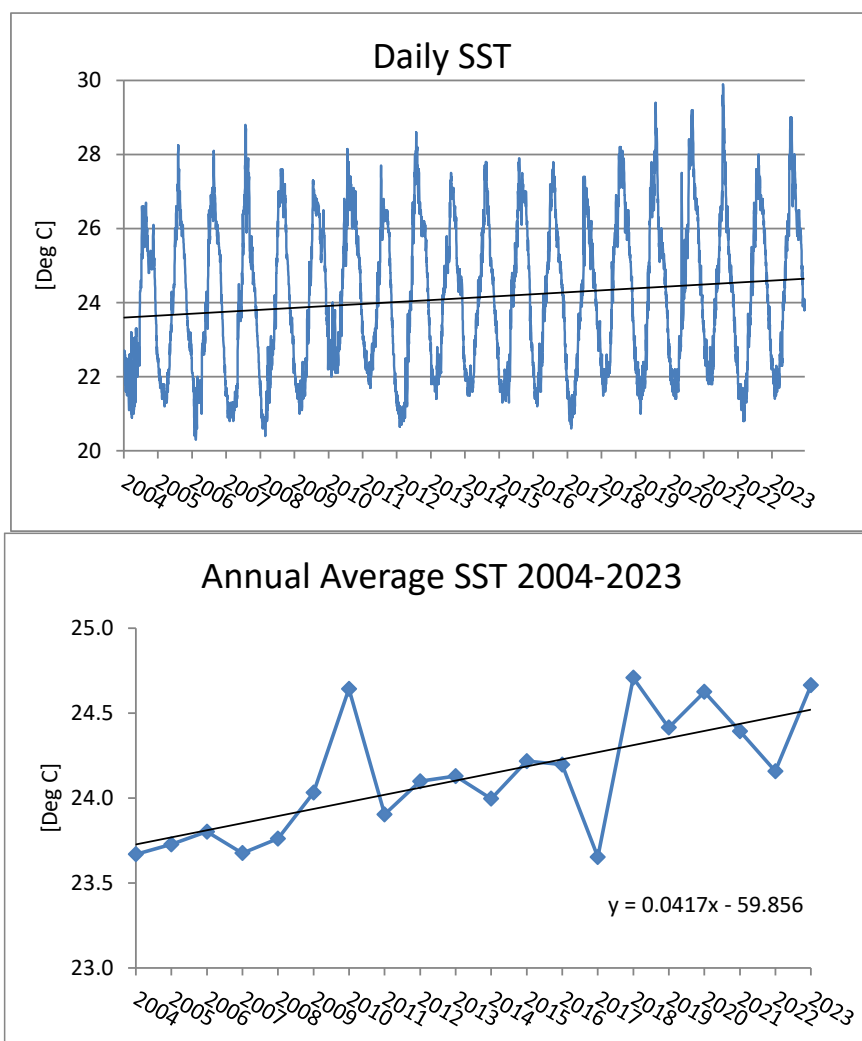


איור ה-3: טמפרטורת המים בפני הים בשמורת חוף אלמוג (בסמוך למזח המצפה הימי). קו אדום - שנת הניטור 2023, קו ירוק - ממוצע רב שנתי של המדידות היומיות 1988-2022, קווים שחורים גבולות 90% מהנתונים שהצטברו כולל השנה הקודמת (מוחלקים באמצעות ממוצע זז של שבועה ימים).

Figure E3: Daily sea-surface temperatures measured from the Underwater Observatory pier during 2023 (red line), the average SST for 1988-2022 (green line), and the black lines mark the 90% of accumulated data including the previous year (smoothed by 7-day running mean).

השנה הייתה טמפרטורת פני הים הממוצעת 24.7° , כחצי מעלה גבוהה יותר מאשר בשנה הקודמת. מאז שנת 1988 נרשמת מגמה של עלייה בטמפרטורת פני הים הנמדדת מדי יום בסמוך למצפה התת-ימי ומגמת החימום התעצמה בתקופת הזמן של תכנית הניטור, מאז 2004 (איור ה-4). מאז שנת 1988 עולה טמפרטורת פני הים השנתית הממוצעת בשיעור ממוצע של כ- 0.34 מעלות בכל עשר שנים ומאז 2004 בכ- 0.42 מעלות בכל עשר שנים. בשנת 2018 נרשמה טמפרטורת פני הים השנתית הממוצעת הגבוהה ביותר במסגרת מדידות אלה (24.71°).

ממדידות הטמפרטורה היומיות בסמוך לשוניית בין 1988-2023 מצטיירת מגמת חימום רב-שנתי של פני הים (בשיעור ממוצע של כ- 0.37 מעלות בעשר שנים). מאז תחילת הניטור בשנת 2004 שיעור החימום הממוצע גבוה יותר – 0.52 מעלות בכל עשר שנים. לשם השוואה, מגמת חימום פני הים העולמית עבור תקופה זו היא כ- 1.5 מעלות במאה שנה (ncdc.noaa.gov). משמע, פני בים באילת מתחמם בקצב מהיר הרבה יותר מהקצב העולמי.



איור 4: למעלה: טמפרטורת המים בפני הים בשמורת חוף אלמוג (בסמוך למזח המצפה הימי) מאז 2004. קו הרגרסיה מייצג מגמה ארוכת טווח של עליית טמפרטורת פני המים מאז 1988 (נתונים באדיבות פרופ' אמציה גנין). למטה: הטמפרטורה השנתית הממוצעת מאז שנת 2004.

Figure E4: Top – Daily sea surface temperatures measured from the Underwater Observatory pier since 2004. Linear regression represents the long-term trend of rising SST since 1988 (data courtesy of Prof. Amatzia Genin). Bottom – Annual average SST since 2004.

ה.3. משתנים מטאורולוגיים

מדידות מטאורולוגיות רציפות נועדו להשלים את התמונה האקולוגית באבחון שינויים ארוכי טווח במשתנים אקלימיים להם עשויה להיות השפעה על התנאים האקולוגיים (כגון שינויים בעוצמת הקרינה, טמפרטורת המים, תדירות ועוצמת סערות), ולבחון אירועים אקלימיים נקודתיים והשפעתם על המערכת האקולוגית (כגון אירועי שפל, סערות, ערכי חום וקרינה קיצוניים). בקיץ 2006 (21.9.2006) הוקמה על ידי תכנית הניטור תחנה מטאורולוגית בקצה המזח של המכון הבין-אוניברסיטאי באילת (מיקום: $34^{\circ} 55.068' E$ $29^{\circ} 30.211' N$).

מטרה

מעקב רציף ומתמשך אחר משתנים מטאורולוגיים במפרץ.

שיטות

התחנה המטאורולוגית של תכנית הניטור כוללת מגוון של חיישנים (טבלה ה1), ומבצעת מדידות רציפות של המשתנים הבאים: טמפרטורת האוויר, לחות יחסית, לחץ ברומטרי, קרינה גלובלית, מהירות הרוח, כיוון הרוח, טמפרטורת המים ולחץ מים (= מפלס הים). החיישנים מחוברים לרשם-נתונים (data-logger) והמערכת כולה מצויה מעל הים ופועלת באופן עצמאי (איור ה5), כאשר נתונים מועברים אוטומטית לשרת המכון הבינאוניברסיטאי.

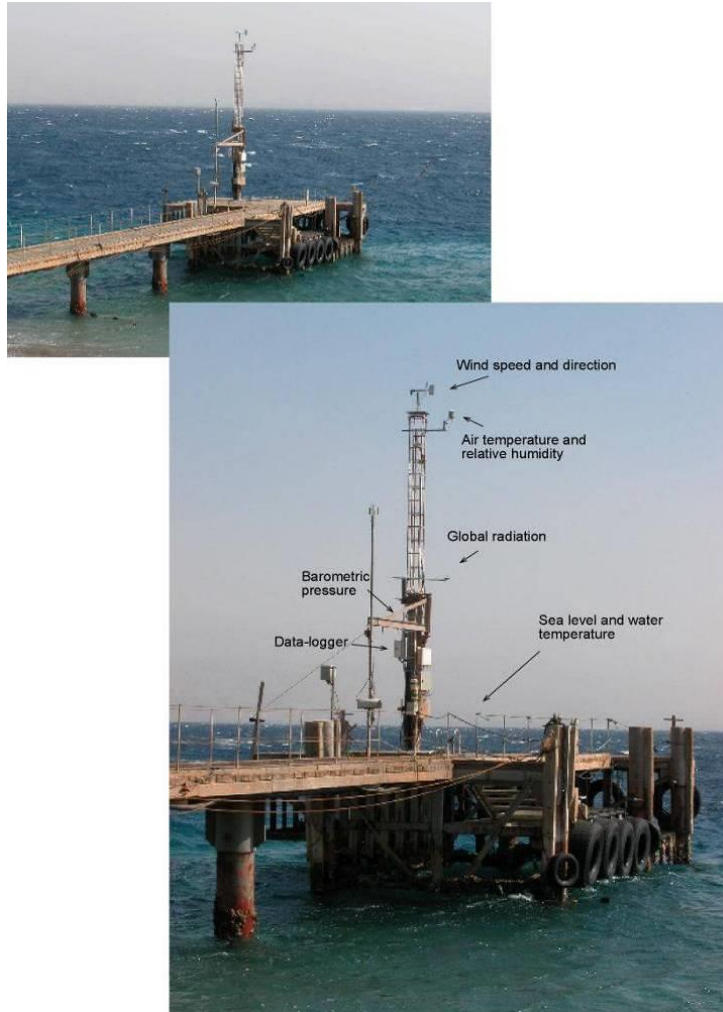
באביב 2010 (26.5.2010) הוספו שני חיישני קרינה לתחנה המטאורולוגית לצד חיישן הקרינה הגלובלית; חיישן לקרינה אולטרא-סגולית (UV), וחיישן לקרינה באורך גל הזמין לפעילות פוטוסינתטית (PAR). שני החיישנים הוספו בעקבות התייעצויות עם חוקרים המתמקדים באספקטים שונים של אקולוגיה בשונית (כגון יצרנות ומחלות אלמוגים) ותהליכים פוטוסינתטיים ופוטוכימיים בים, עקב חשיבותם הרבה של אורכי גל אלה לאקולוגית המפרץ.

אירועי גשם נרשמים ידנית וכמות הגשם נמדדת במד גשם זעיר (מג"י) שהציבה תכנית הניטור על גג המכון. הזמן לפיו נרשמים הנתונים המטאורולוגיים הוא שעון החורף של ישראל (GMT+2).

טבלה ה1: רשימת הרגשים המרכיבים את התחנה המטאורולוגית בקצה המזח של המכון הבין-אוניברסיטאי.

Table E1: Setup of the meteorological station at the end of the IUI pier, list of sensors.

Description	Manufacturer	Model
Wind monitor MA (speed & direction)	Young	05106
Air temperature and relative humidity	Campbell	HMP45C
Casing for temp & RH	Campbell	41003
Barometric pressure	Young	61202
Barometric pressure port (to minimize wind effect)	Young	61002
Global radiation	Kipp&Zonen	CM11B
UV radiation	Apogee	SU-100
PAR radiation	Li-Cor	LI-190SA
Water pressure	Campbell	CS455
Water temperature	Campbell	108
Data logger	Campbell	CR1000



איור ה-5: התחנה המטאורולוגית בקצה המזח של המכון הבין-אוניברסיטאי.

Figure E5: The meteorological station at the end of the IUI pier.

מהירות וכיוון הרוח, וטמפרטורת האוויר והלחות נמדדים מראש התורן שבקצה המזח, כעשרה מטרים מעל לפני הים (בזמן שפל). מד הלחץ הברומטרי ממוקם כחמישה מטרים מעל הים ומתוקן לגובה פני הים. החיישנים המודדים קרינה (גלובלית, UV, PAR) ממוקמים על זרוע במרחק 0.7 מטרים דרומית לתורן בכדי למנוע הצללה, כ-6 מטרים מעל הים. מד לחץ המים מקובע בצינור באורך 3 מטרים וקוטר של 3" המחובר אנכית אל העמוד המרכזי של המזח, ישירות מתחת לתורן. הצינור נועד לשכך את תנודות הגלים, ולצורך כך הוא פקוק בבסיסו בפקק בו קדוח חור בקוטר 3 מ"מ אשר מונע משינויי מפלס בעלי תדירות גבוהה להשפיע על החיישן. החיישן עצמו נמצא בעומק של כ- 75 ס"מ יחסית למפלס הים הרשמי של המפרץ – כיול גובה החיישן לפני הים נעשה באדיבותו של יוסי מלצר מהמרכז למיפוי ישראל. חיישן זה גם מודד את טמפרטורת המים. חיישן נוסף לטמפרטורת המים, שזה ייעודו היחיד, ממוקם כמטר עמוק יותר, מחוץ אל אותו עמוד מרכזי של המזח. כל המדידות מועברות לרשם-הנתונים הממוקם בקופסה עמידה למים על גבי התורן. מדידות כל המשתנים נרשמות בתדירות של שנייה, למעט מדידות מפלס הים אשר נרשמות בתדירות של דקה. רשם-הנתונים ממצע עשר דקות של מדידה לערך אחד הנשמר בזיכרוננו הפנימי. מדי שעה מחשב ייעודי מתקשר עם רשם-הנתונים ואוסף את נתוני השעה החולפת לאחסון על גבי שרת המכון. בנוסף לנתונים הממוצעים על פני עשר דקות, שומר רשם-הנתונים את מהירות הרוח המרבית ואת כיוונה, ואת סטיית התקן של הכיוון בפרק זמן של עשר דקות. בנוסף לאלה שומרת המערכת סיכום של נתוני היממה האחרונה: ערכי קיצון (מרכי ומזערי) של כל המשתנים והזמן בו נקלטו (עבור נתוני הרוח והקרינה נרשמים רק הערכים המרביים, יחד עם כיוון הרוח).

בנוסף לאלה מחזיקה תכנית הניטור יומן אירועים בו נרשמים אירועים חריגים העשויים להשפיע על הסביבה הימית ואינם כלולים בקטגוריות אחרות של המדידות המכשירניות.

תוצאות

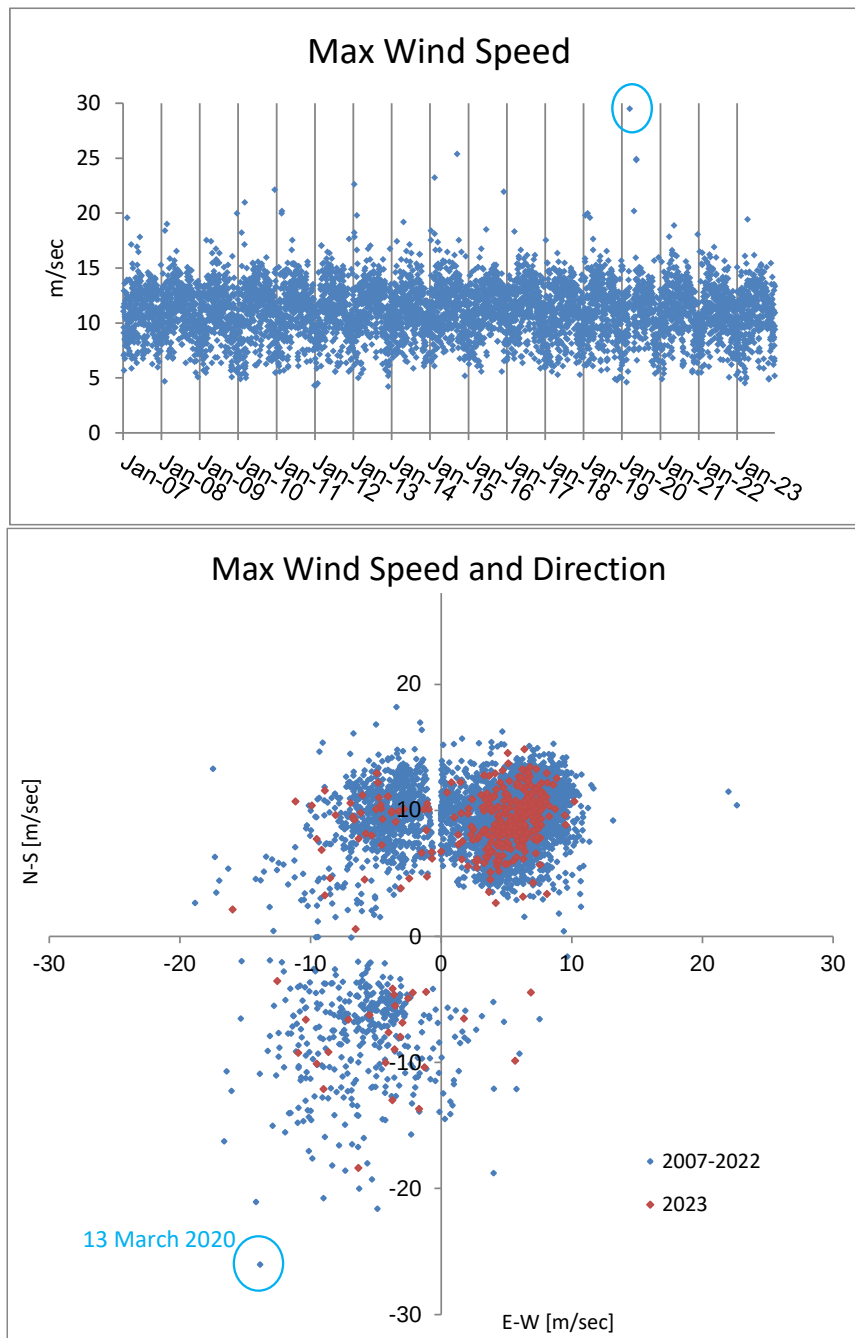
- רישומי יומן (כוללים אירועים ואיזכורים שאינם נכנסים למשבצות הניטור הקבועות):
- ינואר: עדויות ראשונות לתמותת קיפודי ים, בפרט בחוף הצפוני אך גם בשולחנות המים במכון
 - 28 ינואר: סערה דרומית קלה
 - 30 ינואר – פברואר: פריחה של פטרופודים
 - 3 פברואר: תמותה המונית של קיפוד הים *Tripneustes* בחוף הצפוני של אילת
 - 6 פברואר: דרומית קלה במשך היום
 - 28 פברואר: פריחת אצות, פיטופלנקטון. כלורופיל גבוה ומים ירוקים
 - 14 מרץ: רוח דרומית-מזרחית חלשה, גשם באילת ובערבה, במג"ז נמדדו 12.5 מ"מ
 - 25 מרץ: גשמים כתמיים חזקים, בסה"כ 7 מ"מ במכון. משבי רוח דרום – מערב – צפון.
 - 10 אפריל: דרומית. גשמים ושטפונות בערבה אבל לא באילת, אין זרימות לים
 - 29 מאי: סופת ברקים באילת, גשם ושטפונות במצפה רמון ובערבה
 - 1 יוני: סופת אסק חזקה בדרום הערבה, אובך באילת
 - 9 יוני: רוח דרומית-מערבית, אובך, טיפטוף קל
 - 13 יוני: אחר צהריים - ענן אבק עצום, סופת אבק שהגיעה מכיוון עקבה מלווה ברוחות חזקות, נמשך כשעה
 - 26 נובמבר: סערה דרומית
 - 11 דצמבר: גשם משעות הבוקר, זרימות לים, גם באזור קצא"א. במג"ז המכון 10 מ"מ
 - נרשמו שש מיכליות שנכנסו ריקות למסוף בקצא"א

בסך הכל תועדו השנה ששה אירועי גשם באילת ובסביבתה. סערות דרומיות השנה לא היו חזקות במיוחד והאירוע העיקרי הוא תמותת קיפודי הים.

מדדות אטמוספירות

רוח:

השנה, בדומה לשנתיים הקודמות, לא תועדו אירועי סערה חזקים (איור 6). על רקע זה בולטת הסערה החזקה של מרץ 2020, בה נשבו רוחות דרומיות חזקות במשך קרוב ליממה וגלים גדולים פגעו באזורי החוף וגרמו נזק ניכר למערכות טבעיות ולתשתיות אנושיות באזורי ים רדוד ורצועת החוף. הסערה במרץ 2020 היתה החזקה ביותר, בשיעור רב, מהסערות אשר נמדדו במסגרת תכנית הניטור ומהירות הרוח המרבית אשר נמדדה במכון הבינאוניברסיטאי הגיעה ל- 29.5 מטר בשניה (כ- 57 קשר) בתאריך 13/3/2020, בשעות הצהריים. מהירות הרוח הגבוהה ביותר אשר נמדדה השנה היתה 19.4 מטר\שניה (כ- 38 קשר) בסערה דרומית ב-10 באפריל.



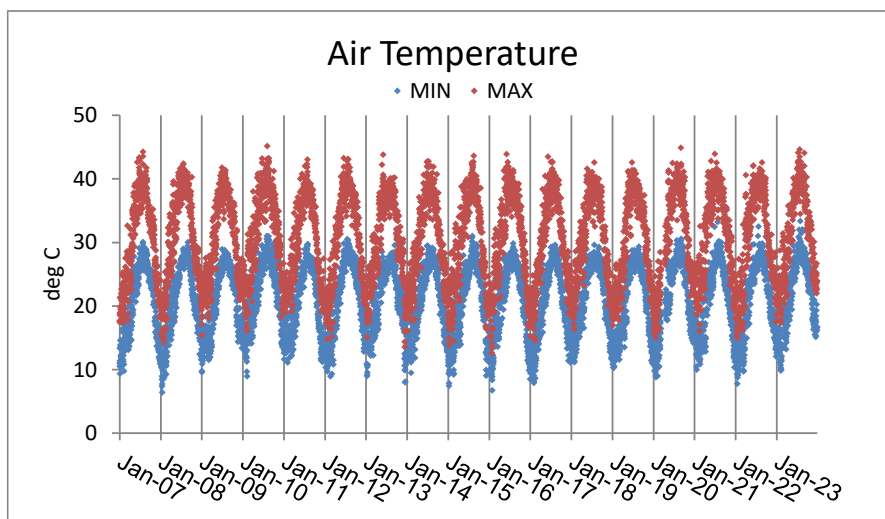
איור 6: למעלה- מדידות מהירות הרוח המרבית בכל יממה במטרים לשנייה. למטה- מהירות הרוח המרבית ביממה וכיוונה מאז תחילת 2007.

Figure E6: Top- Maximum daily wind speed (m/sec). Bottom- Maximum daily wind speed and direction since January 2007.

טמפרטורת האויר מעל הים:

טמפרטורת האויר מעל הים משקפת את המחזור העונתי בשינויים הדרגתיים של הטמפרטורה המרבית והמזערית בכל יממה (איור 7). הטמפרטורה הגבוהה ביותר אשר נמדדה השנה הייתה 44.6°C , בסוף חודש יולי, גבוהה מאשר בשנה הקודמת (42°C). הטמפרטורה הנמוכה ביותר השנה נמדדה בחודש פברואר, 9.9°C , גם זו גבוהה בכשתי מעלות בהשוואה לשנה הקודמת (7.8°C באמצע ינואר).

בחודשי הקיץ ההבדלים בין הטמפרטורה המרבית והמזערית ביממה (בשעות הערב ולפנות בוקר בהתאמה) גדולים מאשר בחודשי החורף. יש לציין כי הטמפרטורות נמדדות מעל הים ויש לצפות למשרעת ערכים קטנה יותר מזו המתקבלת מעל יבשה, זאת אומרת, ערכים מרביים נמוכים יותר וערכים מזעריים גבוהים יותר.



איור 7: ערכים מרביים ומזעריים (באדום ובכחול, בהתאמה) של טמפרטורת האוויר מעל הים, בכל יממה.
Figure E7: Maximum and minimum (red and blue, respectively) daily air temperature above the sea.

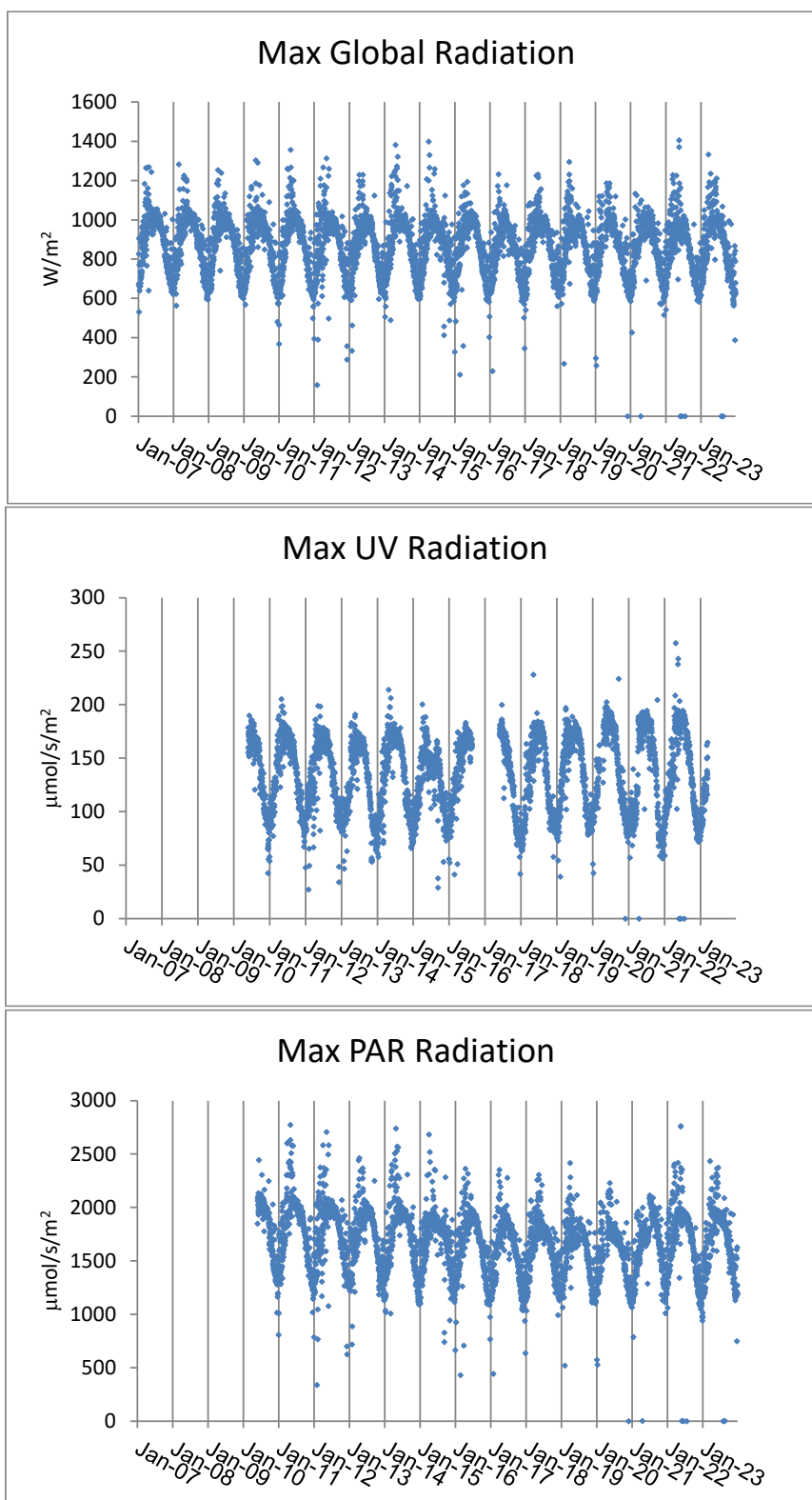
קרינה:

[חיישן הקרינה האולטרא-סגולה התקלקל בחודש אוגוסט 2016, והוחלף במאי 2017. חיישן ה- PAR הוחלף בשנת 2021 לאחר שנראה היה כי הערכים הנמדדים דועכים עם הזמן]
 הקרינה הגלובלית בעלת מחזור עונתי דומה לזה של טמפרטורת האוויר, אולם ערכים מרביים נמדדים לרוב בחודשי האביב. הקרינה החזקה ביותר במפרץ נרשמת בדרך כלל בין השעה 11 ל-1 בצהריים, ואילו טמפרטורת האוויר המרבית נרשמת לרוב אחר הצהריים המאוחרים. הקרינה המרבית שנמדדה השנה (1333 ואט\מטר רבוע, בחודש מרץ) הייתה נמוכה מאשר בשנה הקודמת, ודומה לערכים המרביים אשר נמדדו ברוב השנים (איור 8). מדידות הקרינה האולטרא-סגולה החלו להשתבש בחודש מרץ השנה, ואין בידינו מדידות מהימנות אחרי מועד זה. אנו בתהליך של החלפת החיישן.

הערך המרבי של הקרינה באורכי הגל האולטרא סגול (UV) אשר נמדד השנה, $164 \mu\text{mol/s/m}^2$ בחודש מרץ, זמן קצר לפני שאובחנה התקלה במדידות. זו מדידה נמוכה בהשוואה לערך המרבי בשנים קודמות אשר מתקבל לרוב בעונה מאוחרת יותר בשנה. הערך הגבוה ביותר אשר נמדד עד כה במסגרת תכנית הניטור (מאז קיץ 2010) הוא $257 \mu\text{mol/s/m}^2$, בסוף חודש אפריל 2022. ערכי קרינה אולטרא-סגולה גבוהים הינם לרוב מדידות ומעטות.

מדידות הקרינה באורך גל הזמין ליצרנות (PAR) הראו ירידה במשך הזמן, ובין השנים 2017-2020 היו הערכים נמוכים בהשוואה לשנים הקודמות. בשנת 2021 הוחלף חיישן המדידה מתוך חשש שהדעיכה קשורה להתעייפות החיישן ולאחר החלפת החיישן אכן נראה שישנה עליה והמדידות מהקיץ הקודם דומות לאלו של לפני מספר שנים. הערך המרבי השנה $2434 \mu\text{mol/s/m}^2$, בחודש מרץ, נמוך גם הוא מהערך המרבי של השנה הקודמת ($2761 \mu\text{mol/s/m}^2$ בחודש מאי 2022) שהיה הגבוה ביותר שנמדד עד כה על ידי התכנית, אבל בניגוד לאורכי הגל האחרים, בקרינת ה PAR נמדד ערך דומה גם בחודש מאי של שנת 2011.

לא תמיד ישנה התאמה בין זמני מדידות הערכים המרביים של סוגי הקרינות השונות (קרינה גלובלית, קרינת UV, וקרינת PAR), אם כי התבנית הכללית דומה. ישנה סטייה בעיקר בין הימים והשעות של ערכי הקרינה האולטרא-סגולה המרביים ובין זמני המדידות המרביות של הקרינה הגלובלית וקרינת ה-PAR. בנוסף, נראה כי עצמת הקרינה האולטרא-סגולה פוחתת במידה רבה יותר מהקרינה הכללית עם המעבר מקיץ לחורף.



איור 8: ערכים יומיים מרביים של קרינה גלובלית (למעלה), קרינה אולטרא-סגולה (באמצע) וקרינה זמינה לפוטוסינתזה (למטה).

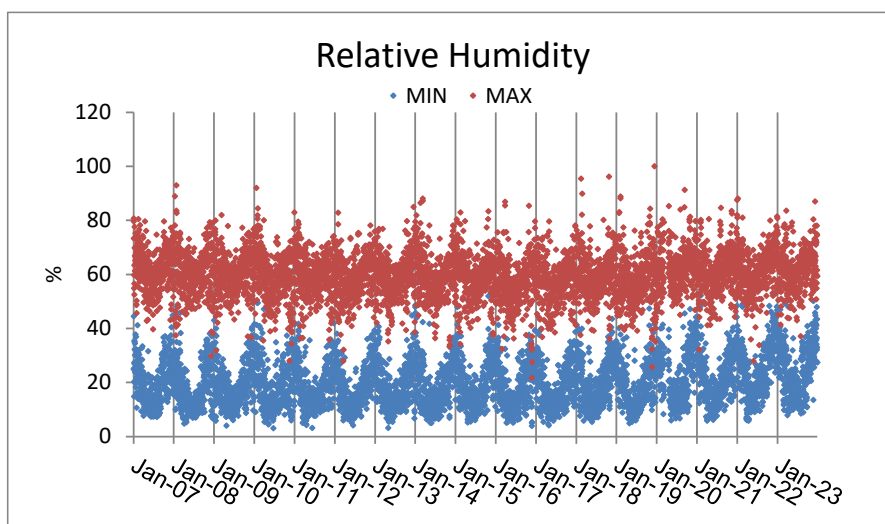
Figure E8: Maximum daily global radiation (top), ultraviolet radiation (middle) and photosynthetically available radiation (bottom).

לחות:

הלחות היחסית, כפי שנמדדת ממזח המכון מעל הים, מראה ימים של לחות גבוהה בעיקר באביב ובסתיו (איור

ה(9).

בשנים האחרונות נמדדה לעיתים לחות גבוהה בהשוואה למדידות של השנים 2007-2017 אך השנה לא נמדדה לחות גבוהה במיוחד. שינויים עונתיים במדידות הלחות היחסית קטנים בהשוואה למשרעת היומית הגדולה, ומונעים במידה רבה על ידי שינויים בכיוון ועוצמת הרוח. ערכי לחות נמוכים נמדדים בסוף החורף ובקיץ וערכים גבוהים יותר – הן של הלחות המרבית והן המזערית – נמדדים בסתיו ובחורף. הלחות המרבית נמדדת לרוב בשעות הלילה או הבוקר המוקדמות ואילו הלחות המזערית בשעות אחר הצהריים-ערב. רוחות דרומיות גורמות לרוב לעליה בלחות. גם כאן יש לזכור כי ערכים אלה נמדדים מעל הים וצפויים להיות שונים (גבוהים) מהלחות הנמדדת ביבשה באזור אילת.



איור 9: ערכים מרביים ומזעריים (באדום ובכחול, בהתאמה) של לחות יחסית מעל הים, בכל יממה.

Figure E9: Maximum and minimum (red and blue, respectively) daily values of relative humidity over the sea.

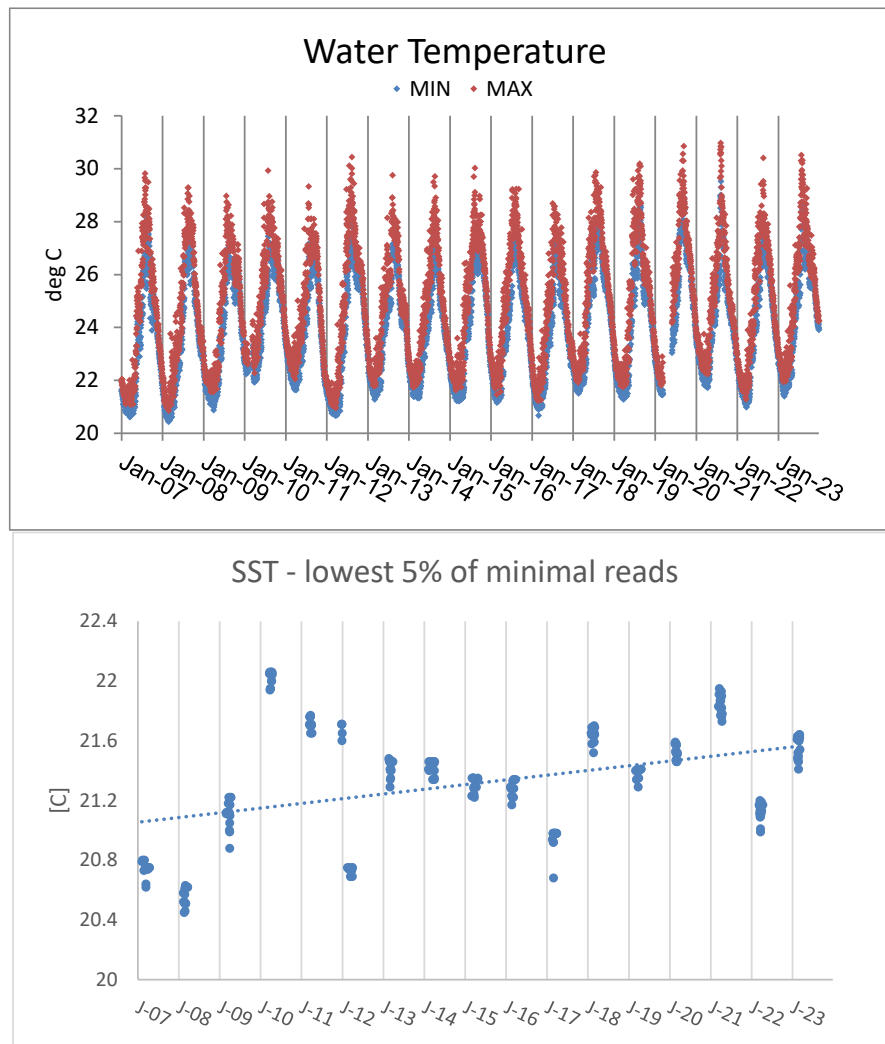
מדידות בים

טמפרטורת פני הים:

במדידות טמפרטורת המים (עומק כ-2 מטרים) ניתן לעקוב אחר המחזור העונתי בו טמפרטורת המינימום ($^{\circ}\text{C}$) 21.5 בפברואר השנה) היתה גבוהה בכחצי מעלה מהטמפרטורה מזערית של השנה הקודמת, 21.0°C , אשר הובילה לערבוב עמוק של עמודת המים. טמפרטורת המקסימום שוב היתה השנה גבוהה מאד, 30.5°C בסוף יולי, דומה לשנה הקודמת אך נמוכה מעט מהטמפרטורה המרבית של שנת 2021, 31.0°C , אשר היתה הגבוהה ביותר שנמדדה במסגרת זו (איור 10).

הטמפרטורה הנמוכה שנמדדה בשנת 2022 בה היה ערבוב עמוק אחרון (21.0°C), היתה גבוהה מעט מהטמפרטורה המזערית שנמדדה בחורפים 2017 ו-2009 בהם לא היה ערבוב עמוק במיוחד (20.7°C ו- 20.7°C ו- 20.6°C , בהתאמה) ובחורפים 2012, 2008 ו-2007 בהם היה ערבוב עמוק (20.7°C , 20.5°C ו- 20.6°C , בהתאמה).

כאשר מתבוננים על הטמפרטורות המזעריות בכל שנה (5% מהימים הקרים ביותר בכל שנה, 18 הקריאות המינימליות הנמוכות ביותר בכל שנה) נראה כי במשך תקופת הניטור ישנה עלייה מתמשכת של טמפרטורות המינימום במפרץ (איור 10, למטה).



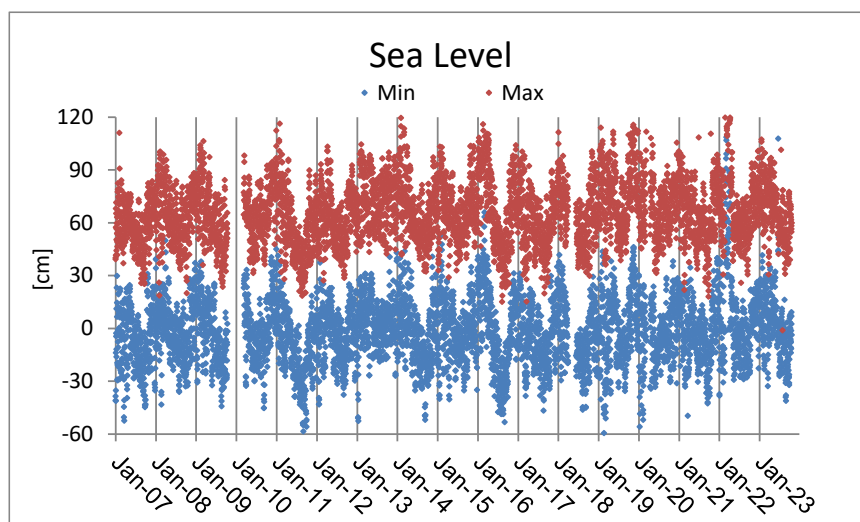
איור 10: ערכים יומיים מרביים ומזעריים (באדום ובכחול, בהתאמה) של טמפרטורת המים (בעומק כ-2 מ'). למטה, 18 הימים הקרים ביותר בכל שנה (5% מהקריאות היממיות המזעריות).

Figure E10: Maximum and minimum (red and blue, respectively) daily water temperature at ~2m depth. Bottom, the coldest 18 days of every year (lowest 5% of minimal daily SST)

מפלס ים:

[מדידות מפלס הים בין 15 באוקטובר 2009 ו-10 במרץ 2010 נמצאו שגיאות והחיישן הוחלף וכויל. המדידות השגויות הוסרו מבסיס הנתונים של תכנית הניטור. בשנת 2012 שוב נמצאה סטייה של מדידות המפלס והותקן חיישן חדש ב-6 בנובמבר 2012. המדידות השגויות הוחלפו במדידות אשר נעשות על ידי המרכז למיפוי ישראל ממזח המכון הבינאוניברסיטאי. ובהמשך כויל החיישן מספר פעמים כנגד מדידות המפלס של המרכז למיפוי ישראל. בסוף חודש מאי 2018 חדל מד המפלס לעבוד וחיישן חדש הותקן בסוף יולי. מאז מכויל החיישן כל מספר שבועות כנגד מדידה ידנית ביחס לנקודת גובה שנקבעה על ידי המרכז למיפוי ישראל. בסוף חודש אוקטובר 2023 שוב התקלקל החיישן ואין בידינו מדידות מסוף השנה]

מפלס הים משתנה בעיקר במחזוריות חצי יממית של גאות ושפל. המחזור השנתי מורכב ממפלס ים גבוה בחודשי החורף ונמוך יותר בחודשי הקיץ (איור 11). בחודשי החורף גם נמדדות תנודות גדולות יותר במפלס הים המזערי ביממה, וזאת ככל הנראה בהשפעת הרוחות ומערכות האקלים הפחות יציבות בחודשים אלה. השנה לא נרשמו אירועי שפל קיצוניים בצפון המפרץ.



איור ה-11: ערכים מרביים ומזעריים (באדום ובכחול, בהתאמה) של מפלס הים, בכל יממה.
Figure E11: Maximum and minimum (red and blue, respectively) daily sea-level measurements.

ה.4. גלים וזרמים

מטרה

מעקב רציף ומתמשך אחר זרמי הים והגלים בקרבת שונית האלמוגים.

שיטות

גלים: גלי הים (עצמה ותדירות) נמדדים מול המכון הבינאוניברסיטאי באמצעות חיישן לחץ של חברת RBR, Solo-wave, המסוגל למדוד לחץ בתדירות גבוהה. לאחר מספר חודשי מדידות נסיוניות בשנת 2020-2021, אשר כללו גם סערה דרומית אחת הוחלט להציב את המכשירים על קו עיגון מעל עומק קרקעית של 30 מטרים ובעומק של 6.5 מטרים מתחת לפני הים. תנאי המדידה האופטימליים נקבעו על תדירות מדידה של 4Hz בפרצי מדידה של שתי דקות מדי חצי שעה. ז"א, ניתוח פרמטרים של גל מתוך 480 קריאות לחץ המתבצעות כל רבע שנייה וחזרה על המדידה מדי חצי שעה.

הצבה זו תוכל למדוד את הסערות הדרומיות באופן מיטבי, אך ככל הנראה לא תוכל למדוד במדויק את הגלים "הרגילים" שלהם אמפליטודה ואורך גל קטנים, והאנרגיה שלהם דועכת חזק עם העומק. לצורך איפיון הגלים הנמוכים והתדירים המיוצרים על ידי הרוחות הצפוניות במפרץ הוצמד במשך מספר שבועות חיישן דומה בעומק של כ-3 מטרים על גבי מבנה מתכת יציב מעל עומק קרקעית של כ-4 מטרים. בין שני המכשירים נעשה כיוול הדדי ונמצאה התאמה טובה. מדידה זו הופסקה לאחר שהגלים המרביים המופקים מרוחות צפוניות אופיינו.

מכיוון שהגלים במפרץ מונעים אך ורק על הרוחות, שיוך הגלים לכיוונים נעשה באמצעות צימוד בזמן למדידות הרוח המפורטות בפרק ה.3, למעלה.

זרמים: זרמים בקרבת פני הים (עומק של כ-2.5 מטר) נמדדו באמצעות חיישן של חברת Nortek, Aquadop, 300, אשר מודד את מרכיבי הזרם במישור בטווח של עד מטר וחצי סביב החיישן. החיישן מוצב על גבי חצובה מתכת אשר נבנתה במיוחד לצורך זה, עם חיבור אלומיניום לחיישן על מנת להמנע מהשפעה על מדידות הכיוון, ומקובעת לקרקעית באמצעות משקולות בטון. החצובה מוצבת מול המכון הבינאוניברסיטאי, במרחק של כ-45 מטרים צפונית למזח, בעומק קרקעית של כ-5 מטרים. עומק המדידה כ-2.5 מטרים מתחת לפני הים. מד הזרם מחובר לרשת המכון באמצעות כבל המתחבר במזח כך שנתוני הזרם זמינים בזמן אמיתי.

תוצאות

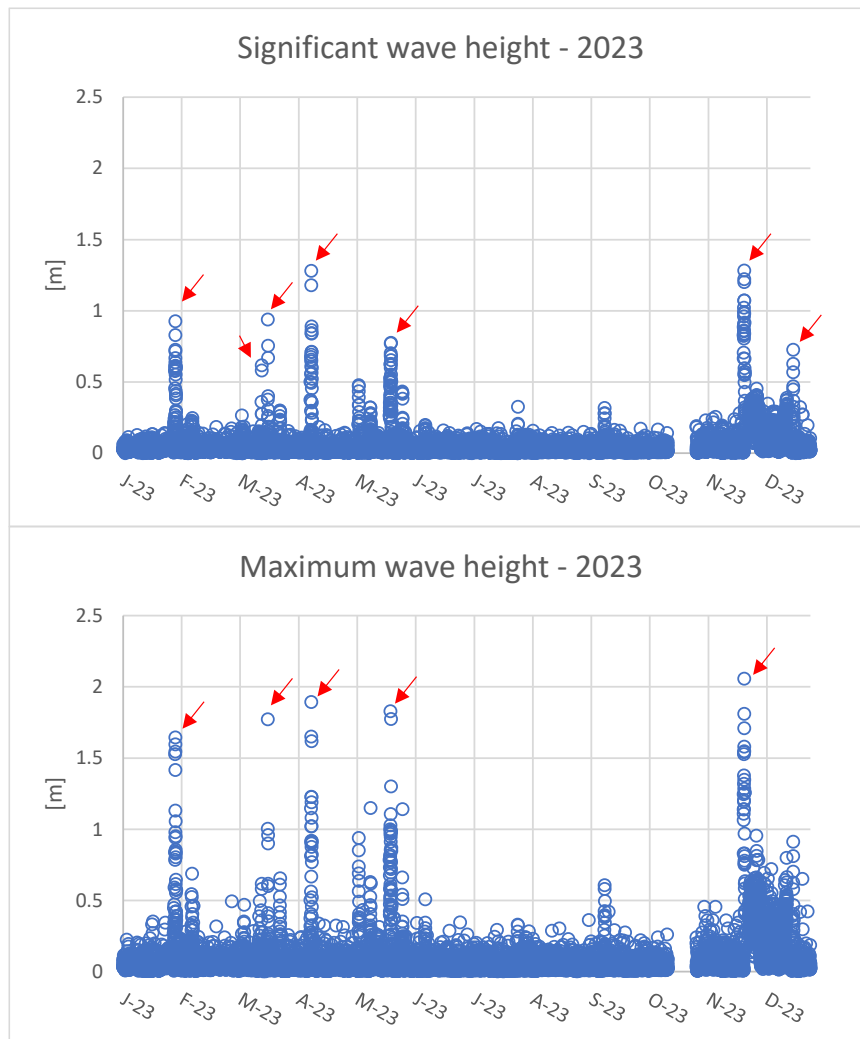
גלים:

ממדידות הגלים בהצבה הרדודה (נעשה בשנה הקודמת, 2021) נמצא שבמשטר רוחות צפוניות גובה גלים משמעותי (significant wave height) אינו עולה על 20 ס"מ מול המכון הבינאוניברסיטאי. וגובה הגלים המרבי (maximum wave height) תחת משטר רוחות זה קטן מ-0.5 מ'.

במשך השנה היו מדי פעם הפסקות במדידה שנבעו מהוצאה זמנית של החיישן לצורך טיפול ופריקת הנתונים. הפסקות מדידה אלה לא נעשו בזמנים של התרעה לסערות דרומיות. סערות דרומיות מתרחשות לרוב בחודשים הקרים שבין עונת הסתיו לאביב.

השנה נמדדו שבעה אירועים בהם גובה הגלים המשמעותי היה גדול מ-0.5 מטר, ומתוכם חמישה אירועים בהם גובה הגלים המרבי היה גדול מ-1 מ' (איור ה.12). במקרים אלה כיוון הרוח היה בדרך כלל מדרום-מערב, ובשני האירועים בהם גודל הגלים המרבי לא עלה על 1 מטר הרוחות היו יותר מערביות מאשר דרום-מערביות. גובה הגל המרבי שנמדד השנה היה 2.06 מטרים, ב-25 בנובמבר 2023, מעט נמוך בהשוואה לגל הגבוה ביותר שנמדד בשנה הקודמת (2.24 מטר, בפברואר 2022).

הקשר בין גלי סערה גבוהים ובין רוחות דרומיות חזקות במפרץ מודגם גם במאמר הבוחן את הגורמים המעצבים את פרופיל הסדימנט בסמוך לפני קרקעית הים בחוף הצפוני (Katz et al., 2022), בו נעשה שימוש בנתוני הגלים והרוחות שמדדה תכנית הניטור בשנת 2021.

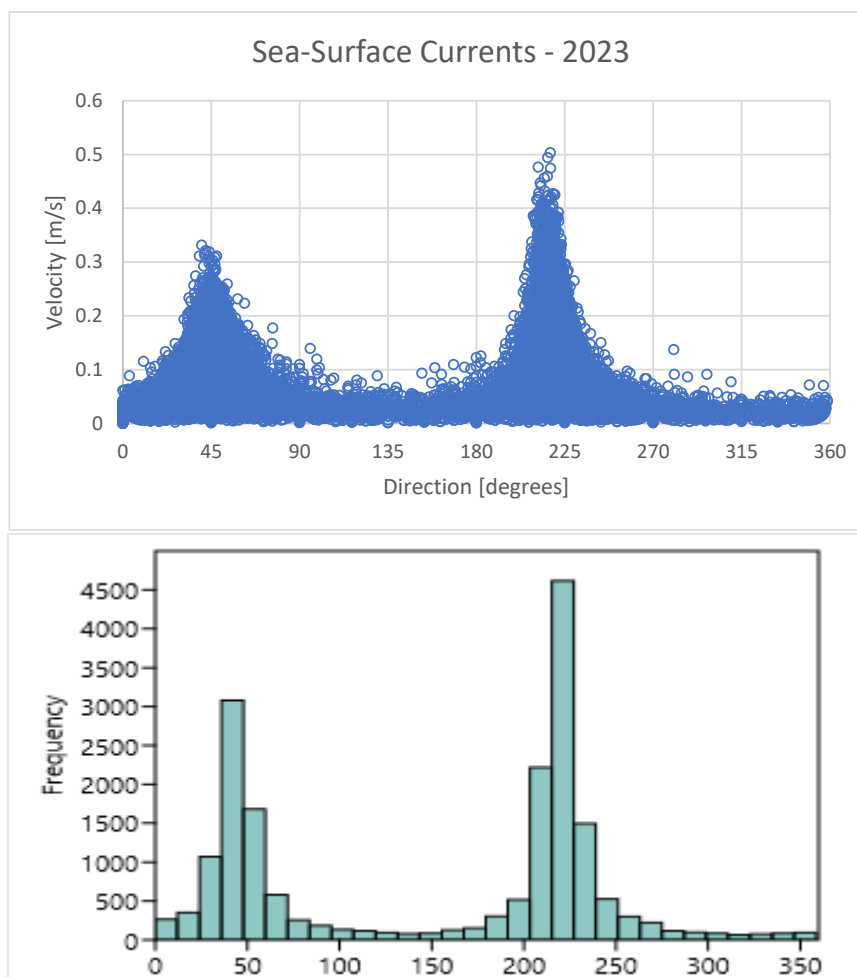


איור ה-12: גובה גלים משמעותי (למעלה) ומרבי (למטה). אירועים של רוחות דרומיות מלוות בגלים גבוהים מסומנים בחיצים אדומים.

Figure E12: Significant (top) and maximum (bottom) wave heights. Events of southern winds accompanied by high waves are marked with red arrows.

זרמים:

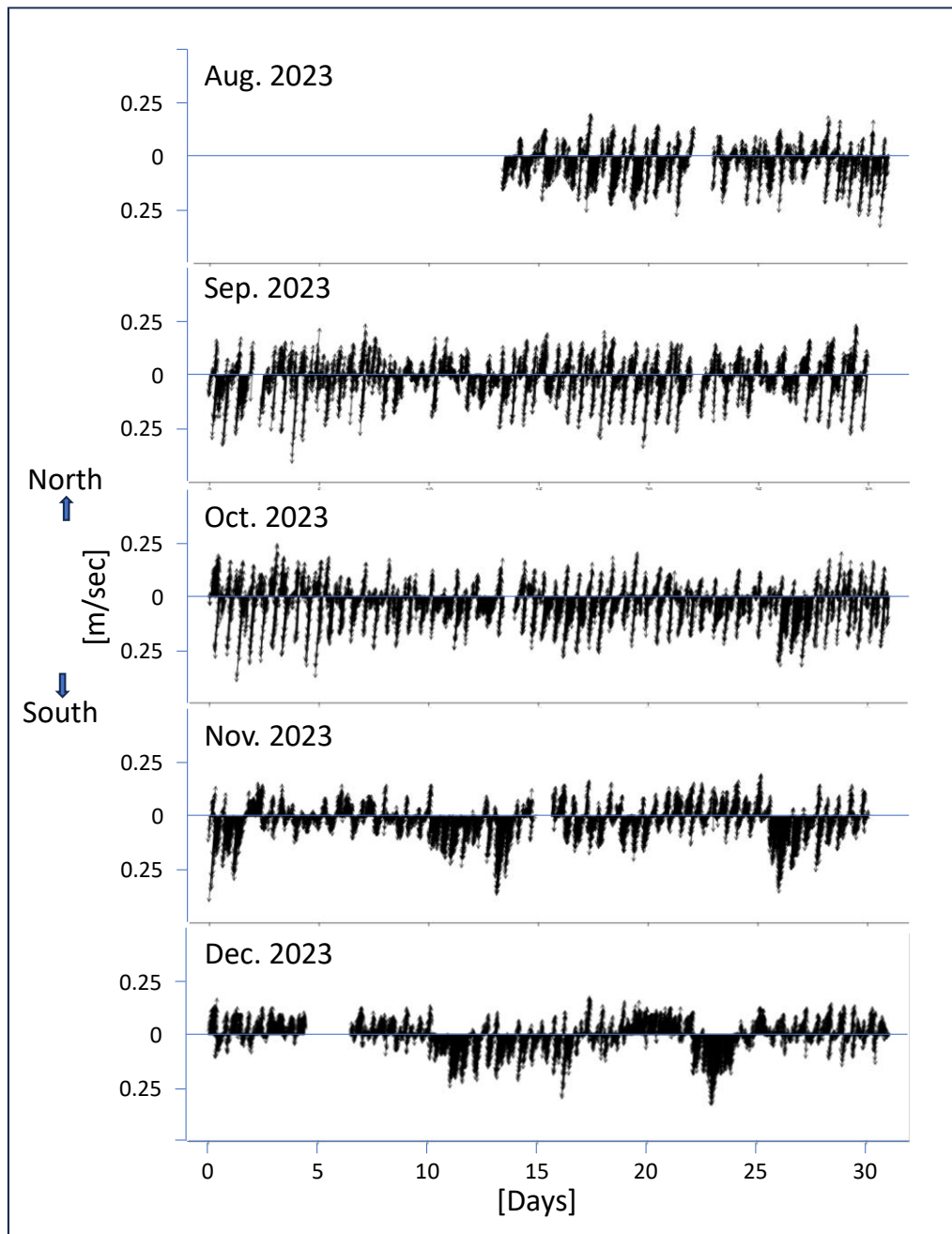
מד הזרם המיועד למדידת זרמים בקרבת פני הים מודד החל מקיץ 2022, אז נעשו בדיקות לקונפיגורציות הצבה שונות. מאמצע חודש אוגוסט השנה ישנם נתונים רציפים מהצבה קבועה כמפורט למעלה. הזרמים הדומיננטים בקרבת החוף באזור זה של המפרץ הם הזרמים המקבילים לחוף (כיוון צפ'מז'-דר'מע', איור ה-13). מבין הזרמים המקבילים לחוף, זרמים דרומיים (כיוון זרימה לדרום-מערב) נפוצים יותר וגם מגיעים למהירויות גדולות יותר. כמעט כל המדידות של מהירות גדולה מ-0.3 מ'שניה הן של זרמים בכיוון דרום-מערב.



איור ה-13: זרמים בסמוך לפני הים בקרבת המכון הבינאוניברסיטאי. הזרמים הדומיננטים מקבילים לחוף. למעלה, מהירות הזרם כנגד הכיוון; למטה, תדירות כיווני הזרמים.

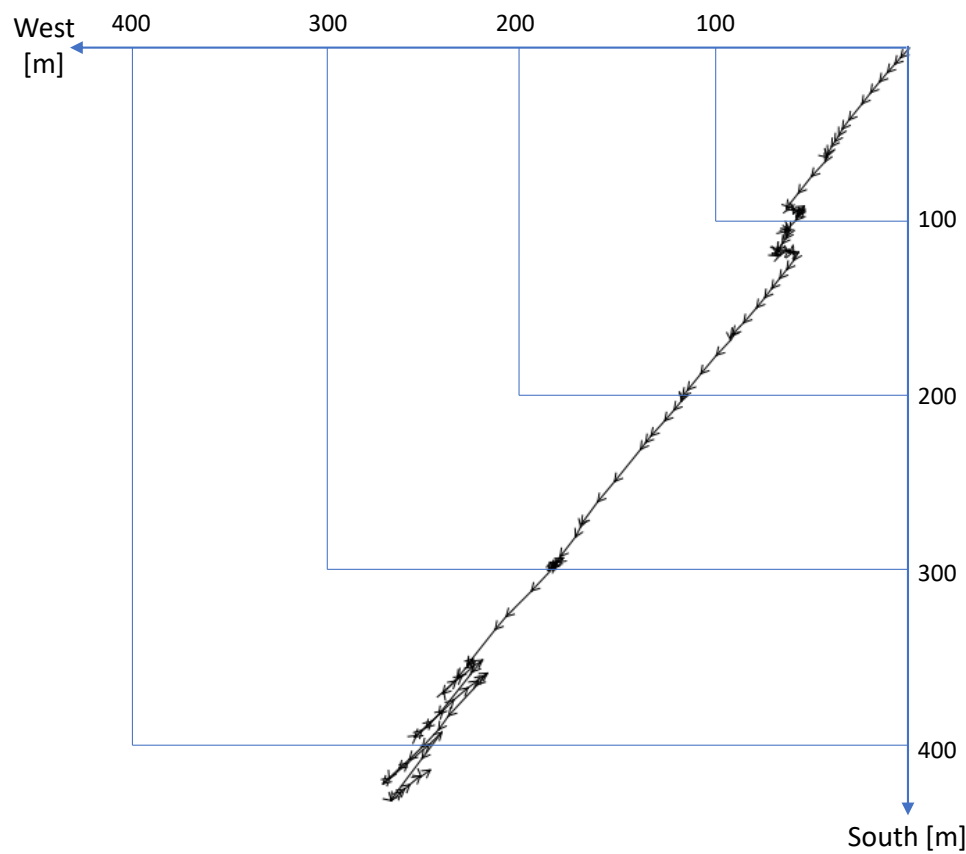
Figure E13: Near-surface currents off the Inter-University Institute. Long-shore currents are dominant. Top, current speed by current direction; bottom, frequency of direction occurrence.

הזרם מתהפך במחזוריות די סדורה, בהשפעת מחזורי הגאות והשפל (איור ה-14). עוד נראה כי הזרמים החזקים יותר נמדדים לקראת שיא הגאות או שיא השפל, כאשר הזרמים החזקים יותר נמדדו לקראת שיא גאות. סך תנועת הזרמים בין אמצע אוגוסט לסוף השנה הוא דרומה לאורך החוף (כיוון דרום-מערב) כאשר זו התנועה הברורה בכל חודשי הקיץ אך בחודש דצמבר סך התנועה הנמדדת היה כמעט אפסי (איור ה-15).



איור 14: מדידות של כיוון ומהירות הזרמים בפני הים מול המכון הבינאוניברסיטאי. כיוון הזרם מתחלף במחזוריות כמעט סדירה.

Figure E14: Measured current directions and velocities at the sea surface close to the IUI. Current direction switches in a near-regular fashion, governed by the tidal cycle.



איור ה-15: סך הסעת הזרמים מאמצע אוגוסט. כל חץ שחור מסמן את סך תנועת הזרם ביום אחד (כיוון ומרחק).
Figure E15: Overall motion of currents since mid-August. Each black arrow denoted the overall current movement of a day (direction and distance).

ה.5. אבק מרחף

מטרה

מעקב רציף וארוך-טווח אחר ריכוזי האבק המרחף מעל לצפון המפרץ.

שיטות

אבק מרחף נאסף על גבי פילטר נקי ($0.45\mu\text{m}$) דרכו נשאב אויר בעזרת משאבת ואקום הפועלת ברציפות. הפילטר מותקן בתושבת המורמת מעל מזח המכון הבינאוניברסיטאי בגובה של כ-4 מ' מעל הים ומוחלף מדי כשבוע, כך שכל שקילה מהווה אינטגרל שבועי. לאחר סופות אבק נבדקת יעילות השאיבה ואם יש צורך מוחלף הפילטר בתדירות גבוהה יותר. ריכוזי האבק ביחידות של משקל (אבק) לנפח (אוויר) מחושבים כמשקל האבק על גבי הפילטר במשך השבוע חלקי שטף האוויר דרך הפילטר באותו שבוע. בתנאי סערה מופסקת פעולת השאיבה על מנת למנוע זיהום הדוגמה או פגיעה במשאבה. מכיוון שכך, יתכן כי הרקורד השבועי אינו מלא, אך נשמרת אחידות תנאים לשם השוואה והערך המחושב (ריכוז) אינו נפגע מהפסקות אלה. פילטר האבק נשקל במאזנים אנליטיים עם רגישות של חמש ספרות (לפני ואחרי איסוף האבק) והטיפול כולו נעשה במעבדה נקייה. לאחר שקילת האבק וחישוב ריכוזו במכון הבינאוניברסיטאי, הפילטר נשלח למכון למדעי כדור הארץ לאנליזה גיאוכימית.

מדידות ריכוז האבק מעל צפון המפרץ הן חלק ממחקר ארוך טווח אשר מבוצע על ידי חוקרים מהמכון למדעי כדור הארץ באוניברסיטה העברית (בראשות פרופ' יגאל אראל ופרופ' עדי טורפשיין), ונתמך בחלקו על ידי תכנית הניטור. תכנית הניטור בתמיכתה במחקר עוקבת אחר כמויות האבק המגיעות למפרץ במחשבה שאבק עשוי להיות מקור חשוב לנוטריינטים, ובפרט יסודות קורט חיוניים.

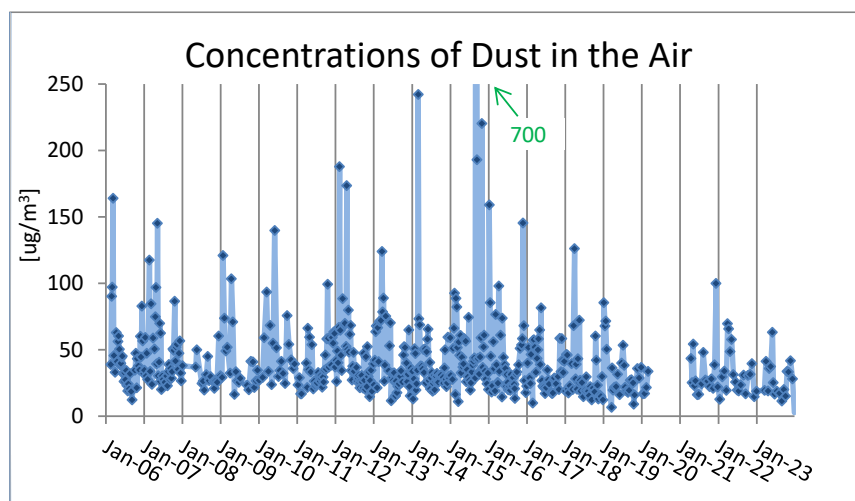
[מדידת האבק הרציפה, המופעלת במזח המכון נפגעה בסערה הגדולה של מרץ 2020, המדידות חודשו באפריל 2021.]

תוצאות

תכנית הניטור מדווחת על שינויים בזמן בריכוזי האבק מעל צפון המפרץ – "עומס" האבק המגיע לים. ניטור האבק נעשה באופן רציף מאמצע שנת 2006, מלבד הפסקות יזומות להגנה על הדוגמה כאמור לעיל ותקלות שחייבו החלפת משאבות – בעקבות הסערה של מרץ 2020 ישנה הפסקה במדידות אשר חודשו רק כעבור למעלה משנה, באפריל 2021.

במשך תקופת הניטור מסתמן מחזור עונתי של שינויים בכמויות האבק המגיע למפרץ. ריכוזי האבק באוויר גבוהים במיוחד בחורף ובאביב, נמוכים יחסית בחודשי הקיץ ועולים שוב בחודשי הסתיו (איור ה-16). ריכוזי האבק המרביים אשר נמדדו בתחילת חודש ספטמבר 2015, $699\mu\text{g}/\text{m}^3$, היו הגבוהים ביותר אשר נמדדו עד כה במסגרת תכנית הניטור ונמדדו במשך סופת אבק שנמשכה מספר ימים. הריכוז הגבוה ביותר אשר נמדד השנה היה $63\mu\text{g}/\text{m}^3$ בחודש יוני. ריכוז זה דומה לערך המרבי אשר נמדד בשנה הקודמת. ריכוזי האבק השנה אינם גבוהים במיוחד והערך המרבי השנה נמוך מהערך המרבי אשר נמדד ברוב השנים.

במחקר המנתח את הרכב האבק הנדגם על ידי התכנית בין השנים 2006-2010 נמצא כי השינויים העונתיים בעומסי האבק (נמוך בחודשי הקיץ ועולה בתחילת החורף עם ערכים מרביים בסוף החורף ובאביב) קשורים גם במקור האבק (Torfstein et al., 2017): עומסים גדולים בסוף החורף ובאביב מגיעים ממרכז ומערב הסהרה, וכמות אבק קבועה ונמוכה יותר מגיעה ממזרח הסהרה ומחצי האי ערב ומהווה מקור מתמשך בחודשי החורף. בקיץ עומס האבק נמוך ומקורו בעיקר מדרום וממזרח אירופה. תבנית השינויים בזמן בעומסי מיקרו-נוטריינטים חשובים (כגון ברזל ומתכות אחרות) אינה בהתאמה לתבנית היסודות העיקריים או לתבנית הנצפית בריכוזי כלורופיל-a בפני הים ומצביעה על כך שלאבק אטמוספרי השפעה מוגבלת על היצרנות הראשונית בצפון המפרץ.



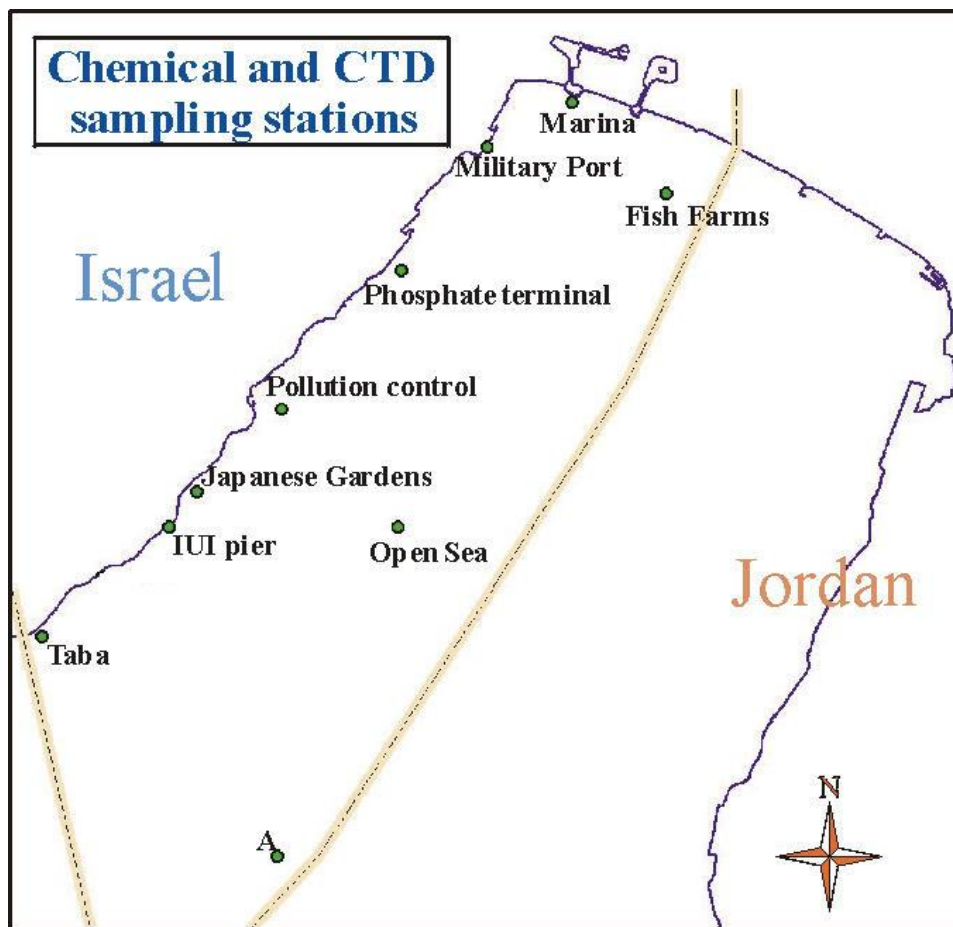
איור ה-16: ריכוזי אבק באוויר מעל הים. מדידות נעשות על גבי פילטר דרכו מזרם האוויר מוחלף מדי שבוע.
Figure E16: Weekly dust concentrations in the air above the sea. Dust is measured on filters through which air is continuously pumped.

- Biton, E., and H. Gildor (2011). The general circulation of the Gulf of Aqaba (Gulf of Eilat) revisited: The interplay between the exchange flow through the Straits of Tiran and surface fluxes. J. Geophys. Res., 116, C08020, doi:10.1029/2010JC006860
- Bush, A. O., Aho, J. M. and Kennedy, C. R. (1990). Ecological versus phylogenetic determinants of helminth parasite community richness. Evolutionary Ecology, 4: 1-20.
- Babcock, R.S., Baird, A.H., Piromvaragorn, S., Thomson, D.P., Willis, B.L. (2003). Identification of Scleractinian coral recruits from Indo-Pacific reefs. Zoological Studies 42 (1): 211-226.
- Chao, A., Chiu, C-H. and Jost, L. (2014). Unifying species diversity, phylogenetic diversity, functional diversity, and related similarity and differentiation measures through Hill Numbers. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics 45: 297-324.
- Colwell, R. K. (2005). EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 7.5. User's Guide and application published at: <http://purl.oclc.org/estimates>.
- Campbell, L., Landry, M. R., Constantinou, J., Nolla, H. A., Brown' S. L., Liu, H., Caron, D.A. (1998). Response of microbial community structure to environmental forcing in the Arabian Sea. Deep Sea Research II 45: 2301-2325
- Diamant, A., Banet, A., Paperna, I., v. Westernhagen, H., Broeg, K., Kruener, G., Koerting, W., Zander, S. (1999). The use of fish metabolic, pathological and parasitological indices in pollution monitoring II. The Red Sea and Mediterranean. Helgoland Marine Research 53:195-208.
- Diamant, A., Banet, A. Ucko, M., Colorni, A., Knibb, W., Kvitt, H. (2000). Mycobacteriosis in wild rabbitfish *Siganus rivulatus* associated with cage farming in the Gulf of Eilat, Red Sea. Disease of Aquatic Organisms 39:211-219
- Dzikowski, R., Paperna, I., Diamant, A. (2003). Multi-annual changes in the parasite communities of rabbitfish *Siganus rivulatus* (Siganidae) in the Gulf of Aqaba, Red Sea. Helgoland Marine Research 57:228-235.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T., and P. D. Ryan, 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. Palaeontologia Electronica 4(1): 9pp.
- Iluz, D. (1991). Primary production of phytoplankton in the northern Gulf of Eilat, Red Sea. M.Sc. thesis. The Hebrew University of Jerusalem, Israel.
- Iluz, D., Dishon, G., Capuzzo, E., Meeder, E., Astoreca, R., Montecino, V., Znachor, P., Ediger, D., Marra, J. (2009). Short-term variability in primary productivity during a wind-driven diatom bloom in the Gulf of Eilat (Aqaba). Aquat Microb Ecol 56 205-215.
- Jost, L. (2006). Entropy and diversity. Oikos 113, 363–375.
- Katz, T., Katsman, R., Kalman, A., Goodman-Tchernov, B. (2022). Evolution of sediment grain-size profiles on a sheltered, continental shelf in response to punctuated flood deposition. Continental Shelf Research Volume 251, <https://doi.org/10.1016/j.csr.2022.104868>
- Khalaf, M. Brokovich, E., Al-Momani, O., Baranes, A. (2003) Red Sea marine peace park US-AID program Technical Report: Monitoring coral reef fishes. 65 pp.
- Kohler, K.E., Gill, S.M. (2006). Coral Point Count with Excel extensions (CPCe): A Visual Basics program for the determination of coral and substrate coverage using random point count methodology. Computers & Geosciences 32(9): 1259-1269.
- Lamb, J. B., van de Water, J. A. J. M., Bourne, D. G., Altier, C., Hein, M. Y., Fiorenza, E. A. (2017). Seagrass ecosystems reduce exposure to bacterial pathogens of humans, fishes, and invertebrates. Science 355:6326, p. 731-733.
- Lazar, B., Erez, J., Silverman, J., Rivlin, T., Rivlin, A., Dray, M., Meeder, E., and Iluz, D. (2008) Recent environmental changes in the chemical-biological oceanography of the Gulf of Aqaba (Eilat), in Por, F.D., ed., Aqaba-Eilat, the Improbable Gulf: Jerusalem, The Hebrew University Magnes Press, p. 49-61.
- Loya Y. (1972). Community structure and species diversity of hermatypic corals at Eilat, Red Sea. Mar. Biol.13:100-123.
- Loya Y. (2004). The coral reefs of Eilat- past, present and future: Three decades of coral community

- structure studies. In: Coral Reef Health and Disease; Rosenberg and Loya (Eds). Springer-Verlag; Berlin Heidelberg, New York. pp. 1-34.
- Lundberg, B., Golani, D. (1995) . Diet Adaptations of Lessepsian Migrant Rabbitfishes, *Siganus luridus* and *S.rivulatus*, to the Algal Resources of the Mediterranean Coast of Israel. *Marine Ecology*. 16:73-89.
- Meeder E. (2012). The dynamic of organic matter and nutrients in the oceanic water column – a study utilizing the enhanced kinetics in the warm water of the Gulf of Aqaba. Ph.D. Thesis, The Hebrew University.
- Mejia, A.Y., Rotini, A., Lacasella, F., Bookman, R., Thaller, M.C., Shem-Tov, R., Winters, G., Migliore, L. (2016). Assessing the ecological status of seagrasses using morphology, biochemical descriptors and microbial community analyses. A study in *Halophila stipulacea* (Forsk.) Aschers meadows in the northern Red Sea. *Ecological Indicators* 60: 1150-1163.
- Millero, F.J., T. Plese, M. Fernandez (1988). The dissociation of hydrogen sulfide in seawater. *Limnol. Oceanogr.*, 33: 269–274.
- Millero, F.J., J-Z. Zhang, S. Fiol, S. Sotolongo, R.N. Roy, K. Lee, S. Mane (1993). The use of buffers to measure the pH of seawater. *Mar. Chem.*, 44: 143–152.
- Mouillot, D., Villéger, S., Parravicini, V., Kulbicki, M., Arias-González, J.E., Bender, M., Chabanet, P., Floeter, S.R., Friedlander, A., Vigliola, L., and Bellwood, D.R. (2014). Functional over-redundancy and high functional vulnerability in global fish faunas on tropical reefs. *PNAS*, 111 (38). pp. 13757-13762.
- Oron, S., Angel, D., Goodman-Tchernov, B., Merkado, G., Kiflawi, M., Abramovich, S. (2014). Benthic foraminiferal response to the removal of aquaculture fish cages in the Gulf of Aqaba-Eilat, Red Sea. *Marine Micropaleontology* 107: 8-17.
- Shaked, Y., (2008). Iron redox dynamics in the surface waters of the Gulf of Aqaba, Red Sea. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 72, 6: 1540–1554.
- Stern, N., Rachmilovitz, E.N., Sharon, G. et al. (2016). *Mar Biodiv* The dire implications of releasing marine ornamental fishes into the wild: first reported case from the Red Sea doi:10.1007/s12526-016-0600-4
- Torfstein, A., N. Teutsch, O. Tirosh, Y. Shaked, T. Rivlin, A. Zipori, M. Stein, B. Lazar, Y. Erel (2017). : Chemical characterization of atmospheric dust from a weekly time series in the north Red Sea between 2006-2010. Doi: 10.1016/j.gca.2017.06.007
- Torfstein, A., Kienast, S.S., Yarden, B., Rivlin, A., Isaacs, S., Shaked, Y. (2020). Bulk and Export Production Fluxes in the Gulf of Aqaba, Northern Red Sea. *ACS Earth Space Chem.*, 4, 8, 1461–1479. <https://doi.org/10.1021/acsearthspacechem.0c00079>
- Walther, B., A., Morand, S. (1998). Comparative performance of species richness estimation methods. *Parasitology* 116, 4: 395-405.
- Winters, G., Edlist, D., Shem-Tov R., Beer, S., Rilov, G. (2017). Low cost field-survey method for mapping seagrasses and their potential threats: an example from the northern Gulf of Aqaba, Red Sea. *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst.* 27: 324–339.
- Zvuloni, A, Artzy-Randrup, Y , Stone, L , Van Woesik, R , Loya, Y (2008) Ecological size-frequency distributions: how to prevent and correct biases in spatial sampling. *Limnology and Oceanography Methods*, 6:144-152.
- Zvuloni, A., Artzy-Randrup, Y., Stone, L., Kramarsky-Winter, E., Barkan, R., and Loya, Y., 2009, Spatio-Temporal Transmission Patterns of Black-Band Disease in a Coral Community: *PLoS ONE*, v. 4, p. e4993.

ז. נספחים

ז.1: מפות אתרי הניטור



איור ז1: תחנות דיגום מים (פני הים ועמודת המים). תחנה B אשר אינה כלולה במפה, נמצאת 10 ק"מ דרומית לתחנה A במשולש הגבולות ירדן-מצרים-סעודיה.

Figure G1: Study sites of water sampling (surface water and water column). Station B (not shown) is located 10 km south of Station A.

2. רשימת סוגי האלמוגים

טבלה ז1: רשימת אלמוגי האבן (ומספר המושבות) בחתכי הקו בסקר חברת השונית בשנת 2023.

Table G1: List of stony corals and the number of colonies of each taxa found in the coral reef line-transect survey, 2023.

Genus	IUI	KATZA	NR	Eilat
<i>Montipora</i>	63	103	146	312
<i>Acropora</i>	66	74	147	287
<i>Stylophora</i>	106	60	110	276
<i>Dipsastraea</i>	148	56	65	269
<i>Cyphastrea</i>	126	47	62	235
<i>Goniastrea</i>	57	65	100	222
<i>Echinopora</i>	22	74	93	189
<i>Paramontastraea</i>	57	92	33	182
<i>Favites</i>	68	38	36	142
<i>Porites</i>	32	46	64	142
<i>Millepora</i>	97	8	12	117
<i>Leptastrea</i>	27	56	16	99
<i>Gyrosmlia</i>	75	1	9	85
<i>Pavona</i>	2	57	10	69
<i>Lobophyllia</i>	1	10	42	53
<i>Platygyra</i>	24	9	20	53
<i>Pocillopora</i>	29	3	20	52
<i>Siderastrea</i>	33	1	3	37
<i>Psammocora</i>	6	20	10	36
<i>Astreopora</i>	6	11	17	34
<i>Coscinaraea</i>	15	6	9	30
<i>Plesiastrea</i>	12	7	8	27
<i>Seriatopora</i>	0	22	0	22
<i>Acanthastrea</i>	7	2	11	20
<i>Mycedium</i>	2	8	7	17
<i>Goniopora</i>	1	7	4	12
<i>Leptoseris</i>	1	10	1	12
<i>Plerogyra</i>	1	6	4	11
<i>Galaxea</i>	2	5	2	9
<i>Turbinaria</i>	4	4	1	9
<i>Leptoria</i>	1	3	3	7
<i>Erythrastrea</i>	3	2	1	6
<i>Fungia</i>	3	3	0	6
<i>Cynarina</i>	2	3	0	5
<i>Echinophyllia</i>	1	0	3	4
<i>Oxypora</i>	0	4	0	4
<i>Alveopora</i>	0	1	1	2
<i>Merulina</i>	1	1	0	2
<i>Pachyseris</i>	0	1	1	2
<i>Sclerophyllia</i>	1	1	0	2
<i>Trachyphyllia</i>	0	2	0	2
<i>Balanophyllia</i>	0	0	1	1
<i>Blastomussa</i>	0	0	1	1
<i>Ctenactis</i>	0	1	0	1
<i>Favia</i>	1	0	0	1
<i>Hydnophora</i>	0	1	0	1
Total	1103	931	1073	3107

ז. 3. מצאי דגי השונית שנסקרו

טבלה 2: מספר הדגים הכללי והשכיחותם של משפחות דגים באתרי השונית שנסקרו השנה.

Table G2: Fish abundance and occurrence of fish families at the reef sites surveyed this year.

Family	Species	Hebrew name	Habitat	Schooling	Diet	IUI 5	IUI 10	IUI 15	NR 5	NR 10	NR 20	Total
Acanthuridae	Acanthurus nigrofuscus	בתן שחום	Bento-pelagic	Small Group	HD	65	39	13	100	5	102	324
	Acanthurus sohal	בתן סוהל	Bento-pelagic	Small Group	HD		1					1
	Ctenochaetus striatus	פמקון חום	Bento-pelagic	Medium group	OM	1	3	1	3		5	13
	Zebrasoma desjardini	בתן מפטי	Bento-pelagic	Pair	HD	1	6		5			12
	Zebrasoma xanthurum	בתן סמל	Bento-pelagic	Small Group	HD	21	14	6	23	21	6	91
	Other Acanthuridae family (unidentified species)					8		5				13
Apogonidae	Cheilodipterus quinquelineatus	כלון חמש קווי	Bento-pelagic	Small Group	FC						9	9
	Other Apogonidae family (unidentified species)						7				40	47
Atherinidae	Atherinidae	סרדיניים	Pelagic	Large groups	PK				1000			1000
Balistidae	Ballistapus undulatus	אחינצ'ר קווי	Bento-pelagic	Solitary	IM	1						1
	Odonus niger	פיוחן אדום שן	Pelagic	Medium group	PK					6		6
	Pseudobalistes fuscus	רב נצור	Bento-pelagic	Solitary	IM				1	9		28
	Rhinacanthus assasi	פיקסון ים סופי	Bento-pelagic	Solitary	IM	5	1			5	1	12
	Sufflamen albicaudatum	נצורת לבנת זנב	Bento-pelagic	Solitary	IM	22	7	11	1	3	8	52
	Other Balistidae family (unidentified species)								3	7		11
Blenniidae	Aspidontus tractus	חקין נקאי	Benthic	Solitary	FC				1	3		4
Blenniidae/Gobiidae	Other Blenniidae/Gobiidae family (unidentified species)					28	34	135	83	42	131	453
Caesionidae	Caesionidae	כלילים	Pelagic	Large groups	PK	30	100	356	177	184	80	927
Chaetodontidae	Chaetodon auriga	פרפרון החוט	Bento-pelagic	Pair	IM	1						2
	Chaetodon austriacus	פרפרון שחור שות	Bento-pelagic	Pair	IS	8	11	9	13	13	5	59
	Chaetodon fasciatus	פרפרון לבן מצח	Bento-pelagic	Pair	IS	1	2	9	5	4	6	27
	Chaetodon lineolatus	פרפרון שחור גב	Bento-pelagic	Pair	IS				2			2
	Chaetodon paucifasciatus	פרפרון האודם	Bento-pelagic	Pair	IS	23	3	20	14		29	89
	Heniochus diphreutes	שביטית להקתית	Bento-pelagic	Medium group	PK	1				8	3	12
	Heniochus intermedius	שביטית שונות	Bento-pelagic	Pair	IM	4		1	2	2	4	13
	Other Chaetodontidae family (unidentified species)						18		4	6		28
Labridae	Anampses lineatus	מרגנן מקווקו	Bento-pelagic	Solitary	IM				1		1	2
	Anampses meleagrides	מרגנן צהוב זנב	Bento-pelagic	Solitary	IM			11	5			16
	Anampses twistii	מרגנן צהוב גרון	Bento-pelagic	Solitary	IM		1					2
	Bodianus anthioides	דורית חצויה	Bento-pelagic	Solitary	IM	7	10	3	1	3	35	59
	Cheilinus abudjubbe	תפאר ים סופי	Bento-pelagic	Solitary	IM	2						3
	Cheilinus lunulatus	תפאר הסהרון	Bento-pelagic	Solitary	IM	2		1	1			4
	Coris aygula	קילת ים סוף	Bento-pelagic	Solitary	IM	5	2	4	4		2	17
	Coris sp.	קילת	Bento-pelagic	Solitary	IM			3				3
	Gomphosus klunzingeri (caeruleus)	דפון כחול	Bento-pelagic	Solitary	IM				10		2	12
	Labroides dimidiatus	נקאי אילתי	Bento-pelagic	Pair	IM			4	10		12	26
	Larabicus quadrilineatus	אחי נקאי	Bento-pelagic	Solitary	IM				2	8		11
	Oxycheilinus mentalis	תפאר אחר ראש	Bento-pelagic	Solitary	IM				3	1		4
	Paracheilinus octotaenia	דוריתת תמן קווית	Bento-pelagic	Medium group	PK	1	120	108	2	80	70	381
	Pseudocheilinus hexataenia	שפתנית שן פסית	Bento-pelagic	Small Group	IM		26	72	2	44	94	238
	Thalassoma lunare	טווסון סהרון	Bento-pelagic	Small Group	IM	6	1			4	1	12
	Thalassoma rueppellii	טווסון אילתי	Bento-pelagic	Small Group	IM	25	36	16	65	13	9	164
	Thalassoma sp.	טווסון	Bento-pelagic	Small Group	IM	6		3	14		1	24
	Other Labridae family (unidentified species)						2	5	1	3		11
Lethrinidae	Lethrinidae	שוריים	Bento-pelagic	Small Group	IM	1	3	11	7	20	3	45
Monacanthidae	Aluterus scriptus	זג קק ערין	Bento-pelagic	Solitary	PK		1					1
Mullidae	Parupeneus cyclostomus	מולית עול הפה	Benthic	Solitary	FC		9	2	2	12	1	26
	Parupeneus forsskali	בינתן פורסקל	Benthic	Small Group	IM	26	46	15	8	19	11	125
	Parupeneus macronemus	בינתן גנב	Benthic	Small Group	IM	28	19	33	8	8	15	111
	Parupeneus rubescens	בינתן מאדים	Benthic	Small Group	IM	1						1
	Other Mullidae family (unidentified species)							6	1			7
Ostraciidae	Ostracion cubicus	קופסיתון נקוד	Bento-pelagic	Solitary	IS	1			2	1		4
	Ostracion cyanurus	קופסיתון סמל	Bento-pelagic	Solitary	IM	1	1	1				3
	Tetrasomus gibbosus	שיריון גבנוני	Bento-pelagic	Solitary	OM	1						2
	Other Ostraciidae family (unidentified species)					2	2	2	2			8
Pinguipedidae	Parapercis hexophthalma	פארן אילתי	Benthic	Solitary	FC	7	3			1		11
	Other Pinguipedidae family (unidentified species)					1						1
Pomacanthidae	Apolemichthys xanthurus	קיסרון עטור	Bento-pelagic	Small Group	IS	3		2				5
	Centropyge multispinis	קיסרון תכול ספיר	Bento-pelagic	Pair	HD		2		10		1	13
	Genicanthus caudovittatus	נסיכת פסוסה	Bento-pelagic	Small Group	PK						16	16
	Pomacanthus diacanthus	פסון ממון	Bento-pelagic			1	2		1		1	5
	Pomacanthus imperator	קיסר הדור	Bento-pelagic	Solitary	IS		5	3	4	4	5	21
Pomacentridae	Amblyglyphodon sp.		Bento-pelagic	Medium group	PK						4	4
	Amphiprion bicinctus	שושבן אילתי	Bento-pelagic	Small Group	PK		3	1	5			9
	Chromis dimidiata	כרומית דו גונת	Bento-pelagic	Medium group	PK	3	36	5	197	2	68	311
	Chromis viridis	כרומית ירקרקת	Bento-pelagic	Large groups	PK	1	102	46	130	391	25	695
	Dascyllus aruanus	אלמונית הפסים	Bento-pelagic	Medium group	PK	7	21			20	8	56
	Dascyllus marginatus	אלמונית השוליים	Bento-pelagic	Medium group	PK	135	124	347	47	115	190	958
	Dascyllus trimaculatus	אלמונית שחורה	Bento-pelagic	Small Group	PK						6	6
	Neopomacentrus miryae	שוניתת מירי	Bento-pelagic	Large groups	PK	2	117	50	107	20	227	523
	Pomacentrus sulfureus	שונית גפור	Bento-pelagic	Small Group	OM		2					6
	Pomacentrus trichourus	שונית לבן זנב	Bento-pelagic	Small Group	OM	89	127	129	241	56	233	875
	Other Pomacentridae family (unidentified species)										11	11
Pseudochromidae	Pseudochromis fridmani	בצעוני פרידמן	Benthic	Solitary	IM		11	49	16	4	165	245
	Pseudochromis olivaceus	בצעוני זיתני	Benthic	Solitary	IM	9	4		1		1	15
	Pseudochromis springeri	בצעוני ספרינגר	Benthic	Solitary	IM		17	26	5	8	43	99
	Other Pseudochromidae family (unidentified species)						19	4	12	3	46	84
Scaridae	Chlorurus sordidus	תוכינן ירוק קווים	Bento-pelagic	Small Group	OM	3				5	8	16
	Scarus fuscopurpureus	תוכינן כחול שפה	Bento-pelagic	Pair	HD	3						3
	Other Scaridae family (unidentified species)					31	33	49	52	25	38	228
Scorpaenidae	Pterios sp.	זהרון	Bento-pelagic	Solitary	FC				1			1
	Other Scorpaenidae family (unidentified species)								1		1	2
Serranidae	Cephalopholis hemistiktos	דקר חום	Bento-pelagic	Solitary	IM		4	4	3	1	6	18
	Cephalopholis miniata	דקר אדום	Bento-pelagic	Solitary	FC	1	9	11	5	8	19	53
	Epinephelus fasciatus	דקר פסים	Bento-pelagic	Solitary	FC	13	12	5	8	4	5	47
	Pseudanthias sp.	פיות	Bento-pelagic		PK		70	155	9	83	237	554
	Pseudanthias squamipinnis	פיות ים סוף	Bento-pelagic	Large groups	PK	46	429	313	125	80	396	1389
	Variola louti	וריליה סיסית	Bento-pelagic	Solitary	FC	2	1	1	3	3	4	14
	Other Serranidae family (unidentified species)					1					1	2
Siganidae	Siganus argenteus	סיגן כסוף פצל זנב	Bento-pelagic	Large groups	HD			1		3		4
	Siganus luridus	סיגן רחוי	Bento-pelagic	Pair	HD	1					1	3
	Siganus stellatus	סיגן הכנבים	Bento-pelagic	Large groups	HD			1				1
	Other Siganidae family (unidentified species)					19	7	75	9	3		113
Synodontidae	Synodontidae	לטנביים	Benthic	Solitary	FC	15	3	1	2	4	6	31
Tetraodontidae	Tetraodontidae	נפוחתיים	Benthic	Solitary		3	1		10	1		15
Total						732	1690	2160	2699	1369	2501	11151

טבלה ז3: הרכב חברת הדגים באתר NR_10 (NR_7, בדו"חות קודמים) בתקופת הניטור. המספרים נתונים כשיחיות מנורמלת ליחידת דגימה.

Table G3: Fish community according to families in NR_10 (called NR_7 in previous reports) throughout the monitored period. Numbers are normalized to sampling unit.

Family	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Average
Pomacentridae	77.8	68.6	177.4	116.2	30.3	67.2	77.3	74.0	68.2	71.3	61.7	138.5	34.8	36.5	35.8	56.9	27.5	71.8
Serranidae	38.3	18.8	47.7	9.3	11.8	14.5	26.3	10.3	16.6	22.1	22.1	43.1	10.2	17.0	1.2	26.5	8.1	20.2
Labridae	4.5	6.7	7.5	3.0	2.8	4.2	3.8	1.9	3.8	3.8	2.6	4.7	5.9	3.0	5.8	5.7	6.5	4.5
Caesionidae	0.3	0.0	3.5	3.4	3.0	19.8	10.6	1.3	2.6	0.1	2.1	1.5	0.0	11.5	4.3	2.9	8.4	4.4
Scaridae	8.0	0.0	6.5	1.0	1.0	0.6	1.5	1.5	3.4	2.8	1.6	3.2	4.2	3.3	11.0	2.0	1.5	3.1
Acanthuridae	4.1	7.0	4.3	2.9	3.0	2.6	1.6	1.7	3.0	3.1	2.6	3.2	2.4	3.1	2.5	4.4	1.2	3.1
Chaetodontidae	3.7	4.1	3.9	3.9	3.1	1.7	2.4	1.5	2.2	2.0	1.5	1.8	1.8	3.0	2.2	2.2	1.5	2.5
Blenniidae/Gobiidae	0.5	1.8	3.0	1.6	2.1	1.4	1.4	2.3	7.0	1.5	1.3	2.9	2.8	2.4	5.1	1.8	2.0	2.4
Mullidae (parapeneus)	1.7	1.2	3.6	0.9	1.3	2.6	2.4	1.8	1.3	3.6	1.2	1.5	1.6	2.6	1.7	1.5	1.8	1.9
Pseudochromidae	3.0	1.6	3.3	1.9	0.9	1.4	3.6	2.9	3.5	1.7	2.0	1.2	1.6	1.0	0.2	0.6	0.7	1.8
Balistidae	0.4	1.2	1.5	1.1	0.7	1.3	1.0	0.8	1.6	1.2	0.6	1.2	0.7	1.3	0.6	0.5	1.2	1.0
Lethrinidae	0.5	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.2	0.0	0.2	0.2	0.3	0.1	0.0	0.4	0.5	0.9	0.2
Synodontidae	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.6	0.3	0.2	0.8	0.5	0.2	0.2	0.2
Apogonidae	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.1	2.1	0.1		0.2
Pomacanthidae	0.1	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.0	0.3	0.1	0.2	0.1
Siganidae	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.1	0.1	0.3	0.1
Pinguipedidae	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.5	0.0	0.2	0.2	0.0	0.1
Scorpaenidae, Synanchiidae	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
Tetraodonitidae/Diodonitidae	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.1
Ostraciidae	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0