



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



אפריל 2022

אדר תשפ"ב
נוסח סופי: 8 יוני 2022

התוכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת

דו"ח מדעי לשנת 2021



מוגש לוועד המנהל של תכנית הניטור על ידי:

ד"ר יונתן שקד, מנהל תכנית הניטור
פרופ' אמציה גבין, מנהל מדעי, תכנית הניטור

התכנית ממומנת ע"י המשרד להגנת הסביבה

ת"ד 469, אילת 88103, Israel P.O. Box 469, Eilat 88103, Israel • טל' +972-8-6360111 • פקס +972-8-6374329
www.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
ד"ר 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

צוות הניטור:

פרופ' אמציה גנין, מנהל מדעי
ד"ר יונתן שקד, מנהל התכנית

ענבל אילון, ביולוגיה
מוריאל דריי, כימיה
לירז לוי, ביולוגיה
טניה ריבלין, כימיה
אירנה קולסניקוב, ביולוגיה

יעוץ וסיוע:

ד"ר שי אורון, אוניברסיטת בן גוריון בנגב (מאספי פורמיניפרים בסדימנט)
ד"ר עדי טורפשוטיין, האוניברסיטה העברית (חומר חלקיקי בעמודות המים)
ד"ר איל רהב, חקר ימים ואגמים לישראל (יצרנות ראשונית)
פרופ' יעלה שקד, האוניברסיטה העברית (אבק מרחף, פיטופלנקטון, pH)

עזרה במכון הבינאוניברסיטאי:

שוקי אייזקס
נחום סלע
עמנואל ססטרי
דמיטרי צ'ורילוב
אסף ריבלין

תוכן העניינים

1		
4	א. מבוא	4
4	א.1. מטרת הניטור במפרץ אילת	4
4	א.2. הקדמה	4
7	א.3. תקציר התוצאות והמסקנות	7
10	תנודות רב-שנתיות ומגמות שינוי	10
12	א.4. תקציר באנגלית, <i>English Abstract</i>	12
18	List of Tables and Figures	18
23	א.5. בחינת מגמות במצב המערכת הימית בצפון מפרץ אילת	23
30	א.6. המלצות	30
31	ב. שונית האלמוגים	31
31	ב.1. סקר חברת השונית	31
52	שולחן השונית	52
56	דיון ומסקנות	56
60	ב.2. צילום אתרים קבועים	60
66	ב.3. חברת האלמוגים בלגונת שמורת האלמוגים	66
70	ב.4. התיישבות אלמוגים בשונית	70
75	ב.5. סקר חסרי חוליות ניידים בשונית	75
80	ב.6. קצב גידול מאקרואצות בשונית	80
87	ב.7. סקר דגי השונית	87
94	ג. ניטור הסביבה החופית	94
94	ג.1. מי הים בקרבת החוף	94
96	מדדים כימיים	96
103	מדדים פיסיקליים	103
106	דיון	106
108	ג.2. לרוות דגים בסמוך לשונית ובחוף הצפוני	108
110	ג.3. קרקעית חולית במים רדודים – אפיון החי בסדימנט	110
110	אפיון החי בקרקעית רכה בשני אתרים (בחוף הצפוני ובחוף הדרומי)	110
115	שינויים במאספי פורמיניפרים בנתונים בצפון המפרץ לאחר פינוי כלובי הדגים	115
120	ג.4. כיסוי עשב ים בקרקעית חולית	120
123	ד. עמודת המים בים העמוק	123
125	ד.1. טמפרטורה ומליחות	125
132	ד.2. חמצן, pH ואלקליניות, נוטריינטים ופחמן חלקיקי	132
154	ד.3. כלורופיל <i>a</i> ופלאורסנציה	154
158	דיון – עמודת המים	158
160	ד.4. פיטופלנקטון וחיידקים בעמודת המים	160
163	ד.5. זואופלנקטון בעמודת המים	163
166	ה. מדידות סביבתיות בתדירות גבוהה	166
166	ה.1. כלורופיל בפני הים בשמורת חוף אלמוג	166
168	ה.2. טמפרטורת המים בפני הים בשמורת חוף אלמוג	168
170	ה.3. משתנים מטאורולוגיים	170
172	מדידות אטמוספריות	172
176	מדידות בים	176
179	ה.5. אבק מרחף	179
181	ו. ביבליוגרפיה	181
183	ז. נספחים	183
183	ז.1: מפות אתרי הניטור	183
184	ז.2. רשימת סוגי האלמוגים	184
185	ז.3. מצאי דגי השונית שנסקרו	185

1.א. מטרת הניטור במפרץ אילת

מטרת התכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת היא יצירת תשתית ידע עובדתית 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 האקולוגיים 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.

2.א. הקדמה

הדו"ח שלהלן מתאר את עבודת הניטור הלאומי בצפון מפרץ אילת בשנת 2021. 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 1א ובאיור 1א, בהתאמה.

תכנית הניטור פועלת במתכונת אחידה מאז שנת 2004 וכך ניתן לבחון מגמות על פני עשור וחצי 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 האפשריים 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 המחזוריים והתהליכיים 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 נמשך תהליך ההטמעה של מדידות חדשות למערך הניטור. באזורים רדודים של קרקעית רכה נמשך מעקב אחר כיסוי עשב ים תוך הוספת סקר בעומק 30 מטרים ותדירות עונתית ובחברת הבנתוס בקרקעית מושם דגש על שיפור יכולת הזיהוי. נעשו שינויים במערך ניטור דגי השונית תוך הוספת עומקים ואנליזות. מתקני ARMS למעקב אחר חברת הבנתוס בשני אתרים ושלושה חזרות שהו בים כשנה. זהו המחזור השני של מתקני מעקב מסוג זה שהתכנית מציבה בשונית אילת כחלק מפרוייקט ניטור השוואתי בינלאומי. הדוגמאות עוברות טיפול ראשוני באילת על ידי תכנית הניטור ואז נשלחות לאנליזה ואינטגרציה עם בסיס הנתונים הבינלאומי.

נתוני תכנית הניטור, החל משנת 2004, מאוכסנים בבסיס נתונים אלקטרוני והגישה אליהם פתוחה לכל דורש דרך אתר תכנית הניטור במכון הבינאוניברסיטאי למדעי הים באילת:

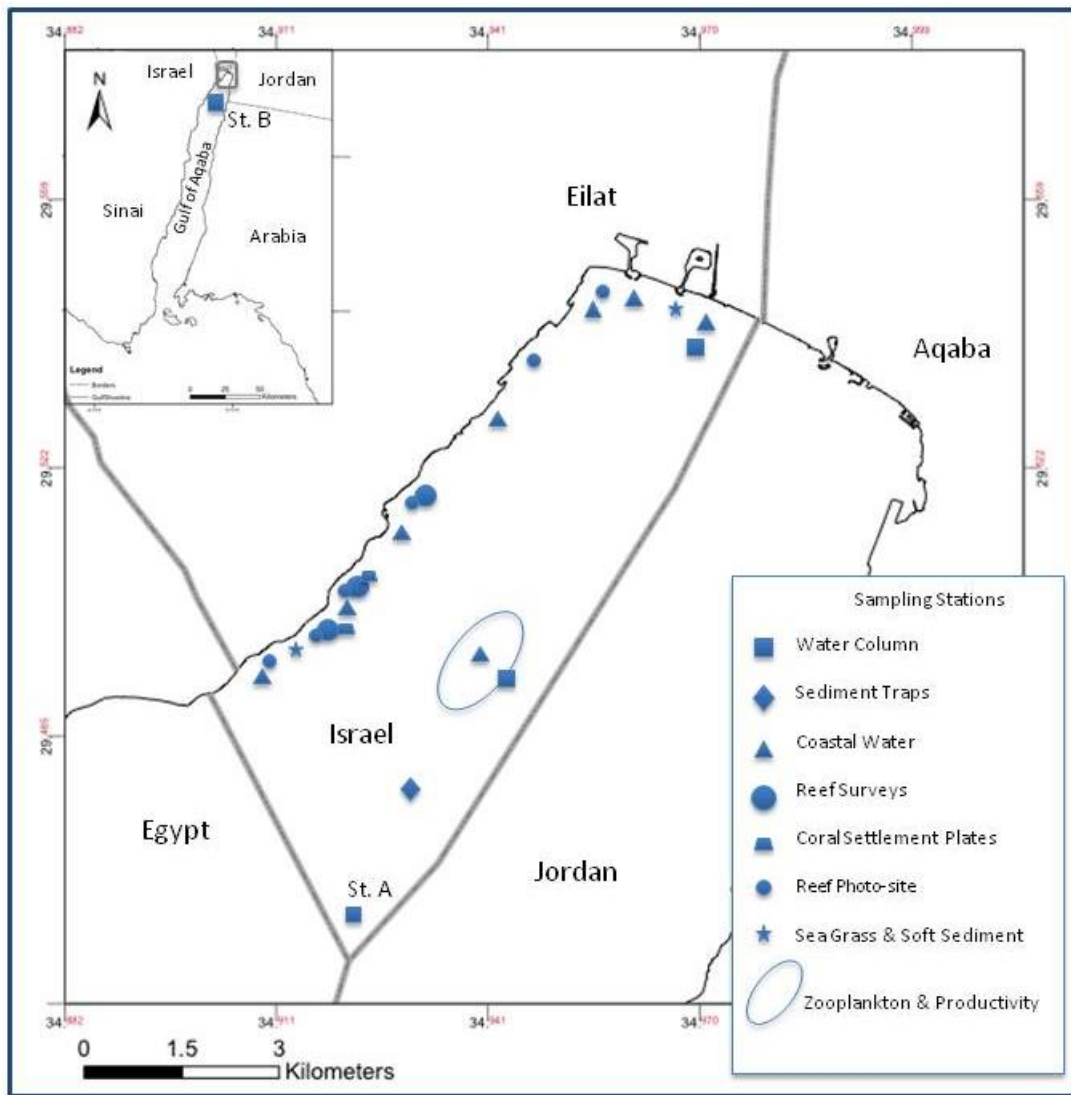
<http://www.iui-eilat.ac.il/NMP>

במידה ונמצאו תקלות או קשיים בהשגת נתונים, ניתן לפנות בדוא"ל: yonathan.s@mail.huji.ac.il

תדירות (משך הזמן לסקרים)		פעילות
		שונית
אחת לשנה, בקיץ (מספר שבועות)	אחת לשנה, בקיץ (שבוע)	סקר חברת השונית
אחת לשנה, באביב (מספר שבועות)	אחת לשנה, בקיץ (שבוע)	ניטור שולחן השונית
אחת לשנה, בקיץ (שבוע)	אחת לשנה, בקיץ (שבוע)	צילום ריבועים קבועי מקום + ניתוח הצילומים
עונתית, כל חודשיים	אחת לשנה, בקיץ (שבוע)	ניטור חברת האלמוגים בלגונה
אחת לשנה, בקיץ (מספר שבועות)	אחת לשנה, בקיץ (מספר שבועות)	התיישבות אלמוגים בשונית
אחת לחודש	אחת לשנה, בקיץ (מספר שבועות)	ניטור חסרי חוליות ניידים בשונית
אחת לשנה, בסתיו (מספר שבועות)	אחת לשנה, בקיץ (מספר שבועות)	ניטור מאקרו-אצות בשונית
		ניטור דגי השונית
		תחנות חופיות
אחת לחודש	אחת לשנה, בקיץ	אפיון מי החופים (מדדים פיסיים, כימיים, ביולוגיים)
פעמיים בשנה, חורף וקיץ	אחת לשנה, בקיץ	חברת הבנתוס בקרקעית רכה
אחת לשנה, בסתיו	אחת לשנה, בקיץ	כיסוי עשב ים
		לרוות דגים
		ים עמוק
אחת לחודש	אחת לחודש	אפיון עמודת המים (מדדים פיסיים, כימיים, ביולוגיים)
אחת לחודש (לא בוצע בשנת 2021)	אחת לחודש	יצרנות ראשונית
אחת לחודש	אחת לחודש	ניטור זואופלנקטון
כל שלושה חודשים (לא בוצע בשנת 2021)	אחת לחודש	ניטור חומר חלקיקי בעמודת המים
		מדידות רציפות בסמוך למכון הבינאוניברסיטאי
מדי יום	אחת לחודש	מדידות יומיות של טמפרטורה וכלורופיל במזח
(לא בוצע בשנת 2021)	אחת לחודש	זרמים
ניטור רציף	אחת לחודש	תחנה מטאורולוגית + כרית
ניטור רציף	אחת לחודש	גלים
ניטור רציף	אחת לחודש	אבק מרחף

טבלה א1: פעילויות תכנית הניטור ותדירותן.

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



איור 1א: מיקום תחנות הניטור, ראו גם מפה ז.1.1 בספח 1.

Figure A1: Location of monitoring sites. See also map G.1 in Appendix 1.

ממצאי השנה החולפת

סערה דרומית חזקה הכתה בחופי אילת במרץ 2020, וגרמה נזק גדול הן לבתי הגידול השונים בקרבת החופים והן לתשתיות המחקר ובפרט למתקני מדידה שהוצבו על מוח המכון. אותותיה של הסערה עדיין ניכרים בכך שלא כל התשתיות בהן משתמשת תכנית הניטור שבו לפעול, וכן – ככל הנראה גם במצב האקולוגי של אזורי חוף רדודים, כולל שוניות האלמוגים.

שוניות 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 הוסיף לרדת השנה, ביחס לערך הממוצע של השנה הקודמת וזה של לשנת 2019 (לפני הסערה). השנה נמדד כיסוי ממוצע של $21.9 \pm 3.0\%$, נמוך בכ- 1.5% מהערך שנמדד בשנה הקודמת ($23.4 \pm 3.6\%$) ובכ- 3% מהכיסוי הממוצע אשר נמדד בקיץ 2019 ($24.9 \pm 4.5\%$). ירידה בכיסוי אלמוגים חיים בהשוואה לשנה הקודמת נמדדה בששה מתוך שמונה האתרים הנסקרים. רק באתרים 10-IUI ו-20-Katza נמדדה השנה עליה קלה בכיסוי. הפגיעה הגדולה ביותר נמדדה באתרי השמורה הרדוד והעמוק. גם באתר שולחן השונית הוסיף כיסוי אלמוגי האבן החיים לרדת השנה, כ- $16.2 \pm 1.5\%$ לעומת $18.0 \pm 1.5\%$ בשנה הקודמת ו- $22.5 \pm 2.9\%$ בשנת 2019. הירידה בכיסוי אלמוגי האבן בשוניות אילת בשנתיים האחרונות קשורה, אולי, לפגיעת הסערה הדרומית החזקה בחודש מרץ 2020.
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. בשנים 2008-2012 נמצאה ירידה בכמות האלמוגים הקטנים בשוניות אילת, אך מגמה זו נחלשה בשנים האחרונות בהן נרשמות תנודות של עליה וירידה. הצפיפות הממוצעת של מושבות אלמוגים באתרי הניטור יציבה למדי בשנים האחרונות, אף כי בחלק מן האתרים נמצאה השנה ירידה בצפיפות.
3. מדד הרקמה החיה באלמוגי אבן – מאז תחילת הניטור נמדדת ירידה מתמשכת באחוז הרקמה החיה של אלמוגי אילת. בשנים האחרונות ירידה זו היא בשיעור של כ- 1% בשנה, וערך המדד הממוצע עמד השנה על 84% . יתכן שהירידה באחוז הממוצע של רקמה חיה נובעת, לפחות חלקית, משיפור בשרידות ולכן "התבגרות" מושבות הצוברות עם הזמן פציעות ופגיעה ברקמות. אחוז הרקמה החיה קטן ככל שגודל המושבות עולה. ירידה בחלקן של מושבות קטנות לעומת בינוניות וגדולות תואם ירידה באחוז הרקמה החיה הממוצע של אלמוגי האבן.
4. 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 מציינות תמונה דומה, וכך גם תוחלת מספר סוגי האלמוגים הצפוי בספירת אלף וחמש מאות מושבות אקראיות. בכל המדדים השינויים בין השנים קטנים.
5. לגונת שמורת האלמוגים – בשנתיים האחרונות נמצאה ירידה בצפיפות מושבות אלמוגי האבן בלגונה. מכיוון שבלגונה התנאים הסביבתיים קשים, חברת האלמוגים נשלטת על ידי מינים דומיננטיים והמגוון קטן יחסית לאתרי קדמת השונית. האלמוג הנפוץ ביותר בלגונה במשך שנות הניטור הוא *Stylophora pistillata* אך הוא גם הנפגע העיקרי בסערות והשנה מהווה כ- 20% בלבד מכלל מושבות האלמוגים ולראשונה בתקופת הניטור האלמוג הנפוץ ביותר בלגונה היה השנה אלמוג האש *Millepora*.
6. התיישבות אלמוגים בשונית – בכל השנים בהן עוקבת התכנית אחר התיישבות אלמוגים על גבי לוחיות המוצבות בשונית נמצא כי באתר השמורה כמות המגויסים 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 הוא *Diadema setosum*. צפיפות קיפודי 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. צפיפות קיפודי הים באתרי קדמת השונית היתה בשנה הקודמת מחצית מהצפיפות שנמדדה בשנת 2019 ונראה כי גודל האוכלוסייה הנתרת הוא מזערי.

8. 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. בחודש יוני השנה נמדדו ריכוזי נוטריינטים ואלקליניות גבוהים באופן חריג בתחנת המדידה "כלובי הדגים". עבור חלק מהמדדים היו הריכוזים השנה הגבוהים ביותר שנמדדו עד כה במסגרת ניטור התחנות החופיות. גם במדידות בסמוך לחוף במוצא תעלת הקינט נמצאו ריכוזי נוטריינטים גבוהים במיוחד בחודש יוני ונראה כי זהו המקור לערכים שנמצאו בתחנת "כלובי הדגים" בחודש זה. בנוסף לערכים הגבוהים מאד בחודש יוני, גם בחודש ספטמבר נמדדו בתחנת "כלובי הדגים" ערכים גבוהים בהשוואה לשאר התחנות ובפרט לתחנת "ים פתוח". נראה כי מוצא הקינט היווה השנה מקור לנוטריינטים אשר הגיעו לים בריכוזים גבוהים מספיק בכדי להתגלות במדידות התחנה החופית "כלובי הדגים".
9. טמפרטורת פני הים – הטמפרטורות בפני הים היו גבוהות בחודשי החורף, בדומה לשנים האחרונות בהן היה הערבוב רדוד, ובחודשי הקיץ היו הטמפרטורות גבוהות במיוחד, ובתחנת "ים פתוח" נמדדה טמפרטורת פני הים הגבוהה ביותר אשר נמדדה עד כה בתחנה זו במסגרת סקר מי החופים של תכנית הניטור. במשך שנות הניטור מסתמנת מגמת עליה של טמפרטורת פני הים בשיעור ממוצע גבוה מחצי מעלה בעשור בתחנת "ים פתוח". ישנה התאמה מצוינת בין טמפרטורת פני הים הנמדדת בתחנות החופיות הדרומיות, תחנת "ים פתוח" ותחנה A העמוקה יותר הנמדדת בהפלגות הניטור.
10. לרוות דגים בסמוך לשוניית ובחוף הצפוני – זו השנה השלישית בה נמטרת התכנית צפיפות לרוות בסמוך לשוניית שמורת האלמוגים ובחוף הצפוני. בהשוואה לשנה הקודמת, צפיפות הלרוות היתה השנה נמוכה יותר בשני האתרים וההבדלים בין האתרים קטנים. עם זאת, התקופה בה מתקיים סקר זה במתכונתו הנוכחית עדיין קצרה מכדי לאפשר הסקת מסקנות בנוגע להבדלים בין השנים ובין האתרים.
11. פורמיניפרים בנתוניים בקרקעית חולית – גם השנה נמצאו בחלק מהתחנות החוליות בחוף הצפוני מול מוצא הקינט פרטים בעלי עיוות מורפולוגי. פרטים מעוותים נמצאו לראשונה בניטור התחנות החוליות בשנה הקודמת והם מהווים כ-1% מכלל הפרטים בסדימנט. מציאתם של פרטים מעוותים גם השנה עשויה להצביע על גורמי זיהום הנצברים בסדימנט ופוגעים בהתפתחות השלד. אין לנו מידע על הגורם, סוג ומידת הזיהום, אך לנוכח המיקום כדאי לבדוק אפשרות של כניסת מזהמים דרך תעלת הקינט. פרטים מעוותים לא נמצאו באתרים האחרים בהם מבצעת תכנית הניטור מעקב אחר החי בסדימנט החולי.
12. 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. בשנה הקודמת סערה דרומית חזקה במיוחד התרחשה בין הסקרים העונתיים ובסקר הקיץ נמצא כיסוי עשב ים דליל מאד בשני האתרים ובכל העומקים למעט בחוף הדרומי בעומק 30 מטרים. השנה נראה כי כיסוי עשב הים התאושש באתרים הנסקרים וחזר לכיסוי של טרום-סערה, אף כי בעומקים הרדודים בחוף הדרומי נמצאת בשנים האחרונות ירידה. נראה כי בחוף הצפוני כיסוי עשב הים יורד בעומקים גדולים מ-20 מטרים, ואילו בחוף הדרומי הכיסוי דווקא גדל בעומקים אלה.

עמודת המים בים העמוק

13. עומק הערבוב – ערבוב עמודת המים התפתח השנה לאט ונמשך זמן ארוך אולם הגיע לעומק מרבי של כ-450 מטר בלבד, בחודש אפריל. בחודש אפריל נפסק הערבוב ובמאי נמצאה שכבת מים חמים ובעלי מליחות נמוכה ב-150 המטרים העליונים. זהו ערבוב לעומק ביניים, בדומה לשנים האחרונות (בשנה הקודמת היה עומק הערבוב כ-420 מטרים). מאז שנת 2012 המים העמוקים מכ-500 מטרים מנותקים מהמים העליונים.
14. ריכוזי חמצן ונוטריינטים מומסים במים העמוקים – עמודת המים עורבבה השנה לעומק בינוני וגם השנה הוסיפו המים העמוקים לצבור נוטריינטים, ובמקביל ירדו בהם ריכוזי החמצן. תשע שנים לאחר הערבוב האחרון של מי העומק כבר נמדדים במי העומק ריכוזי נוטריינטים וחמצן דומים לאלה שנמדדו לפני הערבוב העמוק של שנת 2012 (שלוש שנים בלבד אחרי הערבוב העמו שלפניו, ב-2008). ערכים אלה עדיין נמוכים בהשוואה לשנות הניטור הראשונות.
15. 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.
16. 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.

17. כלורופיל בפני הים בסמוך לשונית (מדידה יומית) – ריכוזי הכלורופיל בסמוך לשונית מראים, לרוב, תנודות חדות והתבנית העונתית היתה גם השנה פחות סדורה מהצפוי. שיאים קצרים של פריחה נמדדו השנה בחודשים מרץ ואפריל – אך גם בחודש אוגוסט. ריכוזי הכלורופיל הגבוהים בחודש אוגוסט התרחשו במקביל לעלייה מהירה בטמפרטורת פני הים ונראה כי ניתן לקשר בין תצפיות אלה. יתכן כי מדובר בהזדירות מים מהדרום אל צפון המפרץ ועדויות לכך נמצאו גם במדידות מליחות במים העליונים. ריכוזי כלורופיל גבוהים במיוחד נמדדו בפני הים בשנים של ערבוב עמוק ולא ניכרת מגמה ארוכת טווח במדידות אלה.
18. טמפרטורת פני הים בסמוך לשונית (מדידה יומית) – במשך רוב השנה, עד לאמצע חודש ספטמבר, היתה טמפרטורת פני הים גבוהה מהערך הממוצע הרב-שנתי ובחודש אוגוסט תועדה עליה דרמטית של שלוש מעלות בתוך כשבוע. הטמפרטורה המרבית השנה היתה שוב הגבוהה ביותר שנמדדת במסגרת המדידות במזח, יותר משלושים שנה, 29.9° . עם זאת, בסוף השנה היתה טמפרטורת פני הים נמוכה ביותר ממעלה מזו בה הסתיימה שנת 2020. מאז שנת 1988 מתועדת מגמה של עליה בטמפרטורת פני הים בשמורת חוף אלמוג.
19. מטאורולוגיה (מדידות רציפות) – במדידות התחנה המטאורולוגית השנה, לא נמצאו ממצאים חריגים, לעומת הסערה הדרומית החזקה מחודש מרץ 2020. טמפרטורת האויר המרבית אשר נמדדה השנה היתה 44° , גבוהה בהשוואה לרוב המדידות אך נמוכה מעט מאשר בשנה הקודמת.
20. מצב הים (מדידות רציפות) – גם במדידות הרציפות ממזח המכון מסתמנת מגמה מתמשכת של חימום פני הים. טמפרטורת המקסימום השנה שוב היתה הגבוהה ביותר שנמדדה במסגרת זו (31.0°C , ב-8 באוגוסט). הטמפרטורה השנתית הממוצעת היתה השנה גבוהה בהשוואה לרוב שנות הניטור הקודמות מהן קיימות מדידות סדירות – 24.4°C על פי סדרת המדידות הרציפות (כל 10 דקות). השנה, לראשונה, החלה תכנית הניטור למדוד גלים במפרץ. למיטב ידיעתנו, זוהי מדידת הגלים הרציפה היחידה שנעשת בצפון מפרץ אילת. לקראת סוף השנה נמדדו גם מספר אירועים של רוחות דרומיות חזקות. באירועים אלה, שכאמור למעלה לא היו חזקים במיוחד, נמצאה השפעה למשך האירוע בנוסף לעוצמת הרוח, וגובה הגל המשמעותי המרבי, מעט יותר מ-80 ס"מ, נמדד ב-7 בדצמבר.

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 בשונית אילת היה 19-20%. בשנים 2007-12 עלה הכיסוי הממוצע ונע בטווח הערכים 21.5-23.9%. בשנת 2013 נמדד הכיסוי המרבי בתקופת הניטור, $26.4 \pm 5.2\%$, ולאחר מכן נע הכיסוי הממוצע בטווח 24.0-25.3%. בשנה הקודמת נפגעו שוניות אילת בסערה דרומית חזקה ושיעור הפגיעה לא היה אחיד בין האתרים המנוטרים על ידי התכנית. בממוצע ירד אחוז כיסוי האלמוגים באתרי קדמת השונית בכ-1.5% ועמד על $23.4 \pm 3.6\%$. השנה נמדדה ירידה נוספת, בשיעור דומה, וכיסוי האלמוגים הממוצע עמד על $21.9 \pm 3.0\%$.
2. צפיפות וגודל מושבות אלמוגי אבן – בצפיפות מושבות האלמוגים הממוצעת בין כל האתרים נמצאו תנודות בין השנים אך השינויים בין שנה לשנה קטנים. בין השנים 2010 ו-2017 נמצאה עליה קלה בצפיפות המושבות אך זו נעצרה בשנים האחרונות ובחלק מן האתרים נמצאה השנה ירידה בצפיפות. לאורך השנים מסתמנת ירידה בחלקן של המושבות הקטנות ועליה בחלקן של המושבות הבינוניות והגדולות המצביעה על שרידות טובה.
3. מדד הרקמה החיה באלמוגי אבן – מדד זה מצוי בירידה, מאז 2012. עם זאת, השינויים במדד זה קטנים, כ-1% בשנה. יתכן והירידה בערך המדד משקפת את מגמת העליה בשרידות וגדילת מושבות, הנחשפות עם הזמן לפגיעות מצטברות ברקמת האלמוג.
4. מגוון המינים – מגוון המינים, כמו גם הרכב חברת האלמוגים ותוחלת המגוון באתרי הניטור משתנים אך מעט משנה לשנה, עדות להרכב חברה יציב. בין יצורי השונית שאינם אלמוגים מתגלים בשנים האחרונות כאלה שלא היו מוכרים באילת ומיני דגים שהיו נדירים נצפים לעיתים קרובות יותר. ישנה עליה גם במספרם של קיפודי ים שאינם שייכים למין הדומיננטי *D. setosum*.
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* משתנה 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". בחודש יוני השנה נמדדו ריכוזי נוטריינטים ואלקליניות גבוהים באופן חריג בתחנת המדידה "כלובי הדגים". עבור חלק מהמדדים היו הריכוזים השנה הגבוהים ביותר שנמדדו עד כה במסגרת ניטור התחנות החופיות.
7. פורמניפרים בנתונים בקרקעית הרכה באתר כלובי הדגים – באתר כלובי הדגים לשעבר מתועדת התאוששות בחברת הפורמניפרים הנתונים 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. בשנתיים האחרונות נמצאו פרטים מעוותים באתרים החוליים מול מוצא הקינט/כלובי הדגים ואלה עלולים לסמן פגיעת זיהום מתמשכת בסדימנט.

עמודת המים בים העמוק

8. ריכוזי נוטריינטים וחמצן מומס – הדינמיקה השנתית של ריכוזי נוטריינטים וחמצן במים וזמינותם לאוכלוסיות הפיטופלנקטון בים הפתוח, מונעת בעיקר על ידי הערבוב העונתי בעמודת המים. הדינמיקה הרב-שנתית מושפעת מעומק הערבוב ומשכו ומכמויות הנוטריינטים שנצברו במי העומק. מאז שנת 2012 מי העומק (עמוק מ-500 מטרים) אינם מעורבבים עם המים העליונים. על כן, ריכוזי הנוטריינטים במי העומק הוסיפו לעלות השנה וריכוזי החמצן הוסיפו לרדת והערכים אשר נמדדו השנה דומים לערכים שנמצאו במי העומק לפני הערבוב העמוק בשנת 2012. עם זאת, קצב השינוי נמוך בהשוואה לקצב צבירת הנוטריינטים בעומק בשנים הקודמות.
9. כלורופיל בעמודת המים העליונה – 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.
10. טמפרטורת המים – טמפרטורת מי העומק ירדה בשנים 2007-2008 כתוצאה מהערבוב העמוק בשנים אלה, ובשנים שאחרי כן נמדדת עלייה בטמפרטורות במים העמוקים. על אף הערבוב העמוק בשנת 2012 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 2021

Dr. Yonathan Shaked, Program Manager
Prof. Amatzia Genin, Scientific Director
(April, 2022)

Introduction

This report describes the work and results of Israel's National Monitoring Program in the Gulf of Aqaba (Eilat) – NMP – in the year 2021. 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.

In the previous year, a strong southern storm hit the coast of Eilat on March 13, 2020. It was the strongest storm in the NMP record and perhaps the strongest in memory. Some of our finds this year can probably be connected to the effects of the storm. The storm also damaged infrastructure used by the NMP and coupled with the ongoing Covid-9 pandemic, there are some measurements that were interrupted or stopped and have not yet been resumed.

Modifications to newly implemented measurements were made and these are described in their respective chapters. Coral settlement plates were placed at KATZA these past three years, and this is now a third site for this survey (in addition to the Interuniversity and the nature reserve sites). We also added 30 meters depth to surveys of seagrass cover and since last year a seasonal component was added, with surveys conducted twice – in winter and in summer. The sediment traps (an array moored to the sea floor at 600 meters depth) that supplied data regarding partical fluxes in the water column was lost at sea mid-2019 and a new array is now available and will start providing data in the coming year. ARMS benthic settlement arrays were added to our two placement locations (NR and Katza) and material from the ARMS arrays is collected, processed and sent for analyses with the international European ARMS campaign. Finally, we started measuring wave data off the IUI. The setup is still not final but there is already near-continuous data from this year.

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 through 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 was lower again this year, $21.9 \pm 3.0\%$, some 1.5% lower than last year and some 3% lower than 2019 (before the storm). A lower coral cover was measured at six out of the eight forereef sites monitored and only at sites IUI-10 and Katza-20 was a slight increase observed. The largest damage occurred at the most prolific forereef sites, NR-5 and NR-20. Coral cover continued to decrease at the reef-flat site as well ($16.2 \pm 1.5\%$ this year). The marked decrease in coral cover over the past two years may probably be attributed to the storm of March 2020, but it remains to be seen how things will change in the coming years.
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. During the interval 2008-2012 the number of small coral colonies in Eilat decreased, but this trend has slowed in the last few years and colony density fluctuates. Coral colony density remains more or less stable in the past few years although at some sites a decrease in coral density was observed this year.
3. Live Tissue Index (LTI) in stony corals – The LTI presents the average percentage of live tissue in living stony corals and is considered an indirect indicator for coral health. The average value of this index for all sites is decreasing throughout the monitored period, at a rate of $\sim 1\%$ per year. This year on average 84% of the surface of living corals was covered by live tissue. It seems likely that the decrease in average LTI in Eilat stems, at least in part, from better coral survival and so from "aging" of corals that accumulate injuries. The decrease in the fraction of small colonies matches the decrease in LTI.
4. 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.
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 and this year it comprised only some 20% of the colonies and for the first time, this year the fire coral *Millepora* was the most abundant at the lagoon. Since 2017 coral density at the lagoon is slowly declining.
6. Coral settlement in the reef – Throughout the monitored period, more coral settlers are found at the nature reserve (NR) site than at the other monitored sites, and they also seem to grow better. At the IUI site, and perhaps at Katza too, spat growth over the season is less regular – implying, perhaps, that settler survivorship is less successful. Having said that, the monitored period, 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. Over the past two years urchin density has declined dramatically, perhaps as a result of the 2020 storm, and the population now seems to be smaller than ever.

Coastal Environs

8. Nutrient concentrations in coastal waters – Concentrations of nutrients are commonly high during winter and very low during summer. The process that dictates these dynamics is the seasonal mixing driven by cooling of the sea surface in winter, which brings nutrient-rich deep waters to shallow coastal areas. In June this year abnormally high alkalinity and concentrations of nutrients were measured at the “Fish Farms” sampling site. For some nutrients, these were the highest values measured thus far in our coastal monitoring scheme. Samples from near the shore, next to the outflow of the Kinet channel, were also particularly high and this seems to be the source of nutrients sampled at the “Fish Farms” site that month.
In addition to the outstanding coastal values in June, high concentrations were again measured in September at the “Fish Farms” site, relative to those of other coastal sites and, particularly, the “Open Sea” site. It would seem that the Kinet channel was source to nutrient concentrations that were high enough to be detected at the “Fish Farms” site.
9. Sea surface temperatures – temperatures at the sea surface were high during the winter months, similar to the past few years of had a shallow mixing. During summer temperatures were particularly high and at the “Open Sea” site we measured the highest temperature ever recorded through the coastal monitoring scheme. Over the monitoring period a trend of rising SST is observed, amounting to more than half a degree (centigrade) per decade at the “Open Sea” site. There is an excellent match between SST measured at the southern coastal sites, the “Open Sea” and the deep-water “Station A” that monitored during monthly NMP cruises.
10. Fish larvae next to the reef and at the northern beach – this is the third year in which the density of fish larvae is monitored at these two sites. At both sites larvae density was similar and lower compared to the previous year. However, this monitoring scheme has not been ongoing long enough to draw conclusions regarding the supply of fish larvae at Eilat.
11. Benthic foraminifera – this is the second year that some deformed benthic foraminifera are found at several of the soft sediment seafloor sampling stations at the northern beach, across from the Kinet channel outlet. Deformed specimens make about 1% of the specimen counted. The presence of deformed specimen this second year running may indicate contaminated sediments, but we do not know the cause or type/amount of contamination but due to the location the possibility of inflow from the Kinet outlet is worth examining Deformed benthic foraminifera were not observed at other locations monitored.
12. Sea-grass at the northern and southern beaches – This year seagrass surveys were 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 the previous year a strong southern storm occurred between the seasonal surveys and during summer only a sparse cover remained at both monitored sites and all depths, except at the southern beach at 30 meters depth. This year sea grass has recovered and is back to pre-storm values, although at shallow depths at the southern beach a decline is noted over the past few years. It appears that at the northern beach sea grass cover diminishes at depths exceeding 20 meters, whereas at the southern beach cover increases at these depths.

The deep water column

13. Vertical mixing – Mixing of the water column took long to develop this year and only reached a depth of ca. 450 meters, in April. During April mixing stopped and by May a warm low-salinity layer occupied the upper 150 meters. This is a mixing to mid-depth ub Eilat, similar to recent years (last year mixing reached 420 meters). Waters deeper than 500 meters are disconnected from the upper layers since 2012.
14. Concentrations of oxygen and nutrients in the deep waters – The water column was mixed to an intermediate depth and the deep waters continued to accumulate nutrients and to be depleted of oxygen. Nine years after the last deep mixing event, nutrient and oxygen concentrations in deep

water are at the levels of 2011, before the deep mixing of 2012 and only three years after the previous deep mixing (2008). These are still lower compared to the values measured in the initial years of monitoring.

15. 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.
16. 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 dropped slightly, but an overall trend of rising temperatures is apparent.

Supplementary continuous measurements

17. Sea surface chlorophyll-*a* next to Eilat's coral reef (daily measurement) – Chlorophyll-*a* concentrations fluctuate sharply and frequently and this year fluctuations were again more pronounced than usual and the seasonal pattern less clear. Short peak Chlorophyll-*a* concentrations (blooms) were measured in March and April but also in August. High concentrations in August coincided with a sharp rise in SST and these occurrences are likely related. Salinity changes in the upper water column indicate that, possibly, “alien” waters entered the northern Gulf and effected the measured properties.
The highest Chlorophyll-*a* concentrations were measured during blooms in deep-mixing years and the rising trend that is, perhaps, indicted in the monthly deep sea and coastal time-series are not apparent in this dataset.
18. Sea surface temperatures next to Eilat's coral reef (daily measurement) – During most of this year, until mid-September, SST was higher than the long-term average. In August a dramatic rapid rise in temperature, amounting to three degrees in about a week, was documented. The maximum SST measured this year was, again, the highest measured during the 30 years of this measurement scheme, 29.9°C. nevertheless, by the end of the year SST was more than 1°C lower than it was at the end of 2020. Since 1988 a trend of rising SST next to Eilat’s reef is apparent.
19. Meteorology (continuous measurement) – In difference to the severe southern storm of March 2020, this year’s meteorological measurements were not extraordinary. The highest ambient air temperature recorded over the sea from the pier at the IUI was 44°C, higher than peak values of most years – but a little lower than last year’s maximum.
20. Sea conditions (continuous measurement) – A trend of rising SST is also apparent in the continuous measurements from the IUI pier. The maximum temperature recorded this year was, again, the highest ever measured in this dataset (31.0°C, on August 8).
The average annual SST calculated from the continuous measurement time series (10-minute measurement interval) was 24.4°C, higher than most previous years from which there is such data. This is the first year in which the NMP measures wave data. To our knowledge this is the only (nearly) continuous wave measurement at the northern Gulf of Eilat. At the end of the year several events of strong southern winds were recorded. These were not severe storms and the highest significant wave recorded (December 7) was slightly more than 80 cm high. It seems that, in addition to the wind velocity, the duration of winds also effects the wave Hight.

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. The storm mostly affected shallow reef and the average coral cover at the monitored forereef sites was $23.4 \pm 3.6\%$. This year an additional decrease in coral cover at the monitored forereef sites was recorded and the average cover was $21.9 \pm 3.0\%$. 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. Coral density increased gradually between 2010 and 2017 and declined somewhat in recent years, but it is higher than that of the initial years of monitoring. Throughout the monitored period there is also a gradual increase in the fraction of medium and large coral colonies, indicating improved coral survival over time.
3. Live tissue index in stony corals – This index is decreasing since 2012, albeit at a slow rate, ca. 1% per year. 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.
Among reef dwellers other than corals, in recent years observations of previously undocumented or rare species have become more frequent. There is also an increase in the number of sea urchins other than the dominant *D. setosum*.
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 particular 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 and this year in June high alkalinity and nutrient concentrations were recorded, for some – the highest values in this dataset.
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. For the past two years,

a number of morphologically deformed individuals were discovered and may indicate an ongoing contamination of the sediments at the site.

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. Waters deeper than 500 meters are disconnected from the sea surface since the deep mixing of 2012. Therefore, nutrient concentrations continued to rise, and oxygen concentrations to drop in the deep waters and are now similar to those measured right before the deep mixing of 2012. Nevertheless, the rate of change seems to be slower than that of the previous multi-annual cycle.
9. C in the upper water layer – despite the large seasonal fluctuations, 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 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 (p. 5): Activities of the monitoring program and their frequency.

Table A2 (p. 24): The three time intervals in which nutrient and dissolved oxygen concentrations reached a near steady state after deep vertical mixing of the water column, and the average concentrations (\pm standard errors) at 700 meters depth for each interval.

Table A3 (p. 26): The slope of (linear) regression and standard errors between concentrations and time at 700 meters depth for two three-year time intervals following deep mixing.

Table A4 (p. 28): Linear regression coefficients and their P value for the main variables measured in Eilat's coral reefs.

Table A5 (p. 29): Summary of trends concerning the state of the system at the northern end of the Gulf of Eilat.

Table B1 (p. 31): Locations and depths of the reef census line-transect survey sites.

Table B2 (p. 40): Summary of cover data collected in line transects at the monitoring sites.

Table B3 (p. 51): 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.

Table B4 (p. 55): The most abundant stony corals (by cover percentage) at the reef table and the reef front sites.

Table B5 (p. 67): The number of colonies, relative abundance and average density (colonies per square meter) of the coral taxa found in the lagoon.

Table B6 (p. 76): Total abundance and average density (number per 1m²) of mobile invertebrates at the monitored sites.

Table B7 (p. 93): Average occurrence (per sampling unit) of fish families and corals at the Eilat reef sites surveyed this year.

Table C1 (p.95): Locations of the coastal-water monitoring stations.

Table C2 (p.112): Benthic foraminifera identified at the North and south beach sites.

Table C3 (p.114): Meiofauna groups identified this year at the North and South beach sites.

Table E1 (p.170): Setup of the meteorological station at the end of the IUI pier, list of sensors.

Table G1 (p.184): List of stony corals and the number of colonies of each taxa found in the coral reef line-transect survey, 2021.

Table G2 (p.185): Benthic fish abundance at different water depths at the Eilat Nature Reserve and the IUI.

Table G3 (p.186): Pelagic fish abundance at different water depths at the Eilat Nature Reserve and the IUI. In blue are fish families.

Figures

Figure A1 (p. 6): Location map of monitoring sites.

Figure A2 (p. 23): Time series of the Nitrate concentrations at 700 meters depth in Station A showing the three tested time intervals following deep vertical mixing.

Figure A3 (p. 25): Changes in temperature and the concentrations of oxygen, nitrate, phosphate and silica at 700 meters depth in Station A during the three examined time intervals.

Figure A4 (p. 26): Rates of change in dissolved oxygen and the three main nutrients (nitrate, phosphate and silicate) at 700 meters depth in the three years following deep mixing of the water column, in the two examined time intervals.

Figure A5 (p. 27): Time series of integrated chlorophyll-*a* concentrations in the upper 120 meters of the water column in Station A, since 2000.

Figure B1 (p. 32): An aerial photo of the northwestern shore of the gulf, south of Eilat, showing the coral reef sampling sites.

Figure B2 (p. 32): 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.

Figure B3 (p. 34): The average live stony coral cover (top) and colony density (bottom) at each site, in 2021.

Figure B4 (p. 35): Cumulative percent cover of live corals, sand, rock and dead corals. The presented percent cover is an average of all transects at each site.

Figure B5 (p. 35): Percent live stony coral coverage versus unconsolidated (sandy) sea floor in the sites examined.

Figure B6 (p. 36): Utilization of available substrate by stony corals in 2019. The percent cover and colony density of live stony corals on hard consolidated seafloor at each monitored site.

Figure B7 (p. 37): The average live stony coral cover at each site and the average for all forereef site, as percent of total area.

Figure B8 (p. 38): 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.

Figure B9 (p. 39): Left - The average number of live stony colonies per ten-meter section at each site. Right - Utilization of rocky substrate for stony coral settlement (number of live stony coral colonies on ten meters of consolidated substrate at

- each site).
- Figure B10 (p. 42): Size frequency distribution of coral colonies in the surveyed sites. Top – size frequency distribution of counted coral colonies; bottom – the coral size frequency distribution after correction of the bias of size counts in line transects (Zvuloni et al., 2008).
- Figure B11 (p. 43): Top: Changes in average relative size fraction 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..
- Figure B12 (p. 44): 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.
- Figure B13 (p. 44): 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.
- Figure B14 (p. 45): Top, the average percentage of living coral tissue (LTI) from all sites in 2021, grouped by colony size class. Bottom, change to the LTI since 2007 in the various coral size classes.
- Figure B15 (p. 46): The Shannon-Wiener diversity index of coral taxa estimated this year for each site by the EstimateS software (Colwell, 2005 ;<http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS>).
- Figure B16 (p. 47): The Shannon-Wiener diversity index of coral taxa estimated for each site over time by the EstimateS software (Colwell, 2005 ;<http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS>).
- Figure B17 (p. 48): Rarefaction curves of taxa richness based on colony counts, calculated with the EstimateS software (Colwell, 2005 ;<http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS>) for each site.
- Figure B18 (p. 48): Rarefaction curves of taxa richness based on colony counts, calculated with the EstimateS software (Colwell, 2005 ;<http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS>) for the “Eilat Reefs” since 2004.
- Figure 19 (p. 49): The expected number of stony coral taxa per 1500 random coral colonies in the “Eilat Reefs” since 2004 based on the rarefaction curves.
- Figure B20 (p. 50): The twenty most abundant coral taxa in the reefs of Eilat during the monitoring period, arranged according to their abundance in 2021.
- Figure B21 (p. 52): Cumulative percent cover of live corals, sand, rock and dead corals at the reef table.
- Figure B22 (p. 53): Percent cover of live corals and density of coral colonies on the reef table since 2007.
- Figure B23 (p. 53): The number of coral genera encountered during the Reef Table surveys.
- Figure B24 (p. 54): Top – Shannon-Wiener diversity of stony corals in the years since 2007, bottom – rarefaction curves for coral genus diversity on the reef table since 2007
- Figure B25 (p. 57): The percentage of live coral cover at the “Eilat Reefs” (the average of the eight surveyed fore-reef sites), in blue, and the reef-table site, in red.
- Figure B26 (p. 59): Top – Coral colony density by size groups (after correcting for sampling bias) during the monitoring period, top. Middle – density of all coral colonies and colonies of the “small” size group (S) vs. coral cover. Bottom – density of corals of the larger size groups, “medium” (M), “large” (L) and “huge” vs. coral cover.
- Figure B27 (p. 61): Sites of the photo-survey of coral reefs along the Eilat coastline.
- Figure B28 (p. 61): A set of photographs from one of the photo-survey sites in the nature reserve reef (2004 top, 2005 bottom).
- Figure B29 (p. 62): Eight years of documentation at permanent photo site Nature Reserve, point A, looking west.
- Figure B30 (p. 64): Changes in the surface area of photographed stony coral colonies during the monitored period.
- Figure B31 (p. 65): Growth curves of photographed coral colonies.
- Figure B32 (p. 66): The sampling design in the lagoon.
- Figure B33 (p. 67): Relative abundance (by colony number) of the 10 most abundant coral genera in the lagoon.
- Figure B34 (p. 68): The average density (colonies/square meter) of the main coral genera found in the lagoon during the monitored period. Top: the dominant coral taxa, bottom- inter-annual fluctuations in density of all coral colonies and the most abundant coral *Stylophora pistillata*.
- Figure B35 (p. 69): Changes in coral diversity in the lagoon since 2004, according to the Shannon-Wiener index, estimated using the EstimateS software.
- Figure B36 (p. 70): Arrays of coral settlement plates in Eilat's reef.
- Figure B37 (p. 71): Tiny coral colonies (spats) on settlement plates retrieved from the reef.
- Figure B38 (p. 72): 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).
- Figure B39 (p. 73): 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.
- Figure B40 (p. 74): 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).
- Figure B41 (p. 75): 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.
- Figure B42 (p. 76): The average density (per m²) of mobile invertebrates (top) and sea urchins (bottom) at the sampling sites.
- Figure B43 (p. 77): The average density (individuals per m²) of all sea urchins at the fore-reef sites (top) and at the lagoon

(bottom).

- Figure B44 (p. 78): The average density (individuals per m²) of sea urchins (*Diadema setosum*, other urchins and all urchins) at the monitored fore-reefs sites (top) and the lagoon (bottom).
- Figure B45 (p. 79): The average density (per m²) of feather-stars (top), Sea Cucumbers (middle) and Sea Stars (bottom) at the fore-reef sites and the lagoon.
- Figure B46 (p. 80): Algae settlement plates. Two plates in the array are exposed to grazing by herbivores, and two are protected by a wire cage
- Figure B47 (p. 81): Average chlorophyll *a* on exposed and caged settlement plates in 2021.
- Figure B48 (p. 82): 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).
- Figure B49 (p. 83): Average chlorophyll *a* during the months April-May on exposed and caged settlement plates since 1997.
- Figure B50 (p. 84): Average chlorophyll *a* on exposed (blue) and caged (red) settlement plates at the Nature Reserve in 2021.
- Figure B51 (p. 85): Average chlorophyll *a* on exposed and caged settlement plates at the Nature Reserve since 2007.
- Figure B52 (p. 86): An exposed algae settlement plate from the lagoon.
- Figure B53 (p. 86): The annual average potential benthic algae growth on the reef slopes across the IUI versus the mixing depth, since 2004.
- Figure B54 (p. 88): Distribution of the number of reef fish according to trophic level at the nature reserve (NR) and Interuniversity (IUI) sites.
- Figure B55 (p. 89): Distribution of the number of reef fish according to taxonomic families at the nature reserve (NR) and Interuniversity (IUI) sites.
- Figure B56 (p. 90): Rarefaction curves for species richness at the surveyed sites. Top, accumulation according to individuals. Bottom, accumulation according to sampling units.
- Figure B57 (p. 91): Rényi diversity curves for reef fish communities at the surveyed sites.
- Figure B58 (p. 92): Distribution of the number of reef fish according to trophic level (left) and families (right) since 2007.
- Figure C1 (p.95): Map of the coastal-water monitoring stations in the territorial waters of Israel in the Gulf of Eilat.
- Figure C2 (p.96): Monthly pH values at all coastal water monitoring stations since October 2006.
- Figure C3 (p.97): Monthly alkalinity at the coastal water sampling stations since 2004. Bottom, alkalinity values normalized according to salinity at the FF and open sea sampling stations.
- Figure C4 (p.98): Monthly concentrations of total oxidized nitrogen (TON, nitrate+nitrite) at the coastal water sampling stations since 2004.
- Figure C5 (p.99): Monthly concentrations of ammonia (NH₄) at the coastal water sampling stations since 2004.
- Figure C6 (p.99): Phosphate concentrations (PO₄) at coastal-water sampling stations since 2004.
- Figure C7 (p.100): Monthly concentrations of silicate (Si(OH)₄) at the coastal water sampling stations since 2004.
- Figure C8 (p.101): Monthly concentrations of dissolved oxygen at the coastal water sampling stations since 2004.
- Figure C9 (p.102): Monthly concentrations of chlorophyll *a* at the coastal water sampling stations since 2004.
- Figure C10 (p.103): Salinity at the coastal water sampling stations since 2004.
- Figure C11 (p.104): Temperature at the coastal water sampling stations since 2004. Bottom, average annual SST at the “Open Sea” sampling station displays a rising trend greater than 1/2°C per decade.
- Figure C12 (p.105): Secchi depth measurements at the coastal water sampling stations since 2004.
- Figure C13 (p. 107): Top, correlation between SSTs at coastal station “Nature reserve” (NR) and Station A. Bottom, correlation between SSTs at coastal station NR and “Open Sea”.
- Figure C14 (p.108): Locations of plankton net tows adjacent to the North Beach and the Coral Nature Reserve of Eilat.
- Figure C15 (p.109): 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).
- Figure C16 (p.109): 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).
- Figure C17 (p.111): Grain size distribution (weight percent) for soft sediment at two sites, at the north beach (NB) and south beach (SB) of Eilat.
- Figure C18 (p.111): The density of foraminifera individuals (number/gram sediment) at two soft sediment sites, at the north beach (NB) and south beach (SB) of Eilat.
- Figure C19 (p.113): Deformed benthic foraminifera found this year at FF sampling locations offshore from the Kinet channel outlet.
- Figure C20 (p.114): 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.
- Figure C21 (p.115): Grain size distribution (weight percent) for soft sediment at th sampling locations near the former fish cages site.
- Figure C22 (p.117): 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).

Figure C23 (p.118): 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.

Figure C24 (p.119): The number of live foraminifera of the *Assilina ammonoides* specie per gram dry sediment at sampled locations since summer 2008, immediately after fish cages were removed from the area.

Figure C25 (p.120): A photo of seagrass cover along the 20m depth transect on the southern coast of Eilat.

Figure C26 (p.121): Seagrass cover during winter and summer at four depths in the northern and southern beach sites of Eilat.

Figure C27 (p.122): Seagrass cover during summer in the northern and southern beach sites of Eilat.

Figure C28 (p.122): Average seagrass cover in recent years at three depths in the northern and southern beach sites of Eilat.

Figure D1 (p.126): Temperature profiles measured using a CTD during the monthly monitoring cruises. Bottom – an annual time series of salinity at Station A at the depths in which water was sampled for analyses.

Figure D2 (p.127): Changes in water temperature at Station A since 2004.

Figure D3 (p.128): Changes in deep sea temperatures at Station A since 2000. Top, Water temperatures at depth (400 to 700 meters); bottom, water temperature trends at the sea surface and at 700m depth at Station A.

Figure D4 (p.129): Salinity profiles measured using a CTD during the monthly monitoring cruises. Bottom – an annual time series of salinity at Station A at the depths in which water was sampled for analyses.

Figure D5 (p.131): Changes in salinity at Station A since 2004.

Figure D6 (p.132): Dissolved oxygen concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Bottom – an annual time series of dissolved O₂ concentrations at Station A.

Figure D7 (p.134): Changes in concentrations of dissolved oxygen in the water column at Station A since 2004.

Figure D8 (p.134): Changes in the dissolved oxygen inventory in the water column at Station A since 2004.

Figure D9 (p.135): Changes in dissolved oxygen concentrations in 400m to 700m water depth at Station A, since 2000.

Figure D10 (p.136): Depth profiles of pH values measured during the monthly monitoring cruises.

Figure D11 (p.137): Changes in pH in the water column at Station A since November 2006.

Figure D12 (p.138): Alkalinity profiles measured during the monthly monitoring cruises.

Figure D13 (p.138): Changes in alkalinity in the water column at Station A since 2004.

Figure D14 (p.139): Nitrite (NO₂⁻) concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Bottom – an annual time series of dissolved NO₂ concentrations at Station A.

Figure D15 (p.141): Nitrate (NO₃⁻) concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Bottom – an annual time series of dissolved NO₃ concentrations at Station A.

Figure D16 (p.142): Changes in the concentration of total oxidized nitrogen (TON= NO₃+NO₂) in the water column at Station A since 2004.

Figure D17 (p.143): Changes in the nitrate (NO₃) inventory in the water column at Station A since 2004.

Figure D18 (p.144): Changes in nitrate concentration water depth of 400m to 700m at Station A since 2000.

Figure D19 (p.145): Phosphate (PO₄⁻³) concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Bottom – an annual time series of dissolved PO₄ concentrations at Station A.

Figure D20 (p.146): Changes in the concentration of phosphate in the water column at Station A since 2004.

Figure D21 (p.147): Changes in the phosphate inventory in the water column at Station A since 2004.

Figure D22 (p.148): Silicate (Si(OH)₄) concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Bottom – an annual time series of dissolved Si(OH)₄ concentrations at Station A.

Figure D23 (p.149): Changes in the concentration of silicate in the water column at Station A since 2004.

Figure D24 (p.150): Changes in the silica inventory in the water column at Station A since 2004.

Figure D25 (p.151): Changes in silicate concentration water depth of 400m to 700m at Station A since 2000.

Figure D26 (p.152): Particulate organic carbon (POC) concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises.

Figure D27 (p.153): Changes in the concentration of particulate carbon in the water column at Station A since 2011.

Figure D28 (p.154): Fluorescence profiles measured using a CTD during the monthly monitoring cruises.

Figure D29 (p.155): Chlorophyll-*a* concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Bottom – an annual time series of chlorophyll-*a* concentrations at Station A.

Figure D30 (p.156): Changes in the concentration of chlorophyll-*a* in the water column at Station A since 2004.

Figure D31 (p.157): 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.

Figure D32 (p.158): Structure of the water column and the development of deep mixing as reflected in profiles of a conservative indicator (salkinity), a short-lived indicator (chlorophyll-*a*) and longer-lived indicators (temperature and nitrate) in the water column in January-May.

Figure D33 (p.160): Monthly phytoplankton concentrations of prokaryotes (*Synechococcus* and *Prochlorococcus*), and pico-eukaryotes in the water column at Station A.

Figure D34 (p.161): 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.

Figure D35 (p.162): Monthly phytoplankton concentrations of heterotrophic bacteria in the water column at Station A this year; right, time series of integrated bacteria concentrations (to 700 meters depth) since 2013.

Figure D36 (p.163): A double plankton net ("Bongo") towed from the boat in deep waters.

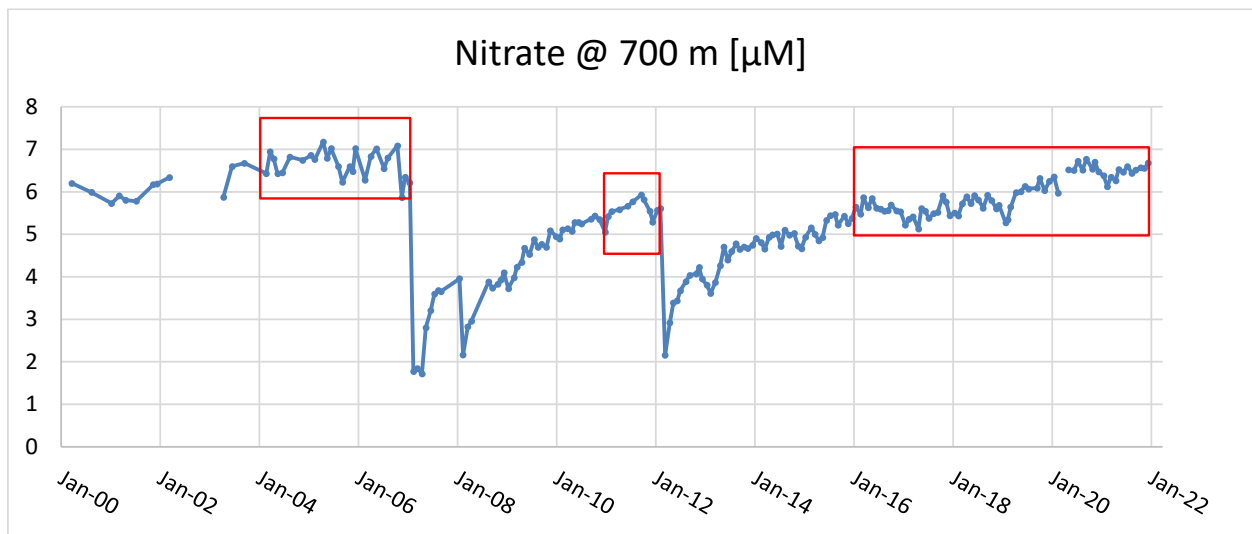
- Figure D37 (p.164): Monthly zooplankton concentrations at the upper 100m of the deep sea. Top – all zooplankton, bottom – divided to size fractions filtered on 1000, 500 and 200 μm filters.
- Figure D38 (p.165): Zooplankton concentrations at the upper 100m of the deep sea since 2011.
- Figure E1 (p.167): Chlorophyll *a* concentrations sampled daily at the Underwater Observatory jetty in 2021 (red line) and the long-term average (1988-2020, green line).
- Figure E2 (p.167): Chlorophyll *a* concentrations at the sea surface, sampled daily at the Underwater Observatory jetty since 2004.
- Figure E3 (p.168): Daily sea surface temperatures measured from the Underwater Observatory jetty during 2021 (red line), the average SST for 1988-2020 (green line).
- Figure E4 (p.169): Top – Daily sea surface temperatures measured from the Underwater Observatory jetty since 2004. Linear regression represents the long term trend of rising SST since 1988 (data courtesy of Prof. Amatzia Genin). Bottom – Annual average SST.
- Figure E5 (p.171): The meteorological station at the end of the IUI pier.
- Figure E6 (p.172): Top- Maximum daily wind speed (m/sec). Bottom- Maximum daily wind speed and direction since January 2007.
- Figure E7 (p.173): Maximum and minimum (red and blue, respectively) daily air temperature above the sea.
- Figure E8 (p.174): Maximum daily global radiation (top), ultraviolet radiation (middle) and photosynthetically available radiation (bottom).
- Figure E9 (p.176): Maximum and minimum (red and blue, respectively) daily values of relative humidity over the sea.
- Figure E10 (p.176): Maximum and minimum (red and blue, respectively) daily water temperature at ~2m depth.
- Figure E11 (p.177): Maximum and minimum (red and blue, respectively) daily sea-level measurements.
- Figure E12 (p.178): Events of southern winds accompanied by high waves.
- Figure E13 (p.180): Weekly dust concentrations in the air above the sea. Dust is measured on filters through which air is continuously pumped.
- Figure G1 (p.183): Study sites of water sampling (surface water and water column). Station B (not shown) is located 10 km south of Station A.

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

1) מגמות בריכוזי נוטריינטים בעמודות 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]). חלוף 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 2).

במשך הניטור תועדו שלושה מחזורים בין ערבובים עמוקים. תחילת הניטור ארבע שנים לאחר ערבוב עמוק בשנת 2000, ערבוב עמוק תועד על ידי הניטור בשנים 2007 ו-2008 ושוב בשנת 2012. בהתחשב בכך שבתקופה האמצעית (2008-2011) ישנן שלוש שנים בלבד אחרי ערבוב עמו ולא ברור אם הגיעו הריכוזים למצב יציב של שיווי משקל, נלקחו בחשבון בהשוואה הנוכחית שתי תקופות זמן: 2004-7 ו-2016-2020. עם זאת, נתוני השנים 2011-2012 מוצגים גם הם. תחומי הזמן וממצעי כל אחד מהפרמטרים (\pm ס.ת.) מפורטים בטבלה 2 יחד עם תוצאות המבחנים הסטטיסטיים להבדלים בין התקופות. כל הפרמטרים השתנו באופן מובהק עם הזמן (non parametric one-way ANOVA: Kruskal-Walis $P < 0.0001$). מבחן פוסט-הוק א-פרמטרי (Dwass-Steel-Christchlow-Fligner) הצביע על כך שעבור כל הפרמטרים למעט טמפרטורה, התקופה הראשונה נבדלת באופן מובהק מהתקופה השנייה וזו נבדלת באופן מובהק מהתקופה השלישית רק עבור טמפרטורה ופוספאט. בתקופה השנייה ריכוזי הנוטריינטים היו נמוכים וריכוזי החמצן היו גבוהים מאשר בתקופה הראשונה. ובאשר לתקופה האחרונה, רק השנה הגיעו ריכוזי הפוספאט לערכים של התקופה הראשונה.



איור 2: 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, ראו גם טבלה 2). 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 and Table A2). 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.

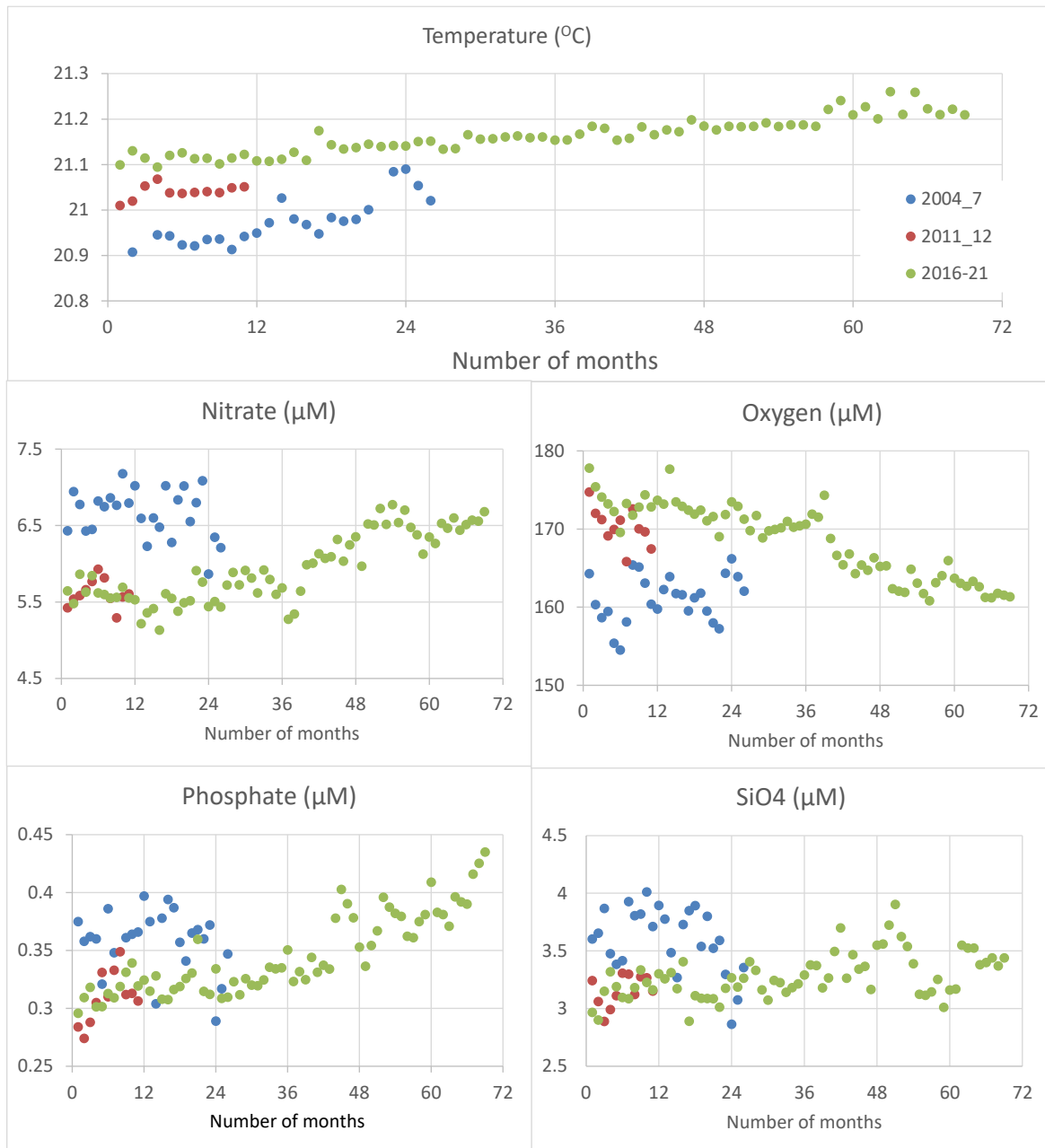
Period	Dates	Temp. (°C)	Oxygen (μM)	Nitrate (μM)	Phosphate (nM)	Silicate (μM)
1	22/2/04-15/1/07	20.99 (±0.07) ^a	162.4 (±5.9) ^a	6.52 (±0.6) ^a	0.35 (±0.04) ^a	3.51 (±0.4) ^a
2*	17/1/11-8/2/12	21.04 (±0.02) ^a	170.3 (±2.4) ^b	5.61 (±0.2) ^b	0.31 (±0.02) ^b	3.16 (±0.1) ^b
3	18/1/16-10/12/21	21.16 (±0.04) ^b	168.5(±4.7) ^b	5.9 (±0.45) ^b	0.35 (±0.03) ^a	3.28 (±0.2) ^b
<i>Kruskal-Wallis P value</i>		****	****	****	****	****

טבלה א2: שלוש התקופות בהן ערכי הנוטריינטים והחמצן המומס הגיעו למצב הקרוב ל-steady state לאחר ערבוב עמוק וממוצעי הריכוזים (± סטיית תקן) בעומק של 700 מטרים עבור כל תקופה. ערכי המובהקות של השינוי בין התקופות במבחן א-פרמטרי Kruskal-Wallis מצוינים בכוכביות (**** מציין $P < 0.00001$). אותיות עיליות זהות מציינות תקופות שאינן נבדלות זו מזו במבחן פוסט-הוק. אותיות עליות שונות מציינות תקופות נבדלות באופן מובהק ($P < 0.05$). *תקופה זו מייצגת שלוש שנים לאחר ערבוב עמוק ולא ארבע.

Table A2: The three time-intervals in which nutrient and dissolved oxygen concentrations reached a near steady state after deep vertical mixing of the water column, and the average concentrations (± standard deviation) at 700 meters depth for each interval. Statistical significance of the difference between intervals in an a-parametric Kruskal-Wallis test are shown, where ** denotes $P < 0.00001$. Similar superscript letters denote periods that are statistically similar and different superscript letters are for period that are significantly different ($P < 0.05$, post-hoc test between pairs of intervals).**

*This period starts three years after deep mixing, rather than four.

השינויים בערכי הפרמטרים הנבחנו מתוארים באיור א3. שינויי הטמפרטורה בין שלוש התקופות מצביעים על ערבוב עמוק יותר בתקופה הראשונה, אם כי רדוד מ-600 מ'. ערבוב שכזה מדגיש באופן שמרני (קונסרבטיבי) את העלייה בריכוזי הנוטריינטים ואת הירידה בחמצן בתקופה הראשונה (ערבוב עמוק מוריד ריכוזי נוטריינטים ומעלה את ריכוז החמצן בעומק 700 מטר). בנוסף לכך, במים קרים מסיסות החמצן עולה ולמרות זאת, על אף שטמפרטורת המים בתקופה הראשונה הייתה הנמוכה ביותר, ריכוזי החמצן אז היו נמוכים במובהק מאשר בתקופה המאוחרת. למרות שהשוואה הסטטיסטית הנ"ל בין שלוש התקופות (מבחן פוסט-הוק Dwass-Steel-Christchlow-Fligner) מראה הבדלים מובהקים בין התקופות, איור א3 מראה שההבדל בין התקופה השנייה לשלישית נובע מכך שמשך התקופה השלישית ארוך בהרבה, דבר הגורם להצטברות ההדרגתית של הנוטריינטים ולירידה ההדרגתית בחמצן להגיע לערכים גבוהים יותר בנוטריינטים ונמוכים יותר בחמצן בשלהי התקופה השלישית. יש לציין שלמעט הפוספאט, גם בשלהי התקופה השלישית, למרות משך הצטברות הארוך שחלף מתחילת התקופה, ערכי כל יתר הפרמטרים לא הגיעו (עדיין?) לערכים הקיצוניים שנצפו במהלך התקופה הראשונה.



איור 3א: השינויים בטמפרטורה ובריכוזי החמצן, הניטראט, הפוספט והסיליקה בעומק 700 מטרים בשלוש התקופות הנבחנו (תקופות של מצב יציב לאחר ערבוב עמוק, טבלה א2).

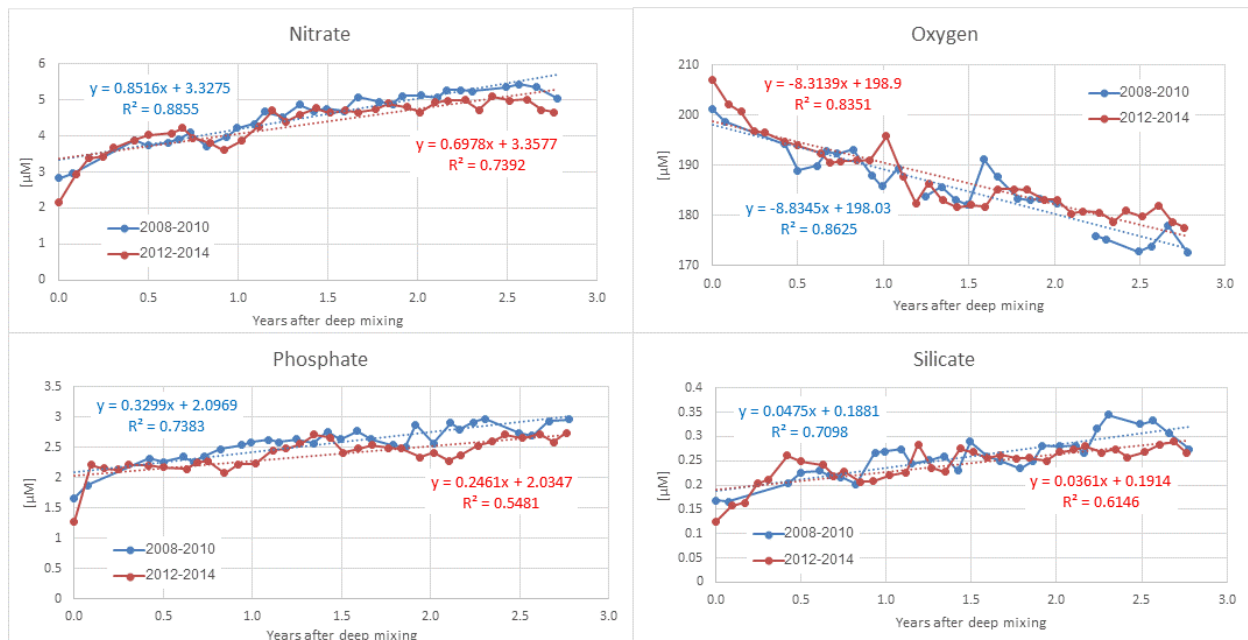
Figure A3: Changes in temperature and the concentrations of oxygen, nitrate, phosphate and silica at 700 meters depth in Station A during the three examined time intervals (that began 4 years after deep mixing, see Table A2).

שאלה נוספת היא האם ישנו הבדל מובהק בקצב צבירת הנוטריינטים והחמצן (שיפוע הריכוזים) בעומק 700 מטר לאחר ערבוב עמוק. מתוך הנתונים שאספה תכנית הניטור ניתן לבחון שאלה זו בשני מקטעי זמן בני שלוש שנים ללא ערבוב עמוק לאחר חורף של ערבוב עמוק מ-800 מטרים (2008-2010 ו-2012-2014). שיפועי הרגרסיה (קצב שינוי לשנה) נתונים בטבלה א3 והנתונים מתוארים באיור 4א. נמצא שעבור המשתנים שנבחנו, בשנים של ערבוב רדוד אחרי ערבוב עמוק, קצב צבירת הנוטריינטים וקצב צריכת החמצן במים העמוקים (700 מטרים) היה מהיר יותר במקטע הזמן הראשון, 2008-2010, מאשר במקטע הזמן השני, 2012-2014. עם זאת, רק עבור ניטראט ופוספט הבדלי הקצב בין התקופות מובהקים. מסקנה: הגורמים להצטברות נוטריינטים במי העומק בצפון המפרץ היו חזקים יותר בין השנים 2008-10 מאשר בתקופה המקבילה, בין השנים 2012-14. הממצאים מצביעים על ירידה בקצב העשרת נוטריינטים וצריכת חמצן במים העמוקים של צפון מפרץ אילת.

	2008-10		2012-14	
	Regression slope	Standard error	Regression slope	Standard error
Oxygen	-8.83	1.14	-8.32	0.65
NO ₃	0.851	0.058	0.698	0.073
PO ₄	0.330	0.037	0.246	0.039
SiO ₄	0.047	0.006	0.036	0.005

טבלה א3: שיפוע קו הרגרסיה הלינארית ושגיאת התקן בין ריכוזי החמצן והנוטריינטים לבין הזמן במי העומק (700 מ') בשלוש השנים לאחר ערבוב עמוק. שיפועי קווי הרגרסיה בתקופה 2008-2010 חריפים יותר מאשר בתקופה 2012-2014, דהיינו, הירידה בריכוז החמצן הייתה מהירה יותר וריכוזי הנוטריינטים עלו בקצב מהיר יותר בתקופה הראשונה. יחידות השיפוע הן שינוי הריכוז לשנה.

Table A3: The slopes of linear regression (and standard errors) between concentrations and time at 700 meters depth for two three-year time intervals following deep mixing (deeper than 800m). The regression slopes for the interval 2008-10 are steeper than those of the interval 2012-14, meaning that oxygen concentrations dropped and nutrient concentrations rose faster during the first time-interval. Slope units are the change in concentration per year.



איור א4: קצב השינוי בריכוזי החמצן ושלושת הנוטריינטים העיקריים (ניטראט, פוספאט וסיליקה) בעומק 700 מ' בשלוש השנים שלאחר ערבוב אנכי עמוק, בשתי תקופות הזמן הנבחנות. קצבי השינוי הינם השיפועים של קווי הרגרסיה הלינארית המצוינים על הגרף. קצבי העלייה בנוטריינטים והירידה בחמצן היו חריפים יותר בתקופה הראשונה (טבלה 2).

Figure A4: Rates of change in dissolved oxygen and the three main nutrients (nitrate, phosphate and silicate) at 700 meters depth in the three years following deep mixing of the water column, in the two examined time intervals. The rate of change is the slope of the plotted regression lines. The rates of nutrient accumulation and oxygen depletion were faster during the first interval.

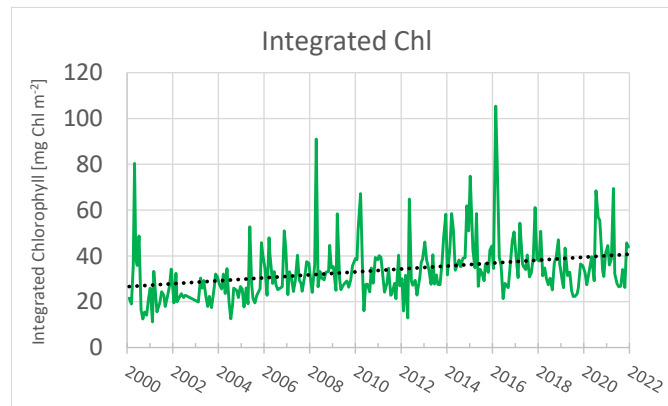
2) מגמות בריכוזי כלורופיל במים העליונים

על מנת לבחון את קיומן של מגמות שינוי בריכוז הכולל של פיטופלנקטון במים העליונים בצפון המפרץ, הושב 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 5). ניתוח רגרסיה לינארית מצביע על מגמת עלייה עם שיפוע מתון (1.9% בשנה) אך מובהק, $P < 0.001$. בפילוח אינטגרל הכלורופיל על פי עונות נמצא שמצאי הכלורופיל בכל העונות עולה לאורך תקופת הניטור. העלייה הגדולה ביותר היא בעונת החורף (דצמבר-פברואר) והמועטה ביותר בעונת הסתיו

(אוקטובר-נובמבר). עבור החורף והקיץ העלייה עם השנים מובהקת ביותר ($P < 0.002$) אך גם בסתיו ובאביב העלייה עם השנים מובהקת ($P < 0.03$).

בריכוזי הכלורופיל הנמדדים בפני הים מדי יום מאז שנת 1988, לעומת זאת, נמצאת מגמת ירידה מתונה (0.5%) אך מובהקת, $P < 0.001$.

מסקנה: מצאי הכלורופיל בעמודת המים העליונה בתחנה A מראה מגמה של עלייה עם הזמן. המצאי המחושב מושפע 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 מזרם. 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 A5: סדרת זמן של אינטגרל הכלורופיל ב-120 המטרים העליונים של עמודת המים בתחנה A מאז שנת 2000.
Figure A5: 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 עלייה בקצב של $0.039\text{ }^{\circ}\text{C}$ לשנה (ערך מובהקת של $P < 0.001$). מאז תחילת תכנית הניטור ב 2004 ועד היום גדל קצב החימום פי 1.6 והגיע לערך של $0.062\text{ }^{\circ}\text{C}$ מעלה לשנה. בעומק 700 מטרים (איור 3א, למעלה) קצב החימום איטי יותר, $0.015\text{ }^{\circ}\text{C}$ לשנה, ומובהק ($P < 0.001$).

4) מגמות בשוניית האלמוגים של אילת

מגמות בשוניית האלמוגים נבחנו על ממוצעים שנתיים של כלל אתרי השוניית הנסקרים "ממוצע שוניית אילת" (מלבד גידול אצות ישיבות, באתר IUI בלבד), כמפורט בטבלה 4א. טבלה 4א מצביעה על מגמת עלייה מובהקת בכיסוי אלמוגי האבן החיים וצפיפותם בשוניית אילת מאז תחילת הניטור. חשוב לשים לב לכך שבשנתיים האחרונות מתועדת ירידה בכיסוי האלמוגים בשוניית אילת וקיומה של מגמה מובהקת נשען על כך שכיסוי האלמוגים עדיין גבוה משהיה בשנות הניטור הראשונות. הירידה בכיסוי האלמוגים בשנתיים האחרונות מיוחסת לפגיעת הסערה הדרומית החזקה בחודש מרץ 2020. בהתפלגות גדלי האלמוגים נמצאה עלייה מובהקת בצפיפות מושבות בינוניות ויקידה מובהקת בצפיפות המושבות הקטנות. מדד הרקמה החיה באלמוגים נמצא בירידה איטית (0.3% מהממוצע הרב שנתי) אך מובהקת, וכך גם צפיפות האלמוגים בלגונה שבשמורת חוף אלמוג. לא נמצאה מגמת שינוי מובהקת בכמות האצות הבנתוניות בשוניית וגם לא בפוטנציאל הגידול של אצות (על גבי לוחיות מוגנות מרעייה), משמע – שיפעת האצות הבנתוניות בשוניית ללא ששינוי במשך תקופת הניטור. בצפיפותם של קיפודי הים מתועדת ירידה חדה ומדאיגה, בשיעור של כ-9.8% בשנה. צפיפות הקיפודים השנה (2021) היתה 0.14 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 בשוניית. הדבר מצביע, באופן עקיף, על יעילותם וחשיבותם התיפקודית של כלל הרועים ובפרט הדגים הצמחוניים בשוניית.

	Reg. coeff.	R ²	P value
Live cover [%]	0.268	0.44	***
Coral density [# /10m]	0.229	0.5	**
Medium corals [# /100m]	0.293	0.94	****
Small corals [# /100m]	-0.77	0.5	***
LTI [%]	-0.307	0.71	***
Urchin density [# /m ²]	-0.1	0.68	***
Lagoon corals [# /m ²]	-0.122	0.64	***
Algae – potential [mg Chl/cm ²]	-0.021	0.12	NS
Algae – realized [mg Chl/cm ²]	-0.011	0.01	NS

טבלה א4: מקדמי הרגרסיה הליניארית וערכי מובהקותם עבור משתנים מרכזיים בשוניית 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 A4: 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<0.0001, *** p<0.001, ** p<0.01, * p<0.05, NS-not significant.**

טבלה א5 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.

הגורם הנבחן	מגמה	"מגמת שיפור"
ריכוזים כימיים במים עמוקים (700 מ'), השוואה בין שתי תקופות		
O ₂	נצרך לאט יותר (שינוי הריכוז בשלוש שנים)	↑
NO ₃	נצבר לאט יותר (שינוי הריכוז בשלוש שנים)	↑
PO ₄	ללא מגמה (שינוי הריכוז בשלוש שנים)	-
Si(OH) ₄	נצבר לאט יותר (שינוי הריכוז בשלוש שנים)	↑
ריכוזי כלורופיל בפני הים		
	ירידה	↑
מצאי כלורופיל (120 מ')		
	עליה	↓
טמפרטורת פני הים		
	עליה	↓
שונית האלמוגים		
כיסוי אלמוגים חיים	עליה (%)	↑
צפיפות אלמוגים	עליה (מושבות/חתר)	↑
צפיפות מושבות בינוניות	עליה (מושבות/חתר)	↑
צפיפות מושבות קטנות	ירידה (מושבות/חתר)	↓
מדד הרקמה החיה	ירידה (% חי במושבות אלמוגים)	↓
צפיפות אלמוגים בלגונה	ירידה (מושבות/קוודרט)	↓
צפיפות קיפודי הים	ירידה (פרטים/חתר מאז 2005)	↓
פוטנציאל צמיחת אצות ישיבות	אין מגמת שינוי	-
צמיחת אצות ישיבות בפועל	ירידה (כלורופיל על לוחיות מוגנות)	-

טבלה א5: סיכום תוצאות מבחני מגמות במצב המערכת בצפון מפרץ אילת, המסתמנות מתוך נתוני תכנית הניטור. הריכוזים הכימיים מתייחסים להשוואה בין שתי התקופות 2008-10 ו-2012-14 כפי שנידון למעלה ומוצג בטבלה א3. ↑ מגמה של שיפור, ↓ שינוי לרעה, - ללא מגמה.

Table A5: Summary of trends concerning the state of the system at the northern end of the Gulf of Eilat. Chemical variables reflect a comparison between two 3-year periods, 2008-10 and 2012-14, in the rate at which the concentrations in deep waters change over the period (see Table A3). ↑= improvement, ↓=deterioration, - = no trend.

I. במשך תקופת הניטור תועדה צמיחה בשוניות האלמוגים של אילת והן מצויות במצב טוב יותר בשנים האחרונות בהשוואה לשנים הראשונות של הניטור. אולם, בשנים האחרונות 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. אף שהפגיעה בשוניות אילת כנראה קטנה ממה שנדמה היה בתחילה ולא השפיעה בכל האתרים במידה שווה, נמצאה השנה ירידה נוספת במדדי שוניות מסויימים, ובפרט בכיסוי האלמוגים בשוניות אילת.

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 והדירת 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. פעילותם של יצורי שונית רבים נפגעה כתוצאה מהסערה ויתכן שההשפעה על כלל המערכת עדיין נמשכת. אם בשנה הבאה (2022) תמשך ההידרדרות בשונית, יחייב הדבר מחקר יעודי.

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 והשנה צפופותם בשונית הוסיפה לרדת. 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 ובחודש יוני השנה נמדדו 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 מתועדת התאוששות חברת עשב הים ושוכני הקרקעית בחוף הצפוני, אזור שנפגע רבות בעשורים האחרונים מפעילות אנושית. לאחרונה נפגעו עשבי הים משיטפונות שהובילו לים סדימנט דק אשר כיסה את הקרקעית. התאוששות לאחר השיטפונות ניכרה תוך חודשים ספורים, אולם הפרעות חוזרות פגעו במצב המערכת האקולוגית שם ובמרבדי עשב הים האופייניים לאזור.

בשנתיים האחרונות נמצאו בתחנות הניטור בחוף הצפוני פרטים של פורמיניפריים בנתונים בעלי עיוות מורפולוגי, המעיד אולי על זיהום של הקרקעית החולית. מחקר שנעשה באילת בשנות השמונים קושר בין עיוותים מורפולוגיים בקווצי עור ובין זיהום סביבתי ולפיכך שיים חשש שהעיוותים בפורמיניפריים מצביעים על זיהום שכזה בבית הגידול החולי בצפון המפרץ. 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 זר.

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 בשנה הקודמת והמשך הירידה במדדים שונים השנה. 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

1.1. סקר חברת השונית

מטרה

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

שיטות

חברת האלמוגים נדגמת בשלושה אתרים שונים, בעומקים שונים לפי הפירוט המופיע בטבלה 1 ובתצלום האווירי (איור 1). סקר חברת השונית נעשה אחת לשנה, בתקופת הקיץ.

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

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

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

סקר חברת האלמוגים נעשה על פי שיטת חתכי הקו שפותחה על-ידי Loya et al. (1972). בכל אתר גיאוגרפי נפרש 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 (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 2). אלמוגים חיים (אלמוגי אבן ואלמוגים רכים) וחסרי חוליות אחרים וזהו לרמת הסוג, ובמידה והתאפשר אף לרמת המין (רשימת האלמוגים שנרשמו בכלל החתכים מופיעה בנספח 2, 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 (L, M, S ו-H בהתאמה). עבור כל אלמוג תחת סרט המדידה התבצעה הערכה של אחוז הרקמה החיה בהתחשב בכלל שטח המושבה. לא כל השלד במושבות אלמוגים חיים מכוסה ברקמה ואחוז הרקמה החיה של המושבה הוגדר כאחוז שטח המושבה שאינו מת, לבן או מכוסה באצות. הרקמה היא הראשונה להיפגע מטריפה, ממחלות ומפגיעה מכאנית. במקרים רבים, בעיקר לאחר פגיעה מזערית, הרקמה הפגועה מחלימה. כאשר האלמוג מאבד חלק משמעותי מרקמתו, החלמת האזור הפגוע היא במקרים רבים חלקית או חסרה לחלוטין. לעיתים, בפרט כאשר האלמוג נמצא במצב עקה או כאשר הסיבה לפגיעה היא מחלה, הפגיעה הראשונית עלולה להתפשט לאזורים סמוכים במושבה. בתכנית הניטור אנו משתמשים באומדן שיעור הרקמה הלא פגועה באלמוג כמדד ל"בריאותו". מדד זה, להלן (Live Tissue Index, LTI) נאמד עבור כל אחד מאלפי האלמוגים הנכללים בחתכי הקו בשונית, על ידי קביעה ויזואלית (על ידי הצולל הסוקר) של אחוז שטח המושבה המכוסה ברקמה חיה. מדד זה, אשר כונה בדו"חות 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 1, כש- P_i הוא פרופורציית מספר המושבות של מין i מתוך n המינים (או הסוגים) שנספרו) הוערך על ידי תכנת EstimateS (Colwell, 2005); ראויה: ככל שנוספות יחידות מדידה (חתכים) הערך המוערך מתקרב לערך האמיתי באתר עד למצב בו תוספת חתכים אינה משפיעה על הערך המוערך. בשלב זה המוערך קרוב לערך האמיתי.

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

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 תכנת EstimateS (Colwell, 2005), ומתוכן מחושבת גם תוחלת המינים הצפויה בספירה של 1500 מושבות מתוך כלל שוניות אילת.

הניתוח הסטטיסטי נעשה באמצעות התוכנות Systat v9 (SPSS inc, 1998) ו-SPSS 16.0 (http://www.spss.com/statistics). בחינת המובהקות הסטטיסטית נעשתה בעזרת מבחן ANOVA. במידת הצורך נעשה המבחן לאחר שהנתונים עברו טרנספורמציה לשמירה על אחידות השונות. הטרנספורמציה כללה נרמול של כל ערך שנמדד על ידי חלוקתו בממוצע הרב שנתי באותו אתר. המובהקות הסטטיסטית המדווחת היא על סמך המבחן עם מסד הנתונים המנורמל.

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. קווי שגיאה מייצגים את שגיאת התקן, אלא אם מצוין אחרת.

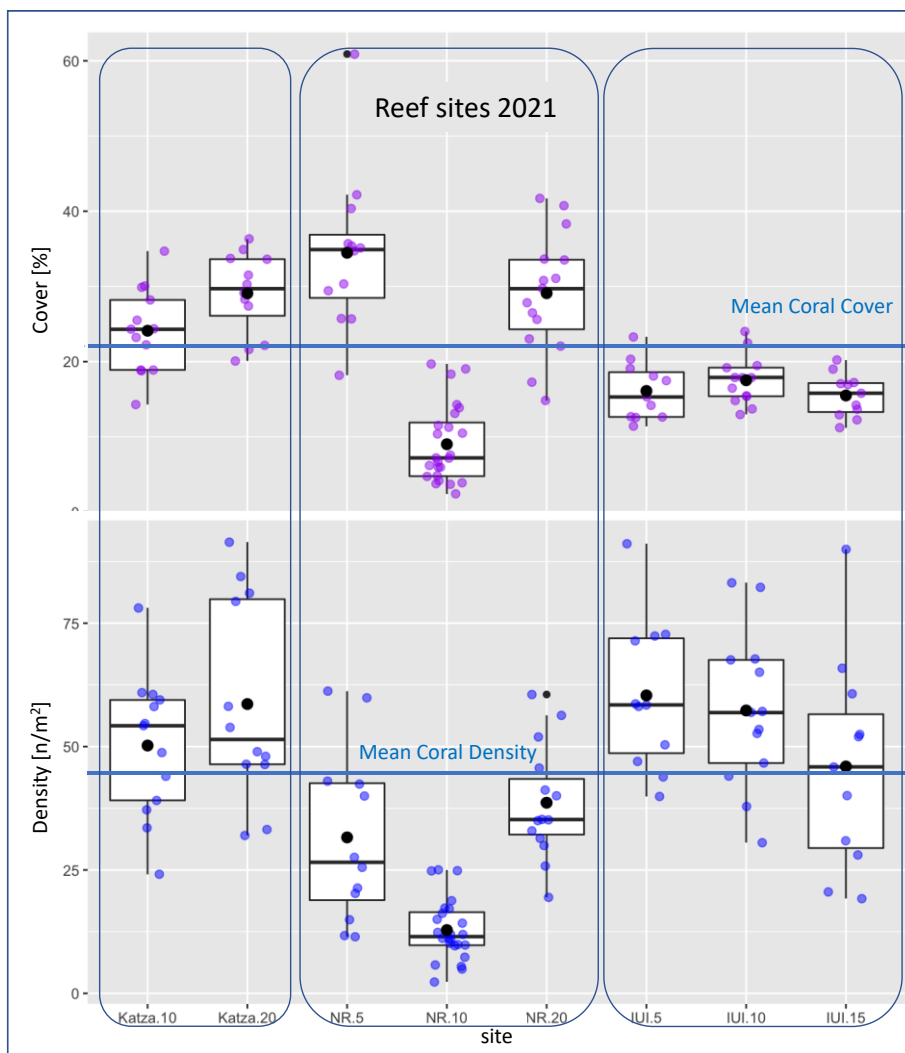
כיסוי אלמוגים וצפיפות מושבות

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 $34.5 \pm 3.1\%$. הכיסוי הנמוך ביותר נמצא באתר השמורה בעומק עשרה מטרים (10-NR), עם $9.0 \pm 1.0\%$ כיסוי בלבד. אתר זה הוא גם האתר עם צפיפות המושבות הנמוכה ביותר 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) משקף אכלוס על ידי מושבות אלמוגים גדולות.

באתרים העמוקים בשמורה (20-NR) ובקצא"א (20-Katza) נמדד השנה כיסוי אלמוגים ממוצע דומה, 29.1% , כאשר באתר השמורה צפיפות המושבות הממוצעת קטנה יותר (38.6 ± 2.9 מושבות למ"ר) ובאתר קצא"א נמצאה צפיפות המושבות גדולה בהרבה (58.6 ± 5.9 מושבות למ"ר).

כיסוי האלמוגים החיים ירד גם השנה כמעט בכל אתרי השמורה והפגיעה הגדולה ביותר נמדדה באתר השמורה העמוק בו ירד הכיסוי החי בכ- 5% , המהווים ירידה בשיעור של כ- 15% בהשוואה לשנה הקודמת (מערך של $34.4 \pm 2.9\%$ לכיסוי של $29.1 \pm 2.0\%$ השנה).

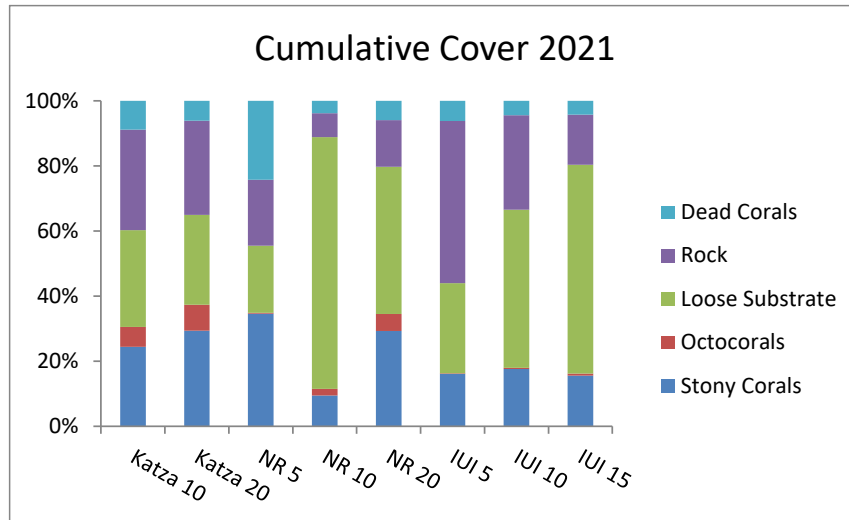
כיסוי האלמוגים הממוצע באתרי השונית הנסקרים היה השנה $21.9 \pm 3.0\%$ (לעומת $23.4 \pm 3.6\%$ בשנה הקודמת ו- $24.9 \pm 4.5\%$ בשנת 2019), וצפיפות המושבות הממוצעת היתה 44.4 ± 5.8 מושבות למ"ר (ערך מנורמל, ספירות מושבות לחתך בין עשרה מטרים מצאו ממוצע 27.4 ± 3.2).



איור ב3: שטח הכיסוי הממוצע (למעלה) וצפיפות המושבות (למטה) של אלמוגי אבן חיים בכל אתר בשנת 2021. 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 כחולים.

Figure B3: The average live stony coral cover (top) and colony density (bottom) at each site, in 2021. 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 blue 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.

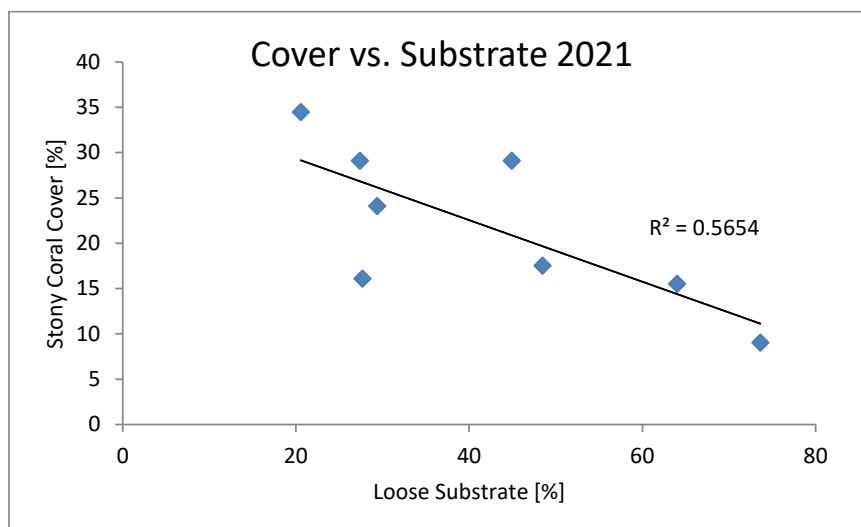


איור ב4: אחוזי הכיסוי המצטברים של אלמוגים, חול, סלע, ואלמוגים מתים. באתרים בהם אחוזי הכיסוי אינם מסתכמים ב-100%, קיים כיסוי של אצות וחסרי חוליות כגון שושנות ים, צדפות ענק ו/או ספוגים אשר אינם מופיעים באיור זה. אחוזי הכיסוי הם ממוצע כל החתכים באותו אתר.

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 $R^2=0.57$ כך, 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 המתאם גבוה יותר, למשל $R^2=0.62$ בשנה הקודמת ו- $R^2=0.77$ בשנת 2019, ויתכן כי ירידה זו במתאם מהווה עדות לבזקי הסערה החזקה של מרץ 2020, אשר פגעה באלמוגי השונית וחשפה מצע קשה באתרי השונית.



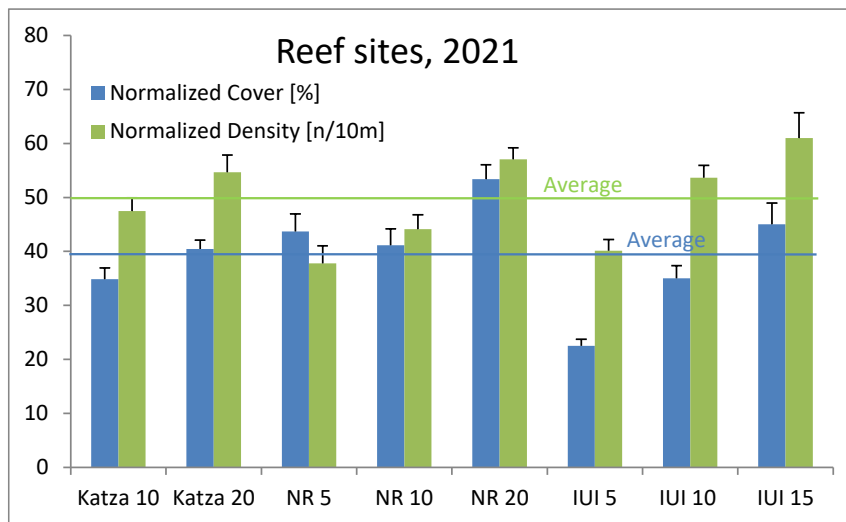
איור 5: אחוז הכיסוי של אלמוגי אבן חיים כנגד אחוז המצע הלא-מלוכד (קרקע חולית) באתרים השונים.

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 כחס בין אחוז הכיסוי החי וסכום האחוזים של הקרקע המלוכדת והכיסוי החי (ושלדי אלמוגים מתים), בהנחה שהמצע המתאים להתיישבות אלמוגים הוא קרקע מלוכדת (סלע) בלבד ושכל האלמוגים יושבים על מצע כזה (איור 6).

בהתבוננות זו נראה כי ההבדלים במידת ההצלחה של אלמוגי האבן בין האתרים, קטנים יותר. אתר שמורת האלמוגים בעומק 20 מטר בעל הכיסוי המנורמל הגבוה ביותר ($53.4 \pm 2.6\%$), בדומה לשנה הקודמת. כיסוי מנורמל זה גבוה יותר מאשר באתר השמורה הרדוד. אתר המעבדה הימית בעומק הרדוד, 5 מטר, הוא בעל הכיסוי המנורמל הנמוך ($22.5 \pm 1.3\%$). כיסוי אלמוגי אבן על גבי מצע מלוכד באתרי השונית היה השנה $39.5 \pm 3.2\%$, בממוצע, דומה לערך השנה הקודמת $40.2 \pm 3.2\%$. צפיפות המושבות על גבי קרקע מלוכדת גבוהה בכל האתרים, בממוצע נמצאו 49.5 ± 3.0 מושבות בחתך קרקע מלוכדת מנורמל לעשרה מטרים. גם ערך זה אינו שונה בהרבה מערך השנה הקודמת (50.1 ± 3.0).

הערכים המנורמלים נותרו יציבים על אף השינוי בערכים המדודים, וזאת – אולי – עדות לתנועת סדימנט לא-מלוכד בזמן הסערה, כך שלצד הפגיעה במושבות גם קטן שטח המצע הפוטנציאלי.



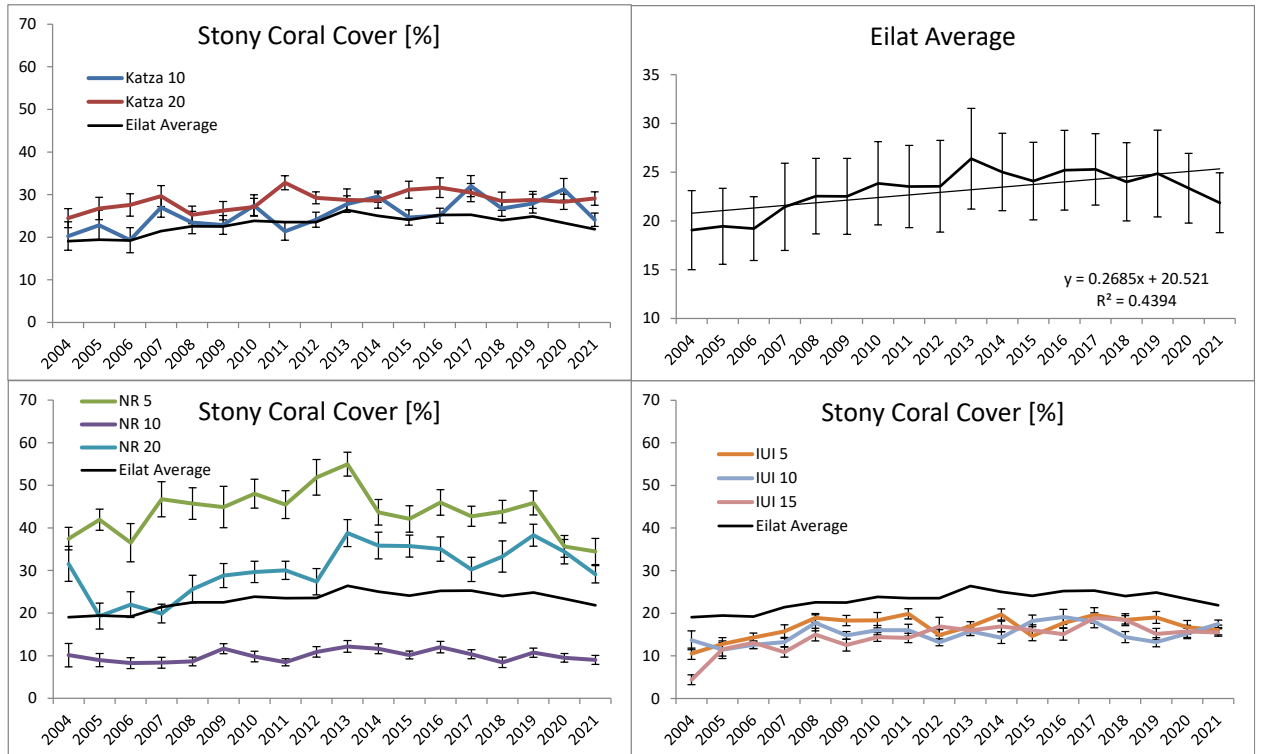
איור 6: ניצול המצע המתאים להתיישבות אלמוגים בשנת הניטור 2021. אחוז הכיסוי וצפיפות המושבות של אלמוגי אבן חיים מתוך סך הקרקע הסלעית בכל אתר.

Figure B6: Utilization of available substrate by stony corals in 2021. 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 ($21.9 \pm 3.0\%$) נמוך בכ- 1.5% מהערך שנמדד בשנה הקודמת ($23.4 \pm 3.6\%$) ובכ- 3% מהכיסוי הממוצע אשר נמדד בקיץ 2019 ($24.9 \pm 4.5\%$). איור 7. ירידה בכיסוי אלמוגים חיים בהשוואה לשנה הקודמת נמדדה בששה מתוך שמונה האתרים הנסקרים. רק באתרים IUI-10 ו-20-Katza נמדדה השנה עליה קלה בכיסוי.

הכיסוי הממוצע באלמוגים חיים הנמדד באתרי אילת היה $19.1 \pm 4.1\%$ בשנת 2004, תחילת הניטור, וגבוה ביותר בשנת 2013 ($26.4 \pm 5.1\%$). על אף שההבדלים בין שנים אינם מובהקים, במבט לאורך תקופת הניטור נמצאה מגמה מתונה של עליה לאורך זמן עד לשנת 2019 אולם בשנתיים האחרונות ירד כיסוי האלמוגים מתחת לערך של 24% לראשונה מאז שנת 2013, והערך הממוצע השנה דומה לזה שאפיין את השנים 2007-2009. בבחינה סטטיסטית מדוקדקת של סדרת הנתונים עד לשנת 2017 נמצא כי מגמת השינוי בכיסוי האלמוגים היתה מובהקת (תכנית הניטור, דו"ח מדעי 2017). בשנתיים האחרונות נמצאת ירידה בכיסוי האלמוגים כך שהשינוי מאז תחילת הניטור מהווה עליה של כ- 0.27% בשנה (עם התאמה נמוכה $R^2=0.44$). בשנה הבאה יהיה מקום לבחון שוב את מובהקותם של השינויים בכיסוי האלמוגים לאורך זמן.

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 משקף את המצב באף אתר ספציפי. לכל אתר התפתחות משלו בזמן אך ברובם ניתן להבחין באותה מגמה של עליה בשנותיה



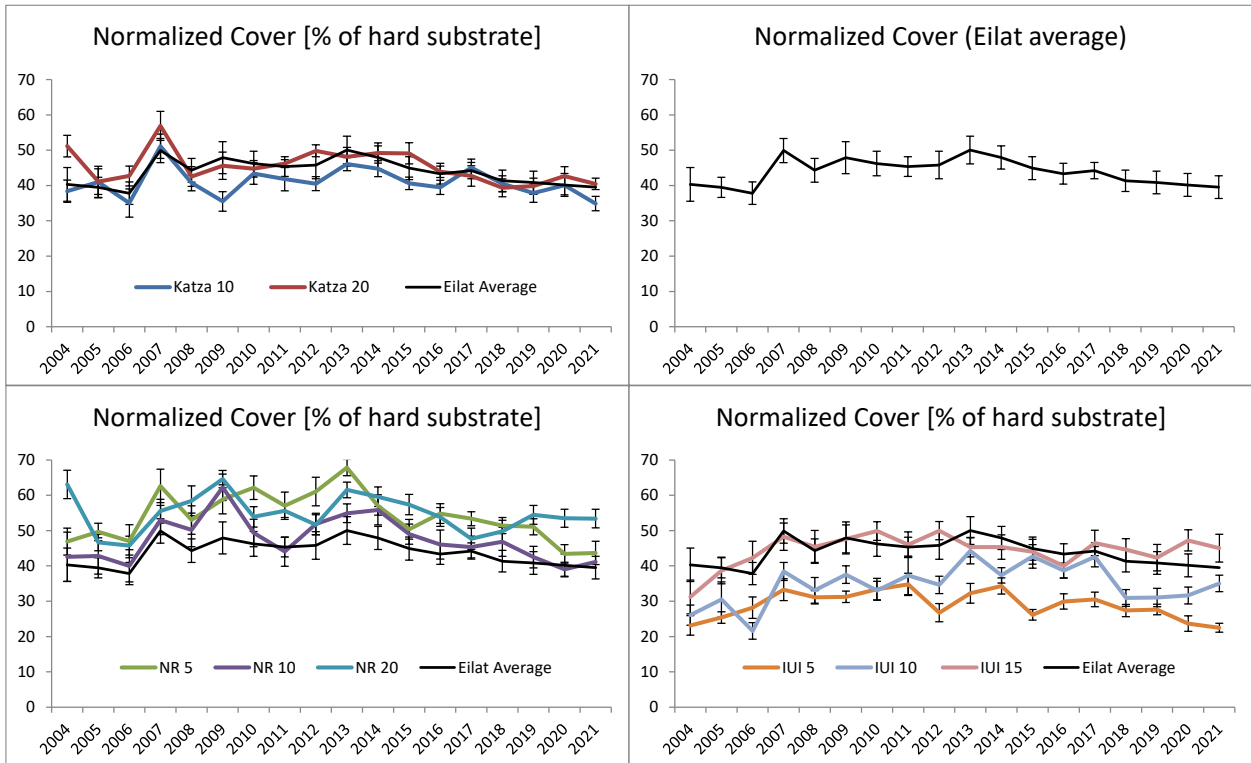
איור 7: שטח הכיסוי הממוצע של אלמוגי אבן חיים בכל אתר וכמוצע כל אתרי קדמת השוני, באחוזים מכלל השטח.

Figure B7: The average live stony coral cover at each site and the average for all forereef site, as percent of total area.

במבט על יעילות האלמוגים בניצול קרקע מלוכדת להתיישבות ובניית שונית (כיסוי אלמוגים מנורמל, ראו למעלה) נמדדות תנודות גדולות יותר בין השנים בכל האתרים (איור 8), אך במשך תקופת הניטור כיסוי האלמוגים המנורמל הממוצע לאתרי הניטור הוא ללא שינוי משמעותי. 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. 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 וקצא"א בכל העומקים, ובאתרי המעבדה הימית (בפרט ברדודים) – הנמוך ביותר. לאורך השנים אתר המעבדה הרדוד, IUI-5, הוא האתר בו ניצול המצע המתאים להתיישבות הוא הנמוך ביותר ולעומתו, אתרי השמורה 20-NR ו-5-NR לאורך השנים בעלי הכיסוי המנורמל הגבוה ביותר.

על אף שההבדלים בין האתרים קטנים כאשר מנרמלים את הכיסוי למצע, נראה כי ההבדלים בין קצא"א, השמורה והמעבדה הימית אינם קשורים רק בזמינות מצע אלא במכלול תנאים המשפיעים על הצלחת השונית. עוד נראה כי הבדלים בין העומקים בכל מיקום נשמרים גם הם, בדרך כלל, לאורך זמן ומשקפים כנראה הבדלים בתנאים. יוצא מן הכלל הוא האתר 15-IUI אשר ניצול המצע הזמין בו גבוה מזה של אתרי IUI הרדודים על אף שסך הכיסוי בו בדרך כלל נמוך יותר.

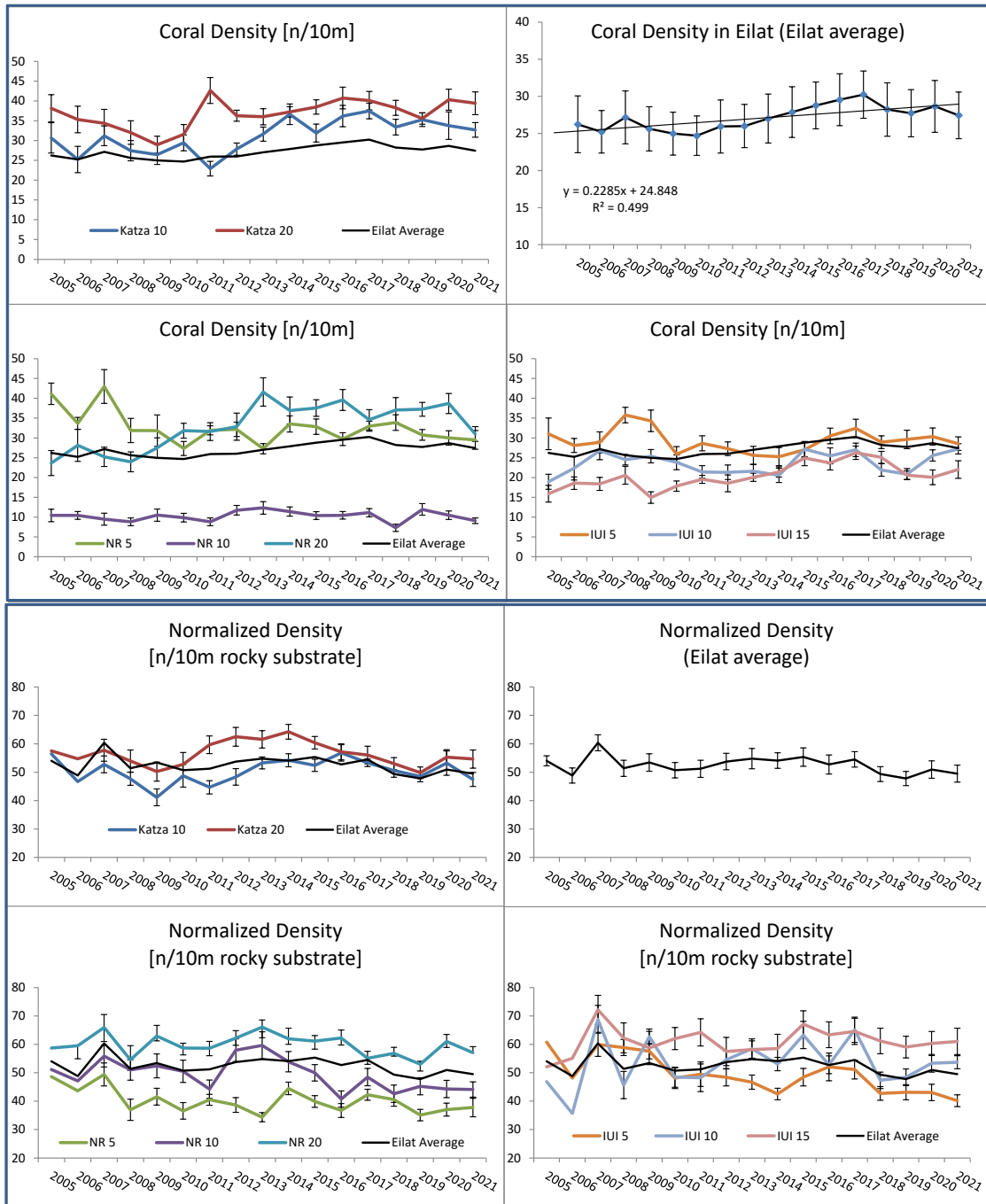


איור ב8: ניצול המצע הסלעי על ידי אלמוגים (שטח הכיסוי הממוצע מתוך הקרקעית הסלעית) באתרי שדמת השונית ומוצע הערכים בכל האתרים.

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.

ברוב האתרים הנסקרים נמצאה השנה ירידה קלה במספר הממוצע של מושבות אלמוגים בחתך של עשרה מטרים, בהשוואה לשנה הקודמת (איור ב9). צפיפות מושבות האלמוגים הממוצעת בין כל האתרים היתה נמוכה ביותר בשנים 2009-10 ונמצאת בעליה עד לשנת 2017. בשנים האחרונות צפיפות האלמוגים מתנדנדת סביב ערך נמוך מזה של 2017. השנה נספרו בממוצע 27.4 ± 3.2 מושבות אלמוגי אבן במקטע באורך עשרה מטרים, ובסך הכל, השינויים בצפיפות האלמוגים מאז 2018 קטנים למדי (איור ב9).

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. כאשר בוחרים את מספר המושבות הממוצע בעשרה מטרים של קרקע מלוכדת (נירמול עבור מצע קשה, ראו למעלה), נמצא שברוב האתרים צפיפות המושבות דומה. באתר NR 5, בו מצויות מושבות האלמוגים הגדולות ביותר, הצפיפות המנורמלת נמוכה יחסית, ובאתר 10-NR, בו מופע השונית כתמי ביותר עקב ריבוי קרקע חולית, ובו נמצא מספר המושבות הקטן ביותר בעשרה מטרים, הצפיפות המנורמלת דומה לזו הנמדדת באתרים האחרים. יחסים אלה בין האתרים נשמרים לאורך תקופת הניטור.



איור 9: למעלה - המספר הממוצע של מושבות אלמוגי אבן חיים במקטע באורך עשרה מטרים בכל אתר. למטה - ניצול המצע הסלעי להתיישבות אלמוגים (המספר הממוצע של מושבות מנורמל לעשרה מטרים של קרקעית סלעית).

Figure B9: Left - The average number of live stony colonies per ten-meter section at each site. Right - Utilization of rocky substrate for stony coral settlement (number of live stony coral colonies on ten meters of consolidated substrate at each 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 השוניות 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. בשנתיים האחרונות (2020-2021) נמצאת ירידה בכיסוי האלמוגים באילת, אולי בעקבות הסערה החזקה אשר פגעה באילת בחודש מרץ 2020. הצפיפות הממוצעת של מושבות אלמוגים באתרי הניטור עלתה באופן עקיב, אם כי מתון במשך תקופת הניטור, אך בשנים האחרונות התייצבה על ערך נמוך מהערך הגבוה של שנת 2017.

	Katza 10	Katza 20	NR 5	NR 10	NR 20	IUI 5	IUI 10	IUI 15	IUI	Katza	NR	Eilat
Number of Transects	13	12	12	24	15	11	13	11	35	25	51	111
Stony coral	24.1	29.1	34.5	9.0	29.1	16.1	17.5	15.5	16.4	26.5	20.9	21.9
stdev	5.7	5.4	10.7	5.1	7.9	3.8	3.2	2.9	3.3	6.0	13.7	8.7
SE	1.6	1.6	3.1	1.1	2.0	1.2	0.9	0.9	0.6	1.2	1.9	3.1
CV	0.2	0.2	0.3	0.6	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.7	2.5
Octocoral	6.1	7.9	0.2	1.9	5.2	0.1	0.4	0.7	0.4	7.0	2.5	2.8
stdev	4.7	5.5	0.4	2.0	4.1	0.2	0.5	0.6	0.5	5.1	3.2	3.1
SE	1.3	1.6	0.1	0.4	1.0	0.1	0.1	0.2	0.1	1.0	0.4	1.1
CV	0.8	0.7	2.0	1.0	0.8	1.6	1.3	1.0	1.3	0.7	1.3	0.9
GRV+Sand	29.4	27.4	20.6	73.6	44.9	27.7	48.5	64.0	46.8	28.4	52.7	42.0
stdev	10.5	9.1	11.3	15.9	11.3	13.8	9.4	7.6	17.9	9.7	25.6	19.2
SE	2.9	2.6	3.2	3.3	2.9	4.2	2.6	2.3	3.0	1.9	3.6	6.8
CV	0.4	0.3	0.5	0.2	0.3	0.5	0.2	0.1	0.4	0.3	0.5	2.2
Rock	30.5	28.7	20.2	6.9	14.3	49.7	29.0	15.4	31.2	29.6	12.2	24.4
stdev	11.0	8.7	14.8	4.5	5.3	11.0	8.2	8.4	16.6	9.8	9.8	13.2
SE	3.0	2.5	4.3	0.9	1.4	3.3	2.3	2.5	2.8	2.0	1.4	4.7
CV	0.4	0.3	0.7	0.7	0.4	0.2	0.3	0.5	0.5	0.3	0.8	1.8
Dead Coral	8.8	6.1	24.2	3.7	5.9	6.3	4.4	4.2	4.9	7.5	9.1	7.9
stdev	6.4	3.4	11.6	3.6	4.9	5.1	2.8	3.6	3.9	5.3	10.7	6.7
SE	1.8	1.0	3.3	0.7	1.3	1.5	0.8	1.1	0.7	1.1	1.5	2.4
CV	0.7	0.6	0.5	1.0	0.8	0.8	0.6	0.8	0.8	0.7	1.2	1.2
Norm. cover	34.9	40.5	43.7	41.1	53.4	22.5	35.0	45.0	34.2	37.6	45.3	39.5
stdev	7.4	5.6	11.4	15.0	10.2	4.2	8.5	13.0	12.8	7.1	13.8	9.1
SE	2.1	1.6	3.3	3.1	2.6	1.3	2.3	3.9	2.2	1.4	1.9	3.2
CV	0.2	0.1	0.3	0.4	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.2	0.3	4.4
Density	32.7	39.4	29.5	9.1	31.0	28.5	27.2	22.0	26.0	35.9	20.3	27.4
stdev	6.7	9.9	8.1	3.5	7.1	5.7	4.6	7.4	6.4	8.9	12.2	8.9
SE	1.9	2.9	2.3	0.7	1.8	1.7	1.3	2.2	1.1	1.8	1.7	3.2
CV	0.2	0.3	0.3	0.4	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.2	0.6	3.1
Norm. Density	47.5	54.6	37.8	44.1	57.1	40.1	53.7	61.0	51.7	50.9	46.4	49.5
Stdev	8.9	11.0	11.2	13.2	8.1	6.8	8.3	15.4	13.4	10.4	13.4	8.4
SE	2.5	3.2	3.2	2.7	2.1	2.1	2.3	4.6	2.3	2.1	1.9	3.0
CV	0.2	0.2	0.3	0.3	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	5.9

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 בחתך של 10 מטרים, "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 in a 10m transect, "Normalized" is for hard substrate.

מושבות אלמוגים תחת סרט המדידה משויכות לאחת מקבוצות הגודל קטן >5"מ; בינוני >15"מ; גדול >30"מ; ענק >30"מ על פי הערכת הסוקר. בחלוקה זו לקבוצות גודל ישנם טווחי גודל שונים כאשר הקבוצה "ענק" מכילה כל מושבה גדולה מ-30"מ. לכאורה, על מנת להציג התפלגות גדלי מושבות אלמוגים, צריך לפרק קבוצה זו לתת-קבוצות רבות אשר יגלמו טווחי גודל של 5-10"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.

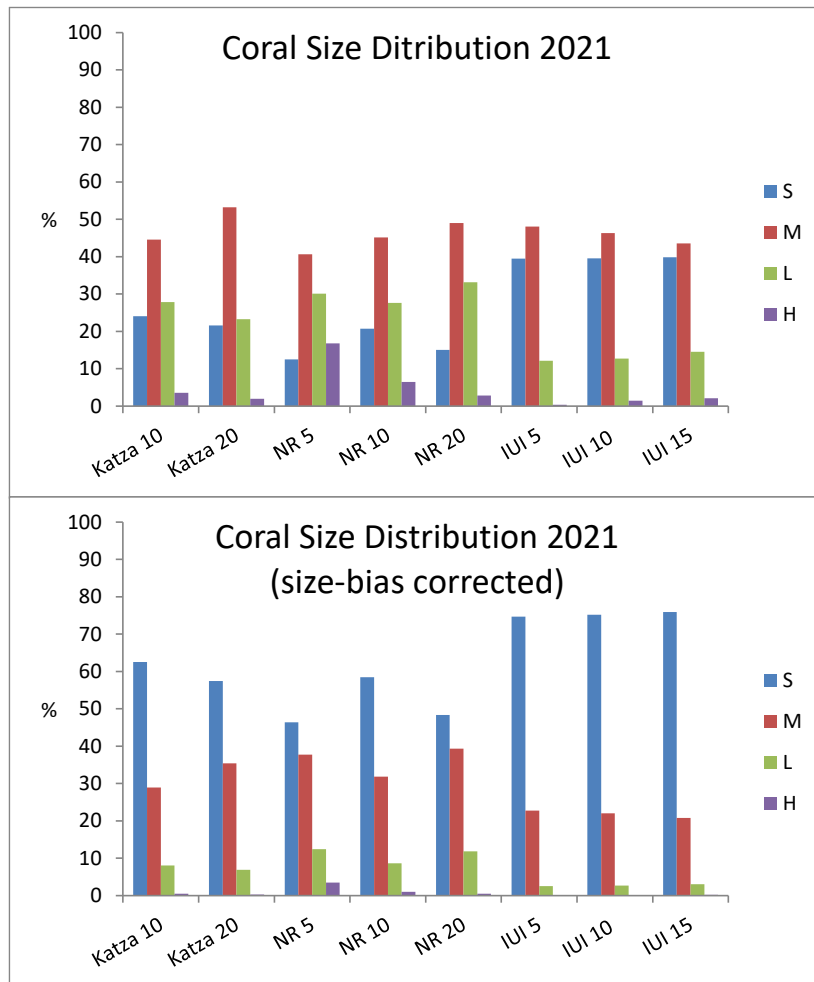
השימוש בשיטת חתכי קו ליצירת התפלגות גודל מושבות סובלת מהטייה הנובעת מכך שלמושבות קטנות סיכוי קטן יותר להיכלל בסקר (Zvuloni et al. 2008). במילים אחרות: חלקן היחסי של מושבות קטנות הנספרות בפועל בסקר זה הוא קטן מחלקן היחסי באוכלוסיה. לפיכך, איור ב10 מציג את התפלגות גדלי האלמוגים באתרים המנוטרים כפשוטה (למעלה) ואת ההתפלגות המתקנת להטייה (למטה). בהתחשב בתיקון ההטייה נראה שחלקן היחסי של מושבות האלמוגים הקטנות ברוב האתרים לפחות כפול מחלקן בספירות עצמן.

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

חלקן של מושבות האלמוגים הקטנות באתרי IUI גדול יותר מחלקן באתרי הניטור האחרים. באתרי השמורה 5-NR ו- NR-20 חלקן של המושבות הקטנות הוא הקטן ביותר (46% ו-48%, בהתאמה, לאחר התיקון להטיית המדידה) ובשניהם חלקן של המושבות הקטנות עלה בהשוואה לשנה הקודמת.

באתרי IUI הרדודים חלקן של המושבות הקטנות גדול מ-75%.

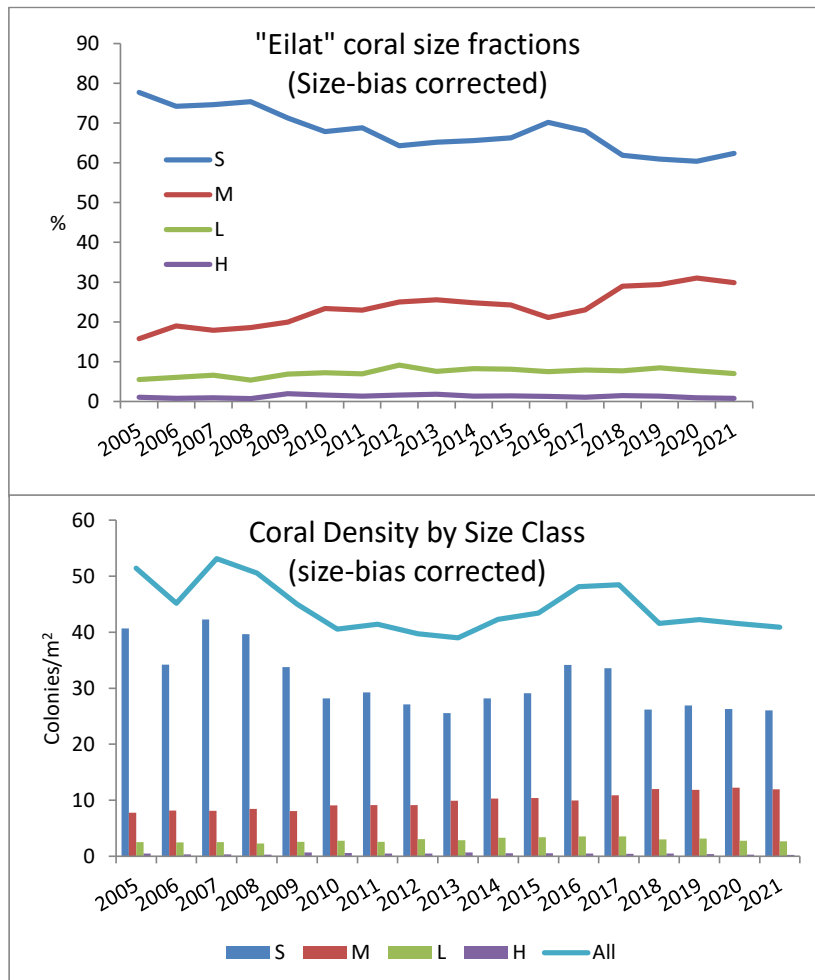
חלקן של המושבות הענקיות גדול ביותר באתר הרדוד, 5-NR. באתר השמורה הרדוד, 5-NR, חלקן של המושבות "הענקיות" היה השנה כ-3.5% מכלל המושבות (לאחר התיקון להטיית הספירה), בדומה לשנה הקודמת. עם זאת, באתר זה מושבות אלמוגים "ענקיות" תופסות שטח גדול במיוחד וכך אתר זה חריג ביחס בין צפיפות המושבות וכיסוי האלמוגים בו.



איור 10: 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. הערכים הם אחוזים מסך המושבות מאותה קבוצה באתר. למעלה – התפלגות גדלי המושבות הנספרות; למטה – התפלגות הגדלים 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. Values are percent of the total colonies of each coral type at each site. Top – size frequency distribution of counted coral colonies; bottom – the coral size frequency distribution after correction of 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 מעט התמתנה והשנה אף נמצאה עליה קלה אולם חלקן של המושבות הקטנות עדיין קטן, כ- 62% (איור ב11, למעלה). במקביל, עלה חלקן של המושבות בגודל הבינוני ועומד השנה על ערך של 30%. מבחינה מספרית, נמצאה ירידה בצפיפות מושבות האלמוגים (מספר מושבות למטר רבוע מחושב על פי נתוני הספירה) בין השנים 2007 ו-2013, וירידה זו נבעה בעיקר מהתמעטות במספר המושבות הקטנות בעוד שצפיפות המושבות הבינוניות עלתה אך מעט (איור ב12, למטה). נראה שבשנים אלו נפגעה אוכלוסית האלמוגים הקטנים וגיוס אלמוגים חדשים לשוניות אילת לא פיצה על האבדן. מאז שנת 2018 צפיפות המושבות הממוצעת באילת, לאחר תיקון של הטיית המדידה, יציב ועומד על 41-42 מושבות למ"ר.



איור ב11: למעלה: שינויים בחלקן היחסי של קבוצות גודל אלמוגים הממוצע בכל האתרים בתקופת הניטור (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; Medium > 5 ס"מ; < 15 ס"מ; Large > 15 ס"מ; Huge > 30 ס"מ.

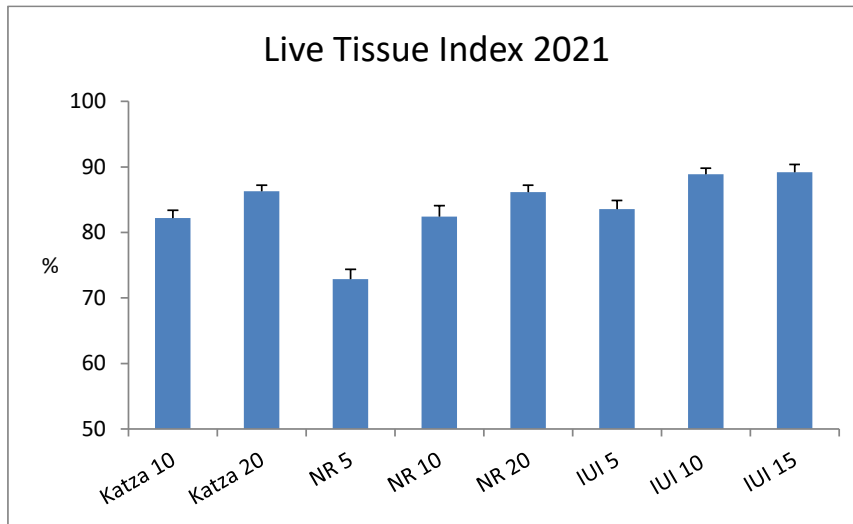
Figure B11: Top: Changes in average relative size fraction of Eilat coral colonies (corrected for transect based count bias) during the monitored period. Bottom: Average coral density (per square meter) by size class in Eilat, calculated from transect count data and corrected for size bias. Size groups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

בריאות אלמוגים

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

למרות שאומדן אחוז הרקמה החי במושבה הוא איכותי, כמות המושבות המשתתפות בסקר (אלפים), העובדה ששגיאת ההערכה עשויה להיות לשני הכיוונים, והמשמעות הקטנה של שגיאת הערכה בסדר של 10% או פחות עבור מושבה בודדת לגבי ממוצע כל המושבות, מבטיחה מדד אמין. על מנת לוודא כי האומדן הוויזואלי אכן מדויק בטווח של 10%, וכי אין הטיה מגמתית בהערכה, ערכנו בשנת 2008 ניסוי מבוקר להערכת דיוק השיטה. תוצאות הניסוי מצביעות על דיוק גדול בהרבה מהצפוי (התוכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת, דו"ח מדעי 2008, נספח ז3). צוות הניטור אשר השתתף בניסוי הוא גם הצוות הקבוע העורך את הסקרים מדי שנה ועובדה זו מוסיפה ביטחון בממצאי המדד.

גם השנה, כמו בכל השנים הקודמות, האתר בו מדד הרקמה החיה לבריאות אלמוגים נמוך ביותר הוא אתר השמורה הרדוד, 5-NR (73%). 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 השנה באתר 15-IUI, 89% (איור ב12).



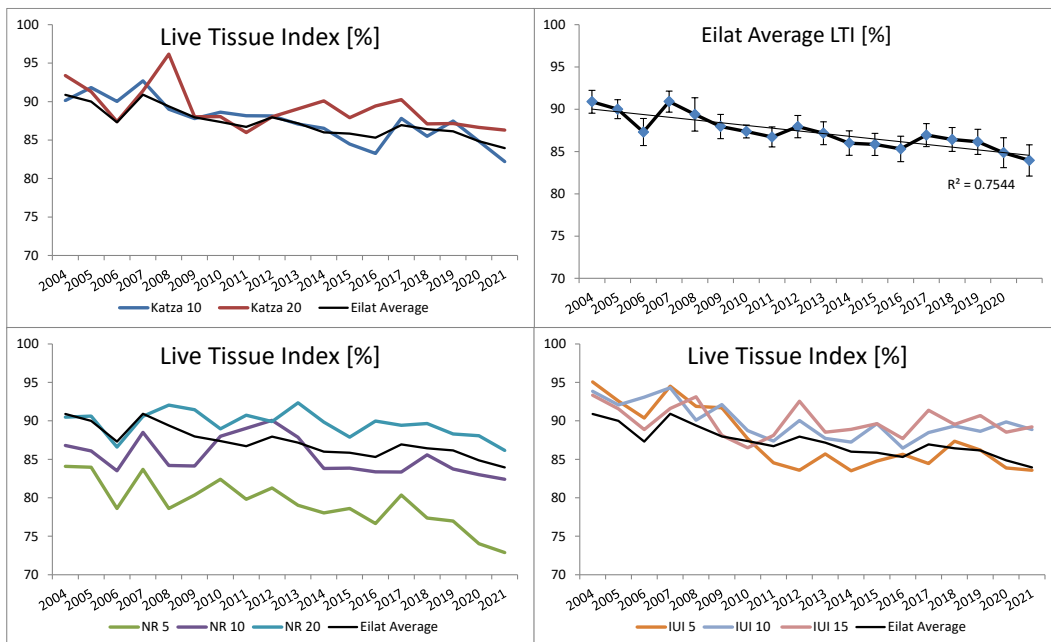
איור ב12: מדד אחוז הרקמה החיה של אלמוגים באתרים הנסקרים. המדד מוגדר כממוצע באתר של אחוז השטח החי/בריא מסך השטח של כל מושבת אלמוגים חיה.

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.

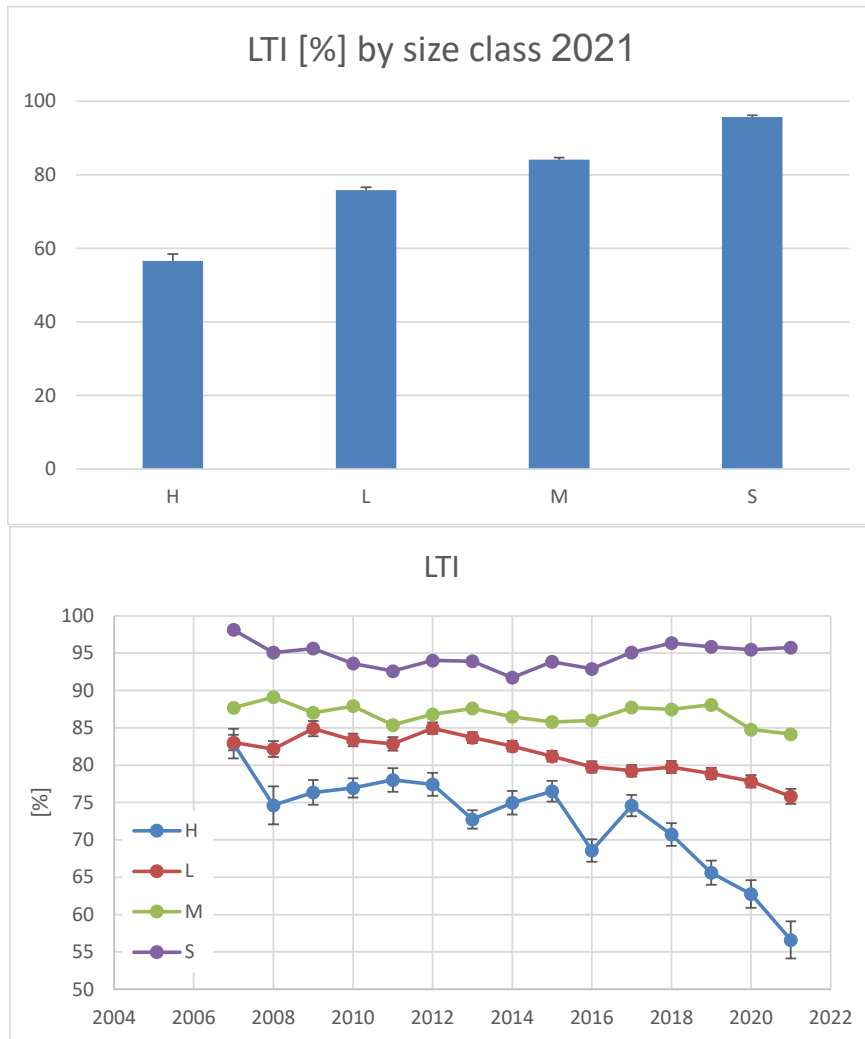
מעקב אחר אחוז הרקמה החיה באלמוגים יעיל יותר לזיהוי שינויים בזמן, ופחות להשוואה בין אתרים בה קשה לייחס משמעות להבדלים במדד עקב אופיים השונה של האתרים. מגמת הירידה בערך המדד נמשכת והשנה נמדד מדד רקמה חיה מעט נמוך בהשוואה לשנה הקודמת בכל האתרים הנסקרים מלבד באתרים 5-IUI ו-15-IUI. ערך המדד הממוצע לשוניות אילת היה השנה 84%,

במבט על סך האלמוגים בשוניות אילת לאורך תקופת הניטור נצפית ירידה בערך מדד הרקמה החיה הממוצע בכל האתרים (איור ב13). ירידה זו 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 2021 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 2021, grouped by colony size class. Bottom, change to the LTI since 2007 in the various coral size classes.

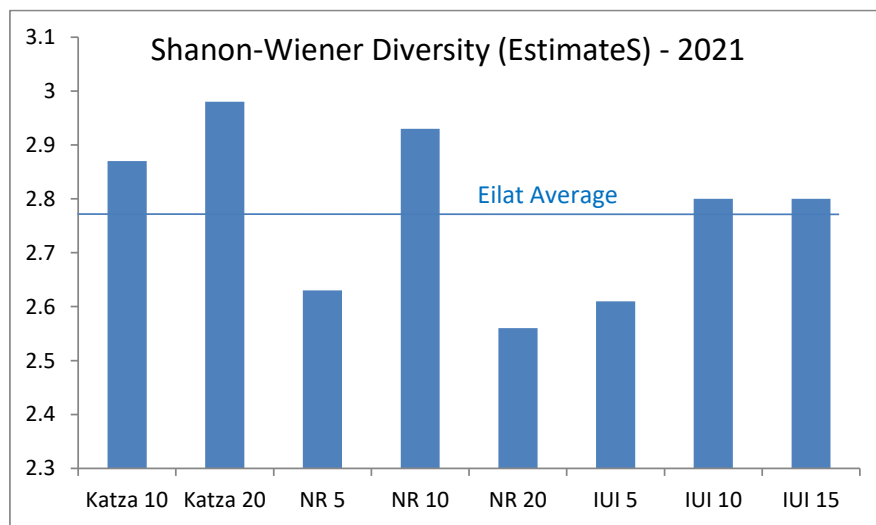
מגוון מינים

מגוון המינים מוערך לפי מדד Shannon-Wiener (H') על ידי תכנת EstimateS (Colwell, 2005). בתכנה זו מחושב מגוון המינים לאתר על ידי צבירת נתוני כל חתך עד לקבלת הערכה הנסמכת על מספר החתכים המקסימלי שנעשה, 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 והישובי EstimateS.

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 ממצאיאותם או העדרם של מינים נדירים, נמצא מגוון גבוה באתרים בהם הכתמיות גדולה. המגוון הנמוך ביותר נמצא השנה באתר NR-20, $H'=2.56$. המגוון הגבוה ביותר חושב השנה עבור אתר Katza-20, $H'=2.98$, גבוה מהערך המרבי בשנה הקודמת (2.93, באתר NR-10).

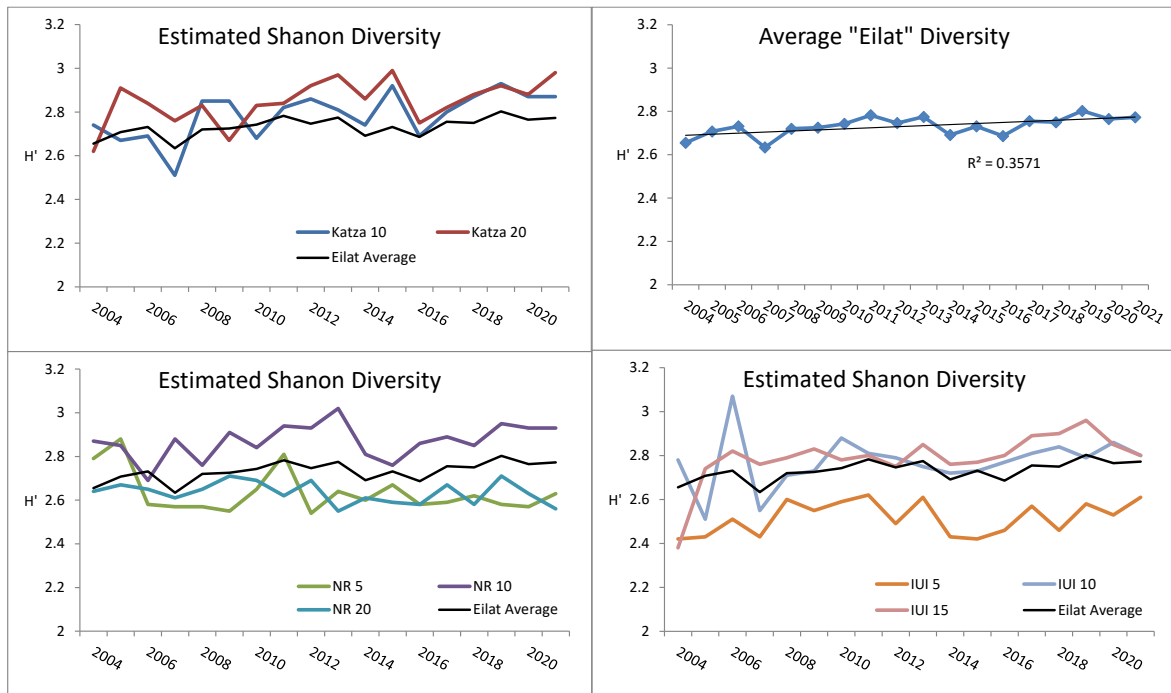
כמו בשנה הקודמת, באתרי קצא"א, המעבדה 10 ו-15, והשמורה 10 נמצא מגוון גבוה מ"ממוצע שוניות אילת" המחושב כערך הממוצע לכל האתרים ובאתרים השמורה 5 ו-20, והמעבדה 5 היה המגוון נמוך מן הערך הממוצע עבור כל שמונה האתרים. תבנית זו ללא שינוי בשנים האחרונות.



איור ב15: מגוון הסוגים של אלמוגים לפי מדד Shannon-Wiener כפי שהוערך השנה עבור כל אתר על ידי תכנת EstimateS (Colwell, 2005 ; <http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS>). בקו מסומן הערך הממוצע לכל האתרים.

Figure B15: The Shanon-Wiener diversity index of coral taxa estimated this year for each site by the EstimateS software (Colwell, 2005 ; <http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS>). The thin line marks the average of all monitored sites.

במשך שנות הניטור מדד מגוון המינים באתרים השונים עלה וירד, אך נמצא תמיד בטווח ערכים מצומצם אפייני. כך נמצא שבדרך כלל עבור כל מיקום גיאוגרפי, מדד המגוון באתר בעומק הרדוד נמוך מאשר באתרים העמוקים יותר (איור ב16). באתרים Katza-20, NR-10 ו-IUI-15 היה מדד Shannon-Wiener למגוון האלמוגים גבוה מן הממוצע כמעט בכל שנות הניטור, ובאתרים IUI-5 ו-NR-20 תמיד היה נמוך מן הממוצע. גם באתר NR-5 מגוון 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. ערך המדד הממוצע השנה (2.77).

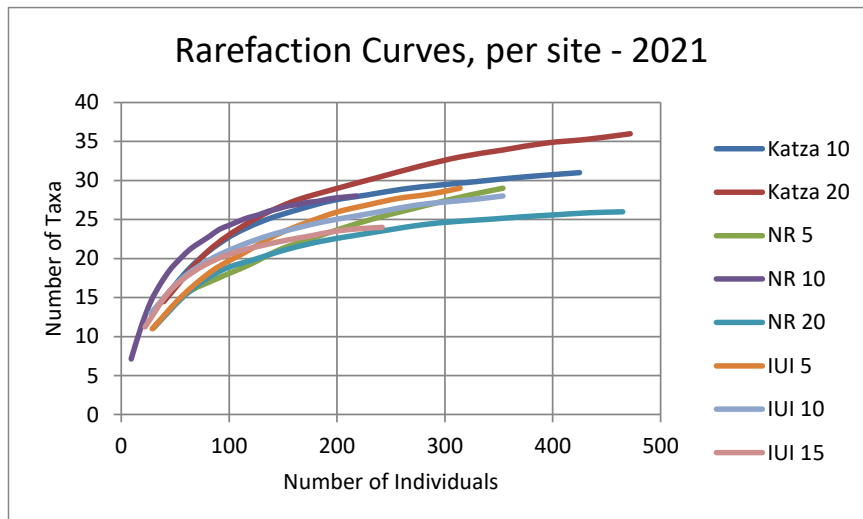


איור ב16: מגוון הסוגים של אלמוגים לפי מדד Shannon-Wiener כפי שהוערך עבור כל אתר בכל שנות הניטור על ידי תכנת EstimateS (Colwell, 2005; <http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS>). הערך הממוצע לכל האתרים ניתן בקו שחור דק, ובדיאגרמה מימין.

Figure B16: The Shannon-Wiener diversity index of coral taxa estimated for each site over time by the EstimateS software (Colwell, 2005; <http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS>). The thin black line marks the average of all monitored sites and is also given in the right-hand diagram.

מדד המגוון על פי Shannon-Wiener מתחשב הן בעושר המינים (richness) והן במידת האחידות (evenness) במפוזר, 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).

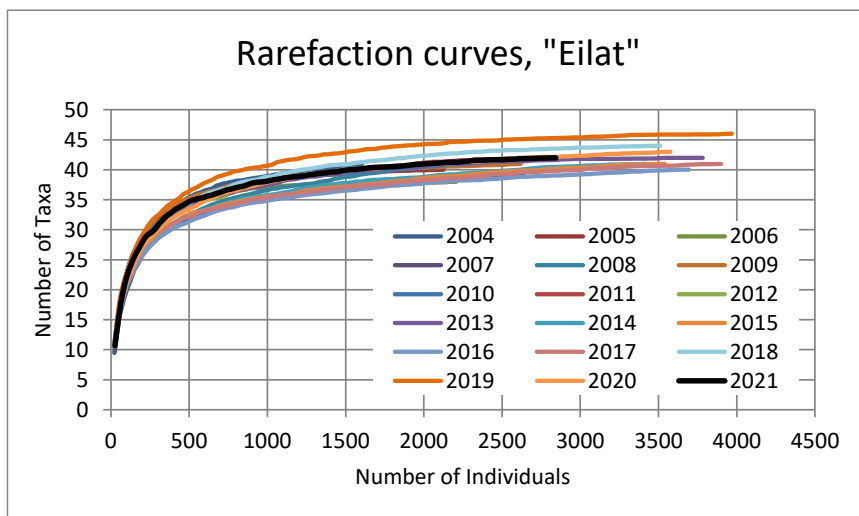
בהשוואה בין עקומות הצבירה מן האתרים השונים (איור ב17) ניתן לראות כי האתר 20-NR גם בעל התוחלת הנמוכה ביותר של סוגי אלמוגים, ואילו אתר 20-Katza בעל התוחלת הגבוהה ביותר. עקומת הצבירה התלולה ביותר נמצאה באתר NR-10. ממצאים אלה תואמים את התמונה המתקבלת ממדד המגוון של Shannon-Wiener. עושר האלמוגים הגדול ביותר, 36 סוגי אלמוגים, נמצא גם השנה באתר 20-Katza, ואילו באתר 10-NR נמצאו השנה בסך הכל 26 סוגי אלמוגים. בכל האתרים יחדיו נמצאו השנה 42 סוגים של אלמוגי אבן.



איור ב17: עקומות צבירה של מספר סוגי האלמוגים מול מספר המושבות כפי שחושבו על ידי תכנת EstimateS (Colwell, 2005);
 בכל אתר. (<http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS>)

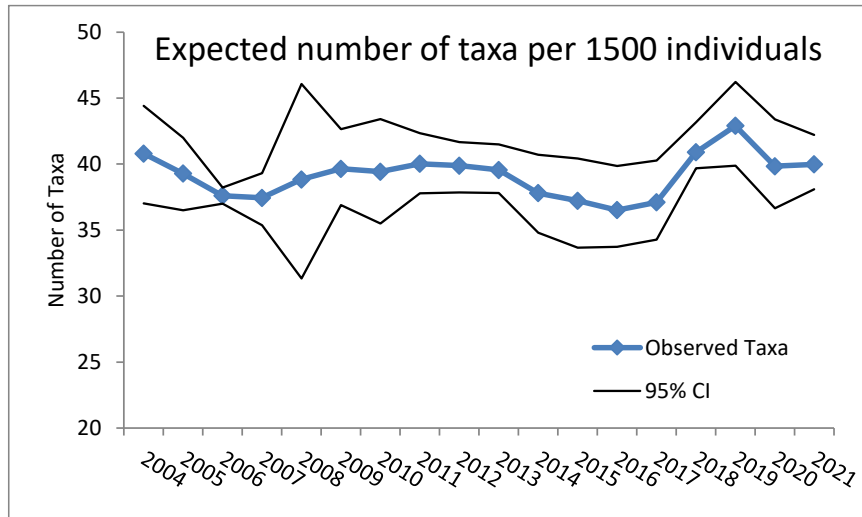
Figure B17: Rarefaction curves of taxa richness based on colony counts, calculated with the EstimateS software (Colwell, 2005 ; <http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS>) for each site.

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 42 (לעומת 43 בשנה הקודמת ו-46 בשנת 2019, איור ב18). מספר סוגי האלמוגים הצפוי להתקבל בספירה אקראית של 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. בשנת 2019 נמדד הערך הגבוה ביותר שנמדד עד כה במסגרת הניטור, 42.9 (איור ב19).



איור ב18: עקומות צבירה של מספר סוגי האלמוגים מול מספר המושבות כפי שחושבו על ידי תכנת EstimateS (Colwell, 2005);
 עבור "שוניות אילת" בכל שנה מאז 2004. (<http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS>)

Figure B18: Rarefaction curves of taxa richness based on colony counts, calculated with the EstimateS software (Colwell, 2005 ; <http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS>) for the "Eilat Reefs" since 2004.

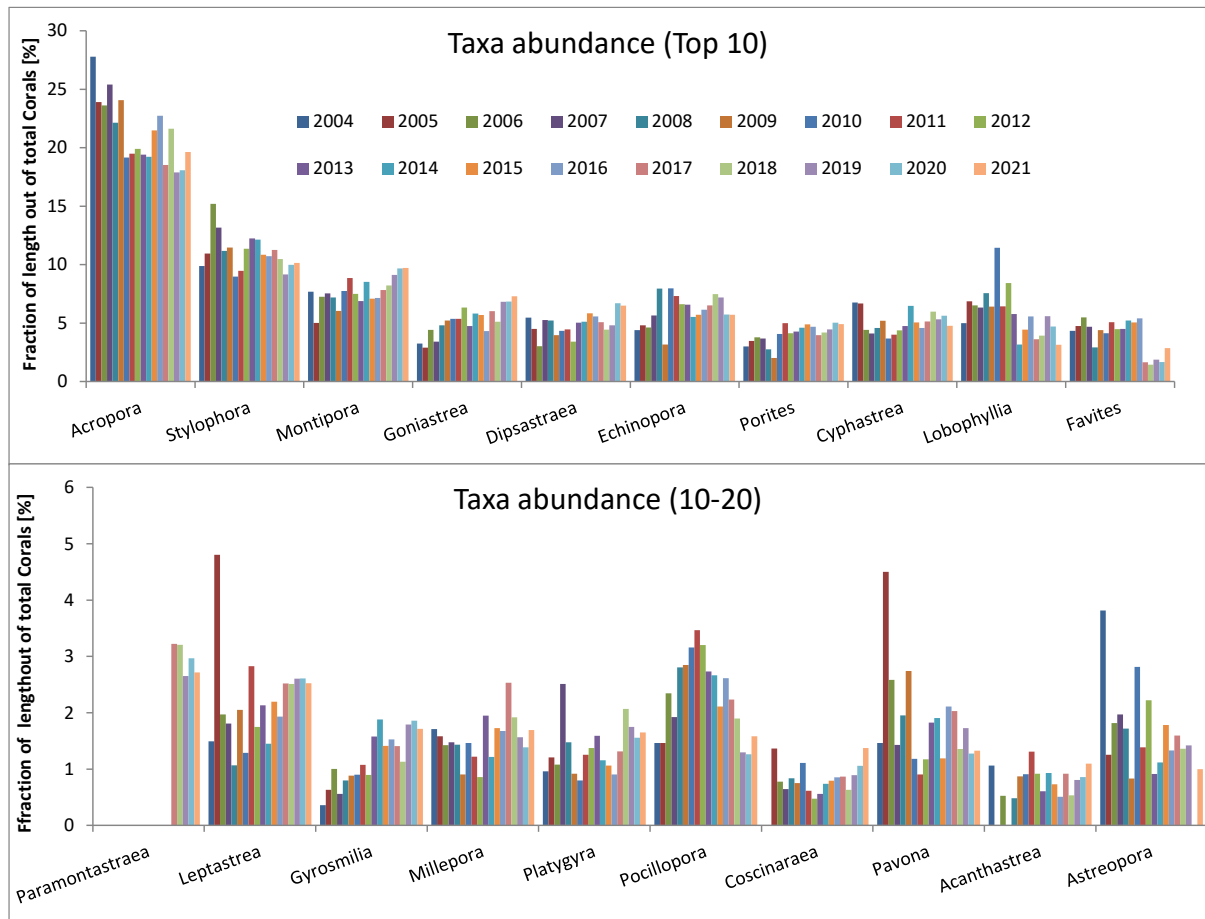


איור ב19: מספר סוגי האלמוגים הצפוי להתקבל בספירת 1500 מושבות ב"שוניות אילת" מאז שנת 2004, מבוסס על עקומות הצבירה.

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

עשרים סוגי האלמוגים הנפוצים ביותר ב"שוניות אילת" ניתנים באיור ב20 לפי אחוז הכיסוי של סוגים אלה ביחס לכלל האלמוגים שנמצאו השנה (2021). אלמוגי *Acropora* הינם האלמוג הנפוץ ביותר בשוניות אילת, ותפסו גם השנה כ- 20% מכלל שטח האלמוגים. אלמוגים אלה היוו כרבע משטח האלמוגים בשנים הראשונות לניטור ועד לשנת 2009, והחל משנת 2010 ירד חלקם לחמישית. על אף שאלמוגי *Acropora* הינם הנפוצים ביותר, חברת האלמוגים באילת מגוונות ויציבה. השינויים בהרכב סוגי האלמוגים הנפוצים באילת לאורך שנות הניטור אינם גדולים ועשרים האלמוגים הנפוצים ביותר מהווים השנה כ- 91% (לפי אורך נמדד על סרט המדידה) מכלל האלמוגים באילת. נתונים אלה דומים 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 וכך סדר הופעת האלמוגים כאן שונה מאשר בגרף התפוצה של איור ב20.



איור ב20: עשרים האלמוגים הנפוצים ביותר בשוניות אילת בתקופת הניטור מסודרים לפי סדר התפוצה בשנת 2021. למעלה ניתנים עשרת האלמוגים הנפוצים ביותר ולמטה העשרה השניה. חלקם של האלמוגים מחושב כממוצע אורכם המצטבר מתוך סך אורך האלמוגים הנמדד בסקרי הקו בשוניות אילת.

Figure B20: The twenty most abundant coral taxa in the reefs of Eilat during the monitoring period, arranged according to their abundance in 2021. At the top are the ten most abundant corals and below are the next ten. 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.

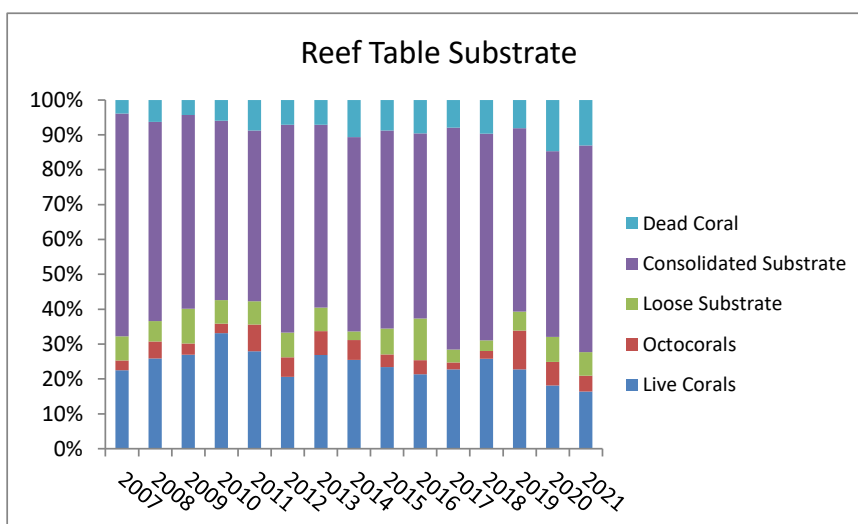
										Averages			Average
	Katza 10	Katza 20	NR 5	NR 10	NR 20	IUI 5	IUI 10	IUI 15	Katza	NR	IUI	Eilat	
<i>Acropora</i>	4.88	5.03	5.53	2.30	6.46	0.94	4.05	2.67	4.95	4.28	2.64	3.98	
<i>Montipora</i>	2.55	3.27	1.05	0.86	7.21	0.26	1.40	0.68	2.90	2.77	0.82	2.16	
<i>Stylophora</i>	1.83	2.53	2.79	1.07	0.77	2.38	2.05	1.76	2.16	1.38	2.06	1.90	
<i>Goniastrea</i>	2.96	0.58	4.92	0.65	0.57	2.38	0.29	0.07	1.82	1.64	0.88	1.56	
<i>Echinopora</i>	1.92	2.60	2.88	0.24	2.25	0.20	0.47	0.50	2.24	1.45	0.39	1.38	
<i>Dipsastraea</i>	0.99	0.79	0.97	0.69	0.66	2.87	1.45	0.58	0.90	0.75	1.63	1.13	
<i>Porites</i>	0.50	1.69	1.18	0.38	2.73	0.20	0.53	1.19	1.07	1.26	0.63	1.05	
<i>Cyphastrea</i>	1.62	1.73	0.50	0.16	0.42	1.41	1.33	0.39	1.67	0.32	1.06	0.95	
<i>Lobophyllia</i>	0.26	0.28	6.43	0.07	0.25	0.05	0	0	0.27	1.62	0.02	0.92	
<i>Favites</i>	0.40	0.97	0.42	0.25	0.97	0.93	0.20	0.37	0.67	0.50	0.48	0.56	
<i>Paramonastrea</i>	0.65	1.11	0	0.06	0.83	0.03	0.81	0.88	0.87	0.27	0.59	0.55	
<i>Leptastrea</i>	0.57	0.66	0.60	0.09	0.18	0.72	0.92	0.23	0.61	0.24	0.64	0.50	
<i>Pavona</i>	0.47	1.61	0.06	0.03	0.35	0.02	0.05	0.08	1.02	0.13	0.05	0.33	
<i>Millepora</i>	0.10	0.23	0.29	0.02	0	0.53	0.75	0.47	0.16	0.08	0.59	0.30	
<i>Platygyra</i>	0.14	0.23	0.24	0.33	0.30	0.30	0.36	0.28	0.18	0.30	0.32	0.27	
<i>Gyrosmlia</i>	0.02	0.03	0	0.10	0	0.11	0.08	1.62	0.02	0.05	0.57	0.24	
<i>Pocillopora</i>	0	0.33	0	0.35	0	0.11	0.35	0.65	0.16	0.16	0.37	0.23	
<i>Coscinaraea</i>	0.14	0.33	0	0.16	0	0.56	0.27	0.31	0.23	0.07	0.37	0.22	
<i>Plesiastrea</i>	0.17	0.72	0.18	0.06	0.12	0.14	0.22	0.10	0.43	0.11	0.16	0.21	
<i>Turbinaria</i>	0.25	0.02	0.75	0	0	0	0.18	0.47	0.14	0.18	0.22	0.21	

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.

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

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

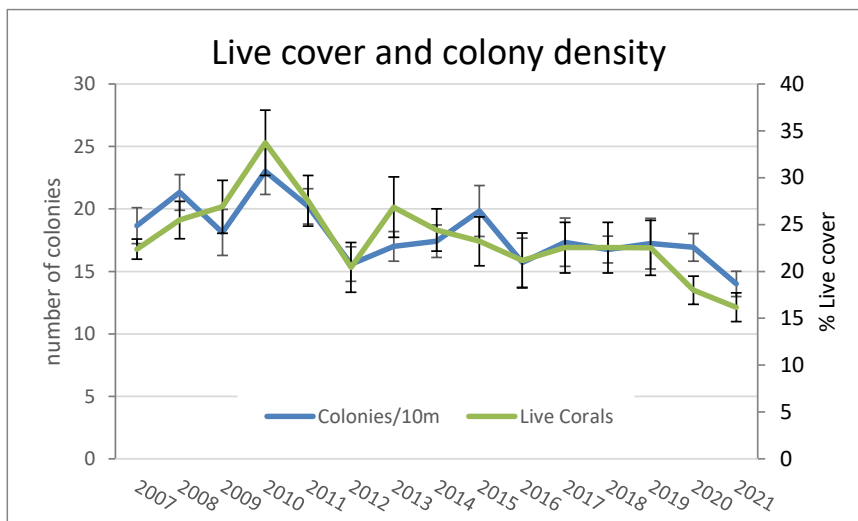
אופיו השונה של שולחן השונית ניכר, בין היתר, בהתפלגות סוגי התשתית שבו. סלע שונית מלוכד מהווה את רב שטח התשתית בשולחן השונית. בניגוד לאתרי קידמת השונית, שם האחוז הגבוה ביותר של סלע מלוכד חשוף שנמדד השנה הוא כ-50% (באתר 5-IUI), בשולחן השונית שטח הסלע המלוכד החשוף אשר נמדד השנה הוא כ-59%, ואילו אחוז הקרקע הלא מלוכדת כ-7% בלבד. 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 שוב ירד השנה, כ- $16.2 \pm 1.5\%$ לעומת $18.0 \pm 1.5\%$ בשנה הקודמת ו- $22.5 \pm 2.9\%$ בשנת 2019. הירידה בשנתיים האחרונות קשורה, אולי, לפגיעת הסערה הדרומית החזקה בחודש מרץ 2020. כיסוי האלמוגים החיים בשולחן השונית השנה נמוך משהיה במשך שנות הניטור הקודמות (איור ב22). הכיסוי הגבוה ביותר שנמדד במסגרת הניטור היה $33.7 \pm 3.5\%$ בשנת 2010). גם צפיפות מושבות האלמוגים השנה נמוכה בהשוואה לזו של השנה הקודמת (14 ו-17 מושבות לחתך ממוצע באורך 10 מטרים, בהתאמה).



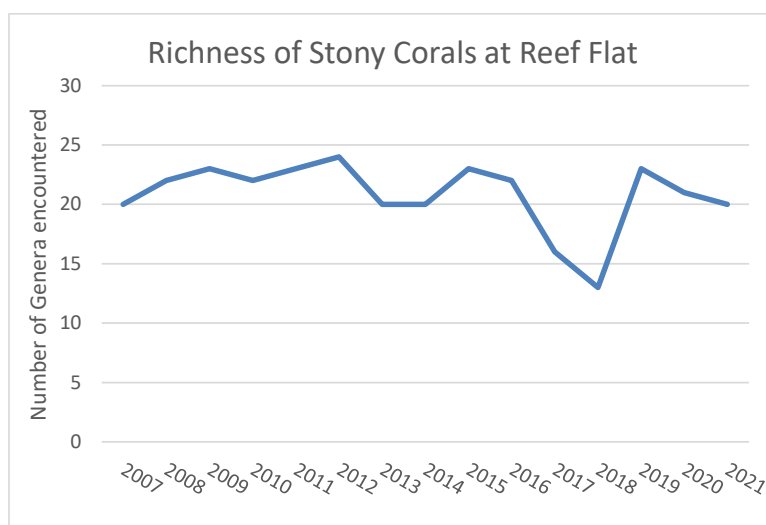
איור ב22: אחוז כיסוי האלמוגים וצפיפות מושבות בשולחן השונית מאז שנת 2007.

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

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

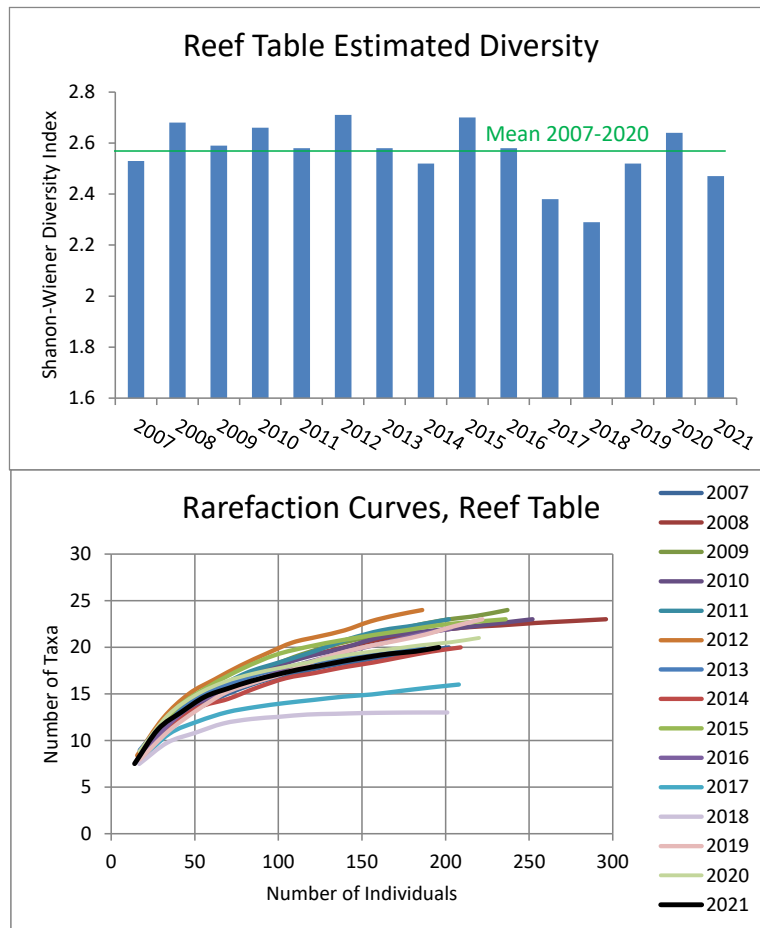
מגוון המינים לפי מדד Shanon-Wiener כפי שמוערך על ידי תכנת EstimateS (Colwell, 2005) היה השנה 2.47, נמוך בהשוואה למוצע הרב-שנתי אך גבוה מהערך הנמוך אשר נמדד בשנת 2018 (2.29, איור ב24). גם עקומת הצבירה של סוגי אלמוגים בשולחן השונית אשר חושבה מנתוני הסקר השנה דומה לעקומות המחושבות ברוב שנות הניטור מלבד השנתיים 2017-2018 בהן עקומות הצבירה בעלות שיפוע וערך סופי נמוכים במיוחד. 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, 15 סוגים של אלמוגי אבן אשר נמצאו בשולחן השונית 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 השוניית מאז שנת 2007. למטה – עקומות צבירה למספר סוגי האלמוגים בשולחן השוניית מאז 2007.

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

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

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

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

ניטור מצב השוניות באילת מבוצע באמצעות מספר סקרים אקולוגיים המותאמים לסביבות ומטרות שונות. חלק הארי של הסקר האקולוגי מבוצע באתרי קדמת השונית ושולחן השונית בשיטת חתכי הקו. אפיון סטטיסטי של אתרי השונית באמצעות סקרים בשיטת חתכי הקו מצביע על מצב השונית בכל אתר, ואינו מתייחס לגורלה של מושבת אלמוגים זו או אחרת. חזרה על הסקרים 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 מוצגת התפלגות גדלי המושבות גם 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 מדיניות, 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 אוקיוגרפיים הנובעים ממוקומם השונה של האתרים. להבדלים טבעיים אלה השפעה גדולה וראשונית על אופי השונית בכל אחד מהאתרים הנסקרים. הממוצע המורכב משמונה אתרי קדמת השונית הנסקרים, המכונה כאן "שוניות אילת", הוא ישות סטטיסטית לצורכי השוואה בין שנים ועם מקומות אחרים בעולם, אולם – כדרכם של ממוצעים – אינו מייצג אף אחד מהאתרים בנפרד. בחודש יולי 2017 נפתח לציבור קטע חוף שהיה לפניו מוגבל על ידי חברת קצא"א. השטח שנפתח לשימוש הציבור הוא החלק הצפוני של חוף קצא"א, אזור המוגבל לרחצה על ידי חבלי מצופים. אתרי השונית בהם מבצעת תכנית הניטור את סקריה מצויים מחוץ לאזורים המסומנים כפתוחים לרחצה, אולם ניתן לצפות כי כמות הצוללים העוברים בהם תגדל עקב פתיחת החוף. 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.

בחודש מרץ בשנה הקודמת (13 במרץ 2020) הכתה בחופי אילת סערה דרומית חזקה במיוחד. 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 האחרונות מדדה התכנית בעיקר שיפור איטי ומתמשך לאורך התקופה. לפיכך, פגיעה גדולה באופן חריג המתגלה לאחר סקר קיץ 2019 עשויה להצביע על השפעת הסערה. עם זאת, חשוב להזכיר שהסקרים השנתיים נערכים ברובם – מלבד באתר שולחן השונית – בקדמת השונית מעומק של חמישה מטרים ואינם כוללים אזורים רדודים בהם צפויה פגיעה מירבית של סערה.

השנה נמדדה ירידה נוספת באחוז הכיסוי הממוצע של אלמוגי אבן חיים באתרי קדמת השונית מערך של $23.4 \pm 3.6\%$ בשנה הקודמת לערך של $21.9 \pm 3.0\%$ השנה. באתר שולחן השונית ירד כיסוי אלמוגי האבן מערך של $18.0 \pm 1.5\%$ בשנה הקודמת ל- $16.2 \pm 1.5\%$ השנה. לאחר מספר שנים של יציבות בשיעור כיסוי האלמוגים החיים נמדדה בשנתיים האחרונות (2020 ו-2021) ירידה דרמטית ומתמשכת בהשוואה לערכי השנים 2017-2019. בכיסוי הממוצע של כלל אתרי קדמת השונית נמצאה ירידה של כאחוז וחצי מסך כיסוי האלמוגים בכל אחת מהשנתיים האחרונות ואילו באתר שולחן השונית הירידה גדולה יותר: ירידה של כשני אחוזים השנה וירידה של יותר מארבעה אחוזים בשנה הקודמת.

הבדלים אלה משקפים ירידה של 10-20% בכיסוי אלמוגי האבן באתר שולחן השונית וכ- 6% בממוצע באתרי קידמת השונית בכל אחת מהשנים.

בין אתרי קידמת השונית נמצאו הבדלים גדולים כאשר אתרי השמורה 20-NR ו-5-NR נפגעו יותר מאתרים אחרים. בפרט נפגע אתר השמורה הרדוד 5-NR שם נמדד בשנת 2019 כיסוי אלמוגים של $45.9 \pm 2.8\%$ ואילו השנה ירד כיסוי האלמוגים שם ל- $34.5 \pm 3.1\%$ בלבד. זהו הערך הנמוך ביותר אשר נמדד באתר השמורה הרדוד מאז תחילת הניטור, ומייצג ירידה של יותר מחמישית מסך הכיסוי החי באתר בהשוואה לשנה הקודמת. באתר השמורה העמוק, 20-NR נמדדה השנה ירידה גדולה באחוז הכיסוי מערך של $38.3 \pm 2.6\%$ בשנת 2019 ל- $29.1 \pm 2.0\%$ השנה. לעומת זאת, באתר השמורה בעומק הביניים, 10-NR, המצוי בין האתר הרדוד והעמוק לא ניכרה בשנתיים האחרונות ירידה משמעותית באחוז הכיסוי.

השינויים בצפיפות מושבות האלמוגים פחות דרמטיים מהשינויים אשר נמדדו בכיסוי האלמוגים, והשנה נמצאה ירידה קלה בלבד בצפיפות המושבות הממוצעת. צפיפות המושבות הממוצעת בכל קטגוריות הגודל יציבה למדי בארבע השנים האחרונות. מדד הרקמה החיה לבריאות אלמוגים, לעומת זאת, המשיך לרדת השנה וירידה גדולה במיוחד נמדדה באתרי השמורה ובאתר קצא"א הרדוד.

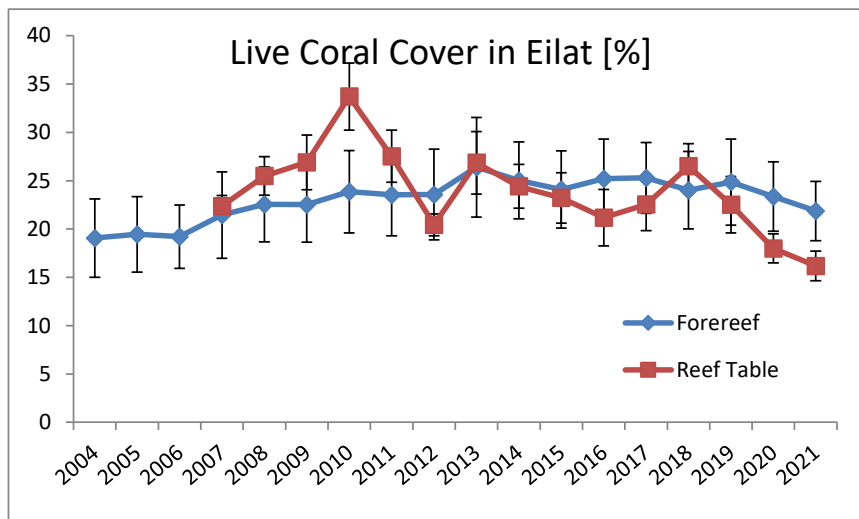
יתכן שהפגיעה הנמדדת גם השנה באתרי השונית עדיין תוצאה של פגיעת הסערה החזקה בחופי אילת בחודש מרץ 2020, על אף שנראה כי פגיעה זו היתה ישירה ומרוכזת בעיקר באתרים רדודים הקרובים לחוף. אפשר כי הירידה השנה היא פועל יוצא של החלשות השונית והפגיעה באלמוגים אשר תועדה בעקבות הסערה. אפשרות שניה היא, שקיים או קיימים גורמי עקה נוספים שאינם גלויים לעינינו.

כיסוי האלמוגים החיים בשוניות אילת עדיין גבוה משהיה בשנות הניטור הראשונות אולם הירידה בשנתיים האחרונות בהחלט מעוררת דאגה.

מושבות אלמוגים קטנות מרכיבות חלק גדול ביותר (מעל 75%) של אוכלוסיית האלמוגים באתרי IUI. באתרים האחרים חלקן מעט נמוך יותר וחלקן של מושבות בגודל בינוני עולה. בממוצע אתרי קדמת השונית ירד חלקן של המושבות הקטנות מאז תחילת הניטור והוא עמד השנה על כ- 62%. אתר השמורה הרדוד (5-NR) יוצא מן הכלל בין אתרי קדמת השונית מכיוון שמושבות אלמוגים גדולות ("גדולות" ו-"ענקיות" על פי הגדרת הניטור) מהוות בו חלק גדול יותר מאשר באתרים האחרים וחלקן של המושבות הבינוניות דומה לחלקן של המושבות הקטנות. כך יוצא שצפיפות המושבות באתר זה קטנה ביחס לכיסוי החי. זהו אתר שונית מסיבית בו רוב התשתית היא סלע שונית, המושבות גדולות במיוחד, וכיסוי האלמוגים החיים גדול בהרבה מאשר באתרים אחרים. עם זאת, כפי שצויין למעלה, אתר זה נפגע קשה ביותר בשנתיים האחרונות, אולי כתוצאה מפגיעת הסערה החזקה בחודש מרץ 2020. באתר זה גם נמצא מדד הרקמה החיה הנמוך ביותר ומגוון סוגי אלמוגים נמוך.

במבט לאורך שנות הניטור נמצאה עליה מתונה מתמשכת באחוז כיסוי האלמוגים החיים באתרי קדמת השונית באילת ("שוניות אילת") כאשר בשנות הניטור הראשונות היה ממוצע זה קרוב ל- 19%, ועד לשנים האחרונות נע הכיסוי הממוצע סביב 25%. בשנתיים האחרונות, אולי כתוצאה מפגיעת הסערה הדרומית החזקה בחודש מרץ 2020, נמצאה ירידה בכיסוי החי באתרי הקדמת השונית המנוטרים לערך ממוצע של כ- 22%, נמוך בהשוואה לשנים האחרונות אך עדיין גבוה מהכיסוי שנמדד בשנות הניטור הראשונות.

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 (איור ב25).



איור ב25: אחוז השטח המכוסה אלמוגי אבן חיים ב"שוניות אילת" (ממוצע שמונה אתרי קדמת השונית), בכחול, ובאתר שולחן השונית, באדום. 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 blue, and the reef-table site, in red. The reef-table monitoring site displays large fluctuations, reflecting the high sensitivity of this habitat.

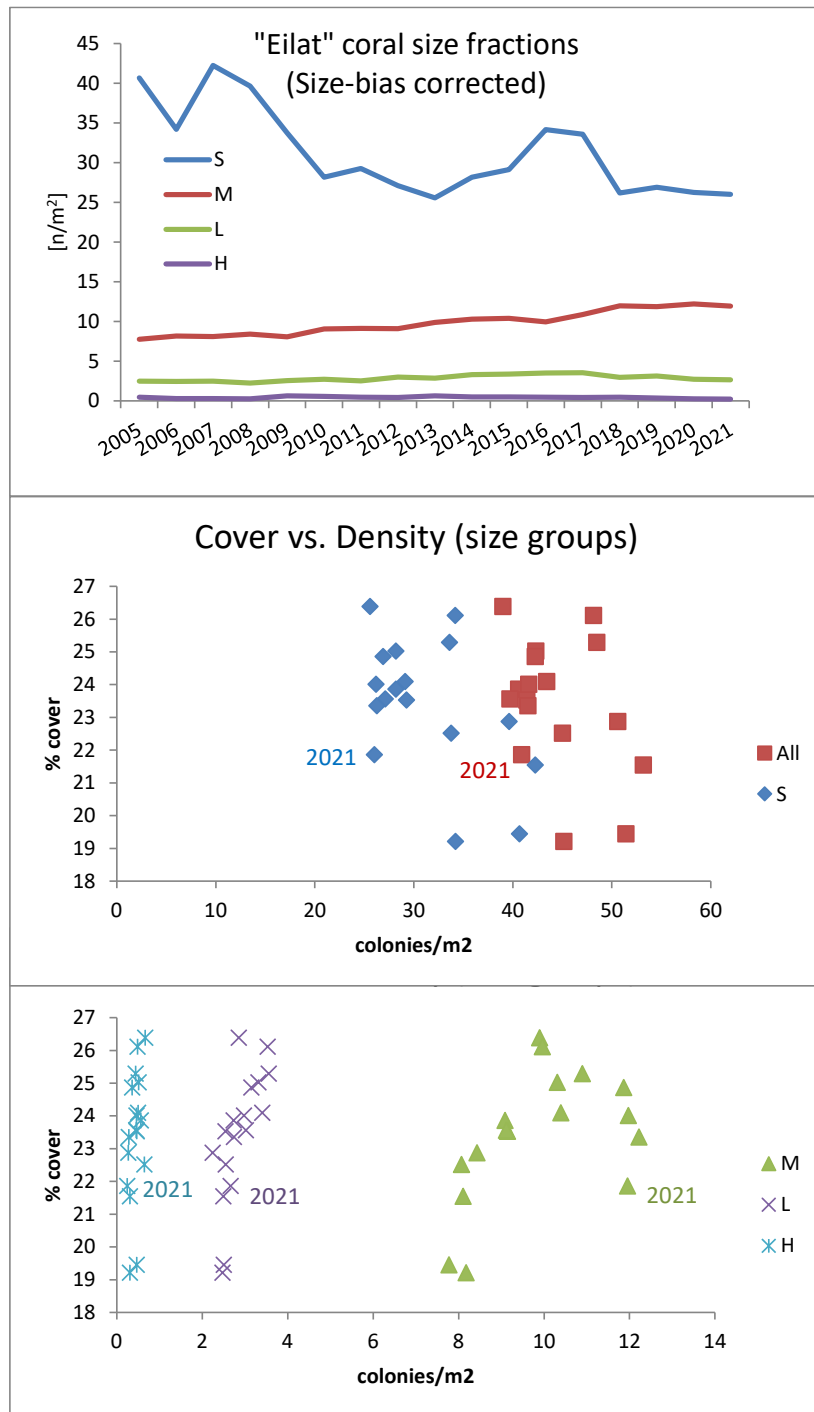
בשנים 2008-2013 נמצאה ירידה מתמשכת במספר המושבות הקטנות בשוניות אילת ועלה חשש ממחסור עתידי באספקת מגויסים לשונית. בשנים 2013-2017 שוב עלה מספר המושבות הקטנות ועמו צפיפות המושבות בכלל, אולם מאז נמדדת ירידה בצפיפות המושבות הקטנות באתרי קדמת השונית באילת. השנה, צפיפות מושבות האלמוגים הקטנות דומה לזו של שנת 2018

ובארבע השנים האחרונות צפיפות זו יציבה (איור ב26).

צפיפות המושבות "הבינוניות" עולה באופן מתון ומתמשך מאז תחילת הניטור ומצביעה על שיפור בשרידות האלמוגים לאורך תקופה זו. גם צפיפות המושבות "הגדולות" עלתה, אם כי במידה מתונה יותר, במשך תקופת הניטור, עד לשנתיים האחרונות והשנה חזרה לערכים של תחילת תקופת הניטור. נראה כי מושבות אלה, יחד עם המושבות הענקיות הן הנפגעות העיקריות בעקבות הסערה של חודש מרץ 2020.

התאמה בין צפיפות המושבות הבינוניות והגדולות ואחוז הכיסוי החי בשוניות אילת נמצאה במשך רוב תקופת הניטור ומצביעה על כך שלקבוצות גודל אלה תרומה גדולה לכיסוי האלמוגים. בשנתיים האחרונות ירד כיסוי האלמוגים ללא ירידה משמעותית בצפיפות המושבות הבינוניות, ככל הנראה כתוצאה מפגיעת הסערה במושבות הגדולות והענקיות. בין צפיפות המושבות הקטנות ואחוז הכיסוי בשוניות אילת נמצאה בדרך כלל התאמה הפוכה המצביעה, אולי, על כך שגיוס אלמוגים מוצלח יותר כאשר הכיסוי החי נמוך יותר.

מדד הרקמה החיה לבריאות אלמוגים נמצא בירידה מתמשכת בשנים האחרונות. הירידה בערך המדד קטנה וכך גם השפעתה על אחוז הכיסוי החי הנמדד. הירידה באחוז כיסוי האלמוגים מיוחסת ברובה לתמותת מושבות ולא לתמותה חלקית. יתכן שהירידה במדד הרקמה החיה נובעת באופן טבעי מ"התבגרות" מושבות אלמוגים הבאה לידי ביטוי בגידול מספר המושבות מקבוצות גודל שונה מ"קטן", או אולי מדובר בפגיעה על ידי מחלות או הלבנה. בשלב זה אין בידי הניטור תשובה וזו שאלה שיש לתת עליה את הדעת בשנים הבאות.



איור ב26: למעלה, צפיפות מושבות אלמוגים על פי קבוצות גודל (לאחר תיקון הטיית הספירה) בתקופת הניטור. באמצע, מושבות אלמוגים קטנות (S) וסך צפיפות המושבות (All) כנגד אחוז כיסוי. למטה, מושבות האלמוגים הגדולות יותר (קבוצות הבינוניים (M), הגדולים (L), והענקיים (H) כנגד אחוז כיסוי האלמוגים.

Figure B26: Top – Coral colony density by size groups (after correcting for sampling bias) during the monitoring period, top. Middle – density of all coral colonies and colonies of the “small” size group (S) vs. coral cover. Bottom – density of corals of the larger size groups, “medium” (M), “large” (L) and “huge” vs. foral cover.

מטרה

מעקב רב שנתי אחר שינויים במספר מושבות האלמוגים, גודלן, ובריאותן באתרים קבועים בשוניות אילת.

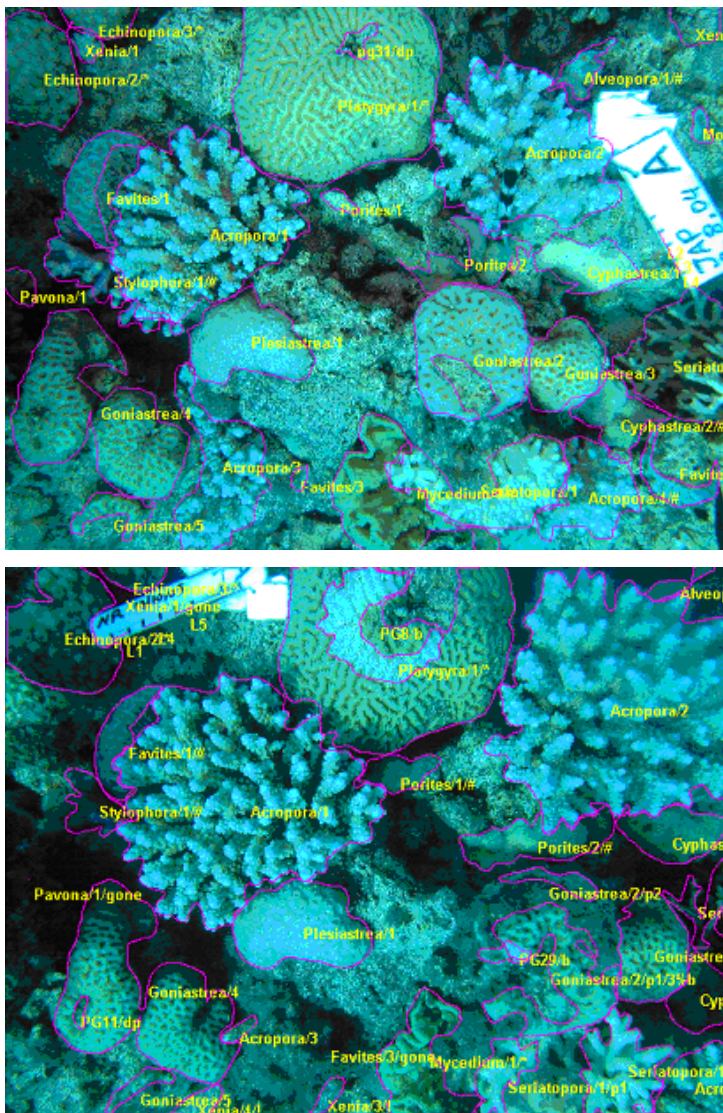
שיטות

צילום חוזר של שטחי שוניות קבועים החל באתרי שוניות בחוף הצפוני, חוף הדקל, קצא"א, שמורת האלמוגים, המעבדה הימית, וטאבה (איור ב27). בכל אתר חוברת לסלע תושבת קבועה המיועדת למצלמה, בחמש נקודות נבחרות. בכל נקודה מצולמת השוניות בארבעה כיוונים על ידי סיבוב המצלמה בתושבתה. באופן זה ניתן לחזור ולצלם את אותו השטח בדיוק בזמנים שונים (איור ב28). בסך הכל מוקמו 30 נקודות ובכל נקודה מצולמות ארבע תמונות לניתוח כמותי של השינויים באתרים השונים. עקב בלאי והתפוררות סלע השוניות המחזיק את התושבות אבדו עם השנים מספר נקודות, ומספר התמונות מצטמצם. בניסיון לשמור על מספר נקודות קבוע הוספו לעיתים נקודות חדשות במקום נקודות חסרות, בפרט באתרים קצא"א ושמורת חוף אלמוג. בנייתו הנתונים נעשית השוואה בין תמונות חופפות בכל סקר. סקר הצילום נערך בכל שנה בתחילת הקיץ. בכל תמונה נספרים האלמוגים ושאר חסרי החוליות הנייחים ונמדד שטח האלמוגים על ידי דיגיטציה של התמונות (ראה דו"ח 2004). לצורך השוואת שטח המושבות נלקחו בחשבון רק מושבות שמופיעות במלואן באופן ברור בשתי סדרות צילומים. במקרים בהם החפיפה בין תמונות משתי השנים לא מלאה (בשל תנועת הצובת המצלמה בתושבת הקבועה, תזוזה של תושבות במשך השנה שחלפה, שינויים בתנאי תאורה, או גידול אלמוגים באופן המסתיר מהמצלמה אלמוגים אחרים) נספרו האלמוגים, אך שטחם לא חושב בהשוואה בין השנים. השוואה כמותית בין סדרות הצילומים משנים עוקבות מתייחסת לשטח אלמוגים המצויים בשתי השנים (growth), תמותה והתיישבות של אלמוגים, וסך השינויים בשטח האלמוגים (area change – כולל גדילה, תמותה, והתיישבות חדשה). האלמוגים זוהו במידת האפשר לרמת המין, וסווגו גם לפי קבוצות (אלמוגי אבן מעופפים, אלמוגי אבן לא-מעופפים, אלמוגים רכים, ואלמוגי אש). נתונים אשר לא שימשו לצורך השוואה עם השנה הקודמת עשויים לשמש בשנים הבאות. למרות אובדן חלק מהנקודות, נאספו נתונים רבים וייחודיים בשיטה זו אשר מהווים חוליה משלימה חשובה בניטור מצב השוניות. משנת 2010 נעשתה דיגיטציה ושמירת הנתונים במערכת מידע גיאוגרפי (מ"ג, GIS). תמונות חדשות עברו דיגיטציה בעזרת מ"ג, ותמונות של שנים עוקבות יישמרו כשכבות נפרדות עבור כל נקודה (איור ב29). בשנת 2016 הושלם תהליך ההמרה של תמונות משנים קודמות למערכת המ"ג. בכדי ליישם שיטת מ"ג לצרכי ניטור אלמוגים בנקודות קבועות נבנתה מערכת קבלת נתונים ייעודית על ידי יחידת המ"ג באוניברסיטה העברית (תכנות על ידי - עדי בן-נון, עידן קמינר וטלי אבירם). **בשנים האחרונות אירעו תקלות רבות במערכת עיבוד התמונות, וכן נמצא אבדן גדול של נקודות צילום בשוניות. עד למציאת פתרון הוחלט להתמקד באתרי השוניות העיקריים, קצא"א, שמורה ומעבדה ימית, ולבצע השוואה של השטח הכולל של אלמוגים בכל תמונה בין השנים, לקבלת הערכה של שינויים באחוזו כיסוי האלמוגים בין השנים.**

שטח האלמוגים ניתן ביחידות pixel מכיוון שכיול השטח לסמ"ר נמצא לא מדויק עקב הבדלי הגובה של מושבות יחסית למצלמה. קנה מידה מקורב למדידות השטח: $1\text{cm}^2=2\text{kp}=2,000\text{pixels}$. שינויים בשטח ניתנים באחוזים וכך מנוטרלים הבדלי הכיול והטופוגרפיה בין המושבות. להבדיל מחתכי הקו אשר משווים אפיון סטטיסטי של אתר, בסקר המצולם ישנה השוואה נקודתית של התפתחות אותם קטעי שוניות ואותן מושבות בדיוק משנה לשנה. אתרי הצילום מתעדים נקודות קבועות ואינם מהווים ייצוג סטטיסטי מאפיין של אחוזי כיסוי, מגוון או שכיחות מינים בכלל השטח. כוחו של הסקר המצולם הוא במתן אומדן כללי של קצבי הגידול, התמותה וההתיישבות של אלמוגים לאורך חופי אילת. התוצאות מוצגות באופן גרפי ועוברות גם עיבוד סטטיסטי. בכל המקרים בהם מופיעים קווי שגיאה, הם מייצגים את שגיאת התקן (Error bars represent the standard error).

איור ב27: אתרי הסקר המצולם לאורך חופי אילת (מסומנים בירוק).

Figure B27: Sites of the photo-survey of coral reefs along the Eilat coastline (green markers).



איור ב28: צילום חוזר מאתר קבוע בשונית שמורת האלמוגים. למעלה 2004, למטה 2005. בין השינויים הבולטים ניכרת תמותה חלקית של האלמוג הגושי *Platygyra 1* (למעלה במרכז) וצמיחה (גידול בשטח) של מושבות האלמוג המעונף *Acropora 1,2* (מרכז התמונה ולמעלה מימין, בהתאמה). בנוסף, ישנן מושבות חדשות המופיעות רק בצילום משנת 2005, ומושבות החסרות בצילום זה. שטחי כל המושבות כמו גם השטחים המתים מסומנים (קו סגול) לצורך חישובי שטחים.

Figure B28: A set of photographs from one of the photo-survey sites in the nature reserve reef (2004 top, 2005 bottom). Among the observed changes are partial mortality of the massive coral *Platygyra 1* (top center), and growth of two colonies of the branching coral *Acropora 1* and *2*, (center and top right respectively). In addition, a few colonies are missing from the bottom picture (2005), and some are new settlers that appear only in 2005.



2004



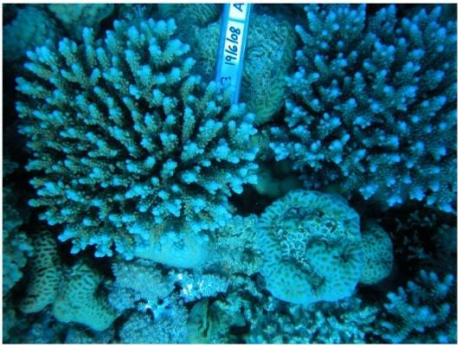
2005



2006



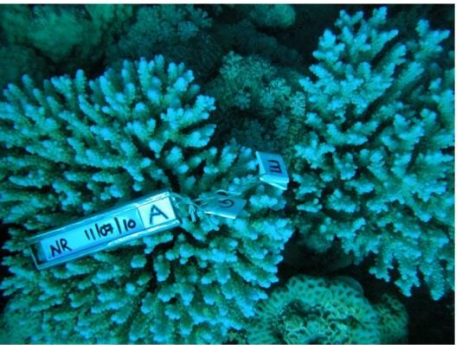
2007



2008



2009



2010



2011

איור ב29: שמונה שנות מעקב אחר אתר מצולם (שמורת האלמוגים, נקודה A, כיוון מערב).
Figure B29: Eight years of documentation at permanent photo site Nature Reserve, point A, looking west.

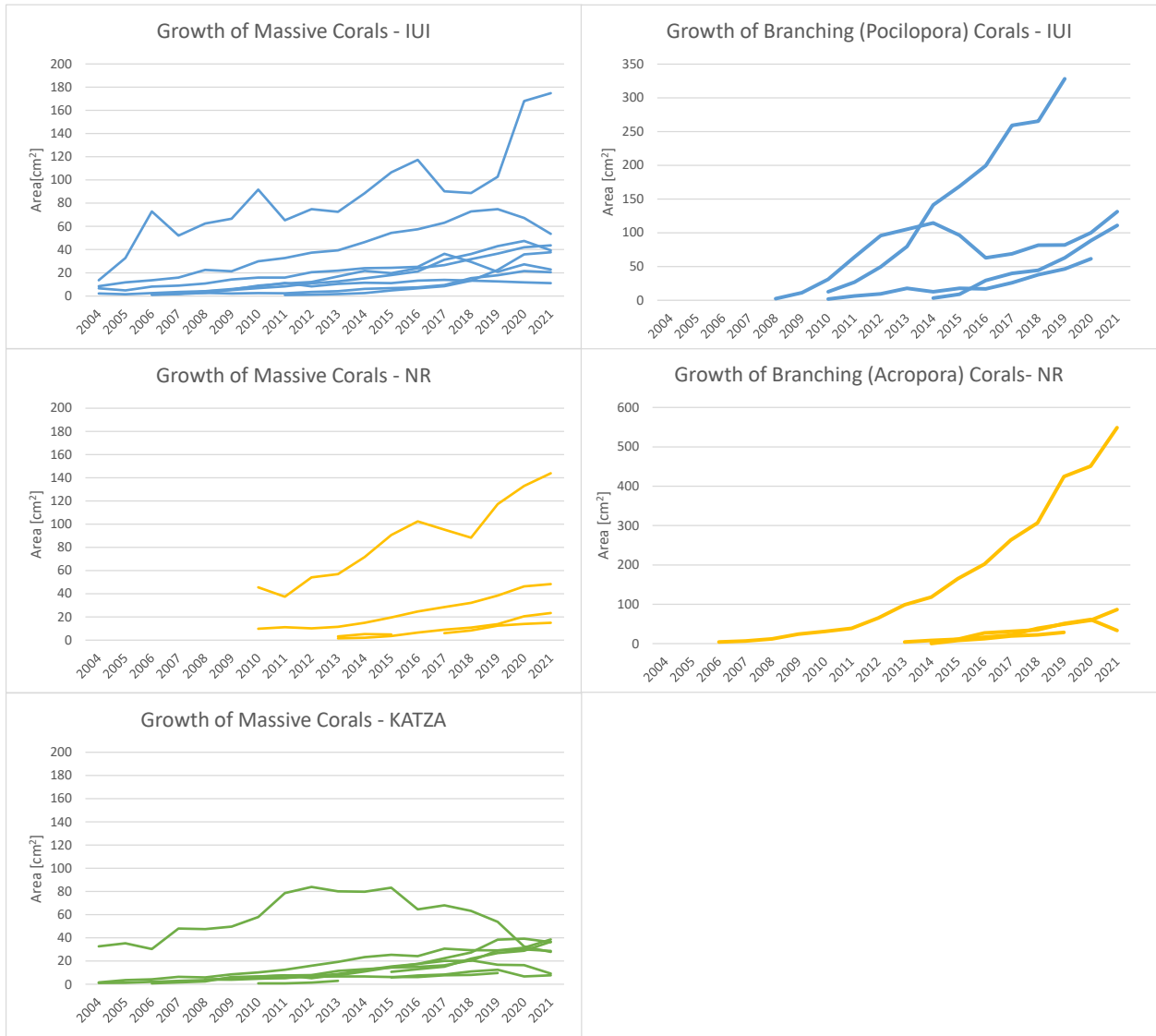
בעקבות התקלות בעיבוד הנתונים שונים האחרונות, עיקר המאמץ הופנה להערכת שינויי גודל של מושבות ספציפיות באתים קצא"א, השמורה והמכון הבינאוניברסיטאי. נבחרו מושבות אחריהן ניתן לעקוב בתמונות לאורך מספר שנים ואשר כל שטחן מופיע בתמונות – על מנת לאפיין קצבי גדילה. לצד המושבות הונח קנה מידה על מנת שצמיחתן תחושב ביחידות אורך (ס"מ). בסה"כ ישנו מעקב על 20 מושבות של אלמוגי אבן גושיים, ושמונה מושבות של אלמוגים מעונפים. בנתונים שלמטה אין אלמוגים מעונפים מאתר קצא"א (לא נמצאו כאלה שענו על הדרישות לעיל). בנוסף לכך, נותחו התמונות לזיהוי התיישבויות אלמוגים חדשים – קריא אלמוגים זעירים אשר נמצאו השנה אך לא היו באותם אתרים בסדרת הצילומים מהשנה הקודמת. לרוב, עדיין לא ניתן לזהות את סוג האלמוג בשלב הראשוני.

אלמוגים חדשים "מגוייסים" נמצאו ב-15 תמונות, שש תמונות בקצא"א, שלוש בשמורה ושלוש במכון, ועוד בתמונה אחת מטאבה ובתמונה מחוף הדקל. ברוב התמונות נמצאה רק מושבה חדשה אחת ובחלקן הקטן שתי מושבות. ישנו סיכוי סביר שלא ניתן להבחין במתיישבים זעירים בחודשים הראשונים ויהיה צורך לחזור על אנליזה זו בהמשך.

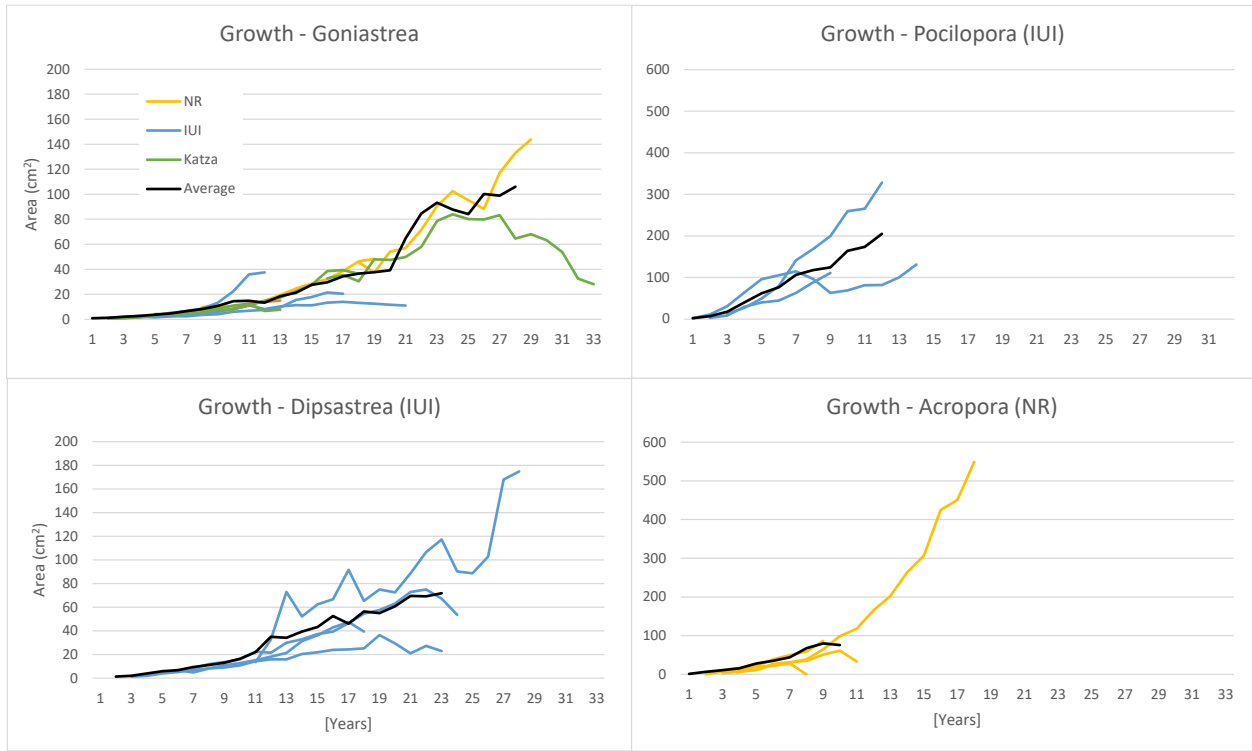
באשר לגדילת מושבות אשר נמצאו בסדרת תמונות עוקבות לאורך מספר שנים ואשר מצויות כולם בתחום התמונה ("צמיחה"), ישנם מספר הבדלים בין המושבות שבמעקב באתרים השונים (איור ב30). המספר הגדול ביותר של מושבות אלמוגים מסיביים אשר ענו על הדרישות נמצא באתר המכון, שמונה, והקטן ביותר באתר השמורה, ארבע. מספר האלמוגים הנבדקים קטן והשונות בין מושבות באתר גדולה כך שאין בין האתרים הבדלים מובהקים סטטיסטית. בשמורה מספר המושבות הקטן נובע בעיקר מכך שבאתר זה רבות ממושבות האלמוגים גדולות יחסית ועל כן חורגות משטח הצילום ואינן מתאימות לאנליזה.

מושבות מעונפות המתאימות לאנליזה נמצאו רק באתרים השמורה והמכון (שלוש מושבות בכל אתר) וגם כאן נראה כי המספר הקטן נובע מחריגת מושבות מתוך גבולות הצילום. קצב הצמיחה של המושבות המעונפות גבוה בהרבה מזה של המושבות הגושיות.

עבור סוגי אלמוגים שלהם יותר ממושבה אחת המשתתפת באנליזה בחנו את עקומות הגדילה לפי גיל, כאשר נעשתה התאמה לגיל ההתחלתי על פי עקומות הצמיחה בהן ניתן לעקוב אחר ההתפתחות על סמך השנים (עקומות שלמעלה, באיור ב30). כך ניסינו לעמוד על הבדלים בקצב הצמיחה של אלמוגים מסוגים שונים בכל האתרים (איור ב31). גם במקרה זה המספר הקטן של מושבות נבחנות והשונות הגדולה אינן מאפשרות אנליזה סטטיסטית משמעותית. בכל זאת ברור שצמיחת האלמוגים המעונפים (*Acropora, Pocilopora*) מהירה בהרבה מזה של אלמוגים גושיים (*Dipsastrea, Goniastrea*). ואולי גם שקצב הצמיחה באתר המכון נמוך מזה שבאתרי השמורה וקצא"א.



איור ב30: שינויים בשטח מושבות אלמוגי אבן מצולמות לאורך תקופת הניטור באתרים המצולמים.
Figure B30: Changes in the surface area of photographed stony coral colonies during the monitored period.



איור ב31: עקומות צמיחה של מושבות מצולמות.

Figure B31: Growth curves of photographed coral colonies.

3.3. חברת האלמוגים בלגונת שמורת האלמוגים

מטרה

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

שיטות

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

מפאת מיעוט האלמוגים, שיטת מקטעי הקו אינה מתאימה לסקר החברה בלגונה. לפיכך, נעשה שימוש ביחידת דגימה של ריבוע בגודל 1X1 מ'. הריבועים מונחים באופן סדור לאורך סרט מדידה שנפרש בניצב לחוף (להלן "קו דגימה") ממרחק של כ-9 מ' מקו החוף ועד לשולחן השונית, במרווחים של 5 מטרים זה מזה. "קו החוף" מוגדר כקו הברור בו מתחילה חשיפה של סלעי החוף (beach rock). 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 ב32). 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 ב32: 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 כלל בין 5 ל-6 ריבועים, (על אף שבאיור משורטטים רק 4 לכל חתך). סה"כ בוצעו 17 קווי דיגום בשטח הלגונה.

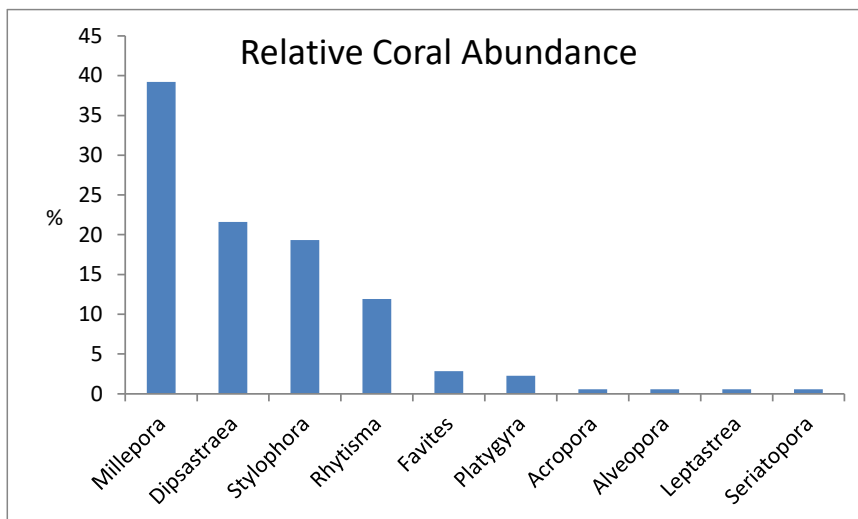
Figure B32: The sampling design in the lagoon. 1 m² quadrates (red circles) were placed 5 m apart along a measuring tape laid cross shore, 9 m from the "shore line" to the reef table. Each cross shore line included 5 or 6 quadrates (though in this figure only 4 are depicted). 17 cross-shore lines were evenly spread to cover the lagoon area.

תוצאות

השנה נספרו ב-101 ריבועי דגימה של 1 מ"ר בלגונה שבשמורת חוף אלמוג 176 מושבות אלמוגים, מהן 154 אלמוגי אבן אשר סווגו ל-9 סוגים ו-22 אלמוגים רכים השייכים ל-2 סוגים. בעוד ששיפעת האלמוגים הרכים דומה לזו של השנים האחרונות, 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 בשנה 2019), והשנה נמצאו 154 מושבות. עיקר הפגיעה היא באלמוג הדומיננטי סטילופורה (*Stylophora*).

אלמוג האבן הנפוץ ביותר הוא *Stylophora pistillata*. אלמוג זה מהווה השנה כ-20% בלבד מכלל מושבות האלמוגים אשר נסקרו, לעומת (37%) בשנת 2019.

אלמוג האש *Millepora* מצוי בשנים האחרונות במספרים גדולים יותר, השנה נספרו ממנו 69 מושבות, לעומת 34 בלבד של האלמוג *Stylophora* (71 אלמוגי סטילופורה בשנת 2019). לפיכך, אלמוג זה הופך לנפוץ ביותר בלגונה ומהווה כ-39% מכלל מושבות האלמוגים בלגונה והאלמוג השני הוא *Dipsastraea* המהווה כ-22% מכלל מושבות האלמוגים (איור ב33). עשרה סוגי האלמוגים הנפוצים ביותר (אלמוגי אבן ואלמוגים רכים) מהווים השנה כ-99% מכלל המושבות בלגונה.



איור ב33: השכיחות היחסית (באחוזים, על פי מספר המושבות) של עשרה סוגי האלמוגים העיקריים בלגונה.

Figure B33: Relative abundance (by colony number) of the 10 most abundant coral genera in the lagoon.

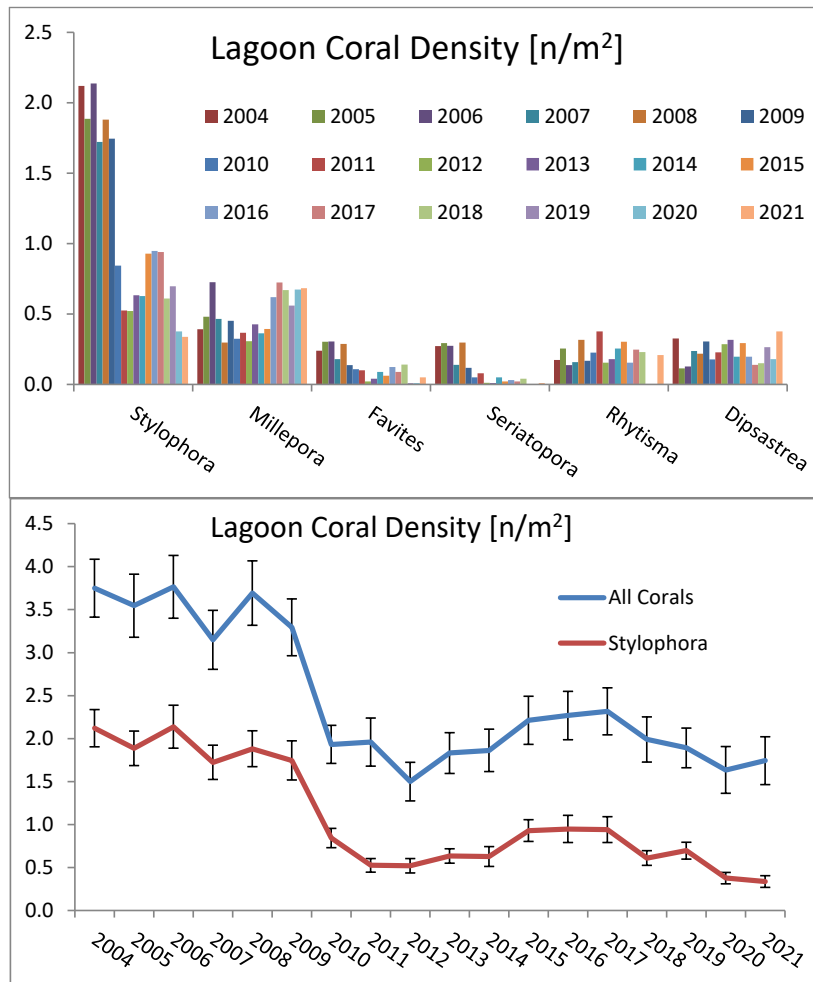
הצפיפות הממוצעת של מושבות אלמוגים מכל סוג בלגונה היתה השנה מעט גבוהה מאשר בשנה הקודמת, 1.74 מושבות למ"ר (לעומת 1.89 בשנת 2019 ו-2.32 בשנת 2017), וצפיפותם הממוצעת של אלמוגי אבן היתה 1.52 מושבות למ"ר (טבלה ב5). הירידה בצפיפות המושבות במשך תקופת הניטור נובעת בעיקר מירידה במספר המושבות של האלמוגים הנפוצים ובשנה הקודמת נצפתה ירידה גדולה, בעקבות הסערה החזקה אשר פגעה במושבות *Stylophora pistillata*.

Species	n	Relative abundance [%]	n/m ²
<i>Millepora</i>	69	39.20	0.68
<i>Dipsastraea</i>	38	21.59	0.38
<i>Stylophora</i>	34	19.32	0.34
<i>Rhytisma</i>	21	11.93	0.21
<i>Favites</i>	5	2.84	0.05
<i>Platygyra</i>	4	2.27	0.04
<i>Acropora</i>	1	0.57	0.01
<i>Alveopora</i>	1	0.57	0.01
<i>Leptastrea</i>	1	0.57	0.01
<i>Seriatopora</i>	1	0.57	0.01
<i>Sinularia</i>	1	0.57	0.01

טבלה ב5: מספר המושבות, תפוצתן היחסית וצפיפותן הממוצעת (מספר מושבות למטר רבוע) של סוגי האלמוגים שנמצאו בלגונה.
Table B5: The number of colonies, relative abundance and average density (colonies per square meter) of the coral taxa found in the lagoon.

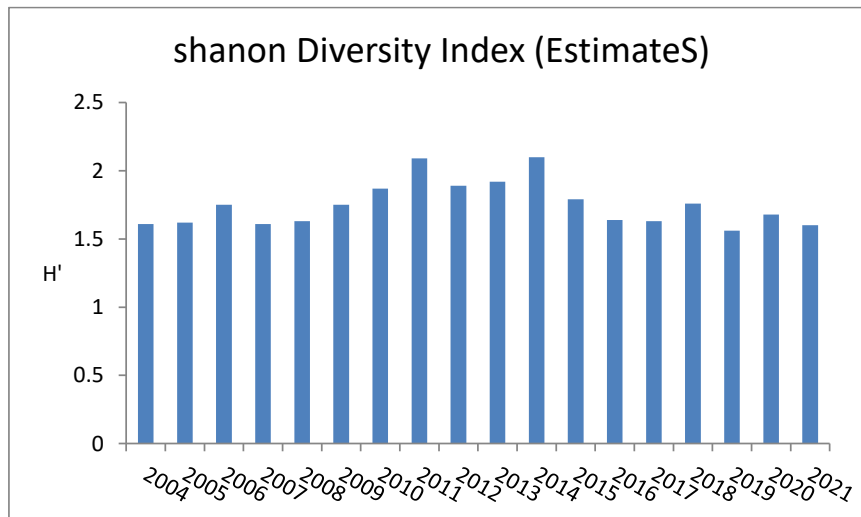
צפיפות האלמוגים בלגונה ידעה תנודות גדולות בין שנות הניטור. בפרט, בין השנים 2009-2010 נמצאה ירידה דרמטית בצפיפות האלמוגים בלגונה, ובפרט בצפיפות האלמוג הנפוץ *Stylophora pistillata*, ומאז שנת 2012 נמצאה עליה איטית בצפיפות המושבות אשר נעצרה בשנים האחרונות. בשנה הקודמת, בעקבות פגיעת סערה דרומית חזקה, שוב ירדה צפיפות המושבות בלגונה והשנה נמדדה עליה קלה ביחס לשנה הקודמת (איור ב34).

התנודות הגדולות ניכרות בעיקר במספר המושבות של האלמוג שלאורך השנים הוא העיקרי בלגונה - *Stylophora pistillata* - אשר ממנו נספרו בשנים 2012-2017 יותר מ-90 פרטים, לעומת 64 בשנת 2014 ורק 34 השנה. שינויים אלה מכתיבים את התנודות הנצפות לגבי סך צפיפות מושבות האלמוגים הנספרים בלגונה. בשנות הניטור הראשונות היתה צפיפות האלמוגים בלגונה בערך כפולה מהצפיפות שנמדדה בשנים 2010-2012, בשנים 2012-2017 נמדדה התאוששות אך צפיפות האלמוגים נותרה נמוכה בהרבה מאשר בשנים הראשונות של הניטור. הסיבה לירידה החדה בין השנים 2009 ו-2010 נעוצה, ככל הנראה בסדרת סערות דרומיות חזקות שאירעו בחורף 2009-10 ובשנה הקודמת (2020) שוב הכתה את חופי אילת סערה דרומית חזקה שפגעה קשות במושבות האלמוגים בלגונה.



איור ב34: השוואת הצפיפות הממוצעת (מושבות למטר רבוע) של האלמוגים העיקריים בלגונה מאז תחילת הניטור. למעלה- לפי סוגי האלמוגים העיקריים, למטה- תנודות בין השנים בצפיפות סך המושבות וצפיפות האלמוג הנפוץ *Stylophora pistillata*.
Figure B34: The average density (colonies/square meter) of the main coral genera found in the lagoon during the monitored period. Top: the dominant coral taxa, bottom- inter-annual fluctuations in density of all coral colonies and the most abundant coral *Stylophora pistillata*.

ערכו של מדד Shannon-Wiener למגוון סוגי אלמוגים נמוך מעט השנה (1.6) בהשוואה לשנה הקודמת (1.68), אך לא באופן דרמטי (איור ב35). השינויים במדד המגוון נובעים במידה רבה משינויים במספר מושבות המין הדומיננטי בלגונה, האלמוג *Stylophora* וירידה באלמוג זה מכתובה עליה במדד המגוון, ולהיפך. בשנתיים האחרונות אלמוג זה כבר אינו דומיננטי בלגונה, צפיפות האלמוג הגושי *Dipsastraea* דומה, וצפיפות אלמוג האש *Millepora* גבוהה יותר.



איור ב35: השינויים במגוון מיני האלמוגים (על פי מדד המגוון של Shanon-Wiener) בלגונה מאז 2004 כפי שהוערכו בעזרת תכנת EstimateS.

Figure B35: Changes in coral diversity in the lagoon since 2004, according to the Shanon-Wiener index, estimated using the EstimateS software.

דיון ומסקנות

בשנות הניטור הראשונות (2004-2009) נעה צפיפות האלמוגים בלגונה בין 3.75 ל- 3.29 מושבות למ"ר. בחורף 2009-2010 פגעה באילת סדרת סערות דרומיות חזקות ובקיץ 2010 נמדדה צפיפות של 1.93 מושבות אלמוגים למ"ר. הצפיפות הנמוכה ביותר נמדדה בשנת 2012, 1.50 מושבות למ"ר, ומאז נצפתה עליה איטית עד לשנים האחרונות. צפיפות המושבות שנמדדה בשנה הקודמת היתה 1.63 והשנה נמצאה צפיפות של 1.74 מושבות אלמוגים למ"ר.

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, ובשנה הקודמת הפך להיות דומיננטי (השנה היווה כ- 40% מכלל המושבות בלגונה).

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 השנה הקודמת 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.4. התיישבות אלמוגים בשונית

מטרה

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

שיטות

בשני אתרים, המעבדה הימית ושמורת חוף אלמוג, הוצבו שלושה מערכי רשת בשנת 2017 ולכל אחד מהם הוצמדו 15 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 ב36). בשנת 2019 התווספו מערכים זהים גם באתר קצא"א.

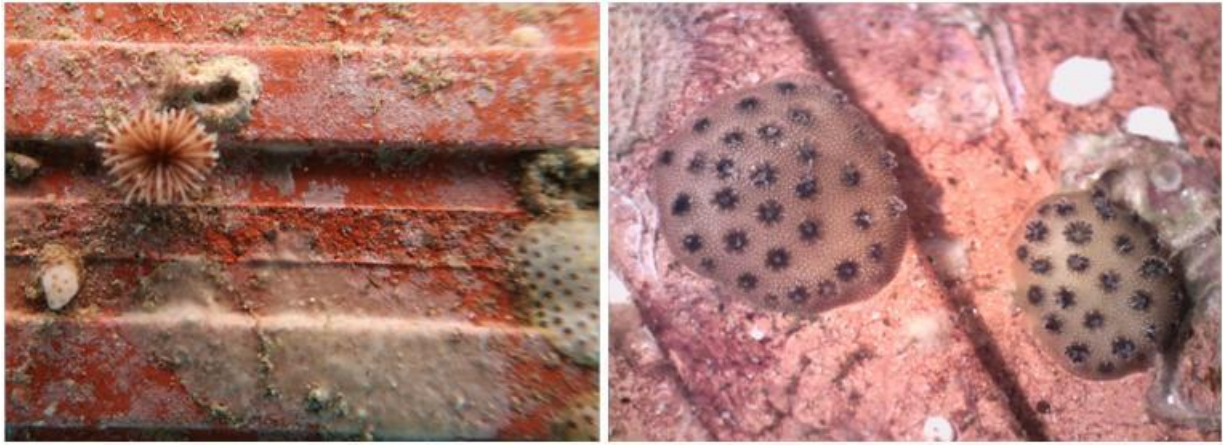


איור ב36: מערכי לוחיות התיישבות בשונית.

Figure B36: 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 ב37).

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, בעונת השנה הבאה.



איור ב37: מושבות אלמוגים זעירות על לוחיות התיישבות שהוצאו מהשוניית.

Figure B37: Tiny coral colonies (spats) on settlement plates retrieved from the reef.

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

עונת הרבייה המוכרת של אלמוגים במפרץ היא עונת הקיץ (ראו נספח 31 בדו"ח תכנית הניטור 2015, תקציר עבודת המוסמך של תום שלזינגר אשר מצא, בהתאמה לעבודות קודמות, כי עיקר הגיוס לשוניית מתרחש בחודש אוגוסט), ואכן על גבי לוחיות ששהו בים מחוץ לעונה זו נמצאו מעט מאד מתיישבים. גודלן הקטן של המושבות שנמצאו על לוחיות ההתיישבות שנבחנו במסגרת הניטור בשנים 2015-6 אינו מאפשר לקבוע את סוג האלמוגים. על סמך המראה בלבד, נראה שלפחות חלקם ממשפחת *Pocilloporidae* (Babcock et al., 2003) וסביר שמשתייכים למין *Stylophora pistillata* הנפוץ בשוניית אילת.

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

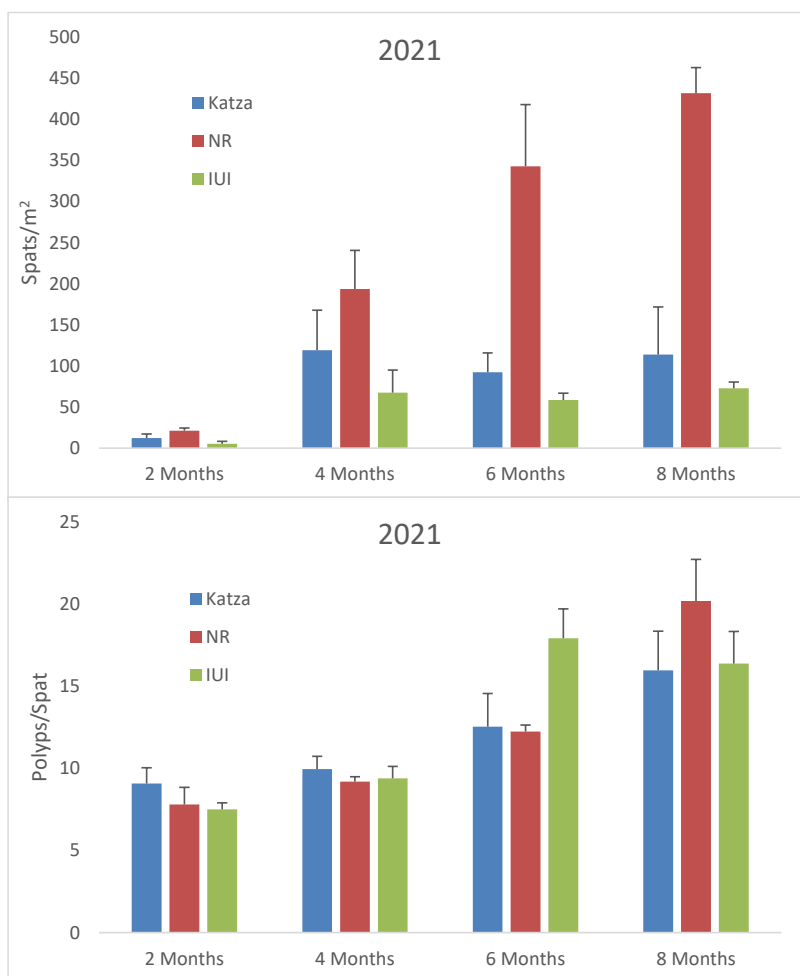
תוצאות

לאורך התקופה בה שהו לוחיות ההתיישבות בים ניתן לעקוב הן אחר הצטברות וגריעת 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 מגויסים ויכולתם לשרוד את השלבים הראשונים של ההתיישבות (ללא לחצי רעייה אשר פוגעים במתיישבים בשוניית הטבעית).

כמות המתיישבים באתר המעבדה היתה (גם) השנה הנמוכה ביותר, בקצא"א מעט גדולה יותר ובאתר השמורה נמצא (גם) השנה מספר גדול בהרבה של מתיישבים לאורך כל העונה. בסך הכל נספרו השנה על גבי לוחיות התיישבות באתר המעבדה 115 מתיישבים (בדומה לשנה הקודמת בה נמצאו 123), באתר השמורה נספרו 557 (393) ובאתר קצא"א 190 (135).

במיוחד גדול הפער בין השמורה לאתרים האחרים בסוף התקופה, עובדה המצביעה על תקופת גיוס ארוכה יותר ו/או על שרידות טובה יותר של מגויסים. צפיפות המתיישבים הממוצעת למטר רבוע בסוף התקופה עמדה על 73 ± 8 באתר המעבדה, 113 ± 58 בקצא"א ו- 432 ± 31 באתר השמורה. תבנית זו דומה לתבנית שנצפתה בשנים הקודמות. באתרי קצא"א והמעבדה היתה בסוף התקופה צפיפות מתיישבים 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 מגויסים אשר שרדו וגם כאן הגדילה המשמעותית ביותר נמצאת באתר השמורה (איור ב38).



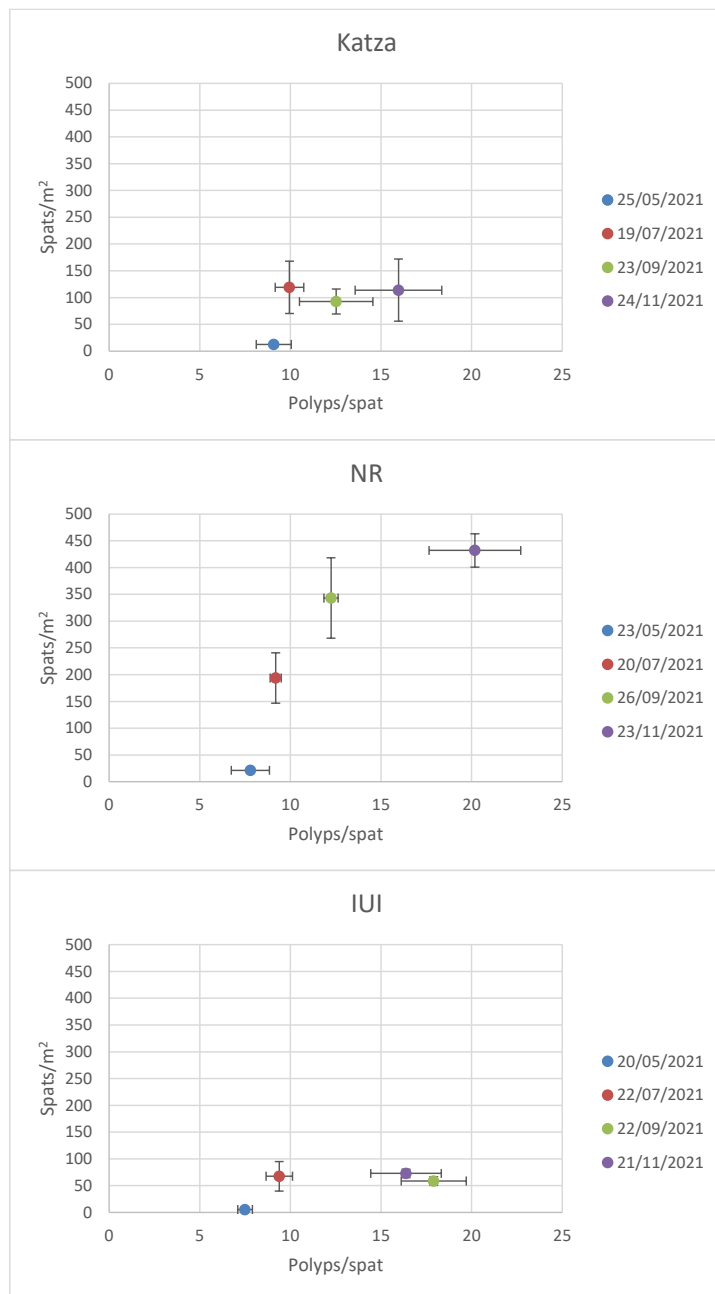
איור ב38: למעלה – צפיפות המתיישבים הממוצעת (למטר רבוע) באתר בפרקי הזמן הנדגמים השנה. למטה – מספר הפוליפים הממוצע לאלמוג מתיישב (גודל האלמוג).

Figure B38: 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 2020 -ינואר 2021 מוצגת באיור ב39. התיישבות אלמוגים החלה בפרק הזמן הראשון (חודשים אפריל-מאי) עם מספר מתיישבים גדול ביותר בתקופה זו באתר השמורה והקטן ביותר באתר המעבדה. באתרי המעבדה וקצא"א מספרי האלמוגים המתיישבים על לוחיות לא גדלו באופן ניכר ככל שהתקדמה העונה, אך מספר הפוליפים הממוצע למגוייס גדל במשך הזמן. באתר השמורה, לעומת זאת, בנוסף לגדילת מתיישבים מתחילת העונה נראה שהיתה תוספת של מגוייסים חדשים בחלקה השני של התקופה.

נראה שבאתרים קצא"א והמעבדה ישנה התיישבות של אלמוגים חדשים בחלקה הראשון של התקופה ולאחר מכן נראית צמיחה רציפה של המגוייסים, שהיתה מהירה יותר באתר קצא"א. השונות הגדולה בגודלם של המתיישבים (מספר פוליפים ממוצע למתגייס) באתרי המעבדה וקצא"א מצביעים על תחלופה בה מתיישבים שמתים מוחלפים על ידי חדשים במצב של מעין שיווי משקל. באתר השמורה, לעומת זאת, מספר המתיישבים גדל עם הזמן וכך גם גודלם והשונות הנמוכה מעידה, כנראה, על שרידות טובה של המגוייסים.

בנוסף לכך, נראה שבאתר המעבדה ישנה ירידה קלה במספר המתיישבים בחלקה האחרון של התקופה ועובדה זו עשויה להצביע על כך שבאתר זה כבר הסתיימה עונת הרבייה של אלמוגים וישנה תמותה מסוימת של מתיישבים, באתר קצא"א אין שינוי משמעותי במספר המתיישבים אך גודלם הממוצע עלה מאז התקופה הקודמת עובדה שיכולה להצביע על סוף עונת ההתיישבות באתר עם שרידות טובה של מתיישבים ובאתר השמורה יתכן שהן צמיחה והן התיישבות נמשכות תקופה ארוכה יותר ושרידות המתיישבים טובה. הבדלים אלה בין האתרים נמצאו גם בשנים הקודמות.



איור ב39: מספר המגוייסים הממוצע כנגד מספר הפוליפים הממוצע למגוייס (גודל המגוייסים) באתרים קצא"א (למעלה), השמורה (באמצע) והמעבדה (למטה) במשך התקופה הנבדקת.

Figure B39: 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.

בשנים המנוטרות מתגלה באתר השמורה תבנית גיוס רציפה של גידול במספר המגוייסים ובגודלם במשך עונת הרבייה, ואילו באתר המעבדה תבנית הגיוס מסודרת פחות – עם מספר גדול ביותר של מגוייסים לרוב בתקופה השנייה או השלישית (איור ב40). עבור אתר קצא"א יש בידינו שלוש שנים בלבד, ובהן ניתן לראות עלייה בגודל המגוייסים במשך העונה, אך ללא שינוי במספרם ואף ירידה לקראת סוף העונה.

ככל אתר ישנם הבדלים במספר המגוייסים בין השנים, ונראה כי בשנים 2017-2018 היה מספרם גבוה יותר בהשוואה לשנים שאחרי, אך גודלם הממוצע של המתיישבים היה גדול יותר בשנים האחרונות.

ניטור מגוייסים לשונית מבוצע במתכונתו הנוכחית מזה כחמש שנים ועל כן אין עדיין 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 המעבדה. נראה 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.



איור ב40: השוואה בין השנים ובין העונות באתר השמורה (למעלה), בקצא"א (באמצע) ובאתר המעבדה (למטה). משמאל – צפיפות המתיישבים הממוצע בכל אתר בפרקי הזמן הנדגמים. מימין – מספר הפוליפים הממוצע למגויס.

Figure B40: 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).

מטרה

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

שיטות

סקר חסרי החוליות הניידים נערך בשעות הלילה, מכיוון שבשעות היום מרביתם מסתתרים. הסקר מתמקד בשוניות האלמוגים במעבדה הימית ובשמורת חוף אלמוג (באזור הסגור למבקרים) בעומקים 5 ו-10 מטרים (במקביל לעומקים בהם נערכים חתכי האלמוגים), ובלגונה.

הספירה מתחילה כשעה אחר רדת החשיכה, לאחר יציאת חסרי החוליות ממסתורם לשם שיחור מזונם. החל מ-2006 מבוצע הסקר בשיטת מקטעי-רצועה (belt-transect) לעומת ריבועי דגימה (quadrates) סדורים בשנים 2004-2005. מקטעי הרצועה, באורך 50 מטרים, נפרסים החל מנקודה שרירותית לאורך העומק הנבחר. מנקודת ההתחלה מתקדם צולל המחזיק מתקן בצורת T וסופר כל פרט הנמצא תחת המוט הניצב, אשר אורכו מטר אחד (איור ב41). בשיטה זו ניתן לכסות שטח גדול ביעילות רבה, ובמקרה זה את מרבית שטחו של כל אתר לאורך קו העומק הנבחר, עובדה בעלת חשיבות עקב מספרם הקטן של חסרי החוליות. מירב השטח באתר נסקר לאורך קו העומק המבוקש לקבלת ספירה מדויקת ככל האפשר, אולם אבדה יכולת ההערכה של פרמטרים סטטיסטיים התלויים בחזרות רבות של יחידות מדידה קטנות הדוגמות את האתר. הפרטים הנספרים, חסרי החוליות הניידים (קווצי עור ורכיכות), מסווגים לפי סוג או משפחה.



איור ב41: שיטת חתכי הרצועה לסקר חסרי חוליות ניידים: לאורך סרט מדידה עובר הסוקר האוחז מוטות צלובים בצורת T וסופר את הפרטים הנמצאים תחת המוט הניצב, אשר אורכו מטר אחד. נסקרת רצועה אשר אורכה נקבע על ידי סרט המדידה ורוחבה על ידי המוט הניצב (1 מ'). צילום: תומר שאולוב

Figure B41: Belt-transect survey of motile invertebrates: a diver holding a T-shaped stick passes along a measuring tape counting the individuals found under the cross-arm. This makes a sampling unit 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 ב.6.

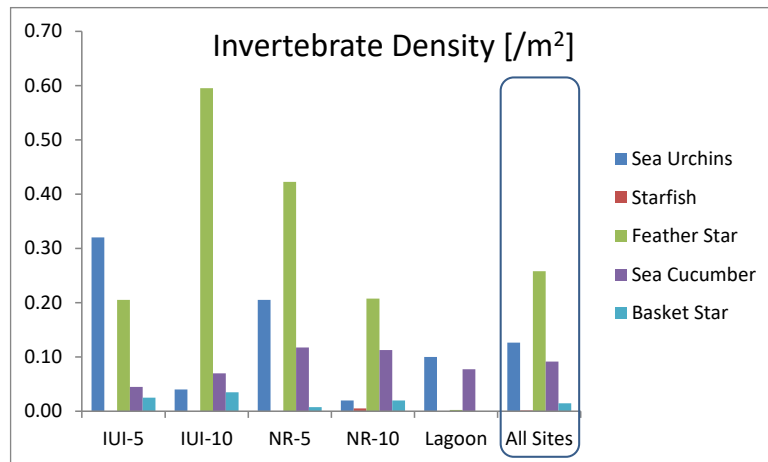
	IUI-5		IUI-10		NR-5		NR-10		Lagoon	
	Density	Number	Density	Number	Density	Number	Density	Number	Density	Number
Diadema	0.245	49	0.025	5	0.040	16	0.018	7	0.033	13
Other Urchins	0.075	15	0.015	3	0.165	66	0.003	1	0.068	27
Total Urchins	0.32	64	0.040	8	0.205	82	0.020	8	0.100	40
Starfish	0	0	0	0	0	0	0.005	2	0	0
Feather star	0.205	41	0.595	119	0.423	169	0.208	83	0.003	1
Sea Cucumber	0.045	9	0.070	14	0.118	47	0.113	45	0.078	31
Basket Star	0.025	5	0.035	7	0.008	3	0.020	8	0	0
m ² surveyed	200		200		400		400		400	

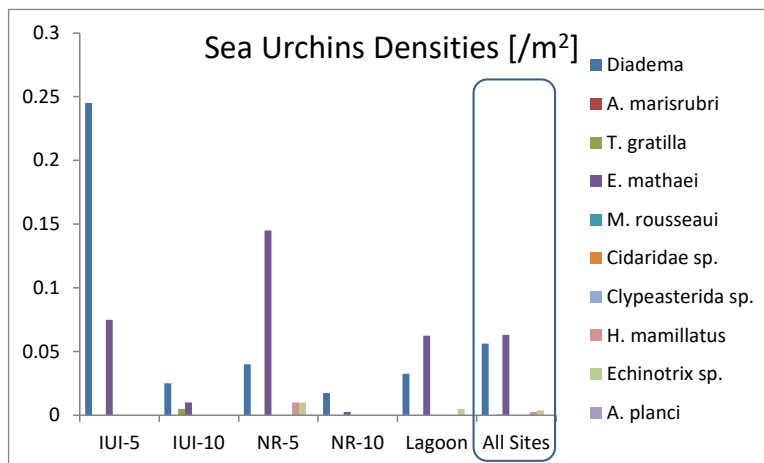
טבלה ב.6: שכיחות (מספר הפרטים וצפיפותם למ"ר) חסרי החוליות הניידים באתרים הנסקרים.

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

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 בשנתיים האחרונות התהפכו היוצרות וחבצלות הים נפוצות יותר באתרי הניטור מאשר קיפודי הים (איור ב.42). בין קיפודי הים, ברוב השנים היה המין הנפוץ ביותר *Diadema setosum*. בשנים האחרונות נצפתה עליה בשיפעת קיפודי ים מסוגים אחרים באתרי הלגונה והשמורה הרדודה והשנה קיפוד הים *Echinometra mathaei* הוא הנפוץ ביותר בסך הכל. צפיפות קיפודי ים גדולה ביותר באתרים הרדודים (ובמיוחד באתר IUI-5) ופחות באתרים העמוקים. 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.

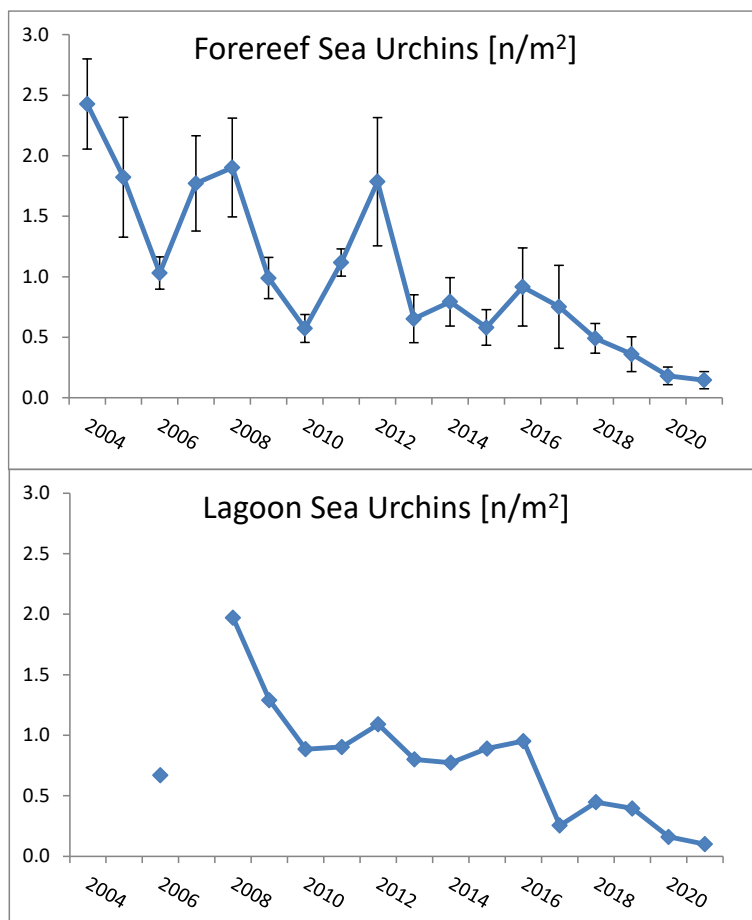
בשנת 2014 נצפה לראשונה בסקרי הניטור נחשונק (*Basket Star, Astroboa nuda*) ומאז מתרבות התצפיות של יצור זה. השנה נספרו 23 פרטים בסך הכל בכל האתרים (לעומת 26 בשנה הקודמת) ונראה שיצור זה הולך ומתבסס באילת.





איור ב42: הצפיפות הממוצעת (פרטים למ"ר) של חסרי חוליות ניידים (למעלה) וקיפודי ים (למטה) באתרי הניטור.
Figure B42: The average density (per m²) of 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 בשנים האחרונות (איור ב43). צפיפות גבוהה של קיפודי ים נמדדה בשנים הראשונות לניטור (2004-5) וכן בשנים 2007-8 ובשנת 2012. בין שיאים אלה מפרידות שנים בהן צפיפות האוכלוסייה קטנה בכ- 50%. השינויים בצפיפות קיפודי הים משקפים, כנראה, מחזוריים 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 האוכלוסייה הנתרת הוא מזערי.

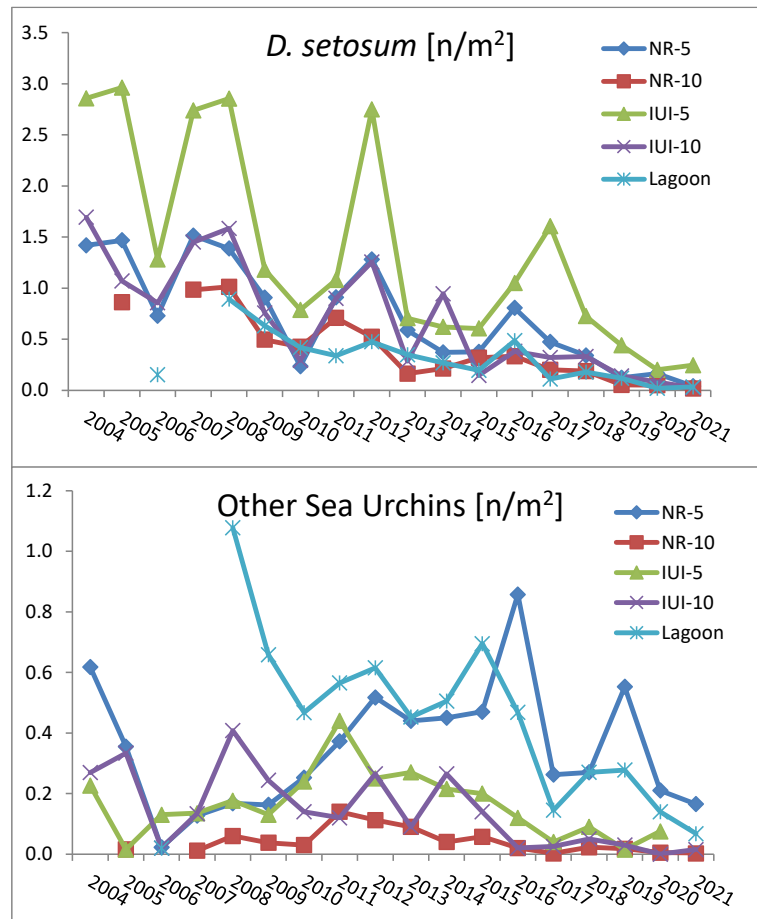


איור ב43: הצפיפות הממוצעת (פרטים למ"ר) של כלל קיפודי הים באתרי קדמת השונית (למעלה) ובלגונה (למטה).

Figure B43: The average density (individuals per m²) of all sea urchins at the fore-reef sites (top) and at the lagoon (bottom).

באתרי קדמת השונית תבנית השינוי המחזורי בגודל אוכלוסיית קיפודי הים עוקבת אחרי התנודות באוכלוסיית *D. setosum* ואילו בלגונה תלות זו פחות בולטת (איור ב44). בלגונה (והשנה גם באתר 5-NR) צפיפות קיפוד הים מהמין *E. mataei* היא הגדולה ביותר.

התנודות באוכלוסיית הקיפוד הנפוץ *D. setosum* גדולות במיוחד באתר 5-IUI בו צפיפותו גדולה ביותר, אך תבנית השינוי דומה בכל אתרי קדמת השונית. צפיפות קיפודי הים בכלל וקיפוד הים *D. setosum* בפרט אשר נמדדה השנה היא הנמוכה ביותר אשר נמדדה עד כה על ידי תכנית הניטור.



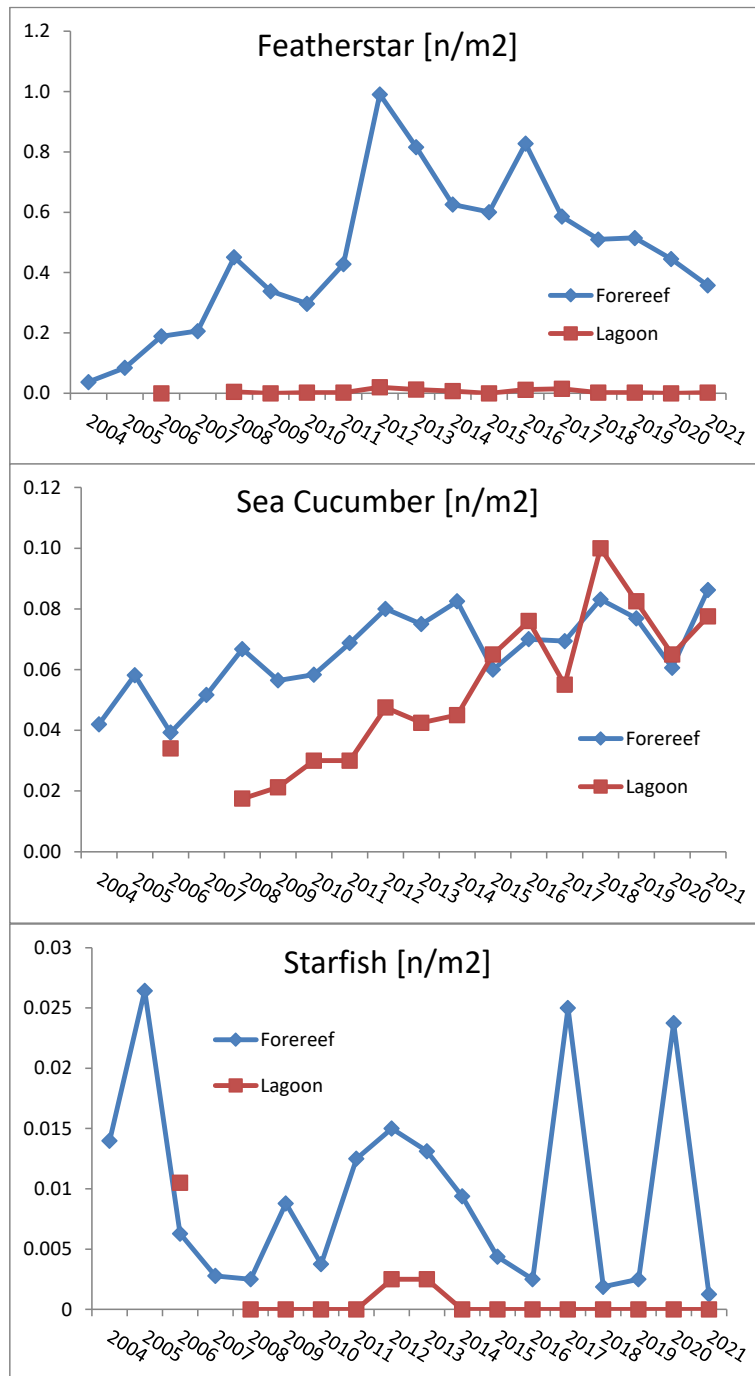
איור ב44: הצפיפות הממוצעת (פרטים למ"ר) של קיפודי הים *Diadema setosum* (למעלה) של קיפודי ים אחרים (למטה) באתרי הניטור.

Figure B44: The average density (individuals per m²) 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 ב45). 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 ביותר בכל האתרים, אם כי גבוהה יותר בקדמת השונית מאשר בלגונה.

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



איור ב45: הצפיפות הממוצעת (פרשים למ"ר) של חבצלות ים (למעלה), מלפפוני ים (באמצע) וכוכבי ים (למטה) באתרי קדמת השונית ובלגונה.

Figure B45: The average density (per m²) of feather-stars (top), Sea Cucumbers (middle) and Sea Stars (bottom) at the fore-reef sites and the lagoon.

מטרה

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

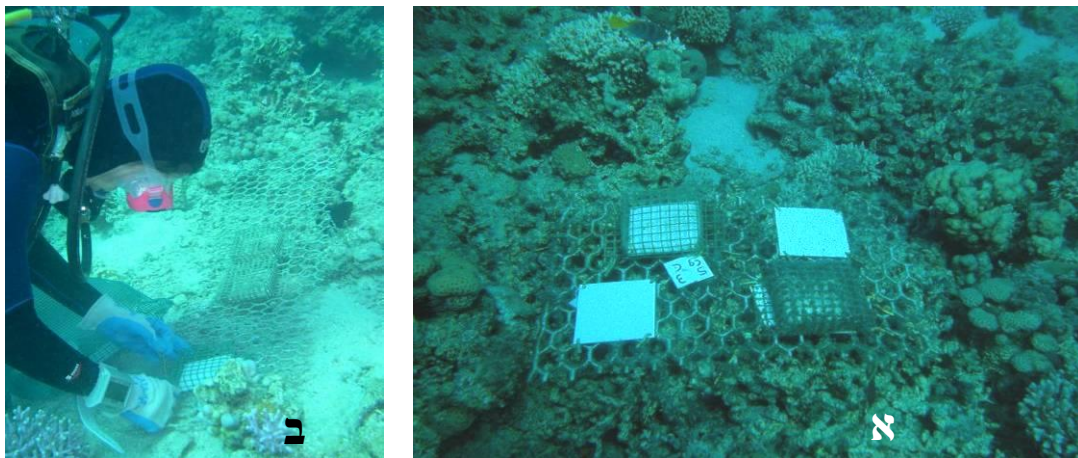
שיטות

שלושה מערכים בהם שני זוגות של לוחיות PVC סמוכות, שגודלן 10X10 ס"מ וצידן העליון חוספס על מנת להקל על התיישבות אצות, הוצבו באופן שרירותי בעומקים שבעה עד עשרה מטרים בשונית שמול המכון הבין-אוניברסיטאי. בשנת 2007 הוצבו מערכים דומים גם בחלקה הדרומי של שמורת חוף אלמוג, בעומקים 20 מ', 5 מ', ובלגונה. בכל מערך שתי לוחיות חשופות ושתי לוחיות מכוסות כלוב מתכת בעל גודל עין של 1X1 ס"מ (איור ב46). הלוחיות משמשות להתיישבות אצות צמודות מצע, ומהוות מודל להתיישבות אצות בשטחים חשופים בשונית. אחת לחודש מוחלף בכל מערך זוג מצומד של לוחיות (חשופה-מכוסה) בלוחיות נקיות – זמן השהות בים של כל לוחית כחודשיים.

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

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

הלוחיות המוגנות על ידי כלובי המתכת משמשות לאומדין 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 ממדוע שלוש הלוחיות המוגנות ושלוש הלוחיות החשופות שהוצאו באותו אתר באותו חודש. בכל המקרים בהם מופיעים קווי שגיאה, הם מייצגים את שגיאת התקן (Error bars represent the standard error).



איור ב46: (א) מערך של לוחית התיישבות. שתי לוחיות חשופות לרעייה, ושתיים מוגנות על ידי כלוב מתכת. צילום: ניצן שגב (ב) החלפת לוחיות בצלילה, מדי חודש מוחלפות הלוחיות ששהו חודשיים בים. צילום: רותי ריף

Figure B46: (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.

תוצאות

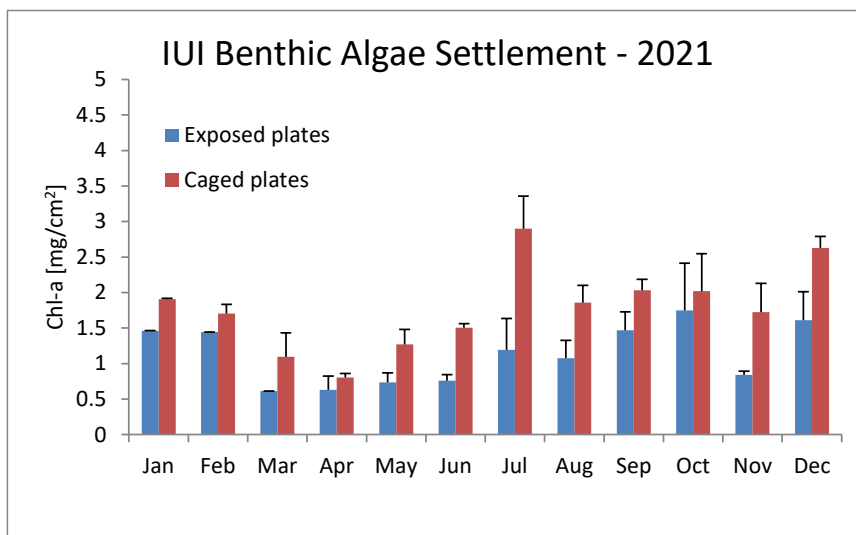
בשנים האחרונות התבנית העונתית של צמיחת אצות ישיבות מראה שיאים בפוטנציאל הגדילה דווקא בחודשי הקיץ והסתיו. בשנה הקודמת תופעה זו היתה בולטת במיוחד, אולם גם השנה נמצא שיא בפוטנציאל גידול האצות הישיבות (= ריכוז כלורופיל על גבי לוחיות התיישבות מוגנות מרעייה) דווקא בחודש יולי (2.90 mg/cm², איור ב47). גם בחודשים שאחריו היה בדרך כלל פוטנציאל הגידול גבוה מאשר בחודשי החורף והאביב.

צמיחת אצות בפועל (= ריכוז הכלורופיל על גבי לוחיות התיישבות חשופות לרעייה) עוקבת לרוב אחר השינויים בפוטנציאל וההפרש ביניהם קטן, מלבד בחודש יולי בו הצמיחה בפועל היתה רק מעט יותר משליש פוטנציאל הצמיחה (mg/cm²)

1.19). באופן כללי, השינוי העונתי ברור הן בפוטנציאל צמיחת האצות והן בגידול האצות בפועל ונראה כי לרוב ככל שפוטנציאל הצמיחה גדול כך גם כמות האצות המסולקת ברעייה.

ערך השיא בפוטנציאל הצמיחה היה השנה נמוך בהשוואה לשתי השנים הקודמות, 2019 ו-2020 (3.52 mg/cm^2 - 4.06 mg/cm^2 בהתאמה) וגם בהן הערך המרבי נמדד בחודשי הקיץ. ברוב שנות הניטור 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.

גידול אצות בשונית בפועל נאמד על ידי ריכוז הכלורופיל על גבי לוחיות חשופות לרעייה. ריכוז הכלורופיל על לוחיות חשופות הגבוה ביותר נמדד השנה בחודש נובמבר, 2.43 mg/cm^2 , גבוה בהשוואה לשנה הקודמת. יעילות הרעייה השנה הוסיפה לרדת וההפרש בין פוטנציאל גידול האצות וגידול האצות על לוחיות חשופות בחודשי הפוטנציאל המרבי היה השנה 59% (65% ו-76% בשנים 2019 ו-2020, בהתאמה), אולם במשך תקופת הניטור לא ניכר שינוי מגמתי ביעילות הרעייה על אצות ישיבות.



איור ב47: ממוצע כמות $\text{chlorophyll } a$ ע"ג לוחית חשופות ומוגנות בכלובים בשנת 2021. כל עמודה מייצגת חודש אחד (מחושבת על-פי שלוש לוחיות ששהו בים חודשיים).

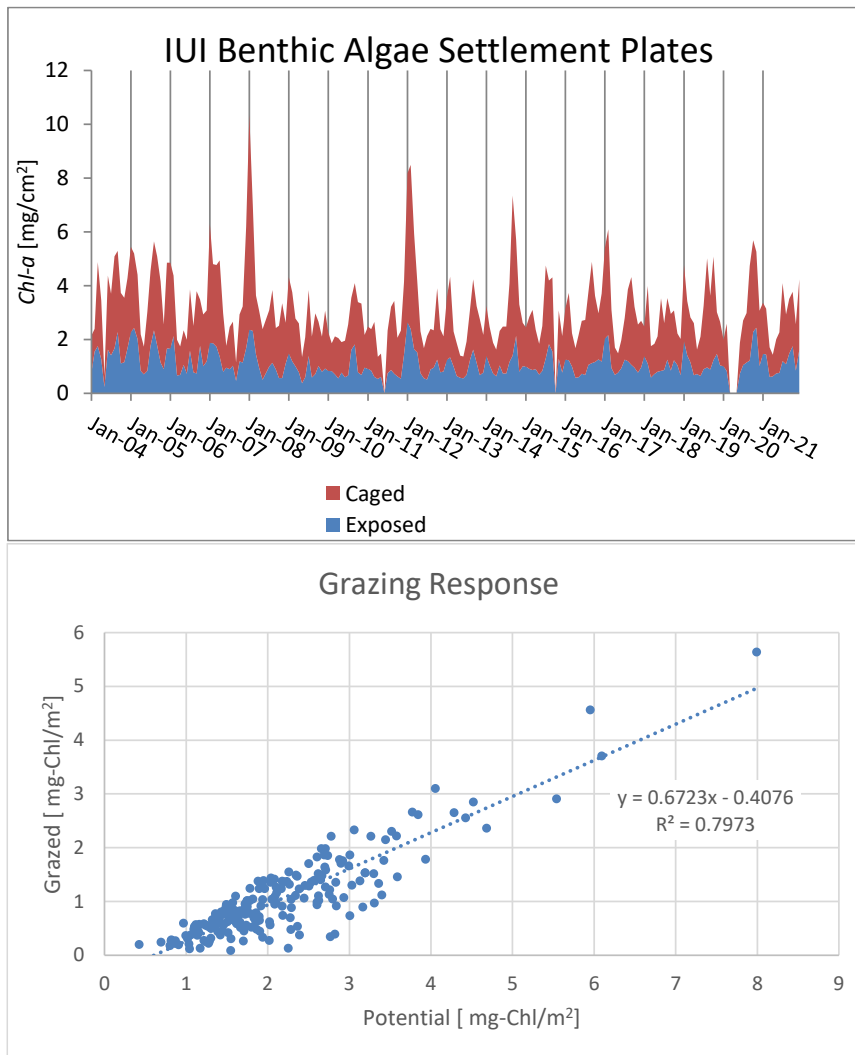
Figure B47: Average chlorophyll a on exposed and caged settlement plates in 2021. Each bar represents one month (calculated as an average of three plates submerged in the sea for two months).

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 ונמדדו שיאים בפוטנציאל גידול אצות ישיבות באתר המעבדה הימית (איור ב48).

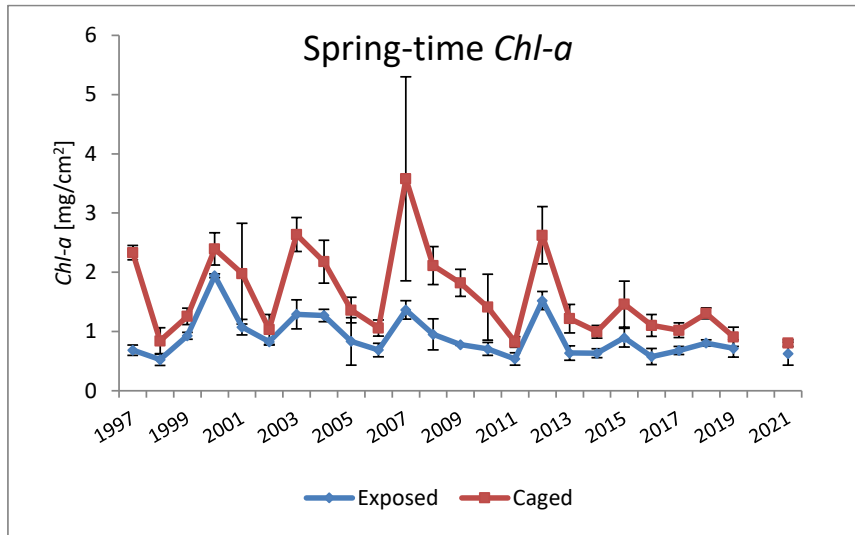
לרוב, לחץ הרעיה מוריד את ריכוז הכלורופיל על גבי לוחיות אלה במדה משמעותית. ככל שעולה פוטנציאל גידול האצות כן עולה תגובת הרועים ונמצא שיותר אצות (כלורופיל) חסרות בלוחיות החשופות, ככל הנראה סולקו על ידי רועי השונית (איור ב48, למטה).

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 ב48: למעלה – ממוצע כמות Chlorophyll a ע"ג לוחית חשופות ומוגנות בכלובים מאז 2004. למטה – פוטנציאל (כלורופיל על גבי לוחיות מוגנות) מול לחץ הרעייה (ההפרש בין כמות הכלורופיל על לוחיות מוגנות ובין ריכוזו על לוחיות חשופות).
Figure B48: Top – Average chlorophyll a on exposed and caged settlement plates since 2004. Bottom – Potential (Chl-a from protected, caged, plates) versus grazing pressure (the difference between potential and the realized (chl-a on exposed plates) algae growth).

מול המעבדה מתנהל מעקב רב-שנים, שהחל לפני הקמת תכנית הניטור, אחר כמות הכלורופיל על גבי לוחיות ששהו במים משך חודשיים באביב (מרץ-אפריל) ובו נצפים שינויים גדולים משנה לשנה בפוטנציאל גידול האצות בשונית בעונה זו (איור ב49). על אף שתזמון פריחת האצות הישיבות בשונית (= שיא פוטנציאל גידול האצות/ריכוז הכלורופיל על גבי לוחיות מוגנות מרעיה) משתנה משנה לשנה, מאפשרים נתונים אלה השוואה על פני זמן ארוך יותר. בסדרת זמן זו נראה כי פריחה חזקה של אצות ישיבות באביב מתרחשת כל שלוש-חמש שנים, כאשר השיא האחרון היה בשנת 2012 – שנה של ערבוב עמוק. בשנים האחרונות פריחת האביב של אצות ישיבות חלשה בהשוואה לתקופה שלפני עשור, אולם יתכן כי עיקר פריחת האצות הישיבות בשנים האחרונות מתרחש דווקא בחודשי הקיץ.



איור ב49: 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 B49: Average chlorophyll a during the months April-May on exposed and caged settlement plates since 1997. Each point is an average of three plates submerged in the sea for two months.

התיישבות אצות צמודות-מצע בחלקה הדרומי של שמורת חוף אלמוג ("הגנים היפנים") נמדדת מאז שנת 2007 בשלושה עומקים המייצגים שלוש סביבות שונות, ובהתאם לכך גם תבנית פריחת האצות הישיבות באתרים אלה אינה זהה (איור ב50). 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 והקררוע החוליית 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 הכלורופיל 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.

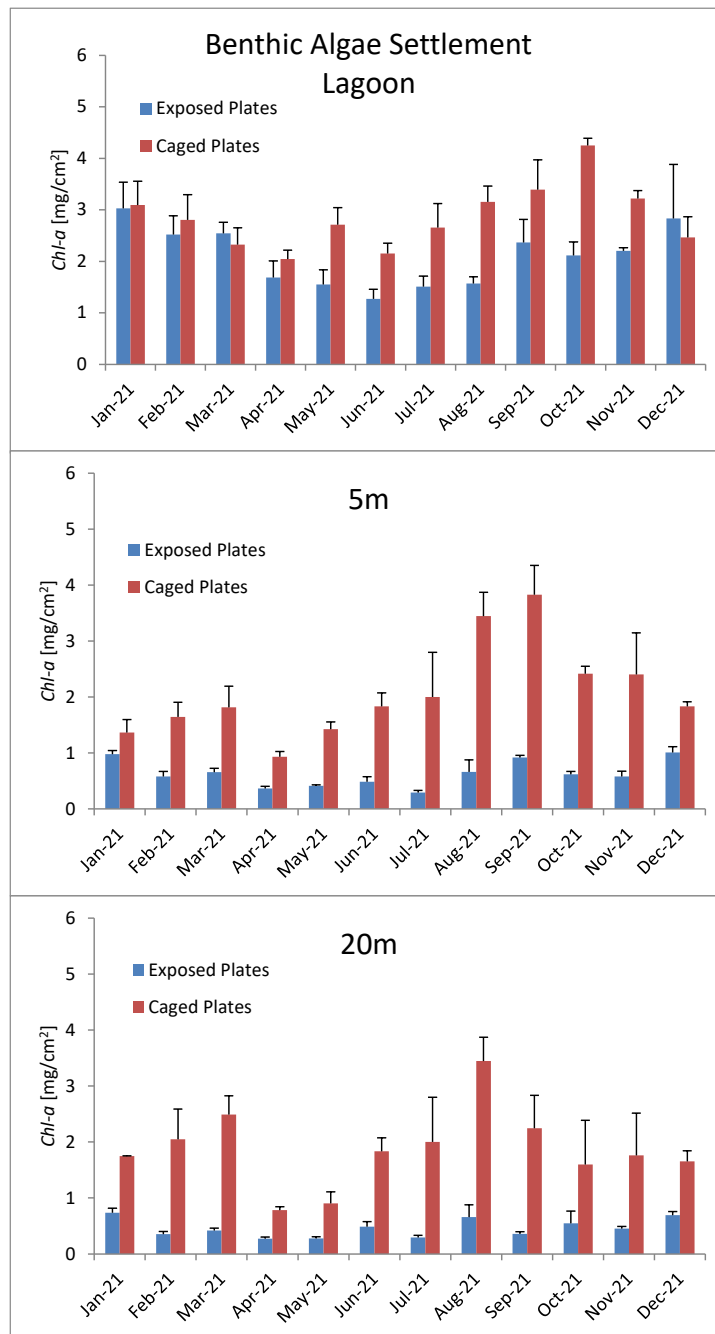
תבנית פוטנציאל פריחת האצות הישיבות (לוחיות מוגנות מרעייה) בלגונה כולל, לרוב, ערכים גבוהים בחודשי החורף וסוף הקיץ ונמוכים יחסית בחודשי האביב והקיץ. השנה נמדדו ערכים גבוהים בעיקר בסוף הקיץ, בחודשים ספטמבר-נובמבר, עם ערך מרבי של 4.25 mg/cm^2 בחודש אוקטובר. ריכוז הכלורופיל הנמוך ביותר השנה על גבי לוחיות התיישבות בלגונה היה 2.05 mg/cm^2 , בחודש אפריל. בשנה הקודמת נמדד בחודש אפריל הריכוז המרבי, שהיה דומה לריכוז המרבי השנה.

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

מערכי הלוחיות בעומק 5 מ' מוצבים באזור של סלע שונית ועל כן לרוב אינם מתכסים בסדימנט חולי. ריכוזי הכלורופיל המרביים באתר זה נמוכים לרוב מאלה הנמדדים בלגונה, ודומים לערכים הנמדדים באתר המעבדה הימית בעומק דומה. גם בעומק זה נמצא השנה פוטנציאל גדילה מרבי בחודשי הקיץ (אוגוסט-ספטמבר) עם ערך גבוה של 3.83 mg/cm^2 בספטמבר. בשנה הקודמת היה הערך המרבי 3.69 mg/cm^2 , בחודש אוקטובר. בעומק זה היה 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. השנה גם בעומק 20 מטרים נמצאה תבנית עונתית עם ערכי שיא בחודש אוגוסט 3.45 mg/cm^2 , גבוה בהשוואה לשנים האחרונות. ההבדלים בין לוחיות מוגנות ולוחיות חשופות היו גדולים במשך כל השנה. בכל האתרים נראה כי הרעייה מסוגלת לווסת ביעילות את גדילת האצות בפועל – ריכוזי כלורופיל על גבי לוחיות חשופות לרעה נמוכים משמעותית מאלו של הלוחיות המוגנות. עם זאת, בחודשים בהם פוטנציאל צמיחת האצות גדול, גם הריכוזים (השארתיים) על הלוחיות החשופות גבוהים מאשר בחודשים בהם פוטנציאל הגדילה נמוך. בהתאם לכך, גם ריכוזי הכלורופיל על לוחיות חשופות בלגונה גבוהים לרוב מאלו שנמדדים בעומקים הגדולים יותר. והשנה נמצא כי יעילות הרעייה בחודשי החורף בלגונה היתה נמוכה.

באופן כללי נראה כי הרעייה באתר השמורה יעילה יותר מאשר באתר המעבדה.



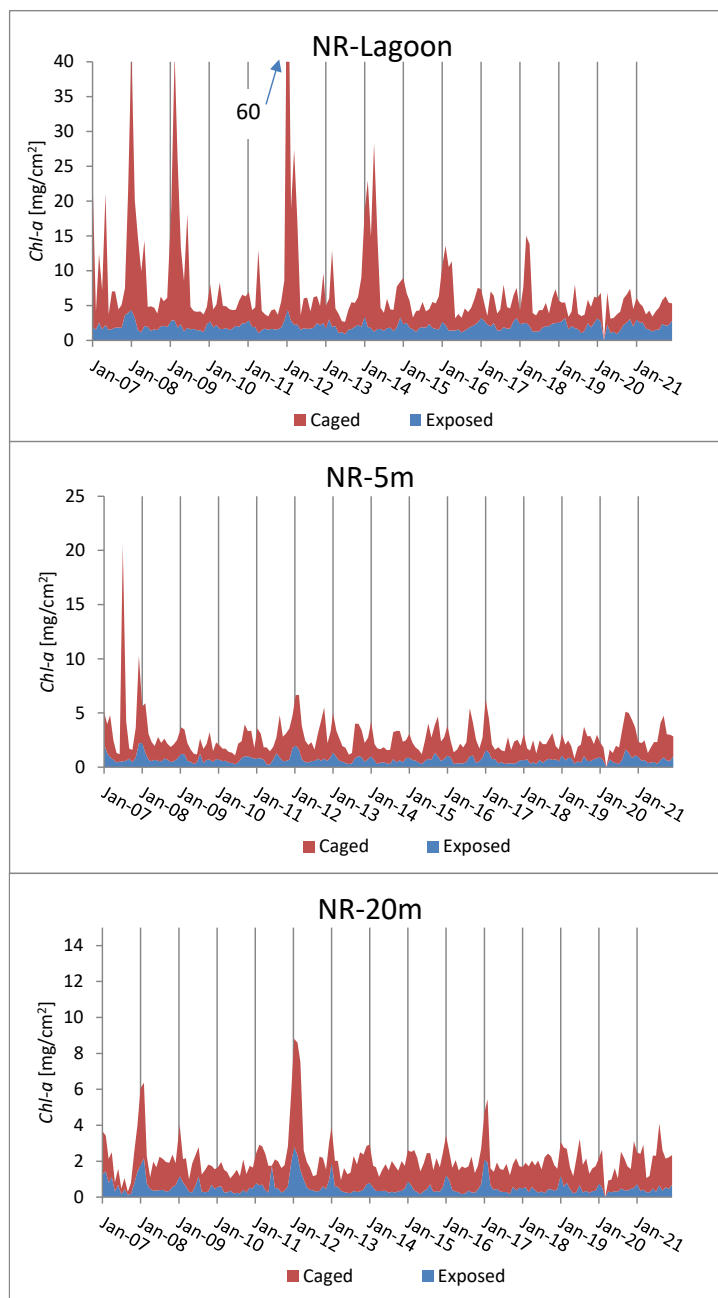
איור ב50: ממוצע כמות Chlorophyll a ע"ג לוחית חשופות ומוגנות בכלובים בשמורת חוף אלמוג בשנת 2021. כל נקודה מייצגת חודש אחד (מחושבת על-פי שלוש לוחיות ששהו בים חודשיים). למעלה – לוחיות שהוצבו בלגונה, באמצע – לוחיות מעומק 5 מטרים, למטה – לוחיות מעומק 20 מטרים.

Figure B50: Average chlorophyll a on exposed (blue) and caged (red) settlement plates at the Nature Reserve in 2021. 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.

ריכוזי כלורופיל על גבי לוחיות התיישבות היו דומים לאלה של השנה הקודמת. בלגונה נמצאו בעבר שנים רבות של פוטנציאל אצות גבוה יותר, אך בעומקים 5 ו-20 מטרים פוטנציאל האצות נמוך יותר ודי יציב (איור ב51). בשנים של ערבוב עמוק נרשמו לעיתים שיאים גבוהים בסדר גודל מאשר בשנים של ערבוב רדוד. בעומקים הגדולים יותר משרעת הערכים קטנה יותר, והשיאים לרוב פחות בולטים. יוצאים מן הכלל הם ריכוזי הכלורופיל על לוחיות מוגנות של השנים 2007-2008, שנים של ערבוב עמוק, וכן השיא של שנת 2012 (גם בה היה ערבוב עמוק) בעומק 20 מטר. גם בחורף 2017 נמדד ערך גבוה בעומק זה, אם כי נמוך מערכי שנות הערבוב העמוק.

ההבדלים בין השנים בולטים בעיקר בריכוזים הנמדדים מלוחיות מוגנות המשקפות פריחת אצות ללא ויסות על ידי רעייה.

פעילות הרעייה מוסתת ביעילות את צמיחת האצות, בפרט בלגונה (איור ב52), כך שהבדלים בין השנים בריכוזי הכלורופיל על גבי אצות חשופות אינם גדולים.



איור ב51: ממוצע כמות Chlorophyll *a* ע"ג לוחית חשופות ומוגנות בכלובים בשמורת חוף אלמוג מאז שנת 2007. 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.

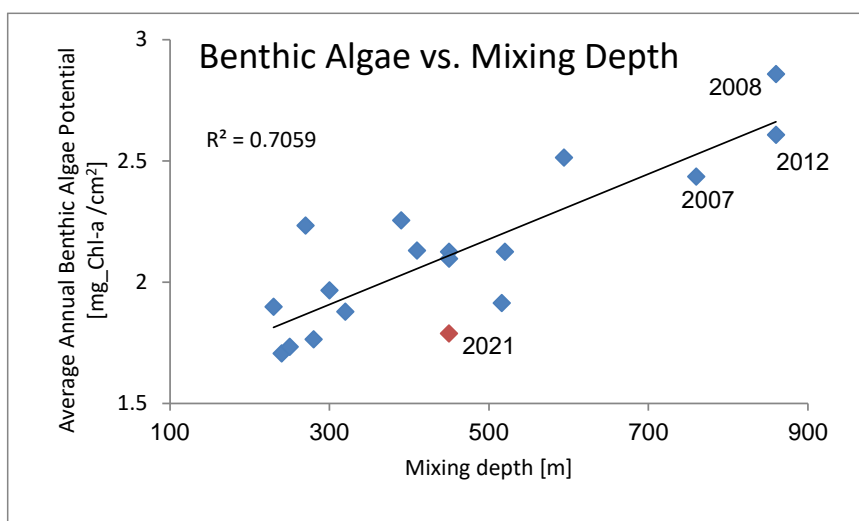
Figure B51: Average chlorophyll *a* on exposed and caged settlement plates at the Nature Reserve since 2007. Each point represents one month (calculated as an average of three plates submerged in the sea for two months). Top – the lagoon, middle – at 5 meters depth, bottom – at 20 meters.



איור ב52: לוחית התיישבות אצות שהיתה חשופה לרעייה באתר הלגונה.

Figure B52: An exposed algae settlement plate from the lagoon.

ההבדלים בין השנים במוצע השנתי של פוטנציאל גידול אצות ישיבות מצביעים על הקשר ההדוק בין העומק אליו הגיע ערבוב עמודת המים ופריחת אצות ישיבות על גבי מדרונות השונית (איור ב53). על פי הקשר זה פריחת האצות הישיבות השנה היתה נמוכה מהצפוי על סמך עומק הערבוב המרבי.



איור ב53: הממוצע השנתי של פוטנציאל פריחת אצות צמודות מצע במדרון השונית מול המכון הבינאוניברסיטאי כנגד עומק הערבוב, מאז שנת 2004.

Figure B53: The annual average potential benthic algae growth on the reef slopes across the IUI versus the mixing depth, since 2004.

מטרה

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

שיטות

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 והשנה הוקבלו סקרי הדגים לסקרי השונית, עד כמה שניתן. להלן האתרים והעומקים אשר נסקרו השנה: אתר השמורה (NR): בעומקים 5, 7 ו-20 מטרים; אתר המכון (IUI) בעומקים 5, 10 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 בשונית אילת (Khalaf et al., 2003) ובעצה אחת עם ד"ר ערן ברוקוביץ. סקר דגי השונית נערך על ידי תכנית הניטור מאז שנת 2007, והנתונים המצטברים מתחילים ליצור תמונה של מבנה חברת הדגים בשמורת חוף אלמוג, בחלוקה לרמות טרופיות. בשנת 2016 נעשה שינוי בחלוקת הדגים לקבוצות פונקציונאליות בעקבות Mouillot et al. (2014), ובעצה עם פרופ' רועי הולצמן מאוניברסיטת ת"א. חלוקת הדגים לקבוצות כמפורט להלן חושבה מחדש עבור כל השנים מאז 2007.

סיווג הדגים נעשה בעזרת לפי סוג המזון, גודל הלהקה, זיקתם לקרקעית ומיקום בעמודת המים לפי המפתח הבא:

– זיקה לקרקעית –

Benthic, Benthopelagic, Pelagic

– גודל להקה (Schooling) –

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

– תזונה –

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

Herbivorous: macroalgae/seagrass (H)

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

Invertivorous - Mobiles: crustaceans etc (IM)

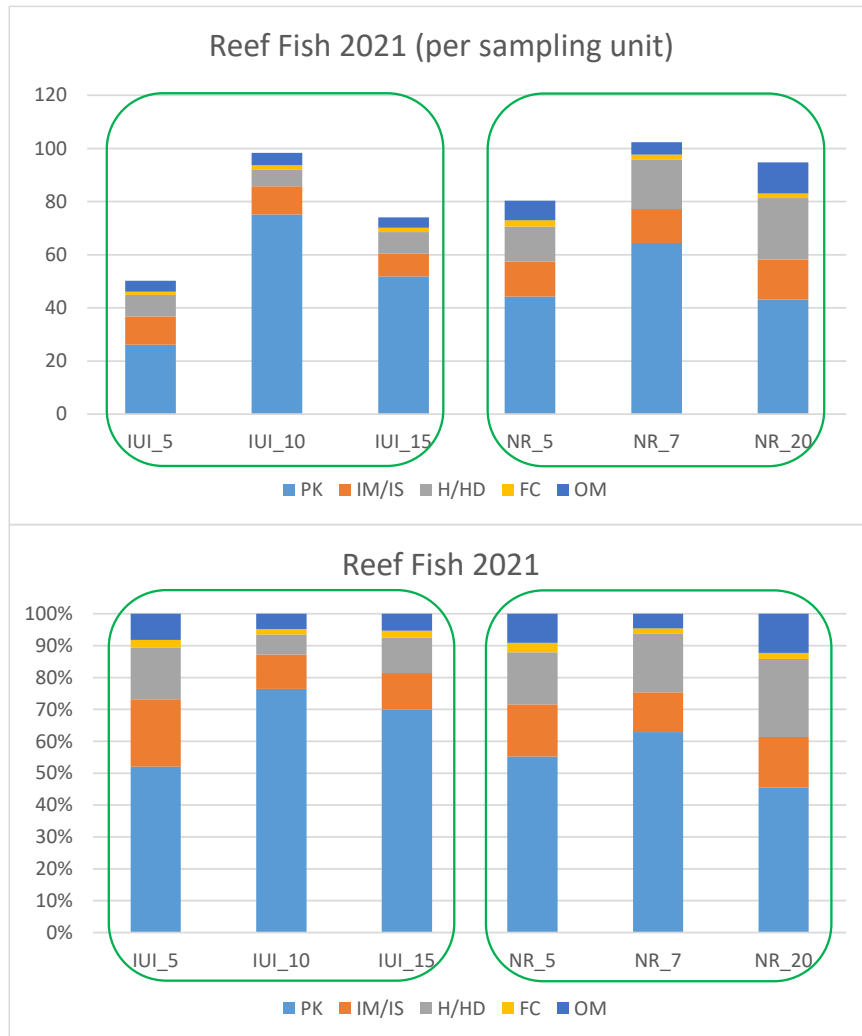
Planktivorous: feeding on small particles in the water column (PK)

Piscivorous: fish and cephalopods (PC)

Omnivorous: both animal and vegetal material (OM)

הדגים נספרו בסדרה של מנסרות ישרות בעלות בסיס מלבני ברוחב 1 מ' ובאורך 7 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 ראייה: 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 הדגימה (המנסרה) וכל מושבות האלמוגים המעונפים בתחומה. קצותיהם של שני סרטי מדידה מחוברים למוט באורך מטר קובעו לקרקעית הים (נקשרו לשונית) ונמתחו במקביל על ידי צולל השוחה עם המוט. קצות רצועות דיגום (אורך כל רצועה 7 מ', בסיס המנסרה) סומנו לאורך סרטי המדידה בעזרת מוטות נוספים. לאחר חלוקת השטח ליחידות דגימה מתרחקים הצוללים וממתנינים 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. לאחר ספירת דגים אלו במשך עשר דקות, נספרים הדגים שוכני הקרקעית המאכלסים את מושבות האלמוגים בתחומי בסיס המנסרה. יחד איתם נספרות מושבות האלמוגים המאוכלסות והמושבות הריקות.

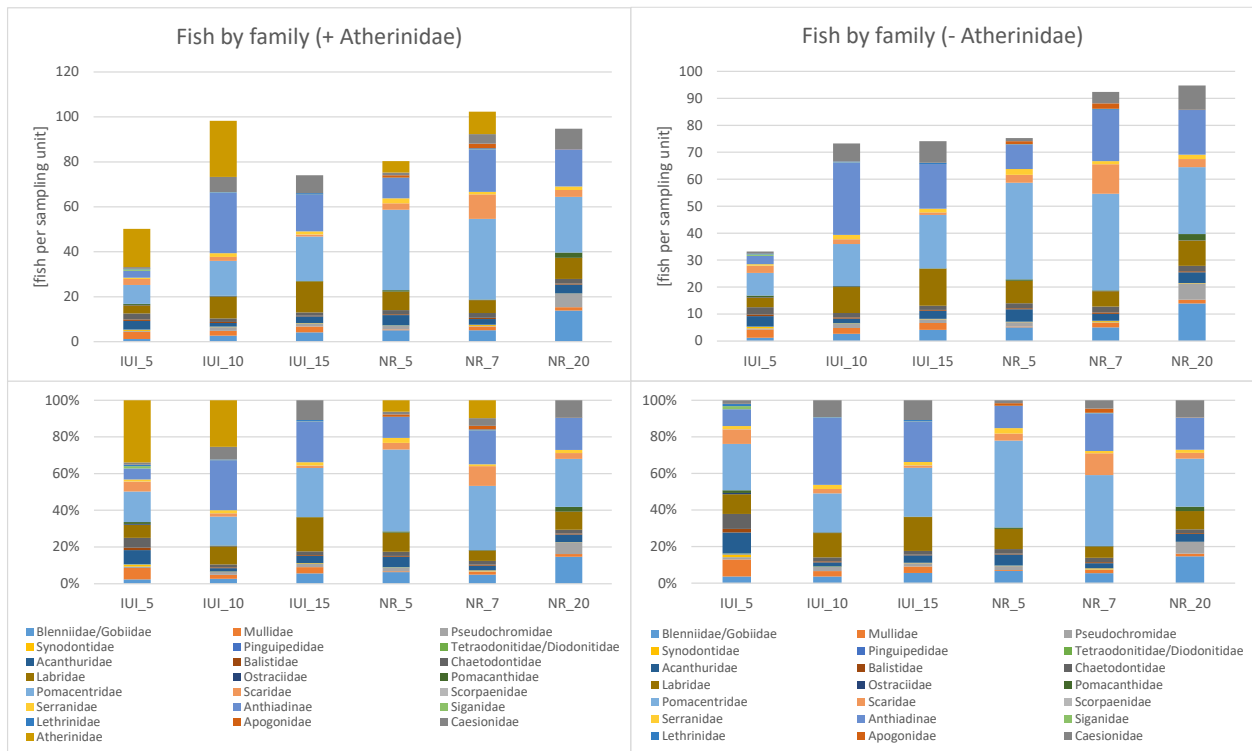
בכל האתרים נעשו השנה 20 חזרות על יחידת הדגימה, שפוזרו באופן שרירותי למחצה. מצאי הדגים באתרי השונית השנה, בחלוקה למשפחות, נתון בטבלה ב-7. רשימת המינים נתונה בנספח 3.2, בטבלאות 2ז ו-3ז. בהשוואה בין אתרי השמורה ואתרי המכון נמצא כי בשניהם צפיפות הדגים הגדולה ביותר היא בעומק הביניים 10/7 מטרים, ובעומק הרדוד הצפיפות היא הקטנה ביותר (איור ב-54). בעומקים הרדוד והעומק נמצאה באתר השמורה צפיפות דגים גדולה יותר ואילו בעומק הביניים הצפיפות בשני האתרים היתה דומה. כל האתרים נמצאו דומים בבחינת הרכב חברת הדגים מבחינת הרמה הטروفית (דיאטה); בכל האתרים חלקם של הדגים הפלנקטיבורים הוא הגדול ביותר, ובמיוחד בעומקי הביניים, ובכל האתרים חלקם של הדגים הפיסקובורים הוא הקטן ביותר. באתרי השמורה חלקם של הדגים ההרביבורים גדול יותר מאשר באתרי המכון.



איור ב-54: התפלגות מספר דגי השונית על פי הרמה הטروفית באתרי השמורה והמכון.

Figure B54: Distribution of the number of reef fish according to trophic level at the nature reserve (NR) and Interuniversity (IUI) sites.

הרכב חברת הדגים מבחינת משפחות אינו שונה מהותית בין האתרים הנסקרים, בכלם המשפחות *Pomacentridae* ו-*Anthiadinæ* הן הנפוצות ביותר (איור ב-55). יש להזכיר כי רבים מהדגים הנסקרים (ובפרט משפחת *Pomacentridae* ממנה נמצאה כמות הפרטים הגדולה ביותר) חיים בלהקות של עשרות עד מאות פרטים ומספרם מוערך על ידי הסוקר בהתאם לצפיפות הדגים הנספרת בחלק מהלהקה כפול הערכת הנפח של הלהקה כולה. די בשתיים-שלוש להקות גדולות כדי לתרום אחוז ניכר מהדגים הנסקרים ומצב כזה משפיע בהכרח על ההערכה. זה נכון גם עבור משפחת ה-*Atherinidae* הנוודים בלהקות גדולות ועל כן מוצגת התפלגות החברה לפי משפחות גם ללא דגים אלה.

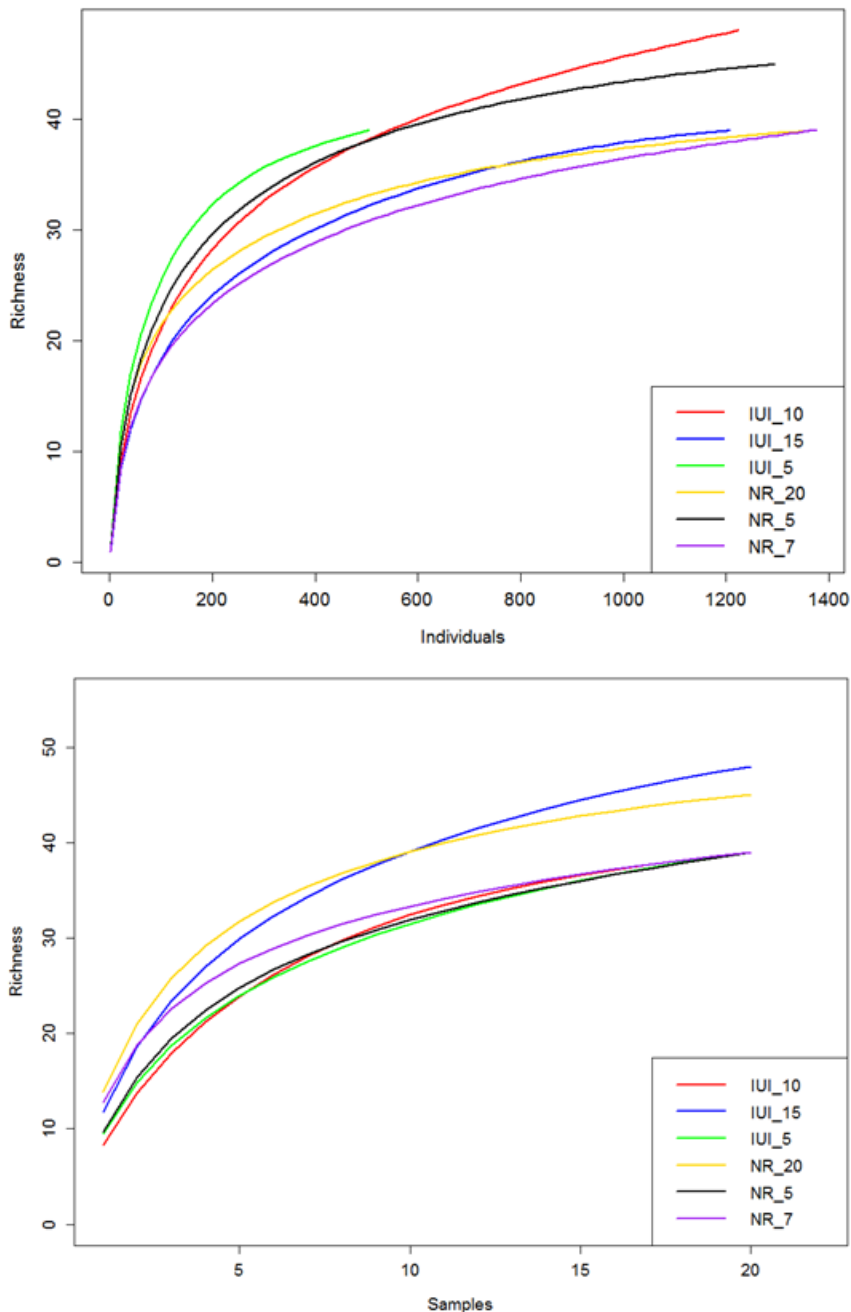


איור ב55: התפלגות מספר דגי השוניות על פי משפחות באתרי השמורה והמכון.

Figure B55: Distribution of the number of reef fish according to taxonomic families at the nature reserve (NR) and Interuniversity (IUI) sites.

עושר חברת הדגים באתרים השונים נבחן לגבי הדגים שזוהו לרמת המין גם באמצעות עקומות צבירה (rarefaction) בה נדגמות יחידות באופן אקראי מתוך סך הדגימות באתר וכך נצברת עקומה של עושר מינים המוצגת כמספר מינים כפונקציה של מספר דגימות. אנליזה זו בוצעה פעמיים (איור 56), פעם אחת עבור מספר הפרטים הנדגם בכל אתר (Individuals) ופעם אחת עם מספר יחידות הדגימה בכל אתר (Samples).

בשני המקרים נמצאה שונות בין האתרים בעושר המינים. בעקומות על פי כמות הפרטים נמצא שעקומת הצבירה של אתר IUI-5 היא התלולה ביותר, ז"א בעלת ההרכב האחד ביותר, ואילו עושר המינים הגדול ביותר נמצא באתר IUI-10. המגמות באתרים NR-7, NR-20 ו-IUI-15 נמצא עושר מינים דומה ונמוך יותר מאשר באתרים האחרים. בעקומות הצבירה על פי יחידות דגימה ניתן לראות שהעומקים הרדודים בשני האתרים מציגים מגמה זהה, אך בעומקים העמוקים יותר (IUI_15 ו-NR_20) עושר המינים עולה ככל שנדגמות יותר יחידות דגימה. כלומר, בעומקים 15-20 מטר ניתן – בהגדלת מאמץ הדגימה – למצוא יותר מינים מאשר בעומקים 5-10 מטר. מכיוון שהדפוסים שונים בשני הגרפים, ניתן להסיק שהמינים אינם מפוזרים באופן אקראי בין האתרים.



איור ב56: עקומות צבירה לעושר דגים באתרים השונים. למעלה, צבירה על פי פרטים. למטה, צבירה על פי יחידות דגימה.
Figure B56: Rarefaction curves for species richness at the surveyed sites. Top, accumulation according to individuals. Bottom, accumulation according to sampling units.

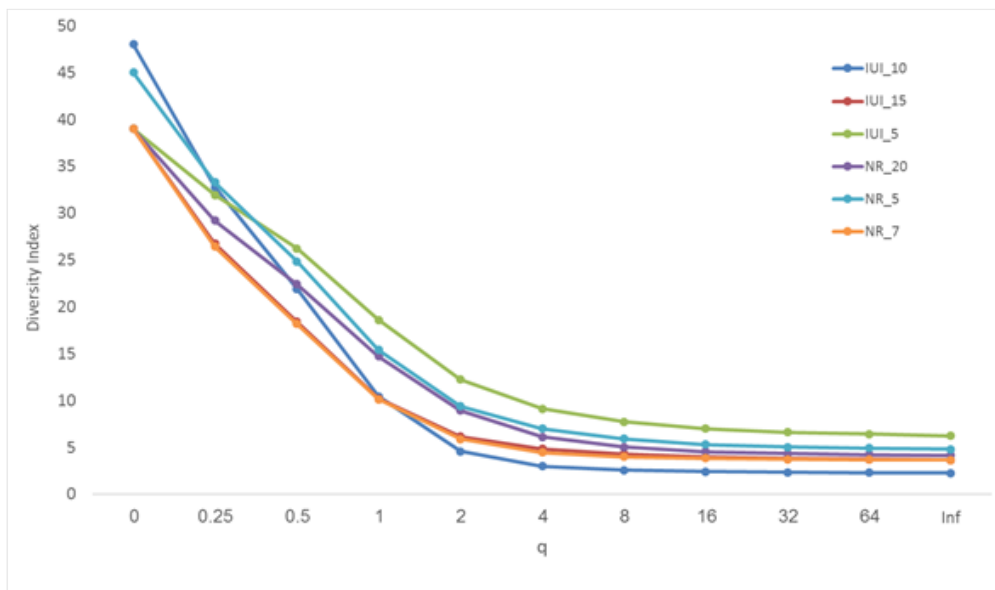
הבדלים בין באתרים מבחינת מגוון מינים מוצגים גם באמצעות עקומות רייני (Rényi diversity profiles) בהם המשקל הניתן למינים נדירים יורד עם העליה בערך q (ציר ה-x, איור ב57). ככל שעקומה גבוהה יותר לאורך ציר ה-y כך היא מייצגת חברה "מגוונת" יותר. עושר המינים מיוצג במיקום $q=1$, $q=0$ ומדד סימפסון (Simpson) מיוצג על ידי $q=2$.

עושר המינים, כאמור גבוה ביותר באתר IUI-10 ואחריו ב- NR-5, ובשאר האתרים נמצא עושר מינים מעט נמוך יותר וזהה. אך אתר IUI-10 בעל ערך מגוון נמוך בערכי q גבוהים, עובדה המצביעה על עושר במינים נדירים ואילו אתר NR-5 נותר בעל ערכי מגוון גבוהים ונראה כי הרכב החברה בו מאוזן יותר.

על פי מדדי המגוון של שאנון וסימפסון אתר IUI-5 הוא הגבוה ביותר וכמו כן שיפוע העקומה שלו מתון ביותר. כך נראה שאחידות המינים בו היא הגדולה ביותר והוא האתר המגוון ביותר מבחינת הרכב חברת דגי השונית.

הקשר בין עושר המינים לכמות הפרטים בכל אתר נבחן באמצעות מודל רגרסיה לינארי. בכל האתרים, מלבד NR-5 ו-NR-

20, נמצא קשר חיובי מובהק בין עושר וכמות, משמע שבאתרים אלה כמות הפרטים ועושר המינים מצויים בכפיפה אחת.

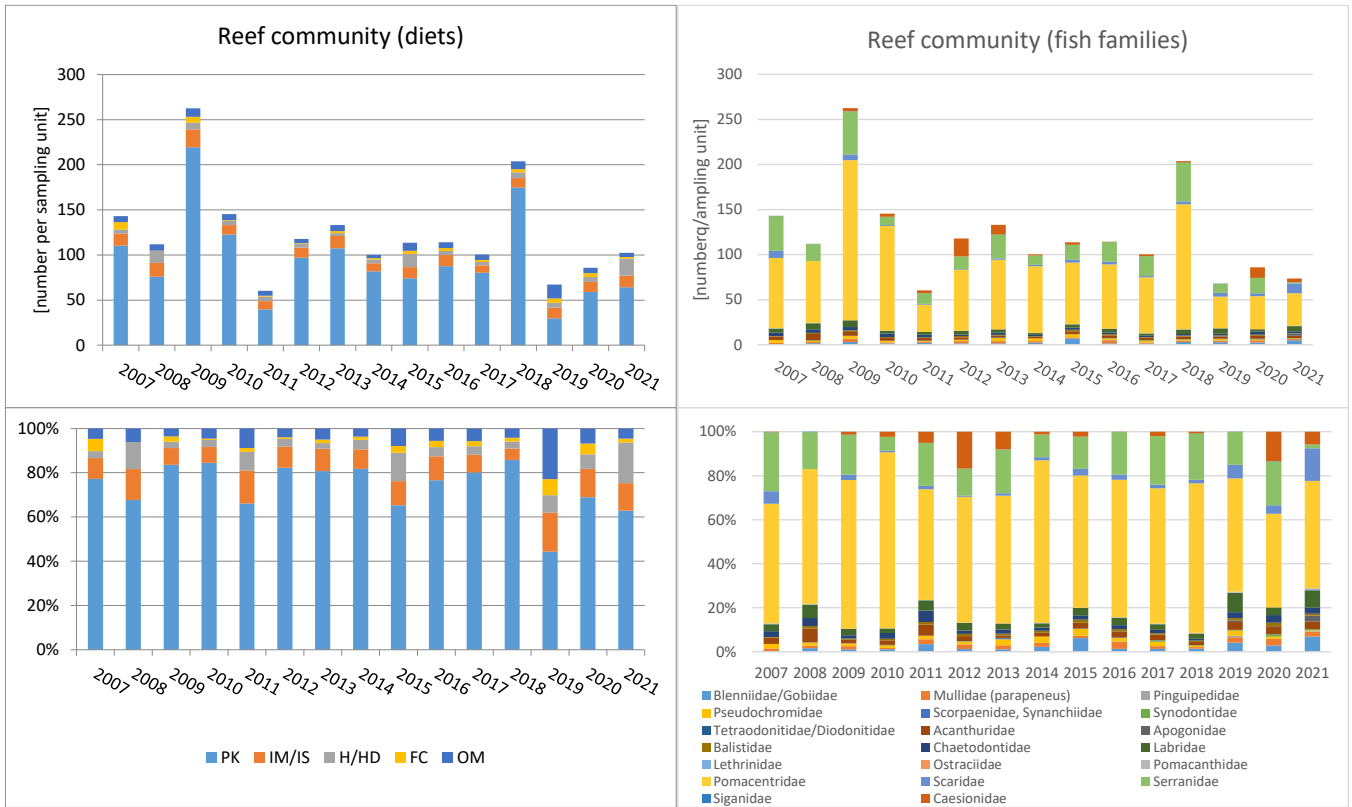


איור ב57: עקומות מגוון על פי אינדקס רייני (Rényi diversity profiles) להרכב חברת דגי השונית באתרים השונים.
Figure B57: Rényi diversity curves for reef fish communities at the surveyed sites.

סדרת הזמן של הרכב חברת דגי השונית באתר 7-NR מראה יציבות לאורך השנים עם תנודות לא-מגמתיות בכמות קבוצת דגים זו או אחרת (איור ב58). בכל השנים קבוצת הדגים הגדולה ביותר היא זו של דגים הניזונים בעמודת המים (פלנקטיבורים, PK). מקבוצה זו נספרו השנה בממוצע 64 פרטים בכל יחידת דגימה, בדומה לשנה הקודמת. בשנת 2018 נספרו בממוצע כ-175 פרטים מקבוצה טרופית זו בכל יחידת דגימה. 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. משפחת הדגים הנפוצה ביותר במשך כל תקופת הניטור היא *Pomacentridae* והיא מהווה את חלק הארי של קבוצה זו. דגים פלנקטיבורים מהווים חוליה חיונית במארג המזון ברכזם חומרי מזון מהרמות הנמוכות בגוף המים. הקבוצה השניה בגודלה היא קבוצת הדגים הטורפים חסרי חוליות ניידים וניחים בשונית (IS/IM). דגים אלה מווסתים את אוכלוסיית חסרי החוליות בשונית (למשל סרטנים וקיפודים) וכך מונעים התפרצות של מינים מקבוצות אלה, העשויות להיות הרסניות לשונית.

לדגים הרועים (אוכלי אצות צמודות מצע, H, ו-HD) ייצוג מספרי נמוך יחסית, אך חשיבותם בשונית גדולה. ביחד עם רועים חסרי חוליות, דגים אלה מווסתים את צמיחת האצות בשונית ומאפשרים שטחי שונית נקיים להתיישבות אלמוגים. קבוצות נוספות של דגים (על פי חלוקה למזון מועדף) נמצאו במספרים קטנים יותר.

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 ב58: התפלגות מספר דגי השונית על פי הרמה הטروفית (משמאל) ועל פי משפחות (מימין) מאז שנת 2007.
Figure B58: Distribution of the number of reef fish according to trophic level (left) and families (right) since 2007.

		NR 5m	NR 7m	NR 20m	IUI 5m	IUI 10m	IUI 10m
<i>Blenniidae/Gobiidae</i>	Benthic	5.05	5.05	13.9	1.2	2.65	4.15
<i>Mullidae (parapeneus)</i>		0.35	1.65	1.4	3.1	2.15	2.55
<i>Pinguipedidae</i>		0.1	0.15	0	0.1	0.05	0
<i>Pseudochromidae</i>		1.6	0.2	6.05	0.4	1.7	1.35
<i>Scorpaenidae, Synanchiidae</i>		0	0	0.05	0.05	0.05	0.05
<i>Synodontidae</i>		0.1	0.5	0.1	0.5	0.05	0.2
<i>Tetraodonitidae/Diodonitidae</i>		0.05	0	0	0.1	0.1	0
<i>Acanthuridae</i>	Benthic-Pelagic	4.55	2.5	4	3.8	1.6	3
<i>Apogonidae</i>		1.05	2.05	0.1	0.05	0	0
<i>Balistidae</i>		0.35	0.55	0.45	0.65	0.45	0.3
<i>Chaetodontidae</i>		1.85	2.15	2	2.7	1.6	1.5
<i>Labridae</i>		8.3	5.75	9.4	3.6	9.7	13.75
<i>Lethrinidae</i>		0.05	0.35	0	0.35	0.2	0.45
<i>Ostraciidae</i>		0	0.05	0.05	0.2	0.2	0
<i>Pomacanthidae</i>		0.6	0.25	2.3	0.5	0.15	0.15
<i>Pomacentridae</i>		35.8	35.8	24.8	8.4	15.55	19.8
<i>Scaridae</i>		2.9	10.95	3	2.65	1.75	0.9
<i>Serranidae</i>		2.2	1.15	1.6	0.55	1.6	1.35
<i>Siganidae</i>	0.05	0.1	0	0.6	0.1	0.05	
<i>Caesionidae</i>	Pelagic	1.2	4.25	9	0.65	6.75	8
Corals with fish		2.7	3.15	2.35	1.8	2.45	3.05
Corals without fish		3.15	2.35	2.45	2.45	3.05	2.7

טבלה ב7: שכיחות ממוצעת (ליחידת דגימה) של משפחות דגים ומספר האלמוגים הממוצע באתרי שוניית שנסקרו השנה.

Table B7: Average occurrence (per sampling unit) of fish families and corals at the Eilat reef sites surveyed this year.

ג. ניטור הסביבה החופית

ג.1. מי הים בקרבת החוף

מטרה

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

שיטות

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

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

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

pH: מדידות ה-pH במי הים מבוצעות בטמפרטורה קבועה של 25°C באמצעות אלקטרודת pH מזכוכית (combined) pH electrode דגם pH-7-2401 ומד pH דגם PHM 93 שניהם של חברת Radiometer Copenhagen. כיוול האלקטרודה מתבצע בעזרת תמיסות סטנדרטיות מסחריות ומוכרות כתמיסות כיוול בינלאומיות (IUPAC/NIST certified standards). תמיסות כיוול אלו הן במליחות נמוכה ולכן מספקות מידע על pH בסקלת אקטיביות המימן או סקלת pH_{NBS} לפי ההגדרה של Millero et al. 1993: $\text{pH}_{\text{NBS}} = -\log \{ \text{H}^+ \}$

מחקרים רבים במי ים מדווחים את תוצאותיהם בסקלה של ריכוז כולל של יוני המימן סקלת pHT המוגדרת כ: $\text{pHT} = -\log [\text{H}^+]_T$ כאשר $[\text{H}^+]_T$ 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-pHT, יש להפחית 0.14 מכל המדידות (Shaked 2008).

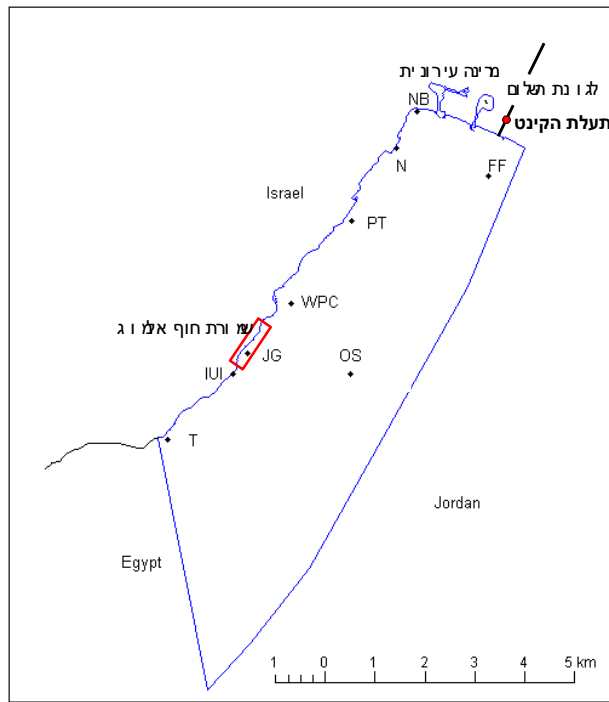
מליחות: מדידה במד מליחות מדגם Micro-Salinometer MS-310e של חברת RBR, קנדה. המדידה מבוססת על השראה מגנטית תוך השוואה של מוליכות הדגימה לזו של סטנדרט.

נוטריונים: NO_2 , NO_3 , $\text{Si}(\text{OH})_4$, PO_4 נמדדים במכשיר QuikChem 8000 flow injection analyzer של חברת Lachat Instruments, Milwaukee, ארה"ב. המדידה מבוססת על תגובת צבע שיוצר כל אחד מהנוטריונים עם הריאגנט הייחודי לו ליצירת קומפלקס צבע בעל אורך גל בתחום האור הנראה, הנקלט בספקטרופוטומטר של המכשיר.

אלקליניות: נקבעת ע"י טיטרציה Gran עם HCl בריכוז 0.05N המתבצעת באמצעות טיטרטור אוטומטי מדגם DL67 ואלקטרודת pH מזכוכית (combined pH electrode) דגם DG111, שניהם של חברת Mettler Toledo, שווייץ.

כלורופיל: המים מסוננים דרך פילטרים מסוג GF/F. הפילטרים ממוצים באצטון 90% בחושך (במקרר 4°C) ל-24 שעות. בתום המיצוי, ריכוז הכלורופיל (chlorophyll-a) נמדד בפלואורומטר מדגם TD-700 של חברת Turner Designs, קליפורניה, ארה"ב.

אמוניה: אמוניה נמדדת באמצעות פלואורומטר DyNA QuantTM 2000 של חברת Hoefler 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.

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"

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

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

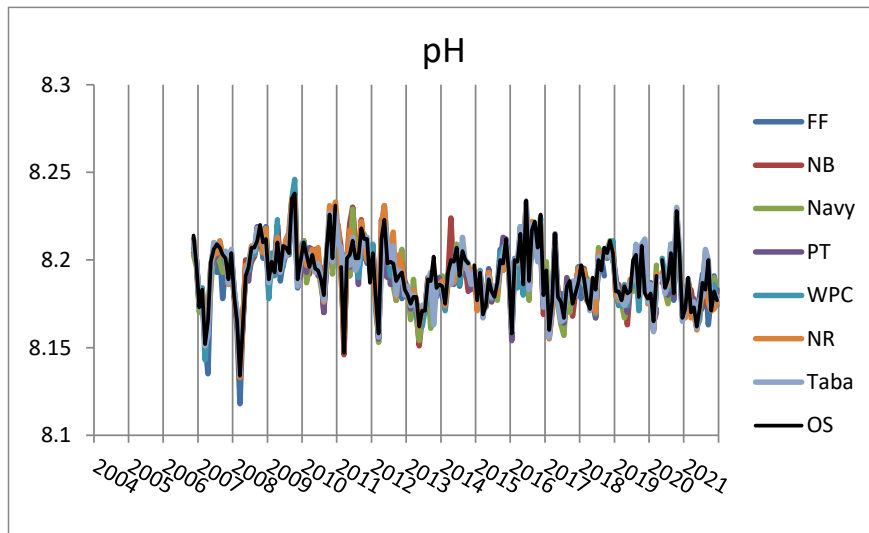
מדדים כימיים

רמת חומציות המים (pH)

תזכורת: עקב התיישנות תמיסות התייחסנו אל כל ערכי pH אשר נמדדו במסגרת תכנית הניטור מאז חודש אוקטובר 2003 ועד לחודש נובמבר 2006 כחשודים ולא קבילים. הערכים המוצגים למטה מאז שנת 2007 הינם אמין. 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).

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 המערבב. השנה לא היתה שונה משנים אחרות, עם ערך נמוך ביותר בתחנת הים הפתוח של 8.162 בחודש מאי (איור ג2). ערכי ה-pH הגבוהים ביותר השנה נמדדו בחודש ספטמבר והגיעו בים הפתוח ל- 8.200. גם השנה, בדומה לשנים האחרונות הערך המרבי נמדד בתחנת טאבה, 8.206 בחודש אוגוסט. ערכי ה-pH השנה נמוכים מעט מאלו אשר נמדדו בשנה הקודמת אך אינם חורגים מהטווח הנמדד בשנים האחרונות, בהתאמה לטווח ערכי ה-pH אשר נמדדו מאז אוקטובר 2006 בתחנות הניטור החופיות.

ערך גבה של 8.118 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 8.160 בתחנת שמורת האלמוגים, בחודש מאי.



איור ג2: ערכי pH חודשיים בכל תחנות הדיגום מאז אוקטובר 2006.

Figure C2: Monthly pH values at all coastal water monitoring stations since October 2006.

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

אלקליניות

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 נמצאו ערכים גבוהים במיוחד של אלקליניות בתחנת "לובי הדגים" בחודש יוני [2.567 meq/kg] ומעט פחות מזה אך עדיין גבוה באותה תחנה בחודש ספטמבר [2.530 meq/kg], (איור 3ג). הערך הגבוה בחודש יוני הוא הגבוה ביותר אשר נמדד עד כה במסגרת ניטור התחנות החופיות.

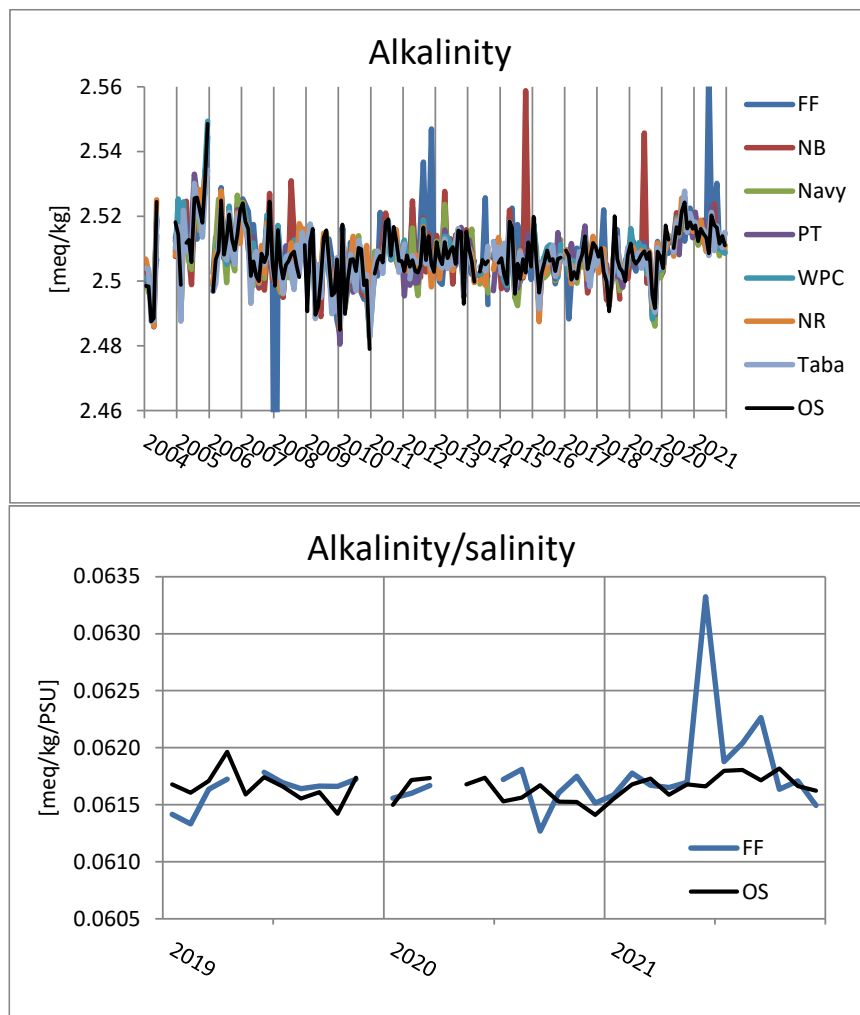
הערך הנמוך ביותר אשר נמדד השנה בתחנת הים הפתוח היה [2.509 meq/kg] בחודש יוני, אותו חודש בו נמדד הערך החריג בתחנת כלובי הדגים. הערך הגבוה ביותר בים הפתוח היה [2.520 meq/kg] בחודש יולי.

ערך האלקליניות הגבוה ביותר אשר נמדד עד השנה במסגרת תכנית הניטור הוא [2.559 meq/kg], בתחנת "החוף הצפוני" בחודש אוקטובר בשנת 2015. 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 השנה, ריכוזי הנוטריינטים במי החוף בתחנת כלובי הדגים בחודש יוני היו גבוהים במיוחד. מעבר לכך, 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.

הערך שנמדד בחודש יוני השנה הוא הגבוה ביותר שנמדד עד כה, אולם ערכי אלקליניות גבוהים נמדדו לעיתים גם בשנים קודמות בתחנות הצפוניות. גם לאחר נירמול האלקליניות למליחות הערך הנמדד בחודש יוני נותר חריג ביותר.

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.

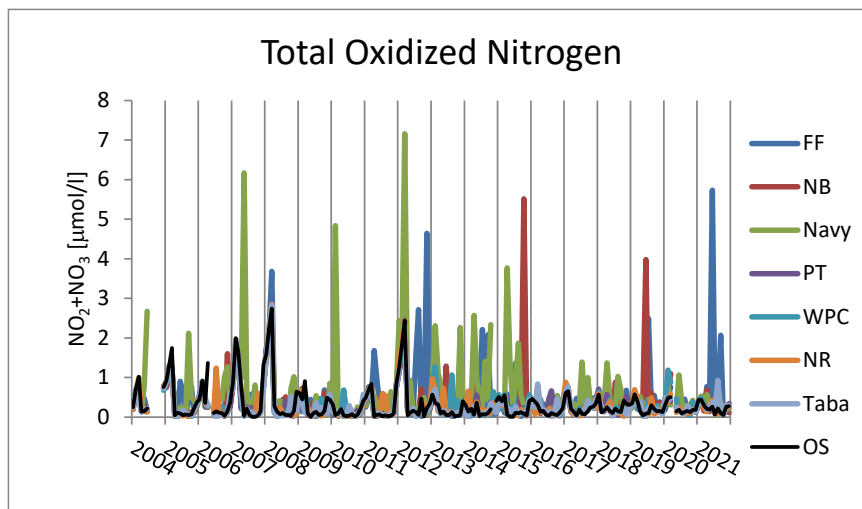


איור 3ג: אלקליניות בתחנות הדיגום החופי מאז שנת 2004. למטה, ערכי האלקליניות מנורמלים למליחות בתחנת FF וים פתוח.
Figure C3: Monthly alkalinity at the coastal water sampling stations since 2004. Bottom, alkalinity values normalized according to salinity at the FF and open sea sampling stations.

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

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 חוזר 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 חנקן גבוהים במיוחד בתחנת "כלובי הדגים" בחודש יוני ($5.729 \mu\text{mol/l}$) ובחודש ספטמבר ($\mu\text{mol/l}$) 5.73 ו- $2.07 \mu\text{mol/l}$ (בהתאמה, איור ג4), וזאת בהתאמה לערכי האלקליניות וערכים גבוהים נוספים אשר נמדדו שם. יש להזכיר כי נמצאו ערכים גבוהים שונים באותה דוגמת מים וכי ישנה התאמה בין מדידות אלה למדידות גבוהות שהתקבלו באותו זמן ממוצא תעלת הקינט הסמוך. ריכוז החנקן אשר נמדד בחודש יוני הוא הגבוה ביותר אשר נמדד במסגרת ניטור התחנות החופיות מאז הערבוב העמוק של שנת 2012. באוקטובר שנת 2015 נמדד בתחנת החוף הצפוני ריכוז חנקן של $5.518 \mu\text{mol/l}$. ערך זה משקף כניסת מי נגר לים בעקבות סופת גשמים. על רקע מדידות השנים האחרונות בתחנות החופיות, הריכוזים הגבוהים שנמדדו השנה, ובפרט בחודש יוני, הינם חריגים, והתזמון - חודשי הקיץ - אינו תומך במקור טבעי כגון כניסת נגר שיטפונות. מקור הנוטריינטים ככל הנראה הזרמה מתעלת הקינט כפי שמשקף בערכים גבוהים אשר נמדדו במוצא התעלה. ריכוז החנקן הגבוה ביותר בים הפתוח היה השנה בחודש פברואר, $0.442 \mu\text{mol/l}$, קצת נמוך מהערכים שנמדדו בשנתיים הקודמות.



איור ג4: מדידות ניטריט + ניטראט (TON) חודשיות בתחנות הדיגום החופי מאז שנת 2004.
Figure C4: Monthly concentrations of total oxidized nitrogen (TON, nitrate+nitrite) at the coastal water sampling stations since 2004.

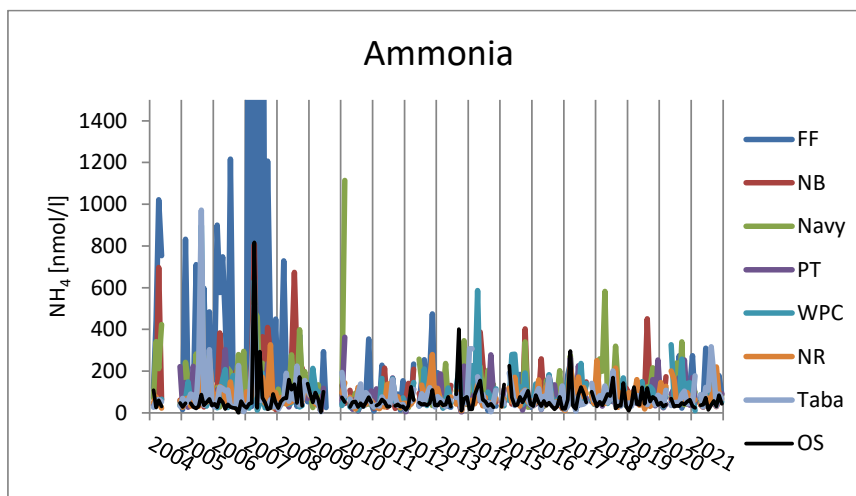
אמוניה (NH_4)

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

האמוניה היא צורת חנקן זמינה מאד ונצרכת במהירות על ידי פיטופלנקטון וחיידיקים, 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. פעמים רבות נמדדים בתחנות החופיות ריכוזי אמוניה גבוהים מאשר בתחנת הים הפתוח. השנה נמצאו ריכוזים גבוהים יחסית בעיקר בחודשי הקיץ, במספר תחנות (איור ג5). ריכוז האמוניה הגבוה ביותר אשר נמדד בתחנת הים הפתוח היה השנה

85nmol/l, בחודש נובמבר. הריכוז הגבוה ביותר הנמדד היה 318 nmol/l, באוגוסט בתחנת "טאבה", מעט נמוך בהשוואה לשנה שעברה.

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 5: ריכוזי אמוניה (NH_4) בתחנות הדיגום החופי מאז שנת 2004.

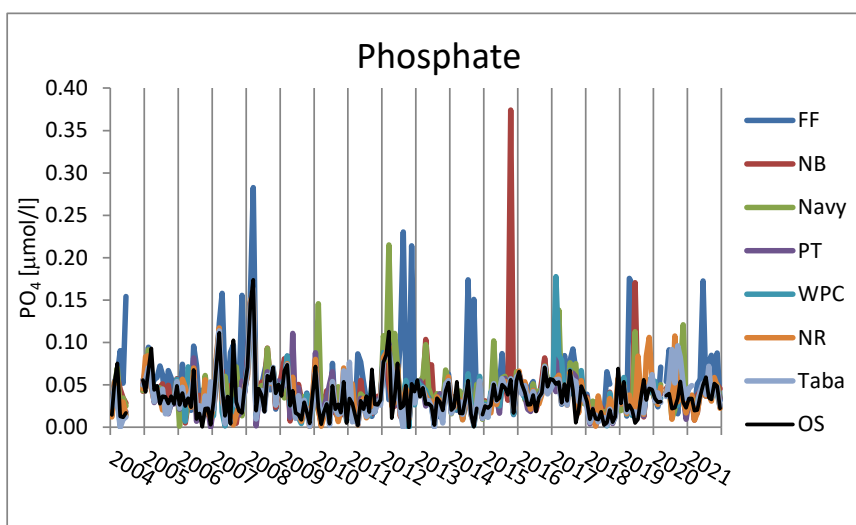
Figure C5: Monthly concentrations of ammonia (NH_4) at the coastal water sampling stations since 2004.

פוספט (PO_4^{3-})

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 ראשוניים. 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 נמדד בחודש יוני השנה ערך גבוה במיוחד ($0.173 \mu\text{mol/l}$) בתחנת "כלובי הדגים", בדומה לריכוזי החנקן ולערך האלקליניות (איור 6). הריכוז הגבוה ביותר בים הפתוח נמדד בחודש יולי, $0.059 \mu\text{mol/l}$, דומה לערך המרבי של השנים האחרונות.

ריכוזי הפוספט הגבוה שנמדד בחודש יוני קשור, כנראה, לזרימות מתעלת הקינט הסמוכה אשר גם בה נמצאו ערכים גבוהים בזמן זה (כמו גם בריכוזי נוטריינטים נוספים). גם בחודשים ספטמבר ונובמבר נמצאו בתחנת "כלובי הדגים" ערכים גבוהים בהשוואה לריכוזי הים העמוק.

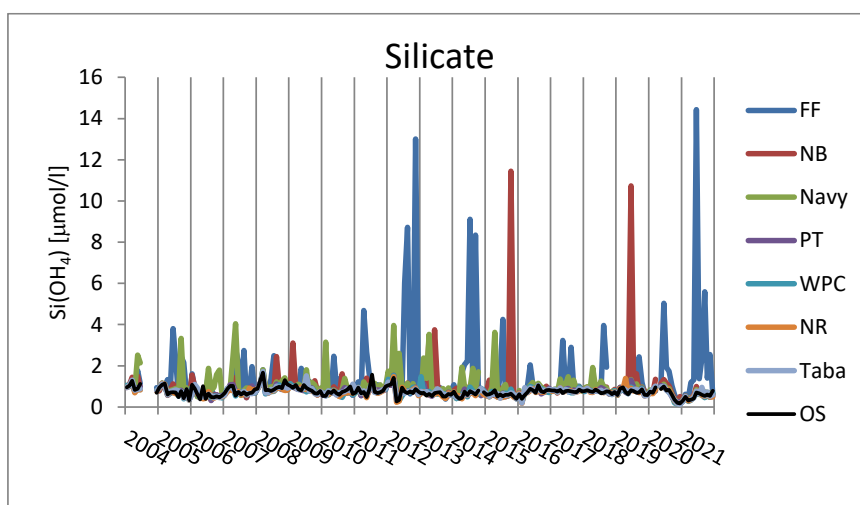


איור 6: ריכוזי פוספט (PO_4) בתחנות הדיגום החופי מאז שנת 2004.

Figure C6: Phosphate concentrations (PO_4) at coastal-water sampling stations since 2004.

סיליקה (Si(OH)_4)

סיליקה היא רכיב מומס המשמש בהשקעת שלד צורני במגוון של פטו/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, אך גם בנוטריינט זה נמצאו בחודשים יוני וספטמבר ריכוזים גבוהים באופן חריג בתחנת "כלובי הדגים" (איור ג7). ריכוז הסיליקה בחודש יוני היה $14.43 \mu\text{mol/l}$, הגבוה ביותר אשר נמדד עד כה במסגרת ניטור התחנות החופיות. בספטמבר היה ריכוז הסיליקה בתחנה זו נמוך יותר, $5.60 \mu\text{mol/l}$, אך עדיין גבוה בהרבה מערך הרקע של תחנת הים הפתוח – בה היה השנה ריכוז סיליקה מירבי של $0.78 \mu\text{mol/l}$, בחודש דצמבר. באזור החוף הצפוני של אילת עדיין נמדדים לעיתים קרובות ריכוזי סיליקה גבוהים יחסית לערכי הים הפתוח והתחנות הדרומיות. והריכוזים הגבוהים של השנה אשר נמדדו ביחד עם ריכוזים גבוהים של נוטריינטים אחרים נובעים כנראה מזרימת מים לים דרך תעלת הקינט.



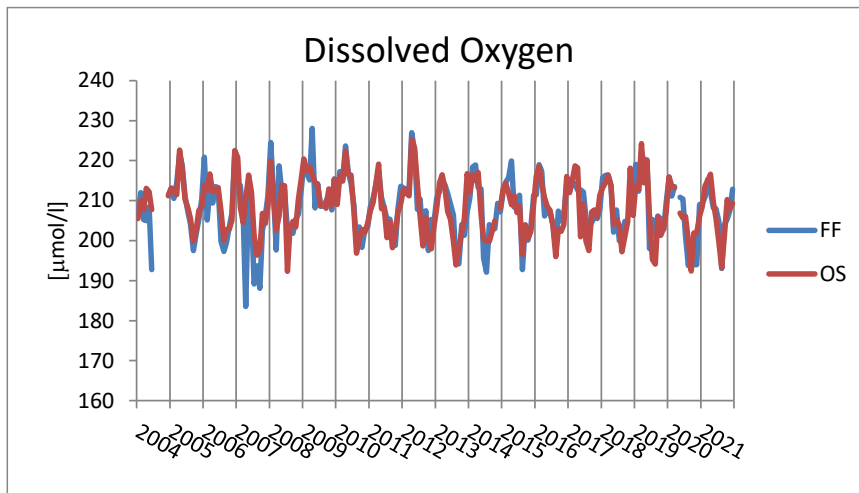
איור ג7: ריכוזי סיליקה (Si(OH)_4) בתחנות הדיגום החופי מאז 2004.

Figure C7: Monthly concentrations of silicate (Si(OH)_4) at the coastal water sampling stations since 2004.

חמצן מומס

חמצן מומס נמדד בשתי תחנות, בתחנת "כלובי הדגים" שבחוף הצפוני ובתחנת הים הפתוח. ריכוז החמצן המומס עולה בחודשי האביב, ויורד בקיץ-סתיו. שלושה גורמים צפויים להשפיע על ריכוז החמצן המומס: טמפרטורה, חמצון חומר אורגני ותהליך הנשימה/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 מחזוריים של פריחות פטופלנקטון וקריסתן. לא צפויים להיות הבדלים במרחב (בין התחנות השונות) בריכוז החמצן המומס.

משרעת הריכוזים של חמצן מומס בתחנת הים הפתוח נעה השנה בין $217 \mu\text{mol/l}$ בחודש אפריל ל- $193 \mu\text{mol/l}$ באוגוסט, בדומה למדידות שנים בהן הערבוב רדוד (איור ג8). ריכוזי החמצן בתחנת "כלובי הדגים" אינם שונים בהרבה, ובסך הכל אין הבדלים גדולים בריכוזי החמצן המומס בים בשנים האחרונות. שיאים של ריכוז גבוה נמדדו בשנים 2007, 2008, 2012 בהן היה הערבוב עמוק. ריכוזי החמצן המומס בתחנת כלובי הדגים אינם חורגים ממשרעת הערכים אשר נמדדו בים הפתוח, בניגוד להבדלים הגדולים אשר נמדדו לפני 2009.

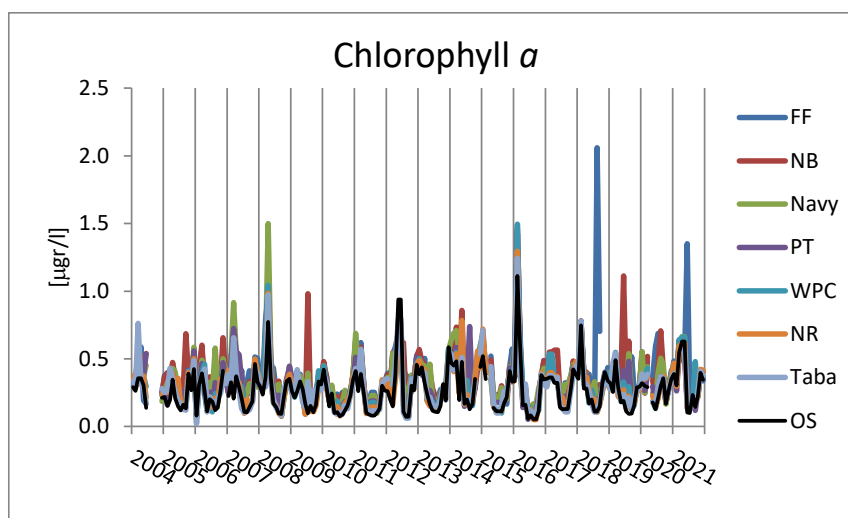


איור 8: חמצן מומס בתחנות הדיגום החופי מאז שנת 2004.

Figure C8: Monthly concentrations of dissolved oxygen at the coastal water sampling stations since 2004.

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 (איור ג9). ריכוז כלורופיל גבוה במיוחד נמדד בתחנת "כלובי הדגים" בחודשים יוני השנה ($1.35 \mu\text{gr/l}$), בהתאמה לריכוזי הנוטריינטים הגבוהים. ריכוז זה גבוה מהערכים החריגים אשר נמדדו באזור בחודשי הקיץ של השנתיים האחרונות. ריכוז כלורופיל גבוה ביותר נמדד על ידי הניטור בחודש אוגוסט 2018 בתחנת "כלובי הדגים", $2.06 \mu\text{gr/l}$, והיה קשור, כנראה, לשחרור אצות בתעלת הקינט. לשם השוואה, ריכוז הכלורופיל הגבוה אשר נמדד השנה בתחנת הים הפתוח היה $0.63 \mu\text{gr/l}$, בחודשים אפריל ומאי, והריכוז הנמוך ביותר אשר נמדד בים הפתוח היה $0.10 \mu\text{gr/l}$ בחודשים יוני ויולי. משרעת ריכוזי הכלורופיל בים הפתוח גדולה השנה בהשוואה לשנים האחרונות, אך אינה חריגה. בינואר 2016 נמדד בים הפתוח ריכוז כלורופיל מרבי של $1.11 \mu\text{gr/l}$, וזהו הריכוז הגבוה ביותר שנמדד בתחנה זו במסגרת מערך הדגימה החופי בתכנית הניטור. תבנית ריכוזי הכלורופיל בים הפתוח משקפת את המחזור העונתי של ערבוב ושיכוב, כאשר בשנים בהן הערבוב רדוד נמצא בדרך כלל בפני הים ריכוז כלורופיל נמוך יחסית לשנים בהן ערבוב עמודת המים עמוק. 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 היא, עם חריגות רבות בתחנות החופיות ובשנתיים האחרונות שוב נמדדים ריכוזי כלורופיל מקומיים גבוהים, בפרט בתחנות הצפוניות, ומצב זה דורש מעקב אחר מקורות כניסת חומרים לים.

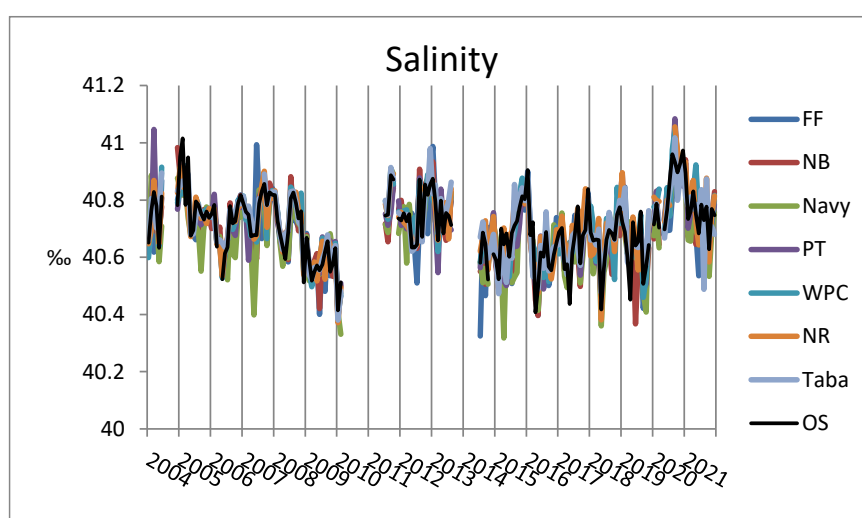


איור ג9: ריכוז כלורופיל *a* בתחנות הדגימה החופי מאז שנת 2004.

Figure C9: Monthly concentrations of chlorophyll *a* at the coastal water sampling stations since 2004.

[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 העמוק מראה לרוב מחזוריות של ערכים נמוכים יחסית בחודשי החורף וגבוהים יותר בחודשי הקיץ. סביב מדידות אלה ישנו "רעש" גדול בתחנות החופיות הנובע משינויים מקומיים ותחלופה מוגבלת באזורים הרדודים. השנה נמצאה תבנית מעט שונה – הערך הנמוך ביותר של מליחות בים הפתוח נמדד בחודש אוקטובר (40.628%) והגבוה ביותר נמדד בינואר (40.895%). בסך הכל, מדידות המליחות השנה נמוכות מהערכים הגבוהים אשר נמדדו בפני הים בשנה הקודמת ומהוות חזרה לערכים נפוצים מהשנים האחרונות (איור 10). המליחות הגבוהה ביותר נמדדה השנה בתחנת "החוף הצפוני", גם כן בחודש ינואר (41.941%) והנמוכה ביותר (40.488%) נמדדה בתחנת "טאבה" בחודש אוגוסט. יתכן כי המליחות הנמוכה השנה בחודשי הקיץ יחסית לחודשי החורף מצביעה על כניסת מים מלוחים פחות, מדרום, ואולי זו גם הסיבה לטמפרטורות פני הים הגבוהות במיוחד אשר נמדדו השנה (ראו למטה).



איור 10: מדידות מליחות בתחנות הדיגום החופי מאז שנת 2004. מרווחים בנתונים נובעים מתקלות במכשיר המדידה.
Figure C10: Salinity at the coastal water sampling stations since 2004. Gaps in the data reflect failure of the analytical instrument.

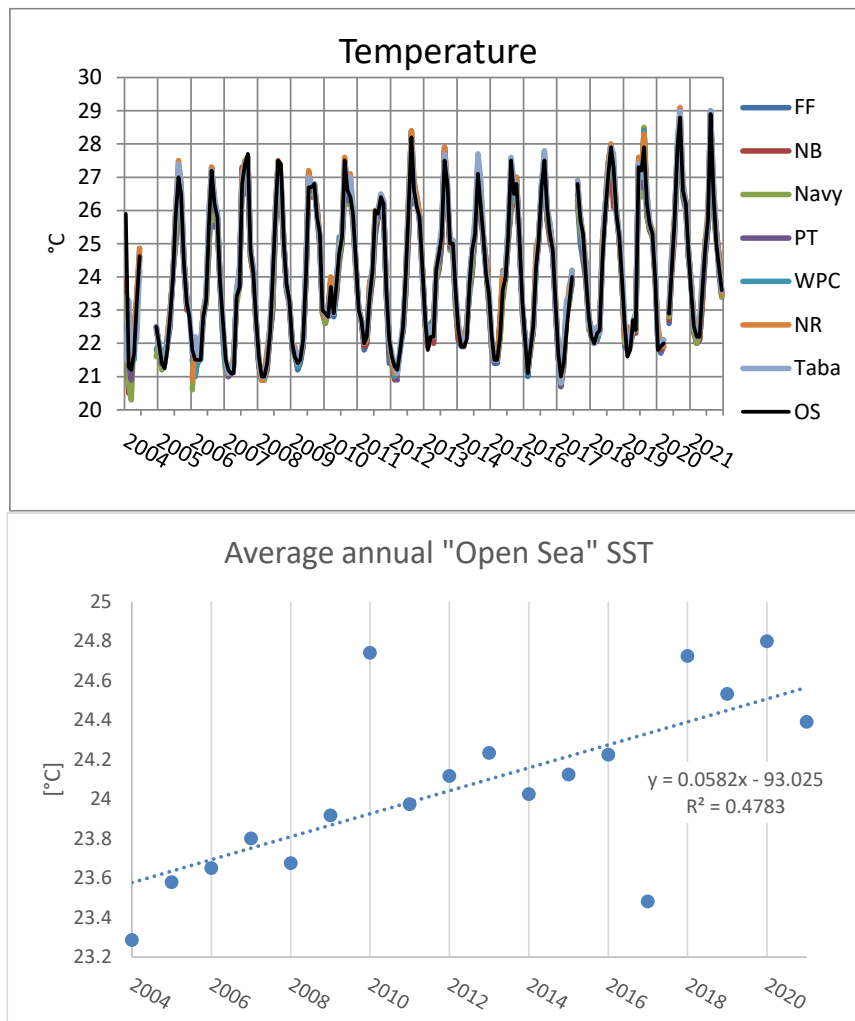
טמפרטורה

[מדידות הטמפרטורה בחורף 2004 משתרעות על טווח של למעלה משתי מעלות באותו בוקר. למרות שהבדלי טמפרטורה מקומיים עשויים לשמש עדות לגופי מים שונים, או הזרמת מים מהחוף אל הים, המשרעת הגדולה חודש אחר חודש והעדר תבנית מרחבית מעמידה בספק את אמינות המדידות בתחילת 2004 (באותה תקופה נעשה שימוש במד טמפרטורה 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. השנה שוב נשבר שיא ונמדדה בתחנת הים הפתוח טמפרטורת פני הים הגבוהה ביותר במסגרת סקר מי החופים אשר מבצעת תכנית הניטור. בחודש אוגוסט נמדדה בתחנת הים הפתוח טמפרטורה של 28.9°C ובאותו חודש נמדדה טמפרטורה של 29.0°C בתחנות הדרומיות, "טאבה", "שמורת האלמוגים" ו-"נמל הפוספטים". בשנה הקודמת נמדדה ב"שמורת האלמוגים" הטמפרטורה המרבית שנמדדה עד כה במסגרת הניטור החופי (29.1°C) והערך המרבי הקודם היה 28.4°C בקיץ 2012.

הטמפרטורות הנמוכות השנה נמדדו בחודש מרץ (22.0°C) בתחנות הצפוניות, מעט גבוה מהערך המזערי של השנה הקודמת. טמפרטורות אלה דומות לערכים הנמוכים של השנים האחרונות, והממוצע השנתי המדוד בים הפתוח היה 24.4°C.

דומה לממוצעי השנים האחרונות ומעט נמוך מהערך הממוצע של השנה הקודמת (2020) אשר היתה "החמה" ביותר עד כה, עם ממוצע מדידות בתחנת הים הפתוח 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 ($>1/2^{\circ}\text{C} / 10 \text{ years}$).



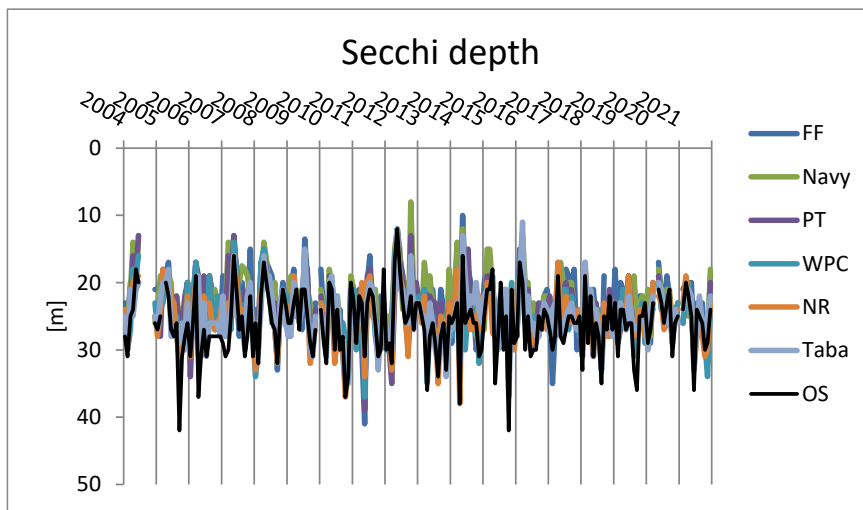
איור 11: מדידות טמפרטורה בתחנות הדיגום החופי מאז שנת 2004. למטה, עליה בטמפרטורת פני הים השנתית הממוצעת הנמדדת בתחנת "ים פתוח" במסגרת ניטור התחנות החופיות בשיעור גדול מחצי מעלה בעשור.
Figure C11: Temperature at the coastal water sampling stations since 2004. Bottom, average annual SST at the "Open Sea" sampling station displays a rising trend greater than $1/2^{\circ}\text{C}$ per decade.

עכירות

הערכת עכירות המים נעשית לפי מדידת "עומק סקי" (Secchi), שיטה בה הדיוק אינו גבוה בהיותה מושפעת גם מגורמים כגון מצב הים (היינו, שבירת אור על פני המים בים גלי), זווית השמש, והערכה סובייקטיבית של המודד. גורמים אלה גם עשויים ליצור הפרשים גדולים יחסית של ערכים בין תחנות. יחד עם זאת המדידה פשוטה, זמינה, ונעשית מזה שנים רבות בכל העולם. עומק הסקי גדול בסוף הקיץ (= מים צלולים יחסית) ונמוך יותר באביב. המחזור השנתי של שינויים בעומק סקי (המהווה מדד לצלילות המים) נובע בעיקר ממחזור הערבוב אשר גורם לפריחת אצות ועליה בעכירות. אולם, עכירות המים בקרבת החוף מושפעת גם מגורמים נוספים כגון סוג קרקעית הים ומשטר זרמים וגלים העשויים לגרום להרחפת סדימנט, תוספת מים בעלי עכירות גבוהה מהחוף, תוספת חומר חלקיקי לים, או פריחת אצות מקומית הנובעת מהעשרה בנוטריינטים. העכירות הגבוהה יחסית הנמדדת לעיתים קרובות בתחנות הצפוניות עשויה לנבוע מכל אחד מגורמים אלה. בחודש ינואר השנה לא נמדד עומק הסקי בניטור התחנות החופיות.

ביום הפתוח נמדד השנה עומק מזערי של 20 מ' בחודש מרץ (איור 12) ועומק מרבי נמדד השנה בים הפתוח בחודש יוני, 36 מ'. בהשוואה לשנה הקודמת היה עומק הסקי בדרך כלל גדול יותר (=מים צלולים יותר) אך דומה לערכים שנמדדו בשנים

האחרונות. בתחנות החופיות נמדד לרוב עומק סקי נמוך מאשר בים הפתוח.



איור ג12: מדידות עכירות (עומק סקי) בתחנות הדיגום החופי מאז שנת 2004.

Figure C12: Secchi depth measurements at the coastal water sampling stations since 2004.

ערכי רוב המדדים במי השטח גבוהים יותר בחודשי החורף מאשר בקיץ. התהליך השולט ברוב המדדים הכימיים, הפיסיקליים והביולוגיים הנמדדים בתחנות הניטור החופיות הוא מחזור הערבוב השנתי. מחזור זה נשלט על ידי קירור וחימום מי השטח, אשר להם מחזוריות עונתית ברורה. בעונת החורף טמפרטורת מי השטח דומה לטמפרטורה בעומק, ונוצר גוף מים אחד 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.

בשנים האחרונות, על אף קירור מוקדם של עמודת המים בתחילת החורף, התהליך נעצר ועומק הערבוב אינו גדול. מאז שנת 2012 ועד 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. זה אינו ערבוב עמוק והריכוזים אשר נמדדו בתחנת הים הפתוח היו בדרך כלל נמוכים בהתאם.

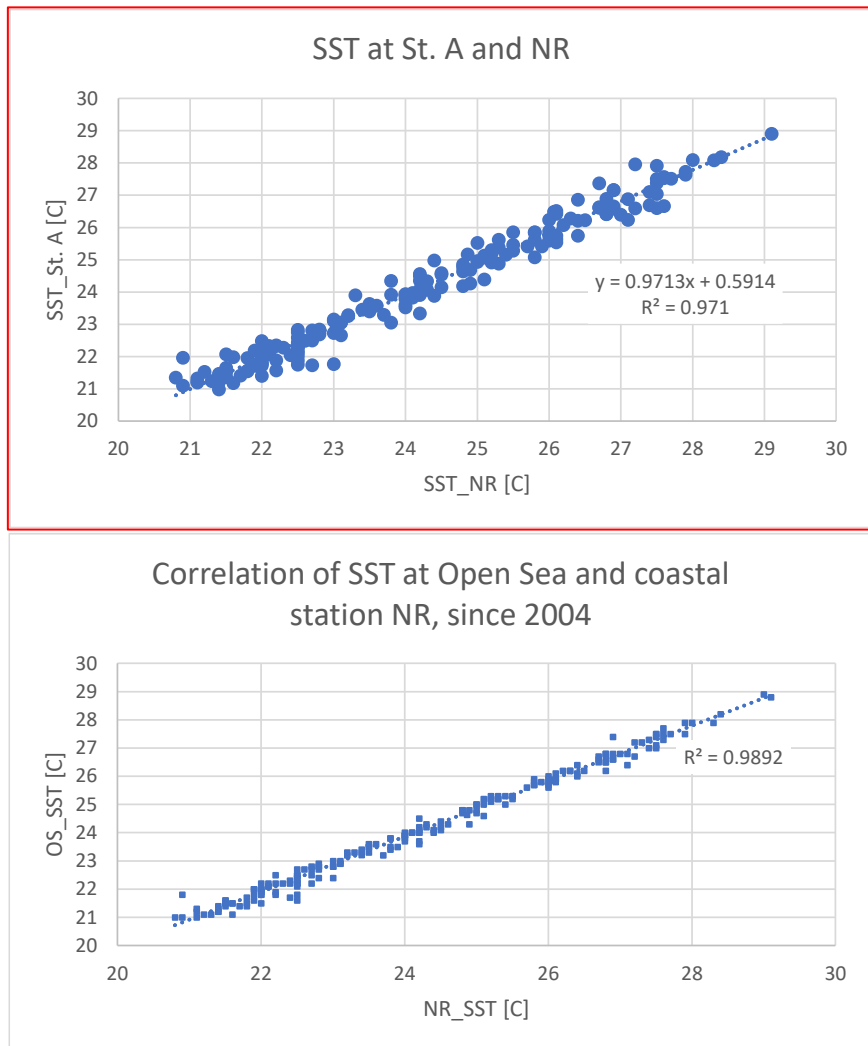
בנוסף למחזור השנתי הטבעי הזה, נראה כי למי החופים חודרים לעיתים זיהומים ממקורות חיצוניים אשר משנים את הרכבם. שינויים אלה נמדדים לרוב רק בקרבת מקור הזיהום, או במורד הזרם ממנו. מיהול וערבוב יעילים יותר בחודשי החורף בהם גוף המים העליונים גדול יותר, ועל כן קשה יותר לזהות זיהומים בחורף. בקיץ לעומת זאת, עשויה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

על רקע התבנית העונתית הצפויה והמשתקפת במדידות הים הפתוח ניתן להבחין באירוע חריג של ריכוזי נוטריינטים ואלקליניות גבוהים בחודש יוני בתחנת המדידה "כלובי הדגים". עבור חלק מהמדדים היו הריכוזים השנה הגבוהים ביותר שנמדדו עד כה במסגרת ניטור התחנות החופיות. 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 בחודש יוני ונראה כי זהו המקור לערכים שנמצאו בתחנת "כלובי הדגים" בחודש זה.

בנוסף לערכים הגבוהים מאד בחודש יוני, גם בחודש ספטמבר נמדדו בתחנת "כלובי הדגים" ערכים גבוהים בהשוואה לשאר התחנות ובפרט לתחנת "ים פתוח". נראה כי מוצא הקינט היווה השנה מקור לנוטריינטים אשר הגיעו לים בריכוזים גבוהים מספיק בכדי להתגלות במדידות התחנה החופית "כלובי הדגים".

הטמפרטורות בפני הים היו גבוהות בחודשי החורף, בדומה לשנים האחרונות בהן היה הערבוב רדוד, ובחודשי הקיץ היו הטמפרטורות גבוהות במיוחד, ובתחנת "ים פתוח" נמדדה טמפרטורת פני הים הגבוהה ביותר אשר נמדדה עד כה בתחנה זו במסגרת סקר מי החופים של תכנית הניטור. במשך שנות הניטור מסתמנת מגמת עלייה של טמפרטורת פני הים, ובמסגרת הניטור החופי נמצאת עלית טמפרטורה ממוצעת בתחנת "ים פתוח" של יותר מחצי מעלה בעשור. ישנה התאמה מצוינת בין טמפרטורת פני הים הנמדדת בתחנות החופיות הדרומיות, "טאבה" ו-"שמורת האלמוגים", ובין תחנת "ים פתוח". כמו כן ישנה התאמה טובה בין תחנות אלה והטמפרטורה הנמדדת במסגרת ההפלגות החודשיות לתחנה A העמוקה יותר (איור ג13).



איור ג13: למעלה, התאמה בין טמפרטורת פני הים הנמדדת בתחנה החופית "שמורת האלמוגים" לטמפרטורת פני הים בתחנה A. למטה, התאמה בין הטמפרטורה בתחנת "שמורת האלמוגים" לזו הנמדדת בתחנת "ים פתוח".

Figure C13: Top, correlation between SSTs at coastal station "Nature reserve" (NR) and Station A. Bottom, correlation between SSTs at coastal station NR and "Open Sea".

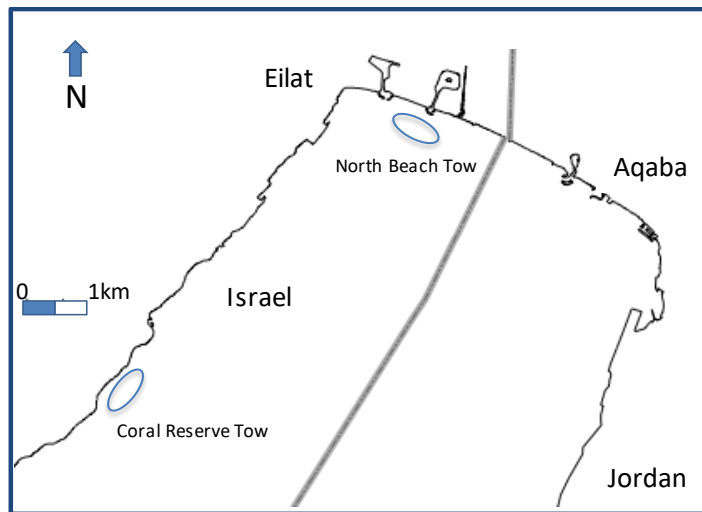
ג.2. לרוות דגים בסמוך לשונית ובהוף הצפוני

מטרה

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

שיטות

אמדן כמותי של כמות לרוות הדגים המצויות בסמוך לחופי אילת בשני אזורים – החוף הצפוני והחוף הדרומי בסמוך לשמורת חוף אלמוג (איור ג14). בשני האזורים נעשית גרירה מבוקרת 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 נגרת במהירות של עד 2 קשר למשך חמש דקות. לכל גרירה נעשות שלוש חזרות. נפח המים העובר ברשת נמדד באמצעות מד שטף (TSK) והתוצאות מנורמלות לנפח מים. הדוגמאות נשמרות על קרח עד להגעה למעבדה. במעבדה הדוגמאות מקובעות בפורמלין 4% והדוגמה כולה עוברת ספירה ומיון תחת בינוקולר.



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

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

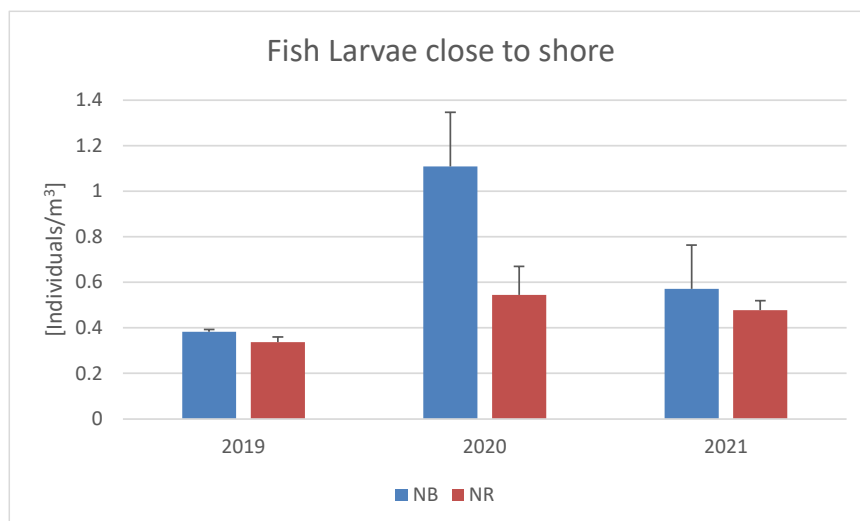
תוצאות

זו השנה השלישית 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-30.9.2021, בשעות הבוקר. הרשת לדגימת לרוות הינה רשת כפולה מסוג bongo ונפח המים המחושב אשר סונן היה בממוצע 196 מ"ק בכל גרירה. כמות הלרוות הנלכדות בצורה זו גבוהה משמעותית מהכמות אשר נלכדה בשנה הראשונה בה נעשה הסקר (איור ג15). מול שמורת האלמוגים נספרו השנה בסך הכל 286 לרוות דגים, ומול החוף הצפוני 312, וצפיפות (מספר פרטים למ"ק) היתה כ-0.5 מול שמורת האלמוגים וכ-0.6 בחוף הצפוני.



איור ג15 : לרוות דגים שנאספו בקרבת החוף באתר החוף הצפוני (NB) ובקרבת שונית האלמוגים באתר שמורת חוף אלמוג (NR).
Figure C15: Fish larvae collected close to shore at the northern beach of Eilat (NB) and close to the reefs of the Coral Beach nature reserve (NR).

בהשוואה לשנה הקודמת, צפיפות הלוות אשר נמצאה השנה היתה נמוכה יותר בשני האתרים. בשנה הקודמת נמצאה צפיפות לרוות בחוף הצפוני גבוהה בהרבה מאשר בחוף הדרומי מעל השונית, אך השנה ההבדלים בין האתרים קטנים, בדומה לממצאי 2019 (איור ג16).
 התקופה בה מתקיים סקר זה במתכונתו הנוכחית עדיין קצרה מכדי לאפשר הסקת מסקנות בנוגע להבדלים בין השנים ובין האתרים.



איור ג16 : צפיפות לרוות דגים בקרבת החוף באתר החוף הצפוני (NB) ובקרבת שונית האלמוגים בשמורת חוף אלמוג (NR).
Figure C16: Densities of fish larvae close to shore at the northern beach of Eilat (NB) and close to the reefs of the Coral Beach nature reserve (NR).

מטרה

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

שיטות

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

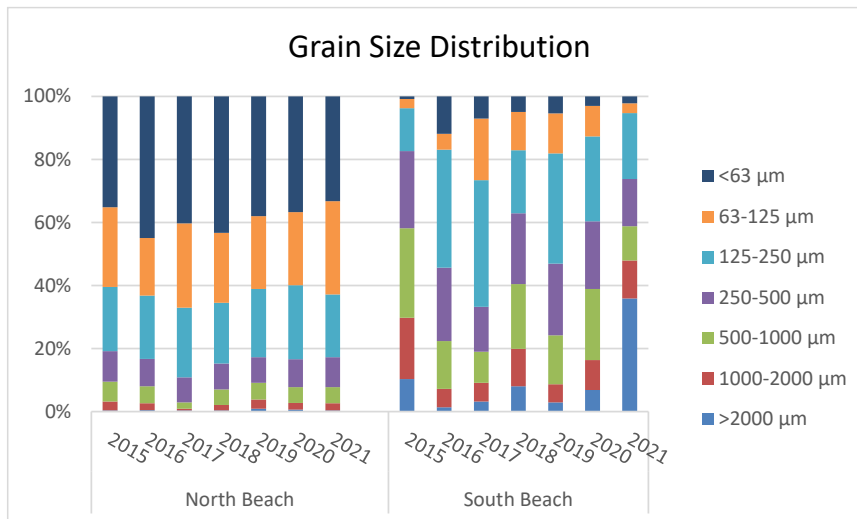
הטיפול בדוגמאות לצורך מיון בע"ח כולל קיבוע בפורמלין (4%) עם בופר של Sodium-tetraborat ב pH של 8.2 במשך יממה, שטיפה במי ברז דרך נפות (250 ו-500 מיקרומטר), והדגרה של פרקציות הגודל באתנול (70%) עם רוזבנגל (rose bengal, 1 גרם/לליטר) למשך שבוע. את הדוגמה שוטפים במים ומשיבים לתמיסת אתנול (70%). מיון הפאונה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

תוצאות:

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

שני האתרים הנבחנו, בחוף הצפוני ובחוף הדרומי, בעלי מאפיינים פיסיוגרפים שונים. אתר החוף הצפוני בעל שיפוע קרקעית מתון וחישיפה 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 (2015-2021) אתר החוף הצפוני מאופיין במרכיב גדול (יותר מ-60%) של סדימנט דק, בעל גודל גרגר קטן מ- $125 \mu m$, ובחוף הדרומי מרכיב זה קטן מ-30% וברוב השנים גם נמצא קטן מ-20% (איור ג17). הסדימנט הדק, הנפוץ באתר החוף הצפוני, מאפיין שקיעה מעמדת המים באנרגיה נמוכה ורובו נגזר ממרכיבים יבשתיים (חרסית וסילט בעלי גודל גרגר קטן מ- $63 \mu m$, חול דק מאד מוגדר עד לגודל גרגר של $125 \mu m$).

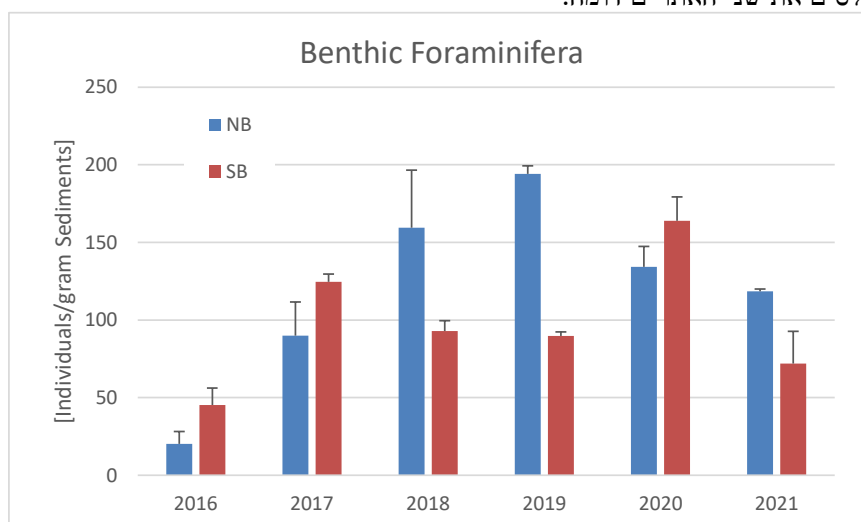
באתר החוף הצפוני נצפו בשנים האחרונות שינויים קלים בלבד בהתפלגות גדלי הגרגר בסדימנט, ואילו באתר החוף הדרומי מתועדות תנודות גדולות יותר בהתפלגות גדלי הסדימנט: הפרקציה הקטנה מ- $250 \mu m$ גדלה מאד בין השנים 2015-7, ובשנים האחרונות ירדה מחדש. השנה מהווה פרקציה זו כרבע בלבד ממשקל הסדימנט. גם שאר פרקציות הגודל מראות שינויים במהלך שנות הניטור והשנה המרכיב הגס, גדול מ- $2000 \mu m$, גדל במיוחד והיווה כ-35% מכלל משקל הסדימנט בתחנת הניטור הדרומית.



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

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

השנה זוהו השנה באתר החוף הצפוני בסך הכל 49 מיני פורמיניפרה ובאתר החוף הדרומי 41. ההבדלים בין מספר הסוגים המזוהים בשנים האחרונות – קטנים. מכיוון שזיהוי פורמיניפרים לרמת המין הוא מורכב ועם העליה ביכולת הזיהוי צפויים שינויים במספרים המדווחים, קובצו המינים לסוגים. בשני האתרים נמצאו השנה 32 סוגים (טבלה ג2). בשנים הקודמות וגם השנה זוהו מיני וסוגי פורמיניפרים אשר לא זוהו בסקרים קודמים. צפיפות הפרטים הממוצעת בגרם סדימנט בחוף הדרומי היתה השנה 72 לגרם, בממוצע ואילו בחוף הצפוני נמצאה צפיפות פרטים ממוצעת של 118 פרטים לגרם סדימנט. בשנה הקודמת היתה צפיפות הפרטים הממוצעת גבוהה יותר, 164 ו-134 פרטים לגרם סדימנט, בהתאמה. צפיפות הפרטים בחוף הצפוני גבוהה לרוב מזו שבחוף הדרומי (איור ג18), אף כי בשנה הקודמת היתה צפיפות גדולה יותר בחוף הדרומי, אולי כתוצאה מהסערה הדרומית אשר פגעה בוודאי בבית הגידול החולי בחוף הצפוני. מספר הסוגים המאכלסים את שני האתרים דומה.



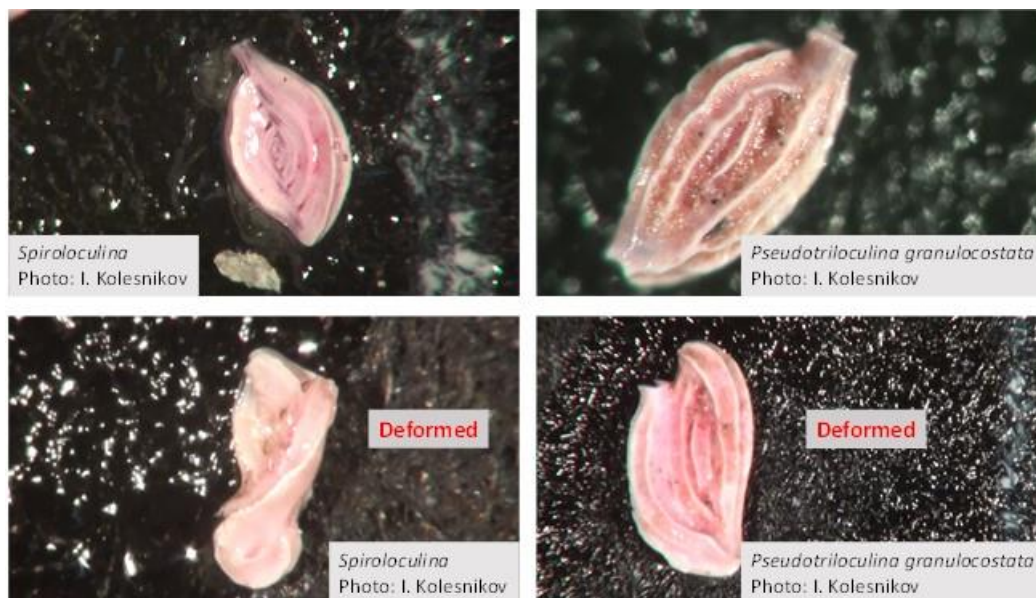
איור ג18: צפיפות הפרטים של פורמיניפרים (מספר לגרם סדימנט) בשני אתרים, בחוף הצפוני (NB) ובחוף הדרומי (SB).
Figure C18: The density of foraminifera individuals (number/gram sediment) at two soft sediment sites, at the north beach (NB) and south beach (SB) of Eilat.

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

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

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

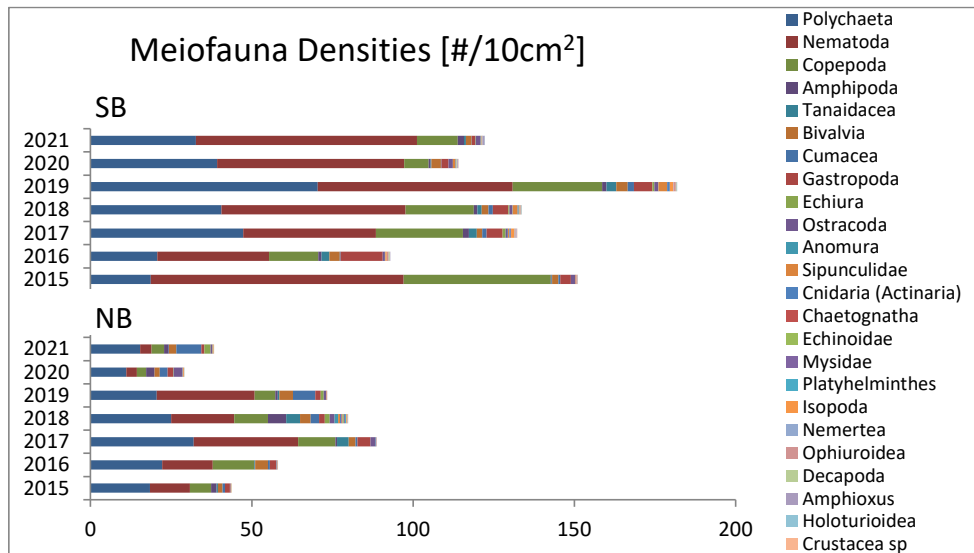
בשנה הקודמת נמצאו לראשונה בחוף הצפוני (תחנות w40 ו-w80, המתוארות למטה) פרטים מעוותים של פורמיניפרים (איור ג19). המבנה הקרבונטי של פרטים אלה חורג בצורות שונות מהצפוי וכל אחד מהם שונה מחברו. השנה שוב נמצאו פרטים מעוותים, הפעם בתחנות w0 ו-w80, והם מהווים כ-1% מכלל הפרטים בסדימנט בתחנות אלה. מציאתם של פרטים מעוותים גם השנה עשויה להצביע על גורמי זיהום הנצברים בסדימנט ופוגעים בהתפתחות השלד. אין לנו מידע על הגורם, סוג ומידת הזיהום, אך לנוכח המיקום 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 בשנתיים האחרונות. פרטים מעוותים לא נמצאו באתרים האחרים בהם מבצעת תכנית הניטור מעקב אחר החי בסדימנט החולי.



איור ג19: פרטים מעוותים של פורמיניפרים בנתונים בתחנות כלובי הדגים.

Figure C19: Deformed benthic foraminifera found this year at FF sampling locations offshore from the Kinet channel outlet.

בספירות בע"ח שוכני סדימנט שאינם פורמיניפרים נמצאו כי קבוצות ה- *Nematoda*, *Copepoda*, *Polychaeta* הן הנפוצות ביותר בסדימנט בשני האתרים בשנים בהן מבוצע הניטור (איור ג20). באתר החוף הדרומי זוהו 19 קבוצות (בשנה הקודמת זוהו 16 קבוצות). באתר החוף הצפוני נמצאו 16 קבוצות, בדומה לשנה הקודמת (טבלה ג3). צפיפות הפרטים בסדימנט החוף הצפוני, היתה גדולה ביותר בשנת 2017 ואילו בחוף הדרומי הצפיפות הגדולה ביותר נמדדה בשנת 2019. בכל השנים צפיפות הפרטים בחוף הדרומי גבוהה מאשר בחוף הצפוני.



איור 20: משפחות בע"ח שוכני מצע רך בקרקעית הים בשני אתרים, בחוף הצפוני (NB) ובחוף הדרומי (SB).

Figure C20: Abundance of meiofauna genera dwelling in the upper layer of two soft sediment sites, at the north beach (NB) and south beach (SB) of Eilat.

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

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

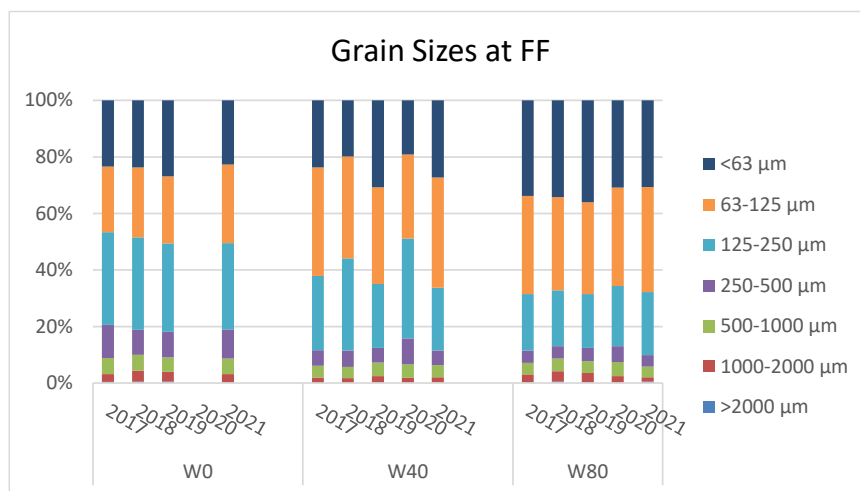
Table C3: Meiofauna groups identified this year at the North and South beach sites (listed alphabetically).

שינויים במאספי פורמיניפרים בנתוניים בצפון המפרץ לאחר פינוי כלובי הדגים

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. כיפלאווי, ביוזמתו של ד"ר ד. אנג'ל ובשיתוף עם ד"ר ב. גודמן צ'רנוב (אוני' חיפה).

הדו"ח המסכם את המחקר, אשר הוגש למשרד התשתיות, הופיע כלשונו כנספח בדו"ח המדעי של תכנית הניטור בשנת 2010, ובו תיעוד תהליכי שיקום קרקעית הים באזור בו נמצאו עד לקיץ 2008 כלובי דגים של חקלאות ימית במפרץ. בשנת 2014 הופיע הפרסום המדעי המתאר את הממצאים (Oron et al. 2014). תכנית הניטור לקחה על עצמה בשנת 2010 להמשיך את המעקב באתר זה, בתדירות דגימה שנתי, על מנת לשמר סדרת זמן ארוכה במקום. ניטור זה נעשה בהדרכת ד"ר שי אורון.

הנקודות אותן דוגמת תכנית הניטור פרוסות לאורך קו המתרחק מערבה ממיקום כלובי הדגים (W0), במרחקים 40 ו-80 מטרים. התפלגות גודל הסדימנט בנקודות אלה יציבה בשנים האחרונות. בתחנה W80 ההתפלגות דומה לזו של אתר החוף הצפוני בעומק 20 מטר (ראו למעלה), מעט יותר מ-60% פרקציה דקה מ-125 μm ובתחנות הקרובות יותר לאתר הכלובים נמצאה בדרך כלל פרקציה דקה מעט קטנה יותר (איור ג21). הבדלים אלה בין נקודות הדגימה במקביל לחוף הצפוני יציבים במשך השנים האחרונות.



איור ג21: חלוקת סדימנט לגדלי גרגר (באחוז משקלי) בנקודות הדגימה באתר בו היו כלובי הדגים.

Figure C21: Grain size distribution (weight percent) for soft sediment at th sampling locations near the former fish cages site.

ההעשרה האורגנית מכלובי הדגים 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.

בדגימות שנלקחו ביולי 2010-2012 נמצא כי הרכב המינים בסדימנט עדיין נשלט על ידי *O.ammonoides* וכמות הפרטים לגרם סדימנט נמצאת במגמת עליה בתחנות W0, W20 ו-W40. בחורף 2012-2013 חוותה המערכת האקולוגית באזור המעקב סדרת שיטפונות חריגים בעוצמתם, 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 (איור ג22) ובשנת 2015 היה מספר הפרטים בסדימנט ברוב התחנות (מלבד תחנה w20) גדול משהיה בשנת 2012. מעבר לכך, מספר הפרטים הגדול ביותר נמצא בתחנות w0 ו-w40 – להבדיל מתהליך החזרה שלאחר הוצאת הכלובים אשר התקדם ממערב למזרח (מתחנה w80 לכיוון תחנה

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. השנה נמצאה עליה בצפיפות הפרטים ביחס לשנה הקודמת בתחנות w0 ו-w80, ובתחנה w40 צפיפות הפרטים דומה לזו של השנה הקודמת.

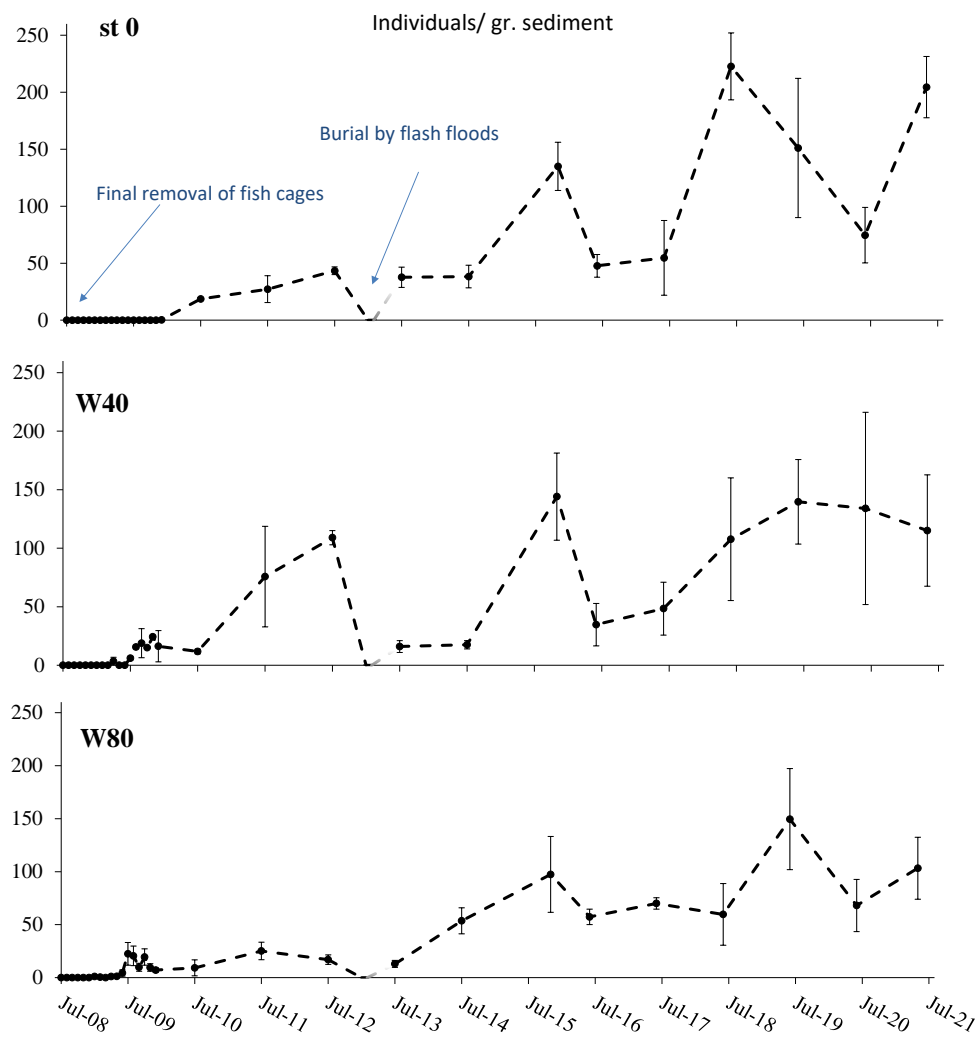
היעדרם המוחלט של פרטים חיים בסדימנט בתחנות הדגימה בחודשים הראשונים שלאחר פינוי הכלובים מצביע על כך שסביבה זו לא אפשרה קיום של פורמיניפרים בנתוניים. יתרה מכך, העדר עשב הים *Halophila stipulacea* הנפוץ באופן טבעי באזור העיד על מגבלות סביבתיות חמורות. הופעה מחודשת של עשב הים באזור שבו היו ממוקמים כלובי הדגים תועדה לראשונה בחודש אוגוסט 2009 ומסמלת כניסה של מרכיב אקולוגי חשוב המסייע להתבססות של מינים אפיפיטים באזור. בשנים שלאחר מכן, על אף הפרעות של סערות ושיטפונות אוכלוסיית הפורמיניפרים הבנתונים מתאוששת מהר.

בשנים שלאחר הוצאת כלובי הדגים ניתן היה לעקוב אחר דפוס שיקום שהראה תהליך איטי של סוקסציה וכניסת מיני פורמיניפרים חדשים, כאשר התהליכים התרחשו בקצב שונה בתחנות הדגימה השונות והיו איטיים יותר בתחנות הקרובות למיקום בו היו כלובי הדגים (איור ג23).

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

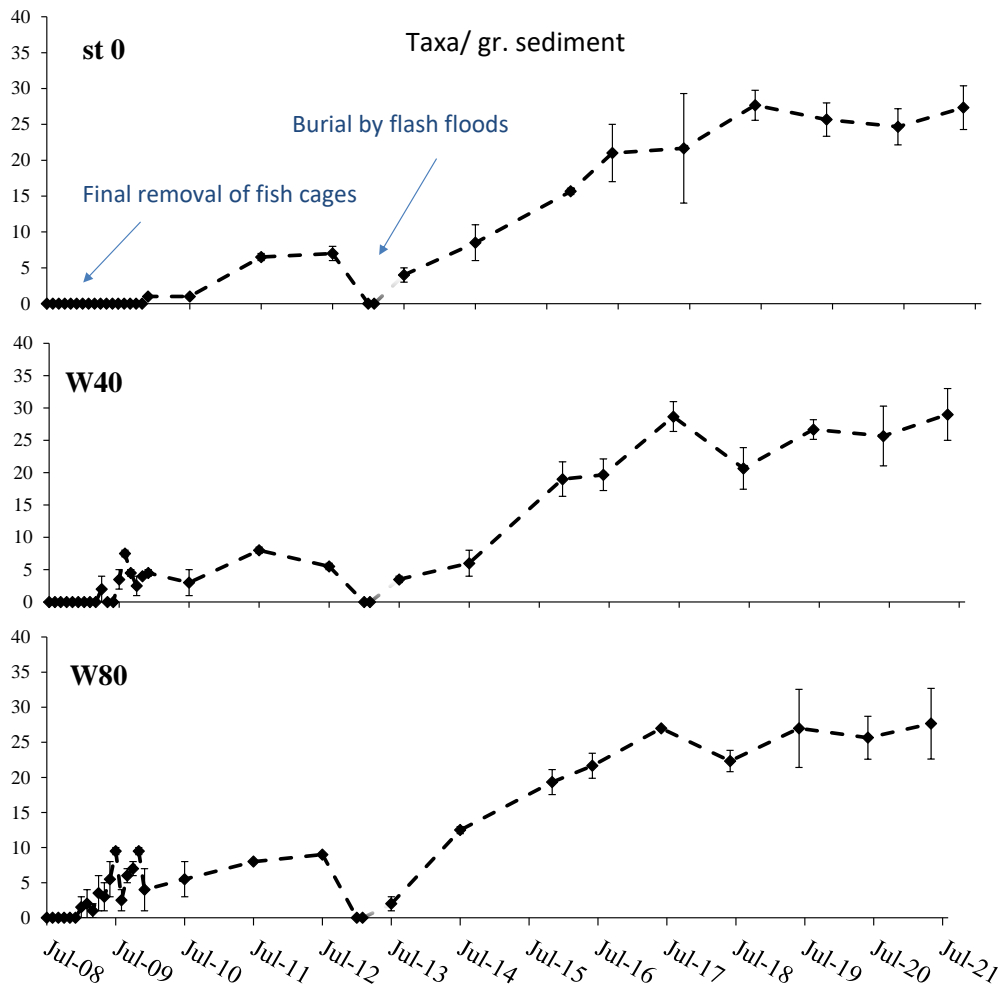
עם כניסתה של תכנית הניטור לעיבוד הסדימנט, בשנת 2015, הושקע מאמץ גדול בשיפור יכולות הזיהוי והמיון של מיני פורמיניפרים בנתוניים ומגוון המינים שזוהו גדול בהרבה מאשר בשנים קודמות. לא ברור כמה מהשינוי קשור ביכולת הזיהוי שהשתפרה וכמה מייצג שינוי אמיתי של החברה, אך בשנים מאז 2015 מתייצב מספר המינים המזוהים בתחנות על ערכים גבוהים מאשר בשנים הקודמות. מאז שנת 2017 מספר המינים נותר כמאט יציב, עם תנודות קלות לכאן או לכאן. השנה בכל התחנות זוהה מספר גדול יותר של מינים לגרם סדימנט בהשוואה לשנה הקודמת, אולם ההבדל אינו משמעותי.

המין הראשון שהתיישב באזור לאחר פינוי הכלובים הוא מין אופורטוניסטי, *Assilina ammonoides*. צפיפותו של מין זה בסדימנט באזור כלובי הדגים עלתה בשנים הראשונות ואחר כך התייצבה. בשנים האחרונות נמצאה ירידה בצפיפותו של מין זה בכל התחנות, אף כי סך כל צפיפות הפרטים מכל הסוגים עלתה בכל התחנות, והוא כמעט ואינו נוכח (איור ג24).



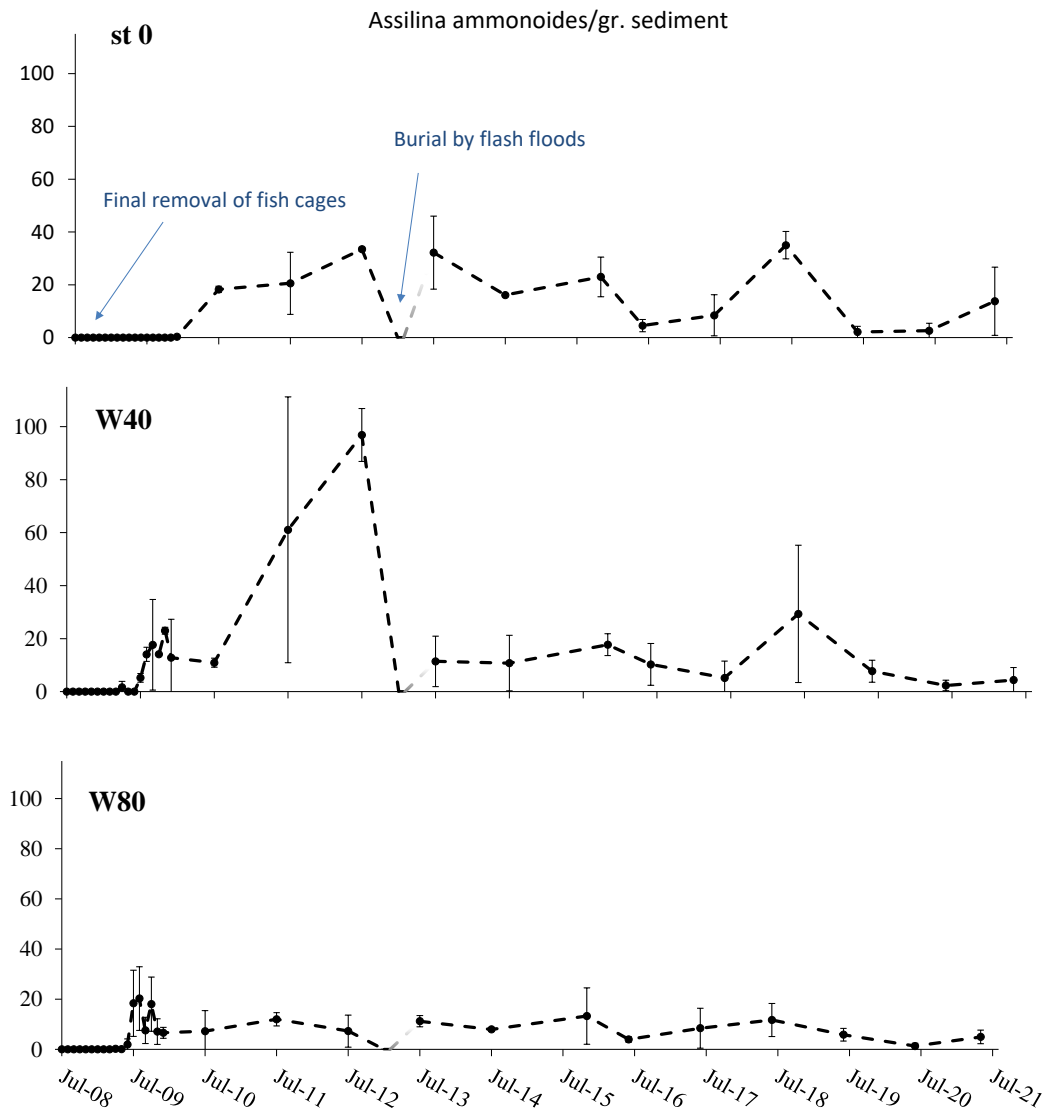
איור ג22: צפיפות הפרטים של פורמיניפרים בנתוניים חיים מאתר "כלובי הדגים" החל מהחודש בו הוצאו אחרוני הכלובים (נתונים עד לשנת 2010: ד"ר שי אורון, Oron *et al.*, 2014).

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



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

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



איור ג24: מספר מיני הפורמניפרים ממין *Assilina ammonoides* החיים לגרם סדימנט יבש בתחנות השונות משנות 2008, מיד לאחר הוצאת כלובי הדגים.

Figure C24: The number of live foraminifera of the *Assilina ammonoides* specie per gram dry sediment at sampled locations since summer 2008, immediately after fish cages were removed from the area.

מטרה

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

שיטות

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

הערכת הכיסוי 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).

תוצאות

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

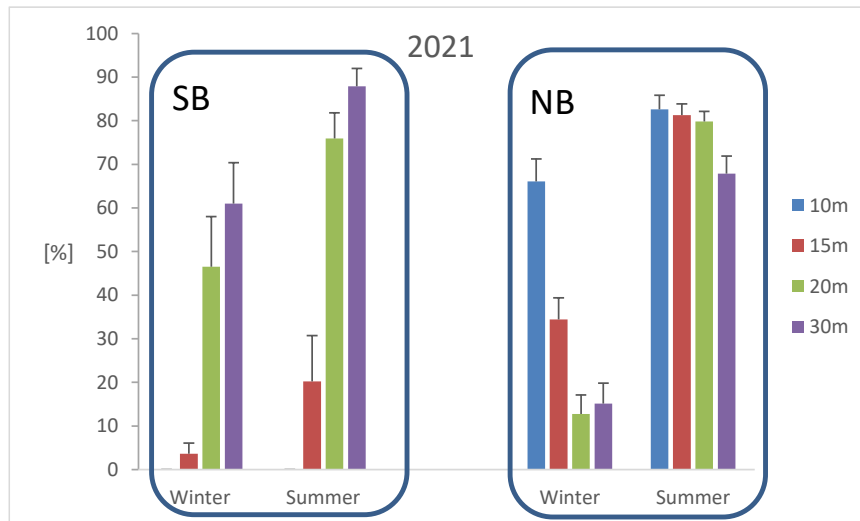
תכנית הניטור החלה בקיץ שנת 2015 לסקור את כיסוי עשב הים בשני אתרים באילת, בחוף הצפוני (בחלקו המזרחי) וקרוב לקצה הדרומי של רצועת החוף הישראלית.

האתרים שונים באופיים: באתר החוף הדרומי המדרון תלול והעומקים הנסקרים קרובים זה לזה קרבה פיסית. כניסת סדימנט מהחוף קטנה, בלטי אלמוגים פזורים במים הרדודים ומושבבות אלמוגים מצויות גם במדרון התלול. לעומת זאת, ישנה שם פעילות שחיינים וצוללים אינטנסיבית. בחוף הצפוני המדרון מתון ומרחק גדול מפריד בין העומקים הנסקרים. קרקעית הים בחוף הצפוני מכילה סדימנט דק ומעטים בה האלמוגים כמו גם שחיינים וצוללים, אך ישנה פעילות שיט ערה.

מסקרים איכותיים שבצעה תכנית הניטור למציאת העומק המקסימלי של השתרעות עשב ים באילת, עולה כי בחוף הצפוני נמצאים מרבדי עשב ים נרחבים בטווח העומקים 1-25 מטרים, ועמוק יותר לעשבי הים הופעה כתמית שמדלדלת עד שנעלמת

בטווח העומקים 35-40 מטרים. בחוף הדרומי מרבדי עשב ים פחות נפוצים והופעתם מקוטעת (על ידי שוניות ומצע קרקעית קשה) אך במקומות בהם נמצאים עשבי ים ישנם מרבדים עשירים עד לעומק של כ- 40 מטרים. בשנים בהן נסקר כיסוי עשב ים במסגרת תכנית הניטור נמצא כי, באופן כללי, מרבדי עשב הים באתרים שנסקרו, הן בחוף הצפוני והן בחוף הדרומי, עשירים ומכסים אחוז ניכר מפני הקרקע החולית. הכיסוי הממוצע בשלושת העומקים (10, 15 ו-20 מטרים) בשנים האחרונות היה 39% בחוף הדרומי ו-58% בחוף הצפוני. הערך השנתי הממוצע היה נמוך במיוחד בשנה הקודמת וזאת עקב ירידה משמעותית בכיסוי עשב הים בעומק הרדוד, ככל הנראה כתוצאה מפגיעת סערה דרומית חזקה מאד בחודש מרץ 2020.

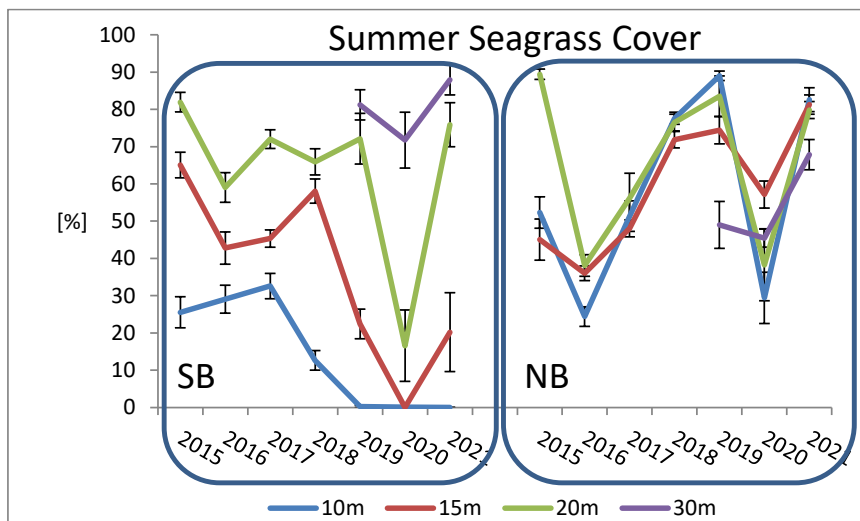
סקרים של כיסוי עשב הים נערכו בשתי עונות, חורף וקיץ, ובין העונות נמצאו הבדלים גדולים בכיסוי עשב הים (איור ג26). בשתי העונות לא נמצא בחוף הדרומי עשב ים בעומק 10 מטרים וזה בדומה לשנתיים הקודמות בהן כבר נעלם מרבד עשב הים מעומק זה. לעומת זאת, בעומקים 20 ו-30 מטרים נמצא בסקר החורף מרבד עשב ים עשיר למדי, 47%-61%, בהתאמה. בסקר הקיץ נמצא בעומקים אלה כיסוי גבוה יותר, 76%-88%, בהתאמה. בעומק 15 מטרים היה כיסוי עשב הים בשתי העונות נמוך בהרבה מאשר בעומקים הגדולים יותר. יתכן שמתועדת כאן "נדידה" של מרבד עשב הים בחוף הדרומי לעומקים גדולים יותר בשנתיים האחרונות. גם בחוף הצפוני נמצא השנה הבדל גדול בין העונות וגם שם כיסוי עשב הים בחורף נמוך יותר בכל העומקים מאשר בקיץ. ההבדל הוא שבחוף הצפוני כיסוי עשב הים בעומק הרדוד, 10 מטרים, הוא הגבוה ביותר, בפרט בעונת החורף. בקיץ ההבדל בין העומקים היה קטן בחוף הצפוני.



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.

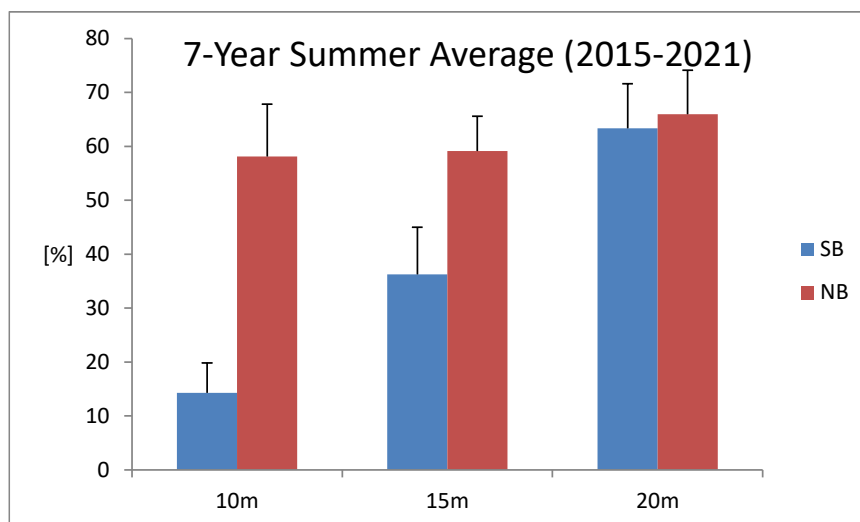
בדרך כלל, ההבדלים בין העומקים בסקרי הקיץ קטנים יותר בחוף הצפוני מאשר בחוף הדרומי. בסדרת הזמן של עונות הקיץ נראה כי בשנה הקודמת נמדדה ירידה גדולה בכיסוי עשב הים בשני האתרים, אולי כתוצאה מפגיעת הסערה הדרומית בחודש מרץ 2020 נמוך (איור ג27). בחוף הצפוני נמדד כיסוי גבוה יותר השנה מאשר בשנה הקודמת והערכים דומים לערכי הכיסוי אשר נמדדו שם בשנת 2019. גם בחוף הדרומי נמדדה עלייה בכיסוי עשב הים בהשוואה לשנה הקודמת, אולם בעומק 15 מטרים, כיסוי עשב הים נותר נמוך בהשוואה לערכים אשר נמדדו בשנים 2015-2017 ובעומק הרדוד יותר, עשרה מטרים נראה כי עשב הים נעלם כליל בשלוש השנים האחרונות.



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 דומה בשני האתרים בשבע השנים האחרונות (סביב ה-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 חמש השנים האחרונות עומד על 14% בלבד, ובשלוש השנים האחרונות כבר אין שם עשב ים כלל. במשך השנים ההבדל בכיסוי בין העומקים 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 בשלוש השנים האחרונות, עומד הכיסוי הממוצע בחוף הצפוני על כ-54% ואילו החוף הדרומי הכיסוי הממוצע בשנתיים האחרונות הוא כ-80%.



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

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

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.

ד. עמודת המים בים העמוק

מטרה

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

שיטות

אחת לחודש מבוצעת בספינת מחקר הפלגה לתחנה A ולצפון המפרץ, בסמוך למקום בו היו כלובי הדגים (FF). כשמתאפשר, כתלות במצב המדיני, מבוצעת פעמיים בשנה (אביב וסתיו) הפלגה ארוכה יותר בשיתוף עם מדענים מירדן, הכוללת גם תחנה מול גבול ירדן-סעודיה בעומק מים גדול מ-800 מטרים, תחנה B. תחנה A נמצאת על הקו החוצה של המפרץ (גבול ישראל-ירדן) קרוב לנקודה הדרומית ביותר של המים הטריטוריאליים של ישראל במפרץ אילת, בעומק קרקעית גדול מ-700 מטר (מפה 1 בנספח 1.ז). 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 (= הורדת רוזטה), קסט עמוק וקסט רדוד, בכדי לקבל רזולוציה גבוהה של דגימות סביב התרמוקלינה ובעומדות המים העליונה. בתחנות רדודות נלקח רק קסט אחד, כיוון שעומק המים קטן יותר. עומק הדגימה המרבי בכל תחנה תלוי בעומק הקרקעית ובכל מקרה הבקבוק התחתון נסגר מטרים ספורים מעל הקרקעית.

בכל תחנה מתבצע חתך אנכי רציף (פרופיל) של מדידות טמפרטורה, מליחות, לחץ, ופלווארסנציה במכשיר CTD של Sea-Bird Electronics. דגימות המים הנאספות בעומקים קבועים מחולקות לבקבוקים שונים לצורך מדידת חמצן מומס (DO), pH, אלקליניות (A_T), נוטריינטים מומסים (NO_2^{-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 מהפלגה החודשית לדגימת עמודת המים. גם איסוף והצבה מחדש של מלכודות סדימנט נעשה בהפלגה ייעודית.

[על פי המלצת צוות חשיבה של מדענים שהתכנס במהלך 2008 (סיעור מוחות מדענים העוסקים באוקיינוגרפיה בנושא המדידות הימיות במסגרת תכנית הניטור, אשר כונסה על ידי תכנית הניטור בחודש ינואר 2008 במכון למדעי כדור הארץ, האוניברסיטה העברית ירושלים, בעקבות המלצת הוועד המנהל של התכנית בעת הדיונים על דו"ח הניטור 2007) הוחלט לוותר על תחנת הדגום 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].

[בשנתיים האחרונות, 2019-2020, לא ניתן היה להפליג בשיתוף פעולה עם מדענים מהתחנה המקבילה בירדן ולא התבצעו הפלגות לתחנה B].

להלן שיטות המדידה של מדידות שאינן מפורטות בפרק מי החופים:

יצרנות ראשונית (Primary Productivity) – 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 בדיסקטור 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:

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

בנוסחה זו:

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

פחמן חלקיקי (POC) – דוגמאות מעמודת המים נאספות בבקבוקי ניסקין מהרוזטה ומסוננות דרך רשת 200µm למיכלים בנפח 6 ליטרים. למחרת 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 (CO₂). הפחמן הדו-חמצני נישא על ידי חמצן גלגאי IR ויוצר אות אשר שיטחו פרופורצונלי לכמות הפחמן. לצורך כיול משמשים סוכרים המכילים פחמן בכמות ידועה.

ספירת תאי פיטופלנקטון: ספירת תאי פיטופלנקטון וחיידקים הטרוטרופים מתבצעת במכשיר Becton Dickinson LSR II flow cytometer, מצויד בדוגם בעל תפוקה גבוהה (high throughput sampler), ביחידת ה-flow-cytometry במחלקת תשתיות של מדעי החיים וההנדסה בטכניון, בניהולה של ד"ר אפרת ברק. תאי פיטופלנקטון נמדדו בדוגמאות מים של 250µl יחד עם 1.0µm חרוזים סינטטיים 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*.

ניטור ריכוזי זואופלנקטון במאה מטרים העליונים של עמודת המים: דגימות זואופלנקטון נאספות אחת לחודש מתוך סירה בים העמוק. מעל עומק מים מינימלי של 300 מטרים מתחילים בגרירת רשת פלנקטון כפולה (מחוברת למסגרת "Bongo") בגודל חור של 200µm. הרשת מורדת לעומק של 100 מטרים ומועלה תוך כדי שיוט, כך שנעשה מיצוע של עמודת המים עד לעומק של 100 מטר. למסגרת מחובר מד שטף המודד את כמות המים העוברת דרך הרשת בכדי שניתן יהיה להמיר את כמויות הפלנקטון הנאספות לריכוז ביחידת נפח. בכל מסע דגימה נעשות שלוש חזרות על הגרירה. במעבדה מחולקות הדגימות באמצעות קולונה לתת דגימות בגדלים 200µm, 500µm, 1000µm. כל תת דגימה מסוננת על גבי פילטר GF/F אשר עבר מראש שריפה בטמפרטורה של 450 °C, ואז כל פילטר מיובש בתנור ייבוש בטמפרטורה 60°C למשך שלושה ימים. לאחר הייבוש נשקל כל פילטר ואז מועבר לשריפה 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 טורפשיין 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.

פרופילים רציפים של טמפרטורה, מליחות ופלוואורסנציה בעמודת המים נמדדים על ידי מכשיר CTD בהפלגות הניטור החודשיות. נתונים אלה מראים את השינוי העונתי במבנה עמודת המים ברזולוציה גבוהה, ובעזרתם ניתן לעקוב אחר התפתחות הערבוב ככל שהחורף מתקדם, וחזרת המבנה המשוכב של עמודת המים עם ההתחממות באביב ובקיץ. מבט ארוך טווח יותר ניתן על ידי סקירה פרטנית של מדדים אלה בשנים האחרונות כפי שנרשמו בעת סגירת בקבוקי דגימת המים שעל הרוזטה (rosette) אליה מחובר מכשיר ה-CTD. לצורך השוואה זו בין השנים נעשה בדרך כלל שימוש במדידות המליחות הפרטניות שנעשות במעבדה על דוגמאות המים.

מכשיר ה-CTD מכויל בחברה על פי הוראות הייצור. הכיול האחרון נעשה באוגוסט 2019. 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 והן, כמו מדידות אחרות בהן לא הגיע עומק הדיגום ל-700 מ' בתחנה A, אינן כלולות בהערכת גודל המאגרים של נוטריינטים בעמודת המים.]

טמפרטורה

ערבוב עמודת המים בעונת החורף עקב קירור המים מלמעלה, במגע עם האטמוספירה, הוא גורם מרכזי בדינאמיקה של המערכת האקולוגית במפרץ.

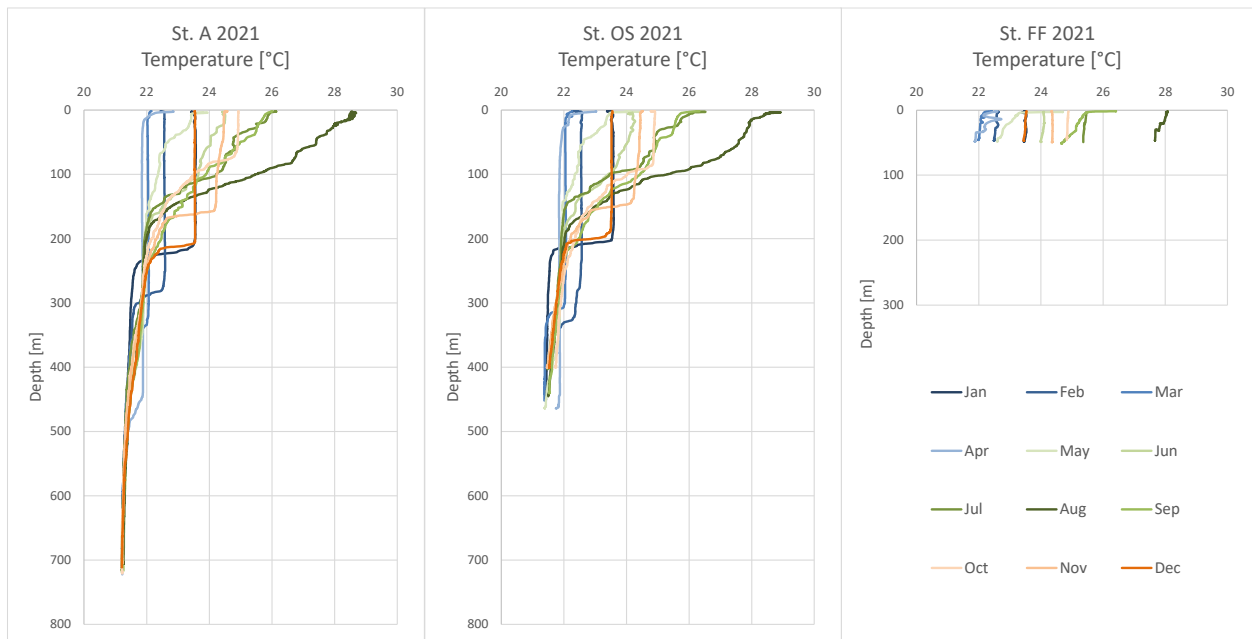
הערבוב השנה התפתח לאט ונמשך זמן ארוך אולם הגיע לעומק מרבי קרוב ל-450 מטר בחודש אפריל. בזמן ההפלגת חודש אפריל (19.4.2021) כבר נוצרה תרמוקלינה רדודה בעשרים המטרים העליונים – עדות לכך שהערבוב הפעיל כבר פסק – אולם עמודת המים היתה בעלת טמפרטורה אחידה (כ-21.88 מעלות) עד לעומק קרוב ל-450 מטרים (איור 1ד). זהו ערבוב לעומק ביניים, בדומה לשנים האחרונות (בשנה הקודמת היה עומק הערבוב כ-420 מטרים). טמפרטורת פני הים הנמוכה ביותר אשר נמדדה השנה בתחנה A היתה כ-22 מעלות, בחודש מרץ, וזוהי טמפרטורה גבוהה יחסית לטמפרטורת פני הים בחורף (עומק הערבוב הגיע אז לכ-310 מטרים). כנראה שבין הפלגת הניטור של מרץ להפלגה באפריל התקררו המים עוד, וזה מה שאפשר את העמקת הערבוב.

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

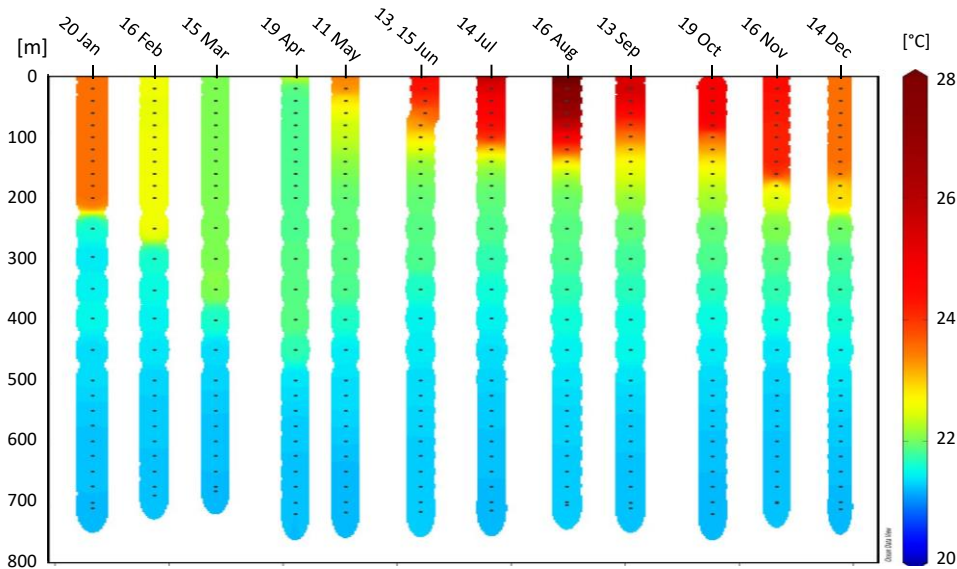
הטמפרטורה המרבית אשר נמדדה השנה בפני הים בתחנה A היתה כמעט 29 מעלות, בחודש אוגוסט. בשנה הקודמת נמדדה טמפרטורת פני הים דומה בחודש ספטמבר.

בתחנת כלובי הדגים נמדדה בפני הים טמפרטורה מרבית של 28.1 מעלות בחודש אוגוסט, בשעת בוקר מוקדמת יותר מאשר בתחנה A.

[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 ולאחרונה באוגוסט 2019].



St. A water temperatures - 2021

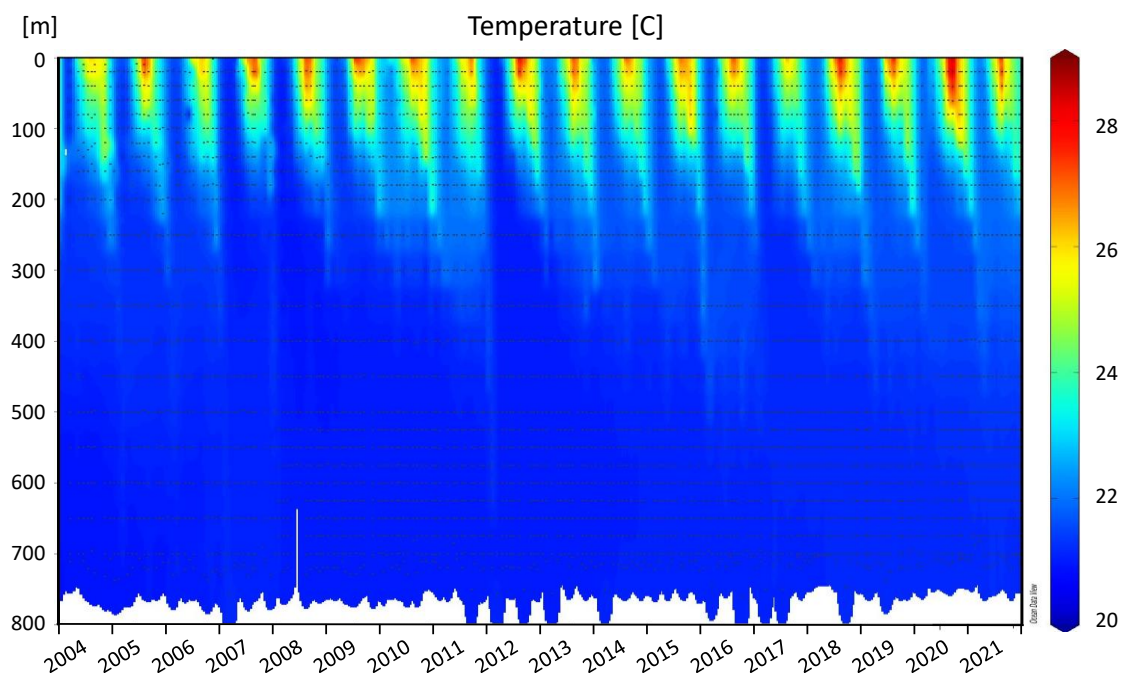


איור 1ד: טמפרטורת עמודת המים כפי שנמדדה במכשיר ה-CTD בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים (>700 מ'), תחנה OS בחצי הדרך לחוף הצפוני בעומק מים של כ-400 מטרים ותחנה FF בחוף הצפוני של אילת בעומק של כ-50 מטרים. למטה – סדרת זמן שנתית של טמפרטורת עמודת המים בתחנה A בעומקים מהם 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 salinity at Station A at the depths in which water was sampled for analyses (black dots).

קירור המים בחודשי החורף הוא הגורם למחזורי הערבוב-שכוב האופייניים בעמודת המים. מחזוריות זו 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 שלוש שנים בהן עורבבה עמודת המים עד לקרקעית הים בתחנה A: השנים 2007, 2008 ו-2012 (איור 2ד). לאחר הערבוב העמוק של שנת 2012 היו שלוש שנים של ערבוב רדוד, עד כ-300 מטרים, ואחריהן שנתיים בהן היה ערבוב מוקדם לעומק בינוני של כ-500 מטרים אשר נמשך זמן קצר בלבד.

בשנים האחרונות, מאז שנת 2018, ערבוב עמודת המים רדוד מ-500 מטרים ובשנה הקודמת (2020) היו המים העליונים חמים במיוחד.



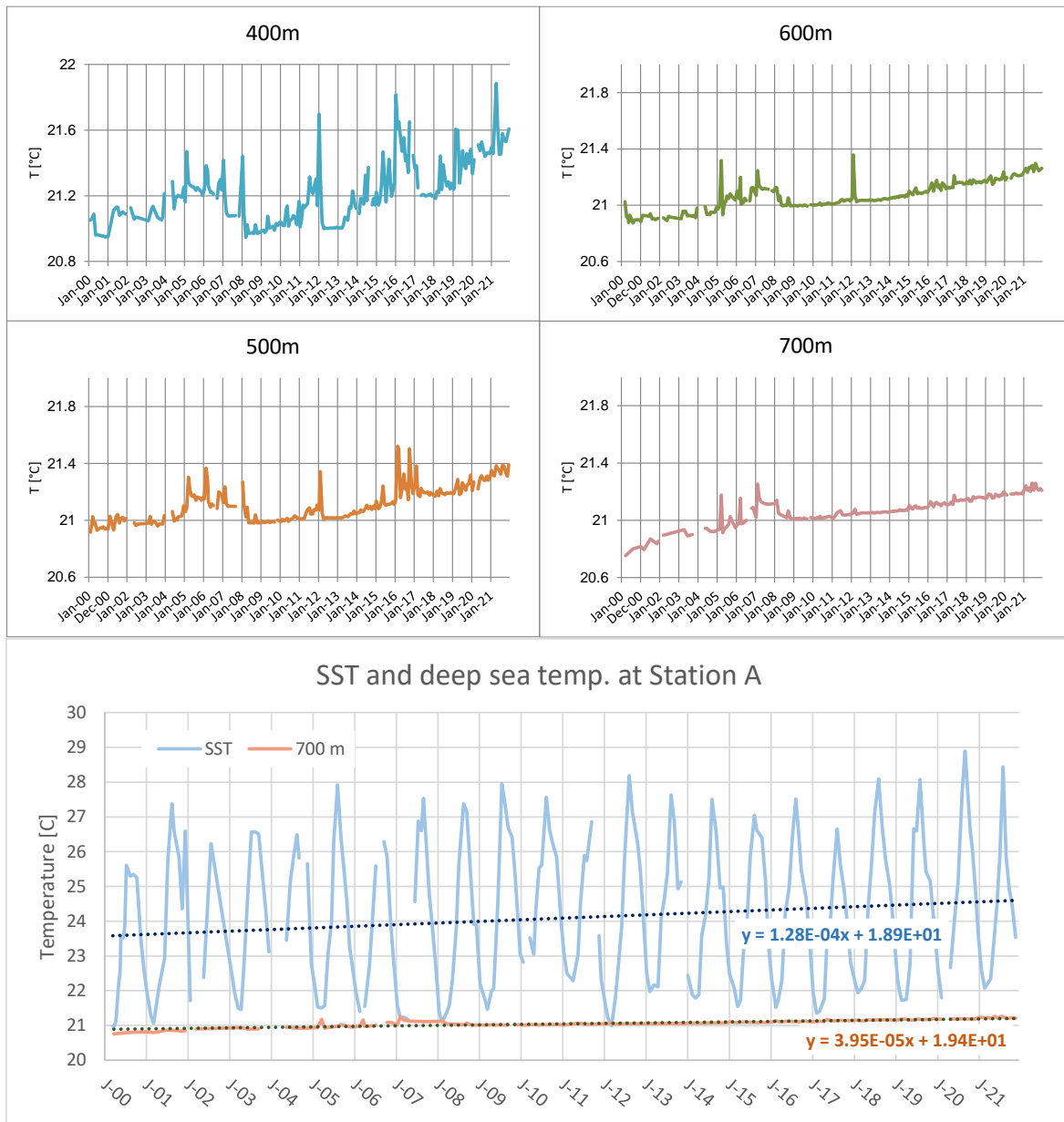
איור 2: שינויי טמפרטורה בתחנה A מאז ינואר 2004. הנקודות השחורות מייצגות את עומק המדידה.

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. לור), נראה שמי העומק מוסיפים להתחמם גם לאחר הערבוב העמוק בשנת 2012. כתוצאה מהערבוב של השנים האחרונות, ניכרים שינויי טמפרטורה קצרי מועד בעומקים הרדודים, אך אלה דועכים בעומקים הגדולים, 600 מטר ומטה, ושם ניכרת התחממות מתמשכת של מי העומק (איור 3).

בהשוואה בין קצב חימום פני הים והמים העמוקים (700 מטרים) בתחנה A מאז ראשית המאה הנוכחית (כ-4.7 מעלות וכ-1.4 מעלות במאה שנה, בהתאמה) נראה שקצב החימום בפני הים גבוה פי שלושה מזה של המים העמוקים (איור 3, 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 פי שניים וחצי מקצב חימום האוקיינוסים העולמי, העומד על 1.8 מעלות למאה שנה מאז ראשית המאה (ncdc.noaa.gov).



איור ד3: שינויי טמפרטורה במי העומק 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. ארו ופרופ' ב. לזר.

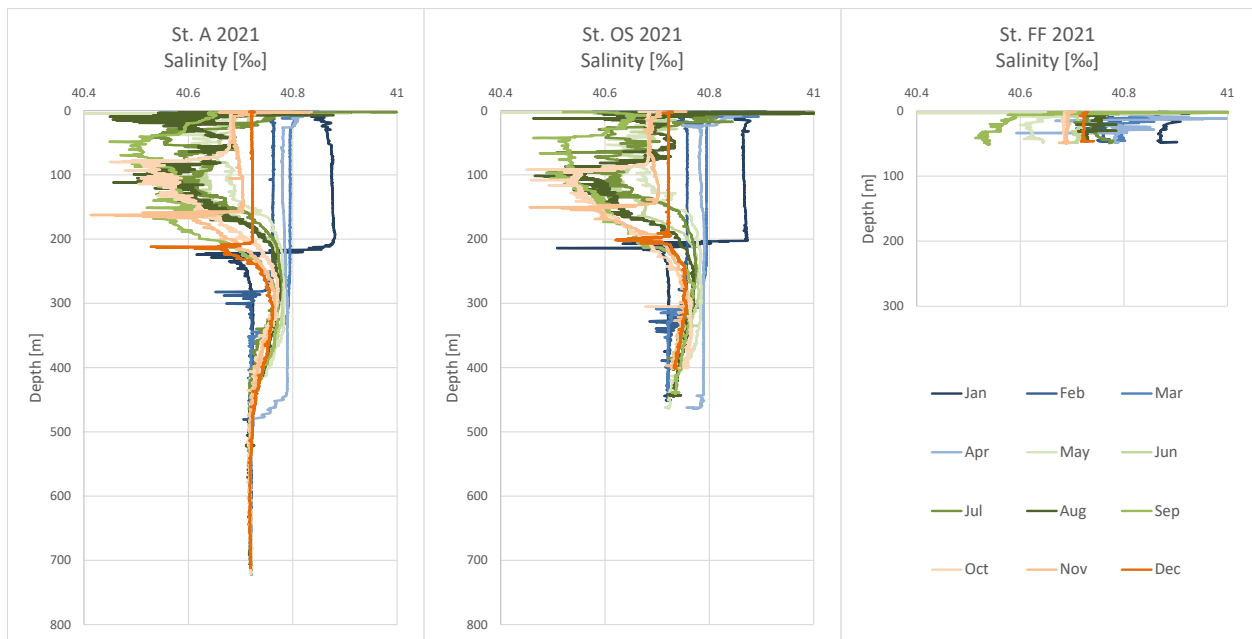
Figure D3: Changes in deep sea temperatures at Station A since 2000. Top, Water temperatures at 400 to 700 meters depth; bottom, water temperature trends at the sea surface and at 700m depth at Station A. Data from the years 2000-2002 were collected during the Peace Park Project and are provided courtesy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

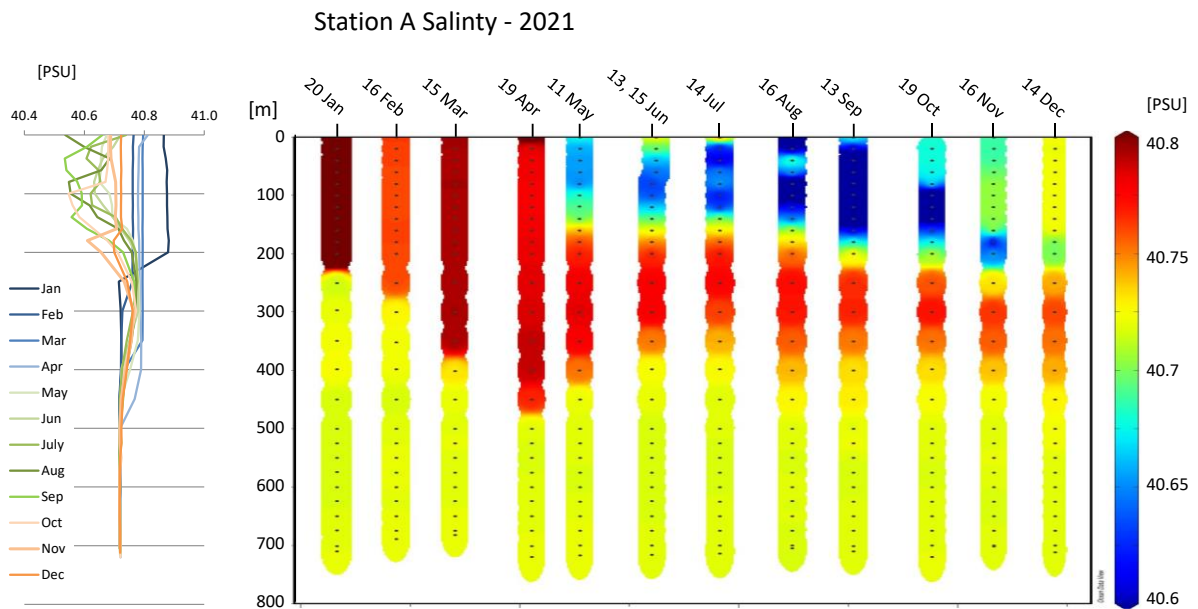
[בשנת 2010 אוכחנה נדידה חזקה של תוצאות מדידות המליחות במד המליחות במעבדה. כתוצאה מכך הוחלט לא להציג תוצאות מליחות שנמדדו במעבדה החל מחודש פברואר 2010 ועד ליולי 2011. עבור תקופה זו מוצגות מדידות המליחות בים העמוק אשר נעשו גם באמצעות מד מליחות אלקטרוני כחלק מפרופיל ה-CTD. התכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת, 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 200-250 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 לעליית 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.

השנה נמדדה מליחות גבוהה יחסית בשכבת המים העליונה בחודשי החורף. עם הופעת המים בעלי מליחות נמוכה בחודש מאי נדחת שכבת מים זו לעומק ונכלאת תחת המים המלוחים פחות. על אף שעם הזמן המים נמהלים והפרשי המליחות קטנים, עדיין ניתן גם בסוף השנה לזהות את מאפייני המליחות של שתי שכבות המים. המים המלוחים אשר נמצאו בתחילת השנה בשכבה העליונה מקורם במים בעלי מליחות גבוהה במיוחד אשר ככל הנראה חדרו לאזורינו מדרום בשנה הקודמת (2020).

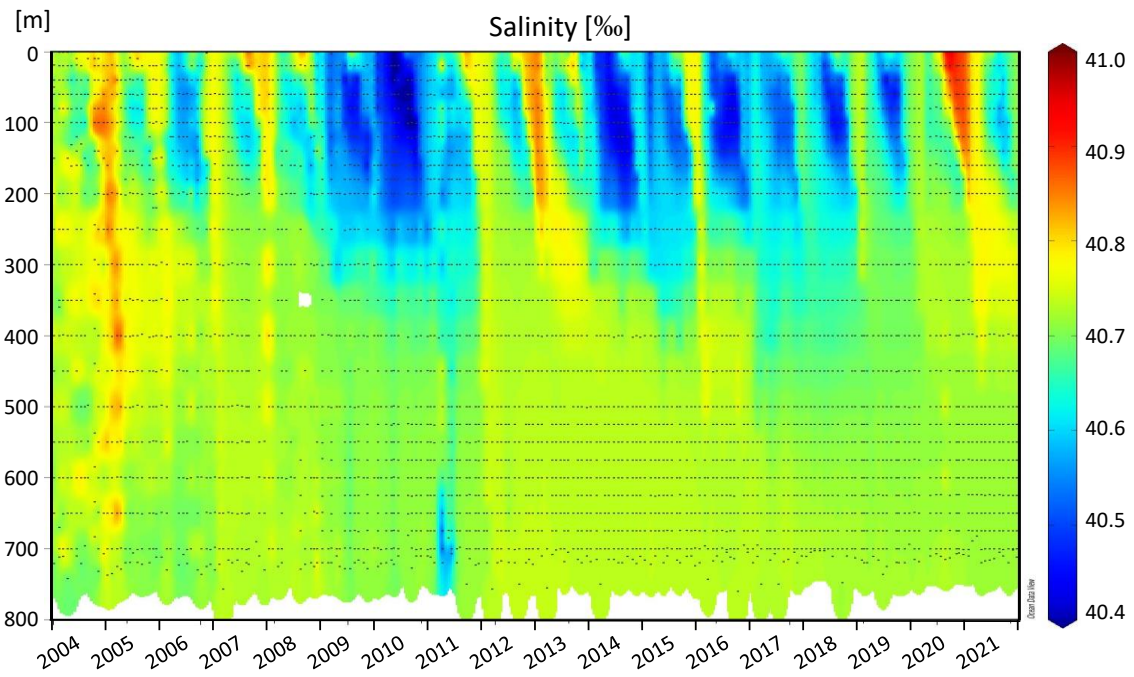




איור ד4: מליחות בעמודת המים כפי שנמדדה במכשיר ה-CTD בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים (<700 מ'), תחנה OS בחצי הדרך לחוף הצפוני בעומק מים של כ-400 מטרים ותחנה FF בחוף הצפוני של אילת בעומק של כ-50 מטרים. למטה – סדרת זמן שנתית של מליחות עמודת המים בתחנה A בעומקים מהם נדגמו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

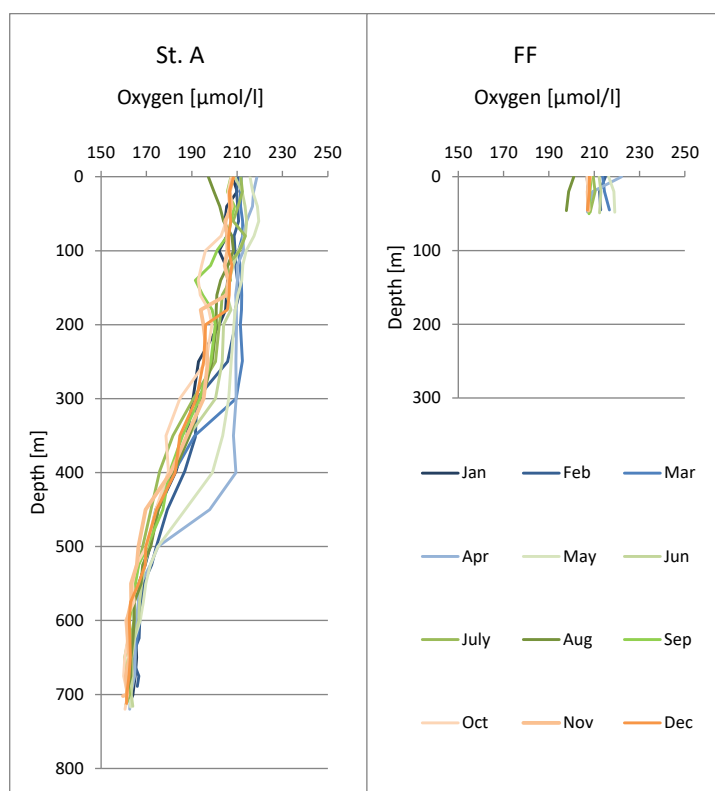


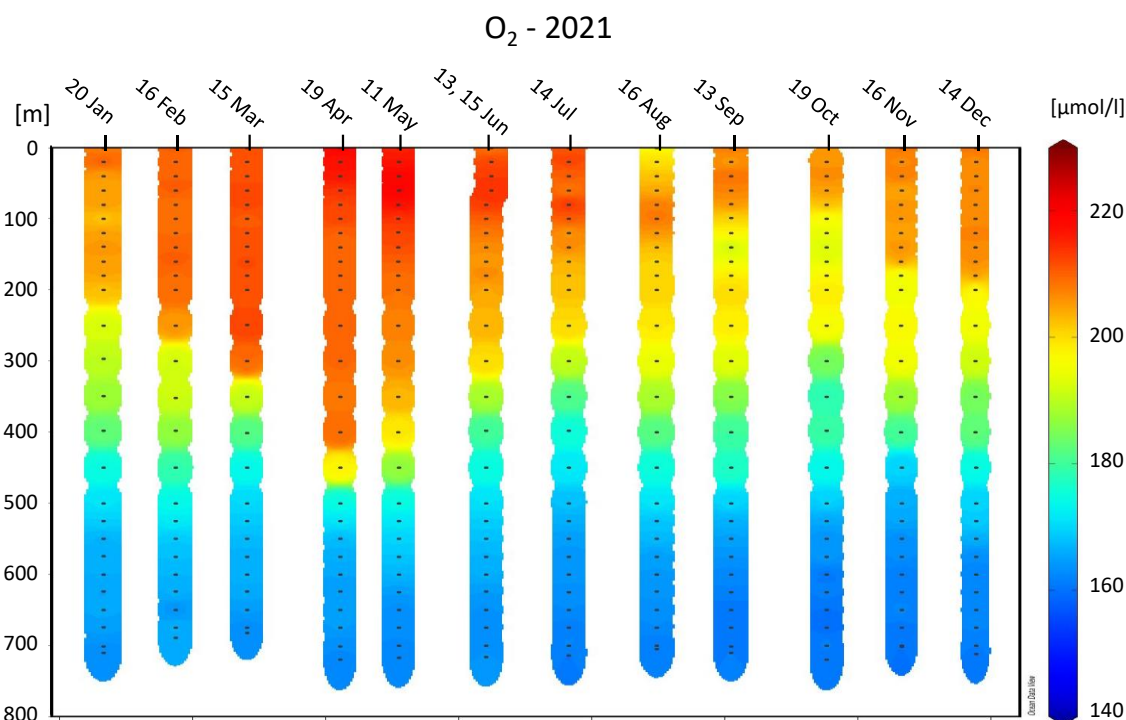
איור D5: שינויי מליחות בתחנה A מאז ינואר 2004. הנקודות השחורות מייצגות את עומק המדידה.
Figure D5: Changes in salinity at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths.

2.7. חמצן, pH ואלקליניות, נוטריינטים ופחמן חלקיקי

חמצן (O₂)

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 כ-450 מטרים, ועמודת המים אשר נדגמה בחודש מאי בתחנה A (פרופילים מהחודשים מרץ-אפריל חסרים השנה) "אווררה" כמעט לעומק זה (איור 6ד). ריכוז החמצן המרבי בתחנה A נמדד השנה בחודש אפריל בפני הים, $218.7 \mu\text{mol/l}$. ריכוז החמצן בעומק 400 מטרים היה אז $209.5 \mu\text{mol/l}$ ובמים העמוקים היה ריכוז החמצן כ- $163 \mu\text{mol/l}$ (בדומה לריכוז שנמדד בשנה הקודמת). הריכוז המזערי שנמדד השנה בפני הים בתחנה A היה $197.3 \mu\text{mol/l}$, בחודש אוגוסט, גם כן דומה לערך השנה הקודמת. בתחנת כלובי הדגים היה הריכוז המרבי שנמדד $222 \mu\text{mol/l}$, בחודש אפריל והריכוז המזערי היה $197.7 \mu\text{mol/l}$ בחודש אוגוסט.





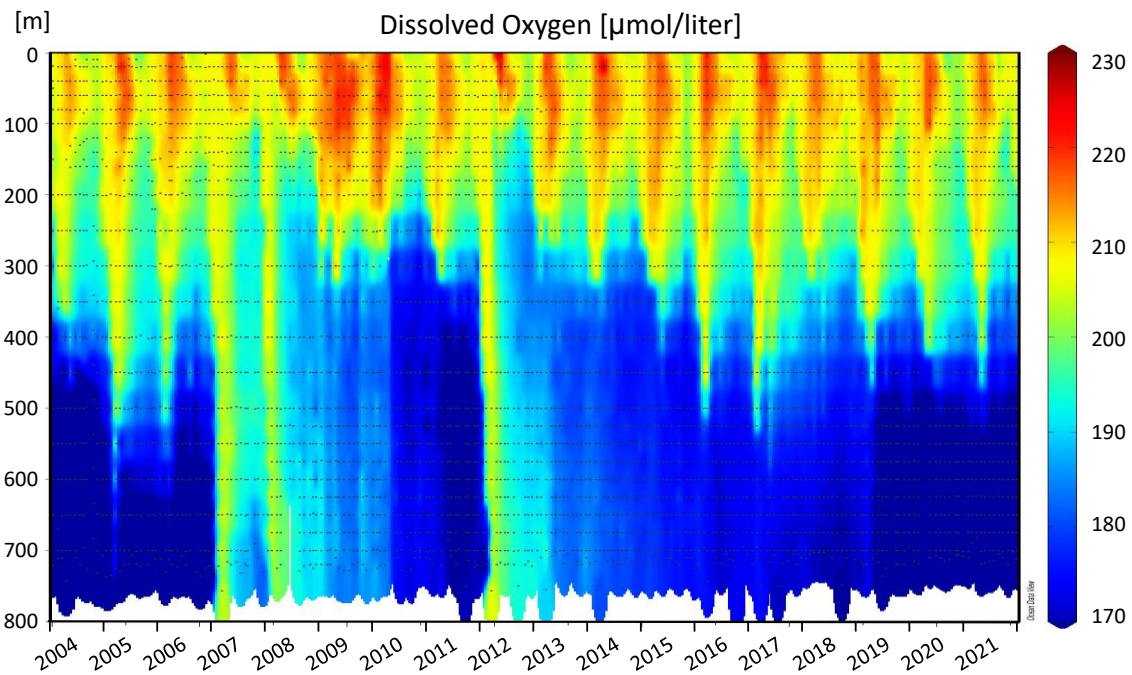
איור 6: ריכוזי חמצן מומס בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק גדול מ-700 מטרים ותחנה FF בחוף הצפוני של אילת בעומק של כ-50 מטרים. למטה – סדרת זמן שנתית של ריכוזי חמצן מומס בעמודת המים בתחנה A.

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

במשך רוב חודשי השנה מופרדים מי העומק מהמים העליונים, ובהיעדר יצרנות ראשונית החמצן המומס בהם הולך ונצרך בתהליכי חמצון של חומר אורגני במים או בסדימנט. חידוש מלאי החמצן המומס במים העמוקים מתרחש בשנים קרות באמצעות ערבוב מי העומק עם מים רדודים עשירים בחמצן.

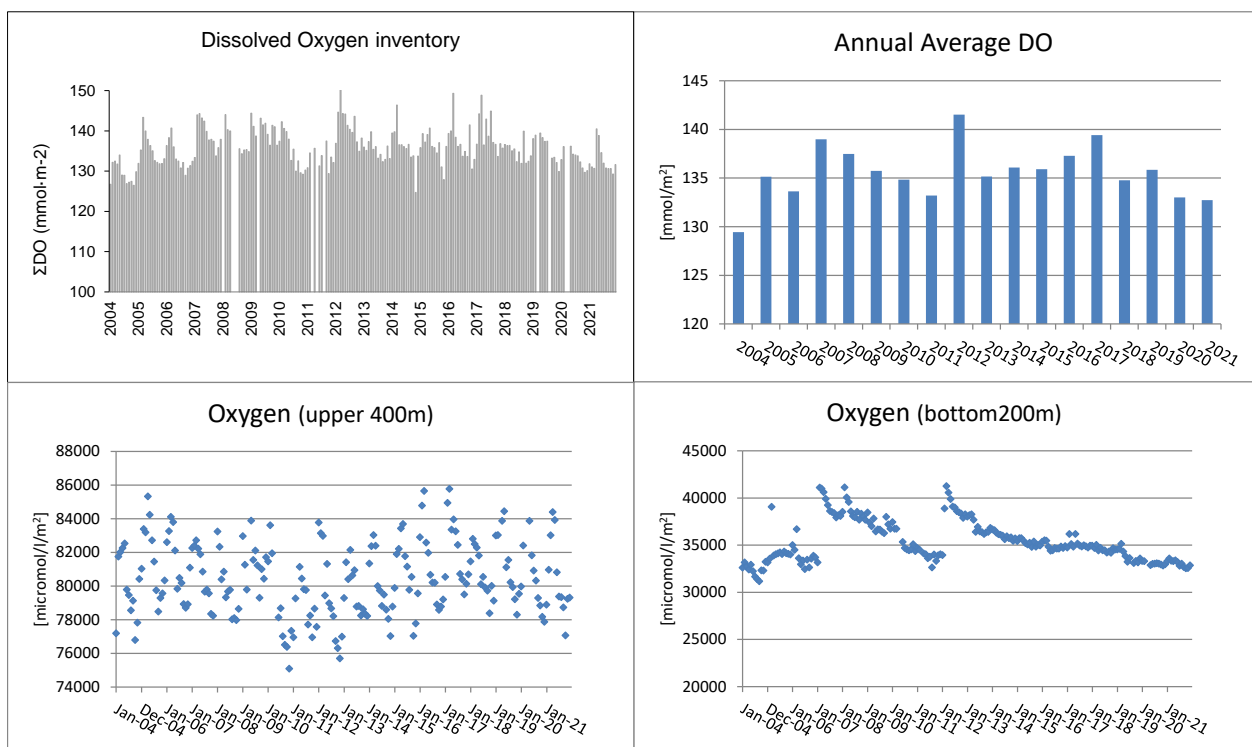
בשנות הניטור 2004-6 לא היה ערבוב עמודת המים עמוק דיו כדי לאוורר את המים העמוקים מכ-600 מ' וריכוז החמצן בעומק היה נמוך, אולם בשנים 2007 ו-2008 עורבבה כל עמודת המים בתחנה A וריכוז החמצן במים העמוקים השתווה לריכוזו במי השטח בחודשי הערבוב. בשלוש השנים שלאחר מכן (2009-2011), נצרך החמצן במים העמוקים וריכוזו ירד בהדרגה. הערבוב העמוק ב-2012 מלא את מאגרי החמצן בעמודת המים והעלה מחדש את ריכוזו במים העמוקים וכך נסגר מחזור שלם של דלדול ומילוי התלויים בעומק הערבוב (איור 7).

בשנים האחרונות אנו עדים למחזור חדש של ירידה בריכוזי החמצן במים העמוקים ונראה כי בתקופה זו דלדול עמודת המים בחמצן 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. הערבוב בשנים האחרונות היה עמוק מאשר בשלוש השנים 2013-2015, אך לא עמוק מספיק כדי להשוות את ריכוזי החמצן במים העמוקים. בעומקים גדולים מ-500 מטרים מוסיף ריכוז החמצן המומס לרדת. עם זאת, השנה, תשע שנים לאחר הערבוב העמוק של שנת 2012, ריכוז החמצן המומס בעומקים 600-700 מטרים דומה לזה של השנה הקודמת ולריכוז שנמדד בשנת 2011, שלוש שנים בלבד לאחר הערבוב בשנת 2008.



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.

הערבוב העמוק בשנת 2007 מילא את מאגרי החמצן המומס בעמודת המים, ובשנים שאחר כך, בהן היה ערבוב רדוד, ירדה כמות החמצן המומס בעמודת המים. בשנת 2012, שוב עורבבה עמודת המים עד לקרקעית בתחנה A וכמות החמצן המומס עלתה לערך הגבוה ביותר אשר נמדד במסגרת תכנית הניטור. ערבוב עמודת המים בשנים האחרונות לא היה עמוק באותה מידה וכמות החמצן המומס בעמודת המים ירדה מהערך הגבוה של שנת 2012. בשנים 2016-2017, בעקבות ההתקררות המהירה של תחילת החורף והעמקת הערבוב המהירה עלה מאגר החמצן המומס בעמודת המים בחודשי החורף, ובסך הכל נמצאה עליה במאגר החמצן השנתי. בשנים האחרונות מאגר החמצן המומס בעמודת המים נמוך יותר והשנה מאגר החמצן השנתי הממוצע נמוך מעט מזה שחושב עבור השנים 2006 ו-2011, לפני הערבובים העמוקים של 2007 ו-2012 (איור ד8).

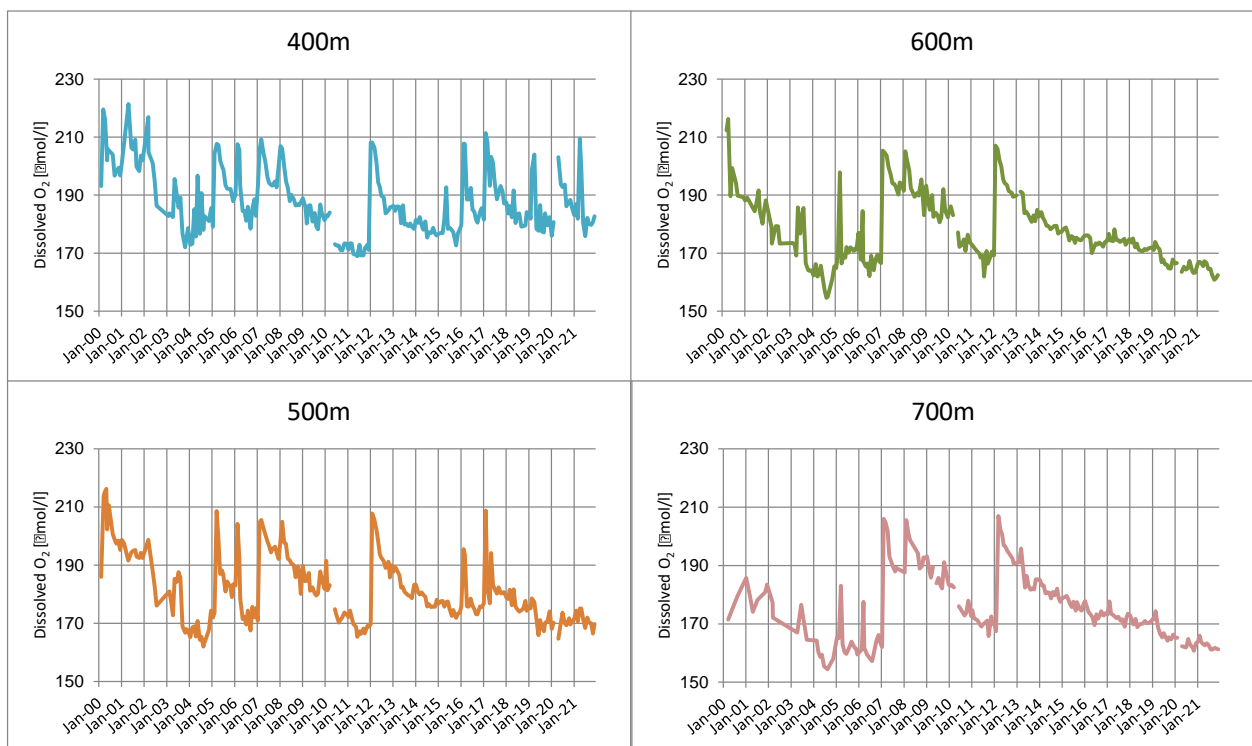


איור 8: שינויים במאגר החמצן המומס בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. למעלה: סך המאגר במדידות חודשיות (משמאל) וממוצע שנתי (מימין). למטה: המאגר ב-400 המטרים (משמאל) ובמאתיים המטרים (מימין).

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

סדרות הזמן של ריכוזי החמצן במים העמוקים מאז שנת 2000 מראות בבירור את תלות ריכוז החמצן בעומק הערבוב (איור 9). במים העמוקים יורד ריכוז החמצן המומס בשנים של ערבוב רדוד, ועולה בשנים של ערבוב עמוק. בין השנים 2000 ו-2007 ירד ריכוז החמצן במים העמוקים לערך מזערי של $155 \mu\text{mol/l}$ ושנתיים של ערבוב עמוק בשנים 2007-8 העלו את ריכוזי החמצן בכל העומקים, לערך מרבי של $206 \mu\text{mol/l}$. בשנים 2009-2011 שוב ירדו ריכוזי החמצן במי העומק, בהעדר ערבוב עמוק.

ערבוב עמוק בשנת 2012 הביא לעליית ריכוז החמצן במים העמוקים עד לערכים דומים לאלה של 2007-8. השנה, תשע שנים לאחר הערבוב העמוק, בהן ריכוז החמצן במי העומק ירד בהדרגה, הגיע ריכוז החמצן המומס המזערי בעומק 700 מטרים ל- $161 \mu\text{mol/l}$. ריכוז זה דומה לערך השנה הקודמת ונמוך מהריכוז הנמוך שנמדד לפני הערבוב העמוק בשנת 2012, אך עדיין גבוה מהריכוז הנמוך שקדם לערבוב העמוק בשנת 2007.



איור 9: שינויים בריכוזי החמצן המומס בעומקים 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.

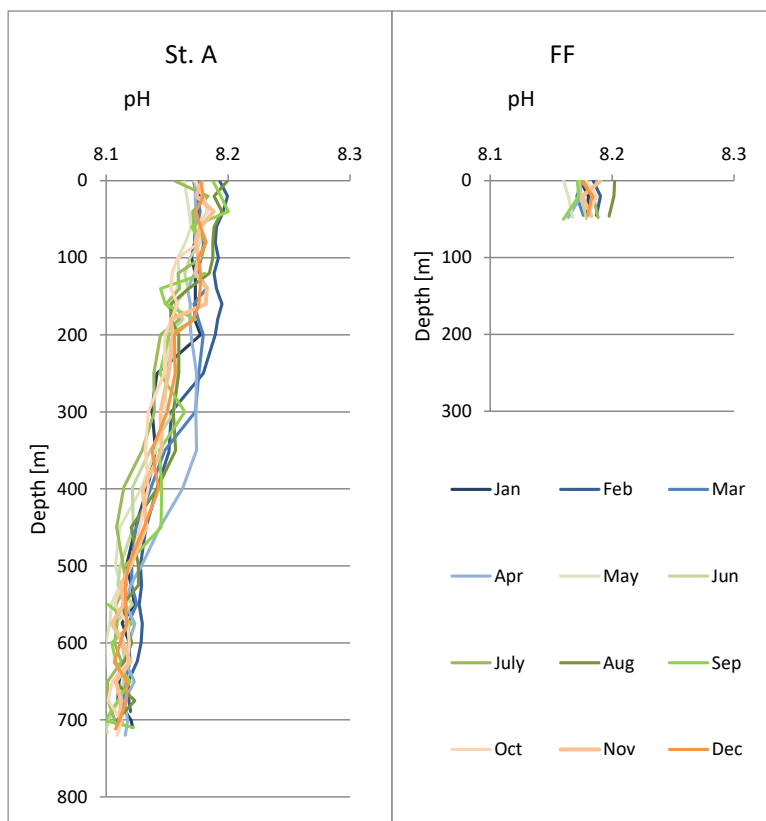
ערך הגבה (רמת חומציות המים, pH)

ערך הגבה (pH) המדווח להלן נמדד בסקלת pH_{NBS} לפי ההגדרה של Millero et al. (1993): $\text{pH}_{\text{NBS}} = -\log \{ \text{H}^+ \}$ לפרטים ראו פירוט "שיטות" בפרק מי החופים למעלה.

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

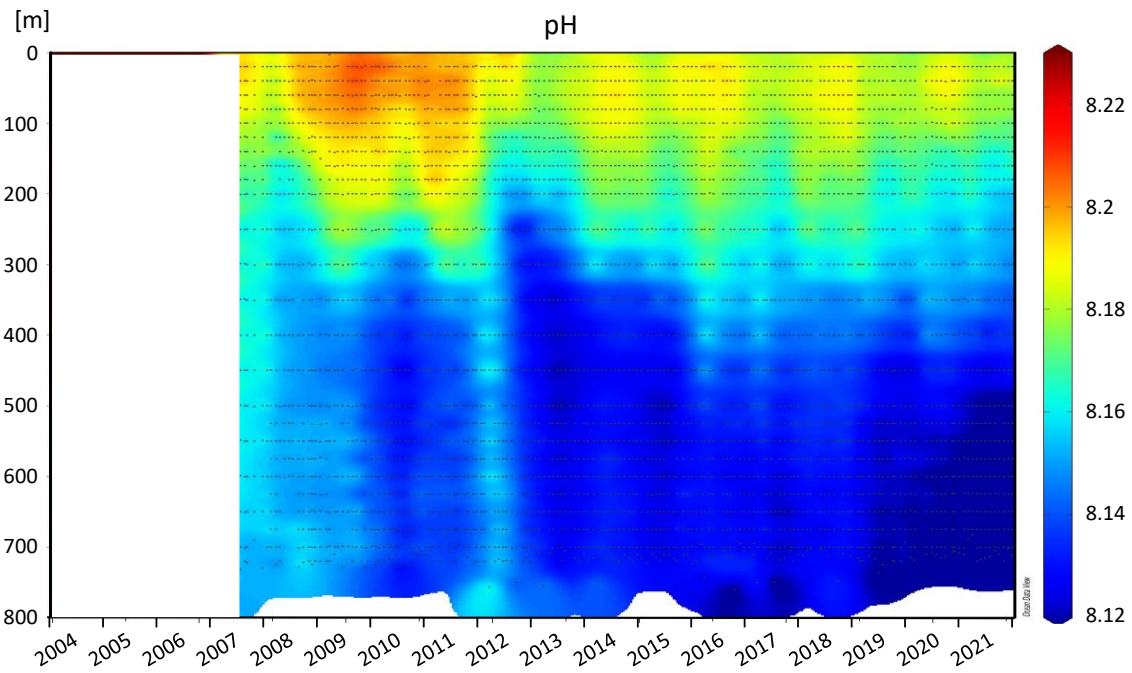
ערכי ה-pH במי העומק בדרך כלל נמוכים יותר מאשר במים הרדודים ועל כן מושפעת גם רמת החומציות בעמודת המים ממחזור הערבוב-שכוב העונתי. מבנה הפרופיל של ערך הגבה (pH) בעמודת המים דומה, לרוב, לזה של החמצן המומס מכיוון ששני המשתנים תלויים בקצבי הפוטוסינתזה והנשימה.

ערכי ה-pH הגבוהים ביותר בתחנה A השנה (8.200) נמדדו במים העליונים בחודשים פברואר וספטמבר (איור ד10). ערך הגבה במים העמוקים עולה כתוצאה מערבוב עמודת המים ויורד בשנים בהן הערבוב רדוד. באופן כללי היו השנה ערכי הגבה במים העליונים נמוכים מעט מאלו של השנה הקודמת (איור ד11). בשנים 2008-11 נמדדו ערכי גבה גבוהים במים העליונים ואלו ירדו מאד בעקבות הערבוב העמוק בשנת 2012. בשנים שחלפו מאז נותר ה-pH בעמודת המים בערכים נמוכים. גם כאן ניתן לראות שהשינויים בערך הגבה בעמודת המים במחזור הערבובים הרדודים האחרון (מאז שנת 2012) קטנים מהשינויים שנמדדו במחזור הקודם (לאחר הערבוב העמוק בשנים 2007-8).



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.

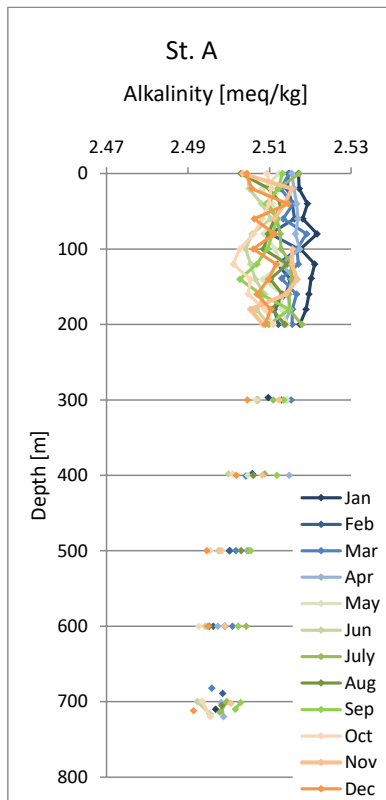
Figure D10: Depth profiles of pH values measured during the monthly monitoring cruises. Station A is on the Israeli/Jordanian/Egyptian border at >700 meters depth, and the Fish Farms station is close to the northern shore of the Gulf at ca. 50 meters depth.



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.

אלקליניות

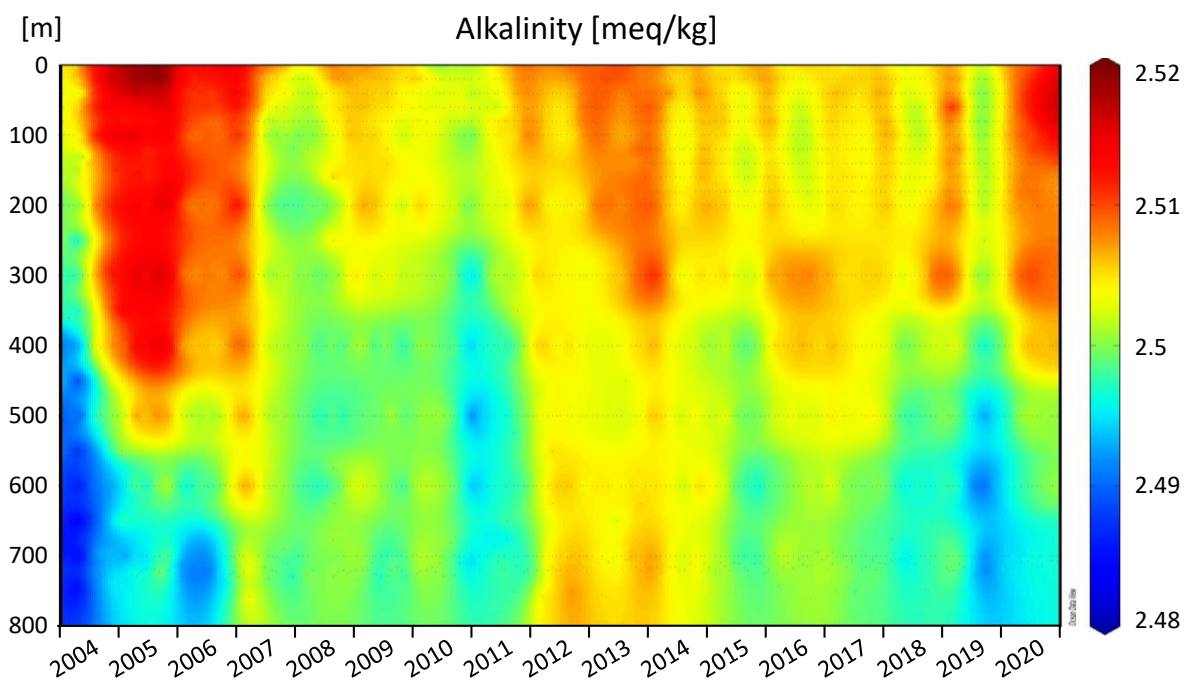
האלקליניות היא מדד לריכוז החומצות החלשות במים, ובעיקר לריכוז יוני הקרבונט והביקרבונט (CO_3^{2-} ו- HCO_3^- בהתאמה). טווח הערכים במדידות האלקליניות קטן מאד, הן בשינויים העונתיים והן בין העומקים (איור ד12). ערכים נמוכים יחסית של אלקליניות במים העמוקים נרשמים לאחר הקיץ, וערכים גבוהים יותר בחודשי הערבוב. בחודשי הקיץ האלקליניות במים העליונים נמוכה מעט מאשר במים התחתונים, ובחודשי האביב גבוהה מעט יותר. הערך המרבי שנמדד השנה היה 2.522meq/kg , בחודש ינואר בעומק 80 מטרים.



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, ובשנים האחרונות נמצאה ירידה קלה בערכי האלקליניות הנמדדים בעמודת המים. השנה שוב נמדדו ערכי אלקליניות גבוהים מעט בהשוואה לערכים של השנים האחרונות (איור ד13).

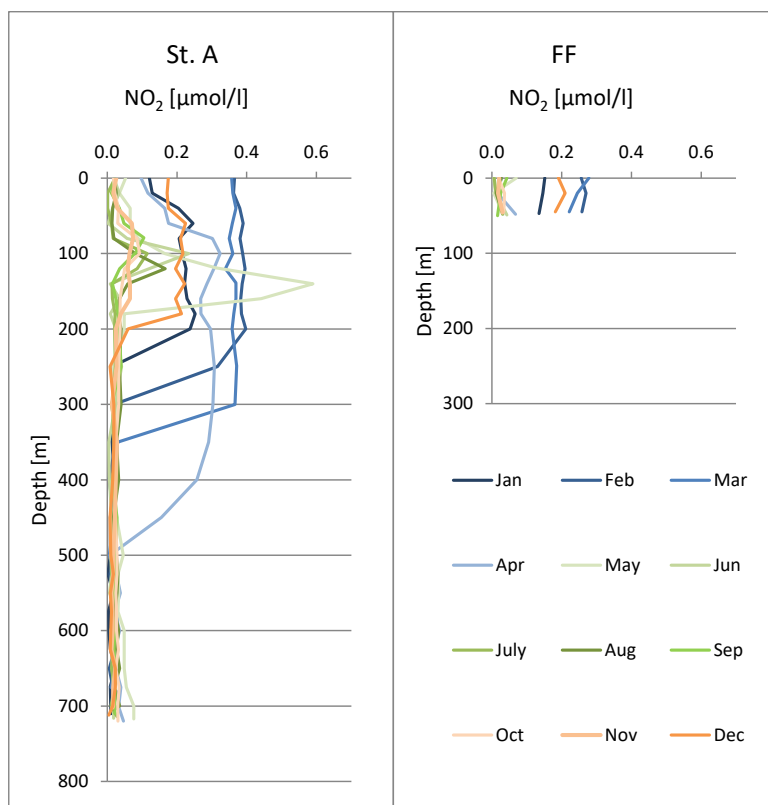


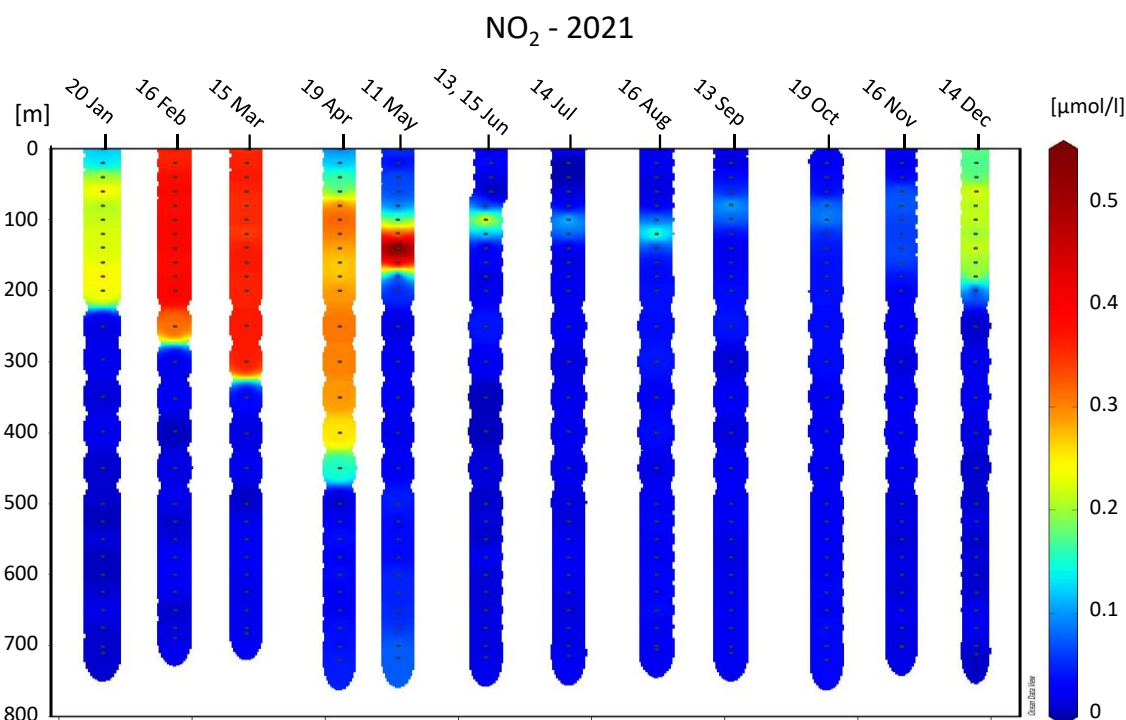
איור ד13: שינויי אלקליניות בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. הנקודות השחורות מייצגות את עומק המדידה.
Figure D13: Changes in alkalinity in the water column at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths.

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, היזור 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 אורגני וחמצון בקטריאלי של אמוניה. ככל שעמודת המים מתייצבת, מאגר הניטריט באזור זה קטן והולך (איור ד14).

ריכוז הניטריט המרבי בתחנה A נמדד השנה בחודש מאי בעומק 140 מטר ($0.590 \mu\text{mol/l}$).



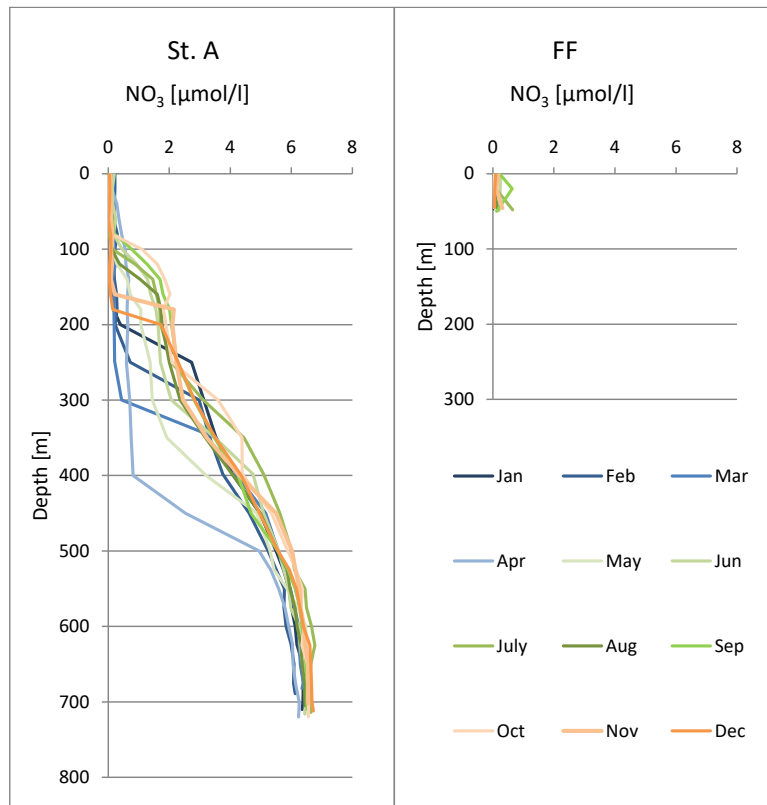


איור 14: ריכוזי ניטריט (NO_2^-) בעמודות המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700 מטרים, ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים. למטה – סדרת זמן שנתית של ריכוזי ניטריט מומס בעמודות המים בתחנה A.

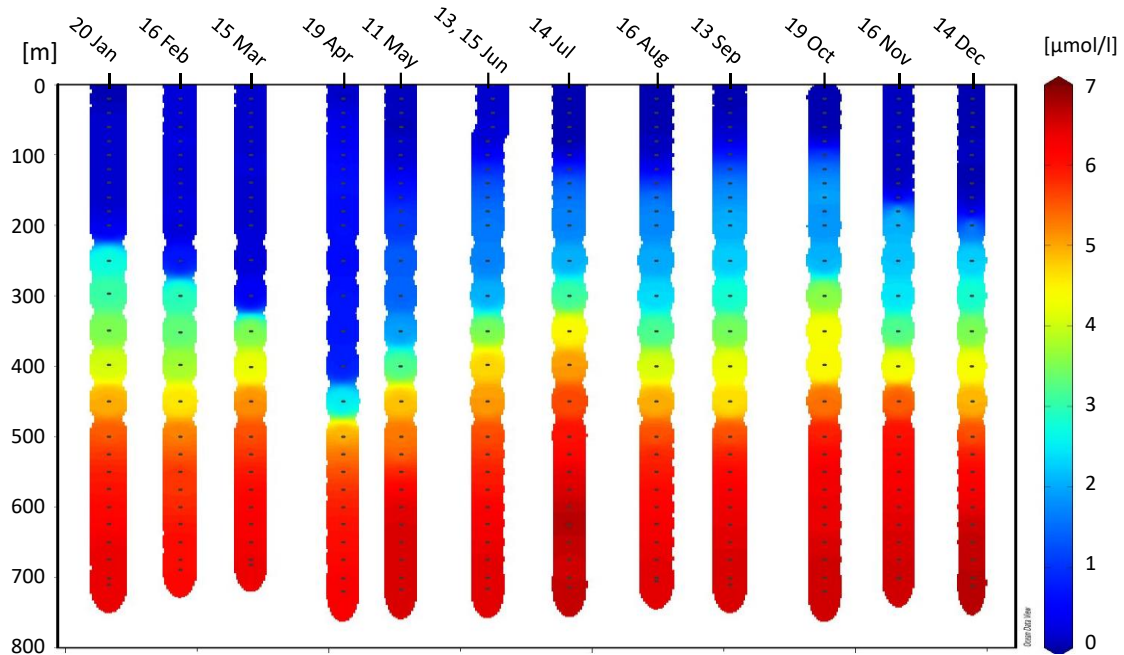
Figure D14: Nitrite (NO_2^-) concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Station A is on the Israeli/Jordanian/Egyptian border at >700 meters depth, and the Fish Farms station is close to the northern shore of the Gulf at ca. 50 meters depth. Bottom – an annual time series 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. ערבוב עמודות המים הגיע השנה לעומק של כ-300 מטרים בחודש מרץ (חודש מאוחר בהשוואה לשנה הקודמת), ולעומק מרבי (קרוב ל-450 מטרים) לפני ההפלגה של חודש אפריל. פרופיל הניטראט בחודש מרץ בתחנה A מראה ריכוזי ניטראט אחידים עד לעומק של כ-300 מטרים (בדומה לשנה הקודמת) ובחודש אפריל נמצא פרופיל ניטראט בו הריכוזים כבר יורדים ב-100 המטרים העליונים וריכוזים גבוהים ואחידים נמצאו עד לעומק 400 מטרים כאשר בעומק 450 מטרים הריכוז נמוך מריכוזי העומק אך גבוה מהריכוז בעומק 400 מטרים (איור 15). ריכוז הניטראט המרבי אשר נמדד במים העליונים בתחנה A היה השנה $0.20 \mu\text{mol/l}$, בחודש יוני.

לשם השוואה, בשנת 2014 בה היה הערבוב רדוד במיוחד נמדד במים העליונים ריכוז ניטראט מרבי של $0.12 \mu\text{mol/l}$ בלבד ובשנת 2012, בה היה הערבוב עמוק, נמדד בפני הים בחודש מרץ ריכוז ניטראט של $2.158 \mu\text{mol/l}$. במים העמוקים היה ריכוז הניטראט המרבי השנה $\sim 6.8 \mu\text{mol/l}$, דומה לזה של השנה הקודמת.



NO₃ - 2021

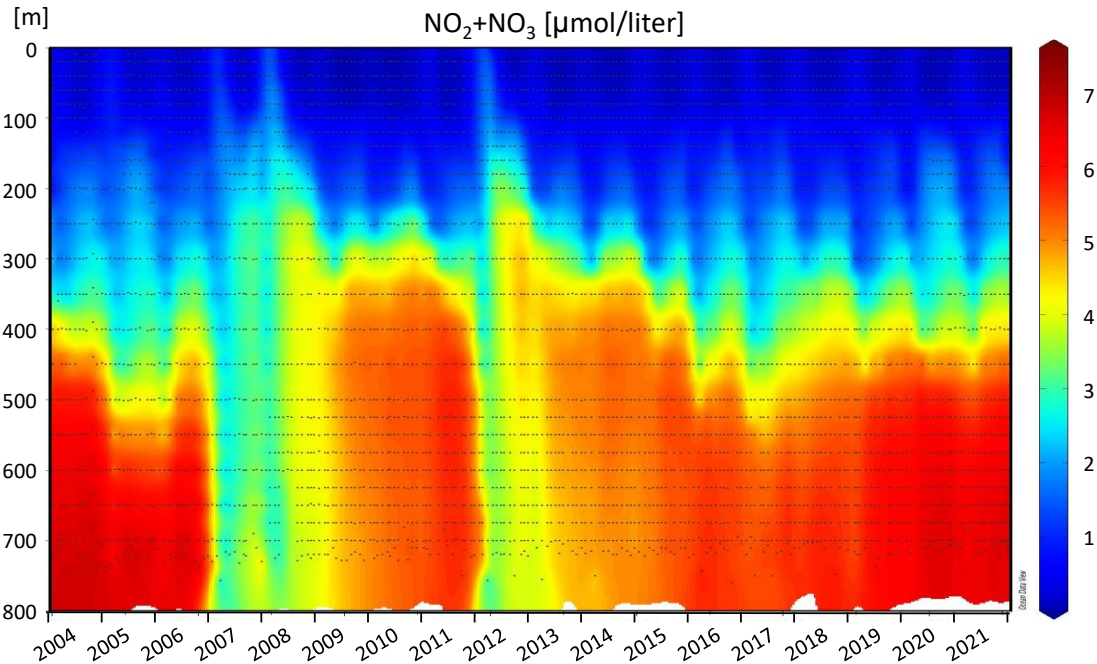


איור D15: ריכוזי ניטראט (NO₃) בעמודות המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700 מטרים, ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים. למטה – סדרת זמן שנתית של ריכוזי ניטראט מומס בעמודות המים בתחנה A.

Figure D15: Nitrate (NO₃) concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Station A is on the Israeli/Jordanian/Egyptian border at >700 meters depth, and the Fish Farms station is close to the northern shore of the Gulf at ca. 50 meters depth. Bottom – an annual time series of dissolved NO₃ concentrations at Station A.

ריכוזי החנקן המחומצן בעמודות המים (Total Oxidized Nitrogen) דומה לריכוז מרכיבו העיקרי, הניטראט. בשנים

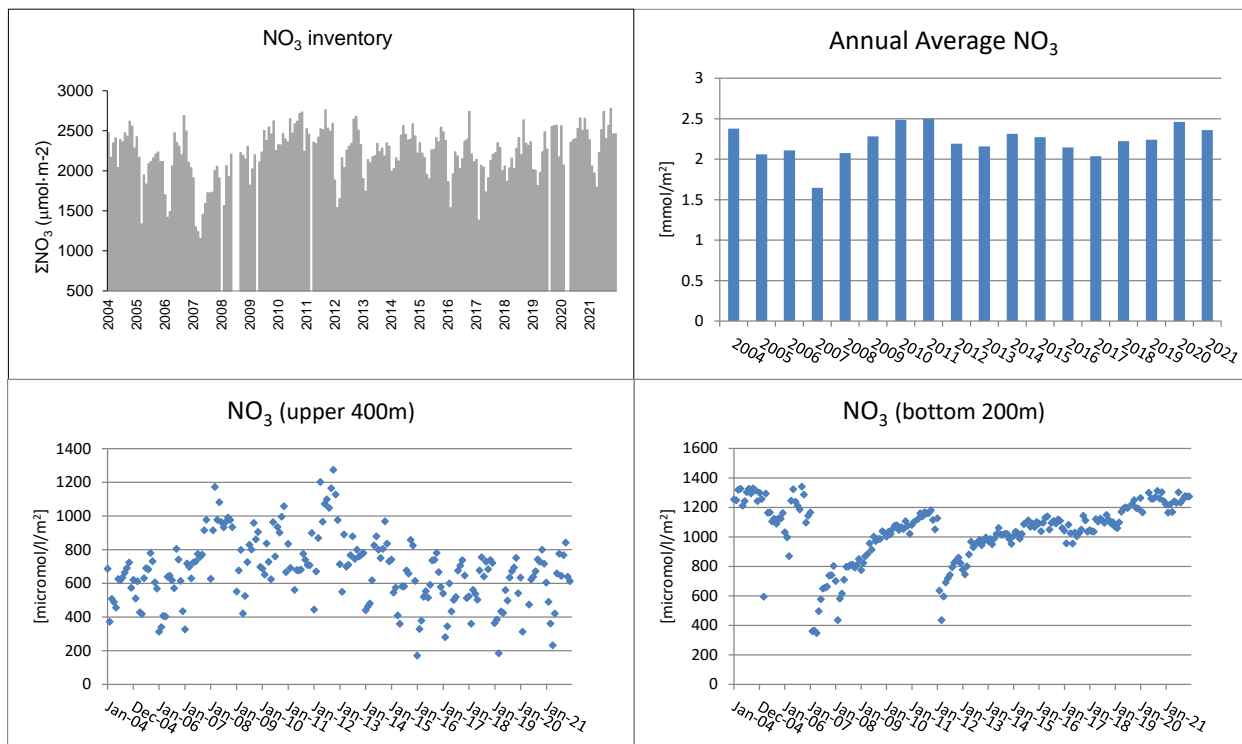
הראשונות לתכנית הניטור, נמדדו ריכוזי חנקן מחומצן גבוהים במים העמוקים. ערבוב עמודת המים בחורף 2004-5 הגיע עד לכ- 600 מטר וריכוזי החנקן ירד עד לעומק זה, אולם ב-2006 שוב נמדדו ריכוזים דומים לאלה של שנת 2004. שנתיים של ערבוב עמוק (2007 ו-2008) הורידו משמעותית את ריכוזי החנקן במים העמוקים, אך בין פברואר 2008 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 נמצאים במגמת עליה, אולם זו איטית במידה ניכרת ממה שנראה במחזוריים הקודמים. בשנתיים האחרונות נמצאו סמוך לקרקעית ריכוזי חנקן גבוהים מאלה שנמדדו בשנת 2011, שלוש שנים לאחר הערבוב העמוק של שנת 2008 (איור ד16). ריכוזים אלה עדיין נמוכים מאלה שנמצאו בשנים 2004-6.



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

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

מאגר הניטראט בעמודת המים מאז 2004 מראה עליה בכמות החנקן בעמודת המים בין השנים 2008-11, אך מאז הערבוב העמוק של שנת 2012 השינויים במאגר הניטראט קטנים יותר. מאגר הניטראט השנתי הממוצע המחושב השנה נמוך מעט מזה שחושב בשנה הקודמת אך גבוה מעט מרוב הערכים שחושבו מאז השנים 2010-11 (איור ד17). מאגר הניטראט במאיתיים המטרים התחתונים של עמודת המים בתחנה A לזה של השנה הקודמת וגבוה גם מהריכוז שנמדד בשנת 2011, לפני הערבוב העמוק האחרון. מאגר הניטראט במים העמוקים מתקרב לערכים שנמדדו לפני הערבוב העמוק בשנת 2007.



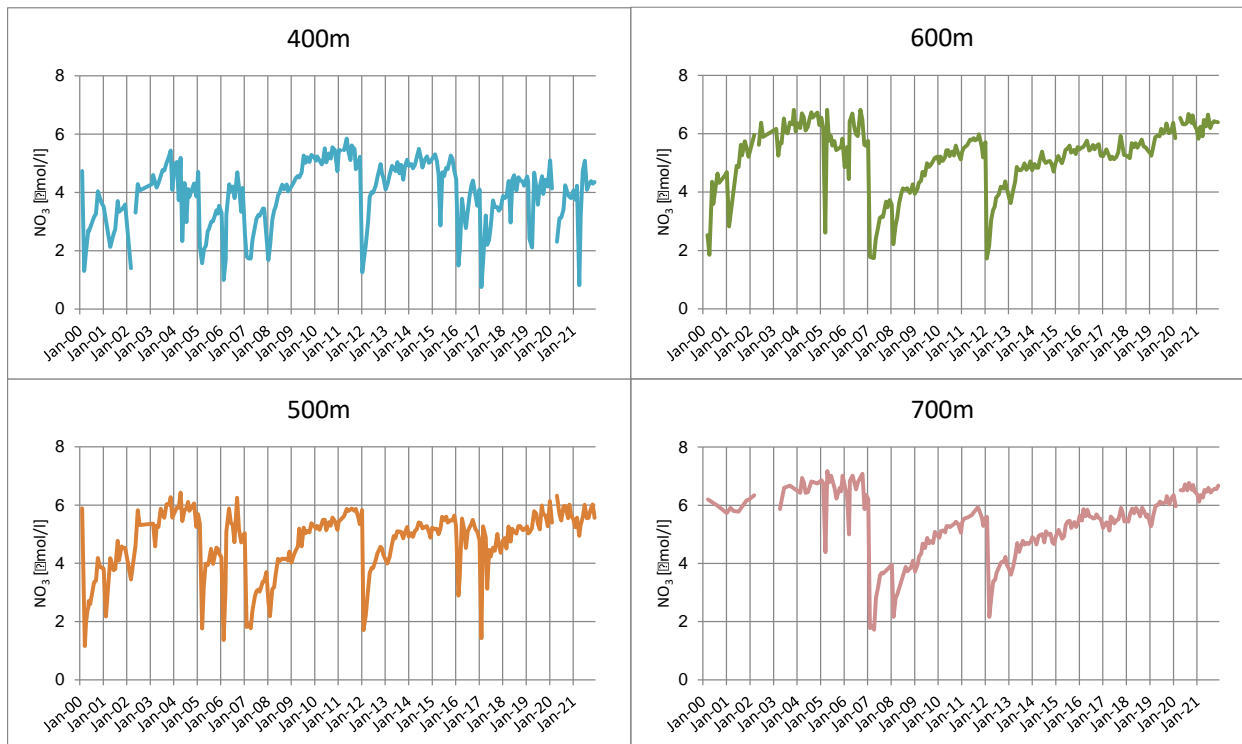
איור ד17: שינויים במאגר הניטראט (NO_3) בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. למעלה: סך המאגר במדידות חודשיות (משמאל) וממוצע שנתי (מימין). למטה: המאגר ב-400 המטרים העליונים (משמאל) ובמים העמוקים (מימין).

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) גבוהים ($6.7\text{--}7\ \mu\text{mol/l}$) וכמעט קבועים. גם בעומק 600 מטרים, המושפע יותר מהערבוב העונתי, נמצאו בשנים 2003-7 שינויים קטנים וחזרה מהירה לריכוזים גבוהים ($6.4\text{--}6.8\ \mu\text{mol/l}$). ערבוב עמודת המים בתקופת החורף מוריד את ריכוז הניטראט בעומק אליו מגיע הערבוב, אולם החזרה לערכים קודמים היתה מהירה.

הערבוב העמוק בשנת 2007 הוריד משמעותית את ריכוזי הניטראט בעומק (ערך מינימום בתקופה זו כ- $1.7\ \mu\text{mol/l}$ בעומק 700 מטר), והעלייה שאחריו היתה איטית יותר: בסוף 2007 ריכוז הניטראט בעומק 700 מטרים היה כ- $3.9\ \mu\text{mol/l}$. בשלוש השנים 2009-2011 כלל לא הגיע הערבוב למים העמוקים וריכוזי הניטראט הוסיפו לעלות בכל העומקים הגדולים מ-400 מטרים. ריכוז הניטראט בסתיו 2011 היה $5.9\ \mu\text{mol/l}$ בעומק 700 מטרים ו- $6.0\ \mu\text{mol/l}$ בעומק 600 מטרים – נמוך מהערכים של לפני שנת 2007.

הערבוב העמוק בשנת 2012 הוריד את הריכוזים בכל העומקים ($2.16\ \mu\text{mol/l}$ בעומק 700 מ' במרץ 2012) וריכוז החנקן המרבי אשר נמדד השנה בעומק זה, תשע שנים לאחר הערבוב, עמד על $6.68\ \mu\text{mol/l}$, גבוה מאשר בשנת 2011. בסוף שנת 2006 נמדד במים העמוקים ריכוז ניטראט של $7.09\ \mu\text{mol/l}$.



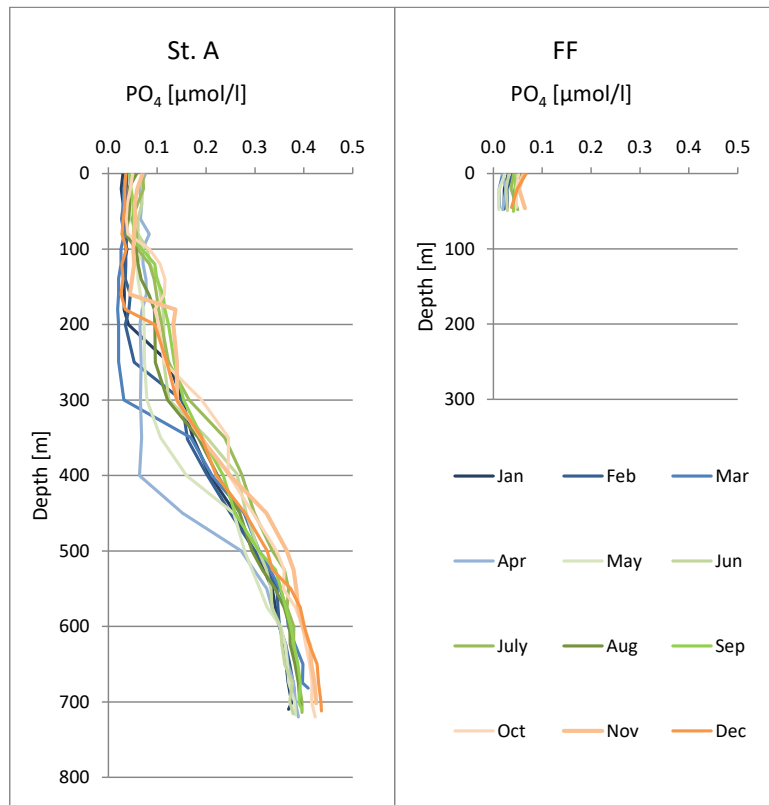
איור ד18: שינויים בריכוז הניטראט בעמקים (400 עד 700 מטר) בתחנה A מאז ינואר 2000. נתונים הקודמים לתכנית הניטור נאספו במסגרת פרויקט "פארק השלום" ומובאים באדיבותם של הפרופ' י. ארז והפרופ' ב. לזר.

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

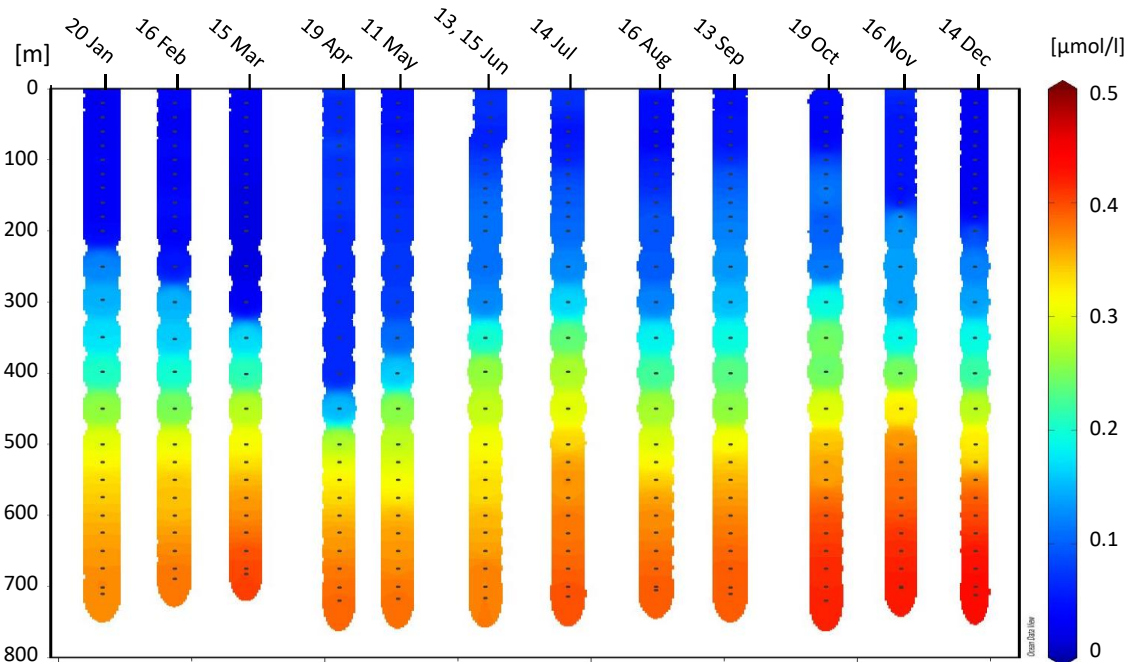
פוספט

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

השנה הגיע ריכוז הפוספט בפני הים בתחנה A לערך מרבי של $0.070 \mu\text{mol/l}$ בחודש נובמבר. זהו ערך מעט נמוך מאשר בשנה הקודמת. במים העמוקים היה ריכוז הפוספט סביב $0.435 \mu\text{mol/l}$, מעט גבוה בהשוואה לשנה הקודמת.



PO₄ - 2021

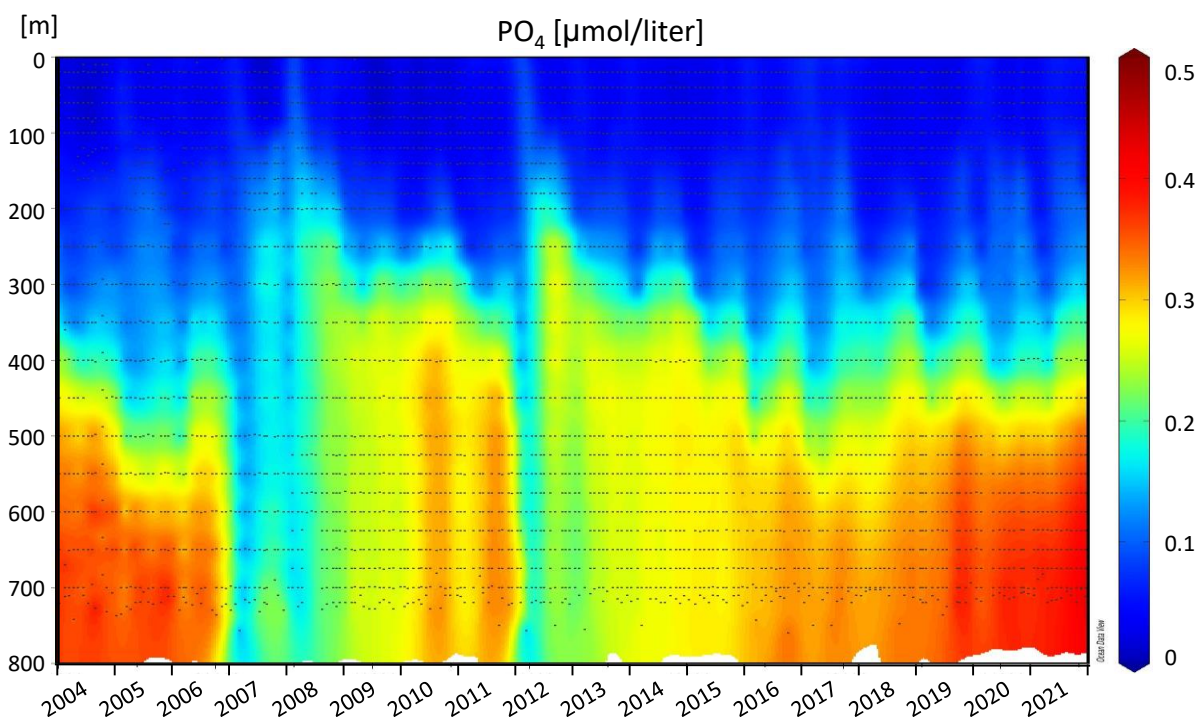


איור 19: ריכוזי פוספט (PO_4^{3-}) בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700 מטרים, ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים. למטה – סדרת זמן שנתית של ריכוזי פוספט מומס בעמודת המים בתחנה A.

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.

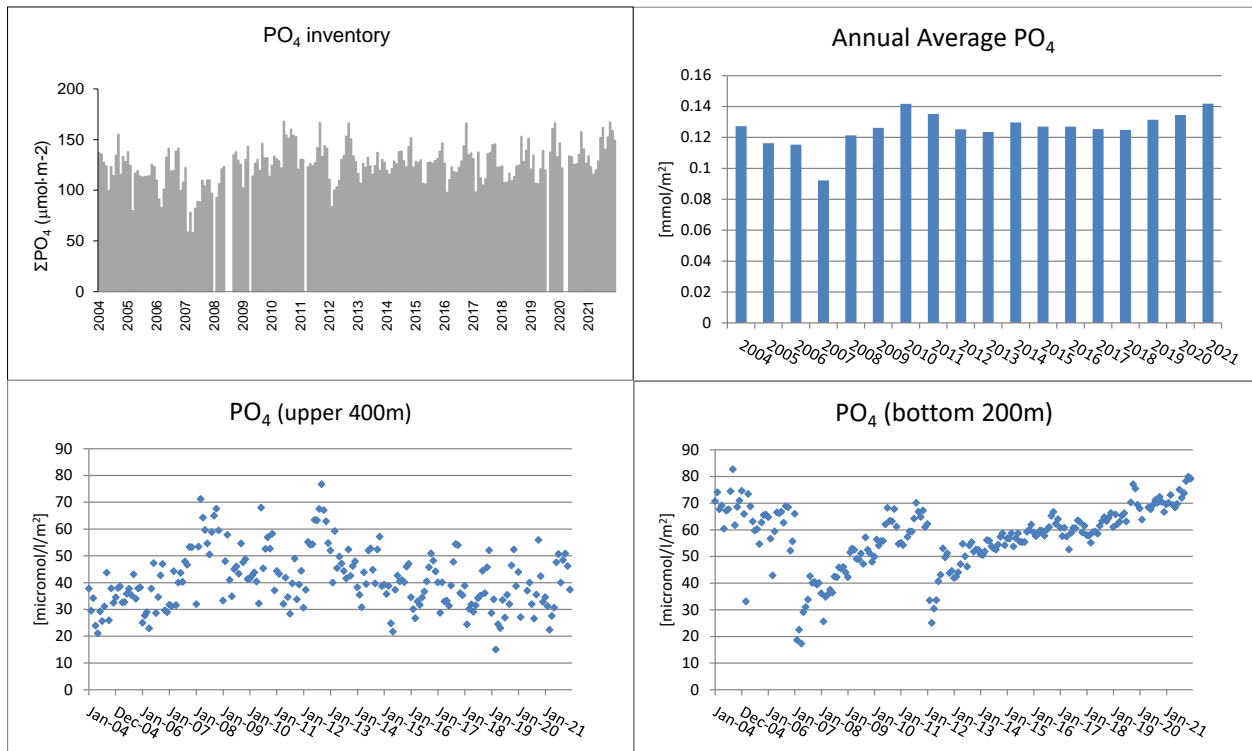
ריכוזי הפוספט במים העמוקים היו גבוהים (0.36-0.4 $\mu\text{mol/l}$) בחודשי הסתיו בשנים 2004-6 ובעקבות הערבוב העמוק

בשנת 2007 ואחר כך שוב בשנת 2008 ירדו ריכוזי הפוספט בעמודת המים, ובפרט במים העמוקים, במידה רבה. בשלוש השנים שלאחר מכן עלה ריכוז הפוספט במים העמוקים בהדרגה עד לערך של $0.35 \mu\text{mol/l}$ בסוף שנת 2011. הערבוב העמוק בשנת 2012 שוב גרם לירידת ריכוזי הפוספט במים העמוקים, ומאז ריכוזי הפוספט במי הביניים ובמים העמוקים עולים בהדרגה. בשנים האחרונות ריכוזי הפוספט המרבי בתחנה A גבוה מזה של שנת 2011 והשנה ריכוזו במים העמוקים גבוה מהריכוזים אשר נמדדו בשנים 2004-6 (איור 20).



איור 20: שינויים בריכוזי הפוספט בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. הנקודות השחורות מייצגות את עומק המדידה.
Figure D20: Changes in the concentration of phosphate in the water column at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths.

בשנת 2007 הצטמצם מאגר הפוספט המומס במים אולם החל משנת 2008 שב ונבנה. בחורף 2012 כמות הפוספט בעמודת המים ירדה מאד, אולם בקיץ עלתה שוב. בדומה לניטראט, התנודות החודשיות במאגר הפוספט בעמודת המים קטנות, יחסית, בשנים האחרונות (איור 21). כמות הפוספט השנתית הממוצעת המומסת בעמודת המים הגיעה לערך מרבי בשנת 2010, ובשנים האחרונות השינויים קטנים אך החל משנת 2018 ישנה עליה מתמשכת. השנה כמות הפוספט הממוצעת האגורה בעמודת המים היתה הגבוהה ביותר שנמדדה במשך שנות הניטור.

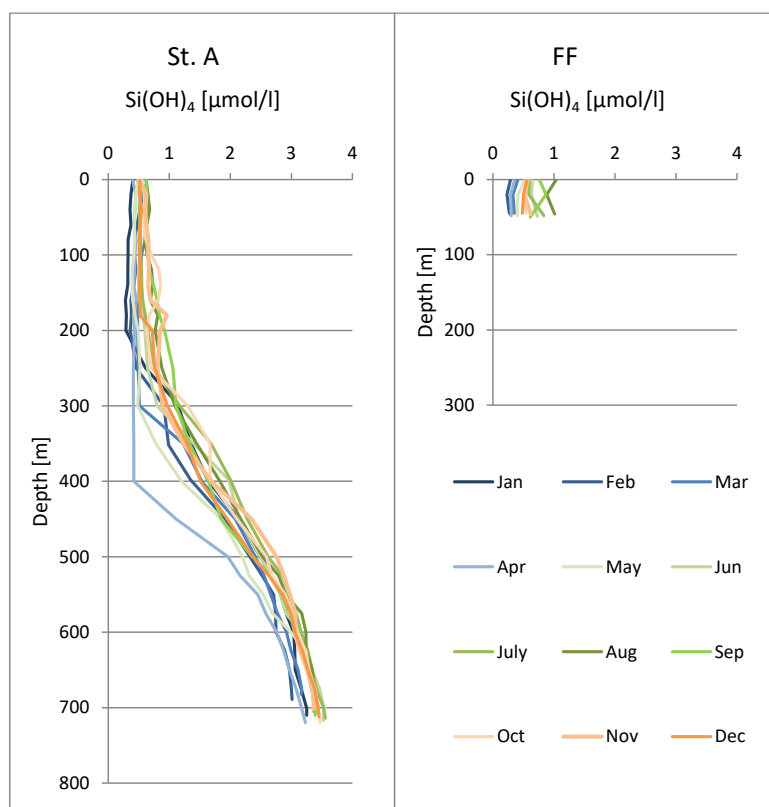


איור ד21: שינויים במאגר הפוספט בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. למעלה: סך המאגר במדידות חודשיות (משמאל) וממוצע שנתי (מימין). למטה: המאגר ב-400 המטרים העליונים (משמאל) ובמים העמוקים (מימין).

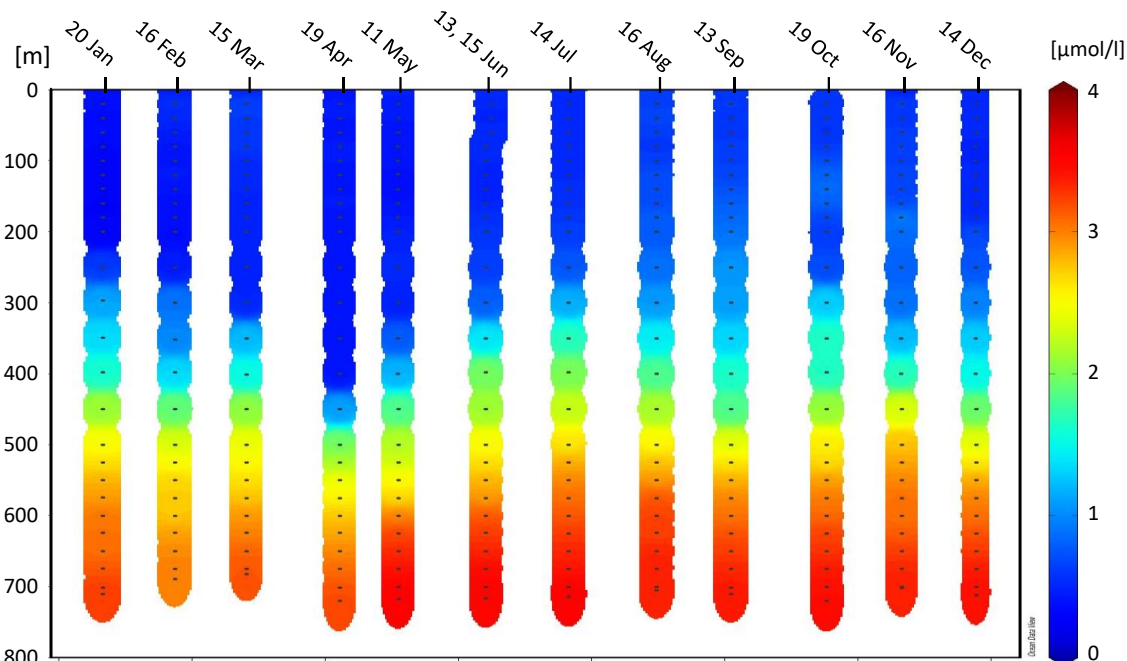
Figure D21: Changes in the phosphate inventory in the water column at Station A since 2004. Top: monthly inventories (right) and annual averages (left). Bottom: the upper 400m (left) and the deep water (right).

סיליקה

ריכוזי הסיליקה בפני הים בתחנה A בתחילת השנה היו "רגילים" ($0.37 \mu\text{mol/l}$) בניגוד לשנה הקודמת בה היו ריכוזים גבוהים בתחילת השנה, קרוב ל- $1 \mu\text{mol/l}$. גם בסוף השנה היו ריכוזי הסיליקה במים העליונים "רגילים" $0.63 \mu\text{mol/l}$, וכך נראה שבשנה הקודמת אכן היתה פריחת אצות צורניות. במים העמוקים (700 מטרים) הגיעו ריכוזי הסיליקה ל- $3.6 \mu\text{mol/l}$ מעט נמוך יותר מאשר בשנה הקודמת. עליית ריכוזי הסיליקה בסמוך לקרקעית הים (איור ד22), מצביעה על מקור סיליקה בסדימנט, המסת סיליקה ממוצא יבשתי או שלדים סיליקטים של פלנקטון, בעיקר אצות צורניות [diatoms].



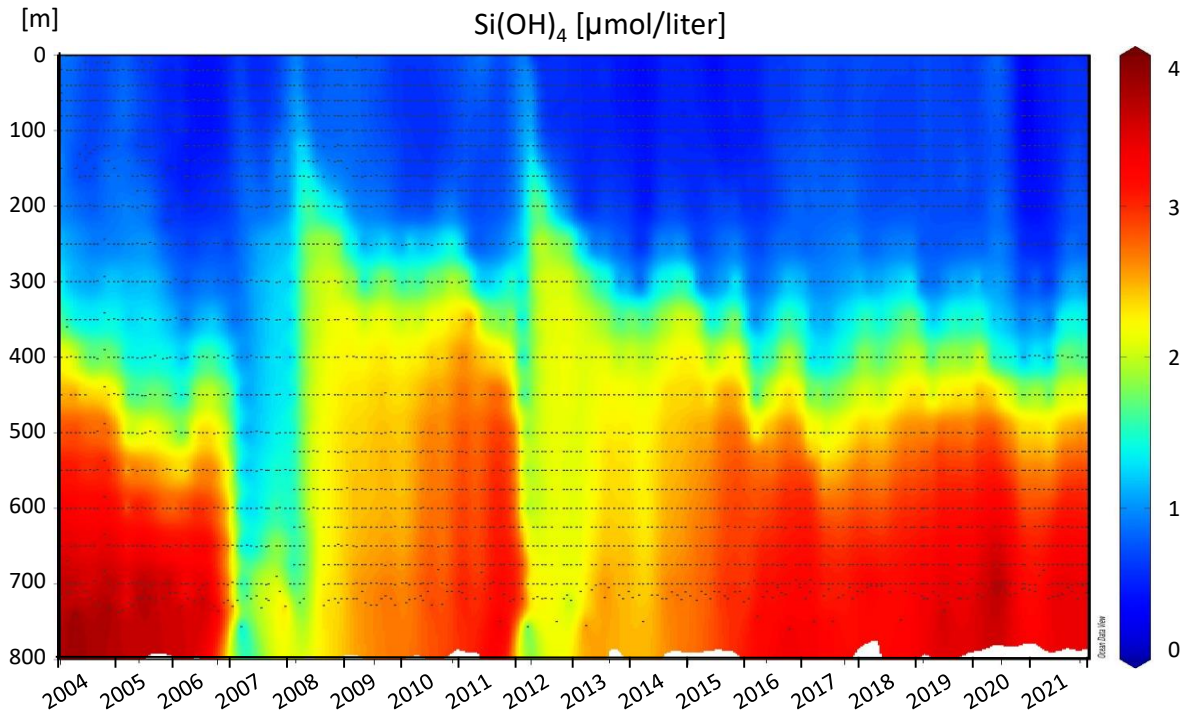
Si(OH)₄ - 2021



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.

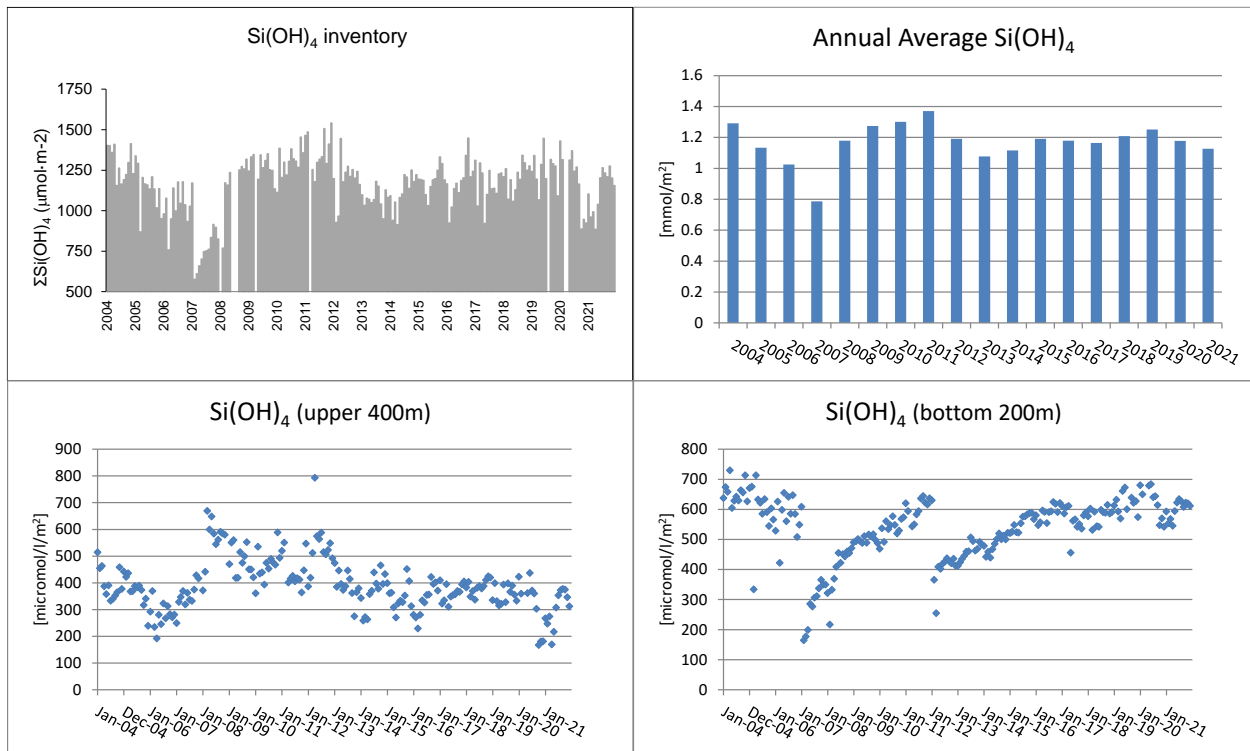
Figure D22: Silicate (Si(OH)₄) concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Station A is on the Israeli/Jordanian/Egyptian border at >700 meters depth, and the Fish Farms station is close to the northern shore of the Gulf at ca. 50 meters depth. Bottom – an annual time series 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, ותמונה הפוכה במים העמוקים (איור ד23). בעקבות הערבוב העמוק בשנת 2012 נמדד בפני הים ריכוז סיליקה של $1.293 \mu\text{mol/l}$. גם בסיליקה, כמו בנוטריינטים אחרים, ניכרים שלושה מחזורים רב-שנתיים הקשורים לערבוב עמודת המים, כאשר במחזור האחרון (לאחר הערבוב העמוק בשנת 2012) ריכוזי הסיליקה במים העמוקים עדיין נמוכים מעט משהיו לפני הערבוב העמוק בשנת 2007, אך הם כבר גבוהים מאלה של 2011.



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.

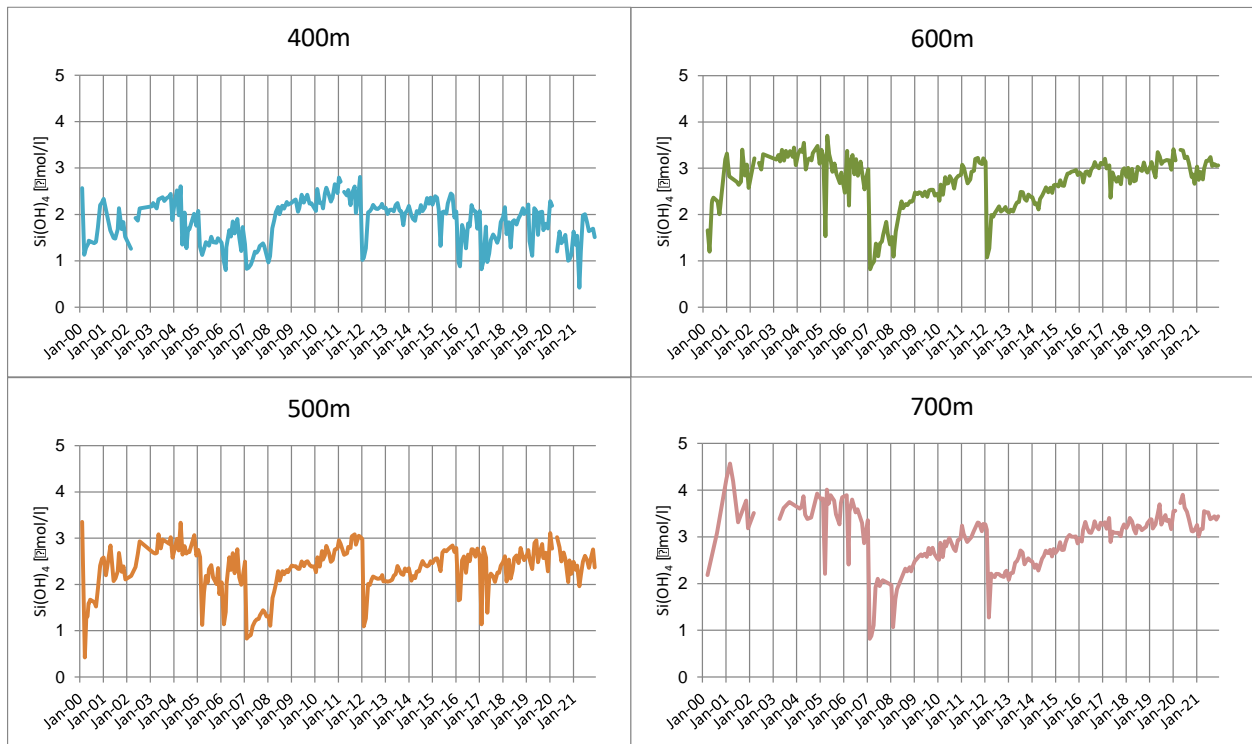
מאגר הסיליקה בעמודת המים הגיע לערכים נמוכים ביותר בשנת 2007, אז העלה הערבוב סיליקה לאזור הפוטי והזין פריחת אצות צורניות. בשנים שלאחר מכן עלתה כמות הסיליקה המומסת במים עד שירדה שוב בחורף 2012, אם כי במידה פחותה – נראה כי בעקבות הערבוב בשנת 2012 לא התרחשה פריחה חזקה של אצות צורניות שיסלקו סיליקה מהמים. אחרי שנת 2012 מאגר הסיליקה השנתי הממוצע בעמודת המים גדל במתינות עד לערך מרבי בשנת 2019, ובשנה הקודמת, ככל הנראה בעקבות פריחה של אצות צורניות יורד מעט מאגר הסיליקה המומס. ערך מרבי של גודל המאגר השנתי הממוצע נמדד בשנת 2011 (1.37 mmol/m^2) והשנה חושב ערך של 1.13 mmol/m^2 (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, $4.57 \mu\text{mol/l}$, 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 $3.7-3.8 \mu\text{mol/l}$. הערבוב העמוק בשנים 2007 ו-2008 גרם לירידת ריכוז הסיליקה במי העומק, ועד לאוקטובר 2011 עלה הריכוז ל- $3.3 \mu\text{mol/l}$. לאחר הערבוב העמוק בשנת 2012 שוב ירד ריכוז הסיליקה במים העמוקים ובחודש יולי השנה נמדד בעומק 700 מטרים ריכוז מרבי של $3.5 \mu\text{mol/l}$ (איור ד25). ריכוזי הסיליקה בעומק נמוכים מאלה אשר נמדדו לפני הערבוב העמוק בשנת 2007, אך לא במידה רבה.



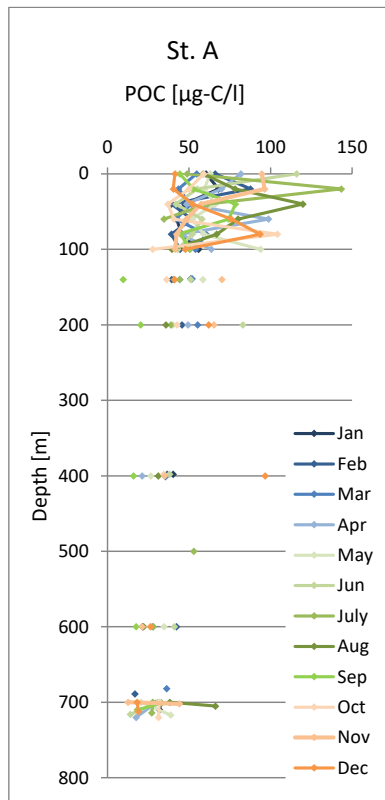
איור ד25: שינויים בריכוז הסיליקה בעמקים (400 עד 700 מטר) בתחנה A מאז ינואר 2000. נתונים הקודמים לתכנית הניטור נאספו במסגרת פרויקט "פארק השלום" ומובאים באדיבותם של הפרופ' י. ארז והפרופ' ב. לזר.

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

פחמן אורגני חלקיקי (POC)

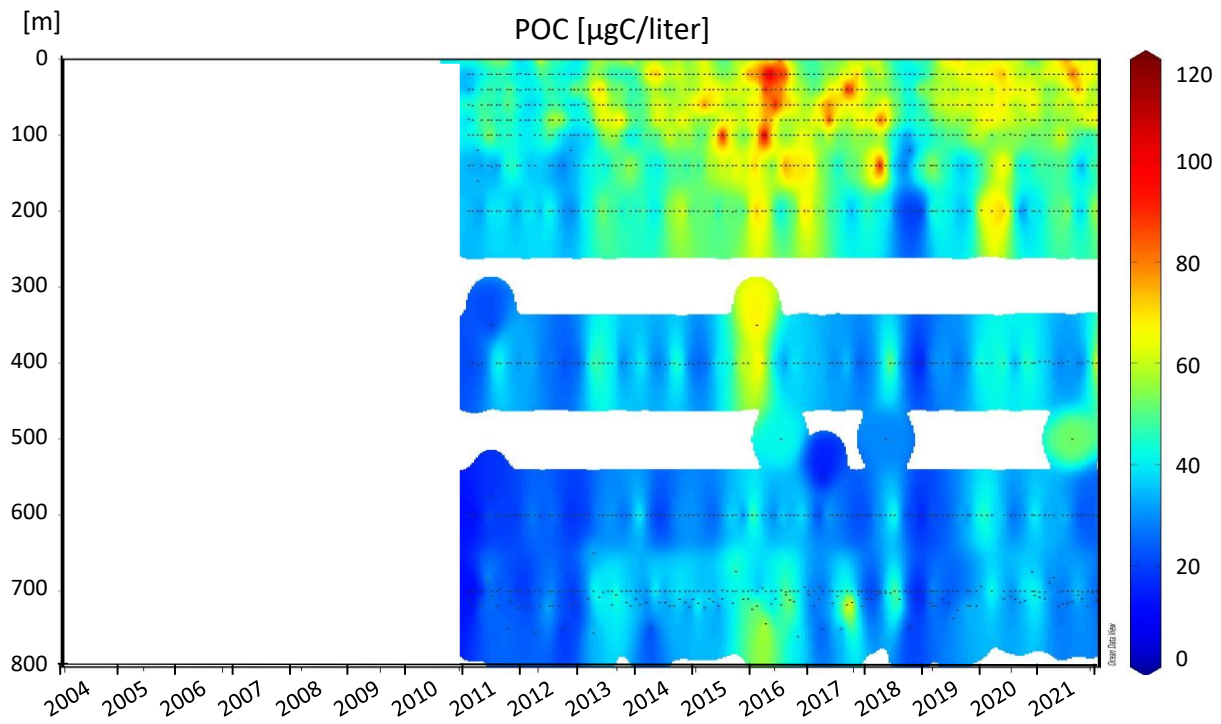
[בעקבות המלצת תת-הועדה המיוחדת בנושא הכימיה בים (אשר כינסה תכנית הניטור בשנת 2008) להוסיף מדדים אשר יסייעו לכמת את מחזור הפחמן בצפון המפרץ, הוחל בשנת 2009 במדידות פחמן אורגני חלקיקי. המדידה מתאפשרת בזכות מכשור אנליטי Total Organic Carbon analyzer של חברת Shimadzu Instruments), אשר נרכש במכון הבינאוניברסיטאי ומצוי במעבדת הכימיה של פרופ' בעז לזר. המדידה נעשית על פי הפרוטוקול הסטנדרטי של חברת Shimadzu.]

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. השנה נמדדו בעמודת המים העליונה ערכים גבוהים בדידים של פחמן חלקיקי דווקא בחודשי הקיץ, עם ערך מרבי של $143 \mu\text{gC/l}$ בחודש יולי בעומק 20 מטרים (איור ד26). ריכוז זה גבוה בהשוואה לשנים האחרונות. ריכוז הפחמן החלקיקי גבוה במים העליונים בהשוואה למים העמוקים, עם עלייה בריכוז בקרבת קרקעית הים המצביעה על הרחפת חלקיקים מהקרקעית. בשנים 2016 ו-2017 נמצאו ריכוזי פחמן חלקיקי גבוהים יחסית לשאר השנים בהן מתבצעת מדידה זו (איור ד27).



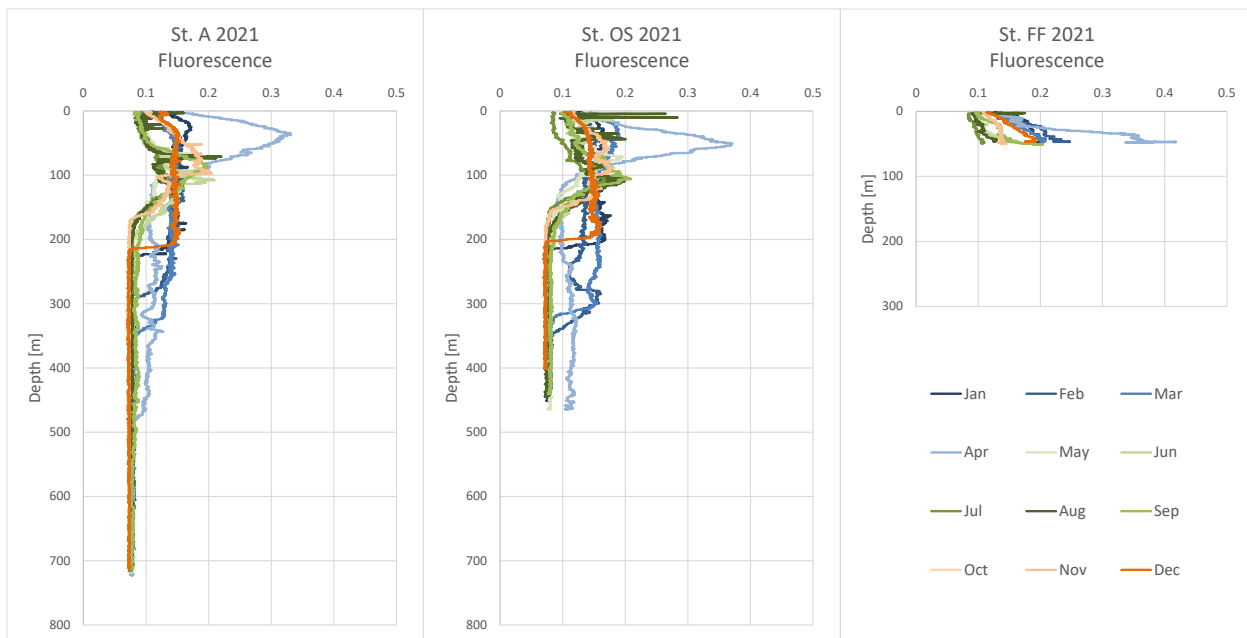
איור ד26: ריכוזי פחמן אורגני חלקיקי (POC) בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700 מטרים.

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.

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 המערבבת. במים העמוקים אין כלורופיל ללא ערבוב. הפלאורסנציה הנמדדת על ידי מכשיר ה-CTD משמשת מדד *in-situ* לריכוז הכלורופיל בעמודת המים. ערכי הפלאורסנציה מוצגים ביחידות שרירותיות הניתנות לכיול באמצעות מדידות ישירות של כלורופיל. מדידות הפלאורסנציה 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 הפלאורסנציה בעזרת מכשיר ה-CTD הוא שמתקבל פרופיל רציף המכסה על הפערים שבין דגימות המים הבדידות בהן נמדד ריכוז הכלורופיל. מכיוון שקריאות פלאורסנציה ללא כלורופיל שואפות לאפס, ערכים נמדדים של פלאורסנציה מעידים על כלורופיל. מכיוון שתאי פיטופלנקטון מתפרקים תוך ימים ספורים מהווה הפלאורסנציה מדד טוב לעומק הערבוב בסמוך לזמן ההפלגה. בהפלגת חודש מרץ השנה היתה עמודת המים מעורבת לעומק של כ-300 מטרים, עם מדידות פלאורסנציה די אחידות. בחודש אפריל כבר התפתחה שכבת DCM, בה מדידת הפלאורסנציה הגיעה לשיא בעומק של 30-50 מטר, אך במים העמוקים יותר היתה פלאורסנציה די אחידה עד לעומק של כ-460 מטרים – עדות לקיום הערבוב עד עומק זה בימים שלפני ההפלגה (איור ד28).



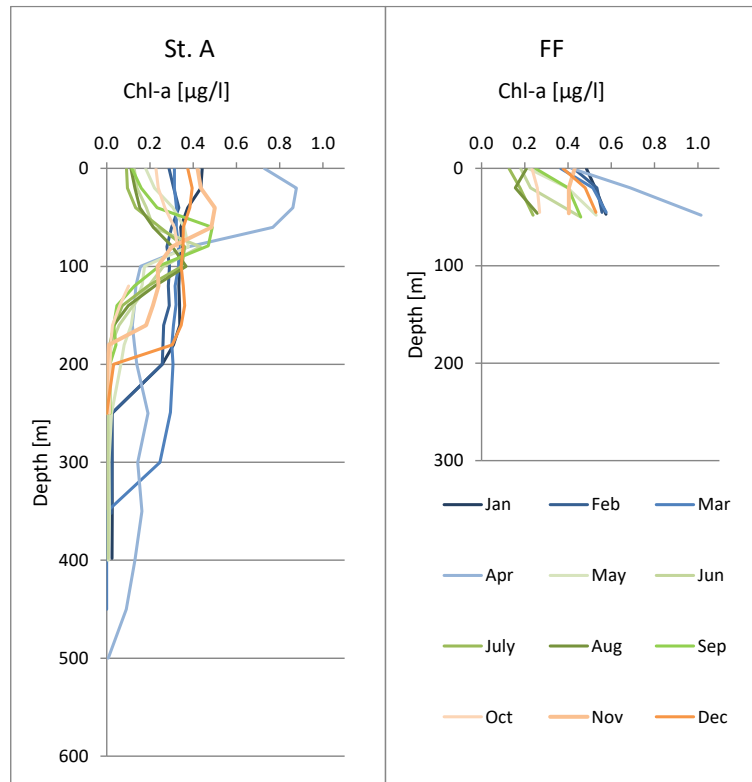
איור ד28: פלאורסנציה בעמודת המים כפי שנמדדה במכשיר ה-CTD בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים (<700 מ'), תחנה OS בחצי הדרך לחוף הצפוני בעומק מים של כ-400 מטרים ותחנה FF בחוף הצפוני של אילת בעומק של כ-50 מטרים.

Figure D28: Fluorescence profiles measured using a CTD during the monthly monitoring cruises. Station A is on the Israeli/Jordanian/Egyptian border (>700m), station OS is halfway to the northern shore at water depth of ca. 400 meters and the Fish Farms station is close to the northern shore of the Gulf at ca. 50 meters depth.

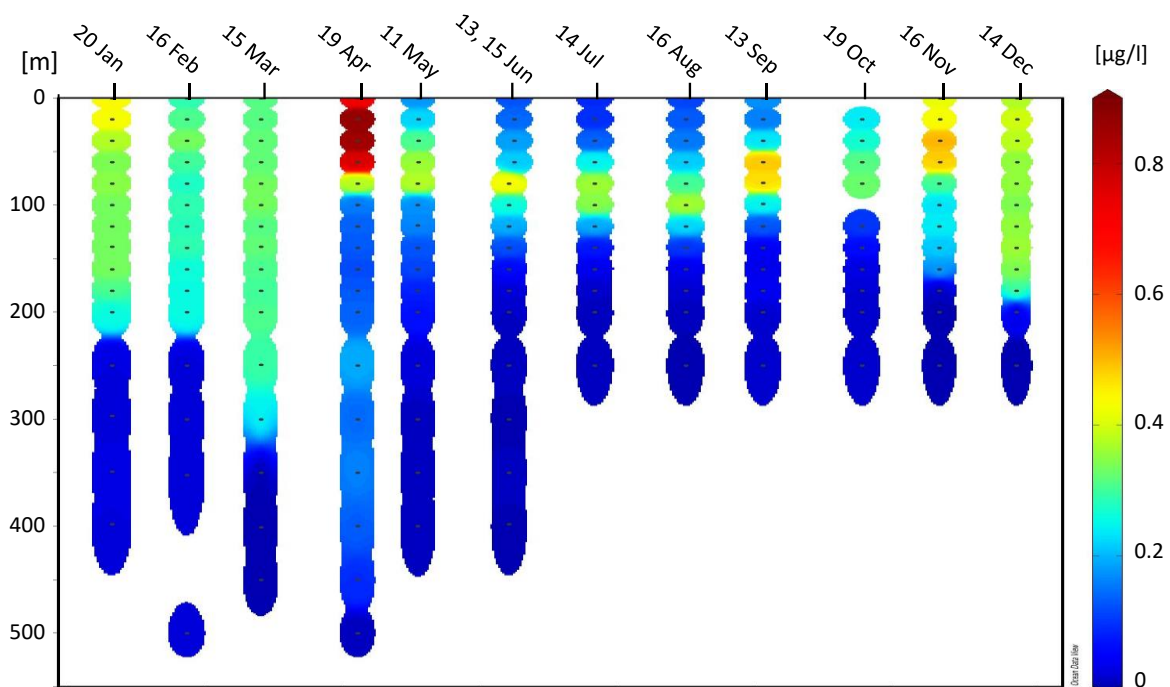
ריכוזים גבוהים של כלורופיל a נמדדים בתקופה המשוכבת בעומקים 80-100 מטרים (deep chlorophyll maximum). עמוק יותר מה-DCM עוצמת האור קטנה וריכוז הכלורופיל יורד לאפס, ורדוד יותר ישנה בתקופה המשוכבת מגבלת נוטריינטים וריכוזי הכלורופיל בפני הים נמוכים.

ריכוז הכלורופיל המרבי אשר נמדד השנה בתחנה A היה $0.88 \mu\text{g/l}$ בעומק של 20 מטרים בחודש אפריל (איור ד29). באותו חודש נמדד בחוף הצפוני, תחנת כלובי הדגים (FF), בסמוך לקרקעית (50 מטר) ריכוז של $1.01 \mu\text{g/l}$. ריכוז הכלורופיל במים העמוקים היה בעל מבנה דומה לפרופיל הפלאורסנציה: בחודש מרץ נמצא בתחנה A ריכוז כלורופיל די אחיד ($0.25 \mu\text{g/l}$) עד לעומק של 300 מטרים ובחודש אפריל נמדד בעומק 450 מטרים ריכוז של $0.09 \mu\text{g/l}$, על אף שזהו ריכוז נמוך ובמים

העליונים כבר התפתחה באותו זמן שכבת DCM, הריכוז בעומקים אלה בחודשים אחרים, ולמעשה גם בעומק של 500 מטרים באותו חודש, היה קטן מ-0.01 $\mu\text{g/l}$. זוהי עדות נוספת לכך שעומק הערבוב השנה הגיע לעומק של כ-450 מטרים בסמוך לפני ההפלגה של חודש אפריל.



Chlorophyll-a - 2021

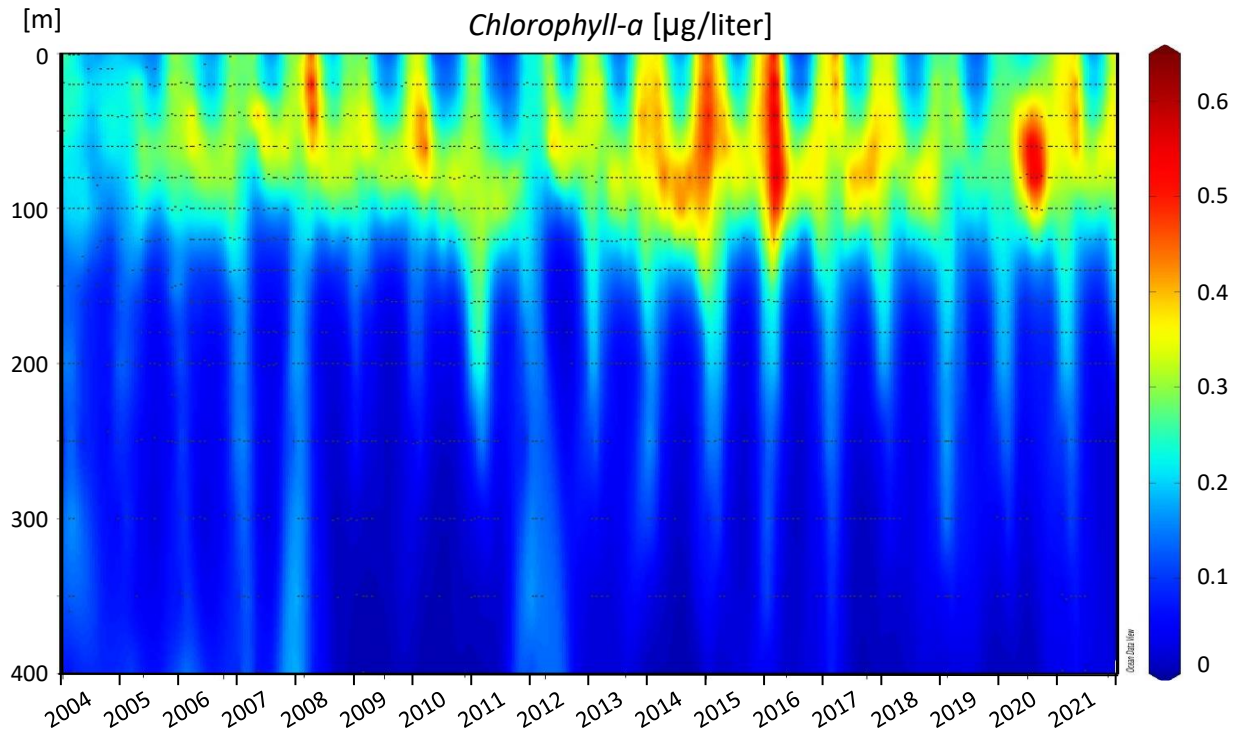


איור ד29: ריכוזי כלורופיל a בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700 מטרים, ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים. למטה – סדרת זמן שנתית של ריכוזי כלורופיל בעמודת המים בתחנה A.

Figure D29: 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

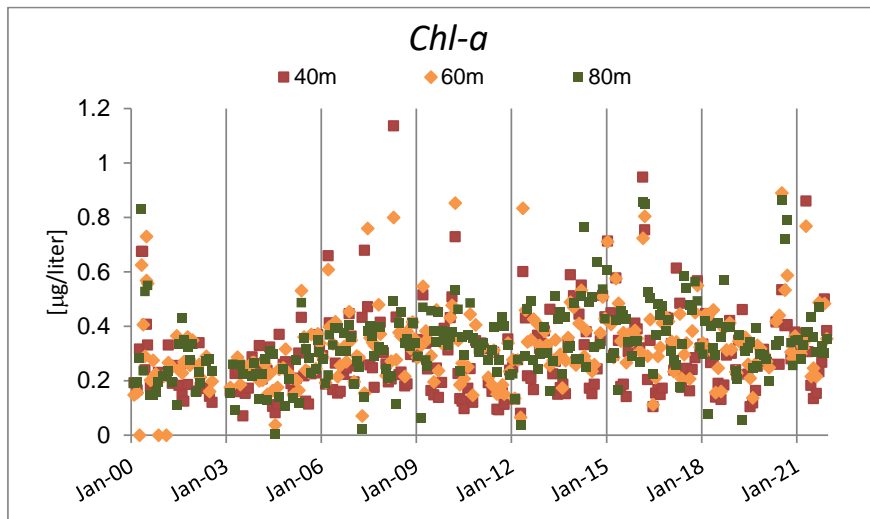
the northern shore of the Gulf at ca. 50 meters depth. Bottom – an annual time series of chlorophyll-*a* concentrations at Station A.

בשנה הקודמת היו ריכוזי הכלורופיל בעמודת המים העליונה גבוהים בהשוואה לשנים האחרונות אשר גם בהן הערבוב לא היה עמוק, והשנה – על אף עומק ערבוב דומה – נמדדו ריכוזי כלורופיל נמוכים יותר. ריכוזי כלורופיל גבוהים במיוחד נמדדו גם בשנים 2015 ובעיקר 2016 אשר גם בהן לא היה הערבוב עמוק במיוחד (איור ד30). בין השנים נמצאים הבדלים בריכוזי הכלורופיל ולא כולם מוסברים באמצעות עומק הערבוב. כך למשל ריכוזי הכלורופיל הגבוהים השנה וגם בשנים 2015-6 לא נמדדו בחודשי האביב אלא בקיץ. ריכוזי הכלורופיל הגבוהים בשנים האלה קשורים כנראה לחדירת מים מדרום.



איור ד30: שינויים בריכוז כלורופיל *a* בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. הנקודות השחורות מייצגות את עומק המדידה.
Figure D30: 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 ד31). 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 בשנה הקודמת ואף השנה. 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 ד31: ריכוזי כלורופיל *a* בתחנה A מאז ינואר 2000 באזור הכלורופיל המרבי העמוק (deep chlorophyll maximum,) בעומקים 40, 60 ו-80 מטרים. מגמת העלייה 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.

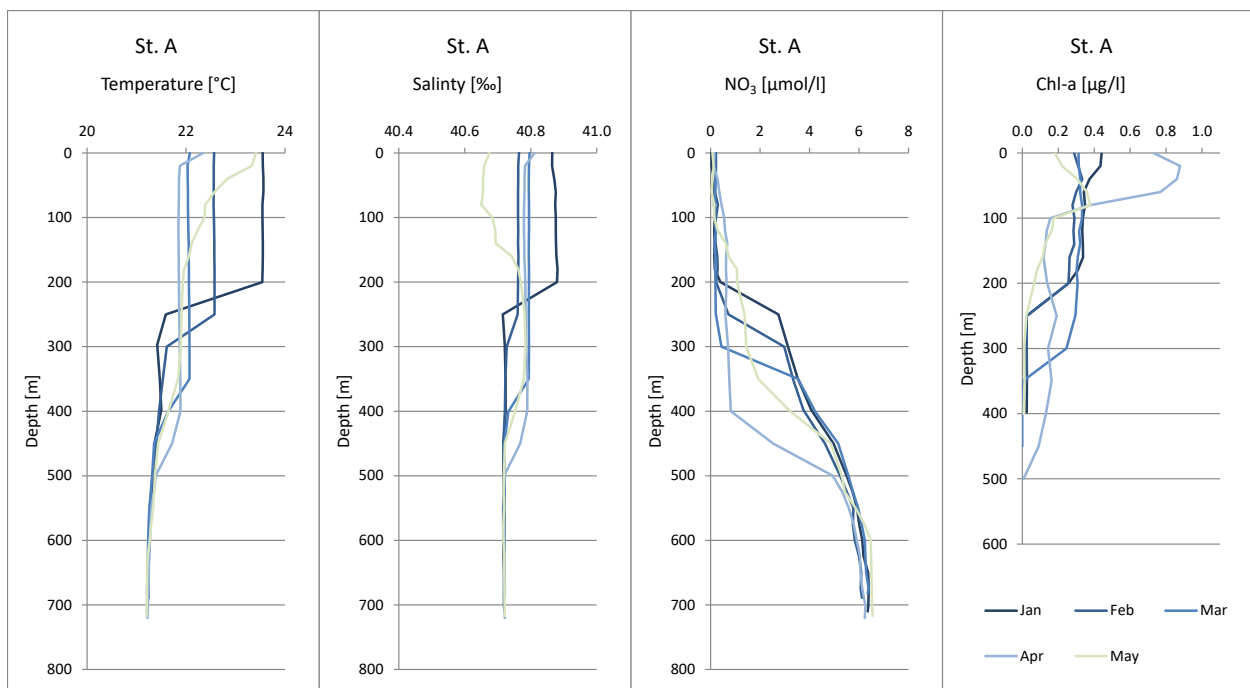
Figure D31: Concentrations of chlorophyll-*a* at Station A at the depth of the deep chlorophyll maximum (DCM), at water depths of 40, 60 and 100 meters since 2000. The apparent rise in chlorophyll concentration at 80 meters depth is statistically significant (randomization test, $P < 0.001$). Data from 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. הדינאמיקה הרב שנתית מושפעת בעיקר מעומק ומשך הערבוב וכמויות הנוטריינטים שנצברו במי העומק (ז"א, הזמן שחלף מאז ערבוב קודם לאותו עומק).

ניתן לעקוב אחר דינמיקת הערבוב השנה באמצעות השוואת הפרופילים של טמפרטורה, מליחות, נוטריינטים וכלורופיל בחודשי החורף והאביב (איור ד32). בחודשים ינואר-מרץ המים העליונים מתקררים ופרופיל הטמפרטורות אחיד לעומק גדל והולך, מ-200 מטרים בינואר ועד 350 במרץ. בחודש אפריל טמפרטורת המים אחידה מהמים העליונים ועד לעומק של כ-400 מטרים, כאשר ניכר שגם המים עד עומק של כ-450 מטרים באו במגע עם מים עליונים ומצד שני – כבר נוצרת תרמוקלינה חלשה בקרבת פני הים המבשרת את סוף הערבוב. גם פרופילי המליחות מראים תמונה דומה. בחודש מאי כבר ניכרת תרמוקלינה משמעותית במים העליונים ומצומדת לירידה במליחות בפני הים ועד לעומק גדול מ-150 מטרים. נראה שתחילת השיכוב מאופיינת במים עליונים בעלי מליחות נמוכה וטמפרטורה גבוה יחסית, גוף מים שמקורו ככל הנראה מדרום. פרופילי הניטראט (נוטריינט ראשי במערכת) מציגים גם הם את התפתחות הערבוב בחודשים ינואר-אפריל ובחודש מאי כבר יורד ריכוז החנקן במים העליונים (רדודים מ-150 מטרים) לערכים אפסיים. במקביל, פרופילי כלורופיל מציגים ריכוזים משמעותיים בשכבת מים עליונה הולכת וגדלה בחודשים ינואר-מרץ ובחודש אפריל – ככל הנראה ימים ספורים לאחר תום הערבוב הפעיל נוצרת שכבה עשירה בכלורופיל באזורים הפוטי, 80 המטרים העליונים, וריכוזי כלורופיל בשכבה שעורבה עדיין משמעותיים. בחודש מאי רובה של פריחה זו כבר קרס והשכבה העשירה בכלורופיל מוגבלת לעומקים של 40-80 מטרים, ה-
deep chlorophyll maximum (DCM).



איור ד32: 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 D32: 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 indicators (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 המים העמוקים מכ-500 מטרים מנותקים מהמים העליונים. זהו 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 (2009-2011) 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 2004-2006.

בשנת 2012 (ערבוב עמוק) שוב תועדה ירידה חדה בריכוזי ומאגרי הנוטריינטים בעמודת המים בחודשי החורף ועליה בחמצן המומס. יחד עם זאת, עליית הטמפרטורות בסוף חורף 2012 הייתה מהירה וגדולה הרבה יותר מאשר בעקבות הערבוב העמוק של 2007 ו-2008 ומאגרי הנוטריינטים המומסים התמלאו על אף שהריכוזים במי העומק נותרו נמוכים. מאז, בשנים שאחרי שנת 2012, עולים ריכוזי הנוטריינטים במי העומק בהדרגה ובמקביל יורד ריכוז החמצן המומס במים העמוקים. יחד עם זאת, בהשוואה למחזור הרב-שנתי הקודם השינויים בריכוזים במים העמוקים איטיים יותר, ורק בשנים האחרונות, יותר משבע שנים לאחר הערבוב של שנת 2012, הערכים הנמדדים גבוהים מאלו שנמדדו בשנת 2011, שלוש שנים בלבד לאחר הערבוב העמוק של שנת 2008. בנוסף לכך, עליה בריכוזי נוטריינטים בקרבת קרקעית הים העמוק שנמדדה בשנים ראשונות לפעולת הניטור לא נמדדת בשנים האחרונות. בשנה-שנתיים האחרונות חלק מהריכוזים הנמדדים במים העמוקים כבר דומים לאלה שנמדדו לפני הערבוב העמוק של שנת 2007.

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.

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.

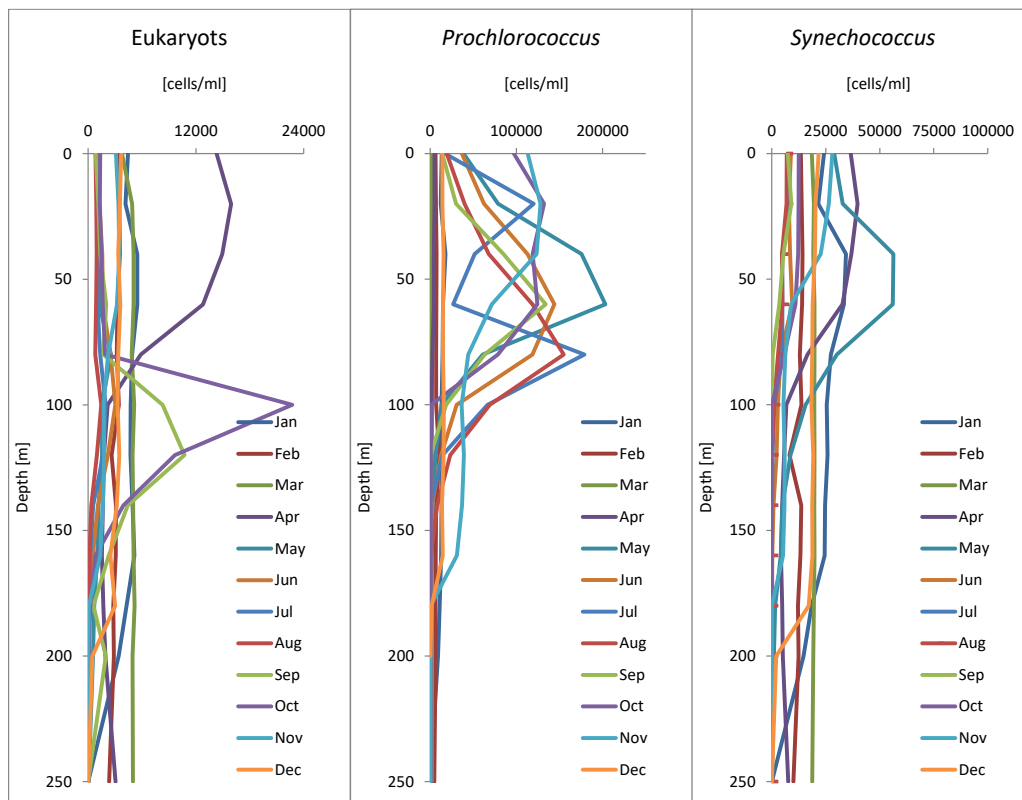
4.4. פיטופלנקטון וחיידקים בעמודת המים

[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.]
השנה לא בוצעו הפלגות בחודשים מרץ ואפריל ואין בידינו נתונים מחודשים אלה. בנוסף, עקב הקשיים התפעוליים שעלו בעקבות מגפת הקורונה לא קיבלנו עד לזמן כתיבת הדו"ח את תוצאות ספירות התאים מהחודשים אוגוסט וספטמבר.

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 למיליטר.

בחודשי החורף ועד לתום הערבוב היה ריכוז תאי *Proc.* בעמודת המים העליונה נמוך מאד ואחיד, ובחודש מאי התפתחה פריחה ונמדדו ריכוזי שיא בעומק 40-60 מטרים. ריכוז תאי *Sync.* היה גם הוא אחיד בחודשים פברואר ומרץ אך החל לעלות באזור הפוטי כבר בחודש אפריל עם פריחה וריכוזי שיא במאי בעומקים 40-60 מטרים, במקביל ל-*Proc.* (איור ד33). עבור *Proc.* נמדד השנה ריכוז מרבי של מעט יותר מ-200 אלף תאים למ"ל מים, ועבור *Sync.* נמדדו כ-56 אלף תאים למ"ל מים. ערכים אלה דומים לערכי השנה הקודמת.

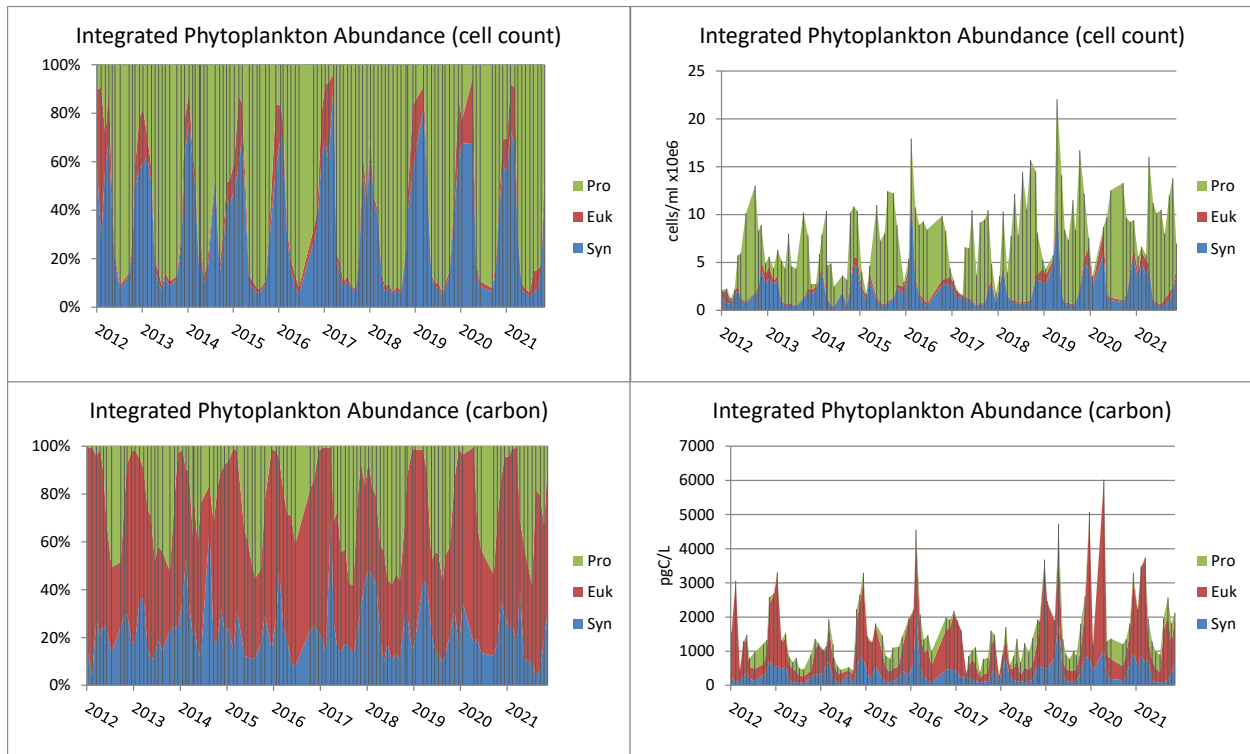
עבור תאים אאוקריוטיים נמצא השנה ריכוז גבוה במים העליונים (עד עומק 60 מטר) בחודש אפריל עם ערך מרבי של כ-16 אלף תאים המ"ל מים, אך בחודש ספטמבר החל להיווצר ריכוז גבוה בעומקים 100-120 מטר שהגיע לשיא באוקטובר, עם ריכוז של כ-23 אלף תאים למ"ל. גם עבור *Proc.* התפתחו ריכוזים גבוהים בחודשי הקיץ בעומקים גדולים יותר מפריחת האביב. ריכוזים גבוהים של תאי *Proc.* בחודשי בקיץ נמדדו ברוב שנות הניטור.



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

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

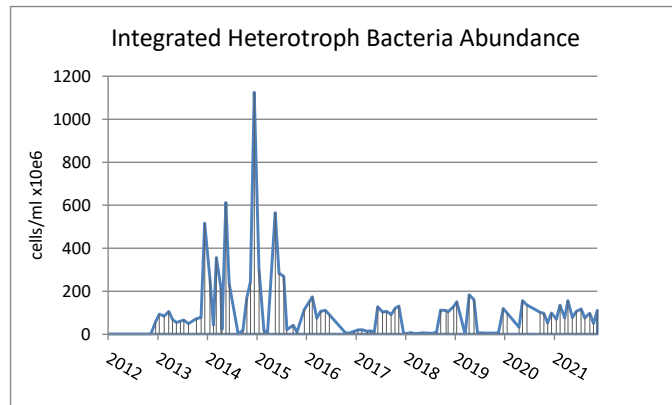
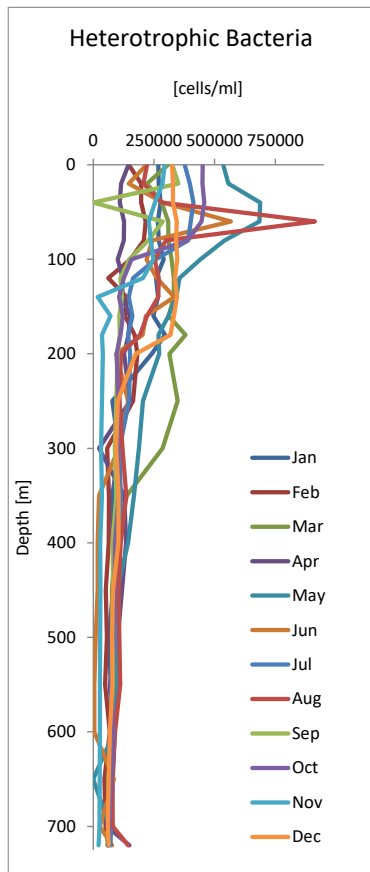
ביחסים הכמותיים בין שלוש הקבוצות ניתן להבחין בהבדלים עונתיים ברורים כאשר ריכוזי *Synech.* גבוהים בחודשי החורף והאביב ואילו ריכוזי *Proc.* גבוהים בחודשי הקיץ (איור 34). ריכוזי האאוקריוטים עולים בחודשי החורף ובדרך כלל נמוכים ביותר בחודשי הקיץ, אז הם מהווים אחוזים בודדים בלבד מסך תאי הפיטופלנקטון. בהמרה לביומסה מתגלה תמונה שונה (לצורך ההמרה נעשה שימוש בערכים מתוך Campbell et al. 1998, וזאת בעקבות עבודת הדוקטורט של א. מידר (2012) ובעצה עם פרופ' יעלה שקד. ערכי ההמרה הם: *Synech.*=175fg C/cell, *Proc.*=53fg C/cell, *Euc.*=2100fg C/cell, C/cell). בחודשי החורף ועונות המעבר מהווים האאוקריוטים את מרבית הביומסה, בהיותם התאים הגדולים ביותר, ורק בחודשי הקיץ מהווים ה- *Proc.* את החלק העיקרי, בין 40-50% מכלל מסת הפיטופלנקטון בחודשים יולי - נובמבר.



איור 34: אינטגרלים חודשיים של תאי פיטופלנקטון פרוקריוטים (*Synechococcus*, *Prochlorococcus*) ואאוקריוטים ב-250 המטרים העליונים של עמודת המים בתחנה A, והתפלגות היחסים הכמותיים בין שלוש הקבוצות מאז פברואר 2012. למעלה לפי מספר התאים ולמטה לפי ביומסה.

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

ריכוזי החיידקים ההטרורופים נמוכים במשך רוב חודשי השנה, וגבוהים בחודשי הקיץ, עד עומק של כ-300 מטרים. גם כאן התפתחו ריכוזים גבוהים במים העליונים החל מחודש מאי, והריכוז המרבי נמדד בחודש אוגוסט בעומק 60 מטרים, 910 אלף תאים במ"ל (איור 35). זהו ריכוז גבוה בהשוואה לשנה הקודמת אך כמות התאים במים העליונים (אינטגרל) אינה שונה בהרבה בשנתיים האחרונות. במשך הזמן ניכרים שינויים גדולים בריכוזי החיידקים ההטרורופים הנמדדים בעמודת המים (אינטגרל עד לעומק של כ-700 מטרים). על אף שישנם חודשים בהם חסרות מדידות חיידקים נראה כי בשנים 2014-2015 היו ריכוזים גדולים של חיידקים ובשנים מאז נמדדים ריכוזים קטנים יותר.



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

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

ד.5. זואופלנקטון בעמודת המים

קבוצת הזואופלנקטון כוללת יצורים הטרוטרופים זעירים החיים בעמודת המים והניזונים 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 300-400 מ'), באמצעות גרירה אלכסונית של רשת פלנקטון כפולה ("Bongo") עם גודל חור של $200\mu\text{m}$ (איור 36). הדגימה מתבצעת בשעות הבוקר (בין השעות 9-11), בדרך כלל בשבוע האחרון של כל חודש. הגרירה מתחילה בהורדת רשת הפלנקטון באיטיות לעומק של כ-100 מ' ומיד עם הגעת הרשת לעומק זה היא מועלית חזרה לפני השטח. במשך כל זמן ההורדה וההעלאה הסירה שטה במהירות של כ-2 קשר (1 מ' לשניה) וזוית חבל הגרירה (140 מ' ארכו) נשמרת סביב 45 מעלות. משך הגרירה כ-10 דקות. בסה"כ מתבצעות בכל מסע דגימה 3 גרירות (= 6 דגימות מאותו יום בכל חודש), כולן במים 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 $1.6\mu\text{m}$) אשר נשרף מראש בתנור ב 450°C למשך 4 שעות ומשקלו ידוע. לאחר מכן הפילטרים עוברים יבוש בתנור 60°C למשך שלושה ימים לפחות, נשקלים שוב (לקבלת המשקל היבש של הזואופלנקטון בתת הדגימה) ואח"כ נשרפים ב 450°C למשך 4 שעות לקבלת משקל יבש של החומר האורגני (Ash Free Dry Weight –AFDW). התוצאות מוצגות בגרם למ"ק (ממוצע ושגיאת תקן של שלוש גרירות רשת) ומייצגות את הביומסה של זואופלנקטון ב-100 מ' העליונים של עמודת המים (שהיא השכבה המוארת).

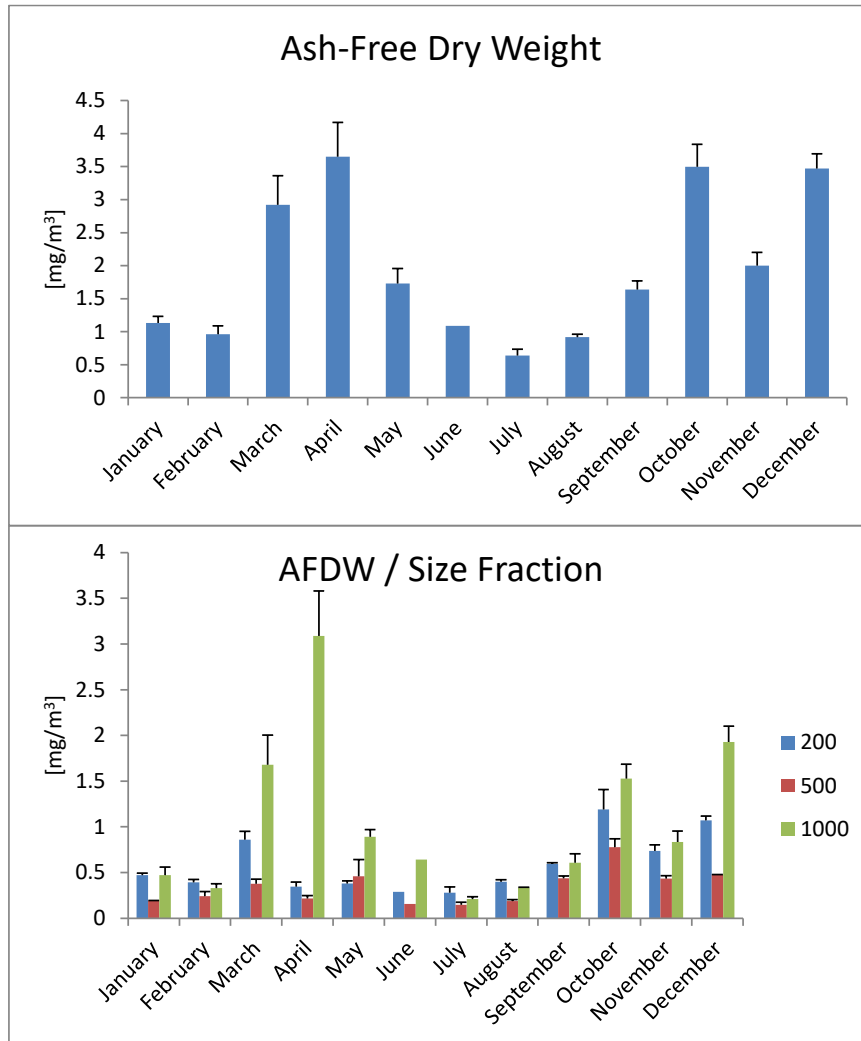


איור 36: רשת הפלנקטון הכפולה ("Bongo") נגררת מהסירה בים העמוק. צילום: מ. צ'רניחובסקי
Figure D36: A double plankton net ("Bongo") towed from the boat in deep waters. Photo: M. Chernihovsky

בחודש יוני השנה, עקב תקלה בסירה, התבצעה רק גרירה אחת ואין חזרות. על כן, לא מוצגים גבולות השגיאה למדידות בחודש זה.

מסת הזואופלנקטון הגדולה ביותר נמדדה גם השנה בחודש אפריל, 3.65 mg/m^3 (איור ד37). זהו ערך גבוה בהשוואה לשנה הקודמת. לרוב, ערכים גבוהים נמדדים בחודש מרץ, ובשנת 2019, למשל, נמדדה בחודש מרץ מסת זואופלנקטון של mg/m^3 6.6.

בחודשים בהם נמדדת לרוב מסה גדולה של זואופלנקטון, היא מורכבת בעיקר מקבוצת הגודל הקטנה (פחות מ- $200 \mu\text{m}$) ומקבוצת הגודל הגדולה (יותר מ- $1000 \mu\text{m}$). השנה כלל זה תקף לגבי הרכב הזואופלנקטון בחודש מרץ, אך רוב המאסה אשר נמדדה בחודש אפריל היתה מקבוצת הגודל הגדול ($1000 \mu\text{m}$) בלבד. לרוב, בחודשי סוף הקיץ דומיננטית דווקא קבוצת הגודל הגדולה והשנה בחודשים אוקטובר ודצמבר, אשר גם בהם נמדדה מאסה גבוהה יחסית, נמצאה תרומה משמעותית גם של קבוצת הגודל הקטן.



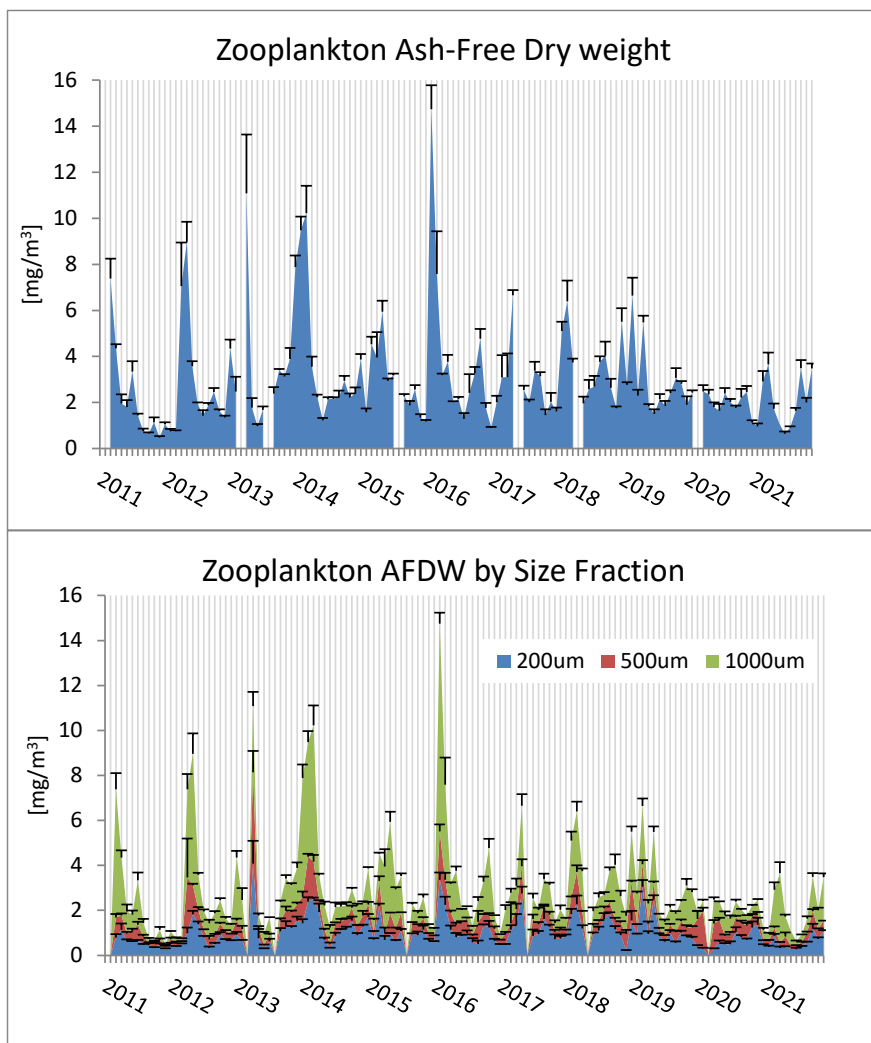
איור ד37: ריכוזי זואופלנקטון חודשיים ב-100 המטרים העליונים בים העמוק. למעלה – סך הזואופלנקטון, למטה – חלוקה לפרקציות גודל מסוננות על פילטר של 200, 500 ו-1000 מיקרון (ירוק, אדום וכחול, בהתאמה).

Figure D43: 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 מעט מאלה שנמדדו בשנה הקודמת, אך נמוכים בהשוואה לרוב השנים הקודמות.

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 הבימוסה הגבוהה ביותר במסגרת תכנית הניטור (מאז 2011), למרות שבשנת 2012 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, נמצא שיא בריכוז זואופלנקטון בעמודת המים העליונה בחודש אפריל, ושוב בחודשים אוקטובר ודצמבר, ערכים דומים ומעט נמוכים יותר. לרוב, השיא בריכוזי זואופלנקטון עוקב אחר העונה המערבבת בה עולים ריכוזי הנוטריינטים והפיטופלנקטון, ומונע על ידי צמיחה של קבוצת הגודל של זואופלנקטון גדול ($>1000\mu\text{m}$) וכך היה גם השנה.



איור D38: 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).

ה. מדידות סביבתיות בתדירות גבוהה

ה.1. כלורופיל בפני הים בשמורת חוף אלמוג

מטרה

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

שיטות

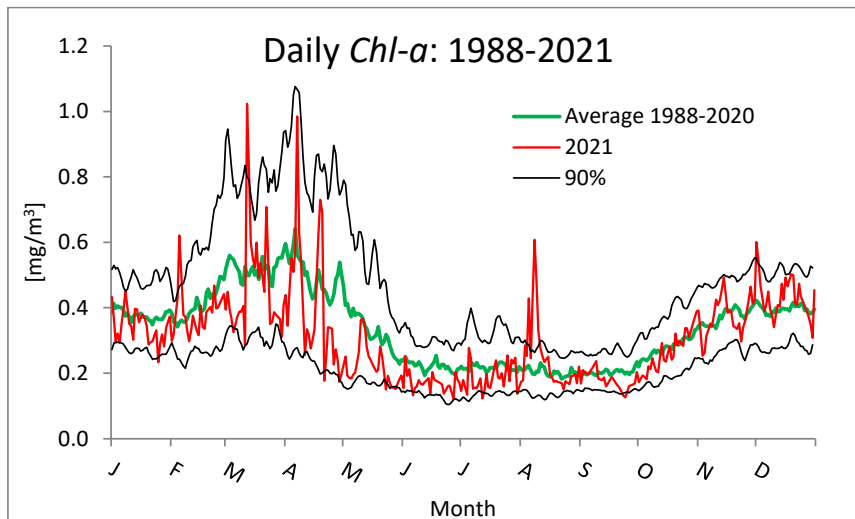
מדידה יומית של ריכוז כלורופיל a במים כמדד לשינויים בכמות הפיטוקלנקטון. מדי בוקר בין שמונה לתשע נלקחות שתי דגימות מים של 300 מ"ל כל אחת ממי השטח בנקודה קבועה במזח המצפה התת-ימי מעבר לשולחן השונית, בקדמתה. המים מסוננים במקום דרך רשת $100\mu\text{m}$ להוצאת זואופלנקטון, ומובאים למדידה במעבדה, שם מסוננת כל דוגמה על פילטר GF/F. מיצוי הכלורופיל נעשה ב-10 מ"ל (90% Acetone) במשך 24 שעות בחושך ב- 4°C . האצטון כולל בופר של מגנזיום קרבונט. מדידת ריכוז הכלורופיל מתבצעת בפלואורומטר (Turner Designs TD-700) ומכילת 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.

תוצאות

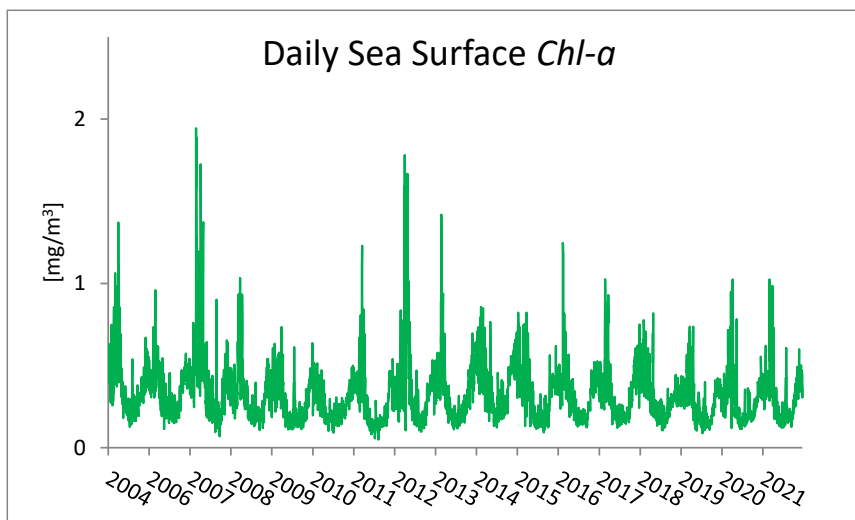
גם השנה אופיינה בתנודות גדולות של ריכוזי כלורופיל בפני הים בסמוך לשונית. בשנתיים האחרונות תבנית ריכוזי הכלורופיל לא ברורה, ושיאים קצרים של פריחה נמדדו השנה בחודשים מרץ ואפריל – אך גם בחודש אוגוסט (איור ה1). במשך רוב השנה נמצאו ריכוזים נמוכים יחסית לממוצע הרב-שנתי ומלבד השיאים הקצרים רק בסוף השנה, החל מחודש אוקטובר, ריכוזי הכלורופיל עולים מעבר לערך הממוצע. ריכוזי הכלורופיל הגבוהים אשר נמדדים באירועים קצרים מעידים על פריחת קצרות ושינויים מהירים. ריכוז הכלורופיל הגבוה ביותר אשר נמדד השנה היה 1.023 mg/m^3 (ב-12 במרץ), גבוה מרוב ריכוזי הכלורופיל אשר נמדדו בעונה זו במסגרת תכנית הניטור אך דומה לערך המרבי של השנה הקודמת. ב-12 באפריל נמדד ערך מעט נמוך יותר (0.985 mg/m^3) וב-8 באוגוסט נמדד ערך של 0.607 mg/m^3 . ריכוזי הכלורופיל בחודש אוגוסט התרחשו במקביל לעלייה מהירה בטמפרטורת פני הים (ראו מטה) ונראה כי ניתן לקשור את התצפיות האלה. יתכן כי מדובר בחזירת מים "זרים" אל צפון המפרץ ועדויות לכך נמצאו גם במדידות המליחות במים העליונים בתחנות המדידה בים העמוק ולאורך החופים.

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 , הערך הגבוה ביותר אשר נמדד מאז הערבוב העמוק בשנת 2000. מהתבוננות בסדרת הזמן של ריכוזי כלורופיל בפני הים ליד שמורת האלמוגים ניכר כי ריכוזי כלורופיל גבוהים במיוחד נמדדו בשנים של ערבוב עמוק (איור ה2). כמו כן, נראה כי במדידות אלה בפני הים בקרבת החוף אין מגמה ארוכת טווח של עליה בריכוזי הכלורופיל.



איור 1: ריכוז כלורופיל a בפני הים בשמורת חוף אלמוג (בסמוך למזח המצפה הימי). קו אדום - בשנת הניטור 2021, קו ירוק - ממוצע רב שנתי (1988-2020), קוים שחורים גבולות 90% מהנתונים שהצטברו כולל השנה הקודמת.

Figure E1: Chlorophyll- a concentrations sampled daily at the Underwater Observatory jetty in 2021 (red line) and the long-term average (1988-2020, green line). Black lines mark the 90% of accumulated data including the previous year.



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

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

ה.2. טמפרטורת המים בפני הים בשמורת חוף אלמוג

מטרה

מעקב רציף וארוך-טווח אחר טמפרטורת המים בפני הים בסמוך לשונית האלמוגים.

שיטות

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

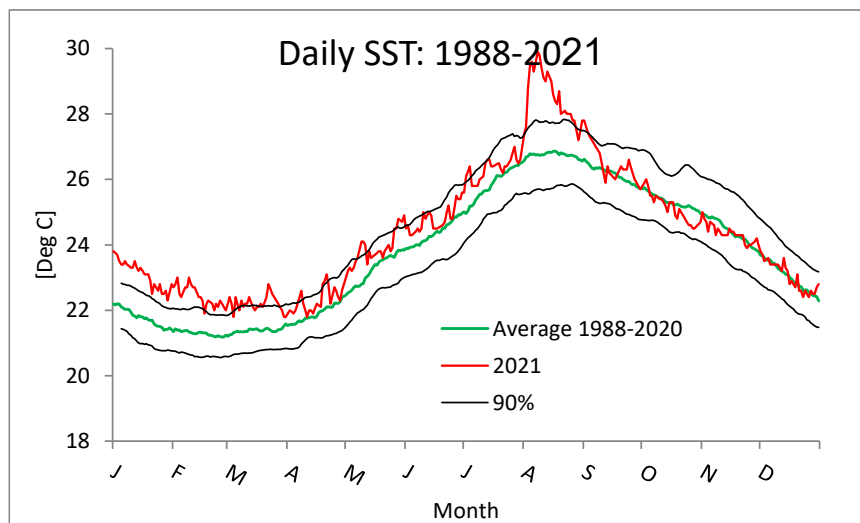
תוצאות

בתחילת השנה, בחודשי החורף היתה טמפרטורת המים גבוהה בהשוואה למוצק הרב-שנתי ואף מרוב המדידות שנעשו במזח המצפה התת-ימי מאז 1988 (אחוזון 90%). בתחילת הקיץ התקרבה הטמפרטורה לערך הממוצע, אם כי נותרה מעט גבוהה, אך בתחילת אוגוסט זינקה טמפרטורת פני הים ועלתה בשלוש מעלות תוך כשבוע (ב-30 ביולי נמדדה טמפרטורה של 26.6° וב-8 באוגוסט כבר היתה 29.9°). פני הים התקררו וחזרו לערך הממוצע רק באמצע חודש ספטמבר (איור 3). הטמפרטורה המרבית השנה היא שוב הגבוהה ביותר שנמדדת במסגרת המדידות במזח, יותר משלושים שנה, וגבוהה משמעותית מהשיא הקודם, 29.2° , אשר נמדד בספטמבר 2020.

על אף העלייה המהירה בטמפרטורת פני הים, לא תועדה השנה תמותת דגים חריגה כמו זו אשר אפיינה את שנת 2017. אז קושרה תמותת הדגים לעלייה חדה בטמפרטורת המים. גם בשנה הקודמת תועדה עלייה מחדה של טמפרטורת פני הים ולא תועד אירוע של תמותת דגים. לשמחתנו, אירוע תמותת הדגים בשנת 2017 נותר יחיד, על אף השינויים המהירים בטמפרטורת פני הים בשנים האחרונות.

עליית הטמפרטורה המהירה בתחילת חודש אוגוסט לוותה בריכוזי שיא של כלורופיל, בהשוואה למוצק העונתי הרב-שנתי.

הטמפרטורה המזערית שנמדדה השנה היתה 21.8° , גבוהה מעט בהשוואה לשנה הקודמת. עם זאת, בסוף השנה היתה טמפרטורת פני הים נמוכה ביותר ממעלה מזו בה הסתיימה שנת 2020.

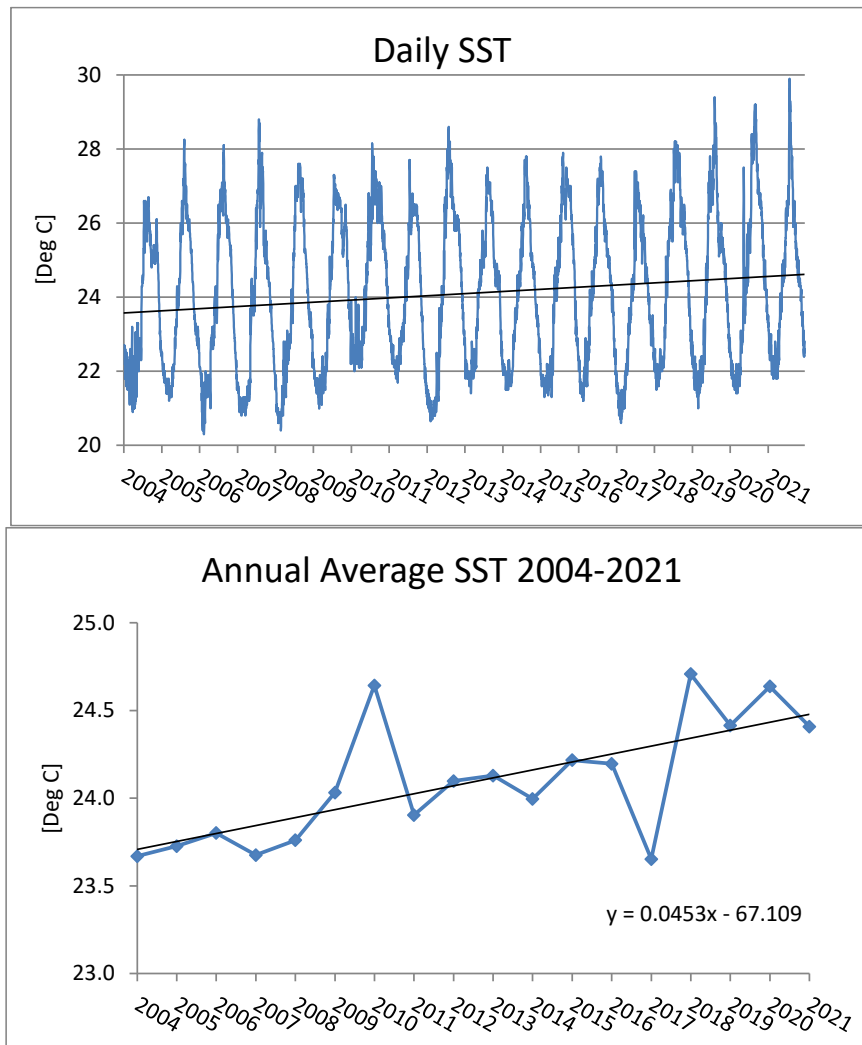


איור 3: טמפרטורת המים בפני הים בשמורת חוף אלמוג (בסמוך למזח המצפה הימי). קו אדום - שנת הניטור 2021, קו כחול - ממוצע רב שנתי של המדידות היומיות 1988-2020, קוים שחורים גבולות 90% מהנתונים שהצטברו כולל השנה הקודמת (מוחלקים באמצעות ממוצע זז של שבעה ימים).

Figure E3: Daily sea surface temperatures measured from the Underwater Observatory jetty during 2021 (red line), the average SST for 1988-2020 (green line), and the black lines mark the 90% of accumulated data including the previous year (smoothed by 7-day running mean).

מאז שנת 1988 נרשמת מגמה של עלייה בטמפרטורת פני הים הנמדדת מדי יום בסמוך למצפה התת-ימי. השנה הייתה טמפרטורת פני הים הממוצעת 24.41°C , מעט נמוך בהשוואה לשנה הקודמת. בשנת 2018 נרשמה טמפרטורת פני הים השנתית הממוצעת הגבוהה ביותר במסגרת מדידות אלה (24.70° , איור 4). ממדידות הטמפרטורה היומיות בסמוך לשונית בין 1988-2020 מצטיירת מגמת חימום רב-שנתי של פני הים (בשיעור

ממוצע של כ- 3.8 מעלות במאה שנה). מאז תחילת הניטור בשנת 2004 שיעור החימום הממוצע גבוה יותר – 5.8 מעלות במאה שנה וקצב העלייה של הטמפרטורה השנתית הממוצעת עומד על כ- 4.5 מעלות במאה שנה. לשם השוואה, מגמת חימום פני הים העולמית עבור תקופה זו היא 1.5 מעלות במאה שנה (ncdc.noaa.gov). משמע, פני בים באילת מתחמם בקצב מהיר פי שלושה מאשר הקצב העולמי.



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

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

ה.3. משתנים מטאורולוגיים

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

מטרה

מעקב רציף ומתמשך אחר משתנים מטאורולוגיים במפרץ.

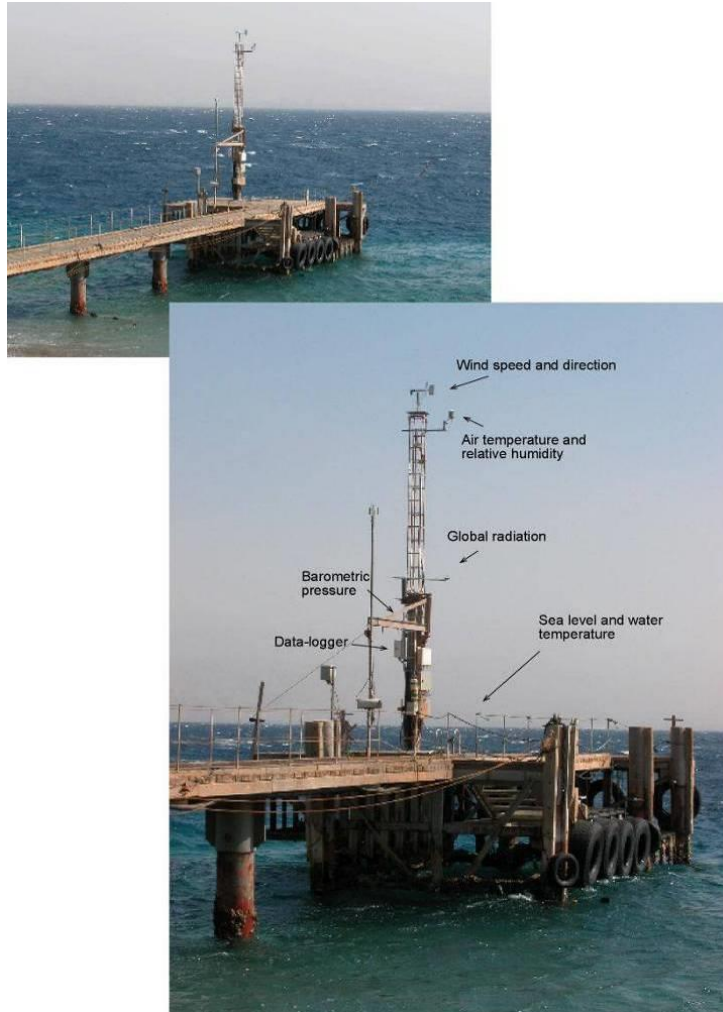
שיטות

התחנה המטאורולוגית של תכנית הניטור כוללת מגוון של חיישנים (טבלה ה-1), 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 5), כאשר נתונים מועברים אוטומטית לשרת המכון הבינאוניברסיטאי. באביב 2010 (26.5.2010) הוספו שני חיישני קרינה לתחנה המטאורולוגית לצד חיישן הקרינה הגלובלית; חיישן לקרינה אולטרא-סגולית (UV), וחיישן לקרינה באורך גל הזמין לפעילות פוטוסינטטית (PAR). שני החיישנים הוספו בעקבות התייעצויות עם חוקרים המתמקדים באספקטים שונים של אקולוגיה בשונית (כגון יצרנות ומחלות אלמוגים) ותהליכים פוטוסינטטים ופוטוכימיים בים, עקב חשיבותם הרבה של אורכי גל אלה לאקולוגית המפרץ. אירועי גשם נרשמים ידנית וכמות הגשם נמדדת במד גשם זעיר (מג"ז) שהציבה תכנית הניטור על גג המכון. הזמן לפיו נרשמים הנתונים המטאורולוגיים הוא שעון החורף של ישראל (GMT+2).

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

טבלה ה-1: 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.



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

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

מהירות וכיוון הרוח, וטמפרטורת האוויר והלחות נמדדים מראש התורן שבקצה המזח, כעשרה מטרים מעל לפני הים (בזמן שפל). מד הלחץ הברומטרי ממוקם כחמישה מטרים מעל הים ומתוקן לגובה פני הים. החיישנים המודדים קרינה (גלובלית, UV, PAR) ממוקמים על זרוע במרחק 0.7 מטרים דרומית לתורן בכדי למנוע הצללה, כ-6 מטרים מעל הים. מד לחץ המים מקובע בצינור באורך 3 מטרים וקוטר של 3" המחובר אנכית אל העמוד המרכזי של המזח, ישירות מתחת לתורן. הצינור נועד לשכך את תנודות הגלים, ולצורך כך הוא פקוק בבסיסו בפקק בו קדוח חור בקוטר 3 מ"מ אשר מונע משינויי מפלס בעלי תדירות גבוהה להשפיע על החיישן. החיישן עצמו נמצא בעומק של כ-75 ס"מ יחסית למפלס הים הרשמי של המפרץ – כיוול 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, מחוזה 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 לאחסון על גבי שרת המכון. בנוסף לנתונים הממוצעים על פני עשר דקות, שומר רשם-הנתונים את מהירות הרוח המרבית ואת כיוונה, ואת סטיית התקן של הכיוון בפרק זמן של עשר דקות. בנוסף לאלה שומרת המערכת סיכום של נתוני היממה האחרונה: ערכי קיצון (מרבי ומזערי) של כל המשתנים והזמן בו נקלטו (עבור נתוני הרוח והקרינה נרשמים רק הערכים המרביים, יחד עם כיוון הרוח).

תוצאות

רישומי יומן:

- 4 בפברואר: גשם בלילה שבין ה-3 ל-4, במכון נמדדו 6 מ"מ
- 5 בפברואר: גשם, 3.5 מ"מ
- 18-20 באפריל: ים עכור ראות אפסית, ללא רוח, טמפרטורה גבוהה

- 21 באפריל: רוח חזקה מאד, ים מתנקה, ראות טובה
 - 5 במאי: משבי רוח מדרום וגשם החל משעה 16:00
 - 4 באוגוסט: שבוע של טמפרטורות גבוהות, בפני הים נמדדו 30 מעלות
 - 13 בנובמבר: רוח דרומית קלה וגשם כל היום, 6 מ"מ
 - 31 בדצמבר: גשם התחיל ביום חמישי בלילה וירד עד יום שישי בבוקר, 14 מ"מ
- שטפונות בנחלים בערבה וסחף שנכנס לים מתעלות הניקוז ובנחל שחמון ליד חוף הדקל

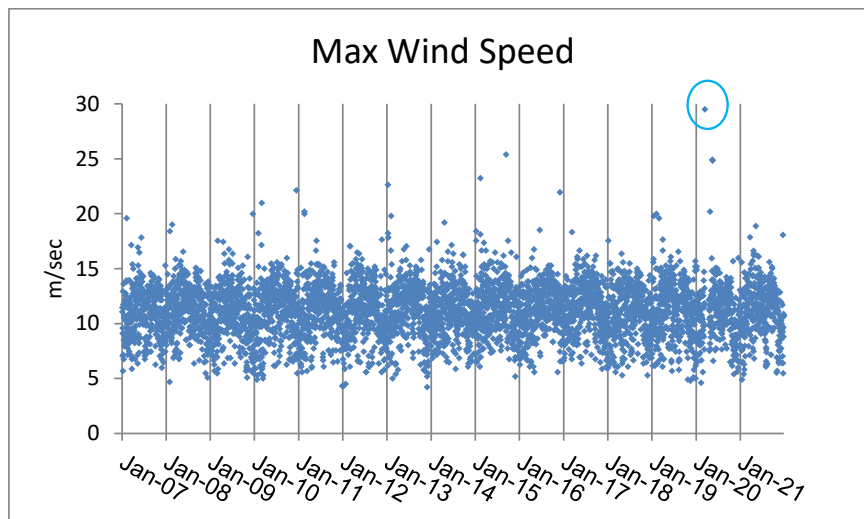
בסך הכל תועדו השנה חמישה אירועי גשם, אך ללא פריצות מים משמעותיות אל הים וללא סערות דרומיות חזקות.

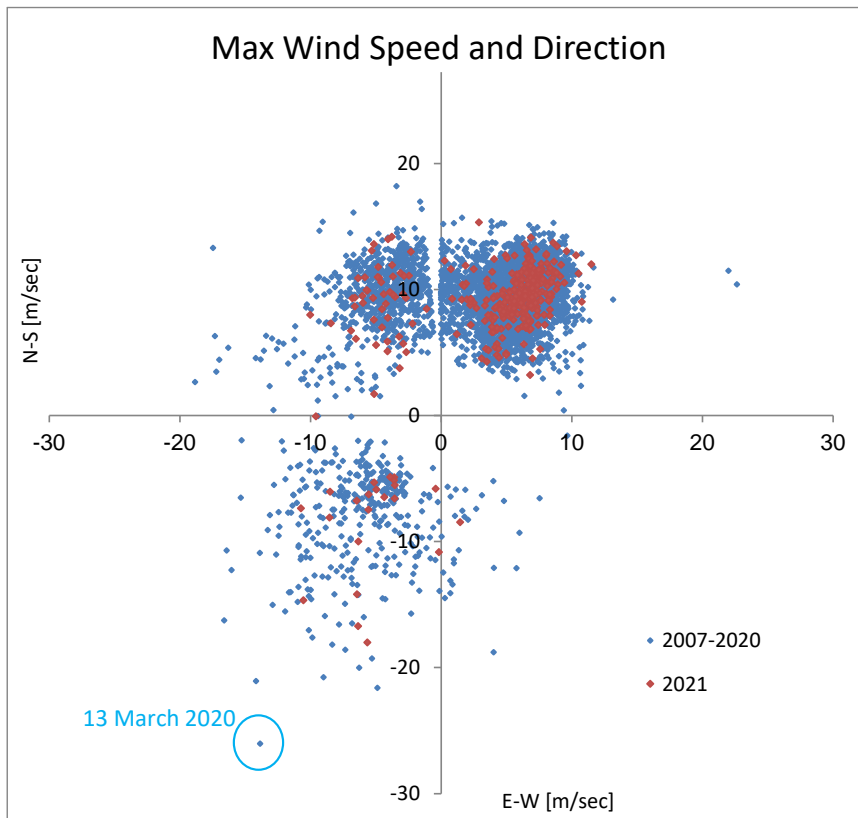
- 14 באוקטובר: זיהום שמן מספינת חיל הים. שמן הידראולי דלף מספינה שעגנה ברציף חיל הים.

מדידות אטמוספיריות

רוח:

השנה לא תועדו אירועי סערה חזקים (איור ה-6). על רקע השנה הנוכחית השקטה בולטת הסערה של השנה הקודמת, בה נשבו רוחות דרומיות חזקות במשך קרוב ליממה וגלים גדולים פגעו באזורי החוף וגרמו נזק ניכר למערכות טבעיות ולתשתיות אנושיות באזורי ים רדוד ורצועת החוף. הסערה במרץ 2020 היתה החזקה ביותר, בשיעור רב, מהסערות אשר נמדדו במסגרת תכנית הניטור ומהירות הרוח המרבית אשר נמדדה במכון הבינאוניברסיטאי הגיעה ל- 29.5 מטר בשניה (כ- 57 קשר) בתאריך 13/3/2020, בשעות הצהריים.





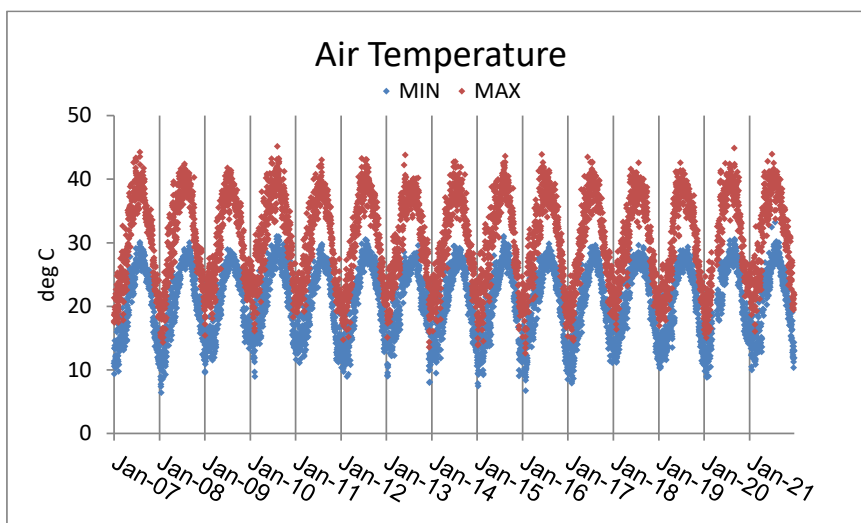
איור ה-6: למעלה- מדידות מהירות הרוח המרבית בכל יממה במטרים לשנייה. למטה- מהירות הרוח המרבית ביממה וכיוונה מאז תחילת 2007.

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

טמפרטורת האויר מעל הים:

טמפרטורת האויר מעל הים משקפת את המחזור העונתי בשינויים הדרגתיים של הטמפרטורה המרבית והמזערית בכל יממה (איור ה-7). הטמפרטורה הגבוהה ביותר אשר נמדדה השנה הייתה 44°C , בחודש יולי, נמוך יותר מאשר בשנה הקודמת אך גבוה בהשוואה לרוב השנים. הטמפרטורה הנמוכה ביותר השנה נמדדה בסוף חודש דצמבר, 10.3°C , גבוה בהשוואה לשנה הקודמת ודומה לשנים שלפניה.

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



איור 7: ערכים מרביים ומזעריים (באדום ובכחול, בהתאמה) של טמפרטורת האוויר מעל הים, בכל יממה.

Figure E7: Maximum and minimum (red and blue, respectively) daily air temperature above the sea.

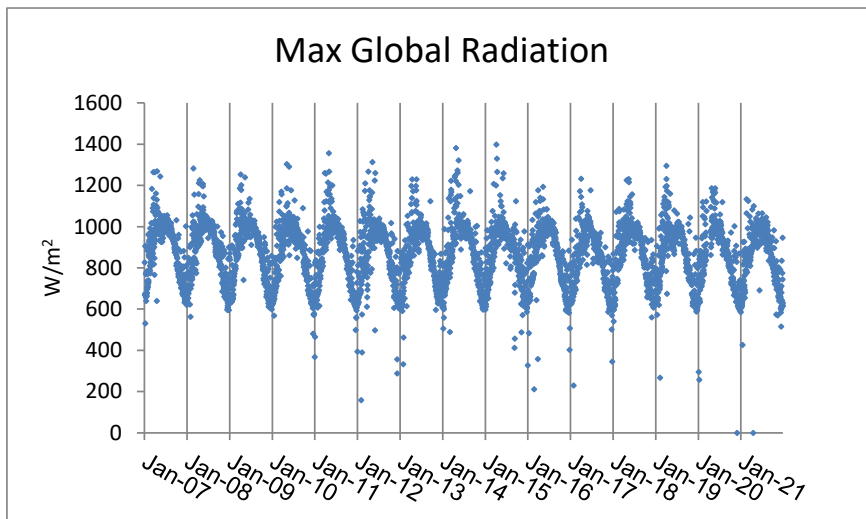
קרינה:

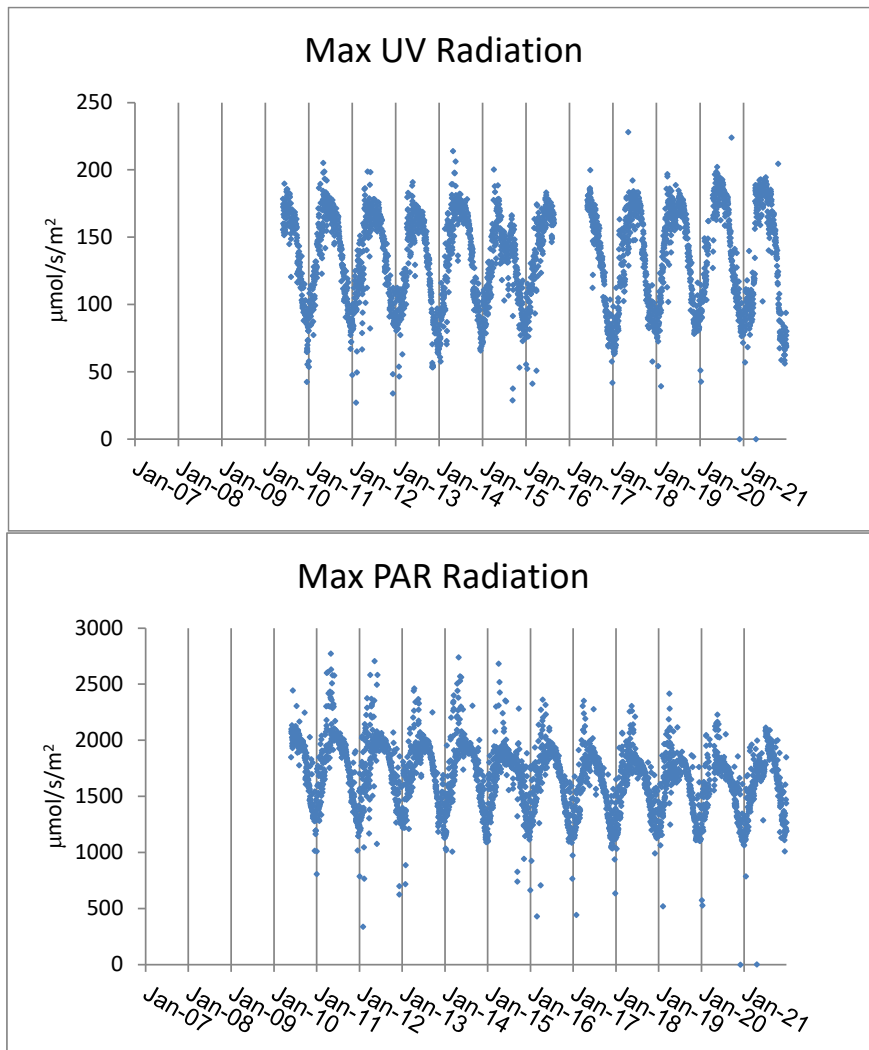
[חיישן הקרינה האולטרא-סגולה התקלקל בחודש אוגוסט 2016, והוחלף במאי 2017. חיישן ה-PAR הוחלף השנה (2021) לאחר שנראה היה כי הערכים הנמדדים דועכים עם הזמן]

הקרינה הגלובלית בעלת מחזור עונתי דומה לזה של טמפרטורת האוויר, אולם ערכים מרביים נמדדים 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 (1134 ואט\מטר רבוע, בחודש פברואר) הייתה מעט נמוכה מזו של השנה הקודמת. הקרינה הגלובלית הגבוהה ביותר אשר נמדדה עד כה במסגרת הניטור היתה 1399 ואט\מטר רבוע, באפריל 2015 (איור 8).

הערך המרבי של הקרינה באורכי הגל האולטרא סגול (UV) אשר נמדד השנה, $204 \mu\text{mol/s/m}^2$, בחודש אוקטובר, נמוך מהערך הגבוה של השנה הקודמת וגם מהערך הגבוה של שנת 2018 ($228 \mu\text{mol/s/m}^2$, בחודש מאי) שהיה הגבוה ביותר שנמדד על ידי התכנית (מאז קיץ 2010). ערכי קרינה אולטרא-סגולה גבוהים הינם לרוב מדידות בדידות ומעטות. מדידות הקרינה באורך גל הזמין ליצרנות (PAR) מראות ירידה במשך הזמן ובשנים האחרונות ערכן נמוך בהשוואה לשנים 2011-2015. השנה הוחלף חיישן המדידה מתוך חשש שהדעיכה קשורה להתעייפות החיישן. נראה כי לאחר החלפת החיישן אכן ישנה עליה בערך הנמדד והמדידות בקיץ דומות לאלו של לפני מספר שנים.

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

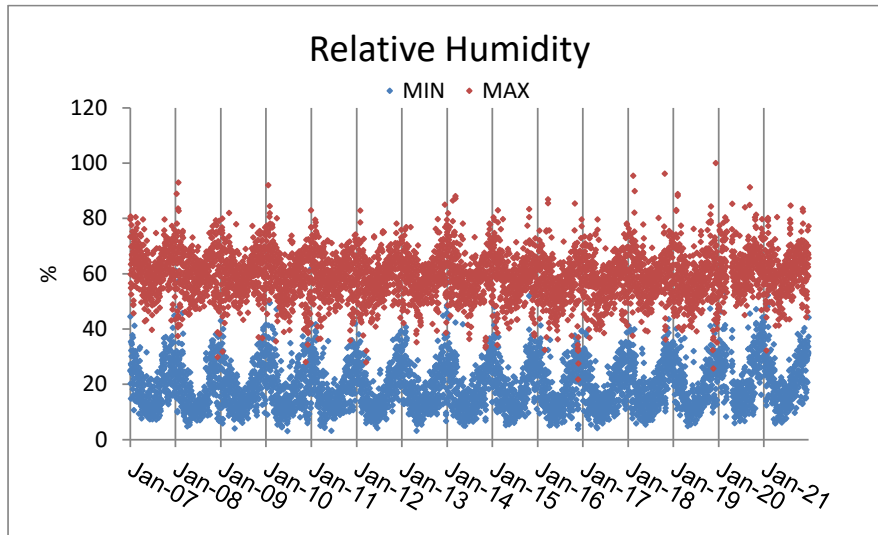




איור 8: ערכים יומיים מרביים של קרינה גלובלית (למעלה), קרינה אולטרא-סגולה (באמצע) וקרינה זמינה לפוטוסינתזה (למטה).
Figure E8: Maximum daily global radiation (top), ultraviolet radiation (middle) and photosynthetically available radiation (bottom).

לחות:

הלחות היחסית, כפי שנמדדת ממזח המכון מעל הים, מראה ימים של לחות גבוהה בעיקר באביב ובסתיו (איור 9). בשנים האחרונות נמדדת לעיתים לחות גבוהה בהשוואה למדידות של השנים 2007-2017 אך השנה לא נמדדה לחות גבוהה במיוחד. שינויים עונתיים במדידות הלחות היחסית קטנים בהשוואה למשרעת היומית הגדולה, ומונעים במידה רבה על ידי שינויים בכיוון ועוצמת הרוח. ערכי לחות נמוכים נמדדים בסוף החורף ובקיץ וערכים גבוהים יותר – הן של הלחות המרבית והן המזערית – נמדדים בסתיו ובחורף. הלחות המרבית נמדדת לרוב בשעות הלילה או הבוקר המוקדמות ואילו הלחות המזערית בשעות אחר הצהריים-ערב. רוחות דרומיות גורמות לרוב לעליה בלחות. גם כאן יש לזכור כי ערכים אלה נמדדים מעל הים וצפויים להיות שונים (גבוהים) מהלחות הנמדדת ביבשה באזור אילת.



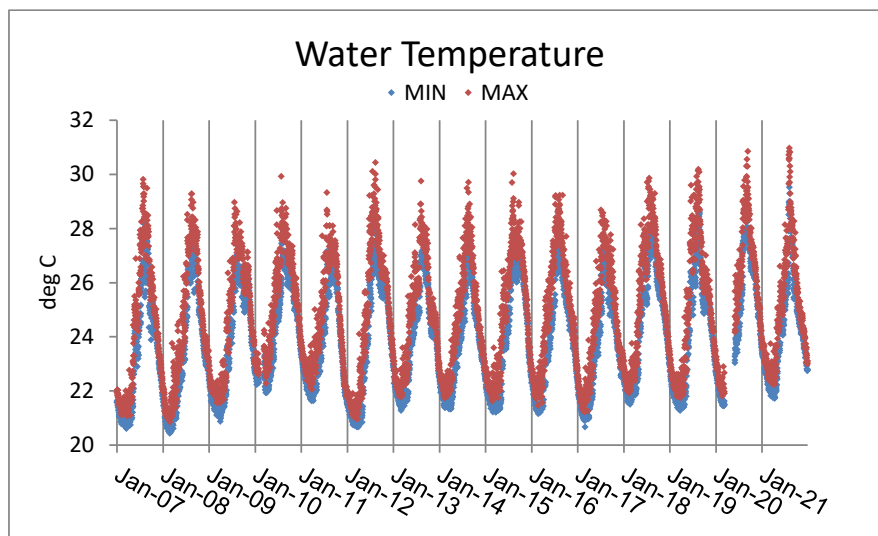
איור 9: ערכים מרביים ומזעריים (באדום ובכחול, בהתאמה) של לחות יחסית מעל הים, בכל יממה.

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

מדידות בים

טמפרטורת פני הים:

במדידות טמפרטורת המים (עומק כ-2 מטרים) ניתן לעקוב אחר המחזור העונתי בו טמפרטורת המינימום (21.8°C , בחודש אפריל) היתה השנה מעט גבוהה בהשוואה לטמפרטורת המים המזערית של השנתיים הקודמות וגבוהה משמעותית מזו של שנת 2017 (20.7°C , בחודש מרץ, דומה לערך הנמוך של טמפרטורה שנמדד בשנת 2012 בה היה הערבוב עמוק). טמפרטורת המקסימום שוב היתה השנה הגבוהה ביותר שנמדדה במסגרת זו (31.0°C , ב-8 באוגוסט), גבוה מעט מהערך אשר נמדד בשנה הקודמת (30.9°C , בספטמבר 2020, איור 10). טמפרטורת פני הים המזערית בסוף השנה היתה 22.8°C , מעלה פחות מאשר בשנה הקודמת. ההפרש הממוצע בין טמפרטורת המים המרבית והמזערית גדל בחודשי הקיץ אז מתפתחת תרמוקלינה יומית. בחודשי החורף, ובעיקר בחודשים המובילים לשיא הערבוב, משרעת הטמפרטורות היומית קטנה. טמפרטורות פני הים הגבוהות השנה, הן בחורף והן בקיץ, גרמו לכך שהטמפרטורה השנתית הממוצעת היתה השנה גבוהה בהשוואה לרוב שנות הניטור הקודמות מהן קיימות מדידות סדירות – 24.4°C על פי סדרת המדידות הרציפות (כל 10 דקות).



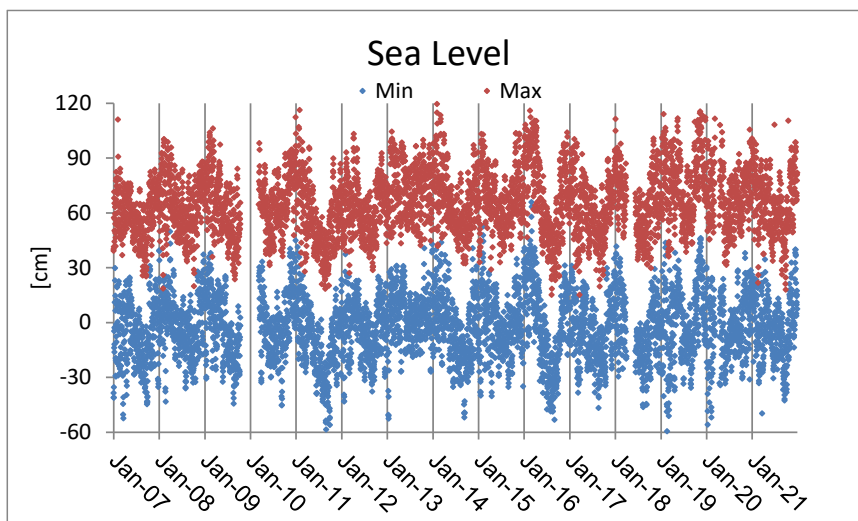
איור 10: ערכים יומיים מרביים ומזעריים (באדום ובכחול, בהתאמה) של טמפרטורת המים (בעומק כ-2 מ').

Figure E10: Maximum and minimum (red and blue, respectively) daily water temperature at ~2m depth.

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 ב-6 בנובמבר 2012. המדידות השגויות הוחלפו במדידות אשר נעשות על ידי המרכז למיפוי ישראל ממזח המכון הבינאוניברסיטאי. ובהמשך כויל החיישן מספר פעמים כנגד מדידות המפלס של המרכז למיפוי ישראל. בסוף חודש מאי 2018 חדל מד המפלס לעבוד וחיישן חדש הותקן בסוף יולי. מאז מכויל החיישן כל מספר שבועות כנגד מדידה ידנית ביחס לנקודת גובה שנקבעה על ידי המרכז למיפוי ישראל.]

מפלס הים משתנה בעיקר במחזוריות חצי ימית של גאות ושפל. המחזור השנתי מורכב ממפלס ים גבוה בחודשי החורף ונמוך יותר בחודשי הקיץ (איור ה-11). בחודשי החורף גם נמדדות תנודות גדולות יותר במפלס הים המזערי ביממה, וזאת ככל הנראה בהשפעת הרוחות ומערכות האקלים הפחות יציבות בחודשים אלה. השנה לא נרשמו אירועי שפל קיצוניים בצפון המפרץ, ושפל נמוך במיוחד נמדד בחודשים מרץ וספטמבר אך חשיפת אלמוגים לא היתה גדולה.



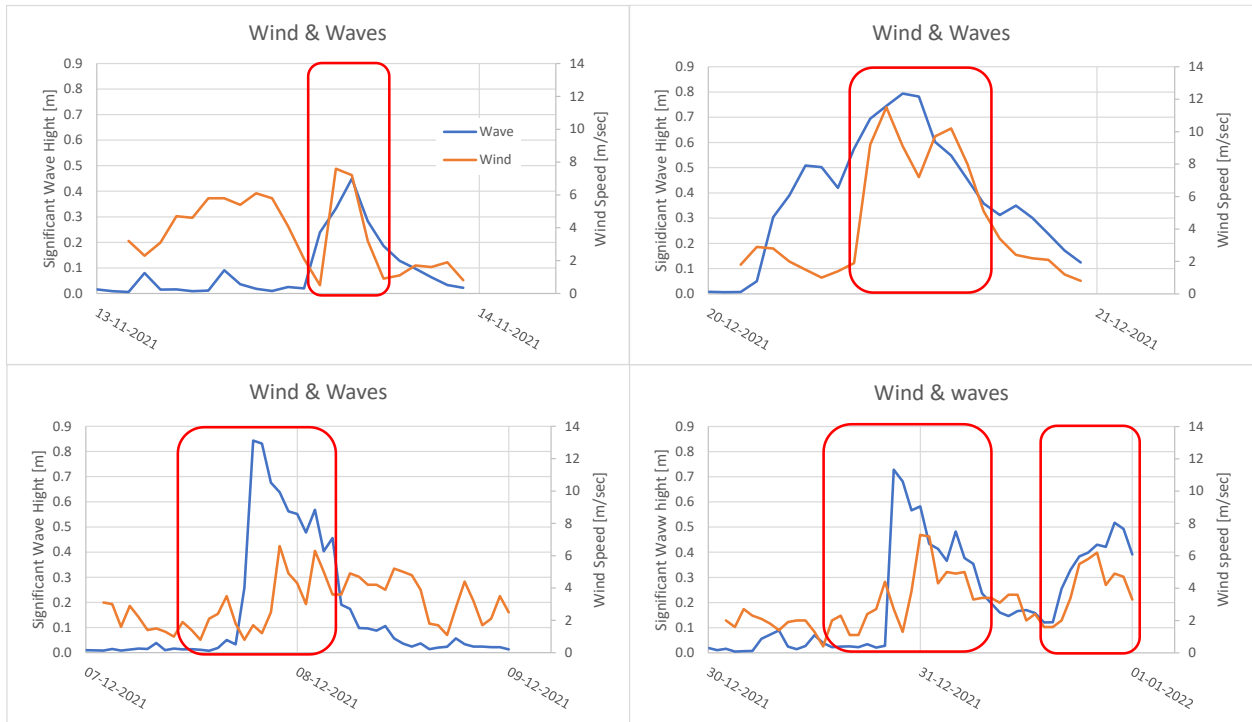
איור ה-11: ערכים מרביים ומזעריים (באדום ובכחול, בהתאמה) של מפלס הים, בכל יממה.

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

גלים:

מדידות גלים החלו השנה לראשונה, וברוב השנה נעשו שינויים על מנת לקבל מדידות מוצלחות ביותר. נעשה שימוש בשני חיישנים של חברת RBR, האחד Solo-wave והשני Virtuoso3, שניהם עם חיישן לחץ למדידות גלים. לאחר מספר מדידות נסיוניות, 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. 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. לאחר מספר שבועות של מדידה במקביל בה נמצא שהערכים הנמדדים על ידי שני המכשירים דומים, הוצב אחד המכשירים בעומק של 3.5 מטרים מעל עומק קרקעית של 4.5 מטרים על מנת לאפיין טוב יותר את הגלים הקצרים הנובעים מרוחות צפוניות.

מאז אמצע חודש מאי נעשו מדידות גלים באופן כמעט רציף. נמצא שבמשטר רוחות צפוניות גובה גלים משמעותי (significant wave height) אינו עולה על 20 ס"מ מול המכון הבינאוניברסיטאי. לקראת סוף השנה נמדדו גם מספר אירועים של רוחות דרומיות חזקות. באירועים אלה, שכאמור למעלה לא היו חזקים במיוחד, נמצאה השפעה למשך האירוע בנוסף לעוצמת הרוח, וגובה הגל המשמעותי המרבי, מעט יותר מ-80 ס"מ, נמדד ב-7 בדצמבר (איור ה-12).



איור 12: אירועים של רוחות דרומיות מלוות בגלים גבוהים (מסומנים באדום).

Figure E12: Events of southern winds accompanied by high waves (marked in red).

מטרה

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

שיטות

אבק מרחף נאסף על גבי פילטר נקי ($0.45\mu\text{m}$) דרכו נשאב אויר בעזרת משאבת ואקום הפועלת ברציפות. הפילטר מותקן בתושבת המורמת מעל מזח המכון הבינאוניברסיטאי בגובה של כ-4 מ' מעל הים ומוחלף מדי כשבוע, כך שכל שקילה מהווה אינטגרל שבועי. לאחר סופות אבק נבדקת יעילות השאיבה ואם יש צורך מוחלף הפילטר בתדירות גבוהה יותר. ריכוזי האבק ביחידות של משקל (אבק) לנפח (אוויר) מחושבים כמשקל האבק על גבי הפילטר במשך השבוע חלקי שטף האוויר דרך הפילטר באותו שבוע. בתנאי סערה מופסקת פעולת השאיבה על מנת למנוע זיהום הדוגמה או פגיעה במשאבה. מכיוון שכך, יתכן כי הרקורד השבועי אינו מלא, אך נשמרת אחידות תנאים לשם השוואה והערך המחושב (ריכוז) אינו נפגע מהפסקות אלה. פילטר האבק נשקל במאזנים אנליטיים עם רגישות של חמש ספרות (לפני ואחרי איסוף האבק) והטיפול כולו נעשה במעבדה נקייה. לאחר שקילת האבק וחישוב ריכוזו במכון הבינאוניברסיטאי, הפילטר נשלח למכון למדעי כדור הארץ לאנליזה גיאוכימית.

מדידות ריכוז האבק מעל צפון המפרץ הן חלק ממחקר ארוך טווח אשר מבוצע על ידי חוקרים מהמכון למדעי כדור הארץ באוניברסיטה העברית (בראשות פרופ' יגאל אראל וד"ר עדי טורפשיין), ונתמך בחלקו על ידי תכנית הניטור. תכנית הניטור בתמיכתה במחקר עוקבת אחר כמויות האבק המגיעות למפרץ במחשבה שאבק עשוי להיות מקור חשוב לנטריינטים, ובפרט יסודות קורט חיוניים.

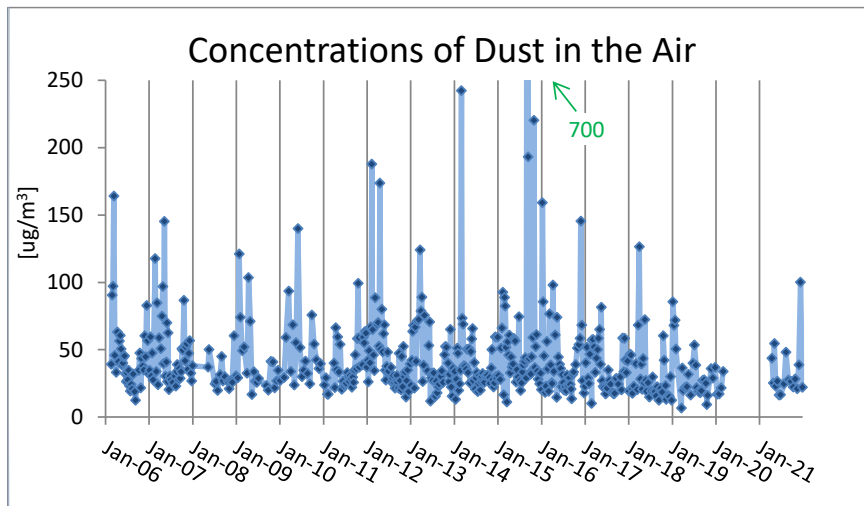
תוצאות

[גם מדידת האבק הרציפה, המופעלת במזח המכון נפגעה בסערה הגדולה של מרץ 2020. פגיעת הגלים גרמה לאבדן תשתיות החשמל בקצה המזח ואלה עדיין לא תוקנו. בנוסף נפגע עמוד ההצבה אשר ממנו מבוצעת המדידה. לאחר שיחזור מערך המדידה, המדידות חודשו באפריל 2021].

תכנית הניטור מדווחת כאן 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 13). ריכוזי האבק המרביים אשר נמדדו בתחילת חודש ספטמבר 2015, $699\ \mu\text{g}/\text{m}^3$, היו הגבוהים ביותר אשר נמדדו עד כה במסגרת תכנית הניטור ונמדדו במשך סופת אבק שנמשכה מספר ימים.

השנה חסרות מדידות מחודשי החורף ותחילת האביב והריכוז הגבוה ביותר הוא מסוף השנה – דצמבר 2021, $100\ \mu\text{g}/\text{m}^3$. ריכוז זה אינו גבוה במיוחד ונמוך מהערך המרבי אשר נמדד ברוב השנים, אולם, כאמור, ריכוזי האבק בחודשים של חורף-2020-21 חסרים ממסד במדידות.

לאחרונה פורסם המחקר המנתח את הרכב האבק הנדגם על ידי התכנית בין השנים 2006-2010 (Torfstein et al., 2017:) כי השינויים העונתיים בעומסי האבק (נמוך בחודשי הקיץ ועולה בתחילת החורף עם ערכים מרביים בסוף החורף ובאביב) קשורים גם במקור האבק (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). תכנית השינויים בזמן בעומסי מיקרו-נטריינטים חשובים (כגון ברזל ומתכות אחרות) אינה בהתאמה לתכנית היסודות העיקריים או לתכנית הנצפית בריכוזי כלורופיל-a בפני הים ומצביעה על כך שלאבק אטמוספרי השפעה מוגבלת על היצרנות הראשונית בצפון המפרץ.

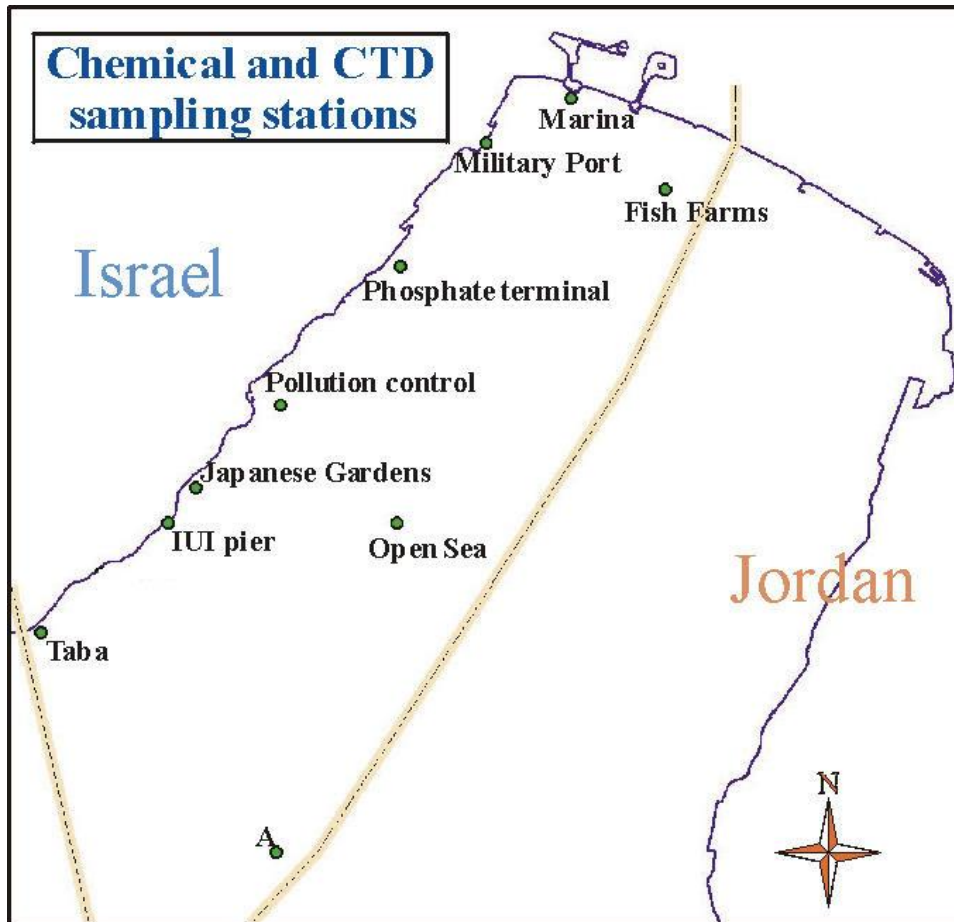


איור ה-13: ריכוזי אבק באוויר מעל הים. מדידות נעשות על גבי פילטר דרכו מוזרם האוויר ומחלף מדי שבוע.

Figure E13: Weekly dust concentrations in the air above the sea. Dust is measured on filters through which air is continuously pumped.

- Biton, E., and H. Gildor (2011). The general circulation of the Gulf of Aqaba (Gulf of Eilat) revisited: The interplay between the exchange flow through the Straits of Tiran and surface fluxes. *J. Geophys. Res.*, 116, C08020, doi:10.1029/2010JC006860
- Bush, A. O., Aho, J. M. and Kennedy, C. R. (1990). Ecological versus phylogenetic determinants of helminth parasite community richness. *Evolutionary Ecology*, 4: 1-20.
- Babcock, R.S., Baird, A.H., Piromvaragorn, S., Thomson, D.P., Willis, B.L. (2003). Identification of Scleractinian coral recruits from Indo-Pacific reefs. *Zoological Studies* 42 (1): 211-226.
- 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.
- 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.
- 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. *Mar Biodiv* (2016). 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
- 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.



מפה 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.

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

Gnus	IUI	KATZA	NR	Eilat
Acropora	77	124	155	356
Stylophora	90	73	83	246
Montipora	42	101	134	277
Dipsastraea	130	34	56	220
Goniastrea	49	61	95	205
Cyphastrea	91	59	33	183
Porites	43	47	89	179
Echinopora	25	67	92	184
Paramontastraea	46	50	30	126
Leptastrea	43	35	25	103
Millepora	70	10	6	86
Favites	29	27	37	93
Gyrosmlia	42	2	4	48
Platygyra	23	8	21	52
Pavona	4	56	10	70
Coscinaraea	21	14	6	41
Lobophyllia	1	12	32	45
Psammocora	4	8	24	36
Pocillopora	17	3	7	27
Plesiastrea	9	13	6	28
Acanthastrea	9	4	10	23
Leptoseris		16	15	31
Astreopora	2	9	12	23
Mycedium	1	8	13	22
Galaxea	2	6	10	18
Siderastrea	15			15
Fungia	3	7	7	17
Goniopora		8	9	17
Seriatopora		18		18
Montastrea	6	1	5	12
Echinophyllia		3	3	6
Hydnophora	4		1	5
Cynarina	3	1	1	5
Turbinaria	2	2	1	5
Trachyphyllia	4	1		5
Erythrastrea	1	3	1	5
Leptoria	2		1	3
Herpolitha		3		3
Ctenactis		1	1	2
Oxypora		1	1	2
Balanophyllia			1	1
Alveopora		1		1
Total	910	897	1037	2844

טבלה ז1: רשימת אלמוגי האבן (ומספר המושבות) בהתכני הקו בסקר חברת השונית בשנת 2021.
Table G1: List of stony corals and the number of colonies of each taxa found in the coral reef line-transect survey, 2021.

Taxa	Schooling	Diets	Water-level	NR	NR	NR	IUI	IUI	IUI
				5m	7m	20m	5m	10m	15m
Blenniidae/Gobiidae	Sol	HD/OM	Bottom	101	101	278	24	53	83
Mullidae (parapeneus)	S-M- G	IM		7	33	28	62	43	51
Pseudochromidae	Sol	IM/PK		32	4	121	8	34	27
Scorpaenidae, Synanchiidae	Sol/L-G	FC/IM/PK		0	0	1	1	1	1
Synodontidae	Sol/Pair	FC		2	10	2	10	1	4
Pinguipedidae	Sol/Pair	FC	2	3	0	2	1	0	
Tetraodonitidae/Diodonitidae	Sol/Pair	OM/IM	Bottom/Low	1	0	0	2	2	0

טבלה ז2: שכיחות דגים שוכני קרקעית (בנתוניים) בעומקים שונים באתר השמורה ובאתר המעבדה.

Table G2: Benthic fish abundance at different water depths at the Eilat Nature Reserve and the IUI.

Taxa	Schooling	Diets	Water-level	NR 5m	NR 7m	NR 20m	IUI 5m	IUI 10m	IUI 15m
Acanthuridae									
ZebraSoma, Z. desjardini, Ctenochaetus striatus/Acanthurus nigrofuscus	S-G	HD	Bottom	23	19	4	26	6	25
	S-G	HD		68	31	76	35	26	35
Other Acanthuridae	S-G	HD		0	0	0	15	0	0
Balistidae									
	Sol	IM	Bottom	7	11	9	13	9	6
Chaetodontidae									
Heniochus sp.	S-G	PK	Low	0	0	0	0	1	0
C. fasciatus, C. austriacus, C. auriga, paucifasciatus, semilarvatus	S-M-G/Pair	IM/IS/OM	Bottom/Low	37	43	40	54	31	30
Labridae									
Thalassoma sp.	S-G	IM/PK		45	41	8	43	40	24
Coris aygula	Sol	IM	Bottom	2	1	0	5	5	2
Gomphosuse caeruleus	Sol	IM		26	14	13	5	4	0
Labroides dimidiatus	Sol	IM		26	3	19	2	1	0
Cheilinus lunulatus	Sol	IM		26	3	19	2	1	0
Bodianus anthioides	Sol	IM		2	10	6	3	6	4
Other Labridae	Sol/S-G	IS/IM	Bottom/Low	39	43	123	12	137	245
Ostraciidae									
	Sol/Pair	HD/IS/IM	Bottom	0	1	1	4	4	0
Pomacanthidae									
	Sol/S-G	IM/PK/IS/OM	Bottom	12	5	46	10	3	3
Pomacentridae									
Amphiprion bicinctus	S-G	PK	Bottom	0	4	0	0	1	2
Dascyllus aruanus	M-G	PK		5	35	6	0	15	3
Dascyllus marginatus	M-G	PK		28	29	125	81	108	251
Pomacentrus sulfureus	S-G	OM		0	0	0	0	0	0
Neopomacentrus miryae	L-G	PK	Low	78	370	50	0	15	0
Pomacentrus trichourus	S-G	OM	Bottom	144	92	233	68	89	78
Abudefduf sexatilis	S-G	OM	Low	0	0	0	0	0	0
Chromis dimidiata	M-G	PK		188	35	53	13	26	0
Chromis viridis	L-G	PK		270	150	0	0	51	51
Neoglyphidon melas, Amblyglyphidon sp.	Sol/S-G	HD/OM/Pk	Bottom/Low	3	1	29	6	6	11
Scaridae									
	Sol	FC	Bottom	58	219	60	53	35	18
Serranidae									
Variola louti	L-G	PK	Low	3	1	0	2	2	1
Pseudanthias squamipinnis	Sol	PK		183	379	331	61	538	331
Epinephelus sp., Cephalopholis sp.	Sol/Pair	OM/IM/FC	Bottom/Low	41	22	32	9	30	26
Siganidae									
	Sol/S-M-G	IM/FC	Bottom/Low	1	2	0	12	2	1
Lethrinidae									
	L-G	PK	High	1	7	0	7	4	9
Apogonidae									
				21	41	2	1	0	0
Caesionidae									
	L-G	PK	High	24	85	180	13	135	160

טבלה ז3: שכיחות דגים שוכני עמודת המים (פלנקטוניים) בעומקים שונים באתר השמורה ובאתר המעבדה. בכחול, משפחות דגים.
Table G3: Pelagic fish abundance at different water depths at the Eilat Nature Reserve and the IUI. In blue are fish families.