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

אושר בישיבת הוועד המנהל: 5/7/2023

התוכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת

דו"ח מדעי לשנת 2022

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' אמציה גנין, מנהל מדעי, תכנית הניטור

התכנית ממומנת ע"י המשרד להגנת הסביבה

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

חברי הוועד המנהל:

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

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

<u>צוות הניטור:</u>
פרופ' אמציה גנין, מנהל מדעי
ד"ר יונתן שקד, מנהל התכנית

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

<u>יעוץ וסיוע:</u>
ד"ר שי אורון, אוניברסיטת חיפה והמכון הבינאוניברסיטאי (מאספי פורמיניפרים בסדימנט)
ד"ר אייל וורגפט, האוניברסיטה הפתוחה והאוניברסיטה העברית (פחמן אנאורגני מומס, pH)
גילי אדוורדסון, האוניברסיטה העברית
פרופ' עדי טורפשטיין, האוניברסיטה העברית (חומר חלקיקי בעמודת המים)
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)

<u>עזרה במכון הבינאוניברסיטאי:</u>
שוקי אייזקס
נחום סלע
עמנואל ססטרי
דמיטרי צ'ורילוב
אסף ריבלין

תוכן העניינים

א. מבוא 4
א.1. מטרת הניטור במפרץ אילת 4
א.2. הקדמה 4
א.3. תקציר התוצאות והמסקנות 8
תנודות רב-שנתיות ומגמות שינוי 12
א.4. תקציר באנגלית, *English Abstract* 14
List of Tables and Figures 22
א.5. בחינת מגמות במצב המערכת הימית בצפון מפרץ אילת 29
א.6. המלצות 33
ב. שונית האלמוגים 35
ב.1. סקר חברת השונית 35
שולחן השונית 58
דיון ומסקנות 62
ב.2. חברת האלמוגים בלגונת שמורת האלמוגים 66
ב.3. התיישבות אלמוגים בשונית 70
ב.4. סקר חסרי חוליות ניידים בשונית 75
ב.5. קצב גידול מאקרו-אצות בשונית 81
ב.6. סקר דגי השונית 89
ג. ניטור הסביבה החופית 99
ג.1. מי הים בקרבת החוף 99
מדדים כימיים 101
מדדים פיסיקליים 111
דיון 115
ג.2. לרוות דגים בסמוך לשונית ובחוף הצפוני 117
ג.3. קרקעית חולית במים רדודים – אפיון החי בסדימנט 119
אפיון החי בקרקעית רכה בשני אתרים (בחוף הצפוני ובחוף הדרומי) 119
שינויים במאספי פורמיניפרים בנתוניים בצפון המפרץ לאחר פינוי כלובי הדגים 126
ג.4. כיסוי עשב ים בקרקעית חולית 130
ד. עמודת המים בים העמוק 133
ד.1. טמפרטורה ומליחות 136
ד.2. חמצן, pH ואלקליניות, נוטריינטים ופחמן חלקיקי 143
ד.3. כלורופיל *a* ופלואורסנציה 167
דיון – עמודת המים 171
ד.4. פיטופלנקטון וחיידקים בעמודת המים 173
ד.5. זואופלנקטון בעמודת המים 175
ד.6. יצרנות ראשונית בעמודת המים 178
ד.7. שטף החלקיקים בעמודת המים 183
ה. מדידות סביבתיות בתדירות גבוהה 186
ה.1. כלורופיל בפני הים בשמורת חוף אלמוג 186
ה.2. טמפרטורת המים בפני הים בשמורת חוף אלמוג 188
ה.3. משתנים מטאורולוגים 190
מדידות אטמוספריות 193
מדידות בים 197
ה.4. גלים וזרמים 199
ה.5. אבק מרחף 202
ו. ביבליוגרפיה 204
ז. נספחים 206
ז.1: מפות אתרי הניטור 206

ז.2. רשימת סוגי האלמוגים 207
ז. 3. מצאי דגי השונית שנסקרו 208
ז. 4. ריכוזי מתכות בחוף הצפוני 211

א. מבוא

א.1. מטרת הניטור במפרץ אילת

מטרת התכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת היא יצירת תשתית ידע עובדתי רב שנים על מצב המערכת האקולוגית, הכימית והפיסקלית הימית בצפון מפרץ אילת. על תשתית זו לשמש בסיס מדעי לגיבוש המלצות ביצועיות לפתרון בעיות אקולוגיות, ניהול תכניות ממשק סביבתי והמשך פיתוח מושכל 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, מעריכה את מצב "בריאות" המערכת ואת השפעתם האקולוגית של גורמי זיהום וסביבה שונים.

תפקידה של תכנית הניטור לדווח על מצב המערכת האקולוגית, להתריע על סכנות הנשקפות לה ובמקרה של הידרדרות להציע דרכים לעצירתה ולשיקום המערכת.

א.2. הקדמה

הדו"ח שלהלן מתאר את עבודת הניטור הלאומי בצפון מפרץ אילת בשנת 2022. 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 גדולה לניתוח התוצאות ההשוואתיות.

תכנית הניטור עדיין לא מיצתה את טווח הערכים האפשרי במערכת (למשל, משרעת ריכוזי נוטריינטים במים העמוקים או אחוז כסוי אלמוגים מרבי באתרי השונית), אך פרק הזמן בו פועלת התכנית כבר מאפשר התחלה של הערכת המחזורים והתהליכים תלויי הזמן הפועלים בטווח הבינוני.

נתונים הקודמים לנתוני תכנית הניטור מסוכמים בדו"ח 2004 שם נעשית השוואה בינם ובין נתוני תכנית הניטור. בדו"ח זה מוזכרים לעיתים נתונים הלקוחים משנים קודמות, ובמקרים אלה מאוזכר המקור.

השנה נוספו מדידות של גלים מול המכון הבינאוניברסיטאי ומדידות זרמים בקרבת פני הים, בסמוך לחוף המכון. מדידות אלה עדיין לא נכנסו לשגרת מדידה רציפה והתכנית עדיין מחפשת את אופן ההצבה והתפעול המתאימים ביותר.

חודשו מדידות שטף החלקיקים בעמודת המים (בשיתוף פרופ' ע. טורפשטיין מהאונ' העברית) אשר הופסקו עקב אבדן מערך המדידה בים בשנת 2019. מלכודת אוטומטית חדשה הוצבה באוגוסט 2021 ומודדת ברזולוציה של 2-4 ימים בעומק של 400 מטרים. נוספו מדידות פרופילים של ריכוזי פחמן אנאורגני מומס בעמודת המים בתחנה A (בשיתוף עם פרופ' א. וורגפט וג. אדברדסון מהאוניברסיטה הפתוחה והאונ' העברית). מדידות אלה נעשות בזמן הפלגות הניטור החודשיות. חודשו מדידות היצרנות הראשונית (בשיתוף פרופ' א. רהב ות. רייך מחקר ימים ואגמים לישראל) המדידות נעשות ברזולוציה דו-חודשית.

מאידך, אנליזה של צילומים קבועי מקום בשונית לא התקיימה השנה ואנו שוקדים על בניית מערך צילומים חדש שיתאים לכלים החישוביים המצויים כיום. יחד עם זאת, הנקודות הקבועות צולמו גם השנה לצורך שימוש עתידי במידה ויעלה הצורך. גם ספירות של תאים בעמודת המים לא מדווחות השנה מכיוון שהתוצאות האנליטיות ממעבדת השירות בטכניון לא היו משביעות רצון. אנו מחפשים פתרון אנליטי שיאפשר אנליזה מחודשת של הדוגמאות (דופליקטים) והמשך המעקב בעתיד.

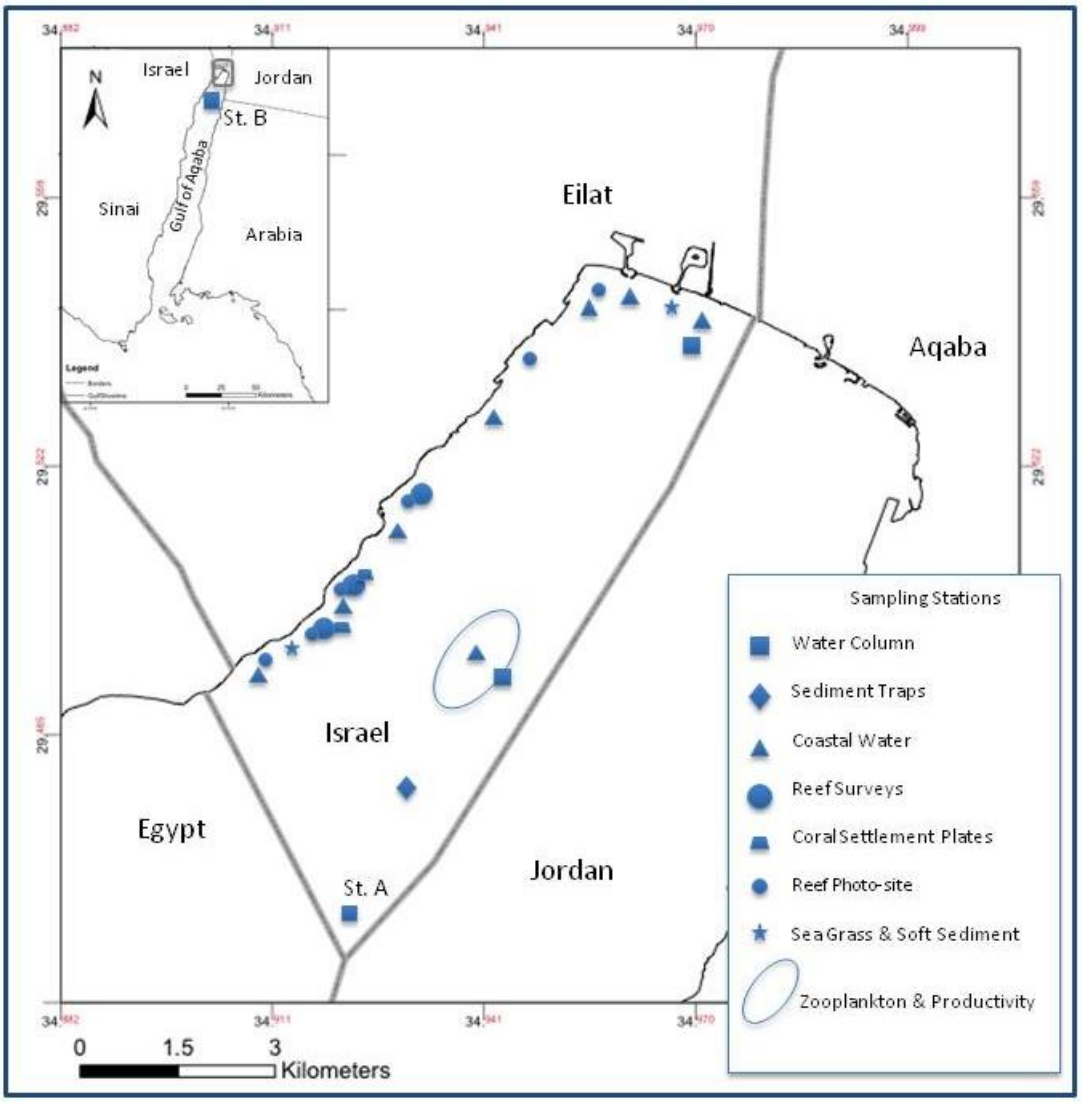
נתוני תכנית הניטור, החל משנת 2004, מאוכסנים בבסיס נתונים אלקטרוני והגישה אליהם פתוחה לכל דורש

דרך אתר תכנית הניטור במכון הבינאוניברסיטאי למדעי הים באילת: http://www.iui-eilat.ac.il/NMP.
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 + ניתוח הצילומים	אחת לשנה, באביב (מספר שבועות)
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)
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 רציפות בסמוך למכון הבינאוניברסיטאי	
מדידות יומיות של טמפרטורה וכלורופיל במזח	מדי יום
תחנה מטאורולוגית + כרית	ניטור רציף
גלים וזרמים	ניטור רציף
אבק מרחף	ניטור רציף



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

שונית האלמוגים

1. כיסוי אלמוגי אבן חיים – כיסוי האלמוגים בשוניות אילת הרדודות נפגע קשות בסערה הדרומית של מרץ 2020. הפגיעה לא היתה אחידה במרחב ולא כל השוניות נפגעו במידה שווה. אחוז כיסוי האלמוגים הממוצע באתרי קדמת השונית ירד בשנים 2020-2021, בעקבות הסערה, והשנה דווקא נמדדה עלייה קלה בכיסוי האלמוגים הממוצע. כיסוי האלמוגים הממוצע אשר נמדד השנה היה 22.6±3.2% מעט גבוה בהשוואה לשנה הקודמת (21.9±3.0%), אך נמוך מהכיסוי שנמדד בקיץ 2019, לפני הסערה (24.9±4.5%). גם באתר שולחן השונית שחווה ירידה בכיסוי האלמוגים מאז הסערה, נמדדה השנה עליה (18.6±2.3% השנה, לעומת 16.2±1.5% בשנה הקודמת). כיסוי האלמוגים החיים בשוניות אילת עדיין גבוה משהיה בשנות הניטור הראשונות אולם הירידה מאז 2019 מעוררת דאגה. יתכן כי הירידה נובעת ישירות מפגיעתה של הסערה החזקה במרץ 2020, ויתכן שהשנה כבר ניתן להבחין בתחילתו של תהליך התאוששות, אולם מוקדם לקבוע זאת בוודאות.
2. גודל מושבות אלמוגי אבן – בין אתרי השונית המנוטרים ישנם הבדלים בגודל מושבות האלמוגים האופייני. באתר המעבדה חלקן של המושבות הקטנות רב ביותר, ואילו באתר השמורה הרדוד והעמוק חלקן המועט ביותר ומושבות גדולות וענקיות נפוצות שם יותר מאשר באתרים אחרים. לאורך השנים מסתמנת ירידה בחלקן של המושבות הקטנות ועליה בחלקן של המושבות הבינוניות והגדולות. השנה, לאחר ארבע שנים של יציבות, שוב נמצאה ירידה בצפיפות המושבות הקטנות. מכיוון שמושבות קטנות מהוות רוב גדול באוכלוסיית אלמוגי אילת, ישנה התאמה בין צפיפות המושבות הקטנות וצפיפות כלל המושבות. השנה נמצאה ירידה בצפיפות מושבות האלמוגים באתרי השונית באילת.
3. מגוון מיני אלמוגים – מדד Shanon-Wiener למגוון, בעזרתו נאמד מגוון אלמוגי האבן בשוניות אילת, מראה תנודות קלות ולא מגמתיות בין השנים. לרוב, ערך המגוון באתרים רדודים נמוך בהשוואה לאתרים עמוקים. עקומות הצבירה של סוגי אלמוגים מציירות תמונה דומה, וכך גם תוחלת מספר סוגי האלמוגים הצפוי בספירת אלף וחמש מאות מושבות אקראיות. בכל המדדים השינויים במגוון האלמוגים בין השנים קטנים.
4. פריחת אצות בשונית – השנה היה ערבוב עמוק של עמודת המים ובעקבות זאת פריחה חזקה של אצות פלנקטוניות ובנתוניות שנמשכה שבועות ארוכים בחודשים מרץ-אפריל. על אף הפריחה החזקה, שלעיתים גם כיסתה חלקים בשונית, כיסוי האלמוגים השנה גבוה מעט בהשוואה לשנה הקודמת, אך עם זאת צפיפות המושבות שנמדדה השנה נמוכה יותר. יתכן שהפריחה החזקה והממושכת פגעה באלמוגים מתיישבים ובמושבות אלמוגים צעירות (קטנות) אך פחות במושבות גדולות ומבוססות.
5. לגונת שמורת האלמוגים – בשנים האחרונות נמצאה ירידה בצפיפות מושבות אלמוגי האבן בלגונה. 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. אלמוג האש *Millepora* אשר היה דומיננטי בשנה הקודמת נמצא אף הוא בירידה ובסך הכל צפיפות המושבות אשר נמדדה השנה (1.37 מושבות למ"ר) היא הנמוכה ביותר שנמדדה בשנות הניטור.
6. 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.
7. קיפודי ים – קבוצת הרועים החשובה ביותר בשונית מבין חסרי החוליות היא קיפודי הים, ומתוכה המין הנפוץ ביותר בשוניות אילת הוא *Diadema setosum*. צפיפות קיפוד הים *D. setosum* משתנה מאד בין השנים ומכתיבה גם את התנודות בגודל אוכלוסיית הקיפודים בכלל. מאז שנת 2016 נמדדת ירידה מתמשכת בצפיפות *D. setosum* וצפיפות קיפודי הים בכלל. בשנים האחרונות עומק הערבוב היה קטן ובתוספת פגיעתן של סערות דרומיות חזקות ובפרט הסערה החזקה במרץ 2020, נראה כי אוכלוסיית הקיפודים הצטמצמה באופן ניכר. על אף הערבוב העמוק השנה לא נראה שיקום בגודל אוכלוסיית

הקיפודים באילת ולמרות שהצפיפות עלתה מעט בהשוואה לשנה הקודמת, צפיפות קיפודי הים בכלל וקיפוד הים *D. setosum* בפרט עדיין נמוכה להדאיג.

8. דגי שונית – תכנית הניטור עורכת סקרי דגים בשונית מאז שנת 2007, אף כי במשך הזמן נוספו אתרים ועומקים לסקר. נראה שחברת דגי השונית באתרי המכון ובשמורת האלמוגים באילת יציבה במשך תקופת הניטור, עם שינויים אקראיים במהלך השנים שנובעים ככל הנראה מתנודות של להקות מזדמנות ולא משינוי מהותי בהרכב ושכיחות הדגים. בין האתרים הנסקרים לא נמצא הבדל מובהק בשפעת והרכב הדגים.

הסביבה החופית

9. ריכוז נוטריינטים וכלורופיל במים החופיים – התהליך השולט ברוב המדדים הכימיים, הפיסיקליים והביולוגיים הנמדדים בתחנות הניטור החופיות הוא מחזור הערבוב השנתי וערכי רוב המדדים במי השטח גבוהים יותר בחודשי החורף מאשר בקיץ. השנה, לאחר עשור של ערבוב עונתי בינוי או רדוד, עורבבה עמודת המים לעומק העולה על 700 מטרים. לאחר שבעשור האחרון נצברו חומרי דשן (נוטריינטים) במים העמוקים והערבוב העמוק של החורף העלה אותם לשכבה המוארת שם הזינו פריחות חזקות וממושכות. המים העליונים היו "ירוקים" עד לחודש יוני. פריחות פלנקטון שגרמו לעכירות וריכוזי כלורופיל גבוהים נמשכו מאמצע חודש מרץ ועד לתחילת חודש יוני.
חריגות מקומיות בתחנות החופיות הצפוניות – אובחנו בחודשי הקיץ יוני-ספטמבר, בפרט בריכוזי נוטריינטים (יוני-אוגוסט) וריכוזי האמוניה היו גבוהים בתחנת "כלובי הדגים" גם בספטמבר. בחודש יוני גם נמדדה בתחנת "כלובי הדגים" מליחות נמוכה המצביעה על חדירת מים מן החוף – ככל הנראה דרך תעלת הקינטאשר בסמוך לה נמדדו ריכוזי נוטריינטים גבוהים במיוחד בחודשי הקיץ ומליחות נמוכה בכל הקיץ שהגיעה לערך הנמוך ביותר בחודש נובמבר, ‰ 39.60. זהו ערך נמוך בהרבה ממליחות מי הים בצפון המפרץ ואין ספק שהו מצביע על מקור מים חיצוני. עוד ראוי לציין שלעיתים קרובות שכבת המים העליונה ביותר, סמוך לפני הים, בקרבת תעלת הקינט עכורה באופן בולט.

10. טמפרטורת פני הים – השנה היתה "קרה" יותר מהשנה הקודמת, הטמפרטורות בפני הים היו נמוכות בחודשי החורף והובילו לערבוב עמוק של עמודת המים. גם בקיץ השנה היתה טמפרטורת פני הים נמוכה מזו של השנה הקודמת, ובסך הכל הטמפרטורה הממוצעת השנתית היתה נמוכה מזו של השנים האחרונות ודומה לזו של שנת 2016. עם זאת ניכר שמגמת החימום של פני הים נמשכת ועל אף השנה הקרה והערבוב העמוק, הטמפרטורה הממוצעת היתה דומה או גבוהה מזו של כל השנים הקודמות לשנת 2016 (מלבד שנת 2010 שהיתה חמה באופן חריג).

11. לרוות דגים בסמוך לשונית ובחוף הצפוני – השנה, אולי בעקבות הערבוב העמוק ואולי מסיבות אחרות, היו כמויות הלרוות שנספרו בשמורה גדולות בערך פי שלושה בהשוואה לשנה הקודמת ובחוף הצפוני כמעט פי ששה. לרוב נמצאות יותר לרוות באזור החוף הצפוני אך השנה היה ההבדל משמעותי עוד יותר. התקופה בה מתקיים סקר זה במתכונתו הנוכחית עדיין קצרה מכדי לאפשר הסקת מסקנות בנוגע להבדלים בין השנים ובין האתרים.

12. פורמיניפרים בנתוניים בקרקעית חולית – גם השנה נמצאו בחלק מהתחנות החוליות בחוף הצפוני מול מוצא הקינט פרטים בעלי עיוות מורפולוגי ולראשונה נמצאו פרטים מעוותים גם בתחנת החוף הדרומי. פרטים מעוותים נמצאו לראשונה בניטור התחנות החוליות בשנת 2020 והם מהווים כ-1% מכלל הפרטים בסדימנט. מציאתם של פרטים מעוותים עשויה להצביע על גורמי זיהום הנצברים בסדימנט ופוגעים בהתפתחות השלד. מדידות ריכוזי מתכות בסדימנט מצאו ריכוזים גבוהים פי 1.5 עד 4 בתחנת הדגימה המזרחית, המצוייה במקום בו היו כלובי דגים עד לשנת 2008 והקרובה למוצא תעלת הקינט, לעומת תחנת הדגימה המערבית. ממצאים אלה תומכים באפשרות שבעקבות הסערה של מרץ 2020 נחשפו סדימנטים בעלי תכולת מתכות גבוהה ואלה גורמות לעיוותי שלד בפורמיניפרים. מאידך, העובדה שפרטים מעוותים לא נמצאו רק בתחנה זו והשנה נמצאו פרטים מעוותים גם בחוף הדרומי מצביעה על התפשטות התופעה (התפשטות המתכות\הסדימנט המזוהם?) לאורך החופי אילת.

13. עשבי ים – סקרים של כיסוי עשב הים נערכו בשתי עונות, חורף וקיץ, ובין העונות נמצאו הבדלים גדולים בכיסוי עשב הים. לרוב, כיסוי עשב ים בקיץ עשיר יותר מאשר בחורף.
בשנת 2020 נמדדה ירידה גדולה בכיסוי עשב הים בשני האתרים, אולי כתוצאה מפגיעת הסערה הדרומית בחודש מרץ 2020. השנה נמצאה ירידה בכיסוי בהשוואה לשנה הקודמת בחוף הצפוני, אך לא בחוף הדרומי. נראה כי בחוף הצפוני כיסוי עשב הים יורד בעומקים גדולים מ-20 מטרים, ואילו בחוף

הדרומי הכיסוי דווקא גדל בעומקים אלה. מרבד עשב הים בחוף הדרומי יציב פחות מאשר בחוף הצפוני, ובעומק 10 מטרים נעלם כמעט לחלוטין בשנים האחרונות. נראה שזהו העומק המזערי להתפתחות מרבדי עשב ים בחוף הדרומי.

עמודת המים בים העמוק

14. עומק הערבוב – השנה 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. בחודשים ינואר-מרץ המים העליונים התקררו ופרופיל הטמפרטורות היה אחיד לעומק גדל והולך, מ- 250 מטרים בינואר ועד 550 במרץ. חודש לאחר מכן, בהפלגת חודש אפריל (10 באפריל 2022) טמפרטורת המים היתה אחידה מקרקעית הים ועד עומק של כ-140 מטרים שם כבר ניכרת תחילתה של תרמוקלינה. נראה שהערבוב השנה על אף שהיה עמוק, לא נמשך זמן רב ותחילת השיכוב אופיינה במים עליונים בעלי מליחות נמוכה וטמפרטורה גבוהה יחסית, גוף מים שמקורו ככל הנראה מדרום.
15. ריכוזי חמצן ונוטריינטים מומסים במים העמוקים – ערבוב עמודת המים היה עמוק השנה וריכוזי נוטריינטים במים העמוקים ירדו במקביל לעלייה בריכוזי החמצן המומס. 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. בהשוואה לכל תקופת הניטור, על אף השינויים העונתיים הגדולים וההבדלים בעומק הערבוב בין השנים, נראה כיעומס הנוטריינטים בעמודת המים בצפון המפרץ קטן בשנים האחרונות מאשר בשנים הראשונות של הניטור.
16. כלורופיל – על אף הרעש העונתי הגדול, 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. שינויי המליחות החזקים בסוף תקופת הערבוב תומכים בהשערה כי חדירת מים (מדרום) משפיעה על ריכוזי הכלורופיל בצפון המפרץ. השנה ריכוזי כלורופיל גבוהים במים העליונים קשורים בוודאות לערבוב העמוק ועל כן כדאי להוסיף ולבחון מגמה זו בשנים הבאות.
17. טמפרטורת המים העמוקים – במי העומק, ובפרט בעומקים הגדולים מכ-500 מטרים, נמשכת מגמה של עליית הטמפרטורה. בשנים בהם היה ערבוב עמוק ירדה מעט הטמפרטורה במים העמוקים, אך מאז נמדדת עלייה קלה בטמפרטורות המים העמוקים. על אף הערבוב העמוק של שנת 2012, לא נמצאה אז ירידה בטמפרטורת המים העמוקים מ-500 מטרים ועליית הטמפרטורה במים העמוקים נמשכה גם השנה למרות הערבוב העמוק.
18. זואופלנקטון – ריכוזי הזואופלנקטון אשר נמדדו השנה היו גבוהים מאלה שנמדדו בשנים האחרונות, אך נמוכים מהערכים הגבוהים אשר נמדדו בשנת 2016. ברוב השנים בהן בוצע ניטור אחר ריכוזי זואופלנקטון בעמודת המים העליונה נמדד שיא גבוה באחד החודשים של תחילת השנה והביומסה הגבוהה ביותר במסגרת תכנית הניטור (מאז 2011) נמדדה בפברואר 2016 למרות שבשנת 2012 וגם השנה היה ערבוב עמודת המים עמוק יותר. כך, נראה כי למשך הערבוב ולאופן התפתחותו בזמן השפעה על כמות הזואופלנקטון בעמודת המים. במדידות השנה, נמצאו ריכוזים גבוהים במשך שלושה חודשים אפריל-יוני כאשר השיא היה דווקה בחודש יוני.
19. יצרנות ראשונית – השנה חודשו מדידות היצרנות (בשיתוף עם פרופ' אייל רהב ותום רייך מחיא"ל) אף כי בתדירות דו-חודשית. 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 2010-2022 דומות זו לזו, עם ערך גבוה ביותר בשנת 2016, ועם זאת, ניתן אולי להבחין בעלייה קלה, שאינה מובהקת, ביצרנות הקיץ במפרץ.

מדידות רציפות משלימות

20. כלורופיל בפני הים בסמוך לשונית (מדידה יומית) – ריכוזי הכלורופיל בסמוך לשונית מראים, לרוב, תנודות חדות יחד עם תבנית עונתית של ערכים גבוהים יותר בחודשי החורף והאביב ונמוכים יותר בקיץ

ובסתיו. בעקבות הערבוב העמוק השנה החלה בחודש אפריל פריחת פלנקטון חזקה אשר התבטאה בריכוזי כלורופיל גבוהים. שיאי הכלורופיל נמשכו לתוך חודש מאי והיו גבוהים בהרבה מהערך הרב שנתי הממוצע לעונה. הערך המרבי אשר נמדד השנה היה גבוה כמעט פי שלושה מהערך המרבי אשר נמדד בשנה הקודמת. מסוף חודש מאי חזרו ריכוזי הכלורופיל שנמדדו בסמוך לשונית לערכים הנמוכים האופייניים.

21. <u>טמפרטורת פני הים בסמוך לשונית</u> (מדידה יומית) – בתחילת השנה, בחודשי החורף היתה טמפרטורת המים דומה לערכי הממוצע הרב-שנתי ובחודשים מרץ-אפריל ירדה הטמפרטורה מתחת לממוצע והניעה את הערבוב העמוק. בחודש מאי החלו הטמפרטורות לעלות ונעו סביב הממוצע ומחודשי הקיץ ועד לסוף השנה היתה טמפרטורת פני הים בסמוך לשונית בדרך כלל גבוהה מהערך הממוצע הרב-שנתי, אך לא במידה רבה וזאת בניגוד לשנים האחרונות שלרוב חרגו מעבר לגבולות המדידות החמות הקודמות.
טמפרטורה המרבית השנה היתה נמוכה בכשתי מעלות בהשוואה לשנה הקודמת ובסך הכל היתה זו שנה "קרה" ועם זאת, ניכר כי מגמת החימום של פני הים נמשכת.

22. <u>מטאורולוגיה</u> (מדידות רציפות) – התנאים המטאורולוגים אשר נמדדו השנה לא היו חריגים בהשוואה לשנים קודמות, עם מספר אירועים של רוחות דרומיות שיצרו סערות, אך לא חזקות במיוחד, וטמפרטורות אויר, מרבית ומזערית, שהיו נמוכות בכשתי מעלות בהשוואה למדידות השנה הקודמת.
הקרינה המרבית אשר נמדדה השנה, באביב, היתה חזקה בכל אורכי הגל הנמדדים בהשוואה למדידות השנים הקודמות.

23. <u>מצב הים</u> (מדידות רציפות) – טמפרטורת המינימום שנמדדה במדידות הרציפות ממזח המכון הבינאוניברסיטאי היתה 21.0 °C, (בחודש מרץ) נמוך משמעותית בהשוואה לטמפרטורת המים המזערית של השנה הקודמת (21.8 °C) וכך הובילה לערבוב עמוק של עמודת המים. עם זאת, הטמפרטורה המזערית השנה היתה גבוהה מזו טמפרטורת שנמדדה בנים קודמות של ערבוב עמוק (2007, 2008, 2012) וגם בהשוואה לשנים 2009 ו-2017 בהן לא היה ערבוב עמוק. במשך תקופת הניטור ישנה עלייה מתמשכת של טמפרטורות המינימום במפרץ. טמפרטורת המקסימום שוב היתה השנה גבוהה מאד, אך נמוכה מעט מהטמפרטורה המרבית של השנה הקודמת (31.0 °C) אשר היתה הגבוהה ביותר שנמדדה במסגרת זו.
בשנה הקודמת החלה תכנית הניטור למדוד גלים במפרץ. למיטב ידיעתנו, זוהי מדידת הגלים הרציפה היחידה שנעשית בצפון מפרץ אילת. המדידות מאפשרות לאפיין את הגלים הנוצרים בחופי אילת הדרומיים תחת משטר רוחות צפוניות (גובה גלים משמעותיים עד כ- 0.2 מטר, וגובה מרבי נמוך מ-0.5 מטר) ונמדדו מספר אירועי סערות דרומיות. באירועים אלה, שלא היו חזקים במיוחד, נמצאה השפעה למשך האירוע בנוסף לעוצמת הרוח. גובה הגל המשמעותי המרבי בשנה הקודמת הגיע למעט יותר מ-0.8 מטר, והשנה נמדדו גלים גבוהים יותר – גובה גל משמעותי מרבי של 1.25 מטר וגובה גלים מרבי של 2.25 מטר.
בקיץ השנה הצבנו מד זרמים אקוסטי בסמוך לפני הים מול המכון הבינאוניברסיטאי. המדידות מארבעה החודשים האחרונים של השנה מגלות זרמים דומיננטים במקביל לחוף, המשנים כיוון בהתאם למחזורי גיאות ושפל, כאשר זרמים חזקים ביותר נמדדו לכיוון דרום (עד כ-0.4 מטר\שניה) ובסמיכות לזמני גיאות.

<u>רישומי יומן</u>

24. <u>אירועי זיהום מתועדים</u> – השנה דווח על שני אירועים של זיהום ים בצפון המפרץ.
ב-14 באוגוסט היתה דליפה מאונייה בנמל המכולות בעקבה. כתמי דלק\שמן נלכדו בחופים הסמוכים או נסחפו דרומה בהשפעת הזרמים והרוחות באותו יום. הזיהום לא הגיע אל חופי אילת.
ב-29 בנובמבר היתה דליפת דלק ממיכלית במסוף הנפט בקצא"א. הדלק נלכד בחוסמים שנפרשו סביב המיכלית ולא התפשט אל הים.
בסה"כ ניגשו השנה למסוף הנפט בקצא"א 11 מיכליות, כולן הגיעו ריקות ויצאו מלאות.

תנודות רב-שנתיות ומגמות שינוי

שונית האלמוגים

1. כיסוי אלמוגי אבן – אחוז הכיסוי של אלמוגי אבן חיים הוא המדד העיקרי המשקף את מצבה של שונית האלמוגים 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%. בשנת 2013 נמדד הכיסוי המרבי בתקופת הניטור, 26.4±5.2%, ולאחר 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. בשנתיים שאחרי הסערה ירד אחוז כיסוי האלמוגים באתרי קדמת השונית בכ-1.5% בממוצע בכל שנה, ואילו השנה נמצאה עלייה קלה בכיסוי האלמוגים הממוצע בהשוואה לשנה הקודמת והוא עמד על 22.6±3.2%.
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. השנה נמצאה ירידה גדולה יחסית בצפיפות המושבות הקטנות וכך גם בצפיפות מושבות האלמוגים בכלל.
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 ותוחלת המגוון באתרי הניטור משתנים אך מעט משנה לשנה, עדות להרכב חברה יציב.
5. קיפודי ים – קבוצת הרועים החשובה ביותר בשונית מבין חסרי החוליות היא קיפודי הים, ומתוכה המין הנפוץ ביותר הוא *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.

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". מסתמן כי המקור הסביר לחריגות אלה הוא תעלת הקינט המובילה שפכים אל הים.
7. פורמניפרים בנתונים בקרקעית הרכה באתר כלובי הדגים – באתר כלובי הדגים לשעבר מתועדת התאוששות בחברת הפורמניפרים הבנתונים מאז הוצאת הכלובים בשנת 2008 (Oron *et al*., 2014). סדרת שטפונות פגעו באתר בחורף 2012-13, ולאחריו החלה מגמת התאוששות שהיתה מהירה בהרבה מההתאוששות שתועדה בעקבות הוצאת כלובי הדגים ומעידה על מערכת בריאה. בשנים האחרונות נמצאו פרטים מעוותים באתרים החוליים מול מוצא הקינט/כלובי הדגים והשנה נמצאו מינים מעוותים גם בתחנות רחוקות יותר ובחוף הדרומי. בדוגמאות סדימנט מהחוף הצפוני נמצאו ריכוזי מתכות גבוהים בתחנה המזרחית, במקום בו היו בעבר כלובי הדגים והסמוך למוצא תעלת הקינט.

עמודת המים בים העמוק

8. ריכוזי נוטריינטים וחמצן מומס – הדינמיקה השנתית של ריכוזי נוטריינטים וחמצן במים וזמינותם לאוכלוסיות הפיטופלנקטון בים הפתוח, מונעת בעיקר על ידי הערבוב העונתי בעמודת המים. הדינאמיקה הרב-שנתית מושפעת מעומק הערבוב ומשכו ומכמויות הנוטריינטים שנצברו במי העומק. השנה היה ערבוב עמודת המים עמוק מקרקעית תחנת המדידה (תחנה A, 730 מטר) ומי העומק עורבבו עם המים העליונים. ריכוזי החמצן במים העמוקים עלו במקביל לירידה בריכוזי הנוטריינטים שהובאו לאזור הפוטי והניעו פריחות אצות. בכך הסתיים מחזור ארוך, בן עשר שנים, מאז הערבוב העמוק הקודם (בשנת 2012).
9. כלורופיל בעמודת המים העליונה – על אף הרעש העונתי הגדול, והערכים הגבוהים השנה בעקבות הערבוב העמוק, מתחילה להסתמן מגמה של עלייה בריכוזי כלורופיל, כאשר ריכוזים שנתיים גבוהים

נמדדים לעיתים בחודשי הקיץ ולא רק באביב. כך נראה שריכוזי הכלורופיל הנמדדים אינם תלויים רק בעומק הערבוב ונוטריינטים העולים איתו מהעומק.

10. <u>טמפרטורת המים</u> – טמפרטורת מי העומק ירדה בשנים 2007-2008 כתוצאה מהערבוב העמוק בשנים אלה, ובשנים שאחרי כן נמדדת עלייה בטמפרטורות במים העמוקים. על אף הערבוב העמוק בשנת 2012 והשנה 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 2022

Dr. Yonathan Shaked, Program Manager
Prof. Amatzia Genin, Scientific Director
(April, 2023)

Introduction

This report describes the work and results of Israel's National Monitoring Program in the Gulf of Aqaba (Eilat) – NMP – in the year 2022. It is divided into chapters according to habitats and the methods employed. Each chapter includes a short description of the methods used, a detailed description of the results including data and figures, and a discussion of the findings. A comprehensive description of the methods used is given in the NMP annual scientific report of 2003. While most of the text in this report is in Hebrew, all figures and figure captions are given in English.

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

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

Among the new measurements implemented or resumed this year, are DIC profiles at Station A (together with Prof. E. Wurgaft and G. Edvardson of the Open University and the Hebrew University), Primary Productivity at the upper 100 meters of the water column (together with Prof. E. Rahav and T. Reich of Israel Oceanographic and Limnological Research), and sediment trap measurements of suspended particle fluxes in the water column (together with A. Torfstein of the Hebrew University). DIC measurements are still somewhat patchy but are now being done consistently during the NMP monthly cruises. Primary productivity is done at a bi-monthly resolution and the particle fluxes are measured at 400 meters depth and a resolution of 2-4 days.

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

On the other hand, analyses of photos from permanent photo-sites were discontinued this year as we search for a better method that will match the present-day technology. Photos at the permanent sites were taken and will be available for future analyses if required. Analyses of FACS cell counts are also missing from this year's report as analytical issues were discovered. Duplicate samples will be analyzed once these issues are solved.

The NMP reports are available through the web site of Israel's Ministry of Environmental Protection: http://www.sviva.gov.il/, and on 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 website accessible through the IUI.

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

Key findings of this year

The coral reefs of Eilat

1. Live cover of stony corals – Coral cover was greatly damaged by the strong southern storm that hit Eilat in March 2020. The storm's effect was not uniform across the reefs of Eilat and most damage occurred in the shallow reefs. The average live coral cover at Eilat's forereef sites declined in 2020-2021, as a result of the storm, but this year there was a slight increase in average coral cover. Coral cover this year was 22.6±3.2%, slightly higher than last year (21.9±3.0%,) but lower to 2019, before the storm (24.9±4.5%). Coral cover at the reef-flat site also decreased following the storm and here too this year saw a slight increase (18.8±2.3% vs. 16.2±1.5% last year). Live coral cover in Eilat is still higher than it was in the initial years of monitoring, but the sharp decrease after 2019 is worrying. It is probably that this decrease results from the 2020 storm and perhaps this year sees a beginning of renewal, but it is too early to be certain.
2. Size of stony coral colonies – The characteristic size of coral colonies varies between monitored sites. At the IUI site the fraction of small colonies is largest whereas at the shallow NR site it is smallest and large and huge colonies are more common there than at other sites. Over the years, a decrease in the fraction of small colonies and an increase in that of medium and large colonies is documented. This year, after four years of relative stability, we find a decrease in the density of small coral colonies. Since most of the colonies in Eilat are of the small size class, a marked decrease in coral density was measured this year.
3. Coral diversity – The Shanon-Wiener diversity index used for estimating coral diversity at the reefs of Eilat, displays small, indeterminate, fluctuations between years. Coral diversity at shallow sites is generally lower than at deeper sites. These findings are corroborated by rarefaction curves and the expected number of coral taxa per 1,500 random individuals, though changes in all metrics are small.
4. Algae blooms – Deep mixing of the water column produced sustained strong algal blooms this year, both phytoplankton and benthic, that lasted through March and April into May. Despite the strong bloom that sometimes covered portions of the reef, average coral cover increased slightly – but coral density decreased. It is possible the the sustained blooms affected coral recruitment and coral juveniles but had less impact on older, established colonies that contribute more to coral cover.
5. The coral reserve lagoon –Environmental conditions at the lagoon are harsh and so it is dominated by a small number of coral taxa and coral diversity is low. The dominant coral at the nature reserve lagoon over the years is *Stylophora pistillata*, but it is also the coral most affected by storms. In the previous year the fire coral *Millepora* was the most abundant at the lagoon but it too declined in numbers this year. Since 2017 coral density at the lagoon is slowly declining and this year's coral density (1.37 colonies/m^2) is the lowest recorded by the monitoring program.
6. Coral settlement in the reef – Throughout the monitored period, more coral settlers are found at the nature reserve (NR) site than at the other monitored sites, and they also seem to grow better. At the IUI site, and perhaps at Katza too, spat growth over the season is less regular – implying, perhaps, that settler survivorship is less successful. Having

said that, the monitored period, especially at the Katza site is not yet long enough to draw firm conclusions.

7. Sea urchins – Of the invertebrates, sea urchins are the most important group of reef grazers and of this group, *Diadema setosum* is the most abundant species in Eilat. Its density fluctuates from year to year and dictates the density of the entire urchin population. Sea urchin density is declining since 2016 and over the past three years urchin density has decreased dramatically. Shallow mixing depths and the 2020 storm have brought population size to a minimum and this year's deep mixing was not enough for it to recover. The low density of urchins in Eilat is very worrying.
8. Reef fish – Fish surveys are conducted since 2007, although there have been some modifications and new sites were added in recent years. The fish community in Eilat (Nature Reserve and IUI sites) seems stable in composition, diversity and size with fluctuations between years that are likely caused by the incidental passing of fish schools during the survey rather than actual changes. Fish communities between the sites and depths surveyed are not significantly different.

Coastal Environs

9. Nutrient concentrations in coastal waters – Concentrations of nutrients are commonly high during winter and very low during summer. The process that dictates these dynamics is the seasonal mixing driven by cooling of the sea surface in winter, which brings nutrient-rich deep waters to shallow coastal areas. This year, after a decade of shallow to intermediate mixing, the water column in Eilat was mixed to a depth greater than 700 meters. Nutrients that accumulated in deep waters for a decade were brought to the surface and fueled strong and sustained algae blooms. The upper waters were "green" until the month of June. And high chlorophyll-a concentrations were measured between March and June.
   Local anomalies at coastal sampling stations were noted in the summer, particularly in nutrient concentrations (June-August) and ammonium concentrations were also high at the "Fish Farms" station in September. Low salinity was measured in June at the "FF" station implying runoff water from the Kinet Channel where high nutrients and low salinity were measured throughout the summer, with 39.60 ‰ were measured in November. It is noteworthy that the upper meter of water next to the Kinet outlet was often visibly turbid.
10. Sea surface temperatures – This year was "colder" than the previous year and low sea surface temperatures led to deep mixing of the water column. Summer SST was also lower than last year and the annual average temperature at the sea surface was lower relative to the past few years and similar to that of 2016. Nevertheless, it is obvious that the warming SST trend continues and despite the cold year and deep mixing, the average SST was higher than that of all years before 2016, except 2010 that was an exceptionally warm year.
11. Fish larvae next to the reef and at the northern beach – This year, perhaps following the deep mixing of the water column or maybe due to other reasons, fish larvae were 3 to 6 times more abundant relative to last year at the Nature Reserve and North Beach sampling stations, respectively. There are usually more larvae at the northern site but this year the difference was more significant. The time span of this series is not yet sufficient to draw conclusions regarding spatial and temporal variations.
12. Benthic foraminifera – Deformed benthic foraminifera were first found at several of the soft sediment seafloor sampling stations at the northern beach, across from the Kinet channel outlet, in 2020 and this year for the first time also at the sampling station at the southern shore of Eilat. Deformed specimens make about 1% of the

specimen counted. The presence of deformed specimen may indicate contaminated sediments, and in sediment samples from the eastern-most station (previous location of fish cages and across from the Kinet Channel) metal concentrations were found to be 1.5-4 times higher than at the station further to the west along the northern shore. These findings support the hypothesis that contaminated sediments were exposed by the 2020 southern storm causing the deformation to skeletal organisms. On the other hand, findings of deformed specimen in other stations and this year also along the southern shore, suggest that the contamination (sediments? dissolved metals?) is spreading along the shores of Eilat.

13. Seagrass at the northern and southern beaches – Seagrass surveys are conducted in winter and in summer and a marked difference was found between seasons. Sea grass cover in summer was generally denser than in winter.
    In 2020 a strong southern storm occurred between the seasonal surveys and during summer only a sparse cover remained at both monitored sites and all depths but recovered last year. This year seagrass cover was somewhat lower relative to last year only at the northern site. It seems that at the northern site seagrass cover diminishes at depths greater than 20 meters whereas at the southern site it is denser at these depths. Seagrass cover at the southern site is less stable and all but disappeared at depths 10 meters and shallower.

The deep water column

14. Vertical mixing – Mixing of the water column was deeper than the seafloor at the sampling station (Station A, 730 meters) for the first time since 2012. This is the longest interval between deep mixing events on record. The upper waters cooled and the mixed layer extended from 250 meters in January to 550 meters in March. A month later during the April cruise (April 10, 2022) a uniform temperature was measured from the seafloor to about 140 meters where the thermocline already began to develop. It seems that although deep, mixing this year was rather brief and was stopped by low salinity and relatively warm waters, perhaps arriving from the south, at the surface.
15. Concentrations of oxygen and nutrients in the deep waters – The water column was deeply mixed, and concentrations of nutrients decreased in the deep waters, while oxygen concentrations increased. At the end of the year nutrients were lower and oxygen higher in the deep waters than at start of the year but not as much as following the previous deep mixing years monitored (2007, 2008, 2012). Looking at the entire monitoring period and despite large seasonal and annual differences, it seems that the nutrient loads in the waters near Eilat are lower now than at the beginning of the monitoring program.
16. Chlorophyll-*a* concentrations – Even considering the large seasonal variations, a trend of rising chlorophyll-*a* concentrations begins to emerge, and peak annual values are now sometimes measured during summer months. It seems that in the past few years high chlorophyll concentrations are not driven only by vertical mixing. Changes in salinity at the end of the mixing season may indicate that water intrusion (from the south) are somehow associated with high chlorophyll concentrations in Eilat. This year's high chlorophyll values are most likely associated with the deep vertical mixing and so this emerging trend should be monitored in the coming years.
17. Deep-water temperatures – The temperature in the deep waters, and especially deeper than 500 meters, continues to rise. In deep-mixing winters temperature at depth

commonly dropped slightly, but that did not happen following 2012 and this winter. A continuing overall trend of rising temperatures at depth is apparent.

18. Zooplankton – Zooplankton concentrations were higher this year relative to the past few years but lower than the high values of February 2016. The fact that highest zooplankton abundance does not correlate with deepest mixing suggests that the duration and intensity of mixing may also play a role. High abundances of zooplankton are commonly found during the winter and this year zooplankton abundances were high for three months, April-June with peak concentrations in June.
19. Primary productivity – This year measurements of primary productivity were resumed at a bi-monthly resolution (in collaboration with Prof. E. Rahav and T. Reich, of IOLR). Variations in productivity are large and rapid during winter and it is likely that our measurements are not sufficient to capture the 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 2010-2022 is rather uniform, with highest values in 2016, but still, there may be a slight increase in summer productivity over the years.

Supplementary continuous measurements

20. Sea surface chlorophyll-*a* next to Eilat's coral reef (daily measurement) – Chlorophyll-*a* concentrations fluctuate sharply and frequently with a seasonal pattern of higher values in winter and spring and lower values in summer. Following the deep mixing this year a strong phytoplankton bloom, and associated high chlorophyll values, began in April. Peaks in Chlorophyll-*a* concentrations continued well into May and were significantly higher than the multi-annual average for the season. The maximum Chlorophyll-*a* concentration measured this year was almost three times higher than last year. From May onward Chlorophyll-*a* concentrations near the reef returned to their normal low seasonal values.
21. Sea surface temperatures next to Eilat's coral reef (daily measurement) – At the start of the year SST was similar to the multi-annual values and in Mrch-April temperatures dropped and deep mixing followed. In May SST began to increase and hovered around the seasonal average and by summer and through to the end of the year SST was generally higher than average, but not a lot. That contrasts with most recent years that were a lot warmer than the multi-annual average. Maximum SST this year was ~2 degrees lower than last year and overall, this was a "cold" year. Nevertheless, a long-term warming trend of SST is still apparent.
22. Meteorology (continuous measurement) – This year's meteorological measurements were not extraordinary and included several southern storms and rain events that were not particularly strong. The highest and the lowest ambient air temperatures recorded over the sea from the pier at the IUI were ~ 2 degrees lower than those recorded last year. Peak solar radiation measured in the spring this year was high relative to previous years for all wavelengths measured.
23. Sea conditions (continuous measurement) – The minimal SST recorded at the IUI pier this year was 21.0°C (in March), significantly lower than that of last year (21.8°C) and led to deep mixing of the water column. However, this minimal temperature is higher than those recorded during previous years of deep mixing (2007, 2008, 2012) and higher than the minimal SST in 2009 and 2017 in which mixing was not so deep. During the monitored interval there is a gradual rise in the minimal SST recorded.

The maximal SST this year was very high but not as high as that of last year that was the highest ever recorded (31.0°C).
Last year the NMP started collecting wave data. To our knowledge this is the only (nearly) continuous wave measurement at the northern Gulf of Eilat. The data collected to date allows characterization of the typical waves generated near the IUI (southern shore of Eilat) by northern winds – significant wave height of up to 0.2 meters and maximum wave heights not larger than 0.5 meters. The record also contains several southern storm events, though not particularly strong. The highest significant wave measured during these events last year was slightly more than 0.8 meters and this year storms were stringer, with highest significant waves of 1.25 meters and highest maximal waves of 2.25 meters.
This summer we also placed a surface acoustic current meter next to the IUI pier. Measurements from the last four months of the year reveal that the dominant currents are parallel to shore, the southerly direction is more dominant than the northerly direction, and that the strongest southerly currents are stronger than the strongest northerly currents. Strong currents seem to be associated with peak high and low tides, with the strongest currents on record reaching 0.4 meters/second in a southerly direction parallel to the shore.

Log entries

24. Pollution events on record – Two occurrences of oil spills into the northern Gulf were recorded this year.
    In August 14, there was an oil spill from a ship at the Aqaba port (to the east, across the gulf from Eilat). Oil stains were beached on the docks and shores near the port and the remainder was swept southward along the gulf under the prevailing northern winds and southern currents of the day. Oil from this event did not affect the shores of Eilat.
    In November 29, oil leaked from a tanker docking at the KATZA (EAPC) oil terminal in Eilat. The oil was contained within the booms that are routinely deployed around docking tankers at the oil terminal and did not spread into the sea or drift to shore. Overall, 11 tankers docked this year at the oil terminal, all arrived empty and left full.

Multi-annual variations and trends

The coral reefs of Eilat

1. Live stony coral cover – Live coral cover is the most significant metric reflecting the state of the reef, and significant variations in the live coral cover between sites and interannual changes have been recorded.
   During the initial years of monitoring (2004-6) average coral cover in Eilat was 19-20%. In the interval 2007-12 average cover increased and fluctuated in the range 21.5-23.9% and in 2013 the highest average cover was recorded: 26.4%. Since then, the average coral cover at Eilat ranges between 24.0% and 25.3%. The coral reefs of Eilat were hit hard by a severe southern storm in March 2020 and damage to the reef varied between the monitored sites. In the two years following the storm average coral cover decreased by 1.5% per year while this year a slight increase in the average coral cover relative to last year was measured, and it stands at 22.6±3.2%. Live coral cover at most monitored sites is still significantly higher than it was at the initial years of monitoring.
2. Stony coral density and size – Average coral density between all monitored sites varies from year to year, although annual changes are small. Throughout the monitored period there is a gradual decrease in the fraction of small colonies and an increase in the fraction of medium and large coral colonies, indicating improved coral survival over time. This year a large decrease in the density of small colonies, and therefore of all corals, was recorded.
3. Live tissue index in stony corals – This index is decreasing since 2012, albeit at a slow rate, ca. 1% per year. It is possible that the decrease in the average percentage of live tissue in living coral colonies 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.
5. Sea urchins – The most important group of invertebrate reef grazers are the sea urchins and the dominant sea urchin in Eilat is *Diadema setosum*. The density of *D. setosum* fluctuates from year to year and dictates the abundance of sea urchins at the monitored sites. Since 2016 a gradual decline in sea urchin abundance is observed and the population size seems but a fraction of that in the initial monitoring years.

Coastal Environs

6. Nutrient concentrations in coastal waters – Nutrient concentrations are usually higher during winter than they are during summer months, due to water column mixing that brings nutrient rich waters from depth. Conversely, abnormal concentrations at individual sampling stations are found mostly in stratified summer months. Abnormally high concentrations, indicating local nutrient enrichment, were common until 2007 and became less so in later years. However, abnormally high concentrations of nutrients, particularly at the northern sampling stations, are again occasionally recorded in recent years. The source of these higher concentrations seems to be the outlet of the Kinet Channel into the sea at the eastern part of the northern shore of Eilat.
7. Benthic foraminifera in soft sediment at the former location of aquaculture cages – The benthic foraminifera community beneath the former aquaculture cages at the

northern shore of Eilat displays gradual recovery since 2008 (Oron *et al*., 2014). A series of floods covered the sea floor at the site with terrigenous clay sediments during the winter of 2012-13 and decimated the local foraminifera community. Recovery following the floods was considerably more rapid than the recovery from the impact of aquaculture cages indicating a healthy habitat. Recently, several morphologically deformed individuals were discovered that may indicate an ongoing contamination of the sediments at the site. This year deformed specimens were found at additional sites and even at the southern shore sampling site. In sediment samples from the eastern north shore, at the former location of fish cages and opposite the Kinet outlet, high metal concentrations were found, that could cause skeletal deformations.

The deep sea water column

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

List of Tables and Figures

Tables

Table A1: Activities of the monitoring program and their frequency. 6
Table A2: Linear regression coefficients and their significance of the main variables measured in Eilat's coral reefs. The regression was calculated for annual averages versus time (in years), so that regression coefficients represent the rate of annual change for each variable. Variables with a statistically significant regression are highlighted in red. 31
Table A3: Summary of trends concerning the state of the system at the northern end of the Gulf of Eilat ↑= improvement, ↓=deterioration, - = no trend. 32
Table B1: Locations and depths of the reef census line-transect survey sites. 35
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. 45
Table B3: The twenty most abundant corals (% cover) in the monitored area and their average cover in each site as a percent of the total transect length at each site. 57
Table B4: The most abundant stony corals (by cover percentage) at the reef table and the reef front sites. 61
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. 67
Table B6: Total abundance and average density (number per $1m^2$) of mobile invertebrates at the monitored sites. 76
Table B7: Sample size, the number of fish (individuals) and the number of fish per sampling unit at the Eilat reef sites surveyed this year. 90
Table B8: Average occurrence (per sampling unit) of fish families and corals at the Eilat reef sites surveyed this year. 98
Table C1: Locations of the coastal-water monitoring stations. 101
Table C2: Benthic foraminifera identified at the North and south beach sites. 122
Table C3: Meiofauna groups identified at the North and South beach sites (listed alphabetically). 125
Table E1: Setup of the meteorological station at the end of the IUI pier, list of sensors. 190
Table G1: List of stony corals and the number of colonies of each taxa found in the coral reef line-transect survey, 2022. 207
Table G2: Fish abundance and average occurrence (per sampling unit) of fish families and coral colonies (with and without fish) in the reef sites surveyed this year. Fish families are in blue. 208
Table G3: Fish community according to families in NR_7 during the monitoring years. Numbers are normalized to sampling unit. 210
Table G4: Concentrations of metals in sediment samples from the North Beach. The eastern sample from monitoring station W0 and the western one from station W80 211

Figures

Figure A1: Location of monitoring sites. See also map G.1 in Appendix 1. 7
Figure A2: Time series of the Nitrate concentrations at 700 meters depth in Station A showing the three tested time intervals of near-steady state following deep vertical mixing (red rectangles). Immediately following deep mixing nutrient concentrations change rapidly and after approximately 4 years an apparent steady state is achieved. The middle period starts only three years after deep mixing. 29
Figure A3: Time series of integrated chlorophyll-*a* inventory in the upper 120 meters of the water column in Station A, since 2000. 30
Figure B1: An 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. 36
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. 36
Figure B3: The average live stony coral cover (top) and colony density (bottom) at each site, in 2022. 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. 38
Figure B4: Cumulative percent cover of live corals, sand, rock and dead corals. At sites where cover does not add up to 100% the balance comprises algae and invertebrates such as sea anemones, clams or sponges. The presented percent cover is an average of all transects at each site. 39
Figure B5: Percent live stony coral coverage versus unconsolidated (sandy) sea floor in the sites examined. 40
Figure B6: Utilization of available substrate by stony corals in 2022. The percent cover and colony density of live stony corals on hard consolidated seafloor at each monitored site. 40
Figure B7: The average live stony coral cover at each site and the average for all forereef site, as percent of total area 41
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. 43
Figure B9: The average density of stony corals (colonies per square meter) at each site and the average for all forereef site. 44
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). 47
Figure B11: Top: Changes in average relative size fraction abundance 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. 48
Figure B12: The Live Tissue Index (LTI) for corals in the surveyed sites. The LTI is the site average of the percent area of live/healthy coral tissue for each living colony. 49
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. 50
Figure B14: Top, the average percentage of living coral tissue (LTI) from all sites in 2022, grouped by colony size class. Bottom, change to the LTI since 2007 in the various coral size classes. 51
Figure B15: The Shanon-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. 52
Figure B16: The Shanon-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). The Eilat average is the average of all monitored sites. 53
Figure B17: Rarefaction curves of taxa richness based on colony counts, calculated for each site with the Past software (Hammer et al., 2001). 54
Figure B18: Rarefaction curves of taxa richness based on colony counts, calculated with the Past software (Hammer et al., 2001) for the “Eilat Reefs” since 2004. 54
Figure B19: 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. 55
Figure B20: 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. 56
Figure B21: Cumulative percent cover of live corals, sand, rock and dead corals at the reef table. Values are averages of line transect values. 58

Figure B22: Percent cover of live corals and density of coral colonies on the reef table since 2007. 59
Figure B23: The number of coral genera encountered at the Reef Flat monitoring surveys. 60
Figure B24: Top –Shanon-Wienr diversity of stony corals in the years since 2007, bottom – rarefaction curves for coral genus diversity on the reef table since 2007. 60
Figure B25: The percentage of live coral cover at the "Eilat Reefs" (the average of the eight surveyed fore-reef sites), in black, and the reef-table site, in blue. The reef-table monitoring site displays large fluctuations, reflecting the high sensitivity of this habitat. 63
Figure B26: Top, coral colony density by size groups during the monitoring period. Bottom, density of "small" coral colonies versus the density of all coral colonies in the "Eilat" reefs. 64
Figure B27: Coral reefs at Eilat covered by macro-algae during strong algal blooms that followed deep mixing of the water column in spring 2022. 65
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 66
Figure B29: Relative abundance (by colony number) of the 10 most abundant coral genera in the lagoon. 67
Figure B30: Top- the average density (colonies/square meter) of all coral genera and the dominant coral *Stylophora pistillata* found in the lagoon during the monitored period. Bottom- the total number of colonies and of coral taxa surveyed in the lagoon during the monitored period. 68
Figure B31: Changes in coral diversity in the lagoon since 2004, according to the Shanon-Wiener index, estimated using the Past software. 69
Figure B32: Arrays of coral settlement plates in Eilat's reef. 70
Figure B33: Tiny coral colonies (spats) on settlement plates retrieved from the reef. 71
Figure B34: Top – the average density of coral spats (per meter-square) at different time intervals this year. Bottom – the average number of polyps per spat (size). 72
3Figure 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. 73
Figure B36: Inter-annual and seasonal comparison of coral settlement at the Nature Reserve (top), Katza (middle) and Interuniversity Institute (right). Left – the average density of coral spats at different time intervals between. Right – the average number of polyps per spat (size). 74
Figure B37: Belt-transect survey of motile invertebrates: a diver holding a T-shaped stick passes along a measuring tape counting the individuals found under the cross-arm. This makes a sampling unit whose length is defined by the measuring tape and whose width by the 1 meter long cross-arm. Photo: Tomer Shaulov 75
Figure B38: The average density (per m^2) of all mobile invertebrates (top) and sea urchins (bottom) at the sampling sites. 77
Figure B39: The average density (individuals per m^2) of all sea urchins at the fore-reef sites (top) and at the lagoon (bottom). 78
Figure B40: The average density (individuals per m^2) of *Diadema setosum* (top) and other urchins (bottom) at the sampling sites 79
Figure B41: The average density (per m^2) of feather-stars (top), Sea Cucumbers (middle) and Sea Stars (bottom) at the fore-reef sites and the lagoon. 80
Figure B42: (A) Algae settlement plates. 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. 81
Figure B43: Average chlorophyll *a* on exposed and caged settlement plates in 2022. Each bar represents one month (calculated as an average of three plates submerged in the sea for two months). 82
Figure B44: Top – Average chlorophyll *a* on exposed and caged settlement plates since 2004. Bottom – Potential (Chl-a from protected, caged, plates) versus grazing pressure (the difference between potential and the realized (chl-a on exposed plates) algae growth). 83
Figure B45: Average chlorophyll *a* during the months April-May on exposed and caged settlement plates since 1997. Each point is an average of three plates submerged in the sea for two months. 84
Figure B46: Average chlorophyll *a* on exposed (blue) and caged (red) settlement plates at the Nature Reserve in 2022. 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. 85
Figure B47: Average chlorophyll *a* on exposed and caged settlement plates at the Nature Reserve since 2007. Each point represents one month. Top – the lagoon, middle – at 5 meters depth, bottom – at 20 meters. 87
Figure B48: An exposed algae settlement plate from the lagoon. 88
Figure B49: 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. 88

Figure B50: Fish community, by families, in the surveyed sites. Top, number of fish per sampling unit of five most common families. Bottom, number per sampling unit of all other observed families. Families with <1 fish per sampling unit are not shown. 91
Figure B51: Species richness and Shannon diversity of fish communities at the surveyed sites since 2020. 92
Figure B52: Rarefaction curves for species richness at the surveyed sites. Top, accumulation according to individuals. Bottom, accumulation according to sampling units. 93
Figure B53: Rényi diversity curves for reef fish communities at the surveyed sites. 94
Figure B54: Distribution of reef fish according to trophic levels at the surveyed sites. Top densities, bottom fractions. 95
Figure B55: Distribution of reef fish according to trophic levels at the surveyed sites in 2020-2022. Top densities, bottom fractions. 96
Figure B56: Distribution of reef fish according to trophic level (left) and major families (right) since 2007. 96
Figure B57: Distribution of reef fish according to habitats 97
Figure C1: Map of the coastal-water monitoring stations in the territorial waters of Israel in the Gulf of Eilat. 100
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. 102
Figure C3: Top, alkalinity measured this year at the coastal stations. Bottom, Monthly alkalinity at all coastal water monitoring stations since October 2004. 104
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. 105
Figure C5: Top, ammonia (NH_4) concentrations measured this year at the monitoring coastal stations. Bottom, monthly ammonia concentrations at the coastal water sampling stations since 2004. 106
Figure C6: Top, phosphate (PO_4) concentrations measured this year at the monitoring coastal stations. Bottom, monthly phosphate concentrations at the coastal water sampling stations since 2004. 107
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. 108
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. 109
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. 110
Figure C10: Top, salinity measured this year at the coastal stations. Bottom, Monthly salinity at all coastal water monitoring stations since October 2004. *Gaps in the data reflect failure of the analytical instrument*. 111
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. 112
Figure C12: Annual average SST at the “Open Sea” sampling station displays a rising trend greater than 1/2°C per decade. 113
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. 114
Figure C14: A turbid upper layer was often observed near the Kinet channel that collects runoff and effluents and runs to the sea at Eilat’s northern beach. 116
Figure C15: Locations of plankton net tows adjacent to the North Beach and the Coral Nature Reserve of Eilat. 117
Figure C16: 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). 118
Figure C17: 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). 118
Figure C18: Grain size distribution (weight percent) for soft sediment at two sites, at the north beach (NB) and south beach (SB) of Eilat. 120
Figure C19: The density of foraminifera individuals (number/gram sediment) at two soft sediment sites, at the north beach (NB) and south beach (SB) of Eilat. 121
Figure C20: Deformed benthic foraminifera found this year at FF sampling locations offshore from the Kinet channel outlet. 123
Figure C21: 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. 124
Figure C22: Grain size distribution (weight percent) for soft sediment at the sampling locations near the former fish cages site. 126
Figure C23: 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). 128
Figure C24: 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.....129
Figure C25: A photo of seagrass cover along the 20m depth transect on the southern coast of Eilat (photo: L. Levy).....130
Figure C26: Seagrass cover during winter and summer at four depths in the northern and southern beach sites of Eilat.....131
Figure C27: Seagrass cover during summer in the northern and southern beach sites of Eilat. 132
Figure C28: Average seagrass cover in recent years at four depths in the northern and southern beach sites of Eilat. 132
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). 137
Figure D2: Changes in water temperature at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths. 138
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.* 139
Figure D4: Salinity profiles measured using a CTD during the monthly monitoring cruises. Station A is on the Israeli/Jordanian/Egyptian border (>700m), station OS is halfway to the northern shore at water depth of ca. 400 meters and the Fish Farms station is close to the northern shore of the Gulf at ca. 50 meters depth. Bottom – an annual time series of salinity at Station A at the depths in which water was sampled for analyses (black dots). 141
Figure D5: Changes in salinity at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths. 142
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. 144
Figure D7: Changes in concentrations of dissolved oxygen in the water column at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths. 145
Figure D8: Changes in the dissolved oxygen inventory in the water column at Station A since 2004. Top: monthly inventories (right) and annual averages (left). Bottom: the upper 400m (left) and the deep water (right). 146
Figure D9: Changes in dissolved oxygen concentrations in 400m to 700m water depth at Station A, since 2000. 147
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. 148
Figure D11: Changes in pH in the water column at Station A since November 2006. Black dots represent the sampling depths. 148
Figure D12: Alkalinity profiles measured during the monthly monitoring cruises. Station A is on the Israeli/Jordanian/Egyptian border at ca. 700 meters depth. 149
Figure D13: Changes in alkalinity in the water column at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths. 150
Figure D14: Nitrite (NO_2^-) concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Station A is on the Israeli/Jordanian/Egyptian border at >700 meters depth, and the Fish Farms station is close to the northern shore of the Gulf at ca. 50 meters depth. Bottom – an annual time series of dissolved NO_2 concentrations at Station A. 151
Figure D15: Nitrate (NO_3^-) concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Station A is on the Israeli/Jordanian/Egyptian border at >700 meters depth, and the Fish Farms station is close to the northern shore of the Gulf at ca. 50 meters depth. Bottom – an annual time series of dissolved NO_3 concentrations at Station A. 153
Figure D16: Changes in the concentration of total oxidized nitrogen (TON= NO_3+NO_2) in the water column at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths. 154
Figure D17: Changes in the nitrate (NO_3) inventory in the water column at Station A since 2004. Top: monthly inventories (right) and annual averages (left). Bottom: the upper 400m (left) and the deep water (right). 155
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*. 156
Figure D19: Phosphate (PO_4^{-3}) concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Station A is on the Israeli/Jordanian/Egyptian border at >700 meters depth, and the Fish Farms station is close to the

northern shore of the Gulf at ca. 50 meters depth. Bottom – an annual time series of dissolved PO_4 concentrations at Station A. 157
Figure D20: Changes in the concentration of phosphate in the water column at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths. 158
Figure D21: Changes in the phosphate inventory in the water column at Station A since 2004. Top: monthly inventories (right) and annual averages (left). Bottom: the upper 400m (left) and the deep water (right). 159
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. 160
Figure D23: Changes in the concentration of silicate in the water column at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths. 161
Figure D24: Changes in the silica inventory in the water column at Station A since 2004. Top: monthly inventories (right) and annual averages (left). Bottom: the upper 400m (left) and the deep water (right). 162
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*. 163
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... 164
Figure D27: Changes in the concentration of particulate carbon in the water column at Station A since 2011. Black dots represent the sampling depths. 165
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 and the Fish Farms station is close to the northern shore of the Gulf at ca. 50 meters depth. 166
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. 167
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. 169
Figure D31: Changes in the concentration of chlorophyll-*a* in the water column at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths. 169
Figure D32: Concentrations of chlorophyll-*a* at Station A at the depth of the deep chlorophyll maximum (DCM), at water depths of 40, 60 and 100 meters since 2000. The apparent rise in chlorophyll concentration at 80 meters depth is statistically significant (randomization test, $P<<0.001$). *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.* 170
Figure D33: Structure of the water column and the development of deep mixing as reflected in profiles of a conservative indicator (salinity), a short-lived indicator (chlorophyll-*a*) and longer-lived indictors (temperature and nitrate) in the water column in January-May. 172
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. 174
Figure D35: Time series of integrated heterotrophic bacteria concentrations (to 700 meters depth) since 2013. 1744
Figure D36: A double plankton net ("Bongo") towed from the boat in deep waters. Photo: M. Chernihovsky. 175
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). 1766
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). 177
Figure D39: Monthly primary productivity at the upper water column. 179
Figure D40: Integrated values of primary productivity in the upper 100m of the water column, based on the productivity profiles presented in Figure D36. 180
Figure D41: Integrated values of primary productivity in the upper 100m of the water column since 2010, based on the monthly productivity profiles. 180
Figure D42: Primary productivity in the upper 100m of the water column since 2010. 181
Figure D43: Average daily primary productivity in the upper 100m of the water column for the months June-October, since 2010. 182
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. ……..…..184
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. ……185
Figure E1: Chlorophyll-*a* concentrations sampled daily at the Underwater Observatory pier in 2022 (red line) and the long-term average (1988-2021, green line). Black lines mark the 90% of accumulated data including the previous year.....187
Figure E2: Chlorophyll-*a* concentrations at the sea surface, sampled daily at the Underwater Observatory pier since 2004.....187
Figure E3: Daily sea surface temperatures measured from the Underwater Observatory pier during 2022 (red line), the average SST for 1988-2021 (green line), and the black lines mark the 90% of accumulated data including the previous year (smoothed by 7-day running mean).....188
Figure E4: Top – Daily sea surface temperatures measured from the Underwater Observatory pier since 2004. Linear regression represents the long term trend of rising SST since 1988 (data courtesy of Prof. Amatzia Genin). Bottom – Annual average SST since 2004. 189
Figure E5: The meteorological station at the end of the IUI pier. 191
Figure E6: Top- Maximum daily wind speed (m/sec). Bottom- Maximum daily wind speed and direction since January 2007.....194
Figure E7: Maximum and minimum (red and blue, respectively) daily air temperature above the sea.....195
Figure E8: Maximum daily global radiation (top), ultraviolet radiation (middle) and photosynthetically available radiation (bottom). 196
Figure E9: Maximum and minimum (red and blue, respectively) daily values of relative humidity over the sea. 197
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) 198
Figure E11: Maximum and minimum (red and blue, respectively) daily sea-level measurements. 1988
Figure E12: Measurements of significant (top) and maximum (bottom) wave heights. Events of southern winds accompanied by high waves are marked with red arrows.....200
Figure E13: Measurements of near-surface currents off the Inter-University Institute. Long-shore currents are dominant. 201
Figure E14: Weekly dust concentrations in the air above the sea. Dust is measured on filters through which air is continuously pumped.....203
Figure G1: Study sites of water sampling (surface water and water column). Station B (not shown) is located 10 km south of Station A. 206

א.5. בחינת מגמות במצב המערכת הימית בצפון מפרץ אילת

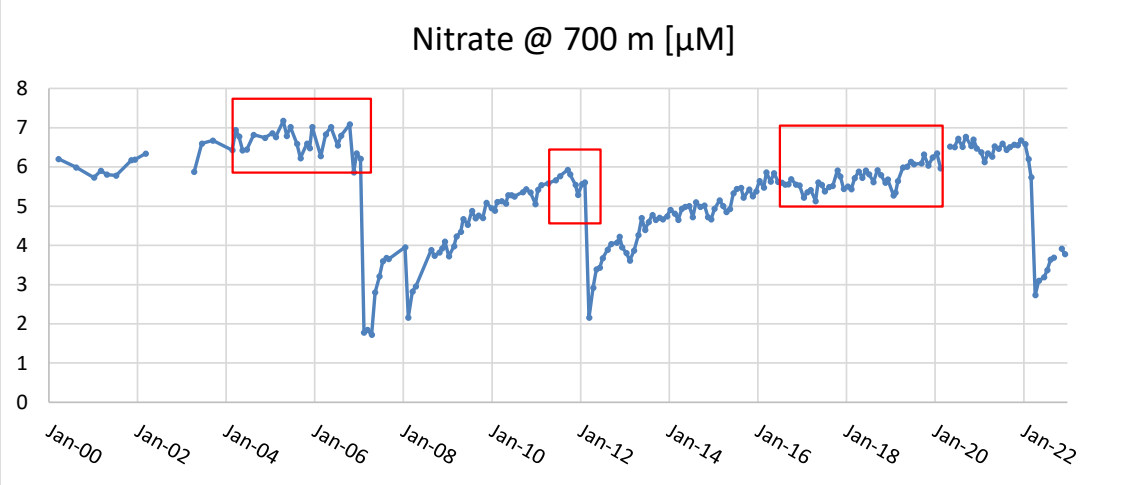
1) מגמות בריכוזי נוטריינטים בעמודת המים

על מנת לבחון קיומן של מגמות בריכוזי הנוטריינטים במים העמוקים מאז תחילת הניטור והאם ישנו הבדל בין תקופות שונות בפרק זמן זה, התמקדנו בעומק של 700 מטרים. בחנו את הריכוז הממוצע השנתי של הנוטריינטים ניטראט, פוספאט וסיליקה, והחמצן המומס, החל מהשנה הרביעית לאחר ערבוב עמוק (לפחות 600 מ') ועד לערבוב העמוק שאחרי (שני פרופילים חודשיים - מרץ 2005 ומרץ 2006 - הוצאו מבסיס הנתונים מכיוון שבמהלך החודש שהפריד בינם לבין זה שבחודש הקודם להם עומק הערבוב היה גדול מ- 500 מ' והביא לשינוי זמני בערכי הפרמטרים שנמדדו בעומק 700 מ' [בחודש הספציפי בלבד]). חלון זמן של 4 שנים נבחר לצורך ניתוח המגמות בפרמטרים הכימיים מכיוון שנראה כי 4 שנים לאחר ערבוב עמוק ריכוזי הנוטריינטים מגיעים למצב קרוב ל- state steady, כפי שנראה עבור ניטראט (איור א2).

השנה הגיע לסיומו המחזור הרב-שנתי השלישי של ערבובים עמוקים, אשר תועד במסגרת הניטור הלאומי. תחילת הניטור ארבע שנים לאחר ערבוב עמוק בשנת 2000, ערבוב עמוק תועד על ידי הניטור בשנים 2007 ו- 2008 ושוב בשנת 2012 מאז חלפו עשר שנים והשנה שוב עורבבה עמודת המים לעומק קרקעית הים בתחנה A. בשנים הקודמות בחנו את קצב השינוי בריכוזי נוטריינטים וחמצן במים העמוקים (700 מטר) מספר שנים לאחר עירבוב עמוק בין שלושה המחזורים ובפרט בין המחזור הראשון (שנים 2004-7) והשלישי (שנים 2016-2020).

כל הפרמטרים הנבדקים השתנו באופן מובהק עם הזמן (non parametric one-way ANOVA: $P < 0.0001$ Kruskal-Walis). מבחן פוסט-הוק א-פרמטרי (Dwass-Steel-Chritchlow-Fligner) הצביע על כך שעבור כל הפרמטרים למעט טמפרטורה, התקופה הראשונה נבדלת באופן מובהק מהתקופה השניה וזו נבדלת באופן מובהק מהתקופה השלישית רק עבור טמפרטורה ופוספאט. בסופה של כל תקופה ריכוזי הנוטריינטים היו נמוכים וריכוזי החמצן היו גבוהים מאשר בתקופה שקדמה לה. במחזור האחרון, אשר הסתיים השנה, לקח לריכוזי הנוטריינטים זמן רב יותר להגיע לריכוזים שנמדדו הראשון.

בעקבות הערבוב העמוק השנה ירדו כל ריכוזי הנוטריינטים במים העמוקים ונפתח מחזור חדש (איור א2), ועל כן אין אפשרות לחזור על אלניזה זו השנה. על אף הערבוב העמוק, ריכוזי הנוטריינטים נותרו מעט גבוהים יותר משהיו לאחר הערבובים העמוקים הקודמים. בשנים הבאות, לאחר שיגיעו ריכוזי הנוטריינטים למעין מצב יציב במי העומק ניתן יהיה לחזור על האנליזה.



איור א2: סדרת הזמן של ריכוזי ניטראט בעומק 700 מטרים בתחנה A עם סימון שלושת המקטעים המייצגים תנאים קרובים לשיווי משקל לאחר ערבוב אנכי עמוק (ריבועים אדומים). מיד לאחר ערבוב עמוק ישנו שינוי מהיר בריכוזי הנוטריינטים, ולאחר כ-4 שנים, בפרקי הזמן המסומנים, הריכוזים מתייצבים ונוצר מצב יציב (steady state). התקופה האמצעית מתחילה שלוש שנים בלבד לאחר ערבוב עמוק.

Figure A2: Time series of the Nitrate concentrations at 700 meters depth in Station A showing the three tested time intervals of near-steady state following deep vertical mixing (red rectangles). Immediately following deep mixing nutrient concentrations change rapidly and after approximately 4 years an apparent steady state is achieved. The middle period starts only three years after deep mixing.

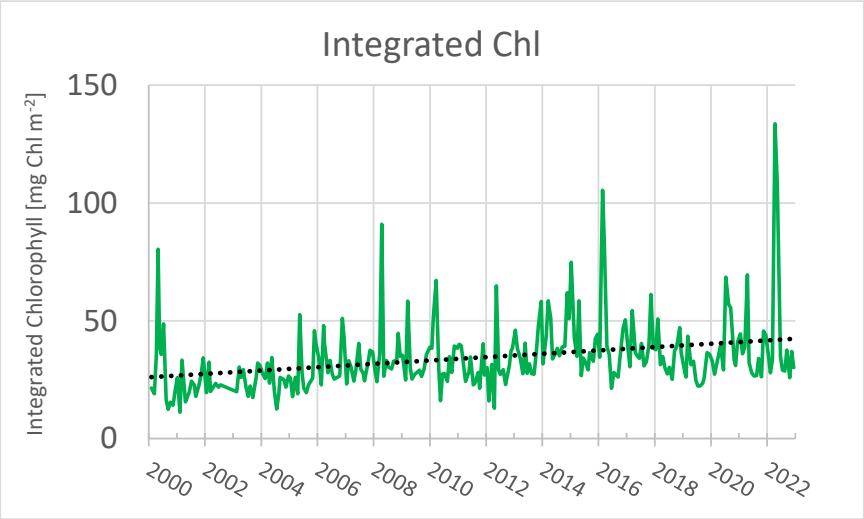
2) מגמות בריכוזי כלורופיל במים העליונים

על מנת לבחון את קיומן של מגמות שינוי בריכוז הכולל של פיטופלנקטון במים העליונים בצפון המפרץ, חושב האינטגרל של כלורופיל ב-120 המטרים העליונים (השכבה הפוטית). מגמת שינוי נבחנה על התקופה המתחילה בשנת 2000, לפני תחילת הניטור אך תקופה בה כבר היו הפלגות סדירות ותדירות לתחנה A (איור א3). ניתוח רגרסיה לינארית מצביע על מגמה מובהקת ($P<0.00001$) של עלייה עם שיפוע מתון, 0.7 מ"ג כלורופיל למ"ר לשנה, שבעשור מצטבר לכדי כ- 20% מהערך הממוצע הרב שנתי.

בריכוזי הכלורופיל הנמדדים בפני הים מדי יום מאז שנת 1988, לעומת זאת, נמצאת מגמת ירידה מובהקת אך זניחה.

מסקנה: מצאי הכלורופיל בעמודת המים העליונה בתחנה A מראה מגמה של עלייה עם הזמן. המצאי המחושב משפע מריכוזי הכלורופיל בעומקי הביניים – Deep chlorophyll maximum (DCM). ריכוזי הכלורופיל בעומקים אלה קשורים אולי בגורמים נוספים לעומק הערבוב – כגון, חדירות האור, רעייה על ידי זואופלנקטון או חדירת מים מדרום.

לעומת זאת, בשלושים השנים האחרונות נמצאה ירידה מתונה בריכוזי הכלורופיל בפני הים בסמוך לשונית. ירידה זו אולי קשורה לתדירות היורדת של חורפים קרים מכיוון שישנה התאמה טובה בין ריכוזי הכלורופיל שם ובין עומק הערבוב.



איור א3: סדרת זמן של אינטגרל הכלורופיל ב- 120 המטרים העליונים של עמודת המים בתחנה A מאז שנת 2000.

Figure A3: Time series of integrated chlorophyll-*a* inventory in the upper 120 meters of the water column in Station A, since 2000.

3) טמפרטורת המים

טמפרטורת המים בפני הים (SST) הנמדדת מדי בוקר במזח המצפה התת-ימי מאז 1988 מראה מגמה מובהקת של עליה בקצב של 0.036 °C לשנה (ערך מובהקות של $P < 0.00001$). מאז תחילת תכנית הניטור ב 2004 ועד היום גדל קצב החימום פי 1.5 והגיע לערך של 0.051 מעלה לשנה.

בעומק 700 מטרים קצב החימום איטי יותר, 0.015 °C לשנה, ומובהק ($P < 0.001$).

4) מגמות בשונית האלמוגים של אילת

מגמות בשונית האלמוגים נבחנו על ממוצעים שנתיים של כלל אתרי השונית הנסקרים "ממוצע שוניות אילת" (מלבד גידול אצות ישיבות, באתר IUI בלבד), כמפורט בטבלה א2.

טבלה א4 מצביעה על מגמת עליה מובהקת בכיסוי אלמוגי האבן החיים אך ירידה בצפיפותם בשוניות אילת

מאז תחילת הניטור. חשוב לשים לב לכךשלאחר הסערה החזקה במרץ 2020 תועדה ירידה חדה בכיסוי האלמוגים בשוניות אילת וקיומה של מגמה מובהקת נשען על כך שכיסוי האלמוגים עדיין גבוה משהיה בשנות הניטור הראשונות.

בהתפלגות גדלי האלמוגים נמצאה עליה מובהקת בצפיפות מושבות בינוניות וירידה מובהקת בצפיפות המושבות הקטנות. מכיוון שמושבות קטנות מהוות רוב גדול מתוך סך מושבות האלמוגים ירידה בצפיפות המושבות הקטנות גוררת ירידה בסך צפיפות מושבות האלמוגים בשוניות אילת.

מדד הרקמה החיה באלמוגים נמצא בירידה איטית (0.3% מהממוצע הרב שנתי) אך מובהקת.

בצפיפות האלמוגים בלגונה שבשמורת חוף אלמוג מתועדת ירידה חדה (כ-45%) בין השנים 2009 ו-2010, ומאז ישנה יציבות יחסית. בסך הכל לאורך תקופת הניטור צפיפות הלגונה ירדה באופן מובהק.

לא נמצאה מגמת שינוי מובהקת בכמות האצות הבנתוניות בשונית וגם לא בפוטנציאל הגידול של אצות (על גבי לוחיות מוגנות מרעייה), משמע – שיפעת האצות הבנתוניות בשונית ללא ששינוי במשך תקופת הניטור.

בצפיפותם של קיפודי הים מתועדת ירידה חדה ומדאיגה. צפיפות הקיפודים השנה (2022) היתה 0.13 פרטים למ"ר, בממוצע, לעומת צפיפות של כ- 2 פרטים למ"ר, בממוצע, בשנות הניטור הראשונות (2004-5). למרות זאת, כאמור למעלה, אין לירידה זו ביטוי בריכוזי האצות הבנתוניות בשונית. הדבר מצביע, באופן עקיף, על יעילותם וחשיבותם התיפקודית של כלל הרועים ובפרט הדגים הצמחוניים בשונית.

טבלה א2: מקדמי הרגרסיה הלינארית וערכי מובהקותם עבור משתנים מרכזיים בשונית האלמוגים של אילת. הרגרסיה חושבה על ממוצעים שנתיים כנגד זמן (בשנים), כך שמקדמי הרגרסיה מבטאים את קצב השינוי של כל פרמטר לשנה. באדום מצוינים המשתנים עבורם הייתה הרגרסיה מובהקת סטטיסטית. ערכי המובהקות מצוינים בתחתית הפסקה (מתחת לטקסט באנגלית)

Table A2: Linear regression coefficients and their significance of the main variables measured in Eilat's coral reefs. The regression was calculated for annual averages versus time (in years), so that regression coefficients represent the rate of annual change for each variable. Variables with a statistically significant regression are highlighted in red.

P values are indicated as follows: *** p<0.001, ** p<0.01, * p<0.05, NS-not significant.

	Reg. coeff.	R^2	P value
Live cover [%]	0.22	0.347	**
Coral density [m^{-2}]	-0.447	0.257	*
Medium corals [m^{-2}]	0.285	0.821	***
Small corals [m^{-2}]	-0.775	0.485	***
LTI [%]	-0.324	0.786	***
Urchin density [m^{-2}]	-0.101	0.712	***
Lagoon corals [m^{-2}]	-0.121	0.669	***
Algae – potential [mg Chl/cm^2]	-0.012	0.04	NS
Algae – realized [mg Chl/cm^2]	-0.005	0.024	NS

5) סיכום

טבלה א3 מסכמת את תוצאות מבחני המגמה עבור משתנים עיקריים אחריהם עוקבת תכנית הניטור. מנקודת מבט של "מצב המערכת", הירידה בריכוזי נוטריינטים המומסים במי העומק והעלייה בחמצן באותם מים יחד עם היציבות בגידול האצות הבנתוניות והעלייה בכיסוי האלמוגים וצפיפותם מעידים מצבה הטוב יחסית של המערכת האקולוגית של צפון המפרץ.

מאידך, הירידה בכיסוי האלמוגים בשנתיים האחרונות כמו גם הירידה באחוז הרקמה החיה במושבות האלמוגים ובצפיפות מושבות אלמוגים קטנות, והירידה בצפיפותם של קיפודי הים ושל האלמוגים בלגונה, מעידים על קיומן של בעיות שיש לרדת לעומקן.

טבלה א3: סיכום תוצאות מבחני מגמות במצב המערכת בצפון מפרץ אילת, המסתמנות מתוך נתוני תכנית הניטור. ↑ מגמה של שיפור, ↓ שינוי לרעה, - ללא מגמה.

Table A*3*: Summary of trends concerning the state of the system at the northern end of the Gulf of Eilat↑= improvement, ↓=deterioration, - = no trend.

הגורם הנבחן	מגמה	"מגמת שיפור"
ריכוזים כימיים במים עמוקים (700 מ'), השוואה בין שתי תקופות		
O_2	לא רלוונטי השנה	
NO_3	לא רלוונטי השנה	
PO_4	לא רלוונטי השנה	
$Si(OH)_4$	לא רלוונטי השנה	
ריכוזי כלורופיל בפני הים	ירידה זניחה	↑
מצאי כלורופיל (120 מ')	עליה	↓
טמפרטורת פני הים	עליה	↓
	שונית האלמוגים	
כיסוי אלמוגים חיים	עליה (%)	↑
צפיפות אלמוגים	ירידה (מושבות למ"ר)	↓
צפיפות מושבות בינוניות	עליה (מושבות למ"ר)	↑
צפיפות מושבות קטנות	ירידה (מושבות למ"ר)	↓
מדד הרקמה החיה	ירידה (% חי במושבות אלמוגים)	↓
צפיפות אלמוגים בלגונה	ירידה (מושבות למ"ר)	↓
צפיפות קיפודי הים	ירידה (פרטים\חתך מאז 2005)	↓
פוטנציאל צמיחת אצות ישיבות	אין מגמת שינוי	-
צמיחת אצות ישיבות בפועל	אין מגמת שינוי	-

א.6. המלצות

I. במשך תקופת הניטור תועדה צמיחה בשוניות האלמוגים של אילת והן מצויות במצב טוב יותר בשנים האחרונות בהשוואה לשנים הראשונות של הניטור. אולם, החל מאמצע התקופה, 2015 בערך, נראה היה כי שינויים לטובה איטיים יותר וישנם גם מדדים המצויים בירידה. בחודש מרץ 2020 פגעה סערה דרומית חזקה במיוחד בחופי אילת וגרמה לנזק רב לאורך החופים. הפגיעה אמנם לא השפיעה בכל האתרים במידה שווה אך בשנתיים שאחרי הסערה תועדה ירידה גדולה בכיסוי האלמוגים הממוצע בשוניות אילת. השנה תועדה עלייה קלה בכיסוי הממוצע אולם עדיין מוקדם לקבוע האם זו תחילתה של התאוששות.
שונית האלמוגים פגיעה למגוון לחצים אנושיים וטבעיים. גם גורמים "טבעיים" מושפעים , בחלקם, מהתערבות אנושית, למשל, הצטברות חומרי דשן במי הים או מי נגר השוטפים אל הים מעודדים פריחות אצות וחדירת חיידקים פתוגנים עשויה, לגרום לפגיעה קשה בבע"ח מקומיים. תנודות בכיסוי האלמוגים ופריחות אצות הם חלק מהמערכת הטבעית, ואחת ממטרות הניטור היא לעקוב ולזהות מחזורים שכאלה.
אנו ממליצים לנקוט משנה זהירות בכל הנוגע לפעולות העלולות לפגוע בשונית. בין היתר רצוי למנוע פגיעה פיסית בשונית, 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 מכסוי מרבדי אצות (turf algae). הרועים מווסתים פריחות של אצות צמודות מצע המתחרות עם אלמוגים על שטחי השונית ומדידות מראות כי בשנות הניטור ויסות הפריחות על ידי רועים נעשה ביעילות.
מאז שנת 2016 מצטיירת ירידה בשיפעת קיפודי הים באתרי הניטור ועל אף הערבוב העמוק אשר לרוב נמצא בקורלציה עם עלייה בצפיפות אלמוגים, צפיפותם בשונית הוסיפה לרדת גם השנה. בהינתן התנודות בחברת הרועים, יש לנסות ולהפחית את הלחץ האנושי על הקיפודים והדגים הרועים. בפרט אנו ממליצים לאסור כליל דיג של דגים אוכלי אצות בצפון המפרץ ולפעול להגנתם מפני פגעים נוספים. בנוסף לזה, יש להקפיד על אכיפת האיסור לפגוע בקיפודי ים לאורך חופי אילת. ושמירה על בתי גידול סלעיים במים הרדודים.

III. מדי פעם נמדדות "חריגות" בריכוזי נוטריינטים בתחנות הניטור החופיות, בפרט באתרים הצפוניים. חריגות בריכוזי נוטריינטים בקרבת מקור חופי מעלות חשש לכניסה מקומית של מים נושאי חומרים מומסים מהיבשה לים באזורים אלה. בשנים האחרונות נראה כי תעלת הקינט מהווה מקור סביבו נצפות פריחות מרובות וחזקות ונמדדות שם ריכוזי נוטריינטים גבוהים במיוחד. אנו ממליצים לברר האם נעשו שם שינויים בשנים האחרונות ומה הם.
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 דרך תעלת הקינט.

IV . בשנים האחרונות נמצאו בתחנות הניטור בחוף הצפוני, והשנה 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 – מקום בו היו בעבר כלובי הדגים, גבוה במידה רבה מהריכוזים שנמצאו 80 מטרים מערבית לה. עולה החשש שמקור המתכות בחשיפת סדימנט מזוהם בעקבות הסערה של 2020, או בכניסת מזהמים דרך תעלת הקינט הסמוכה.
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 לשימורה 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 יורדים לאורך זמן. עם זאת, המערכת האקולוגית בצפון המפרץ מצויה באיזון עדין כפי שמעידה הפגיעה בבתי הגידול כתוצאה מהסערה הדרומית החזקה במרץ 2020 והמשך הירידה במדדים שונים בשנה הקודמת והשנה. 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.

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	34°55`.26	29°30`.33	1,5,10,20
קצא"א (בין המזחים)	KATZA	34°56`.04	29°31`.37	10, 20

סקר חברת האלמוגים נעשה על פי שיטת חתכי הקו שפותחה על-ידי Loya *et al.* (1972). בכל אתר גיאוגרפי נפרס סרט מדידה מנקודת התחלה אקראית לאורך קו עומק כמפורט בטבלה ב1. לאורך סרט המדידה נבחרה מראש נקודת ההתחלה של החתך על-ידי מחולל מספרים אקראיים. מנקודה זו בוצעו חתכים באורך 10 מטרים לאורך סרט המדידה, כשביניהם מפרידים מטרים ספורים. מספר החתכים באתר (אתר הוא שילוב של מיקום גיאוגרפי ועומק) נע, בדרך כלל, בין 10 ל-25, ונקבע לפי תוצאות הסקר עד לקבלת דיוק גבוה מ-20% במדד אחוז כיסוי האלמוגים. בכל מקטע של עשרה מטרים נרשם ההיטל של כל מה שנמצא תחת סרט המדידה בדיוק של סנטימטר אחד (איור ב2). אלמוגים חיים (אלמוגי אבן ואלמוגים רכים) וחסרי חוליות אחרים זוהו לרמת הסוג, ובמידה והתאפשר אף לרמת המין (רשימת האלמוגים שנמצאו בכלל החתכים מופיעה בנספח 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 קודמים (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 מצוינים 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: An 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 תכנת EstimateS (http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS ;Colwell, 2005) והחל מהשנה 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). ניתוח נוסף למגוון המינים נעשה באמצעות עקומות צבירה (rarefaction curves) המחושבות באמצעות התכנה ומתוכן מחושבת גם תוחלת המינים הצפויה בספירה של 1500 מושבות מתוך כלל שוניות אילת.

שולחן השונית בשמורת חוף אלמוג נסקר כאתר נפרד. ההחלטה להוסיף אתר זה לסקר נבעה מחשיבותו של שולחן השונית, לאור נתונים קודמים, לפיהם שולחן השונית נפגע ומצוי במצב של הידרדרות בעשורים האחרונים (ראו למשל Loya, 2004), והן בזכות הקמתה של תחנה מטאורולוגית על ידי 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.

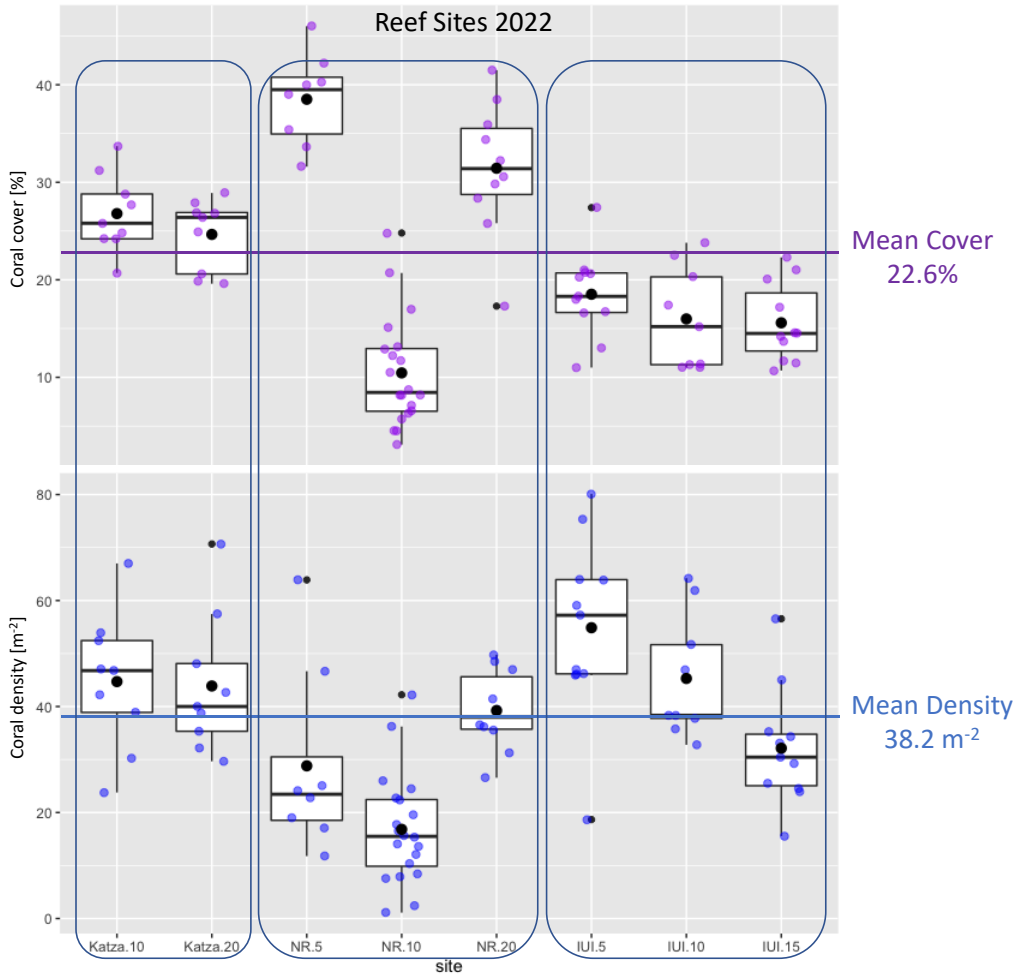
תוצאות:

כיסוי אלמוגים וצפיפות מושבות

אחוז השטח המכוסה אלמוגי אבן חיים שונה מאד בין האתרים, וכך גם צפיפות האלמוגים (איור ב3). כיסוי האלמוגים הגדול ביותר נמצא בשונית הרדודה בשמורת האלמוגים (5-NR), בה נמדד השנה כיסוי אלמוגי אבן של 37.1±2.0%. הכיסוי הנמוך ביותר נמצא באתר השמורה בעומק עשרה מטרים (10-NR), עם 10.5±1.3% כיסוי בלבד. אתר זה הוא גם האתר עם צפיפות המושבות הנמוכה ביותר (כ- 17 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, כ-29 מושבות למ"ר) משקף אכלוס על ידי מושבות אלמוגים גדולות.

השנה נמדד כיסוי אלמוגים חיים נמוך בהשוואה לשנה הקודמת, בשני אתרים, 20-KATZA ו-10-IUI, אך בשאר האתרים כיסוי האלמוגים אשר נמדד השנה גבוה מזה שנמדד בשנה הקודמת.

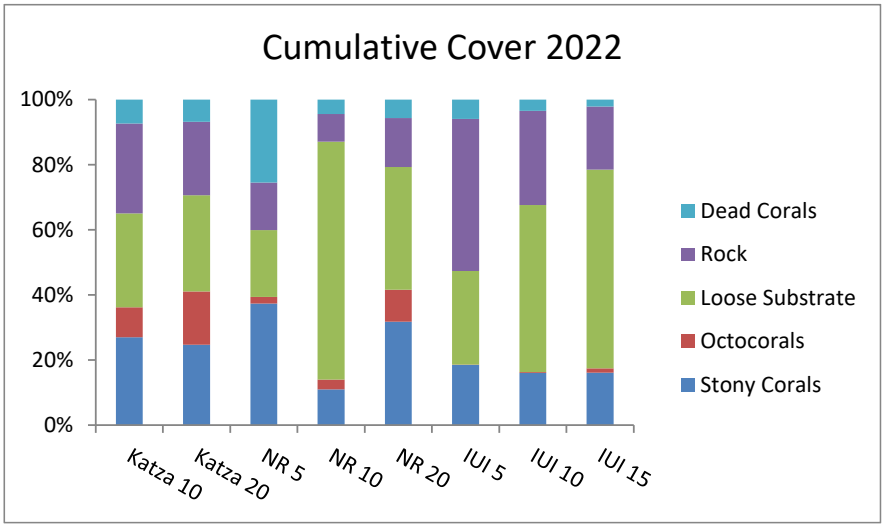
כיסוי האלמוגים הממוצע באתרי השונית הנסקרים עלה מעט והיה השנה 22.6±3.2% (לעומת 21.9±3.0% בשנה הקודמת ו- 24.9±4.5% בשנת 2019). צפיפות המושבות הממוצעת, לעומת זאת, היתה נמוכה השנה במידה רבה בהשוואה לשנה הקודמת, 38.2±4.2 מושבות למ"ר, לעומת 44.4±5.8 בשנה הקודמת.



איור ב3: שטח הכיסוי הממוצע (למעלה) וצפיפות המושבות (למטה) של אלמוגי אבן חיים בכל אתר בשנת 2022. בכל "קופסה" קו אמצע מייצג את החציון והקופסה מייצגת את האחוזונים ה-25 וה-75 כפי שחושבו על ידי תכנת R; הממוצע בכל אתר מוצג על ידי עיגול שחור גדול וממוצע כל האתרים בקווים אופקים.

Figure B3: The average live stony coral cover (top) and colony density (bottom) at each site, in 2022. 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 10-NR בו כיסוי האלמוגים קטן ביותר הוא אתר חולי ברובו, ואילו רדוד יותר – אתר 5-NR – 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.

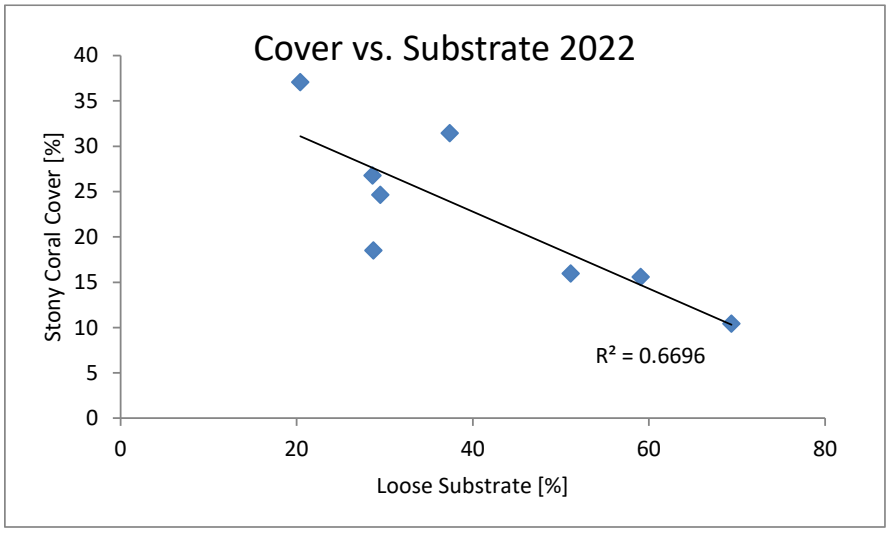


איור ב4: אחוזי הכיסוי המצטברים של אלמוגים, חול, סלע, ואלמוגים מתים. באתרים בהם אחוזי הכיסוי אינם מסתכמים ב- 100%, קיים כיסוי של אצות וחסרי חוליות כגון שושנות ים, צדפות ענק ו/או ספוגים אשר אינם מופיעים באיור זה. אחוזי הכיסוי הם ממוצע כל החתכים באותו אתר.

Figure B4: Cumulative percent cover of live corals, sand, rock and dead corals. At sites where cover does not add up to 100% the balance comprises algae and invertebrates such as sea anemones, clams or sponges. The presented percent cover is an average of all transects at each site.

אחוז הכיסוי של אלמוגי אבן חיים באתר נמצא בהתאמה הפוכה לכמות המצע ה"לא מלוכד" (non-consolidated), הכולל חול וחלוקים, באותו אתר (איור ב5). המתאם השנה עומד על $R^2=0.67$ 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.

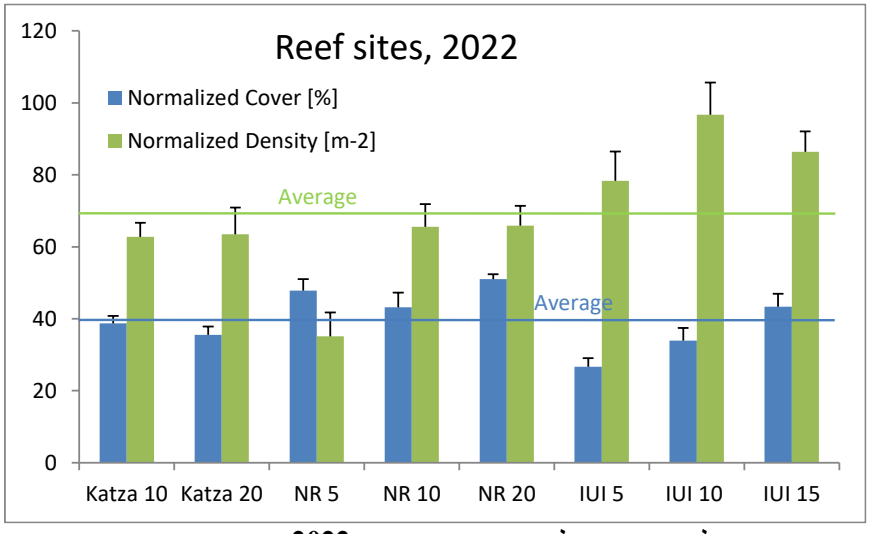
Figure B5: Percent live stony coral coverage versus unconsolidated (sandy) sea floor in the sites examined.

לצורך השוואה בין אתרים ועל מנת לאתר הבדלים בצמיחת אלמוגים באתר זה או אחר שאינם נובעים מסוג המצע, ניתן לנטרל את ההבדלים בכמות הקרקע הלא מלוכדת בין האתרים על ידי התבוננות באחוז כיסוי האלמוגים על גבי קרקע מלוכדת בלבד. ניצול המצע המתאים להתיישבות אלמוגים מחושב כיחס בין אחוז הכיסוי החי וסכום האחוזים של הקרקע המלוכדת והכיסוי החי (ושלדי אלמוגים מתים), בהנחה שהמצע המתאים להתיישבות אלמוגים הוא קרקע מלוכדת (סלעית) בלבד ושכל האלמוגים יושבים על מצע כזה (איור 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 51.0±1.4% (10-NR) לערך נמוך של 35.6±2.3% (20-KATZA). באתרי המכון ישנה משרעת של כיסוי מנורמל נמוך ביותר בעומק הרדוד, 26.7±2.4%, וגבוה יותר בעומק 15 מטרים, 43.4±3.5%.

הכיסוי הממוצע של אלמוגי אבן על גבי מצע מלוכד באתרי השונית היה השנה 40.0±2.8%, מעט גבוה מאשר בשנה הקודמת (39.5±3.2%).

בממוצע נמצאו השנה 69.3±6.5 מושבות בנירמול למטר רבוע של קרקע מלוכדת, כאשר צפיפות המושבות המנורמל גבוה ביותר באתרי המכון ונמוך ביותר באתר השמורה הרדוד.



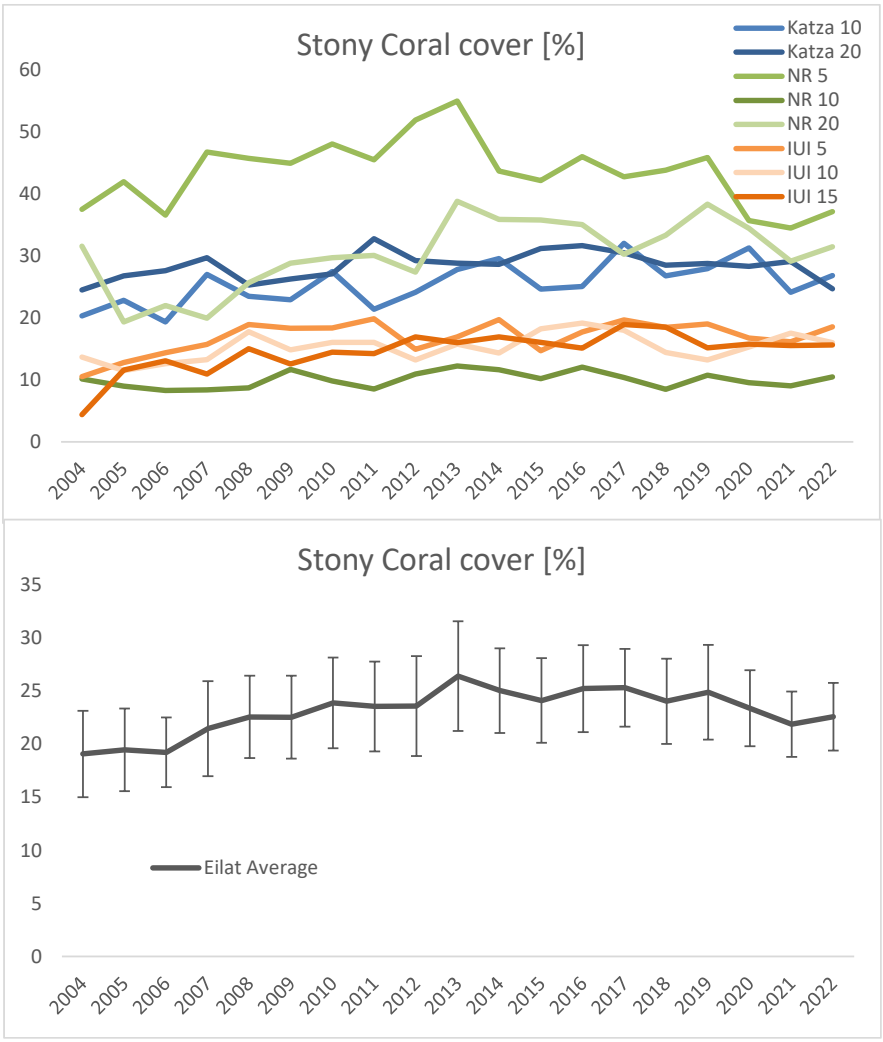
איור ב6: ניצול המצע המתאים להתיישבות אלמוגים בשנת הניטור 2022. אחוז הכיסוי וצפיפות המושבות של אלמוגי אבן חיים על גבי קרקע סלעית בכל אתר.

Figure B6: Utilization of available substrate by stony corals in 2022. 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, 22.6±3.2%, דומה לזה שנמדד בשנה הקודמת (21.9±3.0%) אך נמוך בכ- 2.5% מהכיסוי הממוצע אשר נמדד בקיץ 2019, לפני הסערה החזקה של חורף 2020 (24.9±4.5%), איור ב7.

הכיסוי הממוצע באלמוגים חיים הנמדד באתרי אילת היה 19.1±4.1% בשנת 2004, תחילת הניטור, וגבוה ביותר בשנת 2013 (26.4±5.1%). על אף שההבדלים בין שנים אינם מובהקים, במבט לאורך תקופת הניטור נמצאה מגמה מתונה של עליה לאורך זמן עד לשנת 2019 אולם מאז ירד כיסוי האלמוגים מתחת לערך של 24% לראשונה מאז שנת 2013, והערך הממוצע השנה דומה לזה שאפיין את השנים 2008-2009. בבחינה סטטיסטית מדוקדקת של סדרת הנתונים עד לשנת 2017 נמצא כי מגמת השינוי בכיסוי האלמוגים היתה מובהקת (תכנית הניטור, דו"ח מדעי 2017). בשנתיים שלאחר הסערה הגדולה (2020-2021) נמצאת ירידה בכיסוי האלמוגים ואילו השנה ישנה התייצבות. מאז תחילת הניטור השינוי בכיסוי האלמוגים מסתכם בעליה ממוצעת של כ- 0.22% 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 נכון 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: The average live stony coral cover at each site and the average for all forereef site, as percent of total area.

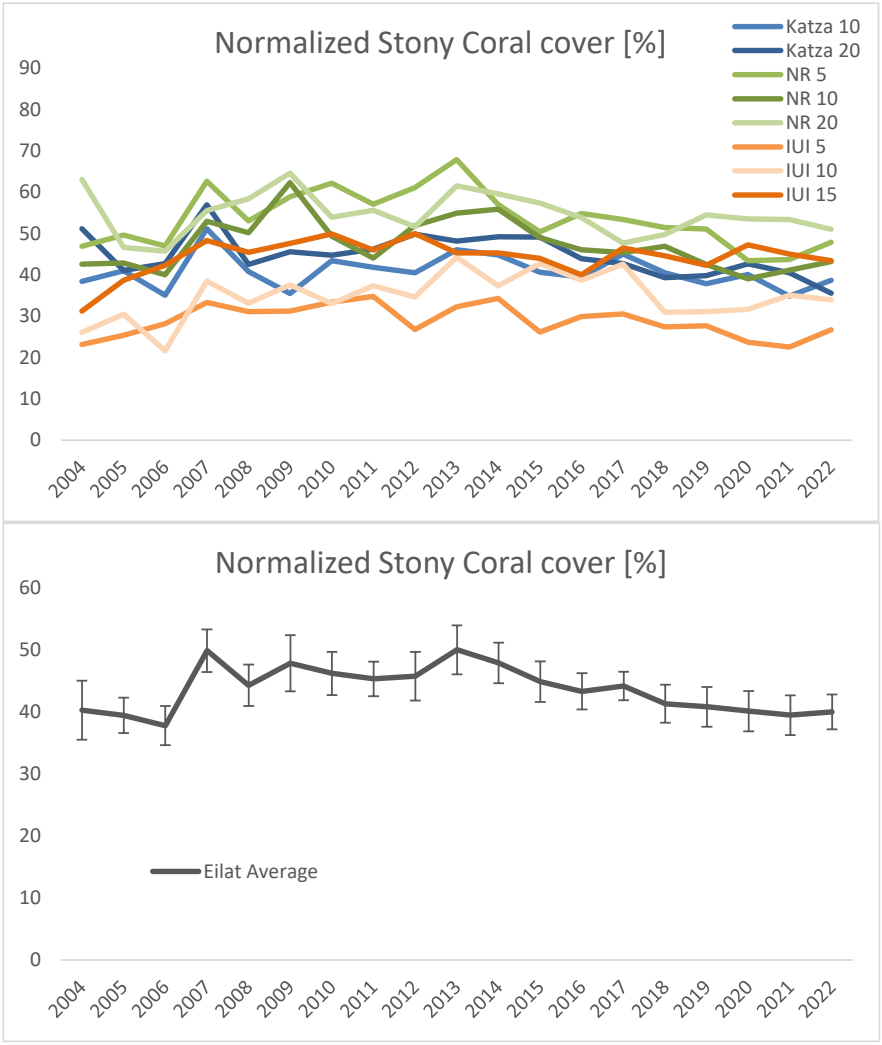
במשך תקופת הניטור יעילות האלמוגים בניצול קרקע מלוכדת להתיישבות ובניית שונית (כיסוי אלמוגים מנורמל, ראו למעלה) מראה אף היא עלייה בתקופה הראשונה לניטור ויציבות בשנים האחרונות (איור ב8). השפעתה של הסערה הגדולה בחודש מרץ 2020 על כיסוי האלמוגים המנורמל, ובפרט על הערך הממוצע בשוניות אילת הנסקרות - קטנה.

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

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

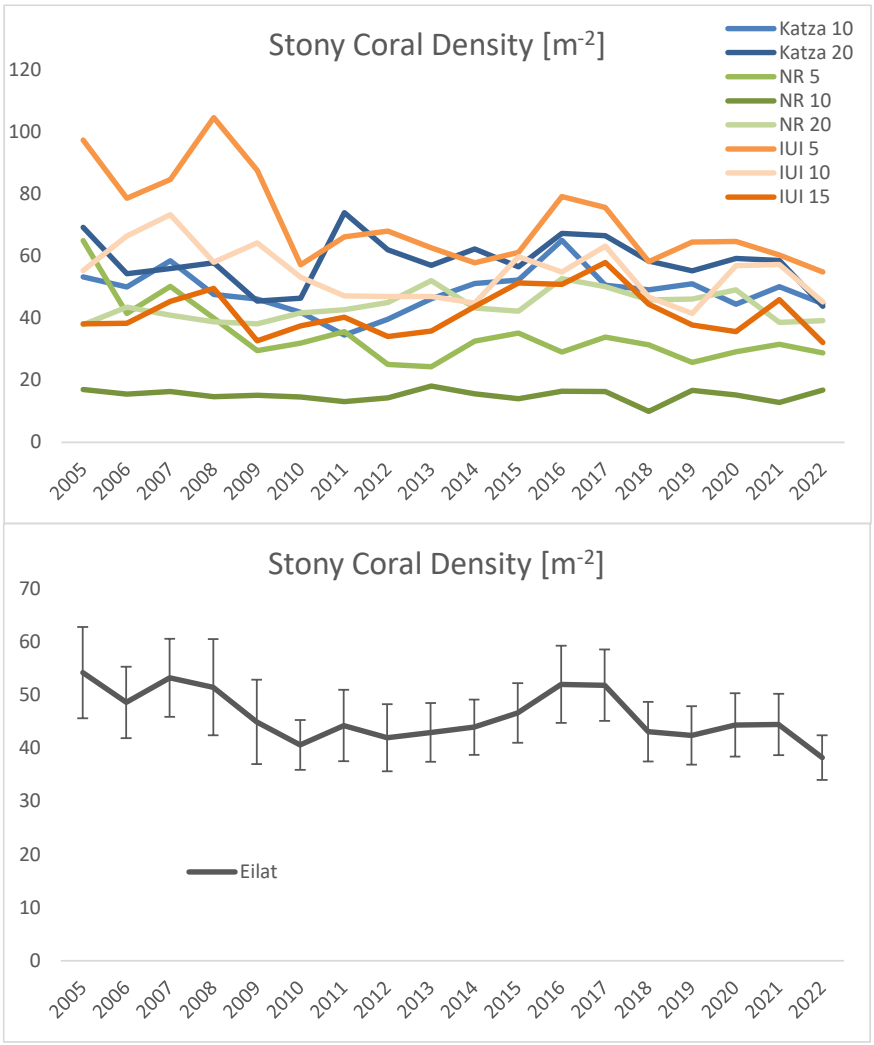


איור ב8: ניצול המצע הסלעי על ידי אלמוגים (שטח הכיסוי הממוצע מתוך הקרקעית הסלעית) באתרי קדמת השונית וממוצע הערכים בכל האתרים.

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). בהשוואה לשנה הקודמת, בכל האתרים הנסקרים מלבד אתרי השמורה העמוקים (10-NR ו- 20-NR) נמצאה השנה ירידה בצפיפות הממוצעת של מושבות אלמוגי אבן למטר רבוע (איור ב9). צפיפות מושבות האלמוגים הממוצעת בין כל האתרים היתה גבוהה בשנים הראשונות של הניטור וירדה עד לשנת 2010 אז החלה לעלות עד לערך מרבי של כ- 52 מושבות למ"ר, בממוצע, בשנים 2016-7. צפיפות המושבות בשנים 2018-2021 היתה נמוכה יותר אך יציבה והשנה נמדדה הצפיפות הנמוכה ביותר בתקופת הניטור, 38.2±4.2 מושבות למ"ר, בממוצע.

שינויים בצפיפות מושבות משנה לשנה נובעים מהיחס שבין תמותת אלמוגים והתיישבות אלמוגים חדשים, וכך ירידה מתמשכת בצפיפות המושבות מעידה על עודף תמותה על פני התיישבות. כיוון שהתמותה פוגעת באלמוגים מכל מיני גדלים ואילו התיישבות היא על ידי אלמוגים קטנים בלבד צפוי שירידה בצפיפות תלווה בירידה בכיסוי האלמוגים.



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

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

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

בחברת השונית קיימות תנודות משנה לשנה ואין די בשינוי בין שנים עוקבות להעיד על מגמות. מאז תחילת הניטור (2004) כיסוי האלמוגים עלה באופן משמעותי ברוב האתרים, והממוצע לשוניות אילת עלה במידה ניכרת ומובהקת. בשנים 2020-2021 נמצאת ירידה בכיסוי האלמוגים באילת, אולי בעקבות הסערה החזקה אשר פגעה באילת בחודש מרץ 2020. השנה כיסוי האלמוגים הממוצע דומה לזה של שנת 2021, ויתכן שהשונית תחל תהליך של התאוששות. הצפיפות הממוצעת של מושבות אלמוגים באתרי הניטור התייצבה בשנים האחרונות על ערך נמוך מהערך הגבוה של שנת 2017 אך השנה נמצאה ירידה בצפיפות המושבות באתרי קדמת השונית.

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	9	9	8	20	10	11	9	11	87
Stony coral [%]	**26.8**	**24.7**	**37.1**	**10.5**	**31.4**	**18.5**	**16.0**	**15.6**	**22.6**
stdev	4.0	3.6	6.1	5.6	6.9	4.4	5.2	4.0	9.0
SE	1.3	1.2	2.0	1.3	2.2	1.3	1.7	1.2	3.2
CV	0.1	0.1	0.2	0.5	0.2	0.2	0.3	0.3	2.5
Octocoral [%]	**9.1**	**16.2**	**2.0**	**2.8**	**9.7**	**0.0**	**0.2**	**1.3**	**5.2**
stdev	8.2	13.0	4.1	2.9	5.6	0.2	0.2	1.2	5.9
SE	2.7	4.3	1.4	0.6	1.8	0.0	0.1	0.4	2.1
CV	0.9	0.8	2.0	1.0	0.6	3.3	1.0	0.9	0.9
GRV+Sand [%]	**28.6**	**29.5**	**20.4**	**69.4**	**37.4**	**28.7**	**51.1**	**59.1**	**40.5**
stdev	12.3	8.1	12.4	17.4	13.1	12.8	12.4	9.4	17.3
SE	4.1	2.7	4.1	3.9	4.1	3.9	4.1	2.8	6.1
CV	0.4	0.3	0.6	0.3	0.3	0.4	0.2	0.2	2.3
Rock [%]	**27.3**	**22.5**	**14.5**	**8.1**	**14.9**	**46.7**	**28.9**	**18.7**	**22.7**
stdev	11.7	10.9	13.2	6.6	6.3	14.3	12.6	9.2	11.9
SE	3.9	3.6	4.4	1.5	2.0	4.3	4.2	2.8	4.2
CV	0.4	0.5	0.9	0.8	0.4	0.3	0.4	0.5	1.9
Dead Coral [%]	**136.4**	**119.1**	**175.1**	**43.0**	**39.5**	**204.6**	**158.6**	**85.1**	**141.7**
stdev	9.0	8.4	10.2	3.1	4.5	9.6	9.7	6.2	10.0
SE	1.7	1.7	4.5	0.9	1.4	1.5	1.3	0.5	2.6
CV	0.7	0.8	0.5	1.0	0.8	0.8	1.2	0.8	1.0
Norm. cover [%]	**26.0**	**27.2**	**184.9**	**17.0**	**20.6**	**24.3**	**16.2**	**2.6**	**54.4**
stdev	3.9	4.0	10.5	1.9	3.2	3.3	3.1	1.1	6.2
SE	38.7	35.6	47.8	43.2	51.0	26.7	33.9	43.4	40.0
CV	6.4	6.8	9.5	18.1	4.3	8.0	10.5	11.7	7.9
Density [m^{-2}]	**44.7**	**43.9**	**28.8**	**16.8**	**39.2**	**54.9**	**45.3**	**32.1**	**38.2**
stdev	12.9	13.1	17.5	10.3	7.6	16.9	11.6	11.1	11.9
SE	4.3	4.4	6.2	2.3	2.4	5.1	3.9	3.3	4.2
CV	3.5	3.3	1.6	1.6	5.2	3.3	3.9	2.9	3.2
Norm. Density [m^{-2}]	**62.7**	**63.5**	**35.1**	**65.6**	**65.9**	**78.3**	**96.7**	**86.4**	**69.3**
Stdev	11.8	22.3	18.8	28.3	17.3	26.9	26.7	18.9	18.5
SE	3.9	7.4	6.7	6.3	5.5	8.1	8.9	5.7	6.5
CV	5.3	2.8	1.9	2.3	3.8	2.9	3.6	4.6	3.7

<u>גודל מושבות אלמוגים</u>

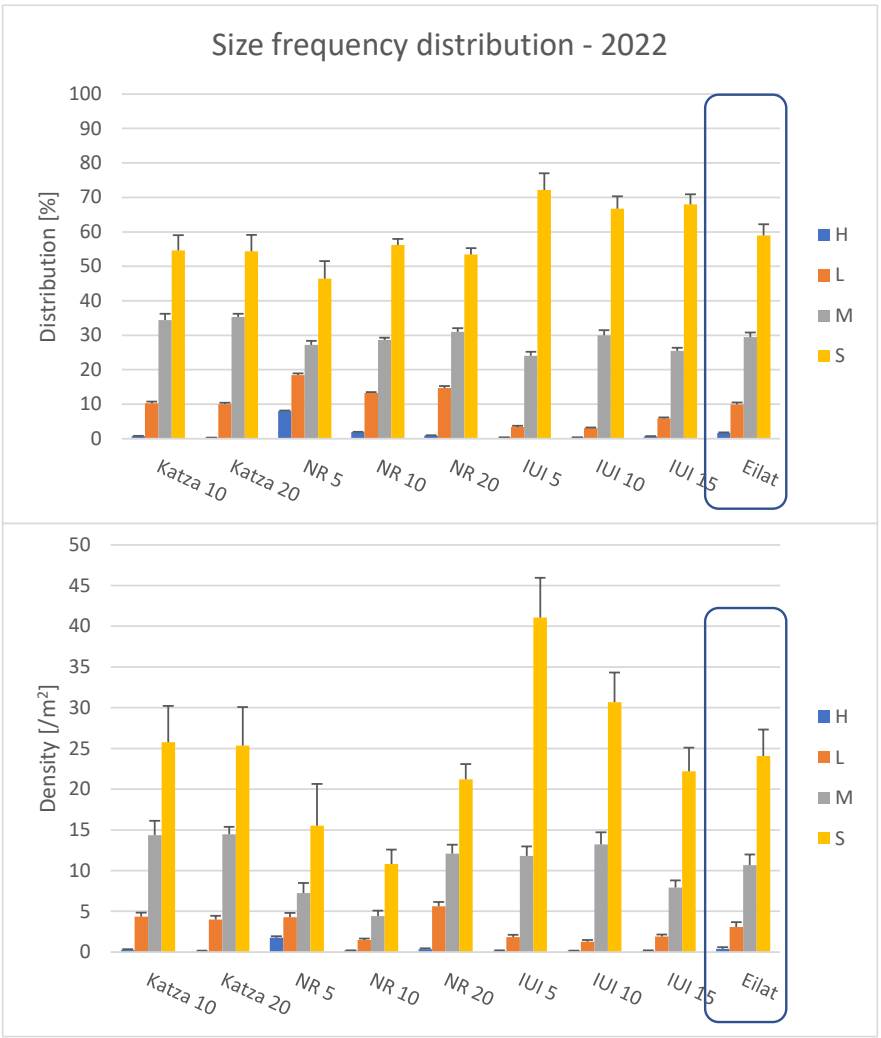
מושבות אלמוגים תחת סרט המדידה משויכות לאחת מקבוצות הגודל **קטן**<5ס"מ; **בינוני**<15ס"מ; **גדול**<30ס"מ; **ענק**>30ס"מ על פי הערכת הסוקר. בחלוקה זו לקבוצות גודל ישנם טווחי גודל שונים כאשר הקבוצה "ענק" מכילה כל מושבה גדולה מ-30 ס"מ. לכאורה, על מנת להציג התפלגות גדלי מושבות אלמוגים, צריך לפרק קבוצה זו 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 (איור ב10).

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

חלקן של מושבות האלמוגים הקטנות באתרי IUI, ובפרט הרדודים, גדול יותר מחלקן באתרי הניטור האחרים. באתר 5-IUI נמצאה צפיפות ממוצעת של 41.1±4.9 מושבות קטנות למ"ר ומושבות קטנות מהוות כ-72% מכלל המושבות באתר זה. לעומת זאת, באתר השמורה 10-NR הצפיפות הממוצעת של מושבות קטנות היא הנמוכה ביותר, 10.8±1.8 מושבות למ"ר בלבד, והן מהוות כ-56% מכלל המושבות. חלקן של המושבות הקטנות מכלל המושבות נמוך ביותר באתר השמורה הרדוד, 5-NR, בו הן מהוות כ- 46% מכלל מושבות האלמוגים.

באתר השמורה הרדוד, 5-NR, חלקן של המושבות "הענקיות" הוא הגדול ביותר והן מהוות שם כ- 8% מכלל המושבות. מושבות אלמוגים "ענקיות" תופסות שטח גדול במיוחד וכך אתר זה חריג ביחס בין צפיפות המושבות וכיסוי האלמוגים בו.

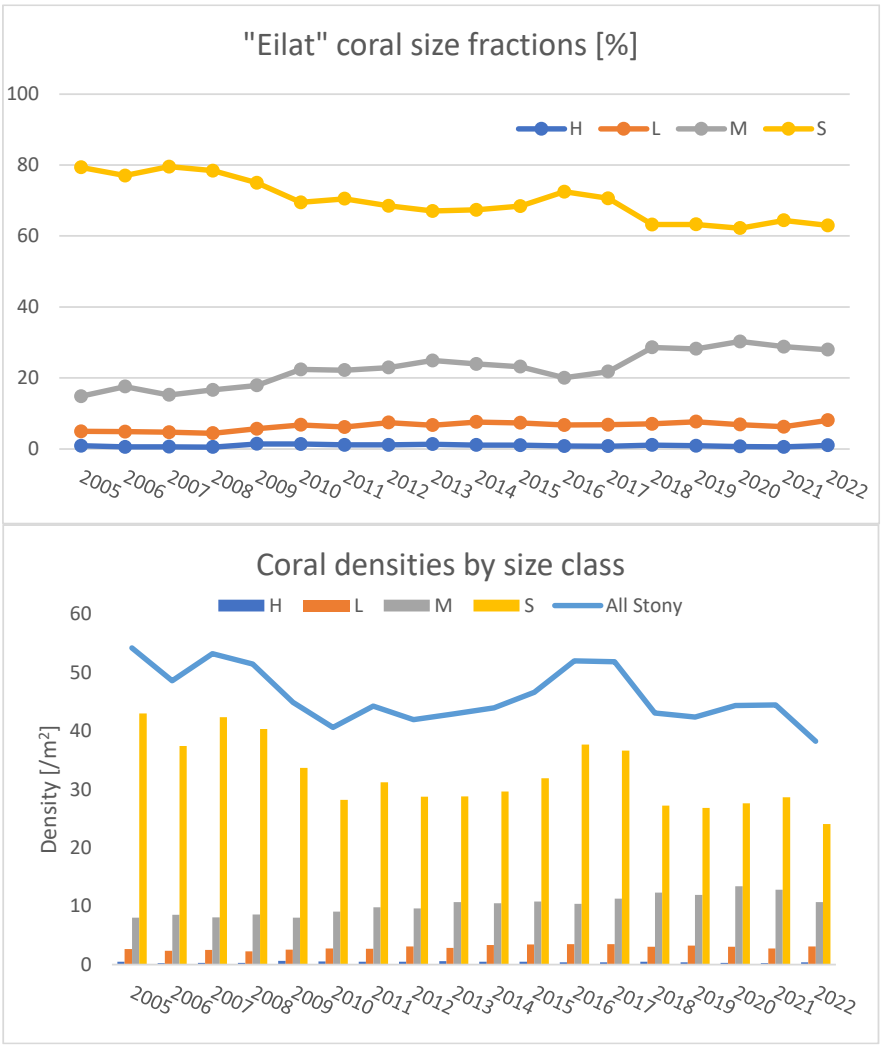


איור ב10: התפלגות גודל מושבות האלמוגים באתרים הנסקרים. חלוקת הגדלים לפי המפתח הבא: Small<5 ס"מ; 5 ס"מ <Medium<15 ס"מ; 15 ס"מ <Large<30 ס"מ; Huge>30 ס"מ. למעלה מוצגים אחוזים מסך המושבות מאותה קבוצה באתר. למטה מוצגת צפיפות המושבות החלוקה לקבוצות גודל בכל אתר והממוצע לכלל האתרים. הערכים מוצגים לאחר תיקון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

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

במשך שנות הניטור, ובפרט מאז שנת 2008, נמצאה ירידה בחלקן היחסי של מושבות האלמוגים הקטנות בשוניות אילת. מגמה זו אינה חריפה ובשנים האחרונות, מאז 2018, חלקן של המושבות הקטנות בשוניות אילת יציב, כ- 63% (איור ב11). במקביל, עולה חלקן של המושבות בגודל הבינוני ועומד השנה על ערך של כ- 28%.

מבחינה מספרית, נמצאה ירדה 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. השנה נמדדה ירידה בצפיפות מושבות האלמוגים בשוניות אילת וצפיפותן הממוצעת עומדת על כ- 38 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 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>

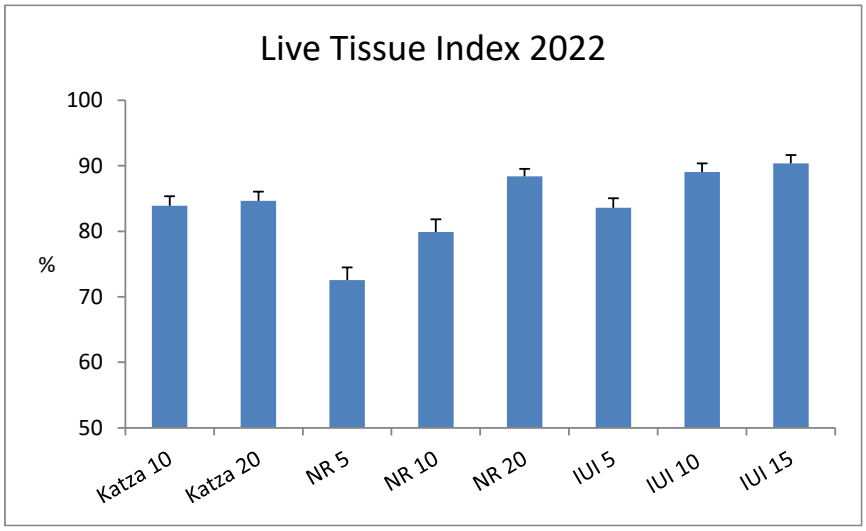
בתכנית הניטור נעשה שימוש באומדן שיעור הרקמה הלא פגועה באלמוג כמדד ל"בריאותו". מדד זה, להלן Live Tissue Index (LTI) נמדד עבור כל אחד מאלפי האלמוגים הנכללים במקטעי הקו הנסקרים בשונית, על ידי קביעה ויזואלית (על ידי הצולל הסוקר) של אחוז שטח המושבה המכוסה ברקמה חיה.

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 ז).

גם השנה, כמו בכל השנים הקודמות, האתר בו מדד הרקמה החיה לבריאות אלמוגים נמוך ביותר הוא אתר

השמורה הרדוד, 5-NR (כ- 73%, בדומה לשנה הקודמת). 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 15-IUI, כ- 90% (איור ב12).



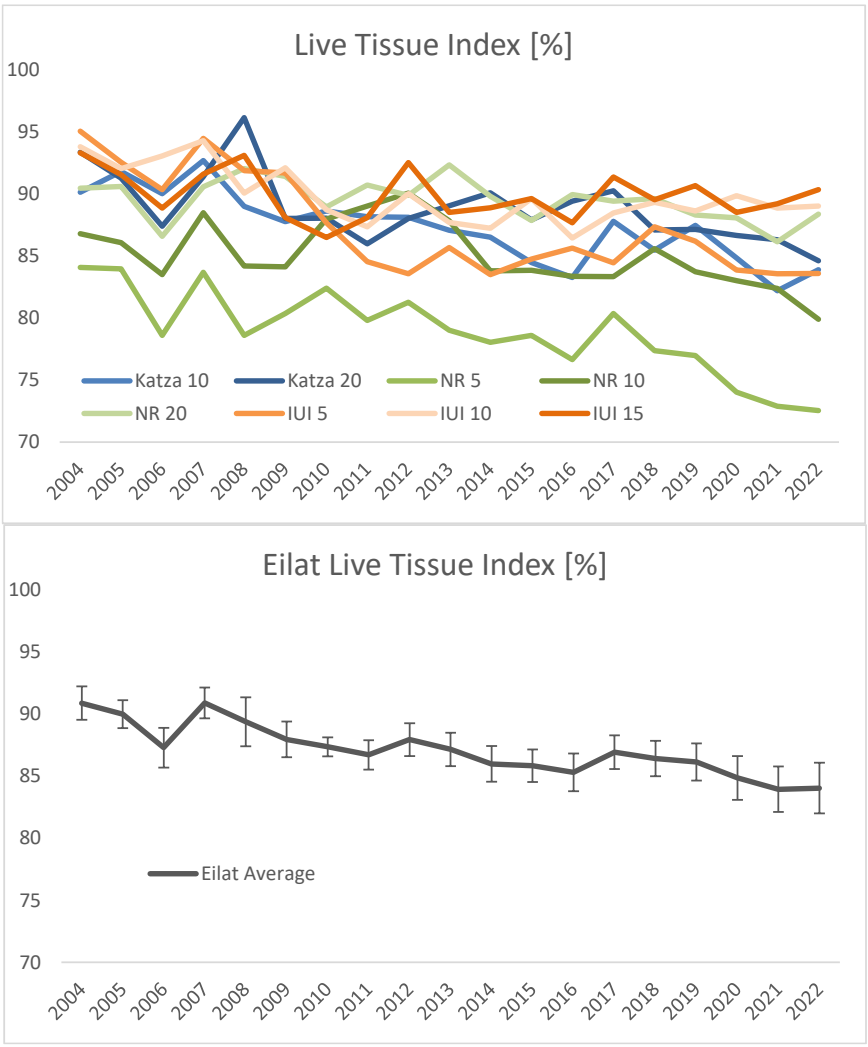
איור ב12: מדד אחוז הרקמה החיה של אלמוגים באתרים הנסקרים. המדד מוגדר כממוצע באתר של אחוז השטח החי/בריא מסך השטח של כל מושבת אלמוגים חיה.

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

מעקב אחר אחוז הרקמה החיה באלמוגים יעיל יותר לזיהוי שינויים בזמן, ופחות להשוואה בין אתרים בה קשה לייחס משמעות להבדלים במדד עקב אופיים השונה של האתרים. מגמת הירידה בערך המדד נמשכת מאז תחילת הניטור והשנה נמדד בשוניות אילת מדד רקמה חיה ממוצע של כ- 84%, בדומה לשנה הקודמת (איור ב13). על אף שערכו הממוצע של המדד השנה דומה לזה של השנה הקודמת, בחצי מן האתרים המנוטרים נמדדה ירידה.

הירידה המתמשכת בערך מדד הרקמה החיה אינה רציפה אך המגמה הכללית היא של ירידה והשינוי בערך מדד הרקמה החיה באלמוגים בין השנים הינו מובהק. בשנים האחרונות ערך המדד הממוצע יורד בכ- 1% כל שנה.

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 "בינוניות" ו"קטנות" ערך המדד ללא שינוי עם הזמן.



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 2022 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 2022, grouped by colony size class. Bottom, change to the LTI since 2007 in the various coral size classes.

<u>מגוון מינים</u>

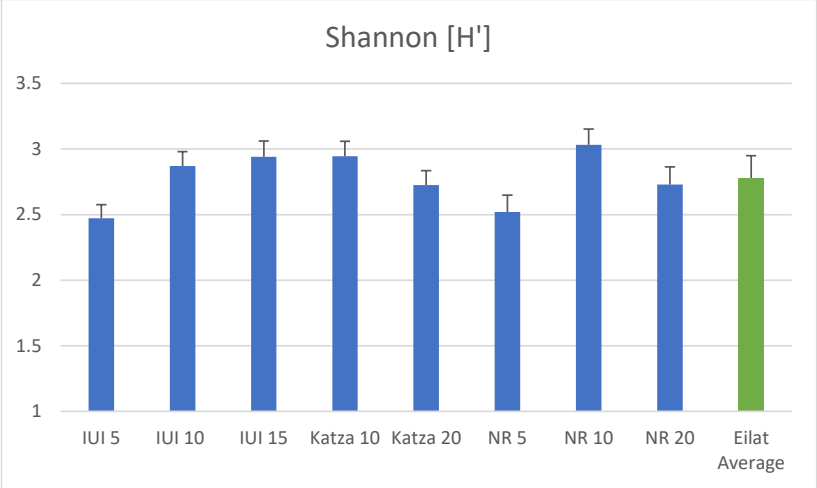
מגוון המינים לפי מדד Shannon-Wiener (H') הוערך בשנים קודמות באמצעות תכנת EstimateS (Colwell, 2005) והשנה באמצעות תכנת Past (Hammer et al., 2001). בתכנות אלה מחושב מגוון המינים לאתר על ידי צבירת נתוני כל החתכים עד לקבלת הערכה הנסמכת על מספר הפרטים המרבי שנספרו, תוך התחשבות במינים נדירים (ראו דיון מפורט בדרכים להערכת מגוון המינים בדו"ח הניטור 2006). התוצאות ניתנות כהערכת מגוון המינים עבור כל אתר בשלמותו בהסתמך על נתוני חתכי הקו וחישובי EstimateS/Past.

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

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

המגוון הנמוך ביותר נמצא השנה באתר IUI-5, H'=2.47 והמגוון הגבוה ביותר חושב השנה עבור אתר NR-10, H'=3.03. ערך המדד הממוצע לכלל אתרי קדמת השונית היה השנה (2.78).

בארבעה אתרים באתרי קצא"א 10, המעבדה 10 ו-15, והשמורה 10 נמצא מגוון גבוה מ"ממוצע שוניות אילת" המחושב כערך הממוצע לכל האתרים ובארבעה האתרים האחרים מדד שאנון למגוון נמוך מהערך הממוצע המחושב לשוניות אילת. תבנית זו ללא שינוי בשנים האחרונות.

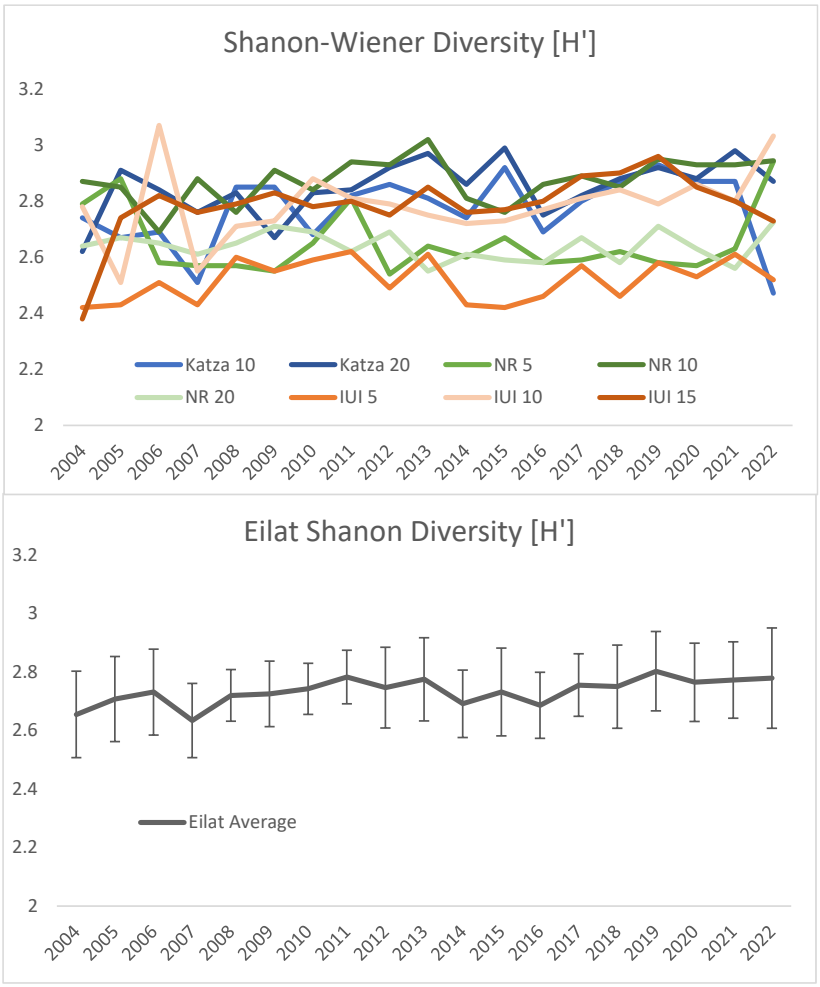


איור ב15: מגוון הסוגים של אלמוגים לפי מדד Shannon-Wiener כפי שהוערך השנה עבור כל אתר על ידי תכנת Past (Hammer et al., 2001). הערך הממוצע עבור אילת הוא ממוצע האתרים.

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

במשך שנות הניטור מדד מגוון המינים באתרים השונים עלה וירד, אך נמצא תמיד בטווח ערכים מצומצם אפייני (איור ב16). באתרים Katza-20, 10-NR ו-15-IUI היה מדד Shannon-Wiener למגוון האלמוגים גבוה מן הממוצע כמעט בכל שנות הניטור, ובאתרים 5-IUI ו- 20-NR תמיד היה נמוך מן הממוצע. גם באתר 5-NR מגוון המינים 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 ב16: 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). הערך הממוצע לאילת מחושב כממוצע האתרים.

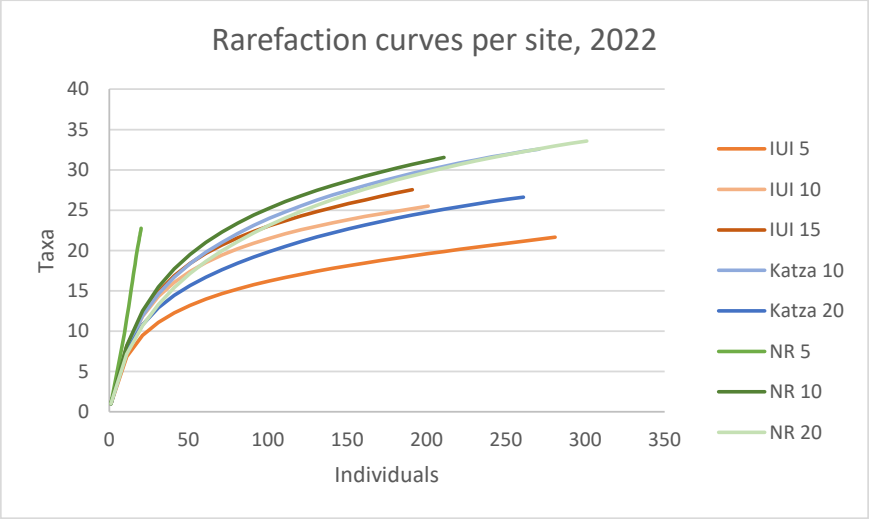
Figure B16: The Shanon-Wiener diversity index of coral taxa estimated for each site over time by the EstimateS software (Colwell, 2005) and starting 2022 by the Past software (Hammer et al., 2001). The Eilat average is the average of all monitored sites.

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

עקומות הצבירה מראות תמונה בעלת משמעות ממשית יותר. 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 ב17) ניתן לראות כי באתר 5-IUI התוחלת הנמוכה ביותר של סוגי אלמוגים, ואילו אתר 10-NR בעל התוחלת הגבוהה ביותר. באתר 5-NR מאמץ הדגימה השנה אינו מספק לקבלת מידע אמין מתוך עקומות הצבירה.

עושר האלמוגים הגדול ביותר, 34 סוגי אלמוגים נמצא השנה באתר 20-NR, והנמוך ביותר, 22, נמצא באתר 5-IUI. בכל האתרים יחדיו נמצאו השנה 44 סוגים של אלמוגי אבן, לעומת 42 שנמצאו בשנה הקודמת.

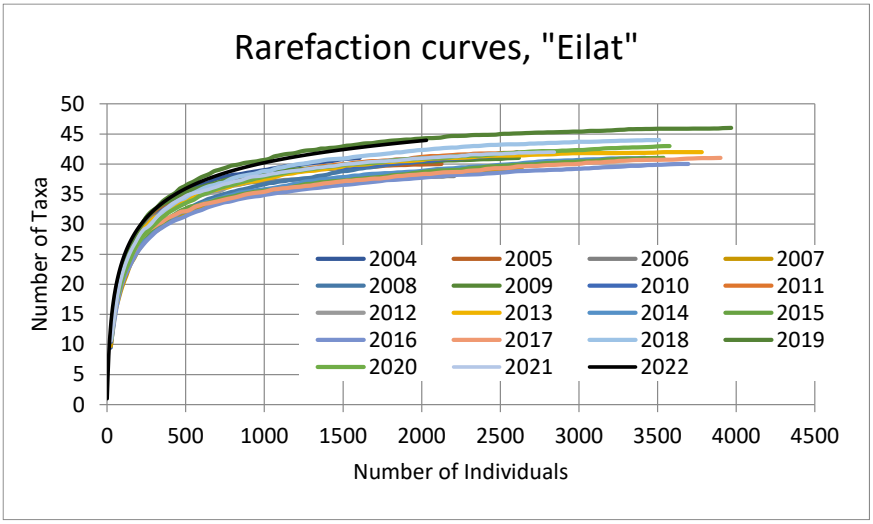


איור ב17: עקומות צבירה של מספר סוגי האלמוגים מול מספר המושבות כפי שחושבו עבור כל אתר על ידי תכנת Past (Hammer et al., 2001).

Figure B17: Rarefaction curves of taxa richness based on colony counts, calculated for each site with the Past software (Hammer et al., 2001).

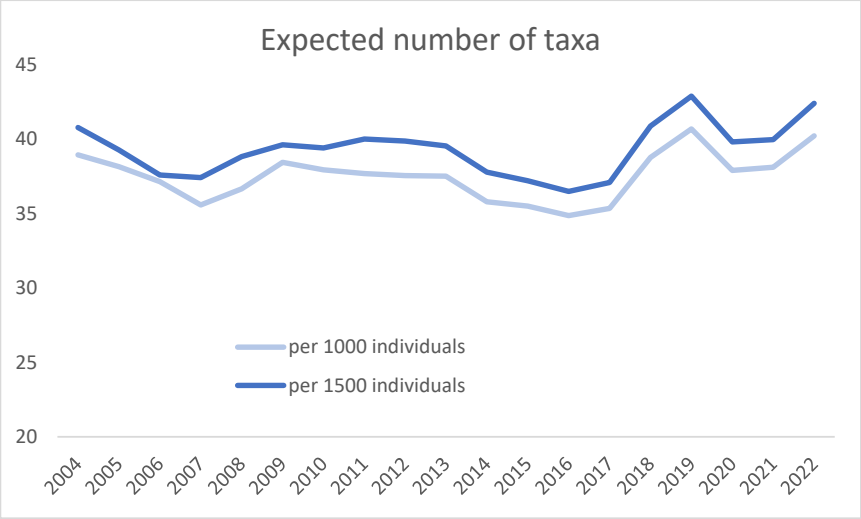
בהשוואה בין השנים של כל נתוני המגוון (ספירת מושבות) אשר נאספו על ידי תכנית הניטור נראה כי ההבדלים בין השנים קטנים ומאמץ הדיגום הכללי בהחלט ממצה את עושר האלמוגים ב"שוניות אילת". עושר סוגי האלמוגים שנמצא השנה היה 44 (לעומת 42 בשנה הקודמת ו-46 בשנת 2019, איור ב18).

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 40 ו-42, בהתאמה (איור ב19). מבחינת מאמץ הדגימה, נראה כי ספירה אקראית של 500 פרטים נוספים, אחרי שכבר נספרו אלף, צפויה לגלות רק שני מינים שלא נכללו באלף הראשון.



איור ב18: 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 B18: Rarefaction curves of taxa richness based on colony counts, calculated with the Past software (Hammer et al., 2001) for the "Eilat Reefs" since 2004.



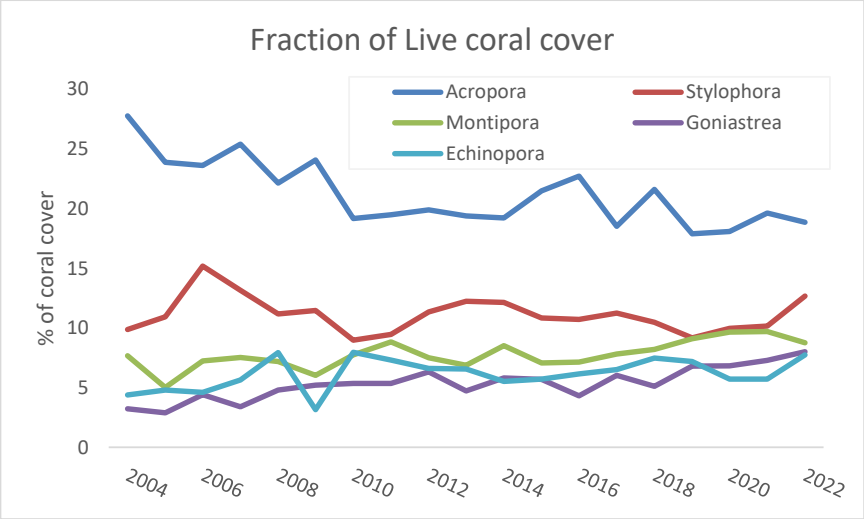
איור ב19: מספר סוגי האלמוגים הצפוי להתקבל בספירה אקראית של 1000 ו- 1500 מושבות ב"שוניות אילת" מאז שנת 2004, מבוסס על עקומות הצבירה.

Figure B19: The expected number of stony coral taxa per 1000 and per 1500 random coral colonies in the "Eilat Reefs" since 2004 based on the rarefaction curves.

במהלך שנות הניטור ירד חלקו של האלמוג הדומיננטי *Acropora*. אלמוגים אלה היוו כרבע משטח האלמוגים בשנים הראשונות לניטור ועד לשנת 2009, והחל משנת 2010 ירד חלקם לחמישית. השנה היה חלקם מכלל כיסוי האלמוגים בשוניות אילת 19%. האלמוג *Stylophora* הוא השני נפוץ ביותר (כ-13% השנה) ונותר יציב במהלך השנים. גם שלושה האלמוגים האחרים מבין חמשת הנפוצים ביותר שמרו על חלקם מתוך כלל כיסוי האלמוגים בשוניות אילת (איור ב20). על אף שאלמוגי *Acropora* הינם הנפוצים ביותר, חברת האלמוגים באילת מגוונות ויציבה. השינויים בהרכב סוגי האלמוגים הנפוצים באילת לאורך שנות הניטור אינם גדולים, חמישה האלמוגים הנפוצים מהווים השנה 56% מסך כיסוי האלמוגים, ולאורך השנים היוו תמיד מעל ל-50%. עשרים האלמוגים הנפוצים ביותר מהווים השנה כ- 92% (לפי אורך נמדד על סרט המדידה) מכלל האלמוגים באילת בדומה לנתוני השנים האחרונות.

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

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



איור ב20: חמישה סוגי האלמוגים הנפוצים ביותר בשוניות אילת בתקופת הניטור מסודרים לפי סדר התפוצה בשנה האחרונה. חלקם של האלמוגים מחושב כממוצע אורכם המצטבר מתוך סך אורך האלמוגים הנמדד בסקרי הקו בשוניות אילת.

Figure B20: The five most abundant coral taxa in the reefs of Eilat during the monitoring period, arranged according to their abundance in the last year. The fraction percent is the average accumulated length of a coral taxa out of the total coral length measured in line transect surveys of the Eilat reefs.

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

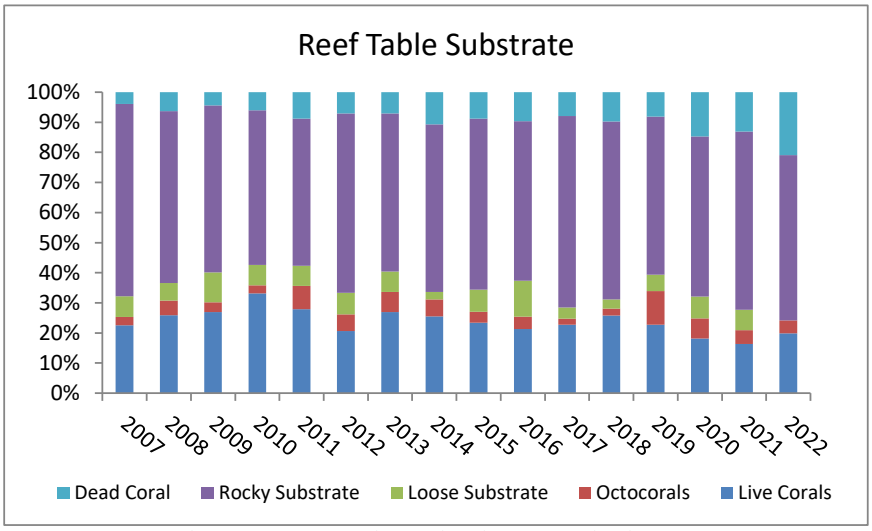
Table B3: The twenty most abundant corals (% cover) in the monitored area and their average cover in each site as a percent of the total transect length at each site.

	Katza 10	Katza 20	NR 5	NR 10	NR 20	IUI 5	IUI 10	IUI 15	**Katza**	**NR**	**IUI**	Average **Eilat**
Acropora	7.02	5.18	3.78	1.66	9.86	1.51	2.93	3.14	6.10	4.26	2.50	4.38
Stylophora	2.46	3.99	3.35	0.815	1.22	4.03	3.19	2.19	3.22	1.46	3.13	2.65
Echinopora	2.77	2.36	9.01	0.27	2.70	0.24	0.41	0.90	2.56	2.75	0.52	2.33
Montipora	3.23	3.32	1.31	0.54	7.42	0.44	1.19	0.41	3.28	2.51	0.65	2.23
Goniastrea	1.71	0.36	6.66	1.05	0.62	3.64	0.66	0.16	1.03	2.12	1.54	1.86
Dipsastraea	0.43	0.57	0.66	0.85	0.80	2.11	1.39	0.65	0.50	0.80	1.38	0.93
Cyphastrea	0.79	1.12	0.76	0.61	1.14	1.85	0.71	0.31	0.96	0.78	0.97	0.91
Porites	0.78	1.51	0.59	0.32	1.81	0.07	0.63	0.95	1.14	0.77	0.55	0.83
Lobophyllia	0.14	0.18	5.19	0.01	0.33	0	0.11	0	0.16	1.18	0.03	0.75
Platygyra	0.78	0.00	2.50	0.3	0.20	1.43	0.27	0.35	0.39	0.74	0.71	0.73
Paramontastraea	1.18	1.33	0.02	0.15	0.65	0.05	1.31	0.97	1.26	0.26	0.74	0.71
Turbinaria	0.31	0	2.19	0.26	0.19	0	0	0.55	0.16	0.64	0.19	0.44
Leptastrea	0.76	1.10	0.35	0.06	0.24	0.33	0.41	0.08	0.93	0.17	0.26	0.42
Pocillopora	0.06	0.59	0.24	0.76	0.39	0.28	0.19	0.46	0.32	0.55	0.32	0.37
Favites	0.24	0.13	0.41	0.26	0.81	0.74	0.10	0.24	0.19	0.44	0.37	0.37
Millepora	0.07	0.06	0.09	0.19	0.17	0.62	0.46	0.70	0.06	0.16	0.60	0.29
Plesiastrea	0.50	0.18	0.14	0.02	0.68	0.10	0.16	0.26	0.34	0.22	0.17	0.25
Gyrosmilia	0	0.06	0	0.10	0.08	0	0.19	1.56	0.03	0.07	0.61	0.25
Astreopora	0.07	0.23	0	0.52	0	0	0.62	0.18	0.15	0.27	0.25	0.20
Leptoseris	0.54	0.33	0.10	0	0.45	0.07	0	0.07	0.44	0.14	0.05	0.20

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

עם הקמתה של תחנת המדידה המטאורולוגית במזח המכון הבינאוניברסיטאי על ידי תכנית הניטור בספטמבר 2006 ניתן לעקוב אחר הגאות והשפל, ועצמת הרוחות 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-47% (באתר 5-IUI), בשולחן השונית שטח הסלע המלוכד החשוף אשר נמדד השנה הוא כ-51%, וקרקע לא מלוכדת חשופה לא נמצאה השנה כלל על גבי שולחן השונית. 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 ב21).



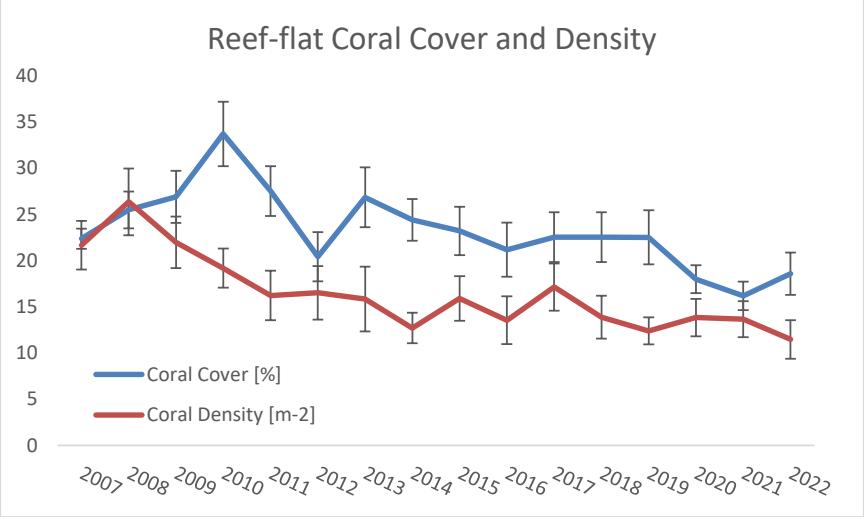
איור ב21: אחוזי הכיסוי המצטברים של אלמוגים, חול, סלע, ואלמוגים מתים בשולחן השונית. האחוזים הם ממוצעים מתוך כל חתכי הקו שנעשו באתר.

Figure B21: Cumulative percent cover of live corals, sand, rock and dead corals at the reef table. Values are averages of line transect values.

כיסוי אלמוגי האבן החיים בשולחן השונית עלה מעט השנה, כ- 18.6±2.3% לעומת 16.2±1.5% בשנה הקודמת, 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 ב22).

הכיסוי הגבוה ביותר שנמדד במסגרת הניטור היה 33.7±3.5%, בשנת 2010.

צפיפות מושבות האלמוגים השנה נמוכה בהשוואה לזו של השנה הקודמת (11.5 ו-13.7 מושבות למ"ר, בהתאמה). אף כי מאז שנת 2014 השינויים בצפיפות מושבות אלמוגי האבן על שולחן השונית – קטנים.



איור ב22: אחוז כיסוי האלמוגים וצפיפות מושבות בשולחן השונית מאז שנת 2007.

Figure B22: Percent cover of live corals and density of coral colonies on the reef table since 2007.

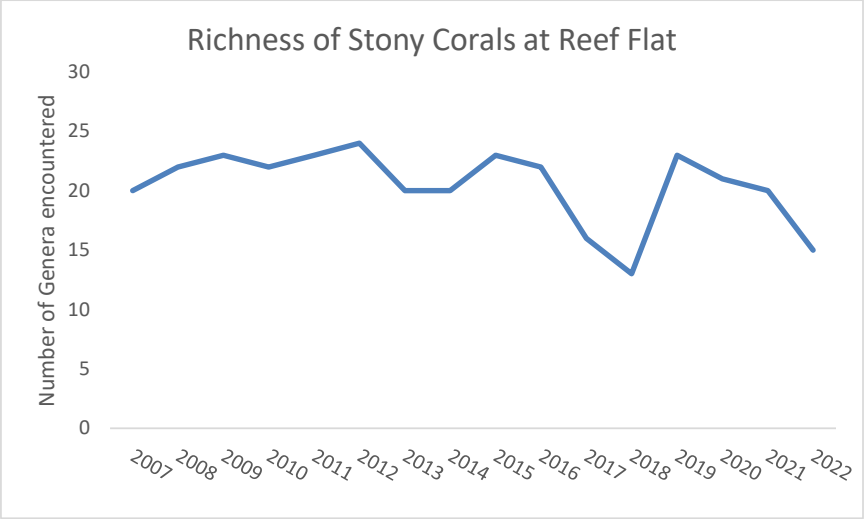
בשולחן השונית נמצאו השנה בסך הכל 15 סוגים של אלמוגי אבן. ברוב שנות הניטור נמדד עושר סוגים בטווח שבין 20 ל-23, עם ערכים נמוכים יותר השנה ובשנים 2017-2018 (איור ב23). עושר המינים בשולחן השונית נמוך מאשר בכל אתרי קדמת השונית (44 אלמוגי אבן זוהו השנה באתרי קדמת השונית יחדיו).

מגוון המינים לפי מדד Shanon-Wiener כפי שמוערך על ידי התכנות EstimateS (Colwell, 2005) ו- Past (Hammer et al., 2001) היה השנה 2.27, הנמוך ביותר אשר נמדד עד כה במסגרת הניטור (איור ב24).

גם עקומת הצבירה של סוגי אלמוגים בשולחן השונית אשר חושבה מנתוני הסקר השנה דומה לעקומות הנמוכות אשר חושבו עבור שנת 2017, ורק עקומת הצבירה של שנת 2018 בעלות שיפוע וערך סופי נמוכים עוד יותר.

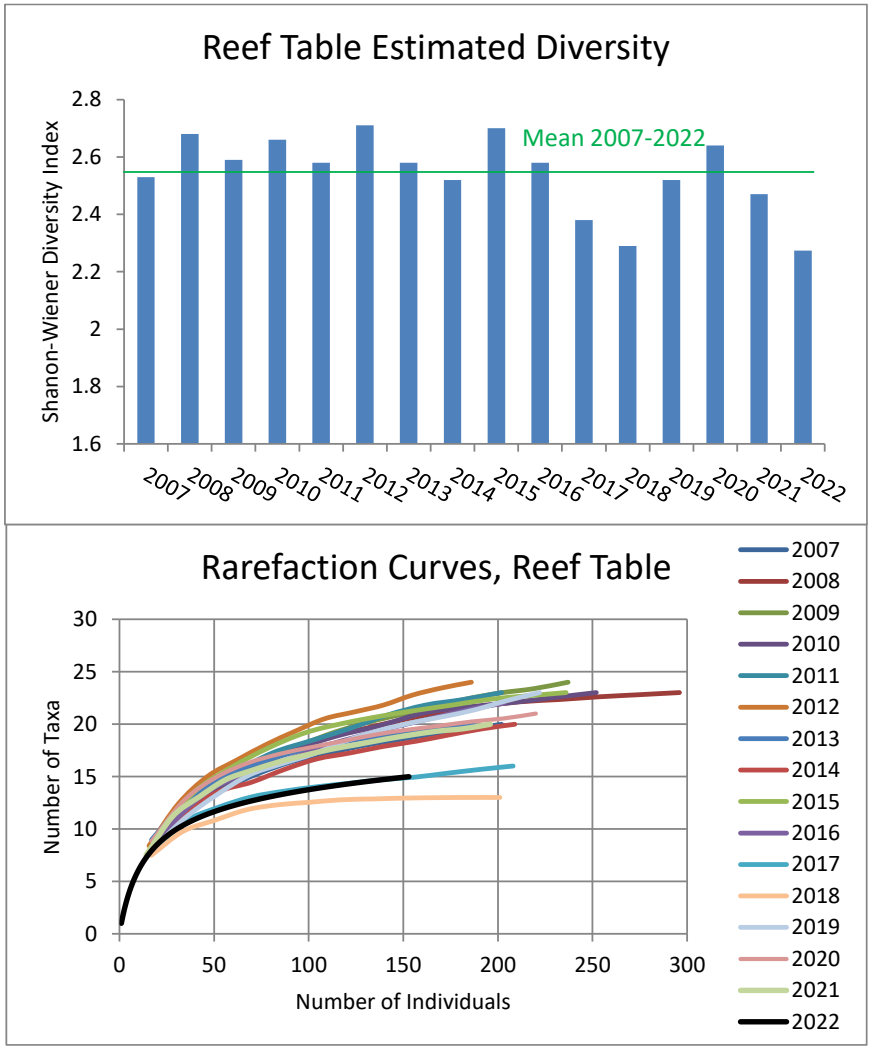
בכל השנים נראה כי מדד המגוון בשולחן השונית, ובעיקר עושר המינים שם, נמוך מהערך הממוצע באתרי קדמת השונית (ראו למעלה). עובדה זו צפויה, עקב התנאים האחידים והקיצוניים יותר בשולחן השונית.

ישנה חפיפה גדולה בין האלמוגים הנפוצים בקדמת השונית לאלמוגים הנמצאים בשולחן. מתוך 15 הסוגים של אלמוגי אבן אשר נמצאו בשולחן השונית, 14 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 מושפעים מאד מנוכחותן או העדרן של מושבות אלמוגים "נדירים" בשולחן השונית, מהם נמצאות בדרך כלל רק מושבה או שתיים בסקר השנתי.



איור ב23: מספר סוגי האלמוגים שנמצאו בסקרי שולחן השונית לאורך תקופת הניטור.

Figure B23: The number of coral genera encountered at the Reef Flat monitoring surveys.



איור ב24: למעלה – מדד Shanon-Wiener למגוון המינים של אלמוגי אבן בשולחן השונית מאז שנת 2007. למטה – עקומות צבירה למספר סוגי האלמוגים בשולחן השונית מאז 2007.

Figure B24: Top –Shanon-Wienr diversity of stony corals in the years since 2007, bottom – rarefaction curves for coral genus diversity on the reef table since 2007.

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

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

Rank	Reef Table	Fore-Reef
1	*Platygyra*	*Acropora*
2	*Dipsastraea*	*Stylophora*
3	*Stylophora*	*Montipora*
4	*Millepora*	*Echinopora*
5	*Acropora*	*Goniastrea*
6	*Echinopora*	*Dipsastraea*
7	*Favites*	*Cyphastrea*
8	*Hydnophora*	*Porites*
9	*Leptastrea*	*Paramontastraea*
10	*Goniastrea*	*Platygyra*
11	*Pocillopora*	*Pocillopora*
12	*Acanthastrea*	*Lobophyllia*
13	*Porites*	*Leptastrea*
14	*Lobophyllia*	*Millepora*
15	*Montipora*	*Favites*
16		*Turbinaria*
17		*Gyrosmilia*
18		*Astreopora*
19		*Hydnophora*
20		*Plesiastrea*

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 באופן עקבי לאורך תקופה ארוכה מאפשרת מעקב אחר שינויים בזמן של מאפייני חברת שונית האלמוגים בשוניות הנמצאות בשטח ישראל.

מדידה לאורך חתכים קווים יעילה במיוחד למדידת מאפיינים הקשורים לשטח (אחוזי כיסוי, התפלגות מצע וכד'), ופחות יעילה למדידות המבוססות על ספירה (התפלגות גדלים, צפיפות מושבות וכד') עקב ההטיה המובנית כנגד מושבות בגודל קטן. על כן, בדו"ח זה מוצגים נתוני צפיפות המושבות והתפלגות גדלי המושבות לאחר תיקון מתמטי המאפשר הערכה מדויקת יותר של היחסים המספריים בין מושבות מקבוצות גודל שונות (Zvuloni *et al.*, 2008).

התפתחות טבעית של "שונית" וכך גם השינויים במאפייני שונית שאינם תוצאה של הפרעה קיצונית הינם תהליכים איטיים ולא בהכרח מונוטוניים. השונות הרבה בתוך האתרים וביניהם, הן בסביבה הפיסית והן בחברת האלמוגים, עלולה למסך את יכולתנו הסטטיסטית לאבחן מגמות קלות, לא קיצוניות. עם זאת, נתוני תכנית הניטור יוצרים תמונה אקולוגית של אתרי שונית באילת מדי שנה, והשוואת הנתונים בין השנים נועדה לאבחן ולהתריע על מצבי קיצון והתפתחויות מדאיגות, כמו גם לגלות מחזורים טבעיים בעלי זמן מחזור ארוך או מגמות שינוי איטיות. עם הצטברות הנתונים משנה לשנה משתפרת יכולת האבחון הסטטיסטית.

בין האתרים הנסקרים בתכנית ישנם הבדלים גדולים כתוצאה מהבדלי העומק, הבדלים בסוג המצע והבדלים אוקינוגרפיים הנובעים ממיקומם השונה של האתרים. להבדלים טבעיים אלה השפעה גדולה וראשונית על אופי השונית בכל אחד מהאתרים הנסקרים. הממוצע המורכב משמונה אתרי קדמת השונית הנסקרים, המכונה כאן "שוניות אילת", הוא ישות סטטיסטית לצורכי השוואה בין שנים ועם מקומות אחרים בעולם, אולם – כדרכם של ממוצעים – אינו מייצג אף אחד מהאתרים בנפרד.

בחודש יולי 2017 נפתח לציבור קטע חוף שהיה 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. סקרי השונית באתרי קצא"א (בעומק של 10 ו-20 מטרים) נעשו עד לשנת 2017 לפני פתיחת החוף לציבור, וסקרי השנים האחרונות נעשו לאחר פתיחתו של החוף בקצא"א. לפי שעה לא ניתן לאבחן שינוי הקשור בפתיחת החוף, אך יהיה מעניין לראות אם בשנים הקרובות יתגלו שינויים כאלו אף כי, באופן פורמלי, אתרי הניטור מצויים מחוץ לאזור שנפתח.

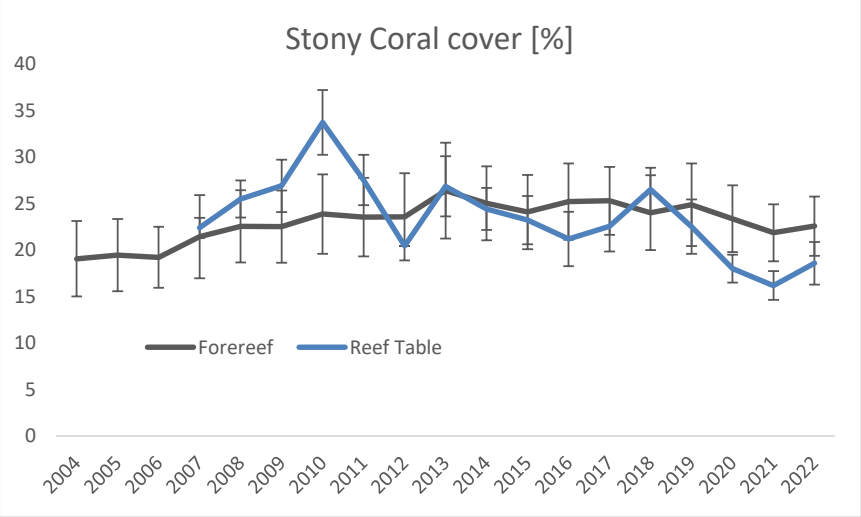
סערה דרומית חזקה במיוחד הכתה בחופי אילת לפני כשלוש שנים, ב-13 במרץ 2020. הרוחות היו החזקות ביותר שנמדדו במסגרת תכנית הניטור והנזקים באזורים הרדודים והחופיים היו גדולים. הסערה אירעה בתקופה בה מגיפת הקורונה מנעה עבודה יסודית ומדוקדקת והערכת הנזקים המשוייכים לסערה נשענת על הסקרים השנתיים אותם עורכת תכנית הניטור מידי קיץ. לרוב, ההבדלים בין שנים אינם גדולים (ראו למעלה) ובמהלך 15 השנים הראשונות לפעילותה מדדה התכנית בעיקר שיפור איטי ומתמשך. לפיכך, פגיעה גדולה באופן חריג המתגלה לאחר סקר קיץ 2019 עשויה להצביע על השפעת הסערה. בסקרים של השנתיים הקודמות – קיץ 2020 וקיץ 2021 – אכן נמצאה ירידה חדה בכיסוי האלמוגים הממוצע בשוניות אילת. השנה, לעומת זאת (סקר קיץ 2022), נמצאה עליה קלה בכיסוי האלמוגים הממוצע, ויתכן שזו מסמנת תחילתה של התאוששות בעקבות הסערה. עם זאת, צפיפות מושבות אלמוגי האבן ובפרט צפיפותן של מושבות האלמוגים הקטנות ירדה השנה בהשוואה לשנים האחרונות היתה הנמוכה ביותר אשר נמדדה עד כה במסגרת תכנית הניטור.

הסערה פגעה באופן לא אחיד באתרי השונית ההנסקרים, והאתר שנפגע ביותר היה אתר השמורה הרדוד, 5-NR בו נמדד בשנת 2019 כיסוי אלמוגים של 45.9±2.8%, בשנה הקודמת (2021) נמדד כיסוי של 34.5±3.1% בלבד, ואילו השנה עלה מעט כיסוי האלמוגים באתר זה –37.1±2.01% בלבד. 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 עלה מעט השנה ועמד על 22.6±3.2%, לעומת 21.9±3.0% בשנה הקודמת ו- 24.9±4.5% בקיץ 2019. גם באתר שולחן השונית נמדדה השנה עליה קלה בכיסוי אלמוגי האבן מערך של 16.2±1.5% בשנה הקודמת ל- 18.6±2.3% השנה.

הירידה החדה בכיסוי האלמוגים שנמצאה בשנים 2020-2021 באה לאחר מספר שנים של יציבות, ולאור העליה הקלה שנמדדה השנה מתחזקת ההשערה שהשינויים הנמדדים נובעים מפגיעתה של הסערה הדרומית בחודש מרץ 2020. כיסוי האלמוגים החיים בשוניות אילת עדיין גבוה משהיה בשנות הניטור הראשונות אולם הירידה מאז 2019 מעוררת דאגה. יתכן כי הירידה נובעת ישירות מפגיעתה של הסערה החזקה במרץ 2020, ויתכן שהשנה כבר ניתן להבחין בתחילתו של תהליך התאוששות, אולם מוקדם לקבוע זאת בוודאות.

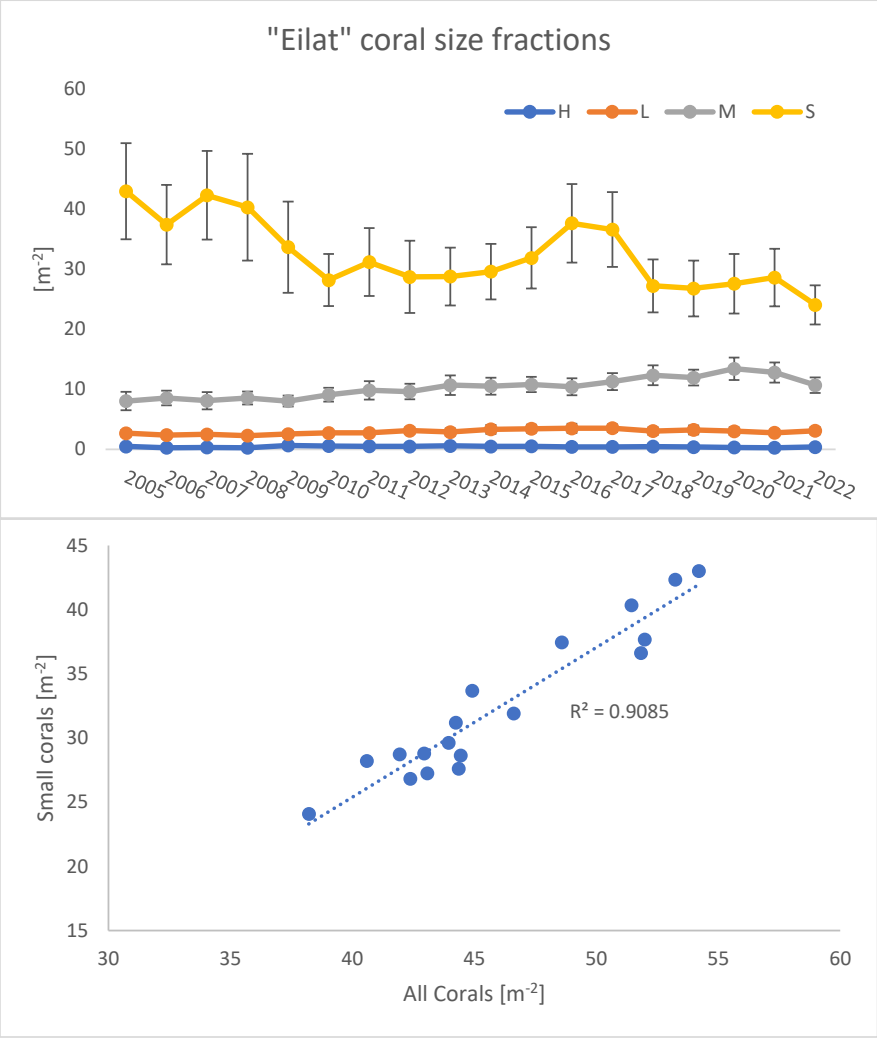
באתר שולחן השונית ישנן תנודות גדולות יותר בין השנים כתוצאה מפגיעותו למגוון תנאי סביבה והסערה הדרומית גרמה שם לירידה ניכרת ואובדן של כחמישית מכיסוי אלמוגי האבן החיים.
בשני האזורים, קדמת השונית ושולחן השונית נמצאה השנה עליה קלה בכיסוי בהשוואה לשנה הקודמת, אך בשניהם הכיסוי עדיין נמוך במידה רבה בהשוואה לערך של שנת 2019, לפני פגיעת הסערה (איור ב25).



איור ב25: אחוז השטח המכוסה אלמוגי אבן חיים ב"שוניות אילת" (ממוצע שמונה אתרי קדמת השונית), בשחור, ובאתר שולחן השונית, בכחול. באתר שולחן השונית תנודות גדולות בין השנים המשקפות את רגישותו של בית גידול זה.

Figure B25: The percentage of live coral cover at the "Eilat Reefs" (the average of the eight surveyed fore-reef sites), in black, and the reef-table site, in blue. The reef-table monitoring site displays large fluctuations, reflecting the high sensitivity of this habitat.

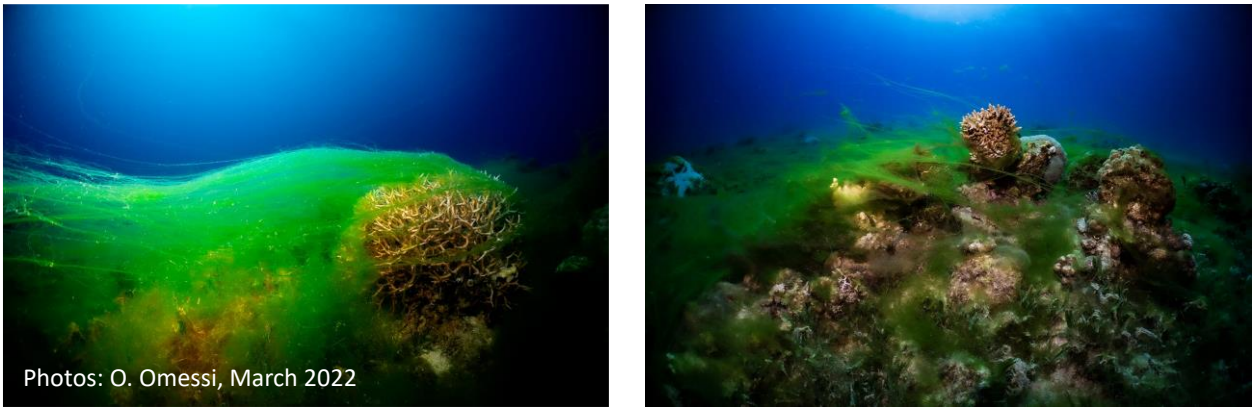
שינויים בצפיפות מושבות האלמוגים היו בשנים האחרונות פחות דרמטיים מהשינויים אשר נמדדו בכיסוי האלמוגים, אך השנה נמצאה ירידה ניכרת בצפיפות המושבות הממוצעת (איור ב26). צפיפות המושבות הממוצעת לכל קטגוריות הגודל והאתרים היתה יציבה למדי בארבע השנים האחרונות ונעה סביב ערך של 43 מושבות למ"ר. השנה נמדדה צפיפות ממוצעת של 38.2±4.2 מושבות אלמוגי אבן למ"ר של שונית. מושבות אלמוגים קטנות מהוות את חלק הארי של מושבות האלמוגים בשוניות אילת (כ- 63% מכלל המושבות) וזוהי גם קבוצת הגודל אשר נפגעה ביותר. הצפיפות הממוצעת של מושבות קטנות באתרי קדמת השונית היתה בשנה הקודמת 28.6±4.8 והשנה עמדה על 24.1±3.3. מושבות אלמוגים קטנות אמנם נפוצות ביותר, מספרית, בשוניות אילת, אולם תרומתם לכיסוי האלמוגים קטנה יחסית ואולי זו הסיבה שכיסוי האלמוגים עלה מעט השנה על אף שצפיפות המושבות ירדה.
צפיפות המושבות "הבינוניות" עולה באופן מתון ומתמשך מאז תחילת הניטור ומצביעה על שיפור בשרידות האלמוגים לאורך תקופה זו, אך גם עבור קבוצה זו נמצאה השנה ירידה קלה בהשוואה לשנה הקודמת. 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 ב26: למעלה, צפיפות מושבות אלמוגים על פי קבוצות גודל בתקופת הניטור. למטה, צפיפות מושבות אלמוגים קטנות מול סך צפיפות מושבות האלמוגים בשוניות אילת.

Figure B26: Top, coral colony density by size groups during the monitoring period. Bottom, density of "small" coral colonies versus the density of all coral colonies in the "Eilat" reefs.

השנה היה ערבוב עמוק של עמודת המים ובעקבות זאת פריחה חזקה של אצות פלנקטוניות ובנתוניות שנמשכה שבועות ארוכים בחודשים מרץ-אפריל. על אף הפריחה החזקה, שלעיתים גם כיסתה חלקים בשונית (איור ב27), כיסוי האלמוגים השנה גבוה מעט בהשוואה לשנה הקודמת. עם זאת צפיפות המושבות שנמדדה השנה נמוכה יותר. יתכן שהפריחה העונתית החזקה פגעה באלמוגים מתיישבים ובמושבות אלמוגים צעירות (קטנות) אך לא במושבות גדולות ומבוססות.



איור ב27: שטחי שונית ואלמוגי אבן חיים מכוסים אצות ישיבות שכיסוי את מדרונות המפרץ באביב 2022, בעקבות הערבוב העמוק.

Figure B27: Coral reefs at Eilat covered by macro-algae during strong algal blooms that followed deep mixing of the water column in spring 2022.

ב.2. 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 לא מלוכד), סלע, ושונית.

מפאת מיעוט האלמוגים, שיטת מקטעי הקו אינה מתאימה לסקר החברה בלגונה. לפיכך, נעשה שימוש ביחידת דגימה של ריבוע בגודל 1X1 מ'. הריבועים מונחים באופן סדור לאורך סרט מדידה שנפרש בניצב לחוף (להלן "קו דגימה") ממרחק של כ- 9 מ' מקו החוף ועד לשולחן השונית, במרווחים של 5 מטרים זה מזה. "קו החוף" מוגדר כקו הברור בו מתחילה חשיפה של סלעי החוף (beach rocks). בכל קו דגימה נספרו עד ששה ריבועים, על מנת להימנע מספירת אלמוגים בגב השונית או מהטיה הנובעת מהבדלים ברוחב הלגונה. בסה"כ כלל הסקר השנה 101 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.

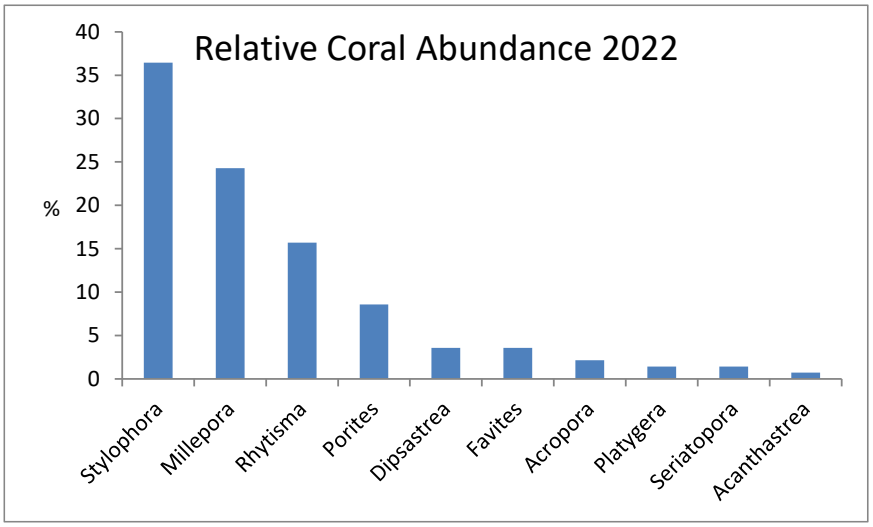
Figure B28: The sampling design in the lagoon. 1 m^2 quadrates (red circles) were placed 5 m apart along a measuring tape laid cross shore, 9 m from the "shoreline" to the reef table. Each cross shoreline includes 5 or 6 quadrates (though in this figure only 4 are depicted). 17 cross-shore lines were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

<u>תוצאות</u>

השנה נספרו ב- 102 ריבועי דגימה של 1 מ"ר בלגונה שבשמורת חוף אלמוג 140 מושבות אלמוגים, מהן 118 אלמוגי אבן אשר סווגו ל-12 סוגים ו-22 אלמוגים רכים השייכים לסוג *Rhytisma*. בעוד שמספר מושבות האלמוגים הרכים דומה בשנים האחרונות (אף כי המגוון ירד), מספר המושבות של אלמוגי אבן קטן בשנים שמאז 2010 בהשוואה לשנים הראשונות של הניטור. בעקבות סופה דרומית חזקה (12 במרץ 2020) נמצאה בשנה הקודמת ירידה גדולה במיוחד במספר מושבות אלמוגי האבן (138 לעומת 165 בשנת 2019), והשנה נמצאו 118 מושבות בלבד. עיקר הפגיעה היא באלמוג האבן הנפוץ ביותר הוא *Stylophora pistillata* אשר היווה השנה כ- 36% מכלל מושבות האלמוגים אשר נסקרו (בשנה הקודמת היווה כ- 20% בלבד מסך המושבות).

אלמוג האש *Millepora* מצוי בשנים האחרונות במספרים גדולים יותר, אך השנה נמצאו 34 מושבות בלבד, לעומת 69 בשנה הקודמת. אלמוג האש מהווה השנה כ- 24% מכלל המושבות בלגונה (איור ב29).

עשרה סוגי האלמוגים הנפוצים ביותר (אלמוגי אבן ואלמוגים רכים) מהווים השנה כ-98% מכלל המושבות בלגונה.



איור ב29: השכיחות היחסית (באחוזים, על פי מספר המושבות) של עשרה סוגי האלמוגים העיקריים בלגונה.

Figure B29: Relative abundance (by colony number) of the 10 most abundant coral genera in the lagoon.

הצפיפות הממוצעת של מושבות אלמוגים מכל סוג בלגונה היתה השנה הנמוכה ביותר שמדדה תכנית הניטור עד כה, 1.37 מושבות למ"ר (בשנה הקודמת היתה הצפיפות , 1.74 מושבות למ"ר , בשנת 2019 1.89 ובשנת 2017 2.32). צפיפותם הממוצעת של אלמוגי אבן היתה השנה 1.15 מושבות למ"ר (טבלה ב5).

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

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

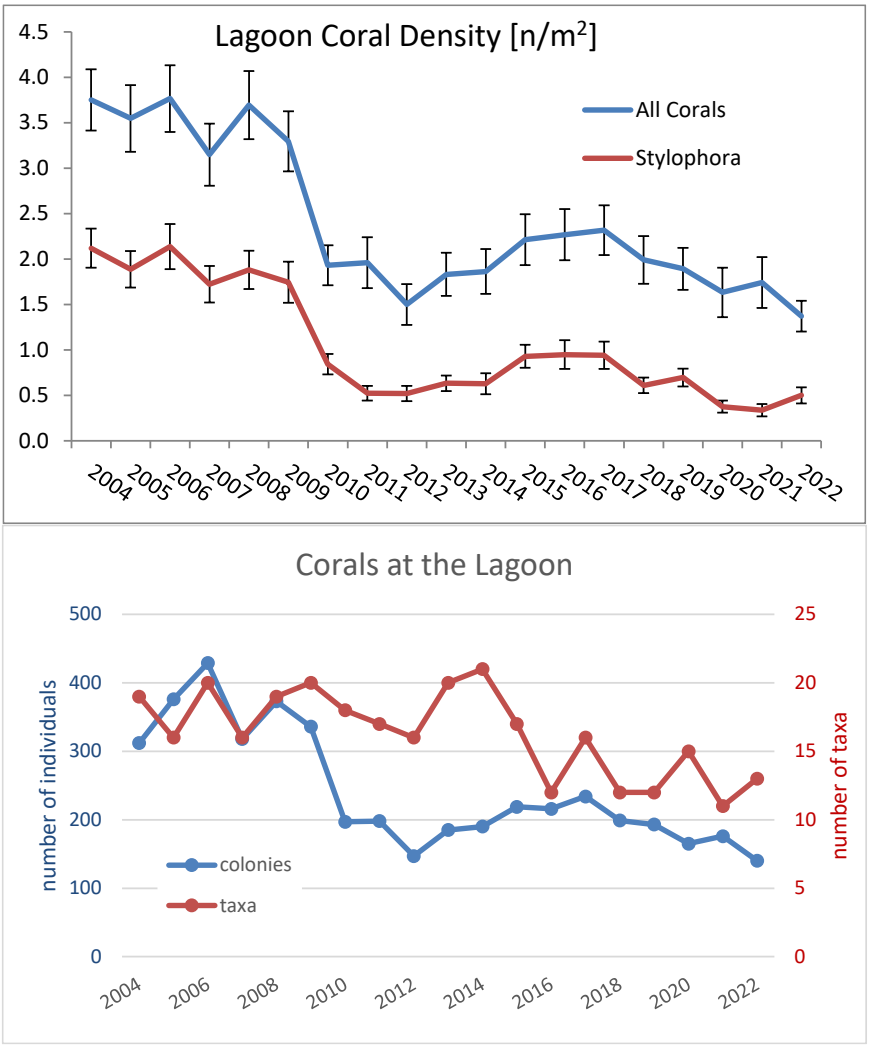
Species	n	Relative abundance [%]	n/m^2
Stylophora	51	36.4	0.50
Millepora	34	24.3	0.33
Rhytisma	22	15.7	0.22
Porites	12	8.6	0.12
Dipsastrea	5	3.6	0.05
Favites	5	3.6	0.05
Acropora	3	2.1	0.03
Platygera	2	1.4	0.02
Seriatopora	2	1.4	0.02
Acanthastrea	1	0.7	0.01
Lobophytum	1	0.7	0.01
Montastrea	1	0.7	0.01
Paramontastrea	1	0.7	0.01

צפיפות האלמוגים בלגונה ידעה תנודות גדולות בין שנות הניטור. בפרט, בין השנים 2009-2010 נמצאה ירידה דרמטית בצפיפות האלמוגים בלגונה, ובפרט בצפיפות האלמוג הנפוץ *Stylophora pistillata*, ומאז שנת 2012 נמצאה עליה איטית בצפיפות המושבות אשר נעצרה בשנים האחרונות. בשנת 2020, בעקבות פגיעת סערה דרומית חזקה, שוב ירדה צפיפות המושבות בלגונה וזו נמשכה גם השנה (איור ב30).

התנודות הגדולות ניכרות בעיקר במספר המושבות של האלמוג העיקרי בלגונה לאורך השנים - *Stylophora pistillata* - אשר ממנו נספרו בשנים 2012-2017 יותר מ- 90 פרטים, והשנה רק 51. שינויים אלה 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 10-2009 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.

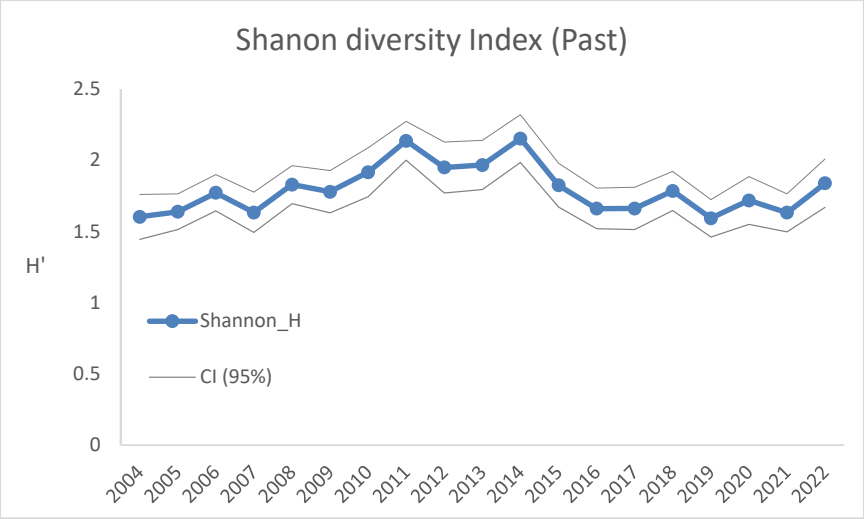


איור ב30: למעלה- הצפיפות הממוצעת (מושבות למטר רבוע) של אלמוגים בלגונה, ובפרט האלמוג העיקרי *Stylophora pistillata* מאז תחילת הניטור. למטה- מספר המושבות הכולל ומספר סוגי האלמוגים בלגונה מאז תחילת הניטור.

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

השנה 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 עלה השנה בהשוואה לשנה הקודמת, אך לא באופן דרמטי (1.84 ו-1.63, בהתאמה, איור ב31). השינויים במדד המגוון נובעים במידה רבה משינויים במספר מושבות המין הדומיננטי בלגונה, האלמוג *Stylophora* וירידה באלמוג זה מכתיבה עליה במדד המגוון, ולהיפך.



איור ב31: השינויים במגוון מיני האלמוגים (על פי מדד המגוון של Shanon-Wiener) בלגונה מאז 2004 כפי שהוערכו בעזרת תכנת Past.

Figure B31: Changes in coral diversity in the lagoon since 2004, according to the Shanon-Wiener index, estimated using the Past software.

<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 נמדדה בשנת 2012, 1.50 מושבות למ"ר, ומאז נצפתה עליה איטית עד לשנים האחרונות. בעקבות הסערה החזקה של מרץ 2020, ירדה צפיפות המושבות בלגונה ל- 1.63 והשנה נמצאה צפיפות של 1.37 מושבות אלמוגים למ"ר בלבד, הערך הנמוך ביותר בשנות הניטור.

הפגיעה העיקרית הינה באלמוג הדומיננטי *Stylophora pistillata* ותנודות באוכלוסיית אלמוג זה הכתיבו את השינויים הנצפים בחברת הלגונה בכלל, ובמידה רבה גם את ערך המדד למגוון המינים. אלמוג שיחני זה מהיר לצמוח, אך גם פגיע למגוון עקות ובעיקר נשבר בקלות תחת מפץ הגלים. אלמוג האש *Millepora* נפוץ בשנים האחרונות במידה דומה, ובשנתיים האחרונות הפך להיות דומיננטי אך נראה כי השנה סבל אף אלמוג זה ונמצא במספרים נמוכים בהשוואה לשנים 21-2020.

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.

משך הזמן בו פועלת תכנית הניטור אינו מספיק עדיין על מנת לעמוד על תנודות אלו או על זמן המחזור האופייני להן. 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. עלינו להמשיך ולעקוב אחר שינויים בחברת האלמוגים בלגונה ולנסות בודד את הגורמים לשינויים אלה.

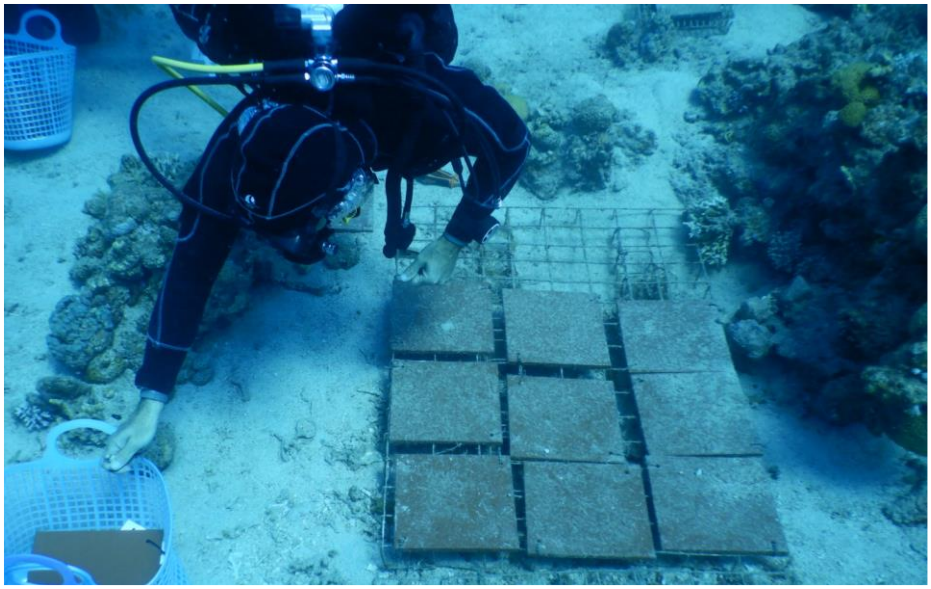
ב.3. התיישבות אלמוגים בשונית

<u>מטרה</u>

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

<u>שיטות</u>

בשני אתרים, המעבדה הימית ושמורת חוף אלמוג, הוצבו שלושה מערכי רשת בשנת 2017 ולכל אחד מהם הוצמדו 12 לוחיות קרמיות ללא זיגוג שגודלן 25X25 ס"מ. חומר זה נמצא כמצע יעיל להתיישבות אלמוגים והלוחיות נשמרות במיכל מי ים זורמים במשך מספר שבועות עד להכנסתן לים. מערכי הלוחיות מוכנסים לים באביב (מרץ) ומוצמדים למערכים שהונחו באופן שרירותי בסמוך לסלע שונית בעומק 7-10 מטרים (איור ב32). בשנת 2019 התווספו מערכים זהים גם באתר קצא"א.



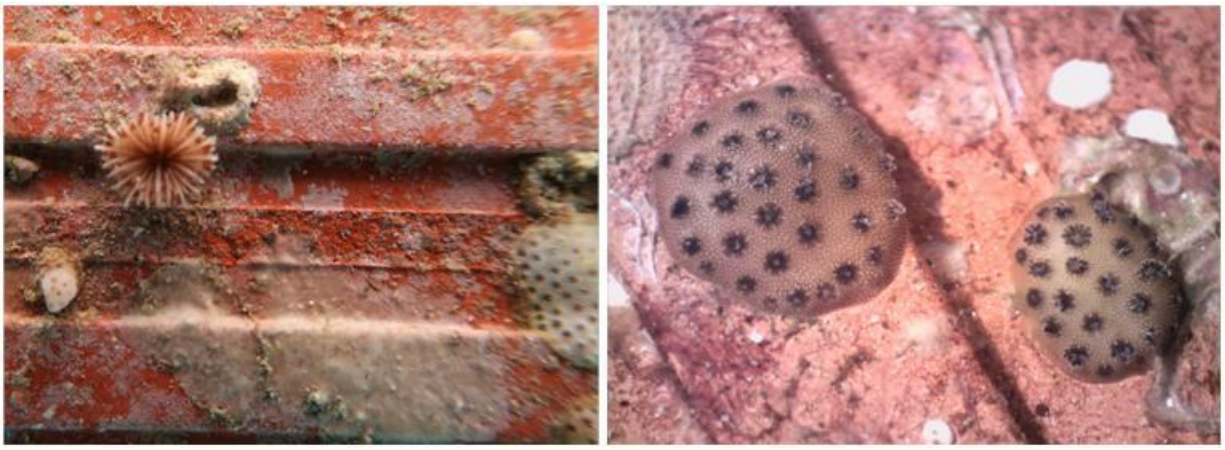
איור ב32: מערכי לוחיות התיישבות בשונית.

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

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

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

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



איור ב33: מושבות אלמוגים זעירות על לוחיות התיישבות שהוצאו מהשונית.

Figure B33: Tiny coral colonies (spats) on settlement plates retrieved from the reef.

לוחיות התיישבות הוצבו לראשונה בשונית בסוף אפריל-תחילת מאי 2015 (מעבדה ימית וחוף אלמוג, בהתאמה). ובמשך שנתיים כלל הניטור החלפת זוג לוחיות (שהיו עשויות PVC ממוחזר) מדי חודשיים כך שכל זוג 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>

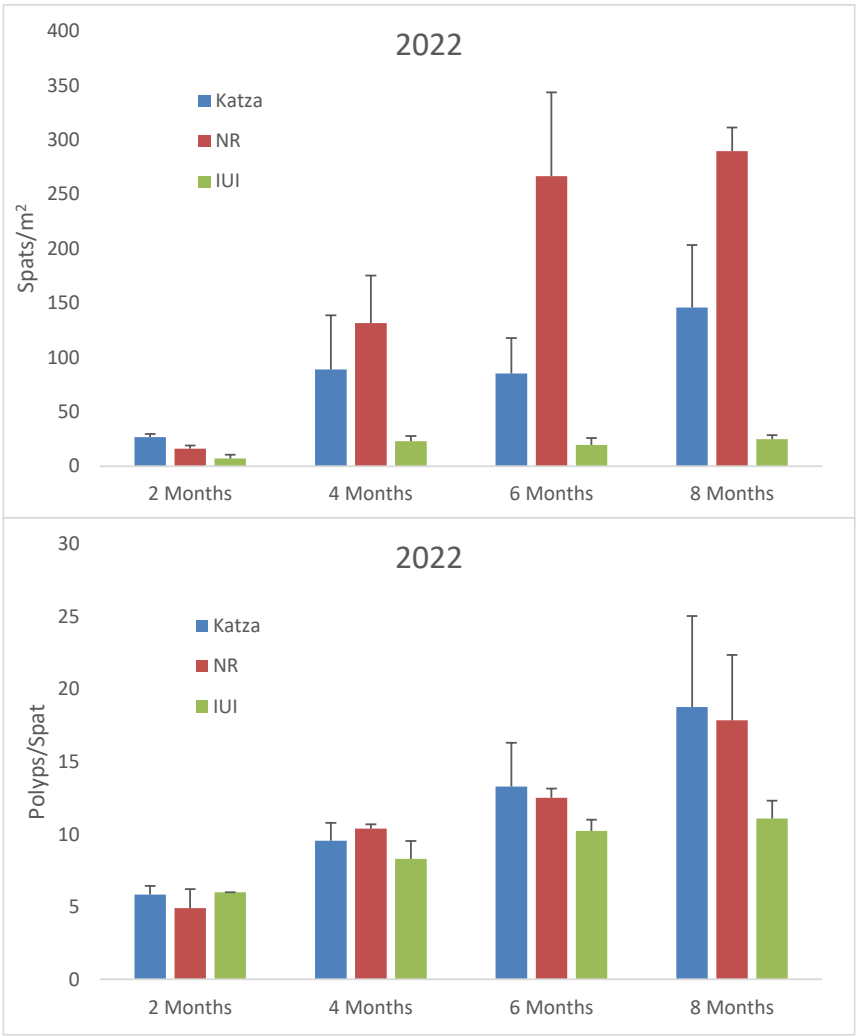
לאורך התקופה בה שהו לוחיות ההתיישבות בים ניתן לעקוב הן אחר הצטברות מתיישבים (מספר מתיישבים, Spats) והן אחרי גידול המתיישבים (מספר פוליפים למתיישב). מכיוון שהרוב המכריע של מתיישבי אלמוגים על גבי הלוחיות נמצאו על צידן התחתון, המוגן, של לוחיות המעקב, ניתן ללמוד בעיקר על אספקת מגוייסים ויכולתם לשרוד את השלבים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

כמות המתיישבים באתר המעבדה היתה (גם) השנה הנמוכה ביותר, בקצא"א גדולה יותר ובאתר השמורה נמצא (גם) השנה מספר גדול בהרבה של מתיישבים. כמות המתיישבים שנספרו על לוחיות התיישבות באתר המעבדה ובאתר השמורה היתה השנה קטנה בהרבה מאשר בשנים האחרונות. בסך הכל נספרו השנה על גבי לוחיות התיישבות באתר המעבדה 45 מתיישבים (בשנה הקודמת נספרו בסך הכל 115 מתיישבים על פני אותה תקופה) ובאתר השמורה נספרו 365 מתיישבים (לעומת 557 בשנה הקודמת). באתר קצא"א כמות המתיישבים שנספרו השנה דומה לזו של השנה הקודמת 195 (190).

הפער בכמות המתיישבים בין האתרים גדול במיוחד בסוף התקופה (איור ב34), עובדה שעשויה להצביע על תקופת גיוס ארוכה יותר ו/או על שרידות טובה יותר של מגוייסים באתר זה או אחר. צפיפות המתיישבים הממוצעת למטר רבוע בסוף התקופה עמדה השנה על 4±25 באתר המעבדה, 58±146 בקצא"א ו- 22±290 באתר השמורה. תבנית זו דומה לתבנית שנצפתה בשנים הקודמות, אף כי – כאמור – באתרים המעבדה והשמורה

היו השנה פחות מתיישבים בהשוואה לשנים קודמות. צפיפות המתיישבים באתר המעבדה היתה בסוף התקופה דומה לזו של אמצע התקופה, עובדה העשויה להצביע על עונת גיוס קצרה יחסית או על תחלופה של מתיישבים עקב תמותה לאחר הגיוס.

מספר הפוליפים הממוצע לאלמוג מתיישב (גודל המתיישבים הממוצע) עלה בכל האתרים ככל שהעונה התקדמה עדות לגדילה של מגוייסים אשר שרדו. גדילת המתיישבים באתרים קצא"א והשמורה היתה השנה דומה, וזאת בניגוד לשנים הקודמות בהן גדילת מתיישבים בשמורה היתה רבה יותר.



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

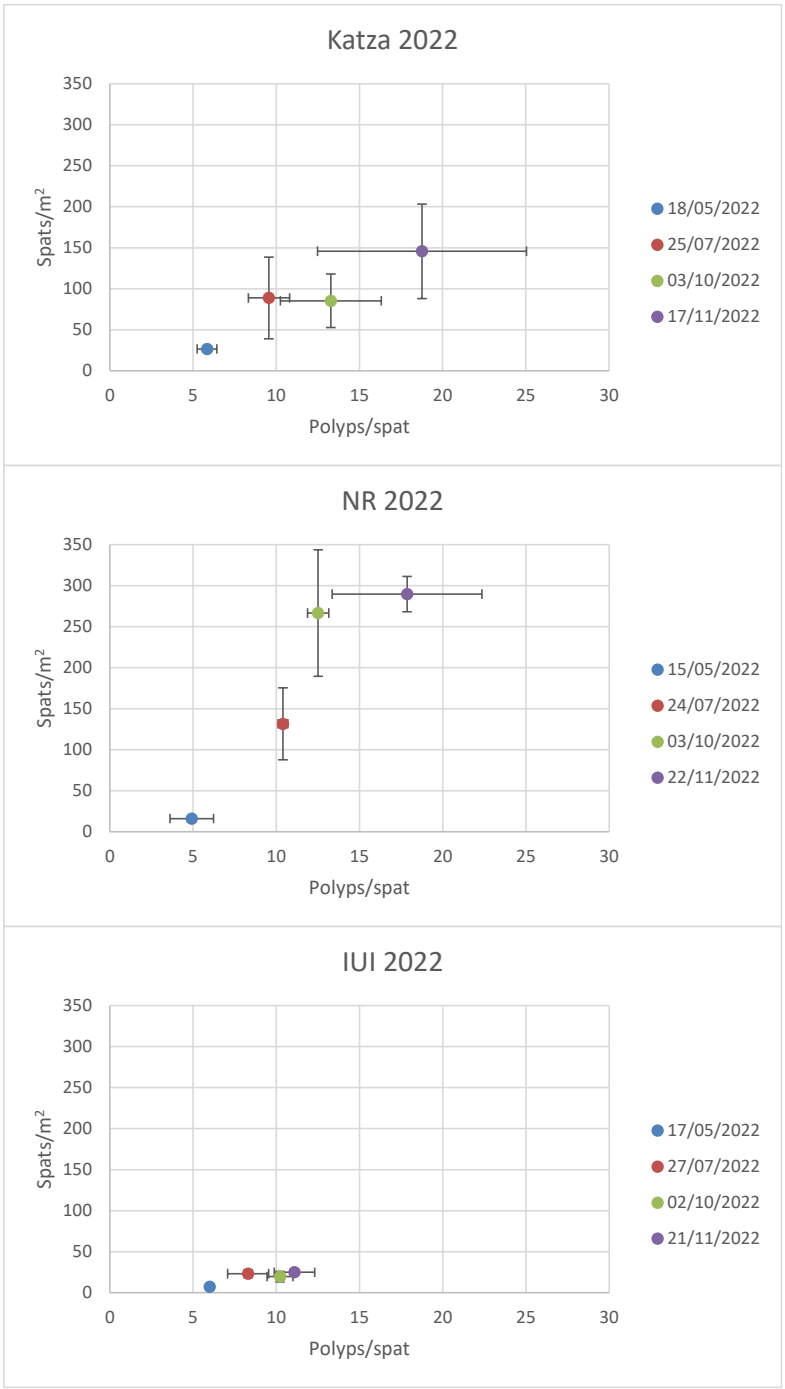
Figure B34: Top – the average density of coral spats (per meter-square) at different time intervals this year. Bottom – the average number of polyps per spat (size).

תבנית גיוס אלמוגים על פני התקופה אפריל-נובמבר 2022 מוצגת באיור ב35. התיישבות אלמוגים החלה בפרק הזמן הראשון (חודשים אפריל-מאי) עם מספר מתיישבים גדול ביותר בתקופה זו באתר קצא"א והקטן ביותר באתר המכון. באתר המכון מספרי האלמוגים המתיישבים על לוחיות לא גדלו באופן ניכר ככל שהתקדמה העונה, אך מספר הפוליפים הממוצע למגוייס גדל במשך הזמן (כ-11 פוליפים, בממוצע, לכל מתיישב בסוף התקופה). באתרי השמורה וקצא"א, לעומת זאת, היתה תוספת של מגוייסים חדשים עד סוף התקופה בנוסף לגדילת מתיישבים מתחילת העונה. בסוף העונה היו באתר קצא"א כ- 19 פוליפים בממוצע לכל מתיישב, ובאתר השמורה כ- 18.

בשנים קודמות נצפתה באתרים קצא"א והמכון התיישבות של אלמוגים חדשים בחלקה הראשון של התקופה ולאחר מכן נראית צמיחה רציפה של המגוייסים, שהיתה מהירה יותר באתר קצא"א. השנה היתה תבנית הגיוס באתר קצא"א דומה לזו שבאתר השמורה עם עיקר ההתיישבות והצמיחה בחלקה השני של התקופה. באתר

השמורה, מספר המתיישבים גדל עם הזמן ובעיקר באמצע התקופה, וכך גם גודלם.

על פי נתוני השנה נראה כי עונת ההתיישבות באתר המכון מוקדמת וקצרה יותר מאשר בשני האתרים האחרים. גם קצב הצמיחה של מתיישבים נמוך יותר באתר המכון. באתר השמורה עיקר ההתיישבות השנה היתה באמצע התקופה ובחלקה האחרון כבר אין תוספת משמעותית של מתיישבים אף כי אלה המצויים מוסיפים לצמוח. באתר קצא"א ישנה התיישבות גם בחלקה האחרון של התקופה וגם צמיחת המתיישבים נמשכה לאורך כל התקופה המנוטרת.

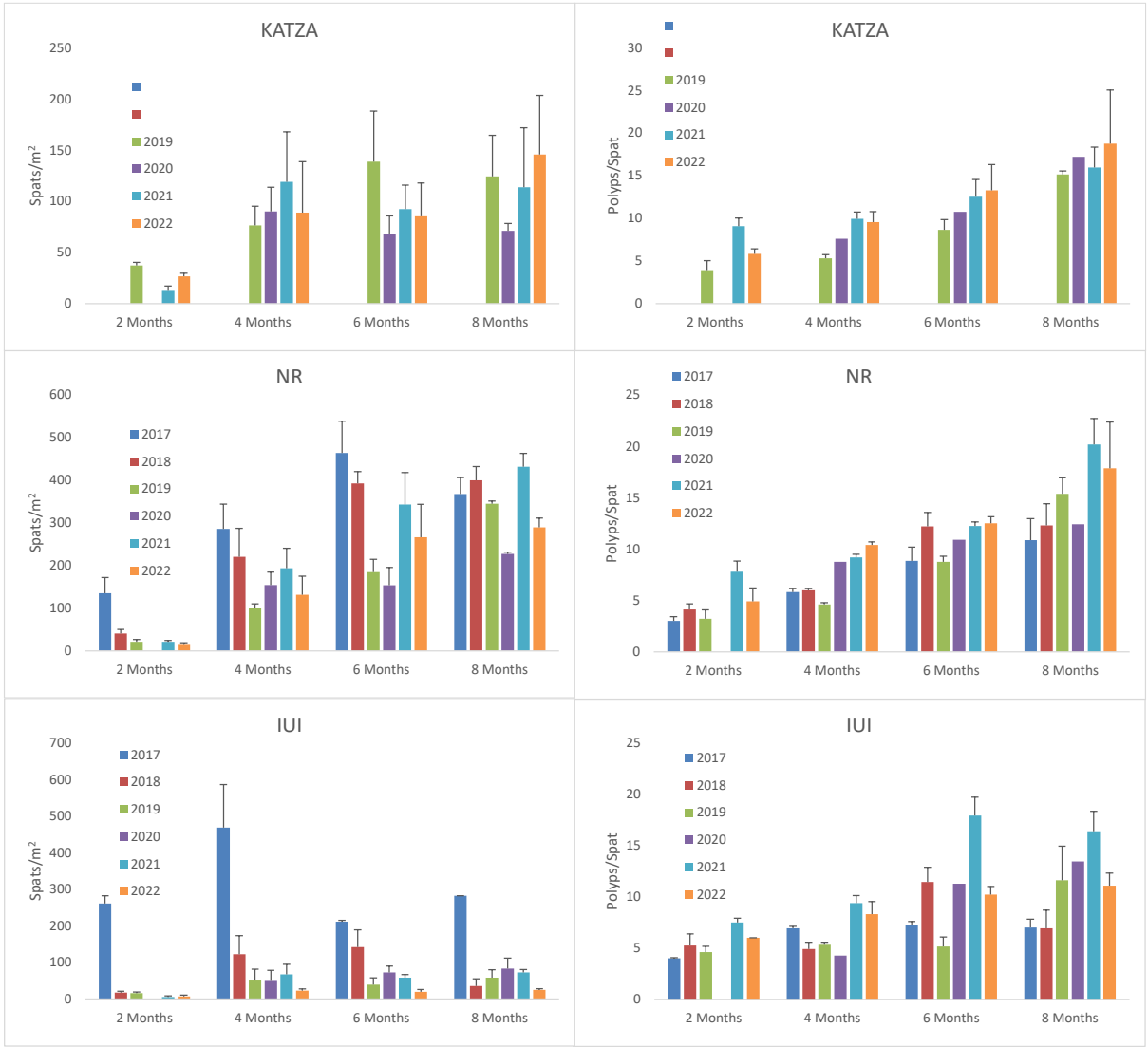


איור ב35: מספר המגוייסים הממוצע כנגד מספר הפוליפים הממוצע למגוייס (גודל המגוייסים) באתרים קצא"א (למעלה), השמורה (באמצע) והמכון (למטה) במשך התקופה הנבדקת.

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

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

בכל אתר ישנם הבדלים במספר המגוייסים בין השנים, אך התבנית אינה ברורה. בשנים האחרונות נראה כי מתיישבים גדלים טוב יותר בהשוואה לשנים הראשונות, בפרט באתרי קצא"א והשמורה. השנה היתה ירידה ניכרת במספר המתיישבים באתר השמורה, בהשוואה לשנה הקודמת, אך בהתחשב בהבדלים בין השנים לא ניתן לומר על כך דבר. מספר המתיישבים השנה בשמורה יה גדול מזה של שנת 2020.



איור ב36: השוואה בין השנים ובין העונות באתר השמורה (למעלה), בקצא"א (באמצע) ובאתר המכון (למטה). משמאל – צפיפות המתיישבים הממוצעת בכל אתר בפרקי הזמן הנדגמים. מימין – מספר הפוליפים הממוצע למגוייס.

Figure B36: Inter-annual and seasonal comparison of coral settlement at the Nature Reserve (top), Katza (middle) and Interuniversity Institute (right). Left – the average density of coral spats at different time intervals between. Right – the average number of polyps per spat (size).

ב.4. סקר חסרי חוליות ניידים בשונית

<u>מטרה</u>

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

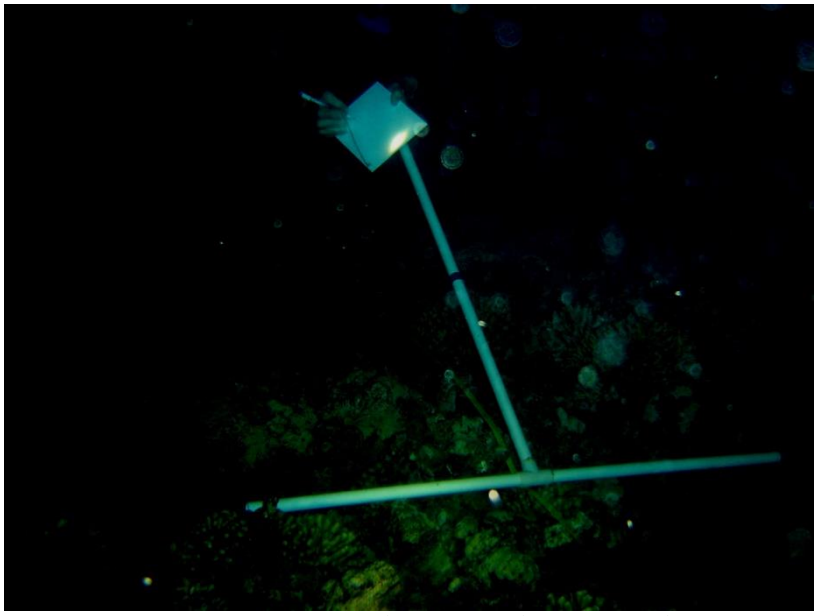
<u>שיטות</u>

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 ב37). בשיטה זו ניתן לכסות שטח גדול ביעילות רבה, ובמקרה זה את מרבית שטחו של כל אתר לאורך קו העומק הנבחר, עובדה בעלת חשיבות עקב מספרם הקטן של חסרי החוליות. מירב השטח באתר נסקר לאורך קו העומק המבוקש לקבלת ספירה מדויקת ככל האפשר, אולם אבדה יכולת ההערכה של פרמטרים 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 ב37: שיטת חתכי הרצועה לסקר חסרי חוליות ניידים: לאורך סרט מדידה עובר הסוקר האוחז מוטות צלובים בצורת T וסופר את הפרטים הנמצאים תחת המוט הניצב, אשר אורכו מטר אחד. נסקרת רצועה אשר אורכה נקבע על ידי סרט המדידה ורוחבה על ידי המוט הניצב (1 מ'). צילום: תומר שאולוב

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

השנה נסקרו בכל האתרים 1600 מטרים רבועים, לפי הפירוט בטבלה ב6.

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

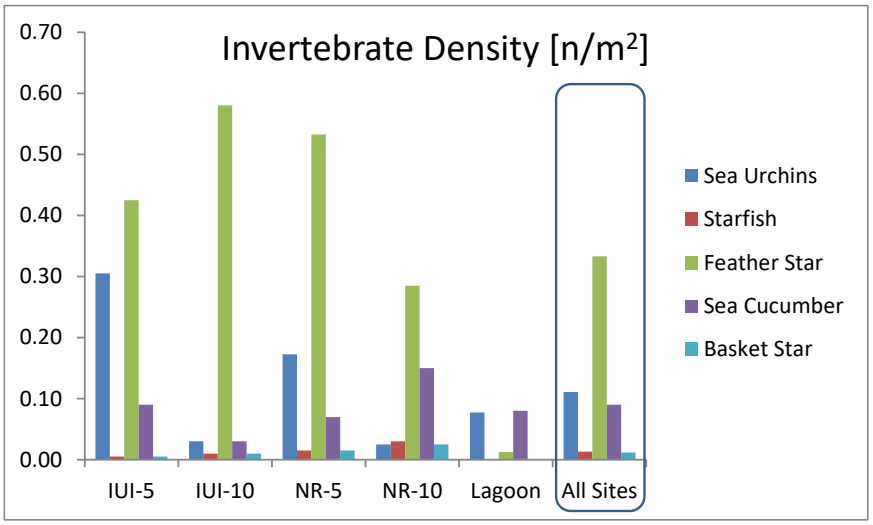
Table B6: Total abundance and average density (number per 1m^2) of mobile invertebrates at the monitored sites.

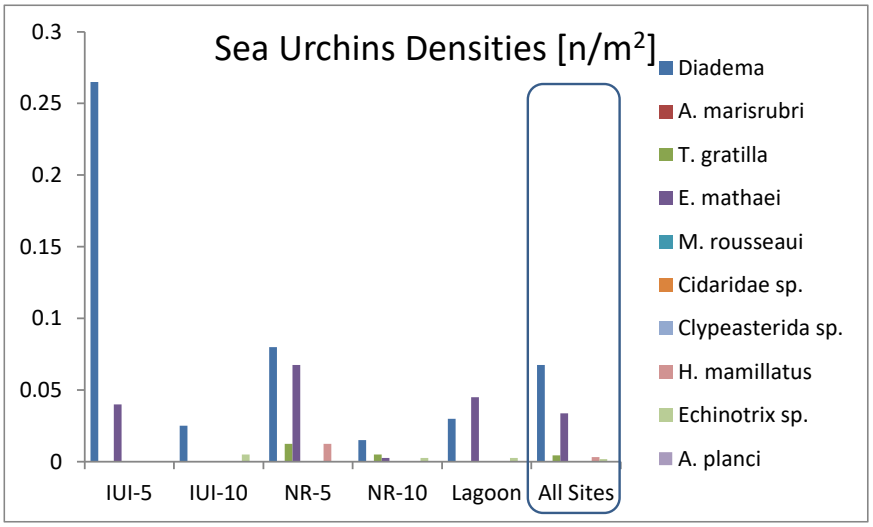
	IUI-5		IUI-10		NR-5		NR-10		Lagoon	
	Density	Number	Density	Number	Density	Number	Density	Number	Density	Number
Diadema	0.265	53	0.025	5	0.08	32	0.015	6	0.03	12
Other Urchins	0.04	8	0.005	1	0.093	37	0.01	4	0.048	19
Total Urchins	0.305	61	0.03	6	0.173	69	0.025	10	0.078	31
Starfish	0.005	1	0.01	2	0.015	6	0.03	12	0.000	0
Feather star	0.425	85	0.58	116	0.533	213	0.285	114	0.013	5
Sea Cucumber	0.09	18	0.03	6	0.07	28	0.15	60	0.08	32
Basket Star	0.005	1	0.01	2	0.08	32	0.015	6	0.03	12
m^2 surveyed	200		200		400		400		400	

קבוצת הרועים החשובה ביותר בשונית מבין חסרי החוליות היא קיפודי הים, אשר להם תפקיד חשוב בנקיון השונית מאצות. ברוב שנות הניטור קבוצת קיפודי הים היתה הקבוצה הנפוצה ביותר בסקרי הניטור כאשר הקבוצה השניה הנפוצה היא חבצלות הים, אולם בשנים האחרונות התהפכו היוצרות וגם השנה חבצלות הים נפוצות יותר באתרי הניטור מאשר קיפודי הים (איור ב38). צפיפותן של חבצלות הים גבוהה באתרי קדמת השונית אך לא באתר הלגונה. הלגונה היא אתר חולי בעיקר והסלעים בה מעטים. על כן אין זה בית גידול אופייני לחבצלות.

בין קיפודי הים, ברוב השנים היה המין הנפוץ ביותר *Diadema setosum*. בשנים האחרונות נצפתה עליה בשיפעת קיפודי ים מסוגים אחרים באתרי הלגונה והשמורה הרדודה ובשנה הקודמת קיפוד הים *Echinometra mathaei* היה נפוץ יותר. השנה נמצא ש- *D. setosum* חזר להיות הנפוץ ביותר, בעיקר מישום שצפיפותו עלתה באתר השמורה הרדוד. צפיפות קיפודי ים גדולה ביותר באתרים הרדודים (ובמיוחד באתר IUI-5) ופחות באתרים העמוקים.

בשנת 2014 נצפה לראשונה בסקרי הניטור נחשונק (Basket Star, *Astroboa nuda*) ומאז מתרבות התצפיות של יצור זה. השנה, בדומה לשנה הקודמת, נספרו 23 פרטים בסך הכל בכל האתרים ונראה שיצור זה הולך ומתבסס באילת.

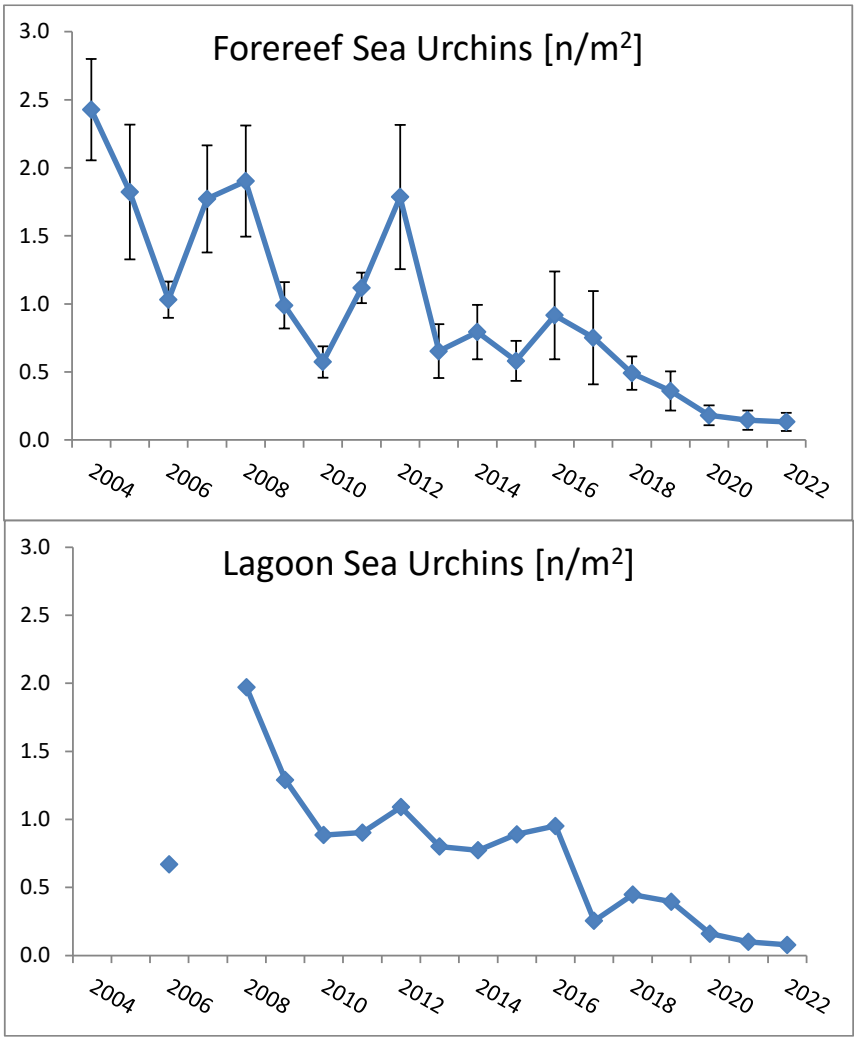




איור ב38: הצפיפות הממוצעת (פרטים למ"ר) של כלל חסרי החוליות הניידים (למעלה) וקיפודי ים (למטה) באתרי הניטור.

Figure B38: The average density (per m^2) of all mobile invertebrates (top) and sea urchins (bottom) at the sampling sites.

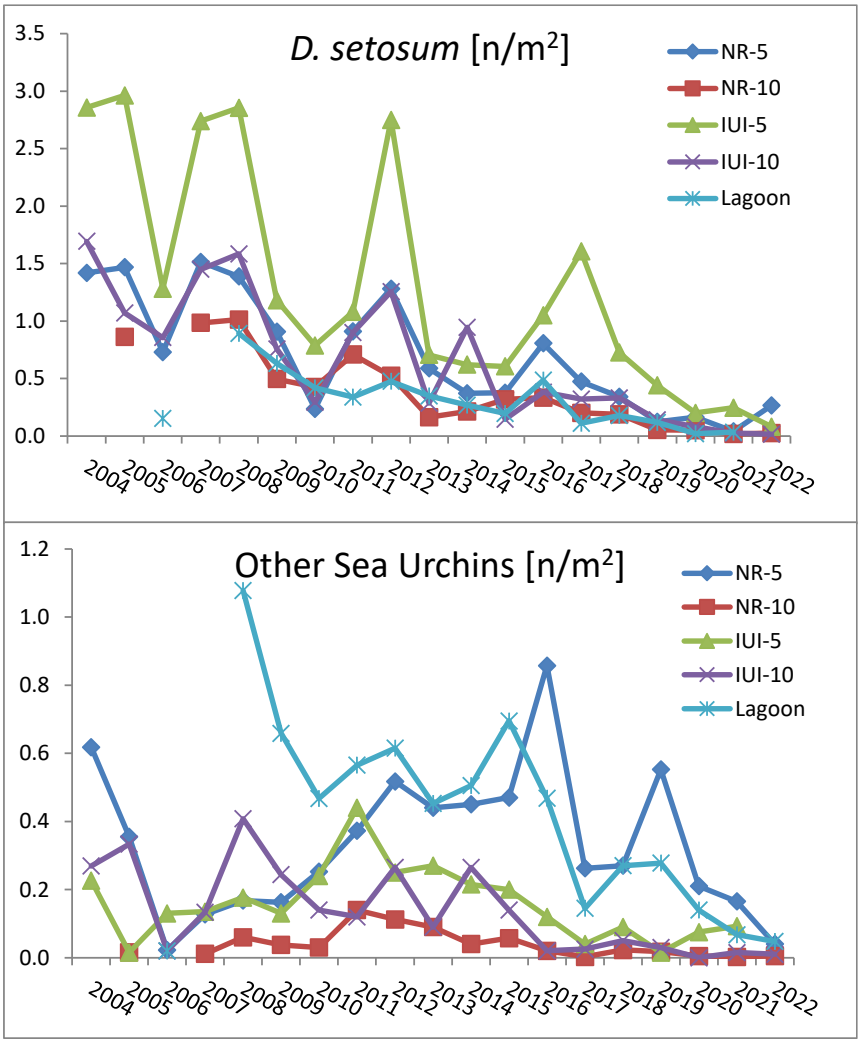
במשך שנות הניטור נמדדו תנודות גדולות בצפיפות קיפודי ים אך במבט לאורך זמן נראה שאוכלוסיית הקיפודים באתרי אילת קטנה במשך תקופת הניטור, ובפרט מאז שנת 2016 (איור ב39).בשנים האחרונות צפיפות קיפודי הים כל כך קטנה שקשה לעמוד על תנודות שנתיות. השנה נספרו בכל האתרים הניסקרים 177 פרטים מכל המינים, לעומת 202 בשנה הקודמת בשטח נסקר זהה. צפיפות גבוהה של קיפודי ים נמדדה בשנים הראשונות לניטור (2004-5) וכן בשנים 2007-8 ובשנת 2012. בין שיאים אלה מפרידות שנים בהן צפיפות האוכלוסיה קטנה בכ- 50%. השינויים בצפיפות קיפודי הים משקפים, כנראה, מחזורים טבעיים בגודל האוכלוסייה, או השפעות סביבתיות מחזוריות כגון עומק הערבוב ואספקת מזון. בשנים האחרונות עומק הערבוב היה קטן ובתוספת פגיעתן של סערות דרומיות חזקות ובפרט הסערה החזקה במרץ 2020, נראה כי אוכלוסיית הקיפודים הצטמצמה באופן ניכר. צפיפות קיפודי הים באתרי קדמת השונית היתה בשנה הקודמת מחצית מהצפיפות שנמדדה בשנת 2019 ונראה כי גודל האוכלוסיה הנותרת הוא מזערי.



איור ב39: הצפיפות הממוצעת (פרטים למ"ר) של כלל קיפודי הים באתרי קדמת השונית (למעלה) ובלגונה (למטה).
Figure B39: The average density (individuals per m^2) of all sea urchins at the fore-reef sites (top) and at the lagoon (bottom).

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

התנודות באוכלוסיית הקיפוד הנפוץ *D. setosum* גדולות במיוחד באתר IUI-5 בו צפיפותו גדולה ביותר, אך תבנית השינוי דומה בכל אתרי קדמת השונית. השנה נמצאה עלייה בצפיפות קיפוד הים *D. setosum* באתרי קדמת השונית הרדודים, בהשוואה לשנה הקודמת. בשטח נסקר דומה נמצאו השנה 85 פרטים לעומת 65 בשנה הקודמת (בשנת 2016 נספרו באתרים אלה 532 פרטים, בשטח זהה). צפיפות קיפודי הים בכלל וקיפוד הים *D. setosum* בפרט עדיין נמוכה להדאיג.



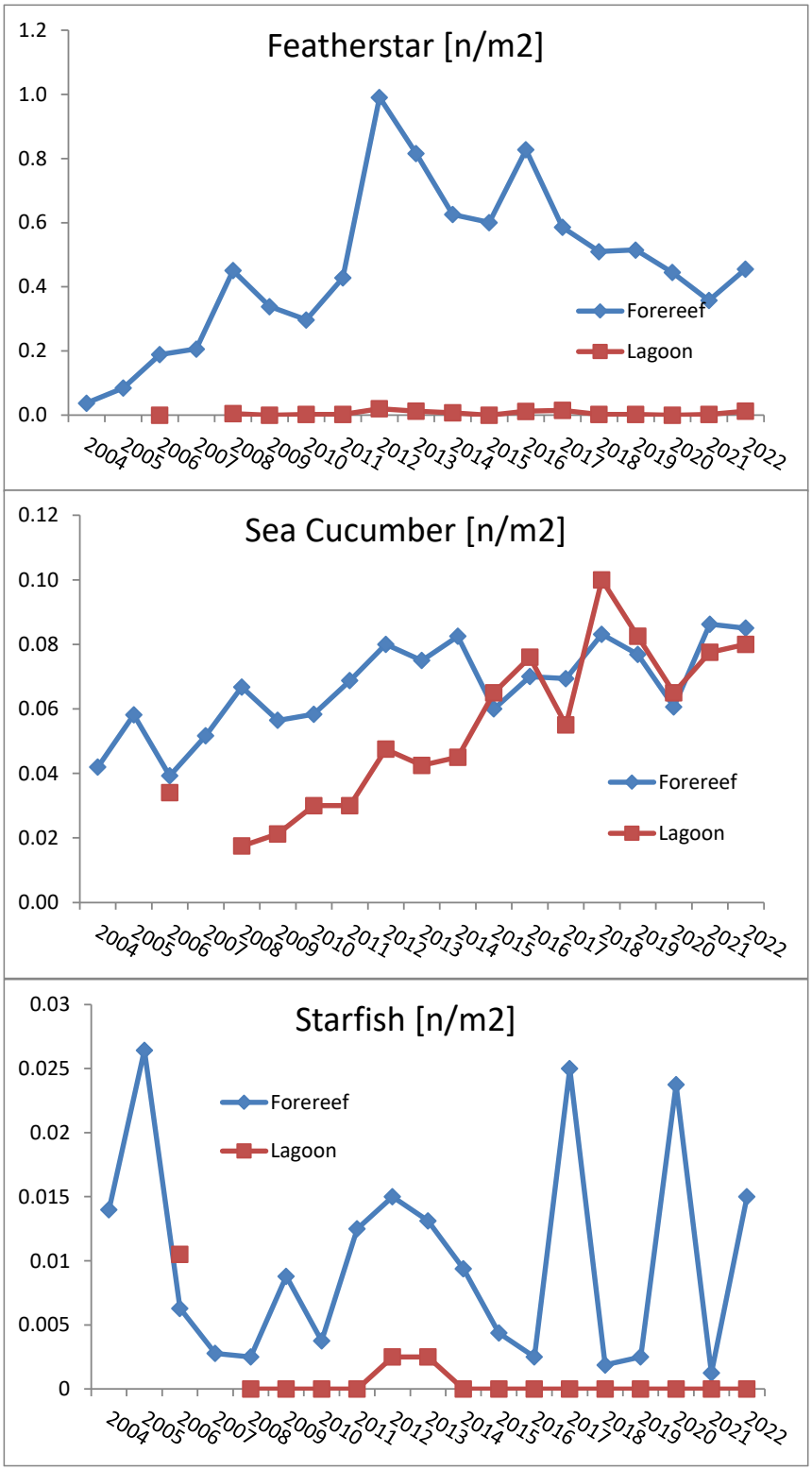
איור ב40: הצפיפות הממוצעת (פרטים למ"ר) של קיפודי הים *Diadema setosum* (למעלה) של קיפודי ים אחרים (למטה) באתרי הניטור.

Figure B40: The average density (individuals per m^2) of *Diadema setosum* (top) and other urchins (bottom) at the sampling sites.

צפיפות חבצלות הים באתרי קדמת השונית עלתה במידה רבה מאז שנות הניטור הראשונות, ונמצאה בשיא בשנת 2012. מאז ירדה צפיפות החבצלות אך נותרה גבוהה יחסית לשנות הניטור הראשונות (איור ב41). בלגונה צפיפות חבצלות ים קטנה במידה ניכרת מאשר בקדמת השונית לאורך כל תקופת הניטור.

מאז תחילת הניטור נמצאת אוכלוסיית מלפפוני הים בעליה מתמשכת בכל האתרים. בשנתיים הקודמות נמצאה ירידה מסויימת אך השנה הצפיפות המלפפונים גבוהה יותר מאשר בשנה הקודמת. צפיפות כוכבי ים נמוכה בכל האתרים, אם כי גבוהה יותר בקדמת השונית מאשר בלגונה.

צפיפותם של מלפפוני ים וכוכבי ים נמוכה מאד ועל כן קשה להסיק לגבי תנודות מחזוריות או שינויים מגמתיים, גם בהינתן שנות הניטור הרבות.



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

Figure B41: The average density (per m^2) of feather-stars (top), Sea Cucumbers (middle) and Sea Stars (bottom) at the fore-reef sites and the lagoon.

ב.5. קצב גידול מאקרו-אצות בשונית

<u>מטרה</u>

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

<u>שיטות</u>

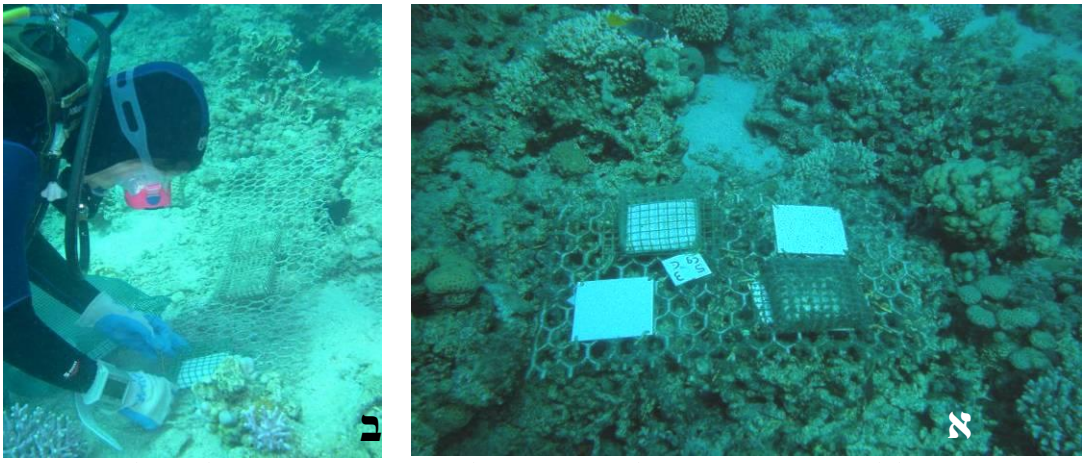
שלושה מערכים בהם שני זוגות של לוחיות PVC סמוכות, שגודלן 10X10 ס"מ וצידן העליון חוספס על מנת להקל על התיישבות אצות, הוצבו באופן שרירותי בעומקים שבעה עד עשרה מטרים בשונית שמול המכון הבין-אוניברסיטאי. בשנת 2007 הוצבו מערכים דומים גם בחלקה הדרומי של שמורת חוף אלמוג, בעומקים 20 מ', 5 מ', ובלגונה. בכל מערך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

האצות מגורדות מהלוחיות שהוצאו מהמים ומסוננות על פילטר סיבי זכוכית GF/A. הפילטרים מושרים בתמיסת אצטון:מתנול (50:50) (v/v) למיצוי הפיגמנטים הפוטוסינתטים המשמשים לאומדן מסת האצות. עצמת בליעת האור באורכי הגל המתאימים לפיגמנטים הפוטוסינתטים (E664, E647, E630) נמדדת ב-Spectrophotometer ומשמשת לחישוב כמות ה- *a* chlorophyll, 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 ב42: א) מערך של לוחית התיישבות. שתי לוחיות חשופות לרעייה, ושתיים מוגנות על ידי כלוב מתכת. צילום: ניצן שגב (ב) החלפת לוחיות בצלילה, מדי חודש מוחלפות הלוחיות ששהו חודשיים בים. צילום: רותי ריף

Figure B42: (A) Algae settlement plates. 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.

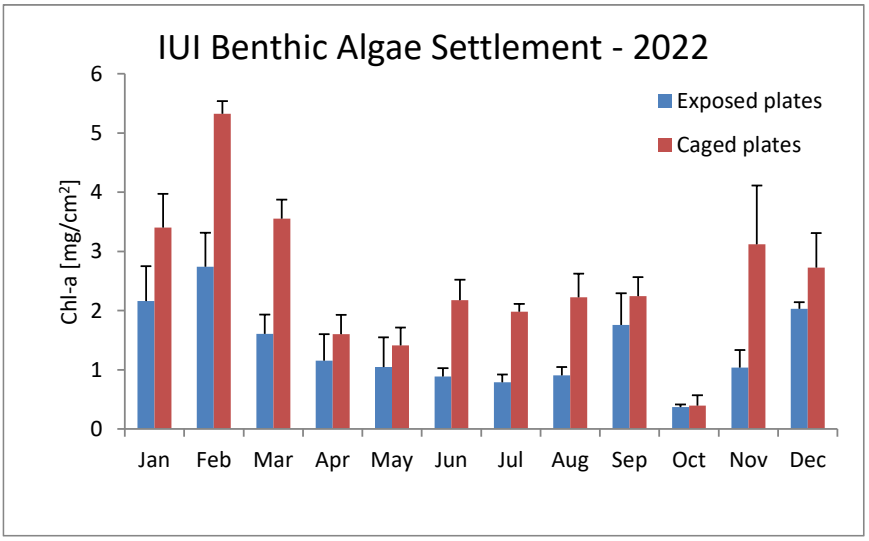
<u>תוצאות</u>

בשנים האחרונות התבנית העונתית של צמיחת אצות ישיבות מראה שיאים בפוטנציאל הגדילה דווקא בחודשי הקיץ והסתיו, אך השנה היתה תבנית הפריחה "רגילה" – עם שיא משמעותי בחורף, בעקבות הערבוב העמוק (איור

ב43). הריכוז המרבי של כלורופיל על גבי לוחיות מוגנות (= פוטנציאל גידול האצות בשונית) היה השנה mg/cm^2 5.33 בחודש פברואר, לעומת $2.90\ mg/cm^2$ בחודש יולי בשנה הקודמת. פריחת מאקרו-אצות בשונית היתה השנה ארוכה וגם הערכים אשר נמדדו בחודשים ינואר ומרץ היו גבוהים מערכי השנים האחרונות.

צמיחת אצות בפועל (= ריכוז הכלורופיל על גבי לוחיות התיישבות חשופות לרעייה) עוקבת לרוב אחר השינויים בפוטנציאל וההפרש ביניהם קטן, אך בחודשים בהם היה פוטנציאל הצמיחה גבוה נמצא הפרש גדול בינו ובין הצמיחה בפועל. בחודש פברואר השנה, נמדד שיא של $2.74\ mg/cm^2$ על גבי הלוחיות החשופות, כחצי מהפוטנציאל באותו חודש וקרוב לשיא הפוטנציאל בשנה הקודמת. נראה כי בחודשים אלה הרעייה אינה מגיבה מהר מספיק לצמיחת האצות והתבנית העונתית ניכרת הן בפוטנציאל צמיחת האצות והן בגידול האצות בפועל.

בהרבה מהשנים נמצאו שני שיאים בפוטנציאל פריחת האצות הישיבות, חורף וקיץ, כאשר בשנים של ערבוב עמוק ערך השיא של החורף גבוה מזה של הקיץ. בשנים האחרונות פריחת האצות הישיבות בחורף היתה חלשה יחסית אך השנה היתה פריחת חורף חזקה וערכי הקיץ היו נמוכים מאשר בשלוש השנים האחרונות.



איור ב43: ממוצע כמות chlorophyll *a* ע"ג לוחית חשופות ומוגנות בכלובים בשנת 2022. כל עמודה מייצגת חודש אחד (מחושבת על-פי שלוש לוחיות ששהו בים חודשיים).

Figure B43: Average chlorophyll *a* on exposed and caged settlement plates in 2022. Each bar represents one month (calculated as an average of three plates submerged in the sea for two months).

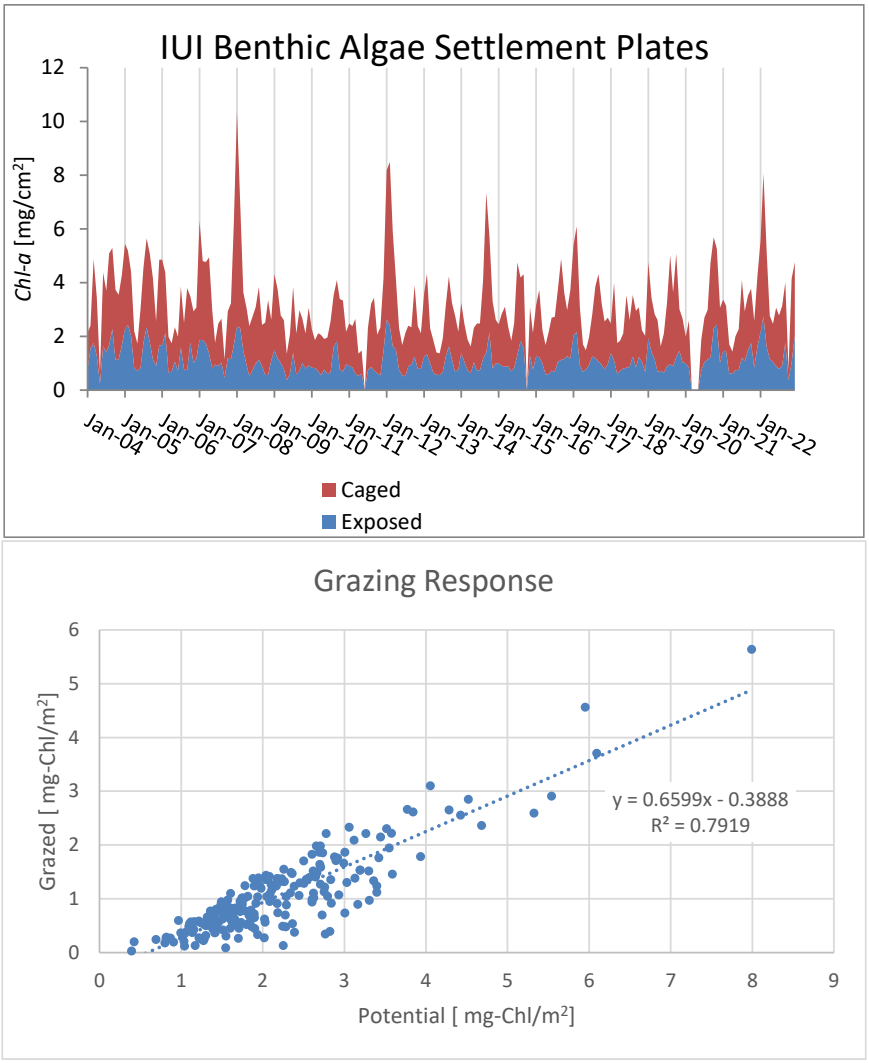
בספטמבר 2014 נמדד שיא בפוטנציאל פריחת אצות ישיבות שהיה חריג בעצמתו עבור שנה של ערבוב רדוד, $5.96\ mg/cm^2$, ולא נמצא לו הסבר מספק, אם כי ברור שאינו תוצאה של ערבוב עמודת המים המגיע לשיאו בחורף וגורם לשיא פריחה אז. בשנים 2015-2020 פוטנציאל גידול האצות נותר נמוך יותר, אם כי השיאים הנמדדים לרוב גבוהים מאלו של שנות ערבוב רדוד בתקופה שלאחר 2007.

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

לרוב, לחץ הרעיה מוריד את ריכוז הכלורופיל על גבי לוחיות אלה במדה משמעותית. ככל שעולה פוטנציאל גידול האצות כן עולה תגובת הרועים ונמצא שיותר אצות (כלורופיל) חסרות בלוחיות החשופות, ככל הנראה סולקו על ידי רועי השונית (איור ב44, למטה).

בכל שנה 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

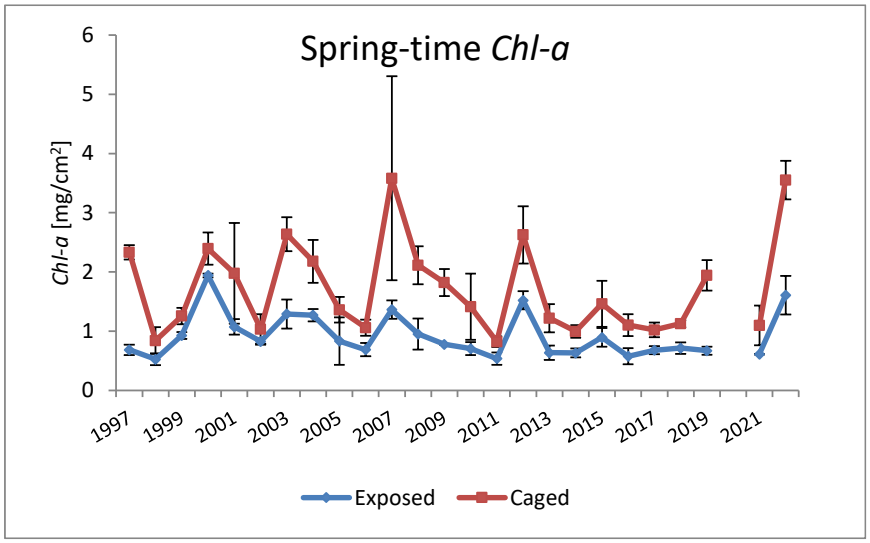
על עלייה מהירה בשיפעת האצות בשנים בהן פוטנציאל הגידול גבוה, ולעולם אינה מנצלת את כל האצות.



איור ב44: 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 וביו ריכוזו על לוחיות חשופות).

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

מול המעבדה מתנהל מעקב רב-שנים, שהחל לפני הקמת תכנית הניטור, אחר כמות הכלורופיל על גבי לוחיות ששהו במים משך חודשיים באביב (מרץ-אפריל) ובו נצפים שינויים גדולים משנה לשנה בפוטנציאל גידול האצות בשונית בעונה זו (איור ב45). על אף שתזמון פריחת האצות הישיבות בשונית (= שיא פוטנציאל גידול האצות/ריכוז הכלורופיל על גבי לוחיות מוגנות 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 השנה עברה תקופה ארוכה יותר. בשנים האחרונות, עד השנה, פריחת האביב של אצות ישיבות היתה חלשה בהשוואה לתקופה שלפני עשור, אולם יתכן כי עיקר פריחת האצות הישיבות בשנים אלה התרחשה דווקא בחודשי הקיץ. השנה, בעקבות הערבוב העמוק, שוב נמצא שיא בפריחת האצות הישיבות בחודשי האביב.



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

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

התיישבות אצות צמודות-מצע בחלקה הדרומי של שמורת חוף אלמוג ("הגנים היפנים") נמדדת מאז שנת 2007 בשלושה עומקים המייצגים שלוש סביבות שונות, ובהתאם לכך גם תבנית פריחת האצות הישיבות באתרים אלה אינה זהה (איור ב46). בלגונה עומק המים נע סביב 1.5 מטרים (כתלות בגובה פני הים), ולכן עוצמת האור באתר זה גבוהה יותר מזו שבאתרים האחרים בהם הוצבו לוחות התיישבות. אתר זה גם קשור ישירות לתהליכים חופיים ומאידך, גם חשוף לפעולת גלים בעת סערה והקרקע החולית בו אינה יציבה ועשויה לכסות את לוחיות 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. השנה נמדדו ערכים גבוהים כמעט בכל השנה, עם ערכי שיא בסופה, בחודשים נובמבר-דצמבר נע ריכוז הכלורופיל על גבי לוחיות מוגנות סביב .5 mg/cm^2 ריכוז הכלורופיל הנמוך ביותר השנה על גבי לוחיות התיישבות בלגונה היה 2.33 mg/cm^2, בחודש מאי.

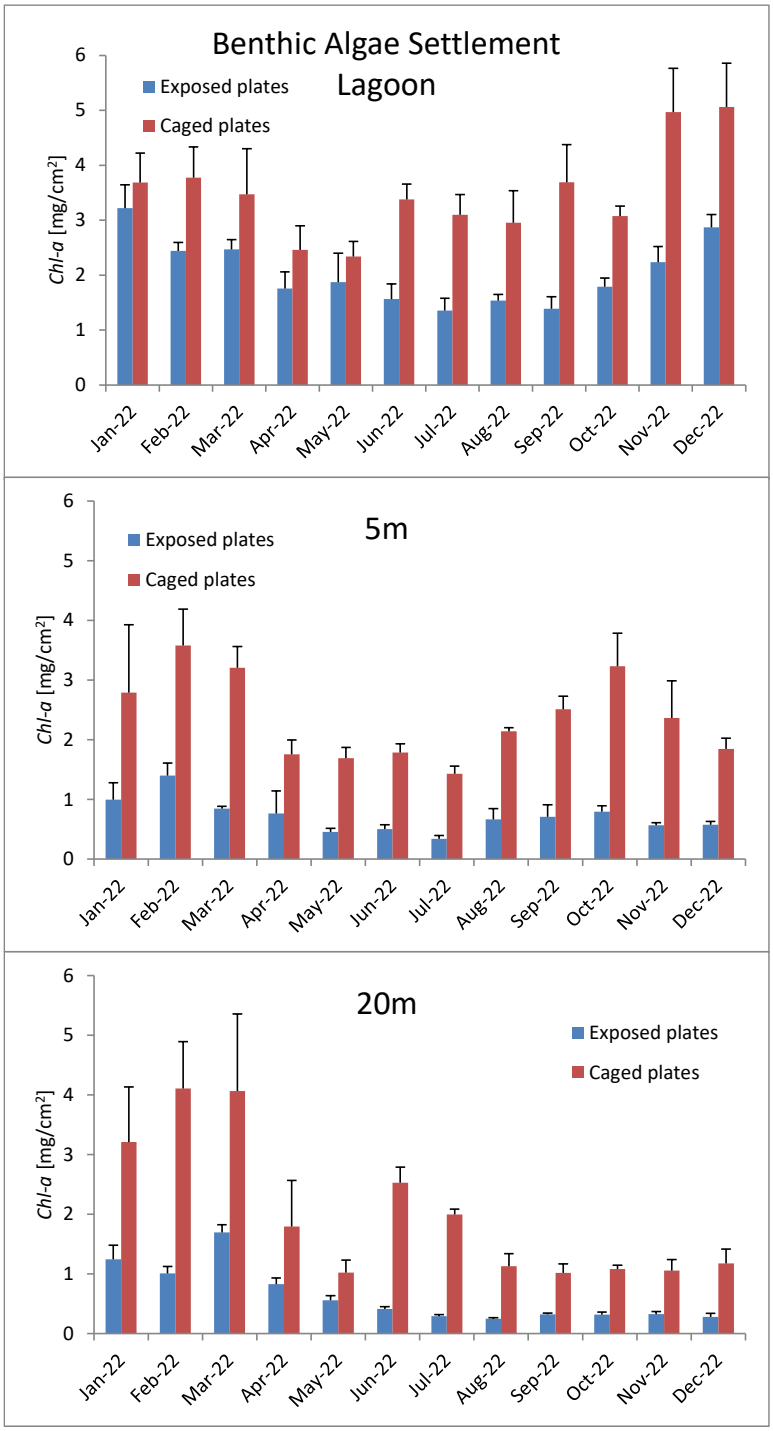
בחודשי החורף והאביב ההבדלים בין ריכוז הכלורופיל על לוחיות מוגנות ולוחיות חשופות בלגונה קטן יחסית, וגדל בחודשי הקיץ והסתיו. זוהי עדות לכך שבזמן בו חומרי מזון מצויים בשפע יחסי (חודשי הערבוב של החורף) לחץ הרעייה על אצות ישיבות בלגונה קטן יחסית, והוא גדל ככל שמתמשכת העונה המשובבת.

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 בחודשי החורף, בהתאם לערבוב העמוק. הערך הגבוה ביותר שנמדד שם השנה היה 3.58 mg/cm^2 בחודש פברואר. בשנים האחרונות ערכים גבוהים דומים נמדדו דווקא בחודשי הקיץ. 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 בחודשי הקיץ.

ריכוזי הכלורופיל על גבי לוחיות בעומק 20 מ' בדרך כלל נמוכים יותר מאשר באתרים הרדודים. עצמת האור בעומק זה נמוכה יותר, והשפעת שינויים בפני הים (גלים, סערות, ותרמוקלינות יומיות) קטנה יותר. משרעת הערכים של ריכוזי כלורופיל על לוחיות מוגנות קטנה יותר בדרך כלל, אך השנה עקב הערבוב העמוק נמדדו בחודשי החורף ריכוזי כלורופיל גבוהים מאלה שבעומק 5 מטר. התבנית העונתית השנה בעומק 20 מטרים כללה ערכי שיא בחודשי החורף (4.11 mg/cm^2, בחודש פברואר) והרבה פחות ככל שהתקדם הקיץ. ההבדלים בין לוחיות מוגנות ולוחיות חשופות היו גדולים במשך כל השנה.

בכל האתרים נראה כי הרעייה מסוגלת לווסת ביעילות את גדילת האצות בפועל – ריכוזי כלורופיל על גבי

לוחיות חשופות 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 חשופות בלגונה גבוהים לרוב מאלו שנמדדים בעומקים הגדולים יותר. באופן כללי נראה כי הרעיה באתר השמורה יעילה יותר מאשר באתר המעבדה.



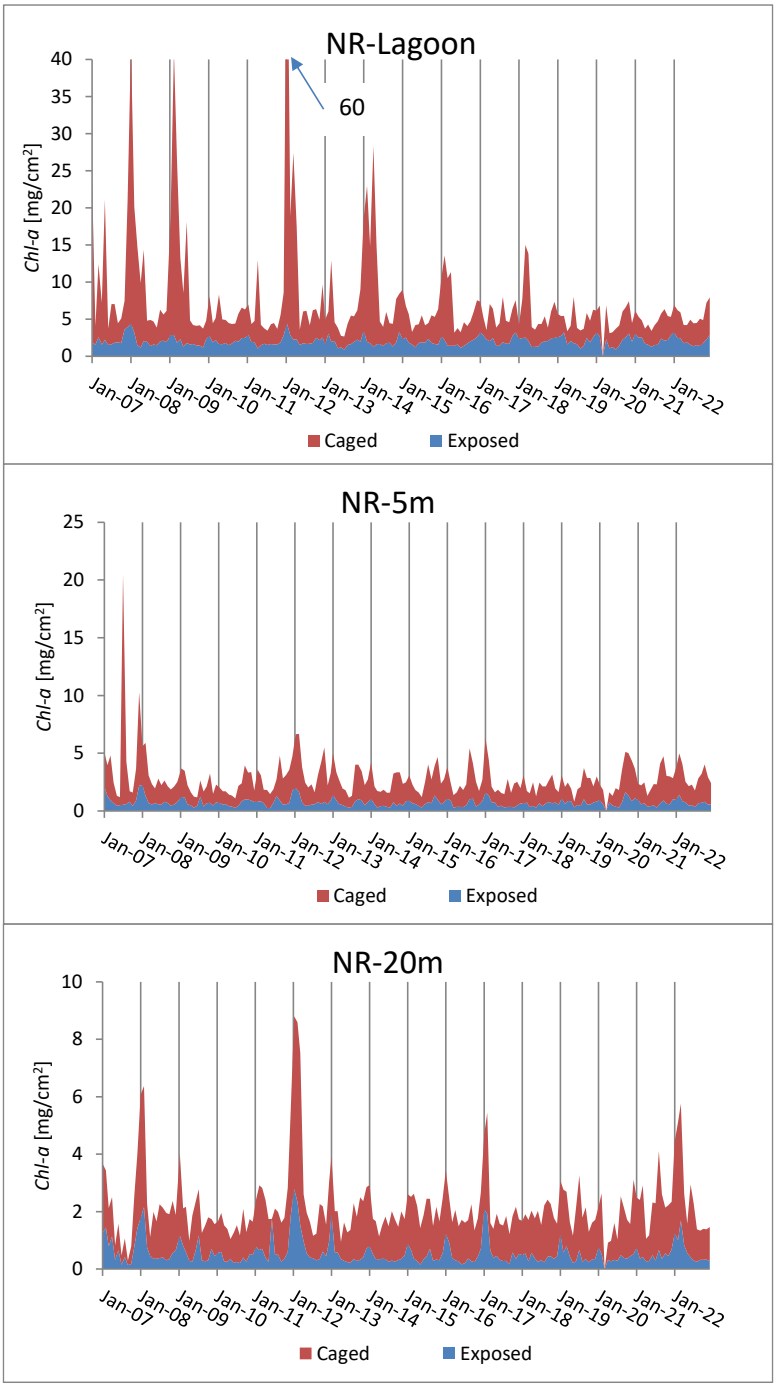
איור 46: ממוצע כמות Chlorophyll *a* ע"ג לוחית חשופות ומוגנות בכלובים בשמורת חוף אלמוג בשנת 2022. כל נקודה מייצגת חודש אחד (מחושבת על-פי שלוש לוחיות ששהו בים חודשיים). למעלה – לוחיות שהוצבו בלגונה, באמצע – לוחיות מעומק 5 מטרים, למטה – לוחיות מעומק 20 מטרים.

Figure B46: Average chlorophyll *a* on exposed (blue) and caged (red) settlement plates at the Nature Reserve in 2022. 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.

מלבד בעומק 20 מטרים, ריכוזי כלורופיל על גבי לוחיות התיישבות היו דומים לאלה של השנים האחרונות, אף כי – כאמור למעלה – התבנית העונתית היתה שונה. רק בעומק 20 מטרים נצפה שיא פריחה משמעותי בדומה לשנים קודמות של ערבוב עמוק (איור ב47). בשנים של ערבוב עמוק נרשמו לעיתים שיאים גבוהים בסדר גודל מאשר בשנים של ערבוב רדוד אך השנה זה לא ניכר בעומקים הרדודים בשמורה. הלוחיות שהוצאו מהאתרים הרדודים בשמורה היו מכוסות אצות חוטיות וסדימנט – ולא אצות בשרניות כמו בשנים קודמות. יתכן כי תכולת הכלורופיל של ה- turf הזה נמוכה יותר משל האצות הבשרניות מאתרים אחרים ומשנים קודמות. אין בידינו מידע מדוייק על סוג האצות ומה גורם להבדלים בין האתרים.

באתר העמוק, שמורה בעומק 20 מטרים, נמדד שיא פריחה גם בחורף 2017, וגם זה לא נמצא באתרי השמורה הרדודים יותר.

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



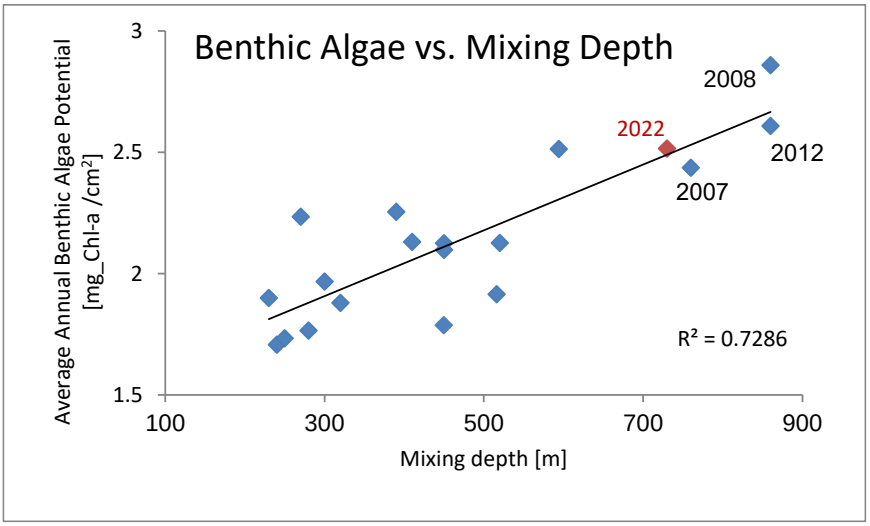
איור ב47: ממוצע כמות Chlorophyll *a* ע"ג לוחית חשופות ומוגנות בכלובים בשמורת חוף אלמוג מאז שנת 2007. למעלה – לוחיות שהוצבו בלגונה, באמצע – לוחיות מעומק 5 מטרים, למטה – לוחיות מעומק 20 מטרים.

Figure B47: Average chlorophyll *a* on exposed and caged settlement plates at the Nature Reserve since 2007. Each point represents one month. Top – the lagoon, middle – at 5 meters depth, bottom – at 20 meters.

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

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

ההבדלים בין השנים בממוצע השנתי של פוטנציאל גידול אצות ישיבות באתר המעבדה מצביעים על הקשר ההדוק בין העומק אליו הגיע ערבוב עמודת המים ופריחת אצות ישיבות על גבי מדרונות השונית (איור ב49).



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

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

ב.6. סקר דגי השונית

<u>מטרה</u>

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

<u>שיטות</u>

דגי השונית נסקרו עד לשנת 2018 בחלקה הדרומי של שמורת חוף אלמוג, "הגנים היפנים", באזור קדמת השונית בעומקים 5-8 מטרים. תדירות הסקר אחת לשנה, בתקופת הקיץ. עם השנים נוספו אתרים והחל משנת 2020 הוקבלו סקרי הדגים לסקרי השונית, עד כמה שניתן.

להלן האתרים והעומקים אשר נסקרו השנה: אתר השמורה (NR) בעומק 7 מטרים; אתר המכון (IUI) בעומקים 5 ו-15 מטרים.

מתוך כלל אוכלוסיית הדגים נבחרו 32 סוגים על סמך שני שיקולים: 1) דגים עיקריים 2) סוגים מייצגים של קבוצות פונקציונאליות בשונית.

הבחירה נעשתה על סמך הניסיון המצטבר בשוניות אילת (Khalaf *et al*., 2003) ובעצה אחת עם ד"ר ערן ברוקוביץ. בשנת 2016 נעשה שינוי בחלוקת הדגים לקבוצות פונקציונאליות בעקבות Mouillot et al. (2014), ובעצה עם פרופ' רועי הולצמן מאוניברסיטת ת"א. חלוקת הדגים לקבוצות כמפורט להלן חושבה מחדש עבור כל השנים מאז 2007.

סקר דגי השונית באתר השמורה נערך על ידי תכנית הניטור מאז שנת 2007 ובאתר המכון מאז 2020.

סיווג הדגים נעשה לפי סוג המזון, גודל הלהקה, זיקתם לקרקעית ומיקום 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 (HD)
Herbivorous: macroalgae/seagrass (H)
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 (PC)
Omnivorous: both animal and vegetal material (OM)

הדגים נספרו בסדרה של מנסרות ישרות בעלות בסיס מלבני 7X1 מ' ונפח הכולל את עמודת המים בין הבסיס ופני הים. בכל פעם נדגם מערך סדור אשר מיקומו נבחר באופן שרירותי: סדרה של מנסרות סמוכות המופרדות 3 מ' זו מזו לאורך סרט מדידה. מימדי המנסרה נקבעו על פי שיקולים של טווח ראיה: על הצולל להיות מסוגל לראות את כל נפח המנסרה בבת אחת, המרחק בין מנסרות נועד לאפשר עבודה בטוחה בצלילה – קשר עין בין דוגמים.

יחידות הדגימה הן: עבור דגי עמודת המים – נפח מנסרה עם בסיס מלבני 7X1 מ' על קרקעית הים ועד לפני המים, ופרק זמן של עשר דקות. עבור הדגים שוכני הקרקעית – 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 מוטות נוספים. 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 הדגים בין השנים.

לאחר ספירת הדגים השוכנים בעמודת המים במשך עשר דקות, נספרים הדגים שוכני הקרקעית המאכלסים את מושבות האלמוגים בתחומי בסיס המנסרה. יחד איתם נספרות מושבות האלמוגים המאוכלסות והמושבות הריקות.

חברת הדגים היא מאסף כל מיני הדגים החיים בבית גידול מסוים ומקיימים בינהם יחסי גומלין. מבנה החברה הוא דינאמי ומשתנה כתלות בזמן, במרחב, בעומק, ובאופי בית הגידול. בין מיני הדגים, קיימים מינים להקתיים, נודדים, שאינם קבועי מקום ולכן יהיו חלק מהחברה רק בזמנים מסויימים. לעומתם יש מינים קבועי מקום שתפוצתם מוגבלת וקבועה, ולכן, כל עוד לא חל שינוי דרסטי בבית הגידול, יהיו תמיד חלק מחברת הדגים. לכן, חברת הדגים כפי שהיא נבחנת בשיטה זו מהווה תמונת מצב של החברה בזמן ביצוע הסקר, ויכולה להשתנות בצורה נרחבת בין שנה לשנה. עם זאת, הסקרים מתקיימים באותה עונה ועל ידי אותם סוקרים מזה 15 שנה, דבר המאפשר מעקב אחר חברת הדגים לאורך תקופת הניטור.

בכל אתר נבחנו מבנה חברת הדגים, מדדים שונים של מגוון מינים וצפיפות כללית של המינים שנצפו בחתכים. כלל המדדים חושבו כערך ממוצע ליחידת דגימה, כפי שתוארה למעלה. קווי השגיאה מייצגים רווח בר סמך של 95%.

מבנה חברת הדגים נבחן על ידי שימוש באנליזה רבת משתנים (Multivariate analyses). על מנת לבחון את השוני בין חברות הדגים חושב מדד אי הדימיון (Bray–Curtis dissimilarity index), המתאר עד כמה האתרים שונים אחד מהשני מבחינת הרכב המינים והשכיחות שלהם. השפעתם של האתרים השונים על מבנה חברת הדגים נבחנה באמצעות מבחני ANOVA (Analyses Of Variance).

עושר המינים בחברת הדגים חושב בכל אתר. מגוון מינים הוא מדד המשקלל את עושר המינים כמו גם את שכיחותם היחסית. חושב מגוון Shanon (H'), בו מינים נפוצים מקבלים משקל גבוה יותר ממינים נדירים עושר ומגוון המינים הממוצע של השונית באילת הוא הממוצע של מדדים אלו בין האתרים שנדגמו.

<u>תוצאות</u>

בסקר השנה נספרו בסך הכל 6637 דגים בכל אתרי הדיגום, השייכים ל-51 מינים ול-21 משפחות.

מכיוון שגודל המדגם בכל אתר משתנה מעט בין השנים ובין אתרים, השוואת הנתונים בין השנים ובין האתרים נעשית על ידי נרמול מספר הדגים ליחידת דגימה. גודל המדגם ומספר הפרטים בכל אתר נתונים בטבלה ב7 ופירוט תוצאות הסקר נתון בטבלה ב8 בסוף פרק זה.

מדגם הדגים כלל השנה 169 דגים השוכנים בצמוד לקרקעית ולמסתור, 3038 דגים נודדים השוכנים בקרבת הקרקעית, וכ- 3430 דגים החיים בעמודת המים העליונה. כמו כן נספרו 248 מושבות אלמוגים, כאשר פחות מ-40% מהן היו מיושבות על ידי דגים.

מספר הדגים הכולל שנספרו השנה גבוה בהרבה משנים קודמות, בעיקר בשל נוכחות להקות גדולות של דגים מהמין *Atherinomorus lacunostus*. הופעתן או היעדרן של להקות ממין זה מגדילה מאוד את שונות המדגם, ולכן הוא נספר בשנים האחרונות אך לא הוכנס למאזן הכללי. השנה נאמד מספרם במהלך הסקר בכ-3000 דגים.

רשימת המינים ומאפייניהם בשלושת האתרים הנסקרים נתונה בנספח ז3, בטבלאות ז2 ו- ז3.

טבלה ב7: גודל המדגם, מספר הדגים שנספרו ומספר הדגים ליחידת דגימה באתרים הנסקרים.

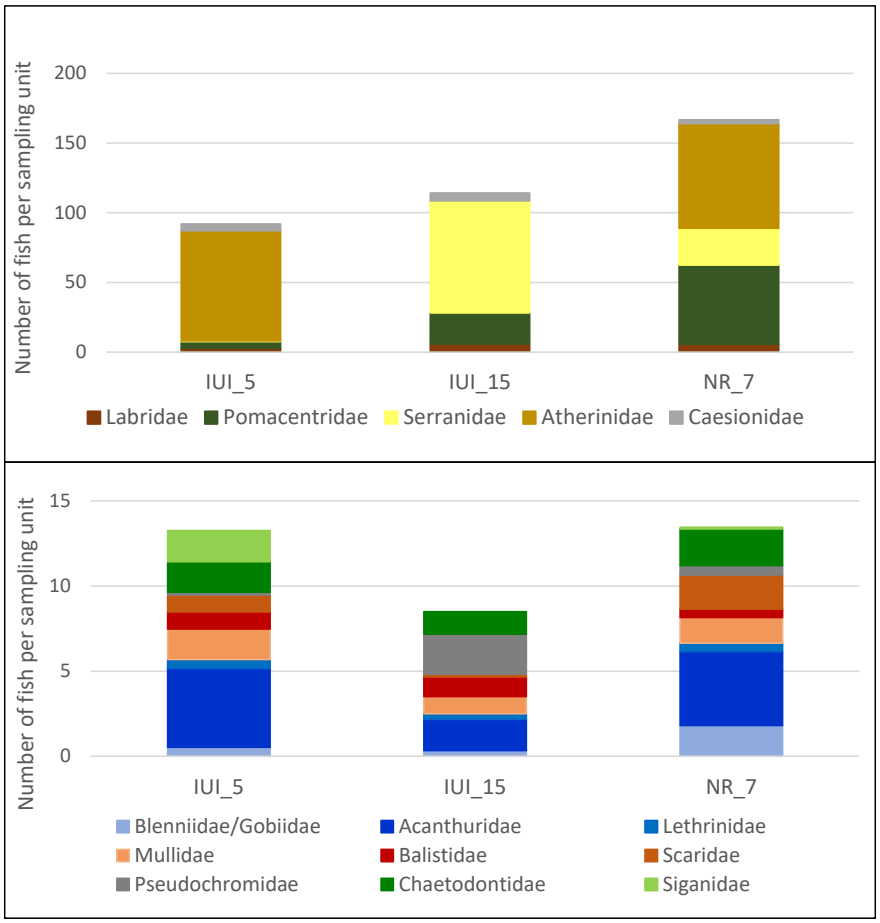
Table B7: Sample size, the number of fish (individuals) and the number of fish per sampling unit at the Eilat reef sites surveyed this year.

Site	IUI 5 m	IUI 15 m	NR 7
Number of sampling units	19	6	20
Total number of fish observed (without Atherinidae family)	544	746	2147
Number of fish per sampling unit	28.6	124.3	107.3

חמשת המשפחות הנפוצות ביותר בשוניות אילת הן של מינים להקתיים (איור ב50). הדג הנפוץ ביותר שייך למשפחת ה- *Atherinidae* (*Atherinomorus lacunostus*) אשר חיה בלהקות גדולות בגוף המים. דג זה נצפה ב-13 מתוך 46 יחידות דגימה בלהקות שהוערכו בכ-100-300 דגים ללהקה. הלהקות נצפו רק באתרים הרדודים 7-NR ו- 5-IUI, אך לא נמצאו באתר העמוק יותר 15-IUI. הדג השני הנפוץ ביותר היה פזית ים סוף (*Pseudanthias squamipinnis*), ממשפחת Serranidae. לא כל המינים במשפחה זו להקתיים, אבל פזית ים סוף חיה בדרך כלל בלהקות קטנות עד בינוניות. דג זה נספר בכ-4-200 פרטים לחתך. משפחת ה- *Pomacentridae* הייתה מהנפוצות ביותר בעיקר בשל שוניתית מירי (*Neopomacentrus miryae*) ושוניתן לבן זנב (*Pomacentrus trichourus*), שניהם מינים להקתיים החיים בעמודת המים סמוך לקרקעית. שני מינים נוספים ממשפחה זו שתרמו לשכיחותה הגבוהה הם אלמוגית השוליים (*Dascyllus marginatus*) וכרומית ירקרקת (*Chromis viridis*), החיים בלהקות קטנות עד בינוניות סמוך לאלמוגים. הסוג שתרם לשכיחותה הגבוהה של משפחת ה- *Labridae* היה הטווסון (*Thalassoma sp.*).

מבין המשפחות הפחות נפוצות, ה-*Acanthuridae* היו הכי נפוצים באתר השמורה ובעומק 5 מטרים באתר המכון ובעיקר בתרן השחום (*Acanthurus nigrofuscus*) שחי בלהקות קטנות.

ללא דגי ה- *Atherinidae* הנודדים בלהקות גדולות, נמצא שצפיפות שאר הדגים הנסקרים היתה קטנה ביותר באתר 5-IUI ובו גם חלקם של שאר הדגים הנפוצים קטן יחסית. באתרים 7-NR ו- 15-IUI נמצאה צפיפות דומה.



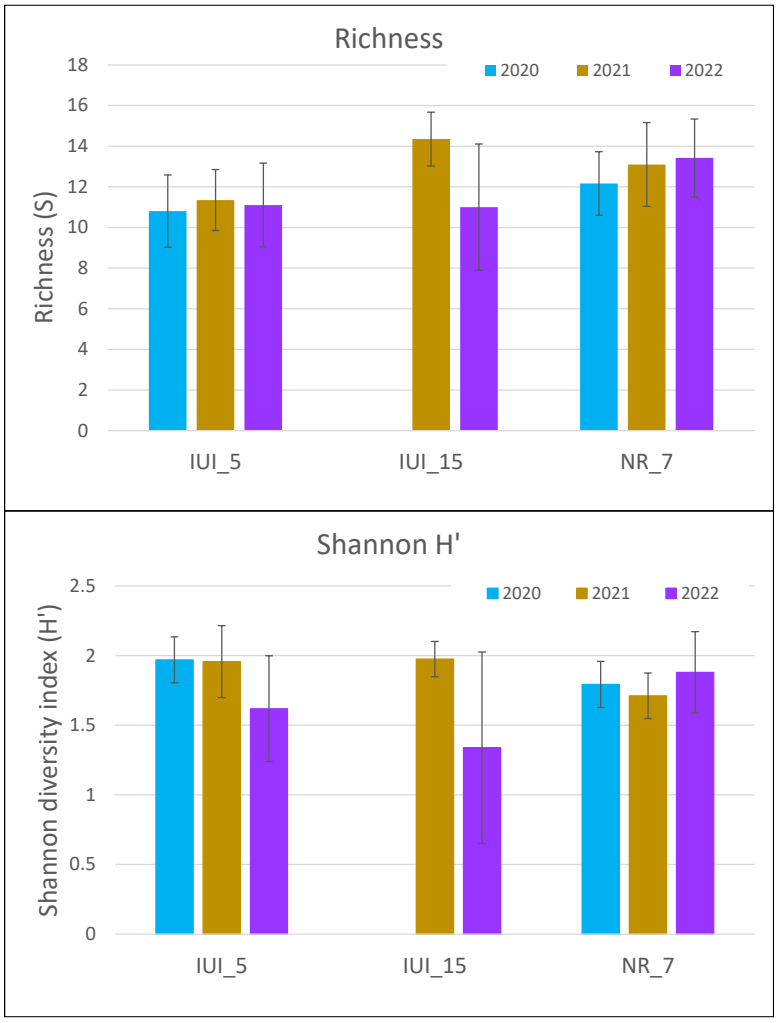
איור ב50: חברת הדגים, על פי משפחות, באתרים הנסקרים. למעלה, מספר פרטים ליחידת דגימה של חמשת המשפחות הנפוצות ביותר. למטה, מספר פרטים ליחידת דגימה של שאר המשפחות שנצפו. משפחות שלא נצפה בהם לפחות דג אחד ליחידת דגימה הוצאו מהסיכום הכללי.

Figure B50: Fish community, by families, in the surveyed sites. Top, number of fish per

sampling unit of five most common families. Bottom, number per sampling unit of all other observed families. Families with <1 fish per sampling unit are not shown.

עושר המינים נע בין 4 ל- 19 ביחידת דגימה כאשר עושר המינים הממוצע של שלושת האתרים עומד על 11.9±2.4 מינים ביחידת דגימה. מגוון המינים (Shannon Diversity) הממוצע של שלושת האתרים עומד על 1.5±0.5. חשוב לזכור שסקר הניטור מתרכז בקבוצות דגים מסויימות אשר נקבעו מראש (ראו למעלה) ולא בכלל הדגים במערכת.

באתר IUI-15 נמצאו הכי הרבה דגים ביחידת דגימה (125) מבין שלושת האתרים. עם זאת, דווקא באתר זה הייתה ירידה בעושר ומגוון המינים לעומת השנה הקודמת (איור ב51). ללא משפחת ה- *Atherinidae* נמצאו באתר IUI-5 באופן מובהק פחות דגים מאשר בשני האתרים האחרים. עם זאת, לא היה הבדל מובהק בעושר ומגוון המינים בין האתרים. מצב זה דומה לתוצאות הסקרים בשלוש השנים האחרונות.



איור ב51: עושר ומגוון בחברת הדגים באתרים הנסקרים בשנים 2020-2022.

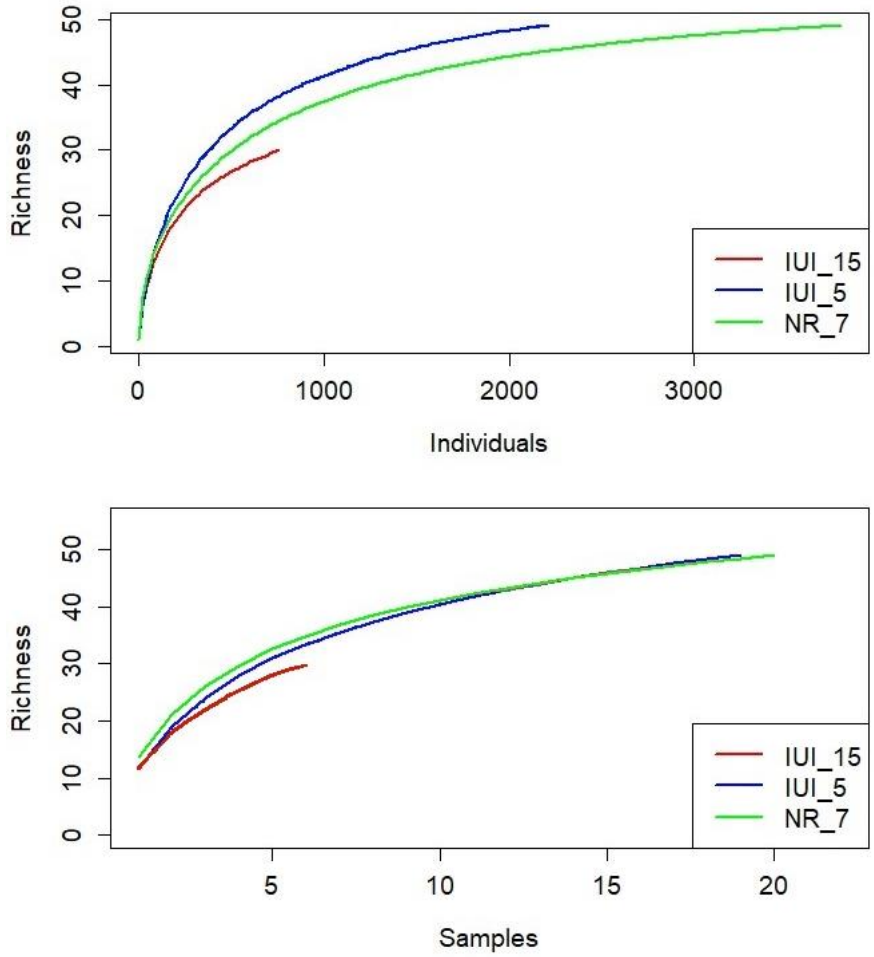
Figure B51: Species richness and Shannon diversity of fish communities at the surveyed sites since 2020.

עושר מינים הוא מדד רגיש במיוחד למאמץ הדגימה, במאמץ דגימה גדול יותר סביר שימצא עושר מינים גדול יותר. 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 מספר המינים כפונקציה של מספר הדגימות (samples) או מספר הפרטים (individuals) באתר. ניתוח זה בוצע עבור הדגים שזוהו לרמת המין באתרים הנסקרים (איור ב52).

בעקומות על פי כמות הפרטים נמצא שעקומת הצבירה של אתר IUI-5 היא התלולה ביותר, ז"א בעלת ההרכב

האחיד ביותר. עבור אותו מספר פרטים נמצא מספר מינים קטן ביותר באתר 15-IUI וגדול ביותר באתר 5-IUI, עובדה המשקפת את מיעוטם היחסי של הדגים "הנפוצים" באתר זה. עושר המינים שנמצא באתר 5-IUI דומה לזה שבאתר 7-NR, וגבוה מזה שנמצא באתר העמוק יותר, 15-IUI.

בעקומות הצבירה על פי יחידות דגימה ניתן לראות שהעומקים הרדודים בשני האתרים מציגים מגמה זהה, ונמאמץ הדגימה מספק לאיפיון עושר המינים. באתר העמוק יותר, מאמץ הדגימה לא היה מספק וסביר שניתן היה – בהגדלת מאמץ הדגימה – למצוא שם יותר מינים.

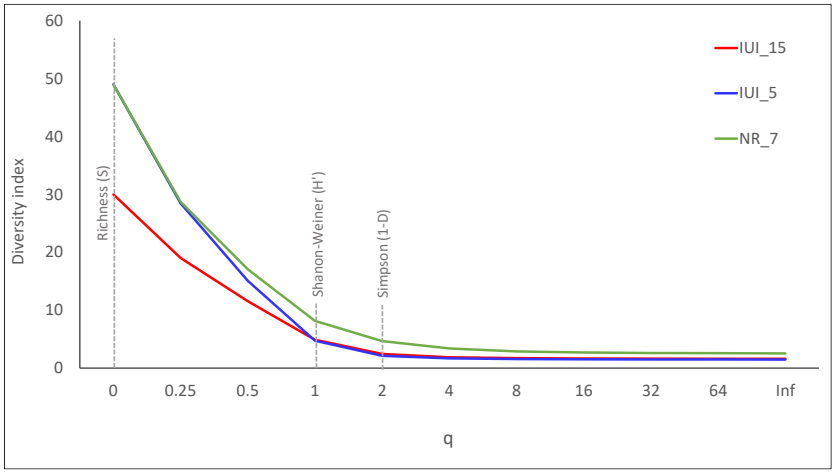


איור ב52: עקומות צבירה לעושר דגים באתרים השונים. למעלה, צבירה על פי פרטים. למטה, צבירה על פי יחידות דגימה.

Figure B52: Rarefaction curves for species richness at the surveyed sites. Top, accumulation according to individuals. Bottom, accumulation according to sampling units.

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, איור ב53). 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 שאנון-ויינר (Shanon-Weiner) ומדד סימפסון (Simpson) מיוצג על ידי q=2. ערך ה-q המקסימלי (אינסוף- Inf), מייצג את המשקל של המינים העיקריים במערכת. ניתן לומר על אתר שהוא מגוון יותר מאתר אחר רק כאשר מגוון המינים נשאר גבוה עבור כל אחד מערכי ה- q שנבחנו.

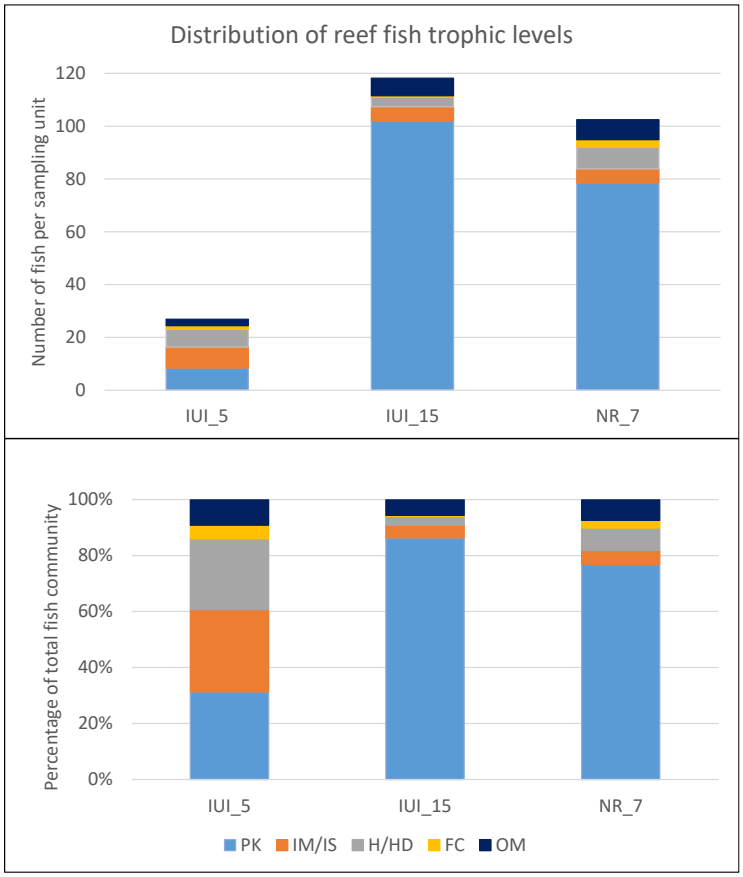
על פי עקומות אלה נמצא שאתר השמורה, 7-NR, הוא המגוון ביותר ושני אתרי המכון בעלי מדדי מגוון דומים אף כי האתר העמוק 15-IUI בעל עושר מינים נמוך יותר. תוצאה זו משקפת את מציאותם של מינים נדירים באתר 5-IUI וכנראה גם את מאמץ הדגימה הנמוך יותר באתר 15-IUI.



איור ב53: עקומות מגוון על פי אינדקס רייני (Rényi diversity profiles) להרכב חברת דגי השונית באתרים השונים.
Figure B53: Rényi diversity curves for reef fish communities at the surveyed sites.

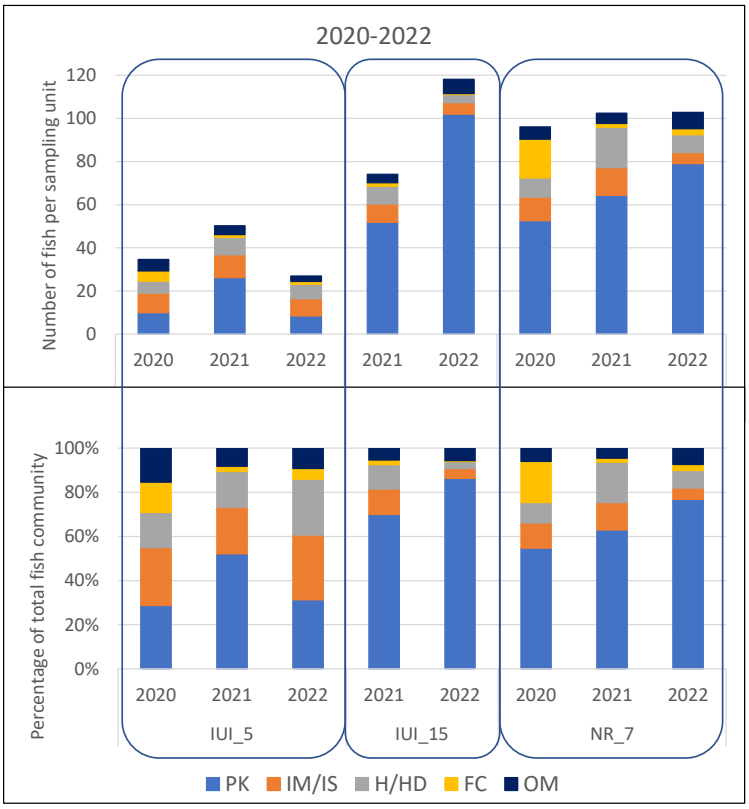
חלוקת הדגים לפי הרמה הטרופית (העדפת מזון) מלמדת על התפקוד האקולוגי של דגי השונית. באתר NR-7 ובאתר IUI-15 חלקם של הדגים אוכלי הפלנקטון הוא הגדול ביותר: מעל 75% מהדגים (איור ב54). אלו דגים קטנים יחסית הנעים בלהקות בהן מספר גדול של פריטים ונוכחות להקה אחת או יותר של דגים אלה עשויה לשנות את משקלם הייצוגי, אך תמיד נמצא מספר גדול של דגים אלה בשונית. דגים פלנקטיבורים מהווים חוליה חיונית במארג המזון ברכזם חומרי מזון מהרמות הנמוכות בגוף המים. באתר IUI-5 הרכב החברה מבחינת רמות טרופיות היה שונה במובהק משני האתרים האחרים. החברה באתר זה הייתה הומוגנית יותר מבחינת רמות טרופיות, עם ייצוג גדול יותר של מינים טורפי חסרי חוליות (29% מהחברה) ומינים הרביבורים (25% מהחברה) מאשר בשני האתרים האחרים (10% >).

בשנים 2020-2022 הרכבה הטרופי של חברת הדגים בשלושת אתרי הדיגום נותר יציב (איור ב55). באתר IUI_15, נצפתה עלייה בשכיחותם של הדגים הפלנקטיבורים לעומת שנים קודמות, ככל הנראה בשל שכיחות גבוהה של להקות המין הפלנקטוני פזית ים סוף (*Pseudanthias squamipinnis*), ממשפחת ה- *Serranidae* באתר זה בשנת 2022.



איור ב54: התפלגות דגי השונית על פי הרמה הטרופית באתרים הנסקרים. למעלה צפיפויות, למטה באחוזים.

Figure B54: Distribution of reef fish according to trophic levels at the surveyed sites. Top densities, bottom fractions.



איור ב55: התפלגות דגי השונית על פי הרמה הטרופית באתרים הנסקרים בשנים 2020-2022. למעלה צפיפויות, למטה באחוזים.

Figure B55: Distribution of reef fish according to trophic levels at the surveyed sites in 2020-2022. Top densities, bottom fractions.

באתר NR_7, שבו חברת הדגים נסקרת כבר 15 שנה, יחסים כמותיים אלה בין משפחות הדגים הנפוצות והרמות הטרופיות השונות נשמרים ומעידים על יציבות במבנה אוכלוסיית הדגים בשונית (איור ב56). הרכב המשפחות וההרכב הטרופי של חברת הדגים לא השתנה באופן מובהק משנים קודמות. משפחת ה- *Serranidae* הייתה המשפחה השנייה הנפוצה ביותר לאורך שנות הניטור אך כמעט ולא נצפתה באתר השמורה בשנה הקודמת. השנה שוב נמצאה ה- *Serranidae* כקבוצה השנייה בגודלה ונראה כי העדרה בשנה הקודמת היה תוצאה אקראית של המדגם ולא מגמה.

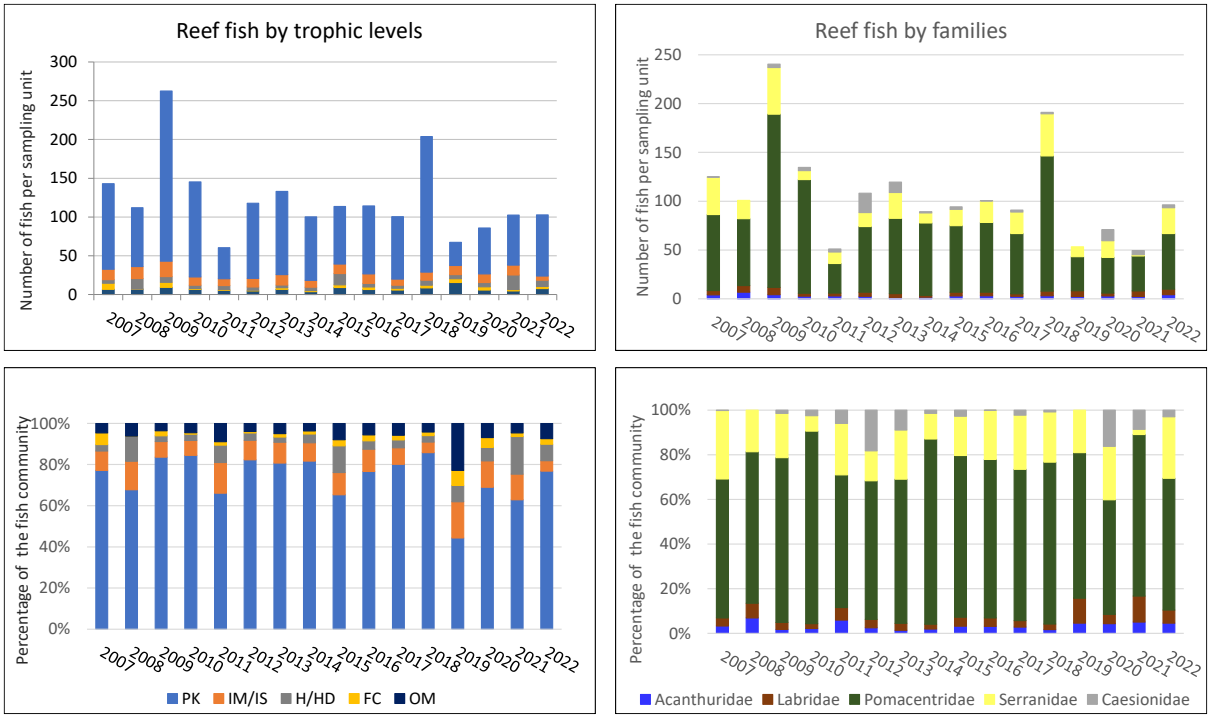
התנודות החדות שניתן לראות בשנים 2009 ו-2018 הם בשל נוכחות להקות גדולות של דגים פלנקטוניים ממשפחת *Pomacentridae*. משפחה זו מהווה את החלק הארי בחברת הדגים באתר השמורה לאורך כל תקופת הניטור, כאשר המינים הנפוצים ביותר בה הינם פלנקטיבורים.

כמו בשנים קודמות, הקבוצה הטרופית השנייה בגודלה מורכבת ממינים טורפים חסרי חוליות ניידים ונייחים בשונית (IM/IS). דגים אלו מווסתים את אוכלוסיית חסרי החוליות בשונית וכך מונעים התפרצויות של מינים מקבוצות אלו, העשויות להיות הרסניות לשונית.

לדגים הרועים (H/HD, אוכלי אצות צמודות מצע) ייצוג משתנה בשונית לאורך השנים, בין 2-10% מחברת הדגים. ביחד עם הדגים הניזונים מחסרי חוליות, דגים אלה מווסתים את צמיחת האצות בשונית ומאפשרים שטחי שונית נקיים להתיישבות אלמוגים.

הדגים הטורפים נספרו בשכיחות הנמוכה ביותר לאורך כל שנות הניטור, אך צפיפותם לא השתנתה עם הזמן ונותרה יחסית קבועה.

חלוקת הדגים לפי הרמה הטרופית (העדפת מזון) מאפשרת התייחסות למבנה החברה והשוואה בין השנים על אף הבדלים ניכרים בגודל המדגם, ומלמדת גם על התפקוד האקולוגי של דגי השונית. יחסים כמותיים אלה בין קבוצות הדגים השונות נשמרים בשנים האחרונות ומעידים על יציבות במבנה אוכלוסיית הדגים בשונית.

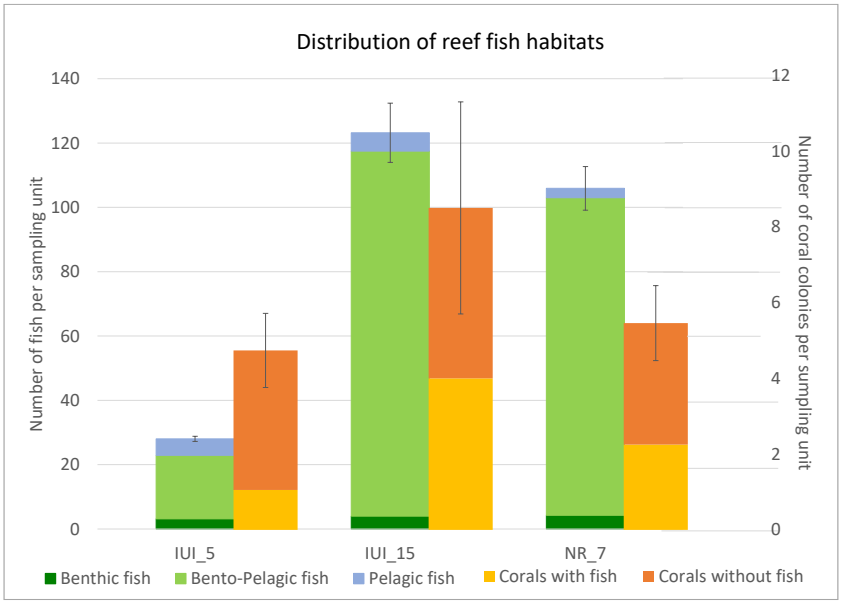


איור ב56: התפלגות דגי השונית על פי הרמה הטרופית (משמאל) ועל פי משפחות עיקריות (מימין) מאז שנת 2007.

Figure B56: Distribution of reef fish according to trophic level (left) and major families (right) since 2007.

הרכב חברת דגי השונית לפי חלוקה לבתי גידול לא נבדל באופן מובהק בין האתרים הנסקרים. בשלושת אתרי הדיגום מרבית הדגים (70-90%) הם מינים שחיים בעמודת המים עם זיקה לקרקעית (Bentho-pelagic) (איור ב57). מכיוון שמדובר בסקרים המתרכזים בדגי השונית (החתכים נעשים במנסרות מעל השונית עצמה), אין זה מפתיע שמרבית הדגים חיים בזיקה לשונית. מינים אלו, על אף שרובם פלנקטיבורים (כלומר, אינם מסתמכים על השונית לאספקת מזון), זקוקים לשונית למחסה, כאתר רבייה, ועוד. מיעוט הדגים הפלאגיים כללו בעיקר להקות קטנות- בינוניות (עד 30 פרטים) של כחליים (משפחת ה- *Caesionidae*), שחיות בחלק העליון של עמודת המים (משפחת ה-*Atherinidae* אינה נכללת במאזן זה).

חלקם של הדגים הבנטיים, החיים בתוך השונית, היה קטן מ-5% בשלושת אתרי הדיגום. בהתאם לכך, בכל האתרים פחות ממחצית מהאלמוגים שנספרו היו מיושבים על ידי דגים. נמצאה קורלציה בין מספר הדגים הכללי ומספר הדגים הבנטיים לבין מספר האלמוגים באתר ואחוז האלמוגים המיושבים. למשל, באתר IUI-5, שבו היו פחות דגים באופן מובהק היו גם פחות מושבות אלמוגים מאשר בשני האתרים האחרים, ורק 22% מתוכן היו מיושבות על ידי דגים (לעומת 47% ו-41% באתרים IUI-15 ו- NR-7, בהתאמה).



איור ב57: התפלגות דגי השונית לפי בתי הגידול

Figure B57: Distribution of reef fish according to habitats

<u>מסקנות</u>

ישנן שיטות רבות לסקרי דגים הנהוגות בעולם ועל כן השוואה בין הנתונים המוצגים כאן ובין נתונים ממקומות אחרים אינן מוצלחות. עם זאת, תכנית הניטור עוקבת אחר אותם אתרים ובאותן שיטות וכך מתאפשרת השוואה לאורך זמן בין האתרים הנסקרים במפרץ אילת. על בסיס השוואה זו, נראה שחברת דגי השונית באתרי המכון ובשמורת האלמוגים באילת יציבה במשך תקופת הניטור, עם שינויים אקראיים במהלך השנים שנובעים ככל הנראה לא משינוי מהותי בהרכב ושכיחות הדגים, אלא בתנודות של להקות מזדמנות. בין שלושה האתרים הנסקרים לא נמצא הבדל מובהק בשפעת והרכב הדגים. כל האתרים שנדגמו הם אתרים אסורים לדייג, וממוקמים מחוץ לאזור העירוני ומבחינת ההשפעה האנתרופוגנית נחשפים לתנאים דומים.

אתר המכון בעומק 5 מטרים מאופיין במיעוט דגים יחסית לשני האתרים האחרים, אך בעושר מינים גדול יותר ומגוון מינים דומה. נראה כי הדבר נובע מריבוי מינים נדירים באתר זה.

הבדלים בין עומק 5 ל-15 מטרים באתר המכון עשויים לנבוע ממספר גורמים. עומקים שונים מתאפיינים בתנאי מחיה שונים כגון ריכוז חומרים מזינים (נוטריינטים) במים, עוצמות אור וכיסוי אלמוגים, המשפיעים על חברת הדגים הקבועה של האתר. שינויים במשטר הזרימה בין עומקים שונים עשוי לגרום לשינויים בכמות ובזהות בע"ח הצעירים (הלארוות) המוסעים במים, ולכן לשינוי בחברת הדגים הבוגרים.

טבלה ב8: מספר הדגים והשכיחות הממוצעת (ליחידת דגימה) של משפחות דגים ומושבות אלמוגים באתרי שונית שנסקרו השנה.

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

Family	Habitat	Fish abundance at each site (Total number of fish observed)			Mean fish number per sampling unit (±95% confidence interval of the mean)		
		IUI 5 m	IUI 15 m	NR 7 m	IUI 5 m	IUI 15 m	NR 7 m
Blenniidae/Gobiidae	Benthic	10	2	36	0.53 (±0.4)	0.3 (±0.9)	1.8 (±1.0)
Mullidae		34	6	32	1.8 (±1.2)	1.0 (±0.9)	1.6 (±0.7)
Pinguipedidae		2	0	4	0.1 (±0.2)	0	0.2 (±0.2)
Pseudochromidae		3	14	11	0.2 (±0.2)	2.3 (±1.3)	0.6 (±0.3)
Synodontidae		4	1	3	0.2 (±0.2)	0.2 (±0.4)	0.2 (±0.2)
Tetraodonitidae/Diodonitidae		7	1	1	0.4 (±0.5)	0.2 (±0.4)	0.1 (±0.1)
Acanthuridae	Bentho-pelagic	88	11	87	4.6 (±1.7)	1.8 (±1.8)	4.4 (±1.7)
Apogonidae		0	0	0	0	0	0.1 (±0.1)
Balistidae		19	7	8	1.0 (±0.5)	1.2 (±1.2)	0.4 (±0.4)
Chaetodontidae		34	8	43	1.8 (±0.9)	1.3 (±0.7)	2.2 (±0.8)
Labridae		50	35	115	2.6 (±1.6)	5.8 (±8.5)	5.8 (±3.4)
Lethrinidae		24	2	57	1.3 (±0.9)	0.3 (±0.5)	2.9 (±2.7)
Ostraciidae		6	1	1	0.3 (±0.1)	0.2 (±0.4)	0.1 (±0.1)
Pomacanthidae		12	0	2	0.6 (±0.7)	0	0.1 (±0.2)
Pomacentridae		91	133	1137	4.8 (±2.1)	22.2 (±7.3)	56.9 (±37.3)
Scaridae		19	1	40	1.0 (±0.5)	0.2 (±0.4)	2.0 (±0.8)
Serranidae		11	483	529	0.6 (±0.5)	80.5 (±103.1)	26.5 (±23.4)
Siganidae		33	0	2	1.7 (±1.4)	0	0.1 (±0.1)
Atherinidae	Pelagic	1500	0	1500	78.9 (±65.4)	0	75.0 (±60.5)
Caesionidae		97	34	58	5.1 (±4.1)	5.7 (±8.8)	2.9 (±2.8)
Coral inhabited by fish		22	24	45	1.2 (±2.1)	4.0 (±0.7)	2.3 (±1.6)
Coral without fish		70	27	63	3.7 (±1.3)	4.5 (±3.8)	3.2 (±3.1)

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. הדגימה נעשית מסירה בשעות הבוקר. במהלך הפלגה רציפה נלקחות משמונה התחנות דוגמאות מים מעומק של כ-1 מ' לצורך מדידות במעבדה, באמצעות בקבוק ניסקין בנפח 5 ליטר של חברת GOFLO. בנוסף, נמדדת טמפרטורת מי השטח באמצעות מד-חום כספית ונאמדת עכירות המים לפי עומק סֶקי (secchi): מדידה בה מורדת מהסירה דסקה צבועה בלבן ובעלת קוטר קבוע ונרשם העומק אשר מעבר לו לא ניתן להבחין בה. כל התחנות נדגמות בפרק זמן של כשעה וחצי.

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

<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>: מדידות ה-pH במי הים מבוצעות 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.

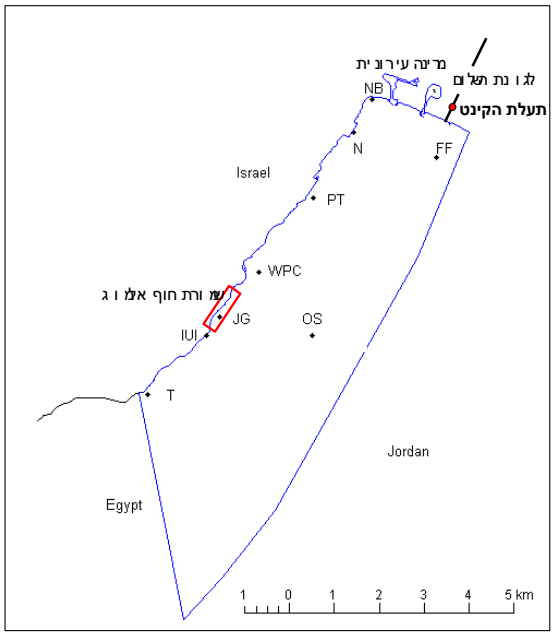
מליחות: מדידה במד מליחות מדגם Micro-Salinometer MS-310e של חברת RBR, קנדה. המדידה מבוססת על השראה מגנטית תוך השוואה של מוליכות הדגימה לזו של סטנדרט.

נוטריינטים: NO_2, NO_3, $Si(OH)_4$, PO_4 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"

<u>תוצאות</u>

מדדים כימיים

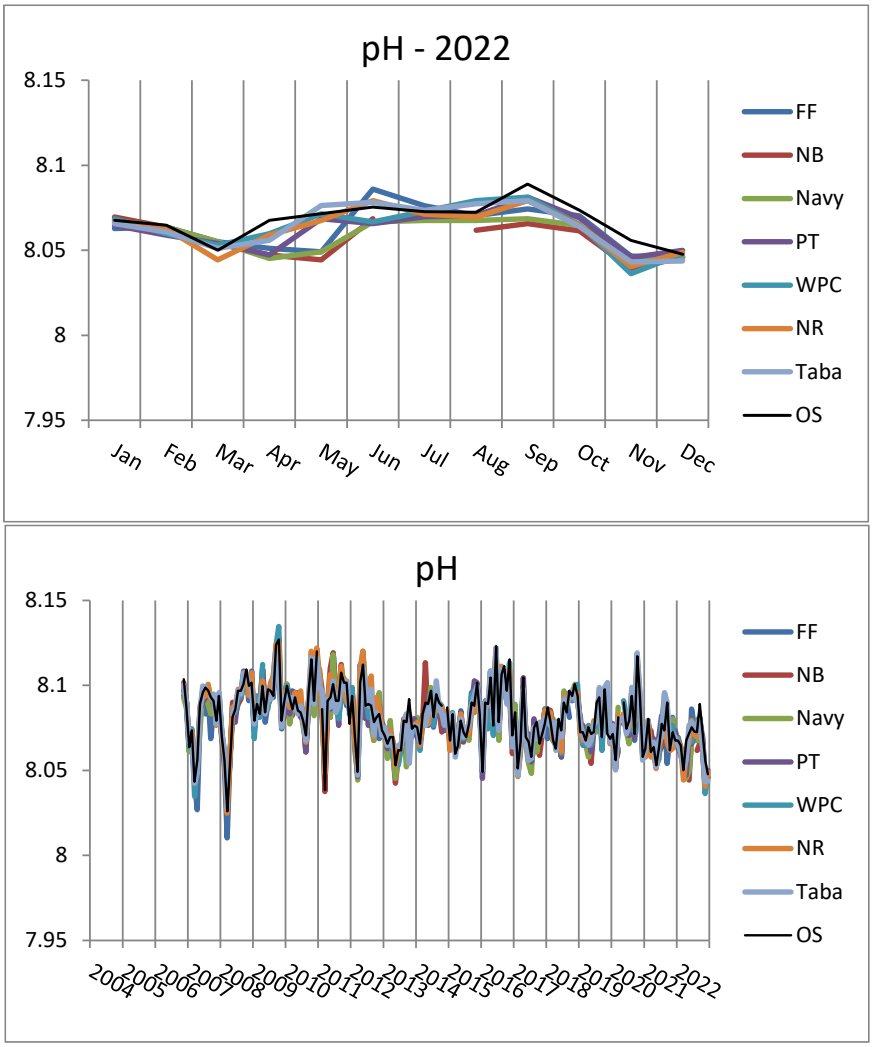
<u>רמת חומציות המים (pH)</u>

<u>תזכורת</u>: *עקב התיישנות תמיסות התייחסנו אל <u>כל ערכי pH אשר נמדדו במסגרת תכנית הניטור מאז חודש אוקטובר 2003 ועד לחודש נובמבר 2006 כחשודים</u> 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 השנה (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, <u>כל ערכי הגבה אשר נמדדו על ידי התכנית בשנים הקודמות חושבו מחדש ומדווחים כאן על פי הסקלה החדשה</u>.

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 8.05 בחודש מרץ ונמוך יותר, 8.047, בסוף השנה בדצמבר (איור ג2). ערכי ה-pH הגבוהים ביותר נמדדו גם השנה בחודש ספטמבר והגיעו בים הפתוח ל- 8.089, הערך הגבוה ביותר שנמדד השנה. ערכי ה-pH השנה דומים לאלו אשר נמדדו בשנה הקודמת ואינם חורגים מהטווח הנמדד בשנים האחרונות. בשנים הראשונות של המדידות היו שיאים נמוכים, בעיקר בשנים של ערבוב עמוק (2007,2008, 2012) אך השנה לא נמדדו ערכים כל כך נמוכים ומשרעת הערכים הכללית לא היתה 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. הערך הנמוך ביותר אשר נמדד השנה היה 8.036 בתחנת היחידה למניעת זיהום ים, בחודש נובמבר.



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 לודאי על ידי מחזור הערבוב השנתי. בתקופת החורף מתערבבים מי השטח עם מים עמוקים בהם ה-pH נמוך כתוצאה מעודף נשימה על פוטוסינטזה. בעונת הקיץ מופרדים מי השטח ומי העומק, ובמים העליונים פעילות פוטוסינטטית גורמת לעליית ה-pH. ערכי pH נמוכים ביותר נמדדו בשנות הערבוב העמוק 8-2007. השנה היה הערבוב לעומק בינוני 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. ממדידות 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

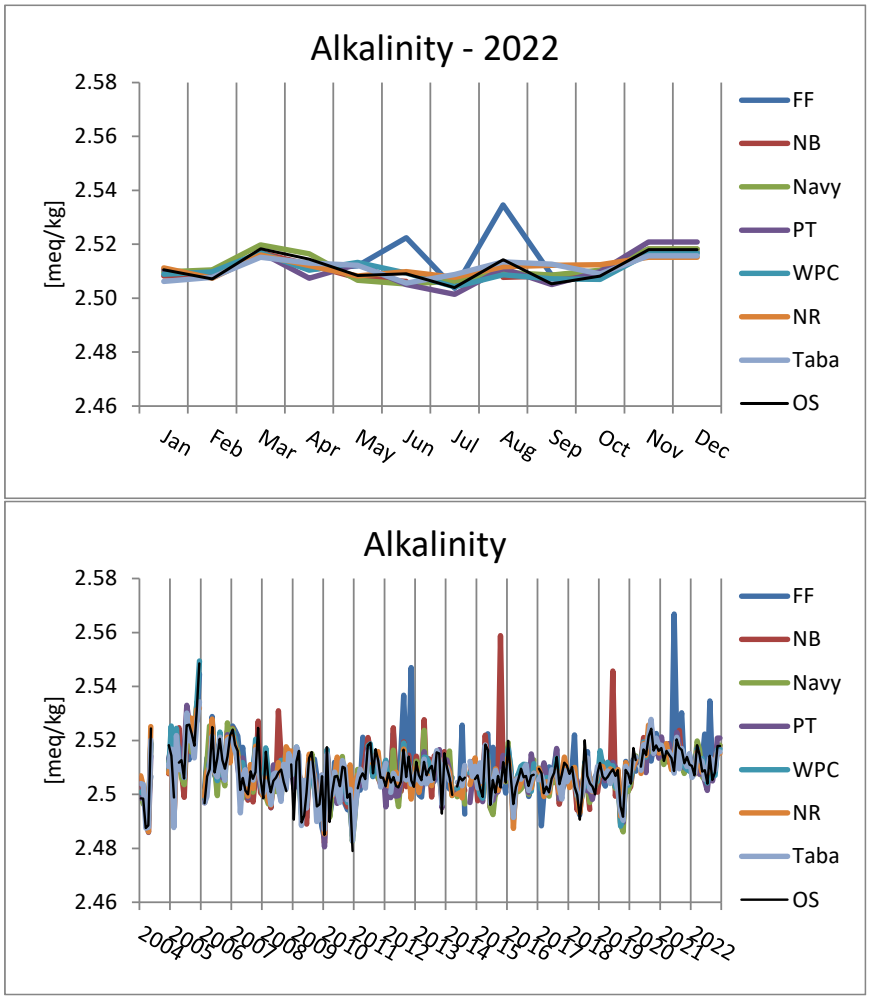
השקעת קלציום-קרבונט צפויים להיות קטנים במים פתוחים. על כן לא צפויים שינויים קיצוניים בערכי אלקליניות במי הים. כך, ניתן לעקוב אחר מחזור עונתי בו האלקליניות נמוכה בחודשי החורף וגבוהה יותר בחודשי הקיץ.

השנה נמצא ערך גבוה במיוחד של אלקליניות בתחנת "לובי הדגים" בחודש אוגוסט [2.535 meq/kg] ומעט פחות מזה אך עדיין גבוה באותה תחנה בחודש יוני [2.522 meq/kg], (איור ג3). גם בשנה הקודמת נמדדה בתחנה זו אלקליניות גבוהה, וערכי השנה נמוכים יותר אך מצביעים על כך שאלקליניות גבוהה ביחס לשאר התחנות אינה אירוע חריג בחדשי הקיץ בחוף הצפוני של אילת ובפרט בתחנת "כלובי הדגים".

הערך הנמוך ביותר אשר נמדד השנה בתחנת הים הפתוח היה [meq/kg] 2.504 בחודש יולי. הערך הגבוה ביותר בים הפתוח היה [meq/kg] 2.518 בחודשים מרץ, נובמבר ודצמבר.

ערך האלקליניות הגבוה ביותר אשר נמדד במסגרת תכנית הניטור הוא [meq/kg] 2.567, בתחנת "כלובי הדגים" בשנה הקודמת (2021), אך גם בתחנות אחרות בחוף הצפוני של אילת נמדדת מדי פעם אלקליניות גבוהה, למשל בתחנת "החוף הצפוני" בחודש אוקטובר בשנת 2015, [meq/kg] 2.559. גם מדידה זו היתה חריגה ביחס לערכי התחנות האחרות באותו יום (25 באוקטובר 2015) ונעשתה יום לאחר סופת גשמים שגרמה לכניסת נגר לים. אלקליניות גבוהה וריכוזי נוטריינטים גבוהים אפיינו את דוגמת המים מהחוף הצפוני ביום זה. גם בשנה הקודמת (2022), ריכוזי הנוטריינטים במי החוף בתחנת כלובי הדגים בחודש יוני היו גבוהים במיוחד. הניטור מבצע לאחרונה גם מדידות במים רדודים יותר, בסמוך למוצא הקינט וגם שם נמצאו מדידות חריגות בזמן זה. נראה כי המקור למדידות לערך החריג הוא משפך תעלת הקינט.

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.

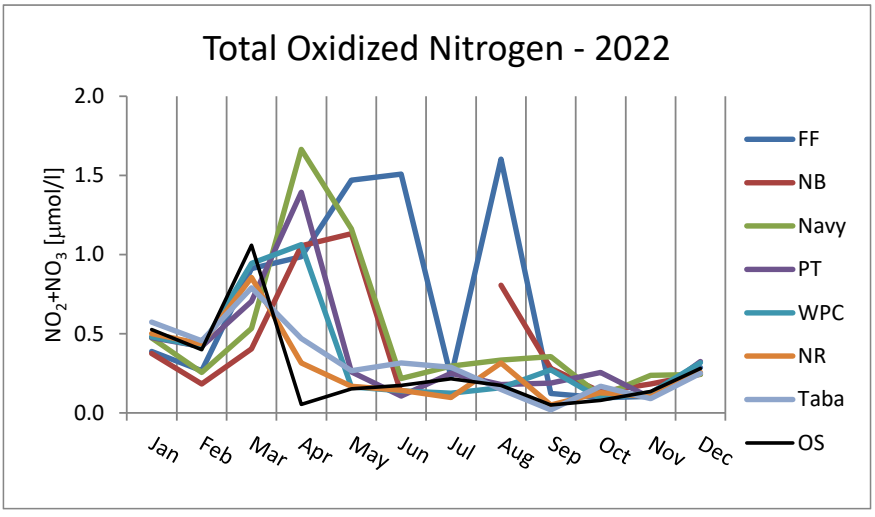
בקיץ זמינות החנקן מהווה גורם מגביל לגידול אצות, ואספקתו – אם ממקור חיצוני ואם ממי העומק בתקופת הערבוב - גורמת לפריחתן. פריחת אצות ממושכת ו\או אינטנסיבית עשויה לפגוע בשונית.

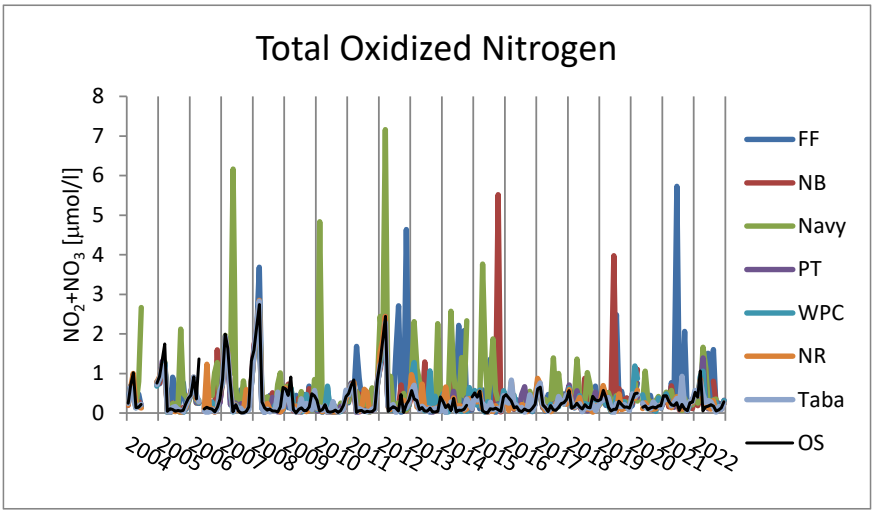
השנה נמצאו ריכוזי החנקן הגבוהים ביותר בתחנת "חיל הים" בחודש אפריל (1.664 µmol/l) אבל בתחנת "כלובי הדגים" נמדדו ריכוזים גבוהים כמעט באותה מידה בחודשים מאי-יוני ואוגוסט, לאחר תום הערבוב (איור 4ג). ריכוזים אלה, נמוכים במידה רבה מאלה שנמדדו בשנה הקודמת בתחנת "כלובי הדגים" (5.729 µmol/l בחודש יוני) וייצגו ללא ספק תרומת נוטריינטים ממקור חיצוני – ככל הנראה דרך מוצא תעלת הקינט. ריכוז החנקן אשר נמדד בחודש יוני 2021 היה הגבוה ביותר אשר נמדד במסגרת ניטור התחנות החופיות מאז הערבוב העמוק של שנת 2012, וריכוזיי החנקן השנה, על אף הערבוב העמוק, 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 חיצונית. כניסות אלה יכולות להיות כתוצאה ממי נגר בהקשר לאירועי גשמים בחורף, אך בעיקר בקיץ כנראה קשורים להזרמה מתעלת הקינט כפי שמשתקף בערכים גבוהים אשר נמדדו במוצא התעלה.

ריכוזים גבוהים נמדדו השנה גם בתחנות חופיות אחרות, בחודשים מרץ-אפריל ואפילו מאי, אך אלה נמוכים ודועכים בתחנות הדרומיות ומייצגים כנראה את השפעות הערבוב העמוק.

ריכוז החנקן הגבוה ביותר בים הפתוח היה השנה בחודש פברואר, 1.060 µmol/l, גבוהה בהרבה מהריכוז המרבי בשנה הקודמת כצפוי בשנה של ערבוב עמוק – אך נמוכים בהרבה מהריכוזים שנמדדו בעקבות הערבובים העמוקים בשנים 2007, 2008 ו- 2012.





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.

<u>אמוניה (NH_4)</u>

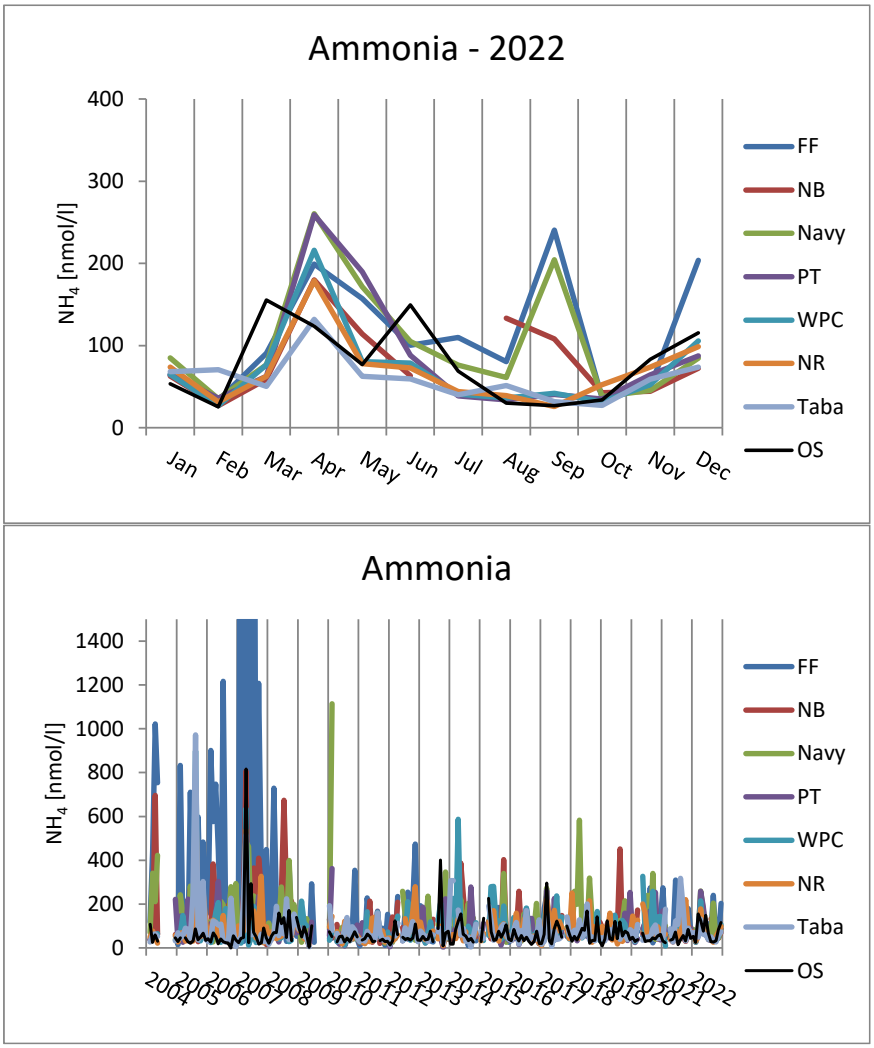
קשיי דגימה אשר מקורם בבלאי מתמשך של בקבוקי הדגימה גרמו לכך שבתקופה מסויימת הועברו מים מהבקבוקים לכלי המעבדה בזמן ההפלגה. תהליך זה גרם לעיתים "לזיהום" של דוגמאות האמוניה, אשר מדידתם רגישה ביותר, ועקב כך רבים מערכי האמוניה אשר נמדדו לא עמדו במבחן בדיקות האיכות ואינם מובאים להלן. תכנית הניטור רכשה בשנת 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 בחודשים אפריל ויוני ונמוכים בסוף הקיץ, בחודשים אוגוסט-אוקטובר. פעמים רבות נמדדים בתחנות החופיות ריכוזי אמוניה גבוהים מאשר בתחנת הים הפתוח. השנה נמצאו ריכוזים גבוהים בחודש אפריל ומשוייכים כנראה להשפעת הערבוב העמוק. בנוסף לכך נמדדו ריכוזי אמוניה גבוהים בתחנות הצפוניות, ובעיקר ב"כלובי הדגים" ו"חיל הים" בחודש ספטמבר, גבוהים בהרבה מהריכוזים בתחנות הדרומיות ובים הפתוח (איור ג5).

ריכוז האמוניה הגבוה ביותר אשר נמדד השנה בתחנת הים הפתוח היה 155 nmol/l, בחודש מרץ, גבוה בהרבה מהשנה הקודמת וכנראה קשור לערבוב העמוק.

עם זאת, בסך הכל, מאז שנת 2008 ערכי אמוניה בתחנות החופיות בדרך כלל נמוכים, ובפרט בתחנות הצפוניות הריכוזים 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 (NH_4) concentrations measured this year at the monitoring coastal stations. Bottom, monthly ammonia concentrations at the coastal water sampling stations since 2004.

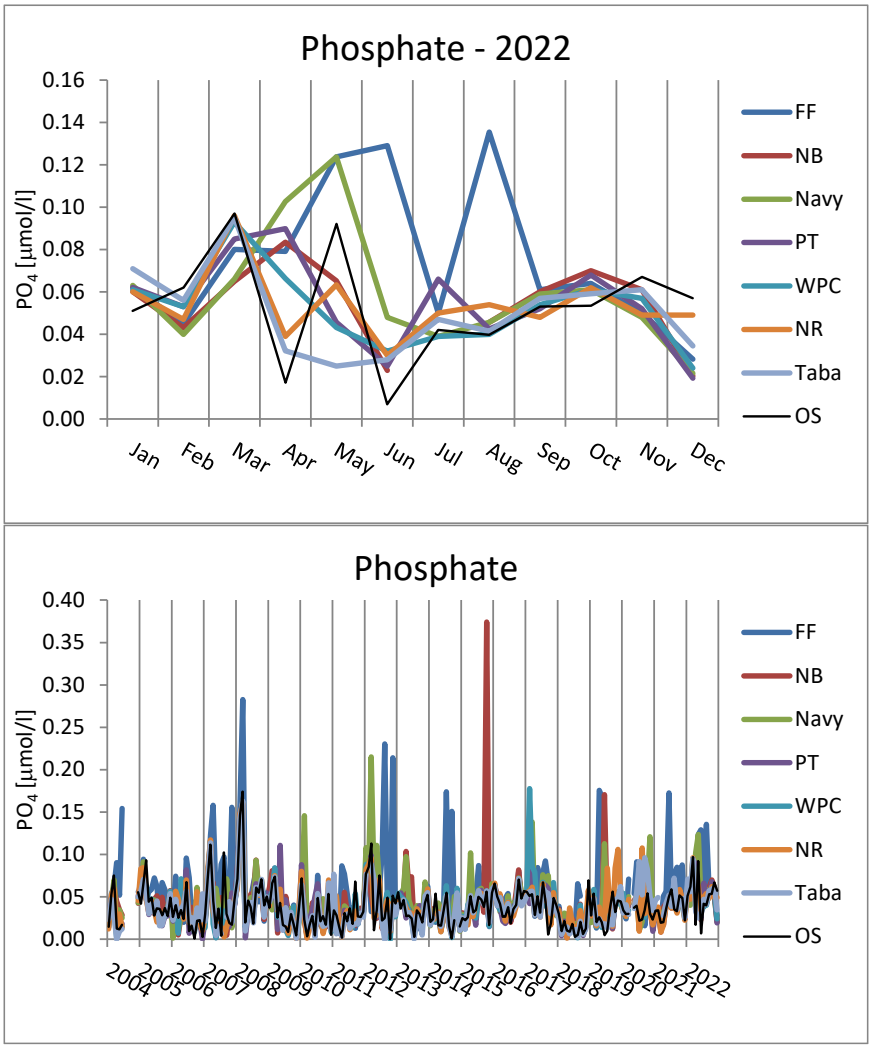
<u>פוספט (PO_4^{-3})</u>

ריכוזי פוספט בתחנות החופיות ובים הפתוח מראים 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. ריכוזי פוספט מקומיים גבוהים באופן חריג בתחנות החופיות עשויים להצביע על העשרה מקומית בנוטריינטים.

גם בריכוזי הפוספט, בדומה לחנקן, נמצאו ריכוזים גבוהים בתחנות "כלובי הדגים" ו"חיל הים" בחודשים מאי ויוני, אף כי הערך הגבוה ביותר השנה נמדד בתחנת "כלובי הדגים" בחודש אוגוסט (0.135 µmol/l, איור ג6).

הריכוז הגבוה ביותר בים הפתוח נמדד בחודש מרץ, 0.097 µmol/l, גבוה מהערך המרבי בשנה הקודמת, כצפוי בעקבות הערבוב העמוק.

ריכוז הפוספט הגבוה בתחנות הצפוניות מתאים לריכוז החנקן הגבוה שם ומצביע על העשרה מקומית בנוטריינטים.



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

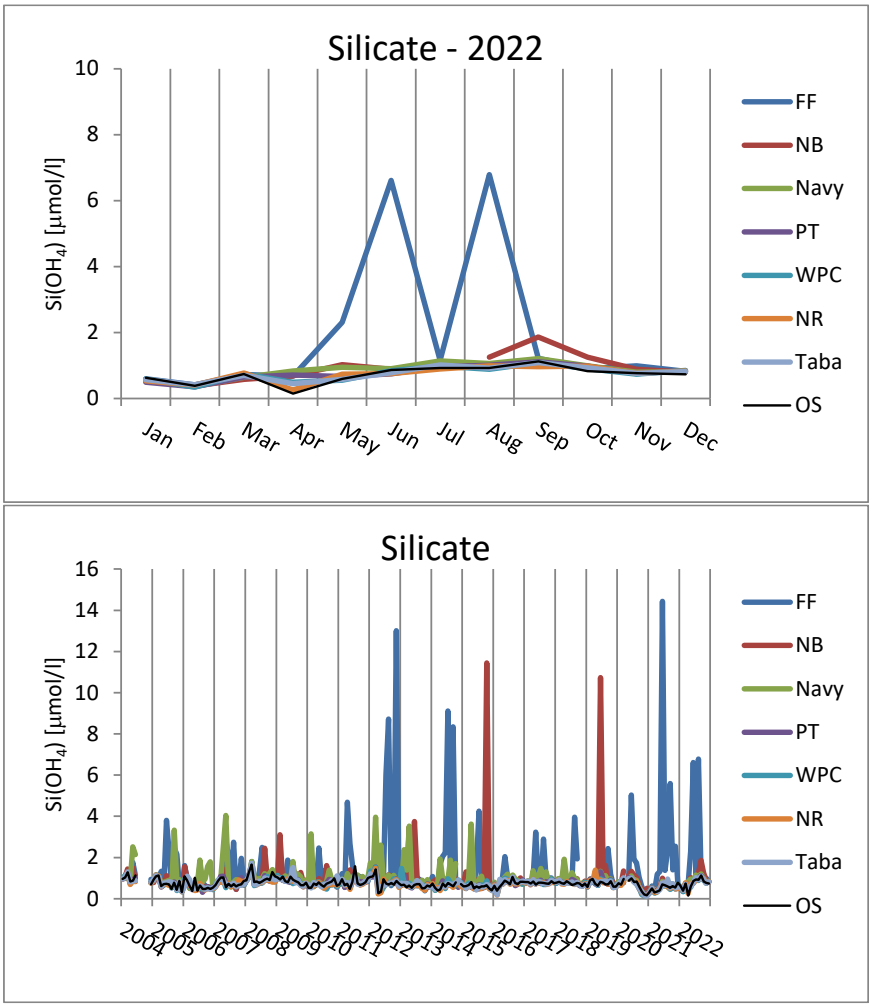
<u>סיליקה ($Si(OH)_4$)</u>

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 היו נמוכים לאורך כל השנה, ובמיוחד באפריל בו כנראה היתה שיא הפריחה של אצות צורניות. אך גם בנוטריינט זה נמצאו בחודשים יוני וספטמבר ריכוזים גבוהים באופן חריג בתחנת "כלובי הדגים" (איור ג7). ריכוז הסיליקה בחודש יוני ואוגוסט ערכים גבוהים באופן חריג בתחנת "כלובי הדגים" בחוף הצפוני של אילת. הערך המרבי אשר נמדד השנה היה 6.78 µmol/l בחודש אוגסט, פחות ממחצית הערך החריג בתחנה זו בשנה הקודמת.

על אף הערבוב העמוק השנה לא נמצאו ערכים גבוהים מאד בריכוזי הסיליקה ברוב התחנות, בעיקר בהשוואה מהערכים המקומיים החריגים הנמדדים מדי פעם בתחנות הצפוניות. 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.
באזור החוף הצפוני של אילת עדיין נמדדים לעיתים קרובות ריכוזי סיליקה גבוהים יחסית לערכי הים הפתוח והתחנות הדרומיות. והריכוזים הגבוהים נמדדים לרוב ביחד עם ריכוזים גבוהים של נוטריינטים אחרים ומצביעים על העשרה מקומית, כנראה זרימת מים לים דרך תעלת הקינט.



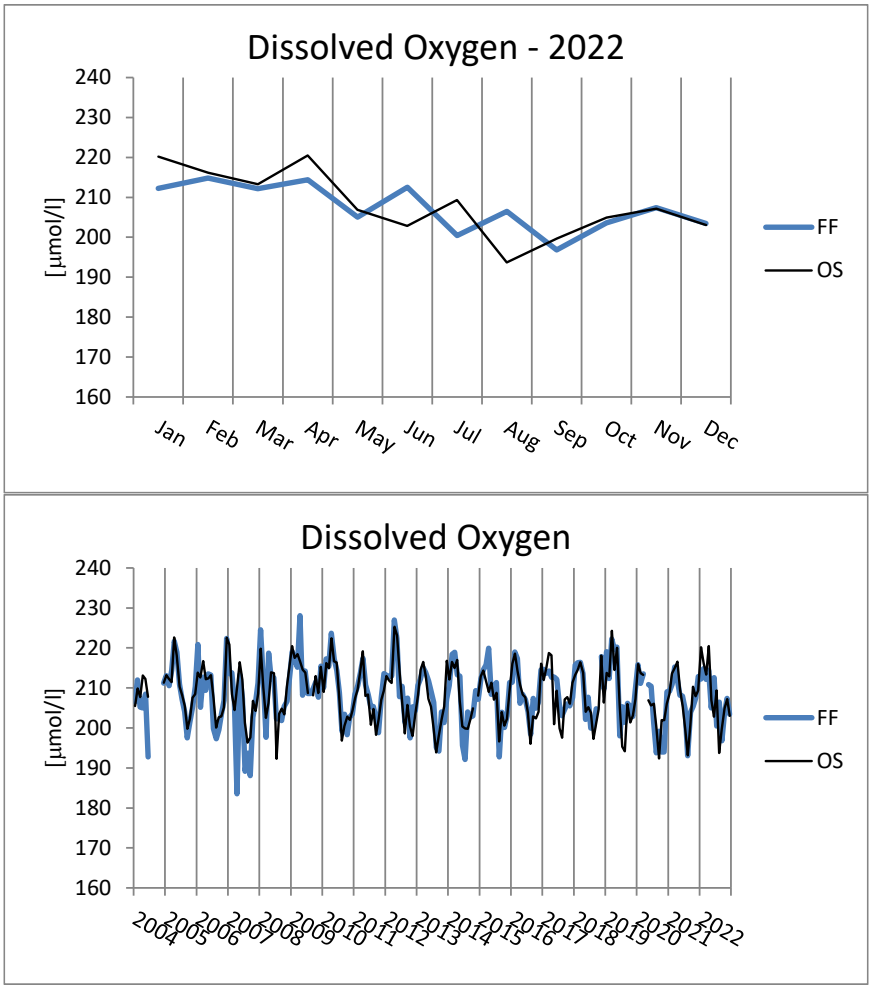
איור ג7: למעלה, ריכוזי סיליקה ($Si(OH)_4$) שנמדדו השנה בתחנות החופיות. למטה, ריכוזי סיליקה חודשיים בתחנות הניטור החופי מאז שנת 2004.

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 220 µmol/l בחודש אפריל ל- µmol/l 194 באוגוסט (איור ג8). ריכוזי החמצן בתחנת "כלובי הדגים" אינם שונים בהרבה, ובסך הכל, על אף הערבוב

העמוק השנה, אין הבדלים גדולים בריכוזי החמצן המומס בפני הים בשנים האחרונות. בשנים קודמות של ערבוב עמוק היה ריכוז החמצן במים העליונים מעט גבוה יותר, אולם לא במידה משמעותית. כאמור, נראה שבכל שנה מגיעים המים העליונים לרוויה מבחינת תכולת החמצן המומס. ריכוזי החמצן המומס בתחנת "כלובי הדגים" אינם חורגים ממשרעת הערכים אשר נמדדו בים הפתוח, בניגוד להבדלים הגדולים אשר נמדדו לפני 2009 – אז פריחות מקומיות כתוצאה מהעשרה בנוטריינטים וניצול החמצן לצורך חימצון חומר אורגני גרמו לעיתים קרובות למשרעת ריכוזי חמצן מומס גדולה יותר בתחנת "כלובי הדגים".



איור 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.

כלורופיל *a*

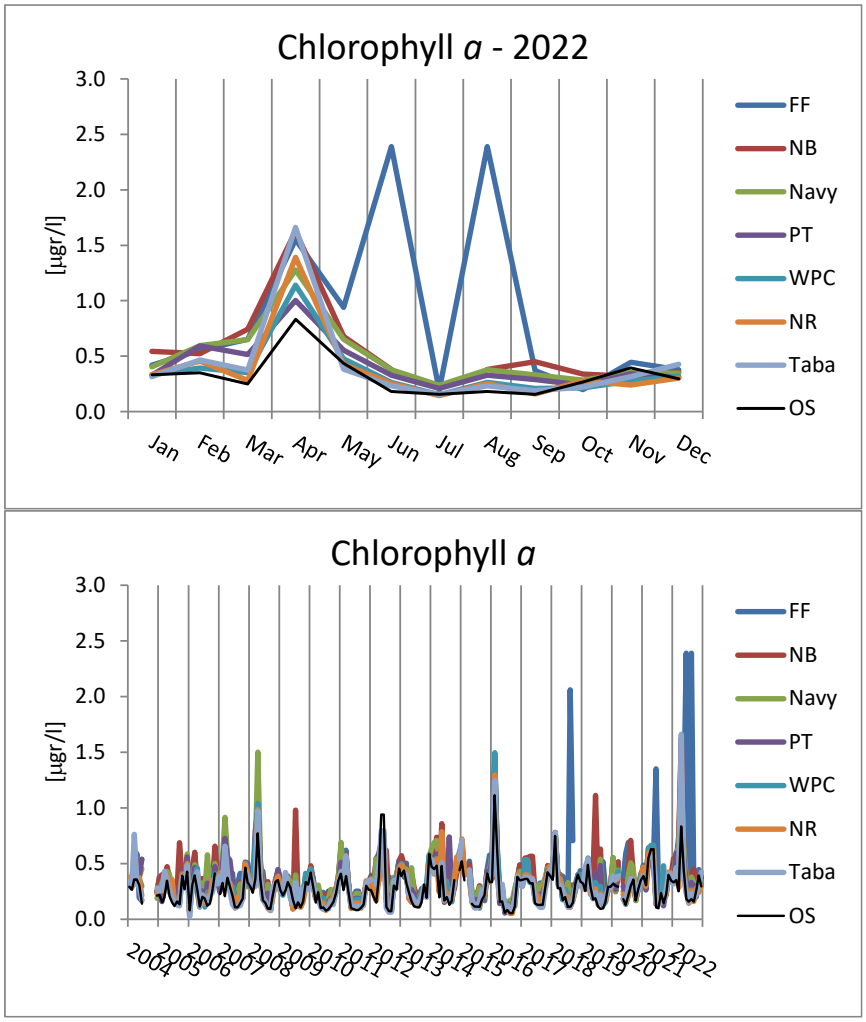
ריכוז כלורופיל *a* קשור ישירות למחזור הערבוב השנתי המספק חומרי מזון ויוצר פריחות פיטופלנקטון בחודשי האביב. בדרך כלל נמדדים ריכוזים נמוכים יותר בתחנת הים הפתוח ובתחנות הדרומיות, וגבוהים יחסית בתחנות הצפוניות.

ריכוז כלורופיל *a* משמש מדד לצפיפות הפיטופלנקטון במי השטח ועל כן בעל אופי מקומי יותר מריכוזי התרכובות המומסות (הן בזמן והן במרחב). בימים אוליגוטרופיים (=עניים בחומרי מזון) מוגבלת כמות האצות על ידי זמינות נוטריינטים ולכן אספקת נוטריינטים עשויה לגרום לפריחה מקומית של אצות. עליית ריכוז הכלורופיל בחודשי החורף והאביב נובעת מערבוב מי השטח עם מי עומק עשירים בנוטריינטים וכתוצאה מכך – 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 גם השנה (איור ג9). ריכוז הכלורופיל הגבוה בתחנת הים הפתוח נמדד בחודש אפריל (0.83 µgr/l) בעקבות הערבוב העמוק, וגם ברוב התחנות החופיות נמדד בחודש זה שיא בריכוזי הכלורופיל. עם זאת, בחודשים יוני וספטמבר נמדדו בתחנת "כלובי הדגים" ערכים גבוהים בהרבה מערכי חודש אפריל (2.39 µgr/l). שיאים אלה בריכוז הכלורופיל בתחנה זו מתאימים לשיאים שנמדדו שם בריכוזי הנוטריינטים האחרים בחודשים יוני-ספטמבר, וגם לערכים גבוהים של ריכוזי חמצן מומס המצביע על פריחות אצות (ראו למעלה). ריכוזי הכלורופיל אשר נמדדו בקיץ השנה בתחנת "כלובי הדגים" הם הגבוהים ביותר שנמדדו במסגרת הניטור החופי. 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.

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 והשנה, 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 נמדדים ריכוזי כלורופיל מקומיים גבוהים, בפרט בתחנות הצפוניות, ומצב זה דורש מעקב אחר מקורות כניסת חומרים לים.



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

Figure C9: Top, chlorophyll-*a* concentrations measured this year at the monitoring coastal

stations. Bottom, monthly chlorophyll-*a* concentrations at the coastal water sampling stations since 2004.

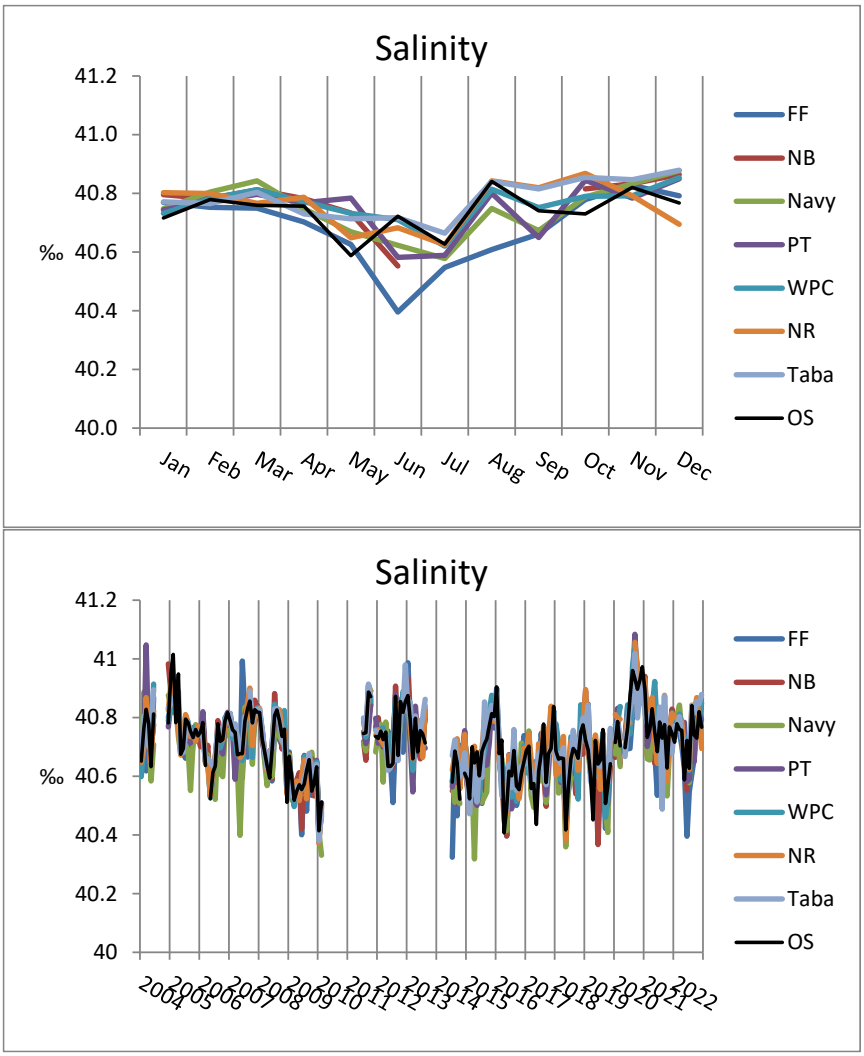
מדדים פיסיקליים

מליחות

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

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

הפרט הבולט ביותר במדידות המליחות בתחנות החופיות השנה הוא הערך הנמוך שנמדד בתחנת כלובי הדגים בחודש יוני (40.396 ‰) בהשוואה למליחות בתחנות האחרות ובפרט לתחנת הים הפתוח (40.723 ‰, איור ג10). גם בתחנות החופיות האחרות, מלבד בדרומיות – השמורה וטאבה – היתה המליחות בחודש יוני נמוכה מאשר בים הפתוח. זוהי, אולי, עדות לחדירת מים בעלי מליחות נמוכה באזור תחנת "כלובי הדגים" (תעלת הקינט) אשר מתקדמים ונמהלים בדרכם דרומה לאורך החוף.



איור ג10: למעלה, ערכי מליחות שנמדדו השנה בתחנות החופיות. למטה, ערכי מליחות חודשיים בכל התחנות החופיות מאז אוקטובר 2004. *מרווחים בנתונים נובעים מתקלות במכשיר המדידה.*

Figure C10: Top, salinity measured this year at the coastal stations. Bottom, Monthly salinity at

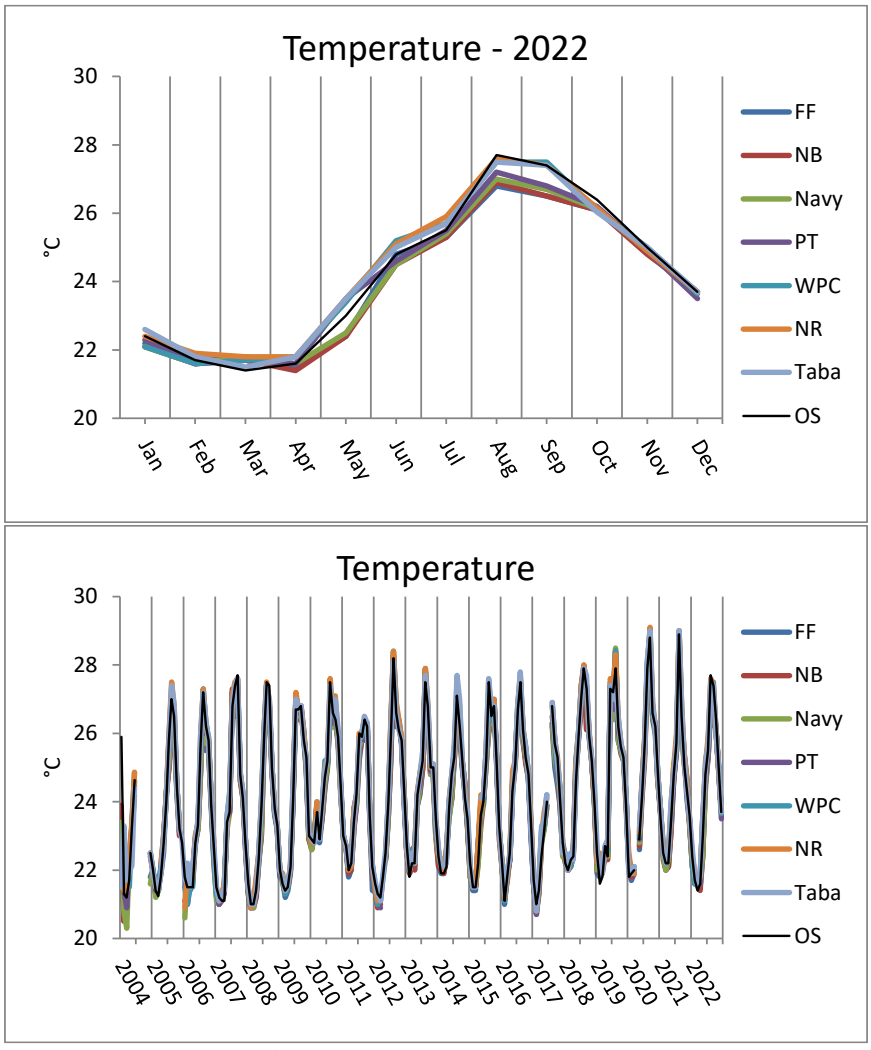
all coastal water monitoring stations since October 2004. ***Gaps in the data reflect failure of the analytical instrument.***

<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, 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. בשנת 2020 נמדדה ב"שמורת האלמוגים" הטמפרטורה המרבית שנמדדה עד כה במסגרת הניטור החופי (29.1°C) והערך המרבי הקודם היה 28.4 °C, בקיץ 2012.

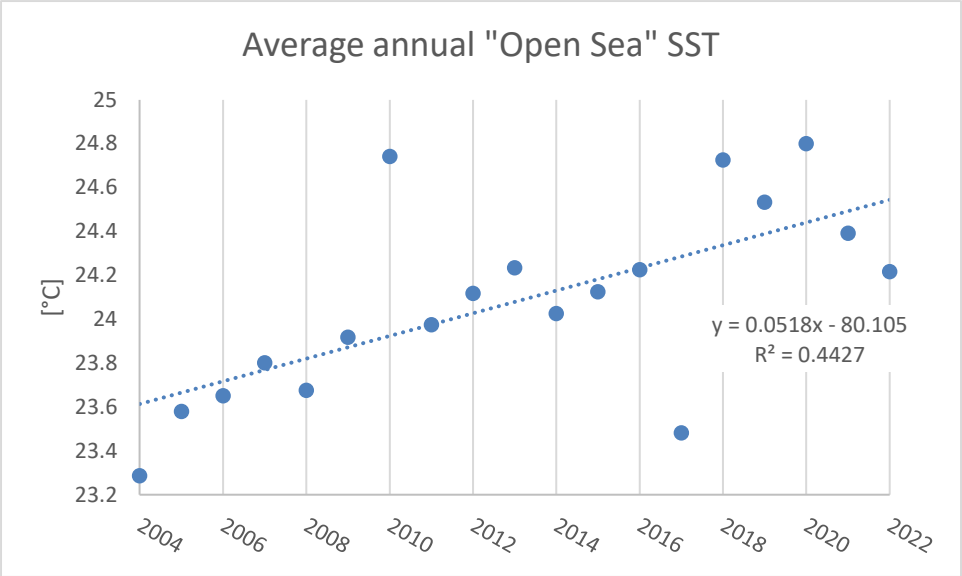
טמפרטורת פני הים הגבוהה אשר נמדד השנה בתחנת הים הפתוח היתה 27.7°C בחודש אוגוסט, יותר ממעלה נמוך בהשוואה לשנה הקודמת. הטמפרטורה המזערית היתה 21.04°C, בחודש מרץ, ומשקפת את החורף הקר שהוביל לערבוב העמוק השנה (איור ג11).



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

Figure C11: Top, sea surface temperatures measured this year at the coastal stations. Bottom, Monthly SSTs at all coastal water monitoring stations since October 2004.

ממוצע הטמפרטורות השנתי המדוד בתחנת הים הפתוח היה השנה 24.2°C, רק מעט נמוך מזה של השנה הקודמת (24.4°C), על אף החורף הקר והערבוב העמוק (איור ג12). הממוצע השנתי הגבוה ביותר בתחנת הים הפתוח היה בשנת 2020 אשר היתה "החמה" ביותר עד כה, עם ממוצע מדידות של 24.8°C. השנה החמה ביותר הקודמת היתה 2010 (24.7°C) אז היתה משרעת טמפרטורות קטנה והממוצע היה גבוה בעקבות טמפרטורת חורף גבוהה. במשך הזמן מתועדת עליה מתמשכת בטמפרטורת פני הים השנתית הממוצעת הנמדדת בתחנת "ים פתוח" במסגרת ניטור התחנות החופיות. מגמת העליה היא בשיעור גבוה מחצי מעלה בעשור (>1/2°C /10 years).



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

Figure C12: Annual average SST at the "Open Sea" sampling station displays a rising trend greater than 1/2°C per decade.

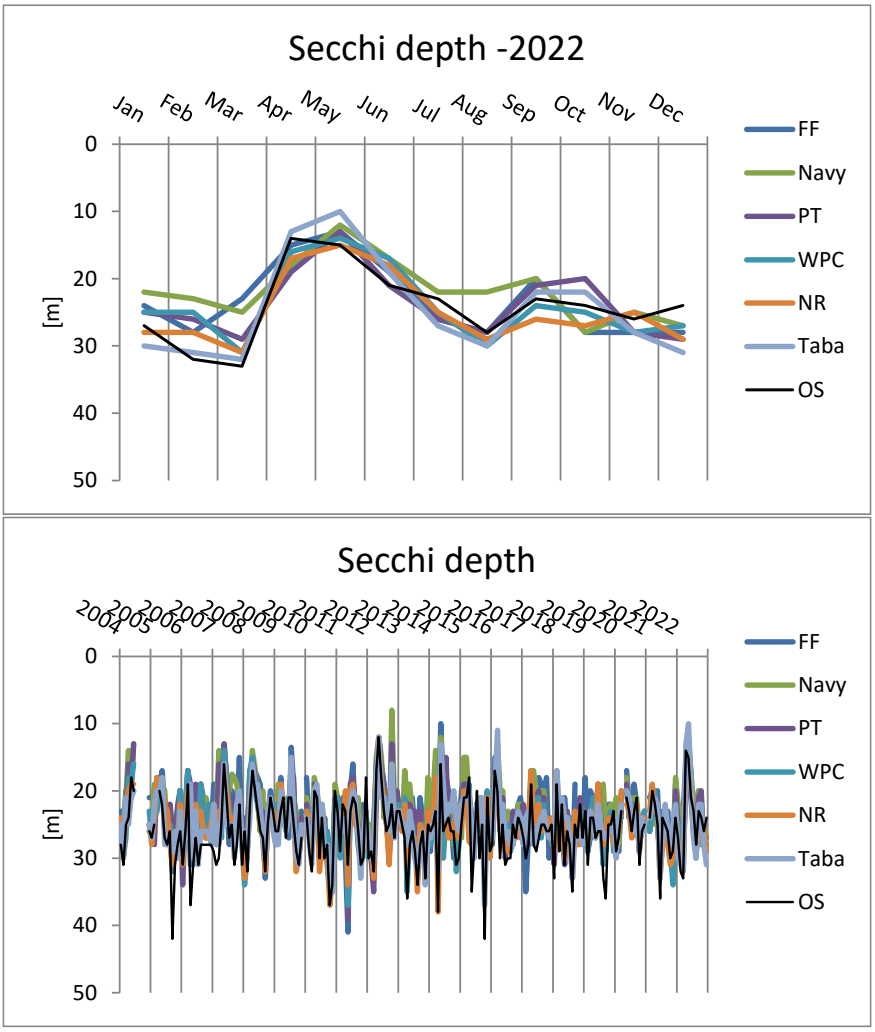
<u>עכירות</u>

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.

השנה, בעקבות הערבוב העמוק היתה פריחת פיטופלנקטון חזקה וארוכה והמים היו עכורים במשך שבועות רבים. בים הפתוח נמדד השנה עומק מזערי של 14 ו-15 מ' בחודשים אפריל ומאי, בהתאמה (איור ג13). בשנה הקודמת עומק הסקי המזערי בתחנת הים הפתוח היה 20 מטרים בחודש מרץ. בקיץ המים הצטללו ועומק הסקי בים הפתוח באוגוסט היה 28 מטרים, גם כן קטן בהשוואה לשנה הקודמת (36 מ' בחודש יוני 2021). בתחנות החופיות נמדד לרוב עומק סקי נמוך מאשר בים הפתוח אך בסוף השנה היה עומק הסקי ברוב התחנות החופיות גדול 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

ערכי רוב המדדים במי השטח גבוהים יותר בחודשי החורף מאשר בקיץ. התהליך השולט ברוב המדדים הכימיים, הפיסיקליים והביולוגיים הנמדדים בתחנות הניטור החופיות הוא מחזור הערבוב השנתי. מחזור זה נשלט על ידי קירור וחימום מי השטח, אשר להם מחזוריות עונתית ברורה. בעונת החורף טמפרטורת מי השטח דומה לטמפרטורה בעומק, ונוצר גוף מים אחיד במאות המטרים העליונים במפרץ. בקיץ, מים חמים בפני הים יוצרים שכוב תרמי המפריד את עמודת המים למי שטח ולמי עומק אשר מעבר החומר ביניהם מועט.

השנה, בפעם הראשונה מאז שנת 2012, עורבבה עמודת המים עד לפחות לעומק הקרקעית בתחנה A, כ-730 מטרים. 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 האחרונות עומק הערבוב נע סביב 450 מטרים. לפיכך, בכל העשור האחרון נצברו חומרי דשן (נוטריינטים) במים העמוקים והערבוב העמוק של החורף העלה אותם לשכבה המוארת שם הזינו פריחות חזקות וממושכות. המים העליונים היו "ירוקים" עד לחודש יוני. פריחות פלנקטון שגרמו לעכירות וריכוזי כלורופיל גבוהים נמשכו מאמצע חודש מרץ ועד לתחילת חודש יוני.

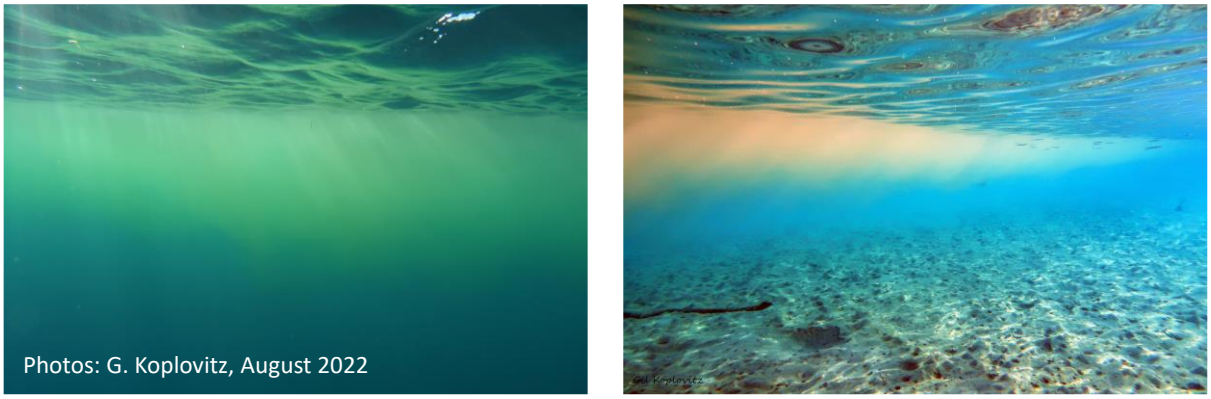
בנוסף למחזור השנתי הטבעי הזה, נראה כי למי החופים חודרים לעיתים זיהומים ממקורות חיצוניים אשר משנים את הרכבם. שינויים אלה נמדדים לרוב רק בקרבת מקור הזיהום, או במורד הזרם ממנו. מיהול וערבוב יעילים יותר בחודשי החורף בהם גוף המים העליונים גדול יותר, ועל כן קשה יותר לזהות זיהומים בחורף. בקיץ לעומת זאת, עשויה 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.

למרות שערבוב השנה היה עמוק וכתוצאה מכך נמדדו ערכים גבוהים לרוב המדדים החל מחודשי החורף ועד לתחילת הקיץ, ניתן היה לאבחן גם חריגות מקומיות בתחנות החופיות הצפוניות – בחודשי הקיץ יוני-ספטמבר, בפרט בריכוזי נוטריינטים (יוני-אוגוסט) וריכוזי האמוניה היו גבוהים בתחנת "כלובי הדגים" גם בספטמבר. בחודש יוני גם נמדדה בתחנת "כלובי הדגים" מליחות נמוכה המצביעה על חדירת מים מן החוף – ככל הנראה דרך תעלת הקינט.

תכנית הניטור ביצעה השנה מדידות במוצא תעלת הקינט אל הים, בסמוך לתחנת "כלובי הדגים" (עומק המים בהם נדגמות תחנות הניטור החופי הוא 20 מטרים והמדידות בפתח תעלת הקינט נעשו בעומק מים של כשני מטרים בלבד). גם במדידות אלה, במוצא הקינט נמצאו ריכוזי נוטריינטים גבוהים במיוחד בחודשי הקיץ ומליחות נמוכה בכל הקיץ שהגיעה לערך הנמוך ביותר בחודש נובמבר, ‰ 39.60. זהו ערך נמוך בהרבה ממליחות מי הים בצפון המפרץ ואין ספק שהוא מצביע על מקור מים חיצוני. 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, אף כי כתם המליחות הנמוכה במוצא הקינט ובתחנת "כלובי הדגים" במשך חודשי הקיץ מצביע על מקור המים. סביר שמים אלה נשאו עמם גם נוטריינטים בריכוזים גבוהים מאלה של הסביבה הימית הטבעית והם שהזינו את הריכוזים הגבוהים שנמדדו.

עוד ראוי לציין שלעיתים קרובות שכבת המים העליונה ביותר, סמוך לפני הים, בקרבת תעלת הקינט עכורה באופן בולט (איור ג14).



איור ג14: שכבה עכורה נצפתה לעיתים קרובות בפני הים בקרבת תעלת הקינט אשר מזרימה מי נגר ושפכים לים באזור החוף הצפוני של אילת.

Figure C14: A turbid upper layer was often observed near the Kinet channel that collects runoff and effluents and runs to the sea at Eilat's northern beach.

השנה היתה "קרה" יותר מהשנה הקודמת, הטמפרטורות בפני הים היו נמוכות בחודשי החורף והובילו לערבוב עמוק של עמודת המים. גם בקיץ השנה היתה טמפרטורת פני הים נמוכה מזו של השנה הקודמת, ובסך הכל הטמפרטורה הממוצעת השנתית היתה נמוכה מזו של השנים האחרונות ודומה לזו של שנת 2016. עם זאת ניכר שמגמת החימום של פני הים נמשכת ועל אף השנה הקרה והערבוב העמוק, הטמפרטורה הממוצעת היתה דומה או גבוהה מזו של כל השנים הקודמות לשנת 2016 (מלבד שנת 2010 שהיתה חמה באופן חריג).

ג.2. לרוות דגים בסמוך לשונית ובחוף הצפוני

<u>מטרה</u>

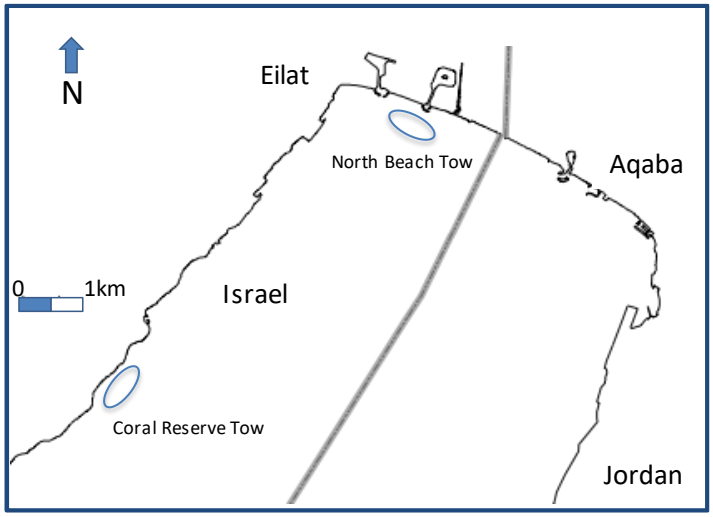
מעקב כמותי אחר שינויים באספקת לרוות של דגים לשוניות האלמוגים של אילת.

<u>שיטות</u>

אמדן כמותי של כמות לרוות הדגים המצויות בסמוך לחופי אילת בשני אזורים – החוף הצפוני והחוף הדרומי בסמוך לשמורת חוף אלמוג (איור ג15). 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. רשת כפולה (bongo) של 300 מיקרו-מטר בקוטר של 0.7 מטר נגררת במהירות של עד 2 קשר למשך חמש דקות. לכל גרירה נעשות שלוש חזרות.

נפח המים העובר ברשת נמדד באמצעות מד שטף (TSK) והתוצאות מנורמלות לנפח מים.

הדוגמאות נשמרות על קרח עד להגעה למעבדה. במעבדה הדוגמאות מקובעות בפורמלין 4% והדוגמה כולה עוברת ספירה ומיון תחת בינוקולר.



איור ג15: מיקום גרירות הרשת לאיסוף פלנולות ולרוות, בסמוך לחוף הצפוני ולשמורת חוף אלמוג.

Figure C15: Locations of plankton net tows adjacent to the North Beach and the Coral Nature Reserve of Eilat.

<u>תוצאות</u>

זו השנה הרביעית בה נעשות גרירות לאיסוף לרוות בפרוטוקול גרירה אחיד. השינויים שנערכו בהשוואה לשנה הראשונה (2018) הם שימוש ברשת כפולה לצורך איסוף לרוות, עבודה ברצף מספינת המחקר, המאפשרת שליטה טובה יותר במיקום וקצב ההפלגה, ומועד הגרירות שונה לעונת קיץ. השנה נעשו הגרירות ב- 5.9.2022, בשעות הבוקר.

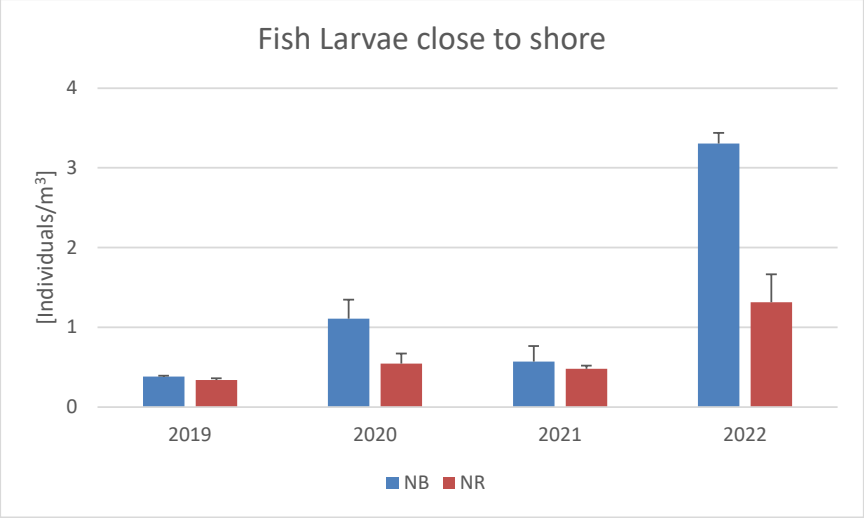
הרשת לדגימת לרוות הינה רשת כפולה מסוג bongo ונפח המים המחושב אשר סונן היה כ- 200 מ"ק בכל גרירה, בממוצע. כמות הלרוות הנלכדות בצורה זו גבוהה משמעותית מהכמות אשר נלכדה בשנה הראשונה בה נעשה הסקר (איור ג16).

השנה – אולי בעקבות הערבוב העמוק ואולי מסיבות אחרות – היו כמויות הלרוות שנספרו בשמורה גדולות בערך פי שלושה בהשוואה לשנה הקודמת ובחוף הצפוני כמעט פי ששה. לרוב נמצאות יותר לרוות באזור החוף הצפוני אך השנה היה ההבדל משמעותי עוד יותר. מול שמורת האלמוגים נספרו השנה בסך הכל 856 לרוות דגים (לעומת 286 בשנה הקודמת), ומול החוף הצפוני 1822 (312). צפיפות (מספר פרטים למ"ק) היתה כ- 1.3 מול שמורת האלמוגים וכ- 3.3 בחוף הצפוני (איור ג17).

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

איור ג16 : לרוות דגים שנאספו בקרבת החוף באתר החוף הצפוני (NB) ובקרבת שונית האלמוגים באתר שמורת חוף אלמוג (NR).

Figure C16: 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 ג17 : צפיפות לרוות דגים בקרבת החוף באתר החוף הצפוני (NB) ובקרבת שונית האלמוגים בשמורת חוף אלמוג (NR).

Figure C17: 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>

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

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)

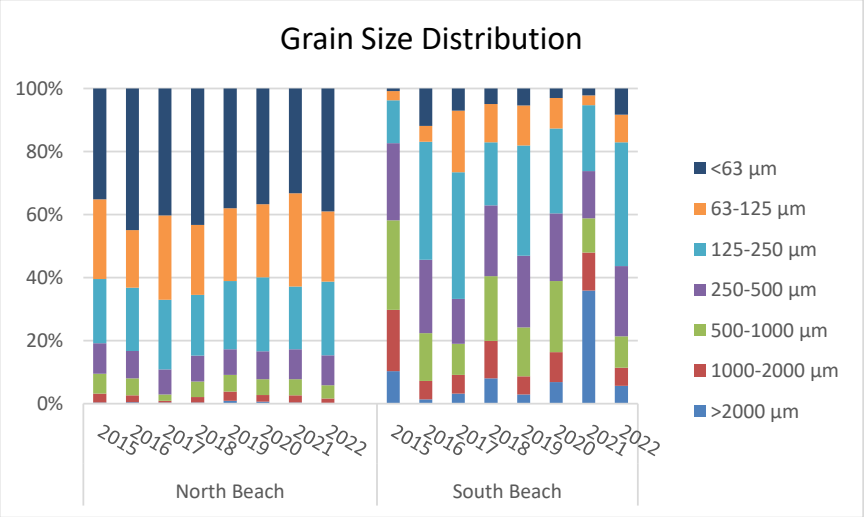
שני האתרים הנבחנים, בחוף הצפוני ובחוף הדרומי, בעלי מאפיינים פיסיוגרפים שונים. אתר החוף הצפוני בעל שיפוע קרקעית מתון וחשיפה גדולה לכניסת נגר מן החוף, אם באירועי שיטפונות או דרך תעלת הקינט. הקרקעית החולית מאופיינת בהרבה חומר ממוצא יבשתי, ומרבדים של עשב ים נפוצים באזור. אתר החוף הדרומי נמצא על המדרון המערבי 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: בשנים בהן בוצע הסקר (2015-2022) אתר החוף הצפוני מאופיין במרכיב גדול (לרוב, יותר מ- 60%) של סדימנט דק, בעל גודל גרגר קטן מ- 125 µm, ובחוף הדרומי מרכיב זה קטן מ- 30% וברוב השנים גם נמצא קטן מ- 20% (איור ג18).

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 בשנים האחרונות 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, ובשנים האחרונות ירדה מחדש. השנה שוב גדל מרכיב זה בהשוואה לשנים האחרונות ומהווה

יותר ממחצית משקל הסדימנט (56%). גם שאר פרקציות הגודל מראות שינויים במהלך שנות הניטור. בשנה הקודמת המרכיב הגס, גדול מ- 2000 µm, היה גדל במיוחד והיווה כ-35% מכלל משקל הסדימנט בתחנת הניטור הדרומית והשנה הוא מהווה כ- 6% בלבד.



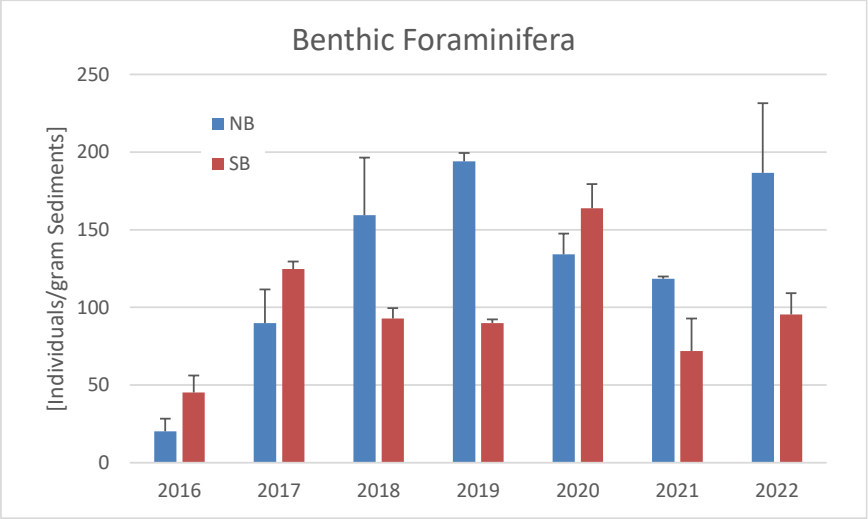
איור ג18: חלוקת סדימנט לגדלי גרגר (באחוז משקלי) בשני אתרים, בחוף הצפוני (NB) ובחוף הדרומי (SB).
Figure C18: Grain size distribution (weight percent) for soft sediment at two sites, at the north beach (NB) and south beach (SB) of Eilat.

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 השנה באתר החוף הצפוני בסך הכל 58 מיני פורמיניפרה ובאתר החוף הדרומי 54. זו עלייה בהשוואה למספר המינים המזוהים בשנים הקודמות. מכיוון שזיהוי פורמיניפרים לרמת המין הוא מורכב ועם העליה ביכולות הזיהוי צפויים שינויים במספרים המדווחים, קובצו המינים לסוגים. בשני האתרים נמצאו השנה 34 סוגים (טבלה ג2). בשנים הקודמות וגם השנה זוהו מיני וסוגי פורמיניפרים אשר לא זוהו בסקרים קודמים, אולם השנה זוהו רק שלושה מינים שלא נמצאו בשנים הקודמות.

צפיפות הפרטים הממוצעת בגרם סדימנט בחוף הדרומי היתה השנה 95 לגרם, בממוצע ואילו בחוף הצפוני נמצאה צפיפות פרטים ממוצעת של 187 פרטים לגרם סדימנט. זו עלייה בהשוואה לשנה הקודמת אולם בין השנים ישנן תנודות בצפיפות הפרטים.

צפיפות הפרטים בחוף הצפוני גבוהה לרוב מזו שבחוף הדרומי, אולם לא בכל שנה (איור ג19). נראה כי פגיעתן של סערות דרומיות חזקות, ואולי גם שטפונות משפיעה על צפיפות הפרטים, בעיקר בחוף הצפוני.



איור ג19: צפיפות הפרטים של פורמיניפרים (מספר לגרם סדימנט) בשני אתרים, בחוף הצפוני (NB) ובחוף הדרומי (SB).

Figure C19: The density of foraminifera individuals (number/gram sediment) at two soft sediment sites, at the north beach (NB) and south beach (SB) of Eilat.

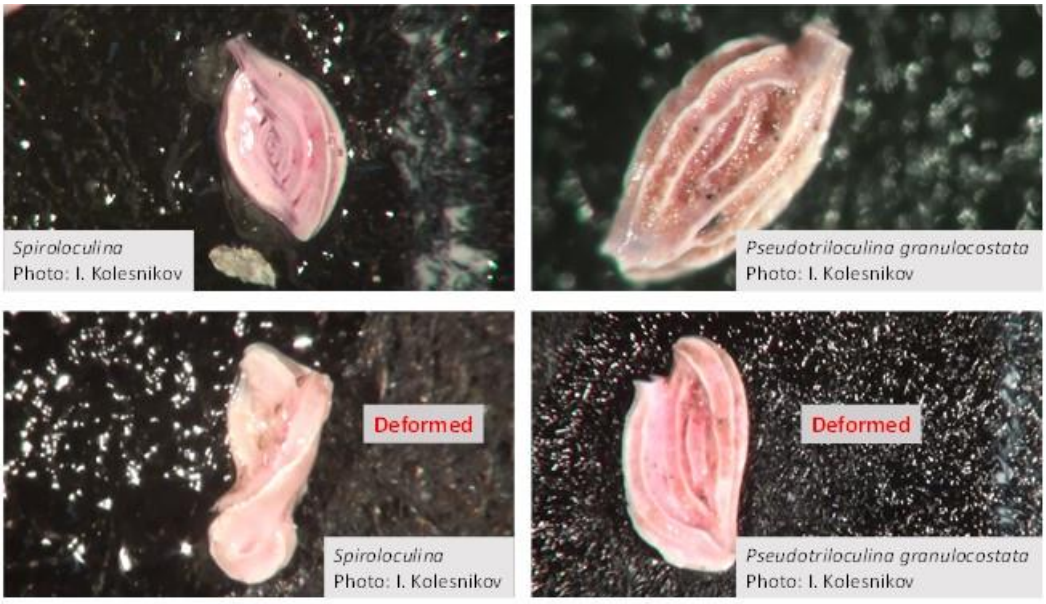
טבלה ג2: סוגי פורמיניפרים בנתונים שוכני הסדימנט הרך שזוהו באתר החוף הצפוני ובאתר החוף הדרומי.

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

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

בשנת 2020 נמצאו לראשונה בחוף הצפוני (תחנות w40 ו- w80, המתוארות למטה) פרטים מעוותים של פורמיניפרים (איור ג20). המבנה הקרבונטי של פרטים אלה חורג בצורות שונות מהצפוי וכל אחד מהם שונה מחברו. בשנה שעברה שוב נמצאו פרטים מעוותים, הפעם בתחנות w0 ו- w80 והשנה נמצאו פרטים מעוותים גם בתחנות הניטור האחרות ואפילו בתחנת החוף הדרומי. פרטים מעוותים מהווים כ-1% מכלל הפרטים בסדימנט הנדגם. מציאתם של פרטים מעוותים גם בתחנות רחוקות יותר עשויה להצביע על התפשטות גורמי זיהום הפוגעים בהתפתחות השלד. אין לנו מידע על הגורם, סוג ומידת הזיהום, אך לנוכח התפשטות התופעה מהאזור בו היו כלובי הדגים לתחנות האחרות כדאי לבדוק אפשרות של כניסת מזהמים דרך תעלת הקינט, בהמשך לעבודות תשתית אשר נעשו בתוואי התעלה בשנים האחרונות, ואירועים של תמותת דגי מים מתוקים במעלה התעלה בשנים האחרונות.

דוגמאות סדימנט מהתחנות w0 ו- w80 נמסרו 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). ממצאים אלה תומכים באפשרות שבעקבות הסערה של מרץ 2020 נחשפו סדימנטים בעלי תכולת מתכות גבוהה ואלה גורמות לעיוותי שלד בפורמיניפרים. מאידך, העובדה שפרטים מעוותים לא נמצאו רק בתחנה זו והשנה נמצאו פרטים מעוותים גם בחוף הדרומי מצביעה על התפשטות התופעה (התפשטות המתכות\הסדימנט המזוהם?) לאורך החופי אילת.



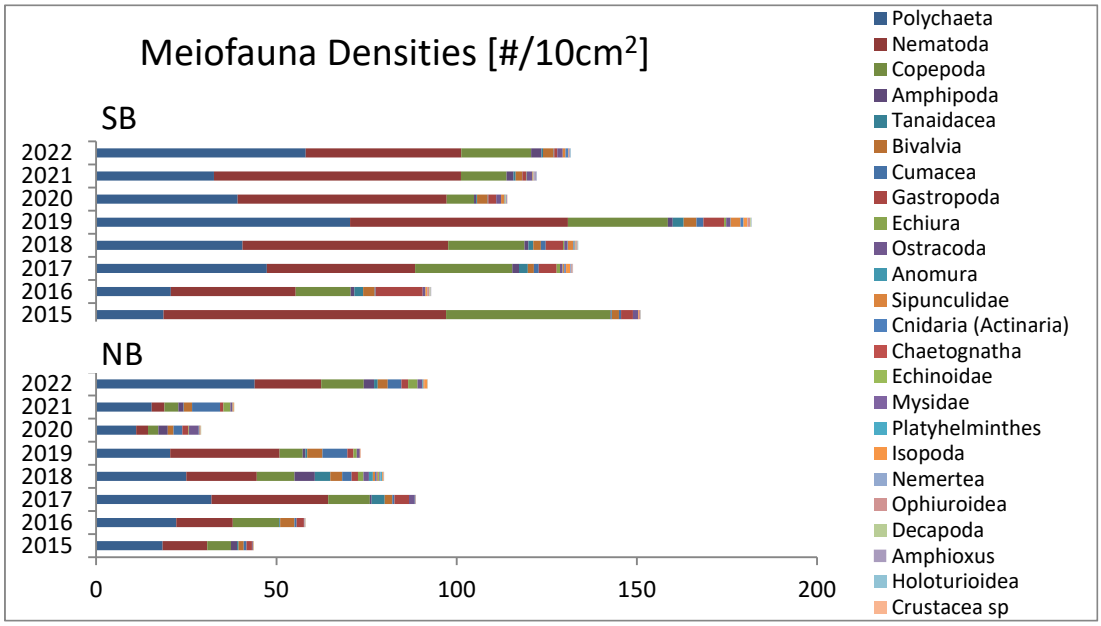
איור ג20: פרטים מעוותים של פורמיניפרים בנתונים בתחנות כלובי הדגים.

Figure C20: Deformed benthic foraminifera found this year at 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 ג21). בשני האתרים, החוף הדרומי והחוף הצפוני, זוהו השנה 16 קבוצות (טבלה ג3).

צפיפות הפרטים בסדימנט החוף הצפוני היתה השנה הגדולה ביותר, 92 פרטים ל- 10 סמ"ר סדימנט, לעומת 38 בשנה הקודמת. בחוף הדרומי הצפיפות הגדולה ביותר נמדדה בשנת 2019, 182 פרטים לסמ"ר סדימנט, לעומת 132 השנה.

בכל השנים צפיפות הפרטים בחוף הדרומי גבוהה מאשר בחוף הצפוני.



איור ג21: משפחות בע"ח שוכני מצע רך בקרקעית הים בשני אתרים, בחוף הצפוני (NB) ובחוף הדרומי (SB).

Figure C21: 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.

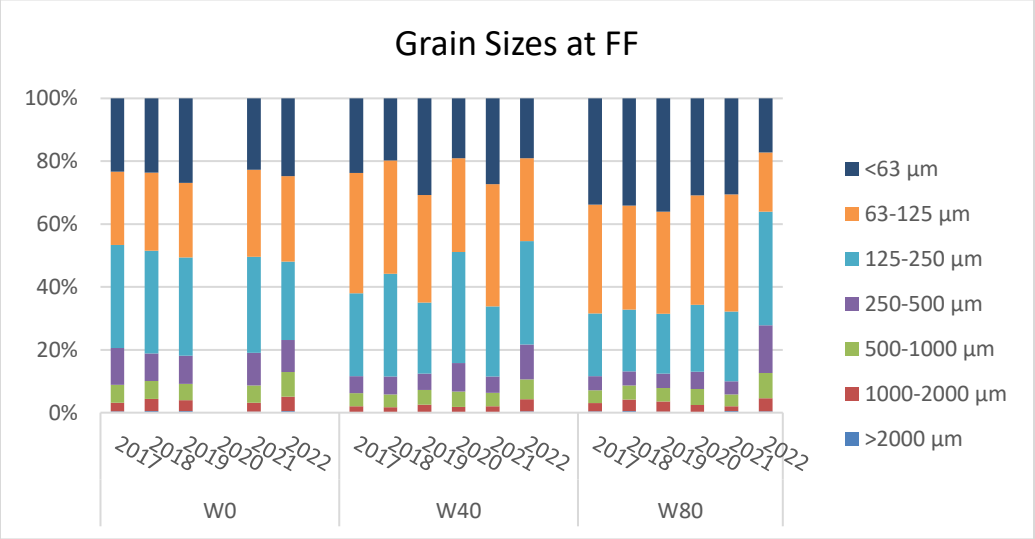
טבלה ג3: קבוצות שוכני הסדימנט הרך (לא כולל פורמיניפרים) שזוהו באתר החוף הצפוני ובאתר החוף הדרומי (לפי סדר א"ב).

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

	NB								SB							
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
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 החדשים 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 שי אורון (M.Sc. באוניברסיטת בן-גוריון בנגב, בהנחיית פרופ' ס. אברמוביץ ופרופ' מ. כיפלאוי), 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. התפלגות גודל הסדימנט בנקודות אלה יציבה בשנים האחרונות. בתחנה W80 ההתפלגות דומה לזו של אתר החוף הצפוני בעומק 20 מטר (ראו למעלה), ולרוב נמצא שם מעט יותר מ- 60% פרקציה דקה מ- 125 µm. בתחנות הקרובות יותר לאתר הכלובים נמצאה בדרך כלל פרקציה דקה מעט קטנה יותר. השנה נמצאה בתחנה W80 פרקציה דקה קטנה מאשר בשנים הקודמות, פחות מ- 40% (איור ג22). חלקה של הפרקציה הזו השנה קטן מאשר בתחנות האחרות, בהן לא נכרים שינויים גדולים בין השנים. גם בתחנת "החוף הצפוני" לא נמצאו השנה שינויים בהרכב גדללי הגרגר (ראו למעלה). עד כה היו ההבדלים בהתפלגות גדלי הגרגר בין התחנות יציבים.



איור ג22: חלוקת סדימנט לגדלי גרגר (באחוז משקלי) בנקודות הדגימה באתר בו היו כלובי הדגים.
Figure C22: 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.

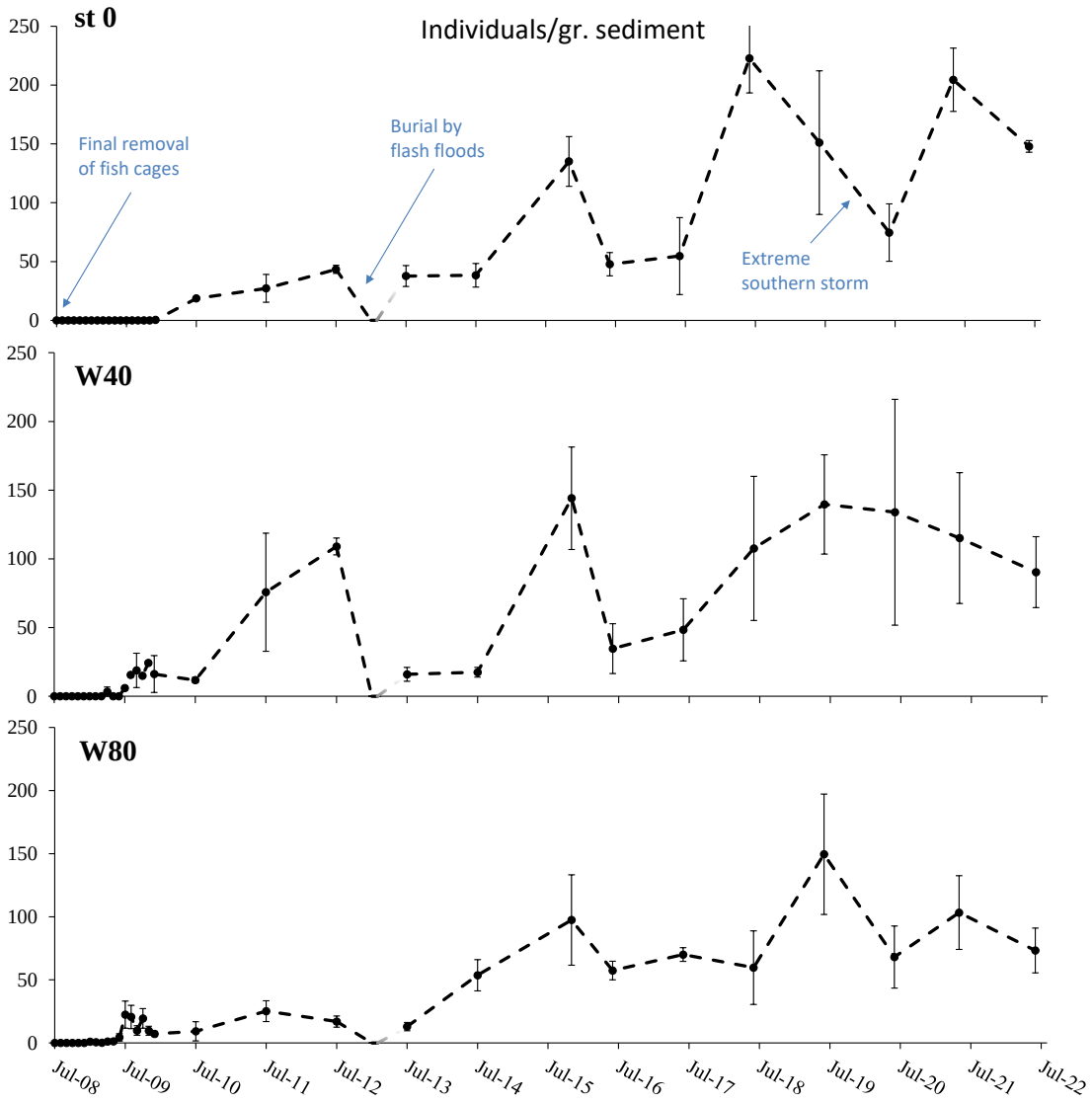
מאז 2016 נמצאה עליה בצפיפות הפרטים בכל התחנות, שהגיעה לשיא בשנת 2018 (בתחנה w0) או 2019 (בתחנות w40 ו-w80). בשנה הקודמת (2020) נמצאה ירידה בצפיפות הפרטים, אולי כתוצאה מפגיעת הסערה הדרומית החזקה של חודש מרץ באותה שנה שהרחיפה סדימנט רב ופגעה, אולי, בבית הגידול החולי בחוף הצפוני. בשנה הקודמת נמצאה עליה בצפיפות הפרטים ביחס לשנת 2020 בתחנות w0 ו- w80, והשנה נמצאה בכל התחנות ירידה בצפיפות הפרטים בהשוואה לשנה שעברה.

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 *stipulacea Halophila* 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 ג24).

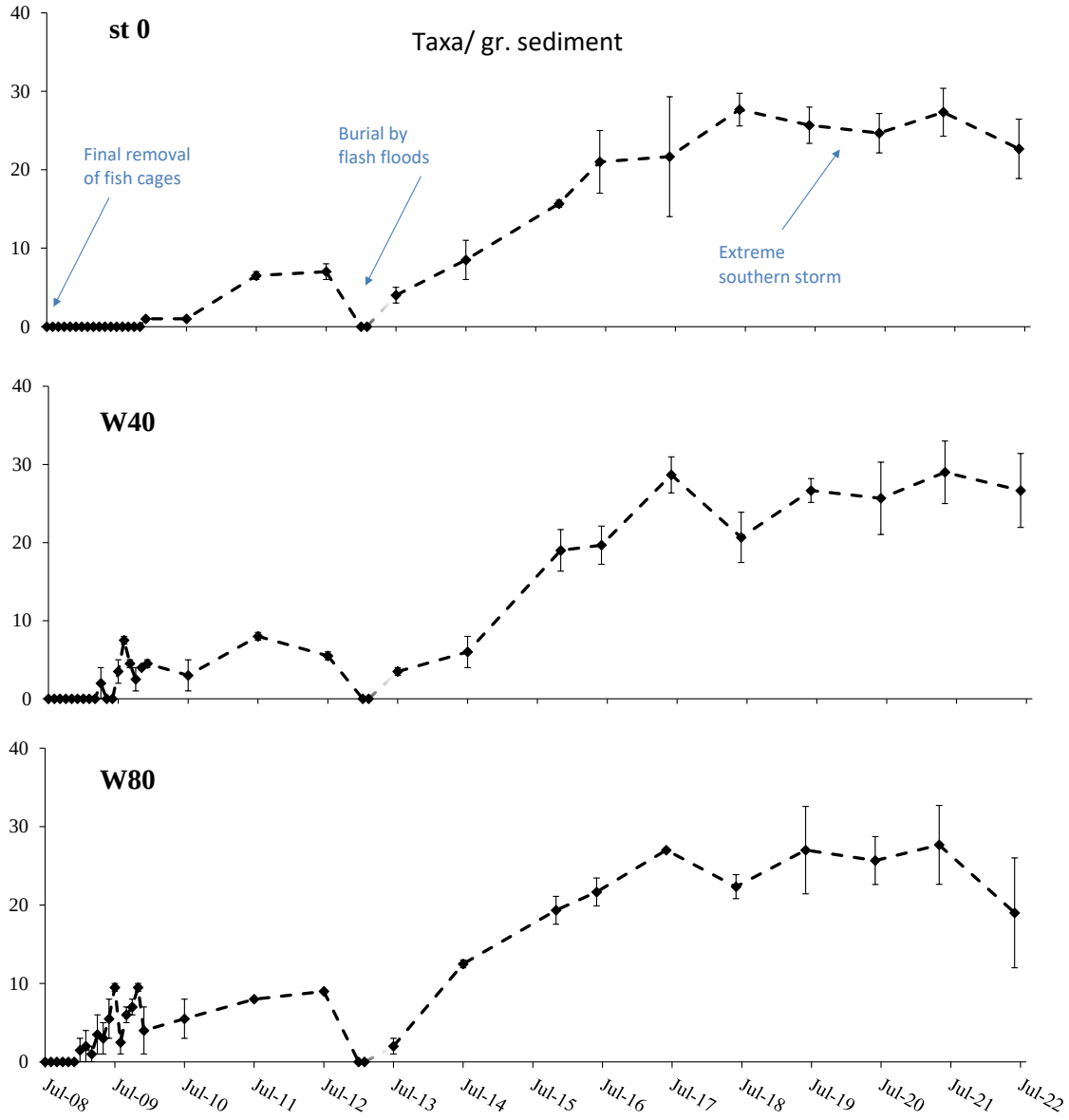
לאחר השטפונות של חורף 2013 מתועדת חזרה מהירה של מיני פורמיניפרים בנתונים לאזור, ומספר הסוגים המזוהים עלה מהר יותר מאשר לאחר פינוי כלובי הדגים.

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. מאז שנת 2017 מספר המינים נותר כמעט יציב, עם תנודות קלות ונראה כי הסערה הגדולה בשנת 2020 לא השפיעה על הרכב המינים. כמו בצפיפות הפרטים, השנה זוהה בכל התחנות מספר קטן יותר של מינים לגרם סדימנט בהשוואה לשנה הקודמת. איננו יודעים מה הגורמים לשינויים אלה.



איור ג23: 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 C23: 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 ג24: מספר מיני הפורמניפרים החיים לגרם סדימנט יבש בתחנות השונות מיולי 2008, מיד לאחר הוצאת כלובי הדגים.

Figure C24: 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 ג25). 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 ג25: צילום של עשב ים מחתכי הסקר בעומק עשרים מטרים באתר החוף הדרומי (צילום: ל. לוי).

Figure C25: A photo of 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.

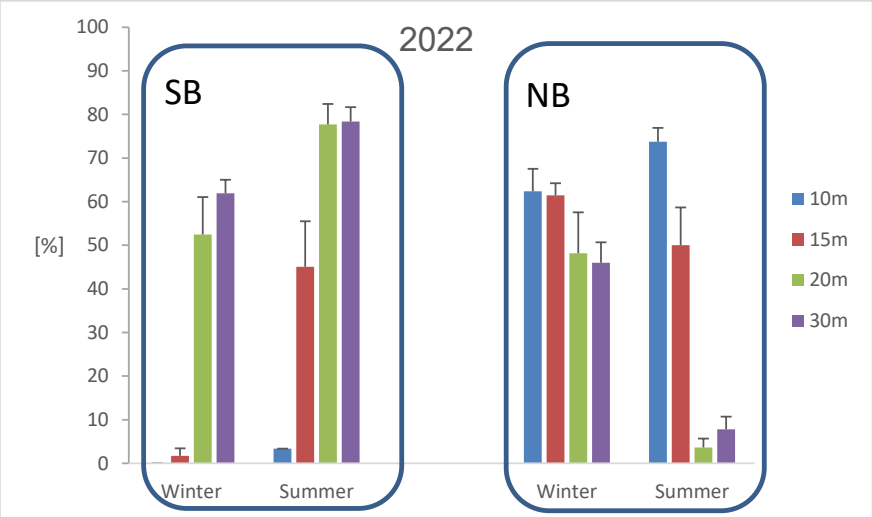
מסקרים איכותיים שבצעה תכנית הניטור למציאת העומק המקסימלי של השתרעות עשב ים באילת, עולה כי

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 בשלושת העומקים (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- 42% בשני האתרים. במשך השנים בהן נעשה הסקר נצפו תנודות גדולות בכיסוי עשב הים וערכי השנה אינם חריגים.

סקרים של כיסוי עשב הים נערכים בשתי עונות, חורף וקיץ, ובין העונות נמצאים תמיד, וגם השנה, הבדלים גדולים בכיסוי עשב הים (איור ג26). בשתי העונות לא נמצא בחוף הדרומי עשב ים בעומק 10 מטרים וזה בדומה לשנתים האחרונות בהן כבר נעלם מרבד עשב הים מעומק זה. לעומת זאת, בעומקים 20 ו-30 מטרים נמצא בסקר החורף מרבד עשב ים עשיר למדי, 52% ו- 62%, בהתאמה. בסקר הקיץ נמצא בעומקים אלה כיסוי גבוה יותר, 78%. בעומק 15 מטרים היה כיסוי עשב הים בשתי העונות נמוך בהרבה מאשר בעומקים הגדולים יותר. בחורף כמעט ולא נמצא כיסוי עשב ים בחוף הדרומי בעומק 15 מ' ואילו בקיץ אחוז הכיסוי שם היה כ- 45%. יתכן שמתועדת כאן "נדידה" של מרבד עשב הים בחוף הדרומי לעומקים גדולים יותר בשנים האחרונות, אולם כאמור, התנודות בין השנים גדולות.

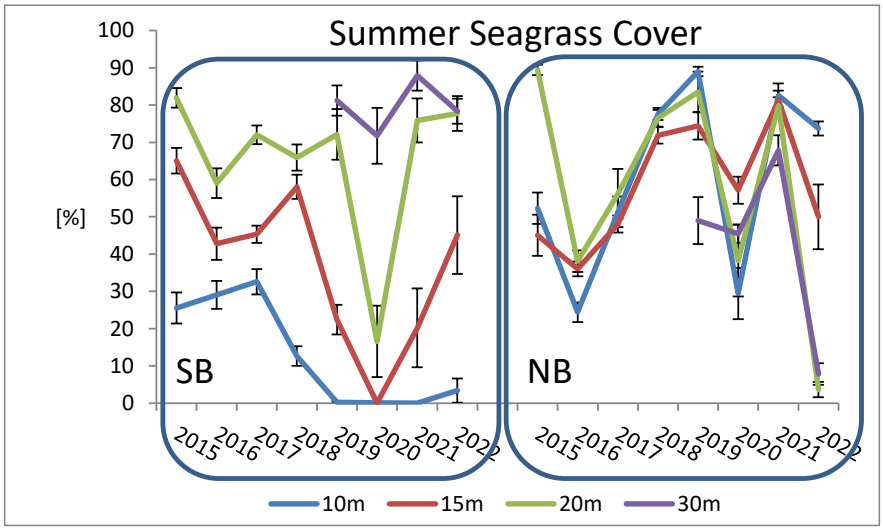
גם בחוף הצפוני נמצא השנה הבדל גדול בין העונות. כיסוי עשב הים בקיץ היה גבוה יותר בעומק הרדוד, עשרה מטרים, ובעומקים הגדולים יותר היה הכיסוי גדול יותר דווקא בעונת החורף. הבדל עיקרי בין האתרים הוא שבחוף הצפוני כיסוי עשב הים בעומק הרדוד, 10 מטרים, הוא הגבוה ביותר, ובחוף הדרומי כיסוי עשב הים בעומק זה מזערי.



איור ג26: כיסוי עשב הים בחורף ובקיץ בארבעה עומקים באתרי החוף הצפוני והחוף הדרומי של אילת.

Figure C26: Seagrass cover during winter and summer at four depths in the northern and southern beach sites of Eilat.

בדרך כלל, ההבדלים בין העומקים בסקרי הקיץ קטנים יותר בחוף הצפוני מאשר בחוף הדרומי, אך השנה נמצאו הבדלים בין העומקים הרדודים גם באתר זה. 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 ג27). השנה נמצאה ירידה בכיסוי בהשוואה לשנה הקודמת בחוף הצפוני, אך לא בחוף הדרומי. בחוף הדרומי כיסוי עשב הים בעומקים הגדולים נותר גבוה, אך בעומקים הרדודים (10 ו-15 מטרים) נותר נמוך משהיה בשנים הראשונות של הסקר.

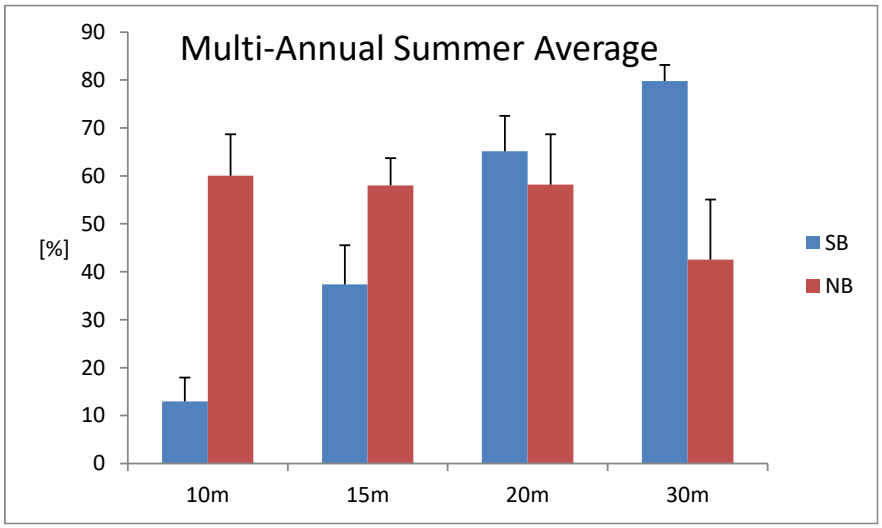


איור ג27: כיסוי עשב הים בעונת הקיץ באתרי החוף הצפוני והחוף הדרומי של אילת.

Figure C27: Seagrass cover during summer in the northern and southern beach sites of Eilat.

כיסוי עשב הים הממוצע בעומק של 20 מטרים מאז שנת 2015 דומה בשני האתרים (60-65%) ובעומקים הרדודים יותר, כיסוי עשב הים בחוף הצפוני גבוה מאשר בחוף הדרומי. ההבדל גדול ביותר בעומק הרדוד, 10 מטרים, שם כיסוי עשב הים הממוצע בחוף הצפוני בשנים האחרונות עומד על קרוב ל- 60% ואילו בחוף הדרומי ממוצע השנים האחרונות עומד על כ- 12% בלבד ובשנים האחרונות על אחוזים בודדים, אם בכלל. במשך השנים ההבדל בכיסוי בין העומקים עד 20 מטרים באתר החוף הצפוני אינו גדול ואילו באתר החוף הדרומי כיסוי עשב הים גדל מאד עם העומק (איור ג28). בעומק 30 מטרים, אשר נסקר בעונת הקיץ בארבע השנים האחרונות, עומד הכיסוי הממוצע בחוף הצפוני על כ- 42% ואילו בחוף הדרומי הכיסוי הממוצע הוא כ- 80%.

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



איור ג28: כיסוי עשב הים הממוצע בשנים האחרונות בארבעה עומקים באתרי החוף הצפוני והחוף הדרומי של אילת.

Figure C28: Average seagrass cover in recent years at four depths in the northern and southern beach sites of Eilat.

ד. עמודת המים בים העמוק

<u>מטרה</u>

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.

<u>שיטות</u>

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, 2019-2022, 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:

<u>יצרנות ראשונית</u> (Primary Productivity) – החל מהשנה – 2022 – מדידות היצרנות הראשונית נעשות בשיתוף עם מעבדתו של ד"ר אייל רהב מחיא"ל, על ידי תום רייך סטודנט במעבדה.

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 יתר 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.

<u>ספירת תאי פיטופלנקטון:</u> ספירת תאי פיטופלנקטון וחיידקים הטרוטרופים מתבצעת במכשיר Becton Dickinson LSRII flow cytometer, מצויד בדוגם בעל תפוקה גבוהה (high throughput sampler), ביחידת ה-flow-cytometry במחלקת תשתיות של מדעי החיים וההנדסה בטכניון. תאי פיטופלנקטון נמדדו בדוגמאות מים של 250µl יחד עם 1.0µm חרוזים סינטטים זעירים (synthetic beads). תאי חיידקים נמדדו בדוגמאות מים של 150µl אשר נצבעו בצבע לחומצות גרעין (SYBER green). דוגמת המים עוברת בזרימה למינארית מול קרן לייזר הפוגעת בכל תא בנפרד, נשברת, ונקלטת על ידי חיישנים המספקים מידע על גודל התא וצורתו, וכן בליעה באורכי גל המאפיינים אוכלוסיות בעלות פיגמנטציה שונה זו מזו. בתוכנית הניטור נספרים תאים אאוקריוטים, חיידקים הטרוטרופים, וציאנובקטריה 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 ד"ר 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: מתוך דוגמאות מי הים הנאספות לבקבוקי דגימה ייעודיים במהלך ההפלגה 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).

כיול המדידה נעשה על ידי מדידת נפחים שונים של סטנדרט מוכר (Certified Reference Material, CRM, from Dr. Dickson's laboratory in Scripps) בתחילת ובסיום כל סדרת קריאות. דיוק המדידה הוא ± 1µmol kg^{-1} (סטיית תקן של שלוש קריאות חוזרות).

המדידה נעשית במעבדתו של ד"ר אייל וורגפט מהאוניברסיטה הפתוחה והאוניברסיטה העברית.

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 עם ההתחממות באביב ובקיץ. מבט ארוך טווח יותר ניתן על ידי סקירה פרטנית של מדדים אלה בשנים האחרונות כפי שנרשמו בעת סגירת בקבוקי דגימת המים שעל הרוזטה (rosette) אליה מחובר מכשיר ה-CTD. לצורך השוואה זו בין השנים נעשה בדרך כלל שימוש במדידות המליחות הפרטניות שנעשות במעבדה על דוגמאות המים.

מכשיר ה- CTD מכויל בחברה על פי הוראות הייצרן. הכיול האחרון נעשה ביולי 2022.

הפלגה לתחנה B, בשיתוף עם מדענים מתחנת המחקר בעקבה שבירדן, לא התבצעה בשנים האחרונות (2019-2021).

[*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 ולזן, כמו מדידות אחרות בהן לא הגיע עומק הדיגום ל- 700 מ' בתחנה A, אינן כלולות בהערכת גודל המאגרים של נוטריינטים בעמודת המים.*]

<u>טמפרטורה</u>

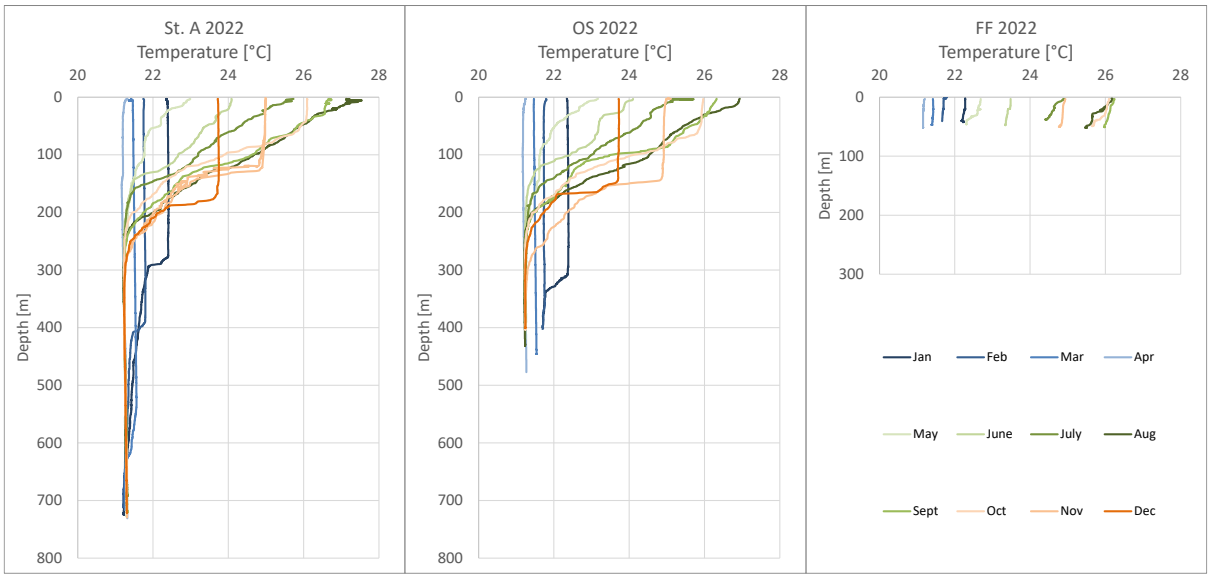
ערבוב עמודת המים בעונת החורף עקב קירור המים מלמעלה, במגע עם האטמוספרה, הוא גורם מרכזי בדינאמיקה של המערכת האקולוגית במפרץ. הערבוב השנה היה עד לעומק המדידה בתחנה A, כ- 730 מטרים. עם זאת הפלגות הניטור לא דגמו את הערבוב המלא בזמן אמת: בחודש ינואר היה עומק הערבוב 275 מטרים, בפברואר 390 מטרים, במרץ 530 מטרים ובהפלגת אפריל (10.4.2022) המים העמוקים היו מעורבבים עד לעומק הקרקעית – 730 מטרים – אולם בקרבת פני הים כבר נוצרה תרמוקלינה נוטריקלינה בעומק של כ-120 מטרים (איור ד1). לפיכך, נראה שהערבוב אף כי היה עמוק – לא נמשך זמן רב.

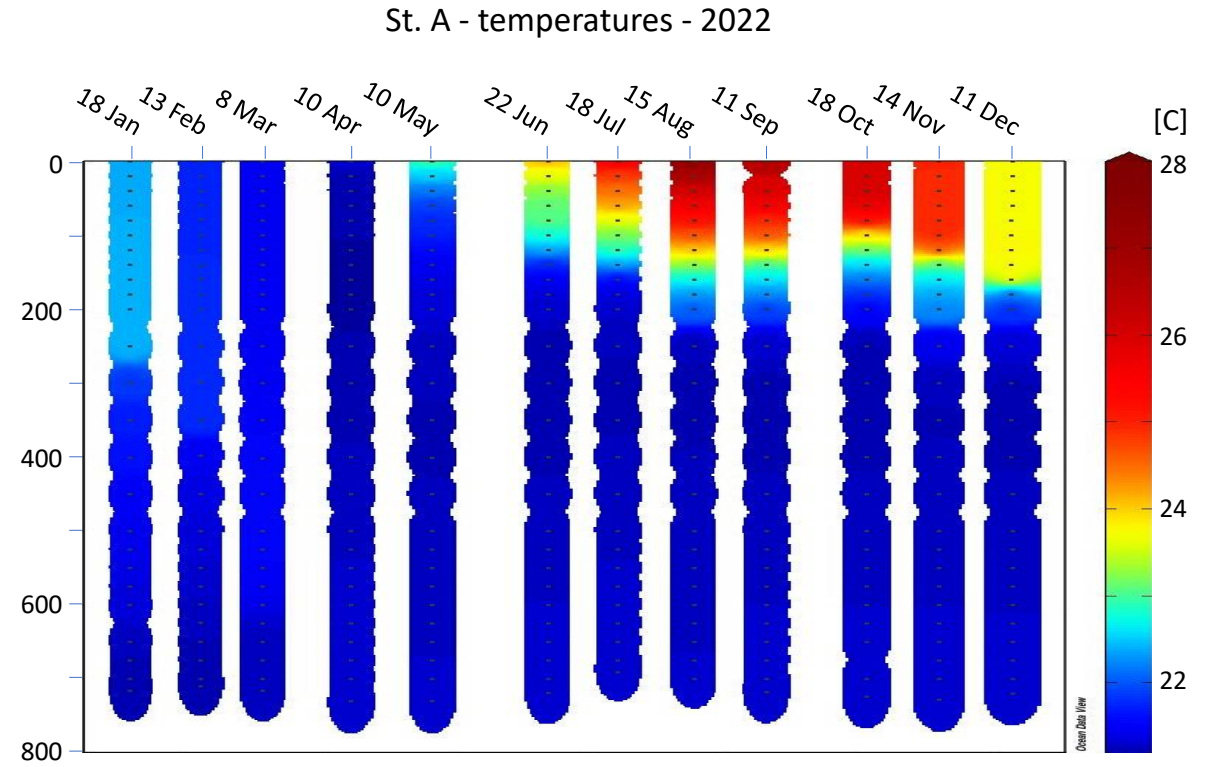
טמפרטורת המים העמוקים בחודש אפריל היתה 21.26 מעלות ובפני הים בתחנה A כ- 21.2 מעלות. ערבוב לעומק הקרקעית בתחנה A התרחש בפעם האחרונה בשנת 2012. בשנים האחרונות הגיע הערבוב לעומק ביניים סביב 400-450 מטרים.

מאז הערבוב העמוק של שנת 2012 נמדד רק בשנת 2017 ערבוב לעומק של כ- 500 מטרים וטמפרטורת פני הים היתה גם אז 21.2 מעלות.

הטמפרטורה המרבית אשר נמדדה השנה בפני הים בתחנה A היתה 27.5, בחודש אוגוסט, לעומת כ- 29 מעלות, בחודש אוגוסט בשנה הקודמת.

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





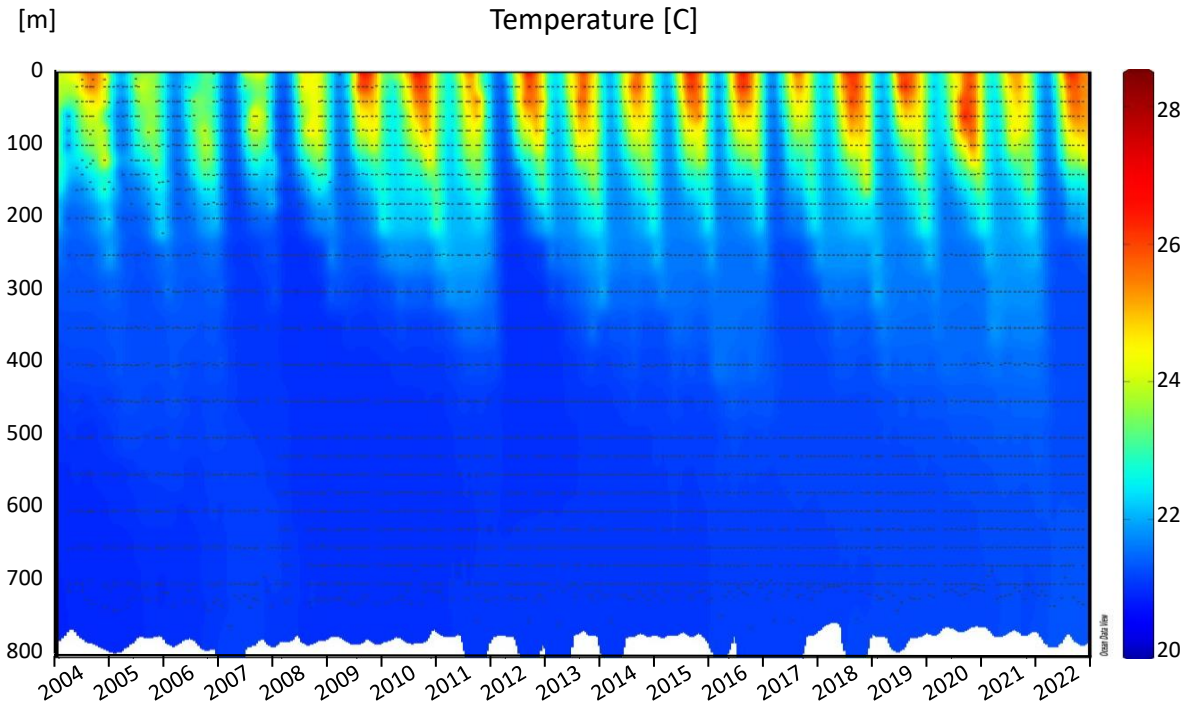
איור ד1: טמפרטורת עמודת המים כפי שנמדדה במכשיר ה-CTD בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים (>700 מ'), תחנה OS בחצי הדרך לחוף הצפוני בעומק מים של כ- 400 מטרים ותחנה FF בחוף הצפוני של אילת בעומק של כ-50 מטרים. למטה – סדרת זמן שנתית של טמפרטורת עמודת המים בתחנה A בעומקים מהם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

במידת הקירור של פני הים וכך גם בעומק 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 והשנה, 2022 (איור ד2). לאחר הערבוב העמוק של שנת 2012 היו שלוש שנים של ערבוב רדוד, עד כ- 300 מטרים, ואחריהן שנתיים בהן היה ערבוב מוקדם לעומק בינוני של כ- 500 מטרים אשר נמשך זמן קצר בלבד. מאז שנת 2018 ועד השנה, ערבוב עמודת המים רדוד מ- 500 מטרים ובשנה הקודמת (2020) היו המים העליונים חמים במיוחד. השנה, עמודת המים עורבבה לפחות עד קרקעית הים בתחנת המדידה (תחנה A, עומק קרקעית של כ-730 מטרים) וזאת לאחר עשר שנים של ערבוב בינוני ורדוד.



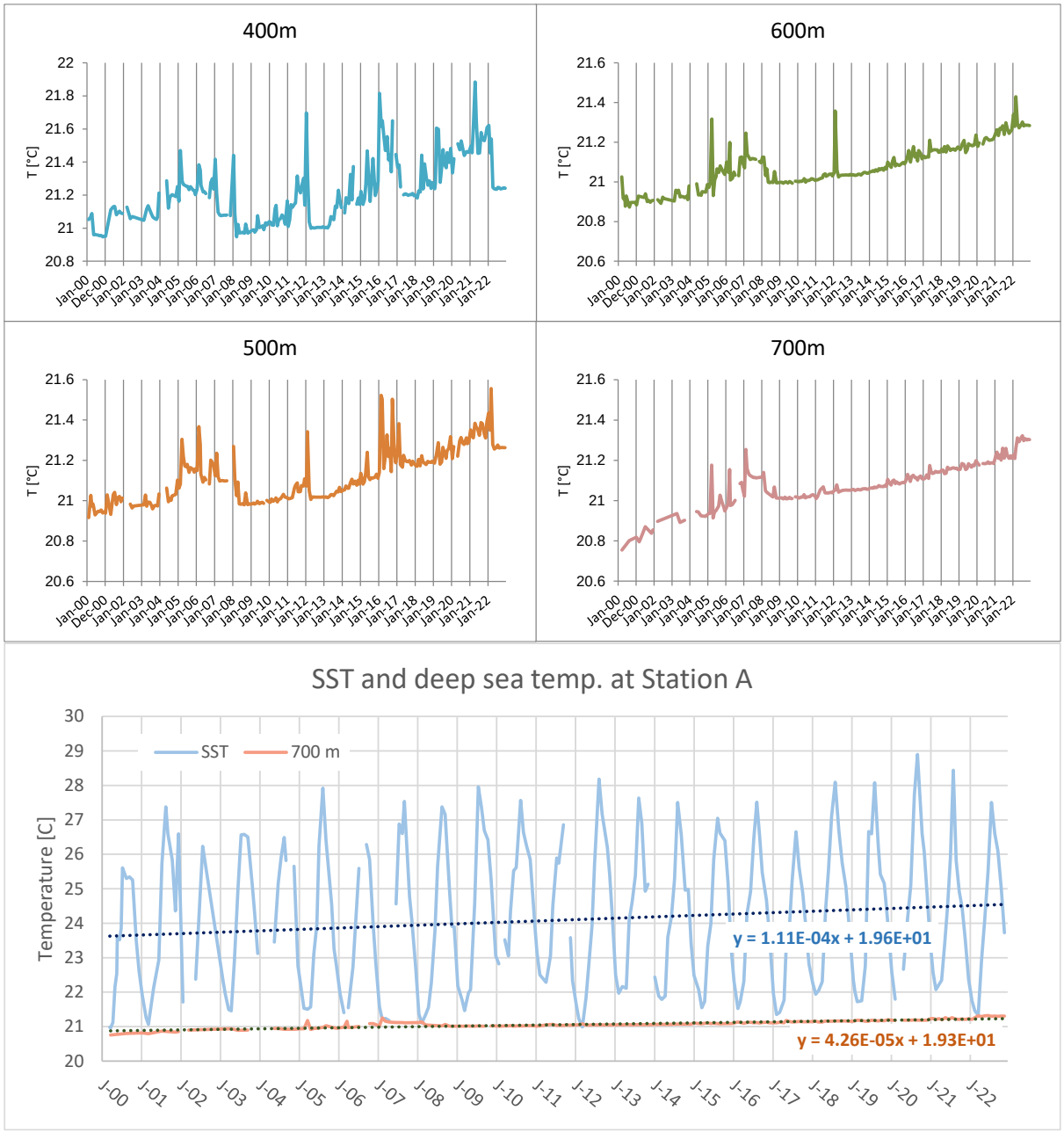
איור ד2: שינויי טמפרטורה בתחנה A מאז ינואר 2004. הנקודות השחורות מייצגות את עומק המדידה.

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, אך השנה ניכרת השפעת הערבוב על טמפרטורת המים 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.*

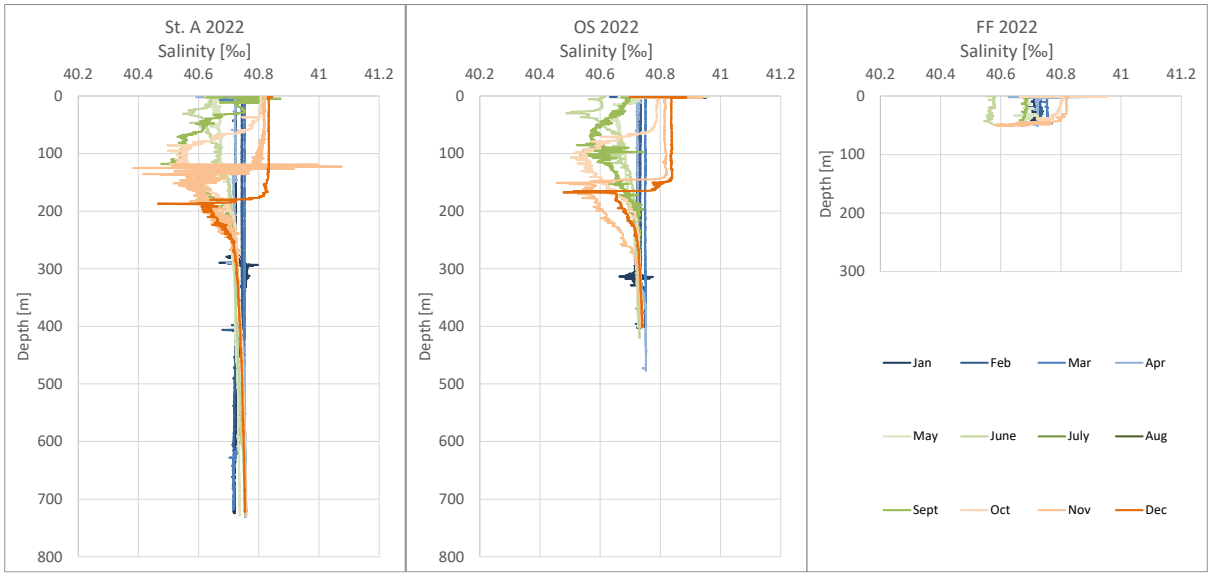
<u>מליחות</u>

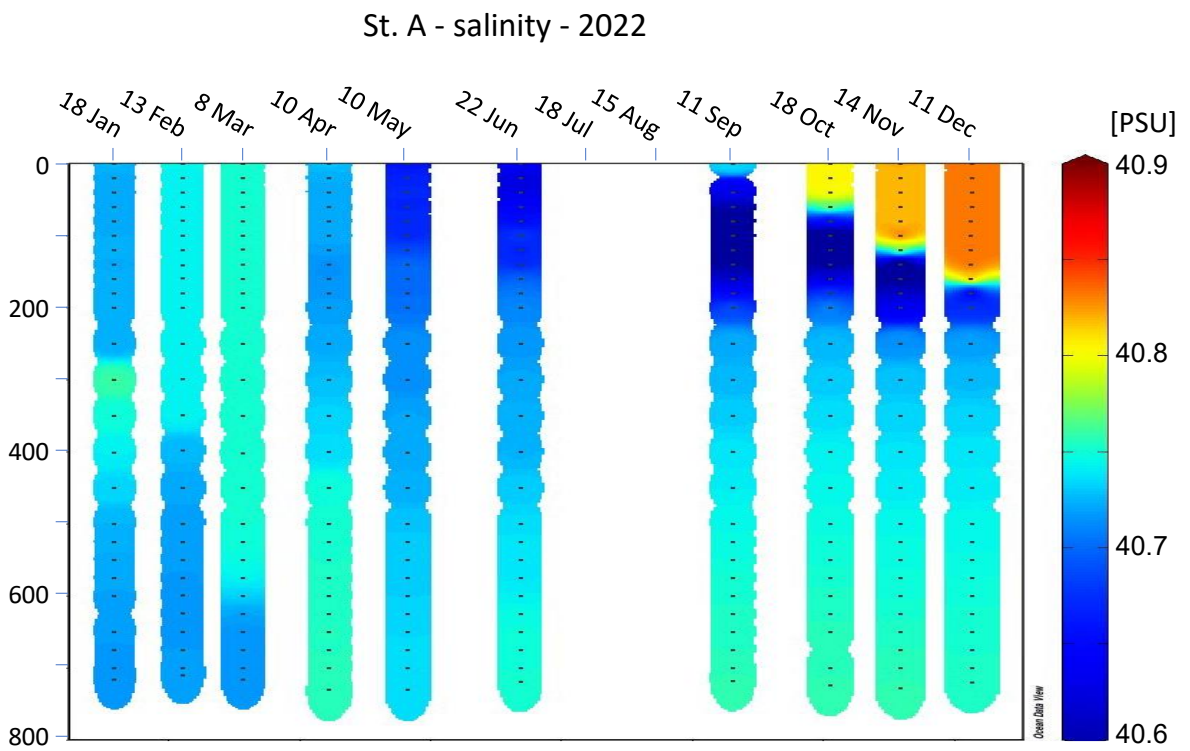
[בשנת 2010 אובחנה נדידה חזקה של תוצאות מדידות המליחות במד המליחות במעבדה. כתוצאה מכך הוחלט לא להציג תוצאות מליחות שנמדדו במעבדה החל מחודש פברואר 2010 ועד ליולי 2011. עבור תקופה זו מוצגות מדידות המליחות בים העמוק אשר נעשו גם באמצעות מד מליחות אלקטרוני כחלק מפרופיל ה-CTD. התכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת, 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 בתקופה 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.

מדידות המליחות מהחודשים יולי-אוגוסט חסרות השנה ולכן קשה לעקוב אחר התפתחות שכבת המליחות הנמוכה. בחודשים מאי-יוני נמצאה שכבה בעלת מליחות נמוכה בפני הים ובחודש ספטמבר מתחילה להתפתח שכבה בעלת מליחות גבוהה יותר בפני הים והמים המלוחים פחות נכלאים בין העומקים 30-200 מטרים, בערך, כאשר במרכז השכבה מליחות נמוכה יותר. שכבה זו נדחקת עמוק יותר והופכת צרה יותר עם הזמן, כאשר בחודש דצמבר ישנה שכבה מלוחה אחידה במים העליונים עד לעומק של 160 מטרים, בערך, והשכבה בעלת המליחות הנמוכה הולכת ונעלמת. על אף שעם הזמן המים נמהלים והפרשי המליחויות קטנים, עדיין ניתן גם בסוף השנה לזהות את מאפייני המליחות של שתי שכבות המים.

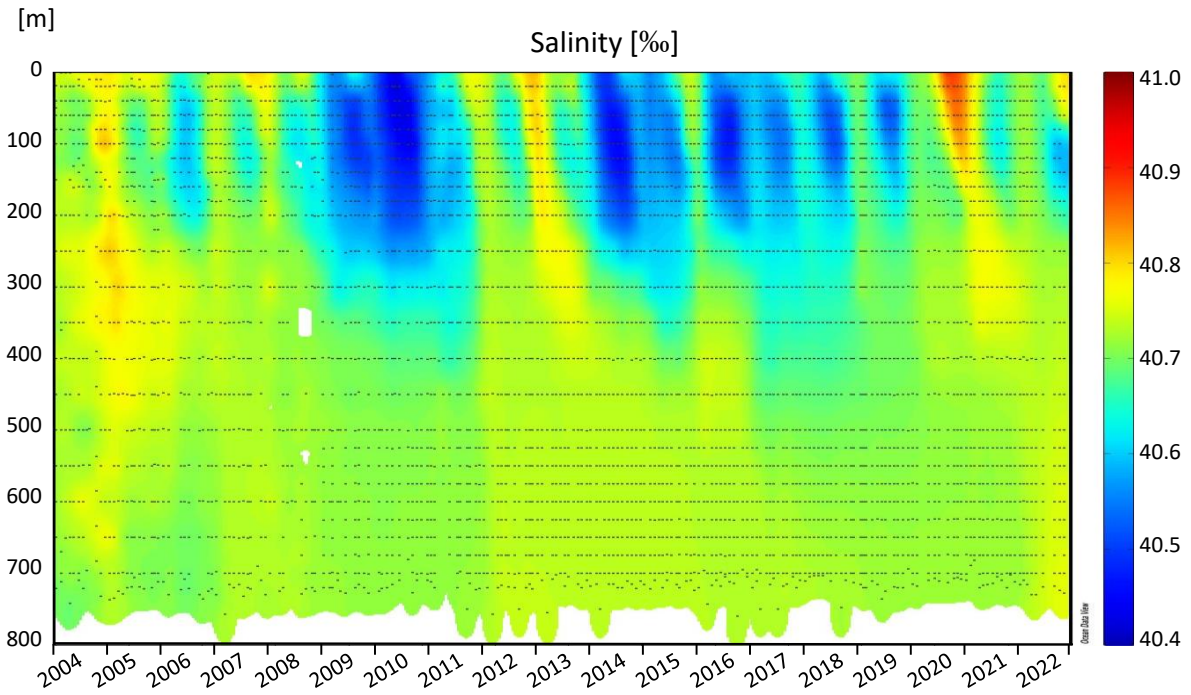




איור ד4: מליחות בעמודת המים כפי שנמדדה במכשיר ה-CTD בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים (>700 מ'), תחנה OS בחצי הדרך לחוף הצפוני בעומק מים של כ- 400 מטרים ותחנה FF בחוף הצפוני של אילת בעומק של כ-50 מטרים. למטה – סדרת זמן שנתית של מליחות עמודת המים בתחנה A בעומקים מהם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

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

חדירת מים בעלי מליחות נמוכה הייתה חזקה ביותר בשנים החמות 2009-2010, ובשנתיים אחר כך נמצאו הפרשי מליחות קטנים יותר בשכבת המליחות המינימלית. לאחר מכן שוב נמדדה מליחות נמוכה בעמודת המים העליונה, בשנים האחרונות עולה המליחות ובשנת 2020 נמדדה מליחות גבוהה במיוחד במים העליונים (איור ד5). שינויי המליחות בעמודת המים הינם מחזוריים בעיקרם, ועל אף תבנית מעט שונה משנה לשנה לא ניכרת מגמה של שינוי ארוך טווח. 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

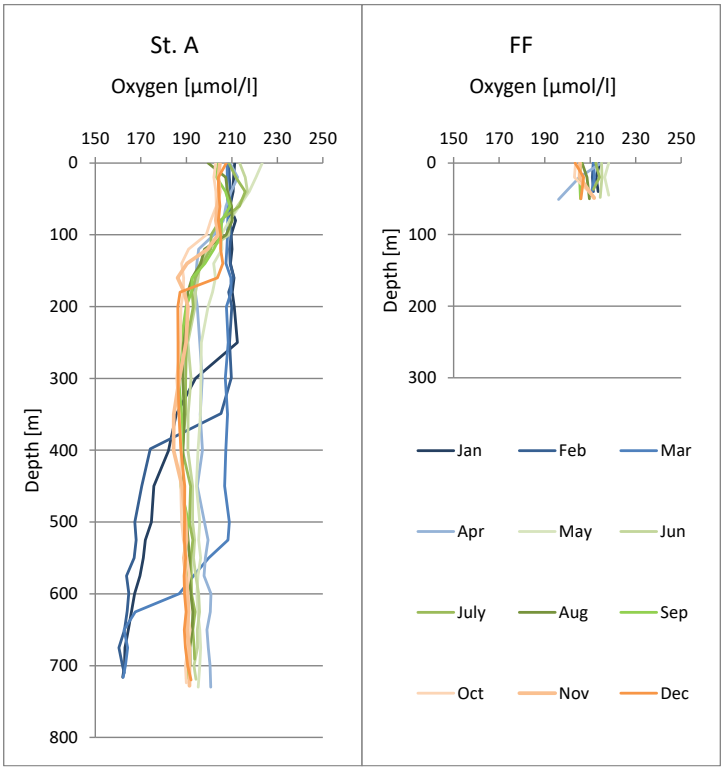
<u>חמצן (O_2)</u>

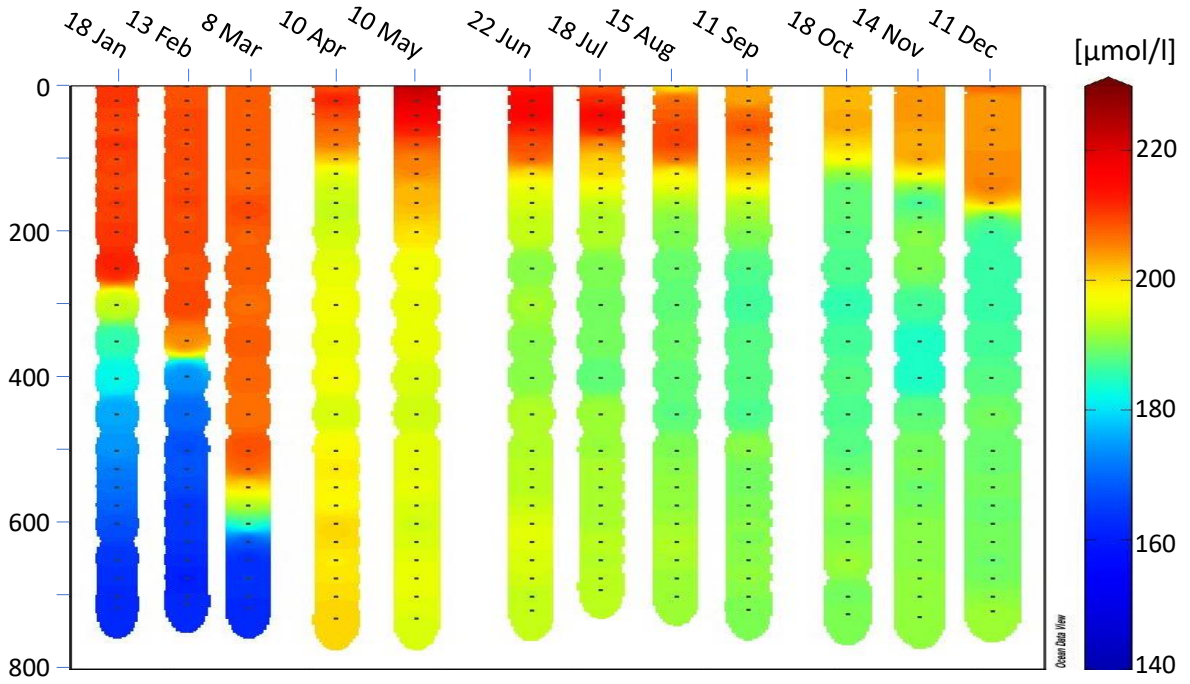
הגורם העיקרי המשפיע על ריכוזי החמצן במי הים הוא המחזור העונתי של שכוב-ערבוב בעמודת המים. בתקופה הקרה (עונת הערבוב) ישנה ירידה בטמפרטורת המים ועל כן עלייה בקליטת חמצן אטמוספירי במים העליונים, אולם מים אלה מתערבבים עם מי עומק עניים בחמצן, וכך, למרות שמאגר החמצן המומס בעמודת המים גדל, נמצא החמצן בתת-רוויה. 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 לפחות לעומק הקרקעית בתחנה A, כ-730 מטרים, ועמודת המים אשר נדגמה בחודש אפריל בתחנה A "אוורה" לעומק זה, אף כי במועד ההפלגה כבר נמצאה שכבה עליונה, כ-120 מטרים, שכבר נפרדה מגוף המים העמוקים (איור ד6). ריכוז החמצן המרבי בתחנה A נמדד השנה בחודש מאי בפני הים, 223.4 µmol/l. ריכוז החמצן במי העומק היה לפני הערבוב 164.2 µmol/l ואחרי הערבוב, בחודש אפריל, במים העמוקים היה ריכוז החמצן כ- 200 µmol/l (לעומת 163 µmol/l בשנה הקודמת).

הריכוז המזערי שנמדד השנה בפני הים בתחנה A היה 199.5 µmol/l, בחודש אוגוסט, דומה לערך השנה הקודמת.

בתחנת כלובי הדגים היה הריכוז המרבי שנמדד 218 µmol/l, בחודש מאי והריכוז המזערי היה 196 µmol/l בחודש אפריל בקרבת הקרקעית.





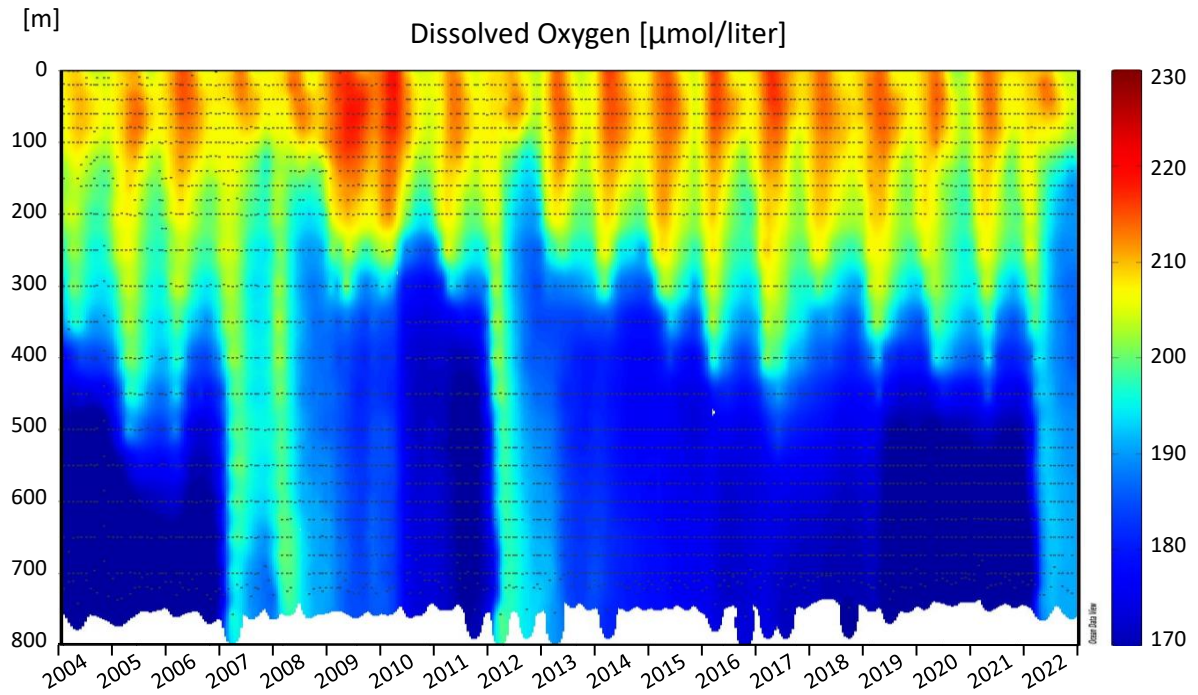
איור ד6: ריכוזי חמצן מומס בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק גדול מ-700 מטרים ותחנה FF בחוף הצפוני של אילת בעומק של כ-50 מטרים. למטה – סדרת זמן שנתית של ריכוזי חמצן מומס בעמודת המים בתחנה A.

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

במשך רוב חודשי השנה מופרדים מי העומק מהמים העליונים, ובהיעדר יצרנות ראשונית החמצן המומס בהם הולך ונצרך בתהליכי חמצון של חומר אורגני במים או בסדימנט. על כן, כבר בהפלגת חודש אפריל ניכר שריכוזי החמצן כבר נמוכים מאשר בזמן הערבוב הפעיל, עדות למשך הזמן הקצר של הערבוב המלא השנה. חידוש מלאי החמצן המומס במים העמוקים מתרחש בשנים קרות באמצעות ערבוב מי העומק עם מים רדודים עשירים בחמצן.

בשנות הניטור 6-2004 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 השנה השלים מחזור נוסף של העשרה-דילדול-העשרה של מי העומק באמצעות ערבוב עמוק של עמודת המים. המחזור האחרון, עשר שנים, היה ארוך ממחזורים דומים שתועדו בעבר (איור ד7).

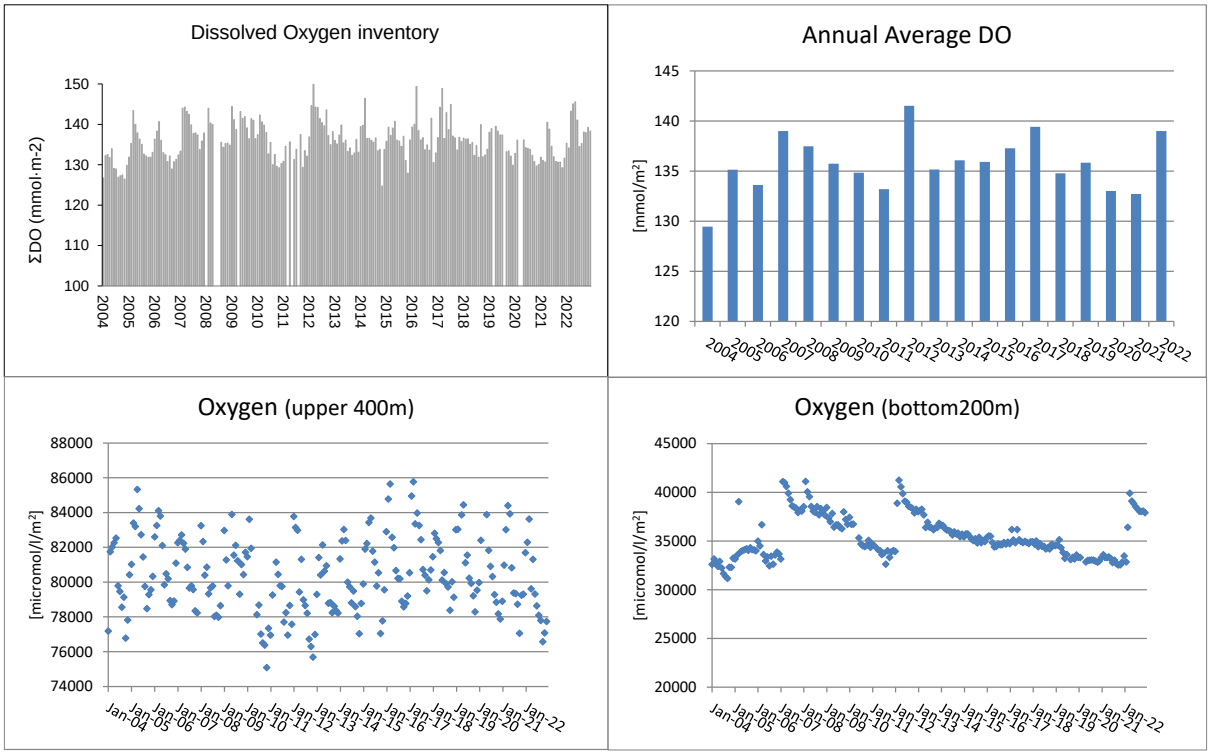
נראה כי במחזור הרב שנתי האחרון, אשר הסתיים השנה, דלדול עמודת המים בחמצן היה איטי יותר מאשר בשני המחזורים הקודמים. כאמור למעלה, צריכת החמצן במי העומק תלויה בכמות החומר האורגני המגיע מעמודת המים העליונה ועל כן נראה כי זו ירדה בשנים האחרונות. בשנה הקודמת, תשע שנים לאחר הערבוב העמוק של שנת 2012, ריכוז החמצן המומס בעומקים 700-600 מטרים היה דומה לזה שנמדד בשנת 2011, שלוש שנים בלבד לאחר הערבוב בשנת 2008. נראה שהערבוב השנה היה קצר יחסית לשנות הערבוב העמוק הקודמות ומעניין יהיה לראות באיזה קצת 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 פוטו סינטטית עשוייה להביא את ריכוזי החמצן באזור הפוטי למעבר לדרגם המסיסות (על-רוויה). בשנים בהן הערבוב רדוד, מדלדל מאגר החמצן כשריכוז החמצן במים העמוקים יורד כתוצאה מחימצון חומר אורגני. מאז שנת 2012 קטן מאגר החמצן בהדרגה ובשנה הקודמת היה מאגר החמצן השנתי הממוצע נמוך מעט מזה שחושב עבור השנים 2006 ו-2011, לפני הערבובים העמוקים של 2007 ו-2012. השנה, בעקבות הערבוב העמוק עלה מאגר החמצן השנתי הממוצע בעמודת המים לערך דומה לזה שנמדד בשנת 2007 (איור ד8).

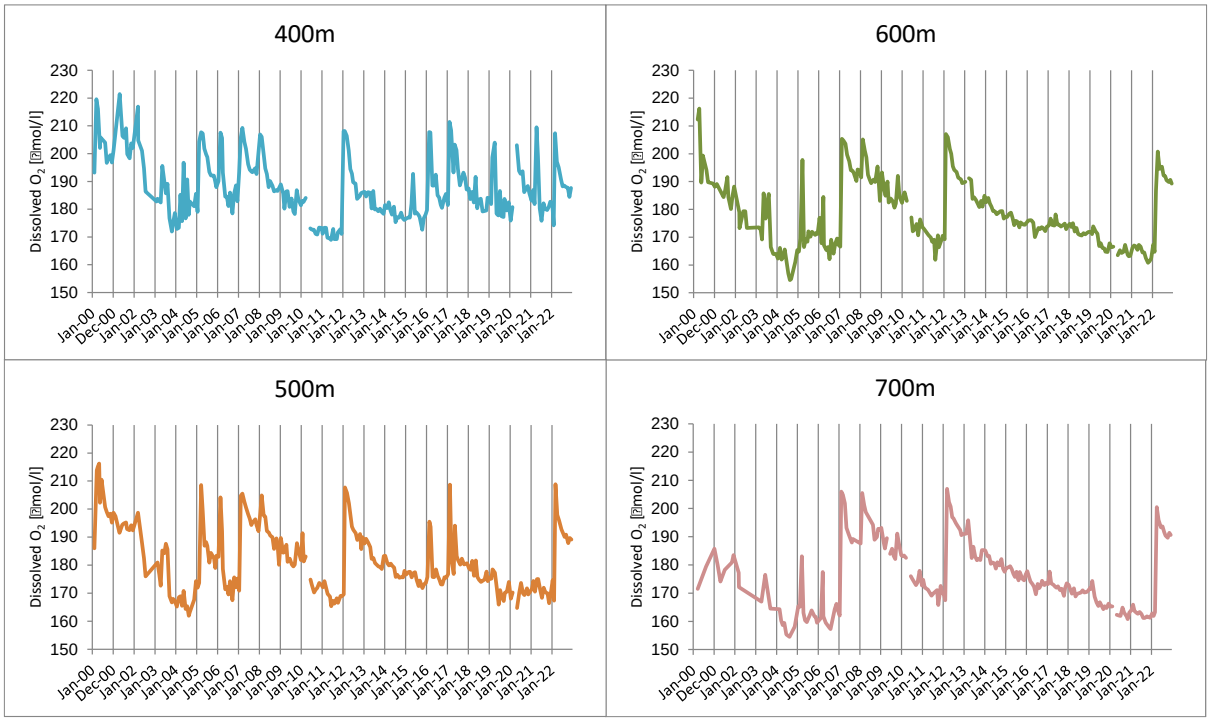


איור ד8: שינויים במאגר החמצן המומס בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. למעלה: סך המאגר במדידות חודשיות (משמאל) וממוצע שנתי (מימין). למטה: המאגר ב-400 המטרים העליונים (משמאל) ובמאתיים המטרים העמוקים (מימין).

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

סדרות הזמן של ריכוזי החמצן במים העמוקים מאז שנת 2000 מראות בבירור את תלות ריכוז החמצן בעומק הערבוב (איור ד9). במים העמוקים יורד ריכוז החמצן המומס בשנים של ערבוב רדוד, ועולה בשנים של ערבוב עמוק.

בשנה הקודמת, תשע שנים לאחר הערבוב העמוק, 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. השנה, בעקבות הערבוב העמוק, עלה ריכוז החמצן במים העמוקים ועמד על /µmol 200 בעומק 700 מטרים בחודש אפריל, סמוך לאחר הערבוב, ועל 190 µmol/l בעומק זה בסוף השנה.



איור ד9: שינויים בריכוזי החמצן המומס בעמקים 400 עד 700 מטרים בתחנה A מאז שנת 2000.

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

ערך הגבה (רמת חומציות המים, pH)

עד לשנה הנוכחית (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.

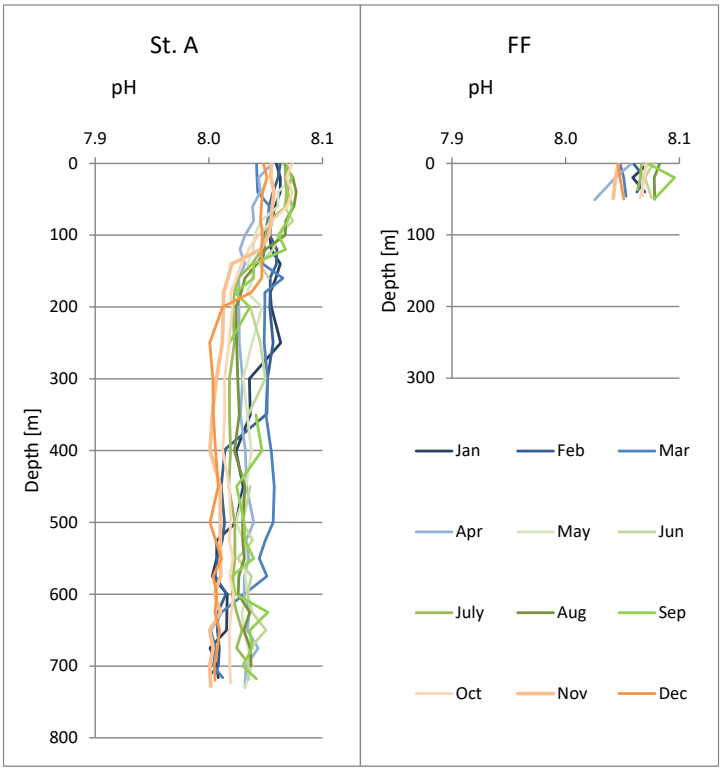
בעצה אחת עם ד"ר אייל וורגפט (האוניברסיטה העברית והאוניברסיטה הפתוחה, ד"ר ג'ק סילברמן (חיא"ל) וד"ר גלעד אנטלר (אונברסיטת בן גוריון בנגב) רכשה תכנית הניטור מכשיר ספקטרופוטומטר ייעודי למדידה אופטית של ערך הגבה (Contros HydroFIA pH, Jena Engineering). לאחר שלב של התאמות וכיולים (ראו למעלה בפירוט השיטות בפרק מי החופים) נמצאה התאמה לינארית מצויינת בין שיטות המדידה. על כן, כל הערכים שנמדדו בעבר בשיטה 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.

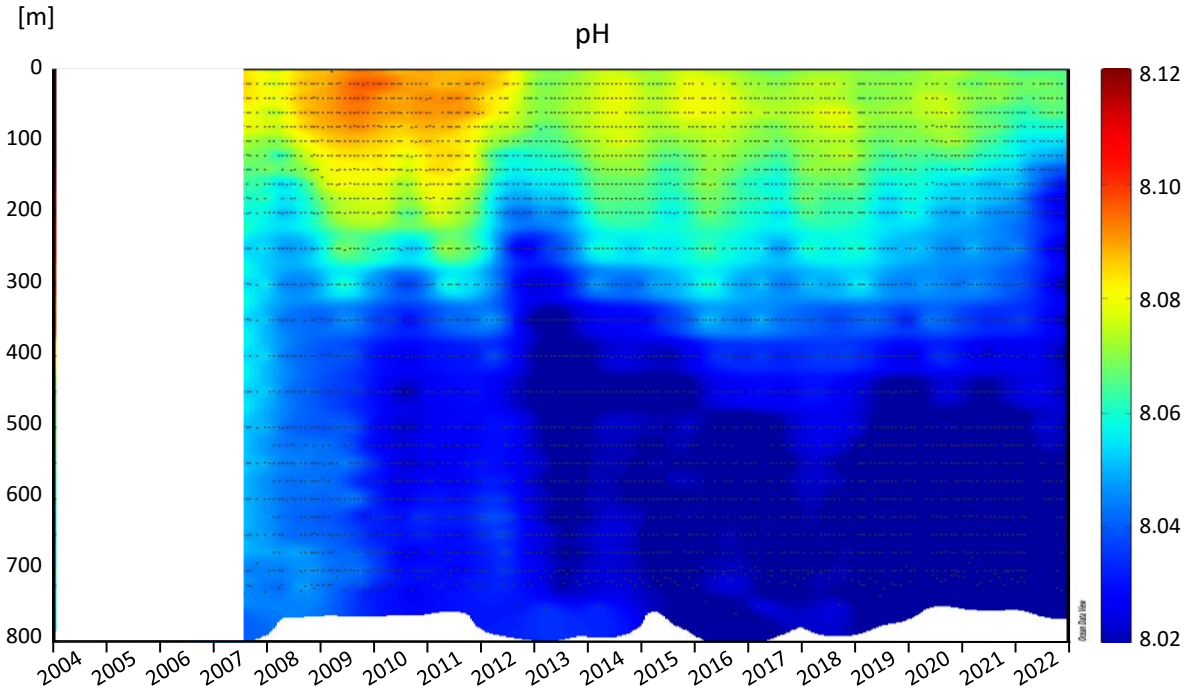
ערכי ה- pH הגבוהים ביותר בתחנה A השנה (8.074) נמדדו במים העליונים בחודש אוקטובר (איור ד10).

ערך הגבה במים העמוקים עולה כתוצאה מערבוב עמודת המים ויורד בשנים בהן הערבוב רדוד. באופן כללי היו השנה ערכי הגבה בעמודת המים נמוכים מעט מאלו של השנים האחרונות (איור ד11). בשנים 2008-11 נמדדו ערכי הגבה גבוהים במים העליונים ואלו ירדו מאד בעקבות הערבוב העמוק בשנת 2012. בשנים שחלפו מאז נותר ה- pH בעמודת המים בערכים נמוכים.



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.



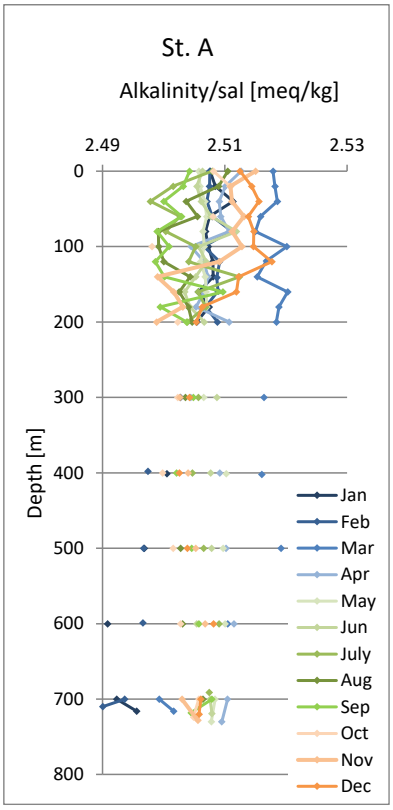
איור ד11: שינויים ברמת החומציות בעמודת המים בתחנה A מאז נובמבר 2006. הנקודות השחורות מייצגות את עומק המדידה.

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 (איור ד12). ערכים נמוכים יחסית של אלקליניות במים העמוקים נרשמים לאחר הקיץ, וערכים גבוהים יותר בחודשי הערבוב. ערכי אלקליניות מרביים נמדדו בעמודת המים בחודש מרץ, בזמן הערבוב. בחודש אפריל, מעט לאחר שהערבוב הפעיל נגמר, כבר נמצאו ערכי אלקליניות נמוכים הרבה יותר. בחודש מרץ נמדדה אלקליניות של 2.520meq/kg ואילו באפריל כבר נמדדה אלקליניות של 2.511meq/kg במים העליונים.

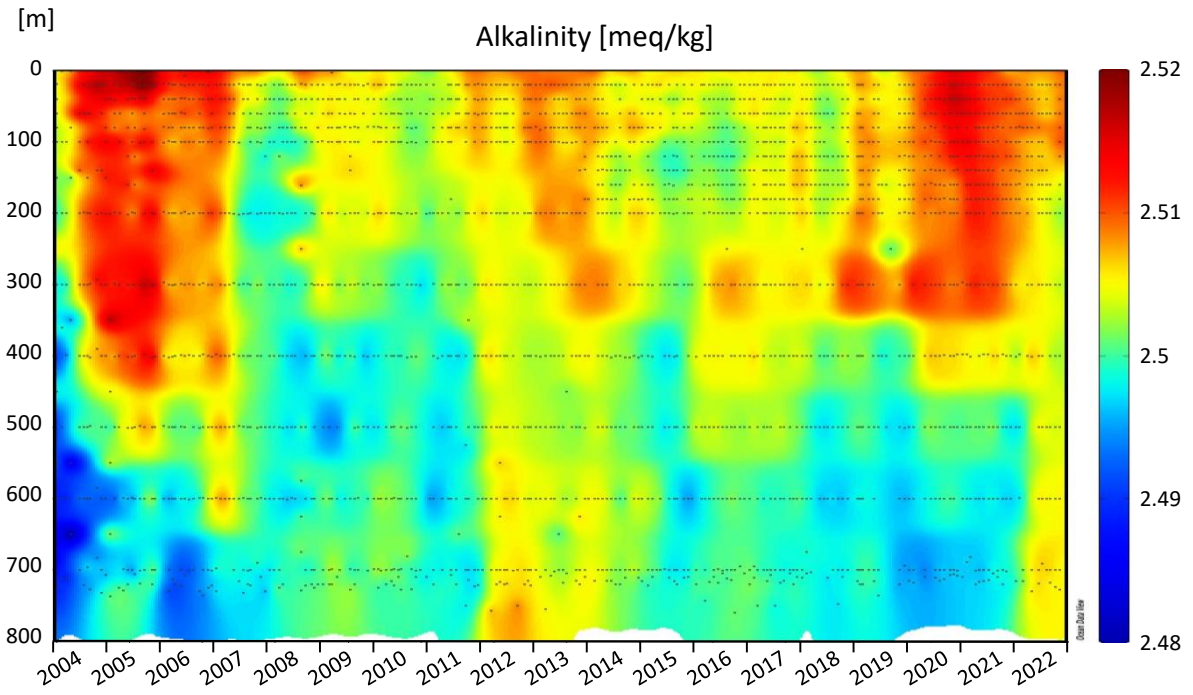
בחודשי הקיץ האלקליניות במים העליונים נמוכה מעט מאשר במים התחתונים, ובחודשי האביב גבוהה מעט יותר.



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

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

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 השנה נמצאה ירידה באלקליניות בעמודת המים (איור ד13).



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

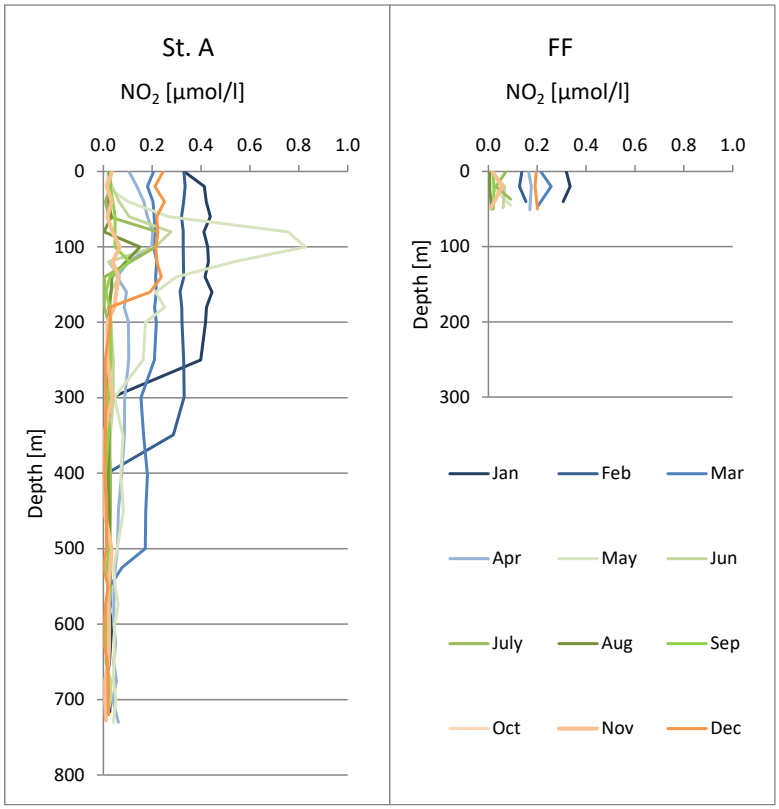
Figure D13: Changes in alkalinity in the water column at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths.

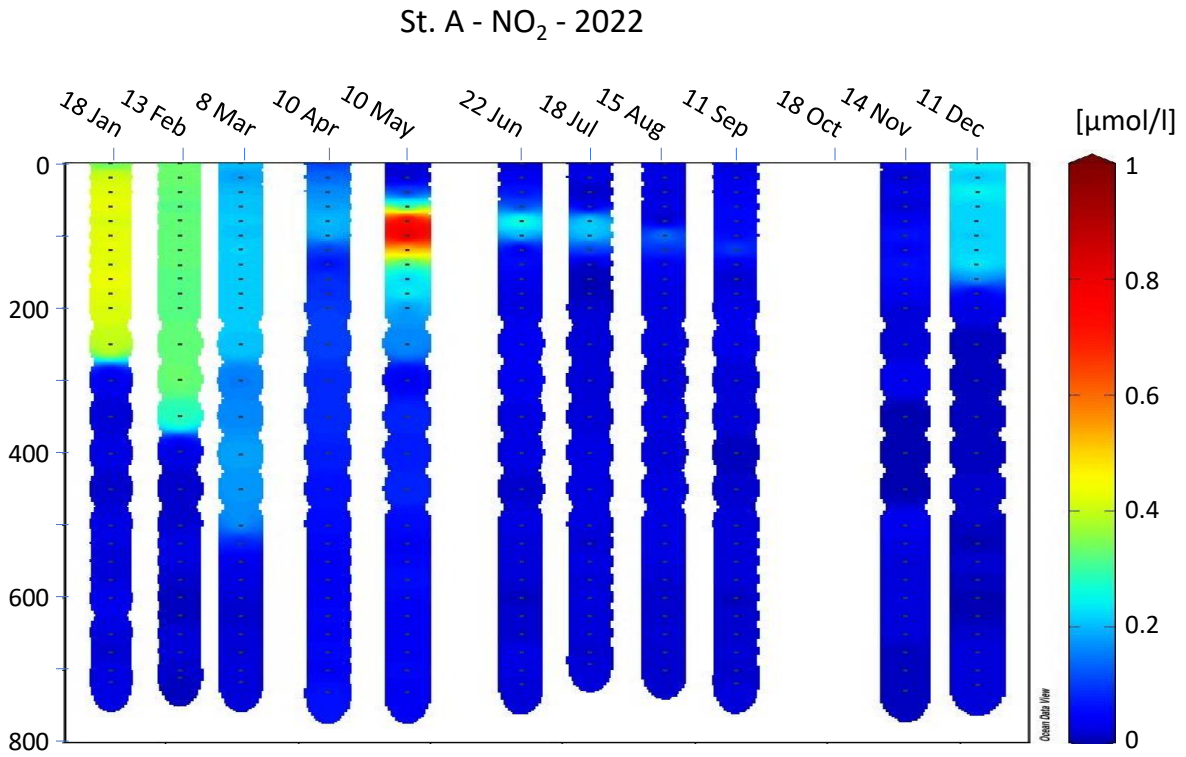
ניטריט (NO_2^-) וניטראט (NO_3^-)

ניטריט נצרך הן על ידי פיטופלנקטון באזור הפוטי (המואר) והן על-ידי בקטריות וארכיאה המחמצנים אותו לניטראט בתהליך הניטריפיקציה המתרחש בכל עמודת המים, ועל כן ריכוזי הניטריט במים נמוכים מאד. ניטריט יכול להיווצר גם על ידי דניטריפיקציה, חיזור ניטראט על ידי חיידקים אנאירובים, אולם תהליך זה פחות סביר במי המפרץ המחומצנים. יתכן שדניטריפיקציה מתרחשת בסדימנט. עקב היותו 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 ד14).

ריכוז הניטריט המרבי בתחנה A נמדד השנה לאחר הערבוב, בחודש מאי בעומק 120 מטר (0.827 µmol/l). בחודשים שלאחר מכן הלך וקטן ריכוז הניטריט בעומקי הביניים, עד שנבלע בריכוזי הרקע לאורך עמודת המים.





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

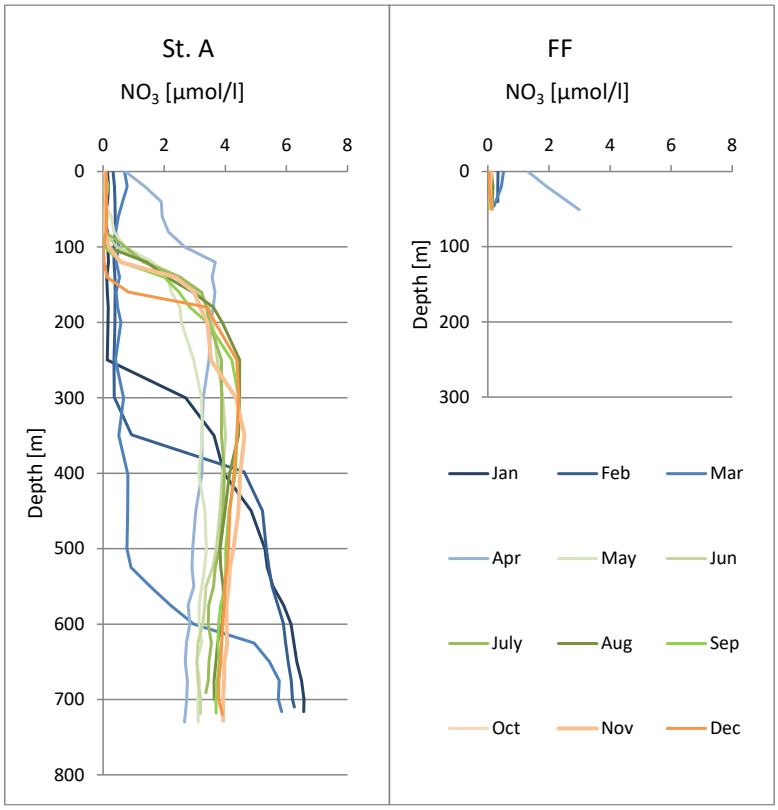
Figure D14: Nitrite (NO_2^-) concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Station A is on the Israeli/Jordanian/Egyptian border at >700 meters depth, and the Fish Farms station is close to the northern shore of the Gulf at ca. 50 meters depth. Bottom – an annual time series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

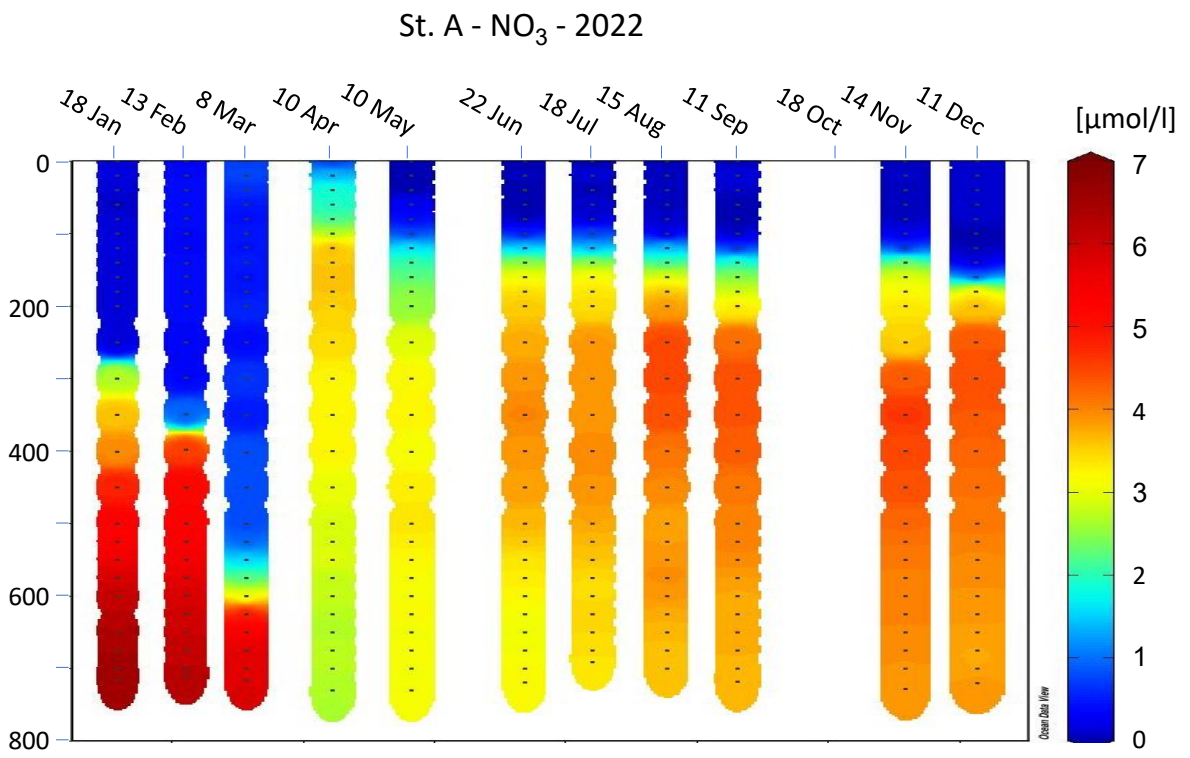
ניטראט הוא המרכיב העיקרי של מאגר החנקן האנאורגאני המחומצן במי העומק. הניטראט הינו התוצר הסופי של תהליך הניטריפיקציה שתחילתו חמצון בקטריאלי של אמוניה ועל כן מהווה מדד לכמות החומר האורגני שפורק בתהליכי נשימה במים העמוקים. בחורף גורם הערבוב להעשרה של מי השטח בניטראט המגיע מהעומק. קליטת הניטראט על ידי פיטופלנקטון 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 לפחות לעומק הקרקעית בתחנת המדידה. הערבוב התרחש בין הפלגת הניטור בחודש מרץ (8.3.2022) להפלגת הניטור בחודש אפריל (10.4.2022) והיה כנראה קצר. בהפלגת אפריל ניכר היה שעמודת המים עורבבה במלואה אך השכבה העליונה כבר הופרדה מהמים העמוקים ועומק הנוטריקלינה היה כ- 130 מטרים (איור 15ד). ריכוז הניטראט המרבי אשר נמדד בפני הים בתחנה A היה השנה 0.73µmol/l, בחודש אפריל, מעט יותר מזה שנמדד במרץ (0.70µmol/l). הריכוז המרבי אשר נמדד במים העליונים, בבסיס הנוטריקלינה בחודש אפריל, היה 3.67µmol/l.

לשם השוואה, בשנת 2014 בה היה הערבוב רדוד במיוחד נמדד במים העליונים ריכוז ניטראט מרבי של 0.12µmol/l בלבד ובשנת 2012, בה היה הערבוב עמוק, נמדד בפני הים בחודש מרץ ריכוז ניטראט של 2.158µmol/l.

במים העמוקים היה ריכוז הניטראט המרבי השנה ~6.7µmol/l, דומה לזה של השנה הקודמת, וזה בחודש ינואר לפני שעורבבו המים העמוקים. בסוף השנה היה ריכוז הניטראט שם 3.91µmol/l, כחצי מהריכוז שנמדד בתחילת השנה.





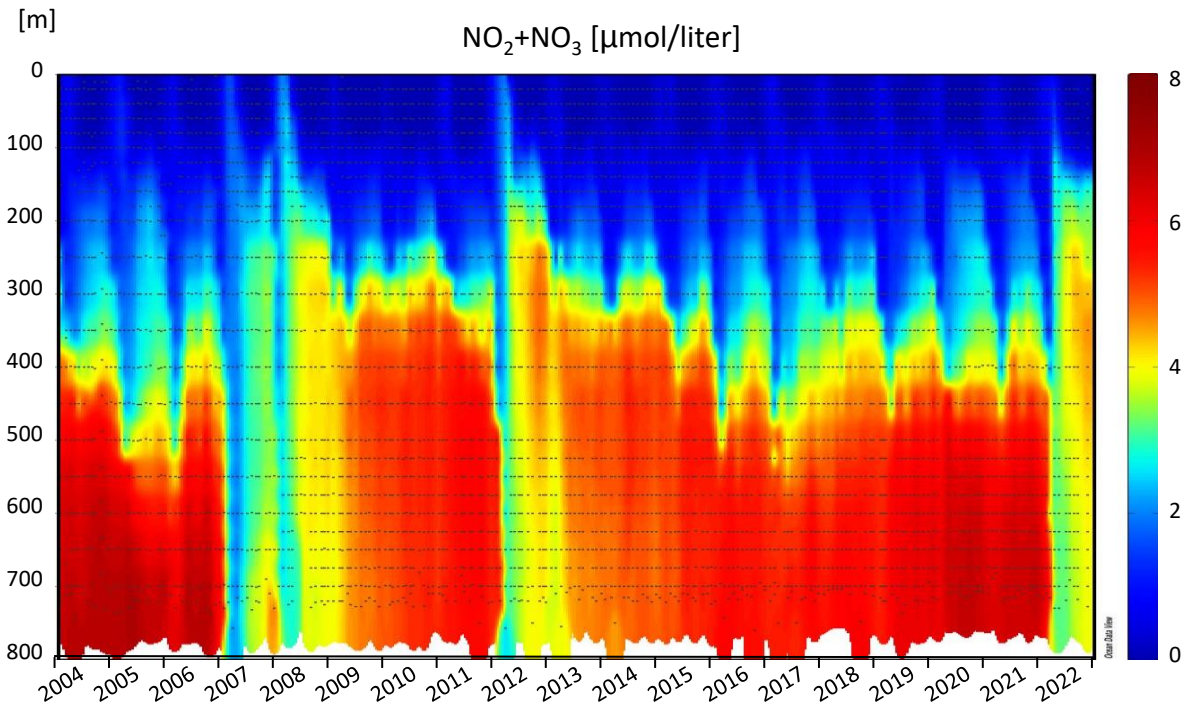
איור ד15: ריכוזי ניטראט (NO_3^-) בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700 מטרים, ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים. למטה – סדרת זמן שנתית של ריכוזי ניטראט מומס בעמודת המים בתחנה A.

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

ריכוז החנקן המחומצן בעמודת המים (Total Oxidized Nitrogen) דומה לריכוז מרכיבו העיקרי, הניטראט. בשנים הראשונות לתכנית הניטור, נמדדו ריכוזי חנקן מחומצן גבוהים במים העמוקים. ערבוב עמודת המים בחורף 2004-5 הגיע עד לכ-600 מטר וריכוז החנקן ירד עד לעומק זה, אולם ב-2006 שוב נמדדו ריכוזים דומים לאלה של שנת 2004. שנתיים של ערבוב עמוק (2007 ו-2008) הורידו משמעותית את ריכוזי החנקן במים העמוקים, אך בין פברואר 2008 וחורף 2012, נמצאה מגמת עליה בריכוזי החנקן במים העמוקים מכ- 350 מטרים.

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

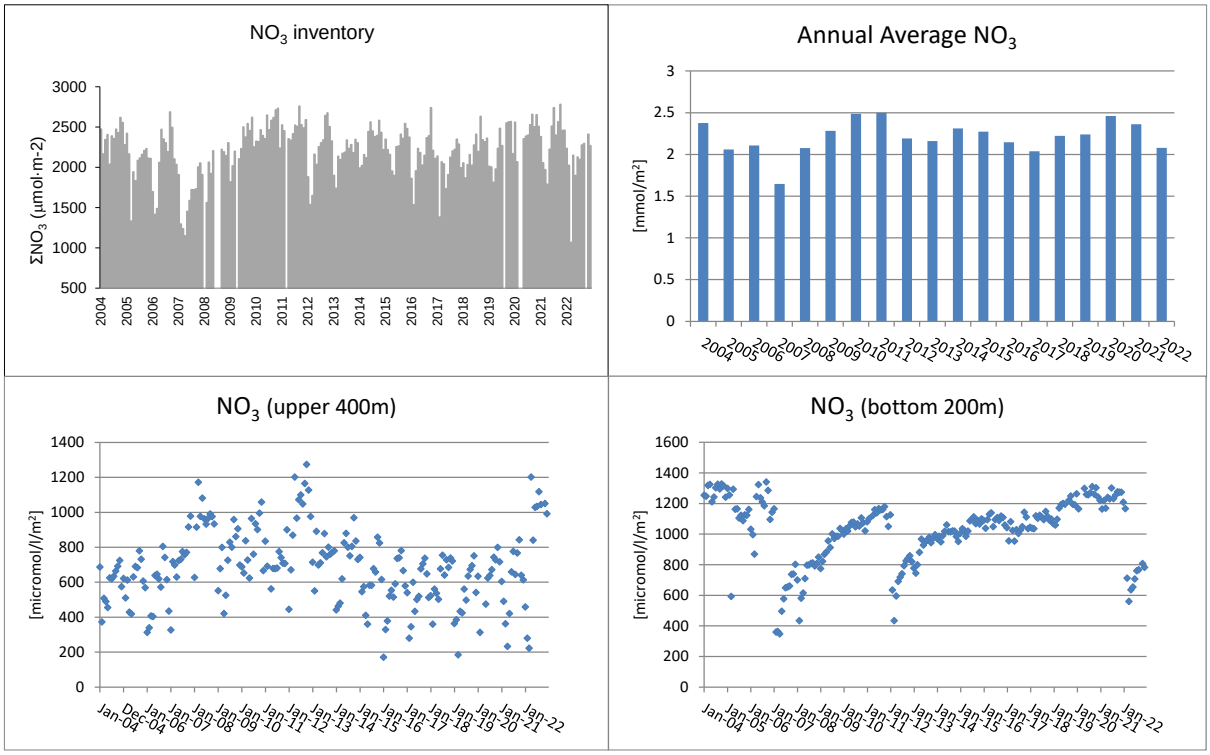
בשנתיים הקודמות (2020-2021) נמצאו בסמוך לקרקעית ריכוזי חנקן גבוהים מאלה שנמדדו בשנת 2011, שלוש שנים לאחר הערבוב העמוק של שנת 2008 אך עדיין נמוכים מאלה שנמצאו בשנים 6-2004. השנה, בעקבות הערבוב העמוק של עמודת המים, עד לעומק הקרקעית בתחנה A, ירדו ריכוזי הניטראט במים העמוקים במידה ניכרת, בדומה לשנת 2012.



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= NO_3+NO_2) in the water column at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths.

מאגר הניטראט בעמודת המים מאז 2004 מראה עליה בכמות החנקן בעמודת המים בין השנים 2008-11, אך מאז הערבוב העמוק של שנת 2012 השינויים במאגר הניטראט קטנים יותר. בתחילת השנה עדיין היה מאגר הניטראט ב-200 המטרים העמוקים גדול, אך החל מחודש מרץ ירד מאד (עד לערך מזערי של 560 µmol/m^2), אף כי – בשל משך הערבוב הקצר – לא הגיע לערכים המזעריים של 2012 (435 µmol/m^2) או 2008, 2007 (435 µmol/m^2, 347 µmol/m^2). מאגר הניטראט השנתי הממוצע בכל עמודת המים, לעומת זאת, נמוך מזה שחושב עבור שנת 2012, ודומה למאגר הממוצע שחושב עבור שנת 2008 (איור ד17).



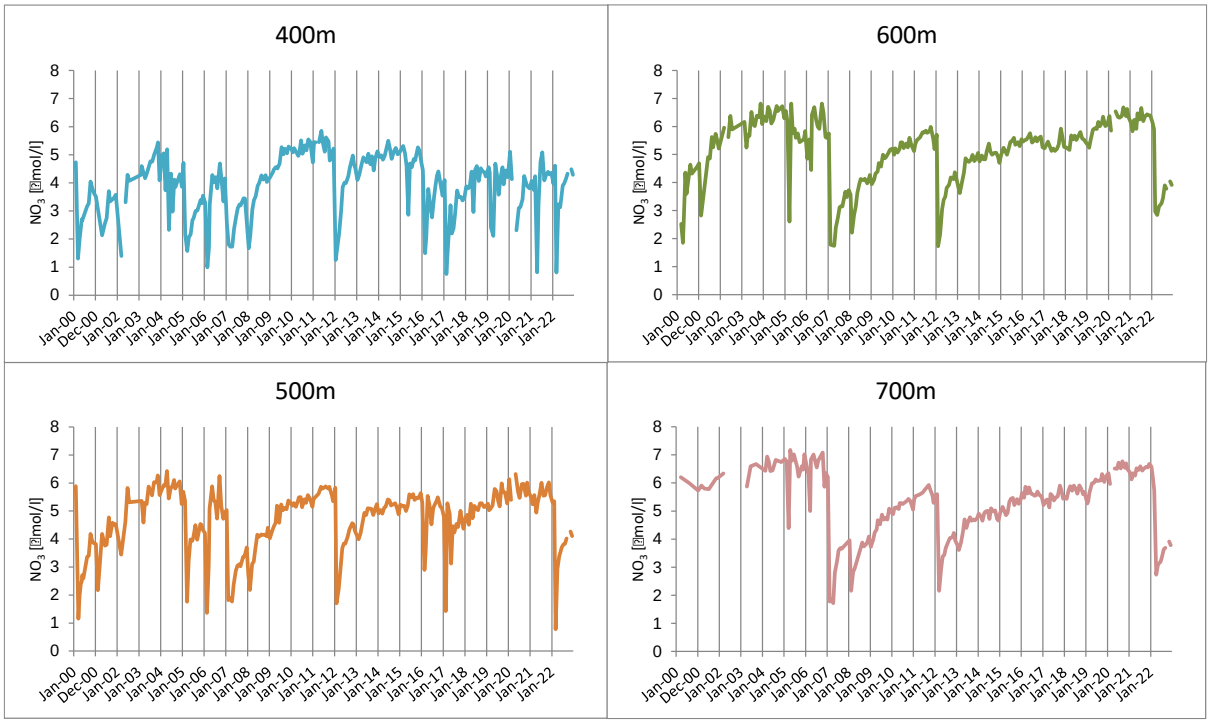
איור ד17: שינויים במאגר הניטראט (NO_3) בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. למעלה: סך המאגר במדידות חודשיות (משמאל) וממוצע שנתי (מימין). למטה: המאגר ב-400 המטרים העליונים (משמאל) ובמים העמוקים (מימין).

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

סדרת זמן של ריכוזי ניטראט בעומקים קבועים בעמודת המים מגלה מחזורים עונתיים ורב-שנתיים התלויים בעומק הערבוב (איור ד18). מאז שנת 2000 ניתן לעקוב אחר שלושה מחזורים של ערבוב עמוק ואחריו מספר שנים בהן הערבוב רדוד. בין השנים 2000 ו- 2007 ריכוזי הניטראט במים העמוקים (~ 700 מטר) היו גבוהים (6.7-7 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 השנה הקודמת, תשע שנים לאחר הערבוב העמוק הקודם, עמד ריכוז הניטראט בעומק 700 מטרים על 6.68µmol/l, גבוה מאשר בשנת 2011. הערב המזערי אשר נמדד השנה, בעקבות הערבוב העמוק, היה 2.7µmol/l ובסוף השנה הנוכחית ריכוז הניטראט הנמדד בעומק 700 מטרים היה 3.8µmol/l.



איור ד18: שינויים בריכוז הניטראט בעומקים (400 עד 700 מטר) בתחנה A מאז ינואר 2000. נתונים הקודמים לתכנית הניטור נאספו במסגרת פרויקט "פארק השלום" ומובאים באדיבותם של הפרופ' י. ארז והפרופ' ב. לזר.

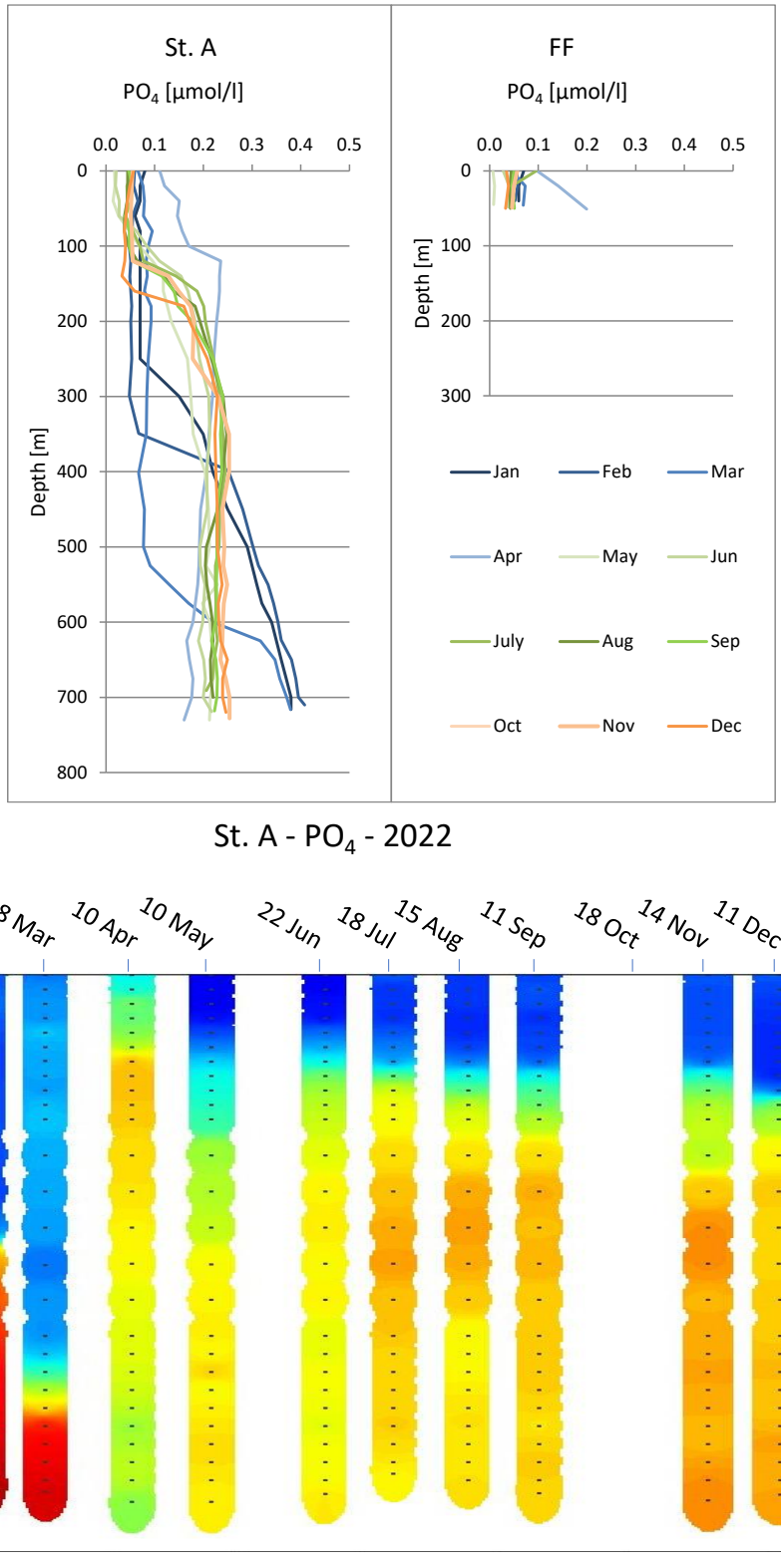
Figure D18: Changes in nitrate concentration water depth of 400m to 700m at Station A since 2000. ***Data from the years 2000-2002 were collected during the Peace Park Project and are provided courtesy of Prof. J. Erez and Prof. B. Lazar.***

<u>פוספט</u>

בדומה לנוטריינטים אחרים, ריכוזי הפוספט בעמודת המים נמוכים בקרבת פני הים וגבוהים יותר בעומק (איור ד19). במים הרדודים נצרכים חומרים אלה על ידי היצרנים הראשוניים בתהליכי יצירת חומר אורגני, ובעקבות שקיעת חלקיקים אורגנים מהמים הרדודים ופירוקם בעומק עולה ריכוז הנוטריינטים, ובכלל זה הפוספט, עם העומק. המחזור העונתי של הפוספט דומה לזה הנראה עבור חנקן ומאופיין בעליית הריכוזים בפני הים בעת הערבוב, אך ריכוז הפוספט נמוך בהרבה משל החנקן המחומצן המומס (TON, ניטריט + ניטרט).

בחודש אפריל השנה, בעקבות הערבוב העמוק, הגיע ריכוז הפוספט בפני הים בתחנה A לערך מרבי של 0.111μmol/l. זהו ערך מעט גבוה מאשר בשנים האחרונות, בהן לא היה ערבוב עמוק שהעלה נוטריינטים ממי העומק. גם בהקשר של הפוספט, בהפלגת חודש אפריל כבר היתה נוטריקלינה במים העליונים ומשמעותה שריכוז הנוטריינטים בשכבה המוארת כבר החל לרדת. הריכוז המרבי, בבסיס הנוטריקלינה,בעומק של 120 מטרים, היה השנה 0.236 μmol/l.

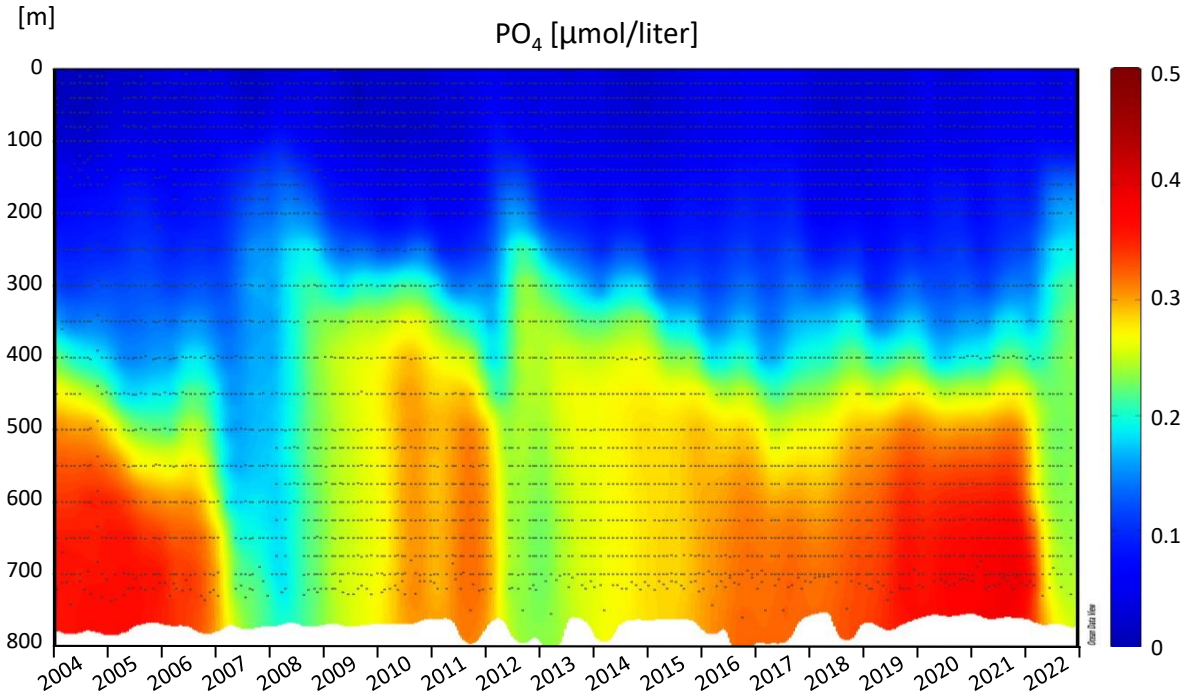
במים העמוקים היה ריכוז הפוספט בתחילת השנה סביב 0.4 μmol/l, ובסופה 0.246 μmol/l.



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

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

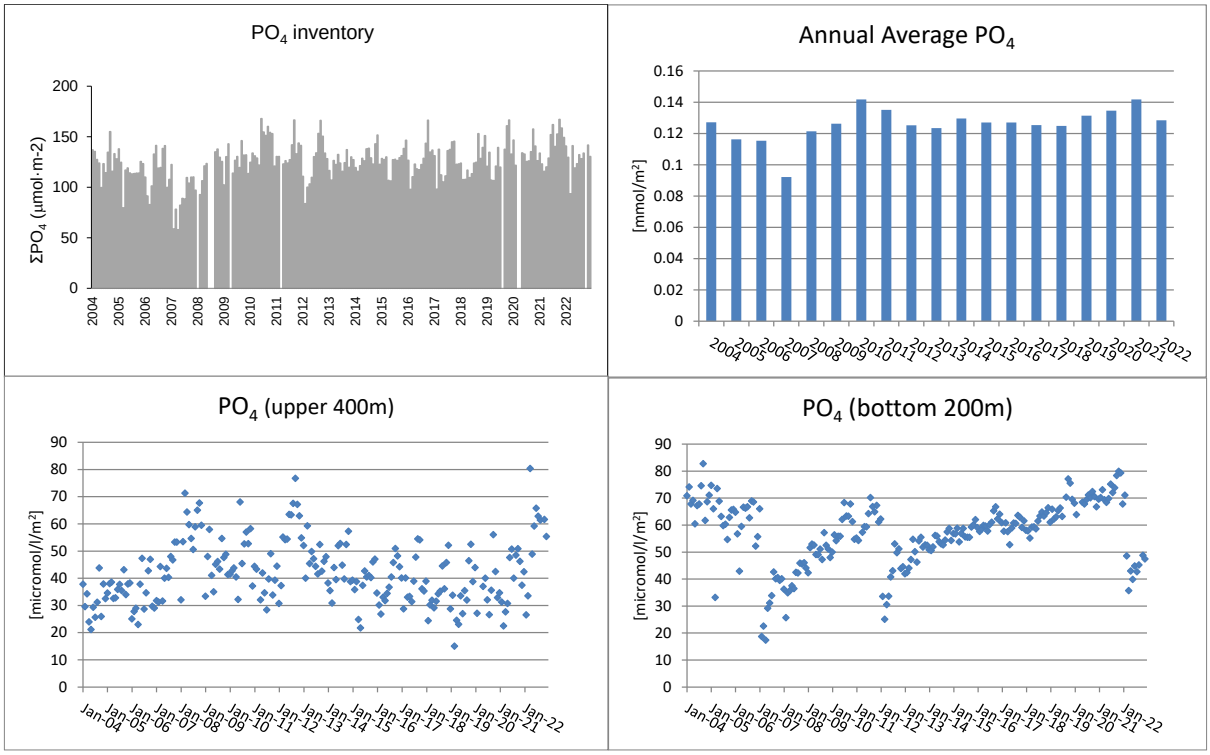
ריכוזי הפוספט במים העמוקים היו גבוהים (0.36-0.4 µmol/l) בחודשי הסתיו בשנים 2004-6 ובעקבות הערבוב העמוק בשנת 2007 ואחר כך שוב בשנת 2008 ירדו ריכוזי הפוספט בעמודת המים, ובפרט במים העמוקים, במידה רבה. בשלוש השנים שלאחר מכן עלה ריכוז הפוספט במים העמוקים בהדרגה עד לערך של 0.35 µmol/l בסוף שנת 2011. הערבוב העמוק בשנת 2012 שוב גרם לירידת ריכוזי הפוספט במים העמוקים, ואחריו ריכוזי הפוספט במי הביניים ובמים העמוקים עלו בהדרגה. בשנים האחרונות ריכוז הפוספט המרבי במים העמוקים בתחנה A היה גבוה מזה של שנת 2011 ובשנה הקודמת ריכוזו במים העמוקים היה גבוה מהריכוזים אשר נמדדו בשנים 2004-6. השנה ירדו ריכוזי הפוספט במידה ניכרת בכל עמודת המים, עקב הערבוב העמוק (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. בשנים האחרונות גדל מאגר הפוספט במים העמוקים והשנה שוב קטן בעקבות הערבוב העמוק, אך לא במידה שנצפתה עבור שנות הערבוב העמוק הקודם, 8-2007 ו-2012 (איור ד21). כמות הפוספט השנתית הממוצעת המומסת בעמודת המים הגיעה לערך מרבי בשנת 2010, ובשנים האחרונות השינויים קטנים אך החל משנת 2018 ישנה עליה מתמשכת. בשנה הקודמת כמות הפוספט הממוצעת האגורה בעמודת המים היתה הגבוהה ביותר שנמדדה במשך שנות הניטור, והשנה בעקבות הערבוב העמוק קטן המאגר השנתי הממוצע של פוספט מומס אך לא במידה שנמצאה בשנים 2007 ו-2008. הממוצע השנתי השנה גם מעט גבוה מזה של שנת 2012.



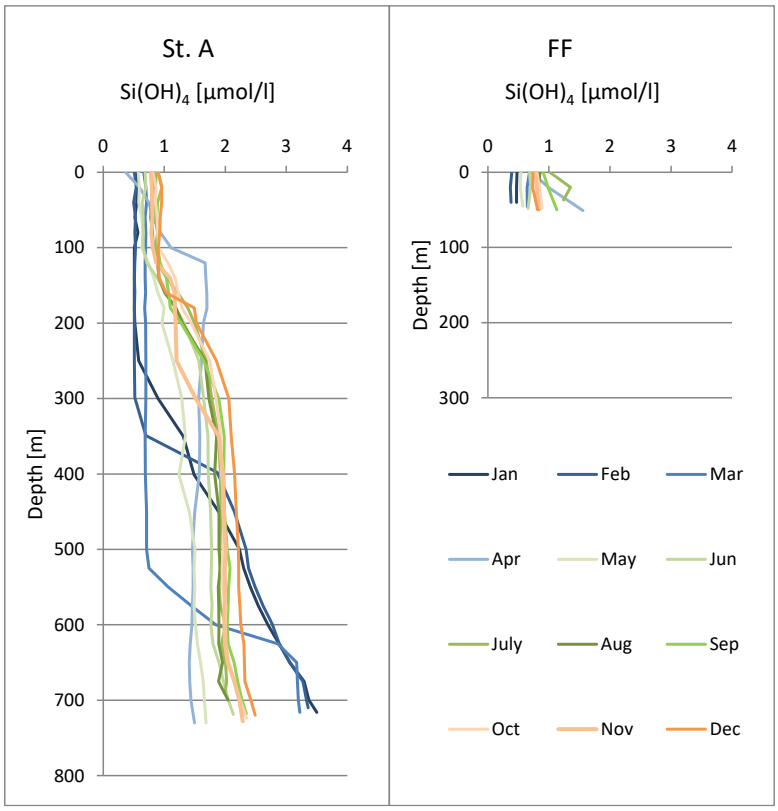
איור ד21: שינויים במאגר הפוספט בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. למעלה: סך המאגר במדידות חודשיות (משמאל) וממוצע שנתי (מימין). למטה: המאגר ב-400 המטרים העליונים (משמאל) ובמים העמוקים (מימין).

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

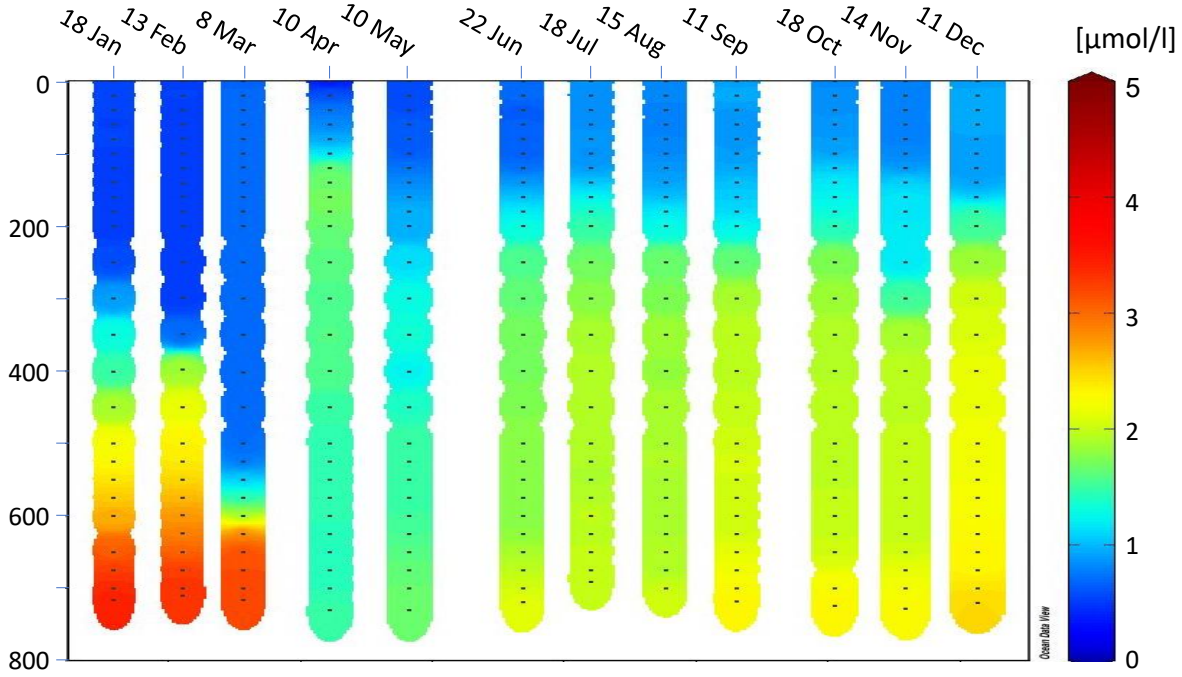
<u>סיליקה</u>

גם ריכוזי הסיליקה בעמודת המים הראו השנה את התבנית האופיינית לנוטריינטים בשנה של ערבוב עמוק. בפני הים בתחנה A נמדד בתחילת השנה ריכוז סיליקה של 0.54µmol/l שעלה בהמשך השנה בעקבות הערבוב. בסוף השנה היה ריכוז הסיליקה בפני הים 090µmol/l.

במים העמוקים (700 מטרים) היה ריכוז הסיליקה בתחילת השנה 3.50µmol/l, ירד לערך מזערי של 1.44µmol/l באפריל, ובסוף השנה נמדד שם ריכוז סיליקה של 2.49µmol/l. ברבים מהחודשים נמצאה עלייה קלה בריכוזי הסיליקה ב~ 20 המטרים הסמוכים לקרקעית (איור ד22), וזו מצביעה על מקור סיליקה בסדימנט – המסת סיליקה ממוצא יבשתי או שלדים סיליקטים של פלנקטון, בעיקר אצות צורניות [diatoms].



St. A – $Si(OH)_4$ - 2022

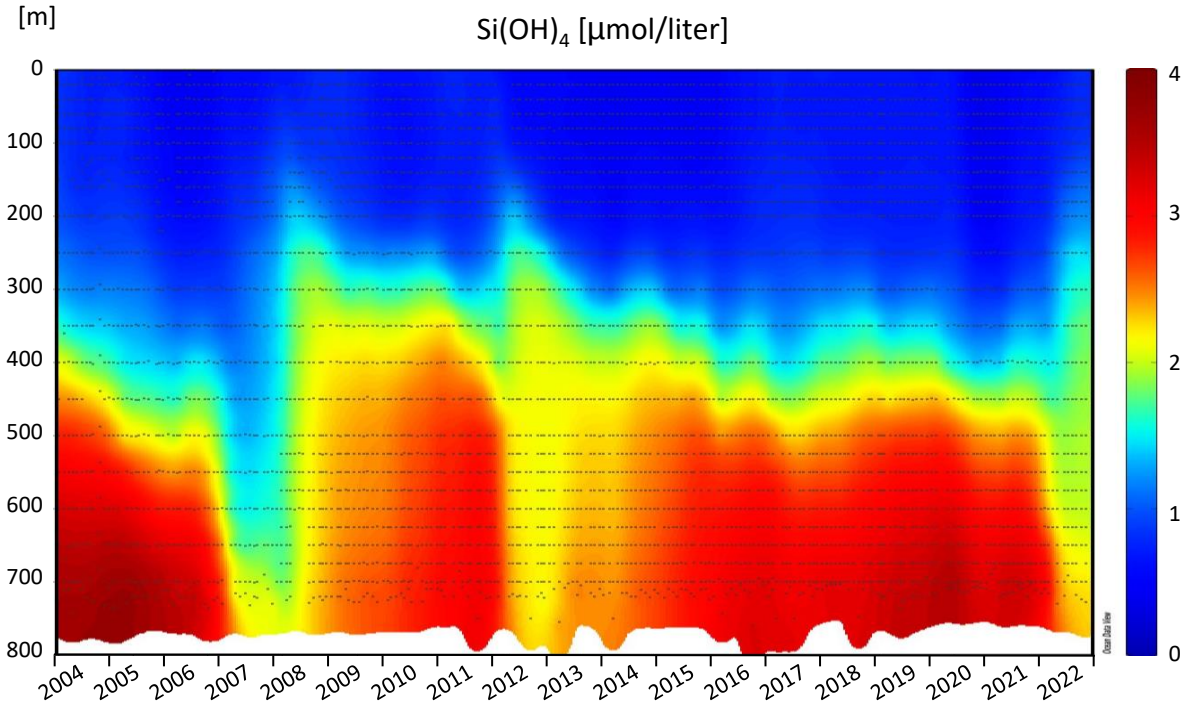


איור ד22: ריכוזי סיליקה ($Si(OH)_4$) בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700 מטרים ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים. למטה – סדרת זמן שנתית של ריכוזי סיליקה מומס בעמודת המים בתחנה A.

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). בעקבות הערבוב העמוק בשנת 2012 נמדד בפני הים ריכוז סיליקה של 1.293µmol/l. השנה, כאמור, ריכוזי הסיליקה בפני הים היו נמוכים יותר, אך במים העמוקים ירדו ריכוזי הסיליקה לערכים דומים לאלו של שנת 2012.

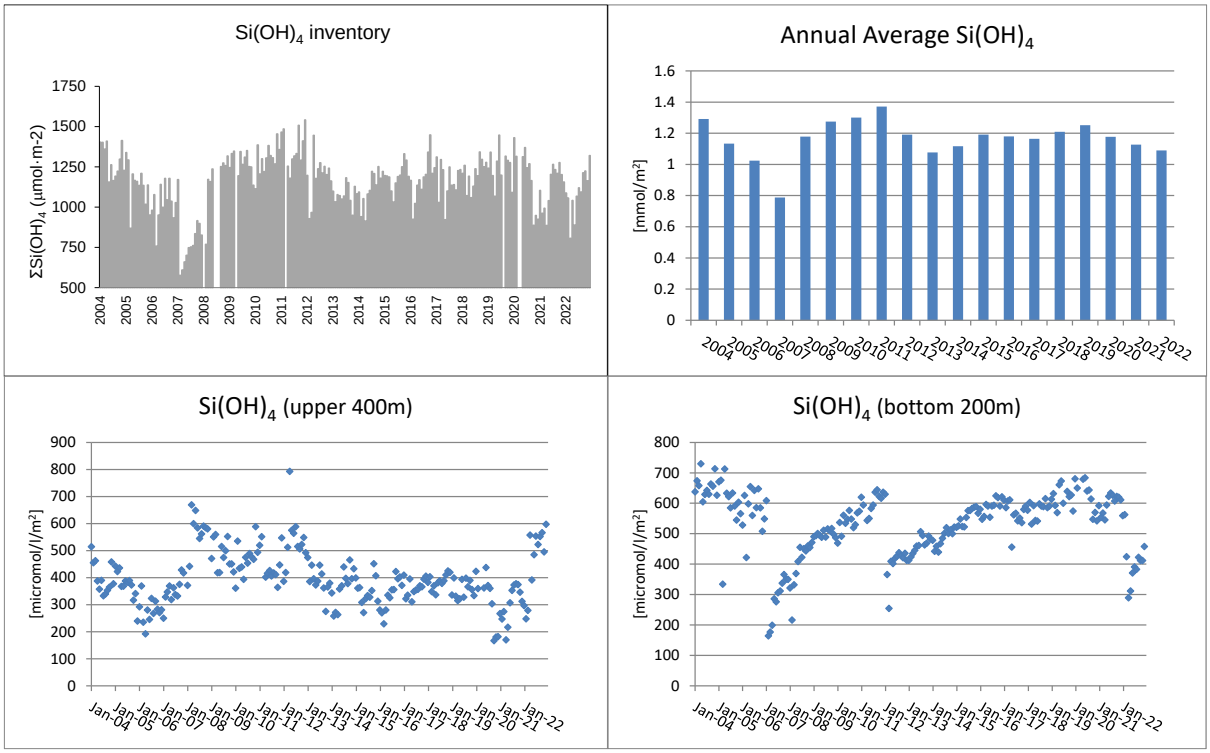
גם בסיליקה, כמו בנוטריינטים אחרים, ניכרים מחזורים רב-שנתיים הקשורים לערבוב עמודת המים. בשנים 2007 ו-2008, שנתיים רצופות של ערבוב עמוק וממושך, ירדו ריכוזי הסיליקה במים העמוקים לערכים נמוכים ביותר ואילו בערבובים העמוקים של שנת 2012 והשנה ריכוזי הסיליקה בסמוך לקרקעית נותרו מעט גבוהים יותר.



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.

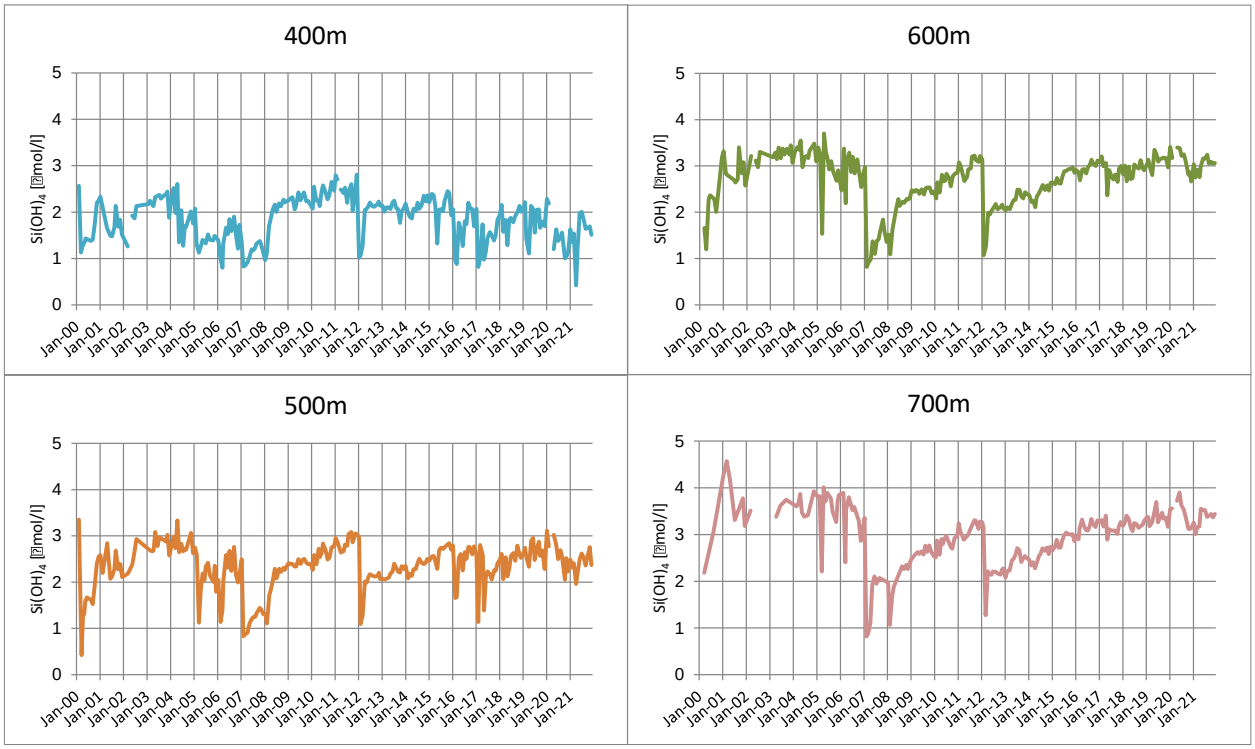
מאגר הסיליקה בעמודת המים הגיע לערכים נמוכים ביותר בשנת 2007, אז העלה הערבוב סיליקה לאזור הפוטי והזין פריחת אצות צורניות. בשנים שלאחר מכן עלתה כמות הסיליקה המומסת במים עד שירדה שוב בחורף 2012, אם כי במידה פחותה – נראה כי בעקבות הערבוב בשנת 2012 לא התרחשה פריחה חזקה של אצות צורניות שיסלקו סיליקה מהמים. אחרי שנת 2012 מאגר הסיליקה השנתי הממוצע בעמודת המים גדל במתינות עד לערך מרבי בשנת 2019, ובשנתיים שאחר כך ירד מעט. השנה חושבה ירידה נוספת במאגר הסיליקה האצור בעמודת המים, המונעת בעיקר מירידה בסיליקה במים העמוקים בעקבות הערבוב העמוק. בשנתיים הקודמות הירידה במאגר הסיליקה נבעה ככל הנראה מירידה בכמות המצוייה במים הבינוניים והעליונים (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 inventories (right) and annual averages (left). Bottom: the upper 400m (left) and the deep water (right).

ריכוז הסיליקה הגבוה ביותר מאז שנת 2000 נמדד בעומק 700 מטרים במרץ 2001, 4.57µmol/l, ונגרם כנראה מפריחת 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 היה בתחילת השנה הנוכחית 3.4µmol/l, בחודש אפריל 1.4µmol/l ובסוף השנה נמדד שם ריכוז סיליקה של 2.4µmol/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.

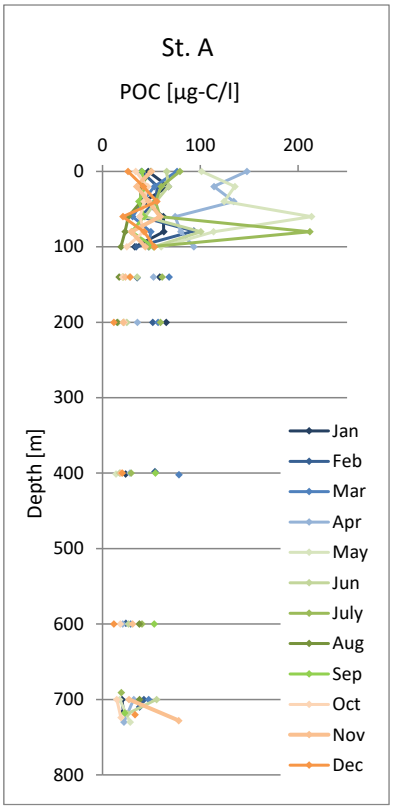
Figure D25: Changes in silicate concentration water depth of 400m to 700m at Station A since 2000. ***Data from the years 2000-2002 were collected during the Peace Park Project and are provided courtesy of Prof. J. Erez and Prof. B. Lazar.***

<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.]

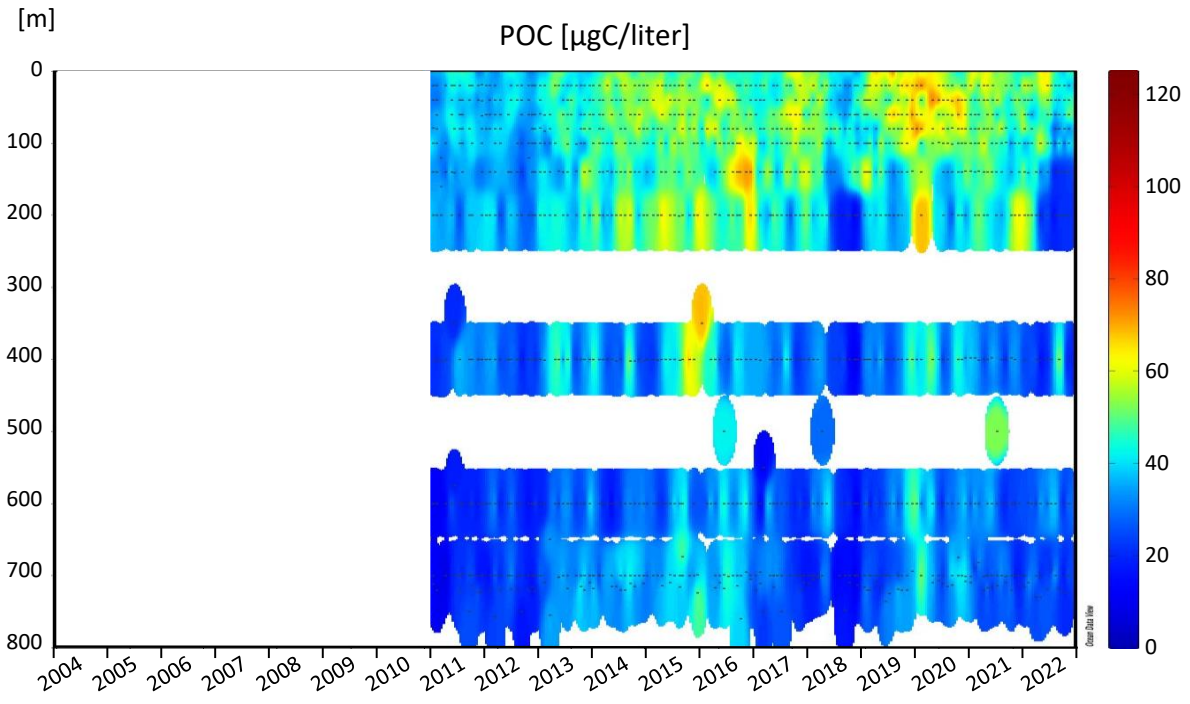
פרופילים של ריכוז הפחמן החלקיקי נמדדים בעמודת המים בתחנה A, עם צפיפות דגימות גדולה בשכבה הפוטית, וקרוב לקרקעית. ריכוזי הפחמן החלקיקי גבוהים במיוחד ב-100 המטרים העליונים של עמודת המים והערכים הגבוהים ביותר נמדדים לרוב בחודשי האביב. מתחילת השנה החלו ריכוזי החלקיקים במים העליונים לעלות והערך הגבוה ביותר בפני הים נמדד בחודש אפריל, 148 µgC/l. הערכים המרביים השנה נמדדו לאחר מכן, בחודשים מאי (בעומק 60 מטר) ויולי (בעומק 80 מטר), 214 ו- 212 µgC/l, בהתאמה (איור ד26).

ריכוז הפחמן החלקיקי גבוה במים העליונים בהשוואה למים העמוקים, עם עלייה בריכוז בקרבת קרקעית הים המצביעה על הרחפת חלקיקים מהקרקעית. בשנים 2016 ו-2017 וכן בשנת 2020 נמצאו ריכוזי פחמן חלקיקי גבוהים יחסית לשאר השנים בהן מתבצעת מדידה זו (איור ד27).



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

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



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

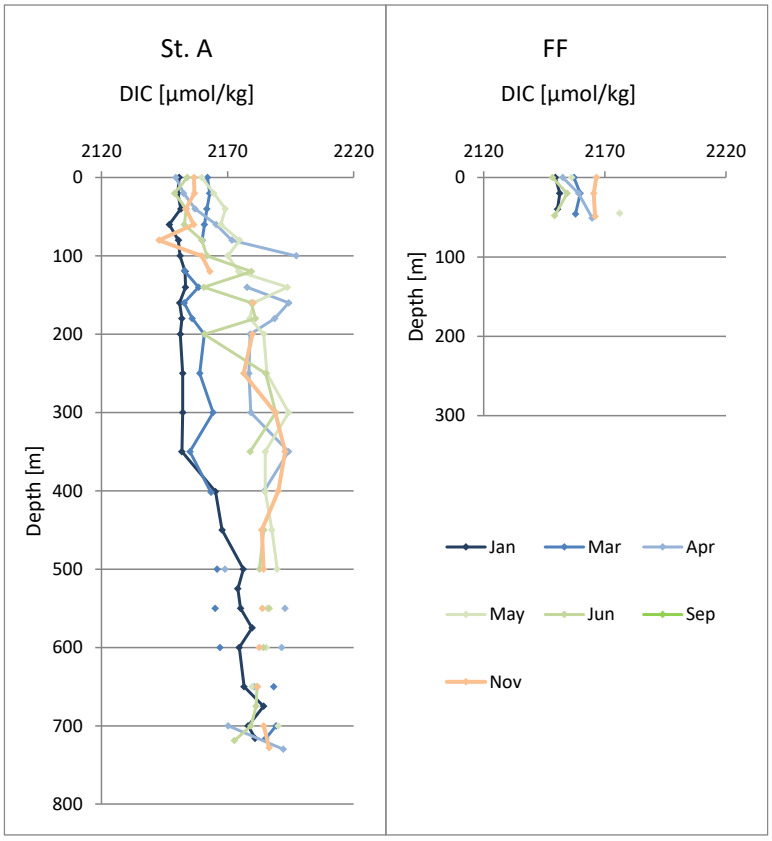
Figure D27: Changes in the concentration of particulate carbon in the water column at Station A since 2011. Black dots represent the sampling depths.

<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.

המדידה נעשית במעבדתו של ד"ר אייל וורגפט מהאוניברסיטה הפתוחה והאוניברסיטה העברית]

על אף שהמדידות החלו בשנה הקודמת, מערך הדגימה והמדידה עדיין לא התייצב. בדו"ח זה אנו מציגים את המדידות מהשנה הנוכחית בלבד וגם כאן חסרים חלק מן החודשים. למרות זאת, מתחילה להתקבל תמונה כללית של התפלגות הפחמן האנ-אורגני המומס בעמודת המים בעונות השונות. פרופילים של ריכוזי פחמן אנאורגני מומס בעמודת המים (איור ד28) מציגים תבנית עונתית כמו גם תהליכים השולטים בעומקים שונים. בחודשי הקיץ, כאשר עמודת המים משוכבת, ריכוז DIC גדל עם העומק. בתקופה זו פועלים במים העליונים תהליכי פוטוסינטזה ושיחלוף גז בין ים ואטמוספרה ובמים העמוקים תהליכי גיבוש מחדש (רה-מינרליזציה) של חומר אורגני. כתוצאה מכך בעמודת המים העליונה ערכי DIC סביב 2130 µmol/kg ~ ואילו עמוק מהתרמוקלינה ערכי DIC סביב ~ 2170 µmol/kg. בסתיו מתחיל ערבוב של עמודת המים העליונה ומפל ריכוזי ה-DIC קטן. עם זאת, ערכי DIC במים העליונים נותרים נמוכים מאלה של המים העמוקים. בחודש מרץ, בו הגיע עומק הערבוב בזמן ההפלגה לסביבות 600 מטר ערכי DIC בשכבה המעורבבת היו 2160 µmol/kg ~ ובמים העמוקים יותר, כ- 2180 ~ µmol/kg.



איור ד28: 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 מטרים ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים.

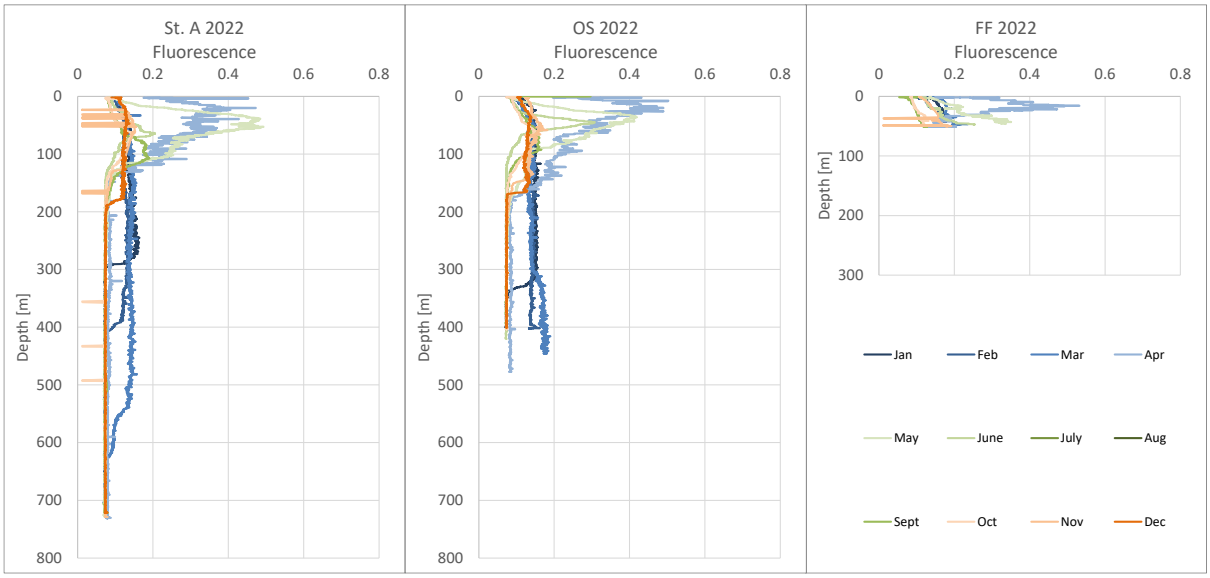
Figure D28: Dissolved inorganic carbon (DIC) concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Station A is the southern station on the Israeli/Jordanian/Egyptian border at ca. 700 meters depth and the Fish Farms station is close to the northern shore of the Gulf at ca. 50 meters depth.

ד.3. כלורופיל *a* ופלואורסנציה

כלורופיל *a* הוא הפיגמנט הפוטוסינטטי העיקרי, ועל כן משמש ריכוזו אינדיקציה (חלקית) 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 ניכר שהפלגת חודש מרץ התרחשה בזמן שהערבוב היה פעיל לעומק של כ- 540 מטרים, ז"א עדיין לא הגיע לשיא עומקו והפלגת חודש אפריל התבצעה מספיק זמן אחרי סוף הערבוב הפעיל כך שערכי הפלואוריסנציה מתחת לאזור הפוטי כבר היו אפסיים.

הערכים המרביים של פלואוריסנציה נמדדו בהפלגות החודשים אפריל ומאי, בעקבות סוף הערבוב והתפתחות שכבה עליונה עשירה בנוטריינטים שהזינה פריחת פיטופלנקטון. בהפלגת אפריל ערכי השיא התחילו מעומק של כ-20 מטרים ובמאי כבר התפתחה שכבת DCM עמוקה יותר (איור ד29).



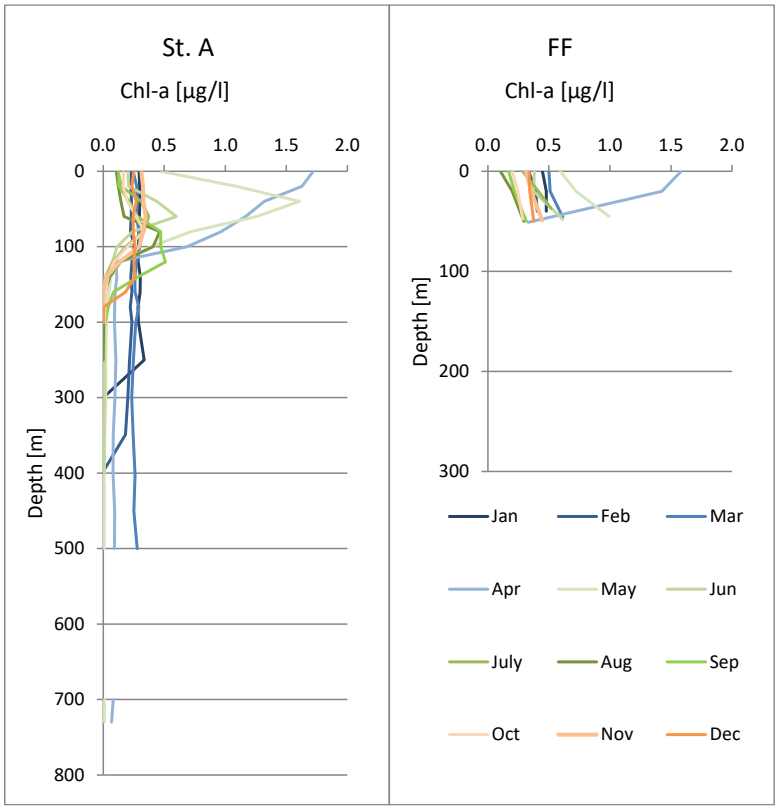
איור ד29: פלואווריסנציה בעמודת המים כפי שנמדדה במכשיר ה-CTD בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים (700< מ'), תחנה OS בחצי הדרך לחוף הצפוני בעומק מים של כ- 400 מטרים ותחנה FF בחוף הצפוני של אילת בעומק של כ-50 מטרים.

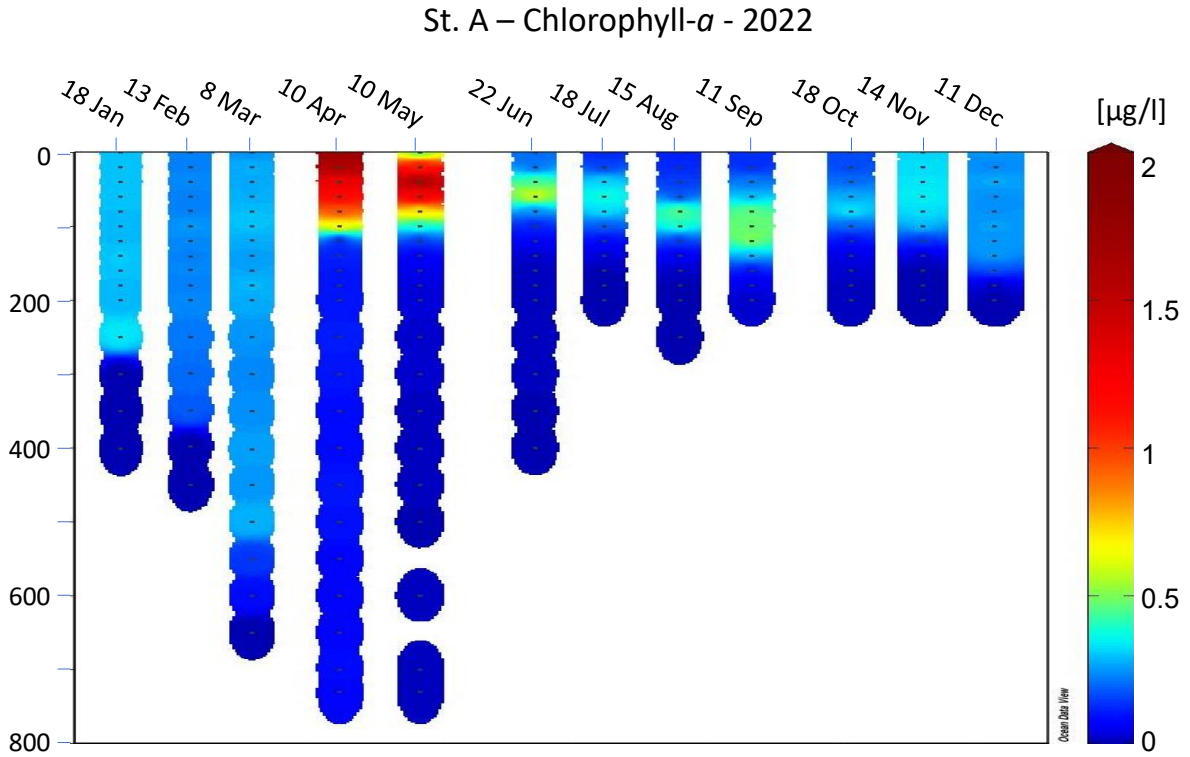
Figure D29: Fluorescence profiles measured using a CTD during the monthly monitoring cruises. Station A is on the Israeli/Jordanian/Egyptian border (>700m), station OS is halfway to the northern shore at water depth of ca. 400 meters and the Fish Farms station is close to the northern shore of the Gulf 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 1.72 µg/l בפני הים בחודש אפריל ו- 1.61 µg/l

בעומק 40 מטר (DCM) בחודש מאי (איור ד30). גם בחוף הצפוני, תחנת כלובי הדגים (FF), נמדד ריכוז מרבי של כלורופיל בפני הים בחודש אפריל, 1.58 µg/l. ריכוז הכלורופיל במים העמוקים היה בעל מבנה דומה לפרופיל הפלואורסנציה: וריכוזי כלורופיל גבוהים מאפס נמדדו בחודש אפריל גם בסמוך לקרקעית, בעומק של 700 ו-730 מטרים, עדות לכך שהערבוב הגיע לפחות עד לעומק זה.





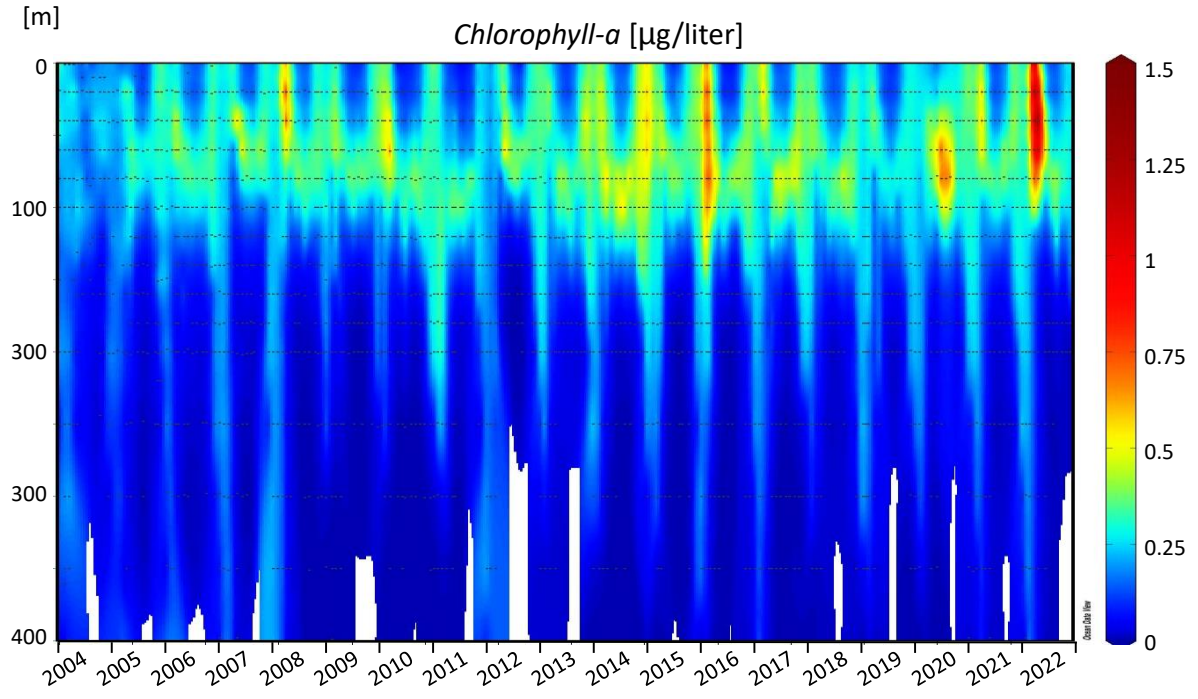
איור ד30: ריכוזי כלורופיל *a* בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים

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

על אף שבשנים של ערבוב עמוק לא בהכרח נמצאו ריכוזי כלורופיל מרביים, השנה 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.



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

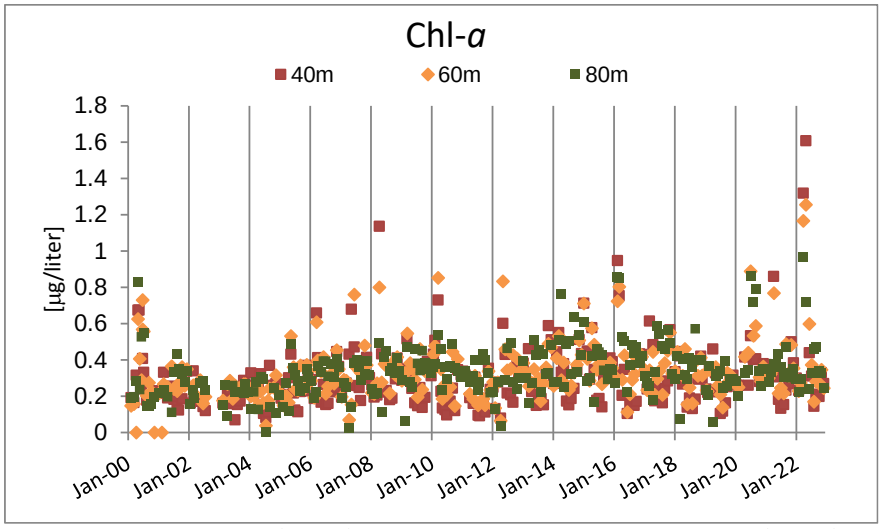
Figure D31: Changes in the concentration of chlorophyll-*a* in the water column at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths.

במבט לטווח ארוך יותר על ריכוזי הכלורופיל בעומק הריכוז המרבי (DCM) מאז שנת 2000, על אף הפיזור העונתי הגדול המקשה על זיהוי מגמות, מסתמנת מגמה מתונה של עליה בריכוזי הכלורופיל המתחזקת עד לעומק של 80 מטרים (איור ד32). עקב הפיזור הגדול של המדידות המתאם הלינארי נמוך, אך המגמה מובהקת (על פי מבחן אקראיות, $p<<0.001$).

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 ובשנת 2021. למרות זאת, ריכוזי הכלורופיל בעומק ה-DCM השנה היו הגבוהים ביותר שמדדה תכנית הניטור, אולי בשל הזמן הרב שחלף מאז הערבוב העמוק הקודם (עשר שנים).

אין בידינו הסבר מוכח לעליה בריכוזי הכלורופיל עם הזמן, אך נראה כי עם השנים מתגברת כניסת המים

מדרום בסוף העונה המשוכבת ויתכן כי העליה בריכוזי הכלורופיל קשורה בזה.



איור ד32: ריכוזי כלורופיל *a* בתחנה A מאז ינואר 2000 באזור הכלורופיל המרבי העמוק (deep chlorophyll maximum, DCM), בעומקים 40, 60 ו- 80 מטרים. מגמת העליה המסתמנת בעומק 80 מטרים נמצאה מובהקת במבחן אקראיות (P<<0.001). *נתונים הקודמים לתכנית הניטור נאספו במסגרת פרויקט פארק השלום ומובאים באדיבותם של הפרופ' י. ארז והפרופ' ב. לזר.*

Figure D32: Concentrations of chlorophyll-*a* at Station A at the depth of the deep chlorophyll maximum (DCM), at water depths of 40, 60 and 100 meters since 2000. The apparent rise in chlorophyll concentration at 80 meters depth is statistically significant (randomization test, P<<0.001). *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.

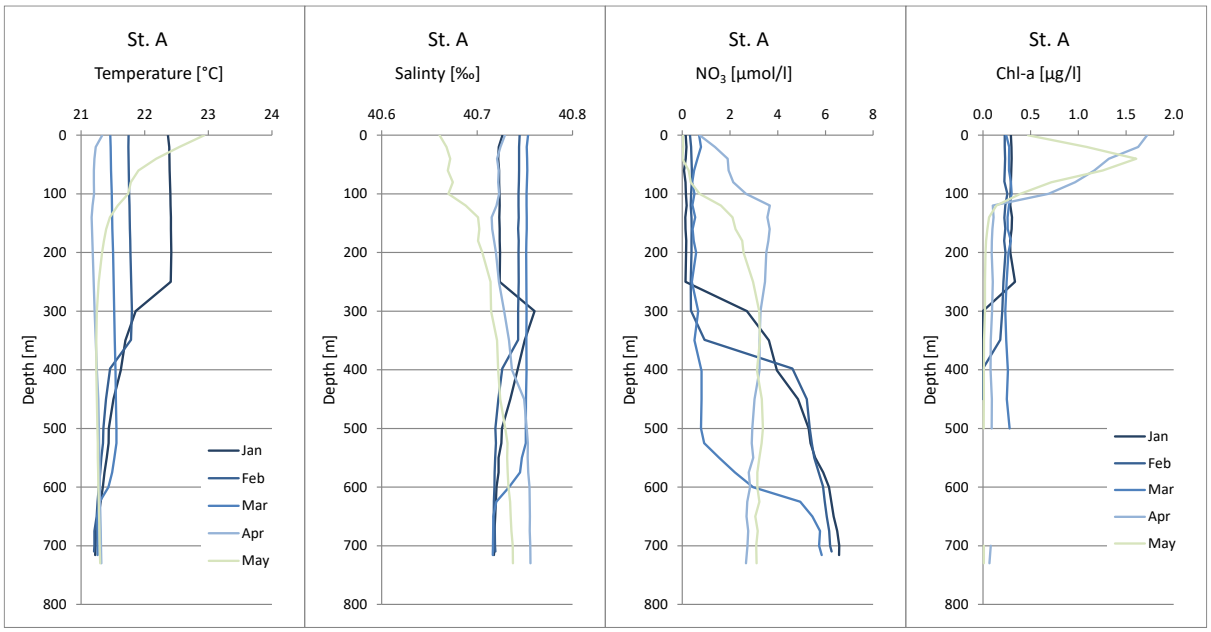
הדינאמיקה העונתית של ריכוזי נוטריינטים וחמצן במים וזמינותם לאוכלוסיות הפיטופלנקטון בעמודת המים העליונה מכתיבה את פרופיל הריכוזים של המרכיבים השונים בעמודת המים לאורך השנה.

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

השנה 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.

ניתן לעקוב אחר דינמיקת הערבוב השנה באמצעות השוואת הפרופילים של טמפרטורה, מליחות, נוטריינטים וכלורופיל בחודשי החורף והאביב (איור ד33). בחודשים ינואר-מרץ המים העליונים מתקררים ופרופיל הטמפרטורות אחיד לעומק גדל והולך, מ- 250 מטרים בינואר ועד 550 במרץ. חודש לאחר מכן, בהפלגת חודש אפריל (10 באפריל 2022) טמפרטורת המים אחידה מקרקעית הים ועד עומק של כ-140 מטרים שם כבר ניכרת תחילתה של תרמוקלינה. גם במליחות ניתן להבחין באפריל במספר קפיצות של מליחות בעמודת המים ובמאי כבר נמצאת שכבת מליחות נמוכה במים העליונים. נראה שהערבוב השנה על אף שהיה עמוק, לא נמשך זמן רב ותחילת השיכוב מאופיינת במים עליונים בעלי מליחות נמוכה וטמפרטורה גבוהה יחסית, גוף מים שמקורו ככל הנראה מדרום.

פרופילי הניטראט (נוטריינט ראשי במערכת) מציגים גם הם את התפתחות הערבוב בחודשים ינואר-אפריל, כאשר בתחילה ישנו פרופיל אחיד של ריכוזים מזעריים מפני הים לעומק גדל והולך, עד כ- 530 מטרים במרץ, ובאפריל (ומאי) ריכוזים אחידים וגבוהים יותר במים העמוקים אך גרדיינט של מיעוט נוטריינטים במים העליונים. באפריל ומאי ריכוזי הניטראט במים העמוקים נמוכים משמעותית מאשר בחודש מרץ, עדות לערבוב העמוק שהעלה נוטריינטים למים העליונים. במקביל, פרופילי כלורופיל מציגים ריכוזים משמעותיים בשכבת מים עליונה הולכת וגדלה בחודשים ינואר-מרץ ובחודש אפריל – ככל הנראה זמן קצר לאחר תום הערבוב הפעיל, נוצרת שכבה עשירה בכלורופיל בעומק רדוד מ-120 מטרים, ובחודש מאי כבר מתפתח שיא בריכוזי הכלורופיל בעומק של 40 מטרים, deep chlorophyll maximum (DCM). פריחת פיטופלנקטון השנה היתה חזקה וארוכה במיוחד.



איור ד33: מבנה עמודת המים והתפתחות הערבוב השנה כפי שמשתקף בפרופילים של סמן שמרני (מליחות), סמן

קצר-חיים (כלורופיל) ובסמנים יותר ארוכי-חיים (טמפרטורה וניטראט) בעמודת המים בחודשים ינואר-מאי.
Figure D33: Structure of the water column and the development of deep mixing as reflected in profiles of a conservative indicator (salinity), a short-lived indicator (chlorophyll-*a*) and longer-lived indictors (temperature and nitrate) in the water column in January-May.

לאחר שבשנים 2016 ו-2017 היה ערבוב עמודת המים לעומק בינוני של כ- 500 מטרים בין אמצע ינואר לאמצע פברואר, היה הערבוב בשנים האחרונות 450 מטרים או פחות. מאז שנת 2012 ועד השנה, המים העמוקים מכ-500 מטרים היו מנותקים מהמים העליונים. הערבוב העמוק השנה משלים 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 8-2007, שלוש שנים של ערבוב רדוד (2011-2009) ושוב ערבוב עמוק בשנת 2012.

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 2006-2004.

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 בשנים האחרונות, כעשר שנים לאחר הערבוב של שנת 2012, הערכים הנמדדים נמצאו גבוהים מאלו שנמדדו בשנת 2011, שלוש שנים בלבד לאחר הערבוב העמוק של שנת 2008. השנה, ערבוב עמוק , אף כי קצר, 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.

בנוסף לכך, עליה בריכוזי נוטריינטים בקרבת קרקעית הים העמוק שנמדדה בשנים ראשונות לפעולת הניטור לא נמדדת בשנים האחרונות. נראה היה שפחת שיחרור נוטריינטים מפני הסדימנט בשנים האחרונות. מעניין יהיה לעקוב אחר היבט זה בשנים הקרובות.

בהשוואה לכל תקופת הניטור, על אף השינויים העונתיים הגדולים וההבדלים בעומק הערבוב בין השנים, נראה כי בעמודת המים בצפון המפרץ פחות נוטריינטים בשנים האחרונות משנצברו בשנים הראשונות של הניטור.

במי העומק, ובפרט בעומקים הגדולים מכ-500 מטרים, נמשכת מגמה של עליית הטמפרטורה. הטמפרטורה במים העמוקים ירדה בשנים 2007 ו-2008 כתוצאה מהערבוב העמוק בשנים אלה, אך מאז נמדדת עלייה קלה בטמפרטורות המים העמוקים. על אף הערבוב העמוק של שנת 2012, לא נמצאה ירידה בטמפרטורת המים העמוקים מ-500 מטרים ועליית הטמפרטורה במים העמוקים נמשכה גם השנה למרות הערבוב העמוק.

מגמה נוספת אשר מתחילה להסתמן, על אף הרעש העונתי הגדול, היא 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. שינויי המליחות החזקים בסוף תקופת הערבוב תומכים בהשערה זו. השנה ריכוזי כלורופיל גבוהים במים העליונים קשורים בוודאות לערבוב העמוק ועל כן כדאי להוסיף ולבחון מגמה זו בשנים הבאות.

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, בניהול ד"ר אפרת ברק. למדידות קדם תהליך ארוך של יצירת פרוטוקול המדידה, ובו היה שותף מרכזי ד"ר גיתאי יהל מבית הספר למדעי הים במכמורת של המרכז האקדמי רופין.*]

לאחרונה, 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 השנים האחרונות.

<u>מדידות השנה נמצאו בלתי סבירות והתגלתה בעייה במערך האנליטי אליו נשלחות הדוגמאות והוחלט לא לפרסם תוצאות אלה</u>. דופליקטים של הדוגמאות נשמרים על ידי התכנית וברגע שייפתרו הבעיות נוכל לשלוח לאנליזה שנייה ולפרסם את התוצאות בדיעבד.

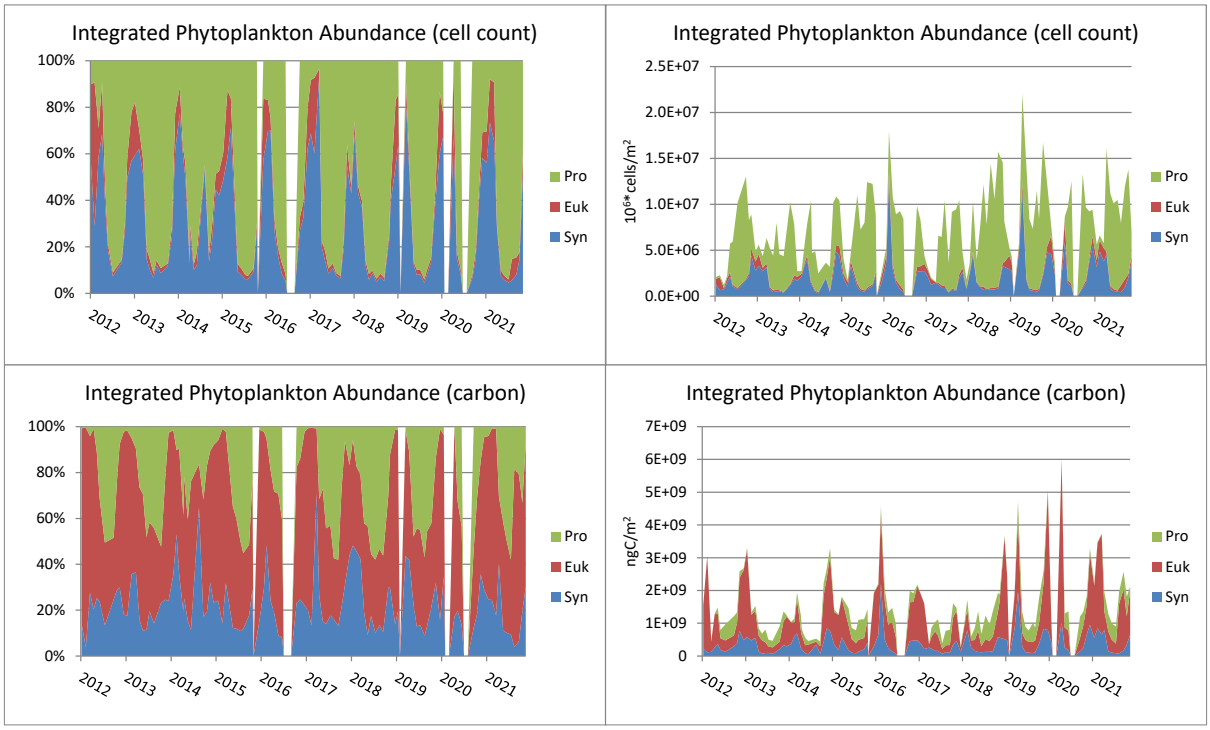
מיון וספירת פיטופלנקטון כוללים תאי פיטופלנקטון פרוקריוטי (*Synechococcus, Prochlorococcus*) ואאוקריוטי (Pico-Eukaryotic) וחיידקים הטרוטרופים בדגימות מים עמוק, הנאספות בהפלגות הניטור החודשיות. חשוב לשים לב להבדלים בריכוזים בין התאים הנמדדים: התאים האאוקריוטים ו- *Synechococcus* נמדדים באלפים, תאי *Prochlorococcus*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

לצורך המרה של ספירות התאים לביומסה 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).

כאמור, השנה אין בידינו תוצאות ספירת תאים עקב קשיים טכניים. עם זאת, הדינאמיקה העונתית ברורה ממדידות השנים הקודמות.

ביחסים הכמותיים בין שלוש הקבוצות ניתן להבחין בהבדלים עונתיים ברורים כאשר ריכוזי *Synec*. גבוהים בחודשי החורף והאביב ואילו ריכוזי *Proc*. גבוהים בחודשי הקיץ (איור ד34). ריכוזי האאוקריוטים עולים בחודשי החורף ובדרך כלל נמוכים ביותר בחודשי הקיץ, אז הם מהווים אחוזים בודדים בלבד מסך תאי הפיטופלנקטון.

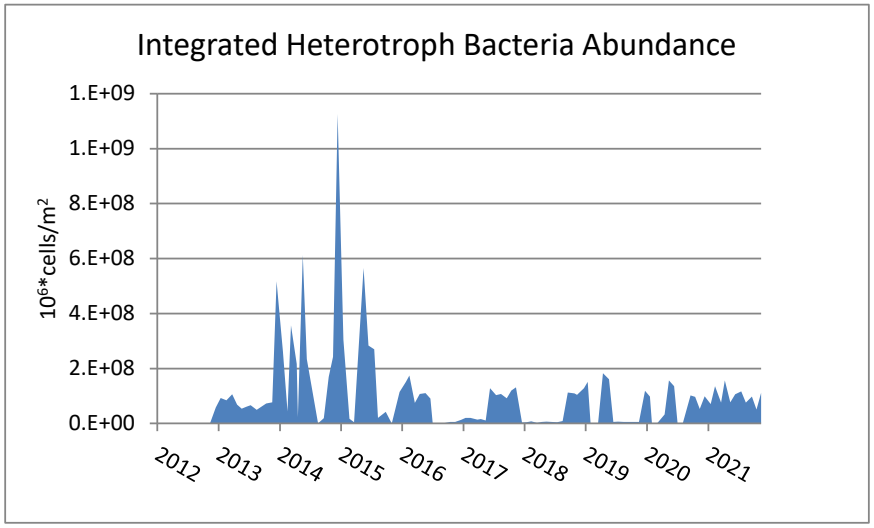
בהמרה לביומסה מתגלה תמונה שונה, בחודשי החורף ועונות המעבר מהווים האאוקריוטים את מרבית הביומסה, בהיותם התאים הגדולים ביותר, ורק בחודשי הקיץ מהווים ה- *Proc*. את החלק העיקרי, בין 40-50% מכלל מסת הפיטופלנקטון בחודשים יולי - נובמבר.



איור ד34: 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.

במשך הזמן ניכרים שינויים גדולים בריכוזי החיידקים ההטרוטרופים הנמדדים בעמודת המים (אינטגרל עד לעומק של כ- 700 מטרים, איור ד35). 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: סדרת זמן של אינטגרל ריכוזי החיידקים ההטרוטרופים (עד עומק 700 מטר) מאז 2013.

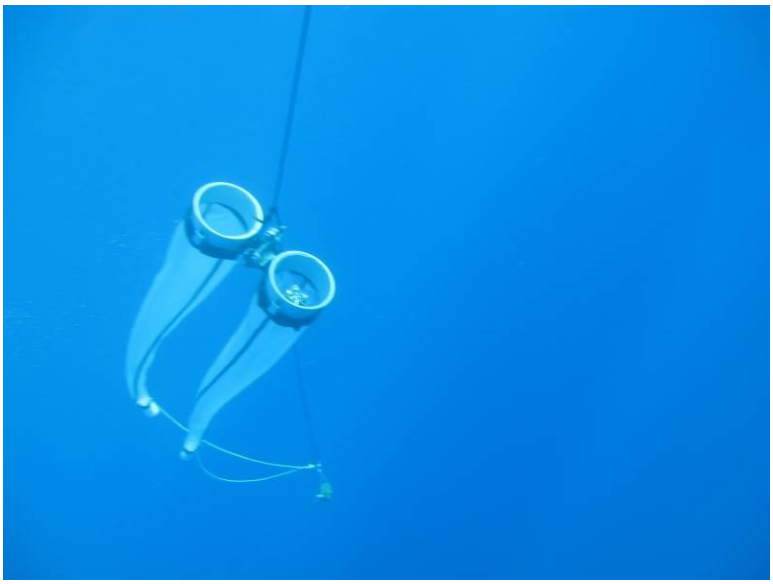
Figure D35: Time series of integrated heterotrophic bacteria concentrations (to 700 meters depth) since 2013.

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 בהרכב קבוצות הגודל בקרבו.

דגימות זואופלנקטון נאספות מדי חודש בים העמוק (עומק קרקעית 400-300 מ'), באמצעות גרירה אלכסונית של רשת פלנקטון כפולה ("Bongo") עם גודל חור של 200µm (איור ד36). הדגימה מתבצעת בשעות הבוקר (בין השעות 11-9), בדרך כלל בשבוע האחרון של כל חודש. הגרירה מתחילה בהורדת רשת הפלנקטון באיטיות לעומק של כ-100 מ' ומיד עם הגעת הרשת לעומק זה היא מועלית חזרה לפני השטח. במשך כל זמן ההורדה וההעלאה הסירה שטה במהירות של כ- 2 קשר (1 מ' לשניה) וזוית חבל הגרירה (140 מ' ארכו) נשמרת סביב 45 מעלות. משך הגרירה כ-10 דקות. בסה"כ מתבצעות בכל מסע דגימה 3 גרירות (= 6 דגימות מאותו יום בכל חודש), כולן במים הפתוחים שבאזור 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 ^{o}C למשך 4 שעות ומשקלו ידוע. לאחר מכן הפילטרים עוברים ייבוש בתנור 60 ^{o}C למשך שלושה ימים לפחות, נשקלים שוב (לקבלת המשקל היבש של הזואופלנקטון בתת הדגימה) ואח"כ נשרפים ב 450^{o}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).



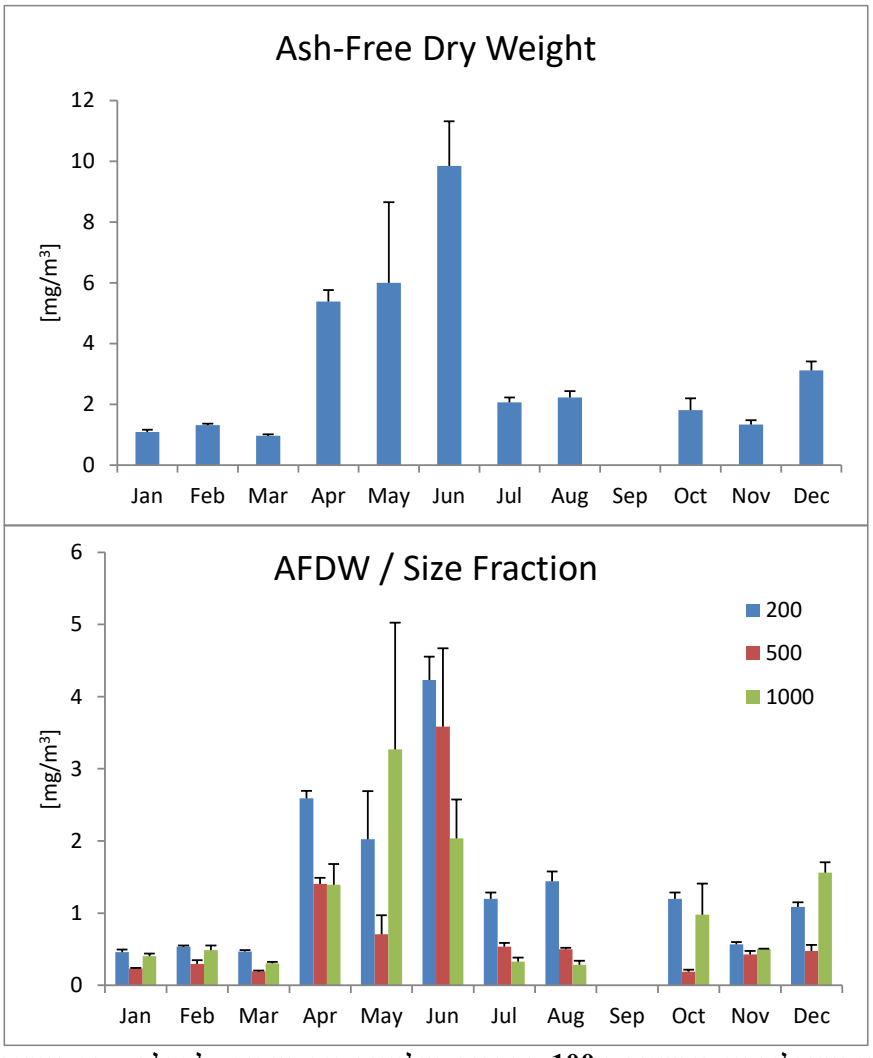
איור ד36: רשת הפלנקטון הכפולה ("Bongo") נגררת מהסירה בים העמוק. צילום: מ. צ'רניחובסקי

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

<u>תוצאות</u>

בעקבות הערבוב העמוק השנה, לראשונה מזה עשר שנים, היתה בחודשי האביב פריחת פיטופלנקטון חזקה וארוכה ובהתאם, ריכוזי הזואופלנקטון (ביומסה) היו גבוהים במיוחד השנה. בשנה הקודמת נמדד הערך המרבי בחודש אפריל, ואילו השנה, למרות שגם הביומסה שנמדדה באפריל היתה גבוהה מאשר בשנה הקודמת, הערך המרבי נמדד רק בחודש יוני, 9.85 mg/m^3 (איור ד37), כמעט פי שלושה מהערך המרבי אשר נמדד בשנה הקודמת. לרוב, ערכים גבוהים נמדדים בחודש מרץ, ובשנת 2019, למשל, נמדדה בחודש מרץ מסת זואופלנקטון של 6.6 mg/m^3.

בחודשים בהם נמדדת לרוב מסה גדולה של זואופלנקטון, היא מורכבת בעיקר מקבוצת הגודל הקטנה ומקבוצת הגודל הגדולה (יותר מ- 1000 µm). השנה כלל זה תקף לגבי הרכב הזואופלנקטון בחודש מאי, אך בחודש יוני בו נמדד הערך המרבי, קבוצות הגודל הדומיננטיות היו הגודל הקטן (200-500 µm) והבינוני (500-1000 µm). לרוב, בחודשי סוף הקיץ דומיננטית דווקא קבוצת הגודל הגדולה אך בשנתיים האחרונות בחודשים אוקטובר-דצמבר, נמצאה תרומה משמעותית גם של קבוצת הגודל הקטן.



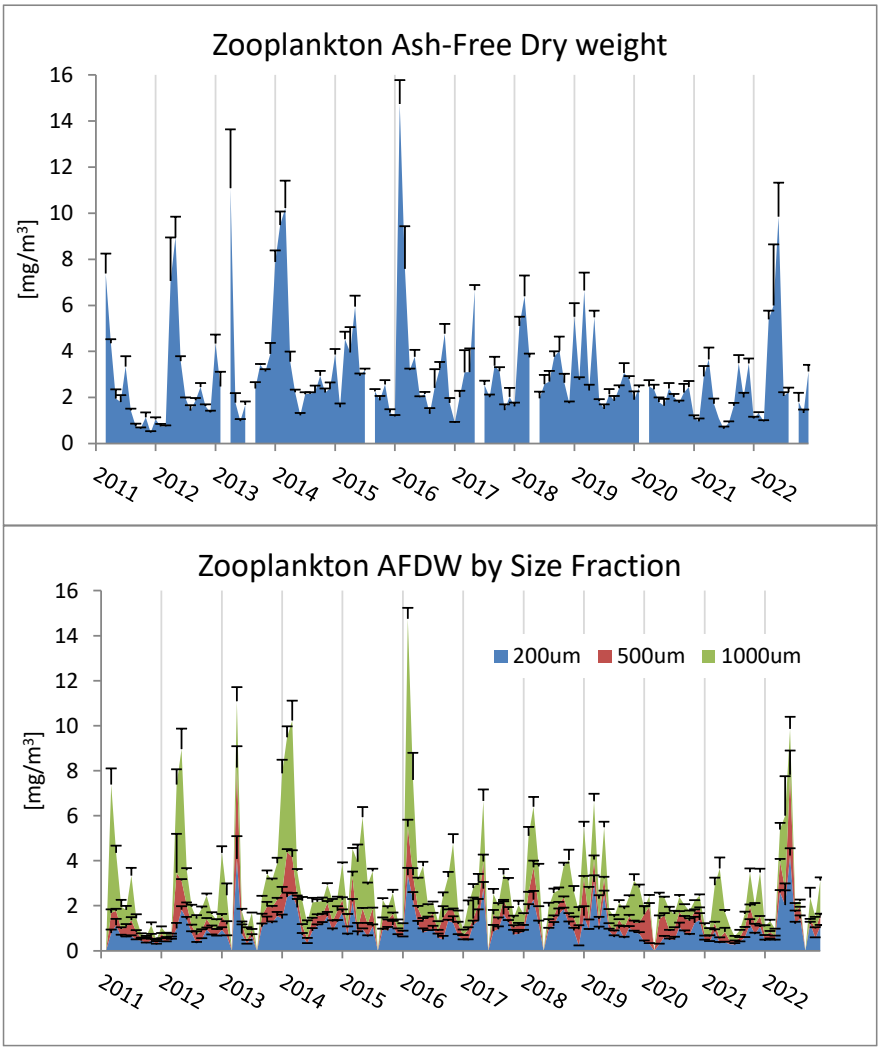
איור ד37: ריכוזי זואופלנקטון חודשיים ב-100 המטרים העליונים בים העמוק. למעלה – סך הזואופלנקטון, למטה – חלוקה לפרקציות גודל מסוננות על פילטר של 1000, 500 ו-200 מיקרון (ירוק, אדום וכחול, בהתאמה).

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).

ריכוזי הזואופלנקטון אשר נמדדו השנה היו גבוהים מאלה שנמדדו בשנים האחרונות, אך נמוכים מהערכים הגבוהים אשר נמדדו בשנת 2016.

ברוב השנים בהן בוצע ניטור אחר ריכוזי זואופלנקטון בעמודת המים העליונה נמדד שיא גבוה באחד החודשים של תחילת השנה (איור ד38). בחודש פברואר של שנת 2016 נמדדה הביומסה הגבוהה ביותר במסגרת תכנית הניטור (מאז 2011), למרות שבשנת 2012 וגם השנה היה ערבוב עמודת המים עמוק יותר. 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. במדידות השנה, 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) אך השנה היו ריכוזי הזואופלנקטון גבוהים במשך שלושה חודשים.



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

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

למדידת יצרנות ראשונית בעמודת המים חשיבות גדולה בהערכת מצב המערכת האקולוגית במפרץ מכיוון שהעשרה בנוטריינטים עשויה לגרום לפעילות מוגברת של פיטופלנקטון. פעילות מוגברת לא בהכרח תגרום לעלייה משמעותית בריכוז הפיטופלנקטון (המוערך באמצעות ריכוז הכלורופיל) מכיוון שקצב הרעיה של פיטופלנקטון על ידי זואופלנקטון עשוי גם הוא לעלות. לפיכך עלייה ביצרנות עשויה להיות אינדיקציה אמינה ואולי יחידה בשלבים הראשונים, של שינוי מצב במעבר ממערכת כמו-אוליגוטרופית בה היצרנות הראשונית נמוכה והתנאים נוחים לאלמוגים, למערכת 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). 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. היצרנות הראשונית נמדדת בכל חודש בסמיכות להפלגות החודשיות, ומאותן דוגמאות מים נמדד גם ריכוז הכלורופיל.

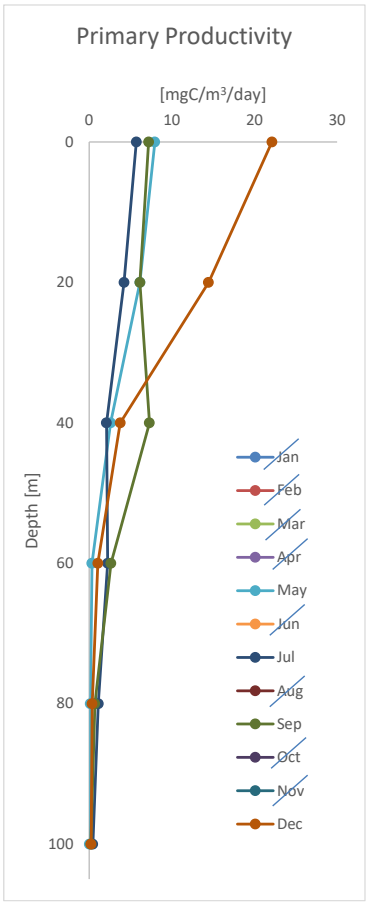
[החל מסוף 2011 נמדדת היצרנות בעזרת מונה סינטילציה חדש אשר נרכש במכון הבינאוניברסיטאי. מונה זה אמין יותר ואינו סובל מבעיות בהן נתקלנו בעבר, ועל כן ביצענו בשנת 2011, בעצה עם פרופ' יונתן ארז, תיקון בחישוב היצרנות (מבוסס על מניות (cpm) ולא על התפרקויות מחושבות (dpm)) ונתוני היצרנות משנים הקודמות המוצגות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

לאחר שנתיים בהן לא נמדדה יצרנות ראשונית במפרץ, חידשה תכנית הניטור את המדידות בשיתוף פעולה עם מעבדתו של פרופ' איל רהב מחקר ימים ואגמים לישראל ובפרט תום רייך ונטאשה בלקין. המדידות נעשות בתדירות של אחת לחודשיים, בסמיכות למועד הפלגת הניטור החודשית.

<u>תוצאות</u>

השנה יש בידינו נתוני יצרנות מהחודשים מאי, יולי, ספטמבר ודצמבר. בפרופילים החודשיים שנמדדו ניכרת תלות היצרנות בעצמת האור בכך שיצרנות גבוהה נמדדת בעומקים רדודים וישנה ירידה ביצרנות עם העומק (איור ד39).

על אף הערבוב העמוק שהסתיים באפריל, מדידות היצרנות בחודש מאי היו נמוכות, והיצרנות הגבוהה ביותר נמדדה דווקא בחודש דצמבר, עם העמקת הערבוב של החורף הבא. הערך הגבוה ביותר נמדד בפני הים בחודש דצמבר, 22.1 $mgC/m^3/day$. הערך המרבי שמדדה התכנית היה בשנת 2015 (33.6 $mgC/m^3/day$). כאמור, עקב קשיי המדידה אין בידינו נתונים לגבי היצרנות בתחילת השנה, בה היה ערבוב עמוק לראשונה מזה עשר שנים והזין פריחות אצות חזקות וממושכות.

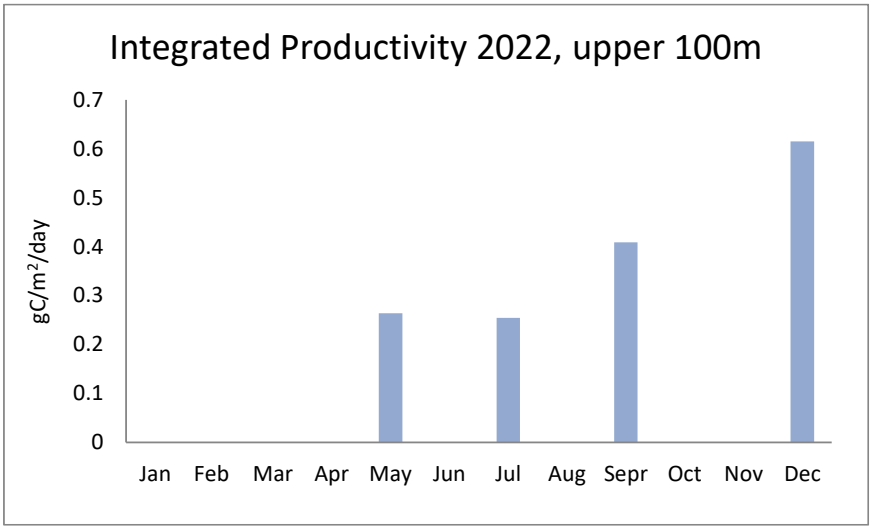


איור ד39: פורפילים חודשיים של יצרנות ראשונית בעמודת המים העליונה.

Figure D39: Monthly primary productivity at the upper water column.

אינטגרציה של היצרנות בעמודת המים בכל אחד מהימים בהן נעשתה המדידה מראה כי היצרנות הגבוהה ביותר שנמדדה השנה היתה בחודש דצמבר (איור ד40), בזכות הערכים הגבוהים בעומקים הרדודים. כאמור סביר מאד שבתחילת השנה בחודשים בהם לא מדדנו יצרנות היו הערכים גבוהים יותר.

היצרנות הממוצעת בעמודת המים בחודשים יולי-ספטמבר עמדה על 0.33 $gC/m^2/day$, נמוך בהשוואה לשנת 2020, 0.38 $gC/m^2/day$.

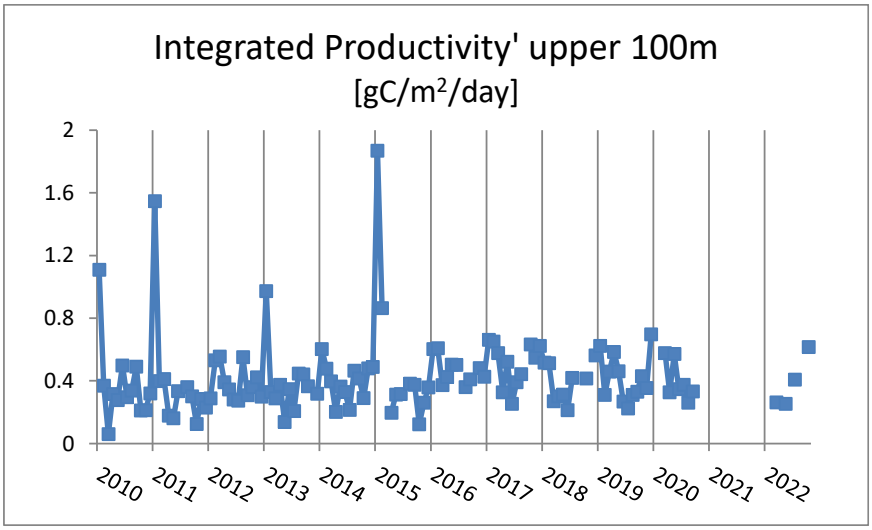


איור ד40: אינטגרציה של היצרנות הראשונית במאה המטרים העליונים של עמודת המים, מתוך מדידות היצרנות המוצגות באיור ד39.

Figure D40: Integrated values of primary productivity in the upper 100m of the water column, based on the productivity profiles presented in Figure D39.

השנה היתה היצרנות בחודשי הקיץ נמוכה מעט בהשוואה לשנים קודמות והיצרנות בסוף השנה, בחודש דצמבר מעט גבוהה. שיאים ביצרנות נמדדו על ידי תכנית הניטור בחודש מרץ בשנים 2010, 2011, 2013, 2015 כאשר זה האחרון היה הגבוה ביותר שנמדד עד כה - 1.87 $gC/m^2/day$ (איור ד41). נראה כי מדידות היצרנות אינן משקפות באופן ישיר את עומק הערבוב בעמודת המים: הערבוב הגדול ביותר מאז 2010 אירע בשנת 2012, בה מדידות היצרנות של תכנית הניטור נמוכות. השנה, לצערינו, אין בידנו מדידות מחודשי הערבוב העמוק.

באמצעות מדידות היצרנות הנעשות אחת לחודש ניתן לחשב אינטגרל יומי ממוצע בעמודת המים העליונה ועליו לבסס חישוב יצרנות שנתי. בשנים 2010-2014 חושבה יצרנות שנתית די קבועה ($134-141\ gC/m^2/year$) ובשנת 2015 חושבה יצרנות הגבוהה ביותר, $197gC/m^2/year$. מאז ועד לשנת 2020, היתה היצרנות השנתית המחושבת גבוהה מ- $150gC/m^2/year$ והיצרנות השנתית הממוצעת בצפון המפרץ בשנים 2010-2020 היא $153.7gC/m^2/year$. השנה לא חישבנו יצרנות ממוצעת מכיוון שבידנו מדידות מארבעה חודשים בלבד ולאור השונות הגדולה ביצרנות בין החודשים לא יהיה זה נכון לבסס "ממוצע שנתי" על מספר מדידות כה קטן.



איור ד41: אינטגרציה של היצרנות הראשונית במאה המטרים העליונים של עמודת המים מאז 2010, מתוך מדידות היצרנות המתבצעות אחת לחודש.

Figure D41: Integrated values of primary productivity in the upper 100m of the water column since 2010, based on the monthly productivity profiles.

בדו"ח הביניים הראשון של תכנית הניטור (גנין וסילברמן, 2003) מובאים ערכי יצרנות אשר נמדדו בחודשים ינואר ו\או פברואר בשנים 2000-3. המדידות נעשו תוך שימוש בפרוטוקול הדגרה קצר (כארבע שעות), תוצאות אותן מדידות נעו בטווח $0.14-0.78gC/m^2/day$.

לשם השוואה, בתחנות הניטור הקבועות בימים האוליגוטרופים שמול הוואי וברמודה, נמדדים ערכים ממוצעים רב-שנתיים הנעים סביב ~0.5 $gC/m^2/day$ (http://hahana.soest.hawaii.edu/hot/, http://bats.bios.edu/bats_form_prod.html).

על סמך מדידות הניטור היצרנות היומית הממוצעת במפרץ אילת בתקופה 2010-2020 היא $gC/m^2/day$ 0.42.

משנות ה-70 ועד לתחילת שנות ה-90 של המאה ה-20 היצרנות הראשונית בצפון מפרץ אילת נאמדה ב- ~$80gC/m^2/year$ (Iluz, 1991 ,Levanon-Spanier *et al.*, 1979) 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 הממוצעת הנמדדת על ידי תכנית הניטור מאז 2010 עומדת, כאמור, על $153.7gC/m^2/year$.

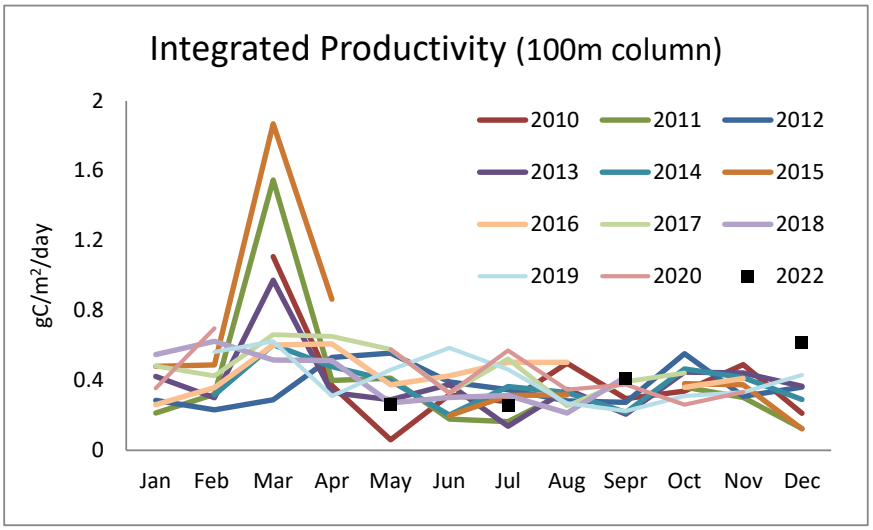
יש לזכור שממוצעים מושפעים מאד מערכי שיא ויתכן שתדירות מדידות היצרנות בתכנית הניטור בעונת החורף אינה מספיקה לאפיין נכונה את היצרנות הממוצעת. למשל, בזמן פריחתן קצרת המועד באפריל 2008 של

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.

מדידות יצרנות במסגרת תכנית הניטור נעשות אחת לחודש והערכים הגבוהים ביותר נמדדו בדרך כלל בחודש מרץ (איור ד42). במרץ שנת 2015, שנה בה ערבוב עמודת המים היה רדוד, נמדדה היצרנות הגבוהה ביותר (ומצומדים עליה גם ריכוזי כלורופיל גבוהים), ובשנת 2012, שנה בה היה הערבוב עמוק (אם כי קצר) ונמדדו שפע של נוטריינטים בעמודת המים העליונה, לא נמדד ערך יצרנות גבוה.

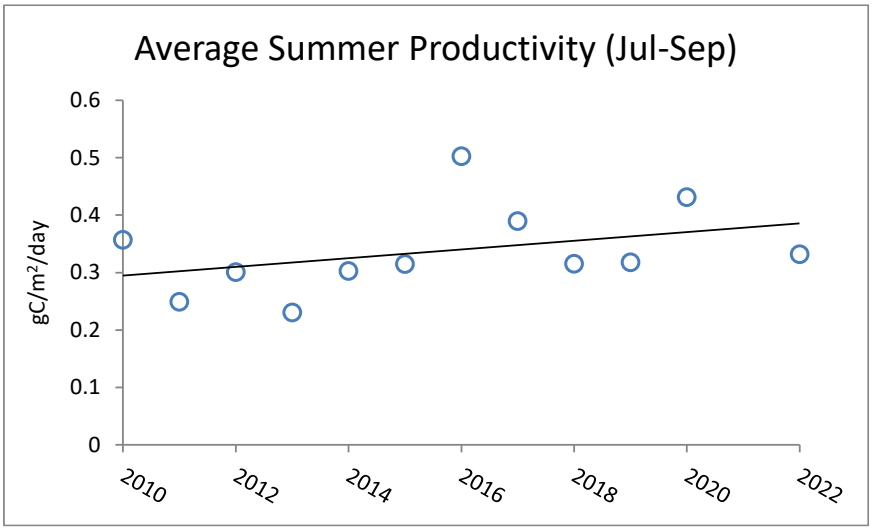
נראה כי השינויים ביצרנות בחודשי החורף גדולים ומהירים ויתכן כי המדידות אינן מספיקות על מנת לאפיין את המערכת בתקופה זו. מכיוון שכך, יתכן גם כי חישובי האינטגרל השנתי אינם מדויקים דיים (למשל, היצרנות השנתית הגבוהה מאד המחושבת עבור שנת 2015 נשענת על יצרנות גבוהה במיוחד אשר נמדדה בחודש מרץ ועל כך שבשנה זו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

בעונת הקיץ, לעומת זאת, השינויים קטנים יותר והמערכת מצויה במצב "אוליגוטרופי". על רקע זה, שינויים מערכתיים מתמשכים ניתן יהיה, אולי, לגלות דווקא בעונה זו. מהתבוננות בערכי היצרנות בחודשי הקיץ ניתן להתרשם כי השנים 2010-2022 דומות זו לזו, עם ערך גבוה ביותר בשנת 2016 (איור ד43). עם זאת, ניתן אולי להבחין בעלייה קלה, שאינה מובהקת, ביצרנות הקיץ במפרץ.



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

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



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

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

ד.7. שטף החלקיקים בעמודת המים

<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 ד42). הסדרה כללה חמישה מערכים של שתי מלכודות צינור הקולטות את שטף החלקיקים החודשי, ומלכודת אחת בה מוחלף צינור האיסוף באופן אוטומטי מדי יום, לערך. המלכודות החודשיות מוצבות בעומקים 570, 450, 350, 220 ו-120 מטרים, לערך, והמלכודת היומית מוצבת בעומק 400 מטרים לערך. בשנתיים הראשונות נאסף המערך מדי כחודש, המלכודות הוחלפו והמערך הוחזר לים. כתוצאה משינויים קטנים במיקום ומהחלפת חבלים לפי הצורך ישנם הבדלים קלים בעומק המלכודות מפעם לפעם.

בשנת 2017 הוחלט לצמצם את תדירות הדגימה למלכודות "החודשיות" לחודשים מייצגים בחורף, באביב ובסוף הקיץ (חודשים ינואר, מאי וספטמבר\אוקטובר). הדגימה באמצעות 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).

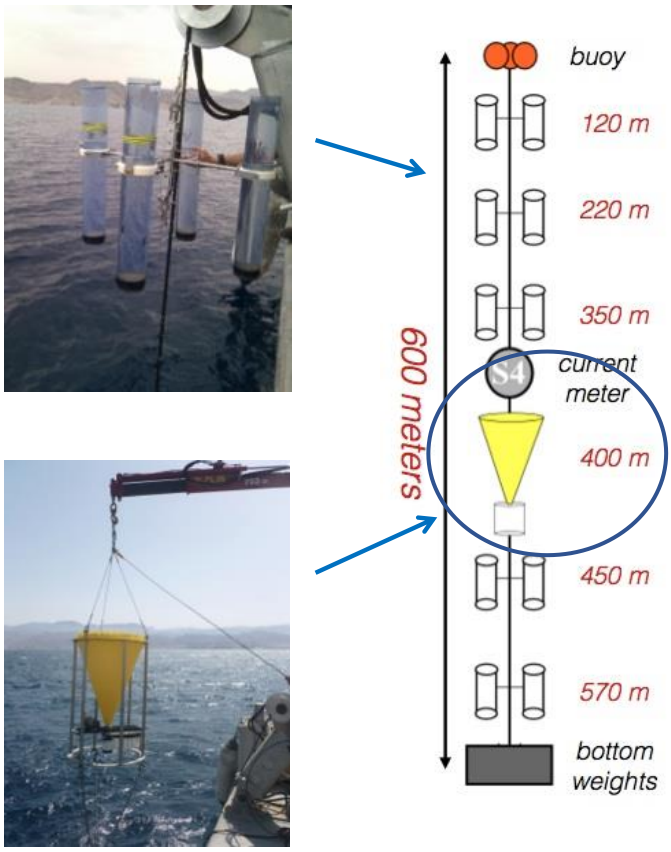
המלכודת אוספת חלקיקים הנושרים דרך עמודת המים ונאספים בתחתית בקבוק האיסוף המכיל תמלחת רוויה עם תוספת של מעט HgCl, שנועדה למנוע פעילות ביולוגית בתוך המלכודת העלולה לשנות את מאסף החלקיקים שנלכדו.

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

הצבת ואיסוף מלכודות הסדימנט, כמו גם הטיפול בדוגמאות הן פעולות יקרות הדורשות כח אדם ומיומנות רבה. לפיכך, זוהי הפעם הראשונה שמלכודות סדימנט מוצבות באופן קבוע ולאורך זמן במים העמוקים שבצפון המפרץ ומידע שיתקבל צפוי להאיר תהליכים רבים המתרחשים בעמודת המים ובקרקעית הים.

בניטור השטף החלקיקי בעמודת המים משתפת תכנית הניטור פעולה עם פרופ' עדי טורפשטיין מהמכון למדעי כדור הארץ באוניברסיטה העברית אשר מוביל מחקר שעניינו השטף החלקיקי ותרומתו לסדימנט במפרץ. עיקר הדוגמאות ממלכודות הסדימנט מעובד במעבדתו של פרופ' טורפשטיין, ומשמשות למחקרים מבוססי כימיה עדינה (יסודות קורט ואיזוטופים) וביולוגיה, המקדמים את הבנת התהליכים המתרחשים בעמודת המים ובסדימנט (למשל, Torfstein *et al.*, 2020).

תכנית הניטור עוקבת אחר הדינאמיקה העונתית והרב 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.

<u>תוצאות</u>

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 4-2 ימים.

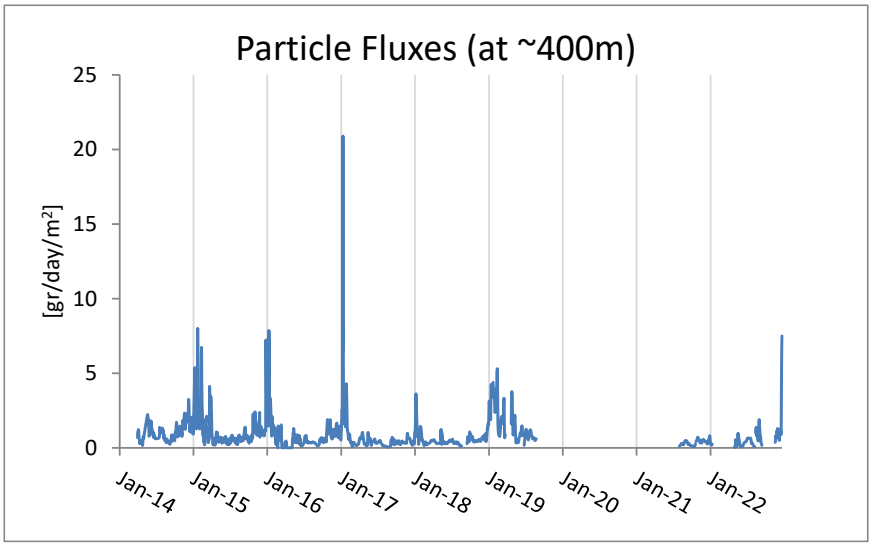
השטף החלקיקי בעמודת המים בצפון המפרץ בעל מחזור עונתי ברור, עם שטפים גדולים יותר בעונה בה היצרנות במפרץ גבוהה, בחורף ובאביב (איור ד43).

לא כל החומר החלקיקי הוא ממקור ביוגני 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. 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. בסוף דצמבר השנה נמדד שיא קצר בשטף החלקיקי, אולי בהקשר לאירועי גשם וזרימת נגר באזור אילת.

במדידות השנים הראשונות נמצא שהשטף החלקיקי 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.



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.

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 (90%) Acetone 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, 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>

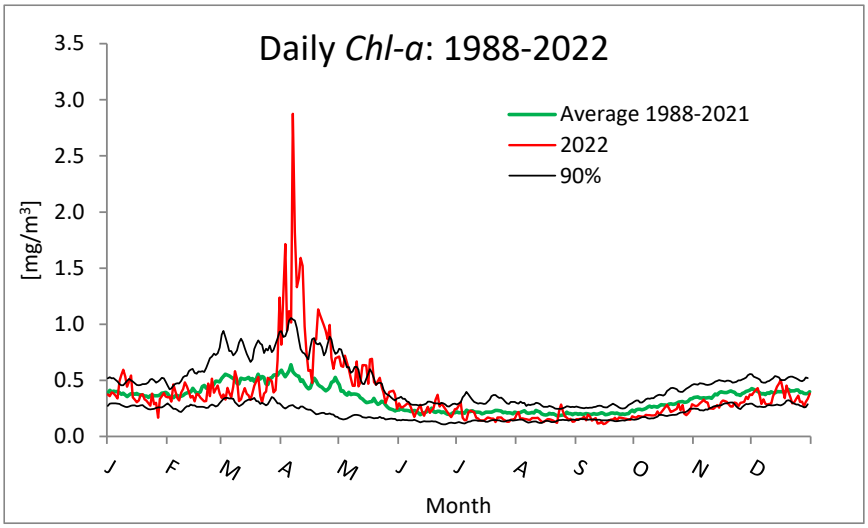
השנה החלה בריכוזי כלורופיל מעט נמוכים ביחס לממוצע הרב שנתי בפני הים בסמוך לשונית. עם בוא האביב, בחודש אפריל, לאחר הערבוב העמוק החלה פריחת פלנקטון חזקה אשר התבטאה בריכוזי כלורופיל גבוהים. שיאי הכלורופיל נמשכו לתוך חודש מאי והיו גבוהים בהרבה מהערך הרב שנתי הממוצע לעונה (איור ה1). הערך הגבוה ביותר נמדד ב-7 באפריל, 2.875 mg/m^3, כמעט פי שלושה מהערך המרבי אשר נמדד בשנה הקודמת באתר זה. החל מסוף חודש מאי ריכוזי הכלורופיל שנמדדו בסמוך לשונית חזרו לערכים הנמוכים האופייניים, והיו לרוב נמוכים מעט בהשוואה לממוצע הרב שנתי.

בשנת 2013 נמדד ריכוז כלורופיל מרבי של 1.42 mg/m^3, ובשנים של ערבוב עמוק נמדדו ריכוזים גבוהים יותר:

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 השנה 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.

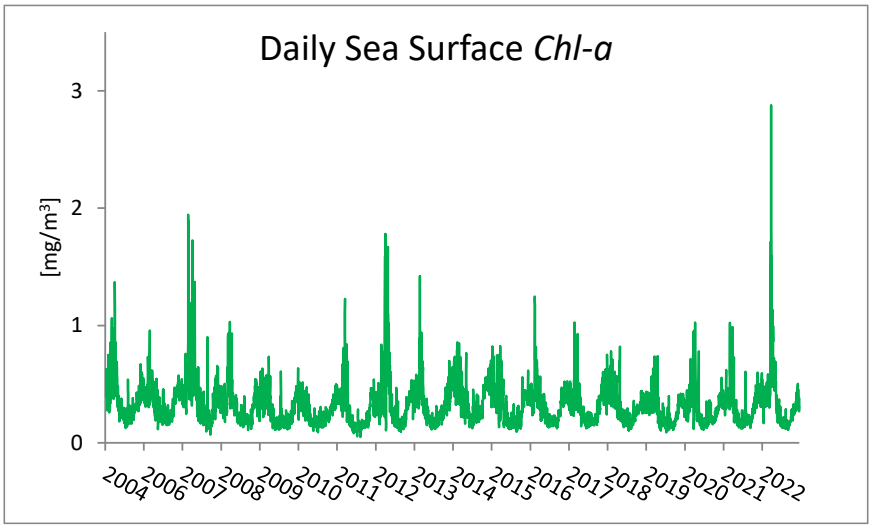
מהתבוננות בסדרת הזמן של ריכוזי כלורופיל בפני הים ליד שמורת האלמוגים ניכר כי ריכוזי כלורופיל גבוהים במיוחד נמדדו בשנים של ערבוב עמוק. הערבוב השנה ככל הנראה לא היה עמוק יותר או ממושך יותר מאירועי הערבוב העמוק הקודמים בתקופת הניטור והסיבה לערכים הגבוהים יותר השנה קשורה אולי למשך הזמן הארוך מאז הערבוב הקודם (בשנת 2012).

במדידות ריכוזי הכלורופיל היומיות בסמוך לשונית האלמוגים לא מזוהה מגמה ארוכת טווח של עליה בריכוזי הכלורופיל. למעשה, ישנה אולי מגמה חלשה של ירידה בריכוזי הכלורופיל לאורך זמן.



איור ה1: ריכוז כלורופיל *a* בפני הים בשמורת חוף אלמוג (בסמוך למזח המצפה הימי). קו אדום - בשנת הניטור 2022, קו ירוק - ממוצע רב שנתי (1988-2021), קוים שחורים גבולות 90% מהנתונים שהצטברו כולל השנה הקודמת.

Figure E1: Chlorophyll-*a* concentrations sampled daily at the Underwater Observatory pier in 202*2* (red line) and the long-term average (1988-202*1*, green line). Black lines mark the 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 וארוך-טווח אחר טמפרטורת המים בפני הים בסמוך לשונית האלמוגים.

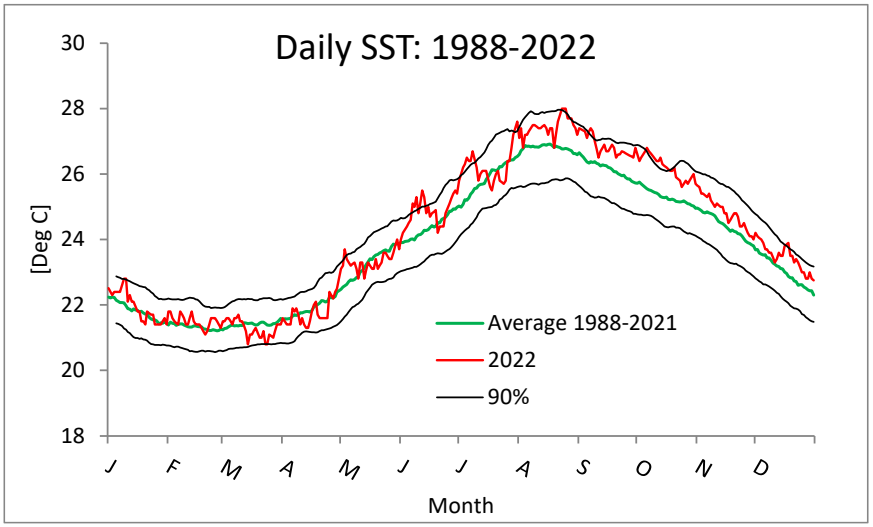
<u>שיטות</u>

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>

בתחילת השנה, בחודשי החורף היתה טמפרטורת המים דומה לערכי הממוצע הרב-שנתי ובחודשים מרץ-אפריל ירדה הטמפרטורה מתחת לממוצע והניעה את הערבוב העמוק. בחודש מאי החלו הטמפרטורות לעלות ונעו סביב הממוצע אך מחודשי הקיץ ועד לסוף השנה היתה טמפרטורת פני הים בסמוך לשונית בדרך כלל גבוהה מהערך הממוצע הרב-שנתי (איור ה3). עם זאת, הטמפרטורה כמעט ולא חרגה מגבולות 90% של סך המדידות וזאת בניגוד לשנים האחרונות ובפרט השנה הקודמת בה נמצאה "קפיצה" חדה וגבוהה בטמפרטורה בקיץ. הטמפרטור המרבית אשר נמדדה השנה במסגרת זו היתה 28.0° לקראת סוף אוגוסט, וזאת לעומת 29.9° שנמדדה ב-8 באוגוסט 2021 והיתה הגבוהה ביותר שנמדדה עד כה במדידות אלה.

הטמפרטורה הנמוכה אשר נמדדה השנה היתה 20.8°, ב-14 במרץ (לעומת 21.8° בשנה הקודמת).



איור ה3: טמפרטורת המים בפני הים בשמורת חוף אלמוג (בסמוך למזח המצפה הימי). קו אדום - שנת הניטור 2022, קו כחול - ממוצע רב שנתי של המדידות היומיות 1988-2021, קוים שחורים גבולות 90% מהנתונים שהצטברו כולל השנה הקודמת (מוחלקים באמצעות ממוצע זז של שבעה ימים).

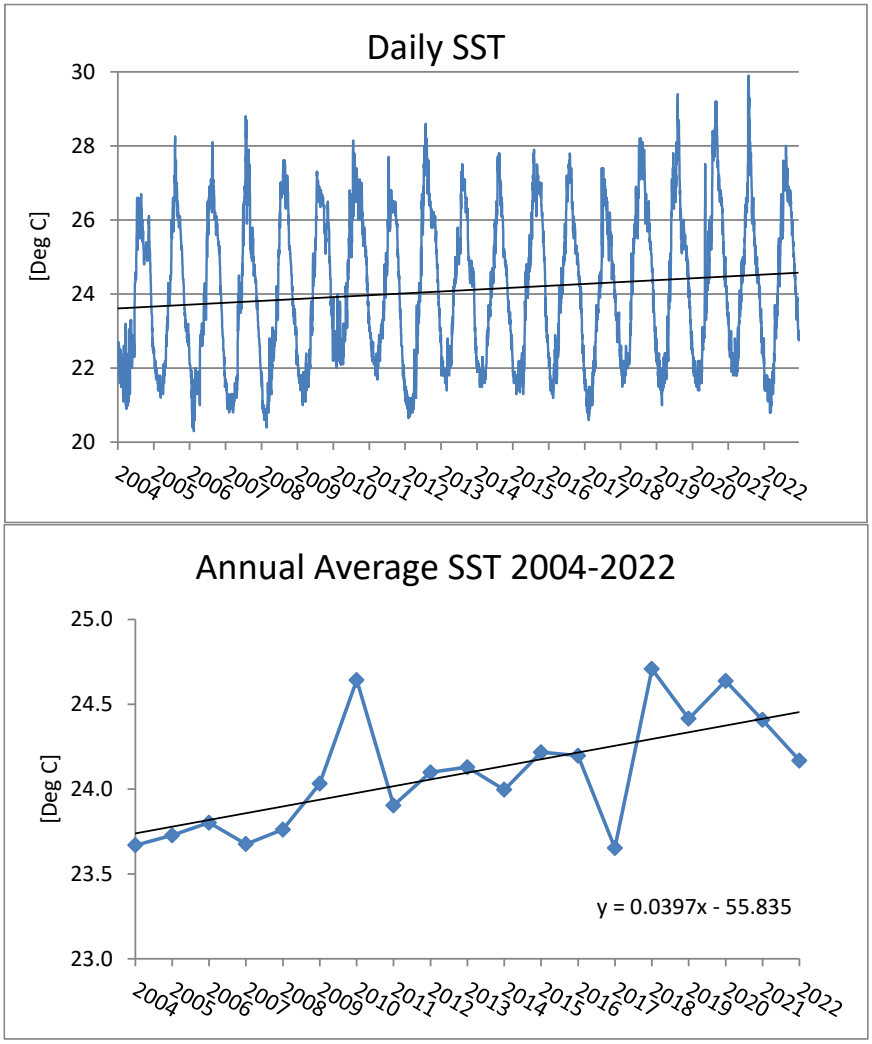
Figure E3: Daily sea surface temperatures measured from the Underwater Observatory pier during 2022 (red line), the average SST for 1988-2021 (green line), and the black lines mark the 90% of accumulated data including the previous year (smoothed by 7-day running mean).

השנה הייתה טמפרטורת פני הים הממוצעת 24.2° מעט נמוכה בהשוואה לשנה הקודמת (24.4°) בה היו החודשים הראשונים חמים והקיץ חם במיוחד, אולם חודשי סוף השנה היו קרים יחסית ואיפשרו את הערבוב העמוק שהתרחש השנה.

מאז שנת 1988 נרשמת מגמה של עלייה בטמפרטורת פני הים הנמדדת מדי יום בסמוך למצפה התת-ימי (איור ה4).

בשנת 2018 נרשמה טמפרטורת פני הים השנתית הממוצעת הגבוהה ביותר במסגרת מדידות אלה (24.70 °). ממדידות הטמפרטורה היומיות בסמוך לשונית בין 1988-2022 מצטיירת מגמת חימום רב-שנתי של פני הים (בשיעור ממוצע של כ- 3.6 מעלות במאה שנה). מאז תחילת הניטור בשנת 2004 שיעור החימום הממוצע גבוה

יותר – 5.1 מעלות במאה שנה וקצב העלייה של הטמפרטורה השנתית הממוצעת עומד על כ- 4 מעלות במאה שנה.
לשם השוואה, מגמת חימום פני הים העולמית עבור תקופה זו היא כ- 1.5 מעלות במאה שנה (ncdc.noaa.gov). משמע, פני בים באילת מתחמים בקצב מהיר הרבה יותר מהקצב העולמי.



איור ה4: למעלה: טמפרטורת המים בפני הים בשמורת חוף אלמוג (בסמוך למזח המצפה הימי) מאז 2004. קו הרגרסיה מייצג מגמה ארוכת טווח של עליית טמפרטורת פני המים מאז 1988 (נתונים באדיבות פרופ' אמציה גנין). למטה: הטמפרטורה השנתית הממוצעת מאז שנת 2004.

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

ה.3. משתנים 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>

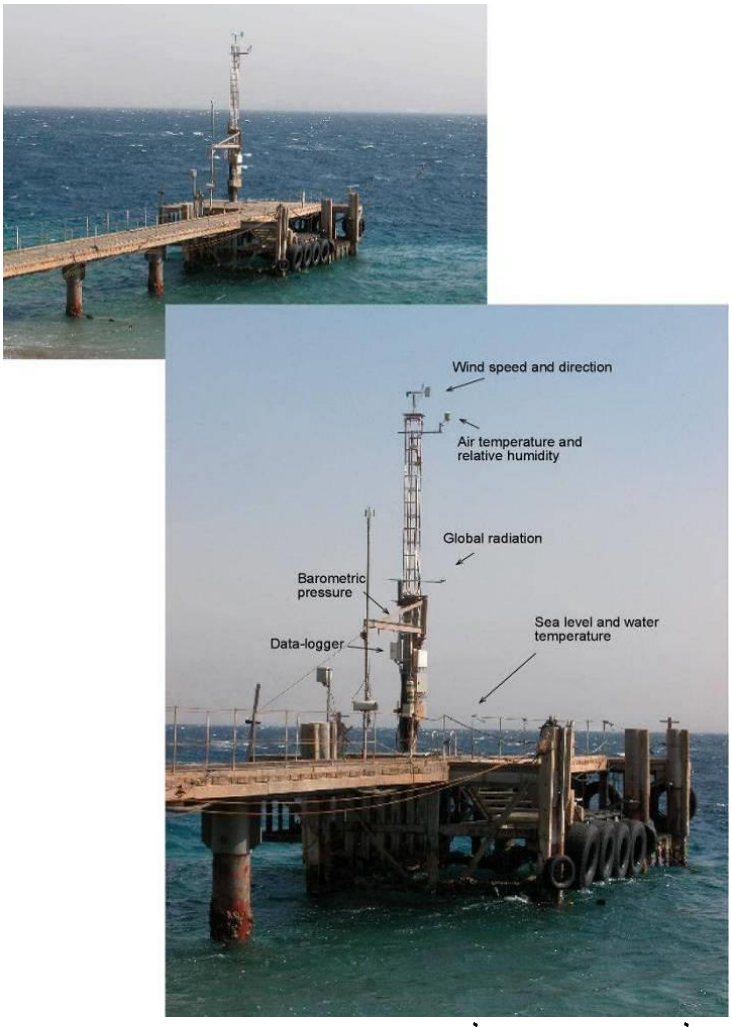
התחנה המטאורולוגית של תכנית הניטור כוללת מגוון של חיישנים (טבלה ה1), ומבצעת מדידות רציפות של המשתנים הבאים: טמפרטורת האוויר, לחות יחסית, לחץ ברומטרי, קרינה גלובלית, מהירות הרוח, כיוון הרוח, טמפרטורת המים ולחץ מים (= מפלס הים). החיישנים מחוברים לרשם-נתונים (data-logger) והמערכת כולה מצויה מעל הים ופועלת 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 ופוטוכימים 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-100
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.

<u>תוצאות</u>

רישומי יומן:

- 9 בינואר: רוח דרומית משעות הבוקר, מתחזקת במהלך היום (מהירות מרבית כ-30 קשר). גשם משעות אחה"צ, בסה"כ 8 מ"מ נמדדו במג"ז על גג המכון
  3 בפברואר: סערה דרומת מתונה משעות הבוקר (מהירות מרבית כ- 20 קשר)
- 19 בפברואר: מטחי גשם באילת, במכון נמדדו 4 מ"מ, שטפונות בערבה ובנגב
- 23-24 בפברואר: דרומית קלה
- 23 במרץ: פריחת אצות ישיבות בחוף הצפוני והדרומי, פילמנטים צפים (עומק הערבוב נמדד – 700 מ'.
- 1 באפריל: פריחת אצות חד-תאיות בגוף המים, מים ירוקים מאד וכלורופיל גבוה
- 18 באפריל: מים עדיין ירוקים, ראות נמוכה (פחות מ-15 מטר), כיסוי אצות ישיבות באזור הנסיכה
- 25 באפריל: אובך מגיע לאילת מהצפון, מים עדיין ירוקים
- 30 באפריל: דרומית, 1 במאי מים עכורים מאד וזרם חזק
- 9 במאי: מים עדיין עכורים מאד, ראות כ- 10 מטרים
- 7 ביוני: עכירות בסמוך לקרקעית הים באזור השונית בעומק כ- 20 מטר
- 22 בנובמבר: פריחת זואופלנקטון
- 23 בנובמבר: גשם משעות אחה"צ, במכון 5 מ"מ
- 29 בנובמבר: גשם משעות הבוקר המוקדמות, במכון 3 מ"מ
- 29 בנובמבר: דליפת דלק ממכלית במזח הדרומי של קצא"א, הדלק נלכד בחוסמים הפרושים סביב המכלית
- 24 בדצמבר: גשם באילת ובערבה, במכון נמדדו 5 מ"מ
- 25-26 בדצמבר: המשך גשמים באילת ובערבה, במכון נמדדו 3 מ"מ
  שטפונות בנחלים בערבה וסחף שנכנס לים מתעלות הניקוז ובנחל שחמון ליד חוף הדקל

בסך הכל תועדו השנה שני אירועי גשם בחורף בתחילת השנה, ושלושה אירועי גשם בסוף השנה. סערות דרומיות לא היו חזקות במיוחד והאירוע העיקרי הוא עכירות המים ופריחות האצות כתוצאה מהערבוב העמוק.

- 14 באוגוסט: דליפת דלק מספינה בנמל המכולות בעקבה. כתמים סביב הרציפים נוקו ורוח צפונית חזקה וזרם דרומי סחפו כתמי שמן שארתיים דרומה. הזיהום לא הגיע לאילת (**סיכום ותמונות באדיבות עוז גורן, היחידה הארצית למזיעת זיהום ים, אילת**)

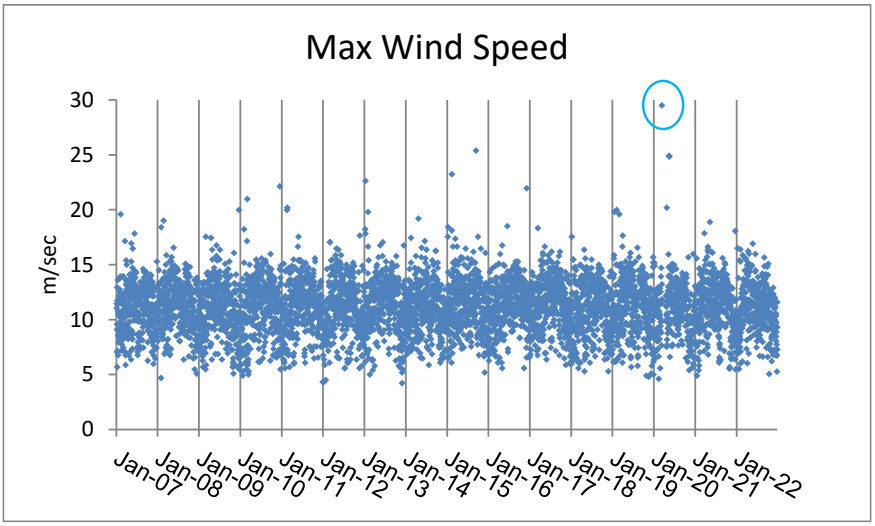
- 29 בנובמבר: דליפת דלק ממכלית במזח הדרומי של קצא"א, הדלק נלכד בחוסמים הפרושים סביב המכלית
- כניסת מיכליות למזח קצא"א: 8/2, 24/2, 14/3, 29/3, 13/4, 4/9, 19/9, 28/9, 28/11, 2/12 (סופר-טנקר), 29/12/2022. כל המיכליות נכנסו ריקות ויצאו מלאות.

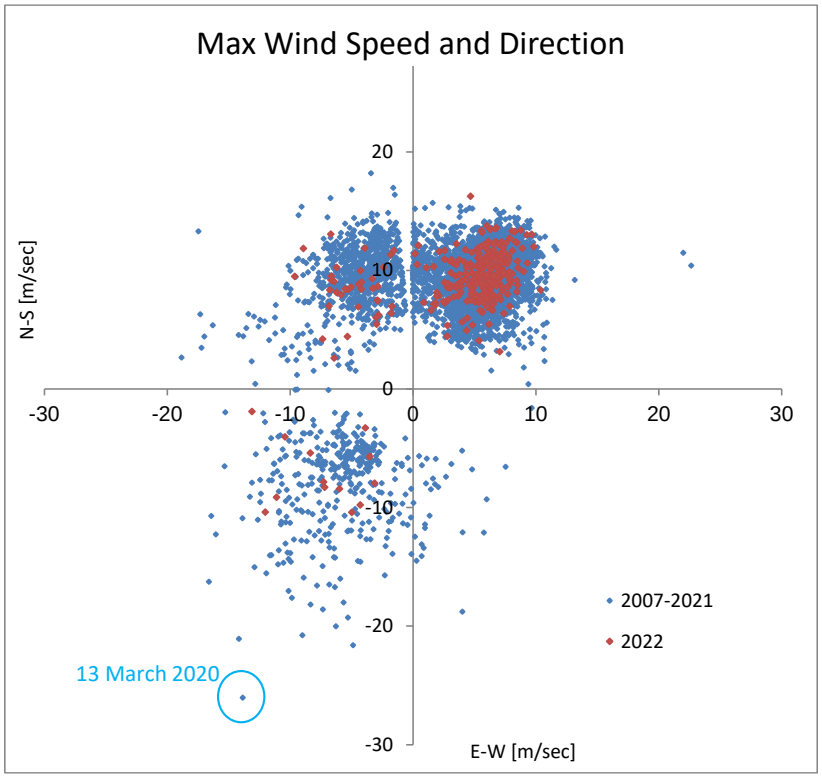
מדידות אטמוספריות

רוח:

השנה, בדומה לשנה הקודמת, 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 19.9 מטר\שניה (כ-33 קשר) בסוף מאי. הרוח נשבה מצפון.





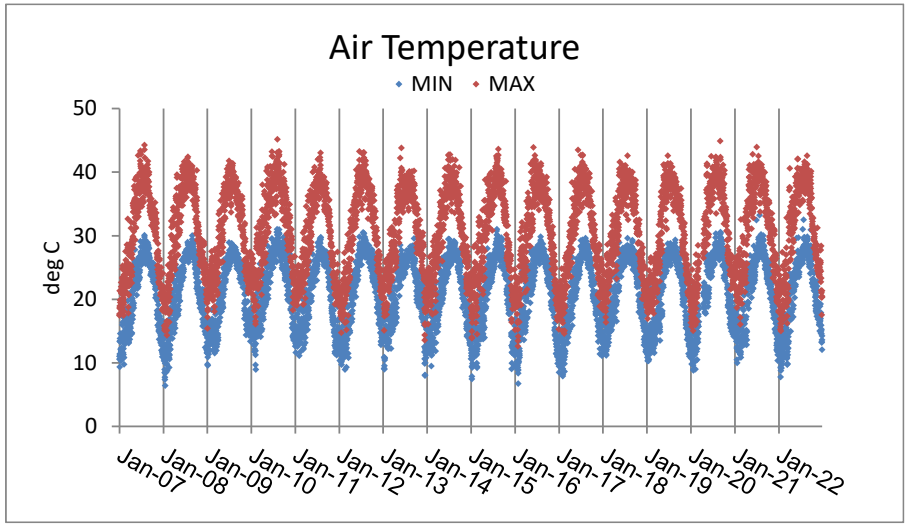
איור ה6: למעלה- מדידות מהירות הרוח המרבית בכל יממה במטרים לשנייה. למטה- מהירות הרוח המרבית ביממה וכיוונה מאז תחילת 2007.

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 42 °C, בחודש יולי, נמוך יותר מאשר בשנתיים הקודמות. הטמפרטורה הנמוכה ביותר השנה נמדדה באמצע חודש ינואר, 7.8 °C. גם טמפרטורה זו נמוכה בכ- 2.5 מעלות מהטמפרטורה המזערית בשנה הקודמת.

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



איור 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:

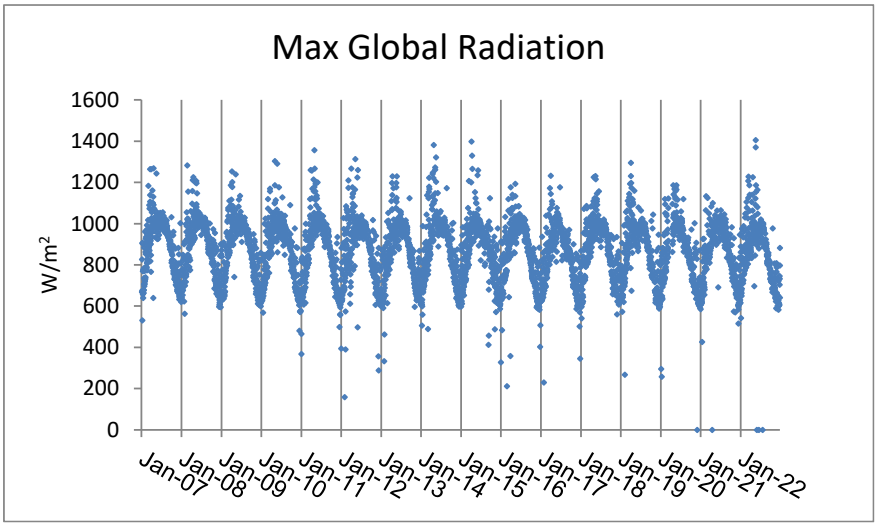
[*חיישן הקרינה האולטרא-סגולה התקלקל בחודש אוגוסט 2016, והוחלף במאי 2017. חיישן ה- PAR הוחלף בשנת 2021 לאחר שנראה היה כי הערכים הנמדדים דועכים עם הזמן*]

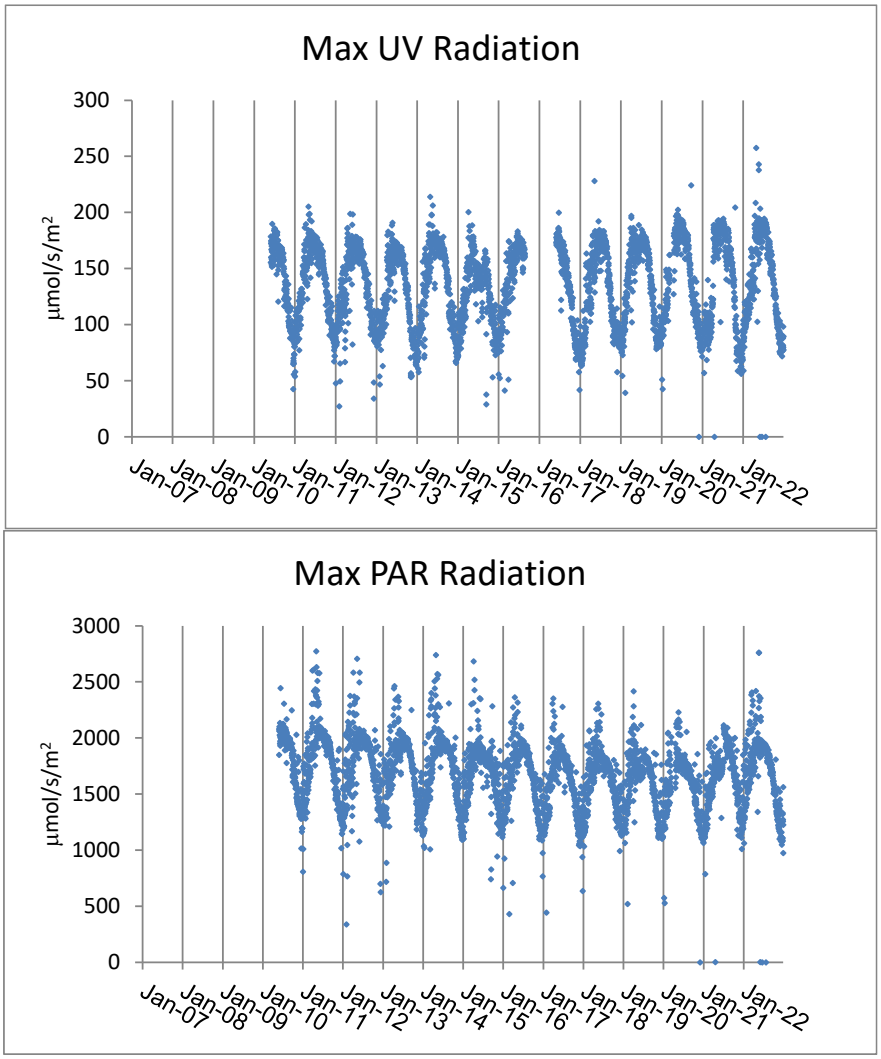
הקרינה הגלובלית בעלת מחזור עונתי דומה לזה של טמפרטורת האוויר, אולם ערכים מרביים נמדדים לרוב בחודשי האביב. הקרינה החזקה ביותר במפרץ נרשמת בדרך כלל בין השעה 11 ל-1 בצהריים, ואילו טמפרטורת האוויר המרבית נרשמת לרוב אחר הצהריים המאוחרים. הקרינה המרבית שנמדדה השנה (1406 ואט\מטר רבוע, בחודש מאי) הייתה גבוהה בהרבה מזו של השנים האחרונות והגבוהה ביותר אשר נמדדה עד כה במסגרת תכנית הניטור (איור ה8).

הערך המרבי של הקרינה באורכי הגל האולטרא סגול (UV) אשר נמדד השנה, 257 $\mu mol/s/m^2$, בסוף חודש אפריל, היה גם הוא הגבוה ביותר שנמדד עד כה על ידי התכנית (מאז קיץ 2010). 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. בשנה הקודמת הוחלף חיישן המדידה מתוך חשש שהדעיכה קשורה להתעייפות החיישן ולאחר החלפת החיישן אכן נראה שישנה עליה והמדידות מהקיץ הקודם דומות לאלו של לפני מספר שנים. השנה נמדד שיא גם באורך גל זה עם ערך מרבי של 2761 $\mu mol/s/m^2$ בחודש מאי. 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).

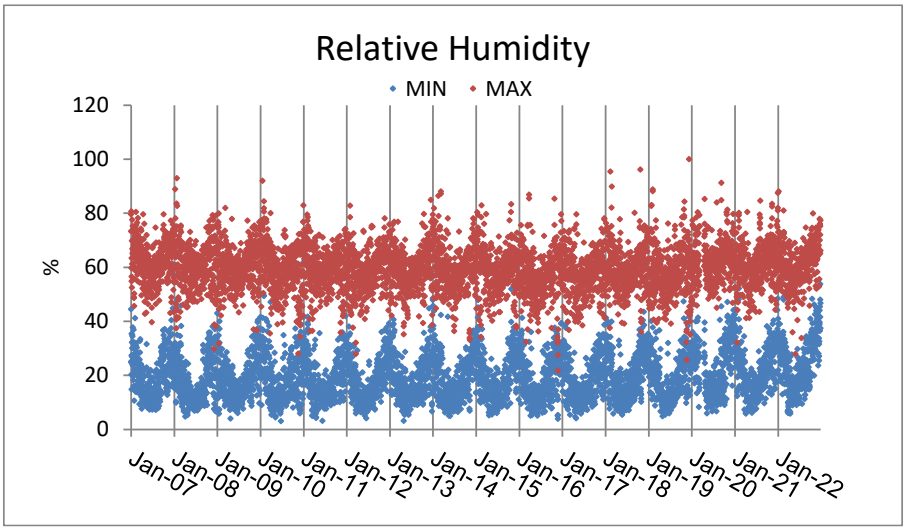
Figure E8: Maximum daily global radiation (top), ultraviolet radiation (middle) and photosynthetically available radiation (bottom).

לחות:

הלחות היחסית, כפי שנמדדת ממזח המכון מעל הים, מראה ימים של לחות גבוהה בעיקר באביב ובסתיו (איור ה9).

בשנים האחרונות נמדדה לעיתים לחות גבוהה בהשוואה למדידות של השנים 2007-2017 אך השנה לא נמדדה לחות גבוהה במיוחד. שינויים עונתיים במדידות הלחות היחסית קטנים בהשוואה למשרעת היומית הגדולה, ומונעים במידה רבה על ידי שינויים בכיוון ועוצמת הרוח. ערכי לחות נמוכים נמדדים בסוף החורף ובקיץ וערכים גבוהים יותר – הן של הלחות המרבית והן המזערית – נמדדים בסתיו ובחורף. הלחות המרבית נמדדת לרוב בשעות הלילה או הבוקר המוקדמות ואילו הלחות המזערית בשעות אחר הצהריים-ערב. רוחות דרומיות גורמות לרוב לעליה בלחות.

גם כאן יש לזכור כי ערכים אלה נמדדים מעל הים וצפויים להיות שונים (גבוהים) מהלחות הנמדדת ביבשה באזור אילת.



איור ה9: ערכים מרביים ומזעריים (באדום ובכחול, בהתאמה) של לחות יחסית מעל הים, בכל יממה.

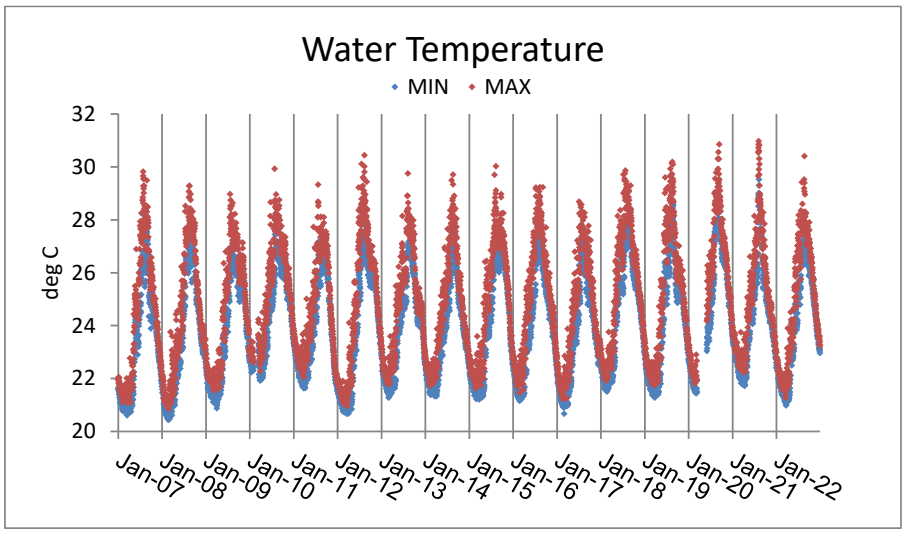
Figure E9: Maximum and minimum (red and blue, respectively) daily values of relative humidity over the sea.

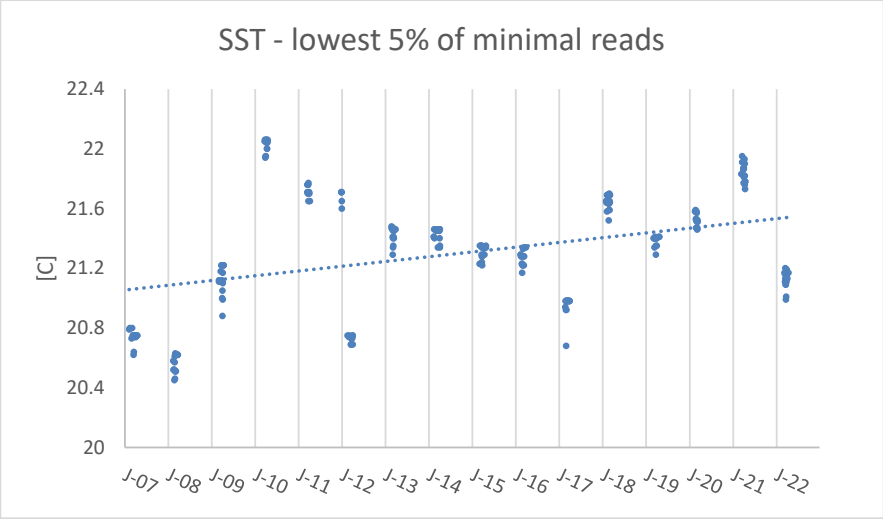
מדידות בים

טמפרטורת פני הים:

במדידות טמפרטורת המים (עומק כ-2 מטרים) ניתן לעקוב אחר המחזור העונתי בו טמפרטורת המינימום (°C 21.0, בחודש מרץ השנה) היתה השנה נמוכה משמעותית בהשוואה לטמפרטורת המים המזערית של השנה הקודמת (21.8 °C) וכך הובילה לערבוב עמוק של עמודת המים. טמפרטורת המקסימום שוב היתה השנה גבוהה מאד 30.4 °C בסוף אוגוסט, אך נמוכה מעט מהטמפרטורה המרבית של השנה הקודמת, 31.0 °C, אשר היתה הגבוהה ביותר שנמדדה במסגרת זו (איור ה10).

על אף הערבוב העמוק, הטמפרטורה הנמוכה השנה, היתה גבוהה מעט מהטמפרטורה המזערית שנמדדה בחורפים 2017 ו-2009 בהם לא היה ערבוב עמוק במיוחד (20.7 °C ו- 20.9 °C , בהתאמה) ובחורפים 2012, 2008 ו-2007 בהם היה ערבוב עמוק (20.7 °C, 20.5 °C ו- 20.6 °C, בהתאמה). כאשר מתבוננים על הטמפרטורות המזעריות בכל שנה (5% מהימים הקרים ביותר בכל שנה, 18 הקריאות המינימליות הנמוכות ביותר בכל שנה) נראה כי במשך תקופת הניטור ישנה עלייה מתמשכת של טמפרטורות המינימום במפרץ (איור ה10, למטה).





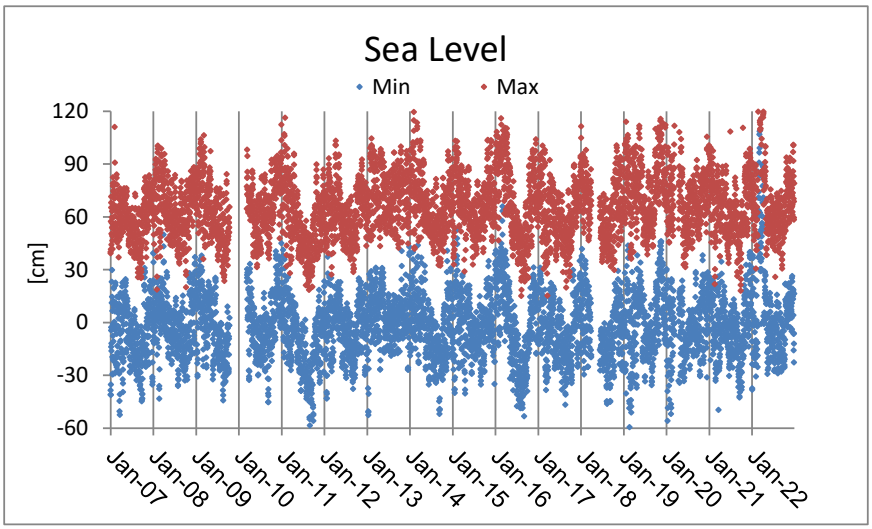
איור ה10: ערכים יומיים מרביים ומזעריים (באדום ובכחול, בהתאמה) של טמפרטורת המים (בעומק כ-2 מ'). למטה, 18 הימים הקרים ביותר בכל שנה (5% מהקריאות היממיות המזעריות).

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)

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.*]

מפלס הים משתנה בעיקר במחזוריות חצי יממית של גאות ושפל. המחזור השנתי מורכב ממפלס ים גבוה בחודשי החורף ונמוך יותר בחודשי הקיץ (איור ה11). בחודשי החורף גם נמדדות תנודות גדולות יותר במפלס הים המזערי ביממה, וזאת ככל הנראה בהשפעת הרוחות ומערכות האקלים הפחות יציבות בחודשים אלה. השנה לא נרשמו אירועי שפל קיצוניים בצפון המפרץ, ושפל נמוך במיוחד נמדד בחודשים מרץ וספטמבר אך חשיפת אלמוגים לא היתה גדולה.



איור ה11: ערכים מרביים ומזעריים (באדום ובכחול, בהתאמה) של מפלס הים, בכל יממה.

Figure E11: Maximum and minimum (red and blue, respectively) daily sea-level measurements.

ה.4. גלים וזרמים

<u>מטרה</u>

מעקב רציף וארוך-טווח אחר זרמי הים והגלים בקרבת שונית האלמוגים.

<u>שיטות</u>

<u>גלים</u>: 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 הוצמד במשך מספר שבועות חיישן דומה בעומק של כ-3 מטרים על גבי מבנה מתכת יציב מעל עומק קרקעית של כ-4 מטרים. בין שני המכשירים נעשה כיול הדדי ונמצאה התאמה טובה. מדידה זו הופסקה לאחר שהגלים המרביים המופקים מרוחות צפוניות אופיינו.

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

זרמים: זרמים בקרבת פני הים (עומק של כ- 2.5 מטר) נמדדו באמצעות חיישן של חברת Nortek, Aquadop 300, אשר מודד את מרכיבי הזרם במישור בטווח של עד מטר וחצי סביב החיישן. החיישן הוצב באופן נסיוני תלוי מעל קרקעית בעומק 4 מטרים מול המכון הבינאוניברסיטאי. נוסו קונפיגורציות שונות לקבלת תוצאות מיטביות, ונלמד חיבור החיישן למערכת קריאה רציפה על מזח המכון. הכוונה בהמשך היא לבנות עבור החיישן מעמד יציב שימנע תנודות ויקבע את מיקומו עם חיבור רציף וזמינות נתונים ברשת.

<u>תוצאות</u>

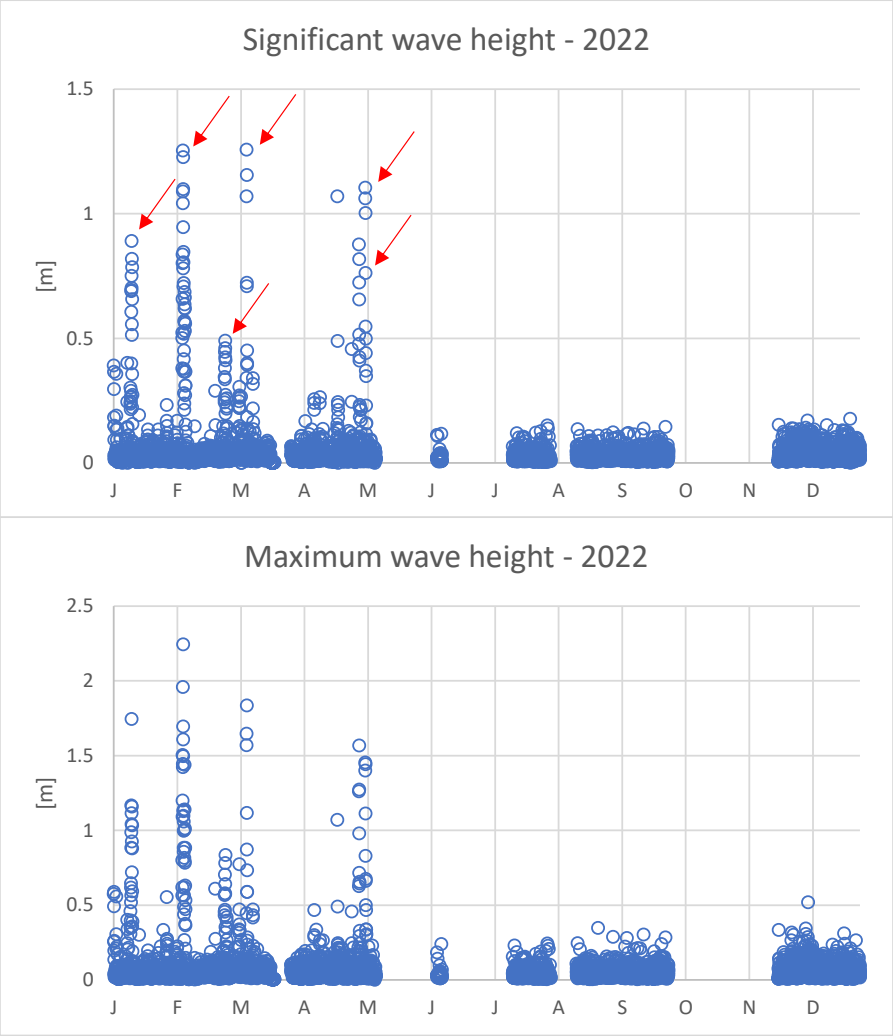
גלים:

ממדידות הגלים בהצבה הרדודה (נעשה בשנה הקודמת, 2021) נמצא שבמשטר רוחות צפוניות גובה גלים משמעותי (significant wave height) אינו עולה על 20 ס"מ מול המכון הבינאוניברסיטאי. וגובה הגלים המרבי (maximum wave height) תחת משטר רוחות זה קטן מ- 0.5 מ'.

במשך השנה היו מדי פעם תקלות מדידה כך שהרישום הגלים אינו רציף, אף כי בתחילת השנה (העונה בה צפויות סערות דרומיות) המדידה עבדה ברצף וישנו רישום טוב בחצי השנה הראשון.

אירועים של רוחות דרומיות חזקות נמדדו בעיקר בתחילת השנה ועד לסוף האביב. בפרט נקלטו ששה אירועים בהם הרוחות הדרומיות היו חזקות מספיק ונשבו זמן ארוך מספיק להרים גלים גבוהים מחצי מטר (איור ה12). בכל פעם שנמדדו גלים גבוהים היה זה תחת משטר רוחות דרומיות. הגלים המשמעותיים הגבוהים ביותר (1.25 מטר) נמדדו בשני אירועים של סערות דרומיות (3-4 בפברואר וה-6 במרץ). גובה הגלים המרבי נמדד ב-3 בפברואר, 2.24 מטר.

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 בשנה הקודמת (2021).



איור ה12: מדידות גובה גלים משמעותי (למעלה) ומרבי (למטה). אירועים של רוחות דרומיות מלוות בגלים גבוהים מסומנים בחיצים אדומים.

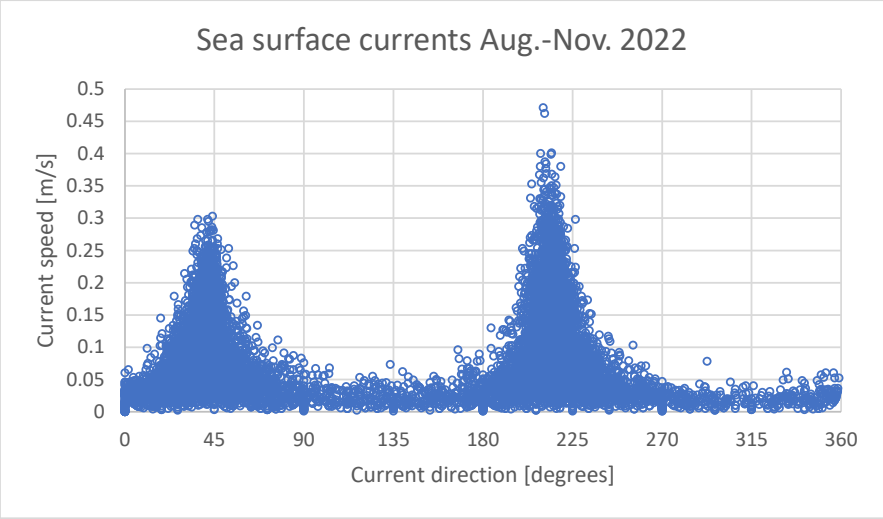
Figure E12: Measurements of significant (top) and maximum (bottom) wave heights. Events of southern winds accompanied by high waves are marked with red arrows.

זרמים:

מד הזרם המיועד למדידת זרמים בקרבת פני הים החל לאסוף נתונים בקיץ השנה. ההצבה עדיין אינה קבועה, אך תבנית הזרמים בפני הים מול המכון הבינאוניברסיטאי מתחילה להתבהר. הזרמים הדומיננטים באזור זה של המפרץ הם הזרמים המקבילים לחוף (כיוון צפ'מז'-דר'מע', איור ה13). מבין הזרמים המקבילים לחוף זרמים דרומיים (כיוון זרימה לדרום-מערב) נפוצים יותר, מהווים כ- 44% מסך המדידות לעומת כ-32% לזרמים שכיוונם צפוני (צפון-מזרח, במקביל למפרץ).

לרוב, הזרמים במפרץ אינם חזקים, אולם כ- 16% מהמדידות הקליטו זרמים חזקים בטווח 0.15-.03 מ\שניה (0.3-0.6 ~ קשר) וחלק קטן מהמדידות, פחות מאחוז אחד ותמיד זרמים דרומיים, הראו זרמים חזקים יותר, עד כ- 0.4 מ\שניה (0.8 ~ קשר).

עוד נראה כי הזרמים החזקים יותר נמדדים לקראת שיא הגיאות או שיא השפל, כאשר הזרמים החזקים יותר נמדדו לקראת שיאי גיאות.



איור ה13: מדידות זרמים סמוך לפני הים בקרבת המכון הבינאוניברסיטאי. הזרמים הדומיננטים מקבילים לחוף.

Figure E13: Measurements of near-surface currents off the Inter-University Institute. Long-shore currents are dominant.

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>

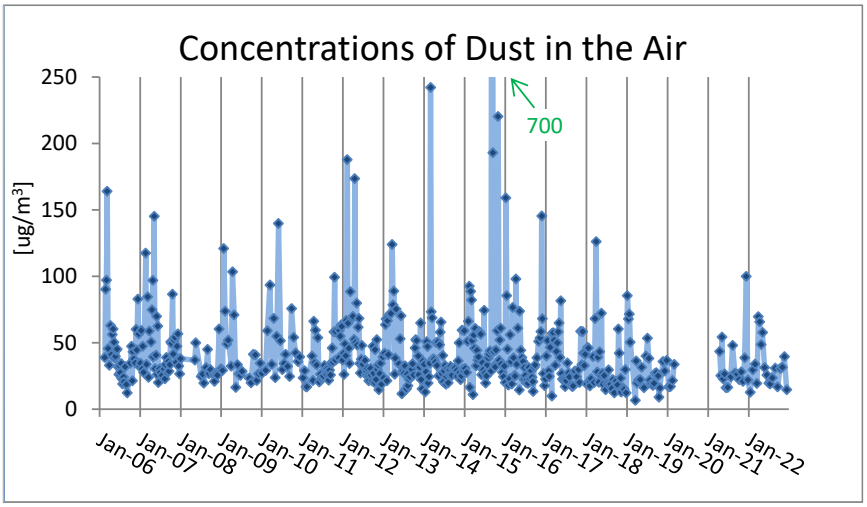
תכנית הניטור מדווחת על שינויים בזמן בריכוזי האבק מעל צפון המפרץ – "עומס" האבק המגיע לים. ניטור האבק נעשה באופן רציף מאמצע שנת 2006, מלבד הפסקות יזומות להגנה על הדוגמה כאמור לעיל ותקלות שחייבו החלפת משאבות – בעקבות הסערה של מרץ 2020 ישנה הפסקה במדידות אשר חודשו רק כעבור למעלה משנה, באפריל 2021.

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 (איור ה14). 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.

הריכוז הגבוה ביותר אשר נמדד השנה היה 70 $\mu g/m^3$ בחודש אפריל. ריכוז זה נמוך מהערך המרבי שנמדד בשנה הקודמת, 100 $\mu g/m^3$ בדצמבר 2021, אשר חסרות בה מדידות החורף והאביב בו הריכוזים היו אולי גבוהים אף יותר. ריכוזי האבק השנה אינם גבוהים במיוחד והערך המרבי השנה נמוך מהערך המרבי אשר נמדד ברוב השנים.

במחקר המנתח את הרכב האבק הנדגם על ידי התכנית בין השנים 2006-2010 נמצא כי השינויים העונתיים בעומסי האבק (נמוך בחודשי הקיץ ועולה בתחילת החורף עם ערכים מרביים בסוף החורף ובאביב) קשורים גם במקור האבק (Torfstein *et al.*, 2017): עומסים גדולים בסוף החורף ובאביב מגיעים ממרכז ומערב הסהרה, וכמות אבק קבועה ונמוכה יותר מגיעה ממזרח הסהרה ומחצי האי ערב ומהווה מקור מתמשך בחודשי החורף. בקיץ עומס האבק נמוך ומקורו בעיקר מדרום וממזרח אירופה.

תבנית השינויים בזמן בעומסי מיקרו-נוטריינטים חשובים (כגון ברזל ומתכות אחרות) אינה בהתאמה לתבנית היסודות העיקריים או לתבנית הנצפית בריכוזי כלורופיל-a בפני הים ומצביעה על כך שלאבק אטמוספרי השפעה מוגבלת על היצרנות הראשונית בצפון המפרץ.



איור ה14: ריכוזי אבק באוויר מעל הים. מדידות נעשות על גבי פילטר דרכו מוזרם האוויר ומוחלף מדי שבוע.

Figure E14: Weekly 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.

Colwell, R. K. (2005). EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 7.5. User's Guide and application published at: http://purl.oclc.org/estimates.

Campbell, L., Landry, M. R., Constantinou, J., Nolla, H. A., Brown' S. L., Liu, H., Caron, D.A. (1998). Response of microbial community structure to environmental forcing in the Arabian Sea. Deep Sea Research II 45: 2301-2325

Diamant, A., Banet, A., Paperna, I., v. Westernhagen, H., Broeg, K., Kruener, G., Koerting, W,. Zander, S. (1999). The use of fish metabolic, pathological and parasitological indices in pollution monitoring II. The Red Sea and Mediterranean. Helgoland Marine Research 53:195-208.

Diamant, A., Banet, A. Ucko, M., Colorni, A., Knibb, W., Kvitt, H. (2000). Mycobacteriosis in wild rabbitfish *Siganus rivulatus* associated with cage farming in the Gulf of Eilat, Red Sea. Disease of Aquatic Organisms 39:211-219

Dzikowski, R., Paperna, I., Diamant, A. (2003). Multi-annual changes in the parasite communities of rabbitfish *Siganus rivulatus* (Siganidae) in the Gulf of Aqaba, Red Sea. Helgoland Marine Research 57:228-235.

Hammer, Ø., Harper, D.A.T., and P. D. Ryan, 2001. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. Palaeontologia Electronica 4(1): 9pp.

Iluz, D. (1991). Primary production of phytoplankton in the northern Gulf of Eilat, Red Sea. M.Sc. thesis. The Hebrew University of Jerusalem, Israel.

Iluz, D., Dishon, G., Capuzzo, E., Meeder, E., Astoreca, R., Montecino, V., Znachor, P., Ediger, D., Marra, J. (2009). Short-term variability in primary productivity during a wind-driven diatom bloom in the Gulf of Eilat (Aqaba). Aquat Microb Ecol 56 205-215.

Katz, T., Katsman, R., Kalman, A., Goodman-Tchernov, B. (2022). Evolution of sediment grain-size profiles on a sheltered, continental shelf in response to punctuated flood deposition. Continental Shelf Research
Volume 251, https://doi.org/10.1016/j.csr.2022.104868

Khalaf, M. Brokovich, E., Al-Momani, O., Baranes, A. (2003) Red Sea marine peace park US-AID program Technical Report: Monitoring coral reef fishes. 65 pp.

Kohler, K.E., Gill, S.M. (2006). Coral Point Count with Excel extensions (CPCe): A Visual Basics program for the determination of coral and substrate coverage using random point count methodology. Computers & Geosciences 32(9): 1259-1269.

Lamb, J. B., van de Water, J. A. J. M., Bourne, D. G., Altier, C., Hein, M. Y., Fiorenza, E. A. (2017). Seagrass ecosystems reduce exposure to bacterial pathogens of humans, fishes, and invertebrates. Science 355:6326, p. 731-733.

Lazar, B., Erez, J., Silverman, J., Rivlin, T., Rivlin, A., Dray, M., Meeder, E., and Iluz, D. (2008) Recent environmental changes in the chemical-biological oceanography of the Gulf of Aqaba (Eilat), in Por, F.D., ed., Aqaba-Eilat, the Improbable Gulf: Jerusalem, The Hebrew University Magnes Press, p. 49-61.

Loya Y. (1972). Community structure and species diversity of hermatypic corals at Eilat, Red Sea. Mar. Biol.13:100-123.

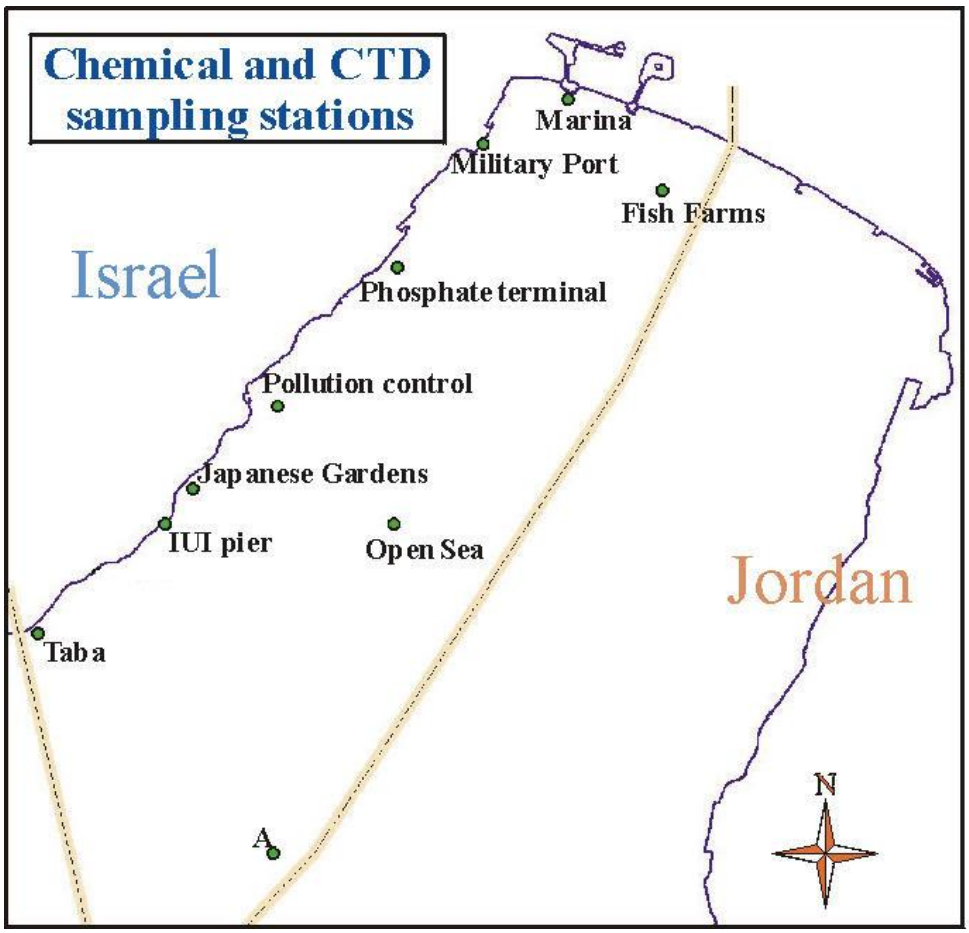
Loya Y. (2004). The coral reefs of Eilat- past, present and future: Three decades of coral community structure studies. In: Coral Reef Health and Disease; Rosenberg and Loya (Eds). Springer-Verlag; Berlin Heidelberg, New York. pp. 1-34.

Lundberg, B., Golani, D. (1995) . Diet Adaptations of Lessepsian Migrant Rabbitfishes, *Siganus luridus* and S.*rivulatus*, to the Algal Resources of the Mediterranean Coast of Israel. Marine

Ecology. 16:73-89.
Meeder E. (2012). The dynamic of organic matter and nutrients in the oceanic water column – a study utilizing the enhanced kinetics in the warm water of the Gulf of Aqaba. Ph.D. Thesis, The Hebrew University.
Mejia, A.Y., Rotini, A., Lacasella, F., Bookman, R., Thaller, M.C., Shem-Tov, R., Winters, G., Migliore, L. (2016). Assessing the ecological status of seagrasses using morphology, biochemical descriptors and microbial community analyses. A study in Halophila stipulacea (Forsk.) Aschers meadows in the northern Red Sea. Ecological Indicators 60: 1150-1163.
Millero, F.J., T. Plese, M. Fernandez (1988). The dissociation of hydrogen sulfide in seawater. Limnol. Oceanogr., 33: 269–274.
Millero, F.J., J-Z. Zhang, S. Fiol, S. Sotolongo, R.N. Roy, K. Lee, S. Mane (1993). The use of buffers to measure the pH of seawater. Mar. Chem., 44: 143–152.
Mouillot, D., Villéger, S., Parravicini, V., Kulbicki, M., Arias-González, J.E., Bender, M., Chabanet, P., Floeter, S.R., Friedlander, A., Vigliola, L., and Bellwood, D.R. (2014). Functional over-redundancy and high functional vulnerability in global fish faunas on tropical reefs. PNAS, 111 (38). pp. 13757-13762.
Oron, S., Angel, D., Goodman-Tchernov, B., Merkado, G., Kiflawi, M., Abramovich, S. (2014). Benthic foraminiferal response to the removal of aquaculture fish cages in the Gulf of Aqaba-Eilat, Red Sea. Marine Micropaleontology 107: 8-17.
Shaked, Y., (2008). Iron redox dynamics in the surface waters of the Gulf of Aqaba, Red Sea. Geochimica et Cosmochimica Acta 72, 6: 1540–1554.
Stern, N., Rachmilovitz, E.N., Sharon, G. et al. (2016). Mar Biodiv The dire implications of releasing marine ornamental fishes into the wild: first reported case from the Red Sea doi:10.1007/s12526-016-0600-4
Torfstein, A., N. Teutsch, O. Tirosh, Y. Shaked, T. Rivlin, A. Zipori, M. Stein, B. Lazar, Y. Erel (2017). : Chemical characterization of atmospheric dust from a weekly time series in the north Red Sea between 2006-2010. Doi: 10.1016/j.gca.2017.06.007
Torfstein, A., Kienast, S.S., Yarden, B., Rivlin, A., Isaacs, S., Shaked, Y. (2020). Bulk and Export Production Fluxes in the Gulf of Aqaba, Northern Red Sea. ACS Earth Space Chem., 4, 8, 1461–1479. https://doi.org/10.1021/acsearthspacechem.0c00079
Walther, B., A., Morand, S. (1998). Comparative performance of species richness estimation methods. Parasitology 116, 4: 395-405.
Winters, G., Edlist, D., Shem-Tov R., Beer, S., Rilov, G. (2017). Low cost field-survey method for mapping seagrasses and their potential threats: an example from the northern Gulf of Aqaba, Red Sea. Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst. 27: 324–339.
Zvuloni, A, Artzy-Randrup, Y , Stone, L , Van Woesik, R , Loya, Y (2008) Ecological size-frequency distributions: how to prevent and correct biases in spatial sampling. Limnology and Oceanography Methods, 6:144-152.
Zvuloni, A., Artzy-Randrup, Y., Stone, L., Kramarsky-Winter, E., Barkan, R., and Loya, Y., 2009, Spatio-Temporal Transmission Patterns of Black-Band Disease in a Coral Community: PLoS ONE, v. 4, p. e4993.

ז. נספחים

ז.1: מפות אתרי הניטור



איור ז1: תחנות דיגום מים (פני הים ועמודת המים). תחנה B אשר אינה כלולה במפה, נמצאת 10 ק"מ דרומית לתחנה A במשולש הגבולות ירדן-מצרים-סעודיה .

Figure G1: Study sites of water sampling (surface water and water column). Station B (not shown) is located 10 km south of Station A.

טבלה ז1: רשימת אלמוגי האבן (ומספר המושבות) בחתכי הקו בסקר חברת השונית בשנת 2022.

Table G1: List of stony corals and the number of colonies of each taxa found in the coral reef line-transect survey, 2022.

Genus	IUI	KATZA	NR	Eilat
Acropora	46	81	121	248
Stylophora	105	72	69	246
Montipora	31	59	82	172
Dipsastraea	89	17	49	155
Goniastrea	58	26	71	155
Echinopora	17	53	77	147
Cyphastrea	58	24	39	121
Paramontastraea	35	49	19	103
Porites	27	32	43	102
Millepora	51	4	9	64
Leptastrea	21	29	12	62
Favites	28	8	22	58
Platygyra	31	7	15	53
Gyrosmilia	32	1	5	38
Pocillopora	13	4	14	31
Lobophyllia	1	4	25	30
Pavona	2	26	2	30
Coscinaraea	16	3	8	27
Psammocora	8	10	7	25
Leptoseris	2	11	9	22
Siderastrea	19		3	22
Plesiastrea	8	7	6	21
Galaxea	1	4	8	13
Mycedium		5	7	12
Acanthastrea	4	2	5	11
Astreopora	2	3	6	11
Goniopora	1	3	4	8
Paralemnalia	1	3	4	8
Turbinaria	1	1	5	7
Echinophyllia	3		2	5
Fungia	3	1	1	5
Hydnophora	1		4	5
Seriatopora	1	3	1	5
Erythrastrea		2	2	4
Montastrea			4	4
Trachyphyllia		1	2	3
Cynarina	1		1	2
Euphyllia		2		2
Plerogyra		1	1	2
Alveopora		1		1
Balanophillya		1		1
Blastomussa			1	1
Ctenactis			1	1
Leptoria			1	1
Total	**717**	**560**	**767**	**2044**

טבלה ז2: מספר הדגים הכללי והשכיחות הממוצעת (ליחידת דגימה) של משפחות דגים ומושבות האלמוגים (עם ובלי דגים) באתרי השונית שנסקרו השנה. בכחול, משפחות דגים.

Table G2: Fish abundance and average occurrence (per sampling unit) of fish families and coral colonies (with and without fish) in the reef sites surveyed this year. Fish families are in blue.

Taxa	Habitat	Schooling	Diet	IUI 5	IUI 15	NR 7	Total
Blenniidae/Gobiidae	Benthic	Sol	H/HD	10	2	36	48
Mullidae							
Parupeneus macronemus	Benthic	S/M G	IM/IS	8	0	13	21
Parupeneus cyclostomus		S/M G	IM/IS	11	1	7	19
Parupeneus forsskali		S/M G	IM	11	5	10	26
Pseudochromidae							
Pseudochromis fridmani	Benthic	Sol	IM/PK	0	11	0	11
Pseudochromis springeri		Sol	IM/PK	1	3	10	14
Pseudochromis olivaceus		Sol	IM/PK	2	0	1	3
Synodontidae	Benthic	Sol/Pair	FC	4	1	3	8
Pinguipedidae	Benthic	Sol/Pair	FC	2	0	4	6
Tetraodonitidae/Diodonitidae							
Canthigaster cyanospilota	Benthic	Sol/Pair	OM/IM	7	1	0	8
Acanthuridae							
Zebrasoma desjardinii	Bentho-Pelagic	S-G	H/HD	3	0	2	5
Zebrasoma xanthurum		S-G	H/HD	25	4	16	45
Acanthurus nigrofuscus		S-G	H/HD	51	6	63	120
Ctenochaetus striatus		S-G	H/HD	9	1	6	16
Balistidae							
Sufflamen albicaudatum	Bentho-Pelagic	Sol	IM/IS	15	6	6	27
Rhinacanthus assasi		Sol	IM/IS	4	0	4	8
Balistapus undulatus		Sol	IM/IS	0	1	0	1
Chaetodontidae							
Heniochus sp.	Pelagic	S-G	PK	3	0	3	6
Chaetodon austriacus	Bentho-pelagic	S-M-G/ Pair	H/HD	10	0	5	15
Chaetodon paucifasciatus		S-M-G/ Pair	H/HD	19	6	24	49
Chaetodon fasciatus		S-M-G/ Pair	H/HD	2	2	11	15
Labridae							
Thalassoma rueppellii		S-G	IM/IS	20	5	30	55
Coris aygula		SOL	IM/IS	10	0	1	11

Gomphosuse caeruleus	Bentho-pelagic	SOL	IM/IS	7	0	5	12
Labroides dimidiatus		SOL	IM/IS	2	0	7	9
Cheilinus lunulatus		SOL	IM/IS	2	0	0	2
Bodianus anthioides		SOL	IM/IS	6	0	6	12
Pseudocheilinus hexataenia		Sol/S-G	IM/IS	0	30	2	32
Paracheilinus octotaenia		Sol/S-G	IM/IS	0	0	54	54
Anampses twistii		Sol/S-G	IM/IS	1	0	2	3
Ostraciidae	Bentho-pelagic	Sol/Pair	HD/IS/IM	6	1	1	8
Pomacanthidae							
Apolemichthys xanthotis	Bentho-pelagic	Sol/S-G	IM/IS	3	0	0	3
Pomacanthus imperator		Sol/S-G	IM/IS	2	0	0	2
Centropyge multispinis		Sol/S-G	IM/IS	7	0	2	9
Pomacentridae							
Amphiprion bicinctus	Bentho-pelagic	S-G	PK	1	0	3	4
Dascyllus aruanus		M-G	PK	4	2	21	27
Dascyllus marginatus		M-G	PK	40	88	41	169
Pomacentrus sulfureus		S-G	OM	0	0	3	3
Neopomacentrus miryae		L-G	PK	2	2	663	667
Pomacentrus trichourus		S-G	OM	37	31	132	200
Chromis dimidiata		M-G	PK	2	4	1	7
Chromis viridis		L-G	PK	0	6	270	276
Dascyllus trimaculatus		M-G	PK	5	0	3	8
Scaridae	Bentho-pelagic	Sol	FC	19	1	40	60
Serranidae							
Variola louti	Bentho-pelagic	L-G	PK	0	1	9	10
Cephalopholis miniata		Sol/Pair	OM/IM/FC	1	4	12	17
Cephalopholis hemistiktos		Sol/Pair	OM/IM/FC	1	0	0	1
Epinephelus fasciatus		Sol/Pair	OM/IM/FC	8	4	5	17
Pseudanthias squamipinnis		Sol	PK	1	474	503	978
Siganidae	Bentho-pelagic	Sol/S-M-G	IM/FC	35	0	2	37
Lethrinidae	Pelagic	L-G	PK	10	2	10	22
Apogonidae				0	0	1	1
Caesionidae	Pelagic	M-L-G	PK	97	34	58	189
Atherinidae	Pelagic	M-L-G	PK	1500	0	1500	3000
Total fish observed				**2026**	**739**	**3611**	**6376**

טבלה ז3: הרכב חברת הדגים באתר NR_7 לאורך שנות הניטור. המספרים נתונים כשיחות מנורמלת ליחידת דגימה.

Table G3: Fish community according to families in NR_7 during the monitoring years. Numbers are normalized to sampling unit.

Family	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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
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

טבלה ז4: ריכוזי מתכות בדוגמאות סדימנט מתחנת ניטור פורמיניפרים בחוף הצפוני. הדוגמא המזרחית מתחנת נייטור 0W והמערבית מתחנה 80W.

Table G4: Concentrations of metals in sediment samples from the North Beach. The eastern sample from monitoring station W0 and the western one from station W80.

ALEC - Arizona Laboratory for Emerging Contaminants
A component of the Integrated Health Science Facility Core - SWEHSC

Analyst: MKA — *** Instrument detection limits (IDL) are collected each day for each calibration. Units are in micrograms per liter (ug/L)
Job: Tel Aviv Sediment — Method detection limits (MDL) are calculated from IDL with all digestion and dilution factors applied.
Instrument: Agilent 7700 ICP-MS, Santa Clara, C — Conditional formatting used:
Date: 21/03/2023 — Red cells: highlight values above calibration range, indicating that additional dilution was needed. — Grey cells: highlight values below IDL (report as non-detectable)

ALEC Log	Sample ID	9 Be [ug/g]	23 Na [ug/g]	24 Mg [ug/g]	27 Al [ug/g]	39 K [ug/g]	44 Ca [ug/g]	47 Ti [ug/g]	51 V [ug/g]	52 Cr [ug/g]	55 Mn [ug/g]	56 Fe [ug/g]	59 Co [ug/g]	60 Ni [ug/g]
EE1	Eilat East 1	0.37	11109	9621	5657	2155	54389	880	25.26	11.81	226	10762	5.07	10.13
EE2	Eilat East 2	0.31	10196	9188	5115	1823	53575	784	21.98	10.19	184	9961	4.48	8.44
EW1	Eilat West 1	0.23	5953	6309	3249	1418	20693	616	20.44	8.67	137	6931	3.55	6.68
EW2	Eilat West 2	0.15	5423	4365	3316	1086	18357	495	15.47	5.83	94	5891	2.55	4.75
Montana Soil 2710A		0.51	683	3983	15308	6022	2036	914	45.13	12.85	1625	34584	4.34	6.54
Montana Soil 2710A			404	2937	11753		1338					26188		
NIST certified values		**0.24 to 0.51**	**550 to 650**	**3200 to 3600**	**8200 to 12000**	**3800 to 4700**	**1700 to 2000**		**35 to 43**	**9.2 to 11**	**1500 to 1800**	**3.0 to 3.6%**	**2.8 to 5.2**	**4.8 to 6.1**
	NIST 2711	1.13	362	8665	19701	5109	18586	412	42.51	20.78	607	21983	9.45	18.84
	NIST 2711		263	7279	16910		17234					18789		
NIST certified values			**200 to 290**	**7200 to 8900**	**1.2 to 2.3%**	**0.26 to 0.53%**	**2.0 to 2.5%**	**390 to 480**	**34 to 50**	**15 to 25**	**400 to 620**	**1.7 to 2.6%**	**7 to 12**	**14 to 20**

ALEC Log	Sample ID	63 Cu [ug/g]	66 Zn [ug/g]	75 As [ug/g]	78 Se [ug/g]	88 Sr [ug/g]	95 Mo [ug/g]	107 Ag [ug/g]	111 Cd [ug/g]	118 Sn [ug/g]	121 Sb [ug/g]	137 Ba [ug/g]	208 Pb [ug/g]
EE1	Eilat East 1	53.98	97.72	27.35	0.82	331.29	0.37	0.32	0.24	0.23	0.06	35.74	84.79
EE2	Eilat East 2	8.75	38.64	5.15	0.64	321.76	0.14	0.08	0.02	0.12	0.02	30.32	4.27
EW1	Eilat West 1	8.79	31.19	4.17	0.47	110.75	0.03	0.12	0.00	0.06	0.02	19.90	8.31
EW2	Eilat West 2	4.20	19.56	2.10	0.57	70.51	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	13.26	2.62
Montana Soil 2710A		3368	4284	1692	1.43	62.35	6.90	17.91	11.41	3.19	3.05	519	5226
Montana Soil 2710A													
NIST certified values		**3100 to 3500**	**3300 to 4400**	**1300 to 1600**	**1.5 to 2.6**			**31 to 39**	**9.6 to 12**		**5.0 to 12**	**490 to 540**	**4700 to 5800**
	NIST 2711	132.99	393.09	119.76	2.80	56.94	0.82	5.39	46.62	0.23	1.03	222	1330
	NIST 2711												
NIST certified values		**91 to 110**	**290 to 340**	**88 to 110**		**48 to 55**	**< 2**	**2.5 to 5.5**	**32 to 46**			**170 to 260**	**930 to 1500**