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

אדר תשע"ז מרץ 2017

התוכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת

דו"ח מדעי לשנת 2016

Israel National Monitoring Program at the Gulf of Eilat

מוגש לוועד המנהל של תכנית הניטור על ידי:

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

התכנית ממומנת ע"י המשרד להגנת הסביבה

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

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

ענבל אילון, ביולוגיה
מוריאל דריי, כימיה
מרק צ'רניחובסקי, ביולוגיה
טניה ריבלין, כימיה
ניצן שגב, ביולוגיה
אירנה קולסניקוב, ביולוגיה
רוני להב, אוקיינוגרפיה פיסיקלית

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

<u>עזרה במכון הבינאוניברסיטאי:</u>
גנדי זלצמן
אסף ריבלין
שוקי אייזקס
ספי ברוך

תוכן העניינים

א. מבוא 4
א.1. מטרת הניטור במפרץ אילת 4
א.2. הקדמה 4
א.3. תקציר התוצאות והמסקנות 7
עיקר ממצאי השנה החולפת 7
תנודות רב-שנתיות ומגמות שינוי 10
בחינת מגמות במצב המערכת הימית בצפון מפרץ אילת 12
א.4. המלצות 15
א.5. תקציר באנגלית, *English Abstract* 16
ב. שונית האלמוגים 24
ב.1. סקר חברת השונית 24
ב.2. צילום אתרים קבועים 52
ב.3. חברת האלמוגים בלגונת שמורת האלמוגים 61
ב.4. התיישבות אלמוגים בשונית 65
ב.5. סקר חסרי חוליות ניידים בשונית 68
ב.6. קצב גידול מאקרו-אצות בשונית 74
ב.7. סקר דגי השונית 80
ג. ניטור הסביבה החופית 83
ג.1. מי הים בקרבת החוף 83
ג.2. טפילים ומחלות בדגים לאורך חופי אילת 95
ג.3. קרקעית חולית במים רדודים – אפיון החי בסדימנט 101
ג.4. קרקעית חולית במים רדודים – כיסוי עשב ים 105
ג.5. שינויים במאספי פורמיניפרים בנתונים בצפון המפרץ לאחר פינוי כלובי הדגים 107
ד. עמודת המים בים העמוק 110
ד.1. טמפרטורה ומליחות 113
ד.2. חמצן, pH ואלקליניות, נוטריינטים ופחמן חלקיקי 119
ד.3. כלורופיל *a* 143
ד.4. פיטופלנקטון וחיידקים בעמודת המים 146
ד.5. יצרנות ראשונית בעמודת המים 149
ד.6. זואופלנקטון בעמודת המים 154
ד.7. שטף החלקיקים בעמודת המים 157
ה. מדידות סביבתיות בתדירות גבוהה 160
ה.1. כלורופיל בפני הים בשמורת חוף אלמוג 160
ה.2. טמפרטורת המים בפני הים בשמורת חוף אלמוג 162
ה.3. משתנים מטאורולוגים 164
ה.4. זרמים 172
ה.5. אבק מרחף 176
ו. ביבליוגרפיה 178
ז. נספחים 180
ז.1: מפות אתרי הניטור 180
ז.2. רשימות סוגי האלמוגים 182
ז.3. טבלת פעילות צוות הניטור בשנת 2016 184

א. מבוא

א.1. מטרת הניטור במפרץ אילת

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

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

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

א.2. הקדמה

הדו"ח שלהלן מתאר את עבודת הניטור הלאומי בצפון מפרץ אילת בשנת 2016. הדו"ח מחולק לפרקים התואמים סביבות ושיטות עבודה שונות. כל פרק כולל תיאור קצר של שיטות המדידה, תוצאות מפורטות (איורים, טבלאות) ודיון קצר במסקנות. תיאור מפורט של השיטות נמצא בדו"ח השנתי הראשון (2003) וסיכום פעילויות הניטור ותדירותן, ומיקום תחנות הניטור העיקריות, מופיעים בטבלה א1 ובאיור א1, בהתאמה.

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

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

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

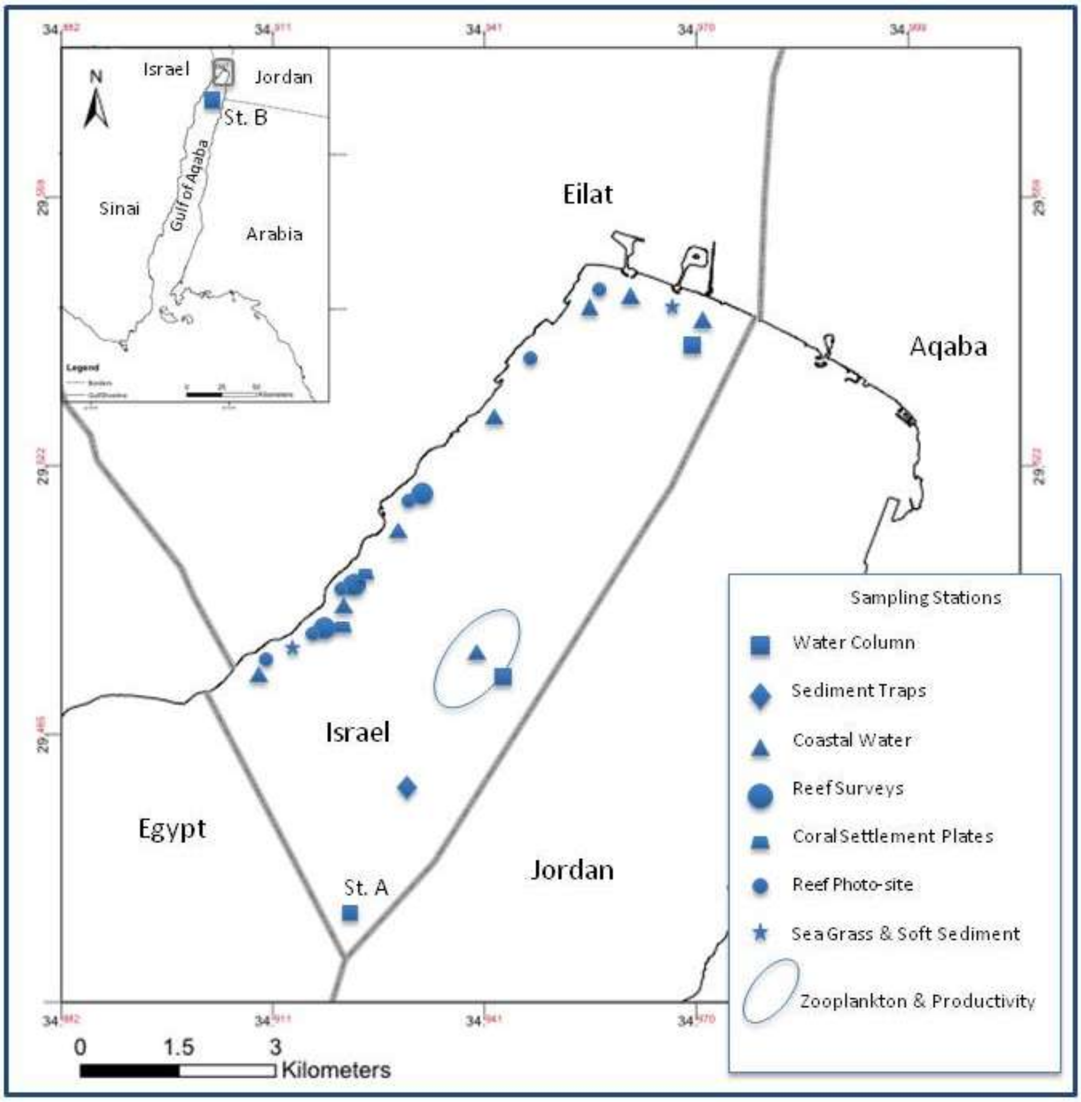
השנה נמשך תהליך ההטמעה של מדידות חדשות למערך הניטור. בשונית האלמוגים הוצבו לוחיות התיישבות לצורך מעקב אחר אספקת אלמוגי אבן חדשים המהווים פוטנציאל גיוס לשונית. ובאזורים רדודים של קרקעית רכה נמשך מעקב אחר חברת הבנתוס בקרקעית, וכיסוי עשב ים. מידע לגבי חומר חלקיקי בעמודת הים העמוק מתקבל ממלכודות סדימנט זו השנה השלישית, בעבודה הנעשית תוך שיתוף פעולה עם המעבדה הגיאוכימית של ד"ר עדי טורפשטיין מהמכון למדעי כדור הארץ. 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)
שונית	
סקר חברת השונית	אחת לשנה, בקיץ (מספר שבועות)
ניטור שולחן השונית	אחת לשנה, בקיץ (שבוע)
צילום ריבועים קבועי מקום + ניתוח הצילומים	אחת לשנה, באביב (מספר שבועות)
ניטור חברת האלמוגים בלגונה	אחת לשנה, בקיץ (שבוע)
התיישבות אלמוגים בשונית	עונתית, כל שלושה חודשים
ניטור חסרי חוליות ניידים בשונית	אחת לשנה, בקיץ (מספר שבועות)
ניטור מאקרו-אצות בשונית	אחת לחודש
ניטור דגי השונית	אחת לשנה, בסתיו (מספר שבועות)
תחנות חופיות	
אפיון מי החופים (מדדים פיסיים, כימיים, ביולוגיים)	אחת לחודש
חברת הבנתוס בקרקעית רכה	אחת לשנה, בקיץ
כיסוי עשב ים	אחת לשנה, בקיץ
מחלות דגים וטפילים	אחת לשנה, בסוף הקיץ (מספר שבועות)
ים עמוק	
אפיון עמודת המים (מדדים פיסיים, כימיים, ביולוגיים)	אחת לחודש
יצרנות ראשונית	אחת לחודש
ניטור זואופלנקטון	אחת לחודש
ניטור חומר חלקיקי בעמודת המים	אחת לחודש
מדידות רציפות בסמוך למכון הבינאוניברסיטאי	
מדידות יומיות של טמפרטורה וכלורופיל במזח	מדי יום
זרמים	ניטור רציף
תחנה מטאורולוגית + כרית	ניטור רציף
אבק מרחף	ניטור רציף

טבלה א1: פעילויות תכנית הניטור ותדירותן.

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



איור א1: מיקום תחנות הניטור

Figure A1: Location of monitoring sites

א.3. תקציר התוצאות והמסקנות

עיקר ממצאי השנה החולפת

שונית האלמוגים

1. כיסוי 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 25.2%, עליה קלה, לאחר שנתיים של ירידה (24.1% נמדדו בשנת 2015). האתרים העמוקים (מעבדה ושמורה בעומק 20 מטר) הם היחידים בהם נרשמה השנה ירידה בכיסוי האלמוגים.
2. צפיפות מושבות אלמוגי אבן – צפיפות המושבות הממוצעת היתה השנה 29.5 מושבות במקטע באורך עשרה מטרים. צפיפות מושבות האלמוגים הממוצעת בין כל האתרים נמצאת בעליה מאז שנת 2010, אם כי השינויים בין שנה לשנה קטנים.
3. גודל מושבות אלמוגי אבן – בין אתרי השונית המנוטרים ישנם הבדלים בגודל מושבות האלמוגים האופייני. אתר המעבדה הרדוד הוא האתר בו חלקן של המושבות הקטנות רב ביותר, ואילו באתר השמורה הרדוד חלקן מועט ביותר ומושבות גדולות וענקיות נפוצות יותר מאשר באתרים אחרים. מציאותן של המושבות הגדולות הוא המאפשר כיסוי חי גדול ביותר באתר זה. בשנים 2008-2012 נמצאה ירידה בכמות האלמוגים הקטנים בשוניות אילת אך בשנים האחרונות מתועדת עליה בצפיפות המושבות ובכלל זה גם בכמות המושבות הקטנות. במקביל נראה שגם מספר המושבות הבינוניות והגדולות עולה – ומצביע על הצלחה בהישרדות וצמיחה.
4. מדד הרקמה החיה באלמוגי אבן – באתר השמורה הרדוד בו מצויות מושבות האלמוגים הגדולות ביותר נמצא האחוז הממוצע למושבה של רקמה חיה הנמוך ביותר. האחוז הממוצע הגבוה ביותר של רקמה חיה במושבות אלמוגים מצוי באתרי השמורה וקצא"א העמוקים (20 ממטרים). מאז שנת 2012 נמדדת ירידה קטנה אך מתמשכת באחוז הרקמה החיה של אלמוגי אילת. ובסך 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 פציעות ופגיעה ברקמות.
5. מגוון מיני אלמוגים – מדד Shanon- Wiener למגוון – בו נאמד מגוון אלמוגי האבן בשוניות אילת מראה תנודות קלות ולא מגמתיות בין השנים. לרוב, ערך המגוון באתרים רדודים נמוך בהשוואה לאתרים עמוקים. עקומות הצבירה של סוגי אלמוגים מציירות תמונה דומה, וכך גם תוחלת מספר סוגי האלמוגים הצפוי בספירת אלף וחמש מאות מושבות אקראיות. בכל המדדים השינויים בין השנים קטנים, ובכולם נמצא השנה מגוון מעט נמוך מאשר בשנה הקודמת. הרכב חברת האלמוגים דומה השנה לשנים קודמות.
6. שולחן השונית– לשולחן השונית התייחסות נפרדת מאתרי קדמת השונית, עקב מאפייניו הייחודיים. בשלוש השנים האחרונות נמדדת ירידה קלה בכיסוי אלמוגי האבן בשולחן השונית. 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.
7. 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). גם סקר זה מצביע על הבדלים גדולים בין האתרים ובאתר חוף הדקל נמצאת צפיפות המושבות הנמוכה ביותר. מאז שנת 2013 מתועדת ירידה קלה בשטח אלמוגי האבן באתרים המצולמים, וברובם (לבד מאתר השמורה) נמצא השנה עודף של תמותת מושבות על פני גיוס.

   בין השנים אין הבדלים גדולים בהרכב חברת השונית כפי שעולה באתרים המצולמים, אך בחברת האלמוגים נמצאה עליה בשטח האלמוג הרך *Xenia*, וירידה מתמשכת בשטח האלמוגים המעונפים *Acropora* ו-*Stylophora*.
8. לגונת שמורת האלמוגים– האלמוג הנפוץ ביותר בלגונה הוא *Stylophora pistillata* (42% מכלל המושבות) ואחריו אלמוג האש *Millepora* (27%). 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.
מכיוון שבלגונה התנאים הסביבתיים קשים, חברת האלמוגים נשלטת על ידי מינים דומיננטיים והמגוון קטן יחסית לאתרי השונית.

9. התיישבות אלמוגים בשונית – תכנית הניטור החלה לעקוב אחר התיישבות אלמוגים בשונית בשנה הקודמת, באמצעות לוחיות התיישבות אשר הוצבו בשני אתרים, השמורה והמעבדה הימית. בשנה הקודמת התקבלו תוצאות מעניינות המצביעות על הבדלים בין האתרים הן בכמויות, הן בתזמון והן בהישרדות מתיישבים. השנה, מספר המתיישבים בכל הלוחיות בשני האתרים היה קטן מכדי לספק מידע משמעותי. נתוני שתי השנים ישמשו את תכנית הניטור על מנת לשנות את מערך הדגימה ולשפר את המדגם הסטטיסטי, כמו גם את איכות המידע הצפוי.
10. 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* עלתה השנה בכל האתרים, בהשוואה לשנה הקודמת ומכתיבה גם את התנודות בגודל אוכלוסיית הקיפודים בכלל.
צפיפות הקיפוד *Echinometra mataei* עולה בשנים האחרונות.
11. חסרי חוליות ניידים אחרים – צפיפות חבצלות ים ומלפפוני ים עלתה השנה ברוב האתרים, וצפיפות כוכבי הים ירדה. עקב מספר הפרטים הקטן של קבוצות אלה בסקרי הניטור קשה לאמוד עד כמה התנודות השנתיות משמעותיות. בשנים האחרונות מזוהים במסגרת סקרי חסרי החוליות פרטים של נחשונק (*Astroboa nuda*) בשוניות אילת. יצור זה לא זוהה בשנים הראשונות של פעולת תכנית הניטור.
12. אצות בנתוניות בשונית – ריכוזי הכלורופיל על גבי לוחיות התיישבות, ובעיקר לוחיות מוגנות מפני רעייה, מצויים בהתאמה לעומק הערבוב. השנה היה הערבוב עמוק מאשר בשנה הקודמת, ובהתאמה גם ריכוזי הכלורופיל על גבי לוחיות מוגנות מרעייה היו מעט גבוהים יותר, עם ערכים מרביים בתחילת החורף ובסתיו.
13. דגי שונית – קבוצת הדגים הפלנקטיבורים (הניזונים בגוף המים) היא הגדולה ביותר מבין הדגים שוכני השונית, ומהווה חוליה חיונית במארג המזון ברכזם 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.

הסביבה החופית

14. ריכוז נוטריינטים במים החופיים – 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 הנשלט על ידי קירור פני הים בחודשי החורף. ערבוב עמודת המים החל מוקדם השנה והגיע לעומק של כ-500 מטר בין ינואר לפברואר, אבל אז נפסק קירור פני הים והערבוב נעצר. כתוצאה מעצירת תהליך הערבוב בשלב מוקדם השנה, היו רוב הערכים הנמדדים במי החופים נמוכים ברוב החודשים. מלבד שיא בריכוז כלורופיל בחודש ינואר, נמדדו השנה ערכים דומים לערכי שנים בהן ערבוב עמודת המים רדוד, והשנה אופיינה במשרעת קטנה מאד בין התחנות ובהעדר חריגות מקומיות מן התבנית הכללית.
15. טפילי מעיים ופתוגנים בדגי בר (סיכן משויש, *Siganus rivulatus*) – שכיחות ועושר טפילי מעיים הטרוקסנים בדגי סיכן משויש יציבים בשנים האחרונות (שכיחות גבוהה ושיפעה גבוהה של טפילים אלה מעידות על חוסנם של בתי הגידול הדרושים להשלמת מחזור חייהם). יחד עם זאת, 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.
16. חיידקים פתוגנים נוספים – השנה אירעו שני מקרים בהם נמצאו על ידי חוקרי מלח"י דגים נושאי חיידקים פתוגנים באילת. במקרה הראשון נמצא בחוף הצפוני של אילת דג בר גוסס, ובנתיחה התברר כי הגורם הוא החיידק *Vibrio harveyi*, הנחשב לפתוגן מסוכן לדגים ופוגע במערכת הדם. במקרה השני נמצאו שני **דגי נוי שאינם מקומיים** למפרץ אילת בשמורה הימית של חוף אלמוג. בנתיחה נמצא באחד מהם החיידק *Photobacterium damsela*

ssp. piscicida שאחראי על תמותת דגים באוכלוסיות טבעיות. **מקרה זה מהווה אזהרה לסכנה הטמונה בהצגת מינים זרים ממקורות שונים לאוכלוסייה הטבעית במפרץ**.

17. 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 כחמישה אחוזים בלבד ועיקר החומר ממקור ימי ביוגני בתוספת חול מינרלי. יחד עם הבדלים פיסיוגרפים וסביבתיים נוספים, הבדלים אלה מכתיבים הבדלים בחברת החי השוכן בסדימנט.
18. אפיון החי בקרקעית רכה – השנה נעשה שימוש בפרוטוקול ספירה חדש עבור פורמיניפרים בנתוניים ושגיאות הספירה קטנו מאד בהשוואה לשנה הקודמת. באתר החוף הדרומי זוהו 39 מינים בעוד שבחוף הצפוני נמצאו 31. צפיפות הפרטים וצפיפות המינים לגרם סדימנט היתה בערך כפולה בחוף הדרומי בהשוואה לצפוני: בחוף הדרומי נמצאו בממוצע כ-17 מינים לגרם סדימנט עם צפיפות פרטים ממוצעת של כ-45 פרטים לגרם, ובחוף הצפוני היתה צפיפות המינים כ-8 וצפיפות הפרטים כ-20.
   בספירות בע"ח שוכני סדימנט שאינם פורמיניפרים נמצא כי קבוצות ה- *Polychaeta*, *Nematoda* ,*Copepoda* הן הנפוצות ביותר בסדימנט בשני האתרים בשנתיים האחרונות. באתר החוף הדרומי זוהו בסה"כ 15 קבוצות ובחוף הצפוני 12. גם מספר הפרטים גדול יותר בחוף הדרומי.
19. עשבי ים – בשתי השנים 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.
   השנה נמצא בשני האתרים כיסוי עשב ים נמוך בהשוואה לשנה הקודמת. בשלב זה לא ברור מה הגורמים לשינוי בשיפעת עשב הים בין השנים או האם תנודות כאלה הן תופעה שגרתית או חריגה.
20. פורמניפרים באתר כלובי הדגים – לאחר התאוששות חברת הפורמינפרים באזור בו היו כלובי הדגים, נפגע האזור משטפונות בחורף 2012-13. בין השנים 2013-2015 תועדה התאוששות מהירה ועלייה במספר הפרטים והמינים. השנה נמצאה ירידה בצפיפות הפרטים לגרם סדימנט ברוב הנקודות בסמוך לאתר. מספר המינים, לעומת זאת, נותר גבוה ואפילו עלה -אך יתכן וזה קשור בשיפור יכולות הזיהוי. הסיבה לירידה במספר פרטי פורמניפרים בסדימנט אינה ידועה. שיטפון שהתפשט מירדן אל החוף הצפוני בסתיו השנה הקודמת (דו"ח הניטור 2015) עשוי היה,אולי, לפגוע בחברת הסדימנט שם.

עמודת המים בים העמוק

21. עומק הערבוב – השנה היתה התקררות מוקדמת ומהירה של עמודת המים, ובין הפלגות חודש ינואר וחודש פברואר הגיע הערבוב לעומק של כ-500 מטרים (בשלוש השנים הקודמות היה הערבוב רדוד מ- 300 מטרים). כבר מחודש פברואר נפסק תהליך הערבוב ונוצרה תרמוקלינה רדודה בקרבת פני הים.
22. 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, ארבע 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.
23. כלורופיל, פיטופלנקטון ויצרנות ראשונית – ריכוזי כלורופיל בשנתיים האחרונות גבוהים באופן מפתיע, גם בהתחשב בערבוב העמוק יחסית השנה. ריכוזים גבוהים נמדדו השנה בחודשים פברואר ומרץ. גם ריכוז התאים בעמודת המים היה גבוה במיוחד בחודש מרץ השנה, יותר מאשר בשנת 2012 בה היה ערבוב עמוק יותר) ויחסים בין קבוצות החד-תאיים היו שונים מאשר בשנים האחרונות. היצרנות הראשונית הגבוהה ביותר נמדדה השנה בחודשים מרץ ואפריל, אך בסך הכל לא היתה היצרנות השנה גבוהה כצפוי מעומק הערבוב. 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.
24. **זואופלנקטון** – ריכוז הזואופלנקטון אשר נמדד בחודש פברואר השנה הוא הגבוה ביותר שנמדד עד כה במסגרת תכנית הניטור. מעקב אחר מסת זואופלנקטון במסגרת תכנית

הניטור החל בשנת 2011 ואינו כולל את השנים 2007 ו-2008 בהן היה ערבוב עמוק, אולם ריכוז הזואופלנקטון השנה היה גבוה מזה שנמדד בשנת 2012 אשר גם בה היה ערבוב עמוק. נראה כי מסת הזואופלנקטון עוקבת אחר גודל אוכלוסיית הפיטופלנקטון יותר מאשר אחר עומק הערבוב.

25. שטף חלקיקי בעמודת המים, מנתוני מלכודות סדימנט – שטף החלקיקים בעמודת המים, נמדד בשיתוף פעולה עם ד"ר עדי טורפשטיין מהמכון הבינאוניברסיטאי באילת והמכון למדעי כדור הארץ באונ' העברית מאז 2014. בחורף האחרון נמדדו שני שיאים קצרי מועד, ב-30 בדצמבר 2015, וב-14 בינואר 2016, שיאים אלה אינם מתיישבים עם גורמים חיצוניים מוכרים ומייצגים- כנראה- דינאמיקה פנימית של ערבול בעמודת המים. עדיין לא ברור מה גרם לשיאים אלה בשטף החלקיקי, וממצא זה מצוי כעת בתהליך של מחקר. השטף החלקיקי הנלכד במלכודות העמוקות גבוה מזה שבמלכודות הרדודות, בפרט בחודשי החורף. המדידות מראות את חשיבותם הרבה של אירועים קצרי מועד על השטף הכללי.

מדידות רציפות משלימות

26. כלורופיל בפני הים בסמוך לשונית (מדידה יומית) – ריכוזי כלורופיל מרביים נמדדו השנה בחודש פברואר, ובכך דומה השנה לשנים האחרונות בהן תחילת הקירור חזקה ומוקדמת והערבוב קצר כך שריכוזי כלורופיל מרביים נמדדים בתחילת החורף ולא מתקבלת פריחת אביב משמעותית. ריכוז הכלורופיל המרבי השנה גבוה מאשר בשנה הקודמת וגבוה בהרבה מהממוצע לחודש פברואר.
27. טמפרטורת פני הים בסמוך לשונית (מדידה יומית) – בחודשים ינואר ופברואר היתה טמפרטורת פני הים קרובה לממוצע הרב-שנתי ובין סוף פברואר לספטמבר היתה הטמפרטורה גבוהה יחסית לממוצע. בסוף השנה, בחודשי הסתיו ותחילת החורף, חזרה טמפרטורת פני הים לערכים ממוצעים לעונה. טמפרטורת פני הים השנתית הממוצעת היתה דומה לשנה הקודמת ומאז שנת 1988 ניכרת מגמה של עליה בטמפרטורת פני הים בשמורת חוף אלמוג.
28. טמפרטורת האויר וטמפרטורת פני הים (מדידות רציפות) – הטמפרטורה המזערית מעל מזח המכון השנה היתה 6.7 מעלות, בחודש ינואר, נמוך בכמעט מעלה בהשוואה לשנה הקודמת, ומסביר את הקרור המהיר של פני הים בחודש ינואר השנה. טמפרטורת פני הים המזערית, לעומת זאת, היתה דומה לשנה הקודמת, 21.2 מעלות בחודש מרץ, לאחר שתהליך הערבוב כבר נעצר.
29. אירועי גשם – השנה פקדו את צפון מפרץ אילת אירועי גשם רבים במיוחד (6 אירועים נרשמו על ידי תכנית הניטור). האירוע המשמעותי ביותר היה סופת ברקים ב- 27-28 באוקטובר במהלכה נמדדו במכון 27 מ"מ גשם. שיטפונות זרמו לים ועכירות גבוהה נמשכה מספר ימים.

תנודות רב-שנתיות ומגמות שינוי

שונית האלמוגים

1. כיסוי אלמוגי אבן – אחוז הכיסוי של אלמוגי אבן חיים הוא המדד העיקרי המשקף את מצבה של שונית האלמוגים לאורך זמן. בין השנים ישנן תנודות במידת הכיסוי. השנה, לאחר שנתיים בהן כיסוי אלמוגי האבן הממוצע בשוניות הנסקרות ירד מעט, נמדדה עליה בכיסוי האלמוגים בששה מתוך שמונה האתרים, ועליה קלה בכיסוי הממוצע.
בשנות הניטור הראשונות (2004-6) כיסוי האלמוגים הממוצע בשוניות אילת היה 19-20%. בשנים 2007-12 עלה הכיסוי הממוצע ונע בטווח הערכים 21.5-23.9%. בשנת 2013 נמדד הכיסוי המרבי בתקופת הניטור, 26.4%, בשנה הקודמת היה הכיסוי הממוצע 24.1% והשנה כיסוי האלמוגים הממוצע בשוניות אילת היה 25.2%. לאורך תקופת הניטור ישנה מגמה ברורה של עליה באחוז הכיסוי הממוצע של אלמוגי אבן בשוניות אילת הנסקרות.
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. <u>מדד הרקמה החיה באלמוגי אבן</u> – מדד זה מצוי בירידה, מאז 2012. יחד עם זאת, השינויים במדד זה קטנים. יתכן והירידה בערך המדד משקפת את מגמת העליה בשרידות וגדילת מושבות, הנחשפות עם הזמן לפגיעות מצטברות ברקמת האלמוג.
4. <u>מגוון המינים</u> – מגוון המינים, כמו גם הרכב חברת האלמוגים ותוחלת המגוון באתרי הניטור משתנים אך מעט משנה לשנה, עדות להרכב חברה יציב.
בין יצורי השונית שאינם אלמוגים מתגלים בשנים האחרונות כאלה שלא היו מוכרים באילת (דוגמת נחשונק וגלילן צהוב נקודות אשר זוהו על ידי סוקרי התכנית) ומיני דגים שהיו נדירים נצפים לעיתים קרובות יותר. ישנה עליה גם במספרם של קיפודי ים שאינם שייכים למין הדומיננטי *D. setosum*.

<u>הסביבה החופית</u>

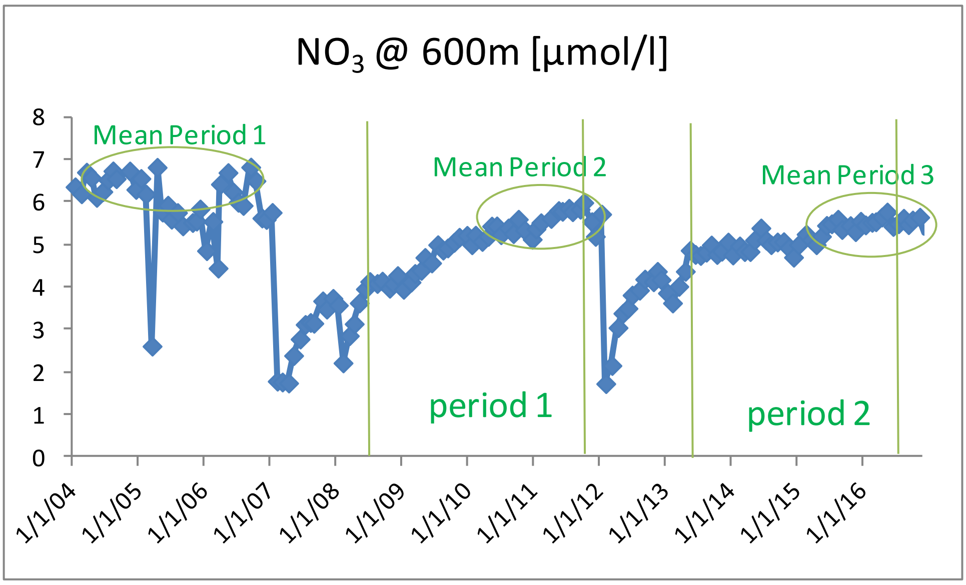
5. <u>ריכוזי נוטריינטים בתחנות חופיות</u> – ריכוזי נוטריינטים במי השטח בדרך כלל גבוהים יותר בחודשי החורף מאשר בקיץ, עקב ערבוב עמודת המים המעלה מי עומק עשירים בנוטריינטים בחודשי החורף. מצד שני, ריכוזים גבוהים באופן חריג בתחנות החופיות נפוצים יותר בחודשי הקיץ ומעידים על העשרה מקומית בנוטריינטים. אירועים 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". השנה לא נמצאו ריכוזי נוטריינטים חריגים בתחנות החופיות.
6. <u>טפילי מעיים הטרוקסנים בדגי בר</u> – שכיחות ההדבקה של דגי בר (סיכן משויש, *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. <u>חיידקים פתוגנים בדגי בר</u> – החיידק מיקובקטריום (*Micobacterium marinum*) עדיין קיים ופעיל באתרי החוף הצפוני והחוף הדרומי הנבדקים, אם כי שכיחותו נמוכה, אולי, משהיתה בעבר.
השנה זוהו חיידקים פתוגנים נוספים במפרץ (על ידי חוקרי מלח"י) כשבאחד המקרים **הנשא היה דג נוי שאינו מקומי** ונמצא בשמורת חוף אלמוג. מקרה זה מצביעה על הסכנה הקיימת מהצגת פרטים שאינם מקומיים למפרץ.
8. <u>פורמניפרים בנתונים בקרקעית הרכה באתר כלובי הדגים</u> – 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.

<u>עמודת המים בים העמוק</u>

9. <u>ריכוזי נוטריינטים וחמצן מומס</u> – המערכת האקולוגית, ובפרט הדינמיקה השנתית של ריכוזי נוטריינטים וחמצן במים וזמינותם לאוכלוסיות הפיטופלנקטון בים הפתוח, מונעת על ידי הערבוב העונתי בעמודת המים. הדינאמיקה הרב שנתית מושפעת מעומק הערבוב ומשכו ומכמויות הנוטריינטים שנצברו במי העומק. הערבוב השנה היה לעומק בינוני, וזוהי השנה הרביעית בה מי העומק אינם מעורבבים עם המים העליונים. על כן, ריכוזי הנוטריינטים במי העומק הוסיפו לעלות השנה וריכוזי החמצן הוסיפו לרדת, אם כי קצב השינוי נמוך משהיה לפני הערבוב העמוק של שנת 2012.
גם מאגרי הנוטריינטים השנתיים המחושבים עדיין נמוכים בהשוואה לשנים 2009-2011. נראה כי מעבר לתנודות הגדולות הנובעות מהדינאמיקה העונתית ישנה בשנים האחרונות ירידה מתמשכת בכמות הנוטריינטים המומסים במים העמוקים.
10. <u>טמפרטורת המים</u> – 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. במקביל, נמדדת עליה מתמשכת גם בטמפרטורת פני הים מאז 1988 בקצב שנתי ממוצע של כ- 0.037 °C.

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 600 מטרים וחילקנו את תקופת הניטור לשני מקטעים: מקטע הזמן הבאים: יוני 2008–ספטמבר 2011, מאי 2013–מאי 2016. מקטעי הזמן האלה מייצגים תקופות של שלוש שנים כ"א, בין חורפים בהם ערבוב עמודת המים הגיע לעומק זה (איור א2).



איור א2: חלוקת סדרת הזמן של ריכוזי ניטראט בעומק 600 מטרים בתחנה A לשני מקטעים בני שלוש שנים בהן היה הערבוב רדוד משש מאותת מטרים (טבלה א2) ולשלושה מקטעים בהן ריכוזי הנוטריינטים הממוצעים היו גבוהים ביותר בכל תקופה בין ערבובים עמוקים (טבלה א3).

השאלה שנשאלה: האם ישנו הבדל משמעותי בין שיפוע העליה בריכוז הנוטריינטים (קצב צבירת נוטריינטים במי העומק) בין שתי תקופות אלה?

השאלה נבחנת מנקודת המבט של "אוליגוטרופיות המפרץ" – ירידה מובהקת בקצב צבירת הנוטריינטים (או קצב צריכת החמצן המומס) בין תקופות אלה נחשבת ל"טובה". נבחנו ריכוזי ניטראט, פוספאט, סיליקאט וחמצן (טבלה א2).

	Period 1		*Period 2*	
	Coef	*SE*	*Coef*	*SE*
Oxygen	-0.021527***	0.001630	-0.009863	0.000761
NO3	0.001648***	0.000087	0.000784	0.000080
Si	0.000709***	0.000057	0.000662	0.000059
PO4	0.000100***	0.000011	0.000044	0.000006

טבלה א2: שיפוע קו הרגרסיה (לינארית) ושגיאות התקן של ריכוזים כימיים בסדרות הזמן של שנים בהן הערבוב רדוד (מוגדרות מקטע 1, 2008-2011, ומקטע 2, 2013-2016) בתקופת הניטור.

נמצא שעבור כל המשתנים שנבחנו, בשנים בהן עומק הערבוב היה רדוד, קצב צבירת הנוטריינטים וקצב צריכת החמצן במים העמוקים (מיוצגים על ידי עומק 600 מטרים) ירד באופן מובהק בין מקטע הזמן הראשון, 2008-2011, ומקטע הזמן השני, 2013-2016.

שאלה נוספת לגבי ריכוזי הנוטריינטים והחמצן במי העומק (600 מטר) שאספה תכנית הניטור: האם ישנו הבדל מובהק (מבחן ANOVA) בין הערך הממוצע בשלושה מקטעי זמן המופרדים בין חורפים של ערבוב עמוק – נבחנו השנים 2004-2006 (מקטע 1), 2010-2011 (2), 2015-2016 (3) בהן

ריכוזי הנוטריינטים גבוהים ביותר ויציבים בכל מקטע זמן (טבלה א3).

	Mean period 1	Mean period 2	Mean period 3	ANOVA
Oxygen	166.676612	173.045197	174.799167	0.0000001
NO3	6.074000	5.455588	5.419542	0.0000001
Si	3.080971	2.841548	2.872500	0.0013
PO4	0.331353	0.302381	0.297375	0.000165

טבלה א3: ריכוזים ממוצעים לכל תקופת זמן בה הריכוזים הנמדדים גבוהים ביותר ויציבים במקטעים שבין ערבוב עמוק (תקופה 1: 2004-6, תקופה 2: 2010-11, תקופה 3: 2015-6), ומובהקות ההבדלים ביניהם.

נמצא שעבור 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. עבור כל המשתנים ההבדל בין התקופה הראשונה והשניה גדול בהרבה מההבדל בין התקופה השניה והשלישית.

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 זעירה של עלייה בריכוזים, ברמת מובהקות נמוכה (שיפוע הרגרסיה עם שגיאת התקן: 0.000018 ± 0.000008, $p=0.29$). עבור ריכוזי הכלורופיל בפני הים אשר נמדדים מדי יום במזח המצפה התת-ימי, נמצאה מגמת ירידה זעירה ומובהקת לאורך תקופת הניטור (שיפוע הרגרסיה עם שגיאת התקן: 0.000011 ± 0.000002, $p<0.00001$). בהסתמך על השיפועים הזעירים והמגמות המנוגדות נראה כי אין מגמה של שינוי בריכוזי הכלורופיל בצפון המפרץ לאורך תקופת הניטור.

3) טמפרטורת פני הים

טמפרטורת פני הים הנמדדת מדי בוקר במזח המצפה התת-ימי מראה מגמה מובהקת של עליה לאורך תקופת הניטור (שיפוע הרגרסיה עם שגיאת התקן: 0.000192 ± 0.000021). עליה זו מיתרגמת לעליה של 0.07 מעלות בשנה מאז שנת 2004. קצב התחממות פני הים מאז 2004 כפול מהקצב הנמדד מאז שנת 1988.

4) מגמות בשונית האלמוגים של אילת

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

	Reg. coeff.	se	P value
Live cover	0.556396	0.075095	0.000013
Coral density	0.295861	0.095372	0.011209
Medium corals	2.446861	0.267164	0.000004
Small corals	-2.665719	0.919395	0.015849
LTI	-0.411369	0.074118	0.000173
Urchin density	-0.108200	0.033783	0.008413
Lagoon	-0.180426	0.038760	0.000699
Algae (potential)	-0.027348	0.027183	0.335993
Algae (actual)	-0.033254	0.013388	0.030361

טבלה א4: תוצאות מבחני רגרסיה לינארית עבור משתנים שונים בשונית האלמוגים של אילת.

נמצאה מגמת עליה מובהקת בכיסוי האלמוגים החיים בשוניות אילת ובצפיפות מושבות האלמוגים הבינוניים. מגמת עליה ברמת מובהקות חלשה 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 בשונית המכון הבינאוניברסיטאי לא נמצאה מגמת שינוי מובהקת לאורך תקופת הניטור, אך בכמות האצות בפועל נמצאה ירידה מובהקת, ברמת מובהקות חלשה, המצביעה על יעילות הרעייה בשונית.

5) סיכום

טבלה א5 מסכמת את תוצאות מבחני המגמה עבור משתנים שונים אחריהם עוקבת תכנית הניטור, 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.

הגורם הנבחן	מגמה
ריכוזים כימיים במים עמוקים (660 מ')	
O_2	עליה בקצב הצבירה, עליה בערכים גבוהים
NO_3	ירידה בקצב הצבירה, ירידה בערכים גבוהים
$Si(OH)_4$	ירידה בקצב הצבירה, ללא מגמה בערכים גבוהים
PO_4	ירידה בקצב הצבירה, ירידה בערכים גבוהים
ריכוזי כלורופיל במים עליונים	ללא מגמה
טמפרטורת פני הים	עליה
שונית האלמוגים	
כיסוי אלמוגים חיים	עליה
צפיפות אלמוגים	עליה
צפיפות מושבות בינוניות	עליה
צפיפות מושבות קטנות	ירידה
מדד הרקמה החיה	ירידה
צפיפות אלמוגים בלגונה	ירידה
צפיפות קיפודי הים	ירידה
פוטנציאל צמיחת אצות ישיבות	ללא מגמה
צמיחת אצות ישיבות בפועל	ירידה

מקרא:
צהוב=ללא מגמה; ירוק=מגמה חיובית (אוליגוטרופיות ושונית אלמוגים בריאה ומפותחת);
תכלת=מגמה חיובית חלשה; אפור=מגמה שלילית חלשה; אדום=מגמה שלילית

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

א.4. המלצות

I. שונית האלמוגים מצויה בסך הכל במגמה של עליה בכיסוי אלמוגי אבן חיים וצפיפות מושבות במשך תקופת הניטור. אך עלייה זו אינה יציבה וישנן שנים של ירידה. השונית פגיעה למגוון לחצים אנושיים כמו גם טבעיים – כגון פריחת אצות בנתוניות ופלנקטוניות אשר התרחשה השנה בעוצמה רבה, זרימת מי שיטפונות ועוד. גם הגורמים "הטבעיים" האלה מושפעים מהתערבות אנושית – הצטברות חומרי דשן ומזון במי הים או במי הנגר השוטפים אל הים מעודדת פריחות אצות תדירות וגדולות יותר. אמנם פריחות אצות ותנודות בכיסוי הם חלק מהמערכת הטבעית אך אחת ממטרות הניטור ארוך המועד היא לעקוב ולזהות מחזורים שכאלה. לא ניתן להמליץ כאן על פעולה ישירה, למעט נקיטת משנה זהירות בכל הנוגע לפעולות העלולות לפגוע בשונית. בין היתר רצוי למנוע, עד כמה שניתן, פגיעה פיסית בשונית והעשרה בנוטריינטים שתעודד פריחת אצות ופגיעה בבתי הגידול התומכים, כגון עשבי הים.

II. בשנות הניטור מתועדות תנודות בגודל אוכלוסיית קיפודי הים, אחת משתי קבוצות הרועים החשובות בשונית (הקבוצה השנייה היא דגים רועים) והקבוצה העיקרית הניזונה מכסוי מרבדי אצות (turf algae). תפקידם של הרועים לווסת פריחות של אצות צמודות מצע המתחרות עם האלמוגים על שטחי השונית. בהינתן התנודות בחברת הרועים יש לנסות ולהפחית את הלחץ האנושי על הקיפודים והדגים. בפרט אנו ממליצים לאסור כליל דייג של דגים אוכלי אצות בצפון המפרץ, ולפעול להגנתם מפני פגעים נוספים מעשה ידי אדם. כמו כן, יש להקפיד על אכיפת האיסור לפגוע בקיפודי ים, הניזונים מהן, לאורך חופי אילת בכלל, ובקרבת השונית בפרט.

III. לאחר שלוש השנים בהן עלה מספר אירועי החריגות של "זיהום" בנוטריינטים באזורים חופיים, השנה לא נמדדו חריגות כאלה. 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. בשנתיים האחרונות נפגע האזור משיטפונות שהובילו לים סדימנט דק אשר כיסה את קרקעית הים עד לעומק מים של עשרות מטרים. התאוששות האזור בעקבות 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 שבחוף הצפוני, 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, כולל השוניות ועשבי הים. נראה כי גם עמודת המים מצויה בתהליך איטי של ירידה בכמות הנוטריינטים המומסים בעמודת 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, אשר יציבותו יכולה להידרדר כתוצאה מאירוע חריג, טבעי או מעשה ידי אדם. על אף שלא ניתן להצביע על גורם נקודתי בשטחנו בו ניתן לטפל ישירות, נראה כי יכולתה של המערכת האקולוגית במפרץ אילת להתמודד עם עקות שונות אינה גדולה. הקושי צפוי אף לגדול עם התגברות גורמים "גלובליים" כגון חימום מי הים ושינוי רמת חומציותם. על כן ראוי למנוע עד כמה שניתן את הצטברותם של גורמי עקה הניתנים למניעה, גם אם הם עקיפים או נתפסים כזניחים. בסופו של דבר, מערכת מוחלשת תתקשה להתמודד עם מגוון עקות הפועלות במקביל.

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

Scientific report 2016

Dr. Yonathan Shaked, Program Manager
Prof. Amatzia Genin, Scientific Director
(March, 2017)

Introduction

This report describes the work and results of the Israel National Monitoring Program in the Gulf of Aqaba (Eilat) – NMP – in 2016. 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 such consistently collected data provides increased analytical power and confidence in our findings, opening the possibility 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 changed 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 changed the protocol of treating and splitting soft sediments that are collected to evaluate changes to the meiofauna and benthic communities at two soft-sediment, at the northern and southern ends of the Israeli coast. 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 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 25.2%, a slight increase after two years of decrease in coverage (24.1% was the average cover in 2015). The deep sites, IUI and NR at 20 meters depth, were the only sites in which a decrease in coral cover was measured.
2. Density of stony coral colonies – The average stony coral density this year was 29.5 colonies per 10 meter long reef section. The average coral density is slightly increasing since 2010, although year to year changes are small.
3. Size of stony coral colonies – The characteristic size of coral colonies varies from one monitored site to another. The shallow IUI site is where 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 all other sites. The presence of large and huge colonies at NR-5 facilitates its high coral cover. 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 also seems to rise, indicating enhanced growth and survival.
4. 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 shallow NR site has the largest coral colonies and is also the site where the LTI is lowest. The highest LTI is found at the deep (20 m) NR and KATZA sites. The average value of this index for all sites is decreasing throughout the monitored period, but the change are small. 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 as time goes by.
5. 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 are small, all these metrics were somewhat lower relative to the previous year. The community structure of stony corals in Eilat remain stable throughout the monitored period.
6. Reef flat – Due to its unique character, the reef flat at the coral reserve is considered separately from the fore-reef sites. Stony coral cover is decreasing slightly at the reef flat in the past three years. The reef flat is more sensitive to external forcings than fore-reef sites, and its coral diversity is lower. Massive stony corals dominate the reef flat whereas branching corals are common at fore-reef sites.
7. 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. Differences between sites are apparent in this survey as well, and the Dekel site has the lowest coral density. A slight decrease in the cover area of stony corals at the photo sites is documented since 2013 and at

most sites (NR being an exception) mortality was greater than recruitment this year.
The overall structure of reef components at the photo sites is similar to previous years, but among corals an increased coverage of the soft coral *Xenia* is noted, together with an ongoing decrease in the coverage of branching corals *Acropora* and *Stylophora*.

8. The coral reserve lagoon – The dominant coral at the nature reserve lagoon is coral *Stylophora pistillata* (42% of all colonies at the lagoon) followed by the fire coral *Millepora* (27%). 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.
   Since environmental conditions at the lagoon are harsh, it is dominated by a number of coral taxa, and coral diversity is low.
9. Coral settlement in the reef – The NMP started monitoring coral settlement in the previous year, using settlement plates that were placed at two reef sites, the nature reserve and the IUI. Initial results indicated differences between the sites in the number of settlers as well as in the timing of settlement and subsequent survival of recruits. This year, the number of settlers on all plates at both sites were too small to provide reliable information. The results obtained in the last two years will help adjust the sampling protocol so that information gathered in the coming years will be more useful.
10. Sea urchins – Of the invertebrates, sea urchins are the most important group of reef grazers. Of this group, *Diadema setosum* is the most abundant urchin in Eilat and its density increased this year at all sites. The density of the urchin *Echinometra mataei* is also increasing in recent years.
11. Other mobile invertebrates – The density of feather stars sea cucumbers was higher this year compared to the previous year, and that of sea stars was lower. The small number of individuals encountered in our surveys makes it hard to determine how significant these fluctuations are.
    In recent years the monitoring team has recorded several basket stars (*Astroboa nuda*) individuals. This creature was not present in the initial years of reef monitoring.
12. Benthic algae at the reef – *Chlorophyll-a* measured on settlement plates, and particularly those protected from grazing, is correlative to the mixing depth. This year mixing was deeper than in the previous year and accordingly Chl-a concentrations on plates protected from grazers were somewhat higher, with peaks early in winter, and later in the year at the end of summer.
13. 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.

Coastal Environs

14. Nutrient concentrations in coastal waters – Concentrations of nutrients are commonly high during winter and very low during summer. The process that dictates this dynamics is the seasonal mixing, driven by cooling of the sea surface in winter, which brings nutrient-rich deep waters to the shallow coastal areas. This year mixing started early and reached some 500 meters depth between January and February, but then cooling stopped and mixing ended. As a result, most concentration measurements this year were low. Except for high *Chl-a* concentrations in January, other values were similar to those of a shallow-mixing year and the year was characterized by a narrow range of values between stations and the lack of abnormally high local values.
15. 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. However, 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.
16. Other fish pathogens – Two cases of fish carrying deadly pathogens were identified this year, by IOLR researchers. In the first case a dying wild fish was found at the northern beach of Eilat and the subsequent dissection found *Vibrio harveyi*, which is a serious hemolytic pathogen of fish. In the second case two **alien reef fish** were found at the nature reserve, and one of them turned out to be infected with *Photobacterium damsela ssp. piscicida* that is a cause of mortality in natural fish populations**. This case illustrates the danger of introducing non-native fish to the reefs of Eilat**.
17. 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 the at the southern beach this comprises only about 5% of the sediment and the majority is of biogenic origin together with mineral sand. These differences together with other environmental and physiographic differences dictate differences in the in-fauna population.
18. Meiofauna and benthic foraminifera in soft sediments – This year we revised the sampling and processing protocol for assessing the population of benthic foraminifera at soft sediment habitats. At the southern beach site 39 species were identified and at the northern beach site 31. The average density of individuals and of taxa in the sediment was about twice as high at the southern beach site: on average, 17 taxa and 45 individuals were found per gram sediment in the southern beach and at the northern beach 8 and 20 respectively.
    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.
19. Sea-grass – The NMP has monitored sea-grass cover at two sites, at the northern and southern shores, for two years now. In general, sea-grass meadows at both sites 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 lower this year at both site compared to the previous year. At this stage it is unclear whether these are natural fluctuations or cause driven changes.

20. Foraminifera assemblages at the site of former aquaculture cages – Following the recovery of benthic foraminifera population at the site of former fish cages, the area was covered by sediment brought in by flash floods in the winter of 2012-3. In subsequent years 2013-2015 a rapid recovery was documented and a rise in the number of individuals was recorded. This year, a decline in the density of foraminifera individuals was noted at most sampling points close to the site. The number of taxa present, on the other hand, remained high and perhaps even increased – although this could be an artifact of improved classification ability. The reason for reduced individual density is not known. A flood originating from the eastern coast (Jordan) spread over the region in the previous autumn (see NMP scientific report 2015) and may have impacted the infauna population.

The deep water column

21. Vertical mixing – This year saw early and rapid cooling of the water column, and between the survey cruises of January and February vertical mixing reached 500 meters (in the previous three years mixing was 300 meters or less). But as early as mid-February mixing stopped and a shallow thermocline formed near the sea surface.
22. Concentrations of oxygen and nutrients in the deep waters – The water column was mixed to an intermediate depth (500 m) this year and the deep waters continued to accumulate nutrients and to be depleted of oxygen. Nevertheless, four 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.
23. *Chlorophyll-a*, phytoplankton and primary productivity – Concentrations of *chlorophyll-a* were surprisingly high in the last two years, even considering this year's somewhat deeper mixing. High *Chl-a* was measured in February and in March and phytoplankton concentrations in March were even higher than in 2012 when mixing was much deeper. Relative abundances of unicellular plankton were also different this year compared to previous years. Primary productivity peaked in April, but overall productivity was not as high as expected considering the mixing depth.
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.
24. Zooplankton – The biomass concentration of zooplankton in February this year was the highest measured so far by the NMP. Monitoring zooplankton biomass started in 2011 and does not include the deep mixing years of 2007 and 2008, but there was more zooplankton this year than in 2012 when mixing

was much deeper. It would seem that zooplankton population size follows phytoplankton concentrations rather than being directly correlated with mixing depth.

25. 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. This winter two short duration spikes in particle fluxes, in Dec. 30, 2015 and in Jan. 14, 2016, were detected. These do not correlate with known external events and probably represent internal mixing dynamics in the water column. The process is not clear is subject to ongoing investigation. Generally, particle fluxes are higher in deep traps, particularly during winter, while daily resolution measurements in mid-column illuminate the significance of short-duration events on the overall accumulated fluxes.

Supplementary continuous measurements

26. Sea surface *chlorophyll-a* next to Eilat's coral reef (daily measurement) – Maximal chlorophyll-a concentrations were measured in February and thus this year is similar to recent years in which rapid cooling started early and ended early and significant "spring bloom" does not occur. The peak *Chl-a* concentration measured this year was higher than that of the previous year, and much higher than the long-term average for the month of February.
27. Sea surface temperatures next to Eilat's coral reef (daily measurement) – Sea surface temperature was close to the multi-annual average in January and February and higher than average between late February and September. Late in the year SST returned to average seasonal values. The annual average SST was similar to the previous year and an overall rise in SST next to the nature reserve reef is documented since 1988.
28. Sea surface temperature and air temperature above the sea surface (continuous measurement) – The lowest temperature recorded above the sea surface at the IUI was 6.7 degrees centigrade, in January, almost a full degrees lower than the previous year – explaining the rapid sea surface cooling early this year. The lowest SST measured this year, however, was similar to that of the previous year (21.2 degrees centigrade, in March after mixing has stopped).
29. Rain events – A (relatively) large number of rain events occurred this year (6 were recorded by the NMP). The largest event was a thunder storm in October 27-8 during which 27 millimeters of rain were measured by the NMP at the IUI. Terrestrial waters flooded into the Gulf and turbidity at the shores of Eilat was high for several days.

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. Over the years live coral cover fluctuates and this year, after two years in which it has somewhat decreased, coral cover has increased at six out of eight monitored sites driving an increase in the average cover in the Eilat reefs.
   During the initial years of monitoring (2004-6) average coral cover inEilat 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%. In the previous year average coral cover was 24.1% and this year the average coral cover at Eilat was 25.2%. Throughout the monitored period there is a clear rise in live coral cover at the monitored reefs of Eilat.

2. Stony coral density and size – Average coral density between all monitored site 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 size 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 and 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. But, in recent years abnormally high concentrations of nutrients, particularly at the northern sampling stations, are occasionally recorded. This year abnormally high nutrient concentrations at coastal stations were not detected.
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.
   This year other potentially harmful pathogens were identified in Eilat by researchers from IOLR. In one case, the pathogen was **hosted by an alien reef fish** that was found at the Eilat nature reserve reef. This case highlights athe danger of introducing non-native fish to the reef.

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 much more rapid than the recovery from the local impact of aquaculture cages and is still ongoing.

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.
   This year's mixing was to an intermediate depth, some 500 meters, and it is the fourth 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 then the values preceding the deep mixing of 2012, and much less than the values recorded before deep mixing in 2007-8. Likewise, the calculated nutrient stores in the deep sea water column are lower than those of the period 2009-11, the shallow-mixing years of the previous cycle. Thus, even considering the large annual fluctuations, there seems to be a gradual decrease in deep-water nutrient concentrations.
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.

ב. שונית האלמוגים

ב.1. סקר חברת השונית

מטרה

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

שיטות

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

אתר	סימול	קו רוחב	קו אורך	עומקים (מ')
המכון הבינאוניברסיטאי (מעבדה ימית)	IUI	34º55'.02	29º30'.07	5,10,15
השמורה הסגורה (גנים יפנים)	NR	34º55`.26	29º30`.33	1,5,10,20
קצא"א (בין המזחים)	KATZA	34º56`.04	29º31`.37	10, 20

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

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

סקר חברת האלמוגים נעשה על פי שיטת חתכי הקו שפותחה על-ידי Loya *et al.* (1972). בכל אתר גיאוגרפי נפרש סרט מדידה מנקודת התחלה אקראית לאורך קו עומק כמפורט בטבלה ב1. לאורך סרט המדידה נבחרה מראש נקודת ההתחלה של החתך על-ידי מחולל מספרים אקראיים. מנקודה זו בוצעו חתכים באורך 10 מטרים לאורך סרט המדידה, כשביניהם מפרידים מטרים ספורים. מספר החתכים באתר (שילוב של מיקום גיאוגרפי ועומק) נע, בדרך כלל, בין 10 ל-20, 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 ז2, טבלה ז1). בכל חתך נרשם גם סוג המצע תחת סרט המדידה (סלע חשוף, חול, חלוקים, אלמוגים מתים, וכו').

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

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

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

איור ב1: תצלום אווירי של קטע החוף הצפון-מערבי של המפרץ, דרומית לעיר אילת, עליו מצוינים האתרים בהם נסקרה חברת השונית, מהמעבדה הימית בדרום ועד לקצא"א בצפון. הקווים הצהובים מייצגים את האתרים הנסקרים: (1) המעבדה הימית, (2) שמורת האלמוגים, 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 החתך ברמת דיוק של סנטימטר אחד. צילום: ניצן שגב.

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

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

מגוון מינים לפי מדד Shannon Wiener (משוואה ב1, כש- P_i הוא פרופורציית מספר המושבות של מין (או סוג) i מתוך סה"כ n המינים (או הסוגים) שנספרו) הוערך על ידי תכנת EstimateS (Colwell, 2005; http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS) עבור כל אחד מהאתרים. התכנה צוברת את נתוני החתכים שנמדדו לקבלת עקומת רוויה: ככל שנוספות יחידות מדידה (חתכים) הערך המוערך מתקרב לערך האמיתי באתר עד למצב בו תוספת חתכים אינה משפיעה על הערך המוערך. בשלב זה המוערך קרוב לערך האמיתי.

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

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

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

שולחן השונית בשמורת חוף אלמוג נסקר כאתר נפרד. ההחלטה להוסיף אתר זה לסקר נבעה מחשיבותו של שולחן השונית, לאור נתונים קודמים, לפיהם שולחן השונית נפגע ומצוי במצב של הידרדרות בעשורים האחרונים (ראו למשל Loya, 2004), והן בזכות הקמתה של תחנה מטאורולוגית על ידי תכנית הניטור המאפשרת לעקוב (בין היתר) אחר אירועים אקלימיים קיצוניים להם חשוף שולחן השונית יותר מאתרי קדמת השונית. יחד עם זאת בשל ההבדלים הניכרים בין שולחן השונית וקדמת השונית (ראו דו"ח

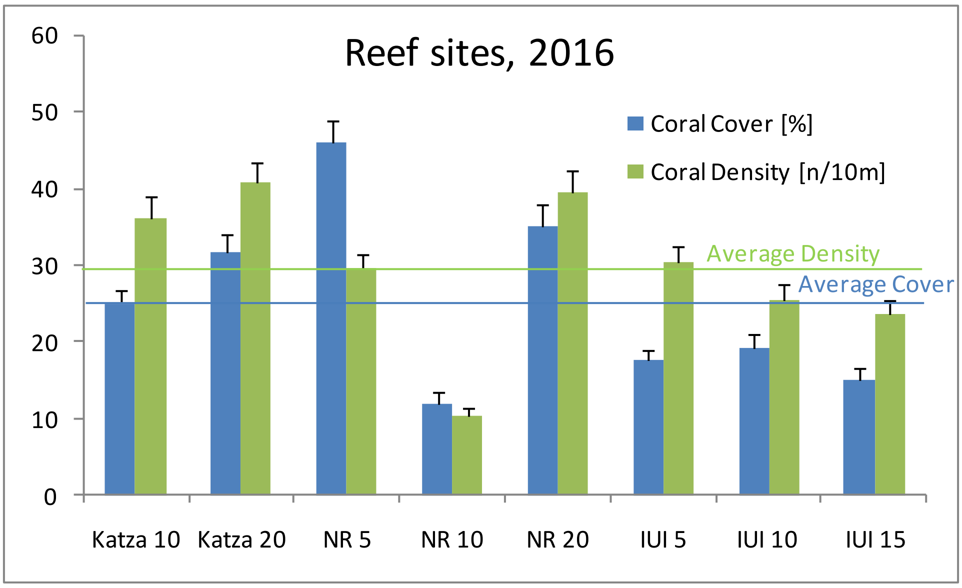
התכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת, 2007) מוקדש לשולחן השונית תת-פרק נפרד בדו"ח זה. קווי שגיאה מייצגים את שגיאת התקן, אלא אם מצוין אחרת.

<u>תוצאות:</u>

<u>כיסוי אלמוגים וצפיפות מושבות</u>

אחוז השטח המכוסה אלמוגי אבן חיים שונה מאד בין האתרים, וכך גם צפיפות האלמוגים (איור ב3). כיסוי האלמוגים הגדול ביותר נמצא בשונית הרדודה בשמורת האלמוגים (5-NR), בה נמדד השנה כיסוי אלמוגי אבן של 46%. הכיסוי הנמוך ביותר נמצא באתר השמורה בעומק עשרה מטרים (10-NR), עם 12% 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, והשונית בו בעלת אופי כתמי. אתר השמורה הרדוד, לעומתו, הוא אתר של מבנה שונית מסיבי ורציף, והכיסוי הגבוה בו (יחד עם צפיפות נמוכה באופן יחסי) משקף אכלוס על ידי מושבות אלמוגים גדולות.

כסוי האלמוגים הממוצע באתרי השונית הנסקרים היה השנה 25.2%, וצפיפות המושבות הממוצעת היתה 29.5%.



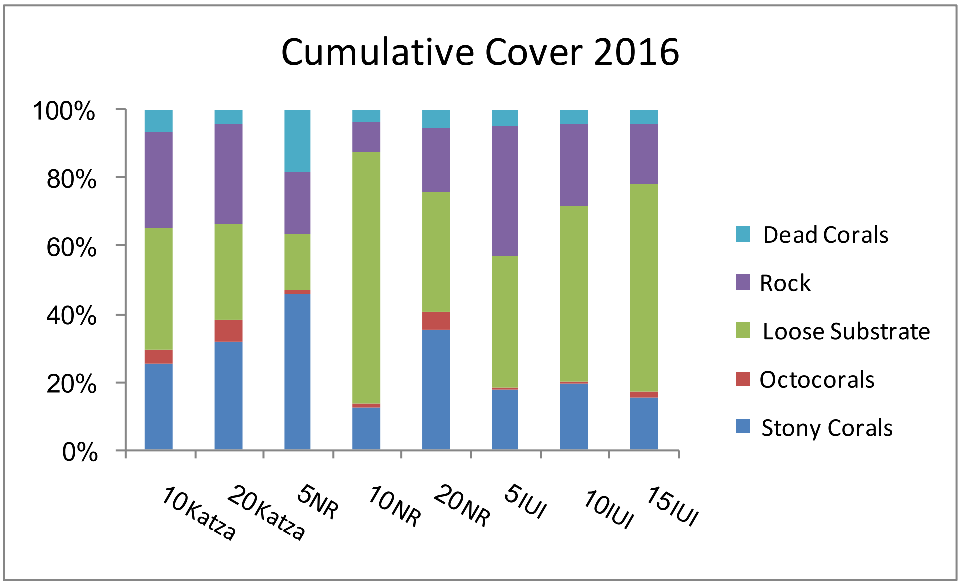
איור ב3: צפיפות המושבות ושטח הכיסוי הממוצע של אלמוגי אבן חיים בכל אתר בשנת 2016

Figure B3: Average live stony coral cover and colony density at each site, in 2016

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 שכולו שונית רציפה. ההבדלים בכמות הקרקעית הלא מלוכדת (חולית, בעיקר) בין האתרים מבטאים את מידת הכתמיות של השונית בכל אתר, ובאתרים בהם מצע חולי הוא מרכיב חשוב וגורם למופע כתמי של השונית ישנה שונות טבעית גבוהה ושגיאות גדולות יותר בהערכת אחוז הכיסוי הממוצע. מקדם השונות של כיסוי האלמוגים באתר כלשהו (שילוב של מיקום ועומק) נע השנה בין 22% (באתר 5-IUI) ל-50% (10-NR). מקדם שונות גבוה מצביע על כתמיות חזקה של מפזר האלמוגים באתר, ועל מגבלת דייקנותו (precision) של הערך הממוצע.

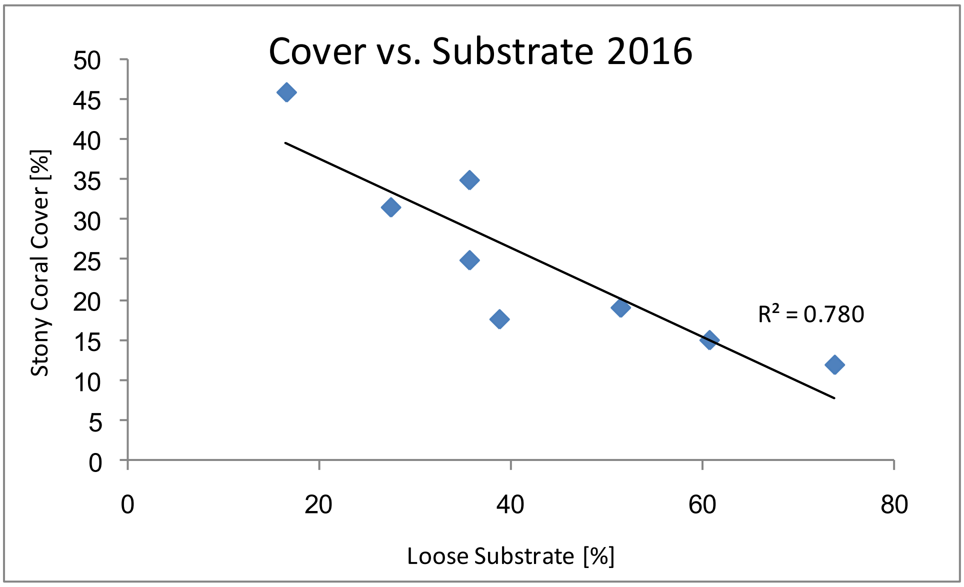
אחוז הכיסוי של אלמוגי אבן חיים באתר נמצא בהתאמה הפוכה לכמות המצע ה"לא מלוכד" (non-consolidated), הכולל חול וחלוקים, באותו אתר (איור ב5). המתאם השנה עומד על R^2=0.78. כך, נמצא שחלק גדול מן ההבדל באחוז הכיסוי החי בין האתרים מוסבר באמצעות הבדלים באחוז המצע הלא

מלוכד, אשר אינו מתאים להתיישבות אלמוגים.



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.



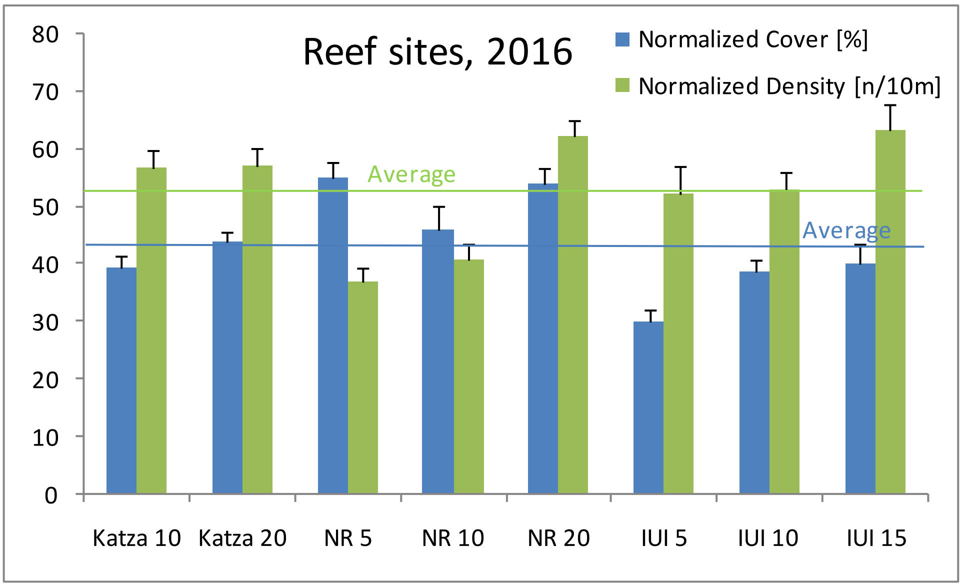
איור ב5: אחוז הכיסוי של אלמוגי אבן חיים כנגד אחוז המצע הלא-מלוכד (קרקע חולית) באתרים השונים

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

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

בהתבוננות זו נראה כי ההבדלים בין האתרים במידת ההצלחה של אלמוגי האבן קטנים יותר. אתרי שמורת האלמוגים בעומקים 5 ו-20 מטר הם בעלי הכיסוי המנורמל הגבוה ביותר (54.8% ו- 53.9%, בהתאמה) ואתרי המעבדה הימית ובפרט בעומק הרדוד, בעומק 5 מטר (29.9%), הם בעלי כיסוי מנורמל נמוך. כיסוי אלמוגי אבן על גבי מצע מלוכד באתרי השונית היה השנה 43.3%, בממוצע.

צפיפות המושבות על גבי קרקע מלוכדת גבוהה בכל האתרים (בממוצע כ-53 מושבות בעשרה מטרים של קרקע מלוכדת). צפיפות המושבות נמוכה מן הממוצע באתרי השמורה הרדודים, בעומק 10 ו- 5 מטרים, שם מצויות מושבות גדולות באופן יחסי.



איור ב6: ניצול המצע המתאים להתיישבות אלמוגים בשנת הניטור 2016. אחוז הכיסוי וצפיפות המושבות של אלמוגי אבן חיים מתוך סך הקרקע הסלעית בכל אתר.

Figure B6: Utilization of available substrate by stony corals in 2016. The percent cover and colony density of live stony corals on hard consolidated seafloor at each monitored site.

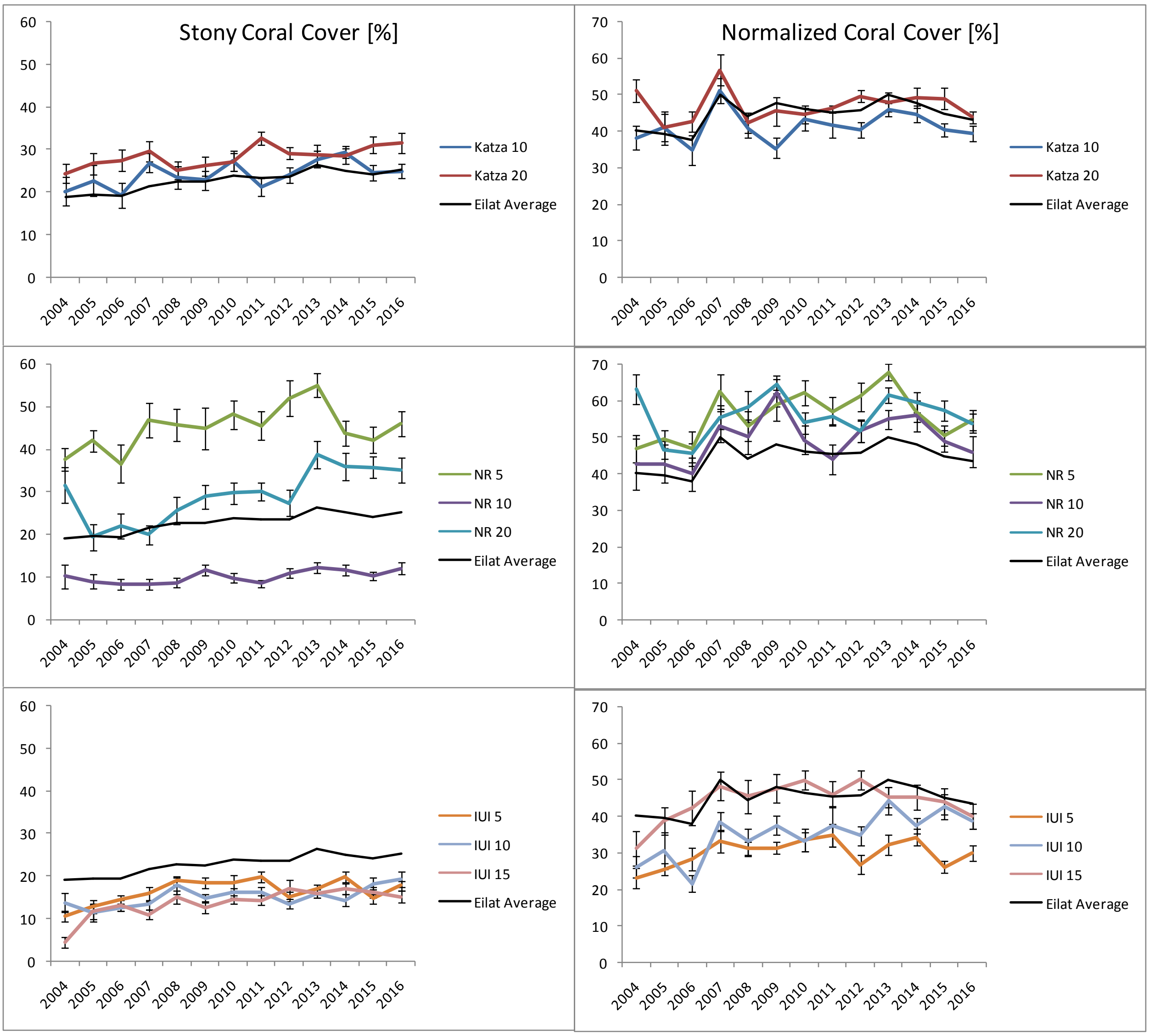
בהשוואה לשנים קודמות, השנה נמצאה עליה קלה בכיסוי אלמוגי האבן הממוצע בשוניות אילת (25.2%) בהשוואה לשנה הקודמת (24.1%). העליה בכיסוי האלמוגים הממוצע נשענת על כיסוי אלמוגים גבוה במידת-מה בששה אתרים מתוך שמונה נסקרים לעומת השנה הקודמת (איור ב7). העליה גדולה במיוחד באתרים הרדודים (השמורה והמעבדה בעומק 5 מטרים, 3.9% ו- 3.0%, בהתאמה), ואתרי השמורה והמעבדה העמוקים, בעומק 20 מטרים, הם היחידים בהן נמצאה ירידה באחוז הכיסוי (בשיעור של 0.7% ו-0.9%, בהתאמה). העליה בכיסוי הממוצע של אלמוגי אבן בשוניות אילת באה לאחר שנתיים בהן נמדדה ירידה באחוז הכיסוי הממוצע אך נראה כי לאורך תקופת הניטור 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 24-25%. מגמת העליה בכיסוי האלמוגים בשוניות אילת הנמדדת מאז 2004 עומדת על כ- 0.56% בשנה, עם התאמה של $R^2=0.833$.

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 ב7, מימין). תנודות אלה מושפעות מגידול או הרס אלמוגים, אך משקפות גם שינויים בכיסוי פני קרקעית הים הקשורים בעיקר לתנועת סדימנט. מכיוון ששינוי קטן בחשיפת סלע באתר, העשוי לנבוע מתנועת סדימנט, צפוי להשפיע במידה רבה על הערך המנורמל באותו אתר (בהיותו שינוי במכנה), נראה שהשימוש בערך

הכיסוי המנורמל מועיל בהשוואה בין אתרים אך פחות 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 (כ- 30% השנה). לעומתו, אתרי השמורה NR-20 ו-NR-5 בעלי הכיסוי המנורמל הגבוה ביותר (כ- 54% ו- 55% השנה, בהתאמה).

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 B7: משמאל - שטח הכיסוי הממוצע של אלמוגי אבן חיים בכל אתר, באחוזים מכלל השטח (למעלה, האתרים הצפוניים ביותר, בקצא"א, ולמטה הדרומיים, במעבדה הימית). מימן – ניצול המצע הסלעי על ידי אלמוגים (שטח הכיסוי הממוצע מתוך הקרקעית הסלעית). בקו שחור דק ניתן הערך הממוצע בין שמונה אתרי השונית הנסקרים.

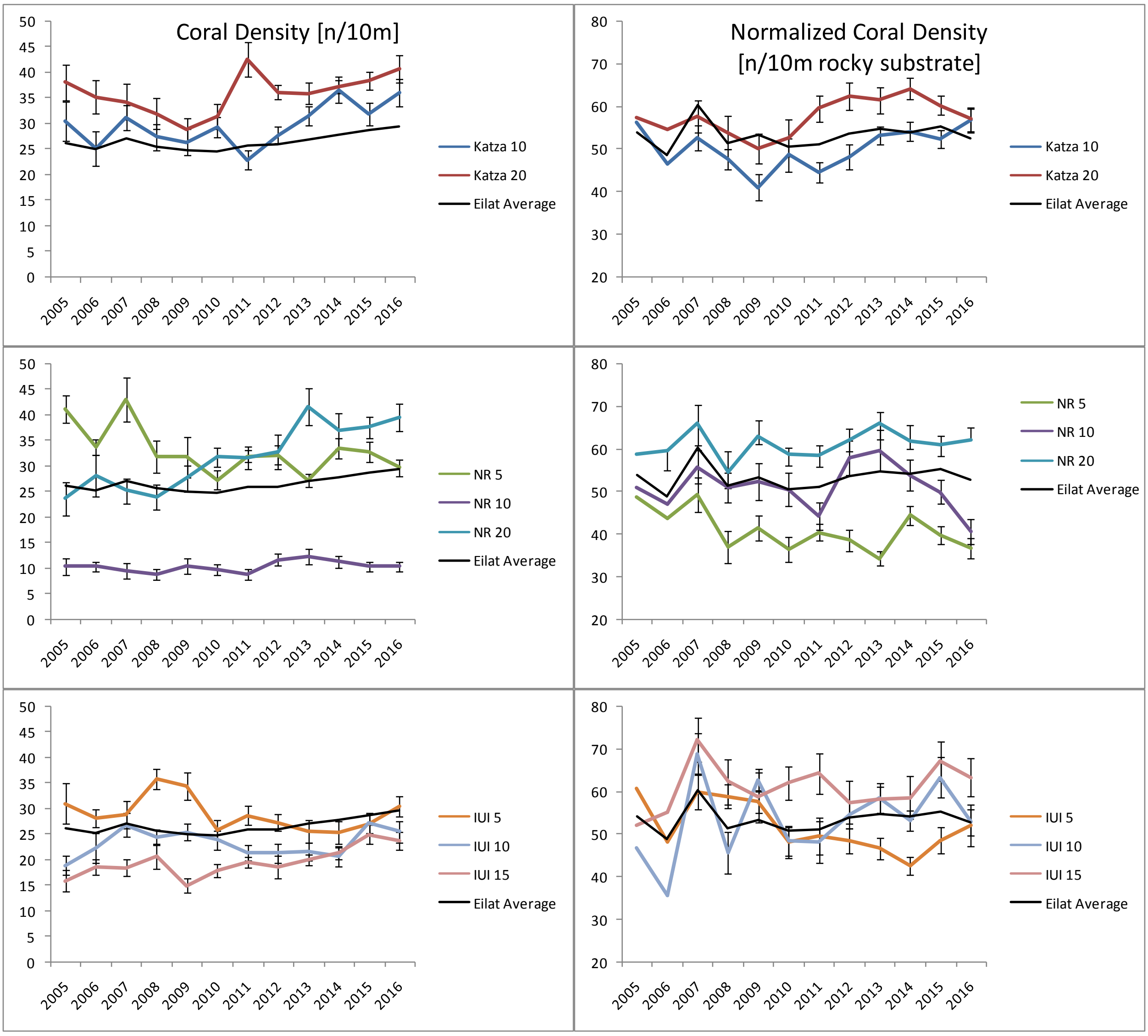
Figure B7: Left - The average live stony coral cover at each site, as percent of total area (top, the northernmost sites at the oil terminal, and bottom the southernmost sites of the

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.

באתרי קצא"א, באתר השמורה העמוק ובאתר המעבדה הרדוד נספרו, בממוצע, יותר מושבות אלמוגים בחתך של עשרה מטרים מאשר בשנה הקודמת, ובשאר האתרים נמצאה ירידה. צפיפות מושבות האלמוגים הממוצעת בין כל האתרים נמצאת בעליה מאז שנת 2010, והשנה נספרו בממוצע 29.5 מושבות אלמוגי אבן במקטע באורך עשרה מטרים, לעומת 28.8 בשנה הקודמת. בסך הכל, השינויים בצפיפות האלמוגים בשנים האחרונות קטנים למדי, עם מגמת עליה קלה בשנים האחרונות (איור ב8).

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 מני 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 שבאתר 10-NR, שהוא האתר בו מופע השונית כתמי ביותר עקב ריבוי קרקע חולית, בו נמצא מספר המושבות הקטן ביותר בעשרה מטרים, הצפיפות המנורמלת דומה לזו הנמדדת באתרים האחרים. לעומתו, הצפיפות המנורמלת באתר 5-NR, בו מעט קרקע בלתי מלוכדת נמוכה מאשר 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 coral colonies per ten-meter section at each site (top, the northernmost sites at the oil terminal, and bottom the southernmost sites of the Marine Science Laboratory). Right - Utilization of rocky substrate for stony coral settlment (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. לאחר שנתיים בהן נמדדה ירידה קלה באחוז כיסוי האלמוגים בשוניות אילת, השנה

נמדדה עליה של כאחוז בכיסוי הממוצע של אלמוגי אבן בשוניות אילת. הצפיפות הממוצעת של מושבות אלמוגים באתרי הניטור עלתה באופן עקבי, אם כי מתון, מאז שנת 2010.

									Averages			Average
Site	Katza 10	Katza 20	NR 5	NR 10	NR 20	IUI 5	IUI 10	IUI 15	Katza	NR	IUI	Eilat
Transects	16	11	23	20	17	12	15	15	27	60	42	
Stony coral	**25.06**	**31.65**	**45.98**	**12.03**	**35.04**	**17.70**	**19.15**	**15.10**	**27.74**	**31.56**	**17.29**	**25.21**
stdev	7.03	7.67	14.31	6.12	11.71	3.92	6.92	5.48	7.88	18.42	5.81	11.58
SE	1.76	2.31	2.98	1.37	2.84	1.13	1.79	1.42	1.52	2.38	0.90	4.09
CV	0.28	0.24	0.31	0.51	0.33	0.22	0.36	0.36	0.28	0.58	0.34	0.46
Octocoral	**4.06**	**6.38**	**1.16**	**1.75**	**5.25**	**0.47**	**0.83**	**1.57**	**5.00**	**2.54**	**0.99**	**2.68**
stdev	4.83	4.77	2.26	1.68	4.50	0.57	0.89	1.70	4.85	3.38	1.25	2.23
SE	1.21	1.44	0.47	0.38	1.09	0.16	0.23	0.44	0.93	0.44	0.19	0.79
CV	1.19	0.75	1.94	0.96	0.86	1.21	1.08	1.08	0.97	1.33	1.26	0.83
GRV+Sand	**35.63**	**27.42**	**16.52**	**73.77**	**35.62**	**38.76**	**51.42**	**60.69**	**32.29**	**41.02**	**51.11**	**42.48**
stdev	10.97	10.99	13.01	7.73	16.68	14.74	11.21	8.56	11.53	27.64	14.30	18.51
SE	2.74	3.31	2.71	1.73	4.05	4.25	2.89	2.21	2.22	3.57	2.21	6.55
CV	0.31	0.40	0.79	0.10	0.47	0.38	0.22	0.14	0.36	0.67	0.28	0.44
Rock	**27.51**	**29.29**	**17.98**	**8.75**	**18.73**	**38.28**	**24.11**	**17.27**	**28.23**	**15.12**	**25.72**	**22.74**
stdev	7.79	7.43	13.08	4.09	10.06	12.55	7.14	5.88	7.55	10.83	12.03	9.05
SE	1.95	2.24	2.73	0.92	2.44	3.62	1.84	1.52	1.45	1.40	1.86	3.20
CV	0.28	0.25	0.73	0.47	0.54	0.33	0.30	0.34	0.27	0.72	0.47	0.40
Dead Coral	**6.53**	**4.13**	**18.18**	**3.35**	**5.12**	**4.68**	**4.21**	**4.25**	**5.55**	**9.53**	**4.36**	**6.30**
stdev	3.59	2.56	10.99	2.81	3.97	2.44	3.18	3.69	3.37	9.98	3.12	4.89
SE	0.90	0.77	2.29	0.63	0.96	0.70	0.82	0.95	0.65	1.29	0.48	1.73
CV	0.55	0.62	0.60	0.84	0.78	0.52	0.76	0.87	0.61	1.05	0.72	0.78
Normalized Cover	**39.47**	**43.91**	**54.82**	**46.09**	**53.85**	**29.93**	**38.65**	**39.99**	**41.28**	**51.64**	**36.64**	**43.34**
stdev	8.08	5.39	13.42	18.40	11.00	7.44	8.27	13.04	7.34	14.99	10.72	8.27
SE	2.02	1.63	2.80	4.11	2.67	2.15	2.14	3.37	1.41	1.94	1.65	2.92
CV	0.20	0.12	0.24	0.40	0.20	0.25	0.21	0.33	0.18	0.29	0.29	0.19
Density	**36.19**	**40.73**	**29.70**	**10.45**	**39.59**	**30.50**	**25.47**	**23.67**	**38.04**	**26.08**	**26.26**	**29.54**
stdev	10.74	9.10	7.77	4.29	10.91	6.80	7.77	6.85	10.18	14.18	7.55	9.91
SE	2.69	2.74	1.62	0.96	2.65	1.96	2.01	1.77	1.96	1.83	1.17	3.50
CV	0.30	0.22	0.26	0.41	0.28	0.22	0.31	0.29	0.27	0.54	0.29	0.34
Normalized Density	**56.82**	**57.15**	**36.72**	**40.74**	**62.21**	**52.05**	**52.79**	**63.36**	**56.96**	**45.28**	**56.35**	**52.73**
Stdev	11.46	9.36	11.75	12.89	11.64	16.93	12.18	17.51	10.46	16.12	16.13	9.56
SE	2.86	2.82	2.45	2.88	2.82	4.89	3.14	4.52	2.01	2.08	2.49	3.38
CV	0.20	0.16	0.32	0.32	0.19	0.33	0.23	0.28	0.18	0.36	0.29	0.18

טבלה ב2: סיכום נתוני הכיסוי שנאספו בחתכי הקווים באתרי השונית לאורך חופי המפרץ בשטח הניטור. הנתונים מוצגים כאחוזים הממוצעים שנמדדו בכל החתכים של אותו אתר (שילוב של מיקום ועומק) עם סטיית התקן, שגיאת התקן ומקדם השונות, מלבד "ממוצע אילת" המוגדר כממוצע האתרים. צפיפות ניתנת כמספר מושבות בחתך של 10 מטרים, "נרמול" הוא עבור מצע קשה.

Table B2: Summary of cover data collected in line transects at the monitoring sites. Data is given as average percent cover measured in all transects at each site (combination of location and depth) with associated standard deviation, standard error and variance coefficient, except for the "Eilat average" that is the average between sites. Density is the number of colonies in a 10m transect, “Normalized” is for hard substrate.

גודל מושבות אלמוגים

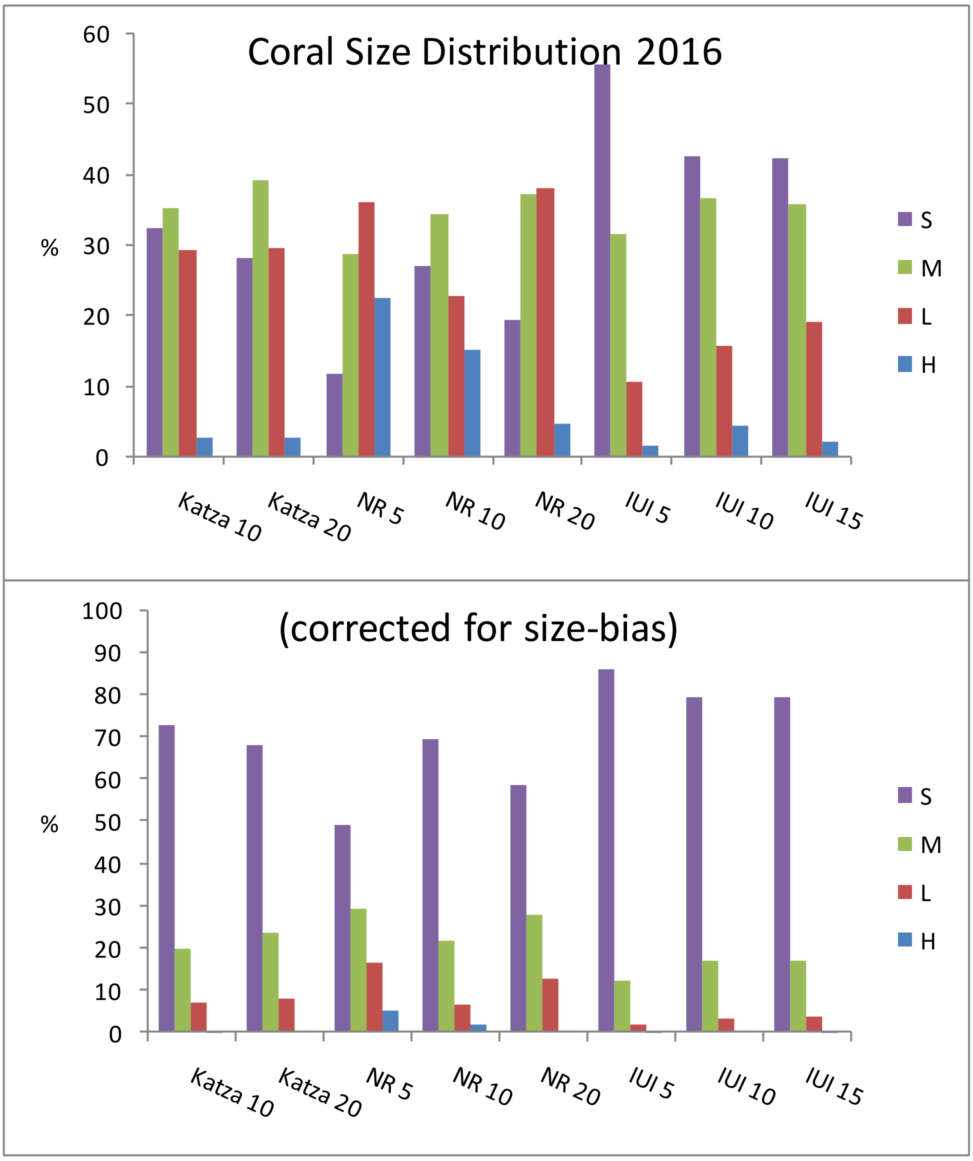
מושבות אלמוגים תחת סרט המדידה משויכות לאחת מקבוצות הגודל **קטן**<5ס"מ; **בינוני**<15ס"מ; **גדול**<30ס"מ; **ענק**>30ס"מ על פי הערכת הסוקר. בחלוקה זו לקבוצות גודל ישנם טווחי גודל שונים כאשר הקבוצה "ענק" מכילה כל מושבה גדולה מ-30 ס"מ. לכאורה, על מנת להציג התפלגות גדלי מושבות אלמוגים, צריך לפרק קבוצה זו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

השימוש בשיטת חתכי קו ליצירת התפלגות גודל מושבות סובלת מהטייה הנובעת מכך שלמושבות קטנות סיכוי קטן יותר להיכלל בסקר (Zvuloni et al. 2008). במילים אחרות: חלקן היחסי של מושבות קטנות הנספרות בפועל בסקר זה הוא קטן מחלקן היחסי באוכלוסיה. לפיכך, איור ב9 מציג את התפלגות גדלי האלמוגים באתרים המנוטרים כפשוטה (למעלה) ואת ההתפלגות המתוקנת להטיה, המייצגת טוב יותר את המציאות (למטה). בהתחשב בתיקון ההטיה נראה שחלקן היחסי של מושבות האלמוגים הקטנות ברוב האתרים 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.

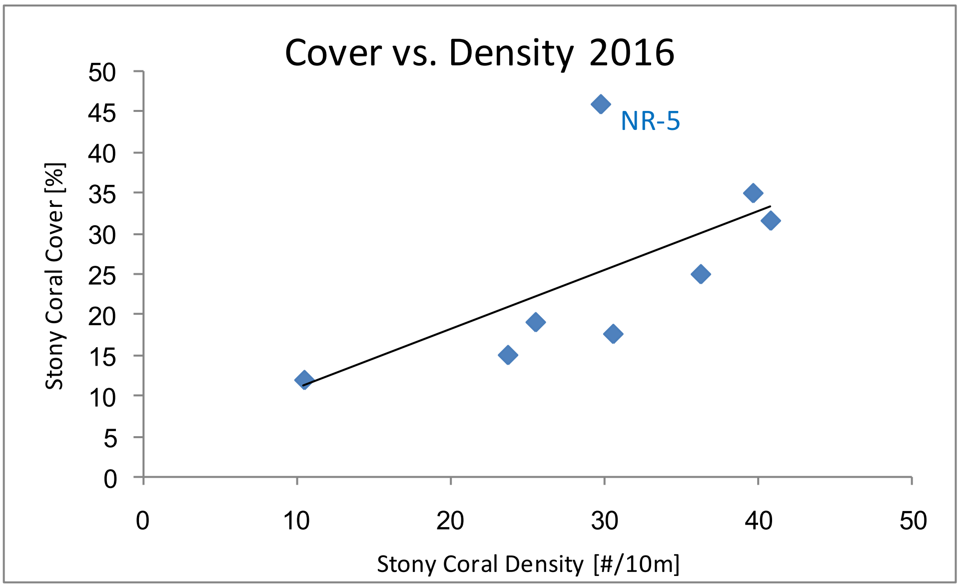
חלקן של מושבות האלמוגים הקטנות באתרי IUI גדול יותר מחלקן באתרי הניטור האחרים. באתר 5-NR חלקן של המושבות הקטנות הוא הקטן ביותר ובאתר 5-IUI חלקן הוא הגדול ביותר. לאחר תיקון ההטיה בספירת מושבות לפי גדלים, נראה שחלקן של המושבות הקטנות גדול בכל האתרים, כאשר באתרי IUI חלקן של המושבות הקטנות 80-85%, ובאתר 5-NR חלקן קרוב ל- 50%.

באתרי השמורה הרדודים, 5-NR ו- 10-NR, חלקן של המושבות "הענקיות" גדול יותר מאשר באתרים אחרים. באתר 5-NR כ- 23% ממושבות האלמוגים שנספרו הוגדרו כ"ענקיות", ולאחר תיקון ההטיה נראה שחלקן המספרי באתר זה כ- 5%. יחד עם זאת, באתר השמורה הרדוד מושבות אלמוגים "ענקיות" תופסות שטח גדול במיוחד וכך אתר זה חריג ביחס בין צפיפות המושבות וכיסוי האלמוגים בו (איור ב10). בהשוואה לאתרי שונית אחרים באילת, אחוז השטח המכוסה אלמוגי אבן חיים באתר השמורה הרדוד גדול בהרבה מהצפוי על פי מספר מושבות האלמוגים הנמצא במקטע ממוצע באורך עשרה מטרים, וזאת תודות למציאותן של מושבות אלמוגים ענקיות באתר זה.



איור ב9: התפלגות גודל מושבות האלמוגים באתרים הנסקרים. חלוקת הגדלים לפי המפתח הבא: Small<5 ס"מ; 5 ס"מ <Medium< 15 ס"מ; 15 ס"מ <Large< 30 ס"מ; Huge>30 ס"מ. הערכים הם אחוזים מסך המושבות מאותה קבוצה באתר. למעלה – התפלגות גדלי המושבות הנספרות; למטה – התפלגות הגדלים לאחר תיקון ההטיה המובנית לספירות גודל בשיטת חתכי הקו (על פי Zvuloni et al. 2008).

Figure 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).

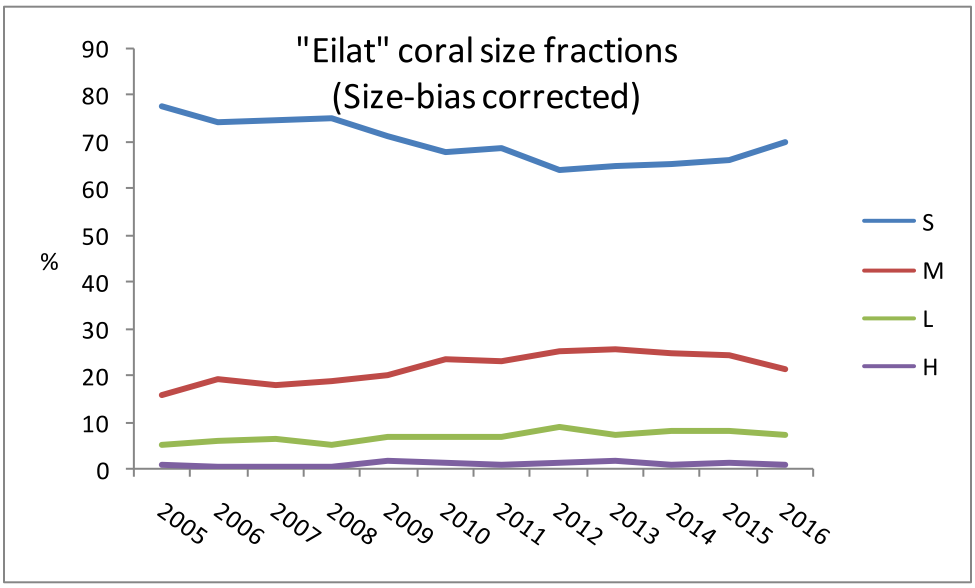


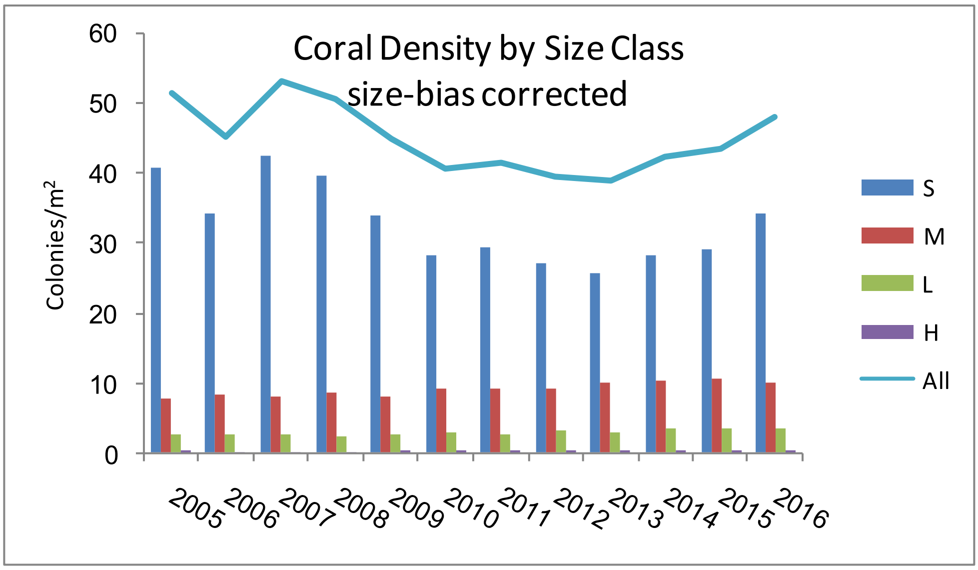
איור B10: אחוז השטח המכוסה אלמוגי אבן חיים כנגד מספר מושבות האלמוגים במקטע ממוצע באורך עשרה מטרים באתרי השונית הנסקרים.

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%. מאז החל חלקן לעלות שוב, ונמצא השנה על כ- 70% (איור B11, למעלה). במקביל, עלה חלקן של המושבות בגודל הבינוני והגיע לערך מרבי של 25.5% בשנת 2013. מבחינה מספרית, נמצאה ירדה בצפיפות מושבות האלמוגים (מספר מושבות למטר רבוע מחושב על פי נתוני הספירה) בין השנים 2007 ו-2013, וירידה זו נבעה בעיקר מהתמעטות במספר המושבות הקטנות בעוד שצפיפות המושבות הבינוניות עלתה אך מעט (איור B11, 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 11ב: למעלה: שינויים בחלקן היחסי של קבוצות גודל אלמוגים הממוצע בכל האתרים בתקופת הניטור (מתוקן להטיית הספירה בחתכי קו). למטה: צפיפות מושבות אלמוגים בשוניות אילת (למטר רבוע) לפי קבוצות גודל, מחושבת על סמך ספירות מחתכי הקו ומתוקנת להטיית הספירה. חלוקת הגדלים לפי המפתח הבא: Small<5 ס"מ; 5 ס"מ <Medium< 15 ס"מ; 15 ס"מ <Large< 30 ס"מ; Huge>30 ס"מ.

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

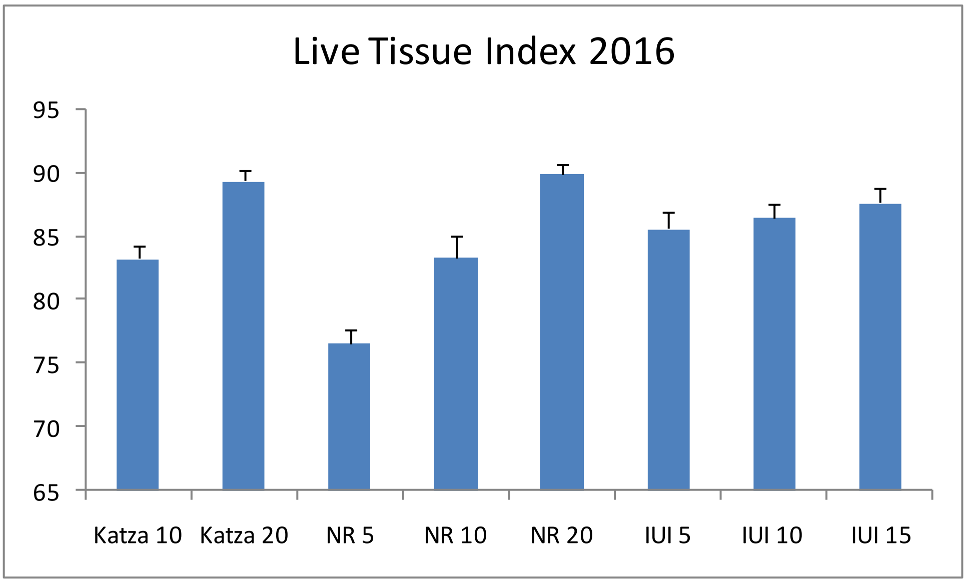
<u>בריאות אלמוגים</u>

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

למרות שאמדן אחוז הרקמה החי במושבה הוא איכותי, כמות המושבות המשתתפות בסקר (אלפים), העובדה ששגיאת ההערכה עשויה להיות לשני הכיוונים, והמשמעות הקטנה של שגיאת הערכה בסדר של 10% או פחות לגבי ממוצע כל המושבות, מבטיחה מדד אמין. על מנת לוודא כי האמדן הוויזואלי אכן מדויק בטווח של 10%, וכי אין הטיה מגמתית בהערכה, ערכנו בשנת 2008 ניסוי מבוקר להערכת דיוק השיטה. תוצאות הניסוי מצביעות על דיוק גדול בהרבה מהצפוי (התוכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת, דו"ח מדעי 2008, נספח ז3). 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 (76.7%). באתר זה מדד הרקמה החיה נמוך במיוחד עקב ריבוי המושבות הגדולות והענקיות בו, מושבות שגילן, כנראה, רב יותר ולכן אחוז הפגיעה ברקמותיהן מהווה סכימה (אינטגרציה) של שנים רבות.

המדד הגבוה ביותר נמצא השנה באתרים העמוקים 20-NR ו-20-KATZA, בהם אחוז הרקמה החיה בממוצע 90%. באתרים KATZA ו- NR בעומק 10 מטרים אחוז הרקמה החיה בממוצע כ- 83%, ובאתרי IUI בין 85% ל- 88% (איור 12ב).



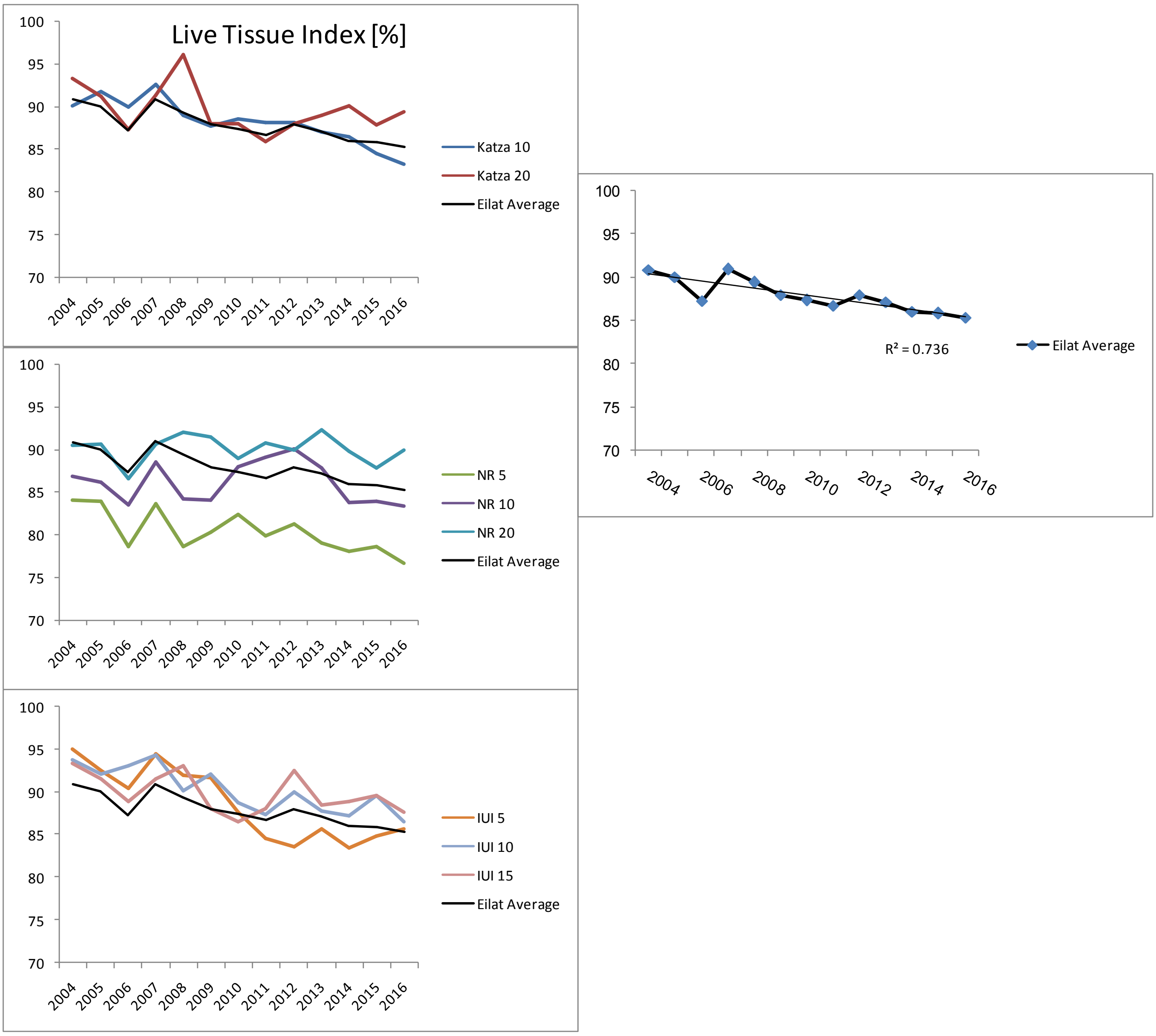
איור ב12: מדד אחוז הרקמה החיה של אלמוגים באתרים הנסקרים. המדד מוגדר כממוצע באתר של אחוז השטח החי/בריא מסך השטח של כל מושבת אלמוגים חיה.

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. השנה נמדד מדד רקמה חיה מעט נמוך יותר בהשוואה לשנה הקודמת בחמישה מתוך שמונה האתרים הנסקרים, וערך המדד הממוצע לשוניות אילת היה השנה 85.3% לעומת 85.8% בשנה הקודמת.

במבט כללי 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 ו-2012 נצפתה עלייה בערך המדד, אולם 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 <u>חלקית</u> 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.

<u>מגוון מינים</u>

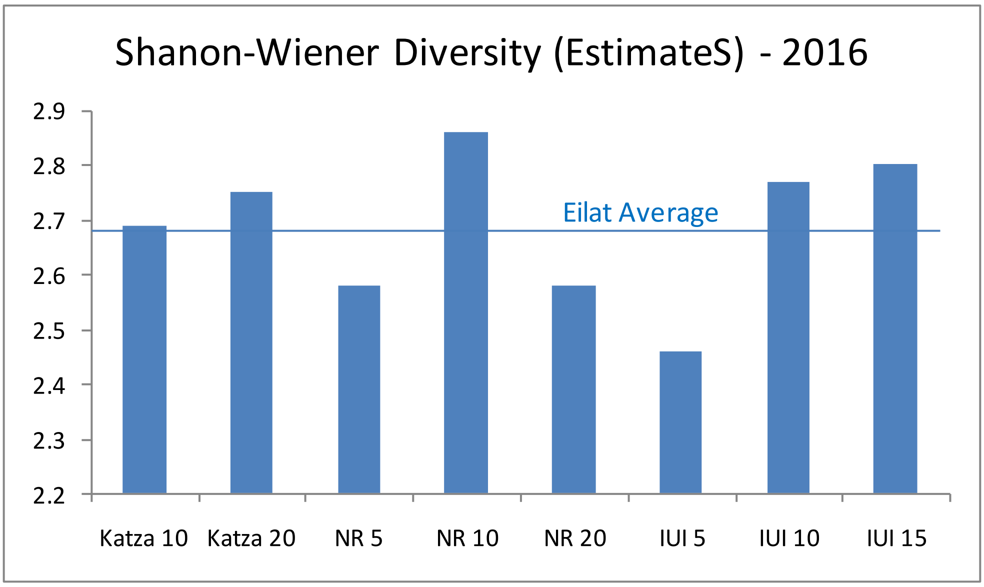
מגוון המינים מוערך לפי מדד Shannon-Wiener (H’) על ידי תכנת EstimateS (Colwell, 2005). בתכנה זו מחושב מגוון המינים לאחר על ידי צבירת נתוני כל חתך עד לקבלת הערכה הנסמכת על מספר החתכים המקסימלי שנעשה, תוך התחשבות במינים נדירים (ראו דיון מפורט בדרכים להערכת מגוון המינים בדו"ח הניטור 2006). התוצאות ניתנות 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 ממציאותם או העדרם של מינים נדירים, נמצא מגוון גבוה באתרים בהם הכתמיות גדולה. המגוון הנמוך ביותר נמצא גם השנה באתר IUI-5, H’=2.46, והיה מעט גבוה מהערך המזערי של השנה הקודמת. המגוון הגבוה ביותר חושב השנה עבור אתר NR-10, H'=2.86, נמוך מהערך המרבי בשנה הקודמת

(שהיה H'=2.99 באתר Katza-20).

באתרי קצא"א 20, המעבדה 10 ו-15, והשמורה 10 נמצא מגוון גבוה מ"ממוצע שוניות אילת" המחושב כערך הממוצע לכל האתרים. באתרים השמורה 5 ו-20, והמעבדה 5 היה המגוון נמוך מן הממוצע ובאתר קצא"א 10 המגוון כמעט זהה לערך המוצע עבור כל שמונה האתרים.



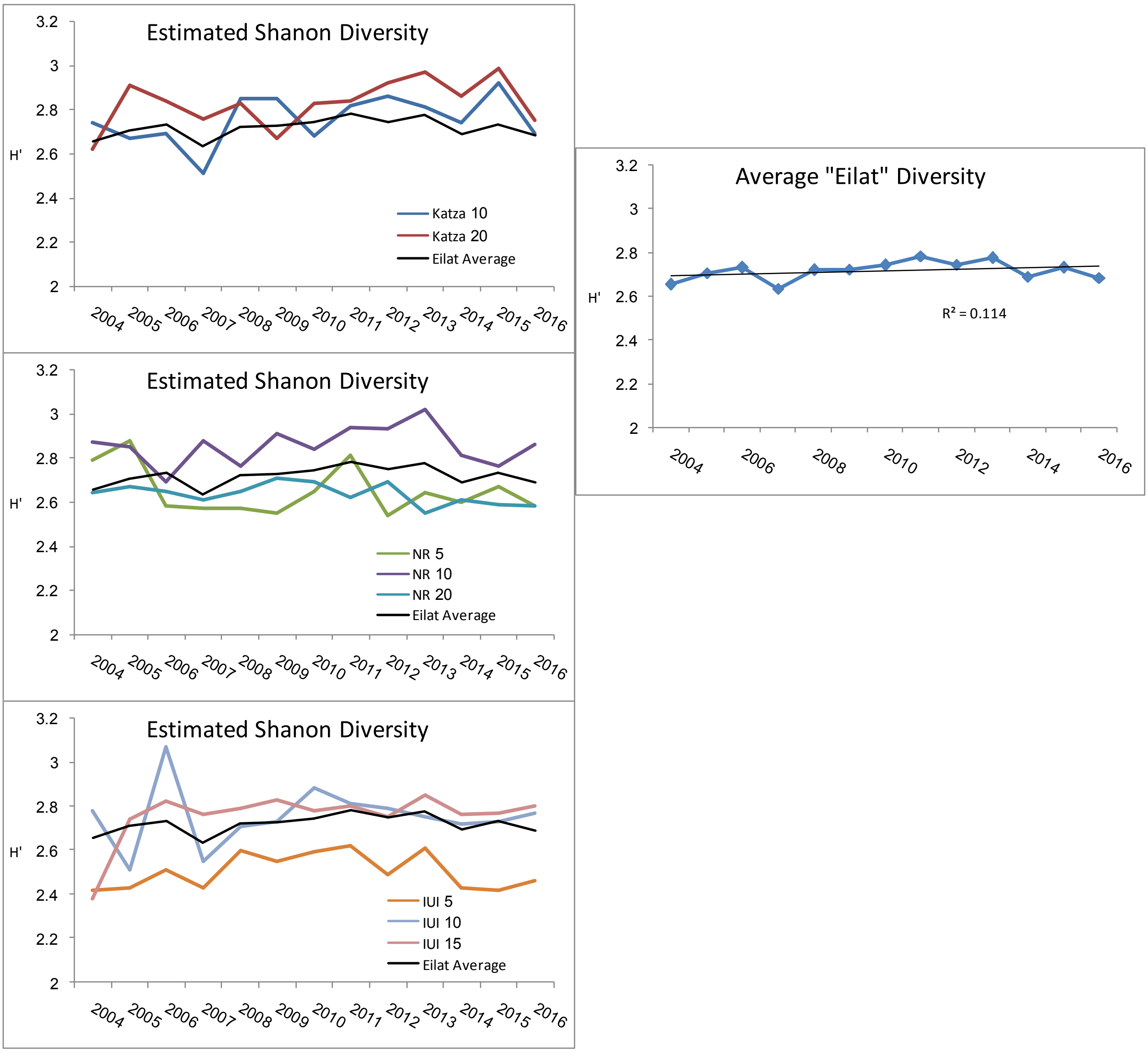
איור B14: מגוון הסוגים של אלמוגים לפי מדד Shannon-Wiener כפי שהוערך עבור כל אתר על ידי תכנת EstimateS (Colwell, 2005; http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS). בקו מסומן הערך הממוצע לכל האתרים.

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 15ב). באתרים Katza-20, NR-10 ו-IUI-15 היה מדד Shannon-Wiener למגוון האלמוגים גבוה מן הממוצע כמעט בכל שנות הניטור, ובאתרים IUI-5 ו-NR-20 תמיד היה נמוך מן הממוצע.

מדד המגוון של Shanon-Wiener ב"שוניות אילת" המחושב כממוצע כל האתרים משתנה אך מעט לאורך שנות הניטור ואינו מציג שינוי מגמתי (איור 15ב, מימין). ערך המדד הממוצע השנה (2.69) נמוך מעט מזה של השנה הקודמת (2.73).

מדד המגוון על פי Shannon-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.



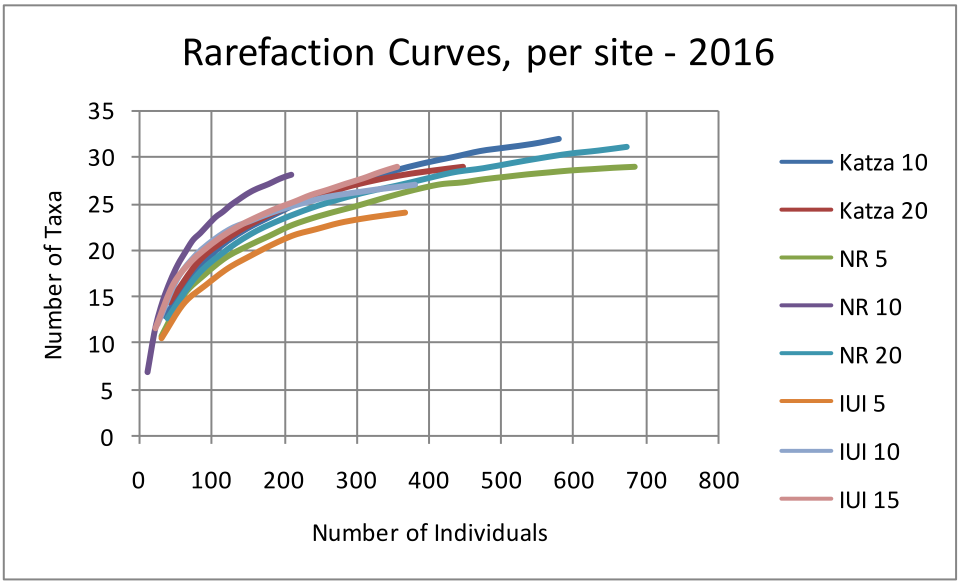
איור 15ב: מגוון הסוגים של אלמוגים לפי מדד Shannon-Wiener כפי שהוערך עבור כל אתר בכל שנות הניטור על ידי תכנת EstimateS (Colwell, 2005; http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS). הערך הממוצע לכל האתרים ניתן בקו שחור דק, ובדיאגרמה מימין.

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

עקומות הצבירה מראות תמונה 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 בשנה 2013 (ראו דו"ח הניטור לשנת 2013).

בהשוואה בין עקומות הצבירה מן האתרים השונים (איור 16ב) ניתן לראות כי האתר IUI-5 גם בעל התוחלת הנמוכה ביותר של סוגי אלמוגים, ואילו אתר NR-10 בעל התוחלת הגבוהה ביותר ועקומת הצבירה התלולה ביותר. ממצאים אלה תואמים את התמונה המתקבלת ממדד המגוון של Shannon-Wiener.

באתר Katza-10 נמצא עושר האלמוגים הגדול ביותר, 32 סוגי אלמוגים, ובאתר IUI-5 נמצאו בסך הכל 24 סוגי אלמוגים. בכל האתרים יחדיו נמצאו השנה 40 סוגי אלמוגים, לעומת 41 בשנה הקודמת.

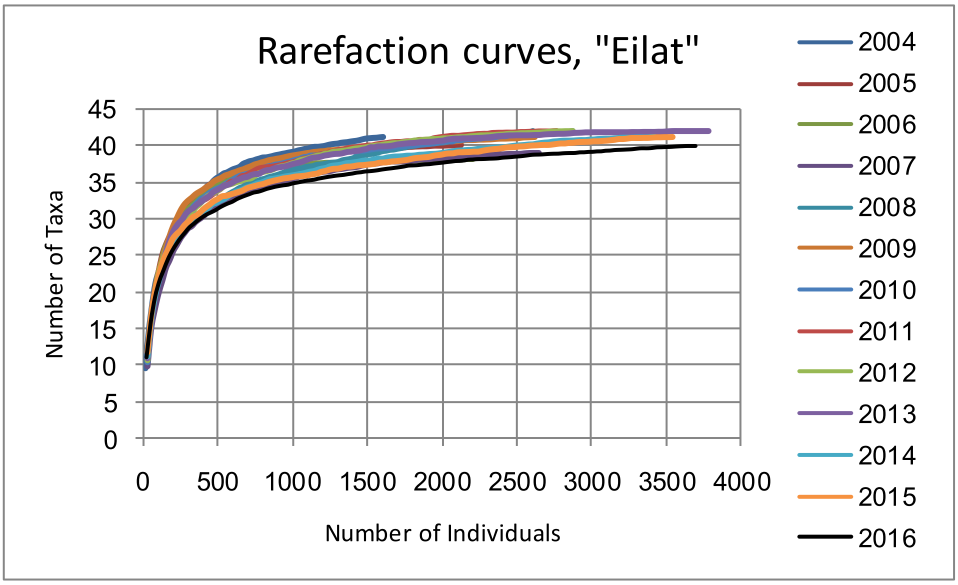


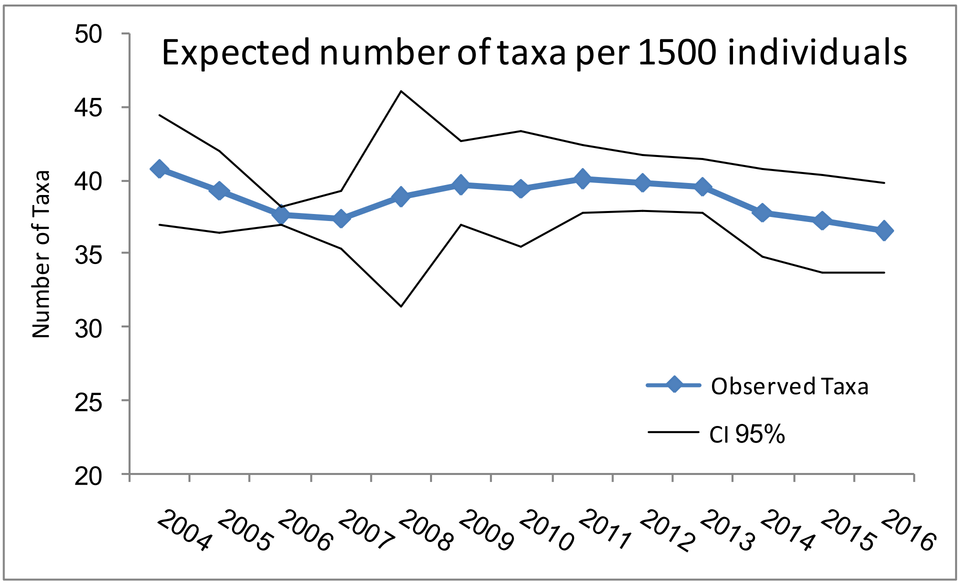
איור ב16: עקומות צבירה של מספר סוגי האלמוגים מול מספר המושבות כפי שחושבו על ידי תכנת EstimateS (Colwell, 2005; http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS) בכל אתר.

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 המינים השנה הגיע ל-40 סוגים ועקומת הצבירה נמצאת בקצה התחתון של טווח העקומות משנות הניטור יחד עם עקומות השנים 2006-7 (איור ב17).

מספר סוגי האלמוגים הצפוי להתקבל בספירה אקראית של אלף וחמש מאות מושבות אלמוגים ב"שוניות אילת", בהתבסס על עקומות הצבירה, לא השתנתה באופן מובהק מאז שנת 2004, אך גם השנה נראית ירידה קלה בערך זה. מספר סוגי האלמוגים הצפוי בשוניות אילת מספירה אקראית של 1500 פרטים נמצא בירידה מאז שנת 2011 (בה היה הערך המחושב 40.0) והגיע השנה לערך הנמוך ביותר מאז תחילת הניטור, 36.5 (איור ב17).

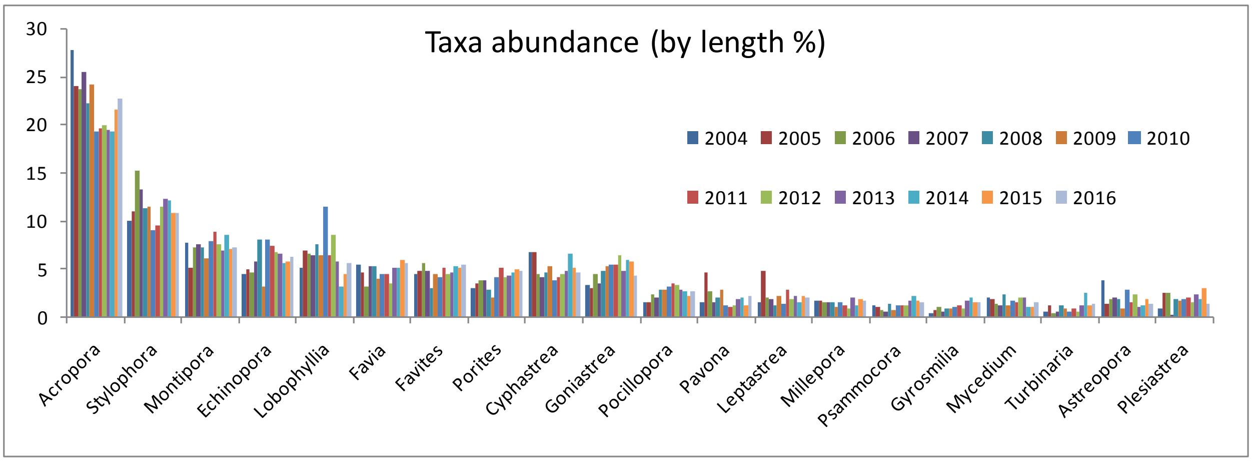




איור ב17: למעלה – עקומות צבירה של מספר סוגי האלמוגים מול מספר המושבות כפי שחושבו על ידי תכנת EstimateS (Colwell, 2005; http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS) עבור "שוניות אילת" בכל שנה מאז 2004. למטה – מספר סוגי האלמוגים הצפוי להתקבל בספירת 1500 מושבות ב"שוניות אילת" מאז שנת 2004, מבוסס על עקומות הצבירה.

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 coloniesin 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 2016. אלמוגי *Acropora* הינם האלמוג הנפוץ ביותר בשוניות אילת, ותפסו השנה כ- 23% מכלל שטח האלמוגים. אלמוגים אלה היוו כרבע משטח האלמוגים בשנים הראשונות לניטור ועד לשנת 2009, ובשנים 2010-2014 ירד חלקם לחמישית. בשנתיים האחרונות שוב עולה אחוז שטח האלמוגים של אלמוגי *Acropora*. 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 כ- 94% (לפי אורך נמדד על סרט המדידה) מכלל האלמוגים באילת. נתונים אלה דומים לנתוני השנים האחרונות.



איור ב18: עשרים האלמוגים הנפוצים ביותר בשוניות אילת בתקופת הניטור מסודרים לפי סדר התפוצה בשנת 2016. 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 2016. 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 ב17.

									Averages			Average
	Katza 10	Katza 20	NR 5	NR 10	NR 20	IUI 5	IUI 10	IUI 15	Katza	NR	IUI	Eilat
Acropora	5.65	7.85	5.02	3.89	8.35	3.30	5.50	3.03	6.55	5.59	3.99	5.32
Stylophora	3.21	2.53	3.78	1.10	0.72	3.41	2.63	1.90	2.93	2.02	2.59	2.41
Lobophyllia	0.25	0.27	17.13	0.17	0.91	0.07	0.11	0.09	0.26	6.88	0.09	2.37
Echinopora	1.99	2.50	7.63	0.35	3.23	0.13	0.24	0.41	2.20	3.95	0.27	2.06
Montipora	3.24	3.12	1.17	0.63	5.96	0.22	0.39	0.97	3.19	2.35	0.55	1.96
Favites	1.61	2.32	0.57	0.53	2.26	0.72	1.25	1.05	1.90	1.04	1.02	1.29
Goniastrea	1.31	0.97	3.55	0.21	0.92	1.69	0.42	0.36	1.17	1.69	0.76	1.18
Porites	1.26	1.34	0.80	0.68	2.88	0.03	1.05	1.05	1.29	1.35	0.76	1.14
Cyphastrea	1.82	1.29	0.66	0.19	2.25	1.20	0.96	0.63	1.60	0.95	0.91	1.13
Favia	0.54	0.83	0.18	0.96	0.68	2.78	1.23	1.09	0.66	0.58	1.62	1.04
Pavona	0.62	2.79	0.10	0.00	0.57	0.15	0.12	0.34	1.51	0.20	0.21	0.59
Pocillopora	0.28	0.29	0.54	0.39	0.18	0.51	1.50	0.49	0.29	0.39	0.85	0.52
Leptastrea	0.22	0.85	0.79	0.20	0.31	0.38	0.64	0.32	0.48	0.46	0.45	0.46
Mycedium	1.29	0.41	1.55	0.00	0.13	0.00	0.10	0.09	0.93	0.63	0.07	0.45
Psammocora	0.49	1.14	0.15	0.17	1.35	0.00	0.10	0.11	0.75	0.49	0.08	0.44
Plesiastrea	0.09	0.02	0.12	0.03	1.40	0.41	0.50	0.11	0.06	0.45	0.33	0.33
Millepora	0.03	0.05	0.03	0.00	0.18	0.93	0.75	0.52	0.03	0.06	0.72	0.31
Astreopora	0.01	0.15	0.07	0.69	1.29	0.00	0.00	0.08	0.07	0.63	0.03	0.29
Platygyra	0.04	0.32	0.87	0.00	0.54	0.37	0.11	0.00	0.15	0.49	0.15	0.28
Turbinaria	0.28	0.32	0.16	0.32	0.09	0.74	0.22	0.01	0.30	0.20	0.30	0.27
Stony corals	25.06	31.65	45.98	12.03	35.04	17.70	19.15	15.10	27.74	31.56	17.29	26.11

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

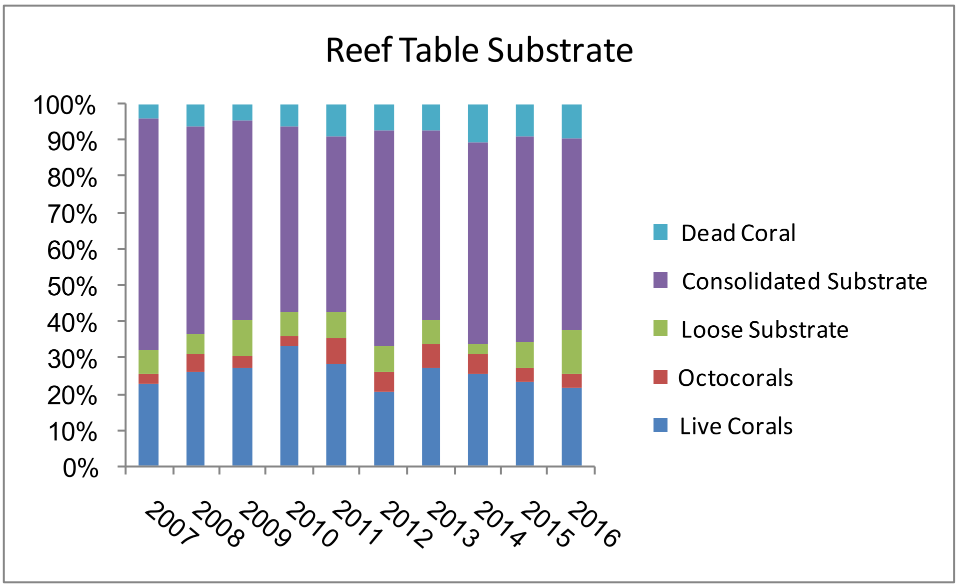
Table B3: The twenty most abundant corals (% cover) in the monitored area and their average cover in each site as a percent of the total transect length at each site.

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 פיסית על ידי מבקרים, חפצים הצפים בים וכלי שיט, אם כי סגירת חלקה הדרומי של השמורה למבקרים מקטין את ההשפעות הללו.

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

אופיו השונה של שולחן השונית ניכר בין היתר בהתפלגות סוגי התשתית שבו. סלע שונית מלוכד מהווה את רב שטח התשתית בשולחן השונית. בניגוד לאתרי קידמת השונית, שם האחוז הגבוה ביותר של סלע מלוכד חשוף שנמדד השנה הוא כ-38.3% (באתר IUI-5), בשולחן השונית שטח הסלע המלוכד החשוף אשר נמדד השנה הוא כ- 52.7%, ואילו אחוז הקרקע הלא מלוכדת כ-11.8% בלבד. כתוצאה מכך ההבדל בין אחוז הכיסוי החי לאחוז הכיסוי המנורמל (מתוך סך המצע הקשה) בשולחן השונית אינו גדול. בשלוש השנים האחרונות גדל חלק הקרקע הלא-מלוכדת, וקטן שטח התשתית הסלעית בשולחן השונית (איור ב19).

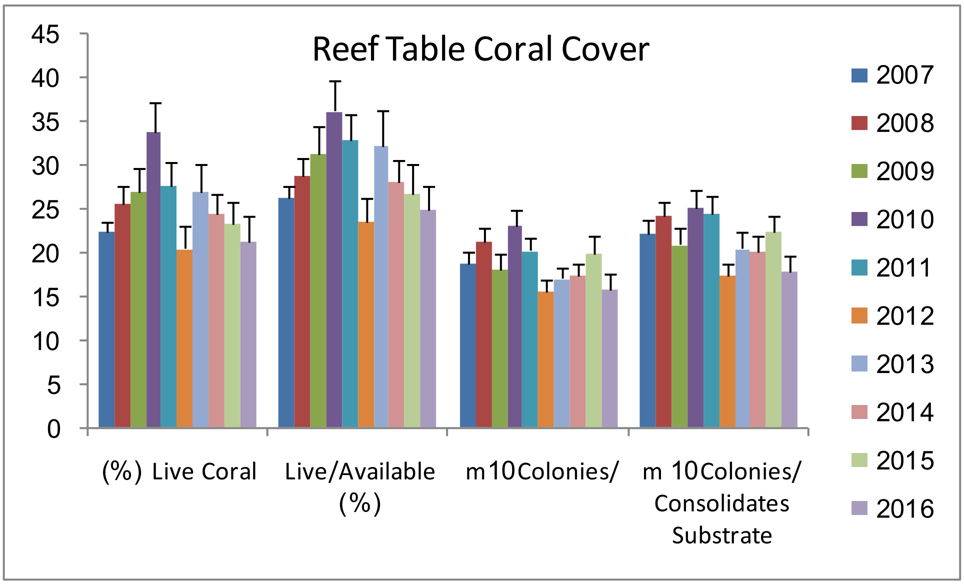


איור ב19: אחוזי הכיסוי המצטברים של אלמוגים, חול, סלע, ואלמוגים מתים בשולחן השונית. האחוזים הם ממוצעים מתוך כל חתכי הקו.

Figure B18: Cumulative percent cover of live corals, sand, rock and dead corals at the reef table. Values are averages of line transect values.

השנה גם נמדדה ירידה קלה נוספת בכיסוי אלמוגי האבן החיים בשולחן השונית - הכיסוי השנה הוא 21.2% ומייצג שלוש שנים של ירידה בכיסוי האלמוגים החיים, מערך של 26.9% בשנת 2013. הכיסוי הנמוך ביותר שנמדד במסגרת הניטור היה 20.4%, בשנת 2012 והכיסוי הגבוה ביותר היה 33.7% בשנת 2010 (איור ב20). צפיפות מושבות האלמוגים השנה נמוכה מאשר בשנה הקודמת ודומה לצפיפות הנמוכה שנמדדה בשנת 2012.

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



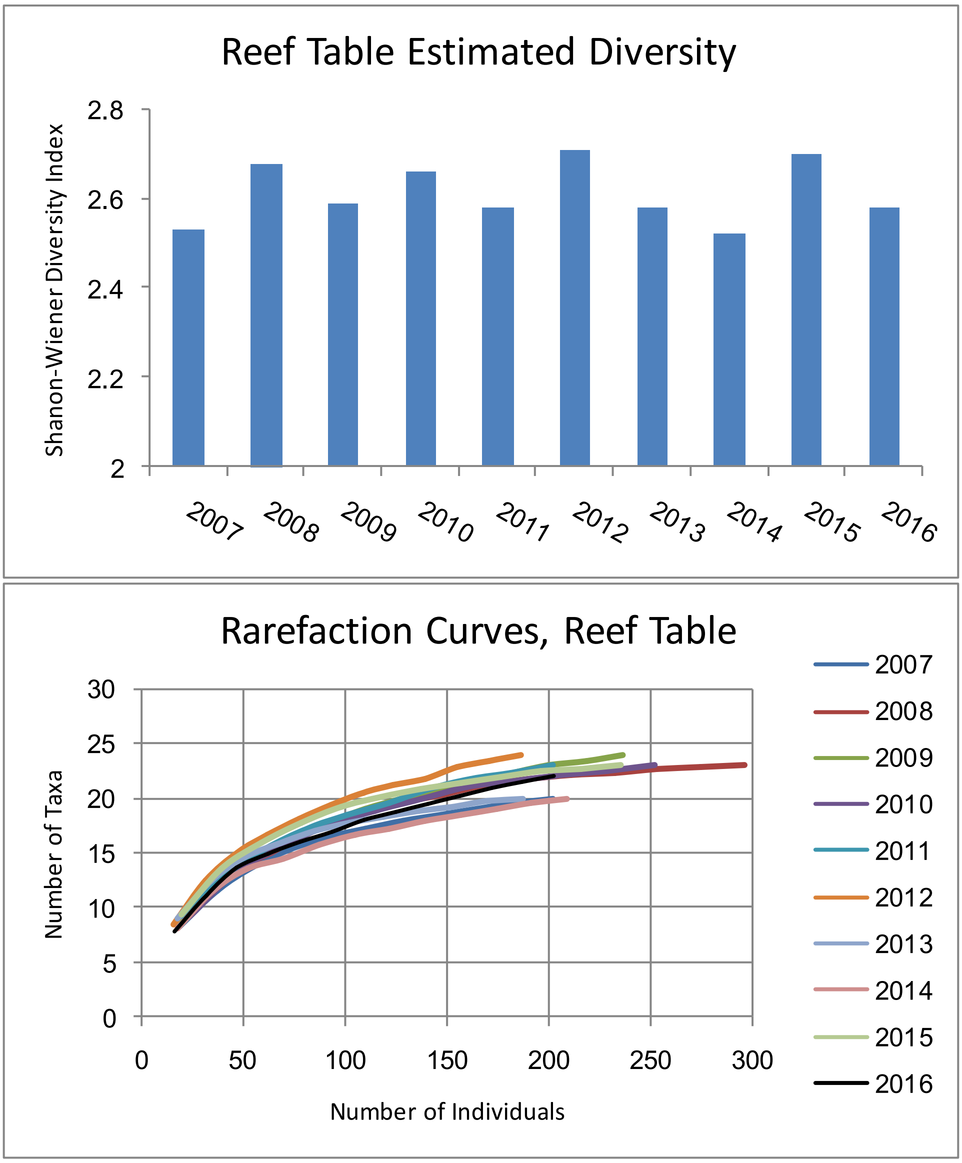
איור ב20: אחוז כיסוי האלמוגים וצפיפות מושבות בשולחן השונית מאז שנת 2007.

Figure B20: Percent cover of live corals and density of coral colonies on the reef table since 2007.

בשולחן השונית נמצאו השנה בסך הכל 22 סוגים של אלמוגי אבן. מגוון המינים לפי מדד Shanon-Wiener כפי שמוערך על ידי תכנת EstimateS (Colwell, 2005) היה השנה 2.58, ערך מעט נמוך בהשוואה לשנה הקודמת (2.7). עקומת הצבירה של סוגי אלמוגים בשולחן השונית אשר חושבה מנתוני הסקר השנה אינה חורגת ממעטפת העקומות אשר חושבו בשנות הניטור מאז 2007 (איור ב21).

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

עושר המינים בשולחן השונית נמוך מאשר בכל אתרי קדמת השונית (22 אלמוגים זוהו השנה בשולחן השונית לעומת 40 באתרי קדמת השונית יחדיו). ישנה חפיפה גדולה בין האלמוגים הנפוצים בקדמת השונית לאלמוגים הנמצאים בשולחן, 15 מתוך 20 סוגי האלמוגים הנפוצים באתרי קדמת השונית נמצאים ברשימת עשרים האלמוגים הנפוצים בשולחן השונית (טבלה ב4). עם זאת, ישנם הבדלים גדולים בתפוצה היחסית של סוגי האלמוגים בשולחן השונית לעומת אתרי קדמת השונית. בפרט ראוי לציין כי האלמוגים הנפוצים *Acropora* ו-*Stylophora*, אשר להם הכיסוי הרב ביותר באתרי קדמת השונית, נמצאים במקום השני והשישי (בהתאמה) בשולחן השונית. לעומתם, האלמוג *Platygyra*, הנפוץ ביותר בשולחן השונית נמצא במקום ה-19 בלבד מבחינת התפוצה באתרי קדמת השונית. באתרי קדמת השונית האלמוגים הנפוצים ביותר הם שיחניים ואילו בשולחן השונית האלמוגים הנפוץ מסיבי ועמיד יותר לתנאים הקשים השוררים באתר זה.



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

Figure B21: 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

Rank	Reef Table	Reef Front
1	*Platygyra*	*Acropora*
2	*Acropora*	*Stylophora*
3	*Millepora*	*Lobophyllia*
4	*Echinopora*	*Echinopora*
5	*Favia*	*Montipora*
6	*Stylophora*	*Favites*
7	*Favites*	*Goniastrea*
8	*Porites*	*Porites*
9	*Hydnophora*	*Cyphastrea*
10	*Goniastrea*	*Favia*
11	*Cyphastrea*	*Pavona*
12	*Acanthastrea*	*Pocillopora*
13	*Pocillopora*	*Leptastrea*
14	*Seriatopora*	*Mycedium*
15	*Leptastrea*	*Psammocora*
16	*Lobophyllia*	*Plesiastrea*
17	*Psammocora*	*Millepora*
18	*Pavona*	*Astreopora*
19	*Echinophyllia*	*Platygyra*
20	*Leptoseris*	*Turbinaria*

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

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

דיון ומסקנות

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

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

התפתחות טבעית של "שונית" וכך גם השינויים במאפייני שונית שאינם תוצאה של הפרעה מסיבית הינם תהליכים איטיים ולא בהכרח מונוטוניים. השונות הרבה בתוך האתרים וביניהם, הן בסביבה הפיסית והן בחברת האלמוגים, עלולה למסך את יכולתנו הסטטיסטית לאבחן מגמות קלות, לא קיצוניות. יחד עם זאת, נתוני תכנית הניטור יוצרים תמונה אקולוגית של אתרי שונית באילת מדי שנה, והשוואת הנתונים בין השנים נועדה לאבחן ולהתריע על מצבי קיצון והתפתחויות מדאיגות, כמו גם לגלות מחזורים טבעיים ארוכי-גל 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.

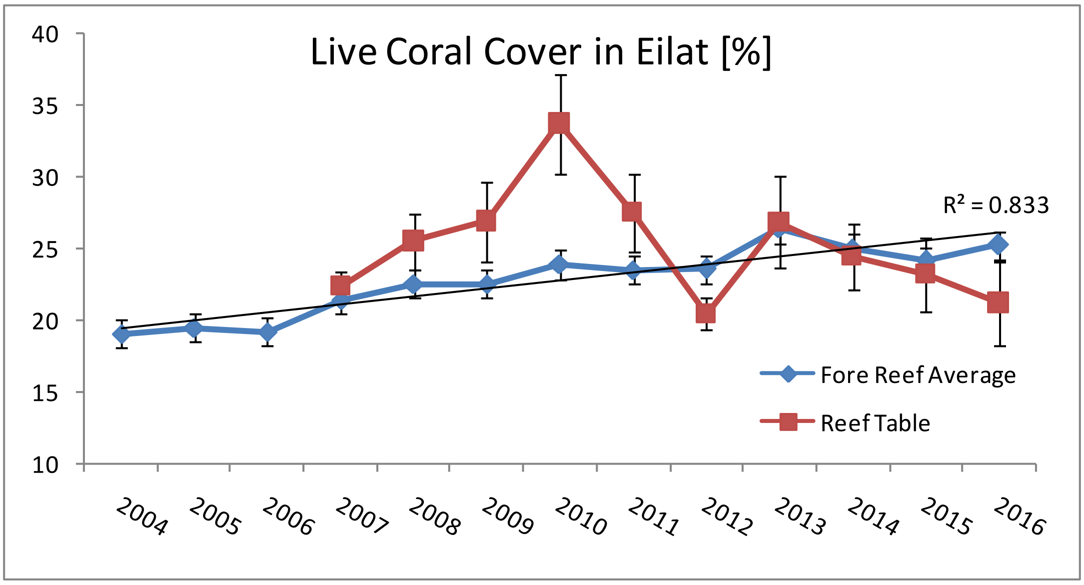
בין אתרי קדמת השונית, יוצאים מן הכלל אתרי השמורה הרדודים (5-NR, ו- 10-NR) בהיותם האתרים בהם חלקן של מושבות אלמוגים גדולות ("ענקיות" על פי הגדרת הניטור) גדול ביותר, וכך צפיפות המושבות בהן קטנה ביחס לכסוי החי. על פי מונחים של שרידות וצמיחת אלמוגים אלה האתרים המוצלחים ביותר בין שוניות אילת.

בין שני אתרים אלה ישנם הבדלים גדולים: אתר השמורה הרדוד (5-NR) הוא אתר שונית מסיבית בו רוב התשתית היא סלע שונית, המושבות גדולות במיוחד, וכיסוי האלמוגים גדול בהרבה מאשר באתרים אחרים. אתר השמורה בעומק עשרה מטרים (10-NR) הוא אתר חולי בעיקרו בו כיסוי האלמוגים הכללי נמוך עקב ריבוי הקרקעית החולית. באתר השמורה הרדוד 5-NR, בו מצויות מושבות אלמוגים גדולות במיוחד ומיעוט יחסי של מושבות קטנות, 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.

השנה שוב נמדדה עליה קלה במדדי שונית רבים, ובפרט נמצאה עליה קלה בכיסוי האלמוגים החיים הממוצע באתרי קדמת השונית באילת לאחר שנתיים של ירידה. עליה ממוצעת זו מונעת מעליה שנמדדה בששה מתוך שמונה אתרי השונית. ירידה קלה (של פחות מאחוז) בסך הכיסוי החי נרשמה השנה רק באתרים 20-NR ו- 15-IUI. בשנה הקודמת נמדדה ירידה קלה בששה מתוך שמונה האתרים.

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 מתמשכת באחוז כסוי האלמוגים החיים באתרי קדמת השונית באילת ("שוניות אילת") בעוד שבאתר שולחן השונית ישנן תנודות גדולות בין השנים כתוצאה מפגיעותו למגוון תנאי סביבה (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. במשך תקופת הניטור נמצאה ירידה מתמשכת במספר המושבות הקטנות בשוניות אילת ועלה החשש ממחסור עתידי באספקת מגוייסים לשונית. מאז שנת 2012 החל מספר המושבות הקטנות לעלות וצפיפות המושבות בכלל, ומספר המושבות הקטנות בפרט, נמצאים בעליה בשנים האחרונות. בשולחן השונית לעומת זאת, נמדדה השנה ירידה בצפיפות המושבות, לראשונה מאז 2012.

מדד הרקמה החיה לבריאות אלמוגים נמצא בירידה מתמשכת בשנים האחרונות. הירידה משנה לשנה קטנה ואינה משפיעה על אחוז הכיסוי באתרים, אשר גדל השנה. 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.

ב.2. צילום אתרים קבועים

<u>מטרה</u>

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

<u>שיטות</u>

צילום חוזר של שטחי שונית קבועים באתרי שונית בחוף הצפוני, חוף הדקל, קצא"א, שמורת האלמוגים, המעבדה הימית, וטאבה (איור ב23). בכל אתר חוברה לסלע תושבת קבועה המיועדת למצלמה, בחמש נקודות נבחרות. בכל נקודה מצולמת השונית בארבעה כיוונים על ידי סיבוב המצלמה בתושבתה. באופן זה ניתן לחזור ולצלם את אותו השטח בדיוק בזמנים שונים (איור ב24). בסך הכל מוקמו 30 נקודות ובכל נקודה מצולמות ארבע תמונות לניתוח כמותי של השינויים באתרים השונים. עקב בלאי והתפוררות סלע השונית המחזיק את התושבות אבדו עם השנים מספר נקודות, ומספר התמונות מצטמצם. בניסיון לשמור על מספר נקודות קבוע הוספו לעיתים נקודות חדשות במקום נקודות חסרות, בפרט באתרים קצא"א ושמורת חוף אלמוג. בניתוח הנתונים נעשית השוואה בין תמונות חופפות בכל סקר. סקר הצילום נערך בכל שנה בתחילת הקיץ.

בכל תמונה נספרים האלמוגים ושאר חסרי החוליות הנייחים ונמדד שטח האלמוגים על ידי דיגיטציה של התמונות (ראה דו"ח 2004). לצורך השוואת שטח המושבות נלקחו בחשבון רק מושבות שמופיעות במלואן באופן ברור בשתי סדרות צילומים. במקרים בהם החפיפה בין תמונות משתי השנים לא מלאה (בשל תנועת חצובת המצלמה בתושבת הקבועה, תזוזה של תושבות במשך השנה שחלפה, שינויים בתנאי תאורה, או גידול אלמוגים באופן המסתיר מהמצלמה אלמוגים אחרים) נספרו האלמוגים, אך שטחם לא חושב בהשוואה בין השנים. השוואה כמותית בין סדרות הצילומים משנים עוקבות מתייחסת לשטח אלמוגים המצויים בשתי השנים (growth), תמותה והתיישבות של אלמוגים, וסך השינויים בשטח האלמוגים (area change – כולל גדילה, תמותה, והתיישבות חדשה). האלמוגים זוהו במידת האפשר לרמת המין, וסווגו גם לפי קבוצות (אלמוגי אבן מעונפים, אלמוגי אבן לא-מעונפים, אלמוגים רכים, ואלמוגי אש). נתונים אשר לא שימשו לצורך השוואה עם השנה הקודמת עשויים לשמש בשנים הבאות. למרות אובדן חלק מהנקודות, נאספו נתונים רבים וייחודיים בשיטה זו אשר מהווים חוליה משלימה חשובה בניטור מצב השוניות.

החל משנת 2010 נעשית הדיגיטציה ושמירת הנתונים במערכת GIS. תמונות חדשות עברו דיגיטציה בעזרת GIS, ותמונות של שנים עוקבות יישמרו כשכבות נפרדות עבור כל נקודה (איור ב25). השנה כמעט והושלם תהליך ההמרה של תמונות משנים קודמות למערכת ה-GIS. בכדי ליישם שיטת GIS לצרכי ניטור אלמוגים בנקודות קבועות נבנתה מערכת קבלת נתונים ייעודית על ידי יחידת ה-GIS באוניברסיטה העברית (תכנות על ידי - עדי בן-נון, עידן קמינר וטלי אבירם).

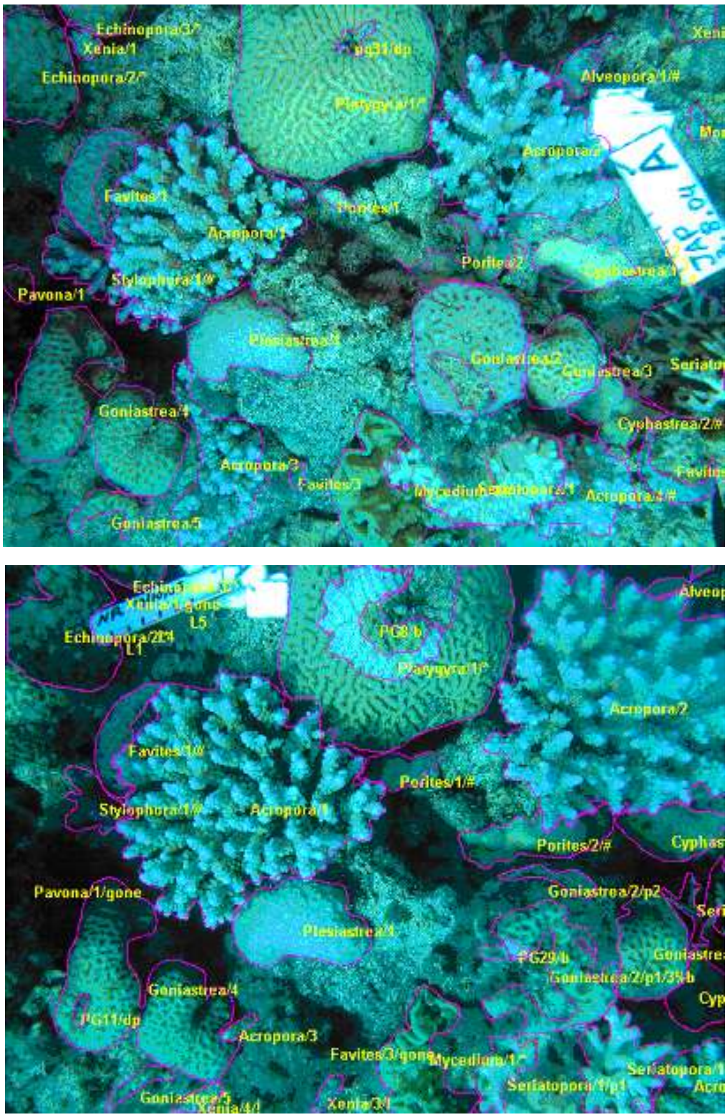
שטח האלמוגים ניתן ביחידות pixel מכיוון שכיול השטח לסמ"ר נמצא לא מדויק עקב הבדלי הגובה של מושבות יחסית למצלמה. קנה מידה מקורב למדידות השטח: $1cm^2=2kp=2{,}000pixels$. שינויים בשטח ניתנים באחוזים וכך מנוטרלים הבדלי הכיול והטופוגרפיה בין המושבות.

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

התוצאות מוצגות באופן גרפי ועוברות גם עיבוד סטטיסטי. בכל המקרים בהם מופיעים קווי שגיאה, הם מייצגים את שגיאת התקן (Error bars represent the standard error).

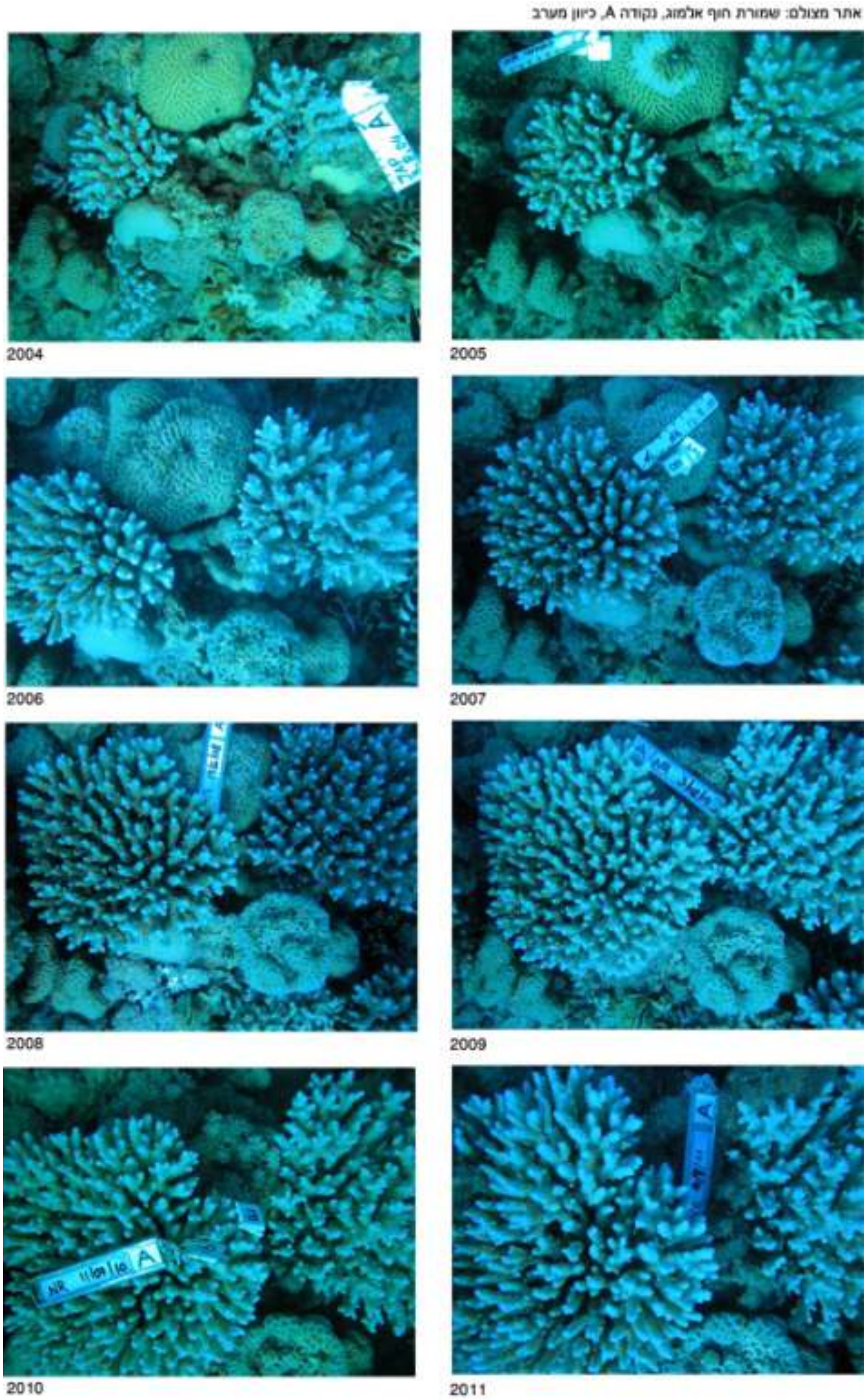
איור ב23: אתרי הסקר המצולם לאורך חופי אילת (מסומנים בירוק).

Figure B23: Sites of the photo-survey of coral reefs along the Eilat coastline (green markers).



איור ב24: צילום חוזר מאתר קבוע בשונית שמורת האלמוגים. למעלה 2004, למטה 2005. בין השינויים הבולטים ניכרת תמותה חלקית של האלמוג הגושי *Platygyra* 1 (למעלה במרכז) וצמיחה (גידול בשטח) של מושבות האלמוג המעונף *Acropora* 1,2 (מרכז התמונה ולמעלה מימין, בהתאמה). בנוסף, ישנן מושבות חדשות המופיעות רק בצילום משנת 2005, ומושבות החסרות בצילום זה. שטחי כל המושבות כמו גם השטחים המתים מסומנים (קו סגול) לצורך חישובי שטחים.

Figure B24: A set of photographs from one of the photo-survey sites in the nature reserve reef (2004 top, 2005 bottom). Among the observed changes are partial mortality of the massive coral *Platygyra* 1 (top center), and growth of two colonies of the branching coral *Acropora* 1 and 2, (center and top right respectively). In addition, a few colonies are missing from the bottom picture (2005), and some are new settlers that appear only in 2005.



איור ב25: שמונה שנות מעקב אחר אתר מצולם (שמורת האלמוגים, נקודה A, כיוון מערב).

Figure B25 : Eight years of documentation at permanent photo site Nature Reserve, point A, looking west.

<u>תוצאות</u>

השנה נותחו 103 תמונות (לעומת 102 בשנה הקודמת) לצורך השוואה עם השנים הקודמות (טבלה ב5). בסך הכל נספרו 2,210 מושבות מכל הסוגים (מעט פחות מאשר בשנה הקודמת), מתוכן 1,781 מושבות אלמוגי אבן. בשנתיים האחרונות לא צולם אתר החוף הצפוני בו שתי נקודות צילום תקינות.

שטחן של 1,104 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 קצא"א (648). מספר המושבות הקטן ביותר אשר נסקר היה גם השנה באתר חוף הדקל (163 מושבות מכל הסוגים). רשימת כל האלמוגים ומספר המושבות שזוהו בסדרת הצילומים השנה נתונה בנספח ז2.

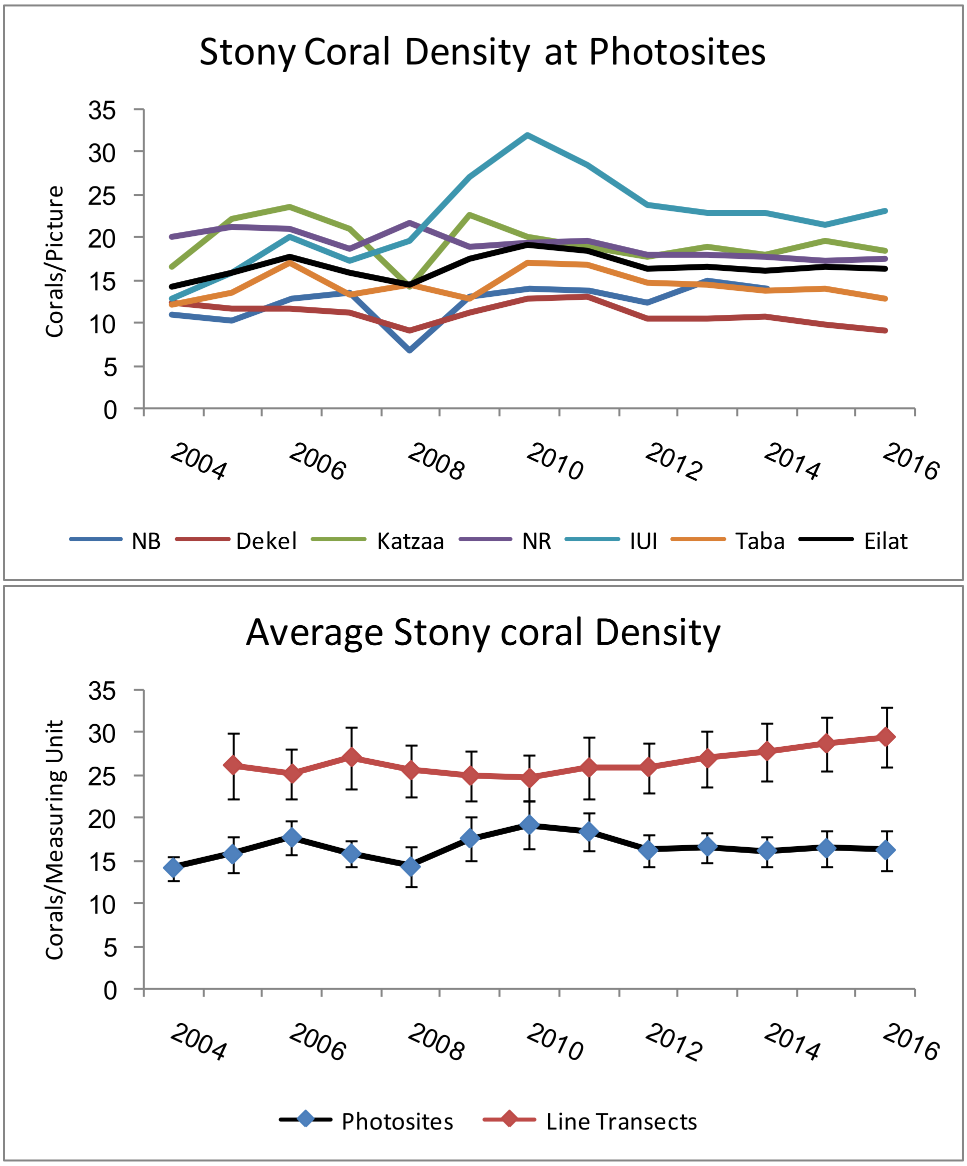
All colonies captured in the permanent photosites							
Site	No. of Pictures	Branching stony corals		Non-branching stony corals		All colonies (stony, soft and others)	
		No. of colonies	Area	No. of colonies	Area	No. of colonies	Area
NB							
Dekel	14	28	2,465	102	20,262	163	25,073
Katzaa	23	100	5,512	325	14,501	572	23,285
NR	28	126	6,990	365	22,168	580	31,334
IUI	24	84	4,855	469	12,933	648	19,315
Taba	14	29	3,830	153	12,506	248	19,126
Total	**103**	**367**	**23,651**	**1,414**	**82,369**	**2,211**	**118,133**
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	14	12	1,047	40	3,337	72	4,891
Katzaa	23	61	3,382	214	4,677	328	9,417
NR	28	73	3,382	212	6,670	330	11,026
IUI	24	50	2,463	344	8,617	449	12,193
Taba	14	15	666	83	3,209	126	4,488
Total	**103**	**211**	**10,940**	**893**	**26,511**	**1,305**	**42,016**

טבלה ב5: סיכום נתוני השטחים ומספר מושבות האלמוגים שנאספו בסקר הצילום בשנת הניטור 2016. "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 כיול 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 2016 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 26ב). 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.



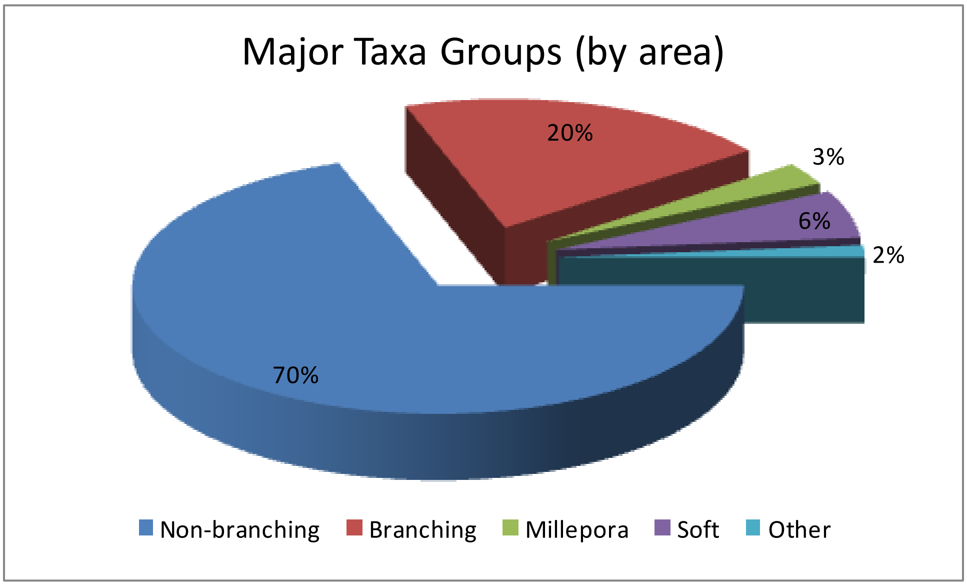
איור 26ב למעלה – שינויים במספר המושבות הממוצע לתמונה בכל אתר, וממוצע אילת, מאז שנת 2004. למטה – השוואה בין השינויים בצפיפות מושבות אלמוגי האבן הנמדדת בסקר חתכי הקו (אדום) לזו הנמדדת בסקר המצולם (שחור). הנתונים הם ממוצע "אילת" ליחידת דגימה.

Figure B26: 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- 90% השנה) והקבוצה התופסת שטח רב ביותר היא קבוצת האלמוגים הלא-מעונפים (כ- 70% השנה) (איור 27ב). 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, ספוגים ועוד.

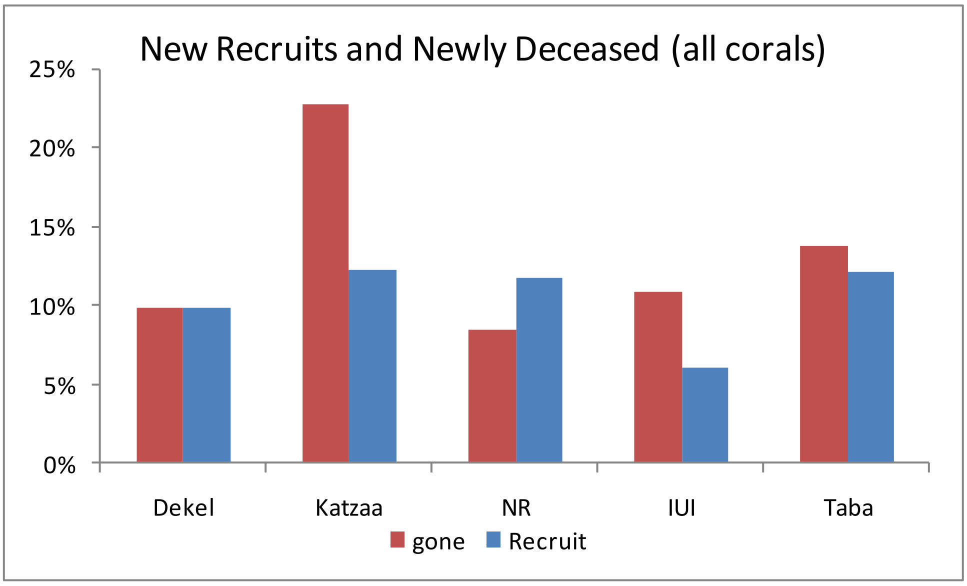
ראוי להזכיר שבחירת השטחים המצולמים נעשתה שלא באקראי והייתה מוטה לטובת כתמי שונית עתירי אלמוגי אבן.

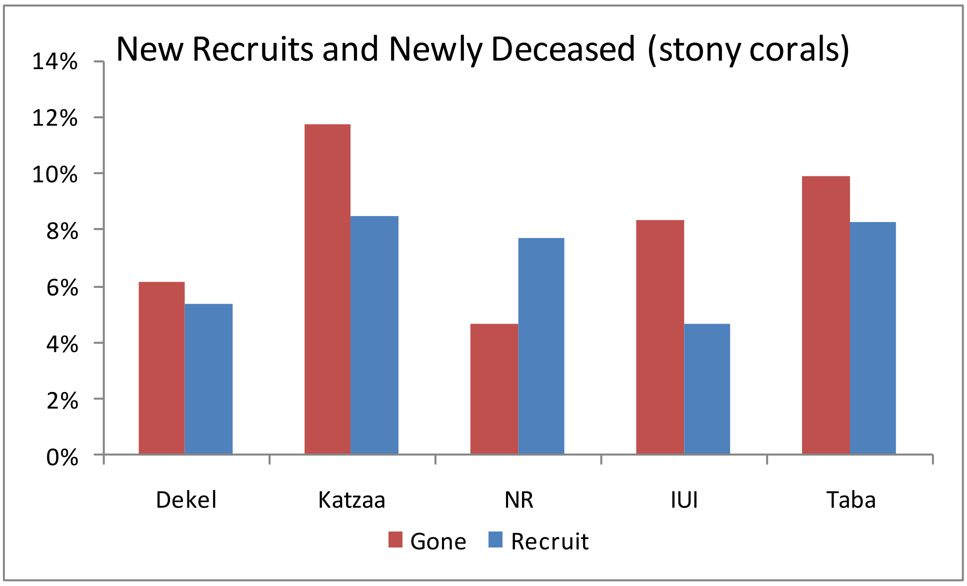


איור ב27: התפלגות הקבוצות העיקריות המרכיבות את חברת השונית באתרים המצולמים בשנת 2016, על פי אחוז השטח היחסי אותו הם תופסים.

Figure B27: Distribution of the main taxa groups comprising reefs at the permanent photo-sites in 2016, according to the relative (percent) area which they occupy.

השנה נמצא עודף (מספרי) של גיוס מושבות על פני תמותה בכלל האלמוגים בכל רק באתר השמורה, וגם באלמוגי האבן נמצא מצב דומה (איור ב28). השוואות של יחס מספרי מול יחסי שטחים בין התיישבות ותמותת מושבות (דו"ח תכנית הניטור 2009) מלמדות כי השטח שאובד כתוצאה מתמותה גדול מהשטח שנוסף בהתיישבות, כך שברוב האתרים עודף התמותה 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 קיימים.





איור B28: התיישבות ותמותה של מושבות אלמוגים מכל הסוגים (למעלה) ושל אלמוגי אבן (למטה) באתרים המצולמים בשנת 2016. על מנת לאפשר השוואה בין האתרים הנתונים מוצגים כאחוזים מכלל המושבות באתר.

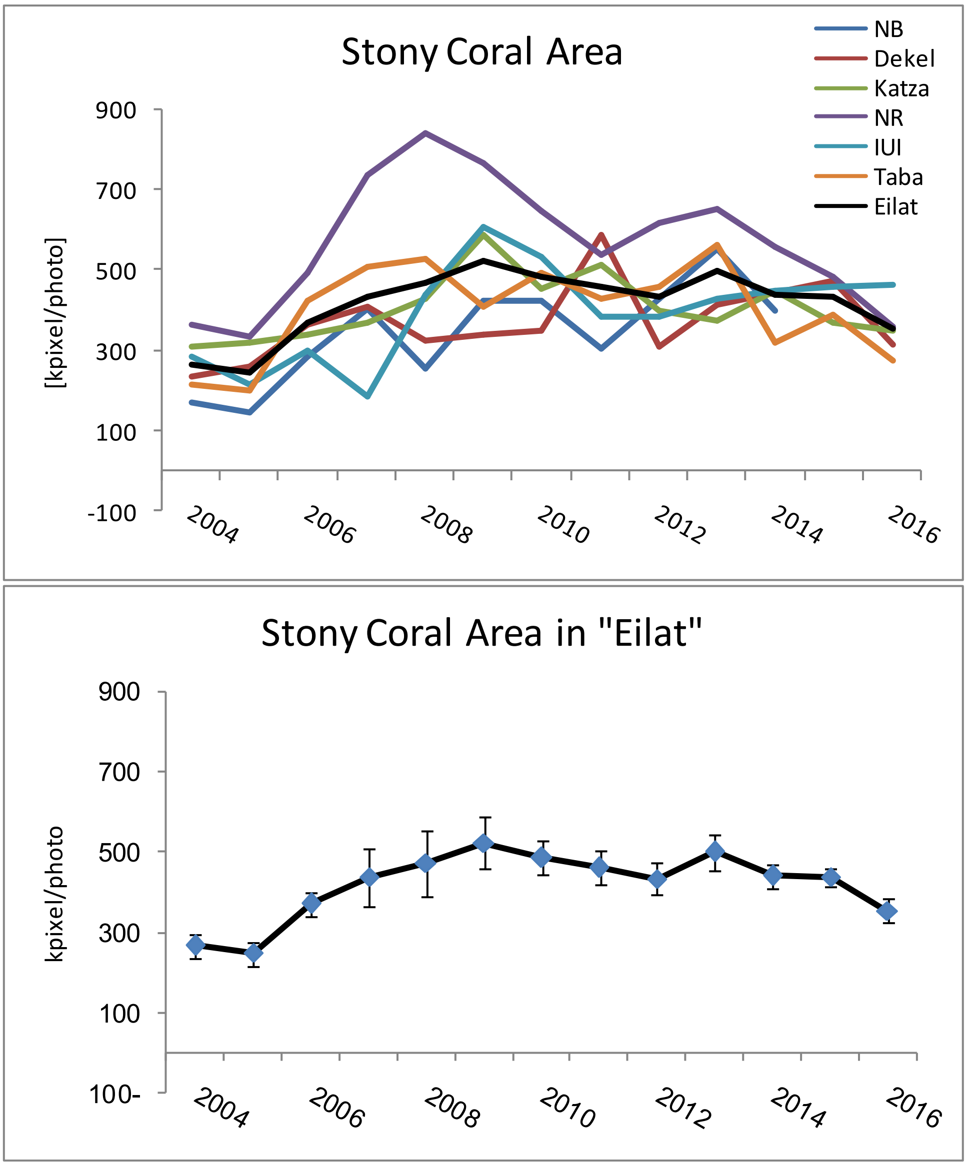
Figure B28: Colony recruitment and death for all corals (top) and for stony corals only (bottom) at the photo-survey sites in 2016. To allow a comparison between sites the data are presented as percent of the total number of colonies at each site.

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 בשטח האלמוגים הרכים ואלמוגי האש גדולים, בדרך כלל, מהשינויים בקבוצות אלמוגי האבן, והינם פחות "מגמתיים". לעומת זאת, ברוב האתרים נמצא גידול בשטח אלמוגי האבן שהגיע לשיאו בשנת 2009, ולאחר מכן חלה ירידה קלה. השנה היו השינויים בשטח אלמוגי האבן קטנים, אך ירידה קלה בשטח נמצאה ברוב האתרים (איור 29ב). שטח אלמוגי האבן הממוצע בתמונה (נמדד באלפי פיקסלים לתמונה) בכל האתרים היה נמוך השנה בהשוואה לשנים האחרונות ומגמה דומה מתגלה גם בבחינת סך שטח האלמוגים המצולמים, כולל אלה שרק חלקם מצוי בשטח המצולם. גם בסקר חתכי הקו נמצאה ירידה בשטח אלמוגי האבן מאז 2013, אולם השנה נמדדה עלייה קלה בשטח האלמוגים הנסקרים בחתכי הקו.

עבור מושבות אלמוגי אבן אשר מצולמות במלואן בשתי השנים האחרונות נמצא שרובן הגדילו את שיטחן, ז"א "צמחו". אלמוגי אבן מעונפים בסך הכל "צמחו" בכל האתרים, ואלמוגים לא-מעונפים "צמחו" בכל האתרים מלבד אתר טאבה. לפיכך, סך הירידה בשטח האלמוגים בין השנים ברוב האתרים מיוחסת לתמותת מושבות שלמות.

לסיכום, שטח אלמוגי האבן בצילומים הקבועים היה הגדול ביותר בשנת 2009, ומאז חלה ירידה קלה. בשנים האחרונות נמדד שטח כולל קטן יותר בהשוואה לשנת 2013. מבחינת צפיפות מושבות ממוצעת לתמונה, זו נמצאת ללא שינוי משמעותי בשנים האחרונות. יחד עם זאת מאז שנת 2013 נמדד עודף (מספרי) של תמותת מושבות אלמוגי אבן על פני גיוס ברוב האתרים, וזו ככל הנראה הסיבה לירידה הנמדדת בשטחן הכולל.

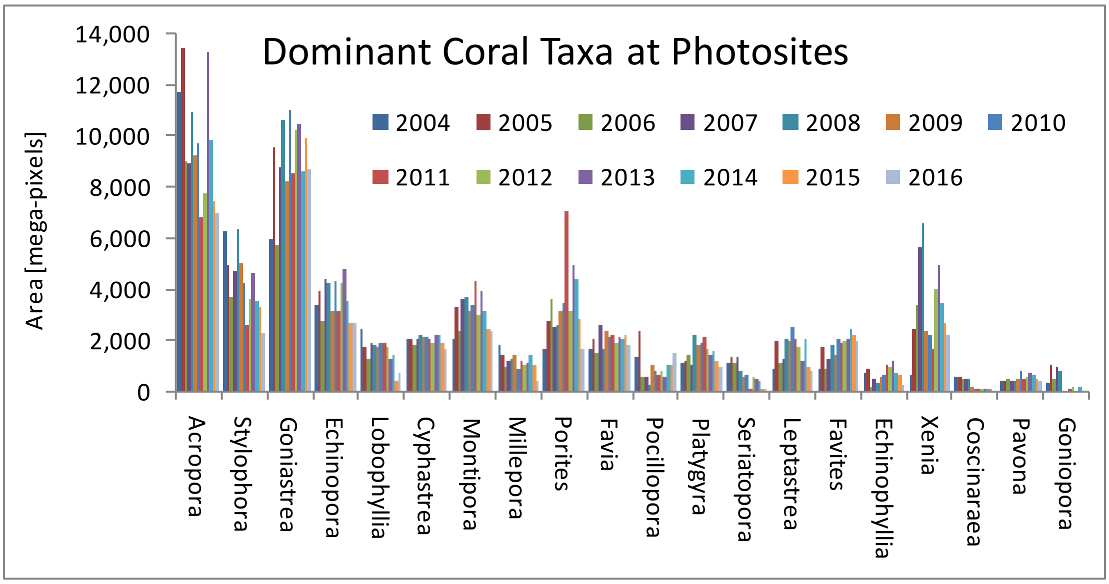


איור 29ב: למעלה - שינויים בשטח אלמוגי האבן הממוצע לתמונה בכל אתר מאז שנת 2004. למטה - שינוי שטח אלמוגי האבן הממוצע לתמונה ב"שוניות אילת", מאז 2004, על סמך האתרים המצולמים.

Figure B29: 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. בשנים האחרונות חזר שטח האלמוג *Acropora* להיות דומיננטי באתרים המצולמים (איור 30ב) ובשנתיים האחרונות *Acropora* הוא האלמוג השני בשטחו באתרים המצולמים. האלמוג *Goniastrea* הוא האלמוג הנפוץ ביותר בשנים האחרונות.

נראה כי מאז 2004 אנו עדים לירידה בשטחם של האלמוגים המעונפים ועליה בשט אלמוגים גושיים, יחד עם עליה בשטח האלמוג הרך *Xenia* אשר בוודאי משתלט על שטחים אשר שהתפנו מירידה בשטח אלמוגי אבן.



איור ב30: עשרים סוגי האלמוגים הנפוצים ביותר (לפי שטח בשנת 2004) בסדרות הצילום 2004-2016.

Figure B30: The twenty most abundant corals (by area) in the 2004-2016 photo-surveys.

ב.3. חברת האלמוגים בלגונת שמורת האלמוגים

<u>מטרה</u>

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

<u>שיטות</u>

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

מפאת מיעוט האלמוגים, שיטת מקטעי הקו לא התאימה לסקר החברה בלגונה. לפיכך, נעשה שימוש ביחידת דגימה של ריבוע בגודל 1X1 מ'. הריבועים מונחים באופן סדור לאורך סרט מדידה שנפרש בניצב לחוף (להלן "קו דגימה") ממרחק של 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 ב31). 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.

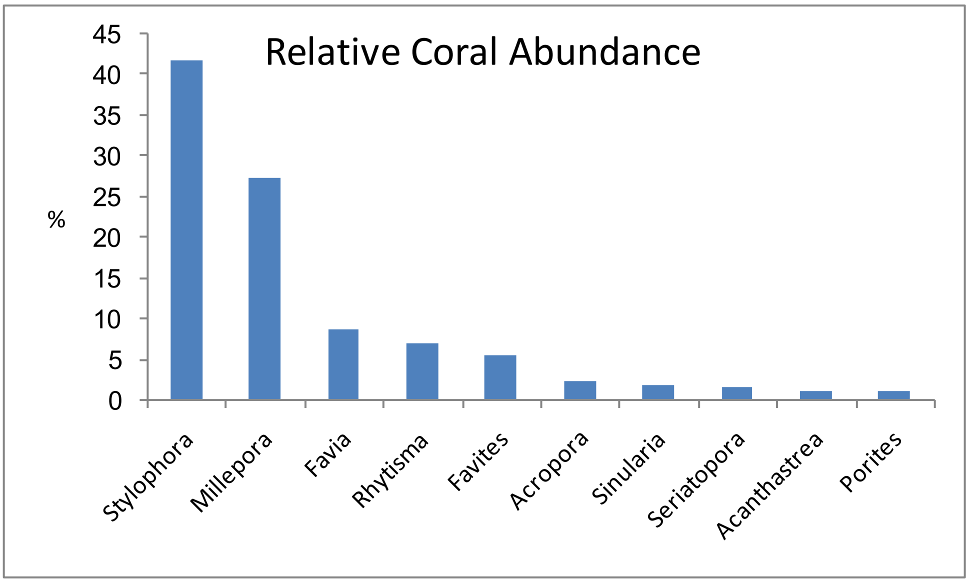
איור ב31: תיאור מערך הדיגום של חברת האלמוגים בלגונת השמורה באזור הסגור לקהל. ריבועים בגודל של 1 מ"ר (באדום) הונחו באופן סדור במרחק של 5 מטרים זה מזה לאורך סרט מדידה שהונח בניצב לחוף והתחיל ממרחק 9 מטרים מ"קו החוף" ועד לשולחן השונית (קו דיגום). כל קו דיגום כלל בין 5 ל- 6 ריבועים, (על אף שבאיור משורטטים רק 4 לכל חתך). סה"כ בוצעו 17 קווי דיגום בשטח הלגונה.

Figure B31: The sampling design in the lagoon. 1 m^2 quadrates (red circles) were placed 5 m apart along a measuring tape laid cross shore, 9 m from the "shore line" to the reef table. Each cross shore line included 5 or 6 quadrates (though in this figure only 4 are depicted). 17 cross-shore lines were evenly spread to cover the lagoon area.

<u>תוצאות</u>

השנה נספרו ב- 98 ריבועי דגימה של 1 מ"ר בלגונה שבשמורת חוף אלמוג 220 מושבות אלמוגים, מהן 199 אלמוגי אבן אשר סווגו ל-9 סוגים (ושלוש מושבות אשר לא זוהו) ו-21 אלמוגים רכים השייכים ל-3 סוגים (ומושבה אחת אשר לא זוהתה).

אלמוג האבן הנפוץ ביותר הוא *Stylophora pistillata*. אלמוג זה מהווה השנה כ- 42% מכלל מושבות האלמוגים אשר נסקרו, וזאת בדומה לשנה הקודמת. האלמוג השני הנפוץ ביותר הוא אלמוג האש *Millepora* המהווה כ- 27% מכלל האלמוגים. עשרה האלמוגים הנפוצים (אלמוגי אבן ואלמוגים רכים) מהווים כ- 97% מכלל המושבות (איור ב32).



איור ב32: השכיחות היחסית (באחוזים, על פי מספר המושבות) של עשרה סוגי האלמוגים העיקריים בלגונה (מהווים כ- 97% מכלל האלמוגים).

Figure B32: 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 2.27 מושבות למ"ר, וצפיפותם הממוצעת של אלמוגי אבן היתה 1.98 מושבות למ"ר (טבלה ב6).

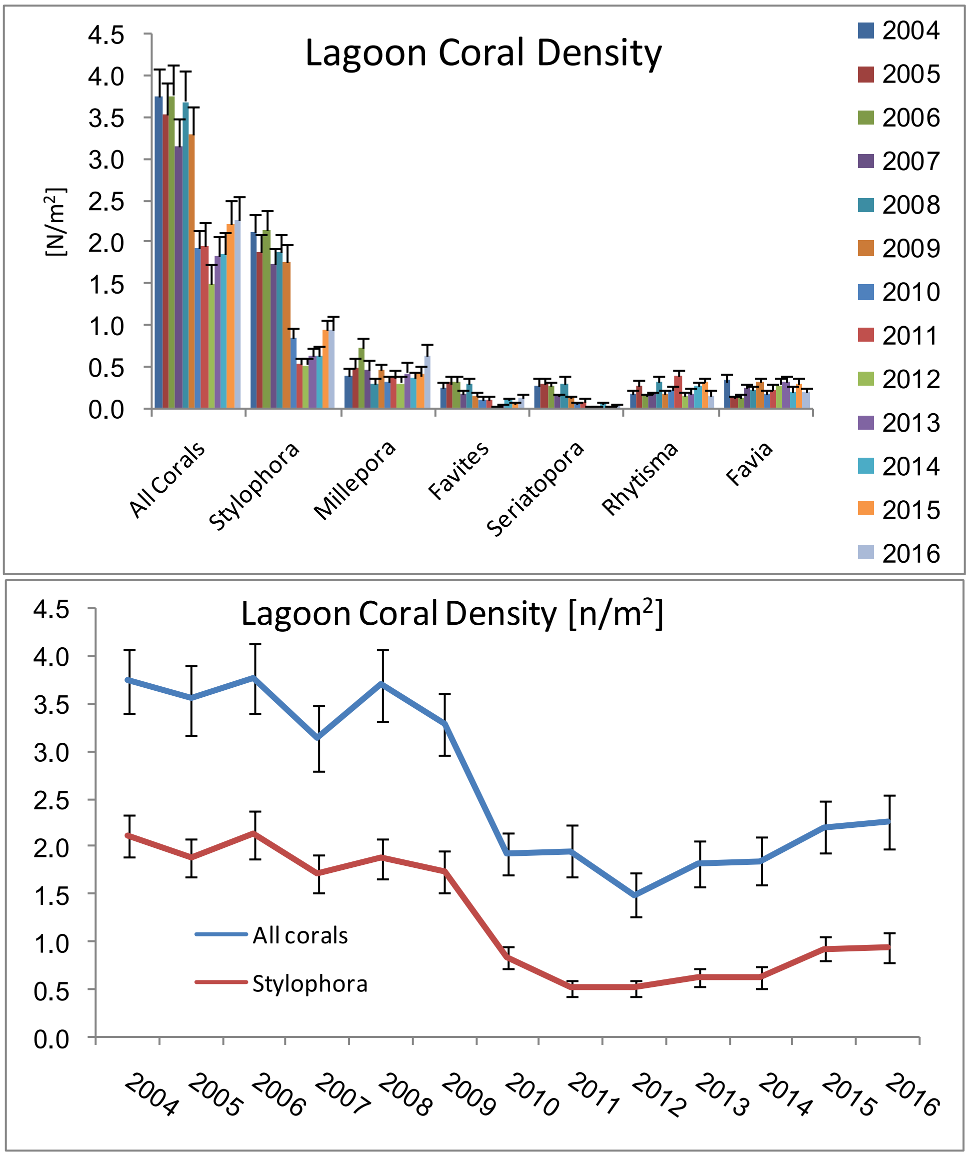
Species	N	Relative abundance (%)	N/m^2
Stylophora	92	41.82	0.95
Millepora	60	27.27	0.62
Favia	19	8.64	0.20
Rhytisma	15	6.82	0.15
Favites	12	5.45	0.12
Acropora	5	2.27	0.05
Sinularia	4	1.82	0.04
Seriatopora	3	1.36	0.03
Stony sp.	3	1.36	0.03
Acanthastrea	2	0.91	0.02
Porites	2	0.91	0.02
Litophyton	1	0.45	0.01
Soft.sp	1	0.45	0.01
Tubistrea	1	0.45	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 נמצאה עליה איטית בצפיפות המושבות (איור ב33).
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.

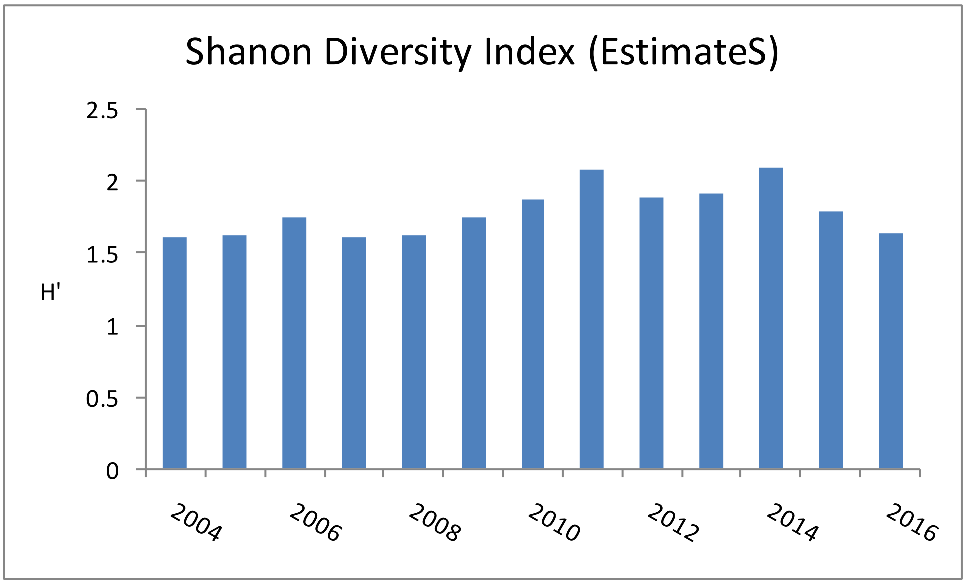


איור ב33: השוואת הצפיפות הממוצעת (מושבות למטר רבוע) של האלמוגים העיקריים בלגונה בשנים 2004 – 2016. למעלה- לפי סוגי האלמוגים העיקריים, למטה- תנודות בין השנים בצפיפות סך המושבות וצפיפות האלמוג הנפוץ *Stylophora pistillata*.

Figure B33: 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 1.64 (איור ב34). השינויים במדד המגוון נובעים במידה רבה משינויים במספר מושבות המין הדומיננטי בלגונה, האלמוג *Stylophora*, אשר תפוצתו עלתה השנה, אם כי השנה גם נספר מספר קטן

יותר של סוגי אלמוגים.



איור ב34: השינויים במגוון מיני האלמוגים (על פי מדד המגוון של Shanon-Wiener) בלגונה מאז 2004 כפי שהוערכו בעזרת תכנת EstimateS.

Figure B34: Changes in coral diversity in the lagoon since 2004, according to the Shanon-Wiener index, estimated using the EstimateS software.

<u>דיון ומסקנות</u>

בשנות הניטור הראשונות (2004-2009) נעה צפיפות האלמוגים בלגונה בין 3.75 ל- 3.29 מושבות למ"ר. בחורף 2009-2010 פגעה באילת סדרת סערות דרומיות חזקות ובקיץ 2010 נמדדה צפיפות של 1.93 מושבות אלמוגים למ"ר. הצפיפות הנמוכה ביותר נמדדה בשנת 2012, 1.50 מושבות למ"ר, ומאז נצפית עליה איטית. צפיפות המושבות שנמדדה השנה היתה 2.27 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 הוא 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 עדיין אינו מספיק 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

<u>מטרה</u>

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

<u>שיטות</u>

בשני אתרים, המעבדה הימית ושמורת חוף אלמוג, הוצבו ארבעה מערכים הכוללים ארבע לוחיות PVC ממוחזר בגודל 20X10 ס"מ. חומר זה נמצא כמצע יעיל להתיישבות אלמוגים והלוחיות אוקלמו במיכל מי ים זורמים במשך מספר שבועות עד להכנסתן לים. במעבדה הימית בעומק של כ- 8 מ', בתאריך 22 באפריל 2015 ובשמורת חוף אלמוג הוצבו המערכים בעומק של כ- 10 מ' בתאריך 6 במאי 2015,. בכל אתר מוקמו המערכים באופן שרירותי בסמוך לסלע שונית.

בכל שלושה חודשים נאסף זוג לוחיות מכל מערך ומוחלף בזוג לוחיות חדשות, כך שכל זוג שוהה בים במשך ששה חודשים. הלוחיות שנאספו מובאות למעבדה לצורך ספירת מושבות אלמוגים.

הלוחיות נשמרות במי ים עד לספירה המתחילה מיד עם הוצאתן. הספירה נעשית באמצעות פנס אור כחול המאפשר, בעזרת פילטר צהוב, להבחין בפלואורסנציה של פרוטאינים ירוקים (green fluorescent proteins, GFP) המאפיינים פוליפים של אלמוגים. בנוסף לכך, נסרקת כל לוחית תחת בינוקולר לזיהוי המתיישבים וספירת הפוליפים (איור ב35).

לאחר הספירה הלוחיות מגורדות במברשת ונשמרות בבריכת מי ים זורמים עד להחזרתן למערכים בשונית.

איור ב35: צילום בינוקולר של לוחית התיישבות המראה שתי מושבות אלמוגים זעירות (מוקפות עיגול) המכילות פוליפים בודדים.

Figure B35: A coral settlement plate pictured under the microscope, showing two tiny coral colonies (circled).

תוצאות ראשונות

לוחיות ההתיישבות הוצבו לראשונה בשונית בסוף אפריל-תחילת מאי 2015 (מעבדה ימית וחוף אלמוג, בהתאמה). הוצאת הלוחיות הראשונה היתה של לוחיות ששהו בים כשלושה חודשים בלבד, בעוד שתכנית הדגימה הסדירה היא של לוחיות ששוהות בים ששה חודשים. עם זאת, לוחיות אלה שהו במים בעונת הרבייה של אלמוגים ועל כן גם הן קלטו מתיישבים.

על שמונה הלוחיות שהוצאו באמצע אוגוסט משמורת חוף אלמוג, לאחר שהיה של 105 ימים, נמצאו בסך הכל 43 מושבות אלמוגים זעירות, כאשר מספר הפוליפים הממוצע במושבה היה 6.3. על שמונה הלוחיות שהוצאו מאותו אתר באמצע נובמבר, לאחר שהיה של 188 ימים בים, נמצאו בסך הכל 17 מושבות ומספר הפוליפים הממוצע במושבה היה 11.8.

על שמונה הלוחיות שהוצאו מהמעבדה הימית באוגוסט, לאחר שהיה של 111 ימים בים, נספרו 5 מושבות בסך הכל, ומספר הפוליפים הממוצע למושבה היה 6.4. על הלוחיות שהוצאו באמצע אוקטובר לאחר 176 ימים נמצאו 13 מושבות שלהן 2.4 פוליפים בממוצע.

ספירות המתיישבים בחודשים שלאחר מכן היו על לוחיות ששהו בים כחצי שנה. בכל הלוחיות שנבדקו לאחר קיץ 2015, בשני האתרים, נמצא מספר קטן של מושבות המכילות מעט פוליפים בלבד (טבלה ב7).

Date Placed	Date Retrieved	Days at Sea	Number of Settlers	Size Range of Colonies	Average Colony Size
			[On All Plates]	[Number of Polyps]	[Number of Polyps]
NR					
6-May-15	19-Aug-15	105	43	1--52	6.3
6-May-15	10-Nov-15	188	17	1--31	11.8
19-Aug-15	11-Jan-16	145	1	4	4.0
10-Nov-15	10-May-16	182	2	1	1.0
11-Jan-16	13-Jul-16	184	8	1--13	5.3
10-May-16	7-Nov-16	181	2	6--7	6.5
IUI					
22-Apr-15	11-Aug-15	111	5	2--10	6.4
22-Apr-15	15-Oct-15	176	13	1--10	2.4
11-Aug-15	16-Feb-16	189	2	1	1.0
15-Oct-15	25-Apr-16	193	2	1	1.0
16-Feb-16	11-Aug-16	177	1	6	6.0
25-Apr-16	25-Oct-16	183	0	--	

טבלה ב7: התיישבות אלמוגים על גבי לוחיות באתר השונית של השמורה (NR) והמעבדה הימית (IUI).

Table B7: Coral settlement on plates placed at the nature reserve (NR) and Interuniversity Institute (IUI) reef sites.

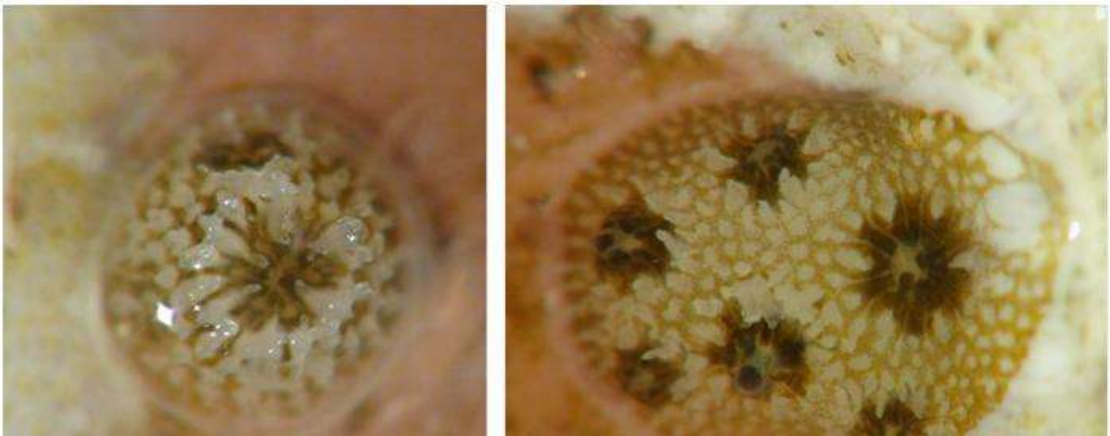
עקב המספר הקטן של מתיישבים השנה והשונות הגדולה בין לוחיות, לא ניתן לבסס מסקנות על סמך נתונים אלה ונראה כי צריך יהיה לשנות את מערך הלוחיות ולהגדיל את המדגם הסטטיסטי. בכל זאת, התצפיות הקיימות מצביעות על התיישבות האלמוגים מוצלחת יותר בשנת 2015 בהשוואה לשנת 2016, ועל כך שבאתר השמורה ישנו מספר גדול יותר של מתיישבים, הגדלים טוב 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 ז3 בדו"ח תכנית הניטור 2015, תקציר עבודת המוסמך של תום שלזינגר אשר מצא, בהתאמה לעבודות קודמות, כי עיקר הגיוס לשונית מתרחש בחודש אוגוסט), ואכן על גבי לוחיות ששהו בים מחוץ לעונה זו

נמצאו מעט מאד מתיישבים. אולם השנה נמצאו בשני האתרים, גם בקיץ, מתיישבים מעטים בהשוואה לשנה הקודמת. לאחר שישופר מערך הלוחיות צריך יהיה לבחון מחדש תצפיות אלה.

המספר הקטן של מתיישבים על גבי לוחיות התיישבות שנבחנו השנה אינו מאפשר ניתוח תבנית ההתיישבות והגדילה של מושבות אלמוגים בשונית, ולא הוסיף על המידע שהתקבל מלוחיות ההתיישבות בשנה הקודמת. על סמך לוחיות ההתיישבות של שנת 2015 נראה היה כי בשמורת חוף אלמוג התקופה שבין מאי לאוגוסט היא התקופה העיקרית בה מתיישבים אלמוגים, וזאת על פי מספר המושבות הגדול וגודלן הקטן. הלוחיות ששהו באותו אתר את אותה התקופה אך נותרו עד לנובמבר, 75 ימים נוספים, הכילו פחות ממחצית מספר המושבות אך גודלן היה כפול. נתונים אלה עשויים להצביע על כך שבין אוגוסט לנובמבר נוספו מעט מושבות חדשות, עובדה המחוזקת על ידי העדרן הכמעט מוחלט של מושבות על גבי לוחיות שהוכנסו לים באוגוסט. בנוסף, ניתן להסיק כי מושבות רבות (כמחצית מהמתיישבים?) שהתיישבו בתקופה הראשונה לא שרדו את התקופה שבין אוגוסט לנובמבר. אלה ששרדו הכפילו, בממוצע, את גודלן.

במעבדה הימית נמצאה באותה תקופה תמונה שונה במקצת. על הלוחיות ששהו בים בין אפריל לאוגוסט נמצאו 5 מושבות בלבד וגודלן הממוצע היה דומה לאלו שנמצאו באותו תקופה בשמורת חוף אלמוג. על הלוחיות ששהו במעבדה 65 ימים נוספים נמצאו 13 מושבות וגודלן הממוצע היה קטן הרבה יותר, אם כי האוכלוסיה התחלקה בין שתי מושבות "גדולות" (10 ו-6 פוליפים) ואחת-עשרה מושבות בנות 1-2 פוליפים (איור ב36). נראה כי באתר המעבדה הימית עונת הרבייה ארוכה יותר ונמשכת מעבר לחודש אוגוסט. כמו כן נראה כי באתר המעבדה כמות המתיישבים וקצב גדילתם נמוכים מאשר בשמורת חוף אלמוג. גם עבודת המוסמך של תום שלזינגר, בהנחיית פרופ' יוסי לויה מצאה הבדלים בקצבי הגיוס וכן בתמותת מתגייסים בין אזור השמורה לבין המעבדה הימית (נספח ז3 בדו"ח הניטור 2015). בנוסף לכך, עולה מעבודתם כי בעוד שבאתר המעבדה האלמוג *S. pistillata* הוא המתגייס העיקרי לשונית, באתר השמורה מגוון המגוייסים גדול יותר. גודלן הקטן של המושבות שנמצאו על לוחיות ההתיישבות שנבחנו במסגרת הניטור אינו מאפשר לקבוע את מין האלמוגים. על סמך המראה בלבד, נראה שלפחות חלקן ממשפחת *Pocilloporidae* (Babcock et al., 2003), וסביר שמשתייכות למין *Stylophora pistillata* הנפוץ בשוניות אילת.



איור ב36: שתי מושבות אלמוגים זעירות, המכילות שני פוליפים (משמאל) וששה פוליפים (מימין)
Figure B36: Two tiny coral colonies, containing two polyps (left) and six polyps (right)

המידע המצטבר מלוחיות ההתיישבות מאז מחצית 2015 ישמש לשיפור מערך הדגימה.
נראה שעדיף יהיה לרכז מאמצים בתקופת הקיץ ולהתמקד בתבנית ההתיישבות והגדילה בתקופה זו. בכוונתינו להכניס לים כמות גדולה יותר של לוחיות בחודש מאי, ולהוציא שליש מדי חודשיים עד לסוף אוקטובר. כך יצטבר מספר גדול יותר של מושבות וניתן יהיה גם לעקוב אחר תבנית הגדילה/הישרדות של מתיישבים.

ב.5. סקר חסרי חוליות ניידים בשונית

<u>מטרה</u>

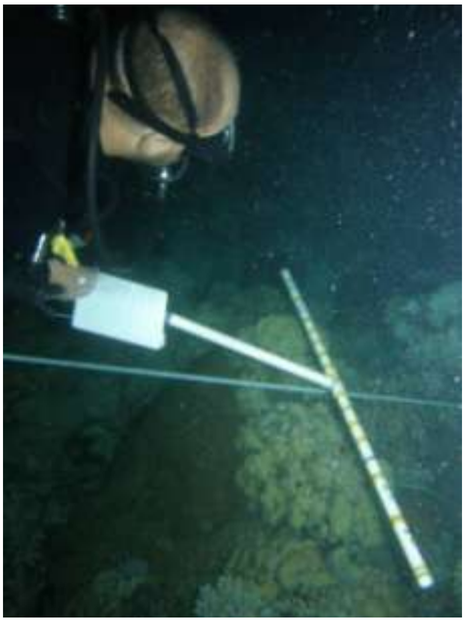
אמדן שיפעת חסרי החוליות הניידים העיקריים בשונית האלמוגים בחוף הדרומי.

<u>שיטות</u>

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

הספירה מתחילה כשעה אחר רדת החשיכה, לאחר יציאת חסרי החוליות ממסתורם לשם שיחור מזונם. החל מ-2006 מבוצע הסקר בשיטת מקטעי-רצועה (belt-transect) לעומת ריבועי דגימה (quadrates) סדורים בשנים 2004-2005. מקטעי הרצועה, באורך 50 מטרים, נפרסים החל מנקודה אקראית לאורך העומק הנבחר. מנקודת ההתחלה מתקדם צולל המחזיק מתקן בצורת T וסופר כל פרט הנמצא תחת המוט הניצב, אשר אורכו מטר אחד (איור ב37). בשיטה זו ניתן לכסות שטח גדול ביעילות רבה, ובמקרה זה את מרבית שטחו של כל אתר לאורך קו העומק הנבחר, עובדה בעלת חשיבות עקב מספרם הקטן של חסרי החוליות. מירב השטח באתר נסקר לאורך קו העומק המבוקש לקבלת ספירה מדויקת ככל האפשר, אולם אבדה יכולת ההערכה של פרמטרים סטטיסטים התלויים בחזרות רבות של יחידות מדידה קטנות הדוגמות את האתר.

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



איור ב37: שיטת חתכי הרצועה לסקר חסרי חוליות ניידים: לאורך סרט מדידה עובר הסוקר האוחז מוטות צלובים בצורת T וסופר את הפרטים הנמצאים תחת המוט הניצב, אשר אורכו מטר אחד. נסקרת רצועה אשר אורכה נקבע על ידי סרט המדידה ורוחבה על ידי המוט הניצב (1 מ'). צילום: תומר שאולוב

Figure B37: Belt-transect survey of motile invertebrates: a diver holding a T-shaped stick passes along a measuring 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

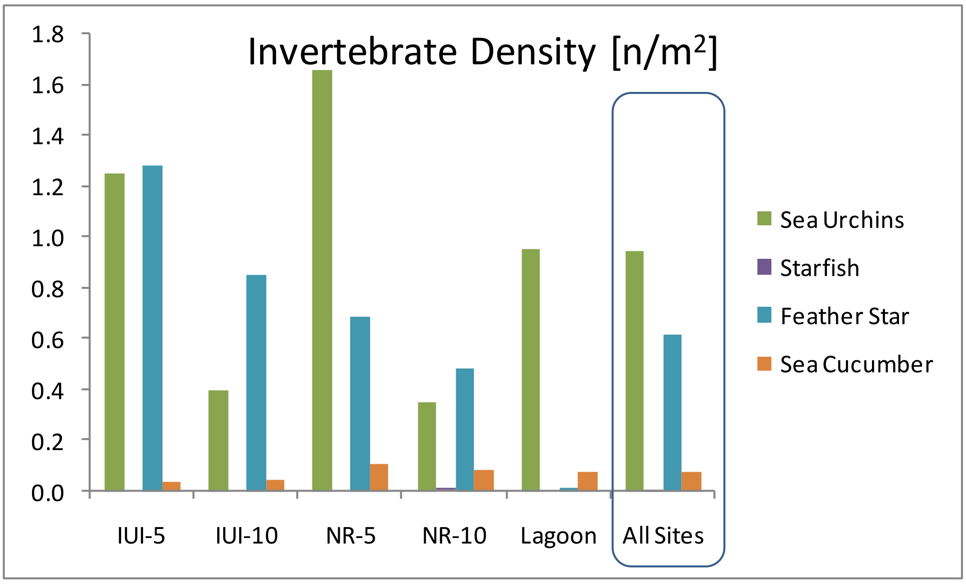
השנה נסקרו בכל האתרים 1450 מטרים רבועים, לפי הפירוט בטבלה ב8.

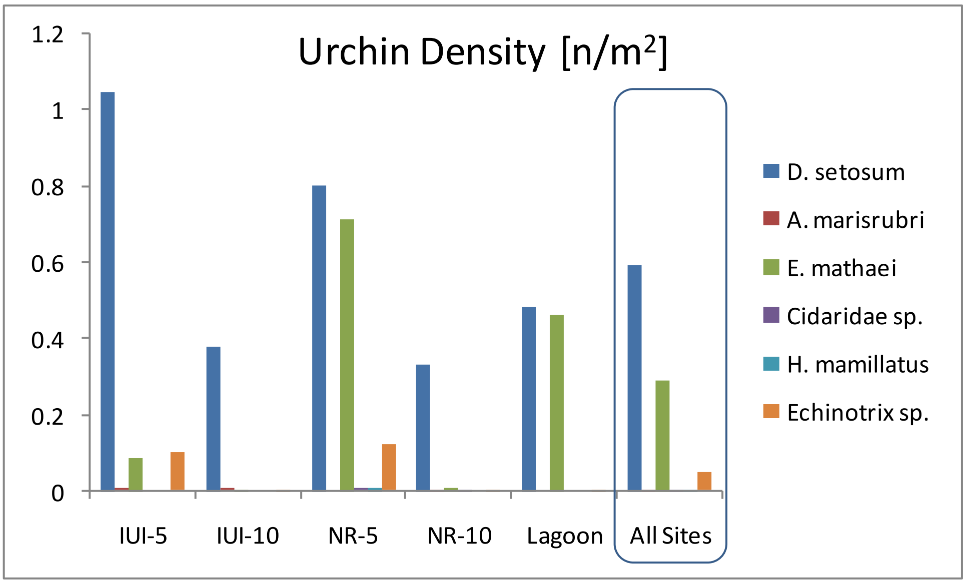
	IUI-5		IUI-10		NR-5		NR-10		Lagoon	
	Density	Number	Density	Number	Density	Number	Density	Number	Density	Number
Diadema	1.05	210	0.38	76	0.81	322	0.33	133	0.48	121
Other Urchins	0.20	40	0.02	4	0.86	343	0.02	8	0.47	117
Total Urchins	1.25	250	0.40	80	1.66	665	0.35	141	0.95	238
Starfish	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.01	3	0.00	0
Feather star	1.28	256	0.85	170	0.69	277	0.49	195	0.01	3
Sea Cucumber	0.04	8	0.05	9	0.11	43	0.09	35	0.08	19
M^2 surveyed	200		200		400		400		250	

טבלה ב8: שכיחות (מספר הפרטים וצפיפותם למ"ר) חסרי החוליות הניידים באתרים הנסקרים.

Table B8: Total abundance and average density (number per $1m^2$) of mobile invertebrates at the monitored sites.

קבוצת הרועים החשובה ביותר בשונית מבין חסרי החוליות היא קיפודי הים, אשר להם תפקיד חשוב בנקיון השונית מאצות. זוהי גם הקבוצה הנפוצה ביותר בסקרי הניטור כאשר הקבוצה השניה הנפוצה היא חבצלות הים (איור ב38). 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 ובאתרים העמוקים (עשרה מטרים) צפיפות חבצלות ים גדולה יותר.
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.



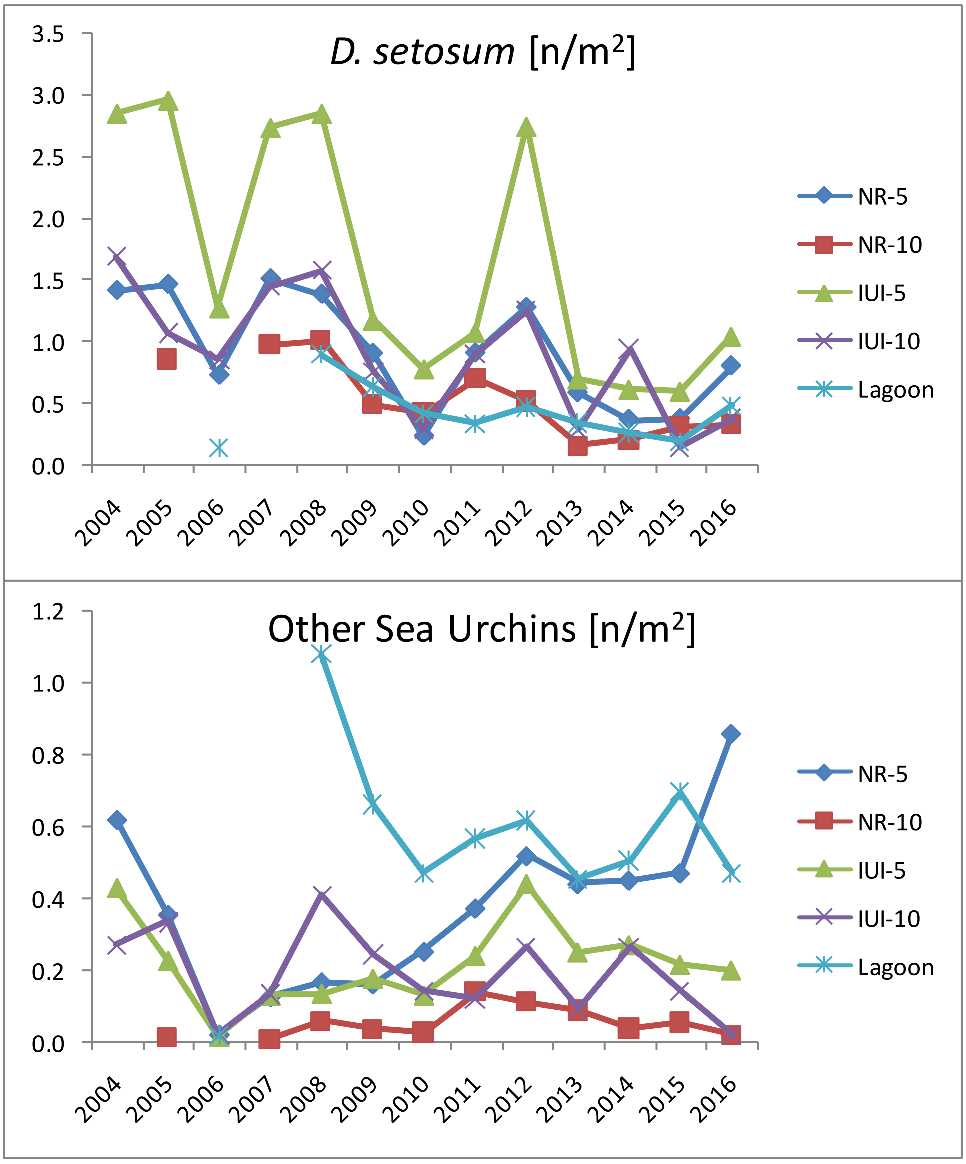


איור ב38: הצפיפות הממוצעת (פרטים למ"ר) של חסרי חוליות ניידים (למעלה) וקיפודי ים (למטה) באתרי הניטור.

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

במשך שנות הניטור נמדדו תנודות גדולות בצפיפות קיפודי ים (איור ב39). התנודות באוכלוסיית הקיפוד הנפוץ *D. setosum* גדולות במיוחד באתר IUI-5 בו צפיפותו גדולה ביותר, אך תבנית השינוי דומה בכל האתרים. באתר הלגונה צפיפות קיפודי ים אחרים (ובפרט המין *E. mataei*) גדולה יותר, ותבנית התנודות בגודל האוכלוסייה דומה. באתר NR-5 ניכר בשנים האחרונות, ובפרט השנה, גידול באוכלוסיית קיפודי ים אחרים.

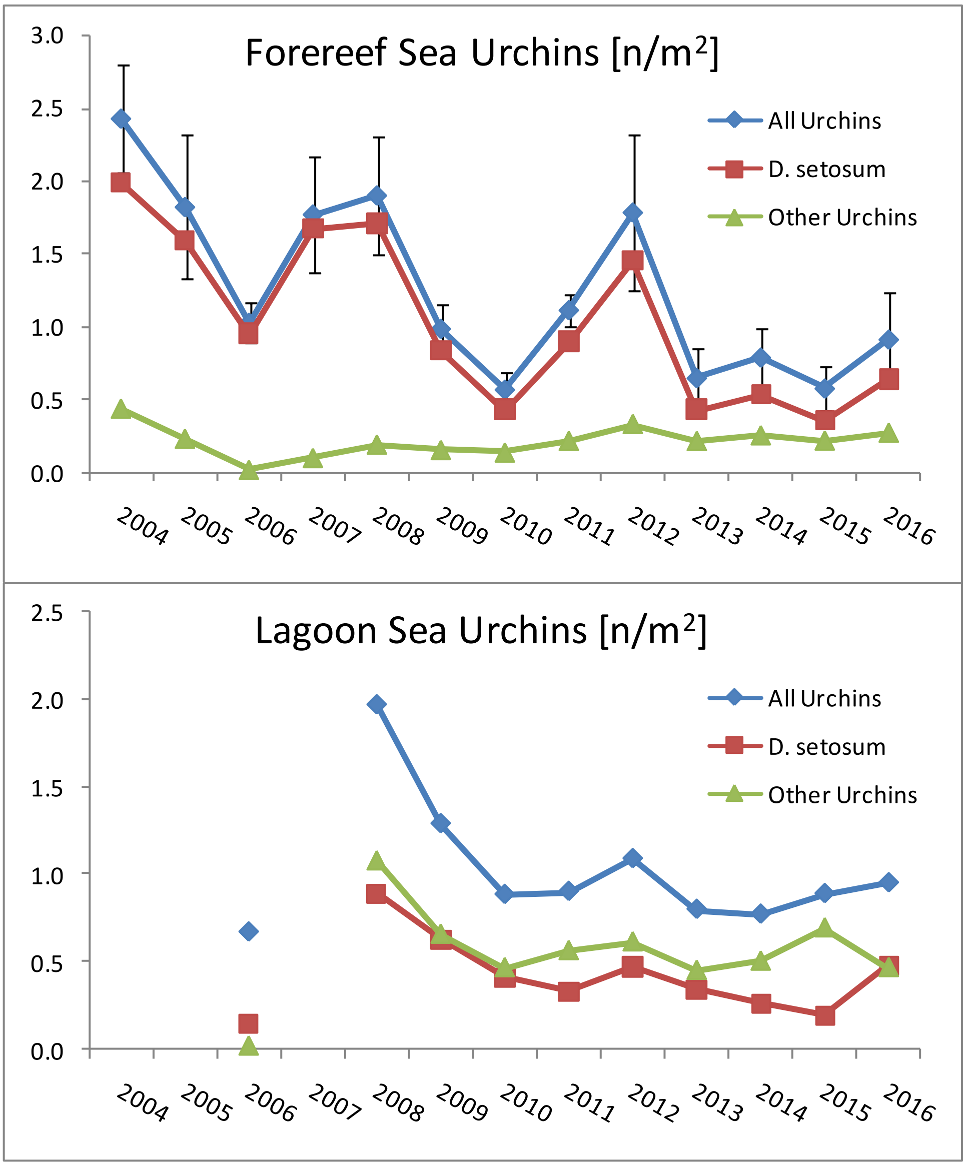
צפיפות גבוהה של קיפודי ים נמדדה בשנים הראשונות לניטור (2004-5) וכן בשנים 2007-8 ובשנת 2012. בין שיאים אלה מפרידות שנים בהן צפיפות האוכלוסיה קטנה בכ- 50%. השינויים בצפיפות קיפודי הים משקפים, כנראה, מחזורים טבעיים בגודל האוכלוסייה, או השפעות סביבתיות מחזוריות.



איור ב39: הצפיפות הממוצעת (פרטים למ"ר) של קיפודי הים *Diadema setosum* (למעלה) של קיפודי ים אחרים (למטה) באתרי הניטור.

Figure B39: The average density (individuals per m^2) of *Diadema setosum* (top) and other urchins (bottom) at the sampling sites.

באתרי קדמת השונית תבנית השינוי המחזורי בגודל אוכלוסיית קיפודי הים עוקבת אחרי התנודות באוכלוסיית *D. setosum* ואילו בלגונה המחזוריות פחות בולטת והשינוי קשור במידה רבה יותר גם בתנודות קיפודי ים מסוגים אחרים (איור ב40).



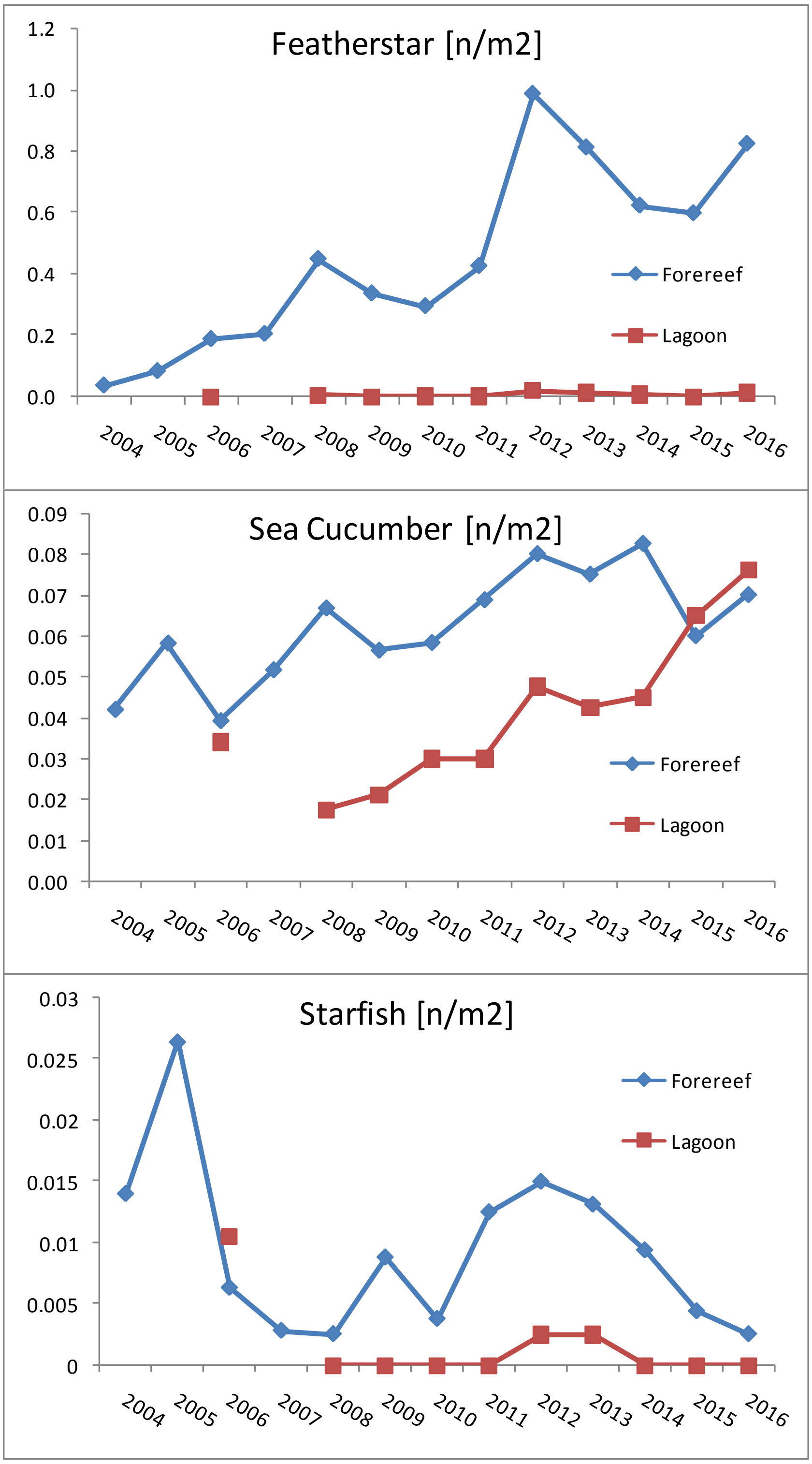
איור ב40: הצפיפות הממוצעת (פרטים למ"ר) של קיפודי הים (*Diadema setosum*, אחרים וכלל הקיפודים) באתרי קדמת השונית (למעלה) והלגונה (למטה).

Figure B40: The average density (individuals per m^2) of sea urchins (*Diadema setosum*, other urchins and all urchins) at the monitored fore-reefs sites (top) and the lagoon (bottom).

צפיפות חבצלות הים באתרי קדמת השונית עלתה במידה רבה מאז שנות הניטור הראשונות, אך נמצאה בירידה מאז 2012 והשנה נמדדה עלייה קלה (איור ב41). 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 ומספר הפרטים קטן, 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 ב41: הצפיפות הממוצעת (פרטים למ"ר) של חבצלות ים (למעלה), מלפפוני ים (באמצע) וכוכבי ים (למטה) באתרי קדמת השונית ובלגונה.

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

ב.6. קצב גידול מאקרו-אצות בשונית

<u>מטרה</u>

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

<u>שיטות</u>

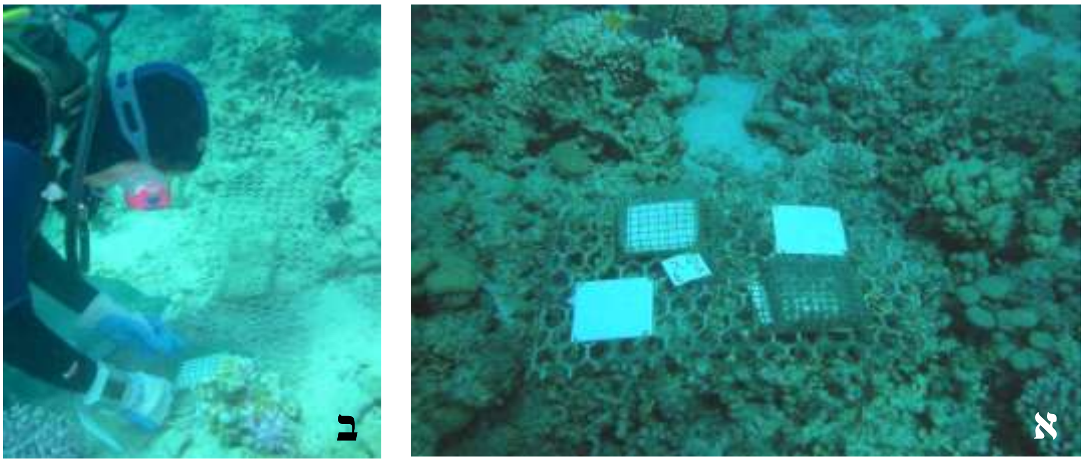
שלושה מערכים בהם שני זוגות של לוחיות PVC סמוכות, שגודלן 10X10 ס"מ וצידן העליון חוספס על מנת להקל על התיישבות אצות, הוצבו באופן שרירותי בעומקים שבעה עד עשרה מטרים בשונית שמול המכון הבין-אוניברסיטאי. החל משנת 2007 הוצבו מערכים דומים גם בחלקה הדרומי של שמורת חוף אלמוג, בעומקים 20 מ', 5 מ', ובלגונה. בכל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

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

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

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

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



איור ב42: א) מערך של לוחית התיישבות. שתי לוחיות חשופות לרעייה, ושתיים מוגנות על ידי כלוב מתכת. צילום: ניצן שגב (ב) החלפת לוחיות בצלילה, מדי חודש מוחלפות הלוחיות ששהו חודשיים בים. צילום: רותי ריף

Figure B42: A) Algae settlement plates. Two plates in the array are exposed to grazing by herbivores, and two are protected by a wire cage. Photo: Nitzan Segev (B) Every month divers replace the two settlement plates that have been in the sea for two months. Photo: Ruti Reef.

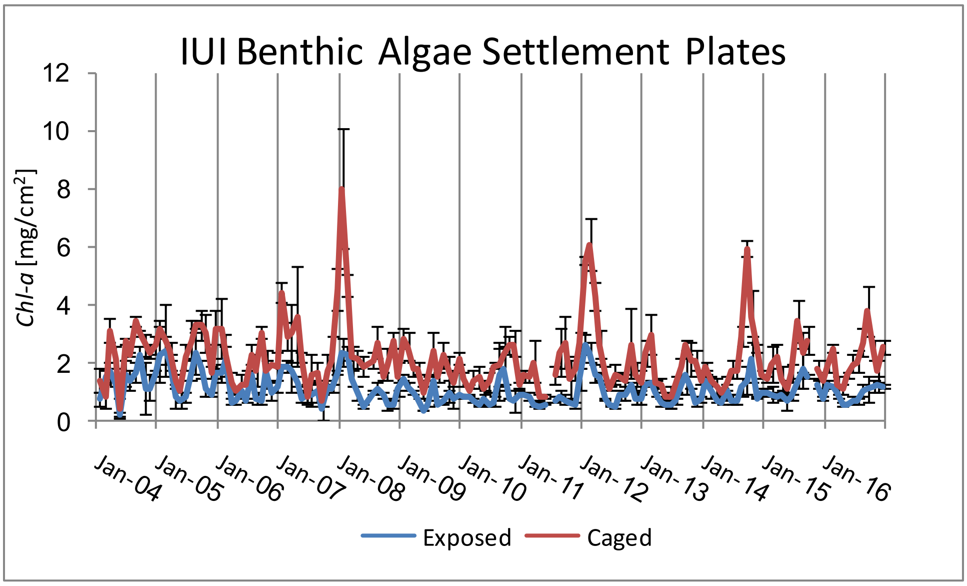
תוצאות

באתר המעבדה נמצא השנה שני שיאים בגידול האצות הפוטנציאלי, כפי שנמדד מריכוז כלורופיל על גבי לוחיות מוגנות מרעיה, בחודשים פברואר וספטמבר (איור ב43). שיאים אלה אינם גבוהים (mg/cm^2 2.51 ו- $3.77\ mg/cm^2$, בהתאמה) ומתאימים לשנים של ערבוב רדוד, כפי שנמדד בשנים האחרונות. 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, ובשנים של ערבוב רדוד, בדרך כלל להפך. שיא החורף השנה, היה מעט גבוה מזה של השנה הקודמת ונבע מההתקררות המהירה ותחילת ערבוב עמוקה, אשר נבלמה בהמשך, ואשר גרמה גם לשיא בריכוז כלורופיל בפני הים בחודש ינואר (ראו למטה, פרק מי החופים).

בספטמבר 2014 נמדד שיא בפוטנציאל פריחת אצות ישיבות שהיה חריג בעצמתו עבור שנה של ערבוב רדוד, $5.96\ mg/cm^2$, ולא נמצא לו הסבר מספק, אם כי ברור שאינו תוצאה של ערבוב עמודת המים המגיע לשיאו בחורף וגורם לשיא פריחה אז.

פוטנציאל גידול האצות הגבוה ביותר שנמדד על גבי לוחיות מוגנות מרעיה מול המעבדה הימית במסגרת תכנית הניטור היה $7.99\ mg/cm^2$, בינואר 2008, שנה בה היה ערבוב עמודת המים עמוק במיוחד.

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 ואוגוסט-דצמבר, בהתאמה לתקופות בהן פוטנציאל האצות גבוה. הריכוז הגבוה ביותר נמדד בחודש נובמבר ($1.26\ mg/cm^2$) והיה מעט גבוה מאשר בחודש ינואר. בשני חודשים אלה היתה יעילות הרעיה נמוכה, רק 26 ו-34 אחוז, בהתאמה, מפוטנציאל האצות באותם חודשים. ברוב החודשים השנה היתה יעילות הרעיה 50-70%.



איור ב43: 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).

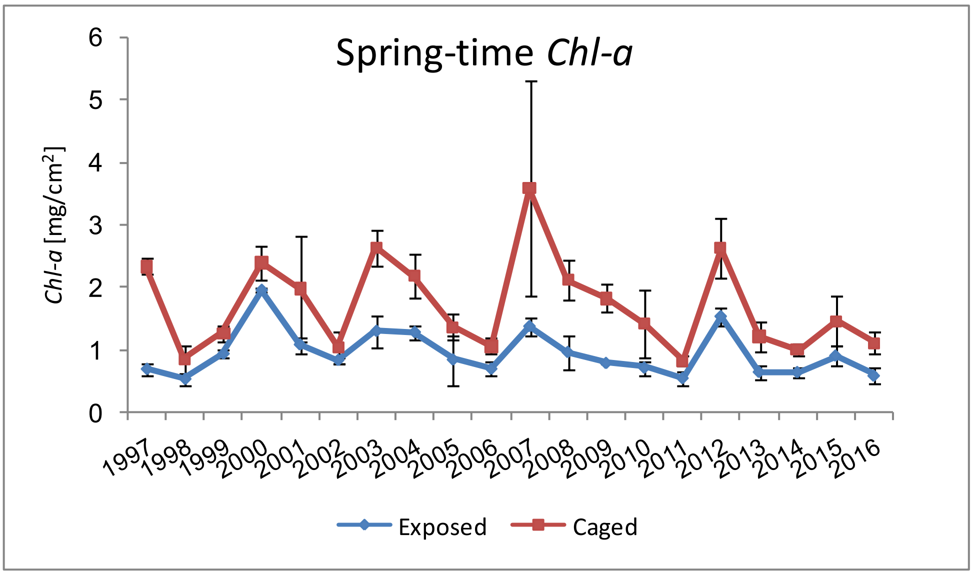
Figure B43: Average chlorophyll *a* on exposed (diamonds) and caged (squares) settlement plates since 2004. Each point represents one month (calculated as an average of three plates submerged in the sea for two months).

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 ב44). 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, ולא תמיד בהתאמה עם שנים של ערבוב עמוק.

למשל, ריכוז הכלורופיל הגבוה ביותר שנמדד בכל השנים מאז 1997 על גבי לוחיות מוגנות בחודשים מרץ-אפריל ("אביב"), היה 3.58 mg/cm^2, בשנת 2007. שנה זו היתה שנה של ערבוב עמוק, אולם שיא פוטנציאל הגידול באותה שנה נמדד בחודש ינואר, 4.43 mg/cm^2. בשנת 2008 שהיתה אף היא שנה של ערבוב עמוק נמדד, כאמור, ריכוז כלורופיל של 7.99 mg/cm^2, אולם בשנה זו פוטנציאל האצות באביב היה נמוך מאשר ב- 2007.

בכל שנה כמות האצות על גבי לוחיות החשופות לרעייה קטנה מהפוטנציאל המגולם בלוחיות המוגנות. ברוב המקרים משרעת ערכי הכלורופיל בלוחיות החשופות קטנה בהרבה מזו של הפוטנציאל, עדות ליעילות הרעייה בויסות כמות האצות. בשנים בהן פוטנציאל האצות נמוך ההבדלים בין הלוחיות החשופות והמוגנות קטנים מאד. בשנים בהן הפוטנציאל גבוה עשוי להיווצר מרווח זמן (time lag) בין הגידול המהיר של האצות ובין ויסות הגידול באמצעות רעייה. מרווח זה נגרם מירידה בלחצי הרעייה לגרם אצה בשלב בו האצות גדלות במהירות. בסיכומו של דבר, נראה כי אוכלוסיית הרועים מווסתת את גידול האצות בשונית באופן יעיל, אם כי לעיתים נדרש זמן להתגבר על עלייה מהירה בשיפעת האצות בשנים בהן פוטנציאל הגידול גבוה, ולעולם אינה מנצלת את כל האצות.



איור 44ב: 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 B44: 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 נמדדת מאז שנת 2007 בשלושה עומקים המייצגים שלוש סביבות שונות, ובהתאם לכך גם תבנית פריחת האצות הישיבות באתרים אלה אינה זהה (איור 45ב). בלגונה עומק המים נע סביב 1.5 מטרים (כתלות בגובה פני הים), ולכן עוצמת האור באתר זה גבוהה יותר מזו שבאתרים האחרים בהם הוצבו לוחות התיישבות. מאידך, אזור זה חשוף לפעולת גלים בעת סערה, והקרקע החולית אינה יציבה ועשויה לכסות את לוחיות ההתיישבות. השילוב בין לוחיות שכוסו לעיתים בחול ובין צמיחת אצות אשר לעיתים מילאו את כל כלובי ההגנה סביב הלוחות גורם לעיתים להבדלים גדולים בין שלושת מערכי הדגימה בלגונה (שגיאות תקן גדולות) ומקשה על ניתוח התוצאות. למרות זאת, אין ספק כי פוטנציאל גידול אצות ישיבות בלגונה עשוי להיות גבוה בסדר גודל מזה שבעומקים גדולים יותר. לעומת זאת, על גבי הלוחיות החשופות לרעיה בלגונה ריכוז הכלורופיל (אצות) אינו שונה באופן משמעותי מאשר בעומקים אחרים, עדות לכך שפעילות הרועים בלגונה מצליחה להתמודד גם עם פוטנציאל גבוה זה. בלגונה נצפו לעיתים שני שיאים של

פוטנציאל גידול אצות ישיבות: בחורף (ערכים גבוהים ביותר) ובאביב.

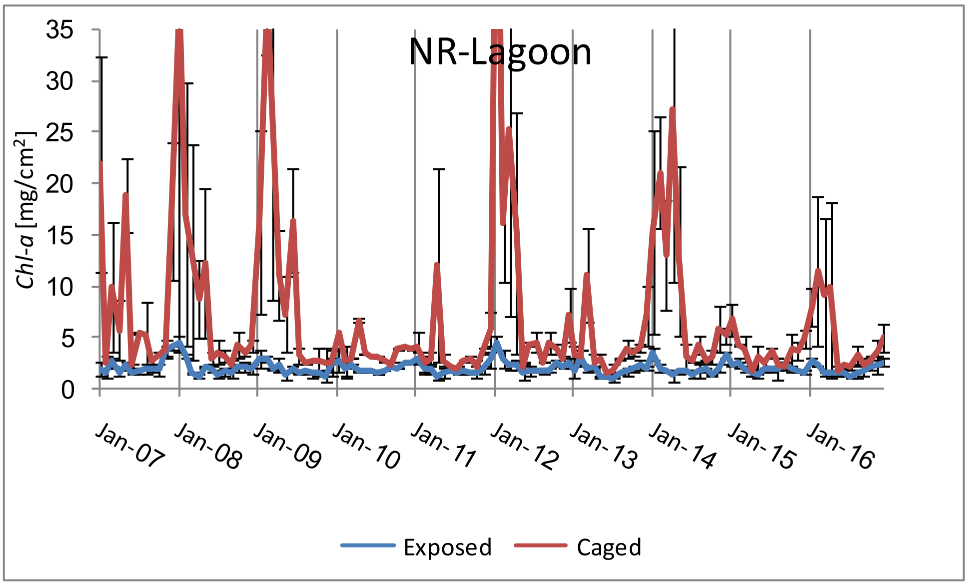
מערכי הלוחיות בעומק 5 מ' מוצבים באזור של סלע שונית המונע כיסויים בסדימנט חולי. גם כאן נמצאו לעיתים חודשים בהם אחד הכלובים המגינים על הלוחיות מרעייה התמלא לגמרי באצות. במקרים אלה התקבלו ערכי כלורופיל גבוהים מאד – ושגיאות תקן גדולות. ריכוזי הכלורופיל המרביים באתר זה נמוכים בהרבה מאלה הנמדדים בלגונה, ודומים לערכים הנמדדים באתר המעבדה הימית בעומק דומה. שיאים בפוטנציאל גידול האצות נמדדים לרוב בחורף (ערבוב) ובקיץ. גם באתר זה נמצא שרעייה מצליחה לווסת את צמיחת האצות וריכוז הכלורופיל על גבי הלוחיות החשופות נותר נמוך.

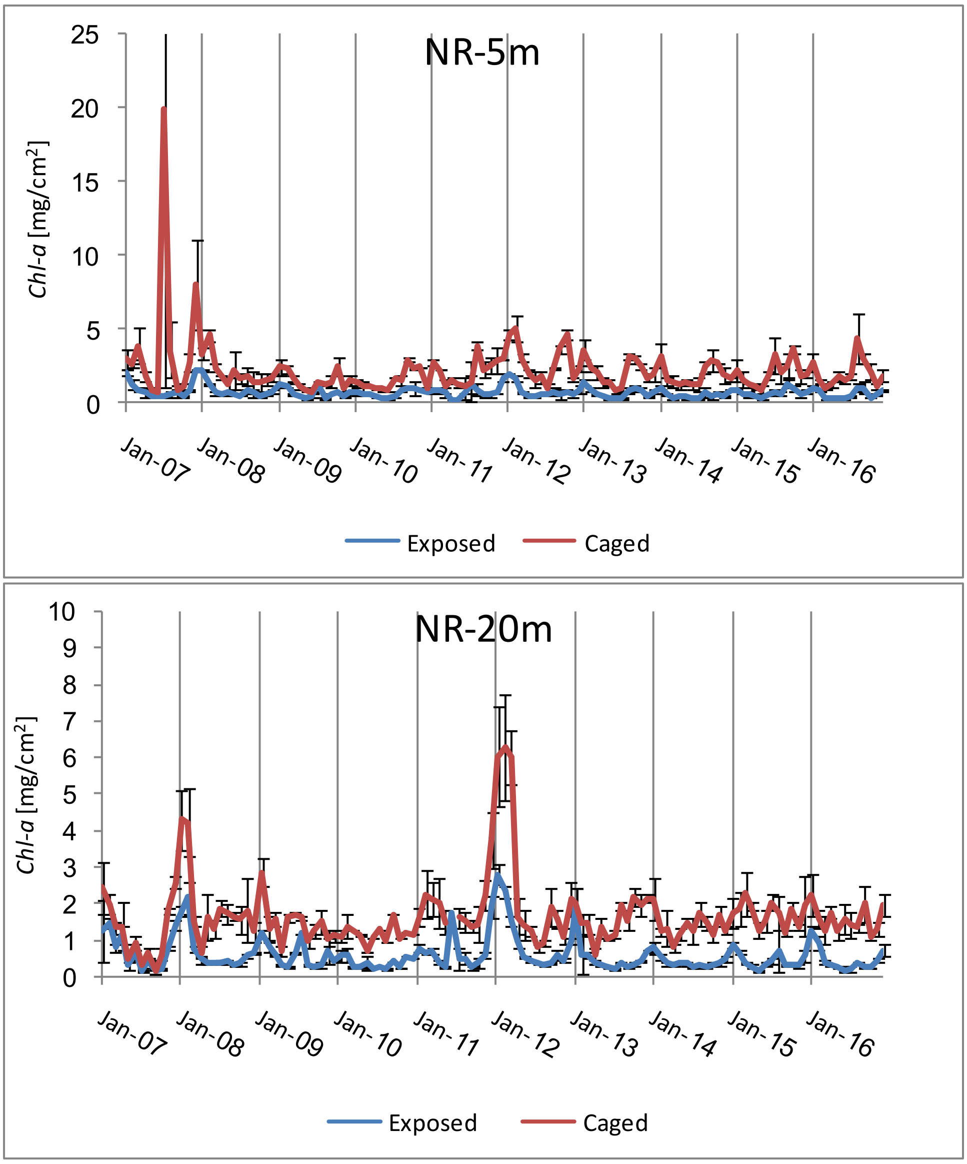
ריכוזי הכלורופיל על גבי לוחיות בעומק 20 מ' נמוכים יותר מאשר באתרים הרדודים. עצמת האור בעומק זה נמוכה יותר, והשפעת שינויים בפני הים (גלים, סערות, ותרמוקלינות יומיות) קטנה יותר. כאן משרעת הערכים של ריכוזי כלורופיל על לוחיות מוגנות קטנה יותר ושיאים נמדדו בעיקר בחורפים בשנים של ערבוב עמוק (2007, 2008, 2012). . גם בעומק 20 מ' פעילות הרועים מורידה ביעילות את ריכוז הכלורופיל על גבי הלוחיות החשופות.

השנה נמדד שיא בריכוז הכלורופיל על גבי לוחיות מוגנות בלגונה בחודשים פברואר ואפריל, עם ערך מרבי של $11.38\ mg/cm^2$ בפברואר. זהו ריכוז גבוה מאשר נמדד בשנה הקודמת, אולם לא גבוה במיוחד.

בעומק 5 מטרים נמצא השנה ריכוז מרבי של $4.40\ mg/cm^2$ בחודש אוגוסט, עם שיא נוסף, נמוך יותר ($2.75\ mg/cm^2$) בחודש ינואר. ערכים אלה דומים, אף כי מעט גבוהים יותר ומעט מוקדמים יותר מערכי השיא שנמדדו השנה מול המעבדה (ראו למעלה) ופריחת הקיץ היתה חזקה יותר מאשר בשנה הקודמת.

בעומק 20 מטרים בשמורת חוף אלמוג נמדד השנה ריכוז כלורופיל גבוה של $2.21\ mg/cm^2$ על גבי לוחיות מוגנות, בחודש ינואר וערך מעט נמוך, $1.99\ mg/cm^2$ נמדד בחודש ספטמבר. ערכים אלה נמוכים מאשר בעומקים הרדודים יותר וההבדל בין פריחת הקיץ ופריחת החורף הנובעת מערבוב, קטן.

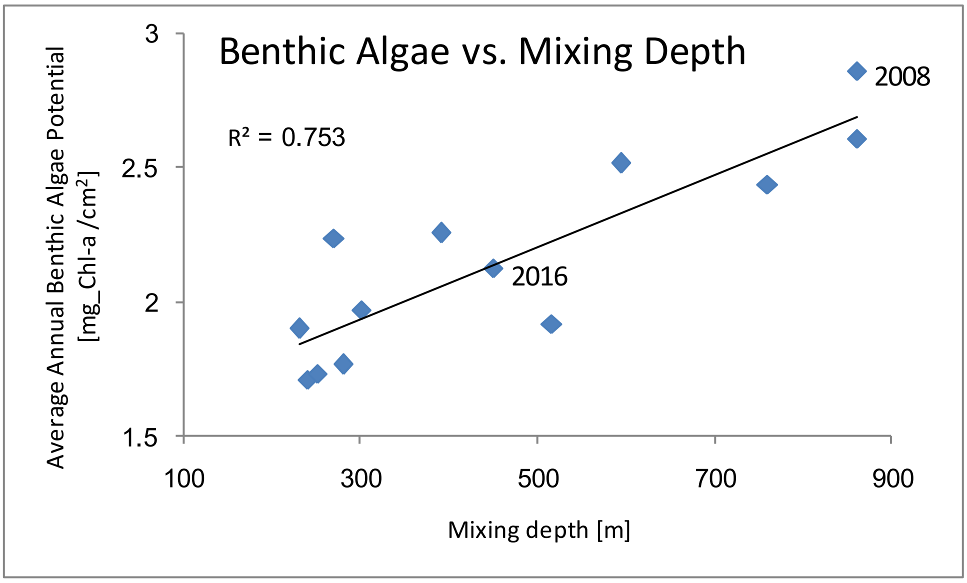




איור ב45: ממוצע כמות Chlorophyll *a* ע"ג לוחית חשופות ומוגנות בכלובים בשמורת חוף אלמוג מאז שנת 2007. כל נקודה מייצגת חודש אחד (מחושבת על-פי שלוש לוחיות ששהו בים חודשיים). למעלה – לוחיות שהוצבו בלגונה, באמצע – לוחיות מעומק 5 מטרים, למטה – לוחיות מעומק 20 מטרים.

Figure B45: 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.

השנה היתה התקררות מהירה של פני הים בתחילת החורף וערבוב עמודת המים הגיע לעומק של כ-500 מטרים בסוף ינואר-תחילת פברואר. ריכוזי *chlorophyll-a* על גבי לוחיות מול המעבדה בחורף השנה היו, בממוצע, גבוהים יותר מאשר בשנה הקודמת ($2.25\ mg/cm^2$ לעומת $1.97\ mg/cm^2$) וזאת בהתאם לעומק הערבוב המרבי שהיה השנה גדול יותר. בשנים 2007, 2008 ו- 2012 היה ערבוב עמודת המים עמוק במיוחד וריכוזי הכלורופיל על גבי לוחיות התיישבות מול המעבדה היו גבוהים במיוחד.
ההבדלים בולטים בעיקר בריכוזים הנמדדים מלוחיות מוגנות המשקפות פריחת אצות ללא ויסות על ידי רעייה. ההבדלים בין השנים בממוצע השנתי של פוטנציאל גידול אצות ישיבות מצביעים על הקשר ההדוק בין ערבוב עמודת המים ופריחת אצות ישיבות על גבי מדרונות השונית (איור ב46).



איור ב46: הממוצע השנתי של פוטנציאל פריחת אצות צמודות מצע במדרון השונית מול המכון הבינאוניברסיטאי כנגד עומק הערבוב, מאז שנת 2004.

Figure B46: The annual average potential benthic algae growth on the reef slopes across the IUI versus the mixing depth, since 2004.

ב.7. 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 בשוניות אילת (Khalaf *et al*., 2003) ובעצה אחת עם ד"ר ערן ברוקוביץ. סיווג הדגים נעשה בעזרת ד"ר רועי הולצמן לפי סוג המזון, גודל הלהקה, זיקתם לקרקעית ומיקום בעמודת המים לפי המפתח הבא:

זיקה לקרקעית –

Benthic, Bentho-pelagic, 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)

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

Piscivorous: fish and cephalopods (PC)

Omnivorous: both animal and vegetal material (OM)

הדגים נספרו בסדרה של מנסרות ישרות בעלות בסיס מלבני ברוחב 1 מ' ובאורך 7 מ' ונפח הכולל את עמודת המים בין הבסיס ופני הים. בכל פעם נדגם מערך סדור אשר מיקומו נבחר באופן שרירותי: סדרה של מנסרות סמוכות המופרדות 3 מ' זו מזו לאורך סרט מדידה. מימדי המנסרה נקבעו על פי שיקולים של טווח ראיה: על הצולל להיות מסוגל לראות את כל נפח המנסרה בבת אחת, המרחק בין מנסרות נועד לאפשר עבודה בטוחה בצלילה – קשר עין בין דוגמים.

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

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

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 ד"ר רועי הולצמן מאוניברסיטת ת"א. חלוקת הדגים לקבוצות כמפורט למעלה חושבה מחדש עבור כל השנים מאז 2007.

השנה נדגמו 26 יחידות של 7X1 7X מטרים (עומק המים) (10X) דקות עבור דגים פלגים) ובסך הכל נספרו 2975 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- 1300 פרטים.

מדגם הדגים השנה כלל 192 דגים השוכנים בצמוד לקרקעית ולמסתור, כ-2800 דגים נודדים השוכנים בקרבת הקרקעית, ומעט (2) דגים נודדים החיים בעמודת המים העליונה בנוסף ללהקות *Atherinidae* הנזכרות למעלה (טבלה ב9).

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.

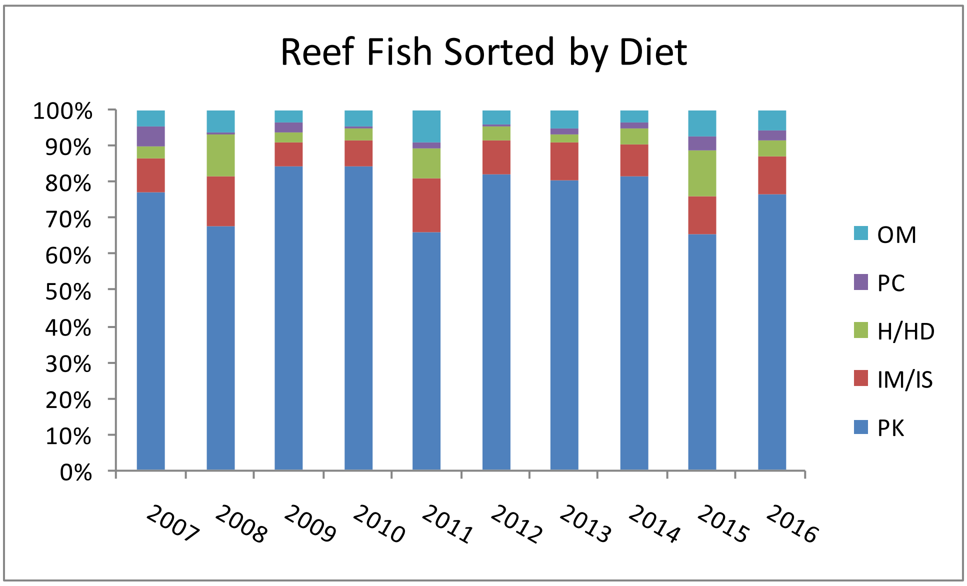
במהלך הסקר נספרו השנה 187 מושבות אלמוגים ומתוכן חצי (93) נמצאו מאוכלסות על ידי דגים.

קבוצת הדגים הגדולה ביותר היא זו של דגים הניזונים בעמודת המים (פלנקטיבורים, PK). מקבוצה זו נספרו השנה 2276 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 ברכזם חמרי מזון מהרמות הנמוכות בגוף המים.

הקבוצה השניה בגודלה היא קבוצת הדגים הטורפים חסרי חוליות ניידים ונייחים בשונית (IS/IM) מהם נספרו השנה 321 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 (121 פרטים השנה), אך חשיבותם בשונית גדולה. ביחד עם רועים חסרי חוליות, דגים אלה מווסתים את צמיחת האצות בשונית ומאפשרים שטחי שונית נקיים להתיישבות אלמוגים. קבוצות נוספות של דגים (על פי חלוקה למזון מועדף) נמצאו במספרים קטנים יותר.

חלוקת הדגים לפי הרמה הטרופית (העדפת מזון) מאפשרת התייחסות למבנה החברה והשוואה בין השנים על אף הבדלים ניכרים בגודל המדגם, ומלמדת גם על התפקוד האקולוגי של דגי השונית. יחסים כמותיים אלה בין קבוצות הדגים השונות נשמרים בשנים האחרונות ומעידים על יציבות במבנה אוכלוסיית הדגים בשונית (איור ב47).



איור ב47: התפלגות מספר דגי השונית על פי הרמה הטרופית מאז שנת 2007.

Figure B47: Distribution of the number of reef fish according to trophic level since 2007.

Taxa	Dweller*	Schooling	Diets	Water-level	Occurrence
Blenniidae/Gobiidae	Benthic	Sol	HD/OM	Bottom	38
Mullidae (parapeneus)		S-M Group	IM	Bottom	94
Pseudochromidae		Sol	IM/PK	Bottom	45
Scorpaenidae, Synanchiidae		Sol	FC/IM	Bottom	
Synodontidae		Sol/Pair	FC	Bottom	4
Pinguipedidae		Sol/Pair	FC	Bottom	7
Tetraodonitidae/Diodonitidae		Sol/Pair	OM/IM	Bot./Low	4
Acanthuridae	Bentho-Pelagic	S Group	HD	Bottom	
Zebrasoma, Z. desjardinii,		S Group	HD	Bottom	29
Ctenochaetus striatus/Acanthurus nigrofuscus		S Group	HD	Bottom	52
Balistidae		Sol	IM	Bottom	32
Chaetodontidae		S-M Group/Pair	IM/IS/OM	Bot./Low	
Heniochus sp.		S Group	PK	Low	4
Other: *C. fasciatus, C. austriacus, C. auriga, paucifasiatus, semilarvatus*		M-G/Pair	IM/IS/OM	Bot./Low	49
Labridae		Sol/S-Group	IM	Bottom	
Thalassoma sp.		S Group	IM/PK	Bottom	48
Coris aygula		Sol	IM	Bottom	3
Gomphosuse caeruleus		Sol	IM	Bottom	14
Labroides dimidiatus		Sol	IM	Bottom	12
Cheilinus lunulatus		Sol	IM	Bottom	2
Bodianus anthioides		Sol	IM	Bottom	14
Other *Labridae*		Sol/S Group	IM/PK	Bottom	6
Ostraciidae		Sol	IS/IM	Bot./Low	2
Pomacanthidae		Sol/Pair	HD/IS/IM	Bottom	2
Pomacentridae		S-L Group	OM/PK	Bot./Low	
Amphiprion bicinctus		S Group	PK	Bottom	4
Dascyllus aruanus		M Group	PK	Bottom	25
Dascyllus marginatus		M Group	PK	Bottom	111
Pomacentrus sulfureus		S Group	OM	Bottom	
Neopomacentrus miryae		L- Group	PK	Low	850
Pomacentrus trichourus		S- Group	OM	Bottom	125
Abudefduf sexatilis		S Group	OM	Low	5
Chromis dimidiata		M Group	PK	Low	33
Chromis viridis		L Group	PK	Low	701
Other Pomacentridae: *Neoglyphidon melas, Amblyglyphidon sp.*		S-L Group	OM/PK	Bot./Low	
Scaridae		Sol/S Group	HD/OM	Bot./Low	73
Pterios sp.		Sol	FC	Bottom	
Serranidae		Sol/L Group	FC/IM/PK	Low	3
Variola louti		Sol	FC	Low	13
Pseudanthias squamipinnis		L Group	PK	Low	528
Other Serranidae: *Epinephelus sp., Cephalopholis sp.*		Sol	FC	Low	30
Siganidae		Sol/Pair	OM/IM	Bot./Low	
Lethrinidae		Sol/S-M Group	IM/FC	Bot./Low	5
Atherinidae	Pelagic	L Group	PK	High	1300
Caesionidae		L Group	PK	High	2

Others	**6**
Total	**4275**
Corals with fish	**93**
Corals without fish	**94**

טבלה ב9: שכיחות דגים בחלקה הדרומי של שמורת חוף אלמוג.

Table B9: Fish abundance of at the Coral Beach Nature Reserve.

ג. ניטור הסביבה החופית

ג.1. מי הים בקרבת החוף

<u>מטרה</u>

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

<u>שיטות</u>

אחת לחודש מבוצעות מדידות של משתנים כימיים וביולוגיים על דוגמאות ממי השטח בשבע תחנות לאורך החוף הישראלי של המפרץ ובתחנת ים פתוח כפי שמפורט באיור ג1, בטבלה ג1, ובטבלת הפעילות. הדגימה נעשית מסירה בשעות הבוקר. במהלך הפלגה רציפה נלקחות משמונה התחנות דוגמאות מים מעומק של כ-1 מ' לצורך מדידות במעבדה, באמצעות בקבוק ניסקין בנפח 5 ליטר של חברת GOFLO. בנוסף, נמדדת טמפרטורת מי השטח באמצעות מד-חום כספית ונאמדת עכירות המים לפי עומק סֶקי (secchi): מדידה בה מורדת מהסירה דסקה צבועה בלבן ובעלת קוטר קבוע ונרשם העומק אשר מעבר לו לא ניתן להבחין בה. כל התחנות נדגמות בפרק זמן של כשעה וחצי.

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

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

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

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

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

כאשר $[H^+]_T$ כולל גם את ריכוז יוני $HSO4^-$.

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

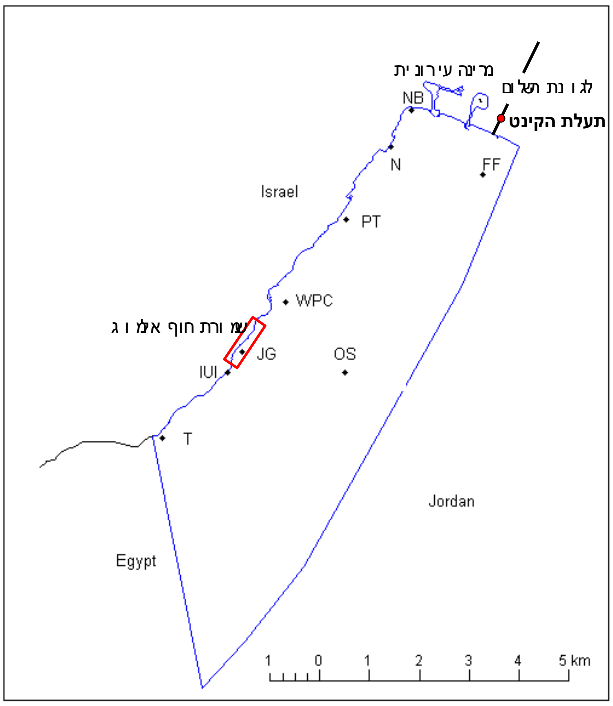
<u>מליחות</u>: מדידה במד מליחות מדגם Micro-Salinometer MS-310e של חברת RBR, קנדה. המדידה מבוססת על השראה מגנטית תוך השוואה של מוליכות הדגימה לזו של סטנדרט.

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

<u>אלקליניות</u>: נקבעת ע"י טיטרצית Gran עם HCl בריכוז 0.05N המתבצעת באמצעות טיטרטור אוטומטי מדגם DL67 ואלקטרודת pH מזכוכית (combined pH electrode) דגםDG111, שניהם של חברת Mettler Toledo, שוויץ.

<u>כלורופיל</u>: המים מסוננים דרך פילטרים מסוג GF/F. הפילטרים ממוצים באצטון 90% בחושך (במקרר 4^oC) ל-24 שעות. בתום המיצוי, ריכוז הכלורופיל והפאופיטין (Chlorophyll-a and

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



איור ג1: מפת תחנות הדיגום החופי במפרץ אילת.
Figure C1: Map of the coastal-water monitoring stations in the territorial waters of Israel in the Gulf of Eilat.

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 צפוני 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.

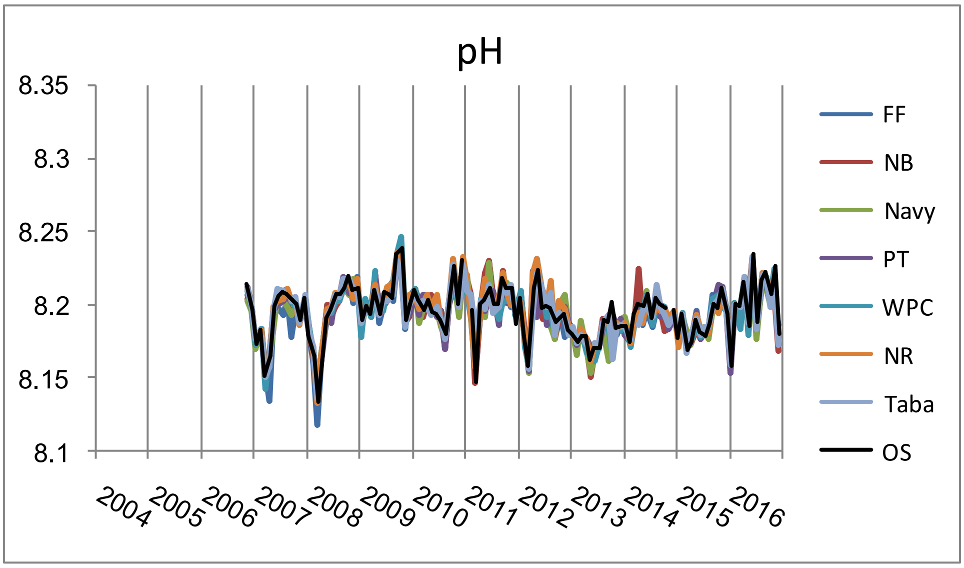
מדדים כימיים

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 אמינים. הערכים הנמדדים מאז סוף 2006 דומים לערכים שנמדדו לפני אוקטובר 2003 ומעידים על כך כי לא ניתן לאבחן מגמה ארוכת טווח של שינוי בערכי pH (בניגוד לאמור בלוח 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 גבוהים בהשוואה לשנה קודמת, מלבד בחודש ינואר בו הערבוב העלה מי עומק וערך הגבה במי השטח ירד ל- 8.158 בים הפתוח וערכים דומים בתחנות החופיות (איור ג2). ערך ה-pH הגבוה ביותר נמדד השנה בחודש יוני והגיע בים הפתוח ל- 8.234, עם ערכים דומים בתחנות החופיות. ערכים אלה 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-פוטוסינטזה, תהליכי שיחלוף גזים עם האטמוספרה, ותהליכי ערבוב של מי שטח עם מי עומק בהם ה-pH נמוך יותר. מחזור הערבוב צפוי להשפיע על כל גוף המים, בעוד יחס נשימה-פוטוסינטזה עשוי להשתנות גם באופן מקומי. המחזור השנתי של ערכי pH בכל תחנות המדידה מושפע קרוב לודאי על ידי מחזור הערבוב השנתי. בתקופת החורף מתערבבים מי השטח עם מים עמוקים בהם ה-pH נמוך כתוצאה מעודף נשימה על פוטוסינטזה. בעונת הקיץ מופרדים מי השטח ומי העומק, ובמים העליונים פעילות פוטוסינטטית גורמת לעליית ה-pH. ערכי pH נמוכים ביותר נמדדו בשנות הערבוב העמוק 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.

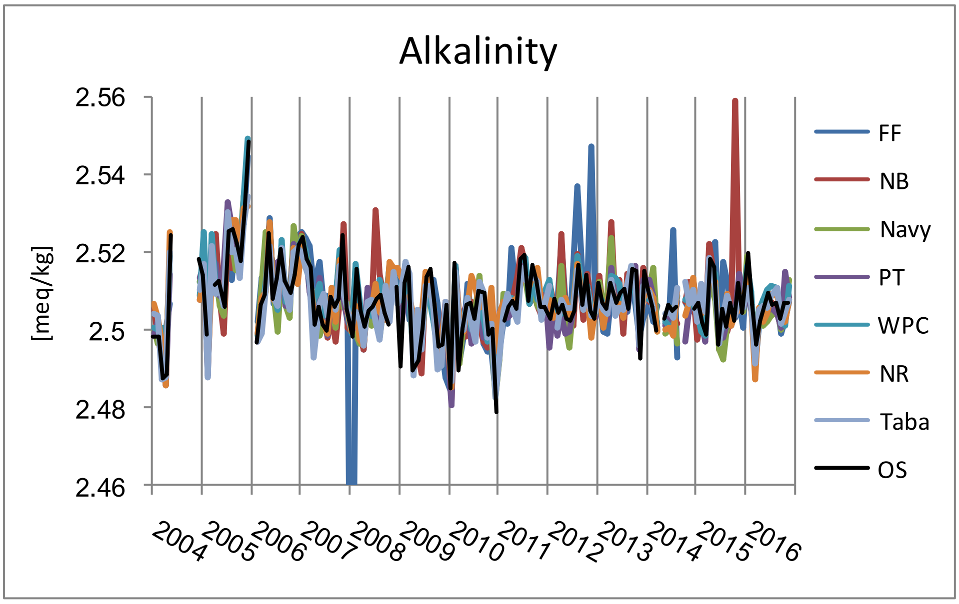
אלקליניות

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

השנה טווח ערכי האלקליניות בין התחנות היה קטן, וערכים הנמדדים אינם חריגים בהשוואה למדידות השנים הקודמות. חודש מרץ הוא הזמן בו נמדדו ההפרשים הגדולים ביותר בין התחנות, כאשר הערך המזערי השנה נמדד בתחנת שמורת האלמוגים בחודש זה, 2.487 [meq/kg], עם ערך נמוך גם בטאבה אך לא בים הפתוח. זוהי האלקליניות הנמוכה ביותר אשר נמדדה מאז חורף 2010-1 (איור ג3). מדידות האלקליניות בתחנת הים הפתוח מראים בשנים האחרונות תבנית דומה, כאשר בשנים הקודמות לשנת 2011 נמצאו תנודות גדולות אלקליניות גדולות יותר.

ערך האלקליניות הגבוה ביותר אשר נמדד עד כה במסגרת תכנית הניטור הוא 2.559 [meq/kg], בתחנת "החוף הצפוני" בחודש אוקטובר בשנה הקודמת. 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, אולם ערכי אלקליניות גבוהים נמדדו בשנים עברו בתחנות הצפוניות. השנה לא נמצאו ערכי אלקליניות גבוהים במיוחד בתחנות אלה.

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. משרעת הערכים הנמדדת מאז 2011 בים הפתוח קטנה מזו המאפיינת את מדידות השנים שקדמו לה.



איור ג3: אלקליניות בתחנות הדיגום החופי מאז שנת 2004.

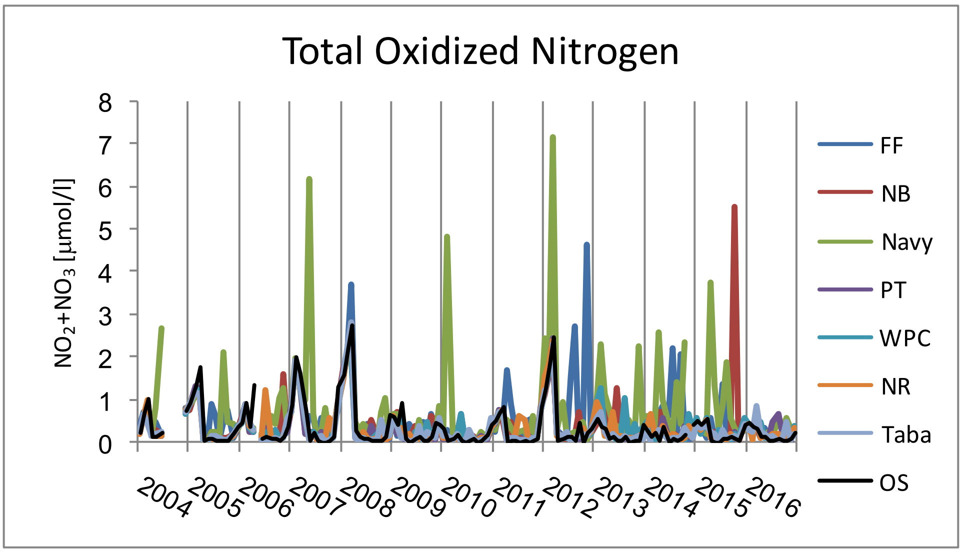
Figure C3: Monthly alkalinity at the coastal water sampling stations since 2004.

חנקן אנאורגאני מחומצן (Total Oxidized Nitrogen = NO_3 + 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 "אוליגוטרופית" בה השכבה הפוטית (שכבת המים העליונה) ענייה בנוטריינטים, מכיוון שאלו נצרכו על ידי פיטופלנקטון ואין ערבוב בין מי השטח (העניים בנוטריינטים) למי העומק (שם מצטברים נוטריינטים). ערבוב עמודת המים בחודשי החורף מביא להעשרת מי השטח בחנקן מחומצן שמקורו במים העמוקים. לפיכך ערכי חנקן אנאורגאני

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

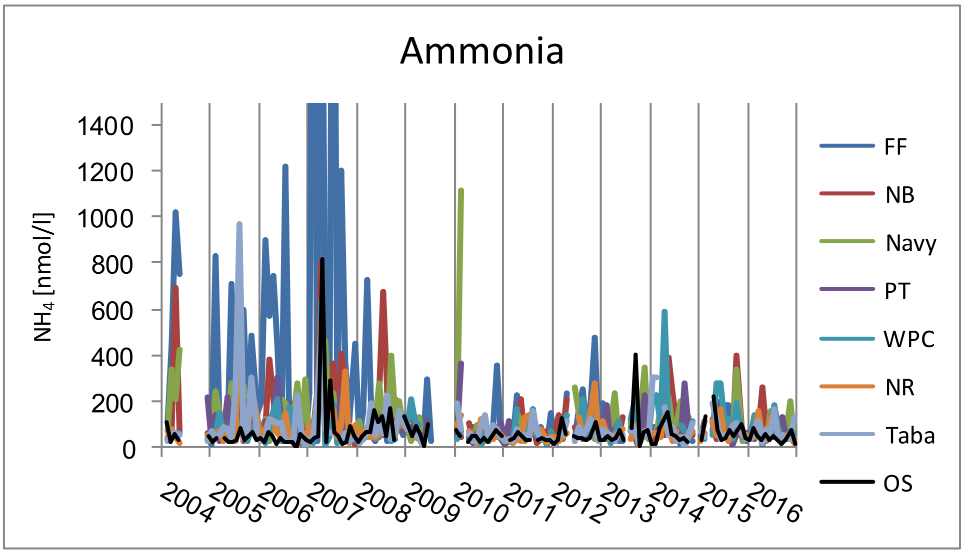
ריכוז החנקן הגבוה בים הפתוח היו השנה 0.464 µmol/l, בחודש ינואר, נמוך מעט מהערך הגבוה של השנה הקודמת ואפייני לתקופת החורף בשנים של ערבוב רדוד (איור ג4). השנה היתה משרעת ריכוזי החנקן בין התחנות החופיות קטנה ולא נמדדו ריכוזי חנקן חריגים.
החריגה הגדולה ביותר בריכוזי החנקן המחומצן מאז 2012, נמדדה בחודש אוקטובר 2015 בתחנת החוף הצפוני 5.518 µmol/l. ערך זה משקף כניסת מי נגר לים בעקבות סופת גשמים.
ריכוזי חנקן חריגים בתחנת חיל הים\מרידיאן הינם תופעה כמעט קבועה בשנים האחרונות, אך השנה לא נמדדו ערכים גבוהים באופן חריג בתחנה זו.



איור ג4: 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.

<u>אמוניה (NH_4)</u>
קשיי דגימה אשר מקורם בבלאי מתמשך של בקבוקי הדגימה גרמו לכך שבתקופה מסויימת הועברו מים מהבקבוקים לכלי המעבדה בזמן ההפלגה. תהליך זה גרם לעיתים לזיהום של דוגמאות האמוניה, אשר מדידתם רגישה ביותר, ועקב כך רבים מערכי האמוניה אשר נמדדו לא עמדו במבחן בדיקות האיכות ואינם מובאים להלן. תכנית הניטור רכשה בשנת 2009 בקבוקי דגימה (Go-Flo) נוספים על מנת להבטיח איכות המדידות. נראה כי המדידות נקיות יותר מאז תחילת השימוש בציוד החדש.

האמוניה היא צורת חנקן זמינה מאד ונצרכת במהירות על ידי פיטופלנקטון וחיידקים, ועל כן ריכוזה בים (ובפרט בתנאים אוליגוטרופיים) צפוי להיות נמוך ביותר. ריכוזי אמוניה גבוהים מעודדים גידול אצות העשויות לפגוע בשונית. מכיוון שהאמוניה נצרכת במהירות על ידי פיטופלנקטון, נוכחות אמוניה במים מעידה על מקור העשרה מקומי.
לרוב נמדדים בתחנות החופיות ריכוזי אמוניה גבוהים מאשר בתחנת הים הפתוח, אך השנה ההבדלים בין התחנות קטנים מאלו שנמדדו בשנים האחרונות (איור ג5). 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 259 nmol/l – בחודש אפריל בתחנת החוף הצפוני. נמוך בהרבה מהערכים הגבוהים של השנים האחרונות.



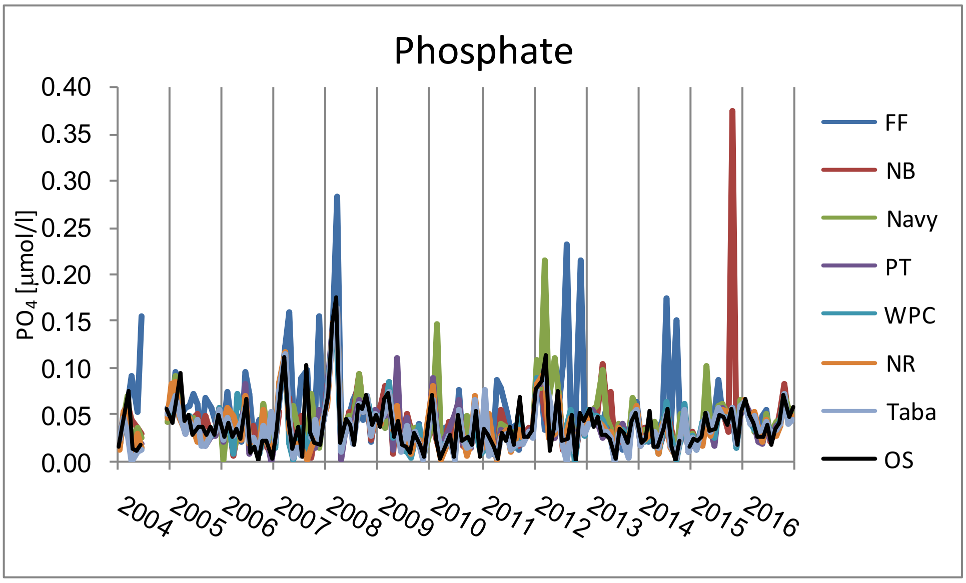
איור ג5: ריכוזי אמוניה (NH_4) בתחנות הדיגום החופי מאז שנת 2004.

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

<u>פוספט (PO_4^{-3})</u>

ריכוזי פוספט בתחנות החופיות ובים הפתוח מראים מחזוריות שנתית חלשה של ערכים גבוהים יחסית בחורף ונמוכים בקיץ. הפוספט גם הוא נוטריינט חשוב ליצרנות ראשונית, ועל כן ריכוזו בפני הים בקיץ נמוך עקב צריכה בתהליך הפוטוסינטזה. 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, בדומה לשנים האחרונות, היו ריכוזי הפוספט בים העמוק ובתחנות החופיות נמוכים. בנוסף לכך, גם בריכוזי פוספט לא נמדדו השנה ריכוזים חריגים ומשרעת הערכים קטנה ונעה סביב ערכי הים הפתוח (איור ג6). הריכוז המרבי אשר נמדד השנה היה 0.082 µmol/l בחודש אוקטובר בחוף הצפוני, נמוך בסדר גודל מהערך הגבוה אשר נמדד שם באוקטובר השנה הקודמת (0.374 µmol/l, הגבוה ביותר שנמדד עד כה בתכנית הניטור) כתוצאה מכניסת מי נגר לים. הריכוז הגבוה ביותר אשר נמדד השנה בים הפתוח היה 0.071 µmol/l גם כן בחודש אוקטובר, ערך מעט גבוה מערכי השנים האחרונות וכמחצית הריכוז שנמדד בשנת 2012 בה היה ערבוב עמוק.



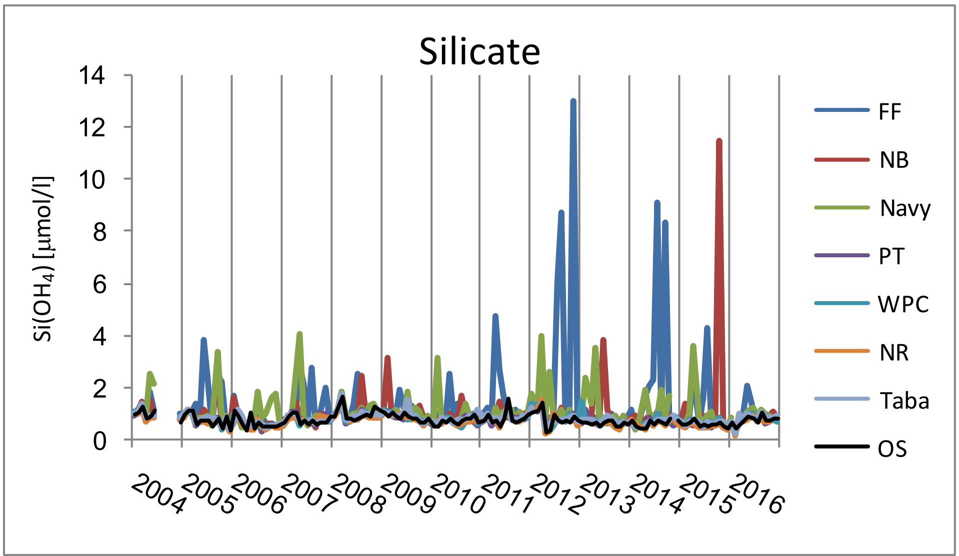
איור ג6: ריכוזי פוספט (PO_4) בתחנות הדיגום החופי מאז שנת 2004.

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

<u>סיליקה ($Si(OH)_4$)</u>

סיליקה היא רכיב מומס המשמש בהשקעת שלד צורני במגוון גדול 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 הערך הגבוה ביותר 1.05 µmol/l, בחודש אוגוסט, מעט גבוה מאשר בשנה הקודמת (איור ג7). גם בריכוזי הסיליקה היתה השנה משרעת נמוכה בהשוואה לשנים הקודמות, והריכוז הגבוה ביותר אשר נמדד השנה בתחנות החופיות היה µmol/l 2.04 בתחנת "כלובי הדגים". ריכוז זה, על אף שהוא כפול מריכוז הסיליקה בים הפתוח, נמוך בסדר גודל מהריכוז הגבוה שנמדד בחוף הצפוני באוקטובר השנה הקודמת, 11.45 µmol/l.



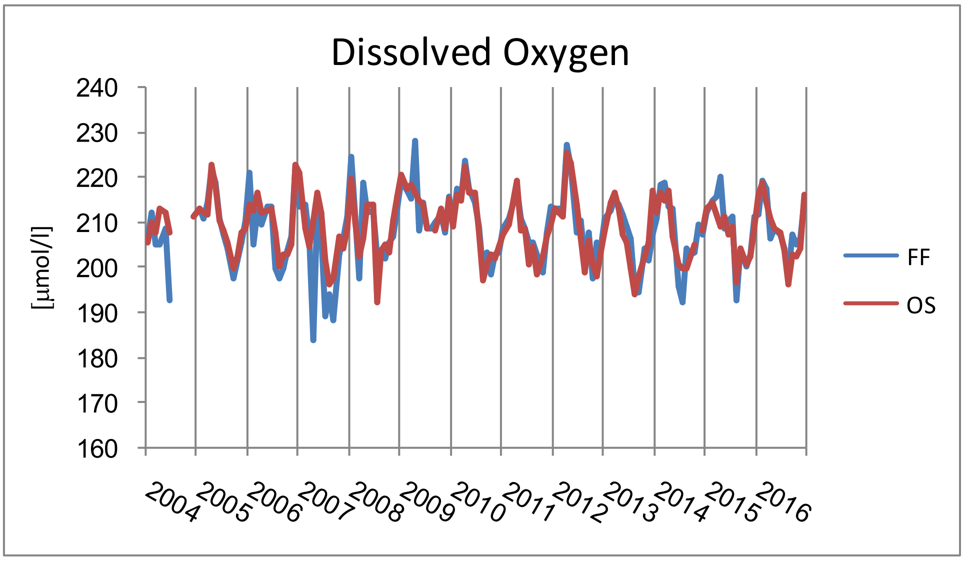
איור ג7: ריכוזי סיליקה ($Si(OH)_4$) בתחנות הדיגום החופי מאז 2004.

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

<u>חמצן מומס</u>

חמצן מומס נמדד בשתי תחנות, בתחנת "כלובי הדגים" שבחוף הצפוני ובתחנת הים הפתוח. ריכוז החמצן המומס עולה בחודשי האביב, ויורד בקיץ-סתיו. שני גורמים צפויים להשפיע על ריכוז החמצן המומס: טמפרטורה ותהליך הנשימה/פוטוסינטזה. בטמפרטורה נמוכה עולה מסיסות 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 מחזורים של פריחות פיטופלנקטון וקריסתן. לא צפויים להיות הבדלים במרחב (בין התחנות השונות) בריכוזי החמצן המומס.

משרעת הריכוזים של חמצן מומס בתחנת הים הפתוח נעה השנה בין 219 µmol/l בחודש פברואר ל- 196 µmol/l באוגוסט, דומה לריכוזי השנה הקודמת. אלה ריכוזים אופייניים לשנים של ערבוב רדוד ובסך הכל אין הבדלים גדולים בריכוזי החמצן המומס בים בשנים האחרונות (איור ג8). שיאים של ריכוז גבוה נמדדו בשנים 2007, 2008, 2012 בהן היה הערבוב עמוק. בתחנת כלובי הדגים נמדדה השנה משרעת ריכוזים דומה, 219 µmol/l בחודש פברואר ו- 198 µmol/l בחודש אוגוסט.



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

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

<u>כלורופיל *a*</u>

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

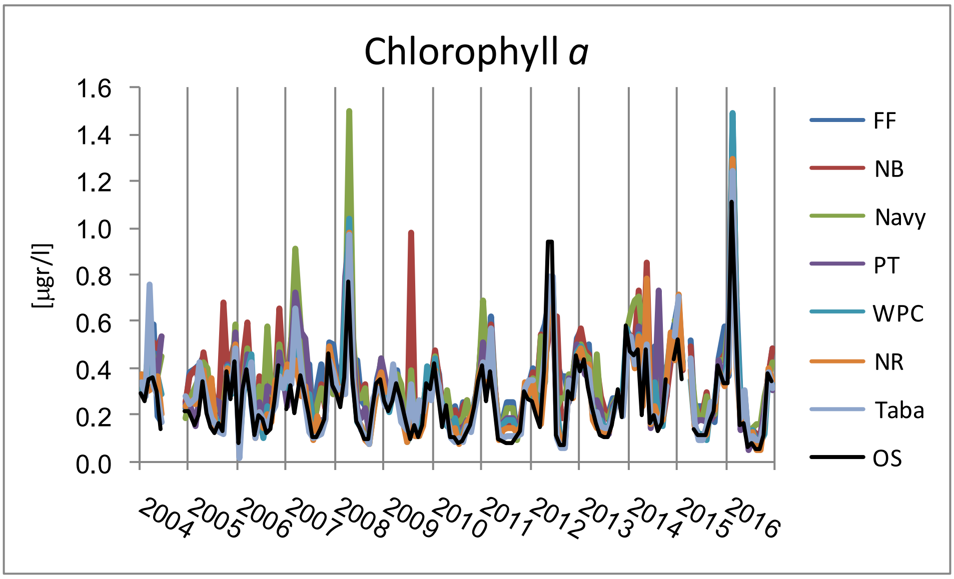
ריכוז כלורופיל *a* משמש מדד לצפיפות הפיטופלנקטון במי השטח ועל כן בעל אופי מקומי יותר מריכוזי התרכובות המומסות (הן בזמן והן במרחב). בימים אוליגוטרופיים (=עניים בחומרי מזון) מוגבלת כמות האצות על ידי זמינות נוטריינטים, לכן, אספקת נוטריינטים עשויה לגרום לפריחה מקומית של אצות. עליית ריכוז הכלורופיל בחודשי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

בחודש ינואר השנה נמדד שיא בריכוזי כלורופיל בים הפתוח וברוב התחנות, עם ערך מרבי של 1.50 µgr/l בתחנה למניעת זיהום ים, דומה לריכוז הגבוה שנמדד בשנת 2008 (איור ג9). ריכוז כלורופיל של 1.11 µgr/l נמדד בחודש זה בים הפתוח וזהו הריכוז הגבוה ביותר שנמדד בתחנה זו במסגרת מערך הדגימה החופי בתכנית הניטור.

ריכוזי הכלורופיל הגבוהים בחודש ינואר השנה נובעים כנראה מהתקררות חזקה ותחילתו של ערבוב עמוק בחודשים ינואר-פברואר השנה (ראו למטה). התקררות המים נבלמה בהמשך והערבוב השנה לא היה עמוק באופן חריג. על אף זאת, כנראה שלאחר שנים של ערבוב רדוד מאד המערכת נמצאה במצב של רעב גדול לנוטריינטים והעמקת הערבוב המהירה בינואר הביאה לצמיחת פיטופלנקטון מהירה, פריחה מוגבלת בזמן.

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 השנה 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 השנה לא היו גבוהים באופן מיוחד. ריכוזי הכלורופיל בתחנות החופיות עקבו אחר תבנית זו, אולם בערכים מרביים גבוהים יותר. בסך הכל לא נמצאו השנה חריגות בריכוזי כלורופיל המצביעים על פריחות פיטופלנקטון מקומיות בתחנות החופיות, כפי שנמצא מדי פעם בשנים קודמות.

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. בשנתיים האחרונות ההבדלים בריכוזי הכלורופיל בין התחנות קטנים.



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

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

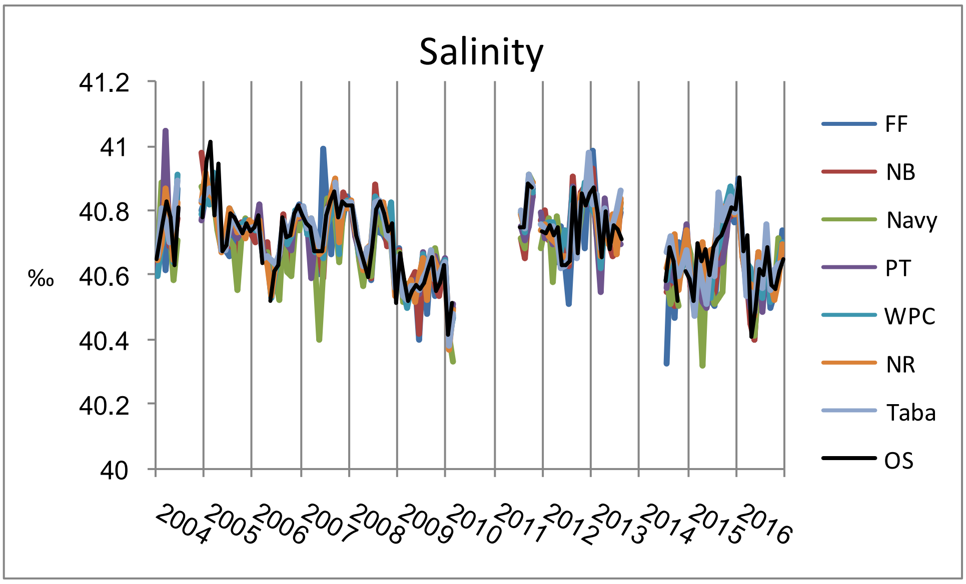
מדדים פיסיקליים

<u>מליחות</u>

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

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

הערך הנמוך ביותר בים הפתוח נמדד השנה בחודש אפריל (40.407‰) והגבוה ביותר נמדד בינואר (40.905‰). משרעת זו גדולה ממשרעת הערכים שנמדדה בשנים האחרונות אולם מליחויות אלה אינן חריגות בהשוואה למדידות המליחות בשנות הניטור הקודמות (איור ג10). ערכי המליחות אשר נמדדו השנה בתחנות החופיות אינם שונים בהרבה מערכי הים הפתוח ונראה כי גם במשתנה זה לא היו השנה חריגות מקומיות בתחנות המנוטרות.



איור ג10: מדידות מליחות בתחנות הדיגום החופי מאז שנת 2004. ***מרווחים בנתונים נובעים מתקלות במכשיר המדידה.***

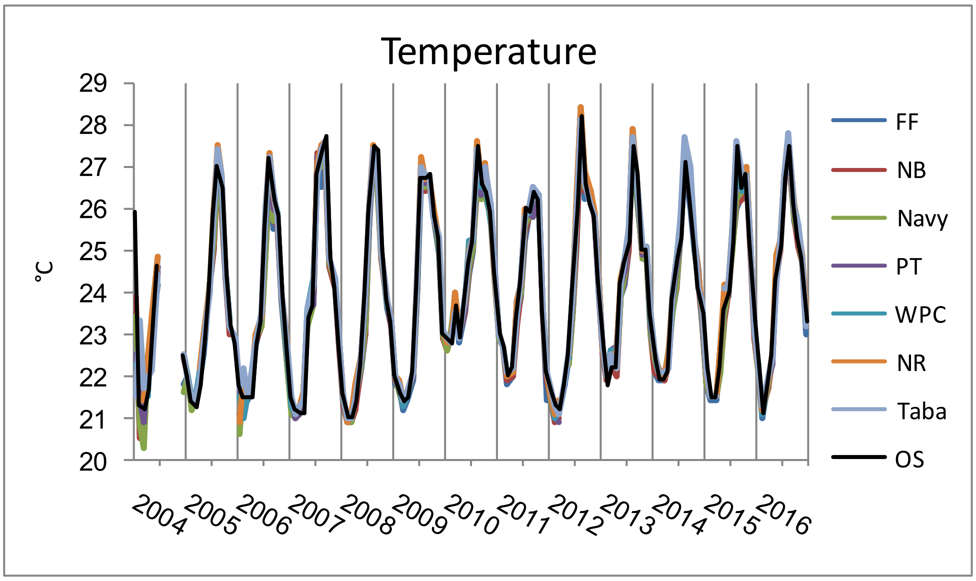
Figure C10: Salinity at the coastal water sampling stations since 2004. ***Gaps in the data reflect failure of the analytical instrument.***

טמפרטורה

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.

בחודש פברואר השנה נמדדה טמפרטורת פני ים של 21.0-21.2 °C בכל התחנות, טמפרטורה נמוכה באופן משמעותי מהערך המזערי שנמדד בשלוש השנים הקודמות, ודומה לערך המזערי שנמדד בשנת 2012 בה היה ערבוב עמודת המים עמוק (איור ג11). אולם, לאחר ההתקררות הנכרת של פני הים בחודשים ינואר-פברואר, הטמפרטורה אשר נמדדה בחודש מרץ היתה 21.8 °C, גבוהה מאשר בשנה הקודמת, וערבוב עמודת המים נבלם. פני הים לא חזרו להתקרר, ומחזור הטמפרטורות בהמשך השנה היה דומה לזה של השנים האחרונות, עם טמפרטורה מרבית של 27.8 °C בטאבה, ו- 27.5 °C בים הפתוח בחודש אוגוסט. טמפרטורות אלה גבוהות מהטמפרטורות המרביות אשר נמדדו בשנה הקודמת. הטמפרטורה המרבית שנמדדה לאורך החופים במסגרת הניטור היתה 28.4 °C, בקיץ 2012.

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



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

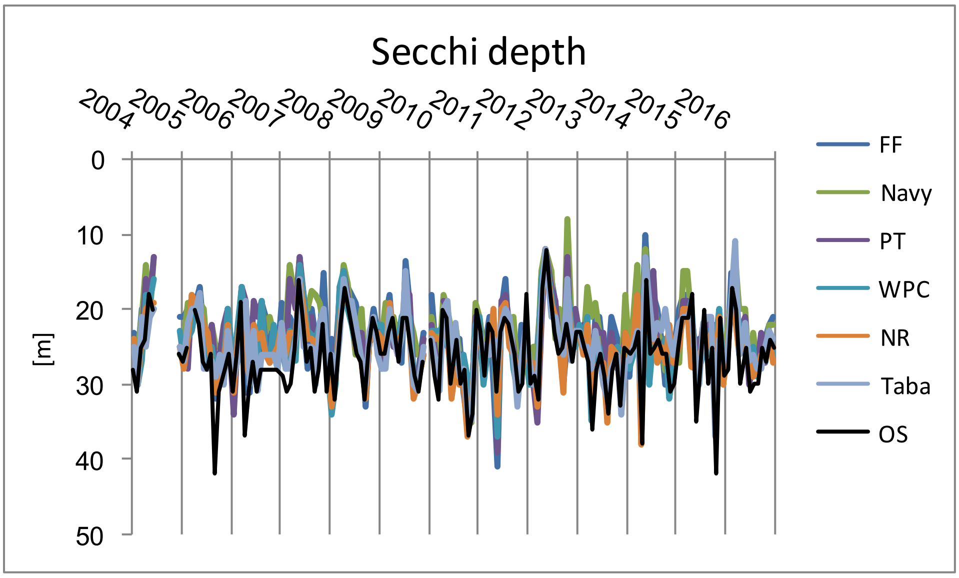
Figure C11: Temperature at the coastal water sampling stations since 2004.

<u>עכירות</u>

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

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

השנה נמדד בים הפתוח עומק מזערי של 17 מ' בחודש פברואר (איור ג12). העומק המזערי שנמדד השנה היה 11 מטרים בלבד, בטאבה שבקצה החוף הדרומי, והסיבה לכך אינה ברורה. העומק המרבי בים הפתוח נמדד השנה בחודש יוני, 31 מ', קטן בהרבה מהעומק המרבי שנמדד בחודש אוקטובר בשנה הקודמת (42 מ').



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

Figure C11: Secchi depth measurements at the coastal water sampling stations since 2004.

דיון

ערכי רוב המדדים במי השטח גבוהים יותר בחודשי החורף מאשר בקיץ. התהליך השולט ברוב המדדים הכימיים, הפיסיקליים והביולוגיים הנמדדים בתחנות הניטור החופיות הוא מחזור הערבוב השנתי. מחזור זה נשלט על ידי קירור וחימום מי השטח, אשר להם מחזוריות עונתית ברורה. בעונת החורף טמפרטורת מי השטח דומה לטמפרטורה בעומק, ונוצר גוף מים אחיד במאות המטרים העליונים במפרץ. מים חמים בפני הים בקיץ 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 מבודדת את המטרים העליונים של מי השטח משאר המים העליונים. המיהול המוגבל במקרה שכזה עלול להביא לכך שזיהום כלשהו בפני השטח יביא לריכוזים גבוהים במיוחד של החומר המזהם בפני המים.

עבור המדידות החופיות, ריכוזים המוגדרים כחריגים הם כאלה השונים משמעותית מהריכוזים הנמדדים בתחנות האחרות, ובפרט בתחנת הים הפתוח אשר עבורה מקור זיהום מקומי אינו סביר, ואם היה כזה, המהילה שם רבה יותר מאשר בקרבת החוף.

בשנים האחרונות, על אף קירור מוקדם של עמודת המים בתחילת החורף, התהליך נעצר ועומק הערבוב קטן. מאז שנת 2012 נע עומק הערבוב בין 250 ל-300 מטרים בלבד. עובדה זו השפיעה על ריכוזי הנוטריינטים שנמדדו בחודשי החורף (נמוכים) ועל עצמת פריחות פיטופלנקטון בסוף החורף (קטנה). השנה התקררו פני הים במהירות בחודשים ינואר-פברואר והחל תהליך של ערבוב עמודת המים שהגיע לעומק של כ- 475 מטרים. אולם התקררות המים נפסקה, פני הים התחממו ותהליך הערבוב נבלם בחודש מרץ. הערבוב המהיר בתחילת החורף גרם לפריחת פיטופלנקטון וריכוזי הכלורופיל שנמדדו בחודש ינואר בכל התחנות היו גבוהים במיוחד.

ערבוב עמודת המים הוא הגורם העיקרי המשפיע על הדינמיקה המחזורית של רוב המשתנים הנמדדים לאורך החוף. כתוצאה מעצירת תהליך הערבוב בשלב מוקדם השנה, היו רוב הערכים הנמדדים במי החופים נמוכים ברוב החודשים. מלבד השיא בריכוז כלורופיל בחודש ינואר, נמדדו השנה ערכים דומים לערכי שנים בהן ערבוב עמודת המים רדוד, והשנה אופיינה במשרעת קטנה מאד בין התחנות ובהעדר חריגות מקומיות מן התבנית הכללית.

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 השנה לא נמדדו כל חריגות.

ג.2. טפילים ומחלות בדגים לאורך חופי אילת

מטרה

סקר מחלות וטפילים בדגי חוף נועד לזהות ולכמת גורמי פגיעה עיקריים בדגים, ולבצע מעקב אחר מצאי המחלות והטפילים לאורך זמן. מצאי הטפילים ההטרוקסנים משמש כמדד לבריאות המערכת בהיותם מאוכסנים על ידי מינים אחרים 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 בפתוגנים.

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 החיים המורכב ממספר של מאכסנים שונים). מין זה שימש בעבר למטרות דומות (למשל, Diamant *et al*., 1999, Dzikowski *et al.*, 2003) וקיים מידע רב על פאונת הטפילים המתקיימת בו. בנוסף לכך, מין זה נפוץ מאד וחי בלהקות גדולות כך שניתן ללכוד פרטים ממנו בקלות יחסית.

דגי בר מהסוג סיכן נתפסים חיים על ידי צוללים באזור החוף הדרומי של אילת (המכון הבינאוניברסיטאי/שמורת חוף אלמוג). תפיסת הדגים נעשית בשעות הלילה בעזרת רשתות יד. הדגים מוחזקים חיים במיכל מי ים עד לנתיחתם (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 הטרוטקסני הכולל בנוסף לסיכן, על פי המשוער, גם סרטן זעיר מקבוצת האמפיפודה. ממערכה זו נבדק המין *Sclerocollum rubrimaris (Scler.)*. דגי הסיכן מהווים מאכסנים סופיים של מין זה.

Digenea- הסיכנים הם מאכסנים סופיים למינים המתפתחים בשלבים הלרוויים ברכיכיות 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 חושבו באמצעות תכנת EstimateS, והשוואת עושר מיני הטפילים בין השנים נעשתה בעזרת מעריך Jacknife 1 אשר חושב גם הוא מתוך תכנת EstimateS. זו השיטה המועדפת לניתוח עושר אוכלוסיות טפילים כאשר גודל המדגם קטן יחסית (Walther & Morand, 1998).

תוצאות

השנה נתפסו על ידי תכנית הניטור 26 דגי סיכן מהמין *Siganus rivulatus* (סיכן משויש). דגים אלה נותחו ונמצאו בהם בסך הכל 165 טפילי מעיים השייכים לחמישה סוגים הטרוקסנים (טבלה ג2). במסגרת תכנית הניטור אנו עוקבים אחר ששה מינים של טפילי מעיים בדגים, אך בכל שנה נתפס גודל מדגם שונה של דגים מאכסנים ולא בכל שנה מזוהים בו כל המינים המוכרים. השנה זוהו חמישה מיני טפילים ב-26 דגי הסיכן המשויש אשר נתפסו מול המכון הבינאוניברסיטאי (לעומת שלושה מינים בלבד שנמצאו ב-28 דגים בשנה הקודמת). הטפיל *Gyliauc.* נעדר מדגי הסיכן המשויש באזור המכון הבינאוניברסיטאי כבר מספר שנים.

להשלמת מחזור חייהם נדרשים לטפילים הטרוקסנים מספר "מאכסנים" שונים החיים בגומחות אקולוגיות שונות, ועל כן ירידה ניכרת בנוכחותם 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.

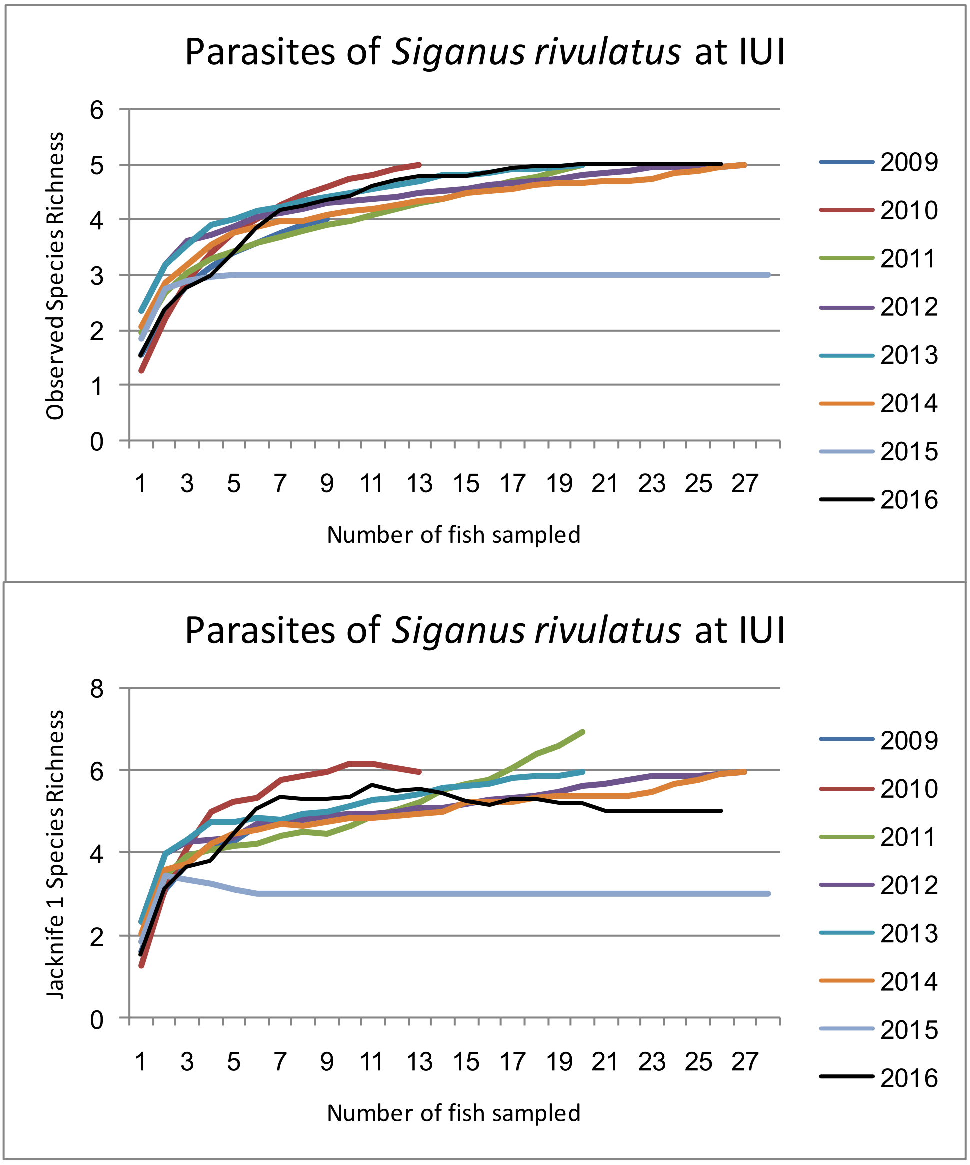
						Parasite						
No.	**location**	**weight (gr)**	**length (cm)**	**fork length (cm)**	**sex**	***Scler.***	***Gyliauc.***	***Proc.***	***Cucul.***	***Opist.***	***Hexan.***	***date***
2710161	IUI	147.3	23	8	ND	6		7			1	27.10.16
2710162	IUI	118.7	20	7	ND	2		6				27.10.16
2710163	IUI	166.7	23.5	8	ND			2				27.10.16
2710164	IUI	165.6	23.5	8	ND	2		3				27.10.16
2710165	IUI	169.9	24	8.5	ND			3				27.10.16
2710166	IUI	168	23.5	8	ND	1		2		1	3	27.10.16
1810161	IUI	215.7	24	8.5	ND	17		2				18.10.16
1810162	IUI	206.8	25.5	7.5	ND			5				18.10.16
1810163	IUI	202.3	26	9	ND	13		1		1		18.10.16
2911161	IUI	223	27	8	ND	1		1				29.11.16.
2911162	IUI	174.9	25.5	9	ND			1			1	29.11.16.
2911163	IUI	183.7	24	8	ND			1				29.11.16.
2911164	IUI	158.5	23.5	8	ND	18		2				29.11.16.
2911165	IUI	187	24.5	7.5	ND	25						29.11.16.
2911166	IUI	128	21	7.5	ND						2	29.11.16.
712161	IUI	186.9	24	8	ND			3				7.12.16
712162	IUI	139.1	21.5	7.5	ND	1		1				7.12.16
712163	IUI	190.2	23.5	7	ND			2			2	7.12.16
712164	IUI	127.8	21	6.7	ND							7.12.16
912161	IUI	167	22.5	7.5	ND			1				9.12.16
912162	IUI	156.5	23	7.5	ND	5		2	3			9.12.16
912163	IUI	118.2	20.5	6.7	ND							9.12.16
912164	IUI	102	20.5	7.3	ND	1					1	9.12.16
2012161	IUI	188.1	24	8.6	ND			1	1			20.12.16
2012162	IUI	182.3	24	7	ND			1	2	3	3	20.12.16
2012163	IUI	168.6	22.5	7.5	ND			2				20.12.16

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

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

לצורך השוואה בין השנים נבנו עקומות צבירה (rarefaction) המראות עד כמה לוכד המדגם את עושר המינים הקיימים (איור ג13). מתוך עקומות אלה נראה כי השנה שוב נמצאו חמשת מיני הטפילים אשר נמצאו ברוב שנות הניטור, אם כי העקומה המתונה יחסית השנה מצביעה על שכיחות נמוכה יותר. נראה כי המצאי החסר בשנה הקודמת היה מקרי או זמני בלבד.

הערכת עושר המינים "האמיתי" באמצעות המעריך Jacknife 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 3 בלבד והשנה עלה ל-5: גבוה מאשר בשנה הקודמת אך נמוך מהמחושב לרוב שנות הניטור.



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 Jacknife-1.

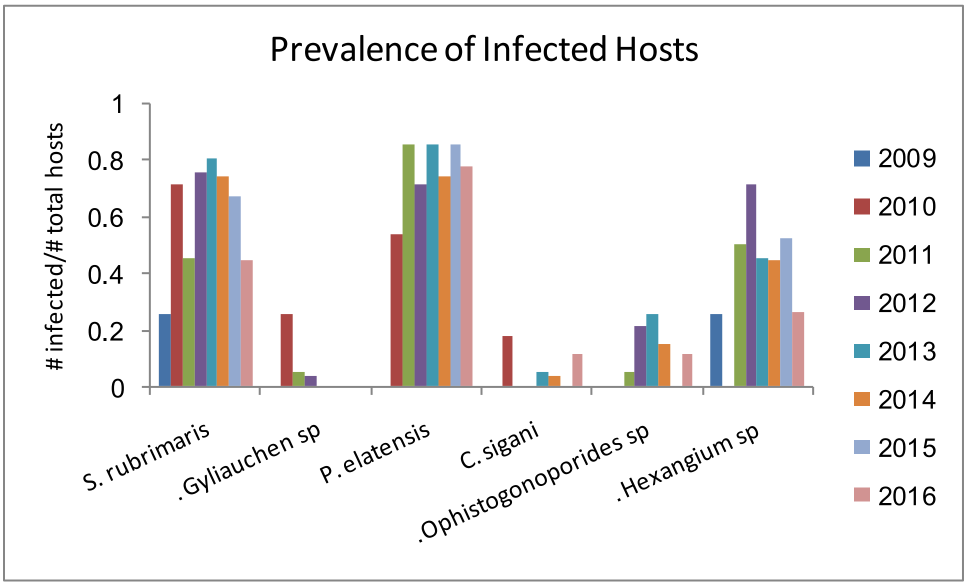
Figure C13: Rarefaction curves of *S. rivulatus* helminth parasite Species Richness calculated using the EstimateS software. Top: Observed Richness, Bottom: Estimated Jacknife-1 Richness.

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

שכיחות ההדבקה בטפילים מראה תנודות בין השנים (איור ג14). אין תבנית ברורה לכל הטפלים והתנודות בין השנים שונות עבור טפילים שונים, לבד מהדיגיניאה .*Gyliauchen* sp אשר לא נמצא מאז 2012.

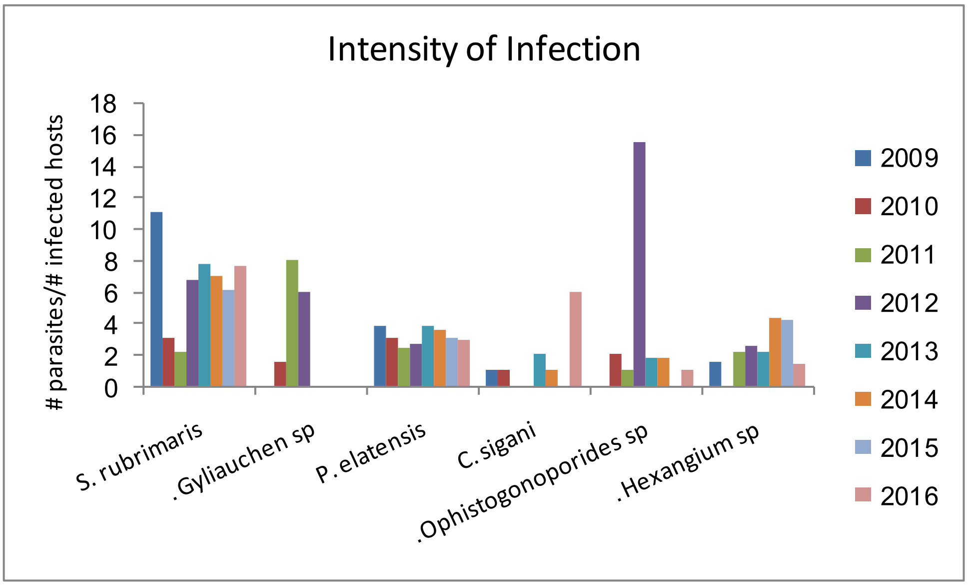
הדיגיניאה .*Gyliauchen* sp, אשר לא זוהה בשנים האחרונות, נפוץ בעיקר בדגי סיכן מהמין *S.*

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 הדיגינאה *Gyliauchen* sp. לגבי שאר הטפילים נראה כי אלה עדיין מצויים באזור, אך בשכיחות נמוכה.



איור ג14: שכיחות הנגיעות בששה מיני טפילי המעיים הנבדקים בדגי הסיכן המשויש.
Figure C14: Prevalence of the six gut parasite species examined in *S. rivulatus*.

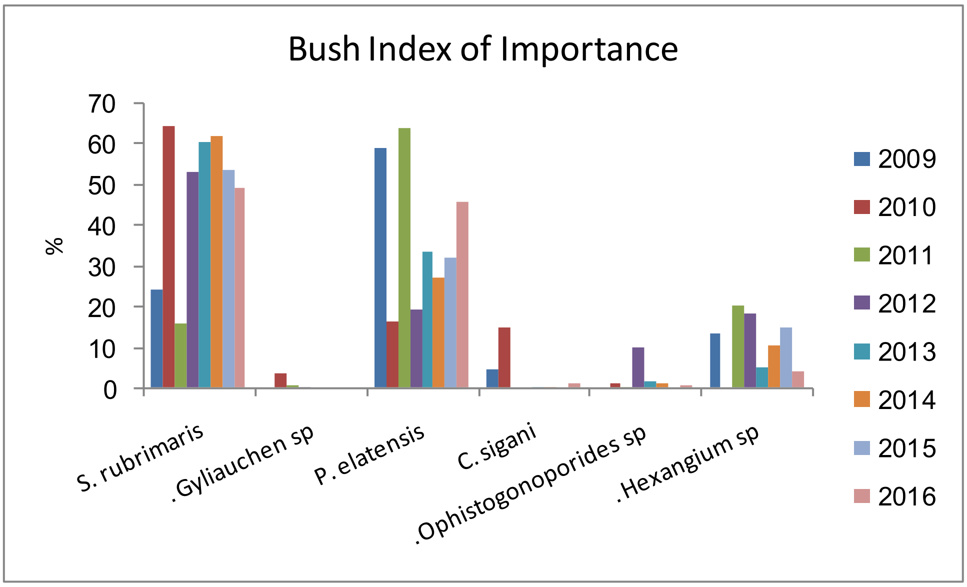
בשלוש השנים האחרונות עצמת ההדבקה עבור הטפילים *S. rubrimaris* ו- *P. elatensis* נותרה דומה, ועבור טפילים אחרים נמצאו תנודות בין השנים (איור ג15). כמות הנתונים הקיימים אינה מאפשרת לנתח באופן מעמיק את שינויי עוצמת הנגיעות בטפילים הטרוקסנים בדגי הסיכן המשויש בשנים האחרונות.



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) הטפיל *P. elatensis*

היה מין התולעת העקרי בשנים 2009 ו- 2011, בעוד שבשנים שאחר כך היה זה מין האקנטוצפלה *S. rubrimaris* (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- 13 מתוך 26 דוגמאות הטחול של דגי הסיכן המשויש אשר העבירה תכנית הניטור למלח"י השנה נמצאו גרנולומות המשוייכות לחיידק *M. marinum* (נגיעות של 13/26, 50%). בשנה הקודמת היתה הנגיעות בחיידק זה 52%.

בחוף הצפוני נתפסו בחודש יולי השנה 20 דגי סיכן משויש אשר נותחו על ידי מלח"י וגם הם נבדקו היסטולוגית לזיהוי גרנולומות המשוייכות לחיידק *M. marinum*. בששה מתוכם נמצא החיידק *M. marinum* (נגיעות 6/20, 30%).

זו השנה השלישית בה מתגלה נגיעות גבוהה (38-52%) בדגי *Siganus rivulatus* אשר נתפסים בסתיו (אוק'-דצ') בחוף הדרומי של אילת (המעבדה הימית), ונגיעות נמוכה יותר (28-33%) בדגים הנתפסים בקיץ (יולי-אוג') בחוף הצפוני. בשנת 2014 נתפסו בחוף הצפוני דגים גם בחודש אוגוסט וגם באוקטובר. בדגים אשר נתפסו באוקטובר נמצאה נגיעות גבוהה יותר בגרנולומות (87%) וסביר שגם קודם לכן היו רוב הדגים מודבקים ללא תסמינים, כך ששכיחות הגרנולומות עלתה עם הזמן כתוצאה מהתפתחות תסמינים ובדגים שנתפסים מאוחר סיכוי גבוה יותר לזהות גרנולומות.

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 בשלוש השנים האחרונות יציבה הן בחוף הצפוני והן בחוף הדרומי של אילת.

שני מקרים נוספים של חיידקים פתוגנים בדגים התגלו השנה באילת.

במקרה הראשון נמצא דג בר *Chaetodon lineatus* גוסס על קרקעית הים במים רדודים בחוף הצפוני, ונלקח לבדיקה במעבדות מלח"י. בבדיקה נמצא קריש דם ונוזל בחלל הבטן והתגלה החיידק *Vibrio harveyi* בטחול. חיידק זה נחשב לפתוגן מסוכן לדגים, הפוגע במערכת הדם וזוהי כנראה סיבת המוות.

איור ג17: דג בר מהמין *Chaetodon lineatus* שנמצא בחוף הצפוני נגוע בחיידק *Vibrio harveyi*, צילום באדיבות מלח"י.

Figure C17: Wild *Chaetodon lineatus* found dying at the North Beach from hosting *Vibrio harveyi* pathogene, Photo curtesy of NCM .

במקרה השני נמצאו שני דגי נוי שאינם מינים מקומיים למפרץ אילת (*Balistoides conspicillum*, *Holacanthus ciliaris*) בשמורה הימית של חוף אלמוג. הדגים נתפסו על ידי חוקרי מלח"י ונבדקו (Stern *et al*., 2016).

בדג *Holacanthus ciliaris* נמצא החיידק *Photobacterium damsela ssp. piscicida* שאחראי על תמותת דגים באוכלוסיות טבעיות. מקרה זה מהווה אזהרה לסכנה הטמונה בהצגת מינים זרים ממקורות שונים לאוכלוסייה הטבעית במפרץ.

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

דיגמת 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: 29° 32.491´N, 34° 58.362´E) ובחוף הדרומי מול כפר הצוללים (נ"צ בכניסה למים: 29° 29.966´N, 34° 54.866´E).

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 (rosebengal, 1 גרם/לליטר) למשך שבוע. את הדוגמה שוטפים במים ומשיבים לתמיסת אתנול (70%). מיון הפאונה נעשה תחת בינוקולר והפרטים הממוינים נשמרים באתנול 70%. מספר הפרטים בדוגמה מנורמל לשטח פנים של 10 ס"מ^2.

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

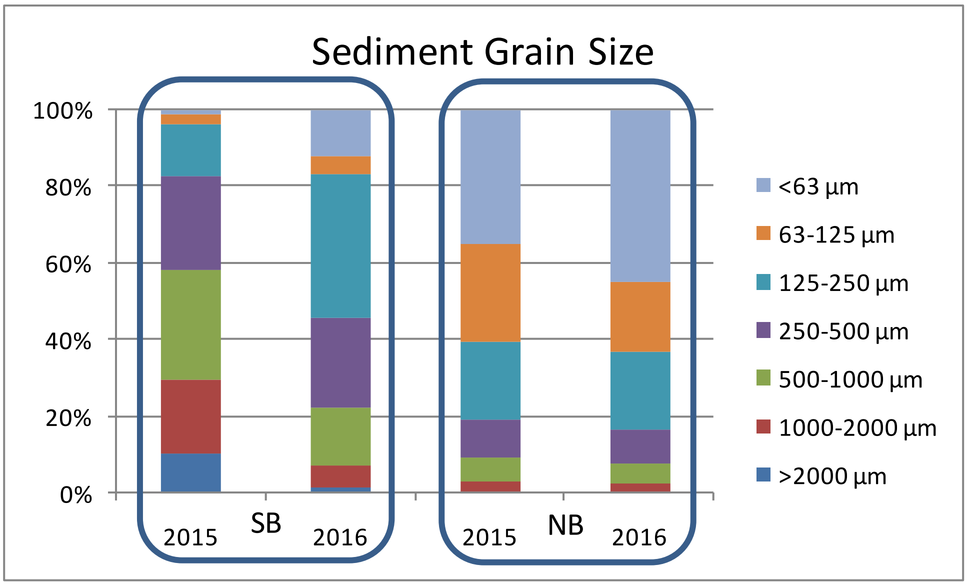
סדימנט מגלעינים למדידת התפלגות גדלי גרגר מיובש בטמפרטורה של 100 מעלות במשך 24 שעות. הדוגמאות היבשות נשקלות ואז נשטפות דרך נפה של 63 מיקרומטר על מנת לסלק את הפרקציה הדקה (חרסית). לאחר ייבוש נוסף הדוגמאות נשקלות שוב ואז מועברות לשייקר עם סט נפות בגדלים של 2000, 1000, 500, 250, 125, 63 מיקרומטר למשך 10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

תוצאות:

שני האתרים הנבחנים, בחוף הצפוני ובחוף הדרומי, בעלי מאפיינים פיסיוגרפים שונים. אתר החוף הצפוני בעל שיפוע קרקעית מתון וחשיפה גדולה לכניסת מים מן החוף, אם באירועי שיטפונות או דרך תעלת הקינט. הקרקעית החולית מאופיינת בהרבה חומר ממוצא יבשתי, ומרבדים של עשב ים נפוצים באזור. אתר החוף הדרומי נמצא על המדרון המערבי של המפרץ באזור בעל שיפוע קרקע 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: בשתי השנים בהן בוצע הסקר אתר החוף הצפוני מאופיין במרכיב גדול (יותר מ- 60%) של סדימנט דק, בעל גודל גרגר קטן מ- 125 µm, ובחוף הדרומי מרכיב זה קטן מ- 20% (איור ג18). הסדימנט הדק, הנפוץ באתר החוף הצפוני, מאפיין שקיעה מעמודת המים באנרגיה נמוכה ורובו נגזר ממרכיבים יבשתיים.

באתר החוף הצפוני התפלגות גדלי הסדימנט כמעט ללא שינוי בשתי השנים האחרונות, ואילו אתר החוף הדרומי אופיין בשנה הקודמת במצע אשר כ- 60% ממנו בעל גרגר גדול מ- 500 µm והשנה היה מרכיב זה כ- 20% בלבד מהסדימנט באתר. השנה אופיין אתר החוף הדרומי במצע דק יותר מאשר בשנה הקודמת.



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

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

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

השנה נעשה שימוש בפרוטוקול ספירה יעיל יותר ובאתר החוף הדרומי נמצאו בסך הכל 39 מיני פורמינפרים בנתונים בעוד שבחוף הצפוני נמצאו 31 (טבלה ג3). צפיפות הפרטים וצפיפות המינים לגרם סדימנט היתה בערך כפולה בחוף הדרומי בהשוואה לצפוני: בחוף הדרומי נמצאו בממוצע כ-17 מינים לגרם סדימנט עם צפיפות פרטים ממוצעת של כ-45 פרטים לגרם, ובחוף הצפוני היתה צפיפות המינים כ-8 וצפיפות הפרטים כ-20.

בחוף הדרומי חמישה המינים הנפוצים ביותר השנה היו (לפי סדר יורד): *Amphistegina lessonii*, *Cycloforina sp.*, *Lachlanella sp*, *Pseudotriloculina sp.*, *Peneroplis planatus*

בחוף הצפוני חמישה המינים הנפוצים ביותר השנה היו (לפי סדר יורד): *Assilina amonoides*, *Brizolina (Parabrizalina cf. africana)*, *Fursenkoina sp*, *Nonion spp*, *Ammonia spp*

נראה כי צפיפות וסדר המינים הנפוצים כפי שעולה מספירות השנה שונים מנתוני השנה הקודמת. מעתה תחזור תכנית הניטור על פרוטוקול הספירה המתואר כאן ותשווה את הנתונים שיאספו בשיטה זו משנת 2016 והלאה.

	Species Found			Species Found	
	SB	NB		SB	NB
Nonion spp	*	*	*Articulina antilarum*	*	
Ammonia spp	*	*	*Articulina pacifica*	*	
Assilina amonoides	*	*	*Epoindes repandus*	*	*
Amphistegina lessonii	*	*	*Elphidium spp*	*	
Bolivina spp	*		*Elphidium jeinseni*	*	*
Fursenkoina sp. A		*	*Cibicides spp*		*
Brizolina (Parabrizalina cf. africana)	*	*	*Pseudocibicides*	*	*
Spiroculina	*	*	*Textularia spp*	*	
Triloculina trigonula	*		*Peneroplis planatus*	*	*
Millionella sp.	*	*	*borealis*	*	*
Pseudotriloculina sp. A	*	*	*hauerina*	*	
Pseudotriloculina sp. B	*	*	*Hauerina diversa*	*	*
Quinqueloculina sp D	*	*	*Amphisorus hemprichii*	*	*
Quinqueloculina sp E	*	*	*Sorites*	*	*
Epistomoroides punctatus		*	*others*	*	*
Discorbinella rhodiensis?	*		*Pyrgo sp*		*
Cycloforina sp. B	*	*	*Planogypsina*	*	
Lachlanella sp. A	*		*Miliolides1*	*	*
Cymbaloporetta sp	*		*Miliolides2*	*	*
Labrospira jeffreysii		*	*Miliolides5*	*	
Juvenile Rosalina	*		*Miliolides6*		
Rosalina spp	*	*	*Millionella sp. A*	*	*
Reusela spp		*	*Juvenile miliolides*	*	

טבלה ג3: מיני פורמיניפרים בנתונים שוכני הסדימנט הרך שזוהו השנה באתר החוף הצפוני ובאתר החוף הדרומי

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

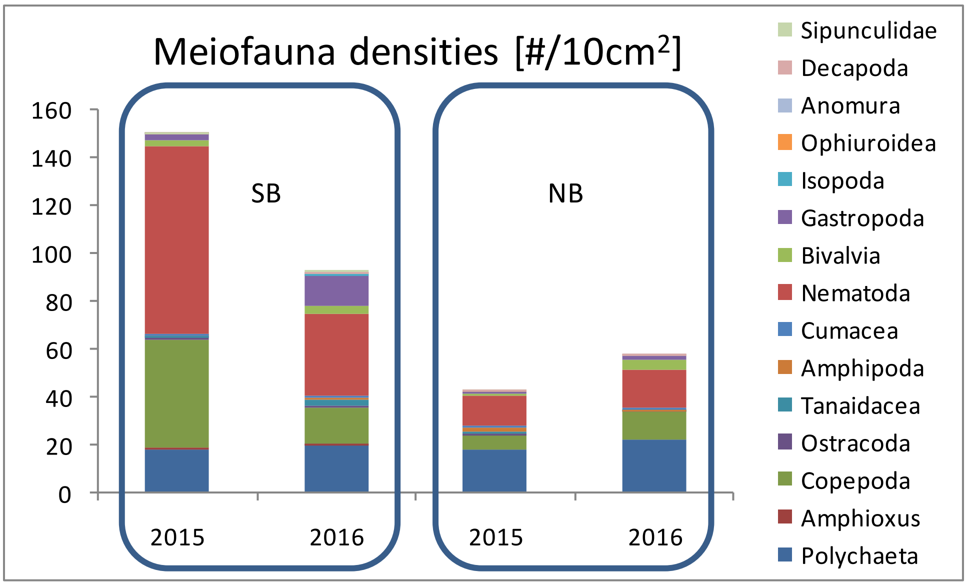
בספירות בע"ח שוכני סדימנט שאינם פורמיניפרים נמצא כי קבוצות ה- *Polychaeta*, *Copepoda*, *Nematoda* הן הנפוצות ביותר בסדימנט בשני האתרים בשנתיים האחרונות. באתר החוף הדרומי זוהו 15 קבוצות ובחוף הצפוני 12 (טבלה ג4), וגם מספר הפרטים גדול יותר בחוף הדרומי, בפרט של הקבוצות *Copepoda*, *Nematoda* (איור ג19).

בשנה הקודמת נמצא בחוף הדרומי מספר פרטים גדול יותר מאשר השנה, ובחוף הצפוני להיפך – אם כי בחוף הצפוני הבדל בין השנים קטן.

	NB	SB
Polychaeta	*	*
Amphioxus		*
Copepoda	*	*
Ostracoda	*	*
Tanaidacea	*	*
Amphipoda	*	*
Cumacea	*	*
Nematoda	*	*
Bivalvia	*	*
Gastropoda	*	*
Isopoda		*
Ophiuroidea	*	*
Anomura	*	*
Decapoda	*	*
Sipunculidae		*

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



איור ג19: משפחות בע"ח שוכני מצע רך בקרקעית הים בשני אתרים, בחוף הצפוני (NB) ובחוף הדרומי (SB).

Figure C19: 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.

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

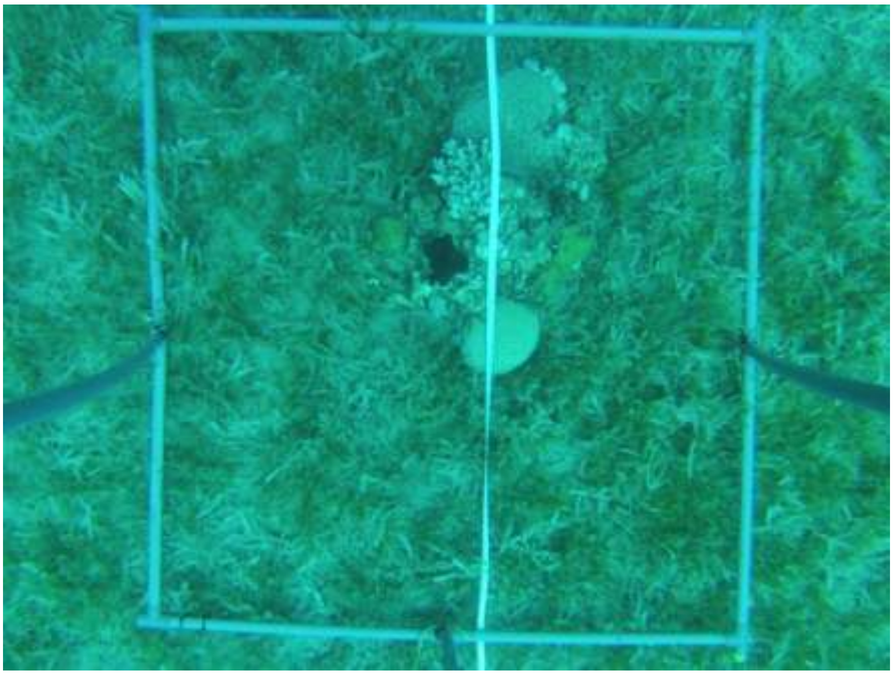
<u>מטרה</u>

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

<u>שיטות</u>

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

הערכת הכיסוי נעשית בשיטת "דגימת נקודה" (point sampling) מתוך צילומים של קרקעית הים (איור ג20). 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 ג20: צילום של עשב ים מחתכי הסקר בעומק עשרים מטרים באתר החוף הדרומי (צילום: מ. צ'רניחובסקי).

Figure C20: A photo of seagrass cover along the 20m depth transect on the southern coast of Eilat (photo: M. Chernihovsky).

<u>תוצאות</u>

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 (למשל העניין שמעורר בית הגידול של עשב הים ברשות הטבע והגנים, זבולוני ואחרים "אי ירוק בים" ו"צוללים למרבדי עשב הים באילת", כתבות בשביל הארץ). עשבי ים גם רגישים ביותר לאיכות המים ועשויים להוות אינדיקטור להידרדרות איכות בית הגידול החולי אותו הם מאפיינים (ראו למשל פרק ג.5).

זו השנה השניה בה נסקר כיסוי עשב הים בשני אתרים באילת, בחוף הצפוני (בחלקו המזרחי) וקרוב לקצה הדרומי של רצועת החוף הישראלית. בשני האתרים נסקרו שלושה עמקים זהים (10, 15, 20

מטרים). האתרים שונים באופיים: באתר החוף הדרומי המדרון תלול והעומקים הנסקרים קרובים זה לזה קרבה פיסית. בלטי אלמוגים פזורים במים הרדודים ואלמוגים נמצאים גם במדרון התלול, וכניסת סדימנט מהחוף קטנה. לעומת זאת, ישנה 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.

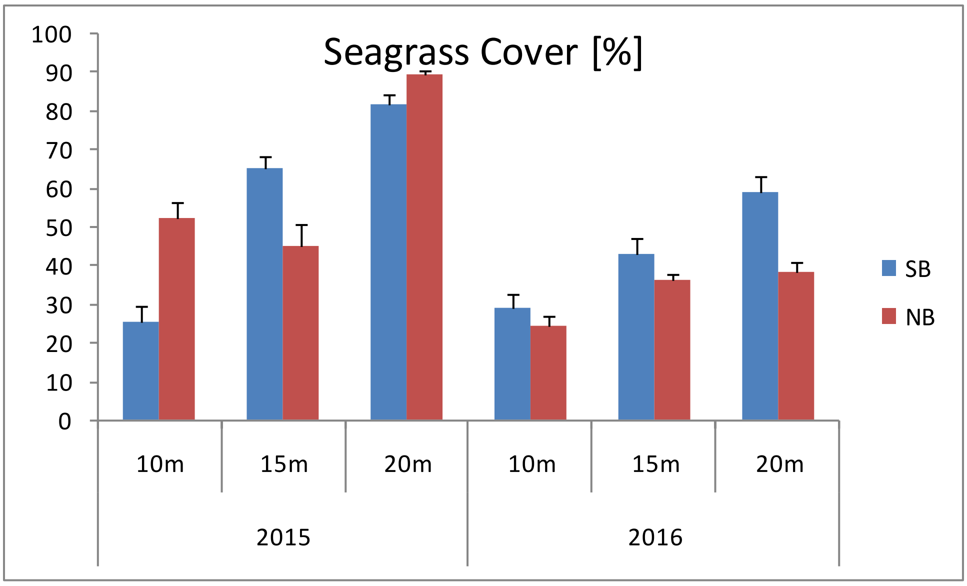
מסקרים איכותיים שבצעה תכנית הניטור למציאת העומק המקסימלי של השתרעות עשב ים במפרץ עולה כי בחוף הצפוני נמצאים מרבדי עשב ים נרחבים בטווח העומקים 1-25 מטרים ומעבר לכך, עמוק יותר, לעשבי הים הופעה כתמית שמדלדלת עד שנעלמת בטווח העומקים 35-40 מטרים. בחוף הדרומי מרבדי עשב ים פחות נפוצים והופעתם מקוטעת (על ידי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

בשתי 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. בטווח העומקים שבין 10 ל-20 מטרים עולה אחוז הכיסוי של עשב הים.

השנה נמצא כיסוי עשב ים נמוך בהשוואה לשנה הקודמת, בכל העומקים פרט לעומק עשרה מטרים בחוף הדרומי (איור ג22). נראה כי הירידה בכיסוי עשב הים גדולה במיוחד בחוף הצפוני, בו נמצא השנה כיסוי של כ-24% בעומק עשרה מטרים ובעומקים הגדולים יותר נמצא כיסוי של 36-38% משטח הקרקעית. בשנה הקודמת היה הכיסוי הנמוך בחוף הצפוני 45%, ובעומק עשרים מטר היו 89% משטח הקרקעית מכוסים עשב ים.

בחוף הדרומי היה בשנה הקודמת כיסוי עשב ים של 82% בעומק עשרים מטרים, והשנה נמצא כיסוי של 29% בעומק עשרה מטרים שעולה לכדי 59% בלבד בעומק עשרים מטר.

בשלב זה לא ברור מה הגורמים לשינוי בשיפעת עשב הים בין השנים או האם תופעה זו שגרתית או חריגה.



איור ג22: כיסוי עשב הים בשלושה עומקים באתרי החוף הצפוני והחוף הדרומי של אילת.

Figure C22: Seagrass cover at three depths in the northern beach and southern beach sites of Eilat.

ג.5. שינויים במאספי פורמיניפרים בנתונים בצפון המפרץ לאחר פינוי כלובי הדגים

הקדמה:

הניטור שלהלן החל במסגרת עבודת מחקר של שי אורון (M.Sc.) באוניברסיטת בן-גוריון בנגב, בהנחיית פרופ' ס. אברמוביץ ופרופ' מ. כיפלאווי). המחקר – אשר התבצע דרך המכון הבינאוניברסטאי ביזמתו של ד"ר ד. אנג'ל מאוניברסיטת חיפה ובשיתוף עם ד"ר ב. גודמן צ'רנוב (אונ' חיפה) – מומן בחלקו על ידי מינהל המחקר למדעי האדמה במשרד התשתיות הלאומיות.

הדו"ח המסכם את המחקר, אשר הוגש למשרד התשתיות, הופיע כלשונו כנספח בדו"ח המדעי של תכנית הניטור בשנת 2010, ובו תיעוד תהליכי שיקום קרקעית הים באזור בו נמצאו עד לקיץ 2008 כלובי דגים של חקלאות ימית במפרץ. בשנת 2014 הופיע הפרסום המדעי המתאר את הממצאים (Oron et al. 2014).

לאור הממצאים שעלו מהעבודה הנ"ל, בה תועדה התאוששות חברת הבנתוס באזור בו היו בעבר כלובי הדגים, החליטה תכנית הניטור לתמוך בהמשך המעקב על ידי סיוע בביצוע הדיגום בצלילה, ובשנתיים האחרונות לבצע אותו במלואו.

מטרה

מעקב אחר מצב קרקעית הים באזור בו היו בעבר כלובי הדגים, בדגש על מאספי פורמניפרים בנתונים כסמן לבריאות בית הגידול.

שיטות

דגימת גלעיני סדימנט קצרים נעשית אחת לשנה בחודשי הקיץ. הדגימה נעשית בצלילה שמתחילה בנקודה קבועה 20 מטר מערבית למיקום כלובי הדגים. סרט מדידה נפרס לאורך הקרקעית בכיוון מזרח-מערב ונדגמות בסך הכל ארבע תחנות: תחת כלובי הדגים (st.0), ומערבית למיקום הכלובים במרחקים 20, 40 ו-80 מטרים. הקרקעית נדגמת באמצעות החדרת צינורות מבחנה 50 מילי-ליטר, שנאטמים עם שליפתם מהקרקעית. הדגימות נלקחות ומאוחסנות במצב אנכי ובקירור עד לטיפול במעבדה.

במעבדה נלקח הס"מ העליון של כל גלעין ומושרה למשך שבועיים בתמיסת Rose Bengal (2 גר') בליטר אתנול (70%), לזיהוי הפרטים שחיו בזמן הדגימה. לאחר ייבוש, כל דוגמה נשקלת ומסוננת לקבלת הפרקציה הגדולה מ- 125µm. פרקציה זו נשקלת שוב. את הדוגמה לספירה מחלקים לפי הצורך לקבלת כמות שניתנת לספירה. הדוגמה ממויינת וכל הפרטים שבה נספרים בעזרת בינוקולר. לאחר מכן מחושב מספרם לגרם סדימנט.

בין יולי 2008, מיד לאחר פינוי אחרוני הכלובים, ודצמבר 2009 בוצע דיגום חודשי של גלעיני סדימנט קצרים ועלי עשב ים מתחנות קבועות המייצגות מרחקים שונים מאזור הפעילות של חוות הדגים. לאחר מכן נמשך המעקב באמצעות דיגום שנתי בתמיכת התכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת.

תוצאות

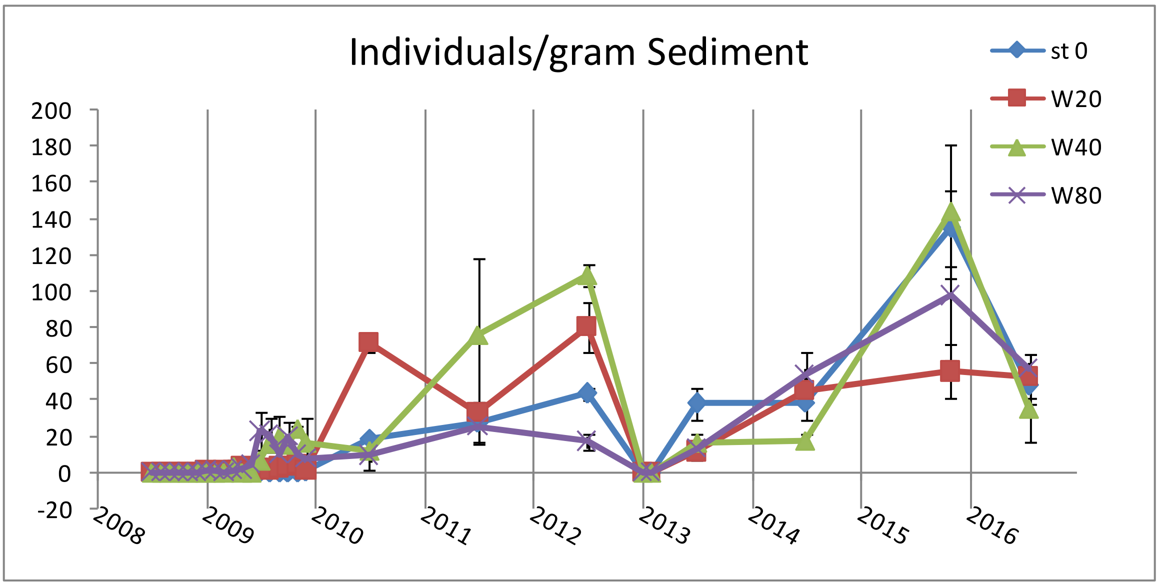
ההעשרה האורגנית מכלובי הדגים יצרה איזור אזואי (חסר חיים) בסביבתם המיידית, עד לתקופה של כשישה חודשים לאחר פינוי הכלובים. בחודש ינואר 2009 החלו להופיע לראשונה פרטים חיים של פורמיניפרים השייכים בעיקר למין *Operculina ammonoides* (בדו"חות השנים הקודמות נקרא מין זה *Assiluna ammonoides*. בדיקות מולקולאריות 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. דפוס השיקום הראה תהליך איטי של סוקסציה, כאשר התהליכים התרחשו בקצב שונה בתחנות הדיגום השונות והיו איטיים יותר בתחנות הקרובות למיקום בו היו כלובי הדגים.

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

בחורף 2012-2013 חוותה המערכת האקולוגית באזור המעקב סדרת שטפונות חריגים בעוצמתם, אשר גרמו לכיסוי חלקים נרחבים של הסביבה הבנתונית בחומר דק גרגר ממקור יבשתי. מיד לאחר השיטפונות לא נמצאו פרטים חיים בסדימנט, והשכבה העליונה הורכבה מחומר דק שמקורו יבשתי. ביולי 2013, חמישה חודשים לאחר השיטפונות, מספר הפרטים החיים לגרם סדימנט, כמו גם מגוון המינים, היו נמוכים יותר מאשר ב 2012.

התאוששות חברת הפורמיניפרים הבנתונים לאחר השיטפונות היתה מהירה יחסית ובשנה הקודמת 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 לכיוון st0.

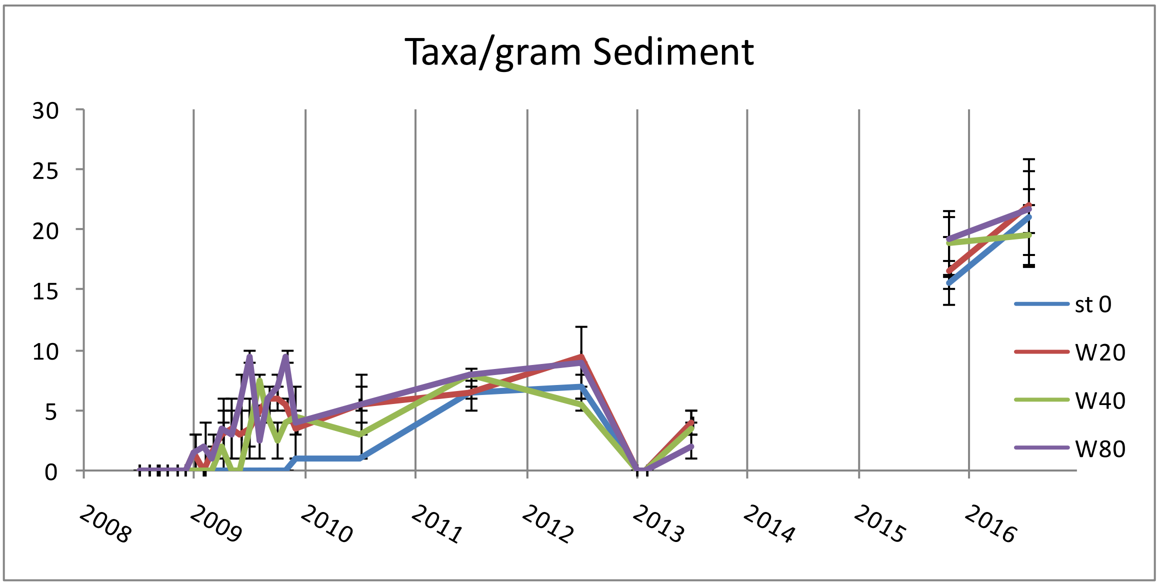
השנה מתועדת ירידה במספר הפרטים החיים בגרם סדימנט בכל התחנות מלבד תחנה w20 (איור ג23). הסיבה לירידה זו אינה ידועה. שיטפון שהתפשט מירדן אל החוף הצפוני בסתיו השנה הקודמת (דו"ח הניטור 2015) עשוי היה,אולי, לפגוע בחברת הסדימנט שם.



איור ג23: מספר הפרטים החיים לגרם סדימנט יבש בתחנות השונות החל מיולי 2008, מיד לאחר הוצאת כלובי הדגים. קווי השגיאה מייצגים מינימום ומקסימום.

Figure C23: Live foraminifera individuals per gram dry sediment at sampled locations since 2008, right after fish cages were removed from the area. Error bars are minimum and maximum values.

עם כניסתה של תכנית הניטור לעיבוד הסדימנט, לפני שנתיים, הושקע מאמץ גדול בשיפור יכולות הזיהוי והמיון של מיני פורמניפרים בנתונים ומגוון המינים שזוהו גדול בהרבה מאשר בשנים קודמות. בניגוד למספר הפרטים, אשר ירד השנה בהשוואה לשנה הקודמת, מספר מיני הפורמיניפרים שזוהו בכל התחנות עלה השנה (איור ג24). עדיין לא ברור כמה מהשינוי קשור ביכולת הזיהוי שהשתפרה וכמה מייצג שינוי אמיתי של החברה.



איור ג24: מספר מיני הפורמניפרים החיים לגרם סדימנט יבש בתחנות השונות החל מיולי 2008, מיד לאחר הוצאת כלובי הדגים. קווי השגיאה מייצגים מינימום ומקסימום.

Figure C24: The number of live foraminifera spcies per gram dry sediment at sampled locations since 2008, right after fish cages were removed from the area. Error bars are minimum and maximum values.

הופעה של עשב הים מסוג *Halophila stipulacea* באזור שבו היו ממוקמים כלובי הדגים תועדה לראשונה בחודש אוגוסט 2009 ומסמלת כניסה של מרכיב אקולוגי חשוב הצפוי לגרום להתבססות של מינים אפיפיטים באזור. עשבי הים נפגעו מהשיטפונות של חורף 2013, ומאז ניכרת התאוששות הדרגתית, אם כי גם עשב הים בחוף הצפוני נפגע השנה (ראו פרק ג4) ואולי זהו הגורם לירידה בכמות הפרטים לגרם סדימנט בהשוואה לשנה הקודמת.

היעדרם המוחלטת של פרטים חיים בסדימנט בתחנות הדגימה בחודשים הראשונים שלאחר פינוי הכלובים מצביע על כך שסביבה זו לא אפשרה קיום של פורמיניפרים בנתוניים. יתרה מכך, העדר עשב הים *Halophila* הנפוץ באופן טבעי באזור העיד על מגבלות סביבתיות חמורות.
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.

ד. עמודת המים בים העמוק

<u>מטרה</u>

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

<u>שיטות</u>

אחת לחודש מבוצעת בספינת מחקר הפלגה לתחנה A ולצפון המפרץ, בסמוך למקום בו היו כלובי הדגים (FF). 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 (מפה1 בנספח ז.1). עומק הקרקעית בסמוך לכלובי הדגים כ-55 מטר.

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

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

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

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

להלן שיטות המדידה של מדידות שאינן מפורטות בפרק מי החופים:

<u>יצרנות ראשונית</u> (Primary Productivity) – מי השכבה המוארת (100 המטרים העליונים) נדגמים באמצעות בקבוקי ניסקין מפני הים ומהעומקים 20, 40, 60, 80 ו-100 מטרים, בשעות החשכה. כבר בסירה מועברים המים למיכלים אטומים לאור, ובמעבדה מוכנס לכל מיכל פחמן רדיואקטיבי באקטיביות של 0.04 מיקרוקירי ^{14}C למ"ל מים. המים מכל עומק מחולקים לארבעה בקבוקי הדגרה בנפח 250 מ"ל + דוגמה למדידת האקטיביות במים "בזמן אפס".

דוגמאות המים המסומנות מוחזרות לים בבקבוקי הדגרה למשך 24 שעות כשהן תלויות ממצוף כך שכל דוגמה מצויה בעומק ממנו נלקחה. בכל עומק ישנו בקבוק הדגרה אחד אטום לאור (dark), ושלושה בקבוקים שקופים למדידת היצרנות הפוטוסינטטית.

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

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

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

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

בנוסחה זו:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

<u>ניטור ריכוזי זואופלנקטון במאה מטרים העליונים של עמודת המים</u>: דגימות זואופלנקטון נאספות אחת לחודש מתוך סירה בים העמוק. מעל עומק מים מינימלי של 300 מטרים מתחילים בגרירת רשת פלנקטון כפולה (מחוברת למסגרת "Bongo") בגודל חור של 200µm. הרשת מורדת לעומק של 100 מטרים ומועלה תוך כדי שיוט, כך שנעשה מיצוע של עמודת המים עד לעומק של 100 מטר. למסגרת מחוברת 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' 450 °C למשך 4 שעות. הפרש המשקלים של הפילטר לפני ואחרי השריפה מהווה מדד לביומסה (ash-free dry weight).

מעקב אחר חומר חלקיקי באמצעות מלכודות סדימנט: איסוף והצבה של מלכודות סדימנט לדגימת חומר חלקיקי בעמודת המים נעשה בהפלגה ייעודית בשיתוף עם ד"ר עדי טורפשטיין מהמכון למדעי כדור הארץ באוניברסיטה העברית. זו השנה השנייה בה מתבצע ניטור זה ויתכנו שינויים בתדירות האיסוף ועומקי המלכודות. שיטות העבודה והממצאים הראשונים נתונים בפרק ד.4.

ד.1. טמפרטורה ומליחות

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

מכשיר ה- CTD מכויל בחברה על פי הוראות היצרן. הכיול האחרון נעשה באוקטובר 2015.

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.]

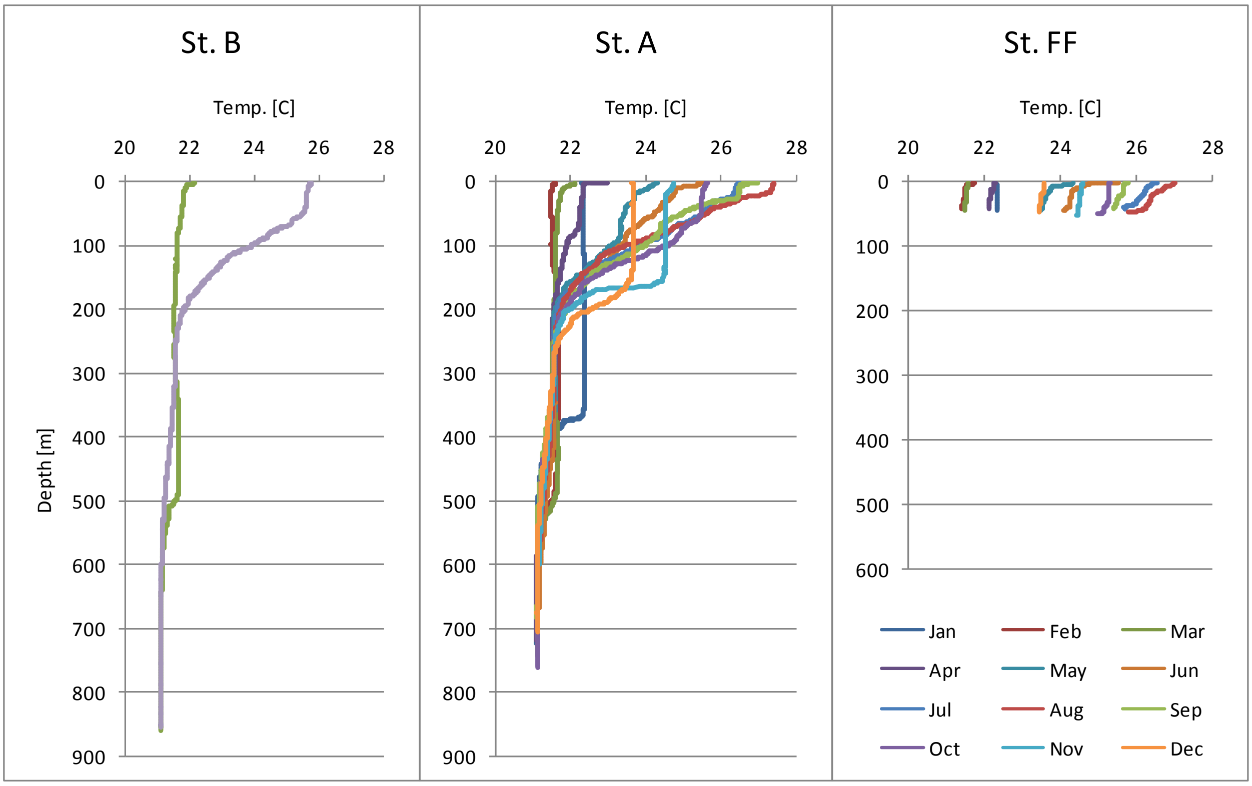
<u>טמפרטורה</u>

השנה היה ערבוב עמודת המים מהיר ועמוק בתחילת החורף, אך נעצר עקב התחממות פני הים כבר בחודש פברואר. בהפלגת חודש ינואר (18 בינואר 2016) נמצא ערבוב מלא של עמודת המים עד לעומק של 360 מטרים, וחודש אחר כך (23 בפברואר 2016) נמצא כי עמודת המים היתה מעורבבת לעומק של כ-500 מטרים – אך בפני הים עמודת המים העליונה אינה אחידה. בחודש מרץ עוד נותר שריד לערבוב העמוק (500 מטרים) אך עמודת המים העליונה כבר לא היתה אחידה. טמפרטורת פני הים הנמוכה ביותר נמדדה בחודש פברואר, 21.50 מעלות (איור ד1) ובמים העמוקים היתה הטמפרטורה 21.10 מעלות.

הטמפרטורה המרבית אשר נמדדה בפני הים בתחנה A היתה 27.34 מעלות בחודש אוגוסט, מעט גבוה יותר מאשר בשנה הקודמת. בתחנת כלובי הדגים נמדדה בפני הים טמפרטורה מרבית של 26.77 מעלות בחודש אוגוסט, בשעת בוקר מוקדמת יותר מאשר בתחנה A.

ערבוב עמודת המים בעונת החורף עקב קירור המים מלמעלה, במגע עם האטמוספרה, הוא גורם מרכזי בדינאמיקה של המערכת האקולוגית במפרץ. השנה היה קירור מוקדם של פני הים וערבוב עמודת המים הגיע לעומק מרבי של כ- 500 מטרים, בין אמצע ינואר לאמצע פברואר, אך תהליך הערבוב נעצר כבר בחודש פברואר.

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



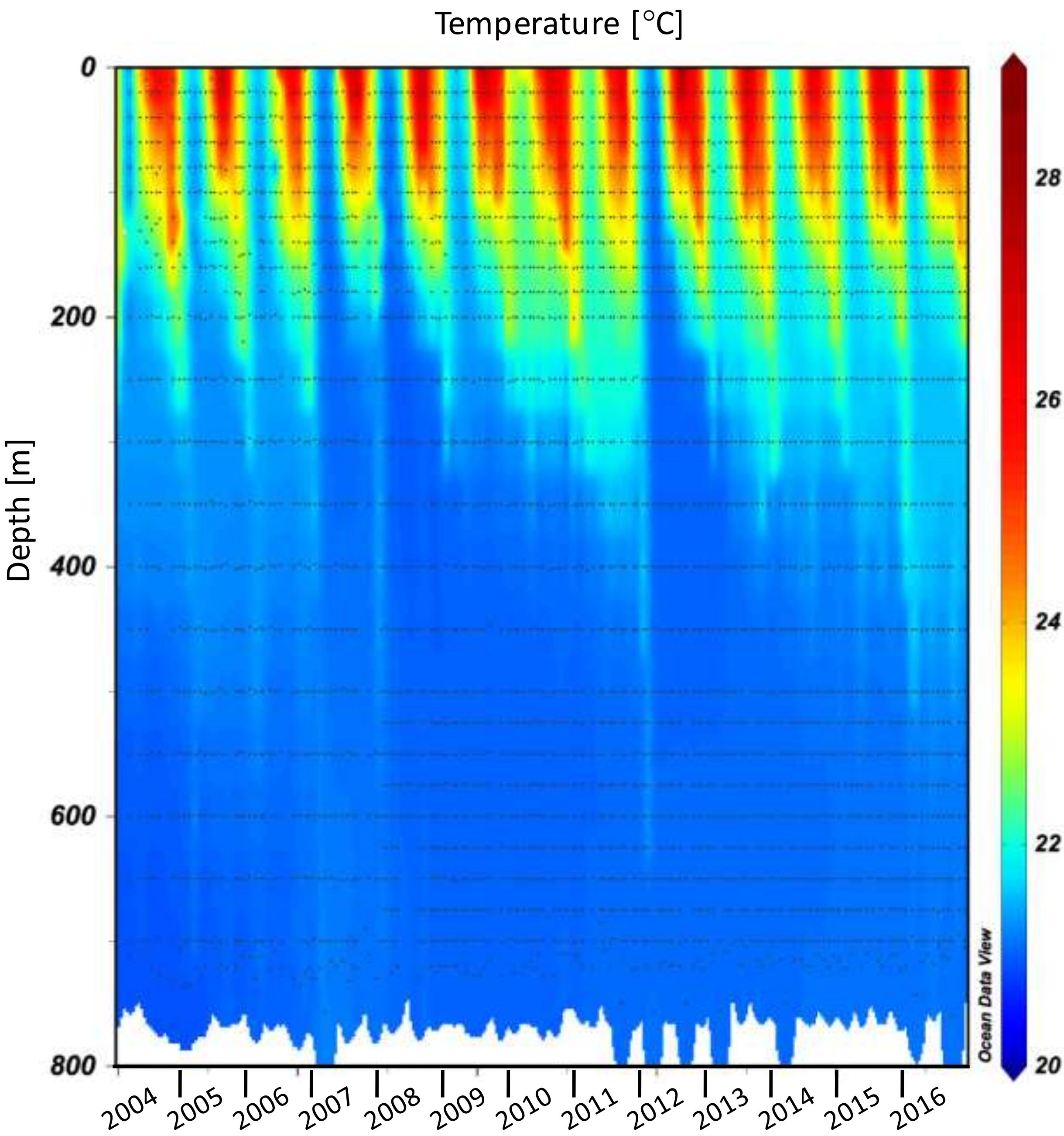
איור ד1: טמפרטורת עמודת המים כפי שנמדדה במכשיר ה-CTD בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה B היא הדרומית והעמוקה ביותר (>800 מ') ונדגמה השנה בחודשים מרץ ואוקטובר. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים (>700 מ'), ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים.

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).

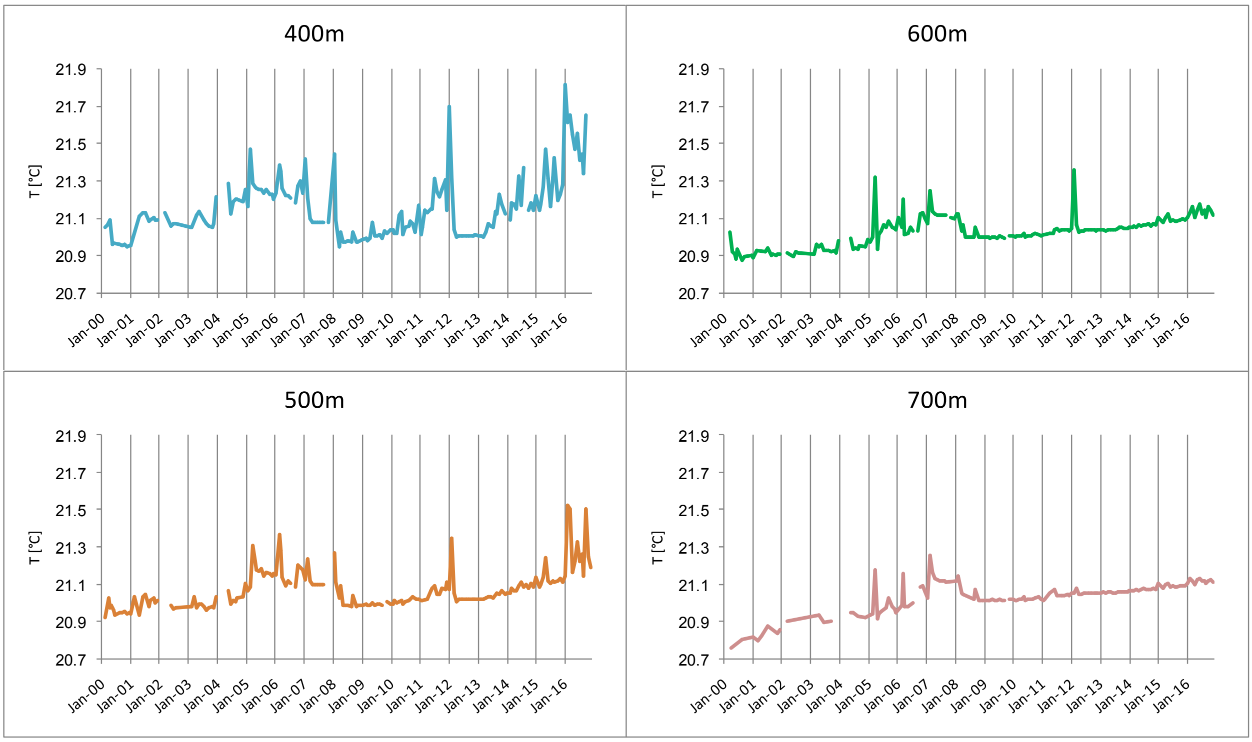
במשך תקופת פעילותה הסדירה של תכנית הניטור, מאז 2004, תועדו שלוש שנים בהן עורבבה עמודת המים עד לקרקעית הים בתחנה A: השנים 2007, 2008 ו- 2012 (איור ד2). לאחר הערבוב העמוק של שנת 2012 היו שלוש שנים של ערבוב רדוד, עד כ- 300 מטרים, והשנה היה הערבוב לעומק בינוני של 500 מטרים, אך נמשך תקופה קצרה בלבד.

במבט לטווח ארוך יותר, מאז שנת 2000 (*נתונים הקודמים לתכנית הניטור נאספו במסגרת פרוייקט "פארק השלום" ומובאים באדיבותם של הפרופ' י. ארז ופרופ' ב. לזר*), נראה שמי העומק מוסיפים להתחמם גם לאחר הערבוב העמוק בשנת 2012. כתוצאה מהערבוב השנה, ניכרים שינויי טמפרטורה קצרי מועד בעומקים הרדודים, אך אלה דועכים בעומקים הגדולים, 600 מטר ומטה, ושם ניכרת התחממות מתמשכת של מי העומק (איור ד3).



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

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



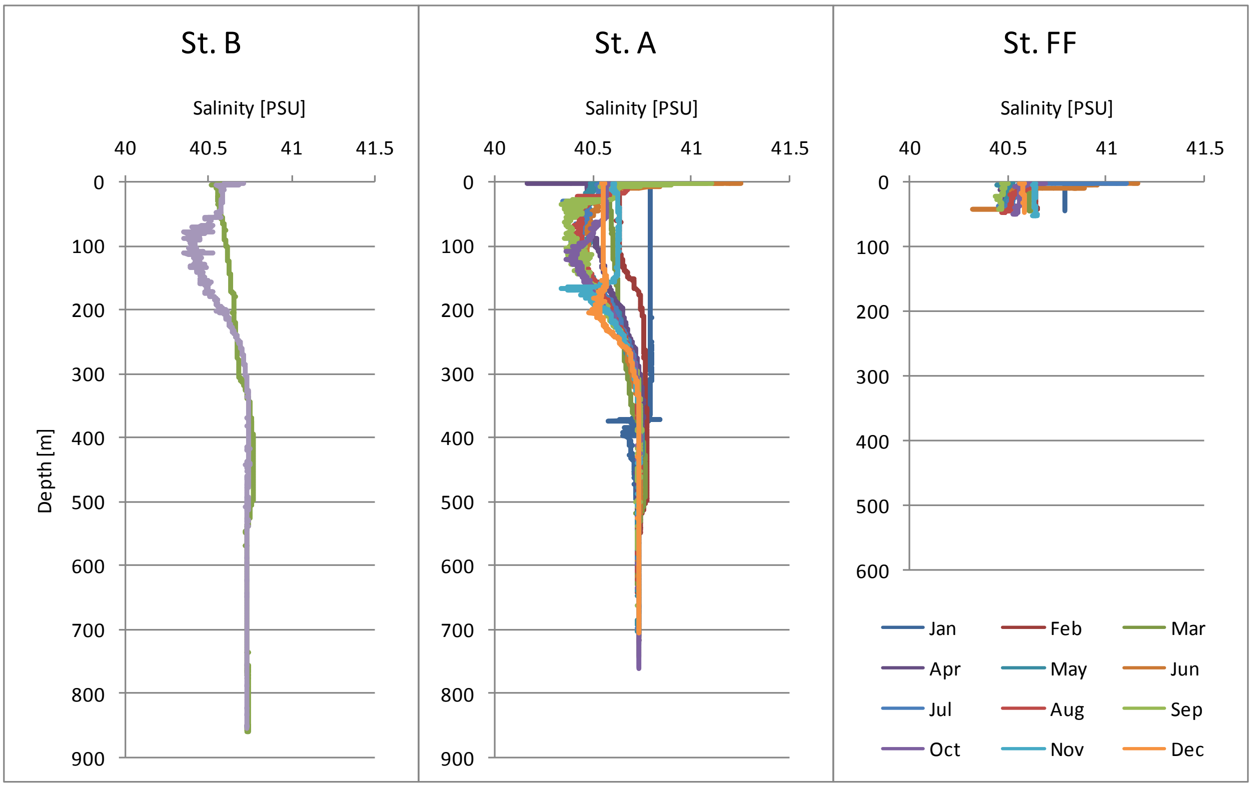
איור ד3: שינויי טמפרטורה במי העומק (בעומקים 400 עד 700מטרים) בתחנה A מאז ינואר 2000. ***נתונים הקודמים לתכנית הניטור נאספו במסגרת פרויקט פארק השלום ומובאים באדיבותם של פרופ' י. ארז ופרופ' ב. לזר.***

Figure D3: Changes in water temperature at depth (400m to 700m) at Station A since 2000. ***Data from the years 2000-2002 were collected during the Peace Park Project and are provided courtesy of prof. J. Erez and prof. B. Lazar.***

<u>מליחות</u>

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

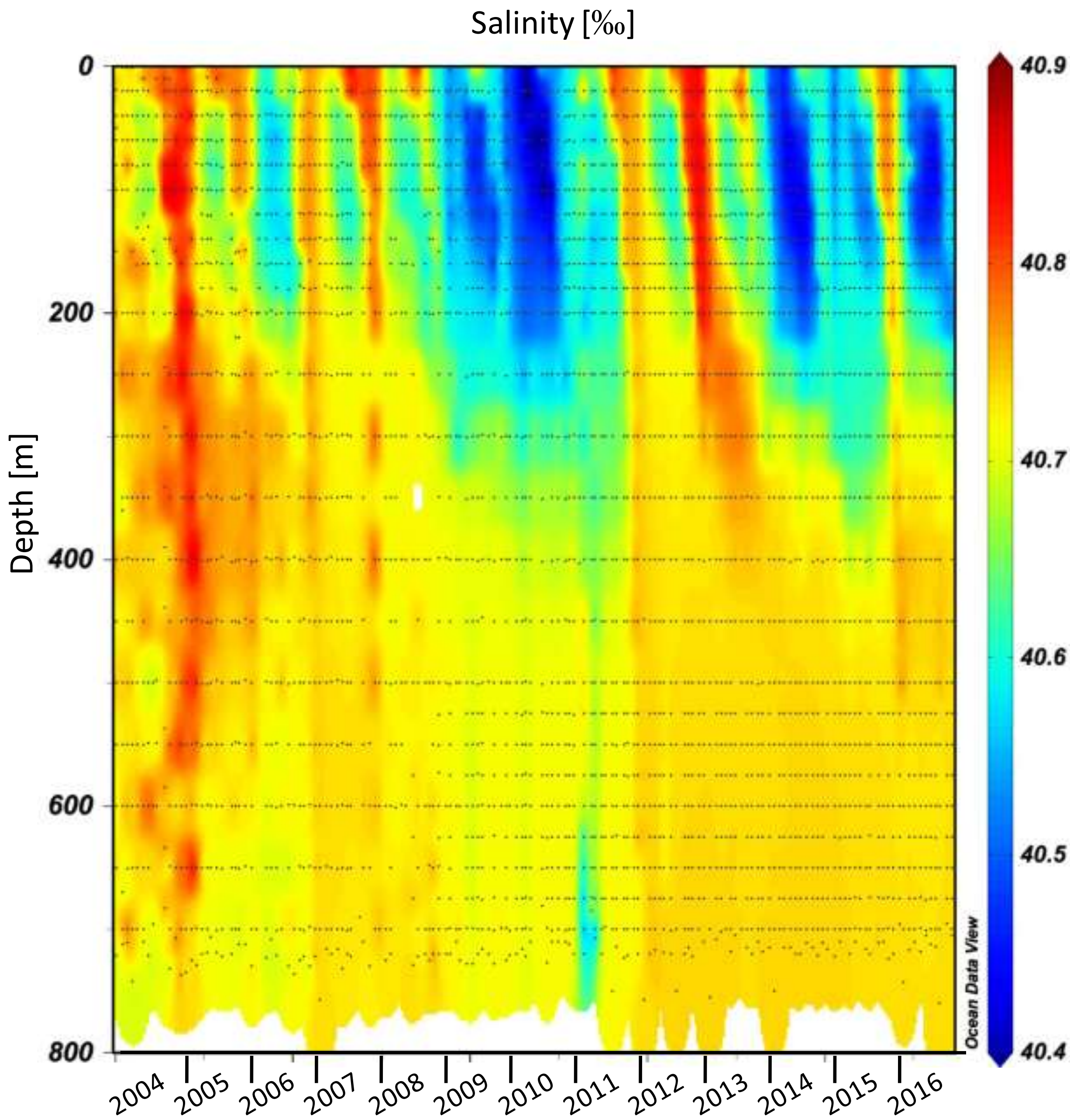
למדידות המליחות מחזור עונתי אופייני של היווצרות שכבת מים בעלת מליחות נמוכה יחסית בעומקים 25-200~ מטרים בתקופה המשוכבת (איור ד4). שכבת "המליחות המינימלית" בעמודת המים בתקופת השכוב נוצרת עקב חדירת מים בעלי מליחות נמוכה יחסית, מדרום המפרץ בסביבות חודש יוני. לאחר מכן נכנסים למפרץ מים בעלי מליחות גבוהה יותר,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



איור ד4: מליחות בעמודת המים כפי שנמדדה במכשיר ה-CTD בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה B היא הדרומית והעמוקה ביותר (>800 מ') ונדגמה השנה בחודשים מרץ ואוקטובר. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים (>700 מ'), ותחנת 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. בשלוש השנים האחרונות (2014-6) שוב נמדדה מליחות נמוכה בעמודת המים העליונה (איור ד5). שינויי המליחות בעמודת המים הינם מחזוריים בעיקרם, ועל אף תבנית מעט שונה משנה לשנה לא ניכרת מגמה של שינוי ארוך טווח. ההבדלים בין השנים קשורים יותר לגופי המים החודרים לאזורינו מדרום מאשר למאזני האידוי המקומיים, אם כי חדירת גופי המים המלוחים קשורה אולי בעומק הערבוב או בטמפרטורת הים מדרום.



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

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

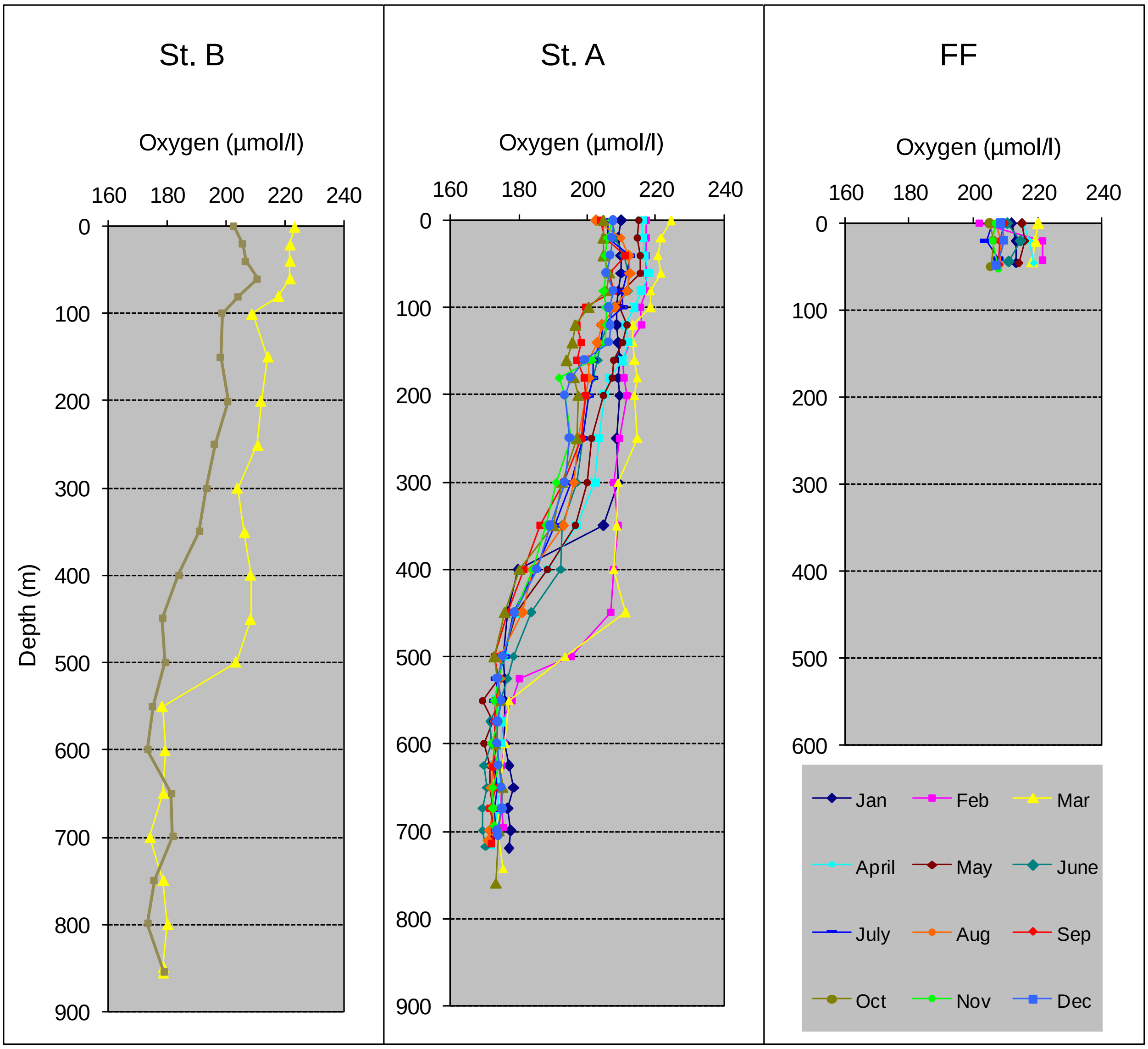
ד.2. חמצן, pH ואלקליניות, נוטריינטים ופחמן חלקיקי

<u>חמצן (O_2)</u>

הגורם העיקרי המשפיע על ריכוזי החמצן בעמודת המים 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 הגיע ל-500 מטרים ולזמן קצר בלבד, ועמודת המים אשר נדגמה בחודשים פברואר ומרץ בתחנה A "אווררה" לעומק 450-500 מטרים, כאשר מי הים העמוקים יותר נותרו מנותקים מהאטמוספרה. פרופיל החמצן מתחנה B בחודש מרץ מצביע על כך כי שם עמודת המים "אווררה" לעומק של כ- 500 מטרים (איור 6ד). ריכוז החמצן המרבי בתחנה A נמדד השנה בחודש מרץ בפני הים, כ- 224 µmol/l. בעומק של 450 מטרים נמדד בחודש זה ריכוז חמצן של 221 µmol/l, ובמים העמוקים היה ריכוז החמצן 176 µmol/l.

הריכוז המזערי שנמדד השנה בפני הים בתחנה A היה 203 µmol/l, בחודש אוגוסט.



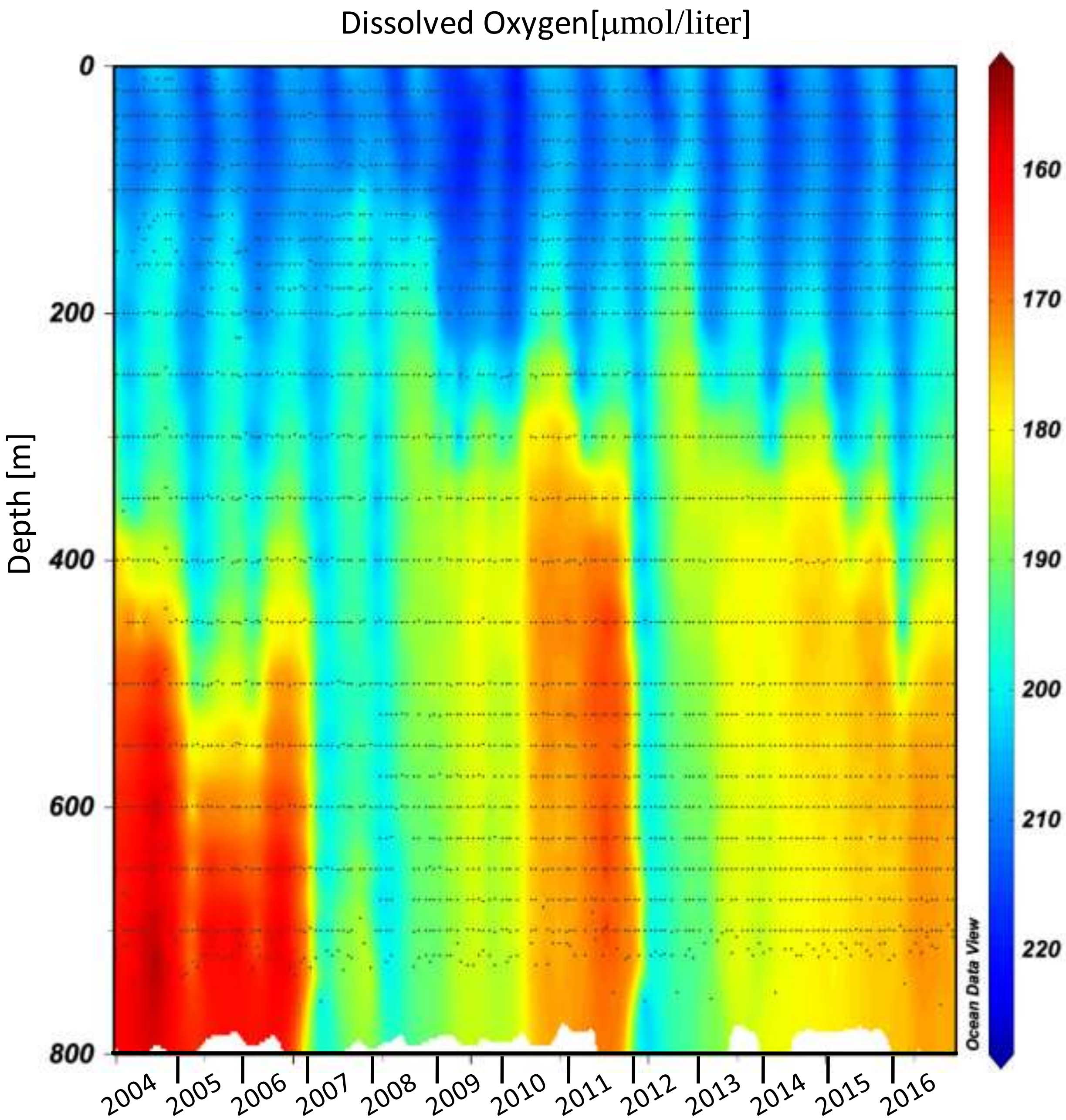
איור ד6: ריכוזי חמצן מומס בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה B היא הדרומית והעמוקה ביותר (>800 מ'), תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700 מטרים, ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים.

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 ד7).

בשנים האחרונות אנו עדים לתחילתו של מחזור חדש של ירידה בריכוזי החמצן במים העמוקים ונראה כי בתקופה זו דלדול עמודת המים בחמצן איטי יותר מאשר בשני המחזורים הקודמים. כאמור למעלה, צריכת החמצן במי העומק תלויה בכמות החומר האורגני המגיע מעמודת המים העליונה ועל כן נראה כי זו ירדה בשנים האחרונות. הערבוב השנה היה עמוק מאשר בשלוש השנים הקודמות, אך לא עמוק מספיק כדי להשוות את ריכוזי החמצן במים העמוקים.

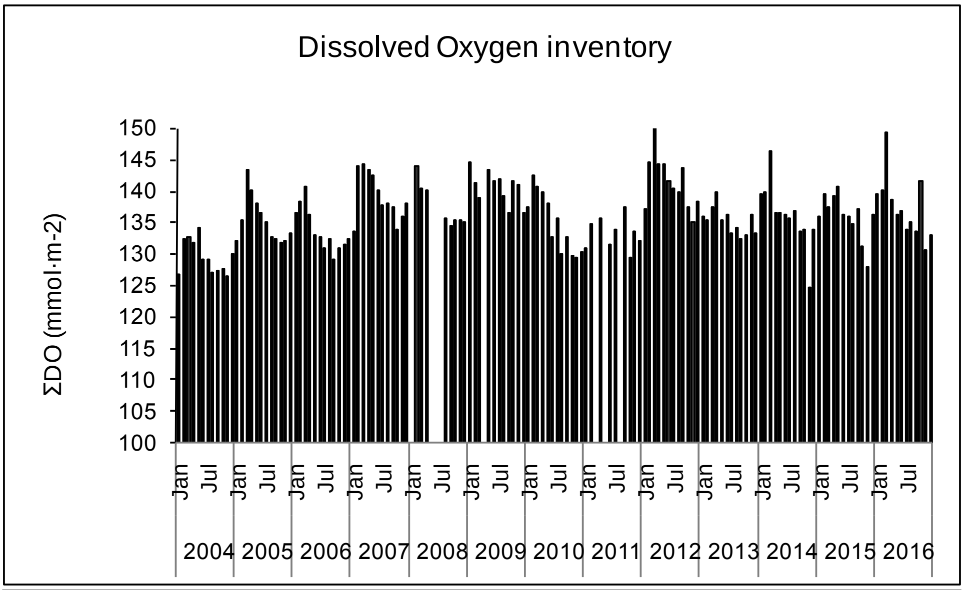


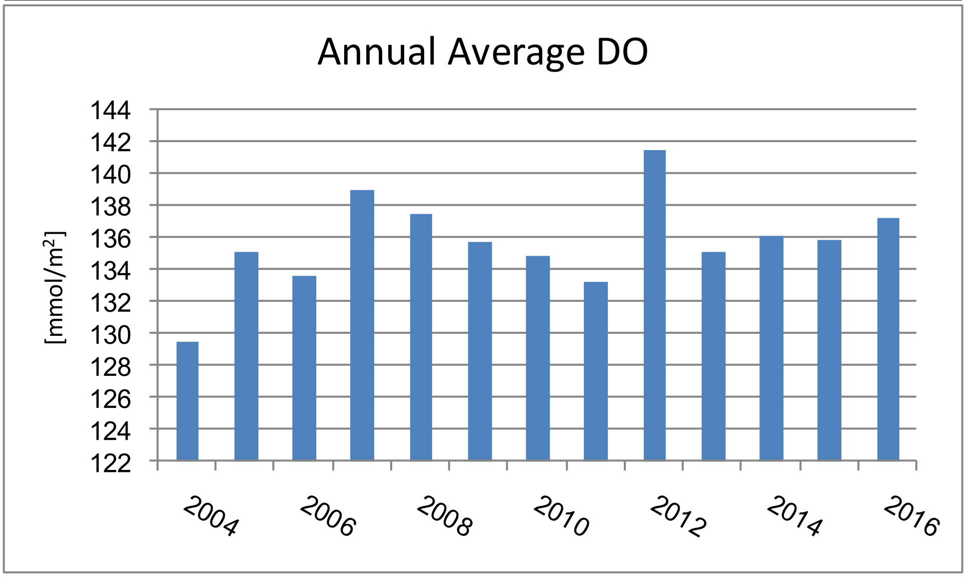
איור ד7: שינויים בריכוז החמצן המומס בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. הנקודות השחורות מייצגות את עומק המדידה.

Figure D7: Changes in concentrations of dissolved oxygen in the water column at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths.

הערבוב העמוק בשנת 2007 מילא את מאגרי החמצן המומס בעמודת המים, ובשנים שאחר כך, בהן היה ערבוב רדוד, ירדה כמות החמצן המומס בעמודת המים. בשנת 2012, שוב עורבבה עמודת המים עד לקרקעית בתחנה A וכמות החמצן המומס עלתה לערך הגבוה ביותר אשר נמדד במסגרת תכנית הניטור. בארבע השנים האחרונות הערבוב לא היה עמוק דיו וכמות החמצן המומס בעמודת המים ירדה מהערך הגבוה של שנת 2012. בחודש מרץ השנה, בעקבות ההתקררות המהירה של תחילת החורף והעמקת הערבוב המהירה נמדדת מאגר חמצן גבוה בעמודת המים, אך הערבוב היה קצר ומאגר החמצן השנתי הממוצע היה גבוהה השנה אך במעט מאשר בשנתיים האחרונות. יחד עם זאת, בארבע השנים שלאחר הערבוב העמוק של שנת 2012 לא מתועדת ירידה מתמשכת במאגרי החמצן המומס, כפי שהיה לאחר

הערבוב העמוק בשנת 2007 (איור ד8).

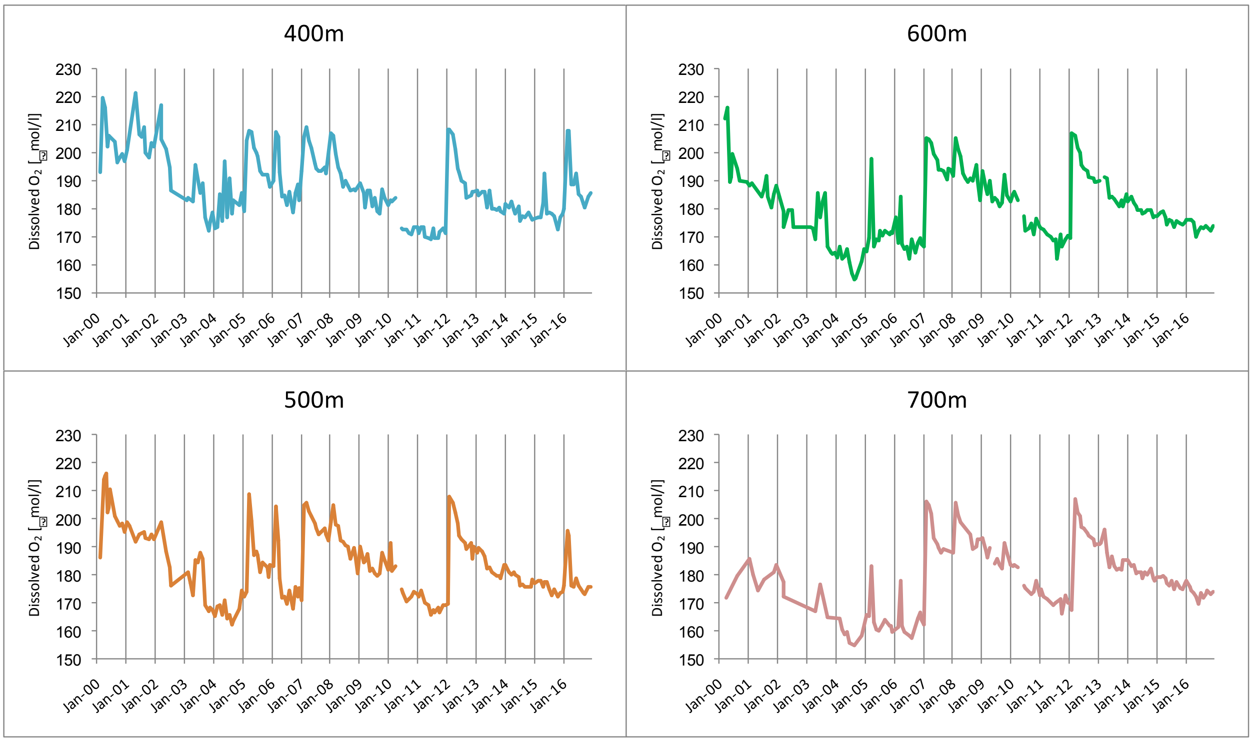




איור ד8: שינויים במאגר החמצן המומס בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. למעלה: מדידות חודשיות, למטה: ממוצע שנתי

Figure D8: Changes in the dissolved oxygen inventory in the water column at Station A since 2004. Top: monthly inventories, Bottom: annual average

סדרות הזמן של ריכוזי החמצן במים העמוקים מאז שנת 2000 מראות בבירור את תלות ריכוז החמצן בעומק הערבוב (איור ד9). במים העמוקים ירד ריכוז החמצן בין השנים 2000 ו- 2007. שנתיים של ערבוב עמוק בשנים 2007-8 העלו את ריכוזי החמצן בכל העומקים, לערך מרבי בפברואר 2008, ובשנים 2009-2011 החלה ירידה מחודשת של ריכוזי החמצן, בהעדר ערבוב עמוק. ערבוב עמוק בשנת 2012 העלה מחדש את ריכוז החמצן במים העמוקים לערכים דומים לאלה של 2007-8, ומעט נמוכים ממה שנמדד בעקבות הערבוב העמוק בשנת 2000. שלוש שנים לאחר הערבוב העמוק (2013-15) ריכוז החמצן במי העומק ירד בהדרגה, והשנה בה הערבוב הגיע לעומק ביניים של כ- 500 מטרים ניתן לראות העשרה בחמצן בתחילת החורף עד לעומק זה (איור ד9). עוד ניתן להתרשם כי עקב הזמן הקצר של הערבוב, ריכוז החמצן בעומק 500 מטרים יורד כבר לקראת סוף השנה לערכים דומים לסוף השנה הקודמת, בעוד שבעומק 400 מטרים המים מועשרים בחמצן בהשוואה לשנה שעברה. בעומקים 600 ו- 700 מטרים השפעת הערבוב העונתי של השנה אינה ניכרת וריכוז החמצן הוסיף לרדת.



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

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

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

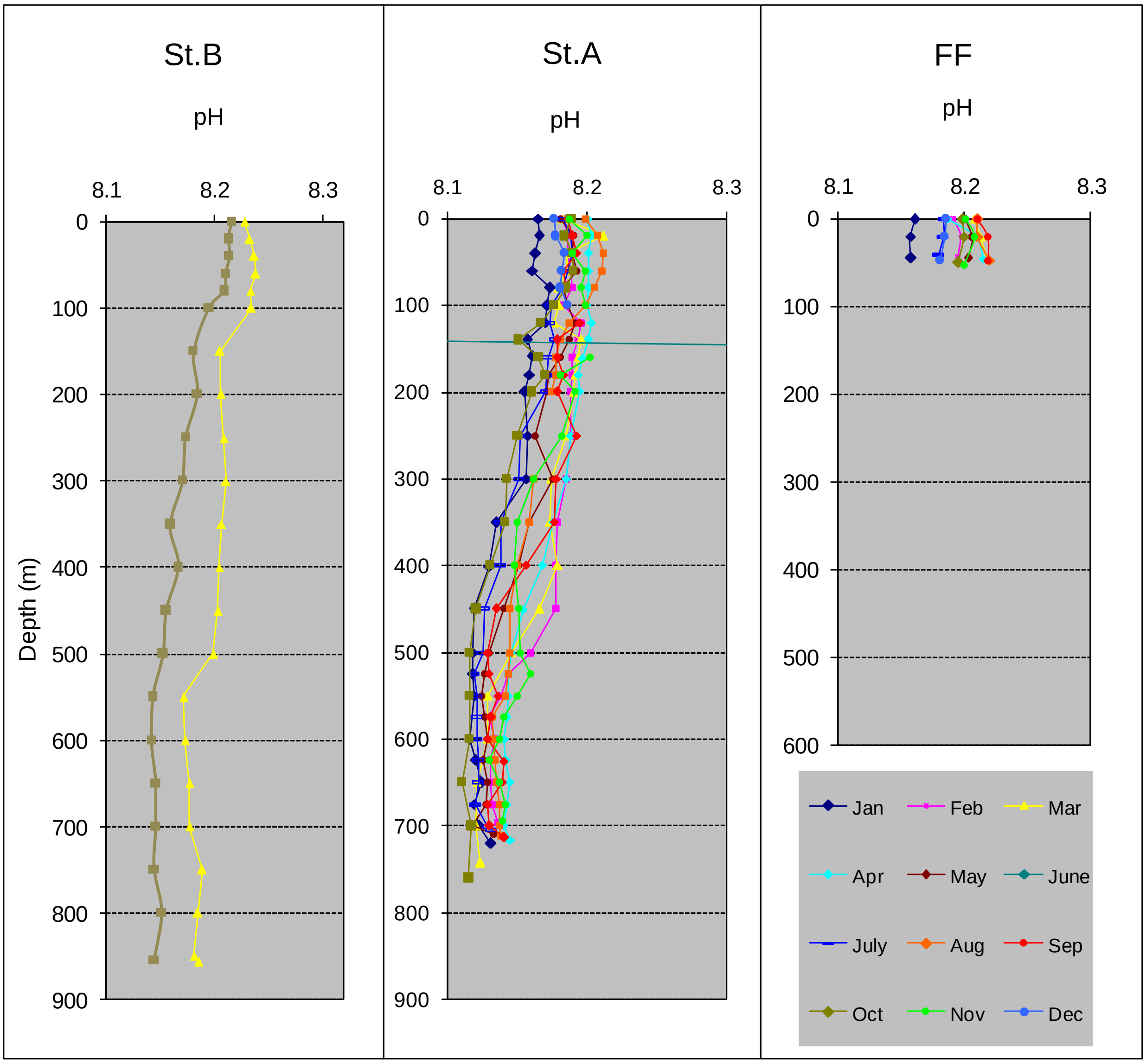
ערך הגבה (pH) המדווח להלן נמדד בסקלת pH_{NBS} לפי ההגדרה של Millero et al. (1993): $pH_{NBS} = -\log \{H^+\}$. לפרטים ראו פירוט "שיטות" בפרק מי החופים למעלה.

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

מדידות הגבה בחודש יוני השנה נמצאו בלתי אמינות ואינן מוצגות כאן. אלקטרודת ה- pH הוחלפה והמדידות בחודשים הבאים חזרו לערכים מקובלים.

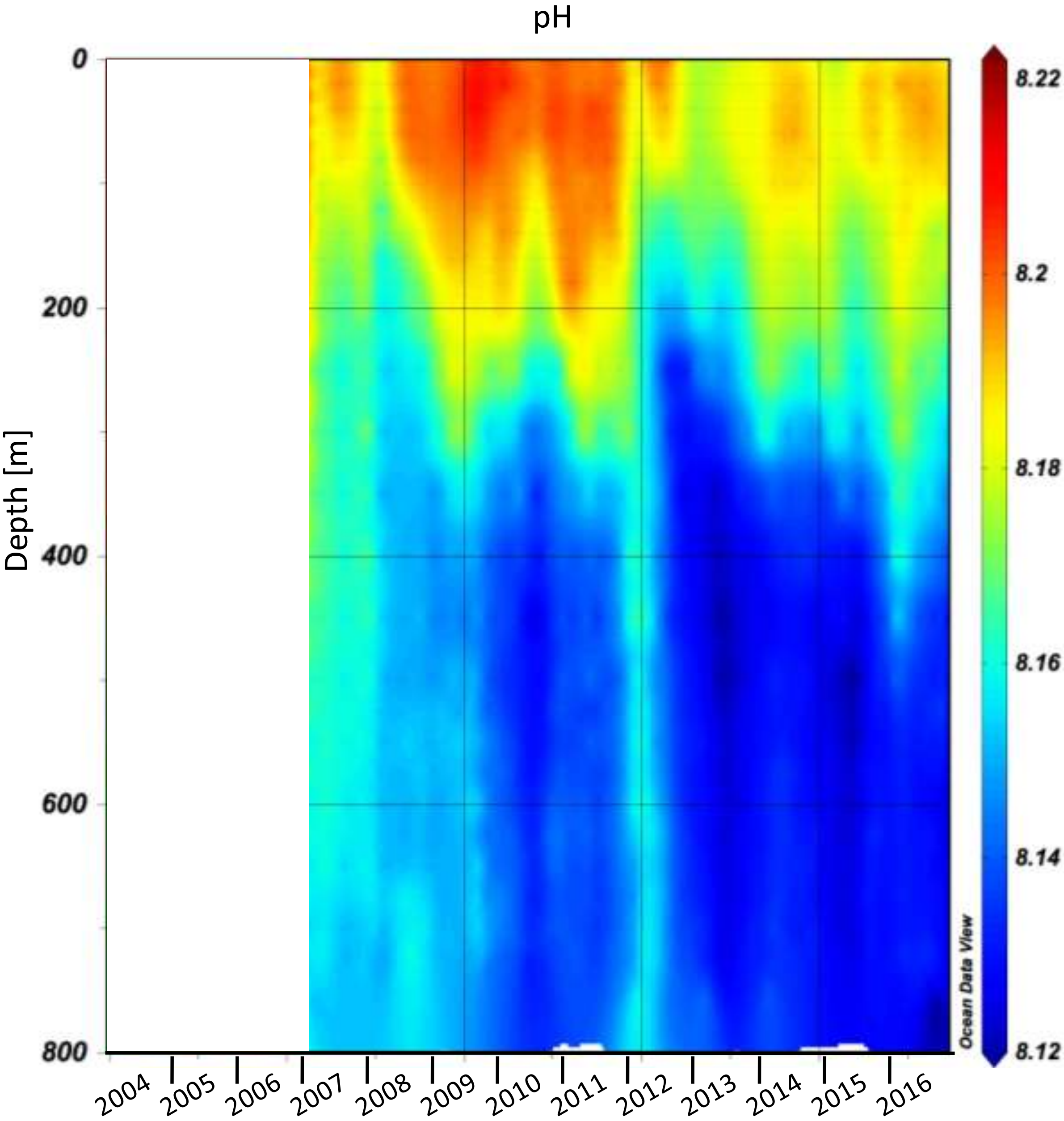
ערכי ה-pH במי העומק בדרך כלל נמוכים יותר מאשר במים הרדודים ועל כן מושפעת גם רמת החומציות בעמודת המים ממחזור הערבוב-שכוב העונתי. מבנה הפרופיל של ערך הגבה (pH) בעמודות המים דומה, לרוב, לזה של החמצן המומס מכיוון ששני המשתנים תלויים בקצבי הפוטוסינתזה והנשימה. ערכי ה- pH הגבוהים ביותר השנה נמדדו בחודש אוגוסט, בעומקים 40 ו-60 מטרים, 8.211 (איור 10ד). הערך הגבוה ביותר אשר נמדד בתחנה A בשנה הקודמת היה 8.204.

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 11ד). 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, והוסיף לעלות גם השנה. גם כאן ניתן לראות שהשינויים בערך הגבה בעמודת המים במחזור הערבובים הרדודים האחרון (מאז שנת 2012) קטנים מהשינויים שנמדדו במחזור הקודם (לאחר הערבוב העמוק בשנים 2007-8).



איור ד10: ערכי הגבה (רמת חומציות) בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה 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.

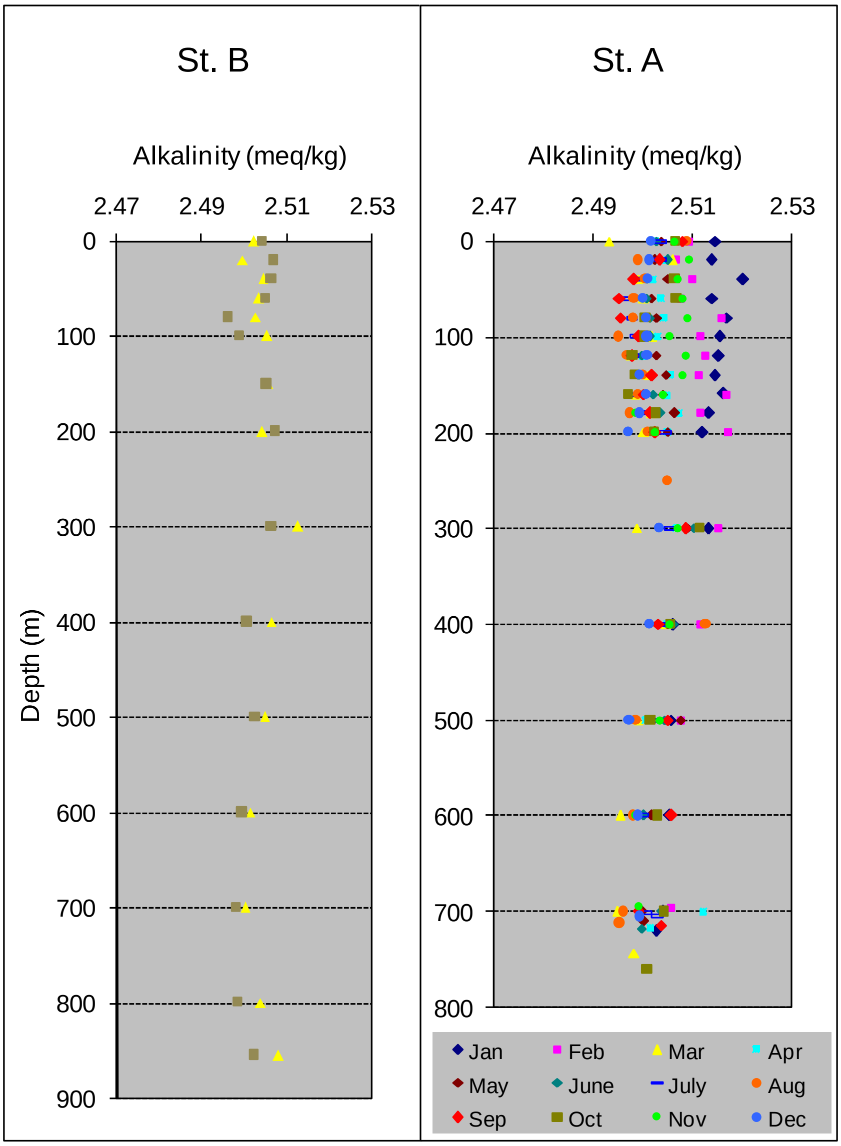


איור ד11: שינויים ברמת החומציות בעמודת המים בתחנה A מאז נובמבר 2006. הנקודות השחורות מייצגות את עומק המדידה.

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

<u>אלקליניות</u>

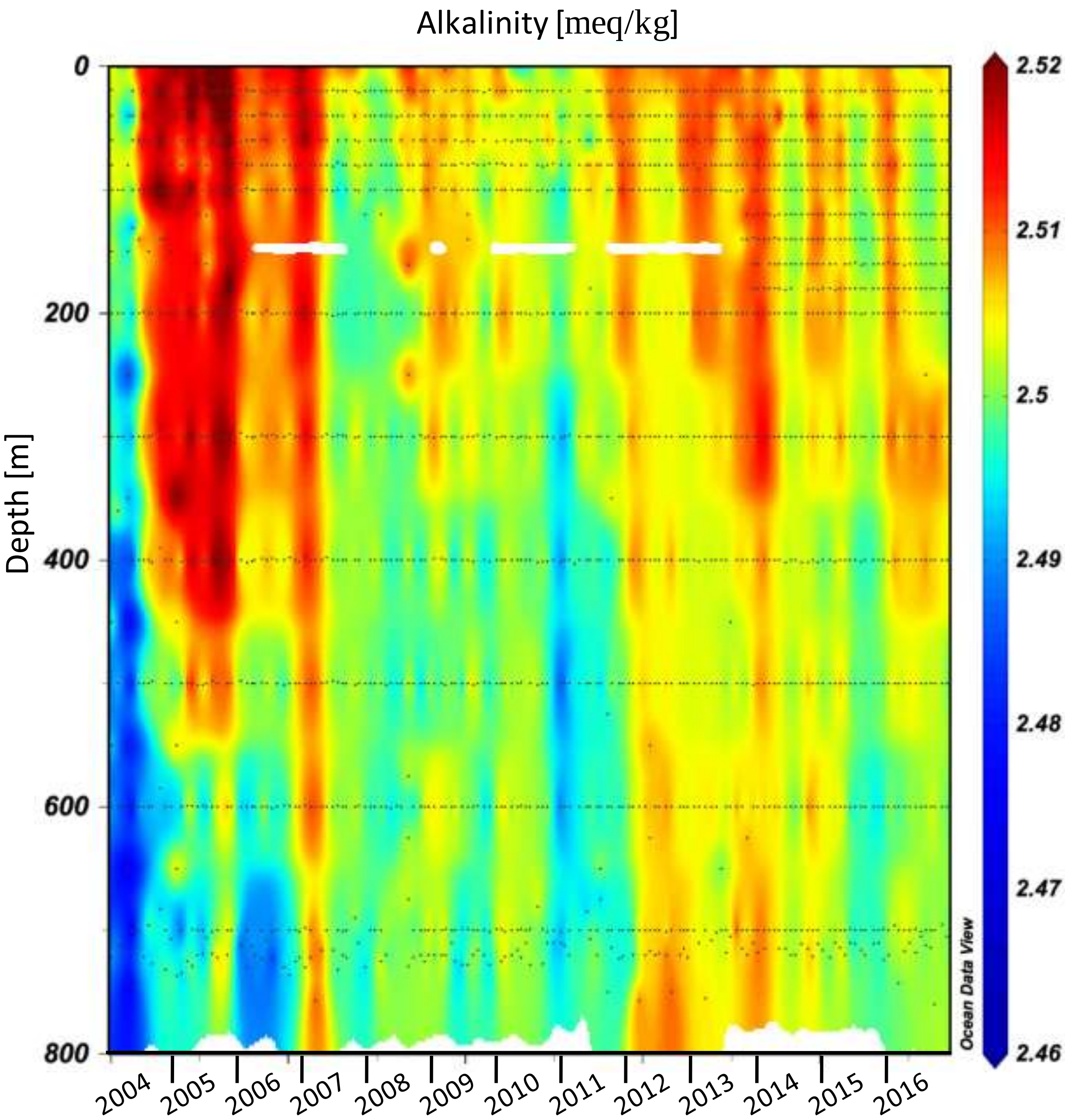
האלקליניות היא מדד לריכוז החומצות החלשות במים, ובעיקר לריכוז יוני הקרבונט והביקרבונט (CO_3^{2-} ו- HCO_3^- בהתאמה). טווח הערכים במדידות האלקליניות קטן מאד, הן בשינויים העונתיים והן בין העומקים (איור ד12). ערכים נמוכים יחסית של אלקליניות במים העמוקים נרשמים לאחר הקיץ, וערכים גבוהים יותר בחודשי הערבוב. בחודשי הקיץ האלקליניות במים העליונים נמוכה מעט מאשר במים התחתונים, ובחודשי האביב גבוהה מעט יותר. הערך המרבי שנמדד השנה היה 2.5205meq/kg, בחודש ינואר בעומק של 40 מטרים, גבוה מעט מזה של השנה הקודמת.



איור D12: 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 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 מחזורי הערבוב. בשנים 2004-2006 נמדדה אלקליניות גבוהה בעמודת המים, ובפרט במים העליונים, ולאחר הערבוב העמוק בשנת 2007 ירדה האלקליניות הנמדדת. בשנים 2012-2014 שוב נמדדה אלקליניות גבוהה יחסית, אם כי לא באותה מידה, ושנתיים האחרונות נמצאה ירידה קלה בערכי האלקליניות הנמדדים בעמודת המים (איור D13).



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

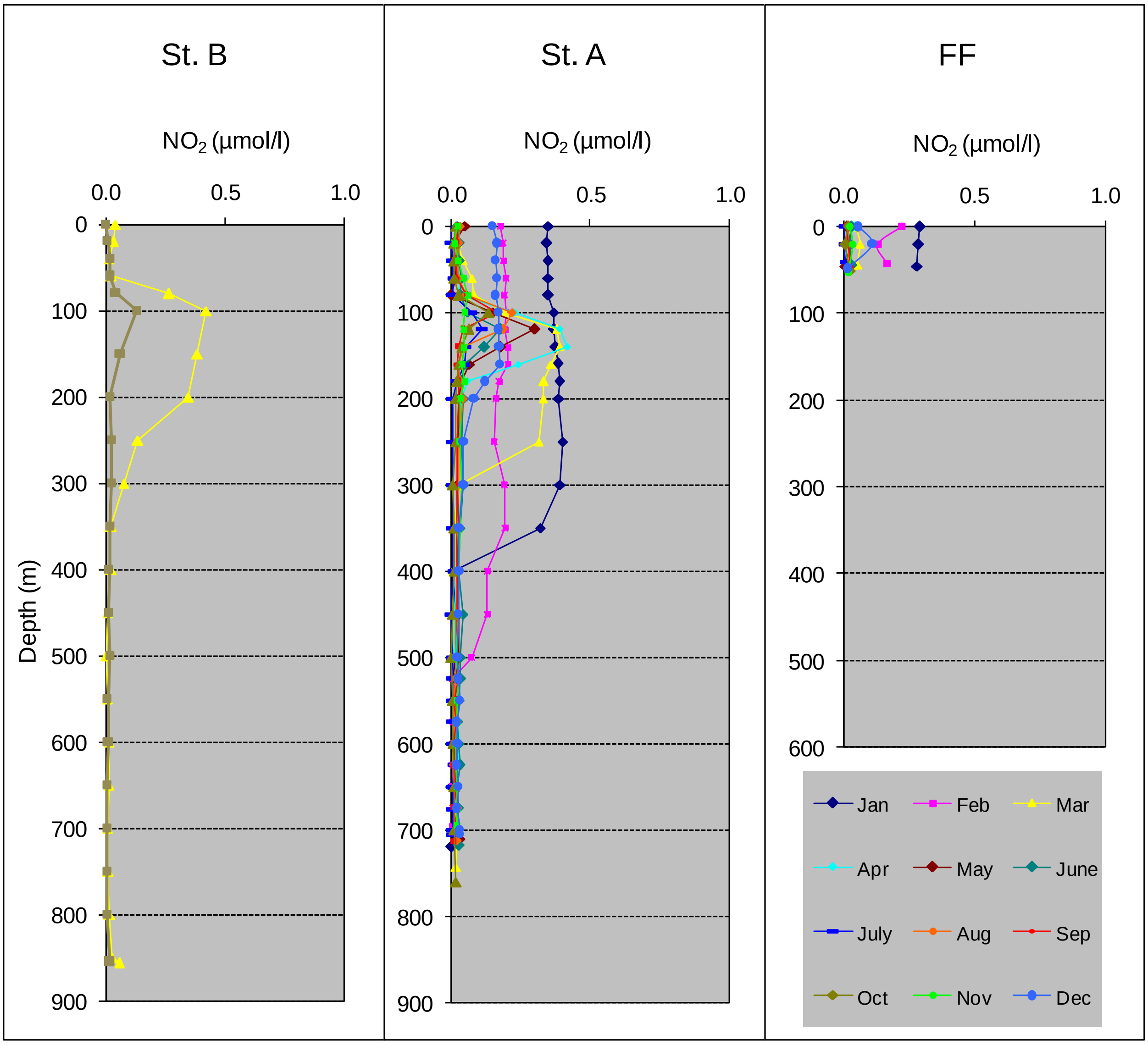
Figure D13: Changes in alkalinity in the water column at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths.

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

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

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. השנה נמדדו ריכוזי ניטריט גבוהים כבר בחודש ינואר, עד לעומק הערבוב של כ- 350 מטרים בחודש זה, ובחודש פברואר נמדדו ריכוזי ניטריט פחות או יותר אחידים, אם כי נמוכים יותר, עד לעומק של כ- 450 מטרים. שכבה של ריכוז ניטריט גבוה התפתחה בחודש מרץ והלכה והצטמצמה בחודשים שלאחר מכן (איור 14ד). ריכוז הניטריט המרבי בתחנה A נמדד השנה בחודש אפריל בעומק 140 מטרים והיה דומה לריכוזי הניטריט בעמודת המים העליונה בינואר (~0.4µmol/l). ריכוז מרבי זה נמוך מהריכוזים המרביים שנמדדו בשלוש השנים האחרונות.



איור 14ד: ריכוזי ניטריט (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 (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.

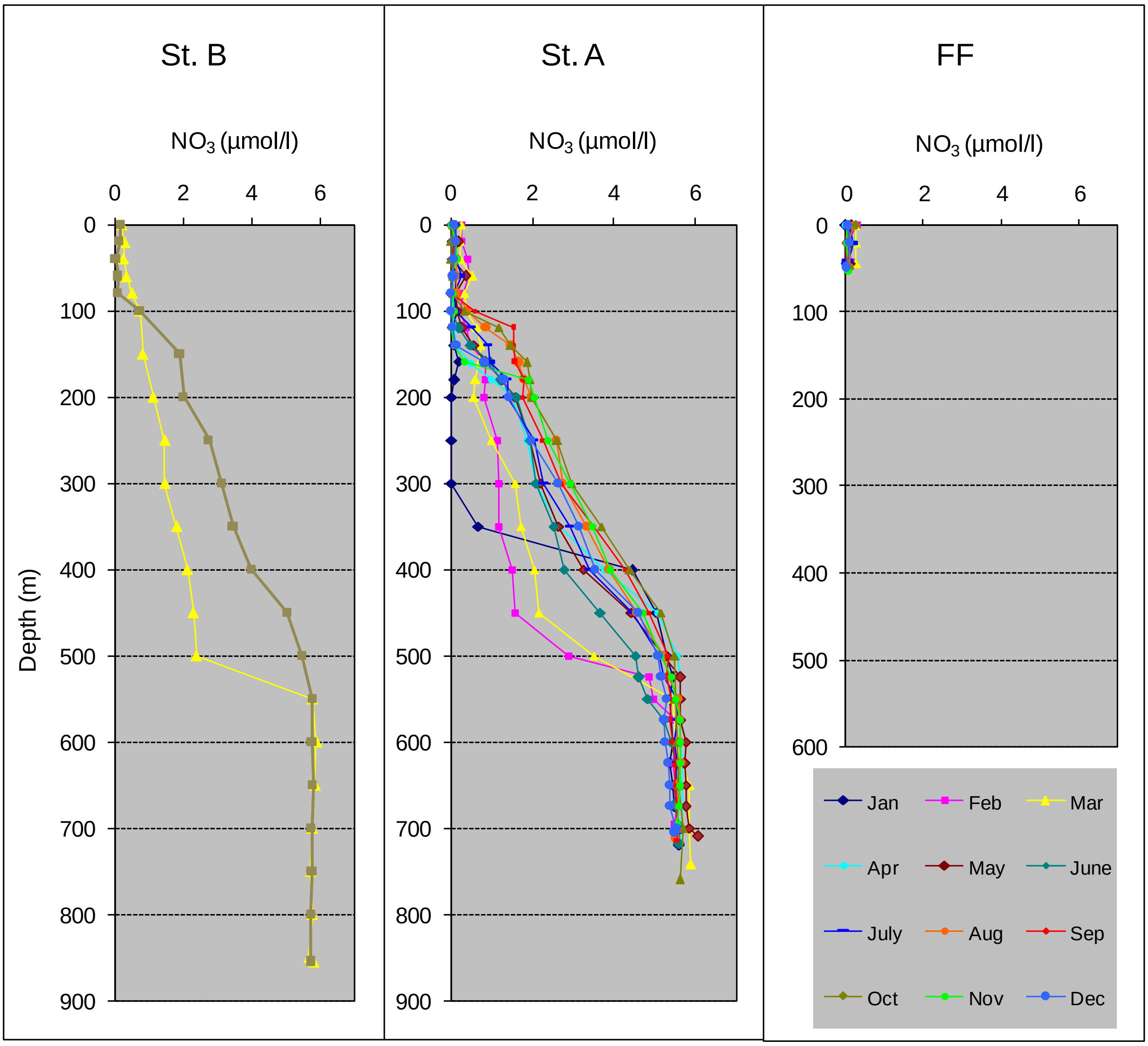
ניטראט הוא המרכיב העיקרי של מאגר החנקן האנאורגאני המחומצן במי העומק. הניטראט הינו התוצר הסופי של תהליך הניטריפיקציה שתחילתו המצון בקטריאלי של אמוניה ועל כן מהווה מדד לכמות

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 השנה היה קצר ועמוק יחסית בתחילת החורף. פרופילים של ניטראט בחודשים פברואר ומרץ מתחנה A מראים כי הערבוב העלה ניטראט מעומק של 450-500 מטרים, אם כי בזמן המדידות לא היתה עמודת המים מעורבבת. פרופיל חודש מרץ מתחנה B מראה כי הערבוב העלה ניטראט מעומק של 500 מטרים (איור 15ד). למרות העומק הגדול יחסית ממנו הגיע הניטראט, משך הערבוב היה קצר וצריכת הניטראט במים העליונים מנעה עליה בריכוזו שם. ריכוז הניטראט המרבי במים העליונים היה 0.535µmol/l, בחודש מרץ בעומק של 60 מטרים. ריכוז זה דומה לריכוז הניטראט אשר נמדד במים העליונים בשנה הקודמת.

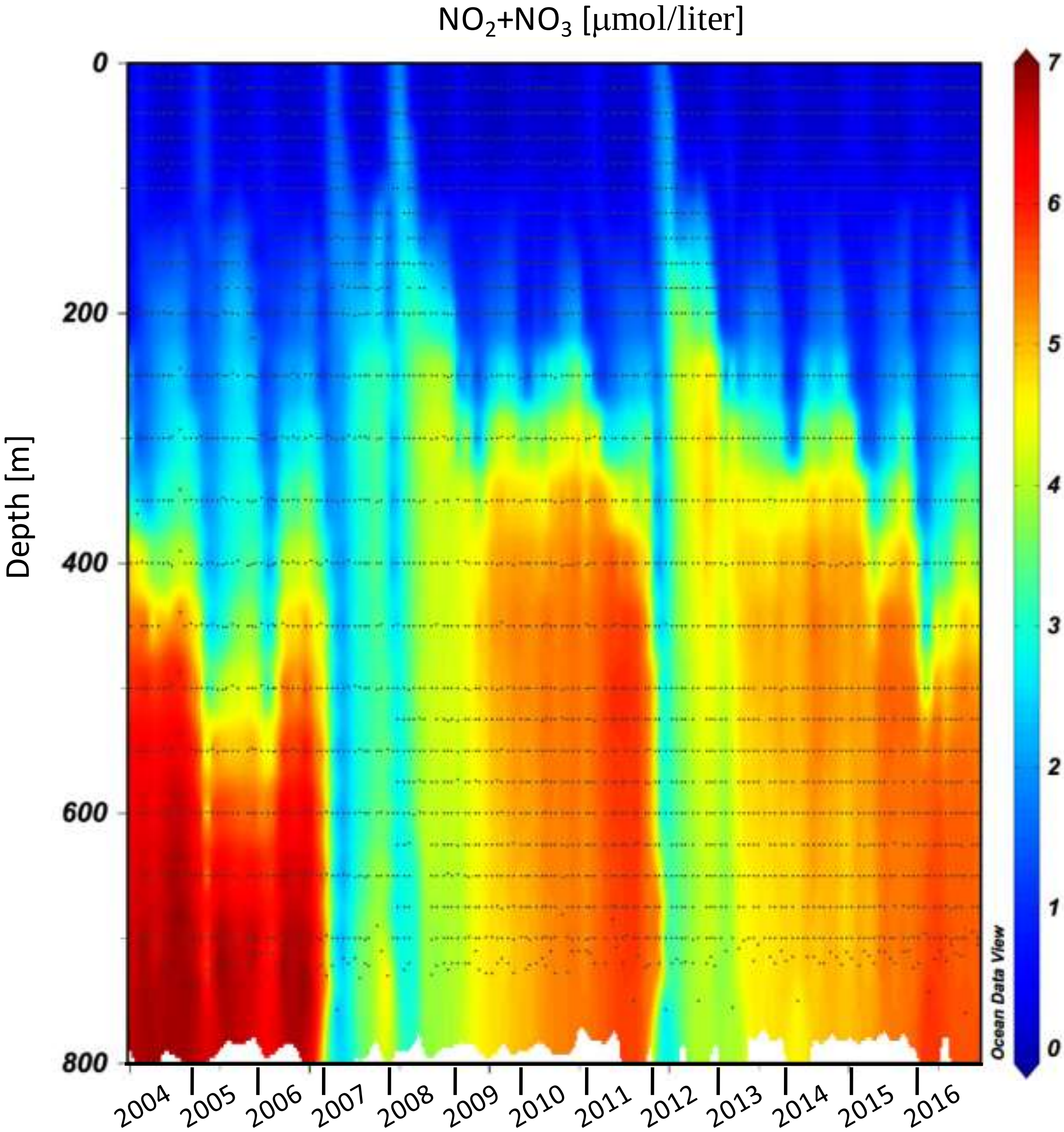
לשם השוואה, בשנת 2014 בה היה הערבוב רדוד במיוחד נמדד במים העליונים ריכוז ניטראט מרבי של 0.12µmol/l בלבד ובשנת 2012, בה היה הערבוב עמוק, נמדד בפני הים בחודש מרץ ריכוז ניטראט של 2.158µmol/l.

במים העמוקים היה ריכוז הניטראט השנה ~5.9µmol/l גבוה מעט בהשוואה לשנתיים הקודמות ודומה לריכוזו במי העומק בשנת 2011, לפני הערבוב העמוק של שנת 2012.



איור ד15: ריכוזי ניטראט (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 (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.

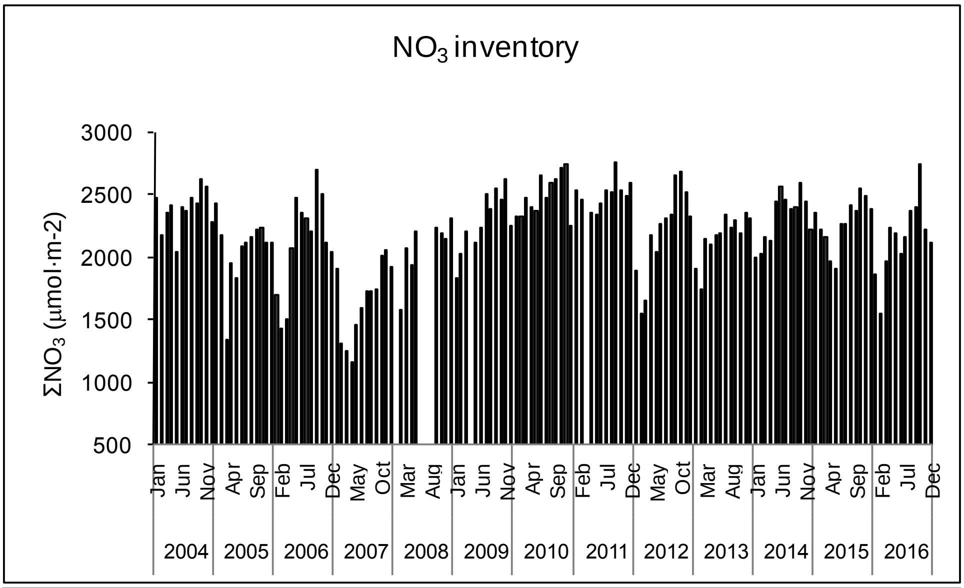
ריכוז החנקן המחומצן בעמודת המים (Total Oxidized Nitrogen) דומה לריכוז מרכיבו העיקרי, הניטראט. בשנים הראשונות לתכנית הניטור, נמדדו ריכוזי חנקן מחומצן גבוהים במים העמוקים. ערבוב עמודת המים בחורף 2004-5 הגיע עד לכ-600 מטר וריכוז החנקן ירד עד לעומק זה, אולם ב-2006 שוב נמדדו ריכוזים דומים לאלה של שנת 2004. 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. ארבע 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 20004-6 (איור ד16).

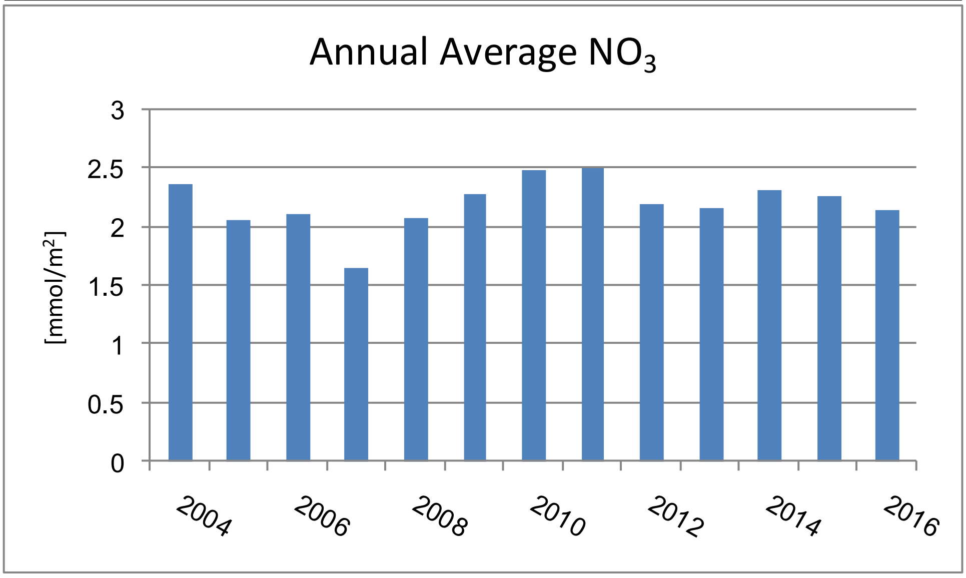


איור ד16: שינויים בריכוז החנקן המחומצן ($TON= NO_3+NO_2$) בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. הנקודות השחורות מייצגות את עומק המדידה.

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

מאגר הניטראט בעמודת המים מאז 2004 מראה עליה בכמות החנקן בעמודת המים בין השנים 2008-11, אך מאז הערבוב העמוק של שנת 2012 השינויים במאגר הניטראט קטנים יותר. מאגר הניטראט הממוצע המחושב השנה נמוך מעט מאשר בשנה הקודמת, ובשנים שלאחר 2012 מאגר הניטראט השנתי הממוצע נמוך משהיה בשנים 2010-11 (איור ד17).





איור ד17: שינויים במאגר הניטראט (NO_3) בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. למעלה: מדידות חדשיות, למטה: ממוצע שנתי

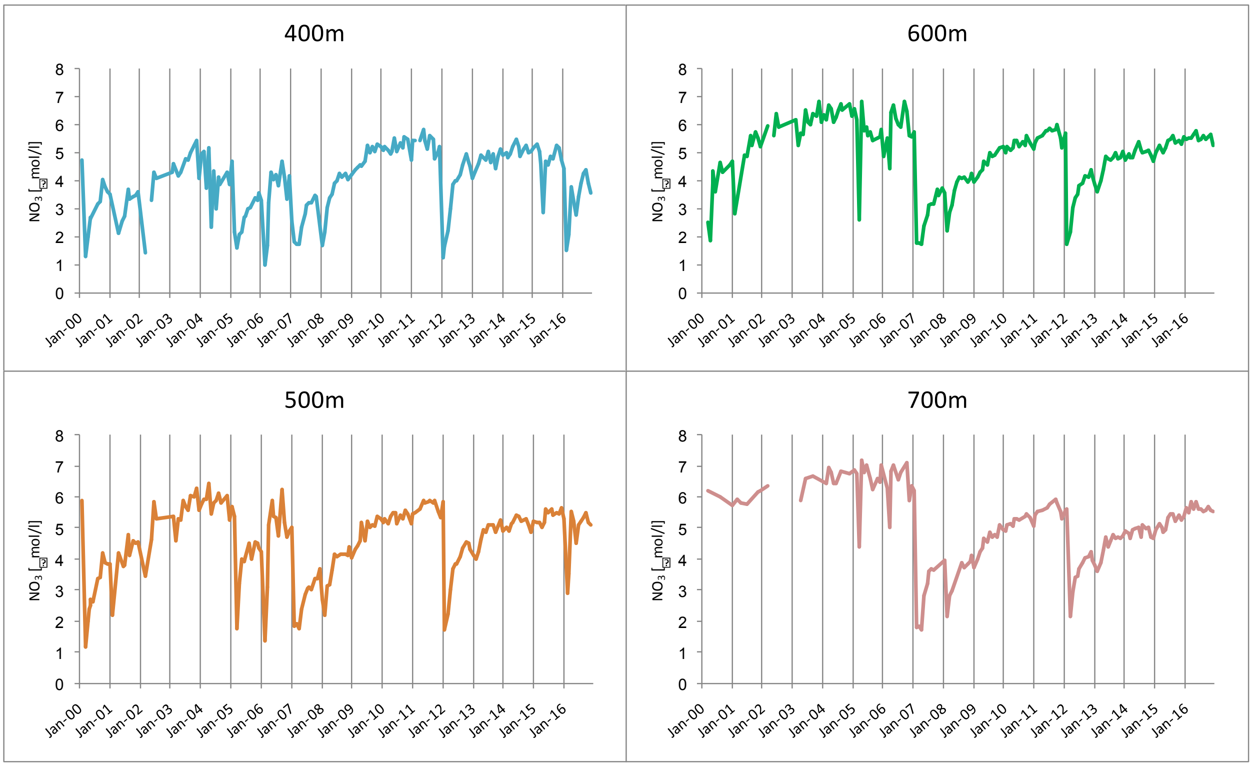
Figure D17: Changes in the nitrate (NO_3) inventory in the water column at Station A since 2004. Top: monthly inventories, Bottom: annual average

סדרת זמן של ריכוזי ניטראט בעומקים קבועים בעמודת המים מגלה מחזורים עונתיים ורב-שנתיים התלויים בעומק הערבוב (איור ד18). מאז שנת 2000 ניתן לעקוב אחר שלושה מחזורים של ערבוב עמוק ואחריו מספר שנים בהן הערבוב רדוד. בין השנים 2000 ו- 2007 ריכוזי הניטראט במים העמוקים (~700 מטר) גבוהים (6.7-7 µmol/l) וכמעט קבועים. גם בעומק 600 מטרים, המושפע יותר מהערבוב העונתי, נמצאו בשנים 2003-7 שינויים קטנים וחזרה מהירה לריכוזים גבוהים (6.4-6.8 µmol/l). ערבוב עמודת המים בתקופת החורף מוריד את ריכוז הניטראט בעומק אליו מגיע הערבוב, אולם החזרה לערכים קודמים היתה מהירה.

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

לפני שנת 2007.

הערבוב העמוק בשנת 2012 הוריד את הריכוזים בכל העומקים (2.16µmol/l בעומק 700 מ' במרץ 2012) וריכוז החנקן המרבי אשר נמדד השנה בעומק זה, ארבע שנים לאחר הערבוב, עמד על 5.8µmol/l. לשם השוואה, הריכוז המרבי בעומק זה בשנת 2011 היה 5.93µmol/l ובשנת 2006 נמדד ריכוז של 7.09µmol/l.

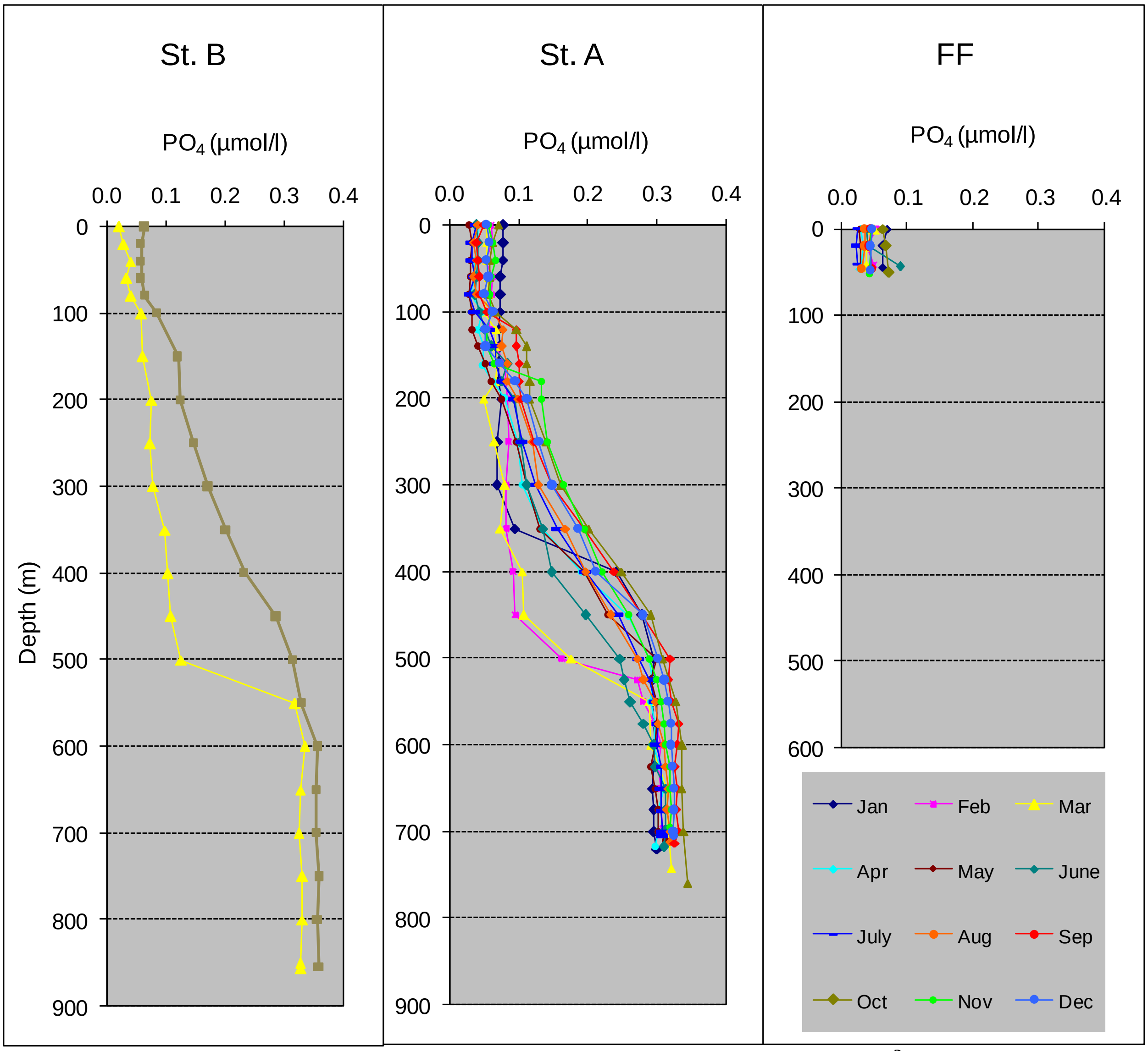


איור ד18: שינויים בריכוז הניטראט בעמקים (400 עד 700 מטר) בתחנה A מאז ינואר 2000. נתונים הקודמים לתכנית הניטור נאספו במסגרת פרויקט "פארק השלום" ומובאים באדיבותם של הפרופ' י. ארז והפרופ' ב. לזר.

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

<u>פוספט</u>

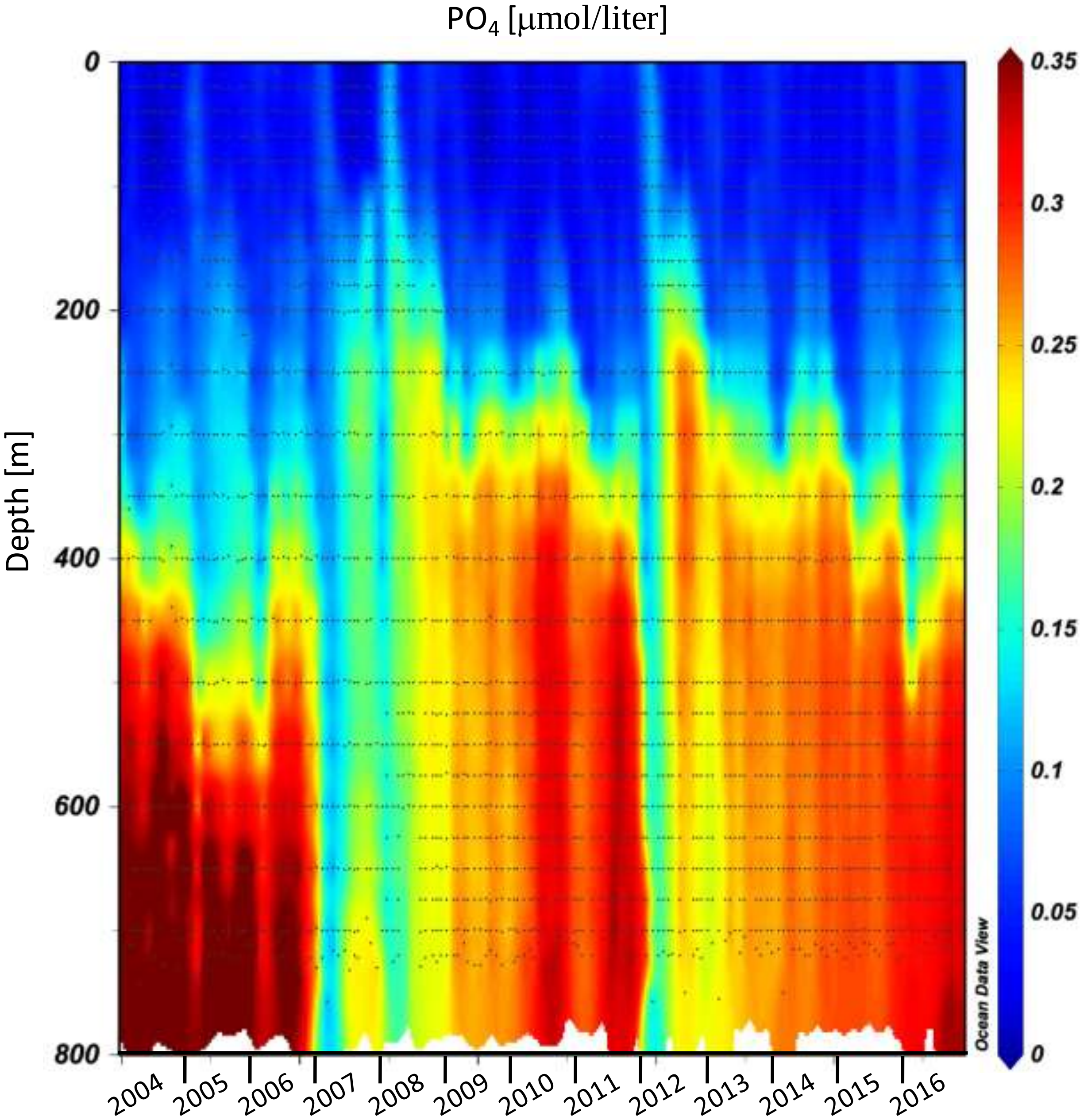
בדומה לנוטריינטים אחרים, ריכוזי הפוספט בעמודת המים נמוכים בקרבת פני הים וגבוהים יותר בעומק (איור ד19). במים הרדודים נצרכים חומרים אלה בתהליכי יצירת חומר אורגני על ידי היצרנים הראשוניים, ובעקבות שקיעת חלקיקים אורגנים מהמים הרדודים ופירוק בעומק עולה ריכוז הנוטריינטים, ובכלל זה הפוספט, עם העומק. המחזור 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 0.078µmol/l בחודש ינואר, מעט גבוה מערכים שנמדדו בפני הים אחרי שנת 2012. במים העמוקים היה ריכוז הפוספט סביב 0.34 µmol/l, וגם ערך זה גבוה מעט בהשוואה לשנים האחרונות. במים העמוקים בתחנה B נמדדו בחודש אוקטובר ערכים מעט גבוהים יותר, סביב 0.36 µmol/l.



איור 19ד: ריכוזי פוספט (PO_4^{-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, ותחנת FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים.

Figure D19: Phosphate (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.

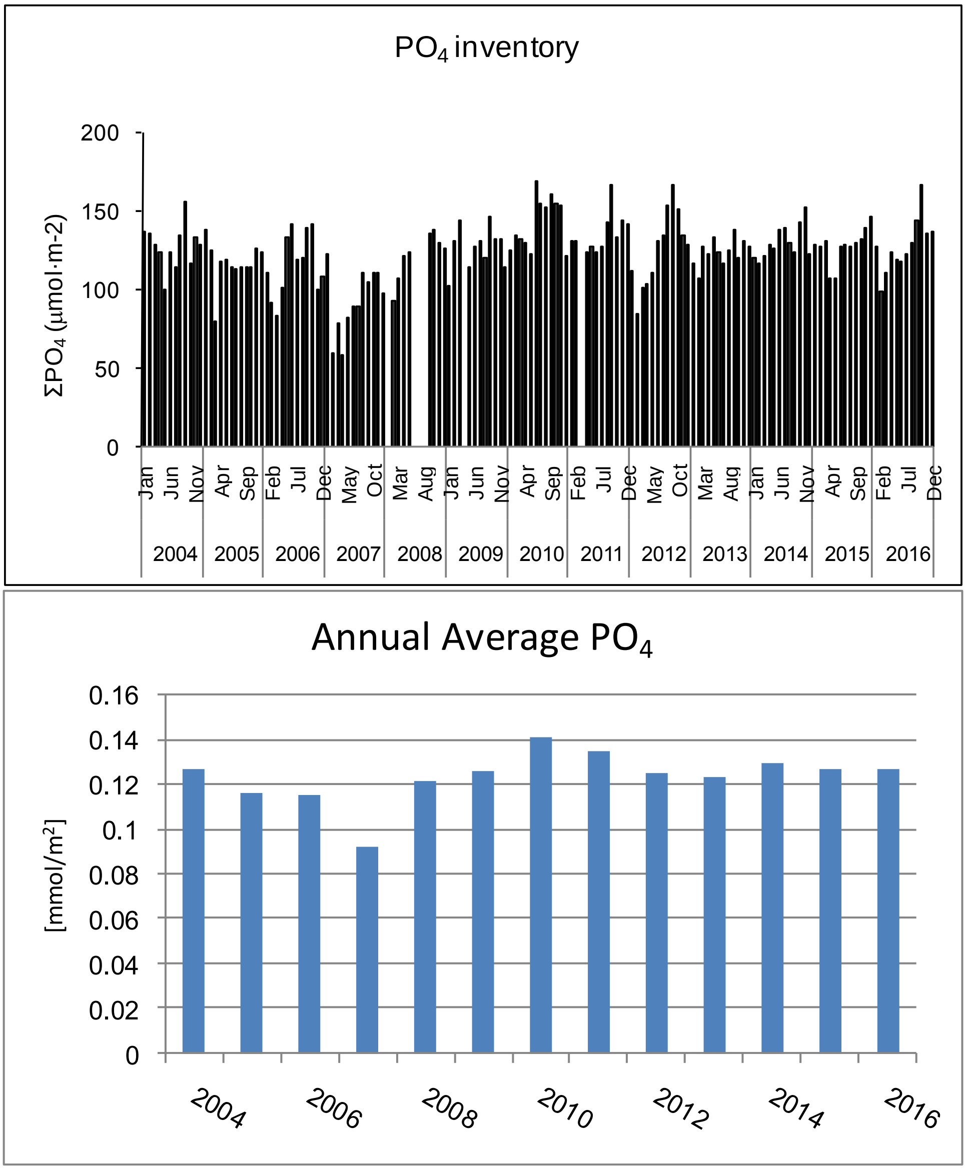
ריכוזי הפוספט במים העמוקים היו גבוהים (0.36-0.4 µmol/l) בחודשי הסתיו בשנים 2004-6 ובעקבות הערבוב העמוק בשנת 2007 ואחר כך שוב בשנת 2008 ירדו ריכוזי הפוספט בעמודת המים, ובפרט במים העמוקים, באופן משמעותי. ובשלוש השנים שלאחר מכן עלה ריכוז הפוספט במים העמוקים בהדרגה עד לערך של 0.35 µmol/l בסוף שנת 2011. הערבוב העמוק בשנת 2012 שוב גרם לירידת ריכוזי הפוספט במים העמוקים, ומאז ריכוזי הפוספט במי הביניים ובמים העמוקים עולים בהדרגה והשנה, ארבע שנים לאחר הערבוב, הגיע, כאמור, ריכוז הפוספט במים העמוקים בתחנה A ל- 0.34 µmol/l. 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 20ד).



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 השנה גרם לירידה במאגר הפוספט המחושב בחודשים פברואר ומרץ (איור ד21). כמות הפוספט השנתית הממוצעת המומסת בעמודת המים דומה בשנים האחרונות ונמוכה מזו המחושבת לשנים 2010-11, לפני הערבוב של שנת 2012.



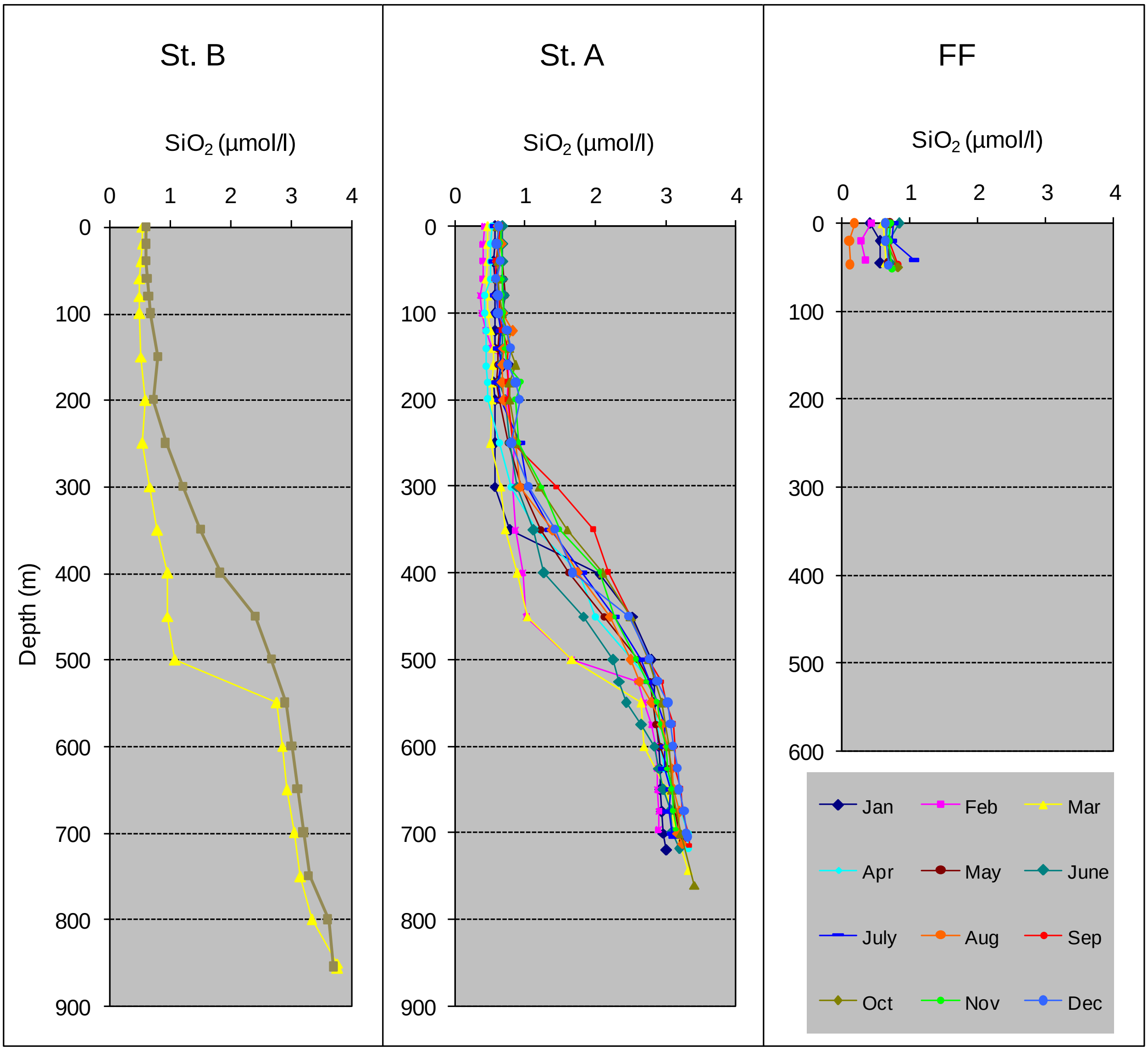
איור ד21: שינויים במאגר הפוספט בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. למעלה: מדידות חדשיות, למטה: ממוצע שנתי

Figure D21: Changes in the phosphate inventory in the water column at Station A since 2004. Top: monthly inventories, Bottom: annual average

<u>סיליקה</u>

ריכוזי הסיליקה בפני הים בתחנה A היו השנה מעט גבוהים (0.40-0.64µmol/l) בהשוואה לשנתיים האחרונות, עקב הערבוב העמוק יותר. בשנת 2012 נמדד בפני הים ריכוז סיליקה של 1.293µmol/l.

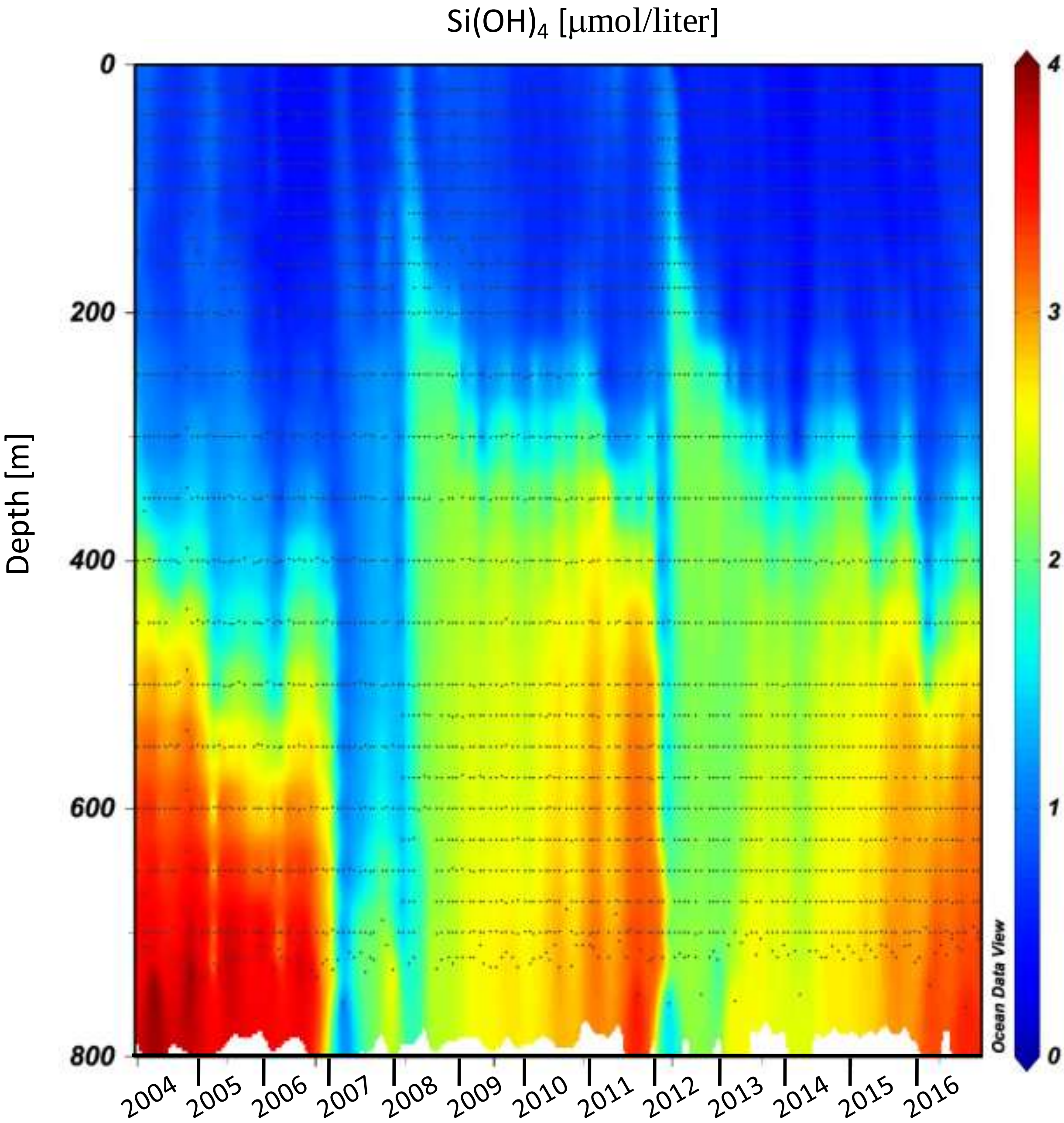
במים העמוקים עלו ריכוזי הסיליקה במשך השנה מערך מינימלי של 2.90µmol/l בפברואר ל-3.33µmol/l בסוף השנה וריכוזים גבוהים יותר נמדדו בקרבת הקרקעית ובתחנה B. עליית ריכוזי הסיליקה בסמוך לקרקעית הים (איור ד22) מצביעה על מקור סיליקה בסדימנט, המסת סיליקה ממוצא יבשתי או שלדים סיליקטים של פלנקטון, בעיקר אצות צורניות [diatoms].



איור ד22: ריכוזי סיליקה ($Si(OH)_4$) בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה 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 ($Si(OH)_4$) 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.

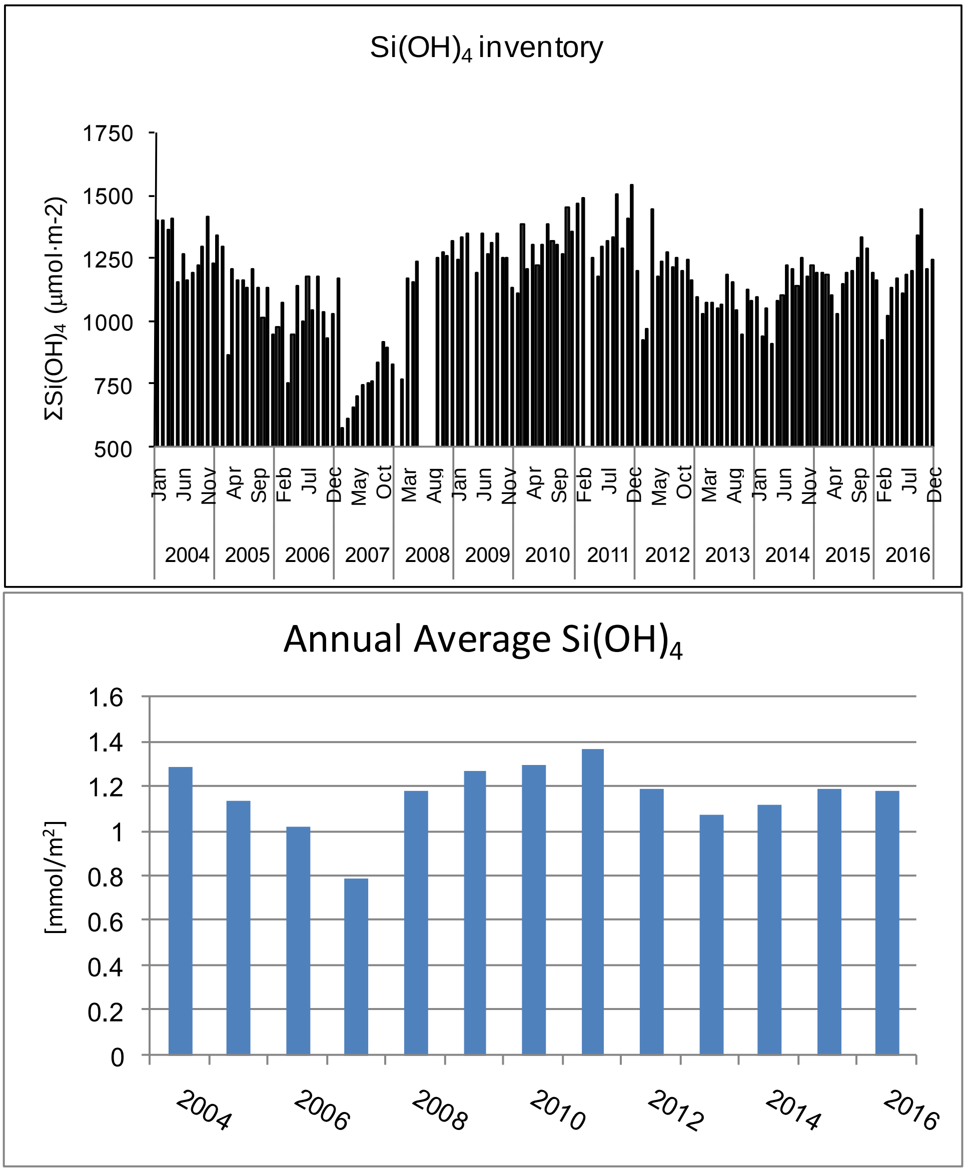
מחזורי הערבוב העמוק ניכרים בעליית ריכוזי סיליקה במים הרדודים בעקבות ערבוב עמוק וירידה מתמשכת בשנים של ערבוב רדוד, ותמונה הפוכה במים העמוקים (איור ד23). גם בסיליקה, כמו בנוטריינטים אחרים, ניכרים שלושה מחזורים רב-שנתיים הקשורים לערבוב עמודת המים, כאשר במחזור האחרון (לאחר הערבוב העמוק בשנת 2012) ריכוזי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

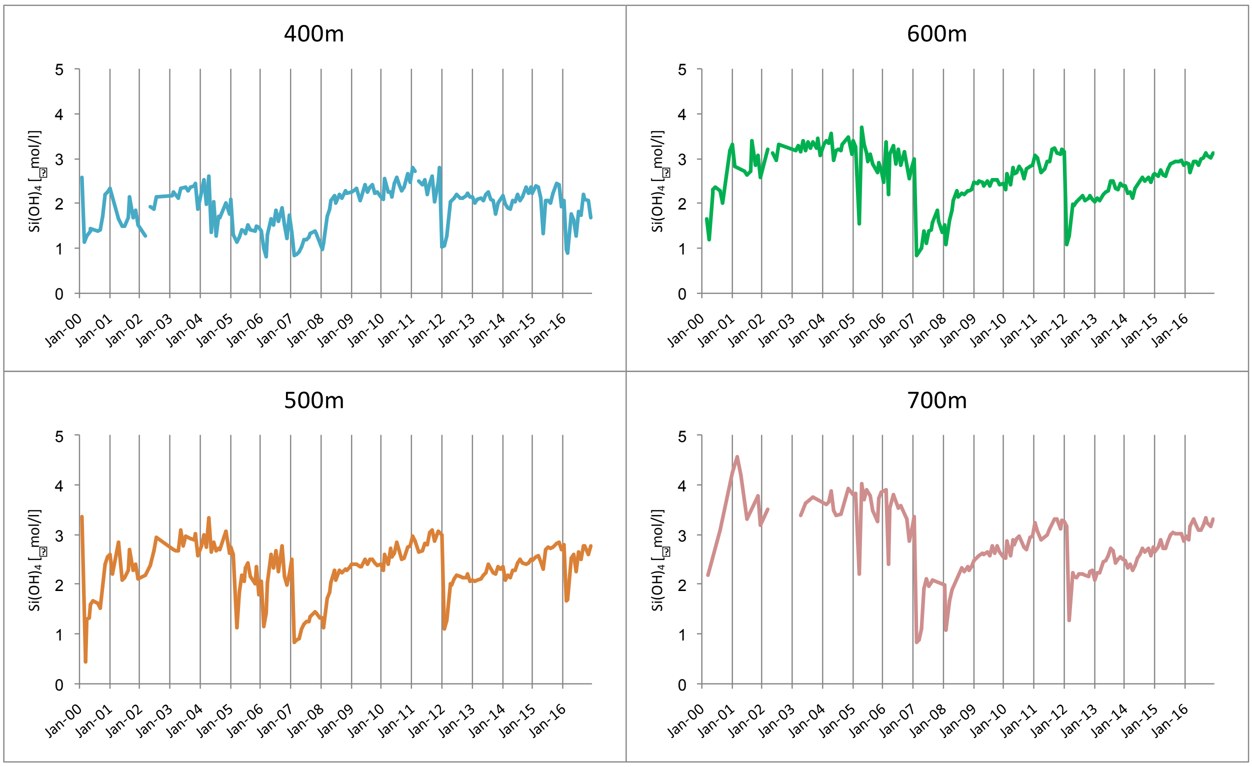
מאגר הסיליקה בעמודת המים הגיע לערכים נמוכים ביותר בשנת 2007, אז העלה הערבוב סיליקה לאזור הפוטי והזין פריחת אצות צורניות. בשנים שלאחר מכן עלתה כמות הסיליקה המומסת במים עד ששוב ירדה בעקבות הערבוב העמוק של שנת 2012, אם כי במידה פחותה – נראה כי בעקבות הערבוב בשנת 2012 לא התרחשה פריחה חזקה של אצות צורניות 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: מדידות חדשיות, למטה: ממוצע שנתי

Figure D24: Changes in the silica inventory in the water column at Station A since 2004. Top: monthly inventories, Bottom: annual average

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



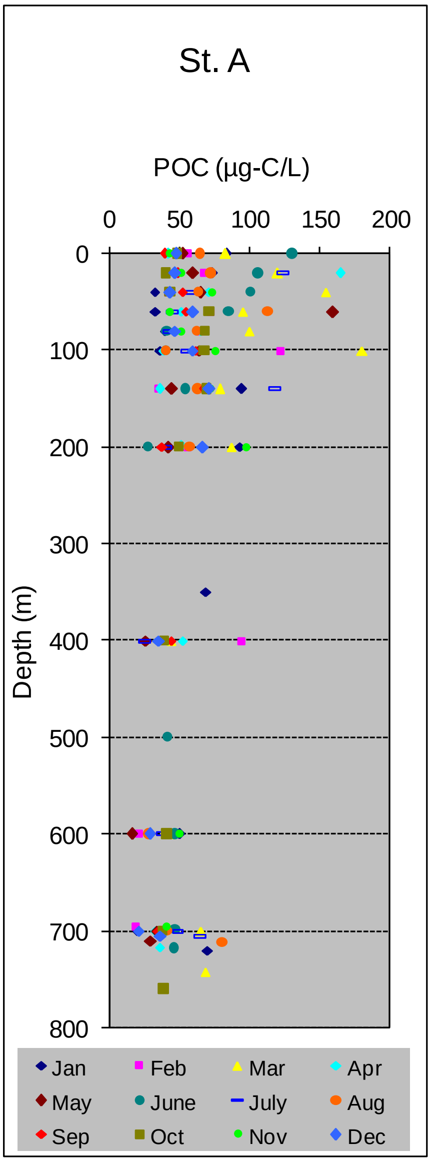
איור ד25: שינויים בריכוז הסיליקה בעמקים (400 עד 700 מטר) בתחנה A מאז ינואר 2000. נתונים הקודמים לתכנית הניטור נאספו במסגרת פרויקט "פארק השלום" ומובאים באדיבותם של הפרופ' י. ארז והפרופ' ב. לזר.

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

<u>פחמן אורגני חלקיקי (POC)</u>

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

פרופילים של ריכוז הפחמן החלקיקי נמדדים בעמודת המים בתחנה A, עם צפיפות דגימות גדולה בשכבה הפוטית, וקרוב לקרקעית. ריכוזי הפחמן החלקיקי גבוהים במיוחד ב-100 המטרים העליונים של עמודת המים והערכים הגבוהים ביותר נמדדים בחודשי האביב (איור ד26). ריכוז מרבי של 181 µgC/l נמדד השנה בחודש מרץ בעומק 100 מטרים. ריכוז הפחמן החלקיקי במים העליונים גדול באופן יחסי בחודשי החורף ונמוך יותר בחודשי הקיץ ובמים העמוקים. עלייה בריכוז פחמן חלקיקי בקרבת הקרקעית מצביעה 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.

דיון

עמודת המים העמוקים מעוצבת בעיקר על ידי המחזור העונתי, המורכב מירידת טמפרטורות בפני הים בחורף וכתוצאה מכך ערבוב של המים העליונים עם המים העמוקים ותוך כך - העלאת נוטריינטים, חומרי דשן, מהעומק והעשרת המים העמוקים בחמצן. כשמתחילה העונה החמה, חדירת מים חמים יותר, שמקורם בדרום המפרץ, יוצרת שכוב פיסיקלי 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).

השנה היה ערבוב עמודת המים לעומק בינוני: בתחילת החורף התקררו בפני 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 הרביעית, מאז שנת 2012, בה המים העמוקים 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 אף כי הריכוזים 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 (שנת 2011) ניכר כי ריכוזי הנוטריינטים במי העומק נמוכים משהיו שלוש שנים לאחר הערבוב העמוק של שנת 2008, וריכוזי החמצן בעומק גבוהים יותר. 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.

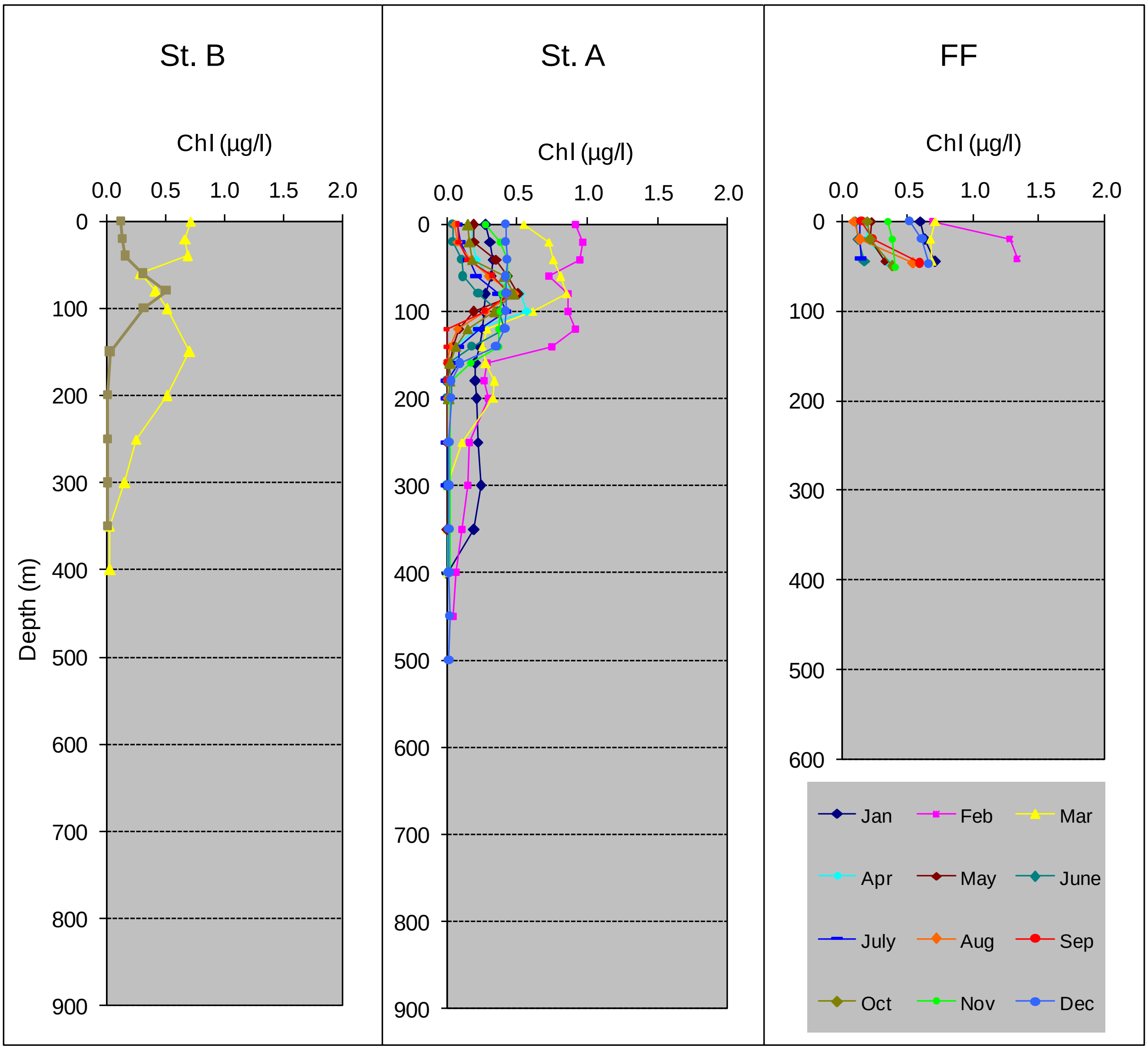
במי העומק, ובפרט בעומקים הגדולים מכ- 500 מטרים, נמשכת מגמה של עליית הטמפרטורה. הטמפרטורה במים העמוקים ירדה בשנים 2007-2008 כתוצאה מהערבוב העמוק בשנים אלה, אך מאז נמדדת עלייה קלה בטמפרטורות המים העמוקים. על אף הערבוב העמוק של שנת 2012, לא נמצאה ירידה בטמפרטורת המים העמוקים מ-500 מטרים ועליית הטמפרטורה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

ד.3. כלורופיל *a*

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

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

ריכוז הכלורופיל המרבי אשר נמדד השנה בתחנה A היה 0.96 µg/l בחודש פברואר, בעומק 20 מטרים (איור ד27). זהו ריכוז גבוה מהערך המרבי בשנה הקודמת (0.71 µg/l). ריכוז הכלורופיל המרבי בחוף הצפוני, בתחנת כלובי הדגים היה באותו חודש 1.33 µg/l, גם כן גבוה בהשוואה לשנים האחרונות. גם בחודש מרץ נמדדו ריכוזי כלורופיל גבוהים במים העליונים ולאחר מכן נבנה אזור ה-DCM סביב עומק 80 מטרים.

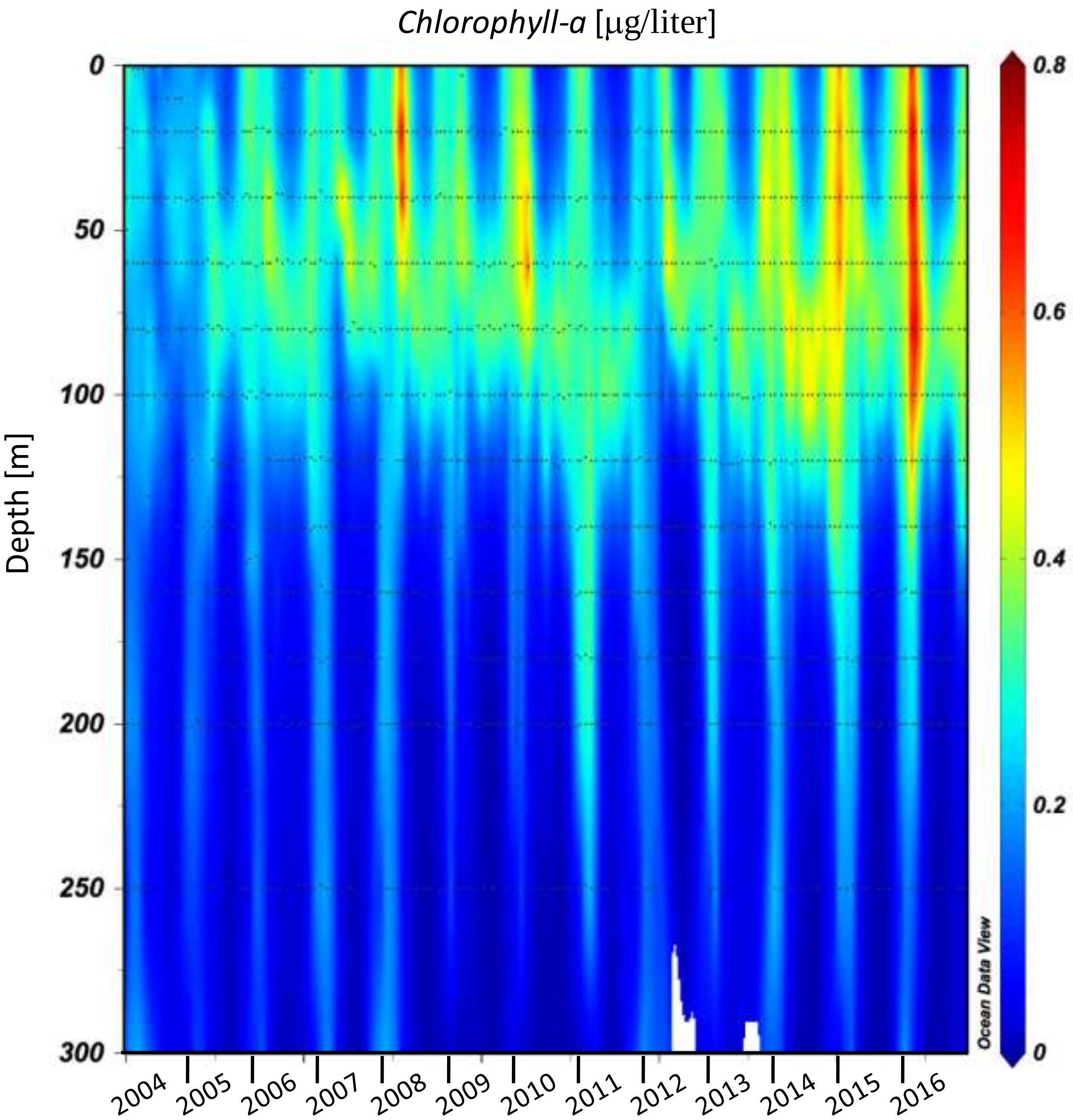


איור ד26: ריכוזי כלורופיל *a* בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה B היא הדרומית והעמוקה ביותר (>800 מ'), תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של

למעלה מ-700 מטרים, ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים.

Figure D26: *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 הם מן הגבוהים ביותר אשר נמדדו על ידי תכנית הניטור מאז 2004 (איור ד27). בשנת 2008, השנה השנייה ברציפות של ערבוב עמוק, נמדד ריכוז הכלורופיל הגבוה ביותר µg/l 1.14, אולם רק בעמקים 20 ו-40 מטרים ורק בחודש אפריל. ריכוזי הכלורופיל השנה היו נמוכים יותר, אך נמדדו במאה המטרים העליונים ובחודשים פברואר-מרץ. בשנת 2012, בה היה ערבוב עמוק של עמודת המים, היה ריכוז הכלורופיל באביב (מאי) בתחנה A ‏(µg/l 0.834). בשנתיים האחרונות נמדדים בעמודת המים העליונה ריכוזי כלורופיל גבוהים במידה שאינה מוסברת על ידי עומק הערבוב.



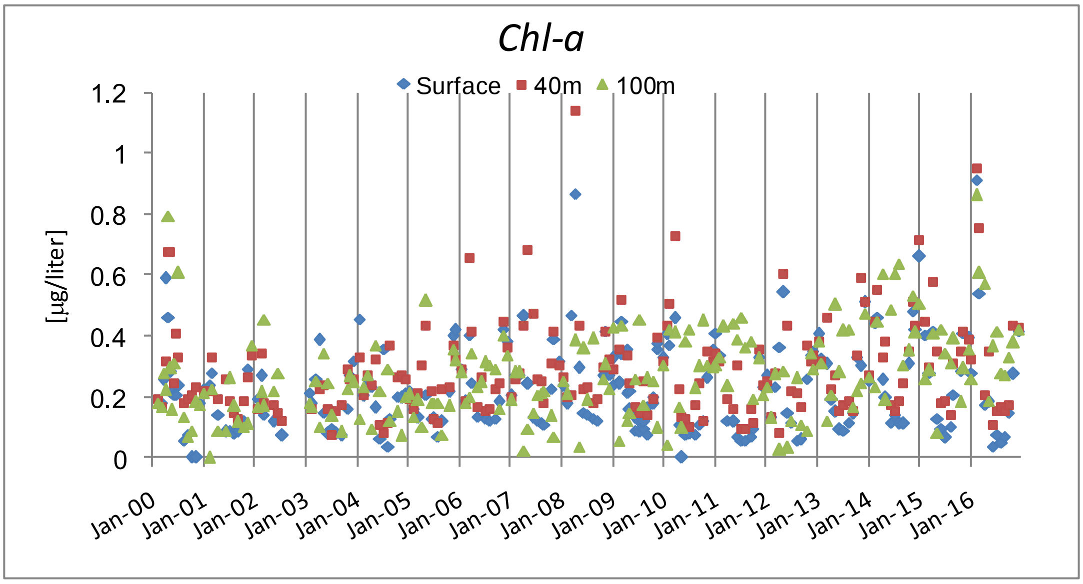
איור ד27: *שינויים בריכוז כלורופיל a בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. הנקודות השחורות מייצגות את עומק המדידה.*

Figure D27: 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, השנתיים האחרונות מראות ריכוזי כלורופיל חריגים בהתחשב בעומק ערבוב שאינו גדול במיוחד (איור ד28).

בנוסף לריכוזי הכלורופיל הגבוהים בחודש פברואר (ובמידה פחותה במרץ) בעמודת המים העמוקה נמצאו ריכוזי כלורופיל גבוהים בחודש פברואר בתחנת כלובי הדגים, ובחודש ינואר במסע ניטור מי החופים (פרק ג.1). בנוסף לכך, נספרו ריכוזים גבוהים של תאי פיטופלנקטון (פרק ד.4, להלן) ונמדדה ביומסה גבוה של זואופלנקטון (פרק ד.6) בחודש מרץ. לעומת זאת, היצרנות הראשונית אשר נמדדה השנה בחודשים אלה לא היתה חריגה (פרק ד.5).

מעבר לשנים 2000, 2007, 2008 ו- 2012 בהן היה ערבוב עמוק ונמצאו ריכוזי כלורופיל גבוהים באביב, נמדדו ריכוזים גבוהים גם בשנת 2010 ובשנתיים האחרונות. אמנם היו בשנים אלה מספר אירועי שיטפונות, אולם יש לעקוב אחר השינויים בריכוזי הכלורופיל על מנת לשלול מגמה של עליה קבועה המצביעה על שינוי במצב המערכת.



איור ד28: 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 D28: 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.***

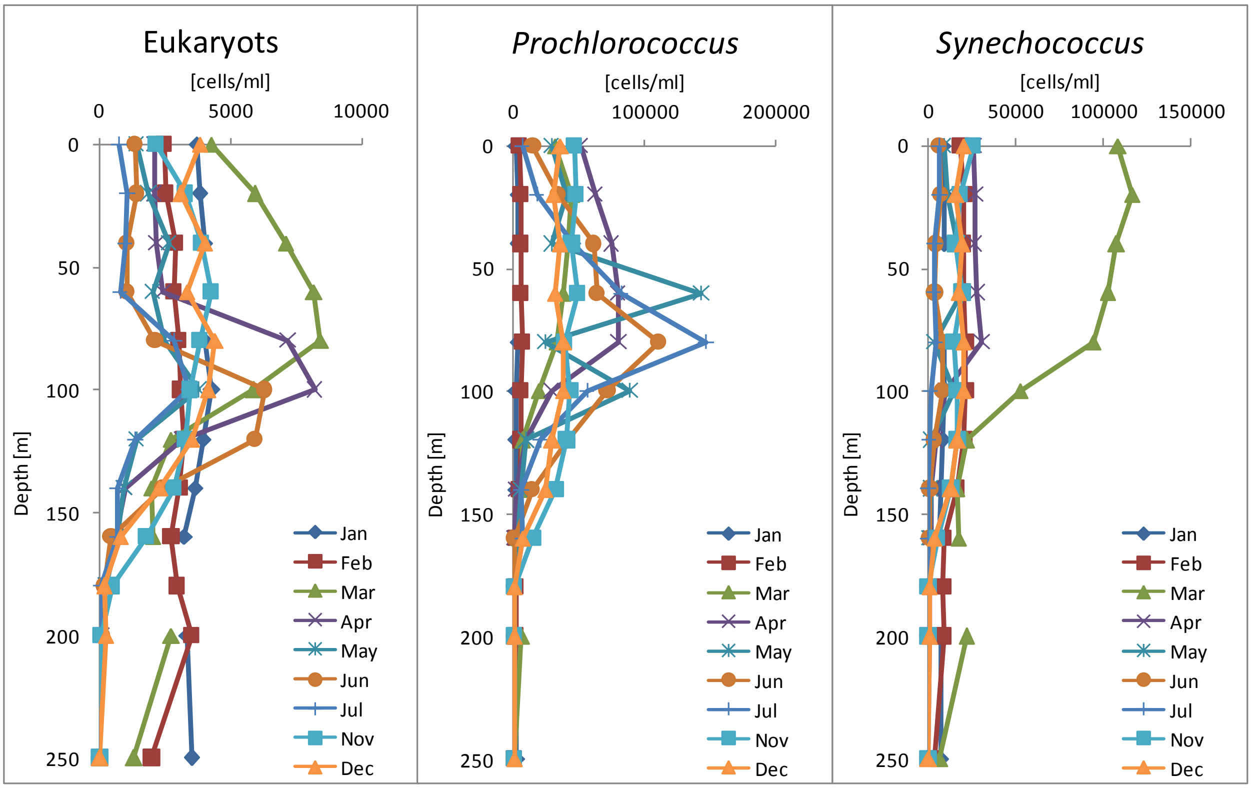
ד.4.7 פיטופלנקטון וחיידקים בעמודת המים

[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 האאוקריוטים ו- *Synechococcus* נמדדים באלפים, תאי *Prochlorococcus* נמדדים בעשרות אלפים, וחיידקים הטרוטרופים נמדדים במיליונים למיליליטר. ספירות תאים מהחודשים אוגוסט-אוקטובר חסרות השנה, עקב תקלה אשר גרמה להפשרת הדוגמאות לפני שנספרו.

בחודש מרץ השנה נמצאו ריכוזים גבוהים של תאי *.Synec* (כמאה אלף תאים למיליליטר מי ים) בעמודת המים העליונה ועד לעומק של כשמונים מטרים. בשאר חודשי השנה היה ריכוזם של תאי *.Synec* נמוך יותר, אך בחודשים פברואר ואפריל ריכוזם היה גבוה מהערכים אשר נמדדו בשנה הקודמת (25-30 אלף תאים למ"ל). גם התאים האאוקריוטים הגיעו לריכוז מרבי בחודש מרץ (מעל שמונה אלפי תאים במ"ל, בעומק 80 מטרים), וריכוז גבוה נשאר גם בחודשים אפריל ומאי, אם כי בעומק גדול יותר (איור ד29). גם תאים אלה נמצאו בדרך כלל בריכוז גבוה יותר השנה מאשר בשנה הקודמת, אשר בה נמדדו הריכוזים המרביים בחודש ינואר.

ריכוזי *.Proc* מרביים נמצאו השנה בחודשים מאי-יולי, בעומקים 60-80 מטר. בחודשים מאי ויולי נמדדו ריכוזי *.Proc* של קרוב ל-15 אלף תאים במ"ל מי ים בעומקים אלה, בהתאמה, בעוד שבשנה הקודמת היו ריכוזי *.Proc* המרביים קרובים לעשרים אלף תאים במ"ל.



איור ד29: ריכוזים חודשיים של תאי פיטופלנקטון פרוקריוטים (*Synechococcus, Prochlorococcus*) ואאוקריוטים בעמודת המים בתחנה A.

Figure D29: Monthly phytoplankton concentrations of prokaryotes (*Synechococcus* and

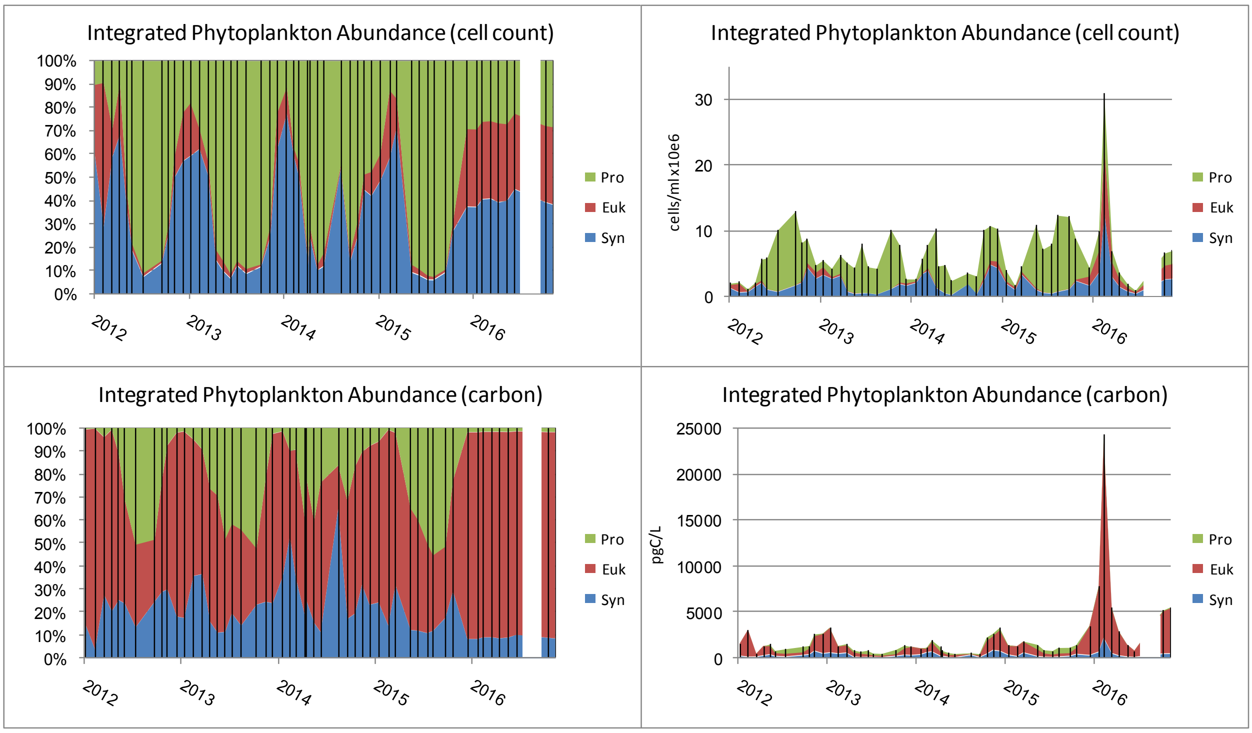
***Prochlorococcus*), and pico-eukaryotes in the water column at Station A.**

ביחסים הכמותיים בין שלוש הקבוצות ניתן להבחין בהבדלים עונתיים ברורים כאשר ריכוזי *Synec.* גבוהים בחודשי החורף והאביב ואילו ריכוזי *Proc.* גבוהים בחודשי הקיץ (איור ד30). ריכוזי האאוקריוטים עולים בחודשי החורף ובדרך כלל נמוכים ביותר בחודשי הקיץ, אז הם מהווים אחוזים בודדים בלבד מסך תאי הפיטופלנקטון.

הערבוב העמוק יותר השנה (בהשוואה לשלוש השנים הקודמות) השפיע על ריכוזי התאים ועל היחסים הכמותיים ביניהם ונראה כי חלקם היחסי של תאי *Synec.* לא עלה בחורף במידה דומה לשנים הקודמות ואילו חלקם של התאים האאוקריוטים עלה מאד. בהמשך השנה (לא כולל החודשים אוגוסט-אוקטובר מהם אין בידינו נתונים) נשמר יחס כמותי זה בין שלוש הקבוצות.

ריכוזי התאים אשר נמצאו השנה בחודש מרץ היו הגבוהים ביותר שנמדדו עד כה במסגרת תכנית הניטור. ריכוזי שלוש קבוצות הפיטופלנקטון המנוטרות היו גבוהים בסדר גודל מריכוזי מרץ בשנה הקודמת.

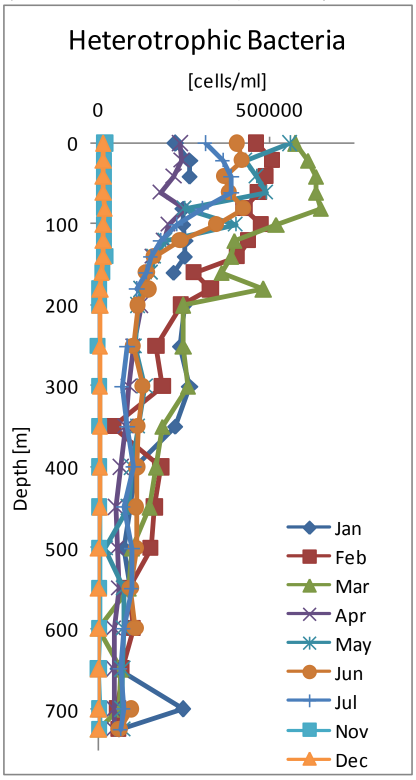
בהמרה לביומסה מתגלה תמונה שונה (לצורך ההמרה נעשה שימוש בערכים מתוך Campbell *et al.* 1998, וזאת בעקבות עבודת הדוקטורט של א. מידר (2012) ובעצה עם פרופ' יעלה שקף. ערכי ההמרה הם: *Synec.*=175fg C/cell, *Proc.*=53fg C/cell, Euc.=2100fg C/cell): בחודשי החורף ועונות המעבר מהווים האאוקריוטים את מרבית הביומסה, בהיותם התאים הגדולים ביותר, ורק בחודשי הקיץ מהווים ה-*Proc.* את החלק העיקרי, בין 40-50% מכלל מסת הפיטופלנקטון בחודשים יולי - נובמבר. השנה, בהינתן הריכוזים הגבוהים של פיטופלנקטון אאוקריוטי, נמצא חלקם בכלל מסת הפיטופלנקטון גדול במיוחד. עקב ריכוזם הגבוה של תאי פיטופלנקטון, ובפרט האאוקריוטים, מסת הפיטופלנקטון בחודש מרץ השנה היתה הגבוהה ביותר אשר נמדדה עד כה במסגרת התכנית, ונשארה גבוהה בכל החודשים עבורם ישנן מדידות.



איור ד30: אינטגרלים חודשיים של תאי פיטופלנקטון פרוקריוטים (*Synechococcus, Prochlorococcus*) ואאוקריוטים ב-250 המטרים העליונים של עמודת המים בתחנה A, והתפלגות היחסים הכמותיים בין שלוש הקבוצות מאז פברואר 2012. למעלה לפי מספר התאים ולמטה לפי ביומסה.

Figure D30: 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 בעמודת המים היו גבוהים בעמודת המים העליונה, עד עומק של כ- 200 מטרים, עד לחודשי הסתיו (איור ד31). במים העמוקים יותר ריכוזי החיידקים נמוכים במשך רוב השנה. בשנה הקודמת נמדדו הריכוזים הגבוהים ביותר בחודש יוני, אך השנה היה גם ריכוזם של החיידקים גבוה ביותר בחודשים פברואר-מרץ. ריכוזי החיידקים אשר נמדדו השנה היו נמוכים בהשוואה לשנה הקודמת (ערך מרבי של כ-650 אלף השנה, לעומת כ- 2.7 מיליון בשנה הקודמת.



איור ד31: ריכוזים חודשיים של תאי חיידקים הטרוטרופים בעמודת המים בתחנה A.

Figure D31: Monthly concentrations of hetrotrophic bacteria in the water column at Station A.

ד.5. יצרנות ראשונית בעמודת המים

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

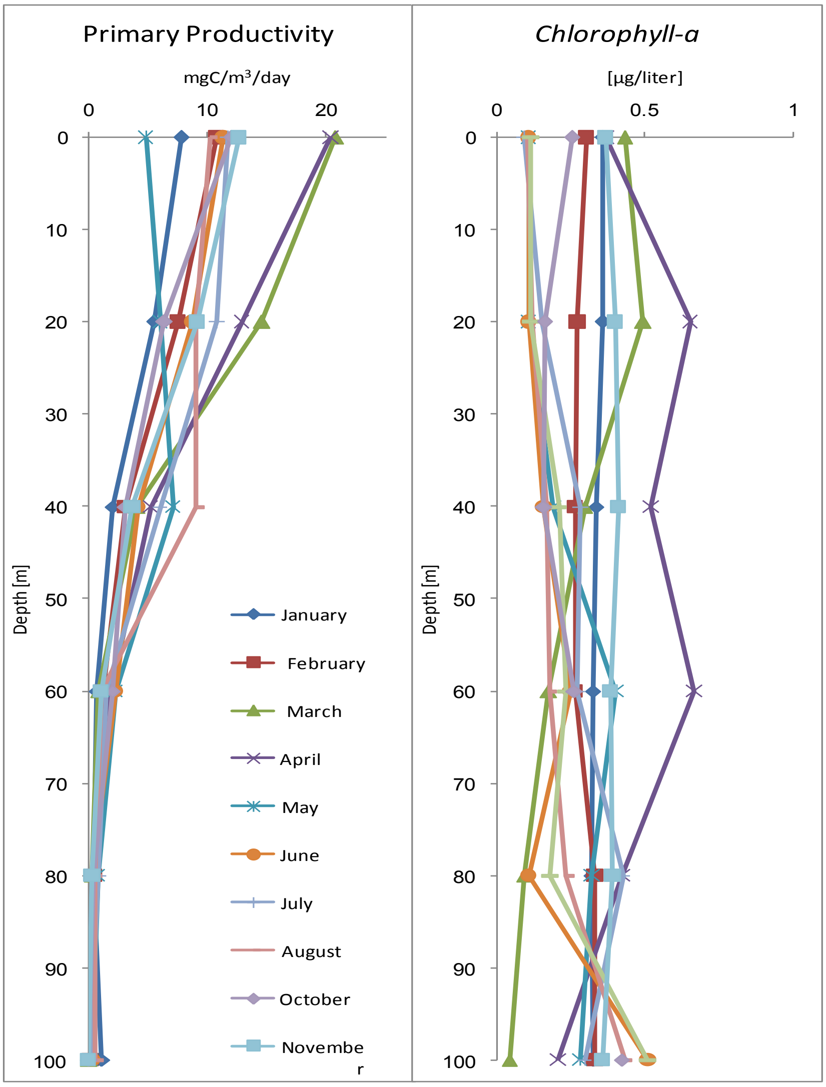
למדידת יצרנות ראשונית בעמודת המים חשיבות גדולה בהערכת מצב המערכת האקולוגית במפרץ מכיוון שהעשרה בנוטריינטים עשויה לגרום לפעילות מוגברת של פיטופלנקטון. פעילות מוגברת לא בהכרח תגרום לעלייה משמעותית בריכוז הפיטופלנקטון (המוערך באמצעות ריכוז הכלורופיל) מכיוון שקצב הרעיה של פיטופלנקטון על ידי זואופלנקטון עשוי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

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

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

בפרופילים החודשיים נכרת תלות היצרנות בעצמת האור בכך שיצרנות גבוהה נמדדת בעומקים רדודים וישנה ירידה ביצרנות עם העומק (איור ד32). בנוסף לכך, התפלגות ריכוזי הכלורופיל עם העומק לא תמיד משקפת את התפלגות היצרנות, עובדה המדגישה את חשיבות מדידת היצרנות. השנה נמדדה יצרנות מרבית בחודשים מרץ ואפריל סמוך לפני הים. הערך הגבוה ביותר שנמדד היה $mgC/m^3/day$ 20.8, נמוך מהערך הגבוה של השנה הקודמת, אשר נמדד גם הוא בחודש מרץ והיה גבוה באופן מפתיע ($33.6\ mgC/m^3/day$). היצרנות בחודשים מרץ ואפריל השנה היתה גבוהה בעשרים המטרים העליונים של עמודת המים אך בעומקים גדולים מכך כבר אינה שונה מהיצרנות בחודשים אחרים. בחודש אוגוסט נמדדה היצרנות הגבוהה ביותר בעומק 40 מטרים, כנראה בזכות חדירות גדולה של אור לעומק. ריכוז הכלורופיל מדוגמאות המים הצמודות היה גבוה ביותר בחודש אפריל, עד לעומק של כשישים מטרים, אולם, כאמור, יצרנות גבוהה נמדדה בחודש זה רק עד לעומק של כעשרים מטרים, כנראה בשל מגבלה של כמות האור בעומק.

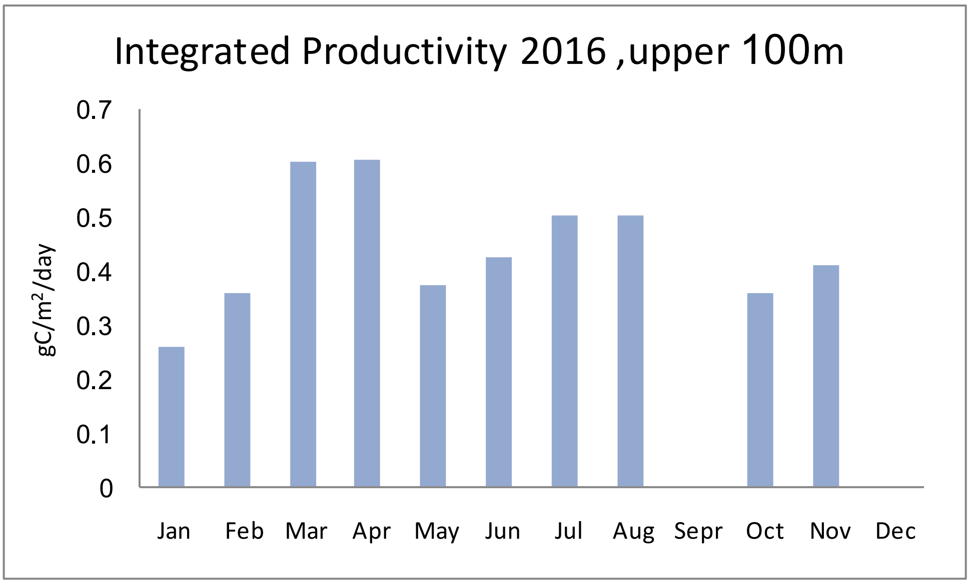
מבחינת הקשר שבין יצרנות וכלורופיל, ניכר כי היחס בין יצרנות לריכוז הכלורופיל גבוה ביותר במטרים העליונים, שם כמות קטנה יחסית פיטופלנקטון (כלורופיל) מסוגלת לקבע כמות גדולה יחסית של פחמן (יצרנות), וכן כי יחס זה גבוה ביותר בחודשי הקיץ והסתיו אז המים צלולים ועצמת האור גדולה.



איור ד32: יצרנות ראשונית וריכוזי כלורופיל חודשיים בעמודת המים העליונה.

Figure D32: Monthly primary productivity and Chl-a concentrations at the upper water column.

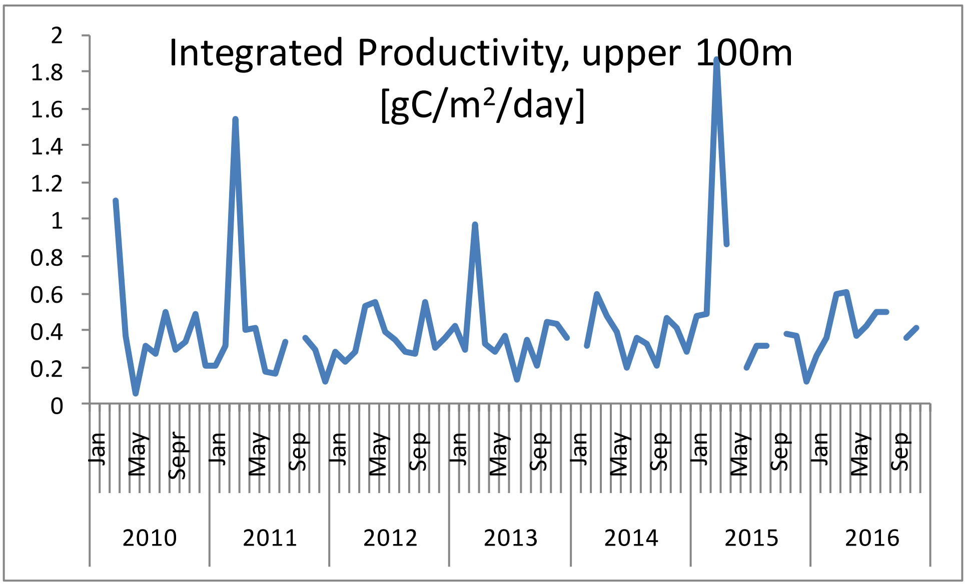
אינטגרציה של היצרנות בעמודת המים בכל אחד מהימים בהן נעשתה המדידה מראה כי היצרנות הגבוהה ביותר היתה, בעקבות ערבוב עמודת המים, בחודשים מרץ ואפריל ושיא נוסף ביצרנות, אם כי קטן יותר נמדד בחודשים יולי ואוגוסט (איור ד33). השנה נעה היצרנות המחושבת מערך מזערי של 0.26 $gC/m^2/day$ בחודש ינואר לערך מרבי של $0.61\ gC/m^2/day$ בחודש אפריל. היצרנות בעמודת המים בחודשים יולי-אוגוסט עמדה על $0.50\ gC/m^2/day$.



איור ד33: אינטגרציה של היצרנות הראשונית במאה המטרים העליונים של עמודת המים, מתוך מדידות היצרנות המוצגות באיור ד29.

Figure D33: Integrated values of primary productivity in the upper 100m of the water column, based on the productivity profiles presented in Figure D29.

השנה היתה היצרנות נמוכה בכל החודשים שנמדדו וזאת על אף הערבוב העמוק יותר, בהשוואה לשנים האחרונות. 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 $gC/m^2/day$ (איור ד34).
נראה כי מדידות היצרנות אינן משקפות את עומק הערבוב בעמודת המים: הערבוב הגדול ביותר מאז 2010 אירע בשנת 2012, בה מדידות היצרנות של תכנית הניטור נמוכות, והשנה היה הערבוב בתחילת החורף עמוק מאשר בכל שאר השנים. ערבוב עמודת המים היה מהיר וקצר השנה (בדומה לשנת 2012) ונפסק כבר בין ינואר ופברואר. יתכן שבמקרים של ערבוב קצר אין תדירות מדידות היצרנות אותן מבצעת התכנית מספיקה על מנת למדוד את ערך השיא.
היצרנות היומית הממוצעת במפרץ אילת מאז 2010, על סמך מדידות הניטור היא 0.41 $gC/m^2/day$.
בדו"ח הביניים הראשון של תכנית הניטור (גנין וסילברמן, 2003) מובאים ערכי יצרנות אשר נמדדו בחודשים ינואר ו\או פברואר בשנים 2000-3. המדידות נעשו תוך שימוש בפרוטוקול הדגרה קצר (כארבע שעות), תוצאות אותן מדידות נעו בטווח 0.14-0.78$gC/m^2/day$.
לשם השוואה, בתחנות הניטור הקבועות בימים האוליגוטרופים שמול הוואי וברמודה, נמדדים ערכים ממוצעים רב-שנתיים הנעים סביב ~0.5 $gC/m^2/day$
(http://hahana.soest.hawaii.edu/hot/methods/fig54.gif,
http://bats.bios.edu/bats_form_prod.html).



איור ד34: אינטגרציה של היצרנות הראשונית במאה המטרים העליונים של עמודת המים מאז 2010, מתוך מדידות היצרנות המתבצעות אחת לחודש.

Figure D34: Integrated values of primary productivity in the upper 100m of the water column since 2010, based on the productivity profiles measured once each month.

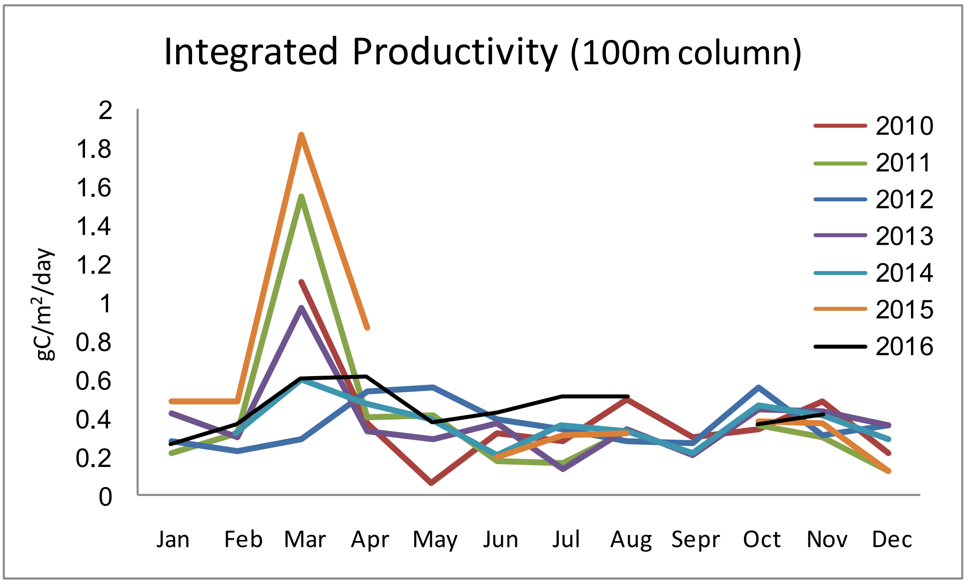
באמצעות מדידות היצרנות הנעשות אחת לחודש ניתן לחשב אינטגרל יומי ממוצע בעמודת המים העליונה ועליו לבסס חישוב יצרנות שנתי. בשנים 2010-2014 חושבה יצרנות שנתית די קבועה (134-141 gC/m^2/year) ובשנת 2015 חושבה יצרנות הגבוהה ביותר, 197gC/m^2/year. השנה היצרנות השנתית המחושבת היתה 161gC/m^2/year. היצרנות השנתית הממוצעת בצפון המפרץ מאז 2010 היא 151gC/m^2/year.

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

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

מדידות יצרנות במסגרת תכנית הניטור נעשות אחת לחודש והערכים הגבוהים ביותר נמדדו בחודש מרץ (איור ד35). 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. גם השנה, בה שיא הערבוב בתחילת החורף היה עמוק מבשנה הקודמת, לא נמדד שיא יצרנות בחודש מרץ. נראה כי השינויים ביצרנות בחודשי החורף גדולים ומהירים ויתכן כי המדידות אינן מספיקות על מנת לאפיין את המערכת בתקופה זו. מכיוון שכך, יתכן גם כי חישובי האינטגרל השנתי אינם מדויקים דיים (למשל, היצרנות השנתית הגבוהה מאד המחושבת עבור שנת 2015 נשענת על יצרנות גבוהה במיוחד אשר נמדדה בחודש מרץ ועל כך שבשנה זו חסרות שתי מדידות חודשיות, במאי ובספטמבר, חודשים בהם היצרנות לרוב נמוכה).

בעונת הקיץ, לעומת זאת, השינויים קטנים יותר והמערכת מצויה במצב "אוליגוטרופי". מהתבוננות בערכי היצרנות בחודשי הקיץ ניתן להתרשם כי השנים 2010-2016 דומות מאד זו לזו. על רקע זה, שינויים מערכתיים מתמשכים ניתן יהיה, אולי, לגלות דווקא בעונה זו.



איור ד35: אינטגרציה של היצרנות הראשונית במאה המטרים העליונים של עמודת המים מדי חודש מאז 2010, מתוך מדידות היצרנות המתבצעות אחת לחודש.

Figure D35: 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.

ד.6.7 זואופלנקטון בעמודת המים

קבוצת הזואופלנקטון כוללת יצורים הטרוטרופים זעירים החיים בעמודת המים והניזונים מפיטופלנקטון, חיידקים ומזואופלנקטון אחר. הזואופלנקטון מהווים חוליה מקשרת עיקרית במארג המזון בים – המעבר מיצרנים ראשוניים לבעלי חיים ברמות טרופיות גבוהות יותר, כמו גם חוליה חשובה בלולאה המיקרוביאלית בים (קליטת חומר אורגני מומס המופרש מיצורים שונים על ידי חיידקים, ואכילתם לאחר מכן על ידי מיקרוזואופלנקטון אשר נאכלים על ידי זואופלנקטון גדול יותר). 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 בקרבו.

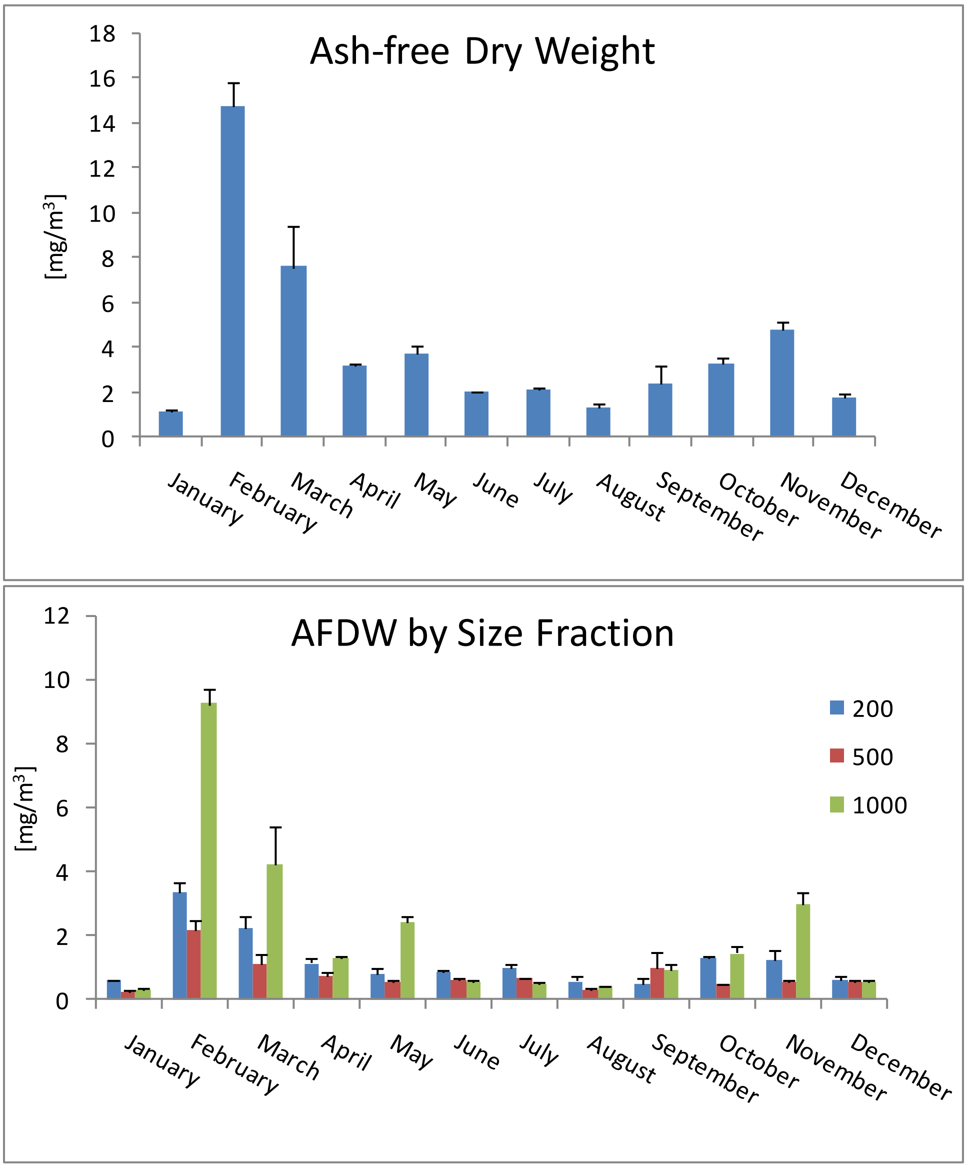
דגימות זואופלנקטון נאספות מדי חודש בים העמוק (עומק קרקעית 300-400 מ'), באמצעות גרירה אלכסונית של רשת פלנקטון כפולה ("Bongo") עם גודל חור של 200µm (איור ד36). הדגימה מתבצעת בשעות הבוקר (בין השעות 9-11), בדרך כלל בשבוע האחרון של כל חודש. הגרירה מתחילה בהורדת רשת הפלנקטון באיטיות לעומק של כ-100 מ', תוך כדי שיט. מיד 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°. משך הגרירה הכולל הוא כ-10 דקות. בסה"כ מתבצעות בכל פעם 3 גרירות (= 6 דגימות מאותו יום בכל חודש), כולן במים הפתוחים שבאזור החוף הדרומי של אילת (בין מלון הנסיכה למצפה התת-ימי). לאחר כל גרירה הדגימות מוצאות מקצה הרשת ומועברות לצנצנות פלסטיק הנשמרות בצידנית עם קרח עד לטיפול במעבדה מיד עם החזרה לחוף.

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

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

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

השנה נמדדה מסת הזואופלנקטון הגדולה ביותר בחודש פברואר, $14.74\ mg/m^3$, ובהמשך השנה נמדדו ערכים אפייניים לעונה העניה בנוטריינטים (איור D37). בחודש נובמבר נמצא שיא נוסף, אם כי קטן יותר הריכוזים הגבוהים של זואופלנקטון הונעו על ידי עלייה במסה של קבוצת הגודל הגדולה (>1000μm), התלויה באספקת מזון רב. מסת הזואופלנקטון הגבוהה בחודש פברואר השנה קשורה, מן הסתם, לערבוב המהיר בתחילת החורף וכשזה נבלם קרסה גם אוכלוסיית הזואופלנקטון (ראו פרקים קודמים).

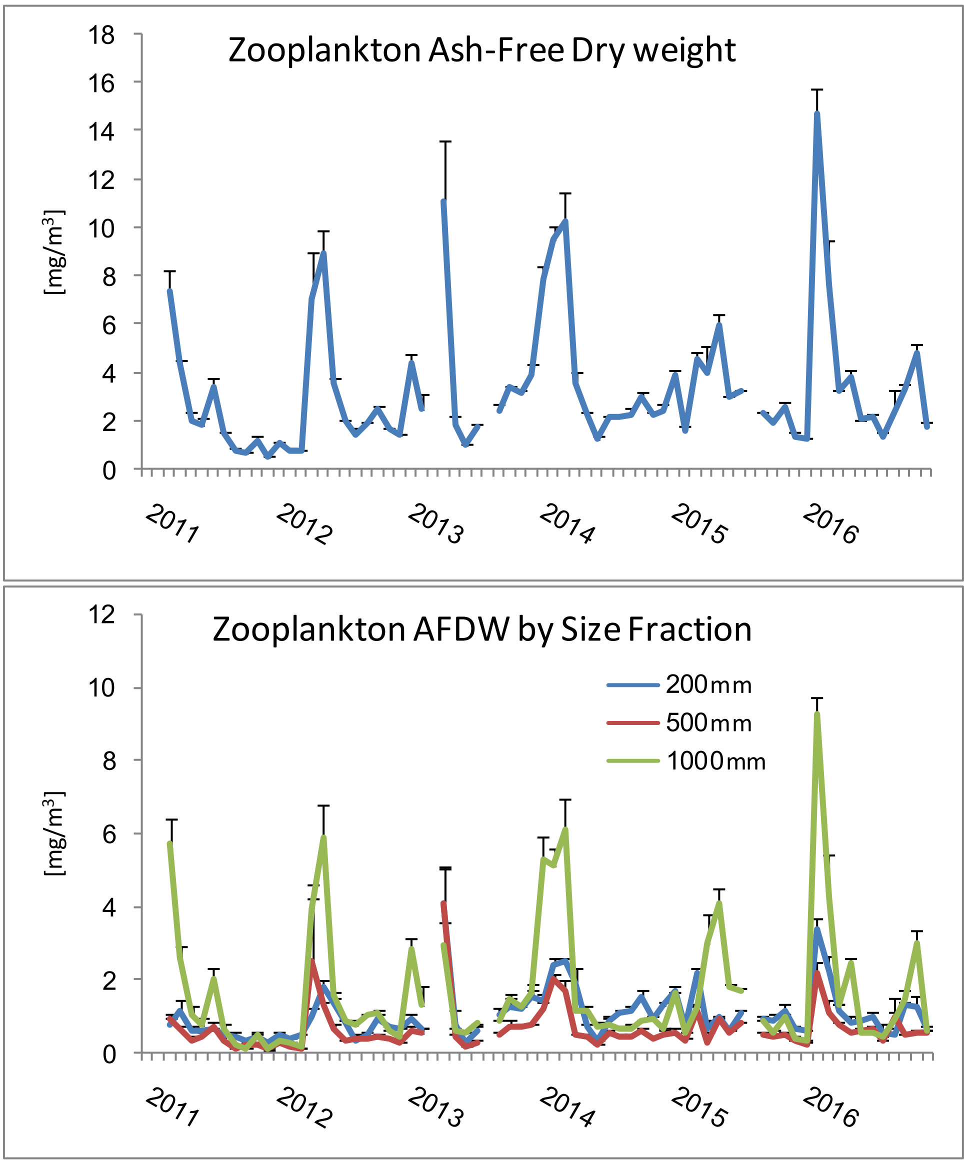


איור D37: ריכוזי זואופלנקטון חודשיים ב-100 המטרים העליונים בים העמוק. למעלה – סך הזואופלנקטון, למטה – חלוקה לפרקציות גודל מסוננות על פילטר של 1000, 500 ו-200 מיקרון (ירוק, אדום וכחול, בהתאמה).

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

ריכוז הזואופלנקטון אשר נמדד בחודש פברואר השנה הוא הגבוה ביותר שנמדד עד כה במסגרת תכנית הניטור. 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, אולם ריכוז הזואופלנקטון השנה היה גבוה מזה שנמדד בשנת 2012 אשר גם בה היה ערבוב עמוק של עמודת המים (איור ד38). נראה שבכל שנה השיא בריכוזי זואופלנקטון אשר תואם את העונה המעורבבת בה עולים ריכוזי הנוטריינטים והפיטופלנקטון, מונע על ידי צמיחה של קבוצת הגודל של זואופלנקטון גדול (>1000µm). יוצאת מן הכלל במדידות הניטור היא שנת 2013 בה היוו קבוצות הגודל הקטנות יותר את עיקר המסה של זואופלנקטון, אך בשנה זו חסרות מדידות משיא הפריחה. בחודשי הקיץ מהווה, לעיתים, קבוצת הגודל הקטנה >200µm את עיקר המסה.



איור ד38: ריכוזי זואופלנקטון ב-100 המטרים העליונים בים העמוק, מאז שנת 2011. למעלה – סך הזואופלנקטון, למטה – חלוקה לפרקציות גודל מסוננות על פילטר של 1000, 500 ו-200 מיקרון (ירוק, אדום וכחול, בהתאמה).

Figure D38: Zooplankton concentrations at the upper 100m of the deep sea since 2011. Top – all zooplankton, bottom – divided to size fractions filtered on 1000, 500 and 200 µm filters (green, red and blue, respectively).

ד.7. שטף החלקיקים בעמודת המים

<u>מטרה</u>

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

<u>שיטות</u>

סדרת מלכודות סדימנט מוצבת בים העמוק (עומק מים של כ- 605 מטרים), עגונה לקרקעית ונתמכת על ידי סדרת מצופים (איור ד39). 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.

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

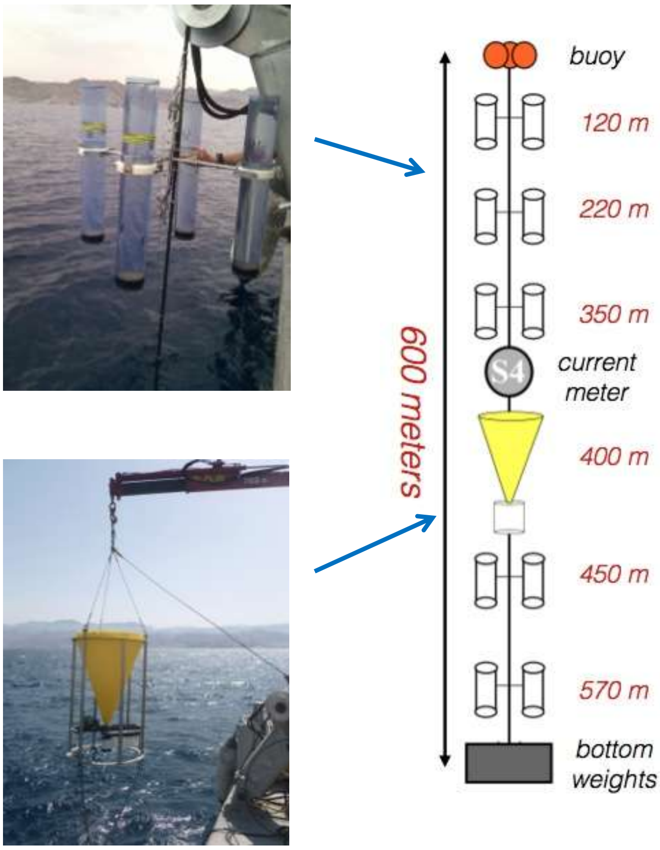
לאחר איסוף המלכודות הן נשמרות בקירור למשך הלילה ולמחרת נשאבים המים העליונים והמשקע מסונן דרך נפה של 1 מ"מ על מנת להוציא זואופלנקטון גדול שנלכד. החומר המסונן עובר סדרת שטיפות במים מזוקקים להרחקת המלחים, מושקע מחדש ומיובש.

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

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

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

במשך הזמן, לכשתתקבל תמונה טובה של שינויים בשטף החלקיקי עם הזמן, יתכנו שינויים במערך המלכודות או בתדירות ההצבה (רזולוציה).



איור ד39: מערך מלכודות הסדימנט אשר נאסף ומוצב מדי חודש בעומק מים של 605 מטרים במרכז צפון המפרץ.

Figure D39: 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.

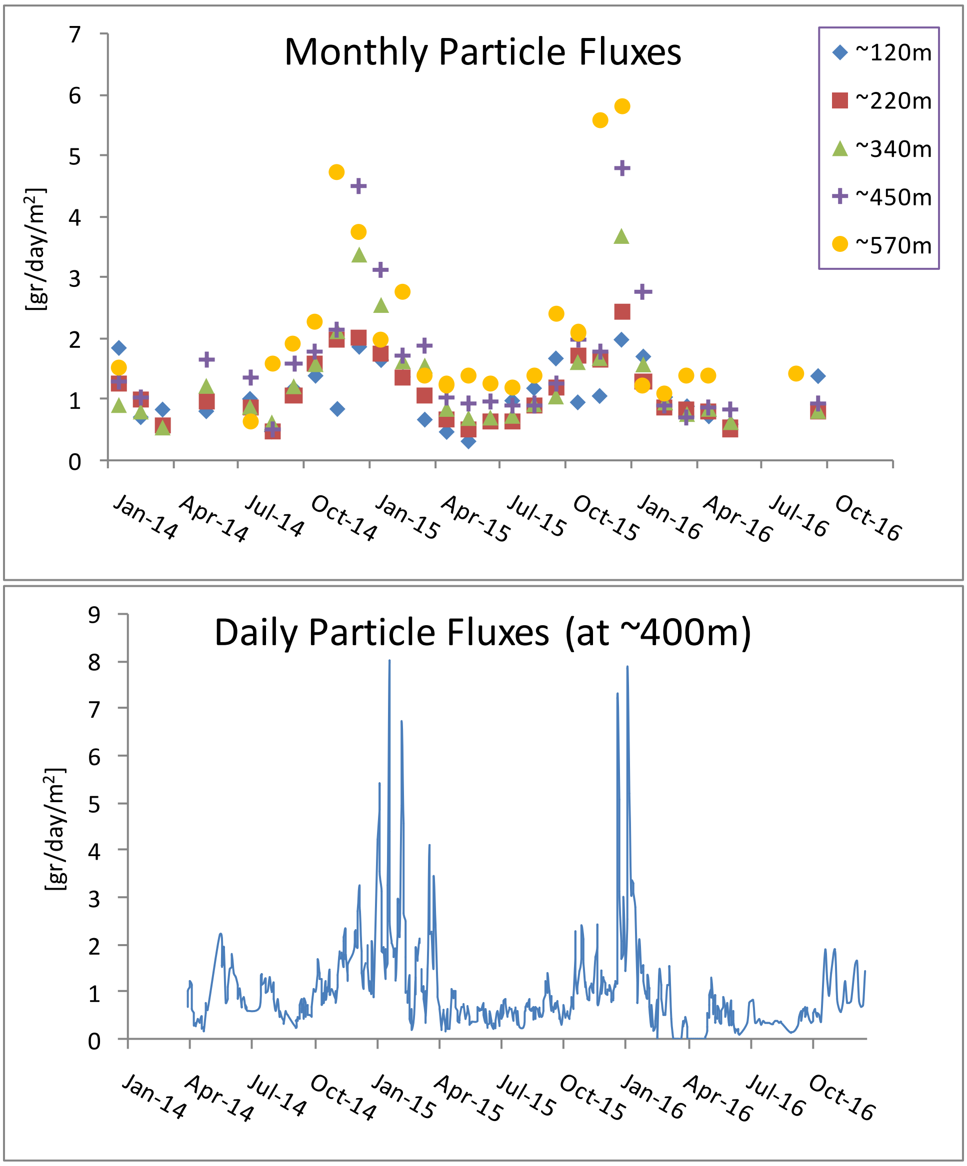
השטף החלקיקי בעמודת המים בצפון המפרץ בעל מחזור עונתי ברור, עם שטפים גדולים יותר בעונה בה היצרנות במפרץ גבוהה, בחורף ובאביב. בשנת 2014 לא נמדד השטף החלקיקי בעונה זו ברזולוציה יומית, ובמלכודות החודשיות לא נמצא שטף חלקיקי גדול כמו בשנתיים הבאות. בשנתיים האחרונות, 2015-6, נמדדו שטפים גבוהים במלכודות החודשיות בחודשים נובמבר-ינואר, וברזולוציה יומית נמצאה עליה כללית בתקופת החורף בשנים אלה (איור ד40).

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 האחרון 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.

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 על הממוצע החודשי. נובע מכך שהבדלים בין שנים עשויים להיות גדולים בהיותם מונעים במידה רבה על ידי מספר קטן של אירועים בדידים וחזקים.



איור ד40: שטפי חומר חלקיקי בעמודת המים מאז תחילת 2014. למעלה- רזולוציה חודשית כפי שנתפסה במלכודות בעומקים 120, 220, 350, 450 ו570 מטרים. למטה- רזולוציה יומית כפי שנתפסה במלכודה האוטומטית המוצבת בעומק 400 מטרים.

Figure D40: Particulate fluxes caught in sediment traps since early 2014. Top- monthly resolution inat depths of 120, 220, 350, 450 and 570 meters. Bottom- daily resolution captured in the automatic sampling trap placed at 400 meters depth.

ה. מדידות סביבתיות בתדירות גבוהה

ה.1. כלורופיל בפני הים בשמורת חוף אלמוג

<u>מטרה</u>

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

<u>שיטות</u>

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

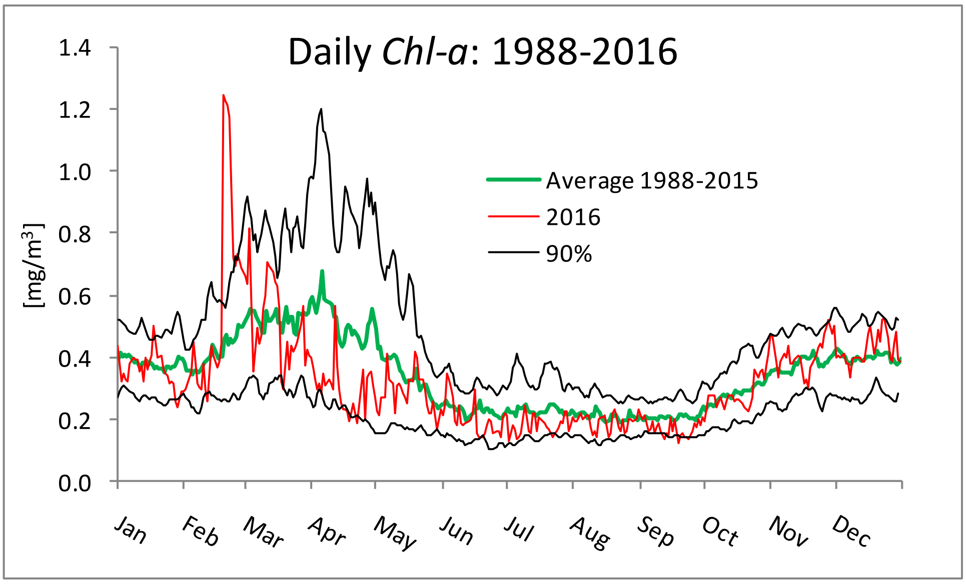
מדידות הכלורופיל היומיות נערכות במתכונת זו מאז שנת 1988, ומספקות מדד ארוך טווח מעבר לתקופת פעילותה של תוכנית הניטור.

<u>תוצאות</u>

ריכוזי כלורופיל גבוהים בפני הים בסמוך לשונית נמדדו השנה בחודש פברואר. ריכוזי השיא בפברואר היו גבוהים בהרבה מהערך הממוצע הרב שנתי וכן מהריכוזים הגבוהים הרשומים לחודש זה (איור ה1). בכך דומה השנה לשנה הקודמת אשר גם בה נמדדו ריכוזי כלורופיל גבוהים מוקדם מהצפוי על פי כלל התצפיות במרבית השנים הקודמות. בממוצע נמדדים ריכוזי הכלורופיל הגבוהים ביותר בחודשים מרץ-אפריל, אולם ריכוזי הכלורופיל באביב השנה היו נמוכים בהשוואה לממוצע הרב שנתי.

ריכוזי הכלורופיל הגבוהים השנה נמדדו במשך ימים ספורים באמצע פברואר עם ערך מרבי של $1.25\ mg/m^3$, גבוהים בהרבה מ- $0.82\ mg/m^3$ אשר נמדדו בינואר השנה הקודמת, אולם אינם חריגים. בשנת 2013 נמדד ריכוז כלורופיל מרבי של $1.42\ mg/m^3$, ובשנים של ערבוב עמוק נמדדו ריכוזים גבוהים יותר:

בתקופת הניטור היו השנים 2012 ו- 2007-2008 שנים של ערבוב עמוק. בשנת 2012 היה ריכוז הכלורופיל המרבי $1.78\ mg/m^3$, בשנת 2008 הייתה פריחה ארוכה אך ריכוז הכלורופיל המרבי הגיע ל- $1.03\ mg/m^3$ בלבד, ובשנת 2007 היה הריכוז המרבי $1.95\ mg/m^3$, הערך הגבוה ביותר אשר נמדד מאז הערבוב העמוק בשנת 2000.



איור ה1: ריכוז כלורופיל *a* בפני השטח בשמורת חוף אלמוג (בסמוך למזח המצפה הימי). קו אדום - בשנת הניטור 2016, קו ירוק - ממוצע רב שנתי (1988-2015), קוים שחורים גבולות 90% מהנתונים שהצטברו כולל השנה הקודמת.

Figure E1: Chlorophyll *a* concentrations sampled daily at the Underwater Observatory jetty in 2016 (red line) and the long-term average (1988-2015, green line). Black lines mark the 90% of accumulated data including the previous year.

ה.2. טמפרטורת המים בפני הים בשמורת חוף אלמוג

<u>מטרה</u>

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

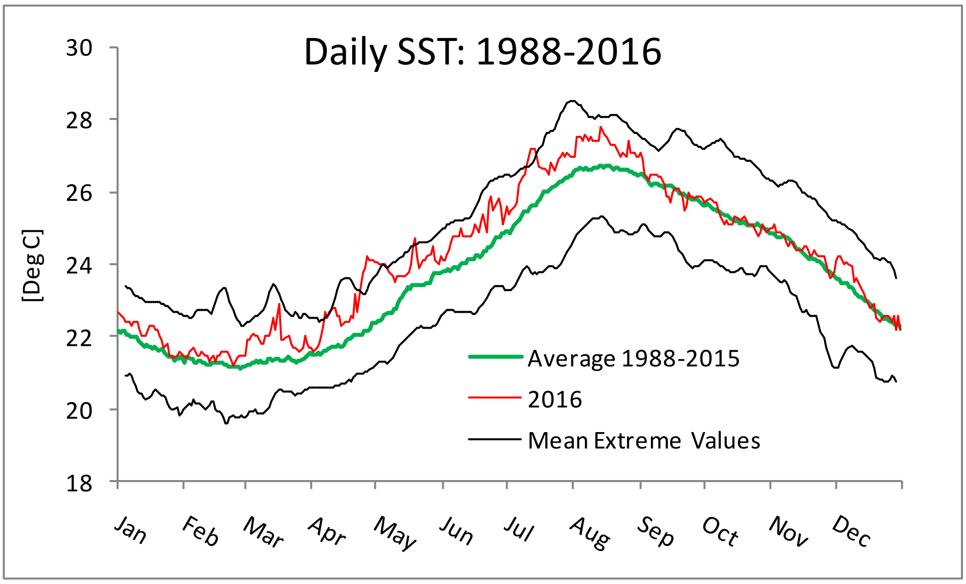
<u>שיטות</u>

טמפרטורת המים בפני הים נמדדת בצמידות למדידה היומית של הכלורופיל בקצה מזח המצפה הימי, בעזרת מד חום כספית מדויק עד כדי עשירית המעלה.

<u>תוצאות</u>

בטמפרטורת פני הים הנמדדת בסמוך לשונית לא היו השנה חריגות מעבר לגבולות הנתונים הקיימים, אולם במשך כל התקופה שבין סוף פברואר ועד תחילת ספטמבר היתה הטמפרטורה גבוהה מערך הממוצע הרב שנתי (איור ה2). טמפרטורת פני הים בסמוך לשונית עלתה מעבר לערכי הקיצון הממוצעים מהנתונים הקיימים רק לימים ספורים בסוף אפריל וביולי. בחודשי הסתיו ותחילת החורף נמדדה טמפרטורה דומה לערך הממוצע הרב שנתי.

הטמפרטורה המזערית אשר נמדדה השנה, 21.2 °C, דומה לזו של השנה הקודמת. בשנת 2012 בה היה הערבוב העמוק האחרון נמדדה טמפרטורת פני ים מזערית של 20.6 °C. הטמפרטורה המרבית אשר נמדדה השנה הייתה 27.8 °C, בחודש אוגוסט, דומה לטמפרטורה אשר נמדדה בשנתיים הקודמות (27.9 °C).

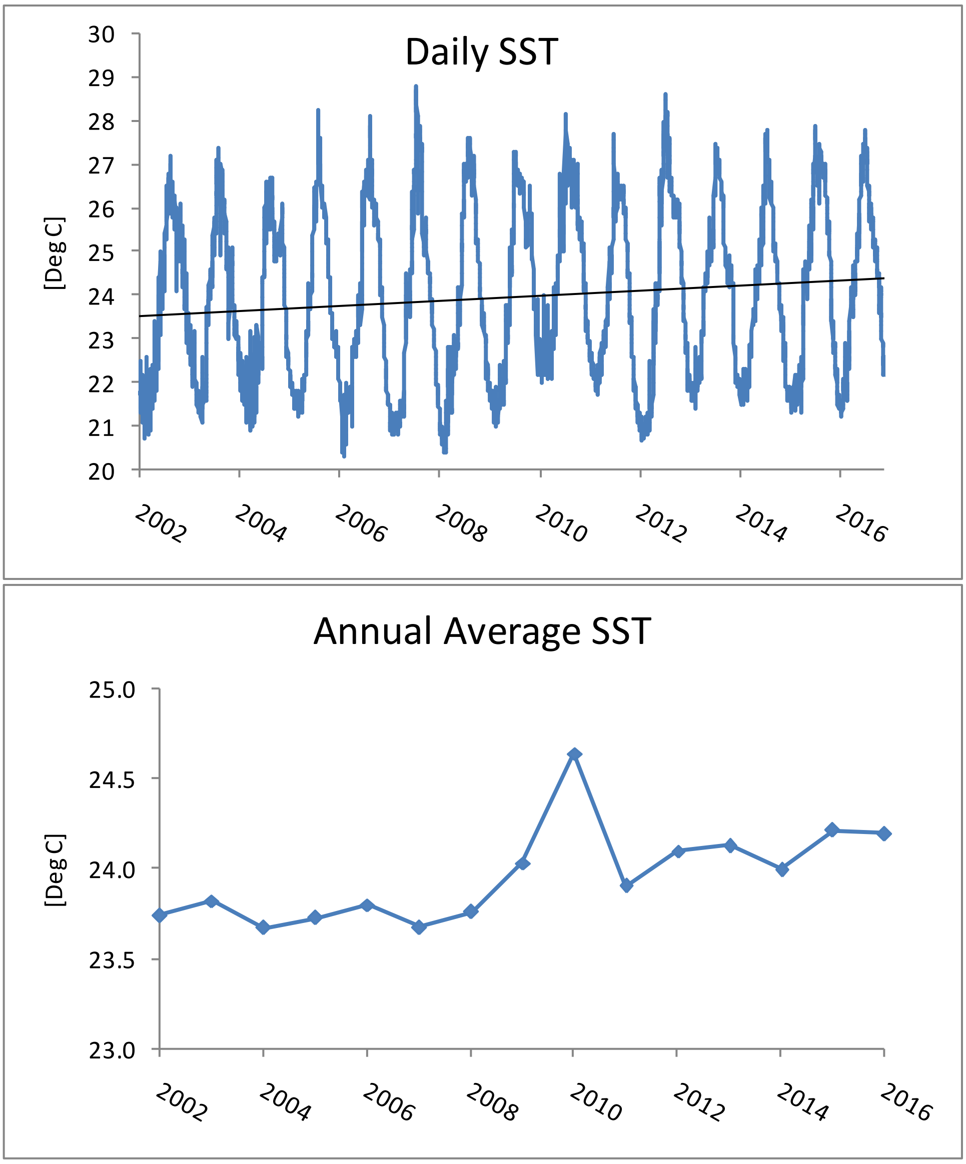


איור ה2: טמפרטורת המים בפני הים בשמורת חוף אלמוג (בסמוך למזח המצפה הימי). קו אדום - שנת הניטור 2016, קו כחול - ממוצע רב שנתי של המדידות היומיות 1988-2015, קווים שחורים – **ערכי קיצון ממוצעים (ממוצע שבעה ימים) ממדידות 1988-2015.**

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 ה3). השנה הייתה טמפרטורת פני הים הממוצעת 24.20 °C, דומה לשנה הקודמת ומעט מעט גבוה מהממוצע בשנתיים שלפניה.

מגמת החימום הרב-שנתי של פני הים, כפי שעולה ממדידות טמפרטורה יומיות בסמוך לשונית מאז 1988, עדיין נמשכת בשיעור ממוצע של כ- 3.7 מעלות במאה שנה.



איור ה3: 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 <u>since 1988</u> (data courtesy of Prof. Amatzia Genin). Bottom – Annual average SST.

ה.3. משתנים מטאורולוגים

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

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

<u>מטרה</u>

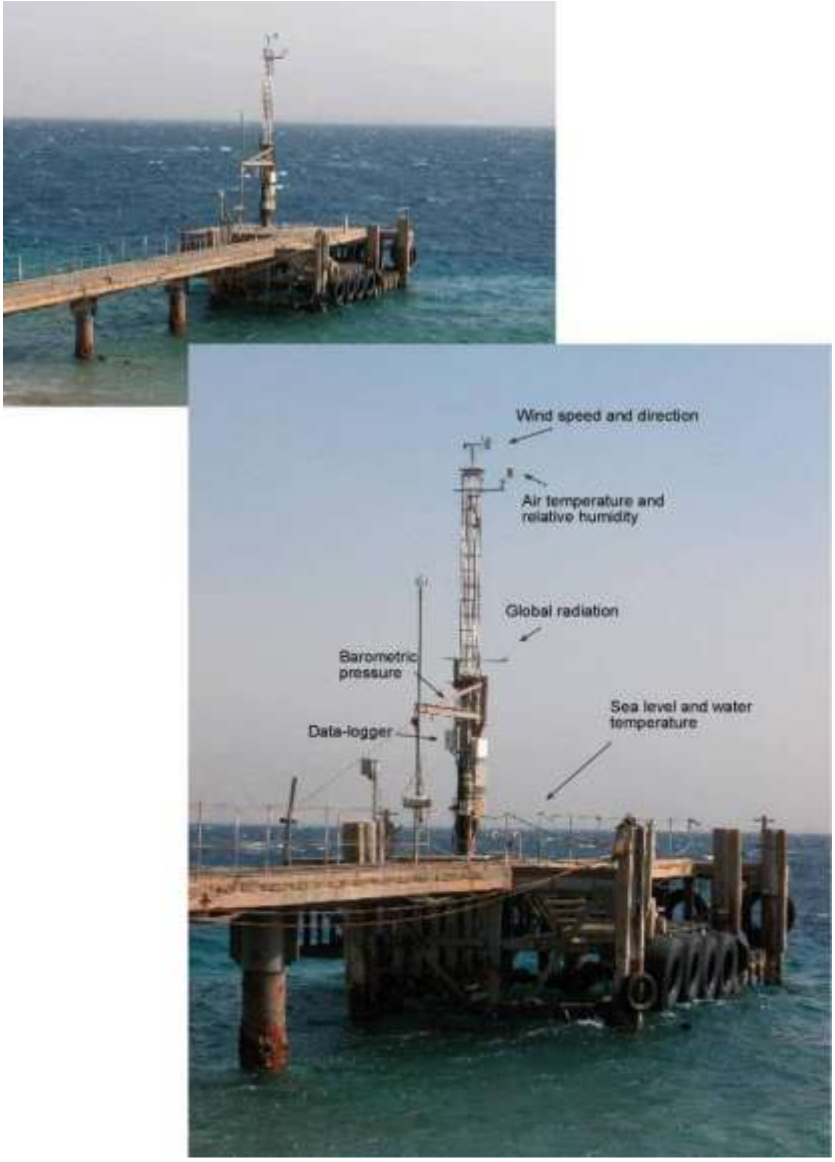
מעקב רציף וארוך-טווח אחר משתנים מטאורולוגים במפרץ.

<u>שיטות</u>

התחנה המטאורולוגית של תכנית הניטור כוללת מגוון של חיישנים מהטובים בשוק (טבלה ה1), ומבצעת מדידות רציפות של המשתנים הבאים: טמפרטורת האוויר, לחות יחסית, לחץ ברומטרי, קרינה גלובלית, מהירות הרוח, כיוון הרוח, טמפרטורת המים ולחץ מים (= מפלס הים). החיישנים מחוברים לרשם-נתונים (data-logger) והמערכת כולה מצויה מעל הים ופועלת באופן עצמאי (איור ה4), כאשר נתונים מועברים אוטומטית לשרת המכון הבינאוניברסיטאי.

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

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



איור ה4: 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 ה1: רשימת הרגשים המרכיבים את התחנה המטאורולוגית בקצה המזח של המכון הבין-אוניברסיטאי.

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

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

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

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

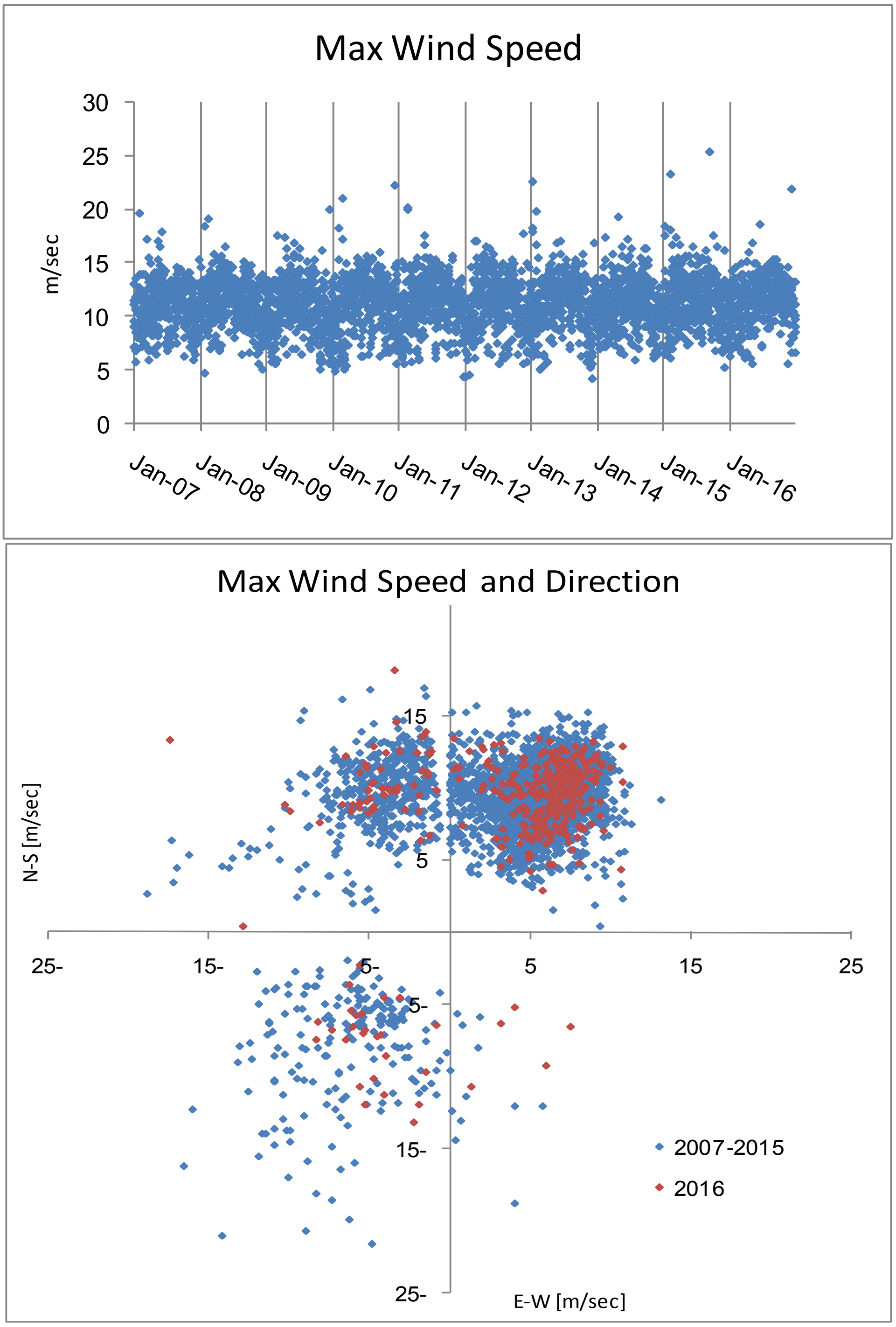
<u>תוצאות</u>

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

26 בינואר, 2 מ"מ.
14 במרץ, 1 מ"מ (רוחות דרומיות)
26 במרץ, 2 מ"מ.
10 באפריל, גשם בעיר וזרימת מים בכבישים. במג"ז המכון <1 מ"מ.
27-28 באוקטובר, סופת ברקים ורעמים, 27 מ"מ במג"ז. שיטפונות.
14 בדצמבר, <1 מ"מ.

הרוחות השנה לא היו חריגות בעוצמתן וגם הרוחות הדרומיות היו פחות חזקות מאלו שנמדדו בשנים 2010-11 ו-2013. הרוח החזקה ביותר שנשבה השנה היתה צפון-מערבית (307°) בחודש פברואר, במהירות של 22 מטר בשניה. זוהי מהירות מעט נמוכה בהשוואה למהירות המרבית שנמדדה בשנה הקודמת, 25.4 m/sec מכיוון דרום-מערב (214°), ב-13 בספטמבר.

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

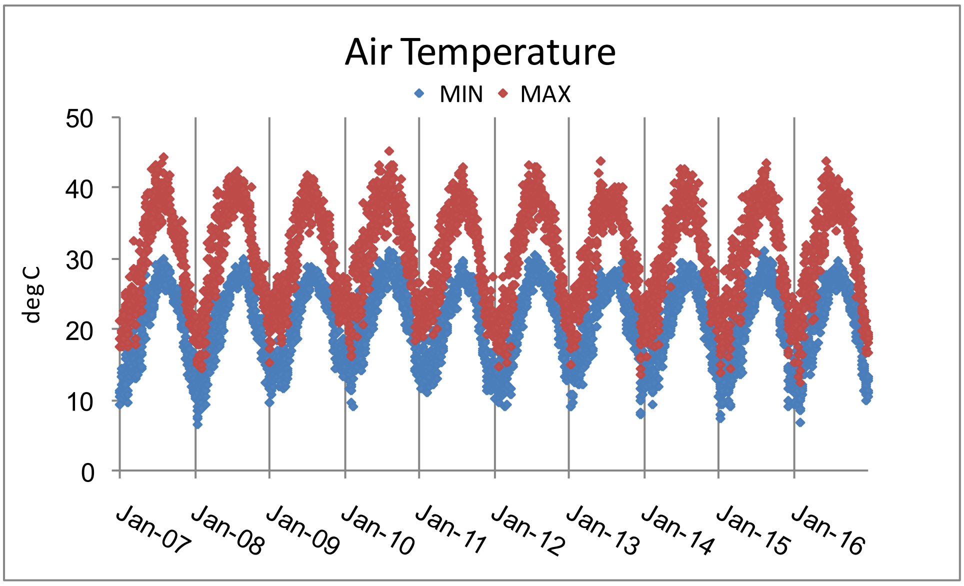


איור ה5: למעלה- מדידות מהירות הרוח המרבית בכל יממה במטרים לשנייה. למטה- מהירות הרוח המרבית ביממה וכיוונה מאז תחילת 2007. מדידות השנה האחרונה באדום.

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 האוויר מעל הים משקפת את המחזור העונתי בשינויים הדרגתיים של הטמפרטורה המרבית והמזערית בכל יממה (איור ה6). הטמפרטורה הגבוהה ביותר השנה הייתה 43.9 °C, מעט גבוה מאשר מאשר בשנה הקודמת וכמעט מעלה גבוה יותר מאשר לפני שנתיים. הטמפרטורה הנמוכה ביותר השנה היתה בתחילת השנה, בחודש ינואר, 6.7 °C, נמוך מאשר בשנה הקודמת (7.5°C). הטמפרטורה הנמוכה בסוף השנה, בחודש דצמבר, היתה 9.9 °C, גבוה בכמעט מעלה מאשר בשנה הקודמת.

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



איור ה6: 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.

חיישן הקרינה האולטרא-סגולה התקלקל בחודש אוגוסט השנה, ויש להחליפו. נתוני הקרינה האולטרא-סגולה ניתנים עד ל- 22.8.2016.

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 (1193 ואט\מטר רבוע, בחודש מאי) הייתה נמוכה מן השנה הקודמת, בה נמדדה הקרינה הגבוהה ביותר אשר נמדדה עד כה במסגרת הניטור, 1399 ואט\מטר רבוע. למעשה, הקרינה המרבית השנה היתה הנמוכה ביותר אשר נמדדה עד כה במסגרת הניטור (איור ה7).

לא תמיד ישנה התאמה בין זמני מדידות הערכים המרביים של סוגי הקרינות השונות (קרינה גלובלית, קרינת UV, וקרינת PAR), אם כי התבנית הכללית דומה. ישנה סטייה בעיקר בין הימים והשעות של ערכי הקרינה האולטרא-סגולה המרביים ובין זמני המדידות המרביות של הקרינה הגלובלית וקרינת ה-PAR. בנוסף, נראה כי עצמת הקרינה האולטרא-סגולה פוחתת במידה רבה יותר מהקרינה הכללית עם המעבר מקיץ לחורף. גם הקרינה האולטרא סגולה המרבית היתה השנה, בדרך כלל, נמוכה בהשוואה לשנים קודמות (בחודשי האביב בהן הקרינה גבוהה ביותר, עדיין היו מדידות אמינות).

איור ה7: ערכים יומיים מרביים של קרינה גלובלית (למעלה), קרינה אולטרא-סגולה (באמצע) וקרינה זמינה לפוטוסינתזה (למטה).

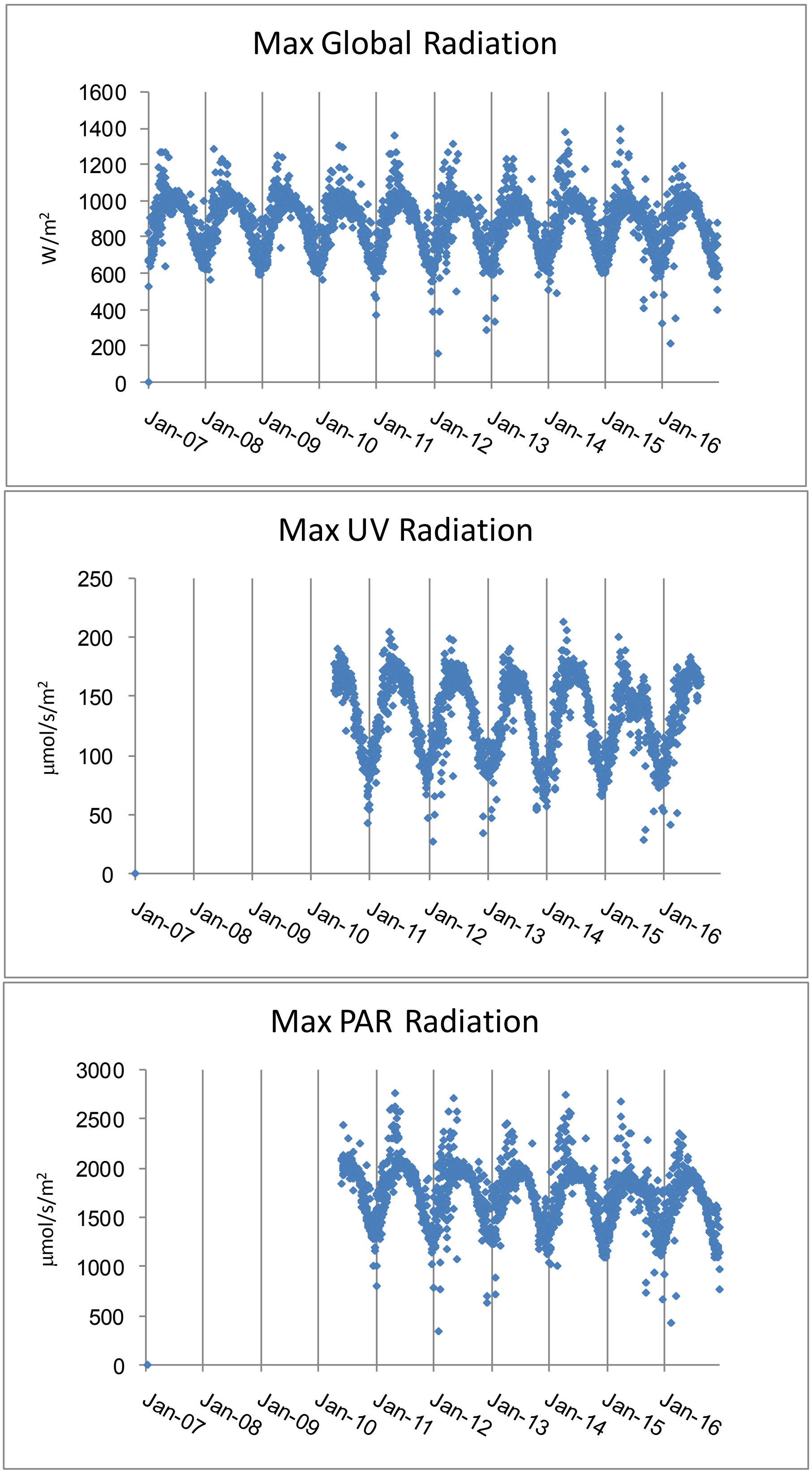
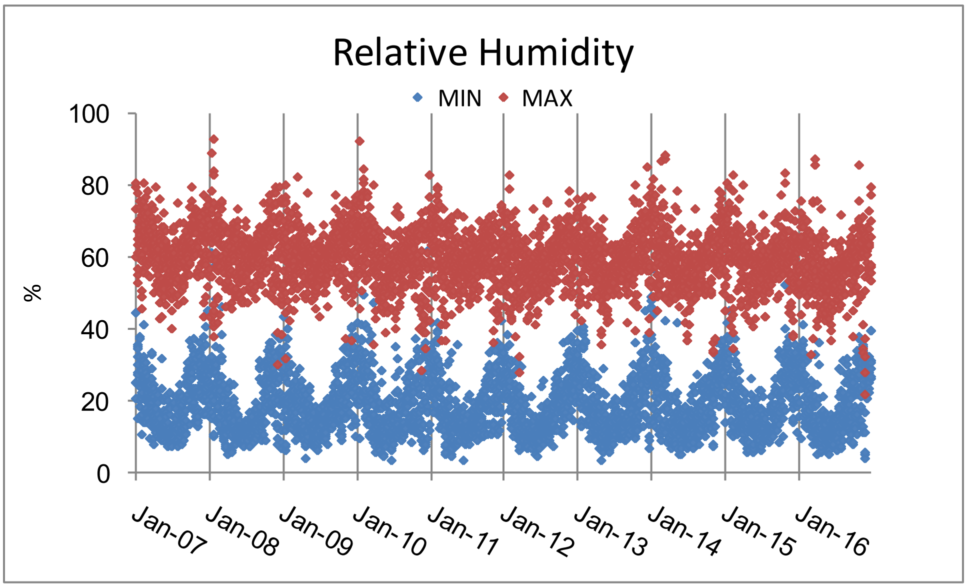


Figure E7: Maximum daily global radiation (top), ultraviolet radiation (middle) and photosynthetically available radiation (bottom).

הלחות היחסית, כפי שנמדדת השנה ממזח המכון מעל הים, מראה ימים של לחות גבוהה בתחילת השנה ובסתיו (איור ה8). השנה נמדדה לחות מרבית של 87% גם בחודש מרץ. זהו ערך דומה למקסימום שנמדד בשנים האחרונות. שינויים עונתיים במדידות הלחות היחסית קטנים בהשוואה למשרעת היומית הגדולה, ומונעים במידה רבה על ידי שינויים בכיוון ועוצמת הרוח. ערכי לחות נמוכים נמדדו בסוף החורף ובקיץ וערכים גבוהים יותר – הן של הלחות המרבית והן המזערית – נמדדו 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.

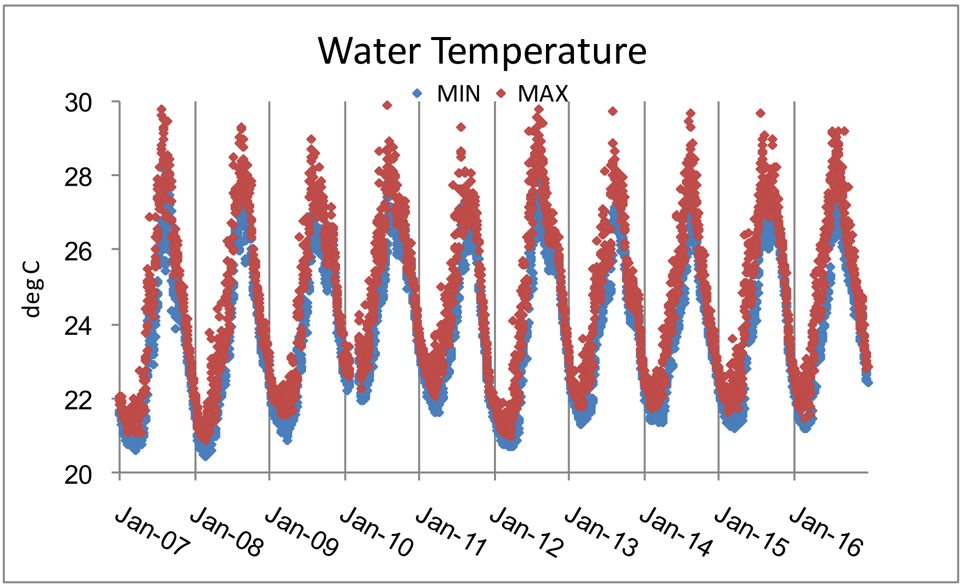


איור ה8: ערכים מרביים ומזעריים (באדום ובכחול, בהתאמה) של לחות יחסית מעל הים, בכל יממה.

Figure E8: Maximum and minimum (red and blue, respectively) daily values of relative humidity over the sea.

במדידות טמפרטורת המים (עומק כ-2 מטרים) ניתן לעקוב אחר המחזור העונתי בו טמפרטורת המינימום (21.2 °C, בחודש מרץ) הייתה דומה לשנה הקודמת אך גבוהה מהערך המזערי בשנת 2012 בה היה ערבוב עמודת המים עמוק (איור ה9). טמפרטורת המקסימום (29.2 °C) נמדדה בחודש אוגוסט, נמוכה בחצי מעלה מהערך המרבי של השנה הקודמת, ונמוכה מהטמפרטורה המרבית שנמדדה מאז שנת 2009. טמפרטורת פני הים המזערית בסוף השנה היתה 22.4 °C, מעט נמוך בהשוואה לשנתיים הקודמות. משרעת טמפרטורת המים היתה גם השנה קטנה יחסית: בחורף היתה הטמפרטורה בדרך כלל גבוהה יחסית ובקיץ נמוכה.

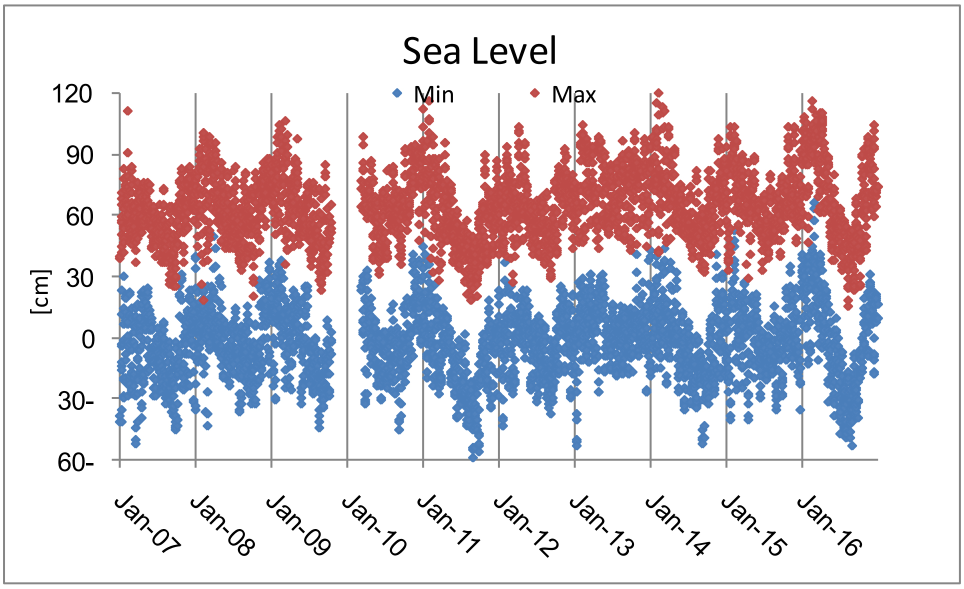
ההפרש הממוצע בין טמפרטורת המים המרבית והמזערית גדל בחודשי הקיץ אז מתפתחת תרמוקלינה יומית. בחודשי החורף, ובעיקר בחודשים המובילים לשיא הערבוב, משרעת הטמפרטורות היומית קטנה.



איור ה9: 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.

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

מפלס הים משתנה בעיקר במחזוריות חצי יממית של גאות ושפל. המחזור השנתי מורכב ממפלס ים גבוה בחודשי החורף ונמוך יותר בחודשי הקיץ (איור ה10). בחודשי החורף גם נמדדות תנודות גדולות יותר במפלס הים המזערי ביממה, וזאת ככל הנראה בהשפעת הרוחות ומערכות האקלים הפחות יציבות בחודשים אלה.



איור ה10: ערכים מרביים ומזעריים (באדום ובכחול, בהתאמה) של מפלס 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.

<u>מטרה</u>

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

<u>שיטות</u>

מכשיר ה-ADCP מודד החזרים מחלקיקים הנעים בים באמצעות ארבע אלומות קול המשודרות כלפי מעלה. מדידת הזרם העמוקה ביותר נעשית כ-2.7 מ' מעל המכשיר (ז"א כשלושה מטרים מעל הקרקעית) ובכל 2 מטרים משם ועד לפני הים. המדידות הרדודות ביותר, בקרבת פני הים הן באיכות נמוכה עקב גלים וערבול אשר יוצרים החזרים רבים במים הרדודים. מיקום המדידה נקבע על סמך מורפולוגיית הקרקעית, על גבי "מדף" אופקי ביחס למדרון התלול אשר מאפיין את שולי המפרץ באזור(איור ה11). המכשיר מחובר באמצעות כבל חשמל ותקשורת למכון הבינאוניברסיטאי והנתונים (בתדירות של חמש דקות) נשמרים על שרת המכון.
השנה מוצגים הזרמים כדיאגראמות וקטוריות מתקדמות (progressive vector diagrams), אשר חושבו ושורטטו בעזרת תכנת מאטלב (matlab).

איור ה11: 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.

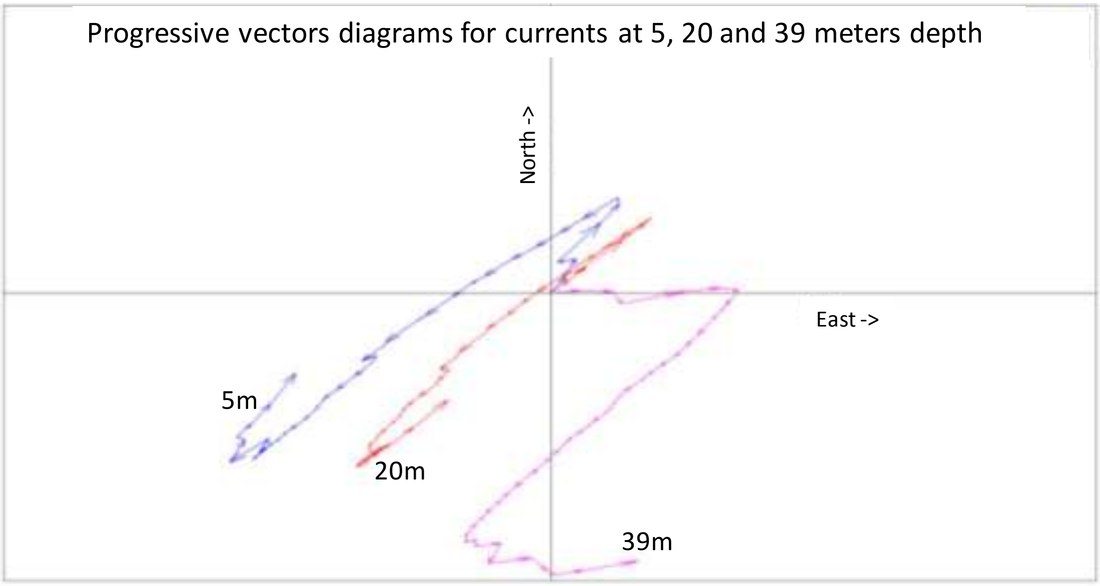
Figure E11: An acoustic Doppler current profiler (ADCP) looks up at the water column from the sea floor 42-meters deep, on a flat surface off the southern edge of the IUI. The ADCP is connected with a cable to the IUI and sends real-time data directly to the IUI main server.

תוצאות

כיוון ועצמת הזרם נמדדו באופן רציף החל מעומק של ~40 מ' (שניים-שלושה מטרים מעל לקרקעית) 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).

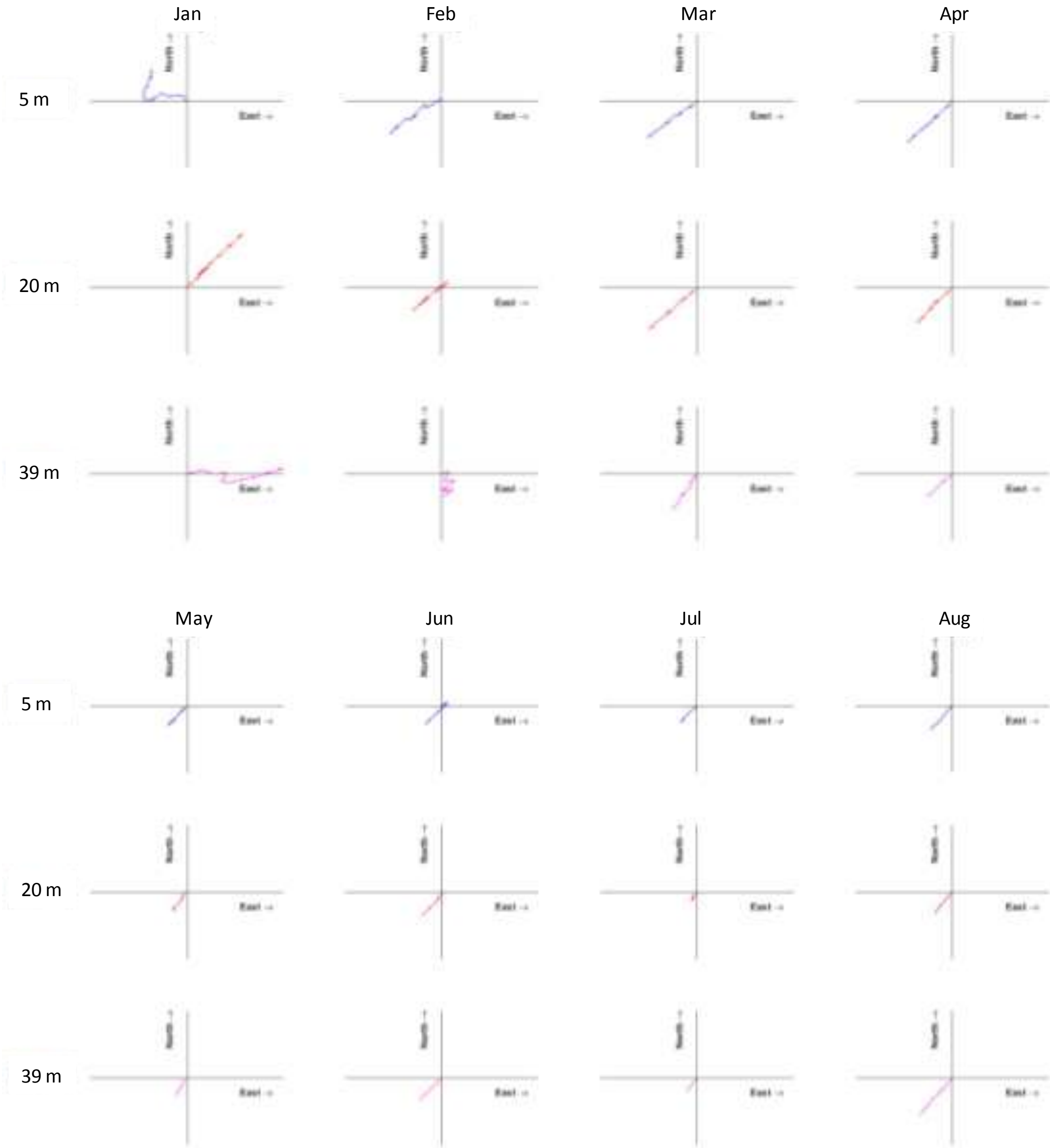
ככלל, הזרמים הדומיננטים בקרבת המכון מקבילים לחוף בפרט באמצע עמודת המים שם לא מורגשים השפעות הקרקעית או פני הים, רוחות וגלים (איור ה12).

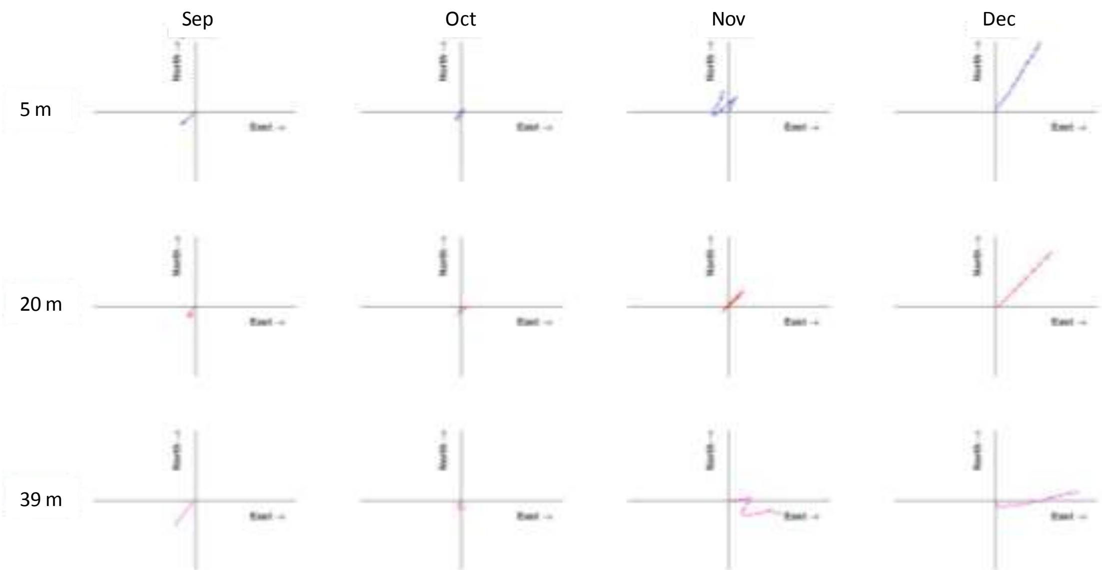
בחודשי החורף הזרמים בקרבת הקרקעית בעלי כיוון עיקרי ניצב לחוף, בכיוון מזרח, ומשקפים מצב של התקררות המים הרדודים בקרבת החוף וזרימתם מטה לאורך הקרקעית (down-welling). על מנת למלא את החסר מים עליונים זורמים בפני הים לכיוון החוף. במדידות מעומק 5 מטרים ניתן להבחין בחודשי החורף בתנועה זו (זרימה בכיוון כללי מערב) אולם היא חלשה מהזרימה על פני קרקעית הים. באופן כללי, הזרימה בחודשי החורף פחות סדורה ויותר חזקה מאשר בחודשים החמים (איור ה13).



איור ה12: זרמים מול המכון הבינאוניברסיטאי בשלושה עומקים (בסמוך לקרקעית 39מ', 20מ' ובקרבת פני הים ב-5 מטרים) בשנת 2016. 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 2016. 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.


Jan
Feb
Mar
Apr
5 m
20 m
39 m
May
Jun
Jul
Aug
5 m
20 m
39 m



איור ה13: תבנית הזרימה עבור כל חודש מול המכון הבינאוניברסיטאי בשלושה עומקים (בסמוך לקרקעית 39מ', 20מ' ובקרבת פני הים ב-5 מטרים). דיאגרמות וקטורים מתקדמים עוקבות אחר התקדמותה של "חבילת מים" דמיונית כאשר כיוון החצים מראה את כיוון ההתקדמות וגודלם את המהירות.

Figure E13: Monthly current patterns off the IUI at three depths (near the sea floor at 39m, 20m and close to the surface at 5m). 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.

ה.5. אבק מרחף

מטרה

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

שיטות

אבק מרחף נאסף על גבי פילטר נקי (0.45µm) דרכו נשאב אויר בעזרת משאבת ואקום הפועלת ברציפות. הפילטר מותקן בתושבת המורמת מעל מזח המכון הבינאוניברסיטאי בגובה של כ-4 מ' מעל הים ומוחלף מדי שבוע, 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.

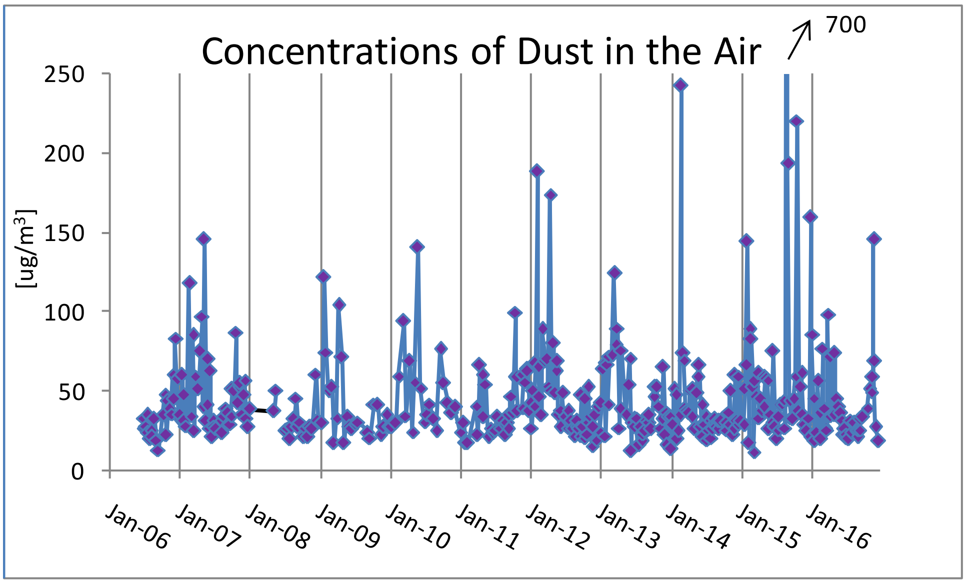
פילטר האבק נשקל במאזנים אנליטיים עם רגישות של חמש ספרות (לפני ואחרי איסוף האבק) והטיפול כולו נעשה במעבדה נקייה. לאחר שקילת האבק וחישוב ריכוזו במכון הבינאוניברסיטאי, הפילטר נשלח למכון למדעי כדור הארץ לאנליזה גיאוכימית.

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), ונתמך בחלקו על ידי תכנית הניטור. תכנית הניטור בתמיכתה במחקר עוקבת אחר כמויות האבק המגיעות למפרץ במחשבה שאבק עשוי להיות מקור חשוב לנוטריינטים, ובפרט יסודות קורט חיוניים.]

בדו"ח הזה מדווחת תכנית הניטור על שינויים 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 ה14). ריכוזי האבק המרביים אשר נמדדו בתחילת חודש ספטמבר 2015, 699 $\mu g/m^3$, היו הגבוהים ביותר אשר נמדדו עד כה במסגרת תכנית הניטור ונמדדו במשך סופת אבק שנמשכה מספר ימים. השנה נמדדו ריכוזי אבק מרביים בחודש ינואר (159 $\mu m/m^3$) ובחודש דצמבר נמדדו ריכוזים מעט נמוכים יותר (145 $\mu m/m^3$). בסך הכל, ריכוזי האבק אשר נמדדו השנה היו נמוכים בהשוואה לשנים האחרונות.

לאחרונה פורסם המחקר המנתח את הרכב האבק הנדגם על ידי התכנית בין השנים 2006-2010 (Torfstein *et al.*, 2017: Chemical characterization of atmospheric dust from a weekly time series in the north Red Sea between 2006-2010). נמצא כי השינויים העונתיים בעומסי האבק (נמוך בחודשי הקיץ ועולה בתחילת החורף עם ערכים מרביים בסוף החורף ובאביב) קשורים גם במקור האבק (עומסים גדולים בסוף החורף ובאביב מגיעים ממרכז ומערב הסהרה, וכמות אבק קבועה ונמוכה יותר מגיעה ממזרח הסהרה ומחצי האי ערב ומהווה מקור מתמשך בחודשי החורף. בקיץ עומס האבק נמוך ומקורו בעיקר מדרום וממזרח אירופה.). תבנית השינויים בזמן בעומסי מיקרו-נוטריינטים חשובים (כגון ברזל ומתכות אחרות) אינה בהתאמה לתבנית היסודות העיקריים או לתבנית הנצפית בריכוזי כלורופיל-a בפני הים ומצביעה על כך שלאבק אטמוספרי השפעה מוגבלת על הראשונית בצפון המפרץ.



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

Figure E14: Weekly dust concentrations in the air above the sea. Dust is measured on filters through which air is continuously pumped.

ו. ביבליוגרפיה

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

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

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

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

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

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

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

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

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

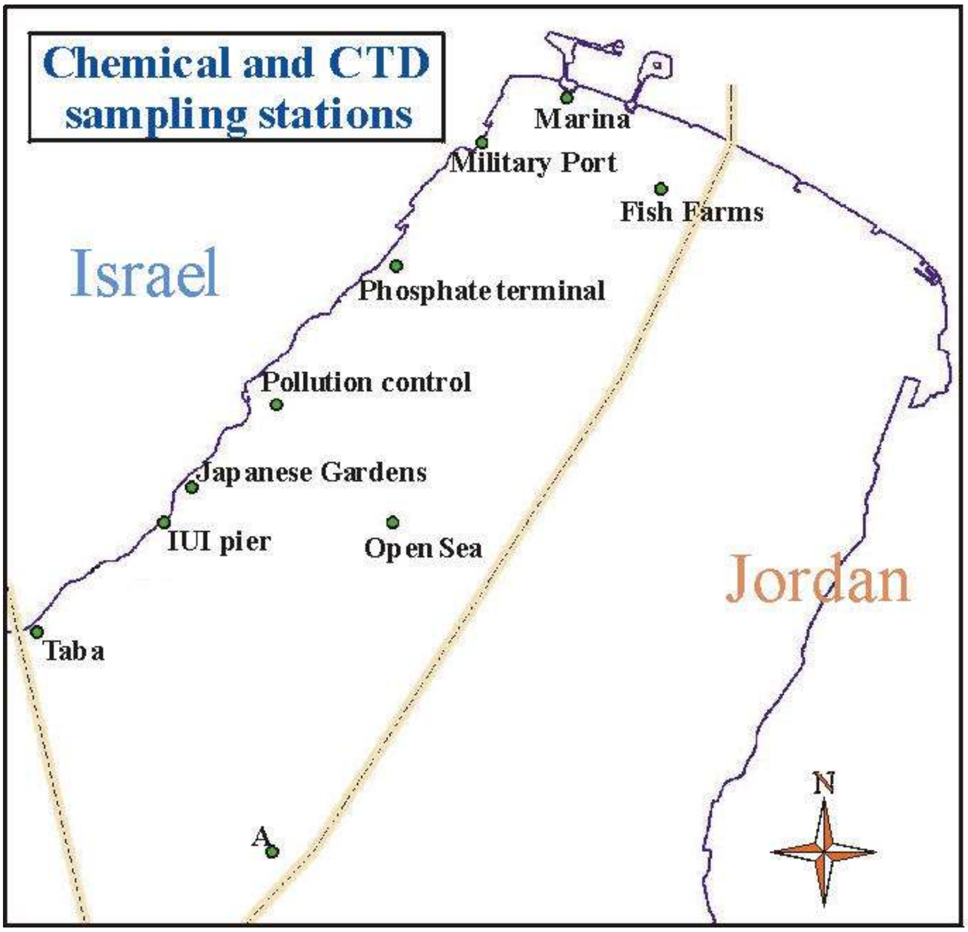
Walther, B., A., Morand, S. (1998). Comparative performance of species richness estimation methods. Parasitology 116, 4: 395-405.

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 השונית 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.

ז.2. רשימות סוגי האלמוגים

טבלה ז1: רשימת אלמוגי האבן (ומספר המושבות) בחתכי הקו בסקר חברת השונית בשנת 2016.
Table G1: List of stony corals and the number of colonies of each taxa found in the coral reef line-transect survey, 2016.

Genus	IUI	Katza	NR	Eilat Total
Acanthastrea	15	6	12	33
Acropora	92	150	262	504
Agaricia	2	4	5	11
Alveopora	1	5		6
Astreopora	1	4	21	26
Balanophillya			2	2
Coscinaraea	16	7	7	30
Ctenactis			2	2
Cynarina	5	1	3	9
Cyphastrea	97	68	68	233
Echinophyllia	2	2	6	10
Echinopora	19	76	192	287
Favia	142	34	51	227
Favites	101	115	106	322
Fungia	2	6	2	10
Galaxea	3	12	13	28
Goniastrea	55	48	108	211
Goniopora		5	8	13
Gyrosmilia	59		7	66
Herpolitha		1		1
Hydnophora	1		7	8
Leptastrea	45	26	42	113
Leptoria			2	2
Leptoseris		1		1
Lobophyllia	8	11	95	114
Millepora	95	4	7	106
Montipora	38	119	160	317
Mycedium	2	10	17	29
Palythoa	1			1
Pavona	13	77	15	105
Platygyra	10	4	16	30
Plerogyra		4		4
Plesiastrea	15	4	19	38
Pocillopora	21	7	21	49
Porites	48	62	106	216
Psammocora	10	29	41	80
Seriatopora	2	11	2	15
Siderastrea	19		2	21
Stylophora	158	112	135	405
Turbinaria	5	2	3	10
Total	**1103**	**1027**	**1565**	**3695**

טבלה ז2: רשימת מושבות האלמוגים (מכל הסוגים) אשר זוהו באתרי הצילום הקבועים בשנת 2016.

Table G2: list of colonies (of all types) that were recognized in all permanent photo-sites, in 2016.

Genus	NB	Dekel	Katzaa	NR	IUI	Taba	Total
Acanthastrea			3	2	23	1	29
Acropora		22	54	83	19	7	185
Alveopora		1	3	3		9	16
Astreopora				6	1		7
Balanophyllia				1	1		2
Coscinaraea			1	1	2	1	5
Ctenactis				2			2
Cyphastrea		10	18	31	52	10	121
Echinophyllia		3		1	4	4	12
Echinopora		12	41	74	20	5	152
Favia		8	19	9	73	10	119
Favites		7	52	27	55	13	154
Fungia		1	3	2	1	2	9
Galaxea		1	4	1		1	7
Goniastrea		10	29	82	91	36	248
Goniopora		4		3			7
Gyrosmilia					1		1
Herpolitha				2		1	3
Hydnophora						4	4
Leptastrea			17	7	40	10	74
Leptoria		1			1	1	3
Lobophyllia		4	5	8	5		22
Millepora		3	1	2	45	27	78
Montipora		10	53	36	6	3	108
Mycedium		2	12	2	1		17
Oxipora			2				2
Palythoa				1	1	2	4
Pavona		3	19	10	3	3	38
Platygyra		3	2	9	24	6	44
Plerogyra		1					1
Plesiastrea			5	4	7	1	17
Pocillopora		3	4	8	8	4	27
Porites		19	10	15	9	21	74
Psammocora			2	2	1	1	6
Rhytisma		6	8	26	3	1	44
Sarcophyton			2	1	1	1	5
Seriatopora		1	6	5	1		13
Sinularia			1				1
Stylophora		2	17	17	48	17	101
Tubastrea					1	1	2
Turbinaria					1		1
Xenia		19	55	40	9		123
Total		**156**	**448**	**523**	**558**	**203**	**1,888**

ז.3. טבלת פעילות צוות הניטור בשנת 2016

תאריך וסוג הפעילות	מס׳ דגימות	מטרת העבודה	ימי עבודה	המבצעים
ינואר דיגום יומיומי של כמות הכלור ופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מדידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל, טניה, מוריאל, ניצן, יוני, מרק
6 ינואר צלילה להוצאת לוחיות התיישבות אצות בנתוניות בשמורה הסגורה	18 לוחיות משלושה עומקים	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	צלילה: ענבל, טניה, שנירקול מרק, מוריאל
10-11 ינואר דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	3	מרק,ענבל,יוני
13 ינואר דיגום לוחיות התיישבות אלמוגים בשמורה	8 לוחיות	סריקת הלוחיות תחת בניקולר	1	ענבל, יוני
17 ינואר דיגום מסירה + אנליזות מ-8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריינטים 4 חמצן, 16 pH, 16 אלקלניות, 8 מליחות 8 כלורופיל 8 FACS	השוואה בין התחנות השונות	2	טניה, ענבל, מוריאל, יוני, מרק
18 ינואר 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
18-22 ינואר אנליזת דוגמאות	אנליזת דוגמאות	עיבוד נתונים ואנליזת דוגמאות	5	ענבל מוריאל, טניה, ניצן, מרק
25 ינואר צלילה להוצאת לוחיות התיישבות אצות בנתוניות במכון	6 לוחיות	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	ענבל מוריאל
27 ינואר דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומאסה הזואופלנקטון במפרץ	2	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, ניצן, יוני, מרק
1-4 פברואר אנליזת דוגמאות ועיבוד נתונים + כתיבת דוח שנתי	אנליזת דוגמאות מההפלגה	אנליזת דוגמאות ועיבוד נתונים	3 ימים	טניה, מוריאל, ענבל יוני, ניצן, מרק
9 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
8-9 פברואר דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	2	מרק, ענבל, יוני
10-11 פברואר אנליזת דוגמאות ועיבוד נתונים + כתיבת דוח שנתי	אנליזת דוגמאות מההפלגה	אנליזת דוגמאות ועיבוד נתונים	3	טניה, מוריאל, ענבל יוני, ניצן, מרק
15 פברואר דיגום לוחיות התיישבות אלמוגים במכון	8 לוחיות	סריקת הלוחיות תחת בניקולר	1	ענבל, יוני
22 פברואר דיגום חופי דיגום מסירה + אנליזות מ-8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריינטים 4 חמצן, 16 pH, 16 אלקלניות, 8 מליחות 8 כלורופיל 8 FACS	השוואה בין התחנות השונות	2	טניה, ענבל, מוריאל, יוני,מרק
23 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
24-25 פברואר אנליזת דוגמאות	אנליזת דוגמאות מההפלגה	אנליזות כימיות של הדוגמאות	2	טניה, מוריאל, ענבל, מרק

28 פברואר דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומאסה הזואופלנקטון במפרץ	2	ענבל , מרק , יוני
29 פברואר צלילה להוצאת לוחיות התיישבות אצות בנתוניות במכון	6 לוחיות	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	ענבל מוריאל
מרץ דיגום יומיומי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מדידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל, טניה, מוריאל, יוני, ניצן,מרק
1-3 מרץ אנליזת דוגמאות ועיבוד נתונים + כתיבת דוח שנתי	אנליזת דוגמאות מההפלגה	אנליזת דוגמאות ועיבוד נתונים	3 ימים	טניה ,מוריאל, ענבל יוני , ניצן ,מרק
7-8 מרץ דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	3	מרק,ענבל,יוני
9 מרץ צלילה להוצאת לוחיות התיישבות אצות בנתוניות בשמורה הסגורה	18לוחיות.	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	צלילה: ענבל, יוני שנירקול: מוריאל ,מרק עבודה במעבדה: ענבל
10 מרץ בדיקת כמות הכלורופיל בלוחיות ההתיישבות	קריאת 18 דוגמאות בפלואורומטר, הכנסת הנתונים למחשב	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	0.5	ענבל
14 מרץ דיגום חופי דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריינטים 4 חמצן, 16 pH 16 אלקליניות, 8 מליחות8 כלורופיל,	השוואה בין התחנות השונות	2	טניה, ענבל, מוריאל, יוני, מרק
15 מרץ הפלגה משותפת עם הירדנים B,A,os,ff	78 נוטריינטים , 78 חמצן, 62 pH, 39 אלקליניות, 39 מליחות 25 כלורופיל, 40 FACS	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	1	טניה, ענבל, מוריאל, מרק
16-17 מרץ אנליזת דוגמאות ועיבוד נתונים + כתיבת דוח שנתי	אנליזת דוגמאות מההפלגה	אנליזת דוגמאות ועיבוד נתונים	2 ימים	טניה ,מוריאל, ענבל יוני , ניצן ,מרק
20-23 מרץ אנליזת דוגמאות ועיבוד נתונים	אנליזת דוגמאות מההפלגה	אנליזת דוגמאות ועיבוד נתונים	4 ימים	טניה ,מוריאל, ענבל יוני , ניצן ,מרק
28 מרץ 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
30 פברואר דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומאסה הזואופלנקטון במפרץ	2	ענבל , מרק , יוני
אפריל דיגום יומיומי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מדידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל ,טניה, מוריאל, יוני, ניצן
5 אפריל צלילה להוצאת לוחיות התיישבות אצות בנתוניות בשמורה הסגורה	18לוחיות.	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	צלילה: ענבל, יוני שנירקול: מוריאל ,מרק עבודה במעבדה: ענבל
6 אפריל בדיקת כמות הכלורופיל בלוחיות ההתיישבות	קריאת 18 דוגמאות בפלואורומטר, הכנסת הנתונים למחשב	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	0.5	ענבל
11-12 אפריל דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	3	מרק,ענבל,יוני
17 אפריל דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריינטים 4 חמצן, 16 pH 16 אלקליניות, 8 מליחות 8 כלורופיל, 8 , אמוניה FACS	השוואה בין התחנות השונות	2	טניה, ענבל, מוריאל, יוני,מרק

18 אפריל הפלגה לתחנות: A,OS,FF	78 נוטריינטים , 78 חמצן, pH 62, 39 אלקלניות, 39 מליחות 25 כלורופיל, אמוניה FACS 39	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	1	טניה, ענבל, מוריאל, מרק
19-21 אפריל אנליזת דוגמאות	אנליזת דוגמאות מההפלגה	אנליזת דוגמאות ועיבוד נתונים	3 ימים	טניה ,מוריאל, ענבל יוני , ניצן ,מרק,
25 אפריל צלילה להוצאת שש לוחיות התיישבות אצות בנתוניות	שש לוחיות.	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	צלילה: ענבל, מוריאל עבודה במעבדה: ענבל
מאי דיגום יומיומי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מדידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל ,טניה, מוריאל, יוני, ניצן ,מרק,
4 מאי דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומאסה הזואופלנקטון במפרץ	2	ענבל , מרק , יוני
5 מאי סקר אלמוגים בלגונה הסגורה	סקר אלמוגים בלגונה	ספירת אלמוגים	1	מוריאל, יוני, ניצן, מרק, טניה, ענבל
8 מאי צלילה להוצאת לוחיות התיישבות אצות בנתוניות באתר השמורה הסגורה	הוצאת 18 לוחיות. מאתר השמורה הפתוחה וקריאת 18 דוגמאות בפלואורומטר, הכנסת הנתונים למחשב	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	ענבל, טניה, מוריאל יוני, מרק
9 מאי קריאת כלורופיל	קריאת 18 דוגמאות בפלואורומטר, הכנסת הנתונים למחשב	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	0.5	ענבל
10 מאי דיגום לוחיות התיישבות אלמוגים במכון	8 לוחיות	סריקת הלוחיות תחת בניקולר	1	ענבל, יוני
16 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	2	טניה, ענבל, מוריאל, יוני,מרק
17 מאי הפלגה לתחנות: OS, FF,A	78 נוטריינטים , 78 חמצן, pH 62, 39 אלקלניות, 39 מליחות 25 כלורופיל, FACS 39	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	1	טניה, ענבל, מוריאל, מרק
18-19 מאי אנליזות	78 נוטריינטים , 78 חמצן, pH 62, 39 אלקלניות, 39 מליחות 25 כלורופיל, אמוניה FACS 39אנליזת דוגמאות והזנה במחשב אנליזות של דוגמאות	אנליזת דוגמאות כימיה וביולגיה	2	טניה, מוריאל ענבל יוני, מרק
30 מאי צלילה להוצאת שש לוחיות התיישבות אצות בנתוניות	שש לוחיות.	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	צלילה: ענבל, מוריאל עבודה במעבדה: ענבל
31 מאי בדיקת כמות הכלורופיל בלוחיות ההתיישבות	קריאת שש דוגמאות בפלואורומטר, הכנסת הנתונים למחשב	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	0.5	ענבל
30-31 מאי דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	3	מרק,ענבל,יוני
31 מאי דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומאסה הזואופלנקטון במפרץ	2	ענבל , מרק , רוני
יוני 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
2 יוני טיפול במד זרם	צלילה לניקוי ה ADCP	טיפול שוטף בצלילה למד זרם	0.5	יוני ,רוני

5 יוני צילום כיסוי עשב ים	צילום חתכי כיסוי עשב ים במדרון מול המגדלור	מדידת כיסוי עשב ים	1	מרק, יוני
6 יוני צלילה להוצאת לוחיות התיישבות אצות בנתוניות באתר השמורה הסגורה	הוצאת 18 לוחיות. מאתר השמורה הפתוחה וקריאת 18 דוגמאות בפלואורומטר, הכנסת הנתונים למחשב	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	ענבל, טניה, מוריאל יוני, מרק
7 יוני צילום ריבועים קבועים במעבדה הימית	צילום 5 נקודות קבועות במעבדה הימית	מעקב אחרי שינויים בשונית בעזרת צילום ריבועים קבועים בשונית	1	ענבל , יוני
8 יוני צילום כיסוי עשב ים	צילום חתכי כיסוי עשב ים בחוף הצפוני	מדידת כיסוי עשב ים	1 יום	מרק, יוני, רוני, ענבל
9 יוני צילום ריבועים קבועים בטאבה	צילום 5 נקודות קבועות בטאבה	מעקב אחרי שינויים בשונית בעזרת צילום ריבועים קבועים בשונית	1	ענבל , רוני
13 יוני צלילות חתכים בשונית באתר המעבדה הימית	ספירת אלמוגים לאורך החתכים והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	מרק, ניצן, טניה, ענבל
14 יוני צלילות חתכים בשונית באתר השמורה הסגורה	ספירת אלמוגים לאורך החתכים והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	מרק, ניצן, טניה, ענבל
15 יוני צלילות חתכים בשונית באתר השמורה הסגורה	ספירת אלמוגים לאורך החתכים והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	מרק, טניה, ענבל
16 יוני דיגום חופי דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריינטים 4 חמצן, 16 pH 16 אלקליניות, 8 מליחות 8 כלורופיל, 8 FACS	השוואה בין התחנות השונות	2	טניה, ענבל, מוריאל, יוני
19 מאי הפלגה לתחנות: A,os,ff	78 נוטריינטים , 78 חמצן, 62 pH, 39 אלקליניות, 39 מליחות 25 כלורופיל, 39 FACS	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	1	טניה, ענבל, מוריאל, מרק
20 יוני צילום ריבועים קבועים בשמורה	צילום 5 נקודות קבועות בטאבה	מעקב אחרי שינויים בשונית בעזרת צילום ריבועים קבועים בשונית	1	ענבל, יוני
21 יוני דיגום סדימנט בחוף הצפוני	איסוף סדימנט בחוף הצפוני בצלילה	סקר מיואופאונה בסדימנט	1	אירנה, מרק, רוני
27-28 יוני דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	3	מרק,ענבל,יוני
27 יוני צלילה להוצאת שש לוחיות התיישבות אצות בנתוניות	שש לוחיות.	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	צלילה: ענבל, מוריאל עבודה במעבדה: ענבל
28 יוני סקר אלמוגים בקצאא	ספירת אלמוגים לאורך החתכים והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	טניה, ענבל
29 יוני סקר אלמוגים בשמורה הסגורה	ספירת אלמוגים לאורך החתכים והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	טניה, ענבל
29 יוני צילום ריבועים קבועים בשמורה	צילום 5 נקודות קבועות בטאבה	מעקב אחרי שינויים בשונית בעזרת צילום ריבועים קבועים בשונית	1	ניצן, רוני
30 יוני סקר אלמוגים בקצאא	ספירת אלמוגים לאורך החתכים והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1	טניה, ענבל
יולי דיגום יומיומי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מדידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל, טניה, מוריאל, יוני, מרק

3 מאי דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומאסה הזואופלנקטון במפרץ	2	מרק, רוני, ניצן
3 יולי צלילות חתכים בשונית השמורה	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	מרק,ענבל, טניה, מוריאל, רוני
4 יולי צלילות חתכים בשונית במעבדה	סקר חברת האלמוגים לאורך החתכים בקצאא והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1	מרק, ניצן, טניה, ענבל
5 יולי צלילות חתכים בשונית המעבדה	סקר חברת האלמוגים לאורך החתכים והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1	ניצן, טניה,
6 יולי צלילה להוצאת 18 לוחיות התיישבות אצות בנתוניות	הוצאת 18 לוחיות התיישבות בשמורה הסגורה	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	2	ענבל, טניה, מוריאל, רוני
6 יולי סקר חסרי חוליות צלילת לילה במעבדה הימית	צלילת לילה לספירת חסרי חוליות	ספירת חסרי חוליות באתר המכון	3	מרק,ענבל, טניה, מוריאל, רוני
7 יולי צלילות חתכים בשונית השמורה הסגורה	סקר חברת האלמוגים לאורך החתכים השמורה הסגורה והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום צלילה והכנסת הנתונים במחשב	ניצן, טניה, ענבל
7 יולי דיגום סדימנט בחוף הצפוני	דיגום סדימנט בחוף הצפוני למעקב אחר המיאופאונה	מעקב אחר מיאופאונה	1 יום	אירנה, מרק, רוני
10 יולי צלילות חתכים בשונית בקצאא	סקר חברת האלמוגים לאורך החתכים השמורה הסגורה והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1	ניצן, טניה, ענבל, רוני
11 יולי צלילות חתכים בשונית בקצאא	סקר חברת האלמוגים לאורך החתכים השמורה הסגורה והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1	ניצן, טניה, ענבל, רוני
12 יולי צלילות חתכים בשונית בקצאא	סקר חברת האלמוגים לאורך החתכים השמורה הסגורה והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1	טניה, ענבל, רוני
12 יולי סקר חסרי חוליות צלילת לילה במעבדה הימית	צלילת לילה לספירת חסרי חוליות	ספירת חסרי חוליות באתר המכון	3	מרק,ענבל, טניה, מוריאל, רוני
13 יולי דיגום התיישבות אלמוגים	צלילה להחלפת פלטות התיישבות לגיוס אלמוגים בשונית השמורה	החלפת המערכים בים וסריקת הפלטות תחת בניקולר לחיפוש התיישבות אלמוגים	1	ענבל, רוני
13 יולי צלילות חתכים בשונית השמורה הסגורה	סקר חברת האלמוגים לאורך החתכים השמורה הסגורה והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1	מרק, ניצן, טניה
14 יולי צלילות חתכים בשונית השמורה הסגורה	סקר חברת האלמוגים לאורך החתכים השמורה הסגורה והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1	ניצן, טניה, ענבל, רוני
17 יולי צלילות חתכים בשונית השמורה הסגורה	סקר חברת האלמוגים לאורך החתכים השמורה הסגורה והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1	טניה, ענבל, רוני
18 יולי דיגום חופי דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריינטים 4 חמצן, 16 pH 16 אלקליניות, 8 מליחות 8 כלורופיל, 8 FACS	השוואה בין התחנות השונות	1	טניה, ענבל, מוריאל, מרק, רוני

19 יולי הפלגה 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
20 יולי דיגום סדימנט בחוף המגדלור	דיגום סדימנט בחוף הצפוני למעקב אחר המיאופאונה	מעקב אחר מיאופאונה	1	אירנה, מרק, רוני
20 יולי אנליזת דוגמאות	אנליזת דוגמאות מההפלגה	אנליזת דוגמאות	3	טניה, מוריאל, ענבל
21 יולי צלילות חתכים בשונית בקצאא	סקר חברת האלמוגים לאורך החתכים בקצאא והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1	מרק, ניצן, טניה, ענבל, רוני
24 יולי צלילות חתכים בשונית בקצאא	סקר חברת האלמוגים לאורך החתכים בקצאא והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1	מרק, ניצן, טניה, ענבל, רוני
25-26 יולי דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	3	מרק,ענבל
26 יולי סקר דגים בשמורה הסגורה	צלילה לספירת דגים	סקר דגים בשמורה הסגורה	1	ענבל,מוריאל, ניצן, טניה, רוני
27 יולי סקר דגים בשמורה הסגורה	צלילה לספירת דגים	סקר דגים בשמורה הסגורה	1	ענבל,מוריאל, ניצן, טניה, רוני
28 יולי צלילות חתכים בשונית במעבדה	סקר חברת האלמוגים לאורך החתכים השמורה הסגורה והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1	ניצן, טניה
28 יולי דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומאסה הזואופלנקטון במפרץ	2	ענבל , מרק, רוני
28 יולי סקר חסרי חוליות צלילת לילה במעבדה הימית	צלילת לילה לספירת חסרי חוליות	ספירת חסרי חוליות באתר המכון	0.3	מיוריאל, ענבל, מרק, רוני
31 יולי צלילות חתכים בשונית במעבדה	סקר חברת האלמוגים לאורך החתכים השמורה הסגורה והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1	ניצן, טניה
31 יולי צלילה להוצאת שש לוחיות התיישבות אצות בנתוניות	שש לוחיות.	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	צלילה : ענבל, מוריאל עבודה במעבדה : ענבל
אוגוסט דיגום יומיומי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מדידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל, טניה, מוריאל, ניצן, יוני, מרק
1 אוגוסט סקר דגים בשמורה הסגורה	צלילה לספירת דגים	סקר דגים בשמורה הסגורה	1	ענבל,מוריאל, ניצן, טניה, רוני
2 אוגוסט צלילות חתכים בשונית השמורה הסגורה	סקר חברת האלמוגים	סקר חברת האלמוגים במעבדה הימית	1	מרק , ענבל ,
3 אוגוסט עיבוד נתונים	עיבוד נתונים במחשב	עיבוד נתונים במחשב	1	טניה, מיוריאל, ענבל, רוני
4 אוגוסט סקר שולחן השונית בשמורה הסגורה	ספירת אלמוגים לאורך שולחן השונית	סקר חברת השונית	1	מרק,טניה, ענבל,
7 אוגוסט צלילות חתכים בשונית השמורה הסגורה	סקר חברת האלמוגים	סקר חברת האלמוגים במעבדה הימית	1	ענבל , טניה
8 אוגוסט צלילה להוצאת 18 לוחיות התיישבות אצות בנתוניות	הוצאת 18 לוחיות התיישבות בשמורה הסגורה	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	2	ענבל, טניה, מוריאל, רוני
9 אוגוסט צלילות חתכים בשונית המעבדה	סקר חברת האלמוגים	סקר חברת האלמוגים במעבדה הימית	1	מרק , ענבל , טניה
9 אוגוסט סקר חסרי חוליות צלילת לילה במעבדה הימית	צלילת לילה לספירת חסרי חוליות	ספירת חסרי חוליות באתר המכון	0.3	מיוריאל, מרק

11 אוגוסט דיגום התיישבות אלמוגים	צלילה להחלפת פלטות התיישבות לגיוס אלמוגים בשונית במעבדה הימית	החלפת המערכים בים וסריקת הפלטות תחת בניקולר לחיפוש התיישבות אלמוגים	1	ענבל, רוני
15 אוגוסט דיגום חופי דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריינטים 4 חמצן, 16 pH 16 אלקלניות, 8 מליחות 8 כלורופיל, 8 FACS	השוואה בין התחנות השונות	2	טניה, ענבל, מוריאל, מרק, רוני
16 אוגוסט הפלגה 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
17-18 אוגוסט אנליזת דוגמאות	אנליזת דוגמאות	אנליזה	2	מוריאל, טניה, ענבל, אירנה, מרק
21-22 אוגוסט דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	3	מרק,ענבל, רוני
24 אוגוסט דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומאסה הזואופלנקטון במפרץ	2	ענבל , מרק, רוני
29 אוגוסט צלילה להוצאת שש לוחיות התיישבות אצות בנתוניות	שש לוחיות.	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	צלילה: ענבל, מוריאל עבודה במעבדה: ענבל
ספטמבר דיגום יומיומי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מדידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל, טניה, מוריאל, ניצן, יוני, מרק
5-9 ספטמבר סדנה לזיהוי אלמוגים			5	טניה, ענבל, מרק
12 ספטמבר הפלגה 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
14 ספטמבר דיגום חופי דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריינטים 4 חמצן, 16 pH 16 אלקלניות, 8 מליחות 8 כלורופיל, 8 FACS	השוואה בין התחנות השונות	2	טניה, ענבל, מוריאל, מרק, רוני
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, טניה, מוריאל, רוני
18-22 ספטמבר מחנה אקולוגי רשות הטבע והגנים			5	מרק, טניה, ענבל, ניצן
26-27 ספטמבר דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	1	מרק,ענבל, רוני
28 ספטמבר דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומאסה הזואופלנקטון במפרץ	2	ענבל , מרק, רוני
29 ספטמבר צלילה להוצאת שש לוחיות התיישבות אצות בנתוניות	שש לוחיות.	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	צלילה: ענבל, מוריאל עבודה במעבדה: ענבל
אוקטובר דיגום יומיומי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מדידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל, טניה, מוריאל, ניצן, רוני, מרק
5 אוקטובר הפלגה משותפת עם ירדן לתחנות: A, B, FF, OS	120 נוטריינטים , חמצן, 60 pH 120 60, אלקלניות, 60 מליחות כלורופיל, FACS	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	1	טניה, ענבל, מוריאל, מרק
6 אוקטובר אנליזות	אנליזת דוגמאות	אנליזת דוגמאות	1	טניה, ענבל, מוריאל, מרק, אירנה

9 אוקטובר דיגום חופי דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריינטים 4 חמצן, 16 pH 16 אלקלניות, 8 מליחות, אמוניה 8 כלורופיל, FACS 8	השוואה בין התחנות השונות	2	טניה, ענבל, מוריאל, מרק, רוני
18-19 אוקטובר דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	3	מרק,ענבל, רוני
19 ספטמבר צלילה להוצאת 18 לוחיות התיישבות אצות בנתוניות	הוצאת 18 לוחיות התיישבות בשמורה הסגורה	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	2	ענבל, שרלוט,
25 אוקטובר דיגום התיישבות אלמוגים	צלילה להחלפת פלטות התיישבות לגיוס אלמוגים בשונית במעבדה הימית	החלפת המערכים בים וסריקת הפלטות תחת בניקולר לחיפוש התיישבות אלמוגים	1	ענבל, רוני
30 אוקטובר צלילה להוצאת שש לוחיות התיישבות אצות בנתוניות	שש לוחיות.	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	, רוני ענבל עבודה במעבדה : ענבל
31 אוקטובר דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומאסה הזואופלנקטון במפרץ	2	ענבל , מרק, רוני
נובמבר דיגום יומיומי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מדידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל, טניה, מוריאל, ניצן, רוני, מרק
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, רוני
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, רוני, 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, FACS 8	השוואה בין התחנות השונות	2	טניה, ענבל, מוריאל, מרק, רוני
14 נובמבר 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, ענבל, מוריאל, מרק
20-21 נובמבר דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	2	מרק,ענבל, רוני
22-24 נובמבר אנליזות	אנליזות ועיבוד נתונים	עיבוד נתונים	3	מרק, טניה, מוריאל, רוני , ענבל, רוני
29 נובמבר דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומאסה הזואופלנקטון במפרץ	2	ענבל , מרק, רוני
30 נובמבר צלילה להוצאת שש לוחיות התיישבות אצות בנתוניות	שש לוחיות.	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	, רוני 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, ניצן, רוני, מרק
5 דצמבר צלילת סקר אלמוגים	צלילה בשמורת האלמוגים	סקר חברת האלמוגים בנולים בשמורה	1	טניה, ענבל, מרק
6 דצמבר צלילת סקר אלמוגים	צלילה בקצאא	סקר חברת האלמוגים בנולים בשמורה	1	טניה, ענבל, 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	3	ענבל, רוני, מוריאל, טניה
12 דצמבר דיגום חופי דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריינטים 4 חמצן, 16 pH 16 אלקלניות, 8 מליחות, אמוניה 8 כלורופיל, FACS 8	השוואה בין התחנות השונות	1	טניה, ענבל, מוריאל, מרק, רוני

13 דצמבר הפלגה לתחנות : A,OS,FF	78 נוטריינטים , 78 חמצן, 62 pH, 39 אלקליניות, 39 מליחות 25 כלורופיל, 39 FACS	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	1	טניה, ענבל, מוריאל, מרק
14-15 דצמבר אנליזות	אנליזת דוגמאות	אנליזת דוגמאות מההפלגה	2	טניה, מוריאל, ענבל, מרק
19-20 דצמבר דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	3	מרק,ענבל, רוני
18-22 דצמבר ניתוח נתונים	ניתוח נתונים	ניתוח נתונים	5	טניה, מוריאל, ענבל, מרק
25 דצמבר דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומאסה הזואופלנקטון במפרץ	2	אירנה, מרק, רוני
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