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

אושר בישיבת הוועד המנהל: ספטמבר 2025

התוכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת

דו"ח מדעי לשנת 2024

Israel National Monitoring Program at the Gulf of Eilat

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

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

חברי הוועד המנהל:

ד"ר ארנה מצנר, מ"מ מדען ראשי, המשרד להגנת הסביבה, יו"ר

מר פרד ארזואן, ראש היחידה הארצית להגנת הסביבה הימית, המשרד להגנת הסביבה
פרופ' שמשון בלקין, האוניברסיטה העברית
פרופ' חזי גלדור, האוניברסיטה העברית
פרופ׳ דרור הבלנה, האוניברסיטה העברית ורשות הטבע והגנים
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
ד"ר דרור צוראל, היחידה הארצית להגנת הסביבה הימית, המשרד להגנת הסביבה
גב׳ איריס שליט, סמנכ"ל בכיר לאכיפה, המשרד להגנת הסביבה
פרופ' אלדו שמש, מכון וייצמן למדע

צוות הניטור:

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

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

יעוץ וסיוע:

ד"ר גלעד אנטלר, אוניברסיטת בן גוריון בנגב (פחמן אנאורגני מומס)
פרופ' (אמריטוס) אמציה גנין, האוניברסיטה העברית
ד"ר אייל וורגפט, ז"ל, האוניברסיטה הפתוחה והאוניברסיטה העברית (פחמן אנאורגני מומס, pH)
פרופ' עדי טורפשטיין, 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:

יורי ויסוצקי
נחום סלע
דמיטרי צ'ורילוב
אסף ריבלין
תומר שאולוב

תוכן העניינים

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 האקולוגים, הביולוגים, הפיסיקלים 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 2024. הדו"ח מחולק לפרקים התואמים סביבות ושיטות עבודה שונות. כל פרק כולל תיאור קצר של שיטות המדידה, תוצאות מפורטות (איורים, טבלאות) ודיון קצר במסקנות. תיאור מפורט של השיטות נמצא בדו"ח השנתי הראשון (2003) וסיכום פעילויות הניטור ותדירותן, ומיקום תחנות הניטור העיקריות, מופיעים בטבלה א1 ובאיור א1, 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.

בשנת 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 בשנת 2022 בשיתוף עם פרופ' א. וורגפט, ז"ל, וג. אדברדסון מהאוניברסיטה הפתוחה והאונ' העברית. בשנת 2023, לאחר פטירתו של חברנו אייל וורגפט, 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 והיידקים בעמודת המים חודשו בשנת 2023 בשיתוף פעולה עם ד"ר נינה קמנאיה מאוניברסיטת בן גוריון והתחנה לחקר המדבר בשדה בוקר.

מדידות היצרנות הראשונית (בשיתוף פרופ' א. רהב ות. רייך מחקר ימים ואגמים לישראל) נעשו בשנת 2022 ברזולוציה דו-חודשית אך בשנת 2023 תדירות המדידות היתה נמוכה יותר. החל מאמצע השנה הנוכחית (2024) החזירה לעצמה תכנית הניטור את האחריות על מדידות היצרנות הראשונית והן נעשות בתדירות של אחת לחודשיים.

צילומי הנקודות הקבועות בשונית לא נותחו בשנתיים האחרונות ואנו שוקדים על שיפור מערך צילומים שיתאים לכלים החישוביים המצויים כיום.

עקב החשש מממגמת החימום של שכבת המים העליונה ובעקבות המלצות הוועד המנהל (דיון בדו"ח מדעי שנתי 2023) הוצבו באוגוסט 2024 שני מדי טמפרטורה במים הרדודים – האחד בתוך לגונת שמורת האלמוגים והשני בעומק דומה חובר לקדמת השונית מחוץ ללגונה. חיישנים אלה סיפקו מעקב רציף אחר טמפרטורת המים שחשה השונית החוגרת הרדודה בשליש האחרון של השנה. בנוסף לכך, נעשה מעקב אחר התפקוד הפיסיולוגי של מיני אלמוגים נפוצים נבחרים בעומקים שונים. דוגמאות אלמוג נדגמו לאורך העונה החמה (בחודשים יוני, אוגוסט, אוקטובר ודצמבר) והובאו למעבדה למדידת התגובה הפוטוסינטטית ולאחר מכן הוסרה רקמת האלמוג על מנת לספור את תאי האצות הסמביונטיות בתוכה. ניטור זה נעשה כצעד מקדים לאפשרות של הלבנת אלמוגים בעקבות התחזיות (שהתממשו) לחימום משמעותי של הים.

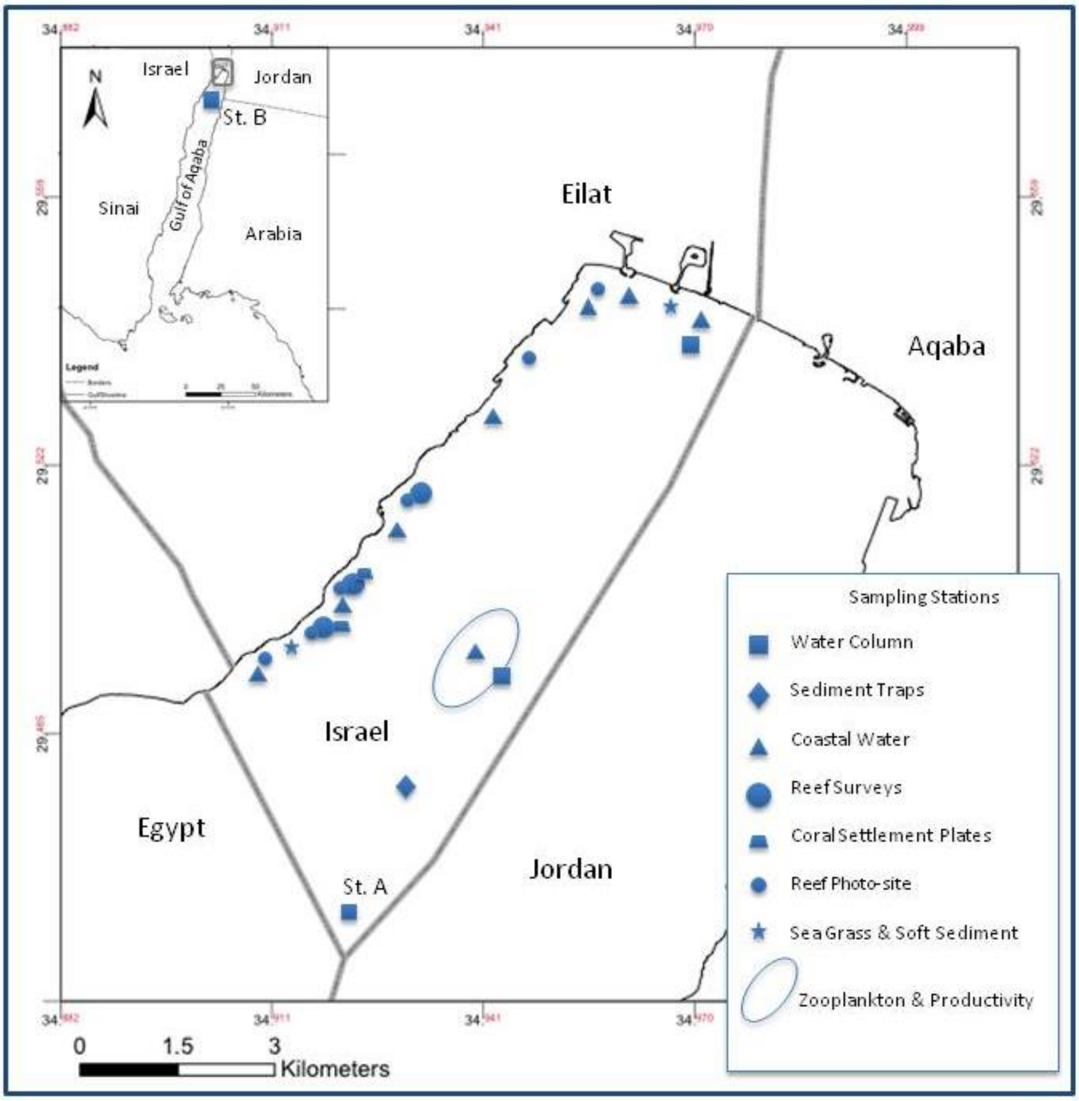
נתוני תכנית הניטור, החל משנת 2004, מאוכסנים בבסיס נתונים אלקטרוני והגישה אליהם פתוחה לכל דורש

דרך אתר תכנית הניטור במכון הבינאוניברסיטאי למדעי הים באילת: http://www.iui-eilat.ac.il/NMP.
מאגר הנתונים נמצא 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

טבלה א1: פעילויות תכנית הניטור ותדירותן.

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	אחת לשנה, באביב (מספר שבועות)
ניטור פיסיולוגי של מיני אלמוגים נפוצים	בעונה החמה, כל חודשיים
ניטור חברת האלמוגים בלגונה	אחת לשנה, בקיץ (שבוע)
התיישבות אלמוגים בשונית	עונתית, כל חודשיים
ניטור חסרי חוליות ניידים בשונית	אחת לשנה, בקיץ (מספר שבועות)
ניטור מאקרו-אצות בשונית	אחת לחודש
ניטור דגי השונית	אחת לשנה, בסתיו (מספר שבועות)
מדידת טמפרטורה בקדמת השונית ובלגונה	מדידות רציפות
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**.**

א.3. תקציר התוצאות והמסקנות

ממצאי השנה החולפת

<u>שונית האלמוגים</u>

1. בקיץ השנה נצפתה לראשונה באילת הלבנת אלמוגים. קיץ 2024 היה החם ביותר גלובאלית, וגם במפרץ אילת הגיעה טמפרטורת פני הים לשיאים שלא נרשמו עד כה. כתוצאה מעקת החום, שהיתה גדולה אף מהתרחישים החמורים ביותר אליהם נחשפו אלמוגי אילת במערכות ניסוי, תועדה בשוניות אילת הלבנה, אף כי מוגבלת למספר מינים מצומצם (בעיקר *Stylophora*, *Astreopora*, *Montipora*). במשך מספר שבועות נמצאו מושבות אלמוגים רבות שאיבדו את צבעי האצות או הפכו לגמרי ללבנות. על אף האמור לעיל, לא היתה זו הלבנת אלמוגים נרחבת כפי שתועדה בשוניות רבות בעולם בשנים האחרונות ומספר המושבות שנפגעו היווה אחוז קטן בלבד מסך המושבות בשוניות אילת. עם התקררות המים בסוף הקיץ, נראה היה שרבות מהמושבות שנפגעו הצליחו להתאושש.
   לקראת הקיץ החם שהיה צפוי נדגמו מושבות אלמוגים נפוצים בכדי לעמוד על השינויים ביעילות הפוטוסינתטית לאורך העונה החמה (חודשים יוני,אוגוסט, אוקטובר ודצמבר). נמצאה שונות גדולה בין המינים ובין פרטים מאותו מין ולא נמצא שינוי עונתי מובהק. כן נמצא הבדל מובהק בין העומק הרדוד והעמוק באתר שמורת האלמוגים, המצביע על עקת חום/אור כגורם המגביל את הפעילות הפוטוסינתטית באלמוגים. ממצא זה מדגיש את חשיבותן של השוניות העמוקות כמפלט אפשרי לאלמוגים, בהינתן המשכה הצפוי של התחממות הים.
2. <u>כיסוי אלמוגי אבן חיים</u> – כיסוי האלמוגים הממוצע בשוניות אילת היה השנה נמוך מעט בהשוואה לשנה הקודמת ועמד על 23.5±3.5%. אין ביכולתינו לקבוע מה חלקה של הלבנת האלמוגים בכך, בין היתר מכיוון שהרבה מסקרי השונית נעשו לפני תחילתה של ההלבנה באילת. כיסוי האלמוגים בשוניות אילת הרדודות נפגע קשות בסערה הדרומית של מרץ 2020. הפגיעה לא היתה אחידה במרחב ולא כל השוניות נפגעו במידה שווה, אך בעקבות הסערה ירד אחוז כיסוי האלמוגים הממוצע באתרי קדמת השונית בשנים 2020-2021. לאחר מכן החלה להסתמן התאוששות אך, כאמור, השנה שוב נמדדה ירידה. הירידה נמדדה בחמישה מתוך שמונה אתרי קדמת שונית והיתה גדולה במיוחד (~4%) באתר הרדוד בשמורת האלמוגים (5-NR) שהוא אתר השונית המפותח ביותר באילת. יחד עם הירידה בכיסוי האלמוגים הממוצע נמצאה ירידה קלה גם בצפיפות המושבות הממוצעת בשוניות אילת וזו עמדה השנה על 49.0±5.2 מושבות אלמוגי אבן, בממוצע, למ"ר של שונית.
   כיסוי האלמוגים החיים בשוניות אילת גבוה משהיה בשנות הניטור הראשונות אולם בשנים האחרונות אין מגמה ברורה של צמיחה.
3. <u>גודל מושבות אלמוגי אבן</u> – בין אתרי השונית המנוטרים ישנם הבדלים בגודל מושבות האלמוגים האופייני. באתר המעבדה חלקן של המושבות הקטנות רב ביותר (כ- 76% באתר 10-IUI השנה), 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. בשנים האחרונות חלקן של המושבות הקטנות באתרי השונית התייצב, אף כי השנה נמדדה ירידה בהשוואה לשנה הקודמת. מכיוון שמושבות קטנות מהוות רוב גדול באוכלוסיית אלמוגי אילת, ישנה התאמה בין צפיפות המושבות הקטנות וצפיפות כלל המושבות.
4. <u>מגוון מיני אלמוגים</u> – 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. לאחרונה, מחושב 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 השינויים במגוון האלמוגים בין השנים קטנים.
5. <u>פריחת אצות בשונית</u> – בשנת 2022 היה ערבוב עמוק של עמודת המים ובעקבות זאת פריחה חזקה של אצות פלנקטוניות ובנתוניות שנמשכה במהלך מרץ-אפריל. השנה ובשנה הקודמת ערבוב עמודת המים

לא היה עמוק ופריחת האצות היתה, כצפוי, קטנה בהרבה. כתוצאה מכך, פוטנציאל צמיחת האצות המרבי אשר נמדד השנה היה דווקה בעונת הקיץ המשוכבת, כפי שאירע לעיתים בשנים האחרונות. בכל האתרים הנסקרים נראה כי רעיית האצות בשונית מווסתת את כיסוי האצות בצורה יעילה על אף תמותת קיפודי הים (ראה סעיף 8).

6. לגונת שמורת האלמוגים – בשנים האחרונות נמצאה ירידה מתמשכת בצפיפות מושבות אלמוגי האבן בלגונה וצפיפות המושבות הממוצעת אשר נמדדה בלגונה בשנה הקודמת היתה הנמוכה ביותר אשר מדדה תכנית הניטור עד כה, פחות ממושבה (0.96) למ"ר. השנה נמצאה צפיפות מושבות מעט גבוהה יותר אך עדיין נמוכה משמעותית מהצפיפות שנמדדה בשנים הראשונות לניטור.
מדידות טמפרטורה רציפות מדגימות את ההבדלים בתנאים בין בית גידול זה ואתרי קדמת השונית. בלגונה משרעת הטמפרטורות היומית גדולה מאשר מחוצה לה, והשינוי העונתי גדול יותר – בקיץ הטמפרטורות בד"כ גבוהות יותר ובחורף נמוכות יותר. 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.

7. התיישבות אלמוגים בשונית – בכל השנים בהן עוקבת התכנית אחר התיישבות אלמוגים על גבי לוחיות המוצבות בשונית נמצא כי באתר השמורה כמות המגוייסים 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.

8. קיפודי ים – קבוצת הרועים החשובה ביותר בשונית מבין חסרי החוליות היא קיפודי הים, ומתוכה המין הנפוץ ביותר בשוניות אילת היה, במשך רוב תקופת הניטור, *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 ובשנת 2022, על אף הערבוב העמוק, לא נמדדה עליה משמעותית.
בתחילת השנה הקודמת (2023) נצפתה תמותה המונית של קיפודי ים באילת אשר פגעה קשות באוכלוסיית *D. setosum* המדולדלת וסקרי השנה מצאו רק פרט בודד של קיפוד זה, באתר הלגונה. גם קיפודים מהסוג *Tripneustes* נפגעו מתמותה המונית ובסך הכל אוכלוסיית הקיפודים באילת קטנה במידה מדאיגה ביותר.

9. 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 אף כי אתר המעבדה הרדוד (IUI-5) תמיד בעל צפיפות הדגים הנמוכה ביותר.
השנה נעשו סקרי הדגים בשתי שיטות סקר שונות מתוך כוונה לשנות את שיטת הסקר לחתכי רצועה על מנת לכסות שטח שונית גדול יותר ובכדי לקבל תוצאות ברות השוואה לסקרים הנעשים על ידי קבוצות מחקר אחרות. בשיטה החדשה עלה מספר גדול הרבה יותר של דגים בסקר, וגודל המדגם מצביע על תוצאות אמינות יותר. על אף ההבדלים בנתונים המספריים מבנה חברת הדגים דומה בשתי השיטות, אך נמצאו הבדלים בהערכת עושר ומגוון המינים. הערכת עושר המינים נמוכה יותר בשיטה הישנה ואילו הערכת המגוון לרוב גבוהה יותר.

הסביבה החופית

10. ריכוז נוטריינטים וכלורופיל במים החופיים – התהליך השולט ברוב המדדים הכימיים, הפיסיקליים והביולוגיים הנמדדים בתחנות הניטור החופיות הוא מחזור הערבוב השנתי וערכי רוב המדדים במי השטח גבוהים יותר בחודשי החורף מאשר בקיץ. בשנת 2022 עורבבה עמודת המים לעומק הקרקעית בתחנה A (> 700 מטר) לאחר עשור של ערבוב עונתי בינוני או רדוד, וכתוצאה מכך היתה פריחת אצות חזקה וממושכת. בשנתיים האחרונות עורבבה עמודת המים לעומק רדוד יחסית (השנה, כ-300 מטרים) וריכוזי הנוטריינטים היו נמוכים בהתאם. גם ריכוז הכלורופיל המרבי אשר נמדד בתחנת הים הפתוח היה כמחצית מהערך שנמדד בשנת 2022.
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. השנה זוהתה חריגה בריכוזי הנוטריינטים בחודש אפריל בתחנות הצפוניות ובפרט בתחנת "כלובי הדגים". גם מול מוצא תעלת הקינט בקרבת החוף נמדדו בחודשים אפריל ומאי ריכוזי נוטריינטים וכלורופיל גבוהים במיוחד יחד עם מליחות נמוכה במיוחד בחודש אפריל וגבוהה במיוחד בחודש מאי. נדמה שבשני החודשים הוזרמו מים "זרים" לים דרך תעלת הקינט וגרמו לערכים החריגים אותם מדדנו בתחנות הצפוניות.

11. טמפרטורת פני הים – טמפרטורת פני הים השנתית הממוצעת שנמדדה בהפלגות החופיות בתחנת הים הפתוח היתה הגבוהה ביותר אשר נמדדה עד כה במסגרת זו, 25.0 °C. 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.
12. לרוות דגים בסמוך לשונית ובחוף הצפוני – בשנת 2022, אולי בעקבות הערבוב העמוק ואולי מסיבות אחרות, היו כמויות הלרוות שנספרו בחוף הצפוני גדולות בהרבה מהממצאי ברוב השנים שקדמו לה. השנה נמדדה צפיפות לרוות גבוהה יחסית בשני האתרים (חוף צפוני וחוף דרומי) אף כי לא באותה מידה. 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.
13. פורמיניפרים בנתוניים בקרקעית חולית – פרטים מעוותים של פורמיניפרים בנתונים נמצאו בעיקר בתחנות החוף הצפוני הקרובות למיקומם הקודם של כלובי הדגים, בשנים 2020-2022, לאחר הסערה הדרומית החזקה (בחודש מרץ 2020). מציאתם של פרטים מעוותים בנוסף לריכוז מתכות גבוה שנמצא אז תחת מיקומם הקודם של כלובי הדגים עשויה להצביע על גורמי זיהום הנצברים בסדימנט ופוגעים בהתפתחות השלד. יתכן שבעקבות הסערה של מרץ 2020 נחשפו סדימנטים בעלי תכולת מתכות גבוהה אשר גרמו לעיוותי שלד בפורמיניפרים. בשנתיים האחרונות לא נמצאו בסדימנט פרטים מעוותים וצפיפות הפורמיניפרים בתחנות הנמדדות עלתה.
14. עשבי ים – סקרים של כיסוי עשב הים נערכו בשתי עונות, חורף וקיץ, ובין העונות נמצאו, לרוב, הבדלים גדולים, אך השנה ההבדלים בין העונות קטנים. כיסוי עשב ים בחוף הצפוני עשיר יותר, בממוצע, הרבה משום שכיסוי עשב הים בעומק 10 מטרים בחוף הדרומי נמוך-עד-אפסי בשנים האחרונות.
בשנת 2020 נמדדה ירידה גדולה בכיסוי עשב הים בשני האתרים, אולי כתוצאה מפגיעת הסערה הדרומית בחודש מרץ 2020. בשאר השנים נצפו לעיתים שינויים גדולים בכיסוי באתר זה או אחר, אך לא בשניהם בהתאמה.

עמודת המים בים העמוק

15. עומק הערבוב – עמודת 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. בעונה החמה ישנו שיכוב יציב של עמודת המים והמים העליונים מנותקים ממי העומק.
ערבוב עמודת המים השנה היה רדוד והגיע עד לעומק של כ-300 מטרים בלבד. 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.
16. ריכוזי חמצן ונוטריינטים מומסים במים העמוקים – ערבוב עמודת המים בשנת 2022 היה עמוק וריכוזי נוטריינטים במים העמוקים ירדו במקביל לעלייה בריכוזי החמצן המומס. בשנתיים האחרונות, בהן היה ערבוב רדוד, הצטברות הנוטריינטים במים העמוקים מ-400 מטר היתה מהירה מהצפוי על סמך נהשוואה עם מחזור הערבוב העמוק הקודם.
17. 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 עליה. כך נראה שריכוזי הכלורופיל הנמדדים אינם תלויים רק בעומק הערבוב ונוטריינטים העולים איתו מהעומק ושינויי המליחות החזקים בסוף תקופת הערבוב תומכים בהשערה זו. ייתכן כי מגמה זו, יחד עם צבירה מהירה של נוטריינטים במים העמוקים, מצביעה על מקורות נוטריינטים נוספים על אלו המגיעים ממי המפרץ העמוקים.

18. 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 לאחר הערבוב העמוק בשנת 2022. עליית טמפרטורת המים מהירה יותר בפני הים מאשר במי העומק ועשויה להשפיע על תדירות העירבובים העמוקים של עמודת המים.
19. זואופלנקטון –ברוב השנים בהן בוצע ניטור 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. בשנים האחרונות, מאז 2022, נמדדת מסת זואופלנקטון גבוהה יחסית ובאופן מפתיע, שיא הביומסה אשר נמדד במרץ השנה היה גבוה מהערך המרבי אשר נמדד בשנות הערבוב העמוק ודומה לערך המרבי של שנת 2016. כך, נראה כי למשך הערבוב ולאופן התפתחותו בזמן השפעה על כמות הזואופלנקטון בעמודת המים.
20. יצרנות ראשונית – החל מקיץ השנה נעשו מדידות היצרנות על ידי תכנית הניטור, על פי הפרוטוקול של מעבדת פרופ' אייל רהב מחיא"ל, בתדירות של אחת לחודשיים. 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 2010-2024 דומות זו לזו, עם ערך גבוה ביותר בשנת 2016, ועם זאת, ניתן אולי להבחין בעלייה קלה, שאינה מובהקת, ביצרנות הקיץ במפרץ.

מדידות רציפות משלימות

21. 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. ריכוזי הכלורופיל בסמוך לשונית היו נמוכים השנה בהשוואה לממוצע הרב-שנתי (1988-2023) ולא תועדה פריחת אביב כלל. במדידות ריכוזי הכלורופיל היומיות בסמוך לשונית האלמוגים לא מזוהה מגמה מתמשכת של שינוי בריכוזי הכלורופיל.
22. טמפרטורת פני הים בסמוך לשונית (מדידה יומית) – טמפרטורת פני הים בסמוך לשונית היתה גבוהה במשך רוב השנה בהשוואה לערך הממוצע הרב-שנתי מאז 1988 וגם מערכן של 90% מסך המדידות. רק בסוף ספטמבר ירדה הטמפרטורה אל קו ה- 90% מסך המדידות ובסוף אוקטובר ירדה לעבר הממוצע הרב שנתי. מתחילת יולי ועד לאמצע ספטמבר היתה טמפרטורת פני הים גבוהה במידה ניכרת (2.5-3 מעלות) מערכי הממוצע הרב שנתי של השנים הקודמות. טמפרטורת פני הים השנתית הממוצעת עולה מאז שנת 1988 בקצב ממוצע של 0.36 מעלות בעשר שנים (מדידות מעבדת פרופ' (אמריטוס) גנין), ומאז תחילת הניטור בשנת 2004 בקצב של 0.49 מעלות בעשר שנים.
23. מטאורולוגיה (מדידות רציפות) – התנאים המטאורולוגים אשר נמדדו השנה לא היו חריגים בהשוואה לשנים קודמות, וללא אירועים של רוחות דרומיות שיצרו סערות חזקות. טמפרטורות האויר המרבית שנמדדה השנה מעל הים (45.5 °C) היתה הגבוהה ביותר אשר נמדדה עד כה על ידי תכנית הניטור. מצב הים (מדידות רציפות) – הטמפרטורה המרבית אשר נמדדה בפני הים השנה היתה הגבוהה ביותר אשר נמדדה עד כה במסגרת זו – 31.9 °C, בתחילת אוגוסט, וגם הטמפרטורה המזערית היתה גבוהה מערכי השנים האחרונות. בבחינת הטמפרטורות המזעריות בכל שנה לאורך תקופת המדידות (5% מהימים הקרים ביותר בכל שנה, 18 הקריאות המינימליות הנמוכות ביותר בכל שנה) נמצאת עלייה מתמשכת של טמפרטורות המינימום במפרץ.
24. גלים (מדידה רציפה) – בשנת 2021 החלה תכנית הניטור למדוד גלים במפרץ. למיטב ידיעתנו, זוהי מדידת הגלים הרציפה היחידה שנעשית בצפון מפרץ אילת. השנה נמדדו הגלים באופן רציף בשתי נקודות מול המכון הבינאוניברסיטאי. חיישן אחד הוצב בקרבת החוף כמטר וחצי תחת פני הים והשני מעל קרקעית עמוקה כששה וחצי מטר תחת פני הים. המדידות מאפשרות לאפיין את הגלים הנוצרים בחופי אילת הדרומיים תחת משטר רוחות צפוניות: מעל מים עמוקים כ-99% ממדידות גובה הגלים המשמעותי היו עד כ- 0.2 מטר ואילו בקרבת החוף 80% היו בטווח זה אך כמעט 20% מהמדידות היו של גובה גל משמעותי הנע בין 0.2 ל-0.4 מטרים. גלים גבוהים יותר, תחת משטר רוחות דרומיות חזקות, מאופיינים טוב יותר מעל קרקעית עמוקה. החיישן העמוק מדד השנה שבעה אירועים בהם גובה הגל המרבי

(maximum wave height) היה גבוה מחצי מטר, ובשלושה מהם נמדדו גלים גבוהים ממטר. בשעות הערב של ה-13 בינואר נמדדו הגל הגבוה ביותר השנה, כ- 2.3 מטרים, תחת משטר רוחות דרומי (13.4 מ'\שניה מכיוון 207°).

25. זרמים (מדידה רציפה) – בקיץ 2022 הצבנו מד זרמים אקוסטי המודד ברציפות בסמוך לפני הים מול המכון הבינאוניברסיטאי. המדידות המצטברות מגלות זרמים דומיננטים במקביל לחוף ומתוכם זרמים דרומיים (כיוון זרימה לדרום-מערב) נפוצים יותר וגם עשויים להגיע למהירויות גדולות יותר. לרוב, הזרם מחליף כיוון במחזוריות של פעמיים ביממה בהשפעת מחזורי הגיאות והשפל, אך מחזוריות זו אינה סדורה וקבועה לאורך כל השנה. הרוב המכריע של מדידות מהירות זרם הגדולה מ- 0.3 מ'\שניה הן של זרמים בכיוון דרום-מערב, ומהירות גדולה מ- 0.4 מ'\שניה נמדדה רק בזרמים שכיוונם דרום-מערב. הזרמים החזקים ביותר (דרומיים) נמדדו בחודשים יוני ויולי.

תנודות רב-שנתיות ומגמות שינוי

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 בשוניות 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±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 מגמה זו נעצרה וכיסוי האלמוגים בשנים האחרונות נע בטווח שנמוך מהערכים המרביים שנמדדו אך גבוה מהכיסוי שנמדד בשנים הראשונות לניטור.
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. לאורך השנים מסתמנת ירידה בחלקן של המושבות הקטנות ועליה בחלקן של המושבות הבינוניות והגדולות המצביעה על שרידות טובה.
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, עד לאחרונה, היה *Diadema setosum*. צפיפות קיפוד 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 שנת 2022 לא סייע להתאוששות האוכלוסיה ובתחילת 2023 תועדה תמותה המונית של קיפודי ים באילת, ככל הנראה כתוצאה מפגיעת פתוגן, אשר פגעה בעיקר ב-*D. setosum* . בשנים האחרונות אוכלוסיית הקיפודים באילת קטנה במידה מדאיגה ביותר והשנה נמצא רק פרט בודד של הקיפוד *D. setosum* בסקרי הניטור.

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 נוטריאנטים ממקורות יבשתיים.

עמודת המים בים העמוק

7. ריכוזי נוטריינטים וחמצן מומס – הדינמיקה השנתית של ריכוזי נוטריינטים וחמצן במים וזמינותם לאוכלוסיות הפיטופלנקטון בים הפתוח, מונעת בעיקר על ידי הערבוב העונתי בעמודת המים. הדינאמיקה הרב-שנתית מושפעת מעומק הערבוב ומשכו ומכמויות הנוטריינטים שנצברו במי העומק. לאחר הערבוב העמוק בחורף 2022, אשר בעקבותיו ריכוזי החמצן במים העמוקים עלו במקביל לירידה בריכוזי הנוטריינטים שהובאו לאזור הפוטי והניעו פריחות אצות, בשנתיים האחרונות נוטריינטים מצטברים מחדש במים העמוקים וריכוז החמצן שם יורד, בקצב מהיר מן הצפוי על סמך הערבוב העמוק הקודם (בשנת 2012).
8. 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.

9. טמפרטורת המים – טמפרטורת מי העומק ירדה בשנים 2007-2008 כתוצאה מהערבוב העמוק בשנים אלה, ובשנים שאחרי כן נמדדה עליית טמפרטורות במים העמוקים. על אף הערבובים העמוקים 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 2024

Dr. Yonathan Shaked, Program Manager
Prof. Maoz Fine, Scientific Director
(April, 2025)

Introduction

This report describes the work and results of Israel's National Monitoring Program in the Gulf of Aqaba (Eilat) – NMP – in the year 2024. 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 regularly 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. Measurements added or adjusted in the past two years are listed here:

- DIC profiles at Station A were measured 2022 year by Prof. E. Wurgaft, RIP and G. Edvardson of the Open University and the Hebrew University and in 2023 measurements were assumed by Dr. Gilad Antler of Ben Gurion University. This year a full cycle of DIC measurements was completed during the NMP monthly cruises.
- Primary Productivity at the upper 100 meters of the water column were measured intermittently in 2023, together with Prof. E. Rahav and T. Reich of Israel Oceanographic and Limnological Research. This year measurements were done by the NMP (Dr. Tal Amit) every other month.
- Cell counts for pico-phytoplankton were resumed in 2023, by Dr. Nina Kamennaya of Ben Gurion University from sample collected during the monthly NMP cruises. This year a full annual cycle was measured.
- Sensors for surface currents and waves were placed near the IUI (southern coast of Eilat) and this year we have a complete annual measurement cycle. Another current sensor, an acoustic profiler, is being assimilated into the NMP measurement scheme and real-time measurements will be displayed online.
- In anticipation of predicted record SSTs, coral fragments were collected regularly throughout the warm season and analyzed for photosynthesis response and symbiotic algae cell counts.

- A new method of reef-fish surveys (50x2 meters belt transects) was tested at the suggestion and guidance of Professor Yoni Belmaker of Tel Aviv University. This year surveys were conducted using both the old method and the new belt-transects method, to estimate the differences in results and effort between them. In the coming years the NMP will survey reef-fish with the belt-transects method, which is the prevalent method used by other research groups at different locations.
- On the other hand, analyses of photos from permanent photo-sites were discontinued last year, as we search for a better method that will match the present-day technology. Photos at the permanent sites were still taken and will be available for future analysis.

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

<u>The coral reefs of Eilat</u>

1. This year, for the first time, coral bleaching has been observed in Eilat. Summer 2024 was the warmest summer on record globally and at Eilat record high sea surface temperatures were measured. As a result of the high heat stress, that was greater than even the most severe experimental scenarios, widespread coral bleaching was observed, albeit only in a limited number of species (particularly of the *Stylophora*, *Astreopora*, *Montipora* genera). Over the course of several weeks many colonies lost their algae pigments or turned completely white. Nevertheless, bleaching in Eilat was not as widespread as documented at other locations in the past few years. The percentage of affected colonies was relatively small and as the water cooled at the end of summer it seemed that many of the bleached colonies recovered.
   Anticipating the warm summer that was predicted, the NMP began sampling fragments from abundant coral species, to follow the seasonal variation in photosynthetic response between June and December. Variability between species and individuals was considerable and a significant seasonal trend was not established. A significant difference was found between corals from the deep (20m) and shallow (5m) sites at the Coral Nature Reserve, indicating heat/light stress that limits photosynthetic efficiency at the shallow depths. This highlights the significance of mesophotic reefs as possible coral refugia, considering the expected future rise in sea temperatures.
2. <u>Live cover of stony corals</u> – Coral cover was somewhat lower this year as compared to the previous year, an average of 23.5±3.5% at the Eilat fore-reef sites. We cannot establish what is the role of coral bleaching in the decline, if at all, not least because much of the survey was completed before bleaching in Eilat was notable. In March 2020, live corals were greatly damaged by the strong southern storm that hit Eilat. The storm's effect was not uniform across the reefs and most damage occurred in the shallow reefs, but following the storm the average live coral cover at Eilat's forereef sites declined in 2020-2021. Coral cover started to increase after that, until this year.

Decreased cover was measured at 5 out of the 8 sites surveyed and was particularly notable (~4%) at the shallow Nature Reserve site (NR-5), the most prolific reef site in Eilat. A small decrease in colony density was also noted this year in Eilat. An average of 49.0±5.2 colonies was measured per meter square of fore-reef.
Live coral cover in Eilat is higher than it was in the initial years of monitoring, but in the past few years there is no clear growth trend.

3. 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 (~76% at the IUI-10 site, this year), whereas at the shallow and deep NR sites 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 mostly stabilized in over the past few years – although a slight decrease was measured this year compared to the previous year. Most of the colonies in Eilat are of the small size class, and so there is a correlation between the density of small colonies and the overall density of corals.
4. Coral diversity – The Shanon-Wiener diversity index used for estimating coral diversity at the reefs of Eilat, displays small, indeterminate, fluctuations between years, while coral diversity at shallow sites is generally lower than at deeper sites. Recently, we added another diversity index, 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 it 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. All indices display a similar picture of small-scale inter-annual fluctuations.
5. Algae blooms – In 2022, deep mixing of the water column produced sustained strong algal blooms, both phytoplankton and benthic, that lasted through March and April and into May. Mixing This year, like the previous year, mixing of the water column was not deep and, accordingly, algae blooms were much smaller. As a result, the maximal bloom potential, measured on algae settlement plates, was in summer, as observed occasionally in recent years. At all monitored sites it seems that grazing is efficient enough to moderate benthic algae growth, even considering the demise of sea urchins (see section 8).
6. The Coral Reserve lagoon – In recent years a considerable decrease in coral density was measured at the Nature Reserve lagoon. In the previous year, average coral density was smaller than 1 colony per square meter (0.96), the lowest value measured in the past 20 years. This year, coral density at the lagoon was a little higher than last year, but still a lot lower than that measured in the initial years of monitoring.
   Newly established continuous temperature measurements demonstrate the unique conditions of this habitat. The daily temperature span in the lagoon is greater than outside of it and the seasonal temperature change is also larger: temperatures in the lagoon are generally higher in summer and lower in winter compared to those measured at the fore-reef. Harsher environmental conditions at the lagoon result in it being 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 recent years the fire coral *Millepora* was most abundant at the lagoon, but it too is declining.
7. 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.

8. 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 urchin density has declined since 2016 and over the past few years, urchin density has decreased dramatically despite the deep mixing of 2022.
   Early in 2023, mass mortality of urchins occurred in Eilat, affecting the diminished *D. setosum* population and only one individual was encountered in this year's surveys, at the lagoon. *Tripneustes* urchins were also affected and the urchin population in Eilat is currently ominously small.
9. Reef fish – 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, although the shallow IUI site was always found to have the lowest fish density.
   Aiming to update our survey methodology, this year, in addition to the regular survey we also used belt-transects at all sites to collect reef fish data. The belt-transects method allows a larger reef area to be surveyed and is also the prevalent method used by other research groups. A significantly larger number of fish were encountered in the belt-transects, and that probably leads to more reliable results. Despite numerical differences between the survey methods the overall population structure was similar across the two methods. However, species richness was lower and diversity generally higher in the old method as compared to the belt transects.

Coastal Environs

10. 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 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. In the following two years, the water column was mixed to a shallower depth (ca. 300m, this year) and nutrient concentrations were much lower. Maximal chlorophyll-*a* concentration at the Open Sea sampling station was also approximately half of that measured in 2022.
    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, often in the northern sampling stations. In April this year, irregularly high concentrations were found at the northern sampling stations, particularly at the FF station. High concentrations of nutrients and chlorophyl-*a* were also measured near the Kinet Canal outlet in April and May, together with abnormal salinity (low in April and high in May). It seems that water input from the canal caused the abnormal concentrations that we measured in the FF sampling stations.

11. Sea surface temperatures – This year's annual average SST measured in the Open Sea sampling station was the highest ever measured in the coastal monitoring campaigns, 25.0°C. Over the years of monitoring, a warming SST trend is documented at the Open Sea station. The mean increase amounts to ca. 0.5 degrees per decade.
12. 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 also relatively high, although not to the same extent. 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.
13. Benthic foraminifera – Deformed benthic foraminifera were found in 2020-2022 at several soft sediment seafloor sampling stations, particularly in proximity to the former location of aquaculture cages. Deformed specimens, together with high heavy metal concentrations in sediments at the FF sampling site, may indicate contaminated sediments that were exposed and transported during the March 2020 southern storm and affected development of benthic fauna. Deformed specimens were not identified in the last two years.
14. Seagrass at the northern and southern beaches – Seagrass surveys are conducted in winter and in summer and a marked differences were often found between seasons, but this year seasonal variation was small. On average, seagrass cover at the northern site is richer, mainly due to disappearance of seagrass from the 10 meters depth at the southern site in recent years. In 2020 a dramatic drop in seagrass cover was documented at both sites, perhaps because of the March 2020 southern storm.

The deep water column

15. Vertical mixing – Seasonal vertical mixing of the water column is driven by winter cooling of surface waters that erases thermal stratification and leads to mixing of upper water with increasingly deeper waters. This mixing brings nutrients from the deep to the upper waters and replenishes oxygen in the deeper waters. During the warm season stable thermal stratification prevents mixing of upper and lower water bodies.
    This year, mixing of the water column was relatively shallow, only ca. 300 meters. In the winter of 2022, 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.
16. Concentrations of oxygen and nutrients in the deep waters – Deep mixing in 2022 led to decreased nutrients concentrations and high oxygen concentrations in the deep waters. Shallow mixing in the last two years saw nutrients begin to accumulate in waters deeper than 400 meters – and at a higher rate than expected by comparison to the years following the previous deep mixing (2012).
17. 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 now appears that chlorophyll concentrations are not driven only by vertical mixing and changes in salinity at the end of the mixing season support this. Rising chlorophyll concentrations coupled with

rapidly increasing nutrient concentrations in the deep waters may indicate an external source.

18. 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, albeit at a lower rate than the temperature rise at the sea surface.
19. 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. In recent years, zooplankton mass is relatively high and this year it was higher than in 2022, and even higher than 2016. This suggests that the duration and intensity of mixing, as well as additional factors, may also play a role.
20. Primary productivity – This year measurements of primary productivity were done by the NMP every other month, following the protocol of Prof. E. Rahav of IOLR that was used in recent years. 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 2010-2024 is rather uniform, with highest values in 2016, but still, there may be a slight, non-significant, increase in summer productivity over the years.

Supplementary continuous measurements

21. 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. Chlorophyll concentrations near the reef were lower this year compared to the multi-annual average (1988-2023) and a spring bloom of phytoplankton was not documented. Daily chlorophyll measurements near the NR coral reef do not reveal an ongoing trend of change.
22. Sea surface temperatures next to Eilat's coral reef (daily measurement) – Throughout the year, SST measured daily near the Underwater Observatory and the nature reserve reef was higher than the multi-annual average and also from the 90th percentile of existing measurements. Only at the end of September tempretures dropped to the 90% line and at the end of October to the multi-annual average. From July to mid-September SST was considerably higher (2.5-3 degrees) than average. Since 1988 the annual average SST has risen at an average rate of ~0.36 degrees per decade (measurements by prof. (emeritus) Genin’s lab), and since the NMP took over in 2004 the average rate is ~0.49 degrees per decade.
23. Meteorology (continuous measurement) – This year’s meteorological measurements were not extraordinary and did not include notable southern storms events. The maximal ambient air temperature recorded over the sea from the pier at the IUI was the highest measured so far, 45.5 degrees.

    Sea conditions (continuous measurement) – The maximal SST recorded at the IUI pier this year was the highest on record, 31.9 degrees, in early August, and the minimal SST this year was also higher than measurements of the past few years. The previous highest maximal SST on record was 31.0°C, measured in 2021.

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.

24. Sea waves (continuous measurement) – The NMP started monitoring waves in 2021. To our knowledge this is the only continuous wave measurement at the northern Gulf of Eilat. This year wave data was collected by two sensors close to shore at the IUI, one of them placed near the surface over ~4.5 meters depth and the other at a depth of 6.5 meters over 30 meters deep seafloor. The data collected to date allows characterization of the typical waves generated near the IUI (southern shore of Eilat) by northern winds: 99% of the deeper measurements were of significant wave heights up to 0.2 meters while the shallower measurements had ~80% of readings at this range and ~20% of significant wave heights ranging 0.2-0.4 meters. Higher waves, the result of strong southern winds are better characterized over the deep seafloor. The deeper sensor recorded seven events this year, in which the maximum wave heights were greater than 0.5 meters and in three of them maximum heights maximum heights were greater than 1 meter. On the evening of January 13, the highest waves of the year were measured, ~2-3 meters, driven by southern winds (13.4 meters per second, from direction 207°).
25. In the summer of 2022, a surface acoustic current meter was placed next to the IUI pier. Measurements reveal that the dominant currents are parallel to shore, the southerly direction is more dominant than the northerly direction and reaches greater speeds. Long-shore currents commonly change direction about twice a day, probably forced by the tidal cycle, but this cycle is not regular and consistent throughout the year. Most of the currents that are faster than 0.3 m/sec. are in a southerly direction and velocities greater than 0.4 m/sec. were only measured in southern currents. The strongest currents (southerly) were measured in June and July.

Multi-annual variations and trends

The coral reefs of Eilat

1. Live stony coral cover – Live coral cover is a simple and significant metric reflecting the state of the reef, and substantial variations in the live coral cover between sites as well as 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 recently an increased average coral cover was measured and coral cover is in a range lower than the maximal values but higher than it was in the initial years of monitoring.
2. Stony coral density and size – Average coral density between all monitored sites varies in time, although annual changes are small. 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.
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 until recently, the dominant sea urchin in Eilat was *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 was 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. At the start of 2023, mass mortality of urchins in Eilat was documented, most likely due to a bacterial pathogen, and affected mainly *D. setosum*. In recent years, the urchin population in Eilat is ominously small and this year only one *D. setosum* individual was found in the NMP surveys.

Coastal Environs

6. Nutrient concentrations in coastal waters – Nutrient concentrations are usually higher during winter than they are during summer months, because winter water column mixing 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 – possibly indicating terrestrial water input.

The deep-sea water column

7. 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.
   Following deep mixing in 2022, deep waters were enriched in oxygen and depleted in nutrients that were brought up to the photic upper waters and fueled intense blooms. In the past two years nutrient concentrations are rising in the deep waters – at a rate higher than expected by comparison to the previous deep mixing (in 2012).
8. 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, and peak annual values are sometimes measured during summer and not spring. It seems that, in addition to the seasonal mixing of the water column, Chlorophyll-*a* concentrations are also affected by other processes.
9. 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 בתקופה האחרונה מאשר בשנים 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. לאחרונה נמדדות תנודות בכיסוי האלמוגים, אך מוקדם לקבוע האם ישנה מגמה של התאוששות. השנה תועדה לראשונה הלבנת אלמוגים בשוניות אילת, ואף כי הפגיעה לא היתה חמורה ואלמוגי אילת עמידים למדי לעקות חום, אירועי זה מהווה התראה לגבי הצפוי בעתיד.
שונית האלמוגים פגיעה למגוון לחצים אנושיים וטבעיים, אך גם גורמים "טבעיים" מושפעים, בחלקם, מהתערבות אנושית. למשל, עמידותם של אלמוגים בעקות חום נפגעת מהצטברות חומרי דשן במי הים. גורמים נוספים שעשויים לפגוע בשוניות אילת כוללים מי נגר השוטפים אל הים ומעודדים פריחות אצות, עומס סדימנט המובל בשטפונות, חדירת חיידקים פתוגנים ממקורות חיצוניים למפרץ ועוד.
אנו ממליצים לנקוט משנה זהירות בכל הנוגע לפעולות העלולות 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 לעקות כרוניות 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 פריחות של אצות צמודות מצע המתחרות עם אלמוגים על שטחי השונית. המדידות מראות כי בשנות הניטור ויסות הפריחות על ידי רועים בשונית 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 2023 תועדה תמותה המונית של קיפודי ים מסוגים שונים, ובעיקר הקיפוד הדומיננטי *D. setosum*, ככל הנראה כתוצאה מפגיעת חיידק פתוגן. אוכלוסיית הקפודים בשנים האחרונות קטנה במידה מדאיגה.
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 באזורים אלה. בשנים האחרונות נראה כי תעלת הקינט מהווה מקור סביבו נצפות פריחות מרובות וחזקות ונמדדים שם ריכוזי נוטריינטים גבוהים במיוחד. מומלץ לבחון האם השינויים שנעשו בשנים האחרונות ואלה שעדיין מתוכננים יצליחו למזער את הבעייה. 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 לצפון המפרץ.

IV . בשנים 2020-2022 נמצאו בתחנות הניטור בחוף הצפוני, וב-2022 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 מורפולוגים בקווצי עור ובין זיהום סביבתי ולפיכך עולה חשש שהעיוותים בפורמניפרים 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. בשנתיים האחרונות לא נמצאו פרטים מעוותים בסקר הקרקעית החולי ונראה כי מקור הזיהום התפזר ונמהל – 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 עלו בשנתיים האחרונות בקצב מהיר מהצפוי מיד 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.

א.6. רשימת טבלאות ואיורים, *List of Tables and Figures*

Tables

Figures

ב. שונית האלמוגים

ב.1. סקר חברת השונית

מטרה

אמדן 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 אמדן 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	34º55'.02	29º30'.07	5,10,15
השמורה הסגורה (גנים יפנים)	NR	34º55`.26	29º30`.33	1,5,10,20
קצא"א (בין המזחים)	KATZA	34º56`.04	29º31`.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 ז2, טבלה ז1). 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 (S, M, L 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 ז3).

איור ב1: תצלום אווירי של קטע החוף הצפון-מערבי של המפרץ, דרומית לעיר אילת, עליו מצויינים האתרים בהם נסקרה חברת השונית, 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 השונית בשמורת האלמוגים. סרט מדידה נפרש על השונית, 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 (http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS ;Colwell, 2005) 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 סנטטיות 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.

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

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 לתכנית הניטור חושב עבור חתך בן עשרה מטרים בכל אתר, ולא עבור האתר כולו (דיון מקיף מובא בדו"ח התכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת, 2006). 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 (Jost 2006). עבור מדד Shannon-Wiener חישוב מספר המינים האפקטיבי הוא על ידי הנוסחה:

Effective number of species = exp(H_Shannon)

מספר המינים האפקטיבי הוא מספר המינים בעלי פיזור שווה אשר היו נותנים את ערך מדד Shannon Wiener הנמדד. באופן זה מתקבל מספר בעל משמעות ואשר ניתן להשוותו בין אוכלוסיות שונות ומדדים שונים.
בתכנית הניטור באילת זיהוי אלמוגים בצלילה מתאפשר, לרוב, רק עד לרמת הסוג ועל כן מגוון האלמוגים הוא למעשה "מגוון סוגי האלמוגים" ולא מגוון מינים. בדו"חות הניטור האחרונים, מגוון האלמוגים מוצג גם באמצעות מדד "המספר האפקטיבי של סוגי אלמוגים".
ניתוח נוסף למגוון האלמוגים נעשה באמצעות עקומות צבירה (rarefaction curves) המחושבות באמצעות התכנה ומתוכן מחושבת גם תוחלת סוגי האלמוגים 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 תכנית 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.
<u>קווי שגיאה מייצגים את שגיאת התקן</u>, אלא אם מצוין אחרת.

<u>תוצאות:</u>

בקיץ השנה נצפתה לראשונה באילת הלבנת אלמוגים. קיץ השנה היה החם ביותר גלובאלית, וגם במפרץ אילת הגיעה טמפרטורת פני הים לשיאים שלא נרשמו עד כה. כתוצאה מעקת החום, שהיתה גדולה אף מהתרחישים החמורים ביותר אליהם נחשפו אלמוגי אילת במערכות ניסוי, תועדה בשוניות אילת הלבנה, אף כי מוגבלת למספר מינים מצומצם (בעיקר *Stylophora*, *Astreopora*, *Montipora*).

בעבר נמצאו מדי פעם מושבות אלמוגים מולבנות אך לא בתפרושת נרחבת וניתן היה לשייך זאת לגורמים מקומיים כגון טריפה או מחלה. הלבנת האלמוגים השנה חרגה ממסגרת זו בכך שבמשך מספר שבועות נמצאו מושבות אלמוגים רבות שאיבדו את צבעי האצות או הפכו לגמרי ללבנות. על אף האמור לעיל, לא היתה זו הלבנת אלמוגים נרחבת כפי שתועדה בשוניות רבות בעולם בשנים האחרונות ומספר המושבות שנפגעו היווה אחוז קטן בלבד מסך המושבות בשוניות אילת. במקומות אחרים, עקת חום כזו עלולה היתה לגרום להלבנה ותמותה של כ-90% מהאלמוגים, אך באילת, עם התקררות המים בסוף הקיץ, נראה היה שרבות מהמושבות שנפגעו הצליחו להתאושש.

כיסוי האלמוגים הממוצע בשוניות אילת היה השנה נמוך מעט בהשוואה לשנה הקודמת, אולם אין ביכולתינו לקבוע מה חלקה של הלבנת האלמוגים בכך, גם מכיוון שהרבה מסקרי השונית נעשו לפני תחילתה של ההלבנה באילת. עם זאת, אין ספק שגורמי עקה מקומיים כגון זיהום מסוגים שונים, שטפונות, סערות ועוד, מחלישים את כושר עמידתה של השונית גם בפני עקת חום.

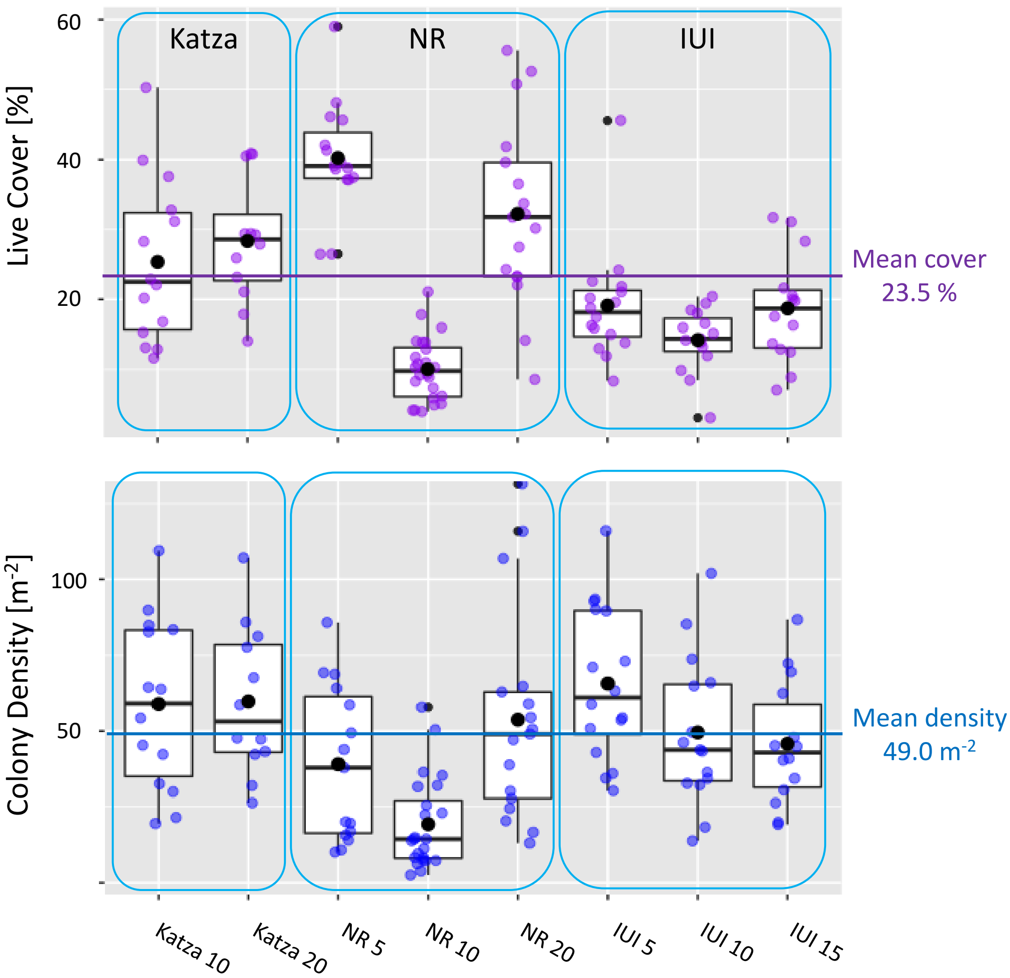
<u>כיסוי אלמוגים וצפיפות מושבות</u>

אחוז השטח המכוסה אלמוגי אבן חיים שונה מאד בין האתרים, וכך גם צפיפות האלמוגים (איור ב3). כיסוי האלמוגים הגדול ביותר נמצא בשונית הרדודה בשמורת האלמוגים (5-NR), בה נמדד השנה כיסוי אלמוגי אבן של 40.2±2.1%. זהו כיסוי נמוך בהשוואה לשנה הקודמת, 2023, בה נמדד שם כיסוי חי של 44.5±4.6%. הכיסוי הנמוך ביותר נמצא גם השנה באתר השמורה בעומק עשרה מטרים (10-NR), עם 10.1±0.9% כיסוי בלבד. אתר זה הוא גם האתר עם צפיפות המושבות הנמוכה ביותר (19.3±3.0 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, 39.0±6.6 מושבות למ"ר) משקף אכלוס על ידי מושבות אלמוגים גדולות.

השנה נמדד בחמישה אתרים כיסוי אלמוגים חיים נמוך בהשוואה לשנה הקודמת, עם ירידה גדולה במיוחד באתרים 5-NR ו-10-IUI (4% ו-2% בהתאמה) ובאתר 5-IUI נמדדה עליה גדולה יחסית (1%). בשאר האתרים השינויים בהשוואה לשנה הקודמת קטנים מאחוז אחד.

כיסוי האלמוגים הממוצע באתרי השונית הנסקרים ירד השנה לעומת השנה הקודמת ועמד על 23.5±3.5% (לעומת 24.3±3.9% בשנה הקודמת) ודומה לכיסוי שנמדד בשנת 2020.

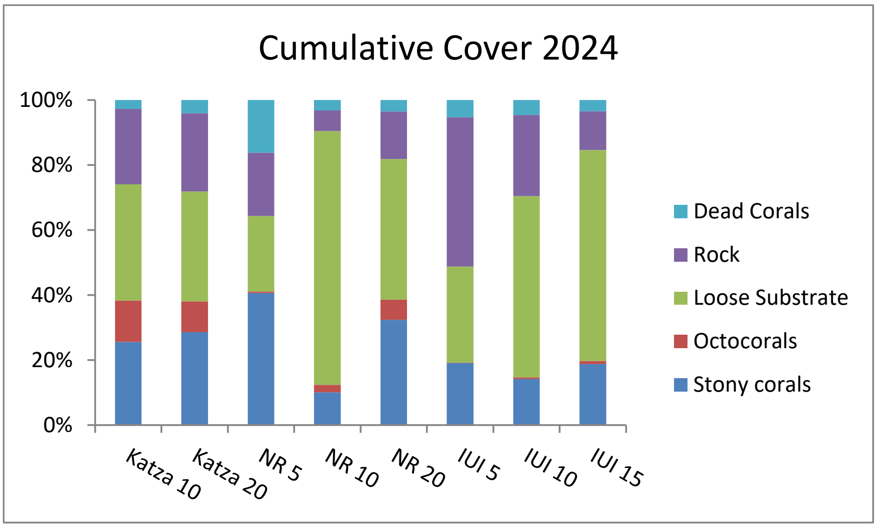
גם צפיפות המושבות הממוצעת ירדה מעט השנה בהשוואה לשנה הקודמת, 49.0±5.2 מושבות למ"ר, לעומת 51.9±5.5.



איור ב3: אחוז שטח הכיסוי הממוצע (למעלה) וצפיפות המושבות (למטה) של אלמוגי אבן חיים בכל אתר בשנת 2024. 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 אופקיים.

Figure B3: The average live stony coral cover (top) and colony density (bottom) at each site, in 2024. **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 אופיים השונה של בתי הגידול. הבדלים גדולים בין האתרים הנסקרים (מלבד הבדלים בעומק) ניכרים בהתפלגות סוג המצע עליו עשויים אלמוגים להתיישב (איור ב4). אתר השמורה NR-10 בו כיסוי האלמוגים קטן ביותר הוא אתר חולי ברובו, ואילו רדוד יותר – אתר NR-5 – הוא אתר שרובו שונית 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 השונית בכל אתר.

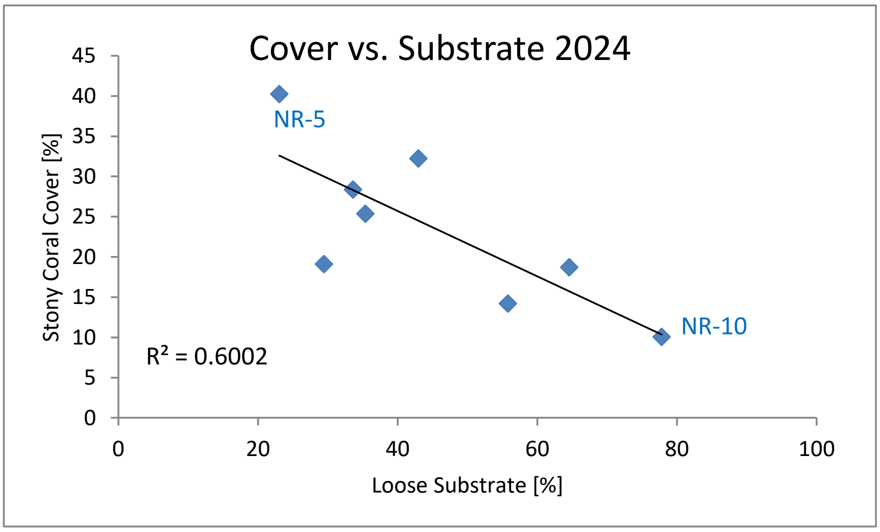


איור ב4: אחוזי הכיסוי המצטברים של אלמוגים, מצע בלתי מלוכד, סלע, ואלמוגים מתים. אחוזי הכיסוי של כל מצע הם ממוצע כל החתכים באותו אתר.

Figure B4: Cumulative percent cover of live corals, loose substrate, 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"בלתי מלוכד" (loose substrate), הכולל חול וחלוקים, באותו אתר (איור ב5). המתאם השנה עומד על R^2=0.60 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 השונית וחשפה מצע קשה באתרי השונית.



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.

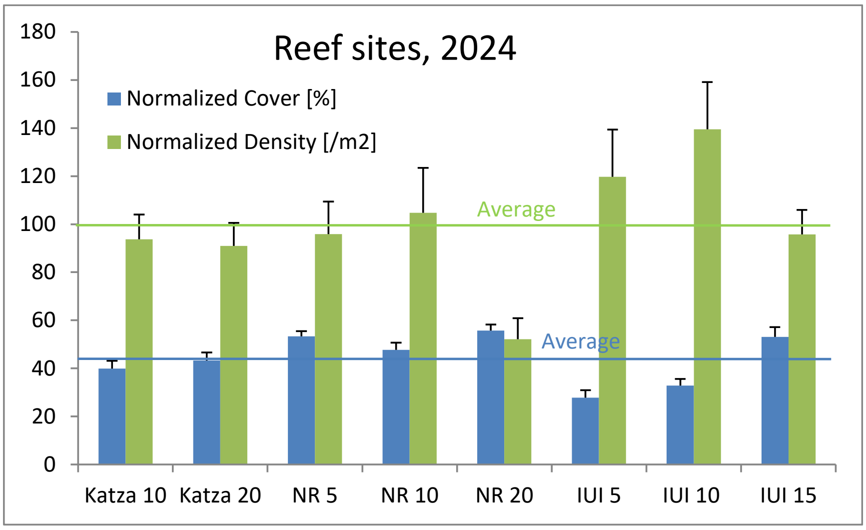
לצורך השוואה בין אתרים ועל מנת לאתר הבדלים בהצלחת אלמוגים באתר זה או אחר שאינם נובעים מסוג המצע, ניתן לנטרל את ההבדלים בכמות הקרקע הלא מלוכדת בין האתרים על ידי התבוננות באחוז כיסוי האלמוגים על גבי קרקע מלוכדת (סלעית) בלבד. ניצול המצע המתאים להתיישבות אלמוגים מחושב כיחס בין אחוז הכיסוי החי וסכום האחוזים של הקרקע המלוכדת והכיסוי החי (ושלדי אלמוגים מתים), בהנחה שהמצע המתאים להתיישבות אלמוגים הוא קרקע מלוכדת בלבד ושכל האלמוגים יושבים על מצע כזה (איור ב6).

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±4.5% (NR-5) לערך נמוך

של 39.4±3.4% (10-KATZA). באתרי המכון ישנה משרעת של כיסוי מנורמל נמוך ביותר בעומק הרדוד, 24.4±1.5%, וגבוה יותר בעומק 15 מטרים, 51.4±3.6%.

הכיסוי הממוצע של אלמוגי אבן על גבי מצע מלוכד באתרי קדמת השונית היה השנה 43.5±3.7%, מעט גבוה בהשוואה לשנתיים האחרונות.

בממוצע נמצאו 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.



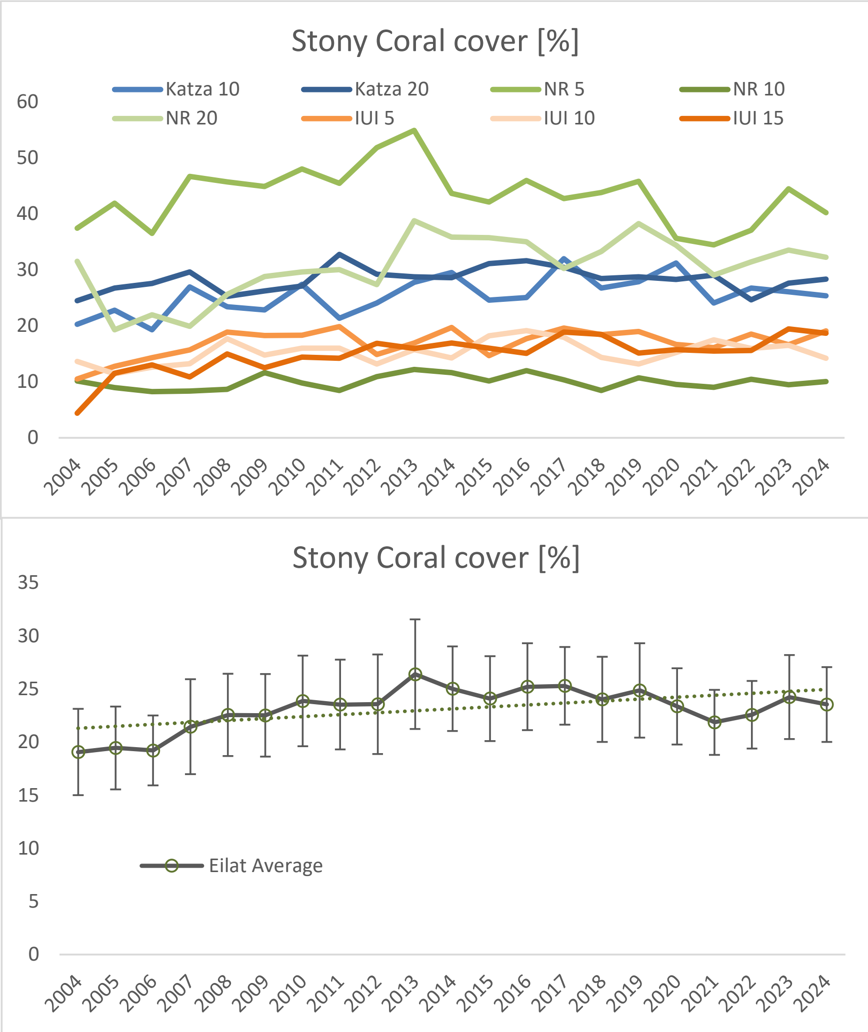
איור 6ב: ניצול המצע המתאים להתיישבות אלמוגים בשנת הניטור 2024. אחוז הכיסוי וצפיפות המושבות של אלמוגי אבן חיים על גבי קרקע סלעית בכל אתר.

Figure B6: Utilization of available substrate by stony corals in 2024. **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, 23.5±3.5%, נמוך מזה שנמדד בשנה הקודמת (24.2±3.9%, בקייץ 2023) אך גבוה מאשר בשנים 2021-2022, איור 7ב.

הכיסוי הממוצע באלמוגים חיים הנמדד באתרי אילת היה 19.1±4.1% בתחילת הניטור (שנת 2004) וגבוה ביותר בשנת 2013 (26.4±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 ואחריהן תחילה של התאוששות. בשנה הקודמת היה כיסוי האלמוגים החיים דומה לזה שנמדד לפני הסערה, אולם השנה נמצאה ירידה קלה מערך זה. 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 וכממוצע 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.**

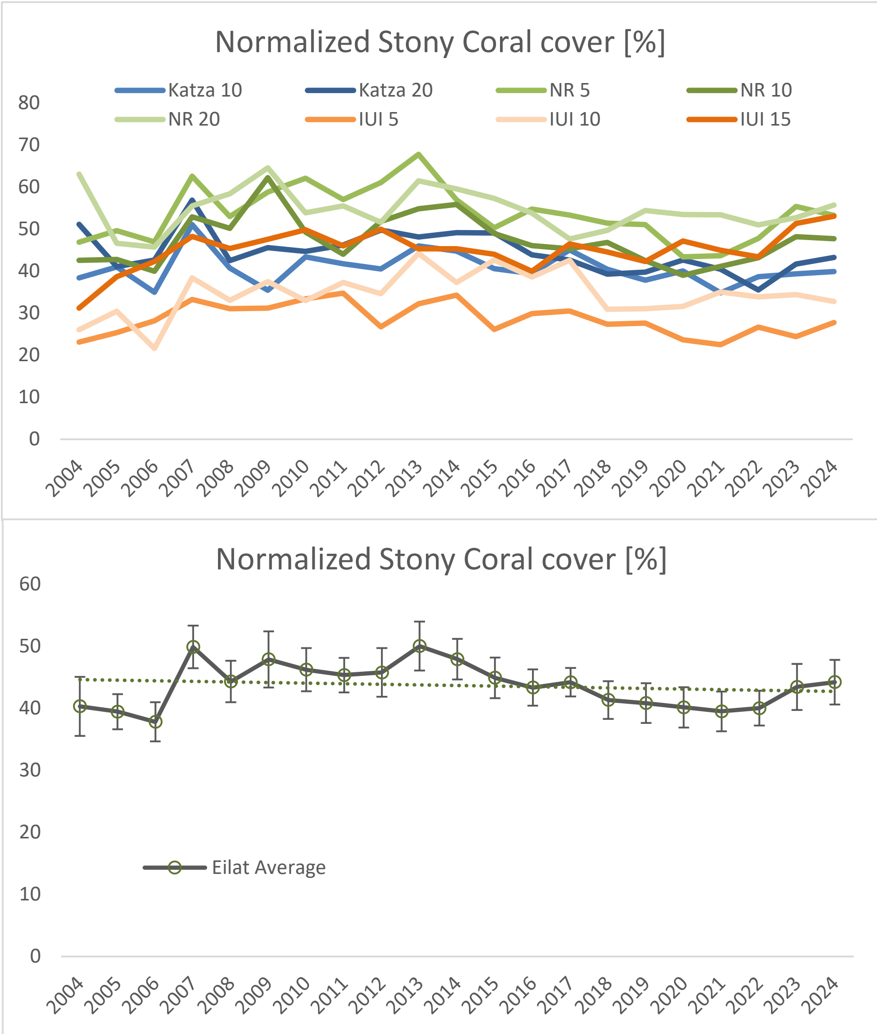
במשך תקופת הניטור יעילות האלמוגים בניצול קרקע מלוכדת להתיישבות ובניית שונית (כיסוי אלמוגים מנורמל, ראו למעלה) מראה אף היא עלייה בתקופה הראשונה לניטור ומאז יציבות עם ירידה ותנודות קלות בשנים האחרונות (איור ב8). השפעתה של הסערה הגדולה בחודש מרץ 2020 על ניצול המצע המתאים להתיישבות אלמוגים (כיסוי מנורמל), ובפרט על הערך הממוצע בשוניות אילת הנסקרות - קטנה. בשנה הקודמת נמדדה עליה בכיסוי המנורמל ברוב האתרים וכך גם בכיסוי המנורמל הממוצע לשוניות אילת. גם השנה נמדדה עליה קלה, אך במידה פחותה.

תנודות בניצול המצע להתיישבות 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-NR-5 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 IUI-15 אשר ניצול המצע הזמין בו גבוה מזה של אתרי IUI הרדודים על אף שסך הכיסוי בו בדרך כלל נמוך יותר.

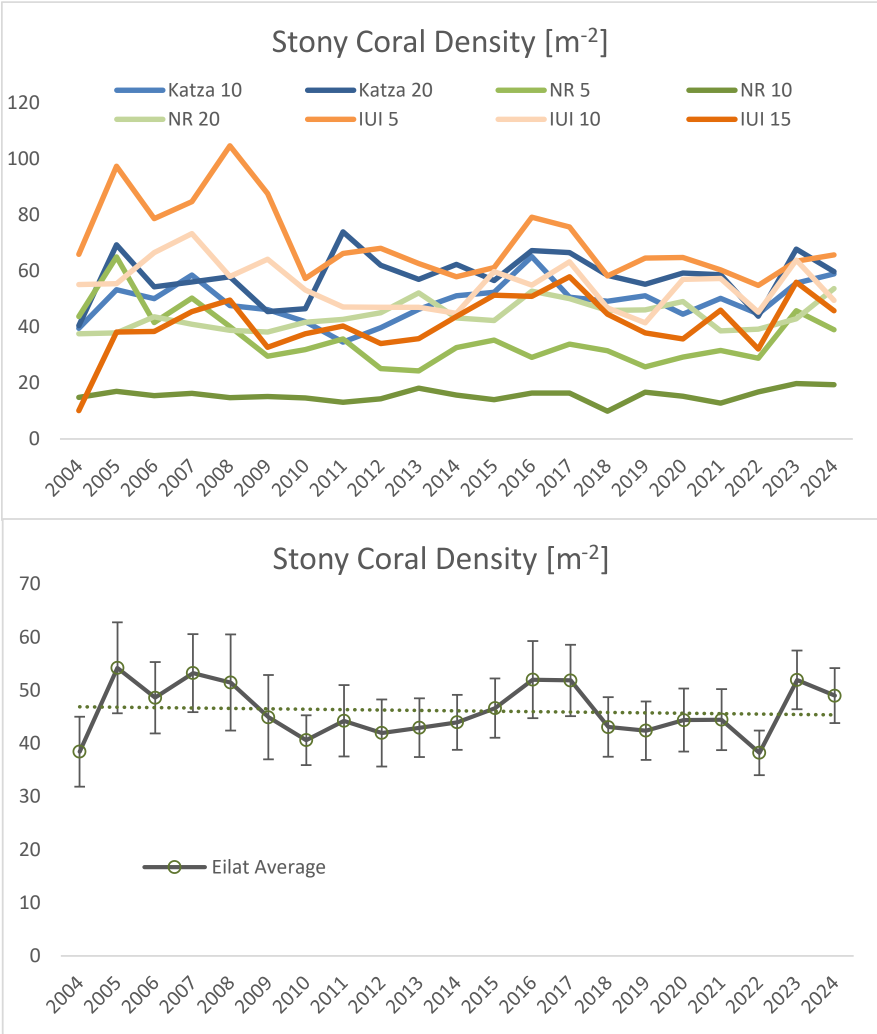


איור ב8: ניצול המצע הסלעי על ידי אלמוגים (שטח הכיסוי הממוצע מתוך הקרקעית הסלעית) באתרי קדמת השונית וממוצע הערכים בכל האתרים.

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). השנה נמצאה ברוב האתרים ירידה קלה בצפיפות הממוצעת של מושבות אלמוגי אבן למטר רבוע בהשוואה לשנה הקודמת, וכך גם בערך הממוצע לשוניות אילת (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 ובשנת 2022 נמדדה הצפיפות הנמוכה ביותר בתקופת הניטור, 38.2±4.2 מושבות למ"ר, בממוצע. צפיפות המושבות הממוצעת באתרי קדמת השונית באילת היתה השנה 49.0±5.2 מושבות למ"ר, גבוה בהשוואה לערך הנמוך של 2022, אך מעט נמוך יותר מהערך שנמדד בשנה הקודמת (51.9±5.5). בין השנים נמדדו תנודות בצפיפות המושבות אך על פני תקופת הניטור השינוי במדד זה קטן.

תנודות בצפיפות מושבות משנה לשנה נובעות 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 וכממוצע כל אתרי קדמת השונית.

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

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. ירידה זו נבלמה וכיסוי האלמוגים הנמדד בשנתיים האחרונות גבוה מאשר בשנים שלאחר הסערה ומעיד, כנראה, על תהליך התאוששות. הצפיפות הממוצעת של מושבות אלמוגים באתרי הניטור התייצבה בשנים האחרונות על ערך נמוך מהערך הגבוה של שנת 2017 אך לאורך התקופה כולה השינויים בצפיפות המושבות קטנים.

טבלה ב2: 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	14	12	15	24	17	16	15	14	127
Stony coral [%]	**25.4**	**28.4**	**40.2**	**10.1**	**32.2**	**19.1**	**14.2**	**18.7**	**23.5**
stdev	11.7	8.8	8.0	4.6	13.0	8.3	4.5	7.7	9.9
SE	3.1	2.6	2.1	0.9	3.2	2.1	1.2	2.0	3.5
CV	0.5	0.3	0.2	0.5	0.4	0.4	0.3	0.4	2.4
Octocoral [%]	**12.5**	**9.4**	**0.5**	**2.3**	**6.1**	**0.1**	**0.5**	**1.0**	**4.0**
stdev	13.1	3.8	0.6	2.7	5.0	0.4	0.4	1.2	4.8
SE	3.5	1.1	0.2	0.5	1.2	0.1	0.1	0.3	1.7
CV	1.0	0.4	1.3	1.1	0.8	4.0	0.9	1.2	0.8
GRV+Sand [%]	**35.4**	**33.6**	**23.1**	**77.8**	**43.0**	**29.4**	**55.8**	**64.6**	**45.3**
stdev	19.4	9.9	13.1	9.7	15.8	10.1	10.6	9.9	19.0
SE	5.2	2.9	3.4	2.0	3.8	2.5	2.7	2.6	6.7
CV	0.5	0.3	0.6	0.1	0.4	0.3	0.2	0.2	2.4
Rock [%]	**23.0**	**23.9**	**19.2**	**6.4**	**14.5**	**45.7**	**25.0**	**11.9**	**21.2**
stdev	11.3	10.7	16.6	3.7	6.5	15.7	10.9	5.5	11.8
SE	3.0	3.1	4.3	0.8	1.6	3.9	2.8	1.5	4.2
CV	0.5	0.4	0.9	0.6	0.4	0.3	0.4	0.5	1.8
Dead Coral [%]	**2.7**	**4.0**	**16.0**	**3.1**	**3.5**	**5.3**	**4.5**	**3.4**	**5.3**
stdev	2.8	4.8	11.9	4.5	3.4	4.7	3.2	3.5	4.4
SE	0.7	1.4	3.1	0.9	0.8	1.2	0.8	0.9	1.6
CV	1.0	1.2	0.7	1.4	1.0	0.9	0.7	1.0	1.2
Norm. cover [%]	**40.0**	**43.3**	**53.3**	**47.7**	**55.7**	**27.8**	**32.8**	**53.1**	**44.2**
stdev	11.9	11.8	8.2	14.6	10.6	12.5	10.9	15.3	10.2
SE	3.2	3.4	2.1	3.0	2.6	3.1	2.8	4.1	3.6
CV	0.3	0.3	0.2	0.3	0.2	0.4	0.3	0.3	4.3
Stony coral Density [m^{-2}]	**58.9**	**59.8**	**39.0**	**19.3**	**53.7**	**65.7**	**49.5**	**45.8**	**49.0**
stdev	28.3	24.4	25.6	14.7	34.9	25.1	24.6	20.4	14.7
SE	7.6	7.0	6.6	3.0	8.5	6.3	6.3	5.5	5.2
CV	0.5	0.4	0.7	0.8	0.6	0.4	0.5	0.4	3.3
Norm. Density [m^{-2}]	**93.7**	**90.9**	**95.9**	**104.8**	**52.1**	**119.7**	**139.5**	**95.7**	**99.0**
Stdev	38.4	33.2	66.3	77.0	33.9	76.3	73.5	40.8	25.1
SE	10.3	9.6	13.5	18.7	8.8	19.7	19.7	10.2	8.9
CV	0.4	0.4	0.7	0.7	0.7	0.6	0.5	0.4	3.9

גודל מושבות אלמוגים

מושבות אלמוגים תחת סרט המדידה משויכות לאחת מקבוצות הגודל **קטן**<5ס"מ; **בינוני**<15ס"מ; **גדול**<30ס"מ; **ענק**>30ס"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.

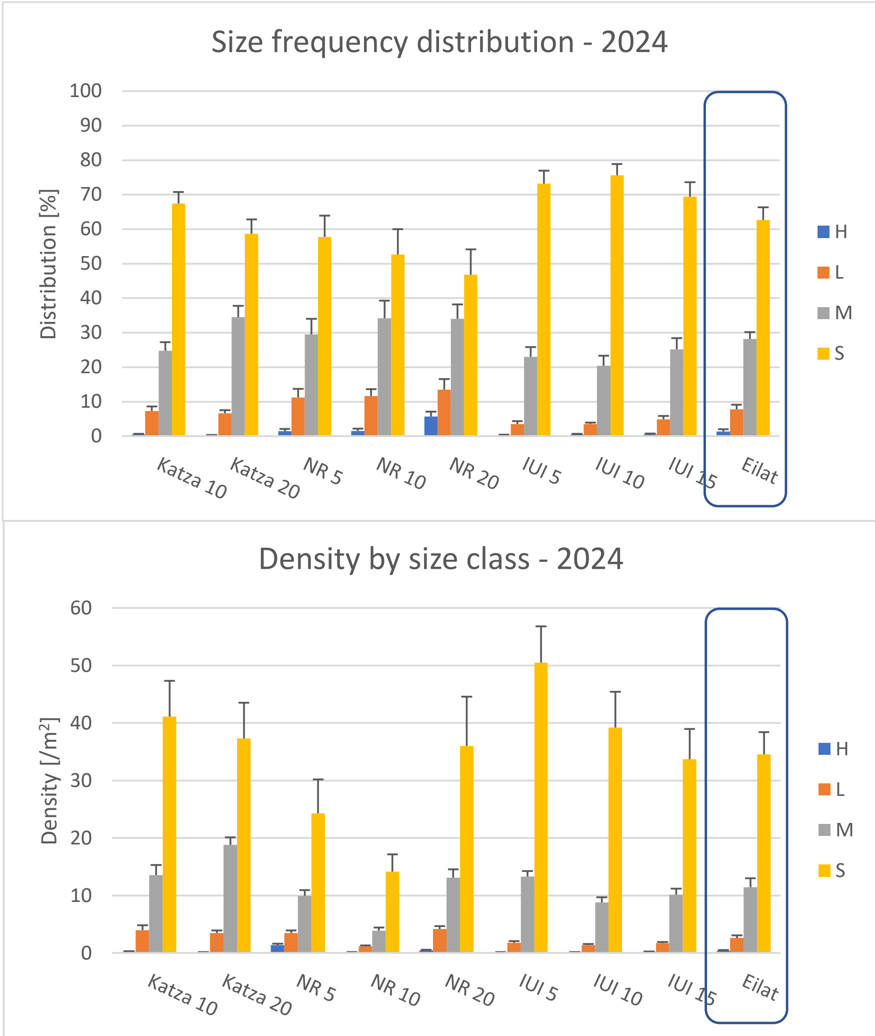
השימוש בשיטת חתכי קו ליצירת התפלגות גודל מושבות סובלת מהטייה הנובעת מכך שלמושבות קטנות סיכוי קטן יותר להיכלל בסקר (Zvuloni et al. 2008). במילים אחרות: חלקן היחסי של מושבות קטנות הנספרות בפועל בסקר זה הוא קטן מחלקן היחסי באוכלוסיה. לפיכך, נעשה תיקון מתמטי בו מחושב השטח האפקטיבי הנדגם עבור כל קבוצת גודל,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

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 (איור ב10). באתר IUI-10 נמצאה צפיפות ממוצעת של 39.2±6.3 מושבות קטנות למ"ר והן מהוות כ-76% מכלל המושבות באתר זה. לעומת זאת, באתר השמורה NR-10 הצפיפות הממוצעת של מושבות קטנות היא הנמוכה ביותר, 14.2±3.0 מושבות למ"ר בלבד, והן מהוות כ-53% מכלל המושבות. חלקן של המושבות הקטנות מכלל המושבות נמוך ביותר גם השנה באתר השמורה העמוק, NR-20, בו הן מהוות כ- 47% מכלל מושבות האלמוגים.

באתר השמורה הרדוד, NR-5, חלקן של המושבות "הענקיות" הוא הגדול ביותר והשנה הן מהוות שם כ-1.5% מכלל המושבות, לעומת כ- 8% בשנת 2022. הירידה בחלקן היחסי של מושבות ענקיות באתר זה נובעת מהעלייה בצפיפות המושבות הקטנות בשנתיים האחרונות.

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

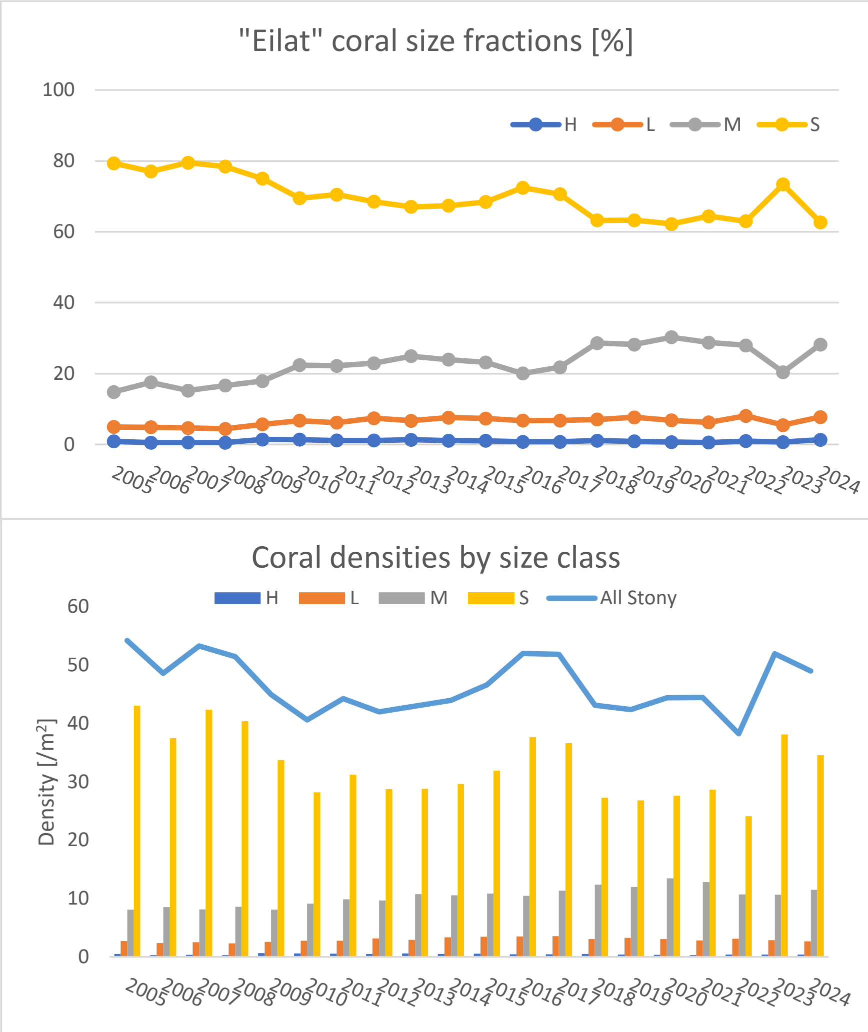


איור ב10: התפלגות גודל מושבות האלמוגים באתרים הנסקרים. חלוקת הגדלים לפי המפתח הבא: Small<5 ס"מ; 5 ס"מ <Medium< 15 ס"מ; 15 ס"מ <Large< 30 ס"מ; Huge>30 ס"מ. למעלה מוצגים אחוזים מסך המושבות מאותה קבוצה באתר. למטה מוצגת צפיפות המושבות בחלוקה לקבוצות גודל בכל אתר והממוצע לכלל האתרים. הערכים מוצגים לאחר תיקון 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, מאז שנת 2018 חלקן של המושבות הקטנות בשוניות אילת יציב למדי, כ- 63%, מלבד השנה הקודמת בה נמדדה עלייה גדולה בחלקן של המושבות הקטנות אך זו לא נמשכה גם השנה (איור ב11).

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. בשנים האחרונות נמדדו תנודות גדולות בצפיפות המושבות והשנה נמדדה צפיפות ממוצעת של כ- 49 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.**

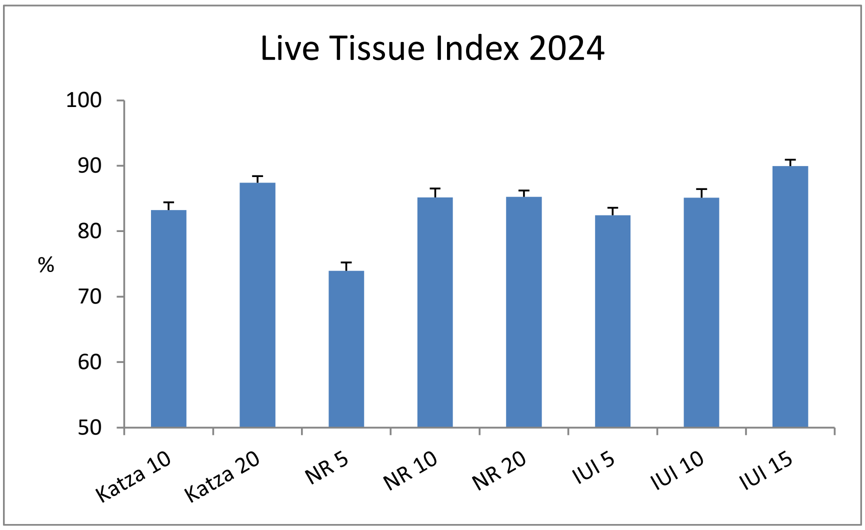
<u>בריאות אלמוגים</u>

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 שאמדן 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 האמדן 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 ז3).

גם השנה, כמו בכל השנים הקודמות, האתר בו מדד הרקמה החיה לבריאות אלמוגים נמוך ביותר הוא אתר השמורה הרדודה, NR-5, כ- 74%. 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- 90% (איור ב12).



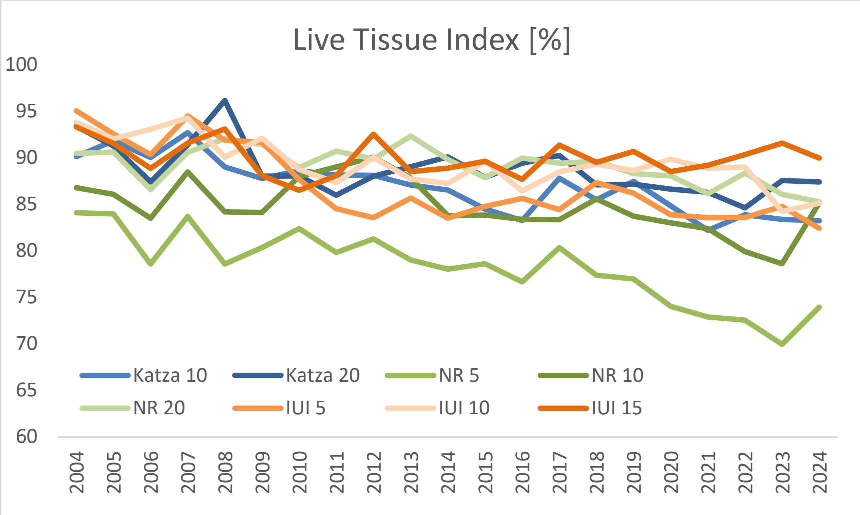
איור ב12: מדד אחוז הרקמה החיה של אלמוגים באתרים הנסקרים. המדד מוגדר כממוצע באתר של אחוז השטח החי/בריא מסך השטח של כל מושבת אלמוגים חיה.

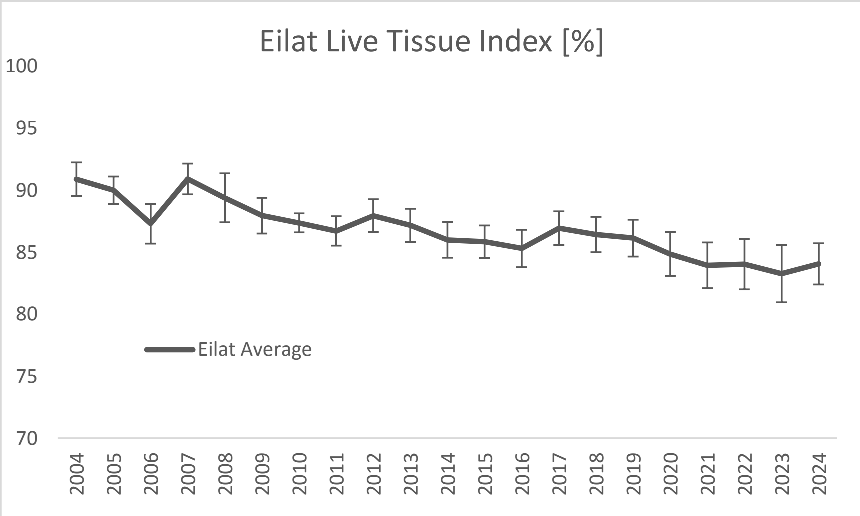
Figure B12: Live Tissue Index (LTI) for corals in the surveyed sites. **The LTI is the site-average of the percentage area of live/healthy coral tissue for each living colony.**

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- 84.0% (איור ב13). על אף שערכו הממוצע של המדד השנה דומה לזה של השנתיים הקודמות, נראה כי מגמת הירידה נמשכת מאז שנת 2007, ובאתרים מנוטרים רבים נמדדה ירידה השנה. עם זאת, השנה נמדדה גם עליה במדד, בחלק מהאתרים, וערכו הממוצע לשוניות אילת עלה מעט בהשוואה לשנה הקודמת.

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.

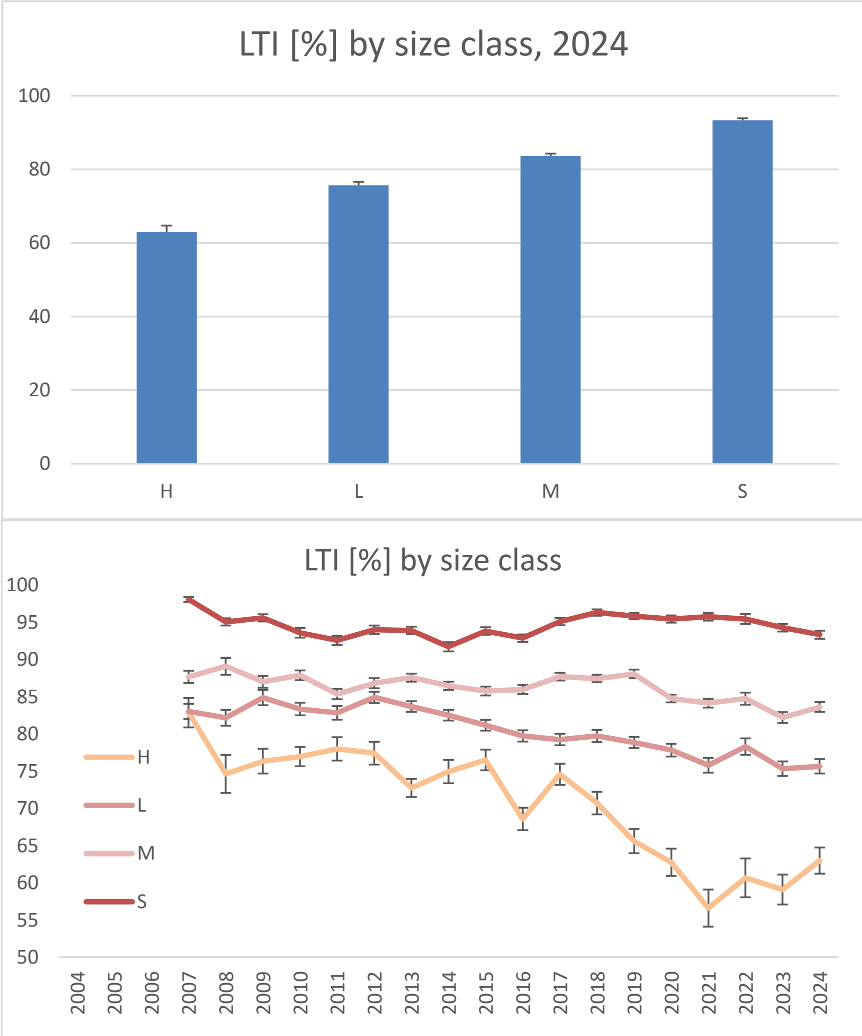
יתכן כי הירידה המתמשכת קשורה בעלייה בגודל המושבות ברוב האתרים, אשר כאמור למעלה מייצגות זמן רב יותר ופוטנציאל גבוה יותר לפגיעה חלקית ברקמה. מדד רקמה חיה נמוך צפוי באתרים בהם האלמוגים גדולים, מכיוון שתמותה חלקית פוגעת באלמוגים גדולים\בוגרים יותר מאשר באלמוגים קטנים\צעירים (איור ב14) – אולי מכיוון שאלמוגים 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 הניטור.

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 2024 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 2024, grouped by colony size class. Bottom, change to the LTI since 2007 in the various coral size classes.

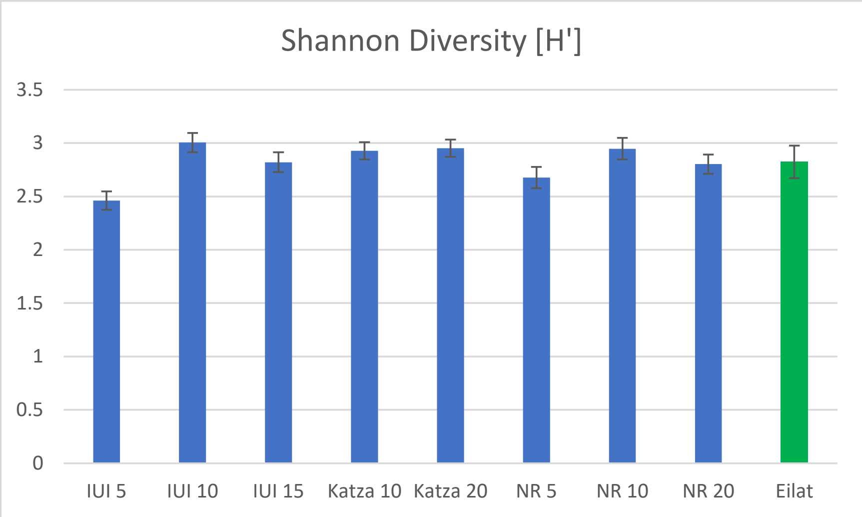
<u>מגוון סוגי האלמוגים</u>

מגוון סוגי האלמוגים 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 המגוון לאתר על ידי צבירת נתוני כל החתכים עד לקבלת הערכה הנסמכת על מספר הפרטים המרבי שנספרו, תוך התחשבות בסוגים נדירים (ראו דיון מפורט בדרכים להערכת מגוון המינים בדו"ח הניטור 2006). התוצאות ניתנות כהערכת מגוון הסוגים עבור כל אתר בשלמותו בהסתמך על נתוני חתכי הקו וחישובי EstimateS/Past.

בתכנית הניטור נעשה שימוש במגוון אלמוגים המבוסס על מספר מושבות האלמוגים בחתכים. בהשוואות שנעשו בין מדדים המבוססים על אורך מצטבר ("שטח") של אלמוגים לעומת מדדים המבוססים על מספר מושבות נמצא כי ערך המדד המבוסס על ספירה גבוה מעט מהערך המבוסס על שטח.

מגוון סוגי האלמוגים 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 ממציאותם או העדרם של סוגים נדירים, נמצא מגוון גבוה באתרים בהם הכתמיות גדולה.

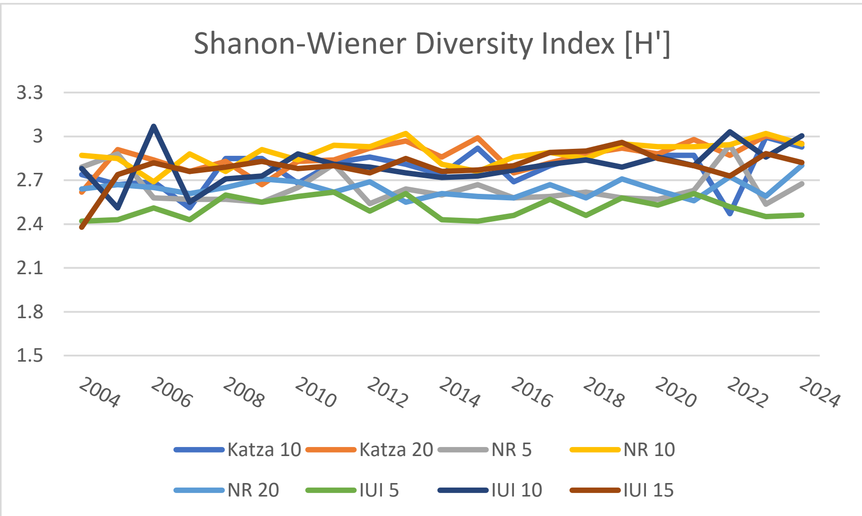
מדד שאנון הנמוך ביותר נמצא גם השנה באתר IUI-5, H’=2.46 והמגוון הגבוה ביותר חושב השנה עבור אתר IUI-10, H'=3.0. ערך המדד הממוצע לכלל אתרי קדמת השונית היה השנה 2.82, מעט גבוה לעומת השנה הקודמת.



איור 15ב: מגוון הסוגים של אלמוגים לפי מדד Shannon-Wiener כפי שהוערך השנה עבור כל אתר על ידי תכנת Past (Hammer et al., 2001). 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 הסוגים באתרים השונים עלה וירד, אך נמצא תמיד בטווח ערכים מצומצם אפייני (איור 16ב). באתרים Katza-20, ו- NR-10 היה מדד Shannon-Wiener למגוון האלמוגים גבוה מן הממוצע כמעט בכל שנות הניטור, ובאתרים IUI-5 ו- NR-20 תמיד היה נמוך מן הממוצע. גם באתר NR-5 מגוון האלמוגים לרוב נמוך מן הממוצע. מדד המגוון של Shanon-Wiener ב"שוניות אילת" המחושב כממוצע כל האתרים משתנה אך מעט לאורך שנות הניטור ואינו מציג שינוי מגמתי.



איור 16ב: מגוון הסוגים של אלמוגים לפי מדד Shannon-Wiener כפי שהוערך עבור כל אתר בכל שנות הניטור על ידי תכנת EstimateS (Colwell, 2005) והחל משנת 2022 בתכנת Past (Hammer et al., 2001).

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).**

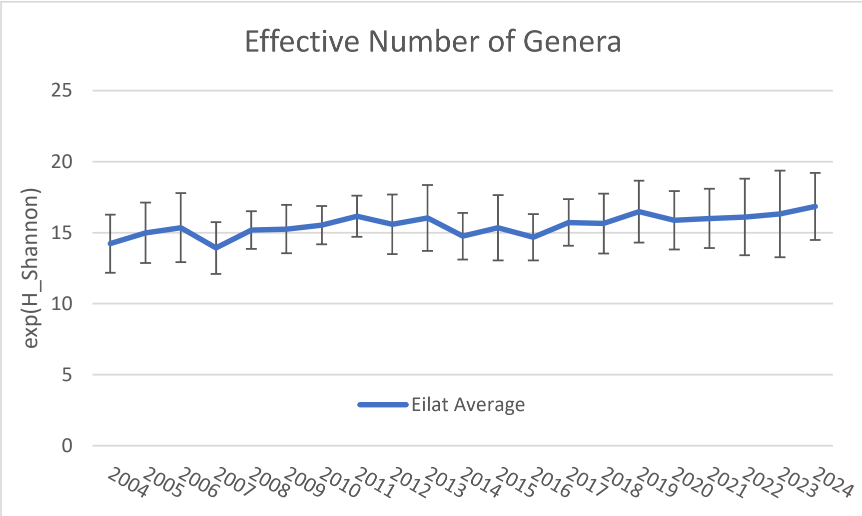
מדד המגוון על פי Shannon-Wiener מתחשב הן בעושר סוגי האלמוגים (richness) והן במידת האחידות (evenness) במפזר, וכך שם משקל גם על נוכחותם\העדרם של סוגים נדירים. מדד זה טוב לשם השוואה בין השנים או בין אתרים, אולם לערכו המספרי אין משמעות ממשית. כך קשה לדעת מה משמעותו של הפרש הערכים מלבד שמדדד גבוה "טוב יותר" ממדד נמוך, ז"א מצביע על מגוון גדול יותר.

לאחרונה הוצע להמיר מדדי מגוון שונים לערך אחד המייצג "מספר מינים אפקטיבי" (Jost, 2006). בתכנית

הניטור, המזהה אלמוגים לרמת הסוג, מספר סוגי האלמוגים האפקטיבי הוא מספר הסוגים בעלי שכיחות זהה אשר היו נותנים את ערך המדד המחושב ועל כן הוא מהווה מדד ישיר למגוון. עבור מדד Shannon-Wiener חישוב מספר הסוגים האפקטיבי הוא על ידי הנוסחה:

Effective number of genera = exp(H_Shannon)

באופן זה מתקבל מספר בעל משמעות ואשר ניתן להשוותו בין אוכלוסיות שונות ומדדים שונים. מספר סוגי האלמוגים האפקטיבי הממוצע בשוניות אילת עלה מעט במשך תקופת הניטור מ-14 בשנים הראשונות ועד 16 ויותר, בתקופה האחרונה (איור ב17). כאמור, השינויים במגוון האלמוגים בשוניות אילת במשך תקופת הניטור הינם קטנים ומגמה זו אינה מובהקת.



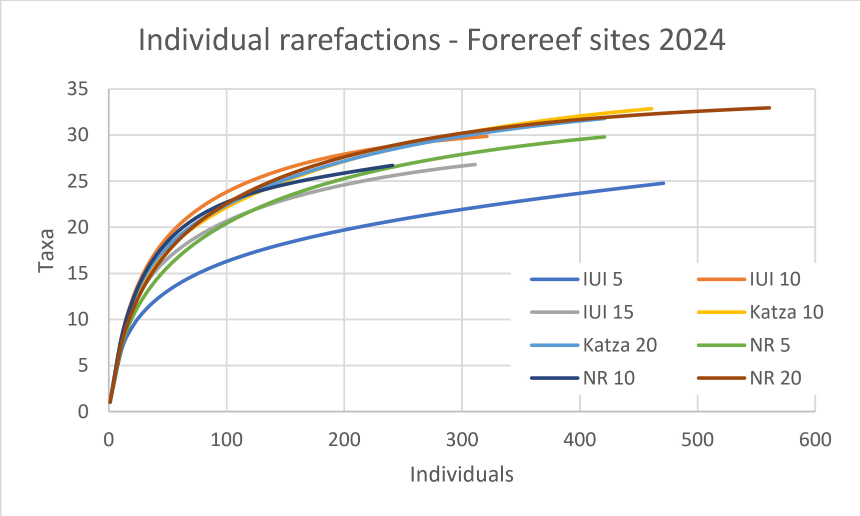
איור ב17: מספר הסוגים האפקטיבי הממוצע של אלמוגי אבן בשוניות אילת לאורך תקופת הניטור. מספר זה מחושב מתוך מדד Shannon-Wiener המוערך על ידי תכנת EstimateS (Colwell, 2005) והחל משנת 2022 בתכנת Past (Hammer et al., 2001).

Figure B17: The average effective number of genera for stony corals at the Eilat reefs since 2004. **This is calculated from the Shanon-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 IUI-5 התוחלת הנמוכה ביותר של סוגי אלמוגים, ואילו באתרי KATZA התוחלת הגבוהה ביותר ובהם, יחד עם אתר NR-10, גם האחידות הרבה ביותר.

עושר האלמוגים הגדול ביותר נמצא גם השנה באתר KATZA-20, 36 סוגי אלמוגים, והנמוך ביותר, 21, נמצא באתר IUI-5.

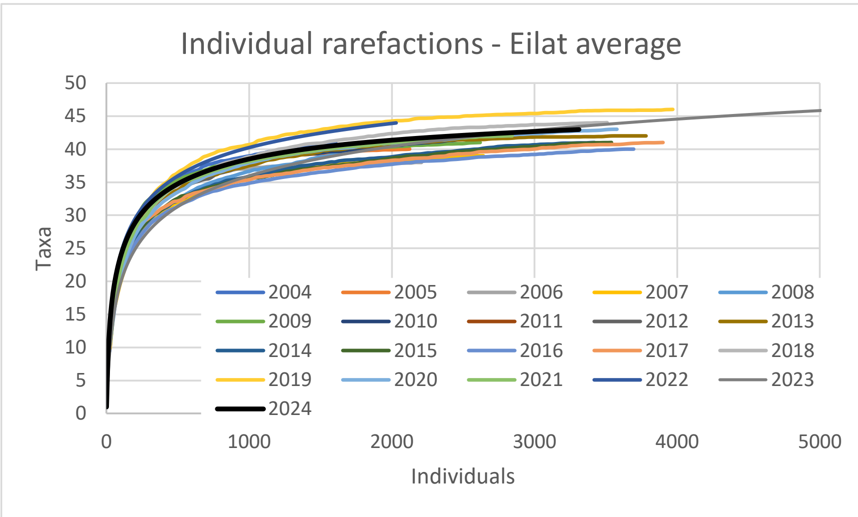


איור 18ב: עקומות צבירה של מספר סוגי האלמוגים מול מספר המושבות כפי שחושבו עבור כל אתר על ידי תכנת Past (Hammer et al., 2001).

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

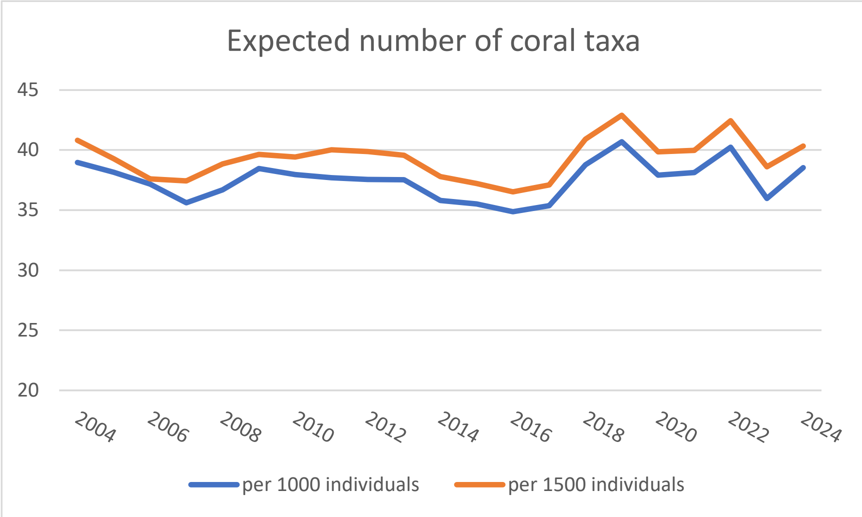
בהשוואה בין השנים של כל נתוני המגוון (ספירת מושבות) אשר נאספו על ידי תכנית הניטור נראה כי ההבדלים בין השנים קטנים ומאמץ הדיגום הכללי בהחלט ממצה את עושר האלמוגים ב"שוניות אילת". עושר סוגי האלמוגים שנמצא השנה היה 45, דומה לעושר אשר נמצא ברוב השנים (איור 19ב).

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 39 ו-40, בהתאמה (איור 20ב). 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 19ב: 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 for the “Eilat Reefs” since 2004**, with the Past software (Hammer et al., 2001).**



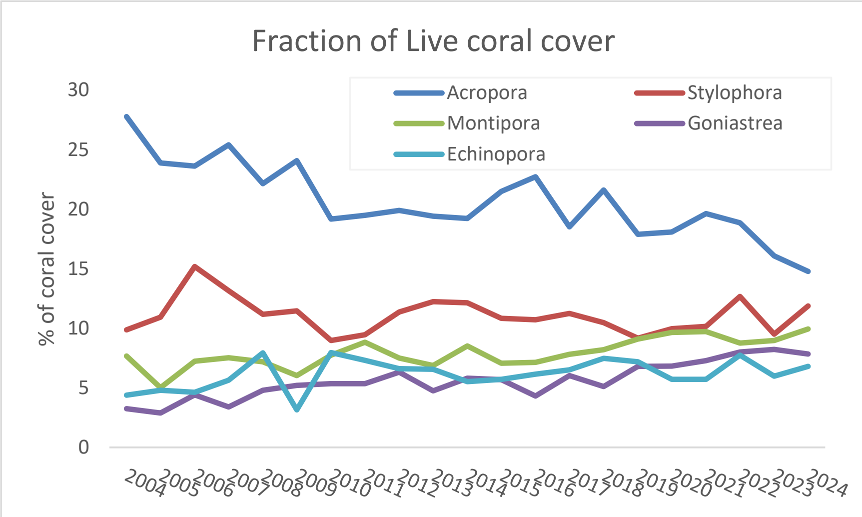
איור ב20: מספר סוגי האלמוגים הצפוי להתקבל בספירה אקראית של 1000 ו- 1500 מושבות ב"שוניות אילת" מאז שנת 2004, מבוסס על עקומות הצבירה.

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. החל משנת 2010 ירד חלקם לחמישית ובשנים האחרונות אף פחות מזה. השנה היה חלקם מכלל כיסוי האלמוגים בשוניות אילת כ- 15% בלבד. האלמוג *Stylophora* הוא השני נפוץ ביותר (כ-12% 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- 51% מסך כיסוי האלמוגים בשוניות אילת. עשרים האלמוגים הנפוצים ביותר מהווים השנה כ- 91% מכלל האלמוגים באילת (לפי אורך נמדד על סרט המדידה), 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 קודמות *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 בשנים 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 בסקרים 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 percentage of the total transect length at each site.**

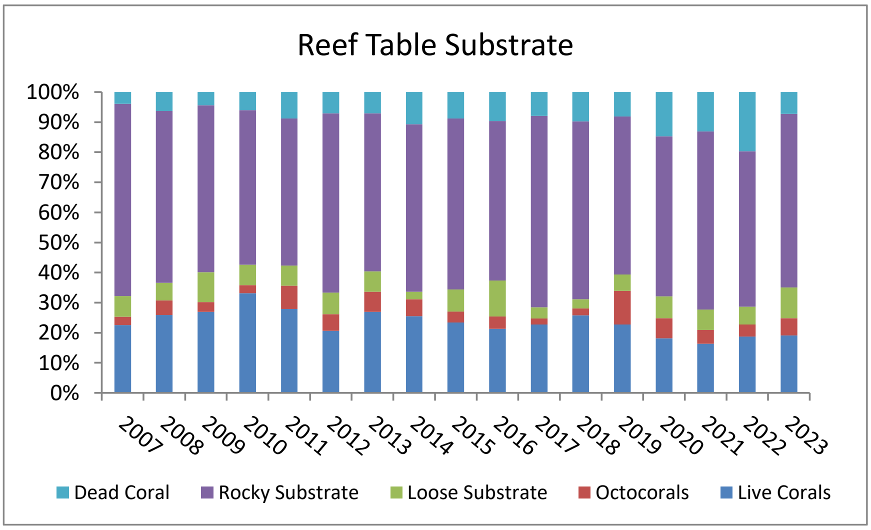
	Katza 10	Katza 20	NR 5	NR 10	NR 20	IUI 5	IUI 10	IUI 15	**Eilat** (Average)
Acropora	4.6	3.3	4.3	1.3	8.1	1.6	1.0	4.5	3.59
Montipora	3.3	3.8	3.3	0.8	6.8	0.4	1.2	1.2	2.57
Stylophora	1.9	3.0	2.6	1.3	1.9	3.8	2.9	2.2	2.45
Goniastrea	2.9	1.0	7.5	0.9	0.6	2.5	0.7	0.1	2.02
Echinopora	2.2	2.3	6.3	0.5	2.2	0.7	0.4	0.7	1.91
Dipsastraea	1.1	1.0	0.9	1.0	0.8	3.8	0.8	0.9	1.29
Porites	0.9	1.8	1.3	0.5	2.6	0.1	0.6	1.9	1.19
Cyphastrea	1.0	1.4	0.9	0.2	1.7	2.3	1.2	0.8	1.19
Lobophyllia	0.3	0.2	5.9	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.84
Paramontastraea	0.9	2.4	0.2	0.2	0.9	0.3	0.7	0.4	0.75
Favites	0.9	0.7	0.4	0.2	0.8	1.1	0.3	0.1	0.55
Leptastrea	0.7	1.2	0.5	0.1	0.5	0.5	0.3	0.3	0.52
Psammocora	0.5	1.1	0.2	0.1	1.0	0.0	0.2	0.3	0.43
Gyrosmilia	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.0	0.3	2.2	0.36
Platygyra	0.6	0.2	0.8	0.4	0.2	0.4	0.1	0.1	0.35
Pocillopora	0.2	0.1	0.4	0.6	0.5	0.2	0.2	0.4	0.34
Millepora	0.0	0.2	0.0	0.0	0.1	0.8	0.6	0.7	0.30
Pavona	0.4	1.0	0.2	0.1	0.5	0.0	0.2	0.2	0.30
Astreopora	0.1	0.2	0.3	0.6	0.7	0.0	0.3	0.2	0.28
Mycedium	1.4	0.0	0.6	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.27

שולחן השונית

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 וכיוונן ("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-46% (באתר IUI-5), 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).

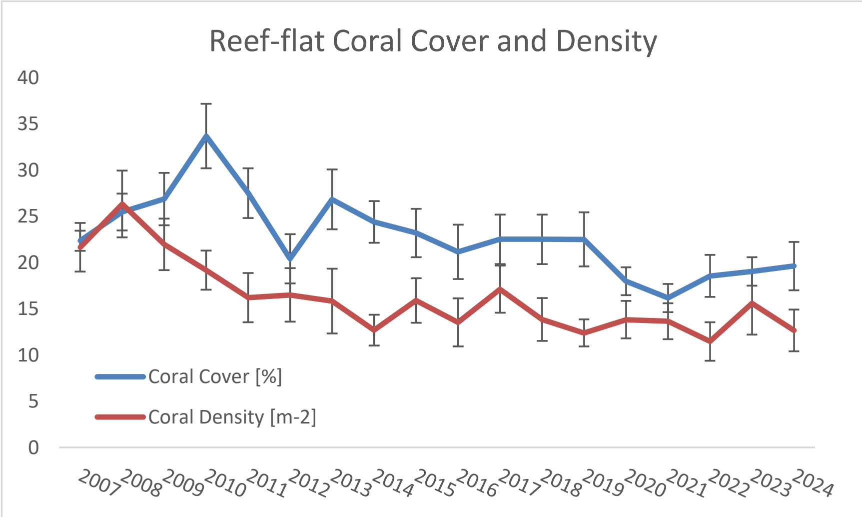


איור ב22: אחוזי הכיסוי המצטברים של אלמוגים, מצע בלתי מלוכד, סלע, ואלמוגים מתים בשולחן השונית. האחוזים הם ממוצעים מתוך כל חתכי הקו שנעשו באתר.

Figure B22: Cumulative percent cover of live corals, unconsolidated (loose) substrate, rock and dead corals at the reef table**. Values are averages of line transect values.**

כיסוי אלמוגי האבן החיים בשולחן השונית, כ- 19.6±2.6%, עלה מעט לעומת השנים האחרונות, אך נותר נמוך בהשוואה לשנים שלפני הסערה במרץ 2020 (22.5±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±3.5%, בשנת 2010.

צפיפות מושבות האלמוגים, לעומת זאת, מעט נמוכה השנה בהשוואה לשנה הקודמת (12.7 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 השונית מאז שנת 2007.

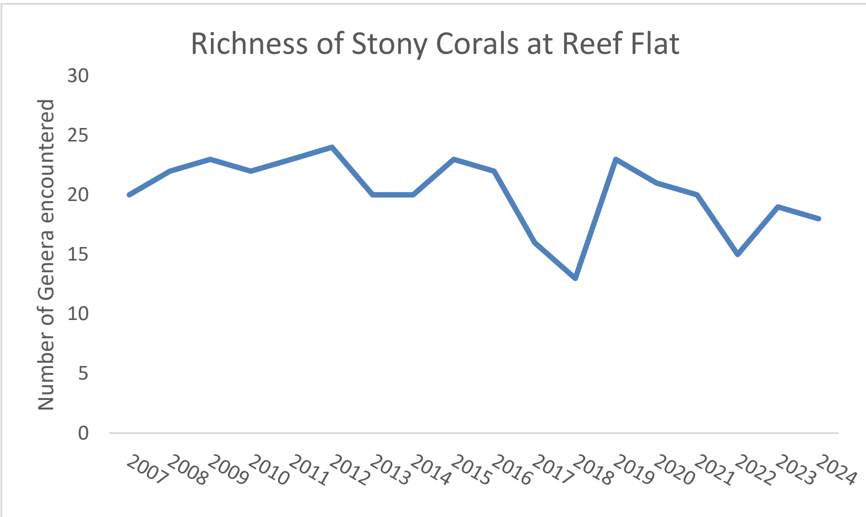
Figure B23: Percent cover of live corals and density of coral colonies on the reef table since 2007.

בשולחן השונית נמצאו השנה בסך הכל 18 סוגים של אלמוגי אבן. ברוב שנות הניטור נמדד עושר סוגים בטווח שבין 20 ל-23, עם ערכים נמוכים יותר בשנים 2022 ו- 2017-2018 (איור ב24). עושר המינים בשולחן השונית נמוך מאשר בכל אתרי קדמת השונית (45 אלמוגי אבן זוהו השנה באתרי קדמת השונית יחדיו).

מגוון סוגי האלמוגים לפי מדד Shanon-Wiener כפי שמוערך על ידי התכנות EstimateS (Colwell, 2005) ו- Past (Hammer et al., 2001) היה השנה 2.36 ומספר הסוגים האפקטיבי היה 10.5, ערכים אלה נמוכים בהשוואה לשנה הקודמת והינם בין הנמוכים אשר נמדדו עד כה (איור ב25).

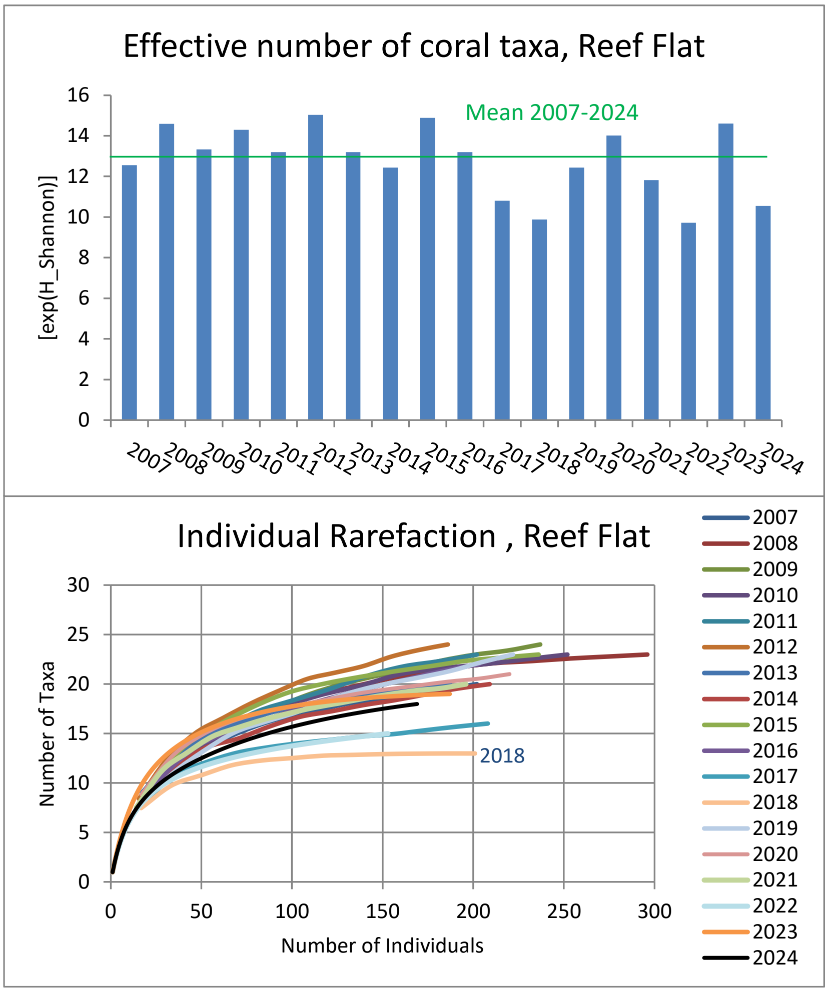
עקומת הצבירה של סוגי אלמוגים בשולחן השונית אשר חושבה מנתוני הסקר השנה בעלת שיפוע תלול יותר וערך סופי גבוה בהשוואה לשנה הקודמת אך לא חריגה בין רוב שנות הניטור. בכל השנים נראה כי מדד המגוון בשולחן השונית, ובעיקר עושר המינים שם, נמוך מהערך הממוצע באתרי קדמת השונית (ראו למעלה). עובדה זו צפויה, עקב התנאים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

ישנה חפיפה גדולה בין האלמוגים הנפוצים בקדמת השונית לאלמוגים הנמצאים בשולחן. מתוך 19 הסוגים של אלמוגי אבן אשר נמצאו בשולחן השונית, 15 נמצאים ברשימת 20 האלמוגים הנפוצים באתרי קדמת השונית. עם זאת, ישנם הבדלים בתפוצה היחסית של סוגי האלמוגים בשולחן השונית לעומת אתרי קדמת השונית (טבלה ב4). ההבדלים בעושר ומגוון המינים בין השנים מושפעים מאד מנוכחותן או העדרן של מושבות אלמוגים "נדירים" בשולחן השונית, 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 – המספר האפקטיבי של סוגי אלמוגי אבן בשולחן השונית (מחושב מתוך מדד Shannon-Wiener למגוון) מאז שנת 2007. למטה – עקומות צבירה למספר סוגי האלמוגים בשולחן השונית מאז 2007.

Figure B25: Top –The effective number of stony coral genera at the reef flat (calculated from the Shannon-Wienr diversity) since 2007, bottom – rarefaction curves for coral genus diversity on the reef flat since 2007**.**

טבלה ב4: אלמוגי האבן הנפוצים (לפי אחוזי כיסוי) בשולחן השונית ובכל אתרי קדמת השונית.

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	*Platygyra*	*Acropora*
2	*Stylophora*	*Montipora*
3	*Acropora*	*Stylophora*
4	*Millepora*	*Goniastrea*
5	*Favites*	*Echinopora*
6	*Dipsastraea*	*Dipsastraea*
7	*Hydnophora*	*Porites*
8	*Pocillopora*	*Cyphastrea*
9	*Porites*	*Lobophyllia*
10	*Echinophyllia*	*Paramontastraea*
11	*Goniopora*	*Favites*
12	*Plesiastrea*	*Leptastrea*
13	*Montipora*	*Psammocora*
14	*Lobophyllia*	*Pocillopora*
15	*Acanthastrea*	*Platygyra*
16	*Echinopora*	*Gyrosmilia*
17	*Astreopora*	*Astreopora*
18	*Alveopora*	*Millepora*
19		*Pavona*
20		*Plesiastrea*

דיון ומסקנות

ניטור מצב השוניות באילת מבוצע באמצעות מספר סקרים אקולוגים 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 קוויים 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. השונות הרבה בתוך האתרים וביניהם, הן בסביבה הפיסית והן בחברת האלמוגים, עלולה למסך את היכולת 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 לפנים 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 המשוייכים 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 בשוניות אילת.

בסקר קיץ 2022 נמצאה עליה קלה בכיסוי האלמוגים הממוצע אך זו לוותה בירידה בצפיפות מושבות האלמוגים ובפרט מושבות קטנות. הירידה בצפיפות המושבות הקטנות קשורה, אולי, בערבוב העמוק של חורף 2022, אשר גרר פריחת אצות חזקה. עם זאת, נראה היה שהעליה הקלה בכיסוי האלמוגים עשוייה לסמן את בלימתה של ההידרדרות המיוחסת לסערה. בשנה שלאחר מכן, 2023 נמשכה העלייה הנמדדת ברוב מדדי השונית.

שנת 2023 היתה שנה חמה במיוחד, אולם השנה הנוכחית, 2024, היתה חמה ממנה במידה ניכרת וההחמה ביותר ברישומים הקיימים, הן אצלינו והן בעולם. עקת החום הנמדדת (למשל על פי מדד degrees heating weeks, DHW של ארגון NOAA) היתה גבוהה בהרבה מהמצופה וגבוהה במיוחד במפרץ אילת בעל תחלופת המים המוגבלת ([NOAA Coral Reef Watch Research]). בהתאם לכך, נצפתה באילת לראשונה הלבנת אלמוגים אשר התגלתה באתרים שונים ועל פני טווח עומקים. תופעה זו מוכרת בעולם בעקבות עקות חום קיצוניות הגורמות לאלמוגים לאבד את האצות הסימביונטיות שלהם ולעיתים אף לתמותה נרחבת. היקף התופעה באילת גם השנה לא היה גדול כמו במקומות אחרים והרבה מהאלמוגים שנפגעו התאוששו לאחר ירידת הטמפרטורות. עם זאת, מדובר בנורת אזהרה המצביעה על בעיות עתידיות ככל שימשכו השינויים באקלים העולמי. בהקשר זה, חשוב להדגיש שעקות מקומיות עשויות לפגוע ביכולתם של אלמוגים להתמודד עם עקת החום.

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±2.8% ובשנים 2020-2022 נמדד כיסוי שנע בין 35-37%. בשנת 2023 נמדד באתר זה כיסוי אלמוגים גבוה, 44.5±4.6% בדומה לזה שלפני הסערה, וכן נמצאה עליה גם בצפיפות המושבות. עם זאת, השנה, נמצאה ירידת-מה בכיסוי האלמוגים באתר השמורה הרדוד והוא עמד על 40.2±2.1%. 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.

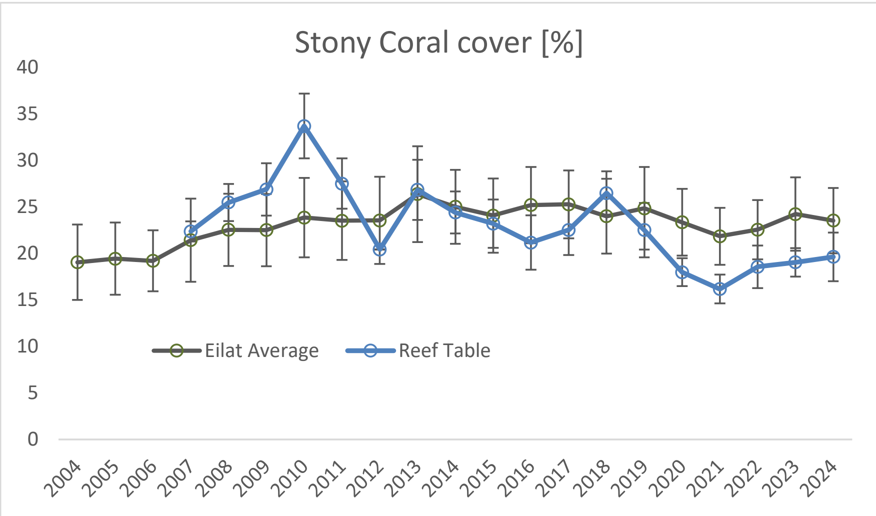
אחוז הכיסוי הממוצע של אלמוגי אבן חיים באתרי קדמת השונית היה 24.9±4.5% בקיץ 2019, לפני הסערה, ירד לערך מזערי של 21.9±3.0% בשנת 2021, ובשנת 2023 נמצא כיסוי של 24.2±3.9%, קרוב לכיסוי שלפני הסערה. הכיסוי הממוצע בשוניות אילת אשר נמדד השנה היה נמוך יותר ועמד על 23.5±3.5%. מכיוון שפגיעת ההלבנה בשוניות אילת היתה קטנה, לא ברור מה מהירידה הנמדדת יכול להיות משוייך לתופעה זו.

באתר שולחן השונית נמדד השנה המשך עלייה בכיסוי אלמוגי האבן, אך הוא נותר נמוך יחסית לכיסוי שלפני פגיעת הסערה, 19.6±2.6%. לשם השוואה, הכיסוי בשנת 2019, לפני הסערה, היה 22.5±2.9% והערך המזערי לאחר הסערה היה 16.2±1.5%, בשנת 2021.

הירידה החדה בכיסוי האלמוגים שנמצאה בשנים 2020-2021 באה לאחר מספר שנים של יציבות, ולאור העליה שהחלה בשנת 2022 מתחזקת ההשערה שהשינויים הנמדדים קשורים לפגיעתה של הסערה הדרומית בחודש מרץ 2020. נראה כי ניתן להבחין בתחילתו של תהליך התאוששות, אולם עקב תנודות בין השנים והירידה אשר נמדדה השנה קשה 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, נמדד השנה כיסוי גבוה בהשוואה לשנים שאחרי הסערה, אך בקדמת השונית היתה בדרך כלל ירידה קלה בהשוואה לשנה הקודמת (איור ב26).

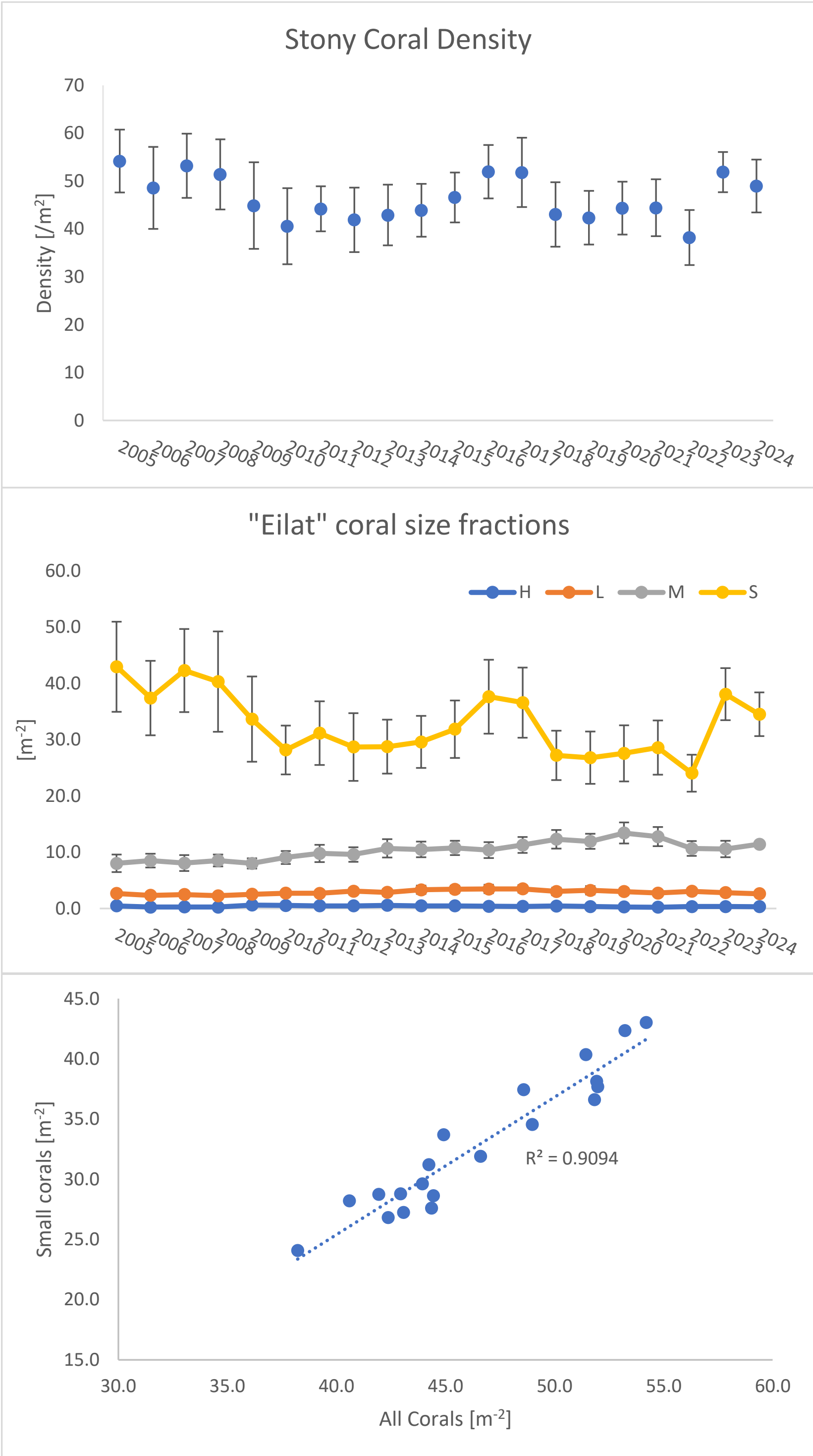


איור ב26: אחוז השטח המכוסה אלמוגי אבן חיים ב"שוניות אילת" (ממוצע שמונה אתרי קדמת השונית), בירוק, ובאתר שולחן השונית, בכחול. באתר שולחן השונית תנודות גדולות בין השנים המשקפות את רגישותו של בית גידול זה.

Figure B26: The percentage of live coral cover at the “Eilat Reefs” (the average of the eight surveyed fore-reef sites), in green, 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 בשנת 2022 נמצאה ירידה ניכרת בצפיפות המושבות הממוצעת (איור ב27). מושבות אלמוגים קטנות מהוות את חלק הארי של מושבות האלמוגים בשוניות אילת (בשנים האחרונות נע חלקן של המושבות הקטנות בין 63-74% מכלל המושבות) וזוהי גם קבוצת הגודל אשר נפגעה ביותר בשנת 2022. הצפיפות הממוצעת של מושבות קטנות באתרי קדמת השונית היתה בשנת 2022 24.1±3.3 מושבות למ"ר, בשנה הקודמת (2023) נמצאה עליה משמעותית, 38.1±4.6, ואילו השנה נמדדה צפיפות ממוצעת של מושבות קטנות העומדת על 34.5±3.9. מושבות אלמוגים קטנות אמנם נפוצות ביותר, מספרית, בשוניות 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. התאמה בין צפיפות המושבות הבינוניות, ובעיקר הגדולות, ואחוז הכיסוי החי בשוניות אילת נמצאה במשך רוב תקופת הניטור ומצביעה על כך שלקבוצות גודל אלה תרומה גדולה לכיסוי האלמוגים.



איור ב27: למעלה, צפיפות ממוצעת של מושבות אלמוגים באתרי קדמת השונית בתקופת הניטור. באמצע, צפיפות מושבות האלמוגים על פי קבוצות גודל. למטה, צפיפות מושבות אלמוגים קטנות מול סך צפיפות מושבות האלמוגים בשוניות אילת.

Figure B27: Top, average coral colony density at the fore-reef sites during the monitored period. Middle, coral colony density by size class. Bottom, density of “small” coral colonies versus the density of all coral colonies in the “Eilat” reefs**.**

ב.3. חברת האלמוגים בלגונת שמורת האלמוגים

<u>מטרה</u>

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

<u>שיטות</u>

מרכיבי חברת השונית שנסקרו בלגונה הם אלמוגי אבן, אלמוגים רכים, וחסרי חוליות נייחים. קרקעית הים (=מצע) חולקה לחול וחצץ (=מצע בלתי 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.

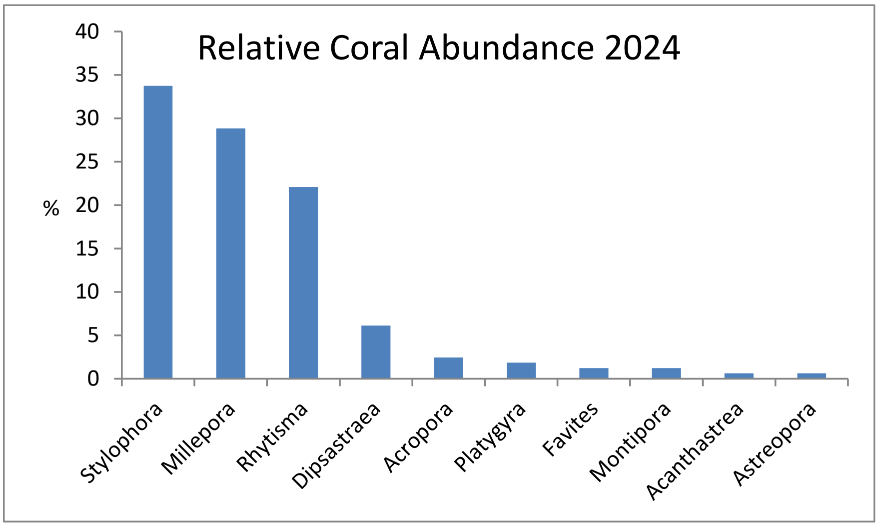
Figure B28: The sampling design in the lagoon. **1 m^2 quadrates (red circles) were placed 5 m apart along a measuring tape laid cross shore, 9 m from the "shoreline" to the reef table. Each cross shoreline includes 5 or 6 quadrates (though in this figure only 4 are depicted). 17 cross-shore lines were evenly spread to cover the lagoon area.**

<u>תוצאות</u>

ב- 102 ריבועי דגימה של 1 מ"ר בלגונה שבשמורת חוף אלמוג נספרו השנה 163 מושבות אלמוגים, מהן 127 אלמוגי אבן אשר סווגו ל-11 סוגים ו-36 אלמוגים רכים השייכים כולם לסוג *Rhytisma*.

מספר המושבות של אלמוגי אבן קטן בשנים שמאז 2010 בהשוואה לשנים הראשונות של הניטור. הירידה נמשכה בשנת 2017 ושוב, בעקבות סופה דרומית חזקה (מרץ 2020). בשנה הקודמת נמדדה בלגונה צפיפות האלמוגים הנמוכה ביותר שמדדה התכנית עד כה (בסה"כ נמצאו אז 98 מושבות אלמוגים מהם 82 אלמוגי אבן בלבד, צפיפות של נמוכה מאלמוג אחד לכל מטר רבוע) אך השנה, לראשונה מזה מספר שנים נמדדה עלייה בצפיפות האלמוגים.

הירידה ניכרה בעיקר בצפיפות מושבות אלמוגי האבן ובפרט באלמוג האבן הנפוץ ביותר, *Stylophora pistillata*, אשר היווה השנה כ- 34% מכלל מושבות האלמוגים אשר נסקרו (לעומת כ- 28% מסך המושבות בשנה הקודמת ויותר מ-50% בשנים הראשונות לניטור). בשנים האחרונות נמצא לעיתים שאלמוג האש *Millepora* היה הנפוץ ביותר בלגונה, אך השנה האלמוג *Stylophora pistillata* שוב מהווה את הרוב ואלמוג האש שני, כ- 28% מכלל מושבות האלמוגים 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 בשנה הקודמת הנמוכה ביותר שמדדה תכנית הניטור עד כה (בממוצע כ- 0.96 מושבות למ"ר), ואילו השנה נמדדה צפיפות ממוצעת של כ- 1.6 מושבות למ"ר (טבלה ב5). צפיפות המושבות בלגונה ירדה בתקופה האחרונה מ- 2.32 מושבות מכל הסוגים למ"ר בשנת 2017. צפיפותם הממוצעת של אלמוגי אבן היתה השנה כ-1.2 מושבות למ"ר, לעומת כ- 0.8 בשנה הקודמת וכ- 2.1 מושבות למ"ר בשנת 2017.

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**.**

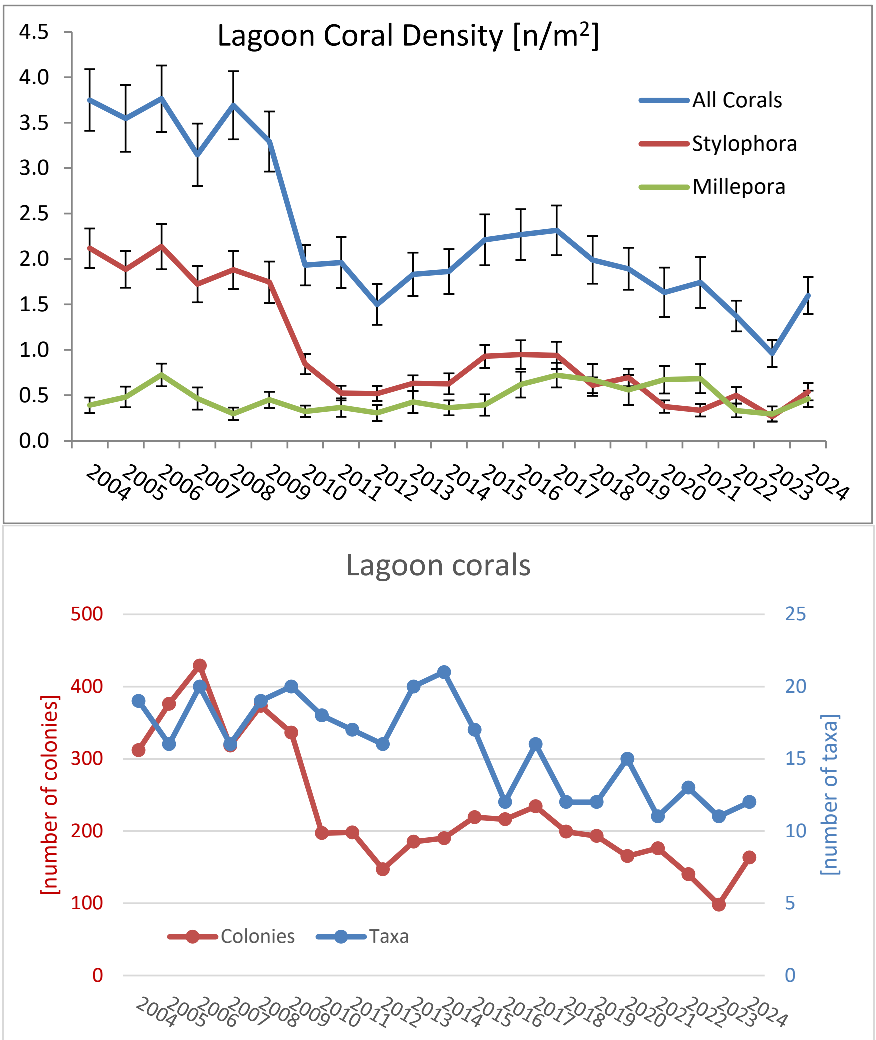
Genera	n	Relative abundance [%]	n/m^2
Stylophora	55	33.7	0.54
Millepora	47	28.8	0.46
Rhytisma	36	22.1	0.35
Dipsastraea	10	6.1	0.10
Acropora	4	2.5	0.04
Platygyra	3	1.8	0.03
Favites	2	1.2	0.02
Montipora	2	1.2	0.02
Acanthastrea	1	0.6	0.01
Astreopora	1	0.6	0.01
Cyphastrea	1	0.6	0.01
Porites	1	0.6	0.01

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 בשנת 2017. בשנת 2020, בעקבות פגיעת סערה דרומית חזקה, שוב ירדה צפיפות המושבות בלגונה וזו הגיעה למינימום בשנה הקודמת. השנה נמצאה עלייה קלה בצפיפות מושבות האלמוגים בלגונה (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, בשנה הקודמת רק 27 פרטים ואילו השנה נמצאו בלגונה 55 מושבות של אלמוג זה. שינויים אלה מכתיבים 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.



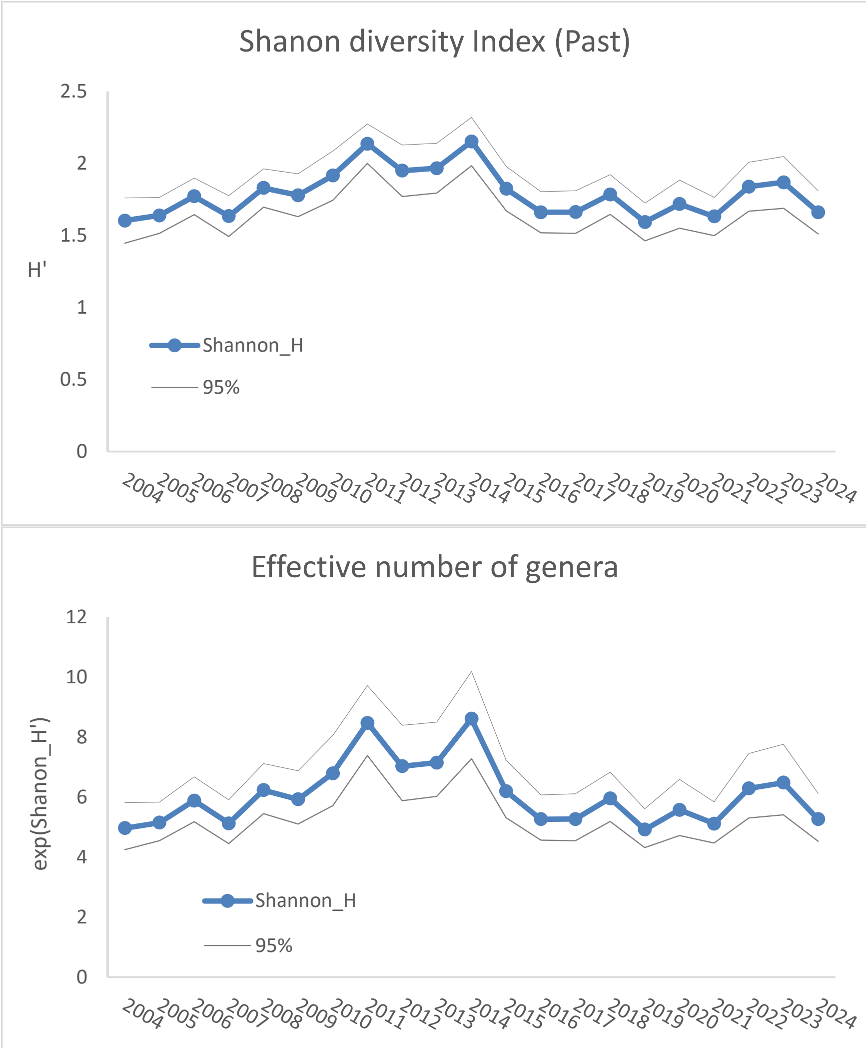
איור ב30: למעלה- הצפיפות הממוצעת (מושבות למטר רבוע) של אלמוגים בלגונה, ובפרט האלמוגים העיקריים *Stylophora pistillata* ו- *Millepora* מאז תחילת הניטור. למטה- מספר המושבות הכולל ומספר סוגי האלמוגים בלגונה מאז תחילת הניטור.

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 נמוך השנה בהשוואה לשנה הקודמת, אך לא באופן דרמטי (1.66 לעומת 1.87, איור ב31). השינויים במדד המגוון נובעים במידה רבה משינויים במספר מושבות המין הדומיננטי בלגונה, האלמוג *Stylophora*: ירידה באלמוג זה מכתיבה עליה במדד המגוון, ולהיפך. את מגוון האלמוגים ניתן להעריך גם באמצעות "מספר הסוגים האפקטיבי" של אלמוגים בלגונה, המחושב ממדד Shannon-Wiener. מדד זה מייצג את מספר הסוגים בעלי שפע דומה שהיו נותנים ערך זהה לאינדקס המגוון של Shannon-Wiener. מספר הסוגים האפקטיבי הגבוה ביותר (8.6) נמצא בלגונה בשנת 2014 והשנה מספר הסוגים

האפקטיבי הוא 5.3.



איור 31ב: 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).

<u>דיון ומסקנות</u>

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 ובשנה הקודמת נמצאה צפיפות של 0.96 מושבות אלמוגים למ"ר בלבד, הערך הנמוך ביותר בשנות הניטור. השנה נמדדה צפיפות מושבות אלמוגים של 1.6 מושבות למ"ר, עלייה קלה לעומת השנה הקודמת.

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. גם בשיפעת אלמוג זה נמצאה בשנתיים הקודמות ירידה והשנה נמדדה עלייה קלה.

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.

החל מהקיץ השנה הציבה תכנית הניטור מד טמפרטורה בתוך ומחוץ ללגונה ומבוצע מעקב אחר הבדלי הטמפרטורה בין סביבות הלגונה וקדמת השונית (ראו פרק "מדידות רציפות" בהמשך דו"ח זה). המדידות מראות בבירור את משרעת הטמפרטורות הגדולה ביותר בלגונה – ז"א טמפרטורות יומיות מזעריות נמוכות יותר וטמפרטורות מרביות גבוהות יותר, וממחישות את התנאים הקשים יותר בבית גידול זה. בפרט בשנים האחרונות בהן טמפרטורות פני הים המרביות עולות בהתמדה יתכן שגורם זה הוא גורם מגביל נוסף הפוגע בהתאוששות חברת האלמוגים בלגונה.

ב.3. התיישבות אלמוגים בשונית

מטרה

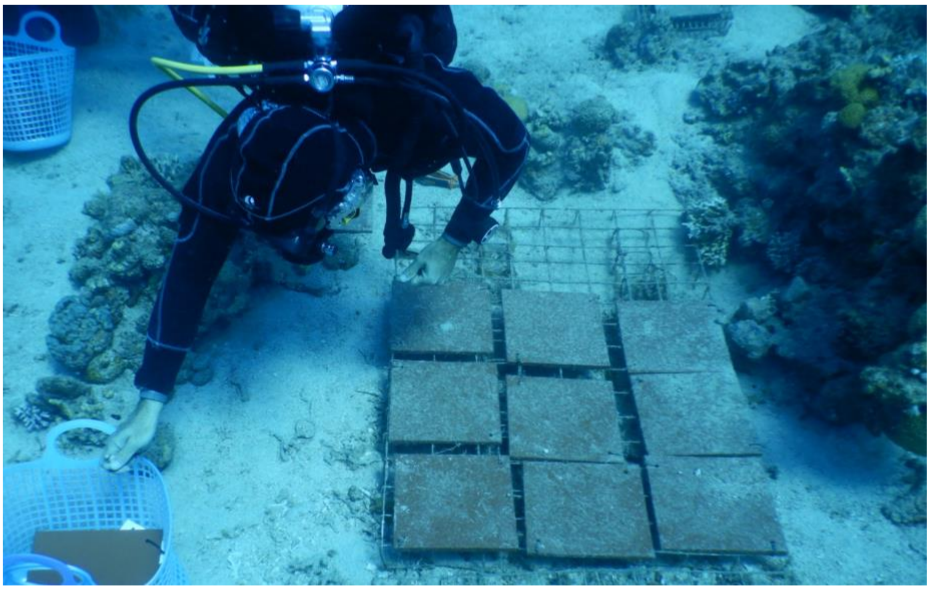
אמדן קצבי גיוס של אלמוגים בשונית באמצעות לוחיות התיישבות כמדד לאספקת אלמוגים צעירים ופוטנציאל הגיוס לשונית.

שיטות

בשנת 2017 הוצבו בשני אתרים, המעבדה הימית (IUI) ושמורת חוף אלמוג (NR), 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 (Katza).

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).



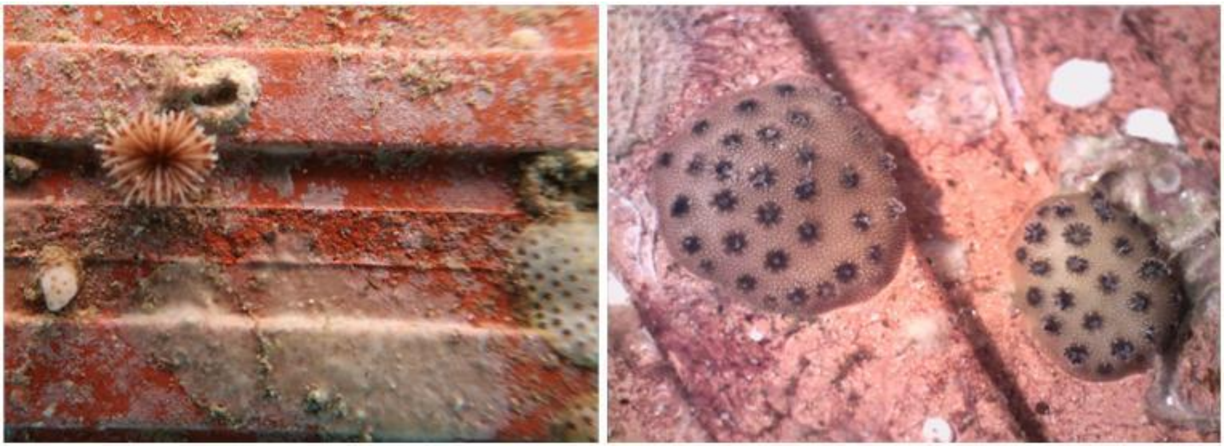
איור ב32: מערכי לוחיות התיישבות בשונית.

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 חדשות על גבי הלוחיות (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 שהה 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 ז3 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 6-2015 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.]

<u>תוצאות</u>

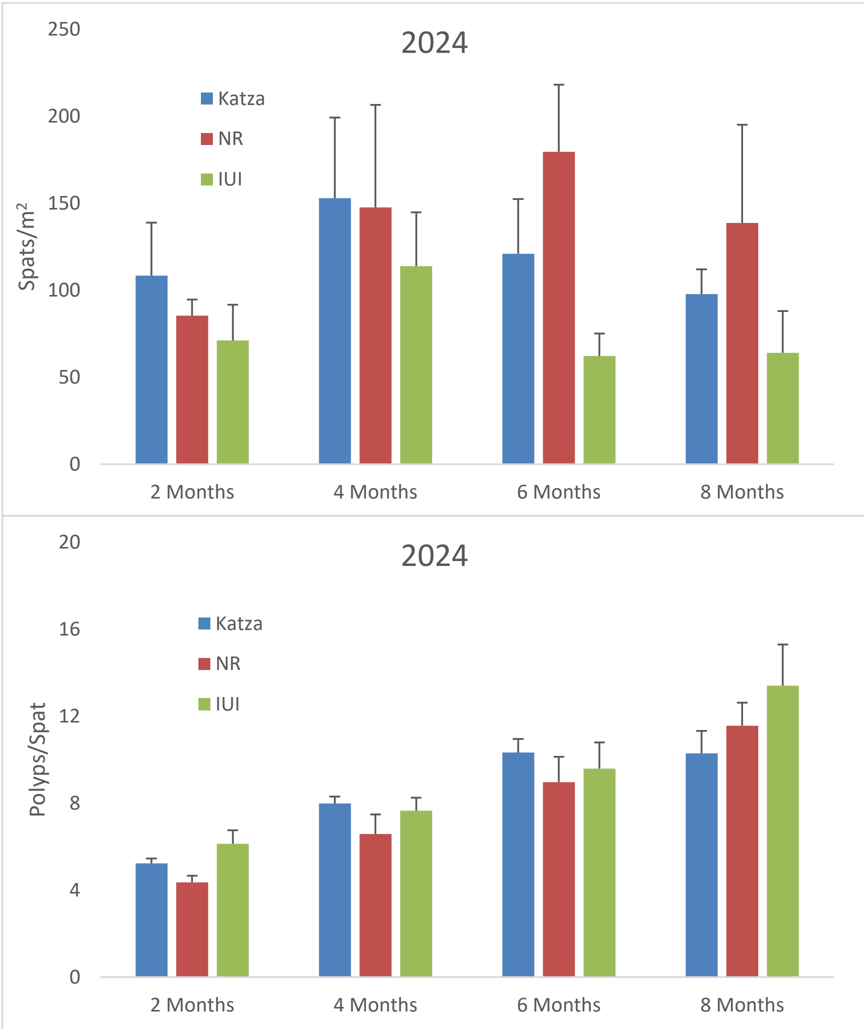
לאורך התקופה בה שהו לוחיות ההתיישבות בים ניתן לעקוב הן אחר הצטברות מתיישבים (מספר מתיישבים, Spats) והן אחרי גידול המתיישבים (מספר פוליפים בכל מתיישב). מכיוון שהרוב המכריע של מתיישבי אלמוגים על גבי הלוחיות נמצאו על צידן התחתון, המוגן, של לוחיות המעקב, ניתן ללמוד בעיקר על אספקת מגוייסים ויכולתם לשרוד את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

לרוב, כמות המתיישבים באתר המעבדה היא הנמוכה ביותר ובאתר השמורה נמצא המספר הגדול ביותר של מתיישבים. זהו המצב גם השנה, אף כי כמות המתיישבים באתר השמורה נמוכה השנה בהשוואה לכל השנים הקודמות. בסך הכל נספרו השנה על גבי לוחיות התיישבות באתר המעבדה 175 מתיישבים (לעומת 225 בשנה הקודמת, על פני אותה תקופה). באתר השמורה נספרו השנה 310 מתיישבים (400 מתיישבים בשנה הקודמת). באתר קצא"א נספרו השנה 270 מתיישבים והוא היחיד בו עלה מספר המתיישבים לעומת השנה הקודמת (181).

הפער בכמות המתיישבים בין האתרים גדל בדרך כלל ככל שנמשכת תקופת המדידה (איור ב34). צפיפות המתיישבים הממוצעת למטר רבוע בסוף התקופה עמדה השנה על 24±64 באתר המעבדה, 14±98 בקצא"א ו-57±139 באתר השמורה. תבנית זו דומה לתבנית שנצפתה ברוב השנים הקודמות בכך שאתר המעבדה הוא לרוב בעל מספר המתיישבים הנמוך ביותר, בהפרש גדול. בכל האתרים צפיפות המתיישבים 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. בשנה הקודמת נצפתה תבנית דומה רק עבור אתר השמורה.

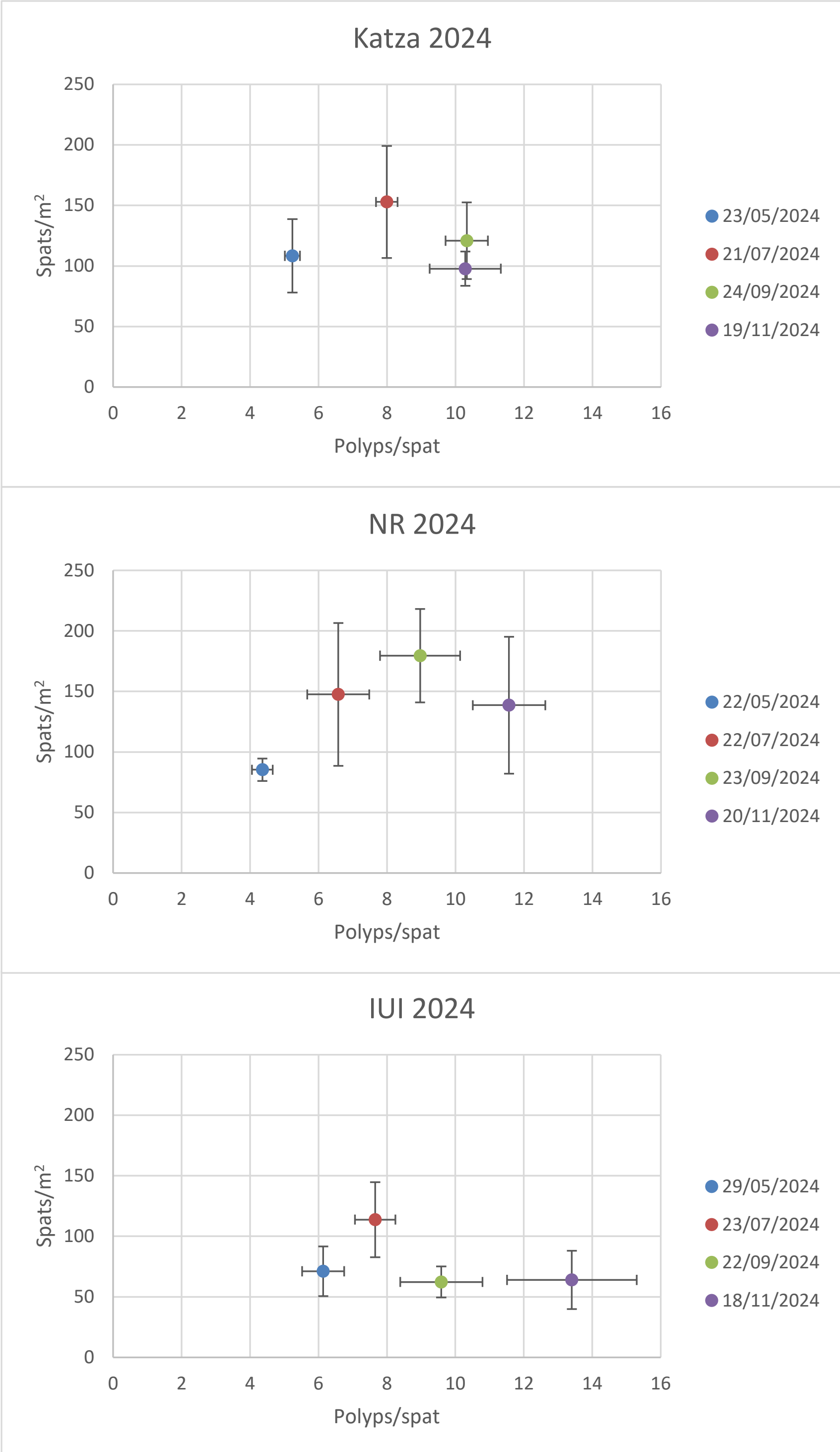
מספר הפוליפים הממוצע לאלמוג מתיישב (גודל המתיישבים הממוצע) עלה בכל האתרים ככל שהעונה התקדמה, עדות לגדילה של מגוייסים אשר שרדו. השנה היתה גדילת המתיישבים הרבה ביותר, בממוצע, באתר המעבדה, וזאת בניגוד לשנים הקודמות בהן גדילת מתיישבים בשמורה היתה רבה יותר. הבדלים בכמות ההתיישבות ובגדילת המתיישבים עשויים להצביע על תקופת גיוס ארוכה יותר ו/או על שרידות טובה יותר של מגויסים באתר זה או אחר.



איור B34: 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 2024 מוצגת באיור B35. התיישבות אלמוגים החלה בפרק הזמן הראשון (חודשים אפריל-מאי) עם מספר מתיישבים דומה בתקופה זו באתרים קצא"א והשמורה, ומספר נמוך יותר באתר המעבדה. בתקופה הבאה מספרי האלמוגים המתיישבים על לוחיות גדל בכל האתרים, וכך גם מספר הפוליפים הממוצע למגויים. בהמשך העונה מגמה זו נמשכה רק באתר השמורה, ואילו באתרים קצא"א והמעבדה ירדה צפיפות המתיישבים הממוצעת אף כי הנותרים המשיכו לגדול. בפרק הזמן האחרון (אוקטובר-נובמבר) ירדה צפיפות המתיישבים באתרים קצא"א והשמורה ואילו באתר המעבדה לא ניכר שינוי. בתקופה זו הוסיפו המתיישבים לגדול באתרי השמורה והמעבדה אך לא באתר קצא"א. בכל האתרים היתה צפיפות המתיישבים בסוף העונה נמוכה מזו שנצפתה באמצעית.



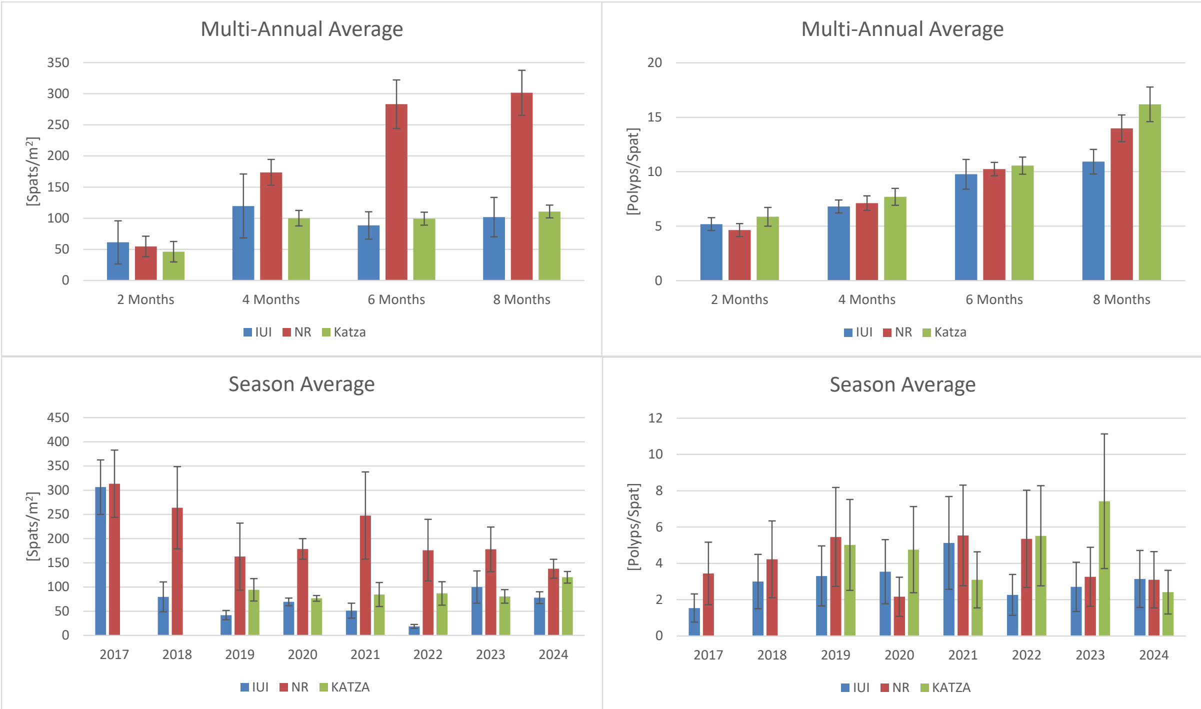
איור ב35: מספר המגויסים הממוצע כנגד מספר הפוליפים הממוצע למגויים (גודל המגויסים) באתרים קצא"א (למעלה), השמורה (באמצע) והמעבדה הימית (למטה) במשך התקופה הנבדקת.

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 מגויסים לשונית מבוצע במתכונתו הנוכחית מאז שנת 2017 ובפרק זמן זה עדיין לא ניתן 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 המעבדה הימית (איור ב36). לאורך העונה, באתרי קצא"א והמעבדה השינוי בצפיפות המתיישבים הממוצעת לאחר התקופה הראשונה אינו גדול ברוב שנות הניטור ואילו באתר השמורה יש, לרוב, גידול מתמשך בכמות המתיישבים. לעומת זאת, בכל האתרים ישנו, לרוב, גידול

מתמשך במספר הפוליפים הממוצע לכל מתיישב. במבט זה לאורך תקופת הניטור נראה שעונת הגיוס באתר השמורה היא הארוכה ביותר וכי גידול המתיישבים לאורך השנה טוב ביותר, בממוצע, באתר קצא"א.

בין השנים ישנם הבדלים גדולים הן בסך צפיפות המתיישבים והן במדת הגדילה של מתיישבים לאורך כל עונה. הבדלים אלה אינם מגמתיים לארוך השנים בהן נערך הניטור ועל כן קשה בשלב זה לקבוע האם ישנה הפרעה מתמשכת הקשורה באספקת מתיישבים, האם ישנם קשיי גיוס וגדילה או האם מדובר בתנודות מחזוריות או אקראיות טבעיות.



איור ב36: תבנית הגיוס הממוצעת לאורך העונה (למעלה) וממוצע הגיוס והגדילה השנתיים של מתיישבים בכל אחד מהאתרים המנוטרים. משמאל – צפיפות מתיישבים, מימן – גודל מתיישבים.

Figure B36: Average coral settlement patterns throughout the recruitment season (top) and average annual settlement (bottom) at the three monitored sites. Left – spat densities, right – size of spats.

ב.4. תגובות פיסיולוגיות לעקת חום והלבנת אלמוגים בשוניות אילת

מטרה

ניטור תגובות אלמוגים (יעילות פוטוסינתטית והלבנה) לעקת חום כתוצאה מהתחממות קיצונית בצפון מפרץ אילת.

שיטות

דגימת אלמוגים למדידות החלה בחודש יוני ונמשכה כל חודשיים עד לסוף השנה (חודשים יוני, אוגוסט, אוקטובר ודצמבר), במטרה לעקוב אחר תגובת האלמגים לחום הקיצוני שנחזה עבור קיץ 2024. באתרי ניטור שונית בשמורה ובקצא"א (NR-5, NR-20, Katza-10, Katza-20) נדגמו שלושה מיני אלמוגים (*Stylophora pistillata*, *Pocillopora damicornis*, *Acropora maryae*) לצורך מדידות של צפיפות אצות סימביונטיות, ריכוז כלורופיל ומדדים ליעילות פוטוסינתטית, כגון ערכי **NPQ** (non-photochemical quenching, כמות האנגיה העודפת שהאצות השיתופיות באלמוג מפזרות כחום, על מנת להגן על עצמן מעודף אור), **Y(II)** (מדד ליעילות הפוטוסינתזה של האצות), **Fv/Fm** (מדד ליכולת המרבית של הפוטוסינתזה לאחר הסתגלות לחושך; ערכים נמוכים מעידים על עקה), **ETR** (הערכת קצב הפוטוסינתזה של האצה לפי כמה אלקטרונים מועברים בתהליך) ו-**F** (כמות האור שנפלטת מהכלורופיל אחרי קליטת אור).

מכל מין ובכל אתר נדגמו מקטעי אלמוג מ-5 המושבות הראשונות בהן נתקלו הצוללים הדוגמים. הדוגמאות הועברו במי ים למעבדה שם הוחשכו ל-20 דקות לצורך איקלום שלאחריו נמדדה עקומת אור באמצעות Waltz Imaging PAM. בתום המדידה הוקפאו הדוגמאות בחנקן נוזלי ונשמרו בהקפאה עמוקה (80- מעלות) עד לעיבוד.

עיבוד הדוגמאות כלל הסרת הרקמה באמצעות מברשת אוויר, הומוגניזציה, הפרדת הרקמה מהסימביונטים, וספירת תאים באמצעות מונה תאים פלואורסנטי (DeNvix CellDrop FL Pi, נפח 10 מיקרוליטר, n=4 לדגימה). תת-דגימות בנפח 90 מיקרו-ליטר נשמרו בפורמלדהיד 4% לצורך ספירת אצות סימביונטיות.

הכלורופיל הופק מתת-דגימות (0.5 מ"ל) באמצעות צנטריפוגה (5000 סל"ד, 5 דקות ב-4 מעלות) והופק בעזרת 100% אצטון (24 שעות בטמפרטורה של 4 מעלות). מדידות הבליעה בוצעו בספקטרופוטומטר (Biotec HT Synergy) והחישוב בוצע לפי Jeffrey & Humphrey (1975). שטח הפנים חושב לפי שיטת טבילת בשעווה (Veal et al., 2010).

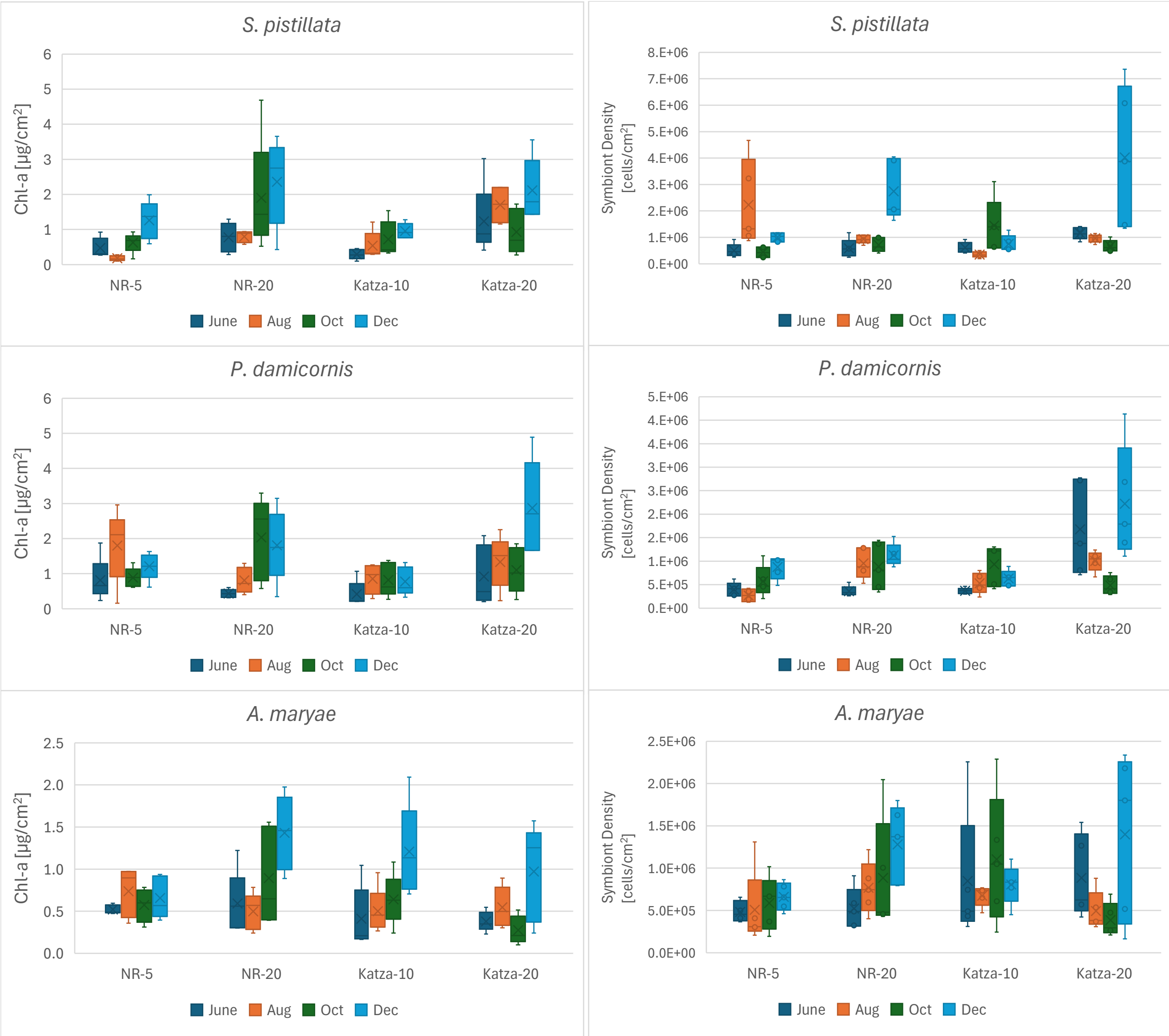
תוצאות

שנת 2024 היתה שנת אל ניניו עם תחזיות לחימום משמעותי של פני הים, ואכן, מפרץ אילת חווה גל חום ימי קיצוני אשר נמשך כחודשיים ובו נמדדו טמפרטורות פני ים גבוהות מ־30 מעלות צלזיוס (ראו מטה, פרק ה'). אירוע זה היה חלק ממשבר הלבנת אלמוגים עולמי, שפגע בשוניות באזורים טרופיים רבים, לרבות שונית המחסום הגדולה, הקאריביים ודרום ומרכז הים האדום. אף על פי ששוניות האלמוגים במפרץ אילת נחשבות לעמידות יחסית, בקיץ זה נצפו בהן סימני הלבנה ראשונים (איור ב37) וכך שנת 2024 התבררה כמשמעותית ביותר להבנת תגובות האלמוגים באילת להתחממות קיצונית.

בין החודשים נמצאו הבדלים בצפיפות האצות ובריכוז הכלורופיל, אף כי מגמת השינוי אינה מובהקת (איור ב38). בחודשי הקיץ צפיפות האצות השיתופיות וריכוז הכלורופיל היו, לרוב, נמוכים יותר מאשר בחודש דצמבר אף כי ישנה שונות גדולה הן בין פרטים מאותו מין והן בין המינים.

איור ב37: אלמוגים מולבנים בשוניות אילת, קיץ 2024.

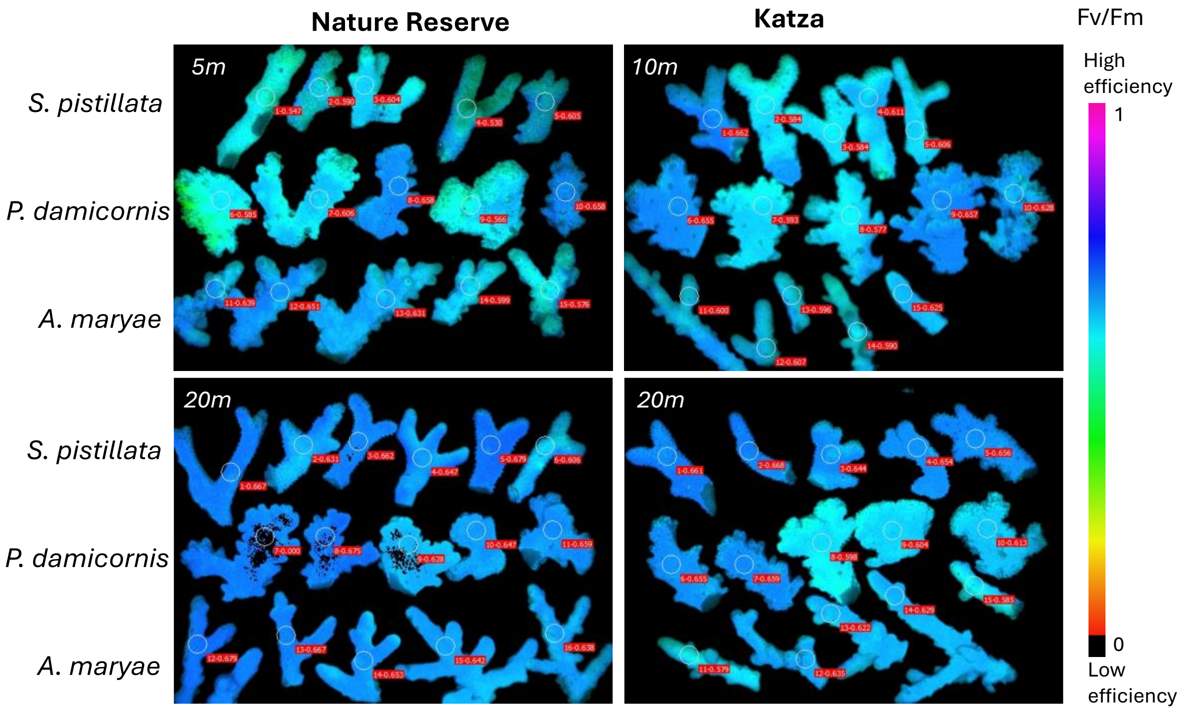
Figure B37: Bleached corals at Eilat, summer 2024**.**



איור 38ב: ריכוז כלורופיל (משמאל) וצפיפות אצות סימביונטיות (מימין) בשלושה מיני אלמוגים נפוצים באתרי הניטור, בין חודש יוני לדצמבר. תיבה מייצגת את הרבעונים השני והשלישי והקווים את כל הטווח (n=5). בכל תיבה מסומנים החציון (קו אופקי) והממוצע (X).

Figure B38: Chlorophyl-*a* concentrations (left) and symbiotic algae density (right) in three abundant coral species at the monitored sites, between June and December. **A box represents the second and third percentiles and whiskers the full range of data (n=5). In each box the median (line) and mean (X) are denoted.**

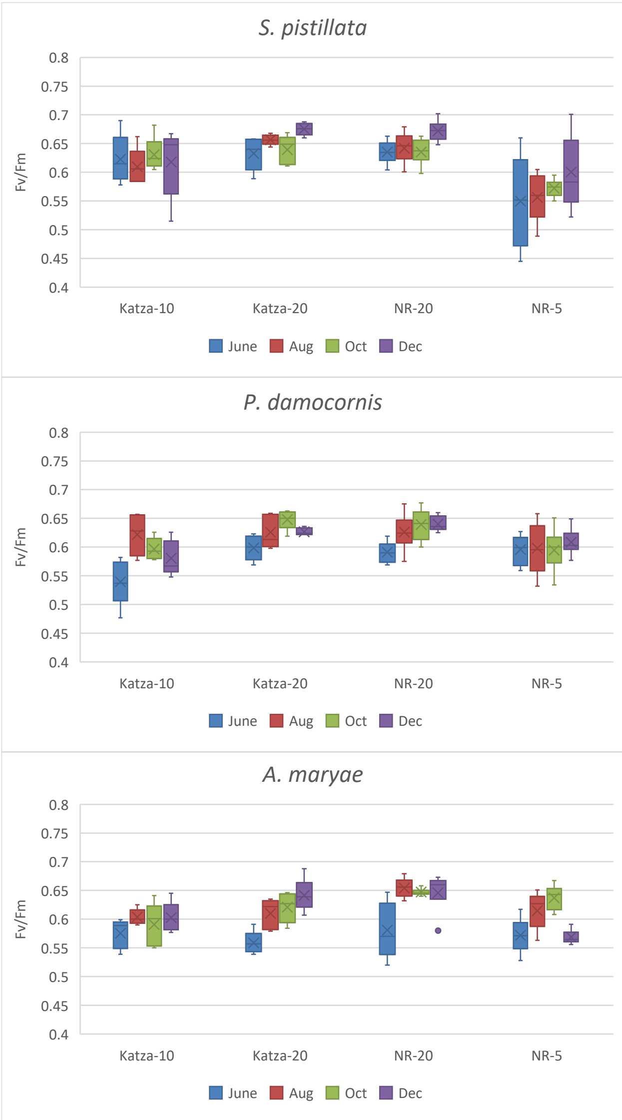
ערכי Fv/Fm (מדד ליעילות הקוונטית המרבית של מערכת פוטוסינתטית (II)) באלמוג בריא נעים סביב 0.55-0.6. ערכים נמוכים מ-0.4 מצביעים על ירידה משמעותית ביעילות הקוונטית. על אף שגם בחודשים החמים יעילותן של המושבות הנבדקות היתה גבוהה (Fv/Fm>0.5, איור 39ב), גם בערכי Fv/Fm נמצאו הבדלים בין החודשים בתקופת הניטור ועקומות האור הצביעו על ירידה ב- Y (II) ועלייה ב- NPQ עם העלייה בעצמת האור. תגובות אלה מעידות על פעילות הגנה פוטופיסיולוגית במערכת פוטוסינתטית (II). המושבות באתר השמורה הרדוד (NR-5) הראו ערכי Fv/Fm נמוכים באופן מובהק מאלה שנמדדו בעומק הגדול באותו אתר, בהתאמה לחשיפה מוגברת לאור וחום בסמוך לפני הים (איור 40ב). בין מיני האלמוגים הנבדקים נמצאו הבדלים מובהקים סטטיסטית אך מתונים בערכי Fv/Fm, המשקפים את השונות והייחוד של המערכת הסימביוטית בכל מין.



איור ב39: תמונת Imaging PAM של ערכי Fv/Fm מהאלמוגים שנדגמו בחודש אוגוסט, בשיא גל החום הימי.
Figure B39: Graphic Imaging PAM representation of Fv/Fm values from corals sampled in August, during the extreme Marine Heat Wave.

בבחינה סטטיסטית של תוצאות אנליזת היעילות הפוטוכימית נמצא אפקט עונתי מובהק, הבדלים מובהקים בין מיני האלמוגים והבדל מובהק בין האתרים (טבלה ב6).

בהשוואת פוסט-הוק (Turkey HSD), רק בין החודשים יוני ואוקטובר נמצא הבדל מובהק סטטיסטית בערכי FV/Fm (p=0.0155). שאר ההשוואות בין חודשים אינם מובהקות. בין האתרים נמצא הבדל מובהק (p=0.0015) רק בין האתר הרדוד והאתר העמוק בשמורת האלמוגים (5-NR ו- 20-NR, בהתאמה). ערכי Fv/Fm נמוכים יותר נמצאו באתר השמורה הרדוד, דבר המצביע על עקה חזקה יותר במים הרדודים. ממצאים אלו מדגישים את התרומה של עומק וחשיפה לתנודות עונתיות בהשפעה על בריאות האלמוגים. השונות הבין-מינית ניכרת ומצביעה על טווח תגובות אקולוגיות בין המינים.



איור 40: שונות עונתית ביעילות פוטוכימית בין מיני האלמוגים והאתרים הנבדקים. תיבה מייצגת את הרבעונים השני והשלישי ווהקווים את כל הטווח (n=5). בכל תיבה מסומנים החציון (קו אופקי) והממוצע (X).

Figure B40: Seasonal changes in photochemical efficiency at the sites and coral species examined**. A box represents the second and third percentiles and whiskers the full range of data (n=5). In each box the median (line) and mean (X) are denoted.**

טבלה ב6: בחינה סטטיסטית של תוצאות התגובה הפוטוכימית במיני האלמוגים הנבדקים

Table B6: Statistics validation of the photochemical response of the examined coral species

Factor	**p-value**	**Interpretation**
Month	0.0069	Significant seasonal effect
Species	0.0151	Significant differences across species
Site / Depth	0.0009	Highly significant spatial effect
Month × Species	0.0631	Marginal interaction effect (not significant at 0.05)

<u>דיון</u>

בקיץ 2024 נפגעו שוניות אלמוגים רבות בעולם עקב חום קיצוני וגם באילת תועדו מושבות מולבנות (בעיקר מהסוגים *Stylophora*, *Astreopora*, *Montipora*). עם זאת, נראה כי העמידות הטבעית של אלמוגי אילת לעקות חום עמדה לזכותם גם בשנה זו וסימני העקה שנמדדו לא היו גדולים או מובהקים. נמצאה שונות רבה בין פרטים ובין מיני האלמוגים וההבדל המובהק העיקרי היה בין האתר הרדוד (5 מטרים) בשמורת האלמוגים ובין האתר העמוק שם (20 מטרים). הבדל זה מצביע על טמפרטורות המים ו/או עצמת האור כגורמי עקה. העומק משמש כמחסום תרמי ואופטי ובהתאמה, העומקים העמוקים יותר מציגים יציבות רבה יותר, כנראה בשל הפחתת עוצמת הקרינה וסטיות טמפרטורה קטנות יותר. הדבר מחזק את החשיבות של שמירה על אזורים עמוקים כשכבת ביטוח אקולוגית. השונות בתגובת המינים הנבדקים עשויה לנבוע מהרכב שונה של סימביונטים (למשל, סוגים שונים של Symbiodiniaceae), השפעות מבניות (למשל מבנה המושבה וצפיפות הענפים), ומהבדלים ביכולת לוויסות חמצון פנימי.

בסך הכל, מספר המושבות שנפגעו היווה אחוז קטן בלבד מסך המושבות בשוניות אילת וחלקן התאושש עם ירידת הטמפרטורות בסוף הקיץ. העלייה במדדים הנבדקים שנצפתה בחודש דצמבר עשויה להעיד על התאוששות מגל החום.

על אף הפגיעה הקטנה יחסית, היתה זו שנת מבחן גם לשוניות אילת, שנחשבות עמידות לעליית טמפרטורה בהשוואה לשוניות אחרות בעולם. הקיץ החם ואירוע ההלבנה השנה מעלה חששות לגבי השנים הבאות.

בנוסף להמשכה הצפוי של מגמת חימום הים, ידוע כי זיהומים שונים מפחיתים מהעמידות התרמית וזה עשוי להסביר את ההלבנה המקומית שנצפתה באילת בקיץ 2024. יותר מזה, אירועים חוזרים בתדירות גוברת עלולים לשחוק את חוסן האלמוגים לאורך זמן.

לפיכך, תכנית הניטור תוסיף לעקוב אחר שינויים בתגובות הפיסיולוגיות של אלמוגי אילת בחודשים החמים.

ב.5. סקר חסרי חוליות ניידים בשונית

<u>מטרה</u>

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

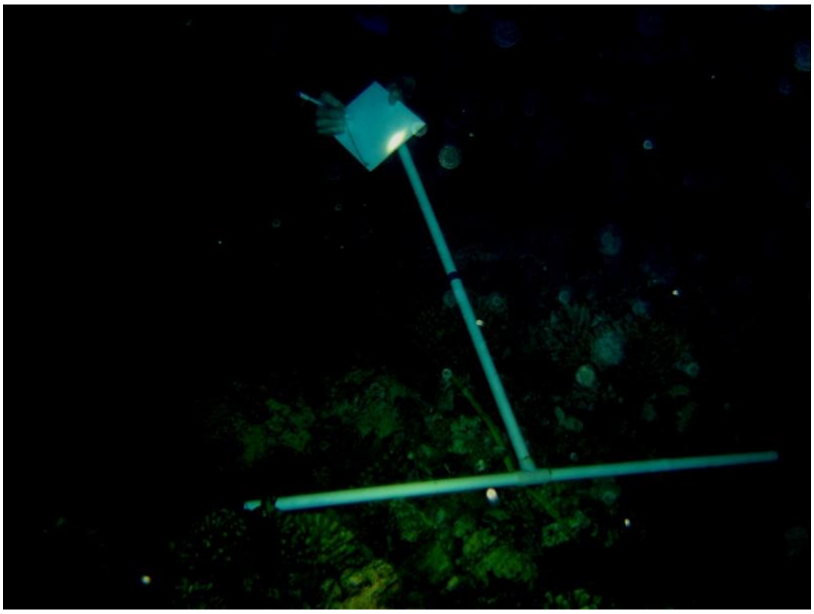
<u>שיטות</u>

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 ב41). 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 סטטיסטים התלויים בחזרות רבות של יחידות מדידה קטנות הדוגמות את האתר.

הפרטים הנספרים, חסרי החוליות הניידים (קווצי עור ורכיכות), מסווגים לפי סוג או משפחה.



איור ב41: 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 B41: 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 defined by the measuring tape and the 1 meter long cross-arm. Photo: Tomer Shaulov**

תוצאות

השנה נסקרו בכל האתרים 1400 מטרים רבועים, לפי הפירוט בטבלה ב7. מספר הפרטים שנמצאו עבור רוב היצורים הנסקרים היה קטן מכדי שלצפיפות המחושבת תהיה משמעות (מקרים אלה צבועים אפור בטבלה). בפרט, מקיפוד הים *D. setosum* שהיה בעבר נפוץ ודומיננטי לאורך חופי אילת נמצא השנה בכל השטח הנסקר פרט בודד בלבד.

טבלה ב7: שכיחות (מספר הפרטים וצפיפותם למ"ר) חסרי החוליות הניידים באתרים הנסקרים.

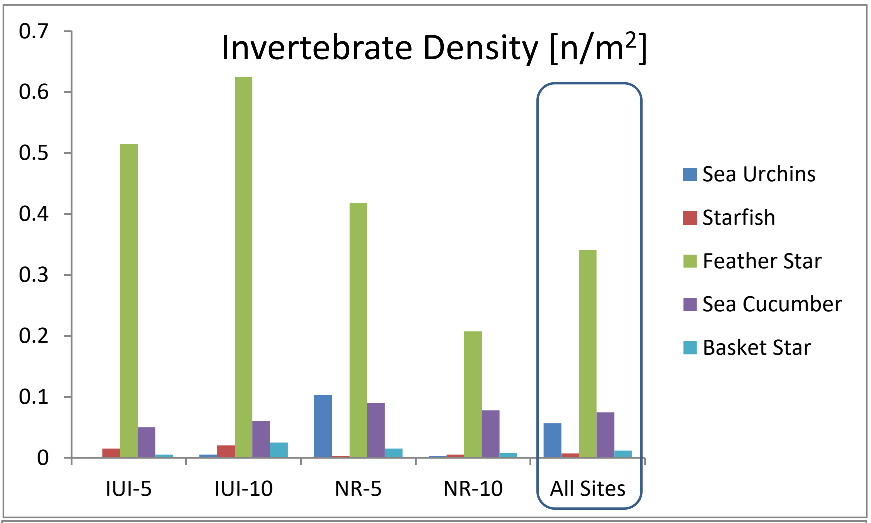
Table B7: Total abundance and average density (number per 1m2) of mobile invertebrates at the monitored sites**.**

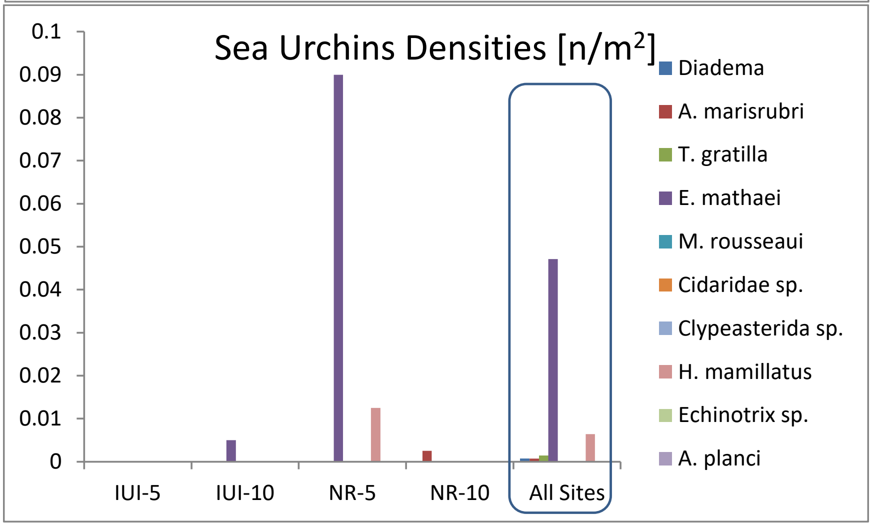
	IUI-5		IUI-10		NR-5		NR-10		Lagoon	
	Density	Number	Density	Number	Density	Number	Density	Number	Density	Number
Diadema	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	1
Other Urchins	0	0	0.01	1	0.10	41	0.00	1	0.18	35
Total Urchins	0	0	0.01	1	0.10	41	0.00	1	0.18	36
Starfish	0.02	3	0.02	4	0.00	1	0.01	2	0	0
Feather star	0.52	103	0.63	125	0.42	167	0.21	83	0	0
Sea Cucumber	0.05	10	0.06	12	0.09	36	0.08	31	0.08	15
Basket Star	0.01	1	0.03	5	0.02	6	0.01	3	0.01	1
m^2 surveyed	200		200		400		400		200	

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 השניה הנפוצה היתה חבצלות הים, אולם בשנים האחרונות התהפכו היוצרות וקבוצת חבצלות הים נפוצה יותר באתרי הניטור מאשר קיפודי הים (איור ב42). גם השנה צפיפות קיפודי הים בסקרי השונית היתה נמוכה ביותר.

ברוב השנים המין הנפוץ ביותר בין קיפודי הים היה *Diadema setosum*. בשנים האחרונות נצפתה עליה בשיפעת קיפודי ים מסוגים אחרים באתרי הלגונה והשמורה הרדודה וקיפוד הים *Echinometra mathaei* היה נפוץ יותר. בשנה הקודמת (2023) פגעה מחלה בקיפודי הים באילת, ובפרט בקיפוד הים *D. setosum*, וקיפוד זה לא נמצא באתרי קדמת השונית הנסקרים ורק פרט יחיד ממנו נמצא בסקר הלגונה. על כן, הקיפוד *E. mathaei* חזר השנה להיות הנפוץ ביותר, בעיקר בזכות צפיפותו הגדולה – יחסית – באתר השמורה הרדוד, NR-5. בשנה הקודמת נמצאו קיפודי ים גם באתרי המכון (IUI) ובדרך כלל צפיפות קיפודי ים גדולה באתרים הרדודים מאשר בעמוקים, 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 ונראה שהוא הולך ומתבסס באילת. בשנים האחרונות נמצאו כעשרים פרטים בסך הכל בכל האתרים, אך השנה נספרו 16 בלבד.





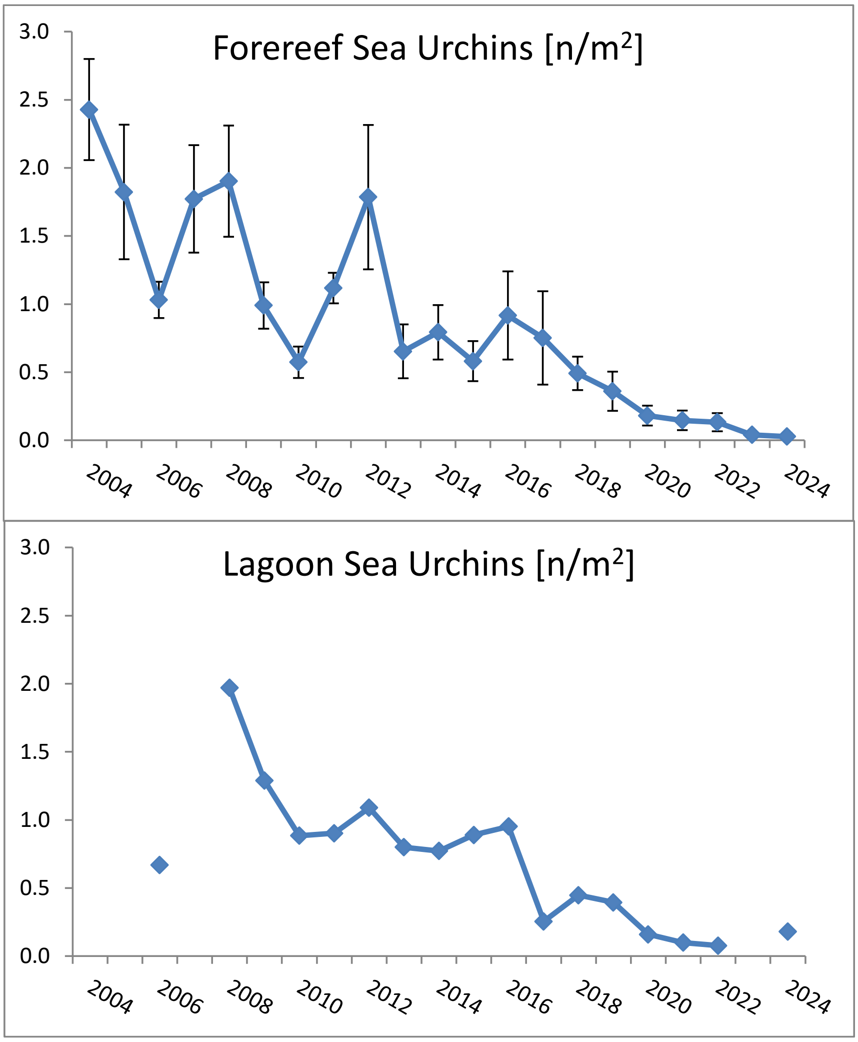
איור ב42: הצפיפות הממוצעת (פרטים למ"ר) של כלל חסרי החוליות הניידים (למעלה) וקיפודי ים (למטה) באתרי הניטור.

Figure B42: 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 ב43). בשנים האחרונות צפיפות קיפודי הים כל כך קטנה שקשה לעמוד על תנודות שנתיות ולמעשה נדמה שהאוכלוסיה קרסה. השנה נספרו בכל האתרים הנסקרים 79 פרטים של קיפודי ים מכל הסוגים. זה כשליש ממספר הקיפודים שנמצאו בסקרי שנת 2021.

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%. שינויים גדולים בגודל האוכלוסייה שלקיפודי ים הם תופעה מוכרת. השינויים בצפיפות קיפודי הים שיקפו, כנראה, מחזורים 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. בשנת 2022, על אף עומק ערבוב גדול, לא זינקה אוכלוסיית הקיפודים בחזרה ונראה היה שהאוכלוסיה קטנה מכדי להגיב במהירות לשינוי.

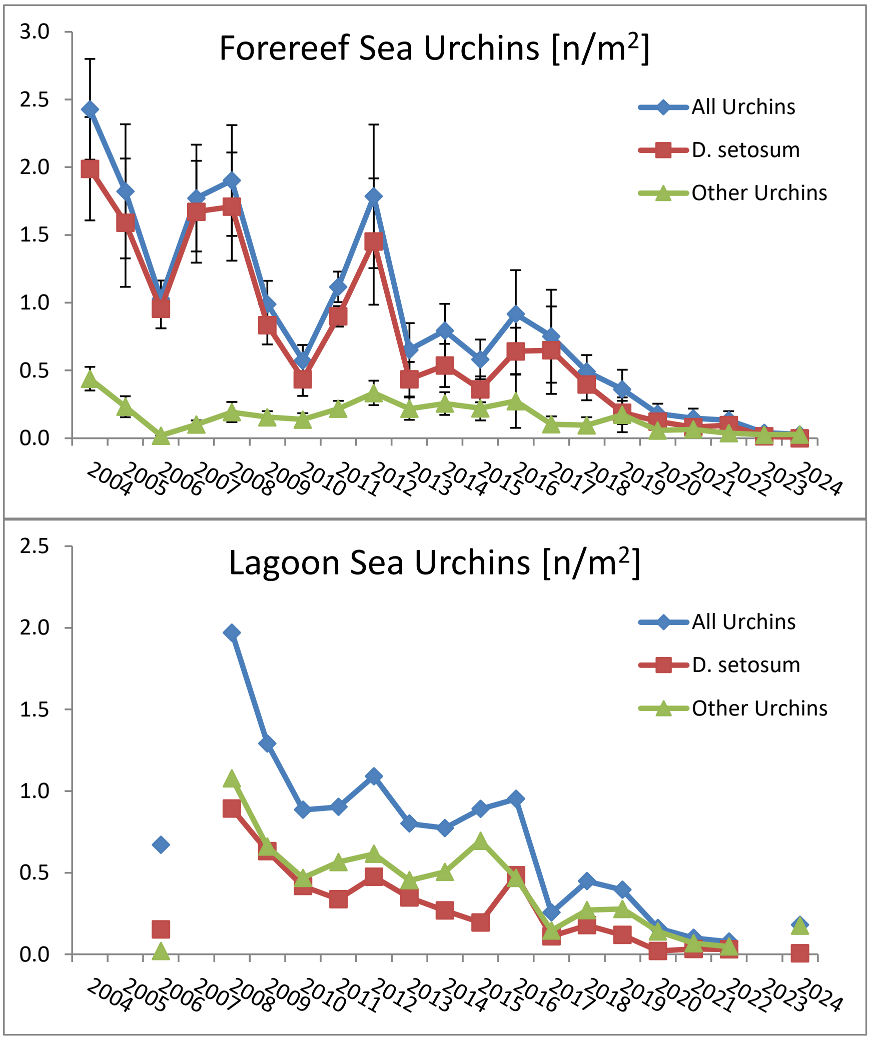
בנוסף לכך, לאחר שנצפתה בים התיכון, אובחנה בחודש ינואר 2023 תמותה המונית של קיפודים מהמין *D. setosum* גם באילת ובמקומות אחרים, אשר נקשרה בהתפרצות פתוגנים חיידקים. בחודש פברואר אותה שנה, גם תועדה תמותת של קיפודים מהסוג *Tripneustes*. נראה כי אוכלוסיית הקיפודים באילת קטנה מכדי להתמודד עם פגיעות אלה והתאוששות, אם תתרחש, תהיה איטית.



איור ב43: הצפיפות הממוצעת (פרטים למ"ר) של כלל קיפודי הים באתרי קדמת השונית (למעלה) ובלגונה (למטה).

Figure B43: 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 ב44). כאמור למעלה, בלגונה צפיפות קיפוד הים מהמין *E. mataei* היא הגדולה ביותר.



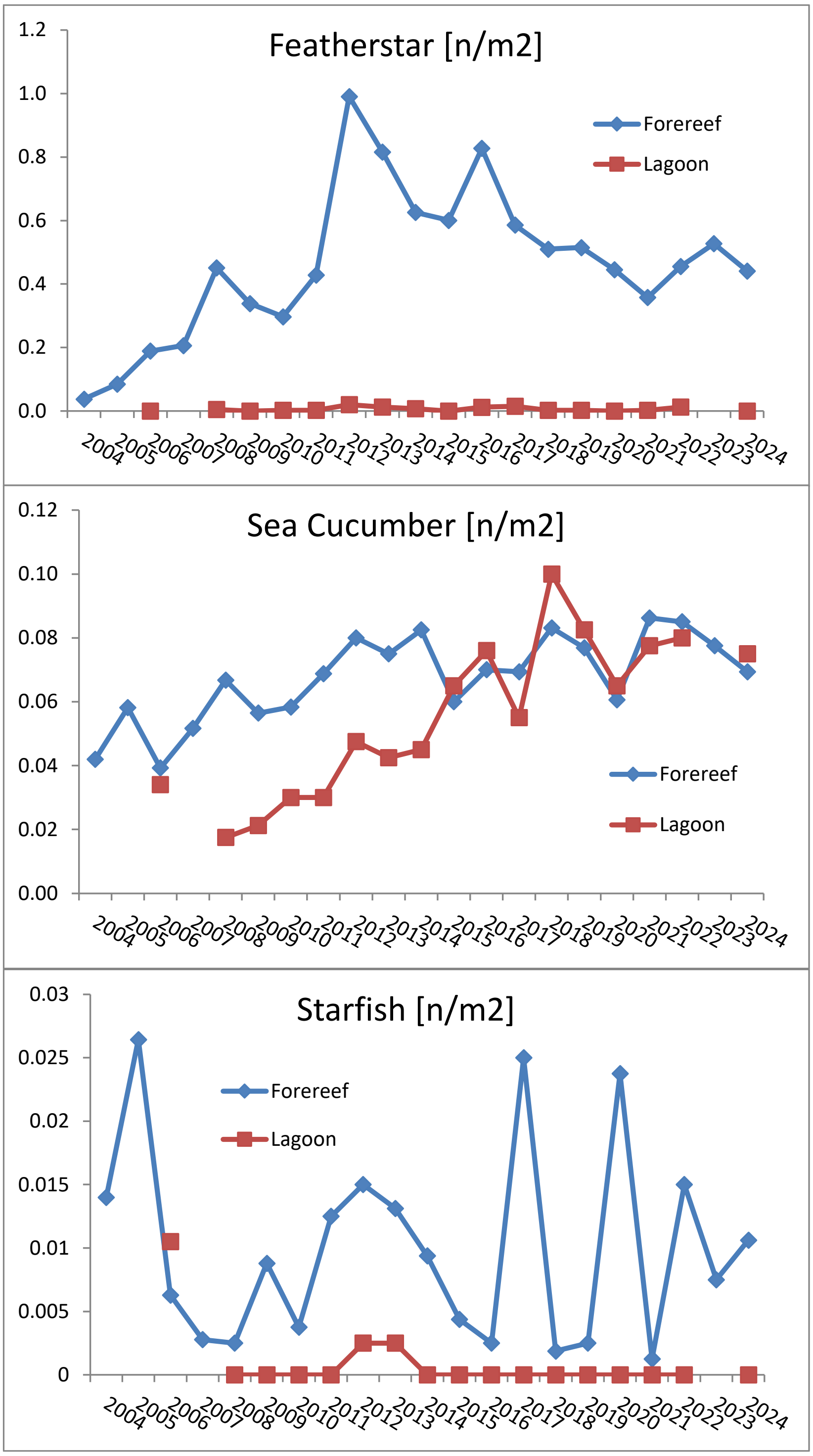
איור B44: הצפיפות הממוצעת (פרטים למ"ר) של קיפודי הים *Diadema setosum* ושל קיפודי ים אחרים בקדמת השונית ובלגונה.

Figure B44: 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 ב45). בלגונה צפיפות חבצלות ים קטנה במידה ניכרת מאשר בקדמת השונית לאורך כל תקופת הניטור.

מאז תחילת הניטור נמצאה אוכלוסיית מלפפוני הים בעליה מתמשכת בכל האתרים. אף כי, בשנים האחרונות נמצאה ירידה מסויימת באתרי קדמת השונית. 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 ב45: הצפיפות הממוצעת (פרטים למ"ר) של חבצלות ים (למעלה), מלפפוני ים (באמצע) וכוכבי ים (למטה) באתרי קדמת השונית ובלגונה.

Figure B45: 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.6. קצב גידול מאקרו-אצות בשונית

מטרה

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

שיטות

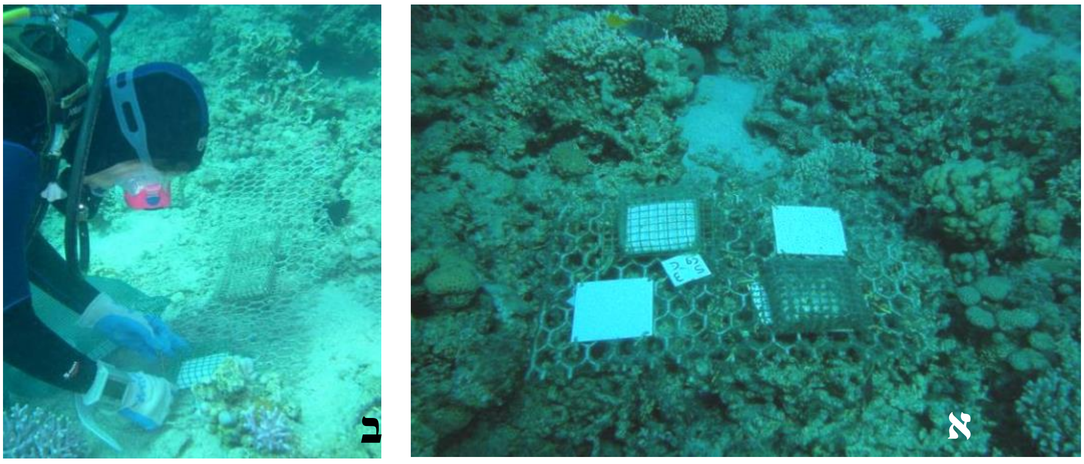
שלושה מערכים בהם שני זוגות של לוחיות PVC סמוכות, שגודלן 10X10 ס"מ וצידן העליון חוספס על מנת להקל על התיישבות אצות, הוצבו באופן שרירותי בעומקים שבעה עד עשרה מטרים בשונית שמול המכון הבין-אוניברסיטאי. בשנת 2007 הוצבו מערכים דומים גם בחלקה הדרומי של שמורת חוף אלמוג, בעומקים 20 מ', 5 מ', ובלגונה. בכל מערך שתי לוחיות חשופות ושתי לוחיות מכוסות כלוב מתכת בעל גודל עין של 1X1 ס"מ (איור ב46). 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 הפוטוסינתטים המשמשים לאומדן מסת האצות. עצמת בליעת האור באורכי הגל המתאימים לפיגמנטים הפוטוסינתטים (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 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 ב46: 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

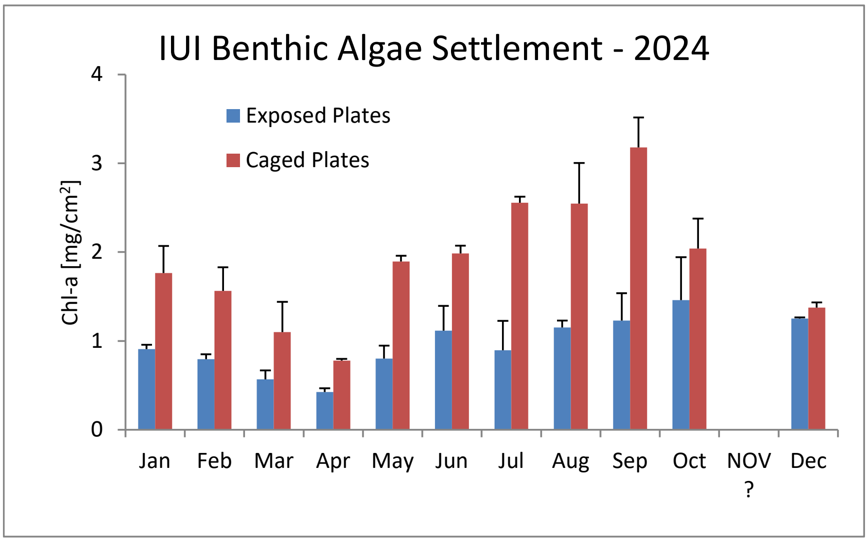
Figure B46: Algae settlement plates**. (A) Two plates in the array are exposed to grazing by herbivores, and two are protected by a wire cage. Photo: Nitzan Segev (B) Every month divers replace the two settlement plates that have been in the sea for two months. Photo: Ruti Reef.**

תוצאות

לאחרונה נתקלנו לעיתים בתבנית עונתית של צמיחת אצות ישיבות המראה שיאים בפוטנציאל הגדילה דווקא בחודשי הקיץ והסתיו.

גם השנה נמדד ריכוז הכלורופיל המרבי על גבי לוחיות מוגנות (= פוטנציאל גידול האצות בשונית) מול המעבדה הימית בחודש ספטמבר ($3.18\ mg/cm^2$, איור ב47), אם כי ערך זה נמוך מעט מהשיא אשר נמדד שם בחודש ינואר בשנה הקודמת. פריחת מאקרו-אצות השנה, כמו גם בשנה הקודמת, היתה ממושכת וחזקה פחות מאשר בשנת 2022 בה ערבוב עמודת המים היה עמוק ושיא הפוטנציאל הנמד היה $5.33\ mg/cm^2$ (בחודש פברואר 2022). עם זאת, ערך השיא הנמדד בשנתיים האחרונות גבוה מזה שנמדד בשנה לפני הערבוב העמוק, אז שיא הפוטנציאל הנמדד אירע בפריחת קיץ, $2.90\ mg/cm^2$ 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, בחודשים יולי-ספטמבר היה ההפרש בין ריכוז כלורופיל על גבי לוחיות מוגנות ללוחיות חשופות גבוה מאשר בשאר חודשי השנה, וההפרש המרבי, $1.95\ mg/cm^2$, נמצא בחודש ספטמבר. נראה כי בחודשים של פריחת אצות הרעייה אינה מגיבה מהר מספיק לצמיחת האצות והתבנית העונתית ניכרת הן בפוטנציאל צמיחת האצות והן בגידול האצות בפועל.



איור ב47: ממוצע כמות *a* chlorophyll ע"ג לוחית חשופות ומוגנות בכלובים בשנת 2024. כל עמודה מייצגת חודש אחד (מחושבת על-פי שלוש לוחיות ששהו בים חודשיים).

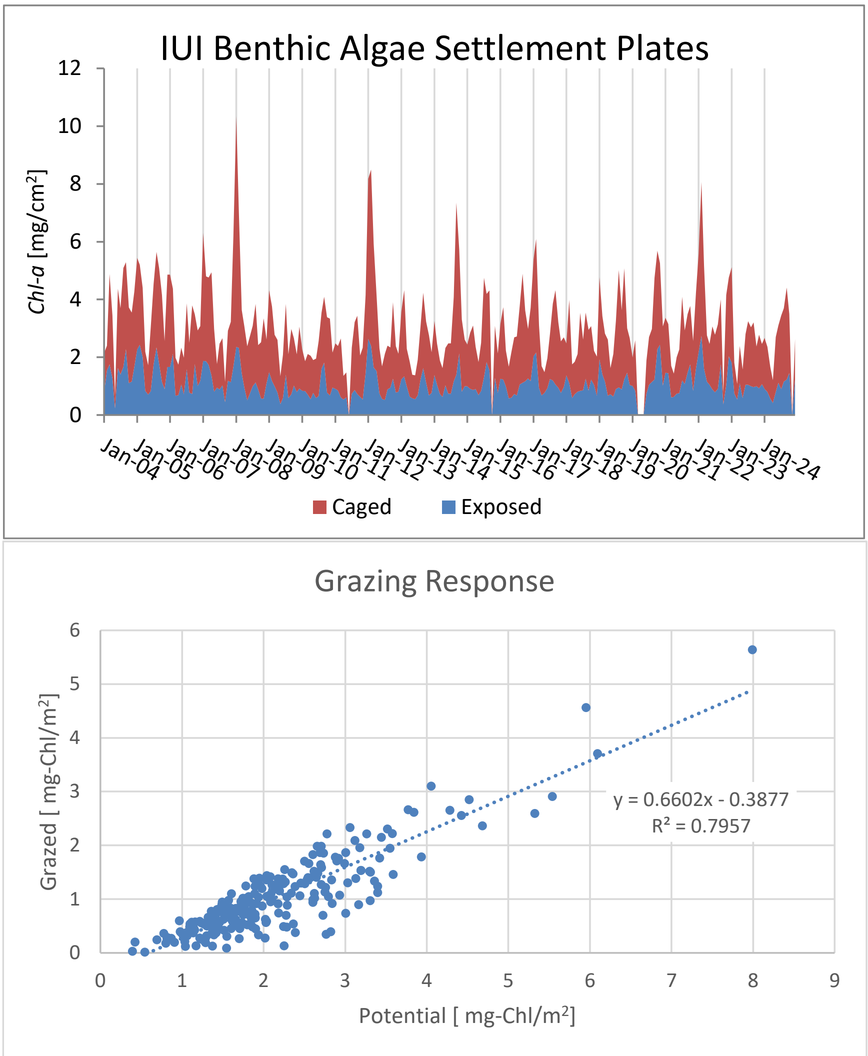
Figure B47: Average chlorophyll a on exposed and caged settlement plates in 2024**. Each bar represents one month (calculated as an average of three plates submerged in the sea for two months).**

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 לכך 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 ב48).

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 בויסות כמות האצות. בשנים בהן פוטנציאל האצות נמוך ההבדלים בין הלוחיות החשופות והמוגנות קטנים מאד. בשנים בהן

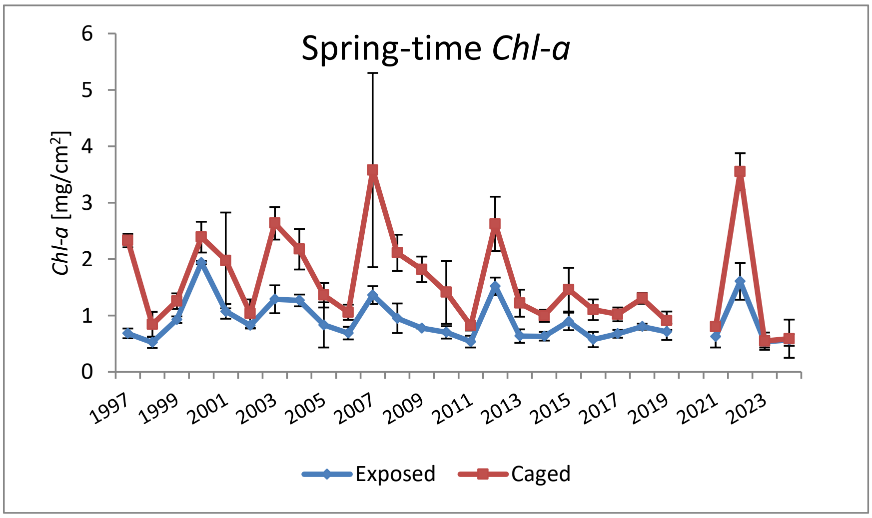
הפוטנציאל גבוה עשוי להיווצר מרווח זמן (time lag) בין הגידול המהיר של האצות ובין ויסות הגידול באמצעות רעייה. מרווח זה נגרם מירידה בלחצי הרעייה לגרם אצה בשלב בו האצות גדלות במהירות. בסיכומו של דבר, נראה כי אוכלוסיית הרועים מווסתת את גידול האצות בשונית באופן יעיל, אם כי לעיתים נדרש זמן להתגבר על עלייה מהירה בשיפעת האצות בשנים בהן פוטנציאל הגידול גבוה, ולעולם אינה מנצלת את כל האצות (איור ב44, למטה).



איור ב48: 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 B48: 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 ב49). על אף שתזמון פריחת האצות הישיבות בשונית (= שיא פוטנציאל גידול האצות/ריכוז הכלורופיל על גבי לוחיות מוגנות מרעיה) 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 B49: ממוצע ריכוז *a* Chlorophyll בחודשי האביב (מרץ-אפריל) על-גבי לוחית חשופות ומוגנות בכלובים, החל משנת 1997. כל נקודה היא ממוצע של שלוש לוחיות ששהו בים חודשיים.

Figure B49: 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 המייצגים שלוש סביבות שונות, ובהתאם לכך גם תבנית פריחת האצות הישיבות באתרים אלה אינה זהה (איור 50ב). 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 ההתיישבות. 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 שבעומקים גדולים יותר.

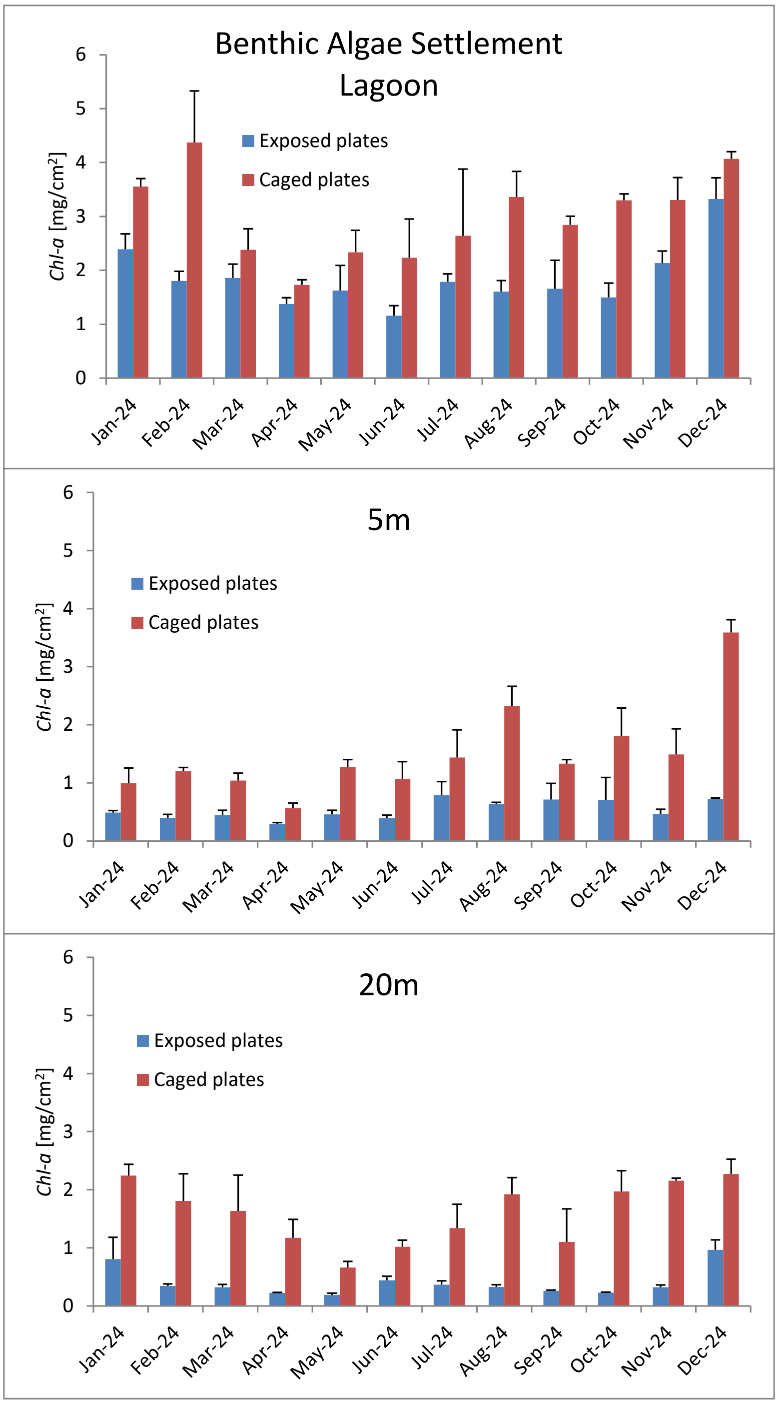
תבנית פוטנציאל פריחת האצות הישיבות (לוחיות מוגנות מרעייה) בלגונה כולל, לרוב, ערכים גבוהים בחודשי החורף וסוף הקיץ ונמוכים יחסית בחודשי האביב והקיץ. תבנית זו אינה בולטת השנה, ולמרות זאת ריכוז כלורופיל מרבי על גבי לוחיות מוגנות נמדד שם השנה בחודש פברואר, 4.37 mg/cm^2, והריכוז השני הגבוה נמדד בסוף השנה, בחודש דצמבר. ריכוז הכלורופיל הנמוך ביותר השנה על גבי לוחיות התיישבות המוגנות בלגונה היה 1.73 mg/cm^2, בחודש אפריל. שני הערכים הקיצוניים האלה נמוכים מהערכים שנמדדו בשנה הקודמת.

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. בעומק זה נמצא השנה פוטנציאל גדילה מרבי בחודש דצמבר, 3.59 mg/cm^2, ובניגוד ללגונה, לא נמדדו ערכים גבוהים בחודשים החורף בתחילת השנה. בשנים האחרונות ערכים גבוהים באתר זה נמדדו דווקא בחודשי הקיץ, והערך השני הגבוה נמדד השנה בחודש אוגוסט (2.32 mg/cm^2, בלבד). בעומק זה ההפרש בין ריכוז הכלורופיל על לוחיות מוגנות ולוחיות חשופות גדול במשך כל השנה, עדות לפעילות נמרצת יותר של רועים בכל העונות, אך גם כאן ההפרש גדל בחודשים בהם פוטנציאל גידול האצות גדול.

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 גם שם הערך המרבי בחודש דצמבר, 2.27 mg/cm^2. התבנית העונתית בעומק 20 מטרים היתה השנה סדורה למדי וכללה ערכי שיא בחודשי החורף וערכים נמוכים בשאר השנה. ההבדלים בין לוחיות מוגנות ולוחיות חשופות היו שם גדולים במשך כל השנה.

בכל האתרים נראה כי הרעייה מסוגלת לווסת ביעילות את צמיחת האצות בפועל – ריכוזי כלורופיל על גבי לוחיות חשופות לרעיה 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 השופות בלגונה גבוהים לרוב מאלו שנמדדים בעומקים הגדולים יותר. באופן כללי נראה כי הרעיה באתר השמורה יעילה יותר מאשר באתר המעבדה.



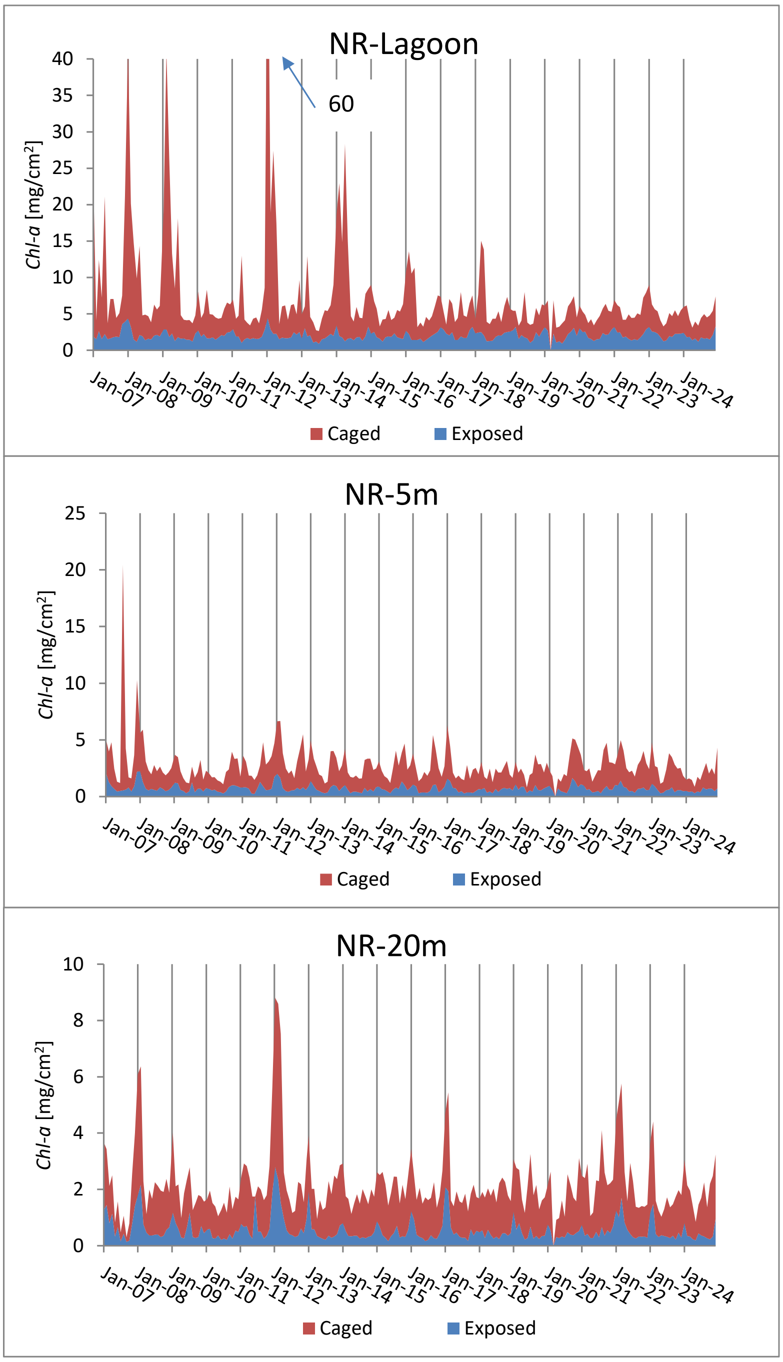
איור ב50: ממוצע כמות *a* Chlorophyll ע"ג לוחית חשופות ומוגנות בכלובים בשמורת חוף אלמוג בשנת 2024. כל נקודה מייצגת חודש אחד (מחושבת על-פי שלוש לוחיות ששהו בים חודשיים). למעלה – לוחיות שהוצבו בלגונה, באמצע – לוחיות מעומק 5 מטרים, למטה – לוחיות מעומק 20 מטרים.

Figure B50: Average chlorophyll *a* on exposed (blue) and caged (red) settlement plates at the Nature Reserve in 2024**. 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 בתחילת השנה הקודמת (פברואר-מרץ 2023) שהיה מעט נמוך מזה של שנת 2022 עם הערבוב העמוק (איור ב51). באתר העמוק, שמורה בעומק 20 מטרים, נמדד שיא פריחה גם בחורף 2017, וגם זה לא נמצא באתרי השמורה הרדודים יותר.

בשנים של ערבוב עמוק נרשמו לעיתים בשמורה שיאים גבוהים בסדר גודל מאשר בשנים של ערבוב רדוד.
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 ב52), כך שההבדלים בין השנים בריכוזי הכלורופיל על גבי לוחיות חשופות אינם גדולים.

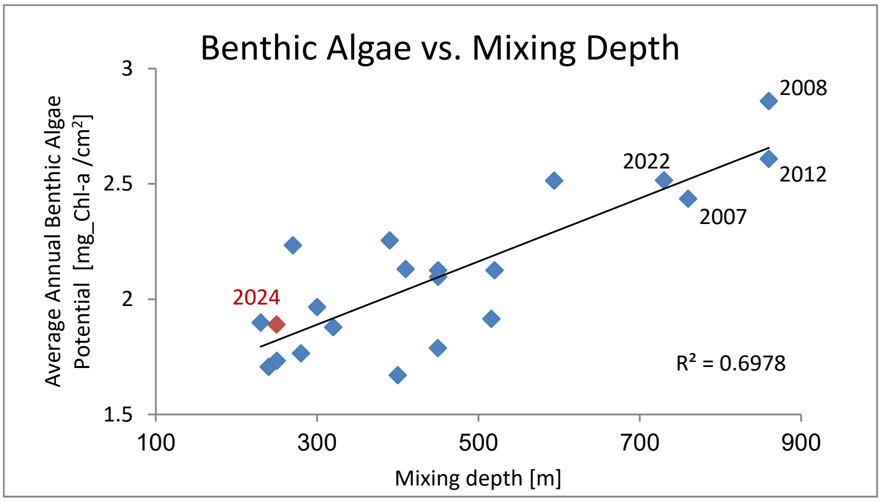


איור ב51: ממוצע כמות Chlorophyll *a* ע"ג לוחית חשופות ומוגנות בכלובים בשמורת חוף אלמוג מאז שנת 2007. למעלה – לוחיות שהוצבו בלגונה, באמצע – לוחיות מעומק 5 מטרים, למטה – לוחיות מעומק 20 מטרים.

Figure B51: 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 ב52: לוחית התיישבות אצות שהיתה חשופה לרעייה באתר הלגונה.
Figure B52: 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 העומק אליו הגיע ערבוב עמודת המים ופריחת אצות ישיבות על גבי מדרונות השונית (איור ב53). השנה היה ערבוב עמודת המים רדוד וגם פריחת האצות הישיבות היתה חלשה.



איור ב53: 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 B53: The annual average potential benthic algae growth on the reef slopes across the IUI versus the mixing depth, since 2004**. Years of deep mixing are marked.**

ב.7. סקר דגי השונית

(ניתוח הנתונים מסקרי הדגים וכתיבת הפרק: <u>ד"ר טל עמית</u>)

<u>מטרה</u>

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

<u>שיטות</u>

דגי השונית נסקרים באתר השמורה מאז שנת 2007 ובאתר המכון מאז 2020. עם השנים נעשו שינויים, תוספות והתאמות הן של סיווג הדגים, הן של האתרים והעומקים בהם מבוצע הסקר. השנה (2024) נעשה שינוי גם בשיטת הסקר, ראו להלן.

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 באופן מלא לסקרי האלמוגים באותם אתרים ובאותם עומקים. האתרים והעומקים אשר נסקרים מאז שנת 2020 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.

החל מהשנה (2024) נעשה שינוי בשיטת הסקר, על מנת להתאימה לסקרים הנערכים על ידי קבוצות שמומחיותן בכך ועל מנת לקבל נתונים ברי השוואה לסקרי דגים ממקומות אחרים. סקרי הניטור עד כה (2007-2023) ספרו את דגי השונית החולפים במים ביחידת נפח וזמן, ונתונים אלה קשה לתרגם לצפיפות. על פי עצתו של פרופ' יוני בלמקר ומעבדתו באוניברסיטת ת"א, המתחמחה באקולוגיה של דגים, הוחלט לסקור את הדגים על פני שטח גדול יותר וללא מימד הזמן בכדי לקבל את צפיפות הדגים במונחים של מספר פרטים ליחידת שטח.

כדי לבחון את ההבדלים בין השיטות, תכנית הניטור סקרה השנה את דגי השונית בשתי השיטות במקביל, באותה תקופה ואותם אתרים. לצורך כך נעשו עשרה חתכי דגימה מכל שיטה בכל אתר, ובסך הכל נעשו השנה 61 חתכי דגימה בכל שיטה.

זיהוי דגי השונית ומאפייניהם נעשה על סמך הניסיון המצטבר בשוניות אילת (Khalaf *et al*., 2003) ובעצה אחת עם ד"ר ערן ברוקוביץ, כאשר בשנת 2016 נעשה שינוי בחלוקת הדגים לקבוצות פונקציונאליות בעקבות Mouillot *et al*. (2014), ובעצה עם פרופ' רועי הולצמן מאוניברסיטת ת"א. בשנת 2023 עברה הרשימה עדכונים ותוספות לאחר התייעצות עם פרופ' יוני בלמקר מאוניברסיטת תל אביב וחברי מעבדתו המתחמה באקולוגיה של דגים.

חלוקת הדגים לקבוצות כמפורט להלן חושבה מחדש עבור כל השנים מאז 2007. סיווג הדגים נעשה לפי סוג המזון, גודל הלהקה, זיקתם לקרקעית ומיקומם בעמודת המים לפי המפתח הבא:

<u>זיקה לקרקעית</u> –

Benthic, Bentho-pelagic, Pelagic

<u>גודל להקה (Schooling)</u> –

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

<u>תזונה</u> –

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)
Planktorivorous: feeding on small particles in the water column (PK)
Piscivorous: fish and cephalopods (FC)
Omnivorous: both animal and vegetal material (OM)

<u>השיטה הישנה (נפח+זמן, סקרי הדגים של תכנית הניטור 2007-2023):</u>

על פי שיטה זו, הדגים נספרו בסדרה של מנסרות ישרות 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.

יחידות הדגימה עבור דגים 'חולפים' בעמודת המים הן נפח המנסרה מהבסיס על קרקעית הים ועד לפני המים, ופרק זמן של עשר דקות. עבור הדגים שוכני הקרקעית נסקר בסיס יחידת הדיגום (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 סרטי סימון. לאחר חלוקת השטח ליחידות דגימה 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 בדגים והמושבות הריקות.

<u>השיטה החדשה (חתכי חגורה, Belt transects, תיקרא כך מעתה והלאה בדו"ח זה):</u>

הסקר בשיטה זו מתבצע בשיטת חתכי 'חגורה' (Belt transect). שתי צוללות פורשות סרט מדידה לאורך 50 מטרים ונעות לאורכו בקצב איטי ומסונכרן תוך רישום וספירה של דגים שמוגדרים מראש כדגים 'חולפים' (Transient fish) במרחק של עד 2 מטרים מסרט המדידה (שטח כולל של 100 מ"ר). לאחר סיום קטע הדיגום, הצוללות ממתינות כשתי דקות ומבצעות סקר נוסף למינים שוכני קרקעית (Cryptic fish) בלבד, בו כל סוקרת בוחנת רצועה ברוחב 1 מטר ובאורך 50 מטרים בצמוד לסרט המדידה. דגים חולפים שנצפו קודם אינם נרשמים מחדש, אלא אם זוהה פרט חדש בוודאות. במקרה של להקות, מספר הפרטים מוערך באמצעות דגימה והכפלה בנפח היחסי של הלהקה. כל דג שנצפה מסווג כדג צעיר או בוגר.

בשיטה זו נדגם שטח קרקעית גדול יותר מאשר בשיטה הישנה, אך מוזנחים הדגים הנמצאים בעמודת המים למעלה (בעיקר המינים הפלאגים השייכים למשפחות ה- Atherinidae וה-Caesionidae).

עבור נתונים משתי השיטות, בכל אתר נבחנו מבנה חברת הדגים, מדדים שונים של מגוון מינים וצפיפות כללית של המינים שנצפו ביחידות הדגימה. השוואת הנתונים בין השנים ובין האתרים נעשית על ידי נרמול מספר הדגים ליחידת דגימה (שיטה ישנה) או למ"ר (שיטה חדשה), וכלל המדדים חושבו כערך ממוצע ליחידת דגימה או למ"ר. 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 והשכיחותם. השפעת האתר על מבנה חברת הדגים נבחנה באמצעות מבחני ANOVA (Analyses Of Variance).

בכדי לבחון מגוון ושוויוניות (evenness) של מיני דגים בין האתרים או השנים השונות, חושבו מדד עושר המינם ומדד שאנון למגוון (Shannon-Wiener Index, 2014 Chao *et al.*). כמו כן, חושב "מספר מינים אפקטיבי" המעריך את המגוון בחברה בהתבסס על עושר ושוויוניות ומבוסס על טרנספורמציה של מדד שנון למגוון (Jost, 2006). מדד זה מאפשר השוואה ישירה בין אתרים שונים: המדד מייצג את מספר המינים הנפוצים במידה שווה שיתנו את אותו ערך מדד (במקרה זה, אותו ערך של מדד שאנון למגוון).

על מנת להעריך האם מאמץ הדיגום הספיק בכדי לייצג את עושר המינים בכלל האוכלוסיה באתר חושב מדד הכיסוי המדגמי (Coverage; Chao & Lost. 2012).

<u>תוצאות</u>

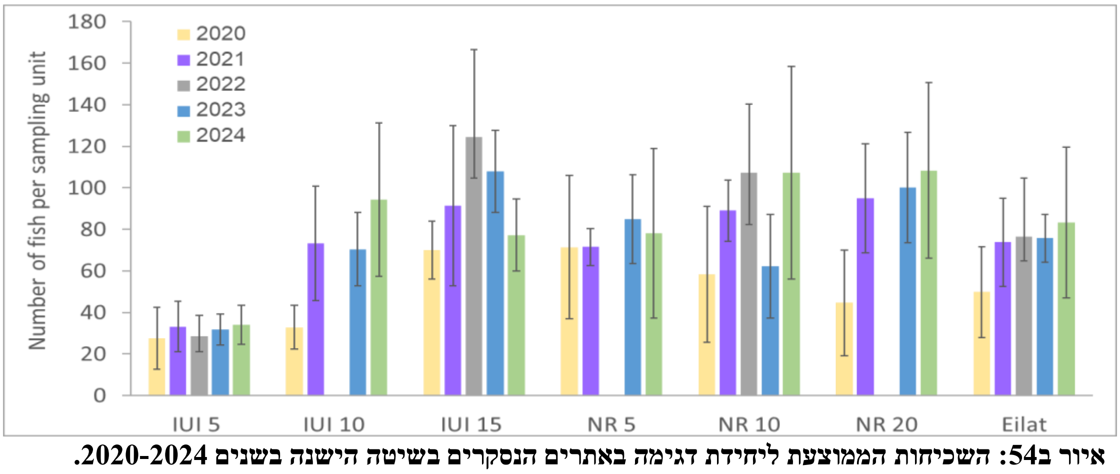
חברת הדגים היא מאסף כל מיני הדגים המקיימים בינהם יחסי גומלין בבית הגידול. מבנה החברה הוא דינאמי ומשתנה כתלות בזמן, במרחב, בעומק, ובאופי בית הגידול. בין הדגים, קיימים מינים נודדים, שאינם קבועי מקום ולכן יהיו חלק מהחברה רק בזמנים מסויימים. לעומתם, ישנם מינים קבועי מקום שתפוצתם מוגבלת וקבועה, וכך

הינם מרכיב קבוע בחברת הדגים באותו בית גידול. לכן, 'חברת הדגים' מהווה תמונת מצב של החברה בזמן ביצוע הסקר, ויכולה להשתנות בין שנה לשנה בלא שתהיינה לכך סיבות אקולוגיות ידועות.
השנה נעשו סקרים בשתי השיטות ובסך הכל נספרו 20,718 דגים ב-122 חתכים בכל אתרי הדיגום. תוצאות מלאות של סקרי הדגים השנה, כולל רשימת מיני הדגים וחלוקה על פי מאפיינים, נתונות בנספח ז.2, טבלאות ז.2 ו- ז.3. בפרק זה, תוצאות הסקר בשיטות השונות מדווחות בנפרד, כאשר תוצאות הסקר בשיטה הישנה והשוואה לשנים קודמות מדווחות קודם, לאחר מכן תוצאות הסקר בשיטה החדשה, ולבסוף, השוואה בין השיטות השונות.

<u>תוצאות הסקר בשיטה הישנה (נפח+זמן) והשוואה לשנים קודמות:</u>
נדגמו 61 יחידות דיגום ובהן נספרו מעל 5000 דגים השייכים ל-21 משפחות ו-76 מינים, ובכל אתרי הסקר נספרו בשיטה זו בממוצע 83.2±36.3 דגים ביחידת דגימה (טבלה ב8). נצפו כ-7 להקות גדולות של דגים ממשפחת ה- Atherinidae, שכללו סה"כ מעל 1400 דגים. הופעתן או היעדרן של להקות אלו מגדילה מאוד את שונות המדגם, ולכן על אף שנספרו ונרשמו, לא נכללים דגים אלה בניתוחי התוצאות בשנים האחרונות. כמו כן, נספרו בשיטה זו 420 מושבות אלמוגים, אשר מחציתן היו מיושבות על ידי דגים.
האתר בו נמצאה צפיפות הדגים הנמוכה ביותר באופן מובהק הוא אתר IUI 5. זהו האתר בעל כמות הדגים הנמוכה ביותר ליחידת דגימה בחמש השנים האחרונות, בהן נסקרו כל האתרים (איור ב54). באתרים IUI 15, 10 NR ו-NR 20 נמצאה עליה בצפיפות הדגים לעומת שנים קודמות, והממוצע של כלל האתרים הראה גם כן עליה בצפיפות הדגים לאורך שנות הסקר. באתרי השמורה נמצאה צפיפות דגים גבוהה יותר מאשר באתרי המכון, אך הבדל זה אינו מובהק סטטיסטית.

טבלה ב8: גודל המדגם, מספר הדגים שנספרו, ותוצאות הסקר בכלל האתרים הנסקרים בשיטת הסקר הישנה.
Table B8: Sample size, number of fish (individuals) observed, and results of the old survey method **(water volume + time) in all surveyed sites.**

Old survey method							
	IUI 5	**IUI 10**	**IUI 15**	**NR 5**	**NR 10**	**NR 20**	**Eilat**
Number of sampling units	11	10	10	9	10	11	61
Number of fish observed at this site	374	943	772	703	1073	1192	5057
Average fish density per sampling unit	34 ± 9.5	94.3 ± 36.9	77.2 ± 17.3	78.1 ± 40.9	107.3 ± 71.2	108.4 ± 42.3	83.2 ± 36.3
Average corals per sampling unit	4.5 ± 2	6.1 ± 1.3	5.8 ± 2.6	6.2 ± 1.9	11 ± 3.4	7.4 ± 2.7	6.8 ± 2.3
Average of percentage of inhabited corals	54.1 ± 25.7	61.2 ± 14.4	39.7 ± 23.5	47.6 ± 22.2	64.1 ± 12.1	31.4 ± 12.3	49.7 ± 18.4



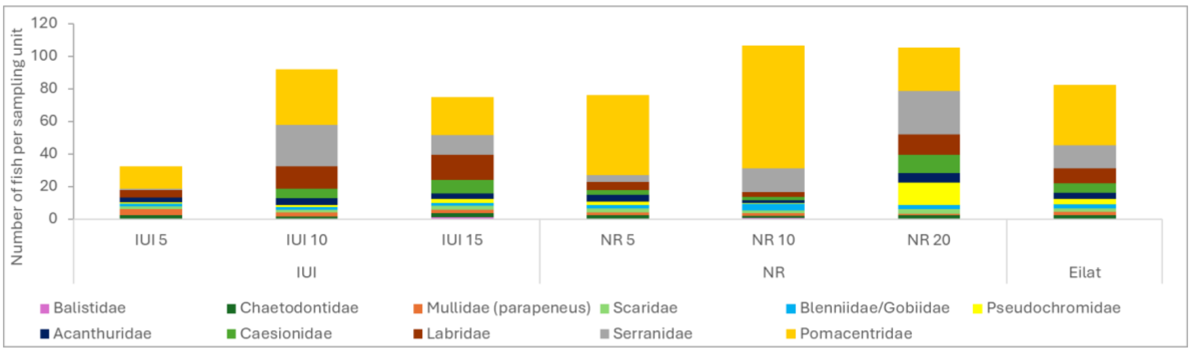
איור ב54: השכיחות הממוצעת ליחידת דגימה באתרים הנסקרים בשיטה הישנה בשנים 2020-2024.
Figure B54: Number of fish per sampling unit (old method) at the surveyed sites since 2020.

בדומה לשנים קודמות, רוב הדגים שנמצאו בסקרים (75%) שייכים למינים להקתיים. המשפחה הנפוצה ביותר בכל אתרי הסקר (37±7 דגים ליחידת דגימה) הייתה משפחת השוניתיים (Pomacentridae) (טבלה ב9, איור ב55). המשפחה השנייה הנפוצה בכל אתרי הסקר הייתה משפחת ה-Serranidae.
לא נמצא הבדל מובהק במבנה חברת הדגים בין האתרים השונים עם ובלי המינים הלהקתיים. גם צפיפות הדגים ליחידת דגימה לא היתה שונה באופן מובהק ללא המינים הלהקתיים.

טבלה ב9: השכיחות הממוצעת ליחידת דיגום של משפחות הדגים באתרי השונית שנסקרו בשיטה הישנה.

Table B9: Average occurrence per sampling unit of fish families observed at the Eilat reef sites using the old method**.**

		Mean fish number per sampling unit (±95% confidence interval of the mean)					
Family	Habitat	IUI 5 m	IUI 10 m	IUI 15 m	NR 5 m	NR 10 m	NR 20 m
Blenniidae/Gobiidae	Benthic	1.5 ± 0.5	1.7 ± 0.5	1.7 ± 0.4	2.3 ± 0.6	4.3 ± 1.1	2.8 ± 0.8
Mullidae		3.5 ± 0.8	2.4 ± 0.4	1.9 ± 0.4	1.6 ± 0.5	1.7 ± 0.7	0.7 ± 0.3
Pinguipedidae		0.3 ± 0.1		0.1 ± 0.1		0.3 ± 0.1	
Pseudochromidae		1 ± 0.3	1.5 ± 0.2	2.6 ± 0.2	1.9 ± 0.4	0.6 ± 0.1	13.6 ± 2.3
Scorpaenidae			0.2 ± 0.1	0.1 ± 0.1			
Synodontidae		0.1 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.3 ± 0.1			0.1 ± 0.1
Ostraciidae		0.3 ± 0.1		0.2 ± 0.1	0.3 ± 0.2	0.1 ± 0.1	
Tetraodonitidae		0.1 ± 0.1					0.1 ± 0.1
Acanthuridae	Bentho-pelagic	3 ± 2.1	4.1 ± 2.3	3.2 ± 1.7	4.2 ± 0.9	1.4 ± 1.1	6.2 ± 1.4
Apogonidae		0.1 ± 0.2			0.1 ± 0.2		0.2 ± 0.2
Balistidae		0.4 ± 0.3	0.5 ± 0.3	1 ± 0.4	0.2 ± 0.2	0.6 ± 0.3	0.5 ± 0.3
Chaetodontidae		2.1 ± 0.4	1.2 ± 0.3	2.8 ± 0.7	2.1 ± 0.4	1.3 ± 0.5	2.1 ± 0.6
Labridae		4.4 ± 0.6	13.7 ± 3.8	15.5 ± 2.5	5 ± 1	3 ± 1.3	12.8 ± 7.4
Lethrinidae		0.1 ± 0.1	0.1 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0.3 ± 0.2	0.2 ± 0.1	0.5 ± 0.4
Pomacanthidae		0.4 ± 0.1	0.8 ± 0.2	0.6 ± 0.2	0.2 ± 0.1	0	0.6 ± 0.1
Pomacentridae		13.8 ± 1.7	34.2 ± 6.3	23.6 ± 2	49.4 ± 9.8	75.3 ± 16.6	26.9 ± 3.6
Scaridae		1.8 ± 0.4	1.5 ± 0.4	2.5 ± 0.4	2.6 ± 0.3	1.6 ± 0.4	2.7 ± 0.6
Serranidae		1 ± 0.2	25.3 ± 5.7	12 ± 2.8	4.3 ± 0.9	14.7 ± 5.6	26.5 ± 5.6
Siganidae		0.2 ± 0.1	0.7 ± 0.3	0.1 ± 0.1	0.2 ± 0.1	0	0.3 ± 0.1
Atherinidae	Pelagic	0	51 ± 40.8	70 ± 67.5	0.0	20 ± 25	0
Caesionidae		0	5.9 ± 3.9	8.4 ± 4	2.8 ± 1.7	2 ± 1.9	10.9 ± 6

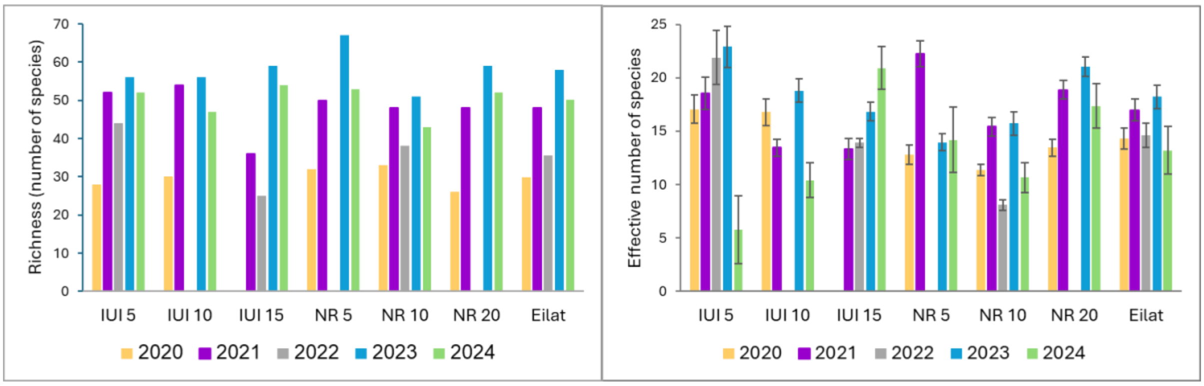


איור ב55: חברת הדגים, על פי משפחות, באתרים הנסקרים בשיטה הישנה (משפחות שלא נצפה בהם בממוצע לפחות דג אחד ליחידת דגימה אינן מוצגות).

Figure B55: Fish community by families on the surveyed sites according to the old method **(families with <1 fish per sampling unit are not shown).**

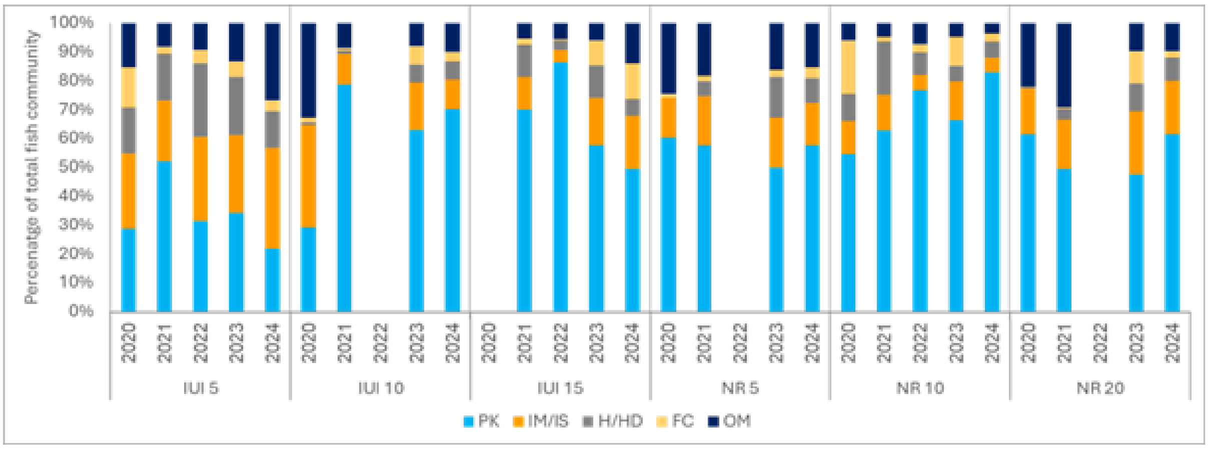
עושר מיני הדגים שנמדד בסקרים לפי השיטה הישנה נע בין 43-54 מינים לאתר, כאשר עושר המינים הגבוה ביותר נמדד באתר IUI 15, שם נמצא גם המגוון הגבוה ביותר, ואילו עושר המינים הנמוך ביותר נמצא באתר NR 10. לא נמצא הבדל מובהק בעושר המינים בין האתרים אך האתרים העמוקים, NR 20 ו- IUI 15 היו בעלי מגוון גבוה באופן מובהק מאשר אלו הרדודים מהם.

בהשוואה בין השנים, נראה שממוצע עושר ומגוון המינים ירדו השנה לעומת השנה הקודמת (איור ב56).
מספר המינים האפקטיבי הממוצע ליחידת דיגום בכל האתרים היה כ- 13.2±2.2 מינים לחתך , הערך הנמוך ביותר שנמדד מאז 2020. בכל האתרים מלבד IUI 15 ו-NR 5 ערך המגוון (מספר מינים אפקטיבי) ירד באופן מובהק לעומת השנה הקודמת, ובאתרים IUI 5 ו-10 היה זה הערך הנמוך ביותר שנמדד מאז 2020.



איור ב56: עושר (משמאל) ומגוון המינים (מימין) בחברת הדגים באתרים הנסקרים בשנים 2020-2024, על פי שיטת הדיגום הישנה.
Figure B56: Species richness (left) and diversity (right) of fish communities at the surveyed sites since 2020, **using the old survey method.**

חלוקת הדגים לפי הרמה הטרופית (העדפת מזון) מלמדת על התפקוד האקולוגי של דגי השונית. גם השנה, כמו בשנים קודמות, חלקם של הדגים אוכלי הפלנקטון היה הגדול ביותר: יותר מ-60% מכלל הדגים ביחידות הדיגום היו פלנקטיבורים (PK, איור ב57). דגים פלנקטיבורים מהווים חוליה חיונית במארג המזון ברכזם חומרי מזון מהרמות הנמוכות בגוף המים. אחרי הפלנקטיבורים, הדגים אוכלי החסרי חוליות (IM/IS) היו הדומיננטים, והיוו 14% מהאוכלוסיה הכללית. דגים טורפים היוו פחות מ-3% מהחברה. המינים הטורפים שנצפו היו בעיקר מיני דקר חום (*Cephalopholis hemistiktos*) ודקר אדום (*Cephalopholis (miniata)* ממשפחת ה- Serranidae.
הרכבה הטרופי של חברת הדגים באתרי הדיגום יציב בשנים 2020-2024. לאורך 5 שנות הסקר האחרונות, באתר IUI 5 הרכב החברה מבחינת רמות טרופיות היה שונה במובהק מהאתרים האחרים. החברה באתר זה הטרוגנית יותר מבחינת רמות טרופיות, עם ייצוג גדול יותר של אוכלי-כל (27% מהחברה) ומינים הרביבורים (11% מהחברה) מאשר באתרים האחרים (< 10%). באתרי הדיגום העמוקים בשמורה (NR 10 ו-NR 20) ירדה שכיחותם של הדגים הטורפים, אם כי לא באופן מובהק סטטיסטית.



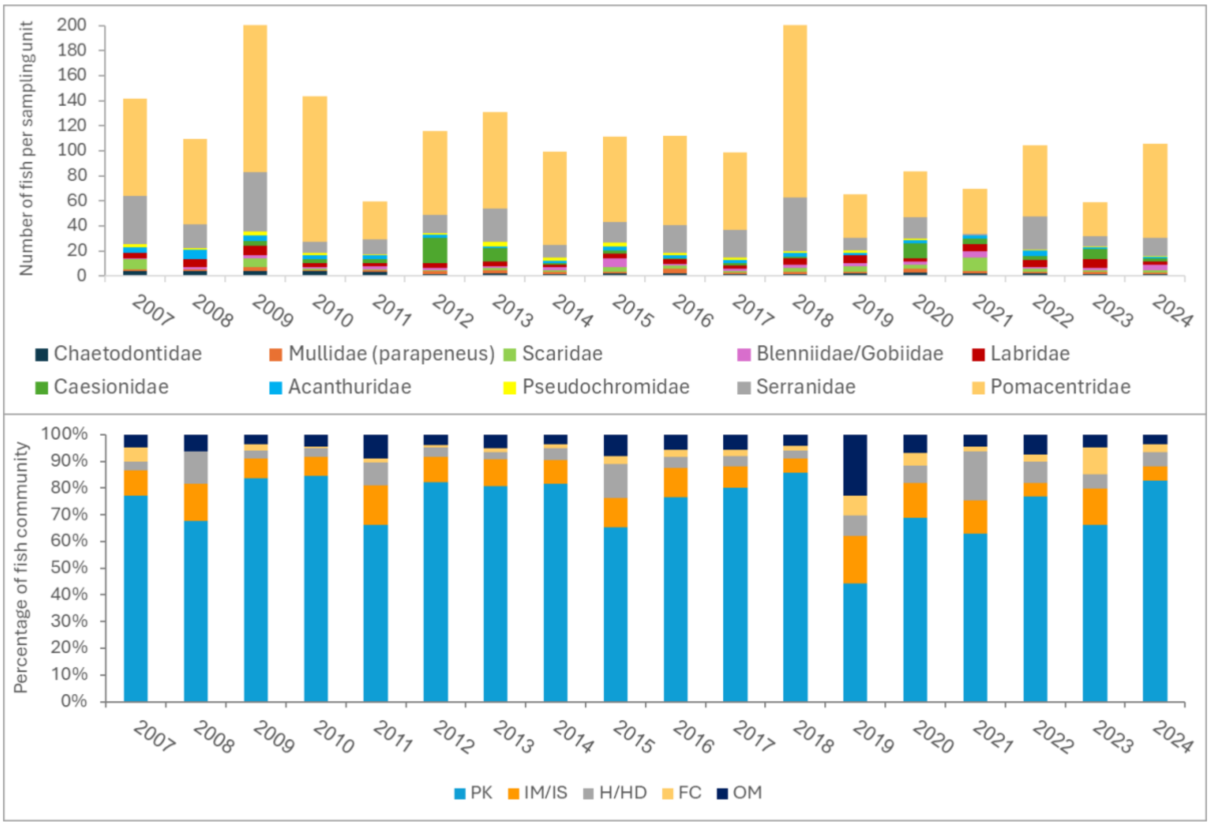
איור ב57: התפלגות דגי השונית על פי הרמה הטרופית באתרים הנסקרים בשנים 2020-2024.
Figure B57: Distribution of reef fish according to trophic levels at the sites surveyed in 2020-2024**.**

באתר NR 10, שבו חברת הדגים נסקרת כבר 18 שנה (אתר NR 7 בדו"חות קודמים), נשמרים היחסים הכמותיים בין משפחות הדגים הנפוצות והרמות הטרופיות השונות ומעידים על יציבות במבנה אוכלוסיית הדגים בשונית (איור ב58, וטבלה 4ז בנספח ז.2). צפיפות הדגים ליחידת דגימה עלתה משנה שעברה, שבה היא הייתה

נמוכה במיוחד (62.2±24.9 דגים ליחידת דגימה). הצפיפות הממוצעת באתר זה לאורך השנים הינה 117.1±25.1 דגים ליחידת דגימה, בעוד שהשנה צפיפות הדגים ליחידת דגימה הייתה 71.2± 107.3.

המשפחה הנפוצה ביותר לאורך השנים באתר זה היא משפחת השוניתיים (Pomacentridae). משפחה זו מהווה את חלק הארי בחברת הדגים באתר השמורה לאורך כל תקופת הניטור, כאשר המינים הנפוצים ביותר בה הינם פלנקטיבורים. התנודות שניתן לראות בשנים 2009 ו-2018 הם בשל נוכחות להקות גדולות של דגים פלנקטוניים ממשפחה זו. הדגים אוכלי הפלנקטון היוו 83% מחברת הדגים באתר זה השנה ואחריהם קבוצת טורפי חסרי החוליות בשונית (IM/IS), שהיוו כ-5% מהחברה וגם – השנה לראשונה – קבוצת ההרביבורים, אוכלי אצות (H/HD) שהיוו גם הם 5% מהחברה.

דגים טורפי חסרי החוליות מווסתים את אוכלוסיית חסרי החוליות בשונית וכך מונעים התפרצויות של מינים מקבוצות אלו, העשויות להיות הרסניות לשונית. דגים הניזונים מאצות מווסתים את צמיחת האצות בשונית ומאפשרים שטחי שונית נקיים להתיישבות אלמוגים. השנה, בניגוד לשנה הקודמת אבל כפי שנצפה במהלך רוב שנות הסקר באתר זה, הדגים הטורפים (FC) היוו פחות מ-4% מהחברה. לדגים הטורפים ייצוג משתנה באתר זה לאורך השנים, בין 2-10% מחברת הדגים.



איור 58ב: התפלגות דגי השונית על פי משפחות עיקריות (למעלה) ועל פי הרמה הטרופית (למטה) (מימין) באתר 10 NR מאז שנת 2007.

Figure B58: Distribution of reef fish according to major families (top) and according to trophic level (bottom) at NR 10 since 2007.

<u>תוצאות הסקר בשיטת חתכי חגורה (השיטה החדשה):</u>

בשיטה החדשה נסקרו 61 חתכים בשטח כולל של 6100 מ"ר ונספרו 15,661 דגים השייכים לכ-24 משפחות וכ-98 מינים. פחות משליש מהדגים היו פרטים צעירים, מלבד באתר 5 NR שבו 44±18% מהדגים היו צעירים (טבלה 10ב). כמו כן, נספרו בסקר זה 1873 אלמוגים אשר 60% מהם היו מיושבים על ידי דגים. עקב אופייה של השיטה, זוהתה רק להקה אחת ממשפחת ה- Atherinidae.

צפיפות הדגים הממוצעת על פי שיטה זו הייתה כ-4.4±1.3 דגים למ"ר, ערך הדומה לערכים שנמדדו באתרים קרובים על ידי סוקרים ממעבדת בלמקר באוניברסיטת תל אביב (טל עמית; תקשורת אישית).

גם בשיטה זו, אתרי השמורה היו בעלי צפיפות דגים גבוהה יותר מאשר אתרי המכון, והאתר בו נמצאה צפיפות הדגים הנמוכה ביותר באופן מובהק הוא אתר 5 IUI.

צפיפות הדגים הגבוהה ביותר למ"ר נמדדה באתרי השמורה הרדודים, NR 10 ו-NR 5, בהם גם נמצא אחוז הפרטים הצעירים הגבוה ביותר. מספר הפרטים הצעירים הנמוך ביותר נמצא באתר NR 20. אחוז הצעירים הגבוה ביותר נצפה עבור דגים מהמין *Chromis viridis* (כרומית ירקרקת) ממשפחת השוניתיים (Pomacentridae), עבורו נצפו יותר צעירים מאשר בוגרים (62% מהדגים היו צעירים לעומת 38% בוגרים).

טבלה ב10: גודל המדגם, מספר הדגים שנספרו, ותוצאות הסקר בכלל האתרים הנסקרים בשיטת הסקר החדשה.
Table B10: Sample size, number of fish (individuals) observed, and results of survey utilizing the new method at the Eilat reef sites**.**

New survey method							
	IUI 5	**IUI 10**	**IUI 15**	**NR 5**	**NR 10**	**NR 20**	**Eilat**
Number of transects	10	10	10	9	11	11	61
Total m^2 surveyed for pelagic species	1000	1000	1000	900	1100	1100	6100
Total m^2 surveyed for cryptic species	500	500	500	450	550	550	3050
Number of fish observed at this site	1179	2350	2415	3576	4166	1975	15661
Average fish density per m^2	1.9 ± 0.5	3.9 ± 1.1	3.8 ± 0.5	6.9 ± 2.2	6.9 ± 2.5	2.9 ± 1	4.4 ± 1.3
Percentage of juveniles fish from total community	23 ± 13	22 ± 12	24 ± 8	44 ± 18	33 ± 14	19 ± 12	27 ± 13
Average coral density per m^2	0.6 ± 0.1	0.7 ± 0.1	0.7 ± 0.2	0.6 ± 0.1	0.5 ± 0.1	0.6 ± 0.1	0.6 ± 0.1
Average of percentage of inhabited corals	43.8 ± 8.5	65 ± 9.7	72.8 ± 8	53 ± 7.8	64.9 ± 6.3	57 ± 8.2	59.4 ± 8.1

גם בשיטה זו המשפחה הנפוצה ביותר בכל אתרי הסקר (3±0.4 דגים למ"ר) הייתה משפחת השוניתיים (Pomacentridae) (טבלה ב11, איור ב59), בעקר בשל להקות של כרומית ירקרקת (*Chromis viridis*) ואלמוגית השוליים (*Dascyllus marginatus*), שני מיני דגים להקתיים ופלנקטיבוריים החיים בעמודת המים, אך בזיקה לקרקעית. דג נוסף שתרם לשכיחתה הגדולה של משפחה זו הוא שוניתן לבן זנב (*Pomacentrus trichourus*), דג אוכל-כל שחי בלהקות קטנות סמוך לקרקעית (טבלה ב12).

המשפחה השנייה הנפוצה בכל אתרי הסקר הייתה משפחת ה-Serranidae. המין הנפוץ ביותר במשפחה זו היה פזית ים סוף (*Pseudanthias squamipinnis*), דג שחי בלהקות גדולות בעמודת המים וניזון מפלנקטון.

גם להקות בינוניות של המין הדורנית טמן פסים (*Paracheilinus octotaenia*), מין פלנקטיבורי ממשפחת ה-Labridae, נצפו בעיקר באתרים העמוקים יותר ותרמו לשכיחותה הגבוהה של משפחה זו.

המין הלהקתי בתרן שחום (*Acanthurus nigrofuscus*) ממשפחת ה- Acanthuridae היה הנפוץ ביותר במשפחה זו ותרם לשכיחותה הגבוהה.

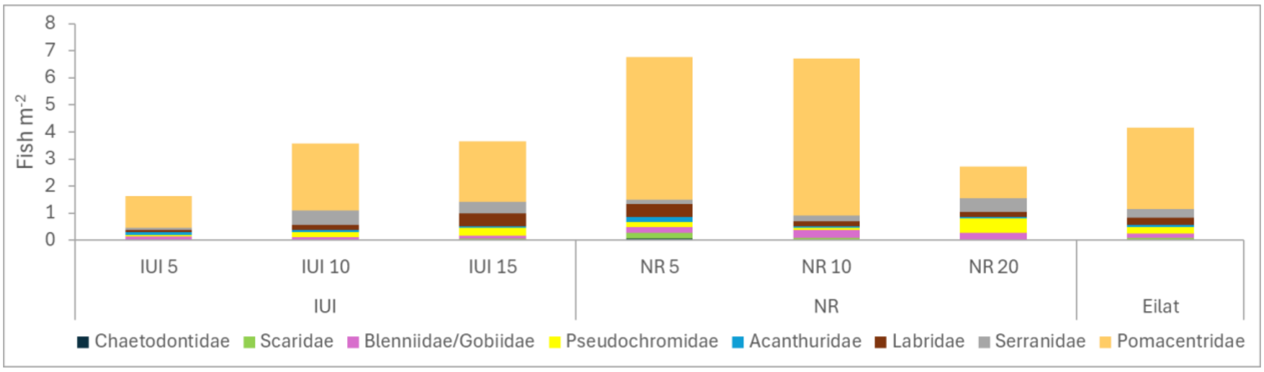
מבין המינים שאינן להקתיים, המינים הסוליטארים צבעוני פרידמן (*Pseudochromis fridmani*) וצבעוני ספרינגר (*Pseudochromis springeri*) ממשפחת ה- Pseudochromidae היו הנפוצים ביותר בכל האתרים. גם מינים שונים ממשפחת הקברנוניים/קרנוניים (Blenniidae/Gobiida), החיים באופן סוליטארי צמודים למצע, נמצאו בשכיחות גבוהה.

מיני דקרים שונים, כמו דקר חום (*Cephalopholis hemistiktos*) ודקר אדום (*Cephalopholis (miniata*, ממשפחת ה- Serranidae נצפו בשכיחות גבוהה באתרים העמוקים בשמורה ובמכון (NR 20 ו- IUI 15).

טבלה ב11: השכיחות הממוצעת למ"ר של משפחות הדגים באתרי שונית שנסקרו השנה בשיטה החדשה.

Table B11: Average occurrence of fish families observed per m2 at the Eilat reef sites surveyed according to the new method

		New survey method: mean fish number per m^2 (±95% confidence interval of the mean)					
Family	Habitat	IUI 5 m	IUI 10 m	IUI 15 m	NR 5 m	NR 10 m	NR 20 m
Blenniidae/Gobiidae	Benthic	0.1 ± 0.09	0.08 ± 0.07	0.09 ± 0.05	0.2 ± 0.1	0.3 ± 0.13	0.22 ± 0.09
Mullidae		0.04 ± 0.02	0.03 ± 0.03	0.04 ± 0.01	0.03 ± 0.02	0.04 ± 0.02	0.04 ± 0.04
Pinguipedidae		0.02 ± 0.01					
Pseudochromidae		0.06 ± 0.04	0.17 ± 0.07	0.3 ± 0.14	0.21 ± 0.08	0.09 ± 0.07	0.55 ± 0.13
Synodontidae		0.02 ± 0.01	0.03 ± 0.03	0.02 ± 0.02	0.03 ± 0.02	0.01 ± 0.01	0.01 ± 0.01
Syngnathidae				0.02 ± 0.02			
Ostraciidae			0.01 ± 0.01		0.01 ± 0.01		
Acanthuridae	Bentho-pelagic	0.11 ± 0.04	0.1 ± 0.05	0.06 ± 0.03	0.18 ± 0.07	0.05 ± 0.03	0.04 ± 0.02
Apogonidae					0.02 ± 0.02		0.01 ± 0.02
Balistidae		0.02 ± 0.01	0.02 ± 0.02	0.02 ± 0.01	0.01 ± 0.01	0.02 ± 0.01	0.01 ± 0.01
Chaetodontidae		0.01 ± 0.01	0.02 ± 0.02	0.05 ± 0.02	0.07 ± 0.03	0.03 ± 0.01	0.02 ± 0.02
Labridae		0.07 ± 0.03	0.17 ± 0.13	0.47 ± 0.36	0.46 ± 0.19	0.18 ± 0.19	0.2 ± 0.15
Lethrinidae			0.01 ± 0.01	0.01 ± 0.01			
Pomacanthidae		0.01 ± 0.01		0.01 ± 0.01	0.01 ± 0.01		0.03 ± 0.04
Pomacentridae		1.16 ± 0.52	2.49 ± 1.07	2.24 ± 0.58	5.26 ± 1.97	5.8 ± 2.41	1.18 ± 0.48
Scaridae		0.03 ± 0.02	0.03 ± 0.02	0.03 ± 0.02	0.2 ± 0.09	0.05 ± 0.04	0.02 ± 0.01
Serranidae		0.07 ± 0.08	0.53 ± 0.48	0.43 ± 0.25	0.17 ± 0.15	0.23 ± 0.28	0.49 ± 0.43
Siganidae		0.01 ± 0.01		0.01 ± 0.01	0.01 ± 0.02		
Atherinidae	Pelagic	0.1 ± 0.23					
Caesionidae		0.01 ± 0.02	0.02 ± 0.03	0.05 ± 0.08		0.05 ± 0.06	



איור ב59: חברת הדגים, על פי משפחות, באתרים הנסקרים בשיטה החדשה (משפחות שלא נצפה בהם בממוצע לפחות דג אחד ל-100 מ"ר אינן מוצגות).

Figure B59: Fish community by families on the surveyed sites by the new method **(families with <1 fish per 100 m^2 are not shown).**

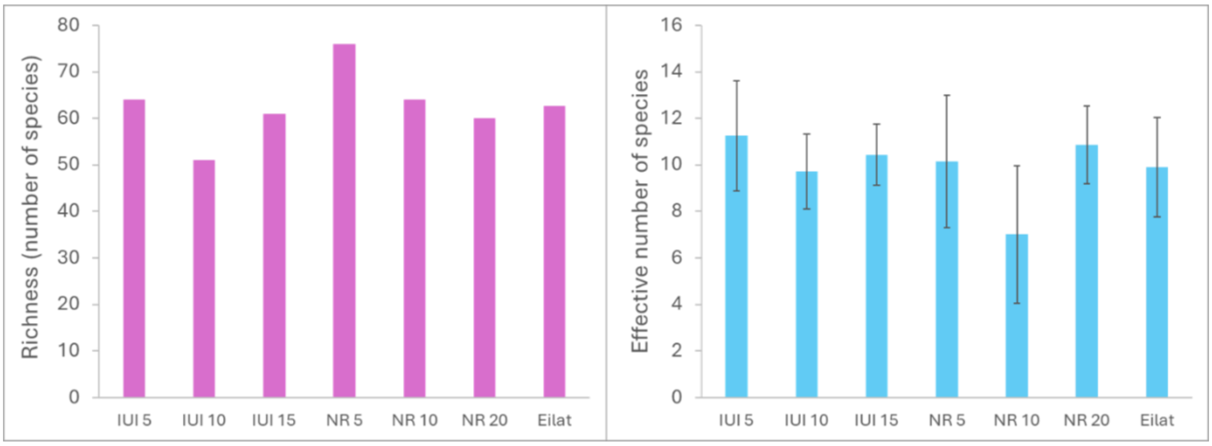
טבלה ב12: השכיחות הממוצעת למ"ר של מיני הדגים הנפוצים ביותר באתרי שונית שנסקרו השנה בשיטת חתכי חגורה החדשה.

Table B3: Average occurrence (per m2) of the most common fish species observed at the Eilat reef sites surveyed this year using the new belt transect method**.**

New survey method- mean density (Individuals m^{-2} ± 95% CI) of most common species (≥0.1 individuals m^{-2})									
	Species	Hebrew name	**IUI 5**	**IUI 10**	**IUI 15**	**NR 5**	**NR 10**	**NR 20**	**Eilat**
Pomacentridae	*Chromis viridis*	כרומית ירקרקת	0.12 ± 0.23	0.7 ± 0.58	0.64 ± 0.53	3.37 ± 1.88	4.39 ± 2.51	0.05 ± 0.09	1.54 ± 0.35
Pomacentridae	*Dascyllus marginatus*	אלמוגית השוליים	0.4 ± 0.17	0.97 ± 0.25	0.93 ± 0.21	0.26 ± 0.15	0.6 ± 0.21	0.54 ± 0.42	0.62 ± 0.09
Pomacentridae	*Pomacentrus trichourus*	שוניתן לבן זנב	0.46 ± 0.21	0.66 ± 0.24	0.56 ± 0.22	0.83 ± 0.18	0.4 ± 0.21	0.5 ± 0.14	0.56 ± 0.07
Serranidae	*Pseudanthias squamipinnis*	פזית ים סוף	0.06 ± 0.08	0.51 ± 0.48	0.4 ± 0.25	0.02 ± 0.05	0.21 ± 0.27	0.38 ± 0.42	0.27 ± 0.09
Pomacentridae	*Chromis dimidiata*	כרומית דו גונית	0.07 ± 0.04	0.26 ± 0.38	0.01 ± 0.02	0.7 ± 0.13	0.03 ± 0.08	0.05 ± 0.05	0.17 ± 0.04
Labridae	*Paracheilinus octotaenia*	הדורנית תמן פסים	0.02 ± 0.03	0.14 ± 0.13	0.39 ± 0.37	0 ± 0	0.12 ± 0.2	0.09 ± 0.11	0.13 ± 0.05
Pseudochromidae	*Pseudochromis fridmani*	צבעוני פרידמן	0.02 ± 0.02	0.05 ± 0.04	0.14 ± 0.07	0.08 ± 0.04	0.02 ± 0.02	0.38 ± 0.11	0.12 ± 0.02
Pseudochromidae	*Pseudochromis springeri*	צבעוני ספרינגר	0.01 ± 0.01	0.11 ± 0.04	0.14 ± 0.07	0.11 ± 0.05	0.05 ± 0.05	0.15 ± 0.06	0.1 ± 0.02

עושר המינים שנמדד בחתכי החגורה נע בין 18-26 מינים לחתך, ואילו עושר המינים לאתר בשיטה זו נע בין 51 באתר IUI 10 ל-76 מינים באתר NR 5 (איור ב60). מגוון המינים על פי מספר המינים האפקטיבי הממוצע לאתרי אילת היה 9.9±2.1 מינים לחתך. האתר עם מגוון המינים הנמוך ביותר (3±7 מינים לחתך) היה NR 10 אם כי ההבדל בינו לבין האתרים האחרים לא היה מובהק. האתר עם מגוון המינים הגבוה ביותר היה IUI 5 (11.2±2.3 מינים לחתך).

בממוצע, אתרי המכון היו מעט יותר מגוונים מאשר אתרי השמורה (10.5±1.5 לעומת 9.3±2.1 מינים לחתך באתרי המכון והשמורה בהתאמה, הבדל שאינו מובהק סטטיסטית). עושר המינים, לעומת זאת, הראה מגמה הפוכה, 87 מינים נצפו באתרי השמורה ו-56 מינים נצפו באתרי המכון.



איור ב60: עושר (משמאל) ומגוון המינים (מימין) בחברת הדגים באתרים הנסקרים על פי שיטת הדיגום החדשה.

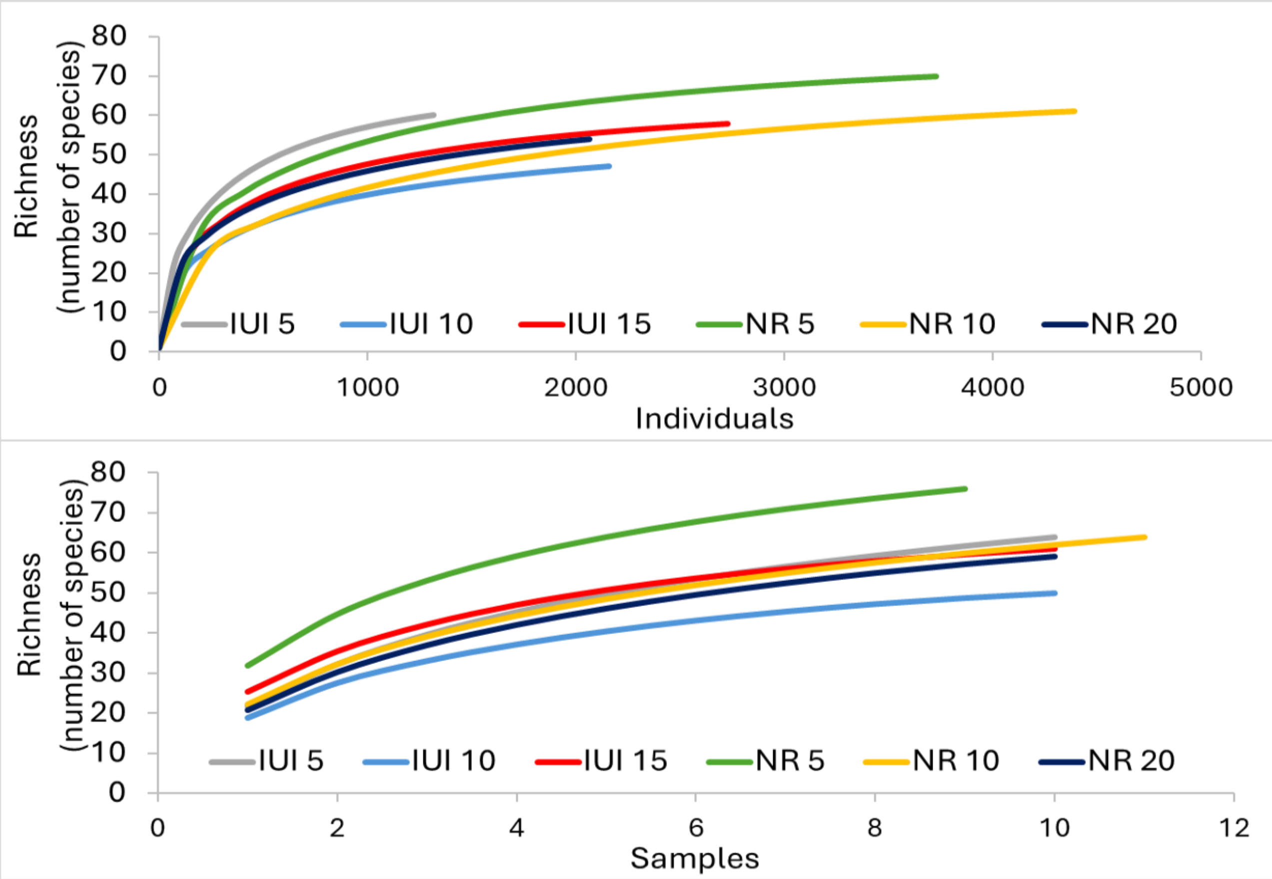
Figure B60: Species richness (left) and diversity (right) of fish communities at the surveyed sites using the new survey method**.**

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) באתר.

עקומות צבירה מבוססות דגימות מסכמות את מספר המינים החדשים שנוספים עם כל דגימה חדשה, כאשר קצב העליה (השיפוע) של העקומה מעיד על מידת השוויוניות של החברה הנדגמת: ככל שהשיפוע תלול יותר, יותר מינים חדשים מתגלים עם כל דגימה, כלומר שהחברה שוויונית יותר. שיטה זו מנטרלת את ההשפעה של קבוצות גדולות (כגון להקות) על צורת העקומה ולוקחת בחשבון הטרגוניות מרחבית או זמנית שקיימת בהרכב המינים בין החתכים השונים.

עקומות צבירה לפי פרטים (Individual-based rarefaction) בוחנות כיצד עושר המינים גדל ככל שמוסיפים עוד פרטים למדגם. ניתוח זה בוצע, לצד עקומות צבירה מבוססות דגימות, באתרים הנסקרים בשיטת חתכי החגורה. עקומת הרווייה לפי פרטים הראו שאתר IUI 5 הוא בעל עושר המינים הגבוה יותר, אבל עקומות הרוויה

לפי דגימות הראו תמונה מעט שונה, כאשר דווקא אתר NR 5 הציג את עושר המינים הגבוה ביותר ואילו IUI 5 הציג עושר מינים נמוך יותר לאורך כל הדגימות (איור ב61). הבדלים כאלו בין סוגי העקומות מעידים לעיתים על קיומם של מינים נדירים שנדרשות דגימות רבות על מנת שיתגלו. קיומם של מינים נדירים בא לידי ביטוי גם במגוון הגבוה באתר IUI 5. בשתי האנליזות אתר IUI 10 הציג את עושר המינים הנמוך ביותר.



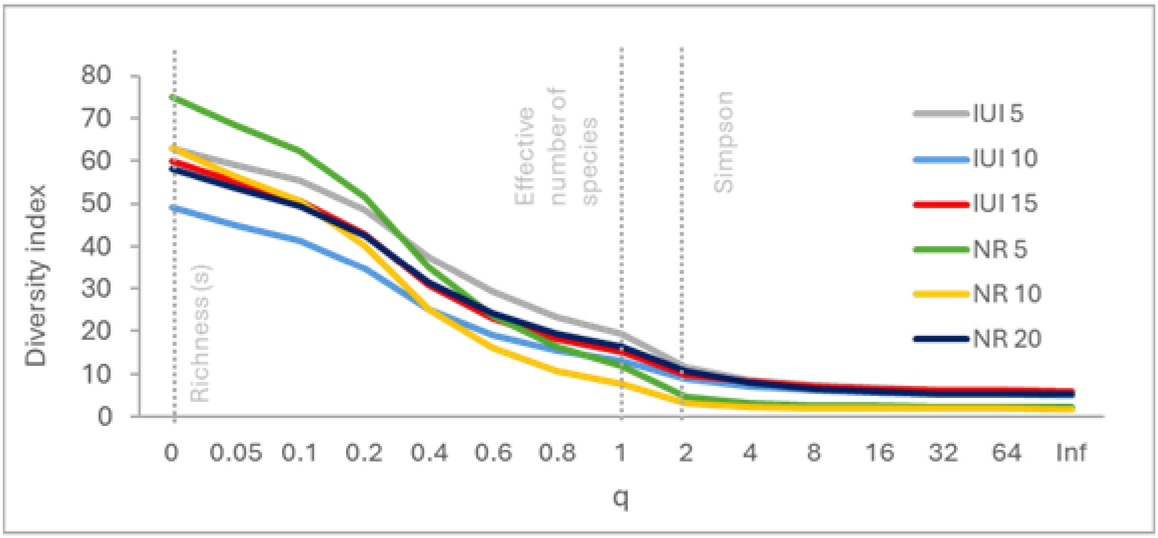
איור ב61: עקומות צבירה לעושר מינים על פי מספר פרטים (למעלה) ועל פי מספר דגימות (למטה) באתרים הנסקרים בשיטה החדשה.

Figure B61: Individual based (top) and sample base (bottom) rarefaction curves for species richness at the surveyed sites, according to the new survey method**.**

מדד הכיסוי המדגמי (Coverage; Chao & Jost 2012) חושב על מנת להעריך האם מאמץ הדגימה מספיק על מנת לייצג את כלל האוכלוסייה הנדגמת מבחינת עושר המינים. המדד מוגדר כהסתברות שפרט חדש שייבחר אקראית יהיה שייך למין שכבר עלה במדגם. אם רוב הפרטים שייכים למינים שנדגמו כבר, הכיסוי המדגמי גבוה (קרוב ל-1) והמדגם מייצג היטב את האוכלוסייה כולה. אם יש הרבה מינים נדירים שלא נדגמו או שידוע שרק אחוז קטן מהם נמצא במדגם, הכיסוי יהיה נמוך ויש להגדיל את מאמץ הדגימה על מנת להגיע לייצוג טוב יותר של האוכלוסייה. מדד הכיסוי המדגמי שמחושב על פי נתוני הסקר בשיטת חתכי החגורה היה מעל 0.99 לכל אתרי הסקר ומצביע על כך שהמדגם מייצג היטב את עושר המינים הכולל.

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 ב62). ככל שעקומה גבוהה יותר לאורך ציר ה- y כך היא מייצגת חברה "מגוונת" יותר. עושר המינים מיוצג במיקום q=0, q=1 מייצג את מדד המגוון האפקטיבי ומדד סימפסון (Simpson) המשמש להערכת שוויוניות (Evenness) ודומיננטיות של מינים, מיוצג על ידי q=2. ערך ה- q המקסימלי (אינסוף- Inf), מייצג את המשקל של המינים העיקריים במערכת. אתר מגוון יותר מאתר אחר כאשר מגוון המינים נשאר גבוה עבור כל אחד מערכי ה- q שנבחנו.

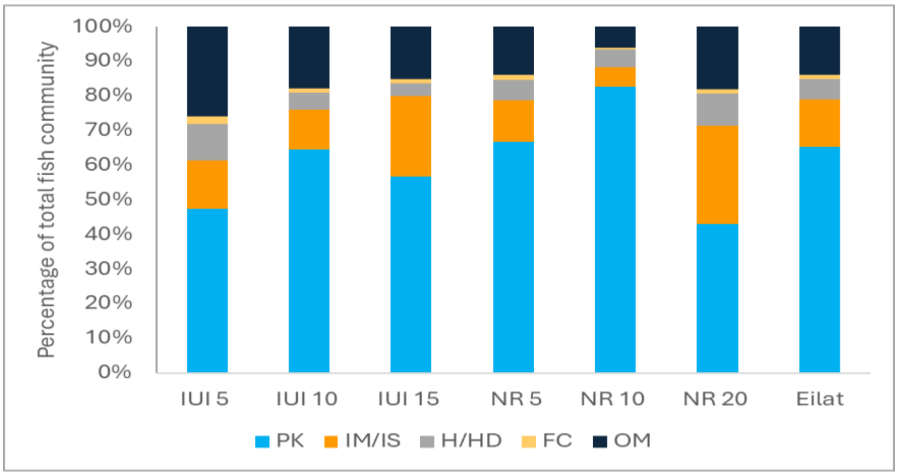
עקומות רייני מחזקות את ההשערה שאתר NR 10 ו- NR 5 מאופיינים במינים דומיננטים וחוסר שוויוניות המתבטאים בעושר מינים גבוה, מגוון נמוך, ומשקל נמוך למינים העיקריים במערכת. אתר IUI 10 אמנם מציג עושר מינים נמוך, אך ערכי המגוון שלו גבוהים יחסית, כך שניתן לומר שהחברה בו יותר שוויונית.



איור ב62: עקומות מגוון על פי אינדקס רייני (Rényi diversity profiles) להרכב חברת דגי השונית באתרים השונים.

Figure B62: Rényi diversity profiles for reef fish communities at the surveyed sites**.**

גם בסקר בשיטת חתכי החגורה חלקם של הדגים אוכלי הפלנקטון היה הגדול ביותר בכל האתרים (איור ב63), ובמיוחד באתר NR 10 (>80% מחברת הדגים). מרבית הדגים הפלנקטיבורים שייכים למשפחת ה- Pomacentridae ובפרט למין כרומית ירקרקת (*Chromis viridis*). באופן כללי, באתרי המכון הדגים הפלנקטיבורים היוו 54 % אחוז מחברת הדגים בעוד שבאתרי השמורה הם היוו 64 %.
מבין הדגים אוכלי החסרי חוליות, משפחת ה-Labridae הייתה הדומיננטית ביותר, בעיקר בשל ריבוי תצפיות של הדורנית טמן פסים (*Paracheilinus octotaenia*). גם הצבעוניים, השייכים למשפחת ה-Pseudochromidae, היוו חלק גדול (5% מהאוכלוסיה הכללית) מאוכלוסיית אוכלי חסרי החוליות.
דגים טורפים היוו פחות מ-3% מהחברה, מלבד באתר IUI 15 בשיטה החדשה – שם היוו 11% מהאוכלוסיה הכללית.

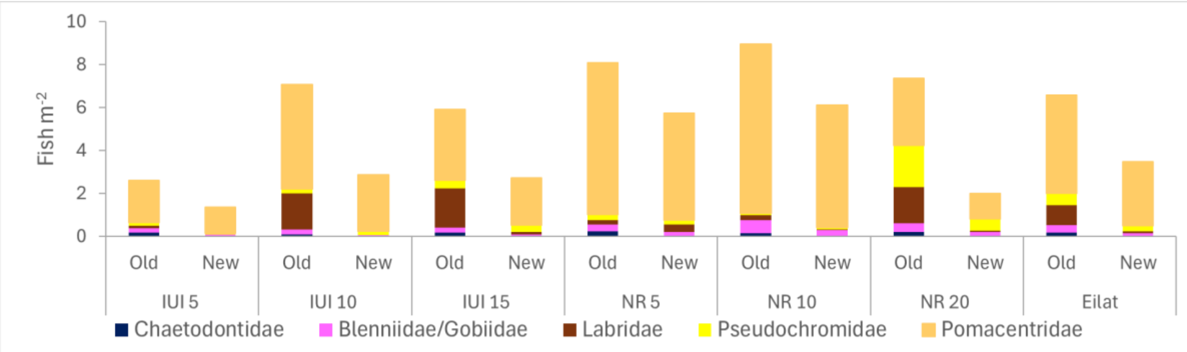


איור ב63: התפלגות דגי השונית על פי הרמה הטרופית באתרים הנסקרים בשיטה החדשה.

Figure B63: Distribution of reef fish according to trophic levels at the surveyed sites as recorded by the new method**.**

השוואה בין שתי שיטות הסקר:

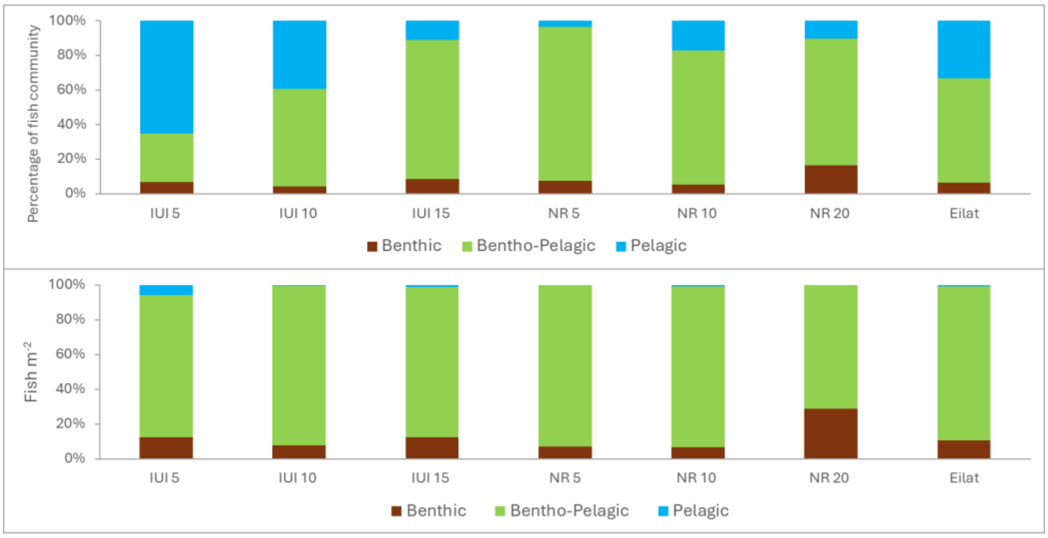
שתי שיטות הסקר הראו תמונה דומה של מבנה חברת הדגים מבחינת משפחות ורמות טרופיות. בשתי שיטות הדיגום אתרי השמורה היו בעלי צפיפות דגים גבוהה יותר מאשר אתרי המכון, והאתר בו נמצאה צפיפות הדגים הנמוכה ביותר באופן מובהק הוא אתר IUI 5.
הדגים המוגדרים כשוכני קרקעית (קריפטים) נספרים בשתי השיטות בשטח תחום על הקרקעית ועל כן, עבור דגים אלה, ניתן להשוות בין הספירות (איור ב64), על אף שהשטח הנסקר בשיטה החדשה גדול בהרבה מזה של השיטה הישנה. בחתכי החגורה של השיטה החדשה נסקר שטח של כ- 30,350 מ"ר ונמצאו בו 10,794 דגים שוכני קרקעית. לעומת זאת, בשיטה הישנה נסקר שטח של 427 מ"ר בלבד (בסיסי יחידות הדגימה) ונמצאו בו 2,848 פרטים. בסקרי השיטה הישנה הדגים שוכני הקרקעית היוו 44% בלבד מסך הדגים שנספרו, לעומת 69% אחוז מסך הדגים שנצפו בשיטה החדשה. צפיפות הדגים שוכני הקרקעית למ"ר בשיטה הישנה נמצאה גבוהה בערך פי 2 מצפיפותם בשיטה החדשה. בחינה סטטיסטית לא הראתה קשר למין מסויים של דג שנצפה בשיטה זו או אחרת ולא לאתר מסוים או לאפקט דוגם. לכן נראה שמקור ההבדל בהטייה מובנית באופי השיטות או במיקום יחידות הדגימה בשונית.



איור ב64: צפיפות חברת הדגים שוכני הקרקעית, על פי משפחות, באתרים הנסקרים בשיטת הסקר הישנה ובשיטת הסקר החדשה.

Figure B64: Abundance of cryptic fish community by families in the surveyed sites by both methods.

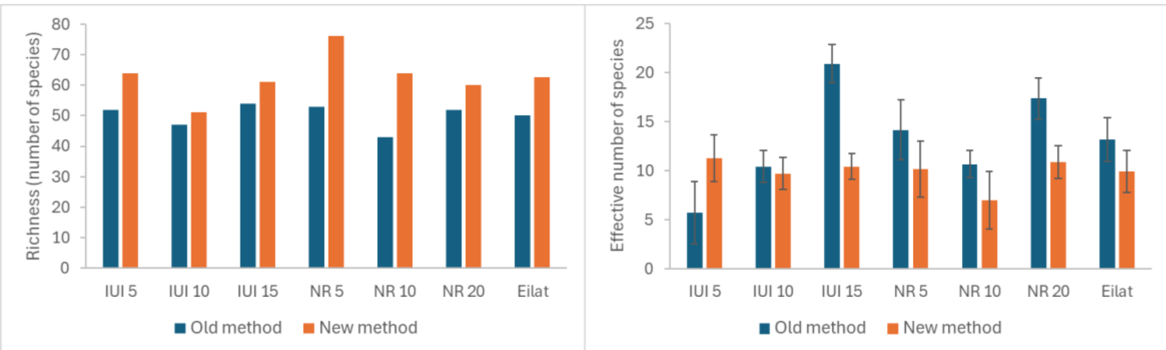
למרות ההבדלים בשיטות ובצפיפות הדגים שוכני הקרקעית, מבנה חברת דגי השונית לפי חלוקה לבתי גידול לא נבדל באופן מובהק בין האתרים הנסקרים (איור ב65) ובין השיטות, מלבד אתר IUI 5, שבו נצפתה צפיפות גבוהה ביותר של דגים פלאגים בשתי השיטות. בכל שאר האתרים בשתי השיטות מרבית הדגים (57-93%) הם מינים שחיים בעמודת המים עם זיקה לקרקעית (Bentho-pelagic). בשתי השיטות הסקרים ממוקדים בדגי השונית (החתכים נעשים במנסרות מעל השונית עצמה), ולכן 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 שנצפו בשתי השיטות 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). מכיוון שהסקרים בשיטה הישנה מסתכלים על יחידת דיגום של מנסרה, שכוללת את עמודת המים, הם מבחינים ביותר מינים פלאגים מאשר הסקרים בשיטה החדשה, שבוחנים רק את הקרקעית.



איור ב65: התפלגות דגי השונית על פי בתי הגידול, על פי השיטה הישנה (למעלה) ועל פי השיטה החדשה (למטה)

Figure B65: Distribution of reef fish according to habitat as observed by the old survey method (top) and the new survey method (bottom).

השוואה בין מדדי עושר ומגוון המינים בין שתי השיטות חושפת הבדל נוסף בין השיטות (איור ב66). עושר המינים שנמדד על פי השיטה החדשה היה גבוה יותר בכל האתרים מאשר זה שנמדד על פי השיטה הישנה. עם זאת, מגוון המינים על פי השיטה החדשה היה דווקא נמוך יותר (מלבד IUI 5) מאשר זה שנמדד על פי השיטה הישנה, אף כי הבדל זה לא היה מובהק סטטיסטית.



איור ב66: עושר (משמאל) ומגוון המינים (מימין) בחברת הדגים באתרים הנסקרים על פי שתי שיטות הסקר.

Figure B66: Species richness (left) and diversity (right) of fish communities at the surveyed sites according to both survey methods.

<u>דיון</u>

השנה נבחנה מחדש שיטת הסקר לאיפיון דגי השונית באילת על מנת ליישר קו עם הסטנדרט הנהוג בספרות המקצועית. תוכנית הניטור סוקרת מזה כ-18 שנה את חברת הדגים באתרי השונית באילת באופן שאיפשר מעקב אחר שינויים בזמן אך לא השוואה עם מקומות ומחקרים אחרים. ישנן שיטות רבות לסקרי דגים הנהוגות בעולם ובהתייעצות עם פרופ' יוני בלמקר מאוניברסיטת תל אביב, הוחלט לבחון שיטת סקר חדשה, חתכי חגורה, שתאפשר לחוקרים ולמשתמשים בנתוני הניטור לבצע השוואות רחבות ומדויקות יותר עם נתונים מהים האדום ומאזורים נוספים בעולם. סקרי הדגים השנה נעשו בשתי שיטות הסקר, הישנה והמוצעת, על מנת לבחון את היתכנות שיטת הסקר החדשה, המאמץ הנדרש ליישמה ומידת ההתאמה/ההבדלים בין תוצאות סקרים בשתי השיטות.

על אף פערים מסוימים בין נתוני שתי השיטות הנובעים ככל הנראה מהשיטות עצמן, נראה כי התמונה הכללית של חברת דגי השונית המתקבלת בשתיהן – דומה. יש לציין כי השיטה החדשה סוקרת שטח גדול הרבה יותר מהשיטה הישנה (50 מ"ר לחתך בשיטה החדשה לעומת 7 מ"ר לחתך בשיטה הישנה) וכך גם משתפרת אמינות הסקר. ערכי הצפיפות שהתקבלו בסקרי הניטור על פי השיטה החדשה דומים לערכים שהתקבלו על ידי סוקרים מומחים ממעבדתו של פרופ' בלמקר מאוניברסיטת תל אביב וכך נראה כי סקרי הניטור הינם ברי השוואה לסקרי

דגים קיימים ממחקרים קודמים. מבחנים סטטיסטים הראו שמאמץ הדגימה בסקרי השנה הספיק על מנת לאפיין היטב את אוכלוסיית הדגים באתרים הנסקרים בשוניות אילת.

במסגרת שיטת הסקר החדשה, הדגים שנצפו מקוטלגים לצעירים ובוגרים. נוכחות של דגים צעירים מרמזת על גיוס ואוכלוסיה גדלה, ואתרים שבהם חלק גדול מהחברה צעיר הם בעלי פוטנציאל להוות אתרי קינון. כשליש מהפרטים שנצפו היו פרטים צעירים, מלבד באתר השמורה הרדוד (NR 5), שבו כמעט מחצית מהדגים היו צעירים. באתר זה נצפתה גם הצפיפות הגבוהה ביותר של דגים למ"ר (יחד עם אתר NR 10). נראה כי לאתר זה חשיבות ביולוגית בקיום חברת דגים משגשגת בעתיד.

אתר IUI 5 מאופיין במיעוט דגים יחסית לאתרים האחרים, אך במגוון ועושר מינים גבוה יחסית. נראה כי הדבר נובע משוויוניות גבוהה יותר בין המינים המשתקפת גם בהרכב הטרופי של החברה: החברה באתר זה הטרוגנית יותר מבחינת רמות טרופיות, עם ייצוג גדול יותר של מינים טורפי חסרי חוליות ומינים הרביבורים מאשר באתרים האחרים. מבנה חברה כזה, שכיחות נמוכה עם שיוויוניות גבוהה, מאפיין שונית שתשתיתה פגועה (Syms and Jones, 2000). יתכן כי השונית באתר זה מצויה במצב הירוד ביותר מבין אתרי הדיגום, שכן הוא חשוף לפעילות צלילה אינטנסיבית יותר מאשר האתרים הנסקרים האחרים וגם חשוף במיוחד לפגיעות סערות דרומיות, דוגמת הסערה של חורף 2020 (Oron *et al.* 2023).

בהשוואה לשנים קודמות, ירד מגוון המינים הממוצע באתרי אילת לעומת השנה הקודמת והיה הנמוך ביותר שנמדד מאז 2020. אתר NR 10 שנסקר משנת 2007 (NR 7 בדוחות קודמים), מגוון פחות מהאתרים האחרים. עושר המינים באתר זה אינו הנמוך ביותר ומצביע על כך שאתר זה מאופיין בחוסר שיוויוניות, כלומר, יתכן שאתר זה נשלט על ידי מספר מינים דומיננטים. עם זאת היחסים הכמותיים בין משפחות הדגים הנפוצות והרמות הטרופיות השונות נשמרים באופן יחסי במשך השנים ומעידים על יציבות במבנה אוכלוסיית הדגים באתר זה.

סקרי דגי השונית שמבצעת תכנית הניטור מצביעים על כך שחברת דגי השונית באתרי המכון ובשמורת האלמוגים באילת יציבה, עם שינויים אקראיים במהלך השנים שנובעים ככל הנראה מתנודות של להקות מזדמנות ולא משינוי מהותי בהרכב ושכיחות הדגים. כל האתרים שנדגמו הם אתרים אסורים לדייג, ממוקמים מחוץ לאזור העירוני וכך גם חשופים להשפעה אנתרופוגנית דומה. נראה כי אתרי השמורה בעלי צפיפות גבוהה יותר של דגים ומגוון מינים נמוך יותר מאשר אתרי המכון, אף כי ההבדלים בין האתרים הנסקרים אינם מובהקים. שכיחות הדגים הלהקתיים באתרים השונים לא השפיעה על הרכב החברה והלהקות שכיחות בכל האתרים הנסקרים. עם זאת, נראה כי באתרי השמורה יותר דגים שאינם להקתיים לעומת אתרי המכון. במשך התקופה הנסקרת בכל האתרים, ההרכב הטרופי של חברת הדגים נותר יציב, כאשר מרבית הדגים הינם פלנקטיבורים. דגים פלנקטיבורים מהווים חוליה חיונית במארג המזון ברכזם חומרי מזון מהרמות הנמוכות בגוף המים.

מאז הסערה הגדולה של חורף 2020 ניתן לראות התאוששות מהירה בצפיפות הדגים. כבר ב-2021 נמצאה בכל האתרים (מלבד NR 5) עלייה חדה בצפיפות הדגים ליחידת דגימה לעומת הקיץ שאחרי הסערה, וכך נראה שהשפעת הסערה על חברת הדגים הייתה זמנית וקצרה. גם השנה נמצאה צפיפות ממוצעית גבוהה יותר באתרי אילת לעומת השנה הקודמת, אם כי לא באופן מובהק סטטיסטית.

לסיכום, ממצאי סקר הדגים מעידים על יציבות כללית בחברת דגי השונית במפרץ אילת, ללא שינויים מהותיים בהרכב ובשפע המינים לאורך השנים. הרכב הדגים נותר עקבי, עם דומיננטיות של דגים פלנקטיבורים. התאוששות מהירה נרשמה מאז סערת 2020, וצפיפות הדגים ממשיכה לעלות בהדרגה. אתר השמורה הרדוד נמצא כבעל חשיבות ביולוגית בשל ריכוז גבוה של דגים צעירים, המצביע על תהליך גיוס פעיל ועל חשיבותו לשימור המערכת האקולוגית.

ג. ניטור הסביבה החופית

ג.1. מי הים בקרבת החוף

<u>מטרה</u>

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

<u>שיטות</u>

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. עד לשנת 2022 נעשתה הדגימה מסירה בשעות הבוקר. במהלך הפלגה רציפה נלקחו משמונה התחנות דוגמאות מים מעומק של כ-1 מ' לצורך מדידות במעבדה, באמצעות בקבוק ניסקין בנפח 5 ליטר של חברת GOFLO. בנוסף, נמדדה טמפרטורת מי השטח באמצעות מד-חום כספית ונאמדה עכירות המים לפי עומק סֶקִי (secchi): מדידה בה מורדת מהסירה דסקה צבועה בלבן ובעלת קוטר קבוע ונרשם העומק אשר מעבר לו לא ניתן להבחין בה. כל התחנות נדגמו בפרק זמן של כשעה וחצי. מאז 2022 דגימת התחנות החופיות נעשית מספינת המחקר בהמשך לדגימת עמודת המים בתחנה A, כאשר מי פני הים נדגמים באמצעות הרוזטה והטמפרטורה נמדדת באמצעות מכשיר ה-CTD. עומק הסקי נמדד באמצעות אותה דיסקה ששימשה בשנים הקודמות.

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

<u>חמצן מומס</u>: ריכוז החמצן נקבע בשיטת ווינקלר שהיא ריאקצית סתירה המבוצעת בטיטרציה. הדגימות מקובעות ע"י הוספת שני ריאגנטים $MnSO_4$ ו- $KI+NaOH$ ומטוטרות עם $Na_2S_2O_3$ בריכוז 0.1N. הטיטרציה מתבצעת באמצעות טיטרטור אוטומטי מסוג Titrino 702 SM של חברת Metrohm, שוויץ.

<u>ערך הגבה, pH</u>: *[עד לאמצע שנת 2022 נעשו מדידות ה-pH במי הים בטמפרטורה קבועה של 25˚C באמצעות אלקטרודת pH מזכוכית (combined pH electrode) דגם pHC2401-7 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 Millero et al. 1993: $pH_{NBS} = -log\ \{H^+\}$

מחקרים רבים במי ים מדווחים את תוצאותיהם בסקלה של ריכוז כולל של יוני המימן סקלת pHT המוגדרת כ: $pHT = -log\ [H^+]_T$

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 (Millero 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-pH_T, יש להפחית 0.14 מכל המדידות (Shaked 2008).]

בעצה אחת עם ד"ר אייל וורגפט (האוניברסיטה העברית והאוניברסיטה הפתוחה, ד"ר ג'ק סילברמן (חיא"ל) וד"ר גלעד אנטלר (אונברסיטת 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 וורגפט 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.

$$pH_{spectro} = 0.971207 * pH_{electrode} + 0.126038$$

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 הרגרסיה 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.

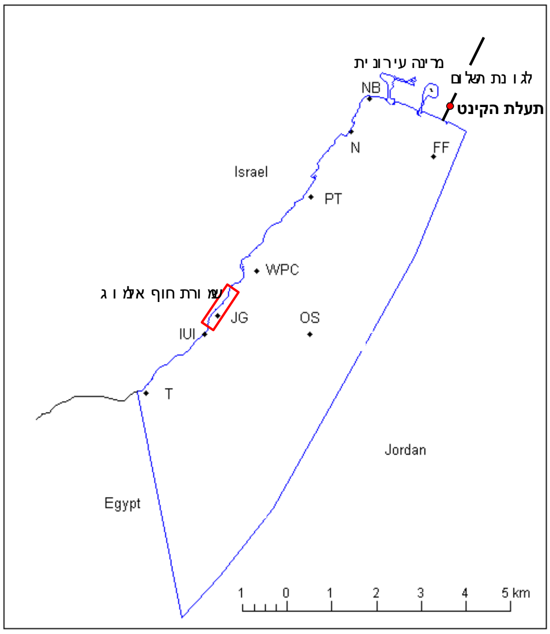
מליחות: מדידה במד מליחות מדגם Micro-Salinometer MS-310e של חברת RBR, קנדה. המדידה מבוססת על השראה מגנטית תוך השוואה של מוליכות הדגימה לזו של סטנדרט.

נוטריינטים: PO_4, $Si(OH)_4$, NO_3, NO_2 נמדדים במכשיר QuikChem 8000 flow injection analyzer 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 טיטרצית 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, שוויץ.

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

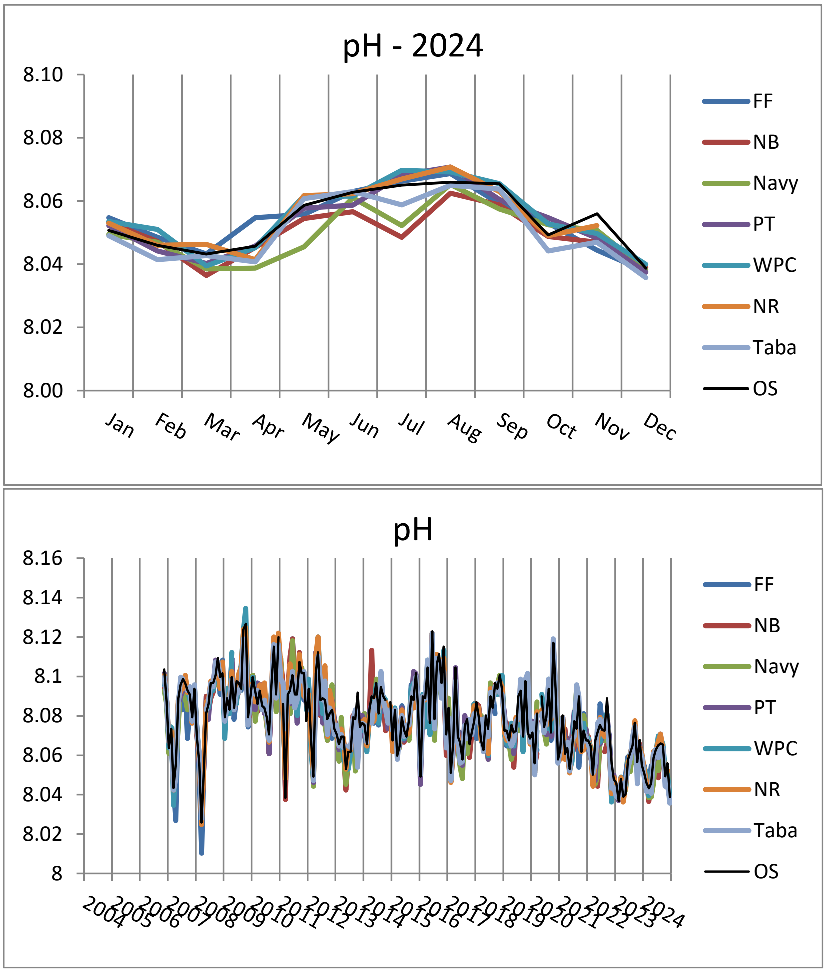
רמת חומציות המים (pH)

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 אמינים. 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 8.039 בחודש דצמבר וערך גבוה ביותר בחודשים אוגוסט וספטמבר, 8.066 (איור ג2). ערך מרבי זה מעט נמוך בהשוואה לשנתיים האחרונות (8.089 בשנת 2022) ובסך הכל ערכי ה-pH בים הפתוח השנה מעט נמוכים יותר מאשר בשנה הקודמת. הערך הנמוך ביותר אשר נמדד השנה היה 8.036, בתחנת טאבה גם כן בדצמבר, זהה למדידה הנמוכה של השנה הקודמת. בשנים הראשונות של המדידות היו שיאים נמוכים, בעיקר בשנים של ערבוב עמוק (2007,2008, 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 האטמוספרה, 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 לוודאי 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 רדוד, כ-300 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.

<u>אלקליניות</u>

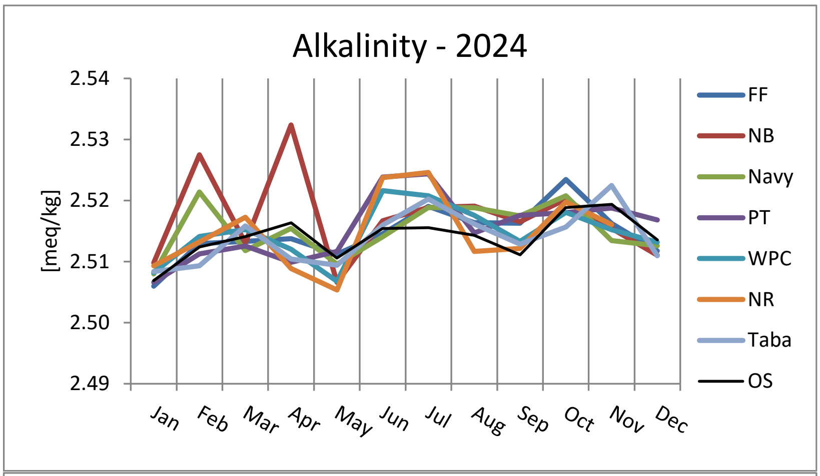
האלקליניות היא מדד לסך החומצות החלשות במים והתהליכים העשויים להשפיע עליה הם תהליכי אידוי ומיהול (מליחות), ותהליכי השקעה/המסה של קלציום-קרבונט. שינויים במליחות הינם קטנים ביותר ותהליכי השקעת קלציום-קרבונט צפויים להיות קטנים במים פתוחים. על כן לא צפויים שינויים גדולים בערכי אלקליניות במי הים וניתן לעקוב אחר מחזור עונתי בו האלקליניות מעט נמוכה בחודשי החורף וגבוהה יותר בחודשי הקיץ.

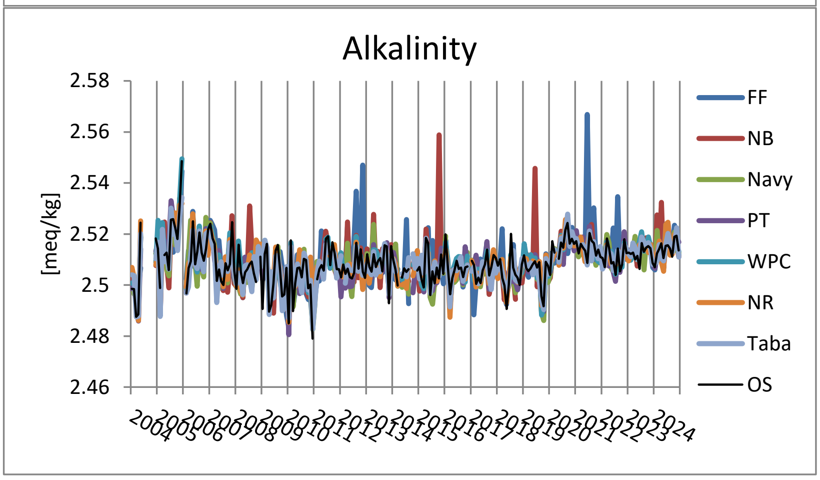
ערכי האלקליניות אשר נמדדו השנה בתחנות החופיות מעט גבוהים בהשוואה לשנה הקודמת, עם שיאים בחורף ובאביב בתחנות החוף הצפוני וחיל הים. הערך הגבוה ביותר נמדד בתחנת "החוף הצפוני" בחודש אפריל, 2.532 meq/kg. בתחנת "הים הפתוח" הערך הגבוה ביותר נמדד בחודשים אוקטובר ונובמבר, 2.519 meq/kg. בשנים האחרונות נמדדה אלקליניות גבוהה במיוחד בתחנת "כלובי הדגים" אך השנה לא נמצאה חריגה כזו (איור ג3). השנה לא נמצאו ערכי אלקליניות גבוהים במיוחד בתחנות החופיות, מלבד השיאים אשר נמדדו בתחנת החוף הצפוני בחודשים פברואר ואפריל, וגם הם אינם מהווים חריגה גדולה.

הערך הנמוך ביותר אשר נמדד השנה בתחנת הים הפתוח היה 2.507 meq/kg בחודש ינואר, דומה למדידת השנתיים האחרונות.

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 ($Total\ Oxidized\ Nitrogen = NO_3 + NO_2$)

המחזור השנתי של ריכוז חנקן אנאורגאני מחומצן נשלט על ידי מחזור הערבוב של עמודת המים. חודשי הקיץ, בהם עמודת המים משוכבת, נחשבים לתקופה "אוליגוטרופית" 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 מאד 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 בשונית.

ריכוזי החנקן בשנתיים האחרונות היו נמוכים בהשוואה לשנת 2022, בה היה ערבוב עמוק של עמודת המים. ריכוזי החנקן השנה הגיעו לערך שיא ברוב התחנות בחודש פברואר אך הערך המרבי אשר נמדד השנה היה בתחנת "כלובי הדגים" בחודש אפריל, 0.641 μmol/l (איור 4ג). ערך זה היה חריג בהשוואה לשאר התחנות ובפרט בהשוואה לתחנת הים הפתוח, אך אינו גבוה במיוחד. כלל, ריכוזי החנקן השנה היו נמוכים מהריכוזים אשר נמדדו בשנה הקודמת, בה נמצאו ערכים גבוהים בכל התחנות בחודש פברואר וערך מרבי בתחנת "חיל הים", μmol/l 0.664. בתחנה זו נמדדו ערכים מרביים גם בשנת 2022, אז נמדדו שם ריכוזי חנקן עם ערך מרבי של μmol/l 1.664, אף כי ריכוזים גבוהים נמדדו אז גם בתחנת "כלובי הדגים" (איור 4ג).

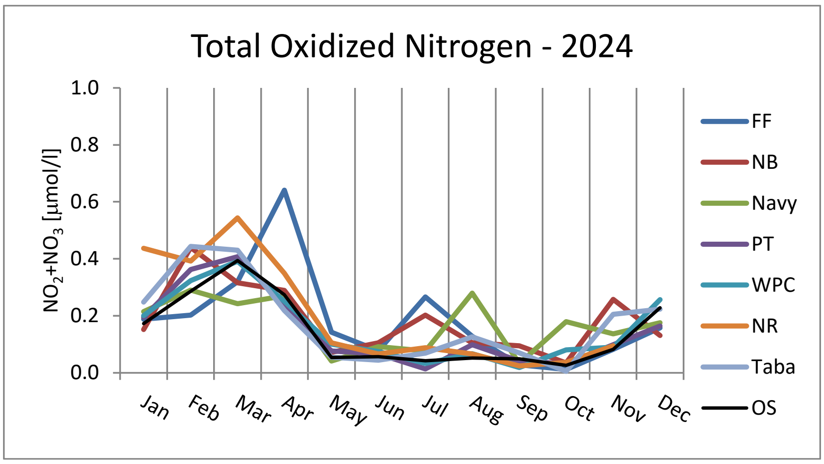
ערכים גבוהים בהרבה נמדדו בחודש יוני 2021 בתחנת "כלובי הדגים" (5.729 μmol/l) בחודש יוני) וייצגו ללא ספק תרומת נוטריינטים ממקור חיצוני – ככל הנראה דרך מוצא תעלת הקינט. זה היה ריכוז החנקן הגבוה ביותר אשר נמדד במסגרת ניטור התחנות החופיות מאז הערבוב העמוק של שנת 2012, וריכוזי החנקן השנה היו נמוכים בהרבה.

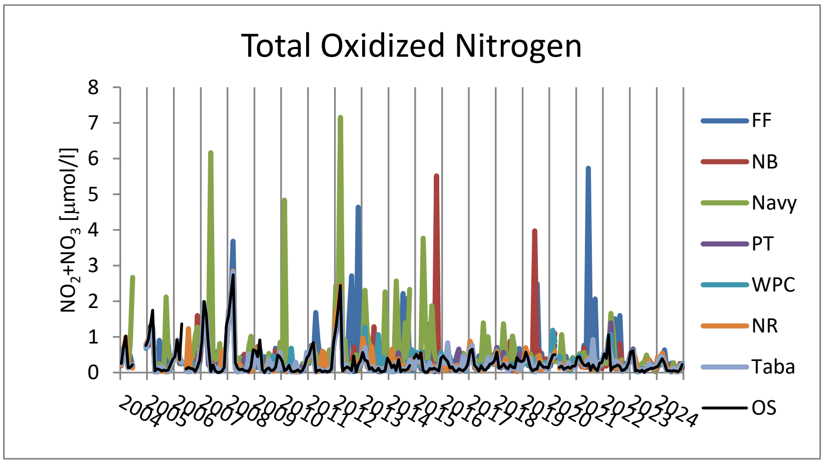
גם באוקטובר שנת 2015 נמדד בתחנת החוף הצפוני ריכוז חנקן חריג (5.518 μmol/l) אשר שיקף כניסת מי נגר לים בעקבות סופת גשמים.

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 מרץ, 0.394 μmol/l, ערך נמוך בהשוואה לשנה הקודמת (0.613 μmol/l) וכמובן גם מהריכוז המרבי בשנת 2022 (1.060 μmol/l) 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**.**

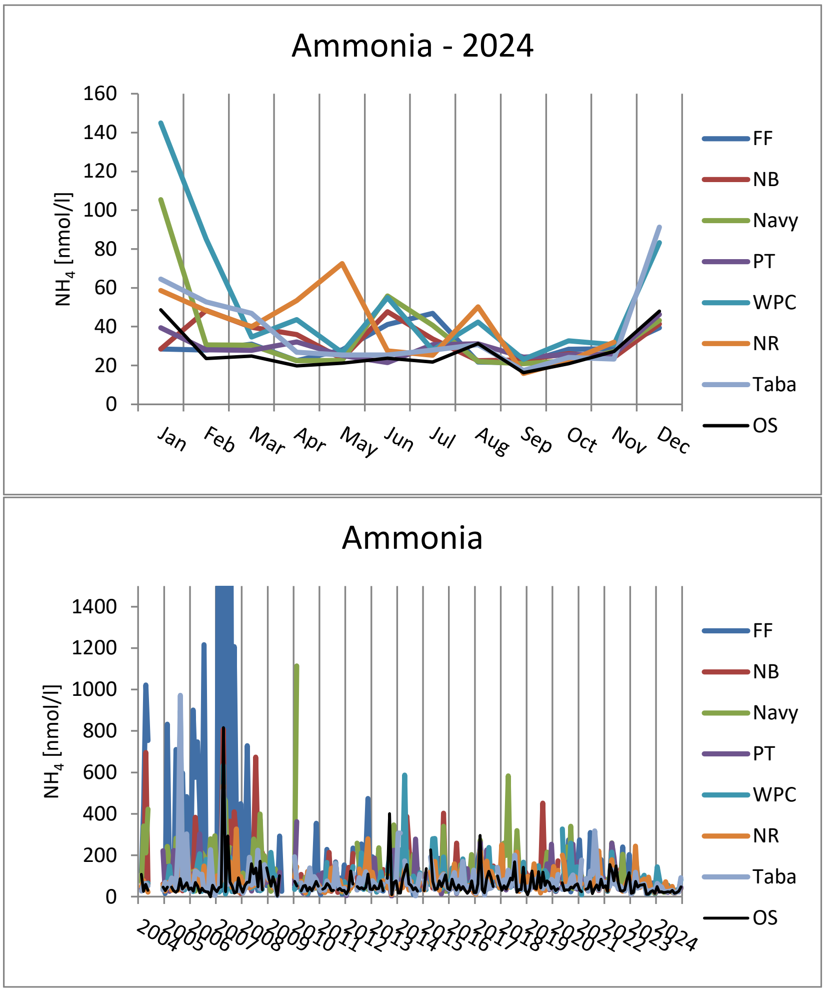
אמוניה (NH_4)

קשיי דגימה אשר מקורם בבלאי מתמשך של בקבוקי הדגימה גרמו לכך שבתקופה מסויימת 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 בציוד החדש.

האמוניה היא צורת חנקן זמינה מאד 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 בחודשי החורף ינואר ודצמבר, אך הערכים המרביים ברוב התחנות היו גבוהים בהרבה מערכי הים הפתוח (איור ג5). עם ערך מרבי בריכוזיה האמוניה נמדד השנה בתחנת "זיהום ים" בחודש ינואר, 145nmol/l, ובכל זאת, זהו ערך נמוך מהערך המרבי של השנה הקודמת.

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.



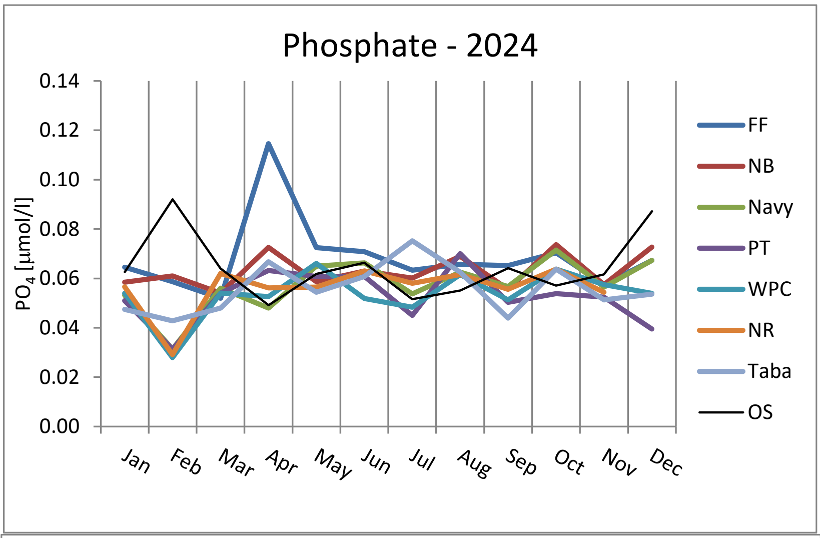
איור ג5: למעלה, ריכוזי אמוניה (NH_4) שנמדדו השנה בתחנות החופיות. למטה, ריכוזי אמוניה חודשיים בתחנות הניטור החופי מאז שנת 2004.

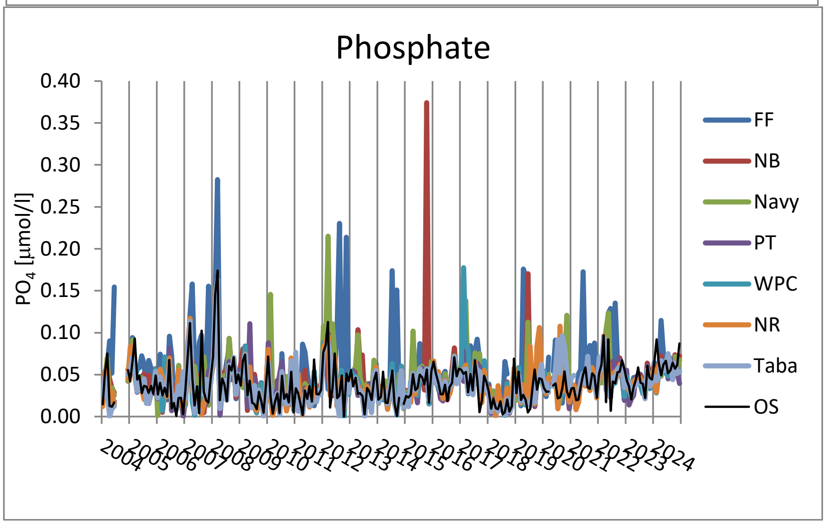
Figure C5: Top, ammonia (NH4) concentrations measured this year at the monitoring coastal stations. Bottom, monthly ammonia concentrations at the coastal water sampling stations since 2004**.**

<u>פוספט (PO_4^{-3})</u>

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 ראשונים. 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, והשנה נמדדה חריגה אחת כזו, בדומה לריכוז החנקן - בתחנת "כלובי הדגים" בחודש אפריל (איור ג6).

בסך הכל, ריכוזי הפוספט השנה לא היו גבוהים, כצפוי עקב הערבוב הרדוד השנה, אך היו גבוהים בהשוואה לשנה הקודמת. הריכוז הגבוה ביותר בים הפתוח נמדד השנה בחודש פברואר, 0.092 µmol/l, ואילו הריכוז המרבי ב"כלובי הדגים" באפריל עמד על 0.115 µmol/l, כפול מריכוז הים הפתוח באותו חודש.





איור ג6: למעלה, ריכוזי פוספט (PO_4) שנמדדו השנה בתחנות החופיות. למטה, ריכוזי פוספט חודשיים בתחנות הניטור החופי מאז שנת 2004.

Figure C6: Top, phosphate (PO4) concentrations measured this year at the monitoring coastal stations. Bottom, monthly phosphate concentrations at the coastal water sampling stations since 2004**.**

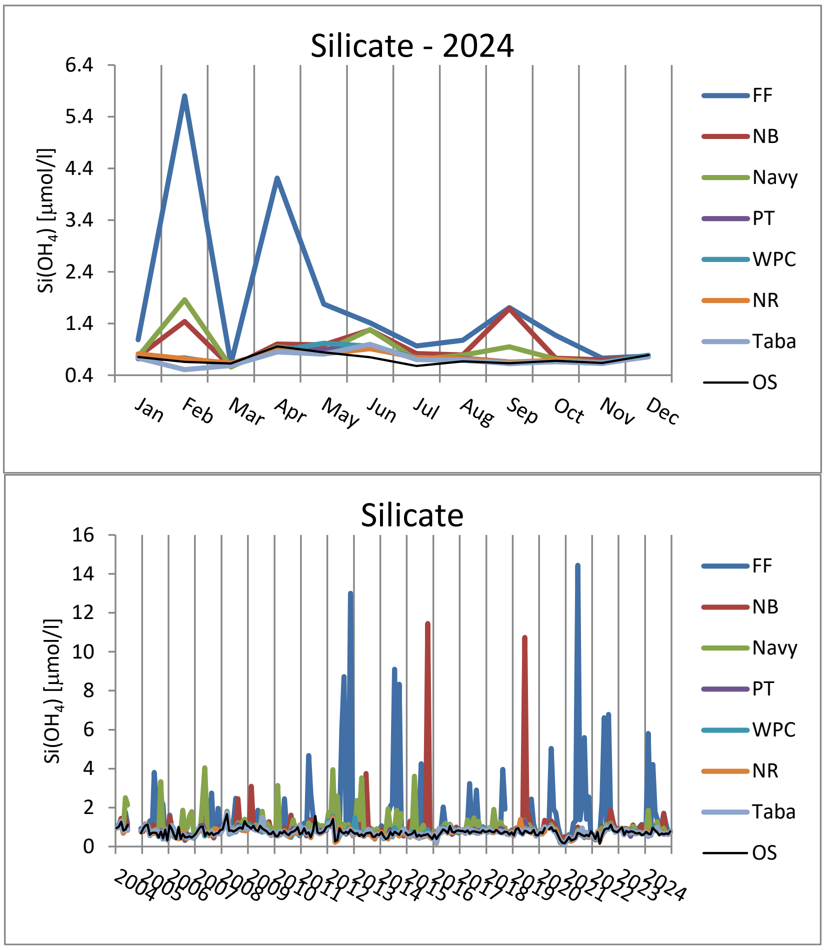
<u>סיליקה ($Si(OH)_4$)</u>

סיליקה היא רכיב מומס המשמש בהשקעת שלד צורני במגוון של פיטו/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, אך נמצאו מספר שיאים חריגים. בחודשים פברואר וספטמבר נמצאו ערכים גבוהים יחסית בתחנות "החוף הצפוני" ו"חיל הים", אך הן בחודשים אלה והן באפריל נמדדו ריכוזים גבוהים יותר בתחנת "כלובי הדגים". הערך הגבוה באפריל תואם את הריכוזים הגבוהים גם בנוטריינטים האחרים – חנקן ופוספט – אך ריכוז הסיליקה המרבי אשר נמדד השנה היה דווקא בפברואר, 5.80 µmol/l (איור ג7). זהו ריכוז גבוה משמעותית מהערך המרבי בשנה הקודמת (µmol/l 1.14, בנובמבר בתחנת "כלובי הדגים"), ומתקרב לערך המרבי שנמדד שם בשנת 2022 (6.78 µmol/l).

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 פברואר 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. 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 ג7: 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.

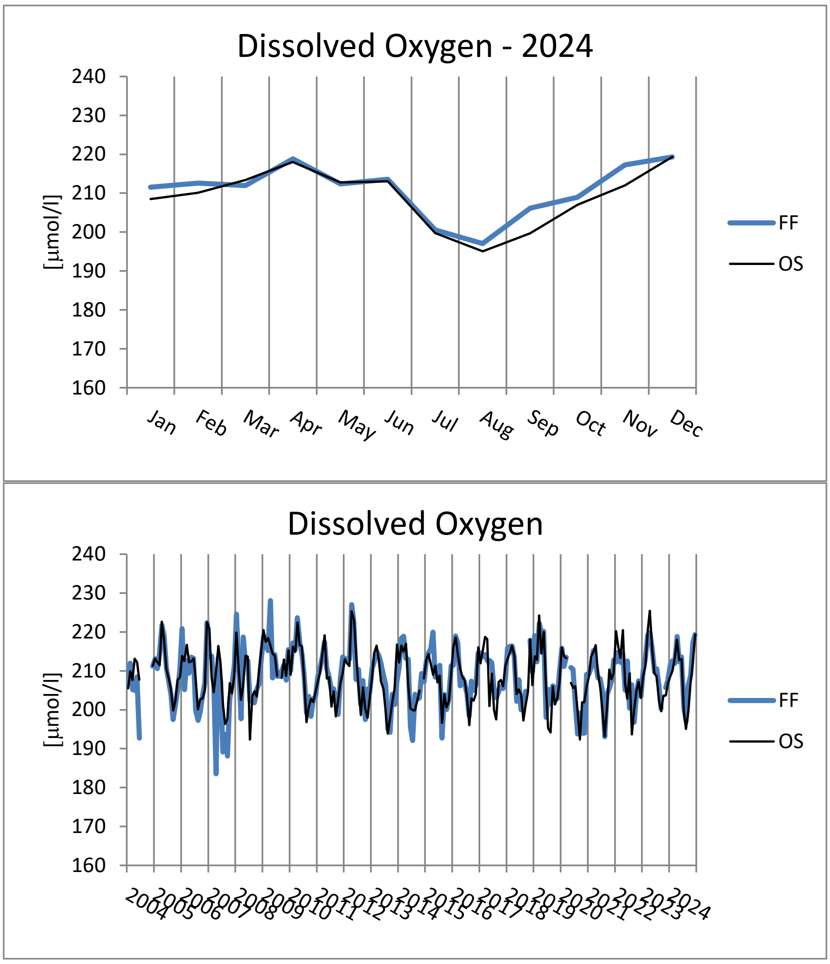
<u>חמצן מומס</u>

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/פוטוסינטזה. בטמפרטורה נמוכה עולה מסיסות החמצן וריכוז חמצן מומס במים צפוי לעלות. חמצון חומר אורגני ותהליכי נשימה במים צורכים חמצן, ואילו תהליכי פוטוסינטזה עשויים לשחרר חמצן למים. ריכוזי החמצן הגבוהים בסוף החורף-אביב עשויים לנבוע הן מהטמפרטורה הנמוכה בפני הים והן עקב עליה בפעילות פוטוסינטטית בתקופה זו (ראה מדידות כלורופיל *a* למטה). דינאמיות של שינויים בריכוזי החמצן עשויה להצביע על מחזורים של פריחות פיטופלנקטון וקריסתן. לא צפויים להיות הבדלים במרחב (בין התחנות השונות) בריכוז החמצן המומס. ובכל שנה צפוייה שכבת המים העליונה להיות רוויה בחמצן.

משרעת הריכוזים של חמצן מומס בתחנת הים הפתוח נעה השנה בין 219 µmol/l בחודש דצמבר ל- 195 µmol/l באוגוסט (איור ג8). הריכוז הגבוה בחורף של סוף השנה מעיד כי הפעילות הפוטוסינטטית באביב השנה לא היתה גבוהה. ריכוזי החמצן בתחנת "כלובי הדגים" אינם שונים בהרבה, וריכוזי החמצן המומס שנמדדו השנה מעט נמוכים בהשוואה לריכוזי 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" בשנים האחרונות 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 ג8: 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**.**

<u>כלורופיל *a*</u>

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.

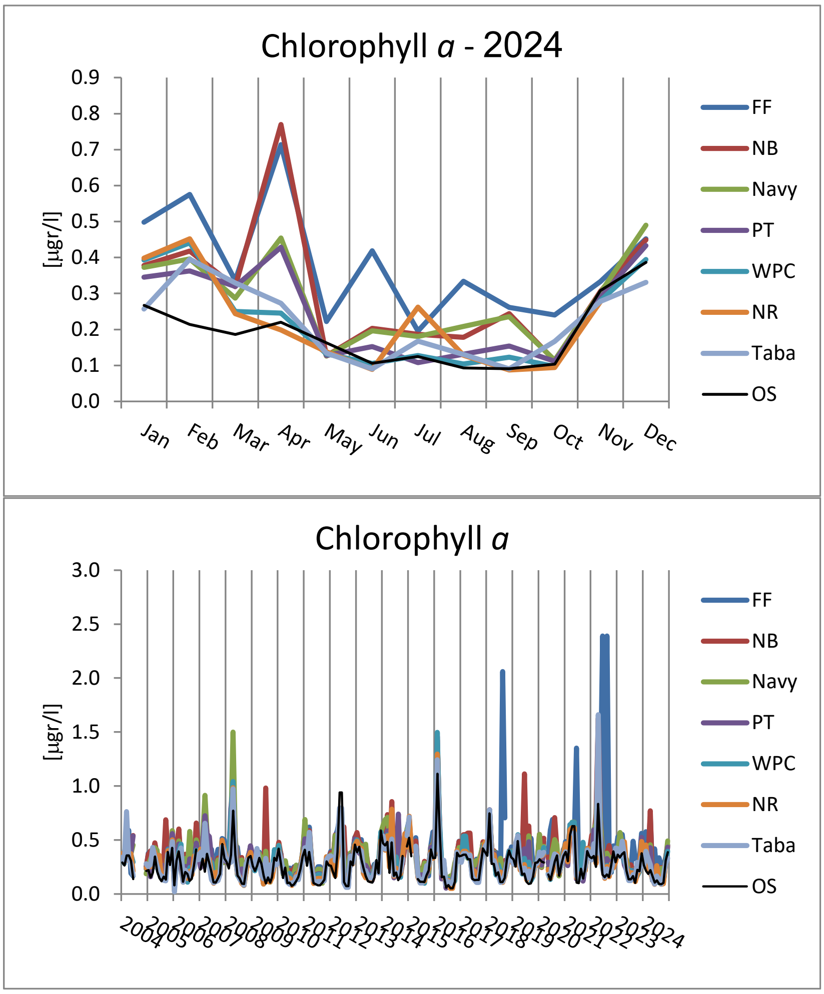
ריכוז כלורופיל *a* משמש מדד לצפיפות הפיטופלנקטון במי השטח ועל כן בעל אופי מקומי יותר מריכוזי התרכובות המומסות (הן בזמן והן במרחב). בימים אוליגוטרופיים (=עניים בחומרי מזון) מוגבלת כמות האצות על ידי זמינות נוטריינטים ולכן אספקת נוטריינטים עשויה לגרום לפריחה מקומית של אצות. עליית ריכוז הכלורופיל בחודשי 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 פיסיולוגיים בפיטופלנקטון.

לרוב נמדדים בתחנות החופיות ריכוזי כלורופיל גבוהים מהריכוזים בים הפתוח וכך היה, בדרך כלל, גם השנה (איור ג9). עם זאת, ריכוזי הכלורופיל בכל התחנות היו גם השנה נמוכים בהשוואה לשנת 2022 בה היה ערבוב עמוק. ריכוז הכלורופיל הגבוה בתחנת הים הפתוח נמדד בחודש דצמבר, 0.39 µgr/l (דומה לערך המרבי שם בשנה הקודמת ונמוך בהשוואה לשנת 2022, 0.83 µgr/l). רוב הזמן היו ריכוזי הכלורופיל בכל התחנות החופיות גבוהים בהשוואה לים הפתוח, אך ריכוזים חריגים נמצאו בעיקר באפריל בתחנות הצפוניות ובמשך הקיץ בתחנת

"כלובי הדגים". הערך המרבי נמדד בתחנת "החוף הצפוני" באפריל, 0.77 µgr/l, עם ערך דומה בתחנת "כלובי הדגים". בתחנת הים הפתוח נמדד באותו חודש ריכוז כלורופיל של 0.22 µgr/l. הערך החריג השנה גבוה מאשר בשנה הקודמת אך נמוך בהשוואה לשנת 2022, בה נמדדו בתחנת "כלובי הדגים" בחודשים יוני וספטמבר ערכים גבוהים בהרבה (2.39 µgr/l) ונבעו, כנראה, מהזרמות נוטריינטים דרך תעלת הקינט. השיא הקודם בריכוז הכלורופיל נמדד על ידי הניטור בחודש אוגוסט 2018 בתחנת "כלובי הדגים", 2.06 µgr/l, והיה כנראה קשור גם הוא להזרמות בתעלת הקינט. סביר שגם השנה, ריכוזי הכלורופיל הגבוהים באפריל קשורים להעשרת נוטריינטים באזור החוף הצפוני אשר מקורם במוצא הקינט (מול תחנת "כלובי הדגים").

בשנים בהן הערבוב רדוד נמצא בדרך כלל בפני הים ריכוז כלורופיל נמוך יחסית לשנים בהן ערבוב עמודת המים עמוק. ריכוז הכלורופיל הגבוה ביותר אשר נמדד בתחנת הים הפתוח היה בינואר 2016, 1.11 µgr/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.



איור 9ג: 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**.**

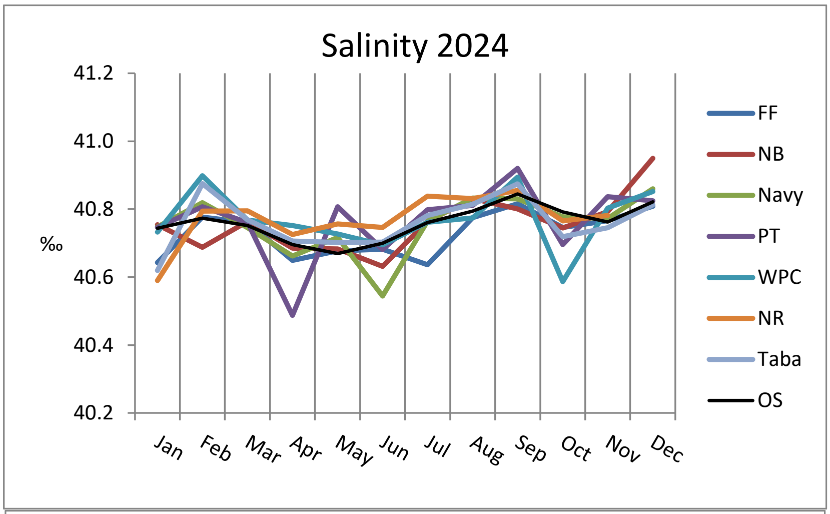
מדדים פיסיקליים

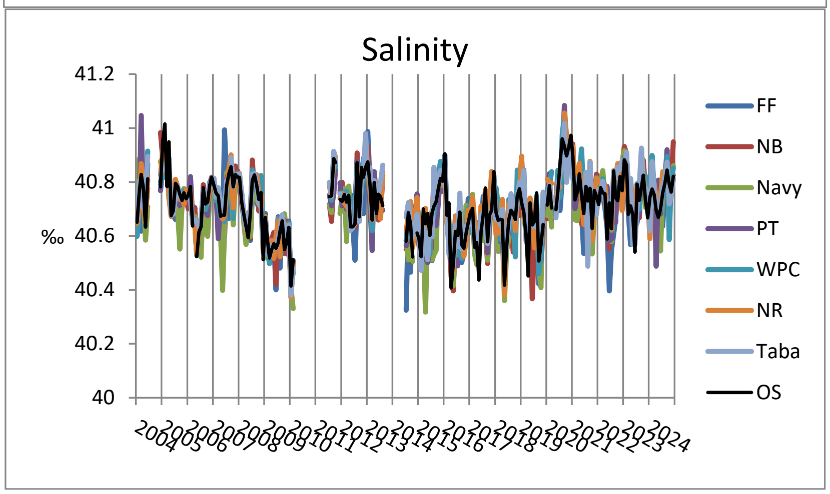
<u>מליחות</u>

[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 נמצאה שם מליחות נמוכה דווקא בסוף החורף, ומליחות מרבית בספטמבר (איור ג10). המליחות הנמוכה ביותר השנה נמדדה בתחנת "נמל הפוספטים" בחודש אפריל (40.488 PSU) והגבוהה ביותר בתחנת "החוף הצפוני" בדצמבר (40.949 PSU).

באופן כללי, מדידות המליחות לאורך החוף השנה דומות למדידות מהשנה הקודמת ובעלות משרעת ערכים קטנה.





איור ג10: למעלה, ערכי מליחות שנמדדו השנה בתחנות החופיות. למטה, ערכי מליחות חודשיים בכל התחנות החופיות מאז אוקטובר 2004.

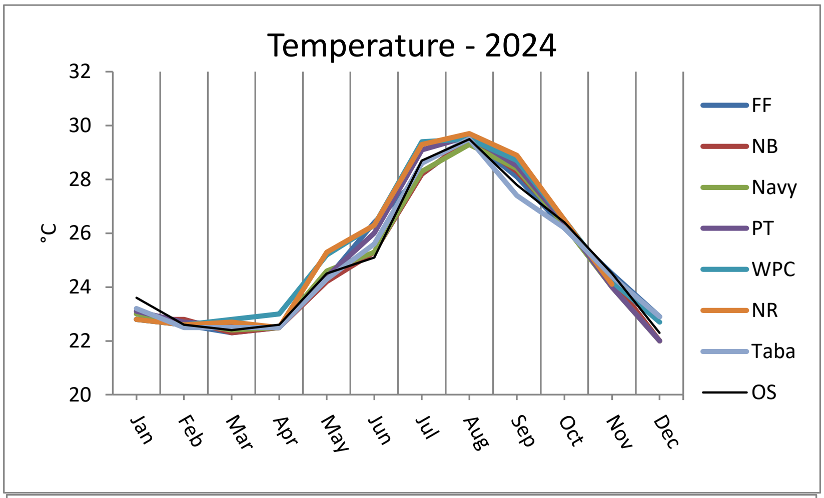
Figure C10: Top, salinity measured this year at the coastal stations. Bottom, monthly salinity at all coastal water monitoring stations since October 2004.

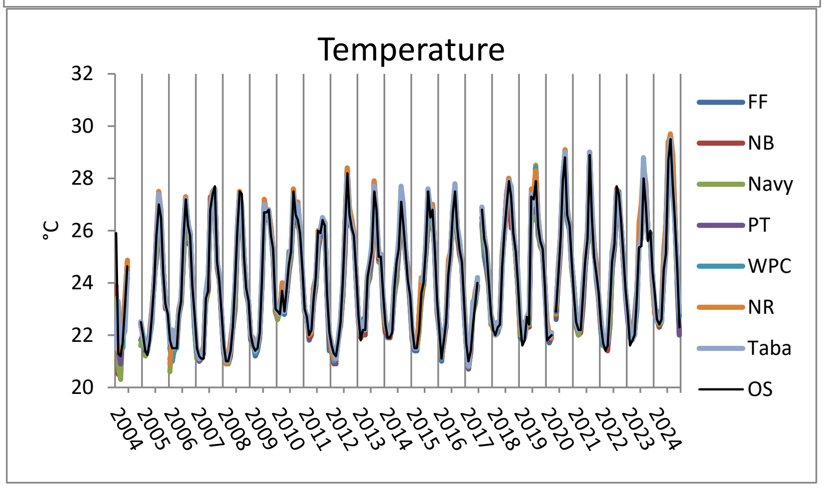
<u>טמפרטורה</u>

[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 דיגיטאלי 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, בדרך כלל, 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. גם השנה, כמו בשנה הקודמת, נמדדה עליה חדה בטמפרטורת פני הים בחודשי הקיץ, אך העלייה השנה היתה אפילו גדולה יותר – הפרש של כשלוש וחצי מעלות בתחנת הים הפתוח בין חודש יוני (25.1 °C) לחודש יולי (28.7 °C). בחודש אוגוסט נמדדה שם טמפרטורה גבוהה עוד יותר, 29.5 °C, וזוהי מטפרטורת פני הים הפתוח הגבוהה ביותר אשר נמדדה עד כה במסעי הדיגום החופי של תכנית הניטור. באוגוסט גם נמדדה הטמפרטורה הגבוהה ביותר עד כה במסגרת זו, 29.7 °C בתחנת "שמורת האלמוגים", לעומת השיא הקודם 29.1 °C, באותה תחנה בשנת 2020.

הטמפרטורה המזערית בים הפתוח השנה היתה 22.3 °C, בחודש דצמבר, גבוה מהערך המזערי של השנה הקודמת, 21.6 °C בחודש פברואר, וכמובן גם מהערך המזערי של השנת 2022 בה היה חורף קר שהוביל לערבוב עמוק, 21.04 °C בחודש מרץ (איור ג11). עם זאת, העובדה שטמפרטורת המים הנמוכה ביותר השנה נמדדה בסופה, עשויה להצביע על כך שהשנה הבאה תהיה קרירה יותר.



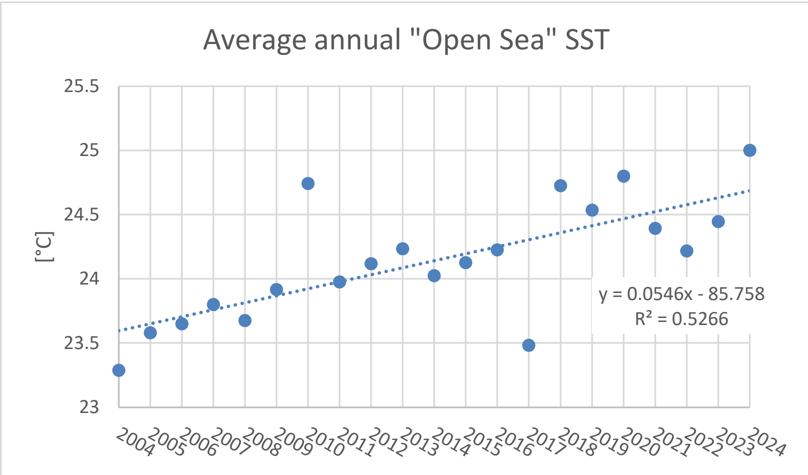


איור ג11: למעלה, טמפרטורות פני הים שנמדדו השנה בתחנות החופיות. למטה, טמפרטורות פני הים החודשיות בכל התחנות החופיות מאז אוקטובר 2004.

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.

השנה היתה "החמה" ביותר עד כה במסגרת מדידות הדיגום החופי. ממוצע הטמפרטורות השנתי המדוד בתחנת הים הפתוח השנה היה 25.0 °C, לעומת הערך הגבוה ביותר הקודם, 24.8 °C, בשנת 2020 (איור ג12). לפני כן, השנה החמה ביותר היתה 2010 (24.7°C) אז היתה משרעת טמפרטורות קטנה והממוצע היה גבוה בעקבות טמפרטורת חורף גבוהה ולא קיץ חם.

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 ($\sim 0.05[°C*years^{-1}]$).



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°C per decade**.**

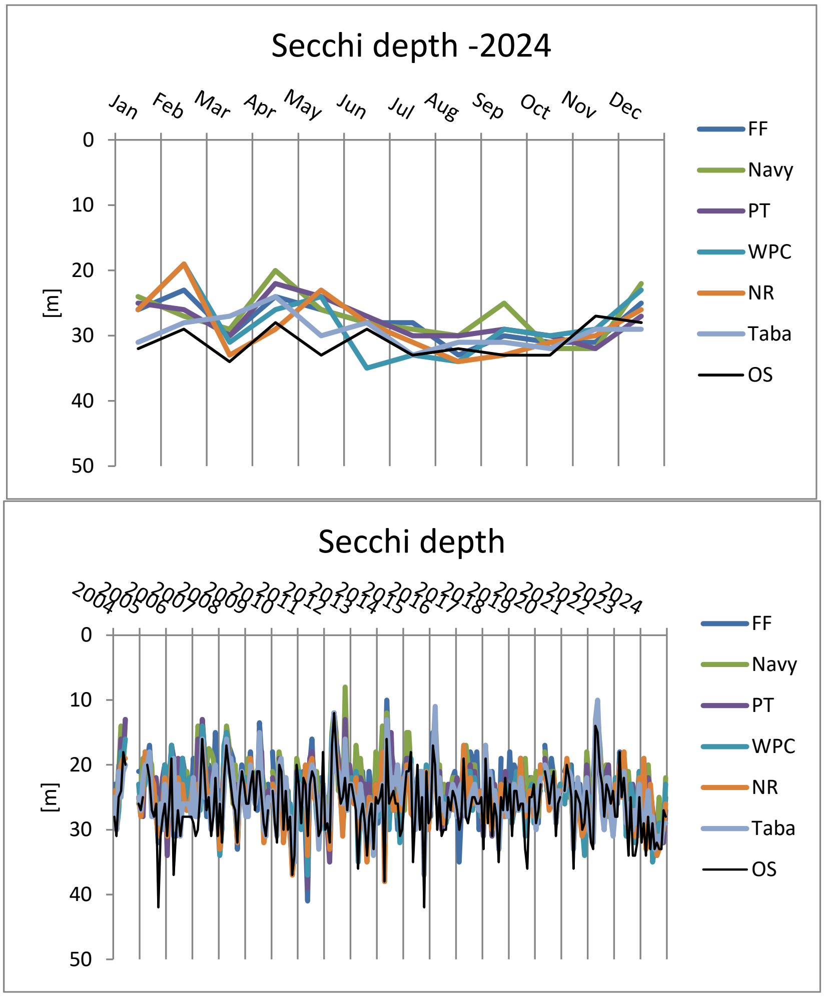
<u>עכירות</u>

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 בנוטריינטים. העכירות הגבוהה יחסית הנמדדת לעיתים קרובות בתחנות הצפוניות עשויה לנבוע מכל אחד מגורמים אלה.

בשנת 2022, 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. בשנה הקודמת נמדדו עומקי סקי "רגילים" והשנה נמצאו לרוב, עומקים גדולים יותר, עם עומק מזערי של 27 מ' בחודש נובמבר בים הפתוח (ושל 19 מ' בחודש פברואר בתחנות הים הפתוח ו"זיהום ים" הדרומיות, איור ג13). עומק הסקי הגדול ביותר שנמדד השנה בים הפתוח היה 34 מטרים, בחודש מרץ. בתחנות החופיות נמדד לרוב עומק סקי מעט נמוך מאשר בים הפתוח.

במשך תקופת הניטור המחזורים 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.

דיון

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. לפיכך, ערכי רוב המדדים הכימיים במי השטח גבוהים יותר בחודשי החורף מאשר בקיץ.

לאחר הערבוב העמוק של שנת 2022 ערבוב עמודת המים בשנתיים האחרונות היה בינוני עד רדוד, 400 מטר בשנה הקודמת ו-300 מטר השנה. גם 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 פיטופלנקטון 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. הערבובים הרדודים בשנתיים האחרונות הובילו לכך ששוב נמדדו ערכים נמוכים בתחנות החופיות.

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 מבודדת 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 בתחנת 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. השנה מזוהה חריגה בריכוזי הנוטריינטים השונים בחודש אפריל בתחנות הצפוניות, ובפרט בתחנת "כלובי הדגים". סביר שמקור הנוטריינטים הנמדד שם הוא במוצא תעלת הקינט.

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, נמצאו חריגות מערכי הרקע בחודשים אפריל ומאי, עם ריכוזי נוטריינטים וכלורופיל גבוהים במיוחד ומליחות נמוכה במיוחד באפריל ומליחות גבוהה במיוחד במאי. נדמה שבשני החודשים הוזרמו מים "זרים" לים דרך תעלת הקינט, אולם המים המלוחים בחודש מאי ככל הנראה שקעו במדרון והשפעתם לא ניכרה במדידות פני הים בתחנות החופיות, ואילו המים ה"קלים" שהוזרמו בחודש אפריל התפשטו בפני הים וגרמו לערכים החריגים אותם מדדנו באותו חודש בתחנות הצפוניות. יש לציין שהימים בהם מתבצעות מדידות הקינט שונים מהימים בם נדגמים מים בתחנות החופיות (לרוב יום לפני או יום אחרי) ועל כן אין התאמה ברורה בין המדידות.

מגמת החימום בפני הים נמשכת והשנה הזו היתה החמה ביותר ברישומי הניטור (ובכלל). בחודשי הקיץ נמדדה עליה חדה בטמפרטורת המים, בשיעור של כשלוש וחצי מעלות בין החודשים יוני ויולי והטמפרטורה המרבית אשר נמדדה היתה הגבוהה ביותר אשר נמדדה עד כה במסגרת ניטור מי החופים, 29.7°C.

ג.2. לרוות דגים בסמוך לשונית ובחוף הצפוני

<u>מטרה</u>

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

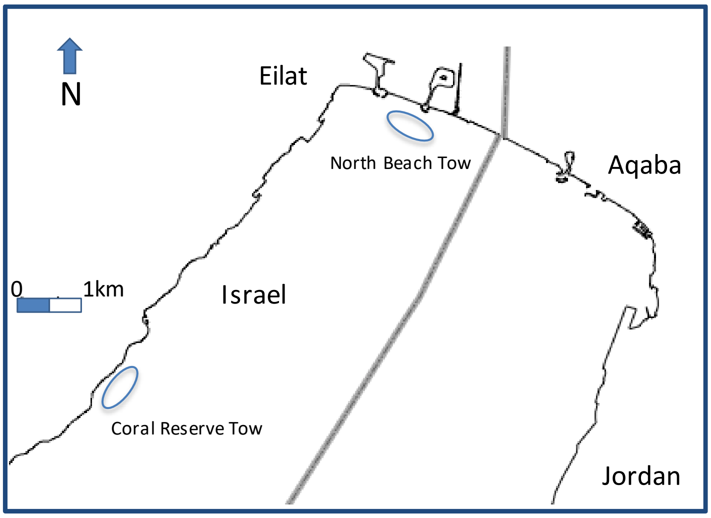
<u>שיטות</u>

אמדן 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 המטרים 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/ספינה. 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.

שטף 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.

זו השנה השישית 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- 3.9.2024, בשעות הבוקר.



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**.**

<u>תוצאות</u>

הרשת לדגימת לרוות הינה רשת כפולה מסוג bongo ובממוצע נפח המים המחושב אשר סונן בכל גרירה היה כ- 200 מ"ק. כמות הלרוות (איור ג15) הנלכדות בצורה זו גבוהה משמעותית מהכמות אשר נלכדה בשנה הראשונה בה נעשה הסקר.

לרוב, צפיפות הלרוות בחוף הצפוני גדולה משמעותית מאשר בחוף הדרומי באזור השמורה, אך השנה נמצאה צפיפות לרוות דומה שני האתרים. צפיפויות הלרוות השנה היו בין הגבוהות אשר נמדדו במסגרת זו, 1.9±0.2 ו- 2.0±0.8 למ"ק בחוף הצפוני והדרומי, בהתאמה. רק בשנת 2022 בחוף הצפוני נמצאה צפיפות גבוהה יותר, 3.3±0.1, אולי בעקבות הערבוב העמוק של עמודת המים בחורף אותה שנה.

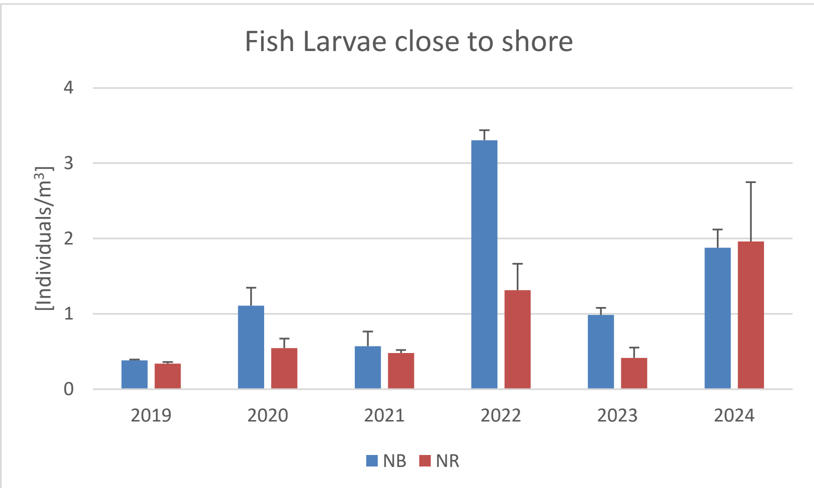
מול שמורת האלמוגים נספרו השנה בסך הכל 1075 לרוות דגים (לעומת 362 בשנה הקודמת), ומול החוף

הצפוני 1188 (897). צפיפות הלרוות (מספר פרטים למ"ק) השנה היתה דומה בשני האתרים, גבוהה מאשר בשנה הקודמת ואף מכל שאר השנים בהן נעשת המדידה (מלבד בחוף הצפוני בעקבות ערבוב חורף 2022, כאמור למעלה, איור ג16).

התקופה בה מתקיים סקר זה במתכונתו הנוכחית עדיין קצרה מכדי לאפשר הסקת מסקנות בנוגע להבדלים בין השנים אך בדרך כלל בחוף הצפוני ישנה צפיפות לרוות דגים גדולה יותר מאשר בחוף הדרומי (מול שמורת האלמוגים).

איור ג15 : לרוות דגים שנאספו בקרבת החוף באתר החוף הצפוני (NB) ובקרבת שונית 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 ג16: צפיפות לרוות דגים בקרבת החוף באתר החוף הצפוני (NB) ובקרבת שונית 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

<u>מטרה</u>

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

<u>שיטות</u>

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° 32.491´N, 34° 58.362´E) ובחוף הדרומי מול כפר הצוללים (נ"צ בכניסה למים: 29° 29.966´N, 34° 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 ומשיבים לתמיסת אתנול (70%). מיון הפאונה נעשה תחת בינוקולר והפרטים הממוינים נשמרים באתנול 70%. מספר הפרטים בדוגמה מנורמל לשטח פנים של 10 ס"מ^2.

עבור מיון וספירת פורמיניפרה נלקחו דוגמאות בעזרת מבחנות 50 מ"ל שנחתכו לצינורות אותם ניתן לפקוק עם שליפתם מן הסדימנט, ונשמרו במצב אנכי ובקירור 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 2000, 1000, 500, 250, 125, 63 מיקרומטר למשך 10 דקות. כל פרקציית גודל נשקלת בנפרד ואחוז המשקל היחסי שלה מחושב מתוך הסך-הכל.

<u>תוצאות:</u>

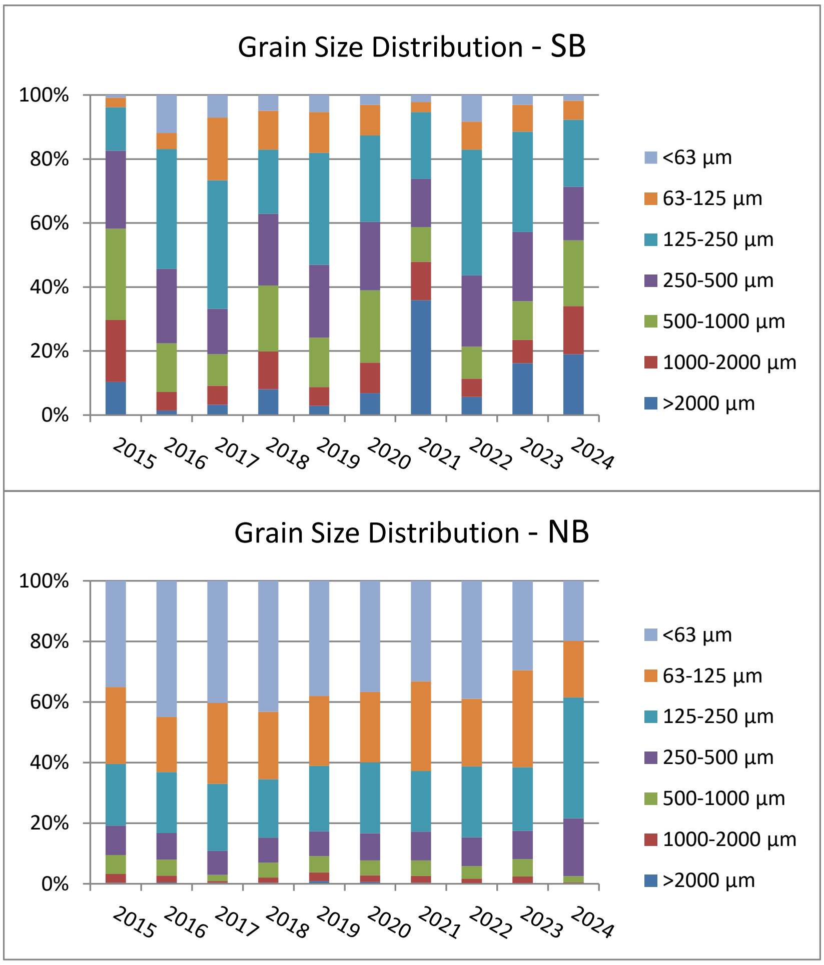
אפיון החי בקרקעית רכה בשני אתרים (בחוף הצפוני ובחוף הדרומי)

שני האתרים הנבחנים, 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: ברוב השנים בהן בוצע הסקר (2015-2024) אתר החוף הצפוני מאופיין במרכיב גדול של סדימנט דק (לרוב, יותר מ- 60%), בעל גודל גרגר קטן מ- 125 µm, ובחוף הדרומי מרכיב זה קטן מ- 30% ובדרך כלל גם נמצא קטן מ- 20% (איור ג17). השנה, הסדימנט הדק מ- 125 µm החווה בחוף הצפוני פחות מ- 40% מסך הסדימנט, ורכיב הגודל 125-250 µm היה גדול במיוחד, כ- 40%. בחוף הדרומי התפלגות גדלי הגרגר בסדימנט פחות יציבה ועם זאת ההתפלגות השנה אינה חריגה בהשוואה לשנים קודמות.

הסדימנט הדק, הנפוץ באתר החוף הצפוני, מאפיין שקיעה מעמודת המים באנרגיה נמוכה ורובו נגזר ממרכיבים יבשתיים (חרסית וסילט בעלי גודל גרגר קטן מ- 63 µm, חול דק מאד מוגדר עד לגודל גרגר של 125 µm).

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 µm 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 µm, 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- 2000 µm היוותה כ- 19% 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**.**

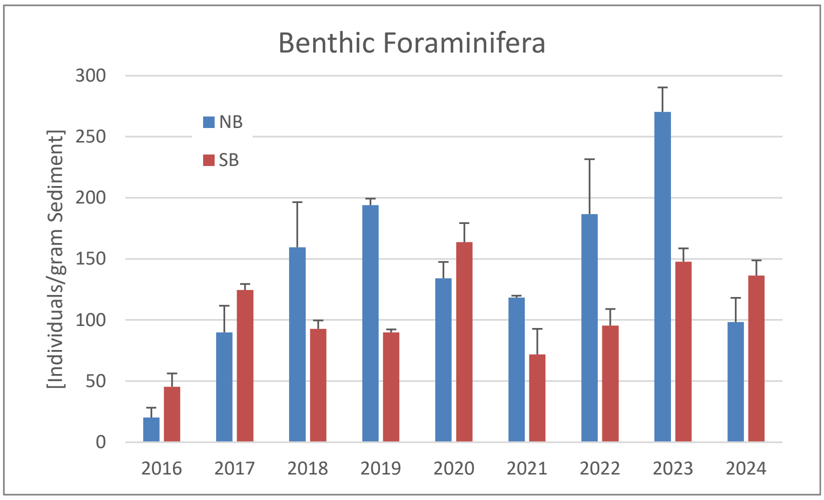
בשנת 2015 נעשה שימוש בפרוטוקול ספירה שונה עבור פורמניפרים בנתונים, ושגיאות הספירה היו גדולות. יחד עם זאת, ניתן היה לומר כי מתוך 20 מיני פורמיניפרים בנתונים אשר זוהו, המינים Assilina, Amphisorus, Amphistegina, Nonion, Peneroplis היוו את חמישה המינים הנפוצים ביותר בחוף הדרומי, ובחוף הצפוני, חמשת המינים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

השנה זוהו באתר החוף הצפוני בסך הכל 34 מיני פורמיניפרה ובאתר החוף הדרומי 33. בשני האתרים מספרים אלה נמוכים בהשוואה לשנה הקודמת ובין הנמוכים שנמצאו מאז תחילת הניטור בשנת 2016. עובדה זו מפתיע מכיוון שבשנים הראשונות לניטור זוהו פחות מינים מאשר בהמשך, ובדרך כלל היה מספר המינים המזוהה בשני האתרים גבוה מ-40. לפיכך נראה כי השנה ירד מספר המינים החיים בסדימנט בשני האתרים. בשנה הקודמת זוהה המספר הגדול ביותר של מיני פורמיניפרים בנתוניים בשני האתרים. בשנת 2022 זוהה המספר הגדול ביותר של מיני פורמיניפרה בשני האתרים, 57 מינים באתר החוף הצפוני ו- 53 בדרומי.

מכיוון שזיהוי פורמיניפרים לרמת המין הוא מורכב ועם העליה ביכולות הזיהוי צפויים שינויים במספרים המדווחים, קובצו המינים לסוגים. באתר החוף הצפוני זוהו השנה 22 סוגים ובאתר החוף הדרומי 26. גם בחלוקה זו, זוהו בשנה הקודמת יותר סוגים בשני האתרים (טבלה ג2). ברוב השנים הקודמות זוהו מיני וסוגי פורמיניפרים אשר לא זוהו בסקרים קודמים, והשנה נמצאו שני 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 136 פרטים\גרם ואילו בחוף הצפוני נמצאה צפיפות פרטים ממוצעת של 98 פרטים\גרם סדימנט (בשנה הקודמת נמצאו 148 ו- 270 פרטים\גרם באתרים אלה, בהתאמה). נתונים אלה נמוכים בהשוואה לשנה הקודמת, בפרט בחוף הצפוני, ומצויים בהתאמה למספר מינים הנמוך אשר נמצא השנה, אם כי, בין השנים ישנן תנודות בצפיפות הפרטים.



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).

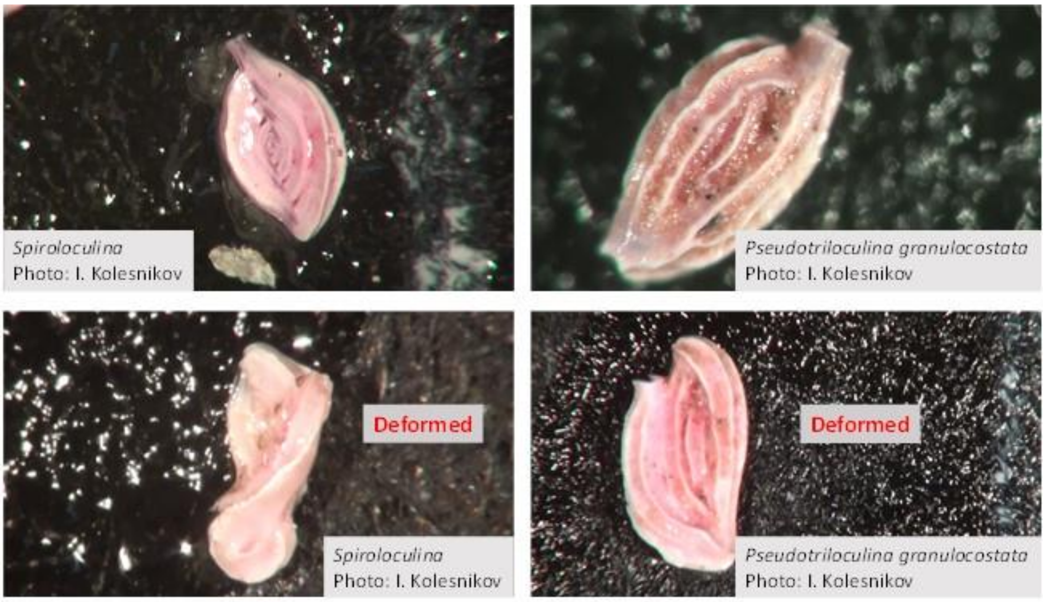
Table C2: Benthic foraminifera identified at the North and South beach sites.

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Acervulina mahabeti									NB
Affinetrina cf. A. quadrilateralis					NB	SB	NB		
Agglutinella			NB	SB+NB	SB	NB	NB	NB	
Ammonia	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	NB	SB+NB
Amphisorus hemprichii	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB	SB+NB	SB+NB	SB+NB
Amphistegina	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB
Articulina	SB	NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	NB	SB+NB	NB	NB
Assilina amonoides	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	
Bolivina	SB				SB+NB				
Borelis schlumbergeri	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	NB	NB	SB+NB	NB	
Brizalina	SB+NB	SB+NB	NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	NB
Challengerella bradyi				SB					
Cibicides	NB	NB	NB	SB+NB	NB	NB	SB+NB	SB+NB	NB
Clavulina angularis			SB+NB	SB					
Coscinospira hemprichii						SB			
Cycloforina	SB+NB	SB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	NB
Cymbaloporetta	SB	SB+NB	NB		SB+NB				SB+NB
Discorbinella rhodiensis	SB	SB+NB	SB	SB	SB	SB		NB	
Elphidium	SB+NB	SB+NB	NB	NB	NB	NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB
Epistomoroides punctatus	SB+NB	NB		NB			SB+NB	NB	NB
Epoindes repandus	SB+NB	NB		NB					
Fursenkoina	NB	NB				SB			
Globigirinoides ruber						SB+NB	SB		SB
Globofissurella				SB					
Hauerina	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB
Heterocyclina tuberculata					SB				
Labrospira jeffreysii	SB+NB	NB	NB		SB	SB	SB+NB	SB	
Lachlanella	SB	SB+NB	SB	NB	SB+NB	SB	SB+NB	SB+NB	SB+NB
Lagenammina		SB+NB	NB			SB+NB		SB	
Miliolides	SB+NB								
Miliolinella	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB	SB	SB	SB	SB
Nonion	SB+NB	SB+NB	NB	NB	SB+NB	SB+NB	NB	SB+NB	NB
Paratrochammina madeirae			SB						
Peneroplis planatus	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB
Planogypsina	SB		SB+NB	SB			NB	SB+NB	
Planorbulinella larvata				SB		NB		SB	
Planorbulinoides retinaculata						NB			
Pseudoaurinella dissidens		SB	SB					SB	
Pseudocibicides	SB+NB	SB+NB	SB+NB	NB	NB	SB	SB	NB	
Pseudomassilina		NB	SB+NB	SB+NB	NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB
Pseudoschlumbergerina ovata			SB	SB	SB	SB	SB	SB+NB	
Pseudotriloculina	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB
Pyrgo	NB		NB	SB	NB	NB	NB		
Quinqueloculina	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB
Reusela	NB	SB	SB	NB	NB	NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB
Rosalina	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB	SB
Schlumbergerina alveoliniformis	NB								
Siphonaperta		SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB
Sorites	SB+NB	SB	SB	SB	NB	NB	NB	NB	SB+NB
Spirillina		NB			SB+NB	SB	SB		SB
Spiroculina	SB+NB	SB+NB		SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	NB
Textularia	SB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB
Triloculina	SB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB
Trochulina sp. A		NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	NB	SB+NB
Varidentella cf. V. neostriatula		SB+NB	SB	NB	SB+NB		SB+NB		
Vertebralina striata			SB		SB+NB	NB	SB+NB		NB
Wiesnerella auriculata						SB			
others	SB+NB	SB	SB+NB	SB	SB	SB+NB	SB+NB	SB+NB	SB+NB

בשנת 2020 נמצאו לראשונה בחוף הצפוני (תחנות w40 ו- w80, המתוארות למטה) פרטים מעוותים של פורמיניפרים (איור ג19). 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.

בשנתיים האחרונות לא נמצאו פרטים מעוותים באף אחת מן התחנות הנדגמות.

דוגמאות סדימנט מהתחנות w0 ו- w80 נמסרו בשנת 2022 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 1.5-4 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 שבשנתיים האחרונות (2023-2024) לא נמצאו פרטים מעוותים עשויה להצביע על כך שהסדימנט המזוהם נמהל ועורבב וכבר לא מצוי בריכוזים גבוהים בקרבת פני קרקעית הים.



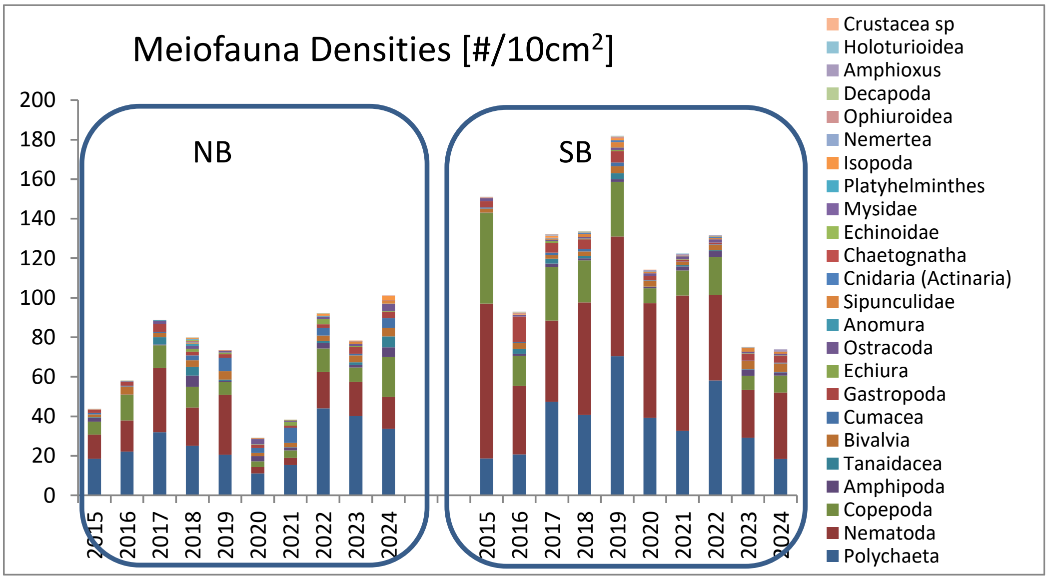
איור ג19: פרטים מעוותים של פורמיניפרים בנתונים שנמצאו בשנים 2020-2022 בתחנות כלובי הדגים.

Figure C19: Deformed benthic foraminifera found in 2020-2022 at the FF sampling locations offshore from the Kinet channel outlet**.**

בספירות בע"ח שוכני סדימנט שאינם פורמיניפרים נמצא כי קבוצות ה- *Polychaeta*, *Copepoda*, *Nematoda* הן הנפוצות ביותר בסדימנט בשני האתרים בשנים בהן מבוצע הניטור (איור ג20). באתר החוף הצפוני זוהו השנה בסך הכל 18 קבוצות ובחוף הדרומי 13 (טבלה ג3). בשנה הקודמת זוהו באתרים אלה 17 ו-18 קבוצות, בהתאמה.

צפיפות הפרטים בסדימנט החוף הצפוני היתה השנה 101 פרטים מכל הסוגים ל- 10סמ"ר סדימנט, ובחוף הדרומי צפיפות דומה, 74 פרטים ל- 10סמ"ר. ברוב השנים בהן מבוצע הניטור נמצאת צפיפות פרטים גבוהה יותר בחוף הדרומי.

הצפיפות הגדולה ביותר אשר נמדדה בחוף הדרומי היתה, בשנת 2019, 182 פרטים ל-10סמ"ר. בחוף הצפוני הצפיפות הגדולה ביותר נמדדה השנה והקטנה ביותר נמדדה בשנת 2020 לאחר הסערה הדרומית החזקה, 29 פרטים ל- 10סמ"ר בלבד.



איור ג20: 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).

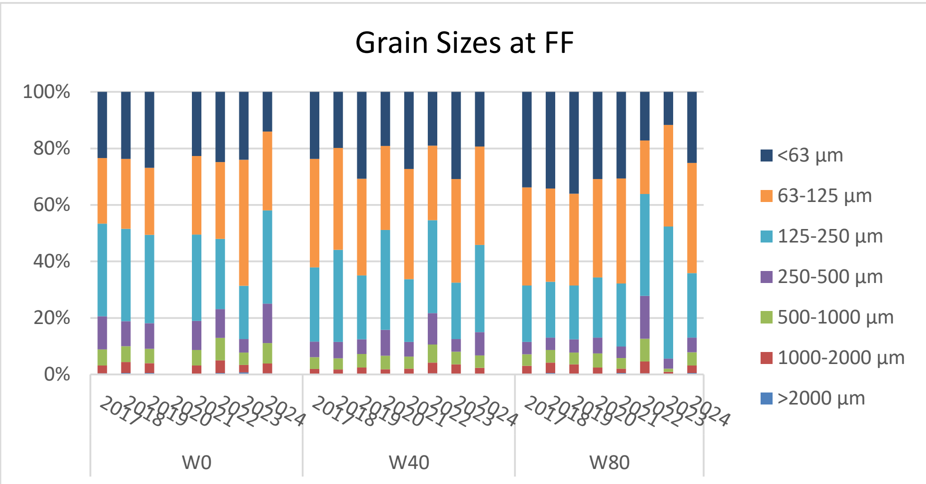
Table C3: Meiofauna groups identified at the North and South beach sites (listed alphabetically).

	NB										SB									
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
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	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

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 בנתוניים 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 (אונ' 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 שנתית, 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 ובעומק קרקעית של 27 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 µm. השנה כ- 64% 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 ג21).



איור ג21: 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 ג22).

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 w40 ו-w0 – 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.

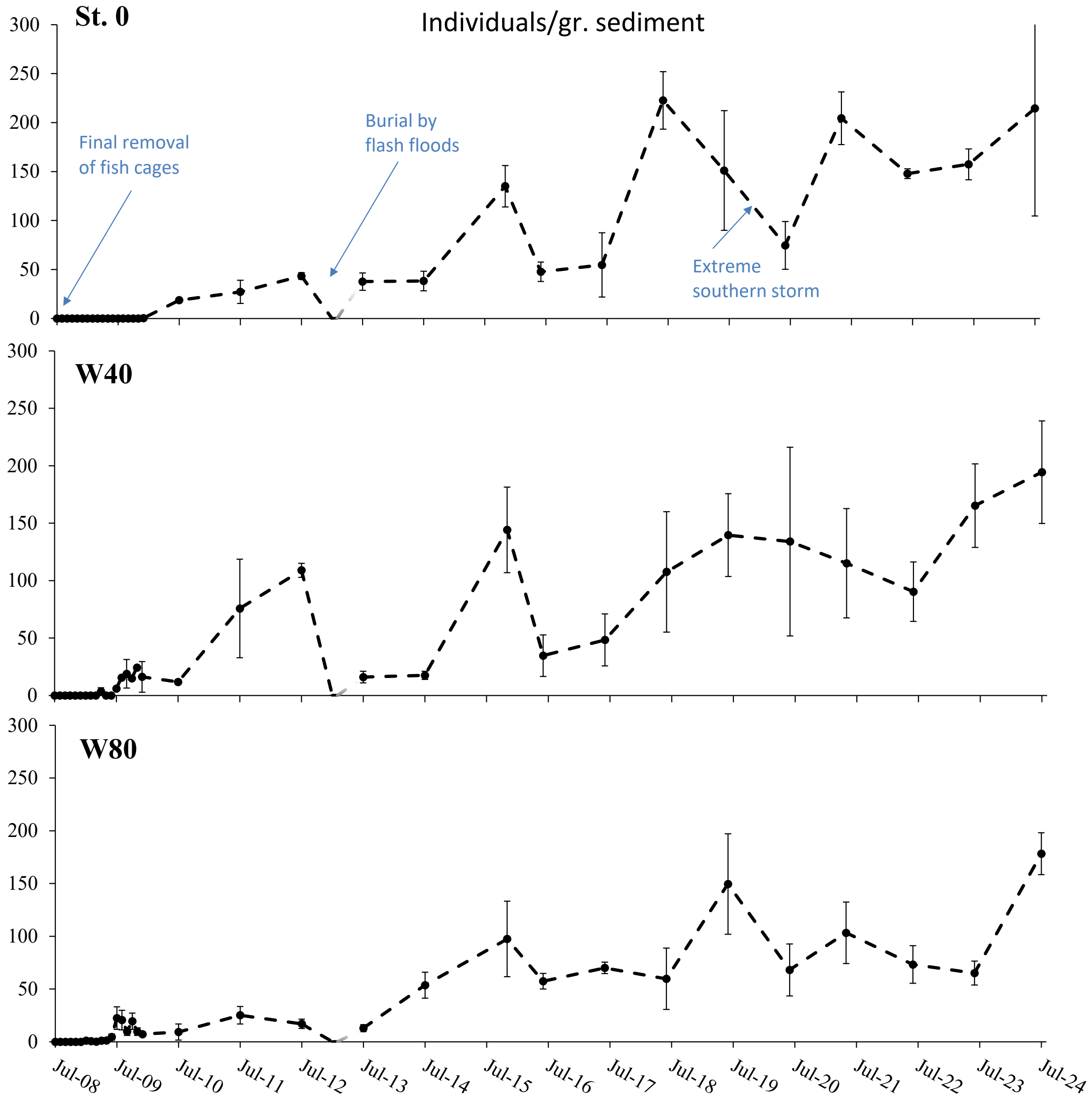
מאז 2016 נמצאה עליה בצפיפות הפרטים בכל התחנות, שהגיעה לשיא בשנת 2018 (בתחנה w0) או 2019 (בתחנות w40 ו-w80). בשנת 2020 נמצאה ירידה בצפיפות הפרטים, אולי כתוצאה מפגיעת הסערה הדרומית החזקה של חודש מרץ באותה שנה שהרחיפה סדימנט רב ופגעה, אולי, בבית הגידול החולי בחוף הצפוני. בשנים מאז עלתה צפיפות הפרטים והשנה היא דומה או גבוהה לערכי השיא שנמדדו בתחנות 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 בנתוניים. יתרה מכך, העדר עשב הים *Halophila 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 אפיפיטים באזור. בשנים שלאחר מכן, על אף הפרעות של סערות ושטפונות 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).

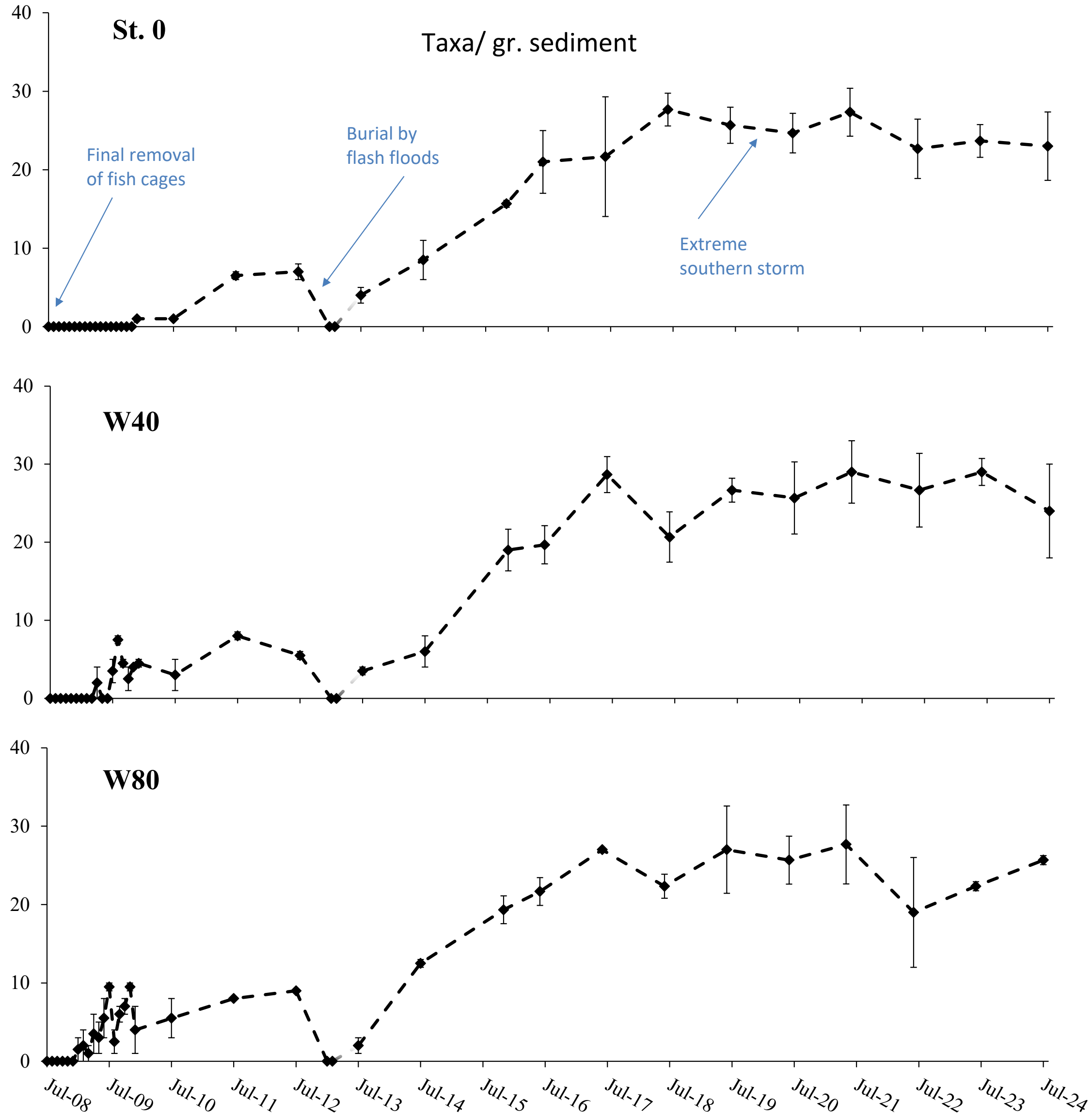
לאחר השטפונות של חורף 2013 מתועדת חזרה מהירה של מיני פורמיניפרים בנתונים לאזור, ומספר הסוגים המזוהים עלה מהר יותר מאשר לאחר פינוי כלובי הדגים.

עם כניסתה של תכנית הניטור לעיבוד הסדימנט, בשנת 2015, הושקע מאמץ גדול בשיפור יכולות הזיהוי והמיון של מיני פורמניפרים בנתוניים 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. אף כי מדי שנה מזוהים כמה מינים חדשים, מספרים אלה קטנים ומאז שנת 2017 מספר המינים נותר כמעט יציב, עם תנודות קלות.



איור ג22: 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 ג23: 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

<u>מטרה</u>

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

<u>שיטות</u>

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° 32.655´N, 34° 57.997´E) ובחוף הדרומי (מול כפר הצוללים, נ"צ בכניסה למים: 29° 29.966´N, 34° 54.866´E).

הערכת הכיסוי נעשית בשיטת "דגימת נקודה" (point sampling) מתוך צילומים של קרקעית הים (איור ג24). 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 ג24: 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).**

<u>תוצאות</u>

[עשב הים במפרץ אילת בעומקים רדודים נסקר באופן שיטתי על ידי Mejia et al. (2016), Winters et al. (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 ומושבות 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

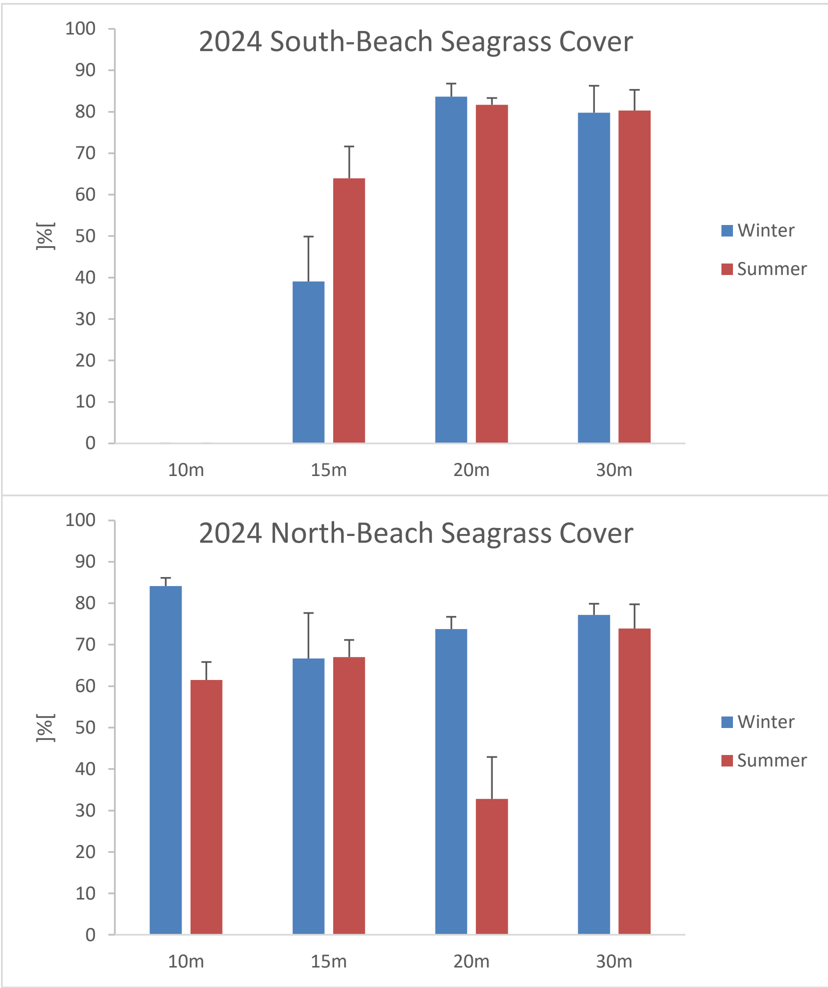
כתמית שמדלדלת עד שנעלמת בטווח העומקים 35-40 מטרים. בחוף הדרומי מרבדי עשב ים פחות נפוצים והופעתם מקוטעת (על ידי שוניות ומצע קרקעית קשה) אך במקומות בהם נמצאים עשבי ים ישנם מרבדים עשירים עד לעומק של כ- 40 מטרים.

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 בעומקים 10, 15 ו-20 מטרים בעונת הקיץ בשנים האחרונות עומד על כ- 38% בחוף הדרומי וכ- 59% בחוף הצפוני. הערך הממוצע בקיץ השנה באותם עומקים היה כ- 49% בחוף הדרומי וכ- 54% בחוף הצפוני. במשך השנים בהן נעשה הסקר נצפו תנודות גדולות בכיסוי עשב הים וערכי השנה אינם חריגים. הערך הנמוך יותר 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, ולרוב, נמצאים הבדלים גדולים בכיסוי עשב הים בין העונות (איור ג25). באתר החוף הדרומי, כמעט ולא נמצא עשב ים בעומק 10 מטרים, בשתי העונות, 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 – כ- 80% כיסוי השנה, בשתי העונות. בדומה לתוצאות השנים האחרונות, יתכן שמתועדת כאן "נדידה" של מרבד עשב הים בחוף הדרומי לעומקים גדולים יותר. הבדל עונתי באתר הדרומי נמצא השנה בעיקר בעומק 15 מטרים, ועמוק יותר ההבדל בין העונות קטן.

בחוף הצפוני נמצא השנה הבדל גדול בין העונות בעומקים 10 ו-20 מטרים. כיסוי עשב הים באתר זה היה השנה גבוה יותר בעונת החורף וזאת בניגוד לשנה הקודמת.

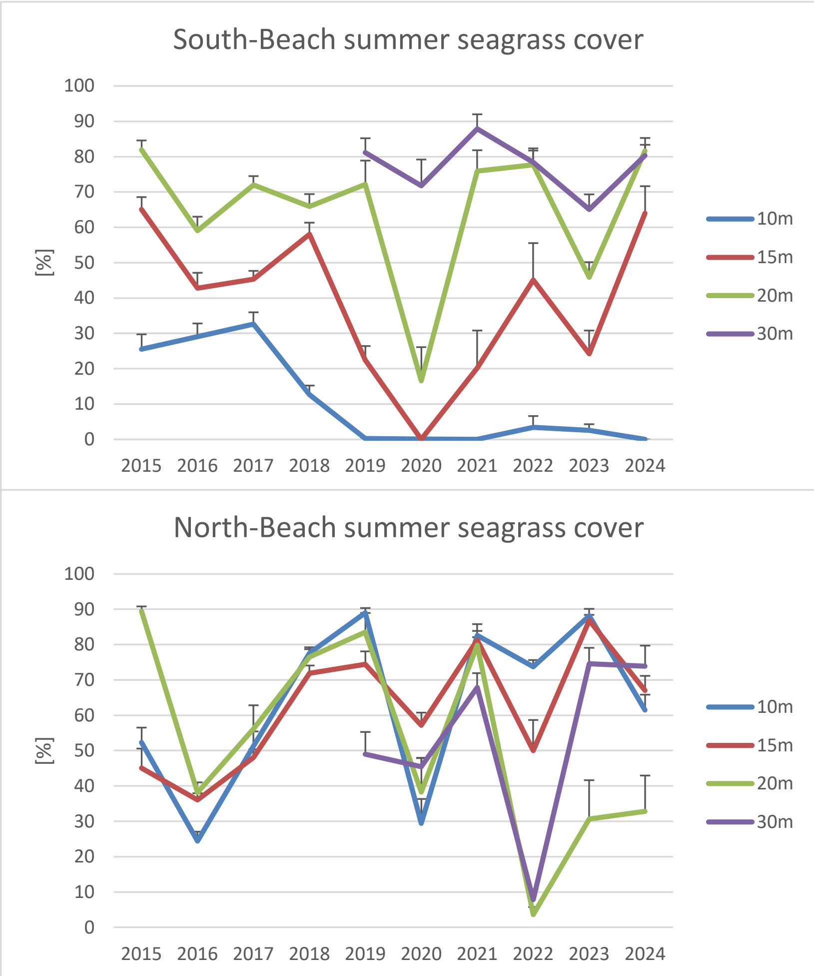
הבדל עיקרי בין האתרים הוא שבחוף הצפוני כיסוי עשב הים בעומק הרדוד, 10 מטרים, הוא פעמים רבות הגבוה ביותר, ובחוף הדרומי כיסוי עשב הים בעומק זה מזערי.



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 ושנה לאחר מכן, 2023, התהפכה התמונה. השנה עלה הכיסוי בחוף הדרומי בכל העומקים, מלבד בעומק 10 מטרים בו כיסוי עשב הים אפסי מאז שנת 2019.

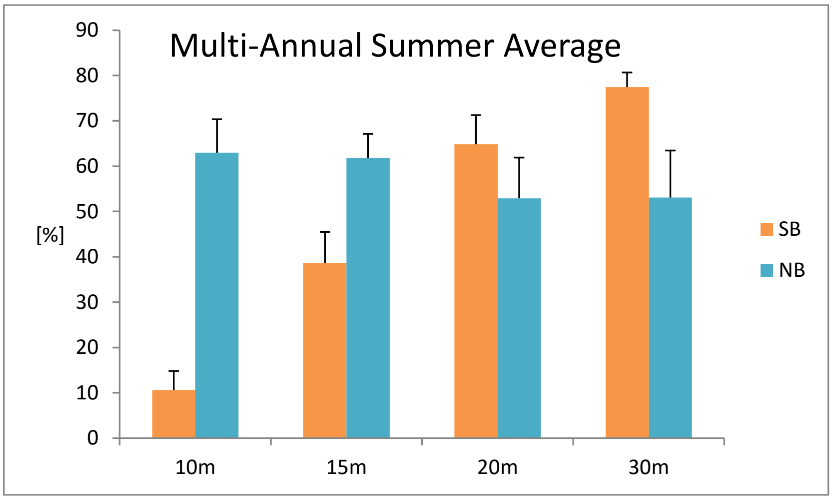


איור ג26: כיסוי עשב הים בעונת הקיץ באתרי החוף הדרומי והחוף הצפוני של אילת.

Figure C26: Seagrass cover during summer in the southern and northern beach sites of Eilat**.**

מאז תחילת ניטור עשב הים בשנת 2015 (עבור עומק 30 מטרים, שנת 2019), כיסוי עשב הים הרב-שנתי הממוצע בעומקים הגדולים (20 ו-30 מטרים) גבוה בחוף הדרומי מאשר בחוף הצפוני, ואילו בעומקים הרדודים (10 ו-15 מטרים) הכיסוי גבוה יותר בחוף הצפוני (איור ג27). 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- 10% בלבד, משום שבשנים האחרונות אין שם עשב ים כמעט בכלל. במשך השנים ניכר שכיסוי עשב הים בחוף הדרומי גדל עם העומק, ואילו בחוף הצפוני ההבדלים בין העומקים קטנים יותר, עם כיסוי מעט גבוה יותר, בדרך כלל, בעומקים הרדודים.

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 ג27: 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 כימים, 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 ז.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 ובעמודת 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, ופלואורסנציה 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^{-1}, NO_3^{-1}, $Si(OH)_4$, 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 מההפלגה 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) – בשנים 2022-2023 נעשו מדידות היצרנות הראשונית בשיתוף עם מעבדתו של ד"ר אייל רהב מחיא"ל, על ידי מר תום רייך. מהשנה, 2024, תכנית הניטור מבצעת מדידות אלה באופן עצמאי על פי הפרוטוקול המשותף שנוצר בשנתיים הקודמות.

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 מכיול יותר שפוגע באמינות התוצאות.

מספר הקריאות במונה (cpm) משמש לחישוב קליטת הפחמן על ידי הפיטופלנקטון בכל בקבוק הדגרה לפי הנוסחה הבאה:

$$\mathbf{[mgC/m^3/day]}=\{(CPM_{(sample)}-CPM_{(dark)})*25008\}/\{Volume_{(filtered)}*(CPM_{(AA)}/Volume_{(AA)})\}$$

בנוסחה זו:

$CPM_{(sample)}$ - האקטיביות של הפילטר עליו סוננו מים מבקבוקי ההדגרה

$CPM_{(dark)}$ - האקטיביות של הפילטר מההדגרה בבקבוק מוחשך מאותו עומק

$CPM_{(AA)}$ - האקטיביות הכללית במים מבקבוק ההדגרה

$Volume_{(filtered)}$ - נפח המים מבקבוק ההדגרה, אשר סונן על גבי הפילטר (50ml)

$Volume_{(AA)}$ - נפח המים בו נבדקת האקטיביות בבקבוק ההדגרה (לרוב 250µl)

המספר 25008 מהווה אומדן לריכוז הפחמן (מ"ג למטר מעוקב) במי ים.

<u>פחמן חלקיקי</u> (POC) – דוגמאות מעמודת המים נאספות בבקבוקי ניסקין מהרוזטה ומסוננות דרך רשת 200µm למיכלים בנפח 6 ליטרים. למחרת ההפלגה 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 הסינון 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 (CO_2). הפחמן הדו-חמצני נישא על ידי חמצן לגלאי IR ויוצר אות אשר שיטחו פרופורציונלי לכמות הפחמן. לצורך כיול 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.

<u>ספירת תאי פיטופלנקטון:</u> ספירת תאי פיטופלנקטון וחיידקים הטרוטרופים התבצעה במכשיר FACSCalibur Becton Dickinson flow cytometer בו הזרקת הדוגמא נעשתה בעזרת משאבת המזרק. הספירה נעשתה במעבדה של נינה קמנאיה במכון לחקלאות וביוטכנולוגיה של אזורים צחיחים של אוניברסיטת בן-גוריון בנגב. תאי פיטופלנקטון נמדדו בדוגמאות מים של 750µl ותאי חיידקים 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, חיידקים הטרוטרופים, וציאנובקטריות מהמינים *Synechococcus* ו-*Prochlorococcus*.

<u>ניטור ריכוזי זואופלנקטון במאה מטרים העליונים של עמודת המים</u>: 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 בטמפ'

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 פרופ' עדי טורפשטיין 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. כיול 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.

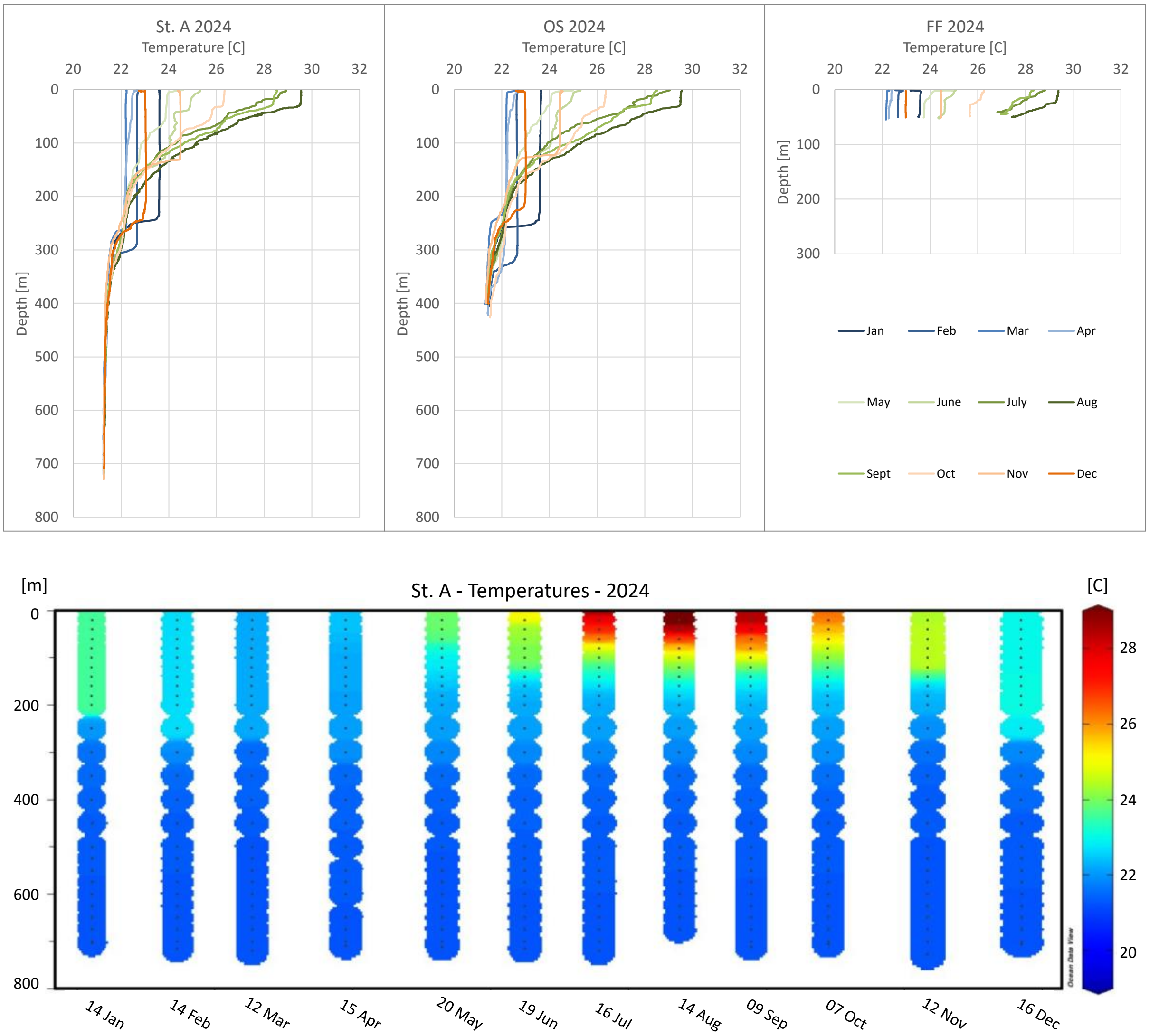
ד.1. טמפרטורה ומליחות

פרופילים רציפים של טמפרטורה, מליחות ופלואורסנציה 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 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 הייצרן. הכיול האחרון נעשה בקיץ השנה (2024).
הפלגה לתחנה B, בשיתוף עם מדענים מתחנת המחקר בעקבה שבירדן, לא התבצעה בשנים האחרונות (2019-2024).

[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 הדיגום ל- 700 מ' בתחנה A, אינן כלולות בהערכת גודל המאגרים של נוטריינטים בעמודת המים.
גם בחודשים אוגוסט-אוקטובר השנה (2024) נעשה שימוש במכשיר CTD חלופי, בעת שהמכשיר הראשי נשלח לכיול, ומדידות הפלואוריסנציה באותם חודשים אינן תקינות]

<u>טמפרטורה</u>
ערבוב עמודת המים בעונת החורף עקב קירור המים מלמעלה, במגע עם האטמוספרה, הוא גורם מרכזי בדינאמיקה של המערכת האקולוגית במפרץ. הערבוב השנה היה רדוד והגיע עד לעומק של כ- 300 מטרים בתחנה A. עומק זה רדוד, בפרט בהשוואה לשנת 2022 בה הגיע עומק הערבוב לקרקעית הים בתחנת המדידה, כ- 750 מטרים. עומק הערבוב המירבי נמדד השנה בהפלגת חודש פברואר, ובהפלגת חודש מרץ היה עומק הערבוב קטן יותר (איור ד1). בהשוואה לשנת 2022, בה נמצא עומק הערבוב המרבי רק באפריל, אנו למדים כי למשך התקופה הקרה ולא רק לעוצמתה ישנה השפעה גדולה על ערבוב עמודת המים.
בחודש פברואר הטמפרטורה בעמודת המים העמוקים מ-500 מטרים היתה 21.32 מעלות ובחודש מרץ 21.29. התרמוקלינה בחודש פברואר נמתחה בין העומקים 300-500 מטרים ובחודש מרץ 260-500 מטרים, אך בחודש מרץ טמפרטורת המים מבסיס התרמוקלינה ועד לפני הים היתה נמוכה יותר מאשר בפברואר. בקרבת פני הים נמדדה בפברואר טמפרטורה של 22.67 מעלות, ובאותו עומק נמדדה בפברואר טמפרטורה של 22.20 מעלות. ככל הנראה, בין הפלגות פברואר ומרץ התקררו המים העליונים וכך סביר שהעומק המרבי של עמודה המעורבבת היה השנה גדול מ-300 המטרים שנמדדו בפברואר.
הטמפרטורה המרבית אשר נמדדה השנה בפני הים בתחנה A היתה 29.56 מעלות, כמעלה וחצי גבוה יותר מאשר בשנה הקודמת וכשתי מעלות גבוה בהשוואה לשנת 2022.

[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, ביולי 2022 ולאחרונה בקיץ השנה (2024)].

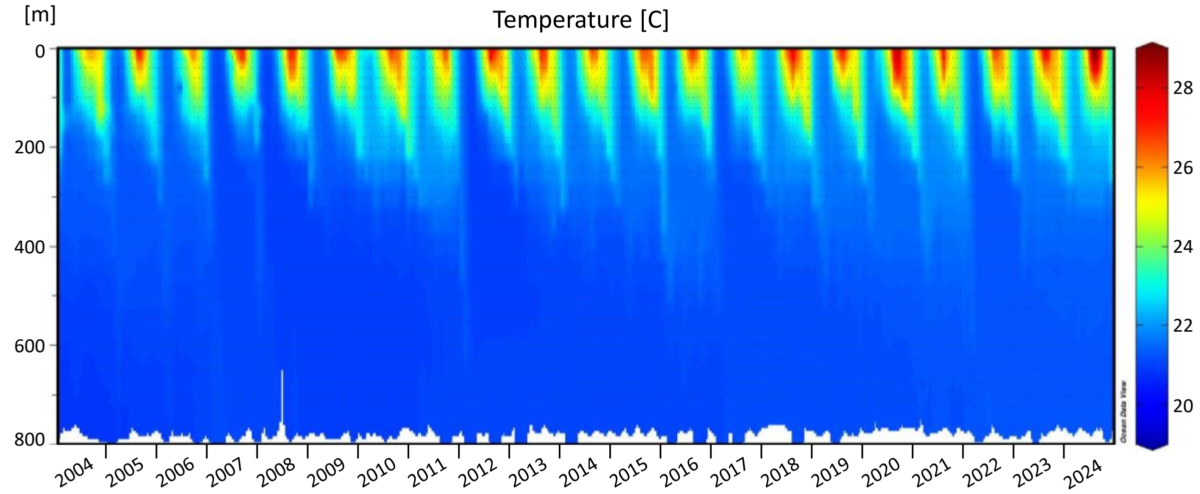


איור 1ד: טמפרטורת עמודת המים כפי שנמדדה במכשיר ה-CTD בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים (>700 מ'), תחנת OS בחצי הדרך לחוף הצפוני בעומק מים של כ- 400 מטרים ותחנה FF בחוף הצפוני של אילת בעומק של כ-50 מטרים. למטה – סדרת זמן שנתית של טמפרטורת עמודת המים בתחנה A בעומקים מהם 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 2ד). 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 בשנת 2022, עורבבה בשנה הקודמת עמודת המים עד לעומק של כ-400 מטרים והשנה עומק הערבוב הנמדד הגיע לכ-300 מטרים בלבד.



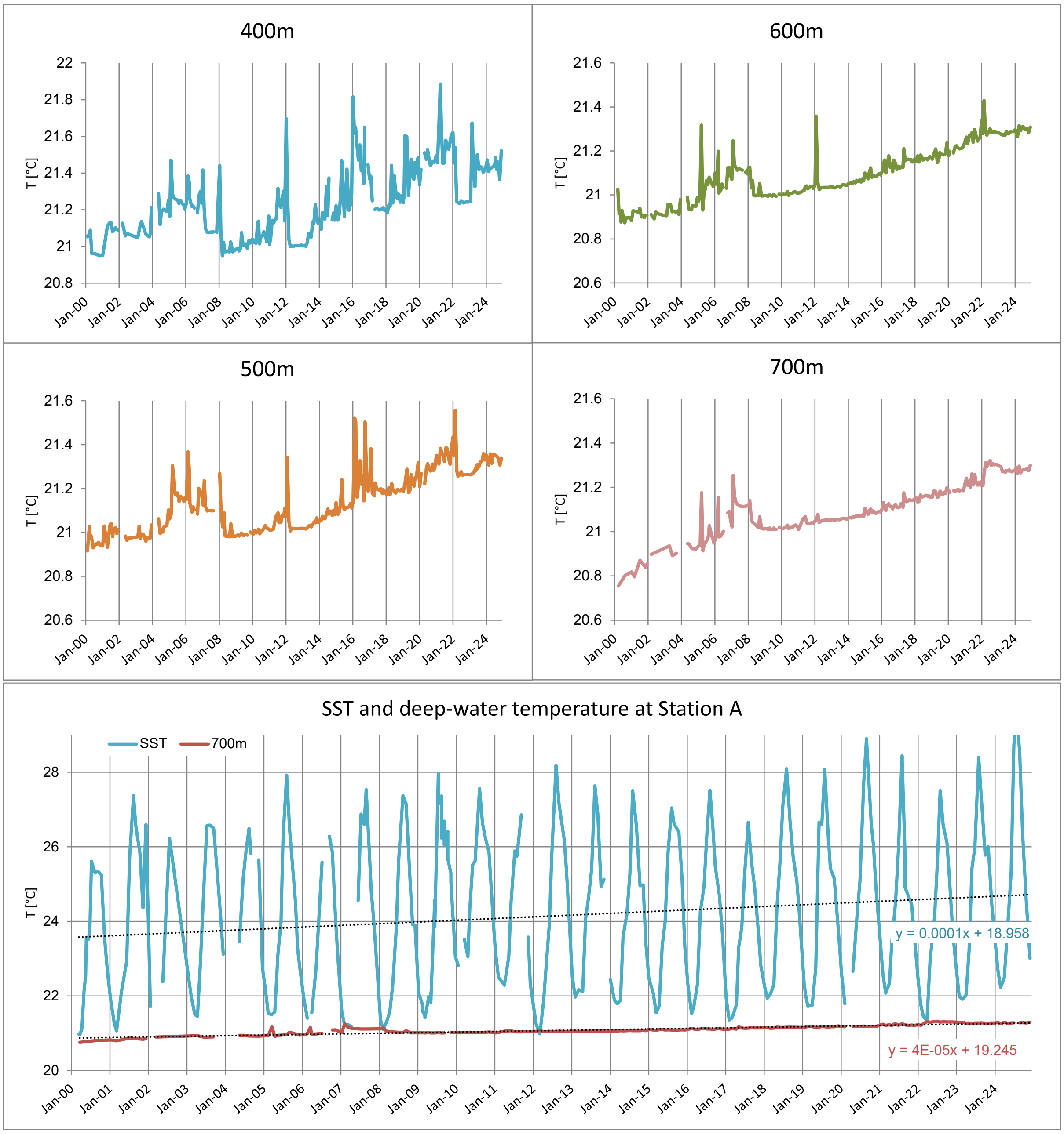
איור ד2: שינויי טמפרטורה בתחנה A מאז ינואר 2004. הנקודות השחורות מייצגות את עומק המדידה.

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 שנת 2022 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.***

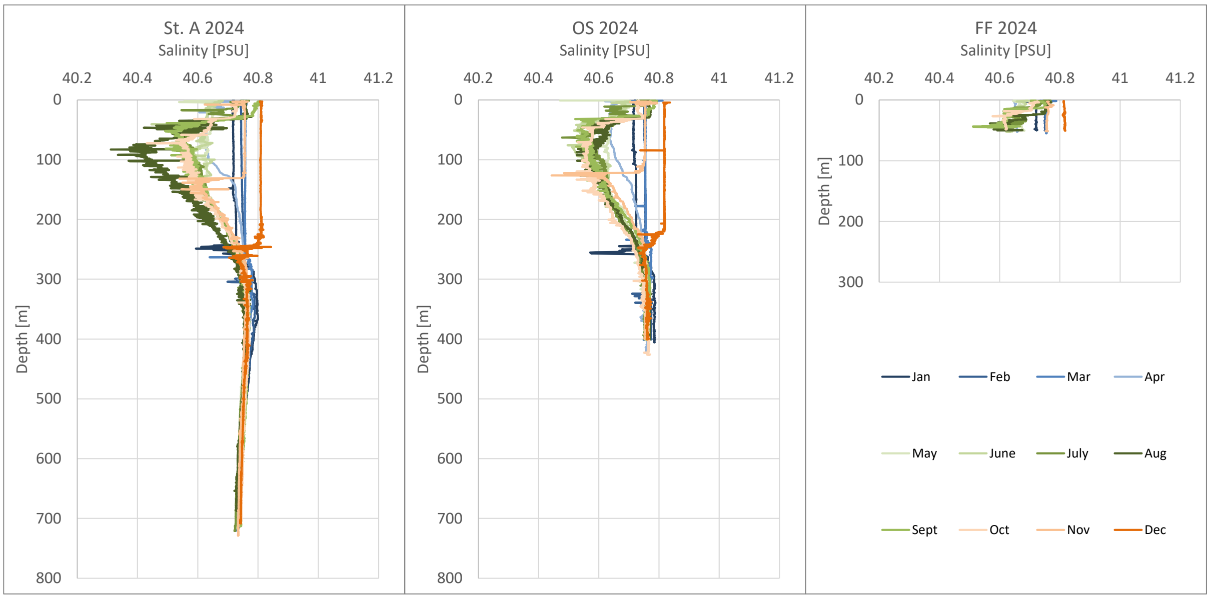
<u>מליחות</u>

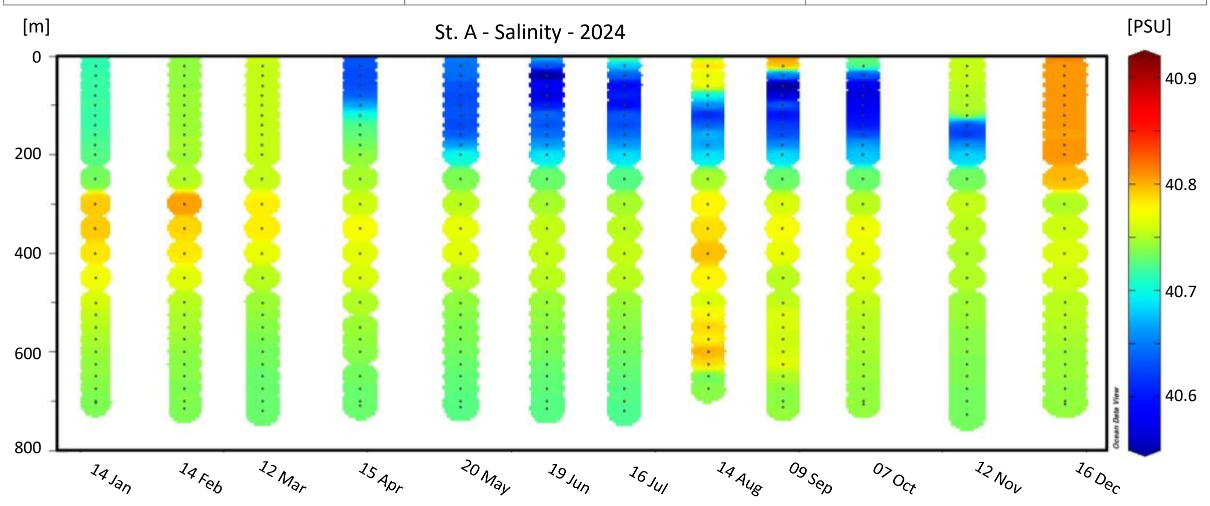
[בשנת 2010 אובחנה נדידה חזקה של תוצאות מדידות המליחות במד המליחות במעבדה. כתוצאה מכך הוחלט לא להציג תוצאות מליחות שנמדדו במעבדה החל מחודש פברואר 2010 ועד ליולי 2011. עבור תקופה זו מוצגות מדידות המליחות בים העמוק אשר נעשו גם באמצעות מד מליחות אלקטרוני כחלק מפרופיל ה-CTD. התכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת, 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 בתקופת המשוכבת (איור 4ד). 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 לעלית המליחות במים העליונים בהשוואה לשכבת המים שמתחת. עם התערערות 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 אפריל החלה להצטבר שכבה בעלת מליחות נמוכה בקרבת פני הים. לקראת סוף הקיץ המליחות בפני הים עלתה והשכבה בעלת המליחות הנמוכה נדחקה מטה ונמהלה. בחודשים נובמבר-דצמבר מליחות המים העליונים גבוהה ומתחיל ערבוב כך שהשכבה בעלת המליחות הנמוכה הולכת ונעלמת.

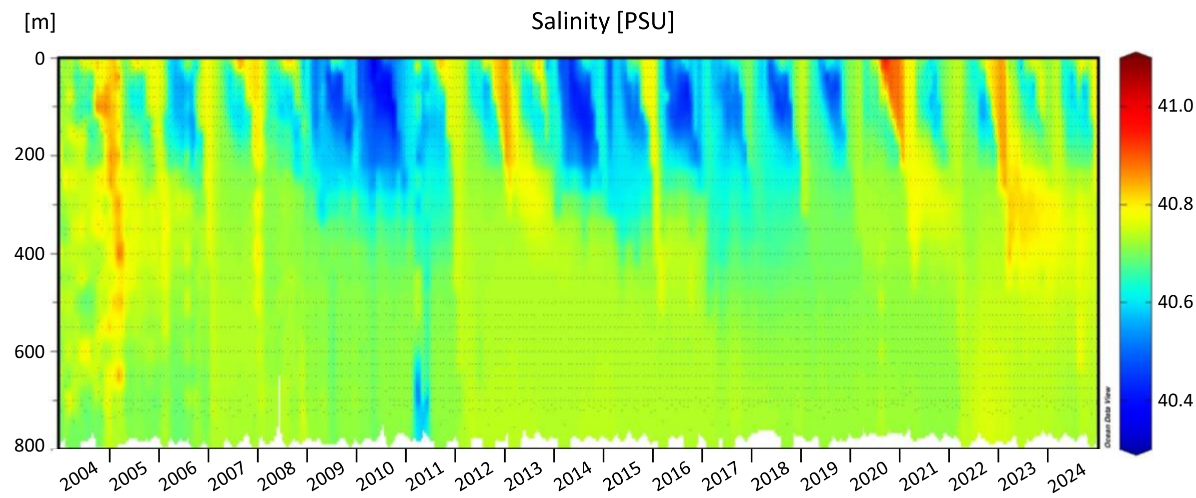




איור ד4: מליחות בעמודת המים כפי שנמדדה במכשיר ה-CTD בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים (>700 מ'), תחנה OS בחצי הדרך לחוף הצפוני בעומק מים של כ- 400 מטרים ותחנה FF בחוף הצפוני של אילת בעומק של כ-50 מטרים. למטה – סדרת זמן שנתית של מליחות עמודת המים בתחנה A בעומקים מהם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

Figure D4: Salinity profiles measured using 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 ד5). גם בשנה הקודמת נמצאה מליחות גבוהה בתחילת השנה ובהמשכה נדחקה השכבה המלוחה לעומקי הביניים, תחת שכבת המליחות המינימלית. מליחות המים השנה נעה בטווח קטן יותר, המליחות בתחילת השנה לא היתה גבוהה במיוחד והמליחות המינימלית בעונה המשוכבת לא היתה נמוכה במיוחד. 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**.**

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

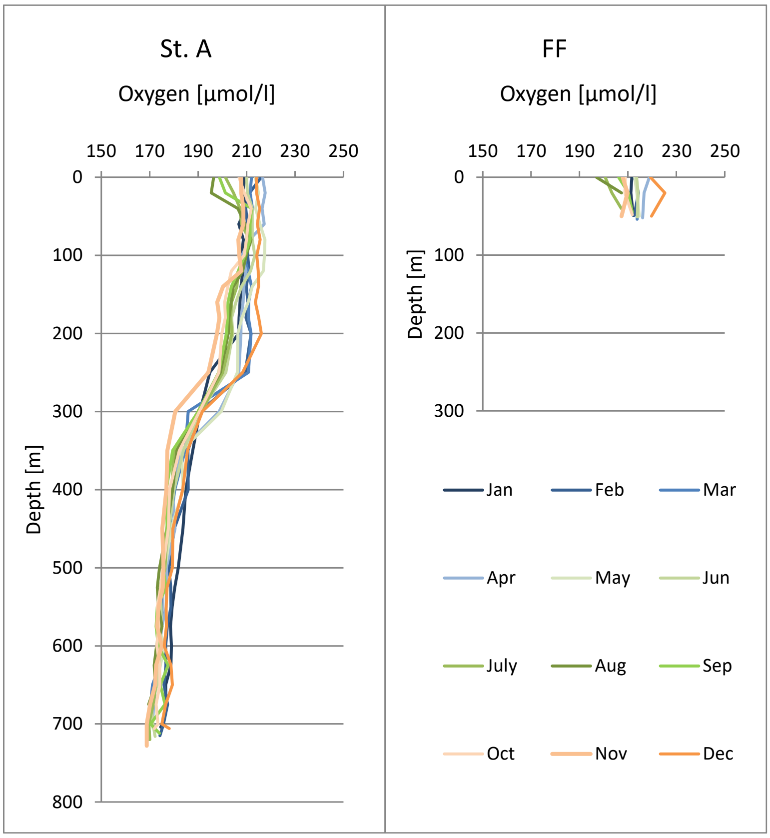
<u>חמצן (O_2)</u>

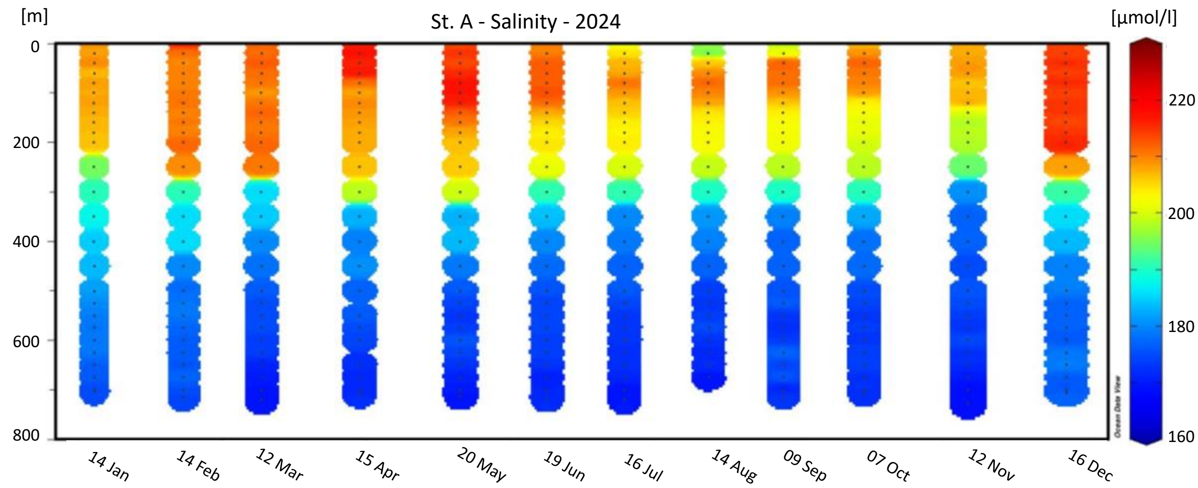
הגורם העיקרי המשפיע על ריכוזי החמצן במי הים הוא המחזור העונתי של שכוב-ערבוב בעמודת המים. בתקופה הקרה (עונת הערבוב) ישנה ירידה בטמפרטורת המים ועל כן עלייה בקליטת חמצן אטמוספירי במים העליונים, אולם מים אלה מתערבבים עם מי עומק עניים בחמצן, וכך, למרות שמאגר החמצן המומס בעמודת המים גדל, נמצא החמצן בתת-רוויה. 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 פחות מ-300 מטרים וריכוזי החמצן המרביים במים העליונים בתחנה A הגיעו לכ- 218 µmol/l בלבד (איור ד6). ריכוז החמצן במים העמוקים היה באותו זמן כ- 171 µmol/l. בסוף השנה היה ריכוז החמצן במים העמוקים כ- 169 µmol/l, בעוד שלאחר הערבוב העמוק בשנת 2022 היה ריכוז החמצן שם כ- 200 µmol/l. לפני הערבוב העמוק היה ריכוז החמצן במים העמוקים כ- 167 µmol/l.

הריכוז המזערי שנמדד השנה בפני הים בתחנה A היה 199 µmol/l, בחודש אוגוסט, דומה לערך המזערי בשנים האחרונות.

בתחנת כלובי הדגים היה הריכוז המרבי שנמדד 225 µmol/l, בחודש דצמבר והריכוז המזערי היה 197 µmol/l באוגוסט.





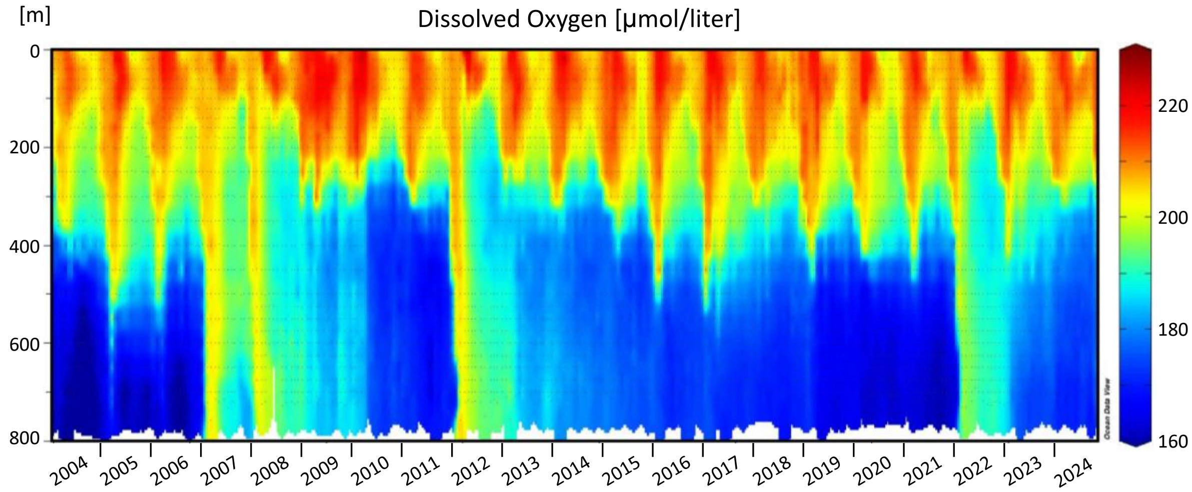
איור ד6: ריכוזי חמצן מומס בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק גדול מ-700 מטרים ותחנה FF בחוף הצפוני של אילת בעומק של כ-50 מטרים. למטה – סדרת זמן שנתית של ריכוזי חמצן מומס בעמודת המים בתחנה A.

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. חידוש מלאי החמצן המומס במים העמוקים מתרחש בשנים קרות באמצעות ערבוב מי העומק עם מים רדודים עשירים בחמצן. והשנה ריכוז החמצן המומס במי העומק כבר מתקרב לריכוזו לפני הערבוב של 2022, אז היה כ- 161 µmol/l.

בשנות הניטור 2004-6 לא היה ערבוב עמודת המים עמוק דיו כדי לאוורר את המים העמוקים מכ- 600 מ' וריכוז החמצן בעומק היה נמוך, אולם בשנים 2007 ו-2008 עורבבה כל עמודת המים בתחנה A וריכוז 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 בשנת 2022 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). בשנתיים האחרונות היה ערבוב עמודת המים רדוד, וריכוזי החמצן המומס במים העמוקים יורדים בהדרגה.

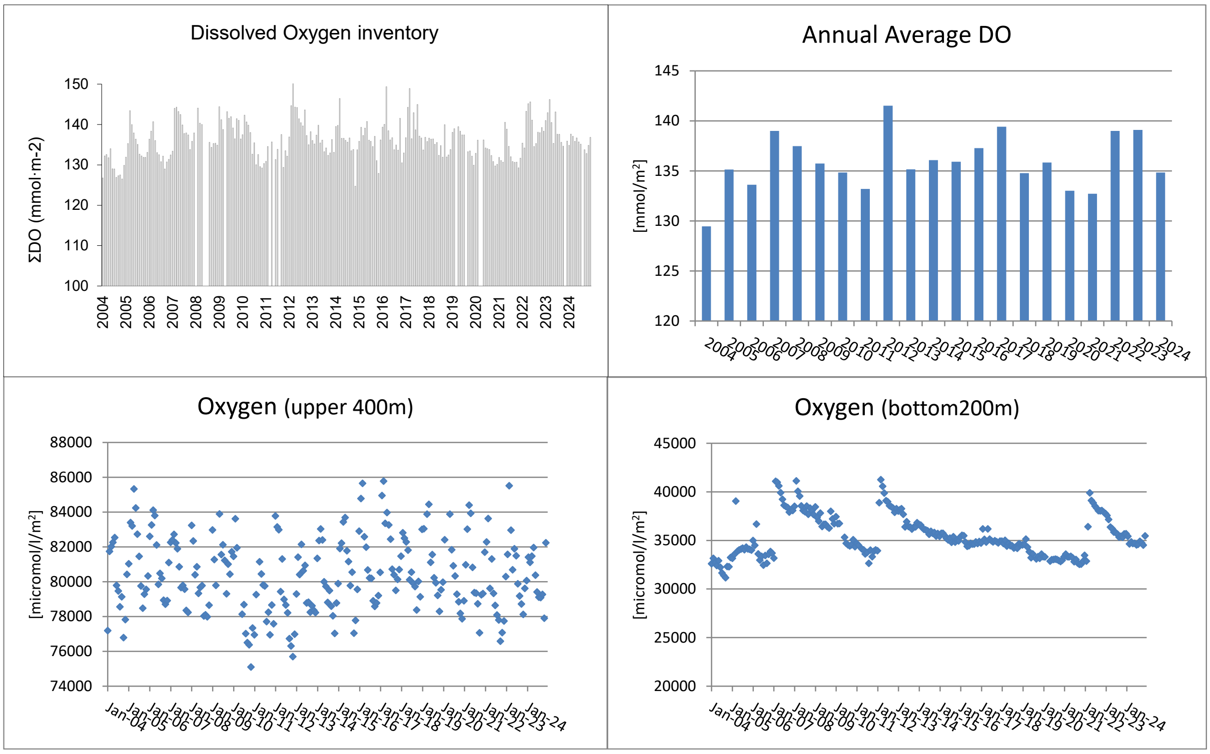
נראה כי במחזור הרב שנתי האחרון, אשר הסתיים בשנת 2022, דלדול עמודת המים בחמצן היה איטי יותר מאשר בשני המחזורים הקודמים. כאמור למעלה, צריכת החמצן במי העומק תלויה בכמות החומר האורגני המגיע מעמודת המים העליונה ועל כן נראה כי זו ירדה בשנים האחרונות. בשנת 2021, תשע שנים לאחר הערבוב העמוק של שנת 2012, ריכוז 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 פוטוסינטטית עשוייה להביא את ריכוזי החמצן באזור הפוטי אל מעבר לדרגת המסיות (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. בשנת 2022, בעקבות הערבוב העמוק, עלה מאגר החמצן השנתי הממוצע בעמודת המים לערך דומה לזה שנמדד בשנת 2007 ואילו השנה כבר נמצא מאגר חמצן נמוך יותר (איור ד8).

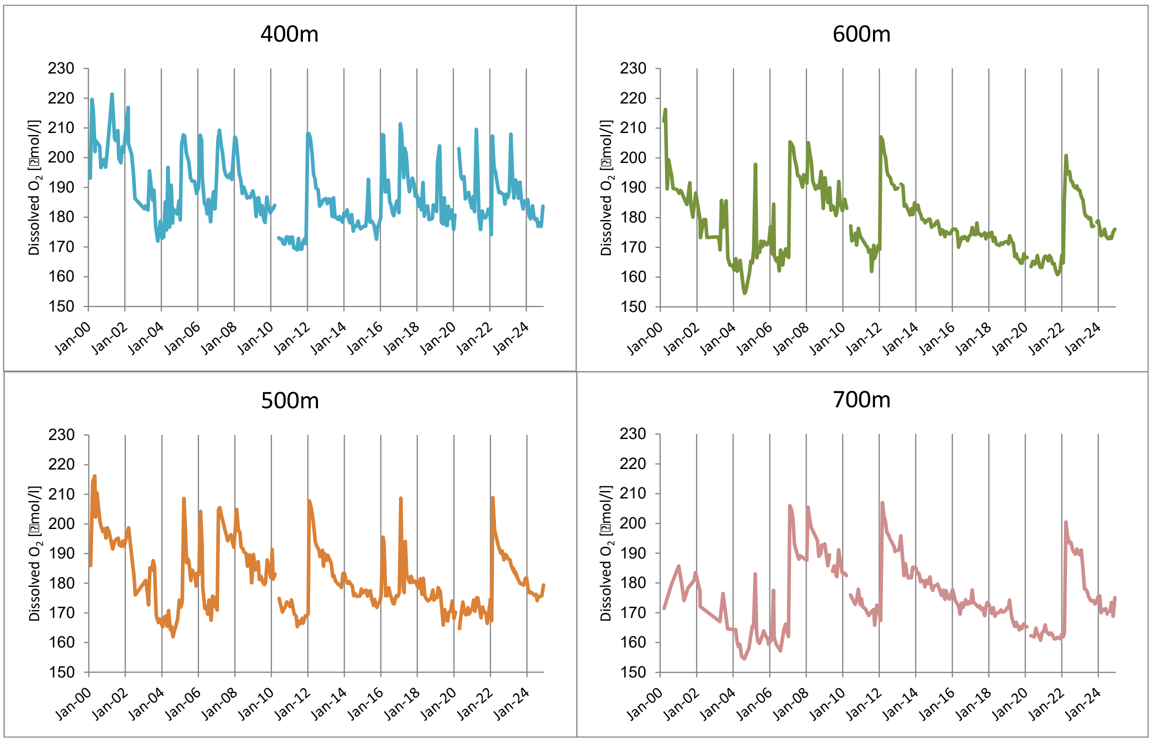


איור ד8: שינויים במאגר החמצן המומס בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. למעלה: סך המאגר במדידות חודשיות (משמאל) וממוצע שנתי (מימין). למטה: המאגר ב-400 המטרים העליונים (משמאל) ובמאתיים המטרים

העמוקים (מימין).
Figure D8: Changes in the dissolved oxygen inventory in the water column at Station A since 2004. **Top: monthly reservoirs (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 ד9). 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 µmol/l. ריכוז זה נמוך מהריכוז הנמוך שנמדד לפני הערבוב העמוק בשנת 2012, אך עדיין גבוה מהריכוז הנמוך שקדם לערבוב העמוק בשנת 2007. בשנת 2022, בעקבות הערבוב העמוק, עלה ריכוז החמצן במים העמוקים ועמד על 200 µmol/ בעומק 700 מטרים בחודש אפריל סמוך לאחר הערבוב, ועל 190 µmol/l בעומק זה בסוף שנת 2022. בסוף השנה הקודמת (2023) הוסיף ריכוז החמצן בעומק 700 מטרים לרדת, ועמד על 174 µmol/l בהפלגת חודש דצמבר ואילו בסוף השנה הנוכחית עמד ריכוז החמצן המומס המזערי בעומק 700 מטרים על 169 µmol/l, בחודש נובמבר.



איור ד9: ריכוזי החמצן המומס בעמקים 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)

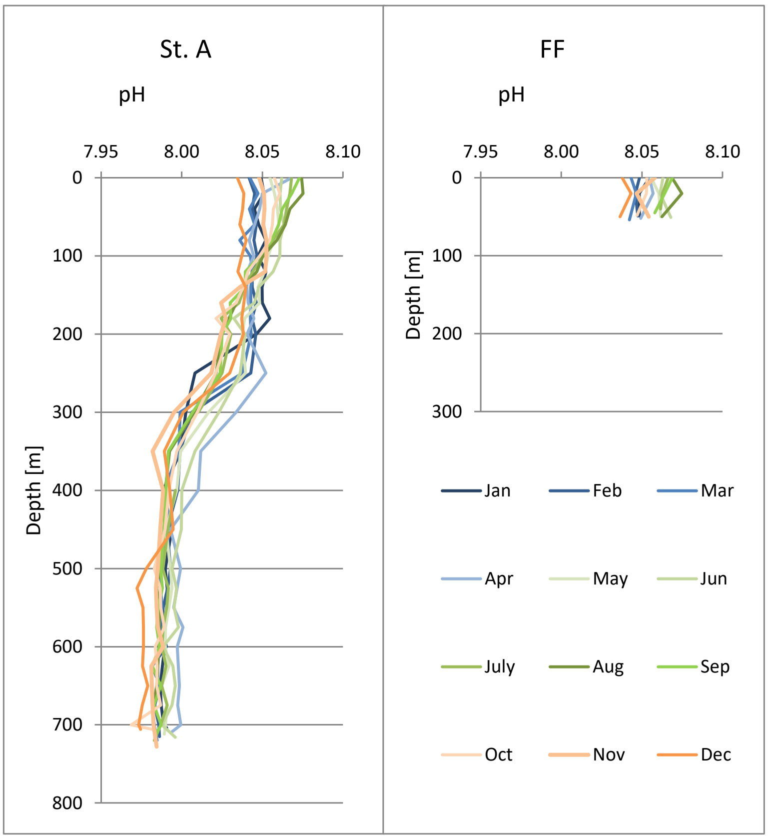
עד לשנת 2022 נמדד ערך הגבה (pH) באמצעות אלקטרודות ודווח בסקלת pH_{NBS} לפי ההגדרה של Millero et al. (1993): $pH_{NBS} = -\log \{H^+\}$. לפרטים ראו פירוט "שיטות" בפרק מי החופים למעלה.

בעצה אחת עם ד"ר אייל וורגפט 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 ליניארית מצויינת בין שיטות המדידה. על כן, כל 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.

*[**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 הכרזנו בדו"ח 2007 על אי קבילותן של מדידות ה-pH מאותו תאריך ועד להחלפת התמיסות הבעייתיות ותיקון הבעיה בנובמבר 2006.]*

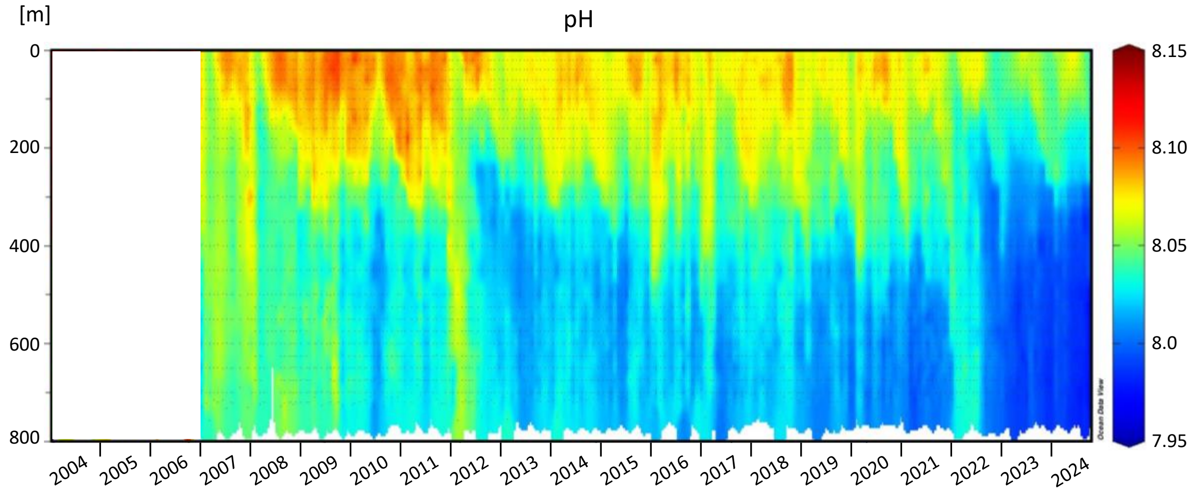
ערכי ה-pH במי העומק בדרך כלל נמוכים יותר מאשר במים הרדודים ועל כן מושפעת גם רמת החומציות בעמודת המים ממחזור הערבוב-שכוב העונתי. מבנה הפרופיל של ערך הגבה (pH) בעמודת המים דומה, לרוב, לזה של החמצן המומס מכיוון ששני המשתנים תלויים בקצבי הפוטוסינתזה והנשימה.

ערכי ה- pH הגבוהים ביותר בתחנה A השנה (8.08) נמדדו במים העליונים בחודש אוגוסט (איור ד10). 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 ד11). בשנים שחלפו מאז נותר ה- pH בעמודת המים בערכים נמוכים. בשנת 2022 נמדדה ירידה נוספת בערך הגבה ומאז נשמרו ערכי גבה נמוכים בהשוואה לשנים הקודמות.



איור ד10: 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.

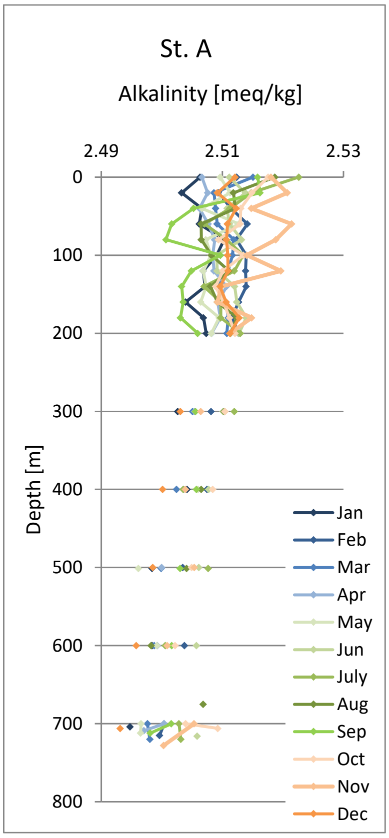
Figure D11: Changes in pH in the water column at Station A since November 2006. **Black dots represent the sampling depths.**

<u>אלקליניות</u>

האלקליניות היא מדד לריכוז החומצות החלשות במים, ובעיקר לריכוז יוני הקרבונט והביקרבונט (CO_3^{2-} ו-HCO_3^- בהתאמה). טווח הערכים במדידות האלקליניות קטן מאד, הן בשינויים העונתיים והן בין העומקים.

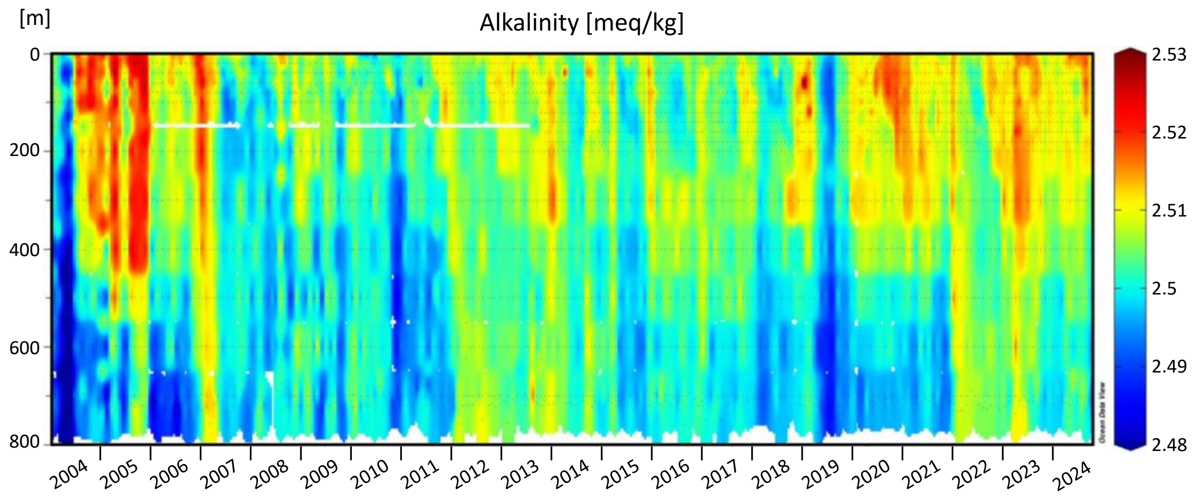
ערכים נמוכים יחסית של אלקליניות במים העמוקים נרשמים לאחר הקיץ, וערכים גבוהים יותר בחודשי הערבוב. בפני הים נמצא השנה ערך מרבי לאלקליניות בחודש יולי, 2.523 meq/kg, וערכים דומים נמדדו באזור הפוטי בחודש נובמבר (איור ד12).

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 אך הערבוב העמוק בשנת 2022 הוריד מעט את האלקליניות. בשנה הקודמת נמדדה אלקליניות גבוהה מעט יותר מאשר השנה (איור ד13).



איור D12: 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 D13: 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.**

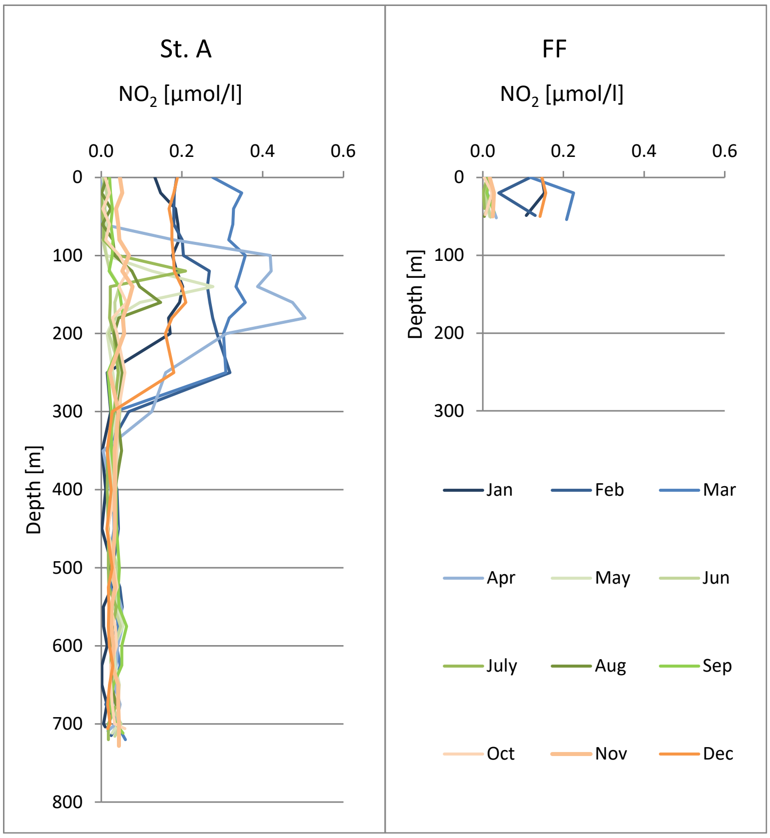
ניטריט (NO_2^-) וניטראט (NO_3^-)

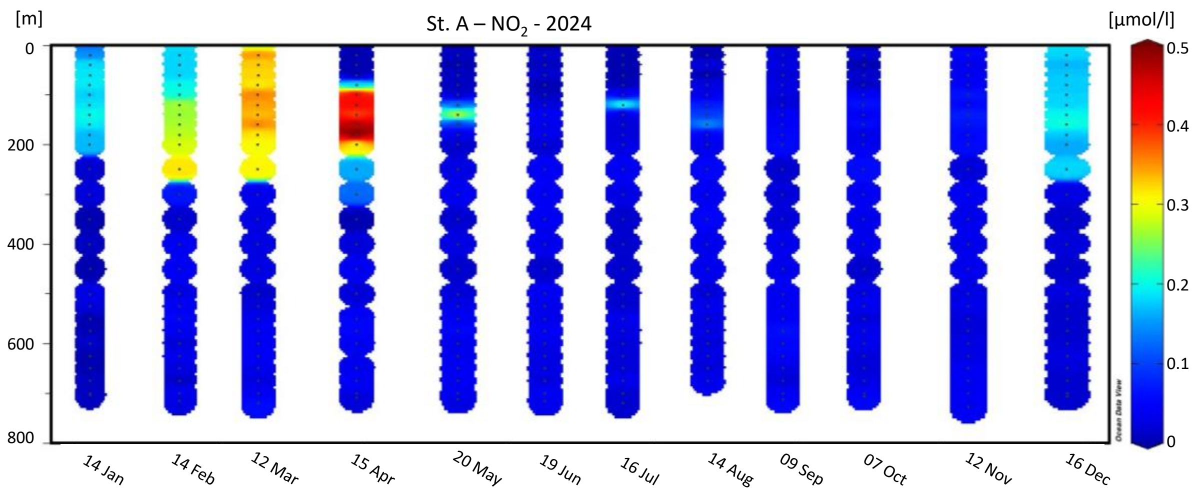
ניטריט נצרך הן על ידי פיטופלנקטון באזור הפוטי (המואר) והן על-ידי בקטריות וארכיאה המחמצנים אותו

לניטראט בתהליך הניטריפיקציה המתרחש בכל עמודת המים, ועל כן ריכוזי הניטריט במים נמוכים מאד. ניטריט יכול גם להיווצר, על ידי דניטריפיקציה, חיזור ניטראט על ידי חיידקים אנאירובים, אולם תהליך זה פחות סביר במי המפרץ המחומצנים. יתכן שדניטריפיקציה מתרחשת בסדימנט. עקב היותו צורון 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 אורגאני וחמצון בקטריאלי של אמוניה. ככל שעמודת המים מתייצבת, מאגר הניטריט באזור זה קטן והולך (איור 14ד).

ריכוז הניטריט המרבי בתחנה A נמדד השנה בחודש אפריל (0.505 µmol/l), מעט גבוה בהשוואה לשנה הקודמת אך נמוך בהרבה משנת הערבוב העמוק, 2022. בחודשים שלאחר מכן קטן ריכוז הניטריט בעומקי הביניים ונבלע בריכוזי הרקע לאורך עמודת המים, מלבד בבסיס האזור הפוטי, 120-160 מטרים, שם היו ריכוזים מעט גבוהים בתחילת הקיץ.





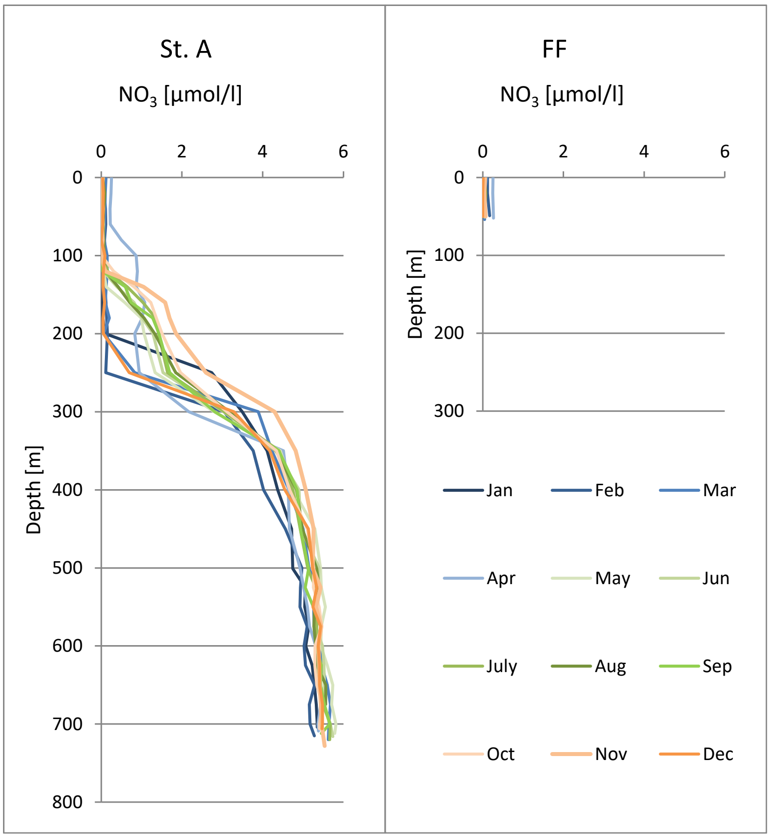
איור ד14: ריכוזי ניטריט (NO_2^-) בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700 מטרים, ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים. למטה – סדרת זמן שנתית של ריכוזי ניטריט מומס בעמודת המים בתחנה A.

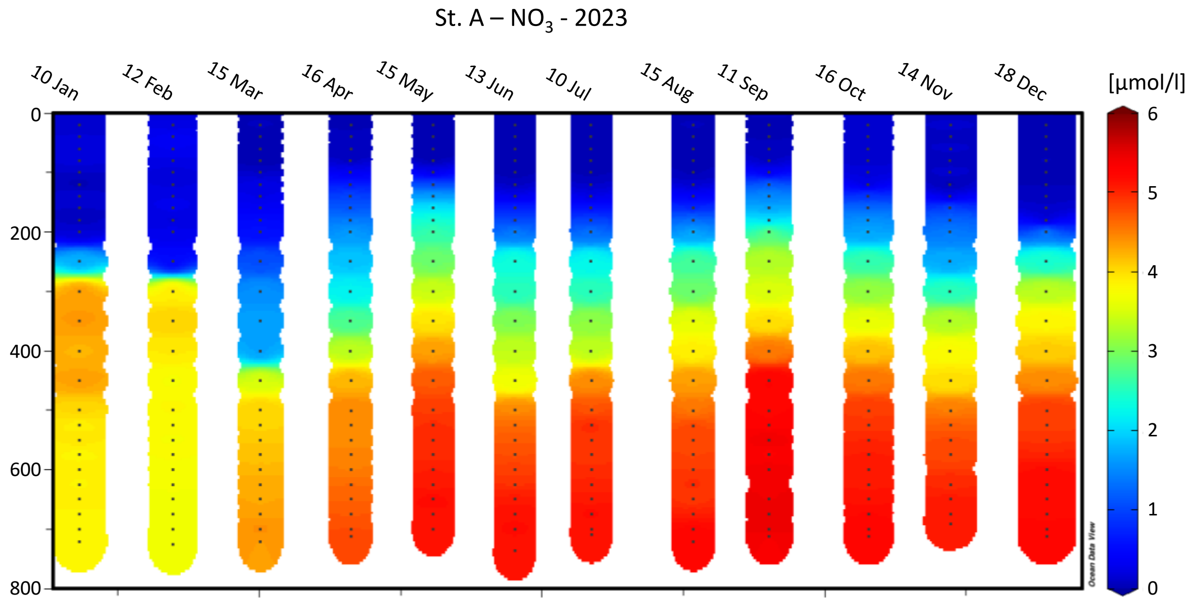
Figure D14: Nitrite (NO2-) concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. **Station A is on the Israeli/Jordanian/Egyptian border at >700 meters depth, and the Fish Farms station is close to the northern shore of the Gulf at ca. 50 meters depth. Bottom – an annual time series of dissolved NO_2 concentrations at Station A.**

ניטראט הוא המרכיב העיקרי של מאגר החנקן האנאורגאני 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 רדוד בלבד, כ-300 מטר, וריכוזו במים העליונים נותר נמוך (איור ד15). ריכוז הניטראט המרבי אשר נמדד במים העליונים בתחנה A היה השנה 0.26µmol/l, נמוך גם בהשוואה לשנה הקודמת (0.35µmol/l) ונמוך בסדר גודל בהשוואה לשנת 2022.

במים העמוקים נמדד השנה ריכוז ניטראט מרבי של ~5.7µmol/l, גבוה יותר מאשר בשנה הקודמת אך נמוך בהשוואה לריכוזו במים העמוקים לפני הערבוב העמוק.





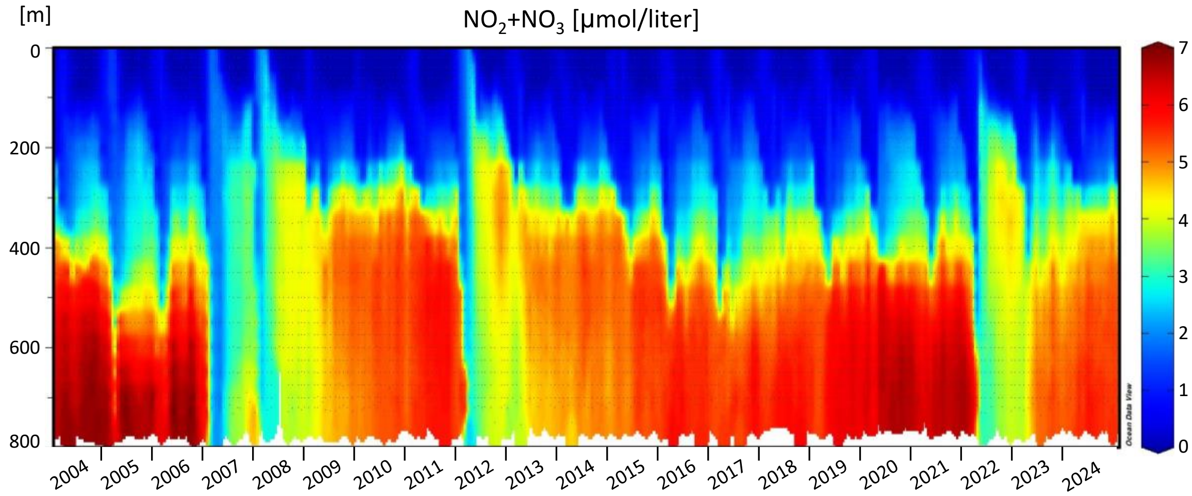
איור 15ד: ריכוזי ניטראט (NO_3^-) בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700 מטרים, ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים. למטה – סדרת זמן שנתית של ריכוזי ניטראט מומס בעמודת המים בתחנה A.

Figure D15: Nitrate (NO3-) 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 מטרים.

בשנת 2012, בעקבות ערבוב עמוק, ירדו מאד ריכוזי הניטראט והחנקן המחומצן בכלל במים העמוקים. לאחר תחילת השכוב בשנת 2012 ריכוזי החנקן במים העמוקים ובמי הביניים עלו באופן עיקבי אך איטי במידה ניכרת ממה שנראה במחזורים הקודמים.

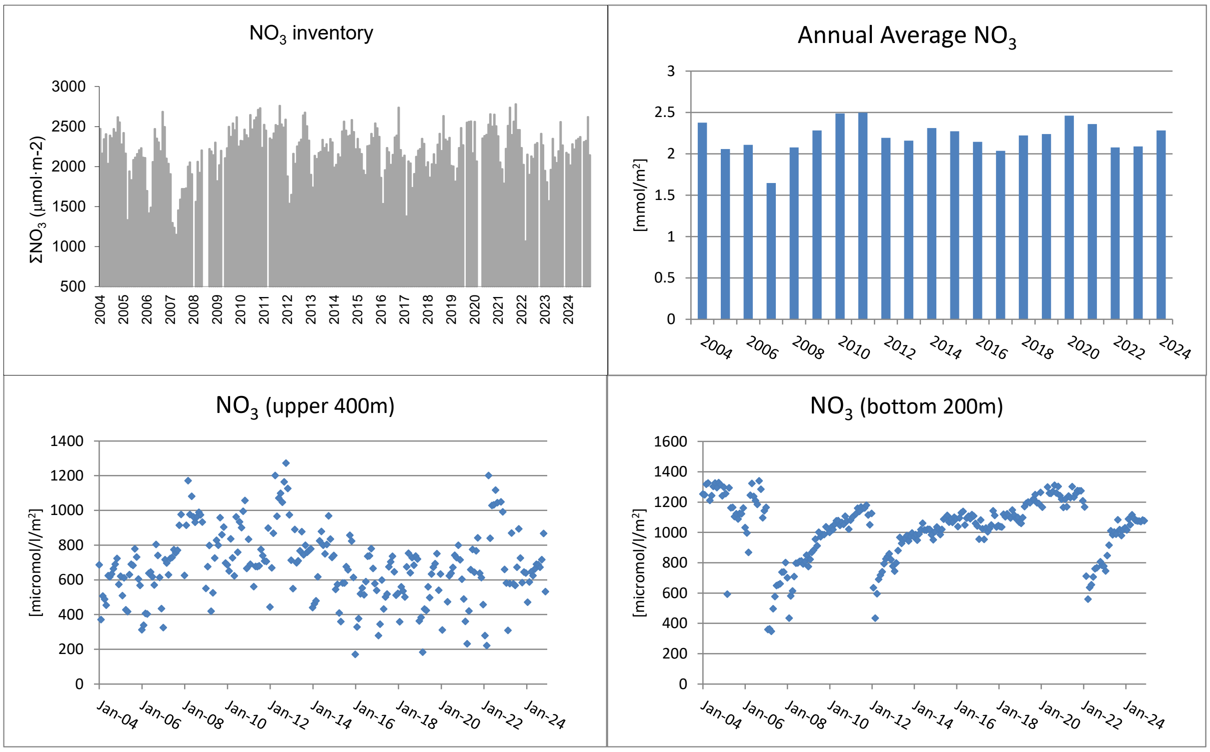
בשנים 2020-2021 נמצאו בסמוך לקרקעית ריכוזי חנקן גבוהים מאלה שנמדדו בשנת 2011, שלוש שנים לאחר הערבוב העמוק של שנת 2008 אך עדיין נמוכים מאלה שנמצאו בשנים 2004-6. בשנת 2022, בעקבות ערבוב עמודת המים עד לעומק הקרקעית בתחנה A, ירדו ריכוזי הניטראט במים העמוקים במידה ניכרת, בדומה לשנת 2012. בשנתיים האחרונות ריכוזי החנקן בעמודת המים העמוקה מתחילים שוב לעלות, ונראה כי העליה מהירה מזו שנצפתה אחרי ערבוב 2012 (איור 16ד). בשנה-שנתיים הקרובות נוכל לקבוע עד כמה שונה קצב הצטברות החנקן המומס במי העומק בהשוואה למחזורי ערבוב עמוק קודמים.



איור ד16: שינויים בריכוז החנקן המחומצן ($TON= NO_3+NO_2$) בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. הנקודות השחורות מייצגות את עומק המדידה.

Figure D16: Changes in the concentration of total oxidized nitrogen (TON= NO3+NO2) 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 לערבוב העמוק האחרון. החל מחודש מרץ 2022 ירד מאד מאגר החנקן במים העמוקים (עד לערך מזערי של 560 $\mu mol/m^2$), אף כי – בשל משך הערבוב הקצר – לא הגיע לערכים המזעריים של 2012 (435 $\mu mol/m^2$) או 2008, 2007 (435 $\mu mol/m^2$, 347 $\mu mol/m^2$). לאחר תום הערבוב העמוק ובשל הערבוב הרדוד בשנתיים האחרונות נצפית עלייה במאגר החנקן במים העמוקים, ובתום השנה הקודמת נמצאו ערכים דומים לאלו של שנת 2015. זו עלייה מהירה יותר מאשר מחזור הערבוב העמוק הקודם. עם זאת, מאגרי החנקן במים העמוקים עלו אך במעט בהשוואה לשנה הקודמת. מאגר הניטראט השנתי הממוצע בכל עמודת המים, לעומת זאת, עלה השנה בהשוואה לשנתיים הקודמות עדיין נמוך מזה שחושב בשנים שלפני הערבובים העמוקים האחרונים (2020, 2011, 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 (NO3) inventory in the water column at Station A since 2004. **Top: monthly reservoirs (right) and annual averages (left). Bottom: the upper 400m (left) and the deep water (right).**

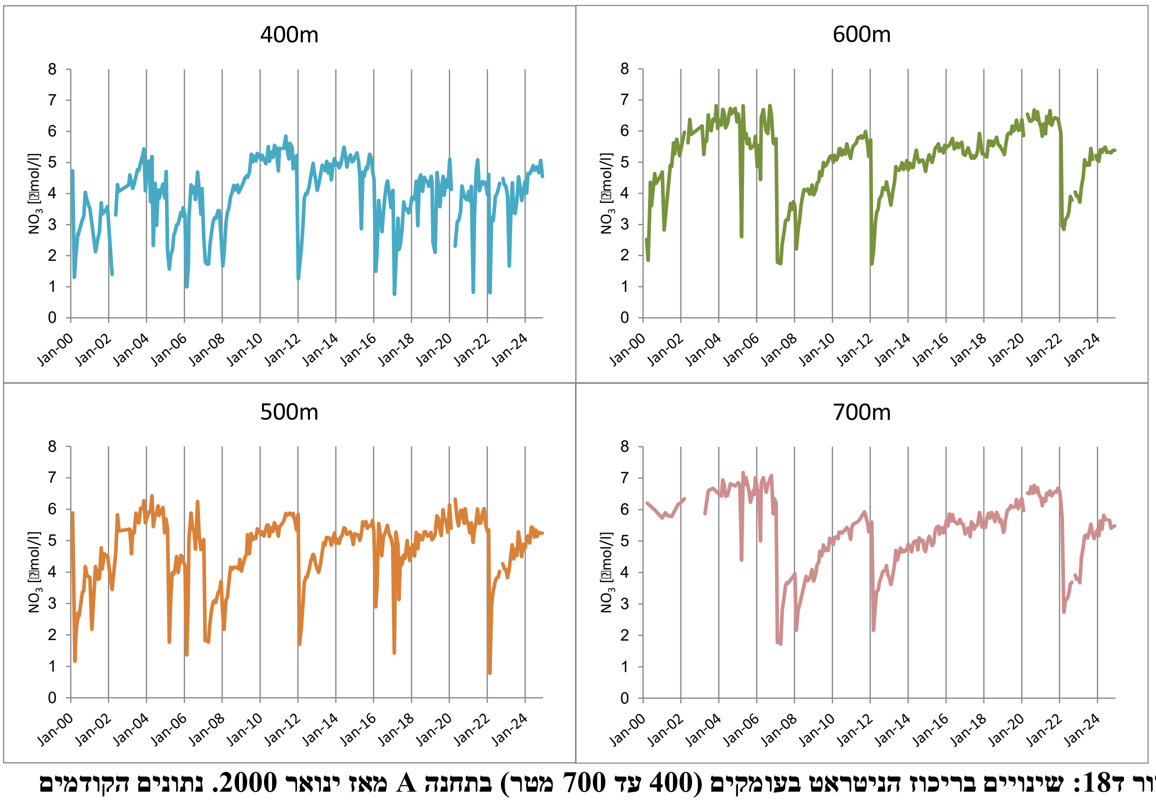
סדרת זמן של ריכוזי ניטראט בעומקים קבועים בעמודת המים מגלה מחזורים עונתיים ורב-שנתיים התלויים בעומק הערבוב (איור 18ד). מאז שנת 2000 ניתן לעקוב אחר שלושה מחזורים של ערבוב עמוק ואחריו מספר שנים בהן הערבוב רדוד. בין השנים 2000 ו- 2007 ריכוזי הניטראט במים העמוקים (~ 700 מטר) היו גבוהים (6.7-7 µmol/l) וכמעט קבועים. גם בעומק 600 מטרים, המושפע יותר מהערבוב העונתי, נמצאו בשנים 2003-7 שינויים קטנים וחזרה מהירה לריכוזים גבוהים (6.4-6.8 µmol/l). ערבוב עמודת המים בתקופת החורף מוריד את ריכוז הניטראט בעומק אליו מגיע הערבוב, אולם החזרה לערכים קודמים היתה מהירה.

בסוף שנת 2006 נמדד במים העמוקים ריכוז ניטראט של 7.09µmol/l. הערבוב העמוק בשנת 2007 הוריד משמעותית את ריכוזי הניטראט בעומק (ערך מינימום בתקופה זו כ- 1.7µmol/l בעומק 700 מטר), והעלייה שאחריו היתה איטית יותר: בסוף 2007 ריכוז הניטראט בעומק 700 מטרים היה כ- 3.9µmol/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 µmol/l בעומק 700 מטרים ו- 6.0µmol/l בעומק 600 מטרים – נמוך מהערכים של לפני שנת 2007.

הערבוב העמוק בשנת 2012 הוריד את הריכוזים בכל העומקים (2.16µmol/l בעומק 700 מ' במרץ 2012).

בסוף 2021, תשע שנים לאחר הערבוב העמוק של שנת 2012, עמד ריכוז הניטראט בעומק 700 מטרים על 6.7µmol/l, גבוה מאשר בשנת 2011. לאחר הערבוב העמוק של 2022, נמדד בעומק 700 מטרים ריכוז של 2.7µmol/l ובסוף השנה ריכוז הניטראט הנמדד היה 3.8µmol/l.

הערבוב השנה לא השפיע על המים העמוקים וריכוז הניטראט שם הוסיף לעלות ועמד, בסוף הקיץ (ספטמבר 2024) על 5.7µmol/l.



איור 18ד: שינויים בריכוזי 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.

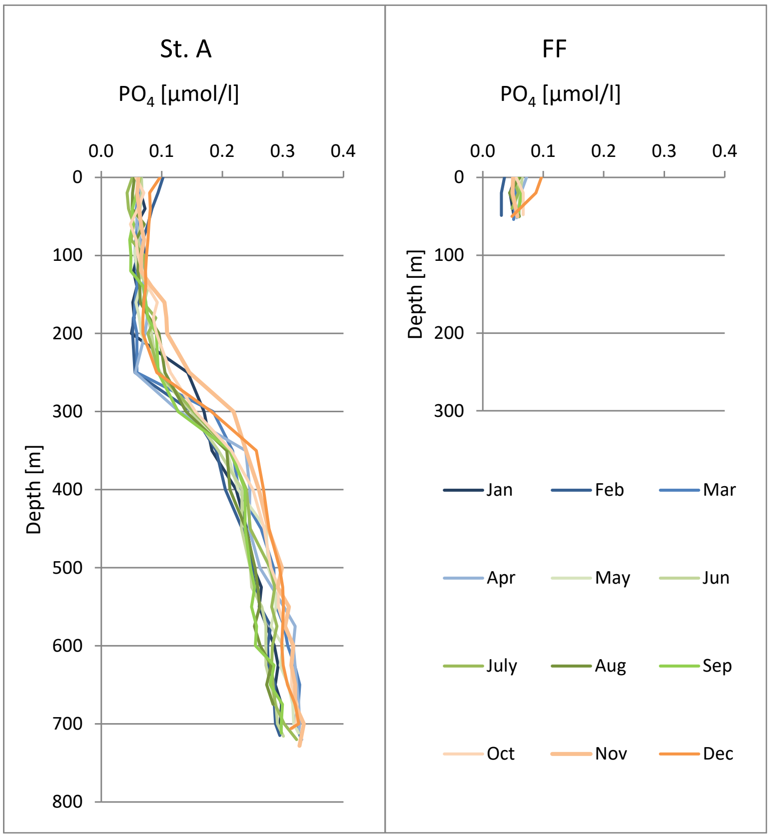
Figure D18: Changes in nitrate concentration water depth of 400m to 700m at Station A since 2000. ***Data from the years 2000-2002 were collected during the Peace Park Project and are provided*** *courtesy of Prof. J. Erez and Prof. B. Lazar.*

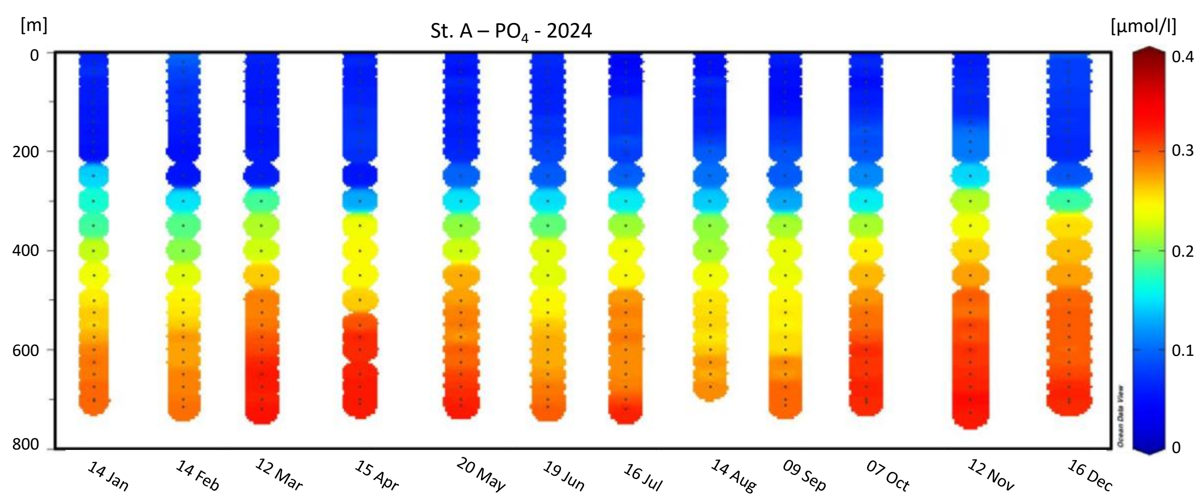
<u>פוספט</u>

בדומה לנוטריינטים אחרים, ריכוזי הפוספט בעמודת המים נמוכים בקרבת פני הים וגבוהים יותר בעומק (איור 19ד). 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 0.102µmol/l בחודש פברואר, גבוה מעט בהשוואה לשנה הקודמת. הריכוז המרבי בבסיס הנוטריקלינה, הגיע בסוף השנה ל- 0.256µmol/l, בעומק של 350 מטרים בחודש דצמבר.

במים העמוקים הגיע ריכוז הפוספט ל- 0.326 µmol/l, בסוף השנה.

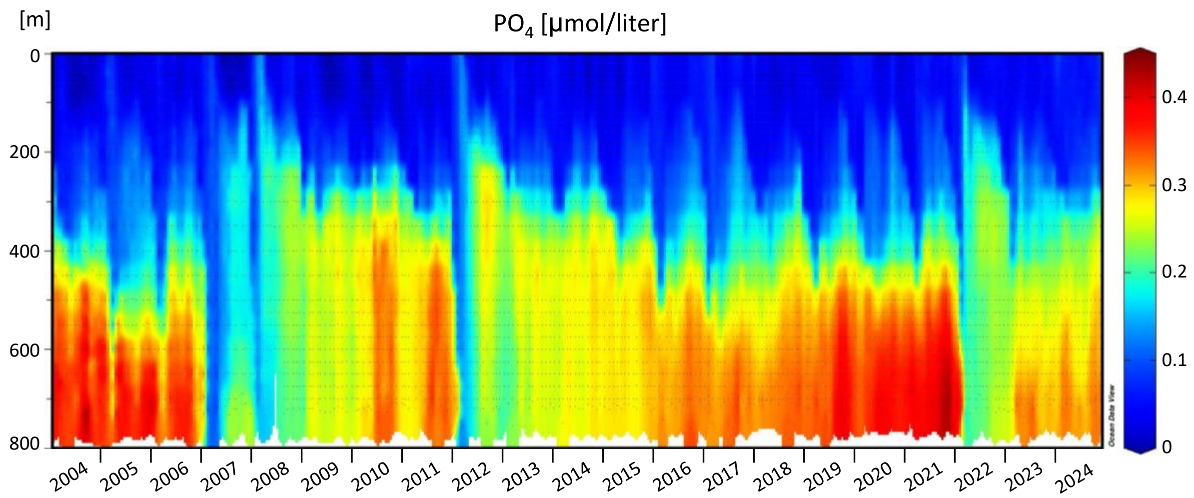




איור ד19: ריכוזי פוספט (PO_4^{-3}) בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700 מטרים, ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים. למטה – סדרת זמן שנתית של ריכוזי פוספט מומס בעמודת המים בתחנה A.

Figure D19: Phosphate (PO4-3) 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 (0.36-0.4 µmol/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 µmol/l בסוף שנת 2011. הערבוב העמוק בשנת 2012 שוב גרם לירידת ריכוזי הפוספט במים העמוקים, ואחריו ריכוזי הפוספט במי הביניים ובמים העמוקים עלו בהדרגה. בשנת 2021 ריכוזו במים העמוקים היה גבוה מהריכוזים אשר נמדדו בשנים 2004-6. בשנת 2022 ירדו ריכוזי הפוספט במידה ניכרת בכל עמודת המים, עקב הערבוב העמוק אך בשנתיים האחרונות עלה ריכוז הפוספט במים העמוקים לערכים גבוהים מהצפוי מיד לאחר ערבוב עמוק (איור ד20).

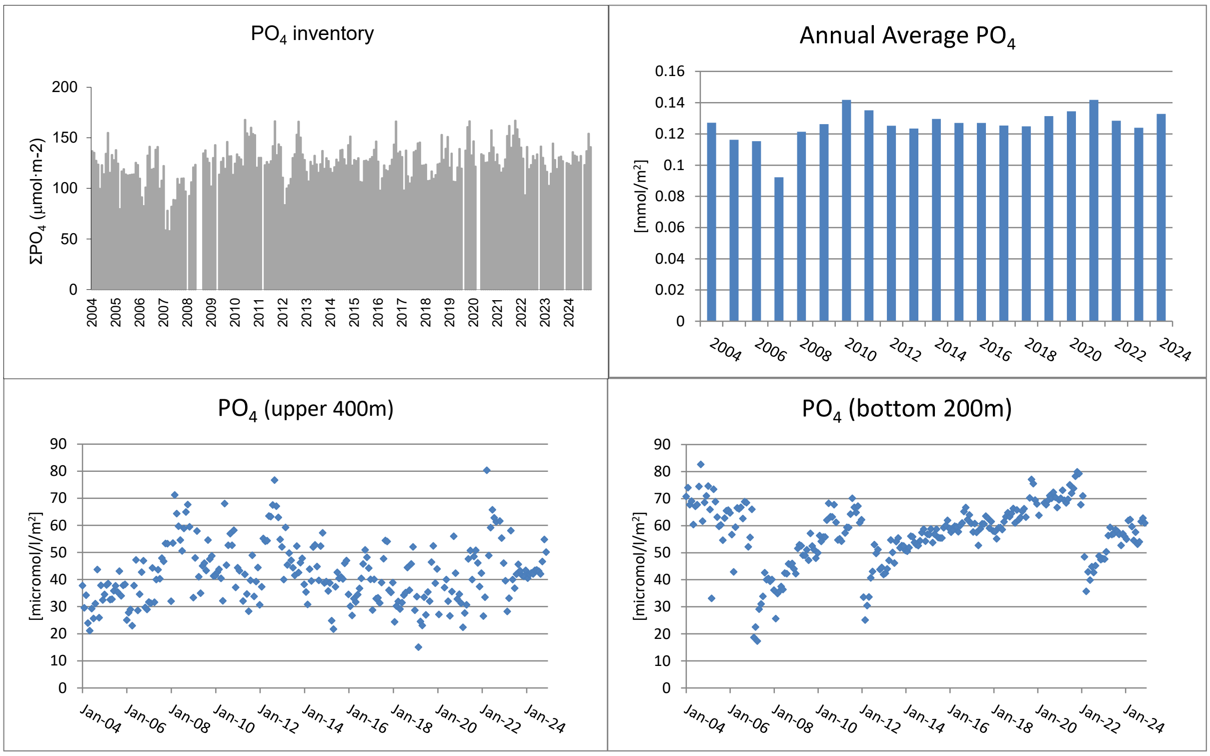


איור ד20: שינויים בריכוז הפוספט בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. הנקודות השחורות מייצגות את עומק המדידה.

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. בסוף מחזור הערבוב העמוק הקודם גדל מאגר הפוספט במים העמוקים אך בשנת 2022 שוב קטן בעקבות הערבוב העמוק - אבל לא במידה שנצפתה עבור שנות ערבוב עמוק קודמות, 2007-8 ו- 2012 (איור ד21). בנוסף לכך כמות הפוספט האגורה במים העליונים עלתה בשנה הקודמת מהר מהצפוי לאחר ערבוב עמוק.

כמות הפוספט השנתית הממוצעת המומסת בעמודת המים הגיעה לערך מרבי בשנת 2010 ואחר כך היו רק שינויים 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 שוב גבוה בהשוואה לשנתיים האחרונות.



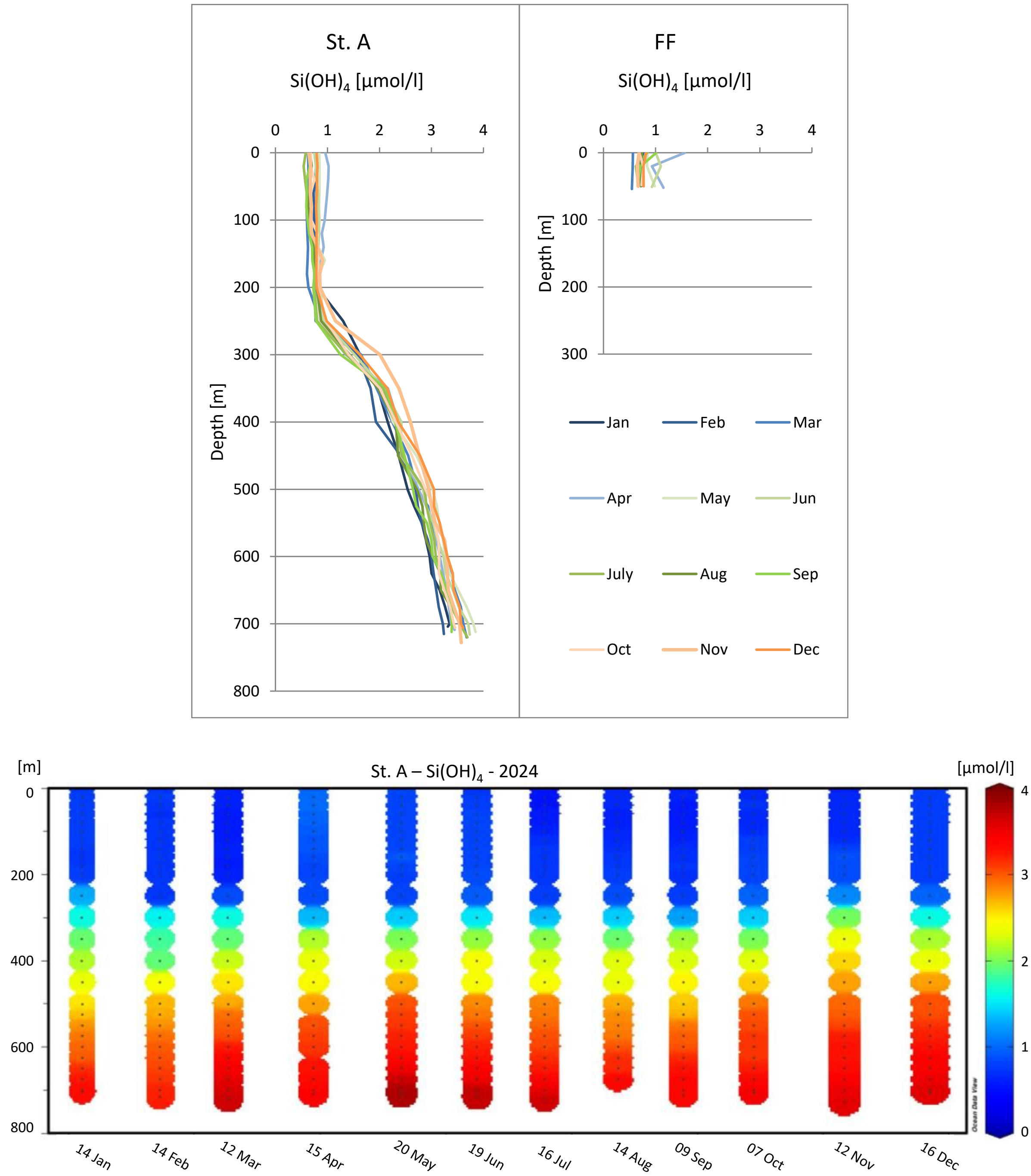
איור ד21: שינויים במאגר הפוספט בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. למעלה: סך המאגר במדידות חודשיות (משמאל) וממוצע שנתי (מימין). למטה: המאגר ב-400 המטרים העליונים (משמאל) ובמים העמוקים (מימין).

Figure D21: Changes in the phosphate inventory in the water column at Station A since 2004. **Top: monthly reservoirs (right) and annual averages (left). Bottom: the upper 400m (left) and the deep water (right).**

<u>סיליקה</u>

גם ריכוזי הסיליקה בעמודת המים הראו השנה את התבנית האופיינית לנוטריינטים האחרים, עם עמודת ריכוזים נמוכה ואחידה לעומק של כ-250 מטרים. במים העליונים בתחנה A נמדד ריכוז סיליקה מרבי של 1.02µmol/l באפריל וערך מזערי של 0.54µmol/l ביולי (איור ד22).

במים העמוקים (700 מטרים) היה ריכוז הסיליקה בתחילת השנה 3.35µmol/l, ובסופה 3.57µmol/l. 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].

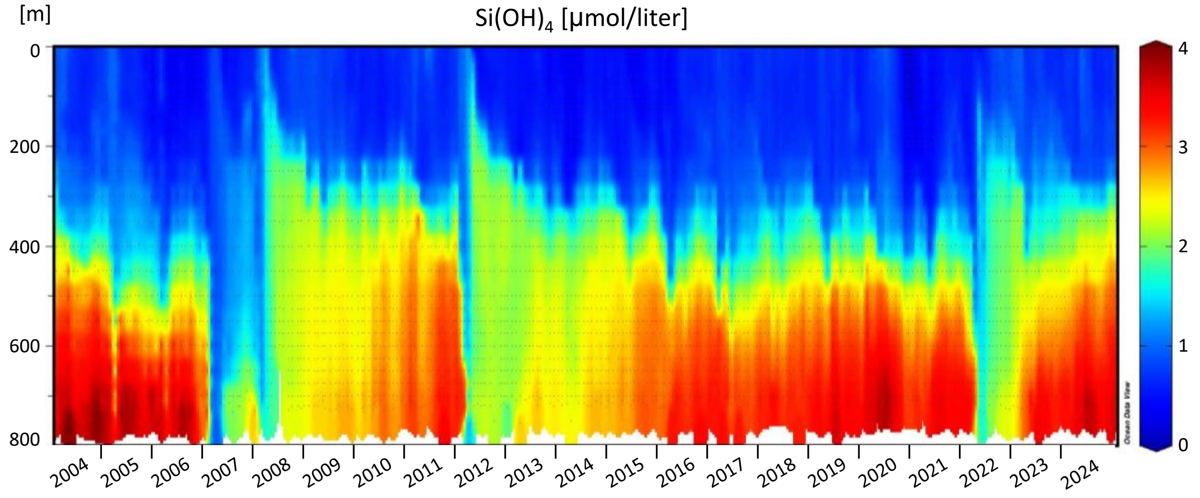


איור ד22: ריכוזי סיליקה ($Si(OH)_4$) בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700 מטרים ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים. למטה – סדרת זמן שנתית של ריכוזי סיליקה מומס בעמודת המים בתחנה A.

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 מחזורים רב-שנתיים הקשורים לערבוב עמודת המים. בשנים 2007 ו-2008, שנתיים רצופות של ערבוב עמוק וממושך, ירדו ריכוזי הסיליקה במים העמוקים לערכים נמוכים ביותר ואילו בערבובים

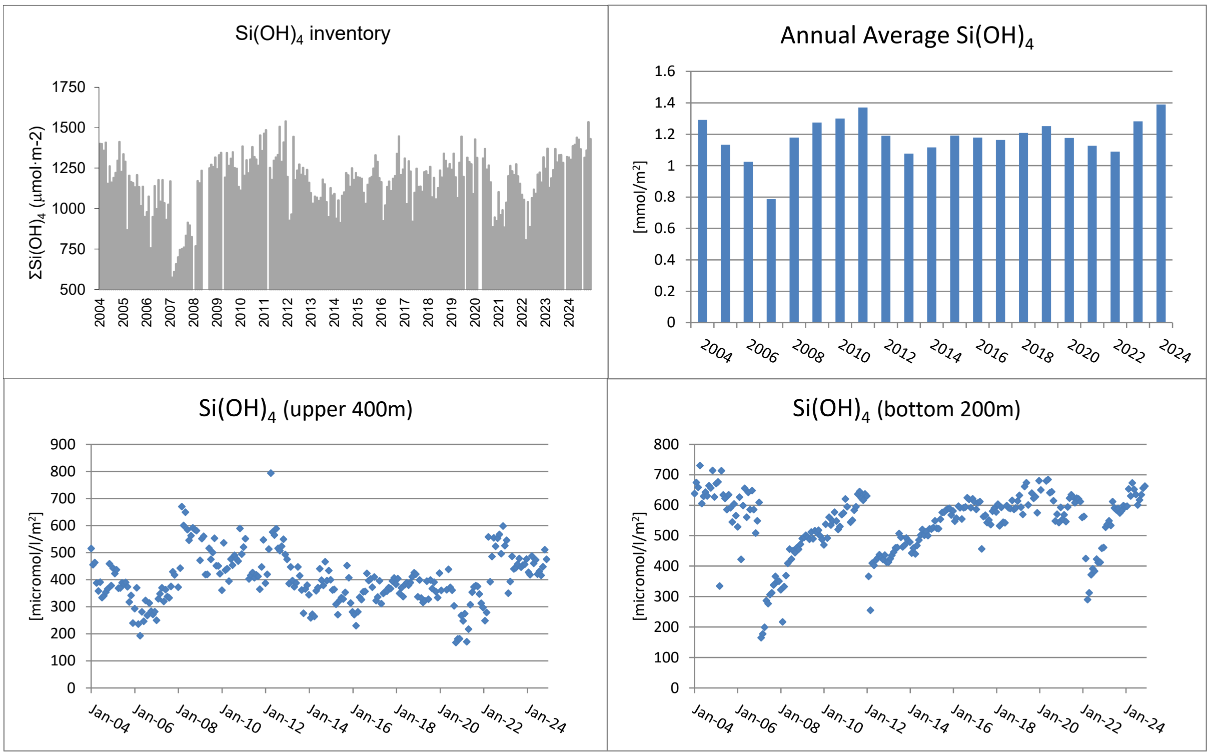
העמוקים של שנת 2012 ו- 2022 ריכוזי הסיליקה בסמוך לקרקעית נותרו מעט גבוהים יותר.
גם ריכוזי הסיליקה עלו בקצב גבוה מהצפוי מאז הערבוב העמוק האחרון, בשנת 2022.



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.**

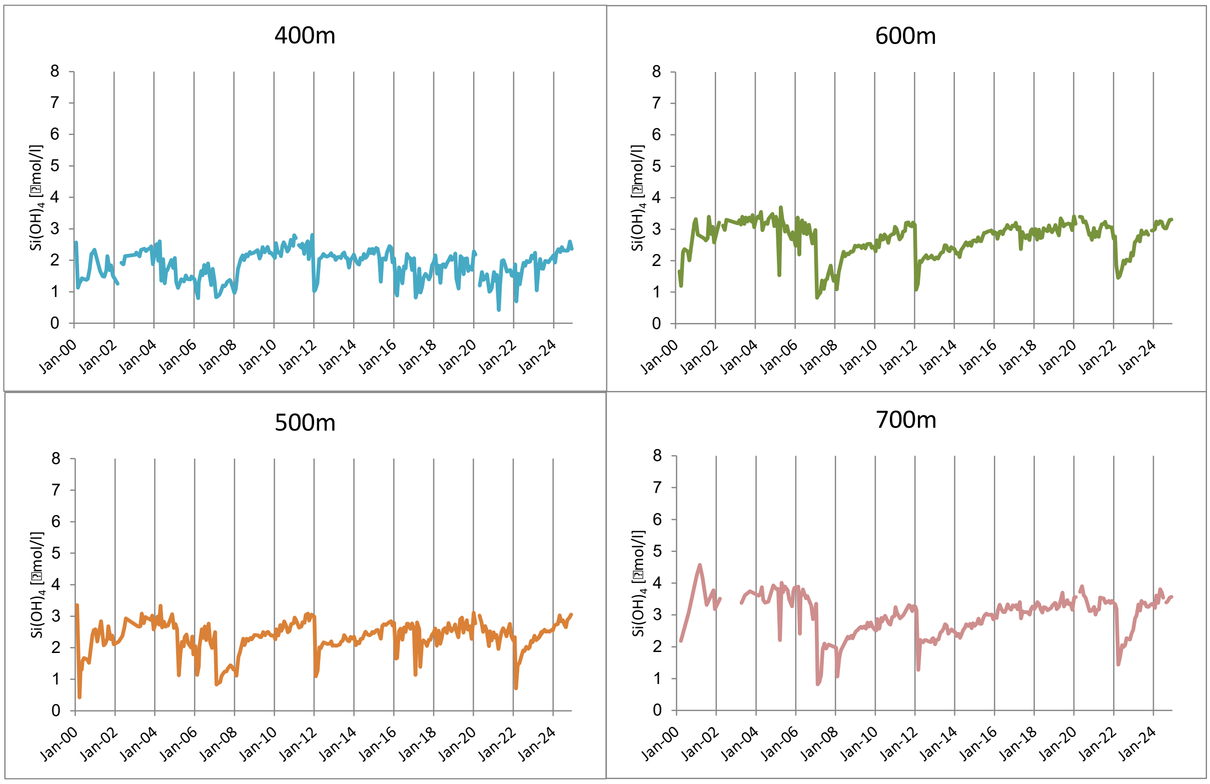
מאגר הסיליקה בעמודת המים הגיע לערכים נמוכים ביותר בשנת 2007, אז העלה הערבוב סיליקה לאזור הפוטי והזין פריחת אצות צורניות. בשנים שלאחר מכן עלתה כמות הסיליקה המומסת במים עד שירדה שוב בחורף 2012, אם כי במידה פחותה – נראה כי בעקבות הערבוב בשנת 2012 לא התרחשה פריחה חזקה של אצות צורניות שיסלקו סיליקה מהמים. אחרי שנת 2012 מאגר הסיליקה השנתי הממוצע בעמודת המים גדל במתינות עד לערך מרבי בשנת 2019, ובשנתיים שאחר כך ירד מעט. בשנת 2022 חושבה ירידה נוספת במאגר הסיליקה האצור בעמודת המים, המונעת בעיקר מירידה בסיליקה במים העמוקים בעקבות הערבוב העמוק ופריחת אצות צורניות. בשנתיים מאז, שוב נמצאת עלייה במאגר הסיליקה המומס בעמודת המים והשנה חושב ממוצע שנתי הגדול ביותר מאז תחילת הניטור (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 המטרים העליונים (משמאל) ובמים העמוקים (מימין).

Figure D24: Changes in the silica inventory in the water column at Station A since 2004**. Top: monthly reservoirs (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, 4.57µmol/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 3.7-3.8 µmol/l. הערבוב העמוק בשנים 2007 ו-2008 גרם לירידת ריכוז הסיליקה במי העומק, ועד לאוקטובר 2011 עלה הריכוז ל-3.3µmol/l. לאחר הערבוב העמוק בשנת 2012 שוב ירד ריכוז הסיליקה במים העמוקים. ריכוז הסיליקה בעומק 700 מטר לאחר הערבוב העמוק של 2022 היה 2.4µmol/l ובסוף השנה הנוכחית, 3.6µmol/l (איור ד25).



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.***

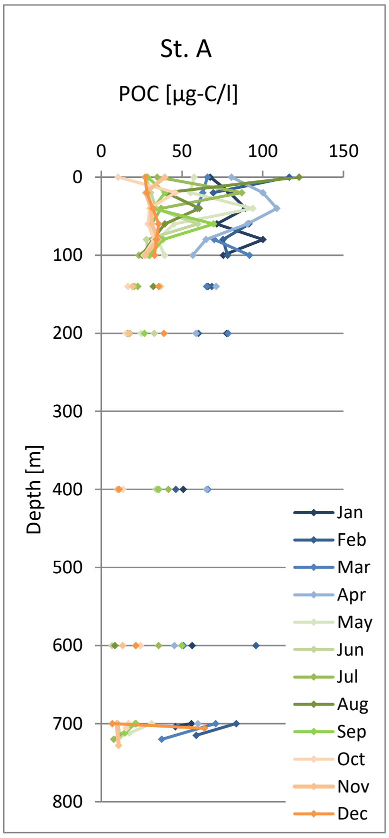
<u>פחמן אורגני חלקיקי (POC)</u>

[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]

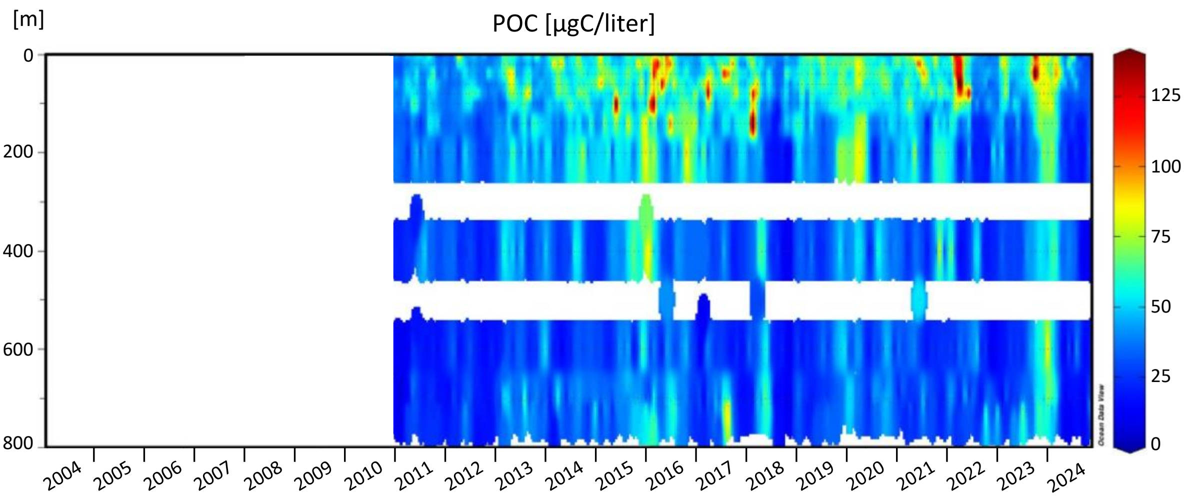
פרופילים של ריכוז הפחמן החלקיקי נמדדים בעמודת המים בתחנה A, עם צפיפות דגימות גדולה בשכבה הפוטית, וקרוב לקרקעית. ריכוזי הפחמן החלקיקי גבוהים במיוחד ב-100 המטרים העליונים של עמודת המים והערכים הגבוהים ביותר נמדדים לרוב בחודשי האביב, אך כי השנה נמדדו הריכוזים הגבוהים ביותר בפני הים בחודשים פברואר ואוגוסט (ערך מרבי של 123 µgC/l, איור ד26). ריכוזים גבוהים בכלל עמודת המים העליונה, נמדדו בעיקר בחודש אפריל. ריכוזי הפחמן החלקיקי אשר נמדדו השנה היו נמוכים מאלה שנמדדו בשנה הקודמת, בה היה הריכוז המרבי 222 µgC/l. הריכוזים המרביים בשנה הקודמת היו גבוהים ביחס לשנים אחרות של ערבוב רדוד ודומים לערכים המרביים אשר נמדדו בשנת 2022, בה היה ערבוב עמוק של עמודת המים.

לרוב, ריכוז הפחמן החלקיקי גבוה במים העליונים יותר מאשר במים העמוקים, עם עלייה בריכוז בקרבת קרקעית הים המצביעה על הרחפת חלקיקים מהקרקעית. בשנים 2016 ו-2017 וכן בשנת 2022 (ערבוב עמוק) ובשנה הקודמת, נמצאו ריכוזי פחמן חלקיקי גבוהים יחסית לשאר השנים בהן מתבצעת מדידה זו, אך התפלגות ריכוזי הפחמן החלקיקי בזמן רועשת מאד (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.**

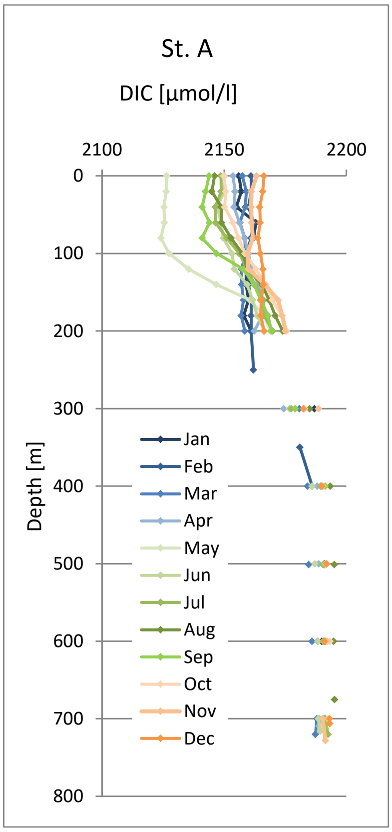
<u>פחמן אנ-אורגני מומס (DIC)</u>

[בעקבות המלצת תת-הועדה 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 וורגפט ז"ל, מהאוניברסיטה הפתוחה והאוניברסיטה העברית והחל משנת 2023 במעבדתו של ד"ר גלעד אנטלר מאוניברסיטת בן גוריון בנגב]

עקב השינויים שנעשו בשיטה מאז תחילת המדידות בשנת 2021, השנה היא השנה הראשונה בה יש בידינו מחזור מדידות שנתי מלא (איור ד28). פרופיל הפחמן המומס המתקבל דומה לפרופילים של נוטריינטים עם ריכוזים נמוכים יחסית במים העליונים וגבוהים יותר במים העמוקים.

בחודשי הקיץ ערכי DIC במים העליונים נמוכים בהשוואה לערכים הנמדדים בחודשי החורף והפרופיל המתקבל דומה לפרופילים של נוטריינטים אחרים. בחודשי החורף הבדלי הריכוזים בין המים העליונים למים העמוקים קטנים הרבה יותר.



איור 28ד: ריכוזי פחמן אנ-אורגני מומס (DIC) בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700.

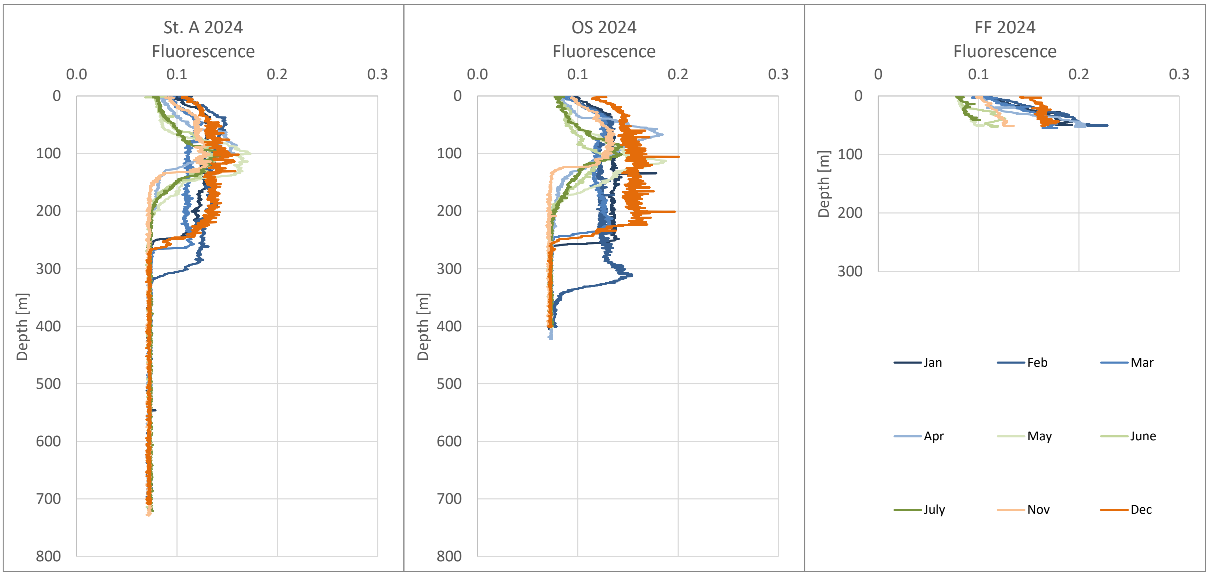
Figure D28: Dissolved inorganic carbon (DIC) concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. **Station A is the southern station on the Israeli/Jordanian/Egyptian border at ca. 700 meters depth.**

ד.3.7 כלורופיל a, פלואורסנציה

כלורופיל a הוא הפיגמנט הפוטוסינטטי 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 המעורבבת. 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 לכיול 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 המשוכבת. 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 הפלואוריסנציה נמצא שבזמן הפלגת חודש פברואר היה הערבוב הפעיל העמוק ביותר אשר נמדד השנה, והגיע עד כ-280 מטר (בתחנה A. כ- 310 מטרים לפי המדידה בתחנת OS). זהו עומק גדול ממה שמתקבל ממדידות הריכוזים הנעשות בדגימות דסקרטיות (נוטריינטים וכלורופיל) שמצאו ריכוזים נמוכים בעומק 300 מטר בחודשי הערבוב. הערך הגדול ביותר ל DCM נמצא השנה בחודש מאי בין העומקים 100 ו-130 מטרים (איור ד29).

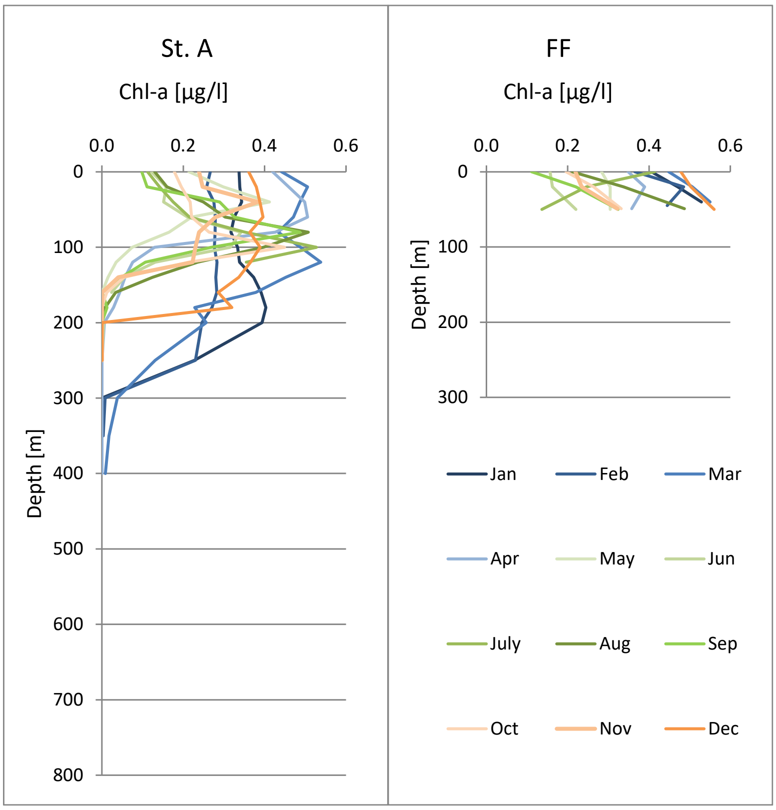


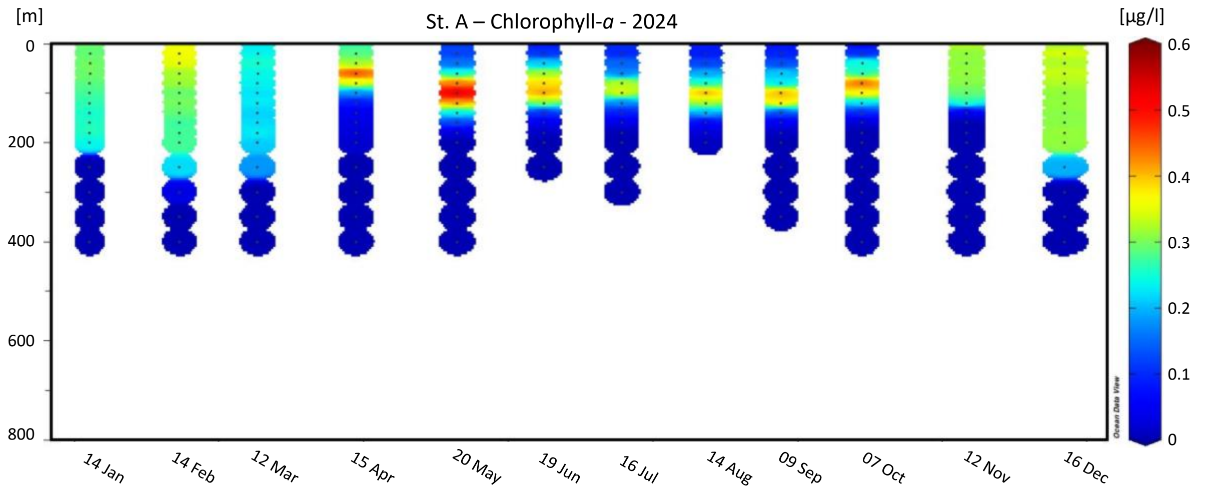
איור ד29: פלואוריסנציה בעמודת המים כפי שנמדדה במכשיר ה-CTD בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים (>700 מ'), תחנה OS בחצי הדרך לחוף הצפוני בעומק מים של כ- 400 מטרים ותחנה FF בחוף הצפוני של אילת בעומק של כ-50 מטרים.

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 המשוכבת בעומקים 80-100 מטרים (deep chlorophyll maximum). עמוק יותר מה- DCM עוצמת האור קטנה וריכוז הכלורופיל יורד לאפס, ורדוד יותר ישנה בתקופה המשוכבת מגבלת נוטריינטים וריכוזי הכלורופיל בפני הים נמוכים.

ריכוז הכלורופיל המרבי אשר נמדד השנה בתחנה A היה 0.52 µg/l, בחודש מאי בעומק 100 מטרים (איור ד30). ריכוזי הכלורופיל לאורך השנה בעלי מבנה דומה לפרופילי הפלואורסנציה. והריכוז המרבי אשר נמדד השנה הוא כשליש מזה אשר נמדד בשנת 2022, בזמן הערבוב העמוק.





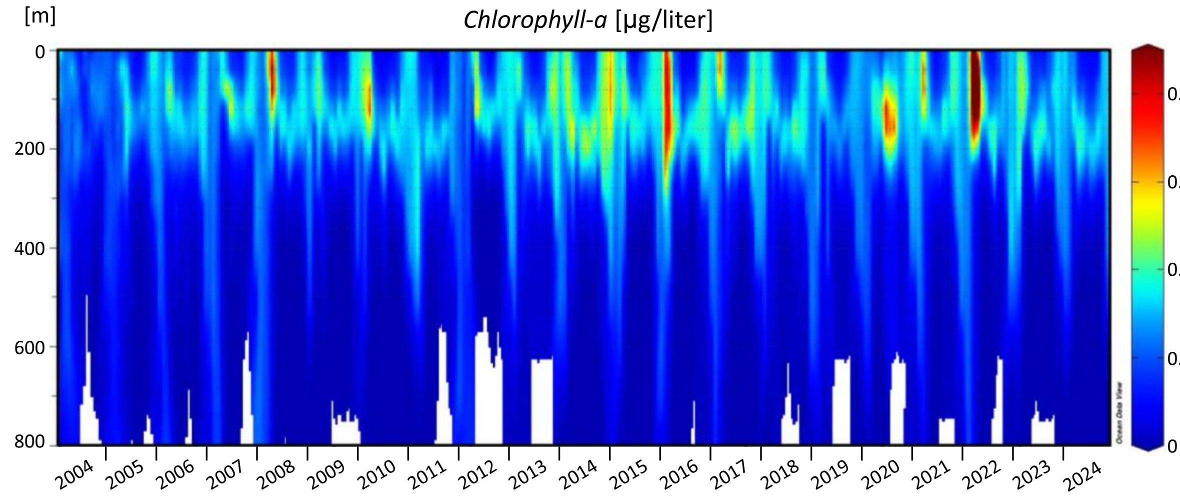
איור D30: ריכוזי כלורופיל *a* בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700 מטרים, ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים. למטה – סדרת זמן שנתית של ריכוזי כלורופיל בעמודת המים בתחנה A.

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 פיטופלנקטון מושפעים מתהליכים נוספים, כגון כניסות מים (בעיקר מדרום) ונוכחות רועים בעמודת 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 D31). מעבר לכך, ריכוזי כלורופיל גבוהים נמדדו לעיתים גם בחודשי הקיץ.

על אף שבשנים של ערבוב עמוק לא תמיד נמצאו ריכוזי כלורופיל מרביים, בשנת 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. בשנתיים האחרונות ריכוזי הכלורופיל היו נמוכים, כצפוי בשנים 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.

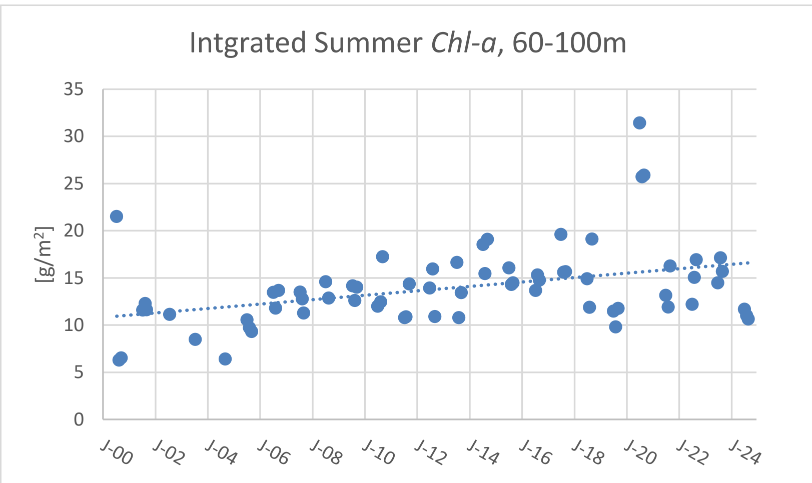
Figure D31: Changes in the concentration of chlorophyll-*a* in the water column at Station A since 2004. **Black dots represent the sampling depths.**

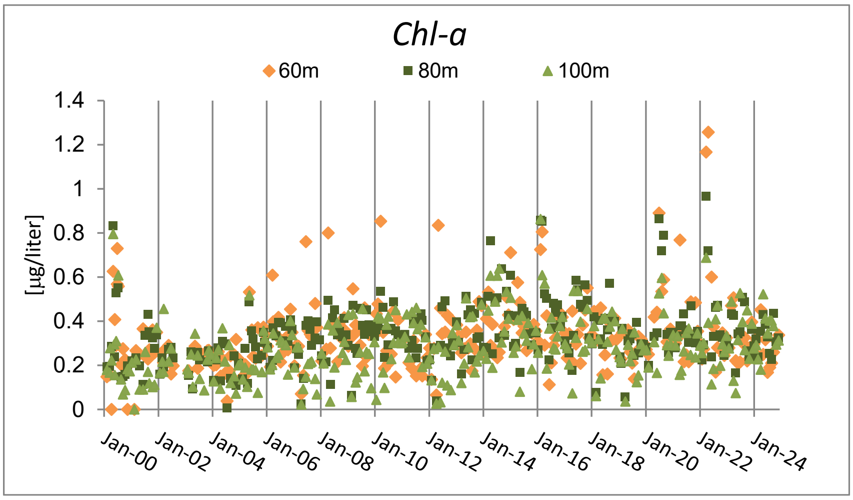
במבט לטווח ארוך יותר על כמות הכלורופיל בעומק הריכוז המרבי (DCM) בחודשי הקיץ (יולי-ספטמבר) מאז שנת 2000, מסתמנת מגמה מתונה ומובהקת של עליה, אף כי השנה היתה כמות הכלורופיל נמוכה יחסית (איור ד32).

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 בשנת 2022, בה היה ערבוב עמוק לאחר עשור של ערבובים לעומק בינוני-רדוד.

בשנת 2020 גם נמדד כלורופיל גבוה במיוחד בחודשי הקיץ.

אין בידינו הסבר לעליה בריכוזי הכלורופיל עם הזמן.





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* reservoir 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 – עמודת המים

עמודת 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.

הדינמיקה העונתית של ריכוזי נוטריינטים וחמצן במים וזמינותם לאוכלוסיות הפיטופלנקטון בעמודת המים העליונה מכתיבה את פרופיל הריכוזים של המרכיבים השונים בעמודת המים לאורך השנה.

הדינמיקה הרב שנתית מושפעת בעיקר מעומק ומשך הערבוב וכמויות הנוטריינטים שנצברו במי העומק (ז"א, הזמן שחלף מאז ערבוב קודם לאותו עומק).

בשנת 2022 עורבבה עמודת 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. בשנתיים הבאות ערבוב עמודת המים היה רדוד יחסית ונוטריינטים החלו להצטבר במים העמוקים.

הערבוב העמוק של 2022 השלים מחזור שלישי בתקופת הניטור של דינמיקה 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. בשנתיים האחרונות אנו מצויים במחזור 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 בעמודת 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 כעשר שנים לאחר הערבוב של שנת 2012 נמצאו ערכים 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.

בשנתיים האחרונות, הצטברות הנוטריינטים במים העמוקים מ-400 מטר 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 השנתיים האחרונות 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 עליה. 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 בשנים 2012 ו-2022 לא נמצאה ירידה בטמפרטורת המים העמוקים מ-500 מטרים ועליית הטמפרטורה במים העמוקים נמשכה.

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 ועשויה להוביל לפריחות אצות תדירות וחזקות יותר גם בשנים של ערבוב בינוני.

ד.4. פיטופלנקטון וחיידקים בעמודת המים

[לאחר מספר שנים בהן לא נספרו תאי פיטופלנקטון וחיידקים, 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.

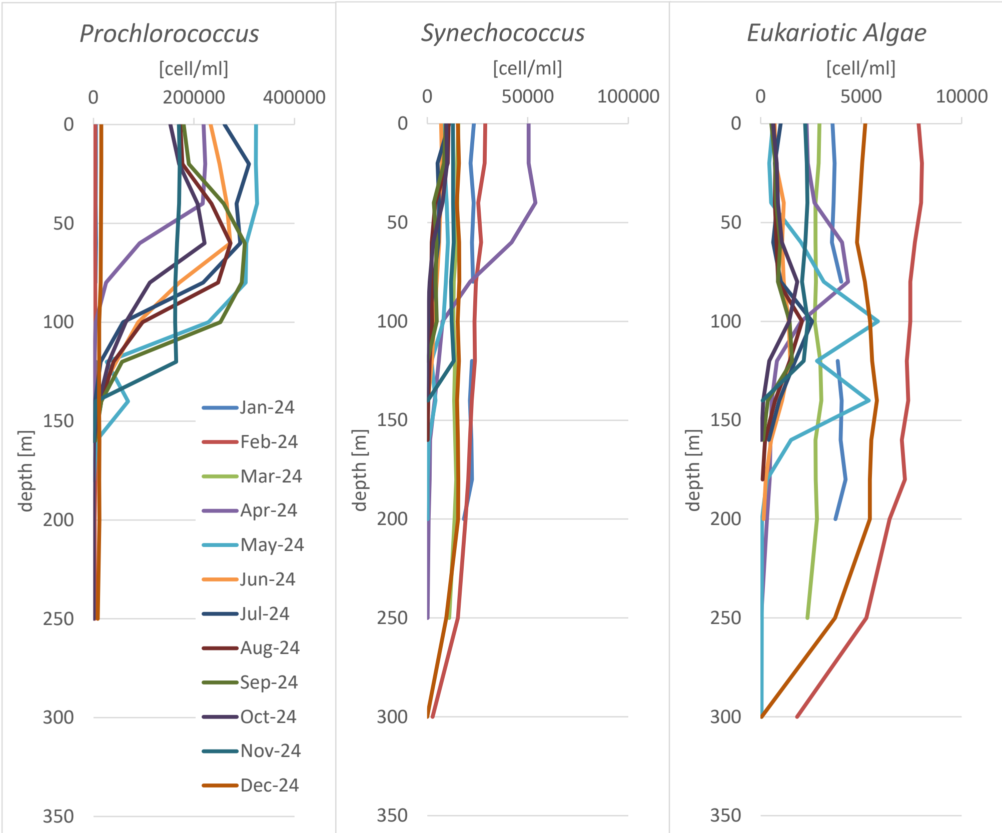
בשנים האחרונות, התקשתה תכנית הניטור לבצע את ספירות תאי הפיטופלנקטון – מגבלות קורונה פגעו בסדר ההפלגות והתלות במדידות על ידי גורם חיצוני פגעה גם כן בקבלת תוצאות ועל כן ישנם חודשים חסרים במדידות. <u>מדידות 2022 נמצאו בלתי סבירות והתגלתה בעייה במערך האנליטי אליו נשלחות הדוגמאות והוחלט לא לפרסם תוצאות אלה</u>. דופליקטים של הדוגמאות נשמרים על ידי התכנית וניתן יהיה לבצע אנליזה שלהם בעתיד.

בשנת 2023 החל שיתוף פעולה עם ד"ר נינה קמנאיה המכון לחקלאות וביוטכנולוגיה של אזורים צחיחים של אוניברסיטת בן גוריון בנגב. מחודש יולי 2023 מצטרפת ד"ר קמנאיה להפלגות הניטור ודגמה ומדדה את הדוגמאות במעבדתה.]

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

בחודשי החורף ריכוזי *.Proc* ועולים מאד בשכבת המים העליונה עם בוא האביב, עם ערכים מרביים באזור הפוטי בחודש מאי, ולאחר כך ירידה הדרגתית ככל שמתקדם הקיץ(איור ד33). ריכוזי *.Synec*, לעומת זאת, נמוכים בחודשי הקיץ וגבוהים בחודשי החורף. ריכוזים מרביים בריכוזי *.Synec* נמדדו השנה בחמישים המטרים העליונים של עמודת המים, בחודש אפריל. גם ריכוזי אצות אאוקריוטיות גבוהים בחודשי החורף עת שכבת המים העליונה מעורבבת, ובאביב עם חזרת המבנה המשוכב נמצאה שכבה עם ריכוזים גבוהים בחלקו התחתון של האזור הפוטי עד שהתייצבה בחודשי הקיץ בבסיסו, כאזור בעל ריכוזים גבוהים התואם את ה- DCM.

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.

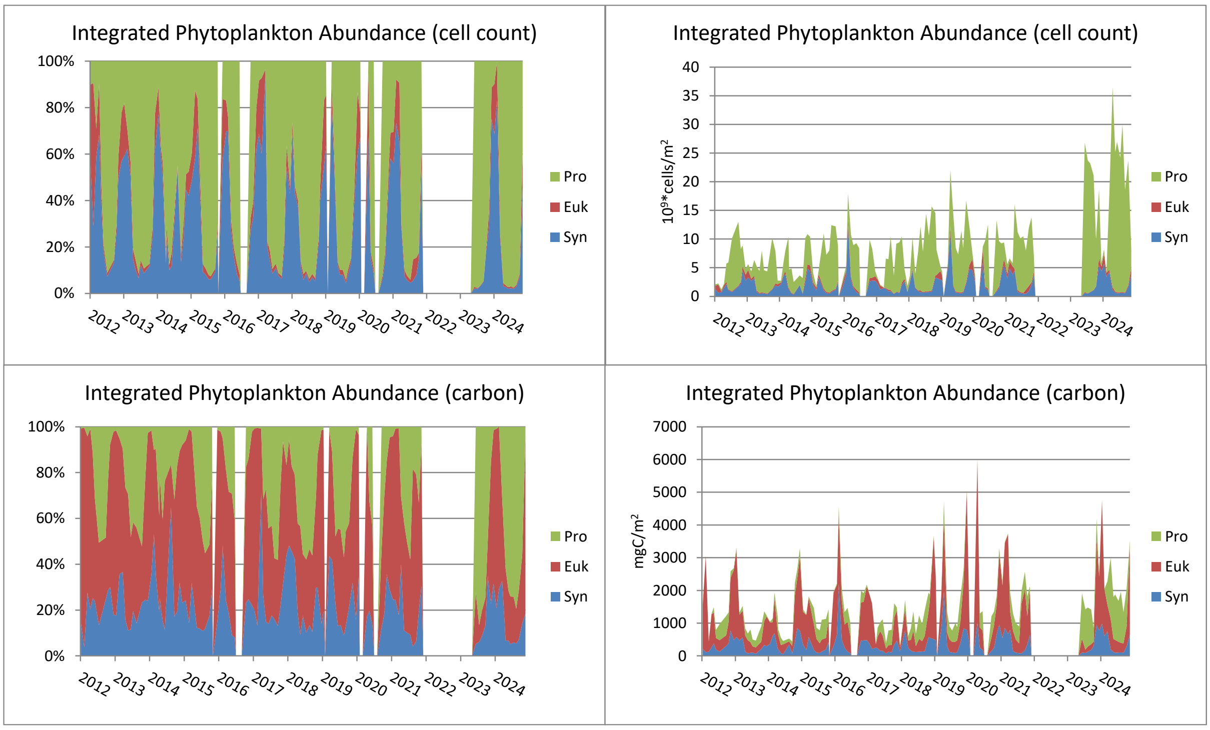


איור ד33: ריכוזים חודשיים של תאי פיטופלנקטון פרוקריוטים (*Synechococcus, Prochlorococcus*) ואצות אאוקריוטיות בעמודת המים בתחנה A.

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: *Synec.*=175fg C/cell, *Proc.*=53fg C/cell, Euc.=2100fg C/cell).

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 הפיטופלנקטון בחודשים יולי – נובמבר (איור ד34). בשנתיים האחרונות ריכוזי *Proc.* גבוהים ברוב חודשי המדידה ועל כן דומיננטים גם בביומסה.

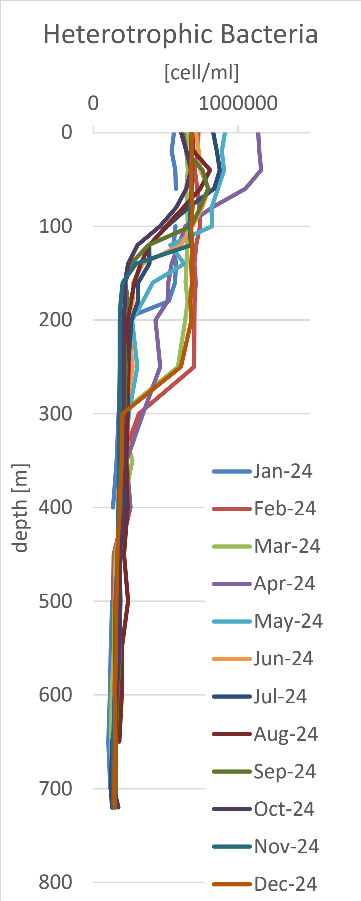


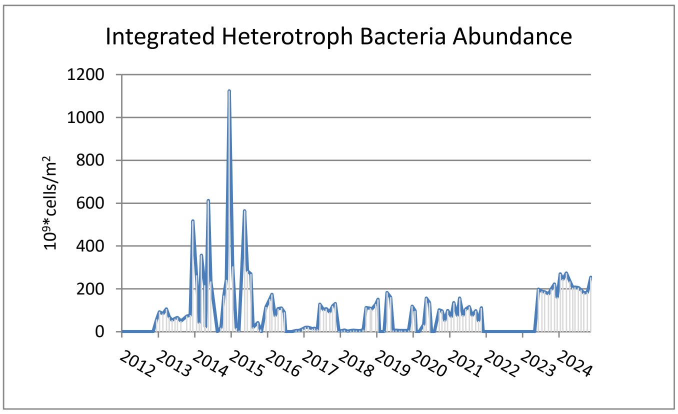
איור ד34: אינטגרלים חודשיים של תאי פיטופלנקטון פרוקריוטים (*Synechococcus, Prochlorococcus*) ואאוקריוטים ב-250 המטרים העליונים של עמודת המים בתחנה A, והתפלגות היחסים הכמותיים בין שלוש הקבוצות מאז פברואר 2012. למעלה לפי מספר התאים ולמטה לפי ביומסה.

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 ההטרוטרופים מראים פרופיל של ערכים גבוהים במים העליונים ונמוכים יותר בעומק (איור ד 35). גם כאן עלו הריכוזים עם התקדמות הערבוב בחורף והגיעו לריכוזים מרביים במים העליונים בחודש אפריל.

במשך הזמן ניכרים שינויים גדולים בריכוזי החיידקים ההטרוטרופים 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.





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.

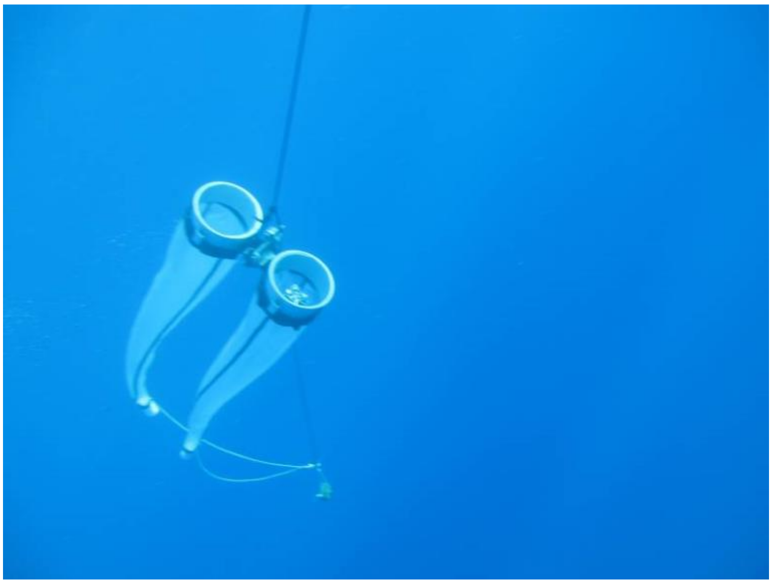
Figure D35: Monthly phytoplankton concentrations of hetererophic bacteria in the water column at Station A this year, and time series of integrated bacteria concentrations since 2013 **(to 700 meters depth, right).**

ד.5. זואופלנקטון בעמודת המים

קבוצת הזואופלנקטון כוללת יצורים הטרוטרופים זעירים החיים בעמודת המים והניזונים מפיטופלנקטון, 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 ביחסים הכמותיים בין קבוצות הגודל בקרבו.

דגימות זואופלנקטון נאספות מדי חודש בים העמוק (עומק קרקעית 300-400 מ'), באמצעות גרירה אלכסונית של רשת פלנקטון כפולה ("Bongo") עם גודל חור של 200µm (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) וזווית 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 µm) 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).



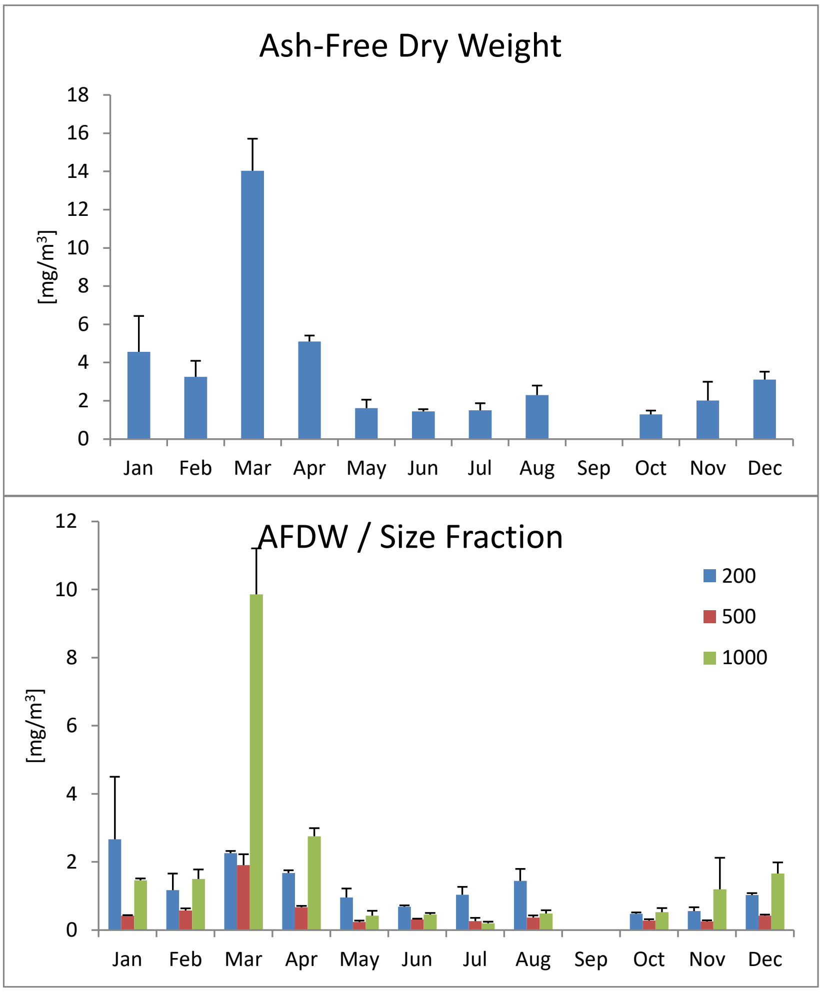
איור ד36: רשת הפלנקטון הכפולה ("Bongo") נגררת מהסירה בים העמוק. צילום: מ. צ'רניחובסקי

Figure D36: A double plankton net ("Bongo") towed from the boat in deep waters. **Photo: M. Chernihovsky**

תוצאות

השנה ערבוב עמודת המים היה לעומק רדוד והסתיים מוקדם ובהתאמה, שיא הביומסה, כמדד לריכוזי זואופלנקטון, נמדד גם השנה בחודש מרץ (איור ד37). להשוואה, בשנה הקודמת היתה התמונה דומה ובשנת 2022, 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 בשנתיים הקודמות ($14.03\ mg/m^3$, לעומת $10.53\ mg/m^3$ בשנה הקודמת ורק $9.85\ mg/m^3$ בשנת 2022 בה היה הערבוב עמוק).

בחודשים בהם נמדדת לרוב מסה גדולה של זואופלנקטון, היא מורכבת בעיקר מקבוצת הגודל הקטנה ומקבוצת הגודל הגדולה (יותר מ- 1000 µm). בשנתיים האחרונות ערך השיא (ובכלל, ריכוזי תחילת החורף) היה 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 1000, 500 ו-200 מיקרון (ירוק, אדום וכחול, בהתאמה).

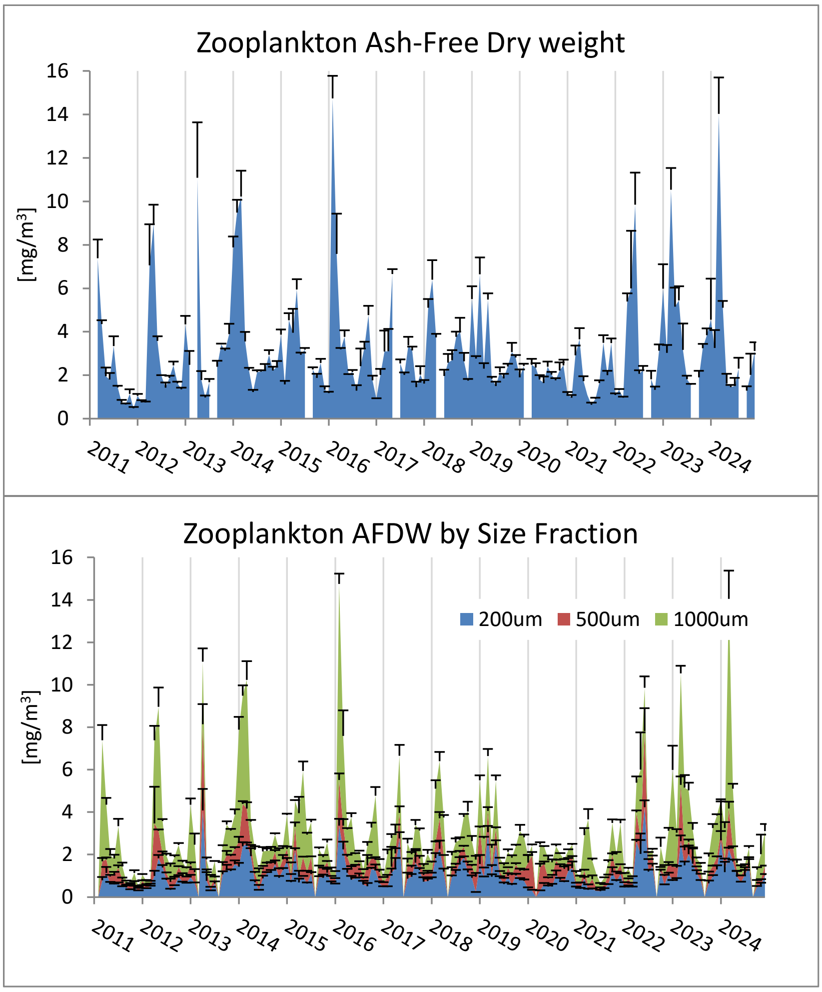
Figure D37: Monthly zooplankton concentrations at the upper 100m of the deep sea. **Top – all zooplankton, bottom – divided to size fractions filtered on 1000, 500 and 200 µm filters (green, red and blue, respectively).**

ברוב השנים בהן בוצע ניטור 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) והשנה, על אף הערבוב הרדוד, ביומסת הזואופלנקטון בחודש מרץ היתה דומה מאד לערך זה. בשנים 2012 ו- 2022 היה ערבוב עמודת המים עמוק יותר, אך ערך הביומסה המרבי אשר נמדד היה נמוך יותר. בשנת 2016 היו גם ריכוזי כלורופיל גבוהים במיוחד על אף שהערבוב לא היה עמוק במיוחד, אך השנה לא נמדדו ערכי כלורופיל גבוהים במידה דומה.

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 בעמודת המים. בשנת 2019, למשל, הערבוב נוצר ונמחק מספר פעמים ונמדדו שלושה שיאים במסת זואופלנקטון שהריכוזים בהם לא היו גבוהים במיוחד ובשנת 2022 נמצאו ריכוזים גבוהים במשך שלושה חודשים אפריל-יוני כאשר השיא היה דווקא בחודש יוני.

לרוב, השיא בריכוזי זואופלנקטון עוקב אחר העונה המעורבבת בה עולים ריכוזי הנוטריינטים והפיטופלנקטון, ומונע על ידי צמיחה של קבוצת הגודל של זואופלנקטון גדול (>1000µm). עם זאת יתכן כי כניסת מים "זרים" לצפון המפרץ משפיעה אף היא על פריחות 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).**

ד.6. יצרנות ראשונית בעמודת המים

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 אאוטרופית 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).

מדידות חודשיות של יצרנות ראשונית בעמודת המים הרחק מן החוף נוספו לתכנית הניטור בשנת 2009, וזאת בעקבות הרחבת פעילות הניטור כפי שהומלץ בפגישת תת-הוועדה לנושא הכימיה של מי המפרץ. 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 נמדד גם ריכוז הכלורופיל.

בשנים האחרונות שוב נתקלנו בקושי במדידות היצרנות והמדידה מבוצעת באופן פחות סדיר. המדידות חודשו בשיתוף פעולה עם מעבדתו של פרופ' איל רהב מחקר ימים ואגמים לישראל ובפרט תום רייך ונטאשה בלקין, בתדירות של אחת לחודשיים-שלושה. עם סיום שיתוף הפעולה עם פרופ' רהב, המדידות התחדשו החל מיוני השנה (2024) על ידי צוות הניטור, ומתקיימות בתדירות של אחת לחודשיים, בסמיכות למועד הפלגת הניטור החודשית.

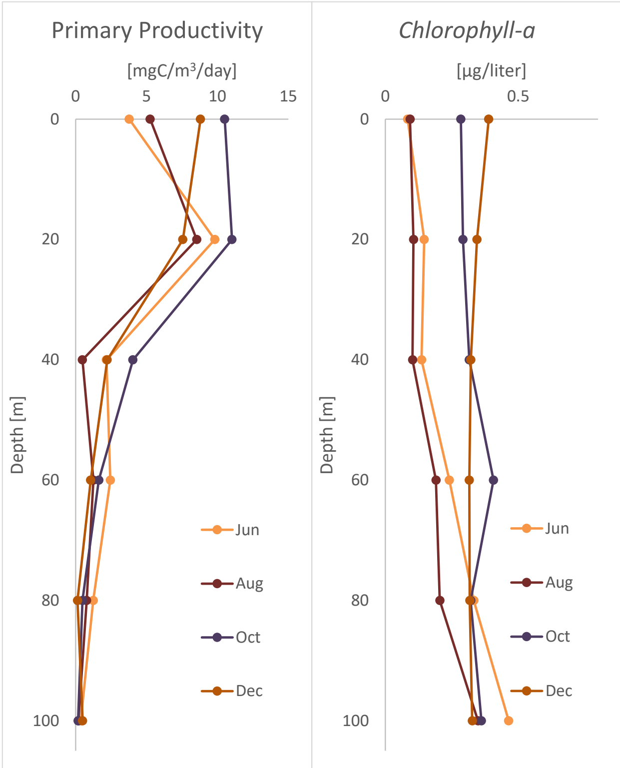
[מסוף 2011 נמדדת היצרנות בעזרת מונה סינטילציה חדש אשר נרכש במכון הבינאוניברסיטאי. מונה זה אמין יותר ואינו סובל מבעיות בהן נתקלנו בעבר, ועל כן ביצענו בשנת 2011, בעצה עם פרופ' יונתן ארז, תיקון בחישוב היצרנות (מבוסס על מניות (cpm) ולא על התפרקויות מחושבות (dpm)) ונתוני היצרנות משנים הקודמות המוצגות כאן חושבו מחדש. השוואת תוצאות החישוב בשני האופנים בהתבסס על נתוני המכשיר החדש וניסויים במעבדה הראתה התאמה טובה. החל מ-2024 תכנית הניטור מבצעת את מדידות היצרנות אחת לחודשיים על פי הפרוטוקול שפותח ויושם במעבדתו של פרופ' אייל רהב, חקר ימים ואגמים לישראל.]

<u>תוצאות</u>

השנה יש בידינו נתוני יצרנות מהחודשים יוני, אוגוסט, אוקטובר ודצמבר, המייצגים גם את עונת הקיץ וגם את תחילתה של עונת החורף. עם זאת, אין לנו נתוני יצרנות בחודשי הערבוב, פברואר-אפריל 2024. בכל חודשי המדידה השנה שיא היצרנות נמדד בעומק 20 מטרים (איור ד39) בעוד שריכוז הכלורופיל המרבי נמצא בעומק 100 מטרים, מלבד בחודש דצמבר אז היה הכלורופיל מעורבב ואחיד בכל עמודת המים העליונה (בדומה למדידות ההפלגות בתחנה A, ראו למעלה). בחודש יוני המשוכב היתה היצרנות נמוכה מאוד בפני השטח, ואילו ריכוז הכלורופיל הגבוה ביותר נמדד דווקה בחודש זה, $0.5\ \mu g\ L^{-1}$ בעומק 100 מטרים. שיא היצרנות אשר נמדד השנה בפני השטח היה בחודש אוקטובר ולאחר מכן ירד בחודש דצמבר. ערך היצרנות המרבי נמדד באוקטובר בעומק 20 מטרים ועמד על $11.2\pm1.1\ mgC\ m^{-3}\ day^{-1}$.

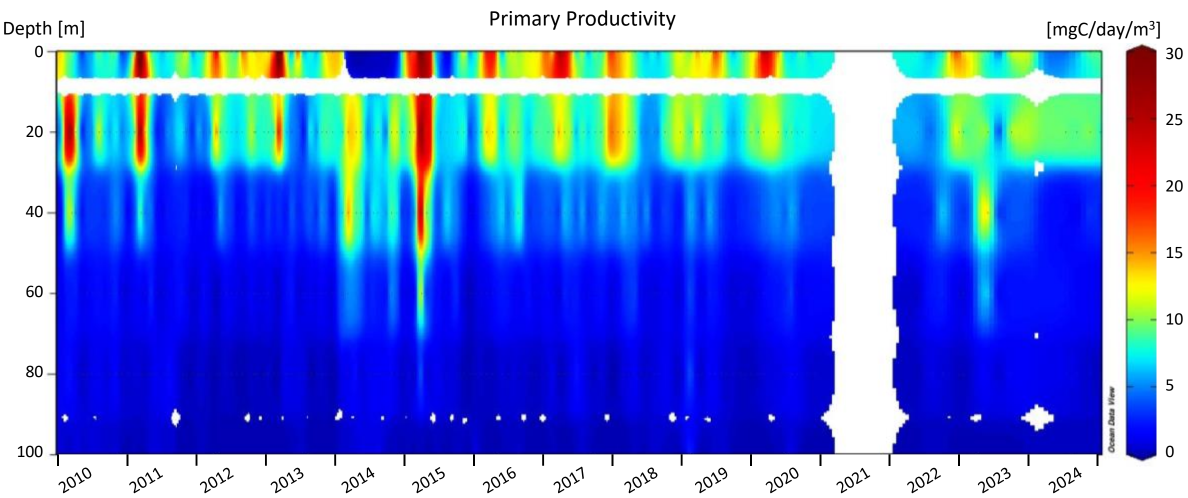
מדידות היצרנות השנה היו נמוכות מעט מאשר בשנה הקודמת, בהתאמה לעומק הערבוב שגם הוא היה רדוד יותר. כבר מספר שנים שערכי היצרנות נמוכים יחסית לשאר תקופת המדידה. ערך היצרנות המירבי שמדדה התכנית בפני הים היה בשנת 2015 ($33.6\ mgC\ m^{-3}\ day^{-1}$).

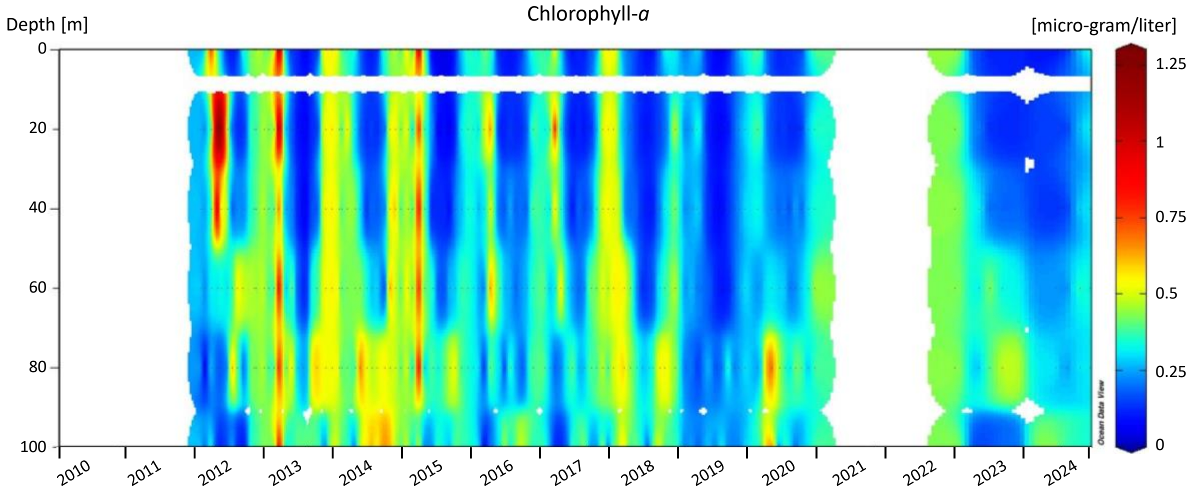
התבנית בה נמדדת יצרנות גבוהה בקרבת פני הים וריכוזי כלורופיל גבוהים דווקא בתחתית האזור הפוטי נשמרה במשך רוב תקופת הניטור. בנוסף לכך, לא תמיד נמצאה חפיפה בין יצרנות גבוהה וריכוזי כלורופיל גבוהים (איור ד40).



איור ד39: יצרנות ראשונית וריכוזי כלורופיל בעמודת המים העליונה.

Figure D39: Primary productivity and chl-*a* concentrations at the upper water column.





איור ד40: יצרנות ראשונית (למעלה) וריכוזי כלורופיל (למטה) בעמודת המים העליונה מאז 2010.

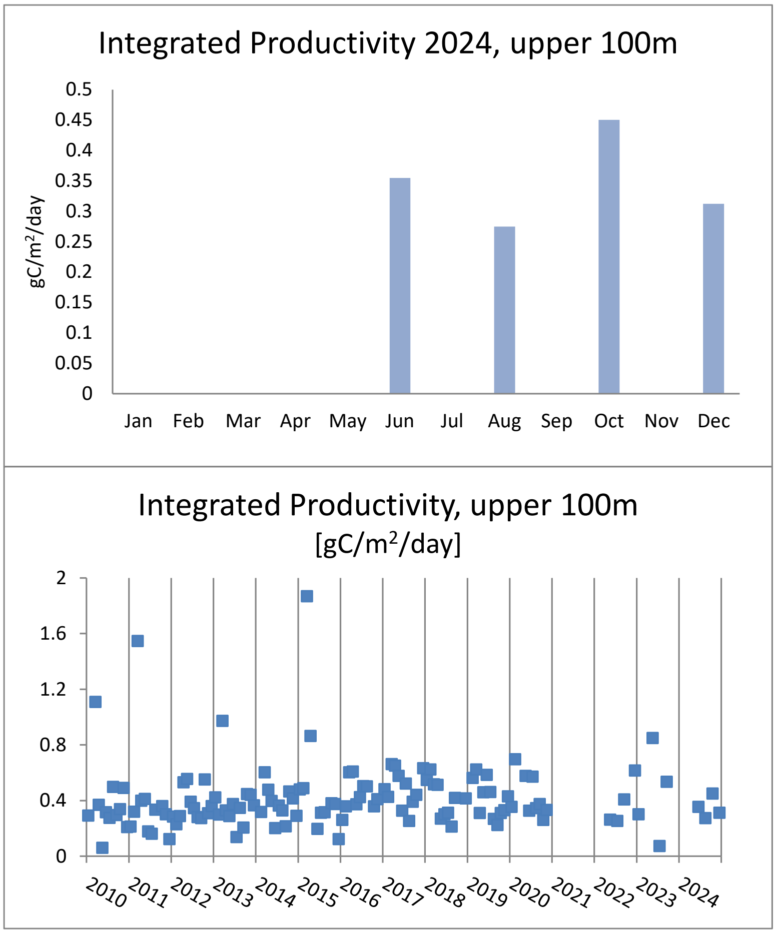
Figure D40: Primary productivity (top) and Chl-*a* concentrations (bottom) at the upper water column since 2010**.**

אינטגרציה של היצרנות בעמודת המים בכל אחד מהימים בהן נעשתה המדידה מראה כי היצרנות הגבוהה ביותר היתה בחודש אוקטובר (איור ד41), ועמדה על $0.4\ gC\ m^{-2}\ day^{-1}$, ואילו הנמוכה ביותר, כ-$0.3\ gC\ m^{-2}\ day^{-1}$, נמדדה בחודש אוגוסט. זהו הערך הנמוך ביותר שנמדד בחודש אוגוסט מאז 2010, עם תחילת מדידות היצרנות בתוכנית הניטור (טבלה ז5 בנספח ז.3).

שיאים ביצרנות נמדדו על ידי תכנית הניטור בחודש מרץ בשנים 2010, 2011, 2013, 2015 כאשר זה האחרון היה הגבוה ביותר שנמדד עד כה - $1.87\ gC/m^2/day$. נראה כי מדידות היצרנות אינן משקפות באופן ישיר את עומק הערבוב בעמודת המים: 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 ונמדדו שפע של נוטריינטים בעמודת המים העליונה, לא נמדד ערך גבוה של יצרנות.

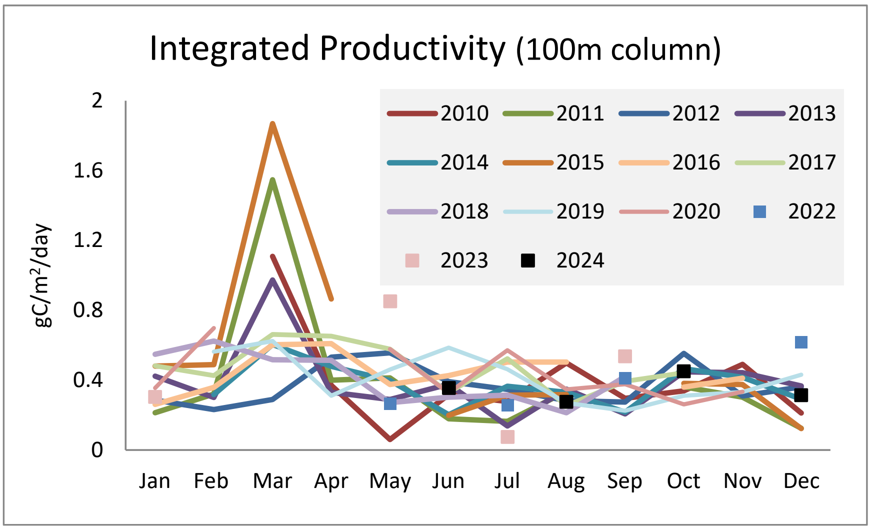
מדידות יצרנות במסגרת תכנית הניטור נעשו בשנים האחרונות אחת לחודשיים ועל אף שערכי היצרנות הגבוהים ביותר נמדדו בדרך כלל בחודש מרץ, בשנים האחרונות אין מדידות מחודש זה. עם זאת, היצרנות הנמדדת בשנים האחרונות תואמת את ערכי היצרנות המוכרים בשנים בהן נערכת המדידה (איור ד42).

מדידות יצרנות שנעשות אחת לחודש מאפשרות לחשב אינטגרל יומי ממוצע בעמודת המים העליונה ומכך לחשב ערך יצרנות שנתי ממוצע. בשנים 2010-2014 חושבה יצרנות שנתית די קבועה ($134\text{-}141\ gC/m^2/year$) ובשנת 2015 חושבה יצרנות הגבוהה ביותר, $197gC/m^2/year$. היצרנות השנתית שחושבה מאז גבוהה מ-$150gC/m^2/year$ והיצרנות השנתית הממוצעת בצפון המפרץ בשנים 2010-2020 היא $153.7gC/m^2/year$. בשנים האחרונות, ירדה תדירות המדידה ולעיתים חסרות מדידות יצרנות מחודשי הערבוב ועל כן, יצרנות שנתית ממוצעות לא חושבה מתוך מדידות השנים האחרונות.



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.**



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

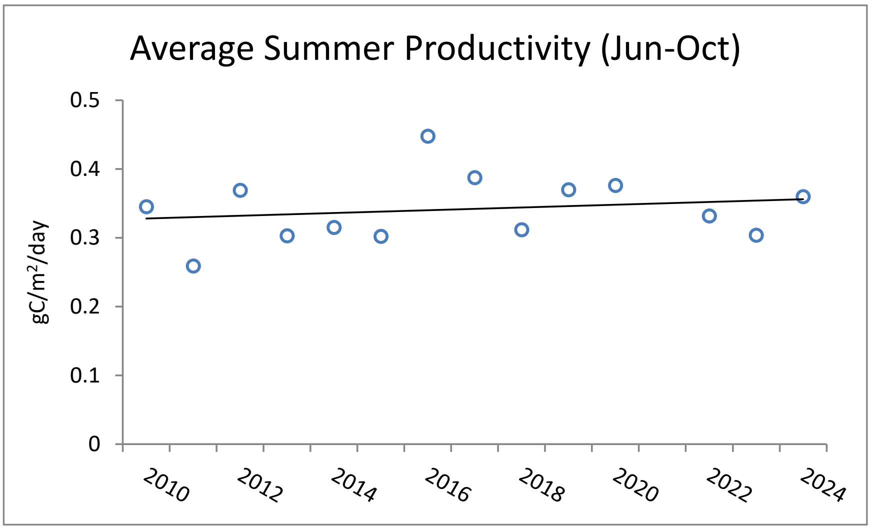
Figure D42: Monthly primary productivity in the upper 100m of the water column since 2010**.**

משנות ה-70 ועד לתחילת שנות ה-90 של המאה ה-20 היצרנות הראשונית בצפון מפרץ אילת נאמדה ב- ~80gC/m^2/year (Levanon-Spanier *et al.*, 1979, Iluz, 1991) ובשנים 2000-2004 עלתה לממוצע שנתי של ~170gC/m^2/year (Lazar *et al.* 2008), עם ערך גבוה של כ- 230 gC/m^2/year בשנת 2004. היצרנות השנתית המחושבת על ידי תכנית הניטור מאז 2010 עומדת, כאמור, על 154±20gC/m^2/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 פריחתן קצרת המועד באפריל 2008 של דיאטומאות (אצות צורניות גדולות) נמדדה בעשרים המטרים העליונים עליה ביצרנות מערכים סביב 15mgC/m^3/day ל- 30mgC/m^3/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. לפיכך, יתכן כי תדירות המדידות אינה גבוהה מספיק על מנת לאפיין את המערכת בתקופה זו.

בעונת הקיץ, לעומת זאת, השינויים קטנים יותר והמערכת מצויה במצב "אוליגוטרופי". כתוצאה מכך, ניתן יהיה, אולי, לגלות שינויים מערכתיים מתמשכים דווקא בעונה זו. היצרנות הממוצעת בעמודת המים בחודשי הקיץ השנה היתה זהה לזו של חודשי הקיץ של השנה הקודמת ועמדה על 0.3±0.01 gC m^{-2} day^{-1}. במשך תקופת המדידה כולה, ערכי היצרנות בקיץ אינם שונים במובהק זה מזה, כאשר היצרנות הממוצעת הגבוהה ביותר שנמדדה בחודשים אלה על ידי תכנית הניטור היתה 0.50 ±0.0001 gC m^{-2} day^{-1}, בשנת 2016 (איור ד43).

היצרנות בקיץ השנה גבוהה מעט מזו שנמדדה בשנה הקודמת, בעיקר מכיוון שבחודש יולי 2023 נמדדה יצרנות נמוכה באופן חריג, 0.07 gC m^{-2} day^{-1}, נמוך בסדר גודל מהערכים שנמדדו בחודש זה בשאר השנים מאז.



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

<u>מטרה</u>

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.

<u>שיטות</u>

בשנים 2014-2019 הוצבה סדרת מלכודות סדימנט בים העמוק (עומק מים של כ- 605 מטרים), עגונה לקרקעית ונתמכת על ידי סדרת מצופים (איור ד44). 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 המלכודת האוטומטית ("יומית") ירדה לרזולוציה של אחת לשלושה-ארבעה ימים בין ההפלגות, ורזולוציה דו-יומית בחודשים ינואר, מאי וספטמבר.

בנובמבר 2019 נקרע 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).

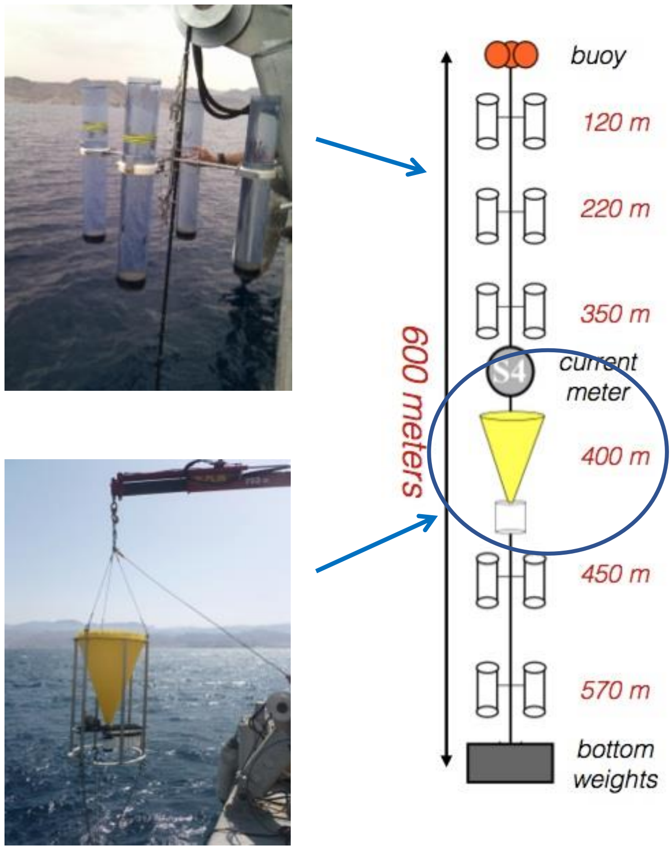
המלכודות אוספת חלקיקים הנושרים דרך עמודת המים ונאספים בתחתית בקבוק האיסוף המכיל תמלחת רוויה עם תוספת של מעט HgCl, שנועדה למנוע פעילות ביולוגית בתוך המלכודת העלולה לשנות את מאסף החלקיקים שנלכדו.

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 שנתית 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 בעמודת המים בצפון המפרץ בעל מחזור עונתי ברור, עם שטפים גדולים יותר בעונה בה היצרנות במפרץ גבוהה, בחורף ובאביב. בחורף בתחילת השנה שטף החלקיקים המרבי לא היה גדול בהשוואה למרבית השנים הקודמות (3.0 gr./m^2/day) אולם שיא נוסף, מעט גבוה יותר, בשטף החלקיקים נמדד בסוף השנה, בחודש דצמבר (4.0 gr./m^2/day, איור ד45). שטף החלקיקים אינו קבוע ועשוי להיות מושפע מאירועים שונים באופיים, כאשר ערכי השיא ברוב השנים בהן זוהו שיאים נעים בטווח 5.0-8.0 gr./m^2/day.

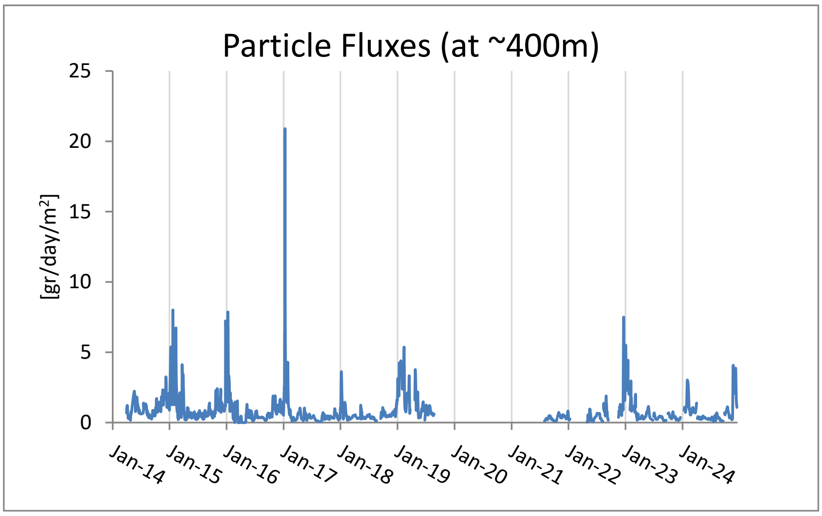
לא כל החומר החלקיקי הוא ממקור ביוגני בעמודת המים, ובשטפים היומיים ניתן להבחין באירועי אבק חזקים כפי שאירעו בפברואר, ספטמבר ונובמבר 2015, ובאירועי גשם ושיטפונות באותה שנה.

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 בעמודת 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 (20.9 gr./m^2/day). 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 בעמודת המים.

לצערנו, אין בידינו 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 ($7.5\ gr./m^2/day$), אולי בהקשר לאירועי גשם וזרימת נגר באזור אילת. השנה, נמצאה התבנית העונתית הצפויה של שטף גבוה בחורף ונמוך בחודשי הקיץ, ללא אירועים חריגים ועם שיא נמוך יחסית.



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.**

במדידות השנים הראשונות נמצא שהשטף החלקיקי במים העמוקים גבוה מזה במים הרדודים והדבר 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

<u>מטרה</u>

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

<u>שיטות</u>

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 100μm 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- 4º 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.

<u>תוצאות</u>

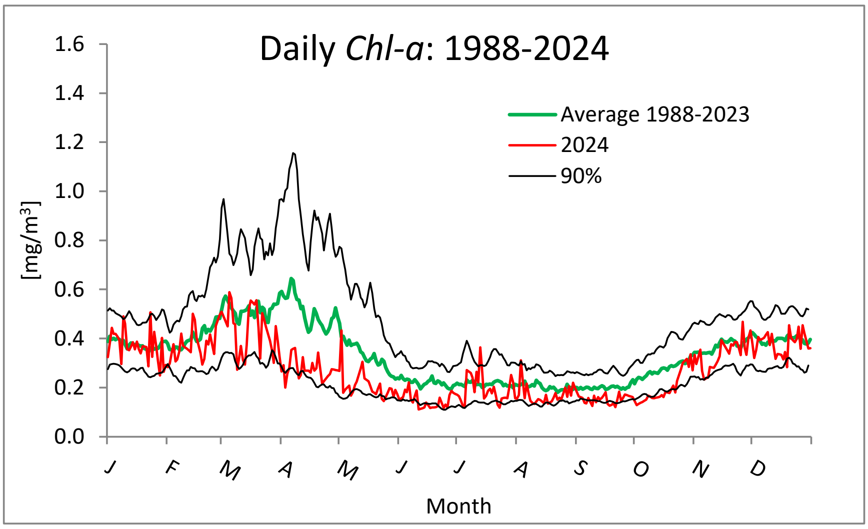
ריכוזי הכלורופיל בסמוך לשונית היו נמוכים השנה בהשוואה לממוצע הרב-שנתי (1988-2023) ולא תועדה פריחת אביב כלל. גם בחודשים פברואר-מרץ וגם באפריל הערכים שנמדדו היו נמוכים וללא ערכי שיא בולטים (איור ה1).

הערך המרבי שנמדד השנה היה 0.588 mg/m^3, בתחילת חודש מרץ. ערך זה נמוך משמעותית מהערך המרבי של השנה הקודמת (1.455 mg/m^3, גם כן בתחילת במרץ) ובוודאי נמוך מהערך המרבי של שנת 2022, אז היה ערבוב עמוק של עמודת המים (2.875 mg/m^3, ב-7 באפריל 2022).

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 ה2). ריכוז הכלורופיל אשר נמדד בשנת 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.

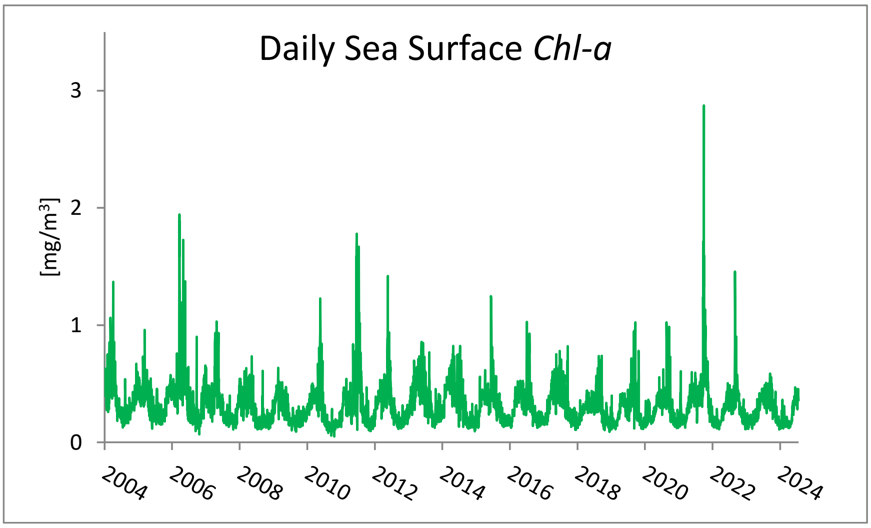
מהתבוננות בסדרת הזמן של ריכוזי כלורופיל בפני הים ליד שמורת האלמוגים ניכר כי ריכוזי כלורופיל גבוהים במיוחד נמדדו בשנים של ערבוב עמוק. הערבוב בשנת 2022 ככל הנראה לא היה עמוק יותר או ממושך יותר מאירועי הערבוב העמוק הקודמים בתקופת הניטור והסיבה לערכים הגבוהים יחסית בשנה זו קשורה, אולי, למשך הזמן הארוך מאז 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 ה1: ריכוז כלורופיל *a* בפני הים בשמורת חוף אלמוג (בסמוך למזח המצפה הימי). קו אדום - בשנת הניטור 2024, קו ירוק - ממוצע רב שנתי (1988-2023), קוים שחורים גבולות 90% מהנתונים שהצטברו כולל השנה הקודמת.

Figure E1: Chlorophyll-*a* concentrations sampled daily at the Underwater Observatory pier in 2024 (red line) and the long-term average (1988-2023, green line). **Black lines mark 90% of accumulated data, including the previous year.**



איור ה2: 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

<u>מטרה</u>

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

<u>שיטות</u>

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.

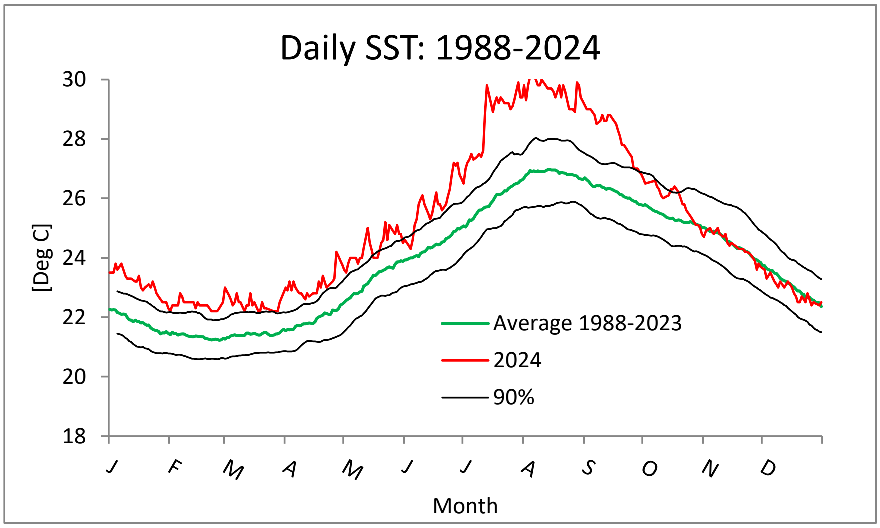
<u>תוצאות</u>

טמפרטורת פני הים בסמוך לשונית היתה גבוהה במשך רוב השנה בהשוואה לערך הממוצע הרב-שנתי מאז 1988 וגם מערכן של 90% מסך המדידות. רק בסוף ספטמבר ירדה הטמפרטורה אל קו ה- 90% מסך המדידות ובסוף אוקטובר ירדה לעבר הממוצע הרב שנתי. מתחילת יולי ועד לאמצע ספטמבר היתה טמפרטורת פני הים גבוהה במידה ניכרת (2.5-3 מעלות) מערכי הממוצע הרב שנתי של השנים הקודמות (איור ה3).

עליית הטמפרטורה בחודש יולי היתה מהירה ביותר: ב-10 ביולי טמפרטורת פני הים שנמדדה היתה 27.4° וב-13 ביולי נמדדה טמפרטורה של 29.8° (!).

טמפרטורה זו גבוהה מהטמפרטורה המרבית של השנה הקודמת (29.0°, בתחילת אוגוסט 2023) ודומה לטמפרטורה הגבוהה ביותר שנמדדה עד אז (29.9°, ב-8 באוגוסט 2021). אך הטמפרטורה בקיץ השנה הוסיפה לעלות והערך המרבי אשר נמדד במסגרת זו היה 30.4°, ב-4 באוגוסט השנה (2024).

הטמפרטורה הנמוכה אשר נמדדה השנה היתה 22.2°, בימים 25-27 במרץ. בשנה הקודמת הטמפרטורה הנמוכה ביותר שנמדדה היתה 21.4°, ובשנת 2022, שנה של ערבוב עמוק, היתה הטמפרטורה המזערית 20.8°.



איור ה3: טמפרטורת המים בפני הים בשמורת חוף אלמוג (בסמוך למזח המצפה הימי). קו אדום - שנת הניטור 2024, קו ירוק - ממוצע רב שנתי של המדידות היומיות 1988-2023, קוים שחורים גבולות 90% מהנתונים שהצטברו כולל השנה הקודמת (מוחלקים באמצעות ממוצע זז של שבעה ימים).

Figure E3: Daily sea-surface temperatures measured from the Underwater Observatory pier during 2024 (red line), the average SST for 1988-2023 (green line)**, and the black lines mark the 90% of accumulated data including the previous year (smoothed by 7-day running mean).**

טמפרטורת פני הים הממוצעת היתה השנה 25.1°, לעומת 24.7° בשנה הקודמת ו- 24.2° בשנת 2022.

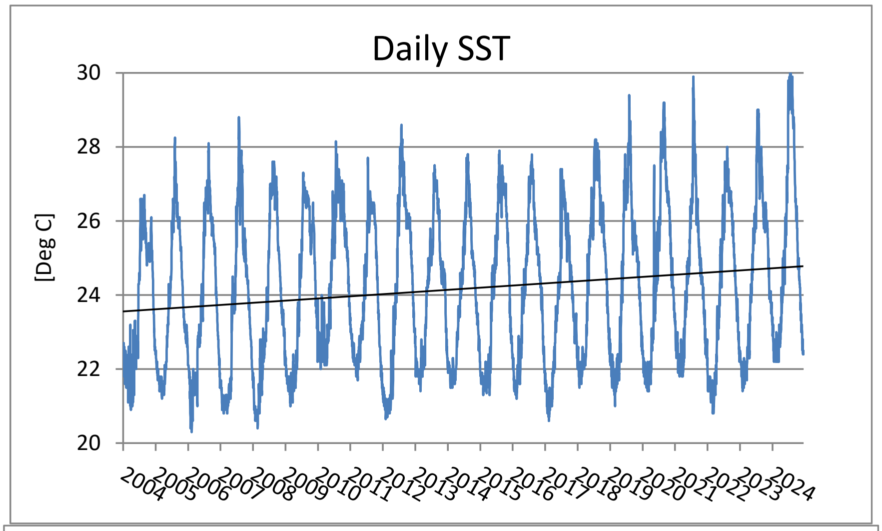
מאז שנת 1988 נרשמת מגמה של עלייה בטמפרטורת פני הים הנמדדת מדי יום בסמוך למצפה התת-ימי ומגמת החימום התעצמה בתקופת הזמן של תכנית הניטור, מאז 2004 (איור ה4).

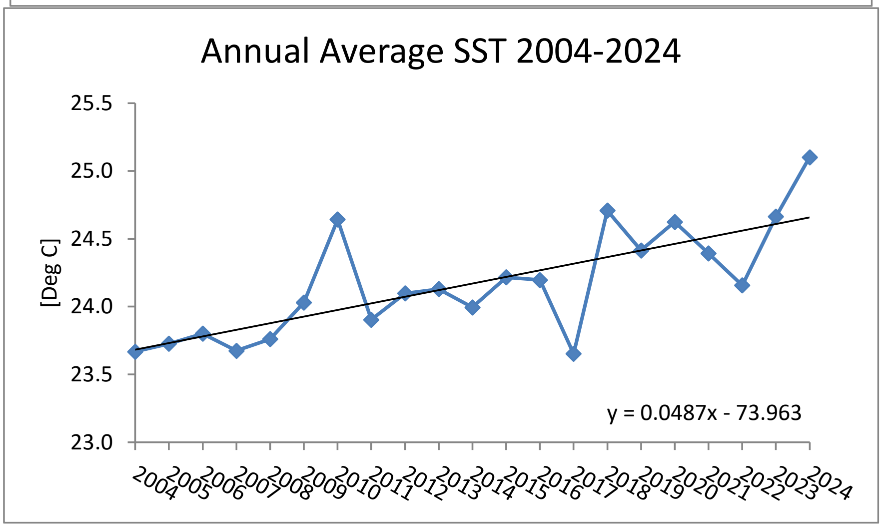
עד לשנה הנוכחית היתה טמפרטורת פני הים השנתית הממוצעת הגבוהה ביותר במסגרת מדידות אלה 24.71°, בשנת 2018. השנה היתה טמפרטורת פני הים השנתית הממוצעת 25.10°. טמפרטורת פני הים השנתית הממוצעת עולה מאז שנת 1988בקצב ממוצע של 0.36 מעלות בעשר שנים ומאז תחילת הניטור בשנת 2004

בקצב של 0.49 מעלות בעשר שנים.

ממדידות הטמפרטורה היומיות בסמוך לשונית בין 1988-2024 מצטיירת מגמת חימום רב-שנתי של פני הים (בשיעור ממוצע של כ- 0.40 מעלות בעשר שנים). מאז תחילת הניטור בשנת 2004 שיעור החימום הממוצע גבוה יותר – 0.58 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 מתחממים בקצב מהיר הרבה יותר מהקצב העולמי.





איור ה4: למעלה: טמפרטורת המים בפני הים בשמורת חוף אלמוג (בסמוך למזח המצפה הימי) מאז 2004. למטה: הטמפרטורה השנתית הממוצעת מאז שנת 2004.

Figure E4: Top – Daily sea surface temperatures measured from the Underwater Observatory pier since 2004**. Bottom – Annual average SST since 2004.**

ה.3. משתנים מטאורולוגים

מדידות מטאורולוגיות רציפות נועדו להשלים את התמונה האקולוגית באבחון שינויים ארוכי טווח במשתנים אקלימיים להם עשויה להיות השפעה על התנאים האקולוגים (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: N 29° 30.211' E 34° 55.068').

<u>מטרה</u>

מעקב רציף ומתמשך אחר משתנים מטאורולוגים במפרץ.

<u>שיטות</u>

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 פוטוסינטטית (PAR). שני החיישנים הוספו בעקבות התייעצויות עם חוקרים המתמקדים באספקטים שונים של אקולוגיה בשונית (כגון יצרנות ומחלות אלמוגים) ותהליכים פוטוסינטטים ופוטוכימיים בים, עקב חשיבותם הרבה של אורכי גל אלה לאקולוגית המפרץ.

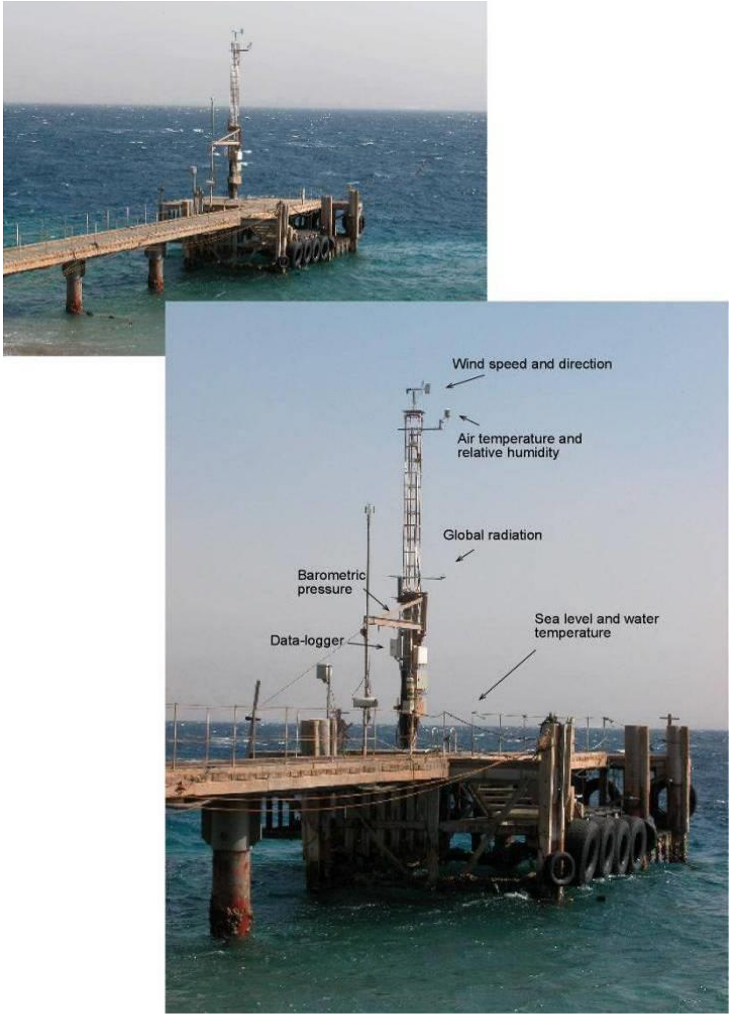
אירועי גשם נרשמים ידנית וכמות הגשם נמדדת במד גשם זעיר (מג"ז) שהציבה תכנית הניטור על גג המכון.

הזמן לפיו נרשמים הנתונים המטאורולוגים 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-200
PAR radiation	Li-Cor	LI-190SA
Water pressure	Campbell	CS455
Water temperature	Campbell	108
Data logger	Campbell	CR1000



איור ה5: 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, מחוזק 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 בזיכרונו הפנימי. מדי שעה מחשב ייעודי מתקשר עם רשם-הנתונים ואוסף את נתוני השעה החולפת לאכסון 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 (מרבי 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):

- השנה לא נרשמו אירועים אקלימיים מיוחדים ביומן. לא היו סערות דרומיות משמעותיות ולא אירועי גשם.
- בעקבות המלחמה (7 באוקטובר 2023) לא הגיעו מיכליות למסוף הנפט בקצא״א.

ב- 11 בינואר נצפו 19 נשלים, חלקם שלמים, של מחושתן מצוי (Panulirus Penicillatus) – מסדרת סרטנים אמתיים, תת סדרה ארוכי בטן, משפחת מחושתניים – על חוף שמורת האלמוגים בחלקה הסגור למבקרים.

ב- 4 בנובמבר נצפו שני דגים מתים (תוכינון בינוני במצב טרי עם חור בלחי וזהרון במצב מיובש/מתפרק) בחוף השמורה בחלקה הסגור למבקרים.

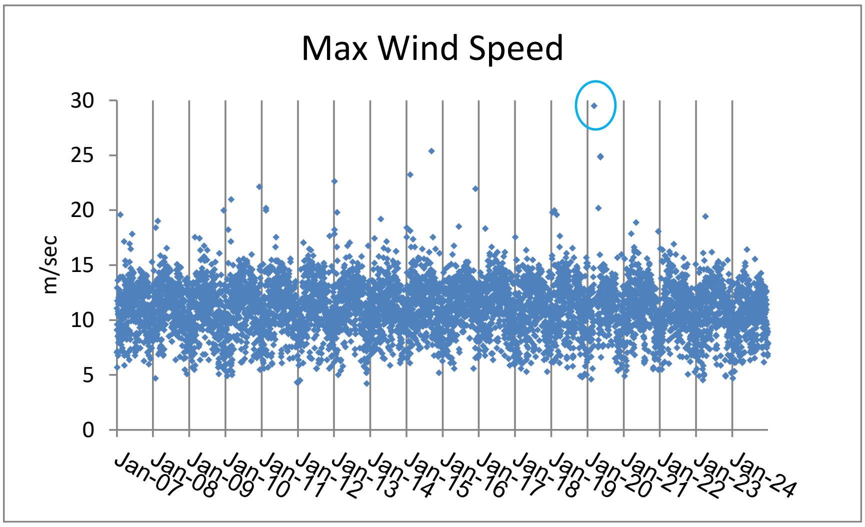
ב-24 בנובמבר דווח על דגים מתים, 4 וריולות + דגים נוספים במשך אותו שבוע.

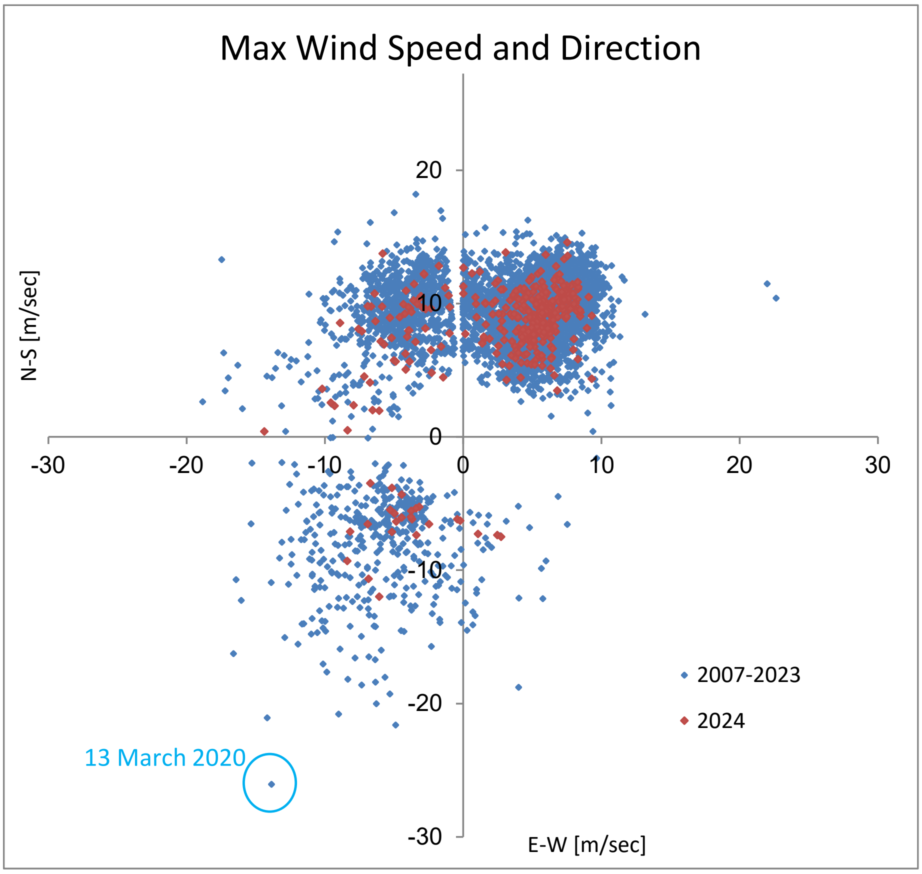
מדידות אטמוספריות

רוח:

השנה, בדומה לשלוש השנים הקודמות, לא תועדו אירועי סערה חזקים (איור ה6). 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 הצהרים.

מהירות הרוח הגבוהה ביותר אשר נמדדה השנה היתה כ- 16 מטר\שניה (כ-31 קשר), מכיוון צפון-מערב, ב- 2 ביוני.





איור ה6: למעלה- מדידות מהירות הרוח המרבית בכל יממה במטרים לשנייה. למטה- מהירות הרוח המרבית ביממה וכיוונה מאז תחילת 2007.

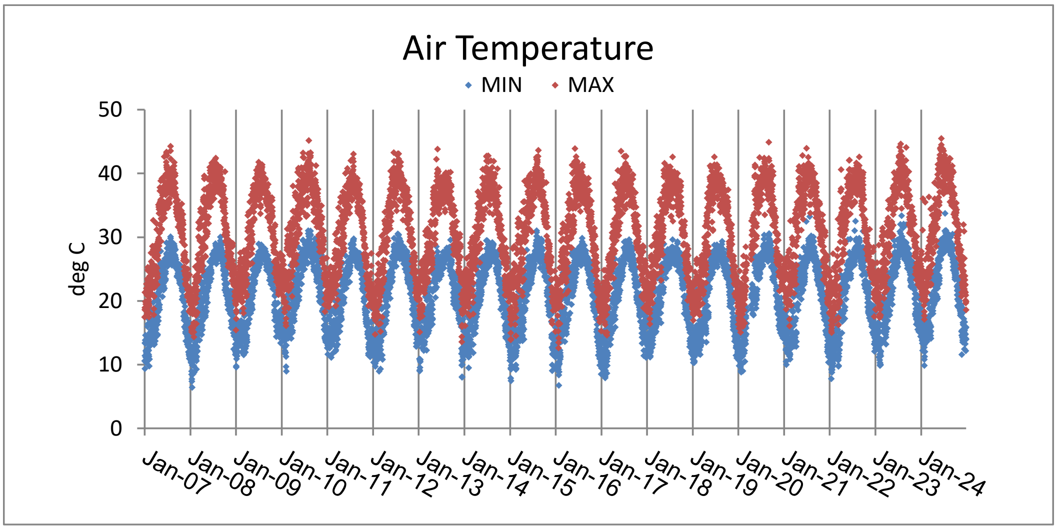
Figure E6: Top- Maximum daily wind speed (m/sec). Bottom- Maximum daily wind speed and direction since January 2007**.**

טמפרטורת האויר מעל הים:

טמפרטורת האוויר מעל הים משקפת את המחזור העונתי בשינויים הדרגתיים של הטמפרטורה המרבית והמזערית בכל יממה (איור ה7). הטמפרטורה הגבוהה ביותר אשר נמדדה השנה הייתה 45.5 °C, ב- 15 ביוני, והיא הגבוהה ביותר במדידות אלה. בשנה הקודמת נמדדה טמפרטורת שיא של 44.6 °C. הטמפרטורה הנמוכה ביותר השנה נמדדה בסוף ינואר, 9.9°C, בדומה לשנה הקודמת אך גבוהה בכשתי מעלות בהשוואה לשנת 2022 (7.8°C).

בחודשי הקיץ ההבדלים בין הטמפרטורה המרבית והמזערית ביממה (בשעות הערב ולפנות בוקר בהתאמה) גדולים מאשר בחודשי החורף.

חשוב לזכור 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 ה7: 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. מדידות הקרינה האולטרא-סגולה החלו שוב להשתבש בחודש מרץ 2023 והחיישן הוחלף השנה אך התקלה נמשכה ואין בידינו מדידות מהימנות אחרי מועד זה. אנו בתהליך של הבנת מקור התקלה וטיפול בה.*
חיישן ה- PAR הוחלף בשנת 2021 לאחר שנראה היה כי הערכים הנמדדים דועכים עם הזמן.]

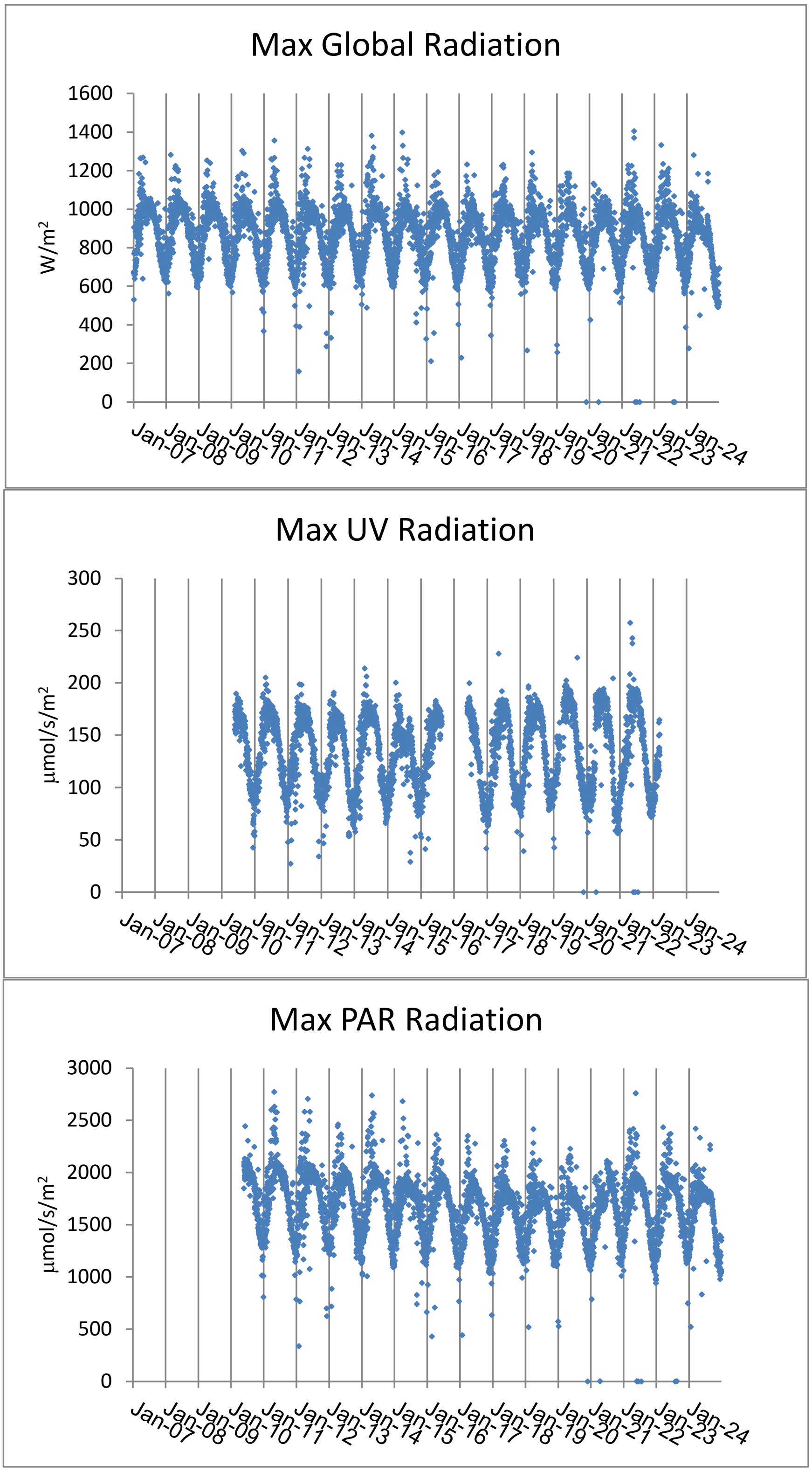
הקרינה הגלובלית בעלת מחזור עונתי דומה לזה של טמפרטורת האוויר, אולם ערכים מרביים נמדדים לרוב בחודשי האביב. הקרינה החזקה ביותר במפרץ נרשמת בדרך כלל בין השעה 11 ל-1 בצהריים, ואילו טמפרטורת האוויר המרבית נרשמת לרוב אחר הצהריים המאוחרים. הקרינה המרבית שנמדדה השנה (1281 ואט\מטר רבוע, בחודש מרץ) הייתה נמוכה מעט מהערכים המרביים בשנתיים הקודמות אך דומה לערכים המרביים אשר נמדדו ברוב השנים (איור ה8).

עקב תקלות מדידה גם השנה אין בידינו מדידות מהימנות של הקרינה האולטרא-סגולית.

הערך הגבוה ביותר של קרינה באורכי הגל האולטרא סגול (UV) אשר נמדד עד כה במסגרת תכנית הניטור (מאז קיץ 2010) הוא 257 $\mu mol/s/m^2$, בסוף חודש אפריל 2022. ערכי קרינה אולטרא-סגולה גבוהים הינם לרוב מדידות בדידות 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 נמדדו ערכים גבוהים יותר הדומים לאלו של לפני מספר שנים. הערך המרבי השנה 2421 $\mu mol/s/m^2$, בחודש מרץ, דומה לערך המירבי של השנה הקודמת ונמוך מזה של שנת 2022 (2761 $\mu mol/s/m^2$ 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 ה8: 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).

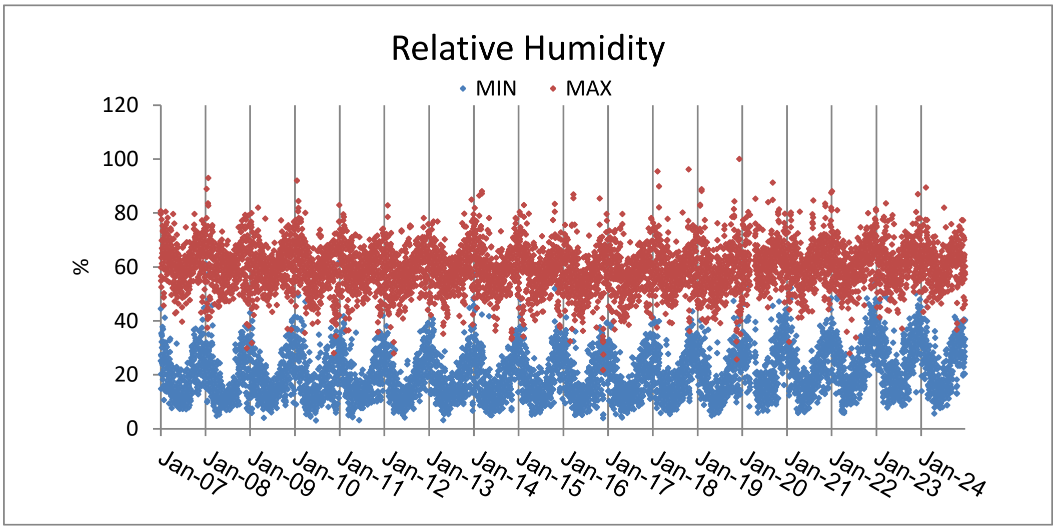
לחות:

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

ה9).

הלחות היחסית אשר נמדדה השנה לא היתה 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 ה9: 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

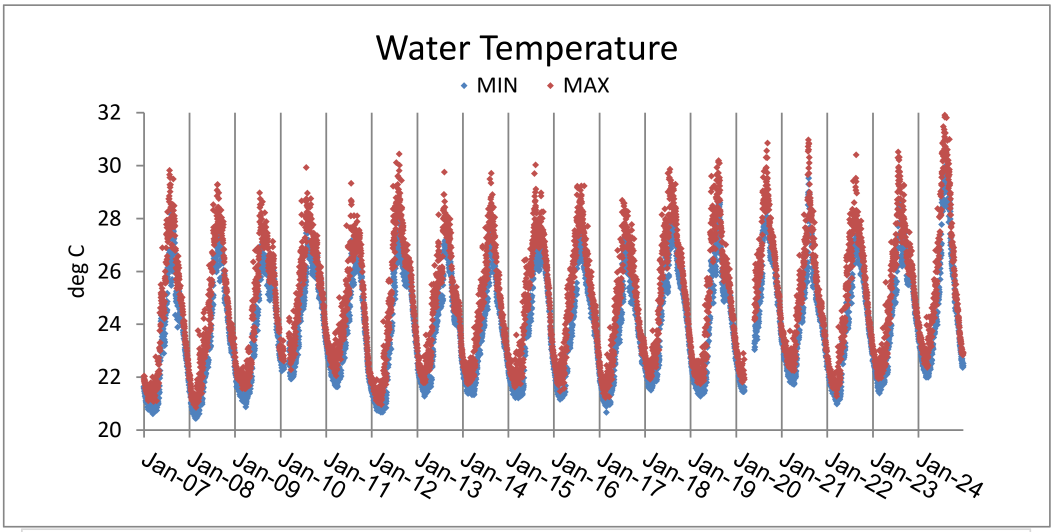
טמפרטורת פני הים:

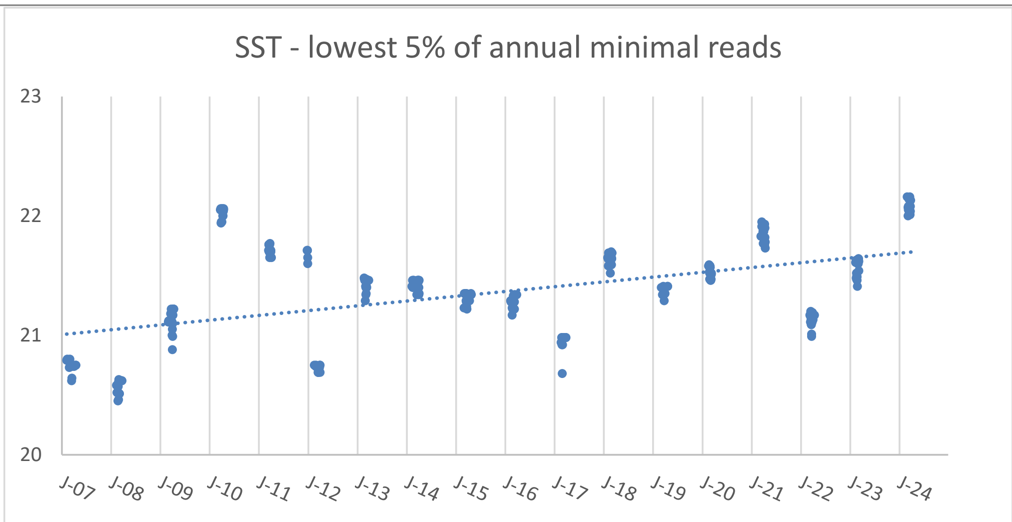
במדידות טמפרטורת המים (עומק כ-2 מטרים) ניתן לעקוב אחר המחזור העונתי בו הטמפרטורה המזערית השנה (22.0 °C, בתחילת מרץ) היתה גבוהה בכחצי מעלה מזו של השנה הקודמת (21.5 °C בפברואר) וגבוהה במעלה מהטמפרטורה המזערית של שנת 2022 (21.0 °C) אשר הובילה לערבוב עמוק של עמודת המים.

הטמפרטורה המרבית השנה היתה הגבוהה ביותר אשר נמדדה עד כה במסגרת זו – 31.9 °C, ב-4 באוגוסט. הטמפרטורה המרבית בשנה הקודמת היתה נמוכה מזו במעלה וחצי (30.5 °C בסוף יולי 2023), והטמפרטורה המרבית של שנת 2021, 31.0 °C היתה הגבוהה ביותר שנמדדה עד השנה (איור ה10).

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- °C 20.9 , 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 ה10, למטה).





איור ה10: 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).

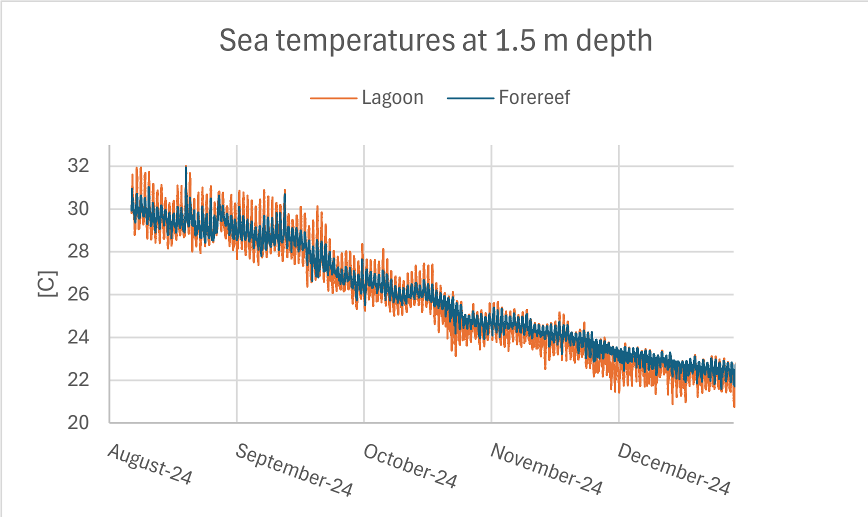
Figure E10: Maximum and minimum (red and blue, respectively) daily water temperature at ~2m depth. Bottom, the coldest 18 days of every year (lowest 5% of minimal daily SST).

טמפרטורת פני הים בלגונה ובקדמת השונית:

בעקבות דיון הוועד המנהל לדו"ח מדעי 2023 ובציפייה לשנה חמה במיוחד, הציבה תכנית הניטור שני חיישני טמפרטורה של חברת RBR (Solo2 temp) בשמורת האלמוגים (NR) בלגונה ובקדמת השונית, בעומק של כ- 1.5 מטרים. החיישנים מודדים טמפרטורה מדי דקה, וכך מקליטים את טמפרטורת המים אשר השונית חשופה להם בפועל.

מדידות אלה מראות הן את המשרעת היומית של טמפרטורת פני הים והן את המחזור העונתי. מכיוון שהחיישנים הוצבו בקיץ, בחודש אוגוסט, ניתן השנה לעקוב אחר ירידת הטמפרטורה במעבר מקיץ לחורף (איור ה11). המדידות מראות שמשרעת הטמפרטורות היומית בלגונה גדולה מאשר מחוצה לה, בקדמת השונית. עם זאת לא התגלו סטיות משמעותיות העשויות להצביע בוודאות על כניסת מים זרים ללגונה מכיוון החוף.

בחודשי הקיץ טמפרטורת המים בלגונה גבוהה בדרך כלל מאשר מחוצה לה, מלבד בשעות הלילה והבוקר המוקדמות. בחודש אוגוסט נמדדו בלגונה מדי פעם טמפרטורות של כ- 32 מעלות. הטמפרטורה בקדמת השונית היתה מעט נמוכה מזה, אך לא בהרבה (31.95 מעלות). בחודשי החורף טמפרטורת המים בלגונה נמוכה בדרך כלל מהטמפרטורת המים מחוצה לה, אשר להם נחשפים האלמוגים בקדמת השונית. הטמפרטורה הנמוכה יותר שנמדדה היתה 20.75 מעלות.



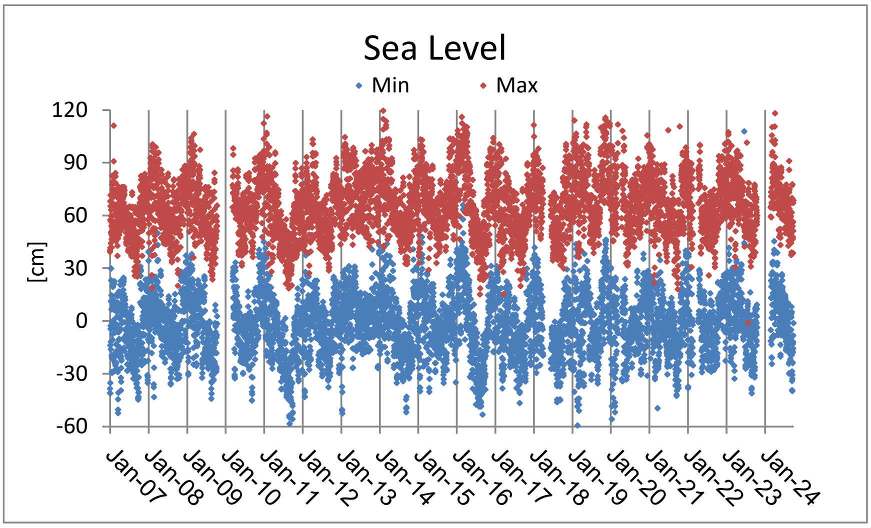
איור ה11: טמפרטורת פני הים (מדידות רציפות בעומק של כ- 1.5 מטרים) בלגונה ובקדמת השונית בשמורת חוף אלמוג.

Figure E11: Sea surface temperatures (continuous measurements at ~1.5 meters depth) at the Nature Reserve lagoon and forereef.

מפלס ים:

[מדידות מפלס הים בין 15 באוקטובר 2009 ו-10 במרץ 2010 נמצאו שגויות והחיישן הוחלף וכויל. המדידות השגויות הוסרו מבסיס הנתונים של תכנית הניטור. בשנת 2012 שוב נמצאה סטייה של מדידות המפלס והותקן חיישן חדש ב6 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 ה12). בחודשי החורף גם נמדדות תנודות גדולות יותר במפלס הים המזערי ביממה, וזאת ככל הנראה בהשפעת הרוחות ומערכות האקלים הפחות יציבות בחודשים אלה. גם השנה לא נרשמו אירועי שפל קיצוניים בצפון המפרץ.



איור ה12: ערכים מרביים ומזעריים (באדום ובכחול, בהתאמה) של מפלס הים, בכל יממה.

Figure E12: 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 האופטימלים 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 הוצב חיישן נוסף על גבי חצובת מתכת יציבה בעומק של כ- 2.5 מטרים מעל עומק קרקעית של כ-4.5 מטרים.

בין שני המכשירים נעשה כיול הדדי ונמצאה התאמה טובה. חיישנים הגלים (RBR Solo-wave) בעלי סוללה וזכרון פנימיים ויש להוציאם לצורך הורדת נתונים והחלפת סוללות.

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

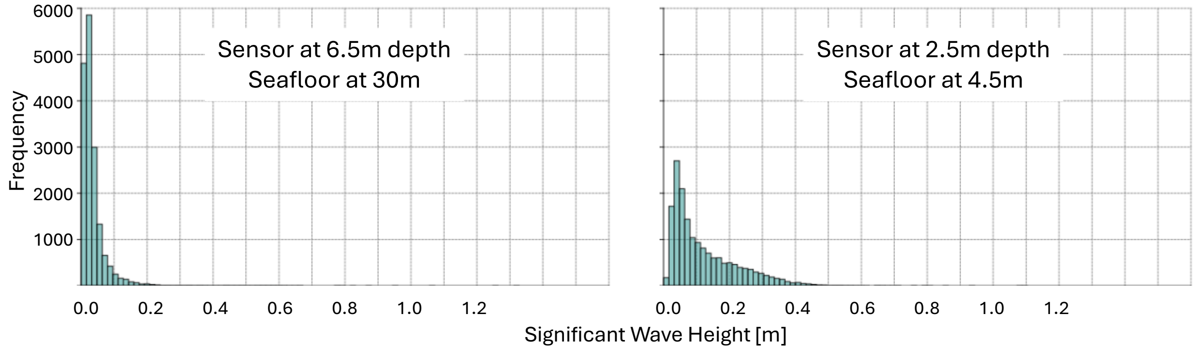
זרמים: זרמים בקרבת פני הים (עומק של כ- 2.5 מטר) נמדדו באמצעות חיישן של חברת Nortek, Aquadop 300, אשר מודד את מרכיבי הזרם במישור בטווח של עד מטר וחצי סביב החיישן. החיישן מוצב על גבי חצובת מתכת אשר נבנתה במיוחד לצורך זה, עם חיבור אלומיניום לחיישן על מנת להמנע מהשפעה על מדידות הכיוון, ומקובעת לקרקעית באמצעות משקולות בטון. החצובה מוצבת מול המכון הבינאוניברסיטאי, במרחק של כ-45 מטרים צפונית למזח, בעומק קרקעית של כ- 4.5 מטרים. עומק המדידה כ- 2 מטרים מתחת לפני הים. מד הזרם מחובר לרשת המכון באמצעות כבל המתחבר במזח כך שנתוני הזרם זמינים בזמן אמיתי.

תוצאות

גלים:

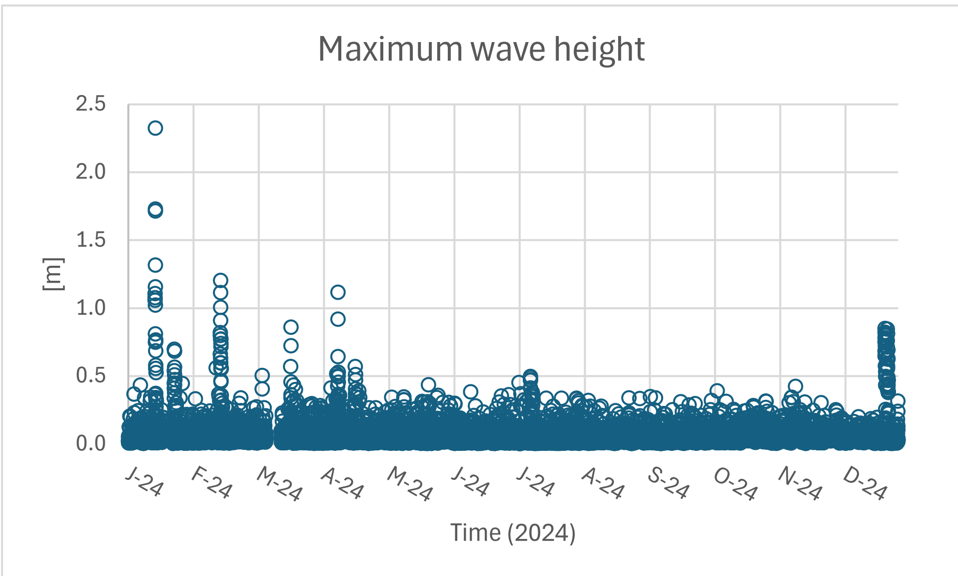
השוואה בין מדידות הגלים של החיישן העמוק (6.5 מטר, מעל קרקעית בעומק 30 מטר) והחיישן הרדוד הקרוב לחוף (2.5 מטר מעל קרקעית בעומק 4.5 מטר) מראה שהחיישן הרדוד רגיש יותר לגלים הקטנים בצפון המפרץ, אשר מקורם ברוחות הצפוניות הדומיננטיות. כ-99% מכלל מדידות החיישן העמוק הם של גל משמעותי (significant wave height) נמוך מ-20 ס"מ. לעומת זאת, רק כ-80% ממדידות החיישן הרדוד היו של גל משמעותי נמוך מ-20 ס"מ. שאר 19% הם של גלים בעלי גובה משמעותי של 20-40 ס"מ (איור ה13). גם עבור גלים גדולים יותר, החיישן הרדוד מדד יותר גלים יותר גדולים, אולם בכך עשוי להיות עיוות שמקורו בקרקעית הים הרדודה. נראה שאת הגלים הקטנים תחת משטר רוחות צפוניות עדיף למדוד באמצעות חיישן רדוד, ואילו את הגלים הגדולים שמקורם רוחות דרומיות חזקות וממושכות כדאי יהיה לאפיין באמצעות החיישן העמוק יותר.

לסיכום, כ- 80% מהגלים (המשמעותיים) בצפון המפרץ נמוכים מ- 20 ס"מ, וכ-99% מהגלים נמוכים מ-40 ס"מ.



איור ה13: התפלגות גובה גלים משמעותי כפי שנמדד בחיישן הרדוד (מימין) והעמוק (משמאל).
Figure E13: Distribution of significant wave heights recorded by the deep sensor (left) and shallow sensor (right).

גלים גבוהים נקלטים טוב יותר בחיישן העמוק, בו אין השפעה לקרקעית הים. אירועים של גלים גבוהים היו נדירים השנה, וגם בהם הגלים לא היו גבוהים במיוחד. החיישן העמוק מדד אירועים ספורים (7) בהם גובה הגל המרבי (maximum wave height) היה גבוה מחצי מטר, ורק בשלושה מהם נמדדו גלים גבוהים ממטר (איור ה14). בשעות הערב של ה-13 בינואר נמדדו הגל הגבוה ביותר השנה, כ- 2.3 מטרים. באותו אירוע הגל המקסימלי שנמדד בחיישן הרדוד היה 1.5 מטר בלבד. גובה גלים מרבי זה דומה למדידות השנתיים האחרונות אשר גם בהן לא היו אירועי ערות דרומיות חזקים.
עוצמת הרוח המרבית באותו יום היתה 13.4 מטר\שניה מכיוון 207 מעלות, ז"א לאורך חופי המפרץ מדרום. 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.



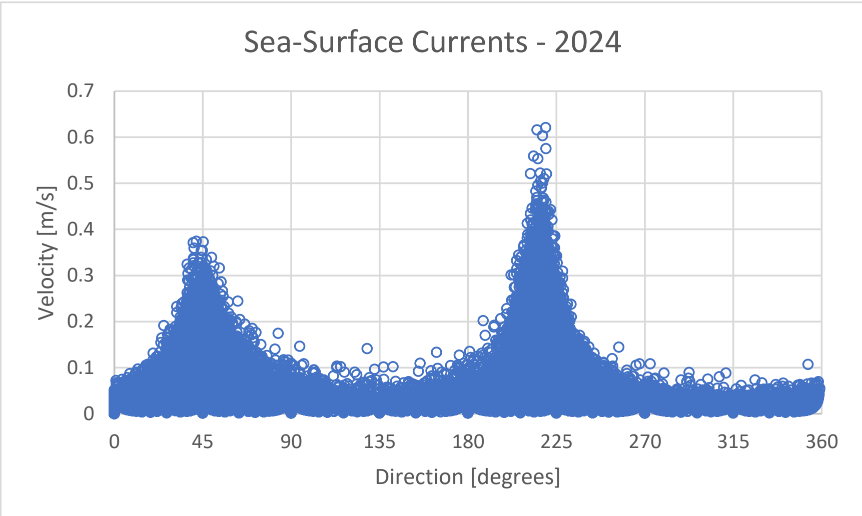
איור ה14: גובה גלים מרבי במדידות החיישן בעומק 6.5 מטרים.
Figure E14: Maximum wave heights measured by the deep sensor at 6.5 meters depth.

זרמים:

[מד הזרם המיועד למדידת זרמים בקרבת פני הים מודד החל מקיץ 2022, אז נעשו בדיקות לקונפיגורציות הצבה שונות. מאמצע חודש אוגוסט 2023 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 ה15).

מבין הזרמים המקבילים לחוף, זרמים דרומיים (כיוון זרימה לדרום-מערב) נפוצים יותר וגם עשויים להגיע למהירויות גדולות יותר. הרוב המכריע של מדידות מהירות זרם גדולה מ- 0.3 מ'\שניה הן של זרמים בכיוון דרום-מערב, ומהירות גדולה מ- 0.4 מ'\שניה נמדדה רק בזרמים שכיוונם דרום-מערב.

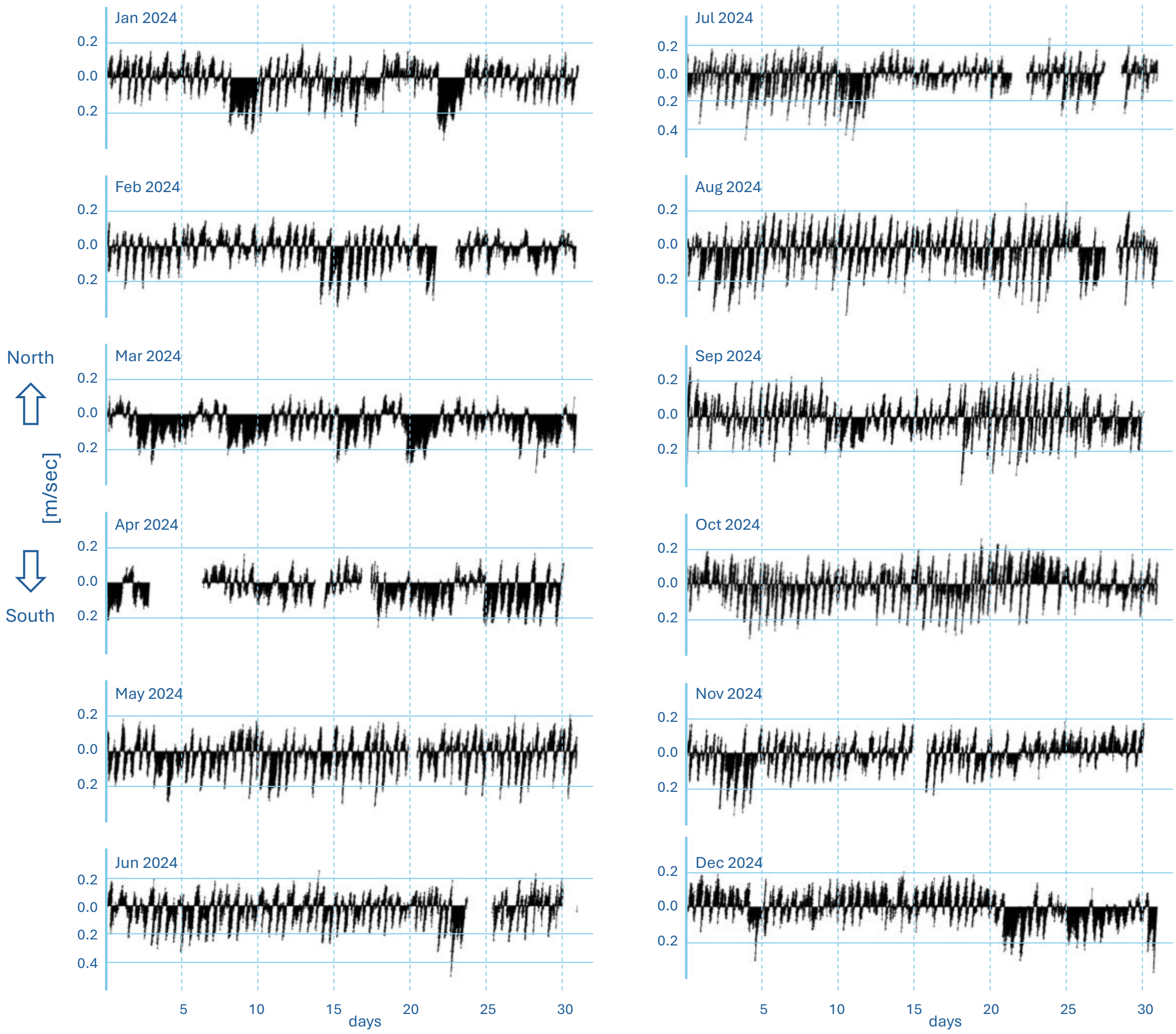


איור ה15: מהירות וכיוון של זרמים בסמוך לפני הים בקרבת המכון הבינאוניברסיטאי.

Figure E15: Speed and direction of near-surface currents off the Inter-University Institute.

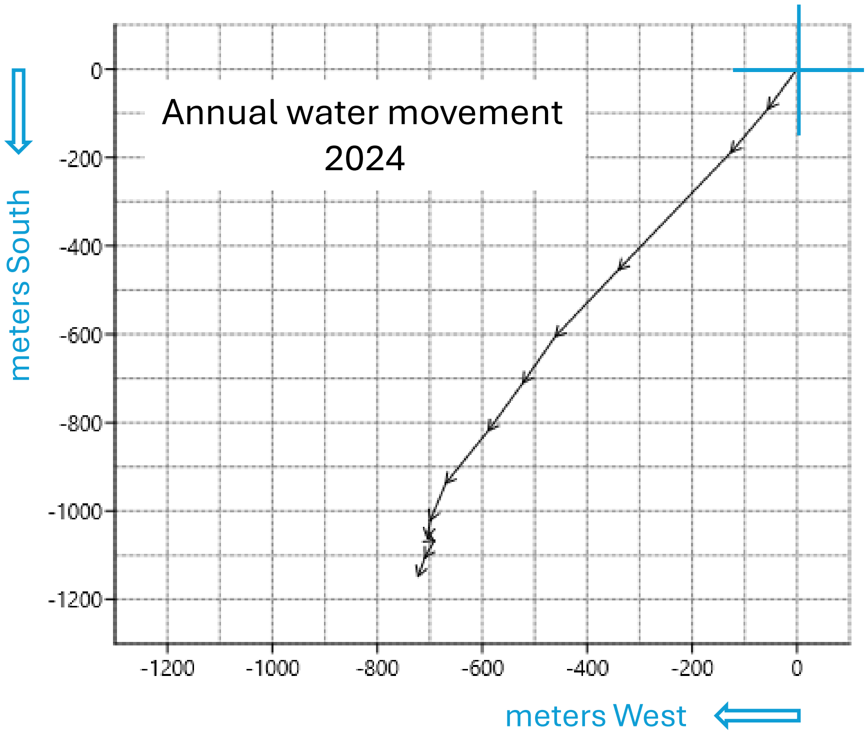
לרוב, הזרם מחליף כיוון במחזוריות של פעמיים ביממה בהשפעת מחזורי הגיאות והשפל, אך מחזוריות זו אינה סדורה וקבועה לאורך כל השנה (איור ה16). כמו כן, נראה כי הזרמים החזקים יותר נמדדים לקראת שיאי הגיאות או השפל, כאשר הזרמים החזקים יותר נמדדו לקראת שיאי גיאות. הזרמים החזקים ביותר (דרומיים) נמדדו בחודשים יוני ויולי.

סך תנועת המים מול המכון הבינאוניברסיטאי במשך השנה היא לכיוון דרום לאורך החוף (דרום-מערב, איור ה17) ובסך הכל המים בפני הים נעו כ- 1360 מטרים בכיוון זה במשך השנה. תנועה זו היתה גדולה ביותר בחודש מרץ וקטנה ביותר בחודשי סוף השנה, החל בספטמבר (איור ה18).



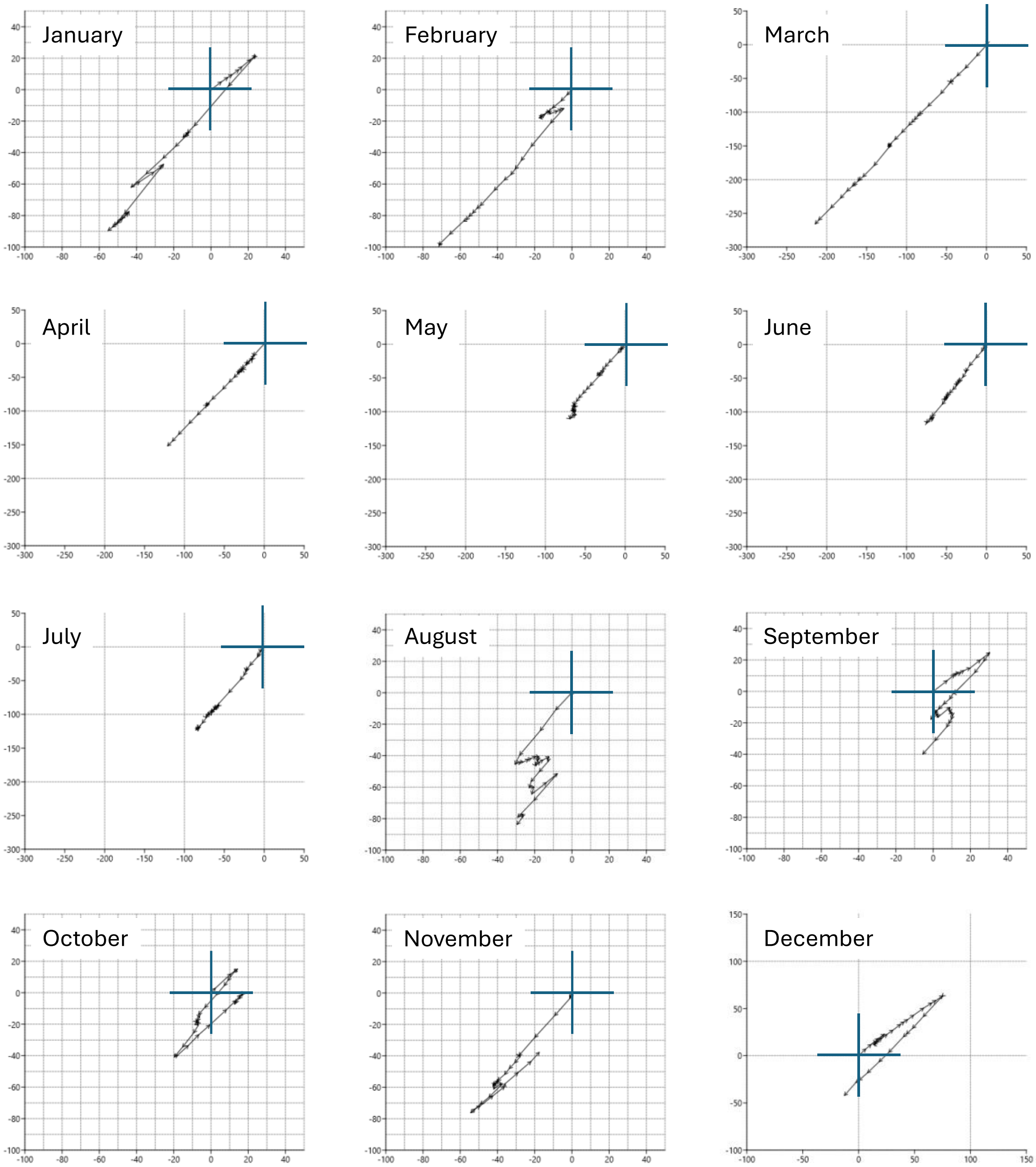
איור ה16: מדידות של כיוון ומהירות הזרמים בפני הים מול המכון הבינאוניברסיטאי.

Figure E16: Measured current directions and velocities at the sea surface close to the IUI.



איור ה17: תנועת הזרמים השנתית בפני הים מול המכון הבינאוניברסיטאי. כל חץ מסמן את סך התנועה של חודש, החל בנקודת הראשית בינואר.

Figure E17: Annual water movement at the sea surface close to the IUI. Each arrow is the sum movement of one month, starting at the origin with January.



איור ה18: סך הסעת הזרמים בפני הים מול המכון הבינאוניברסיטאי בכל חודש. כל חץ שחור מסמן את סך תנועת הזרם ביום אחד (כיוון ומרחק).

Figure E18: Overall motion of currents at the sea surface close to the IUI in each month**. Each black arrow denotes the overall current movement of a day (direction and distance).**

ה.5. אבק מרחף

<u>מטרה</u>

מעקב רציף וארוך-טווח אחר ריכוזי האבק המרחף מעל לצפון המפרץ.

<u>שיטות</u>

אבק מרחף נאסף על גבי פילטר נקי (0.45µm) 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 טורפשטיין), 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.]

<u>תוצאות</u>

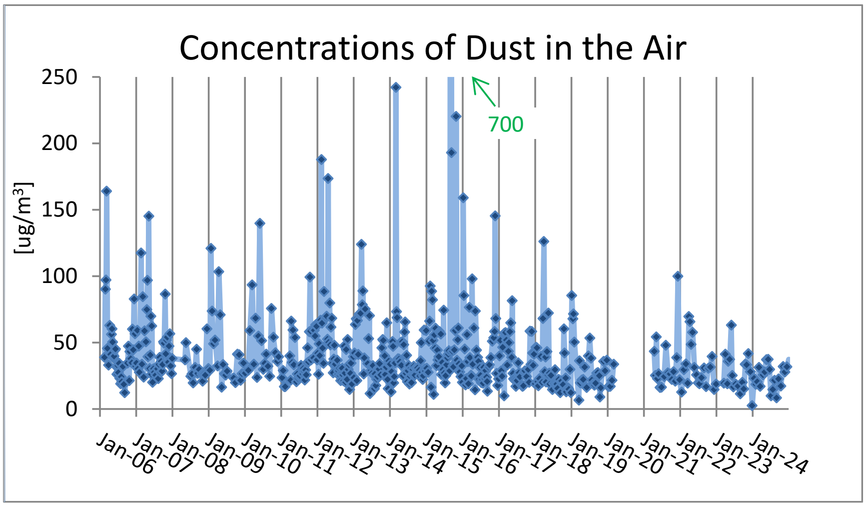
תכנית הניטור מדווחת על שינויים בזמן בריכוזי האבק מעל צפון המפרץ – "עומס" האבק המגיע לים. ניטור האבק נעשה באופן רציף מאמצע שנת 2006, מלבד הפסקות יזומות להגנה על הדוגמה כאמור לעיל ותקלות שחייבו החלפת משאבות – בעקבות הסערה של מרץ 2020 ישנה הפסקה במדידות אשר חודשו רק כעבור למעלה משנה, באפריל 2021.

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. ריכוזי האבק המרביים אשר נמדדו בתחילת חודש ספטמבר 2015, 699 $\mu g/m^3$, היו הגבוהים ביותר אשר נמדדו עד כה במסגרת תכנית הניטור ונמדדו במשך סופת אבק שנמשכה מספר ימים.

ריכוזי האבק השנה היו נמוכים בהשוואה למרבית השנים הקודמות (איור ה19). הריכוז הגבוה ביותר אשר נמדד השנה היה 38 $\mu g/m^3$ בחודש יוני, לעומת ריכוז מרבי של 63 $\mu g/m^3$ בחודש זה בשנה הקודמת. ריכוזי האבק הנמוכים בשנתיים-שלוש האחרונות ובמיוחד השנה קשורים, אולי, להעדרן של סערות דרומיות חזקות.

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 ה19: ריכוזי אבק באוויר מעל הים. מדידות נעשות על גבי פילטר דרכו מוזרם האוויר ומוחלף מדי שבוע.

Figure E19: Weekly suspended dust concentrations in the air above the sea**. Dust is measured on filters through which air is continuously pumped.**

ו. ביבליוגרפיה

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., Jost, L. (2012). Coverage-based rarefaction and extrapolation: standardizing samples by completeness rather than size. Ecology 93 (12): 2533-2547

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

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.

Jeffrey, S.W., Humphrey, G.F., 1975. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c_1 and c_2 in higher plants, algae and natural phytoplankton. Biochemie und Physiologie der Pflanzen v.167.2, p. 191-194.

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.

Oron, S., Akkaynak, D., Goodman Tchernov, B.N., Shaked, Y. (2023). How monster storms shape fringing reefs: Observations from the 2020 Middle East Cyclone. Ecosphere 14(7): e4602

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

Syms, C., Jones, G.P. (2000). Disturbance. Habitat structure. And the dynamics of a coral-reef fish community. Ecology 81 (10): 2714-2729.

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.

Veal, C.J., Carmi, M., Fine, M., Hoegh-Guldberg, O., 2010. Increasing the accuracy of surface area estimation using single wax dipping of coral fragments. Coral Reefs v.29 p. 893-897.

Walther, B., A., Morand, S. (1998). Comparative performance of species richness estimation methods. Parasitology 116, 4: 395-405.

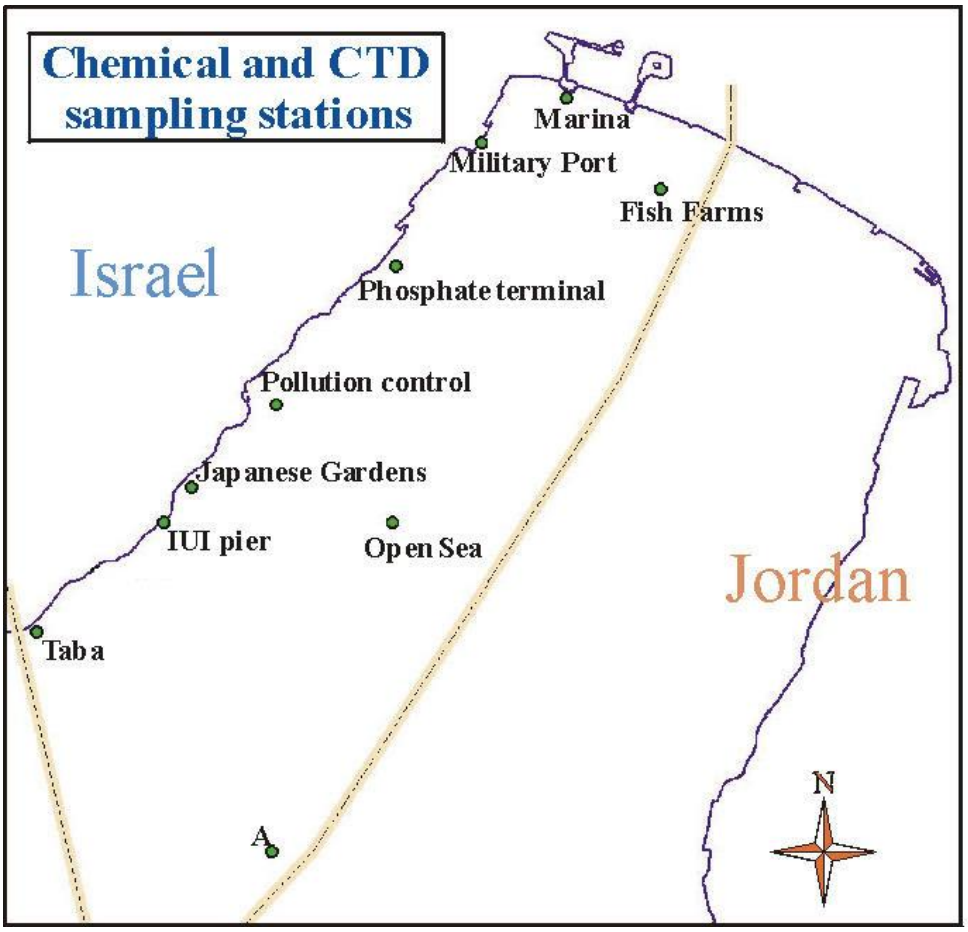
Winters, G., Edlist, D., Shem-Tov R., Beer, S., Rilov, G. (2017). Low cost field-survey method for mapping seagrasses and their potential threats: an example from the northern Gulf of Aqaba, Red Sea. Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst. 27: 324–339.

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**.**

ז.2. רשימות סוגי האלמוגים ומצאי דגים בשוניות אילת

טבלה ז1: רשימת אלמוגי האבן (ומספר המושבות) בחתכי הקו בסקר חברת השונית בשנת 2024.

Table G1: List of stony corals and the number of colonies of each taxa found in the coral reef line-transect survey, 2024**.**

Genus	IUI	KATZA	NR	Eilat
Montipora	59	112	169	**340**
Stylophora	132	73	112	**317**
Acropora	60	87	169	**316**
Dipsastraea	164	47	63	**274**
Cyphastrea	129	50	61	**240**
Goniastrea	61	63	112	**236**
Echinopora	27	79	124	**230**
Paramontastraea	52	82	46	**180**
Porites	43	52	78	**173**
Favites	60	39	35	**134**
Millepora	106	7	7	**120**
Leptastrea	42	43	30	**115**
Gyrosmilia	62		15	**77**
Psammocora	13	30	31	**74**
Pavona	4	30	18	**52**
Platygyra	12	10	27	**49**
Pocillopora	15	4	21	**40**
Plesiastrea	21	4	14	**39**
Astreopora	8	4	24	**36**
Siderastrea	32		4	**36**
Lobophyllia	1	7	27	**35**
Coscinaraea	10	10	9	**29**
Galaxea	5	8	12	**25**
Seriatopora		22	3	**25**
Acanthastrea	5	7	8	**20**
Mycedium		10	9	**19**
Leptoseris	1	5	8	**14**
Erythrastrea	2	3	6	**11**
Goniopora		6	5	**11**
Montastrea	8	1		**9**
Cynarina	1	2	3	**6**
Echinophyllia	4		2	**6**
Merulina	1	3	2	**6**
Turbinaria	3	2	1	**6**
Fungia	3	1	1	**5**
Leptoria		2	3	**5**
Plerogyra		5		**5**
Alveopora			3	**3**
Hydnophora			2	**2**
Trachyphyllia	2			**2**
Herpolitha		1		**1**
Oxypora		1		**1**
Pachyseris		1		**1**
Total	1150	913	1277	**3340**

טבלה ז2: מספר הפרטים ומאפייני מיני הדגים באתרי השונית שנסקרו השנה בשיטת הסקר הישנה.

Table G2: Fish abundance and characteristics at the reef sites surveyed this year using the old survey method**.**

Fish family	Fish species	Fish Hebrew	Habitat	Schooling	Diet	IUI 5	IUI 10	IUI 15	NR 5	NR 10	NR 20	Total
Acanthuridae	Acanthurus nigrofuscus	בתרן שחום	Bentho-Pelagic	Small Group	HD	19	17	19	34	10	58	157
	Ctenochaetus striatus	פגיונון חום	Bentho-Pelagic	Medium group	OM	7	8	5	4		4	28
	Zebrasoma desjardinii	נתחן מפרשי	Bentho-Pelagic	Pair	HD		1	2				3
	Zebrasoma xanthurum	נתחן סגול	Bentho-Pelagic	Small Group	HD	2	14	4		4	4	28
Atherinidae	Atherinidae	סרדיניים	Pelagic	Large group	PK	700	510			200		1410
Balistidae	Balistapus undulatus	אחינצרן קווי	Bentho-Pelagic	Solitary	IM		1	1	1	2		5
	Odonus niger	פיחון אדום שן	Bentho-Pelagic	Medium group	PK						2	2
	Sufflamen albicaudatum	נצתית לבנת זנב	Bentho-Pelagic	Solitary	IM	4	4	8	1	4	3	24
	Other Balistidae (unidentified species)	נצתיים						1				1
Blenniidae/Gobiidae	Other Blenniidae/Gobiidae (unidentified species)	גובים/בלניים	Benthic			17	17	17	21	43	31	146
Caesionidae	Caesionidae	כחליים	Pelagic	Large group	PK		59	84	25	20	120	308
Chaetodontidae	Chaetodon auriga	פרפרון החוט	Bentho-Pelagic	Pair	IM				1			1
	Chaetodon austriacus	פרפרון שחור שת	Bentho-Pelagic	Pair	IS	6	5	10	2	2	6	31
	Chaetodon fasciatus	פרפרון לבן מצח	Bentho-Pelagic	Pair	IS	2		5	1			8
	Chaetodon lineolatus	פרפרון שחור גב	Bentho-Pelagic	Pair	IS	1						1
	Chaetodon paucifasciatus	פרפרון האודם	Bentho-Pelagic	Pair	IS	14	7	13	15	9	15	73
	Heniochus intermedius	שרביטנית שונית	Bentho-Pelagic	Pair	IM					2	2	4
Holocentridae	Sargocentron diadema	ברקן הנזר	Bentho-Pelagic	Sol	IM						2	2
Labridae	Anampses lineatus	מרגנון מקווקו	Bentho-Pelagic	Solitary	IM	1		1				2
	Anampses meleagrides	מרגנון צהוב זנב	Bentho-Pelagic	Solitary	IM	1					1	2
	Anampses twistii	מרגנון צהוב גרון	Bentho-Pelagic	Solitary	IM	1					1	2
	Bodianus anthioides	הדורית חצויה	Bentho-Pelagic	Solitary	IM	2			6	1	1	10
	Cheilinus lunulatus	תפאר הסהרון	Bentho-Pelagic	Solitary	IM	3			1		1	5
	Coris aygula	ילית ים סוף	Bentho-Pelagic	Solitary	IM	1	2	1		1		5
	Coris sp.	ילית	Bentho-Pelagic	Solitary	IM	1	3		1			5
	Gomphosus klunzingeri (caeruleus)	חדפון כחל	Bentho-Pelagic	Solitary	IM	5		1	6		1	13
	Labroides dimidiatus	נקאי אלתי	Bentho-Pelagic	Pair	IM	3	1	1	6	3	1	15
	Larabicus quadrilineatus	אחי נקאי	Bentho-Pelagic	Solitary	IM					1	4	5
	Paracheilinus octotaenia	הדותית תמן קווית	Bentho-Pelagic	Medium group	PK		110	118	2	10	115	355
	Pseudocheilinus hexataenia	שפתנית שש פסית	Bentho-Pelagic	Small Group	IM			6	3		7	16
	Stethojulis albovittata	טווסית כחולת פסים	Bentho-Pelagic	Small Group	IM			7		2	1	10
	Thalassoma lunare	טווסון סהרוני	Bentho-Pelagic	Small Group	IM				4		3	7
	Thalassoma rueppellii	טווסון אלתי	Bentho-Pelagic	Small Group	IM	14	20	14	13	8	4	73
	Thalassoma sp.	טווסון	Bentho-Pelagic	Small Group	IM	16	1	6	3	4	1	31
Lethrinidae	Lethrinidae	שוריים	Bentho-Pelagic			1	1	2	3	2	5	14
Mullidae	Mulloidichtys flavolineatus	בינתן צהוב פס	Benthic	Medium group	IM				4	10		14
	Parupeneus cyclostomus	בינתן עגול פה	Benthic	Solitary	FC		1	1	2			4
	Parupeneus forsskali	בינתן פורסקל	Benthic	Small Group	IM	15	13	8	6	3	6	51
	Parupeneus macronemus	בינתן נבר	Benthic	Small Group	IM	21	9	10	2	4	2	48
	Parupeneus rubescens	בינתן מאדים	Benthic	Small Group	IM		1					1
	Ostracion cubicus	קופסינון נקוד	Bentho-Pelagic	Solitary	IM	1			1			2
	Ostracion cyanurus	קופסינון סגול	Bentho-Pelagic	Solitary	IM	2			1			3
	Tetrasomus gibbosus	שריונון גבנוני	Bentho-Pelagic	Solitary	OM				1			1
Pinguipedidae	Parapercis hexophtalma	פארן אלתי	Benthic	Solitary	FC	3		1		3		7
Pomacanthidae	Apolemichthys xanthotis	קיסרון עטור	Bentho-Pelagic	Small Group	IS	1	1	3				5
	Centropyge multispinis	קיסרון תכול סנפיר	Bentho-Pelagic	Pair	HD	2	2	1	1			6
	Genicanthus caudovittatus	נסיכה פסוסה	Bentho-Pelagic	Small Group	PK						4	4
	Pomacanthus diacanthus	פסון מגוון	Bentho-Pelagic				1	1			2	4
	Pomacanthus imperator	קיסר הדור	Bentho-Pelagic	Solitary	IS	1	4	1	1		1	8
Pomacentridae	Amphiprion bicinctus	שושנון אלתי	Bentho-Pelagic	Small Group	PK			2	2	3		7
	Chromis dimidiata	כרומית דוגונית	Bentho-Pelagic	Medium group	PK	18	10	8	72		22	130
	Chromis viridis	כרומית יקקת	Bentho-Pelagic	Large groups	PK		128	42	250	360	30	810
	Dascyllus aruanus	אלמוגית הפסים	Bentho-Pelagic	Medium group	PK	4	2		12	34	2	54
	Dascyllus marginatus	אלמוגית השוליים	Bentho-Pelagic	Medium group	PK	43	117	72	13	123	69	437
	Dascyllus trimaculatus	אלמוגית שחורה	Bentho-Pelagic	Small Group	PK	1						1
	Neopomacentrus miryae	שוניתית מירי	Bentho-Pelagic	Large groups	PK			5		200	56	261
	Pomacentrus sulfureus	שוניתן גפור	Bentho-Pelagic	Small Group	OM				1			1
	Pomacentrus trichourus	שוניתן לבן זנב	Bentho-Pelagic	Small Group	OM	86	85	101	95	33	97	497
Pseudochromidae	Pseudochromis pesi	צבעון חיוור	Benthic	Solitary	IM	1						1
	Pseudochromis fridmani	צבעוני פרידמן	Benthic	Solitary	IM		4	7	4	4	103	122
	Pseudochromis olivaceus	צבעוני זיתני	Benthic	Solitary	IM	3	3		1	1	2	10
	Pseudochromis springeri	צבעוני ספרינגר	Benthic	Solitary	IM	2	7	12	4	1	45	71
	Other Pseudochromidae (unidentified species)	צבעוניים	Benthic	Solitary	IM	5	1	7	8			21

Fish family	Fish species	Fish Hebrew	Habitat	Schooling	Diet	IUI 5	IUI 10	IUI 15	NR 5	NR 10	NR 20	Total
	Chlorurus sordidus	תוכינון ירוק קווים	Bentho-Pelagic	Small Group	OM	6	1	2	7	6	13	35
	Scarus ferrugineus	תוכינון חלוד	Bentho-Pelagic			7			2	2	7	18
	Other Scaridae (unidentified species)	תוכינונים	Bentho-Pelagic			7	14	23	14	8	10	76
Scorpaenidae	Pterois miles	הרון	Bentho-Pelagic	Solitary	FC		2	1				3
Serranidae	Cephalopholis hemistiktos	דקר חום	Bentho-Pelagic	Solitary	IM	2		3	8	2	6	21
	Cephalopholis miniata	דקר אדום	Bentho-Pelagic	Solitary	FC	1	3	8	2		3	17
	Epinephelus fasciatus	דקר פסים	Bentho-Pelagic	Solitary	FC	5	2	2	2	3	3	17
	Pseudanthias sp.	פדיות	Bentho-Pelagic	Large groups	PK	3	20	73	15	20	15	146
	Pseudanthias squamipinnis	פדית ים סוף	Bentho-Pelagic	Large groups	PK		228	33	10	120	265	656
	Variola louti	וריולה סיסית	Bentho-Pelagic	Solitary	FC			1	2	2		5
Siganidae	Siganus argenteus	סיכן כסוף פצול זנב	Bentho-Pelagic	Large groups	HD	2	1					3
	Siganus luridus	סיכן הודי	Bentho-Pelagic	Pair	HD				1			1
	Other Siganidae (unidentified species)	סיכניים	Bentho-Pelagic			2	1					3
Synodontidae	Synodus variegatus	לטאנון	Benthic	Pair	FC	1	2	3			1	7
Tetraodonitidae	Other Tetraodonitidae (unidentified species)	נפוחיתיים	Benthic			1					1	2
Total						1072	1444	761	697	1271	1158	6467

טבלה ז3: מספר הפרטים ומאפייני מיני הדגים באתרי השונית שנסקרו השנה בשיטת הסקר החדשה.

Table G3: Fish abundance and properties at the reef sites surveyed this year using the new survey method**.**

Fish family	Fish species	Fish Hebrew	Transiet / criptic	Habitat	Schooling	Diet	IUI 5	IUI 10	IUI 15	NR 5	NR 10	NR 20	Total
Acanthuridae	Acanthurus nigrofuscus	בתרן שחום	T	Bentho-Pelagic	Small Group	HD	79	63	43	119	25	45	374
	Ctenochaetus striatus	פגיונון חום	T	Bentho-Pelagic	Medium group	OM	2	1	2	5	4	1	15
	Zebrasoma desjardinii	נתחן מפרשי	T	Bentho-Pelagic	Pair	HD	2	4	2	11			19
	Zebrasoma xanthurum	נתחן סגול	T	Bentho-Pelagic	Small Group	HD	29	27	15	27	24	3	125
Apogonidae	Cheilodipterus quinquelineatus	כילון חמש קווי	C	Bentho-Pelagic	Small Group	FC				9	2	8	19
Holocentridae	Sargocentron rubrum	ברקן אדום	T	Bentho-Pelagic	Solitary	IM	1			1			2
Atherinidae	Atherinidae	סרדיניים	T	Pelagic	Large group	PK	100						100
Balistidae	Balistapus undulatus	אחינצרן קווי	T	Bentho-Pelagic	Solitary	IM	2			2	2		6
	Odonus niger	פיחון אדום שן	T	Bentho-Pelagic	Medium group	PK					2		2
	Pseudobalistes fuscus	רב נצרן	T	Bentho-Pelagic	Solitary	IM		1	2		1	2	6
	Rhinacanthus assasi	פיקסון ים סופי	T	Bentho-Pelagic	Solitary	IM	4	7		3	2		16
	Sufflamen albicaudatum	נצרתית לבנת זנב	T	Bentho-Pelagic	Solitary	IM	11	8	18	5	11	7	60
Blenniidae/Gobiidae	Ecsenius gravieri	קרנונית אילתית	C	Bentho-Pelagic	Solitary	HD	8	2					10
	Amblyeleotris sungami	סרטנון אזורה	C	Benthic	Solitary	IM					17	1	18
	Aspidontus tractus	חקיין נקאי	C	Bentho-Pelagic	NA	FC					1		1
	Amblyeleotris sungami	סרטונית אזורה	C	Bentho-Pelagic	Solitary	IM					7		7
	Amblyeleotris steinitzi	סרטנונית שטייניץ	C	Benthic	Solitary	IM			1				1
	Other Blenniidae/Gobiidae (unidentified species)	גובים/בלניים	C	Benthic			5	39	43	91	148	120	446
Caesionidae	Caesionidae	כחליים	T	Pelagic	Large group	PK	10	19	50		50		129
Chaetodontidae	Chaetodon auriga	פרפרון החוט	T	Bentho-Pelagic	Pair	IM			2	2	2		6
	Chaetodon austriacus	פרפרון שחור שת	T	Bentho-Pelagic	Pair	IS	2	1	4	13		3	23
	Chaetodon fasciatus	פרפרון לבן מצח	T	Bentho-Pelagic	Pair	IS			3	9	2	1	15
	Chaetodon lineolatus	פרפרון שחור גב	T	Bentho-Pelagic	Pair	IS				3		1	4
	Chaetodon paucifasciatus	פרפרון האודם	T	Bentho-Pelagic	Pair	IS	10	18	26	31	20	19	124
	Heniochus intermedius	שרביטנית שונית	T	Bentho-Pelagic	Pair	IM			9	3	4	2	18
Cirrhitidae	Paracirrhites cf. arcatus	ריסנפיר	C	Bentho-Pelagic	Solitary	FC				1	2	1	4

Fish family	Fish species	Fish Hebrew	Transiet / criptic	Habitat	Schooling	Diet	IUI 5	IUI 10	IUI 15	NR 5	NR 10	NR 20	Total
Labridae	Anampses lineatus	מהגנון מקווקו	T	Bentho-Pelagic	Solitary	IM				1			1
	Anampses meleagrides	מהגנון צהוב זנב	T	Bentho-Pelagic	Solitary	IM				1			1
	Anampses twistii	מהגנון צהוב גרון	T	Bentho-Pelagic	Solitary	IM						3	3
	Bodianus anthioides	הדורית חצויה	T	Bentho-Pelagic	Solitary	IM	3	2	2	4		17	28
	Cheilinus lunulatus	תפאר הסהרון	T	Bentho-Pelagic	Solitary	IM			1		1		2
	Coris aygula	יולית ים סוף	T	Bentho-Pelagic	Solitary	IM	1	3	1	4	2		11
	Coris caudimacula	יולית הכתם	T	Bentho-Pelagic	Solitary	IM		1	18		2	1	22
	Coris sp.	יולית	T	Bentho-Pelagic	Solitary	IM			1				1
	Gomphosus klunzingeri (caeruleus)	חדפון כחול	T	Bentho-Pelagic	Solitary	IM	3		1	23	1	2	30
	Hemigymnus fasciatus	עבשפה מפוספס	T	Benthic	Solitary	IM						1	1
	Labroides dimidiatus	נקאי אלתי	C	Bentho-Pelagic	Pair	IM	1			14	3	7	25
	Larabicus quadrilineatus	אחי נקאי	C	Bentho-Pelagic	Solitary	IM				91	5	19	115
	Macropharingodon marisrubri	נוניב הקווים	C	Bentho-Pelagic					3				3
	Oxycheilinus mentalis	תפאר ארוך ראש	T	Bentho-Pelagic	Solitary	IM				4	6	1	11
	Paracheilinus octotaenia	הדורנית תמן קווי	T	Bentho-Pelagic	Medium group	PK	21	135	340	59	133	100	788
	Pseudocheilinus hexataenia	שפתנית שש פסי	T	Bentho-Pelagic	Small Group	IM	2		11	59	4	15	91
	Stethojulis albovittata	טווסית כחולת פס	T	Bentho-Pelagic	Small Group	IM			2	6	4		12
	Thalassoma lunare	טווסון סהרוני	T	Bentho-Pelagic	Small Group	IM			2				2
	Thalassoma rueppellii	טווסון אילתי	T	Bentho-Pelagic	Small Group	IM			10	31	6	4	51
	Thalassoma sp.	טווסון	T	Bentho-Pelagic	Small Group	IM	42	32	13	19	17	8	131
Lethrinidae	Lethrinidae	שוריים	T	Bentho-Pelagic			3	5	7	4	4		23
Mullidae	Mulloidichtys flavolineatus	בינתן צהוב פס	T	Benthic	Medium group	IM				4		10	14
	Parupeneus cyclostomus	בינתן עגול פה	T	Benthic	Solitary	FC	5		5		1		11
	Parupeneus forsskali	בינתן פורסקל	T	Benthic	Small Group	IM	15	12	16	5	15	9	72
	Parupeneus macronemus	בינתן נובר	T	Benthic	Small Group	IM	18	21	22	16	30	11	118
	Parupeneus rubescens	בינתן מאדים	T	Benthic	Small Group	IM	1						1
Ostraciidae	Arothron diadematus	נפוחית המשקפיי	T	Benthic	Solitary	IM				1			1
	Ostracion cubicus	קופסינון נקוד	T	Bentho-Pelagic	Solitary	IM		3		1			4
	Ostracion cyanurus	קופסינון סגול	T	Bentho-Pelagic	Solitary	IM			3	1			4
	Tetrasomus gibbosus	שריונון גבנוני	T	Bentho-Pelagic	Solitary	OM		1					1
	Other Ostraciidae (unidentified species)		T	Bentho-Pelagic			3	3		1	1		8
Pinguipedidae	Parapercis hexophtalma	פארן אלתי	C	Benthic	Solitary	FC	11	2		2	3	2	20
Pomacanthidae	Apolemichthys xanthotis	קיסרון עטור	T	Bentho-Pelagic	Small Group	IS	1	1					2
	Centropyge multispinis	קיסרון תכול סנפי	T	Bentho-Pelagic	Pair	HD	3		1	5			9
	Genicanthus caudovittatus	נסיכה פסוסה	T	Bentho-Pelagic	Small Group	PK						36	36
	Pomacanthus imperator	קיסר הדור	T	Bentho-Pelagic	Solitary	IS	2	1	4	2		1	10
Pomacentridae	Amblyglyphidodon flavilatus	דפדופית צהובתצ	C	Bentho-Pelagic	Medium group	PK			8	1		7	16
	Amphiprion bicinctus	שושנון אלתי	C	Bentho-Pelagic	Small Group	PK	4	4	1	12		2	23
	Chromis dimidiata	כרומית דוגונית	C	Bentho-Pelagic	Medium group	PK	41	128	6	314	19	29	537
	Chromis viridis	כרומית ירקרקת	C	Bentho-Pelagic	Large groups	PK	61	352	322	1615	2417	30	4797
	Dascyllus aruanus	אלמוגית הפסים	C	Bentho-Pelagic	Medium group	PK	27	20	5	10	149	8	219
	Dascyllus marginatus	אלמוגית השוליים	C	Bentho-Pelagic	Medium group	PK	209	486	465	118	331	297	1906
	Dascyllus trimaculatus	אלמוגית שחורה	C	Bentho-Pelagic	Small Group	PK	24	1	2				27
	Neopomacentrus miryae	שוניתית מירי	T	Bentho-Pelagic	Large groups	PK			41	40	104		185
	Pomacentrus sulfureus	שוניתן גפור	C	Bentho-Pelagic	Small Group	OM	4	2		4			10
	Pomacentrus trichourus	שוניתן לבן זנב	C	Bentho-Pelagic	Small Group	OM	238	328	282	372	222	274	1716
Pseudochromidae	Pseudochromis pesi	צבעון חיוור	C	Benthic	Solitary	IM	5						5
	Pseudochromis fridmani	צבעוני פרידמן	C	Benthic	Solitary	IM	9	25	68	34	10	209	355
	Pseudochromis olivaceus	צבעוני זיתני	C	Benthic	Solitary	IM	14	7	9	10	10	8	58
	Pseudochromis springeri	צבעוני ספרינגר	C	Benthic	Solitary	IM	7	53	72	51	30	83	292
Ptereleotridae	Ptereleotris evides	דג חץ	C	Bentho-Pelagic	Pair	PK				2			2
Scaridae	Cetoscarus bicolor	תוכינון דוגוני	T	Bentho-Pelagic	Small Group	HD				2		1	3
	Chlorurus sordidus	תוכינון ירוק קווים	T	Bentho-Pelagic	Small Group	OM	12	9	13	116	12	16	178
	Scarus ferrugineus	תוכינון חלוד	T	Bentho-Pelagic			4	9	11	37	18	3	82
	Scarus fuscopurpureus	תוכינון כחול שפה	T	Bentho-Pelagic	Pair	HD			3	1	5		9
	Other Scaridae (unidentified species)	תוכינונים	T	Bentho-Pelagic			13	10	6	27	29	7	92
Scorpaenidae	Pterois miles	זהרון	C	Bentho-Pelagic	Solitary	FC				8			8
Serranidae	Cephalopholis hemistiktos	דקר חום	T	Bentho-Pelagic	Solitary	IM				5	2	3	10
	Cephalopholis miniata	דקר אדום	T	Bentho-Pelagic	Solitary	FC	3	5	19	16	8	6	57
	Epinephelus fasciatus	דקר פסים	T	Bentho-Pelagic	Solitary	FC	7	9	3	2	6	1	28
	Grammistes sexlineatus	בוריתן שש פסים	C	Benthic	Solitary	FC	1			5	1	2	9
	Pseudanthias sp.	פזיות	T	Bentho-Pelagic	Large groups	PK				100		100	200
	Pseudanthias squamipinnis	פזית ים סוף	T	Bentho-Pelagic	Large groups	PK	46	470	387	20	230	403	1556
	Variola louti	וריולה סיסית	T	Bentho-Pelagic	Solitary	FC	1	3		3	3	3	13
Siganidae	Siganus argenteus	סיכן כסוף פצול זנ	T	Bentho-Pelagic	Large groups	HD	3		1				4
	Siganus luridus	סיכן הודי	T	Bentho-Pelagic	Pair	HD	4	2	5	8	1		20
	Siganus stellatus	סיכן הכוכבים	T	Bentho-Pelagic	Large groups	HD	1						1
	Other Siganidae (unidentified species)	סיכן	T	Bentho-Pelagic			1	1					2
Syngnathidae	Corythoichthys flavofasciatus	אבובית הכתם	C	Benthic	Pair	IM			1				1
	Corythoichthys shultzi	אבובית ארוכת חד	C	Benthic	Pair	IM			8		2	2	12
Synodontidae	Synodus variegatus	לטאנון	C	Benthic	Pair	FC	2		1	1	1	1	6
	Other Synodontidae (unidentified species)	לטנוניים	C	Benthic			7	16	10	13	5	5	56
Tetraodontidae	Canthigaster cyanospilota	פנינון האוכפים	T	Benthic	Solitary	OM	1						1
	Other Tetraodonitidae (unidentified species)	נפוחיתיים	T	Benthic						1	1		2
Total							1150	2352	2432	3641	4180	1961	15712

טבלה ז4: הרכב חברת הדגים באתר NR 10 לאורך שנות הניטור. המספרים נתונים כשכיחות מנורמלת ליחידת דגימה.

Table G4: Fish community by families in NR 10 during the monitoring years**. Numbers are normalized to sampling units.**

Family	**2007**	**2008**	**2009**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**	**2020**	**2021**	**2022**	**2023**	**2024**
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	75.3
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	14.7
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	3.0
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	2.0
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	1.6
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	1.4
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	1.3
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	4.3
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	1.7
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	0.6
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	0.6
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	0.0
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	0.0	0.1
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	0.0
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	0.0
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	0.3
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	0.0
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	0.0
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	0.1
Total	143.0	111.9	262.5	145.4	60.3	117.8	133.1	100.2	113.6	114.2	100.4	203.7	67.7	85.8	73.5	105.9	62.1	107.2

ז.3. יצרנות ראשונית

טבלה ז5: ערכי יצרנות ראשונית בעמודת המים העליונה (אינטגאציה של 100 המטרים העליונים) בימי הדגימה מאז תחילת הניטור.

Table G5: Integrated primary productivity (upper 100 meters of the water column) in the days sampled since monitoring started**.**

gC m^{-2} day^{-1}												
	Jan	**Feb**	**Mar**	**Apr**	**May**	**Jun**	**Jul**	**Aug**	**Sep**	**Oct**	**Nov**	**Dec**
2010	0.293		1.109	0.370	0.060	0.317	0.277	0.499	0.296	0.339	0.490	0.211
2011	0.213	0.320	1.547	0.399	0.412	0.178	0.163	0.336		0.361	0.302	0.124
2012	0.285	0.231	0.289	0.531	0.555	0.391	0.346	0.282	0.274	0.552	0.308	0.361
2013	0.422	0.300	0.973	0.329	0.288	0.376	0.138	0.347	0.207	0.448	0.442	0.366
2014		0.317	0.603	0.479	0.397	0.202	0.364	0.329	0.216	0.465	0.415	0.290
2015	0.480	0.489	1.868	0.864		0.198	0.313	0.316		0.382	0.375	0.123
2016	0.260	0.359	0.602	0.609	0.374	0.425	0.503	0.502		0.360	0.411	
2017	0.481	0.426	0.661	0.651	0.577	0.328	0.522	0.254	0.392	0.442		0.633
2018	0.548	0.624	0.517	0.513	0.271	0.301	0.313	0.213	0.420			0.415
2019		0.563	0.624	0.311	0.460	0.586	0.461	0.269	0.224	0.310	0.331	0.431
2020	0.356	0.697			0.578	0.327	0.571	0.347	0.376	0.260	0.334	
2021												
2022					0.264		0.254		0.409			0.615
2023	0.302				0.850		0.073		0.535			
2024						0.355		0.275		0.426		0.312