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

אדר תש"פ

מרץ 2020

התוכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת

דו"ח מדעי לשנת 2019

Israel National Monitoring Program at the Gulf of Eilat

מוגש לוועד המנהל של תכנית הניטור על ידי:

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

התכנית ממומנת ע"י המשרד להגנת הסביבה

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

חברי הוועד המנהל:

ד"ר ארנה מצנר, מ"מ מדענית ראשית, המשרד לאיכות הסביבה, 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 חירות, חקר ימים ואגמים לישראל
פרופ' אורן לוי, אוניברסיטת בר אילן
פרופ' בועז לזר, האוניברסיטה העברית
מר רני עמיר, ראש היחידה הארצית להגנת הסביבה הימית, המשרד לאיכות הסביבה
ד"ר דרור צוראל, היחידה הארצית להגנת הסביבה הימית, המשרד לאיכות הסביבה
פרופ' אלדו שמש, מכון וייצמן למדע
ד"ר יהושע שקדי, רשות הטבע והגנים

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

ענבל אילון, ביולוגיה
מוריאל דריי, כימיה
מרק צ'רניחובסקי, ביולוגיה
טניה ריבלין, כימיה
אירנה קולסניקוב, ביולוגיה
לירז לוי, ביולוגיה

<u>יעוץ וסיוע:</u>
פרופ' יונתן ארז, האוניברסיטה העברית (יצרנות ראשונית, אוקיינוגרפיה)
פרופ' אריק דיאמנט, מלח"י (מחלות וטפילים בדגים)
פרופ' יעלה שקד, האוניברסיטה העברית (אבק מרחף, פיטופלנקטון, pH)
ד"ר עדי טורפשטיין, האוניברסיטה העברית (חומר חלקיקי בעמודת המים)
ד"ר שי אורון, אוניברסיטת בן גוריון בנגב (מאספי פורמיניפרים בסדימנט)

<u>עזרה במכון הבינאוניברסיטאי:</u>
שוקי אייזקס
אופיר המאירי
גנדי זלצמן
דמיטרי צ'ורילוב
אסף ריבלין

תוכן העניינים

א. מבוא

א.1. מטרת הניטור במפרץ אילת

מטרת התכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת היא יצירת תשתית ידע עובדתי רב שנים על מצב המערכת האקולוגית, הכימית והפיסקלית הימית בצפון מפרץ אילת. על תשתית זו לשמש בסיס מדעי לגיבוש המלצות ביצועיות לפתרון בעיות אקולוגיות, ניהול תכניות ממשק סביבתי והמשך פיתוח מושכל של אזור החוף והמים של מפרץ אילת בתחום מדינת ישראל.

תכנית הניטור מפעילה מערך מתקדם למדידה קבועה ומתמשכת של הגורמים האקולוגים המרכזיים בבתי הגידול העיקריים במפרץ אילת. התכנית בוחנת את קיומן של מגמות שינוי אקולוגי ואומדת את עצמתן, מעריכה את מצב "בריאות" המערכת ואת השפעתם האקולוגית של גורמי זיהום וסביבה שונים.

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

א.2. הקדמה

הדו"ח שלהלן מתאר את עבודת הניטור הלאומי בצפון מפרץ אילת בשנת 2019. הדו"ח מחולק לפרקים התואמים סביבות ושיטות עבודה שונות. כל פרק כולל תיאור קצר של שיטות המדידה, תוצאות מפורטות (איורים, טבלאות) ודיון קצר במסקנות. תיאור מפורט של השיטות נמצא בדו"ח השנתי הראשון (2003) וסיכום פעילויות הניטור ותדירותן, ומיקום תחנות הניטור העיקריות, מופיעים בטבלה א1 ובאיור א1, בהתאמה.

תכנית הניטור פועלת במתכונת אחידה מאז שנת 2004 וכך ניתן לבחון מגמות על פני למעלה מעשור באמצעות נתונים אשר נאספו בשיטות אחידות ועל ידי אותו צוות. הדבר מקנה עצמה אנליטית גדולה לניתוח התוצאות ההשוואתיות.

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

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

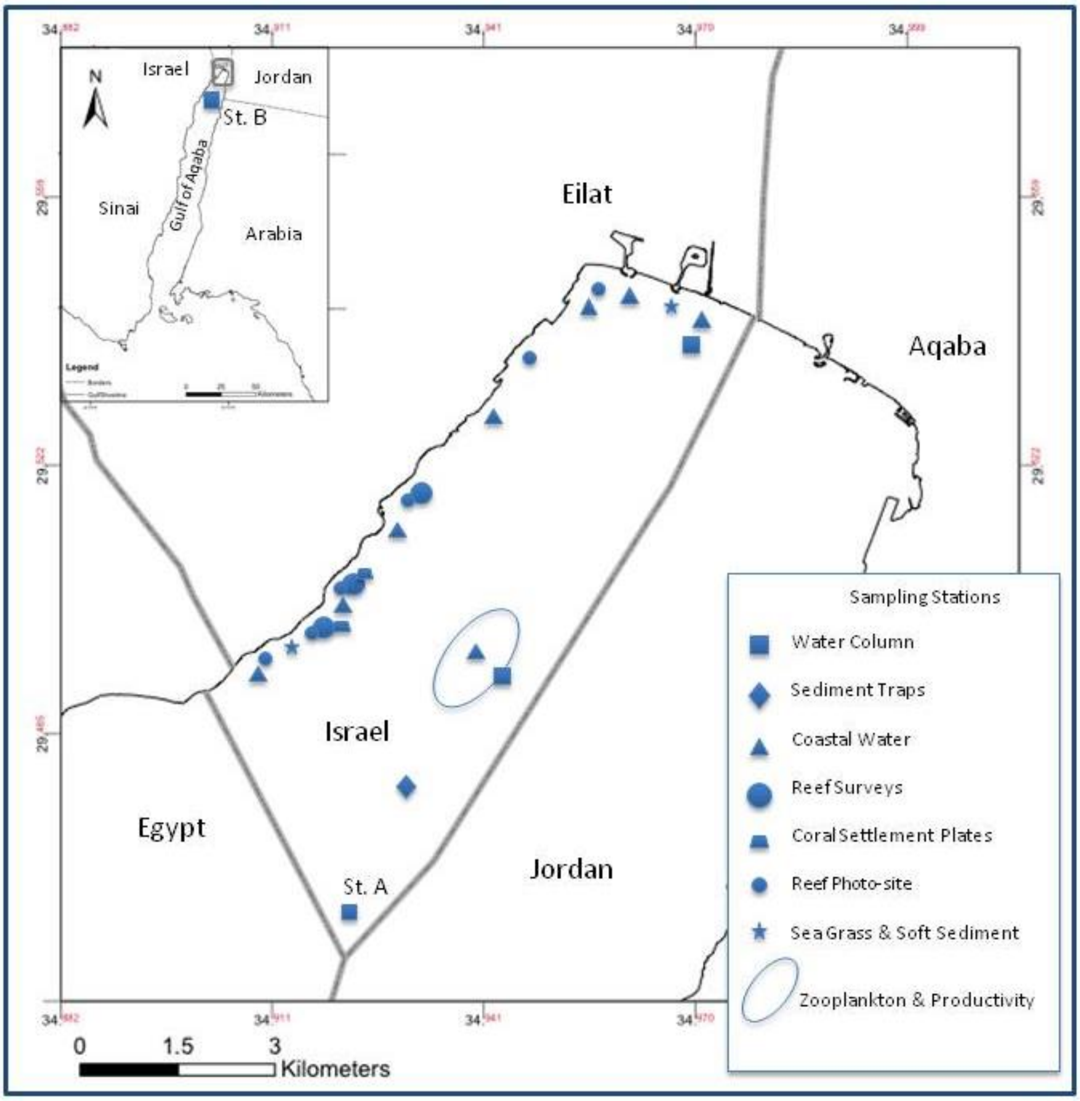
השנה נמשך תהליך ההטמעה של מדידות חדשות למערך הניטור. בשונית האלמוגים הוצבו לוחיות התיישבות בתוספת אתר קצא"א, לצורך מעקב אחר אספקת אלמוגי אבן חדשים המהווים פוטנציאל גיוס לשונית. באזורים רדודים של קרקעית רכה נמשך מעקב אחר כיסוי עשב ים תוך הוספת סקר בעומק 30 מטרים ובחברת הבנתוס בקרקעית מושם דגש על שיפור יכולת הזיהוי. מידע לגבי חומר חלקיקי בעמודת הים העמוק התקבל ממלכודות סדימנט עד לאמצע השנה, עם שינוי בתדירות המדידות, אך באמצע השנה אבד מערך המדידה בים. מתקני ARMS למעקב אחר חברת הבנתוס שהו בים כשנה והחל תהליך של הוצאת מתקנים ועיבוד הדוגמאות לאנליזה.

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

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

טבלה א1: פעילויות תכנית הניטור ותדירותן.

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



איור א1: מיקום תחנות הניטור, ראו גם מפה ז.1 בנספח 1.

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

א.3. תקציר התוצאות והמסקנות

ממצאי השנה החולפת

שונית האלמוגים

1. כיסוי וצפיפות אלמוגי אבן חיים – בין האתרים הנסקרים קיימים הבדלים גדולים במידת כיסוי האלמוגים, הקשורים במידה רבה לאופי הקרקעית בכל אתר. אתר שמורת האלמוגים הרדוד הוא האתר בו שונית האלמוגים היא המפותחת ביותר. כיסוי האלמוגים הממוצע בכל האתרים היה השנה 24.9±4.5%, גבוה מהערך הממוצע של השנה הקודמת (24.0±4.0%). צפיפות המושבות הממוצעת היתה השנה נמוכה יחסית, 27.7±3.2 מושבות במקטע באורך עשרה מטרים, לעומת 28.2±3.6 בשנה הקודמת שגם היא היתה נמוכה. צפיפות מושבות האלמוגים הממוצעת בין כל האתרים נמצאה בעליה בין השנים 2010-2017 ובשנים האחרונות ירדה מעט, אם כי השינויים בין השנים קטנים.
בסך הכל נמצאה במשך תקופת הניטור עליה מובהקת באחוז הכיסוי הממוצע באתרי הניטור, אך נראה כי בשנים האחרונות מגמה זו נחלשת.
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 חלקן המועט ביותר ומושבות גדולות וענקיות נפוצות בו 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. צפיפות המושבות השנה דומה לשנה הקודמת.
3. מדד הרקמה החיה באלמוגי אבן – מאז תחילת הניטור נמדדת ירידה קטנה אך מתמשכת באחוז הרקמה החיה של אלמוגי אילת. יתכן שהירידה באחוז הממוצע של רקמה חיה נובעת, לפחות חלקית, משיפור בשרידות ולכן "התבגרות" מושבות הצוברות עם הזמן פציעות ופגיעה ברקמות. 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 – בו נאמד מגוון אלמוגי האבן בשוניות אילת מראה תנודות קלות ולא מגמתיות בין השנים. לרוב, ערך המגוון באתרים רדודים נמוך בהשוואה לאתרים עמוקים. עקומות הצבירה של סוגי אלמוגים מציירות תמונה דומה, וכך גם תוחלת מספר סוגי האלמוגים הצפוי בספירת אלף וחמש מאות מושבות אקראיות. בכל המדדים השינויים בין השנים קטנים.
5. שולחן השונית– לשולחן השונית התייחסות נפרדת מאתרי קדמת השונית, עקב מאפייניו הייחודיים. השנה לא נמצא שינוי בכיסוי וצפיפות האלמוגים בשולחן השונית ואלה יציבים בשלוש השנים האחרונות. שולחן השונית רגיש יותר להפרעות חיצוניות מאשר אתרי קדמת השונית, ומגוון ועושר סוגי האלמוגים בו נמוך יותר. בשולחן השונית דומיננטים אלמוגים גושיים בעוד שבאתרי קדמת השונית לאלמוגים מעונפים חלק עיקרי.
6. לגונת שמורת האלמוגים – מכיוון שבלגונה התנאים הסביבתיים קשים, חברת האלמוגים נשלטת על ידי מינים דומיננטיים והמגוון קטן יחסית לאתרי קידמת השונית. האלמוג הנפוץ ביותר בלגונה הוא *Stylophora pistillata* המהווה קרוב ל-40% מכלל המושבות. בין קיץ 2008 לקיץ 2010 נרשמה ירידה גדולה בצפיפות מושבות האלמוגים בלגונה, ובמיוחד בצפיפות האלמוג הדומיננטי, כתוצאה מסדרת סערות חזקות. בשנים האחרונות נמדדת התאוששות, אם כי צפיפות האלמוגים עדיין נמוכה בהשוואה לשנות הניטור הראשונות.
7. התיישבות אלמוגים בשונית – תכנית הניטור החלה בשנת 2015 לעקוב אחר התיישבות אלמוגים באתר השמורה ובאתר המעבדה באמצעות לוחיות התיישבות, אך פרוטוקול הניטור השתנה בין השנים על מנת לשפר את יעילותו בהתבסס על נתונים שנאספו. השנה נוסף מעקב אחר התיישבות אלמוגים גם באתר קצא"א ופרוטוקול הדגימה מתייצב. בכל השנים נמצא כי באתר השמורה כמות המגוייסים גדולה יותר והם גדלים טוב יותר מאשר באתר המעבדה. מדידות השנה שמות את אתר קצא"א בין שני האתרים האלה, דומה יותר לאתר השמורה מאשר לאתר המכון. תבנית ההתיישבות באתר השמורה רציפה לאורך העונה ובאתר המעבדה התבנית פחות ברורה וכמות גדולה ביותר של מתיישבים נמצאה דווקא על לוחיות אשר שהו בים עד לסוף ספטמבר ולאחר מכן נמצא ירידה הן במספר והן בגודל.
8. 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. צפיפות *D. setosum* וצפיפות קיפודי הים בכלל נמוכה השנה מאשר בשנתיים האחרונות.

הסביבה החופית

9. ריכוז נוטריינטים וכלורופיל במים החופיים – התהליך השולט ברוב המדדים הכימיים, הפיסיקליים והביולוגיים הנמדדים בתחנות הניטור החופיות הוא מחזור הערבוב השנתי וערכי רוב המדדים במי השטח גבוהים יותר בחודשי החורף מאשר בקיץ. השנה היה הערבוב ממושך אך לא רציף והגיע לעומק מרבי של כ- 450 מטרים באפריל. כתוצאה מכך שתהליך

הערבוב היה לא-רציף ועומק הערבוב היה בינוני, רוב המדדים (כלורופיל ונוטריינטים) בים הפתוח נותרו נמוכים השנה כמו בשנים של ערבוב רדוד. על רקע הערכים הנמוכים בדרך כלל בתחנת הים הפתוח נמדדו השנה ריכוזים חריגים ברוב המדדים בחודשים יוני-יולי בתחנות הצפוניות, ובפרט בתחנת "החוף הצפוני".
מעבר למדידות הניטור התקבלו גם דיווחים רבים על עכירות גבוהה ופריחת אצות באזור הקינט, ככל הנראה כתוצאה מעבודות תשתית להרחבת והסדרת מוצא הקינט אל הים. על תופעה זו דווח גם בשנה הקודמת.

10. <u>עשבי ים</u> – בשנים בהן נסקר כיסוי עשב ים בחוף הצפוני ובחוף הדרומי במסגרת תכנית הניטור נמצא כי, באופן כללי, מרבדי עשב הים בנקודות שנסקרו עשירים ומכסים אחוז ניכר מפני הקרקע החולית ובטווח העומקים שבין 10 ל-20 מטרים עולה אחוז הכיסוי של עשב הים עם העומק. השנה נסקר עשב הים גם בעומק 30 מטרים באתרים אלה, ונמצא שבחוף הדרומי עשב הים בעומק זה מפותח עוד יותר ואילו בחוף הצפוני בעומק זה כיסוי עשב הים כבר מתחיל לרדת. לעומת זאת, בעומק 10 מטרים נמצא השנה כיסוי מועט מאד באתר החוף הדרומי. נראה כי כיסוי עשב הים אינו יציב בין השנים ועוד מוקדם לאבחן שיטתיות בתנודות אלה.

<u>עמודת המים בים העמוק</u>

11. <u>עומק הערבוב </u>–השנה תהליך הקירור של עמודת המים היה ממושך אך לא רציף ועומק הערבוב הגיע לכדי כ-450 מטרים. זהו עומק גדול מאשר בשנתיים הקודמות אך עדיין לא מספיק בכדי לרענן את המים העמוקים. זו השנה השביעית (מאז 2012) בה המים העמוקים מכ-500 מטרים מנותקים מהמים העליונים.
12. <u>ריכוזי חמצן ונוטריינטים מומסים במים העמוקים </u>– עמודת המים עורבבה השנה לעומק בינוני והמים העמוקים הוסיפו לצבור נוטריינטים, ובמקביל ירדו בהם ריכוזי החמצן, אך שיעור השינוי היה קטן. השנה, שבע שנים לאחר הערבוב האחרון של מי העומק נמדדו לראשונה 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 בהרבה בהשוואה לשנות הניטור הראשונות.
13. <u>כלורופיל וריכוזי פיטופלנקטון </u>–ריכוזי הכלורופיל וריכוזי התאים (פיטופלנקטון) אשר נמדדו השנה היו רגילים לשנים בהן הערבוב אינו עמוק. למרות עומק הערבוב הגדול יותר השנה לא היו הריכוזים גבוהים מאשר בשנה הקודמת, כנראה בשל התבנית הלא-רציפה ומשך הזמן הארוך של קירור המים והעמקת הערבוב.
14. <u>יצרנות ראשונית</u> – תבנית היצרנות הראשונית דומה בשנים האחרונות וגם השנה לא היו מדידות חריגות. עם זאת, בנוסף לשיא היצרנות הצפוי בחודש מרץ, נמדדה יצרנות גבוהה בפני הים גם בחודש יוני. יתכן כי זו הושפעה מכניסת נוטריינטים מאזור החוף הצפוני, כפי שנמצא במדידות החופיות. נראה כי דינאמיקת הפריחות מושפעת מגורמים נוספים לעומק המרבי אליו הגיע ערבוב עמודת המים, ויתכן כי תדירות המדידות (חודשית) אינה מספקת לאפיין זאת. במבט על חודשי הקיץ "האוליגוטרופי" לא ניכרת מגמה של שינוי במצב המערכת.

<u>מדידות רציפות משלימות</u>

15. <u>כלורופיל בפני הים בסמוך לשונית</u> (מדידה יומית) – ריכוזי הכלורופיל בסמוך לשונית מראים תנודות חדות. בהתאמה לערבוב המתמשך השנה, נמדדו ריכוזי כלורופיל גבוהים בחודשים מרץ-אפריל-מאי. ערכים אלה לא היו גבוהים במיוחד ובדרך כלל נותרו נמוכים מהערך הרב שנתי הממוצע לחודשים אלה. במשך רוב השנה היו ריכוזי הכלורופיל אשר נמדדו מדי יום בסמוך לשונית נמוכים מהערך הממוצע הרב-שנתי וגם השנה לא היתה פריחת אביב משמעותית.
16. <u>טמפרטורת פני הים בסמוך לשונית</u> (מדידה יומית) – טמפרטורת פני הים היתה גבוהה מהערך הממוצע הרב שנתי במשך רוב השנה. ורוב הקיץ היתה גבוהה גם מגבולות 90% מהמדידות. בממוצע היתה זו שנה חמה וטמפרטורת פני הים השנתית הממוצעת היתה השלישית הגבוהה שנמדדה על ידי תכנית הניטור, נמוכה מעט מהשנה הקודמת, 2018, שהיתה החמה ביותר שנמדדה בניטור ומשנת 2010 בה היתה טמפרטורת חורף גבוהה. מאז שנת 1988 מתועדת מגמה של עליה בטמפרטורת פני הים בשמורת חוף אלמוג.
17. <u>מטאורולוגיה</u> (מדידות רציפות) – מדידות התחנה המטאורולוגית שיקפו מחזור רגיל של שנה ממוצעת, ללא אירועים חריגים. טמפרטורת מי הים אשר נמדדה באופן רציף מהמזח של המכון הבינאוניברסיטאי היתה דומה לזו שנמדדה בשנה הקודמת, עם ערך מירבי של כמעט 30 מעלות.
18. <u>אירועי גשם </u>– השנה נרשמו אירועי גשם רבים אשר חלקם יצרו זרימות שהגיעו גם לים. בפרט תועד אירוע חזק בתחילת חודש מרץ (9 מ"מ נמדדו במכון הבינאוניברסיטאי) אשר הסיע כמויות גדולות של נגר וסדימנט אל הים.

תנודות רב-שנתיות ומגמות שינוי

שונית האלמוגים

1. כיסוי אלמוגי אבן – אחוז הכיסוי של אלמוגי אבן חיים הוא המדד העיקרי המשקף את מצבה של שונית האלמוגים לאורך זמן. בין השנים ובין האתרים המנוטרים ישנם הבדלים במידת הכיסוי.
בשנות הניטור הראשונות (2004-6) כיסוי האלמוגים הממוצע בשוניות אילת היה 19-20%. בשנים 2007-12 עלה הכיסוי הממוצע ונע בטווח הערכים 21.5-23.9%. בשנת 2013 נמדד הכיסוי המרבי בתקופת הניטור, 26.4±5.2%, בשנים האחרונות נע הכיסוי הממוצע בטווח 24.0-25.3%. השינויים באחוז הכיסוי אינם מונוטוניים ואינם זהים בכל האתרים, אך לאורך תקופת הניטור ישנה מגמה מובהקת של עליה באחוז הכיסוי הממוצע של אלמוגי אבן בשוניות אילת הנסקרות, אף כי נראה שמגמה זו נחלשת בשנים האחרונות.
2. צפיפות וגודל מושבות אלמוגי אבן – גם 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 אם כי עדיין גבוהה משהיתה בשנים הראשונות לניטור. לאורך השנים נמצאת גם עליה בחלקן של מושבות אלמוגים בינוניות וגדולות, המצביעה על שרידות גבוהה יותר משהיתה בשנות הניטור הראשונות.
3. מדד הרקמה החיה באלמוגי אבן – מדד זה מצוי בירידה, מאז 2012. עם זאת, השינויים במדד זה קטנים. 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 (דוגמת נחשונק וגלילן צהוב נקודות אשר זוהו על ידי סוקרי התכנית) ומיני דגים שהיו נדירים נצפים לעיתים קרובות יותר. ישנה עליה גם במספרם של קיפודי ים שאינם שייכים למין הדומיננטי *D. setosum*.

הסביבה החופית

5. 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".
6. פורמניפרים בנתונים בקרקעית הרכה באתר כלובי הדגים – באתר כלובי הדגים לשעבר מתועדת התאוששות בחברת הפורמניפרים הבנתונים מאז הוצאת הכלובים בשנת 2008 (Oron *et al.*, 2014). סדרת שטפונות פגעו באתר בחורף 2012-13, ולאחריו החלה מגמת התאוששות שהיתה מהירה בהרבה מההתאוששות שתועדה בעקבות הוצאת כלובי הדגים ומעידה על מערכת בריאה.

עמודת המים בים העמוק

7. ריכוזי נוטריינטים וחמצן מומס – המערכת האקולוגית, ובפרט הדינמיקה השנתית של ריכוזי נוטריינטים וחמצן במים וזמינותם לאוכלוסיות הפיטופלנקטון בים הפתוח, מונעת על ידי הערבוב העונתי בעמודת המים. הדינאמיקה הרב-שנתית מושפעת מעומק הערבוב ומשכו ומכמויות הנוטריינטים שנצברו במי העומק. זוהי השנה השביעית בה מי העומק (עמו מ-500 מטרים) אינם מעורבבים עם המים העליונים. על כן, ריכוזי הנוטריינטים במי העומק הוסיפו לעלות השנה וריכוזי החמצן הוסיפו לרדת – אך קצב השינוי נמוך ונראה כי המערכת קרובה לשיווי משקל.

8. טמפרטורת המים – טמפרטורת מי העומק ירדה בשנים 2007-2008 כתוצאה מהערבוב העמוק בשנים אלה, ובשנים האחרונות נמדדת עלייה קלה בטמפרטורות במים העמוקים. על אף הערבוב העמוק בשנת 2012 לא ניכרת ירידה בטמפרטורת המים העמוקים מ-500 מטרים. מגמת 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 2019

Dr. Yonathan Shaked, Program Manager
Prof. Amatzia Genin, Scientific Director
(March, 2020)

Introduction

This report describes the work and results of Israel's National Monitoring Program in the Gulf of Aqaba (Eilat) – NMP – in 2019. 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.

This year, several modifications to newly implemented measurements were made and these are described in their respective chapters. Coral settlement plates were placed at KATZA for the first time, making it the third site for this survey (in addition to the Interuniversity and the nature reserve sites). This survey is meant to document temporal changes in coral recruitment patterns at these sites. We extended surveys of seagrass cover to the depth of 30 meters in order to better quantify the extent and health of seagrass patches in the north and south beaches of Eilat. We recently changed the protocol of treating and splitting soft sediments that are collected to evaluate changes to the benthic communities at two soft-sediment sites, and are in the process of refining taxonomic identification for these communities. 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-year and particulate data is only available for January-March this year. We are in the process of acquiring a replacement array that will be deployed in the future. ARMS benthic settlement arrays were placed at two locations last year and the first array was retreaved this year and sent for processing.

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.

Key findings of this year

The coral reefs of Eilat

1. Live cover and density of stony corals – The surveyed reef sites differ considerably in their respective live coral cover, due mainly to differences in sea floor substrate. This year's average coral cover at all sites was 24.9±4.5%, a little higher than last year's average (24.0±4.0%). The average colony density this year is still low relative to last few years, 27.7±3.2 colonies per ten-meter long line transect, compared to last year's 28.2±3.6 that was also on the low side. The average colony density at all sites increased from 2010 to 2017, although year to year changes are small.
   Over the monitored period a significant increase in the average live coral cover was measured, but this trend seems to weaken in recent 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. This year coral density is similar to that measured in the previous 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, but the changes are small. 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.
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. Reef flat – Due to its unique character, the reef flat at the coral reserve is considered separately from the fore-reef sites. This year's coral cover and colony density at the reef flat remain unchanged and seem to be stable over the past three years. The reef flat is more sensitive to external forcings than fore-reef sites, and its coral diversity is lower. Massive stony corals dominate the reef flat whereas branching corals are common at fore-reef sites.
6. 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 is coral *Stylophora pistillata* (comprising some 40% of all colonies at the lagoon). Between the summers of 2009 and 2010 there was a large drop in coral density at the lagoon, and especially in that of the dominant coral, as a result of several strong storms. In recent years an increase is measured although density this year decreased and it is still lower than that of the initial years of monitoring.
7. Coral settlement in the reef – The NMP started monitoring coral settlement in 2015, using settlement plates placed at two reef sites, the nature reserve and the IUI, but the monitoring procedure has changed from year to year based on our initial findings. This year a third site (at KATZA) was added and the sampling protocol seems adequate. More coral settlers are found at the nature reserve site than at the IUI, and they also seem to grow better. The new sampling site at KATZA seems to place in between those two, but more similar to the nature reserve site. Settlement patterns at the reserve are more constant throughout the season, whereas at the IUI the largest number of settlers was found on plates retrieved in September, and on plates retrieved later a drop in the number and size of coral spats was documented.

8. Sea urchins – Of the invertebrates, sea urchins are the most important group of reef grazers and of this group, *Diadema setosum* is the most abundant species in Eilat. Its density fluctuates from year to year and dictates the density of the entire urchin population. Sea urchin density was lower this year than in the past two years.

Coastal Environs

9. Nutrient concentrations in coastal waters – Concentrations of nutrients are commonly high during winter and very low during summer. The process that dictates these dynamics is the seasonal mixing driven by cooling of the sea surface in winter, which brings nutrient-rich deep waters to the shallow coastal areas. This year's seasonal mixing was long but not continuous and reached a maximum depth of some 450 meters in April. As a result of the discontinuous mixing process and medium depth most concentrations in the open sea were as low as those of shallow mixing years. Against this low concentrations background irregularly high nutrient concentrations were measured during June-July in the northern coastal sites and particularly the "North Beach" site.
   In addition to the routine monitoring measurements, high turbidity and massive algae blooms were often reported near the outlet of the Kinnet channel, perhaps resulting from infrastructure works at and around th channel. Such occurrences were also reported in the previous year.
10. Sea-grass – In the years that sea-grass is monitored meadows at both monitored sites (northern and southern beaches) are extensive, covering much of the available soft-sediment seafloor, and cover increases with depth at the examined range of 10 to 20 meters. This year sea-grass cover at both sites was also surveyed at 30 meters depth and was found to increase in richness in the southern site while at the northern site it begins to dwindle at that depth. In contrast sea-grass cover at 10 meters depth at the southern site was sparse this year. It is likely that sea-grass cover fluctuates seasonally and inter-annually, but it is still early to detect patterns in these changes.

The deep water column

11. Vertical mixing – Cooling of the water column this year was long but discontinuous, and reached a maximum depth of some 450 meters. This is deeper than in the previous two years but still did not affect the deep water column. This is the seventh year (since 2012) in which waters deeper than 500 meters are discontented from the sea surface.
12. 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, although at a slow rate. This year, seven years after the last deep mixing event, nutrient and oxygen concentrations in deep water reached the levels of 2011, before the deep mixing of 2012 and only three years after the previous deep mixing (2008). These are still much lower compared to the values measured in the initial years of monitoring.
13. *Chlorophyll-a* and phytoplankton concentrations – Concentrations of *chlorophyll-a* and of unicellular plankton in the water column measured this year are characteristic of years in which water column mixing is not deep. Although mixing was deeper than in the previous two years this year's concentrations were not higher, probably as a result of the long, irregular and discontinuous pattern of mixing this year.
14. Primary productivity – The pattern of primary productivity was similar to the past few years, without outstanding values. However, in addition to the expected spring productivity peak this year productivity was also high in June. This may have been fueled by nutrient input detected at the northern coastal stations during that month.
   It seems that bloom dynamics is influenced by various factors in addition to the maximum depth of vertical mixing and it may be that the monthly sampling frequency of the NMP cruises is not sufficient to accurately characterize it. Looking at the "oligotrophic" summer period, there seems to be no change in the overall state of the system.

Supplementary continuous measurements

15. Sea surface *chlorophyll-a* next to Eilat's coral reef (daily measurement) – *Chlorophyll*-a concentrations fluctuate sharply and frequently. In accordance with this year's rather long mixing period, annual peak *chl-a* concentrations were measured during March-April-May. These concentrations, however, were not particularly high and were generally lower than the multi-annual mean values for those months. Throughout most of the year *chlorophyll*-a concentrations next to the reef were lower than the multi-annual average and there was no significant spring bloom.
16. Sea surface temperatures next to Eilat's coral reef (daily measurement) – Throughout most of this year sea surface temperature was higher than the multi-annual average and summer temperatures were also higher than the 90% percentile of the past thirty years. On average this was a particularly warm year and the average annual SST was the third highest measured so far, only exceeded by the years 2010 and 2018. An overall rise in SST next to the nature reserve reef is documented since 1988.
17. Meteorology (continuous measurement) – Meteorological measurements reflected a regular annual cycle without significant abnormalities. SST measured continuously at the IUI pier was high throughout the year, with a maximum of nearly 30°C, similar to that of the previous year – that was on average the warmest year on the NMP record.
18. Rain events – Several rain events occurred this year, with a particularly intense rain storm at the beginning of March (9 mm were measured at the IUI) that brought considerable runoff and suspended sediment to the sea.

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 fluctuations in the live coral cover between sites and years 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%. Changes in live coral cover are not uniform and vary from site to site, but overall a significant rise in coral cover is revealed by NMP measurements. In recent years the trend of increased coral cover seems weaker and this year a slight decrease was measured.
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. 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 and the expected number of genera encounters per 1500 individuals change only slightly from year to year, indicating a stable community structure.
   Among reef dwellers other than corals, surveys in recent years record the presence of basket-stars (*Astroboa nuda*) and Yellow-spotted sea cucumber previously unreported in Eilat, as well as frequent sightings of fish that were thought to be rare. In recent years there is also an increase in the number of sea urchins other than the dominant *D. setosum*.

Coastal Environs

5. 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.
6. 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.

The deep sea water column

7. Concentrations of dissolved oxygen and nutrients – The Gulf's ecology, particularly the annual dynamics of dissolved oxygen and nutrients and their availability to phytoplankton, is controlled by seasonal mixing of the water column. The multi-annual dynamics are controlled by the depth and duration of mixing, and the concentration of nutrients in the deep waters.
   This is the seventh year in which waters deeper than 500 meters are not mixed with surface waters. Therefore, nutrient concentrations continued to rise, and oxygen concentrations to drop in the deep waters, but the rate of change is small and it seems that the system is close to equilibrium.
8. 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 water temperatures continues.
   A corresponding trend of rise in sea surface temperatures in Eilat is documented since 1988.

List of Tables and Figures

Tables

Figures

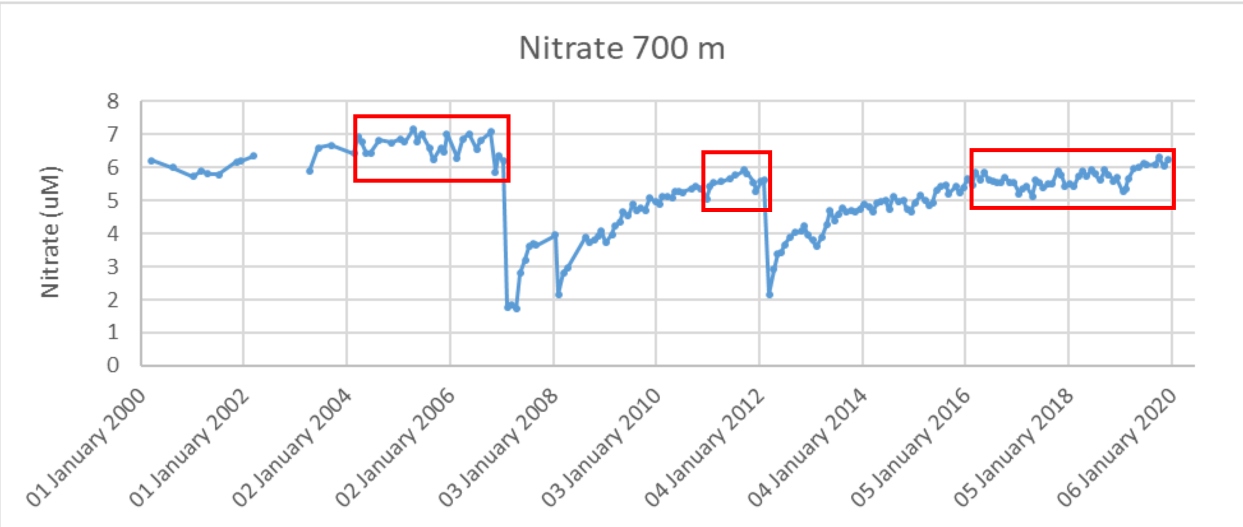
א.5. בחינת מגמות במצב המערכת הימית בצפון מפרץ אילת

1) מגמות בריכוזי נוטריינטים בעמודת המים

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

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- 2016-2019. עם זאת, נתוני השנים 2011-2012 מוצגים גם הם. תחומי הזמן וממוצעי כל אחד מהפרמטרים (± ס.ת.) מפורטים בטבלה א2 יחד עם תוצאות המבחנים הסטטיסטיים להבדלים בין התקופות.

ריכוזי שלושת הנוטריינטים והחמצן היו שונים באופן מובהק בשלוש התקופות הנ"ל (non parametric one-way ANOVA: Kruskal-Walis P < 0.0001). ריכוזי שלושת הנוטריינטים העיקריים ירדו (ניטראט, פוספאט וסיליקה) וריכוזי החמצן עלו בין התקופות הנבדקות (non parametric one-way ANOVA: Kruskal-Walis P < 0.0001) בין התקופות. מבחן הפוסט-הוק א-פרמטרי (Dwass-Steel-Chritchlow-Fligner) הצביע על כך שעבור כל הפרמטרים, התקופה הראשונה והתקופה השלישית נבדלו באופן מובהק מאחת מהתקופות האחרות ולעיתים משתיהן (טבלה א2). בתקופה הראשונה ערכי הנוטריינטים היו גבוהים מאשר בשתי התקופות האחרות בעוד שערכי החמצן היו אז נמוכים יחסית לתקופות האחרות.



איור א2: סדרת הזמן של ריכוזי ניטראט בעומק 700 מטרים בתחנה A עם סימון שלושת המקטעים המייצגים תנאים קרובים לשיווי משקל לאחר ערבוב אנכי עמוק (ריבועים אדומים, ראו גם טבלה א2). 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	20.97 (±0.051)	161.05 (±3.0)	6.66 (±0.32)	0.36 (±0.03)	3.51 (±0.4)
2*	17/1/11-8/2/12	21.04 (±0.016)	170.32 (±2.4)	5.61 (±0.18)	0.31 (±0.02)	3.16 (±0.1)
3	18/1/16-16/12/19	21.14 (±0.026)	171.16(±3.04)	5.68 (±0.27)	0.33 (±0.02)	3.22 (±0.15)
Kruskal-Wallis P value		****	****	****	****	****
Dwass-Steel-Chritchlow-Fligner post hoc pair-wise test		a,b,c	a,b,c	a,b,c	a,b,c	1v2, 1v3, 2v3

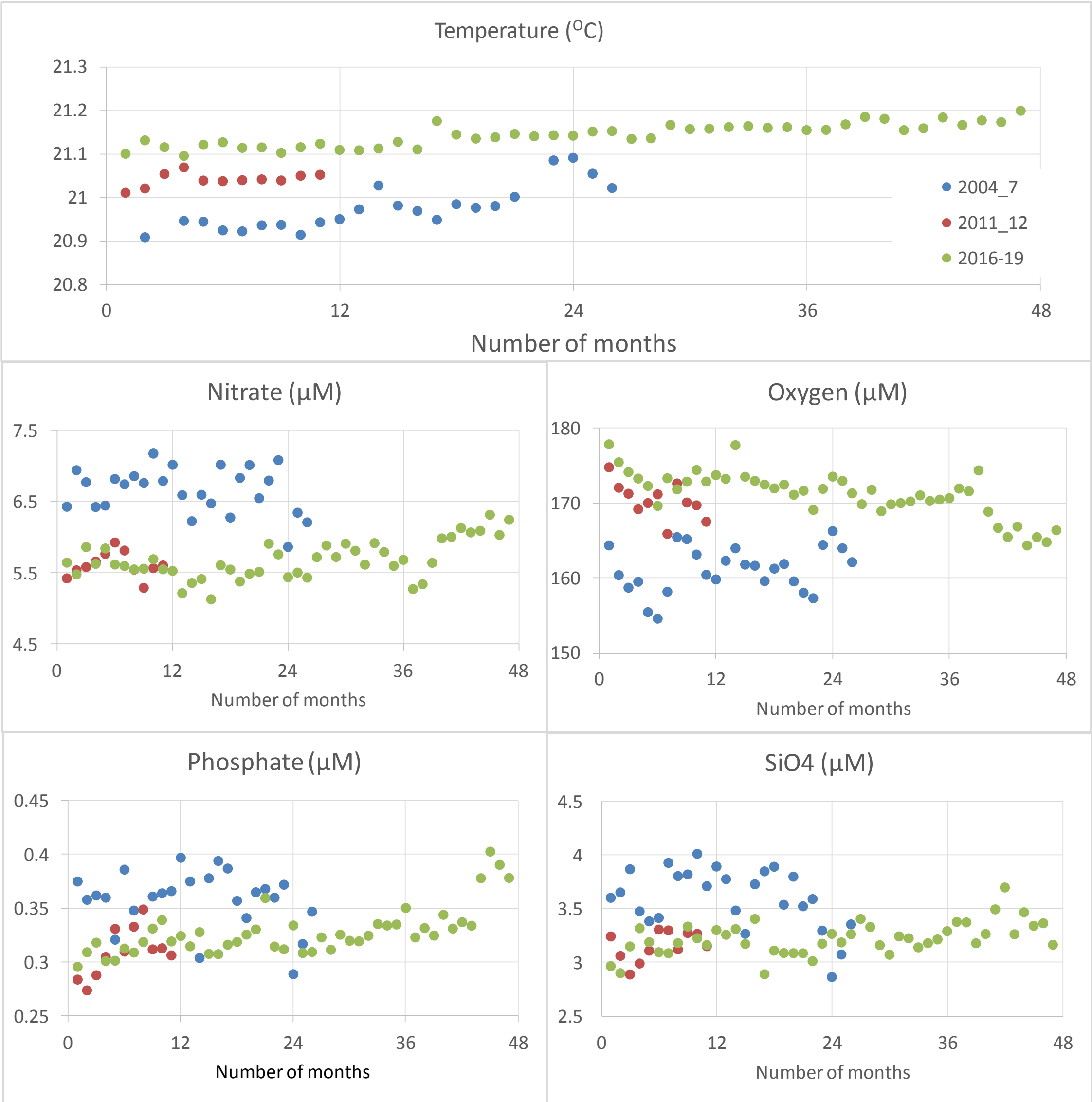
טבלה א2: שלוש התקופות בהן ערכי הנוטריינטים והחמצן המומס הגיעו למצב הקרוב ל-steady state לאחר ערבוב עמוק וממוצעי הריכוזים (± סטיית תקן) בעומק של 700 מטרים עבור כל תקופה. ערכי המובהקות של השינוי בין התקופות במבחן א-פרמטרי Kruskal-Wallis מצוינים בכוכביות (** מציין P<0.00001). בשורה התחתונה מצוינות התקופות שנבדלו זו מזו במבחן פוסט-הוק Dwass-Steel-Chritchlow-Fligner להשוואה בין זוגות של תקופות (ובכך תרמו את עיקר ההבדל שנמצא מובהק). שלוש אותיות שונות (a,b,c) מציינות שכל תקופה הייתה שונה באופן מובהק (P<0.05) מכל אחת משתי התקופות האחרות. *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. The bottom row lists the periods that differed one from another in a post-hoc Dwass-Steel-Chritchlow-Fligner test between pairs of intervals. Three different letters (a,b,c) indicate that each period differed significantly (P<0.05) from each of the other two periods. *This period starts three years after deep mixing, rather than four.**

השינויים בערכי הפרמטרים הנבחנים 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 שההשוואה הסטטיסטית הנ"ל בין שלוש התקופות (מבחן פוסט-הוק Dwass-Steel-Chritchlow-Fligner) מראה הבדלים מובהקים בין התקופות, איור א3 מראה שההבדל בין התקופה השנייה לשלישית נובע מכך שמשך התקופה השלישית ארוך פי שלושה, 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 ההצטברות הארוך שחלף מתחילת התקופה, ערכי כל יתר הפרמטרים לא הגיע (עדיין?) לערכים הקיצוניים שנצפו במהלך התקופה הראשונה.

כלומר, ההבדלים הניכרים ביותר הנצפים בתקופת הניטור הם בין התקופה הראשונה (2004-2007) לבין התקופות שלאחר שנת 2011.



איור א3: השינויים בטמפרטורה ובריכוזי החמצן, הניטראט, הפוספט והסיליקה בעומק 700 מטרים בשלוש התקופות הנבחנות (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).

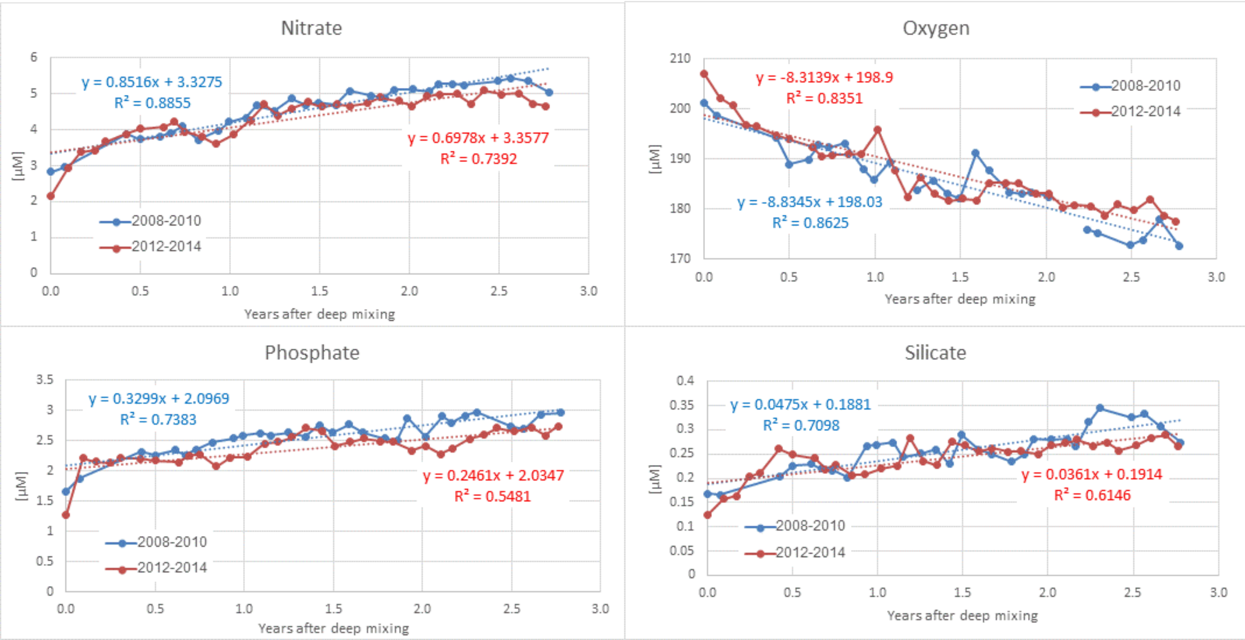
שאלה נוספת היא האם ישנו הבדל מובהק בקצב צבירת הנוטריינטים והחמצן (שיפוע הריכוזים) בעומק 700 מטר לאחר ערבוב עמוק. מתוך הנתונים שאספה תכנית הניטור ניתן לבחון שאלה זו בשני מקטעי זמן בני שלוש שנים ללא ערבוב עמוק לאחר חורף של ערבוב עמוק מ-800 מטרים (2008-2010 ו- 2012-2014). שיפועי הרגרסיה (קצב שינוי לשנה) נתונים בטבלה א3 והנתונים מתוארים באיור א4. 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	-8.516	*2.85*	-7.76	*2.78*
NO_3	0.803	*0.224*	0.616	*0.273*
PO_4	0.288	*0.131*	0.194	*0.126*
SiO_4	0.0455	*0.0242*	0.0316	*0.0211*

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.



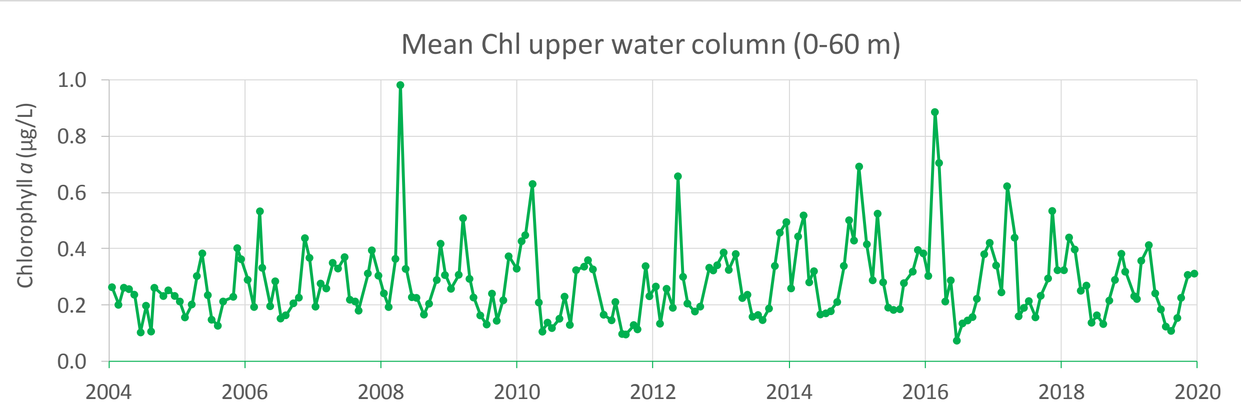
איור א4: קצב השינוי בריכוזי החמצן ושלושת הנוטריינטים העיקריים (ניטראט, פוספאט וסיליקה) בעומק 700 מ' בשלוש השנים שלאחר ערבוב אנכי עמוק, בשתי תקופות הזמן הנבחנות. קצבי השינוי הינם השיפועים של קווי הרגרסיה הלינארית המצוינים על הגרף. קצבי העלייה בנוטריינטים והירידה בחמצן היו חריפים יותר בתקופה הראשונה (טבלה 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, חושב הערך הממוצע של ריכוז כלורופיל a עבור עמודת המים העליונה (0, 20, 40, ו- 60 מ') עבור כל אחת מההפלגות החודשיות לתחנה A. קיומה של מגמה נבחן לאורך כל תקופת הניטור (2004-2019, איור א5). ניתוח רגרסיה לינארית (ריכוז כנגד זמן) הצביע על היעדרו של שינוי מובהק; השיפוע היה מזערי (+0.0027 מ"ג כלורופיל למ"ק לשנה) ולא מובהק (P=0.21).

מסקנה: בהסתמך על נתוני ההפלגות החודשיות בתקופה 2004-2019 ניתן להסיק על היעדרה של מגמת שינוי בריכוזי הכלורופיל בצפון המפרץ.



איור א5: סדרת זמן של ממוצע ריכוז כלורופיל a ב- 60 המטרים העליונים של עמודת המים בתחנה A מאז 2004.

Figure A5: Time series of average chlorophyll-*a* concentrations in the upper 60 meters of the water column in Station A, since 2004.

3) טמפרטורת המים

טמפרטורת המים בפני הים הנמדדת מדי בוקר במזח המצפה התת-ימי מאז 1988 מראה מגמה מובהקת של עליה בקצב של 0.0375 °C לשנה (ערך מובהקות של $P < 0.00001$). מאז תחילת תכנית הניטור ב 2004 ועד היום גדל קצב החימום באופן משמעותי והגיע לערך של 0.06 מעלה לשנה.

בעומק 700 מטרים קצב החימום איטי יותר, 0.0142 OC לשנה, ומובהק (מבחן רגרסיה ליניארית $P<0.000001$).

4) מגמות בשונית האלמוגים של אילת

מגמות בשונית האלמוגים נבחנו על ממוצעים שנתיים של כלל אתרי השונית הנסקרים "ממוצע שוניות אילת" (מלבד גידול אצות ישיבות, באתר IUI בלבד), כמפורט בטבלה א4.

טבלה א4 מצביעה על מגמת עליה מובהקת בכיסוי אלמוגי האבן החיים בשוניות אילת ובצפיפותם. כמו גם על עלייה מובהקת בצפיפות מושבות האלמוגים הבינוניים וירידה מובהקת בצפיפותם של האלמוגים הקטנים. מדד הרקמה החיה באלמוגים, נמצא בירידה מובהקת וכך גם צפיפות מושבות האלמוגים בלגונה וצפיפות קיפודי הים.

בפוטנציאל צמיחת האצות הישיבות בשונית המכון הבינאוניברסיטאי לא נמצאה מגמת שינוי מובהקת לאורך תקופת הניטור, אך בכמות האצות בפועל נמצאה ירידה מובהקת, ברמת מובהקות חלשה, המצביעה על יעילות הרעייה בשונית.

	Reg. coeff.	R^2	P value
Live cover [%]	0.41	0.73	****
Coral density [#/10m]	0.28	0.54	**
Medium corals [#/100m]	2.9	0.92	****
Small corals [#/100m]	-2.03	0.44	**
LTI [%]	-0.3	0.67	***
Urchin density [#/m²]	-0.1	0.6	***
Lagoon corals [#/m²]	-0.13	0.6	***
Algae – potential [mg Chl/cm²]	-0.02	0.09	NS
Algae – realized [mg Chl/cm²]	-0.02	0.27	*

טבלה א4: מקדמי הרגרסיה הלינארית וערכי מובהקותם עבור משתנים מרכזיים בשונית האלמוגים של אילת. הרגרסיה חושבה על ממוצעים שנתיים כנגד זמן (בשנים), כך שמקדמי הרגרסיה מבטאים את קצב השינוי של כל פרמטר לשנה. באדום מצוינים המשתנים עבורם הייתה הרגרסיה מובהקת סטטיסטית. ערכי המובהקות מצויינים 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.

5) סיכום

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 הירידה בגידול האצות הבנתוניות והעלייה בכיסוי האלמוגים וצפיפותם מעידים על המשך השיפור האיטי במצבה של המערכת האקולוגית של צפון המפרץ.

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

לדעתנו, הבעיות הללו קטנות יחסית למגמות החיוביות המסתמנות ומצבה הכללי של המערכת טוב יחסית. עם זאת, נראה שמגמות השיפור נחלשות עם הזמן ועלינו לבחון האם המערכת מגיעה למצב יציב חדש, טוב יותר מאשר לפני עשור וחצי, או שמא מדובר בהיפוך המגמה ותחילתה של הידרדרות מחודשת.

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	נצבר לאט יותר (שינוי הריכוז בשלוש שנים)	↑
$Si(OH)_4$	נצבר לאט יותר (שינוי הריכוז בשלוש שנים)	↑
ריכוזי כלורופיל בעמודת המים העליונה (60 מ')	ללא מגמה (אינטגרל על 60 מ' עליונים)	-
טמפרטורת פני הים	עליה	↓
שונית האלמוגים		
כיסוי אלמוגים חיים	עליה (%)	↑
צפיפות אלמוגים	עליה (מושבות\חתך)	↑
צפיפות מושבות בינוניות	עליה (מושבות\חתך)	↑
צפיפות מושבות קטנות	עליה (מושבות\חתך)	↓
מדד הרקמה החיה	ירידה (% חי במושבות אלמוגים)	↓
צפיפות אלמוגים בלגונה	ירידה (מושבות\קוודרט)	↓
צפיפות קיפודי הים	ירידה (פרטים\חתך 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 deep water concentrations change over the period (see Table A3). ↑= improvement, ↓=deterioration, - = no trend.

א.6. המלצות

I. שונית האלמוגים מצויה במצב טוב יותר בשנים האחרונות בהשוואה לשנים הראשונות של הניטור, אולם לאחרונה נראה כי שינויים לטובה איטיים יותר וישנם גם מדדים המצויים בירידה. השונית פגיעה למגוון לחצים אנושיים כמו גם טבעיים – כגון פריחת אצות בנתוניות ופלנקטוניות, התפרצות מחלות ותמותה של דגי שונית, זרימת מי שיטפונות, סערות ועוד. גם הגורמים "הטבעיים" האלה מושפעים מהתערבות אנושית – הצטברות חומרי דשן במי הים או במי הנגר השוטפים אל הים מעודדת פריחות אצות וחדירת חיידקים פתוגנים העשויה, בהיווצר התנאים המתאימים, לגרום לפגיעה קשה בבע"ח מקומיים.
תנודות בכיסוי האלמוגים ופריחות אצות הם חלק מהמערכת הטבעית, ואחת ממטרות הניטור לאורך זמן היא לעקוב ולזהות מחזורים שכאלה. לא ניתן להמליץ כאן על פעולה ישירה, למעט נקיטת משנה זהירות בכל הנוגע לפעולות העלולות לפגוע בשונית. בין היתר רצוי למנוע, עד כמה שניתן, פגיעה פיסית בשונית והעשרה בנוטריינטים שתעודד פריחת אצות, פגיעה בבתי הגידול התומכים, כגון עשבי הים, ולנקוט זהירות בכל הנוגע לפלישות פתוגנים לצפון המפרץ.

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 (גידול בפועל של אצות צמודות מצע, בניתוח המגמות למעלה) נעשה ביעילות. עם זאת, 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.

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. יש להגביר את המאמצים לצמצם תופעה זו ויש להמשיך במאמץ למסד ניטור כימי של המים הנכנסים לים 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. 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 לשימור ועידוד ההתפתחות של חברות הקרקעית הטבעיות בבית הגידול החולי בחופים הצפוניים, למשל על ידי ניהול האזור כשמורת טבע ימית.

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. לא ניתן להצביע על גורם נקודתי אחד בשטחנו בו ניתן לטפל ישירות, אך נראה כי יכולתה של המערכת להתמודד עם עקות אינה גדולה. הקושי צפוי אף לגדול עם התגברות גורמים "גלובליים" כגון חימום מי הים ושינוי רמת חומציותם. על כן, ראוי למנוע עד כמה שניתן הצטברות גורמי עקה מקומיים הניתנים למניעה מכיוון שמערכת מוחלשת תתקשה להתמודד עם מגוון עקות הפועלות במקביל.

ב. שונית האלמוגים

ב.1. סקר חברת השונית

מטרה

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

שיטות

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

אתר	סימול	קו רוחב	קו אורך	עומקים (מ')
המכון הבינאוניברסיטאי (מעבדה ימית)	IUI	34º55'.02	29º30'.07	5,10,15
השמורה הסגורה (גנים יפנים)	NR	34°55`.26	29°30`.33	1,5,10,20
קצא"א (בין המזחים)	KATZA	34°56`.04	29°31`.37	10, 20

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 ב2). אלמוגים חיים (אלמוגי אבן ואלמוגים רכים) וחסרי חוליות אחרים זוהו לרמת הסוג, ובמידה והתאפשר אף לרמת המין (רשימת האלמוגים שנרשמו בכלל החתכים מופיעה בנספח ז2, טבלה ז1). בכל חתך נרשם גם סוג המצע תחת סרט המדידה (סלע חשוף, חול, חלוקים, אלמוגים מתים, וכו').

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

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

בדיקה של אמינות ההערכה נעשתה באמצעות סימולציה ממוחשבת בשנת 2008. תוצאות הסימולציה הצביעו על דיוק גבוה של ההערכה ושל המדד המחושב ממנה (התכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת דו"ח מדעי 2008, נספח ז3).

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

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

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

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

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

מגוון מינים לפי מדד Shannon Wiener (משוואה ב1, כש- P_i הוא פרופורציית מספר המושבות של מין (או סוג) i מתוך סה"כ n המינים (או הסוגים) שנספרו) הוערך על ידי תכנת EstimateS (Colwell, 2005;
http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS) עבור כל אחד מהאתרים. התכנה צוברת את נתוני החתכים שנמדדו לקבלת עקומת רוויה: 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.

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

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

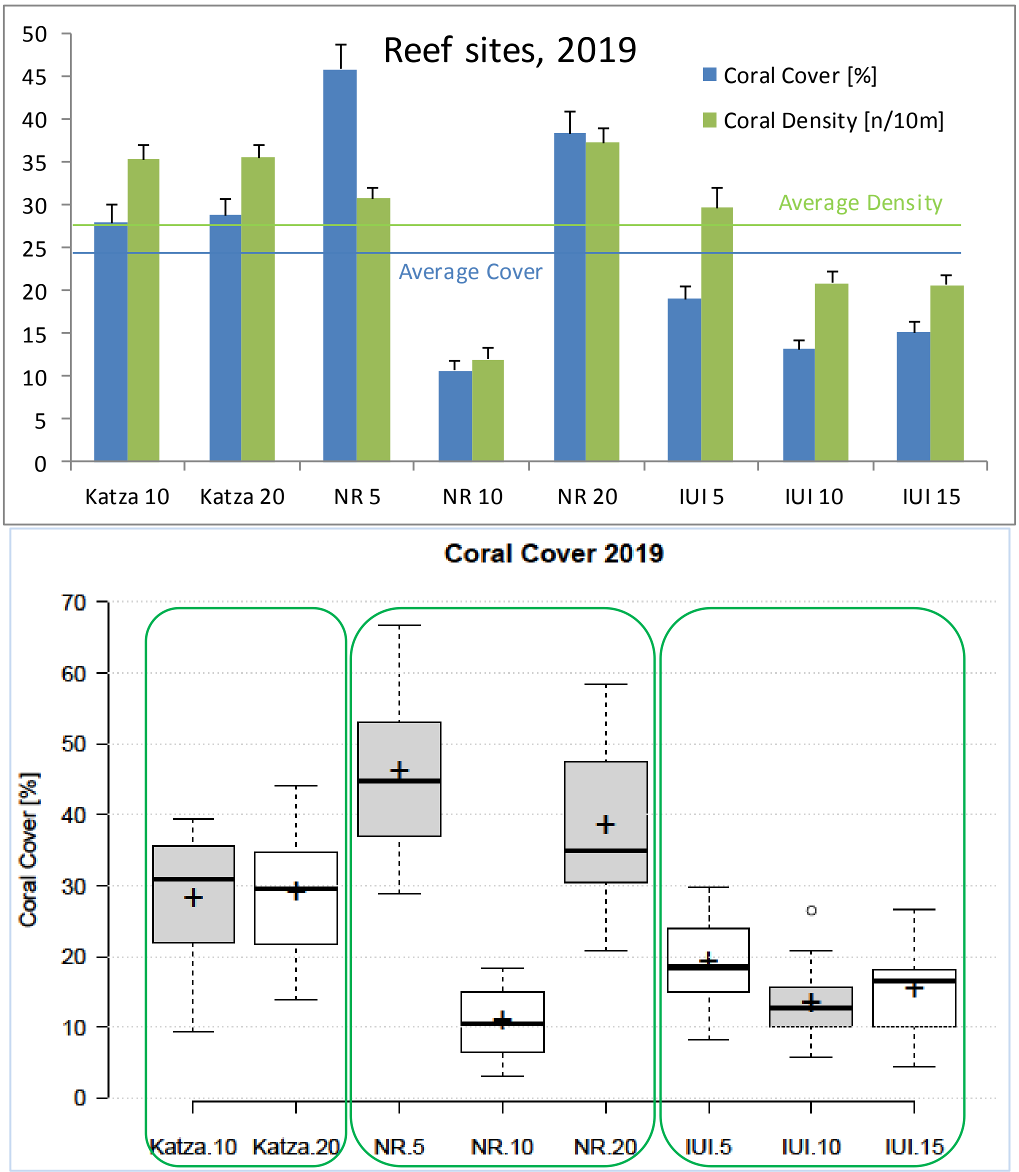
<u>קווי שגיאה מייצגים את שגיאת התקן</u>, אלא אם מצוין אחרת.

תוצאות:

<u>כיסוי אלמוגים וצפיפות מושבות</u>

אחוז השטח המכוסה אלמוגי אבן חיים שונה מאד בין האתרים, וכך גם צפיפות האלמוגים (איור 3ב). כיסוי האלמוגים הגדול ביותר נמצא בשונית הרדודה בשמורת האלמוגים (5-NR), בה נמדד השנה כיסוי אלמוגי אבן של 45.8±2.8%. הכיסוי הנמוך ביותר נמצא באתר השמורה בעומק עשרה מטרים (10-NR), עם 10.7±1.1% כיסוי בלבד. אתר זה הוא גם האתר עם צפיפות המושבות הנמוכה ביותר (מספר המושבות הממוצע בקו של עשרה מטרים) ומצב זה משקף בעיקר את היותו אתר חולי בעיקרו, שהשונית 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.

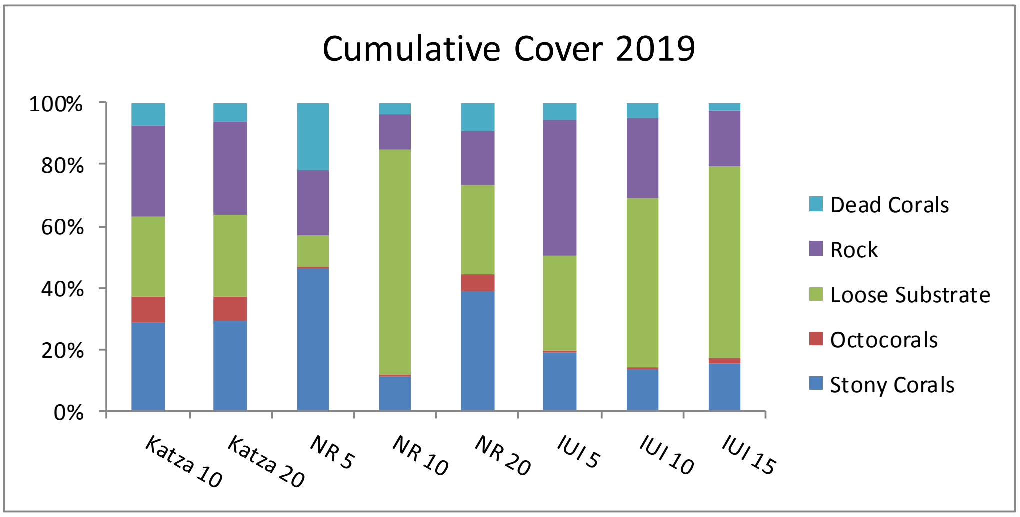
כיסוי האלמוגים הממוצע באתרי השונית הנסקרים היה השנה 24.9±4.5%, וצפיפות המושבות הממוצעת היתה 27.7±3.2%.



איור 3ב: למעלה, צפיפות המושבות ושטח הכיסוי הממוצע של אלמוגי אבן חיים בכל אתר בשנת 2019. למטה, דיאגרמת קופסה של כיסוי האלמוגים החי בכל אתר: קו אמצע מייצג את החציון; הקופסה מייצגת את האחוזונים ה-25 וה-75 כפי שחושבו על ידי תכנת R; השפמים נמשכים 1.5 פעמים מהאחוזונים ה-25 וה-75; מדידות חריגות מופיעות כעיגולים; צלבים מייצגים את הממוצע.

Figure B3: Top, the average live stony coral cover and colony density at each site, in 2019. Bottom, box-plot of the stony coral cover at each site: center lines show the medians; box limits indicate the 25th and 75th percentiles as determined by R software; whiskers extend 1.5 times the interquartile range from the 25th and 75th percentiles, outliers are represented by dots; crosses represent sample means.

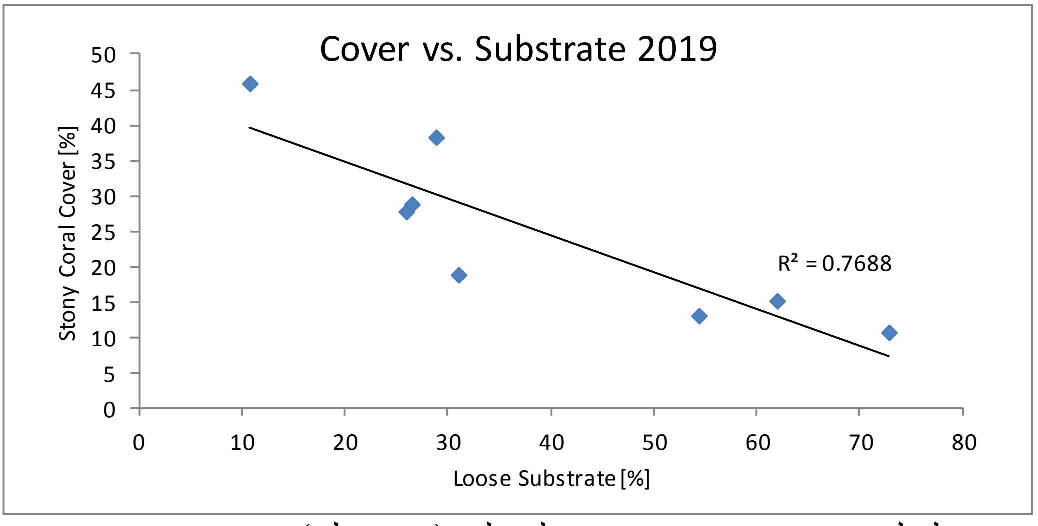
ההבדלים בין האתרים באחוז כיסוי האלמוגים משקפים בעיקר את אופיים השונה של בתי הגידול. הבדלים גדולים בין האתרים הנסקרים (מלבד הבדלים בעומק) ניכרים בהתפלגות סוג המצע עליו עשויים אלמוגים להתיישב (איור 4ב). אתר השמורה NR-10 בו כיסוי האלמוגים קטן ביותר הוא אתר חולי בעיקרו, ואילו רדוד יותר – אתר NR-5 – הוא אתר שרובו שונית רציפה ואחוז המצע הלא-מלוכד בו נמוך. ההבדלים באופי המצע בין האתרים נשארים יציבים בין השנים וכמות הקרקעית הלא מלוכדת (חולית, בעיקר) מכתיבה את מידת הכתמיות של השונית בכל אתר. באתרים בהם מצע חולי הוא מרכיב חשוב וגורם למופע כתמי של השונית ישנה שונות טבעית גבוהה ושגיאות גדולות יותר בהערכת אחוז הכיסוי הממוצע. מקדם השונות של כיסוי האלמוגים באתר כלשהו (שילוב של מיקום ועומק) נע השנה בין 25% (באתר NR-5) ל-44% (NR-10). מקדם שונות גבוה מצביע על כתמיות חזקה של מפזר האלמוגים באתר, ועל מגבלת דייקנותו (precision) של הערך הממוצע.



איור 4ב: 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 5ב). המתאם השנה עומד על R^2=0.77. כך, נמצא שחלק גדול מן ההבדל באחוז הכיסוי החי בין האתרים מוסבר באמצעות הבדלים באחוז המצע הלא מלוכד, אשר אינו מתאים להתיישבות אלמוגים.



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

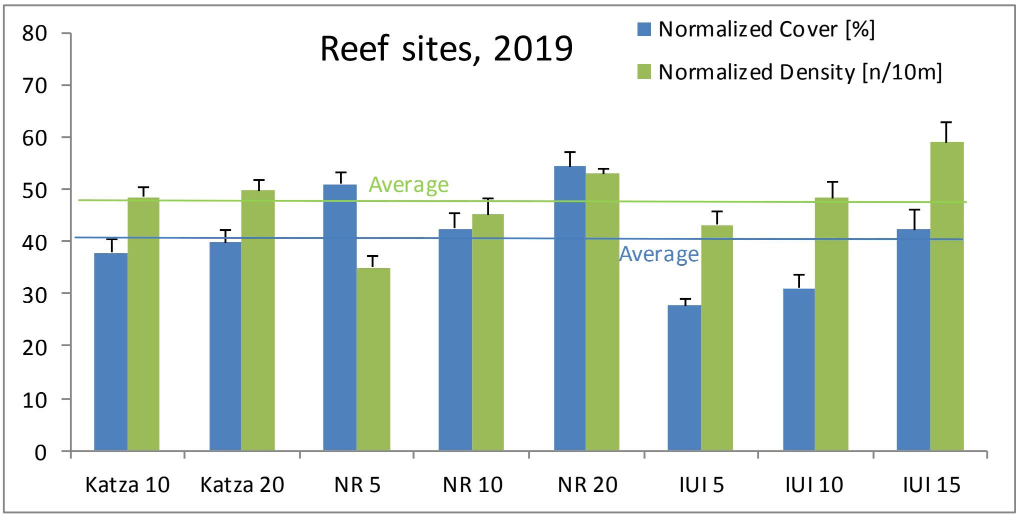
Figure B5: Percent live stony coral coverage versus unconsolidated (sandy) sea floor in the sites examined.

לצורך השוואה בין אתרים ועל מנת לאתר הבדלים בצמיחת אלמוגים באתר זה או אחר שאינם נובעים מסוג המצע, ניתן

לנטרל את ההבדלים בכמות הקרקע הלא מלוכדת בין האתרים על ידי התבוננות באחוז כיסוי האלמוגים על גבי קרקע מלוכדת בלבד. ניצול המצע המתאים להתיישבות אלמוגים מחושב כיחס בין אחוז הכיסוי החי וסכום האחוזים של הקרקע המלוכדת והכיסוי החי (ועוד שלדי אלמוגים מתים), בהנחה שהמצע המתאים להתיישבות אלמוגים הוא קרקע מלוכדת (סלע) בלבד ושכל האלמוגים יושבים על מצע כזה (איור ב6).

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 (54.5±2.7%), מעט יותר מאתר השמורה הרדוד, ואתר המעבדה הימית בעומק הרדוד, 5 מטר, הוא בעל הכיסוי המנורמל הנמוך (27.7±1.5%). כיסוי אלמוגי אבן על גבי מצע מלוכד באתרי השונית היה השנה 40.8±3.2%, בממוצע.

צפיפות המושבות על גבי קרקע מלוכדת גבוהה בכל האתרים (בממוצע נמצאו 47.8±2.5 מושבות בחתך קרקע מלוכדת מנורמל לעשרה מטרים).

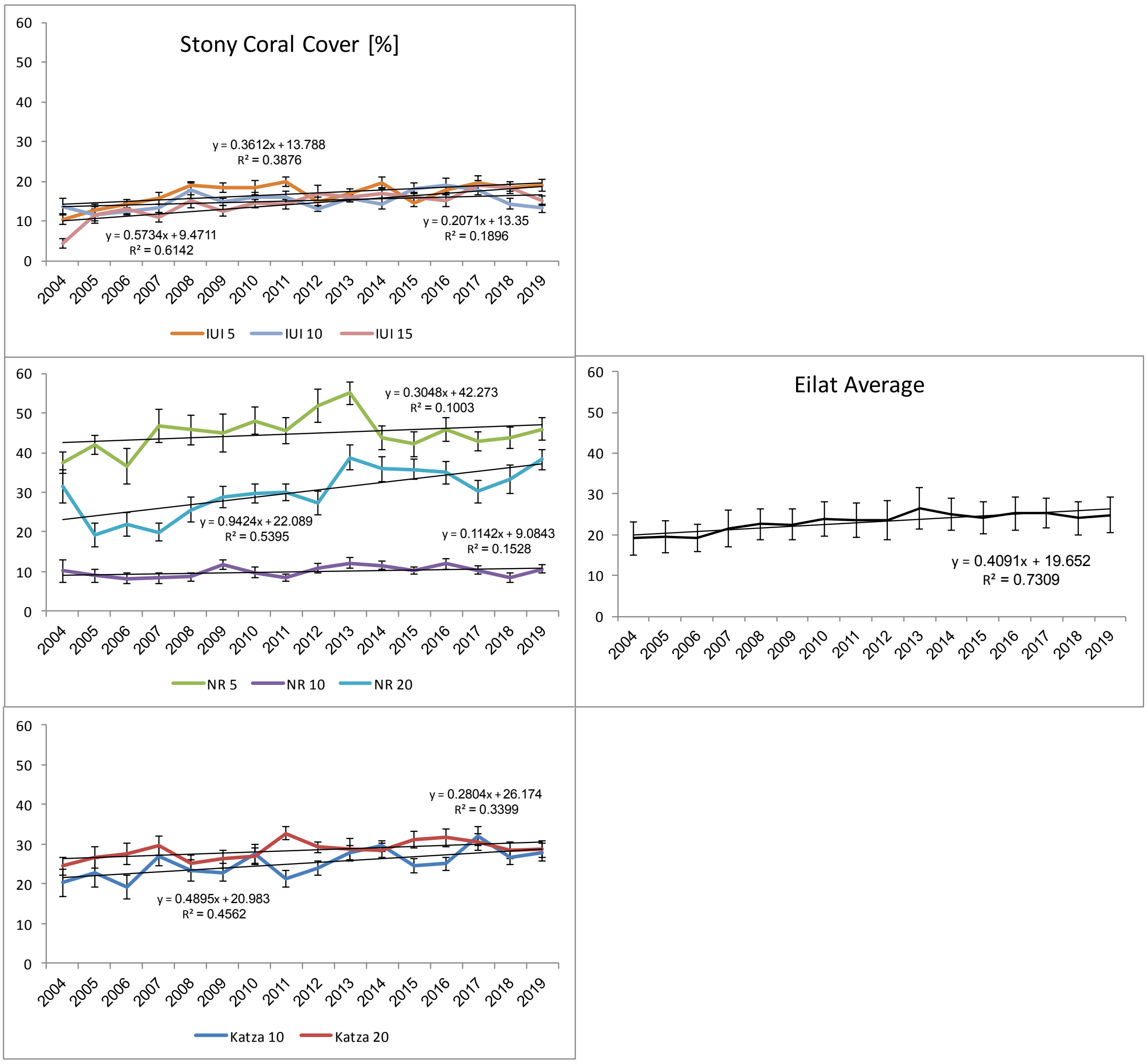


איור ב6: ניצול המצע המתאים להתיישבות אלמוגים בשנת הניטור 2019. אחוז הכיסוי וצפיפות המושבות של אלמוגי אבן חיים מתוך סך הקרקע הסלעית בכל אתר.

Figure B6: 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.

בהשוואה לשנים קודמות, כיסוי אלמוגי האבן הממוצע בשוניות אילת אשר נמדד השנה גבוה מעט מהערך שנמדד בשנה הקודמת (הכיסוי הממוצע שנמדד השנה בשוניות אילת עומד על 24.9±4.5%, ואילו בשנה הקודמת נמדד כיסוי אלמוגים של 24.0±4.0%, איור ב7). כסוי אלמוגים חיים גבוה בהשוואה לשנה הקודמת נמדד בששה מתוך שמונה האתרים. הכיסוי הממוצע באלמוגים חיים הנמדד באתרי אילת היה 19.1±4.1% בשנת 2004, תחילת הניטור, וגבוה ביותר בשנת 2013 (26.4±5.1%). על אף שההבדלים בין שנים אינם מובהקים, במבט לאורך תקופת הניטור כולה ישנה מגמה מתונה של עליה לאורך זמן (בשלוש השנים הראשונות לניטור נמדד כיסוי ממוצע שנע סביב 19%, ובשנים האחרונות כיסוי האלמוגים הממוצע הנמדד בשוניות אילת גבוה מ- 24%. בבחינה סטטיסטית מדוקדקת של סדרת הנתונים שנעשתה לפני שנתיים נמצא כי מגמת השינוי בכיסוי האלמוגים מובהקת (תכנית הניטור, דו"ח מדעי 2017). מגמת העליה בכיסוי האלמוגים בשוניות אילת הנמדדת מאז 2004 עומדת על כ- 0.41% בשנה, עם התאמה של R^2=0.73.

כפי שצויין 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. עם זאת, בכל אתרי קדמת השונית נמדדת מגמה חיובית בכיסוי האלמוגים במשך תקופת הניטור כאשר השיעור הנמוך ביותר נמצא באתר IUI-10 שם השינוי הוא כ- 0.1% בשנה והגדול ביותר באתר NR-20, כ- 1% בשנה. השינוי הממוצע לכל האתרים הוא, כאמור, עליה של כ- 0.41% בכיסוי האלמוגים החיים בשנה.



איור ב7: שטח הכיסוי הממוצע של אלמוגי אבן חיים בכל אתר, באחוזים מכלל השטח ומשמאל, הכיסוי הממוצע לכל אתרים קדמת השונית.

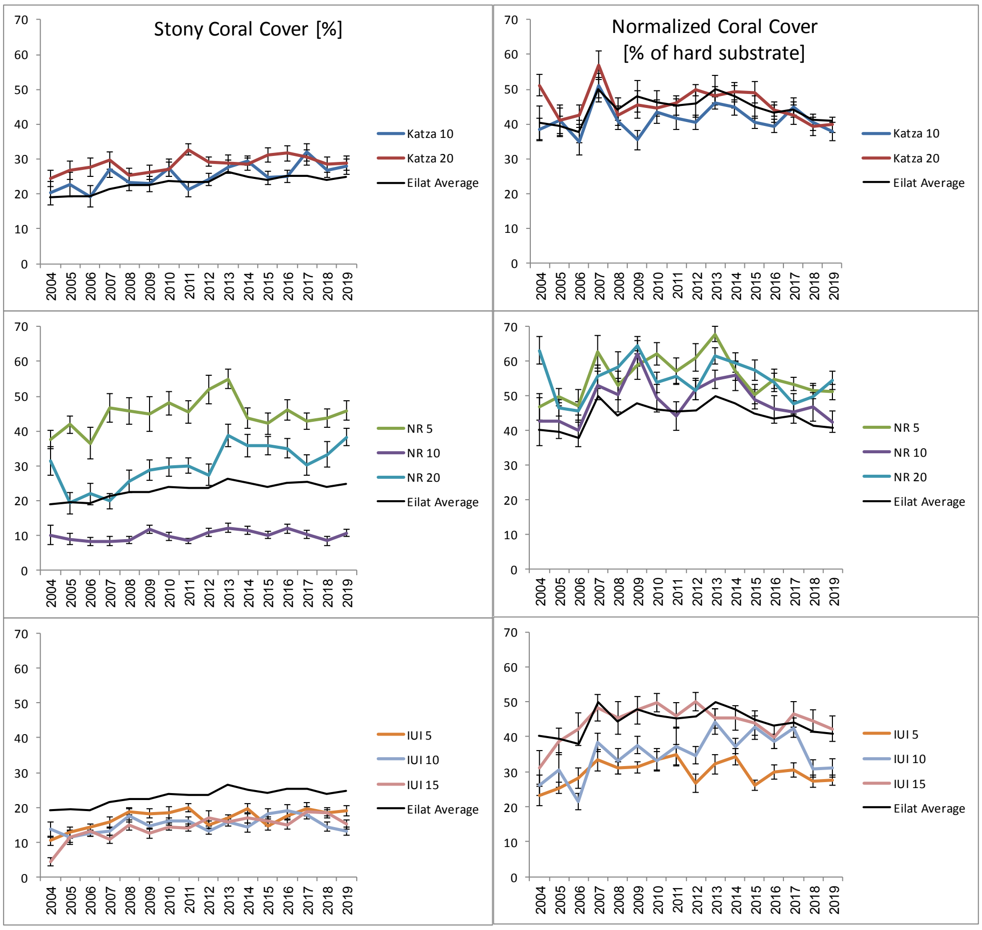
Figure B7: The average live stony coral cover at each site, as percent of total area. To the right, the average value for all eight surveyed fore-reef sites.

במבט על יעילות האלמוגים בניצול קרקע מלוכדת להתיישבות ובניית שונית (כיסוי אלמוגים מנורמל, ראו למעלה) נמדדות תנודות גדולות יותר בין השנים בכל האתרים (איור ב8). תנודות אלה 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 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 NR-20 ו-NR-5 לאורך השנים בעלי הכיסוי המנורמל הגבוה ביותר.

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

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



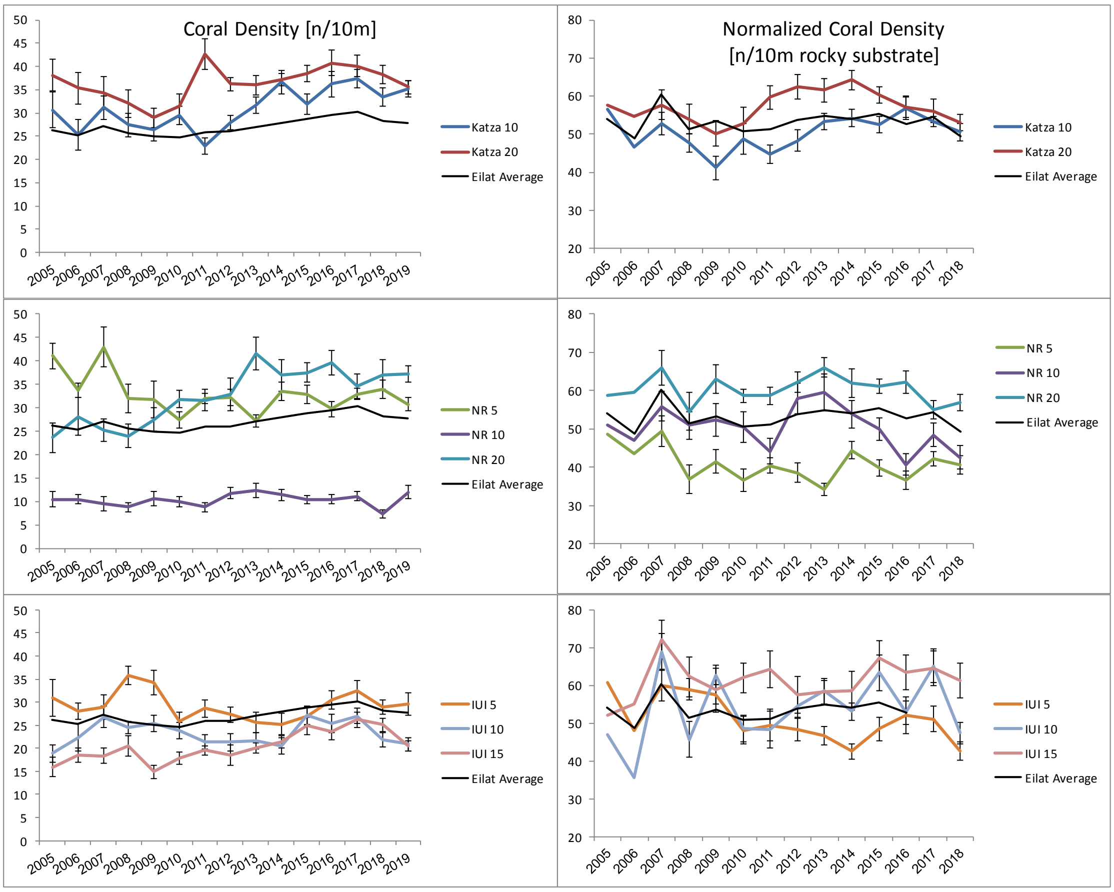
איור ב8: משמאל - שטח הכיסוי הממוצע של אלמוגי אבן חיים בכל אתר, באחוזים מכלל השטח. מימן – ניצול המצע הסלעי על ידי אלמוגים (שטח הכיסוי הממוצע מתוך הקרקעית הסלעית). בקו שחור דק ניתן הערך הממוצע בין שמונה אתרי השונית הנסקרים.

Figure B7: Left - The average live stony coral cover at each site, as percent of total area. Right - Utilization of rocky substrate by stony corals (percent of live stony coral coverage out of the total consolidated substrate at each site). The thin black line denotes the average value for all eight surveyed sites.

בחצי מן האתרים הנסקרים נמצאה השנה עליה במספר הממוצע של מושבות אלמוגים בחתך של עשרה מטרים, בהשוואה לשנה הקודמת ובשאר האתרים נמצאה ירידה (איור ב9). צפיפות מושבות האלמוגים הממוצעת בין כל האתרים היתה נמוכה ביותר בשנים 2009-10 ונמצאת בעליה מאז, עם ירידה קלה בשנתיים האחרונות. השנה נספרו בממוצע 27.7±3.2 מושבות אלמוגי אבן במקטע באורך עשרה מטרים, לעומת 28.2±3.6 בשנה הקודמת ו- 30.2±3.2 לפני שנתיים. בסך הכל, השינויים בצפיפות האלמוגים בשנים האחרונות קטנים למדי, עם מגמת עליה קלה (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 בוחנים 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 NR-10, 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 ב9: משמאל - המספר הממוצע של מושבות אלמוגי אבן חיים במקטע באורך עשרה מטרים בכל אתר (למעלה, האתרים הצפוניים ביותר, בקצא"א, ולמטה הדרומיים, במעבדה הימית). מימן – ניצול המצע הסלעי להתיישבות אלמוגים (המספר הממוצע של מושבות מנורמל לעשרה מטרים של קרקעית סלעית). בקו שחור דק ניתן הערך הממוצע בין שמונה אתרי השונית הנסקרים.

Figure B9: Left - The average number of live stony colonies per ten-meter section at each site (top, the northernmost sites at the oil terminal, bottom the southernmost sites of the Marine Science Laboratory). Right - Utilization of rocky substrate for stony coral settlement (number of live stony coral colonies on ten meters of consolidated substrate at each site). The thin black line denotes the average value for all eight surveyed sites.

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

בחברת השונית קיימות תנודות משנה לשנה ואין די בשינוי בין שנים עוקבות להעיד על מגמות. מאז תחילת הניטור (2004) כיסוי האלמוגים עלה באופן משמעותי ברוב האתרים, והממוצע לשוניות אילת עלה במידה ניכרת ומובהקת. הצפיפות הממוצעת של מושבות אלמוגים באתרי הניטור עלתה באופן עקבי, אם כי מתון מאז שנת 2010, אך בשנתיים האחרונות נמדדה ירידה בצפיפות.

Site	Katza 10	Katza 20	NR 5	NR 10	NR 20	IUI 5	IUI 10	IUI 15	Katza	NR	IUI	Eilat
Transects	19	18	16	20	17	18	20	18	37	53	56	
Stony corals	**27.91**	**28.76**	**45.86**	**10.73**	**38.29**	**19.01**	**13.21**	**15.14**	**28.32**	**30.17**	**15.70**	**24.86**
stdev	9.68	8.51	11.35	4.77	10.70	5.95	4.90	5.57	9.01	17.98	5.90	12.59
SE	2.22	2.01	2.84	1.07	2.59	1.40	1.10	1.31	1.48	2.47	0.79	4.45
CV	0.35	0.30	0.25	0.44	0.28	0.31	0.37	0.37	0.32	0.60	0.38	1.97
Octocorals	**8.39**	**7.58**	**0.53**	**1.07**	**5.50**	**0.26**	**0.75**	**1.64**	**7.99**	**2.33**	**0.88**	**3.21**
stdev	7.29	4.61	0.55	1.19	4.97	0.41	0.73	1.65	6.07	3.62	1.18	3.38
SE	1.67	1.09	0.14	0.27	1.20	0.10	0.16	0.39	1.00	0.50	0.16	1.20
CV	0.87	0.61	1.04	1.12	0.90	1.59	0.97	1.01	0.76	1.56	1.35	0.95
GRV+Sand	**26.02**	**26.54**	**10.67**	**72.83**	**28.85**	**31.02**	**54.33**	**62.02**	**26.27**	**39.96**	**49.31**	**39.03**
stdev	9.84	10.93	9.63	11.74	12.81	16.23	13.46	11.34	10.24	29.11	18.85	21.39
SE	2.26	2.58	2.41	2.62	3.11	3.83	3.01	2.67	1.68	4.00	2.52	7.56
CV	0.38	0.41	0.90	0.16	0.44	0.52	0.25	0.18	0.39	0.73	0.38	1.82
Rocks	**29.29**	**30.06**	**20.63**	**11.61**	**17.51**	**43.95**	**25.93**	**17.54**	**29.66**	**16.22**	**29.03**	**24.56**
stdev	7.58	10.97	11.25	10.85	7.26	11.01	9.89	9.62	9.26	10.51	14.82	10.09
SE	1.74	2.58	2.81	2.43	1.76	2.60	2.21	2.27	1.52	1.44	1.98	3.57
CV	0.26	0.36	0.55	0.93	0.41	0.25	0.38	0.55	0.31	0.65	0.51	2.43
Dead Corals	**7.15**	**5.82**	**22.00**	**3.72**	**8.91**	**5.69**	**4.71**	**2.69**	**6.50**	**10.90**	**4.38**	**7.59**
stdev	4.03	3.35	7.84	4.06	4.86	4.99	3.85	2.10	3.73	9.49	3.96	6.14
SE	0.92	0.79	1.96	0.91	1.18	1.18	0.86	0.49	0.61	1.30	0.53	2.17
CV	0.56	0.58	0.36	1.09	0.55	0.88	0.82	0.78	0.57	0.87	0.91	1.24
Normalized Cover	**37.84**	**39.82**	**51.09**	**42.49**	**54.47**	**27.66**	**31.08**	**42.31**	**38.80**	**48.93**	**33.59**	**40.84**
stdev	11.25	9.75	9.16	13.67	11.07	6.29	11.70	15.89	10.45	12.55	13.28	9.06
SE	2.58	2.30	2.29	3.06	2.68	1.48	2.62	3.74	1.72	1.72	1.77	3.20
CV	0.30	0.24	0.18	0.32	0.20	0.23	0.38	0.38	0.27	0.26	0.40	4.51
Density	**35.26**	**35.56**	**30.75**	**11.95**	**37.24**	**29.61**	**20.85**	**20.61**	**35.41**	**25.74**	**23.59**	**27.73**
stdev	7.54	6.10	5.40	6.44	7.19	9.94	6.26	4.67	6.78	12.79	8.26	9.01
SE	1.73	1.44	1.35	1.44	1.74	2.34	1.40	1.10	1.12	1.76	1.10	3.18
CV	0.21	0.17	0.18	0.54	0.19	0.34	0.30	0.23	0.19	0.50	0.35	3.08
Normalized Density	**48.49**	**49.81**	**35.11**	**45.24**	**53.03**	**43.15**	**48.41**	**59.04**	**49.13**	**44.68**	**50.14**	**47.78**
Stdev	8.27	8.70	7.91	13.42	4.16	11.32	13.17	16.13	8.39	11.84	14.93	7.05
SE	1.90	2.05	1.98	3.00	1.01	2.67	2.94	3.80	1.38	1.63	2.00	2.49
CV	0.17	0.17	0.23	0.30	0.08	0.26	0.27	0.27	0.17	0.27	0.30	6.78

טבלה ב2: סיכום נתוני הכיסוי שנאספו בחתכי הקווים באתרי השונית לאורך חופי המפרץ 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.

<u>גודל מושבות אלמוגים</u>

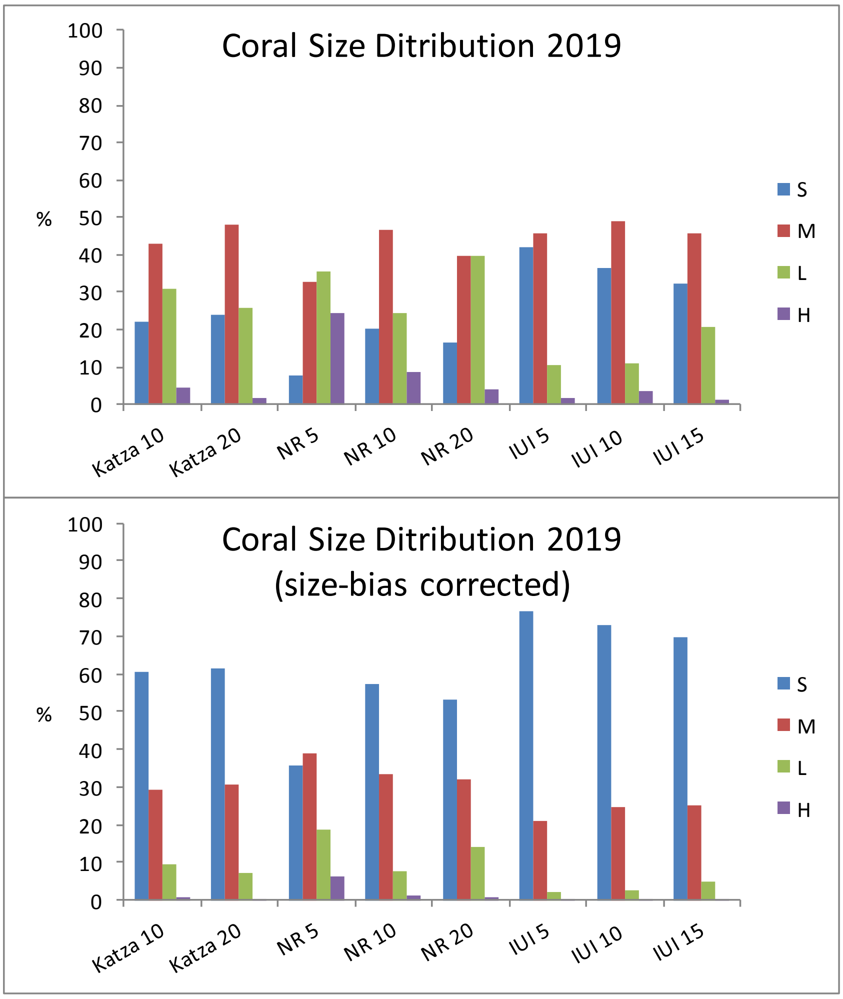
מושבות אלמוגים תחת סרט המדידה משויכות לאחת מקבוצות הגודל **קטן**<5ס"מ; **בינוני**<15ס"מ; **גדול**<30ס"מ; **ענק**>30ס"מ על פי הערכת הסוקר. בחלוקה זו לקבוצות גודל ישנם טווחי גודל שונים כאשר הקבוצה "ענק" מכילה כל מושבה גדולה מ-30 ס"מ. לכאורה, על מנת להציג התפלגות גדלי מושבות אלמוגים, צריך לפרק קבוצה זו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

השימוש בשיטת חתכי קו ליצירת התפלגות גודל מושבות סובלת מהטייה הנובעת מכך שלמושבות קטנות סיכוי קטן יותר להיכלל בסקר (Zvuloni et al. 2008). במילים אחרות: חלקן היחסי של מושבות קטנות הנספרות בפועל בסקר זה הוא קטן מחלקן היחסי באוכלוסיה. לפיכך, איור ב10 מציג את התפלגות גדלי האלמוגים באתרים המנוטרים כפשוטה (למעלה) ואת ההתפלגות המתוקנת להטיה, המייצגת טוב יותר את המציאות (למטה). בהתחשב בתיקון ההטיה 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.

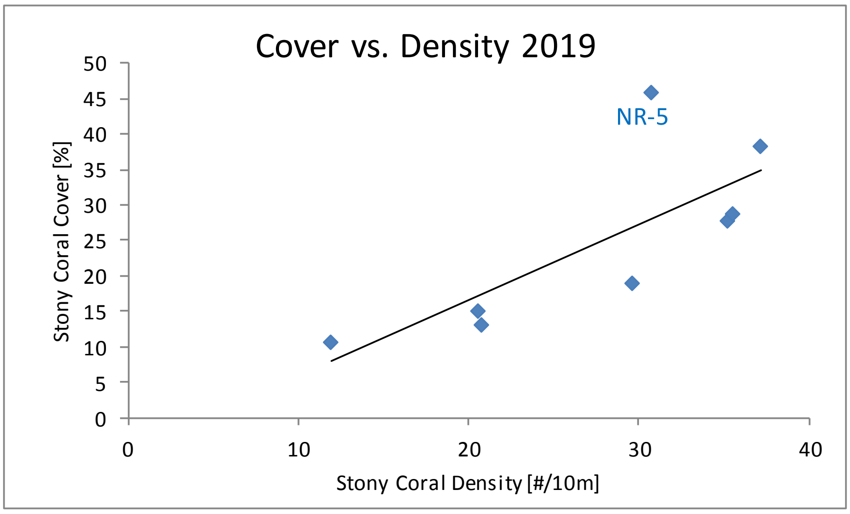
חלקן של מושבות האלמוגים הקטנות באתרי IUI גדול יותר מחלקן באתרי הניטור האחרים. באתר 5-NR חלקן של המושבות הקטנות הוא הקטן ביותר וחלקן של קבוצות הגודל האחרות הוא הגדול ביותר באתרי הניטור. לאחר תיקון ההטיה בספירת מושבות לפי גדלים, נראה שחלקן של המושבות הקטנות גדול מ- 50% בכל האתרים, מלבד באתר 5-NR, בו חלקן השנה כ- 36% וחלקן של המושבות מגודל בינוני מעט גדול יותר. באתרי IUI הרדודים חלקן של המושבות הקטנות היה השנה גדול מ- 70%.

באתר השמורה הרדוד, 5-NR, חלקן של המושבות "הענקיות" כ- 6% מכלל המושבות (לאחר התיקון להטיית הספירה). עם זאת, באתר זה מושבות אלמוגים "ענקיות" תופסות שטח גדול במיוחד וכך אתר זה חריג ביחס בין צפיפות המושבות וכיסוי האלמוגים בו (איור ב11, התאמת קו הרגרסיה על היחס בין כיסוי וצפיפות מושבות בכל האתרים מלבד 5 NR עומדת על R^2=0.84). בהשוואה לאתרי שונית אחרים באילת, אחוז השטח המכוסה אלמוגי אבן חיים באתר השמורה הרדוד גדול בהרבה מהצפוי על פי מספר מושבות האלמוגים הנמצא במקטע ממוצע באורך עשרה מטרים, וזאת תודות למציאותן של מושבות אלמוגים ענקיות באתר זה.



איור ב10: התפלגות גודל מושבות האלמוגים באתרים הנסקרים. חלוקת הגדלים לפי המפתח הבא: Small<5 ס"מ; 5 ס"מ<Medium<15 ס"מ; 15 ס"מ<Large<30 ס"מ; Huge>30 ס"מ. 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).

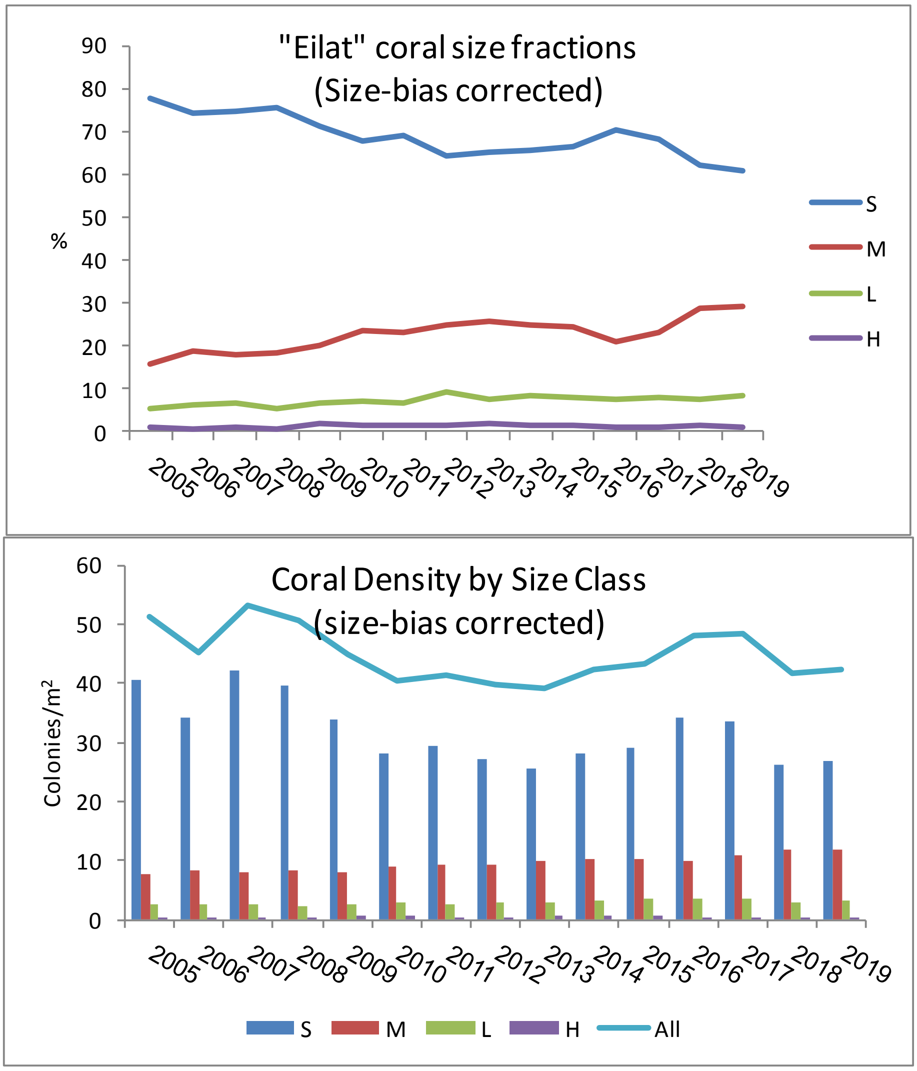


איור ב11: אחוז השטח המכוסה אלמוגי אבן חיים כנגד מספר מושבות האלמוגים במקטע ממוצע באורך עשרה מטרים באתרי השונית הנסקרים.

Figure B11: Stony coral cover versus the number of stony coral colonies in an average 10-meter transect at

the surveyed Eilat reef sites.

במשך שנות הניטור, ובפרט מאז שנת 2008, נמצאה ירידה בחלקן היחסי של מושבות האלמוגים הקטנות בשוניות אילת. מגמה זו מעט התמתנה, אולם בשלוש השנים האחרונות שוב יורד חלקן של המושבות הקטנות ומגיע השנה לערך הנמוך ביותר מאז תחילת הניטור, 61% (איור 12ב, למעלה). במקביל, עלה חלקן של המושבות בגודל הבינוני והגיע השנה לערך מרבי של 29%. 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 12ב, למטה). נראה שבשנים אלו נפגעה אוכלוסית האלמוגים הקטנים וגיוס אלמוגים חדשים לשוניות אילת לא פיצה על האבדן. מאז עלתה צפיפות מושבות האלמוגים, אם כי בשנה הקודמת נמדדה ירידה והשנה עליה קטנה בלבד.



איור 12ב: 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; 5 ס"מ <Medium<15 ס"מ; 15 ס"מ <Large<30 ס"מ; Huge>30 ס"מ.

Figure B12: Top: Changes in average relative size fraction of Eilat coral colonies (corrected for transect based count biasduring 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.

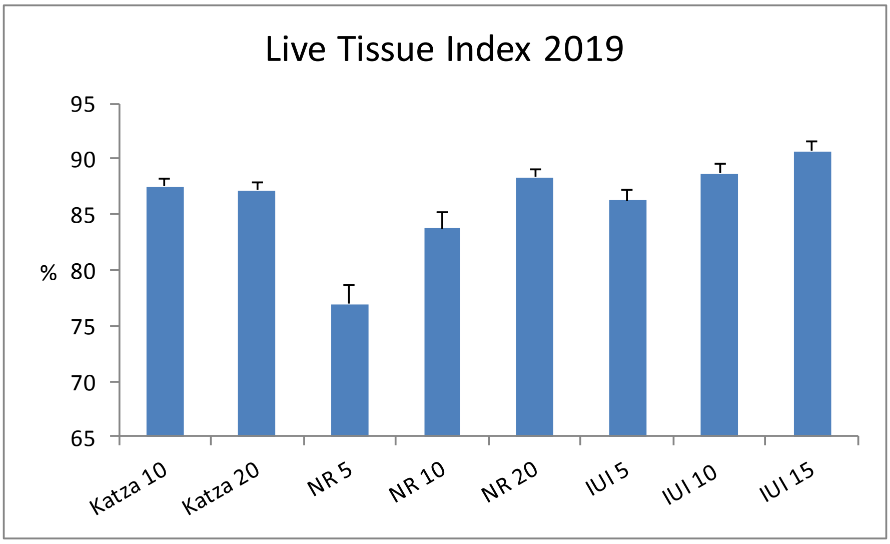
בריאות אלמוגים

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 מקטעי הקו הנסקרים בשונית, על ידי קביעה ויזואלית (של הצולל הסוקר) של אחוז השטח של שלד המושבה המכוסה ברקמה חיה.

למרות שאמדן אחוז הרקמה החי במושבה הוא איכותי, כמות המושבות המשתתפות בסקר (אלפים), העובדה ששגיאת ההערכה עשויה להיות לשני הכיוונים, והמשמעות הקטנה של שגיאת הערכה בסדר של 10% או פחות עבור מושבה בודדת לגבי ממוצע כל המושבות, מבטיחה מדד אמין. על מנת לוודא כי האמדן הוויזואלי אכן מדויק בטווח של 10%, וכי אין הטיה מגמתית בהערכה, ערכנו בשנת 2008 ניסוי מבוקר להערכת דיוק השיטה. תוצאות הניסוי מצביעות על דיוק גדול בהרבה מהצפוי (התוכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת, דו"ח מדעי 2008, נספח 3ז). 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 (77%). 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, 91% (איור ב13).



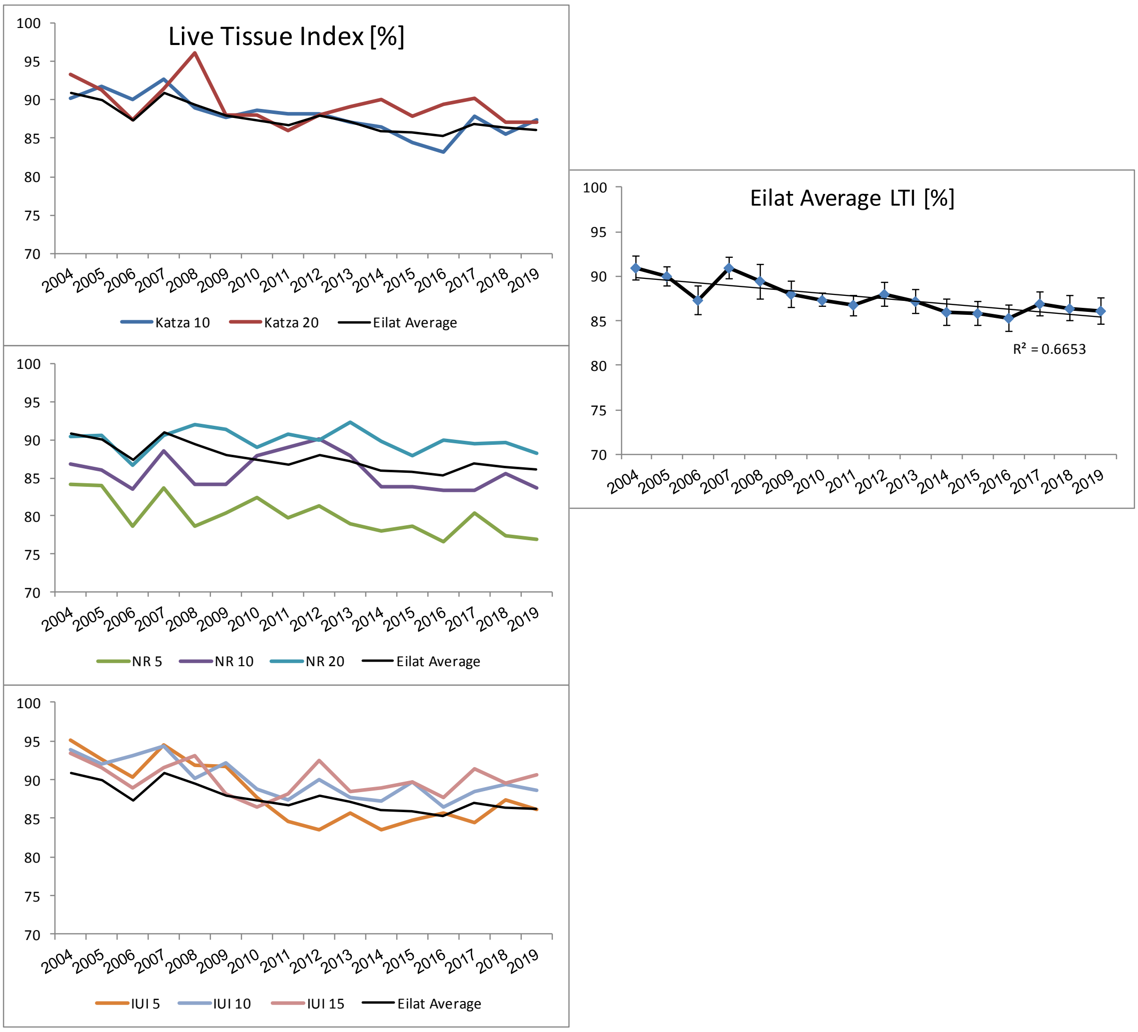
איור ב13: מדד אחוז הרקמה החיה של אלמוגים באתרים הנסקרים. המדד מוגדר כממוצע באתר של אחוז השטח החי/בריא מסך השטח של כל מושבת אלמוגים חיה.

Figure B13: 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. השנה נמדד מדד רקמה חיה מעט נמוך בהשוואה לשנה הקודמת בארבעה מתוך שמונה האתרים הנסקרים, וערך המדד הממוצע לשוניות אילת היה השנה 86.1% לעומת 86.4% בשנה הקודמת.

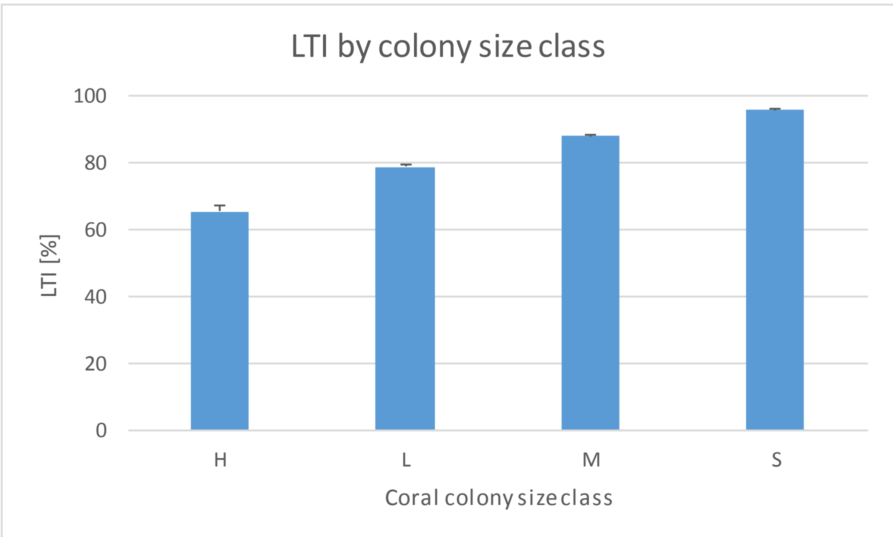
במבט על סך האלמוגים בשוניות אילת לאורך תקופת הניטור נצפית ירידה בערך מדד הרקמה החיה הממוצע של כל האתרים (איור ב14). ירידה זו אינה רציפה אך המגמה הכללית היא של ירידה והשינוי בערך מדד הרקמה החיה באלמוגים בין השנים הינו מובהק.

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 ב15) – אולי מכיוון שאלמוגים קטנים ימותו עם הפגיעה ולא יכללו במדד, או כי ההסתברות לפגיעה והצטברות של פגיעות עולה עם הגיל.



איור ב14: השינוי במצב האלמוגים על פי האחוז הממוצע של רקמה חיה במושבות אלמוגים (LTI) באילת בשנות הניטור.

Figure B14: 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 ב15: האחוז הממוצע של רקמה חיה במושבות אלמוגים (LTI) באילת בשנת 2019 בחלוקה לפי קבוצות גודל מושבות.

Figure B15: The average percentage of living coral tissue (LTI) from all sites in 2019, grouped by colony size class.

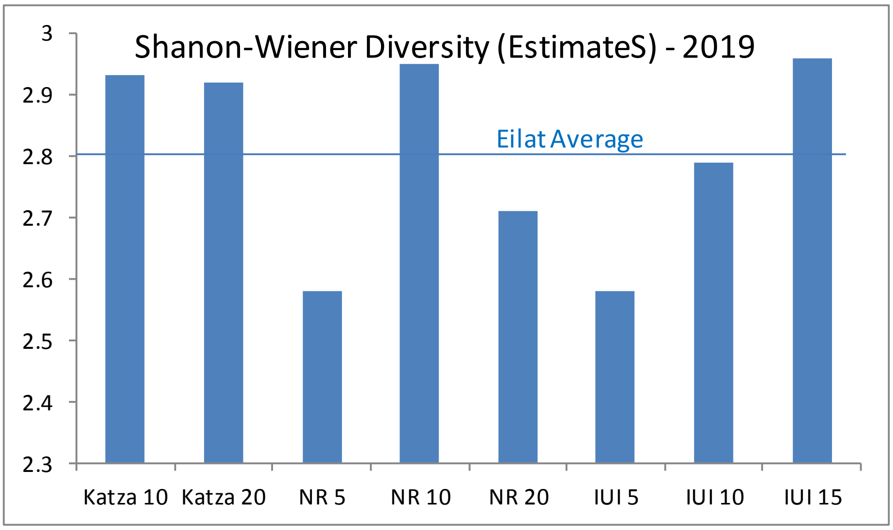
מגוון מינים

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 וחישובי 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 ב16). מכיוון שמדד Shannon-Wiener מושפע מאד ממידת האחידות (evenness) של אלמוגים מסוגים שונים, כמו גם ממציאותם או העדרם של מינים נדירים, נמצא מגוון גבוה באתרים בהם הכתמיות גדולה. המגוון הנמוך ביותר נמצא גם השנה באתר IUI-5, H’=2.58, וערך זהה נמדד גם באתר NR-5. המגוון הגבוה ביותר חושב גם השנה עבור אתר IUI-15, H'=2.96, מעט גבוה מהערך המרבי 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 ו-10 היה המגוון נמוך מן הממוצע עבור כל שמונה האתרים. תבנית זו נמצאה גם בשנתיים הקודמות.



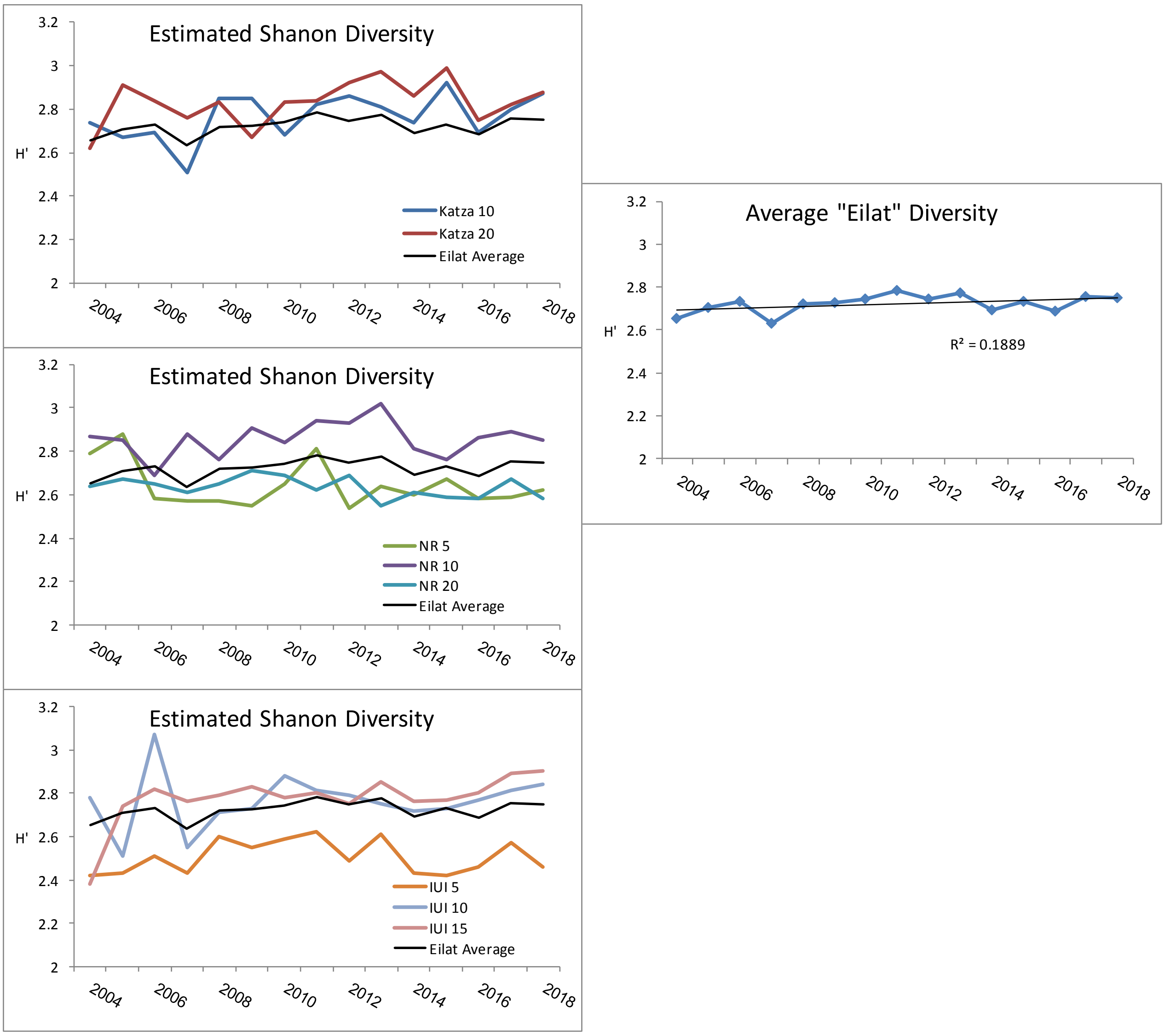
איור ב16: מגוון הסוגים של אלמוגים לפי מדד Shannon-Wiener כפי שהוערך השנה עבור כל אתר על ידי תכנת EstimateS (Colwell, 2005; http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS). בקו מסומן הערך הממוצע לכל האתרים.

Figure B16: 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 באתרים בעומק חמישה מטרים נמוך מאשר באתרים העמוקים יותר (איור ב17). 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 Shannon-Wiener ב"שוניות אילת" המחושב כממוצע כל האתרים משתנה אך מעט לאורך שנות הניטור ואינו מציג שינוי מגמתי (איור ב17, מימין). ערך המדד הממוצע השנה (2.80).

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



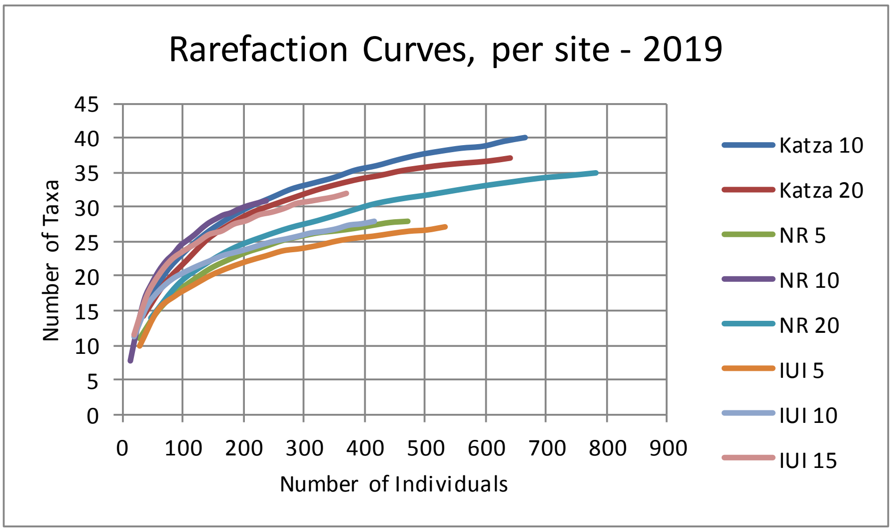
איור ב17: מגוון הסוגים של אלמוגים לפי מדד Shannon-Wiener כפי שהוערך עבור כל אתר בכל שנות הניטור על ידי תכנת EstimateS (Colwell, 2005; http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS). הערך הממוצע לכל האתרים ניתן בקו שחור דק, ובדיאגרמה מימין.

Figure B17: The Shanon-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.

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 ב18) ניתן לראות כי האתר IUI-5 גם בעל התוחלת הנמוכה ביותר של סוגי אלמוגים, ואילו אתר NR-10 בעל התוחלת הגבוהה ביותר ועקומת הצבירה התלולה ביותר. ממצאים אלה תואמים את התמונה המתקבלת ממדד המגוון של Shannon-Wiener.

עושר האלמוגים הגדול ביותר, 40 סוגי אלמוגים, נמצא גם השנה באתר KATZA-10, ואילו באתר IUI-5 נמצאו השנה בסך הכל 27 סוגי אלמוגים. בכל האתרים יחדיו נמצאו השנה 46 סוגים של אלמוגי אבן.

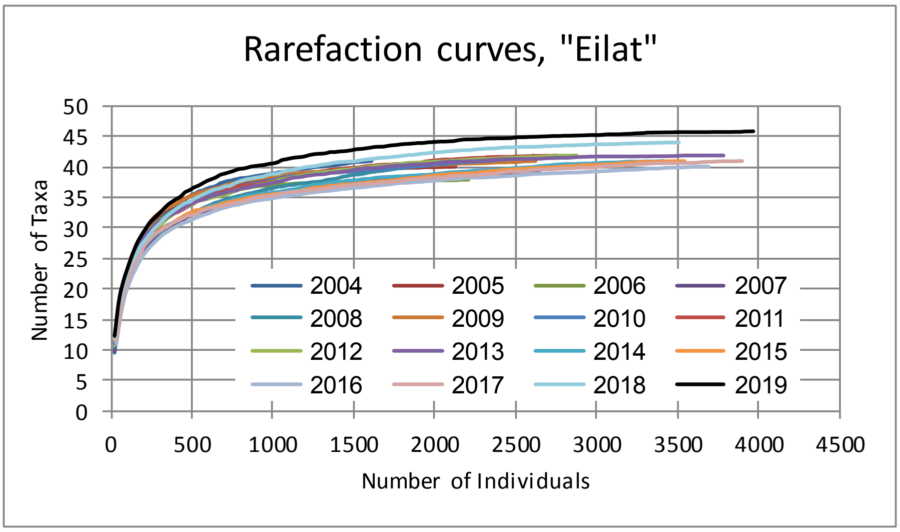


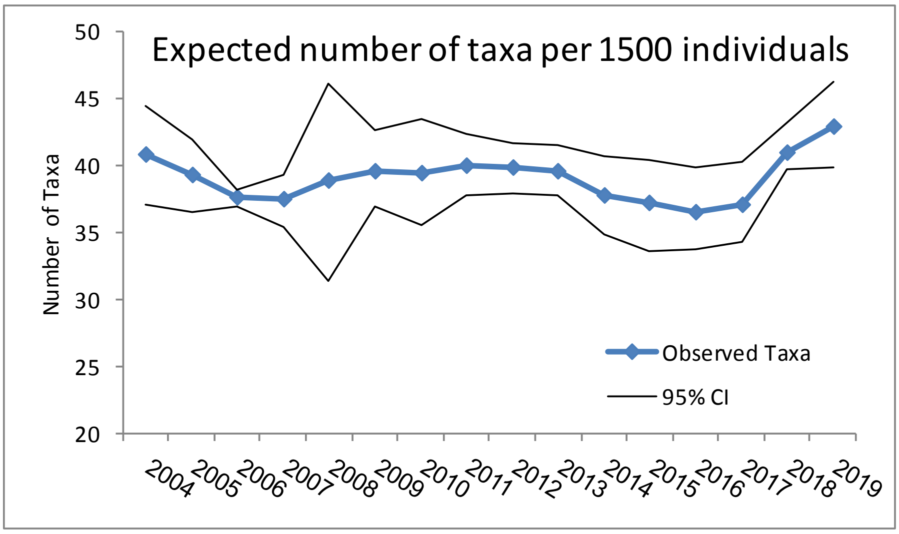
איור ב18: עקומות צבירה של מספר סוגי האלמוגים מול מספר המושבות כפי שחושבו על ידי תכנת EstimateS (Colwell, 2005; http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS) בכל אתר.

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 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 46 (לעומת 44 בשנה הקודמת, איור ב19).

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 42.9, עליה בהשוואה לשנים האחרונות, והגבוהה ביותר שנמדד עד כה במסגרת הניטור (איור ב19).



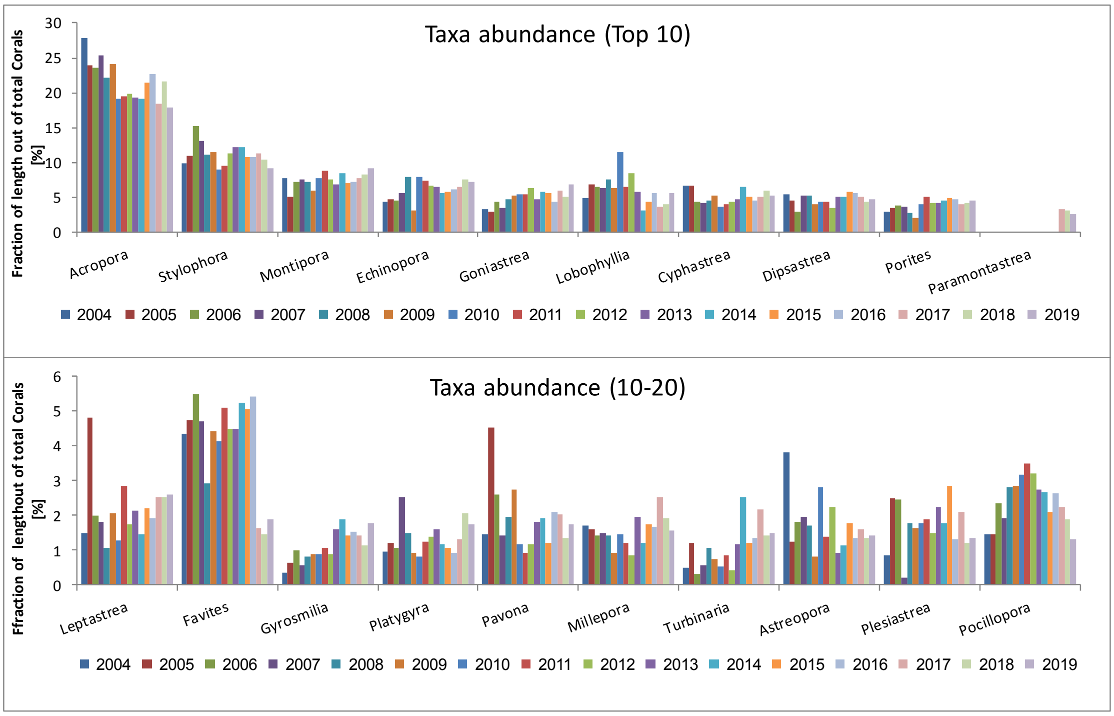


איור ב19: למעלה – עקומות צבירה של מספר סוגי האלמוגים מול מספר המושבות כפי שחושבו על ידי תכנת EstimateS (Colwell, 2005; http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS) עבור "שוניות אילת" בכל שנה מאז 2004. למטה – מספר סוגי האלמוגים הצפוי להתקבל בספירת 1500 מושבות ב"שוניות אילת" מאז שנת 2004, מבוסס על עקומות הצבירה.

Figure B19: 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. Bottom – the expected number of stony coral taxa per 1500 random coral coloniesin 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 (2019). אלמוגי *Acropora* הינם האלמוג הנפוץ ביותר בשוניות אילת, ותפסו השנה 18% מכלל שטח האלמוגים. אלמוגים אלה היוו כרבע משטח האלמוגים בשנים הראשונות לניטור ועד לשנת 2009, ובשנים 2010-2014 ירד חלקם לחמישית. בשנים האחרונות שוב עולה אחוז שטח האלמוגים של אלמוגי *Acropora* בשוניות אילת. 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- 90% (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 לאלו 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.



איור ב20: עשרים האלמוגים הנפוצים ביותר בשוניות אילת בתקופת הניטור מסודרים לפי סדר התפוצה בשנת 2019. למעלה ניתנים עשרת האלמוגים הנפוצים ביותר ולמטה העשרייה 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 2019. 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.

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.

	Katza 10	Katza 20	NR 5	NR 10	NR 20	IUI 5	IUI 10	IUI 15	Averages Katza	NR	IUI	Average Eilat
Acropora	5.54	4.73	4.39	1.24	9.28	2.38	3.73	3.16	5.15	4.77	3.11	4.23
Montipora	3.82	4.37	1.17	0.93	7.81	0.43	0.77	0.65	4.09	3.21	0.62	2.44
Lobophyllia	0.41	0.47	17.86	0.06	0.64	0.06	0.00	0.03	0.44	5.62	0.03	2.16
Echinopora	2.89	2.28	6.87	0.78	3.52	0.39	0.51	0.27	2.60	3.50	0.39	2.08
Stylophora	2.20	2.34	1.34	1.15	1.07	2.52	1.70	2.24	2.27	1.18	2.14	1.82
Goniastrea	2.13	0.63	5.03	1.14	1.46	2.67	0.40	0.34	1.40	2.42	1.11	1.66
Cyphastrea	1.86	1.42	0.99	0.42	2.44	1.38	1.32	0.20	1.65	1.24	0.98	1.24
Porites	1.01	2.38	0.87	0.65	2.45	0.06	0.30	1.04	1.68	1.30	0.46	1.07
Dipsastrea	0.52	0.72	0.15	0.77	0.83	3.29	0.73	0.24	0.61	0.60	1.40	0.91
Leptastrea	1.04	0.94	0.36	0.07	0.57	0.87	0.55	0.32	0.99	0.32	0.58	0.59
Paramontastraea	0.63	1.13	0.04	0.18	1.14	0.24	0.71	0.56	0.87	0.44	0.51	0.58
Pavona	0.62	1.55	0.16	0.29	0.70	0.07	0.11	0.03	1.07	0.38	0.07	0.44
Platygyra	0.42	0.16	0.83	0.18	0.71	0.99	0.15	0.05	0.29	0.54	0.39	0.42
Favites	0.13	0.26	0.25	0.13	0.95	0.53	0.26	0.71	0.19	0.43	0.49	0.39
Psammocora	0.58	0.62	0.13	0.16	1.12	0.01	0.00	0.06	0.60	0.46	0.02	0.33
Mycedium	0.41	0.22	1.78	0.02	0.09	0.00	0.00	0.00	0.32	0.57	0.00	0.29
Plesiastrea	0.21	0.17	0.23	0.30	0.60	0.36	0.13	0.26	0.19	0.38	0.25	0.28
Goniopora	0.28	0.84	0.76	0.07	0.18	0.00	0.00	0.08	0.56	0.31	0.02	0.26
Gyrosmilia	0.03	0.00	0.00	0.08	0.09	0.13	0.18	1.69	0.01	0.06	0.65	0.27
Turbinaria	0.06	0.03	0.19	0.31	0.29	0.83	0.00	0.46	0.05	0.27	0.42	0.27
Stony corals	27.91	28.76	45.86	10.73	38.29	19.01	13.21	15.14	28.32	30.17	15.70	24.86

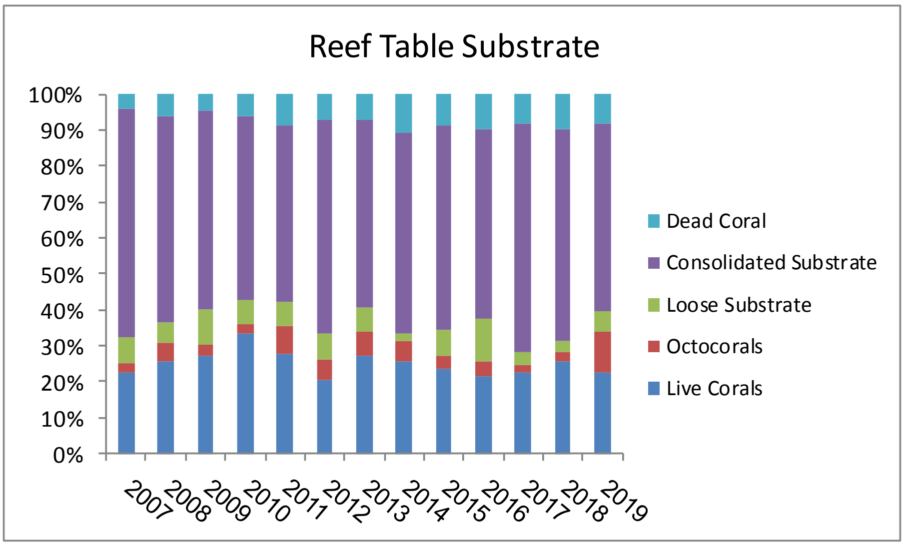
טבלה ב3: עשרים האלמוגים הנפוצים (לפי אחוז כיסוי) בשטח הניטור, ואחוז הכיסוי הממוצע שלהם בכל אחד מאתרי הניטור.

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 וכיוונן ("סערות" במפרץ לרוב מאופיינות ברוח חזקה מכיוון דרום) וכך להוסיף מידע שהיה חסר בעבר לפירוש תצפיות הנוגעות לשולחן השונית. סקרי שולחן השונית במסגרת תכנית הניטור החלו בשנת 2007.

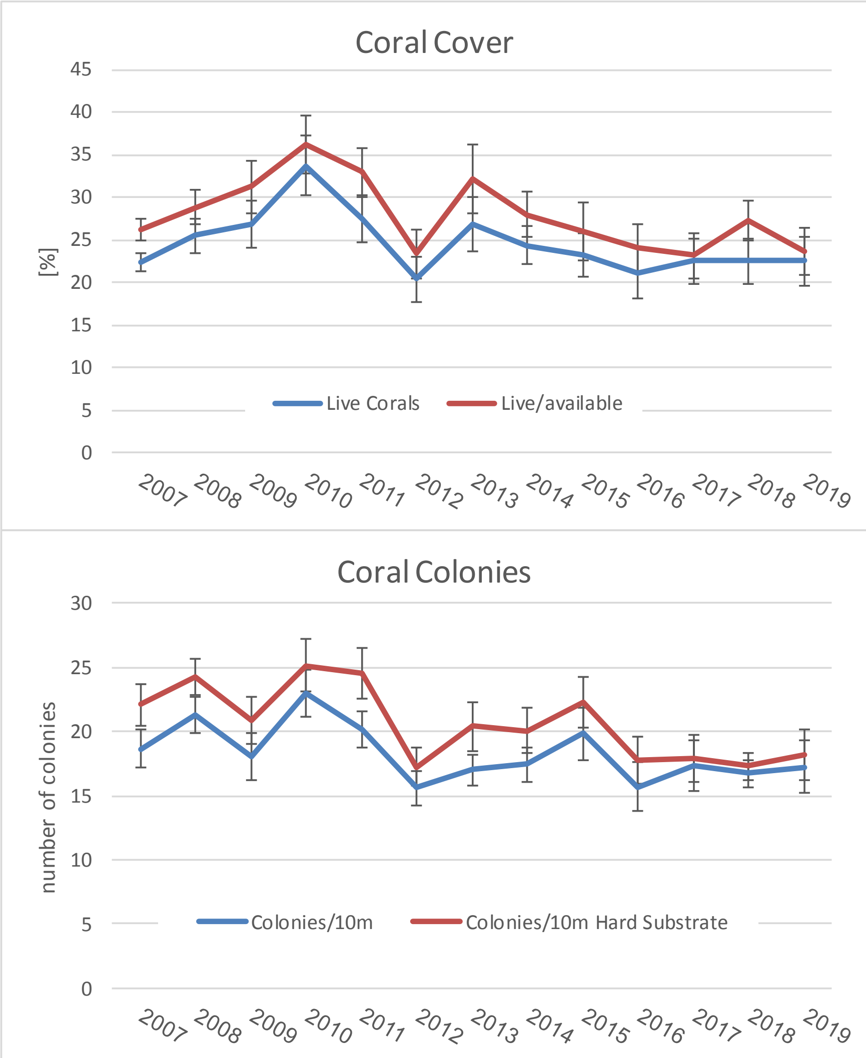
אופיו השונה של שולחן השונית ניכר, בין היתר, בהתפלגות סוגי התשתית שבו. סלע שונית מלוכד מהווה את רב שטח התשתית בשולחן השונית. בניגוד לאתרי קידמת השונית, שם האחוז הגבוה ביותר של סלע מלוכד חשוף שנמדד השנה הוא כ-44% (באתר IUI-5), בשולחן השונית שטח הסלע המלוכד החשוף אשר נמדד השנה הוא כ- 52%, ואילו אחוז הקרקע הלא מלוכדת כ-5% 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.

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 השנה דומה לזה של השנה הקודמת - 22.5±2.9%. כיסוי האלמוגים החיים בשולחן השונית עדיין נמוך משהיה במשך רוב שנות הניטור. הכיסוי הנמוך ביותר שנמדד במסגרת הניטור היה 20.4±2.7%, בשנת 2012 והכיסוי הגבוה ביותר היה 33.7±3.5% בשנת 2010 (איור ב22). צפיפות מושבות האלמוגים השנה דומה גם כן לזו של השנה הקודמת.



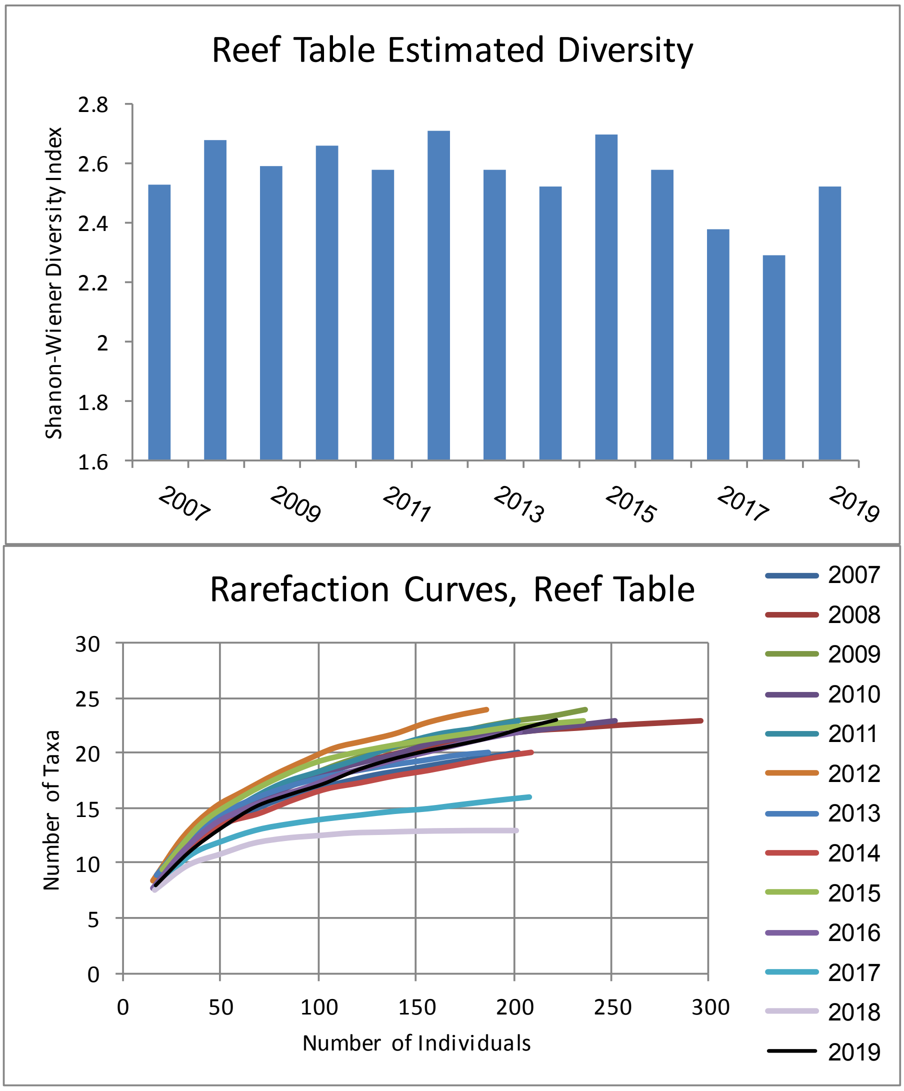
איור ב22: אחוז כיסוי האלמוגים וצפיפות מושבות בשולחן השונית מאז שנת 2007.

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

בשולחן השונית נמצאו השנה בסך הכל 23 סוגים של אלמוגי אבן, הרבה יותר מאשר בשנה הקודמת (13) ודומה לשנת 2016 (23). מגוון המינים לפי מדד Shanon-Wiener כפי שמוערך על ידי תכנת EstimateS (Colwell, 2005) היה השנה 2.52, חזרה לערך "רגיל" אחרי הערך הנמוך שנמדד השנה הקודמת (2.29, איור ב23). גם עקומת הצבירה של סוגי אלמוגים בשולחן השונית אשר חושבה מנתוני הסקר השנה דומה לעקומות המחושבות ברוב שנות הניטור וזאת לאחר שנתיים בהן עקומות הצבירה בעלות שיפוע וערך סופי נמוכים במיוחד.

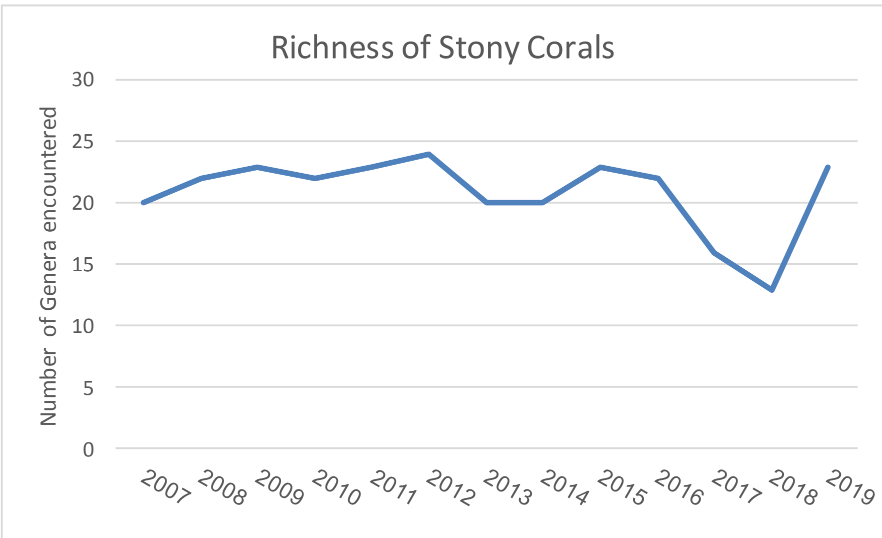
בכל השנים נראה כי מדד המגוון בשולחן השונית, ובעיקר עושר המינים שם, נמוך מהערך הממוצע באתרי קדמת השונית (ראו למעלה). עובדה זו צפויה, עקב התנאים האחידים והקיצוניים יותר בשולחן השונית.

עושר המינים בשולחן השונית נמוך מאשר בכל אתרי קדמת השונית (23 אלמוגי אבן זוהו השנה בשולחן השונית לעומת 46 באתרי קדמת השונית יחדיו). ישנה חפיפה גדולה בין האלמוגים הנפוצים בקדמת השונית לאלמוגים הנמצאים בשולחן, 13 סוגים של אלמוגי אבן נמצאים ברשימת 20 האלמוגים הנפוצים הן בשולחן השונית והן באתרי קדמת השונית. עם זאת, ישנם הבדלים בתפוצה היחסית של סוגי האלמוגים בשולחן השונית לעומת אתרי קדמת השונית (טבלה ב4). לאחר שנתיים בהן נמצא עושר מינים נמוך, מספר הסוגים של אלמוגי אבן אשר נמצאו השנה באתר שולחן השונית דומה לזה שנמצא במרבית השנים מאז 2007 (איור ב24). ההבדלים בעושר המינים מושפעים מאד מנוכחותן או העדרן של מושבות אלמוגים "נדירים" בשולחן השונית, מהם נמצאות בדרך כלל רק מושבה או שתיים בסקר השנתי.



איור ב23: למעלה – מדד Shanon-Wiener למגוון המינים של אלמוגי אבן בשולחן השונית מאז שנת 2007. למטה – עקומות צבירה למספר סוגי האלמוגים בשולחן השונית מאז 2007.

Figure B23: Top –Shanon-Wienr diversity of stony corals in the years since 2007, bottom – rarefaction curves for coral genus diversity on the reef table since 2007.



איור ב24: מספר סוגי האלמוגים שנמצאו בסקרי שולחן השונית.

Figure B24: The number of coral genera encountered in the Reef Table surveys.

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

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

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

דיון ומסקנות

ניטור מצב השוניות באילת מבוצע באמצעות מספר סקרים אקולוגים המותאמים לסביבות ומטרות שונות. חלק הארי של הסקר האקולוגי מבוצע באתרי קדמת השונית ושולחן השונית בשיטת חתכי הקו. אפיון סטטיסטי של אתרי השונית באמצעות סקרים בשיטת חתכי הקו מצביע על מצב השונית בכל אתר, ואינו מתייחס לגורלה של מושבת אלמוגים זו או אחרת. חזרה על הסקרים באופן עיקבי לאורך תקופה ארוכה מאפשרת מעקב אחר שינויים בזמן של מאפייני חברת שונית האלמוגים בשוניות הנמצאות בשטח ישראל.

מדידה לאורך חתכים קוויים יעילה במיוחד למדידת מאפיינים הקשורים לשטח (אחוזי כיסוי, התפלגות מצע וכד'), ופחות יעילה למדידות המבוססות על ספירה (התפלגות גדלים, צפיפות מושבות וכד') עקב ההטיה המובנית כנגד מושבות בגודל קטן. על כן, בדו"ח זה 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 מדאיגות, כמו גם לגלות מחזורים טבעיים בעלי זמן מחזור ארוך או מגמות שינוי איטיות. עם הצטברות הנתונים משנה לשנה משתפרת יכולת האבחון הסטטיסטית.

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

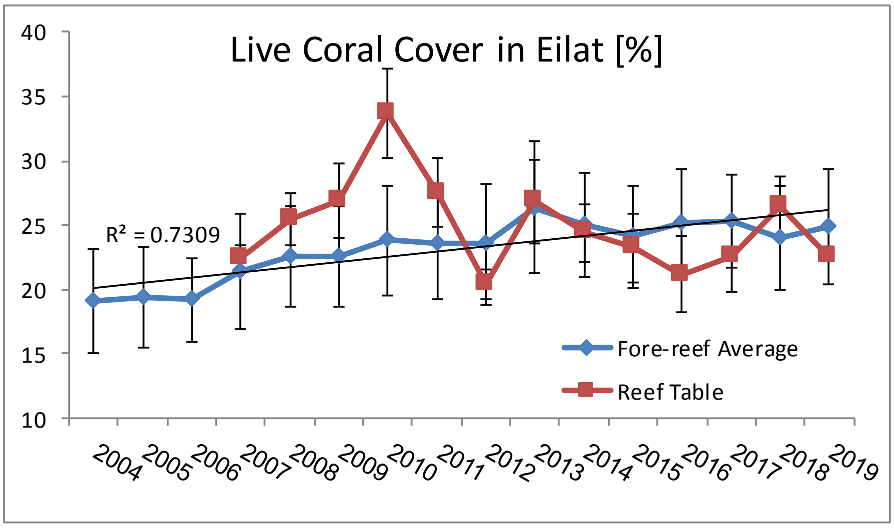
בחודש יולי 2017 נפתח לציבור קטע חוף שהיה לפנים מוגבל על ידי חברת קצא"א. השטח שנפתח לשימוש הציבור הוא החלק הצפוני של חוף קצא"א, אזור המוגבל לרחצה על ידי חבלי מצופים. אתרי השונית בהם מבצעת תכנית הניטור את סקריה מצויים מחוץ לאזורים המסומנים כפתוחים לרחצה, אולם ניתן לצפות כי כמות הצוללים העוברים בהם תגדל עקב פתיחת החוף. סקרי השונית באתרי קצא"א (בעומק של 10 ו-20 מטרים) נעשו עד לשנת 2017 לפני פתיחת החוף לציבור, וסקרי השנתיים 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.

השנה נמדדה ירידה קלה בצפיפות המושבות הממוצעת בשוניות אילת ואילו השטח המכוסה אלמוגי אבן חיים בשוניות היה השנה מעט גבוה בהשוואה לשנה הקודמת. כיסוי שטחי שונית באלמוגי אבן חיים היה השנה 24.9%, לעומת 24% בשנה הקודמת ובדומה לשנתיים שקדמו לה. כיסוי האלמוגים החיים בשוניות אילת גבוה משמעותית משהיה בשנות הניטור הראשונות. גם צפיפות המושבות הממוצעת, על אף שנמוכה מעט בהשוואה לשנתיים הקודמות (27.7 השנה לעומת 30.2 מושבות בחתך ממוצע באורך עשרה מטרים בשנת 2017), עדיין גבוהה משהיתה בתחילת תקופת הניטור.

מושבות אלמוגים קטנות מרכיבות חלק גדול ביותר של אוכלוסיית האלמוגים באתרי IUI. באתרים האחרים חלקן מעט נמוך יותר וחלקן של מושבות בגודל בינוני עולה. 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 (45.9%). כיסוי אלמוגי אבן חיים הרב ביותר שנמדד עד כה במסגרת תכנית הניטור היה 26.8% בממוצע באתרי הניטור, בשנת 2013. על פי מונחים של שרידות וצמיחת אלמוגים זהו האתר המוצלח ביותר בין שוניות אילת. עם זאת, באתר זה נמצא מדד הרקמה החיה הנמוך ביותר, וגם מגוון סוגי אלמוגים נמוך.

אתר שולחן השונית שונה במאפייניו הפיסיקלים מאתרי קדמת השונית ונתון לתנאי סביבה קשים באופן יחסי. אתר זה מורכב כולו מתשתית סלע שונית שעליה כיסוי אלמוגים או מעט כתמי חול. באתר זה אחוז כיסוי האלמוגים החיים ומגוון הסוגים נמוכים מהממוצע באתרי קדמת השונית, ומשקפים את התנאים הקשים המאפיינים אתר זה.

התנודות באחוז הכיסוי בין השנים בכל האתרים ולשני הכיוונים מצביעות על כך שזה מצבה הטבעי של המערכת בתקופה הנוכחית, כפי שהיא משתקפת בסקרים הסטטיסטיים של תכנית הניטור. במבט לאורך שנות הניטור נמצאת עליה מתונה מתמשכת באחוז כיסוי האלמוגים החיים באתרי קדמת השונית באילת ("שוניות אילת") כאשר בשנות הניטור הראשונות היה ממוצע זה קרוב ל- 19%, ובשנים האחרונות נע הכיסוי הממוצע סביב 25%. באתר שולחן השונית ישנן תנודות גדולות יותר בין השנים כתוצאה מפגיעותו למגוון תנאי סביבה ולא ניתן לאבחן בו שינוי מגמתי (איור 25ב).

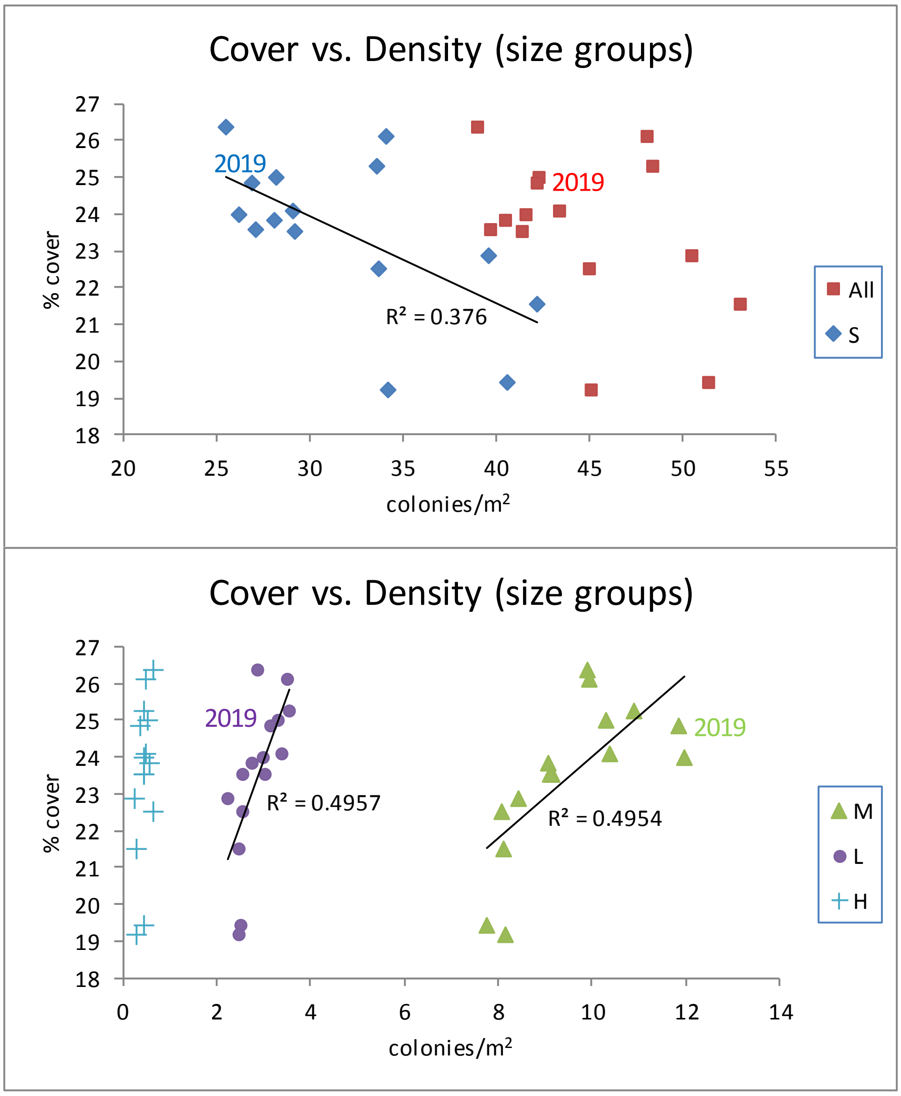


איור ב25: אחוז השטח המכוסה אלמוגי אבן חיים ב"שוניות אילת" (ממוצע שמונה אתרי קדמת השונית), בכחול, ובאתר שולחן השונית, באדום. באתרי קדמת השונית ישנה עליה מתמשכת במשך תקופת הניטור ובאתר שולחן השונית תנודות גדולות בין השנים המשקפות את רגישותו של בית גידול זה.

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 fore-reef sites display a consistent growth in live cover over the monitored period and the reef-table displays large fluctuations, reflecting the high sensitivity of this habitat.

בכל אתרי קדמת השונית עודף מספרי גדול של מושבות אלמוגים קטנות על פני מושבות משאר קבוצות הגודל. בשנים 2008-2013 נמצאה ירידה מתמשכת במספר המושבות הקטנות בשוניות אילת ועלה חשש ממחסור עתידי באספקת מגוייסים לשונית. מאז ועד לשנתיים האחרונות שוב עלה מספר המושבות הקטנות ואיתו צפיפות המושבות בכלל. צפיפות המושבות "הבינוניות" ו"הגדולות" עולה באופן מתון ומתמשך מאז תחילת הניטור ומצביעה על שיפור בשרידות האלמוגים לאורך תקופה זו. נמצאה התאמה בין צפיפות המושבות הבינוניות והגדולות ואחוז הכיסוי החי בשוניות אילת, המצביעה על כך שלקבוצות גודל אלה תרומה גדולה לכיסוי האלמוגים. בין צפיפות המושבות הקטנות ואחוז הכיסוי בשוניות אילת נמצאה התאמה הפוכה המצביעה, אולי, על כך שגיוס אלמוגים מוצלח יותר כאשר הכיסוי החי נמוך יותר (איור ב26).

מדד הרקמה החיה לבריאות אלמוגים נמצא בירידה מתמשכת בשנים האחרונות. הירידה בערך המדד קטנה ואינה משפיעה על אחוז הכיסוי החי הנמדד. יתכן שהירידה 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: התאמה בין אחוז השטח המכוסה אלמוגי אבן חיים ב"שוניות אילת" ובין צפיפות מושבות האלמוגים מקבוצות גודל שונות (לאחר תיקון הטיית הספירה). מושבות אלמוגים קטנות (S) מהוות את הרוב המכריע של המושבות ועל כן משפיעות ביותר על צפיפות המושבות הכללית (All). בינן ובין אחוז הכיסוי נמצאה התאמה הפוכה חלשה (למעלה). בין מושבות האלמוגים הגדולות יותר, ובפרט קבוצת הבינוניים (M) והגדולים (L), ובין אחוז הכיסוי נמצאה התאמה חיובית המעידה על תרומתם לכיסוי האלמוגים בשונית (למטה).

Figure B26: Correlation between the live coral cover in the "Eilat Reefs" and the density of coral colonies from different size groups (after correcting for count size-bias). Small colonies (S) are most abundant and so influence the overall coral density (All). There is a weak negative correlation between the density of small corals and live cover (top). There is a positive correlation between corals of the larger size groups, and particularly the "medium" (M) and large (L) coral size groups, and live coral cover, indicating their significant contribution to coral cover in Eilat's reefs.

ב.2. צילום אתרים קבועים

מטרה

מעקב רב שנתי אחר שינויים במספר מושבות האלמוגים, גודלן, ובריאותן באתרים קבועים בשוניות מהחוף הצפוני ועד גבול מצרים.

שיטות

צילום חוזר של שטחי שונית קבועים באתרי שונית בחוף הצפוני, חוף הדקל, קצא"א, שמורת האלמוגים, המעבדה הימית, וטאבה (איור ב27). בכל אתר חוברה לסלע תושבת קבועה המיועדת למצלמה, בחמש נקודות נבחרות. בכל נקודה מצולמת השונית 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 השונית 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. בניתוח 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 חצובת 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 מעונפים, אלמוגי אבן לא-מעונפים, 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.

החל משנת 2010 נעשית הדיגיטציה ושמירת הנתונים במערכת מידע גיאוגרפי (ממ"ג, GIS). תמונות חדשות עברו דיגיטציה בעזרת ממ"ג, ותמונות של שנים עוקבות יישמרו כשכבות נפרדות עבור כל נקודה (איור ב29). בשנת 2016 הושלם תהליך ההמרה של תמונות משנים קודמות למערכת הממ"ג. בכדי ליישם שיטת ממ"ג לצרכי ניטור אלמוגים בנקודות קבועות נבנתה מערכת קבלת נתונים ייעודית על ידי יחידת הממ"ג באוניברסיטה העברית (תכנות על ידי - עדי בן-נון, עידן קמינר וטלי אבירם).

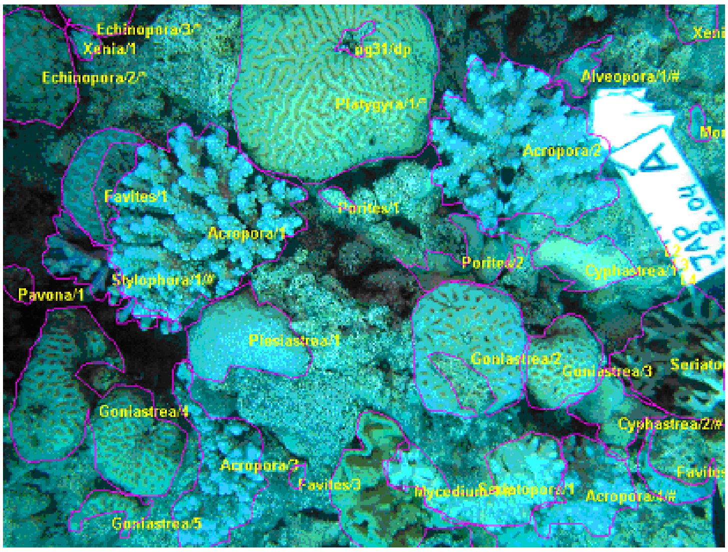
שטח האלמוגים ניתן ביחידות pixel מכיוון שכיול השטח לסמ"ר נמצא לא מדויק עקב הבדלי הגובה של מושבות יחסית למצלמה. קנה מידה מקורב למדידות השטח: $1cm^2$=2kp=2,000pixels. שינויים בשטח ניתנים באחוזים וכך מנוטרלים הבדלי הכיול והטופוגרפיה בין המושבות.

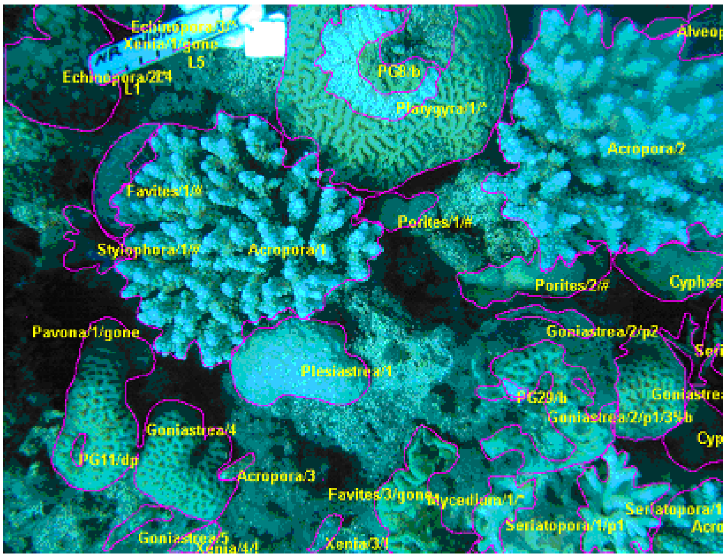
להבדיל מחתכי הקו אשר משווים אפיון סטטיסטי של אתר, בסקר המצולם ישנה השוואה נקודתית של התפתחות אותן מושבות בדיוק משנה לשנה. <u>אתרי הצילום מתעדים נקודות קבועות ואינם מהווים ייצוג סטטיסטי מאפיין של אחוזי כיסוי, מגוון או שכיחות מינים בכלל השטח.</u> כוחו של הסקר המצולם, הנסמך על ניתוח של עשרות ריבועים ב-6 אתרים בין החוף הצפוני לטאבה, הוא במתן אמדן 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).

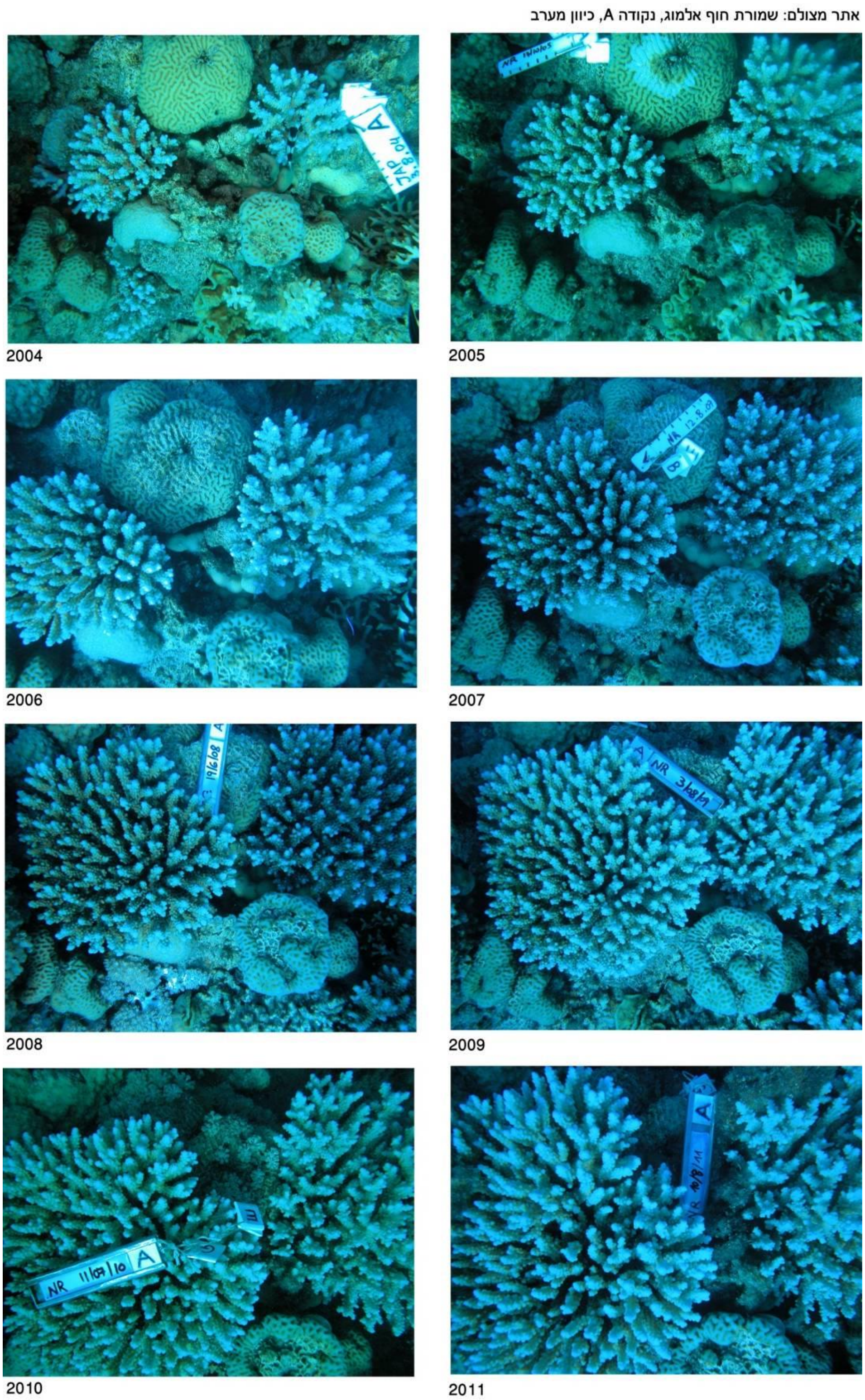
Figure B27: Sites of the photo-survey of coral reefs along the Eilat coastline (green markers).





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.



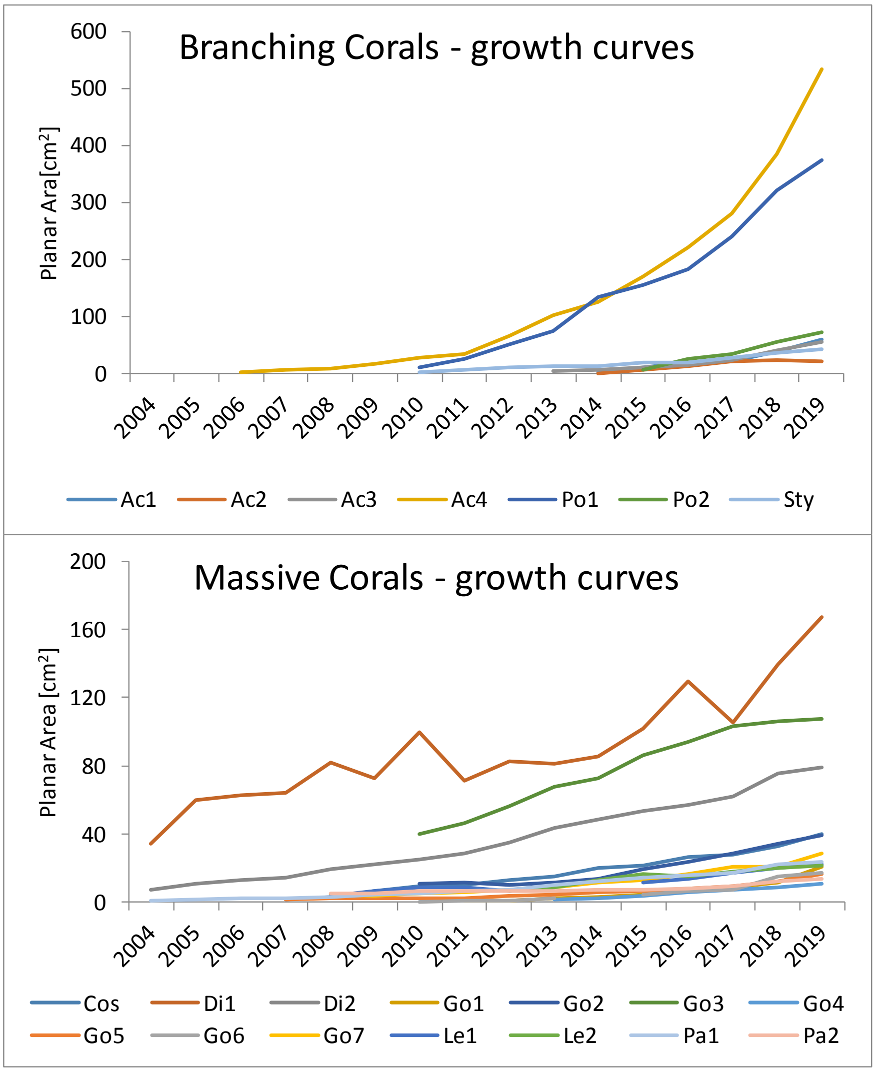
איור ב29: שמונה שנות מעקב אחר אתר מצולם (שמורת האלמוגים, נקודה A, כיוון מערב).

Figure B29 : Eight years of documentation at permanent photo site Nature Reserve, point A, looking west.

תוצאות

עקב צמיחה מרובה של מושבות אל מחוץ לגבולות הצילומים, פגיעה בתושבות הצילום ובעיות של עיבוד נתונים, בשנתיים האחרונות התמונות מאתרי הצילום הקבועים לא מנותחות באופן מלא. נבחר מספר מצומצם של מושבות המופיעות במלואן על פני מספר שנים ונעשה ניסיון לעקוב באמצעותן אחר קצב צמיחת המושבות. בנוסף לכך, נעשתה מדידה בשטח של מימדי המושבות על מנת לכייל את נתוני הצמיחה לס"מ.

מכיוון שנבחרו מושבות המצויות במלואן בשטח המצולם, רוב המושבות הנבחרות הן צעירות – מושבות "ותיקות" שהמשיכו לצמוח בתקופת הניטור חרגו בדרך כלל אל מחוץ לשטח המצולם. המעקב חולק לשתי קבוצות: מושבות מעונפות ומושבות גושיות. בזכות קצב הצמיחה האיטי יותר, נמצאו יותר מושבות גושיות מתאימות למעקב מאשר מעונפות אשר תוך שנים ספורות צומחות מחוץ לשטח המצולם (איור ב30). עובדה זו כשלעצמה מעידה על ההבדל הניכר בקצב הצמיחה של מושבות משתי הקבוצות. נראה כי האלמוגים הגושיים צומחים לאט יותר ובאופן אחיד יותר מאלמוגים מעונפים. לפחות בשנים הראשונות נראית צמיחה אחידה של מושבות אלמוגים כך שבשלבים ראשונים ומושבות קטנות ניתן לייחס לגודל המושבות משמעות של גיל.

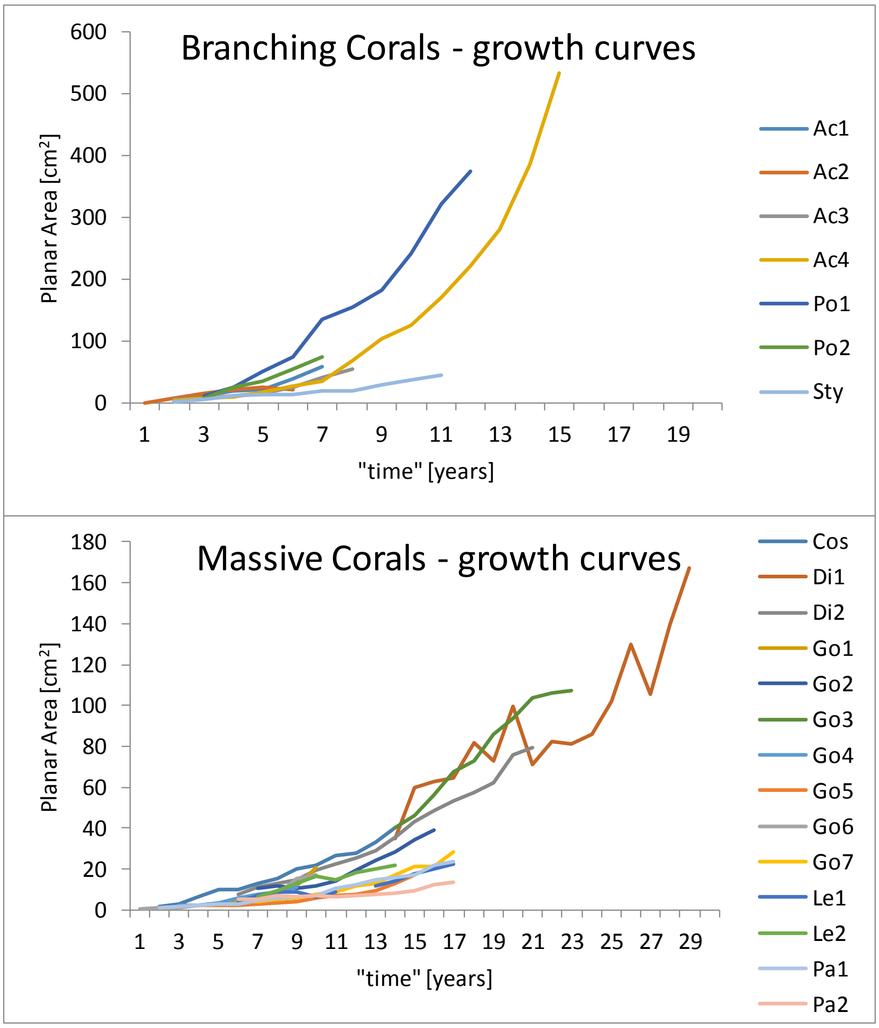


איור ב30: עקומות צמיחה של מושבות אלמוגים נבחרות באתרי הצילום הקבועים.

Figure B30 : Growth curves of specific coral colonies at the permanent photosits.

Ac=Acropora; Po=Pocilopora; Sty=Stylophora; Cos=Coscinaraea; Di=Dipsastrea; Go=Goniastrea; Le=Leptastrea; Pa=Paramontastrea.

על מנת לעמוד על מאפיינים נוספים של צמיחת המושבות סודרו המושבות על פני ציר זמן על פי מאפיין הגודל (איור ב31). נראה שבשלב כלשהו, לאחר 4 שנים או יותר, חל מן המושבות מצליחות להתפתח מהר יותר. במושבות גדולות ובוגרות ישנם שינויי שטח המעידים גם על פגיעה ועל כן עקומות הצמיחה אינן אחידות, זוהי עדות תומכת בהתייחסות הזהירה למדד הרמה החיה הנמוך באתרים בהם מושבות האלמוגים גדולות (פרק ב1 למעלה).



איור ב31: עקומות הצמיחה של מושבות אלמוגים נבחרות באתרי הצילום הקבועים מיושרות לפי גודל.

Figure B31 : Growth curves of specific coral colonies at the permanent photosits aligned according to size.

Ac=Acropora; Po=Pocilopora; Sty=Stylophora; Cos=Coscinaraea; Di=Dipsastrea; Go=Goniastrea; Le=Leptastrea; Pa=Paramontastrea.

האתרים המצולמים, על אף שהתמונות לא נותחו במלואן, מספקים מידע שחסר מניתוח חתכי הקו: הם מלמדים שישנו גיוס של אלמוגים צעירים לשונית ועל פי עקומות הצמיחה של מושבות בשנותיהן הראשונות ניתן ללמוד כי קבוצת הגודל המגדירה מושבות "קטנות" בחתכי הקו (קוטר מוערך של עד 5 ס"מ, = שטח של כ- 20 סמ"ר) מתייחסת לאלמוגים מעונפים שגילם עד 3- 5 שנים, ואילו לגבי אלמוגים גושיים – אלה נמצאים בקטגוריה זו במשך 10-15 שנים.

ב.3. חברת האלמוגים בלגונת שמורת האלמוגים

<u>מטרה</u>

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

<u>שיטות</u>

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

מפאת מיעוט האלמוגים, שיטת מקטעי הקו לא התאימה 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 שישה ריבועים, על מנת להימנע מספירת אלמוגים בגב השונית או מהטיה הנובעת מהבדלים ברוחב הלגונה. בסה"כ כלל הסקר השנה 100 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.

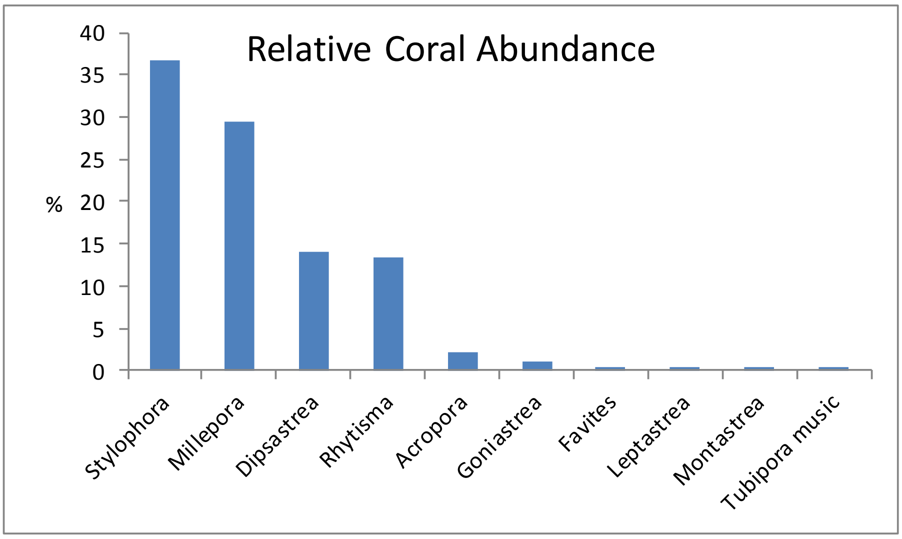
איור ב32: תיאור מערך הדיגום של חברת האלמוגים בלגונת השמורה באזור הסגור לקהל. ריבועים בגודל של 1 מ"ר (באדום) הונחו באופן סדור במרחק של 5 מטרים זה מזה לאורך סרט מדידה שהונח בניצב לחוף והתחיל ממרחק 9 מטרים מ"קו החוף" ועד לשולחן השונית (קו דיגום). כל קו דיגום כלל בין 5 ל- 6 ריבועים, (על אף שבאיור משורטטים רק 4 לכל חתך). סה"כ בוצעו 17 קווי דיגום בשטח הלגונה.

Figure B32: The sampling design in the lagoon. 1 m^2 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.

<u>תוצאות</u>

השנה נספרו ב- 102 ריבועי דגימה של 1 מ"ר בלגונה שבשמורת חוף אלמוג 193 מושבות אלמוגים, מהן 165 אלמוגי אבן אשר סווגו ל-9 סוגים ו-28 אלמוגים רכים השייכים ל-3 סוגים. בעוד ששיפעת האלמוגים הרכים דומה לזו של השנים האחרונות, מספר המושבות של אלמוגי אבן קטן בשנים שמאז 2010 בהשוואה לשנים הראשונות של הניטור.

אלמוג האבן הנפוץ ביותר הוא *Stylophora pistillata*. אלמוג זה מהווה השנה כ- 37% מכלל מושבות האלמוגים אשר נסקרו, מעט גבוה מאשר בשנה הקודמת (31%), ושב להיות האלמוג הנפוץ ביותר בלגונה (בשנה הקודמת היה זה אלמוג האש *Millepora* אשר היווה כ- 33% מכלל מושבות האלמוגים בלגונה, איור ב33). עשרה סוגי האלמוגים הנפוצים ביותר מהווים השנה כ-99% מכלל המושבות, וזאת מכיוון שעושר סוגי האלמוגים שנמצאו בשנתיים האחרונות בלגונה נמוך מבעבר.



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.

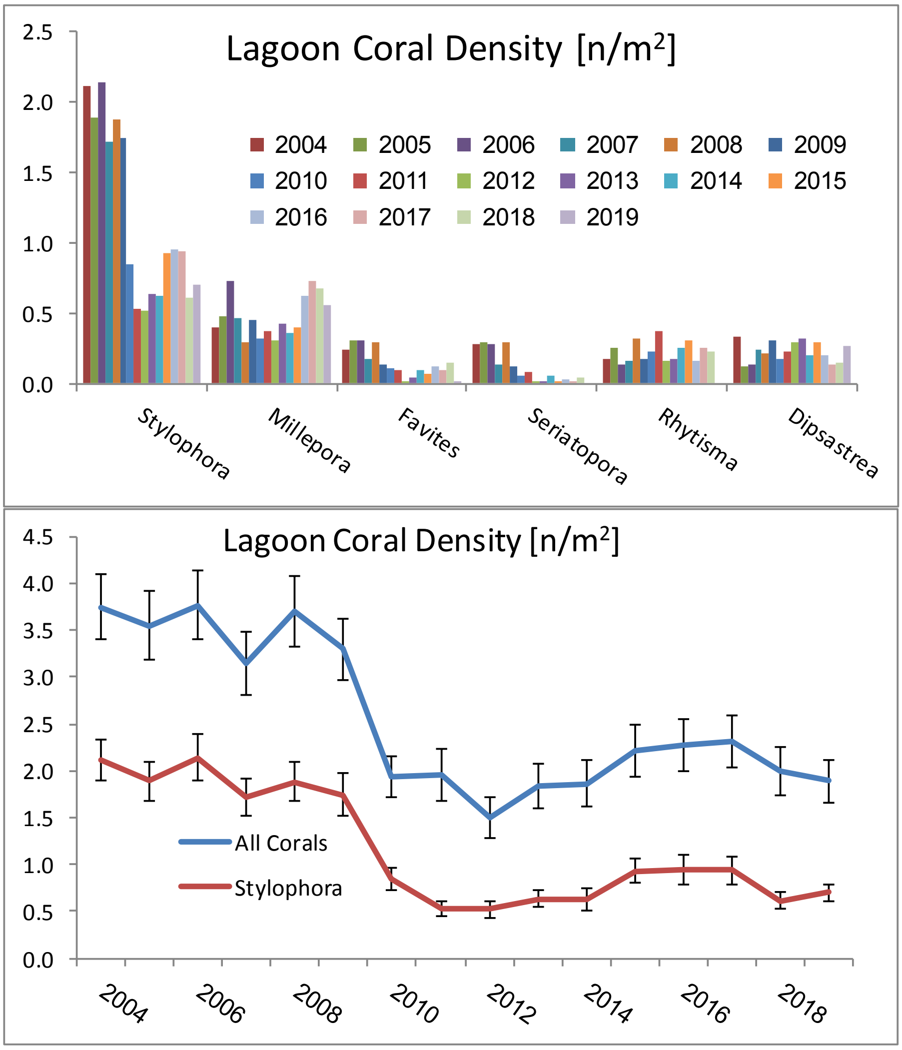
הצפיפות הממוצעת של מושבות אלמוגים מכל סוג בלגונה היתה השנה 1.89 מושבות למ"ר (לעומת 1.99 בשנה הקודמת ו- 2.32 בשנה שלפניה), וצפיפותם הממוצעת של אלמוגי אבן היתה 1.49 מושבות למ"ר (טבלה ב5). הירידה בצפיפות המושבות נובעת בעיקר מירידה במספר המושבות של שני האלמוגים הנפוצים, *Millepora* ו- *Stylophora pistillata*.

Species	n	Relative abundance [%]	n/m^2
Stylophora	71	36.79	0.70
Millepora	57	29.53	0.56
Dipsastrea	27	13.99	0.26
Rhytisma	26	13.47	0.25
Acropora	4	2.07	0.04
Goniastrea	2	1.04	0.02
Favites	1	0.52	0.01
Leptastrea	1	0.52	0.01
Montastrea	1	0.52	0.01
Tubipora musica	1	0.52	0.01
Litophyton	1	0.52	0.01
Sinularia	1	0.52	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 ועד לשנת 2018 נמצאה עליה איטית בצפיפות המושבות. בשנתיים האחרונות עליה זו בצפיפות המושבות נעצרה (איור ב34).

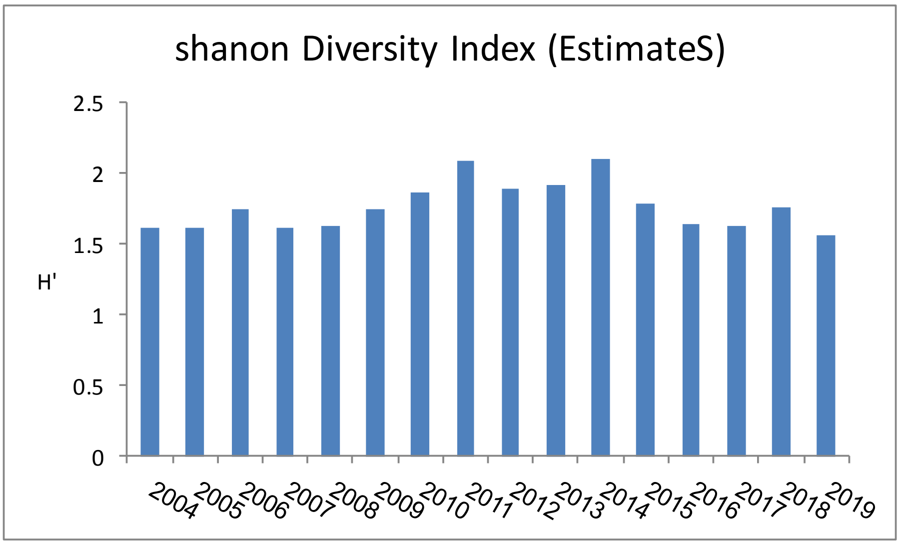
התנודות הגדולות ניכרות בעיקר במספר המושבות של האלמוג שלאורך השנים הוא העיקרי בלגונה - *Stylophora pistillata* - אשר ממנו נספרו בשנים האחרונות יותר מ- 90 פרטים, לעומת 64 בשנת 2014 ו-67-71 בשנתיים האחרונות, בהתאמה. שינויים אלה מכתיבים את התנודות הנצפות לגבי סך צפיפות מושבות האלמוגים הנספרים בלגונה. בשנות הניטור הראשונות היתה צפיפות האלמוגים בלגונה בערך כפולה מהצפיפות שנמדדה בשנים 2010-2012, ובשנים האחרונות, עד השנה הקודמת, 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.



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 השנה בהשוואה לשנים הקודמות וערכו עומד על 1.56 (איור ב35). השינויים במדד המגוון נובעים במידה רבה משינויים במספר מושבות המין הדומיננטי בלגונה, האלמוג *Stylophora* וירידה באלמוג זה מכתיבה עליה במדד המגוון, ולהיפך.



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.

<u>דיון ומסקנות</u>

בשנות הניטור הראשונות (2004-2009) נעה צפיפות האלמוגים בלגונה בין 3.75 ל- 3.29 מושבות למ"ר. בחורף 2009-2010 פגעה באילת סדרת סערות דרומיות חזקות ובקיץ 2010 נמדדה צפיפות של 1.93 מושבות אלמוגים למ"ר. הצפיפות הנמוכה ביותר נמדדה בשנת 2012, 1.50 מושבות למ"ר, ומאז נצפתה עליה איטית עד השנה. צפיפות המושבות שנמדדה השנה היתה 1.89 מושבות למ"ר.

הפגיעה העיקרית היתה באלמוג הדומיננטי *Stylophora pistillata* ותנודות באוכלוסיית אלמוג זה מכתיבות 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.

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 בשנתיים האחרונות שוב נמדדה ירידה במספר המושבות בלגונה. סביר שהשינויים במספר מושבות אלמוגי *Stylophora* הדומיננטי הם המכתיבים 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 חורף 2009-2010 השפעה ניכרת בלגונה והן, כנראה, שהביאו לירידה הגדולה בצפיפות האלמוגים בלגונה. השנה לא אירעו סערות כאלה, אולם שטפונות באזור החוף הדרומי הביאו בשנתיים האחרונות כמות גדולה של סדימנט למי החופים ואולי זהו מקור הפגיעה באלמוגי הלגונה. עלינו להמשיך ולעקוב אחר שינויים בחברת האלמוגים בלגונה ולנסות בודד את הגורמים לשינויים אלה.

ב.4. התיישבות אלמוגים בשונית

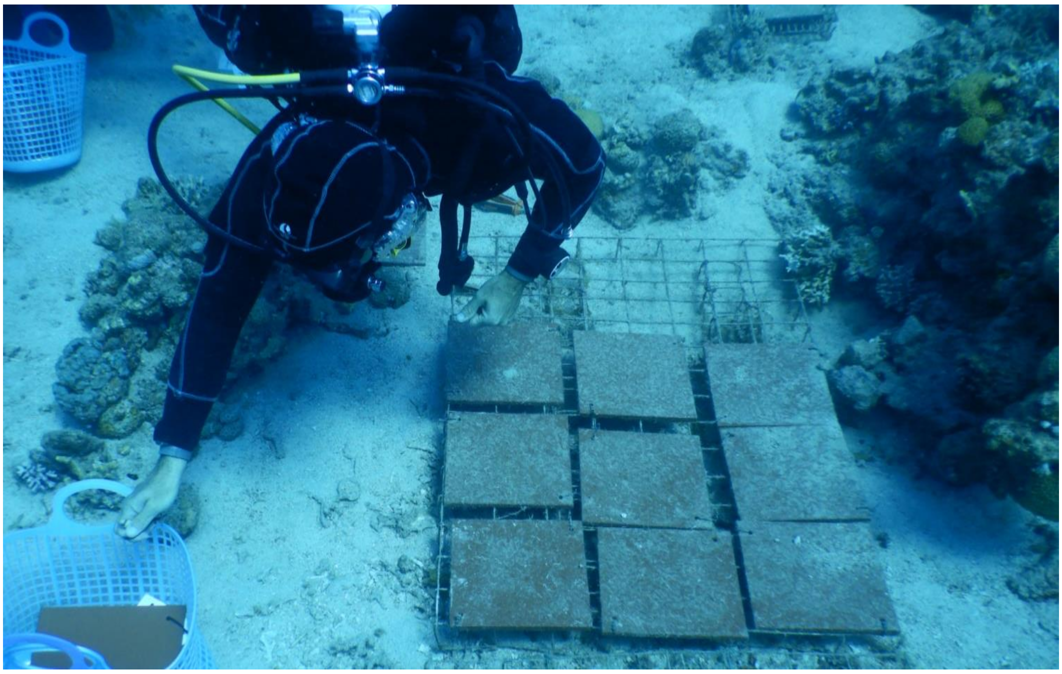
מטרה

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 הוכנסו לים באביב (מרץ) והוצמדו למערכים שהונחו באופן שרירותי בסמוך לסלע שונית בעומק 7-10 מטרים (איור ב36).

השנה, 2019, התווספו מערכים זהים גם באתר קצא"א.



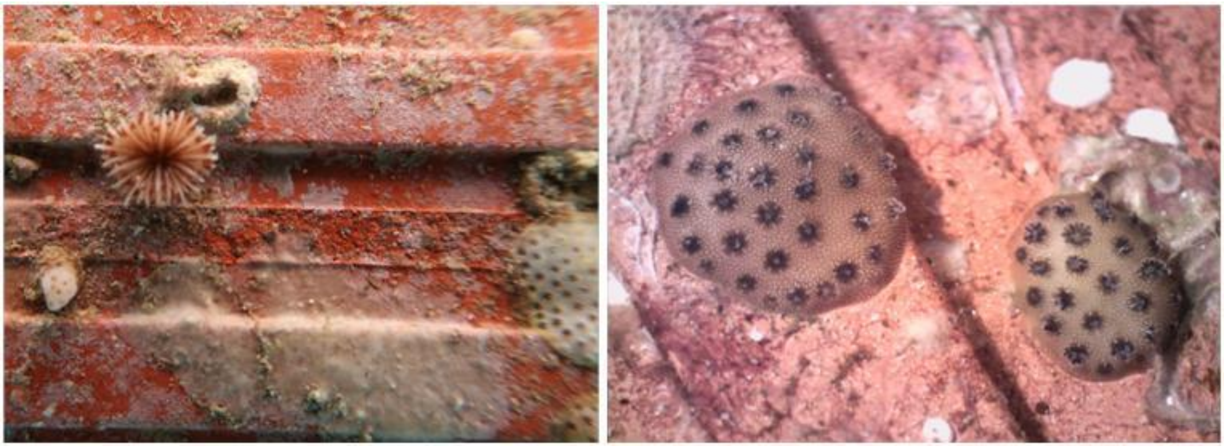
איור ב36: מערכי לוחיות התיישבות בשונית.

Figure B36: Arrays of coral settlement plates in Eilat's reef.

אחת לחודשיים נאספו 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 מהשונית.

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

<u>תוצאות</u>

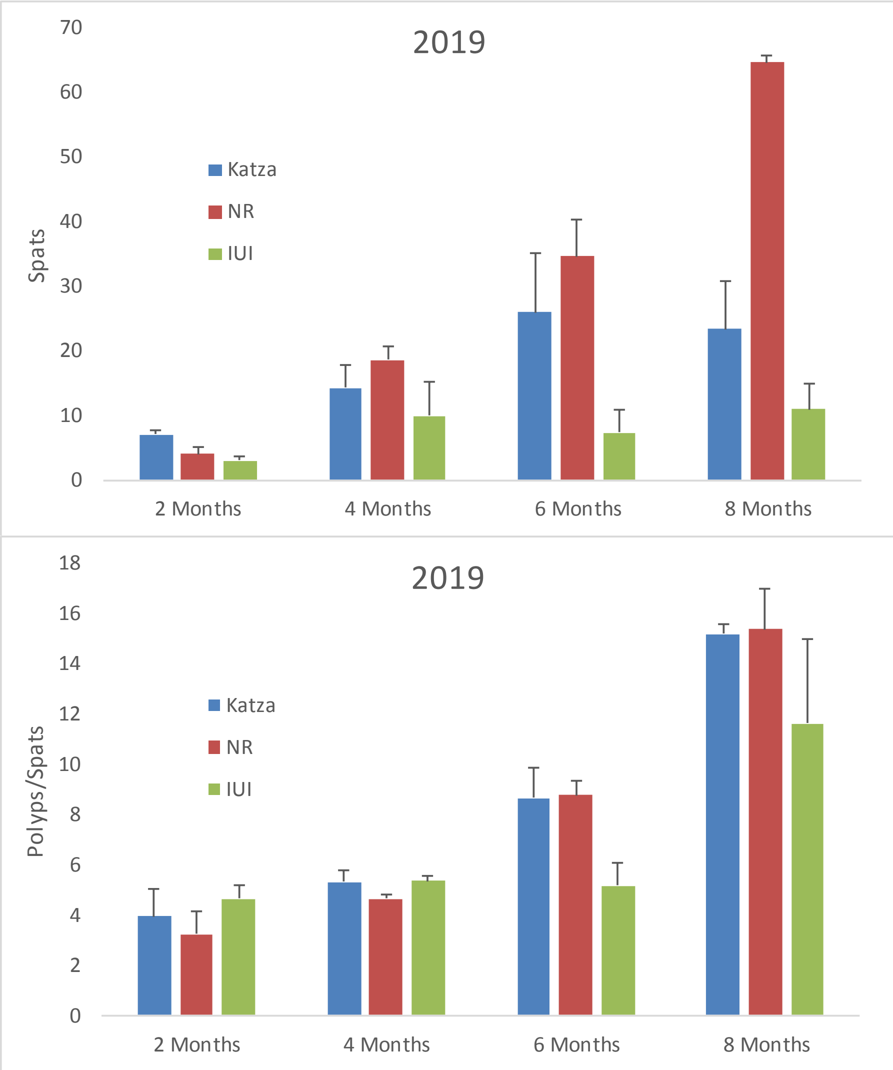
לוחיות התיישבות הוצבו לראשונה בשונית בסוף אפריל-תחילת מאי 2015 (מעבדה ימית וחוף אלמוג, בהתאמה). ובמשך שנתיים כלל הניטור החלפת זוג לוחיות (שהיו עשויות PVC ממוחזר) מדי חודשיים כך שכל זוג שהה בים במשך ששה חודשים. בעונה הראשונה (שנת 2015) התקבלו תוצאות מעניינות אך מספר המתיישבים היה קטן ולא ניתן היה להסיק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

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

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

השנה הוצבו לוחיות בשלושה אתרים ושהו בים במשך פרקי זמן הנעים בין חודשיים לשמונה חודשים. לאורך תקופה זו ניתן לעקוב הן אחרי הצטברות וגריעת מתיישבים (מספר מתיישבים, Spats) והן אחרי גידול המגוייסים (מספר פוליפים למתיישב). מכיוון שהרוב המכריע של מתיישבי אלמוגים על גבי הלוחיות נמצאו על צידן התחתון, המוגן, של לוחיות המעקב, ניתן ללמוד בעיקר על אספקת מגוייסים ויכולתם לשרוד את השלבים הראשונים של ההתיישבות (ללא לחצי רעייה אשר פוגעים במתיישבים בשונית הטבעית). בסך הכל נספרו השנה על גבי לוחיות התיישבות באתר המעבדה 94 מגוייסים (218 בשנה הקודמת), ובאתר השמורה נספרו 366 (783). באתר קצא"א נספרו השנה 212 מגוייסים על גבי לוחיות ההתיישבות. בשתי השנים האחרונות מספר המגוייסים היה גדול יותר מאשר השנה, ובכל שלוש השנים נמצאו יותר מגוייסים באתר השמורה מאשר באתר המכון.

בין האתרים השמורה וקצא"א ישנו דמיון בכמות ובגדילת המגוייסים, אם כי באתר השמורה נמצאו יותר מגוייסים בתקופה האחרונה – עובדה המעידה על תקופת גיוס ארוכה יותר או על שרידות טובה יותר של מגוייסים. באתר המכון מספר המגוייסים קטן מאשר בשני האתרים האחרים ובסוף התקופה היה גם גודל במגוייסים קטן בהשוואה לשני האתרים האחרים (איור ב38).

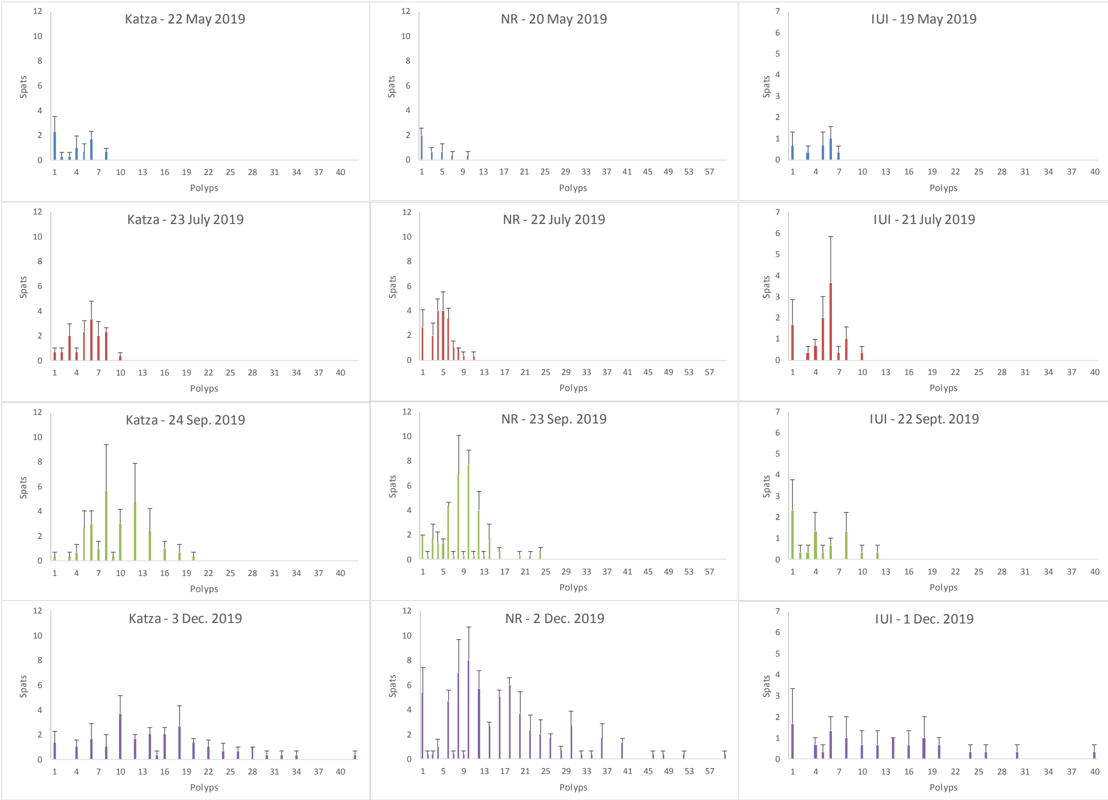


איור ב38: למעלה – מספר המתיישבים הממוצע באתר בפרקי הזמן הנדגמים (בין אפריל לנובמבר). למטה – מספר הפוליפים הממוצע למגויים.

Figure B38: Top – the average number of coral spats at different time intervals between April and September. Bottom – the average number of polyps per spat (size).

תבנית גיוס אלמוגים על פני התקופה אפריל-נובמבר מוצגת באיור ב39. התיישבות אלמוגים החלה בפרק הזמן הראשון (חודשים אפריל-מאי) ונמשכה לתוך פרק הזמן האחרון (חודשים אוקטובר-נובמבר) בשלושת האתרים. בשנה הקודמת נשארו לוחיות גם בחודשים דצמבר-ינואר ונמצאו התיישבויות בודדות גם בחודשים אלה וזאת בניגוד לציפיות שלאחר סוף הקיץ התיישבות האלמוגים תיפסק.

גידול של מתיישבים נמשך לאורך כל התקופה יחד עם תוספת מתיישבים חדשים. על אף השונות, מצטיירת באתרים השמורה וקצא"א תבנית גיוס וגידול ברורה ובאתר המעבדה התבנית פחות ברורה.

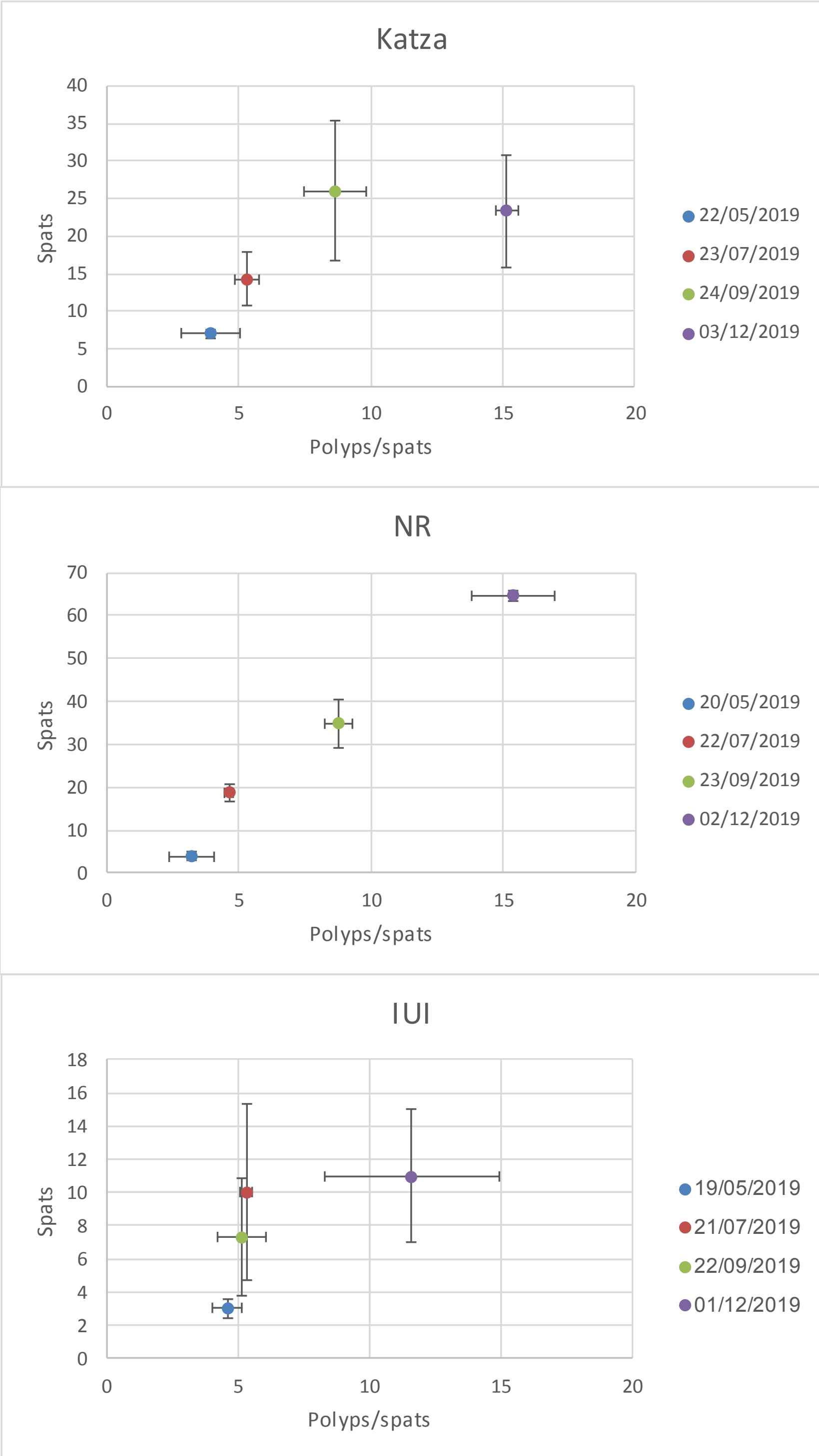


איור ב39: מספר המתיישבים (על ציר Y) בעלי מספר פוליפים (הנתון בציר X) על גבי לוחיות ההתיישבות באתרי שמורת האלמוגים (NR) והמעבדה (IUI). הערכים המוצגים הם ממוצע של שלושת המערכים בכל אתר.

Figure B39: The number of coral spats (on the Y axis) having a given number of polyps (presented on the X axis) found on coral settlement plates at the coral nature reserve (NR) and Interuniversity Institute (IUI) sites. The values presented are averages of the three arrays at each site.

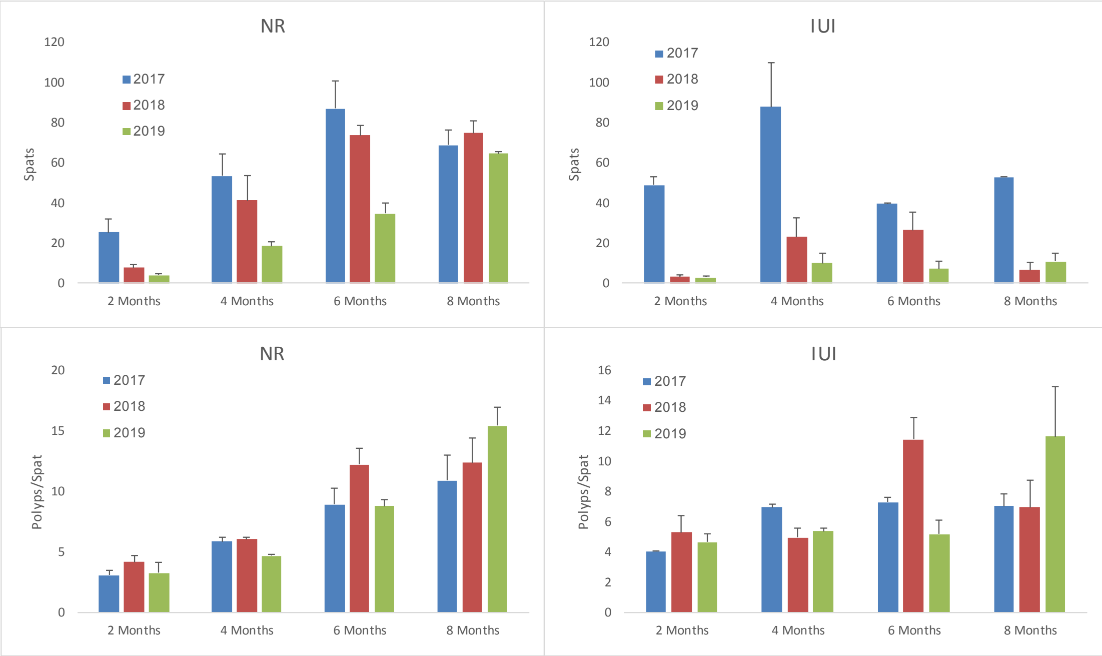
בפרק הזמן הראשון (אפריל-מאי) גודלם הממוצע של מתיישבי אלמוגים קטן בכל באתרים וגם מספר המגויסים קטן. נראה כי רביית האלמוגים מתחילה בפרק זמן זה. בתקופה השניה (יוני-יולי) נמצאו יותר מגויסים וגודלם עדיין קטן. בתקופה השלישית (אוגוסט-ספטמבר) ישנם יותר מגויסים וגודלם בדרך כלל גדול יותר, בהשוואה לתקופות הקודמות. בסוף הקיץ (אוקטובר-נובמבר) נמצאו באתר השמורה מספר הגדול ביותר של מגויסים (בממוצע, 65 מגויסים בכל מערך), וגודלם גדול ביותר (בממוצע, 15 פוליפים). באתר קצא"א נמצאו בעיקר מגויסים גדולים (בגודל דומה, 15 פוליפים, בממוצע) ופחות מתיישבים חדשים (בממוצע, 23 מגויסים בכל מערך), עובדה המצביעה, אולי, על כך שבאתר זה רביית האלמוגים כבר מסתיימת בתקופה זו. באתר המעבדה נמצאו בתקופה זו פחות מגויסים ובגודל קטן (בממוצע, 11 מגויסים בכל מערך, בגודל של 11 פוליפים בלבד) – אולי עדות לכך שהרבייה נפסקה וקצב הגדילה באתר זה קטן יחסית (איור ב40).

בשלוש השנים האחרונות ניתן לעקוב אחר תבנית התגייסות אלמוגים, עם תבנית גיוס רציפה באתר השמורה של גידול במספר המגויסים ובגודלם לאורך העונה, ובאתר המעבדה תבנית מסודרת פחות עם מספר גדול ביותר של מגויסים לרוב בתקופה השניה או השלישית (איור ב41). בין השנים נראה כי מספר המגויסים בשנת 2017 היה הגבוה ביותר, בפרט באתר המעבדה, אך גודלם הסופי היה גבוה יותר השנה, בשני האתרים.



איור ב40: מספר המגוייסים הממוצע באתר השמורה (משמאל) ובאתר המעבדה (מימין) כנגד מספר הפוליפים הממוצע למגוייס לאורך התקופה הנבדקת.

Figure B40: The average number of recruits found on coral settlement plates versus the average number of polyps per recruit at the nature reserve site (left) and the Interuniversity site (right), throughout the examined period.



איור ב41: השוואה בין השנים ובין העונות באתר השמורה (משמאל) ובאתר המעבדה (מימין). למעלה – מספר המתיישבים הממוצע באתר בפרקי הזמן הנדגמים (בין אפריל לנובמבר). למטה – מספר הפוליפים הממוצע למגוייס.

Figure B41: Inter-annual and seasonal comparison of coral settlement at the Nature Reserve (left) and Interuniversity Institute (right). Top – the average number of coral spats at different time intervals between April and September. Bottom – the average number of polyps per spat (size).

לסיכום, ניטור מגוייסים לשונית מבוצע במתכונתו הנוכחית זו השנה השלישית בלבד ועל כן אין עדיין אפשרות להסיק מסקנות ברורות לגבי הבדלים בין השנים. עם זאת, ניתן לעקוב אחר תבנית הגיוס העונתית בשנים האחרונות (חודשים אפריל-נובמבר בשנים 2017-2019) בשני אתרים, אתר השמורה ואתר המעבדה. השנה נוסף גם אתר קצא"א לאתרים המנוטרים וכך מתקבל כיסוי מרחבי טוב יותר של ראש המפרץ.

נראה כי באתר השמורה כמות המגוייסים גדולה יותר והם גדלים טוב יותר מאשר באתר המעבדה. אתר קצא"א דומה לאתר השמורה. באתר השמורה מספר המגוייסים שנספרו על גבי לוחיות היה הגדול ביותר וגם הגודל הממוצע והגודל המרבי באתר השמורה גדולים יותר. בשתי השנים נמצא באתר השמורה גידול במספר המגוייסים על לוחיות בין תחילת העונה לשיאה בחודש ספטמבר, וירידת-מה אחרי חודש ספטמבר. באתר המעבדה 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.

ב.5. פלנולות אלמוגים ולרוות דגים בסמוך לשונית

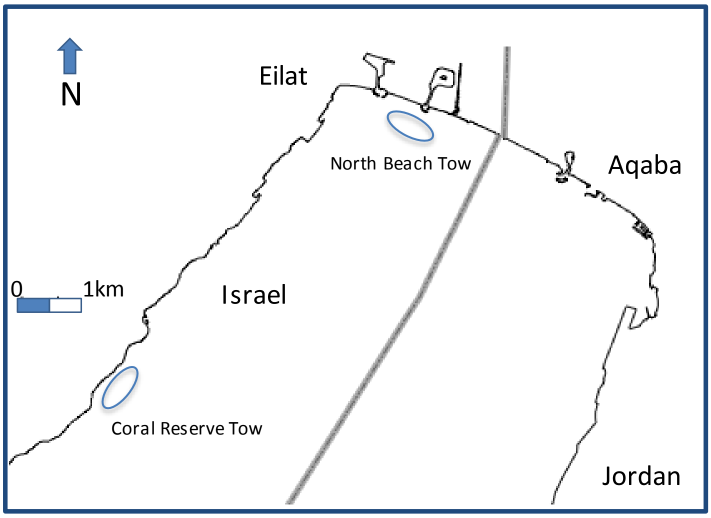
מטרה

מעקב כמותי אחר שינויים באספקת פלנולות של אלמוגים ולרוות של דגים לשוניות האלמוגים של אילת.

שיטות

אמדן כמותי של כמות הפלנולות וכמות הלרוות של דגים המצויות בסמוך לחופי אילת בשני אזורים – החוף הצפוני והחוף הדרומי, בסמוך לשמורת חוף אלמוג (איור ב42). בשני האזורים נעשית גרירה מבוקרת של רשת פלנקטון בשלושים המטרים העליונים של עמודת מי החוף. תוך כדי שיוט במהירות מבוקרת ואיטית מעל קרקעית בעומק כ-60 מטרים מורדת רשת פלנקטון עד לעומק של 30 מטרים ונמשכת חזרה לסירה. עבור פלנולות נגררת רשת של 100 מיקרו-מטר בעלת קוטר של חצי מטר, למשך ארבע דקות במהירות שיוט של כ- 1.5 קשר לפני תחילת המשיכה חזרה לסירה. עבור לרוות דגים נגררת רשת כפולה (bongo) של 300 מיקרו-מטר בקוטר של 0.7 מטר 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 דוגמאות פלנולות מקובעות בפורמלין 4% ומרוכזות בסטמפל-פיפט בנפח 90 מ"ל. מכל דוגמה נלקחו חמש תת-דגימות לצורך ספירה ומיון בבינוקולר. דוגמאות לרוות מקובעות אף הן בפורמלין 4% והדוגמה כולה עוברת ספירה ומיון תחת בינוקולר.



איור ב42: מיקום גרירות הרשת לאיסוף פלנולות ולרוות, בסמוך לחוף הצפוני ולשמורת חוף אלמוג.

Figure B42: Locations of plankton net tows adjacent to the North Beach and the Coral Nature Reserve of Eilat.

תוצאות

גרירות רשת נעשו השנה בפעם השניה ופרוטוקול הגרירה עדיין אינו סופי. השינויים שנערכו בהשוואה לשנה הקודמת הם שימוש ברשת כפולה לצורך איסוף לרוות, כל הגרירות נעשו ברצף מספינת המחקר המאפשרת שליטה טובה יותר במיקום וקצב ההפלגה, ומועד הגרירות שונה לקיץ – 28.7.2019, בשעות הבוקר.

בגרירות רשת הפלנולות נדגם נפח מים מחושב ממוצע של כ- 50 מ"ק לכל גרירה.

בשמורת האלמוגים לא נמצאו פלנולות כלל, ובחוף הצפוני נמצאו בסך הכל 7 פלנולות אלמוגים בכל הגרירות. זוהי כמות קטנה מכדי שתהיה לה משמעות ונראה כי יש לחשוב מחדש על שיטת איסוף הפלנולות. לכל הפחות, יש לשנות את מועד הגרירות לספטמבר ולהגדיל את משך הגרירה בכדי לסנן נפח מים גדול יותר, אולם יתכן שדרושה שיטת עבודה שונה.

הרשת לדגימת לרוות הינה רשת כפולה מסוג bongo שלה קוטר וחורים גדולים יותר ובנוסף, הגרירה נעשית במהירות מעט גדולה יותר ולמשך זמן מעט ארוך יותר. בגרירות אלה נפח המים המחושב הממוצע היה 285 מ"ק, פי שלוש מאשר בשנה הקודמת.

מול שמורת האלמוגים נספרו בסך הכל 346 לרוות דגים לגרירה, ומול החוף הצפוני 276. מספרים אלה גדולים בהרבה ממצאי השנה הקודמת.

צפיפות הלרוות הממוצעת המחושבת מנתונים אלה היא 0.38 ו- 0.34 לרוות למ"ק מי ים, בשמורת האלמוגים ובחוף הצפוני, בהתאמה. גם מספרים אלה אינם גבוהים ונראה כי כדאי יהיה לדגום גם לרוות יחד עם הפלנולות ובשני המקרים להוסיף חזרות או להגדיל את משך הגרירה על מנת לשפר את איכות המדידה.

ב.6. סקר חסרי חוליות ניידים בשונית

מטרה

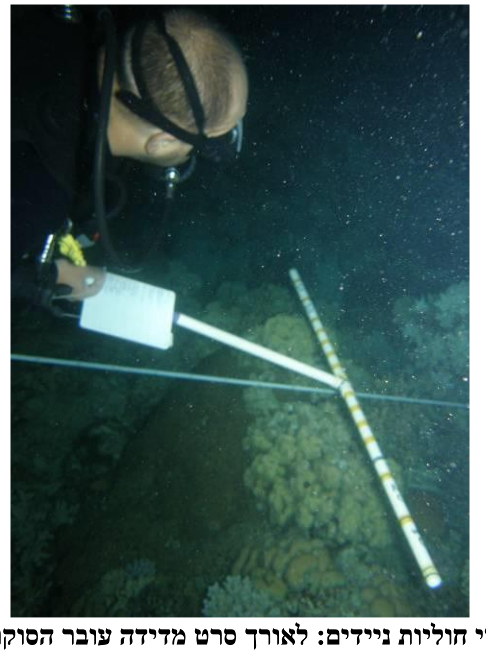
אמדן שיפעת חסרי החוליות הניידים העיקריים בשונית האלמוגים בחוף הדרומי של אילת.

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 ב43). בשיטה זו ניתן לכסות שטח גדול ביעילות רבה, ובמקרה זה את מרבית שטחו של כל אתר לאורך קו העומק הנבחר, עובדה בעלת חשיבות עקב מספרם הקטן של חסרי החוליות. מירב השטח באתר נסקר לאורך קו העומק המבוקש לקבלת ספירה מדויקת ככל האפשר, אולם אבדה יכולת ההערכה של פרמטרים סטטיסטים התלויים בחזרות רבות של יחידות מדידה קטנות הדוגמות את האתר.

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



איור ב43: 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 B43: Belt-transect survey of motile invertebrates: a diver holding a T-shaped stick passes along a measuring tape counting the individuals found under the cross-arm. This makes a sampling unit whose length is defined by the measuring tape and whose width by the 1 meter long cross-arm. Photo: Tomer Shaulov

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

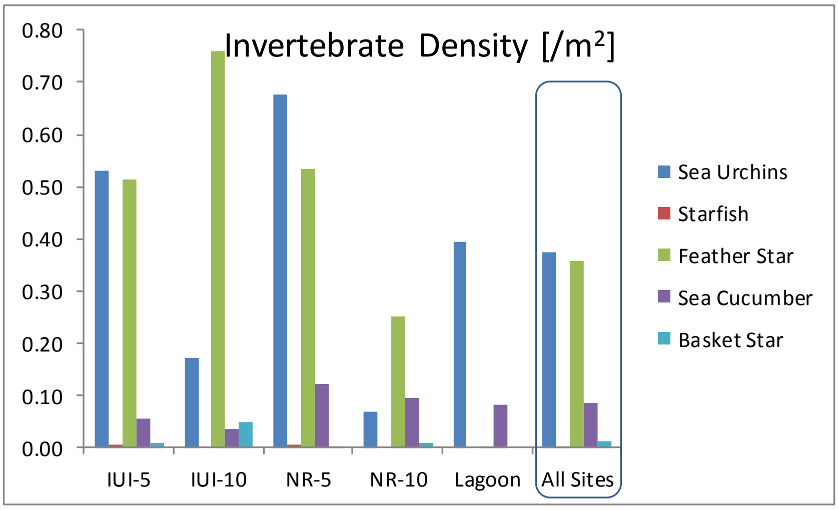
	IUI-5		IUI-10		NR-5		NR-10		Lagoon	
	Density	Number	Density	Number	Density	Number	Density	Number	Density	Number
Diadema	0.44	88	0.14	28	0.12	49	0.05	21	0.12	47
Other Urchins	0.09	18	0.03	34	0.55	270	0.02	28	0.28	158
Total Urchins	0.53	106	0.17	6	0.68	221	0.07	7	0.40	111
Starfish	0.01	1	0	0	0.01	2	0	0	0	0
Feather star	0.52	103	0.76	152	0.54	214	0.25	100	0	1
Sea Cucumber	0.06	11	0.04	7	0.12	49	0.10	38	0.08	33
Basket Star	0.01	2	0.05	10	0	1	0.01	4	0	0
m^2 surveyed	200		200		400		400		400	

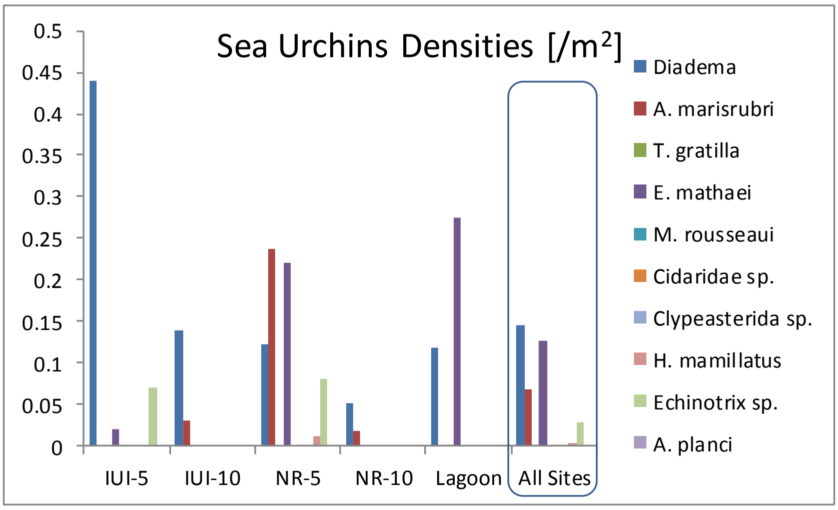
טבלה ב6: שכיחות (מספר הפרטים וצפיפותם למ"ר) חסרי החוליות הניידים באתרים הנסקרים.

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

קבוצת הרועים החשובה ביותר בשונית מבין חסרי החוליות היא קיפודי הים, אשר להם תפקיד חשוב בנקיון השונית מאצות. זוהי גם הקבוצה הנפוצה ביותר בסקרי הניטור כאשר הקבוצה השניה הנפוצה היא חבצלות הים (איור ב44). בין קיפודי הים, המין הנפוץ ביותר הוא *Diadema setosum*. בשנים האחרונות נצפתה עליה בשיפעת קיפודי ים מסוגים אחרים באתרי הלגונה והשמורה הרדודה וקיפוד הים *Echinometra mathaei* הוא השני הנפוץ ביותר. השנה נמצאו פרטים רבים מן המין *Asthenosoma marisrubri*, בפרט באתר השמורה הרדודה. צפיפות קיפודי ים גדולה ביותר באתרים הרדודים (ובמיוחד באתר IUI-5) ופחות באתרים העמוקים.

צפיפותן של חבצלות הים גבוהה ברוב האתרים, מלבד באתר הלגונה. הלגונה היא אתר חולי בעיקר והסלעים בה מעטים. על כן אין זה בית גידול אופייני לחבצלות.

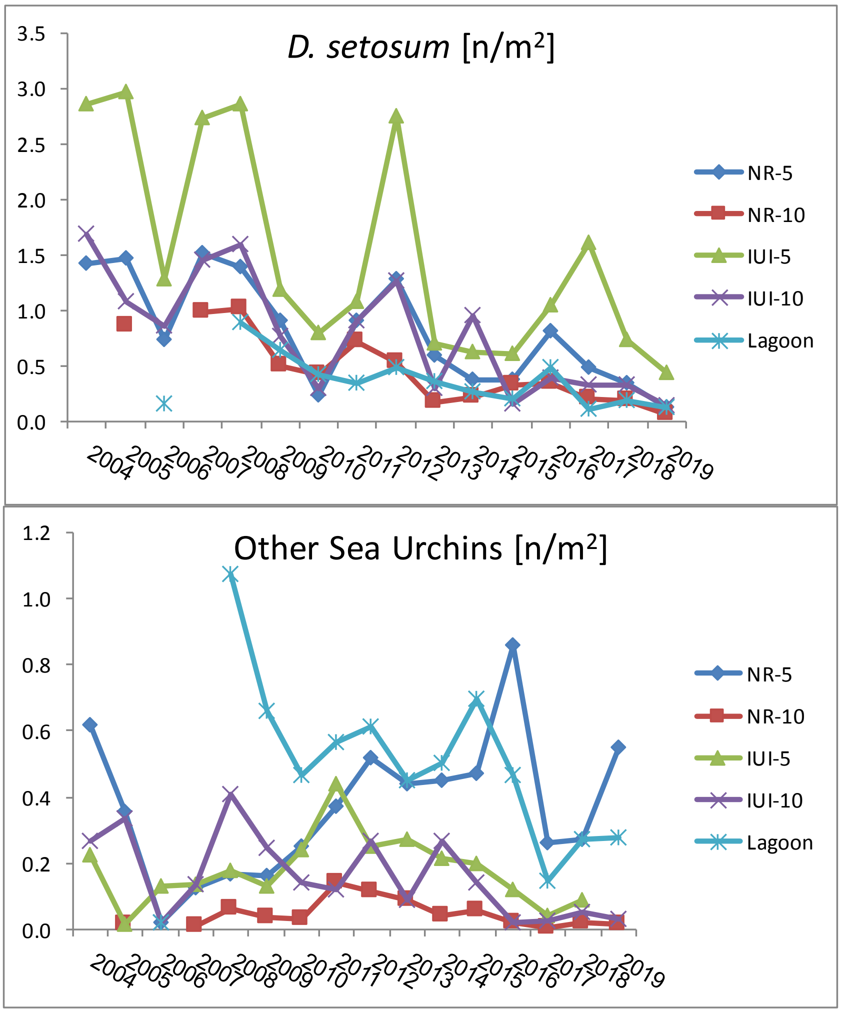




איור ב44: הצפיפות הממוצעת (פרטים למ"ר) של חסרי חוליות ניידים (למעלה) וקיפודי ים (למטה) באתרי הניטור.

Figure B44: The average density (per m^2) of mobile invertebrates (top) and sea urchins (bottom) at the sampling sites.

במשך שנות הניטור נמדדו תנודות גדולות בצפיפות קיפודי ים (איור ב45). התנודות באוכלוסיית הקיפוד הנפוץ *D. setosum* גדולות במיוחד באתר IUI-5 בו צפיפותו גדולה ביותר, אך תבנית השינוי דומה בכל האתרים. באתר הלגונה צפיפות קיפודה הים מהמין *E. mataei* גדולה יותר ובאתר השמורה הרדוד היו השנה יותר קיפודים מסוגים אחרים במשולב מאשר *D. setosum*.



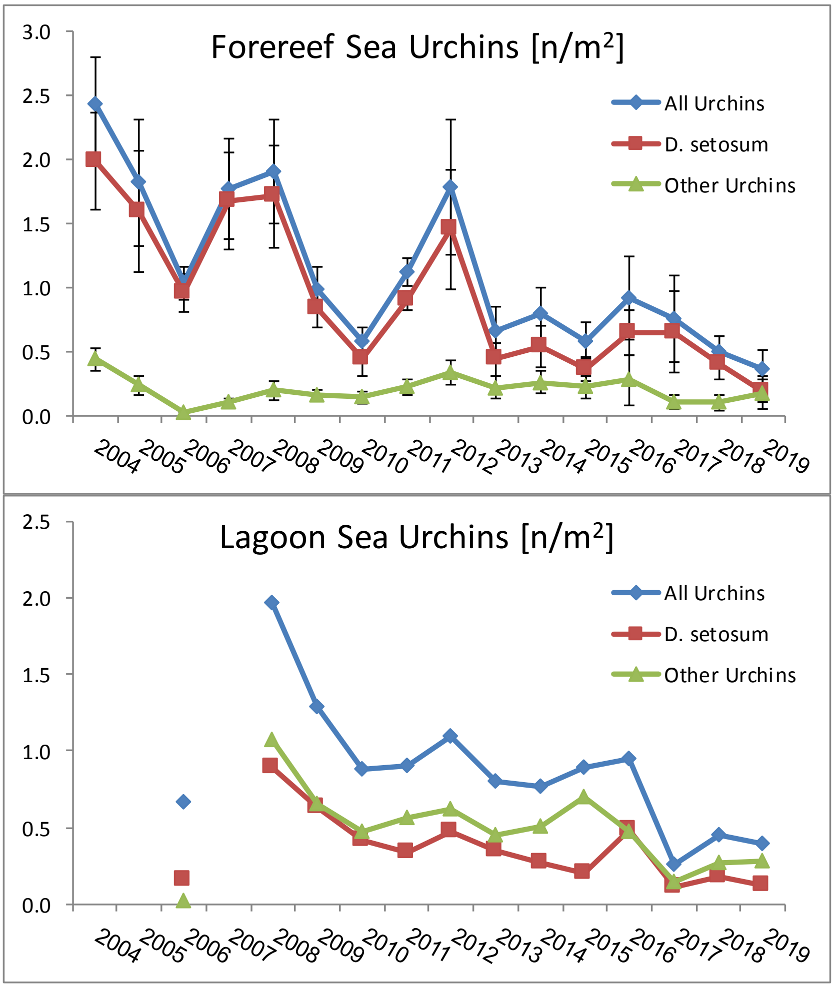
איור ב45: הצפיפות הממוצעת (פרטים למ"ר) של קיפודי הים *Diadema setosum* (למעלה) של קיפודי ים אחרים (למטה) באתרי הניטור.

Figure B45: The average density (individuals per m^2) of *Diadema setosum* (top) and other urchins (bottom)

at the sampling sites.

באתרי קדמת השונית תבנית השינוי המחזורי בגודל אוכלוסיית קיפודי הים עוקבת אחרי התנודות באוכלוסיית *D. setosum* ואילו בלגונה המחזוריות פחות בולטת (איור ב46).

צפיפות גבוהה של קיפודי ים נמדדה בשנים הראשונות לניטור (2004-5) וכן בשנים 2007-8 ובשנת 2012. בין שיאים אלה מפרידות שנים בהן צפיפות האוכלוסיה קטנה בכ- 50%. השינויים בצפיפות קיפודי הים משקפים, כנראה, מחזורים טבעיים בגודל האוכלוסייה, או השפעות סביבתיות מחזוריות.



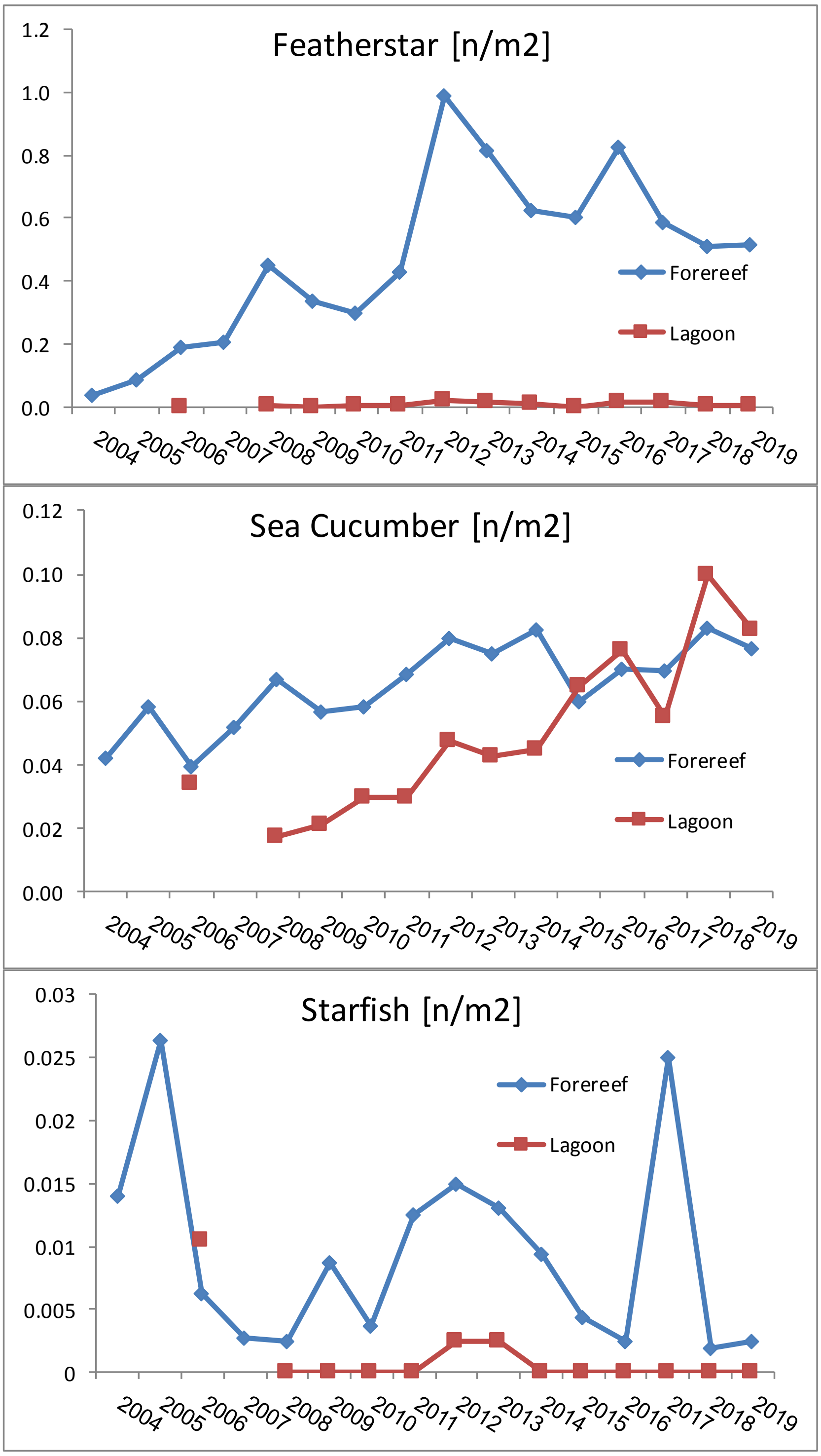
איור ב46: הצפיפות הממוצעת (פרטים למ"ר) של קיפודי הים (*Diadema setosum*, אחרים וכלל הקיפודים) באתרי קדמת השונית (למעלה) והלגונה (למטה).

Figure B46: The average density (individuals per m^2) of sea urchins (*Diadema setosum*, other urchins and all urchins) at the monitored fore-reefs sites (top) and the lagoon (bottom).

צפיפות חבצלות הים באתרי קדמת השונית עלתה במידה רבה מאז שנות הניטור הראשונות, ונמצאה בשיא בשנת 2012. מאז ירדה מעט צפיפות החבצלות אך נותרה גבוהה יחסית לשנות הניטור הראשונות (איור ב47). בלגונה צפיפות חבצלות ים קטנה במידה ניכרת מאשר בקדמת השונית לאורך כל תקופת הניטור.

אוכלוסיית מלפפוני הים נמצאת בעליה מתמשכת בכל האתרים. מכיוון שהצפיפות נמוכה לא ברור האם תנודות התנודות הנמדדות בין השנים משמעותיות. צפיפות כוכבי ים נמוכה ביותר בכל האתרים, אם כי גבוהה יותר בקדמת השונית מאשר בלגונה. מכיוון שהצפיפות נמוכה ביותר (מספר הפרטים הנכללים בסקרים השנתיים נמוך) קשה לייחס משמעות לתנודות הנצפות.

בשנת 2014 נצפה לראשונה בסקרי הניטור נחשונק (Basket Star, *Astroboa nuda*) ומאז מתרבות התצפיות של יצור זה. השנה נספרו 17 פרטים, בעיקר באתרי המכון (IUI). נראה שיצור זה הולך ומתבסס באילת.



איור ב47: הצפיפות הממוצעת (פרטים למ"ר) של חבצלות ים (למעלה), מלפפוני ים (באמצע) וכוכבי ים (למטה) באתרי קדמת השונית ובלגונה.

Figure B47: The average density (per m^2) of feather-stars (top), Sea Cucumbers (middle) and Sea Stars (bottom) at the fore-reef sites and the lagoon.

ב.7. קצב גידול מאקרו-אצות בשונית

מטרה

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

שיטות

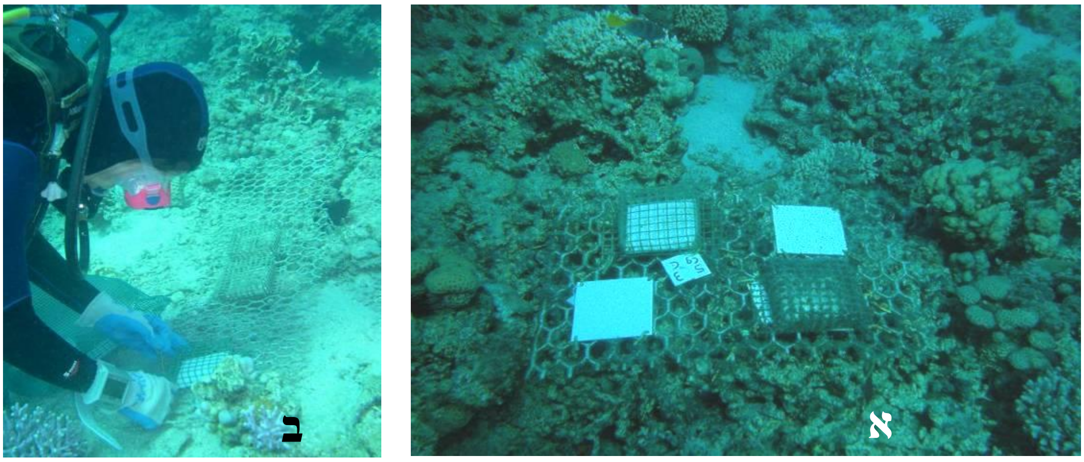
שלושה מערכים בהם שני זוגות של לוחיות PVC סמוכות, שגודלן 10X10 ס"מ וצידן העליון חוספס על מנת להקל על התיישבות אצות, הוצבו באופן שרירותי בעומקים שבעה עד עשרה מטרים בשונית שמול המכון הבין-אוניברסיטאי. בשנת 2007 הוצבו מערכים דומים גם בחלקה הדרומי של שמורת חוף אלמוג, בעומקים 20 מ', 5 מ', ובלגונה. בכל מערך שתי לוחיות חשופות ושתי לוחיות מכוסות כלוב מתכת בעל גודל עין של 1X1 ס"מ (איור ב48). הלוחיות משמשות להתיישבות אצות צמודות מצע, ומהוות מודל להתיישבות אצות בשטחים חשופים בשונית. אחת לחודש מוחלף בכל מערך זוג מצומד של לוחיות (חשופה-מכוסה) בלוחיות נקיות – זמן השהות בים של כל לוחית כחודשיים.

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

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

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

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

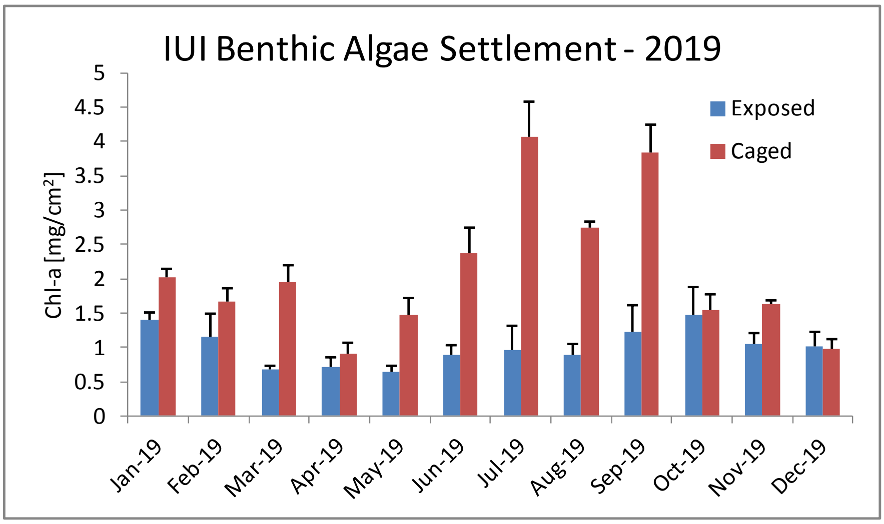


איור ב48: א) מערך של לוחית התיישבות. שתי לוחיות חשופות לרעייה, ושתיים מוגנות על ידי כלוב מתכת. צילום: ניצן שגב (ב) החלפת לוחיות בצלילה, מדי חודש מוחלפות הלוחיות ששהו חודשיים בים. צילום: רותי ריף

Figure B48: 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

תבנית גידול האצות הפוטנציאלי (ריכוז כלורופיל על גבי לוחיות מוגנות מרעיה) לא היתה סדורה השנה באתר המעבדה ופוטנציאל גידול גבוה נמצא השנה דווא בחודשי הקיץ (איור ב49). שיא פוטנציאל הגידול היה גבוה יותר מאשר בשנה הקודמת, עם ערך מרבי של 4.06 mg/cm^2 אשר נמדד בחודש יולי. 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. השנה נמצא שיא בפריחת האצות הישיבות בקיץ ופריחתן בחורף היתה חלשה.



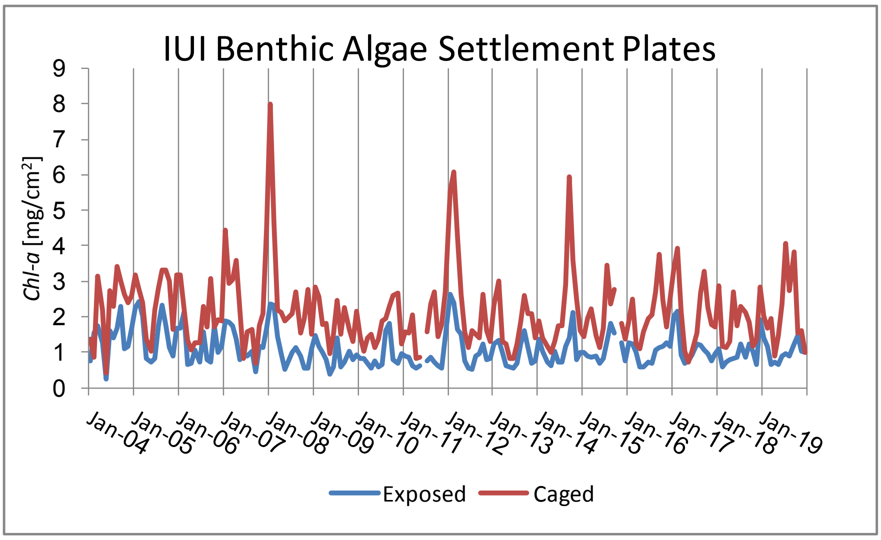
איור ב49: ממוצע כמות Chlorophyll *a* ע"ג לוחית חשופות ומוגנות בכלובים בשנת 2019. כל עמודה מייצגת חודש אחד (מחושבת על-פי שלוש לוחיות ששהו בים חודשיים).

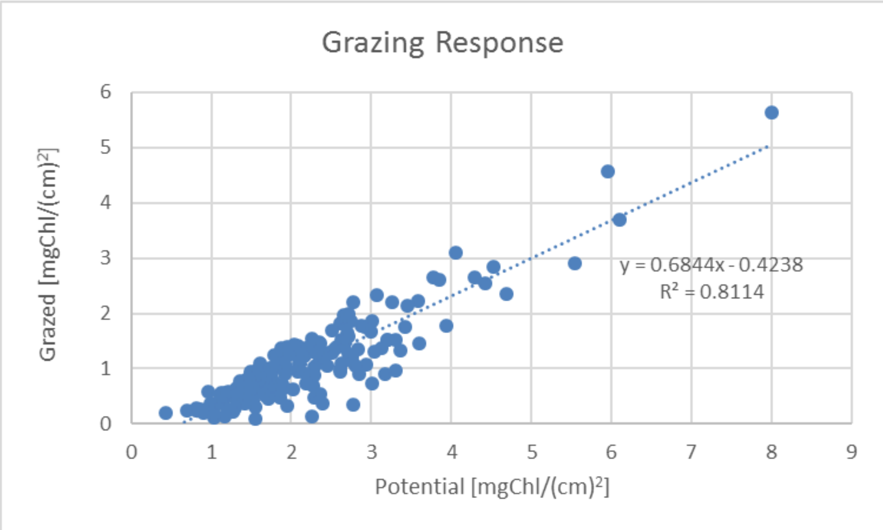
Figure B49: Average chlorophyll *a* on exposed and caged settlement plates in 2019. Each bar represents one month (calculated as an average of three plates submerged in the sea for two months).

בספטמבר 2014 נמדד שיא בפוטנציאל פריחת אצות ישיבות שהיה חריג בעצמתו עבור שנה של ערבוב רדוד, mg/cm^2 5.96, ולא נמצא לו הסבר מספק, אם כי ברור שאינו תוצאה של ערבוב עמודת המים המגיע לשיאו בחורף וגורם לשיא פריחה אז. בשנים 2015-2019 פוטנציאל גידול האצות נותר נמוך יותר, אם כי השיאים הנמדדים 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 $7.99mg/cm^2$, 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 ב50).

גידול אצות בשונית בפועל נאמד על ידי ריכוז הכלורופיל על גבי לוחיות חשופות לרעייה. ריכוז הכלורופיל על לוחיות חשופות הגבוה ביותר נמדד השנה בחודש אוקטובר, $1.46\ mg/cm^2$. בחודש ינואר נמדד ערך דומה, ובשאר החודשים היה גידול האצות בפועל נמוך יותר. 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 ב50, למטה).



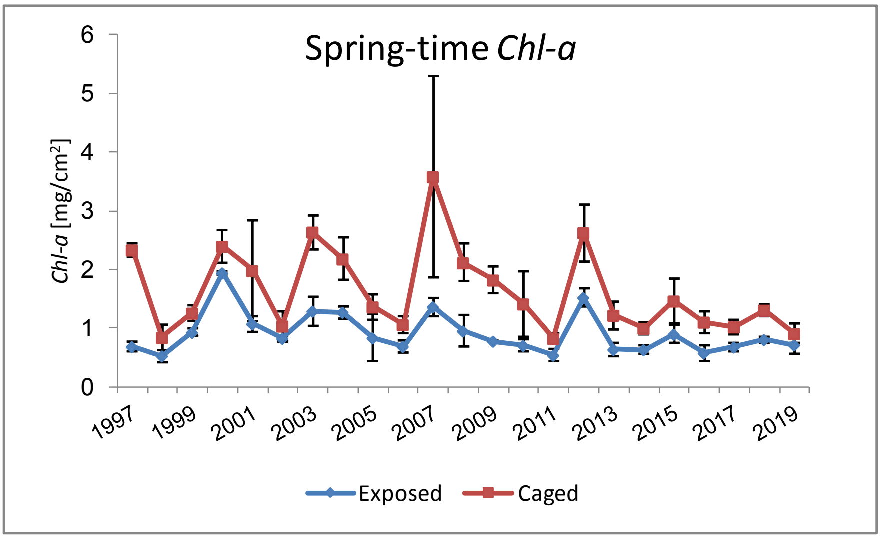


איור ב50: למעלה – ממוצע כמות *a* Chlorophyll ע"ג לוחית חשופות ומוגנות בכלובים מאז 2004. למטה – פוטנציאל (כלורופיל על גבי לוחיות מוגנות) מול לחץ הרעייה (ההפרש בין כמות הכלורופיל על לוחיות מוגנות ובין ריכוזו על לוחיות חשופות).

Figure B50: 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 ב51). על אף שתזמון פריחת האצות הישיבות בשונית (= שיא פוטנציאל גידול האצות/ריכוז הכלורופיל על גבי לוחיות מוגנות מרעייה) משתנה משנה לשנה ומתרחש פעמים רבות בחורף, 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.

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 ב51: ממוצע ריכוז *a* Chlorophyll בחודשי האביב (מרץ-אפריל) על-גבי לוחית חשופות ומוגנות בכלובים, החל משנת 1997. כל נקודה היא ממוצע של שלוש לוחיות ששהו בים חודשיים.

Figure B51: Average chlorophyll *a* during the months April-May on exposed and caged settlement plates

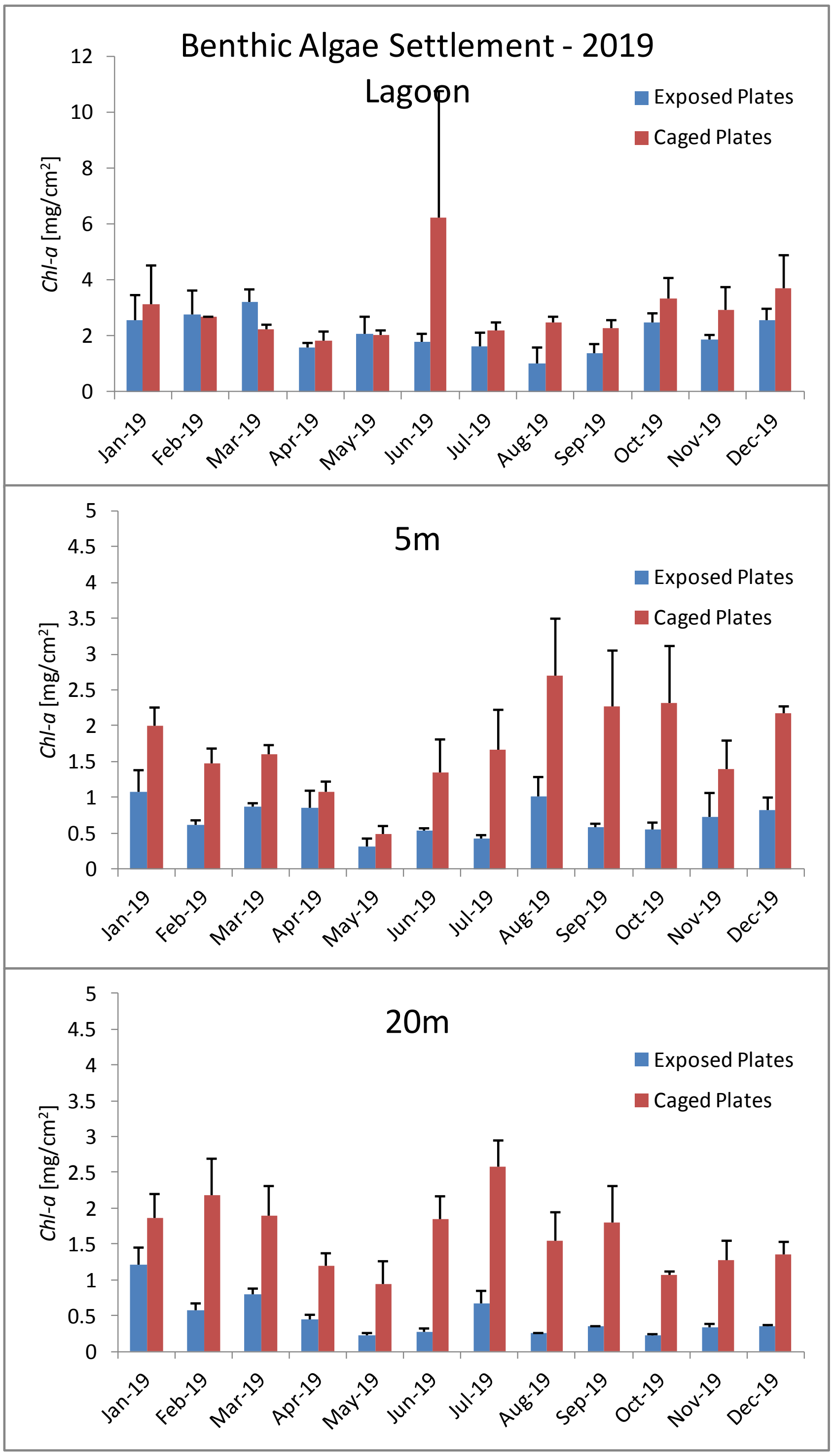
since 1997. Each point is an average of three plates submerged in the sea for two months.

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 ב52). 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. מאידך, אזור זה חשוף לפעולת גלים בעת סערה, והקרקע החולית אינה יציבה ועשויה לכסות את לוחיות ההתיישבות. השילוב בין לוחיות שכוסו לעיתים בחול ובין צמיחת אצות אשר לעיתים מילאו את כל כלובי ההגנה סביב הלוחות גורם לעיתים להבדלים גדולים בין שלושת מערכי הדגימה בלגונה (שגיאות תקן גדולות) ומקשה על ניתוח התוצאות. התבנית העונתית של ריכוזי כלורופיל על גבי לוחיות בלגונה אינה מסודרת, אך למרות זאת, אין ספק כי פוטנציאל גידול אצות ישיבות בלגונה עשוי להיות גבוה בהרבה מזה שבעומקים גדולים יותר. ריכוז הכלורופיל המרבי אשר נמדד השנה בלגונה היה 6.24 mg/cm^2, בחודש יוני. זהו ערך דומה לזה שנמדד בשנת 2017 ואילו בשנה הקודמת היה הערך המרבי (אשר נמדד בחודש מרץ) כפול מזה.

מערכי הלוחיות בעומק 5 מ' מוצבים באזור של סלע שונית המונע כיסויים בסדימנט חולי. ריכוזי הכלורופיל המרביים באתר זה נמוכים בהרבה מאלה הנמדדים בלגונה, ודומים לערכים הנמדדים באתר המעבדה הימית בעומק דומה. גם כאן נמדד השנה שיא בריכוז הכלורופיל בחודשי הקיץ (2.70 mg/cm^2, באוגוסט), דומה לערך השנה הקודמת.

ריכוזי הכלורופיל על גבי לוחיות בעומק 20 מ' נמוכים יותר מאשר באתרים הרדודים. עצמת האור בעומק זה נמוכה יותר, והשפעת שינויים בפני הים (גלים, סערות, ותרמוקלינות יומיות) קטנה יותר. כאן משרעת הערכים של ריכוזי כלורופיל על לוחיות מוגנות קטנה יותר, והריכוז המרבי שנמדד השנה היה 2.58 mg/cm^2, בחודש יולי.

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



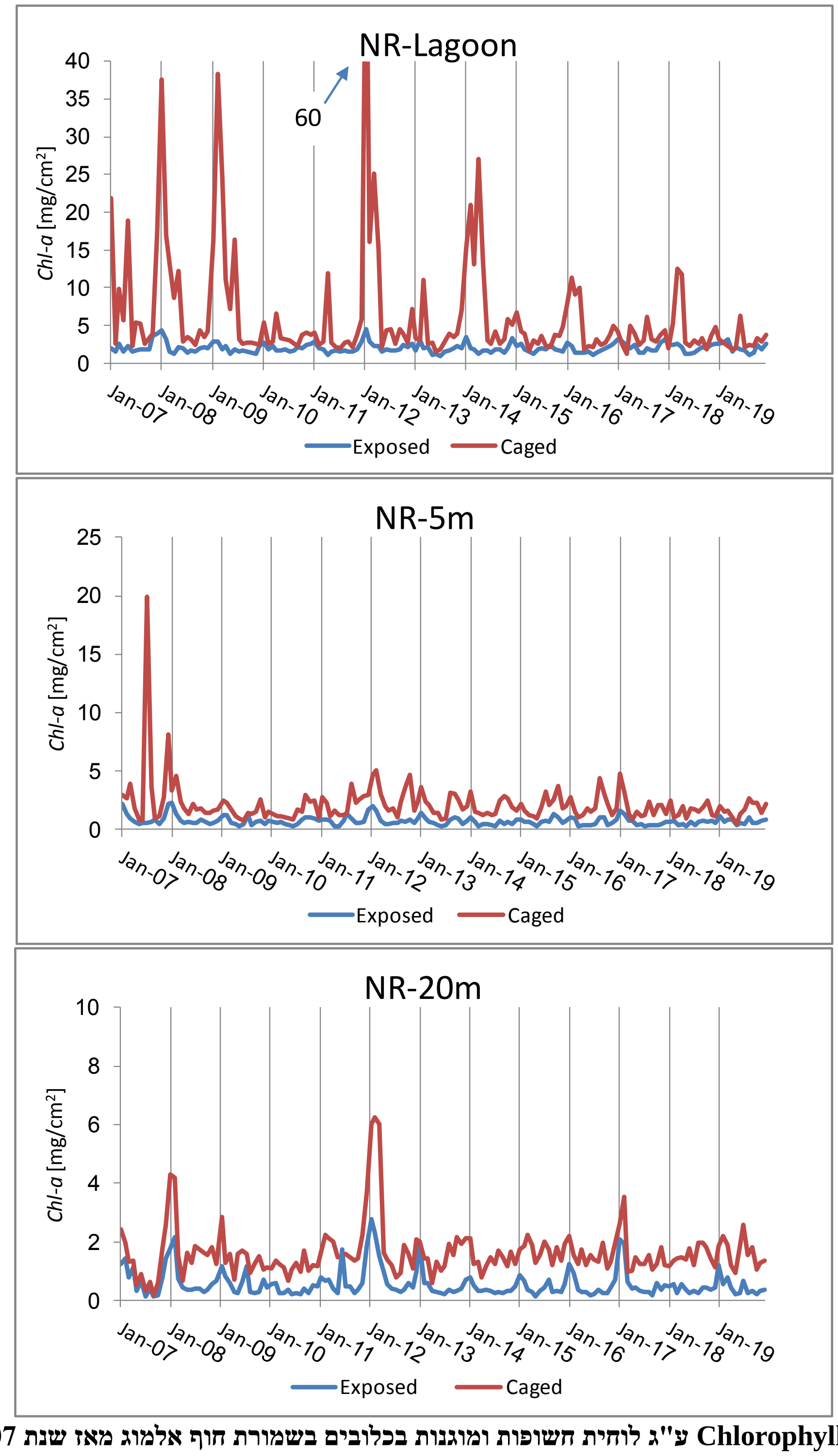
איור ב52: ממוצע כמות Chlorophyll *a* ע"ג לוחית חשופות ומוגנות בכלובים בשמורת חוף אלמוג בשנת 2019. כל נקודה מייצגת חודש אחד (מחושבת על-פי שלוש לוחיות ששהו בים חודשיים). למעלה – לוחיות שהוצבו בלגונה, באמצע – לוחיות מעומק 5 מטרים, למטה – לוחיות מעומק 20 מטרים.

Figure B52: Average chlorophyll *a* on exposed (blue) and caged (red) settlement plates at the Nature Reserve in 2019. 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 נמוכים השנה בהשוואה לרוב השנים שעברו מאז 2007 (איור ב53). בלגונה ובעומק 5 מטרים לא נמדדו שיאים, ובעומק 20 מטרים ההבדלים בין השנים בדרך כלל קטנים. 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 מווסתת ביעילות את צמיחת האצות, בפרט בלגונה (איור ב54), כך שההבדלים בין השנים בריכוזי הכלורופיל על גבי אצות חשופות אינם גדולים.



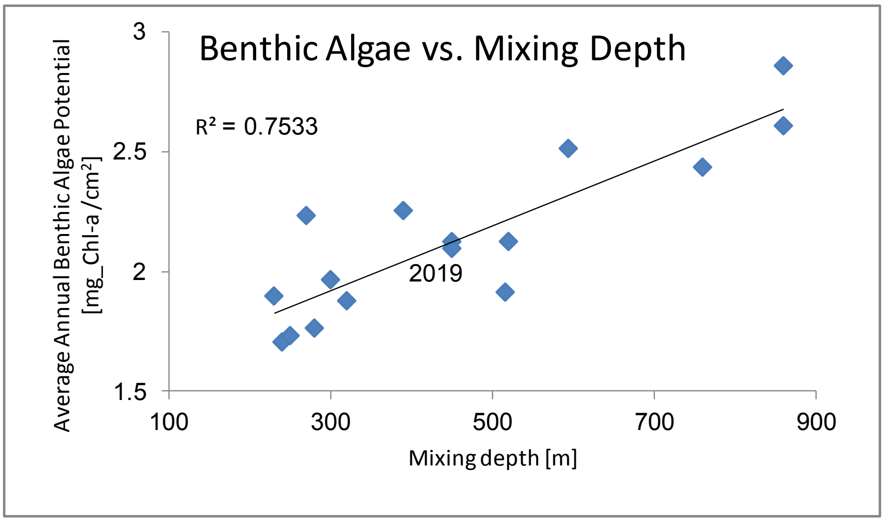
איור ב53: ממוצע כמות Chlorophyll *a* ע"ג לוחית חשופות ומוגנות בכלובים בשמורת חוף אלמוג מאז שנת 2007. כל נקודה מייצגת חודש אחד (מחושבת על-פי שלוש לוחיות ששהו בים חודשיים). למעלה – לוחיות שהוצבו בלגונה, באמצע – לוחיות מעומק 5 מטרים, למטה – לוחיות מעומק 20 מטרים.

Figure B53: 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 ב54: לוחית התיישבות אצות שהיתה חשופה לרעייה באתר הלגונה.

Figure B54: An exposed algae settlement plate from the lagoon.

ההבדלים בין השנים בממוצע 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 ב55).



איור ב55: הממוצע השנתי של פוטנציאל פריחת אצות צמודות מצע במדרון השונית מול המכון הבינאוניברסיטאי כנגד עומק הערבוב, מאז שנת 2004.

Figure B55: The annual average potential benthic algae growth on the reef slopes across the IUI versus the mixing depth, since 2004.

ב.8. סקר דגי השונית

<u>מטרה</u>

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

<u>שיטות</u>

דגי השונית נסקרים בחלקה הדרומי של שמורת חוף אלמוג, "הגנים היפנים", באזור קדמת השונית בעומקים 5-8 מטרים. תדירות הסקר אחת לשנה, בתקופת הקיץ.

מתוך כלל אוכלוסיית הדגים נבחרו 32 סוגים על סמך שני שיקולים: 1) דגים עיקריים 2) סוגים מייצגים של קבוצות פונקציונאליות בשונית. הבחירה נעשתה על סמך הניסיון המצטבר בשוניות אילת (Khalaf et al., 2003) ובעצה אחת עם ד"ר ערן ברוקוביץ. סיווג הדגים נעשה בעזרת פרופסור רועי הולצמן לפי סוג המזון, גודל הלהקה, זיקתם לקרקעית ומיקום בעמודת המים לפי המפתח הבא:

<u>זיקה לקרקעית</u> –

Benthic, Bentho-pelagic, Pelagic

<u>גודל להקה (Schooling)</u> –

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

<u>תזונה</u> –

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

Herbivorous: macroalgae/seagrass (H)

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

Invertivorous - Mobiles: crustaceans etc (IM)

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

Piscivorous: fish and cephalopods (PC)

Omnivorous: both animal and vegetal material (OM)

הדגים נספרו בסדרה של מנסרות ישרות בעלות בסיס מלבני 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 ראיה: על הצולל להיות מסוגל לראות את כל נפח המנסרה בבת אחת, המרחק בין מנסרות נועד לאפשר עבודה בטוחה בצלילה – קשר עין בין דוגמים.

יחידות הדגימה הן: עבור דגי עמודת המים – נפח מנסרה עם בסיס מלבני 7X1 מ' על קרקעית הים ועד לפני המים, ופרק זמן של עשר דקות. עבור הדגים שוכני הקרקעית – בסיס יחידת הדיגום (המנסרה) וכל מושבות האלמוגים המעונפים בתחומה.

קצותיהם של שני סרטי מדידה מחוברים למוט באורך מטר קובעו לקרקעית הים (נקשרו לשונית) ונמתחו במקביל על ידי צולל השוחה עם המוט. קצות רצועות דיגום (אורך כל רצועה 7 מ', בסיס המנסרה) סומנו לאורך סרטי המדידה בעזרת מוטות נוספים. לאחר חלוקת השטח ליחידות דגימה מתרחקים הצוללים וממתינים 5 דקות לאפשר חזרת הדגים לפעילות רגילה. לאחר פרק זמן זה מתחילה ספירת הדגים שוכני עמודת המים אשר עוברים בנפח המנסרה במשך עשר הדקות הבאות. 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.

<u>תוצאות</u>

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 למעלה חושבה מחדש עבור כל השנים מאז 2007.

באתר השמורה נדגמו השנה 18 יחידות של 7X1 מטרים בעומק מים של 7 מטרים, 10X דקות עבור דגים נודדים, ובסך הכל נספרו 1221 פרטים. הספירות בשנים האחרונות אינן כוללות דגים מהמין *Atherinomorus lacunostus* אשר נעים בלהקות גדולות (אשר מיקומן אינו קבוע) והופעתן או העדרן מגדילים מאד את שונות המדגם. על כן, בחלק מן השנים לא נספרו *A. lacunostus*. באחרונה דגים אלה נספרים אולם אינם נכללים במאזן הכללי; השנה נאמד מספרם במהלך הסקר ב- 1600 פרטים.

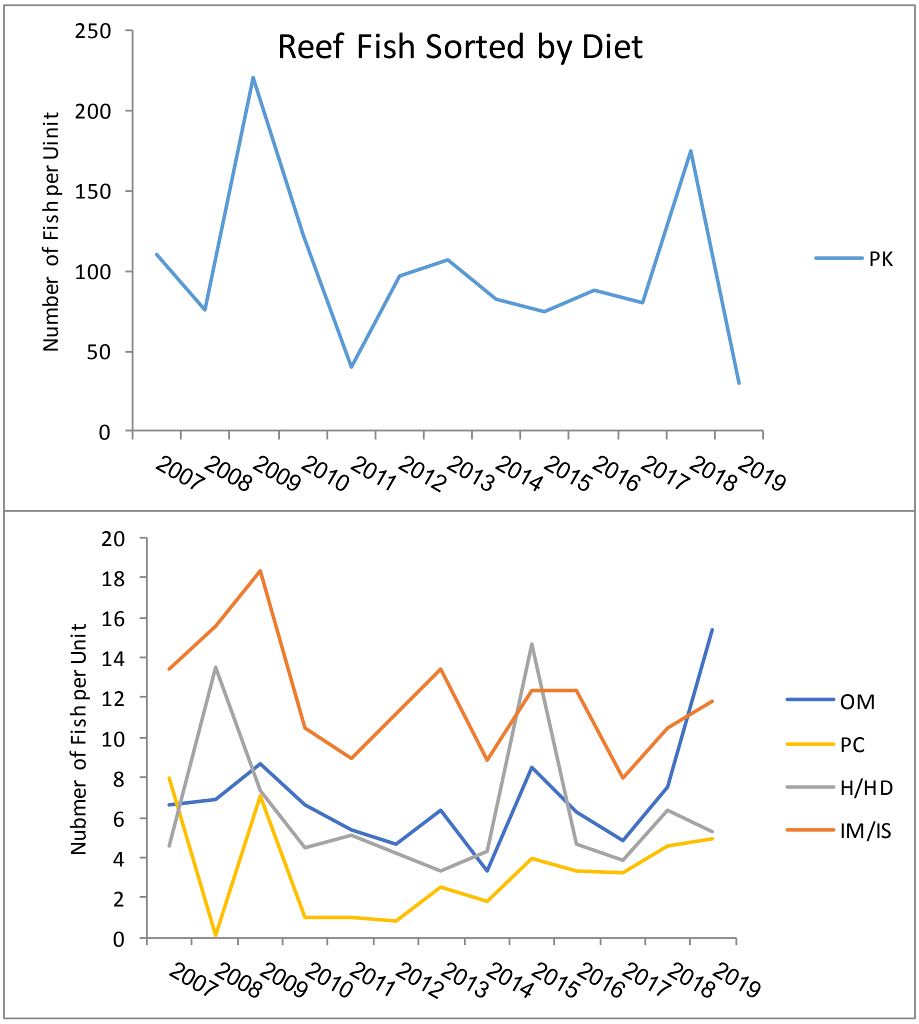
מדגם הדגים השנה כלל 121 דגים השוכנים בצמוד לקרקעית ולמסתור, כ-1098 דגים נודדים השוכנים בקרבת הקרקעית, ודגים נודדים החיים בעמודת המים העליונה נמצאו השנה רק להקות *Atherinidae* הנזכרות למעלה (טבלה ב7).

במהלך הסקר נספרו השנה 120 מושבות אלמוגים וחצי מהן נמצאו מאוכלסות על ידי דגים.

השנה לראשונה הוסיפה תכנית הניטור אתר נוסף לסקרי הדגים – שונית המכון הבינאוניברסיטאי, בעומק של 6-8 מטרים.באתר המכון נדגמו 20 יחידות ונמצאו בסך הכל 1170 פרטים מתוכם 169 דגים הצמודים לקרקעית ולמסתור ו-921 דגים נודדים בקרבת הקרקעית. דגים בעמודת המים נמצאו 118, כולל להקות *Atherinidae*. הסקר כלל 165 מושבות אלמוגים, מהן 82 מאוכלסות בדגים.

יש להזכיר כי רבים מהדגים הנסקרים 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 ומכך נובעות תנודות גדולות בהערכת כמות הדגים בין השנים (איור ב56). על כן, לא ברור האם ניתן לייחס משמעות לתנודות במספר הדגים שנספרו בכל שנה.

בכל זאת, נראה כי בשמורת האלמוגים היו שנים (למשל, 2008-9 ו-2018) עם מספר דגים מכל הקבוצות גדול במיוחד ויתכן שישנן תנודות מחזוריות שגודל אוכלוסיית דגי השונית.



איור ב56: תנודות במספר דגי השונית על פי הרמה הטרופית מאז שנת 2007, מנורמל למאמץ הדגימה.

Figure B56: Changes in the number of reef fish according to trophic level since 2007, normalized for the sampling effort.

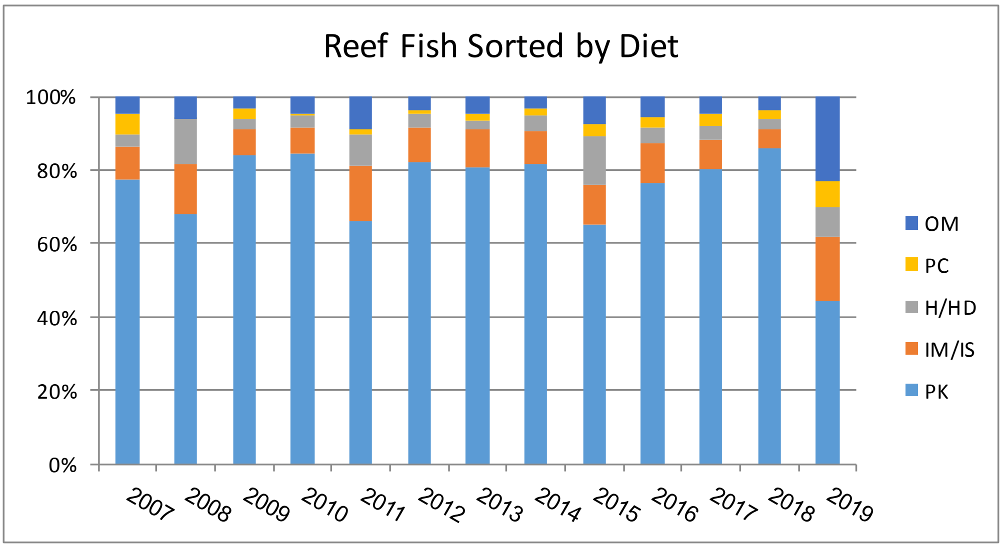
קבוצת הדגים הגדולה ביותר היא זו של דגים הניזונים בעמודת המים (פלנקטיבורים, PK). מקבוצה זו נספרו השנה בסך הכל 537 פרטים וזוהי ירידה דרמטית בהשוואה לשנים קודמות. בשנה הקודמת, למשל נספרו 4545 דגים מקבוצה זו. אלו דגים קטנים יחסית הנעים בלהקות בהן מספר גדול של פריטים ונוכחות להקה אחת או יותר של דגים אלה עשויה לשנות את משקלם הייצוגי, אך תמיד נמצא מספר גדול של דגים אלה בשונית. דגים פלנקטיבורים מהווים חוליה חיונית במארג המזון ברכזם חמרי מזון מהרמות הנמוכות בגוף המים.

הקבוצה השניה בגודלה היא קבוצת הדגים הטורפים חסרי חוליות ניידים ונייחים בשונית (IS/IM) מהם נספרו השנה 213 פרטים. 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 (96 פרטים השנה), 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, אך השנה עקב המספר הקטן יחסית של דגים פלנקטיבורים קטן משקלם היחסי (איור ב57).

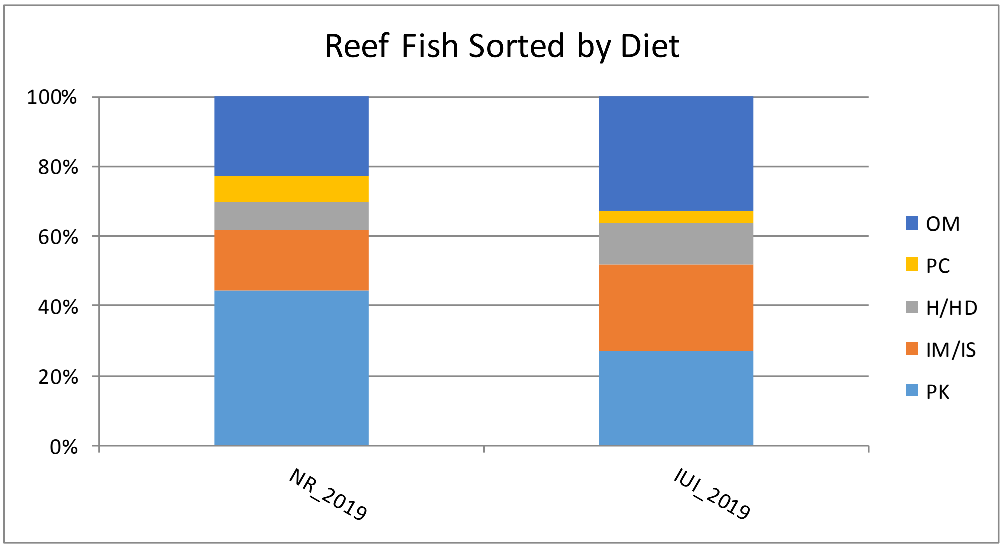


איור ב57: התפלגות מספר דגי השונית על פי הרמה הטרופית מאז שנת 2007.

Figure B57: Distribution of the number of reef fish according to trophic level since 2007.

באתר המכון, אשר נסקר השנה לראשונה, נמצא כי לשלוש הקבוצות – פלנקטיבורים, טורפים ואוכלי-כל – ייצוג דומה בחברה (איור ב58). מבנה זה שונה ממבנה החברה אשר תועד עד כה באתר השמורה, אך השנה נמצאה ירידה בעמדה הדומיננטית של קבוצת הפלנקטיבורים גם באתר השמורה. מעניין יהיה לברר בשנים הבאות האם הבדלים אלה בין האתרים אמתיים וזהו מבנה החברה המייצג באתר המכון, או שגם באתר זה השנה היוותה חריגה מהנורמה.

לחילופין, יתכן שבשנים הבאות נראה שהירידה בגודלה היחסי של קבוצת הדגים הפלנקטיבורים קבועה ואנו עדים לשינוי בייצוג היחסי של של קבוצות פונקציונליות בחברת דגי השונית.



איור ב58: התפלגות מספר דגי השונית על פי הרמה הטרופית באתר השמורה ובאתר המכון בשנת 2019.

Figure B58: Distribution of the number of reef fish according to trophic level at the nature reserve (NR) site and the Interuniversity (IUI) site in 2019.

Taxa	Dweller*	Schooling	Diets	Water-level	NR	IUI
Blenniidae/Gobiidae	Benthic	Sol	HD/OM	Bottom	51	36
Mullidae (parapeneus)		S-M Group	IM	Bottom	29	83
Pseudochromidae		Sol	IM/PK	Bottom	28	41
Scorpaenidae, Synanchiidae		Sol	FC/IM	Bottom	1	0
Synodontidae		Sol/Pair	FC	Bottom	3	3
Pinguipedidae		Sol/Pair	FC	Bottom	9	3
Tetraodonitidae/Diodonitidae		Sol/Pair	OM/IM	Bottom/L	0	3
Acanthuridae	Bentho-Pelagic	S Group	HD	Bottom	0	23
Zebrasoma, Z. desjardinii,		S Group	HD	Bottom	6	23
Ctenochaetus striatus/Acanthurus nigrofuscus		S Group	HD	Bottom	38	44
Balistidae		Sol	IM	Bottom	13	23
Chaetodontidae		S-M Group/Pair	IM/IS/OM	Bottom/Low	0	4
Heniochus sp.		S Group	PK	Low	2	2
Other: *C. fasciatus, C. austriacus, C. auriga, paucifasiatus, semilarvatus*		M-G/Pair	IM/IS/OM	Bottom/L	31	37
Labridae		Sol/S-Group	IM	Bottom	0	0
Thalassoma sp.		S Group	IM/PK	Bottom	36	52
Coris aygula		Sol	IM	Bottom	1	3
Gomphosuse caeruleus		Sol	IM	Bottom	14	13
Labroides dimidiatus		Sol	IM	Bottom	3	2
Cheilinus lunulatus		Sol	IM	Bottom	1	3
Bodianus anthioides		Sol	IM	Bottom	6	6
Other *Labridae*		Sol/S Group	IM/PK	Bottom	46	16
Ostraciidae		Sol	IS/IM	Bottom/L	1	4
Pomacanthidae		Sol/Pair	HD/IS/IM	Bottom	4	5
Pomacentridae		S-L Group	OM/PK	Bottom/Low		
Amphiprion bicinctus		S Group	PK	Bottom	6	3
Dascyllus aruanus		M Group	PK	Bottom	26	5
Dascyllus marginatus		M Group	PK	Bottom	58	128
Pomacentrus sulfureus		S Group	OM	Bottom	8	0
Neopomacentrus miryae		L- Group	PK	Low	190	32
Pomacentrus trichourus		S- Group	OM	Bottom	114	138
Abudefduf sexatilis		S Group	OM	Low	0	0
Chromis dimidiata		M Group	PK	Low	4	7
Chromis viridis		L Group	PK	Low	221	26
Other Pomacentridae: *Neoglyphidon melas, Amblyglyphidon sp.*		S-L Group	OM/PK	Bottom/L	0	4
Scaridae		Sol/S Group	HD/OM	Bottom/L	75	37
Pterios sp.		Sol	FC	Bottom	0	1
Serranidae		Sol/L Group	FC/IM/PK	Low	0	0
Variola louti		Sol	FC	Low	6	7
Pseudanthias squamipinnis		L Group	PK	Low	22	18
Other Serranidae: *Epinephelus sp., Cephalopholis sp.*		Sol	FC	Low	155	237
Siganidae		Sol/Pair	OM/IM	Bottom/Low	1	2
Lethrinidae		Sol/S-M Gr	IM/FC	Bottom/L	2	3
Apogonidae					8	13
Atherinidae	Pelagic	L Group	PK	High	1600	38
Caesionidae		L Group	PK	High	0	80
Others					2	3
Total					2821	1211

Coral with fish NR: 60, IUI: 82; Corals without fish NR: 60, IUI: 83;

טבלה ב7: שכיחות דגים בחלקה הדרומי של שמורת חוף אלמוג.

Table B7: Fish abundance of at the Coral Beach Nature Reserve.

ג. ניטור הסביבה החופית

ג.1. מי הים בקרבת החוף

מטרה

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

שיטות

אחת לחודש מבוצעות מדידות של משתנים כימיים וביולוגיים על דוגמאות ממי השטח בשבע תחנות לאורך החוף הישראלי של המפרץ ובתחנת ים פתוח כפי שמפורט באיור ג1, בטבלה ג1, 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 סֶקי (secchi): מדידה בה מורדת מהסירה דסקה צבועה בלבן ובעלת קוטר קבוע ונרשם העומק אשר מעבר לו לא ניתן להבחין בה. כל התחנות נדגמות בפרק זמן של כשעה וחצי.

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

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

pH: מדידות ה-pH במי הים מבוצעות בטמפרטורה קבועה של 25˚C באמצעות אלקטרודת pH מזכוכית (combined pH electrode דגם pHC2401-7 ומד pH דגם PHM 93 שניהם של חברת Radiometer Copenhagen. כיול האלקטרודה מתבצע בעזרת תמיסות סטנדרטיות מסחריות ומוכרות כתמיסות כיול בינלאומיות (IUPAC/NIST certified standards).

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

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

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

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

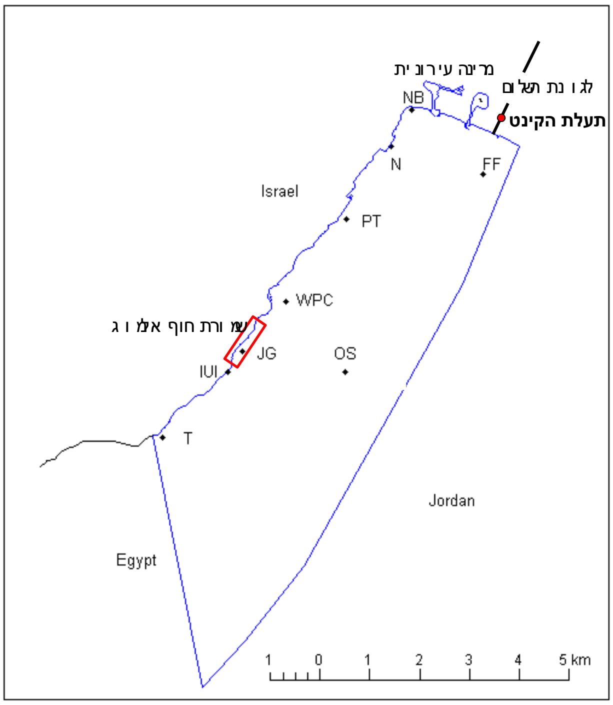
מליחות: מדידה במד מליחות מדגם Micro-Salinometer MS-310e של חברת RBR, קנדה. המדידה מבוססת על השראה מגנטית תוך השוואה של מוליכות הדגימה לזו של סטנדרט.

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

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

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

אמוניה: אמוניה נמדדת באמצעות פלואורומטר DyNA QuantTM 2000 של חברת Hoefer לאחר הדגרת הדוגמאות בחושך בתוספת ריאגנט צבע המכיל orthophthaldialdehyde למשך 3 שעות.



איור ג1: מפת תחנות הדיגום החופי במפרץ אילת.

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

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

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

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

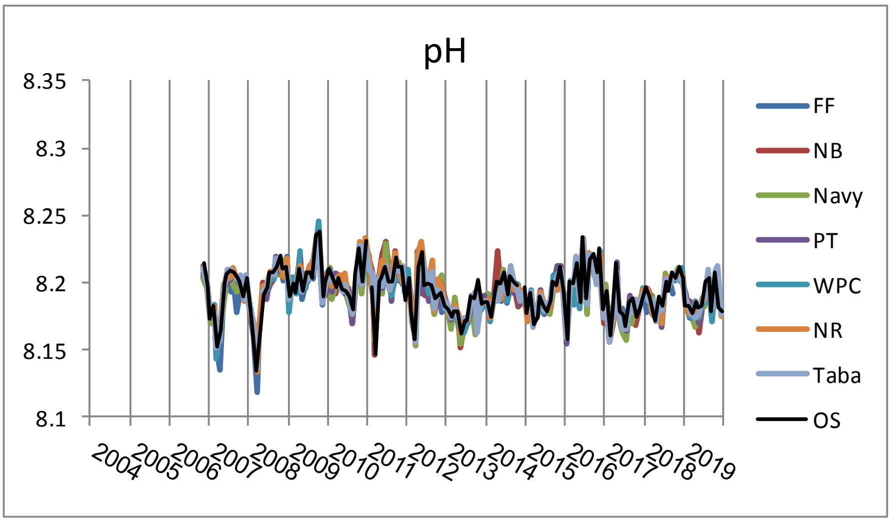
מדדים כימיים

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 אמינים. הערכים הנמדדים מאז סוף 2006 דומים לערכים שנמדדו לפני אוקטובר 2003 ומעידים על כך כי לא ניתן לאבחן מגמה ארוכת טווח של שינוי בערכי pH (בניגוד לאמור בדו"ח הניטור 2005, שם הוצגו מדידות שגויות).*

ערכי ה-pH בחורף נמוכים, בדרך כלל, מאשר בקיץ. זהו מחזור עונתי בו ערכי pH גבוהים נמדדים בחודשי הקיץ והסתיו וערכים נמוכים יחסית נמדדים בחורף המעורבב. בשנה הקודמת החלו ערכי ה- pH לעלות לאחר החורף, אולם ירדו שוב בבסוף השנה והשנה החלה בערכים דומים. בחודש ספטמבר נמצאו ערכים מעט נמוכים יחסית לעונה המעידים (איור ג2). ערכי ה-pH הגבוהים ביותר השנה נמדדו בחודשים אוקטובר-נובמבר והגיעו בים הפתוח ל- 8.208, עם ערך מרבי בתחנה טאבה בחודש נובמבר (8.212). ערכים אלה דומים לערכים אשר נמדדו 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. השנה הערך הנמוך ביותר הנמדד היה 8.167 בתחנת חיל הים בחודש מרץ.



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 האטמוספרה, ותהליכי ערבוב של מי שטח עם מי עומק בהם ה-pH נמוך יותר. מחזור הערבוב צפוי להשפיע על כל גוף המים, בעוד יחס נשימה-פוטוסינטזה עשוי להשתנות גם באופן מקומי. המחזור השנתי של ערכי pH בכל תחנות המדידה מושפע קרוב לוודאי על ידי מחזור הערבוב השנתי. בתקופת החורף מתערבבים מי השטח עם מים עמוקים בהם ה-pH נמוך כתוצאה מעודף נשימה על פוטוסינטזה. בעונת הקיץ מופרדים מי השטח ומי העומק, ובמים העליונים פעילות פוטוסינטטית גורמת לעליית ה-pH. ערכי pH נמוכים ביותר נמדדו בשנות הערבוב העמוק 2007-8. השנה היה הערבוב לעומק 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

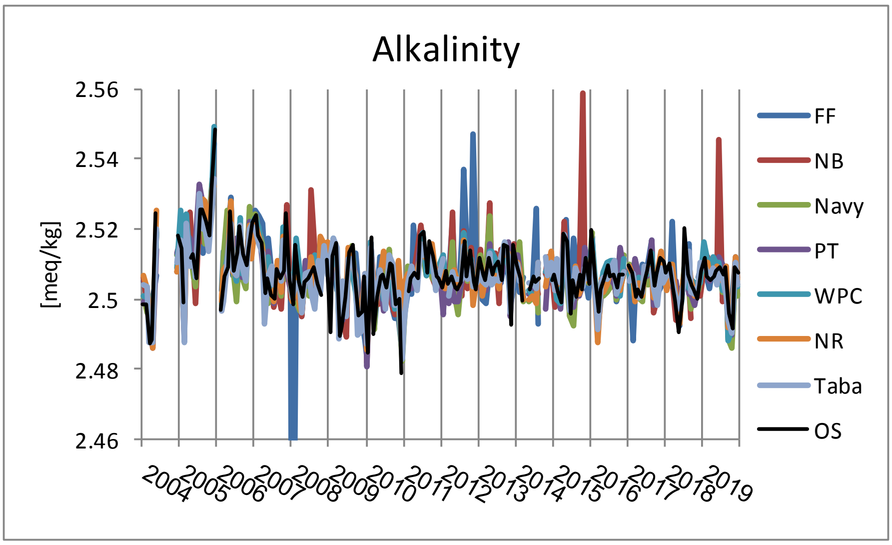
האלקליניות היא מדד לסך החומצות החלשות במים והתהליכים העשויים להשפיע עליה הם תהליכי אידוי ומיהול (מליחות), ותהליכי השקעה/המסה של קלציום-קרבונט. שינויים במליחות הינם קטנים ביותר ותהליכי השקעת קלציום-קרבונט צפויים להיות קטנים במים פתוחים. על כן לא צפויים שינויים קיצוניים בערכי אלקליניות במי הים.

השנה טווח ערכי האלקליניות ברוב התחנות היה קטן, אך בתחנת "החוף הצפוני" נמדדה בחודש יוני אלקליניות גבוהה במיוחד (2.546 [meq/kg]) לעומת שאר התחנות ותחנת הים הפתוח (2.509 [meq/kg]). מדידה זו, מהווה ערך חריג בדומה לערכים אשר נמדדו מדי פעם, בעיקר בתחנות החופיות (איור ג3).

בתחנת הים הפתוח נמדד השנה ערך נמוך יחסית, בחודש אוקטובר (2.492 [meq/kg]) אך משרעת הערכים אינה חריגה.

ערך האלקליניות הגבוה ביותר אשר נמדד עד כה 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. ערך זה הוא הגבוה ביותר שנמדד עד כה, אולם ערכי אלקליניות גבוהים נמדדו גם בשנים קודמות בתחנות הצפוניות.

בשנות הניטור לא ניתן לאבחן מחזוריות סדירה בערכי האלקליניות, או תבנית ברורה בין התחנות. מגמת עלייה אשר הסתמנה בשנים 2004-5 לא נמשכה בשנת 2006, ומאז שנת 2007 ערכי האלקליניות די יציבים. מדידות גבוהות במיוחד או נמוכות במיוחד, במידה ונמצאו, נמדדו לרוב באחת מן התחנות הצפוניות. משרעת הערכים הנמדדת מאז 2011 בים הפתוח קטנה מזו המאפיינת את מדידות השנים שקדמו לה.



איור ג3: אלקליניות בתחנות הדיגום החופי מאז שנת 2004.

Figure C3: Monthly alkalinity at the coastal water sampling stations since 2004.

<u>חנקן אנאורגאני מחומצן (Total Oxidized Nitrogen = $NO_3 + NO_2$)</u>

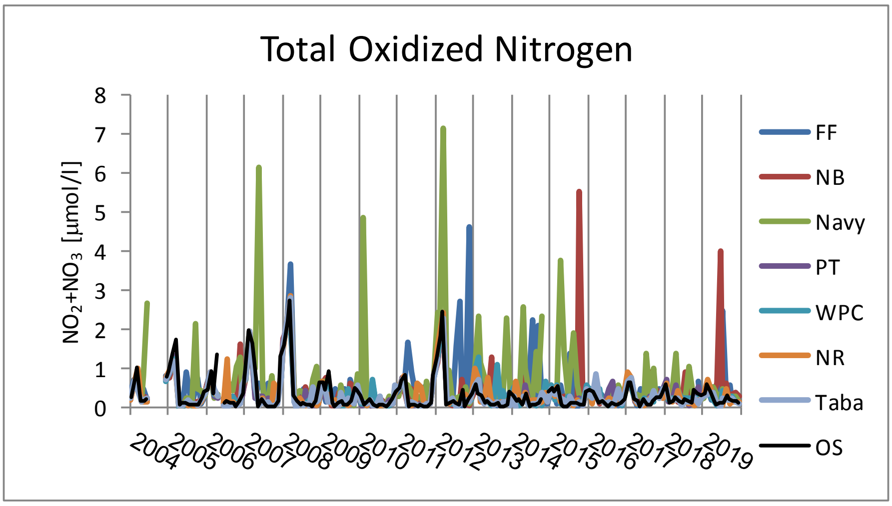
המחזור השנתי של ריכוז חנקן אנאורגאני מחומצן נשלט גם הוא על ידי מחזור הערבוב של עמודת המים. חודשי הקיץ, בהם עמודת המים משוכבת, נחשבים לתקופה "אוליגוטרופית" בה השכבה הפוטית (שכבת המים העליונה אליה חודר האור) ענייה בנוטריינטים, מכיוון שאלו נצרכו על ידי פיטופלנקטון ואין ערבוב בין מי השטח (העניים בנוטריינטים)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

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

השנה נמצאו ערכים גבוהים במיוחד של חנקן מחומצן בתחנות "החוף הצפוני" (בחודש יוני, 3.977 µmol/l) ו"כלובי הדגים" (בחודש יולי, 2.488 µmol/l). ריכוזים אלה גבוהים בהרבה מריכוזי הרקע בים הפתוח, 0.097µmol/l בחודש יולי (איור ג4). ריכוזי חנקן גבוהים בתחנת "החוף הצפוני" מסייעים, אולי, בהבנת האלקליניות הגבוהה לתחנה זו בחודש יוני (ראו למעלה).

ריכוז החנקן הגבוה ביותר בים הפתוח היה השנה בחודש פברואר, 0.576 µmol/l, דומה לערך שנמדד בשנה הקודמת. מלבד הריכוזים הגבוהים שנמדדו בחוף הצפוני ובכלובי הדגים בקיץ, היו שאר הריכוזים בתחנות החופיות דומים למדידות בתחנת הים הפתוח.

החריגה הגדולה ביותר בריכוזי החנקן המחומצן מאז 2012, נמדדה בחודש אוקטובר 2015 בתחנת החוף הצפוני µmol/l 5.518. ערך זה משקף כניסת מי נגר לים בעקבות סופת גשמים. על רקע מדידות השנים האחרונות בתחנות החופיות, הריכוזים הגבוהים שנמדדו השנה הינם חריגים, והתזמון - חודשי הקיץ - אינו תומך במקור טבעי כגון כניסת נגר שיטפונות.



איור ג4: מדידות ניטריט + ניטראט (TON) חודשיות בתחנות הדיגום החופי מאז שנת 2004.

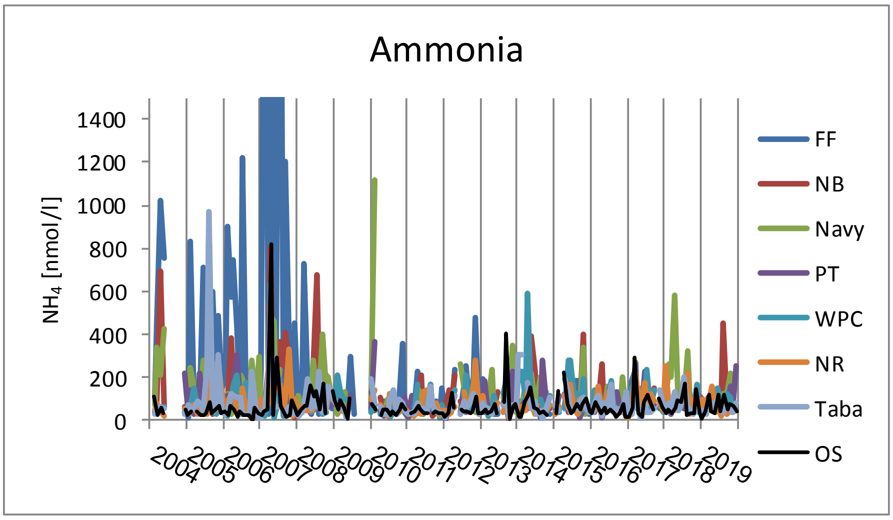
Figure C4: Monthly concentrations of total oxidized nitrogen (TON, nitrate+nitrite) at the coastal water sampling stations since 2004.

<u>אמוניה (NH_4)</u>

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

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

פעמים רבות נמדדים בתחנות החופיות ריכוזי אמוניה גבוהים מאשר בתחנת הים הפתוח. השנה נמצאו ריכוזים גבוהים יחסית לקראת סוף השנה במספר תחנות (איור ג5). גם בהתחשב בכך, הריכוז אשר נמדד בתחנת "החוף הצפוני" בחודש אוגוסט גבוה באופן חריג, וקשור מן הסתם למדידות הגבוהות של אלקליניות וחנקן בתחנה זו בחודש יולי. גם בשנה הקודמת נמצא ריכוז אמוניה גבוה, בתחנת "חיל הים" בחודש אפריל. בסך הכל, מאז שנת 2008 ערכי אמוניה בתחנות החופיות בדרך כלל נמוכים, ובפרט בתחנות הצפוניות הריכוזים נמוכים בהשוואה לערכים הגבוהים אשר נמדדו לפני 2008.



איור ג5: ריכוזי אמוניה (NH_4) בתחנות הדיגום החופי מאז שנת 2004.

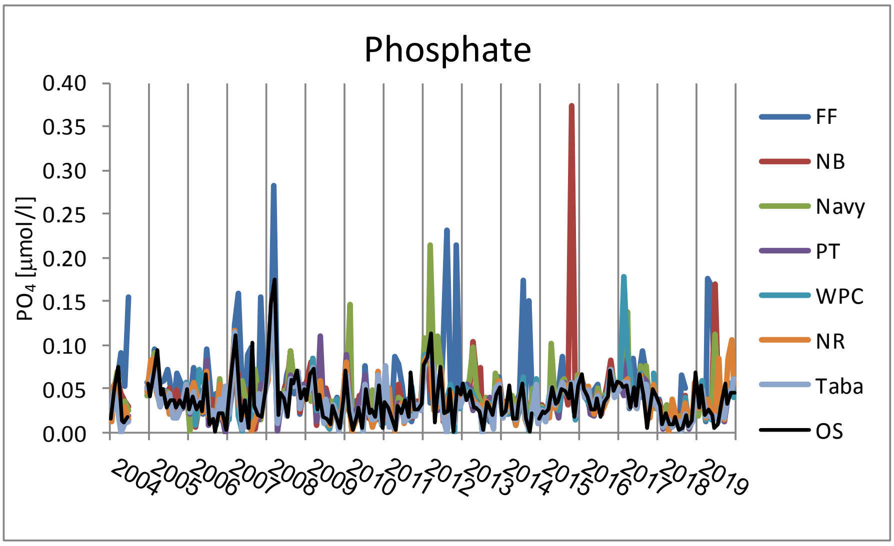
Figure C5: Monthly concentrations of ammonia (NH_4) at the coastal water sampling stations since 2004.

<u>פוספט (PO_4^{-3})</u>

ריכוזי פוספט בתחנות החופיות ובים הפתוח מראים מחזוריות שנתית חלשה של ערכים גבוהים יחסית בחורף ונמוכים בקיץ.

הפוספט גם הוא נוטריינט חשוב ליצרנות ראשונית, ועל כן ריכוזו בפני הים בקיץ נמוך עקב צריכה על ידי יצרנים ראשונים. בחורף ריכוזו עולה עקב ערבוב מי השטח עם מי עומק עשירים בנוטריינטים. ריכוזי פוספט מקומיים גבוהים באופן חריג בתחנות החופיות עשויים להצביע על העשרה מקומית בנוטריינטים.

גם בריכוזי הפוספט נמדדו השנה מספר ערכים חריגים (איור ג6). ריכוזים גבוהים במיוחד נמדדו בתחנת "החוף הצפוני" בחודש יוני (0.170 µmol/l) ובתחנת "כלובי הדגים" במאי (0.168 µmol/l), בהתאמה למדידות חריגות של נוטריינטים אחרים בתחנות אלה. אך בנוסף לכך, נמדדו ריכוזים גבוהים גם בתחנת חיל הים ביוני (0.113 µmol/l) ובתחנת השמורה בנובמבר (0.106 µmol/l). לשם השוואה, ריכוז הפוספט הגבוה ביותר אשר נמדד בתחנת הים הפתוח היה 0.056 µmol/l בחודש ספטמבר, מעט נמוך מן הערך הגבוה בתחנה זו בשנה הקודמת.



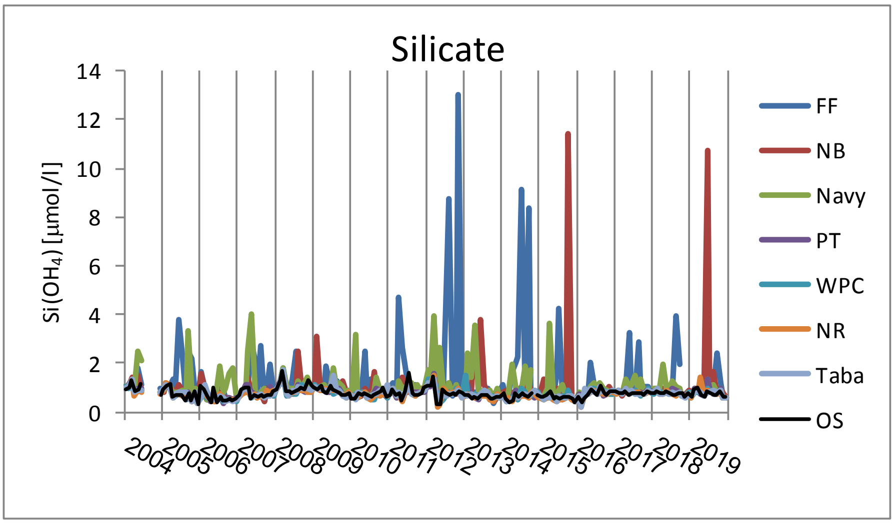
איור ג6: ריכוזי פוספט (PO_4) בתחנות הדיגום החופי מאז שנת 2004.

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

<u>סיליקה ($Si(OH)_4$)</u>

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

ריכוזי הסיליקה בים הפתוח היו נמוכים לאורך כל השנה, עם משרעת ערכים קטנה וערך גבוה של 0.96 µmol/l, בחודש מרץ, רק מעט גבוה יותר מהערך המירבי בשנה הקודמת (איור ג7). על רקע זה בולט הריכוז הגבוה באופן חריג אשר נמדד בתחנת "החוף הצפוני" בחודש יוני, 10.73 µmol/l. מדידה זו מהווה עדות נוספת לזיהום בנוטריינטים אשר מזוהה בתחנה זו בחודשים יוני-יולי השנה. גם בתחנת "כלובי הדגים" נמדדו ערכים גבוהים השנה, 1.29 µmol/l בחודש יוני, ו- 2.44 µmol/l בחודש ספטמבר. המדידה האחרונה כנראה אינה קשורה למדידות הנוטריינטים הגבוהות בחודשים יוני-יולי. ריכוז הצורן הגבוה אשר נמדד בחוף הצפוני בקיץ השנה דומה לריכוז הגבוה אשר נמדד שם בשנת 2015, 11.45 µmol/l.



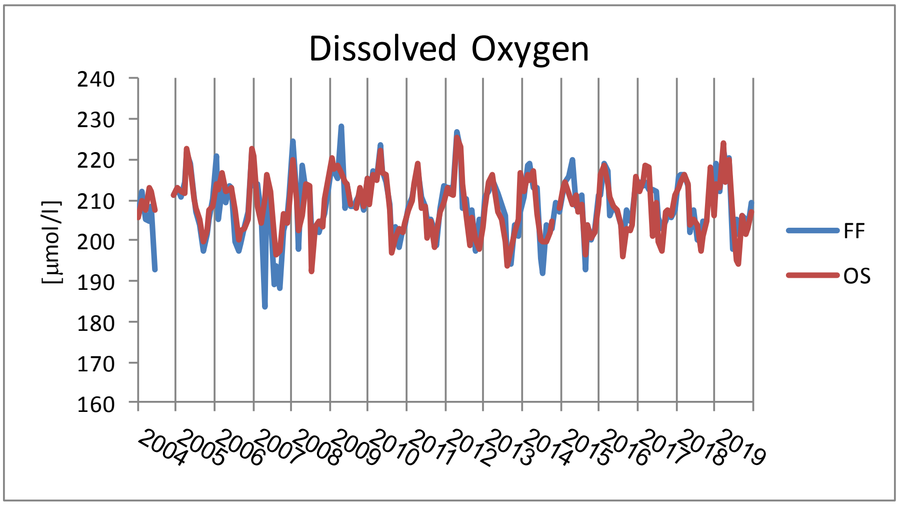
איור ג7: ריכוזי סיליקה $(Si(OH)_4)$ בתחנות הדיגום החופי מאז 2004.

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

<u>חמצן מומס</u>

חמצן מומס נמדד בשתי תחנות, בתחנת "כלובי הדגים" שבחוף הצפוני ובתחנת הים הפתוח. ריכוז החמצן המומס עולה בחודשי האביב, ויורד בקיץ-סתיו. שלושה גורמים צפויים להשפיע על ריכוז החמצן המומס: טמפרטורה, חמצון חומר אורגני ותהליך הנשימה/פוטוסינטזה. בטמפרטורה נמוכה עולה מסיסות החמצן וריכוז חמצן מומס במים צפוי לעלות. חמצון חומר אורגני ותהליכי נשימה במים צורכים חמצן, ואילו תהליכי פוטוסינטזה עשויים לשחרר חמצן למים. ריכוזי החמצן הגבוהים בסוף החורף-אביב עשויים לנבוע הן מהטמפרטורה הנמוכה בפני הים והן עקב עליה בפעילות פוטוסינטטית בתקופה זו (ראה מדידות כלורופיל *a* למטה). דינאמיות של שינויים בריכוזי החמצן עשויה להצביע על מחזורים של פריחות פיטופלנקטון וקריסתן. לא צפויים להיות הבדלים במרחב (בין התחנות השונות) בריכוז החמצן המומס.

משרעת הריכוזים של חמצן מומס בתחנת הים הפתוח נעה השנה בין 224 µmol/l בחודש מרץ ל- 194 µmol/l באוגוסט. הריכוז הגבוה במרץ מעט גבוה בהשוואה לשנים האחרונות ודומה לערכים אשר נמדדו בעבר בשנים של ערבוב עמוק (איור ג8). ריכוזי החמצן בתחנת "כלובי הדגים" אינם שונים בסך 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, אך בחודשים יוני-יולי נמדדו שם ריכוזים גבוהים מריכוזי הים הפתוח.



איור ג8: חמצן מומס בתחנות הדיגום החופי מאז שנת 2004.

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

כלורופיל *a*

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

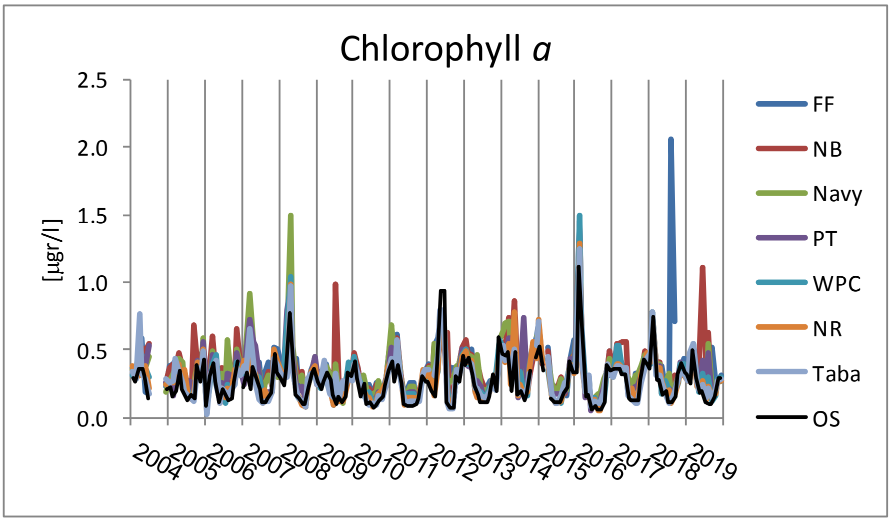
ריכוז כלורופיל *a* משמש מדד לצפיפות הפיטופלנקטון במי השטח ועל כן בעל אופי מקומי יותר מריכוזי התרכובות המומסות (הן בזמן והן במרחב). בימים אוליגוטרופיים (=עניים בחומרי מזון) מוגבלת כמות האצות על ידי זמינות נוטריינטים ולכן אספקת נוטריינטים עשויה לגרום לפריחה מקומית של אצות. עליית ריכוז הכלורופיל בחודשי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

השנה נמצאו בתחנות החופיות במשך רוב החודשים ריכוזי כלורופיל גבוהים מהריכוזים בים הפתוח (איור ג9). ריכוז כלורופיל גבוה במיוחד נמדד בתחנת "החוף הצפוני" בחודש יוני, 1.11 µgr/l. ערך זה נמוך מהערך החריג אשר נמדד בתחנת "כלובי הדגים" בקיץ השנה הקודמת, אך עדין מעיד על ריכוז פיטופלנקטון גבוה בסמוך לתחנה זו. המדידה הגבוהה של השנה הקודמת בכלובי הדגים, 2.06 µgr/l בחודש אוגוסט, לא היתה קשורה במדידות חריגות נוספות ונבעה כנראה משחרור אצות בתעלת הקינט. ריכוז הכלורופיל החריג אשר נמדד השנה, מערבית למוצא הקינט, מלווה בריכוזי נוטריינטים וחמצן גבוהים ומעיד כנראה על העשרה מקומית ועליה ביצרנות.

משרעת ריכוזי הכלורופיל בים הפתוח נעה השנה בין ערך מזערי של 0.09 µgr/l בחודש אוגוסט, וערך מירבי של 0.49 µgr/l בחודש מרץ. זו משרעת קטנה מאשר בשנה הקודמת. בים הפתוח נמדד בינואר 2016 ריכוז כלורופיל מרבי של 1.11 µgr/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 נלקחו על ידי פיטופלנקטון וגרמו לריכוזי כלורופיל גבוהים בחודש ינואר. התקררות פני הים פסקה בהמשך ותהליך הערבוב נעצר, וריכוזי הכלורופיל בשאר חודשי 2016 לא היו גבוהים באופן מיוחד.

במדידות הקודמות לשנת 2008 נמצאו לעיתים קרובות ריכוזי כלורופיל גבוהים המצביעים על פריחות אצות תדירות יותר מאשר בשנים האחרונות, והריכוזים שנמדדו אז היו בדרך כלל גבוהים יותר בהשוואה למדידות הים הפתוח. בשנת 2014 תבנית ריכוזי הכלורופיל הזכירה את המצב בתקופה ההיא, עם חריגות רבות בתחנות החופיות והשנה שוב ראינו ריכוזי כלורופיל גבוהים לאורך החוף, בהשוואה לריכוזים בים הפתוח. בנוסף לכך, נמדדו בשנתיים האחרונות ריכוזי כלורופיל מקומיים גבוהים, ומצב זה דורש מעקב אחר מקורות כניסת חומרים לים.



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

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

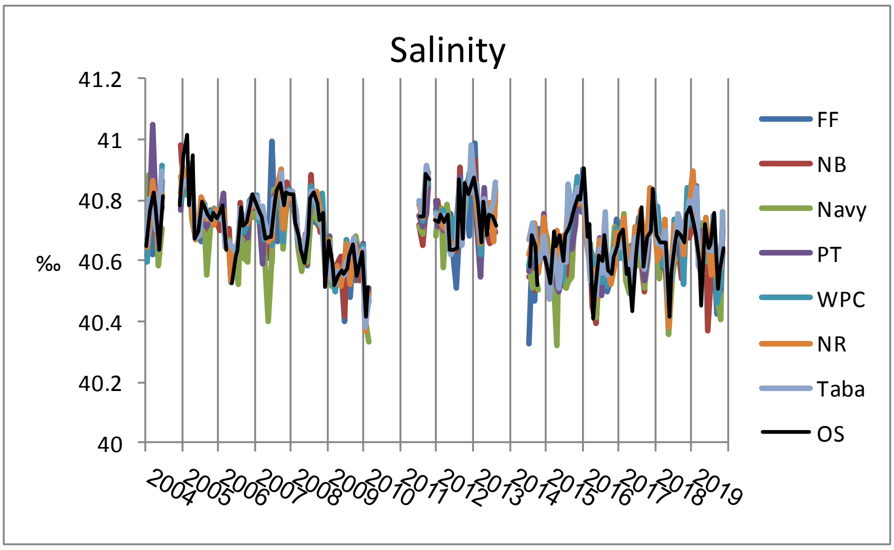
מדדים פיסיקליים

<u>מליחות</u>

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

מליחות הים העמוק מראה 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.

הערך הנמוך ביותר בים הפתוח נמדד השנה בחודש מרץ (40.452 ‰) והגבוה ביותר נמדד באוגוסט (40.760 ‰). משרעת זו מעט נמוכה ממשרעת הערכים שנמדדה בשנה הקודמת (איור ג10). מדידות המליחות השנה בתחנות החופיות מראות פיזור יחסית גדול סביב ערכי הים הפתוח, ובפרט ראוי לציין את ערך המליחות הנמוך אשר נמדד השנה - 40.367 ‰ בתחנת "החוף הצפוני" בחודש יוני. באותו חודש נמדדה בתחנת הים הפתוח מליחות של 40.642 ‰ והבדל זה עשוי להוות עדות נוספת לחדירת מים שונים אל הים בקרבת תחנה זו.



איור ג10: 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.***

<u>טמפרטורה</u>

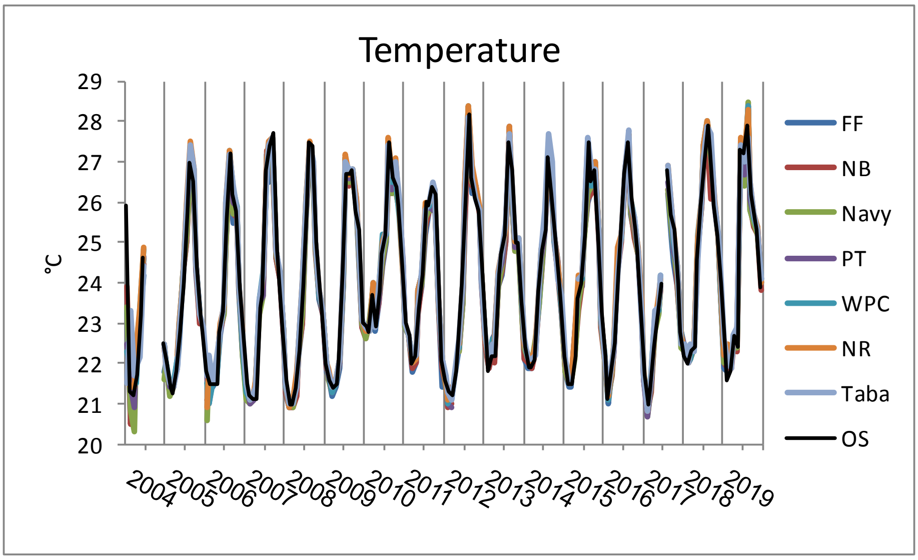
[מדידות הטמפרטורה בחורף 2004 משתרעות על טווח של למעלה משתי מעלות באותו בוקר. למרות שהבדלי טמפרטורה מקומיים עשויים לשמש עדות לגופי מים שונים, או הזרמת מים מהחוף אל הים, המשרעת הגדולה חודש אחר חודש והעדר תבנית מרחבית מעמידה בספק את אמינות המדידות בתחילת 2004 (באותה תקופה נעשה שימוש במד טמפרטורה דיגיטאלי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

טמפרטורת מי השטח מראה מחזור עונתי מובהק של ערכים נמוכים בחודשי החורף וערכים גבוהים בקיץ. הבדלי הטמפרטורה בין התחנות החופיות באותו מסע דגימה קטנים, וכולן דומות לערך הנמדד בים הפתוח.

הטמפרטורות הנמוכות השנה נמדדו בחודש פברואר (21.6°C) בתחנת הים הפתוח וברוב התחנות החופיות. טמפרטורה זו נמוכה מהערך המזערי הגבוה של השנה הקודמת אך אינה נמוכה בהשוואה לטמפרטורות המזעריות ברוב השנים האחרונות.

הטמפרטורה הגבוהה ביותר השנה היתה 27.9 °C באוגוסט, ערך דומה לזה של השנה הקודמת (איור ג11).

הטמפרטורה המרבית שנמדדה לאורך החופים במסגרת הניטור היתה 28.4 °C, בקיץ 2012, אך השנה היתה אחת השנים "החמות" ביותר שנרשמו במסגרת תכנית הניטור, עם טמפרטורה שנתית ממוצעת נמוכה אך מעט מאשר בשנה הקודמת. השנה "החמה" ביותר במסגרת הניטור היתה 2010, עקב טמרטורת החורף הגבוהה שהיתה אז.



איור ג11: מדידות טמפרטורה בתחנות הדיגום החופי מאז שנת 2004.

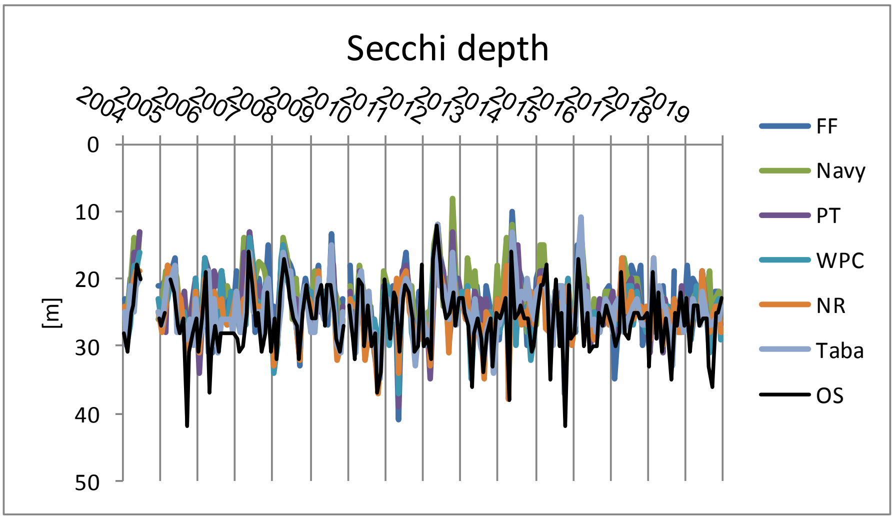
Figure C11: Temperature at the coastal water sampling stations since 2004.

<u>עכירות</u>

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

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

השנה נמדד בים הפתוח עומק מזערי של 23 מ' בחודשים ינואר ודצמבר (איור ג12). ערך זה גדול מהערך המזערי של השנה הקודמת, 17 מטרים, ומעיד על פריחת אצות חלשה השנה. העומק המרבי בים הפתוח נמדד השנה בחודש ספטמבר, 36 מ', בדומה לעומק המרבי שנמדד בשנה הקודמת. בתחנות החופיות נמדד לעיתים קרובות 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.

דיון

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

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 7-2016 עורבבה עמודת המים לעומק בינוני של 450-550 מטרים בתחילת החורף, אך הערבוב נפסק כבר בחודשים פברואר-מרץ ובשנה הקודמת שוב היה ערבוב עמודת המים רדוד, כ- 320 מטרים בלבד. השנה הגיע הערבוב לעומק בינוני של כ- 450 מטרים בחודש אפריל, עומק לא גדול 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 יביא לריכוזים גבוהים במיוחד של החומר המזהם בפני המים.

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

על רקע הריכוזים הנמוכים בתחנת הים הפתוח, בפרט בחודשי הקיץ, בולטים הערכים החריגים שנמדדו ברוב המדדים בחודשים יוני-יולי בתחנות הצפוניות, ובפרט בתחנת "החוף הצפוני". הריכוזים הגבוהים של נוטריינטים גרמו להתפתחות מקומית של אצות הניכרת גם בהבדלים בריכוזי החמצן בין התחנה הסמוכה "כלובי הדגים" ותחנת הים הפתוח. המליחות הנמוכה יחסית אשר נמדדה באותו זמן מצביעה על מקור מים חיצוני בעל מליחות נמוכה יחסית ועשיר בנוטריינטים. מכיוון שהריכוזים הגבוהים נמצאו בחודשי הקיץ ניתן להניח שמדובר בכניסת מים ממקור אנתרופוגני.

בנוסף למדידות הנעשות על ידי תכנית הניטור בים מול החוף, בעומק מים של 20 מטרים, התקבלו בשנתיים האחרונות דיווחים מרובים על פריחות אצות ועכירות גבוהה בחוף הצפוני בקרבת מוצא תעלת הקינט אל הים. בחודשים מרץ-אפריל השנה התבצעו עבודות תשתית של העמקת והרחבת התעלה וחומר עשיר נוטריינטים אשר נחפר הונח בקרבת מוצא התעלה ובמשך הזמן הוסע לים וככל הנראה גרם לפריחת מאקרו-אצות באזור (איור ג13).

איור ג13: פריחת מקארו-אצות באזור מוצא תעלת הקינט אל הים, 8 באפריל 2019 (צילום: ד"ר א. זבולוני, רט"ג).

Figure C13: Massiv macro-algae bloom near the Kinnet channel outlet to the sea, April 8, 2019 (photo by Dr. A. Zvuloni, Israel's Nature and Parks Authority).

ג.2. טפילים ומחלות בדגים לאורך חופי אילת

מטרה

סקר מחלות וטפילים בדגי חוף נועד לזהות ולכמת גורמי פגיעה עיקריים בדגים, ולבצע מעקב אחר מצאי המחלות והטפילים לאורך זמן. מצאי הטפילים ההטרוקסנים משמש כמדד לבריאות המערכת האקולוגית בהיותם מאוכסנים על ידי מינים נוספים, מקבוצות בע"ח שאינם דגים, במהלך מחזור חייהם. ירידה בשיפעת מיני הטפילים ההטרוקסנים עשויה להעיד על פגיעה באחד או יותר מבתי הגידול או המאכסנים הנחוצים להשלמת מחזור חייהם. טחולי אותם הדגים נבדקים להערכת מידת נגיעותם במיקובקטריום מרינום (*Mycobacterium marinum*), חיידק שהוא פתוגן חשוב במפרץ.

שיטות

הסקר מבוצע על ידי תכנית הניטור בהדרכת פרופ' אריק דיאמנט מחיא"ל-מלח"י (חקר ימים ואגמים – המרכז הלאומי לחקלאות ימית).

במפרץ אילת ישנם ארבעה מינים של דגי סיכן, ומתוכם נבחר המין *Siganus rivulatus* (סיכן משויש) כמודל למצב המערכת האקולוגית בהקשרם של טפילי דגים מבחינת עושר המינים, שכיחותם ועוצמת הנגיעות של טפילי מעיים בעלי מחזור חיים הטרוקסני (מחזור חיים שכאמור, כולל מספר מאכסנים שונים). מין זה שימש בעבר למטרות דומות (למשל, Diamant *et al.*, 1999, Dzikowski *et al.*, 2003) וקיים מידע רב על פאונת הטפילים המתקיימת בו. בנוסף לכך, מין זה נפוץ מאד וחי בלהקות גדולות כך שניתן ללכוד פרטים ממנו בקלות יחסית.

דגי בר מהסוג סיכן נתפסים חיים על ידי צוללים באזור החוף הדרומי של אילת (המכון הבינאוניברסיטאי/שמורת חוף אלמוג). תפיסת הדגים נעשית בשעות הלילה בעזרת רשתות יד. הדגים מוחזקים חיים במיכל מי ים עד לנתיחתם לצורך בדיקת טפילים (לא יותר מיממה אחת). הבדיקה כוללת נתיחה לזיהוי וכימות שכיחות ועוצמת הנגיעות של טפילים הממוקמים במערכת העיכול של הדג המאכסן.

הדגים נמדדים, נשקלים ואז מנותחים ומעיהם נבדקים בעזרת בינוקולר, ונעשית ספירה של הטפילים.

במסגרת הניטור נעשה מעקב ארוך-טווח אחרי שיפעתם של טפילי המעיים ההטרוקסנים הבאים:

קבוצת Nematoda- מחזור החיים של טפילים אלה כולל בנוסף לדגים גם סרטנים (ככל הנראה קופפודה) ודגי הסיכן מהווים להם מאכסנים סופיים. מקבוצה זו נבדקו המינים *Cucullanus sigani (Cucul.)* ו-*Procamallanus elatensis (Proc.)*.

Acanthocephala- קבוצת תולעים בעלות ראש מעוטר קוצים נשלף, שבאמצעותו הוא נצמד למעי הדג. מחזור החיים של טפילי מעיים כולל בנוסף לסיכן, על פי המשוער, גם סרטנים זעירים מקבוצת האמפיפודה. ממערכה זו נבדק המין *Sclerocollum rubrimaris* (*Scler.*). דגי הסיכן מהווים מאכסנים סופיים של מין זה.

Digenea- הסיכנים הם מאכסנים סופיים למינים מקבוצה זו שהתפתחותם בשלבים הלרוויליים מתקיימת ברכיכות ובהמשך כנראה גם בחסרי חוליות נוספים. מקבוצה זו נבדקו המינים

Hexangium sp.*(Hexan.), Gyliauchen* sp.*(Gyliauc.), Opisthogonoporides* sp.*(Opist.)*.

המשתנים הנבדקים לגבי מיני טפילים אלה הם שכיחות, עושר המינים ועוצמת הנגיעות. עקומות rarefaction לעושר המינים חושבו באמצעות תכנת EstimateS, והשוואת עושר מיני הטפילים בין השנים נעשתה בעזרת מעריך Jacknife 1 אשר חושב גם הוא מתוך תכנת EstimateS. זו השיטה המועדפת לניתוח עושר אוכלוסיות טפילים כאשר גודל המדגם קטן יחסית (Walther & Morand, 1998).

תוצאות

השנה נתפסו על ידי תכנית הניטור 28 דגי סיכן מהמין *Siganus rivulatus* (סיכן משויש) בגודל המתאים (משקל גדול מ-100 גרם). דגים אלה נותחו ונמצאו בהם בסך הכל 288 טפילי מעיים הטרוקסנים השייכים לחמישה סוגים (טבלה ג2).

זוהי כמות גדולה יותר של טפילים בהשוואה למצאי הכללי ב-28 דגים בשנה הקודמת (227).

				Parasite						
No.	**Location**	**Weight (gr)**	**Length (cm)**	***Scler.***	***Gyliauc.***	***Proc.***	***Cucul.***	***Opist.***	***Hexan.***	***Date***
411191	IUI	185	24.5	2		1			1	4.11.19
411192	IUI	121.4	20			5				4.11.19
411193	IUI	118.9	20.5	5		1			2	4.11.19
411194	IUI	120.2	21	1		2			1	4.11.19
411195	IUI	114.2	21.5	2		3			2	4.11.19
2211191	IUI	195	24			2				22.11.19
2211192	IUI	180	25.9			3				22.11.19
2211193	IUI	105	19.8	1		2	1		1	22.11.19
2211194	IUI	145	23.1	3					3	22.11.19
2211195	IUI	105	26	72		3			6	22.11.19
2511191	IUI	180	24.5	1						25.11.19
2511192	IUI	155	22.5	11						25.11.19
2511193	IUI	175	23	1		2	1	1		25.11.19
2511194	IUI	130	22.2	1		3				25.11.19
2511195	IUI	165	23.2			3				25.11.19
212191	IUI	152.2	23	1					9	2.12.19
212192	IUI	181.2	24.5	1		1			5	2.12.19
212193	IUI	143.3	22	1		2	1		2	2.12.19
212194	IUI	137.4	21.2			2			1	2.12.19
612191	IUI	185.7	23	5						6.12.19
612192	IUI	233.8	26	1					5	6.12.19
612193	IUI	193.4	25.2			2			18	6.12.19
612194	IUI	160.7	23			3		1		6.12.19
612195	IUI	132.8	21.8	2		3				6.12.19
912191	IUI	146.6	23	51		5			1	9.12.19
912192	IUI	160.7	24.5	1		3			3	9.12.19
912193	IUI	177.9	24.5			7				9.12.19
912194	IUI	202.4	26			2				9.12.19

טבלה ג2: טפילי המעיים שנספרו בדגי סיכן משויש אזור המכון הבינאוניברסיטאי.

Table C2: Gut helminth parasites found in *Siganus rivulatus* sampled near the IUI.

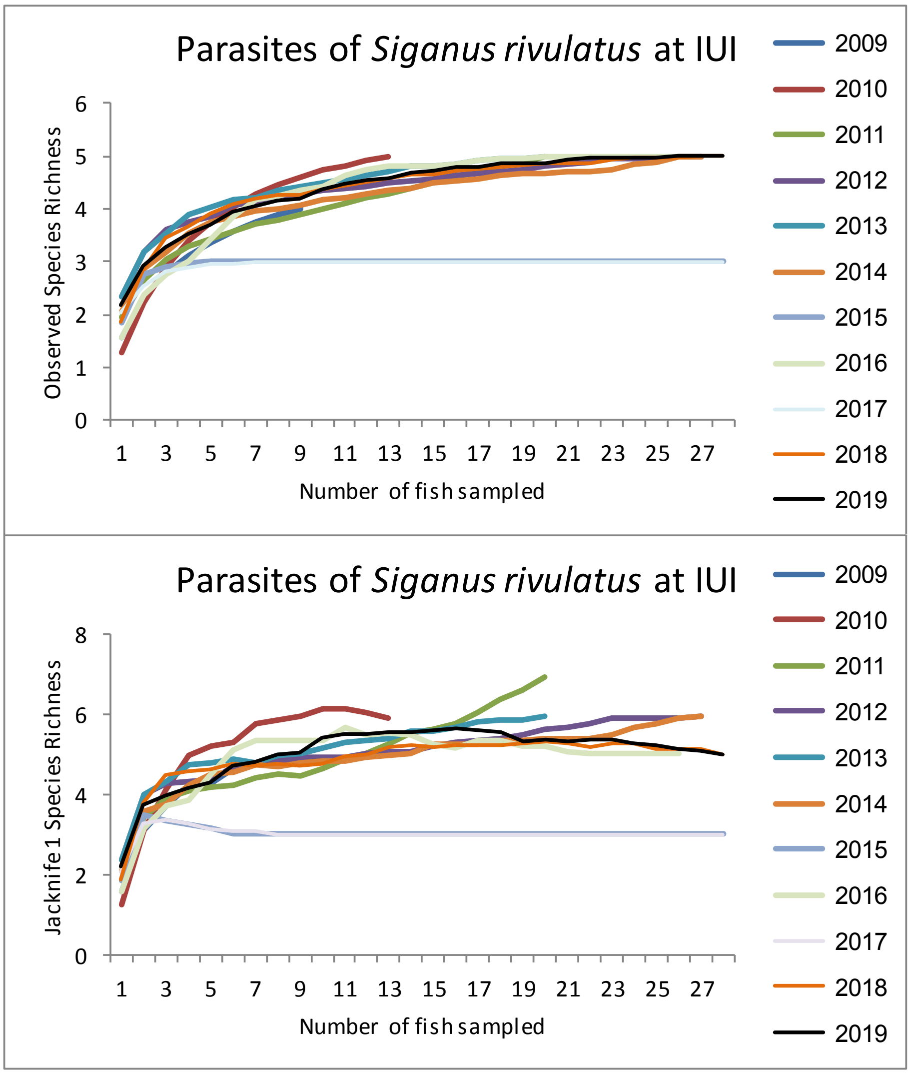
במסגרת תכנית הניטור אנו עוקבים אחר ששה מינים של טפילי מעיים (ראו למעלה) בדגי הסיכן, אך לא בכל שנה מזוהים בו כל המינים הללו. השנה זוהו חמישה מיני טפילים, בהתאמה לממצאי רוב השנים הקודמות. הטפיל *Gyliauc.* נעדר לחלוטין מדגי הסיכן המשויש באזור המכון הבינאוניברסיטאי כבר מספר שנים.

להשלמת מחזור חייהם נדרשים לטפילים הטרוקסנים מספר "מאכסנים" שונים החיים בגומחות אקולוגיות שונות, ועל כן ירידה ניכרת ומתמשכת בנוכחות הטפילים עשויה להצביע על פגיעה בגומחות אלה. אינדקס אשר פותח על ידי (.Diamant *et al*

(1999) בוחן את שיפעת טפילים אלה לעומת שיפעת טפילי דגים להם מחזור חיים מונוקסני, אולם מעקב אחר אלה דורש מומחיות אשר אינה קיימת כיום בתכנית הניטור ולפיכך אנו מסתפקים במעקב ישיר אחר הטפילים ההטרוקסנים.

לצורך השוואה בין השנים נבנו עקומות צבירה (rarefaction) המראות עד כמה לוכד המדגם את עושר המינים הקיים (איור 14ג). מתוך עקומות אלה נראה כי ברוב השנים בהן פועל הניטור מצאי הטפילים דומה, מלבד בשנים 2015 ו- 2017 בהן נמצאו רק שלושה סוגי טפילים מתוך השישה.

הערכת עושר המינים "האמיתי" באמצעות המעריך Jacknife 1 מראה תמונה דומה (איור 14ג, למטה) בה עושר המינים הגבוה ביותר (7) חושב עבור שנת 2011, ובדרך כלל עושר המינים המצופה מגיע ל-6. בשנים 2015 ו-2017 היה עושר המינים המצופה 3, אך השנה כמו בשנה הקודמת עומד ערך זה על 5.



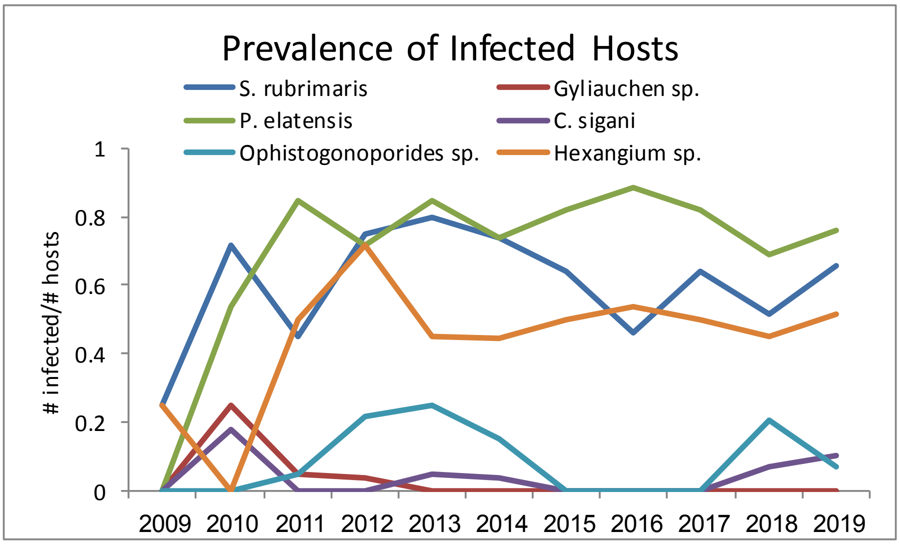
איור 14ג: עקומות צבירה (rarefaction) של עושר מיני התולעים שנמצאו במעי דגים מהמין סיכן משויש, מחושבות בעזרת תכנת EstimateS. למעלה: עושר המינים הנצפה, למטה עושר המינים המוערך על פי המדד Jacknife-1.

Figure C14: Rarefaction curves of *S. rivulatus* helminth parasite Species Richness calculated using the EstimateS software. Top: Observed Richness, Bottom: Estimated Jacknife-1 Richness.

בנוסף לעושר המינים, נמדדו לגבי הטפילים הנבדקים גם שכיחות ועוצמת הנגיעות וחושב מקדם החשיבות של Bush על פי אינדקס Janion (Bush *et al.* 1990).

בין השנים ישנם שינויים בשכיחות ההדבקה בטפילים הטרוקסנים (איור 15ג). בעוד ששכיחות ההדבקה של שלושת הטפילים *Sclerocollum rubrimaris*, *Procamallanus elatensis* ו- *Hexangium* sp. גבוהה בשנים האחרונות והם זוהו במרבית הדגים הנבדקים, מין הדיגיניאה *Gyliauchen* sp. לא נמצא בדגימות הסיכנים מאז 2012, ואילו *Opisthogonoporides* sp. ו- *Cucullanus sigani* נמצאים במספרים נמוכים, לאורך כל תקופת הניטור.

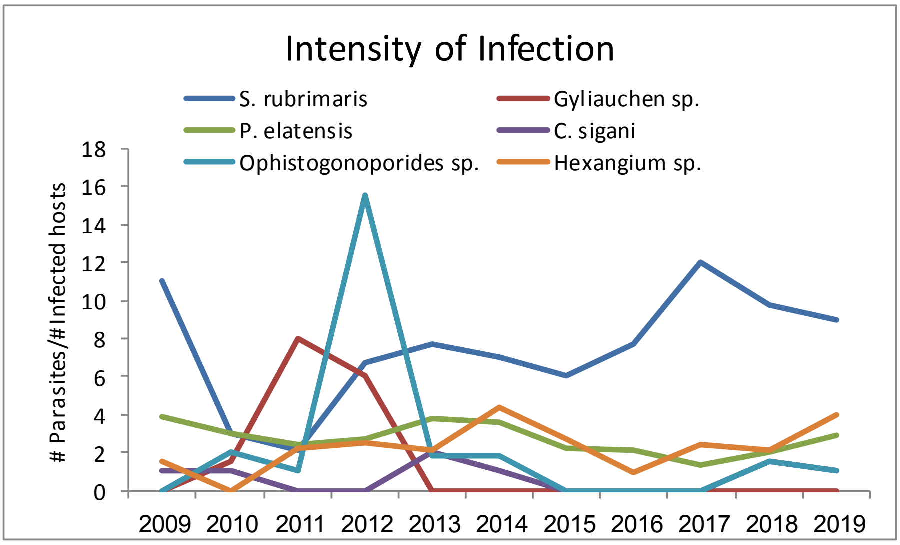
הדיגיניאה *Gyliauchen* sp., אשר לא זוהה בשנים האחרונות, נפוץ בעיקר בדגי סיכן מהמין *S. luridus* ובעבר נמצא בדגים אלה עשרות ואף מאות פרטים בדג בודד. יתכן שהמדגם הנבחן במסגרת תכנית הניטור, הכולל דגים מהמין *S. rivulatus* בלבד, מציג תמונה חלקית בלבד של הדינמיקה של מין הדיגיניאה *Gyliauchen* sp..



איור ג15: שכיחות הנגיעות בששה מיני טפילי המעיים הנבדקים בדגי הסיכן המשויש.

Figure C15: Prevalence of the six gut parasite species examined in *S. rivulatus*.

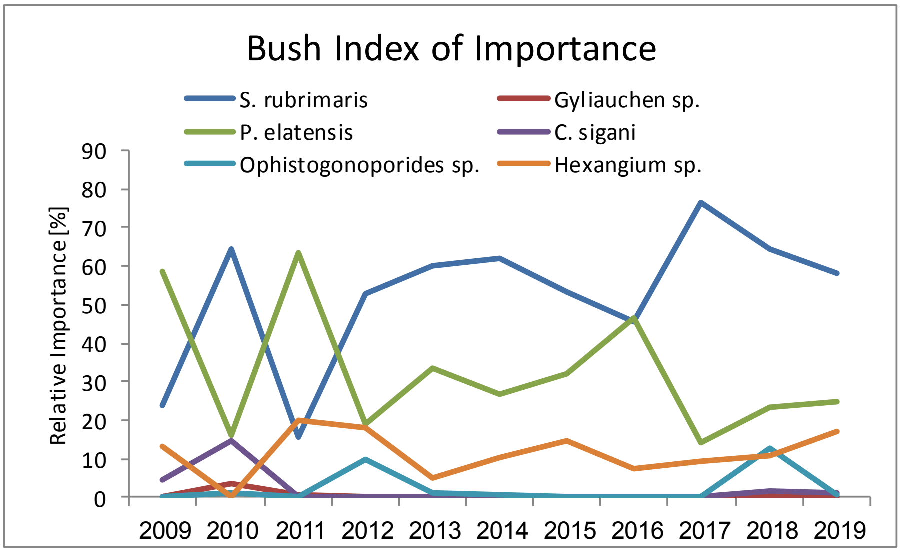
עצמת ההדבקה בטפיל *S. rubrimaris*, עלתה במשך תקופת הניטור אך בשנתיים האחרונות נמדדת ירידה. עצמת ההדבקה בטפילים *P. elatensis* ו- *Hexangium* sp. נותרה דומה. עבור שלושת הטפילים האחרים נמצאה ירידה בשנות הניטור אפילו בהתחשב במספרים הנמוכים (איור ג16). כמות הנתונים הקיימים אינה מאפשרת לנתח באופן מעמיק את שינויי עוצמת הנגיעות בטפילים הטרוקסנים בדגי הסיכן המשויש בשנים האחרונות.



איור ג16: עצמת הנגיעות בששה מיני טפילי המעיים הנבדקים בדגי הסיכן המשויש.

Figure C16: Intensity of infection of the six gut parasite species examined in *S. rivulatus*.

על פי אינדקס החשיבות של בוש (מדרג באחוזים את תרומתו של כל טפיל על פי אינדקס ההדבקה של Janion, המשקלל את מספר הטפילים על פי מספר המאכסנים הנגועים שנדגמו) האקנטוצפלה *S. rubrimaris* הוא הטפיל העיקרי בדגי הסיכן בשנים האחרונות (איור ג17).



איור ג17: אינדקס בוש לחשיבות הנגיעות בששה מיני טפילי המעיים הנבדקים בדגי הסיכן המשויש.

Figure C17: Bush Index for the importance of infection of the six gut parasite species examined in *S. rivulatus*.

בשנת 1990 זוהה החיידק *Mycobacterium marinum* לראשונה במפרץ אילת, בדגי לברק מכלובי הדגים, ובשנת 1995-6 הייתה שכיחות הנגיעות בו בדגי הסיכן המשויש (*Siganus rivulatus*) בחוף הדרומי 34%, ושנה לאחר מכן 66%. בחלק מהדוגמאות מתקופת כלובי הדגים נמצאה נגיעות של למעלה מ-85% (Diamant *et al*., 2000). דגי הסיכן רגישים במיוחד לחיידק זה ומהווים אינדיקטור לנוכחותו במפרץ.

בשנים האחרונות העבירה תכנית הניטור דוגמאות למעבדות מלח"י לצורך זיהוי גרנולומות שמקורן בחיידק *M. marinum*. השנה לא התבצעה אנליזה זו, אולם בשנים שנבדקו לא נמצאו שינויים משמעותיים ברמת הנגיעות של דגי הסיכן בחיידק *M. marinum*, והיא עומדת על כ- 60%.

מהתוצאות הקיימות נמצא כי החיידק *M. marinum* מבוסס היטב באוכלוסיות סיכני הבר (ועל פי נתונים מהעבר, לא רק בהם) בצפון המפרץ.

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

<u>מטרה</u>

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

<u>שיטות</u>

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

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

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

הטיפול בדוגמאות לצורך מיון בע"ח כולל קיבוע בפורמלין (4%) עם בופר של Sodium-tetraborat ב pH של 8.2 במשך יממה, שטיפה במי ברז דרך נפות (250 ו-500 מיקרומטר), והדגרה של פרקציות הגודל באתנול (70%) עם רוזבנגל (rose bengal, 1 גרם/לליטר) למשך שבוע. את הדוגמה שוטפים במים ומשיבים לתמיסת אתנול (70%). מיון הפאונה נעשה תחת בינוקולר והפרטים הממוינים נשמרים באתנול 70%. מספר הפרטים בדוגמה מנורמל לשטח פנים של 10 ס"מ^{2}.

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

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

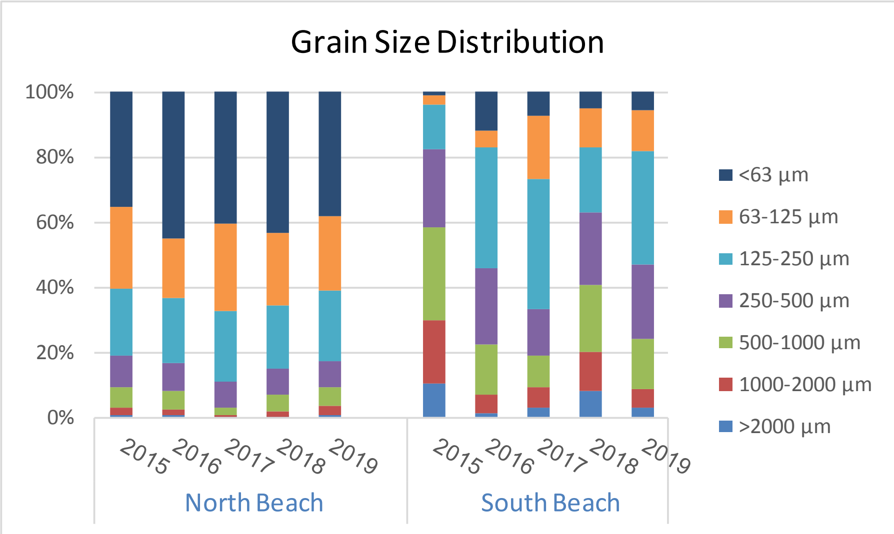
<u>תוצאות:</u>

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

שני האתרים הנבחנים, בחוף הצפוני ובחוף הדרומי, בעלי מאפיינים פיסיוגרפים שונים. אתר החוף הצפוני בעל שיפוע קרקעית מתון וחשיפה גדולה לכניסת מים 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 (2015-2019) אתר החוף הצפוני מאופיין במרכיב גדול (יותר מ- 60%) של סדימנט דק, בעל גודל גרגר קטן מ- 125 µm, ובחוף הדרומי מרכיב זה קטן מ- 30% (איור ג18). הסדימנט הדק, הנפוץ באתר החוף הצפוני, מאפיין שקיעה מעמודת המים באנרגיה נמוכה ורובו נגזר ממרכיבים יבשתיים (חרסית וסילט בעלי גודל גרגר קטן מ- 63 µm, חול דק מאד מוגדר עד לגודל גרגר של 125 µm).

באתר החוף הצפוני נצפו בשנים האחרונות שינויים קלים בלבד בהתפלגות גדלי הגרגר בסדימנט, ואילו באתר החוף הדרומי מתועדות תנודות במרכיב הסדימנט הדק: הפרקציה הקטנה מ- 250 µm גדלה מאד בין השנים 2015-7, ובשנתיים האחרונות שוב הצטמקה לכדי כ- 40-50%. גם שאר פרקציות הגודל מראות שינויים במהלך שנות הניטור.



איור ג18: חלוקת סדימנט לגדלי גרגר (באחוז משקלי) בשני אתרים, בחוף הצפוני (NB) ובחוף הדרומי (SB).

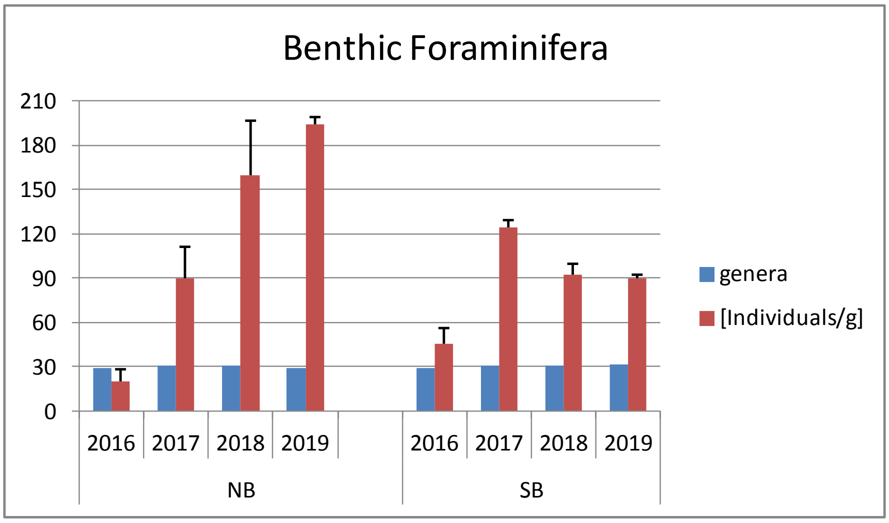
Figure C18: Grain size distribution (weight percent) for soft sediment at two sites, at the north beach (NB) and south beach (SB) of Eilat.

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

בשנים האחרונות נעשה שימוש בפרוטוקול ספירה יעיל יותר ויכולת הזיהוי השתפרה.

באתר החוף הדרומי נמצאו השנה בסך הכל 48 מיני פורמיניפרה, בדומה לשלוש השנים האחרונות. באתר החוף הצפוני ישנן תנודות במספר המינים המזוהים בין השנים והשנה נמצאו שם 45 מינים. מכיוון שזיהוי פורמיניפרים לרמת המין הוא מורכב ועם העליה ביכולות הזיהוי צפויים שינויים במספרים המדווחים, קובצו המינים לסוגים. בחוף הדרומי נמצאו השנה 32 סוגים ואילו בחוף בצפוני 29 (איור ג19 וטבלה ג3). גם בשנה הקודמת וגם השנה זוהו מיני וסוגי פורמיניפרים אשר לא זוהו קודם לכן.

צפיפות הפרטים הממוצעת בגרם סדימנט בחוף הדרומי היתה השנה 90 לגרם, בממוצע ואילו בחוף הצפוני נמצאה צפיפות פרטים ממוצעת של 194 פרטים לגרם סדימנט. בשנתיים האחרונות צפיפות הפרטים בחוף הצפוני גבוהה בהרבה מזו שבחוף הדרומי. מספר הסוגים המאכלסים את שני האתרים דומה.



איור ג19: מספר סוגי הפורמיניפרים שזוהו וצפיפות הפרטים (מספר לגרם סדימנט) בשני אתרים, בחוף הצפוני (NB) ובחוף הדרומי (SB).

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

Taxa	SB				NB			
	2016	2017	2018	2019	2016	2017	2018	2019
Agglutinella compressa				+			+	+
Ammonia spp	+	+	+	+	+	+	+	+
Amphisorus hemprichii	+	+	+	+	+	+	+	+
Amphistegina sp.	+	+	+	+	+	+	+	+
Articulina sp.	+		+	+		+	+	+
Assilina amonoides	+	+	+	+	+	+	+	+
Bolivina spp	+							
Borelis schlumbergeri	+	+	+	+	+	+	+	+
Brizalina sp.	+	+		+	+	+	+	+
Challengerella bradyi				+				
Cibicides spp				+	+	+	+	+
Clavulina angularis			+	+			+	
Cycloforina sp.	+	+	+	+	+		+	+
Cymbaloporetta sp	+	+				+	+	
Discorbinella rhodiensis	+	+	+	+		+		
Elphidium sp.	+	+			+	+	+	+
Epistomoroides punctatus		+			+	+		+
Epoindes repandus	+				+			
Fursenkoina sp. A					+	+		
Globofissurella sp				+				
Hauerina sp.	+	+	+	+	+	+	+	+
Labrospira jeffreysii		+			+	+	+	
Lachlanella sp.	+	+	+			+		+
Lagenammina atlantica		+				+	+	
Miliolides sp.	+				+			
Miliolinella sp.	+	+	+	+	+	+	+	+
Nonion spp	+	+			+	+	+	+
Paratrochammina madeirae			+					
Peneroplis planatus	+	+	+	+	+	+	+	+
Planogypsina	+		+	+			+	
Planorbulinella larvata				+				
Pseudoaurinella dissidens		+	+					
Pseudocibicides	+	+	+		+	+	+	+
Pseudomassilina sp.				+	+		+	+
Pseudoschlumbergerina ovata			+	+				
Pseudotriloculina sp.	+	+	+	+	+	+	+	+
Pyrgo sp.				+	+		+	
Quinqueloculina sp.	+	+	+	+	+	+	+	+
Reusela spp		+	+		+			+
Rosalina spp	+	+	+	+	+	+	+	
Schlumbergerina alveoliniformis					+			
Siphonaperta agglutinans			+					
Siphonaperta distorqueata								+
Siphonaperta pittensis		+	+	+		+	+	+
Sorites	+	+	+	+	+			
Spirillina sp A						+		
Spiroculina	+	+		+	+	+		+
Textularia spp	+	+	+	+		+	+	+
Triloculina sp.	+	+	+	+		+	+	+
Trochulina sp. A			+	+		+	+	+
Varidentella cf. V. neostriatula		+	+			+		+
Vertebralina striata			+					

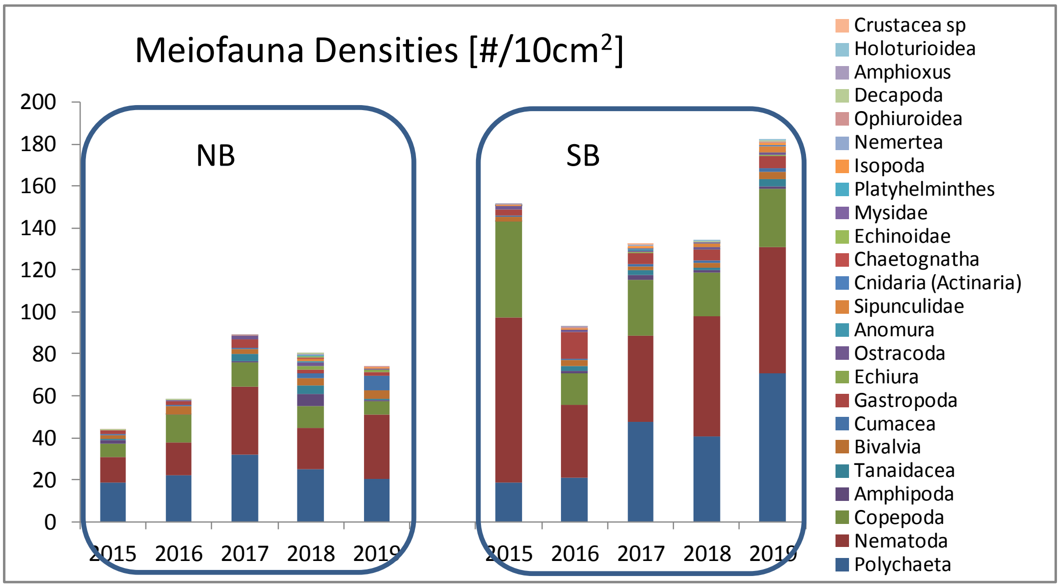
טבלה ג3: סוגי פורמיניפרים בנתונים שוכני הסדימנט הרך שזוהו באתר החוף הצפוני ובאתר החוף הדרומי.

Table C3: Benthic foraminifera identified at the North and south beach sites.

בספירות בע"ח שוכני סדימנט שאינם פורמיניפרים נמצא כי קבוצות ה- *Polychaeta*, *Copepoda*, *Nematoda* הן הנפוצות ביותר בסדימנט בשני האתרים בחמש השנים בהן מבוצע הניטור (איור ג20). באתר החוף הדרומי זוהו השנה 19 קבוצות (לעומת 22 בשנה הקודמת) ובחוף הצפוני 13 בלבד (טבלה ג4).

צפיפות הפרטים בסדימנט החוף הצפוני, היתה גדולה ביותר בשנת 2017 ואילו בחוף הדרומי הצפיפות הגדולה ביותר נמדדה השנה.

בכל השנים צפיפות הפרטים בחוף הדרומי גבוהה מאשר בחוף הצפוני.



איור ג20: משפחות בע"ח שוכני מצע רך בקרקעית הים בשני אתרים, בחוף הצפוני (NB) ובחוף הדרומי (SB).

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

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

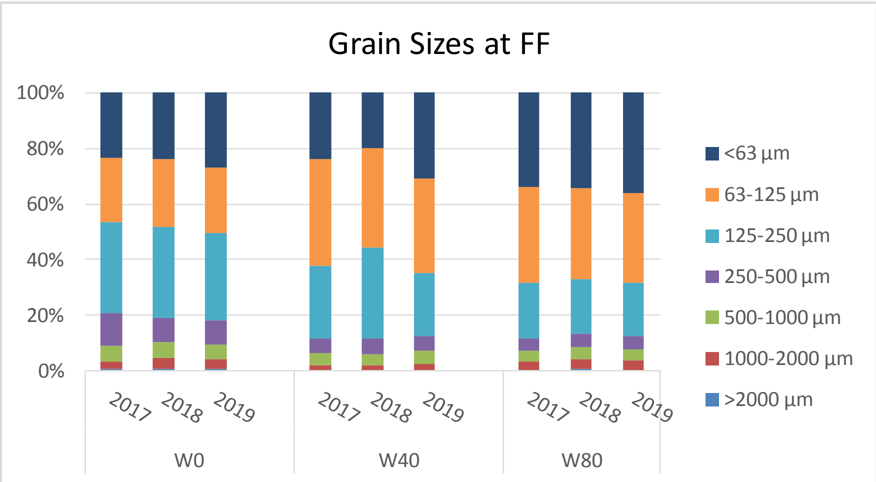
טבלה ג4: קבוצות שוכני הסדימנט הרך (לא כולל פורמיניפרים) שזוהו השנה באתר החוף הצפוני ובאתר החוף הדרומי (לפי סדר א"ב).

Table C4: Meiofauna groups identified this year at the North and South beach sites (listed alphabetically).

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 (און' חיפה).

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

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



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

Figure C21: Grain size distribution (weight percent) for soft sediment at 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 הדיגום החודשי הרציף 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.

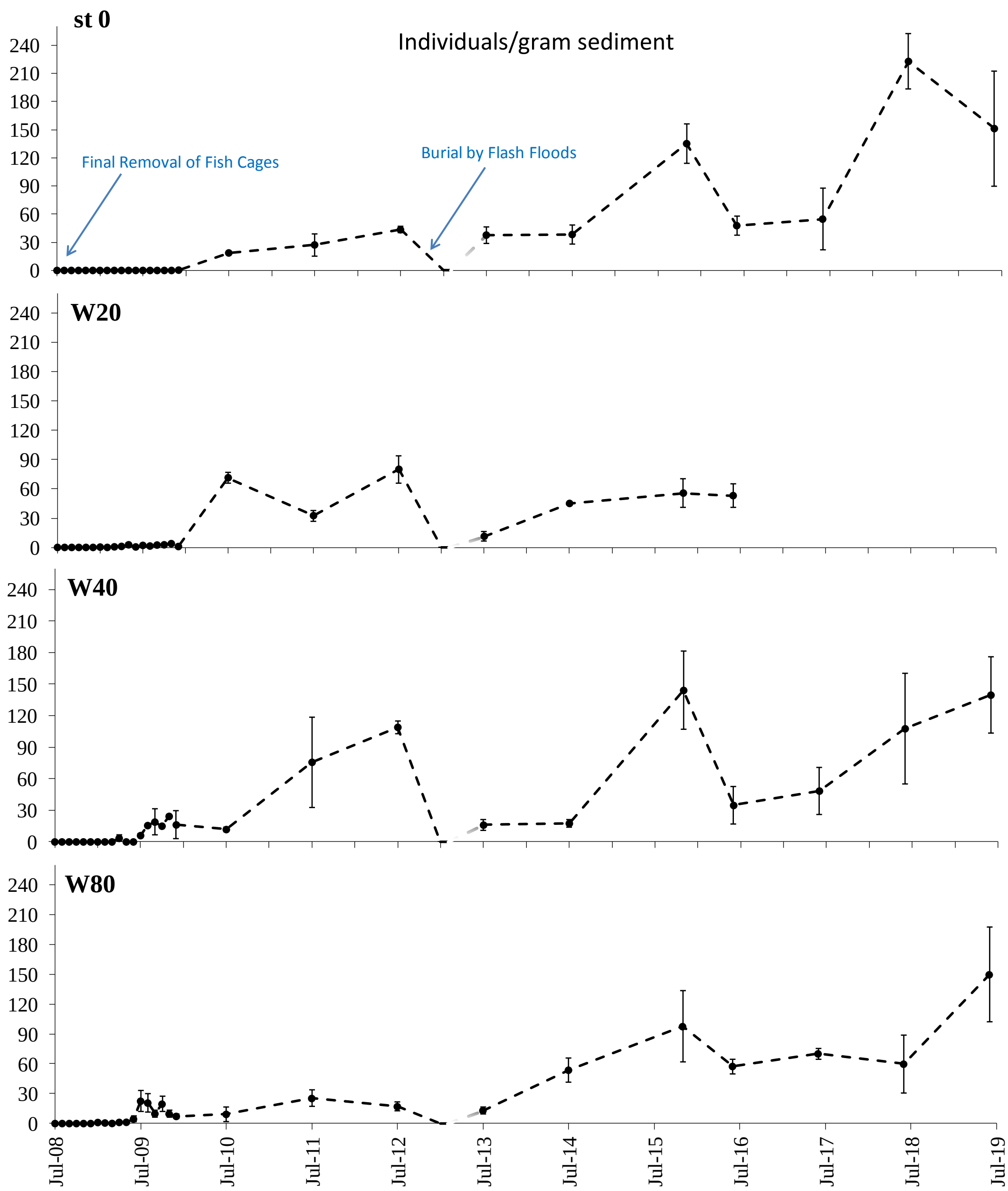
בדגימות שנלקחו ביולי 2010-2012 נמצא כי הרכב המינים בסדימנט עדיין נשלט על ידי *O.ammonoides* וכמות הפרטים לגרם סדימנט נמצאת במגמת עליה בתחנות 0, W20 ו W40.

בחורף 2012-2013 חוותה המערכת האקולוגית באזור המעקב סדרת שטפונות 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 w40 ו-st0 – להבדיל מתהליך החזרה שלאחר הוצאת הכלובים אשר התקדם ממערב למזרח (מתחנה w80 לכיוון תחנה st0).

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, אם כי בתחנה 0 נמצאה השנה ירידה בהשוואה לשנה הקודמת.



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**).**

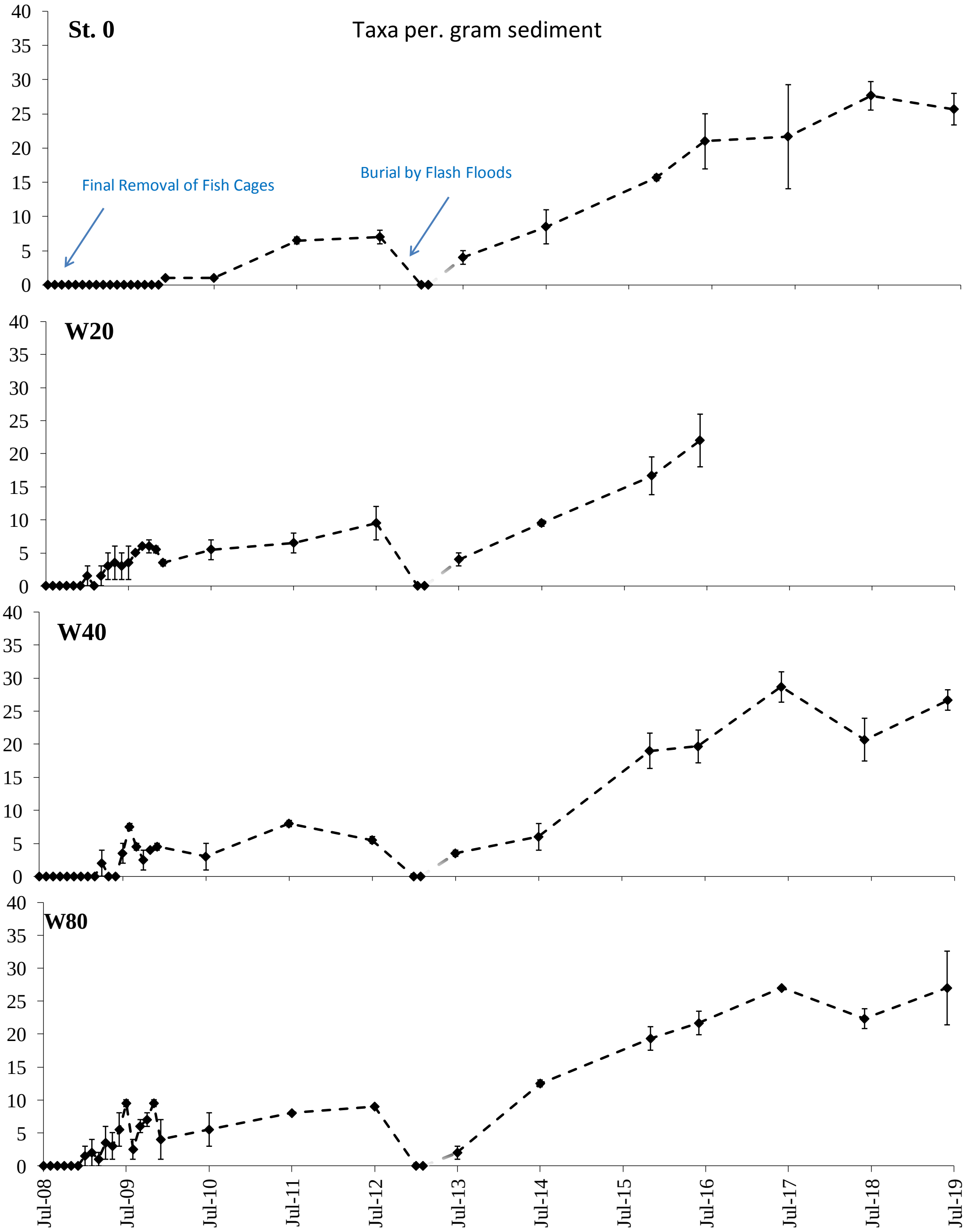
בשנים שלאחר הוצאת כלובי הדגים ניתן היה לעקוב אחר דפוס שיקום שהראה תהליך איטי של סוקססיה וכניסת מיני פורמיניפרים חדשים, כאשר התהליכים התרחשו בקצב שונה בתחנות הדיגום השונות והיו איטיים יותר בתחנות הקרובות למיקום בו היו כלובי הדגים (איור ג23).

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

עם כניסתה של תכנית הניטור לעיבוד הסדימנט, בשנת 2015, הושקע מאמץ גדול בשיפור יכולות הזיהוי והמיון של מיני פורמניפרים בנתוניים ומגוון המינים שזוהו גדול בהרבה מאשר בשנים קודמות. לא ברור כמה מהשינוי קשור ביכולת הזיהוי

שהשתפרה וכמה מייצג שינוי אמיתי של החברה, אך בשנים מאז 2015 מתייצב מספר המינים המזוהים בתחנות על ערכים גבוהים מאשר בשנים הקודמות.

הופעה של עשב הים מסוג *Halophila stipulacea* באזור שבו היו ממוקמים כלובי הדגים תועדה לראשונה בחודש אוגוסט 2009 ומסמלת כניסה של מרכיב אקולוגי חשוב הצפוי לגרום להתבססות של מינים אפיפיטים באזור.



איור ג23: מספר מיני הפורמניפרים החיים לגרם סדימנט יבש בתחנות השונות מיולי 2008, מיד לאחר הוצאת כלובי הדגים.
Figure C23: The number of live foraminifera species per gram dry sediment at sampled locations between summer 2008, immediately after fish cages were removed from the area.

היעדרם המוחלטת 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* הנפוץ באופן טבעי באזור העיד

על מגבלות סביבתיות חמורות.

המין הראשון שהתיישב באזור הוא מין אופורטוניסטי, *Assilina ammonoides*. צפיפותו של מין זה בסדימנט באזור כלובי הדגים עלתה בשנים הראשונות ואחר כך התייצבה. השנה נמצאה ירידה בצפיפותו של מין זה בכל התחנות, אף כי סך כל צפיפות הפרטים מכל הסוגים עלתה בשנים האחרונות בכל התחנות.

ג.4. קרקעית חולית במים רדודים – כיסוי עשב ים

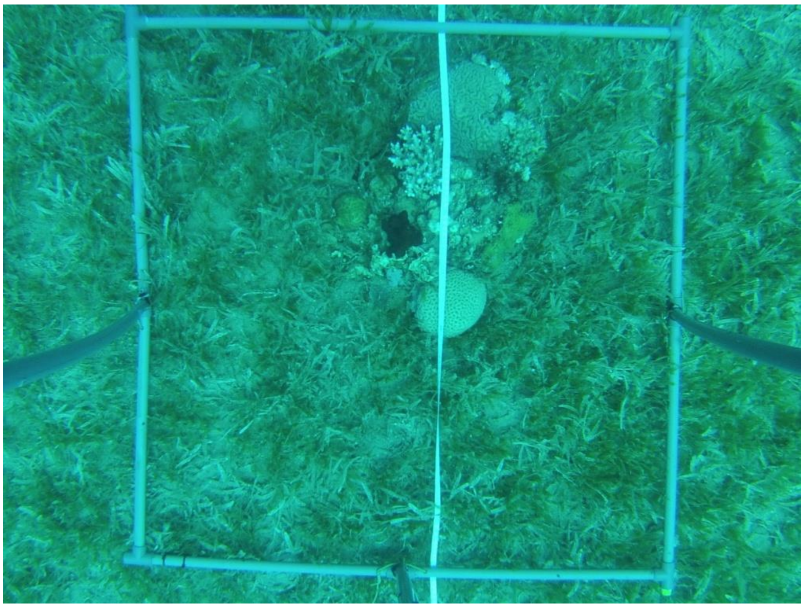
מטרה

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

שיטות

כיסוי עשב הים על קרקעית חולית נאמד בשלושה עומקים, 10, 15 ו-20 מטרים בשני אתרים: בחוף הצפוני (מול מוצא "לגונת השלום", נ"צ (בעשרה מטרים): 29° 32.655´N, 34° 57.997´E) ובחוף הדרומי (מול כפר הצוללים, נ"צ בכניסה למים: 29° 29.966´N, 34° 54.866´E).

הערכת הכיסוי נעשית בשיטת "דגימת נקודה" (point sampling) מתוך צילומים של קרקעית הים (איור ג24). בכל עומק נפרס סרט מדידה באורך 60 מטרים במקביל לחוף ותמונה ששטחה מטר רבוע ($1m^2$) צולמה כל חמישה מטרים לאורך הסרט. במעבדה נדגמו מאה נקודות סדורות בכל תמונה בעזרת תכנת CPCe (Kohler & Gill, 2006) ועבור כל נקודה נקבע אם יש או אין תחתיה עשב ים. התוצאות עובדו לכיסוי עשב הים עבור כל תמונה וממוצע וסטיית תקן לאתר חושבו מתוך סך התמונות באתר.



איור ג24: צילום של עשב ים מחתכי הסקר בעומק עשרים מטרים באתר החוף הדרומי (צילום: מ. צ'רניחובסקי).

Figure C24: A photo of seagrass cover along the 20m depth transect on the southern coast of Eilat (photo: M. Chernihovsky).

תוצאות

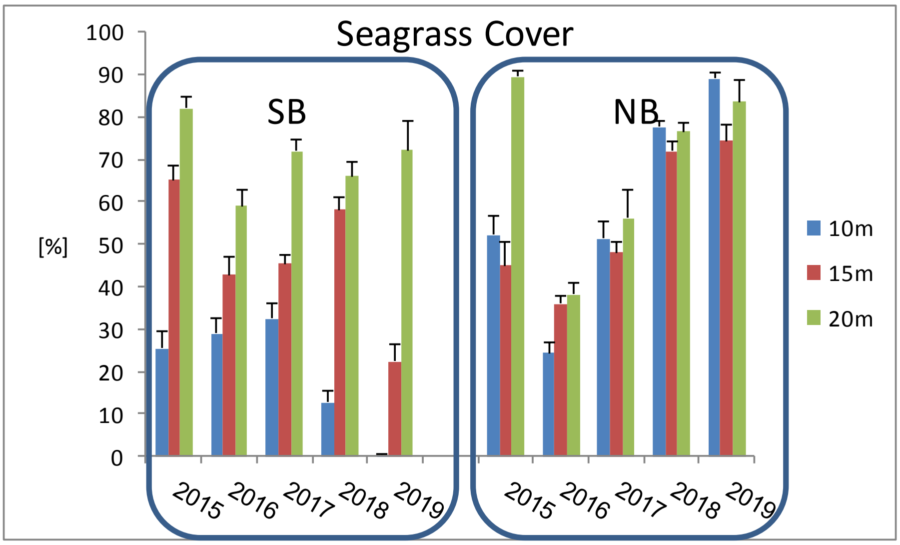
עשב הים במפרץ אילת בעומקים רדודים נסקר באופן שיטתי על ידי Mejia *et al.* (2016), Winters *et al.* (2017) שמצאו מרבדים נרחבים לאורך שולי צפון המפרץ בתחום ישראל, והעריכו את מצבם. לעשבי הים חשיבות גדולה כבית גידול ייחודי השומר על איכות המים בהקשר של בריאות הציבור (Lamb *et al.*, 2017) וכסביבה תומכת בהתפתחות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

זה הקיץ החמישי בו נסקר 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 ומושבות אלמוגים מצויות גם במדרון התלול. לעומת זאת, ישנה שם פעילות שחיינים וצוללים אינטנסיבית. בחוף הצפוני המדרון מתון ומרחק גדול מפריד בין העומקים הנסקרים. קרקעית הים בחוף הצפוני מכילה סדימנט דק ומעטים בה האלמוגים כמו גם שחיינים וצוללים, אך ישנה פעילות שיט ערה.

מסקרים איכותיים שבצעה תכנית הניטור למציאת העומק המקסימלי של השתרעות עשב ים באילת, עולה כי בחוף הצפוני נמצאים מרבדי עשב ים נרחבים בטווח העומקים 1-25 מטרים, ועמוק יותר לעשבי הים הופעה כתמית שמדלדלת עד שנעלמת בטווח העומקים 35-40 מטרים. בחוף הדרומי מרבדי עשב ים פחות נפוצים והופעתם מקוטעת (על ידי שוניות ומצע קרקעית קשה) אך במקומות בהם נמצאים עשבי ים ישנם מרבדים עשירים עד לעומק של כ- 40 מטרים.

בשנים בהן נסקר כיסוי עשב ים במסגרת תכנית הניטור נמצא כי, באופן כללי, מרבדי עשב הים באתרים שנסקרו, הן בחוף הצפוני והן בחוף הדרומי, עשירים ומכסים אחוז ניכר מפני הקרקע החולית. הכיסוי הממוצע בשלושת העומקים בשנים האחרונות היה 46% בחוף הדרומי ו- 61% בחוף הצפוני.

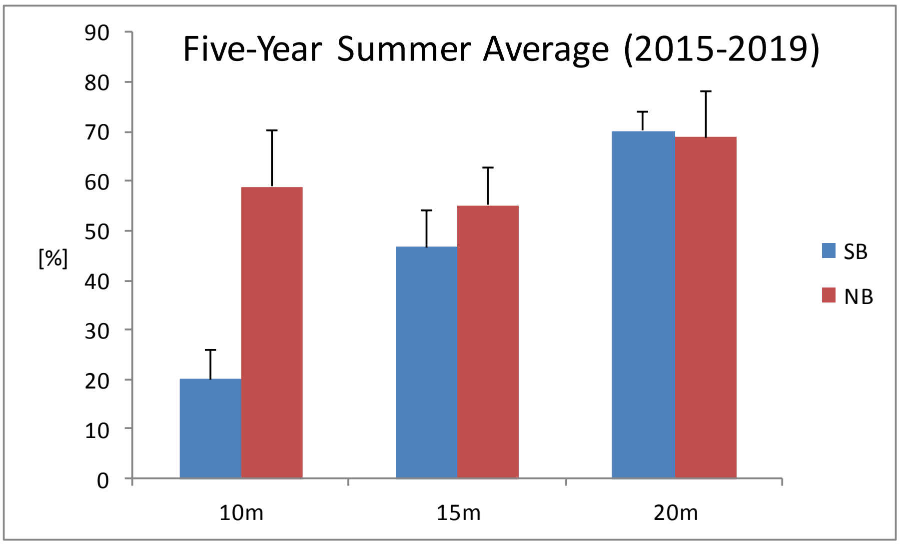
השנה נמצא בחוף הצפוני כיסוי עשב ים גבוה בהשוואה לשנה הקודמת ונראה כי מרבדי עשב הים באתר זה מתפתחים בשנים האחרונות. בחוף הדרומי, לעומת זאת, נמצאה השנה ירידה גדולה בכיסוי עשב הים בעומקים 10 ו-15 מטרים (איור ג25). באתר החוף הדרומי נמצאו במשך הזמן תנודות גדולות בכיסוי עשב הים.



איור ג25: כיסוי עשב הים בשלושה עומקים באתרי החוף הצפוני והחוף הדרומי של אילת.

Figure C25: Seagrass cover at three depths in the northern and southern beach sites of Eilat.

במבט על חמש השנים האחרונות נראה כי כיסוי עשב הים הממוצע בעומק של 20 מטרים דומה בשני האתרים (סביב ה-70%) 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 בחמש השנים האחרונות עומד על 55% ואילו בחוף הדרומי ממוצע חמש השנים האחרונות עומד על 20% בלבד. במשך השנים ההבדל בכיסוי בין העומקים באתר החוף הצפוני אינו גדול ואילו באתר החוף הדרומי כיסוי עשב הים גדל מאד עם העומק (איור ג26).

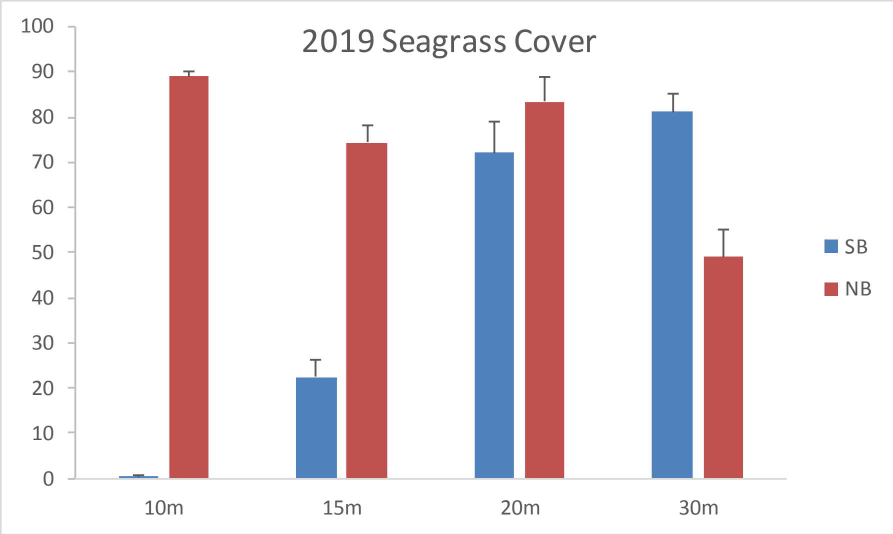


איור ג26: כיסוי עשב הים הממוצע בחמש השנים האחרונות בשלושה עומקים באתרי החוף הצפוני והחוף הדרומי של אילת.

Figure C26: Five-year average seagrass cover at three depths in the northern and southern beach sites of Eilat.

השנה לראשונה נסקר כיסוי עשב הים גם בעומק 30 מטרים בשני האתרים (איור ג27). נמצא כי באתר החוף הצפוני, בו ההבדל בכיסוי בין העומקים 10-20 מטרים אינו גדול, יש ירידה משמעותית באחוז כיסוי עשב הים בעומק גדול יותר ובי-30

מטרים הכיסוי פחות מ-50% (לעומת ממוצע של כ-80% בעומקים הרדודים יותר, השנה). באתר החוף הדרומי, לעומת זאת, מצטיירת תמונה הפוכה בה כיסוי עשב הים בעומקים הרדודים קטן, והוא הולך וגדל עם העומק. בעומק 30 מטר נמצא השנה כיסוי עשב ים של כ- 80% בחוף הדרומי, ובעומק 10 מטרים כמעט ולא נמצא שם עשב ים השנה.



איור ג27: כיסוי עשב הים הממוצע בארבע עומקים באתרי החוף הצפוני והחוף הדרומי של אילת.

Figure C27: Seagrass cover at four depths in the northern and southern beach sites of Eilat.

מרבד עשב הים בחוף הדרומי יציב פחות מאשר בחוף הצפוני, ובעומק 10 מטרים אינו צפוף והשנה נעלם כמעט לחלוטין בעומק זה. נראה שזהו העומק המזערי להתפתחות מרבדי עשב ים בחוף הדרומי. כצפוי, דווקא בעומק גדול, 30 מטרים, נמצא כיסוי עשב ים צפוף ועשיר באתר זה. בחוף הצפוני מרבד עשב הים עשיר ויציב בעומקים הרדודים ועד כ-20 מטרים, אך בעומק 30 מטרים כיסוי עשב הים קטן יותר ונראה כי עומק זה מתקרב לגבול התחתון של כיסוי עשב הים באתר זה.

בשנה הקודמת נסקרו אתרי עשב הים גם בחורף ונמצא שכיסוי החורף נמוך מכיסוי הקיץ בשני האתרים. מסקרים אלה מתחילה להצטייר תמונה של גבולות העומקים של מרבדי עשב ים בשני האתרים, ההבדלים ביניהם והתנודות העונתיות.

ד. עמודת המים בים העמוק

מטרה

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

שיטות

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

בתחנות הימיות נאספות דגימות מים מעומקים שונים, על ידי הורדת 'רוזטה' אל הים, כשעליה 11 בקבוקי ניסקין של עשרה ליטרים (חברת GoFlo), וסגירת הבקבוקים מתוך הספינה בעומקים הרצויים. אל הרוזטה נלווה מכשיר מדידה CTD המודד משתנים פיסיקליים באופן רציף. בתחנה A ובתחנה B נלקחים מספר קסטים (cast =הורדת רוזטה), קסט עמוק וקסט רדוד, בכדי לקבל רזולוציה גבוהה של דגימות סביב התרמוקלינה ובעמודת המים העליונה. בתחנות רדודות נלקח רק קסט אחד, כיוון שעומק המים קטן יותר. עומק הדגימה המרבי בכל תחנה תלוי בעומק הקרקעית ובכל מקרה הבקבוק התחתון נסגר מטרים ספורים מעל הקרקעית.

בכל תחנה מתבצע חתך אנכי רציף (פרופיל) של מדידות טמפרטורה, מליחות, לחץ, ופלואורסנציה במכשיר CTD של Sea-Bird Electronics. דגימות המים הנאספות בעומקים קבועים מחולקות לבקבוקים שונים לצורך מדידת חמצן מומס (DO), pH, אלקליניות (A_T), נוטריינטים מומסים (NO_2^{-1}, NO_3^{-1}, $Si(OH)_4$, PO_4^{-3}), פחמן חלקיקי (POC), מליחות, כלורופיל (Chl-*a*), והתפלגות אוכלוסיית הפיטופלנקטון. סינון הדוגמאות לצורך מדידת כלורופיל ואוכלוסיית הפיטופלנקטון, וקיבוע דוגמאות לצורך מדידת חמצן מומס נעשו בספינה. המדידות נעשות במעבדה לפי השיטות המתוארות בפרק העוסק במי החופים.

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

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

להלן שיטות המדידה של מדידות שאינן מפורטות בפרק מי החופים:

<u>יצרנות ראשונית</u> (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 בדסיקטור בנוכחות אדי חומצה כלורית למשך 24 שעות ואח"כ נקראים במונה סינטילציה. בנוסף לפילטרים נלקחת מכל בקבוק הדגרה דוגמת מים לקריאת הרדיואקטיביות הכללית במים (added activity, AA) במונה הסינטילציה.

בשנת 2011 הוחלף מד הסינטילציה במכון הבינאוניברסיטאי, ומשך הקריאה נקבע על ידי המכשיר בהסתמך על השינוי בין שתי קריאות עוקבות. בנוסף לכך הוחלט לשנות את נוסחת החישוב ולהתאים את התוצאות מן השנים הקודמות לתוצאות הנמדדות כעת. שיטת החישוב הנוכחית מסתמכת על מספר הקריאות בדקה (cpm) במקום על מספר ההתפרקויות המוערך לדקה (dpm) וזאת כדי להימנע מכיול יתר שפוגע באמינות התוצאות.

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

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

בנוסחה זו:

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

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

מדידת תכולת הפחמן בפילטרים נעשית במכשיר Total Organic Carbon analyzer של חברת Shimadzu Instruments, בו הפחמן המצוי בדוגמה מחומצן בטמפרטורה גבוהה (900-980 מעלות) ליצירת פחמן דו-חמצני (CO_2). הפחמן הדו-חמצני נישא על ידי חמצן לגלאי IR ויוצר אות אשר שיטחו פרופורצונלי לכמות הפחמן. לצורך כיול משמשים סוכרים המכילים פחמן בכמות ידועה.

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

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

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

<u>מעקב אחר חומר חלקיקי באמצעות מלכודות סדימנט</u>: איסוף והצבה של מלכודות סדימנט לדגימת חומר חלקיקי בעמודת המים נעשה בהפלגה ייעודית בשיתוף עם ד"ר עדי טורפשטיין מהמכון למדעי כדור הארץ באוניברסיטה העברית. בשנתיים הראשונות (2015-16) נעשתה הפלגה חודשית בה נאספו המלכודות והוצבו מחדש, לצורך איפיון המערכת והערכים האופייניים. מאז נעשות ההפלגות בתדירות נמוכה יותר, אחת לשלושה חודשים. שיטות העבודה נתונות בפרק 7ד.

ד.1. טמפרטורה ומליחות

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

מכשיר ה- CTD מכויל בחברה על פי הוראות הייצרן. הכיול האחרון נעשה בספטמבר 2017.

הפלגה לתחנה B, בשיתוף עם מדענים מתחנת המחקר בעקבה שבירדן, לא התבצעה השנה.

[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.]

<u>טמפרטורה</u>

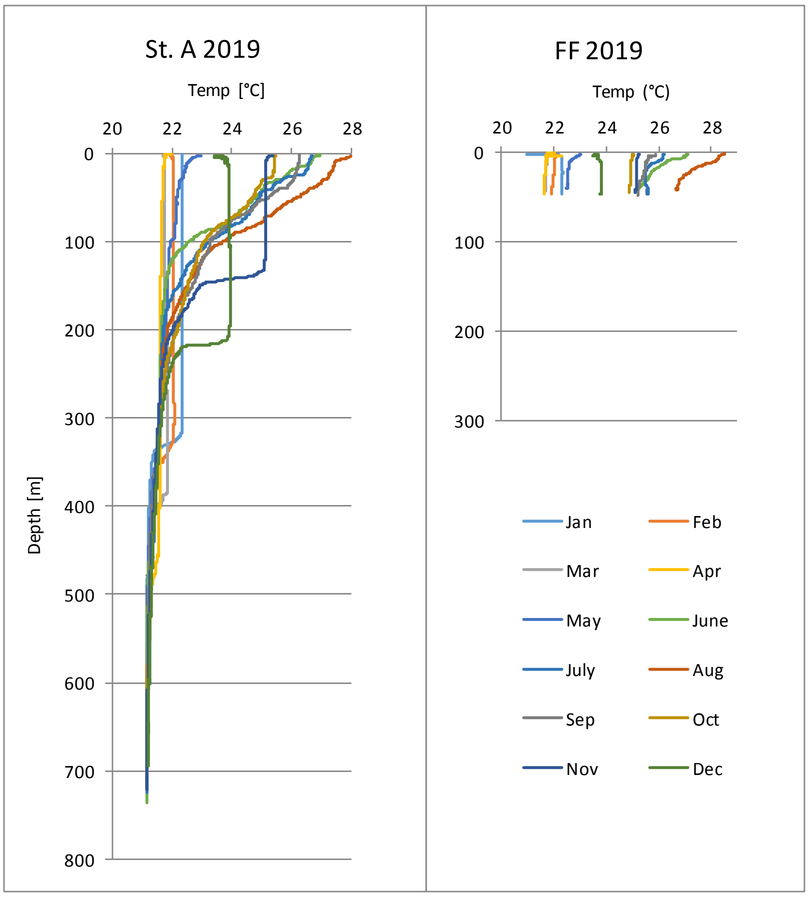
ערבוב עמודת המים בעונת החורף עקב קירור המים מלמעלה, במגע עם האטמוספרה, הוא גורם מרכזי בדינאמיקה של המערכת האקולוגית במפרץ. ערבוב עמודת המים הגיע השנה לעומק מרבי של כ- 450 מטרים, בין הפלגת חודש מרץ להפלגה באפריל, בשלב מאוחר בעונה יחסית לשנים האחרונות.

בהפלגת חודש מרץ (5.3.2019) נמצא גג התרמוקלינה בעומק כ- 380 מטרים ובהפלגה של אפריל – למרות שכבר נוצר שיכוב במים העליונים – ניתן למצוא את גג התרמוקלינה השאריתי בעומק 446 מטר. עם זאת, פרופיל הפלואורסנציה מראה כי בהפלגת מרץ עמודת המים המעורבבת לא היתה יציבה, ובהפלגת אפריל כבר לא היה הערבוב פעיל. מכך נראה כי ערבוב עמודת המים לא היה רציף אלא התקדם לפרקים עד לעומק בינוני בשלב יחסית מאוחר בעונה (איור ד1).

טמפרטורת פני הים הנמוכה שנמדדה בחודש פברואר, 21.73 מעלות נמוכה מעט מזו של השנה הקודמת אך גבוה מזו של שנת 2017 (21.2 מעלות) בה הגיע עומק הערבוב לכ- 500 מטרים. במים העמוקים היתה הטמפרטורה 21.18 מעלות.

הטמפרטורה המרבית אשר נמדדה בפני הים בתחנה A היתה גם השנה 28 מעלות בחודש אוגוסט, בדומה לשנה הקודמת. בתחנת כלובי הדגים נמדדה בפני הים טמפרטורה מרבית של 28.5 מעלות בחודש אוגוסט, בשעת בוקר מוקדמת יותר מאשר בתחנה A. טמפרטורה זו גבוהה יחסית למדידות השנים האחרונות.

[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, ולאחרונה בספטמבר 2017].



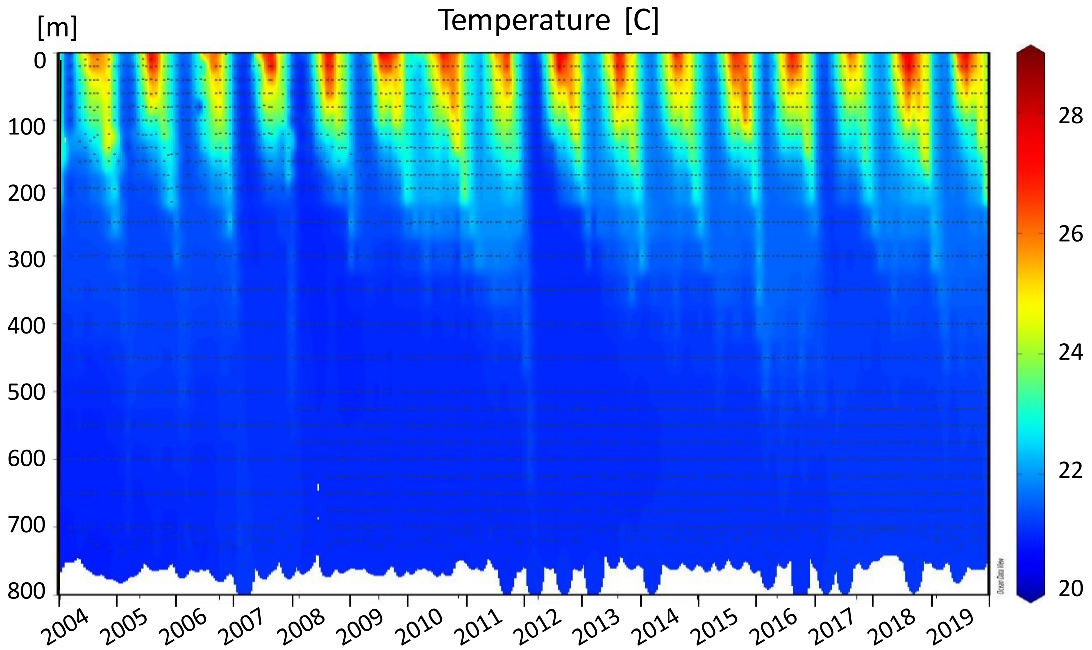
איור ד1: טמפרטורת עמודת המים כפי שנמדדה במכשיר ה-CTD בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים (>700 מ'), ותחנה FF בחוף הצפוני של אילת בעומק של כ-50 מטרים.

Figure D1: Temperature profiles measured using a CTD during the monthly monitoring cruises. Station A is on the Israeli/Jordanian/Egyptian border (>700m), and the Fish Farms station is close to the northern shore of the Gulf at ca. 50 meters depth.

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).

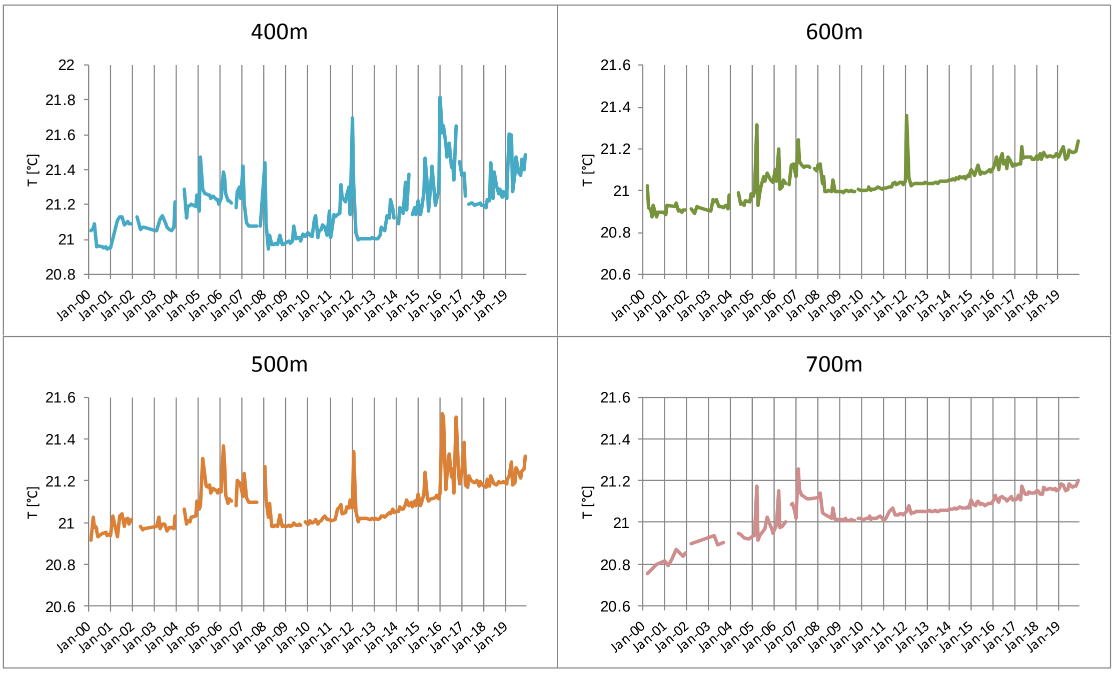
במשך תקופת פעילותה הסדירה של תכנית הניטור, מאז 2004, תועדו שלוש שנים בהן עורבבה עמודת המים עד לקרקעית הים בתחנה A: השנים 2007, 2008 ו- 2012 (איור ד2). לאחר הערבוב העמוק של שנת 2012 היו שלוש שנים של ערבוב רדוד, עד כ- 300 מטרים, ואחריהן שנתיים בהן היה ערבוב מוקדם לעומק בינוני של כ- 500 מטרים אשר נמשך זמן קצר בלבד. הערבוב בשנה הקודמת שוב היה רדוד יחסית, 320 מטרים, והשנה היה ערבוב לעומק בינוני בשלב מאוחר של העונה.

במבט לטווח ארוך יותר, מאז שנת 2000 (*נתונים הקודמים לתכנית הניטור נאספו במסגרת פרויקט "פארק השלום" ומובאים באדיבותם של הפרופ' י. ארז ופרופ' ב. לזר*), 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 ד3).



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

Figure D2: Changes in water temperature at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths.



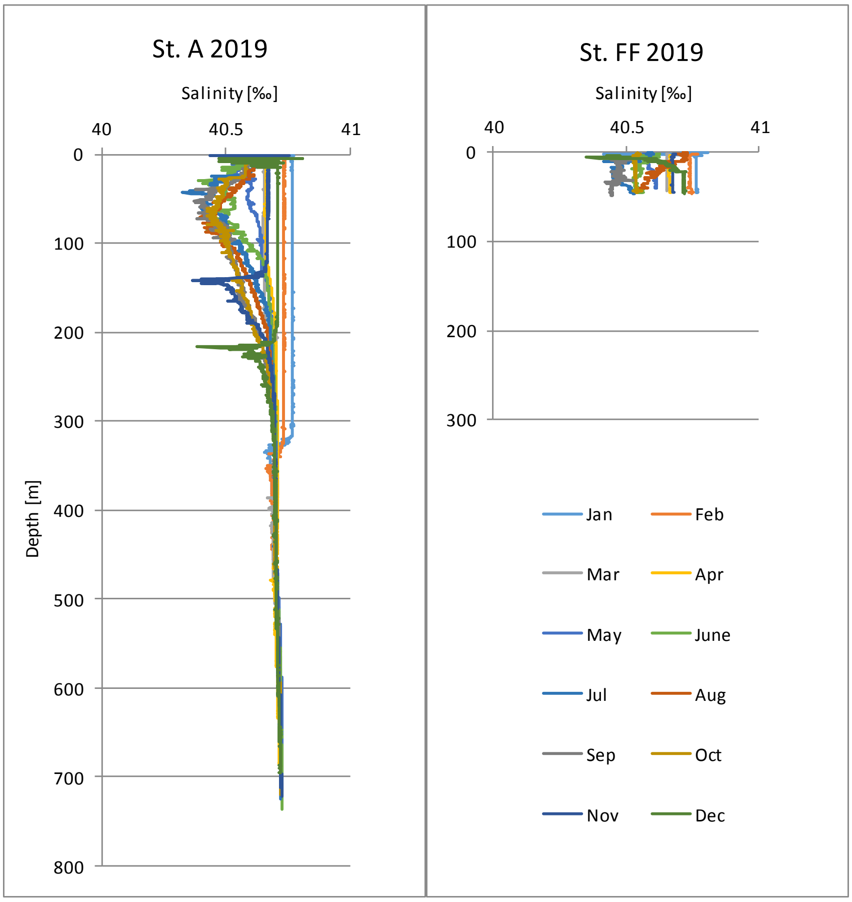
איור ד3: שינויי טמפרטורה במי העומק (בעומקים 400 עד 700מטרים) בתחנה A מאז ינואר 2000. ***נתונים הקודמים לתכנית הניטור נאספו במסגרת פרויקט פארק השלום ומובאים באדיבותם של פרופ' י. ארז ופרופ' ב. לזר.***

Figure D3: Changes in water temperature at depth (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.***

מליחות

[בשנת 2010 אובחנה נדידה חזקה של תוצאות מדידות המליחות במד המליחות במעבדה. כתוצאה מכך הוחלט לא להציג תוצאות מליחות שנמדדו במעבדה החל מחודש פברואר 2010 ועד ליולי 2011. עבור תקופה זו מוצגות מדידות המליחות בים העמוק אשר נעשו גם באמצעות מד מליחות אלקטרוני כחלק מפרופיל ה-CTD. התכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת, בשיתוף עם המכון הבינאוניברסיטאי למדעי הים, רכשה מד מליחות חדש אשר החל לפעול בחודש יולי 2011 ותוצאותיו מופיעות בדוחות המדעיים מאז. בשנת 2014 שוב נמצאה בעיה במד המליחות, ונתוני המליחות מהחודשים האחרונים של שנה זו חסרים, מלבד ממדידות חיישן ה-CTD.]

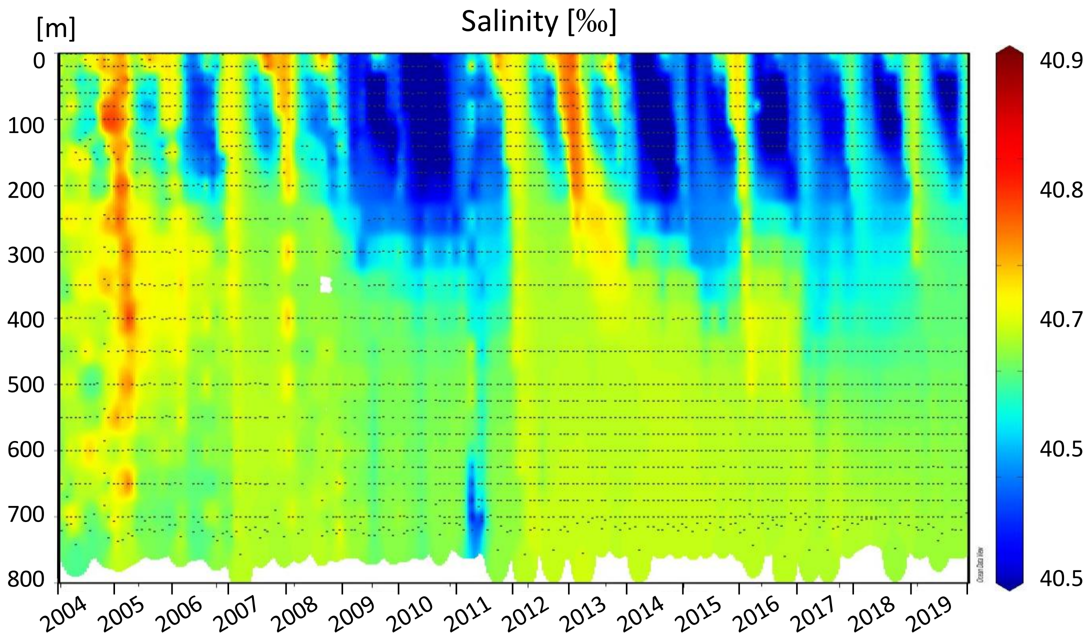
למדידות המליחות מחזור עונתי אופייני של היווצרות שכבת מים בעלת מליחות נמוכה יחסית בעומקים 25-200~ מטרים בתקופה המשוכבת (איור ד4). שכבת "המליחות המינימלית" בעמודת המים בתקופת השכוב נוצרת עקב חדירת מים בעלי מליחות נמוכה יחסית מדרום המפרץ בסביבות חודש יוני. לאחר מכן נכנסים למפרץ מים בעלי מליחות גבוהה יותר, אך חמים יותר ועל כן "קלים". בנוסף לזאת, אידוי בפני הים גורם לעלית המליחות במים העליונים בהשוואה לשכבת המים שמתחת. עם התערערות המבנה המשוכב בסוף הקיץ ותחילת הערבוב, גם מים אלה מתערבבים, ועומק "המליחות המינימלית" השאריתית גדל, עד שהשכבה נעלמת.



איור ד4: מליחות בעמודת המים כפי שנמדדה במכשיר ה-CTD בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים (>700 מ'), ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים.

Figure D4: Salinity profiles measured using a CTD during the monthly monitoring cruises. Station A is on the Israeli/Jordanian/Egyptian border (>700m), and the Fish Farms station is close to the northern shore of the Gulf at ca. 50 meters depth.

חדירת מים בעלי מליחות נמוכה הייתה חזקה ביותר בשנים החמות 2009-2010, ובשנתיים אחר כך נמצאו הפרשי מליחות קטנים יותר בשכבת המליחות המינימלית. בשנים האחרונות שוב נמדדת מליחות נמוכה בעמודת המים העליונה, אם כי השנה פחות מאשר בשנים מאז 2014 (איור ד5). שינויי המליחות בעמודת המים הינם מחזוריים בעיקרם, ועל אף תבנית מעט שונה משנה לשנה לא ניכרת מגמה של שינוי ארוך טווח. ההבדלים בין השנים קשורים יותר לגופי המים החודרים לאזורינו מדרום מאשר למאזני האידוי המקומיים, אם כי חדירת גופי המים המלוחים קשורה אולי בעומק הערבוב או בטמפרטורת הים מדרום.



איור ד5: שינויי מליחות בתחנה A מאז ינואר 2004. הנקודות השחורות מייצגות את עומק המדידה.

Figure D5: Changes in salinity at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths.

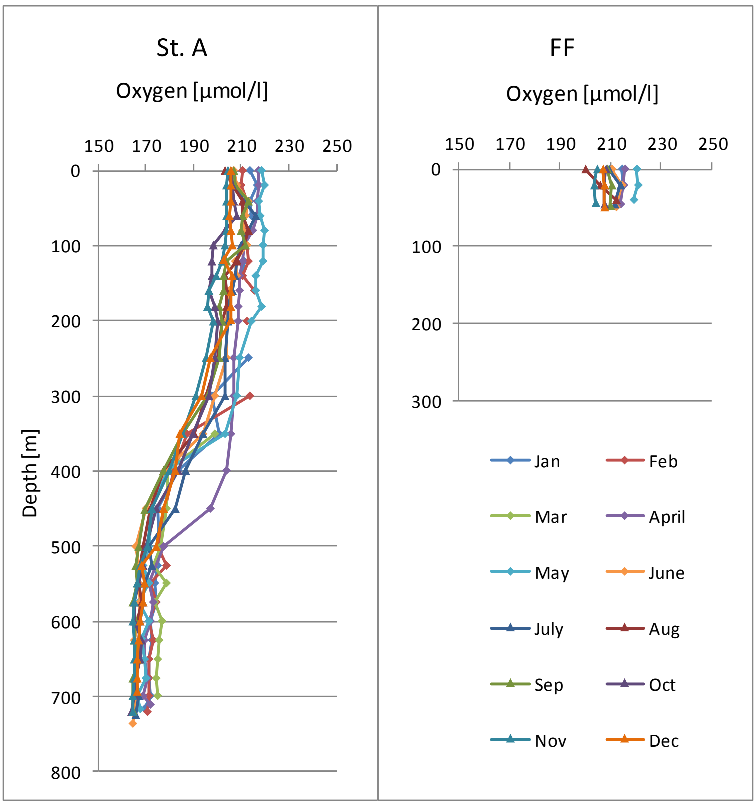
ד.2. חמצן, pH ואלקליניות, נוטריינטים ופחמן חלקיקי

<u>חמצן (O_2)</u>

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

ערבוב עמודת המים השנה היה כ-450 מטרים, ועמודת המים אשר נדגמה בחודש אפריל בתחנה A "אווררה" לעומק זה. בחודש מרץ אירעה תקלה במכשיר המדידה ומדידות חמצן מעמודת המים העליונה בחודש זה אינן אמינות. בחודש אפריל, לאחר שהערבוב כבר הסתיים, נמצאו ריכוזי חמצן גבוהים עד לעומק 450 מטרים (איור ד6). ריכוז החמצן המרבי בתחנה A נמדד השנה בחודש מאי בפני הים, 218.5 µmol/l, במים העמוקים היה אז ריכוז החמצן 170 µmol/l.

הריכוז המזערי שנמדד השנה בפני הים בתחנה A היה 203.5 µmol/l, בחודש אוגוסט.



איור ד6: ריכוזי חמצן מומס בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700 מטרים, ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים.

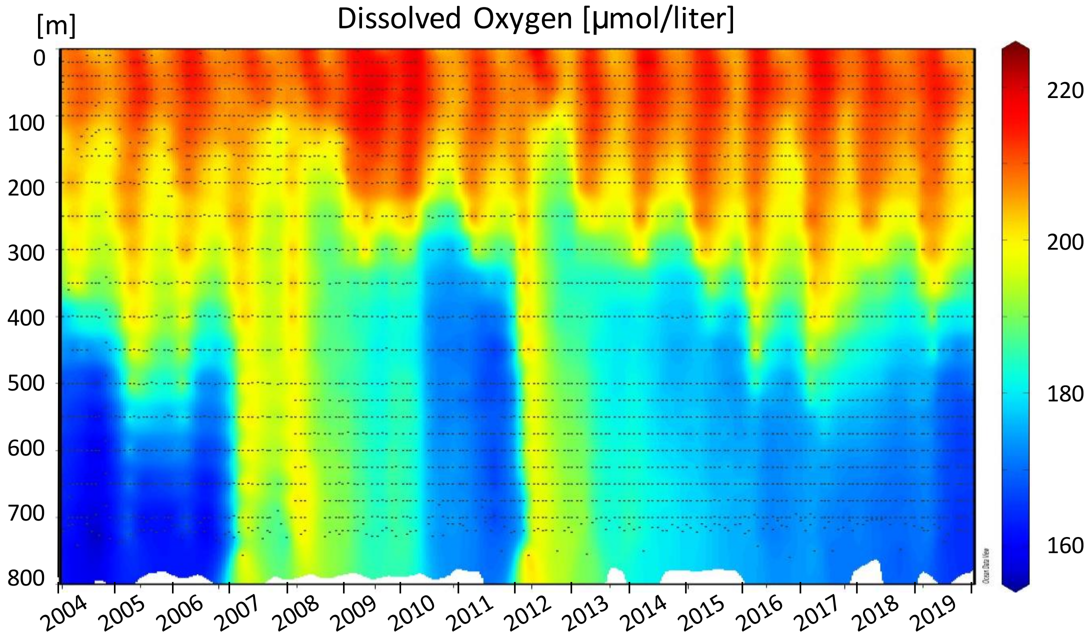
Figure D6: Dissolved oxygen concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Station A is on the Israeli/Jordanian/Egyptian border at ca. 700 meters depth, and the Fish Farms station is close to the northern shore of the Gulf at ca. 50 meters depth.

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 ד7).

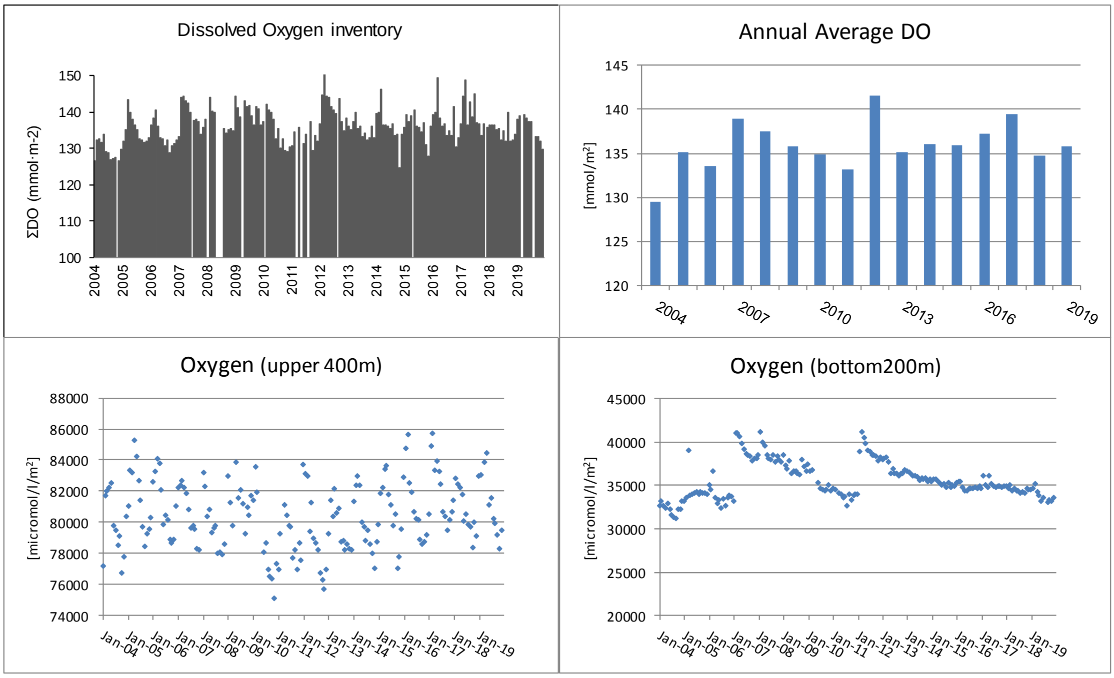
בשנים האחרונות אנו עדים לתחילתו של מחזור חדש של ירידה בריכוזי החמצן במים העמוקים ונראה כי בתקופה זו דלדול עמודת המים בחמצן איטי יותר מאשר בשני המחזורים הקודמים. כאמור למעלה, צריכת החמצן במי העומק תלויה בכמות החומר

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, שבע שנים לאחר הערבוב העמוק של שנת 2012, ריכוז החמצן המומס בעומקים 600-700 מטרים דומה לזה של שנת 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 ניכרת עליה במאגר החמצן השנתי. בשנתיים האחרונות מאגר החמצן המומס בעמודת המים נמוך יותר. בשנים שלאחר הערבוב העמוק של שנת 2012 לא מתועדת ירידה מתמשכת במאגרי החמצן המומס, כפי שהיה לאחר הערבוב העמוק בשנת 2007 (איור ד8).

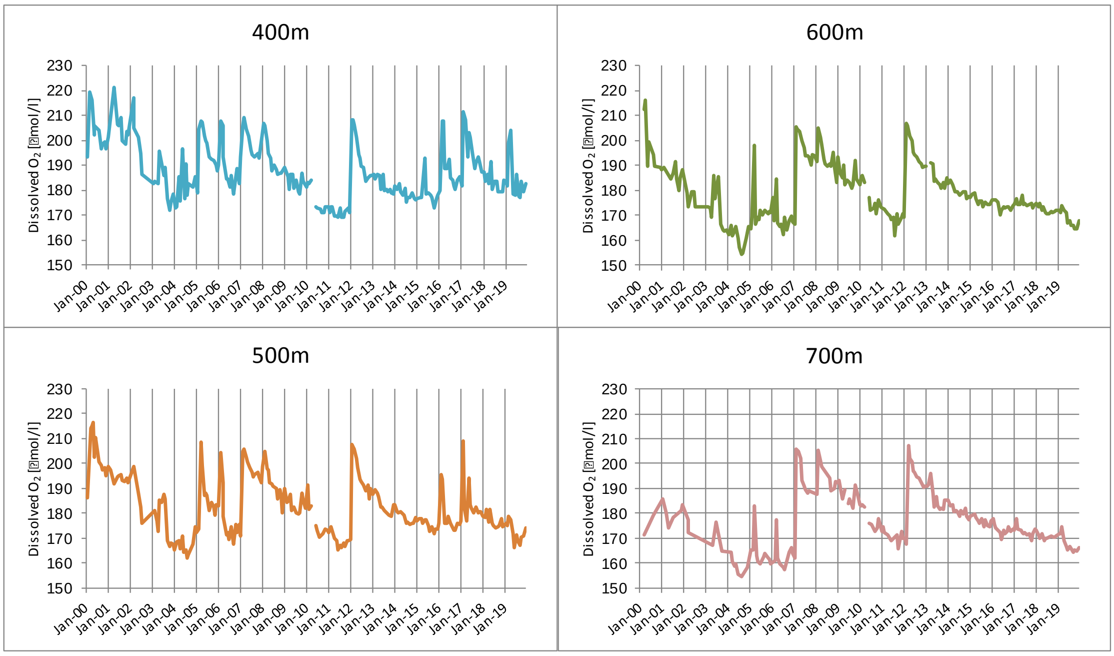


איור ד8: שינויים במאגר החמצן המומס בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. למעלה: סך המאגר במדידות חודשיות (משמאל) וממוצע שנתי (מימין). למטה: המאגר ב-400 המטרים העליונים (משמאל) ובמאתיים המטרים העמוקים (מימין).

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

סדרות הזמן של ריכוזי החמצן במים העמוקים מאז שנת 2000 מראות בבירור את תלות ריכוז החמצן בעומק הערבוב (איור ד9). במים העמוקים יורד ריכוז החמצן המומס בשנים של ערבוב רדוד, ועולה בשנים של ערבוב עמוק. בין השנים 2000 ו-2007 ירד ריכוז החמצן במים העמוקים לערך מזערי של 155 µmol/l ושנתיים של ערבוב עמוק בשנים 2007-8 העלו את ריכוזי החמצן בכל העומקים, לערך מרבי של 206 µmol/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, שבע שנים לאחר הערבוב העמוק בהן ריכוז החמצן במי העומק ירד בהדרגה, הגיע ריכוז החמצן המומס המזערי בעומק 700 מטרים ל-164 µmol/l.



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

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

<u>ערך הגבה (רמת חומציות המים, pH)</u>

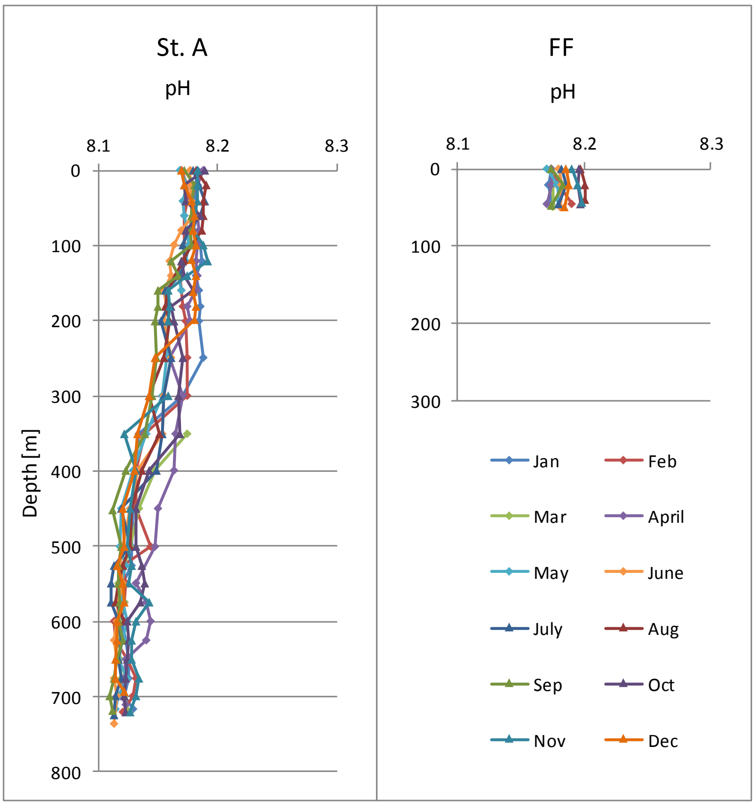
ערך הגבה (pH) המדווח להלן נמדד בסקלת pH_{NBS} לפי ההגדרה של Millero et al. (1993): $pH_{NBS} = -\log \{H^+\}$.
לפרטים ראו פירוט "שיטות" בפרק מי החופים למעלה.

*[**תזכורת**: במהלך שנת הניטור 2006 נמצאה הטיה של ערכי ה-pH הנמדדים לעבר ערכים גבוהים מדי, עקב התיישנות תמיסות הכיול. נערך בירור אשר במהלכו זוהה תאריך תחילת הבעיה (אוקטובר 2003), ולפיכך הכרזנו בדוח 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.

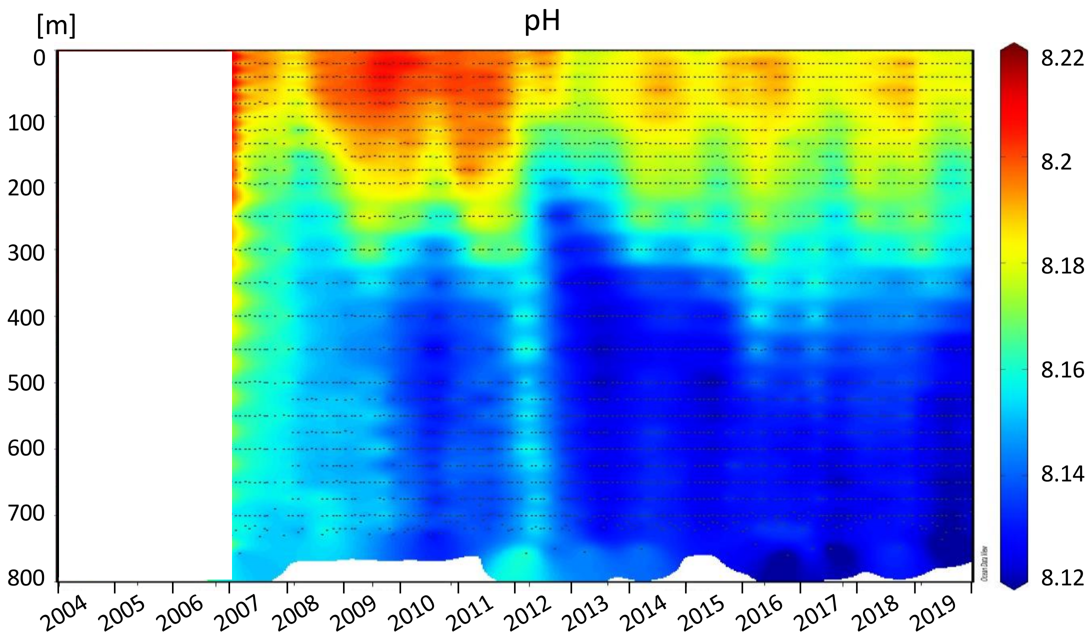
ערכי ה- pH הגבוהים ביותר בתחנה A השנה (8.191) נמדדו בקיץ, באוגוסט במים העליונים (איור ד10).

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 בה היה הערבוב רדוד יותר (איור ד11). בשנים 2008-11 נמדדו ערכי גבה גבוהים במים העליונים ואלו ירדו מאד בעקבות הערבוב העמוק בשנת 2012. בשנים שחלפו מאז עלה ה- pH במים העליונים במתינות. 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 של למעלה מ-700 מטרים, ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים.

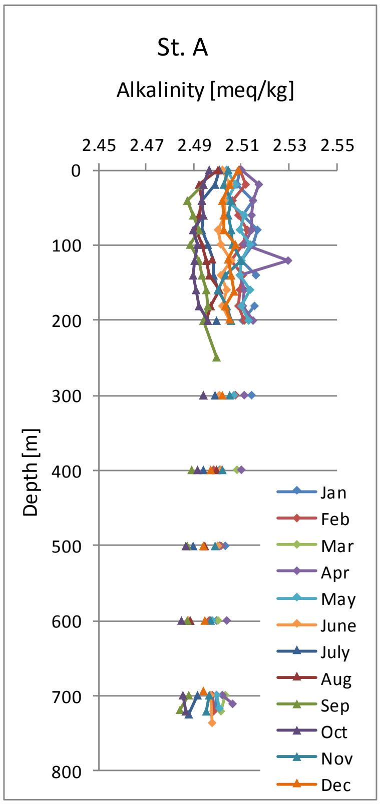
Figure D10: Depth profiles of pH values measured during the monthly monitoring cruises. Station A is on the Israeli/Jordanian/Egyptian border at >700 meters depth, and the Fish Farms station is close to the northern shore of the Gulf at ca. 50 meters depth.



איור ד11: שינויים ברמת החומציות בעמודת המים בתחנה A מאז נובמבר 2006. הנקודות השחורות מייצגות את עומק המדידה.
Figure D11: Changes in pH in the water column at Station A since November 2006. Black dots represent the sampling depths.

<u>אלקליניות</u>

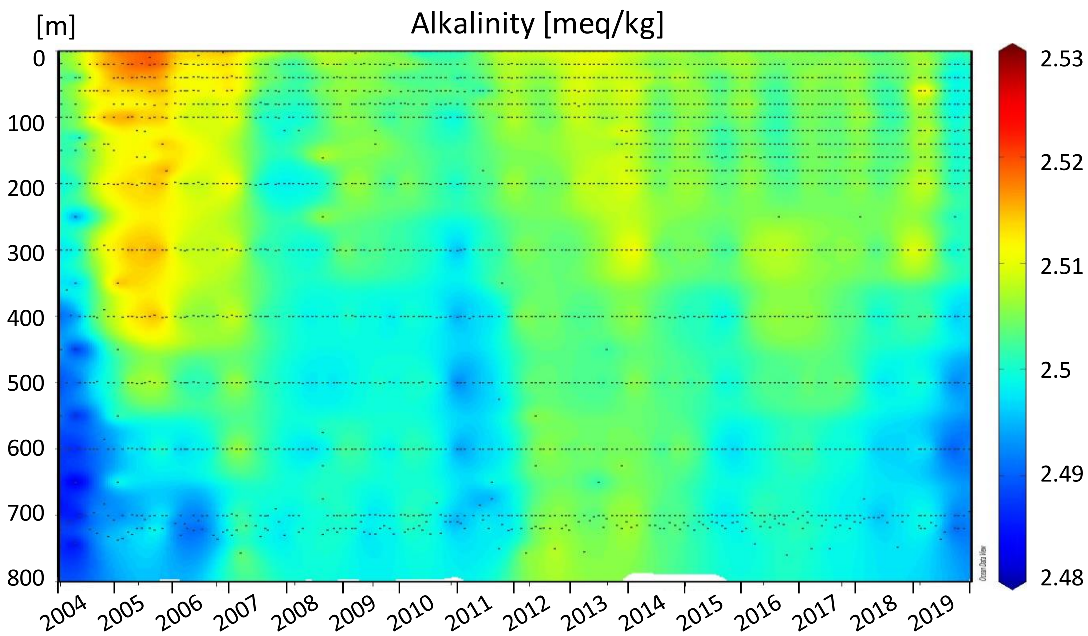
האלקליניות היא מדד לריכוז החומצות החלשות במים, ובעיקר לריכוז יוני הקרבונט והביקרבונט (CO_3^{2-} ו- HCO_3^- בהתאמה). טווח הערכים במדידות האלקליניות קטן מאד, הן בשינויים העונתיים והן בין העומקים (איור ד12). ערכים נמוכים יחסית של אלקליניות במים העמוקים נרשמים לאחר הקיץ, וערכים גבוהים יותר בחודשי הערבוב. בחודשי הקיץ האלקליניות במים העליונים נמוכה מעט מאשר במים התחתונים, ובחודשי האביב גבוהה מעט יותר. הערך המרבי שנמדד השנה היה 2.53meq/kg, בחודש אפריל בעומק 120 מטרים, אולם ערך זה נראה כחריג. הערך הגבוה אחריו, גם כן באפריל אך בעומק רדוד יותר, 20 מטרים, היה 2.517.



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 נמצאת ירידה קלה בערכי האלקליניות הנמדדים בעמודת המים (איור ד13).



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

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

sampling depths.

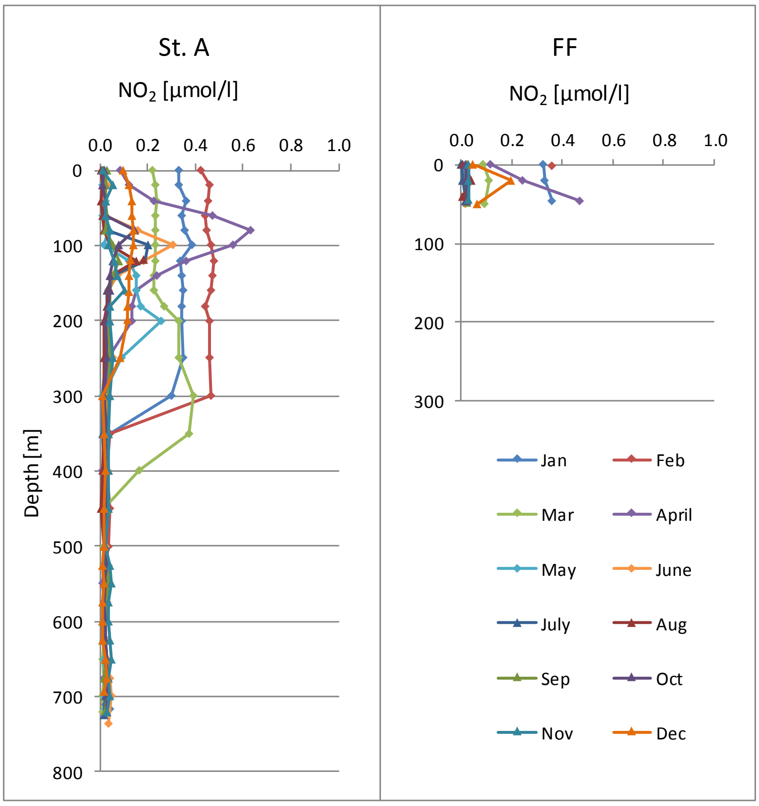
<u>ניטריט (NO_2^-) וניטראט (NO_3^-)</u>

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

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

על פי פרופילי הניטריט בעמודת המים נראה שהפלגת חודש מרץ (5.3.2019), התרחשה לפני שהערבוב הגיע לעומק מרבי ואילו הפלגת חודש אפריל (15.4.2019) התבצעה לאחר שיא הערבוב ותחילת השיכוב בו ריכוז הניטריט כבר החל לרדת כנזכר למעלה (איור ד14).

ריכוז הניטריט המרבי בתחנה A נמדד השנה בחודש אפריל (0.628 µmol/l) והיה גבוה מעט מריכוז הניטריט המרבי בשלוש השנים הקודמות.



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

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.

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.

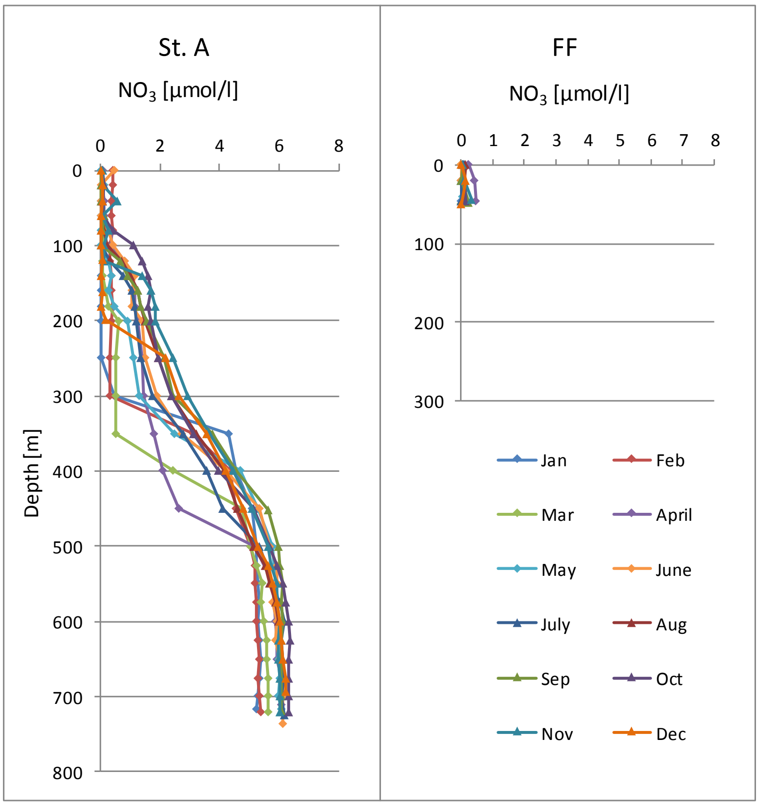
ערבוב עמודת המים היה השנה ממושך ולא רציף, והגיע לעומק מרבי (כ- 450 מטרים) בין ההפלגות של מרץ ואפריל.

פרופיל הניטראט בחודש פברואר בתחנה A מראה ריכוזי ניטראט אחידים עד לעומק של כ- 300 מטרים וכמוקלינה שגגב בין עומק זה לעומק של כ-400 מטרים. במרץ פרופיל הניטראט אינו אחיד בין העומקים 200 ו-350 מטרים, עם ריכוז אפסי ב-200

המטרים העליונים וגג כמוקלינה בעומק 450 מטרים. בחודש אפריל המים העליונים מנותקים, ופרופיל הריכוזים מתון עד עומק 450 מטרים עם גג כמוקלינה בעומק 500 מטרים (איור ד15). ריכוז הניטראט המרבי אשר נמדד בתחנה A במים העליונים היה 0.43µmol/l, נמוך מאשר בשנה הקודמת.

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

במים העמוקים היה ריכוז הניטראט המרבי השנה ~6.1µmol/l מעט גבוה יותר מזה של השנה הקודמת.



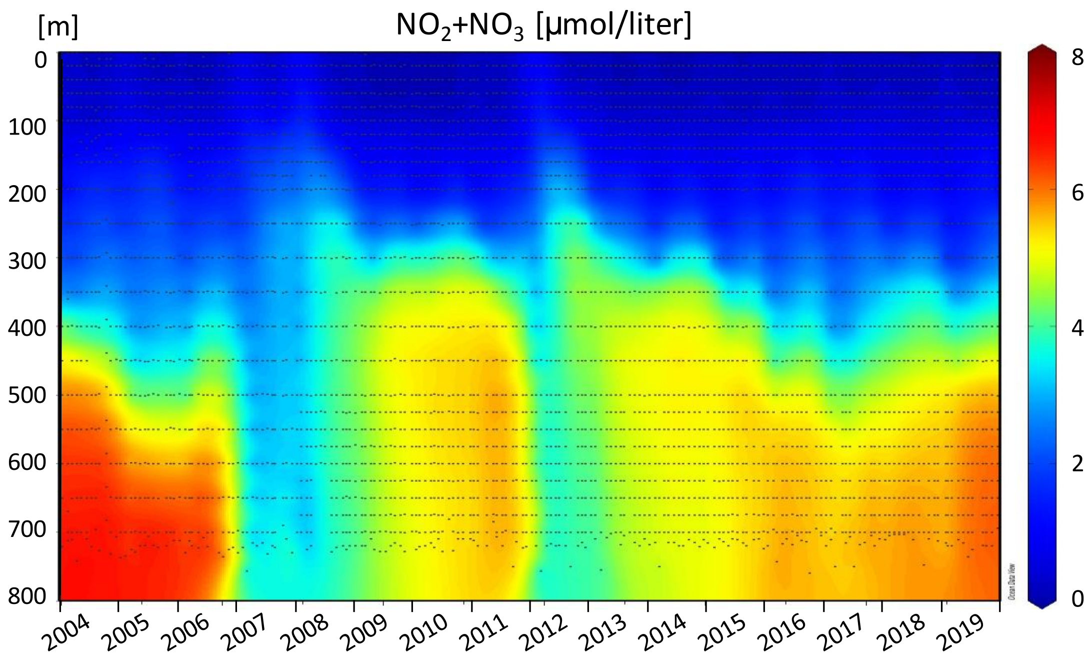
איור ד15: ריכוזי ניטראט (NO_3^-) בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700 מטרים, ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים.

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

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

בשנת 2012, בעקבות ערבוב עמוק, ירדו מאד ריכוזי הניטראט והחנקן המחומצן בכלל במים העמוקים. מאז תחילת השכוב בשנת 2012 ריכוזי החנקן במים העמוקים ובמי הביניים נמצאים במגמת עליה, אולם זו איטית במידה ניכרת ממה שנראה במחזורים הקודמים.

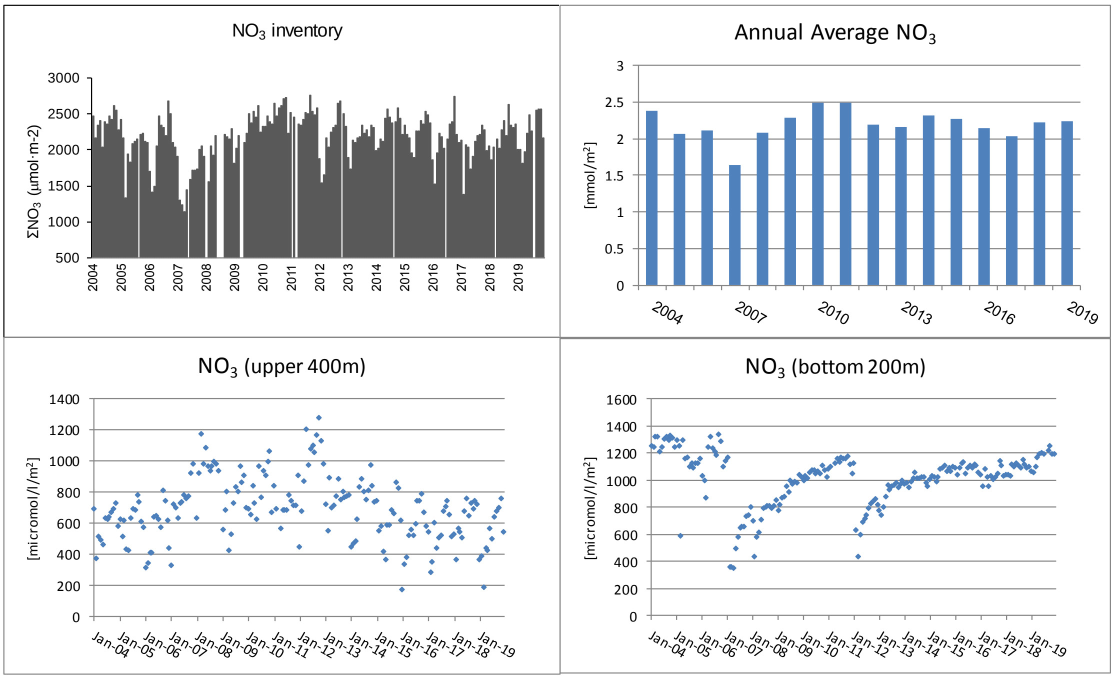
השנה, שבע שנים לאחר הערבוב העמוק של שנת 2012, נמצאו ריכוזי החנקן סמוך לקרקעית הגבוהים מאלה שנמדדו בשנת 2011, שלוש שנים לאחר הערבוב העמוק של שנת 2008. ריכוזים אלה עדיין נמוכים במידה ניכרת מאלה של השנים 20004-6 (איור ד16).



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

Figure D16: Changes in the concentration of total oxidized nitrogen ($TON= NO_3+NO_2$) in the water column at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths.

מאגר הניטראט בעמודת המים מאז 2004 מראה עליה בכמות החנקן בעמודת המים בין השנים 2008-11, אך מאז הערבוב העמוק של שנת 2012 השינויים במאגר הניטראט קטנים יותר. מאגר הניטראט השנתי הממוצע המחושב השנה דומה לזה של השנה הקודמת, ועדיין נמוך משהיה בשנים 2010-11 (איור ד17). מאגר הניטראט במאתיים המטרים התחתונים של עמודת המים בתחנה A גבוה השנה בהשוואה לשנים הקודמות ומעט גבוה מאשר בשנת 2011, לפני הערבוב העמוק האחרון. מאגר הניטראט במים העמוקים עדיין נמוך משהיה 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).

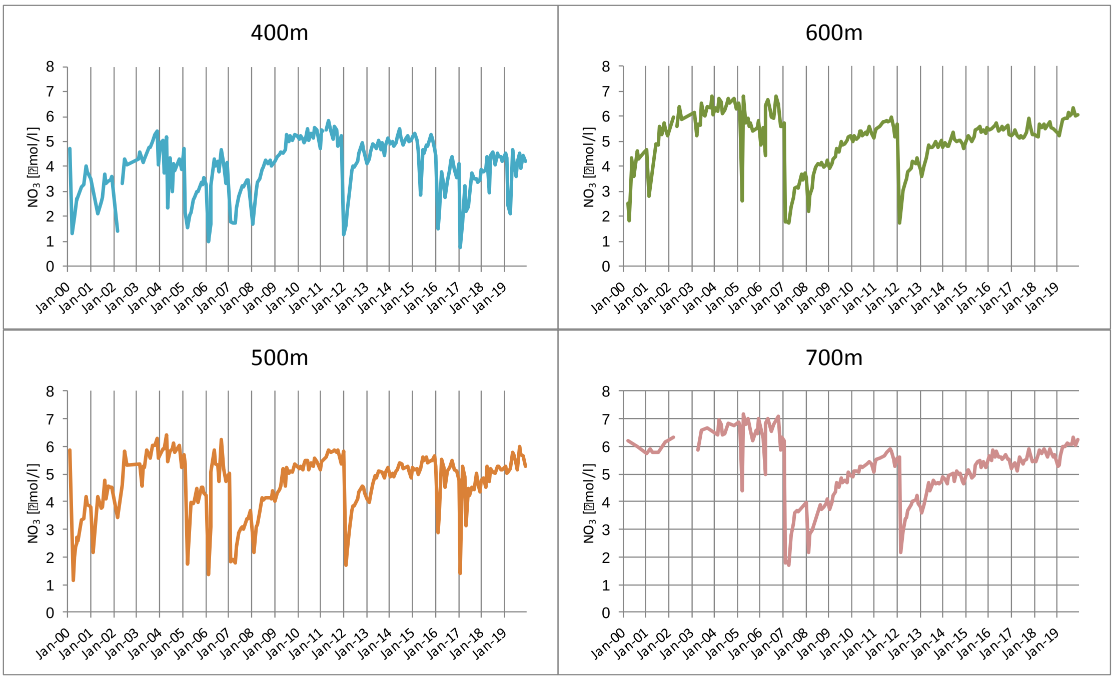
Figure D17: Changes in the nitrate (NO_3) inventory in the water column at Station A since 2004. Top: monthly inventories (right) and annual averages (left). Bottom: the upper 400m (left) and the deep water

(right).

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

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

הערבוב העמוק בשנת 2012 הוריד את הריכוזים בכל העומקים (2.16µmol/l בעומק 700 מ' במרץ 2012) וריכוז החנקן המרבי אשר נמדד השנה בעומק זה, שבע שנים לאחר הערבוב, עמד על 6.32µmol/l, גבוה מעט מאשר בשנת 2011 (5.93µmol/l). לשם השוואה, בשנת 2006 נמדד ריכוז של 7.09µmol/l.



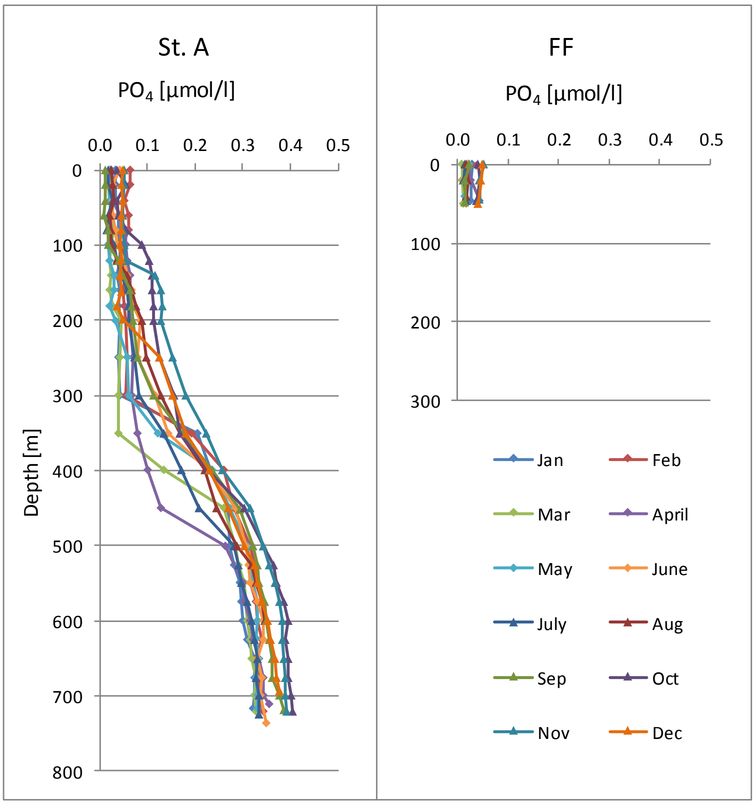
איור 18ד: שינויים בריכוזי הניטראט בעמקים (400 עד 700 מטר) בתחנה A מאז ינואר 2000. נתונים הקודמים לתכנית הניטור נאספו במסגרת פרויקט "פארק השלום" ומובאים באדיבותם של הפרופ' י. ארז והפרופ' ב. לזר.

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 19ד). במים הרדודים נצרכים חומרים אלה בתהליכי יצירת חומר אורגני על ידי היצרנים הראשוניים, 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).

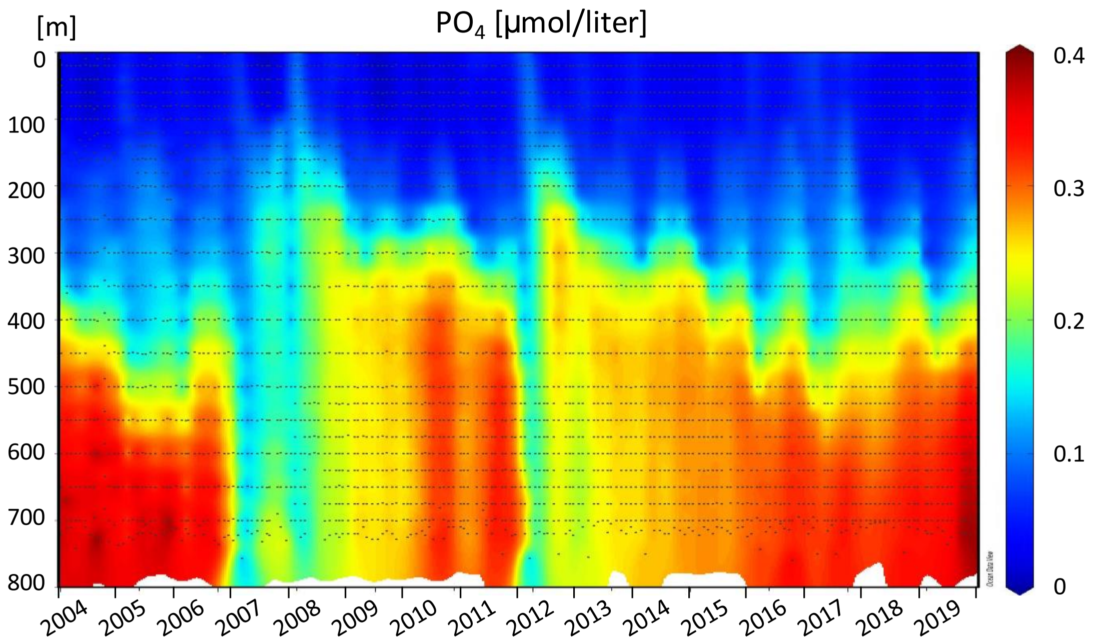
השנה הגיע ריכוז הפוספט בפני הים בתחנה A לערך מרבי של 0.062µmol/l בחודש פברואר. זהו ערך מעט נמוך מאשר בשנה הקודמת. במים העמוקים היה ריכוז הפוספט סביב 0.40 µmol/l, גבוה יותר מאשר בשנים הקודמות.



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

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.

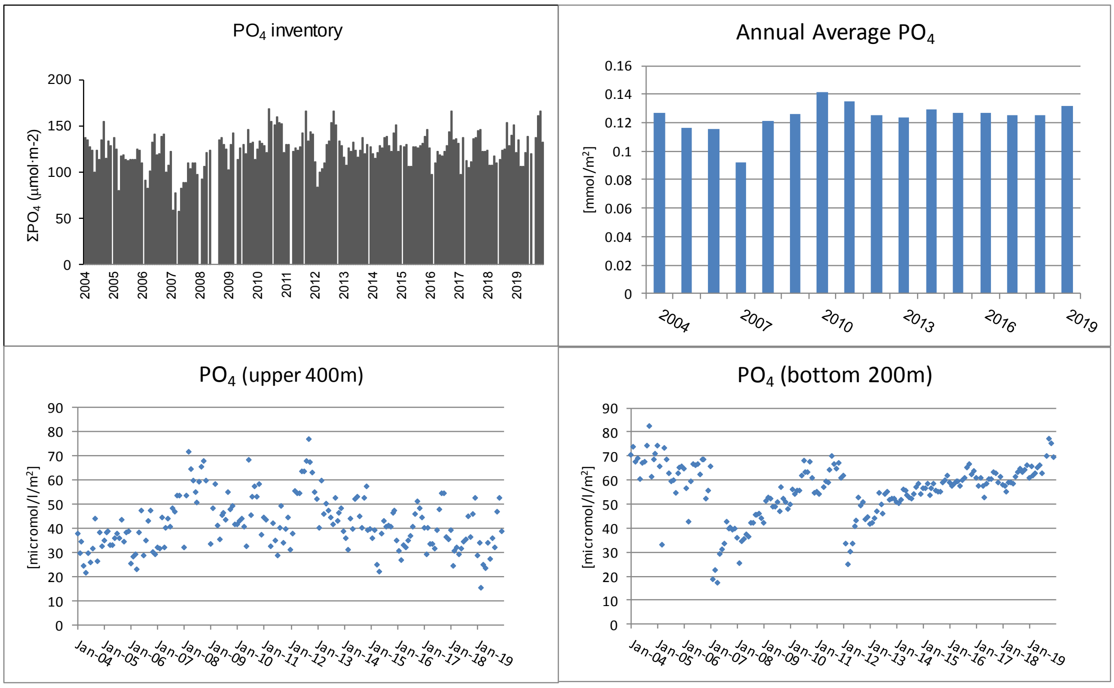
ריכוזי הפוספט במים העמוקים היו גבוהים (0.36-0.4 µmol/l) בחודשי הסתיו בשנים 2004-6 ובעקבות הערבוב העמוק בשנת 2007 ואחר כך שוב בשנת 2008 ירדו ריכוזי הפוספט בעמודת המים, ובפרט במים העמוקים, במידה רבה. בשלוש השנים שלאחר מכן עלה ריכוז הפוספט במים העמוקים בהדרגה עד לערך של 0.35 µmol/l בסוף שנת 2011. הערבוב העמוק בשנת 2012 שוב גרם לירידת ריכוזי הפוספט במים העמוקים, ומאז ריכוזי הפוספט במי הביניים ובמים העמוקים עולים בהדרגה. השנה, שבע שנים לאחר הערבוב, ריכוז הפוספט המירבי במים העמוקים בתחנה A גבוה מזה של שנת 2011 ודומה לריכוזים אשר נמדדו בשנים 2004-6 (איור ד20).



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

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

בשנת 2007 הצטמצם מאגר הפוספט המומס במים אולם החל משנת 2008 שב ונבנה. בחורף 2012 כמות הפוספט בעמודת המים ירדה מאד, אולם בקיץ עלתה שוב. בדומה לניטראט, התנודות החודשיות במאגר הפוספט בעמודת המים קטנות, יחסית, בשנים האחרונות (איור ד21). כמות הפוספט השנתית הממוצעת המומסת בעמודת המים הגיעה לערך מרבי בשנת 2010, ובשנים האחרונות השינויים קטנים והערך הממוצע נמוך מזה של שנת 2011 שקדמה לערבוב העמוק האחרון, של שנת 2012.



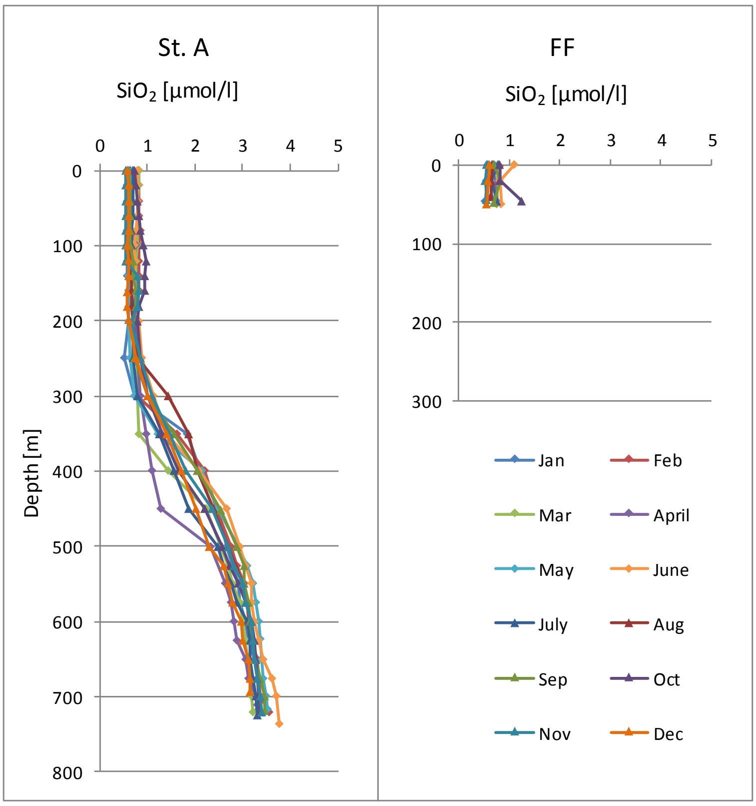
איור ד21: שינויים במאגר הפוספט בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. למעלה: סך המאגר במדידות חודשיות (משמאל) וממוצע שנתי (מימין). למטה: המאגר ב-400 המטרים העליונים (משמאל) ובמים העמוקים (מימין).

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

סיליקה

ריכוזי הסיליקה בפני הים בתחנה A השנה היו מעט נמוכים בהשוואה לאלה של השנה הקודמת (0.58-0.78μmol/l). בשנת 2012 נמדד בפני הים ריכוז סיליקה של 1.293μmol/l.

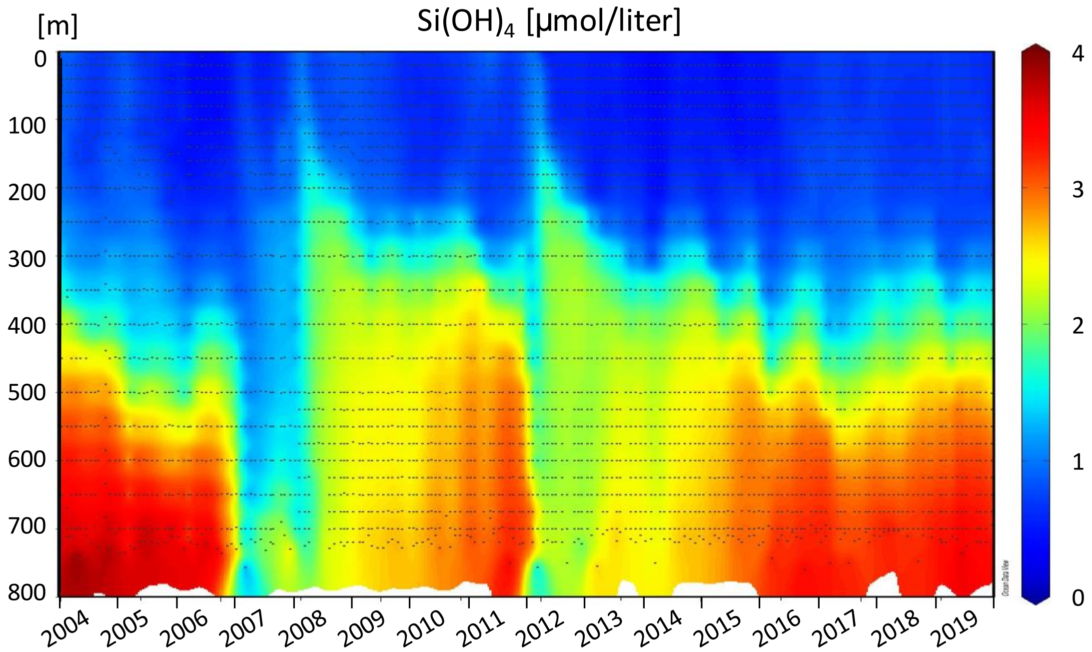
במים העמוקים (700 מטרים) נעו ריכוזי הסיליקה סביב 3.5μmol/l מעט גבוה יותר מאשר בשנה הקודמת. עליית ריכוזי הסיליקה בסמוך לקרקעית הים (איור ד22), מצביעה על מקור סיליקה בסדימנט, המסת סיליקה ממוצא יבשתי או שלדים סיליקטים של פלנקטון, בעיקר אצות צורניות [diatoms].



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.

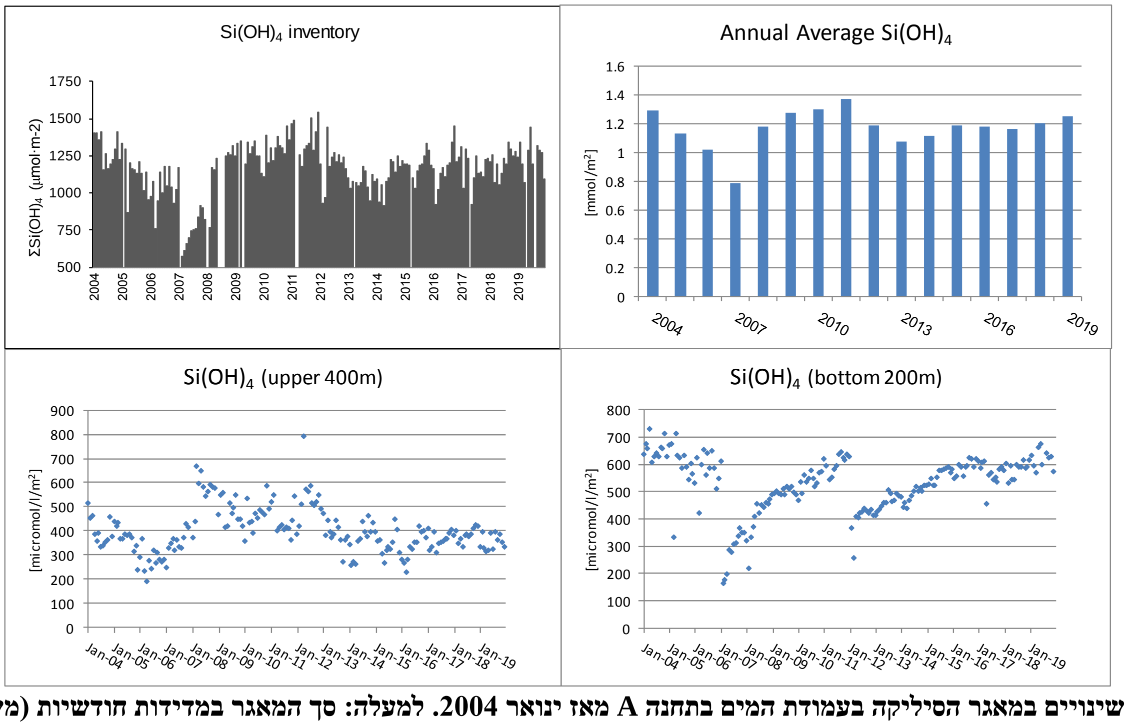
Figure D22: Silicate ($Si(OH)_4$) concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Station A is on the Israeli/Jordanian/Egyptian border at >700 meters depth, and the Fish Farms station is close to the northern shore of the Gulf at ca. 50 meters depth.

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). 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 גבוהים מעט מאלה של 2011.



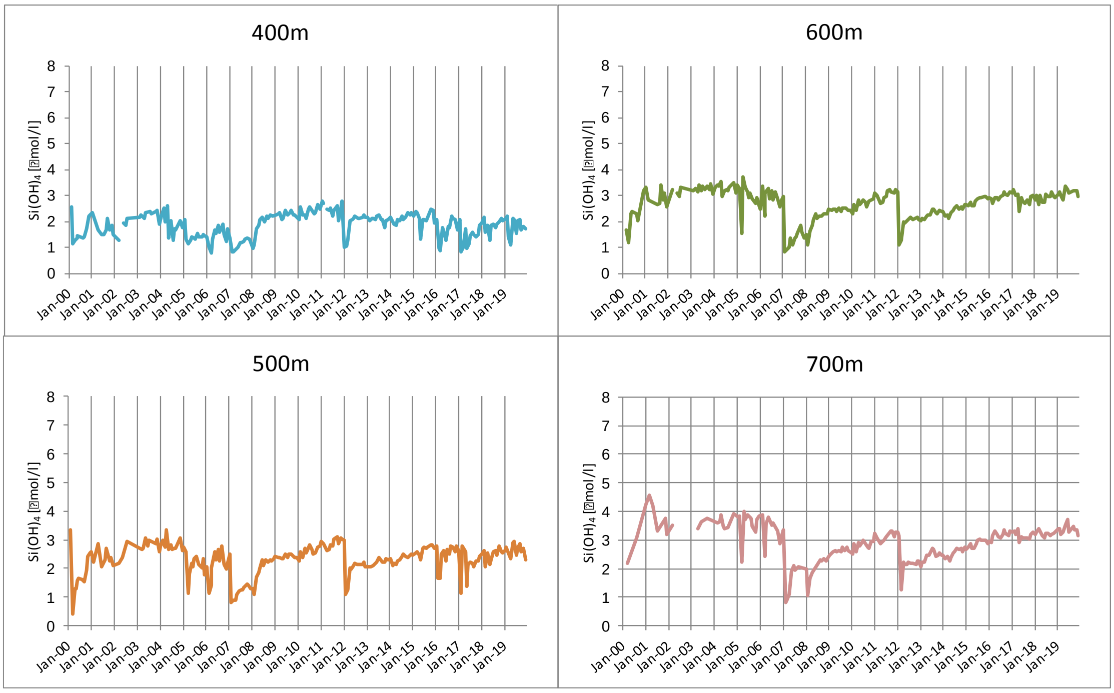
איור ד23: שינויים בריכוז הסיליקה בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. הנקודות השחורות מייצגות את עומק המדידה.
Figure D23: Changes in the concentration of silicate in the water column at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths.

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. מאז 2012 מאגר הסיליקה בעמודת המים קטן בהשוואה לשנים 2009-11 אך גדל במתינות (איור ד24).



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

ריכוז הסיליקה הגבוה ביותר מאז שנת 2000 נמדד בעומק 700 מטרים במרץ 2001, 4.57μmol/l, ונגרם כנראה מפריחת אצות צורניות שהתרחשה בעקבות הערבוב העמוק של שנת 2000. לאחר מכן ועד לערבוב העמוק בשנת 2007 נעו ריכוזי הסיליקה הגבוהים בעומק 700 מטרים סביב 3.7-3.8 μmol/l. הערבוב העמוק בשנים 2007 ו-2008 גרם לירידת ריכוז הסיליקה במי העומק, ועד לאוקטובר 2011 עלה הריכוז ל- 3.3μmol/l. לאחר הערבוב העמוק בשנת 2012 שוב ירד ריכוז הסיליקה במים העמוקים ובחודש יוני השנה שוב נמדד בעומק 700 מטרים ריכוז מרבי של 3.7μmol/l (איור ד25).



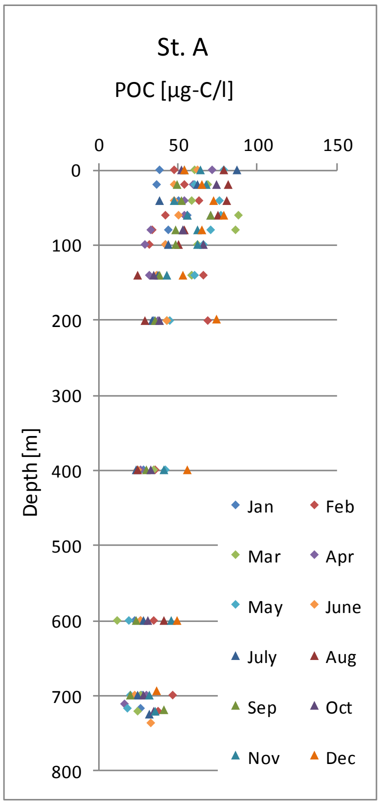
איור ד25: שינויים בריכוז הסיליקה בעמקים (400 עד 700 מטר) בתחנה A מאז ינואר 2000. נתונים הקודמים לתכנית הניטור נאספו במסגרת פרויקט "פארק השלום" ומובאים באדיבותם של הפרופ' י. ארז והפרופ' ב. לזר.

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.***

<u>פחמן אורגני חלקיקי (POC)</u>

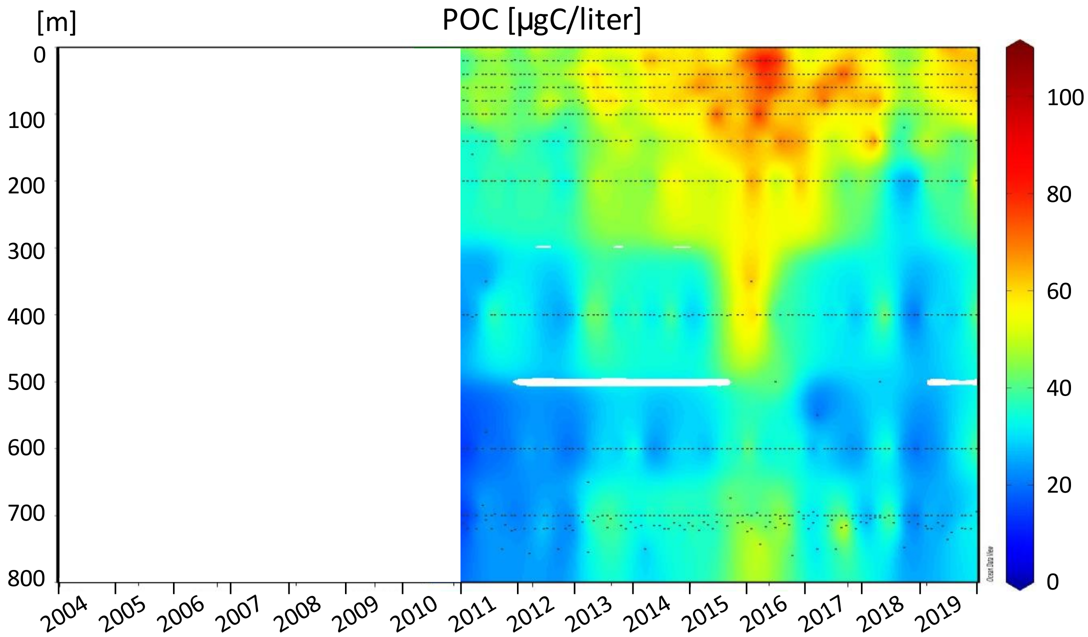
[בעקבות המלצת תת-הועדה המיוחדת בנושא הכימיה בים (אשר כינסה תכנית הניטור בשנת 2008) להוסיף מדדים אשר יסייעו לכמת את מחזור הפחמן בצפון המפרץ, הוחל בשנת 2009 במדידות פחמן אורגני חלקיקי. המדידה מתאפשרת בזכות מכשור אנליטי (Total Organic Carbon analyzer של חברת Shimadzu Instruments), אשר נרכש במכון הבינאוניברסיטאי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

פרופילים של ריכוז הפחמן החלקיקי נמדדים בעמודת המים בתחנה A, עם צפיפות דגימות גדולה בשכבה הפוטית, וקרוב לקרקעית. ריכוזי הפחמן החלקיקי גבוהים במיוחד ב-100 המטרים העליונים של עמודת המים והערכים הגבוהים ביותר נמדדים בחודשי האביב (איור ד26). ריכוז מרבי של 88 μgC/l נמדד השנה בחודש מרץ בעומק 60 ו-80 מטרים, נמוך בהשוואה לשנים הקודמות בהן היו קריאות בדידות גבוהות. בשנים 2016 ו-2017 נמצאו ריכוזי פחמן חלקיקי גבוהים יחסית לשאר השנים בהן מתבצעת מדידה זו (איור ד27). ריכוז הפחמן החלקיקי גבוה במים העליונים בהשוואה למים העמוקים, עם עלייה בריכוז בקרבת קרקעית הים המצביעה על הרחפת חלקיקים מהקרקעית.



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.

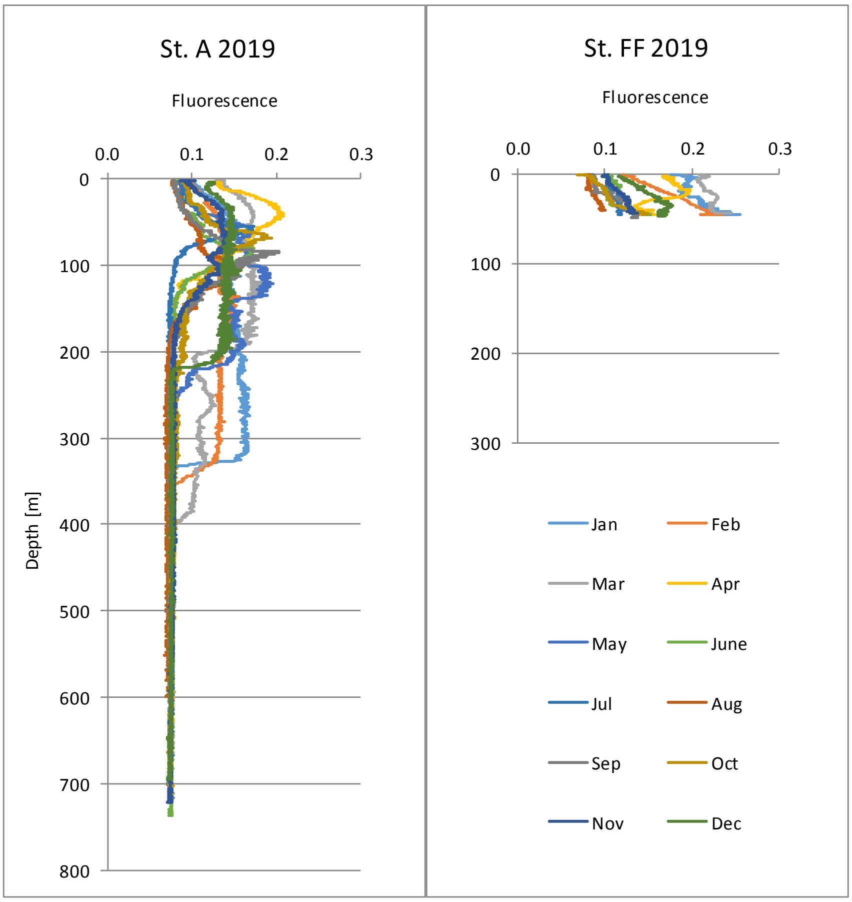
Figure D27: Changes in the concentration of particulate carbon in the water column at Station A since 2011. Black dots represent the sampling depths.

ד.3. כלורופיל *a* ופלואורסנציה

כלורופיל *a* הוא הפיגמנט הפוטוסינטטי העיקרי, ועל כן משמש ריכוזו אינדיקציה (חלקית) לכמות האצות והפעילות הפוטוסינתטית בעמודת המים. ריכוזי הכלורופיל משתנים במחזוריות עונתית של ריכוזים נמוכים יחסית בסוף הקיץ, הגדלים עם תחילת הערבוב המעלה נוטריינטים מהעומק לשכבה הפוטית. אזור של ריכוז כלורופיל גבוה במים העליונים נוצר עם תחילת השיכוב בסוף התקופה המעורבבת. במים העמוקים אין כלורופיל ללא ערבוב.

הפלואורסנציה הנמדדת על ידי מכשיר ה-CTD משמשת מדד *in-situ* לריכוז הכלורופיל בעמודת המים. ערכי הפלואורסנציה מוצגים ביחידות שרירותיות הניתנות לכיול באמצעות מדידות ישירות של כלורופיל. מדידות הפלואורסנציה רועשות אולם למרות זאת ניתן לקבל מהן תמונה של מבנה עמודת המים בה נמצא ערך מרבי בעומק של 60-100 מ' בתקופה המשוכבת. אזור זה מכונה DCM (Deep Chlorophyll Maximum). יתרון נוסף למדידות הפלואורסנציה בעזרת מכשיר ה- CTD הוא שמתקבל פרופיל רציף המכסה על הפערים שבין דגימות המים הבדידות בהן נמדד ריכוז הכלורופיל. מכיוון שקריאות פלואורסנציה ללא כלורופיל שואפות לאפס, ערכים נמדדים של פלואורסנציה מעידים על כלורופיל. מכיוון שתאי פיטופלנקטון מתפרקים תוך ימים ספורים מהווה הפלואורסנציה מדד טוב לעומק הערבוב בסמוך לזמן ההפלגה.

על פי מדידות הפלואוריסנציה, בסיס הערבוב בחודש מרץ היה בעומק של כ-380 מטרים (איור ד28) ובחודש אפריל כבר מתקבל פרופיל של אחרי-ערבוב, עם פלואוריסנציה מירבית בעומק של כ-45 מטרים. גם פרופיל הפלואורסנציה של חודש מרץ אינו אחיד ומראה על כך שהערבוב אינו פעיל. ממדידות אחרות (כמוזכר למעלה, למשל, טמפרטורה) עולה שעומק הערבוב המירבי היה כ-450 מטרים. נראה שהערבוב השנה לא התקדם באופן אחיד ורציף ושהפלגת חודש אפריל, 15/4/2019, התבצעה מספר ימים לאחר שנגמר תהליך הערבוב.



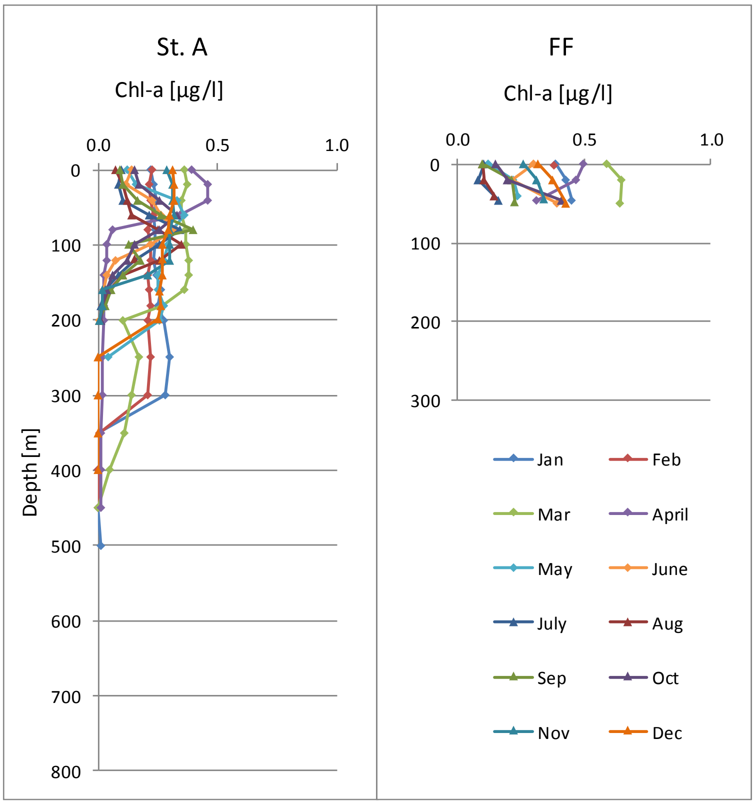
איור ד28: פלואוריסנציה בעמודת המים כפי שנמדדה במכשיר ה-CTD בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים (>700 מ'), ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים.

Figure D28: Fluorescence profiles measured using a CTD during the monthly monitoring cruises. Station A is on the Israeli/Jordanian/Egyptian border (>700m), 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 0.46 µg/l בחודש אפריל, בעומקים 20-40 מטרים (איור ד29). ריכוז זה נמוך מהערכים המרביים שנמדדו בשנים הקודמות מאז 2015. ריכוז הכלורופיל בחודש מרץ, בהשפעת הערבוב, היה סביב 0.37 µg/l בלבד, ערך נמוך משמעותית בהשוואה לשנים הקודמות. ריכוז הכלורופיל המרבי בחוף הצפוני, בתחנת כלובי הדגים היה בחודש מרץ, 0.65 µg/l, גם כן נמוך בהשוואה לשנה הקודמת.

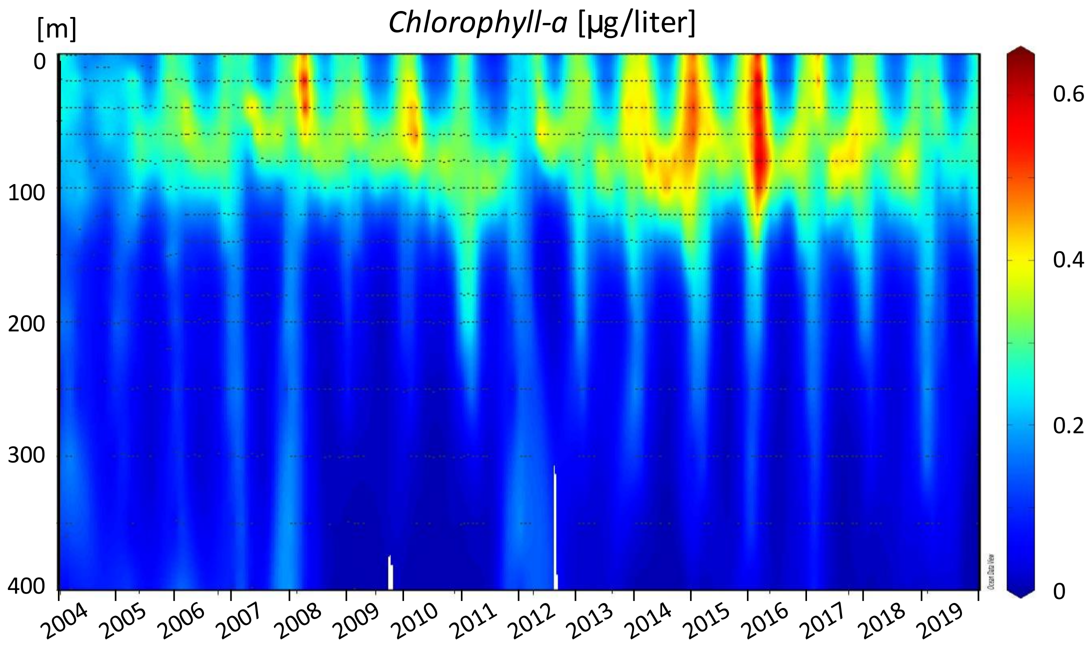


איור ד29: ריכוזי כלורופיל *a* בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700 מטרים, ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים.

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.

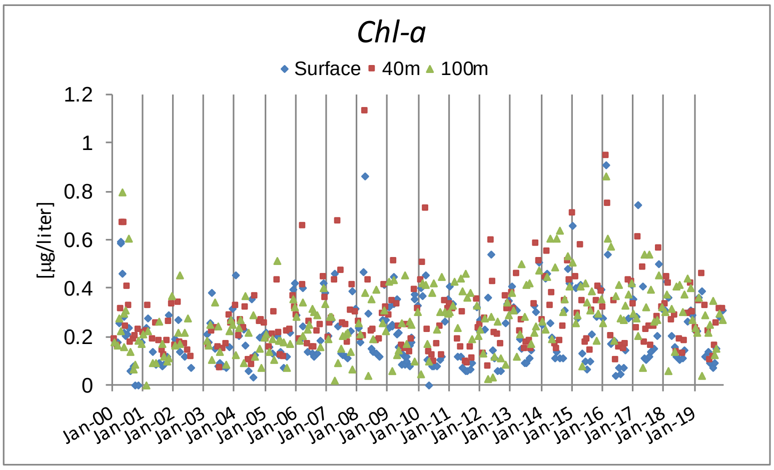
ריכוזי הכלורופיל בעמודת המים העליונה בחורף השנה רגילים לשנים בהן הערבוב אינו עמוק, וזאת לאחר הריכוזים הגבוהים במיוחד של השנים 2015 ובעיקר 2016 בה נמצאו ריכוזים מן הגבוהים ביותר אשר נמדדו על ידי תכנית הניטור מאז 2004 (איור ד30). ריכוזי הכלורופיל השנה היו מן נמוכים אשר נמדדו בשנים האחרונות על אף שעומק הערבוב היה בינוני. יתכן כי הסיבה לריכוזים הנמוכים היא משך הערבוב הארוך והתקדמותו המהוססת אשר לא יצרה "הזרקת" נוטריינטים משמעותית למים העליונים.

במבט לטווח ארוך יותר על ריכוזי הכלורופיל בעומק הריכוז המרבי (DCM) מאז שנת 2000, מסתמנת מגמה חלשה של עליה בריכוז הכלורופיל, בפרט בעומק 100 מטרים, על אף שריכוזי הכלורופיל השנה היו נמוכים יחסית.



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.

ישנו פיזור גדול של ריכוזי כלורופיל, שמקורו בעיקר עונתי (איור ד31), ומקשה על זיהוי מגמות בריכוזי הכלורופיל. למרות זאת, נמצאה מגמת עליה חלשה מאד בפני הים המתחזקת עד לעומק של 100 מטרים. 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). אין בידינו הסבר לעליה בריכוזי הכלורופיל עם הזמן.



איור ד31: ריכוזי כלורופיל *a* בתחנה A מאז ינואר 2000 בפני הים ובעומקים 40 ו- 100 מטרים. מגמת העליה המסתמנת בעומק 100 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 surface and at water depths of 40 and 100 meters since 2000. The apparent rise in chlorophyll concentration at 100 meters depth is statistically significant (randomization test, P<<0.001). *Data from the years 2000-2002 were collected during the Peace Park Project and are provided courtesy of Prof. J. Erez and Pro. B. Lazar.*

דיון – עמודת המים

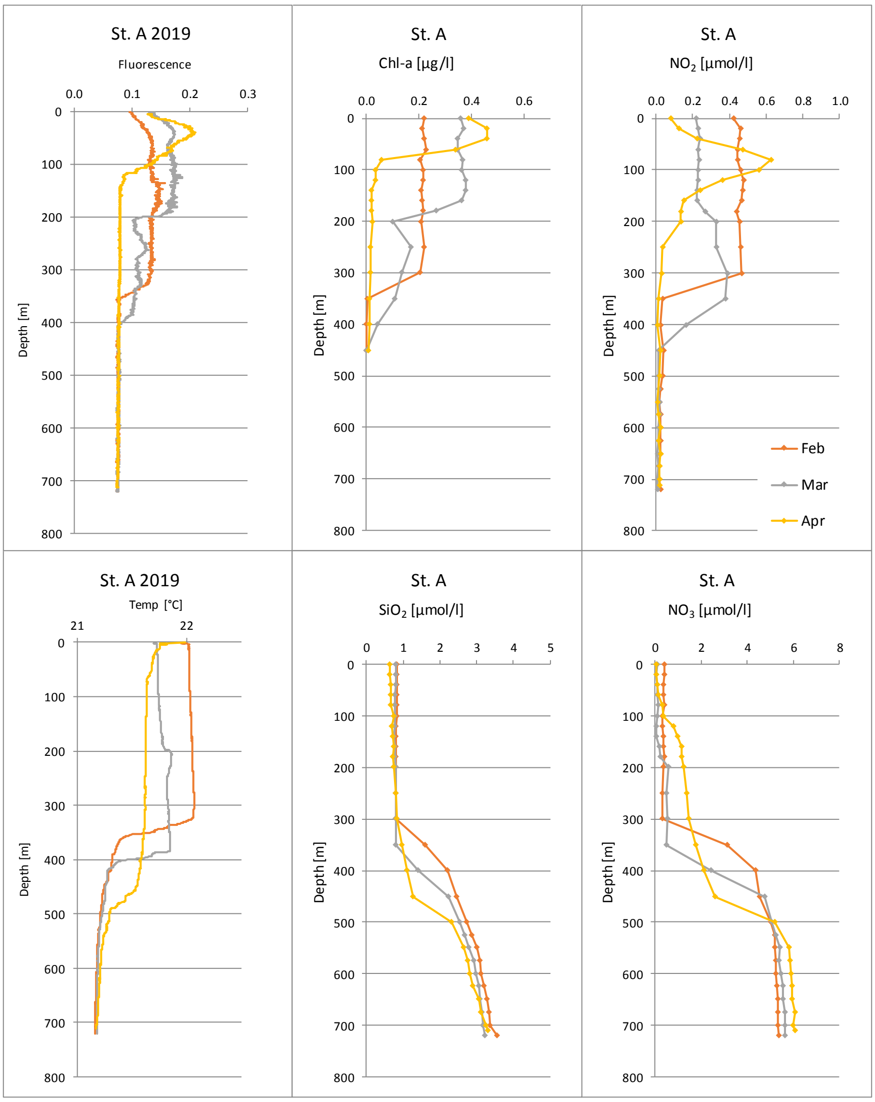
עמודת המים העמוקים מעוצבת בעיקר על ידי המחזור העונתי, המורכב מירידת טמפרטורות בפני הים בחורף וכתוצאה מכך ערבוב של המים העליונים עם מים עמוקים. הערבוב בין גופי המים גורם להעלאת נוטריינטים, חומרי דשן, מהעומק והעשרת מי העומק בחמצן. כשמתחילה העונה החמה, חדירת מים חמים יותר שמקורם בדרום המפרץ יוצרת שכוב יציב המונע ערבוב בין מי השטח והמים העמוקים. במהלך עונה זו נצרכים הנוטריינטים במים העליונים ונצברים נוטריינטים במים העמוקים, ובמקביל מדלדל מאגר החמצן המומס במי העומק.

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

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

בשנים האחרונות תועדה תבנית בה קירור עמודת המים מהיר בתחילת החורף ונעצר בשלב מוקדם בחודש פברואר וכתוצאה מכך מתקבל ערבוב מהיר אך רדוד. תבנית זו גורמת לכניסת נוטריינטים מהירה ואינטנסיבית, אך בכמות מוגבלת, למים העליונים.

השנה תבנית הערבוב היתה שונה: סמנים קצרי חיים כגון פלואוריסנציה, ריכוז כלורופיל וריכוז ניטריט מצביעים על עמודה "מעורבבת" באופן חלקי עד לעומק 320 מטרים בחודש מרץ, ועל עמודה משוכבת בחודש אפריל (איור 32ד , למעלה). לעומת זאת סמנים אשר משמרים את סיגנל הערבוב למשך זמן ארוך יותר, כגון טמפרטורה, ריכוזי ניטראט, פוספט, סיליקה וחמצן, מצביעים על כך שבין הפלגת הניטור במרץ וההפלגה באפריל הערבוב העמיק עד לכ-450 מטרים (איור 32ד , למטה), אך בזמן הפלגת חודש אפריל הערבוב כבר הסתיים.



איור 32ד: מבנה עמודת המים כפי שמשתקף בפרופילים של סמנים קצרי חיים (פלואוריסנציה, כלורופיל וניטריט) למעלה ושל יותר ארוכי חיים (טמפרטורה, סיליקה וניטראט) למטה בעמודת המים בחודשים בפרואר-אפריל.

Figure D32: Structure of the water column as reflected in profiles of short-lived indicators (fluorescence, chlorophyll-a and nitrite), on top, and longer-lived indictors (temperature, sulucate and nitrate), below.

לאחר שבשנים 2016 ו-2017 היה ערבוב עמודת המים לעומק בינוני של כ- 500 מטרים בין אמצע ינואר לאמצע פברואר, היה הערבוב בשנה הקודמת רדוד יותר לעומק של כ- 320 מטרים בלבד והערבוב השנה הגיע לעומק של כ-450 מטרים. השנה היא השביעית, מאז שנת 2012, בה 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, כלל ערבוב עמוק בשנים 2007-8, 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 במחזור הרב-שנתי הקודם.
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 השנה, שבע 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.
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.

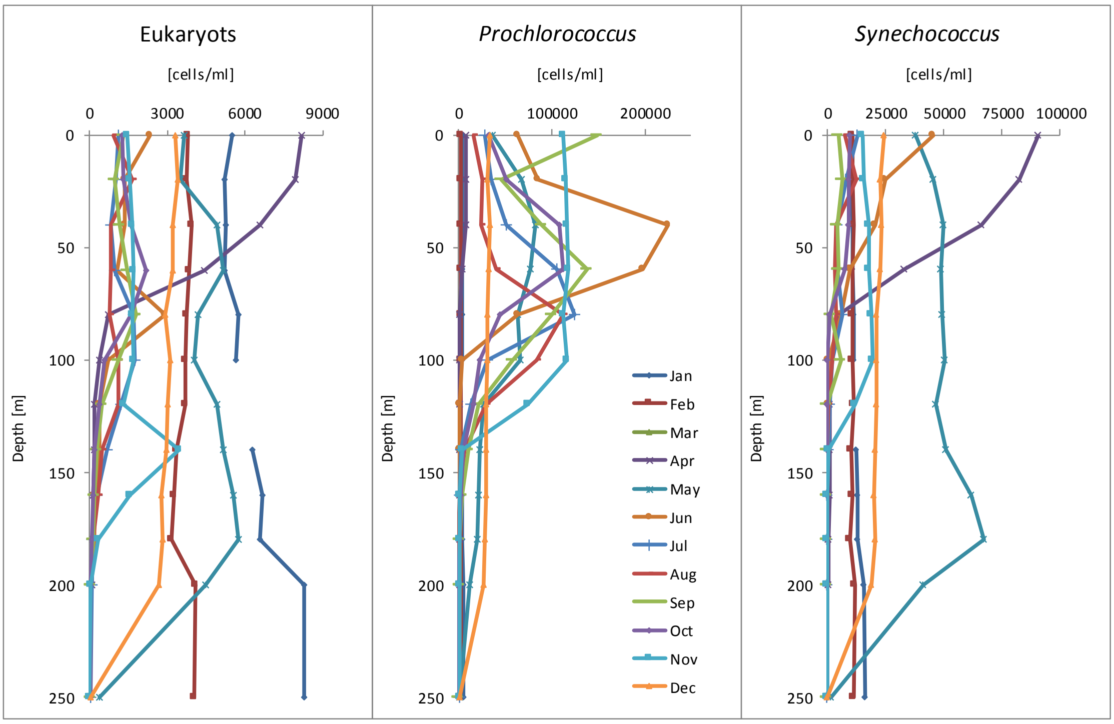
ד.4. פיטופלנקטון וחיידקים בעמודת המים

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

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 במיליונים למיליליטר.

ריכוזים גבוהים של תאי *Synec.* נמצאו בחודש אפריל במים העליונים, ובפרט בסמוך לפני הים, והגיעו לערך מרבי של כ-90 אלף תאים למיליליטר מי ים (איור ד33). גם בחודש מאי נמדדו ריכוזים גבוהים, עד לעומק של כ-200 מטרים. בשאר חודשי השנה היה ריכוזם של תאי *Synec.* נמוך הרבה יותר, לרוב פחות מ- 25 אלף תאים למ"ל. ריכוזי ה-*Synec.* המרביים היו גבוהים הרבה יותר מאשר בשנה הקודמת. ריכוזי *Proc.* גבוהים נמצאו ברוב חודשי הקיץ ובפרט בחודש יוני, בעומקים 40-100 מטר. ריכוז תאי *Proc.* מירבי נמצא השנה בחודש יוני, בעומק 40 מטר, כ- 225 אלף תאים למ"ל מי ים, בדומה לערך השנה הקודמת.

התאים האאוקריוטים הגיעו לריכוז מרבי בחודש ינואר בעומק 200-250 מטרים (כ- 8,300 תאים במ"ל) ובחודש אפריל, בקרבת פני הים (כ- 8,000 תאים במ"ל). ריכוזים אלה כפולים מריכוזי השנה הקודמת. בשאר החודשים היה ריכוזם 3,500 תאים במ"ל מים או פחות, בדומה לשנה הקודמת.



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

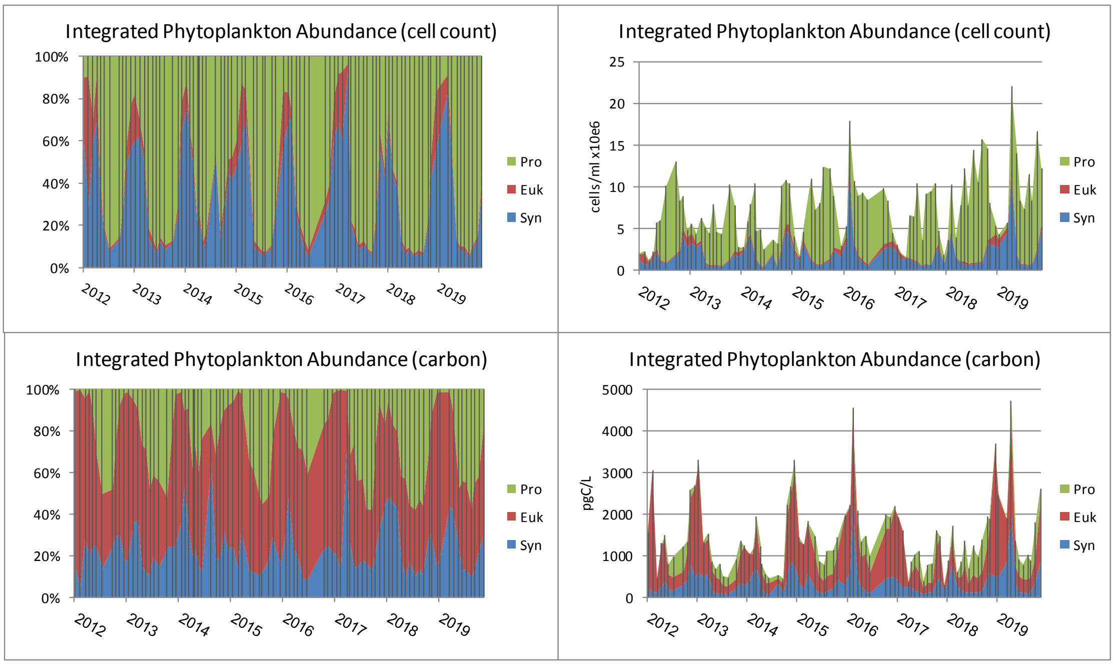
Figure D33: Monthly phytoplankton concentrations of prokaryotes (*Synechococcus* and *Prochlorococcus*), and pico-eukaryotes in the water column at Station A.

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

בהמרה לביומסה מתגלה תמונה שונה (לצורך ההמרה נעשה שימוש בערכים מתוך Campbell *et al.* 1998, וזאת בעקבות עבודת הדוקטורט של א. מידר (2012) ובעצה עם פרופ' יעלה שקד. ערכי ההמרה הם: *Synec.*=175fg C/cell, *Proc.*=53fg C/cell, Euc.=2100fg C/cell).

בחודשי החורף ועונות המעבר מהווים האאוקריוטים את מרבית הביומסה, בהיותם התאים הגדולים ביותר, ורק בחודשי

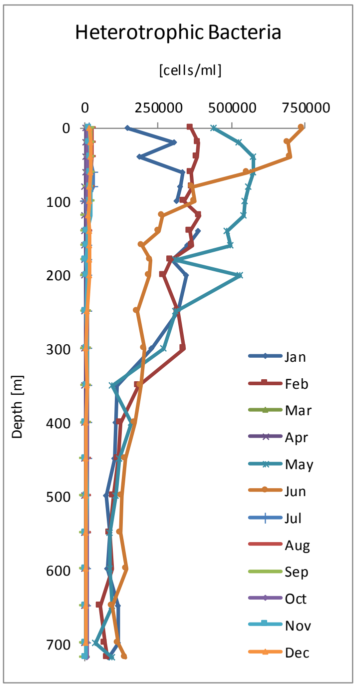
הקיץ מהווים ה- *Proc.* את החלק העיקרי, בין 40-50% מכלל מסת הפיטופלנקטון בחודשים יולי - נובמבר.



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

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

ריכוזי החיידקים ההטרוטרופים נמוכים במשך רוב חודשי השנה, וגבוהים בחודשי האביב, עד עומק של כ-300 מטרים (איור ד35). בחודש יוני נמדד במים העליונים ריכוז חיידקים מירבי של כ- 700 אלף תאים במ"ל מי ים, גבוה מהערכים המרביים בשנה הקודמת.



איור ד35: ריכוזים חודשיים של תאי חיידקים הטרוטרופים בעמודת המים בתחנה A.

Figure D35: Monthly concentrations of hetrotrophic bacteria in the water column at Station A.

ד.5. יצרנות ראשונית בעמודת המים

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

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

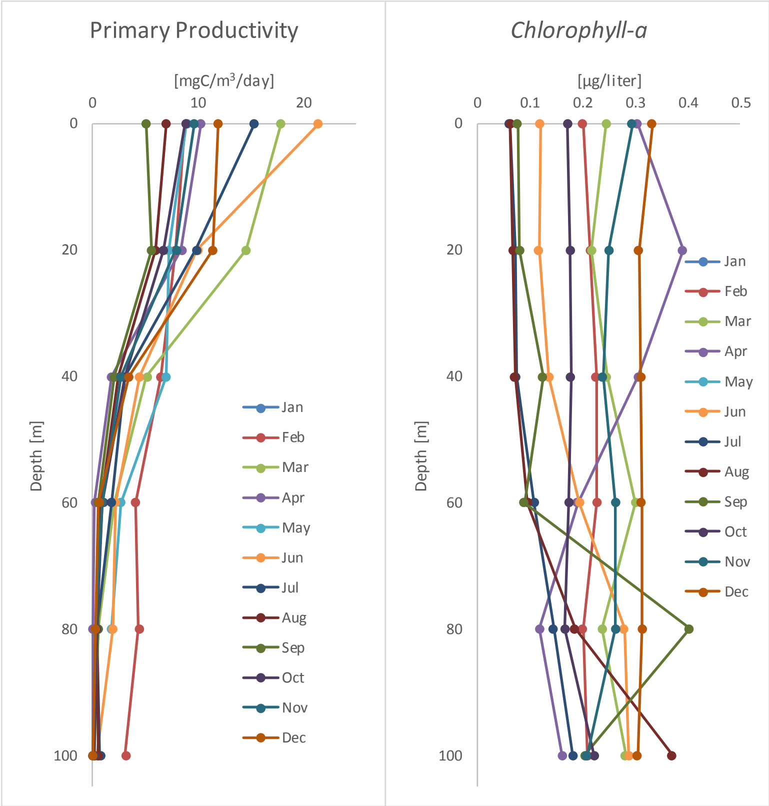
מדידת היצרנות מסובכת וקשה מבחינה טכנית, הן עקב הפעילות הימית המורכבת והן עקב פעילות המעבדה והשימוש באיזוטופים רדיואקטיביים, ועל כן בעבר לא בוצעה במפרץ אילת באופן סדיר. מדידות יצרנות בוצעו בין השנים 1989-2002 במסגרת התכניות הקודמות לתכנית הניטור (Reeflux, Red Sea Program, Red Sea Marine Peace Park). תכנית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

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

<u>תוצאות</u>

בפרופילים החודשיים ניכרת תלות היצרנות בעצמת האור בכך שיצרנות גבוהה נמדדת בעומקים רדודים וישנה ירידה ביצרנות עם העומק (איור ד36). בנוסף לכך, התפלגות ריכוזי הכלורופיל עם העומק אחידה יותר במאה המטרים העליונים ולא תמיד משקפת את התפלגות היצרנות, עובדה המדגישה את חשיבות מדידת היצרנות.

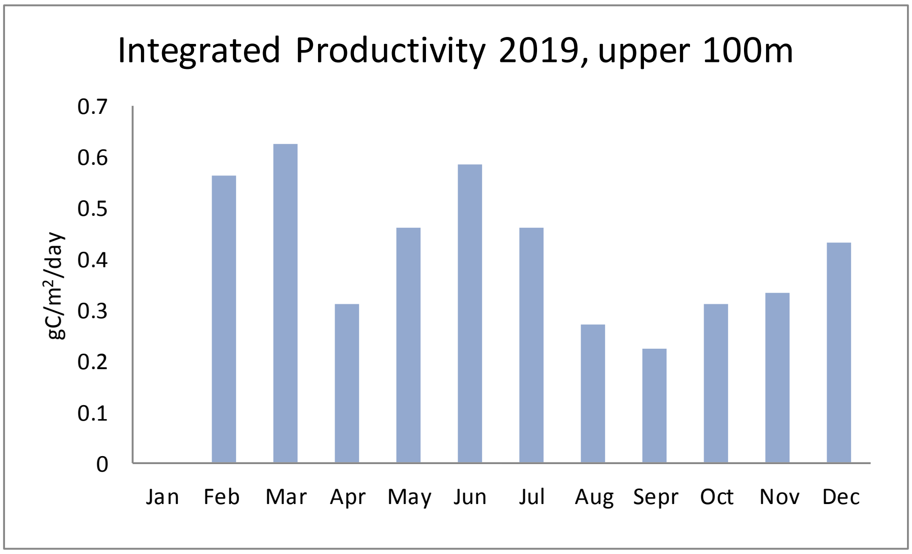
יצרנות גבוהה נמדדה השנה בקרבת פני הים בחודשים יוני ויולי, וכן נמדדה יצרנות גבוהה במים העליונים בחודש מרץ. הערך הגבוה ביותר שנמדד היה 21.4 $mgC/m^3/day$, בפני הים ביוני, גבוה מהערך הגבוה שנמדד בשנה הקודמת אך נמוך מאשר בשנה לפניה או מהערך המרבי של שנת 2015 (33.6 $mgC/m^3/day$) שהיה גבוה במיוחד. יתכן כי מדידה זו בפני הים בחודש יוני מושפעת מכניסת מים עשירים בנוטריינטים ובעלי מליחות נמוכה מאזור החוף הצפוני (ראו למעלה פרק הסביבה החופית). בעומקים גדולים מעשרים מטרים היתה גם השנה יצרנות נמוכה ובעומקים גדולים משישים מטרים היצרנות היתה אפסית, מלבד בחודש פברואר. תבנית זו דומה למדידות השנתיים הקודמות. ריכוז הכלורופיל מדוגמאות המים הצמודות היה גבוה ביותר בחודש אפריל בעומק 20 מטרים. באופן כללי, פרופילי העומק של ריכוז כלורופיל אחידים יותר מאשר הפרופילים של יצרנות.



איור ד36: יצרנות ראשונית וריכוזי כלורופיל חודשיים בעמודת המים העליונה.

Figure D36: Monthly primary productivity and *Chl*-a concentrations at the upper water column.

אינטגרציה של היצרנות בעמודת המים בכל אחד מהימים בהן נעשתה המדידה מראה כי היצרנות הגבוהה ביותר היתה, בעקבות ערבוב עמודת המים, בחודש מרץ, אך גם בחודש יוני היתה יצרנות גבוהה עקב המדידה הגבוהה בפני הים (איור ד37). השנה נעה היצרנות המחושבת מערך מזערי של 0.22 $gC/m^2/day$ בחודש ספטמבר לערך מרבי של 0.62 $gC/m^2/day$ בחודש מרץ. ערכים אלה דומים מאד לערכים שחושבו בשנה הקודמת. היצרנות הממוצעת בעמודת המים בחודשים יולי-אוגוסט עמדה על 0.36 $gC/m^2/day$, גבוה מאשר בשנה הקודמת אך דומה לממוצע הקיץ של השנה לפניה (0.39 $gC/m^2/day$ ב- 2017).
היצרנות השנתית על סמך מדידות הניטור היתה השנה כמו בשנה הקודמת, 151 $gC/m^2/year$.

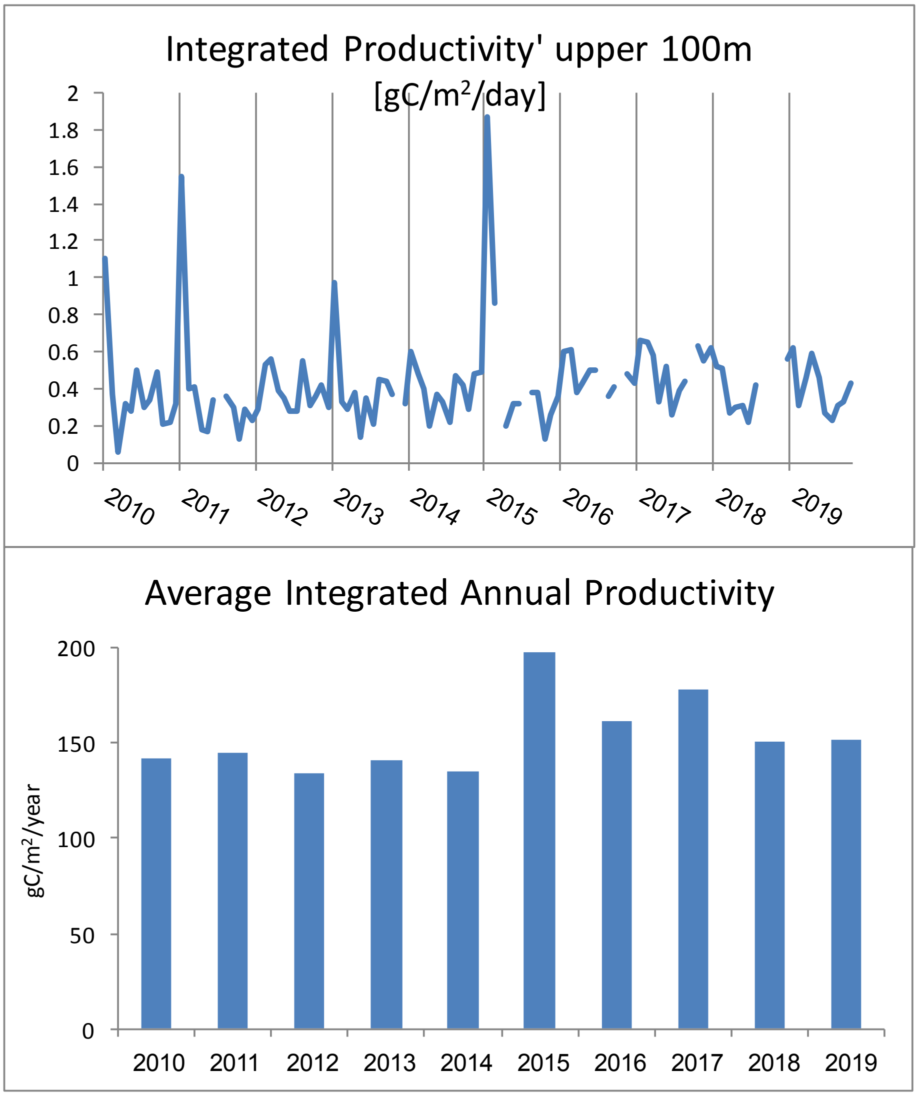


איור ד37: אינטגרציה של היצרנות הראשונית במאה המטרים העליונים של עמודת המים, מתוך מדידות היצרנות המוצגות באיור ד36.

Figure D37: Integrated values of primary productivity in the upper 100m of the water column, based on the productivity profiles presented in Figure D36.

השנה היתה היצרנות בדרך כלל דומה לשנה הקודמת, ללא שיאים חריגים. שיאים ביצרנות נמדדו על ידי תכנית הניטור בחודש מרץ בשנים 2010, 2011, 2013, 2015 כאשר זה האחרון היה הגבוה ביותר שנמדד עד כה - 1.87 gC/m²/day (איור 38ד). נראה כי מדידות היצרנות אינן משקפות באופן ישיר את עומק הערבוב בעמודת המים: הערבוב הגדול ביותר מאז 2010 אירע בשנת 2012, בה מדידות היצרנות של תכנית הניטור נמוכות. ערבוב עמודת המים בשנתיים הקודמות היה מהיר וקצר ונפסק כבר בחודש פברואר והשנה היה ערבוב מתמשך אך לא רציף. יתכן שתדירות מדידות היצרנות אותן מבצעת התכנית אינה מספיקה על מנת למדוד את ערך השיא או לעמוד על הדינאמיקה המהירה של יצרנות בחודשי החורף.

באמצעות מדידות היצרנות הנעשות אחת לחודש ניתן לחשב אינטגרל יומי ממוצע בעמודת המים העליונה ועליו לבסס חישוב יצרנות שנתי. בשנים 2010-2014 חושבה יצרנות שנתית די קבועה (134-141 gC/m²/year) ובשנת 2015 חושבה יצרנות הגבוהה ביותר, 197gC/m²/year. בשנתיים האחרונות היתה היצרנות השנתית המחושבת 151gC/m²/year. היצרנות השנתית הממוצעת בצפון המפרץ מאז 2010 היא 153.5gC/m²/year.



איור 38ד: למעלה – אינטגרציה של היצרנות הראשונית במאה המטרים העליונים של עמודת המים מאז 2010, מתוך מדידות היצרנות המתבצעות אחת לחודש. למטה –היצרנות השנתית הממוצעת על סמך מדידות הניטור.

Figure D38: Top – integrated values of primary productivity in the upper 100m of the water column since 2010, based on the productivity profiles measured once each month. Bottom –the average annual productivity based on NMP measurements.

בדו"ח הביניים הראשון של תכנית הניטור (גנין וסילברמן, 2003) מובאים ערכי יצרנות אשר נמדדו בחודשים ינואר ו\או פברואר בשנים 3-2000. המדידות נעשו תוך שימוש בפרוטוקול הדגרה קצר (כארבע שעות), תוצאות אותן מדידות נעו בטווח 0.14-0.78gC/m²/day.

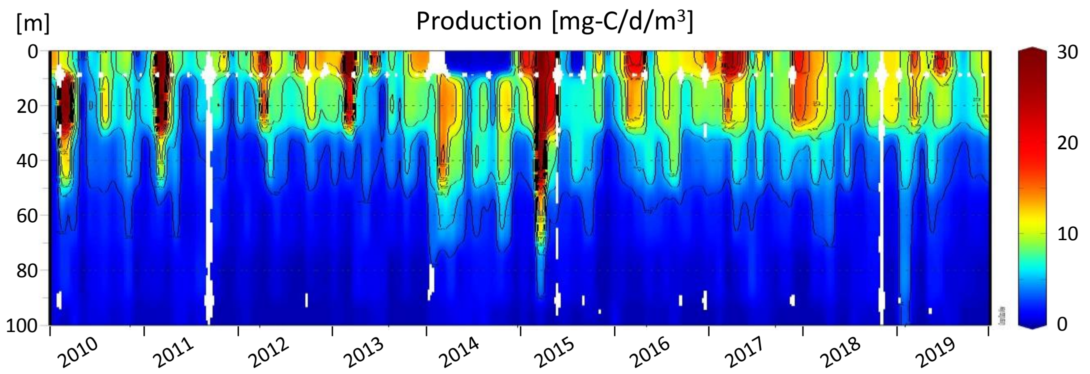
לשם השוואה, בתחנות הניטור הקבועות בימים האוליגוטרופים שמול הוואי וברמודה, נמדדים ערכים ממוצעים רב-שנתיים הנעים סביב ~0.5 gC/m²/day (http://hahana.soest.hawaii.edu/hot/, http://bats.bios.edu/bats_form_prod.html).

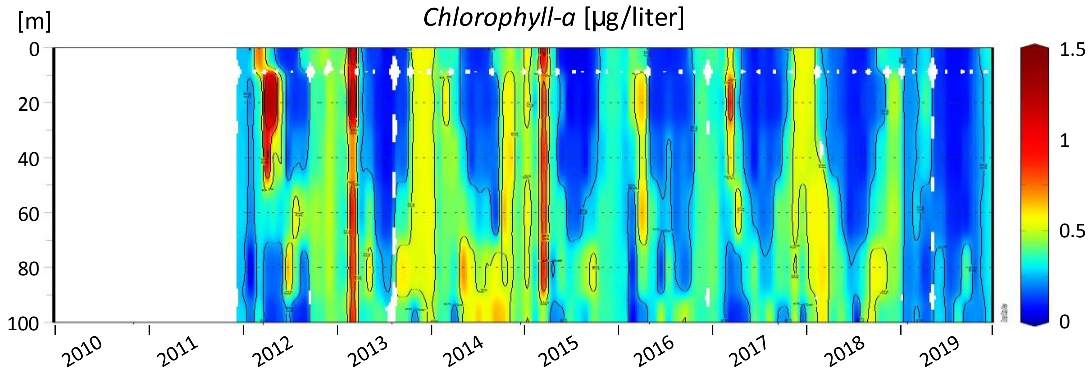
היצרנות היומית הממוצעת במפרץ אילת מאז 2010, על סמך מדידות הניטור היא 0.42 $gC/m^2/day$.

משנות ה-70 ועד לתחילת שנות ה-90 של המאה ה-20 היצרנות הראשונית בצפון מפרץ אילת נאמדה ב- ~$80gC/m^2/year$ (Levanon-Spanier *et al.*, 1979, Iluz, 1991) ובשנים 2000-2004 עלתה לממוצע שנתי של ~$170gC/m^2/year$ (Lazar *et al*. 2008), עם ערך גבוה של כ- 230 $gC/m^2/year$ בשנת 2004.

יש לזכור שממוצעים מושפעים מאד מערכי שיא וכאמור למעלה, נראה שתדירות מדידות היצרנות בתכנית הניטור בעונת החורף אינה מספיקה לאפיין נכונה את היצרנות הממוצעת. למשל, בזמן פריחתן קצרת המועד באפריל 2008 של דיאטומאות (אצות צורניות גדולות) נמדדה בעשרים המטרים העליונים עליה ביצרנות מערכים סביב $15mgC/m^3/day$ ל- $30mgC/m^3/day$ (Iluz *et al.*, 2009). השינוי היומי הגדול עליו מדווחים Iluz *et al.* (2009) מדגים את הדינאמיקה המהירה של יצרנות במפרץ ומלמד כי מדידות בדידות עשויות לסטות משמעותית מממוצע היצרנות.

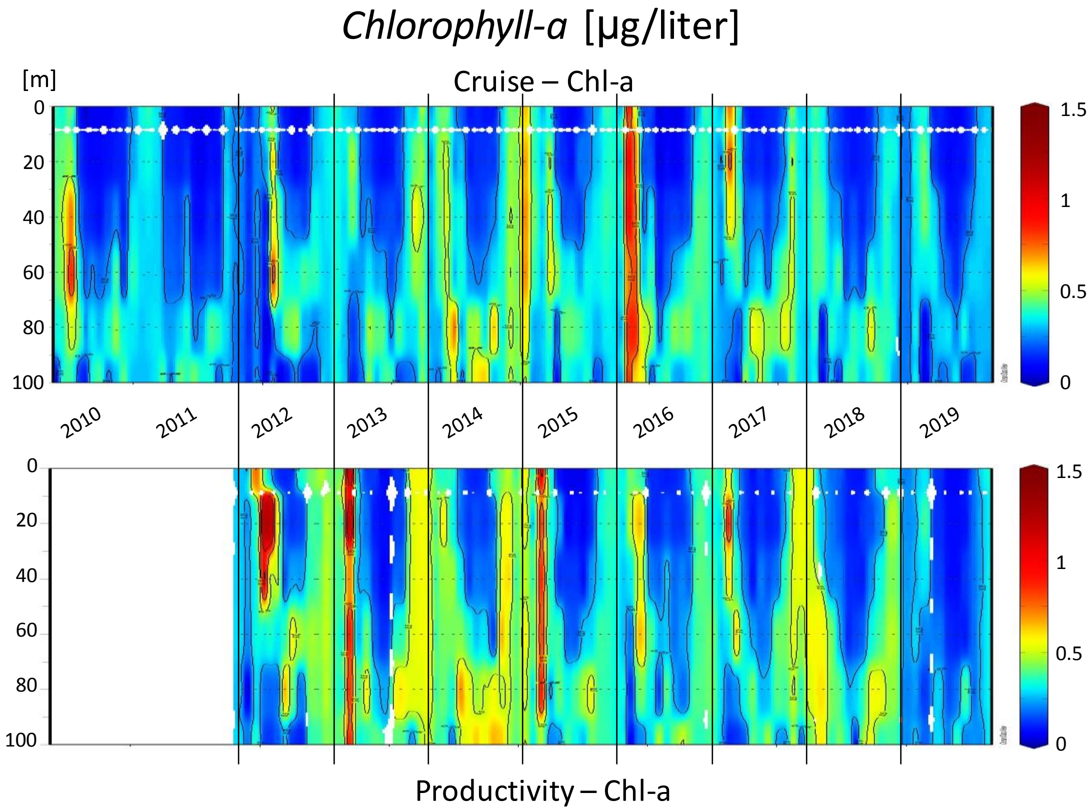
גם מדידות הניטור מראות את הקושי באיפיון היצרנות, בפרט בתקופת החורף. השוואה בין ערכי היצרנות וריכוזי הכלורופיל מאותן דגימות מים מראה שאין התאמה מדויקת בתבניות היצרנות והכלורופיל (איור ד39). גם השוואה בין ריכוזי הכלורופיל הנמדדים עם דגימות היצרנות וריכוזי הכלורופיל הנמדדים בהפלגות החודשיות (פרק ד3, למעלה) מראות את ההבדלים בין דגימות המופרדות בינהן במספר ימים ומרחק קצר (איור ד40).





איור ד39: יצרנות ראשונית במאה המטרים העליונים של עמודת המים מאז 2010 (למעלה) וריכוזי כלורופיל בעמודת המים באותן דגימות (למטה), מתוך מדידות היצרנות החודשיות.

Figure D39: Primary productivity in the upper 100m of the water column since 2010 (top) and *chlorophyll*-a concentrations in the same water samples (bottom) from the monthly productivity measurements.



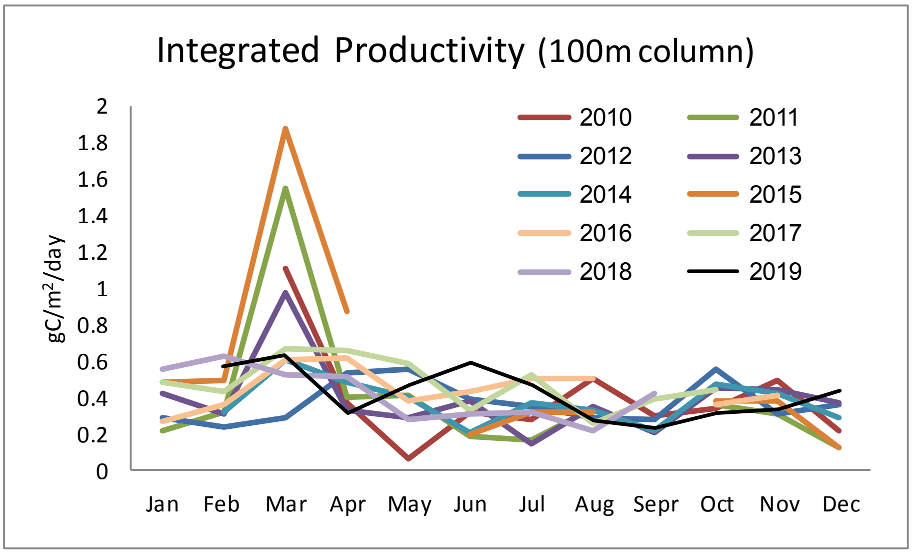
איור ד40: ריכוזי כלורופיל במאה המטרים העליונים של עמודת המים בתחנה A מאז 2010 מתוך הפלגות הניטור החודשיות (למעלה) וריכוזי כלורופיל בעמודת המים מתוך דגימות היצרנות החודשיות (למטה).

Figure D40: Chlorophyll-a concentrations in the upper 100m of the water column at Station A since 2010, from the monthly NMP cruises (top) and *chlorophyll*-a concentrations in the upper water column from the monthly productivity measurements (bottom).

מדידות יצרנות במסגרת תכנית הניטור נעשות אחת לחודש והערכים הגבוהים ביותר נמדדו בדרך כלל בחודש מרץ (איור ד41). במרץ שנת 2015, שנה בה ערבוב עמודת המים היה רדוד, נמדדה היצרנות הגבוהה ביותר (ומצומדים עליה גם ריכוזי כלורופיל גבוהים), ובשנת 2012, שנה בה היה הערבוב עמוק (אם כי קצר) ונמדדו שפע של נוטריינטים בעמודת המים העליונה, לא נמדד ערך יצרנות גבוה.

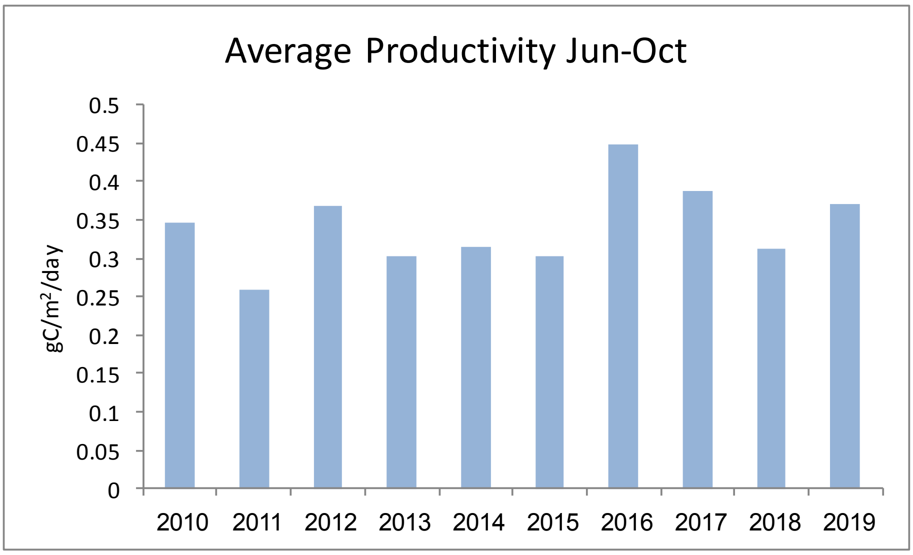
נראה כי השינויים ביצרנות בחודשי החורף גדולים ומהירים ויתכן כי המדידות אינן מספיקות על מנת לאפיין את המערכת בתקופה זו. מכיוון שכך, יתכן גם כי חישובי האינטגרל השנתי אינם מדויקים דיים (למשל, היצרנות השנתית הגבוהה מאד המחושבת עבור שנת 2015 נשענת על יצרנות גבוהה במיוחד אשר נמדדה בחודש מרץ ועל כך שבשנה זו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

בעונת הקיץ, לעומת זאת, השינויים קטנים יותר והמערכת מצויה במצב "אוליגוטרופי". מהתבוננות בערכי היצרנות בחודשי הקיץ ניתן להתרשם כי השנים 2010-2018 דומות זו לזו, עם ערך גבוה ביותר בשנת 2016 (איור ד42). על רקע זה, שינויים מערכתיים מתמשכים ניתן יהיה, אולי, לגלות דווקא בעונה זו.



איור ד41: היצרנות הראשונית במאה המטרים העליונים של עמודת המים מאז 2010.

Figure D41: Primary productivity in the upper 100m of the water column since 2010.



איור ד42: ממוצע היצרנות הראשונית היומית במאה המטרים העליונים של עמודת המים בחודשים יוני-אוקטובר, מאז 2010.

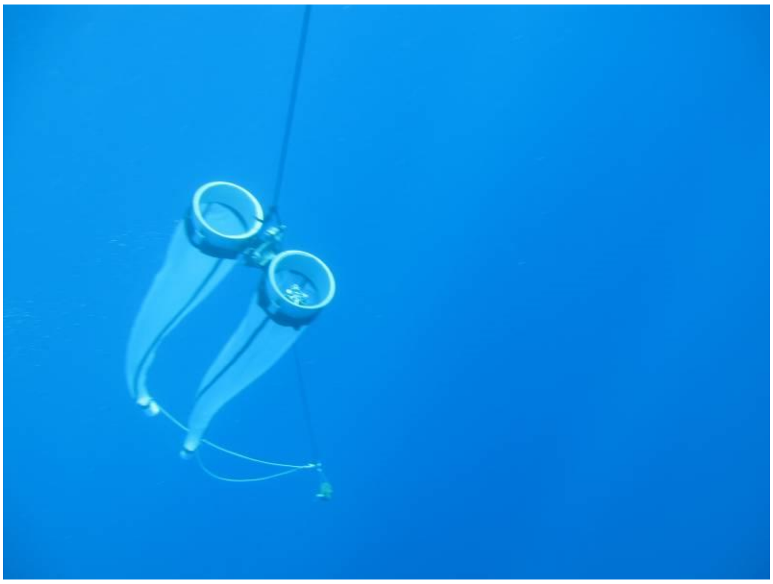
Figure D42: Average daily primary productivity in the upper 100m of the water column for the months June-October, since 2010.

ד.6. 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 200µm (איור ד43). 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 45º. משך הגרירה כ-10 דקות. בסה"כ מתבצעות בכל פעם 3 גרירות (= 6 דגימות מאותו יום בכל חודש), כולן במים הפתוחים שבאזור החוף הדרומי של אילת. לאחר כל גרירה הדגימות מוצאות מקצה הרשת ומועברות לצנצנות פלסטיק הנשמרות בצידנית עם קרח עד לטיפול במעבדה מיד עם החזרה לחוף.

במעבדה כל דגימה מופרדת לשלוש פרקציות גודל באמצעות סינון על קולונה עם שלוש רשתות פלנקטון בגודל חור של 200, 500 ו- 1000 מיקרון. לאחר מכן מסוננת כל פרקציה על פילטר סיבי זכוכית GF/A (גודל חור נומינלי של 1.6 µm) אשר נשרף מראש בתנור ב 450 ºC למשך 4 שעות ומשקלו ידוע. לאחר מכן הפילטרים עוברים ייבוש בתנור 60 ºC למשך שלושה ימים לפחות, נשקלים שוב (לקבלת המשקל היבש של הזואופלנקטון בתת הדגימה) ואח"כ נשרפים ב 450ºC 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).

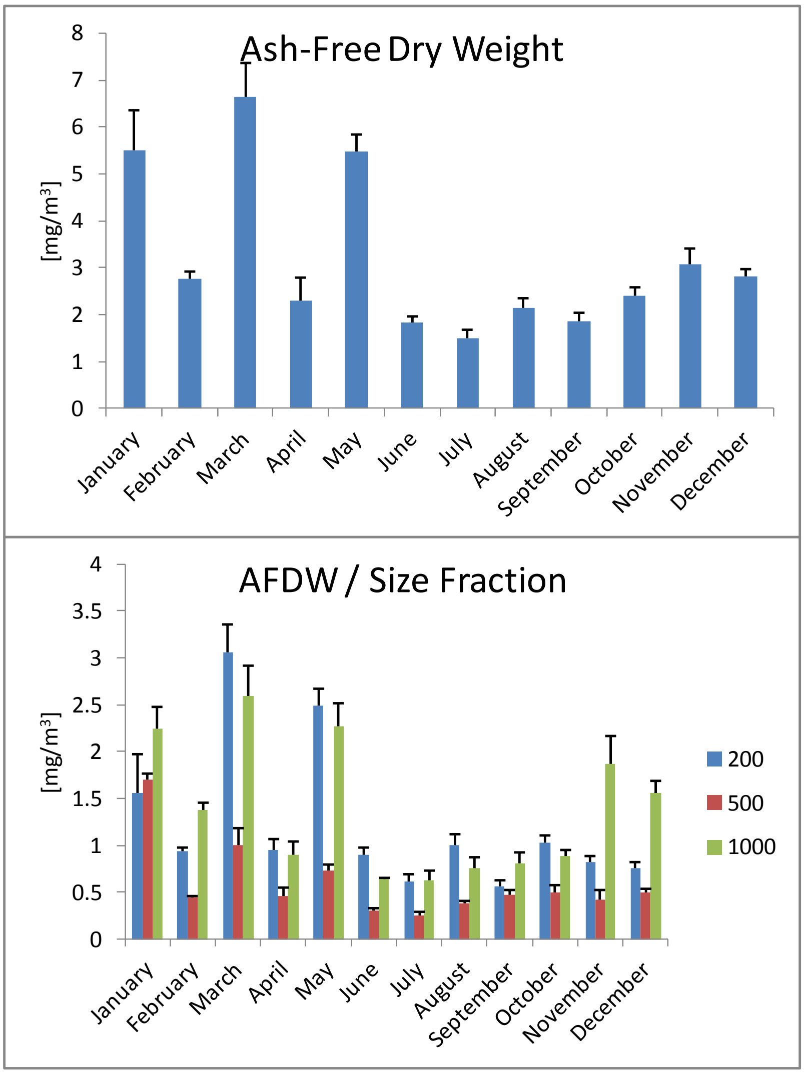


איור ד43: רשת הפלנקטון הכפולה ("Bongo") נגררת מהסירה בים העמוק. צילום: מ. צ'רניחובסקי

Figure D43: A double plankton net ("Bongo") towed from the boat in deep waters. Photo: M. Chernihovsky

תוצאות

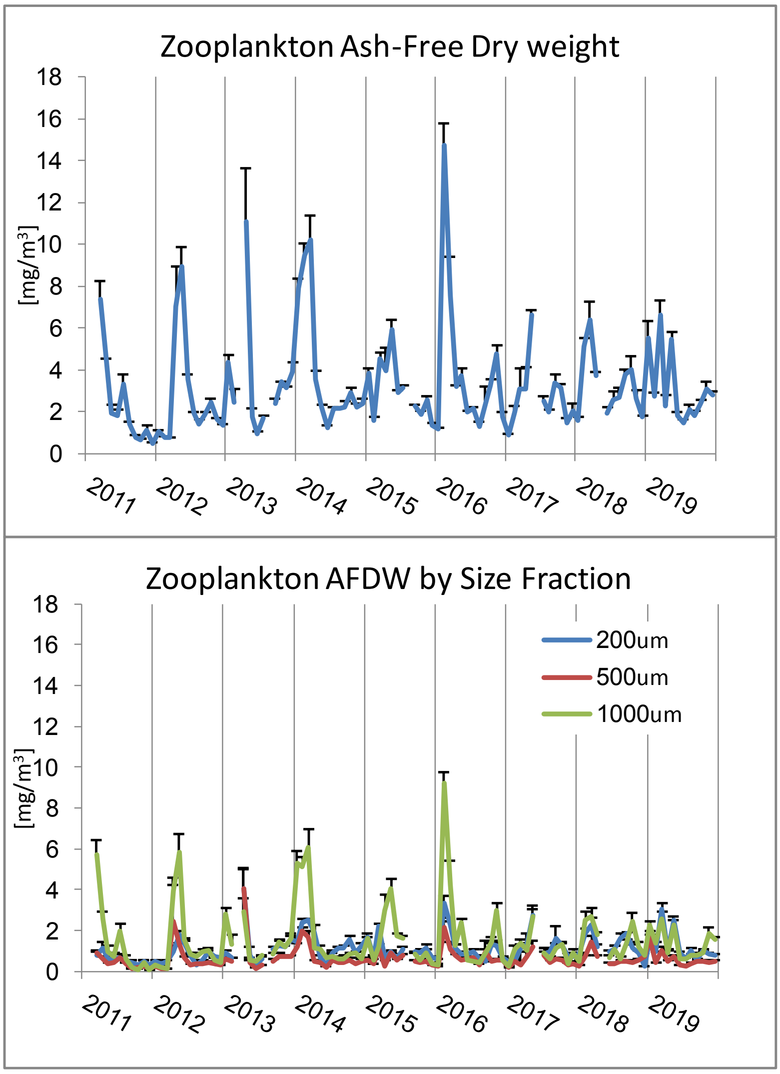
מסת הזואופלנקטון הגדולה ביותר נמצאה גם השנה בחודש מרץ, 6.6 mg/m^3, ובשאר החודשים נמדדו ערכים נמוכים יותר, על אף שגם בחודשים ינואר ומאי נמדדה מסת זואופלנקטון גדולה (איור ד44). עיקר המסה מורכבת מקבוצות הגודל הגדולה והקטנה, במידה דומה, ואילו המסה של קבוצת הגודל הבינונית (500-1000µm) היתה בדרך כלל נמוכה. בחודשים נובמבר-דצמבר בוצת הגודל הגדולה דומיננטית. מסת זואופלנקטון הגדולה ביותר נמצאת לרוב אחרי סוף הערבוב העמוק והשנה מכיוון שהערבוב התקדם במספר שלבים התקבלו שיאים בחודשים ינואר, מרץ ומאי.



איור ד44: ריכוזי זואופלנקטון חודשיים ב-100 המטרים העליונים בים העמוק. למעלה – סך הזואופלנקטון, למטה – חלוקה לפרקציות גודל מסוננות על פילטר של 1000, 500 ו-200 מיקרון (ירוק, אדום וכחול, בהתאמה).

Figure D44: 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 נמוכים באופן יחסי, בדומה לרוב השנים בהן היה ערבוב רדוד וזאת על אף שהערבוב השנה היה לעומק בינוני. השנה נמדדו שלושה שיאים במסת הזואופלנקטון ונראה כי העדרו של שיא דומיננטי נובע מכך שהערבוב התקדם באופן מקוטע וכך לא התקבל שיא אחד כמצופה מעומק הערבוב. בשנים האחרות נמדד שיא גבוה בריכוז הזואופלנקטון באחד החודשים של תחילת השנה (איור ד45). בחודש פברואר של שנת 2016 נמדדה הביומסה 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. ונראה כי למשך הערבוב ולאופן התפתחותו בזמן השפעה על כמות הזואופלנקטון בעמודת המים. בדרך כלל השיא בריכוזי זואופלנקטון עוקב אחר העונה המעורבבת בה עולים ריכוזי הנוטריינטים והפיטופלנקטון, ומונע על ידי צמיחה של קבוצת הגודל של זואופלנקטון גדול (>1000µm). יוצאות מכלל זה הן השנים 2013, בהן היוו קבוצות הגודל הקטנות יותר את עיקר המסה של זואופלנקטון.



איור ד45: 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 D45: Zooplankton concentrations at the upper 100m of the deep sea since 2011. Top – all zooplankton, bottom – divided to size fractions filtered on 1000, 500 and 200 µm filters (green, red and blue, respectively).

ד.7. שטף החלקיקים בעמודת המים

<u>מטרה</u>

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

<u>שיטות</u>

סדרת מלכודות סדימנט מוצבת בים העמוק (עומק מים של כ- 605 מטרים), עגונה לקרקעית ונתמכת על ידי סדרת מצופים (איור ד46). הסדרה כוללת חמישה מערכים של שתי מלכודות צינור הקולטות את שטף החלקיקים החודשי, ומלכודת אחת בה מוחלף צינור האיסוף באופן אוטומטי מדי יום, לערך. המלכודות החודשיות מוצבות בעומקים 570, 450, 350, 220 ו-120 מטרים, לערך, והמלכודת היומית מוצבת בעומק 400 מטרים לערך. בשנתיים הראשונות נאסף המערך מדי כחודש, המלכודות הוחלפו והמערך הוחזר לים. כתוצאה משינויים קטנים במיקום ומהחלפת חבלים לפי הצורך ישנם הבדלים קלים בעומק המלכודות מפעם לפעם.

בשנת 2017 הוחלט לצמצם את תדירות הדגימה למלכודות "החודשיות" לחודשים מייצגים בחורף, באביב ובסוף הקיץ (חודשים ינואר, מאי וספטמבר\אוקטובר). הדגימה באמצעות המלכודת האוטומטית ("יומית") ירדה לרזולוציה של אחת לשלושה-ארבעה ימים בין ההפלגות, ורזולוציה דו-יומית בחודשים ינואר, מאי וספטמבר.

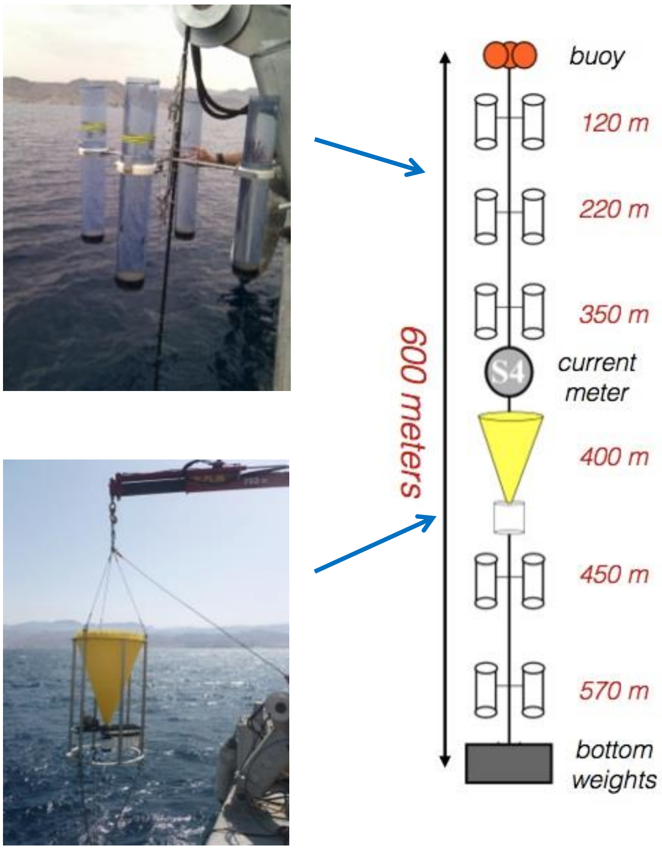
המלכודות אוספות חלקיקים הנושרים דרך עמודת המים ונאספים בתחתית המלכודת המכילה תמלחת רוויה עם תוספת של מעט HgCl, שנועדה למנוע פעילות ביולוגית בתוך המלכודת העלולה לשנות את מאסף החלקיקים שנלכדו.

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

ככלל, בכל עומק מוצב זוג מלכודות צינור; תכולת מלכודת אחת מכל זוג נשקלת כולה, והשניה מחולקת לעשרה חלקים שווים ושניים מהם נשקלים. המשקל מנורמל לשטח הפנים של הצינור ולמשך הזמן אותו מייצגת הדוגמה והתוצאות ניתנות בשטף של משקל ליום למטר רבוע.

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

בניטור השטף החלקיקי בעמודת המים משתפת תכנית הניטור פעולה עם ד"ר עדי טורפשטיין מהמכון למדעי כדור הארץ באוניברסיטה העברית אשר מוביל מחקר שעניינו השטף החלקיקי ותרומתו לסדימנט במפרץ. עיקר הדוגמאות ממלכודות הסדימנט מעובד במעבדתו של ד"ר טורפשטיין, וישמש למחקרים מבוססי כימיה עדינה (יסודות קורט ואיזוטופים) וביולוגיה, אשר צפויים לקדם במידה רבה את הבנת התהליכים המתרחשים בעמודת המים ובסדימנט. בעתיד ניתן יהיה לדווח על ממצאי מחקרים אלה. תכנית הניטור עוקבת אחר הדינאמיקה העונתית והרב שנתית בשטף החלקיקי בעמודת המים.



איור ד46: מערך מלכודות הסדימנט אשר נאסף ומוצב מדי חודש בעומק מים של 605 מטרים במרכז צפון המפרץ.

Figure D46: The array of sediment traps placed on a mooring line at 605 meters depth at the center of the northern basin of the gulf.

<u>תוצאות</u>

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

בנובמבר השנה (6 בנובמבר 2019) בזמן שליפת המלכודות מן הים נקרע כבל הפלדה עליו תלוי המערך וכולו שקע ואבד בים. לפיכך, התוצאות האחרונות המדווחות כאן מתייחסות להוצאת המלכודות בחודש אוגוסט השנה. במשך הזמן התקבלו כספי הביטוח על המערך והוחלט לבנות מערך חדש ולהציבו בים. עדיין לא ברור מתי ובאיזו מתכונת יתחדשו המדידות.

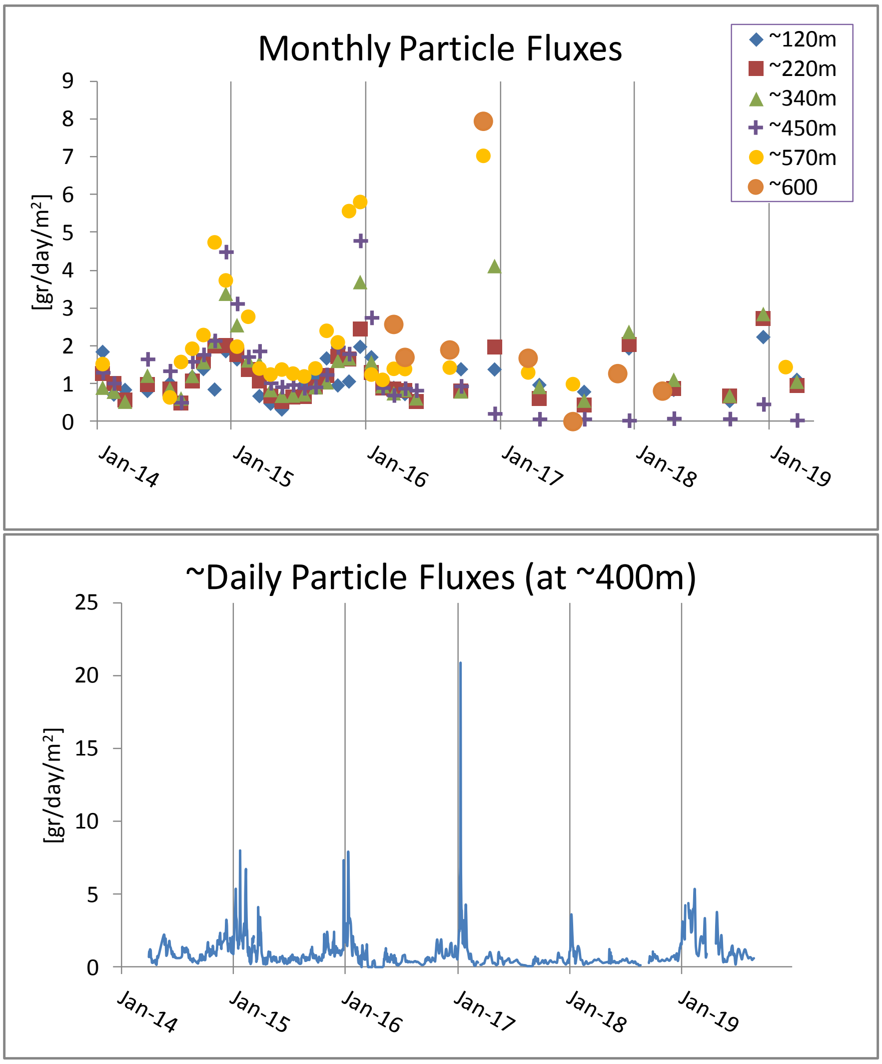
השטף החלקיקי בעמודת המים בצפון המפרץ בעל מחזור עונתי ברור, עם שטפים גדולים יותר בעונה בה היצרנות במפרץ גבוהה, בחורף ובאביב. בשנת 2014 לא נמדד השטף החלקיקי בעונה זו ברזולוציה יומית, ובמלכודות החודשיות לא נמצא שטף חלקיקי גדול כמו בשנתיים הבאות. באופן כללי, שטף חלקיקים גבוה נמדד בחודשי החורף (איור ד47).

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

בחורף 2016 נמדדו שני שיאים קצרי מועד, ב-30 בדצמבר 2015, וב-14 בינואר 2016, שיאים אלה אינם מתיישבים עם גורמים חיצוניים מוכרים, כגון סופות אבק ושיטפונות, ומייצגים – כנראה – דינאמיקה פנימית של ערבול בעמודת המים. עדיין לא ברור מה גרם לשיאים אלה בשטף החלקיקי, וממצא זה מצוי כעת בתהליך של מחקר. בינואר 2017 נמדד במלכודת המוצבת בעומק 400 מטר ומודדת ברזולוציה גבוהה שטף קצר וגבוה במיוחד. מדידה זו גבוהה פי שתיים ויותר ממדידות השיא של השנים הקודמות, ובסדר גודל יותר מערכי הרקע הממוצעים. בסמיכות לתאריך זה לא זוהה שום גורם חיצוני שיכול ליצור שיא שכזה, ונראה שמקורו בתהליכי הסעה פנימיים בעמודת המים. השנה, בדומה לשנה הקודמת, לא נמדדו שיאים גבוהים בשטף החלקיקי – אולם השטף היה מעט גבוה יותר, בדומה לשנת 2015. גם השטפים שנמדדו במלכודות הצוברות בעומקים השונים היו נמוכים בהשוואה לשנים 2014-2017.

באופן כללי, השטף החלקיקי הנלכד במלכודות העמוקות גבוה מזה שבמלכודות הרדודות והדבר נכון בפרט בחודשי החורף. בחודשי הקיץ בהם השטף נמוך, ההבדלים בין העומקים קטנים. גם השנה היה השטף החלקיקי בכל העומקים נמוך וההבדלים בין

העומקים אינם גדולים או מסודרים. התמונה המתקבלת ברזולוציה יומית תואמת את השטף החודשי הממוצע הנלכד במלכודות הצינור וניכרת השפעתם הגדולה של אירועים קצרי מועד על הממוצע החודשי. נובע מכך שהבדלים בין שנים עשויים להיות גדולים בהיותם מונעים במידה רבה על ידי מספר קטן של אירועים בדידים וחזקים.



איור ד47: שטפי חומר חלקיקי בעמודת המים מאז תחילת 2014. למעלה- רזולוציה חודשית כפי שנתפסה במלכודות בעומקים 120, 220, 350, 450 ו570 מטרים. למטה- רזולוציה גבוהה כפי שנתפסה במלכודת האוטומטית המוצבת בעומק 400 מטרים.

Figure D47: Particulate fluxes caught in sediment traps since early 2014. Top- monthly resolution at depths of 120, 220, 350, 450 and 570 meters. Bottom- high resolution captured in the automatic sampling trap placed at 400 meters depth.

ה. מדידות סביבתיות בתדירות גבוהה

ה.1. כלורופיל בפני הים בשמורת חוף אלמוג

<u>מטרה</u>

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

<u>שיטות</u>

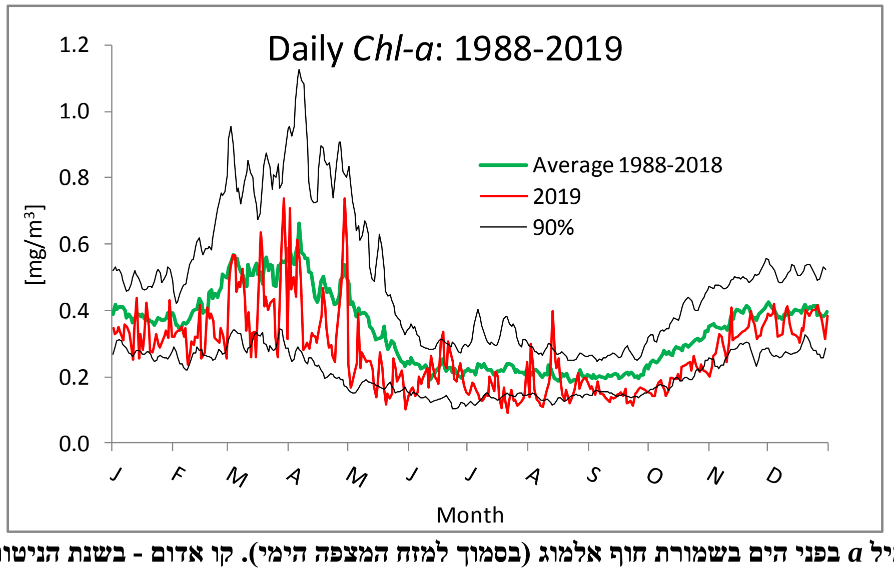
מדידה יומית של ריכוז כלורופיל *a* במים כמדד לשינויים בכמות הפיטוקלנקטון. מדי בוקר בין שמונה לתשע נלקחות שתי דגימות מים של 300 מ"ל כל אחת ממי השטח בנקודה קבועה במזח המצפה התת-ימי, מעבר לשולחן השונית, בקדמתה. המים מסוננים במקום דרך רשת 100µm להוצאת זואופלנקטון, ומובאים למדידה במעבדה, שם מסוננת כל דוגמה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

מדידות הכלורופיל היומיות נערכות במתכונת זו מאז שנת 1988, ומספקות מדד ארוך טווח מעבר לתקופת פעילותה של תוכנית הניטור. עבור ימים בהם לא נדגם הכלורופיל (סופי שבוע וחגים) נעשתה אינטרפולציה.

<u>תוצאות</u>

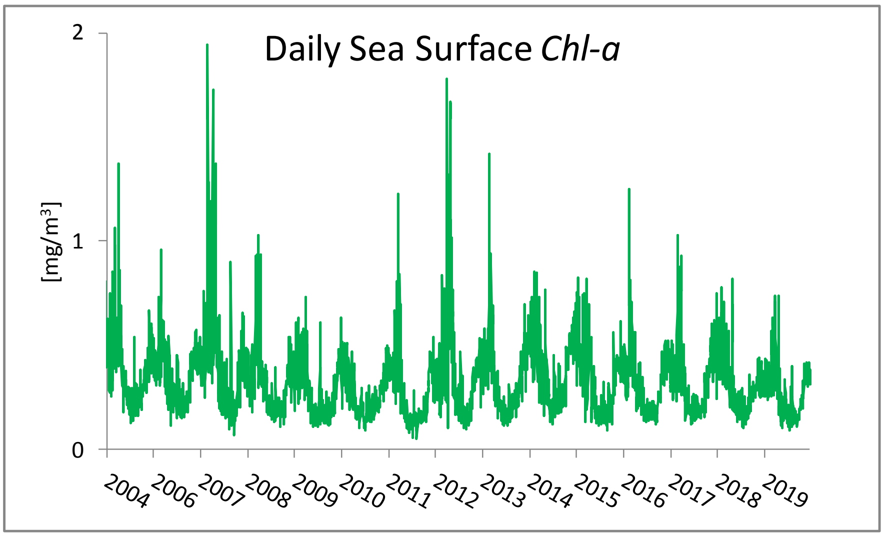
ריכוזי כלורופיל גבוהים בפני הים בסמוך לשונית נמדדו השנה בחודשי האביב מרץ-אפריל-מאי, בהתאם לדינאמיקת הערבוב שנמשכה השנה תקופה ארוכה (איור ה1). ריכוזי כלורופיל גבוהים נמדדים באירועים קצרים המעידים על פריחות קצרות ושינויים מהירים. בסוף מרץ ובסוף אפריל נמדדו הערכים הגבוהים ביותר, 0.74 mg/m^3, מעט נמוך מהערך המרבי בשנים האחרונות. בדרך כלל היו ריכוזי הכלורופיל השנה בתחום האחוזון ה-90 העליון, ופעמים רבות היו קרובים לתחום התחתון.יוצא מן הכלל היה אירוע קצר באוגוסט בו נמדד ריכוז גבוה יחסית לקיץ, 0.40 mg/m^3. ריכוזי כלורופיל הגבוהים שנמדדו השנה בפני הים נמצאים בהתאמה לעונתיות הפריחה הרב שנתית באביב, בניגוד לשנים האחרונות בהן רוב השיאים בריכוזי הכלורופיל נמדדו מוקדם מהצפוי – כבר בתחילת החורף. ריכוזי הכלורופיל השנה נמוכים בהשוואה לריכוזים שנמדדו בשנים האחרונות, על אף עומק הערבוב שהיה בינוני, ומשקפים – אולי – מצב של עירבוב מתמשך ולא אחיד בו אין "הזרקה" חדה של נוטריינטים מהעומק לפני הים.

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 ה1: ריכוז כלורופיל *a* בפני הים בשמורת חוף אלמוג (בסמוך למזח המצפה הימי). קו אדום - בשנת הניטור 2019, קו ירוק - ממוצע רב שנתי (1988-2018), קוים שחורים גבולות 90% מהנתונים שהצטברו כולל השנה הקודמת.

Figure E1: Chlorophyll *a* concentrations sampled daily at the Underwater Observatory jetty in 2019 (red line) and the long-term average (1988-2018, green line). Black lines mark the 90% of accumulated data including the previous year.



איור ה2: ריכוז כלורופיל *a* בפני הים בשמורת חוף אלמוג (בסמוך למזח המצפה הימי) במשך תקופת הניטור.

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

ה.2. טמפרטורת המים בפני הים בשמורת חוף אלמוג

מטרה

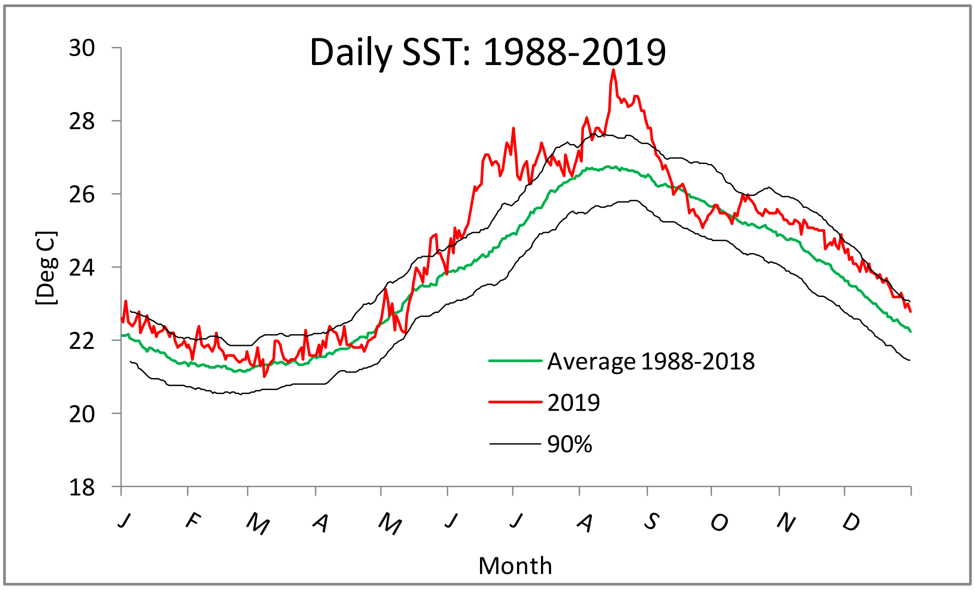
מעקב רציף וארוך-טווח אחר טמפרטורת המים בפני הים בסמוך לשונית האלמוגים.

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

טמפרטורת פני הים במשך רוב השנה היתה גבוהה מהערך הרב שנתי הממוצע, ובחודשים יוני ואוגוסט גם חרגה בהרבה מהמדידות הגבוהות של השנים 1988-2018 (אחוזון 90%, איור ה3). בחודש אוגוסט נמדדה לעיתים טמפרטורת פני ים גבוהה מ- 29 מעלות. זוהי טמפרטורת פני הים הגבוהה ביותר אשר נמדדה במסגרת מדידות אלה בשלושים השנים האחרונות. הטמפרטורה המזערית שנמדדה השנה היתה בחודש מרץ, ° 21.0, לזמן קצר בלבד.

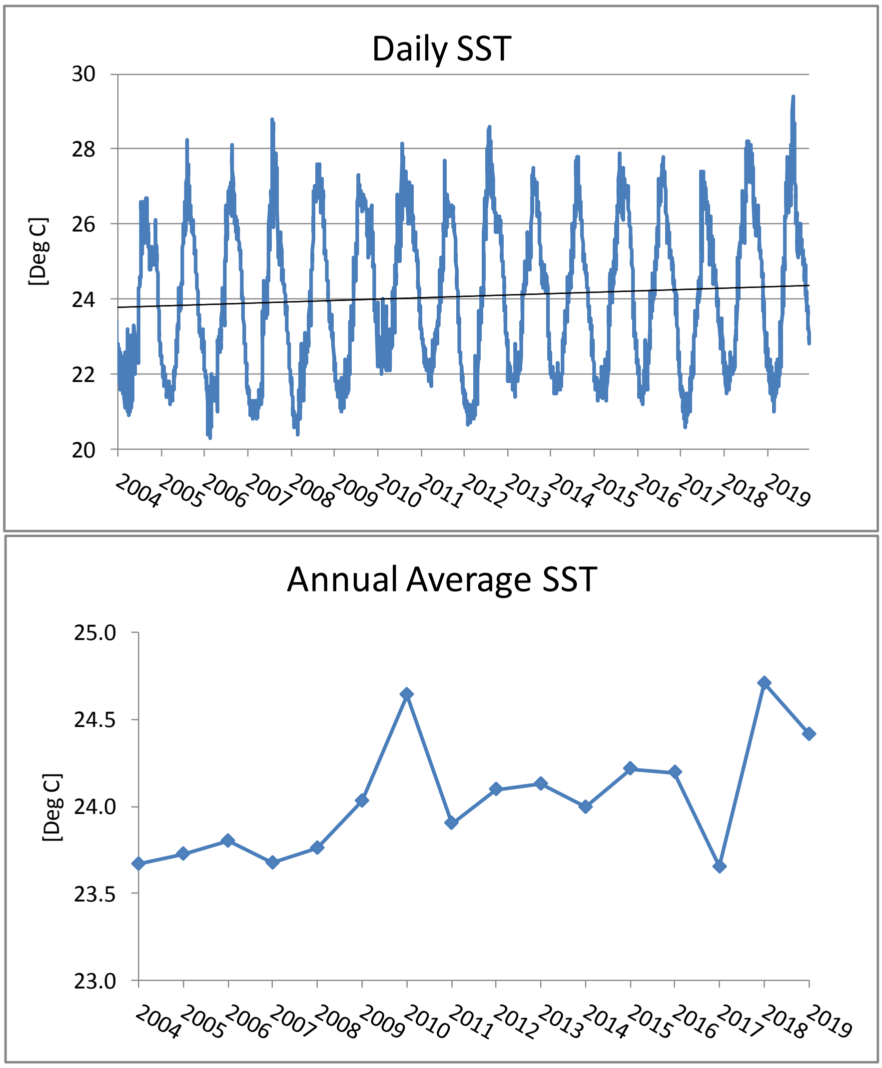


איור ה3: טמפרטורת המים בפני הים בשמורת חוף אלמוג (בסמוך למזח המצפה הימי). קו אדום - שנת הניטור 2019, קו כחול - ממוצע רב שנתי של המדידות היומיות 1988-2018, קוים שחורים גבולות 90% מהנתונים שהצטברו כולל השנה הקודמת (מוחלקים באמצעות ממוצע זז של שבעה ימים).

Figure E3: Daily sea surface temperatures measured from the Underwater Observatory jetty during 2019 (red line), the average SST for 1988-2018 (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, נמוך מאשר בשנה הקודמת אולם אחת השנים החמות בתקופת הניטור. השנה הקודמת היתה החמה ביותר אשר נמדדה בחמש עשרה השנים של תכנית הניטור והשנה לא נמוכה בהרבה (איור ה4). הטמפרטורה הממוצעת השניה הגבוהה היתה בשנת 2010, 24.64 °C רק מעט גבוה יותר מאשר הממוצע השנה. בשנת 2017 נמדדה טמפרטורת פני ים שנתית ממוצעת הנמוכה ביותר במסגרת תכנית הניטור, 23.65 °C.

ממדידות הטמפרטורה היומיות בסמוך לשונית בין 1988-2018 מצטיירת מגמת חימום רב-שנתי של פני הים (בשיעור ממוצע של כ- 3.6 מעלות במאה שנה).



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

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 <u>since 1988</u> (data courtesy of Prof. Amatzia Genin). Bottom – Annual average SST.

ה.3. משתנים מטאורולוגים

מדידות מטאורולוגיות רציפות נועדו להשלים את התמונה האקולוגית באבחון שינויים ארוכי טווח במשתנים אקלימיים להם עשויה להיות השפעה על התנאים האקולוגים (כגון שינויים בעוצמת הקרינה, טמפרטורת המים, תדירות ועוצמת סערות), ולבחון אירועים אקלימיים נקודתיים והשפעתם על המערכת האקולוגית (כגון אירועי שפל, סערות, ערכי חום וקרינה קיצוניים).

בקיץ 2006 (21.9.2006) הוקמה על ידי תכנית הניטור תחנה מטאורולוגית בקצה המזח של המכון הבין-אוניברסיטאי באילת (מיקום: N 29˚ 30.211' E 34˚ 55.068').

מטרה

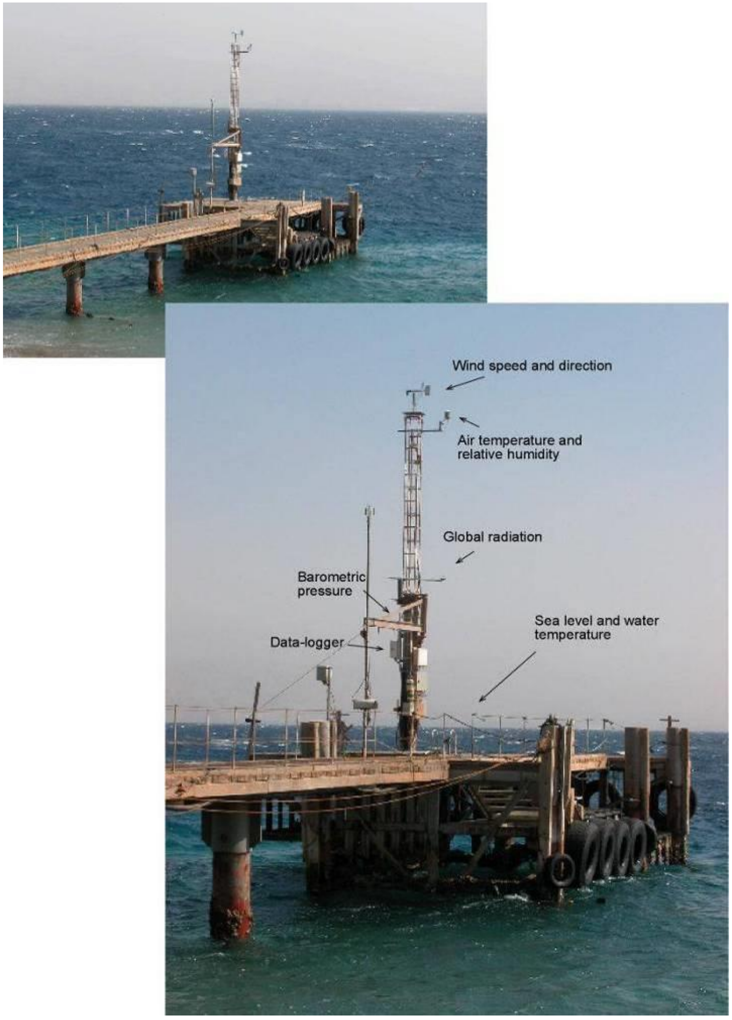
מעקב רציף ומתמשך אחר משתנים מטאורולוגים במפרץ.

שיטות

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

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

הזמן לפיו נרשמים הנתונים המטאורולוגים הוא שעון החורף של ישראל (**GMT+2**).



איור ה5: התחנה המטאורולוגית בקצה המזח של המכון הבין-אוניברסיטאי.

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

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

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

מהירות וכיוון הרוח, וטמפרטורת האוויר והלחות נמדדים מראש התורן שבקצה המזח, כעשרה מטרים מעל לפני הים (בזמן שפל). מד הלחץ הברומטרי ממוקם כחמישה מטרים מעל הים ומתוקן לגובה פני הים. החיישנים המודדים קרינה (גלובלית, UV, PAR) ממוקמים על זרוע במרחק 0.7 מטרים דרומית לתורן בכדי למנוע הצללה, כ-6 מטרים מעל הים. מד לחץ המים מקובע בצינור באורך 3 מטרים וקוטר של "3 המחובר אנכית אל העמוד המרכזי של המזח, ישירות מתחת לתורן. הצינור נועד לשכך את תנודות הגלים, ולצורך כך הוא פקוק בבסיסו בפקק בו קדוח חור בקוטר 3 מ"מ אשר מונע משינויי מפלס בעלי תדירות גבוהה להשפיע על החיישן. החיישן עצמו נמצא בעומק של כ- 75 ס"מ יחסית למפלס הים הרשמי של המפרץ – כיול גובה החיישן לפני הים נעשה באדיבותו של יוסי מלצר מהמרכז למיפוי ישראל. חיישן זה גם מודד את טמפרטורת המים. חיישן נוסף לטמפרטורת המים, שזה ייעודו היחיד, ממוקם כמטר עמוק יותר, מחוזק אל אותו עמוד מרכזי של המזח.

כל המדידות מועברות לרשם-הנתונים הממוקם בקופסה עמידה למים על גבי התורן. מדידות כל המשתנים נרשמות בתדירות של שנייה, למעט מדידות מפלס הים אשר נרשמות בתדירות של דקה. רשם-הנתונים ממצע עשר דקות של מדידה לערך אחד הנשמר בזיכרונו הפנימי. מדי שעה מחשב ייעודי מתקשר עם רשם-הנתונים ואוסף את נתוני השעה החולפת לאכסון על גבי שרת המכון. בנוסף לנתונים הממוצעים על פני עשר דקות, שומר רשם-הנתונים את מהירות הרוח המרבית ואת כיוונה, ואת סטיית התקן של הכיוון בפרק זמן של עשר דקות. בנוסף לאלה שומרת המערכת סיכום של נתוני היממה האחרונה: ערכי קיצון (מרבי ומזערי) של כל המשתנים והזמן בו נקלטו (עבור נתוני הרוח והקרינה נרשמים רק הערכים המרביים, יחד עם כיוון הרוח).

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

<u>תוצאות</u>

רישומי יומן:

13 בינואר, סערה דרומית עם משבי רוח של כ- 10 קשר. 14 בינואר, אובך. הים צלול.
5 בפברואר, גשם בדרום הערבה ועד אילת בשעות הערב והלילה. לא הצטבר גשם במג"ז המכון.
6 בפברואר, גשמים חזים בבוקר, אילת מוצפת – זרימות לים לאורת הכבישים. בשעה 09:00 נמדדו 7 מ"מ במג"ז המכון.
18 בפברואר, אירוע גשם קצר, ללא זרימות לים. לא נמצא גשם במג"ז.
20 בפברואר, שפל חושף את השונית.
5 במרץ, סופת גשם בשעות הצהרים, זרימות לים באזור השמורה, 9 מ"מ במג"ז (תמונות למטה, איור ה6).
14 במרץ, רוח דרומית, סופת חול.
31 במרץ, אובך כבד.

6 באוקטובר, גשם בלילה בדרום הערבה ואילת. במכון יבש, אין הצטברות במג"ז.
23-24 בנובמבר, גשם באילת, 4 מ"מ במג"ז המכון.

איור ה6: 5 במרץ 2019, בעקבות גשם חזק נשטפו סדימנטים לאורך החוף הדרומי של אילת וכיסו את שונית האלמוגים בשמורת חוף אלמוג. תמונות באדיבות אסף זבולוני, רשות הטבע והגנים.

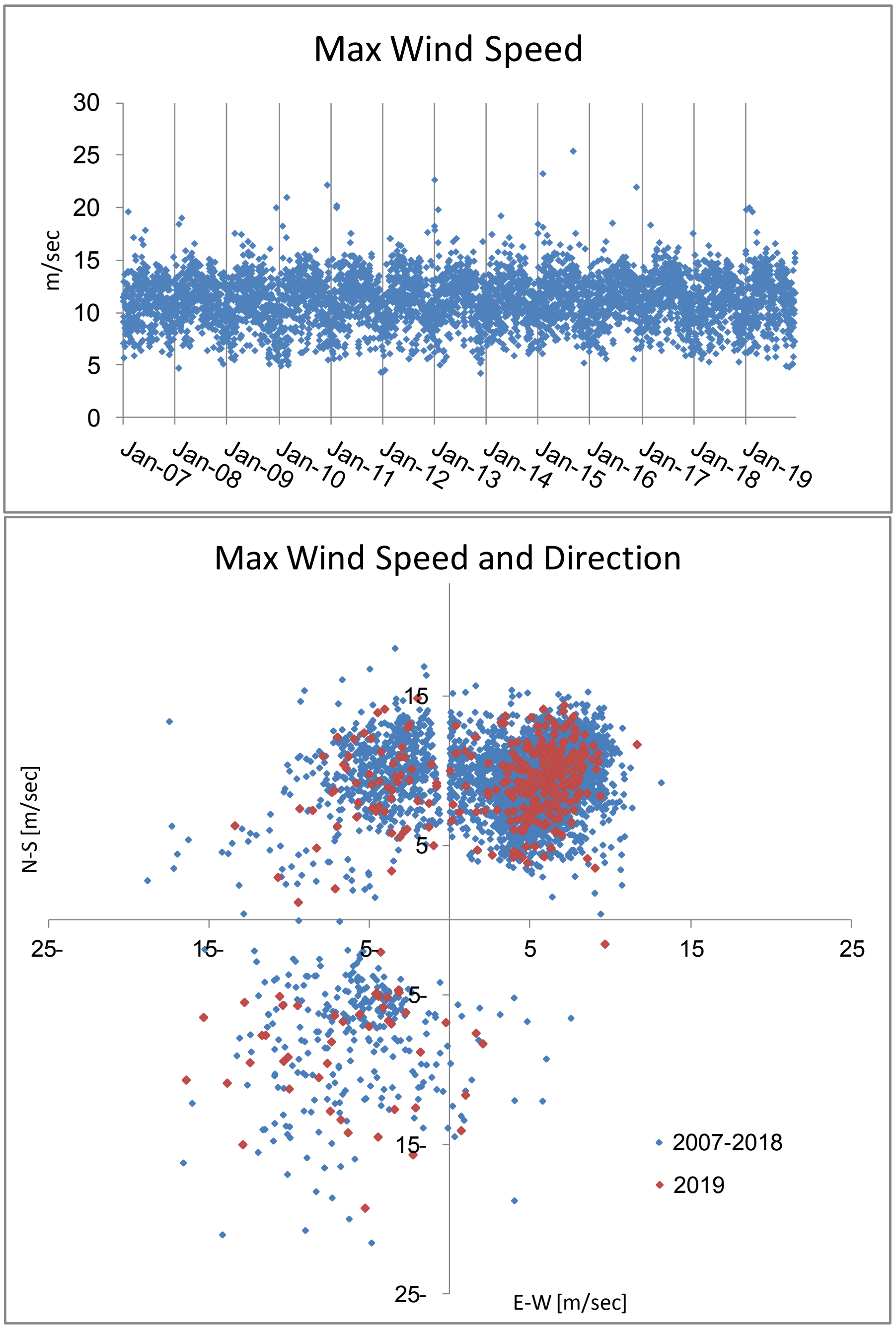
Figure E6: March 5 2019, following intense rain and subsequent flash-floods, sediment plumes entered the sea along the southern shore of Eilat and spread over the reef at the marine nature reserve. Photographs courtesy of Assaf Zvuloni, Israel’s Nature and Parks Authority.

מדידות אטמוספריות

רוח:

הרוחות השנה לא היו חריגות בעוצמתן וגם הרוחות הדרומיות היו פחות חזקות מאלו שנמדדו בשנים 2010-11, 2013 ו-2015. גם כיוון הרוח היה לרוב צפוי כאשר עיקר הרוחות מכיוון צפון-מזרח ולעיתים מכיוון דרום-מערב או מערב (איור ה7). גם השנה הרוחות החזקות ביותר, כ- 20 מ'\שניה בימים בודדים בין אמצע ינואר לתחילת מרץ, הגיעו מכיוון דרום-מערב (195°-235), לאורך ציר המפרץ. זוהי מהירות גבוהה מעט בהשוואה לשנתיים הקודמות.

רוחות מערביות וצפון-מערביות מגיעות בד"כ במשבים חזקים ולא ברצף, ואין להן השפעה גדולה על הים עקב משך הזמן והמרחב הקצרים. הרוחות הדרום-מערביות המנשבות במקביל לציר האורך של המפרץ הן המסוגלות לייצר סערות דרומיות עם גלים גבוהים, אך השנה לא היו סערות דרומיות חזקות במיוחד.



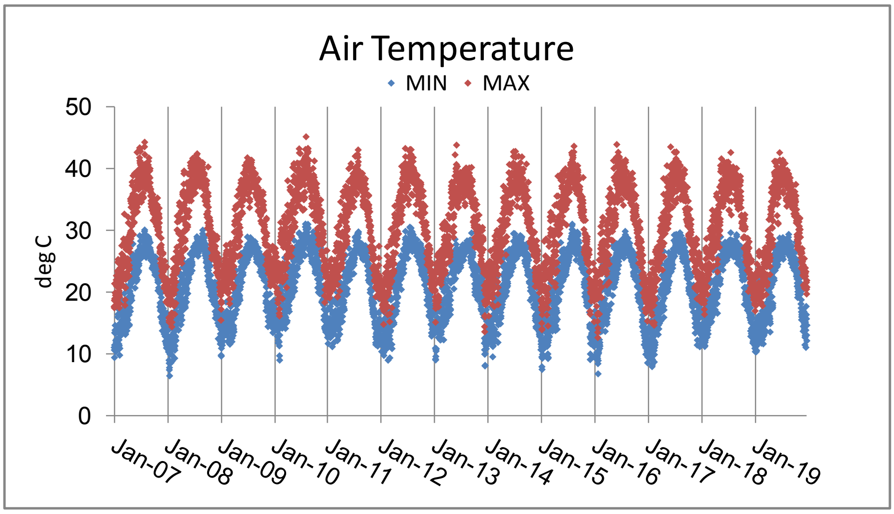
איור ה7: למעלה- מדידות מהירות הרוח המרבית בכל יממה במטרים לשנייה. למטה- מהירות הרוח המרבית ביממה וכיוונה מאז תחילת 2007. מדידות השנה האחרונה באדום.

Figure E7: Top- Maximum daily wind speed (m/sec). Bottom- Maximum daily wind speed and direction since January 2007. This year's wind measurements are marked by red squares.

טמפרטורת האויר מעל הים:

טמפרטורת האוויר מעל הים משקפת את המחזור העונתי בשינויים הדרגתיים של הטמפרטורה המרבית והמזערית בכל יממה (איור ה8). הטמפרטורה הגבוהה ביותר השנה הייתה 42.6 °C, בסוף חודש יוני, דומה לשנה הקודמת ונמוך במעלה מאשר בשנת 2017. הטמפרטורה הנמוכה ביותר השנה נמדדה בסוף חודש ינואר, 10.3 °C, נמוכה במעלה מהשנה הקודמת אך לא נמוכה במיוחד. בשנת 2017 נמדדה טמפרטורה מזערית של 7.9°C. הטמפרטורה הנמוכה בסוף השנה, בחודש דצמבר, היתה 11.0 °C, נמוך מאשר בשנה הקודמת. בהתאם לטמפרטורות הגבוהות השנה, טמפרטורת פני הים השנתית הממוצעת, היתה גבוהה ביחס למרבית שנות הניטור(ראו למטה).

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 ה8: ערכים מרביים ומזעריים (באדום ובכחול, בהתאמה) של טמפרטורת האוויר מעל הים, בכל יממה.

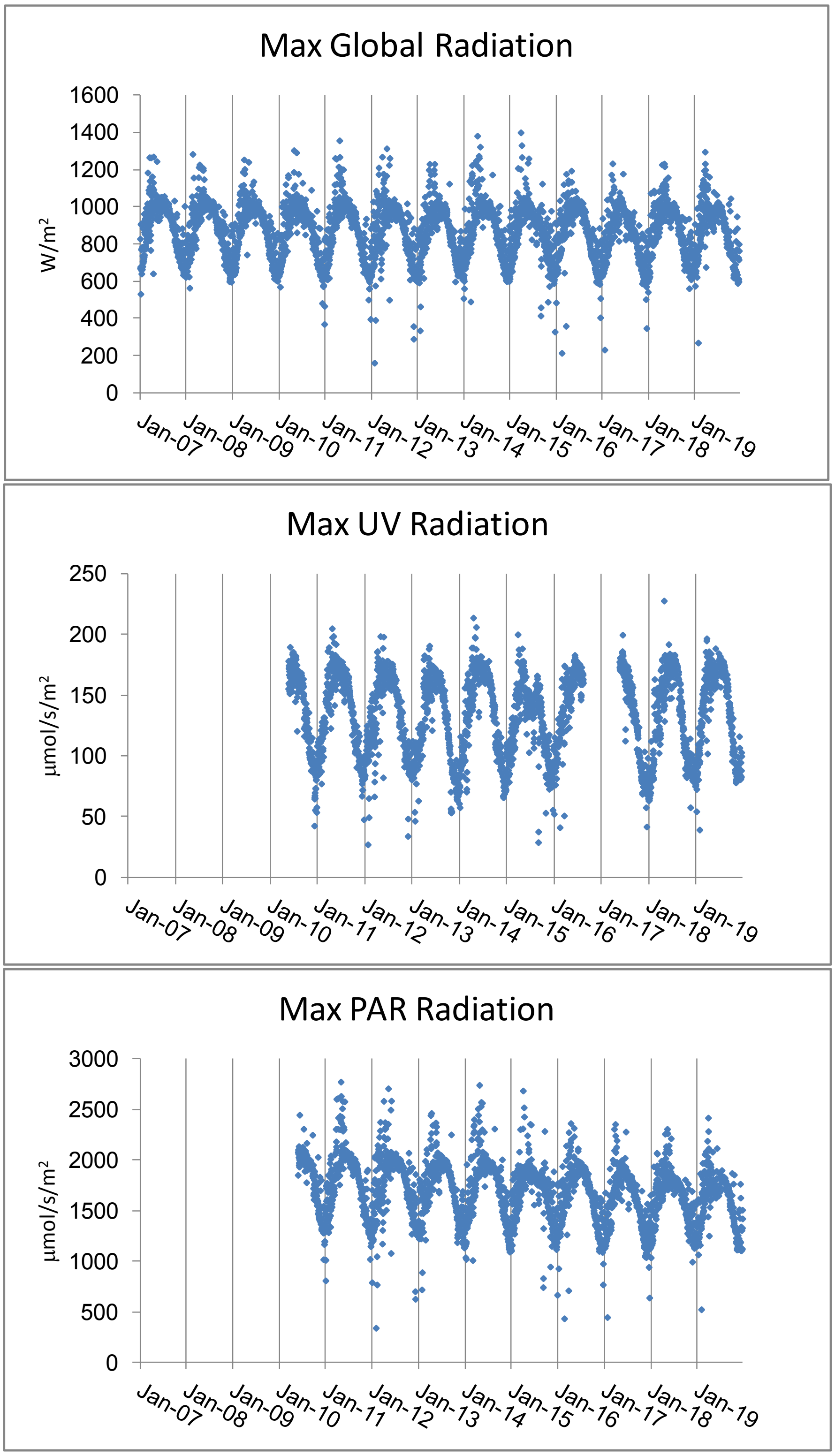
Figure E8: Maximum and minimum (red and blue, respectively) daily air temperature above the sea.

קרינה:

[חיישן הקרינה האולטרא-סגולה התקלקל בחודש אוגוסט 2016, והוחלף במאי 2017.]

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 השנה (1295 ואט\מטר רבוע, בתחילת אפריל) הייתה דומה לזו של השנה הקודמת. הקרינה הגלובלית הגבוהה ביותר אשר נמדדה עד כה במסגרת הניטור היתה 1399 ואט\מטר רבוע, באפריל 2015 (איור ה9). הערך המרבי של הקרינה באורכי הגל האולטרא סגול (UV) אשר נמדד השנה, 195 $\mu mol/s/m^2$, בחודש אפריל, דומה לערכים שנמדדו ברוב השנים ונמוך מהערך הגבוה של השנה הקודמת (228 $\mu mol/s/m^2$, בחודש מאי) שהיה הגבוה ביותר שנמדד על ידי התכנית (מאז קיץ 2010). הקרינה באורך גל הזמין ליצרנות (PAR) נמוכה בשנים האחרונות בהשוואה לשנים 2011-2015.

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.



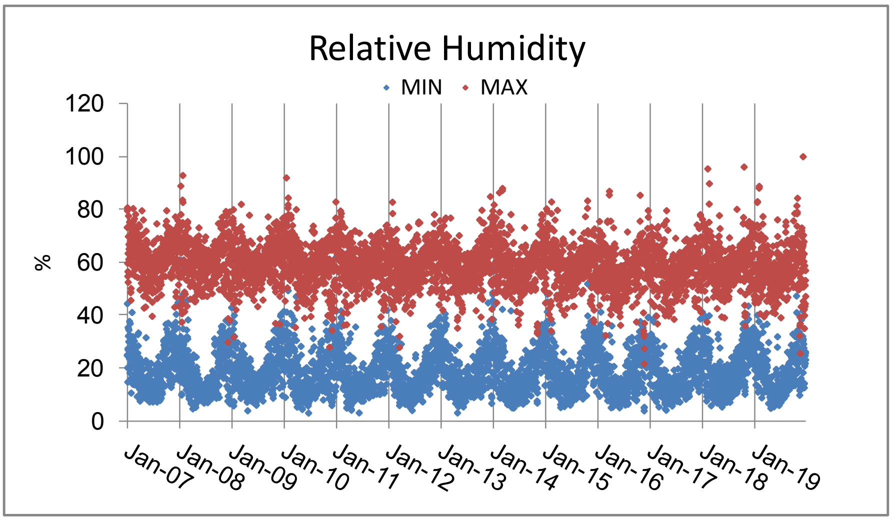
איור ה9: ערכים יומיים מרביים של קרינה גלובלית (למעלה), קרינה אולטרא-סגולה (באמצע) וקרינה זמינה לפוטוסינתזה (למטה).

Figure E9: 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 ה10). השנה נמדדה לחות מרבית של 100% בחודש דצמבר ובשנה הקודמת נמדדו ערכים של 95-96%. אלה ערכים גבוהים בהשוואה ללחות המרבית אשר נמדדה בשנים 2007-2017. 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 ה10: ערכים מרביים ומזעריים (באדום ובכחול, בהתאמה) של לחות יחסית מעל הים, בכל יממה.

Figure E10: Maximum and minimum (red and blue, respectively) daily values of relative humidity over the sea.

מדידות בים

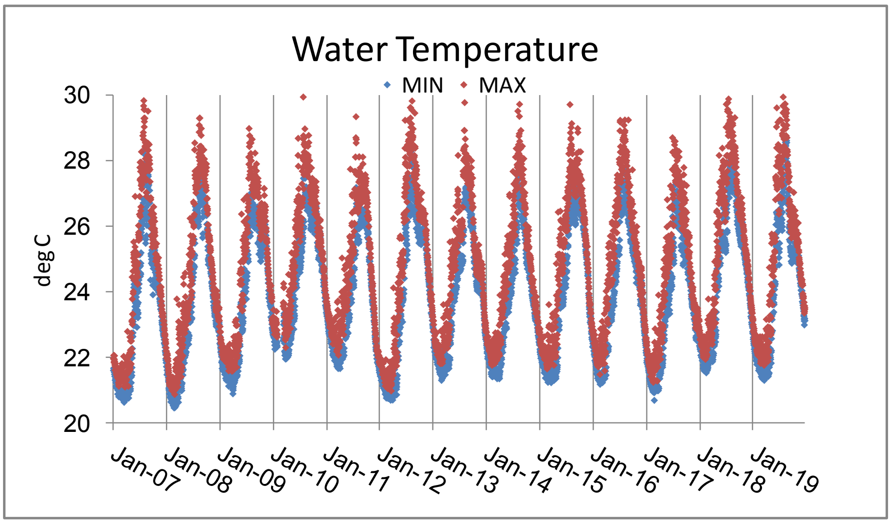
טמפרטורת פני הים:

במדידות טמפרטורת המים (עומק כ-2 מטרים) ניתן לעקוב אחר המחזור העונתי בו טמפרטורת המינימום (21.3 °C, בחודש מרץ) היתה השנה נמוכה אך מעט בהשוואה לשנה הקודמת וגבוהה משמעותית מזו של שנת 2017 (20.7 °C, בחודש מרץ, דומה לערך הנמוך של טמפרטורה שנמדד בשנת 2012 בה היה הערבוב עמוק). גם טמפרטורת המקסימום (29.9 °C, בחודש אוגוסט) דומה לערך המרבי אשר נמדד בשנה הקודמת כמו גם לערך המרבי שנמדד עד כה במסגרת תכנית הניטור (29.9 °C בקיץ 2010, איור ה11).

טמפרטורת פני הים המזערית בסוף השנה היתה שוב 23 °C, בדומה לשנה הקודמת וגבוה בחצי מעלה מהערך המזערי בשנתיים שלפניה.

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 (24.4°) בהשוואה לרוב שנות הניטור הקודמות מהן קיימות מדידות סדירות.



איור ה11: ערכים יומיים מרביים ומזעריים (באדום ובכחול, בהתאמה) של טמפרטורת המים (בעומק כ-2 מ').

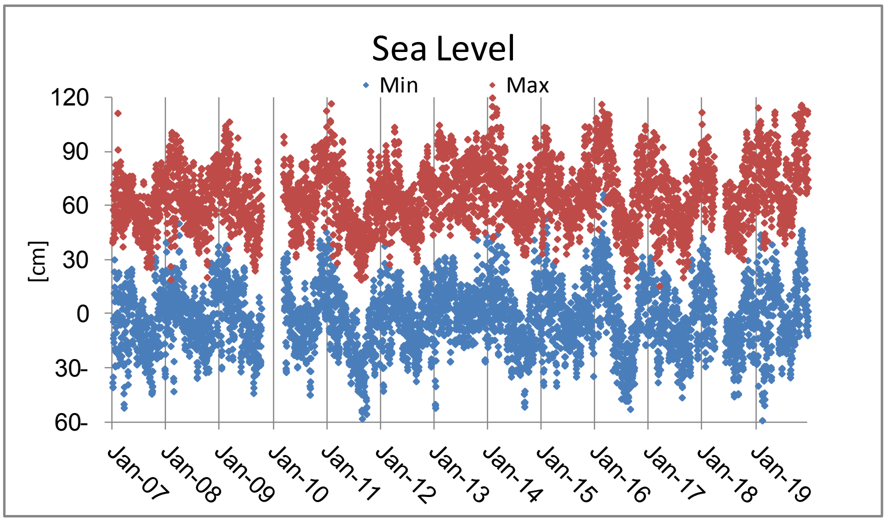
Figure E11: Maximum and minimum (red and blue, respectively) daily water temperature at ~2m depth.

מפלס ים:

[מדידות מפלס הים בין 15 באוקטובר 2009 ו-10 במרץ 2010 לקו בשגיאה הנובעת מבעיית חיישן. החיישן הוחלף וכויל והמדידות השגויות הוסרו מבסיס הנתונים של תכנית הניטור. השנה שוב נמצאה סטייה של מדידות המפלס והותקן חיישן חדש ב6 בנובמבר 2012. המדידות השגויות הוחלפו במדידות אשר נעשות על ידי המרכז למיפוי ישראל ממזח המכון הבינאוניברסיטאי. במשך השנה כוייל החיישן מספר פעמים כנגד מדידות המפלס של המרכז למיפוי ישראל.

בסוף חודש מאי השנה חדל מד המפלס לעבוד וחיישן חדש הותקן בסוף יולי.]

מפלס הים משתנה בעיקר במחזוריות חצי יממית של גאות ושפל. המחזור השנתי מורכב ממפלס ים גבוה בחודשי החורף ונמוך יותר בחודשי הקיץ (איור ה12). בחודשי החורף גם נמדדות תנודות גדולות יותר במפלס הים המזערי ביממה, וזאת ככל הנראה בהשפעת הרוחות ומערכות האקלים הפחות יציבות בחודשים אלה. השנה לא נרשמו אירועי שפל קיצוניים בצפון המפרץ, ושפל נמוך במיוחד נמדד בחודש פברואר.



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

Figure E12: Maximum and minimum (red and blue, respectively) daily sea-level measurements.

ה.4. זרמים

בקיץ 2010 הציבה תכנית הניטור מכשיר למדידת זרמים (ADCP – acoustic Doppler current profiler) על קרקעית הים בעומק של כ-44 מטרים מול קצהו הדרומי של המכון הבין-אוניברסיטאי. מכשיר המדידה סבל מספר קילקולים אשר חייבו הוצאתו מן המים לזמן ממושך לצורך תיקונים.

לאחר חזרתו מתיקון הוצב המכשיר מול מזח המכון הבינאוניברסיטאי על מדף מורפולוגי רחב בעומק 42 מטרים. מכשיר המדידה מספק נתוני זרמים באופן רציף החל מחודש אוגוסט 2014.

המכשיר הוצא שוב בסוף החורף השנה עב תקלות תשורת ובזמן כתיבת הדו״ח (סוף 2019) עדיין לא הושב לים.

<u>מטרה</u>

מעקב רציף ומתמשך אחר זרמי הים בעמודת המים בקרבת החוף.

<u>שיטות</u>

מכשיר ה-ADCP מודד החזרים מחלקיקים הנעים בים באמצעות ארבע אלומות קול המשודרות כלפי מעלה. מדידת הזרם העמוקה ביותר נעשית כ-2.7 מ' מעל המכשיר (ז"א כשלושה מטרים מעל הקרקעית) ובכל 2 מטרים משם ועד לפני הים. המדידות הרדודות ביותר, בקרבת פני הים הן באיכות נמוכה עקב גלים וערבול אשר יוצרים החזרים רבים במים הרדודים. מיקום המדידה נקבע על סמך מורפולוגיית הקרקעית, על גבי "מדף" אופקי ביחס למדרון התלול אשר מאפיין את שולי המפרץ באזור (איור ה13). המכשיר מחובר באמצעות כבל חשמל ותקשורת למכון הבינאוניברסיטאי והנתונים (בתדירות של חמש דקות) נשמרים על שרת המכון.

דיאגרמות הכיוונים (rose diagram) שורטטו בעזרת תכנת R; דיאגראמות וקטור מתקדם (progressive vector diagram), חושבו ושורטטו בעזרת תכנת מאטלב (matlab).

איור ה13: מכשיר ה-ADCP על קרקעית הים בעומק 42 מ', מול הקצה הדרומי של המכון הבין-אוניברסיטאי. המכשיר מחובר בכבל תקשורת וחשמל ומזין נתונים ישירות לשרת המכון.

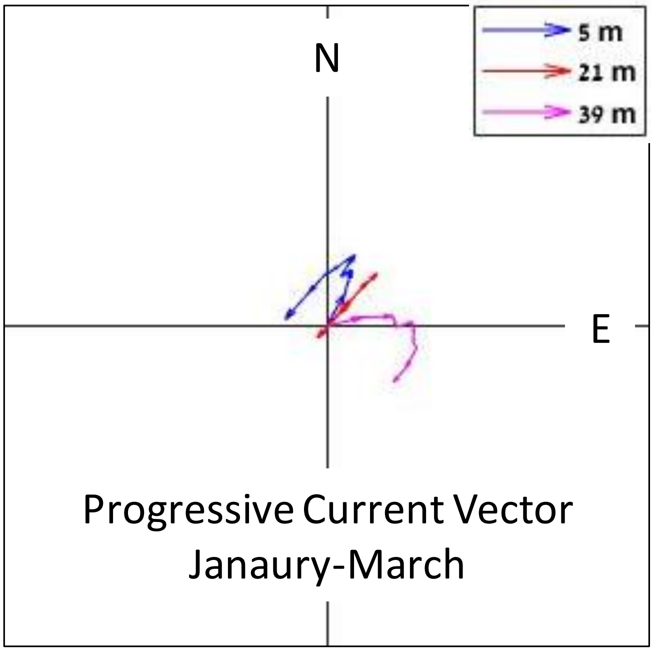
Figure E13: An acoustic Doppler current profiler (ADCP) looks up at the water column from the sea floor 42-meters deep, on a flat surface off the southern edge of the IUI. The ADCP is connected with a cable to the IUI and sends real-time data directly to the IUI main server.

<u>תוצאות</u>

מכשיר מדידת הזרמים שהציבה תכנית הניטור על רעית הים הוצא מהמים בסוף חודש מרץ עקב תקלות בחיבורי התקשורת. מחברים חלופיים הוזמנו ועדיין לא התקבלו. נכון לעכשיו אין מדידת זרמים רציפה מול המכון הבינאוניברסיטאי. הנתונים המדווחים כאן נאספו בחודשים ינואר עד מרץ.

כיוון ועצמת הזרם נמדדו באופן רציף החל מעומק של ~40 מ' (שניים-שלושה מטרים מעל לקרקעית בנקודת המדידה) באינטרוולים של שני מטרים. הנתונים כולם שמורים עם נתוני תכנית הניטור ובדו"ח זה מוצגים הזרמים בעומקים 39 מטרים (סמוך לקרקעית), 21 מטרים (אמצע עמודת המים במקום המדידה) ו-5 מטרים (מייצג את הזרם בקרבת פני הים).

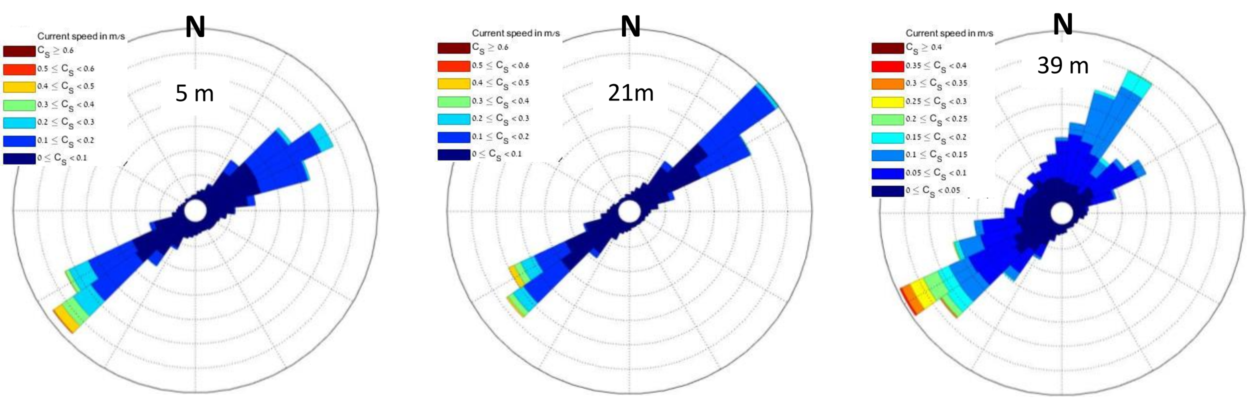
ככלל, כיוון הזרמים הדומיננטי בקרבת המכון הבינאוניברסיטאי מקביל לחוף, בפרט באמצע עמודת המים שם לא מורגשים השפעות הקרקעית או פני הים, רוחות וגלים. בקרבת פני הים ובקרבת הקרקעית ישנו רכיב של זרימה ניצבת לחוף בחודשי החורף (איור ה14). הזרימה בקרבת פני הים מקבלת רכיב מערבי (לכיוון החוף) ואילו הזרימה בקרבת הקרקעית מקבלת רכיב ממזרחי (מתרחק מהחוף). תבנית כללית זו נצפית שנה אחר שנה.



איור ה14: זרמים מול המכון הבינאוניברסיטאי בשלושה עומקים (בסמוך לקרקעית 39מ', 21מ' ובקרבת פני הים ב-5 מטרים) בחודשים ינואר-מרץ, 2019. דיאגרמות וקטורים מתקדמים עוקבות אחר התקדמותה של "חבילת מים" דמיונית כאשר כיוון החצים מראה את כיוון ההתקדמות וגודלם את המהירות.

Figure E14: Currents off the IUI at three depths (near the sea floor at 39m, 21m and close to the surface at 5m) during January-March 2019. Progressive vector diagrams follow an imaginary "water parcel" throughout the year, where arrows point to current direction and their size is proportional to current speed.

לרוב, הזרמים חזקים יותר בקרבת פני הים וחלשים יותר עם העומק. מדידות השנה התבצעו רק בחודשי החורף, ינואר-מרץ, עם כיוון דומיננטי במקביל לחוף. מהירות הזרם הגדולה ביותר שנמדדה היתה כחצי מטר בשניה. הזרימה בקרבת הקרקעית פחות מסודרת מאשר בעמודת המים עם רכיב המשקף מצב של התקררות המים הרדודים בקרבת החוף וזרימתם מטה (down-welling). באופן כללי, הזרימה בחודשי החורף פחות סדורה ויותר חזקה מאשר בחודשים החמים, והזרימה באמצע עמודת המים סדורה יותר ועקבית יותר מאשר בקרבת הקרקעית או פני הים (איור ה15).



איור ה15: תבנית הזרימה מול המכון הבינאוניברסיטאי בשלושה עומקים (בסמוך לקרקעית 39מ', 21מ' ובקרבת פני הים ב-5 מטרים), בחודשים ינואר-מרץ. דיאגרמות כיוונים מצביעות על כיוון הזרימה וגודל כל עלה מצביע על התדירות של כיוון זה מתוך כלל המדידות. עצמת הזרם [מ'\שניה] מיוצגת על ידי סולם הצבע (שטחו של כל צבע מייצג את תדירות הזרימה בעוצמה זו)

Figure E15: Current patterns off the IUI at three depths (near the sea floor at 39m, 21m and close to the surface at 5m), during January-March. Rose diagrams present the frequency of a given direction by the size of petals and the frequency of current velocity [m/sec] by the colored area in each petal.

ה.5. אבק מרחף

מטרה

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

שיטות

אבק מרחף נאסף על גבי פילטר נקי (0.45µm) דרכו נשאב אויר בעזרת משאבת ואקום הפועלת ברציפות. הפילטר מותקן בתושבת המורמת מעל מזח המכון הבינאוניברסיטאי בגובה של כ-4 מ' מעל הים ומוחלף מדי כשבוע, כך שכל שקילה מהווה אינטגרל שבועי. לאחר סופות אבק נבדקת יעילות השאיבה ואם יש צורך מוחלף הפילטר בתדירות גבוהה יותר. ריכוזי האבק ביחידות של משקל (אבק) לנפח (אוויר) מחושבים כמשקל האבק על גבי הפילטר במשך השבוע חלקי שטף האוויר דרך הפילטר באותו שבוע. בתנאי סערה מופסקת פעולת השאיבה על מנת למנוע זיהום הדוגמה או פגיעה במשאבה. מכיוון שכך, יתכן כי הרקורד השבועי אינו מלא, אך נשמרת אחידות תנאים לשם השוואה והערך המחושב (ריכוז) אינו נפגע מהפסקות אלה.

פילטר האבק נשקל במאזנים אנליטיים עם רגישות של חמש ספרות (לפני ואחרי איסוף האבק) והטיפול כולו נעשה במעבדה נקייה. לאחר שקילת האבק וחישוב ריכוזו במכון הבינאוניברסיטאי, הפילטר נשלח למכון למדעי כדור הארץ לאנליזה גיאוכימית.

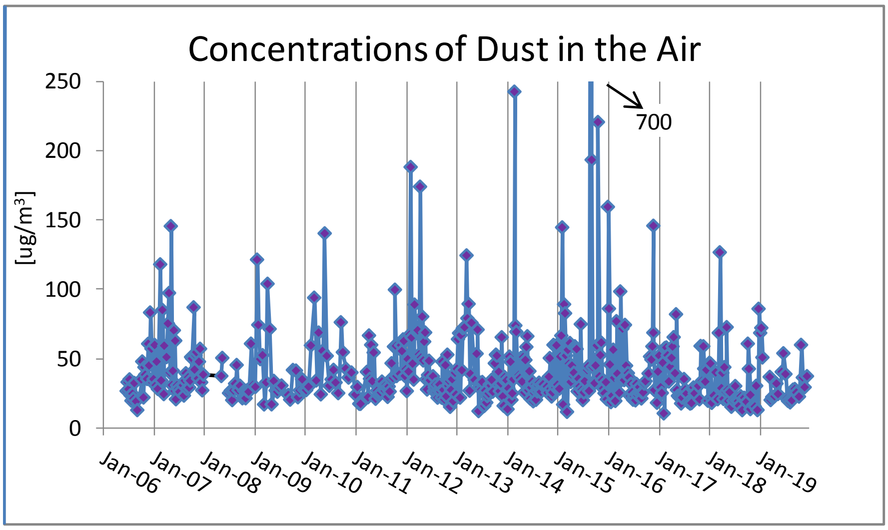
תוצאות

[*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 ארזל וד"ר עדי טורפשטיין), ונתמך בחלקו על ידי תכנית הניטור. תכנית הניטור בתמיכתה במחקר עוקבת אחר כמויות האבק המגיעות למפרץ במחשבה שאבק עשוי להיות מקור חשוב לנוטריינטים, ובפרט יסודות קורט חיוניים.*]

בדו"ח הזה מדווחת תכנית הניטור 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. במשך תקופה זו 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 ה16). ריכוזי האבק המרביים אשר נמדדו בתחילת חודש ספטמבר 2015, 699 $\mu g/m^3$, היו הגבוהים ביותר אשר נמדדו עד כה במסגרת תכנית הניטור ונמדדו במשך סופת אבק שנמשכה מספר ימים.

השנה ריכוזי האבק שנמדדו מעל מזח המכון היו נמוכים ולא נמדדו אירועי אבק אשר יצרו שיאים גדולים. עם זאת, ראוי לציין שעב תלות במשאבה, שהוחלפה באמצע מרץ, חסרות מדידות מחודש פברואר ותחילת מרץ. ריכוזי האבק המירביים נמדדו השנה בתחילת ינואר, 86 $\mu m/m^3$. נמוך מאשר בשנה הקודמת (126 $\mu m/m^3$) ודומה לריכוזי האבק המרביים בשנת 2017. אך בשנים הקודמות לשנת 2017 נמדדו ריכוזים גבוהים יותר. בסך הכל, ריכוזי האבק אשר נמדדו בשלוש השנים האחרונות נמוכים מריכוזים שנמדדו לפני כן.

לאחרונה פורסם המחקר המנתח את הרכב האבק הנדגם על ידי התכנית בין השנים 2006-2010 (Torfstein *et al*., 2017: Chemical characterization of atmospheric dust from a weekly time series in the north Red Sea between 2006-2010). נמצא 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). תבנית השינויים בזמן בעומסי מיקרו-נוטריינטים חשובים (כגון ברזל ומתכות אחרות) אינה בהתאמה לתבנית היסודות העיקריים או לתבנית הנצפית בריכוזי כלורופיל-a בפני הים ומצביעה על כך שלאבק אטמוספרי השפעה מוגבלת על היצרנות הראשונית בצפון המפרץ.



איור ה16: ריכוזי אבק באוויר מעל הים. מדידות נעשות על גבי פילטר דרכו מוזרם האוויר ומוחלף מדי שבוע.

Figure E16: Weekly dust concentrations in the air above the sea. Dust is measured on filters through which air is continuously pumped.

ו. ביבליוגרפיה

Biton, E., and H. Gildor (2011). The general circulation of the Gulf of Aqaba (Gulf of Eilat) revisited: The interplay between the exchange flow through the Straits of Tiran and surface fluxes. J. Geophys. Res., 116, C08020, doi:10.1029/2010JC006860

Bush, A. O., Aho, J. M. and Kennedy, C. R. (1990). Ecological versus phylogenetic determinants of helminth parasite community richness. Evolutionary Ecology, 4: 1-20.

Babcock, R.S., Baird, A.H., Piromvaragorn, S., Thomson, D.P., Willis, B.L. (2003). Identification of Scleractinian coral recruits from Indo-Pacific reefs. Zoological Studies 42 (1): 211-226.

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

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

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

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

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

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.

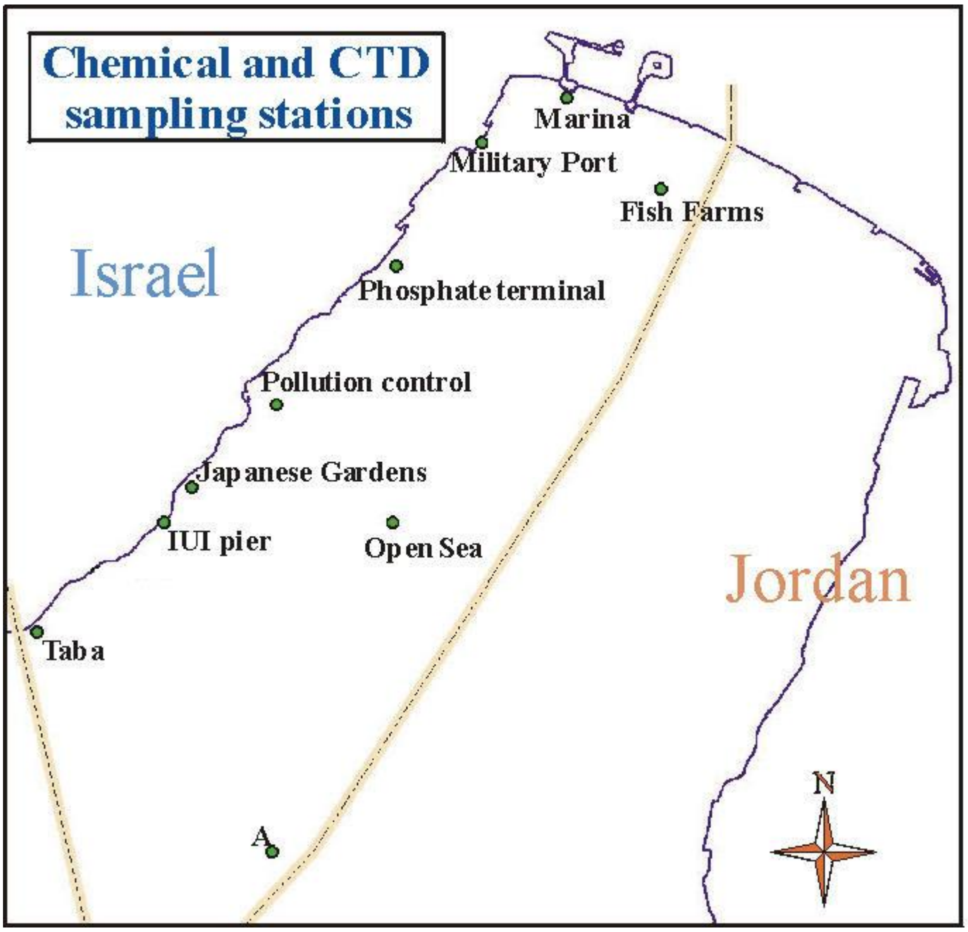
Winters, G., Edlist, D., Shem-Tov R., Beer, S., Rilov, G. (2017). Low cost field-survey method for mapping seagrasses and their potential threats: an example from the northern Gulf of Aqaba, Red Sea. Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst. 27: 324–339.

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.

ז. נספחים

ז.1: מפות אתרי הניטור



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.

ז.2. רשימות סוגי האלמוגים

טבלה ז1: רשימת אלמוגי האבן (ומספר המושבות) בחתכי הקו בסקר חברת השונית בשנת 2019.

Table G1: List of stony corals and the number of colonies of each taxa found in the coral reef line-transect survey, 2019.

Gnus	IUI	KATZA	NR	Eilat
Acanthastrea	29	16	15	60
Acro/Stylo		4	22	26
Acropora	113	159	194	466
Alveopora		8	1	9
Astreopora	6	11	11	28
Balanophillya	1			1
Blastomussa		4		4
Coscinaraea	18	18	13	49
Ctenactis		1		1
Cynarina	4	2	3	9
Cyphastrea	122	80	78	280
Dipsastrea	170	42	51	263
Echinophyllia	1	6	3	10
Echinopora	33	114	159	306
Erythrastrea		1	3	4
Euphyllia	4			4
Favites	45	14	29	88
Fungia	4	5	1	10
Galaxea	1	11	8	20
Goniastrea	77	75	120	272
Goniopora	2	10	13	25
Gyrosmilia	68	1	6	75
Herpolitha		1	3	4
Hydnophora	3	1	3	7
Leptastrea	70	64	32	166
Leptoria	1		1	2
Leptoseris		13	16	29
Lobophyllia	2	15	72	89
Millepora	94	5	8	107
Montastrea	4			4
Montipora	50	172	164	386
Mycedium		12	20	32
Oxypora		5		5
Pachyseris		2	2	4
Paralemnalia	4	4		8
Paramontastraea	66	80	42	188
Pavona	9	80	26	115
Platygyra	32	12	22	66
Plerogyra	2	5	1	8
Plesiastrea	18	6	13	37
Pocillopora	21	6	9	36
Porites	47	73	72	192
Psammocora	4	36	37	77
Seriatopora		24	1	25
Siderastrea	28		2	30
Stylophora	163	110	82	355
Turbinaria	5	2	6	13
Total	**1321**	**1310**	**1364**	**3995**

ז.3. טבלת פעילות צוות הניטור בשנת 2019

תאריך וסוג הפעילות	מס' דגימות	מטרת העבודה	ימי עבודה	מבצעים
ינואר דיגום יומיומי של כמות הכלור ופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום	מדידת כמות הכלורופיל בשונית	0.3	ענבל, טניה, מוריאל, יוני, מרק
9 ינואר צלילה להוצאת לוחיות התיישבות אצות בנתוניות בשמורה הסגורה	18 לוחיות משלושה עומקים	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	צלילה: ענבל, טניה , שנירקול מרק, מוריאל
20 ינואר דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריינטים 4 חמצן, 16 pH, 16 אלקלניות, 8 מליחות 8 כלורופיל 8 FACS	השוואה בין התחנות השונות	1	טניה, ענבל, מוריאל, יוני, מרק
28 ינואר הפלגה לתחנות: FF OS ,A	78 נוטריינטים , 78 חמצן, 62 pH, 39 אלקלניות, 39 מליחות 25 כלורופיל, 40 FACS	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	1	טניה, ענבל, מוריאל, מרק
18-22 ינואר אנליזת דוגמאות	אנליזת דוגמאות	עיבוד נתונים ואנליזת דוגמאות	5	ענבל מוריאל, טניה, מרק
23-24 ינואר דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	3	מרק,ענבל,יוני
29 ינואר דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומאסה הזואופלנקטון במפרץ	1	ענבל , מרק , יוני
30 ינואר צלילה להוצאת לוחיות התיישבות אצות בנתוניות במכון	6 לוחיות	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	ענבל יוני
31 פברואר דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומאסה הזואופלנקטון במפרץ	2	ענבל , מרק , יוני
פברואר דיגום יומיומי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מדידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל, טניה, מוריאל, יוני, מרק
1-7 פברואר אנליזת דוגמאות ועיבוד נתונים + כתיבת דוח שנתי	אנליזת דוגמאות מההפלגה	אנליזת דוגמאות ועיבוד נתונים	5 ימים	טניה ,מוריאל, ענבל מרק
4 פברואר צלילה להוצאת לוחיות התיישבות אצות בנתוניות בשמורה הסגורה	18 לוחיות.	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	צלילה: ענבל,טניה שנירקול: אירנה, מוראיל עבודה במעבדה: ענבל
5-7 פברואר אנליזת דוגמאות ועיבוד נתונים + כתיבת דוח שנתי	אנליזת דוגמאות מההפלגה	אנליזת דוגמאות ועיבוד נתונים	3	טניה ,מוריאל, ענבל יוני,מרק, יוני
10-11 פברואר אנליזת דוגמאות ועיבוד נתונים + כתיבת דוח שנתי	אנליזת דוגמאות מההפלגה	אנליזת דוגמאות ועיבוד נתונים	3	טניה ,מוריאל, ענבל יוני,מרק, יוני
10-11 פברואר דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	2	מרק, ענבל, יוני, לירז
12 פברואר הפלגה לתחנות A,os,ff	78 נוטריינטים , 78 חמצן, 62 pH, 39 אלקלניות, 39 מליחות 25 כלורופיל, 40 FACS	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	1	טניה, ענבל, מוריאל, מרק
13 פברואר דיגום חופי דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריינטים 4 חמצן, 16 pH, 16 אלקלניות, 8 מליחות 8 כלורופיל 8 FACS	השוואה בין התחנות השונות	2	טניה, ענבל, מוריאל, יוני,מרק
19-23 פברואר אנליזת דוגמאות	אנליזת דוגמאות מההפלגה	אנליזות כימיות של הדוגמאות	5	טניה, מוריאל, ענבל, מרק, אירנה

25 פברואר צלילה להוצאת לוחיות התיישבות אצות בנתוניות במכון	6 לוחיות	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	ענבל , יוני
26 פברואר דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומאסה הזואופלנקטון במפרץ	2	ענבל , מרק , יוני
מרץ דיגום יומיומי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מדידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל, טניה, מוריאל, יוני, מרק, אירנה
1-3 מרץ אנליזת דוגמאות ועיבוד נתונים + כתיבת דוח שנתי	אנליזת דוגמאות מההפלגה	אנליזת דוגמאות ועיבוד נתונים	3 ימים	טניה ,מוריאל, ענבל,מרק, יוני
3 מרץ צלילה להוצאת לוחיות התיישבות אצות בנתוניות בשמורה הסגורה	18לוחיות.	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	צלילה: ענבל, טניה שנירקול: מוריאל ,מרק, עבודה במעבדה: ענבל
4 מרץ דיגום חופי דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריינטים 4 חמצן, 16 pH 16 אלקלניות, 8 מליחות8 כלורופיל,	השוואה בין התחנות השונות	2	טניה, ענבל, מוריאל, יוני, מרק, לירז
5 מרץ הפלגה משותפת עם הירדנים A,os,ff	78 נוטריינטים , 78 חמצן, 62 pH, 39 אלקלניות, 39 מליחות 25 כלורופיל, FACS 40	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	1	טניה, ענבל, מוריאל, מרק
10-14 מרץ אנליזת דוגמאות ועיבוד נתונים + כתיבת דוח שנתי	אנליזת דוגמאות מההפלגה	אנליזת דוגמאות ועיבוד נתונים	6 ימים	טניה ,מוריאל, ענבל אירנה,מרק
17-18 מרץ דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	2	מרק, יוני ,לירז
19 מרץ הצבת אריחי התישבות בשמורה	הצבת 3 מערכים עם 12 אריחים בכל מערך	בדיקת גיוס אלמוגים צעירים בשונית	1 יום	טניה, מרק, יוני, ענבל
20 מרץ הצבת אריחי התישבות במעבדה	הצבת 3 מערכים עם 12 אריחים בכל מערך	בדיקת גיוס אלמוגים צעירים בשונית	1 יום	טניה, מרק, יוני, ענבל
25 מרץ צלילה להוצאת לוחיות התיישבות אצות בנתוניות במכון	6 לוחיות	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	ענבל , יוני
27 מרץ דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומאסה הזואופלנקטון במפרץ	2	ענבל , מרק , יוני
אפריל דיגום יומיומי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מדידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל ,טניה, מוריאל, יוני, אירנה, מרק
2 אפריל הצבת אריחי התיישבות במעבדה	הצבת 3 מערכים עם 12 אריחים בכל מערך	בדיקת גיוס אלמוגים צעירים בשונית	0.5	טניה, לירז, יוני, ענבל
3 אפריל הצבת אריחי התיישבות בשמורה	הצבת 3 מערכים עם 12 אריחים בכל מערך	בדיקת גיוס אלמוגים צעירים בשונית	0.5	טניה, לירז, יוני, ענבל
4 אפריל הצבת אריחי התיישבות בשמורה	הצבת 3 מערכים עם 12 אריחים בכל מערך	בדיקת גיוס אלמוגים צעירים בשונית	0.5	טניה, לירז, יוני, ענבל
7 אפריל צלילה להוצאת לוחיות התיישבות אצות בנתוניות בשמורה הסגורה	18לוחיות.	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	צלילה: ענבל, טניה שנירקול: מוריאל ,מרק, עבודה במעבדה: ענבל

8 אפריל בדיקת כמות הכלורופיל בלוחיות ההתיישבות	קריאת 18 דוגמאות בפלואורומטר, הכנסת הנתונים למחשב	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	0.5	ענבל
7-8 אפריל דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	3	מרק, ענבל, לירז
14 מאפריל דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריינטים 4 חמצן, 16 pH 16 אלקלניות, 8 מליחות 8 כלורופיל, 8 , אמוניה FACS	השוואה בין התחנות השונות	2	טניה, ענבל, מוריאל, יוני , מרק
15 אפריל הפלגה לתחנות: A,OS,FF	78 נוטריינטים , 78 חמצן, pH 62, 39 אלקלניות, 39 מליחות 25 כלורופיל, אמוניה FACS 39	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	1	טניה, ענבל, מוריאל, מרק,
16-18 אפריל אנליזת דוגמאות	אנליזת דוגמאות מההפלגה	אנליזת דוגמאות ועיבוד נתונים	7 ימים	טניה ,מוריאל, ענבל אירנה ,מרק
29 אפריל דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומאסה הזואופלנקטון במפרץ	2	ענבל , מרק , יוני
30 אפריל צלילה להוצאת שש לוחיות התיישבות אצות בנתוניות	שש לוחיות.	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	צלילה: ענבל, יוני עבודה במעבדה: ענבל
מאי דיגום יומיומי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מדידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל ,טניה, מוריאל, יוני, לירז ,מרק
2 מאי דיגום הלגונה הסגורה	סקר אלמוגים בלגונה הסגורה	ספירת וזיהוי אלמוגים	1	יוני, טניה, מרק, לירז
5 מאי צלילה להוצאת לוחיות התיישבות אצות בנתוניות באתר השמורה הסגורה	הוצאת 18 לוחיות. מאתר השמורה הפתוחה וקריאת 18 דוגמאות בפלואורומטר, הכנסת הנתונים למחשב	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	ענבל, טניה, מוריאל , מרק
13 מאי דיגום חופי דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריינטים 4 חמצן, 16 pH 16 אלקלניות, 8 מליחות 8 כלורופיל, FACS 8	השוואה בין התחנות השונות	2	טניה, ענבל, מוריאל, יוני,מרק
14 מאי הפלגה לתחנות: OS, FF,A	78 נוטריינטים , 78 חמצן, pH 62, 39 אלקלניות, 39 מליחות 25 כלורופיל, FACS 39	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	1	טניה, ענבל, מוריאל, מרק
15-16 מאי אנליזת דוגמאות	אנליזת דוגמאות מההפלגה	אנליזת דוגמאות ועיבוד נתונים	7 ימים	טניה ,מוריאל, ענבל אירנה ,מרק
19-20 מאי דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	3	מרק, ענבל, לירז
19 מאי הוצאת לוחיות התישבות אלמוגים בשמורה	סריקה של 9 אריחים לזיהוי התישבות אלמוגים	סריקת לוחיות אלמוגים וספירת התישביות	1	טניה, ענבל, מרק
20 מאי הוצאת לוחיות התישבות אלמוגים במעבדה	סריקה של 9 אריחים לזיהוי התישבות אלמוגים	סריקת לוחיות אלמוגים וספירת התישביות	1	טניה, ענבל, לירז
21 מאי הוצאת לוחיות התישבות אלמוגים במעבדה	סריקה של 9 אריחים לזיהוי התישבות אלמוגים	סריקת לוחיות אלמוגים וספירת התישביות	1	טניה, ענבל, לירז
26 מאי סקר אלמוגים במעבדה	ספירת אלמוגים לאורך החתכים והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	מרק, לירז, טניה, ענבל
27 מאי סקר אלמוגים במעבדה	ספירת אלמוגים לאורך החתכים והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	מרק, לירז, טניה, ענבל
28 מאי סקר אלמוגים במעבדה	ספירת אלמוגים לאורך החתכים והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	מרק, לירז, טניה, ענבל

29 מאי דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומאסה הזואופלנקטון במפרץ	2	ענבל , מרק , יוני
30 מאי צלילה להוצאת שש לוחיות התיישבות אצות בנתוניות	שש לוחיות.	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	יוני צלילה: לירז, עבודה במעבדה: ענבל
יוני דיגום יומיומי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מדידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל, טניה, מוריאל, יוני, מרק
2 יוני סקר אלמוגים במעבדה	ספירת אלמוגים לאורך החתכים והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	מרק, לירז, טניה, ענבל
3 יוני סקר עשב ים	צילום מעקב אחר כיסוי משטחי עשב הים	סקר עשב ים בחוף הצפוני	1	יוני, מרק, לירז
3 יוני צלילה להוצאת לוחיות התיישבות אצות בנתוניות באתר השמורה הסגורה	הוצאת 18 לוחיות. מאתר השמורה הפתוחה וקריאת 18 דוגמאות בפלואורומטר, הכנסת הנתונים למחשב	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	ענבל, טניה, מוריאל אירנה
16-17 יוני דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	3	מרק, ענבל, לירז
18 יוני דיגום חופי דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריינטים 4 חמצן, 16 pH 16 אלקליניות, 8 מליחות 8 כלורופיל, 8 FACS	השוואה בין התחנות השונות	2	טניה, ענבל, מוריאל, יוני,מרק
19 יוני הפלגה לתחנות: OS, FF,A	78 נוטריינטים , 78 חמצן, 62 pH, 39 אלקליניות, 39 מליחות 25 כלורופיל, 39 FACS	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	1	טניה, ענבל, מוריאל, מרק
20 יוני אנליזת דוגמאות	אנליזת דוגמאות מההפלגה	אנליזת דוגמאות ועיבוד נתונים	7 ימים	טניה ,מוריאל, ענבל אירנה ,מרק
23 יוני דיגום מיואופאונה בחוף הצפוני	איסוף סדימנט בחוף הצפוני בצלילה	סקר מיואופאונה בסדימנט	1 יום	אירנה, מרק, לירז
25 יוני סקר עשב ים	צילום מעקב אחר כיסוי משטחי עשב הים	סקר עשב ים בחוף הצפוני	1	טניה,מרק, יוני, ענבל
25 יוני דיגום מיואופאונה בחוף הצפוני	איסוף סדימנט בחוף הצפוני בצלילה	סקר מיואופאונה בסדימנט	1 יום	אירנה, לירז
26 יוני צלילה להוצאת שש לוחיות התיישבות אצות בנתוניות	שש לוחיות.	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	ענבל יוני עבודה במעבדה: ענבל
26 יוני סקר אלמוגים במעבדה	ספירת אלמוגים לאורך החתכים והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	מרק, לירז, טניה, ענבל
27 יוני דיגום מיואופאונה בחוף הצפוני	איסוף סדימנט בחוף הדרומי	סקר מיואופאונה בסדימנט	1 יום	אירנה, לירז
27 יוני דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומאסה הזואופלנקטון במפרץ	2	ענבל , מרק , יוני
30 יוני סקר אלמוגים בשמורה	ספירת אלמוגים לאורך החתכים והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	מרק, לירז, טניה, ענבל
יולי דיגום יומיומי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מדידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל, טניה, מוריאל, יוני, מרק, אירנה
1 יולי סקר אלמוגים בקצאא	ספירת אלמוגים לאורך החתכים והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	מרק, לירז, טניה, ענבל

2 יולי סקר אלמוגים בקצאא	ספירת אלמוגים לאורך החתכים והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	מרק, לירז, טניה, ענבל
3 יולי סקר אלמוגים בשמורה	ספירת אלמוגים לאורך החתכים והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	מרק, לירז, טניה, ענבל
4 יולי סקר עשב ים	צילום מעקב אחר כיסוי משטחי עשב הים	סקר עשב ים בחוף הצפוני	1	מרק, לירז
3 יולי סקר אלמוגים בשמורה	ספירת אלמוגים לאורך החתכים והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	מרק, לירז, טניה, ענבל
7 יולי סקר אלמוגים בקצאא	ספירת אלמוגים לאורך החתכים והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	מרק, לירז, טניה, ענבל
8 יולי צלילה להוצאת לוחיות התיישבות אצות בנתוניות באתר השמורה הסגורה	הוצאת 18 לוחיות. מאתר השמורה הפתוחה וקריאת 18 דוגמאות בפלואורומטר, הכנסת הנתונים למחשב	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	ענבל, טניה, מוריאל אירנה
9 יולי סקר אלמוגים בשמורה	ספירת אלמוגים לאורך החתכים והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	מרק, לירז, טניה, ענבל
10 יולי סקר אלמוגים בקצאא	ספירת אלמוגים לאורך החתכים והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	מרק, לירז, טניה, ענבל
11 יולי סקר אלמוגים בקצאא	ספירת אלמוגים לאורך החתכים והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	מרק, לירז, טניה, ענבל
14 יולי דיגום חופי דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריינטים 4 חמצן, 16 pH 16 אלקלניות, 8 מליחות 8 כלורופיל, 8 FACS	השוואה בין התחנות השונות	2	טניה, ענבל, מוריאל, יוני,מרק
15 יולי הפלגה לתחנות: OS, FF,A	78 נוטריינטים , 78 חמצן, 62 pH, 39 אלקלניות, 39 מליחות 25 כלורופיל, 39 FACS	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	1	טניה, ענבל, מוריאל, מרק
16 יולי סקר אלמוגים בשמורה	ספירת אלמוגים לאורך החתכים והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	מרק, לירז, טניה, ענבל
17 יולי סקר אלמוגים בקצאא	ספירת אלמוגים לאורך החתכים והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	מרק, לירז, טניה, ענבל
21 יולי סקר אלמוגים בשמורה	ספירת אלמוגים לאורך החתכים והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	מרק, לירז, טניה, ענבל
21-22 יולי דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	3	מרק, ענבל, לירז
21 יולי דיגום התיישבות אלמוגים במעבדה	צלילה לאיסוף פלטות התיישבות לגיוס אלמוגים בשונית השמורה הסגורה	החלפת המערכים בים וסריקת הפלטות תחת בניקולר לחיפוש התיישבות אלמוגים	2 צלילה ואנליזה	ענבל, טניה, לירז,
22 יולי דיגום התיישבות אלמוגים בשמורה	צלילה לאיסוף פלטות התיישבות לגיוס אלמוגים בשונית השמורה הסגורה	החלפת המערכים בים וסריקת הפלטות תחת בניקולר לחיפוש התיישבות אלמוגים	2 צלילה ואנליזה	ענבל, טניה, לירז,

23 יולי סקר אלמוגים במעבדה	ספירת אלמוגים לאורך החתכים והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	מרק, לירז, טניה, ענבל
24 יולי דיגום התיישבות אלמוגים בקצאא	צלילה לאיסוף פלטות התיישבות לגיוס אלמוגים בשונית השמורה הסגורה	החלפת המערכים בים וסריקת הפלטות תחת בניקולר לחיפוש התיישבות אלמוגים	2 צלילה ואנליזה	ענבל, טניה, לירז,
24 יולי צילום ריבועים קבועים בקצאא	צילום 5 נקודות קבועות בטאבה	מעקב אחרי שינויים בשונית בעזרת צילום ריבועים קבועים בשונית	1 צלילה ואנליזה	מרק, לירז
25 יולי סקר אלמוגים בשמורה	ספירת אלמוגים לאורך החתכים והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	מרק, לירז, טניה, ענבל
28 יולי דיגום פלונולות	איסוף פלונולות ברשת פלנקטון	ספירת כמות פלונולות	1 יום עבודה	יוני, אירנה, לירז
28 יולי סקר אלמוגים בשמורה	ספירת אלמוגים לאורך החתכים והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	מרק, ל, טניה, ענבל
29 יולי דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומאסה הזואופלנקטון במפרץ	2	ענבל , מרק , יוני
31 יולי סקר אלמוגים במעבדה	ספירת אלמוגים לאורך החתכים והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	מרק, לירז, טניה, ענבל
31 יולי צלילה להוצאת שש לוחיות התיישבות אצות בנתוניות	שש לוחיות.	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	ענבל יוני עבודה במעבדה: ענבל
אוגוסט דיגום יומיומי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מדידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל, טניה, מוריאל, יוני, מרק, אירנה
4 אוגוסט סקר דגים בשמורה הסגורה	סקר דגים בשיטת צילום במעבדה הימית	סקר דגים	0.5	מרק, טניה, לירז, ענבל, יוני , מוריאל
4 אוגוסט סקר דגים בשמורה הסגורה	סקר דגים בשיטת צילום במעבדה הימית	סקר דגים	0.5	מרק, טניה, לירז, ענבל, יוני , מוריאל
6 אוגוסט צלילה להוצאת לוחיות התיישבות אצות בנתוניות באתר השמורה הסגורה	הוצאת 18 לוחיות. מאתר השמורה הפתוחה וקריאת 18 דוגמאות בפלואורומטר, הכנסת הנתונים למחשב	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	ענבל, טניה, מוריאל אירנה
12 אוגוסט דיגום חופי דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריינטים 4 חמצן, 16 pH 16 אלקלניות, 8 מליחות 8 כלורופיל, 8 FACS	השוואה בין התחנות השונות	2	טניה, ענבל, מוריאל, יוני,מרק
15 יולי הפלגה לתחנות: OS, FF,A	78 נוטריינטים , 78 חמצן, 62 pH, 39 אלקלניות, 39 מליחות 25 כלורופיל, 39 FACS	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	1	טניה, ענבל, מוריאל, מרק, טניה
18-19 אוגוסט דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	3	מרק, ענבל, לירז
27 אוגוסט צלילה להוצאת שש לוחיות התיישבות אצות בנתוניות	שש לוחיות.	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	ענבל יוני עבודה במעבדה: ענבל
ספטמבר דיגום יומיומי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מדידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל, טניה, מוריאל, יוני, מרק, אירנה
1 ספטמבר סקר חסרי חוליות צלילת לילה במעבדה	צלילת לילה לספירת חסרי חוליות	ספירת חסרי חוליות באתר המכון	3 שעות צלילה בלילה	ענבל, לירז
2 ספטמבר סקר חסרי חוליות צלילת לילה במעבדה	צלילת לילה לספירת חסרי חוליות	ספירת חסרי חוליות באתר המכון	3 שעות צלילה בלילה	מוריאל , אירנה

2 ספטמבר דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומאסה הזואופלנקטון במפרץ	2	ענבל , מרק , יוני
3 ספטמבר סקר שולחן השונית בשמורה הסגורה	ספירת אלמוגים לאורך שולחן השונית	סקר חברת השונית	1 יום	טניה, לירז ענבל
4 ספטמבר צלילה להוצאת לוחיות התיישבות אצות בנתוניות באתר השמורה הסגורה	הוצאת 18 לוחיות. מאתר השמורה הפתוחה וקריאת 18 דוגמאות בפלואורומטר, הכנסת הנתונים למחשב	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	ענבל, טניה, מוריאל אירנה
5 ספטמבר סקר חסרי חוליות צלילת לילה בשמורה	צלילת לילה לספירת חסרי חוליות	ספירת חסרי חוליות באתר המכון	3 שעות צלילה בלילה	ענבל, לירז, טניה, מוריאל, מרק, יוני
9 ספטמבר סקר חסרי חוליות צלילת לילה בשמורה	צלילת לילה לספירת חסרי חוליות	ספירת חסרי חוליות באתר המכון	3 שעות צלילה בלילה	ענבל, לירז, טניה, מוריאל, מרק, יוני
10 ספטמבר סקר חסרי חוליות צלילת לילה בשמורה	צלילת לילה לספירת חסרי חוליות	ספירת חסרי חוליות באתר המכון	3 שעות צלילה בלילה	ענבל, לירז, טניה, מוריאל, מרק, יוני
11 ספטמבר סקר חסרי חוליות צלילת לילה בשמורה	צלילת לילה לספירת חסרי חוליות	ספירת חסרי חוליות באתר המכון	3 שעות צלילה בלילה	ענבל, לירז, טניה, מוריאל, מרק, יוני
11 ספטמבר דיגום מים חוף צפוני	איסוף מים	בדיקת נוטריינטים אמוניה וכלורופיל	1 יום עבודה	טניה, מרק, ענבל, יוני
15 ספטמבר דיגום חופי דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריינטים 4 חמצן, 16 pH 16 אלקליניות, 8 מליחות 8 כלורופיל, 8 FACS	השוואה בין התחנות השונות	2	טניה, ענבל, מוריאל, יוני,מרק
16 ספטמבר הפלגה לתחנות: OS, FF,A	78 נוטריינטים , 78 חמצן, 62 pH, 39 אלקליניות, 39 מליחות 25 כלורופיל, 39 FACS	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	1	טניה, ענבל, מוריאל, מרק, טניה
22-23 ספטמבר דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	3	מרק, ענבל, לירז
22 ספטמבר דיגום התיישבות אלמוגים במעבדה	צלילה לאיסוף פלטות התיישבות לגיוס אלמוגים בשונית השמורה הסגורה	החלפת המערכים בים וסריקת הפלטות תחת בניקולר לחיפוש התיישבות אלמוגים	2 צלילה ואנליזה	ענבל, טניה, לירז,
23 ספטמבר דיגום התיישבות אלמוגים בשמורה	צלילה לאיסוף פלטות התיישבות לגיוס אלמוגים בשונית השמורה הסגורה	החלפת המערכים בים וסריקת הפלטות תחת בניקולר לחיפוש התיישבות אלמוגים	2 צלילה ואנליזה	ענבל, טניה, לירז,
22 ספטמבר דיגום התיישבות אלמוגים בקצאא	צלילה לאיסוף פלטות התיישבות לגיוס אלמוגים בשונית השמורה הסגורה	החלפת המערכים בים וסריקת הפלטות תחת בניקולר לחיפוש התיישבות אלמוגים	2 צלילה ואנליזה	ענבל, טניה, לירז,
26 ספטמבר דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומאסה הזואופלנקטון במפרץ	2	ענבל , מרק , יוני
אוקטובר דיגום יומיומי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מדידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל, טניה, מוריאל, יוני, מרק, אירנה
2 אוקטובר צלילה להוצאת לוחיות התיישבות אצות בנתוניות באתר השמורה הסגורה	הוצאת 18 לוחיות. מאתר השמורה הפתוחה וקריאת 18 דוגמאות בפלואורומטר, הכנסת הנתונים למחשב	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	ענבל, טניה, מוריאל אירנה
6 אוקטובר דיגום חופי דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריינטים 4 חמצן, 16 pH 16 אלקליניות, 8 מליחות 8 כלורופיל, 8 FACS	השוואה בין התחנות השונות	2	טניה, ענבל, מוריאל, יוני,מרק
7 אוקטובר הפלגה לתחנות: OS, FF,A	78 נוטריינטים , 78 חמצן, 62 pH, 39 אלקליניות, 39 מליחות 25 כלורופיל, 39 FACS	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	1	טניה, ענבל, מוריאל, מרק, טניה

27-28 אוקטובר דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	3	מרק, ענבל, לירז
29 אוקטובר דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומאסה הזואופלנקטון במפרץ	2	ענבל , מרק , יוני
30 אוקטובר צלילה להוצאת שש לוחיות התיישבות אצות בנתוניות	שש לוחיות.	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	ענבל יוני עבודה במעבדה: ענבל
נובמבר דיגום יומיומי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מדידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל, טניה, מוריאל, יוני, מרק, אירנה
4 נובמבר צלילה להוצאת לוחיות התיישבות אצות בנתוניות באתר השמורה הסגורה	הוצאת 18 לוחיות. מאתר השמורה הפתוחה וקריאת 18 דוגמאות בפלואורומטר, הכנסת הנתונים למחשב	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	ענבל, טניה, מוריאל אירנה
10 נובמבר דיגום חופי דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריינטים 4 חמצן, 16 pH 16 אלקלניות, 8 מליחות 8 כלורופיל, 8 FACS	השוואה בין התחנות השונות	2	טניה, ענבל, מוריאל, יוני,מרק
11 נובמבר הפלגה לתחנות: OS, FF,A	78 נוטריינטים , 78 חמצן, 62 pH, 39 אלקלניות, 39 מליחות 25 כלורופיל, 39 FACS	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	1	טניה, ענבל, מוריאל, מרק, טניה
17-18 נובמבר דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	3	מרק, ענבל, לירז
21 נובמבר לכידת דגים	לכידת דגים	מעקב אחר טפלים בדגים	1 יום	מרק יוני
24 נובמבר לכידת דגים	לכידת דגים וניתוח	מעקב אחר טפילים בדגים	1 יום	מרק לירז
27 נובמבר דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומאסה הזואופלנקטון במפרץ	2	ענבל , מרק , יוני
28 נובמבר צלילה להוצאת שש לוחיות התיישבות אצות בנתוניות	שש לוחיות.	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	ענבל יוני מרק עבודה במעבדה: ענבל
דצמבר דיגום יומיומי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מדידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל, טניה, מוריאל, יוני, מרק, אירנה
01 דצמבר דיגום התיישבות אלמוגים במעבדה	צלילה לאיסוף פלטות התיישבות לגיוס אלמוגים בשונית השמורה הסגורה	החלפת המערכים בים וסריקת הפלטות תחת בניקולר לחיפוש התיישבות אלמוגים	2 צלילה ואנליזה	ענבל, יוני
02 דצמבר דיגום התיישבות אלמוגים בשמורה	צלילה לאיסוף פלטות התיישבות לגיוס אלמוגים בשונית השמורה הסגורה	החלפת המערכים בים וסריקת הפלטות תחת בניקולר לחיפוש התיישבות אלמוגים	2 צלילה ואנליזה	ענבל, יוני
03 דצמבר דיגום התיישבות אלמוגים בקצאא	צלילה לאיסוף פלטות התיישבות לגיוס אלמוגים בשונית השמורה הסגורה	החלפת המערכים בים וסריקת הפלטות תחת בניקולר לחיפוש התיישבות אלמוגים	2 צלילה ואנליזה	ענבל, טניה,
10 דצמבר צלילה להוצאת לוחיות התיישבות אצות בנתוניות באתר השמורה הסגורה	הוצאת 18 לוחיות. מאתר השמורה הפתוחה וקריאת 18 דוגמאות בפלואורומטר, הכנסת הנתונים למחשב	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	ענבל, טניה, מוריאל אירנה
15 דצמבר דיגום חופי דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריינטים 4 חמצן, 16 pH 16 אלקלניות, 8 מליחות 8 כלורופיל, 8 FACS	השוואה בין התחנות השונות	2	טניה, ענבל, מוריאל, מרק, לירז
16 דצמבר הפלגה לתחנות: OS, FF,A	78 נוטריינטים , 78 חמצן, 62 pH, 39 אלקלניות, 39 מליחות 25 כלורופיל, 39 FACS	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	1	טניה, ענבל, מוריאל, מרק,

30 דצמבר צלילה להוצאת שש לוחיות התיישבות אצות בנתוניות	שש לוחיות.	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	ענבל, לירז עבודה במעבדה: ענבל
30 דצמבר דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומאסה הזואופלנקטון במפרץ	2	ענבל , מרק , יוני