



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



מרץ 2018

אדר תשע"ח

התוכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת

## דו"ח מדעי לשנת 2017



מוגש לוועד המנהל של תכנית הניטור על ידי:

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

התכנית ממומנת ע"י המשרד להגנת הסביבה

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



## חברי הוועד המנהל:

ד"ר סיניה נתניהו, 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  
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  
פרופ' אמציה גנין, המכון הבינאוניברסיטאי למדעי הים באילת והאוניברסיטה העברית בירושלים  
פרופ' אלדו שמש, מכון וייצמן למדע  
ד"ר יהושע שקדי, רשות הטבע והגנים

## צוות הניטור:

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

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

## יעוץ וסיוע:

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)

## עזרה במכון הבינאוניברסיטאי:

שוקי אייזקס  
אופיר המאירי  
גנדי זלצמן  
אסף ריבלין

## תוכן העניינים

5	א. מבוא	
5	א.1. מטרת הניטור במפרץ אילת	
5	א.2. הקדמה	
8	א.3. תקציר התוצאות והמסקנות	
11	תנודות רב-שנתיות ומגמות שינוי	
13	א.4. תקציר באנגלית, <i>English Abstract</i>	
13	Introduction	
14	Key findings of this year	
18	Multi-annual variations and trends	
20	List of Tables and Figures	
28	א.5. בחינת מגמות במצב המערכת הימית בצפון מפרץ אילת	
31	א.6. המלצות	
32	ב. שונית האלמוגים	
32	ב.1. סקר חברת השונית	
53	שולחן השונית	
57	דיון ומסקנות	
60	בחינת מובהקות המגמות בכיסוי האלמוגים באתרי קדמת השונית	
65	ב.2. צילום אתרים קבועים	
74	ב.3. חברת האלמוגים בלגונת שמורת האלמוגים	
78	ב.4. התיישבות אלמוגים בשונית	
83	ב.5. סקר חסרי חוליות ניידים בשונית	
89	ב.6. קצב גידול מאקרו-אצות בשונית	
96	ב.7. סקר דגי השונית	
100	אירוע תמותת דגי שונית	
102	ג. ניטור הסביבה החופית	
102	ג.1. מי הים בקרבת החוף	
104	מדדים כימיים	
111	מדדים פיסיקליים	
114	דיון	
115	ג.2. טפילים ומחלות בדגים לאורך חופי אילת	
121	ג.3. קרקעית חולית במים רדודים – אפיון החי בסדימנט	
121	אפיון החי בקרקעית רכה בשני אתרים (בחוף הצפוני ובחוף הדרומי)	
125	שינויים במאספי פורמיניפרים בנתונים בצפון המפרץ לאחר פינוי כלובי הדגים	
129	ג.4. קרקעית חולית במים רדודים – כיסוי עשב ים	
132	ד. עמודת המים בים העמוק	
135	ד.1. טמפרטורה ומליחות	
140	ד.2. חמצן, pH ואלקליניות, נוטריינטים ופחמן חלקיקי	
159	דיון	
160	ד.3. כלורופיל <i>a</i> ופלאורסנציה	
164	ד.4. פיטופלנקטון וחיידקים בעמודת המים	
167	ד.5. יצרנות ראשונית בעמודת המים	
172	ד.6. זואופלנקטון בעמודת המים	
175	ד.7. שטף החלקיקים בעמודת המים	
178	ה. מדידות סביבתיות בתדירות גבוהה	
178	ה.1. כלורופיל בפני הים בשמורת חוף אלמוג	

180	ה.2. טמפרטורת המים בפני הים בשמורת חוף אלמוג
182	ה.3. משתנים מטאורולוגיים
184	מדידות אטמוספריות
188	מדידות בים
190	ה.4. זרמים
194	ה.5. אבק מרחף
196	ו. ביבליוגרפיה
198	ז. נספחים
198	ז.1: מפות אתרי הניטור
200	ז.2. רשימות סוגי האלמוגים
202	ז.3. טבלת פעילות צוות הניטור בשנת 2017

## א. מבוא

### 1. מטרת הניטור במפרץ אילת

מטרת התכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת היא יצירת תשתית ידע עובדתית רב שנים על מצב המערכת האקולוגית, הכימית והפיסקלית הימית בצפון מפרץ אילת. על תשתית זו לשמש בסיס מדעי לגיבוש המלצות ביצועיות לפתרון בעיות אקולוגיות, ניהול תכניות ממשק סביבתי והמשך פיתוח מושכל של אזור החוף והמים של מפרץ אילת בתחום מדינת ישראל. תכנית הניטור מפעילה מערך מתקדם למדידה קבועה ומתמשכת של הגורמים האקולוגיים המרכזיים בבתי הגידול העיקריים במפרץ אילת. התכנית בוחנת את קיומן של מגמות שינוי 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.

### 2. הקדמה

הדו"ח שלהלן מתאר את עבודת הניטור הלאומי בצפון מפרץ אילת בשנת 2017. הדו"ח מחולק לפרקים התואמים סביבות ושיטות עבודה שונות. כל פרק כולל תיאור קצר של שיטות המדידה, תוצאות מפורטות (איורים, טבלאות) ודיון קצר במסקנות. תיאור מפורט של השיטות נמצא בדו"ח השנתי הראשון (2003) וסיכום פעילויות הניטור ותדירותן, ומיקום תחנות הניטור העיקריות, מופיעים בטבלה 1א ובאזור 1, 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 אותן צוות. הדבר מקנה עצמה אנליטית גדולה לניתוח התוצאות ההשוואתיות.

תכנית הניטור עדיין לא מיצתה את טווח הערכים האפשריים במערכת (למשל, משרעת ריכוזי נוטריינטים במים העמוקים או אחוז כסוי אלמוגים מירבי באתרי השוניות), אך פרק הזמן בו פועלת התכנית כבר מאפשר התחלה של הערכת המחזוריים 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.

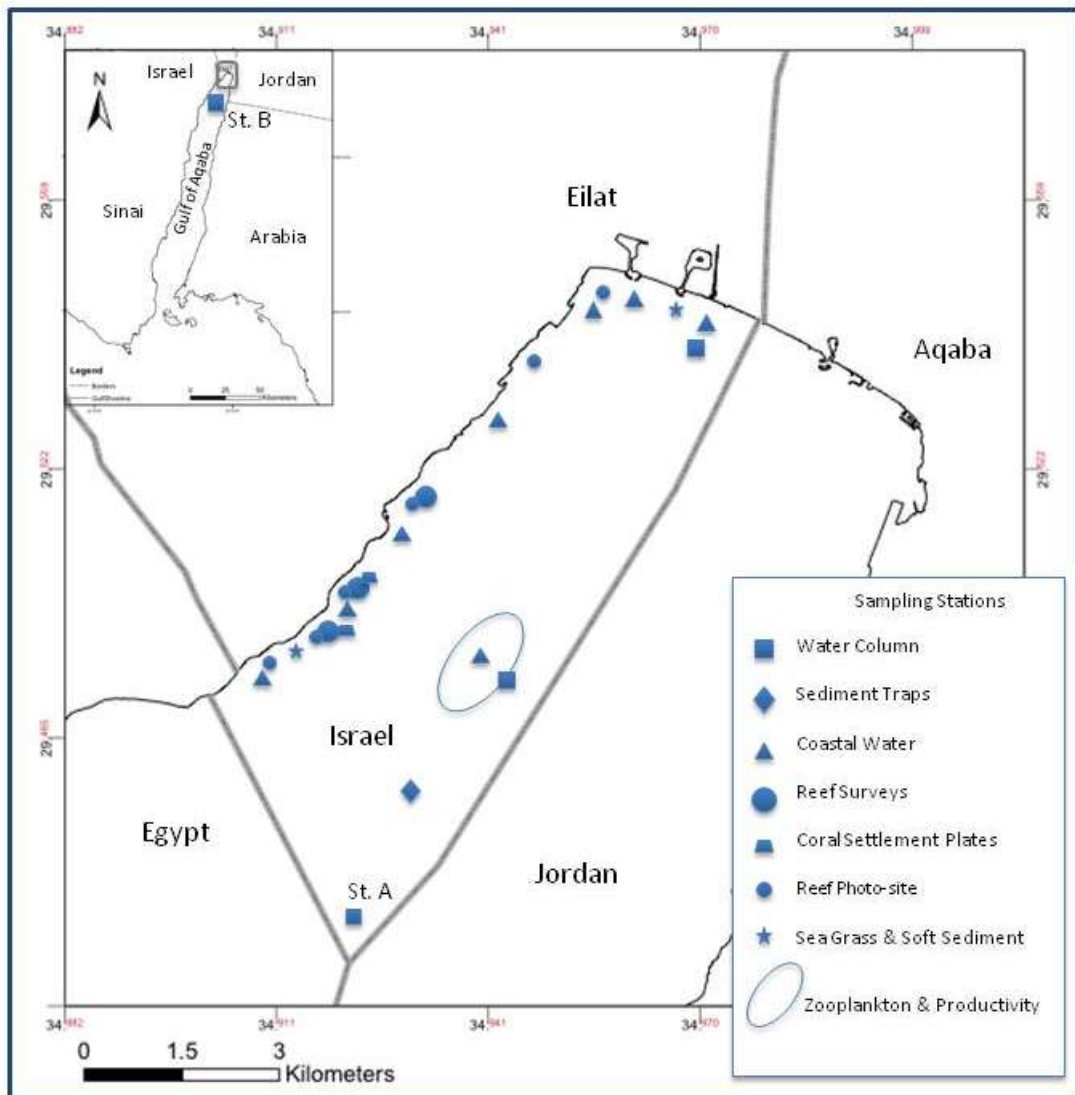
השנה נמשך תהליך ההטמעה של מדידות חדשות למערך הניטור. בשונית האלמוגים הוצבו לוחיות התיישבות בפרוטוקול דגימה שונה, לצורך מעקב אחר אספקת אלמוגי אבן חדשים המהווים פוטנציאל גיוס לשוניות. באזורים רדודים של קרקעית רכה נמשך מעקב אחר כיסוי עשב ים וחברת הבנתוס בקרקעית, תוך שיפור יכולת הזיהוי. מידע לגבי חומר חלקיקי בעמודת הים העמוק מתקבל ממלכודות סדימנט זו השנה השלישית, בעבודה הנעשית תוך שיתוף פעולה עם המעבדה הגיאוכימית של ד"ר עדי טורפשטיין מהמכון למדעי כדור הארץ. השנה, לאור ניסיון השנתיים הקודמות, נעשו שינויים בתדירות הדגימה של החומר החלקיקי בעמודת המים. מלכודות הסדימנט מספקות, לראשונה בצפון המפרץ, מידע על גלגוליו של החומר החלקיקי מפני הים ועד לקרקעית.

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)
<b>שונית</b>	
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 חודשים
ניטור חסרי חוליות ניידים בשונית	אחת לשנה, בקיץ (מספר שבועות)
ניטור מאקרואצות בשונית	אחת לחודש
ניטור דגי השונית	אחת לשנה, בסתיו (מספר שבועות)
<b>תחנות חופיות</b>	
אפיון מי החופים (מדדים פיסיים, כימיים, ביולוגיים)	אחת לחודש
חברת הבנתוס בקרקעית רכה	אחת לשנה, בקיץ
כיסוי עשב ים	אחת לשנה, בקיץ
מחלות דגים וטפילים	אחת לשנה, בסוף הקיץ (מספר שבועות)
<b>ים עמוק</b>	
אפיון עמודת המים (מדדים פיסיים, כימיים, ביולוגיים)	אחת לחודש
יצרנות ראשונית	אחת לחודש
ניטור זואופלנקטון	אחת לחודש
ניטור חומר חלקיקי בעמודת המים	אחת לחודש
<b>מדידות רציפות בסמוך למכון הבינאוניברסיטאי</b>	
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 1א: מיקום תחנות הניטור

Figure A1: Location of monitoring sites

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. כיסוי האלמוגים הממוצע בכל האתרים היה השנה 25.3%, דומה לערך הממוצע של השנה הקודמת. צפיפות המושבות הממוצעת היתה השנה 30.2 מושבות במקטע באורך עשרה מטרים, מעט גבוה בהשוואה לשנה הקודמת. צפיפות מושבות האלמוגים הממוצעת בין כל האתרים נמצאת בעליה מאז שנת 2010, אם כי השינויים בין שנה לשנה קטנים. בחינה סטטיסטית של השינוי בכיסוי הממוצע של אלמוגי האבן במשך תקופת הניטור מצאה עליה מובהקת של כחצי אחוז, בממוצע, בשנה.
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. בשנים 2008-2012 נמצאה ירידה בכמות האלמוגים הקטנים בשונית אילת אך בשנים האחרונות מתועדת עליה בצפיפות המושבות ובכלל זה גם בכמות המושבות הקטנות. במקביל נראה שגם מספר המושבות הבינוניות עולה – ומצביע על הצלחה בהישרדות וצמיחה. מושבות גדולות הן המאפשרות עליה בכיסוי האלמוגים.
3. מדד הרקמה החיה באלמוגי אבן – מאז שנת 2012 נמדדת ירידה קטנה אך מתמשכת באחוז הרקמה החיה של אלמוגי אילת, אך השנה נמדדה עליה קלה. בסך הכל ערך מדד זה יורד מתחילת הניטור. יתכן שהירידה באחוז הממוצע של רקמה חיה נובעת, לפחות חלקית, משיפור בשרידות ולכן "התבגרות" מושבות הצוברות עם הזמן פגיעות וברקמות.
4. מגוון מיני אלמוגים – מדד Shanon-Wiener למגוון – בו נאמד מגוון אלמוגי האבן בשונית אילת מראה תנודות קלות ולא מגמתיות בין השנים. לרוב, ערך המגוון באתרים רדודים נמוך בהשוואה לאתרים עמוקים. עקומות הצבירה של סוגי אלמוגים מציינות תמונה דומה, וכך גם תוחלת מספר סוגי האלמוגים הצפוי בספירת אלף וחמש מאות מושבות אקראיות. בכל המדדים השינויים בין השנים קטנים.
5. שולחן השונית – לשולחן השונית התייחסות נפרדת מאתרי קדמת השונית, עקב מאפייניו הייחודיים. השנה נמדדה עליה קלה בכיסוי האלמוגים וצפיפותם בשולחן השונית, לאחר שלוש שנים בהן נמדדה ירידה קלה. 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. סקר האלמוגים המצולם – צפיפות מושבות אלמוגי אבן באתרים המצולמים היתה גבוהה ביותר בשנים 2009-11, ודי קבועה מאז שנת 2012 (כ-16 מושבות, בממוצע, בתמונה), אם כי גם בסקר זה נמצאים הבדלים גדולים בין האתרים. מאז שנת 2013 מתועדת ירידה קלה בשטח אלמוגי האבן באתרים המצולמים.
7. לגונת שמורת האלמוגים – מכיוון שבלגונה התנאים הסביבתיים קשים, חברת האלמוגים נשלטת על ידי מינים דומיננטיים והמגוון קטן יחסית לאתרי השונית. האלמוג הנפוץ ביותר בלגונה הוא *Stylophora pistillata* המהווה כ-42% מכלל המושבות. בין קיץ 2009 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.
8. 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. באתר השמורה נמצא כי מספר המתיישבים וגודלם עולה בין תחילת האביב ושיא הקיץ, ואילו באתר המעבדה התבנית פחות ברורה וכמות גדולה ביותר של מתיישבים נמצאה דווקא על לוחיות אשר שהו בים עד לסוף נובמבר.



9. 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 הקיפוד *Echinometra mataei* עולה בשנים האחרונות.
10. דגי שונית – קבוצת הדגים הפלנקטיבורים (הניזונים בגוף המים) היא הגדולה ביותר מבין הדגים שוכני השונית, ומהווה חוליה חיונית במארג המזון ברכוז חמרי מזון מהרמות הנמוכות בגוף המים. קבוצת דגי השונית השניה בגודלה היא הדגים הטורפים, המווסתים את אוכלוסיית חסרי החוליות בשונית. קבוצת הדגים הרועים (הרביבורים) מהווה חלק קטן (מספרית) מדגי השונית, אך מגלמת תפקיד חשוב בויסות כמות האצות צמודות-המצע בשונית וכך לדגים אלה השפעה ניכרת על התיישבות אלמוגים ושגשוגם.
- השנה היה "אירוע" של תמותה המונית של דגי שונית במשך חודשי הקיץ, ובסך הכל תועדו 427 מקרים של דגי שונית מתים. יתכן כי התמותה נובעת מעליה חדה בטמפרטורת המים בחודש יולי, אשר גרמה להתפרצות החיידק הפתוגן *Streptococcus iniae*.**

#### הסביבה החופית

11. ריכוז נוטריינטים במים החופיים – התהליך השולט ברוב המדדים הכימיים, הפיזיקליים והביולוגיים הנמדדים בתחנות הניטור החופיות הוא מחזור הערבוב השנתי וערכי רוב המדדים במי השטח גבוהים יותר בחודשי החורף מאשר בקיץ. ערבוב עמודת המים החל גם השנה מוקדם והגיע לעומק גדול מ-500 מטר בפברואר, אבל אז נפסק קירור פני הים והערבוב נעצר. רוב המדדים (כלורופיל ונוטריינטים) בים הפתוח נותרו נמוכים השנה כמו בשנים של ערבוב רדוד, אולי מהיותה שנה שניה בה ערבוב מגיע לעומק דומה ולזמן קצר בלבד. על רקע זה נמדדו מספר ריכוזים חריגים, בפרט בתחנות "חיל הים/מרידיאן" ו"כלובי הדגים", אם כי החריגות לא היו במידה המוכרת בשנים קודמות.
12. טפילי מעיים ופתוגנים בדגי בר (סיכן משייש, *Siganus rivulatus*) – שכיחות ושיפעה גבוהות של טפילי מעיים הטרוקסנים בדגי סיכן משייש מעידות על חוסנם של בתי הגידול הדרושים להשלמת מחזור חייהם, והשנה זוהו שלושה מיני טפילים בלבד (מתוך ששה אחריהם עוקבת התכנית). בנוסף לזאת, בדגים רבים אשר נתפסו השנה נמצאו גרנולומות החשודות כחיידקי מיקובקטריום (*Micobacterium marinum*) וניכר כי החיידק, שזוהה לראשונה בהקשר לכלובי הדגים בצפון המפרץ, עדיין קיים ופעיל.
- תמותת דגי שונית בחודשי הקיץ נגרמה ככל הנראה על ידי התפרצות החיידק הפתוגן *Streptococcus iniae*, ראו סעיף 10 למעלה.
13. קרקעית ים רכה (soft sediment) – אתר החוף הצפוני ואתר החוף הדרומי שונים באופיים ובסוג הסדימנט הנמצא בהם. החוף הצפוני מאופיין במרכיב עיקרי קטן מ-125 מיקרו-מטר (בעיקר חרסיות ממקור יבשתי), ואילו בחוף הדרומי מרכיב זה מהווה חלק קטן בלבד ועיקר החומר ממקור ימי ביוגני בתוספת חול מינרלי. בשלוש השנים האחרונות התפלגות גדלי הגרגר בחוף הצפוני יציבה ואילו בחוף הדרומי אחוז החומר הדק גדל עם השנים. יחד עם הבדלים פיזיוגרפיים וסביבתיים נוספים, הבדלים אלה מכתיבים הבדלים בחברת החי השוכן בסדימנט.
14. אפיון החי בקרקעית רכה – צפיפות הפרטים וצפיפות המינים לגרם סדימנט גבוהה יותר בחוף הדרומי בהשוואה לצפוני: אך בעוד שמאפייני החוף הדרומי יציבים, השנה נמצאו מספרים גבוהים יותר באתר החוף הצפוני בהשוואה לשנתיים הקודמות.
- בספירות בע"ח שוכני סדימנט שאינם פורמיניפריים נמצא כי קבוצות ה- *Polychaeta*, *Nematoda*, *Copepoda* הן הנפוצות ביותר בסדימנט בשני האתרים. עם זאת, מספר המינים ומספר הפרטים גדולים יותר בחוף הדרומי.
- באתר בו היו כלובי הדגים נמצאה ירידה במספר פרטי פורמיניפרה בשנת 2016, והשנה עליה קלה. לאחר עליה במספר המינים לאחר הוצאת הכלובים, נראה שבשנתיים האחרונות ישנה התייצבות.
15. עשבי ים – 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.
- כיסוי עשב ים היה גבוה מעט בשני האתרים ובכל העומקים בהשוואה לשנה הקודמת. נראה כי כיסוי עשב הים אינו יציב בין השנים ועוד מוקדם לאבחן שיטתיות בתנודות אלה.

16. עומק הערבוב – גם השנה היתה התקררות מוקדמת ומהירה של עמודת המים, ובחודש פברואר הגיע הערבוב לעומק גדול מ-500 מטרים (בדומה לשנה הקודמת ועומק משלוש השנים שלפניה) – אולם לזמן קצר בלבד. זו השנה החמישית (מאז 2012) בה המים העמוקים מכ-500 מטרים מנותקים מהמים העליונים.
17. ריכוזי חמצן ונוטריינטים מומסים במים העמוקים – עמודת המים עורבבה השנה לעומק בינוני והמים העמוקים הוסיפו לצבור נוטריינטים, ובמקביל ירדו בהם ריכוזי החמצן. יחד עם זאת, חמש שנים לאחר הערבוב האחרון של מי העומק נותרו ריכוזי הנוטריינטים בעומק נמוכים (וריכוזי החמצן גבוהים) מהערכים שנמדדו לפני הערבוב העמוק של שנת 2012, ונמוכים בהרבה בהשוואה לשנות הניטור הראשונות.
18. כלורופיל, פיטופלנקטון ויצרנות ראשונית – לאחר שנתיים בהן נמדדו ריכוזי כלורופיל גבוהים באופן מפתיע, הריכוזים אשר נמדדו השנה היו רגילים לשנים בהן הערבוב אינו עמוק. גם ריכוזי התאים בעמודת המים היו נמוכים השנה בהשוואה לשנה הקודמת והשינויים העונתיים היו רגילים. תבנית היצרנות הראשונית היתה דומה לשנה הקודמת ולא נמדדו ערכים חריגים, דוגמת השיא של שנת 2015. היצרנות השנתית הממוצעת היתה מעט גבוהה מהשנה הקודמת ובסך הכל בשלוש השנים האחרונות נמדדת יצרנות גבוהה יותר מאשר בשנים שלפניהן.
- 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.
19. זואופלנקטון – ריכוזי הזואופלנקטון אשר נמדדו השנה היו נמוכים מאשר בשנה הקודמת על אף עומק הערבוב הדומה. יתכן שעקב היות הערבוב קצר, וזו שנה שניה של עומק דומה, לא הספיק להזין את המערכת כפי שקרה בשנה הקודמת. נראה כי מסת הזואופלנקטון עוקבת אחר גודל אוכלוסיית הפיטופלנקטון יותר מאשר אחר עומק הערבוב.
20. שטף חלקיקי בעמודת המים, מנתוני מלכודות סדימנט – שטף החלקיקים בעמודת המים, נמדד בשיטת פנולה עם ד"ר עדי טורפשוטיין מהמכון הבינאוניברסיטאי באילת והמכון למדעי כדור הארץ באוני' העברית מאז 2014. שטף קצר וגבוה במיוחד נמדד השנה בחודש ינואר, בדומה לאירועים קצרים אשר נמדדו בשנים קודמות. שיאים אלה אינם מתיישבים עם גורמים חיצוניים מוכרים ומייצגים- כנראה- דינאמיקה פנימית של ערבול בעמודת המים. התהליכים המניעים שיאים אלה בשטף החלקיקי אינם ברורים עדיין ומצויים בתהליך של מחקר. המדידות מראות את חשיבותם הרבה של אירועים קצרי מועד על השטף הכללי.

#### מדידות רציפות משלימות

21. כלורופיל בפני הים בסמוך לשונית (מדידה יומית) – ריכוזי הכלורופיל בסמוך לשונית מראים תנודות חדות. בחודש מרץ השנה נמדדו תנודות גדולות עם ריכוזים גבוהים אך בסך הכל לא היו ריכוזי הכלורופיל השנה גבוהים ביחס לממוצע הרב שנתי. גם השנה לא היתה פריחת אביב משמעותית.
22. טמפרטורת פני הים בסמוך לשונית (מדידה יומית) – במשך רוב השנה היתה טמפרטורת פני הים דומה מאד לערך הממוצע הרב שנתי, אולם בחודש יולי היו שני אירועים של עליה מהירה וגדולה של הטמפרטורה. אירועים אלה היו בסמיכות לקבלת ראשוני הדיווחים על תמותת דגי שונית ויתכן כי העליה המהירה היוותה חלק מהמנגנון שהביא לתמותת הדגים. מאז שנת 1988 אנו עוקבים אחר מגמה של עליה בטמפרטורת פני הים בשמורת חוף אלמוג, אך הטמפרטורה הממוצעת השנה היתה נמוכה ביחס לשנות הניטור הקודמות ונמוכה ביותר מחצי מעלה מהערך הממוצע של השנה הקודמת.
23. מטאורולוגיה (מדידות רציפות) – מדידות התחנה המטאורולוגית שיקפו מחזור רגיל של שנה ממוצעת, ללא אירועים חריגים. הקרינה הנמדדת נמוכה בשנתיים האחרונות יחסית לשנים הקודמות וטמפרטורת המים היתה נמוכה גם בשיא החורף וגם בשיא הקיץ. בטמפרטורת האויר מעל הים לא נמצאה תבנית חריגה.
24. אירועי גשם – אירוע גשם חזק אירע בתחילת חודש מרץ ובו נמדדו 9 מ"מ גשם במכון הבינאוניברסיטאי.
25. אבק – ריכוזי האבק מעל הים היו נמוכים השנה ולא נרשמו אירועים של סופות אבק חזקות.

## תנודות רב-שנתיות ומגמות שינוי

### שונית האלמוגים

1. כיסוי אלמוגי אבן – אחוז הכיסוי של אלמוגי אבן חיים הוא הממד העיקרי המשקף את מצבה של שונית האלמוגים לאורך זמן. בין השנים ובין האתרים המנוטרים ישנם הבדלים במידת הכיסוי.  
בשנות הניטור הראשונות (2004-6) כיסוי האלמוגים הממוצע בשונית אילת היה 19-20%. בשנים 2007-12 עלה הכיסוי הממוצע ונע בטווח הערכים 21.5-23.9%. בשנת 2013 נמדד הכיסוי המרבי בתקופת הניטור, 26.4%, בשנים האחרונות נע הכיסוי הממוצע בטווח 24.1-25.3%. השינויים באחוז הכיסוי אינם מונוטוניים ואינם זהים בכל האתרים, אך לאורך תקופת הניטור ישנה מגמה מובהקת של עליה באחוז הכיסוי הממוצע של אלמוגי אבן בשונית אילת הנסקרות, בשיעור ממוצע של כ- 0.5% בשנה.
2. צפיפות וגודל מושבות אלמוגי אבן – צפיפות מושבות האלמוגים הממוצעת בין כל האתרים נמצאת בעליה מתמשכת מאז שנת 2010, וגבוהה משהיתה בשנים הראשונות לניטור, אם כי השינויים בין שנה לשנה קטנים. 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 בממד זה קטנים. יתכן והירידה בערך הממד 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 *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 גבוהים בתחנות חופיות ובפרט בתחנות "צפוניות".
6. טפילי מעיים הטרוקסנים בדגי בר – שכיחות ההדבקה של דגי בר (*Siganus rivulatus*) בטפילי מעיים בעלי מחזור חיים הטרוקסני יציבה למדי בשנים האחרונות וגבוהה יותר מאשר בשנים 2009-10. שכיחות גבוהה ושיפעה גבוהה של טפילים אלה מעידות על חוסנם של בתי הגידול הדרושים להשלמת מחזור חייהם.
7. חיידקים פתוגנים בדגי בר – החיידק מיקובקטריום (*Micobacterium marinum*) עדיין קיים ופעיל באתרי החוף הצפוני והחוף הדרומי הנבדקים, אם כי שכיחותו נמוכה, אולי, משהיתה בעבר.
8. 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.

### עמודת המים בים העמוק

9. ריכוזי נוטריינטים וחמצן מומס – המערכת האקולוגית, ובפרט הדינמיקה השנתית של ריכוזי נוטריינטים וחמצן במים זמניים לאוכלוסיות הפיטופלנקטון בים הפתוח, מונעת על ידי הערבוב העונתי בעמודת המים. הדינמיקה הרב שנתית מושפעת מעומק הערבוב ומשכו ומכמויות הנוטריינטים שנצברו במי העומק. השנה שוב הגיע הערבוב לעומק בינוני, וזוהי השנה החמישית בה מי העומק אינם מעורבבים עם המים העליונים. על כן, ריכוזי הנוטריינטים במי העומק הוסיפו לעלות השנה וריכוזי החמצן הוסיפו לרדת – אך קצב השינוי נמוך משהיה לפני הערבוב העמוק של שנת 2012.

10. טמפרטורת המים – טמפרטורת מי העומק ירדה בשנים 2007-2008 כתוצאה מהערבוב העמוק בשנים אלה, ובשנים האחרונות נמדדה 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 בקצב שנתי ממוצע של כ- $0.037^{\circ}\text{C}$ , אך השנה היתה טמפרטורת פני הים השנתית הממוצעת נמוכה משמעותית משנות הניטור הקודמות ואינה מתיישבת עם המגמה הכללית.

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

**Scientific report 2017**

Dr. Yonathan Shaked, Program Manager  
Prof. Amatzia Genin, Scientific Director  
(March, 2018)

**Introduction**

This report describes the work and results of Israel's National Monitoring Program in the Gulf of Aqaba (Eilat) – NMP – in 2017. It is divided into chapters according to habitats and the methods employed by the monitoring program. 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. Figures and figure captions in this report are given in English.

The NMP has been operating since 2004, collecting continuous standardized 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, providing a chance to detect 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. We are implementing changes the categories to which reef fish are allocated based on their diet and several other criteria, following recent developments in that field. We are in the process of changing and refining the protocol of measuring coral settlement on plates inserted at several reef sites to evaluate the potential supply of coral recruits to the reef. 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. Changes were also made to the frequency of visiting the array of sediment traps that is moored on the sea floor at 600 meters depth measures the vertical flux of particles descending through the water. Monitoring the particle fluxes through the deep water column is done in collaboration with Dr. Adi Torfstein of the Interuniversity Institute and the Hebrew University.

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.

## 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 25.3%, similar to last year's average. The average colony density this year was 30.2 colonies per ten-meter long line transect, slightly higher than last year. The average colony density at all sites is increasing since 2010, although year to year changes are small.  
Statistical evaluation of the average live coral cover over the entire monitored period found it to be increasing at a significant average rate of 0.5% per year.
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 than at other sites. During the interval 2008-2012 the number of small coral colonies in Eilat decreased, but in recent years an increase in coral density including small colonies is documented. The number of medium size and large colonies seems to be increasing as well, indicating enhanced growth and survival. The presence of large and huge colonies facilitates high coral cover.
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 and this year sees a slight increase. It seems likely that the decrease in average LTI in Eilat stems, at least in part, from improved 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. This is 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 sees a slight increase in stony coral cover and density, following three years of slight decline. 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. Permanent photo sites – Stony coral density at the permanent photo sites was highest in 2009-11, and is rather stable since 2012 – an average of some 16 colonies per photo, although large differences among sites are apparent in this survey as well. A slight decrease in the cover area of stony corals at the photo sites is documented since 2013.
7. The coral reserve lagoon – Since environmental conditions at the lagoon are harsh, it is dominated by a number of coral taxa, and coral diversity is low.

The dominant coral at the nature reserve lagoon is coral *Stylophora pistillata* (comprising some 42% 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 is still lower than that of the initial years of monitoring.

8. 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 findings. It seems that at the nature reserve site the number and size of settlers increases between spring and mid-summer, whereas at the IUI the pattern is less clear and the largest number of settlers was found on plates brought from the sea at the end of November.
9. 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. The density of the urchin *Echinometra mataei* is increasing in recent years.
10. Reef fish – Fish feeding on plankton within the water column (planktivorous) are the most common group of fish in Eilat's reefs. This group has an important role of transferring food from lower trophic levels. Carnivorous fish is the second largest group of reef fish in Eilat and they regulate the population of mobile invertebrate reef dwellers. Grazing fish (herbivores) comprise a small portion of the reef fish community, but have an important role in controlling the growth of benthic algae and thus helping coral settlement and recruitment.

**Mass mortality of reef fishes occurred during this year's summer months and a total of 427 cases of dead fish were documented. The mortality may have originated in a sharp increase in water temperature that occurred in July and perhaps caused an outbreak of the deadly pathogen *Streptococcus iniae*.**

### Coastal Environs

11. 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. Like last year, this year's mixing started early and reached deeper than 500 meters in February, but then cooling stopped and mixing ended. As a result, most concentration measurements this year were low, similar to those of a shallow-mixing year. Against this background, several abnormally high concentrations stand out, particularly at the northern coastal stations, although these are not as high as abnormalities in previous years.
12. Pathogens and heteroxenous gut parasites in wild fish (*Siganus rivulatus*) – The prevalence and richness of heteroxenous gut parasites in wild fish remains steady in the past few years, indicating healthy habitats that are required for these parasites to complete their life cycle. And this year only three of the six monitored parasites were found. In addition, in many of the fish examined this

year granulomas suspected as *Micobacterium marinum* were identified, indicating that this pathogen is still active at the northern gulf.

The mass mortality event that occurred this summer was likely caused by an outbreak of the pathogen *Streptococcus iniae*.

13. Soft sediment sea floor – Soft sediment sea floor habitats at the northern and southern beaches of Eilat differ from one another in their physiographic setting and the type of sediment. The main sediment component at the north beach is smaller than 125 micrometer (mostly terrigenous clays), while at the southern beach this comprises a much smaller proportion of the sediment, and the majority is of biogenic origin together with mineral sand. In the past three years grain size distribution at the northern beach is stable, while at the southern beach the small grain component seems to be growing. These differences together with other environmental and physiographic differences dictate differences in the benthic population.
14. Meiofauna and benthic foraminifera in soft sediments – At the southern beach individual and species densities of benthic foraminifera are higher relative to the northern beach site, but while the population at the southern beach seems stable, numbers were higher at the northern site relative to the past two years. As for other meiofauna at soft sediments, at both the northern and southern sites *Polychaeta*, *Copepoda*, *Nematoda* are the most common groups in the past two years. At the southern beach site 15 taxa groups were identified and at the northern beach site 12. The number of individuals is also larger at the southern beach site.
15. Sea-grass – In the three 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.  
Sea-grass coverage was somewhat higher this year at both site compared to the previous year. It seems that sea-grass cover is not stable between years, but it is still early to detect underlying processes.

### The deep water column

16. Vertical mixing – For the second year in a row, cooling of the water column was early and rapid, and prior to the February survey cruise vertical mixing reached deeper than 500 meters – but only for a short time. This is the fifth year (since 2012) in which waters deeper than 500 meters are disconnected from the sea surface.
17. Concentrations of oxygen and nutrients in the deep waters – The water column was mixed to an intermediate depth (500 m) and the deep waters continued to accumulate nutrients and to be depleted of oxygen. Nevertheless, five years after the last deep mixing event, nutrient concentrations in deep water are lower (and oxygen concentrations are higher) than they were before the mixing of 2012, and much so compared to the values measured in the initial years of monitoring.
18. Chlorophyll-a, phytoplankton and primary productivity – following two years in which concentrations of *chlorophyll-a* were surprisingly high, this year *chl-a* concentrations were similar to those of shallow mixing years. Abundances of unicellular plankton were also lower this year compared to past two years. The



average primary productivity was higher, and overall it seems that productivity in the past three years is higher than that of earlier years. 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 resolution 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.

19. Zooplankton – The biomass concentrations of zooplankton were lower than those of last year, despite a similar mixing depth. Perhaps the short duration of mixing and it being a second year of similar mixing depth were insufficient to drive the system as observed last year. It would seem that zooplankton population size follows phytoplankton concentrations rather than being directly correlated with mixing depth.
20. Vertical fluxes of particulate matter– Sediment traps to measure vertical particle fluxes are deployed as part of a joint project of the NMP and Dr. Adi Torfstein of the Hebrew University/IUI since 2014. A short duration spike in particle fluxes was recorded in January, similar to observations from the previous years. These spikes do not correlate with known external events and probably represent internal mixing dynamics in the water column. The underlying process is subject to ongoing investigation. High resolution measurements in mid-column illuminate the significance of short-duration events on the overall accumulated fluxes.

### **Supplementary continuous measurements**

21. Sea surface chlorophyll-a next to Eilat's coral reef (daily measurement) – *Chlorophyll-a* concentrations fluctuate sharply and frequently. In March peaks of high concentrations were measured, but overall *chlorophyll-a* concentrations were not higher than the multi-annual average and there was no significant spring bloom.
22. Sea surface temperatures next to Eilat's coral reef (daily measurement) – Sea surface temperature was close to the multi-annual average throughout most of the year, but in July to sharp increases of SST were recorded. These were followed by the first reports of dead reef fish and may be part of the mortality event's mechanism. An overall rise in SST next to the nature reserve reef is documented since 1988, but this year's average SST was lower than that of previous years and more than half a degree lower than last year's average.
23. Meteorology (continuous measurement) – Meteorological measurements reflected a regular annual cycle without significant abnormalities. Radiation measurements were lower during the past two years compared to previous years and the water temperature was lower at both summer and winter extremities. Air temperature above the sea was not outstanding.
24. Rain events – A significant rain event occurred in March, in which 9 mm of rain were recorded at the IUI.
25. Dust – Dust concentrations over the sea at the IUI were relatively low this year and significant dust storms did not occur.

## Multi-annual variations and trends

### The coral reefs of Eilat

1. Live stony coral cover – Live coral cover is the foremost 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 24.1% and 25.3%. Changes in live coral cover are not monotonic and vary from site to site, but overall a significant rise in coral cover is revealed by NMP measurements, averaging ~0.5% per year.
2. Stony coral density and size – Average coral density between all monitored sites is gradually increasing since 2010 and is higher than that of the initial years of monitoring, although year to year changes are small. 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. Heteroxenous parasites in wild fish – Heteroxenous parasites require several habitats to complete their life cycle. Their presence and abundance in the guts of wild fish may indicate the state of those habitats. The prevalence and abundance of heteroxenous gut parasites in wild *Siganus rivulatus* caught at the southern shore of Eilat remains stable in the recent years – and higher than

it was in 2009-10. This may indicate resilience of the local habitats required to complete their life cycle.

7. Pathogens in wild fish – *Micobacterium marinum*, a deadly pathogen, is still present and active at the northern and southern shores of Eilat, though its abundance may be somewhat lower than it was in the past.
8. 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.

### **The deep sea water column**

9. 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. For the second year running, this year's mixing was to an intermediate depth and it is the fifth year in which deep waters are not mixed with surface waters. Therefore, nutrient concentrations were higher and oxygen concentrations lower than they were in the previous year, but these values are still less acute than the values preceding the deep mixing of 2012, and much less than the values recorded before deep mixing in 2007-8.
10. Water temperature – The temperature measured in the deep water was at a low in the years 2007-8 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 rise in sea surface temperatures in Eilat, at an average rate of 0.037 degrees per year, is documented since 1988, but this year was, on average cooler than previous years and is not compatible with the overall trend.

## List of Tables and Figures

### Tables

Table A1 (p. 6): Activities of the monitoring program and their frequency.

Table A2 (p. 28): Average concentrations of nutrients at 700 meters depth in the fourth and fifth years following deep mixing (2005-6, 2010-11, 2016-17), and their calculated dtatistical difference.

Table A3 (p. 29): the slope of (linear) regression and standard errors of nutrient concentrations during intervals of shallow mixing (2008-11, 2012-15).

Table A4 (p. 30): Linear regression tests for variables measured in Eilat's coral reefs.

Table A5 (p. 30): Summery of trends concerning the state of the system at the northern end of the Gulf of Eilat.

Table B1 (p. 32): Locations and depths of the reef census line-transect survey sites.

Table B2 (p. 41): 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.

Table B3 (p. 52): The twenty most abundant corals (% cover) in the monitored area and their average cover in each site as a percent of the total transect length at each site.

Table B4 (p. 56): The most abundant stony corals (by cover percentage) at the reef table and the reef front sites.

Table B5 (p. 68): Summary of the areas and number of corals surveyed in the 2017 photo-survey session. The "area" of a colony is its pictured area given in k-pixels. Areas are given in pixels to allow for inter-annual comparisons and to avoid inaccuracies of calibration to "real" surface area.

Table B6 (p. 75): The number of colonies, relative abundance and average density (colonies per square meter) of the coral taxa found in the lagoon.

Table B7 (p. 84): Total abundance and average density (number per 1m<sup>2</sup>) of mobile invertebrates at the monitored sites.

Table B8 (p. 99): Fish abundance of at the Coral Beach Nature Reserve.

Table C1 (p.103): Locations of the coastal-water monitoring stations.

Table C2 (p.116): Helminth parasites found in *Siganus rivulatus* sampled near the IUI.

Table C3 (p.123): Benthic foraminifera identified at the North and south beach sites

Table C4 (p.124): Meiofauna groups identified this year at the North and South beach sites

Table E1 (p.183): Setup of the meteorological station at the end of the IUI pier, list of sensors.

Table G1 (p.200): List of stony corals and the number of colonies of each taxa found in the coral reef line-transect survey, 2017.

Table G2 (p.201): list of colonies (of all types) that were recognized in all permanent photo-sites, in 2017.

## Figures

Figure A1 (p. 7): Location of monitoring sites

Figure A2 (p. 28): Division of the Nitrate concentrations time series at 700 meters depth in Atation A into three intervals of two years, 4-5 yers following deep vertical mixing (red rectangles)

Figure B1 (p. 33): 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.

Figure B2 (p. 34): 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.

Figure B3 (p. 35): Average live stony coral cover and colony density at each site, in 2017

Figure B4 (p. 36): 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.

Figure B5 (p. 36): Percent live stony coral coverage versus unconsolidated (sandy) sea floor in the sites examined

Figure B6 (p. 37): Utilization of available substrate by stony corals in 2017. The percent cover and colony density of live stony corals on hard consolidated seafloor at each monitored site.

Figure B7 (p. 38): Left - The average live stony coral cover at each site, as percent of total area (top, the northernmost sites at the oil terminal, and bottom the southernmost sites of the Marine Science Laboratory). 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.

Figure B8 (p. 39): 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.

Figure B9 (p. 43): 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).

Figure B10 (p. 44): Stony coral cover versus the number of stony coral colonies in an average 10-meter transect at the surveyed Eilat reef sites

Figure B11 (p. 45): Top: Changes in average relative size fraction of Eilat coral colonies (corrected for transect based count bias during the monitored period). Bottom: Average coral density (per square meter) by size class in Eilat, calculated from transect count data and corrected for size bias. Size groups are: Small<5 cm; 5 cm <Medium< 15 cm; 15 cm <Large< 30 cm; Huge>30 cm.

Figure B12 (p. 46): The Live Tissue Index (LTI) for corals in the surveyed sites. The LTI is the site average of the percent area of live/healthy coral tissue for each living colony.

Figure B13 (p. 47): Changes in the state of coral colonies over time according to the average percentage of living coral tissue (LTI) from all sites over the monitored period.

Figure B14 (p. 48): The Shanon-Wiener diversity index of coral taxa estimated 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.

Figure B15 (p. 49): 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.

Figure B16 (p. 50): Rarefaction curves of taxa richness based on colony counts, calculated with the EstimateS software (Colwell, 2005 ;<http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS>) for each site.

Figure B17 (p. 51): 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 colonies in the “eilat Reefs” since 2004 based on the rarefaction curves

Figure B18 (p. 52): The twenty most abundant coral taxa in the reefs of Eilat during the monitoring

period, arranged according to their abundance in 2017. 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.

- Figure B19 (p. 53): Cumulative percent cover of live corals, sand, rock and dead corals at the reef table. Values are averages of line transect values.
- Figure B20 (p. 54): Percent cover of live corals and density of coral colonies on the reef table since 2007.
- Figure B21 (p. 55): 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
- Figure B22 (p. 58): 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.
- Figure B23 (p. 59): 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.
- Figure B24 (p. 66): Sites of the photo-survey of coral reefs along the Eilat coastline (green markers).
- Figure B25 (p. 66): 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.
- Figure B26 (p. 67) : Eight years of documentation at permanent photo site Nature Reserve, point A, looking west.
- Figure B27 (p. 69): Top – Changes to the stony average number of stony coral per picture recorded in the permanent phot-sites, and the Eilat average, since 2004. Bottom – the changes in stony coral number per measuring unit in the line-transect survey (red) and the permanent photo-site survey (black).
- Figure B28 (p. 70): Distribution of the main taxa groups comprising reefs at the permanent photo-sites in 2017, according to the relative (percent) area which they occupy.
- Figure B29 (p. 71): Colony recruitment and death for all corals (top) and for stony corals only (bottom) at the photo-survey sites in 2017. To allow a comparison between sites the data are presented as percent of the total number of colonies at each site.
- Figure B30 (p. 72): Top - changes to the average area of stony corals per picture at the permanent photo-sites since 2004. Bottom - changes in the average stony coral area per picture in the "Eilat Reefs", measured since 2004 in the permanent photo-sites.
- Figure B31 (p. 73): The twenty most abundant corals (by area) in the 2004-2017 photo-surveys.
- Figure B32 (p. 73): Changes to the area of the five most-abundant stony branching (top) and non-branching (bottom) corals at the permanent photo-sites since 2004.
- Figure B33 (p. 74): The sampling design in the lagoon. 1 m<sup>2</sup> 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.
- Figure B34 (p. 75): Relative abundance (by colony number) of the 10 most abundant coral genera in the lagoon (these total about 97% of all colonies).
- Figure B35 (p. 76): The average density (colonies/square meter) of the main coral genera found in the lagoon in 2004 - 2016. Top: the dominant coral taxa, bottom- inter-annual fluctuations in density of all coral colonies and the most abundant coral *Stylophora pistillata*.
- Figure B36 (p. 77): Changes in coral diversity in the lagoon since 2004, according to the Shanon-Wiener index, estimated using the EstimateS software.
- Figure B37 (p. 78): Two tiny coral colonies, containing two polyps (left) and six polyps (right)
- Figure B38 (p. 80): 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 site (NR). Each column represents the average of the three plates from each of the plate arrays (A,B, C) at the site.

- Figure B39 (p. 80): 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 Interuniversity site (IUI). Each column represents the average of the three plates from each of the plate arrays (A,B, C) at the site.
- Figure B40 (p. 81): 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 Interuniversity site (IUI). Each column represents the average of the three plate arrays (A,B, C) at the site.
- Figure B41 (p. 82): Top – the average number of coral recruits on plate arrays at the nature reserve (NR, left) site and the Interuniversity (IUI' right) site, throughout the examined period. Bottom – 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.
- Figure B42 (p. 83): Belt-transect survey of motile invertebrates: a diver holding a T-shaped stick passes along a measuring 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
- Figure B43 (p. 85): The average density (per m2) of mobile invertebrates (top) and sea urchins (bottom) at the sampling sites.
- Figure B44 (p. 86): The average density (individuals per m2) of *Diadema setosum* (top) and other urchins (bottom) at the sampling sites.
- Figure B45 (p. 87): The average density (individuals per m2) of sea urchins (*Diadema setosum*, other urchins and all urchins) at the monitored fore-reefs sites (top) and the lagoon (bottom).
- Figure B46 (p. 88): The average density (per m2) of feather-stars (top), Sea Cucumbers (middle) and Sea Stars (bottom) at the fore-reef sites and the lagoon.
- Figure B47 (p. 89): 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.
- Figure B48 (p. 90): Average chlorophyll a on exposed (diamonds) and caged (squares) settlement plates in 2017. Each bar represents one month (calculated as an average of three plates submerged in the sea for two months).
- Figure B49 (p. 91): Average chlorophyll a on exposed (diamonds) and caged (squares) settlement plates since 2004. Each point represents one month (calculated as an average of three plates submerged in the sea for two months).
- Figure B50 (p. 92): 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.
- Figure B51 (p. 93): Average chlorophyll a on exposed (blue) and caged (red) settlement plates at the Nature Reserve in 2017. 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.
- Figure B52 (p. 95): Average chlorophyll a on exposed (diamonds) and caged (squares) 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.
- Figure B53 (p. 95): The annual average potential benthic algae growth on the reef slopes across the IUI versus the mixing depth, since 2004.
- Figure B54 (p. 97): Changes in the number of reef fish according to trophic level since 2007.
- Figure B55 (p. 98): Distribution of the number of reef fish according to trophic level since 2007.
- Figure B56 (p.100): The number of dead reef fish found along the shores of Eilat in the summer of 2017, sorted according to geographical location from north to south.
- Figure B57 (p.100): The number of dead reef fish sorted according to genus.
- Figure C1 (p.103): Map of the coastal-water monitoring stations in the territorial waters of Israel in the Gulf of Eilat.
- Figure C2 (p.104): Monthly pH values at all coastal water monitoring stations since October 2006.
- Figure C3 (p.105): Monthly alkalinity at the coastal water sampling stations since 2004.
- Figure C4 (p.106): Monthly concentrations of total oxidized nitrogen (TON) at the coastal water sampling stations since 2004.
- Figure C5 (p.107): Monthly concentrations of ammonia (NH<sub>4</sub>) at the coastal water sampling stations since 2004.

- Figure C6 (p.107): Phosphate concentrations (PO<sub>4</sub>) at coastal-water sampling stations since 2004.
- Figure C7 (p.108): Monthly concentrations of silicate (Si(OH)<sub>4</sub>) at the coastal water sampling stations since 2004.
- Figure C8 (p.109): Monthly concentrations of dissolved oxygen at the coastal water sampling stations since 2004.
- Figure C9 (p.110): Monthly concentrations of chlorophyll a at the coastal water sampling stations since 2004.
- Figure C10 (p.111): Salinity at the coastal water sampling stations since 2004. Gaps in the data reflect failure of the analytical instrument.
- Figure C11 (p.112): Temperature at the coastal water sampling stations since 2004.
- Figure C12 (p.113): Secchi depth measurements at the coastal water sampling stations since 2004.
- Figure C13 (p.117): Rarefaction curves of *S. rivulatus* helminth parasite Species Richness calculated using the EstimateS software. Top: Observed Richness, Bottom: Estimated Jackknife-1 Richness.
- Figure C14 (p.118): Prevalence of the six gut parasite species examined in *S. rivulatus*.
- Figure C15 (p.119): Intensity of infection of the six gut parasite species examined in *S. rivulatus*.
- Figure C16 (p.119): Bush Index for the importance of infection of the six gut parasite species examined in *S. rivulatus*.
- Figure C17 (p.122): Grain size distribution (weight percent) for soft sediment in two sites, at the north beach (NB) and south beach (SB) of Eilat.
- Figure C18 (p.124): Abundance of meiofauna genera dwelling in the upper layer of two soft sediment sites, at the north beach (NB) and south beach (SB) of Eilat.
- Figure C19 (p.126): The number of live benthic foraminifera individuals at the "Fish Farm" site following the removal of the last fish cages (data from Dr. Shay Oron, Oron et al., 2014).
- Figure C20 (p.127): The number of live foraminifera species per gram dry sediment at sampled locations between summer 2008, right after fish cages were removed from the area, and summer 2014.
- Figure C21 (p.128): The number of live foraminifera species per gram dry sediment at sampled locations in the interval 2015-2017.
- Figure C22 (p.129): A photo of seagrass cover along the 20m depth transect on the southern coast of Eilat (photo: M. Chernihovsky).
- Figure C23 (p.130): Seagrass cover at three depths in the northern and southern beach sites of Eilat.
- Figure C24 (p.131): Three-year average seagrass cover at three depths in the northern and southern beach sites of Eilat.
- 
- Figure D1 (p.136): Temperature profiles measured using a CTD during the monthly monitoring cruises. Station B is the southernmost and deepest (>800m) and was sampled in March and October. 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.
- Figure D2 (p.137): Changes in water temperature at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths.
- Figure D3 (p.137): 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.
- Figure D4 (p.138): Salinity profiles measured using a CTD during the monthly monitoring cruises. Station B is the southernmost and deepest (>800m) and was sampled in March and October. 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.
- Figure D5 (p.139): Changes in salinity at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths.
- Figure D6 (p.140): Dissolved oxygen concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Station B is the southernmost and deepest (>800m), 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.
- Figure D7 (p.141): Changes in concentrations of dissolved oxygen in the water column at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths.
- Figure D8 (p.142): 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).
- Figure D9 (p.143): Changes in dissolved oxygen concentrations in 400m to 700m water depth at



- Station A, since 2000.
- Figure D10 (p.144): Depth profiles of pH values measured during the monthly monitoring cruises. Station B is the southernmost and deepest (>800m), and was sampled in March and October. 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.
- Figure D11 (p.145): Changes in pH in the water column at Station A since November 2006. Black dots represent the sampling depths.
- Figure D12 (p.146): Alkalinity profiles measured during the monthly monitoring cruises. Station B is the southernmost and deepest (>800m) and was sampled in March and October. Station A is on the Israeli/Jordanian/Egyptian border at ca. 700 meters depth.
- Figure D13 (p.147): Changes in alkalinity in the water column at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths.
- Figure D14 (p.148): Nitrite (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Station B is the southernmost and deepest (>800m) and was sampled in March and October. 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.
- Figure D15 (p.149): Nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Station B is the southernmost and deepest (>800m) and was sampled in March and October. 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.
- Figure D16 (p.150): Changes in the concentration of total oxidized nitrogen (TON= NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub>) in the water column at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths.
- Figure D17 (p.150): Changes in the nitrate (NO<sub>3</sub>) 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).
- Figure D18 (p.151): 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.
- Figure D19 (p.152): Phosphate (PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>) concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Station B is the southernmost and deepest (>800m) and was sampled in March and October. 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.
- Figure D20 (p.153): Changes in the concentration of phosphate in the water column at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths.
- Figure D21 (p.154): 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).
- Figure D22 (p.155): Silicate (Si(OH)<sub>4</sub>) concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Station B is the southernmost and deepest (>800m) and was sampled in March and October/ 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.
- Figure D23 (p.156): Changes in the concentration of silicate in the water column at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths.
- Figure D24 (p.157): 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).
- Figure D25 (p.157): 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.
- Figure D26 (p.158): 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.
- Figure D27 (p.160): Fluorescence profiles measured using a CTD during the monthly monitoring cruises. Station B is the southernmost and deepest (>800m) and was sampled in March and October. 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.
- Figure D28 (p.161): Chlorophyll-a concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Station B is the southernmost and deepest (>800m), 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.
- Figure D29 (p.162): Changes in the concentration of chlorophyll-a in the water column at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths.
- Figure D30 (p.163): Concentrations of chlorophyll-a at Station A at the surface and at water depths of 40 and 100 meters since 2000. 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.
- Figure D31 (p.164): Monthly phytoplankton concentrations of prokaryotes (*Synechococcus* and *Prochlorococcus*), and pico-eukaryotes in the water column at Station A.
- Figure D32 (p.165): 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.
- Figure D33 (p.166): Monthly concentrations of heterotrophic bacteria in the water column at Station A.
- Figure D34 (p.168): Monthly primary productivity and Chl-a concentrations at the upper water column.
- Figure D35 (p.169): Top –integrated values of primary productivity in the upper 100m of the water column, based on the productivity profiles presented in Figure D34.
- Figure D36 (p.170): 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.
- Figure D37 (p.171): Integrated values of primary productivity in the upper 100m of the water column for each month since 2010, based on the productivity profiles measured once each month.
- Figure D38 (p.172): A double plankton net ("Bongo") towed from the boat in deep waters. Photo: M. Chernihovsky
- Figure D39 (p.173): 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  $\mu\text{m}$  filters (green, red and blue, respectively).
- Figure D40 (p.174): 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  $\mu\text{m}$  filters (green, red and blue, respectively).
- Figure D41 (p.176): The array of sediment traps placed on a mooring line at 605 meters depth at the center of the northern basin of the gulf.
- Figure D42 (p.177): 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.
- Figure E1 (p.179): Chlorophyll a concentrations sampled daily at the Underwater Observatory jetty in 2017 (red line) and the long-term average (1988-2016, green line). Black lines mark the 90% of accumulated data including the previous year.
- Figure E2 (p.180): Daily sea surface temperatures measured from the Underwater Observatory jetty during 2016 (red line), the average SST for 1988-2015 (blue line), and long-term average (7-day running mean) minimum and maximum values from 1988 to 2015.
- Figure E3 (p.181): Top – Daily sea surface temperatures measured from the Underwater Observatory jetty since 2002. Linear regression represents the long term trend of rising SST since 1988 (data courtesy of Prof. Amatzia Genin). Bottom – Annual average SST.
- Figure E4 (p.183): The meteorological station at the end of the IUI pier.
- Figure E5 (p.185): 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.
- Figure E6 (p.186): Maximum and minimum (red and blue, respectively) daily air temperature above the sea.
- Figure E7 (p.187): Maximum daily global radiation (top), ultraviolet radiation (middle) and photosynthetically available radiation (bottom).
- Figure E8 (p.188): Maximum and minimum (red and blue, respectively) daily values of relative humidity over the sea.
- Figure E9 (p.189): Maximum and minimum (red and blue, respectively) daily water temperature at ~2m depth.
- Figure E10 (p.189): Maximum and minimum (red and blue, respectively) daily sea-level measurements.
- Figure E11 (p.190): 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.

Figure E12 (p.191): Currents off the IUI at three depths (near the sea floor at 39m, 20m and close to the surface at 5m) in 2017. 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.

Figure E12 (p.192): Currents off the IUI at three depths (near the sea floor at 39m, 20m and close to the surface at 5m) in 2017. Stick diagrams represent the average current direction and speed in each day.

Figure E14 (p.193): Monthly current patterns off the IUI at three depths (near the sea floor at 39m, 20m and close to the surface at 5m). Rose diagrams present the frequency of a given direction by the size of petals and the frequency of current velocity by the colored area in each petal.

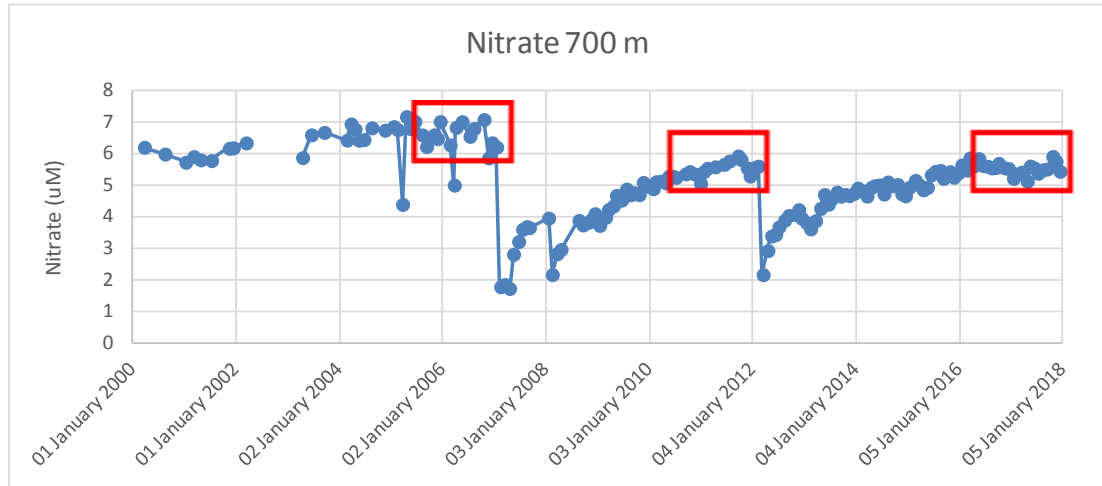
Figure E15 (p.195): Weekly dust concentrations in the air above the sea. Dust is measured on filters through which air is continuously pumped.

Figure G1 (p.198): Study sites of water sampling (surface water and water column). Station B (not shown) is located 10 km south of Station A.

Figure G2 (p.199): Sites of photographic monitoring of fixed areas in the coral reef.

## 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 ובחנו את הריכוז הממוצע השנתי של כל אחד מהנוטריינטים: ניטראט, פוספאט וסיליקה בשנה הרביעית והחמישית לאחר ערבוב עמוק (לפחות 600 מ'). לאחר 4 שנים נראה שריכוזי הנוטריינטים מגיעים למצב קרוב ל state – steady. מסד הנתונים מאפשר השוואה של שלושה מקטעים שכאלה 2005-6, 2010-11, 2016-2017 (איור א2).



איור א2: חלוקת סדרת הזמן של ריכוזי ניטראט בעומק 700 מטרים בתחנה A לשלושה מקטעים בני שנתיים כל אחד, 4-5 שנים לאחר ערבוב אנכי עמוק (מסומנים באיור בריבועים האדומים).

**Figure A2: Division of the Nitrate concentrations time series at 700 meters depth in Atation A into three intervals of two years, 4-5 yers following deep vertical mixing (red rectangles)**

השאלה שנשאלה הייתה האם שלושת המקטעים נבדלים ביניהם בריכוזי הנוטריינטים הנ"ל ובריכוז החמצן המומס. השאלה נבחנה במבחן ANOVA. אם נמצא אפקט מובהק למקטע, השתמשנו במבחן פוסט הוק (Tukey) למציאת הבדל בין זוגות של מקטעים. נמצא שהתקופה 2005-6 נבדלת באופן מובהק (ריכוז נוטריינטים ממוצע גבוה יותר) משתי התקופות המאוחרות לה (טבלה א2).

	Mean period 1	Mean period 2	Mean period 3	ANOVA	Period that signif. differed (Tukey Post Hoc)
Oxygen	163.76	174.11	172.99	0.00001	2005-6
NO3	6.48	5.39	5.55	0.00001	2005-6
Si	3.48	2.96	3.16	0.0001	2005-6
PO4	0.35	0.30	0.32	0.000165	2005-6

טבלה א2: ממוצעי ריכוזים כימיים בסדרות הזמן בשנה הרביעית והחמישית לאחר ערבוב עמוק (2005-6, 2010-11, 2016-17) בעומק של 700 מטרים, ועד כמה הם נבדלים זה מזה.

**Table A2: Average concentrations of nutrients at 700 meters depth in the fourth and fifth years following deep mixing (2005-6, 2010-11, 2016-17), and their calculated dtatistical difference.**

שאלה נוספת היא האם ישנו הבדל מובהק בקצב העליה בריכוזי הנוטריינטים בעומק 700 מטר

(והירידה בריכוזי החמצן) בארבע השנים הראשונות שלאחר חורף עם ערבוב עמוק. בבסיס הנתונים של הניטור ישנם שני מקטעי זמן עליהם נבחנה השאלה (2008-2011 ו-2012-2015). נמצא שעבור כל המשתנים שנבחנו, בשנים בהן עומק הערבוב היה רדוד, קצב צבירת הנוטריינטים וקצב צריכת החמצן במים העמוקים (מיוצגים על ידי עומק 700 מטרים) ירד באופן מובהק בין מקטע הזמן הראשון, 2008-2011, ומקטע הזמן השני, 2012-2015 (טבלה א3, יחידות: שינוי יומי). מנקודת המבט של "אוליגוטרופיות המפרץ" – ירידה מובהקת בקצב צבירת הנוטריינטים (או קצב הירידה המקבילה בריכוז החמצן המומס) נחשבות "טובות".

	2008-2011 Coef	SE	2012-2015 Coef	SE
Oxygen	<b>-0.021***</b>	0.001372	<b>-0.013127</b>	0.002190
NO3	<b>0.0019***</b>	0.000087	<b>0.001165</b>	0.000180
Si	<b>0.000973***</b>	0.000082	<b>0.000500</b>	0.000097
PO4	<b>0.000108***</b>	0.000010	<b>0.000060</b>	0.000011

טבלה א3: שיפוע קו הרגרסיה (לינארית) ושגיאות התקן של ריכוזים כימיים בסדרות הזמן של שנים בהן הערבוב רדוד (2008-2011, 2013-2016) בתקופת הניטור.

**Table A3: the slope of (linear) regression and standard errors of nutrient concentrations during intervals of shallow mixing (2008-11, 2012-15).**

עבור כל המשתנים ההבדל בין התקופה הראשונה והשניה גדול בהרבה מההבדל בין התקופה השניה והשלישית. עבור ריכוזי ניטראט, פוספאט וחמצן ישנה מגמה מובהקת בין תקופות הזמן – ריכוזי ניטראט ופוספאט ירדו וריכוזי חמצן עלו, במשך הזמן – וההבדלים בין השנים מובהקים. עבור ריכוזי הסיליקאט, ההבדלים בין השנים מובהקים אולם השינוי אינו מונוטוני ועל כן לא ניתן לאפיין מגמה.

### 2) מגמות בריכוזי כלורופיל במים העליונים

עבור ריכוזי כלורופיל במים העליונים בתחנה A (ערך ממוצע של ריכוזי הכלורופיל שנמדדו בהפלגות החודשיות בעומקים 20, 40, 60) נבחנה מגמת שינוי לאורך כל תקופת הניטור. נמצאה מגמה מתונה ביותר אך מובהקת סטטיסטית של עלייה בריכוזים, ברמת מובהקות נמוכה (שיפוע הרגרסיה עם שגיאת התקן:  $0.0062 \pm 0.0025$  מ"ג כלורופיל למ"ק לשנה  $p=0.027$ ). לעומת זאת, בריכוזי הכלורופיל בפני הים, הנמדדים מדי יום במזח המצפה התת-ימי, נמצאה מגמת ירידה זעירה אך מובהקת סטטיסטית לאורך תקופת הניטור (שיפוע הרגרסיה עם שגיאת התקן:  $-0.00124 \pm 0.00027$  ,  $p < 0.00001$ ). בהסתמך על השיפועים הזעירים והמגמות המנוגדות נראה כי אין שינוי משמעותי בריכוזי הכלורופיל בצפון המפרץ במשך תקופת הניטור.

### 3) טמפרטורת המים

בפני הים טמפרטורת המים הנמדדת מדי בוקר במזח המצפה התת-ימי מראה מגמה מובהקת של עלייה במשך תקופת הניטור (שיפוע הרגרסיה עם שגיאת התקן:  $0.000192 \pm 0.000021$  מעלה ליום). עלייה זו מיתרגמת לעלייה של 0.07 מעלות בשנה מאז שנת 2004. קצב התחממות פני הים מאז 2004 כפול מהקצב הנמדד מאז שנת 1988. בעומק 700 מ"מ מגמת החימום היא  $0.000025$  ליום, או  $0.009$  °C לשנה (0.9 מעלה למאה שנה). שתי המגמות היו מובהקות (מבחן רגרסיה לינארית  $P < 0.0001$ ).

### 4) מגמות בשונית האלמוגים של אילת

מגמות בשונית האלמוגים נבחנו על ממוצעים שנתיים של כלל אתרי השונית הנסקרים "ממוצע שונית אילת" (מלבד גידול אצות ישיבות באתר IU), בתקופה שמתחילת ניטורו של כל פרמטר ועד 2017 (טבלה א4).

	Reg. coeff.	R <sup>2</sup>	P value
Live cover	0.517	0.83	0.000006
Coral density	0.353	0.6	0.0019
Medium corals	2.534	0.916011	0.000001
Small corals	-2.019106	0.332761	0.0039
LTI	-0.356746	0.678595	0.00029
Urchin density	-0.101	0.5	0.0047
Lagoon corals	-0.154527	0.6	0.0011
Algae (potential)	-0.027348	0.072	NS

טבלה א4: תוצאות מבחני רגרסיה ליניארית עבור משתנים שונים בשוניית האלמוגים של אילת.

Table A4: Linear regression tests for variables measured in Eilat's coral reefs.

נמצאה מגמת עליה מובהקת בכיסוי האלמוגים החיים בשוניות אילת ובצפיפות מושבות האלמוגים הבינוניים. מגמת עליה ברמת מובהקות חלשה יחסית נמצאה בצפיפות מושבות האלמוגים הכללית בשוניות אילת, ובצפיפות מושבות האלמוגים הקטנות נמצאה מגמת ירידה ברמת מובהקות חלשה. מדד הרקמה החיה באלמוגים, נמצא בירידה מובהקת וכך גם צפיפות מושבות האלמוגים בלגונה וצפיפות קיפודי הים.

בפוטנציאל צמיחת האצות הישיבות בשוניית המכון הבינאוניברסיטאי לא נמצאה מגמת שינוי מובהקת לאורך תקופת הניטור.

#### 5 סיכום

תוצאות מבחני המגמה עבור משתנים שונים אחריהם עוקבת תכנית הניטור מסוכמות בטבלה 5, מנקודת מבט של "מצב המערכת". מנקודת מבט זו, מפרץ אוליגוטרופי בו ריכוזי נוטריינטים מומסים נמוכים הוא מצב חיובי, וכך גם עליה בכיסוי וצפיפות אלמוגים. עליה מגמתית בריכוזי כלורופיל או בפוטנציאל גידול האצות תחשב למצב שלילי.

חוזק	"מגמת שיפור"	מגמה	הגורם הנבחן
		<b>ריכוזים כימיים במים עמוקים בעומק 700 מטר</b>	
***	+	עליה בקצב הצבירה, עליה בערכים גבוהים	O <sub>2</sub>
***	+	ירידה בקצב הצבירה, ירידה בערכים גבוהים	NO <sub>3</sub>
***	+	ירידה בקצב הצבירה, ירידה בערכים גבוהים	PO <sub>4</sub>
*		ירידה בקצב הצבירה, ללא מגמה בערכים גבוהים	Si(OH) <sub>4</sub>
		ללא מגמה	<b>ריכוזי כלורופיל במים עליונים</b>
***	--	עליה	<b>טמפרטורת פני הים</b>
		<b>שוניית האלמוגים</b>	
***	+	עליה	כיסוי אלמוגים חיים
*	+	עליה	צפיפות אלמוגים
***	+	עליה	צפיפות מושבות בינוניות
*	--	ירידה	צפיפות מושבות קטנות
***	--	ירידה	מדד הרקמה החיה
***	--	ירידה	צפיפות אלמוגים בלגונה
***	--	ירידה	צפיפות קיפודי הים
		ללא מגמה	פוטנציאל צמיחת אצות ישיבות

טבלה א5: סיכום תוצאות מבחני מגמות במצב המערכת בצפון מפרץ אילת, המסתמנות מתוך נתוני תכנית הניטור.

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

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 ופולנקטוניות, התפרצות מחלות ותמותה של דגי שונית, זרימת מי שיטפונות ועוד. גם הגורמים "הטבעיים" האלה מושפעים מהתערבות אנושית – הצטברות חומרי דשן במי הים או במי הנגר השוטפים אל הים מעודדת פריחת אצות וחדירת חיידקים פתוגנים העשויה, בהיווצר התנאים המתאימים, לגרום לפגיעה קשה בבע"ח מקומיים. תנודות בכיסוי האלמוגים ופריחת 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 פיזית 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 פריחת של אצות צמודות מצע המתחרות עם אלמוגים על שטחי השונית. בהינתן התנודות בחברת הרועים יש לנסות ולהפחית את הלחץ האנושי על הקיפודים והדגים הרועים. בפרט אנו ממליצים לאסור כליל דייג של דגים אוכלי אצות בצפון המפרץ, ולפעול להגנתם מפני פגעים נוספים. כמו כן, יש להקפיד על אכיפת האיסור לפגוע בקיפודי ים לאורך חופי אילת ובפרט בקרבת השונית.

III. בשנה הקודמת לא זוהו "חריגות" בריכוזי נוטריינטים בתחנות הניטור החופיות, אולם השנה שוב תועדו אירועי "זיהום" בנוטריינטים באתרים הצפוניים. חריגות בריכוזי נוטריינטים בקרבת מקור חופי מעלות חשש לכניסה מקומית של מים נושאי חומרים מומסים מהיבשה לים באזורים אלה. 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. האזור נפגע בשנים האחרונות משיטפונות שהובילו לים סדימנט דק אשר כיסה את קרקעית הים עד לעומק מים של עשרות מטרים. התאוששות לאחר השיטפונות ניכרה תוך חודשים ספורים, אולם הפרעות חוזרות פגעו במצב המערכת האקולוגית שם ובפרט במרבדי 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 עמדות המים מצויה בתהליך איטי של ירידה בכמות הנוטריינטים המומסים בעמדות המים. עם זאת, בשנים האחרונות נמצאה עליה בכיסוי אצות בשוניות אילת, ופגיעה במרבדי עשב ים כתוצאה משיטפונות. ממצאים אלה מצביעים על כך שהמערכת מצויה באיזון עדין. לא ניתן להצביע על גורם נקודתי אחד בשטחנו בו ניתן לטפל ישירות, אך נראה כי יכולתה של המערכת האקולוגית 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 הניתנים למניעה, גם אם עקיפים או קטנים. מכיוון ששטח חופי מפרץ אילת בתחום ישראל קטן והשונית מקוטעת, כל פגיעה עשויה להוות גורם מכריע – בסופו של דבר, מערכת מוחלשת תתקשה להתמודד עם מגוון עקות הפועלות במקביל.

## ב. שונית האלמוגים

### 1.1. סקר חברת השונית

#### מטרה

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

#### שיטות

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

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

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

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

סקר חברת האלמוגים נעשה על פי שיטת חתכי הקו שפותחה על-ידי Loya *et al.* (1972). בכל אתר גיאוגרפי נפרש סרט מדידה מנקודת התחלה אקראית לאורך קו עומק כמפורט בטבלה ב1. לאורך סרט המדידה נבחרה מראש נקודת ההתחלה של החתך על-ידי מחולל מספרים אקראיים. מנקודה זו בוצעו חתכים באורך 10 מטרים לאורך סרט המדידה, כשבנייהם 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-25% 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 2ז, טבלה 1ז). בכל חתך נרשם גם סוג המצע תחת סרט המדידה (סלע חשוף, חול, חלוקים, אלמוגים מתים, וכו').

מושבנות האלמוגים תחת סרט המדידה חולקו לאחת מארבע קבוצות גודל ואחוז הרקמה החיה בכל מושבה הוערך ונרשם. ארבע קבוצות הגודל הן  $5 < \text{ס"מ}, 5-15 \text{ ס"מ}, 15-30 \text{ ס"מ}$  ו-  $30 < \text{ס"מ} (L, M, S, H$  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 באומזן 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 3ז).



איור ב1: תצלום אווירי של קטע החוף הצפון-מערבי של המפרץ, דרומית לעיר אילת, עליו מצוינים האתרים בהם נסקרה חברת השונות, מהמעבדה הימית בדרום ועד לקצא"א בצפון. הקווים הצהובים מייצגים את האתרים הנסקרים: (1) המעבדה הימית, (2) שמורת האלמוגים, ו (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 תחתך 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  $i$  (או סוג) 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.

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

מדד המגוון של Shannon Wiener נבחר מכיוון שהוא המדד בו השתמשו סוקרי השונית באילת בעבר (Loya 1972) וכך מתאפשרת השוואה בין נתונים שנאספים במסגרת תוכנית הניטור לנתונים שנאספו בעבר. יחד עם זאת, מגוון המינים בעבודות הקודמות לתוכנית הניטור חושב עבור חתך בן עשרה מטרים בכל אתר, ולא עבור האתר כולו (דיון מקיף מובא בדו"ח התכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת, 2006). ניתוח נוסף למגוון המינים נעשה באמצעות עקומות צבירה (rarefaction curves) המחושבות באמצעות תכנת EstimateS (Colwell, 2005), ומתוכן מחושבת גם תוחלת המינים הצפויה בספירה של 1500 מושבות מתוך כלל שוניות אילת.

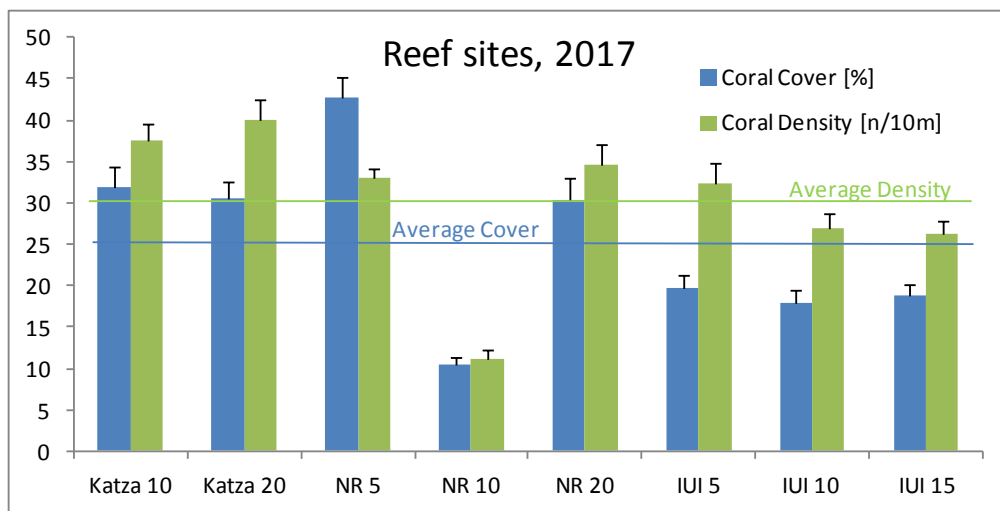
הניתוח הסטטיסטי נעשה באמצעות התוכנות Systat v9 (SPSS inc, 1998) ו-SPSS 16.0 (<http://www.spss.com/statistics>). בחינת המובהקות הסטטיסטית נעשתה בעזרת מבחן ANOVA. במידת הצורך נעשה המבחן לאחר שהנתונים עברו טרנספורמציה לשמירה על אחידות השונות. הטרנספורמציה כללה נרמול של כל ערך שנמדד על ידי חלוקתו בממוצע 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 השניית תת-פרק נפרד בדו"ח זה. קווי שגיאה מייצגים את שגיאת התקן, אלא אם מצוין אחרת.

## תוצאות:

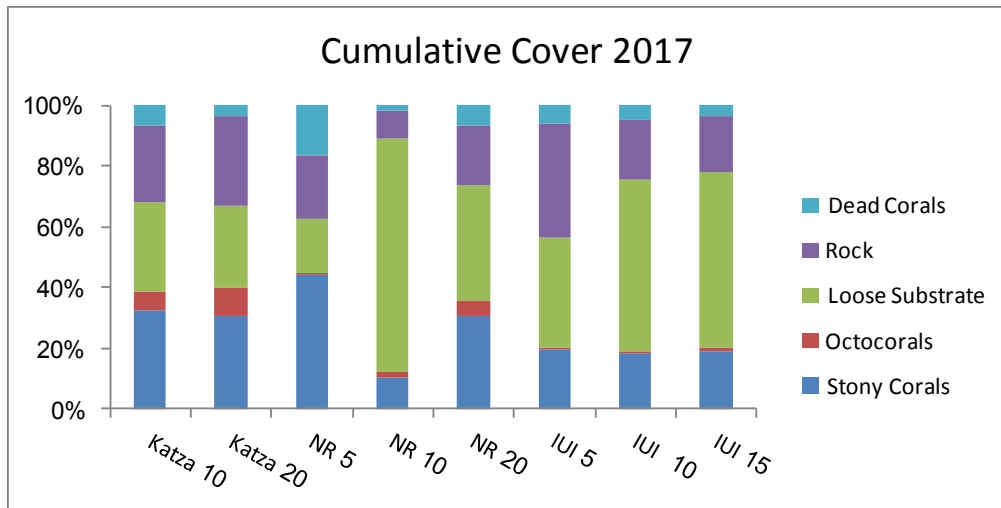
### כיסוי אלמוגים וצפיפות מושבות

אחוז השטח המכוסה אלמוגי אבן חיים שונה מאד בין האתרים, וכך גם צפיפות האלמוגים (איור ב3). כיסוי האלמוגים הגדול ביותר נמצא בשוניית הרדודה בשמורת האלמוגים (5-NR), בה נמדד השנה כיסוי אלמוגי אבן של 43%. הכיסוי הנמוך ביותר נמצא באתר השמורה בעומק עשרה מטרים (10-NR), עם 10% 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, והשוניית בו בעלת אופי כתמי. אתר השמורה הרדוד, לעומתו, הוא אתר של מבנה שוניית מסיבי ורציף, והכיסוי הגבוה בו (יחד עם צפיפות נמוכה באופן יחסי) משקף אכלוס על ידי מושבות אלמוגים גדולות. כיסוי האלמוגים הממוצע באתרי השוניית הנסקרים היה השנה 25.3%, וצפיפות המושבות הממוצעת היתה 30.2%.



**איור ב3: צפיפות המושבות ושטח הכיסוי הממוצע של אלמוגי אבן חיים בכל אתר בשנת 2017**  
**Figure B3: Average live stony coral cover and colony density at each site, in 2017**

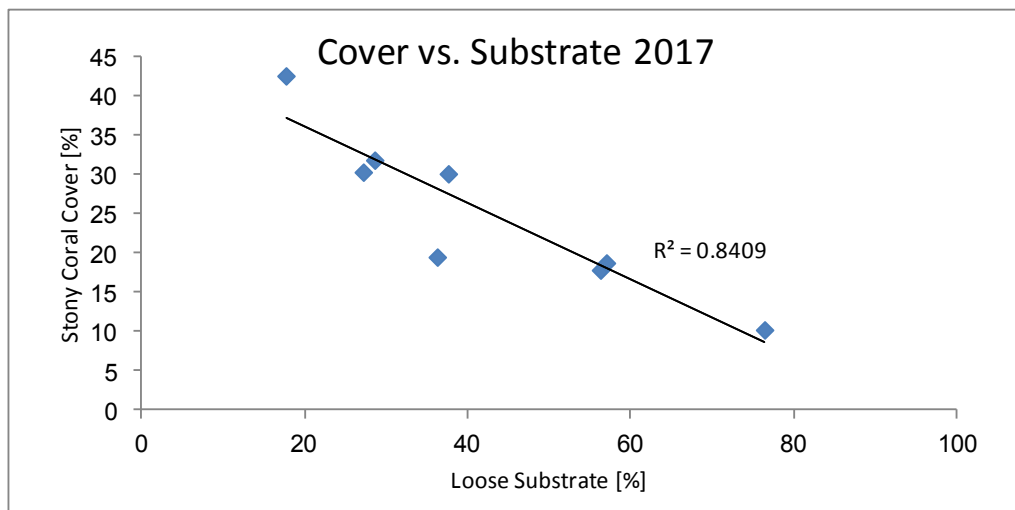
ההבדלים בין האתרים באחוז כיסוי האלמוגים משקפים בעיקר את אופיים השונה של בתי הגידול. הבדלים גדולים בין האתרים הנסקרים (מלבד הבדלים בעומק) ניכרים בהתפלגות סוג המצע עליו עשויים אלמוגים להתיישב (איור ב4). אתר השמורה 10-NR בו כיסוי האלמוגים קטן ביותר הוא אתר חולי בעיקרו, ואילו רדוד יותר – אתר 5-NR – הוא אתר שרובו שוניית רציפה ואחוז המצע הלא-מלוכד בו נמוך. ההבדלים בכמות הקרקעית הלא מלוכדת (חולית, בעיקר) בין האתרים מבטאים את מידת הכתמיות של השוניית בכל אתר, ובאתרים בהם מצע חולי הוא מרכיב חשוב וגורם למופע כתמי של השוניית 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 22% (באתר 15-IUI) ל-50% (NR-10). מקדם שונות גבוה מצביע על כתמיות חזקה של מפזר האלמוגים באתר, ועל מגבלת דייקנותו (precision) של הערך הממוצע.



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

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

אחוז הכיסוי של אלמוגי אבן חיים באתר נמצא בהתאמה הפוכה לכמות המצע ה"לא מלוכד" (non-consolidated), הכולל חול וחלוקים, באותו אתר (איור ב5). המתאם השנה עומד על  $R^2=0.84$ . כך, נמצא שחלק גדול מן ההבדל באחוז הכיסוי החי בין האתרים מוסבר באמצעות הבדלים באחוז המצע הלא מלוכד, אשר אינו מתאים להתיישבות אלמוגים.



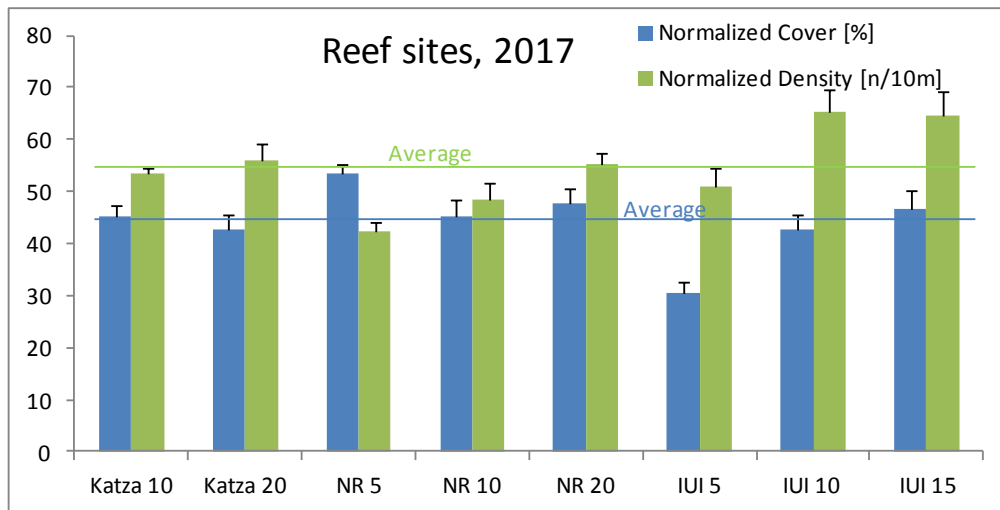
**איור ב5: אחוז הכיסוי של אלמוגי אבן חיים כנגד אחוז המצע הלא-מלוכד (קרקע חולית) באתרים השונים**  
**Figure B5: Percent live stony coral coverage versus unconsolidated (sandy) sea floor in the sites examined**

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

יושבים על מצע כזה (איור 6).

בהתבוננות זו נראה כי ההבדלים במידת ההצלחה של אלמוגי האבן בין האתרים, קטנים יותר. אתר שמורת האלמוגים בעומק 5 מטר בעל הכיסוי המנורמל הגבוה ביותר (53.4%) ואתר המעבדה הימית בעומק הרדוד, 5 מטר, בעל כיסוי מנורמל נמוך יחסית (30.5%). כיסוי אלמוגי אבן על גבי מצע מלוכד באתרי השונית היה השנה 44.2%, בממוצע.

צפיפות המושבות על גבי קרקע מלוכדת גבוהה בכל האתרים (בממוצע נספרו 54.5 מושבות בחתך קרקע מלוכדת מנורמל לעשרה מטרים). צפיפות המושבות נמוכה מן הממוצע רק באתר השמורה הרדוד, בעומק 5 מטרים, שם מצויות מושבות גדולות באופן יחסי.



איור 6: ניצול המצע המתאים להתיישבות אלמוגים בשנת הניטור 2017. אחוז הכיסוי וצפיפות המושבות של אלמוגי אבן חיים מתוך סך הקרקע הסלעית בכל אתר.

**Figure B6: Utilization of available substrate by stony corals in 2017. The percent cover and colony density of live stony corals on hard consolidated seafloor at each monitored site.**

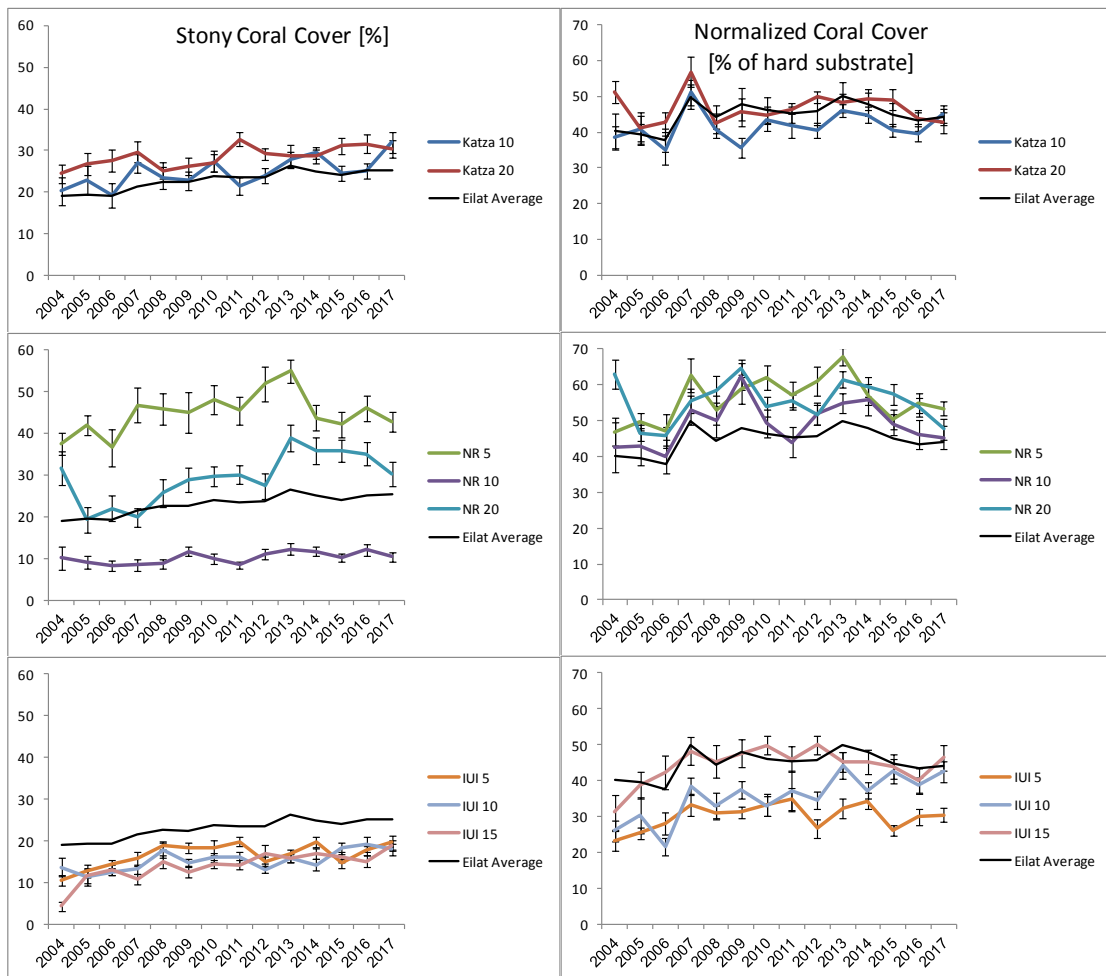
בהשוואה לשנים קודמות, כיסוי אלמוגי האבן הממוצע בשוניות אילת דומה השנה לערך שנמדד בשנה הקודמת (הכיסוי הממוצע שנמדד השנה בשוניות אילת עומד על 25.3%). עליה בכסוי האלמוגים החיים נמדדה השנה רק בשלושה מתוך שמונה האתרים הנסקרים (Katza 10, IUI 5, IUI 15), אולם סך השינוי הנמדד בכיסוי בין השנים קטן (איור 7). הכיסוי הממוצע באלמוגים חיים הנמדד באתרי אילת היה גבוה ביותר בשנת 2013 (26.85%) בשנים 2014-5 ערך זה קטן מעט, ובשנתיים האחרונות שוב נמדדה עליה קלה. במבט לאורך תקופת הניטור כולה, ארבע עשרה השנים האחרונות ישנה מגמה מתונה של עליה לאורך זמן (בשלוש השנים הראשונות לניטור נמדד כיסוי ממוצע שנע סביב 19%, ובשלוש השנים האחרונות כיסוי האלמוגים הממוצע הנמדד בשוניות אילת קרוב ל- 25%. מגמת העליה בכיסוי האלמוגים בשוניות אילת הנמדדת מאז 2004 עומדת על כ- 0.52% בשנה, עם התאמה של  $R^2=0.828$ . מגמה זו נמצאת מובהקת במבחן ANOVA ( $P<<0.001$ ).

כאמור, 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.

במבט על יעילות האלמוגים בניצול קרקע מלוכדת להתיישבות ובניית שונית (כיסוי אלמוגים מנורמל, ראו למעלה) נמדדות תנודות גדולות יותר בין השנים בכל האתרים (איור 7, מימין). 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, ובפרט ברדודים – הנמוך ביותר. לאורך השנים אתר המעבדה הרדוד, IUI-5, הוא האתר בו ניצול המצע המתאים להתיישבות הוא הנמוך ביותר ולעומתו, אתרי השמורה 20-NR ו-5-NR לאורך השנים בעלי הכיסוי המנורמל הגבוה ביותר. על אף שההבדלים בין האתרים קטנים כאשר מנרמלים את הכיסוי למצע, נראה כי ההבדלים בין קצא"א, השמורה והמעבדה הימית אינם קשורים בזמינות מצע אלא במכלול תנאים המשפיעים על הצלחת השונית. עוד נראה כי הבדלים בין העומקים בכל מיקום נשמרים גם הם 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.



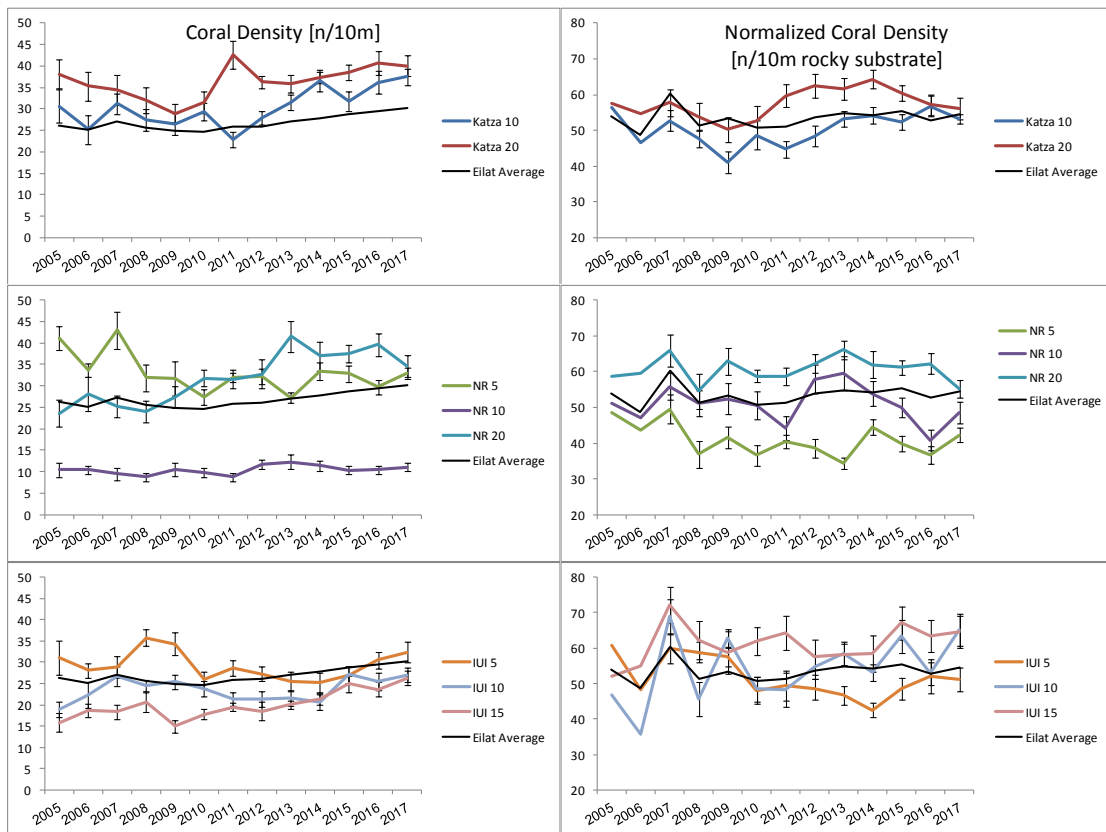
איור ב7: משמאל - שטח הכיסוי הממוצע של אלמוגי אבן חיים בכל אתר, באחוזים מכלל השטח (למעלה), האתרים הצפוניים ביותר, בקצא"א, ולמטה הדרומיים, במעבדה הימית). מימין – ניצול המצע הסלעי על ידי אלמוגים (שטח הכיסוי הממוצע מתוך הקרקעית הסלעית). בקו שחור דק ניתן הערך הממוצע בין שמונה אתרי השונית הנסקרים.

**Figure B7: Left - The average live stony coral cover at each site, as percent of total area (top, the northernmost sites at the oil terminal, and bottom the southernmost sites of the Marine Science Laboratory). 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.**

בשניים מתוך האתרים הנסקרים (Katza 20, NR 10) נספר השנה מספר דומה של מושבות, בממוצע, בהשוואה לשנה הקודמת. באתר NR 20 נספרו פחות מושבות ובשאר האתרים (חמישה מתוך שמונה) נספרו בממוצע יותר מושבות מאשר בשנה הקודמת (איור ב8). צפיפות מושבות האלמוגים הממוצעת בין כל האתרים היתה נמוכה ביותר בשנים 2009-10 ונמצאת בעליה מאז. השנה נספרו בממוצע 30.2 מושבות אלמוגי אבן במקטע באורך עשרה מטרים, לעומת 29.5 בשנה הקודמת. בסך הכל, השינויים בצפיפות האלמוגים בשנים האחרונות קטנים למדי, עם מגמת עליה קלה בשנים האחרונות (איור ב8). מגמה זו של עליה קלה במספר מושבות אלמוגי האבן הנספרים בחתך ממוצע באורך 10 מטרים הינה מובהקת (תוצאות מבחן ANOVA:  $P=0.001$ ,  $R3=0.674$ ).

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 ב8: משמאל - המספר הממוצע של מושבות אלמוגי אבן חיים במקטע באורך עשרה מטרים בכל אתר (למעלה, האתרים הצפוניים ביותר, בקצא"א, ולמטה הדרומיים, במעבדה הימית). מימין - 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 B8:** 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. הצפיפות הממוצעת של מושבות אלמוגים באתרי הניטור עלתה באופן עקבי, אם כי מתון, מאז שנת 2010.



Site	Katza 10	Katza 20	NR 5	NR 10	NR 20	IUI 5	IUI 10	IUI 15	Averages			Average
									Katza	NR	IUI	Eilat
Transects	17	13	21	23	17	15	15	12	30	61	42	
<b>Stony coral</b>	<b>32</b>	<b>30.47</b>	<b>42.74</b>	<b>10.36</b>	<b>30.26</b>	<b>19.64</b>	<b>17.98</b>	<b>18.89</b>	<b>31.34</b>	<b>27.05</b>	<b>18.83</b>	<b>25.29</b>
stdev	10.21	7.71	10.78	5.16	11.69	6.44	5.39	4.17	9.09	16.76	5.41	10.35
SE	2.48	2.14	2.35	1.08	2.83	1.66	1.39	1.20	1.66	2.15	0.83	3.66
CV	0.32	0.25	0.25	0.50	0.39	0.33	0.30	0.22	0.29	0.62	0.29	0.41
<b>Octocoral</b>	<b>6.35</b>	<b>9.04</b>	<b>0.57</b>	<b>1.87</b>	<b>5.35</b>	<b>0.73</b>	<b>0.83</b>	<b>1.10</b>	<b>7.51</b>	<b>2.39</b>	<b>0.87</b>	<b>3.23</b>
stdev	3.90	5.99	0.85	1.47	3.46	0.90	0.73	1.28	5.01	2.82	0.96	3.24
SE	0.95	1.66	0.18	0.31	0.84	0.23	0.19	0.37	0.91	0.36	0.15	1.14
CV	0.61	0.66	1.48	0.79	0.65	1.22	0.88	1.16	0.67	1.18	1.10	1.00
<b>GRV+Sand</b>	<b>28.57</b>	<b>27.17</b>	<b>17.68</b>	<b>76.42</b>	<b>37.61</b>	<b>36.25</b>	<b>56.28</b>	<b>57.01</b>	<b>27.96</b>	<b>45.38</b>	<b>49.33</b>	<b>42.12</b>
stdev	12.15	12.97	12.59	9.69	12.27	10.21	9.65	10.69	12.31	27.97	13.99	19.49
SE	2.95	3.60	2.75	2.02	2.98	2.64	2.49	3.09	2.25	3.58	2.16	6.89
CV	0.43	0.48	0.71	0.13	0.33	0.28	0.17	0.19	0.44	0.62	0.28	0.46
<b>Rock</b>	<b>24.82</b>	<b>28.95</b>	<b>20.23</b>	<b>9.03</b>	<b>19.80</b>	<b>37.34</b>	<b>19.39</b>	<b>18.65</b>	<b>26.61</b>	<b>15.89</b>	<b>25.59</b>	<b>22.28</b>
stdev	8.81	13.84	9.81	5.46	5.72	7.15	6.87	8.39	11.25	8.99	11.45	8.33
SE	2.14	3.84	2.14	1.14	1.39	1.85	1.77	2.42	2.05	1.15	1.77	2.94
CV	0.36	0.48	0.48	0.60	0.29	0.19	0.35	0.45	0.42	0.57	0.45	0.37
<b>Dead Coral</b>	<b>6.78</b>	<b>3.64</b>	<b>16.04</b>	<b>2.06</b>	<b>6.55</b>	<b>5.95</b>	<b>4.61</b>	<b>3.37</b>	<b>5.42</b>	<b>8.12</b>	<b>4.74</b>	<b>6.12</b>
stdev	3.78	2.15	5.37	2.56	4.14	2.87	3.25	3.14	3.51	7.30	3.19	4.33
SE	0.92	0.60	1.17	0.53	1.00	0.74	0.84	0.91	0.64	0.94	0.49	1.53
CV	0.56	0.59	0.34	1.25	0.63	0.48	0.71	0.93	0.65	0.90	0.67	0.71
<b>Normalized Cover</b>	<b>45.04</b>	<b>42.69</b>	<b>53.35</b>	<b>45.33</b>	<b>47.69</b>	<b>30.51</b>	<b>42.60</b>	<b>46.48</b>	<b>44.02</b>	<b>48.75</b>	<b>39.39</b>	<b>44.21</b>
stdev	10.15	10.47	9.00	14.93	12.34	7.93	11.11	12.46	10.18	12.71	12.35	6.49
SE	2.46	2.90	1.96	3.11	2.99	2.05	2.87	3.60	1.86	1.63	1.91	2.30
CV	0.23	0.25	0.17	0.33	0.26	0.26	0.26	0.27	0.23	0.26	0.31	0.15
<b>Density</b>	<b>37.47</b>	<b>40.08</b>	<b>32.95</b>	<b>11.13</b>	<b>34.59</b>	<b>32.40</b>	<b>27.00</b>	<b>26.25</b>	<b>38.60</b>	<b>25.18</b>	<b>28.71</b>	<b>30.23</b>
stdev	8.19	8.46	5.84	4.97	10.58	9.04	6.62	5.82	8.27	13.12	7.73	9.04
SE	1.99	2.35	1.28	1.04	2.57	2.33	1.71	1.68	1.51	1.68	1.19	3.19
CV	0.22	0.21	0.18	0.45	0.31	0.28	0.25	0.22	0.21	0.52	0.27	0.30
<b>Normalized Density</b>	<b>53.30</b>	<b>56.04</b>	<b>42.26</b>	<b>48.48</b>	<b>55.07</b>	<b>51.11</b>	<b>65.13</b>	<b>64.56</b>	<b>54.49</b>	<b>48.17</b>	<b>59.96</b>	<b>54.49</b>
Stdev	5.36	11.13	9.02	14.62	10.19	12.87	17.17	15.91	8.31	12.61	16.42	7.71
SE	1.30	3.09	1.97	3.05	2.47	3.32	4.43	4.59	1.52	1.61	2.53	2.73
CV	0.10	0.20	0.21	0.30	0.18	0.25	0.26	0.25	0.15	0.26	0.27	0.14

טבלה ב2: סיכום נתוני הכיסוי שנאספו בחתכי הקווים באתרי השוניית 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.**

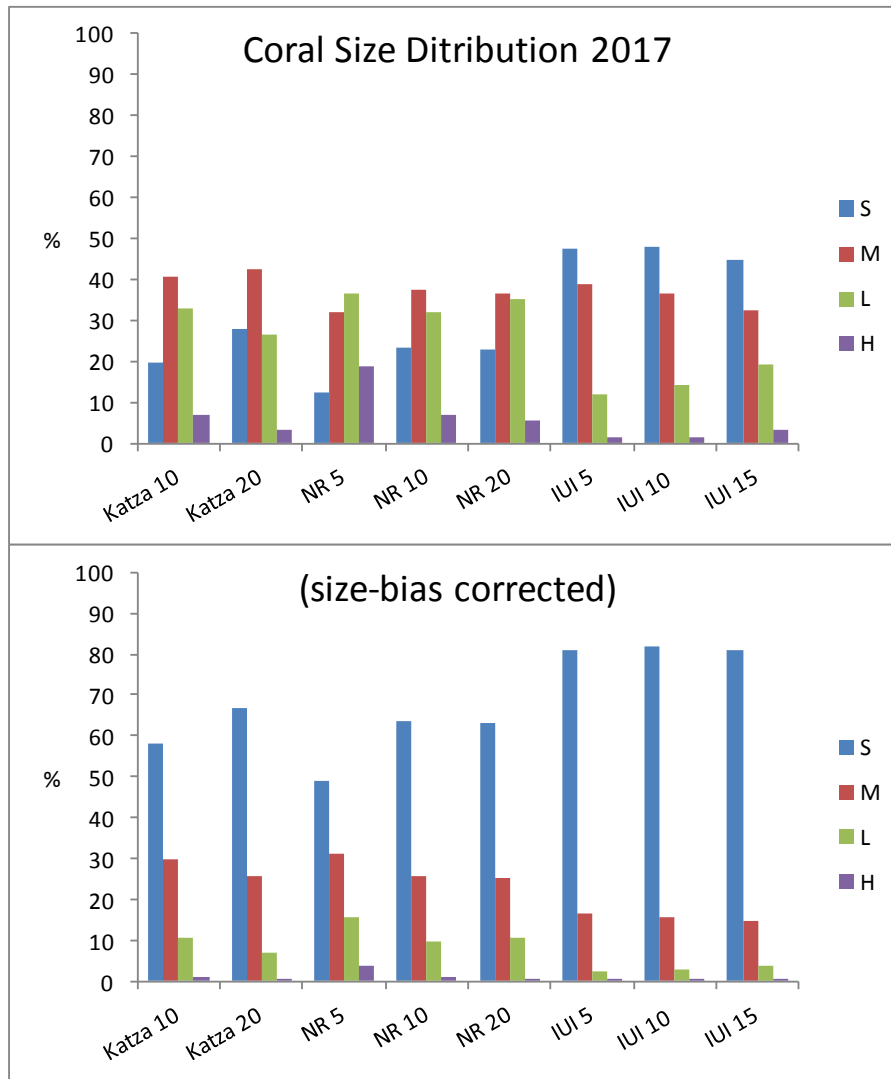
## גודל מושבות אלמוגים

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

השימוש בשיטת חתכי קו ליצירת התפלגות גודל מושבות סובלת מהטייה הנובעת מכך שלמושבות קטנות סיכוי קטן יותר להיכלל בסקר (Zvuloni et al. 2008). במילים אחרות: חלקן היחסי של מושבות קטנות הנספרות בפועל בסקר זה הוא קטן מחלקן היחסי באוכלוסיה. לפיכך, איור 9 מציג את התפלגות גדלי האלמוגים באתרים המנוטרים כפשוטה (למעלה) ואת ההתפלגות המתוקנת להטייה, המייצגת טוב יותר את המציאות (למטה). בהתחשב בתיקון ההטייה נראה שחלקן היחסי של מושבות האלמוגים הקטנות ברוב האתרים בערך כפול מחלקן בספירות עצמן.

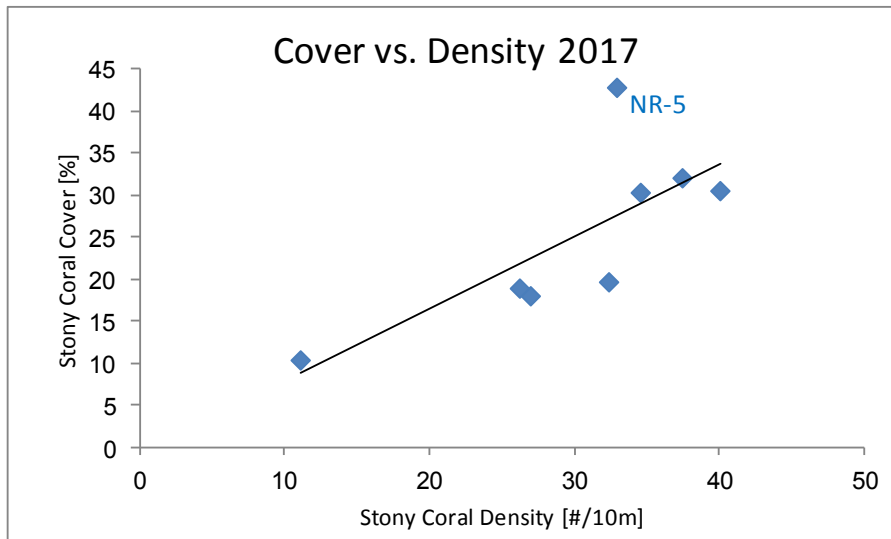
מספר מושבות האלמוגים הלא-מעונפים גדול בערך פי 4 ממספר מושבות האלמוגים המעונפים. על כן התפלגות גדלי כל האלמוגים דומה במידה רבה להתפלגות הגדלים בקבוצת האלמוגים הלא-מעונפים (ראו דו"חות הניטור הקודמים). על ההפרדה בין שתי הקבוצות מקשה העובדה שבגודל הקטן קשה, לעיתים, להבחין במופע המעונף וישנם אלמוגים אשר להם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

חלקן של מושבות האלמוגים הקטנות באתרי IUI גדול יותר מחלקן באתרי הניטור האחרים. אלה גם האתרים בהם נספרו בפועל יותר ממושבות קטנות ממושבות בקבוצות גודל אחרות. באתר 5-NR חלקן של המושבות הקטנות הוא הקטן ביותר וחלקן של קבוצות הגודל האחרות הוא הגדול ביותר באתרי הניטור. לאחר תיקון ההטייה בספירת מושבות לפי גדלים, נראה שחלקן של המושבות הקטנות גדול מ-50% בכל האתרים, כאשר באתרי IUI חלקן של המושבות הקטנות 81%-80%, ובאתר 5-NR חלקן 49% בלבד. באתר השמורה הרדוד, 5-NR, חלקן של המושבות "הענקיות" כ-4% מכלל המושבות (לאחר התיקון להטיית הספירה). יחד עם זאת, באתר זה מושבות אלמוגים "ענקיות" תופסות שטח גדול במיוחד וכך אתר זה חריג ביחס בין צפיפות המושבות וכיסוי האלמוגים בו (איור 10), התאמת קו הרגרסיה על היחס בין כיסוי וצפיפות מושבות בכל האתרים מלבד 5 NR עומדת על  $R^2=0.841$ . בהשוואה לאתרי שונות 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 9: התפלגות גודל מושבות האלמוגים באתרים הנסקרים. חלוקת הגדלים לפי המפתח הבא: Small > 5 ס"מ; Medium > 5 ס"מ; 15 ס"מ > M; 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 (Zvuloni et al. 2008).

**Figure B9: 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).**

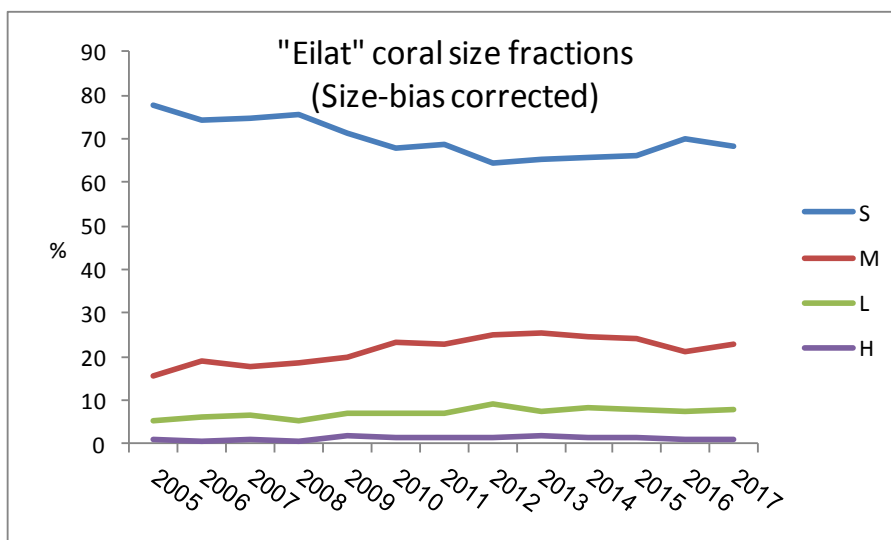


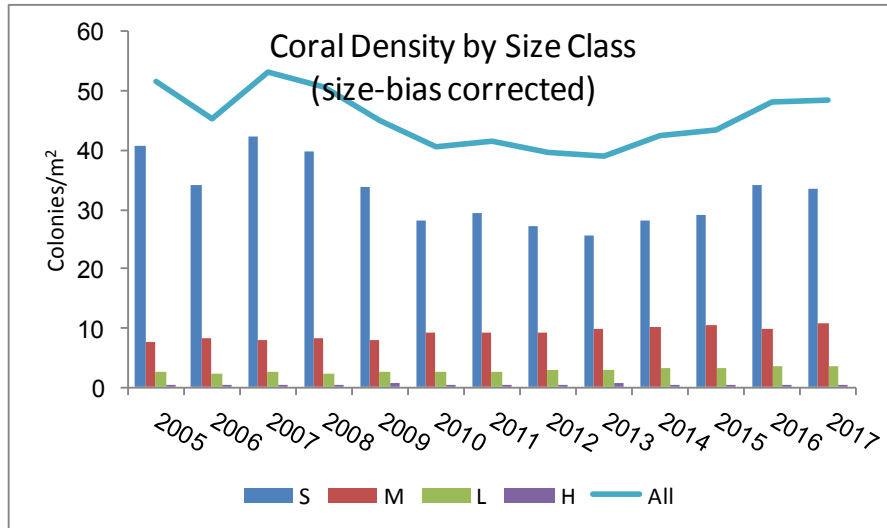
איור ב10: אחוז השטח המכוסה אלמוגי אבן חיים כנגד מספר מושבות האלמוגים במקטע ממוצע באורך עשרה מטרים באתרי השוניית הנסקרים.

**Figure B10: 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, אשר הגיע לערך הנמוך ביותר בשנת 2012, בה חושב חלקן היחסי כ- 64%. בשנים מאז החל חלקן לעלות שוב, אם כי השנה נמצאה ירידה קלה לערך של כ- 68% (איור ב11, למעלה). במקביל, עלה חלקן של המושבות בגודל הבינוני והגיע לערך מרבי של 25.5% בשנת 2013 ועמד השנה על כ- 23%. 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 ב11, למטה). נראה שבשנים אלו נפגעה אוכלוסית האלמוגים הקטנים וגיוס אלמוגים חדשים לשוניות אילת לא פיצה על האבדן.

בשנים האחרונות עולה צפיפות מושבות האלמוגים בכלל וזו של האלמוגים הקטנים בפרט.





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

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

#### בריאות אלמוגים

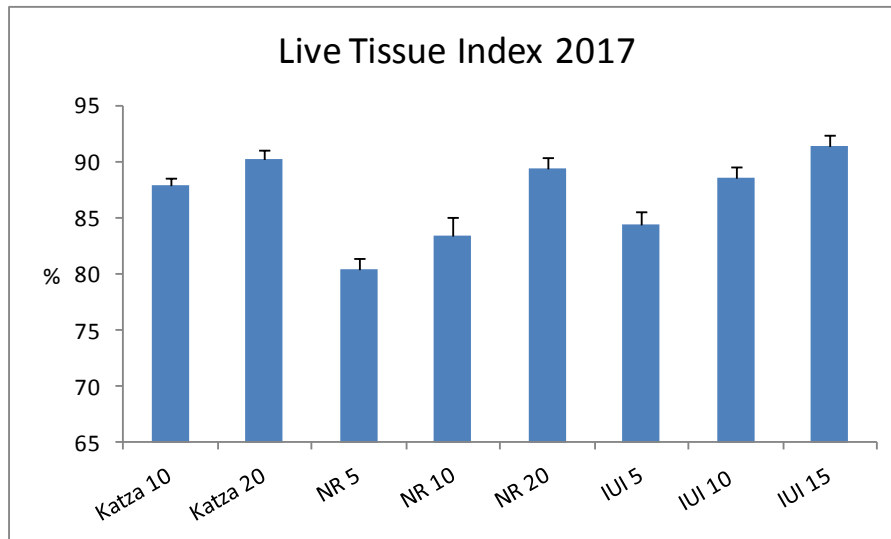
בתכנית הניטור נעשה שימוש באומדן שיעור הרקמה הלא פגועה באלמוג כמדד ל"בריאותו". מדד זה, להלן Live Tissue Index (LTI) נמדד עבור כל אחד מאלפי האלמוגים הנכללים מקטעי הקו הנסקרים בשוניות, על ידי קביעה ויזואלית (של הצולל הסוקר) של אחוז השטח של שלד המושבה המכוסה ברקמה חיה.

למרות שאומדן אחוז הרקמה החי במושבה הוא איכותי, כמות המושבות המשתתפות בסקר (אלפים), העובדה ששגיאת ההערכה עשויה להיות לשני הכיוונים, והמשמעות הקטנה של שגיאת הערכה בסדר של 10% או פחות עבור מושבה בודדת לגבי ממוצע כל המושבות, מבטיחה מדד אמין. על מנת לוודא כי האומדן הוויזואלי אכן מדויק בטווח של 10%, וכי אין הטיה מגמתית בהערכה, ערכנו בשנת 2008 ניסוי מבוקר להערכת דיוק השיטה. תוצאות הניסוי מצביעות על דיוק גדול בהרבה מהצפוי (התוכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת, דו"ח מדעי 2008, נספח 3). 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 (80.4%). באתר זה מדד הרקמה החיה נמוך במיוחד עקב ריבוי המושבות הגדולות והענקיות בו, מושבות שגילן, כנראה, רב יותר ולכן אחוז הפגיעה ברקמותיהן מהווה סכימה (אינטגרציה) של שנים רבות.

המדד הגבוה ביותר נמצא גם השנה באתרים העמוקים 15-IUI (91.4%), 20-NR (89.4%) ו-20-KATZA (90.3%).

באתרים KATZA ו-IUI בעומק 10 מטרים אחוז הרקמה החיה 87.8% ו-88.5%, ובשאר האתרים המדד נמוך מ-85% (איור ב12).



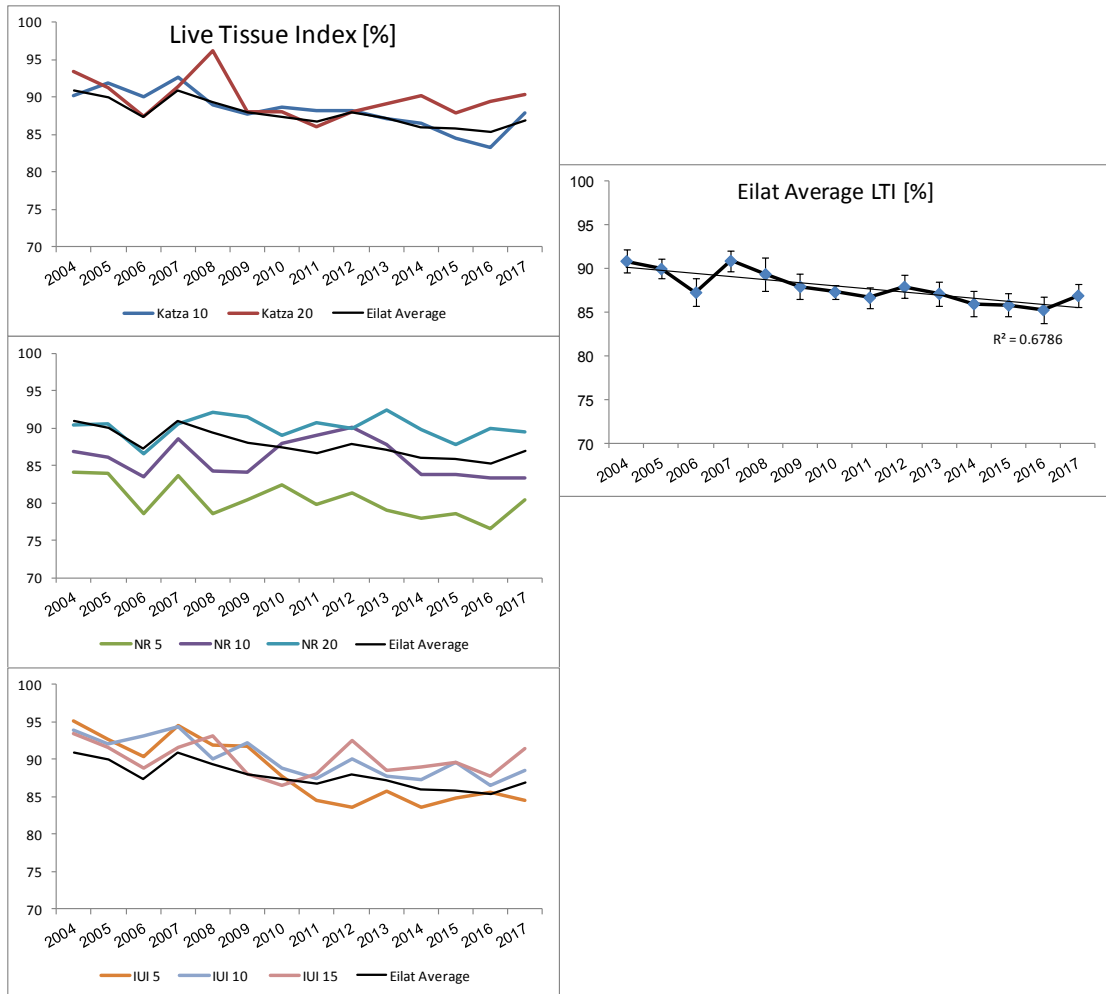
איור ב12: מדד אחוז הרקמה החיה של אלמוגים באתרים הנסקרים. המדד מוגדר כממוצע באתר של אחוז השטח החי/בריא מסך השטח של כל מושבת אלמוגים חיה.

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

מעקב אחר אחוז הרקמה החיה באלמוגים יעיל יותר לזיהוי שינויים בזמן, ופחות להשוואה בין אתרים בה קשה לייחס משמעות להבדלים במדד עקב אופיים השונה של האתרים. השנה נמדד מדד רקמה חיה מעט גבוה בהשוואה לשנה הקודמת בחמישה מתוך שמונה האתרים הנסקרים, וערך המדד הממוצע לשוניות אילת היה השנה 86.9% לעומת 85.3% בשנה הקודמת.

במבט על סך האלמוגים בשוניות אילת לאורך תקופת הניטור נצפית ירידה בערך מדד הרקמה החיה הממוצע של כל האתרים (איור ב13). ירידה זו אינה רציפה ובשנים 2007, 2012 והשנה (2017) נמדדה עלייה בערך המדד. עם זאת, 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 – אולי מכיוון שאלמוגים קטנים ימותו עם הפגיעה ולא יכללו במדד, או כי ההסתברות לפגיעה והצטברות של פגיעות עולה עם הגיל.



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

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

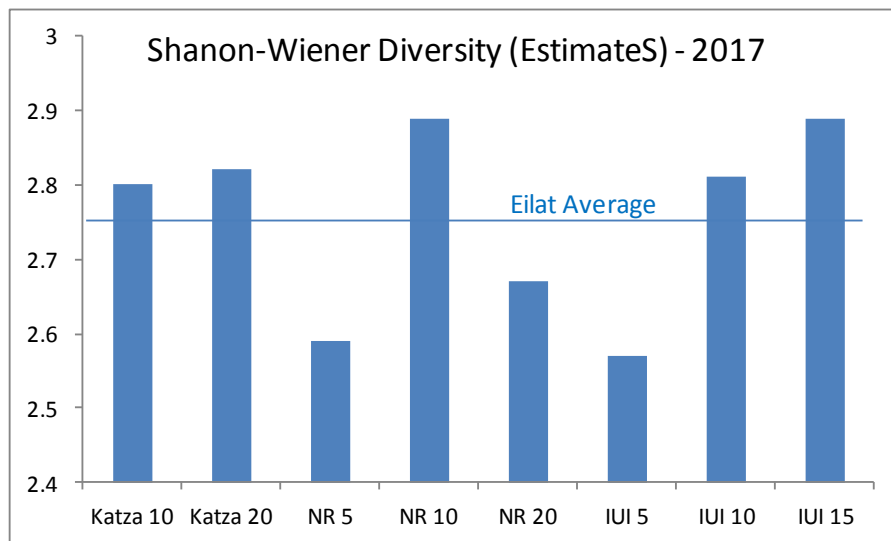
### מגוון מינים

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 ב14). מכיוון שמדד Shannon-Wiener מושפע מאד ממידת האחידות (evenness) של אלמוגים מסוגים שונים, כמו גם ממצאיאותם או העדרם של מינים נדירים, נמצא מגוון גבוה באתרים בהם הכתמיות גדולה. המגוון הנמוך ביותר נמצא גם השנה באתר IUI-5,  $H'=2.57$ , והיה מעט גבוה מהערך המזערי של השנה הקודמת. המגוון הגבוה ביותר חושב גם השנה עבור אתר NR-10,  $H'=2.89$ , וגם זה מעט גבוה מהערך המרבי בשנה הקודמת ( $H'=2.86$ ).

באתרי קצא"א, המעבדה 10 ו-15, והשמורה 10 נמצא מגוון גבוה מ"ממוצע שוניות אילת" המחושב כערך הממוצע לכל האתרים ובאתרים השמורה 5 ו-20, והמעבדה 5 היה המגוון נמוך מן הממוצע עבור



איור ב14: מגוון הסוגים של אלמוגים לפי מדד Shannon-Wiener כפי שהוערך עבור כל אתר על ידי תכנת EstimateS (Colwell, 2005; <http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS>). בקו מסומן הערך הממוצע לכל האתרים.

**Figure B14: The Shanon-Wiener diversity index of coral taxa estimated 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 ב15). באתרים Katza-20, NR-10 ו-IUI-15 היה מדד Shanon-Wiener למגוון האלמוגים גבוה מן הממוצע כמעט בכל שנות הניטור, ובאתרים IUI-5 ו-NR-20 תמיד היה נמוך מן הממוצע. גם באתר NR-5 מגוון המינים לרוב נמוך מן הממוצע. מדד המגוון של Shanon-Wiener ב"שוניות אילת" המחושב כממוצע כל האתרים משתנה אך מעט לאורך שנות הניטור ואינו מציג שינוי מגמתי (איור ב15, מימין). ערך המדד הממוצע השנה (2.76) מעט גבוה מזה של שלוש השנים הקודמות.

מדד המגוון על פי Shanon-Wiener לוקח בחשבון הן את עושר המינים (richness) והן את מידת 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.



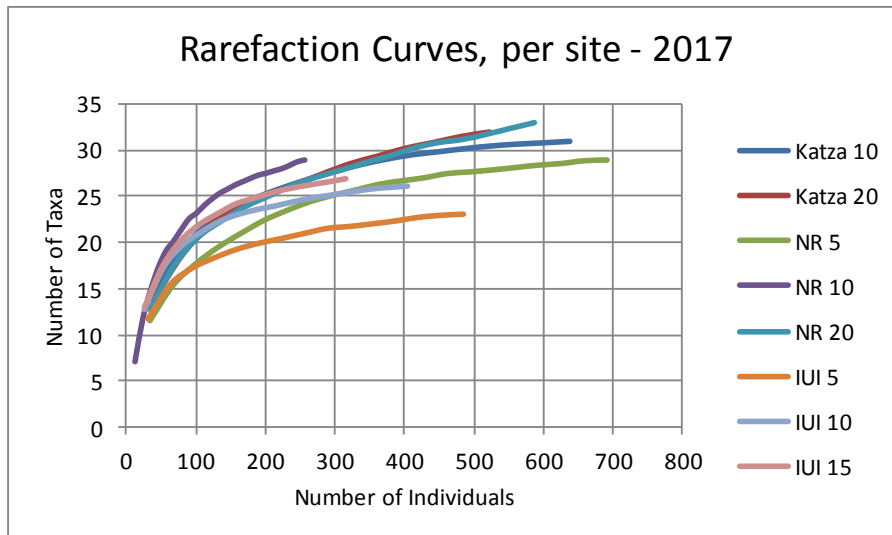


**איור ב15: מגוון הסוגים של אלמוגים לפי מדד Shannon-Wiener כפי שהוערך עבור כל אתר בכל שנות הניטור על ידי תכנת EstimateS (Colwell, 2005; <http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS>). הערך הממוצע לכל האתרים ניתן בקו שחור דק, ובדיאגרמה מימין.**

**Figure B15: The Shannon-Wiener diversity index of coral taxa estimated for each site over time by the EstimateS software (Colwell, 2005; <http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS>). The thin black line marks the average of all monitored sites and is also given in the right-hand diagram.**

עקומות הצבירה מראות תמונה שיש לה משמעות יותר ממשית. 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 ב16) ניתן לראות כי האתר 5-IUI גם בעל התוחלת הנמוכה ביותר של סוגי אלמוגים, ואילו אתר 10-NR בעל התוחלת הגבוהה ביותר ועקומת הצבירה התלולה ביותר. ממצאים אלה תואמים את התמונה המתקבלת ממדד המגוון של Shannon-Wiener.

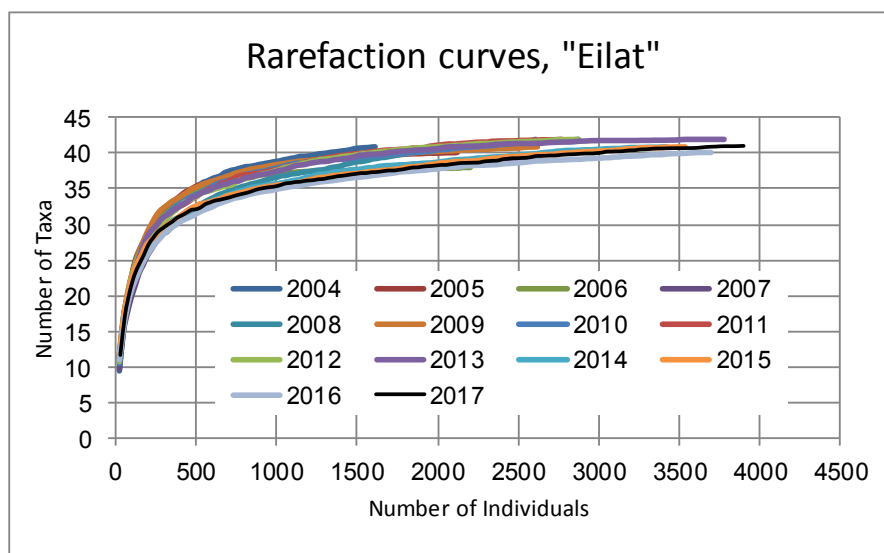
עושר האלמוגים הגדול ביותר, 33 סוגי אלמוגים, נמצא השנה באתר 20-NR, ואילו באתר 5-IUI נמצאו השנה בסך הכל 23 סוגי אלמוגים. בכל האתרים יחדיו נמצאו השנה 41 סוגי אלמוגים.

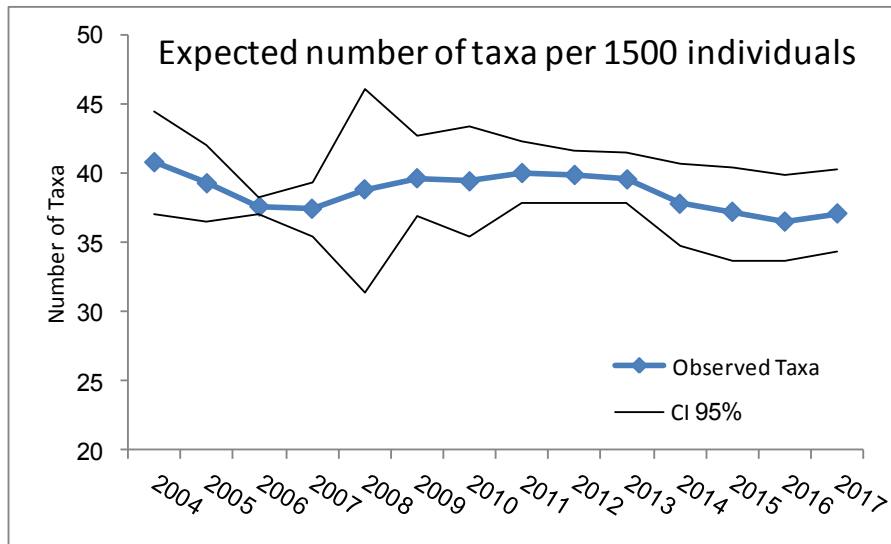


איור ב16: עקומות צבירה של מספר סוגי האלמוגים מול מספר המושבות כפי שחושבו על ידי תכנת EstimateS (Colwell, 2005; <http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS>) בכל אתר.

**Figure B16: 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 41 ועקומת הצבירה נמצאת בחלק התחתון של טווח העקומות משנות הניטור יחד עם עקומות השנים (איור ב17). מספר סוגי האלמוגים הצפוי להתקבל בספירה אקראית של אלף וחמש מאות מושבות אלמוגים ב"שוניות אילת", בהתבסס על עקומת הצבירה, לא השתנתה באופן מובהק מאז שנת 2004. אך נראית ירידה קלה בערך זה מאז שנת 2011 (בה היה הערך המחושב 40.0) והשנה חושב ערך של 37.1, עליה קלה בהשוואה לשנה הקודמת (36.5, איור ב17).

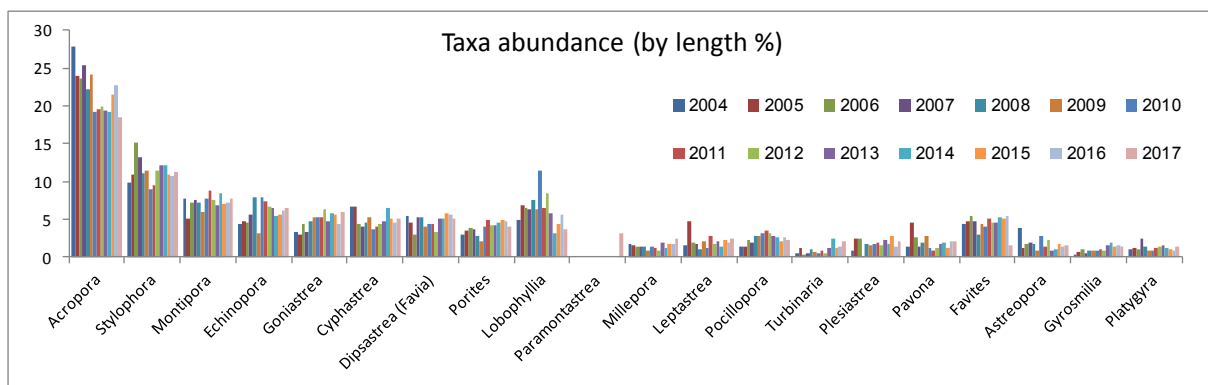




איור ב17: למעלה – עקומות צבירה של מספר סוגי האלמוגים מול מספר המושבות כפי שחושבו על ידי תכנת EstimateS (Colwell, 2005; <http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS>) עבור "שוניות אילת" בכל שנה מאז 2004. למטה – מספר סוגי האלמוגים הצפוי להתקבל בספירת 1500 מושבות ב"שוניות אילת" מאז שנת 2004, מבוסס על עקומות הצבירה.

**Figure B17: 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 colonies in the "eilat Reefs" since 2004 based on the rarefaction curves**

עשרים סוגי האלמוגים הנפוצים ביותר ב"שוניות אילת" ניתנים באיור ב18 לפי אחוז הכיסוי של סוגים אלה ביחס לכלל האלמוגים בשנת 2017. אלמוגי *Acropora* הינם האלמוג הנפוץ ביותר בשוניות אילת, ותפסו השנה כ- 18.5% מכלל שטח האלמוגים. אלמוגים אלה היוו כרבע משטח האלמוגים בשנים הראשונות לניטור ועד לשנת 2009, ובשנים 2010-2014 ירד חלקם לחמישית. בשנתיים הקודמות שוב עולה אחוז שטח האלמוגים של אלמוגי *Acropora* אך השנה נצפתה ירידה. על אף שאלמוגי *Acropora* הינם הנפוצים ביותר, חברת האלמוגים באילת מגוונות ויציבה. השינויים בהרכב סוגי האלמוגים הנפוצים באילת לאורך שנות הניטור אינם גדולים ועשרים האלמוגים הנפוצים ביותר מהווים השנה כ- 91% (לפי אורך נמדד על סרט המדידה) מכלל האלמוגים באילת. נתונים אלה דומים לנתוני השנים האחרונות. סיווג האלמוגים לסוגים השנה לקח בחשבון שינויים 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" השנה סוג אלמוגים חדש על אף שהיה מוכר בשנים קודמות אך נכלל בקבוצה אחרת. במקביל, מספר האלמוגים של קבוצת *Favites* נמוך השנה מאשר בשנים קודמות מכיוון שחלק מן המושבות זכו לסטטוס חדש.



איור ב18: עשרים האלמוגים הנפוצים ביותר בשוניות אילת בתקופת הניטור מסודרים לפי סדר התפוצה

בשנת 2017. חלקם של האלמוגים מחושב כממוצע אורכם המצטבר מתוך סך אורך האלמוגים הנמדד בסקרי הקו בשוניות אילת.

**Figure B18: The twenty most abundant coral taxa in the reefs of Eilat during the monitoring period, arranged according to their abundance in 2017. 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 בשטח 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 ב18.

										Averages			Average
	Katza 10	Katza 20	NR 5	NR 10	NR 20	IUI 5	IUI 10	IUI 15	Katza	NR	IUI	Eilat	
<i>Acropora</i>	6.92	4.32	6.40	2.33	7.12	1.59	3.54	4.45	5.79	5.07	3.10	4.58	
<i>Stylophora</i>	3.48	3.48	3.96	1.43	1.63	3.17	2.46	1.78	3.48	2.36	2.52	2.68	
<i>Montipora</i>	4.09	4.30	1.36	0.46	5.22	0.59	0.61	0.85	4.18	2.10	0.67	2.18	
<i>Echinopora</i>	2.96	2.42	7.52	0.42	2.68	0.08	0.27	0.47	2.73	3.50	0.26	2.10	
<i>Goniastrea</i>	1.86	0.80	3.68	0.53	0.98	3.11	1.01	0.27	1.40	1.74	1.55	1.53	
<i>Lobophyllia</i>	0.31	0.59	10.28	0.14	0.14	0.03	0.00	0.00	0.43	3.63	0.01	1.43	
<i>Cyphastrea</i>	1.71	1.01	1.42	0.44	2.76	1.18	1.38	0.37	1.41	1.43	1.02	1.29	
<i>Dipsastrea</i>	1.17	0.82	0.64	0.80	0.69	2.69	1.13	0.53	1.02	0.72	1.51	1.06	
<i>Porites</i>	0.67	2.21	0.55	0.76	2.62	0.10	0.19	0.66	1.34	1.20	0.29	0.97	
<i>Paramontastrea</i>	1.56	1.55	0.13	0.27	0.85	0.17	0.98	0.70	1.56	0.39	0.61	0.78	
<i>Pavona</i>	0.83	3.42	0.11	0.03	0.51	0.00	0.00	0.03	1.95	0.19	0.01	0.62	
<i>Leptastrea</i>	0.86	0.68	0.55	0.13	0.35	1.09	0.50	0.59	0.78	0.34	0.74	0.60	
<i>Turbinaria</i>	0.68	0.00	0.62	0.00	0.02	0.83	0.32	1.45	0.38	0.22	0.82	0.49	
<i>Millepora</i>	0.12	0.17	0.08	0.09	0.01	1.43	1.33	0.67	0.14	0.06	1.18	0.49	
<i>Mycedium</i>	1.82	0.10	1.82	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	1.08	0.64	0.00	0.47	
<i>Plesiastrea</i>	0.23	0.08	0.15	0.17	0.48	1.11	0.66	0.57	0.16	0.25	0.80	0.43	
<i>Pocillopora</i>	0.17	0.00	0.11	0.26	0.34	0.27	0.93	1.31	0.10	0.23	0.80	0.42	
<i>Favites</i>	0.34	0.35	0.28	0.29	1.08	0.46	0.09	0.22	0.34	0.51	0.26	0.39	
<i>Platygyra</i>	0.25	0.25	0.55	0.15	0.66	0.54	0.22	0.00	0.25	0.43	0.27	0.33	
<i>Goniopora</i>	0.21	0.25	1.58	0.07	0.04	0.00	0.00	0.11	0.23	0.58	0.03	0.28	
Stony corals	32	30.47	42.74	10.36	30.26	19.64	17.98	18.89	31.34	27.05	18.83	25.29	

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

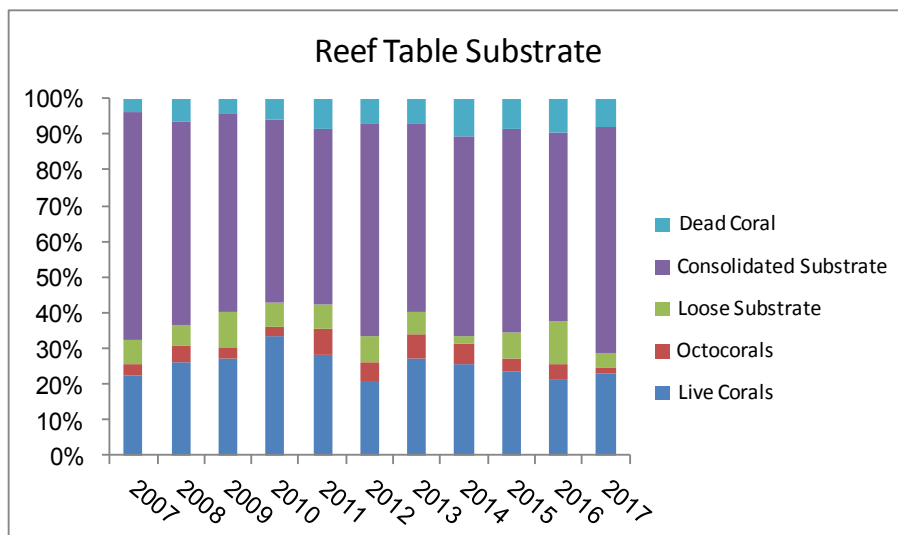
**Table B3: The twenty most abundant corals (% cover) in the monitored area and their average cover in each site as a percent of the total transect length at each site.**

## שולחן השונית

שולחן השונית מהווה אזור ייחודי בשונית, אשר לו חשיבות גדולה בהיותו הנראה ביותר והנלמד ביותר בעבודות קודמות, אשר סקרו 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 פיזית על ידי מבקרים, חפצים הצפים בים וכלי שיט, אם כי סגירת חלקה הדרומי של השמורה למבקרים מקטין את ההשפעות הללו.

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

אופיו השונה של שולחן השונית ניכר בין היתר בהתפלגות סוגי התשתית שבו. סלע שונית מלוכד מהווה את רב שטח התשתית בשולחן השונית. בניגוד לאתרי קידמת השונית, שם האחוז הגבוה ביותר של סלע מלוכד חשוף שנמדד השנה הוא כ-37% (באתר 5-IUI), בשולחן השונית שטח הסלע המלוכד החשוף אשר נמדד השנה הוא כ-63%, ואילו אחוז הקרקע הלא מלוכדת כ-3.6% 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 ב19).

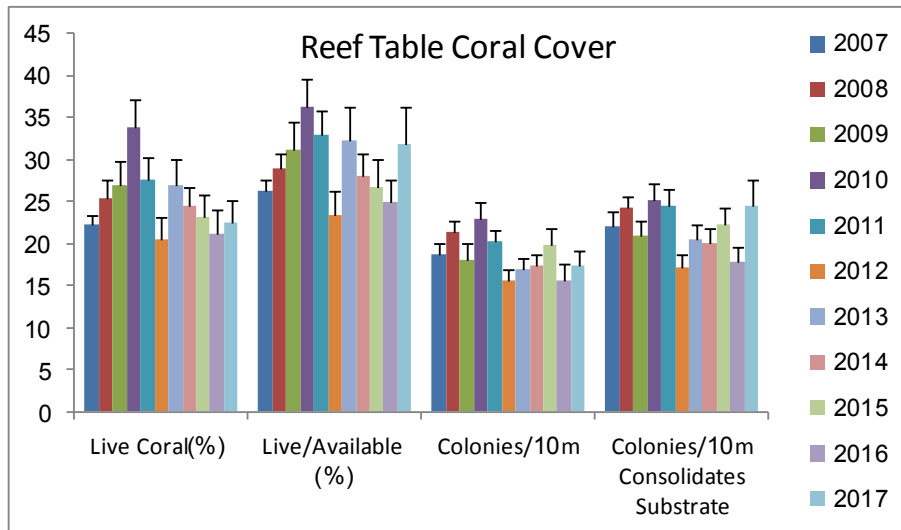


איור ב19: אחוזי הכיסוי המצטברים של אלמוגים, חול, סלע, ואלמוגים מתים בשולחן השונית. האחוזים הם ממוצעים מתוך כל חתכי הקו.

**Figure B19: Cumulative percent cover of live corals, sand, rock and dead corals at the reef table. Values are averages of line transect values.**

השנה נמדדה עליה קלה בכיסוי אלמוגי האבן החיים בשולחן השונית - הכיסוי השנה הוא 22.5% - וזאת לאחר כשלוש שנים בהן כיסוי האלמוגים ירד בשולחן השונית. העליה השנה קטנה וכיסוי האלמוגים החיים עדיין נמוך משהיה במשך רוב שנות הניטור. הכיסוי הנמוך ביותר שנמדד במסגרת הניטור היה 20.4% בשנת 2012 והכיסוי הגבוה ביותר היה 33.7% בשנת 2010 (איור ב20). גם צפיפות מושבות האלמוגים השנה גבוהה מעט ביחס לשנה הקודמת.

מכיוון שבשולחן השונית עיקר המצע הוא סלע, הכיסוי והצפיפות המנורמלים לתשתית קשה משקפים גם שינויים אלה.

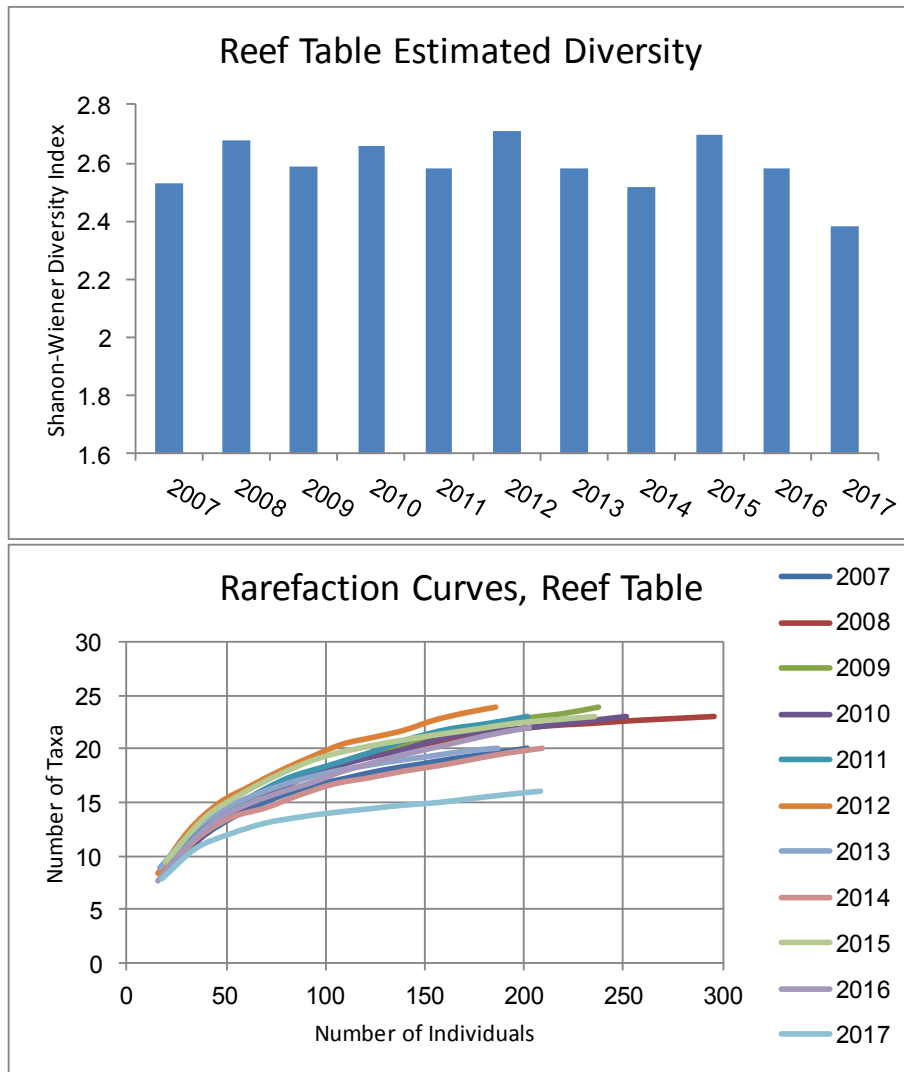


**איור ב20: אחוז כיסוי האלמוגים וצפיפות מושבות בשולחן השוניית מאז שנת 2007.**  
**Figure B20: Percent cover of live corals and density of coral colonies on the reef table since 2007.**

בשולחן השוניית נמצאו השנה בסך הכל 16 סוגים של אלמוגי אבן (לעומת 22 בשנה הקודמת). מגוון המינים לפי מדד Shanon-Wiener כפי שמוערך על ידי תכנת EstimateS (Colwell, 2005) היה השנה 2.38, הערך הנמוך ביותר שנמדד עד כה במסגרת תכנית הניטור (איור ב21). עקומת הצבירה של סוגי אלמוגים בשולחן השוניית אשר חושבה מנתוני הסקר השנה אף היא נמוכה, ובעלת שיפוע קטן, בהשוואה לשנים הקודמות.

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

עושר המינים בשולחן השוניית נמוך מאשר בכל אתרי קדמת השוניית (16 אלמוגי אבן זוהו השנה בשולחן השוניית לעומת 41 באתרי קדמת השוניית יחדיו). ישנה חפיפה גדולה בין האלמוגים הנפוצים בקדמת השוניית לאלמוגים הנמצאים בשולחן, 12 מתוך 16 סוגי האלמוגים שזוהו בשולחן השוניית נמצאים ברשימת 20 האלמוגים הנפוצים באתרי קדמת השוניית (טבלה ב4). עם זאת, ישנם הבדלים גדולים בתפוצה היחסית של סוגי האלמוגים בשולחן השוניית לעומת אתרי קדמת השוניית. האלמוג *Acropora* נפוץ ביותר הן בשולחן השוניית והן באתרי קדמת השוניית, לשאר האלמוגים ייצוג יחסי שונה בין סביבות אלה. האלמוגים *Plesiastrea*, *Turbinaria*, *Paramontastrea*, *Lobophyllia*, *Montipora*, *Gyrosmlia*, *Astreopora* המצויים ברשימת עשרים האלמוגים הנפוצים באתרי קדמת השוניית לא נמצאו השנה כלל באתר שולחן השוניית.



איור ב21: למעלה – מדד Shanon-Wiener למגוון המינים של אלמוגי אבן בשולחן השוניית מאז שנת 2007. למטה – עקומות צבירה למספר סוגי האלמוגים בשולחן השוניית מאז 2007.

**Figure B21: Top –Shanon-Wiener diversity of stony corals in the years since 2007, bottom – rarefaction curves for coral genus diversity on the reef table since 2007**

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

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

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



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

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

התפתחות טבעית של "שונית" וכך גם השינויים במאפייני שונית שאינם תוצאה של הפרעה מסיבית הינם תהליכים איטיים ולא בהכרח מונוטוניים. השונות הרבה בתוך האתרים וביניהם, הן בסביבה הפיסית והן בחברת האלמוגים, עלולה למסך את יכולתנו הסטטיסטית לאבחון מגמות קלות, לא קיצוניות. יחד עם זאת, נתוני תכנית הניטור יוצרים תמונה אקולוגית של אתרי שונית באילת מדי שנה, והשוואת הנתונים בין השנים נועדה לאבחון ולהתריע על מצבי קיצון והתפתחויות מדאייגות, כמו גם לגלות מחזוריים 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 ובין מקומות אחרים בעולם, אולם – כדרכם של ממוצעים – אינו מייצג אף אחד מהאתרים בנפרד.

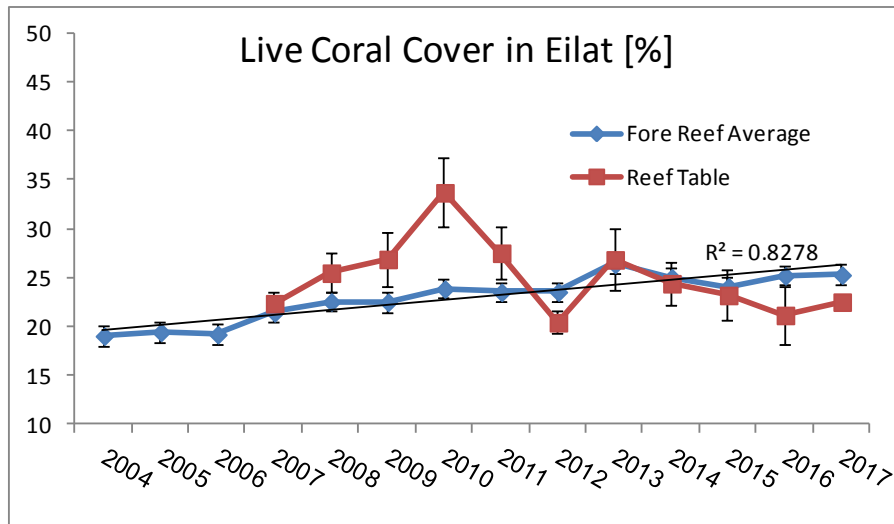
בחודש יולי השנה (2017) נפתח לציבור קטע חוף שהיה לפניו מוגבל על ידי חברת קצא"א. השטח שנפתח לשימוש הציבור הוא החלק הצפוני של חוף קצא"א, אזור המוגבל לרחצה על ידי חבלי מצופים. אתרי השונית בהם מבצעת תכנית הניטור את סקריה מצויים מחוץ לאזורים המסומנים כפתוחים לרחצה, אולם ניתן לצפות כי כמות הצוללים העוברים בהם תגדל עקב פתיחת החוף בהשוואה לשנים קודמות. יחד עם זאת, סקרי השונית באתרי קצא"א (בעומק של 10 ו-20 מטרים) נעשו השנה לפני פתיחת החוף לציבור, על מנת לקבל שנה נוספת של מעקב בתנאים הקודמים. יהיה מעניין לראות האם בשנים הבאות יתנהגו אתרים אלה באופן שונה מאתרים אחרים במידה שניתן לייחס לפתיחת החוף לציבור, על אף שאתרי הניטור מצויים באופן פורמלי מחוץ לאזור שנפתח.

מושבות אלמוגים קטנות מרכיבות חלק גדול ביותר של אוכלוסיית האלמוגים באתרי IUI שם הן מהוות כ-80% מכלל מושבות האלמוגים (לאחר תיקון ההטיה בספירת מושבות לפי גדלים). באתר NR-5 חלקן של מושבות אלמוגים קטנות הוא הקטן ביותר, 49%. אתר השמורה הרדוד (NR-5) יוצא מן הכלל בין אתרי קדמת השונית מכיוון שמושבות אלמוגים גדולות ("ענקיות" על פי הגדרת הניטור) מהוות בו חלק גדול ביותר (כ-4% מכלל המושבות, לאחר תיקון ההטיה) וכך צפיפות המושבות 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 (42.7%). על פי מונחים של שרידות וצמיחת אלמוגים זהו האתר המוצלח ביותר בין שוניות אילת. יחד 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 מעט מהממוצע באתרי קדמת השונית, ומשקפים את התנאים הקשים המאפיינים אתר זה.

גם השנה נמדדה עליה קלה במדדי שונית רבים. כיסוי האלמוגים החיים הממוצע באתרי קדמת

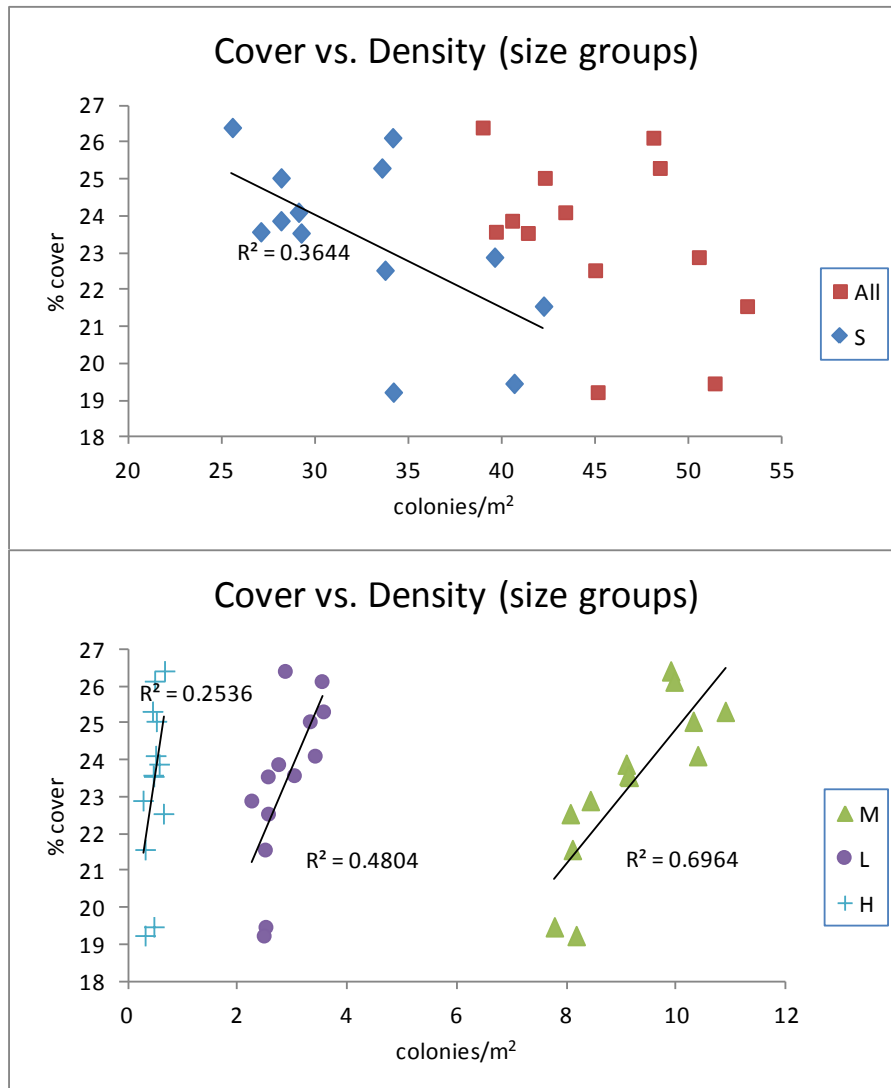
השונית באילת דומה השנה לזה שנמדד בשנה הקודמת, וזאת לאחר שבשנים 2014-5 נמדדה ירידה בכיסוי החי. השנה נמדד כיסוי חי ממוצע של 25.3% בשוניות אילת, כשהכיסוי החי הרב ביותר שנמדד עד כה במסגרת תכנית הניטור היה 26.8% בשנת 2013. התנודות הרבות באחוז הכיסוי בין השנים בכל האתרים ולשני הכיוונים מצביעות על כך שזה מצבה הטבעי של המערכת (כפי שהיא משתקפת בסקרים הסטטיסטים 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 ב22).



איור ב22: 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 B22: 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 מגויסים לשונית. מאז עלה מספר המושבות הקטנות ואיתו צפיפות המושבות בכלל. צפיפות המושבות "הבינוניות" ו"הגדולות" עולה באופן מתון ומתמשך מאז תחילת הניטור ומצביעה על שיפור בשרירות 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 ב23). מדד הרקמה החיה לבריאות אלמוגים נמצא בירידה מתמשכת בשנים האחרונות (השנה נמדדה עליה קלה). 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 ב23: 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 B23: 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 coral 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.**

## בחינת מובהקות המגמות בכיסוי האלמוגים באתרי קדמת השונית

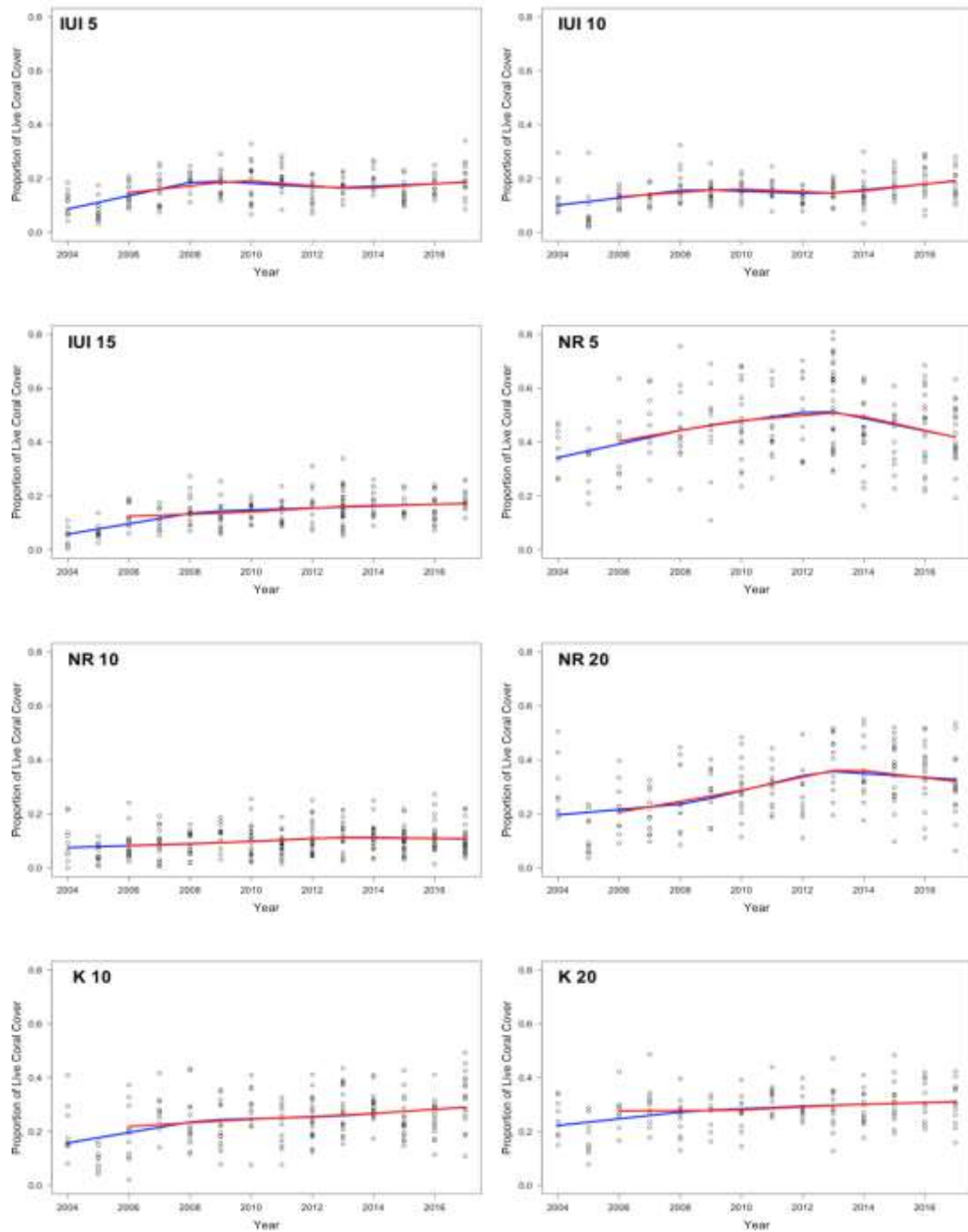
תכנית הניטור פנתה השנה לייעוץ סטטיסטי על מנת לבחון האם השינויים הנמדדים באחוז הכיסוי החי מהווים מגמה של שינוי בזמן, ובמידה וכן – מהי המגמה.

### 1 – בחינת כל הנתונים מחתכי הקו באמצעות מודל לא-לינארי

פרופ' רונית ניראל וגב' אילנה סאור מהמעבדה לייעוץ סטטיסטי של המחלקה לסטטיסטיקה, האוניברסיטה העברית, בדקו את נתוני הכיסוי מחתכי הקו שנעשו בכל האתרים בכל שנות הניטור (בסה"כ 1,575 רשומות) על מנת לבחון את שאלת השינוי בכיסוי החי עם הזמן. במסגרת הניתוח הסטטיסטי הותאמו מודלים סטטיסטיים אשר התמודדו עם השונות הגדולה שנמצאה בין חתכים מאותו אתר בכל שנה ואפשרו לבחון את השינוי בזמן מעבר לשונות הגבוהה בין חתכים. באשר לקשר בין הכיסוי החי והזמן נבחנו מודלים א-פרמטרים להחלקה בחלקים באמצעות פולינומים, להלן עקומות (splines).

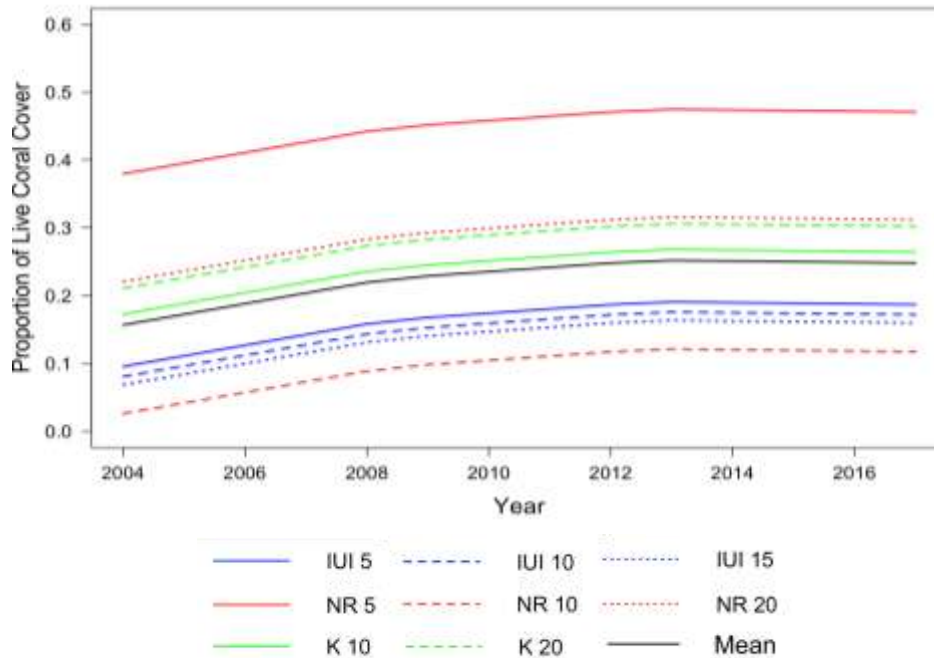
נבחרה שיטת החלקה *Thin plate splines (TP)*, הידועה כבעלת טעות כוללת (MSE) נמוכה. טווח הזמן חולק למספר תקופות בהן יש שינוי בקשר הפונקציונאלי בין הזמן ופרופורצית כיסוי האלמוגים. נערכה התאמה סימולטנית של מודלים לכל האתרים. כלומר, בכל המודלים המשתנה התלוי היה אחוז כיסוי האלמוגים ונכלל אפקט ראשי של אתר (8 אתרים) ושל עקומות הזמן. בנוסף, נראה ששתי השנים הראשונות, ובפרט שנת 2005, חריגות ברצף הנתונים. יתכן שההבדלים הנמדדים מייצגים את המצב האמיתי, אך עלתה גם אפשרות ששתי השנים הראשונות מייצגות תקופת "הרצה" של מדידות הניטור בה פרוצדורות המדידה עדיין לא התקבעו ויתכן כי ההבדלים בין שנים אלה לשנים אחרות נובעים מכך. על כן הופעל המודל על שתי סדרות זמן, האחת כוללת את כל תקופת הניטור (2004-2017) והשנייה קצרה יותר (2006-2017). נבחנו מודלים רבים עם עקומות זמן שונות מהם נבחרו שני מודלים מיטביים, בהם הקשר עם הזמן מתואר על ידי שלושה מקטעים לינאריים:

1) מודל בו נכללת אינטראקציה בין אתר וזמן והוא משמש לתיאור של השינוי באחוז הכיסוי בכל אתר בנפרד. מודל זה משקף תנודות מקומיות ברמת כיסוי האלמוגים ומראה כי ישנם אזורים עם שיא בתחילת התקופה (למשל IUI5), אזורים עם שיא בהמשך התקופה (למשל NR 5, NR 20) ואתרים עם עליה מונוטונית לאורך התקופה (למשל IUI 15, Katza 10 ו-Katza 20).



אחוז הכיסוי החי לפי שנה והחלקה בשיטת Thin-plate splines פולינומים ממעלה 1 ושני קשרים עבור כל התקופה (כחול) וללא השנים 2004-5 (אדום). המדידות עצמן מופיעות כנקודות שחורות. Proportion of live coral cover by year using the Thin plate spline method for the entire monitored period (in blue) and without the years 2004-5 (in red). Measurements are the black circles.

2) פורמלית, האינטראקציה בין אתר לזמן לא נמצאה מובהקת סטטיסטית. על כן, לצורך בחינת השינויים בזמן במפרץ כולו, מעבר לכל האתרים, הותאם מודל ללא אינטראקציה בין אתר וזמן.



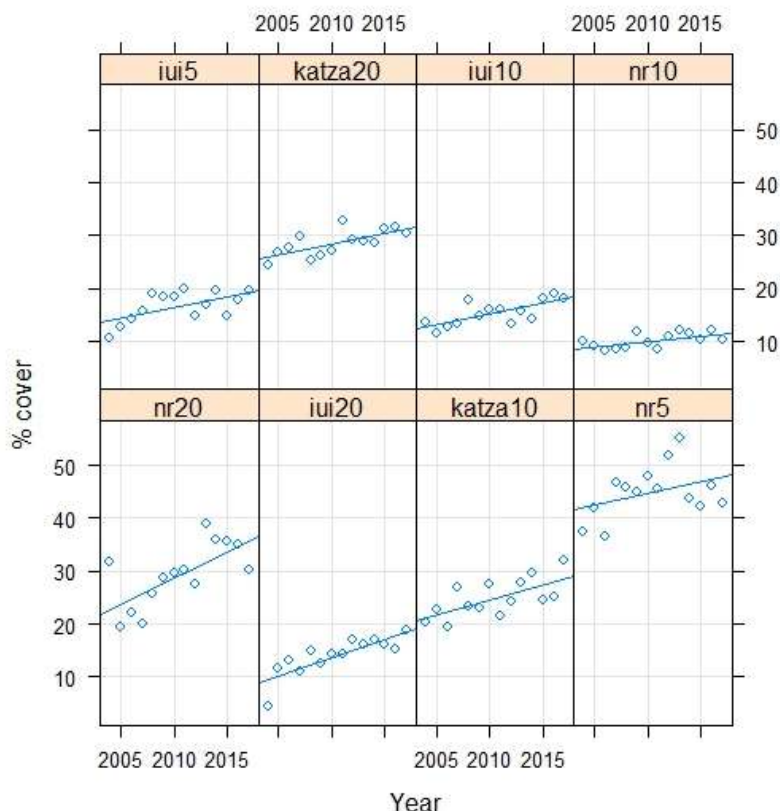
אומדני ההחלקה במודל 2 (אדיטיבי) עבור כל התקופה. העקומה הממוצעת בצבע שחור.

**Estimated averages in an additive model for the entire monitored period. The Eilat mean is represented by the black curve.**

כאשר שתי השנים הראשונות אינן נכללות באנליזה הקשר בין אחוז הכיסוי והזמן קטן יותר. עבור כלל האתרים נמצא שעד לשנת 2008 היתה עליה באחוז הכיסוי בשיעור של  $1.6 \pm 0.2\%$  בשנה, בין השנים 2008-2012 השינוי נאמד ב-  $0.7 \pm 0.4\%$  בשנה, ואילו עבור השנים האחרונות אין שינוי באחוז כיסוי האלמוגים.

## 2 – בחינת המגמה בערכים הממוצעים בכל אתר

ד"ר משה כיפלאוי, אקולוג מאוניברסיטת בן גוריון העובד במפרץ אילת, הציע לבחון את שאלת הכיסוי באמצעות הערך הממוצע בכל אתר בכל שנה (בסה"כ 112 רשומות) בהתבסס על כך שאיסוף הנתונים נעשה באופן דומה וברמת דיוק דומה בכל שנה, וכך השימוש בנתונים הגולמיים של חתכי הקו יכניס רעש שמקורו בשונות הפנימית (המרחבית) בכל אתר בעוד אנו מעוניינים בשינוי בזמן ולא במרחב.



**ערכים ממוצעים של אחוז כיסוי האלמוגים החיים בכל אחד מאתרי הניטור במשך תקופת הניטור**  
**Average live coral cover for each site throughout the monitored period**

הניתוח הסטטיסטי נעשה ידי בחינת מודלים לינארים של אפקט מעורב (mixed effect model) בו מדידות אחוז הכיסוי באתרים נבחנו כנגד זמן, עומק, וכיסוי התחלתי בצירופים שונים. נבחנו שבעה מודלים:

- 1) הכיסוי ההתחלתי בכל האתרים אקראי ואין השפעה לעומק או לזמן – זוהי השערת האפס כנגדה יבחנו המודלים האחרים
- 2) כיסוי התחלתי אקראי וקצב שינוי אחיד בכל האתרים
- 3) כיסוי התחלתי זהה וקצב שינוי שונה בכל אתר
- 4) כיסוי התחלתי אקראי וקצב שינוי שונה
- 5) כיסוי התחלתי אקראי וקצב שינוי תלוי עומק
- 6) כיסוי התחלתי זהה לכל עומק ללא השפעת זמן
- 7) כיסוי התחלתי אקראי עבור כל עומק וקצב שינוי זהה בכל האתרים ובכל העומקים

השוואה בין המודלים לגבי המידה בה הם נתמכים על ידי הנתונים מצאה כי המודל בו נקודת ההתחלה בכל אתר אקראית והשינוי בזמן זהה (המודל האחרון) נתמך על ידי הנתונים בצורה הטובה ביותר. יחד עם זאת, השפעת העומק נמצאה כבלתי מובהקת סטטיסטית ועל כן מודל זה אינו נבדל סטטיסטית מהמודל הפשוט יותר, בו אין השפעת עומק (מודל [3]).

השינוי בכיסוי האלמוגים עם הזמן נמצא כתוספת (עליה) של  $0.51 \pm 0.08\%$  בכיסוי האלמוגים החיים בשנה.

מבחן ANOVA בדק את מובהקות ההבדל בין תוצאות מבחן זה למודל השערת האפס (null hypothesis) בו אין לזמן השפעה. נמצא שלזמן השפעה מובהקת ביותר על כיסוי האלמוגים בכל האתרים ( $p=3.65e^{-11}$ ).

לסיכום, בבחינת מודלים של אפקט מעורב (הכוללים כיסוי התחלתי, עומק וזמן כאפקטים אפשריים המשפיעים על שיעור הכיסוי החי הממוצע באתרים המנוטרים לאורך תקופת הניטור עד כה) נמצא כי המודל הנתמך על ידי הנתונים בצורה הטובה ביותר הוא זה בו לכל האתרים קצב שינוי זהה וכיסוי התחלתי שונה בין קטגוריות עומק. עם זאת, השפעת העומק התבררה כלא-מובהקת ועל כן המודל המסביר טוב ביותר את הנתונים הקיימים הוא מודל בו כיסוי האלמוגים ההתחלתי אקראי סביב ערך ממוצע אחד, וקצב שינוי בזמן שאינו שונה מאחיד.

הנתונים הקיימים מצביעים על כך ששוניות אילת מתאוששות (= עליה בכיסוי האלמוגים החיים) בקצב דומה (0.5% בשנה) בכל האתרים (ללא תלות במיקום או עומק).

### 3 – מסקנות

בחינה סטטיסטית של שיעור הכיסוי החי אשר נמדדה על ידי תכנית הניטור מאז שנת 2004 בשמונה אתרי שונות מאששת את ההבחנה שכיסוי האלמוגים עלה באופן מובהק במשך הזמן מאז תחילת המדידות. ואולם השינויים בכיסוי האלמוגים במשך הזמן אינם אחידים בין האתרים המנוטרים ובכל מקרה, נראה כי השינוי בזמן אינו מונוטוני כי אם ניתן לחלק את תקופת הניטור עד כה לשלושה פרקי זמן: בפרק הזמן הראשון (2004-2008) נמצאת העליה המהירה ביותר בכיסוי האלמוגים (בממוצע  $1.6 \pm 0.2\%$  בשנה), בתקופה השנייה (2008-2012) קצב העליה קטן יותר ( $0.7 \pm 0.4\%$  בשנה) ואילו בתקופה האחרונה (מאז 2012) אחוז כיסוי האלמוגים החיים באתרי הניטור יציב ללא שינוי מובהק סטטיסטית. שתי השנים הראשונות (2004-5) של איסוף הנתונים נראות חריגות מעט במסד הנתונים הכללי, ואם מתעלמים מהן (בהנחה שבשנים הראשונות אופן הדגימה עדיין לא התקבע) הקשר בין כיסוי האלמוגים בשוניות אילת ובין ציר הזמן חלש יותר.

מבט על ערכי הכיסוי הממוצעים בכל אתר בכל שנה ניתן להתעלם מן השונות המרחבית הגדולה באתרים ולבחון רק את השינויים בזמן. מודל לינארי שהותאם למדידות אלה מעריך את מידת הגידול בכיסוי החי בכלל האתרים ב-  $0.5 \pm 0.03\%$  לשנה, בממוצע במשך כל תקופת הניטור.



## 2.2. צילום אתרים קבועים

### מטרה

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

### שיטות

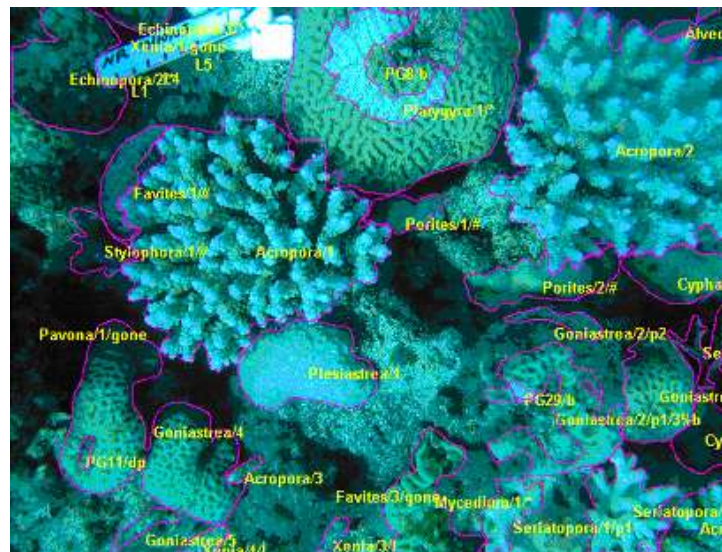
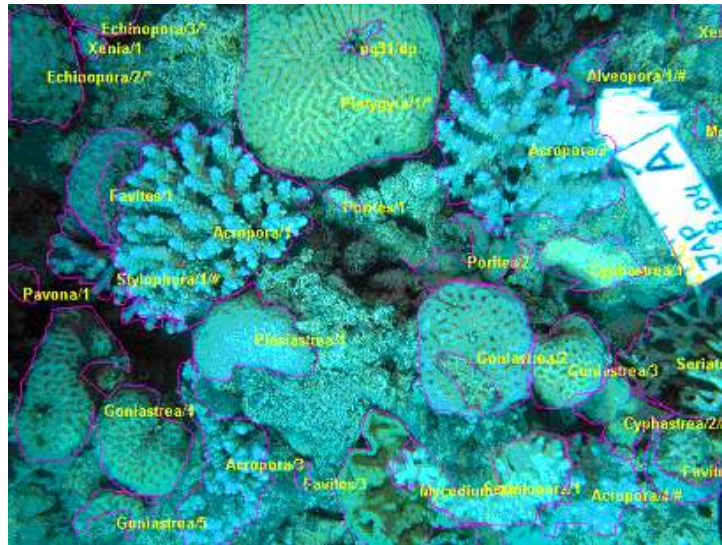
צילום חוזר של שטחי שוניות קבועים באתרי שוניות בחוף הצפוני, חוף הדקל, קצא"א, שמורת האלמוגים, המעבדה הימית, וטאבה (איור ב-24). בכל אתר חוברת לסלע תושבת קבועה המיועדת למצלמה, בחמש נקודות נבחרות. בכל נקודה מצולמת השונית בארבעה כיוונים על ידי סיבוב המצלמה בתושבתה. באופן זה ניתן לחזור ולצלם את אותו השטח בדיוק בזמנים שונים (איור ב-25). 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. בנייתו הנתונים נעשית השוואה בין תמונות חופפות בכל סקר. סקר הצילום נערך בכל שנה בתחילת הקיץ.

בכל תמונה נספרים האלמוגים ושאר חסרי החוליות הנייחים ונמדד שטח האלמוגים על ידי דיגיטציה של התמונות (ראה דו"ח 2004). לצורך השוואת שטח המושבות נלקחו בחשבון רק מושבות שמופיעות במלואן באופן ברור בשתי סדרות צילומים. במקרים בהם החפיפה בין תמונות משתי השנים לא מלאה (בשל תנועת 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 זהו במידת האפשר לרמת המין, וסווגו גם לפי קבוצות (אלמוגי אבן מעופפים, אלמוגי אבן לא-מעופפים, אלמוגים רכים, ואלמוגי אש). נתונים אשר לא שימשו לצורך השוואה עם השנה הקודמת עשויים לשמש בשנים הבאות. למרות אובדן חלק מהנקודות, נאספו נתונים רבים וייחודיים בשיטה זו אשר מהווים חוליה משלימה חשובה בניטור מצב השוניות.

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 ב-26). 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:  $1\text{cm}^2 = 2\text{kp} = 2,000\text{pixels}$ . שינויים בשטח ניתנים באחוזים וכך מנוטרלים הבדלי הכיול והטופוגרפיה בין המושבות. להבדיל מחתכי הקו אשר משווים אפיון סטטיסטי של אתר, בסקר המצולם ישנה השוואה נקודתית של התפתחות אותן מושבות בדיוק משנה לשנה. אתרי הצילום מתעדים נקודות קבועות ואינם מהווים ייצוג סטטיסטי מאפיין של אחוזי כיסוי, מגוון או שכיחות מינים בכלל השטח. כוחו של הסקר המצולם, הנסמך על ניתוח של עשרות ריבועים ב-6 אתרים בין החוף הצפוני לטאבה, הוא במתן אומדן כללי של קצבי הגידול, התמותה וההתיישבות של אלמוגים לאורך חופי אילת. התוצאות מוצגות באופן גרפי ועוברות גם עיבוד סטטיסטי. בכל המקרים בהם מופיעים קווי שגיאה, הם מייצגים את שגיאת התקן (Error bars represent the standard error).

איור ב24: אתרי הסקר המצולם לאורך חופי אילת (מסומנים בירוק).  
**Figure B24: Sites of the photo-survey of coral reefs along the Eilat coastline (green markers).**



איור ב25: צילום חוזר מאתר קבוע בשוניית 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 B25: 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.**



אתר מצולם: שמורת חוף אלמוג, נקודה A, כיוון מערב



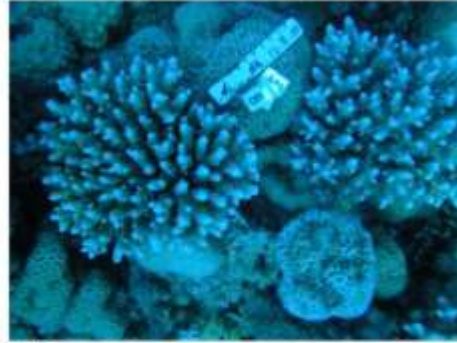
2004



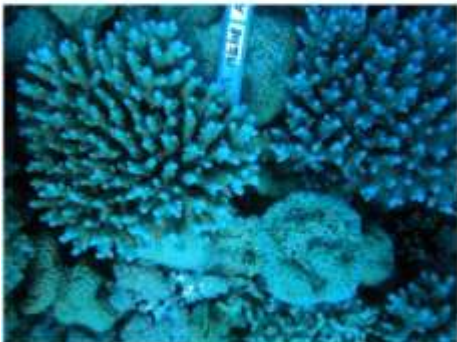
2005



2006



2007



2008



2009



2010



2011

איור ב26: שמונה שנות מעקב אחר אתר מצולם (שמורת האלמוגים, נקודה A, כיוון מערב).  
Figure B26 : Eight years of documentation at permanent photo site Nature Reserve, point A, looking west.

## תוצאות

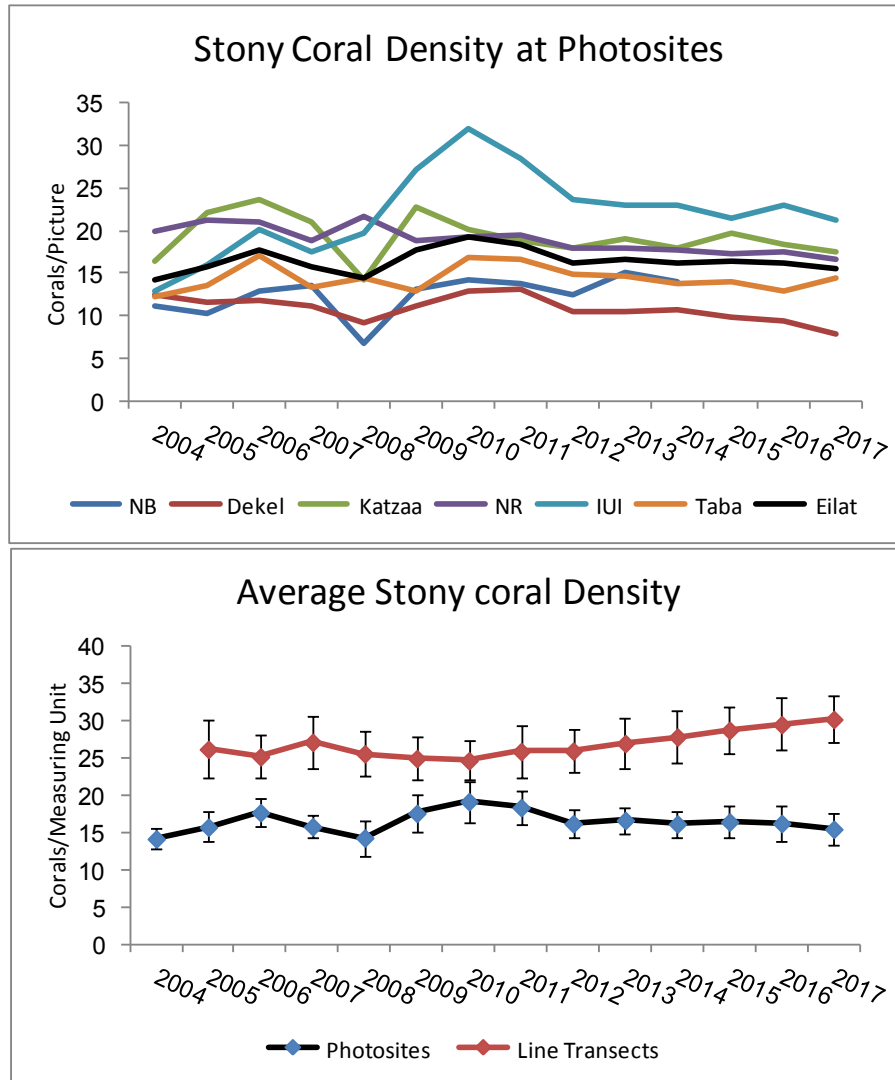
השנה נותחו 104 תמונות לצורך השוואה עם השנים הקודמות (טבלה ב5). בסך הכל נספרו 2,231 מושבות מכל הסוגים (מעט יותר מאשר בשנה הקודמת), מתוכן 1,715 מושבות אלמוגי אבן. בשלוש השנים האחרונות לא צולם אתר החוף הצפוני בו רק שתי נקודות צילום תקינות. שטחן של 1,007 מושבות אלמוגי אבן נמדד לצורך השוואת שטחים בין השנים וחישוב ה"גדילה". מספר מושבות האלמוגים המעונפים המופיעות בתמונות קבועות המקום קטן בערך פי 4 ממספר המושבות של לא-מעונפים, ושטח האלמוגים המעונפים קטן בערך פי 3 מזה של הלא-מעונפים. יחסים אלה נשמרים, עם תנודות קלות, לאורך השנים. יש לזכור כי מספר התמונות אינו שווה בין האתרים, וגם משתנה מעט בין שנה לשנה בהתאם למצב נקודות הצילום. בכל האתרים המצולמים מספר מושבות האלמוגים הלא-מעונפים (גושיים, מרפדים, סוליטריים וכו') גדול בהרבה ממספר המושבות של אלמוגים מעונפים. המספר הגדול ביותר של מושבות מכל הסוגים נסקר השנה באתר השמורה (616), ומספר דומה נמצא גם באתר קצא"א ובאתר IUI. באתרים "חוף הדקל" ו"טאבה" מספר מושבות האלמוגים קטן הרבה יותר (120 ו-302, בהתאמה). רשימת כל האלמוגים ומספר המושבות שזוהו בסדרת הצילומים השנה נתונה בנספח ז2.

All colonies captured in the permanent photosites							
Site	No. of Pictures	Branching stony corals		Non-branching stony corals		All colonies (stony, soft and others)	
		No. of colonies	Area	No. of colonies	Area	No. of colonies	Area
NB							
Dekel	12	16	1,397	79	18,305	120	20,788
Katzaa	24	90	6,310	328	14,022	581	30,787
NR	28	113	6,599	351	22,526	616	37,446
IUI	24	64	5,194	443	12,363	612	20,611
Taba	16	29	3,867	202	14,626	302	21,814
<b>Total</b>	<b>104</b>	<b>312</b>	<b>23,366</b>	<b>1,403</b>	<b>81,842</b>	<b>2,231</b>	<b>131,447</b>
Colonies captured in full and considered for "growth" calculations							
Site	No. of Pictures	Branching stony corals		Non-branching stony corals		All colonies (stony, soft and others)	
		No. of colonies	Area	No. of colonies	Area	No. of colonies	Area
NB							
Dekel	12	7	269	27	1,445	49	2,063
Katzaa	24	54	1,928	207	3,916	365	10,434
NR	28	58	2,276	206	7,059	359	13,203
IUI	24	33	2,045	307	6,863	413	10,337
Taba	16	12	757	96	2,761	151	5,298
<b>Total</b>	<b>104</b>	<b>164</b>	<b>7,274</b>	<b>843</b>	<b>22,044</b>	<b>1,337</b>	<b>41,334</b>

טבלה ב5: סיכום נתוני השטחים ומספר מושבות האלמוגים שנאספו בסקר הצילום בשנת הניטור 2017. "שטח מושבת אלמוגים" הוא שטח ההיטל המצולם שלה (נתון ב-k-pixel). נתוני שטחים נתונים בפיקסלים על מנת שניתן יהיה לבצע השוואה בין שנים עוקבות ולהימנע מבעיות של כיוול הצילומים לשטח "אמיתי". למעלה כל המושבות ולמטה המושבות ששטחן נמדד במלואו לצורך חישובי צמיחה.

**Table B5: Summary of the areas and number of corals surveyed in the 2017 photo-survey session. The "area" of a colony is its pictured area given in k-pixels. Areas are given in pixels to allow for inter-annual comparisons and to avoid inaccuracies of calibration to "real" surface area.**

צפיפות המושבות הממוצעת בתמונה היתה גבוהה במיוחד בשנים 2009-2011 ומאז ירדה במקצת, כאשר בשנים האחרונות צפיפות המושבות ברוב האתרים המצולמים הינה ללא שינויים גדולים, בממוצע כ- 16 מושבות לתמונה (איור ב27). בשנים האחרונות האתר בו צפיפות המושבות לתמונה נמוכה ביותר הוא אתר חוף הדקל, ואילו באתר המעבדה הימית נמצאת צפיפות המושבות הממוצעת הגבוהה ביותר. גם צפיפות המושבות העולה מסקר חתכי הקו יציבה למדי, אך שם מסתמנת מגמה של עלייה קלה בצפיפות מאז שנת 2012.

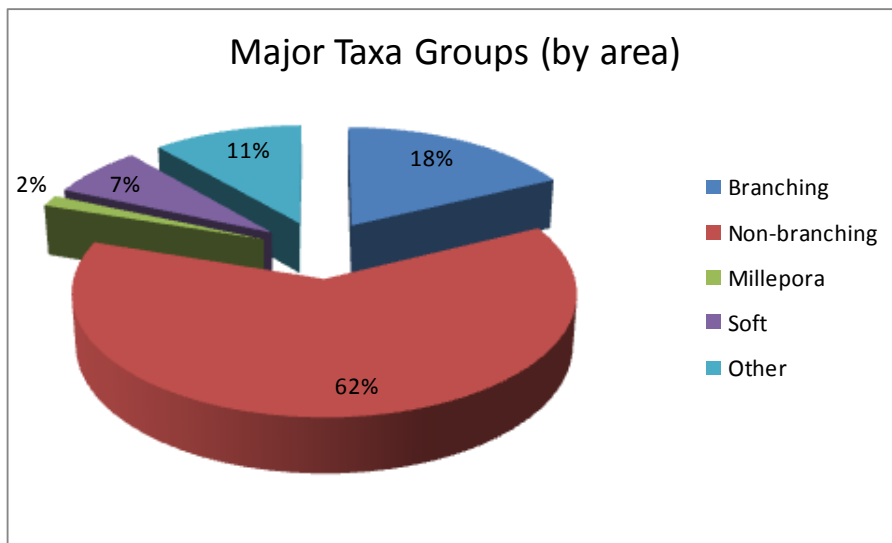


איור ב27 למעלה – שינויים במספר המושבות הממוצעת לתמונה בכל אתר, וממוצע אילת, מאז שנת 2004. למטה – השוואה בין השינויים בצפיפות מושבות אלמוגי האבן הנמדדת בסקר חתכי הקו (אדום) לזו הנמדדת בסקר המצולם (שחור). הנתונים הם ממוצע "אילת" ליחידת דגימה.

**Figure B27: Top – Changes to the stony average number of stony coral per picture recorded in the permanent phot-sites, and the Eilat average, since 2004. Bottom – the changes in stony coral number per measuring unit in the line-transect survey (red) and the permanent photo-site survey (black).**

חברת השונית באתרים המצולמים מורכבת בעיקר מאלמוגי אבן (בסך הכל כ- 80% השנה) והקבוצה התופסת שטח רב ביותר היא קבוצת האלמוגים הלא-מעונפים (כ- 62% השנה) (איור ב28). בין השנים אין הבדלים גדולים בהרכב החברה באתרים המצולמים, ושיטחן היחסי של הקבוצות השונות באתרי הצילום משתנה באחוזים בודדים משנה לשנה. בקבוצת "אחרים" כלולים צדפות, מאקרו-אצות,

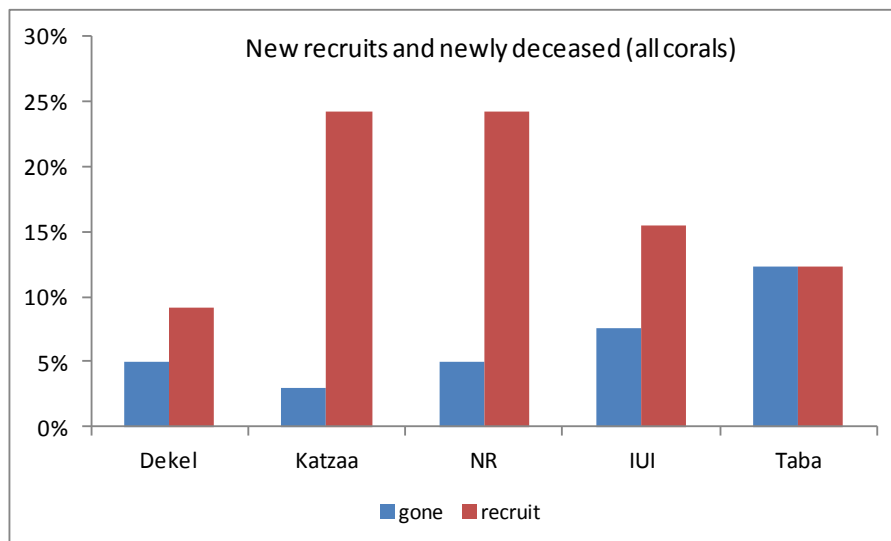
ראוי להזכיר שבחירת השטחים המצולמים נעשתה שלא באקראי והייתה מוטה לטובת כתמי שונית עתירי אלמוגי אבן.

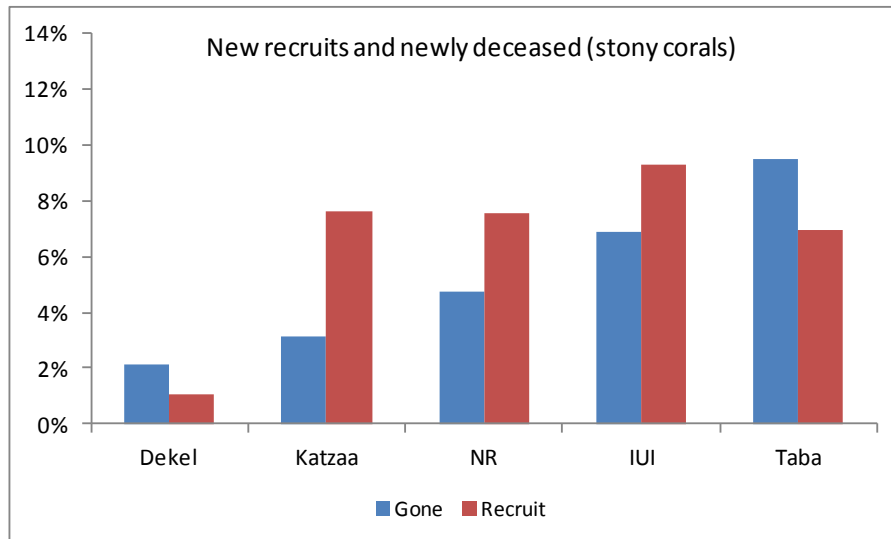


איור ב28: התפלגות הקבוצות העיקריות המרכיבות את חברת השונית באתרים המצולמים בשנת 2017, על פי אחוז השטח היחסי אותו הם תופסים.

**Figure B28: Distribution of the main taxa groups comprising reefs at the permanent photo-sites in 2017, according to the relative (percent) area which they occupy.**

השנה נמצא עודף (מספרי) של גיוס מושבות על פני תמותה בכלל האלמוגים ברוב האתרים, ועבור אלמוגי אבן נמצא מצב דומה באתרי המעבדה, השמורה וקצא"א (איור ב29). תמונה זו טובה בהרבה מהמצב בשנה הקודמת בה נמצא ברוב האתרים עודף תמותה על התיישבות, הן עבור כלל האלמוגים והן עבור אלמוגי האבן. השוואות של יחס מספרי מול יחסי שטחים בין התיישבות ותמותת מושבות (דו"ח תכנית הניטור 2009) מלמדות כי השטח שאובד כתוצאה מתמותה לרוב גדול מהשטח שנוסף בהתיישבות, כך שברוב המקרים עודף תמותה על התיישבות (ז"א, ירידה במספר המושבות) מלווה בירידה גדולה יותר של שטח הכיסוי. מה שעשוי לאזן את הירידה כתוצאה מאבדן מושבות הוא גידול מושבות קיימות.

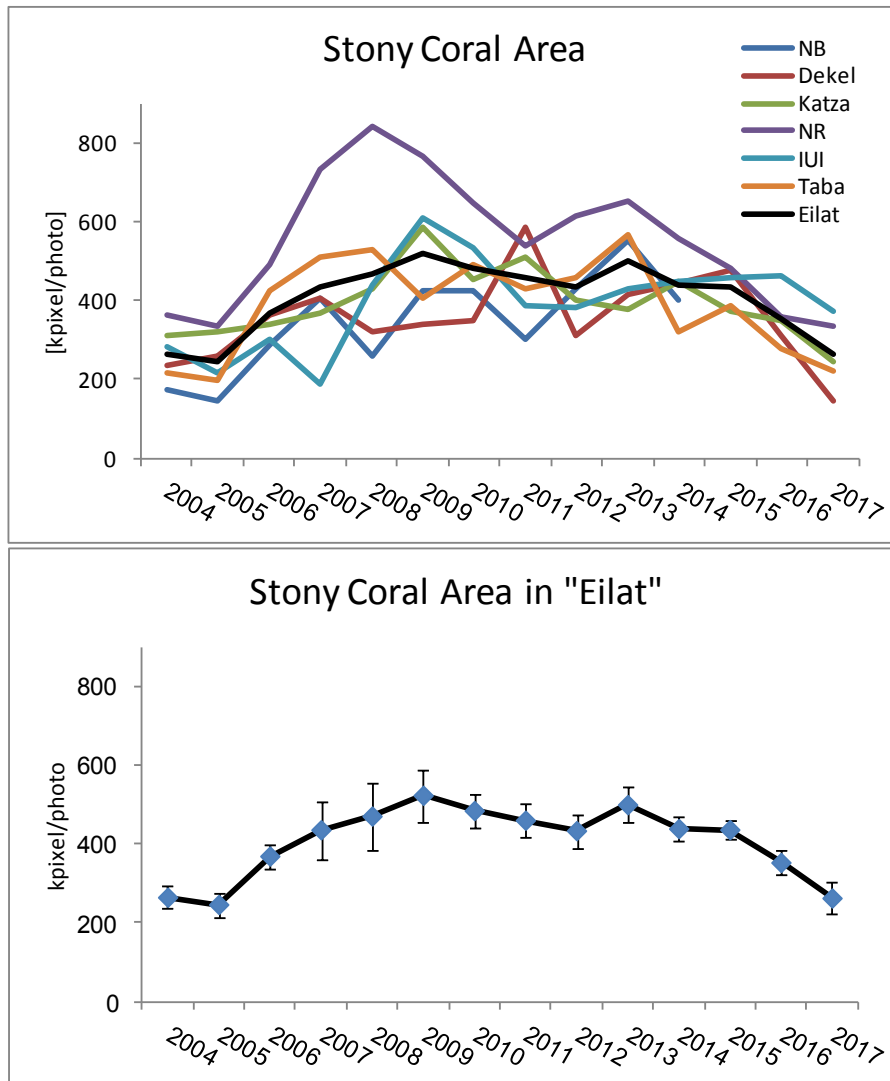




איור ב29: התיישבות ותמותה של מושבות אלמוגים מכל הסוגים (למעלה) ושל אלמוגי אבן (למטה) באתרים המצולמים בשנת 2017. על מנת לאפשר השוואה בין האתרים הנתונים מוצגים כאחוזים מכלל המושבות באתר.

**Figure B29: Colony recruitment and death for all corals (top) and for stony corals only (bottom) at the photo-survey sites in 2017. To allow a comparison between sites the data are presented as percent of the total number of colonies at each site.**

השטח החי של אלמוגים מכל הסוגים (כולל תמותה והתיישבות), להלן "השינוי בשטח", מחושב על ידי סכימת כל שטח האלמוגים המופיעים בשלמותם בכל תמונה ונרמולו למספר התמונות באתר. המספר הרב של מושבות באנליזה זו גורם לכך שתנועות אקראיות של המצלמה מבטלות זו את זו. כך ההבדל בין שטח האלמוגים בין השנים כולל, בנוסף ל"צמיחה" גם תמותה והתיישבות. השינויים בשטחי האלמוגים הרכים ואלמוגי האש גדולים, בדרך כלל, מהשינויים בשטח אלמוגי האבן, והינם פחות "מגמתיים". לעומת זאת, ברוב האתרים שטח אלמוגי האבן היה גבוה ביותר בין השנים 2009 ו-2013, ולאחר מכן נצפית ירידה. בהשוואה לשנה הקודמת נצפית השנה ירידה בשטח אלמוגי האבן בכל האתרים (איור ב30). שטח אלמוגי האבן הממוצע בתמונה (נמדד באלפי פיקסלים לתמונה) בכל האתרים היה נמוך בהשוואה לשנים האחרונות. כאשר בוחנים את סך שטח אלמוגי האבן בתמונות, כולל אלה שחלקם מצוי מחוץ לתמונה נמצא כי השטח לא השתנה בהשוואה לשנה הקודמת. גם בסקר חתכי הקו נמדד בשנת 2013 שיא בכיסוי אלמוגי אבן, אולם שם נמצאו שינויים קלים בלבד בשלוש השנים האחרונות, וישנה עליה קלה בהשוואה לשנת 2014. לסיכום, שטח אלמוגי האבן בצילומים הקבועים היה הגדול ביותר בשנת 2009, ומאז שנת 2013 נמדדת ירידה מתמשכת. מבחינת צפיפות מושבות ממוצעת לתמונה, נמצאו שינויים קטנים בלבד בשנים האחרונות. יחד עם זאת מאז שנת 2013 ועד לשנה הקודמת (2016) נמדד עודף (מספרי) של תמותת מושבות אלמוגי אבן על פני גיוס ברוב האתרים, וזו ככל הנראה הסיבה לירידה הנמדדת בשטחן הכולל. השנה נמצא בד"כ עודף מספרי של גיוס על פני תמותה אך שטח אלמוגי האבן עדיין נמוך בהשוואה לשנה הקודמת.

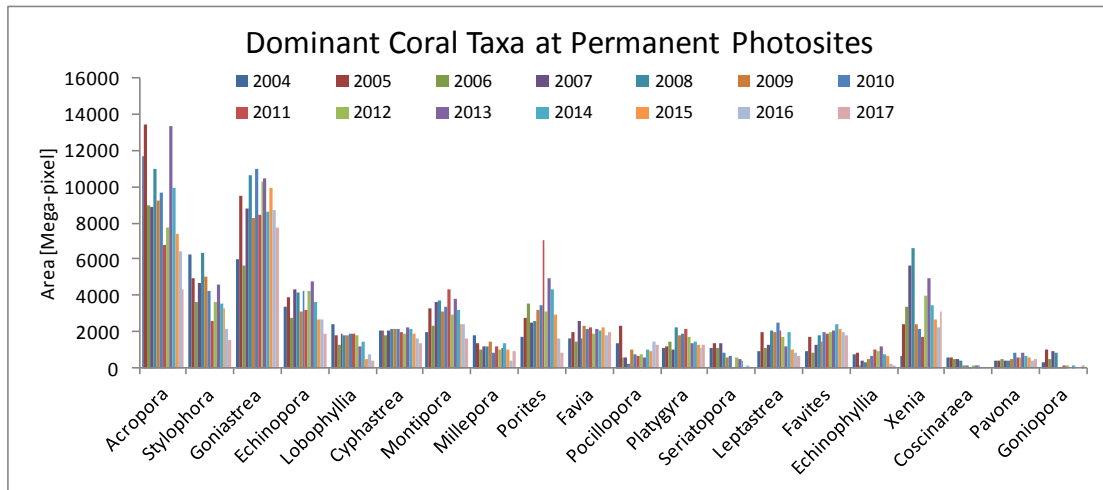


איור ב30: למעלה - שינויים בשטח אלמוגי האבן הממוצע לתמונה בכל אתר מאז שנת 2004. למטה - שינוי שטח אלמוגי האבן הממוצע לתמונה ב"שוניות אילת", מאז 2004, על סמך האתרים המצולמים.

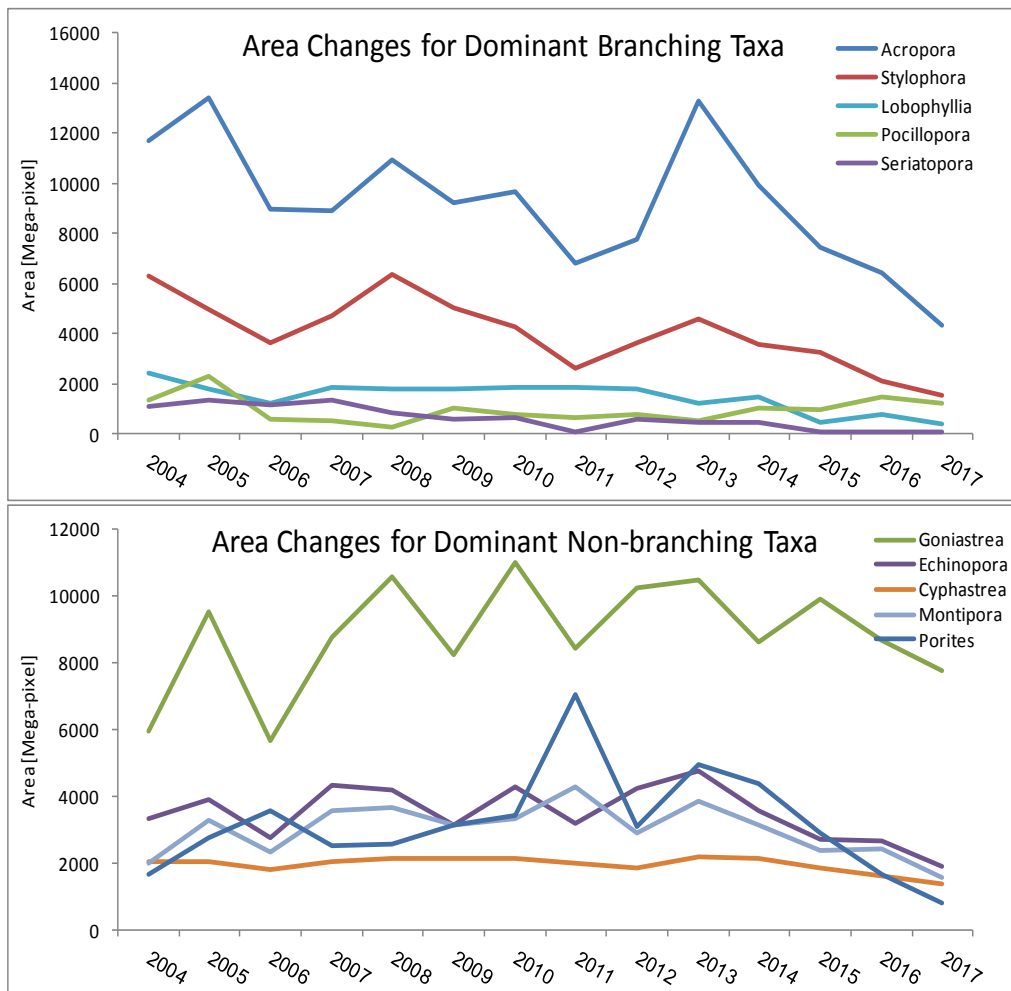
**Figure B30: Top - changes to the average area of stony corals per picture at the permanent photo-sites since 2004. Bottom - changes in the average stony coral area per picture in the "Eilat Reefs", measured since 2004 in the permanent photo-sites.**

מבנה חברת האלמוגים באתרים המצולמים השתנה במהלך שנות הניטור: במרבית המקרים ערכי השנה נמצאים בטווח הערכים הנצפה בשנות הניטור הקודמות, אולם האלמוג העיקרי (מבחינת שטח) בשנת 2004 היה *Acropora* ומאז קטן שטח אלמוג זה באתרים המצולמים במידה רבה (איור ב31). בשנים האחרונות חזר שטח האלמוג *Acropora* להיות דומיננטי באתרים המצולמים ובשנתיים האחרונות *Acropora* הוא האלמוג השני בשטחו באתרים המצולמים. האלמוג *Goniastrea* הוא האלמוג הנפוץ ביותר בשנים האחרונות. גם באלמוג הרך *Xenia* נצפות תנודות גדולות, אולם כאן נראית בסך הכל עלייה אשר משמעותה בוודאי השתלטות על שטחים אשר שהתפנו מירידה בשטח אלמוגי אבן. נראה כי מאז 2004 אנו עדים לתנודות גדולות בשטח האלמוגים ובסך הכל לירידה בשטחם של רוב האלמוגים שהיו דומיננטיים בשנת 2004 (איור ב32). התנודות הגדולות ביותר והירידה המשמעותית ביותר נמצאו באלמוגים המעופפים *Acropora* ו-*Stylophora*.





איור ב31: עשרים סוגי האלמוגים הנפוצים ביותר (לפי שטח בשנת 2004) בסדרות הצילום 2004-2017.  
**Figure B31: The twenty most abundant corals (by area) in the 2004-2017 photo-surveys.**



איור ב32: שינויים בשטח חמשת סוגי אלמוגי האבן המעונפים (למעלה) והלא מעונפים (למטה) הנפוצים ביותר באתרים המצולמים, מאז שנת 2004.

**Figure B32: Changes to the area of the five most-abundant stony branching (top) and non-branching (bottom) corals at the permanent photo-sites since 2004.**

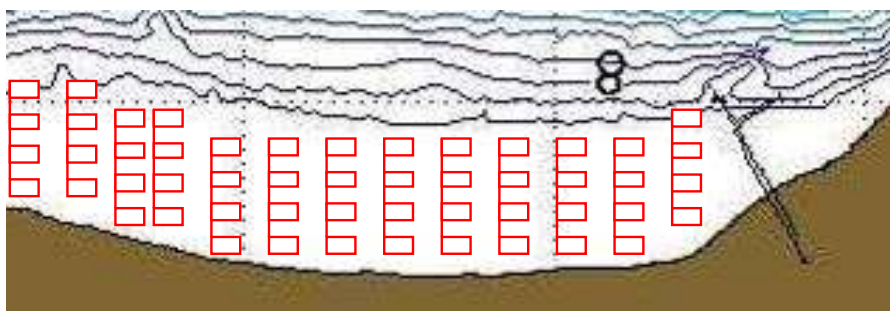
### ב.3. חברת האלמוגים בלגונת שמורת האלמוגים

#### מטרה

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

#### שיטות

מרכיבי חברת השונית שנסקרו בלגונה הם אלמוגי אבן, אלמוגים רכים, וחסרי חוליות נייחים. קרקעית הים (=מצע) חולקה לחול וחציץ (=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 9 מ' מקו החוף ועד לשולחן השונית במרווחים של 5 מטרים זה מזה. "קו החוף" מוגדר כקו הברור בו מתחילה חשיפה של סלעי החוף (beach rock). בכל קו דגימה נספרו עד ששה ריבועים, על מנת להימנע מספירת אלמוגים בגב השונית או מהטיה הנובעת מהבדלים ברוחב הלגונה. בסה"כ כלל הסקר השנה 98 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 ב33). 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.

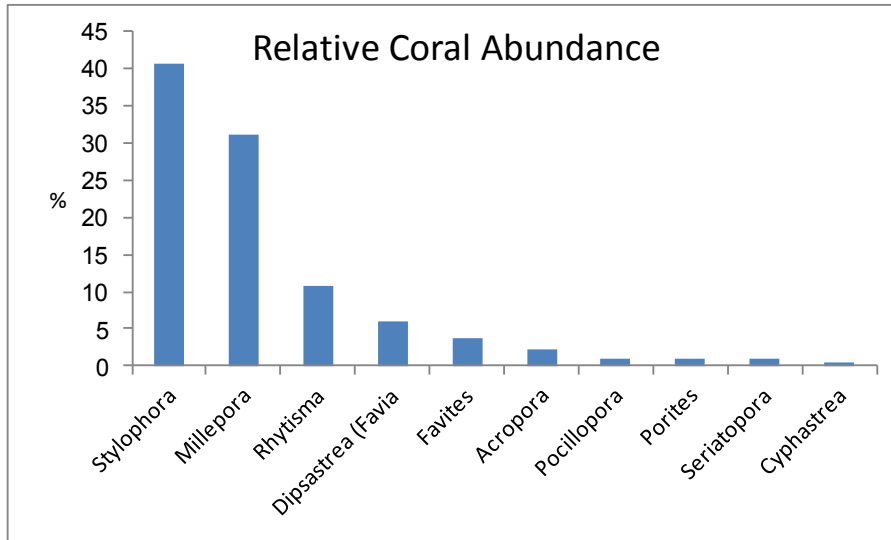


איור ב33: תיאור מערך הדיגום של חברת האלמוגים בלגונת השמורה באזור הסגור לקהל. ריבועים בגודל של 1 מ"ר (באדום) הונחו באופן סדור במרחק של 5 מטרים זה מזה לאורך סרט מדידה שהונח בניצב לחוף והתחיל ממרחק 9 מטרים מ"קו החוף" ועד לשולחן השונית (קו דיגום). כל קו דיגום כלל בין 5 ל-6 ריבועים, (על אף שבאיור משורטטים רק 4 לכל חתך). סה"כ בוצעו 17 קווי דיגום בשטח הלגונה.

**Figure B33: The sampling design in the lagoon. 1 m<sup>2</sup> quadrates (red circles) were placed 5 m apart along a measuring tape laid cross shore, 9 m from the "shore line" to the reef table. Each cross shore line included 5 or 6 quadrates (though in this figure only 4 are depicted). 17 cross-shore lines were evenly spread to cover the lagoon area.**

#### תוצאות

השנה נספרו ב-101 ריבועי דגימה של 1 מ"ר בלגונה שבשמורת חוף אלמוג 234 מושבות אלמוגים, מהן 208 אלמוגי אבן אשר סווגו ל-14 סוגים ו-26 אלמוגים רכים השייכים ל-2 סוגים. אלמוג האבן הנפוץ ביותר הוא *Stylophora pistillata*. אלמוג זה מהווה השנה כ-41% מכלל מושבות האלמוגים אשר נסקרו, וזאת בדומה לשנה הקודמת. האלמוג השני הנפוץ ביותר הוא אלמוג האש *Millepora* המהווה כ-31% מכלל האלמוגים. עשרה האלמוגים הנפוצים (אלמוגי אבן ואלמוגים רכים) מהווים כ-97% מכלל המושבות (איור ב34).



איור ב34: השכיחות היחסית (באחוזים, על פי מספר המושבות) של עשרה סוגי האלמוגים העיקריים בלגונה (מהווים כ- 97% מכלל האלמוגים).

**Figure B34: Relative abundance (by colony number) of the 10 most abundant coral genera in the lagoon (these total about 97% of all colonies).**

הצפיפות הממוצעת של מושבות אלמוגים מכל סוג בלגונה היתה השנה 2.32 מושבות למ"ר, וצפיפותם הממוצעת של אלמוגי אבן היתה 2.06 מושבות למ"ר (טבלה ב6).

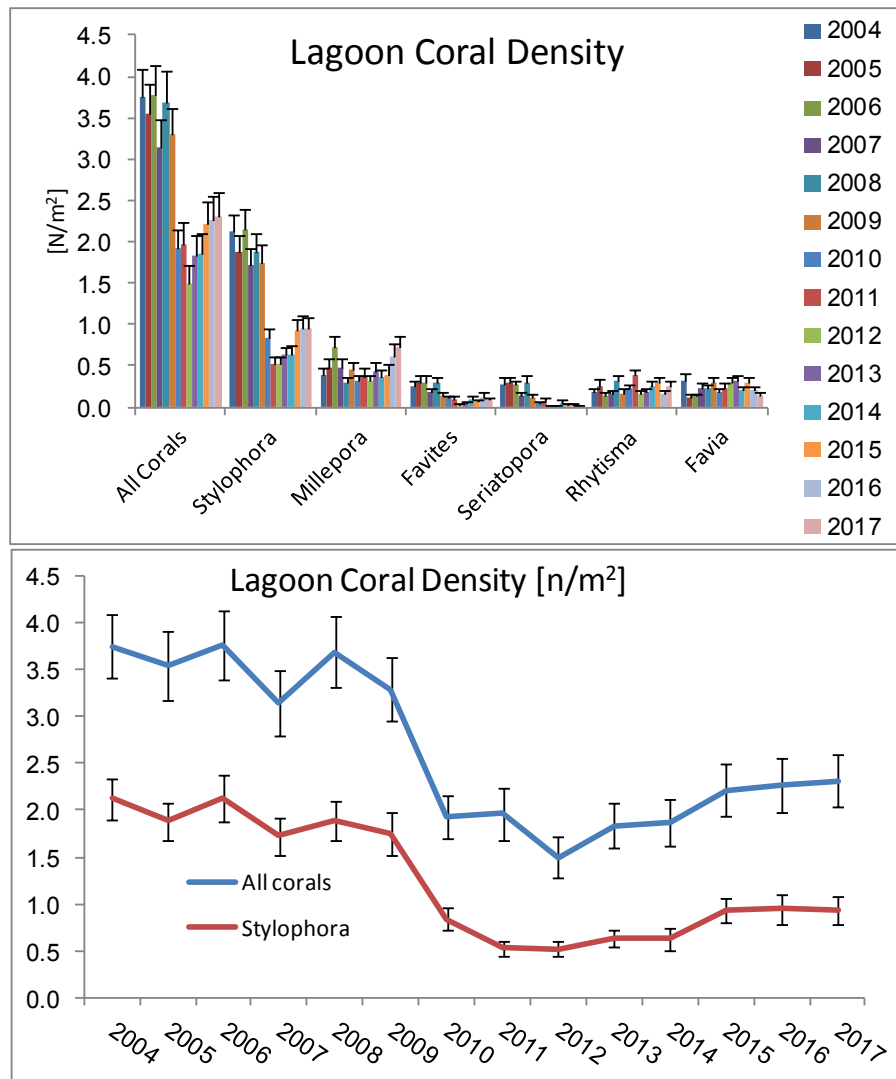
Species	n	Relative abundance [%]	n/m <sup>2</sup>
<i>Stylophora</i>	95	40.60	0.94
<i>Millepora</i>	73	31.20	0.72
<i>Rhytisma</i>	25	10.68	0.25
<i>Dipsastrea (Favia)</i>	14	5.98	0.14
<i>Favites</i>	9	3.85	0.09
<i>Acropora</i>	5	2.14	0.05
<i>Pocillopora</i>	2	0.85	0.02
<i>Porites</i>	2	0.85	0.02
<i>Seriatopora</i>	2	0.85	0.02
<i>Cyphastrea</i>	1	0.43	0.01
<i>Gyrosmlia</i>	1	0.43	0.01
<i>Leptastrea</i>	1	0.43	0.01
<i>Montipora</i>	1	0.43	0.01
<i>Platygyra</i>	1	0.43	0.01
<i>Sarcophyton</i>	1	0.43	0.01
<i>Tubipora musica</i>	1	0.43	0.01

טבלה ב6: מספר המושבות, תפוצתן היחסית וצפיפותן הממוצעת (מספר מושבות למטר רבוע) של סוגי האלמוגים שנמצאו בלגונה.

**Table B6: 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 נמצאת עליה איטית בצפיפות המושבות (איור ב35).

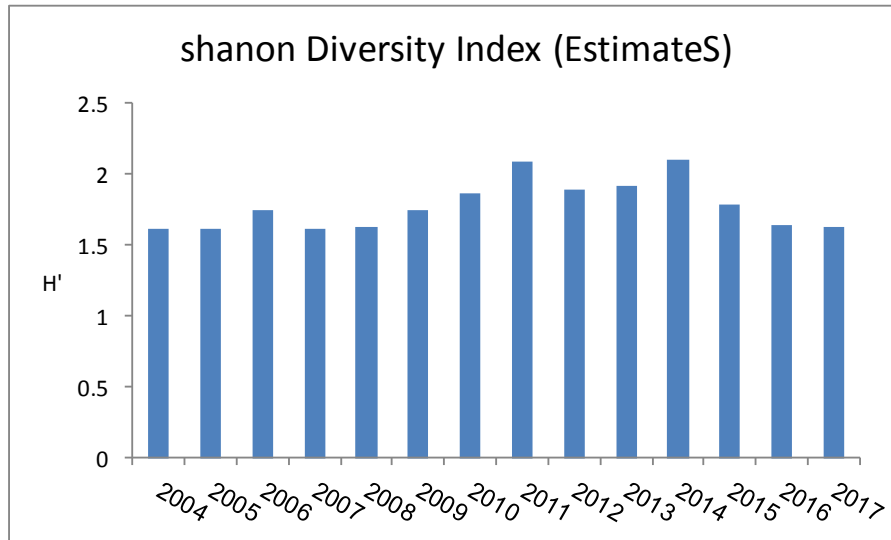
התנודות הגדולות ניכרות בעיקר במספר המושבות של האלמוג העיקרי בלגונה - *Stylophora pistillata* - אשר ממנו נספרו בשנתיים האחרונות 92 פרטים, כשלושים אחוז עלייה לעומת שנת 2014 (בה נספרו 64 מושבות בלבד). שינויים אלה בשפעת האלמוג העיקרי, המהווה השנה כ- 42% מסך מושבות האלמוגים (קשים ורכים) בלגונה, מכתיבים את התנודות הנצפות לגבי סך האלמוגים הנספרים בלגונה. בשנות הניטור הראשונות היתה צפיפות האלמוגים בלגונה בערך כפולה מהצפיפות שנמדדה בשנים 2010-2012, ובשנים האחרונות נראית התאוששות אם כי צפיפות האלמוגים עדיין 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 ב35: השוואת הצפיפות הממוצעת (מושבות למטר רבוע) של האלמוגים העיקריים בלגונה בשנים 2004 – 2016. למעלה - לפי סוגי האלמוגים העיקריים, למטה - תנודות בין השנים בצפיפות סך המושבות וצפיפות האלמוג הנפוץ *Stylophora pistillata*.

**Figure B35: The average density (colonies/square meter) of the main coral genera found in the lagoon in 2004 - 2016. 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 ירד בהשוואה לשנה הקודמת וערכו עומד השנה על 1.63 (איור 36). השינויים בממד המגוון נובעים במידה רבה משינויים במספר מושבות המין הדומיננטי בלגונה, האלמוג *Stylophora*, וממד המגוון דומה השנה לערכו בשנה הקודמת.



איור ב36: השינויים במגוון מיני האלמוגים (על פי מדד המגוון של Shanon-Wiener) בלגונה מאז 2004 כפי שהוערכו בעזרת תכנת EstimateS.

Figure B36: Changes in coral diversity in the lagoon since 2004, according to the Shanon-Wiener index, estimated using the EstimateS software.

#### דיון ומסקנות

בשנות הניטור הראשונות (2004-2009) נעה צפיפות האלמוגים בלגונה בין 3.75 ל- 3.29 מושבות למ"ר. בחורף 2009-2010 פגעה באילת סדרת סערות דרומיות חזקות ובקיץ 2010 נמדדה צפיפות של 1.93 מושבות אלמוגים למ"ר. הצפיפות הנמוכה ביותר נמדדה בשנת 2012, 1.50 מושבות למ"ר, ומאז נצפית עליה איטית. צפיפות המושבות שנמדדה השנה היתה 2.32 מושבות למ"ר. הפגיעה העיקרית היתה באלמוג הדומיננטי *Stylophora pistillata* ותנודות באוכלוסייתו 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", אך בשנים האחרונות ניכר תהליך התאוששות. סביר שהתאוששות אלמוגי *Stylophora* בשנים האחרונות גם הביאה לירידה במדד מגוון המינים.

משך הזמן בו פועלת תכנית הניטור אינו מספיק עדיין על מנת לעמוד על תנודות אלו או על זמן המחזור האופייני להן. מלבד הסערות הדרומיות החזקות, בפרט אלו של חורף 2009-2010, לא ידוע לנו על עקות אשר עשויות היו להשפיע על אוכלוסיית האלמוגים בלגונה בשנים האחרונות. לסערות דרומיות השפעה ניכרת בלגונה, ועלינו להמשיך ולעקוב אחר שינויים בחברת האלמוגים בלגונה.

#### ב.4. התיישבות אלמוגים בשונית

##### מטרה

אמזן 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 ולכל אחד מהם הוצמדו 12 לוחיות קרמיות ללא זיגוג שגודלן 25X25 ס"מ. חומר זה נמצא כמצע יעיל להתיישבות אלמוגים והלוחיות אוקלמו במיכל מי ים זורמים במשך מספר שבועות עד להכנסתן לים. מערכי הלוחיות הוכנסו לים בסוף מרץ 2017 ומוקמו באופן שרירותי בסמוך לסלע שונית בעומק 7-10 מטרים. בכל חודשיים נאספים 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 ומניטור השנתיים הקודמות של התכנית. לאחר הוצאתן מובאות הלוחיות למעבדה לצורך ספירת מושבות אלמוגים.

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 (איור ב37). לאחר הספירה הלוחיות מגורדות במברשת ונשמרות עד להחזרתן למערכים בשונית, בעונת השנה הבאה.



איור ב37: שתי מושבות אלמוגים זעירות, המכילות שני פוליפים (משמאל) וששה פוליפים (מימין)  
Figure B37: Two tiny coral colonies, containing two polyps (left) and six polyps (right)

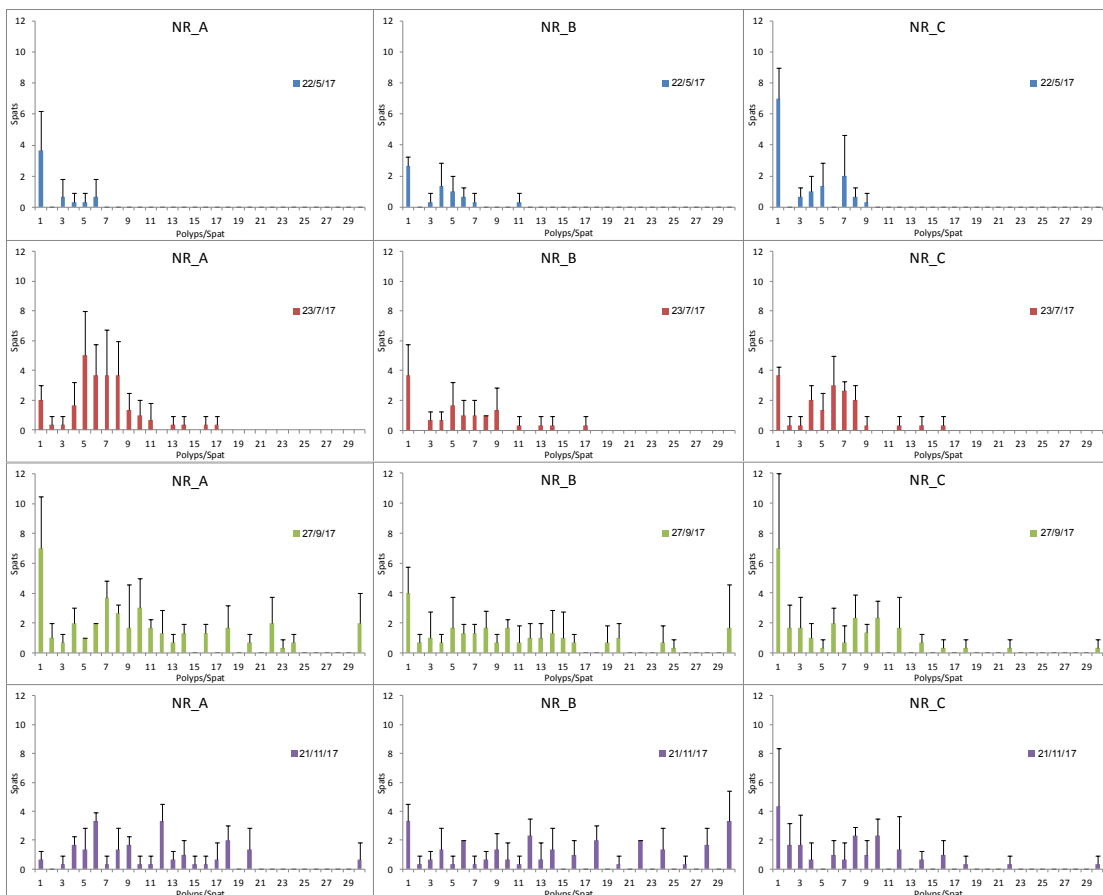
##### תוצאות ראשונות

לוחיות ההתיישבות הוצבו לראשונה בשונית בסוף אפריל-תחילת מאי 2015 (מעבדה ימית וחוף אלמוג, בהתאמה). ובמשך שנתיים כלל הניטור החלפת זוג לוחיות (שהיו בתחילה 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. הלוחיות שהוכנסו לים באביב 2015 משכו מספר גדול ביותר של מתיישבים, ומספר הפוליפים למושבה היה גדול ביותר. עונת הרבייה המוכרת של אלמוגים במפרץ היא עונת הקיץ (ראו נספח 3 בדו"ח תכנית הניטור 2015, תקציר עבודת המוסמך של תום שלזינגר אשר מצא, בהתאמה לעבודות קודמות, כי עיקר הגיוס לשונית מתרחש בחודש אוגוסט), ואכן על גבי לוחיות ששהו בים מחוץ לעונה זו נמצאו מעט מאד מתיישבים. גודלן הקטן של המושבות שנמצאו על לוחיות ההתיישבות שנבחנו במסגרת הניטור בשנים 2015-6 אינו מאפשר לקבוע את סוג האלמוגים. על סמך המראה בלבד, נראה שלפחות חלקם ממשפחת *Pocilloporidae* (Babcock et al., 2003) וסביר שמשתייכים למין *Stylophora pistillata* הנפוץ בשוניות אילת.

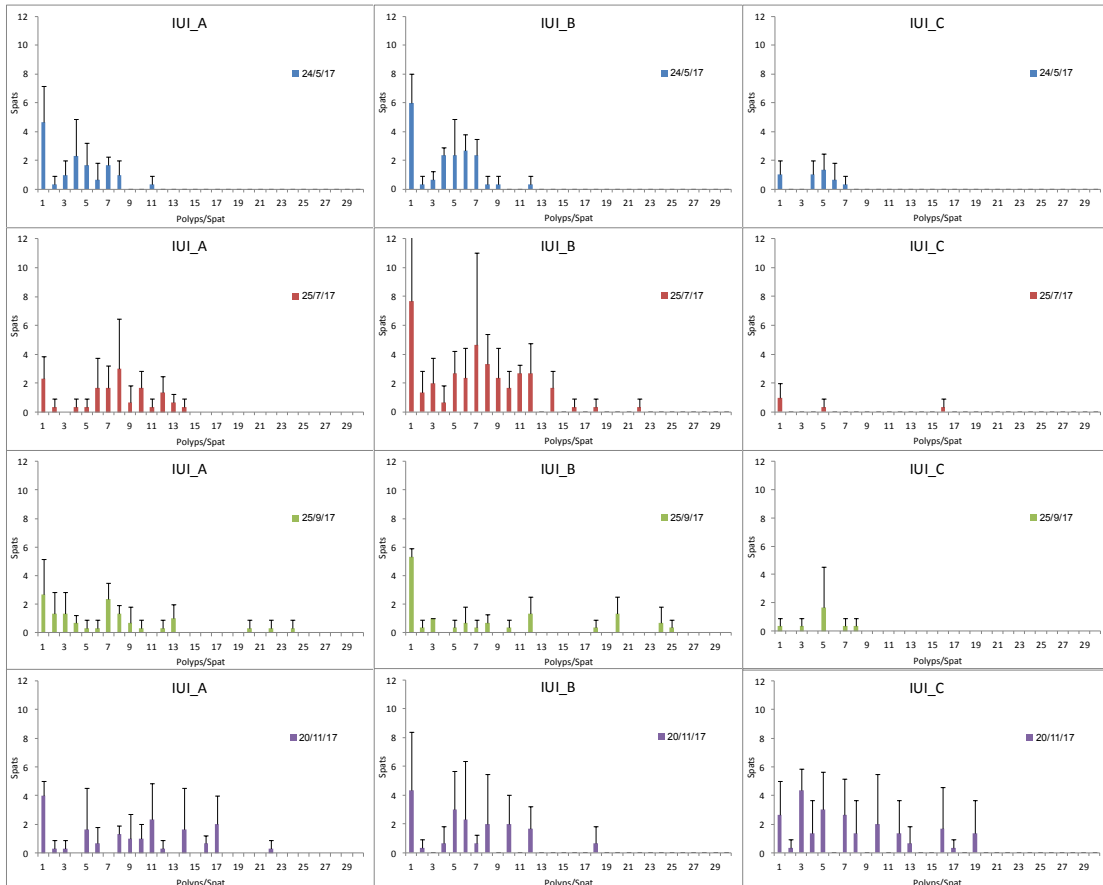
בזכות תוספת משמעותית של מאמץ הדגימה (סך שטח הלוחיות הנבחן) והשינוי בפרוטוקול הדגימה נאספה השנה (2017) כמות תצפיות גדולה הרבה יותר לגבי תבנית גיוס אלמוגים בשונית. לוחיות בשני האתרים שהו בים במשך פרקי זמן הנעים בין חודשיים לשמונה חודשים. לאורך תקופה זו ניתן לעקוב הן אחרי הצטברות (וגריעת) מתיישבים (מספר 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, זה מלמד אך ורק על אספקת מגוייסים ויכולתם לשרוד את השלבים הראשונים של ההתיישבות (ללא לחצי רעייה אשר פוגעים במתיישבים בשונית הטבעית). בסך הכל נספרו על גבי לוחיות התיישבות באתר המעבדה 530 מגוייסים, ובאתר השמורה נספרו 705 מגוייסים.

תבנית גיוס אלמוגים באתרי שמורת האלמוגים (NR) והמכון הבינאוניברסיטאי (IUI) מוצגת באיורים 38 ו-39, בהתאמה. התיישבות אלמוגים החלה בפרק הזמן הראשון (חודשים אפריל-מאי) ונמשכה לתוך פרק הזמן האחרון (חודשים אוקטובר-נובמבר), אך בין הלוחיות מאותו מערך ישנה שונות גדולה וכך גם בין המערכים מאותו אתר.



איור 38: מספר המתיישבים (על ציר Y) בעלי מספר פוליפים (הנתון בציר X) על גבי לוחיות ההתיישבות באתר שמורת האלמוגים (NR). כל עמודה מייצגת את הערך הממוצע של שלושת הלוחיות שנאספו מכל אחד מהמערכים (A, B, C) באתר.

**Figure B38:** 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 site (NR). Each column represents the average of the three plates from each of the plate arrays (A,B, C) at the site.

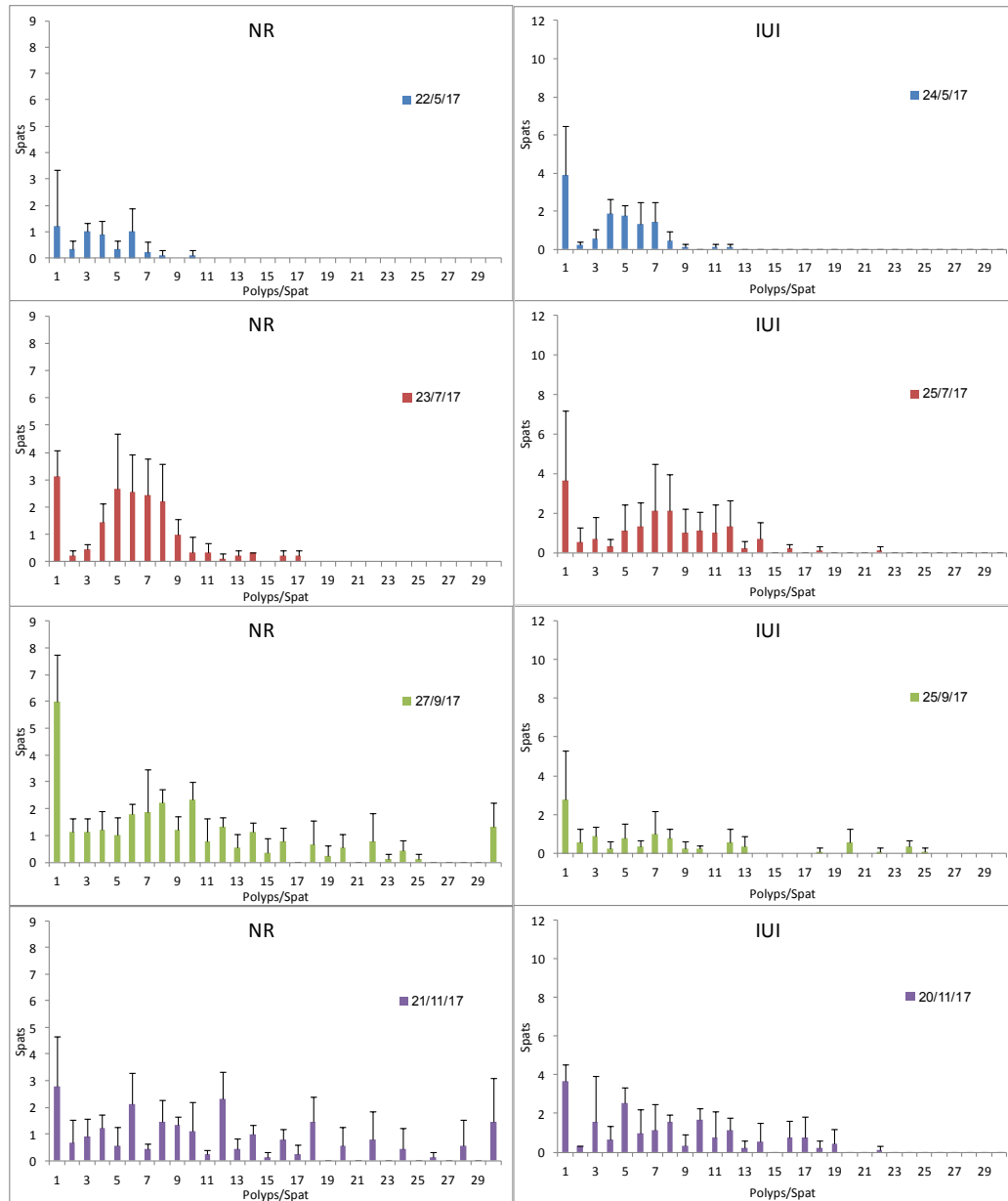


איור 39: מספר המתיישבים (על ציר Y) בעלי מספר פוליפים (הנתון בציר X) על גבי לוחיות ההתיישבות באתר המעבדה הימית (IUI). כל עמודה מייצגת את הערך הממוצע של שלושת הלוחיות שנאספו מכל אחד מהמערכים (A, B, C) באתר.

**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 Interuniversity site (IUI). Each column represents the average of the three plates from each of the plate arrays (A,B, C) at the site.

על אף השונות מצטיירת באתר השמורה תבנית גיוס וגידול ברורה ולעומת זאת באתר המעבדה התבנית פחות ברורה (איור 40). באתר השמורה מספר המגוייסים בשתי התקופות המאוחרות (חודשים אוגוסט-נובמבר) היה גדול מזה שבאתר המעבדה והצטברות המגוייסים רציפה יותר. באתר המעבדה נראה כי תבנית אספקת המגוייסים מקוטעת.





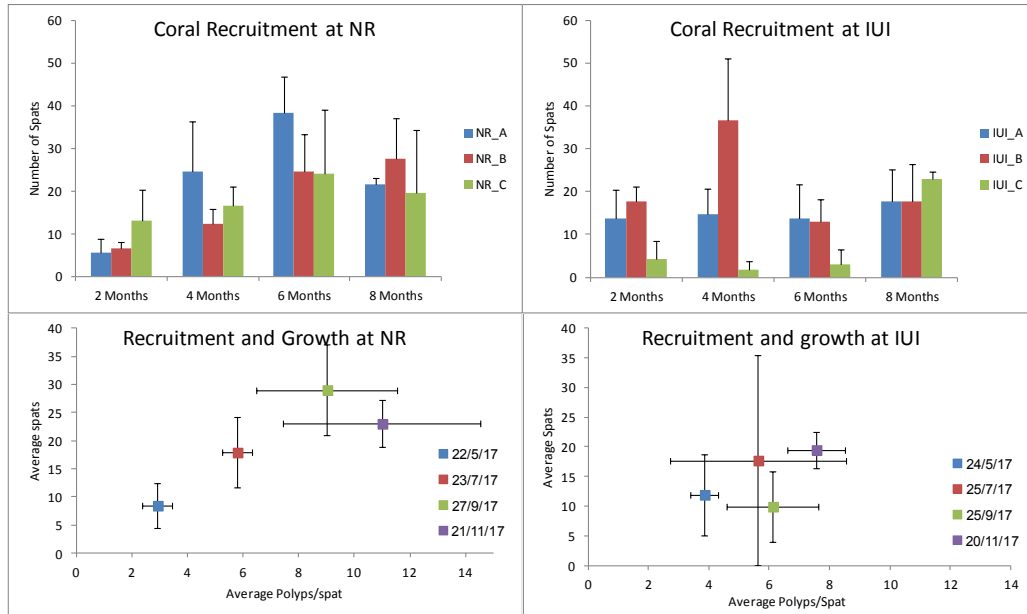
**איור ב40: מספר המתיישבים (על ציר Y) בעלי מספר פוליפים (הנתון בציר X) על גבי לוחיות ההתיישבות באתר המעבדה הימית (IUI). כל עמודה מייצגת את הערך הממוצע של שלושת המערכים (A, B, C) באתר. מספר המתיישבים (על ציר Y) בעלי מספר פוליפים (הנתון בציר X) על גבי לוחיות ההתיישבות באתר המעבדה הימית (IUI). כל עמודה מייצגת את הערך הממוצע של שלושת המערכים (A, B, C) באתר.**

באתר השמורה נמצא כי בתקופה האחרונה (אוקטובר-נובמבר) סך כל מספר המתיישבים קטן מאשר נמצא בחודשים אוגוסט-ספטמבר, וכך נראה שעל אף שנוספים מתיישבים חדשים, ישנו אבדן גדול יותר. לעומת זאת, באתר המעבדה נראה כי תבנית ההתיישבות אינה רציפה ודווקא בתקופה האחרונה ישנה עליה בסך מספר האלמוגים המתיישבים בעונה (איור ב41).

עוד ניתן ללמוד, כי בפרק זמן שאינו עולה על חודשיים גודלם הממוצע של מתיישבי אלמוגים נע בין שלושה פוליפים (באתר השמורה) לארבעה פוליפים (באתר המעבדה). מספר הפוליפים הרב ביותר שנמצא בפרק הזמן הראשון (אפריל-מאי) היה 12 באתר IUI ו-11 באתר השמורה. עם זאת, מספר הפוליפים הממוצע של מתגייסים בסוף העונה (חודש נובמבר) היה 11 באתר השמורה ו-7.6 באתר המעבדה. מספר הפוליפים הרב ביותר שנמצא באתר המעבדה היה 25 (מתגייס אחד על לוחית שהוצאה בחודש ספטמבר), ואילו באתר השמורה נמצאו על גבי לוחיות שהוצאו הן בחודש ספטמבר והן בחודש

נובמבר, 21 מגוייסים שלהם יותר מ-30 פוליפים.

בעוד שבאתר השמורה ניתן לעקב אחר סך גדילה של מתגייסים לאורך העונה (בין ממוצע של 3 פוליפים בתקופה הראשונה ל- 11 פוליפים בתקופה האחרונה) וישנם מגוייסים רבים בעלי מספר רב של פוליפים, באתר המעבדה הגדילה היתה קטנה במידה ניכרת, בין 4 פוליפים בתקופה הראשונה ל- 7.6 בתקופה האחרונה, ומספר מירבי של 25 פוליפים שנמצא רק במגוייס אחד.



**איור 41:** למעלה - מספר המגוייסים הממוצע על מערכי ההתיישבות לאורך התקופה הנבדקת באתר השמורה (משמאל) ובאתר המעבדה (מימין). למטה - מספר המגוייסים הממוצע באתר השמורה (משמאל) ובאתר המעבדה (מימין) כנגד מספר הפוליפים הממוצע למגוייס לאורך התקופה הנבדקת.

**Figure B41:** Top – the average number of coral recruits on plate arrays at the nature reserve (NR, left) site and the Interuniversity (IUI' right) site, throughout the examined period. Bottom – 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.

לסיכום, ניטור מגוייסים לשונית מתבצע במתכונתו הנוכחית זו השנה הראשונה ועל כן לא ניתן לעקוב אחר שינויים בזמן בין שנים, אך ניתן לעקוב אחר תבנית הגיוס לאורך העונה של שנת 2017 (חודשים אפריל-נובמבר) בשני אתרים, אתר השמורה ואתר המעבדה. נראה כי באתר השמורה כמות המגוייסים גדולה יותר והם גדלים טוב יותר מאשר באתר המעבדה. באתר השמורה מספר המגוייסים שנספרו על גבי לוחיות היה גדול בהרבה מהמספר שנמצא באתר המעבדה (705 לעומת 530). גם הגודל המרבי באתר השמורה גדול יותר – נמצאו שם מגוייסים רבים שלהם יותר משלושים פוליפים, לעומת מספר מירבי של 24-25 פוליפים שנמצאו באתר המעבדה, במספר קטן של מגוייסים. באתר השמורה נמצא גידול במספר המגוייסים על לוחיות בין תחילת העונה לשיאה בחודש ספטמבר, וירידת-מה בין חודש ספטמבר לחודש נובמבר. באתר המעבדה נמצא מספר מתיישבים הגדול ביותר בחודש נובמבר, ומספר דומה בחודש יולי, כאשר בחודש ספטמבר נמצא המספר הנמוך ביותר.

גם מבחינת השונות במספר המגוייסים בין המערכים בכל אתר, נמצאה באתר השמורה שונות נמוכה יותר מאשר באתר המעבדה (מקדם שונות (cv) של 0.13 ו- 0.45, בהתאמה). בשלב זה לא ניתן לקבוע האם ההבדלים בין האתרים מבחינת תבנית ההתיישבות נובעת מהבדלים באספקה או בקשיי גיוס וגדילה הניכרים במספר הפוליפים הקטן יותר באתר המעבדה, ויש להמתין לתוצאות השנים הבאות על מנת לברר אם הבדלים אלה מובנים או מקריים.

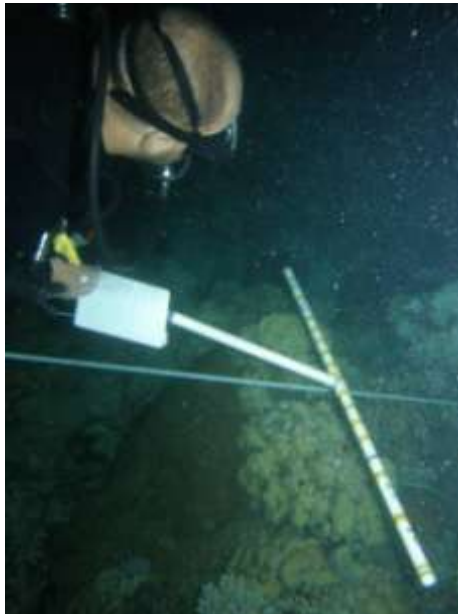
## ב.5. סקר חוליות ניידים בשונית

### מטרה

אמזן שיפעת חסרי החוליות הניידים העיקריים בשונית האלמוגים בחוף הדרומי.

### 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 אקראית לאורך העומק הנבחר. מנקודת ההתחלה מתקדם צולל המחזיק מתקן בצורת T וסופר כל פרט הנמצא תחת המוט הניצב, אשר אורכו מטר אחד (איור ב42). בשיטה זו ניתן לכסות שטח גדול ביעילות רבה, ובמקרה זה את מרבית שטחו של כל אתר לאורך קו העומק הנבחר, עובדה בעלת חשיבות עקב מספרם הקטן של חסרי החוליות. מירב השטח באתר נסקר לאורך קו העומק המבוקש לקבלת ספירה מדויקת ככל האפשר, אולם אבדה יכולת ההערכה של פרמטרים סטטיסטיים תלויים בחזרות רבות של יחידות מדידה קטנות הדוגמות את האתר. הפרטים הנספרים, חסרי החוליות הניידים (קוצי עור ורכיכות), מסווגים לפי סוג או משפחה.



איור ב42: 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 B42: Belt-transect survey of motile invertebrates: a diver holding a T-shaped stick passes along a measuring measuring tape counting the individuals found under the cross-arm. This makes a sampling unit whose length is defined by the measuring tape and whose width by the 1 meter long cross-arm. Photo: Tomer Shaulov**

תוצאות

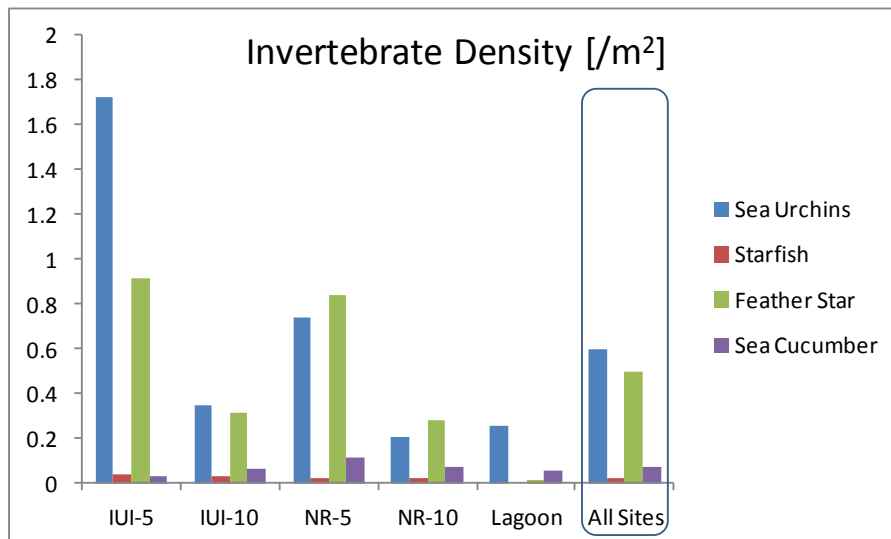
השנה נסקרו בכל האתרים 1400 מטרים רבועים, לפי הפירוט בטבלה ב7.

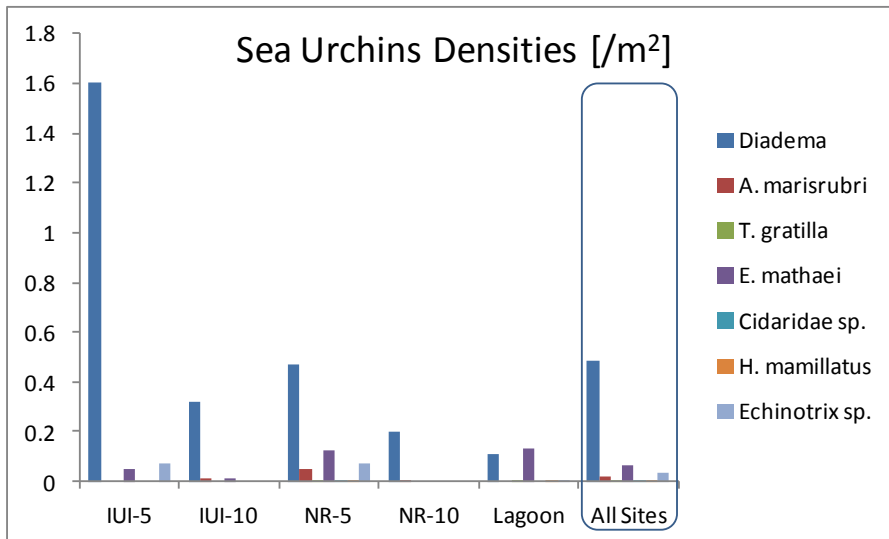
	IUI-5		IUI-10		NR-5		NR-10		Lagoon	
	Density	Number	Density	Number	Density	Number	Density	Number	Density	Number
Diadema	1.605	321	0.32	64	0.4725	189	0.2	80	0.11	22
Other Urchins	0.12	24	0.025	5	0.2625	105	0.0025	1	0.145	29
Total Urchins	1.725	345	0.345	69	0.735	294	0.2025	81	0.255	51
Starfish	0.035	7	0.03	6	0.0175	7	0.0175	7	0	0
Feather star	0.91	182	0.315	63	0.84	336	0.2775	111	0.015	3
Sea Cucumber	0.03	6	0.065	13	0.11	44	0.0725	29	0.055	11
M <sup>2</sup> surveyed	200		200		400		400		200	

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

**Table B7: Total abundance and average density (number per 1m<sup>2</sup>) 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 השנייה הנפוצה היא חבצלות הים (איור ב43). 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 ואחריו הסוג *Echinotrix sp.* צפיפות קיפודי ים גדולה ביותר באתרים הרדודים (ובמיוחד באתר 5-IUI) 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.

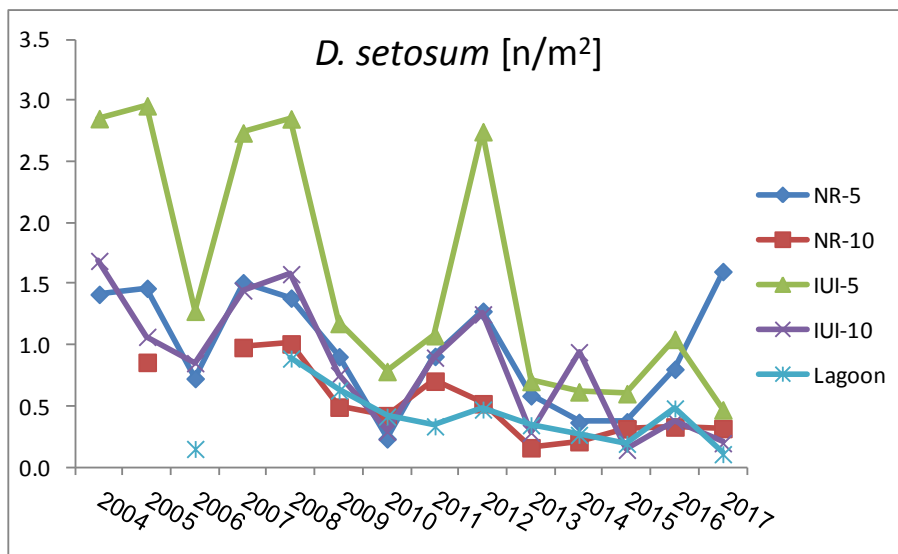


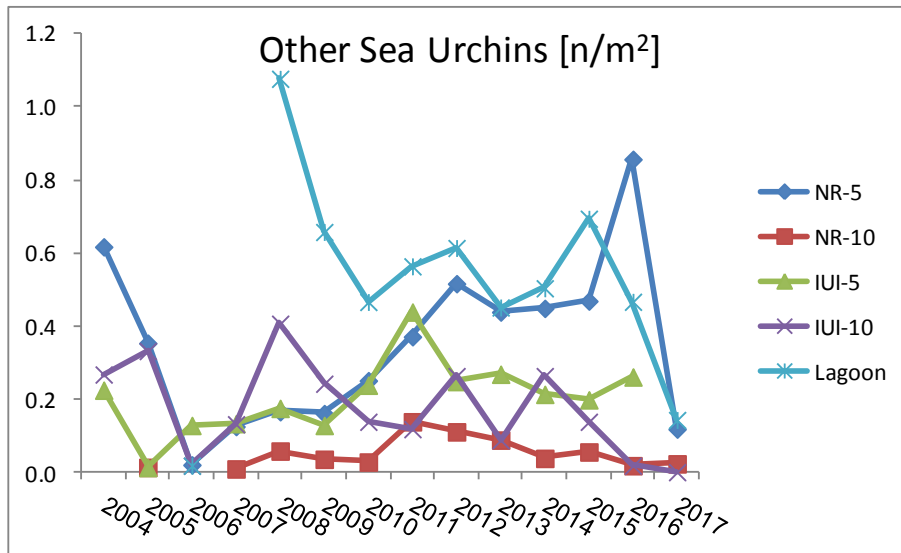


איור ב43: הצפיפות הממוצעת (פרטים למ"ר) של חסרי חוליות ניידים (למעלה) וקיפודי ים (למטה) באתרי הניטור.

**Figure B43: The average density (per m<sup>2</sup>) of mobile invertebrates (top) and sea urchins (bottom) at the sampling sites.**

במשך שנות הניטור נמדדו תנודות גדולות בצפיפות קיפודי ים (איור ב44). התנודות באוכלוסיית הקיפוד הנפוץ *D. setosum* גדולות במיוחד באתר 5-IUI בו צפיפותו גדולה ביותר, אך תבנית השינוי דומה בכל האתרים. באתר הלגונה צפיפות קיפודי ים אחרים במשולב (ובפרט המין *E. mataei*) גדולה יותר, ותבנית התנודות בגודל האוכלוסייה דומה.



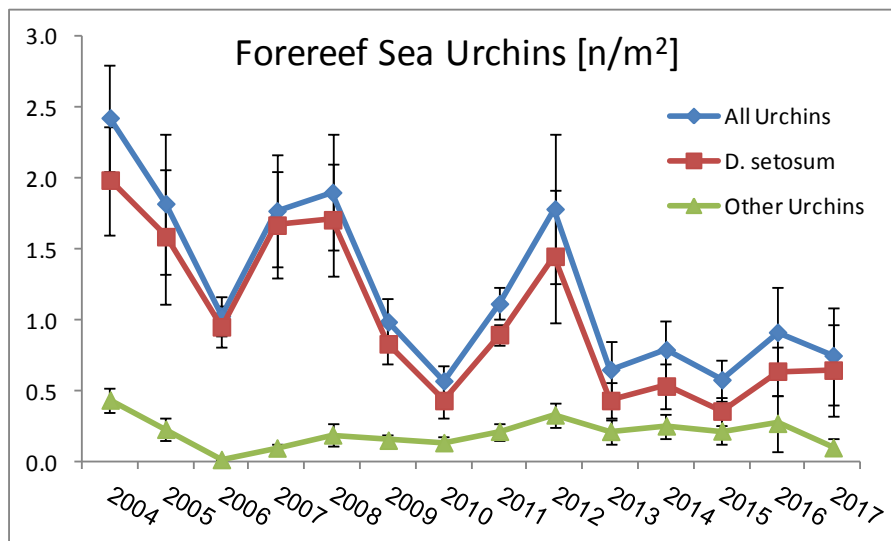


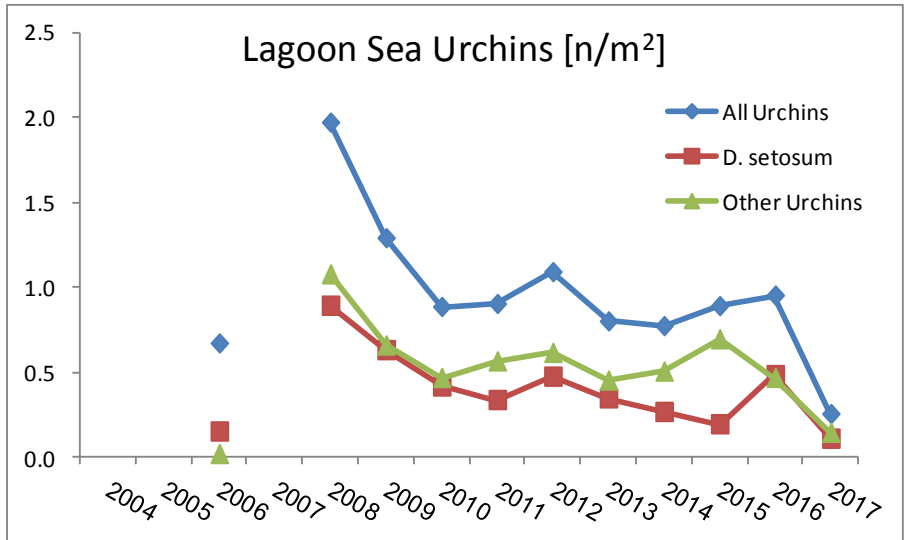
איור ב44: הצפיפות הממוצעת (פרטים למ"ר) של קיפודי הים *Diadema setosum* (למעלה) של קיפודי ים אחרים (למטה) באתרי הניטור.

**Figure B44: The average density (individuals per m<sup>2</sup>) 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 והשינוי קשור יותר בתנודות קיפודי ים מסוגים אחרים (איור ב45).

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



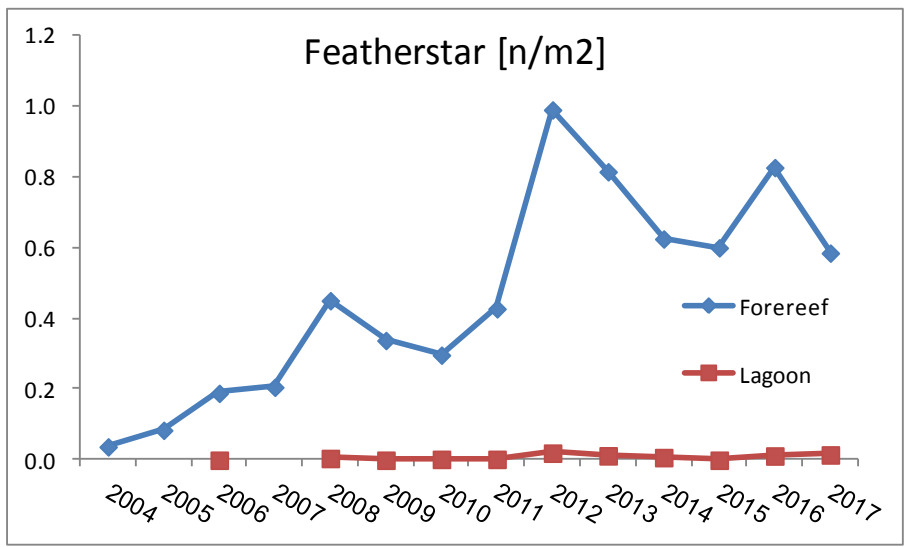


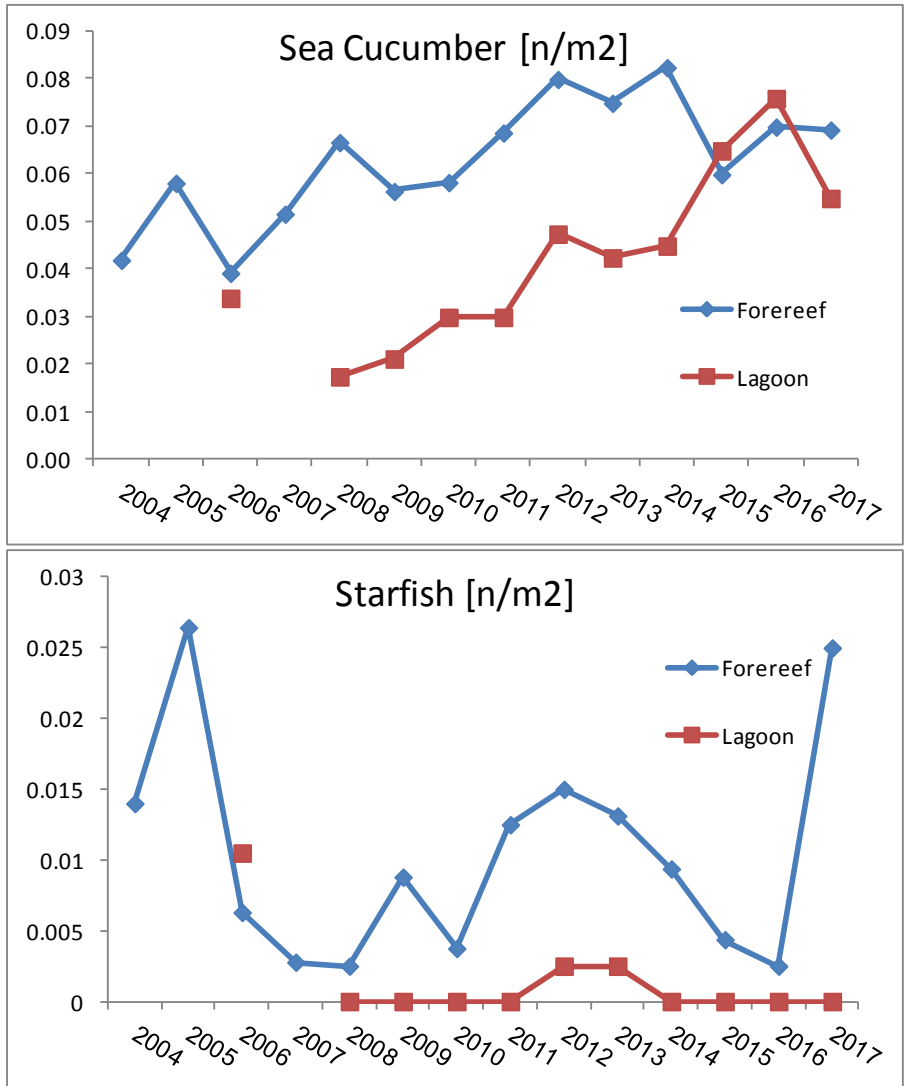
איור ב45: הצפיפות הממוצעת (פרטים למ"ר) של קיפודי הים (*Diadema setosum*, אחרים וכלל הקיפודים) באתרי קדמת השונית (למעלה) והלגונה (למטה).

**Figure B45: The average density (individuals per m<sup>2</sup>) 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 ב46). בלגונה צפיפות חבצלות ים קטנה במידה ניכרת מאשר בקדמת השונית לאורך כל תקופת הניטור.

אוכלוסיית מלפפוני הים נמצאת בעליה מתמשכת בכל האתרים, עם תנודות בעיקר באתרי קדמת השונית. מכיוון שהצפיפות נמוכה לא ברור האם תנודות אלה 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. בשנים האחרונות הופיעו באתרי הניטור פרטים של נחשונק (*Astroboa nuda*) אשר לא זוהו בשנים הראשונות לניטור.





איור ב46: הצפיפות הממוצעת (פרטים למ"ר) של חבצלות ים (למעלה), מלפפוני ים (באמצע) וכוכבי ים (למטה) באתרי קדמת השונית ובלגונה.

Figure B46: The average density (per m<sup>2</sup>) of feather-stars (top), Sea Cucumbers (middle) and Sea Stars (bottom) at the fore-reef sites and the lagoon.



## ב.6. קצב גידול מאקרו-אצות בשונית

### מטרה

אמדן קצבי ההתיישבות והגידול 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 ב47). 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 אצות: מתנול (50:50) (v/v) למיצוי הפיגמנטים הפוטוסינתטיים המשמשים לאומדן מסת האצות. עצמת בליעת האור באורכי הגל המתאימים לפיגמנטים הפוטוסינתטיים (E664, E647, E630) נמדדת ב-Spectrophotometer ומשמשת לחישוב כמות ה-*chlorophyll a*, הפיגמנט העיקרי באצות אלה, באמצעות המשוואה:

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

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

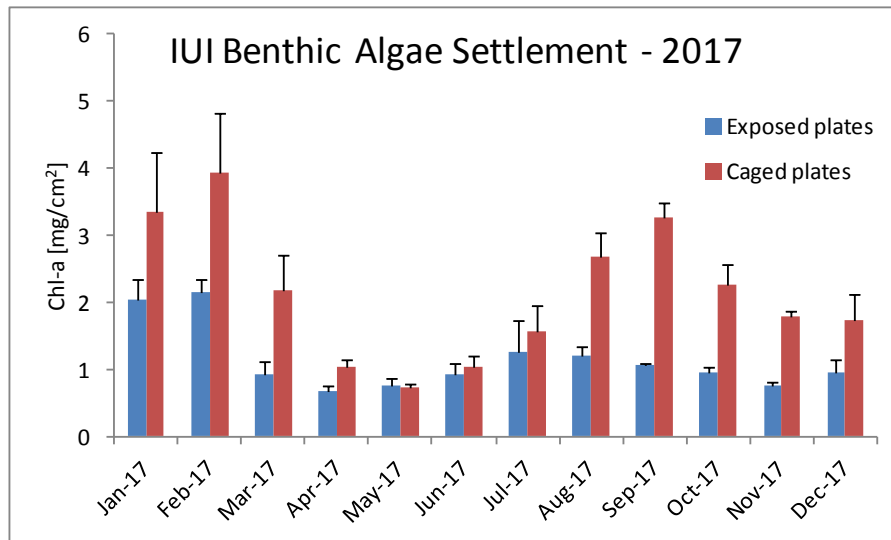


איור ב47: (א) מערך של לוחית התיישבות. שתי לוחיות חשופות לרעייה, ושתיים מוגנות על ידי כלוב מתכת. צילום: ניצן שגב (ב) החלפת לוחיות בצלילה, מדי חודש מוחלפות הלוחיות ששהו חודשיים בים. צילום: רותי ריף

**Figure B47: 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

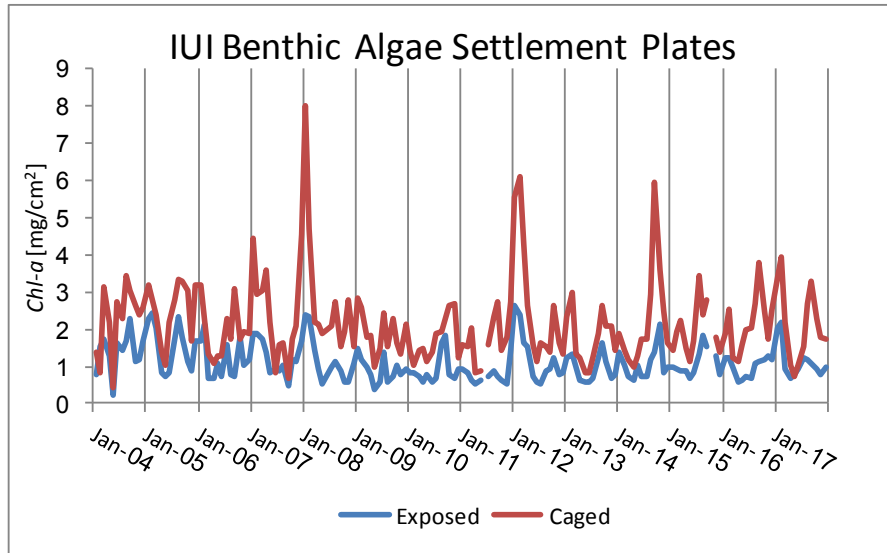
גם השנה, כמו בשנה הקודמת, נמדדו באתר המעבדה שני שיאים בגידול האצות הפוטנציאלי (ריכוז כלורופיל על גבי לוחיות מוגנות מרעיה) בחודשים פברואר וספטמבר (איור ב48). שיאים אלה אינם גבוהים ( $3.94 \text{ mg/cm}^2$  ו- $3.27 \text{ mg/cm}^2$ , בהתאמה) אך מעט גבוהים יותר מהערכים אשר נמדדו בשנה הקודמת. ברוב שנות הניטור נמצאו שני שיאים בפוטנציאל פריחת האצות הישיבות, חורף וקיץ, כאשר בשנים של ערבוב עמוק ערך השיא של החורף גבוה מזה של הקיץ.



איור ב48: ממוצע כמות Chlorophyll a ע"ג לוחית חשופות ומוגנות בכלובים בשנת 2017. כל עמודה מייצגת חודש אחד (מחושבת על-פי שלוש לוחיות ששהו בים חודשיים).

**Figure B48: Average chlorophyll a on exposed (diamonds) and caged (squares) settlement plates in 2017. Each bar represents one month (calculated as an average of three plates submerged in the sea for two months).**

בספטמבר 2014 נמדד שיא בפוטנציאל פריחת אצות ישיבות שהיה חריג בעצמתו עבור שנה של ערבוב רדוד,  $5.96 \text{ mg/cm}^2$ , ולא נמצא לו הסבר מספק, אם כי ברור שאינו תוצאה של ערבוב עמודת המים המגיע לשיאו בחורף וגורם לשיא פריחה אז. בשנים 2015-2017 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  $7.99 \text{ mg/cm}^2$ , בינואר 2008, שנה בה היה ערבוב עמודת המים עמוק במיוחד. גם בשנים 2007 ו-2012 היה ערבוב עמוק של עמודת המים ונמדדו שיאים בפוטנציאל גידול אצות ישיבות באתר המעבדה הימית (איור ב49). גידול אצות בשונית בפועל נאמד על ידי ריכוז הכלורופיל על גבי לוחיות חשופות לרעייה. לרוב, לחץ הרעיה מוריד את ריכוז הכלורופיל על גבי לוחיות אלה במדה משמעותית. השנה ריכוז הכלורופיל על לוחיות חשופות היו גבוהים יחסית בחודשים ינואר-פברואר (הריכוז הגבוה ביותר נמדד בחודש פברואר  $(1.56 \text{ mg/cm}^2)$ ) אולם בחודש ספטמבר, בו נמדד השיא השני בפוטנציאל גידול האצות, לא נמדדו ריכוזים גבוהים על גבי לוחיות חשופות לרעייה.

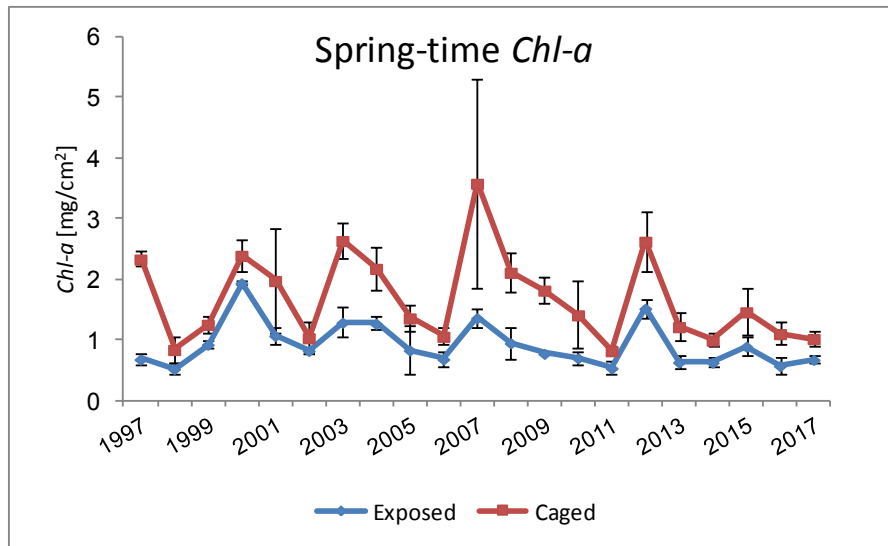


איור ב49: ממוצע כמות Chlorophyll a ע"ג לוחית חשופות ומוגנות בכלובים מאז 2004. כל נקודה מייצגת חודש אחד (מחושבת על-פי שלוש לוחיות ששהו בים חודשיים).

**Figure B49: Average chlorophyll a on exposed (diamonds) and caged (squares) settlement plates since 2004. Each point represents one month (calculated as an average of three plates submerged in the sea for two months).**

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 ב50). על אף שתזמון פריחת האצות הישיבות בשונית (= שיא פוטנציאל גידול האצות/ריכוז הכלורופיל על גבי לוחיות מוגנות מרעיה) 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. בסיכמו 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.



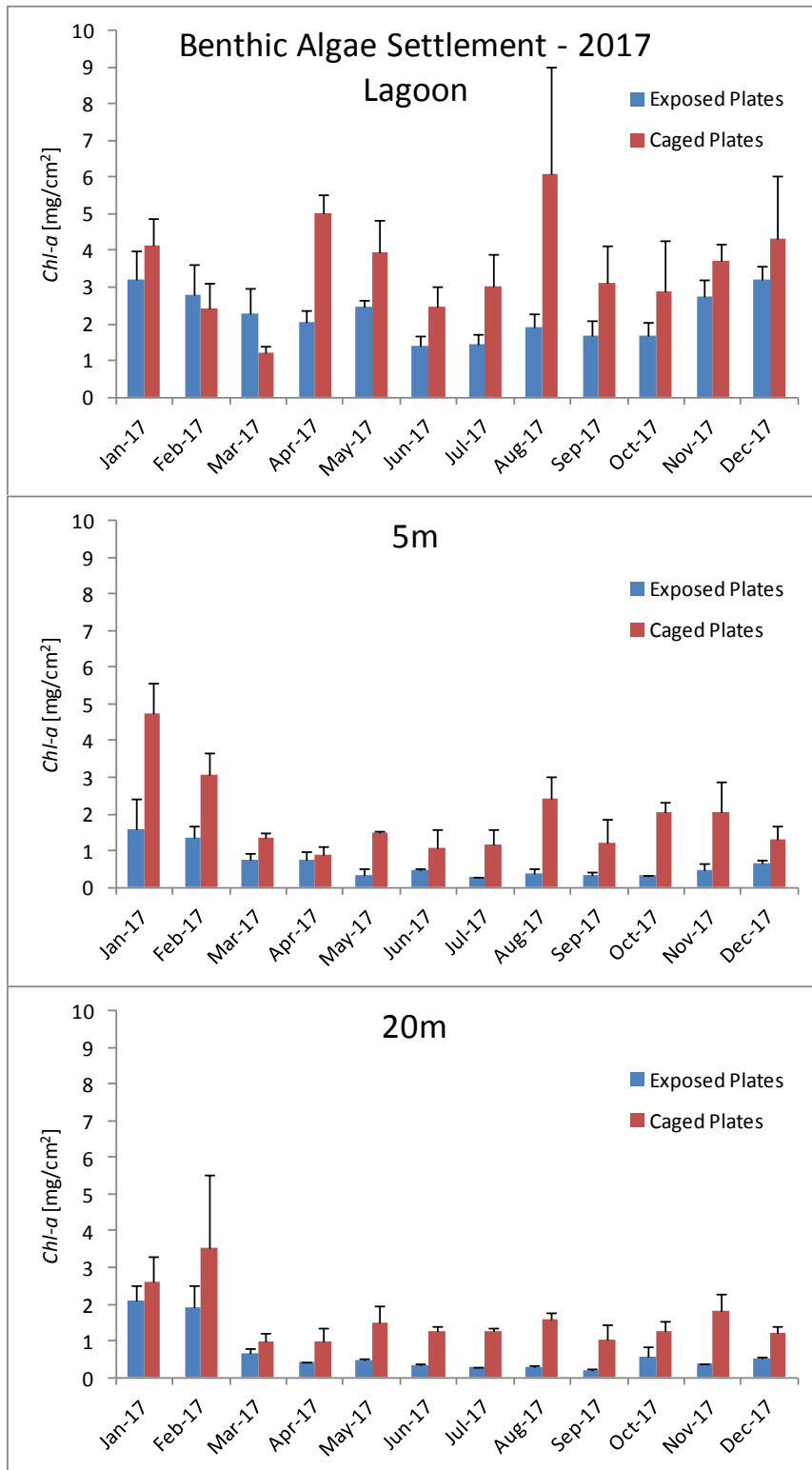
**איור ב50: ממוצע כמות Chlorophyll a בחודשי האביב (מרץ-אפריל) על-גבי לוחית חשופות ומוגנות בכלובים, החל משנת 1997. כל נקודה היא ממוצע של שלוש לוחיות ששהו בים חודשיים.**  
**Figure B50: Average chlorophyll a during the months April-May on exposed and caged settlement plates since 1997. Each point is an 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 ב51). 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 התיישבות. השילוב בין לוחיות שכוסו לעיתים בחול ובין צמיחת אצות אשר לעיתים מילאו את כל כלובי ההגנה סביב הלוחות גורם לעיתים להבדלים גדולים בין שלושת מערכי הדגימה בלגונה (שגיאות תקן גדולות) ומקשה על ניתוח התוצאות. על כן, התבנית העונתית של ריכוזי כלורופיל על גבי לוחיות בלגונה אינה מסודרת, אך למרות זאת, אין ספק כי פוטנציאל גידול אצות ישיבות בלגונה עשוי להיות גבוה בהרבה מזה שבועמקים גדולים יותר. ריכוז הכלורופיל המרבי אשר נמדד השנה בלגונה היה 6.10, בחודש אוגוסט.

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. שיא בריכוז הכלורופיל נמדד בחודש ינואר (4.74), ואחרי חודשים של ריכוז כלורופיל נמוך באביב ובתחילת הקיץ נמדדו ריכוזי כלורופיל מעט גבוהים יותר בחודשים אוגוסט-נובמבר.

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 3.53, בחודש פברואר.

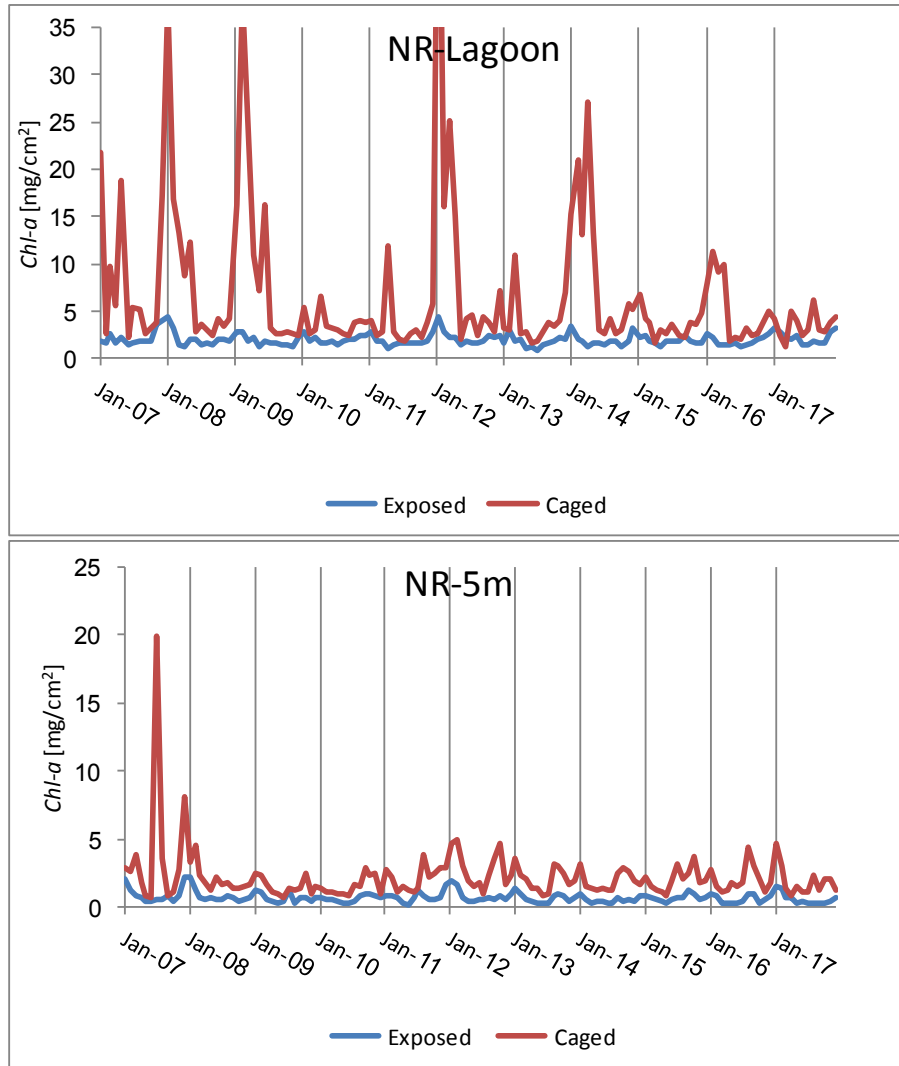
בכל האתרים נראה כי הרעייה מסוגלת לווסת ביעילות את גדילת האצות בפועל – ריכוזי כלורופיל על גבי לוחיות חשופות לרעה נמוכים משמעותית מאלו של הלוחיות המוגנות. עם זאת, בחודשים בהם פוטנציאל צמיחת האצות גדול, גם הריכוזים (השארתיים) על הלוחיות החשופות גבוהים מאשר בחודשים בהם פוטנציאל הגדילה נמוך. בהתאם לכך, גם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

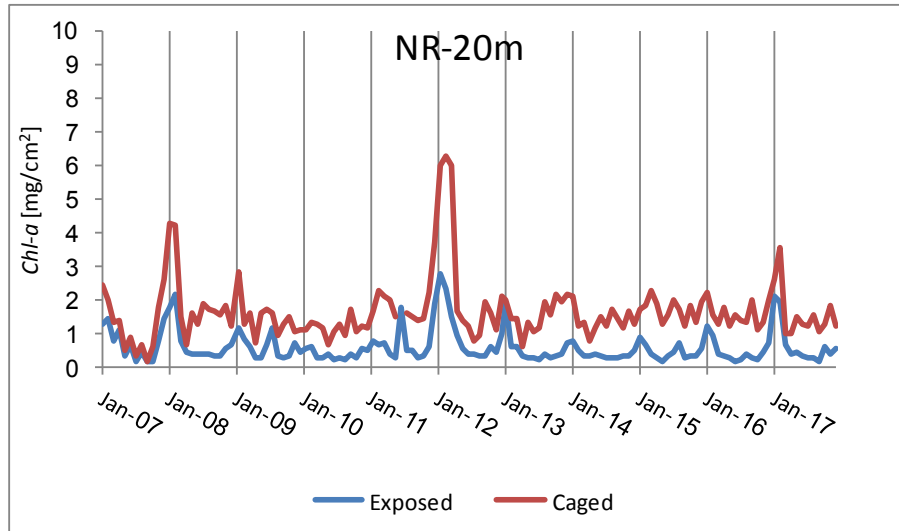


איור ב51: ממוצע כמות Chlorophyll a ע"ג לוחית חשופות ומוגנות בכלובים בשמורת חוף אלמוג בשנת 2017. כל נקודה מייצגת חודש אחד (מחושבת על-פי שלוש לוחיות ששהו בים חודשיים). למעלה – לוחיות שהוצבו בלגונה, באמצע – לוחיות מעומק 5 מטרים, למטה – לוחיות מעומק 20 מטרים.

**Figure B51: Average chlorophyll a on exposed (blue) and caged (red) settlement plates at the Nature Reserve in 2017. 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 נמוכות השנה בהשוואה לשנה הקודמת, ולרוב השנים שעברו מאז 2007 (איור ב52). הדבר ניכר בעיקר בלגונה, בה נרשמו לעיתים שיאים גבוהים בסדר גודל מערכי השנה. בשנה הקודמת היה ריכוז הכלורופיל המרבי בלגונה  $11.38 \text{ mg/cm}^2$ , כמעט כפול מהערך המרבי של השנה. 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. ההבדלים בין השנים בולטים בעיקר בריכוזים הנמדדים מלוחיות מוגנות המשקפות פריחת אצות ללא ויסות על ידי רעייה.

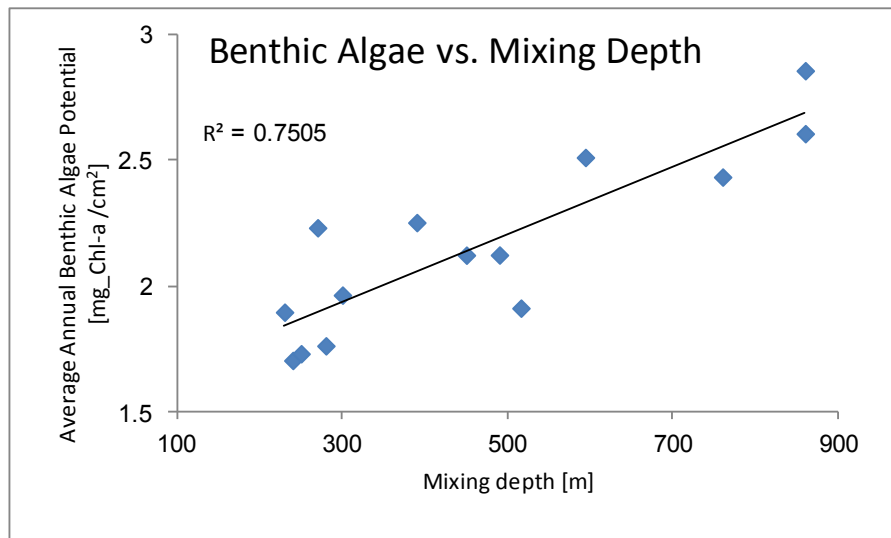




איור ב52: ממוצע כמות Chlorophyll a ע"ג לוחית חשופות ומוגנות בכלובים בשמורת חוף אלמוג מאז שנת 2007. כל נקודה מייצגת חודש אחד (מחושבת על-פי שלוש לוחיות ששהו בים חודשיים). למעלה – לוחיות שהוצבו בלגונה, באמצע – לוחיות מעומק 5 מטרים, למטה – לוחיות מעומק 20 מטרים.

**Figure B52: Average chlorophyll a on exposed (diamonds) and caged (squares) 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.**

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 ב53).



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

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

## 7. ב. סקר דגי השונית

### מטרה

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

### שיטות

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 בשונית 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:

#### זיקה לקרקעית –

Benthic, Benthopelagic, Pelagic

#### גודל להקה (Schooling) –

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

#### תזונה –

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

Herbivorous: macroalgae/seagrass (H)

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

Invertivorous - Mobiles: crustaceans etc (IM)

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

Piscivorous: fish and cephalopods (PC)

Omnivorous: both animal and vegetal material (OM)

הדגים נספרו בסדרה של מנסרות ישרות בעלות בסיס מלבני ברוחב 1 מ' ובאורך 7 מ' ונפח הכולל את עמודת המים בין הבסיס לפני הים. בכל פעם נדגם מערך סדור אשר מיקומו נבחר באופן שרירותי: סדרה של מנסרות סמוכות המופרדות 3 מ' זו מזו לאורך סרט מדידה. מימדי המנסרה נקבעו על פי שיקולים של טווח ראייה: על הצולל להיות מסוגל לראות את כל נפח המנסרה בבת אחת, המרחק בין מנסרות נועד לאפשר עבודה בטוחה בצלילה – קשר עין בין דוגמים. יחידות הדגימה הן: עבור דגי עמודת המים – נפח מנסרה עם בסיס מלבני 7X1 מ' על קרקעית הים ועד לפני המים, ופרק זמן של עשר דקות. עבור הדגים שוכני הקרקעית – בסיס יחידת הדגום (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.

### תוצאות

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. השנה 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.

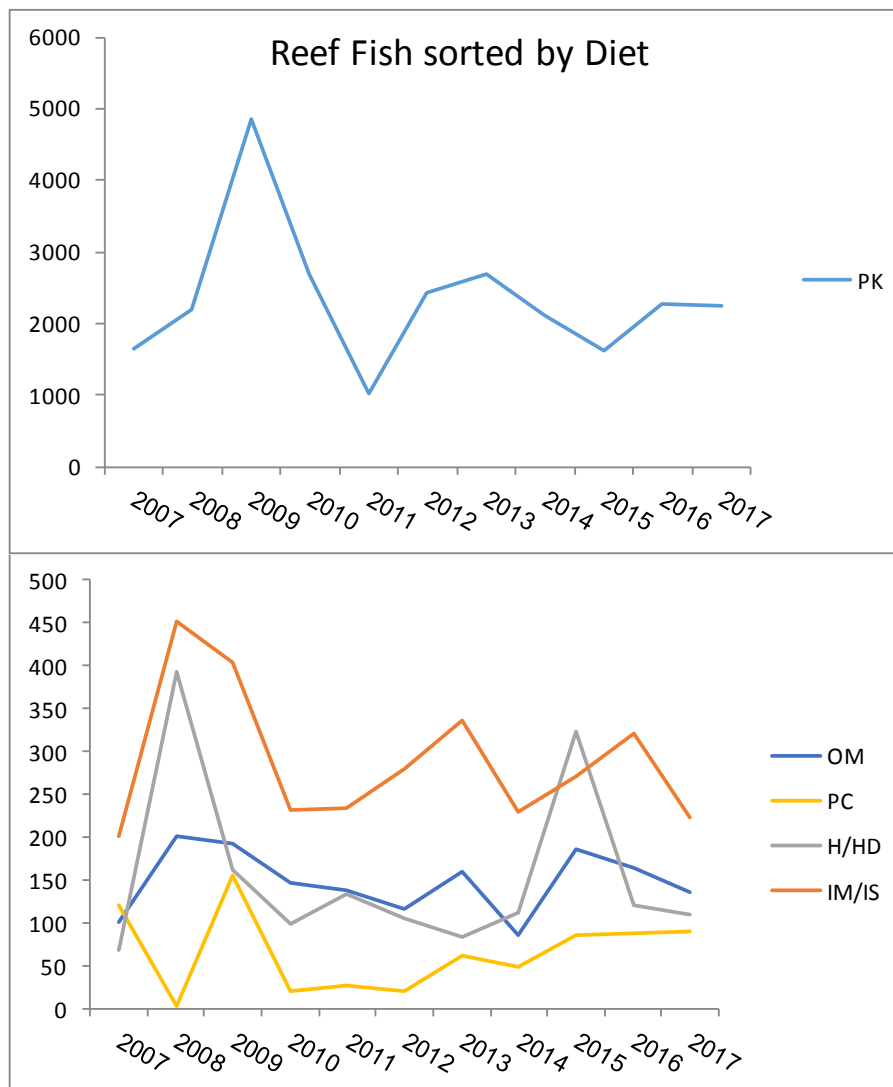
השנה נדגמו 28 יחידות של 7X1 מטרים בעומק מים של 7 מטרים, 10X דקות עבור דגים נודדים,



ובסך הכל נספרו 2813 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- 300 פרטים.

מדגם הדגים השנה כלל 147 דגים השוכנים בצמוד לקרקעית ולמסתור, כ-2600 דגים נודדים השוכנים בקרבת הקרקעית, ומעט (58) דגים נודדים החיים בעמודות המים העליונה בנוסף ללהקות *Atherinidae* הנזכרות למעלה (טבלה ב8).

במהלך הסקר נספרו השנה 185 מושבות אלמוגים ומתוכן 102 נמצאו מאוכלסות על ידי דגים. 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 הערכות השגיאה. מכך נובעות תנודות גדולות בהערכת כמות הדגים בין השנים (איור ב54). על כן, לא ברור האם ניתן לייחס משמעות לתנודות במספר הדגים שנספרו בכל שנה. בכל זאת, נראה כי בשנים 2008-9 היה מספר הדגים מכל הקבוצות גדול ביותר, וגם בשנים 2012-3 ו-2015-6 נספרו ברוב הקבוצות יותר דגים מאשר בשנים אחרות. יתכן שישנן תנודות מחזוריות שגודל אוכלוסיית דגי השונית.

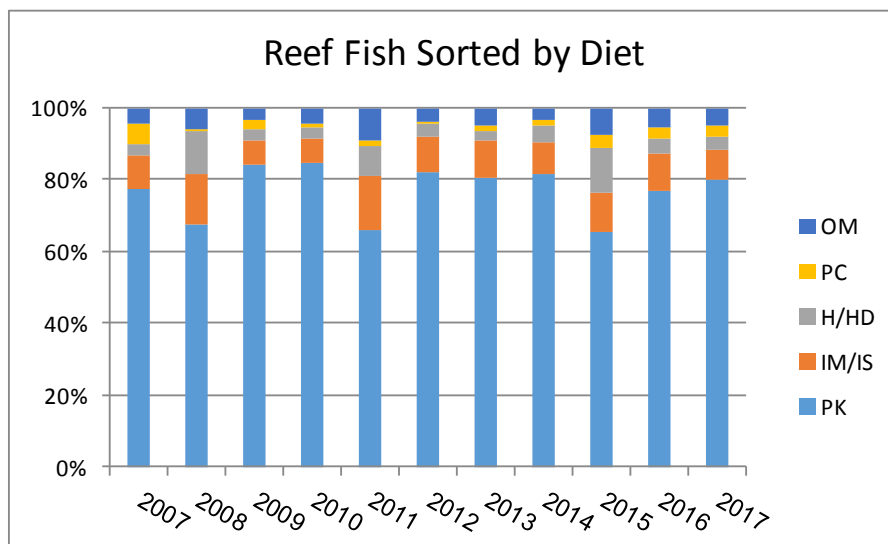


איור ב54: תנודות במספר דגי השונית על פי הרמה הטרופית מאז שנת 2007.  
**Figure B54: Changes in the number of reef fish according to trophic level since 2007.**

קבוצת הדגים הגדולה ביותר היא זו של דגים הניזונים בעמודת המים (פלנקטיבורים, PK). מקבוצה זו נספרו השנה 2253 דגים. 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 ברכוז חמרי מזון מהרמות הנמוכות בגוף המים.

הקבוצה השניה בגודלה היא קבוצת הדגים הטורפים חסרי חוליות ניידים ונייחים בשונית (IS/IM) מהם נספרו השנה 224 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 (109 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 הטروفית (העדפת מזון) מאפשרת התייחסות למבנה החברה והשוואה בין השנים על אף הבדלים ניכרים בגודל המדגם, ומלמדת גם על התפקוד האקולוגי של דגי השונית. יחסים כמותיים אלה בין קבוצות הדגים השונות נשמרים בשנים האחרונות ומעידים על יציבות במבנה אוכלוסיית הדגים בשונית (איור ב55).



איור ב55: התפלגות מספר דגי השונית על פי הרמה הטروفית מאז שנת 2007.

Figure B55: Distribution of the number of reef fish according to trophic level since 2007.

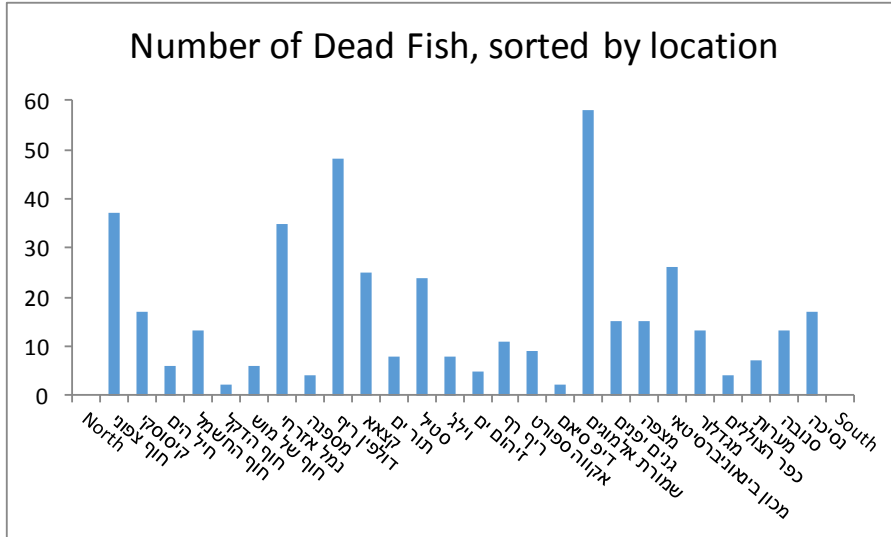
Taxa	Dwell er**	Schooling	Diets	Water -level	Occur ence
<b>Blenniidae/Gobiidae</b>	<b>Benthic</b>	Sol	HD/OM	Bottom	37
<b>Mullidae (parapeneus)</b>		S-M Group	IM	Bottom	34
<b>Pseudochromidae</b>		Sol	IM/PK	Bottom	55
<b>Scorpaenidae, Synanchiidae</b>		Sol	FC/IM	Bottom	1
<b>Synodontidae</b>		Sol/Pair	FC	Bottom	17
<b>Pinguipedidae</b>		Sol/Pair	FC	Bottom	1
<b>Tetraodonitidae/Diodonitidae</b>		Sol/Pair	OM/IM	Bottom/L	2
<b>Acanthuridae</b>	<b>Benthic-Pelagic</b>	S Group	HD	Bottom	
<i>Zebrasoma, Z. desjardini</i> ,		S Group	HD	Bottom	17
<i>Ctenochaetus striatus/Acanthurus nigrofuscus</i>		S Group	HD	Bottom	55
<b>Balistidae</b>		Sol	IM	Bottom	18
<b>Chaetodontidae</b>		S-M	IM/IS/O		
<i>Heniochus sp.</i>		Group/Pair	M	Bottom/Low	
Other: <i>C. fasciatus, C. austriacus, C. auriga,</i>		S Group	PK	Low	1
<i>paucifasiatus, semilarvatus</i>		M-G/Pair	IM/IS/O		
		M		Bottom/L	39
<b>Labridae</b>		Sol/S-Group	IM	Bottom	
<i>Thalassoma sp.</i>		S Group	IM/PK	Bottom	37
<i>Coris aygula</i>		Sol	IM	Bottom	
<i>Gomphosuse caeruleus</i>		Sol	IM	Bottom	8
<i>Labroides dimidiatus</i>		Sol	IM	Bottom	8
<i>Cheilinus lunulatus</i>		Sol	IM	Bottom	
<i>Bodianus anthioides</i>		Sol	IM	Bottom	7
Other Labridae		Sol/S Group	IM/PK	Bottom	12
<b>Ostraciidae</b>		Sol	IS/IM	Bottom/L	0
<b>Pomacanthidae</b>		Sol/Pair	HD/IS/I		
		M		Bottom	4
<b>Pomacentridae</b>		S-L Group	OM/PK	Bottom/Low	
<i>Amphiprion bicinctus</i>		S Group	PK	Bottom	2
<i>Dascyllus aruanus</i>		M Group	PK	Bottom	71
<i>Dascyllus marginatus</i>		M Group	PK	Bottom	389
<i>Pomacentrus sulfureus</i>		S Group	OM	Bottom	
<i>Neopomacentrus miryae</i>		L- Group	PK	Low	440
<i>Pomacentrus trichourus</i>		S- Group	OM	Bottom	133
<i>Abudefduf sexatilis</i>		S Group	OM	Low	
<i>Chromis dimidiata</i>		M Group	PK	Low	51
<i>Chromis viridis</i>		L Group	PK	Low	642
Other Pomacentridae: <i>Neoglyphidon melas,</i>		S-L Group	OM/PK	Bottom/L	
<i>Amblyglyphidon sp.</i>		Sol/S Group	HD/OM	Bottom/L	45
<b>Scaridae</b>		Sol	FC	Bottom	
<i>Pterios sp.</i>	Sol/L Group	FC/IM/P			
<b>Serranidae</b>	K		Low	26	
<i>Variola louti</i>	Sol	FC	Low	8	
<i>Pseudanthias squamipinnis</i>	L Group	PK	Low	585	
Other Serranidae: <i>Epinephelus sp., Cephalopholis sp.</i>	Sol	FC	Low		
<b>Siganidae</b>	Sol/Pair	OM/IM	Bottom/Low		
<b>Lethrinidae</b>	Sol/S-M				
	Group	IM/FC	Bottom/L	6	
<b>Atherinidae</b>	<b>Pelagic</b>	L Group	PK	High	300
<b>Caesionidae</b>		L Group	PK	High	58
Others					2
Total					3113
Corals with fish					102
Corals without fish					83

טבלה ב8: שכיחות דגים בחלקה הדרומי של שמורת חוף אלמוג.

Table B8: Fish abundance of at the Coral Beach Nature Reserve.

**אירוע תמותת דגי שונית**

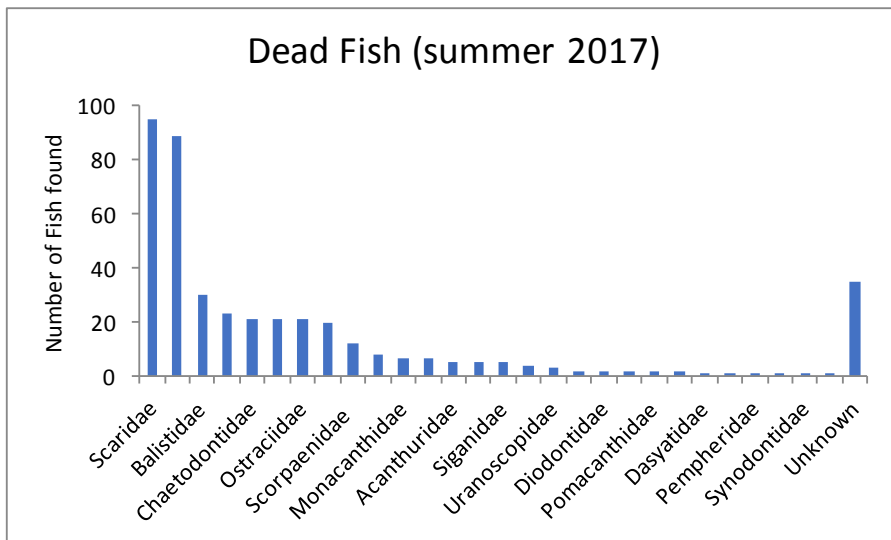
בתחילת חודש יולי השנה החלו להתגלות דגי שונית מתים לאורך חופי אילת. עם חלוף הזמן התגברה התופעה ועד לסוף הקיץ דווחו 427 מקרים של דגים מתים לאורך חופי אילת. רוב הדיווחים הגיעו מחופים בהם מספר המבקרים גדול, ובפרט החוף הצפוני, הנמל, ריף הדולפינים ושמורת חוף אלמוג (איור ב56). כמו כן, נמצא שבסופי שבוע מספר הדיווחים גדול יותר מאשר בימי השבוע. מכיוון שכך, ניתן לייחס את הפיזור לכמות התצפיות ויש לשער שמימדי התופעה היו גדולים יותר.



איור ב56: מספר דגי השונית שנמצאו מתים בקיץ 2017, על פי מיקום גיאוגרפי לאורך חופי אילת, מצפון לדרום.

**Figure B56: The number of dead reef fish found along the shores of Eilat in the summer of 2017, sorted according to geographical location from north to south.**

עיקר הנפגעים, דגים גדולים (משפחת הדקריים) ובפרט נקבות בתקופת הרבייה (איור ב57). יתכן שדגים אלה היו רגישים במיוחד לגורם התמותה. מצד שני, יתכן שנפגעו גם דגים קטנים רבים אך קשה יותר להבחין בהם ו/או הם נטרפים מהר אולי עוד בשלב שלפני המוות.



איור ב57: מספר דגי השונית המתים על פי סוגים.

**Figure B57: The number of dead reef fish sorted according to genus.**

נמצא כי סמוך לתחילת תופעת התמותה היתה עלייה מהירה של טמפרטורת המים. ברבים מפגרי הדגים זוהה (על ידי חוקרי מלח"י) באיברים הפנימיים ובמח החיידק הפתוגן *Streptococcus iniae* המוכר כגורם תמותה בדגים. ההשערה היא שעלית הטמפרטורה גרמה להחלשת המערכת החיסונית בדגים ולהתפרצות החיידק המצוי באופן רדום בדגי המפרץ, והתפרצות זו היא גורם התמותה. עוד הוזכר כי חיידק זה התגלה לראשונה באילת בדגים מחוות ערד"ג בשנת 1996 ואז נמצאו מספר דגים מתים בחוף הצפוני. כמו כן מוכר אירוע תמותה נוסף, ב- 2002, בו מתו עשרות דגים. בשלב זה, המנגנון הגורם לתמותה אינו ודאי, וכמו כן לא ידוע עד כמה התפשטה תמותת הדגים מחוץ לגבולות ישראל מכיוון שלא הצלחנו לקבל דיווחים אמינים ורציפים מירדן או ממצרים.

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

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

**חמצן מומס:** ריכוז החמצן נקבע בשיטת ווינקלר שהיא ריאקציה סתירה המבוצעת בטיטרציה. הדגימות מקובעות ע"י הוספת שני ריאגנטים  $\text{MnSO}_4$  ו-  $\text{KI}+\text{NaOH}$  ומטוטרות עם  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  בריכוז 0.1N. הטיטרציה מתבצעת באמצעות טיטרטור אוטומטי מסוג Titrino 702 SM של חברת Metrohm, שוויץ.

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

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

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

כאשר  $[H^+]_T$  כולל גם את ריכוז יוני  $\text{HSO}_4^-$ .

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

**מליחות:** מדידה במד מליחות מדגם Micro-Salinometer MS-310e של חברת RBR, קנדה.

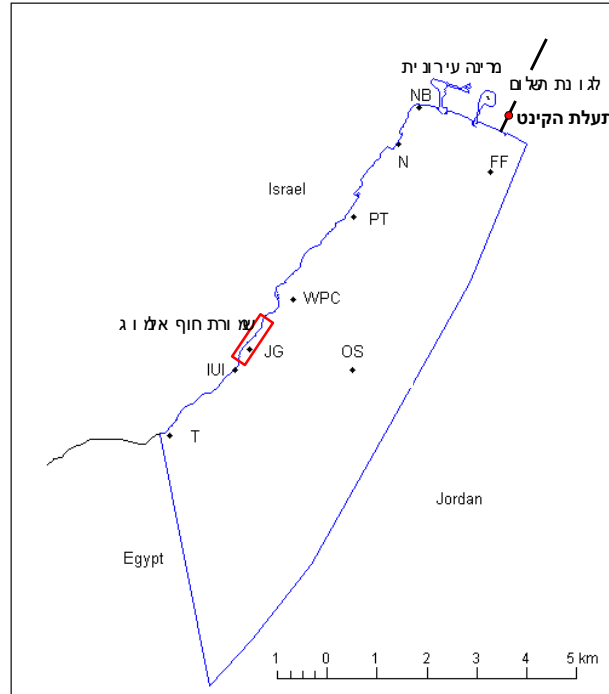
המדידה מבוססת על השראה מגנטית תוך השוואה של מוליכות הדגימה לזו של סטנדרט.

**נוטריינטים:**  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{Si(OH)}_4$ ,  $\text{PO}_4$  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 טיטרציה Gran עם HCl בריכוז 0.05N המתבצעת באמצעות טיטרטור אוטומטי מדגם DL67 ואלקטרודת pH מזכוכית (combined pH electrode) דגם DG111, שניהם של חברת Mettler Toledo, שוויץ.

**כלורופיל:** המים מסוננים דרך פילטרים מסוג GF/F. הפילטרים ממוצים באצטון 90% בחושך (במקרר  $4^\circ\text{C}$ ) ל-24 שעות. בתום המיצוי, ריכוז הכלורופיל והפאופיטין (Chlorophyll-a and )

נמדד בפלואורומטר מדגם 10-AU Fluorometer של חברת Turner Designs, קליפורניה, ארה"ב. ריכוז הפאופיטין נמדד לאחר החמצת המיצוי עם HCl בריכוז 1N. אמוניה: אמוניה נמדדת באמצעות פלואורומטר DyNA Quant™ 2000 של חברת Hofer לאחר הדגרת הדוגמאות בחושך בתוספת ריאגנט צבע המכיל orthophthaldialdehyde למשך 3 שעות.



איור ג1: מפת תחנות הדיגום החופי במפרץ אילת.

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

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

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

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

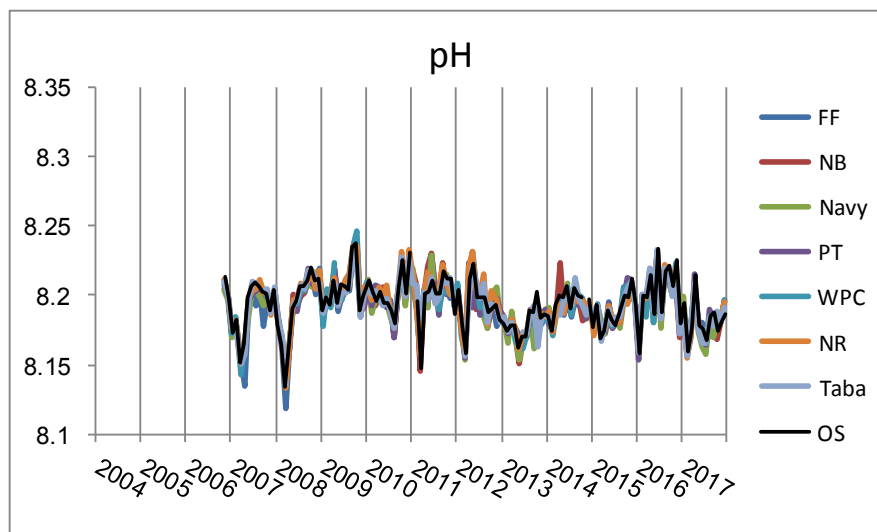
מדדים כימיים

רמת חומציות המים (pH)

**תזכורת:** עקב התיישנות תמיסות התייחסנו אל כל ערכי pH אשר נמדדו במסגרת תכנית הניטור מאז חודש אוקטובר 2003 ועד לחודש נובמבר 2006 כחשודים ולא קבילים. הערכים המוצגים למטה מאז שנת 2007 הינם אמיתיים. הערכים הנמדדים מאז סוף 2006 דומים לערכים שנמדדו לפני אוקטובר 2003 ומעידים על כך כי לא ניתן לאבחן מגמה ארוכת טווח של שינוי בערכי pH (בניגוד לאמור בלחץ 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. השנה היו ערכי ה-pH בדרך כלל נמוכים בהשוואה לשנה קודמת (איור ג2). ערך ה-pH הגבוה ביותר נמדד השנה בחודש אפריל והגיע בים הפתוח ל- 8.215, עם ערכים דומים בתחנות החופיות. ערכים אלה נמוכים מעט מהמקסימום אשר נמדד בשנה הקודמת (בחודש יוני), אך אינם חורגים מטווח 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.



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

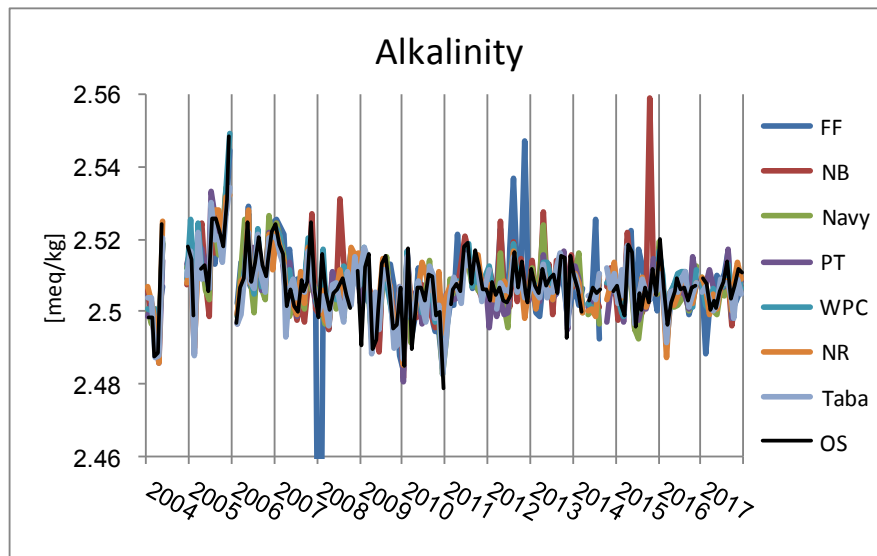
### אלקליניות

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

השנה טווח ערכי האלקליניות בין התחנות היה קטן, מלבד בחודש פברואר בו נמדדה אלקליניות נמוכה בתחנת "כלובי הדגים" (2.488 [meq/kg]). על אף מדידה זו, הערכים שנמדדו השנה אינם חריגים בהשוואה למדידות השנים הקודמות, והערך הנמוך השנה דומה לזה שנמדד בחודש מרץ בשנה הקודמת (איור 3). התנודות במדידות האלקליניות בתחנת הים הפתוח קטנות בשנים האחרונות, עם משרעת גדולה קצת יותר בשנת 2015 ותנודות גדולות יותר בשנים הקודמות לשנת 2011.

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 איפיינו 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. השנה לא נמצאו ערכי אלקליניות גבוהים במיוחד באף אחת מן התחנות החופיות.

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 3: אלקליניות בתחנות הדיגום החופי מאז שנת 2004.

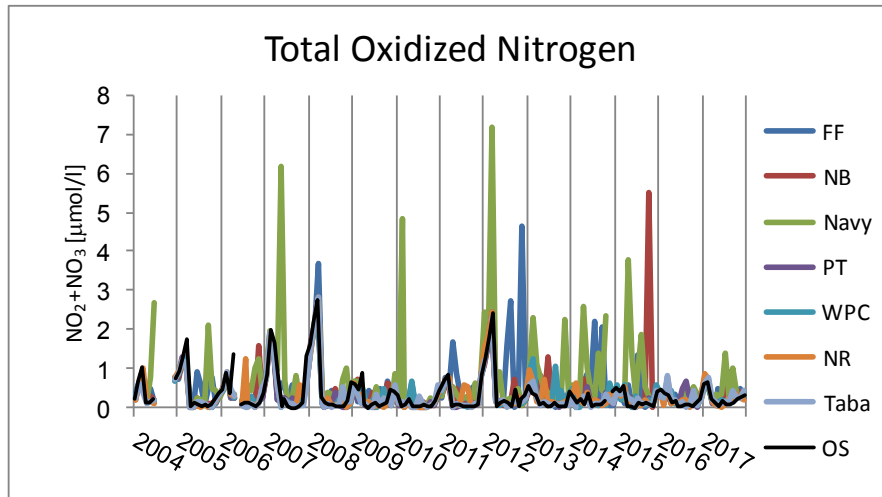
Figure C3: Monthly alkalinity at the coastal water sampling stations since 2004.

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

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 "אוליגורופית" בה השכבה הפוטית (שכבת המים העליונה אליה חודר האור) ענייה בנוטריינטים, מכיוון שאלו נצרכו על ידי פיתולנפטון 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 ואו אינטנסיבית עשויה לפגוע בשונית.

ריכוז החנקן הגבוה ביותר בים הפתוח היה השנה  $0.655 \mu\text{mol/l}$ , בחודש פברואר. על רקע זה, שתי מדידות של ריכוזי חנקן גבוהים נרשמו השנה בתחנת חיל היסלמלון מרידיאן, בחודשים יולי וספטמבר ( $1.394 \mu\text{mol/l}$  ו- $1.001 \mu\text{mol/l}$ , בהתאמה). עם זאת, ריכוזים אלה אינם גבוהים במיוחד בהשוואה לריכוזים החריגים משנים קודמות (איור 4). ריכוזי חנקן חריגים בתחנת חיל היסלמרידיאן הינם תופעה כמעט קבועה בשנים האחרונות, אך השנה הריכוזים החריגים בתחנה זו אינם גבוהים במיוחד. החריגה הגדולה ביותר בריכוזי החנקן המחומצן מאז 2012, נמדדה בחודש אוקטובר 2015 בתחנת החוף הצפוני  $5.518 \mu\text{mol/l}$ . ערך זה משקף כניסת מי נגר לים בעקבות סופת גשמים.



איור 4: מדידות ניטריט + ניטראט (TON) חודשיות בתחנות הדיגום החופי מאז שנת 2004.  
**Figure C4: Monthly concentrations of total oxidized nitrogen (TON) at the coastal water sampling stations since 2004.**

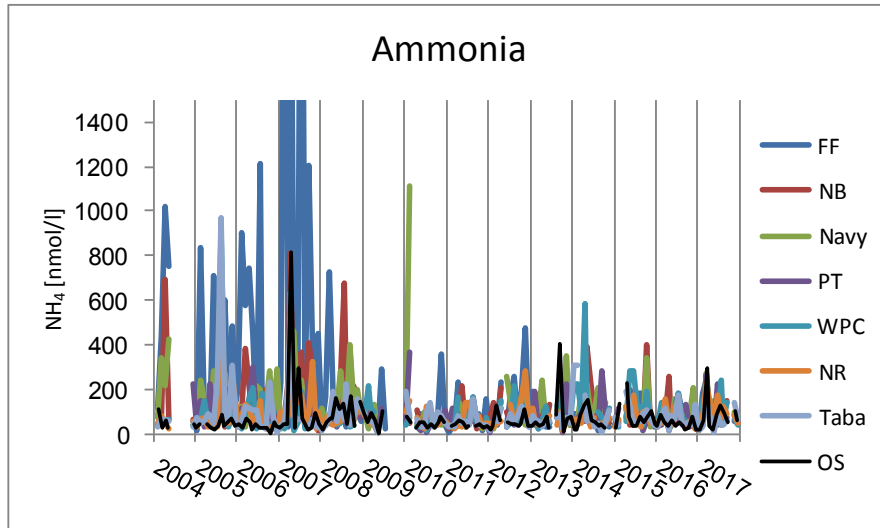
#### אמוניה ( $\text{NH}_4$ )

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

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

פעמים רבות נמדדים בתחנות החופיות ריכוזי אמוניה גבוהים מאשר בתחנת הים הפתוח, אך גם השנה, בדומה לשנה הקודמת, ההבדלים בין התחנות קטנים מאלו שנמדדו בשנים האחרונות (איור 5). ריכוזי אמוניה גבוהים נמדדו השנה בחודש מרץ בכל התחנות, בהתאמה לתקופת פריחת האביב. בסך הכל, מאז שנת 2008 ערכי אמוניה בתחנות החופיות, ובפרט בתחנות הצפוניות, נמוכים בהשוואה לערכים הגבוהים אשר נמדדו קודם לכן.

ריכוז אמוניה הגבוה ביותר אשר נמדד השנה הוא  $296 \text{ nmol/l}$  – בחודש מרץ בתחנת הים הפתוח, מעט מהערך הגבוה של השנה הקודמת.

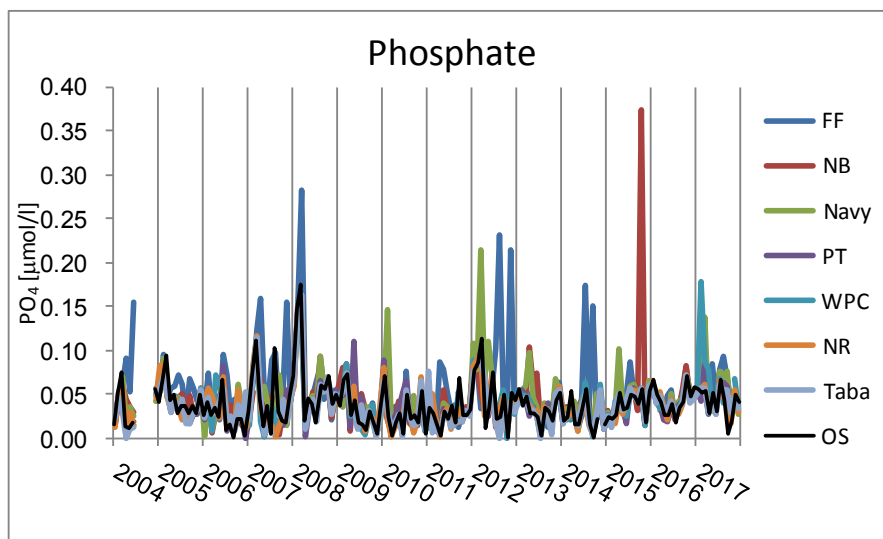


איור 5: ריכוזי אמוניה ( $\text{NH}_4$ ) בתחנות הדיגום החופי מאז שנת 2004.

Figure C5: Monthly concentrations of ammonia ( $\text{NH}_4$ ) at the coastal water sampling stations since 2004.

פוספט ( $\text{PO}_4^{-3}$ )

ריכוזי פוספט בתחנות החופיות ובים הפתוח מראים מחזוריות שנתית חלשה של ערכים גבוהים יחסית בחורף ונמוכים בקיץ. הפוספט גם הוא נוטריינט חשוב ליצרנות ראשונית, ועל כן ריכוזו בפני הים בקיץ נמוך עקב צריכה בתהליך הפוטוסינתזה. 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. השנה, היו מדידות רבות של ריכוזי פוספט בתחנות החופיות גבוהות מהריכוזים שנמדדו בים הפתוח. משרעת הערכים בים הפתוח נעה בין  $0.005 \mu\text{mol/l}$  בחודש ספטמבר ל-  $0.067 \mu\text{mol/l}$  בחודש יולי. לעומת זאת, בתחנת התחנה למניעת זיהום ים (WPC) נמדד בחורף ריכוז פוספט מירבי חריג של  $0.178 \mu\text{mol/l}$  (איור 6).

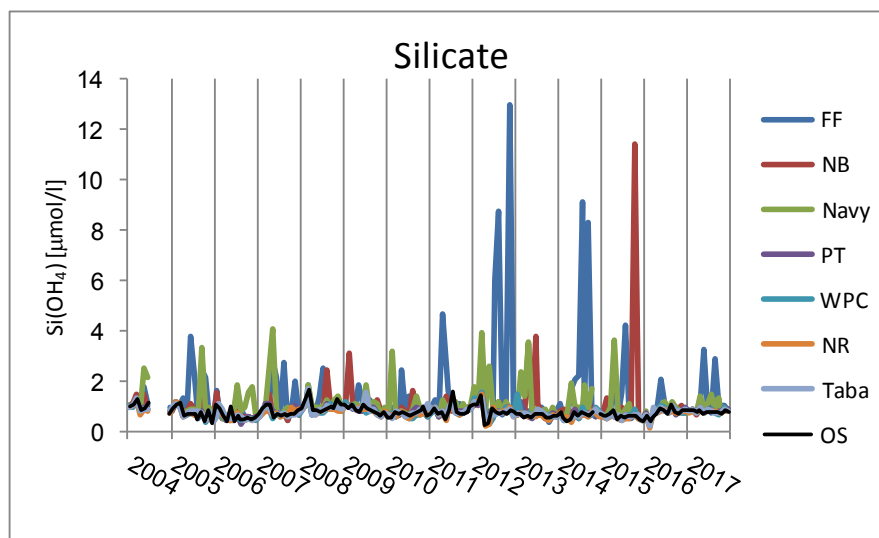


איור 6: ריכוזי פוספט ( $\text{PO}_4$ ) בתחנות הדיגום החופי מאז שנת 2004.

Figure C6: Phosphate concentrations ( $\text{PO}_4$ ) at coastal-water sampling stations since 2004.

### סיליקה ( $\text{Si(OH)}_4$ )

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 סיליקתי זקוקים לסביבה עתירת נוטריינטים ועל כן מציאותם מסמנת חריגה מהמצב האוליגוטרופי. סילוק הסיליקה מהמים העליונים מרמז על השקעת שלדים סיליקתיים. ריכוזי הסיליקה בים הפתוח היו נמוכים לאורך כל השנה, עם משרעת ערכים קטנה וערך גבוה של  $0.85 \mu\text{mol/l}$  בחודש נובמבר (איור 7ג). על רקע זה בולטות מדידות ריכוזים בשתי תחנות חופיות, "כלובי הדגים" ו"חיל הים\מרידיאן" – בכלובי הדגים נמדדו  $3.24 \mu\text{mol/l}$  ו-  $2.90 \mu\text{mol/l}$  בחודשים מאי ואוגוסט, בהתאמה. בתחנת "חיל הים" נמדדו ריכוזים נמוכים יותר, אולם גם אלה גבוהים בהשוואה לרקע הנמוך של הים הפתוח. ריכוזים אלה אמנם חריגים, אך בכל זאת נמוכים בהרבה מהריכוזים הגבוהים שנמדדו לעיתים בשנים קודמות. למשל, בשנת 2015 נמדד בחוף הצפוני ריכוז סיליקה של  $11.45 \mu\text{mol/l}$ .



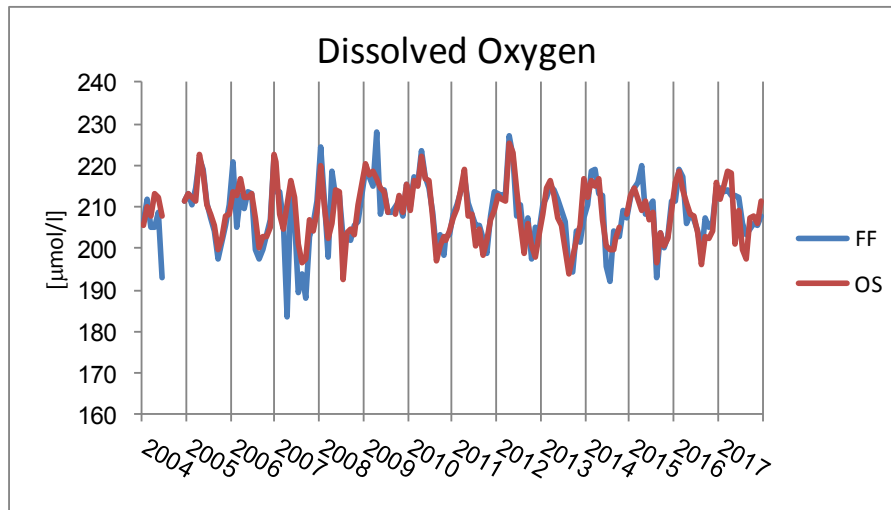
איור 7ג: ריכוזי סיליקה ( $\text{Si(OH)}_4$ ) בתחנות הדיגום החופי מאז 2004.

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

### חמצן מומס

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

משרעת הריכוזים של חמצן מומס בתחנת הים הפתוח נעה השנה בין  $219 \mu\text{mol/l}$  בחודש מרץ ל-  $197 \mu\text{mol/l}$  באוגוסט, דומה לריכוזי השנים האחרונות. אלה ריכוזים אופייניים לשנים של ערבוב רדוד ובסך הכל אין הבדלים גדולים בריכוזי החמצן המומס בים בשנים האחרונות (איור 8ג). שיאים של ריכוז גבוה נמדדו בשנים 2007, 2008, 2012 בהן היה הערבוב עמוק. ריכוזי החמצן המומס בתחנת כלובי הדגים אינם שונים משמעותית מהריכוזים בים הפתוח, השנה נמדדה משרעת ריכוזים של  $215 \mu\text{mol/l}$  בחודש ינואר ו-  $203 \mu\text{mol/l}$  בחודש אוגוסט.



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

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

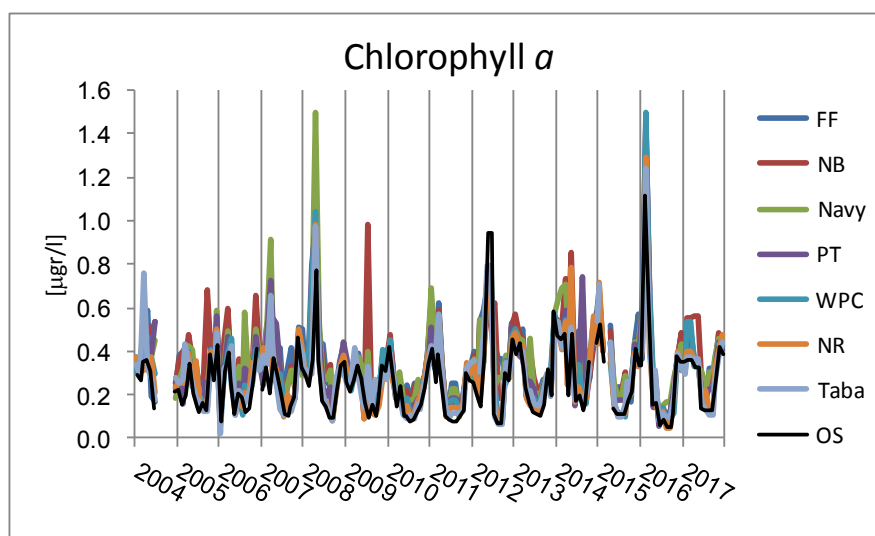
### כלורופיל *a*

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, לכן, אספקת נוטריינטים עשויה לגרום לפריחה מקומית של אצות. עליית ריכוז הכלורופיל בחודשי החורף והאביב נובעת מערבוב מי השטח עם מי עומק עשירים בנוטריינטים. יש לזכור כי כלורופיל *a* אינו מדד ישיר לריכוז נוטריינטים ואף לא ליצרנות ראשונית, כיוון שריכוז אצות בים עשוי להיות בעל אופי כתמי, ומושפע גם מתהליכי רעייה, ומהבדלים פיסולוגיים בפיטופלנקטון.

משרעת ריכוזי הכלורופיל בים הפתוח היתה השנה קטנה, עם ערכים נמוכים של  $0.13 \mu\text{gr/l}$  בחודשים יולי-ספטמבר, וערך מירבי של  $0.42 \mu\text{gr/l}$  בחודש נובמבר. ריכוזי הכלורופיל בתחנות החופיות, ובפרט בתחנות הצפוניות, היו בדרך כלל גבוהים יותר, עם ערך מירבי של  $0.56 \mu\text{gr/l}$  בתחנת החוף הצפוני בחודשים אפריל ומאי. ריכוזים אלה נמוכים בהרבה מריכוזי הכלורופיל החרויגים שנמדדו בחודש ינואר של השנה הקודמת, עם ערך מרבי של  $1.50 \mu\text{gr/l}$  בתחנה למניעת זיהום ים – דומה לריכוז הגבוה שנמדד בשנת 2008 (איור 9). בים הפתוח נמדד בינואר השנה הקודמת ריכוז כלורופיל מרבי של  $1.11 \mu\text{gr/l}$ , וזהו הריכוז הגבוה ביותר שנמדד בתחנה זו במסגרת מערך הדגימה החופי בתכנית הניטור.

תבנית ריכוזי הכלורופיל בים הפתוח משקפת את המחזור העונתי של ערבוב ושיכוב, כאשר בשנים בהן הערבוב רדוד נמצא בדרך כלל בפני הים ריכוז כלורופיל נמוך יחסית לשנים בהן ערבוב עמודת המים עמוק. בתחילת החורף של השנה הקודמת 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. השנה הריכוזים היו נמוכים בהרבה מהערכים הגבוהים של השנה הקודמת, אך ההבדלים בין התחנות החופיות ותחנת הים הפתוח היו גדולים יותר.

במדידות הקודמות לשנת 2008 נמצאו ריכוזים 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. יתכן כי שיטפונות בסוף החורף/אביב השפיעו על אופי מפזר ריכוזי הכלורופיל בשנת 2014. בשנים האחרונות ההבדלים בריכוזי הכלורופיל בין התחנות קטנים יותר, אם כי השנה נמצאו



איור ג'9: ריכוז כלורופיל *a* בתחנות הדיגום החופי מאז שנת 2004.

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

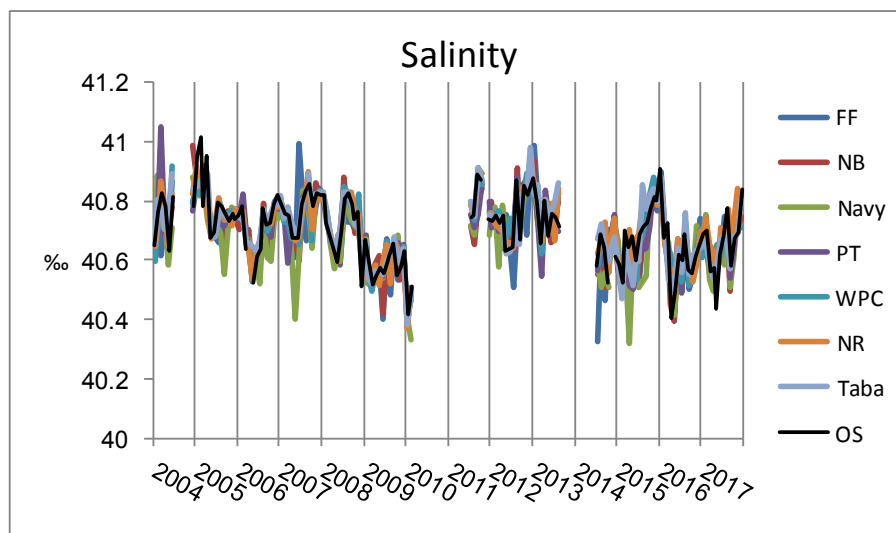
## מדדים פיסיקליים

### מליחות

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

מליחות הים העמוק מראה מחזוריות של ערכים נמוכים 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 מאי (40.436%) והגבוה ביותר נמדד בדצמבר (40.838%). משרעת זו קטנה ממשרעת הערכים שנמדדה בשנה הקודמת ותואמת את מדידות המליחות בשנות הניטור הקודמות (איור ג10). ערכי המליחות אשר נמדדו השנה בתחנות החופיות אינם שונים בהרבה מערכי הים הפתוח.



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.**

### טמפרטורה

[בחודש יולי השנה נשבר התרמומטר, ואין מדידות טמפרטורה חופיות מחודש זה.]

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.

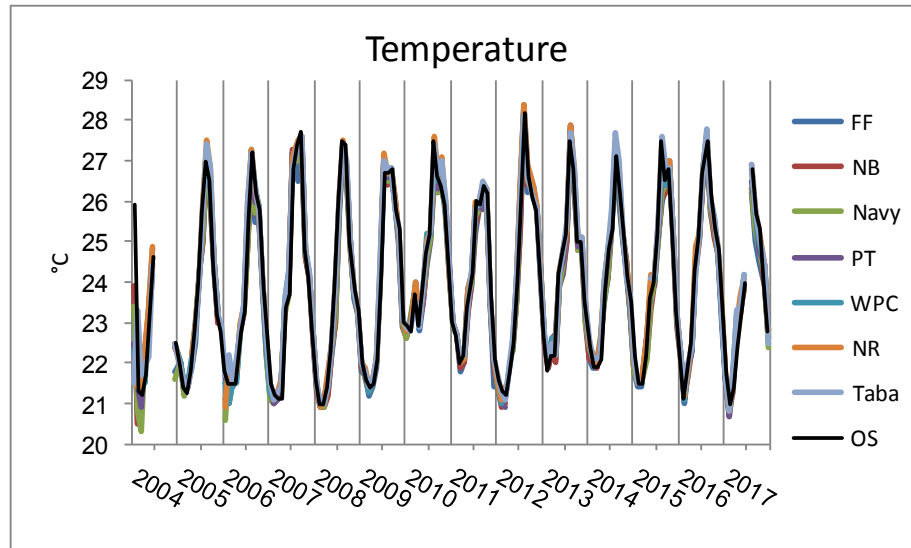
הטמפרטורות הנמוכות השנה נמדדו בחודש פברואר ( $21.0^{\circ}\text{C}$ ) בתחנת הים הפתוח, והטמפרטורה הגבוהה ביותר היתה  $26.9^{\circ}\text{C}$  באוגוסט (איור ג11).

הטמפרטורה המזערית השנה היא מן הנמוכות שנמדדו במסגרת תכנית הניטור, אך למרות זאת לא היה הערבוב עמוק, עקב התחממות מוקדמת. זו השנה השנייה בה התקררות מהירה בתחילת החורף נבלמת בהמשכו, בחודש מרץ כבר נמדדה בים הפתוח טמפרטורה של  $21.4$ , ומשם רק הוסיפה לעלות. הטמפרטורה המרבית שנמדדה לא היתה גבוהה במיוחד, נמוכה כמעט במעלה שלמה בהשוואה לטמפרטורת המקסימום של השנה הקודמת. בין החודשים יוני ואוגוסט עלתה טמפרטורת פני הים הנמדדת בים הפתוח

בכמעט 3 מעלות (מ-  $24.0^{\circ}\text{C}$  ל-  $26.8^{\circ}\text{C}$ ), אך בספטמבר כבר נמדדה טמפרטורה נמוכה יותר ( $^{\circ}\text{C}$  25.7).

הטמפרטורה המרבית שנמדדה לאורך החופים במסגרת הניטור היתה  $28.4^{\circ}\text{C}$ , בקיץ 2012.

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



איור ג11: מדירות טמפרטורה בתחנות הדיגום החופי מאז שנת 2004.  
**Figure C11: Temperature at the coastal water sampling stations since 2004.**

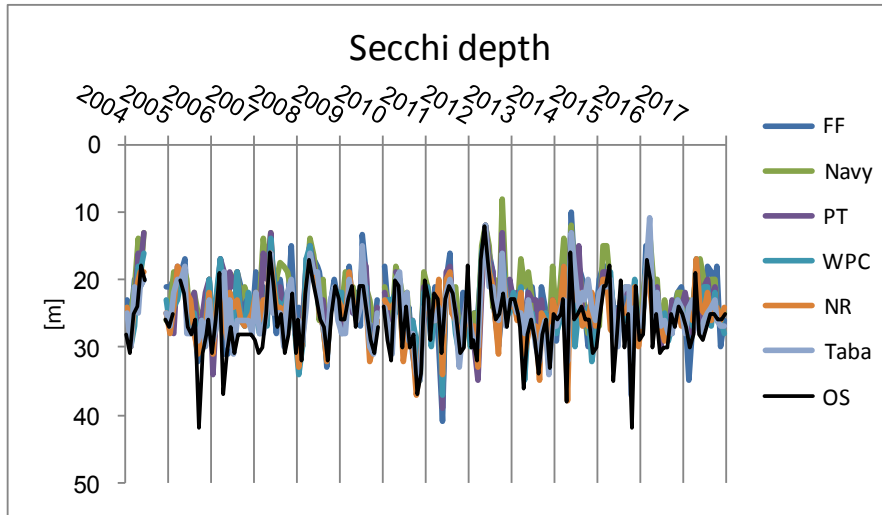
#### עכירות

הערכת עכירות המים נעשית לפי מדידת "עומק סקי" (Secchi), שיטה בה הדיוק אינו גבוה בהיותה מושפעת גם מגורמים כגון מצב הים (היינו, שבירת אור על פני המים ביים 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 בנוטריוטים. העכירות הגבוהה יחסית הנמדדת לעיתים קרובות בתחנות הצפוניות עשויה לנבוע מכל אחד מגורמים אלה.

השנה נמדד ביים הפתוח עומק מזערי של 19 מ' בחודש אפריל (איור ג12). העומק המרבי ביים הפתוח נמדד גם השנה בחודש יוני, 29 מ', מעט קטן מהעומק המרבי שנמדד בשנתיים האחרונות. בתחנות החופיות נמדד לעיתים קרובות עומק סקי נמוך מאשר ביים הפתוח.





איור ג12: מדידות עכירות (עומק סקי) בתחנות הדיגום החופי מאז שנת 2004.  
**Figure C12: Secchi depth measurements at the coastal water sampling stations since 2004.**

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

בנוסף למחזור השנתי הטבעי הזה, נראה כי למי החופים חודרים לעיתים זיהומים ממקורות חיצוניים אשר משנים את הרכבם. שינויים אלה נמדדים לרוב רק בקרבת מקור הזיהום, או במורד הזרם ממנו. מיהול וערבוב יעילים יותר בחודשי החורף בהם גוף המים העליונים גדול יותר, ועל כן קשה יותר לזהות זיהומים בחורף. בקיץ לעומת זאת, עשויה להתפתח גם תרמוקלינה יומית אשר מבדדת את המטרים העליונים של מי השטח משאר המים העליונים. המיהול המוגבל במקרה שכזה עלול להביא לכך שזיהום נקודתי במים העליונים 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 עברה מקור זיהום מקומי אינו סביר, ואם היה כזה, המהילה שם רבה יותר מאשר בקרבת החוף.

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 פריחת פיטופלנקטון בסוף החורף (קטנה). בתחילת השנה התקררו פני הים והחל תהליך של ערבוב עמודת המים שהגיע ככל הנראה לעומק של כ- 530 מטרים בחודש פברואר. אולם התקררות המים נפסקה, פני הים התחממו ותהליך הערבוב נבלם בחודש מרץ. עם זאת, טמפרטורת פני הים המרבית שנמדדה בקיץ השנה היתה הנמוכה ביותר מאז 2011.

זו השנה השניה ברציפות בה אנו עדים לתהליך של התקררות מהירה בתחילת החורף ותחילת התחממות בין חודש פברואר לחודש מרץ. בעוד שבשנה הקודמת (2016) העמיק הערבוב לכ- 475 מטרים בתחילת החורף, עומק הגדול ביותר מאז שנת 2012, וגרם לפריחת פיטופלנקטון שהתבטאה בריכוזי כלורופיל גבוהים, ריכוזי כלורופיל השנה נותרו נמוכים יחסית גם בעונת החורף. גם שאר המדדים בים הפתוח משקפים שנים של ערבוב רדוד, עם ריכוזים נמוכים ומשרעת ערכים קטנה, ועל הרקע הנמוך הזה נרשמו מספר מדידות של ריכוזי נוטריינטים חריגים בתחנות החופיות, ובפרט בתחנות "חיל הים\מרידיאן" ו"כלובי הדגים". עם זאת, חשוב לציין כי החריגות לא היו גדולות במידה המוכרת משנים קודמות.

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, אך בשנה הקודמת לא נמדדו כל חריגות והשנה עצמת החריגות אינה גדולה במיוחד.

## 2.ג. 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 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, מורכב ממספר מאכסנים שונים). מין זה שימש בעבר למטרות דומות (למשל, Dzikowski et al., 1999; Diamant et al., 2003). 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 (לא יותר מיממה אחת) לצורך בדיקת טפילים. 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. בנוסף לכך נלקחות דגימות טחול לצורך בדיקה היסטולוגית במעבדות מלח"י באילת. במסגרת הניטור נעשה מעקב ארוך-טווח אחרי שיפעתם של טפילי המעיים ההטרוקסנים הבאים: Nematoda - מחזור החיים של טפילים אלה כולל בנוסף לדגים גם סרטנים ודגי הסיכן מהווים להם מאכסנים סופיים. מקבוצה זו נבדקו המינים *Cucullanus sigani* (*Cucul.*) ו-*Procamallanus elatensis* (*Proc.*).

*Acanthocephala* - קבוצת תולעים בעלות ראש נשלף קוצני, טפילי מעיים בעלי מחזור חיים הטרוקסני הכולל בנוסף לסיכן, על פי המשוער, גם סרטן זעיר מקבוצת האמפיפודה. ממערכת זו נבדק המין *Sclerocollum rubrimaris* (*Scler.*). דגי הסיכן מהווים מאכסנים סופיים של מין זה. *Digenea* - הסיכנים הם מאכסנים סופיים למינים המתפתחים בשלבים הדרווליים ברכיכות ובנוסף 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 הושבו באמצעות תכנת EstimateS, והשוואת עושר מיני הטפילים בין השנים נעשתה בעזרת מעריך Jackknife 1 אשר הושב גם הוא מתוך תכנת EstimateS. זו השיטה המועדפת לניתוח עושר אוכלוסיות טפילים כאשר גודל המדגם קטן יחסית (Walther & Morand, 1998).

### תוצאות

**בחודשי הקיץ השנה היה אירוע תמותת דגים המונית, כנראה כתוצאה מהתפרצות החיידק הפתוגן *Streptococcus iniae*. סיכום האירוע ניתן בפרק ב7, העוסק בדגי השונית.**

השנה נתפסו על ידי תכנית הניטור 28 דגי סיכן מהמין *Siganus rivulatus* (סיכן משויש). דגים אלה נותחו ונמצאו בהם בסך הכל 216 טפילי מעיים השייכים לשלושה סוגים הטרוקסנים (טבלה ג2). הכוונה היא לתפוס דגים אשר משקלם גדול ממאה גרם, אולם השנה, ארבעה מתוך הדגים שנתפסו היו בעלי משקל קטן יותר.

No.	location	weight (gr)	length (cm)	fork length (cm)	sex	Parasite						date
						Scler.	Gyliauc.	Proc.	Cucul.	Opist.	Hexan.	
1810171	IUI	190.7	24	8	ND			2				18.10.17
1810172	IUI	152	22	7.2	ND	11						18.10.17
1810173	IUI	187.9	25	8.6	ND							18.10.17
1810174	IUI	126.9	21	7.5	ND	1						18.10.17
1810175	IUI	170.5	24	8.2	ND	4		1			15	18.10.17
1810176	IUI	112.1	22	6.5	ND			1				18.10.17
3110171	IUI	166.5	24	7.5	ND	61					2	31.10.17
3110172	IUI	143.2	23	7.5	ND	4		3				31.10.17
3110173	IUI	134.9	22	7	ND	2		1			1	31.10.17
3110174	IUI	79.5	18	5	ND	13		1			4	31.10.17
3110175	IUI	86.6	19	6	ND	65		1			2	31.10.17
3110176	IUI	101.5	19.5	5.5	ND	1		1				31.10.17
3110177	IUI	83.5	18.3	5.5	ND	2		2			1	31.10.17
211171	IUI	212.9	25.5	9	ND	1		1			1	2.11.17
211172	IUI	104.1	20.5	6.6	ND	3		3				2.11.17
211173	IUI	99.8	20.5	7	ND			4				2.11.17
1411172	IUI	174.7	24.5	8	ND						1	14.11.17
1411173	IUI	111.6	20	6.2	ND			2				14.11.17
1411174	IUI	152.3	23	7.5	ND	2		2			1	14.11.17
1411175	IUI	159.6	24	6.5	ND						3	14.11.17
1411176	IUI	211.7	26.5	8.7	ND	1		1			1	14.11.17
1411177	IUI	174.9	24.5	7.2	ND			1			2	14.11.17
1911171	IUI	174.9	24.5	8.5	ND			1				19.11.17
1911172	IUI	141.3	22.5	7	ND							19.11.17
1911173	IUI	157.9	23.8	7.4	ND	1						19.11.17
1911174	IUI	128.1	21.5	6.5		36		1				19.11.17
1911175	IUI	136.1	21.5	6.6		1		1				19.11.17
1911176	IUI	102.1	20.4	6.5		7		1				19.11.17

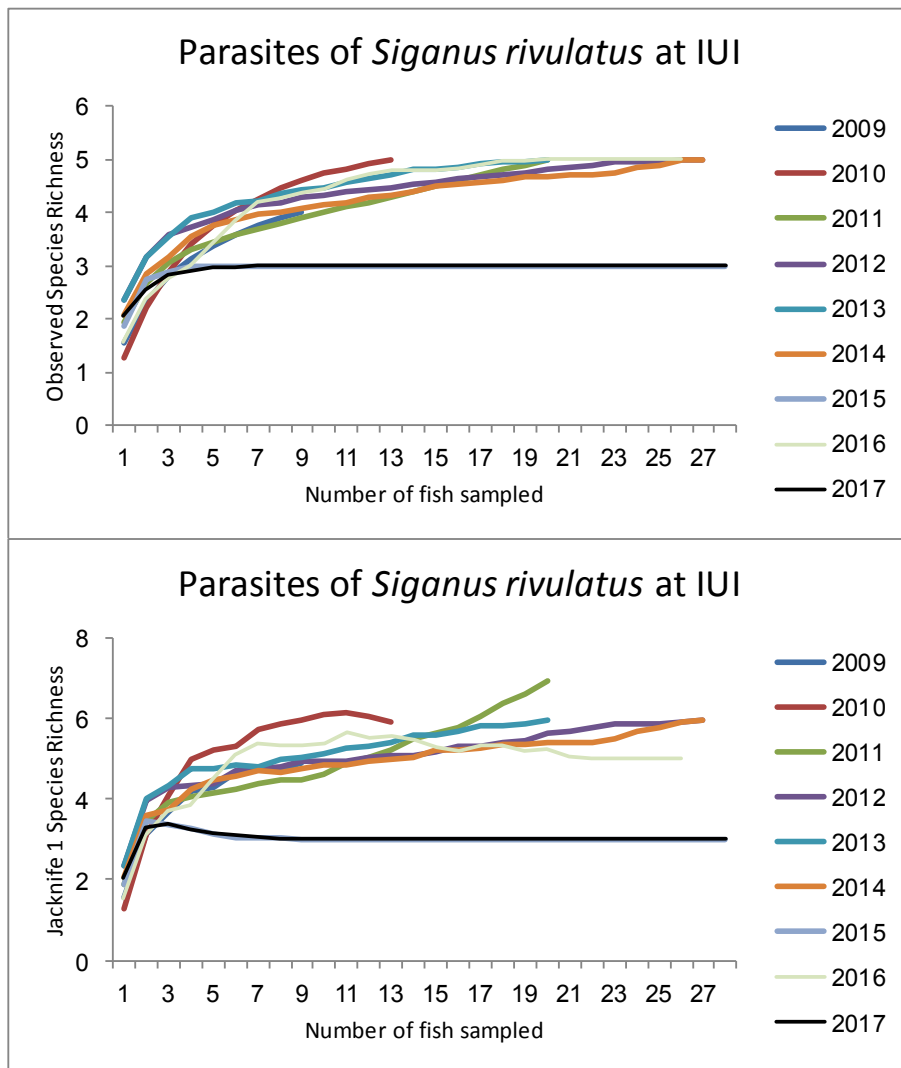
טבלה ג2: הטפילים שנספרו בדגי סיכן משויש אזור המכון הבינאוניברסיטאי.

**Table C2: 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 שלושה מיני טפילים בלבד, ב-26 דגי הסיכן המשויש אשר נתפסו מול המכון הבינאוניברסיטאי (בדומה לשנת 2015, ולעומת חמישה מינים שנמצאו ב-26 דגים בשנה הקודמת). הטפיל *Gyliauc.* נעדר לחלוטין מדגי הסיכן המשויש באזור המכון

הבינאוניברסיטאי כבר מספר שנים. נראה שהשנה, על אף מספר מיני הטפילים הנמוך, אינה חריגה, בהיותה דומה לשנת 2015 אשר אחריה נמצאה שוב עליה במספר מיני הטפילים ההטרוקסנים. יחד עם זאת, יש לשים לב בשנים הקרובות לשינויים אלה.

להשלמת מחזור חייהם נדרשים לטפילים הטרוקסנים מספר "מאכסנים" שונים החיים בגומחות אקולוגיות שונות, ועל כן ירידה ניכרת 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 ג13). מתוך עקומות אלה ניכרת בבירור העובדה כי השנה שוב נמצאו שלושה מיני טפילים בלבד, בדומה לשנת 2015. בשאר שנות הניטור נמצאו בדגים חמישה מיני טפילים. הערכת עושר המינים "האמיתי" באמצעות המעריך Jackknife 1 מראה תמונה דומה (איור ג13, למטה) בה עושר המינים הגבוה ביותר (7) נמצא בשנת 2011, ובדרך כלל עושר המינים המצופה מגיע ל-6. בשנה הקודמת היה עושר המינים המצופה 5, אך השנה ירד שוב ל-3, כפי שנמצא בשנת 2015. בהתבוננות זו נראה כי בשלוש השנים האחרונות ישנה ירידה בעושר הטפילים ההטרוקסנים בהשוואה לשנים שלפניהן, ויש להוסיף ולעקוב אחר מצב זה.

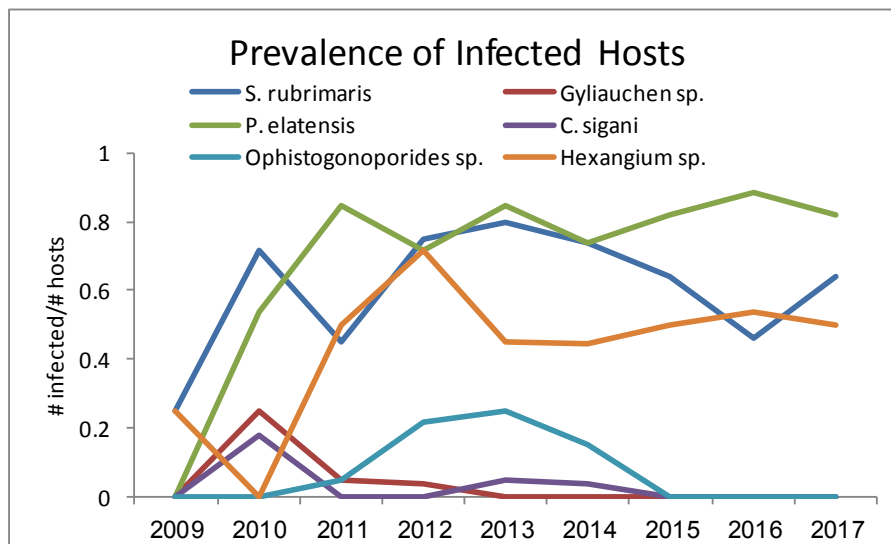


איור ג13: עקומות צבירה (rarefaction) של עושר מיני התולעים שנמצאו במעי דגים מהמין סיכן משויש, מחושבות בעזרת תכנת EstimateS. למעלה: עושר המינים הנצפה, למטה עושר המינים המוערך על פי המדד Jackknife-1.

**Figure C13: Rarefaction curves of *S. rivulatus* helminth parasite Species Richness calculated using the EstimateS software. Top: Observed Richness, Bottom: Estimated Jackknife-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).  
שכיחות ההדבקה בטפילים מראה תנודות בין השנים (איור ג14). בעוד ששכיחות ההדבקה של שלושת הטפילים *Sclerocollum rubrimaris*, *Procamallanus elatensis* ו- *Hexangium sp.* מצויים בשנים האחרונות במרבית הדגים הנבדקים, הדיגינאיה *Gyliachen sp.* לא נמצא מאז 2012, ו- *Opisthogonoporides sp.* ו- *Cucullanus sigani* לא נמצאו השנה וכנראה נמצאים בירידה בשלוש השנים האחרונות.

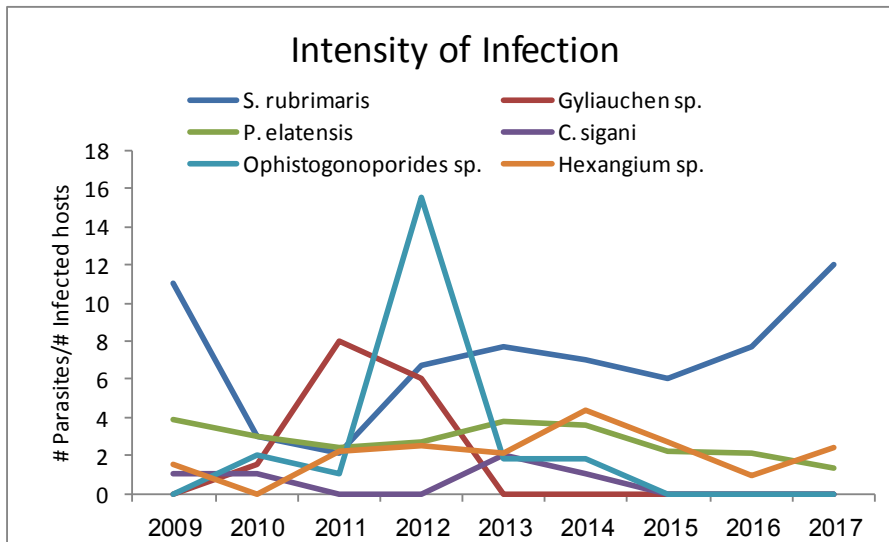
הדיגינאיה *Gyliachen sp.*, אשר לא זוהה בשנים האחרונות, נפוץ בעיקר בדגי סיכן מהמין *S. luridus* ובעבר נמצאו בדגים אלה עשרות ואף מאות פרטים בדג בודד. יתכן שהמדגם הנבחן במסגרת תכנית הניטור, הכולל דגים מהמין *S. rivulatus* בלבד, מציג תמונה חלקית בלבד של הדינמיקה של מין הדיגינאיה *Gyliachen sp.* לגבי שני הטפילים הנוספים אשר לא נמצאו השנה, אין בידינו כרגע הסבר.



איור ג14: שכיחות הנגיעות בששה מיני טפילי המעייים הנבדקים בדגי הסיכון המשוויש.

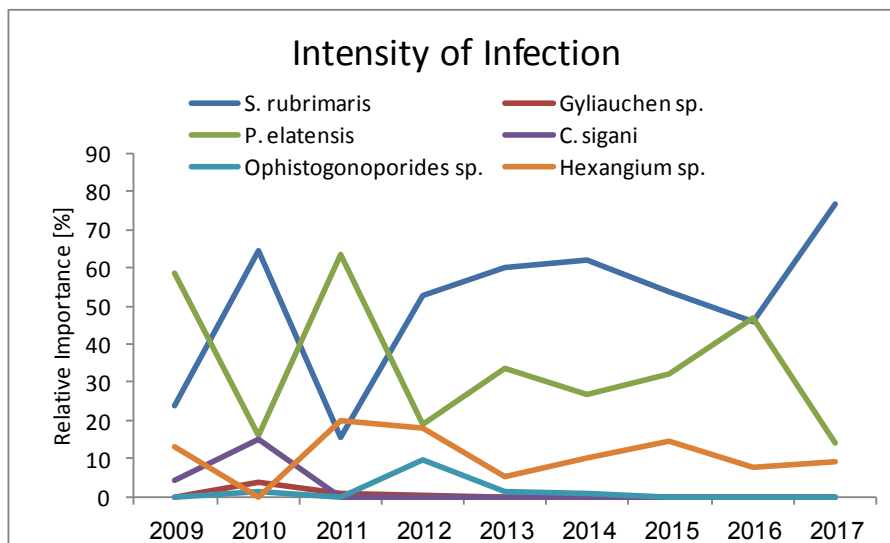
**Figure C14: Prevalence of the six gut parasite species examined in *S. rivulatus*.**

בשלוש השנים האחרונות עצמת ההדבקה בטפיל *S. rubrimaris* נמצאת בעליה, ובטפילים *P. elatensis* ו- *Hexangium sp.* נותרה דומה. עבור שלושת הטפילים האחרים ישנה ירידה, אם כי *C. sigani* תמיד היה ברמה נמוכה (איור ג15). כמות הנתונים הקיימים אינה מאפשרת לנתח באופן מעמיק את שינויי עוצמת הנגיעות בטפילים הטרוקסנים בדגי הסיכון המשוויש בשנים האחרונות.



איור ג15: עצמת הנגיעות בששה מיני טפילי המעיים הנבדקים בדגי הסיכן המשויש.  
**Figure C15: 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 ג16).



איור ג16: אינדקס בוש לחשיבות הנגיעות בששה מיני טפילי המעיים הנבדקים בדגי הסיכן המשויש.  
**Figure C16: 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.

במסגרת המעקב אחר תחלואת דגי בר במפרץ מוסרת תכנית הניטור למעבדתו של פרופ' א. דיאמנט במלח"י דגימות טחול מהדגים שנתפסו באזור המעבדה הימית (חוף דרומי) לצורך זיהוי גרנולומות שמקורן בחיידק *M. marinum*. בנוסף לכך, תומכת התכנית בתפיסת דגים מאזור החוף הצפוני ובחינת רמת הנגיעות שלהם בחיידק.

ב- 15 מתוך 29 דוגמאות הטחול של דגי הסיכך המשוויש אשר העבירה תכנית הניטור למלח"י השנה נמצאו גרנולומות (נגיעות של 15/29, 52%). על אף שלא כולן הגיבו לצביעה המאפשרת זיהוי ודאי של הגרנולומות כנגרמות על ידי החיידק הפתוגן *M. marinum* (Ziel-Nielsen AcidFast Stain), עדיף להתייחס לכל הגרנולומות כאינדוקטיביות לחיידק, מכיוון שלצביעת Z-N הצלחה חלקית בזיהוי הפתוגן (\*Fukunaga, et al. (2002)). בשנים האחרונות לא השתנתה מידת הנגיעות של דגי הסיכך בחיידק *M. marinum*, באזור החוף הדרומי של אילת והיא נעה סביב ה- 50%. בחוף הצפוני נתפסו השנה 28 דגים בחודש מאי (גודל הדגים קטן) ועוד ארבעה בחודש ספטמבר (גדולים יותר). דגים אלה נותחו על ידי מלח"י וגם הם נבדקו היסטולוגית לזיהוי גרנולומות המשוייכות לחיידק *M. marinum*. גרנולומות טחול המשוייכות לחיידק *M. marinum* נמצאו בחמישה עשר מתוכם (נגיעות 15/32, 47%). ממצא זה מאשש את המשך נוכחותו של החיידק באזור החוף הצפוני. מהתוצאות עולה כי החיידק *M. marinum* עודנו נפוץ בצפון המפרץ, אך יתכן כי בשנים האחרונות שכיחותו יורדת בהשוואה לתקופת כלובי הדגים. בכל אופן, רמת הנגיעות של דגי בר בחיידק בארבע השנים האחרונות יציבה הן בחוף הצפוני והן בחוף הדרומי של אילת.

\*Fukunaga, Hajime, et al. (2002) Sensitivity of acid-fast staining for Mycobacterium tuberculosis in formalin-fixed tissue. *American journal of respiratory and critical care medicine* 166(7): 994-997



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

#### מטרה

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

#### שיטות

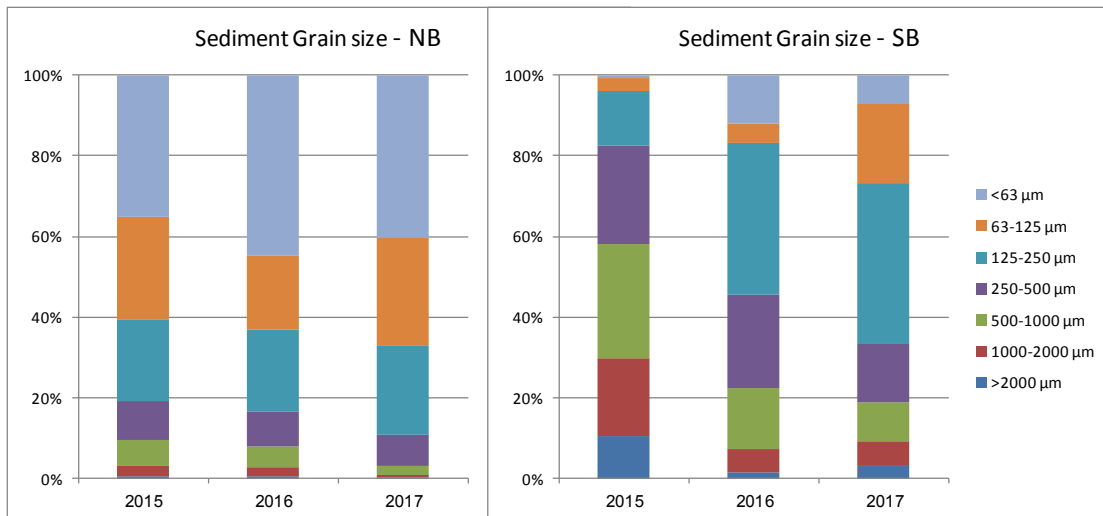
דגימת הסדימנט והטיפול בו נעשים לפי סטנדרטים מדעיים המקובלים בספרות המקצועית. דוגמאות סדימנט מקרקעית רכה נלקחות בשני אתרים בעומק של כ-20 מטרים. בחוף הצפוני נדגמת נקודה מול חוף הדתיים, מזרחית למוצא תעלת הקינט (נ"צ מקורב:  $32.491^{\circ}N$ ,  $58.362^{\circ}E$ ) ובחוף הדרומי מול כפר הצוללים (נ"צ בכניסה למים:  $29.966^{\circ}N$ ,  $54.866^{\circ}E$ ). 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 סגירה הרמטית של 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<sup>2</sup>. עבור מיון וספירת פורמיניפרה נלקחו דוגמאות בעזרת מבחנות 50 מ"ל שנחתכו לצינורות אותם ניתן לפקוק עם שליפתם מן הסדימנט, ונשמרו במצב אנכי ובקירור עד לטיפול במעבדה. מכל גלעין סדימנט נחתך הסנטימטר העליון (פני הקרקע) לצורך ספירה ואפיון פורמיניפרים בנתונים. הסדימנט המיועד למיון וספירת פורמיניפרים בנתונים נשמר באתנול ורוזבנגל (2 גרם/לליטר) למשך 14 יום ואז הדוגמאות מיובשות ונשקלות. לאחר מכן הדוגמאות נשטפות דרך נפה (125 מיקרומטר) ומיובשות. כל דוגמה יבשה מחולקת באמצעות ספליטר ותת הדוגמה ממויינת ונספרת. סדימנט מגלעינים למדידת התפלגות גדלי גרגר מיובש בטמפרטורה של 100 מעלות במשך 24 שעות. הדוגמאות היבשות נשקלות ואז נשטפות דרך נפה של 63 מיקרומטר על מנת לסלק את הפרקציה הדקה (חרסית). לאחר ייבוש נוסף הדוגמאות נשקלות שוב ואז מועברות לשייקר עם סט נפות בגדלים של 2000, 1000, 500, 250, 125, 63 מיקרומטר למשך 10 דקות. כל פרקציית גודל נשקלת בנפרד ואחוז המשקל היחסי שלה מחושב מתוך הסך-הכל.

#### תוצאות:

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

שני האתרים הנבחים, בחוף הצפוני ובחוף הדרומי, בעלי מאפיינים פיסיוגרפים שונים. אתר החוף הצפוני בעל שיפוע קרקעית מתון וחיפה 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 (2015-2017) אתר החוף הצפוני מאופיין במרכיב גדול (יותר מ-60%) של סדימנט דק, בעל גודל גרגר קטן מ-125  $\mu m$ , ובחוף הדרומי מרכיב זה קטן מ-30% (אזור ג'17). הסדימנט הדק, הנפוץ באתר החוף הצפוני, מאפיין שקיעה מעמודת המים באנרגיה נמוכה ורובו נגזר ממרכיבים יבשתיים (חרסית וסילט בעלי גודל גרגר קטן מ-63  $\mu m$ , חול דק מאד מוגדר עד לגודל גרגר של 125  $\mu m$ ).

באתר החוף הצפוני נצפו בשלוש השנים האחרונות שינויים קלים בלבד בהתפלגות גדלי הגרגר בסדימנט, ואילו באתר החוף הדרומי מתועדת כאן עליה במרכיב הסדימנט הדק: הפרקציה הקטנה מ-  $\mu\text{m}$  125 היתה בשנת 2015 כ- 4% מכלל הסדימנט והפרקציה הקטנה מ-  $\mu\text{m}$  250 היתה כ- 17%. השנה פרקציות אלה היו כ- 27% וכ- 67% (בהתאמה) מכלל הסדימנט.



איור ג17: חלוקת סדימנט לגדלי גרגר (באחוז משקלי) בשני אתרים, בחוף הצפוני (NB) ובחוף הדרומי (SB).

**Figure C17: Grain size distribution (weight percent) for soft sediment in two sites, at the north beach (NB) and south beach (SB) of Eilat.**

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

בשנתיים האחרונות נעשה שימוש בפרוטוקול ספירה יעיל יותר ויכולת הזיהוי השתפרה. באתר החוף הדרומי נמצאו השנה בסך הכל 48 מיני פורמיניפרה (40 בשנת 2016) ובאתר החוף הצפוני נמצאו 49 מינים השנה (31 בשנה הקודמת). הפורמיניפרה אשר זוהו בשנתיים האחרונות בשני האתרים נתונים בטבלה ג3, מקובצים לרמת הסוג.

צפיפות הפרטים הממוצעת בגרם סדימנט בחוף הדרומי היתה 65 (מינים לגרם, בממוצע) בשתי השנים, ואילו בחוף הצפוני נמצאה צפיפות פרטים ממוצעת של 50 פרטים לגרם סדימנט בשנה הקודמת ו- 75 השנה. צפיפות המינים הממוצעת לגרם סדימנט בחוף הדרומי היתה 25 בשתי השנים האחרונות ובחוף הצפוני נספרו השנה בממוצע 28 מינים בגרם סדימנט לעומת 20 בשנה הקודמת.

חשוב לציין כי מיקום דגימת הסדימנט לצורך הספירה באתר החוף הצפוני נעשה השנה כ- 300 מטרים מזרחית לנקודת איסוף הדגימות בשנה הקודמת, ועל כן יש לנקוט זהירות במתן פירוש לנתונים אלה.

לסיכום, נראה כי באתר החוף הדרומי השנתיים האחרונות די דומות מבחינת צפיפות הפרטים וצפיפות המינים לגרם סדימנט, אם כי השנה זוהה מספר גדול יותר של מינים. בחוף הצפוני נמצאה השנה צפיפות גדולה יותר של פרטים ומינים, וזוהה מספר גדול של מינים לעומת השנה הקודמת. סביר שחלק מן ההבדלים יוסברו על ידי שינוי מיקום הדגימה המדויק.

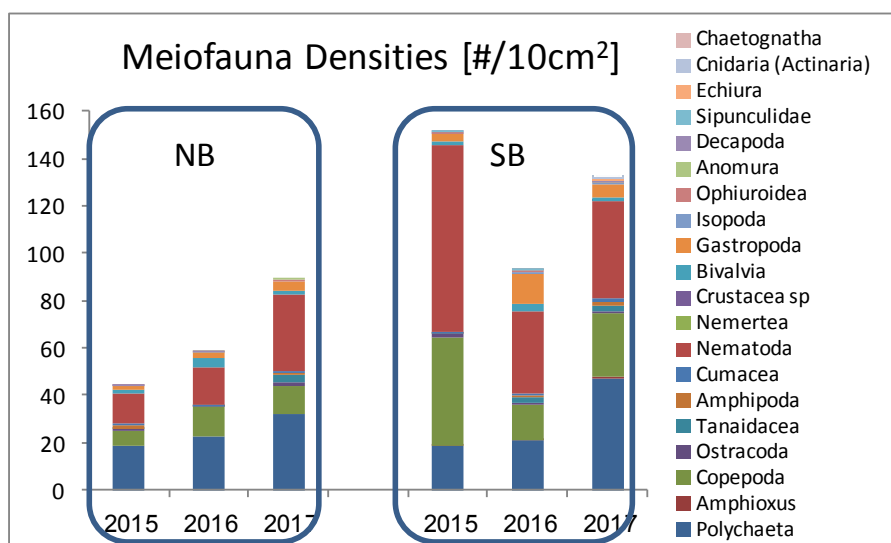
Taxa	NB		SB	
	2016	2017	2016	2017
<i>Ammonia spp</i>	+	+	+	+
<i>Amphisorus hemprichii</i>	+	+	+	+
<i>Amphistegina sp.</i>	+	+	+	+
<i>Articulina sp.</i>		+	+	
<i>Assilina amonoides</i>	+	+	+	+
<i>Bolivina spp</i>			+	
<i>Borelis schlumbergeri</i>	+	+	+	+
<i>Brizalina sp.</i>	+	+	+	+
<i>Cibicides spp</i>	+	+		
<i>Cycloforina sp.</i>	+		+	+
<i>Cymbaloporetta sp</i>		+	+	+
<i>Discorbinella rhodiensis?</i>		+	+	+
<i>Elphidium sp.</i>	+	+	+	+
<i>Epistomoroides punctatus</i>	+	+		+
<i>Epoindes repandus</i>	+		+	
<i>Fursenkoina sp. A</i>	+	+		
<i>Hauerina sp.</i>	+	+	+	+
<i>Labrospira jeffreysii</i>	+	+		+
<i>Lachlanella sp.</i>		+	+	+
<i>Lagenammia atlantica</i>		+		+
<i>Miliolides sp.</i>	+		+	
<i>Milionella sp.</i>	+	+	+	+
<i>Nonion spp</i>	+	+	+	+
<i>Peneroplis planatus</i>	+	+	+	+
<i>Planogypsina</i>			+	
<i>Pseudoaurinella dissidens</i>				+
<i>Pseudocibicides</i>	+	+	+	+
<i>Pseudomassilina sp.</i>	+	+	+	+
<i>Pyrgo sp</i>	+			
<i>Quinqueloculina sp</i>	+	+	+	+
<i>Reusela spp</i>	+			+
<i>Rosalina spp</i>	+	+	+	+
<i>Siphonaperta pittensis</i>		+		+
<i>Sorites</i>	+		+	+
<i>Spirillina sp A</i>		+		
<i>Spiroculina</i>	+	+	+	+
<i>Textularia spp</i>		+	+	+
<i>Triloculina sp.</i>		+	+	+
<i>Trochulina sp. A</i>		+		
<i>Varidentella cf. V. neostriatula</i>		+		+
<i>others</i>	+		+	+

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"ה שוכני סדימנט שאינם פורמיניפרים נמצא כי קבוצות ה- *Copepoda*, *Polychaeta*, *Nematoda* הן הנפוצות ביותר בסדימנט בשני האתרים (איור ג18). באתר החוף הדרומי זוהו השנה 20 קבוצות (לעומת 15 בשנה הקודמת) ובחוף הצפוני 11 (טבלה ג4). גם מספר הפרטים גדול יותר בחוף הדרומי.

בשלוש השנים האחרונות נמדדה צפיפות פרטים גדלה בסדימנט החוף הצפוני, אם כי – כאמור – נקודת המדידה השנה מעט מזרחית לנקודת המדידה של השנתיים הקודמות. בחוף הדרומי הצפיפות הגדולה ביותר נמדדה בשנת 2015, והנמוכה ביותר בשנת 2016.

בכל השנים צפיפות הפרטים בחוף הדרומי גבוהה מאשר בחוף הצפוני.



איור ג18: משפחות בע"ח שוכני מצע רך בקרקעית הים בשני אתרים, בחוף הצפוני (NB) ובחוף הדרומי (SB).

Figure C18: 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	2015	2016	2017
<i>Polychaeta</i>	*	*	*	*	*	*
<i>Amphioxus</i>				*	*	*
<i>Copepoda</i>	*	*	*	*	*	*
<i>Ostracoda</i>	*	*	*	*	*	*
<i>Tanaidacea</i>	*	*	*	*	*	*
<i>Amphipoda</i>	*	*	*	*	*	*
<i>Cumacea</i>	*	*	*	*	*	*
<i>Nematoda</i>	*	*	*	*	*	*
<i>Nemertea</i>						*
<i>Crustacea sp</i>						*
<i>Bivalvia</i>	*	*	*	*	*	*
<i>Gastropoda</i>	*	*	*	*	*	*
<i>Isopoda</i>	*			*	*	*
<i>Ophiuroidea</i>	*	*	*	*	*	*
<i>Anomura</i>		*	*		*	*
<i>Decapoda</i>	*	*		*	*	*
<i>Sipunculidae</i>				*	*	*
<i>Echiura</i>						*
<i>Cnidaria (Actinaria)</i>						*
<i>Chaetognatha</i>						*

טבלה ג4: קבוצות שוכני הסדימנט הרך (לא כולל פורמיניפרים) שזוהו השנה באתר החוף הצפוני ובאתר החוף הדרומי

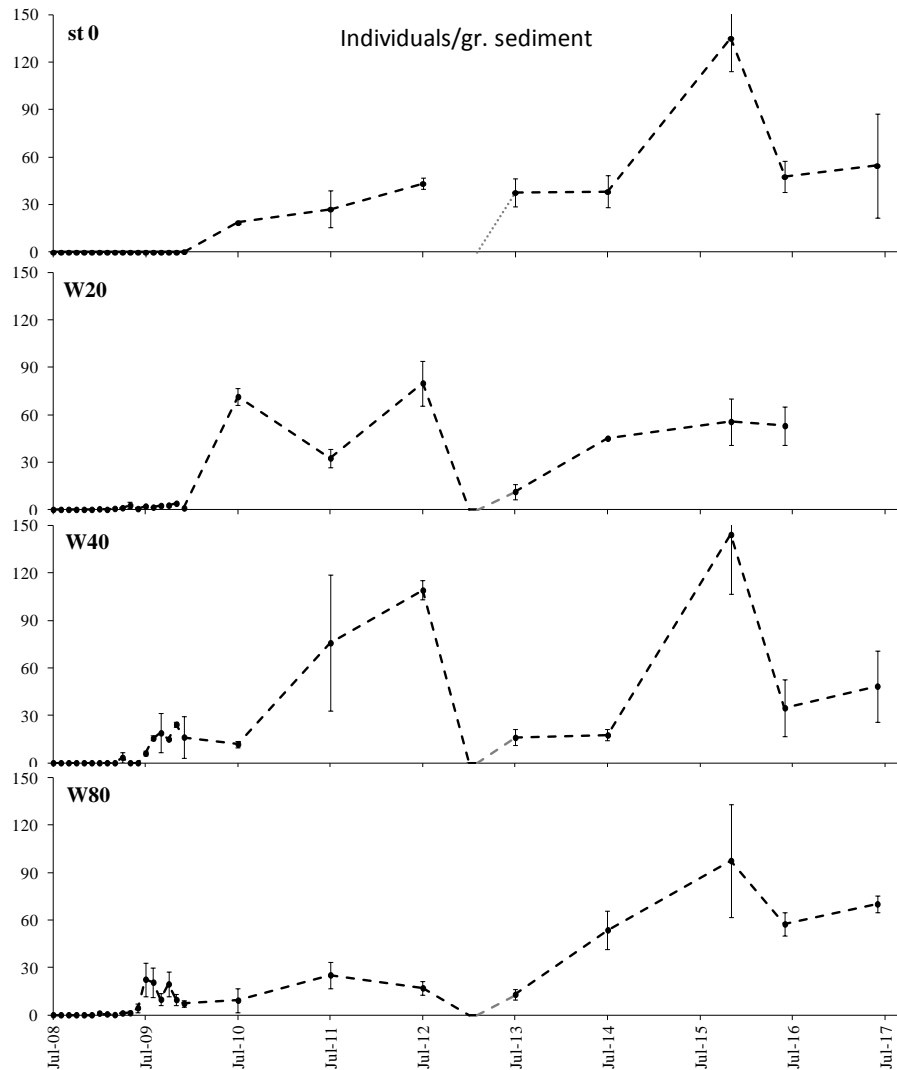
Table C4: Meiofauna groups identified this year at the North and South beach sites

## שינויים במאספי פורמיניפרים בנתונים בצפון המפרץ לאחר פינוי כלובי הדגים

בנוסף לשני האתרים החדשים בחוף הדרומי ובחוף הצפוני, בעומק 20 מטרים (ראו למעלה), בהן החלה התכנית לעקוב אחר מאספי החי בסדימנט רך, מתקיים באתר כלובי הדגים לשעבר – בחוף הצפוני בעומק מים של 27 מטרים – מעקב אחר מאספי פורמיניפרים בנתונים אשר החל בשנת 2008, בסמוך להוצאת כלובי הדגים מהים. המעקב החל במסגרת עבודת מחקר של שי אורון (M.Sc. באוניברסיטת בן-גוריון בנגב, בהנחיית פרופ' ס. אברמוביץ ופרופ' מ. כיפלאווי), ביוזמתו של ד"ר ד. אנג'ל ובשיתוף עם ד"ר ב. גודמן צ'רנוב (אוני' חיפה).

הדו"ח המסכם את המחקר, אשר הוגש למשרד התשתיות, הופיע כלשונו כנספח בדו"ח המדעי של תכנית הניטור בשנת 2010, ובו תיעוד תהליכי שיקום קרקעית הים באזור בו נמצאו עד לקיץ 2008 כלובי דגים של הקלאות ימית במפרץ. בשנת 2014 הופיע הפרסום המדעי המתאר את הממצאים (Oron et al. 2014). תכנית הניטור לקחה על עצמה בשנת 2010 להמשיך את המעקב באתר זה, בתדירות דגימה שנתי, על מנת לשמר סדרת זמן ארוכה במקום. ניטור זה נעשה בהדרכת ד"ר שי אורון. נקודות הדגימה פרוסות לאורך קו המתרחק מערבה ממיקום כלובי הדגים (W0), במרחקים 20, 40 ו-80 מטרים.

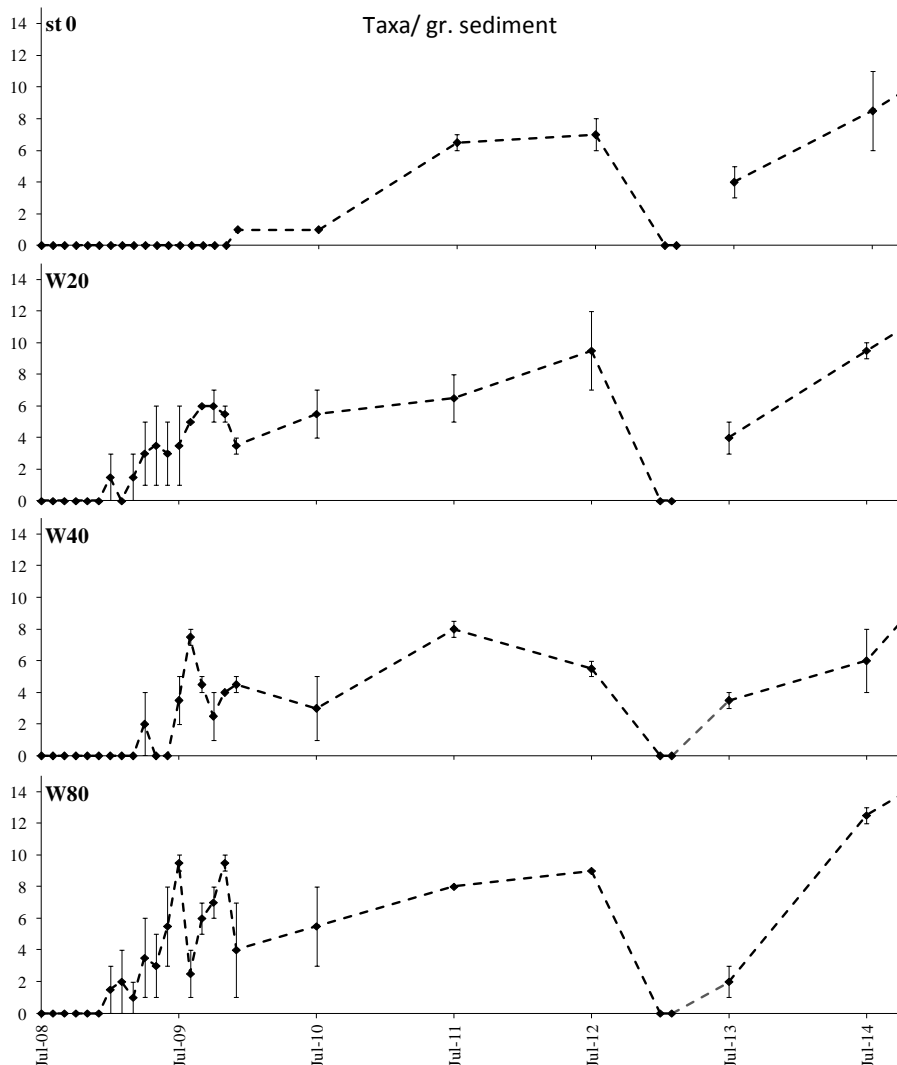
ההעשרה האורגנית מכלובי הדגים יצרה איזור אזואי (חסר חיים) בסביבתם המיידית, עד לתקופה של כשישה חודשים לאחר פינוי הכלובים. בחודש ינואר 2009 החלו להופיע לראשונה פרטים חיים של פורמיניפרים השייכים בעיקר למין *Operculina ammonoides* (בדו"חות עד לשנת 2016, נקרא מין זה *Assiluna ammonoides*). בדיקות מולקולאריות 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 W20, 0 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, המישה חודשים לאחר השיטפונות, מספר הפרטים החיים לגרם סדימנט, כמו גם מגוון המינים, היו נמוכים יותר מאשר ב 2012. התאוששות חברת הפורמיניפרים הבנתונית לאחר השיטפונות היתה מהירה יחסית ובשנת 2015 היה מספר הפרטים בסדימנט ברוב התחנות (מלבד תחנה w20) גדול משהיה בשנת 2012. מעבר לכך, מספר הפרטים הגדול ביותר נמצא בתחנות w40 ו-st0 – להבדיל מתהליך החזרה שלאחר הוצאת הכלובים אשר התקדם ממערב למזרח (מתחנה w80 לכיוון תחנה st0, איור ג19). בשנה הקודמת 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. השנה נמדדה עליה קלה במספר הפרטים בתחנות הנמדדות.



איור 19: כמות הפרטים של פורמיניפרים בנתונים חיים מאתר "כלובי הדגים" החל מהחודש בו הוצאו אחרוני הכלובים (נתונים עד לשנת 2010: ד"ר שי אורון, Oron et al., 2014).

**Figure C19: The number of live benthic foraminifera individuals at the "Fish Farm" site following the removal of the last fish cages (data from Dr. Shay Oron, Oron et al., 2014).**

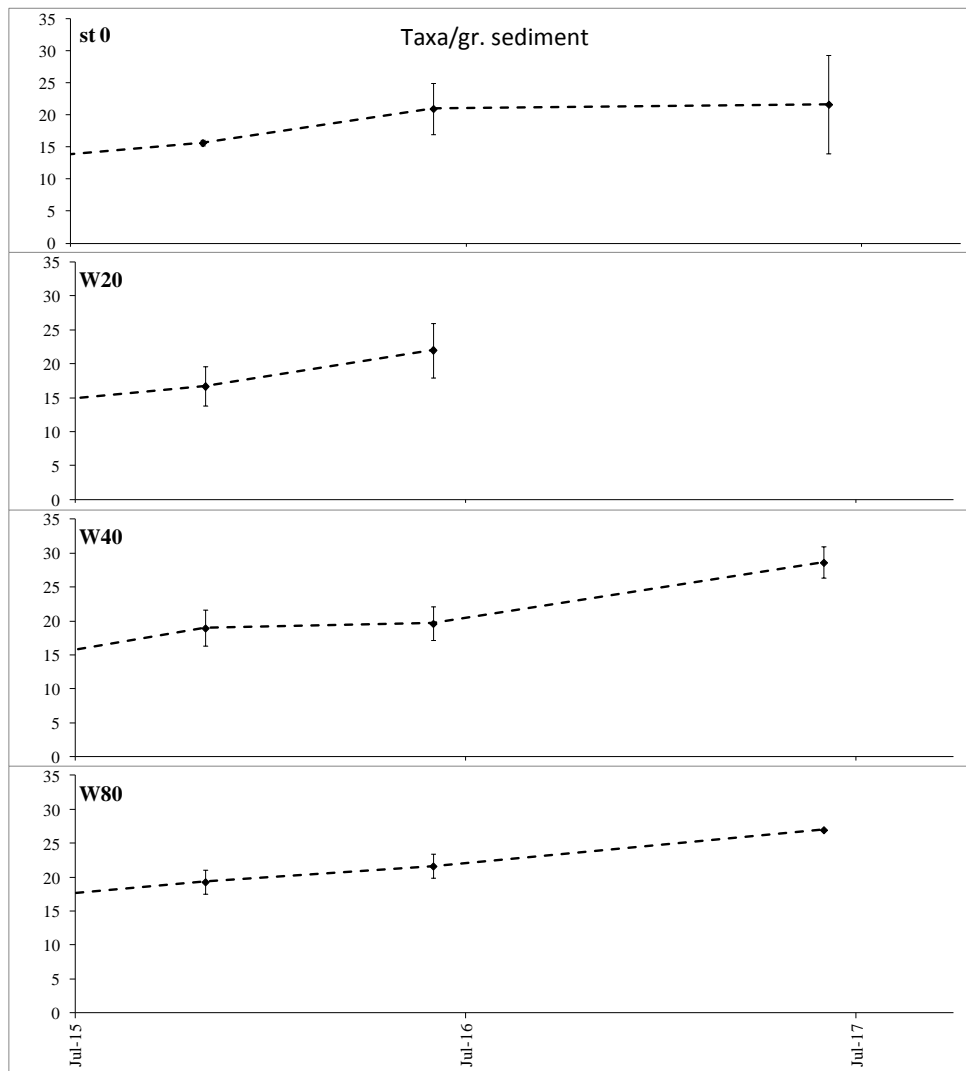
בשנים שלאחר הוצאת כלובי הדגים ניתן היה לעקוב אחר דפוס שיקום שהראה תהליך איטי של סוקסציה וכניסת מיני פורמיניפרים חדשים, כאשר התהליכים התרחשו בקצב שונה בתחנות הדיגום השונות והיו איטיים יותר בתחנות הקרובות למיקום בו היו כלובי הדגים (איור ג20). לאחר השטפונות של חורף 2013 מתועדת חזרה מהירה של מיני פורמיניפרים בנתונים לאזור, כאשר תחנה w40 מראה את ההתאוששות האיטית מבין התחנות. 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 אפיפטים באזור.



איור ג20: מספר מיני הפורמניפרים החיים לגרם סדימנט יבש בתחנות השונות מיולי 2008, מיד לאחר הוצאת כלובי הדגים ועד קיץ 2014.

**Figure C20: The number of live foraminifera species per gram dry sediment at sampled locations between summer 2008, right after fish cages were removed from the area, and summer 2014.**

עם כניסתה של תכנית הניטור לעיבוד הסדימנט, בשנת 2015, הושקע מאמץ גדול בשיפור יכולות הזיהוי והמיון של מיני פורמניפרים בנתונים ומגוון המינים שזוהו גדול בהרבה מאשר בשנים קודמות. לא ברור כמה מהשינוי קשור ביכולת הזיהוי שהשתפרה וכמה מייצג שינוי אמיתי של החברה, אך גם בשלוש השנים האחרונות נמדדה עליה (קלה) במספר המינים המזוהים בתחנות (איור ג21).



**איור ג21: מספר מיני הפורמיניפרים החיים לגרם סדימנט יבש בתחנות השונות בין השנים 2015-2017.**  
**Figure C21: The number of live foraminifera species per gram dry sediment at sampled locations in the interval 2015-2017.**

היעדרם המוחלט של פרטים חיים בסדימנט בתחנות הדגימה בחודשים הראשונים שלאחר פינוי הכלובים מצביע על כך שסביבה זו לא אפשרה קיום של פורמיניפרים בנתוניים. יתרה מכך, העדר עשב הים *Halophila* הנפוץ באופן טבעי באזור העיד על מגבלות סביבתיות חמורות. שיקום האזור לאחר סדרת השיטפונות של חורף 2013 היה מהיר יותר מאשר לאחר הוצאת כלובי הדגים: צפיפות גבוהה של פרטים חיים (מעל עשרה פרטים לגרם סדימנט) נמצאה כחצי שנה לאחר השיטפונות אך רק לאחר למעלה משנתיים בתחנת הדיגום הסמוכה למיקומם של כלובי הדגים. בשנים האחרונות נמדדות תנודות בצפיפות הפרטים בסדימנט ועליה מתמשכת בצפיפות המינים המזוהים.



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

##### מטרה

הערכת כיסוי קרקעית 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):  $34^{\circ} 57.997' E, 29^{\circ} 32.655' N$ ) ובחוף הדרומי (מול כפר הצוללים, נ"צ בכניסה למים:  $34^{\circ} 54.866' E, 29^{\circ} 29.966' N$ ).  
הערכת הכיסוי נעשת בשיטת "דגימת נקודה" (point sampling) מתוך צילומים של קרקעית הים (איור ג22). 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 יש או אין עשב ים. התוצאות עובדו לכיסוי עשב הים עבור כל תמונה וממוצע וסטיית תקן לאתר חושבו מתוך סך התמונות באתר.



איור ג22: צילום של עשב ים מחתכי הסקר בעומק עשרים מטרים באתר החוף הדרומי (צילום: מ. צ'רניחובסקי).

**Figure C22: A photo of seagrass cover along the 20m depth transect on the southern coast of Eilat (photo: M. Chernihovsky).**

##### תוצאות

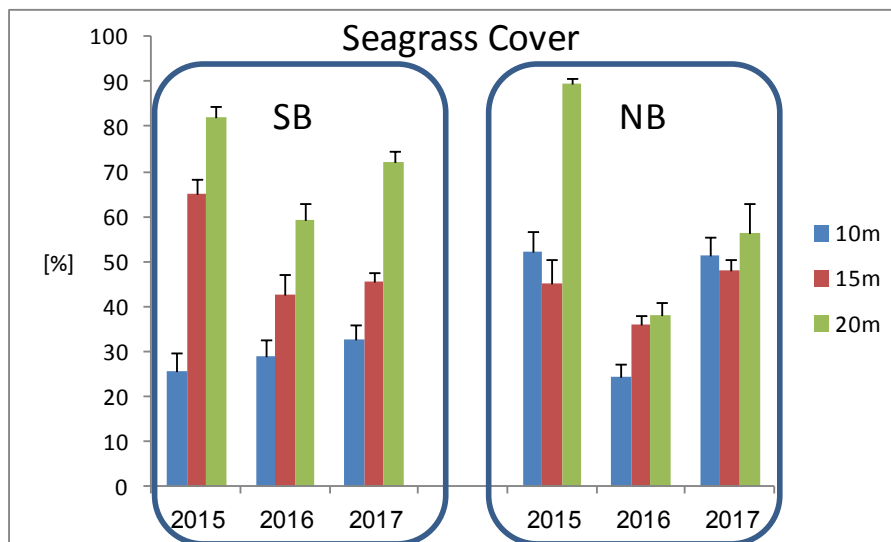
עשב הים במפרץ אילת בעומקים רדודים נסקר באופן שיטתי על ידי *Mejia et al.* (2016), שמצאו מרבדים נרחבים לאורך שולי צפון המפרץ בתחום ישראל, והעריכו את מצבם. לעשבי הים חשיבות גדולה כבית גידול ייחודי השומר על איכות המים בהקשר של בריאות הציבור (*Lamb et al.*, 2017) וכסביבה תומכת בהתפתחות שוניות אלמוגים, ועל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

בשלוש השנים בהן נסקר כיסוי עשב ים במסגרת תכנית הניטור נמצא כי, באופן כללי, מרבדי עשב הים בנקודות שנסקרו, הן בחוף הצפוני והן בחוף הדרומי, עשירים ומכסים אחוז ניכר מפני הקרקע החולית. הכיסוי הממוצע בשלושת העומקים בשלוש השנים האחרונות היה 50.4% בחוף הדרומי ו- 49.0% בחוף הצפוני.

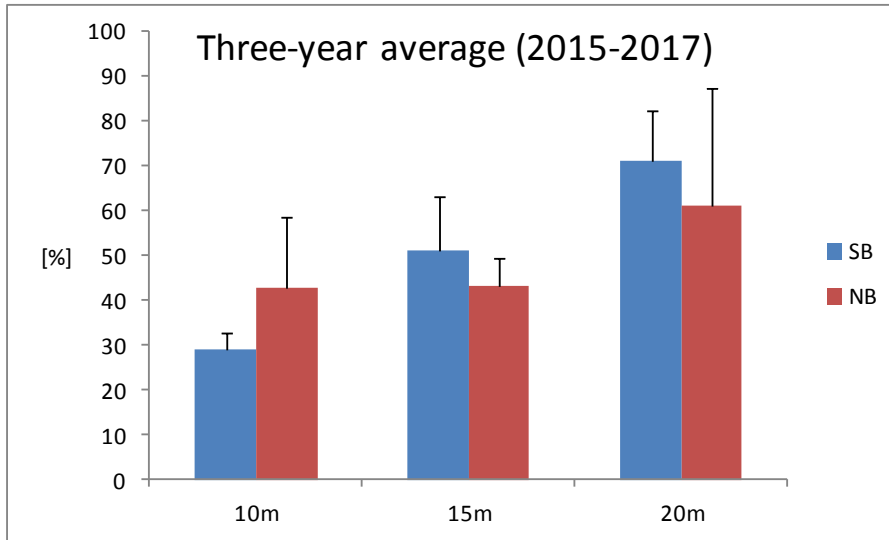
השנה נמצא כיסוי עשב ים גבוה בהשוואה לשנה הקודמת (איור ג23). בתקופה בה עוקבת תכנית הניטור אחר שינויים בכיסוי עשב הים בחוף הצפוני ובחוף הדרומי של אילת (2015-2017) נמצא כי כיסוי עשב הים היה נמוך ביותר בשנה הקודמת (2016).



איור ג23: כיסוי עשב הים בשלושה עומקים באתרי החוף הצפוני והחוף הדרומי של אילת.

**Figure C23: Seagrass cover at three depths in the northern and southern beach sites of Eilat.**

בשלוש השנים האחרונות כיסוי עשב הים הממוצע בעומק של עשרה מטרים באתר החוף הצפוני היה 43%, ובאתר החוף הדרומי 29%. בעומק עשרים מטרים, הכיסוי הממוצע בשלוש השנים האחרונות היה 71% באתר החוף הדרומי ו- 61% באתר החוף הצפוני. בעומק 15 מטרים נמצא כיסוי ממוצע בערך אמצעי, אם כי באתר החוף הצפוני ההבדל בכיסוי בין העומקים הרדודים קטן (איור ג24). בשלב זה לא ברור מה הגורמים לשינויים בשיפעת עשב הים בין השנים או האם תופעה זו שגרתית או חריגה.



איור ג24: כיסוי עשב הים הממוצע בשלוש השנים האחרונות בשלושה עומקים באתרי החוף הצפוני והחוף הדרומי של אילת.

Figure C24: Three-year average seagrass cover at three depths in the northern and southern beach sites of Eilat.

## ד. עמודת המים בים העמוק

### מטרה

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

### שיטות

אחת לחודש מבוצעת בספינת מחקר הפלגה לתחנה A ולצפון המפרץ, בסמוך למקום בו היו כלובי הדגים (FF). 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 1.ז). עומק הקרקעית בתחנת כלובי הדגים כ-55 מטר.

בתחנות הימיות נאספות דגימות מים מעומקים שונים, על ידי הורדת 'רוזטה' אל הים, כשעליה 11 בקבוקי ניסקין של עשרה ליטרים (חברת GoFlo), וסגירת הבקבוקים מתוך הספינה בעומקים הרצויים. אל הרוזטה נלווה מכשיר מדידה CTD המודד משתנים פיסיקליים באופן רציף. בתחנה A ובתחנה B נלקחים מספר קסטים (= 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, ופלאורסנציה במכשיר CTD של Sea-Bird Electronics. דגימות המים הנאספות בעומקים קבועים מחולקות לבקבוקים שונים לצורך מדידת חמצן מומס (DO), pH, אלקליניות ( $A_T$ ), נוטריינטים מומסים ( $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $(Si(OH)_4$ ,  $PO_4^{3-}$ ), פחמן חלקיקי (POC), מליחות, כלורופיל (Chl-a), והתפלגות אוכלוסיית הפיטופלנקטון. סינון הדוגמאות לצורך מדידת כלורופיל ואוכלוסיית הפיטופלנקטון, וקיבוע דוגמאות לצורך מדידת חמצן מומס נעשו בספינה. המדידות נעשות במעבדה לפי השיטות המתוארות בפרק העוסק במי החופים.

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

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

להלן שיטות המדידה של מדידות שאינן מפורטות בפרק מי החופים:  
**יצרנות ראשונית (Primary Productivity)** – מי השכבה המוארת (100 המטרים העליונים) נדגמים באמצעות בקבוקי ניסקין מפני הים ומהעומקים 20, 40, 60, 80 ו-100 מטרים, בשעות החשכה. כבר בסירה מועברים המים למיכלים אטומים לאור, ובמעבדה מוכנס לכל מיכל פחמן רדיואקטיבי באקטיביות של  $0.04$  מיקרוקירי  $^{14}C$  למ"ל מים. המים מכל עומק מחולקים לארבעה בקבוקי הדגרה בנפח 250 מ"ל + דוגמה למדידת האקטיביות במים "בזמן אפס".  
דוגמאות המים המסומנות מוחזרות לים בבקבוקי הדגרה למשך 24 שעות כשהן תלויות ממצוף כך שכל דוגמה מצויה בעומק ממנו נלקחה. בכל עומק ישנו בקבוק הדגרה אחד אטום לאור (dark), ושלושה בקבוקים שקופים למדידת היצרנות הפוטוסינתטית.

הדוגמאות מוחזרות למעבדה למחרת, בשעות החשכה, ומכל בקבוק הדגרה מסוננים 50 מ"ל מים על גבי פילטר (NC-45). הפילטרים מיובשים בדסקטור בנוחות אדי חומצה כלורית למשך 24 שעות ואח"כ נקראים במונה סינטילציה. בנוסף לפילטרים נלקחת מכל בקבוק הדגרה דוגמת מים לקריאת הרדיואקטיביות הכללית במים (added activity, AA) במונה הסינטילציה.

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

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

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

בנוסחה זו:

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

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

מדידת תכולת הפחמן בפילטרים נעשית במכשיר Total Organic Carbon analyzer של חברת Shimadzu Instruments, בו הפחמן המצוי בדוגמה מחומצן בטמפרטורה גבוהה (900-980 מעלות) ליצירת פחמן דו-חמצני (CO<sub>2</sub>). הפחמן הדו-חמצני נישא על ידי חמצן לגלאי IR ויוצר אות אשר שיטחו פרופורציונלי לכמות הפחמן. לצורך כיול משמשים סוכרים המכילים פחמן בכמות ידועה.

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

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

לשריפה בטמפ' של 450 °C למשך 4 שעות. הפרש המשקלים של הפילטר לפני ואחרי השריפה מהווה מדד לביומסה (ash-free dry weight).

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

## 1.ד. 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 הייצור. הכיול האחרון נעשה בספטמבר 2017. הפלגות לתחנה B, בשיתוף עם מדענים מתחנת המחקר בעקבה שבירדן, התבצעו השנה בחודשים מרץ ואוקטובר.

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

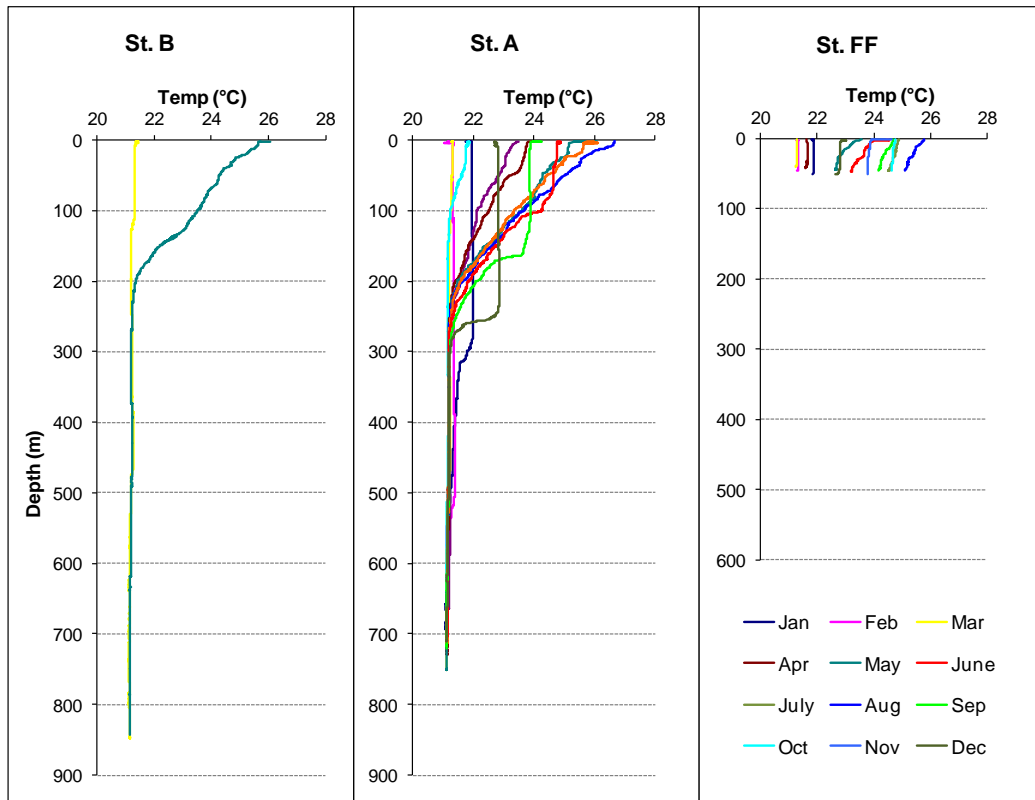
### טמפרטורה

ערבוב עמודת המים בעונת החורף עקב קירור המים מלמעלה, במגע עם האטמוספירה, הוא גורם מרכזי דינאמיקה של המערכת האקולוגית במפרץ. השנה היה קירור מוקדם של פני הים וערבוב עמודת המים הגיע לעומק מרבי מעט גדול מ-500 מטרים, לקראת אמצע פברואר, אך תהליך הערבוב נעצר כבר בחודש פברואר.

בתחילת החורף השנה התקררו המים העליונים והחל ערבוב עמודת המים, אך נעצר עקב התחממות פני הים בחודש פברואר. בהפלגת חודש פברואר נמדד ב-CTD פרופיל טמפרטורה בו גג התרמוקלינה בעומק 492 מטר. יחד עם זאת פרופילים של כלורופיל ושל פלואורסנציה מראים כי עומק הערבוב היה ככל הנראה גדול יותר, עמוק מ-500 מטר (כ-530 מטר, על פי פרופיל פלואורסנציה), זמן קצר לפני ההפלגה (15 בפברואר 2017). מכך נראה כי קירור מהיר בתחילת החורף גרם לערבוב עמוק וקצר בתחילת פברואר. בהפלגת חודש מרץ כבר היה גג התרמוקלינה בעומק של כ-460 מטרים (איור ד1). טמפרטורת פני הים הנמוכה ביותר נמדדה בחודש פברואר, 21.2 מעלות ובמים העמוקים היתה הטמפרטורה 21.1 מעלות.

הטמפרטורה המרבית אשר נמדדה בפני הים בתחנה A היתה 26.6 מעלות בחודש אוגוסט, יותר מחצי מעלה נמוך יותר מאשר בשנה הקודמת. בתחנת כלובי הדגים נמדדה בפני הים טמפרטורה מרבית של 25.7 מעלות בחודש אוגוסט, בשעת בוקר מוקדמת יותר מאשר בתחנה A. טמפרטורה זו נמוכה כמעלה שלמה מזו שנמדדה בשנה הקודמת.

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



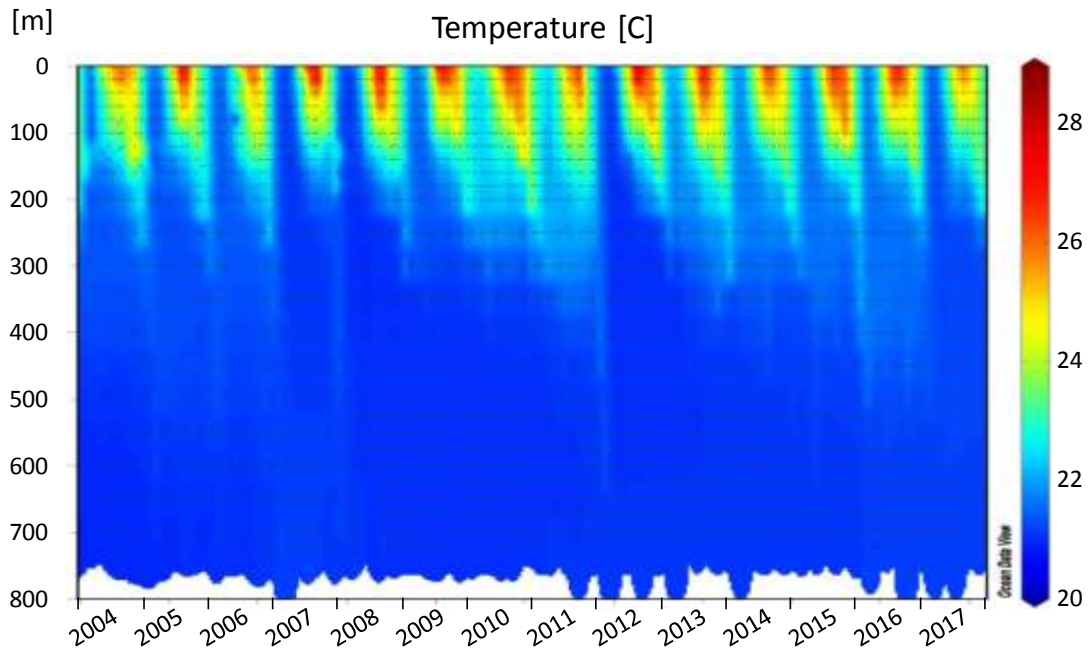
איור ד1: טמפרטורת עמודת המים כפי שנמדדה במכשיר ה-CTD בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה B היא הדרומית והעמוקה ביותר (>800 מ') ונדגמה השנה בחודשים מרץ ויולי. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים (>700 מ'), ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים.

**Figure D1: Temperature profiles measured using a CTD during the monthly monitoring cruises. Station B is the southernmost and deepest (>800m) and was sampled in March and October. 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.**

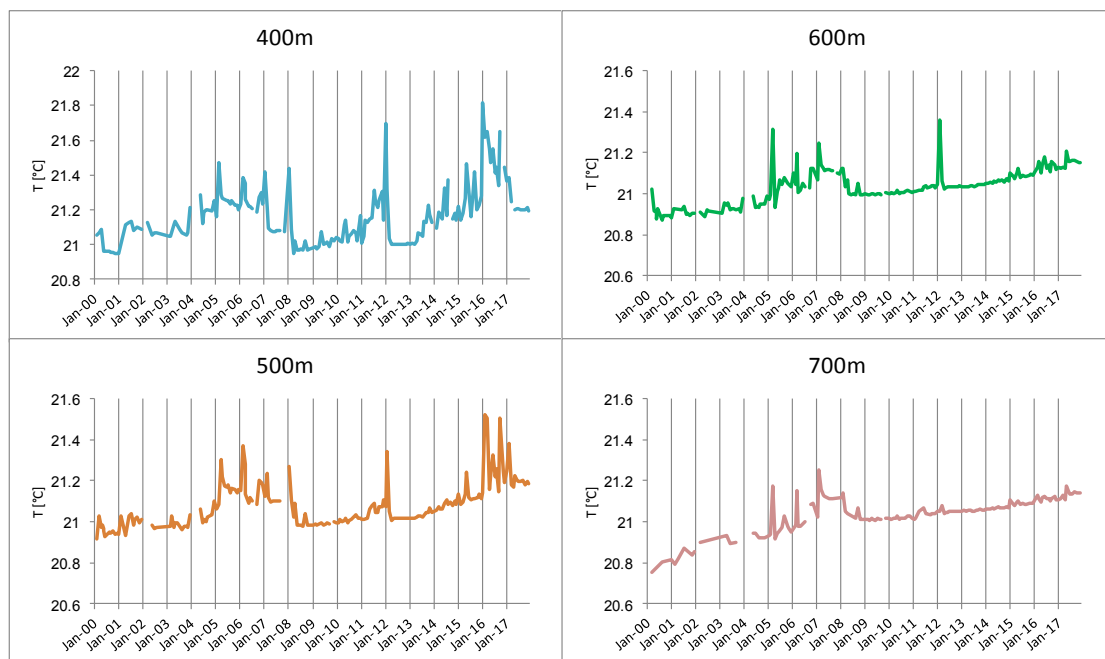
קירור המים בחודשי החורף הוא הגורם למחזורי הערבוב-שכוב האופייניים בעמודת המים. מחזוריות זו ניכרת היטב בכל שנות הניטור, כאשר השנים נבדלות במידת הקירור של פני הים וכך גם בעומק ומשך הערבוב. סיום הערבוב ותחילת השכוב נגרם ככל הנראה על ידי חדירת מים חמים יותר מדרום (Biton & Gildor, 2011).

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, ובשנתיים האחרונות היה ערבוב מוקדם לעומק בינוני של כ-500 מטרים, אשר נמשך זמן קצר בלבד. הערבוב השנה היה מעט עמוק יותר מאשר בשנה הקודמת, ובסך הכל טמפרטורת המים היתה נמוכה יותר לאורך כל השנה. במבט לטווח ארוך יותר, מאז שנת 2000 (נתונים הקודמים לתכנית הניטור נאספו במסגרת פרויקט "פארק השלום" ומובאים באדיבותם של הפרופ' י. ארז ופרופ' ב. לוז), נראה שמי העומק מוסיפים להתחמם גם לאחר הערבוב העמוק בשנת 2012. כתוצאה מהערבוב בשנתיים 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).





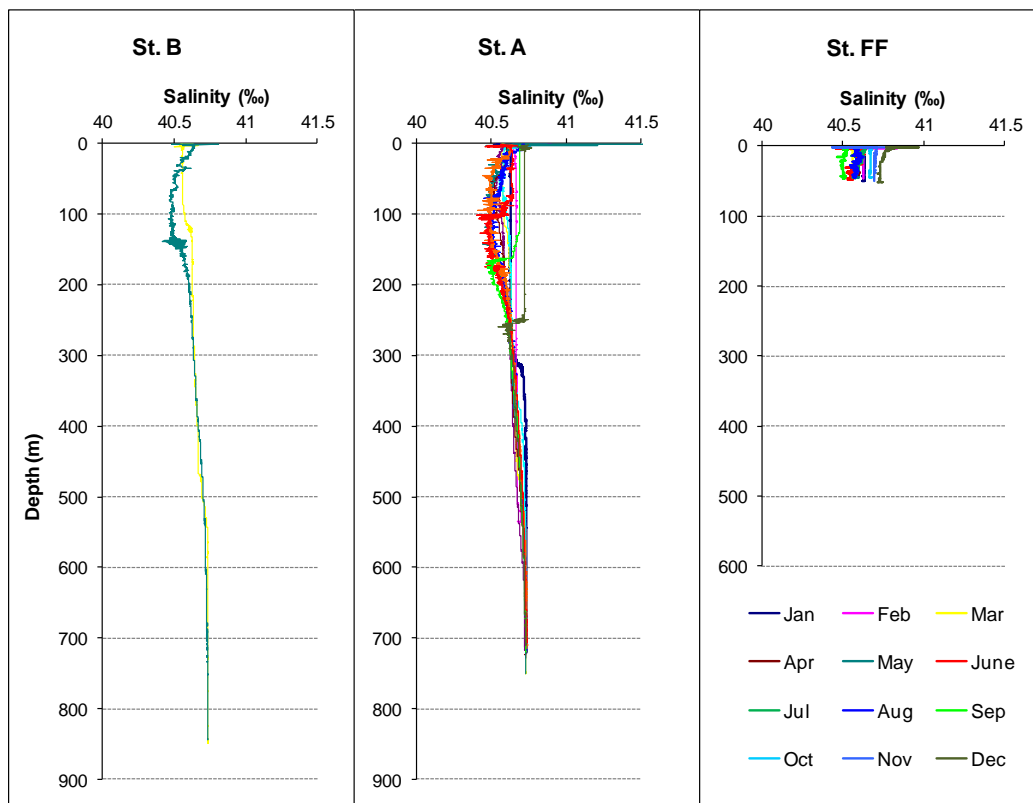
איור ד2: שינויי טמפרטורה בתחנה A מאז ינואר 2004. הנקודות השחורות מייצגות את עומק המדידה.  
**Figure D2: Changes in water temperature at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths.**



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

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

למדידות המליחות מחזור עונתי אופייני של היווצרות שכבת מים בעלת מליחות נמוכה יחסית בעומקים 200-250 מטרם בתקופה המשוכבת (איור 4ד). שכבת "המליחות המינימלית" בעמודת המים בתקופת השכוב נוצרת עקב חדירת מים בעלי מליחות נמוכה יחסית מדרום המפרץ בסביבות חודש יוני. לאחר מכן נכנסים למפרץ מים בעלי מליחות גבוהה יותר, אך חמים יותר ועל כן "קלים". בנוסף לזאת, אידוי בפני הים גורם לעליית המליחות במים העליונים בהשוואה לשכבת המים שמתחת. עם התערערות המבנה המשוכב בסוף הקיץ ותחילת הערבוב, גם מים אלה מתערבבים, ועומק "המליחות המינימלית" השאריתית גדל, עד שהשכבה נעלמת.

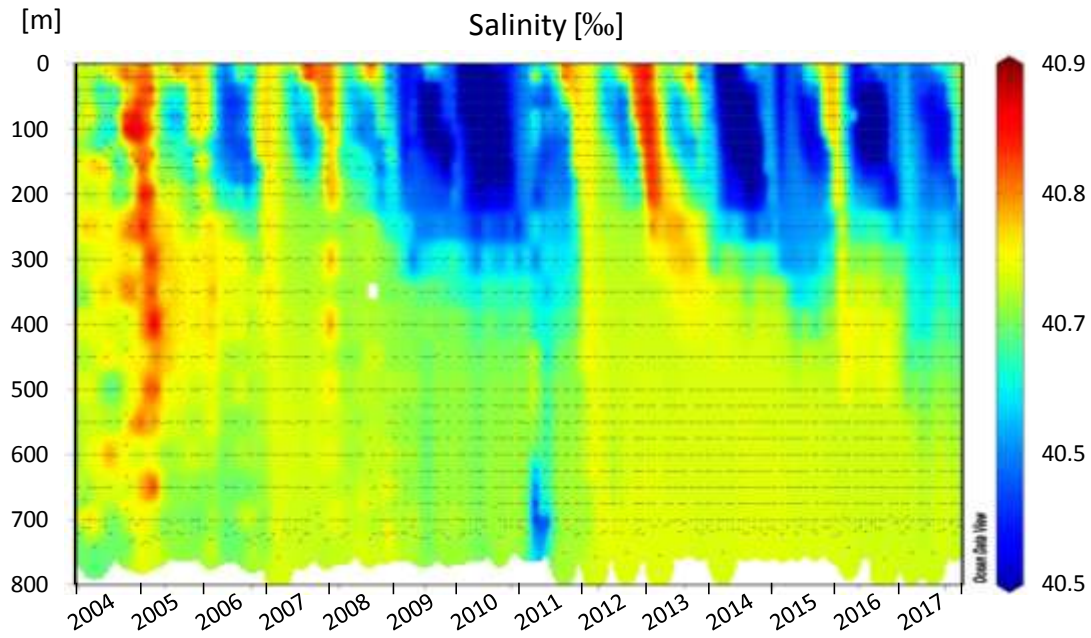


איור 4ד: מליחות בעמודת המים כפי שנמדדה במכשיר ה-CTD בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה B היא הדרומית והעמוקה ביותר (<800 מ') ונדגמה השנה בחודשים מרץ ואוקטובר. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים (<700 מ'), ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים.

**Figure D4: Salinity profiles measured using a CTD during the monthly monitoring cruises. Station B is the southernmost and deepest (>800m) and was sampled in March and October. 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, ואחר כך נמצאו

הפרשי מליחות קטנים יותר בשכבת המליחות המינימלית. בשנים האחרונות (2014-7) שוב נמדדה מליחות נמוכה בעמודת המים העליונה (איור 5ד). 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.



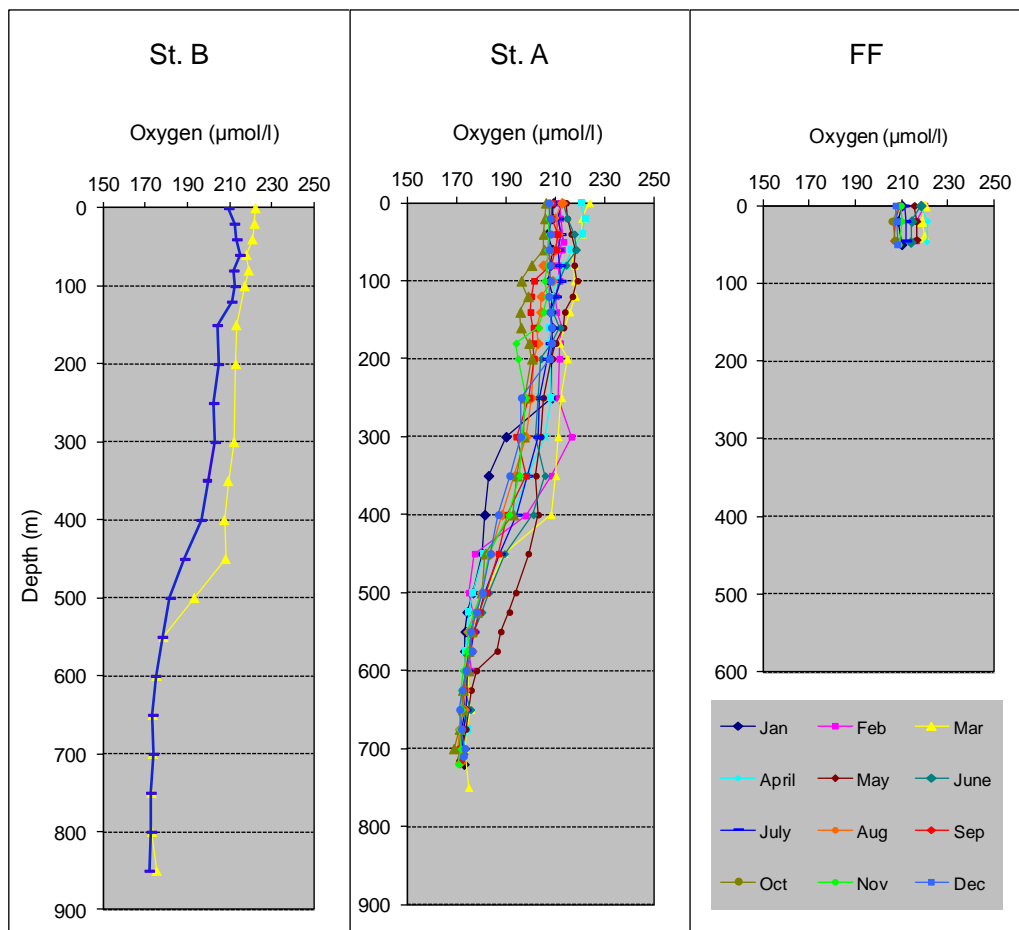
איור 5ד: שינויי מליחות בתחנה A מאז ינואר 2004. הנקודות השחורות מייצגות את עומק המדידה.  
**Figure D5: Changes in salinity at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths.**

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

### חמצן (O<sub>2</sub>)

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 עמוק מ-500 מטרים לזמן קצר בלבד, ועמודת המים אשר נדגמה בחודשים פברואר ומרץ בתחנה A "אווררה" לעומק של כ-400 מטרים, כאשר מי הים העמוקים מ-500 מטרים נותרו מנותקים מהאטמוספירה. פרופיל החמצן מתחנה B בחודש מרץ מצביע על כך כי שם עמודת המים "אווררה" לעומק של כ-450 מטרים (איור ד6). ריכוז החמצן המרבי בתחנה A נמדד גם השנה בחודש מרץ בפני הים, כ-224  $\mu\text{mol/l}$ . בעומק של 400 מטרים נמדד בחודש זה ריכוז חמצן של 208  $\mu\text{mol/l}$ , ובמים העמוקים היה ריכוז החמצן 175  $\mu\text{mol/l}$ . על אף שהערבוב השנה נגע בעמוקים גדולים מאשר בשנה הקודמת, היה זה כנראה קצר יותר וריכוזי החמצן קרוב לעומק הערבוב נותרו נמוכים השנה יותר מאשר בשנה הקודמת.

הריכוז המזערי שנמדד השנה בפני הים בתחנה A היה 206  $\mu\text{mol/l}$ , בחודש אוקטובר.



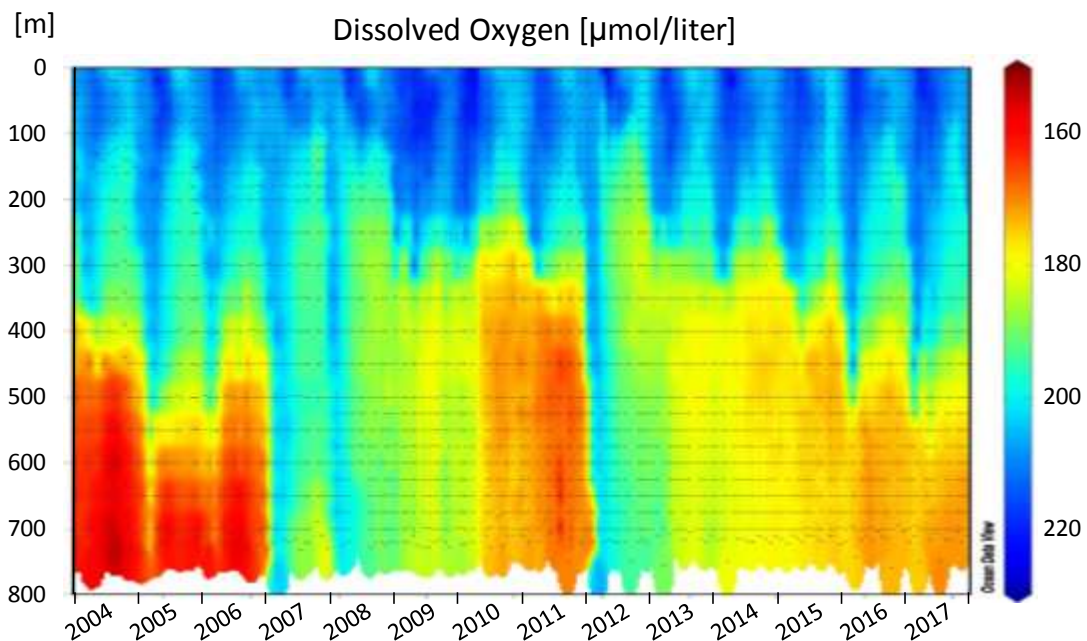
איור ד6: ריכוזי חמצן מומס בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה B היא הדרומית והעמוקה ביותר (<800 מ'), תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700 מטרים, ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים.

Figure D6: Dissolved oxygen concentration profiles measured during the monthly

**monitoring cruises. Station B is the southernmost and deepest (>800m), 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 2007-8 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 7ד).

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 בשנתיים 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, חמש שנים לאחר הערבוב העמוק של שנת 2017, ריכוז החמצן המומס בעומקים 600-700 מטרים עדיין נמוך מזה של שנת 2011, שלוש שנים בלבד לאחר הערבוב של שנת 2008.

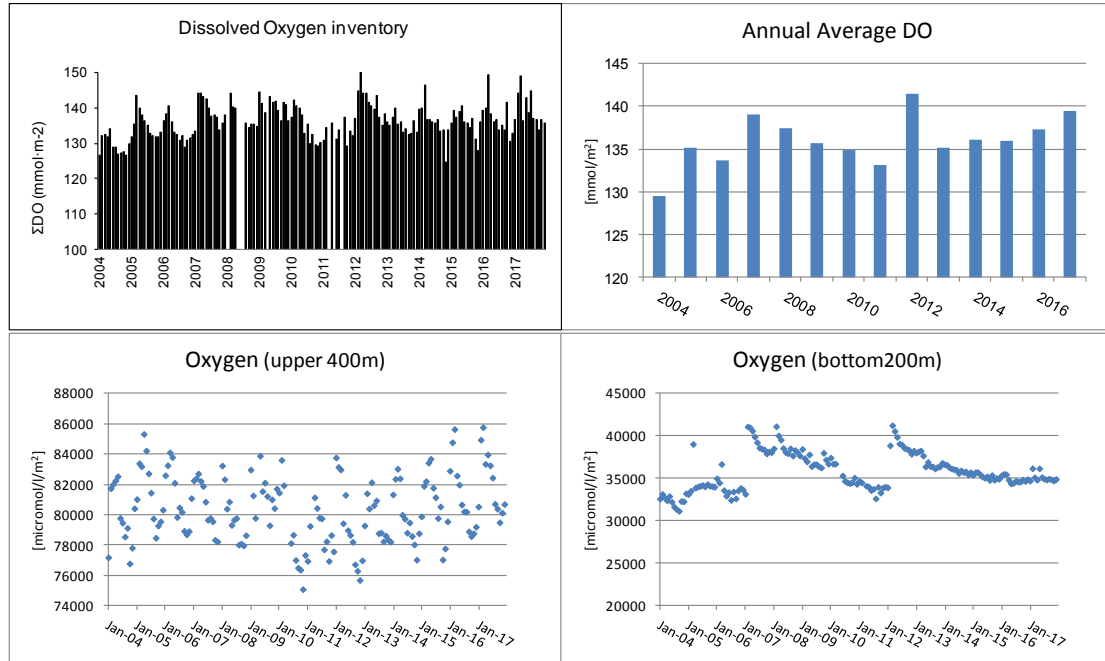


**איור 7ד: שינויים בריכוזי החמצן המומס בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. הנקודות השחורות מייצגות את עומק המדידה.**

**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. בשנתיים האחרונות, בעקבות ההתקררות המהירה של תחילת החורף והעמקת הערבוב המהירה עלה מאגר החמצן המומס בעמודת המים בחודשי החורף, ובסך הכל ניכרת עליה במאגר החמצן השנתי. בחמש השנים שלאחר הערבוב העמוק של שנת 2012 לא מתועדת ירידה מתמשכת במאגרי החמצן המומס, כפי שהיה לאחר הערבוב העמוק בשנת 2007, ובשנתיים האחרונות הערבוב עמוק דיו כדי להעלות את הערך השנתי הממוצע (איור ד8).

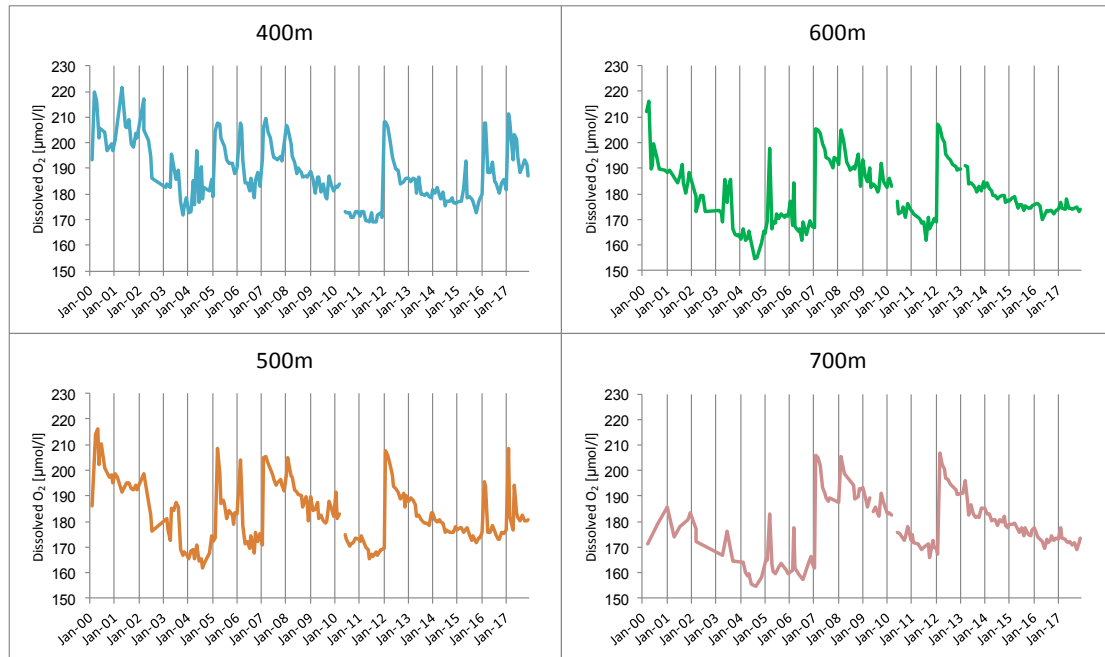


איור ד8: שינויים במאגר החמצן המומס בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. למעלה: סך המאגר במדידות חודשיות (משמאל) וממוצע שנתי (מימין). למטה: המאגר ב-400 מטרים העליונים (משמאל) ובמים העמוקים (מימין).

**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  $155 \mu\text{mol/l}$  ושנתיים של ערבוב עמוק בשנים 2007-8 העלו את ריכוזי החמצן בכל העומקים, לערך מרבי של  $206 \mu\text{mol/l}$ . בשנים 2009-2011 שוב ירדו ריכוזי החמצן במים העמוקים, בהעדר ערבוב עמוק.

ערבוב עמוק בשנת 2012 הביא לעליית ריכוז החמצן במים העמוקים עד לערכים דומים לאלה של 2007-8. השנה, חמש שנים לאחר הערבוב העמוק בהן ריכוז החמצן במים העמוקים ירד בהדרגה, הגיע ריכוז החמצן המומס המזערי בעומק 700 מטרים ל-  $169 \mu\text{mol/l}$  (איור ד9).



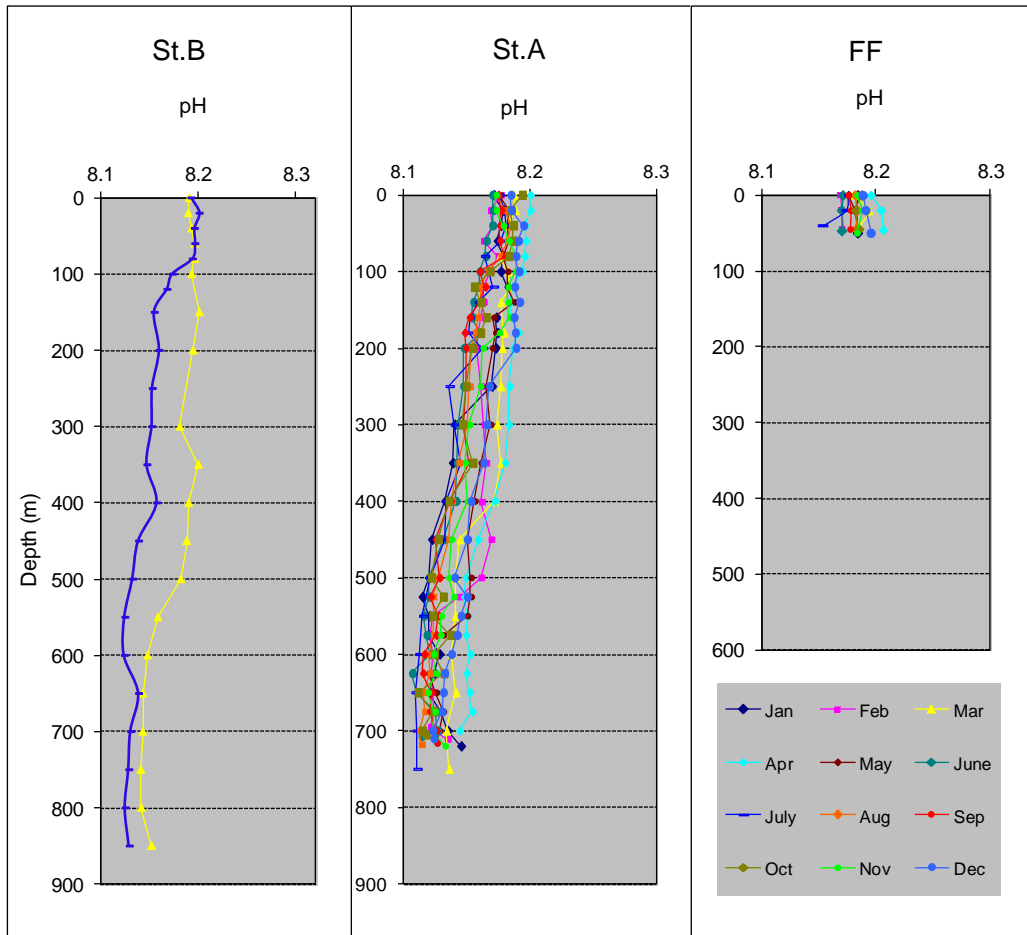
**איור ד9: שינויים בריכוזי החמצן המומס בעמקים 400 עד 700 מטרים בתחנה A מאז שנת 2000.**  
**Figure D9: Changes in dissolved oxygen concentrations in 400m to 700m water depth at Station A, since 2000.**

ערך הגבה (רמת חומציות המים, pH)

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.

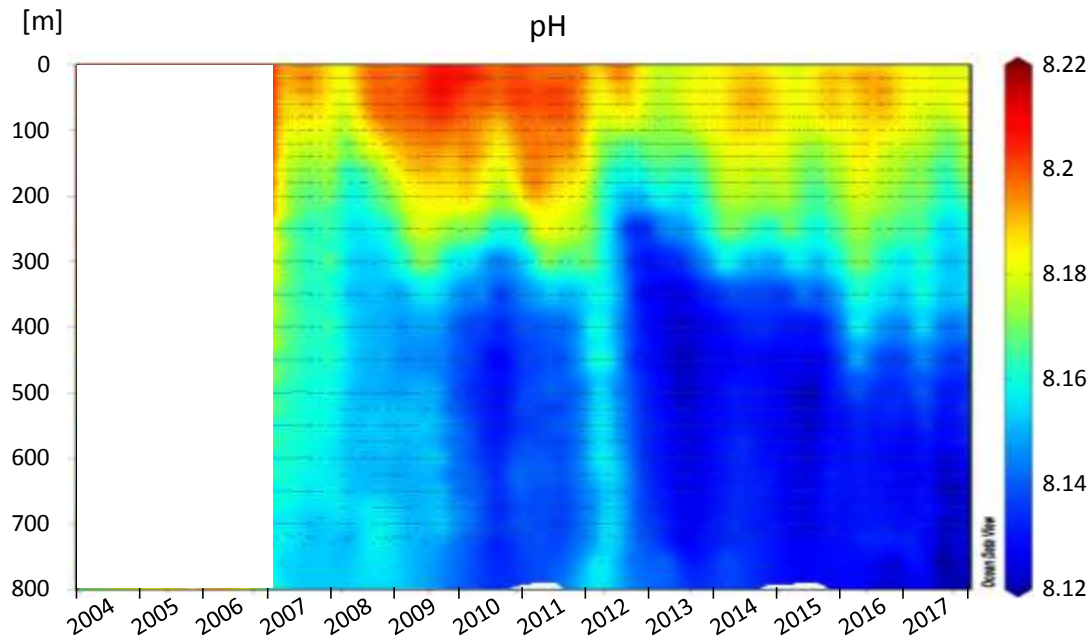
**[תזכורת: במהלך שנת הניטור 2006 נמצאה הטייה של ערכי ה-pH הנמדדים לעבר ערכים גבוהים מדי, עקב התיישנות תמיסות הכיול. נערך בירור אשר במהלכו זוהה תאריך תחילת הבעיה (אוקטובר 2003), ולפיכך הכרונו בלוח 2007 על אי קבילותן של מדידות ה-pH מאותו תאריך ועד להחלפת התמיסות הבעייתיות ותיקון הבעיה בנובמבר 2006.]**

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 השנה (8.200) נמדדו בחודש אפריל, בקרבת פני הים (איור ד10). ערך זה נמוך מעט מהערך המרבי של השנה הקודמת (8.211). ערך הגבה במים העמוקים עולה כתוצאה מערבוב עמודת המים ויורד בשנים בהן הערבוב רדוד. באופן כללי היו השנה ערכי הגבה במים העליונים גבוהים מעט מזה של השנים האחרונות (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, והוסיף לעלות גם השנה. גם כאן ניתן לראות שהשינויים בערך הגבה בעמודת המים במחזור הערבוב 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 B היא הדרומית והעמוקה ביותר (<800 מ') ונדגמה השנה בחודשים מרץ ואוקטובר. 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 B is the southernmost and deepest (>800m), and was sampled in March and October. 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.



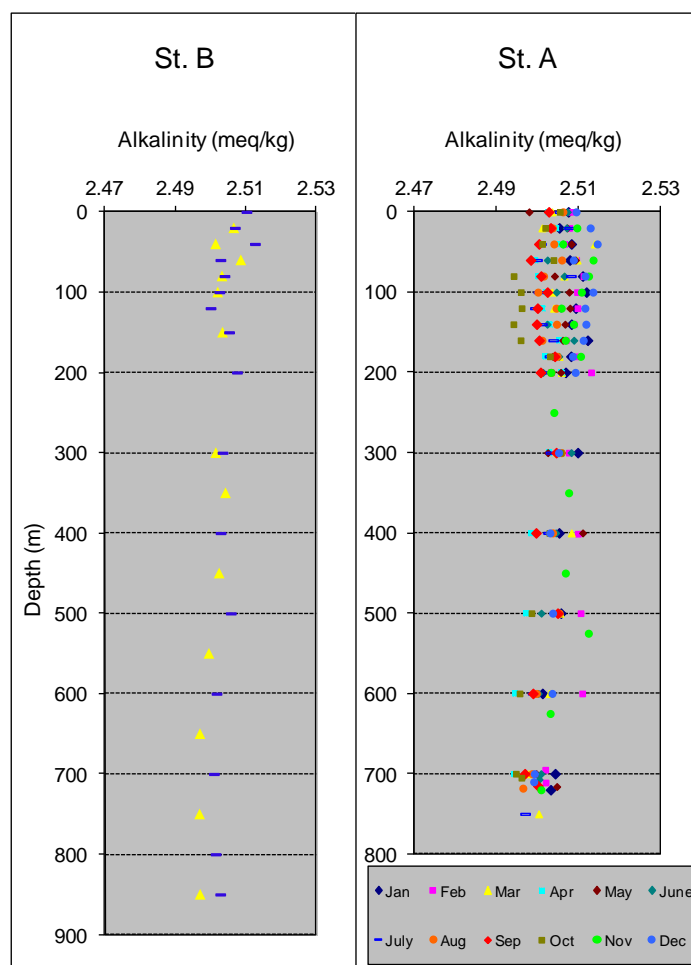


איור 11: שינויים ברמת החומציות בעמודת המים בתחנה A מאז נובמבר 2006. הנקודות השחורות מייצגות את עומק המדידה.

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

#### אלקליניות

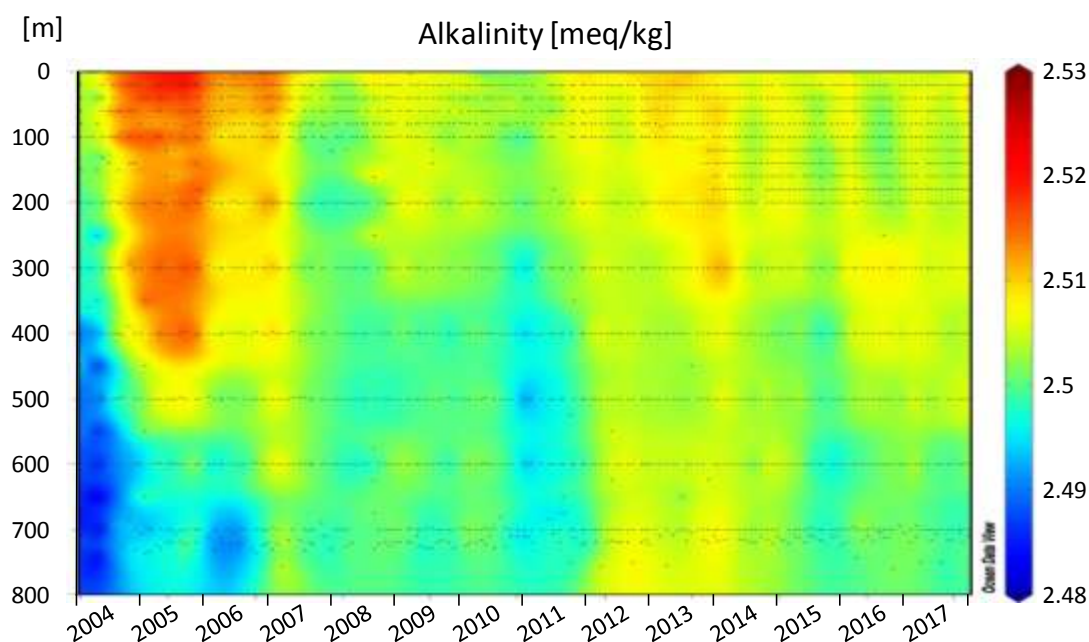
האלקליניות היא מדד לריכוז החומצות החלשות במים, ובעיקר לריכוז יוני הקרבונט והביקרבונט ( $\text{CO}_3^{2-}$  ו- $\text{HCO}_3^-$  בהתאמה). טווח הערכים במדידות האלקליניות קטן מאד, הן בשינויים העונתיים והן בין העומקים (איור 12). ערכים נמוכים יחסית של אלקליניות במים העמוקים נרשמים לאחר הקיץ, וערכים גבוהים יותר בחודשי הערבוב. בחודשי הקיץ האלקליניות במים העליונים נמוכה מעט מאשר במים התחתונים, ובחודשי האביב גבוהה מעט יותר. הערך המרבי שנמדד השנה היה  $2.5148 \text{ meq/kg}$ , בחודש דצמבר בעומק של 40 מטרים, מעט נמוך מזה של השנה הקודמת.



איור ד12: ערכי אלקליניות בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה B היא הדרומית והעמוקה ביותר (<800 מ'), ונדגמה השנה בחודשים מרץ ואוקטובר. 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 B is the southernmost and deepest (>800m) and was sampled in March and October. Station A is on the Israeli/Jordanian/Egyptian border at ca. 700 meters depth.**

שינויים באלקליניות אינם מונעים רק על ידי מהזורי הערבוב. בשנים 2004-2006 נמדדה האלקליניות 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).

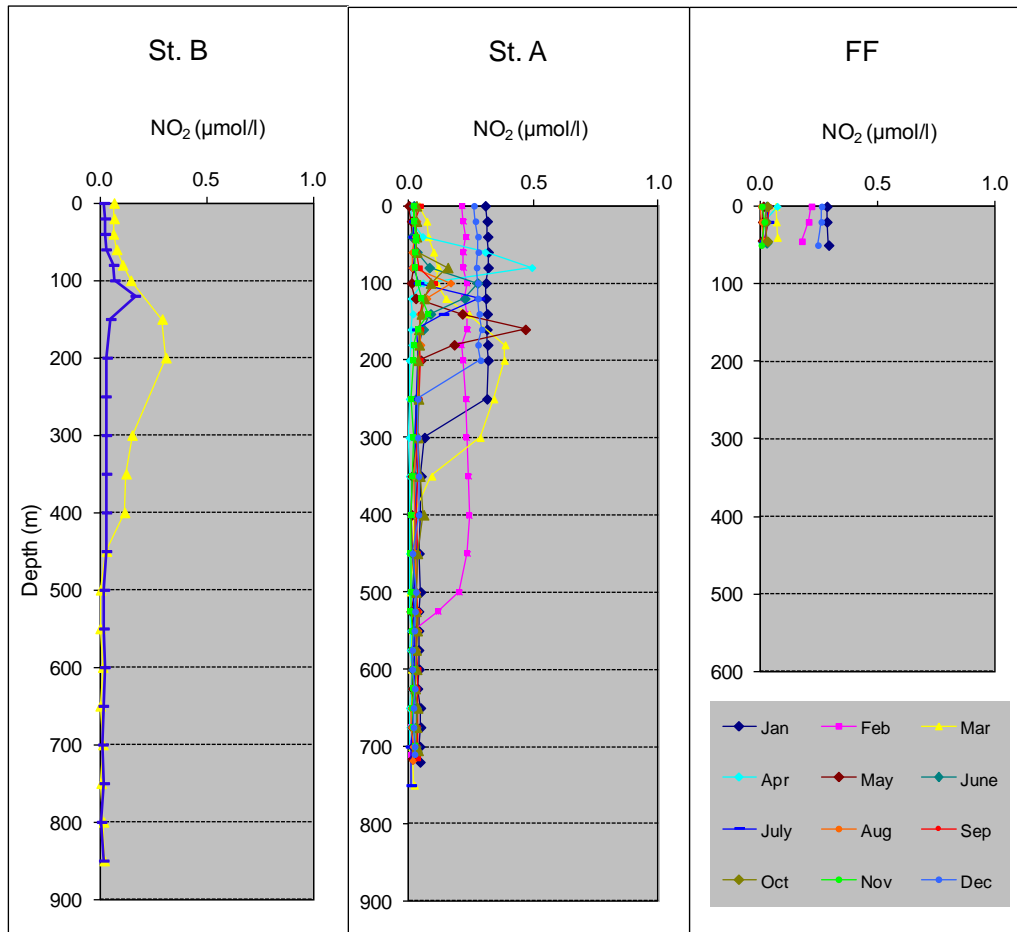


איור 13: שינויי אלקליניות בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. הנקודות השחורות מייצגות את עומק המדידה.

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

#### ניטריט ( $\text{NO}_2^-$ ) וניטראט ( $\text{NO}_3^-$ )

ניטריט נצרך הן על ידי פיטופלנקטון באזור הפוטי (המואר) והן על-ידי בקטריות וארכיאה המחמצנים אותו לניטראט בתהליך הניטריפיקציה המתרחש בכל עמודת המים, ועל כן ריכוזי הניטריט במים נמוכים מאד. ניטריט יכול להיווצר גם על ידי דניטריפיקציה, חיזור ניטראט על ידי חיידקים אנאירובים, אולם תהליך זה פחות סביר במי המפרץ המחומצנים. יתכן שדניטריפיקציה מתרחשת בסדימנט. עקב היותו צורון מעבר בריכוזים נמוכים, נוכחותו מהווה אינדיקציה טובה לעומק הערבוב. ריכוזי הניטריט גבוהים יחסית בתקופת הערבוב בחורף, ועם תחילת השכוב נוצר בין העומקים 100 ו-300 מ' (מתחת לשכבה הפוטית) אזור בו ריכוז הניטריט גבוה יחסית. באזור זה מתרחשים תהליכי פרוק חומר אורגאני וחמצון בקטריאלי של אמוניה. ככל שעמודת המים מתייצבת, מאגר הניטריט באזור זה קטן והולך. כבר בחודש ינואר השנה נמדדו ריכוזי ניטריט גבוהים עד לעומק של כ- 250 מטרים בחודש זה, ובחודש פברואר נמדדו ריכוזי ניטריט פחות או יותר אחידים, אם כי נמוכים יותר, עד לעומק של כ- 500 מטרים. שכבה של ריכוז ניטריט גבוה התפתחה בחודש מרץ והלכה והצטמצמה בחודשים שלאחר מכן (איור 14). ריכוז הניטריט המרבי בתחנה A נמדד השנה בחודש אפריל ( $0.494 \mu\text{mol/l}$ ) והיה גבוה מריכוז הניטריט המרבי בשנה הקודמת.



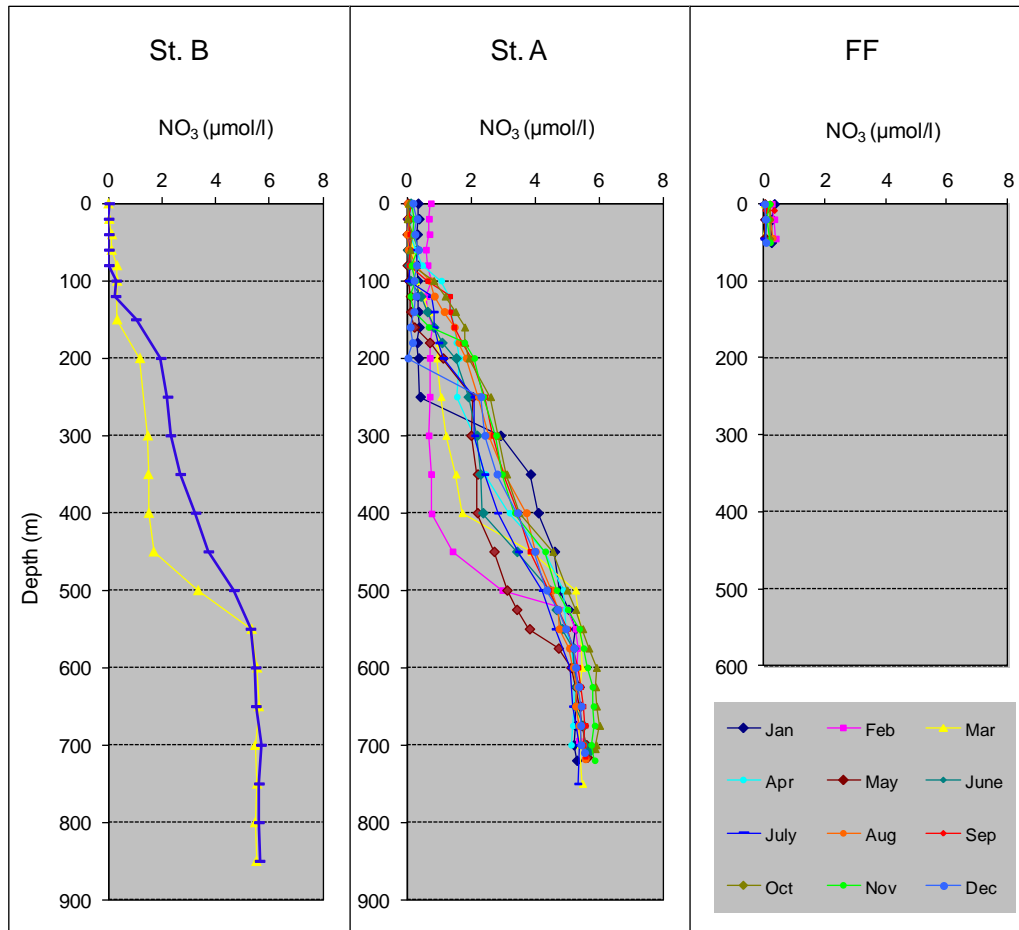
**איור 14:** ריכוזי ניטריט ( $\text{NO}_2$ ) בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה B היא הדרומית והעמוקה ביותר (<800 מ') ונדגמה השנה בחודשים מרץ ואוקטובר. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700 מטרים, ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים.

**Figure D14:** Nitrite ( $\text{NO}_2$ ) concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Station B is the southernmost and deepest (>800m) and was sampled in March and October. 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 המהומצן 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 בתחילת החורף השנה היה קצר ועמוק יחסית. פרופיל הניטראט בחודש פברואר בתחנה A מראה ריכוזי ניטראט אחידים עד לעומק של כ-400 מטרים וכמוקלינה שבסיסה בעומק גדול מ-500 מטרים (איור 15). פרופיל חודש מרץ מתחנה B מראה ריכוזים אחידים עד לעומק של כ-450 מטרים. ריכוזי הניטריט האחידים לעומק של כ-500 מטרים (מקורם במים העליונים) וריכוזי ניטראט אחידים לעומק של כ-400 מטרים בלבד (מקורם במים עמוקים) מצביעים על כך שהערבוב היה קצר וצריכת הניטראט במים העליונים מנעה עליה בריכוזו. ריכוז הניטראט המרבי במים העליונים בחודש פברואר היה  $0.748 \mu\text{mol/l}$ , גבוה מעט מאשר בשנה הקודמת. לשם השוואה, בשנת 2014 בה היה הערבוב רדוד במיוחד נמדד במים העליונים ריכוז ניטראט מרבי

של  $0.12\mu\text{mol/l}$  בלבד ובשנת 2012, בה היה הערבוב עמוק, נמדד בפני הים בחודש מרץ ריכוז ניטראט של  $2.158\mu\text{mol/l}$ .  
 במים העמוקים היה ריכוז הניטראט השנה  $\sim 6\mu\text{mol/l}$  דומה לזה של השנה הקודמת ומעט גבוה בהשוואה לשנים האחרונות.

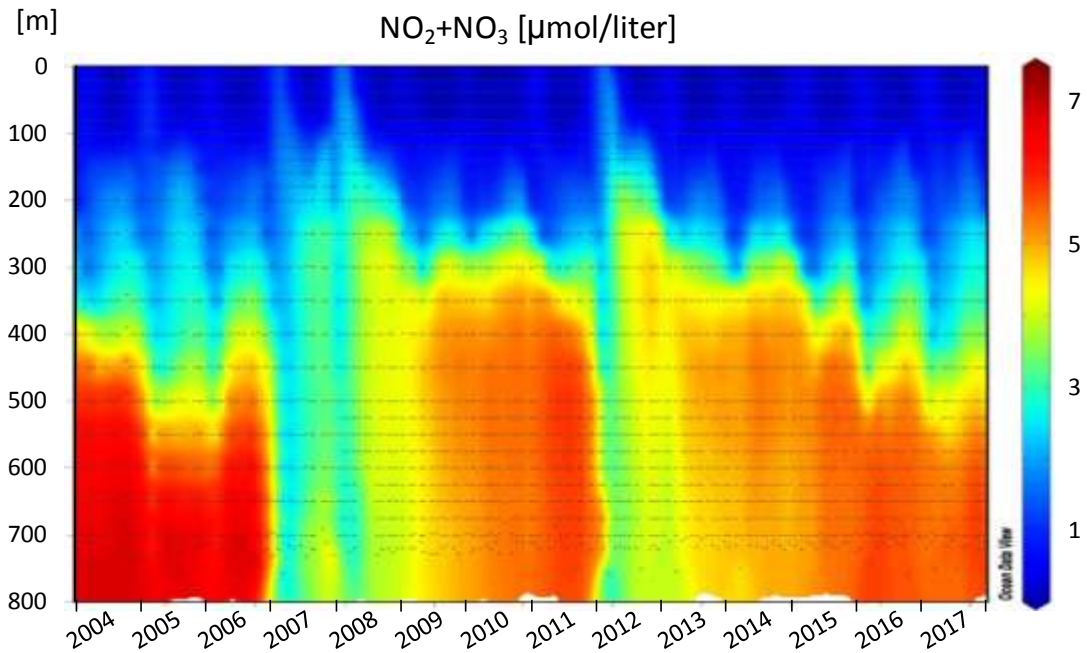


**איור D15: ריכוזי ניטראט ( $\text{NO}_3^-$ ) בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה B היא הדרומית והעמוקה ביותר (<800 מ') ונדגמה השנה בחודשים מרץ ואוקטובר. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700 מטרים, ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים. Figure D15: Nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Station B is the southernmost and deepest (>800m) and was sampled in March and October. 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 (2007-8) 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 ריכוזי הניטראט והחנקן המחומצן בכלל במים העמוקים במידה ניכרת. מאז תחילת השכוב בשנת 2012 ריכוזי החנקן במים העמוקים ובמי הביניים נמצאו במגמת עליה, אולם זו איטית במידה ניכרת ממה שנראה במחזורים הקודמים. חמש שנים לאחר הערבוב העמוק של שנת 2012 ריכוזי החנקן סמוך לקרקעית דומים לאלה שנמדדו בשנת 2011, שלוש שנים לאחר

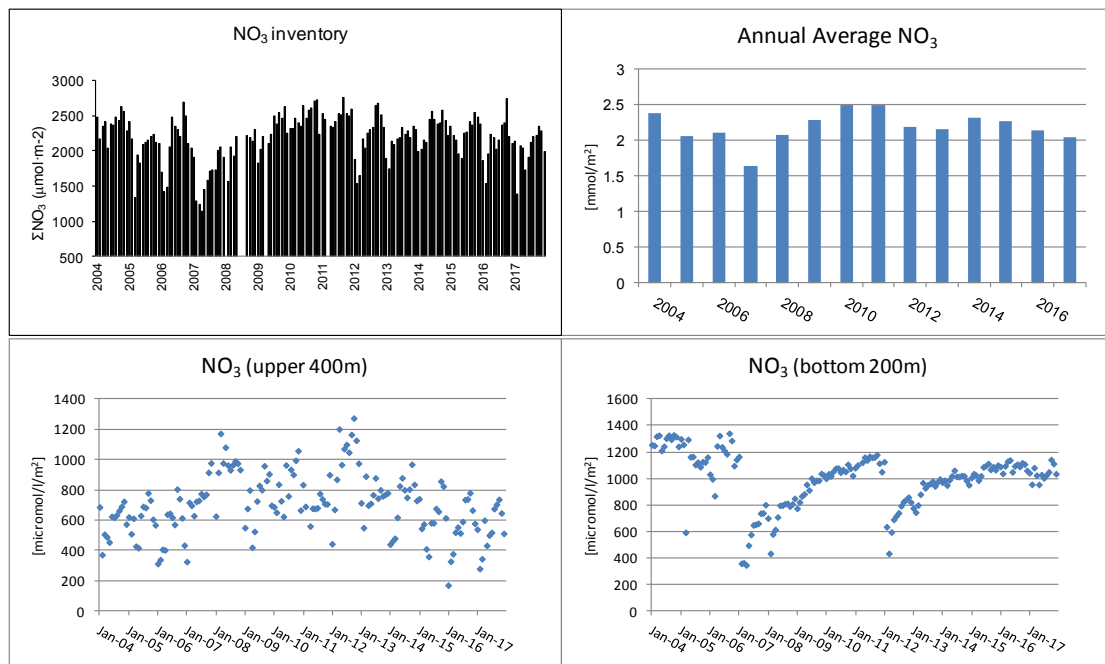
הערבוב העמוק של שנת 2008 ונמוכים בהרבה מאלה של השנים 2004-6 (איור 16ד).



איור 16ד: שינויים בריכוז החנקן המחומצן ( $\text{TON} = \text{NO}_3 + \text{NO}_2$ ) בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. הנקודות השחורות מייצגות את עומק המדידה.

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

מאגר הניטראט בעמודת המים מאז 2004 מראה עליה בכמות החנקן בעמודת המים בין השנים 2008-11, אך מאז הערבוב העמוק של שנת 2012 השינויים במאגר הניטראט קטנים יותר. מאגר הניטראט הממוצע המחושב השנה נמוך מעט מאשר בשנה הקודמת, ובשנים שלאחר 2012 מאגר הניטראט השנתי הממוצע נמוך משהיה בשנים 2010-11 (איור 17ד).

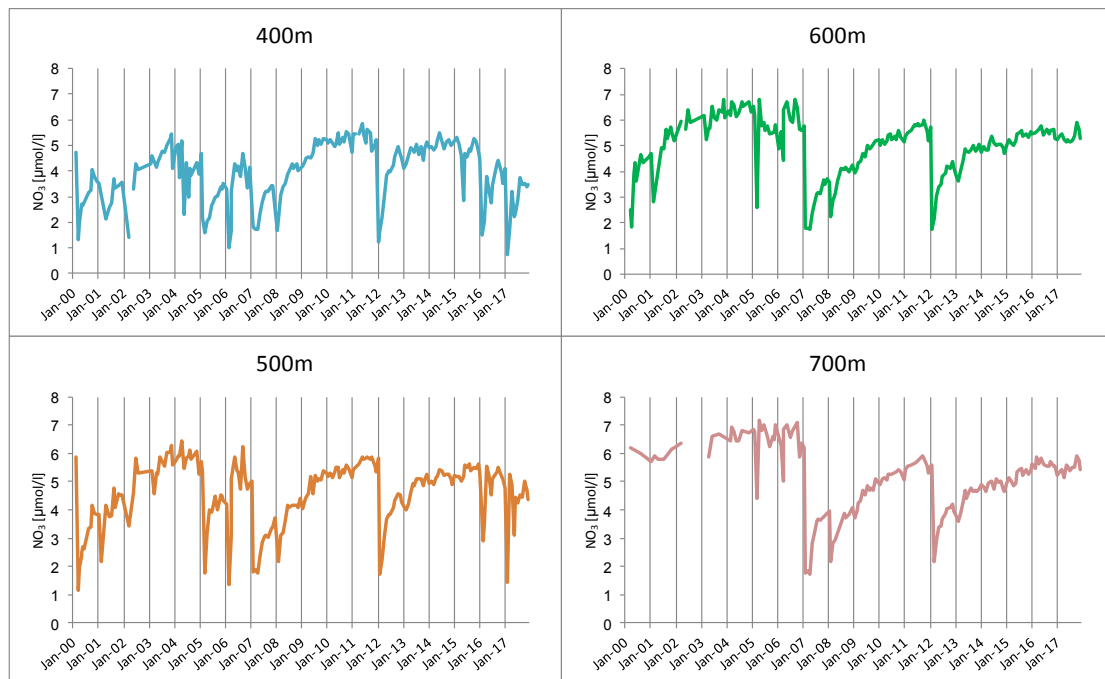


איור 17ד: שינויים במאגר הניטראט ( $\text{NO}_3$ ) בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. למעלה: סך המאגר

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

**Figure D17: Changes in the nitrate (NO<sub>3</sub>) 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 18). 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  $\mu\text{mol/l}$ ) וכמעט קבועים. גם בעומק 600 מטרים, המושפע יותר מהערבוב העונתי, נמצאו בשנים 2003-7 שינויים קטנים וחזרה מהירה לריכוזים גבוהים (6.4-6.8  $\mu\text{mol/l}$ ). ערבוב עמודת המים בתקופת החורף מוריד את ריכוז הניטראט בעומק אליו מגיע הערבוב, אולם החזרה לערכים קודמים היתה מהירה. הערבוב העמוק בשנת 2007 הוריד משמעותית את ריכוזי הניטראט בעומק (ערך מינימום בתקופה זו כ-1.7  $\mu\text{mol/l}$  בעומק 700 מטר), והעלייה שאחריו היתה איטית יותר: בסוף 2007 ריכוז הניטראט בעומק 700 מטרים היה כ-3.9  $\mu\text{mol/l}$ . בשלוש השנים 2009-2011 כלל לא הגיע הערבוב למים העמוקים וריכוזי הניטראט הוסיפו לעלות בכל העומקים הגדולים מ-400 מטרים. ריכוז הניטראט בסתיו 2011 היה 5.9  $\mu\text{mol/l}$  בעומק 700 מטרים ו-6.0  $\mu\text{mol/l}$  בעומק 600 מטרים – נמוך מהערכים של לפני שנת 2007. הערבוב העמוק בשנת 2012 הוריד את הריכוזים בכל העומקים (2.16  $\mu\text{mol/l}$  בעומק 700 מ' במרץ 2012) וריכוזי החנקן המרבי אשר נמדד השנה בעומק זה, חמש שנים לאחר הערבוב, עמד על 5.91  $\mu\text{mol/l}$ , דומה לריכוז בשנת 2011 (5.93  $\mu\text{mol/l}$ ). לשם השוואה, בשנת 2006 נמדד ריכוז של 7.09  $\mu\text{mol/l}$ .

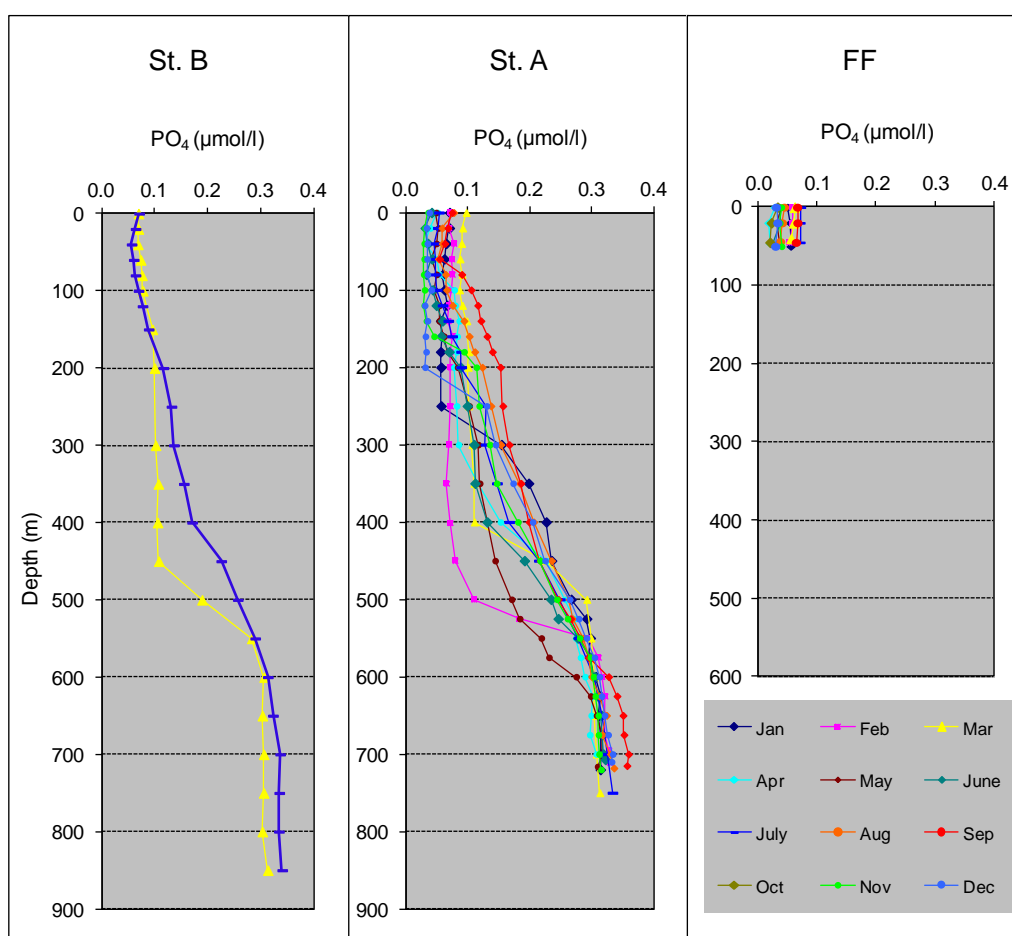


**איור 18: שינויים בריכוזי הניטראט בעומקים (400 עד 700 מטר) בתחנה A מאז ינואר 2000. נתונים הקודמים לתכנית הניטור נאספו במסגרת פרויקט "פארק השלום" ומובאים באדיבותם של הפרופ' י. ארז והפרופ' ב. לזר.**

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

## פוספט

בדומה לנוטריינטים אחרים, ריכוזי הפוספט בעמודת המים נמוכים בקרבת פני הים וגבוהים יותר בעומק (איור 19). 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  $0.098 \mu\text{mol/l}$  בחודש מרץ, מעט גבוה מהערך המרבי של השנה הקודמת. במים העמוקים היה ריכוז הפוספט סביב  $0.34 \mu\text{mol/l}$ , בדומה לשנה הקודמת, עם ערך מרבי של  $0.360 \mu\text{mol/l}$  בחודש ספטמבר בעומק 700 מטר.

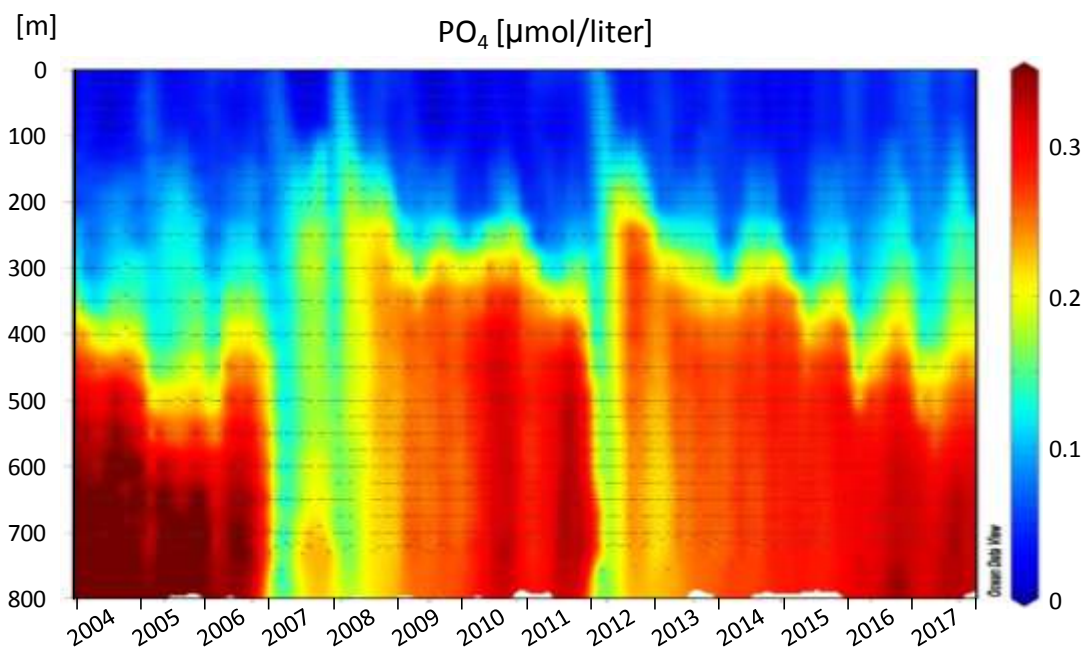


**איור 19: ריכוזי פוספט ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה B היא הדרומית והעמוקה ביותר (<math>800\text{m}</math>) ונדגמה השנה בחודשים מרץ ואוקטובר. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700 מטרים, ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים. Figure D19: Phosphate ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Station B is the southernmost and deepest (>800m) and was sampled in March and October. 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 ( $0.36\text{-}0.4 \mu\text{mol/l}$ ) בחודשי הסתיו בשנים 2004-6, ובעקבות הערבוב העמוק בשנת 2007 ואחר כך שוב בשנת 2008 ירדו ריכוזי הפוספט בעמודת המים, ובפרט במים העמוקים, באופן משמעותי. בשלוש השנים שלאחר מכן עלה ריכוז הפוספט במים העמוקים



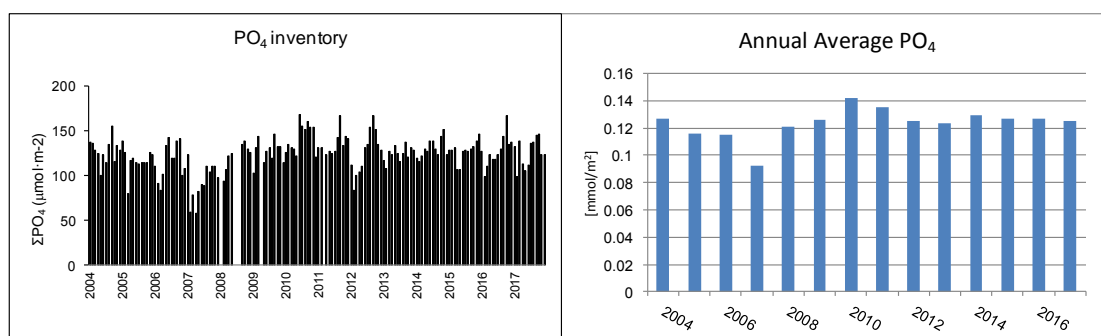
בהדרגה עד לערך של  $0.35 \mu\text{mol/l}$  בסוף שנת 2011. הערבוב העמוק בשנת 2012 שוב גרם לירידת ריכוזי הפוספט במים העמוקים, ומאז ריכוזי הפוספט במי הביניים ובמים העמוקים עולים בהדרגה. השנה, חמש שנים לאחר הערבוב, הגיע, כאמור, ריכוז הפוספט המרבי במים העמוקים בתחנה A ל-  $\mu\text{mol/l}$  0.36. כך, גם סדרת הזמן של ריכוזי הפוספט מראה כי בשני המחזורים האחרונים שלאחר ערבוב עמוק ריכוזי נוטריינטים במי העומק עולים לאט יותר מאשר בשנות הניטור הראשונות (איור ד20).

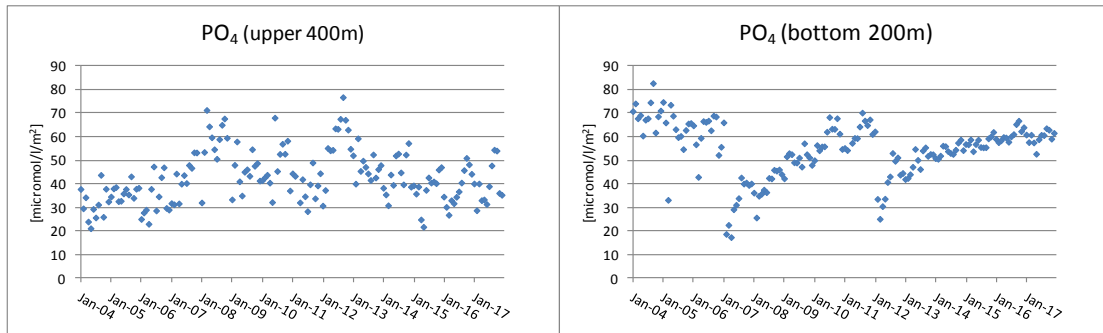


איור ד20: שינויים בריכוז הפוספט בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. הנקודות השחורות מייצגות את עומק המדידה.

**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, בארבע השנים האחרונות אם כי הערבוב לעומק 500 מטרים בשנתיים האחרונות גרם לירידה במאגר הפוספט המחושב בחודשים פברואר ומרץ (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.



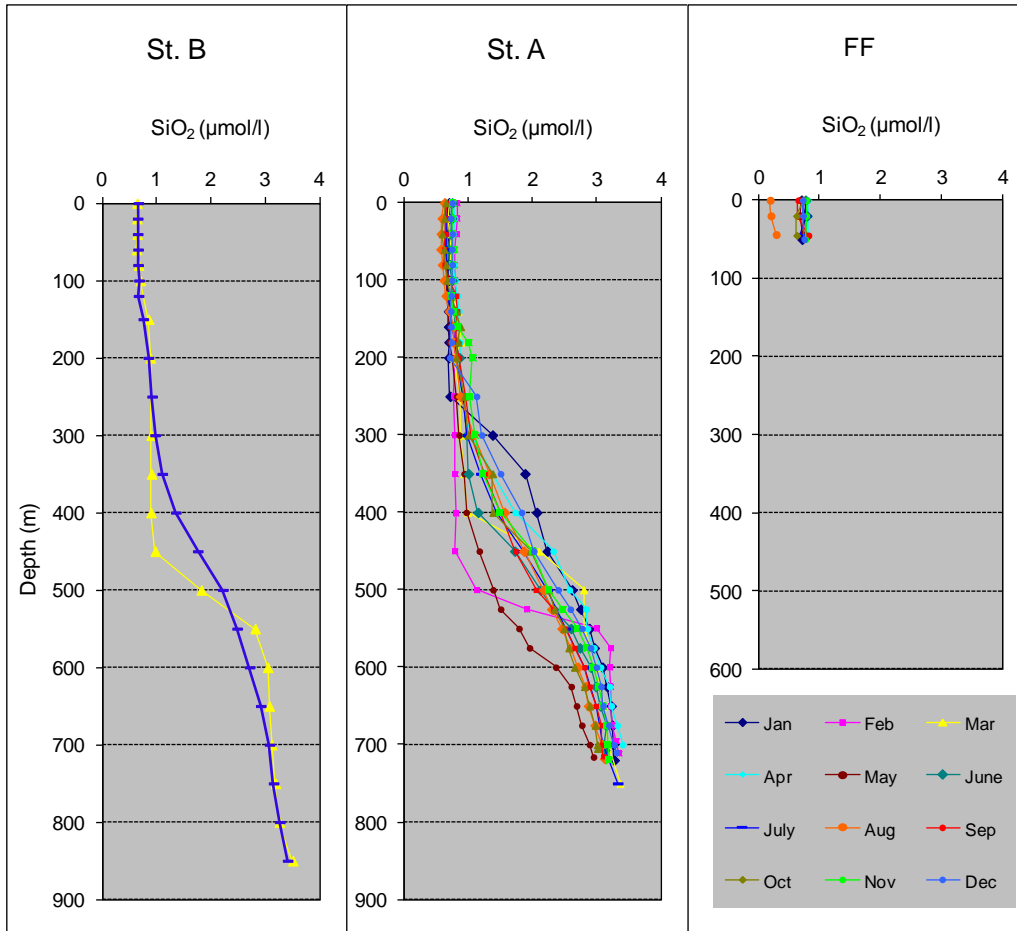


איור ד21: שינויים במאגר הפוספט בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. למעלה: סך המאגר במדידות חודשיות (משמאל) וממוצע שנתי (מימין). למטה: המאגר ב-400 המטרים העליונים (משמאל) ובמים העמוקים (מימין).

**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).**

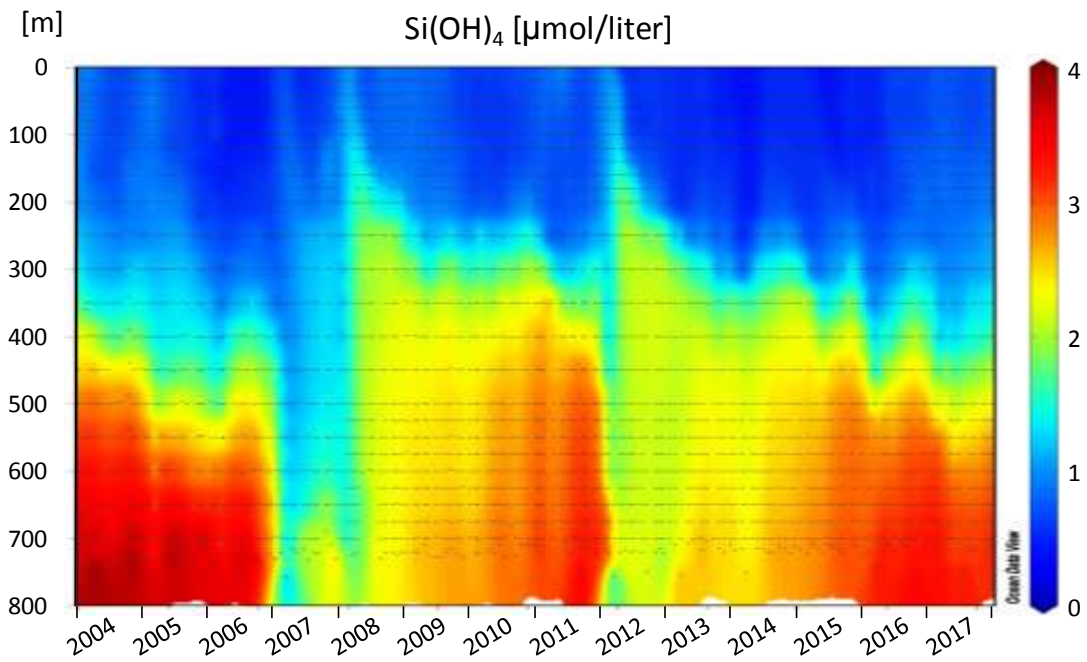
### סיליקה

ריכוזי הסיליקה בפני הים בתחנה A היו השנה מעט גבוהים ( $0.63\text{--}0.83\mu\text{mol/l}$ ) בהשוואה לשנים האחרונות, עקב הערבוב העמוק יותר. בשנת 2012 נמדד בפני הים ריכוז סיליקה של  $1.293\mu\text{mol/l}$ . במים העמוקים (700 מטרים) נעו ריכוזי הסיליקה בטווח שבין  $2.89\mu\text{mol/l}$  (בחודש מאי) ל- $3.40\mu\text{mol/l}$  (באפריל). 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 ( $\text{Si(OH)}_4$ ) בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה B היא הדרומית והעמוקה ביותר (<800 מ') ונדגמה השנה בחודשים מרץ ואוקטובר. 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 ( $\text{Si(OH)}_4$ ) concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Station B is the southernmost and deepest (>800m) and was sampled in March and October/ 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.**

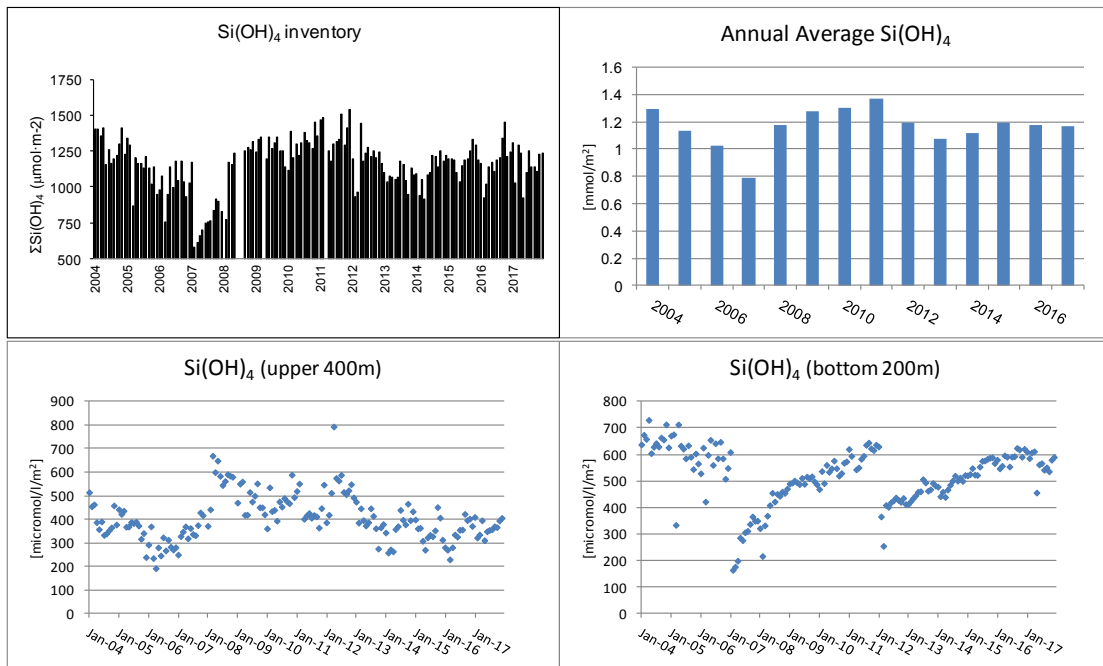
מחזורי הערבוב העמוק ניכרים בעליית ריכוזי סיליקה במים הרדודים בחורפים של ערבוב עמוק וירידה מתמשכת בשנים של ערבוב רדוד, ותמונה הפוכה במים העמוקים (איור ד23). גם בסיליקה, כמו בנוטריינטים אחרים, ניכרים שלושה מחזורים רב-שנתיים הקשורים לערבוב עמודת המים, כאשר במחזור האחרון (לאחר הערבוב העמוק בשנת 2012) ריכוזי הסיליקה במים העמוקים נותרים נמוכים משהיו לאחר אירועי הערבוב העמוק הקודמים.



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.**

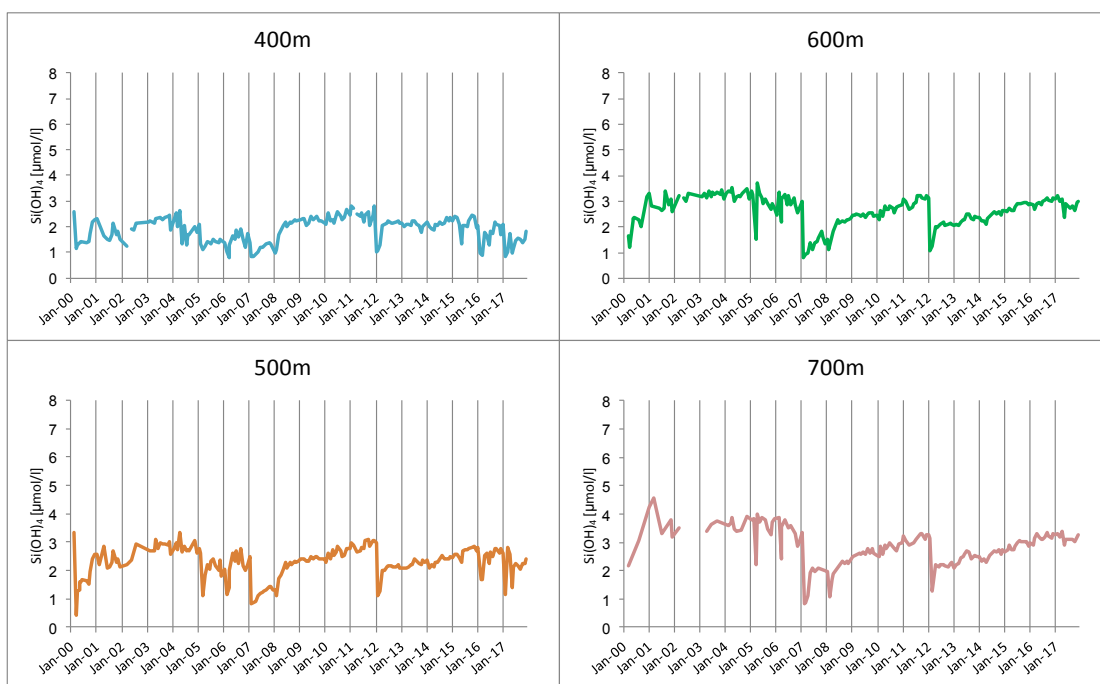
מאגר הסיליקה בעמודת המים הגיע לערכים נמוכים ביותר בשנת 2007, אז העלה הערבוב סיליקה לאזור הפוטי והזין פריחת אצות צורנית. בשנים שלאחר מכן עלתה כמות הסיליקה המומסת במים עד שירדה שוב בחורף 2012, אם כי במידה פחותה – נראה כי בעקבות הערבוב בשנת 2012 לא התרחשה פריחה חזקה של אצות צורניות שיסלקו סיליקה מהמים. מאז 2012 מאגר הסיליקה בעמודת המים קטן בהשוואה לשנים 2009-11 וכמות הסיליקה השנתית הממוצעת בעמודת המים דומה השנה לזו של השנה הקודמת (איור ד24).



איור ד24: שינויים במאגר הסיליקה בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. למעלה: סך המאגר במדידות חודשיות (משמאל) וממוצע שנתי (מימין). למטה: 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, 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  $3.7\text{--}3.8\ \mu\text{mol/l}$ . הערבוב העמוק בשנים 2007 ו-2008 גרם לירידת ריכוזי הסיליקה במי העומק, ועד לאוקטובר 2011 עלה הריכוז ל- $3.3\ \mu\text{mol/l}$ . לאחר הערבוב העמוק בשנת 2012 שוב ירד ריכוזי הסיליקה במים העמוקים והשנה, כעבור חמש שנים, נמדד בעומק 700 מטרים ריכוז דומה לזה של שנת 2011 (איור ד25).



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

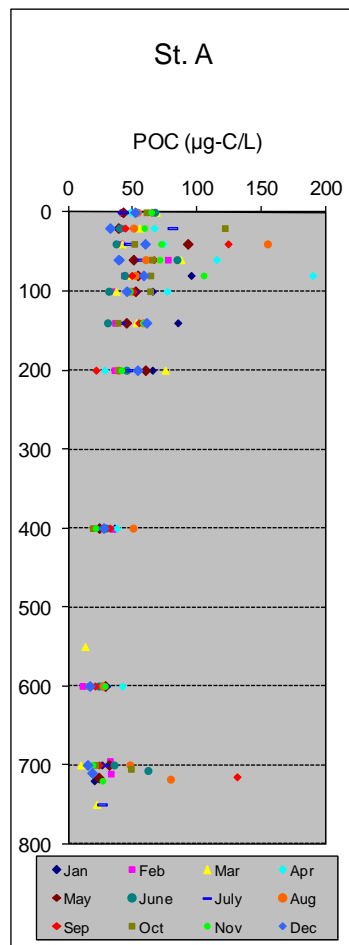
**Figure D25: Changes in silicate concentration water depth of 400m to 700m at Station A since 2000. Data from the years 2000-2002 were collected during the Peace Park Project and are provided courtesy of Prof. J. Erez and Prof. B. Lazar.**

#### פחמן אורגני חלקיקי (POC)

[בעקבות המלצת תת-הוועדה 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 ריכוזי 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  $181 \mu\text{gC/l}$  נמדד השנה בחודש אפריל בעומק 80 מטרים, דומה למדידות השנה הקודמת. ריכוז הפחמן החלקיקי גבוה במים העליונים בהשוואה למים העמוקים, עם עלייה בריכוז הפחמן החלקיקי 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.**

עמודת המים העמוקים מעוצבת בעיקר על ידי המחזור העונתי, המורכב מירידת טמפרטורות בפני הים בחורף וכתוצאה מכך ערבוב של המים העליונים עם המים העמוקים. הערבוב בין גופי המים גורם להעלאת נוטריינטים, חומרי דשן, מהעומק והעשרת המים העמוקים 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 במים העמוקים.

הדינאמיקה העונתית של ריכוזי נוטריינטים וחמצן במים וזמינותם לאוכלוסיות הפיטופלנקטון בעמודת המים העליונה מכתיבה את פרופיל הריכוזים של המרכיבים השונים בעמודת המים לאורך השנה. הדינאמיקה הרב שנתית מושפעת בעיקר מעומק ומשך הערבוב וכמויות הנוטריינטים שנצברו במי העומק ("ז", א), הזמן שחלף מאז ערבוב קודם לאותו עומק).

בשנתיים האחרונות היה ערבוב עמודת המים לעומק בינוני: בתחילת החורף התקררו פני הים במהירות והערבוב הגיע לעומק של כ- 500 מטרים בין אמצע ינואר לאמצע פברואר, אולם כבר באמצע פברואר מנותקים פני הים מהמים העמוקים והערבוב נפסק. השנה היא החמישית, מאז שנת 2012, בה המים העמוקים מכחמש מאות 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 2007-2008 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 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 2007-2008 ומאגרי הנוטריינטים המומסים התמלאו על אף שהריכוזים במי העומק נותרו נמוכים. מאז, בשנים של שנת 2012, עולים ריכוזי הנוטריינטים במי העומק בהדרגה ובמקביל יורד ריכוז החמצן המומס במים העמוקים. יחד עם זאת, בהשוואה למחזור הרב-שנתי הקודם השינוי בריכוזי המים העמוקים איטיים יותר, וחמש שנים לאחר הערבוב של שנת 2012 הערכים הנמדדים דומים לאלו שנמדדו בשנת 2011, שלוש שנים לאחר הערבוב העמוק של שנת 2008. בנוסף לכך, עליה בריכוזי נוטריינטים בקרבת קרקעית הים העמוק שנמדדה בשנים ראשונות לפעולת הניטור לא נמדדת בשנים האחרונות.

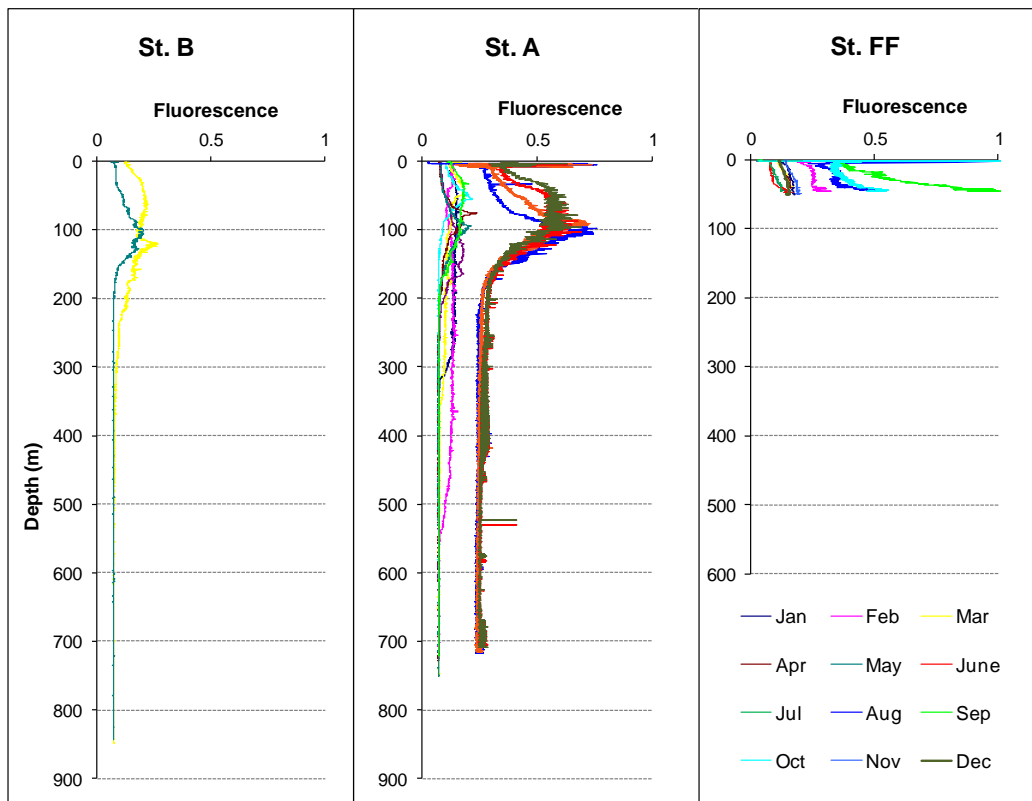
בהשוואה לכל תקופת הניטור, על אף השינויים העונתיים הגדולים וההבדלים בעומק הערבוב בין השנים, נראה כי בעמודת המים בצפון המפרץ פחות נוטריינטים בשנים האחרונות משנצברו בשנים הראשונות של הניטור.

במי העומק, ובפרט בעומקים הגדולים מכ- 500 מטרים, נמשכת מגמה של עליית הטמפרטורה. הטמפרטורה במים העמוקים ירדה בשנים 2007-2008 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.3. כלורופיל $a$ ופלאורסנציה

כלורופיל  $a$  הוא הפיגמנט הפוטוסינתטי 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 התחלת הערבוב המעלה נוטריינטים מהעומק לשכבה הפוטית. אזור של ריכוז כלורופיל גבוה במים העליונים נוצר עם תחילת השיכוב בסוף התקופה המערבבת. במים העמוקים אין כלורופיל ללא ערבוב.

הפלאורסנציה הנמדדת על ידי מכשיר ה-CTD משמשת מדד *in-situ* לריכוז הכלורופיל בעמודת המים. ערכי הפלאורסנציה מוצגים ביחידות שרירותיות. מדידות הפלאורסנציה רועשות אולם למרות זאת ניתן לקבל מהן תמונה של מבנה עמודת המים בה נמצא ערך מרבי בעומק של 60-80 מ' בתקופה המשוכבת. איזור זה מכונה DCM (Deep Chlorophyll Maximum). יתרון נוסף למדידות הפלאורסנציה בעזרת מכשיר ה-CTD הוא שמתקבל פרופיל רציף המכסה על הפערים שבין דגימות המים הבדידות בהן נמדד ריכוז הכלורופיל. מכיוון שקריאות פלאורסנציה ללא כלורופיל שואפות לאפס, ערכים נמדדים של פלאורסנציה מעידים על כלורופיל. מכיוון שתאי פיטופלנקטון מתפרקים תוך ימים ספורים מהווה הפלאורסנציה מדד טוב לעומק הערבוב בסמוך לזמן ההפלגה. ערכים נמדדים של פלאורסנציה עד עומק של כ- 530 מטרים בחודש פברואר השנה (איור ד27) מצביעים על כך שהערבוב הגיע לעומק זה זמן קצר לפני ההפלגה שנערכה ב-15 לפברואר.

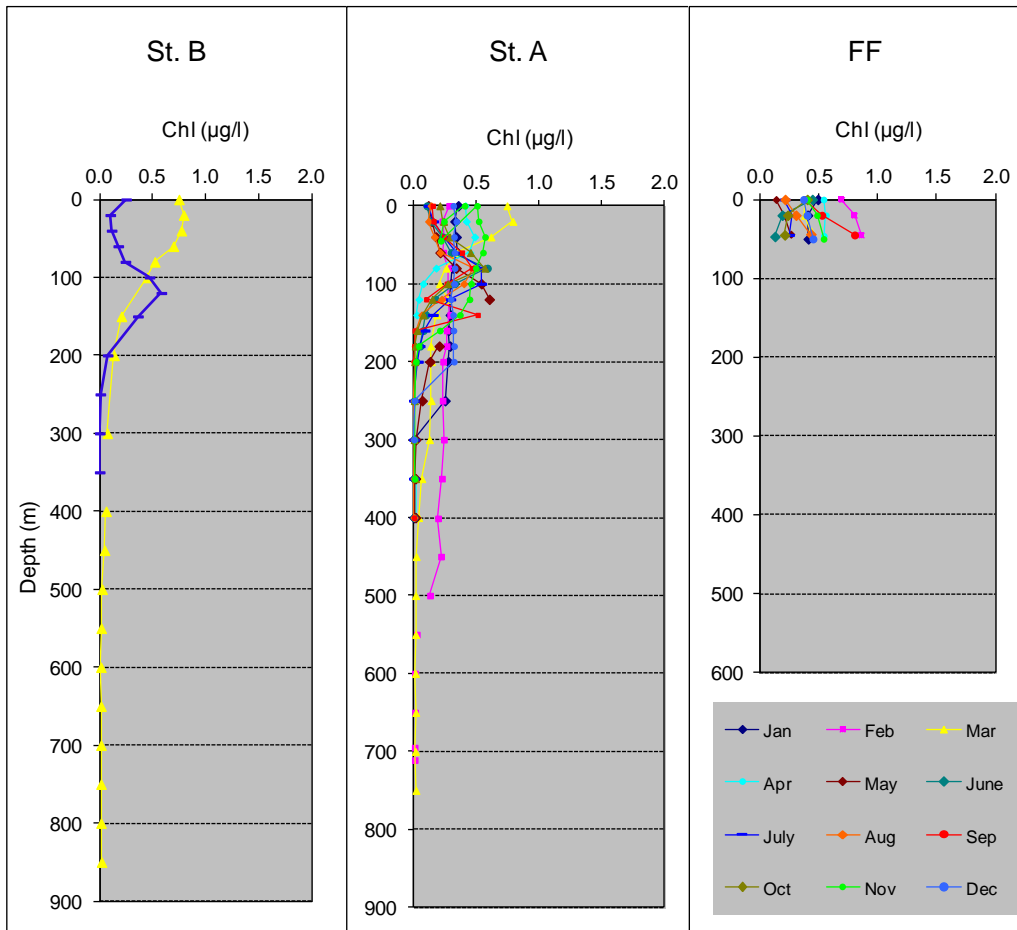


איור ד27: פלאורסנציה בעמודת המים כפי שנמדדה במכשיר ה-CTD בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה B היא הדרומית והעמוקה ביותר (>800 מ') ונדגמה השנה בחודשים מרץ ואוקטובר. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים (>700 מ'), ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים.

**Figure D27: Fluorescence profiles measured using a CTD during the monthly monitoring cruises. Station B is the southernmost and deepest (>800m) and was sampled in March and October. 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.**



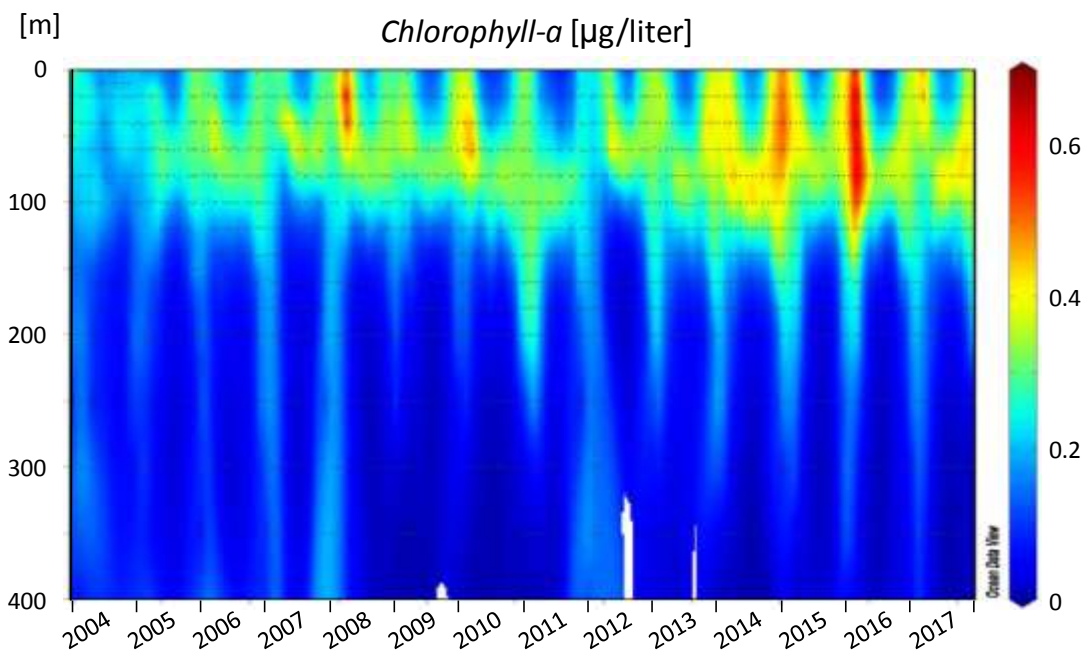
ריכוזים גבוהים של כלורופיל  $a$  נמדדים בתקופה המשוכבת בעומקים 80-100 מטרים ( deep chlorophyll maximum). עמוק יותר מה- DCM עוצמת האור קטנה וריכוז הכלורופיל יורד לאפס, ורדוד יותר ישנה המשוכבת מגבלת נוטריינטים וריכוזי הכלורופיל בפני הים נמוכים. ריכוז הכלורופיל המרבי אשר נמדד השנה בתחנה A היה  $0.79 \mu\text{g/l}$  בחודש מרץ, בעומק 20 מטרים (איור ד28). ריכוז זה נמוך מהערך המרבי בשנה הקודמת ( $0.96 \mu\text{g/l}$ ). ריכוז הכלורופיל המרבי בחוף הצפוני, בתחנת כלובי הדגים היה בחודש פברואר,  $0.86 \mu\text{g/l}$ , גם כן נמוך בהשוואה לשנה הקודמת.



איור ד28: ריכוזי כלורופיל  $a$  בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה B היא הדרומית והעמוקה ביותר (<800 מ'), תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700 מטרים, ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים.

**Figure D28: Chlorophyll- $a$  concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Station B is the southernmost and deepest (>800m), 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.**

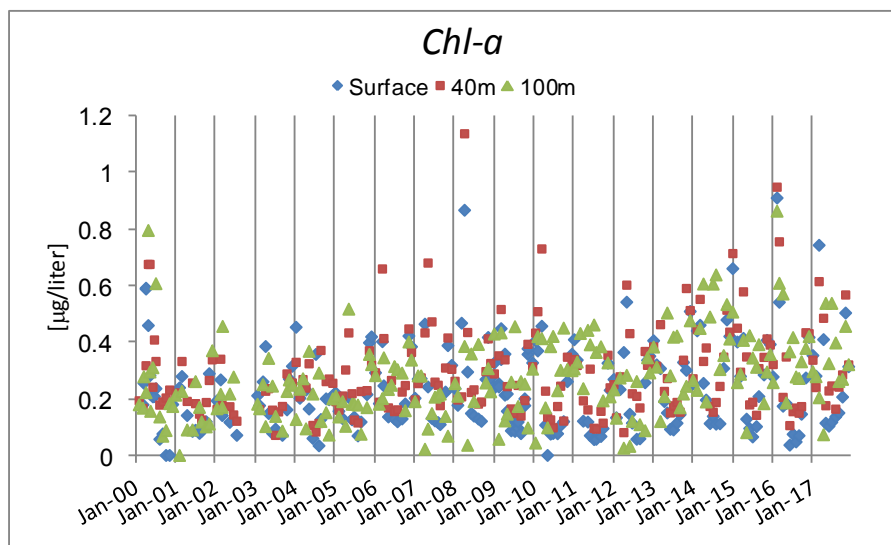
ריכוזי הכלורופיל בעמודת המים העליונה בחורף השנה רגילים לשנים בהן הערבוב אינו עמוק, וזאת לאחר הריכוזים הגבוהים במיוחד של השנים 2015 ובעיקר 2016 בה נמצאו ריכוזים מן הגבוהים ביותר אשר נמדדו על ידי תכנית הניטור מאז 2004 (איור ד29). בשנת 2008, השנה השנייה ברציפות של ערבוב עמוק, נמדד ריכוז הכלורופיל הגבוה ביותר  $1.14 \mu\text{g/l}$ , אולם רק בעמקים 20 ו-40 מטרים ורק בחודש אפריל. ריכוזי הכלורופיל בשנה הקודמת היו נמוכים יותר, אך נמדדו במאה המטרים העליונים ובחודשים פברואר-מרץ. ריכוזי הכלורופיל הגבוהים אשר נמדדו בשנה הקודמת אינם ניתנים להסבר באמצעות עומק הערבוב.



איור 29: שינויים בריכוז כלורופיל *a* בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. הנקודות השחורות מייצגות את עומק המדידה.

**Figure D29: Changes in the concentration of *chlorophyll-a* in the water column at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths.**

גם במבט לטווח ארוך יותר על ריכוזי הכלורופיל בעומק הריכוז המרבי (DCM) מאז שנת 2000, בשנה הקודמת ריכוזי כלורופיל חריגים בהתחשב בעומק הערבוב (איור 30). ריכוזים גבוהים אלה נתמכים במדידות נוספות שנערכו בחורף 2017, כמפורט בדו"ח המדעי של תכנית הניטור לאותה שנה. מעבר לשנים 2000, 2007, 2008 ו-2012 בהן היה ערבוב עמוק ונמצאו ריכוזי כלורופיל גבוהים באביב, נמדדו ריכוזים גבוהים גם בשנת 2010 ובשנים האחרונות (2015-2017, כאמור, גבוהים ביותר בשנה הקודמת, 2016). יש לעקוב אחר השינויים בריכוזי הכלורופיל על מנת לשלול מגמה של עליה קבועה המצביעה על שינוי במצב המערכת.



איור 30: ריכוזי כלורופיל *a* בתחנה A מאז ינואר 2000 בפני הים ובעומקים 40 ו-100 מטרים. נתונים הקודמים לתכנית הניטור נאספו במסגרת פרויקט פארק השלום ומובאים באדיבותם של הפרופ' י. ארז והפרופ' ב. לזר.

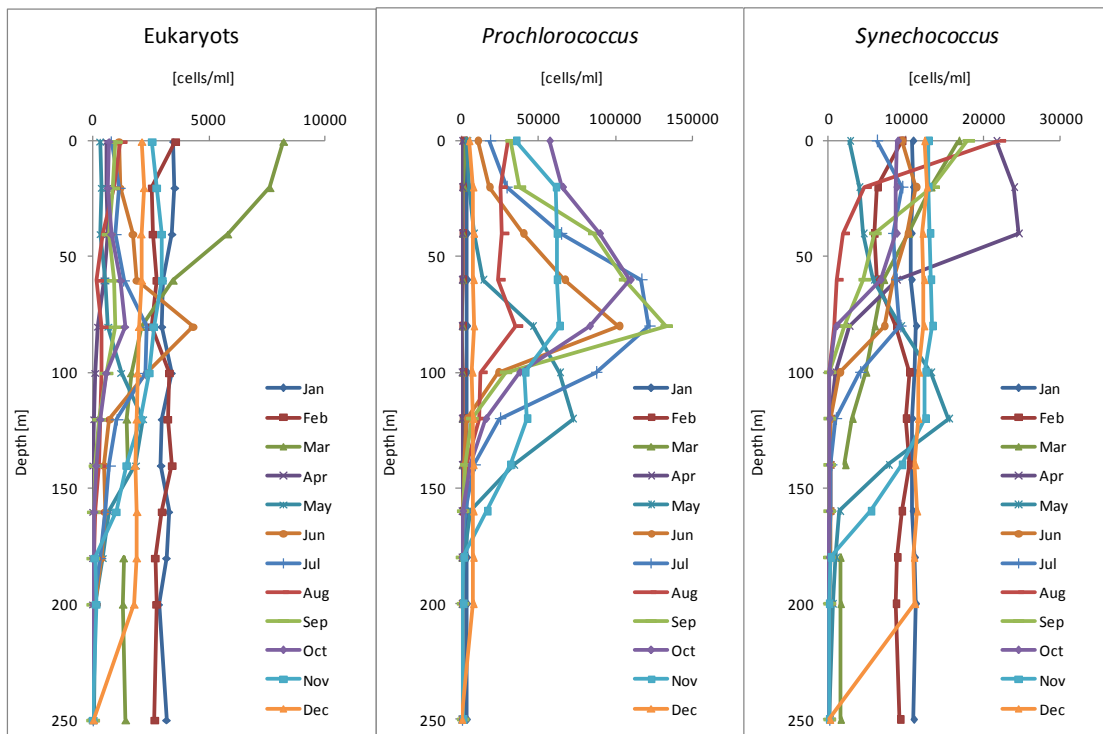
**Figure D30: Concentrations of *chlorophyll-a* at Station A at the surface and at water depths of 40 and 100 meters since 2000. Data from the years 2000-2002 were collected during the Peace Park Project and are provided courtesy of Prof. J. Erez and Pro. B. Lazar.**

#### 4. ד. 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.]  
 הספירות כוללות 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 האאוקריוטיים ו-*Synechococcus* נמדדים באלפים, תאי *Prochlorococcus* נמדדים בעשרות אלפים, וחיידקים הטרוטרופים נמדדים במיליונים למיליטר.

ריכוזים גבוהים של תאי *Synechococcus* נמצאו בקרבת פני הים בחודשים פברואר-אפריל, עם ריכוזים מירביים (כ-25 אלף תאים למיליטר מי ים) בחודש אפריל בעמודת המים העליונה, עד לעומק של כארבעים מטרים (איור 31). בשאר חודשי השנה היה ריכוזם של תאי *Synechococcus* נמוך יותר, ולא עלה על 15 אלף תאים למ"ל, מלבד בפני הים בחודש ספטמבר. ריכוז תאי *Synechococcus* היה בסה"כ נמוך השנה בהשוואה לשנה הקודמת.

ריכוזי *Proc.* גבוהים נמצאו ברוב חודשי הקיץ (יוני-אוקטובר, מלבד אוגוסט), בעומקים 60-80 מטר. ריכוז תאי *Proc.* מירבי נמצא השנה בחודש ספטמבר, בעומק 80 מטר, יותר מ-13 אלף תאים למ"ל מי ים. גם ריכוזי *Proc.* היו בסה"כ נמוכים מעט בהשוואה לשנתיים הקודמות. התאים האאוקריוטיים הגיעו לריכוז מרבי בחודש מרץ, בקרבת פני הים (מעל שמונה אלפי תאים במ"ל). בשאר החודשים היה ריכוזם נמוך מחמישה אלפי תאים במ"ל מים. ריכוז תאים אלה היה דומה השנה לריכוזים אשר נמדדו בשנה הקודמת.

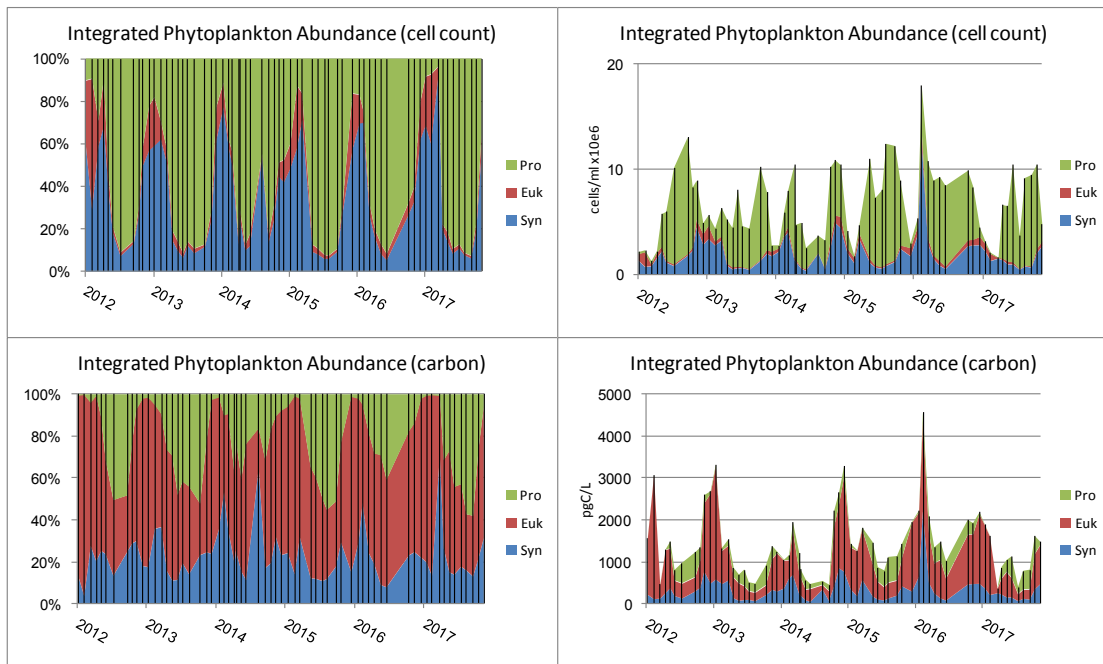


איור 31: ריכוזים חודשיים של תאי פיטופלנקטון פרוקריוטים (*Synechococcus*, *Prochlorococcus*) ואאוקריוטים בעמודת המים בתחנה A.

Figure D31: 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 ד32). ריכוזי האוקריוטים עולים בחודשי החורף ובדרך כלל נמוכים ביותר בחודשי הקיץ, אז הם מהווים אחוזים בודדים בלבד מסך תאי הפיטופלנקטון.

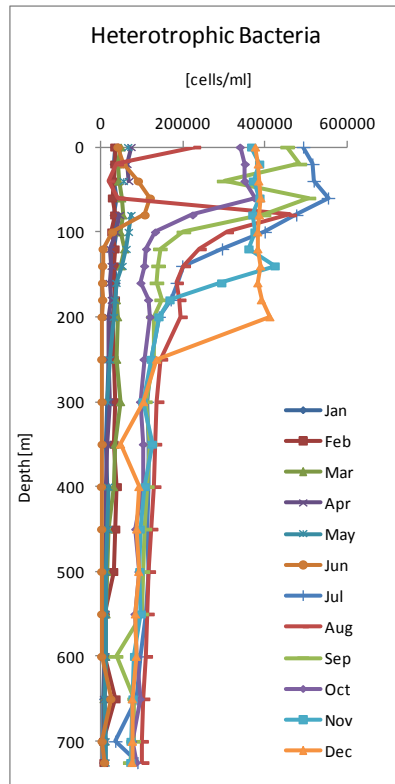
בהמרה לביומסה מתגלה תמונה שונה (לצורך ההמרה נעשה שימוש בערכים מתוך Campbell et al., 1998, וזאת בעקבות עבודת הדוקטורט של א. מידר (2012) ובעצה עם פרופ' יעלה שקד. ערכי ההמרה הם:  $(Euc.=2100fg\ C/cell, Proc.=53fg\ C/cell, Synec.=175fg\ C/cell)$ : בחודשי החורף ועונות המעבר מהווים האוקריוטים את מרבית הביומסה, בהיותם התאים הגדולים ביותר, ורק בחודשי הקיץ מהווים ה- *Proc.* את החלק העיקרי, בין 40-50% מכלל מסת הפיטופלנקטון בחודשים יולי - נובמבר.



איור ד32: אינטגרלים חודשיים של תאי פיטופלנקטון פרוקריוטים (*Synechococcus, Prochlorococcus*) ואוקריוטים 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 D32: 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 היו גבוהים בחודשי הקיץ בעמודת המים העליונה, עד עומק של כ- 200 מטרים (איור ד33). במים העמוקים יותר ריכוזי החיידקים נמוכים במשך רוב השנה. ריכוזי החיידקים אשר נמדדו השנה היו דומים, ומעט נמוכים, לערכי השנה הקודמת (ערך מרבי של כ-550 אלף תאים למ"ל מי ים).



איור ד33: ריכוזים חודשיים של תאי חיידקים הטרוטרופים בעמודת המים בתחנה A.  
**Figure D33: Monthly concentrations of heterotrophic bacteria in the water column at Station A.**

## 5. ד. יצרנות ראשונית בעמודת המים

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

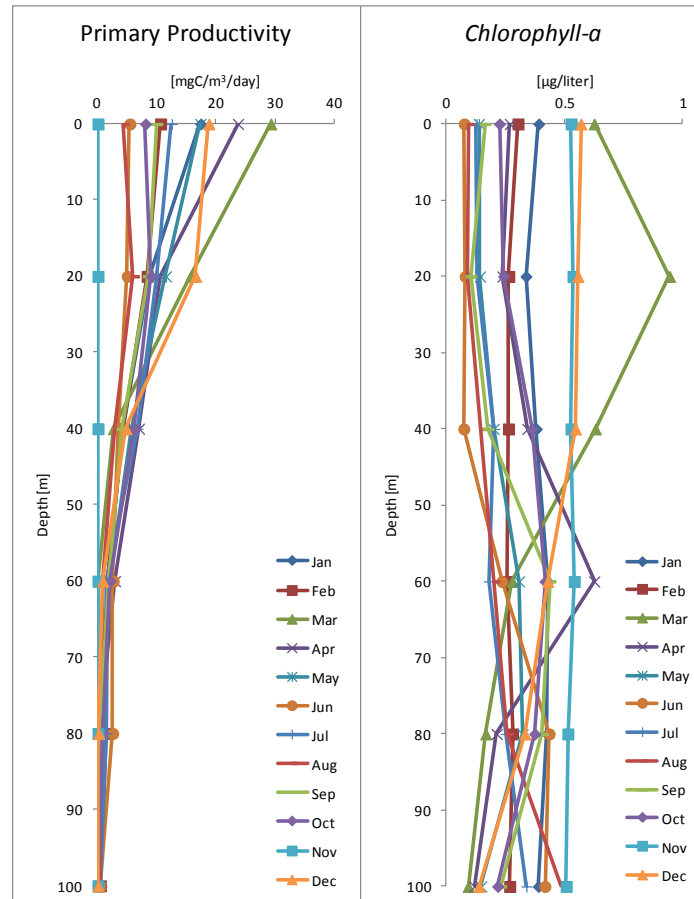
למדידת יצרנות ראשונית בעמודת המים חשיבות גדולה בהערכת מצב המערכת האקולוגית במפרץ מכיוון שהעשרה בנוטריינטים עשויה לגרום לפעילות מוגברת של פיטופלנקטון. פעילות מוגברת לא בהכרח תגרום לעלייה משמעותית בריכוז הפיטופלנקטון (המוערך באמצעות ריכוז הכלורופיל) מכיוון שקצב הרעיה של פיטופלנקטון על ידי זואופלנקטון עשוי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

מדידת היצרנות מסובכת וקשה מבחינה טכנית, הן עקב הפעילות הימית המורכבת והן עקב פעילות המעבדה והשימוש באיזוטופים רדיואקטיביים, ועל כן בעבר לא בוצעה במפרץ אילת באופן סדיר. מדידות יצרנות בוצעו בין השנים 1989-2002 במסגרת התכנית הקודמת 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 מניית  $cpm$ ) ולא על התפרקויות מחושבות ( $dpm$ )) ונתוני היצרנות משנים הקודמות המוצגות כאן חושבו מחדש. השוואת תוצאות החישוב בשני האופנים בהתבסס על נתוני המכשיר החדש וניסויים במעבדה הראתה התאמה טובה.]

### תוצאות

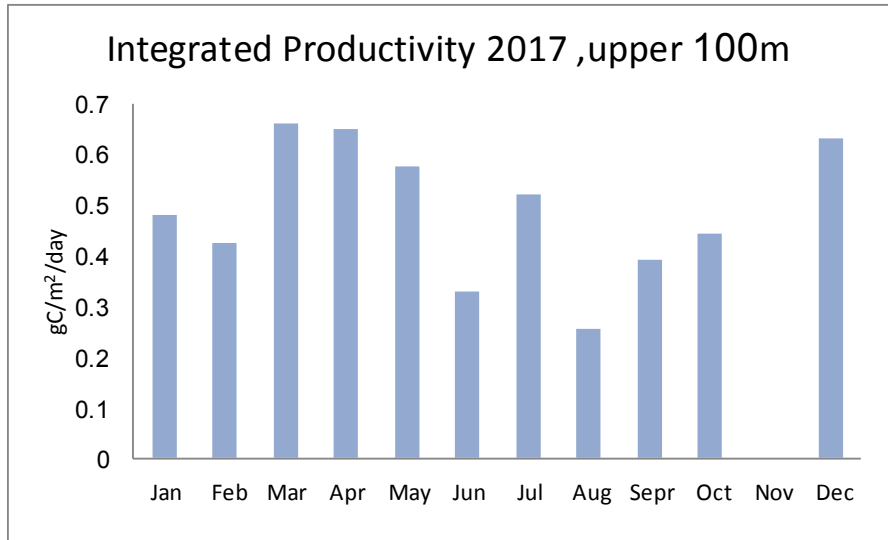
בפרופילים החודשיים ניכרת תלות היצרנות בעצמת האור בכך שיצרנות גבוהה נמדדת בעומקים רדודים וישנה ירידה ביצרנות עם העומק (איור ד34). בנוסף לכך, התפלגות ריכוזי הכלורופיל עם העומק לא תמיד משקפת את התפלגות היצרנות, עובדה המדגישה את חשיבות מדידת היצרנות. יצרנות מרבית נמדדה השנה בחודש מרץ סמוך לפני הים. הערך הגבוה ביותר שנמדד היה  $29.3 \text{ mgC/m}^3/\text{day}$ , גבוה מהערך הגבוה של השנה הקודמת, וכמעט גבוה כמו הערך המרבי של שנת 2015 ( $33.6 \text{ mgC/m}^3/\text{day}$ ) שהיה גבוה במיוחד. בעומקים גדולים מעשרים מטרים היתה היצרנות השנה נמוכה ובעומקים גדולים משישים מטרים היצרנות היתה אפסית. ריכוז הכלורופיל מדוגמאות המים הצמודות היה גבוה ביותר בחודש מרץ בעומק 20 מטרים, ובסך הכל פרופילי העומק של ריכוז כלורופיל אחידים יותר מאשר הפרופילים של יצרנות.



איור ד34: יצרנות ראשונית וריכוזי כלורופיל חודשיים בעמודת המים העליונה.  
**Figure D34: 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, בחודשים מרץ ואפריל ושיא נוסף ביצרנות נמדד בחודש דצמבר (איור ד35). השנה נעה היצרנות המחושבת מערך מזערי של  $0.25 \text{ gC/m}^2/\text{day}$  בחודש אוגוסט לערך מרבי של  $0.66 \text{ gC/m}^2/\text{day}$  בחודש מרץ. ערכים אלה מעט גבוהים מערכי השנה הקודמת. היצרנות הממוצעת בעמודת המים בחודשים יולי-אוגוסט עמדה על  $0.39 \text{ gC/m}^2/\text{day}$ , נמוך ממוצע הקיץ של השנה הקודמת ( $0.45 \text{ gC/m}^2/\text{day}$ ). היצרנות השנתית על סמך מדידות הניטור היתה השנה  $178 \text{ gC/m}^2/\text{year}$ , ערך היצרנות השנתית הגבוה ביותר שנמדד עד כה, לבד מהיצרנות הגבוהה של שנת 2015.



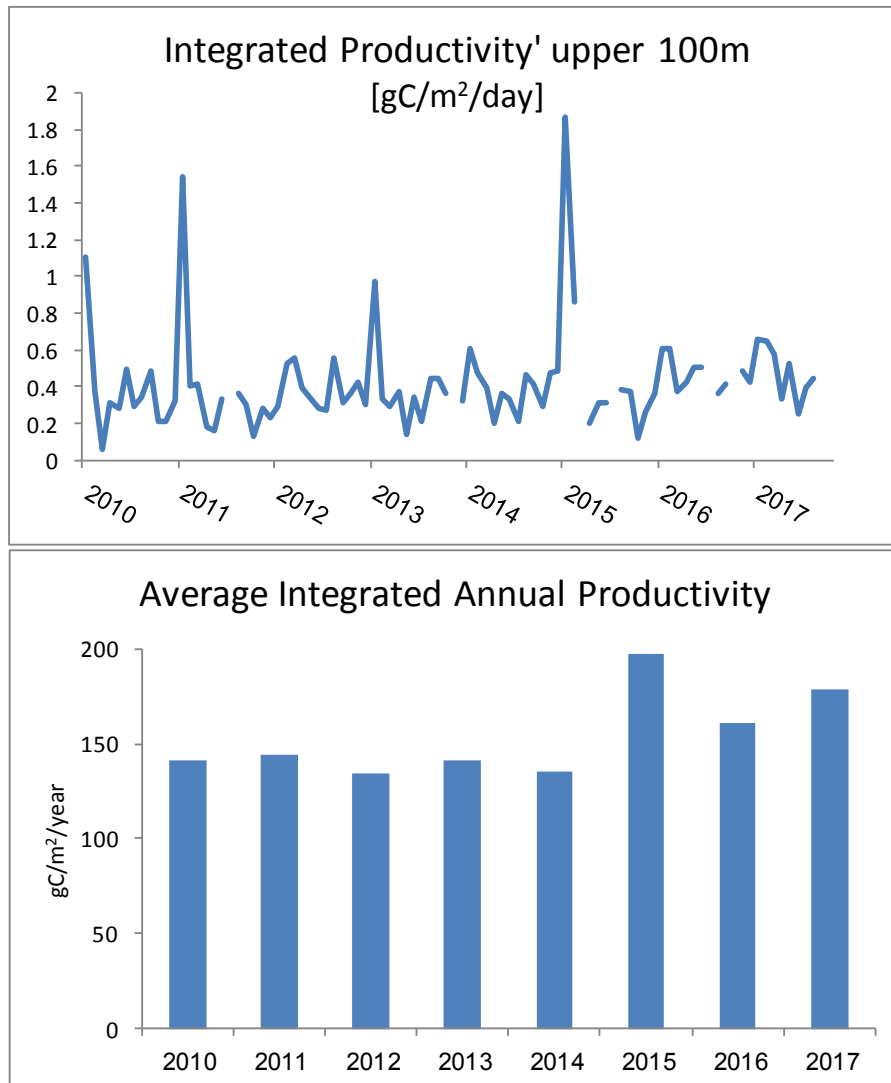


איור ד35: למעלה – אינטגרציה של היצרנות הראשונית במאה המטרים העליונים של עמודת המים, מתוך מדידות היצרנות המוצגות באיור ד34.

**Figure D35: Top-integrated values of primary productivity in the upper 100m of the water column, based on the productivity profiles presented in Figure D34.**

השנה היתה היצרנות דומה בדרך כלל ליצרנות של השנה הקודמת, ללא שיאים חריגים. שיאים ביצרנות נמדדו על ידי תכנית הניטור בחודש מרץ בשנים 2010, 2011, 2013, 2015 כאשר זה של השנה הקודמת היה הגבוה ביותר שנמדד עד כה -  $1.87 \text{ gC/m}^2/\text{day}$  (איור ד36). 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, ובשנתיים האחרונות היה הערבוב בתחילת החורף עמוק מאשר בשאר השנים. ערבוב עמודת המים היה גם השנה מהיר וקצר ונפסק כבר בחודש פברואר. יתכן שבמקרים של ערבוב קצר אין תדירות מדידות היצרנות אותן מבצעת התכנית מספיקה על מנת למדוד את ערך השיא.

באמצעות מדידות היצרנות הנעשות אחת לחודש ניתן לחשב אינטגרל יומי ממוצע בעמודת המים העליונה ועליו לבסס חישוב יצרנות שנתי. בשנים 2010-2014 חושבה יצרנות שנתיית די קבועה (-134 השנתית המחושבת היתה  $178 \text{ gC/m}^2/\text{year}$ . היצרנות השנתית הממוצעת בצפון המפרץ מאז 2010 היא  $154 \text{ gC/m}^2/\text{year}$  ובשנת 2015 חושבה יצרנות הגבוהה ביותר,  $197 \text{ gC/m}^2/\text{year}$ . השנה היצרנות



איור ד36: 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 D36: 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.**

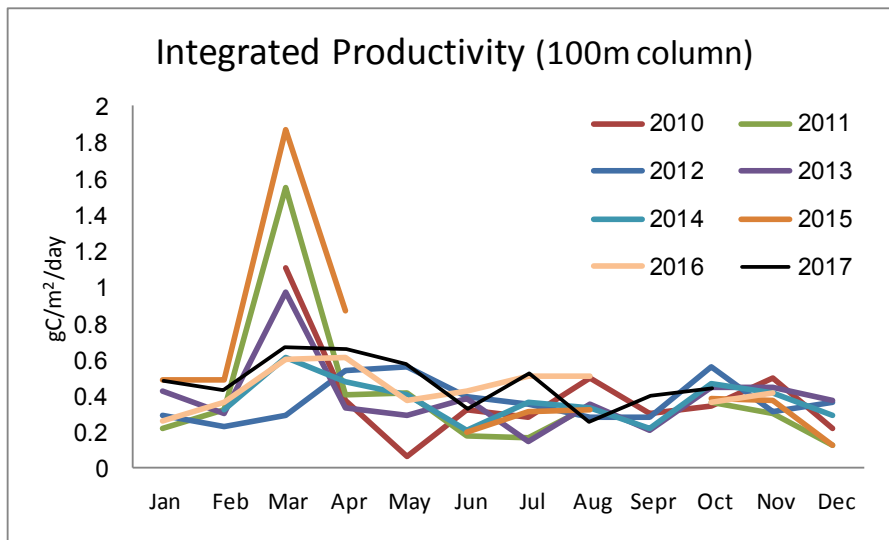
בדו"ח הביניים הראשון של תכנית הניטור (גנין וסילברמן, 2003) מובאים ערכי יצרנות אשר נמדדו בחודשים ינואר ו־אפריל בשנים 2000-3. המדידות נעשו תוך שימוש בפרוטוקול הדגרה קצר (כארבע שעות), תוצאות אותן מדידות נעו בטווח  $0.14-0.78 \text{ gC/m}^2/\text{day}$ . לשם השוואה, בתחנות הניטור הקבועות בימים האוליגוטרופים שמול הוואי וברמודה, נמדדים ערכים ממוצעים רב-שנתיים הנעים סביב  $\sim 0.5 \text{ gC/m}^2/\text{day}$  (<http://hahana.soest.hawaii.edu/hot/>), היצרנות היומית הממוצעת במפרץ אילת מאז 2010, על סמך מדידות הניטור היא  $0.42 \text{ gC/m}^2/\text{day}$  ([http://bats.bios.edu/bats\\_form\\_prod.html](http://bats.bios.edu/bats_form_prod.html)).

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

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  $15\text{mgC}/\text{m}^3/\text{day}$  ל-  $30\text{mgC}/\text{m}^3/\text{day}$  (Iluz et al., 2009). השינוי היומי הגדול עליו מדווחים Iluz et al. (2009) מדגים את הדינאמיקה המהירה של יצרנות במפרץ ומלמד כי מדידות בדידות עשויות לסטות משמעותית מממוצע היצרנות.

מדידות יצרנות במסגרת תכנית הניטור נעשות אחת לחודש והערכים הגבוהים ביותר נמדדו בחודש מרץ (איור ד37). 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 הישופי 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 2010-2017 דומות מאד זו לזו. על רקע זה, שינויים מערכתיים מתמשכים ניתן יהיה, אולי, לגלות דווקא בעונה זו.



איור ד37: אינטגרציה של היצרנות הראשונית במאה המטרים העליונים של עמודת המים מדי חודש מאז 2010, מתוך מדידות היצרנות המתבצעות אחת לחודש.

Figure D37: Integrated values of primary productivity in the upper 100m of the water column for each month since 2010, based on the productivity profiles measured once each month.

## 6. ד. זואופלנקטון בעמודת המים

קבוצת הזואופלנקטון כוללת יצורים הטרוטרופים זעירים החיים בעמודת המים והניזונים מפייטופלנקטון, 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). החל מחודש מרץ 2011, לאחר תקופת ניסוי והרצה, מבצעת תכנית הניטור מעקב קבוע וסדיר אחר שינויים בביומסה של זואופלנקטון בשכבה הפוטית לפי פרקציות גודל. הניטור נועד לתעד שינויים כמותיים בזואופלנקטון בכלל, כמו גם בהרכב קבוצות הגודל בקרבן.

דגימות זואופלנקטון נאספות מדי חודש בים העמוק (עומק קרקעית 300-400 מ'), באמצעות גרירה אלכסונית של רשת פלנקטון כפולה ("Bongo") עם גודל חור של  $200\mu\text{m}$  (איור ד38). הדגימה מתבצעת בשעות הבוקר (בין השעות 9-11), בדרך כלל בשבוע האחרון של כל חודש. הגרירה מתחילה בהורדת רשת הפלנקטון באיטיות לעומק של כ-100 מ' ומיד עם הגעת הרשת לעומק זה היא מועלית חזרה לפני השטח. במשך כל זמן ההורדה וההעלאה הסירה שטה במהירות של כ-2 קשר (1 מ' לשניה) וזוית חבל הגרירה (140 מ' ארכו) נשמרת סביב  $45^\circ$ . 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.

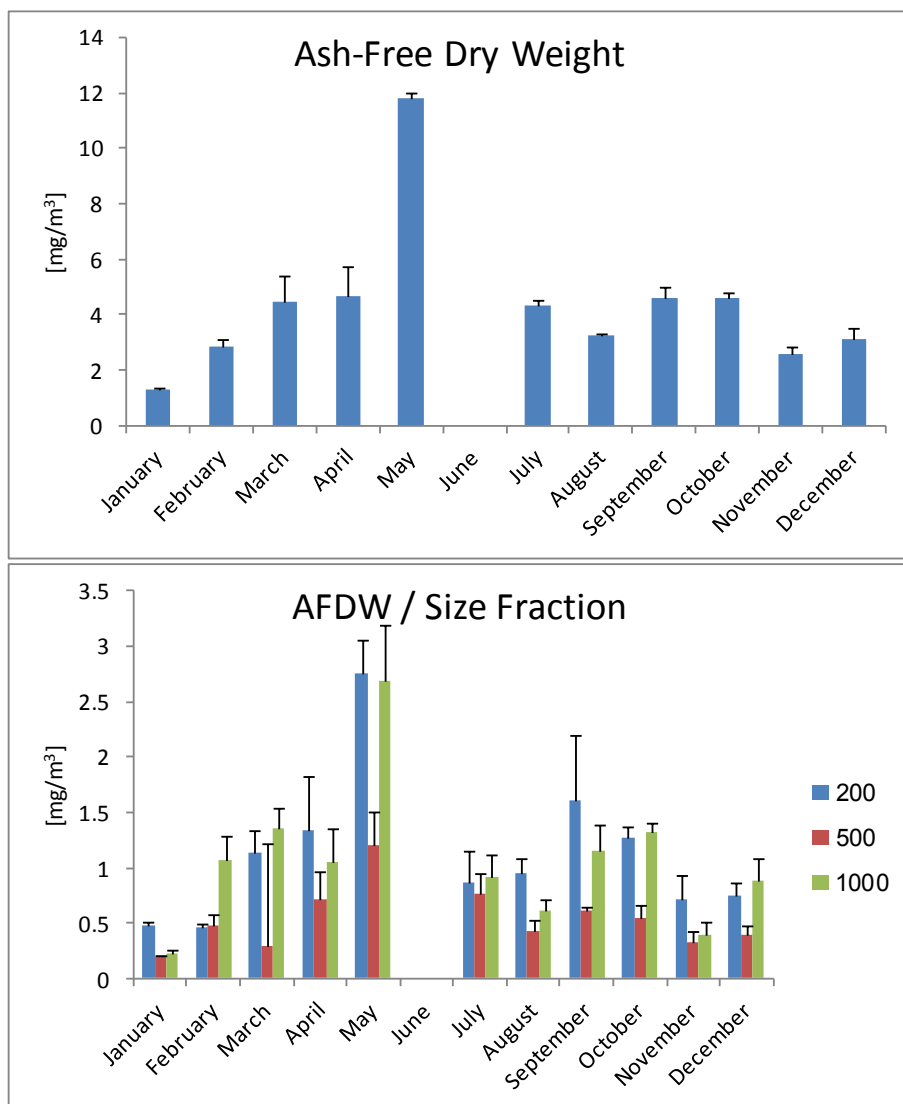
במעבדה כל דגימה מופרדת לשלוש פרקציות גודל באמצעות סינון על קולונה עם שלוש רשתות פלנקטון בגודל חור של 200, 500 ו-1000 מיקרון. לאחר מכן מסוננת כל פרקציה על פילטר סיבי זכוכית GF/A (גודל חור נומינלי של  $1.6\mu\text{m}$ ) אשר נשרף מראש בתנור ב  $450^\circ\text{C}$  למשך 4 שעות ומשקלו ידוע. לאחר מכן הפילטרים עוברים ייבוש בתנור  $60^\circ\text{C}$  למשך שלושה ימים לפחות, נשקלים שוב (לקבלת המשקל היבש של הזואופלנקטון בתת הדגימה) ואח"כ נשרפים ב  $450^\circ\text{C}$  למשך 4 שעות לקבלת משקל יבש של החומר האורגני (Ash Free Dry Weight –AFDW). התוצאות מוצגות בגרם למ"ק (ממוצע ושגיאת תקן של שלוש גרירות רשת) ומייצגות את הביומסה של זואופלנקטון ב-100 מ' העליונים של עמודת המים (שהיא השכבה המוארת).



איור ד38: רשת הפלנקטון הכפולה ("Bongo") נגררת מהסירה בים העמוק. צילום: מ. צ'רניחובסקי  
Figure D38: A double plankton net ("Bongo") towed from the boat in deep waters.  
Photo: M. Chernihovsky

## תוצאות

השנה נמצאה מסת הזואופלנקטון הגדולה ביותר בחודש מאי,  $11.78 \text{ mg/m}^3$ , ובשאר החודשים נמדדו ערכים נמוכים הרבה יותר (איור ד39). בכל החודשים השנה עיקר המסה היתה של קבוצות הגודל הגדולה והקטנה, עם תרומה דומה בדרך כלל, ואילו המסה של קבוצת הגודל הבינונית ( $500\text{-}1000\mu\text{m}$ ) היתה בדרך כלל נמוכה. בשנה הקודמת עיקר הביומסה בזואופלנקטון היה של קבוצת הגודל הגדולה ( $>1000\mu\text{m}$ ), התלויה באספקת מזון רב.

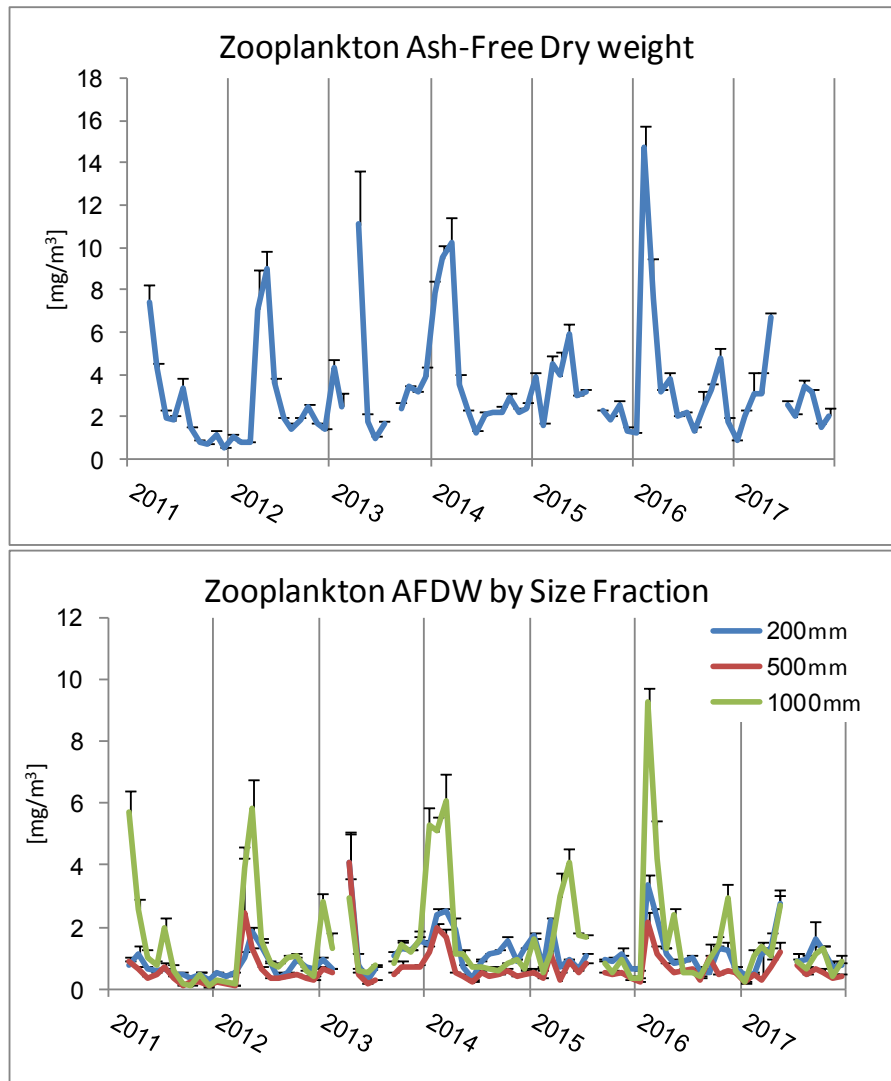


איור ד39: ריכוזי זואופלנקטון חודשיים ב-100 המטרים העליונים בים העמוק. למעלה – סך הזואופלנקטון, למטה – חלוקה לפרקציות גודל מסוינות על פילטר של 1000, 500 ו-200 מיקרון (ירוק, אדום וכחול, בהתאמה).

**Figure D39: 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 לשנת 2015. בשנים האחרות נמדד שיא גבוה בריכוז הזואופלנקטון באחד החודשים של תחילת השנה (איור ד40). בחודש פברואר של השנה הקודמת 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. בדרך כלל השיא בריכוזי זואופלנקטון תואם את העונה המערבבת בה עולים ריכוזי הנטריינטים והפיטופלנקטון, ומונע על ידי צמיחה של קבוצת הגודל של זואופלנקטון גדול ( $>1000\mu\text{m}$ ). יוצאות מכלל זה הן השנים 2013, בהן היוו קבוצות הגודל הקטנות יותר את עיקר המסה של זואופלנקטון, והשנה – בה השיא נמדד בחודש מאי, הרבה אחרי תום הערבוב, ותרמה לו קבוצת הגודל הקטנה ( $>200\mu\text{m}$ ) במידה שווה.



איור ד40: 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 D40: 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  $\mu\text{m}$  filters (green, red and blue, respectively).**

## ד.7. שטף החלקיקים בעמודת המים

### מטרה

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

### שיטות

סדרת מלכודות סדימנט מוצבת בים העמוק (עומק מים של כ- 605 מטרים), עגונה לקרקעית ונתמכת על ידי סדרת מצופים (איור ד 41). 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. מדי כחודש נאסף המערך, המלכודות מוחלפות והמערך מוחזר 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 והמערכת מדדה בחודשים ינואר, מאי וספטמבר. הדגימה באמצעות המלכודת האוטומטית ("יומית") ירדה לרזולוציה של אחת לשלושה-ארבעה ימים בין ההפלגות, ורזולוציה דו-יומית בחודשים ינואר, מאי וספטמבר.

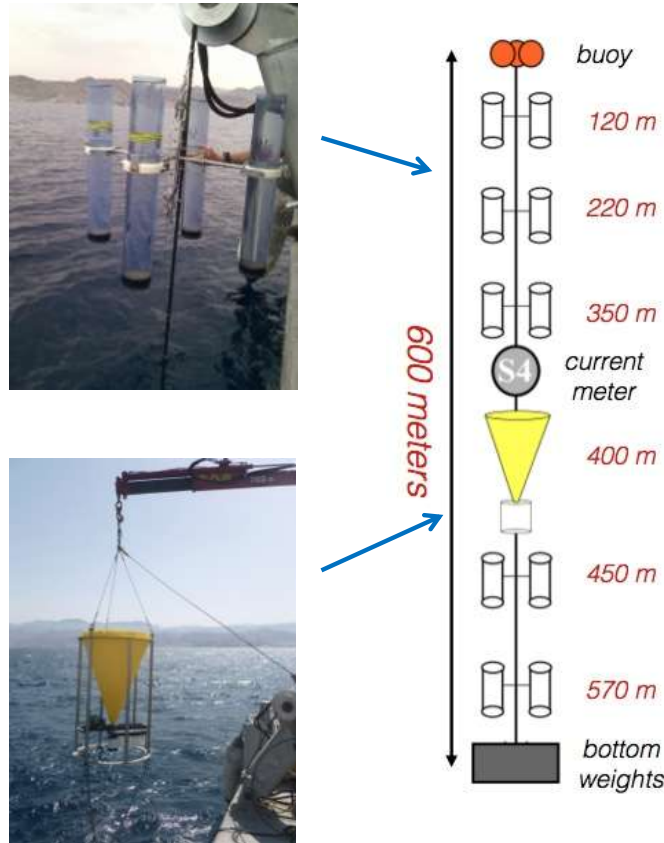
המלכודות אוספות חלקיקים הנושרים דרך עמודת המים ונאספים בתחתית המלכודת המכילה תמלחת רוויה עם תוספת של מעט HgCl<sub>2</sub>, שנועדה למנוע פעילות ביולוגית בתוך המלכודת העלולה לשנות את מאסף החלקיקים שנלכדו.

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 שנתיית בשטף החלקיקי בעמודת המים. השנה, לאחר שהתקבלה תמונה טובה של שינויים בשטף החלקיקי עם הזמן, שונתה תדירות ההצבה (רזולוציה) מחודשית לאחת לשלושה חודשים. תדירות הדגימה במלכודת האוטומטית ירדה בהתאם לדגימה אחת לכל שלושה-ארבעה ימים.



איור ד41: מערך מלכודות הסדימנט אשר נאסף ומוצב מדי חודש בעומק מים של 605 מטרים במרכז צפון המפרץ.

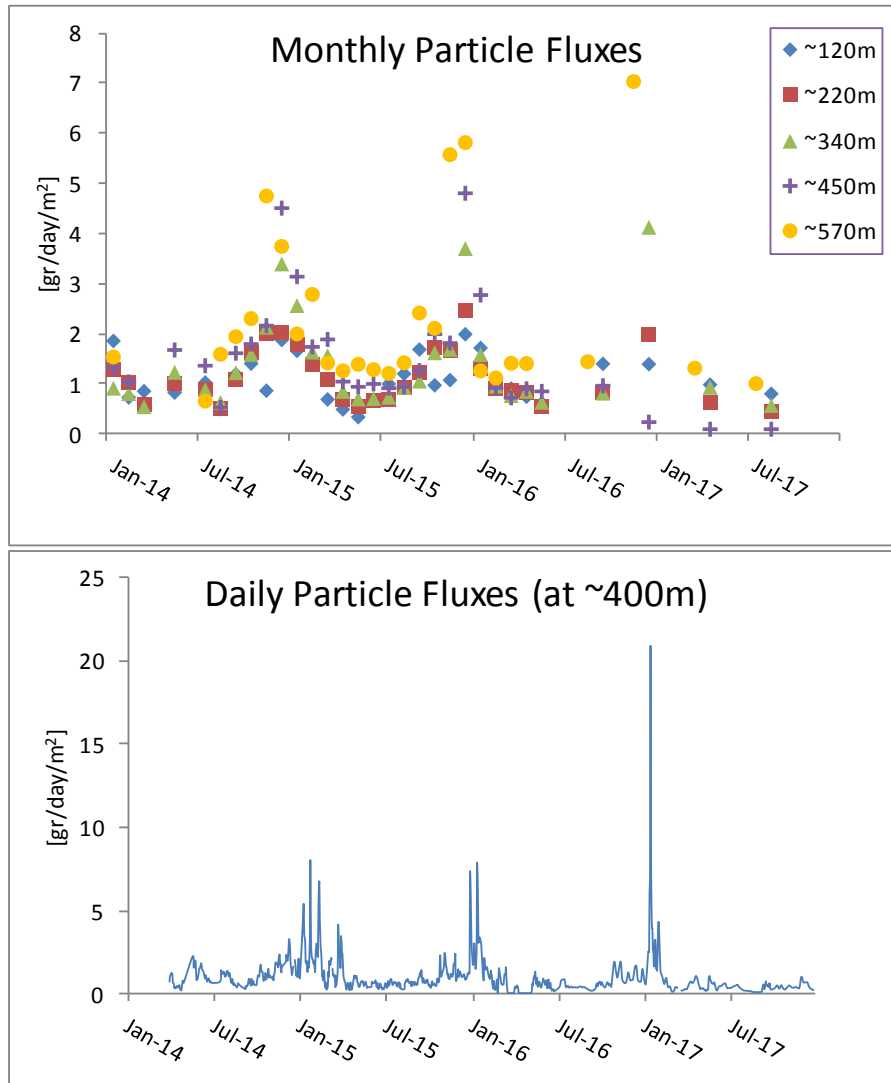
**Figure D41: The array of sediment traps placed on a mooring line at 605 meters depth at the center of the northern basin of the gulf.**

#### תוצאות

המלכודות הוצבו לראשונה בינואר 2014, והמערך עבר שינויים קלים במשך החודשים הראשונים. התוצאות המדווחות כאן כוללות את שטף החלקיקים בכל המלכודות מאז פברואר 2014, וברזולוציה היומית מאז הוצבה המלכודת האוטומטית לראשונה, באפריל 2014. 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 ד42). 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. השנה נמדד במלכודת המוצבת בעומק 400 מטר ומודדת ברזולוציה גבוהה שטף קצר וגבוה במיוחד ב-15 בינואר. 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. לתרומה כזו של חומר חלקיקי תתכן השפעה גדולה על המערכת האקולוגית. כאן ישנה עדות ראשונה לתהליך שאינו מוכר עד כה. הבנת התהליכים הקשורים בכך עשויה לתרום רבות להבנת מערכת המפרץ ומהווה נושא למחקר בהובלת ד"ר עדי טופשטיין. 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. התמונה המתקבלת ברזולוציה יומית תואמת את השטף החודשי הממוצע הנלכד במלכודות הצינור וניכרת השפעתם הגדולה של אירועים קצרי מועד, דוגמת האירוע של 15 בינואר השנה, על הממוצע החודשי. נובע מכך שהבדלים בין שנים עשויים להיות גדולים בהיותם מונעים במידה רבה על ידי מספר קטן של אירועים בדידים וחזקים.



איור ד42: שטפי חומר חלקיקי בעמודת המים מאז תחילת 2014. למעלה- רזולוציה חודשית כפי שנתפסה במלכודות בעומקים 120, 220, 350, 450, 570 מטרים. למטה- רזולוציה גבוהה כפי שנתפסה במלכודת האוטומטית המוצבת בעומק 400 מטרים.

**Figure D42: 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

#### מטרה

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

#### שיטות

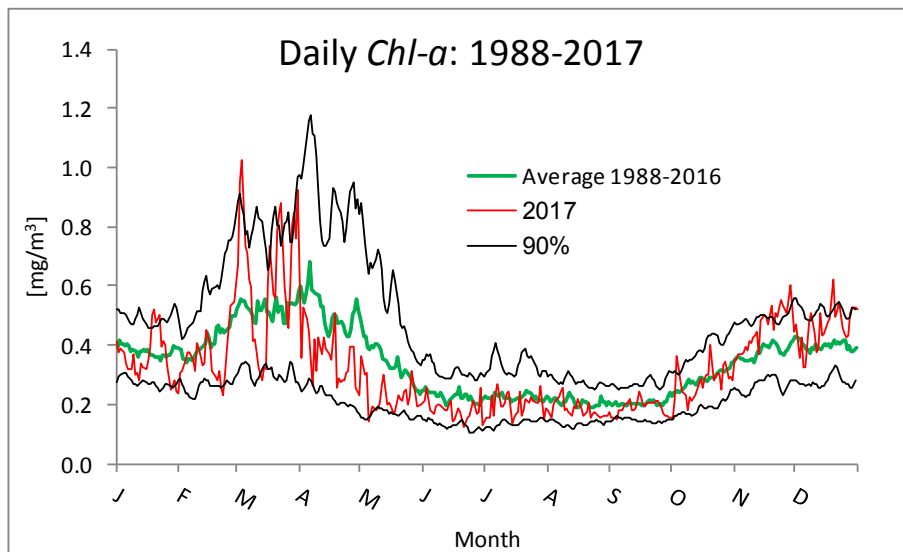
מדידה יומית של ריכוז כלורופיל  $a$  במים כמדד לשינויים בכמות הפיטוקלנקטון. מדי בוקר בין שמונה לתשע נלקחות שתי דגימות מים של 300 מ"ל כל אחת ממי השטח בנקודה קבועה במזח המצפה התת-ימי, מעבר לשולחן השונית, בקדמתה. המים מסוננים במקום דרך רשת 100 $\mu\text{m}$  להוצאת זואופלנקטון, ומובאים למדידה במעבדה, שם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

#### תוצאות

ריכוזי כלורופיל גבוהים בפני הים בסמוך לשונית נמדדו השנה בתחילת חודש מרץ ( $1.03 \text{ mg/m}^3$ ) ושוב בסופו. השיא של תחילת מרץ היה מעט גבוה ביחס לאחוזון ה-90 העליון, וכמוכן גבוה מהמוצע הרב שנתי, אולם לא באופן חריג (איור ה1). לרוב ערכים מרביים של ריכוזי כלורופיל בפני הים נמדדים בחודש אפריל, אולם גם בשנתיים הקודמות נמדדו ריכוזים מירביים מוקדם מהצפוי – כבר בחודש פברואר. ריכוזי השיא של כלורופיל בשנתיים האחרונות היו גבוהים מהריכוזים המירביים אשר נמדדו השנה (ערך השיא בשנה הקודמת היה  $1.25 \text{ mg/m}^3$ ). גם השנה, בדומה לשנה הקודמת, ריכוזי הכלורופיל אשר נמדדו אחרי חודש מרץ ועד לקיץ היו נמוכים מהערך הממוצע הרב שנתי. בשנת 2013 נמדד ריכוז כלורופיל מרבי של  $1.42 \text{ mg/m}^3$ , 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  $1.78 \text{ mg/m}^3$ , בשנת 2008 הייתה פריחה ארוכה אך ריכוז הכלורופיל המרבי הגיע ל- $1.03 \text{ mg/m}^3$  בלבד, ובשנת 2007 היה הריכוז המרבי  $1.95 \text{ mg/m}^3$ , הערך הגבוה ביותר אשר נמדד מאז הערבוב העמוק בשנת 2000.



איור ה-1: ריכוז כלורופיל  $a$  בפני השטח בשמורת חוף אלמוג (בסמוך למזח המצפה הימי). קו אדום - בשנת הניסוי 2017, קו ירוק - ממוצע רב שנתי (1988-2016), קוים שחורים גבולות 90% מהנתונים שהצטברו כולל השנה הקודמת.

**Figure E1: Chlorophyll  $a$  concentrations sampled daily at the Underwater Observatory jetty in 2017 (red line) and the long-term average (1988-2016, green line). Black lines mark the 90% of accumulated data including the previous year.**

## 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.

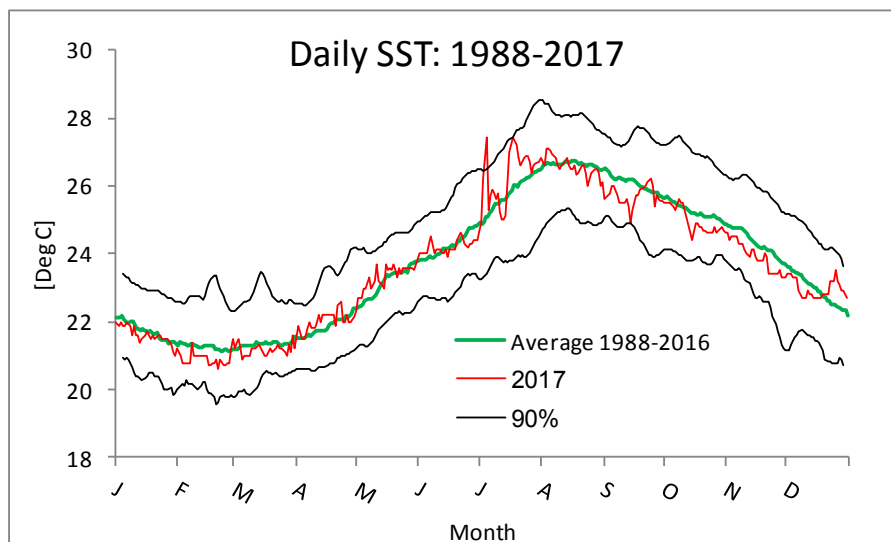
### תוצאות

בטמפרטורת פני הים הנמדדת בסמוך לשונית נמצאו השנה שני מקרים ראויים לציין של עליית טמפרטורה מהירה וגדולה (איור 2). שני המקרים אירעו בחודש יולי, הראשון ממש בתחילת החודש כולל עליה מטמפרטורה של  $24.4^{\circ}$  בשלושים ביוני לטמפרטורה של  $27.4^{\circ}$  בארבעה ביולי, סך הכל 3 מעלות בארבעה ימים. בין השלושה לארבעה ביולי עלתה טמפרטורת פני הים ב-1.2 מעלות. יחד עם זאת, למחרת, בחמישה ביולי ירדה הטמפרטורה ל- $25.3^{\circ}$  ונותרה בין 25 ל-26 מעלות במשך למעלה משבוע.

במקרה השני עלתה טמפרטורת פני הים מ-25 ביום ה-13 ביולי ל- $27.4^{\circ}$  ביום ה-17 ביולי. עליה של כמעט שתיים וחצי מעלות בפרק זמן של ארבעה ימים כאשר בין ה-15 ל-16 ביולי עלתה הטמפרטורה במעלה שלמה. הפעם נותרו טמפרטורות פני הים בסביבות ה-27 במשך ימים רבים. ישנה סבירות גבוהה שלעליות הטמפרטורה החדות בחודש יולי היתה השפעה גדולה על חוסנם של דגי שונית וכך היו גורם מרכזי בתמותת הדגים ההמונית אשר תועדה בחודשי הקיץ (ראו פרק ב7).

הטמפרטורה המזערית אשר נמדדה השנה,  $20.6^{\circ}\text{C}$  בחודש פברואר, נמוך בהרבה מהמינימום שנמדד בשנתיים האחרונות ודומה לזה של שנת 2012, בה היה הערבוב העמוק האחרון. עם זאת, כעבור פחות משבוע כבר החלה טמפרטורת פני הים לעלות. הטמפרטורה המרבית אשר נמדדה השנה הייתה  $27.4^{\circ}\text{C}$  בחודש יולי, מעט נמוך בהשוואה לטמפרטורה המרבית אשר נמדדה בשנתיים הקודמות ( $27.8^{\circ}\text{C}$ ).

על אף אירועי ההתחממות החדים ביולי, היתה השנה קרה בהשוואה לשנות הניטור הקודמות.

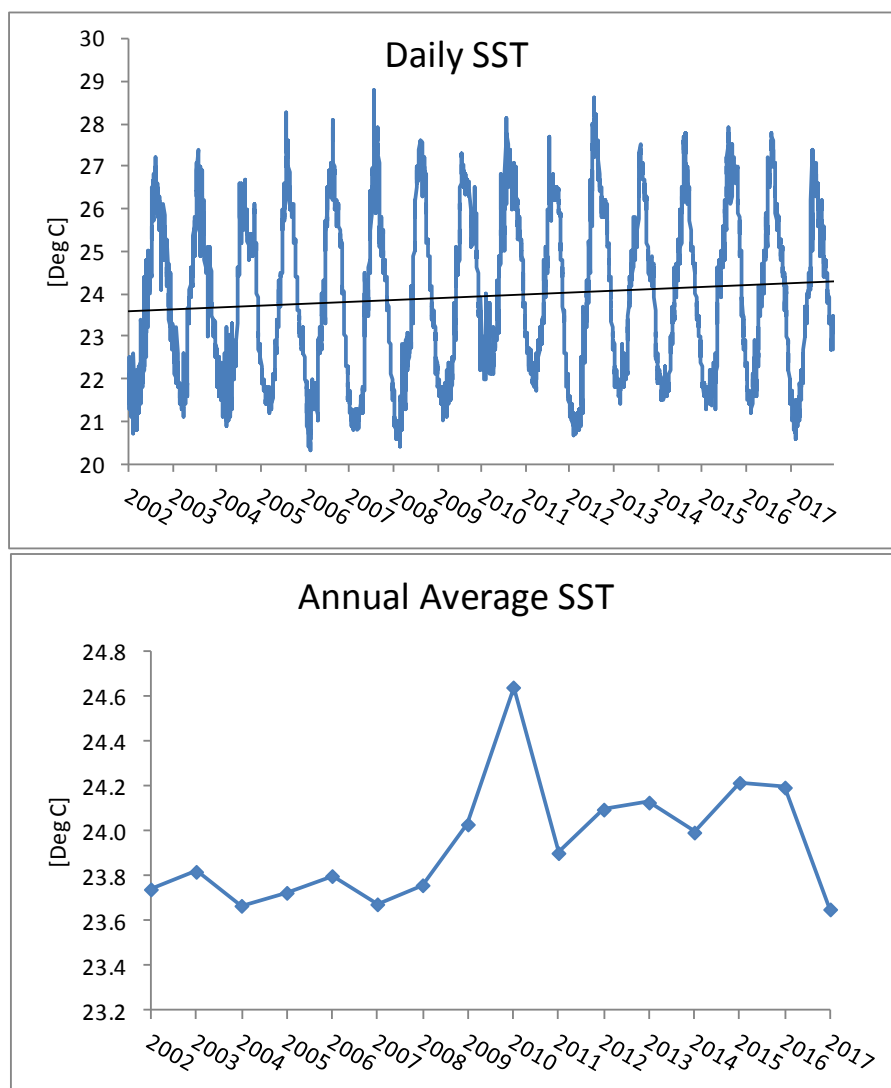


איור 2: טמפרטורת המים בפני הים בשמורת חוף אלמוג (בסמוך למזח המצפה הימי). קו אדום - שנת הניטור 2016, קו כחול - ממוצע רב שנתי של המדידות היומיות 1988-2015, קווים שחורים - ערכי קיצון ממוצעים (ממוצע שבעה ימים) ממדידות 1988-2015.

Figure E2: Daily sea surface temperatures measured from the Underwater Observatory jetty during 2016 (red line), the average SST for 1988-2015 (blue line), and long-term

average (7-day running mean) minimum and maximum values from 1988 to 2015.

מאז שנת 1988 נרשמת מגמה של עלייה בטמפרטורת פני הים הנמדדת מדי יום בסמוך למצפה התת-ימי (איור 3). השנה הייתה טמפרטורת פני הים הממוצעת 23.65, נמוך משמעותית מאשר בשנה הקודמת (24.20 °C). למעשה, השנה הייתה טמפרטורת פני הים השנתית הממוצעת הנמוכה ביותר מאז שנת 2000, בה נמדדה הטמפרטורה הנמוכה ביותר בסדרה זו (23.00 °C). הטמפרטורה הנמוכה בשנה זו עומדת בניגוד למגמת החימום הרב-שנתי של פני הים, כפי שעולה ממדידות טמפרטורה יומיות בסמוך לשונית בין 1988-2016 (ממוצע של כ-3.7 מעלות במאה שנה). אם כי גם בהתחשב בשנה קרה זו, עדיין ניכרת מגמת חימום בשיעור של כמעט 3 מעלות במאה שנה.



איור 3: למעלה: טמפרטורת המים בפני הים בשמורת חוף אלמוג (בסמוך למזח המצפה הימי) מאז 2002. קו הרגרסיה מייצג מגמה ארוכת טווח של עליית טמפרטורת פני המים מאז 1988 (נתונים באדיבות פרופ' אמציה גנין). למטה: הטמפרטורה השנתית הממוצעת.

**Figure E3: Top – Daily sea surface temperatures measured from the Underwater Observatory jetty since 2002. Linear regression represents the long term trend of rising SST since 1988 (data courtesy of Prof. Amatzia Genin). Bottom – Annual average SST.**

### ה.3. משתנים מטאורולוגיים

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

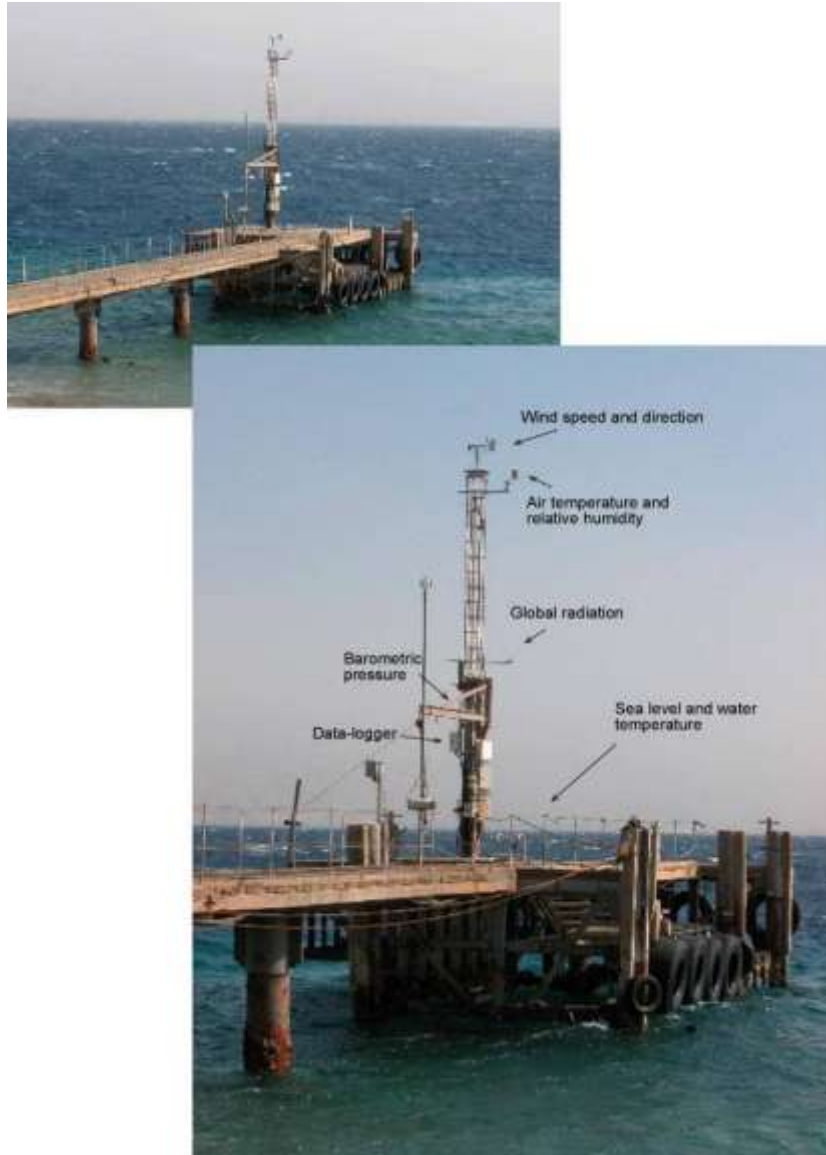
#### מטרה

מעקב רציף ומתמשך אחר משתנים מטאורולוגיים במפרץ.

#### שיטות

התחנה המטאורולוגית של תכנית הניטור כוללת מגוון של חיישנים (טבלה ה-1), ומבצעת מדידות רציפות של המשתנים הבאים: טמפרטורת האוויר, לחות יחסית, לחץ ברומטרי, קרינה גלובלית, מהירות הרוח, כיוון הרוח, טמפרטורת המים ולחץ מים (= מפלס הים). החיישנים מחוברים לרשם-נתונים (data-logger) והמערכת כולה מצויה מעל הים ופועלת באופן עצמאי (איור ה-4), כאשר נתונים מועברים אוטומטית לשרת המכון הבינאוניברסיטאי.

באביב 2010 (26.5.2010) הוספו שני חיישני קרינה לתחנה המטאורולוגית לצד חיישן הקרינה הגלובלית; חיישן לקרינה אולטרא-סגולית (UV), וחיישן לקרינה באורך גל הזמין לפעילות פוטוסינטטית (PAR). שני החיישנים הוספו בעקבות התייעצויות עם חוקרים המתמקדים באספקטים שונים של אקולוגיה בשונית (כגון יצרנות ומחלות אלמוגים) ותהליכים פוטוסינטטים ופוטוכימיים בים, עקב חשיבותם הרבה של אורכי גל אלה לאקולוגית המפרץ. הזמן לפיו נרשמים הנתונים המטאורולוגיים הוא שעון החורף של ישראל (GMT+2).



איור ה-4: התחנה המטאורולוגית בקצה המזח של המכון הבין-אוניברסיטאי.

Figure E4: 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 ה-1: רשימת הרגשים המרכיבים את התחנה המטאורולוגית בקצה המזח של המכון הבין-אוניברסיטאי.  
Table E1: Setup of the meteorological station at the end of the IUI pier, list of sensors.

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

#### תוצאות

רישומי יומן:

שני אירועי גשם משמעותיים פקדו השנה את צפון מפרץ אילת. תכנית הניטור עוקבת אחר כמויות הגשם המצטבר במג"ז שהוצב על גג המכון הבינאוניברסיטאי.

1 במרץ, 9 מ"מ (!)

13 באפריל, 2 מ"מ (רוחות דרומיות)

10 במרץ, סערה דרומית

14 באפריל, אובך

18 במאי, סופת אבק מהסהרה

במהלך ספטמבר ואוקטובר – עבודות תשתית בסמוך לגבול ישראל-ירדן בחוף הצפוני, ענני אבק נישאים לים על הרוחות הצפוניות. עכירות גבוהה באזור החוף הצפוני.

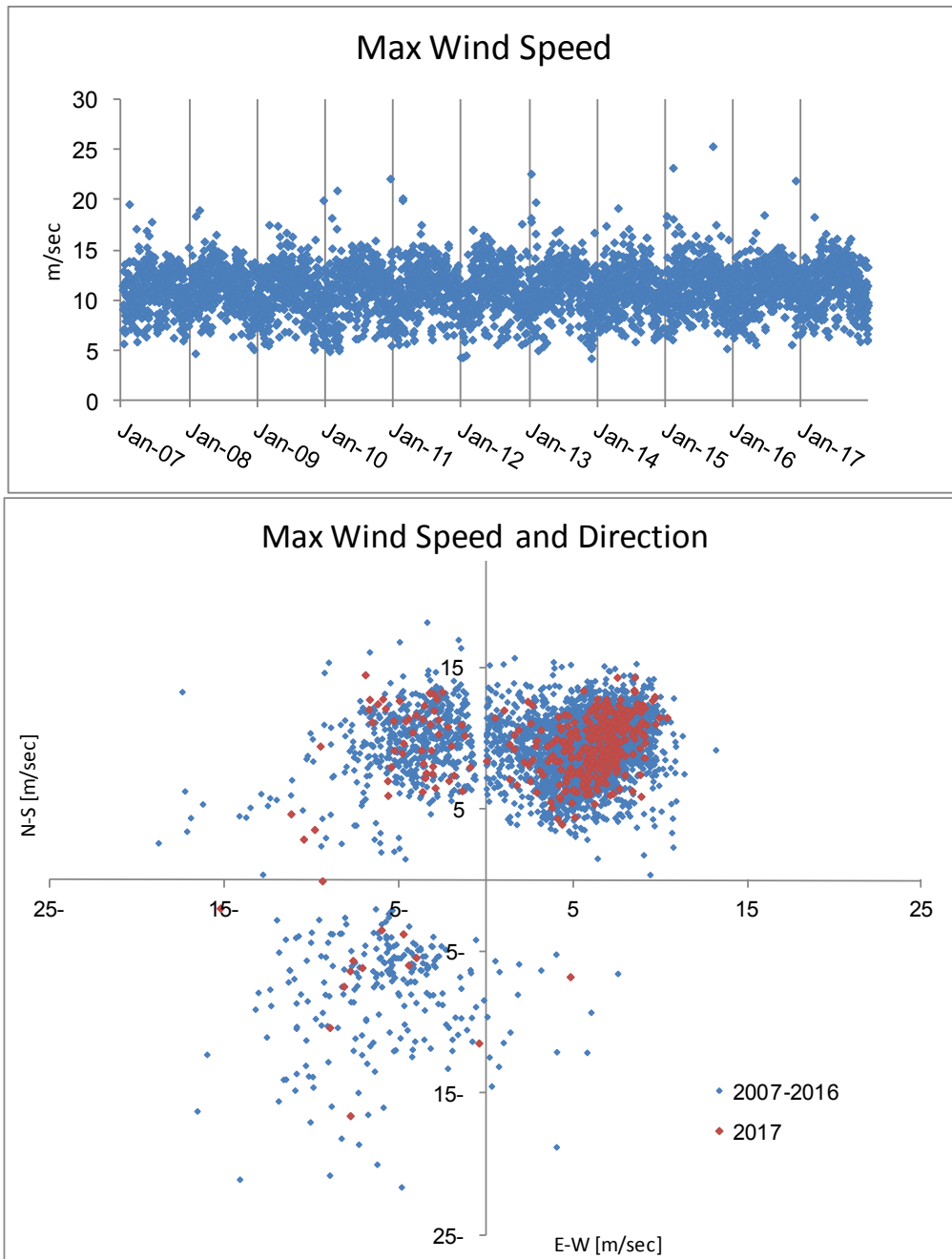
#### **מדידות אטמוספיריות**

רוח:

הרוחות השנה לא היו חריגות בעוצמתן וגם הרוחות הדרומיות היו פחות חזקות מאלו שנמדדו בשנים 2010-11 ו-2013 (איור 5). הרוח החזקה ביותר שנשבה השנה היתה דרומית ( $205^\circ$ ) בחודש מרץ, במהירות של 18 מטר בשניה. זוהי מהירות נמוכה בהשוואה למהירות המרבית שנמדדה בשנתיים הקודמות, 22-25 m/sec.

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 לצייר האורך של המפרץ מסוגלות לייצר סערות דרומיות עם גלים גבוהים. השנה לא היו סערות דרומיות חזקות.





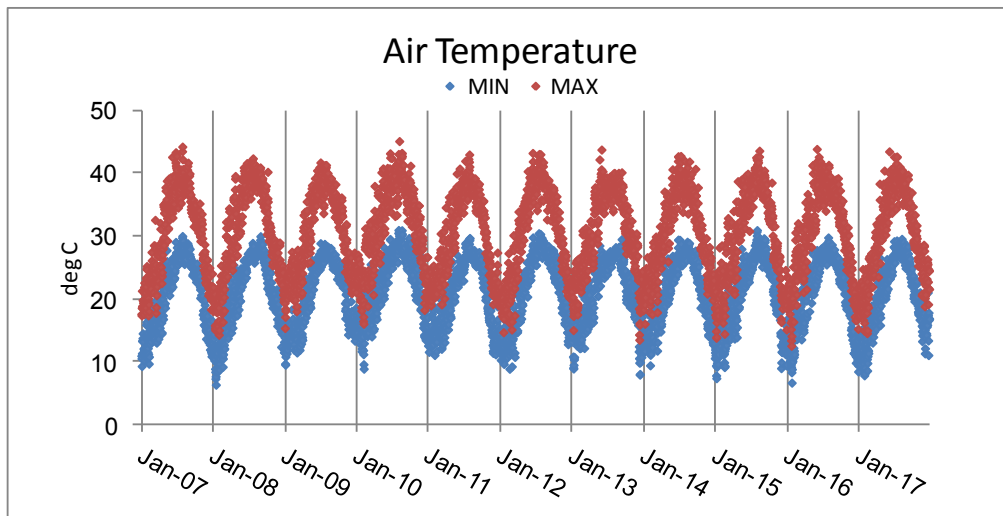
איור 5: למעלה- מדידות מהירות הרוח המרבית בכל יממה במטרים לשנייה. למטה- מהירות הרוח המרבית ביממה וכיוונה מאז תחילת 2007. מדידות השנה האחרונה באדום.

**Figure E5: 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 האויר מעל הים משקפת את המחזור העונתי בשינויים הדרגתיים של הטמפרטורה המרבית והמזערית בכל יממה (איור 6). הטמפרטורה הגבוהה ביותר השנה הייתה  $43.5^{\circ}\text{C}$ , בחודש יוני, דומה לשנה הקודמת. הטמפרטורה הנמוכה ביותר השנה הייתה בתחילת השנה, בחודש פברואר,  $7.9^{\circ}\text{C}$ , גבוהה ביותר ממעלה בהשוואה לשנה הקודמת ( $6.7^{\circ}\text{C}$ ). הטמפרטורה הנמוכה בסוף השנה, בחודש דצמבר, הייתה  $11.4^{\circ}\text{C}$ , מעלה וחצי יותר מאשר בשנה הקודמת. על אף שטמפרטורות האויר השנה לא היו נמוכות במיוחד, טמפרטורת פני הים השנתית הממוצעת, והמזערית בחורף הייתה נמוכה (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.

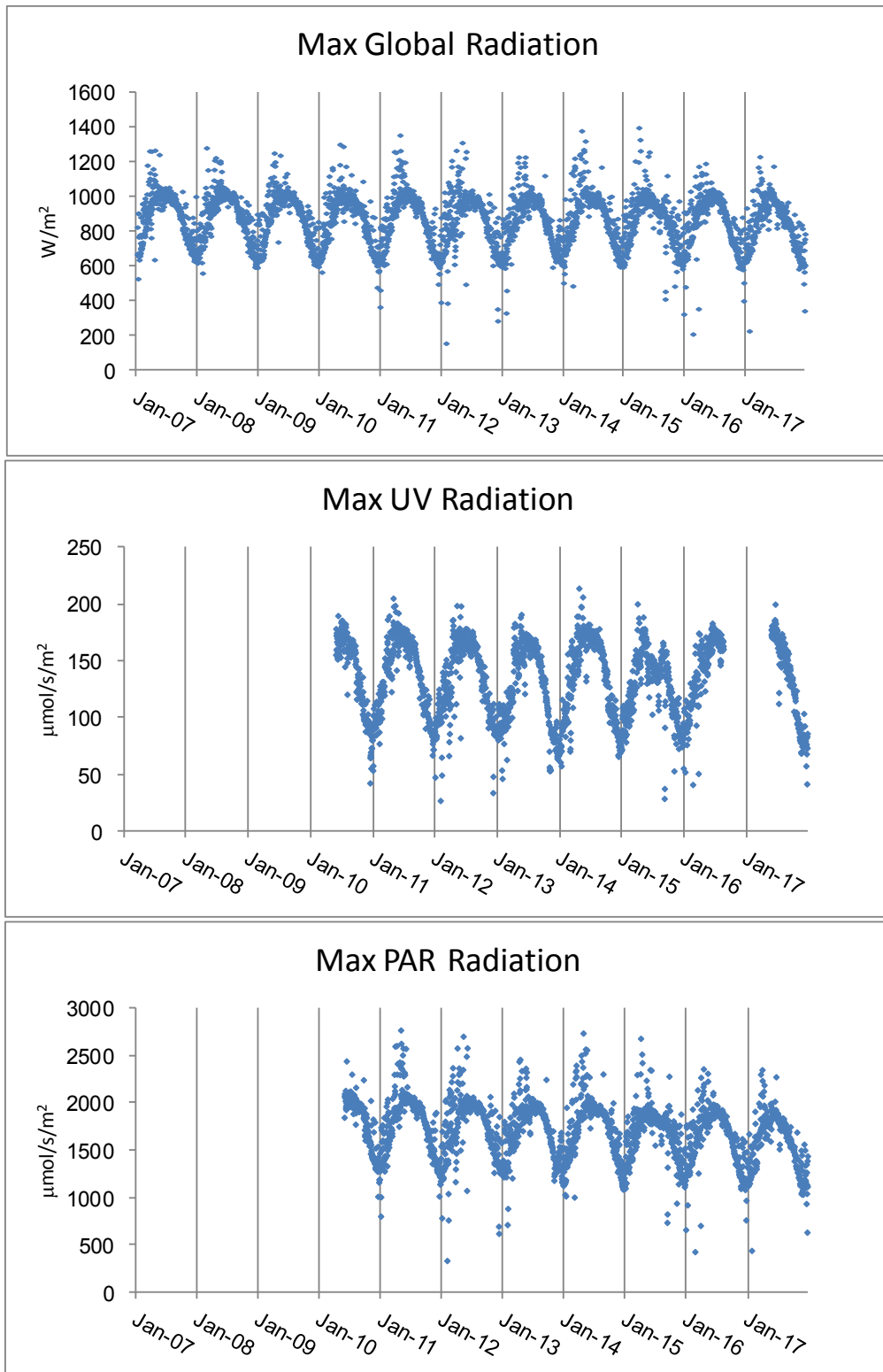


איור 6: ערכים מרביים ומזעריים (באדום ובכחול, בהתאמה) של טמפרטורת האוויר מעל הים, בכל יממה.  
**Figure E6: Maximum and minimum (red and blue, respectively) daily air temperature above the sea.**

קרינה:

חיישן הקרינה האולטרא-סגולה התקלקל בחודש אוגוסט 2016, והוחלף באמצע השנה (מאי 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 (1232 ואט\מטר רבוע, בחודש אפריל) הייתה גבוהה מן השנה הקודמת, אך נמוכה מהערכים המירביים אשר נמדדו ברוב השנים הקודמות. הקרינה הגלובלית הגבוהה ביותר אשר נמדדה עד כה במסגרת הניטור היתה 1399 ואט\מטר רבוע, באפריל 2015 (איור 7). גם הערכים המירביים של הקרינה באורכי הגל האולטרא סגול והזמין ליצרנות (PAR) נמוכים בשנתיים האחרונות בהשוואה לשנים הקודמות. 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 המירביות של הקרינה הגלובלית וקרינת ה-PAR. בנוסף, נראה כי עצמת הקרינה האולטרא-סגולה פוחתת במידה רבה יותר מהקרינה הכללית עם המעבר מקיץ לחורף.



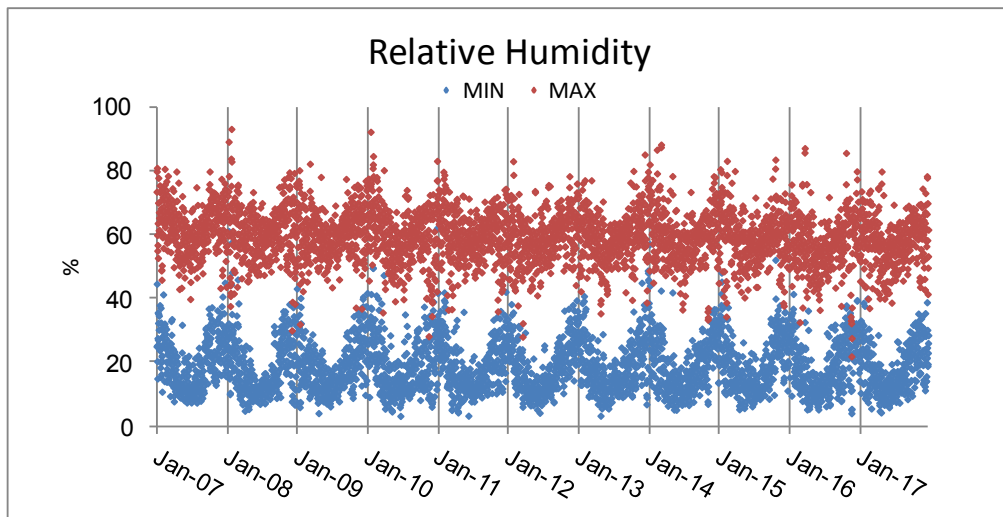
איור ה-7: ערכים יומיים מרביים של קרינה גלובלית (למעלה), קרינה אולטרא-סגולה (באמצע) וקרינה זמינה לפוטוסינתזה (למטה).

**Figure E7: 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 באביב ובסתיו

(איור 8). השנה נמדדה לחות מרבית של 79% בחודש מאי. זהו ערך מעט נמוך בהשוואה ללחות המרבית אשר נמדדה בשנים האחרונות. 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 לרב לעליה בלחות. גם כאן יש לזכור כי ערכים אלה נמדדים מעל הים וצפויים להיות שונים (גבוהים) מהלחות הנמדדת ביבשה באזור אילת.

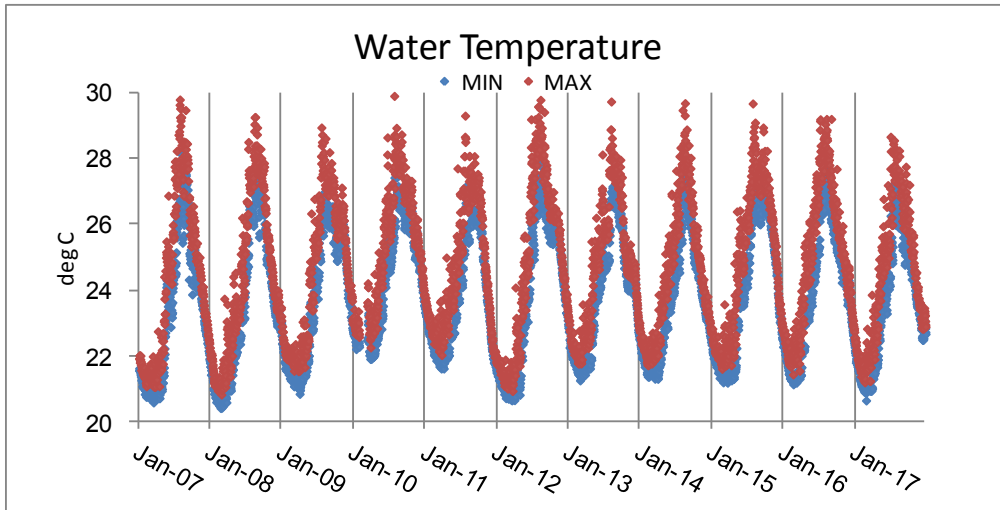


איור 8: ערכים מרביים ומזעריים (באדום ובכחול, בהתאמה) של לחות יחסית מעל הים, בכל יממה.  
**Figure E8: Maximum and minimum (red and blue, respectively) daily values of relative humidity over the sea.**

### מדידות בים

טמפרטורת פני הים:

במדידות טמפרטורת המים (עומק כ-2 מטרים) ניתן לעקוב אחר המחזור העונתי בו טמפרטורת המינימום ( $20.7^{\circ}\text{C}$ , בחודש מרץ) היתה נמוכה בכחצי מעלה בהשוואה לשנה הקודמת ודומה לערך המזערי בשנת 2012 בה היה ערבוב עמודת המים עמוק (איור 9). טמפרטורת המקסימום ( $28.7^{\circ}\text{C}$ ) נמדדה בחודש יולי והיתה גם היא נמוכה בכחצי מעלה מזו של השנה הקודמת. בשנים האחרונות נראה כי טמפרטורת פני הים המרבית נמוכה מהערך המירבי אשר נמדד בשנת 2010 ( $29.9^{\circ}\text{C}$ ). טמפרטורת פני הים המזערית בסוף השנה היתה  $22.5^{\circ}\text{C}$ , דומה לערך המזערי של השנה הקודמת ומעט נמוך בהשוואה לשנתיים שלפניה. משרעת טמפרטורת המים היתה גם השנה קטנה יחסית, אם כי בחורף היתה הטמפרטורה נמוכה בהשוואה לשנים האחרונות. 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. טמפרטורת פני הים הנמוכה יחסית הן בחורף והן בקיץ גרמו לכך שהטמפרטורה השנתית הממוצעת היתה נמוכה בהשוואה לרוב השנים מהן קיימות מדידות סדירות. עם זאת, הטמפרטורה המזערית לא נותרה נמוכה זמן ארוך מספיק כדי ליצור ערבוב עמוק של עמודת המים והחלה לעלות כבר בחודש פברואר.

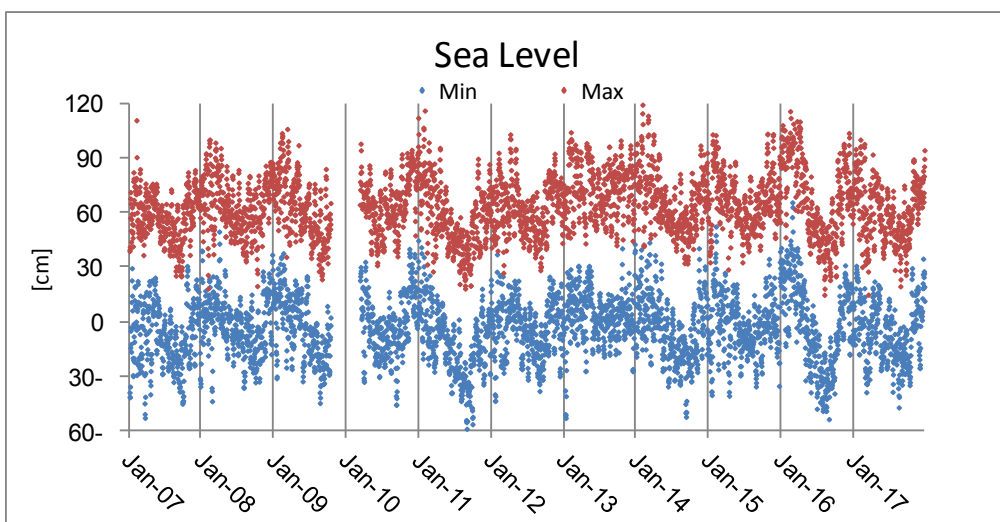


איור ה-9: ערכים יומיים מרביים ומזעריים (באדום ובכחול, בהתאמה) של טמפרטורת המים (בעומק כ-2 מ').  
**Figure E9: Maximum and minimum (red and blue, respectively) daily water temperature at ~2m depth.**

מפּלס ים:

[מדידות מפּלס 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 המפּלס והותקן חיישן חדש ב-6 בנובמבר 2012. המדידות השגויות הוחלפו במדידות אשר נעשות על ידי המרכז למיפוי ישראל ממזח המכון הבינאוניברסיטאי. במשך השנה כוייל החיישן מספר פעמים כנגד מדידות המפּלס של המרכז למיפוי ישראל.]

מפּלס הים משתנה בעיקר במחזוריות חצי יממית של גאות ושפל. המחזור השנתי מורכב ממפּלס ים גבוה בחודשי החורף ונמוך יותר בחודשי הקיץ (איור ה-10). בחודשי החורף גם נמדדות תנודות גדולות יותר במפּלס הים המזערי ביממה, וזאת ככל הנראה בהשפעת הרוחות ומערכות האקלים הפחות יציבות בחודשים אלה.



איור ה-10: ערכים מרביים ומזעריים (באדום ובכחול, בהתאמה) של מפּלס הים, בכל יממה.  
**Figure E10: 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.

#### מטרה

מעקב רציף וארוך-טווח אחר זרמי הים בעמדות המים בקרבת החוף.

#### שיטות

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 ה-11). המכשיר מחובר באמצעות כבל חשמל ותקשורת למכון הבינאוניברסיטאי והנתונים (בתדירות של חמש דקות) נשמרים על שרת המכון. דיאגרמות הכיוונים (rose diagram) ודיאגרמות המקלות (stick diagram) שורטטו בעזרת תכנת R; דיאגרמות וקטוריות מתקדמות (progressive vector diagram), חושבו ושורטטו בעזרת תכנת מאטלב (matlab).



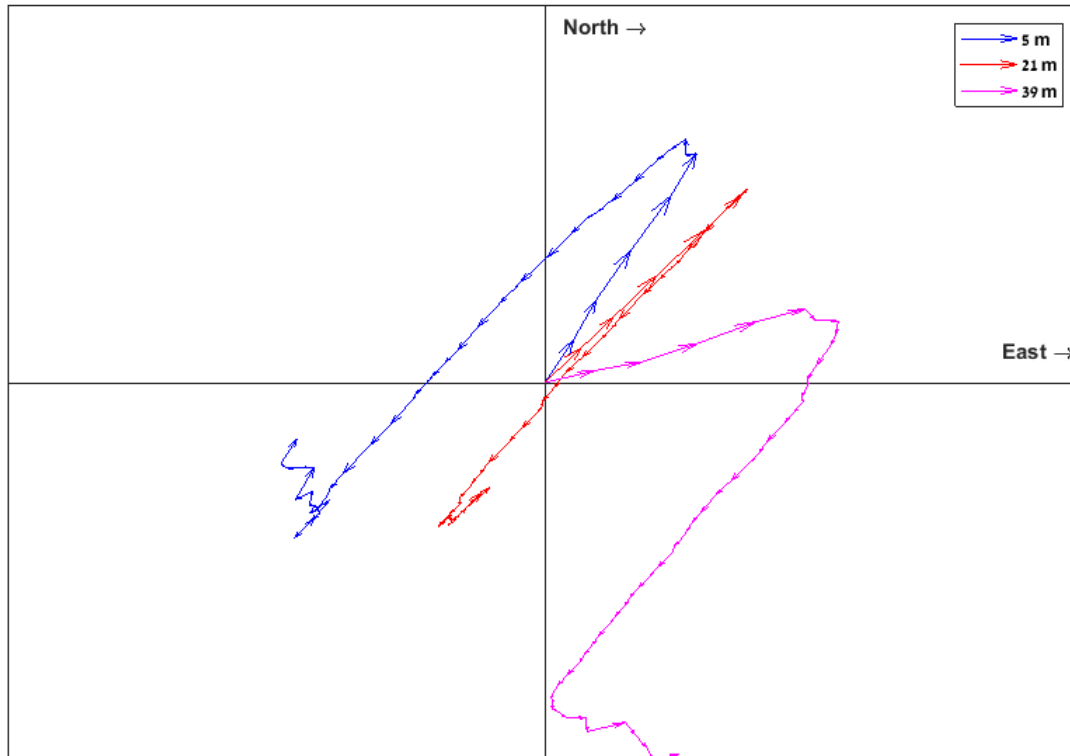
איור ה-11: מכשיר ה-ADCP על קרקעית הים בעומק 24 מ', מול הקצה הדרומי של המכון הבין-אוניברסיטאי. המכשיר מחובר בכבל תקשורת וחשמל ומזין נתונים ישירות לשרת המכון.

**Figure E11:** 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.

## תוצאות

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), 20 מטרים (אמצע עמודת המים במקום המדידה) ו-5 מטרים (מייצג את הזרם בקרבת פני הים).

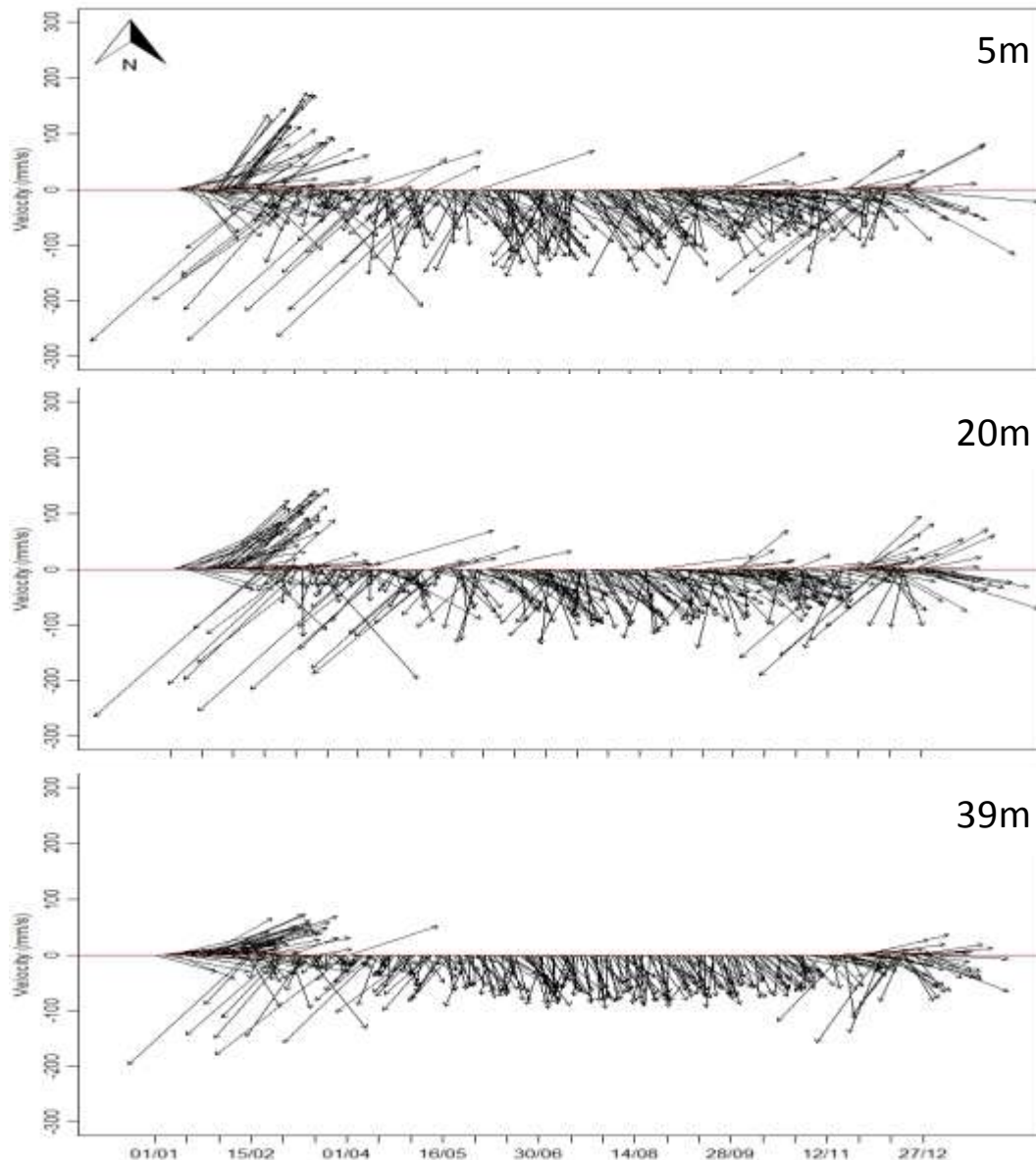
ככלל, הזרמים הדומיננטים בקרבת המכון הבינאוניברסיטאי מקבילים לחוף בפרט באמצע עמודת המים שם לא מורגשים השפעות הקרקעית או פני הים, רוחות וגלים. בקרבת פני הים ובקרבת הקרקעית ישנו רכיב משמעותי של זרימה ניצבת לחוף בחודשי החורף (איור ה-12). הזרימה בקרבת פני הים מקבלת רכיב מערבי (לכיוון החוף) ואילו הזרימה בקרבת הקרקעית מקבלת רכיב ממזרחי (מתרחק מהחוף).



איור ה-12: זרמים מול המכון הבינאוניברסיטאי בשלושה עומקים (בסמוך לקרקעית 39 מ', 20 מ' ובקרבת פני הים ב-5 מטרים) בשנת 2017. דיאגרמות וקטורים מתקדמים עוקבות אחר התקדמותה של "חבילת מים" דמיונית כאשר כיוון החצים מראה את כיוון ההתקדמות וגודלם את המהירות.

**Figure E12: Currents off the IUI at three depths (near the sea floor at 39m, 20m and close to the surface at 5m) in 2017. 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.**

הזרמים חזקים יותר בקרבת פני הים וחלשים יותר עם העומק (איור ה-13). ברוב חודשי הקיץ הזרימה אחידה וצפויה, עם כיוון עיקרי לדרום-מזרח, במקביל לקו החוף, ואילו בחורף הזרימה פחות אחידה ומהירות הזרם גדולה יותר.

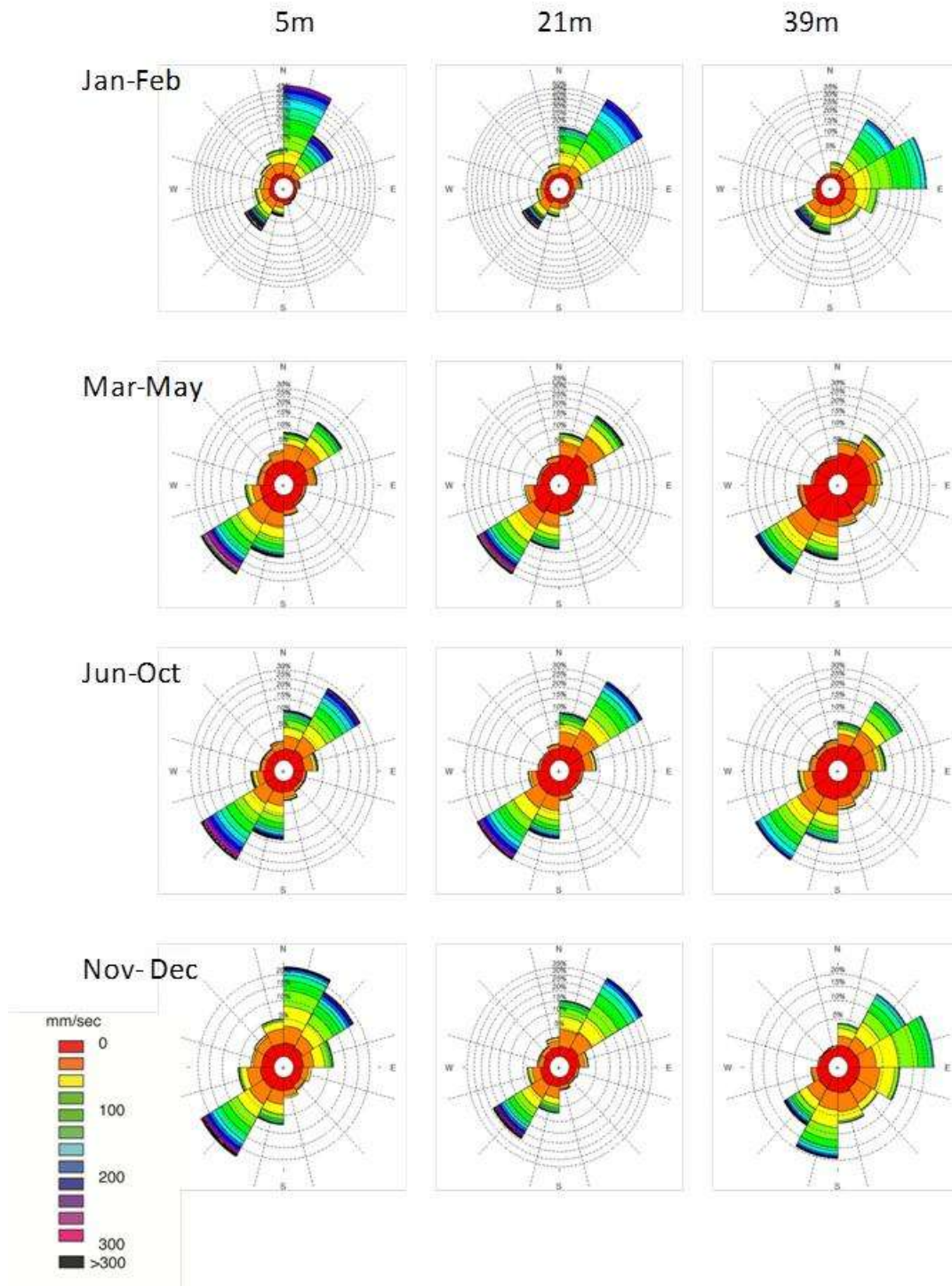


איור ה-13: זרמים מול המכון הבינאוניברסיטאי בשלושה עומקים (בסמוך לקרקעית 39מ', 20מ' ובקרבת פני הים ב-5 מטרים) בשנת 2017. דיאגרמות מקלות מראות את כיוון ועוצמת הזרם הממוצעת בכל יום.

**Figure E12: Currents off the IUI at three depths (near the sea floor at 39m, 20m and close to the surface at 5m) in 2017. Stick diagrams represent the average current direction and speed in each day.**

בדרך כלל הזרימה מקבילה לחוף, אולם בחודשי הסתיו והחורף לזרמים בקרבת הקרקעית נוסף כיוון ניצב לחוף, בכיוון מזרח, המשקף מצב של התקררות המים הרדודים בקרבת החוף וזרימתם מטה לאורך הקרקעית (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 ה-14).





איור 14: תבנית הזרימה בכל עונה מול המכון הבינאוניברסיטאי בשלושה עומקים (בסמוך לקרקעית 39מ', 20מ' ובקרבת פני הים ב-5 מטרים). דיאגרמות כיוונים מצביעות על כיוון הזרימה וגודל כל עלה מצביע על התדירות של כיוון זה מתוך כלל המדידות. עצמת הזרם מיוצגת על ידי סולם הצבע (שטחו של כל צבע מייצג את תדירות הזרימה בעוצמה זו)

**Figure E14: Monthly current patterns off the IUI at three depths (near the sea floor at 39m, 20m and close to the surface at 5m). Rose diagrams present the frequency of a given direction by the size of petals and the frequency of current velocity by the colored area in each petal.**

### מטרה

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

### שיטות

אבק מרחף נאסף על גבי פילטר נקי ( $0.45\mu\text{m}$ ) דרכו נשאב אויר בעזרת משאבת ואקום הפועלת ברציפות. הפילטר מותקן בתושבת המורמת מעל מזה 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 או בהתקרב ספינה לעגינה במזח מופסקת פעולת השאיבה על מנת למנוע זיהום הדוגמה. מכיוון שכך, יתכן כי הרקורד השבועי אינו מלא, אך נשמרת אחידות תנאים לשם השוואה והערך המחושב (ריכוז) אינו נפגע מהפסקות אלה.

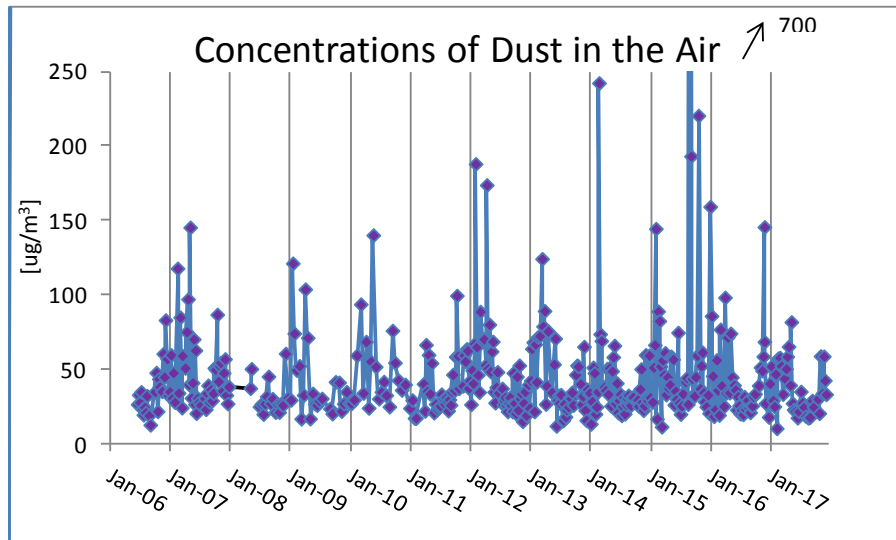
פילטר האבק נשקל במאזנים אנליטיים עם רגישות של חמש ספרות (לפני ואחרי איסוף האבק) והטיפול כולו נעשה במעבדה נקייה. לאחר שקילת האבק וחישוב ריכוזו במכון הבינאוניברסיטאי, הפילטר נשלח למכון למדעי כדור הארץ לאנליזה גיאוכימית.

### 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 אראל וד"ר עדי טורפשיין), ונתמך בחלקו על ידי תכנית הניטור. תכנית הניטור בתמיכתה במחקר עוקבת אחר כמויות האבק המגיעות למפרץ במחשבה שאבק עשוי להיות מקור חשוב לנטריינטים, ובפרט יסודות קורט חיוניים.]

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 ה-15). ריכוזי האבק המרביים אשר נמדדו בתחילת חודש ספטמבר 2015,  $699\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ , היו הגבוהים ביותר אשר נמדדו עד כה במסגרת תכנית הניטור ונמדדו במשך סופת אבק שנמשכה מספר ימים. השנה ריכוזי האבק מעל מזה המכון היו נמוכים וגם אירועי אבק לא יצרו שיאים גדולים. ריכוזי האבק המרביים נמדדו השנה בחודש מאי,  $82\ \mu\text{m}/\text{m}^3$ . בשנה הקודמת נמדדו ריכוזי אבק מרביים בחודשים ינואר ודצמבר ( $159\ \mu\text{m}/\text{m}^3$ ,  $145\ \mu\text{m}/\text{m}^3$  בהתאמה). בסך הכל, ריכוזי האבק אשר נמדדו השנה היו מן הנמוכים שנמדדו עד כה בתכנית הניטור.

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



איור ה-15: ריכוזי אבק באוויר מעל הים. מדידות נעשות על גבי פילטר דרכו מזרם האוויר ומוחלף מדי שבוע.

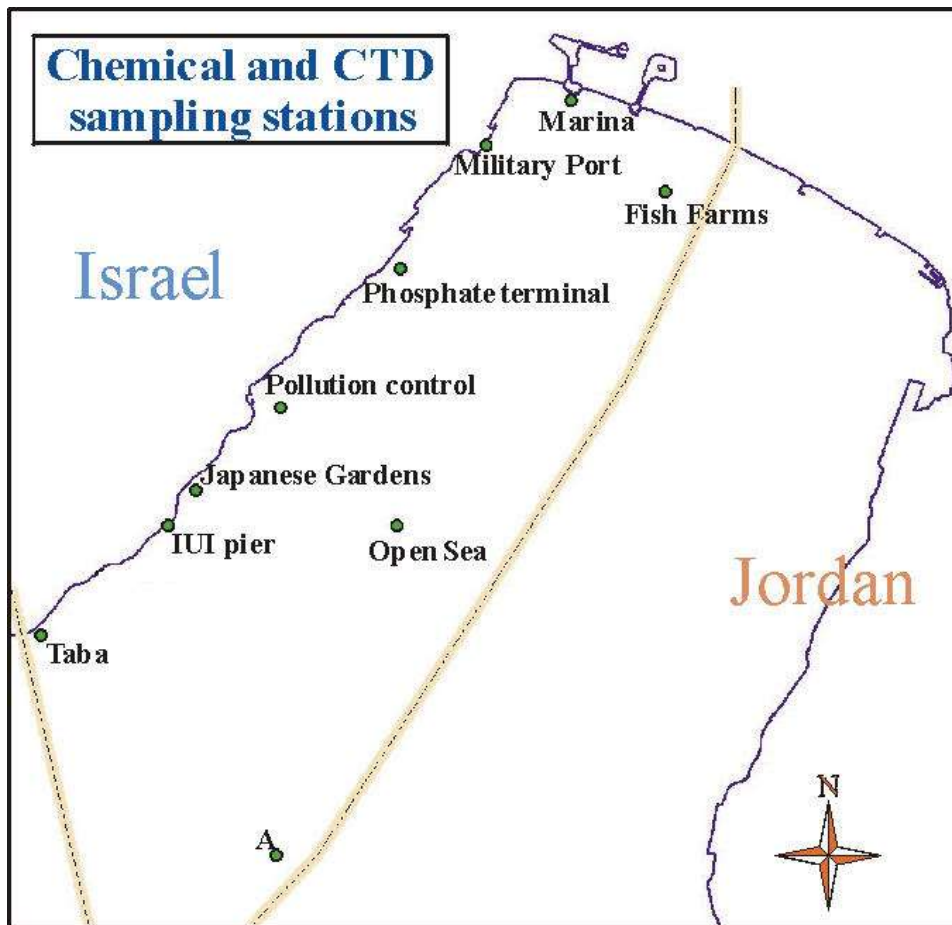
**Figure E15: Weekly dust concentrations in the air above the sea. Dust is measured on filters through which air is continuously pumped.**

- Biton, E., and H. Gildor (2011). The general circulation of the Gulf of Aqaba (Gulf of Eilat) revisited: The interplay between the exchange flow through the Straits of Tiran and surface fluxes. *J. Geophys. Res.*, 116, C08020, doi:10.1029/2010JC006860
- Bush, A. O., Aho, J. M. and Kennedy, C. R. (1990). Ecological versus phylogenetic determinants of helminth parasite community richness. *Evolutionary Ecology*, 4: 1-20.
- Babcock, R.S., Baird, A.H., Pironvaragorn, 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.
- 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.

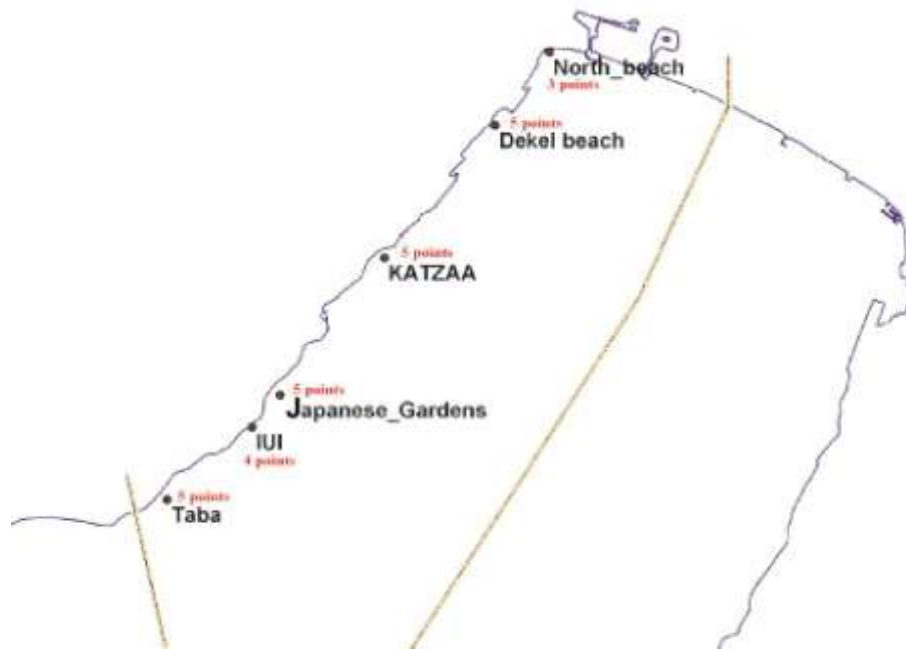
## ז. נספחים

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.



מפה ז2: מפת מיקום אתרי השוניית בהם הוצבו תושבות למעקב צילומי אחר חלקות קבועות. ראה פירוט תצלום האוויר באיור ב1 בגוף הדו"ח.

**Map G2: Sites of photographic monitoring of fixed areas in the coral reef.**

2.2. רשימות סוגי האלמוגים

טבלה ז1: רשימת אלמוגי האבן (ומספר המושבות) בחתכי הקו בסקר חברת השונית בשנת 2017.  
**Table G1: List of stony corals and the number of colonies of each taxa found in the coral reef line-transect survey, 2017.**

<b>Genus</b>	<b>IUI</b>	<b>Katza</b>	<b>NR</b>	<b>Eilat Total</b>
<i>Acanthastrea</i>	37	11	7	55
<i>Acropora</i>	91	141	248	480
<i>Astreopora</i>	4	2	20	26
<i>Coscinaraea</i>	24	13	6	43
<i>Ctenactis</i>			1	1
<i>Cynarina</i>	4		3	7
<i>Cyphastrea</i>	108	57	83	248
<i>Dipsastrea</i>	132	46	61	239
<i>Echinophyllia</i>	3	2	10	15
<i>Echinopora</i>	18	88	174	280
<i>Erythrastrea</i>	2	5	3	10
<i>Favites</i>	25	19	49	93
<i>Fungia</i>	4	5	2	11
<i>Galaxea</i>		11	5	16
<i>Goniastrea</i>	95	57	111	263
<i>Goniopora</i>	2	12	19	33
<i>Gyrosmlia</i>	47	3	7	57
<i>Herpolitha</i>		1		1
<i>Hydnophora</i>	2	2	7	11
<i>Leptastrea</i>	71	41	33	145
<i>Leptoria</i>		2		2
<i>Leptoseris</i>			2	2
<i>Lobophyllia</i>	1	9	66	76
<i>Merulina</i>		2		2
<i>Millepora</i>	115	9	11	135
<i>Montipora</i>	44	157	154	355
<i>Mycedium</i>		13	23	36
<i>Oxypora</i>		4		4
<i>Pachyseris</i>		2	1	3
<i>Paramontastrea</i>	70	102	56	228
<i>Pavona</i>	2	81	16	99
<i>Platygyra</i>	17	9	25	51
<i>Plerogyra</i>			1	1
<i>Plesiastrea</i>	28	5	14	47
<i>Pocillopora</i>	32	4	18	54
<i>Porites</i>	38	63	106	207
<i>Psammocora</i>	3	28	24	55
<i>Seriatopora</i>	2	20		22
<i>Siderastrea</i>	31		6	37
<i>Stylophora</i>	146	128	160	434
<i>Turbinaria</i>	8	4	4	16
<b>Total</b>	<b>1206</b>	<b>1158</b>	<b>1536</b>	<b>3900</b>



טבלה 2: רשימת מושבות האלמוגים (מכל הסוגים) אשר זוהו באתרי הצילום הקבועים בשנת 2017.  
**Table G2: list of colonies (of all types) that were recognized in all permanent photo-sites, in 2017.**

<b>Genus</b>	<b>NB</b>	<b>Dekel</b>	<b>Katzaa</b>	<b>NR</b>	<b>IUI</b>	<b>Taba</b>	<b>Total</b>
<i>Acanthastrea</i>		0	3	3	18	0	24
<i>Acropora</i>		13	51	74	13	7	158
<i>Alveopora</i>		1	2	2	0	10	15
<i>Astreopora</i>		0	0	5	1	0	6
<i>Balanophyllia</i>		0	0	1	2	0	3
<i>Coscinaraea</i>		0	0	1	2	2	5
<i>Ctenactis</i>		0	0	3	0	0	3
<i>Cyphastrea</i>		4	21	29	52	15	121
<i>Echinophyllia</i>		0	0	1	2	7	10
<i>Echinopora</i>		11	39	69	18	6	143
<i>Favia</i>		6	18	10	73	23	130
<i>Favites</i>		2	47	26	57	16	148
<i>Fungia</i>		0	3	3	0	1	7
<i>Galaxea</i>		1	6	1	0	2	10
<i>Goniastrea</i>		10	33	74	90	40	247
<i>Goniopora</i>		6	1	4	1	0	12
<i>Gyrosmlia</i>		0	0	0	1	1	2
<i>Herpolitha</i>		0	0	3	0	2	5
<i>Hydnophora</i>		0	0	0	0	4	4
<i>Leptastrea</i>		0	16	8	31	18	73
<i>Leptoria</i>		1	0	0	2	1	4
<i>Lobophyllia</i>		3	5	8	2	0	18
<i>Millepora</i>		1	0	0	42	25	68
<i>Montipora</i>		7	57	32	5	3	104
<i>Mycedium</i>		0	14	4	0	0	18
<i>Palythoa</i>		0	0	1	0	2	3
<i>Pavona</i>		3	21	7	2	4	37
<i>Platygyra</i>		3	2	7	23	12	47
<i>Plerogyra</i>		1	0	0	0	1	2
<i>Plesiastrea</i>		0	5	3	8	2	18
<i>Pocillopora</i>		1	2	8	6	6	23
<i>Porites</i>		19	13	15	9	18	74
<i>Psammocora</i>		0	2	1	1	1	5
<i>Rhytisma</i>		5	6	14	3	8	36
<i>Sarcophyton</i>		0	1	1	1	1	4
<i>Seriatopora</i>		0	5	5	0	0	10
<i>Sinularia</i>		0	1	0	0	0	1
<i>Stylophora</i>		2	17	14	40	13	86
<i>Tubastrea</i>		0	0	0	1	0	1
<i>Turbinaria</i>		0	0	0	1	0	1
<i>Xenia</i>		10	55	38	8	0	111
<b>Total</b>		<b>110</b>	<b>446</b>	<b>475</b>	<b>515</b>	<b>251</b>	<b>1,797</b>

### ז.3. טבלת פעילות צוות הניטור בשנת 2017

תאריך וסוג הפעילות	מס' דגימות	מטרת העבודה	ימי עבודה	המבצעים
ינואר דיגום יומיומי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מדידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל, טניה, מוריאל, רוני, מרק
10 ינואר צלילה להוצאת לוחיות התיישבות אצות בנתוניות בשמורה הסגורה	18 לוחיות משלושה עומקים	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	ענבל, טניה, שנירקול מרק, מוריאל
12 ינואר דיגום לוחיות התיישבות אלמוגים בשמורה	8 לוחיות	סריקת הלוחיות תחת בניקולר	1	ענבל, טניה
16 ינואר דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריינטים 4 חמצן, pH 16, 16 אלקלניות, 8 מליחות 8 כלורופיל 8 FACS	השוואה בין התחנות השונות	1	טניה, ענבל, מוריאל, רוני, מרק
17 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 אנליזות דוגמאות	אנליזות דוגמאות	עיבוד נתונים ואנליזת דוגמאות	5	ענבל מוריאל, טניה, מרק
ינואר 23-24 דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	2 ימים	מרק, ענבל, רוני
29 ינואר צלילה להוצאת לוחיות התיישבות אצות בנתוניות במכון	6 לוחיות	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	ענבל רוני
30 ינואר דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת הזואופלנקטון במפרץ	1	ענבל, מרק, רוני
פברואר דיגום יומיומי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מדידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל, טניה, מוריאל, רוני, מרק
1-7 פברואר אנליזת דוגמאות ועיבוד נתונים + כתיבת דוח שנתי	אנליזות דוגמאות מההפלגה	אנליזת דוגמאות ועיבוד נתונים	5 ימים	טניה, מוריאל, ענבל מרק
8 פברואר צלילה להוצאת לוחיות התיישבות אצות בנתוניות בשמורה הסגורה	18 לוחיות.	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	צלילה: ענבל, יוני שנירקול: מרק, מוריאל עבודה במעבדה: ענבל
10-11 פברואר אנליזת דוגמאות ועיבוד נתונים + כתיבת דוח שנתי	אנליזות דוגמאות מההפלגה	אנליזת דוגמאות ועיבוד נתונים	3	טניה, מוריאל, ענבל רוני, מרק, יוני
14 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
16 פברואר דיגום חופי דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריינטים 4 חמצן, pH 16, 16 אלקלניות, 8 מליחות 8 כלורופיל 8 FACS	השוואה בין התחנות השונות	2	טניה, ענבל, מוריאל, יוני, מרק
19-23 פברואר אנליזת דוגמאות וכתיבת דוח	אנליזות דוגמאות מההפלגה	אנליזות כימיות של הדוגמאות	5	טניה, מוריאל, ענבל, מרק, אירנה
19-20 פברואר דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	2	מרק, ענבל, רוני
26 פברואר צלילה להוצאת לוחיות התיישבות אצות בנתוניות במכון	6 לוחיות	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	ענבל, רוני
28 פברואר דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת הזואופלנקטון במפרץ	2	ענבל, מרק, רוני

מרץ דיגום יומיומי של כמות הכלורופיל בשונית ממוח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מדידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל, טניה, מוריאל, רוני, מרק, אירנה
מרץ 1-3 אנליזת דוגמאות ועיבוד נתונים + כתיבת דוח שנתי	אנליזת דוגמאות מההפלגה	אנליזת דוגמאות ועיבוד נתונים	3 ימים	טניה, מוריאל, ענבל, מרק, רוני
מרץ 6 צלילה להוצאת לוחיות התיישבות אצות בנתוניות בשמורה הסגורה	18 לוחיות.	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	צלילה: ענבל, טניה שנירקול: מוריאל מרק עבודה במעבדה: ענבל
מרץ 10 בדיקת כמות הכלורופיל בלוחיות ההתיישבות	קריאת 18 דוגמאות בפלאורומטר, הכנסת הנתונים למחשב	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	0.5	ענבל
מרץ 14 דיגום חופי דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריינטים 4 חמצן, pH 16 16 אלקלניות, 8 מליחות 8 כלורופיל,	השוואה בין התחנות השונות	2	טניה, ענבל, מוריאל, רוני, מרק
מרץ 15 הפלגה משותפת עם הירדנים B,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
מרץ 16-23 אנליזת דוגמאות ועיבוד נתונים + כתיבת דוח שנתי	אנליזת דוגמאות מההפלגה	אנליזת דוגמאות ועיבוד נתונים	6 ימים	טניה, מוריאל, ענבל אירנה, מרק
מרץ 20-21 דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	2	מרק, ענבל, רוני
מרץ 28 צלילה להוצאת שש לוחיות התיישבות אצות בנתוניות מול המעבדה	שש לוחיות.	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	צלילה: ענבל, מוריאל עבודה במעבדה: ענבל
מרץ 23 צלילה להצבת לוחיות התיישבות אלמוגים	הצבת שלושה מערכים במעבדה הימית	מדידת גיוס אלמוגים על לוחיות התיישבות	1	ענבל, טניה, מרק, רוני
מרץ 26 צלילה להצבת לוחיות התיישבות בשמורה הסגורה	הצבת שלושה מערכים במעבדה הימית	מדידת גיוס אלמוגים על לוחיות התיישבות	1	ענבל, טניה, מרק, רוני
מרץ 27 צלילה להוצאת לוחיות התיישבות אצות בנתוניות במכון	6 לוחיות	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	ענבל, רוני
מרץ 29 דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומסה הזואופלנקטון במפרץ	1 יום	ענבל, מרק, רוני
אפריל דיגום יומיומי של כמות הכלורופיל בשונית ממוח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מדידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל, טניה, מוריאל, רוני, אירנה, מרק
אפריל 4 צלילה להוצאת לוחיות התיישבות אצות בנתוניות בשמורה הסגורה	18 לוחיות.	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	צלילה: ענבל, טניה שנירקול: מוריאל מרק עבודה במעבדה: ענבל
אפריל 5 בדיקת כמות הכלורופיל בלוחיות ההתיישבות	קריאת 18 דוגמאות בפלאורומטר, הכנסת הנתונים למחשב	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	0.5	ענבל
אפריל 18-19 דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	2 ימים	מרק, ענבל, רוני
אפריל 23 דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריינטים 4 חמצן, pH 16 16 אלקלניות, 8 מליחות 8 כלורופיל, 8 אמוניה FACS,	השוואה בין התחנות השונות	1 יום	טניה, ענבל, מוריאל, רוני, מרק

25 אפריל הפלגה לתחנות: A,OS,FF	78 נוטריינטים , 78 חמצן, 62 pH, 39 אלקלניות, 39 מליחות 25 כלורופיל, אמוניה FACS 39	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	1	טניה, ענבל, מוריאל, מרק,
26-27,30-4 אפריל אנליזת דוגמאות	אנליזת דוגמאות מההפלגה	אנליזת דוגמאות ועיבוד נתונים	7 ימים	טניה, מוריאל, ענבל אירנה, מרק
27 אפריל דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת הזואופלנקטון במפרץ ביומאסה	1	ענבל, מרק, רוני
30 אפריל צלילה להוצאת שש לוחיות התיישבות אצות בנתוניות	שש לוחיות.	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	צלילה: ענבל, רוני עבודה במעבדה: ענבל
מאי דיגום יומיומי של כמות הכלורופיל בשונית ממוח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מדידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל, טניה, מוריאל, יוני, ניצן מרק
4 מאי דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת הזואופלנקטון במפרץ ביומאסה	1 יום	ענבל, מרק, רוני
3 מאי צלילה להוצאת לוחיות התיישבות אצות בנתוניות באתר השמורה הסגורה	הוצאת 18 לוחיות. מאתר השמורה הפתוחה וקריאת 18 דוגמאות בפלאורומטר, הכנסת הנתונים למחשב	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1 יום	ענבל, טניה, מוריאל, מרק
4 מאי סקר אלמוגים בלגונה הסגורה	סקר אלמוגים בלגונה	ספירת אלמוגים	1 יום	מוריאל, רוני, אירנה, מרק, טניה, ענבל
7 מאי סקר אלמוגים באתר השמורה הסגורה	ספירת החתכים למחשב.	אלמוגים לאורך והכנסת הנתונים	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	מרק, טניה, ענבל
7 מאי סקר אלמוגים באתר השמורה הסגורה	ספירת החתכים למחשב.	אלמוגים לאורך והכנסת הנתונים	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	מרק, טניה, ענבל
8 מאי סקר אלמוגים באתר השמורה הסגורה	ספירת החתכים למחשב.	אלמוגים לאורך והכנסת הנתונים	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	מרק, טניה, ענבל
9 מאי סקר אלמוגים באתר השמורה הסגורה	ספירת החתכים למחשב.	אלמוגים לאורך והכנסת הנתונים	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	מרק, טניה, ענבל
11 מאי סקר אלמוגים באתר השמורה הסגורה	ספירת החתכים למחשב.	אלמוגים לאורך והכנסת הנתונים	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	מרק, טניה, ענבל
14 מאי סקר אלמוגים באתר השמורה הסגורה צילום נקודות קבועות במעבדה	ספירת החתכים למחשב.	אלמוגים לאורך והכנסת הנתונים	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	מרק, טניה, ענבל, מוריאל
15 מאי 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	1 יום	טניה, ענבל, מוריאל, רוני, מרק
16 מאי 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 יום	טניה, ענבל, מוריאל, מרק
17-18 21-25 מאי אנליזות	78 נוטריינטים , 78 חמצן, 62 pH, 39 אלקלניות, 39 מליחות 25 כלורופיל, אמוניה FACS 39 אנליזת דוגמאות והזנה במחשב אנליזות של דוגמאות	אנליזת דוגמאות כימיה וביולוגיה		טניה, מוריאל ענבל מרק
21 מאי סקר אלמוגים באתר השמורה הסגורה	ספירת החתכים למחשב.	אלמוגים לאורך והכנסת הנתונים	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	מרק, טניה, ענבל
22 מאי לוחיות התיישבות אלמוגים שמורה הסגורה	ספירת לוחיות	התיישבות אלמוגים על לוחיות	1 יום צלילה ומעבר על לוחיות מתחת לבניקולר	מרק, טניה, ענבל
22 מאי דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	1 יום	מרק, ענבל, רוני

מרק, טניה, ענבל	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	סקר חברת השונית	אלמוגים לאורך החתכים והכנסת הנתונים למחשב.	ספירת החתכים	22 מאי סקר אלמוגים באתר השמורה הסגורה
מרק, ענבל, רוני	1	מדידת כמות היצרנות הראשונית	24 דוגמאות		23 מאי דיגום יצרנות ראשונית
מרק, טניה, ענבל	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	סקר חברת השונית	אלמוגים לאורך החתכים והכנסת הנתונים למחשב.	ספירת החתכים	23 מאי סקר אלמוגים באתר השמורה הסגורה
מרק, טניה, ענבל	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	סקר חברת השונית	אלמוגים לאורך החתכים והכנסת הנתונים למחשב.	ספירת החתכים	24 מאי סקר אלמוגים באתר השמורה הסגורה
מרק, טניה, ענבל	1 יום צלילה ומעבר על לוחיות מתחת לבניקולר	אומדן גיוס התיישבות אלמוגים חדשה		ספירת התיישבות אלמוגים על לוחיות	24 מאי לוחיות התיישבות אלמוגים במעבדה
מרק, טניה, ענבל	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	סקר חברת השונית	אלמוגים לאורך החתכים והכנסת הנתונים למחשב.	ספירת החתכים	25 מאי סקר אלמוגים באתר בקצאא
מרק, טניה, ענבל	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	סקר חברת השונית	אלמוגים לאורך החתכים והכנסת הנתונים למחשב.	ספירת החתכים	28 מאי סקר אלמוגים באתר בקצאא
רוני, מוריאל	1 יום	מעקב אחרי שינויים בשונית בעזרת צילום ריבועים קבועים בשונית	5 נקודות קבועות במעבדה הימית	צילום 5 נקודות קבועות במעבדה הימית	28 מאי צילום ריבועים קבועים בשמורה
רוני צלילה: ענבל, עבודה במעבדה: ענבל	0.5 יום	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית		שש לוחיות.	28 מאי צלילה להוצאת שש לוחיות התיישבות אצות בנתוניות
ענבל	0.5	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית		קריאת שש דוגמאות בפלואורומטר, הכנסת הנתונים למחשב	29 מאי בדיקת כמות הכלורופיל בלוחיות ההתיישבות
ענבל, מרק, רוני	1 יום	הערכת הזואופלנקטון במפרץ ביומאסה		6 דוגמאות מ 3 גרירות	29 מאי דיגום זואופלנקטון
ענבל, טניה, מוריאל, רוני, מרק	0.3	מדידת כמות הכלורופיל בשונית.		דוגמא אחת כל יום.	יוני דיגום יומיומי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי
מרק, טניה, ענבל	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	סקר חברת השונית	אלמוגים לאורך החתכים והכנסת הנתונים למחשב.	ספירת החתכים	1 יוני סקר אלמוגים בקצאא
מרק, טניה, ענבל	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	סקר חברת השונית	אלמוגים לאורך החתכים והכנסת הנתונים למחשב.	ספירת החתכים	4 יוני סקר אלמוגים בקצאא
מרק, טניה, ענבל	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	סקר חברת השונית	אלמוגים לאורך החתכים והכנסת הנתונים למחשב.	ספירת החתכים	5 יוני סקר אלמוגים בקצאא
ענבל, טניה, מוריאל מרק	1 יום	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית		18 לוחיות. מאתר השמורה הפתוחה וקריאת 18 דוגמאות בפלואורומטר, הכנסת הנתונים למחשב	6 יוני צלילה להוצאת לוחיות התיישבות אצות בנתוניות באתר השמורה הסגורה
מרק, טניה, ענבל	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	סקר חברת השונית	אלמוגים לאורך החתכים והכנסת הנתונים למחשב.	ספירת החתכים	7 יוני סקר אלמוגים בקצאא
רוני, מוריאל	1	מעקב אחרי שינויים בשונית בעזרת צילום ריבועים קבועים בשונית		5 נקודות קבועות במעבדה הימית	7 יוני צילום ריבועים קבועים בשמורה
מרק, טניה, ענבל	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	סקר חברת השונית	אלמוגים לאורך החתכים והכנסת הנתונים למחשב.	ספירת החתכים	8 יוני סקר אלמוגים במעבדה
מרק, טניה, ענבל	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	סקר חברת השונית	אלמוגים לאורך החתכים והכנסת הנתונים למחשב.	ספירת החתכים	11 יוני סקר אלמוגים במעבדה
ענבל, טניה, מוריאל, מרק, רוני	1 יום	השוואה בין התחנות השונות		24 נוטריינטים 4 חמצן, pH 16, 16 אלקלניות, 8 מליחות FACS 8, כלורופיל, 8	12 יוני דיגום חופי דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף
מרק, רוני	1 יום וניתוח נתונים	מדידת כיסוי עשב ים		צילום חתכי כיסוי עשב ים במדרון מול המגדלור	13 יוני צילום כיסוי עשב ים בחוף הדרומי

13 יוני	צילום ריבועים קבועים בנסכה	צילום 5 נקודות קבועות במעבדה הימית	מעקב אחרי שינויים בשונית בעזרת צילום ריבועים קבועים בשונית	1 יום	ענבל, טניה, מוריאל
14 מאי	הפלה לתחנות: A,os,ff	78 נוטריינטים, 78 חמצן, 62 pH, 39 אלקליות, 39 מליחות 25 כלורופיל, 39 FACS	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	1 יום	ענבל, טניה, מוריאל, מרק
15 יוני	סקר אלמוגים במעבדה	ספירת החתכים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	מרק, טניה, ענבל
17 יוני	סקר אלמוגים במעבדה	ספירת החתכים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	מרק, טניה, ענבל
18 יוני	סקר אלמוגים במעבדה	ספירת החתכים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	ענבל, מרק, טניה
18 יוני	סקר אלמוגים במעבדה	ספירת החתכים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	ענבל, מרק, טניה
19-20 יוני	דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	2 יום	מרק, ענבל, רוני
9 יוני	צילום ריבועים קבועים בדקל	צילום 5 נקודות קבועות בטאבה	מעקב אחרי שינויים בשונית בעזרת צילום ריבועים קבועים בשונית	1 צלילה ואנליזה	ענבל, רוני, מוריאל
22 יוני	צילום כיסוי עשב ים	צילום חתכי כיסוי עשב ים בחוף הצפוני	מדידת כיסוי עשב ים	1 יום ואנליזה	מרק, רוני, טניה, ענבל
25 יוני	דיגום מיואופאונה בחוף הדרומי	איסוף סדימנט בחוף הצפוני בצלילה	סקר מיואופאונה בסדימנט	1 יום צלילה	אירנה, מרק, רוני
26 יוני	צלילות חתכים בשונית באתר המעבדה הימית	ספירת החתכים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	מרק, טניה, ענבל
27 יוני	דיגום מיואופאונה בחוף הצפוני	איסוף סדימנט בחוף הצפוני בצלילה	סקר מיואופאונה בסדימנט	1 יום צלילה	אירנה, מרק, רוני
27 יוני	צלילה להוצאת שש לוחיות התיישבות אצות בנתוניות	שש לוחיות.	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	ענבל, טניה עבודה במעבדה: ענבל
28 יוני	דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת הזואופלנקטון במפרץ	1 יום	מרק, רוני, ענבל
29 יוני	דיגום מיואופאונה בחוף הצפוני	איסוף סדימנט בחוף הצפוני בצלילה	סקר מיואופאונה בסדימנט	1 יום	אירנה, מרק, רוני
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
2 יולי	צלילות חתכים בשונית במעבדה	סקר חברת האלמוגים לאורך החתכים בקצאא והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1	טניה, ענבל
3 יולי	צלילות חתכים בשונית במעבדה	סקר חברת האלמוגים לאורך החתכים בקצאא והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1	טניה, ענבל
3 יולי	סקר חסרי חוליות צלילת לילה במעבדה הימית	צלילת לילה לספירת חסרי חוליות	ספירת חסרי חוליות באתר המכון	3 שעות צלילה בלילה	מרק, ענבל, טניה, מוריאל, לירז
4 יולי	צלילות חתכים בשונית במעבדה	סקר חברת האלמוגים לאורך החתכים בקצאא והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1 צלילה ואנליזה	מרק, טניה, ענבל
5 יולי	צלילה להוצאת 18 לוחיות התיישבות אצות בנתוניות	הוצאת 18 לוחיות התיישבות בשמורה הסגורה	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1 יום	ענבל, טניה, מוריאל, רוני
5 יולי	צלילות חתכים בשונית במעבדה	סקר חברת האלמוגים לאורך החתכים והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום	ענבל, טניה, מרק

9 יולי דיגום חופי דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריינטים 4 חמצן, pH 16 16 אלקלניות, 8 מליחות 8 כלורופיל, 8 FACS	השוואה בין התחנות השונות	1 יום	טניה, ענבל, מוריאל, מרק, לירז
10 יולי הפלה משותפת עם ירדן לתחנות: A, B, FF, OS	120 נוטריינטים, חמצן, 60 pH 60, אלקלניות, 60 מליחות כלורופיל, FACS	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	1 יום	טניה, ענבל, מוריאל, מרק
11 יולי צלילות חתכים בשונית במעבדה	סקר חברת האלמוגים לאורך החתכים השמורה הסגורה והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	מרק, טניה, ענבל
12 יולי סקר דגים	סקר דגים בשיטת צילום במעבדה הימית	סקר דגים	0.5	מרק, טניה, לירז, ענבל
16 יולי סקר דגים	סקר דגים בשיטת צילום במעבדה הימית	סקר דגים	0.5	מרק, טניה, לירז, ענבל
17 יולי סקר דגים בשמורה הסגורה	סקר דגים בשיטת צילום במעבדה הימית	סקר דגים	0.5	מרק, טניה, לירז, ענבל
17 יולי סקר חסרי חוליות צלילת לילה בשמורה הסגורה	צלילת לילה לספירת חסרי חוליות	ספירת חסרי חוליות באתר המכון	3 שעות צלילה לילה	מרק, ענבל, טניה, מוריאל, לירז
18 יולי סקר דגים בשמורה הסגורה	סקר דגים בשיטת צילום במעבדה הימית	סקר דגים	0.5	מרק, טניה, לירז, ענבל
18 יולי סקר חסרי חוליות צלילת לילה בשמורה הסגורה	צלילת לילה לספירת חסרי חוליות	ספירת חסרי חוליות באתר המכון	3 שעות צלילה בלילה	מרק, ענבל, טניה, מוריאל, לירז
19 יולי סקר חסרי חוליות צלילת לילה בשמורה הסגורה	צלילת לילה לספירת חסרי חוליות	ספירת חסרי חוליות באתר המכון	3 שעות צלילה בלילה	מרק, ענבל, טניה, מוריאל, לירז
20 יולי צלילות חתכים בשונית במעבדה	סקר חברת האלמוגים לאורך החתכים השמורה הסגורה והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1 צלילה והכנסת נתונים	טניה, ענבל, מרק
23 יולי דיגום התיישבות אלמוגים בשמורה הסגורה	צלילה לאיסוף פלטות התיישבות לגיוס אלמוגים בשונית במעבדה הימית	החלפת המערכים בים וסריקת הפלטות תחת בניקולר לחיפוש התיישבות אלמוגים	2 יום צלילה ואנליזה	ענבל, טניה, לירז, מרק
25 יולי דיגום התיישבות אלמוגים במעבדה הימית	צלילה לאיסוף פלטות התיישבות לגיוס אלמוגים בשונית במעבדה הימית	החלפת המערכים בים בניקולר לחיפוש התיישבות אלמוגים	2 צלילה ואנליזה	ענבל, טניה, לירז,
25-26 יולי דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	2 יום	מרק, ענבל, לירז
27 יולי צלילה להוצאת שש לוחיות התיישבות אצות בנתוניות	שש לוחיות.	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1 צלילה ואנליזה	צלילה: ענבל, טניה עבודה במעבדה: ענבל
30 יולי דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת הזואופלנקטון במפרץ	1 יום	ענבל, מרק, לירז
אוגוסט דיגום יומיומי של כמות הכלורופיל בשונית ממוזח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מדידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל, טניה, מוריאל, מרק
9 אוגוסט סקר שולחן השונית בשמורה הסגורה	ספירת אלמוגים לאורך שולחן השונית	סקר חברת השונית	1 יום	טניה, לירז
10 אוגוסט סקר שולחן השונית בשמורה הסגורה	ספירת אלמוגים לאורך שולחן השונית	סקר חברת השונית	1 יום	טניה,
14 אוגוסט דיגום חופי דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריינטים 4 חמצן, pH 16 16 אלקלניות, 8 מליחות 8 כלורופיל, 8 FACS	השוואה בין התחנות השונות	1 יום	טניה, מוריאל, מרק, לירז

15 אוגוסט הפלגה לתחנות: A,os,ff	78 נוטריינטים , 78 חמצן, 62 pH, 39 אלקלניות, 39 מליחות 25 כלורופיל, FACS 39	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	1 יום	טניה, מוריאל, מרק, לירז
17-18 אוגוסט אנליזת דוגמאות	אנליזת דוגמאות	אנליזה	2 ימים	מוריאל, טניה, לירז, אירנה, מרק
21-22 אוגוסט דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	2 ימים	מרק, לירז
28 אוגוסט צלילה להוצאת שש לוחיות התיישבות אצות בנתוניות	שש לוחיות.	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1 צליה ואנליזה	ענבל, לירז, צלילה: ענבל, עבודה במעבדה: ענבל
ספטמבר דיגום יומיומי של כמות הכלורופיל בשונית ממוח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מדידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל, מוריאל, יוני, מרק
4 ספטמבר (דיגום של חודש אוגוסט) דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומאסה הזואופלנקטון במפרץ	1 יום	ענבל, מרק, לירז
5 ספטמבר צלילה להוצאת 18 לוחיות התיישבות אצות בנתוניות	הוצאת 18 לוחיות התיישבות בשמורה הסגורה	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	ענבל, מוריאל, אירנה, טניה
11 ספטמבר דיגום חופי דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריינטים 4 חמצן, pH 16 16 אלקלניות, 8 מליחות 8 כלורופיל, FACS 8	השוואה בין התחנות השונות	1 יום	ענבל, מוריאל, מרק, לירז
13 ספטמבר סקר דגים	חתכים לכימות כמות הדגים ומגוון הדגים בשמורה הסגורה	ספירת דגים לאורך חתכי חגורה	1	טניה, מוריאל, לירז, ענבל, מרק, יוני
14 ספטמבר סקר דגים	חתכים לכימות כמות הדגים ומגוון הדגים בשמורה הסגורה	ספירת דגים לאורך חתכי חגורה	1	טניה, מוריאל, לירז, ענבל, מרק, יוני
12 ספטמבר הפלגה לתחנות: A,OS, FF	78 נוטריינטים , 78 חמצן, 62 pH, 39 אלקלניות, 39 מליחות 25 כלורופיל, FACS 39	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	1	טניה, מוריאל, מרק, ענבל
15 ספטמבר צלילה להוצאת 18 לוחיות התיישבות אצות בנתוניות	הוצאת 18 לוחיות התיישבות בשמורה הסגורה	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	ענבל, מוריאל, יוני, טניה
18 ספטמבר סקר דגים	חתכים לכימות כמות הדגים ומגוון הדגים בשמורה הסגורה	ספירת דגים לאורך חתכי חגורה	1	טניה, מוריאל, לירז, ענבל, מרק, יוני
26-27 ספטמבר דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	2 ימים	מרק, ענבל, יוני
28 ספטמבר דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומאסה הזואופלנקטון במפרץ	1 יום	ענבל, מרק, יוני
29 ספטמבר צלילה להוצאת שש לוחיות התיישבות אצות בנתוניות	שש לוחיות.	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	ענבל, מוריאל, צלילה: ענבל, עבודה במעבדה: ענבל
אוקטובר דיגום יומיומי של כמות הכלורופיל בשונית ממוח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מדידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל, מוריאל, מרק, יוני, אירנה, טניה
2 ספטמבר צלילה להוצאת 18 לוחיות התיישבות אצות בנתוניות	הוצאת 18 לוחיות התיישבות בשמורה הסגורה	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1 יום	ענבל, טניה
6 אוקטובר אנליזות	אנליזת דוגמאות	אנליזת דוגמאות	1	ענבל, מוריאל, מרק, אירנה, טניה
15 אוקטובר דיגום חופי דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריינטים 4 חמצן, pH 16 16 אלקלניות, 8 מליחות, אמוניה 8 כלורופיל, FACS 8	השוואה בין התחנות השונות	1 יום	ענבל, מוריאל, מרק, טניה



17 אוקטובר הפלה משותפת עם ירדן לתחנות: A, B, FF, OS	120 נוטריינטים , חמצן, 60 pH אלקלניות, 60 מליחות כלורופיל, FACS	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	1	טניה, ענבל, מוריאל, מרק
19 ספטמבר צלילה להוצאת 18 לוחיות התיישבות אצות בנתוניות	הוצאת 18 לוחיות התיישבות בשמורה הסגורה	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1 יום	ענבל, טניה
24-25 אוקטובר דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	2 ימים	מרק, ענבל, יוני
29 אוקטובר צלילה להוצאת שש לוחיות התיישבות אצות בנתוניות	שש לוחיות.	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	יוני ענבל עבודה במעבדה: ענבל
31 אוקטובר דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת הזואופלנקטון במפרץ	1 יום	ענבל, מרק, יוני
נובמבר דיגום יומיומי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מדידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל, טניה, מוריאל, מרק, יוני
7 נובמבר דיגום התיישבות אלמוגים	צלילה להחלפת פלטות התיישבות לגיוס אלמוגים בשונית במעבדה הימית	החלפת המערכים בים וסריקת הפלטות תחת בניקולר לחיפוש התיישבות אלמוגים	1	ענבל, יוני
8 נובמבר צלילה להוצאת 18 לוחיות התיישבות אצות בנתוניות	הוצאת 18 לוחיות התיישבות בשמורה הסגורה	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	ענבל, יוני, מוריאל, אירנה
13 נובמבר דיגום חופי דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריינטים 4 חמצן, 16 pH 16 אלקלניות, 8 מליחות, אמוניה 8 כלורופיל, 8 FACS	השוואה בין התחנות השונות	1 יום	טניה, ענבל, מוריאל, מרק, יוני
14 נובמבר הפלה לתחנות: A,os,ff	78 נוטריינטים , 78 חמצן, 62 pH, 39 אלקלניות, 39 מליחות 25 כלורופיל, 39 FACS	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	1	טניה, ענבל, מוריאל, מרק
28-29 נובמבר דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	2	מרק, ענבל, יוני
22-24 נובמבר אנליזות	אנליזות ועיבוד נתונים	עיבוד נתונים	3	מרק, טניה, מוריאל, ענבל, יוני
29 נובמבר דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת הזואופלנקטון במפרץ	1 יום	ענבל, מרק, יוני
30 נובמבר צלילה להוצאת שש לוחיות התיישבות אצות בנתוניות	שש לוחיות.	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	ענבל 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, מרק
7 דצמבר צלילה להוצאת 18 לוחיות התיישבות אצות בנתוניות	הוצאת 18 לוחיות התיישבות בשמורה הסגורה	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1 יום	ענבל, יוני, מוריאל, טניה
10 דצמבר דיגום חופי דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריינטים 4 חמצן, 16 pH 16 אלקלניות, 8 מליחות, אמוניה 8 כלורופיל, 8 FACS	השוואה בין התחנות השונות	1	טניה, ענבל, מוריאל, מרק, יוני
12 דצמבר הפלה לתחנות: A,OS,FF	78 נוטריינטים , 78 חמצן, 62 pH, 39 אלקלניות, 39 מליחות 25 כלורופיל, 39 FACS	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	1	טניה, ענבל, מוריאל, מרק
13-14 דצמבר אנליזות	אנליזת דוגמאות	אנליזת דוגמאות מההפלה	2	טניה, מוריאל, ענבל, מרק
27-26 נובמבר דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	2	מרק, ענבל, יוני
26 דצמבר צלילה להוצאת שש לוחיות התיישבות אצות בנתוניות	שש לוחיות.	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	מרק טניה עבודה במעבדה: טניה