



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



מרץ 2013

אדר תשע"ג

התוכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת

## דו"ח מדעי לשנת 2012



מוגש לוועד המנהל של תכנית הניטור על ידי:

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

התכנית ממומנת ע"י המשרד להגנת הסביבה

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



## חברי הוועד המנהל:

ד"ר סיניה נתניהו, מדענית ראשית, המשרד לאיכות הסביבה, יו"ר

פרופ' שמשון בלקין, האוניברסיטה העברית בירושלים  
מר יצחק בן דוד, סמנכ"ל בכיר לאכיפה, המשרד לאיכות הסביבה  
פרופ' חזי גלדור, האוניברסיטה העברית בירושלים  
פרופ' ברק חירות, חקר ימים ואגמים לישראל  
פרופ' בועז לזר, האוניברסיטה העברית  
מר רני עמיר, רא"ג ים וחופים, המשרד לאיכות הסביבה  
ד"ר מעוז פיין, המכון הבינאוניברסיטאי למדעי הים באילת ואוניברסיטת בר אילן  
פרופ' אמציה גנין, המכון הבינאוניברסיטאי למדעי הים באילת והאוניברסיטה העברית בירושלים  
פרופ' אלדו שמש, מכון וייצמן למדע  
ד"ר יהושע שקדי, רשות הטבע והגנים

## צוות הניטור:

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

ענבל אילון, ביולוגיה  
מוריאל דריי, כימיה  
מרק צ'רניחובסקי, ביולוגיה  
טניה ריבלין, כימיה  
ניצן שגב, ביולוגיה

## יעוץ וסיוע:

פרופ' יונתן ארז, האוניברסיטה העברית (יצרנות ראשונית, אוקיינוגרפיה)  
פרופ' א. דיאמנט, מלח"י (מחלות וטפילים בדגים)

## עזרה במכון הבינאוניברסיטאי:

עודד בן שפרוט  
יגאל ברנשטיין  
גנדי זלצמן  
תימור כץ  
אסף ריבלין

## תוכן העניינים

4	א. מבוא
4	א.1. מטרת הניטור במפרץ אילת
4	א.2. הקדמה
6	א.3. תקציר התוצאות והמסקנות
9	א.4. המלצות
11	א.5. תקציר באנגלית, English Abstract
17	ב. שונית האלמוגים
17	ב.1. סקר חברת השונית
45	ב.2. צילום אתרים קבועים
54	ב.3. חברת האלמוגים בלגונת שמורת האלמוגים
58	ב.4. סקר חסרי חוליות
62	ב.5. קצב גידול מאקרו-אצות בשונית
67	ב.6. סקר דגי השונית
70	ג. ניטור הסביבה החופית
70	ג.1. מי הים בקרבת החוף
81	ג.2. טפילים ומחלות בדגים לאורך חופי אילת
86	ג.3. שינויים במאספי פורמיניפרים בנתונים בתגובה לפינוי כלובי הדגים במפרץ אילת-עקבה
91	ד. עמודת המים בים העמוק
94	ד.1. מדדים פיסיקליים: טמפרטורה ומליחות
98	ד.2. מדדים כימיים
118	ד.3. מדדים ביולוגיים
128	ה. מדידות סביבתיות בתדירות גבוהה
128	ה.1. כלורופיל
129	ה.2. טמפרטורת המים בפני השטח בשמורת חוף אלמוג
131	ה.3. משתנים מטאורולוגיים
138	ה.4. זרמים
141	ה.5. אבק מרחף
143	ו. ביבליוגרפיה
144	ז. נספחים
144	ז.1. מפות אתרי הניטור
146	ז.2. רשימות סוגי האלמוגים
148	ז.3. תסמונת Multifocal bleaching באלמוגי אש ממפרץ אילת
151	ז.4. מעברי חנקן אורגני – אנאורגני במפרץ עקבה
179	ז.5. טבלת פעילות צוות הניטור בשנת 2012

## א. מבוא

### 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 בתחום מדינת ישראל במפרץ אילת.

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

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

### 2. הקדמה

הדו"ח שלהלן מתאר את עבודת הניטור הלאומי בצפון מפרץ אילת בשנת 2012. הדו"ח מחולק לפרקים התואמים סביבות ושיטות עבודה שונות, סיכום פעילויות הניטור ותדירותן מופיע בטבלה א.1. 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).

זו השנה התשיעית בה פועלת תכנית הניטור במתכונת אחידה וכך ניתן לבחון מגמות על פני תשע שנים בהן נאספו הנתונים בשיטות אחידות, ולהשוות תוצאות מדידות שנעשו באותו אופן על ידי אותו צוות. הדבר מקנה עצמה אנליטית משמעותית לניתוח התוצאות ההשוואתיות. על אף שעדיין לא מיצתה התכנית את טווח הערכים האפשרי במערכת, פרק הזמן בו פועלת התכנית, קרוב לעשור, מאפשר התחלה של הערכת המחזוריים והתהליכים תלויי הזמן הפועלים בטווח הבינוני.

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

נתוני תכנית הניטור, החל משנת 2004, מאוכסנים בבסיס נתונים אלקטרוני והגישה אליהם פתוחה לכל דורש דרך אתר תכנית הניטור במכון הבינאוניברסיטאי למדעי הים באילת:  
<http://www.iui-eilat.ac.il/NMP>

פעילות	תדירות (משך הזמן לסקרים)
<b>שונית</b>	
סקר חברת השונית	אחת לשנה, בקיץ (מספר שבועות)
ניטור שולחן השונית	אחת לשנה, בקיץ (שבוע)
צילום ריבועים קבועי מקום + ניתוח הצילומים	אחת לשנה, באביב (מספר שבועות)
ניטור חברת האלמוגים בלאגונה	אחת לשנה, בקיץ (שבוע)
ניטור חסרי חוליות ניידים בשונית	אחת לשנה, בקיץ (מספר שבועות)
ניטור מאקרו-אצות בשונית	אחת לחודש
ניטור דגי השונית	אחת לשנה, בסתיו (מספר שבועות)
<b>תחנות חופיות</b>	
אפיון מי החופים (מדדים פיסיים, כימיים, ביולוגים)	אחת לחודש
חברת הקרקעית בחוף צפוני	אחת לשנה, בקיץ
מחלות דגים וטפילים	אחת לשנה, בחורף (מספר שבועות)
ניטור מתכות במרינה אילת	אחת לשנתיים
<b>ים פתוח</b>	
אפיון עמודת המים (מדדים פיסיים, כימיים, ביולוגים)	אחת לחודש
יצרנות ראשונית	אחת לחודש
ניטור זואופלנקטון	אחת לחודש
<b>מדידות רציפות בסמוך למכון הבינאוניברסיטאי</b>	
מדידות יומיות של טמפרטורה וכלורופיל במזח	מדי יום
זרמים	ניטור רציף
תחנה מטאורולוגית + כרית	ניטור רציף
אבק מרחף	ניטור רציף

טבלה א1: פעילויות תכנית הניטור ותדירותן.

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

### א.3. תקציר התוצאות והמסקנות

#### שונית האלמוגים

1. מצבה הכללית של שונית האלמוגים באילת, כפי שמשתקף במגוון המדדים המנוטרים, נותר יציב או בשיפור קל בתשע השנים בהן פועלת תכנית הניטור. להלן מספר נקודות להן ראוי לשים לב בשנים הבאות:
  - א) כיסוי האלמוגים בשוניות אילת עלה באופן מובהק מאז תחילת הניטור (2004) ובפרט מאז שנת 2007. השנה היו השינויים בכיסוי האלמוגים באתרים השונים קטנים, ובמוצע אין הבדל בינה ובין השנה הקודמת. הדבר נכון גם לגבי כיסוי האלמוגים המנוטרים לכמות המצע הקשה בכל אתר.
  - ב) באתרי IUI הרדודים נמצא ניצול המצע הנמוך ביותר וכן האחוז הגבוה ביותר של מושבות קטנות, בהשוואה לאתרי קדמת השונית האחרים. יחד עם זאת נראה באתרי IUI, ובפרט באתר העמוק IUI-15, עלייה מתמשכת בניצול המצע לאורך שנות הניטור. שלושת אתרי השמורה (NR) הם עדיין האתרים בעלי הכיסוי המנוטרים הגבוה ביותר.
  - ג) ישנה התאמה סבירה בין כיסוי האלמוגים ובין צפיפות המושבות באתר – התאמה הנובעת בעיקר מהשפעת כמות המצע הזמין להתיישבות בכל אתר. אין התאמה בין כיסוי האלמוגים וצפיפות המושבות באתר לאחר נירמול לכמות המצע הזמין להתיישבות.
  - ד) במשך שנות הניטור נמצאה ירידה בחלקן של המושבות ה"קטנות" באתרי הניטור ועליית-מה בחלקן של המושבות הבינוניות-משאר קבוצות הגודל. נראה כי הירידה בחלקן היחסי של המושבות הקטנות נובע במידה רבה מירידה בכמות המושבות הקטנות וישנה ירידה בגיוס מושבות קטנות חדשות במקומן. יחד עם זאת, כמות המושבות הקטנות המגוייסות לשונית אינו גורם מגביל לאחוז הכיסוי בה, אם כי התפתחות מגבלה שכזו בעתיד איננה בלתי אפשרית.
  - ה) חלקם המספרי של אלמוגי האבן הגושיים גדול מזה של המעונפים, והאלמוגים הגושיים הם המכתיבים את התפלגות הגדלים באלמוגי האבן. באתרי IUI גדול המושבות השולט הוא "קטן" ואילו באתרים האחרים הגודל השולט הוא "בינוני" ובחלקם הגדול "גדול" רב יותר מאשר הגודל "קטן". באתר השמורה הרדוד (5-NR) הגודל "גדול" הוא הנפוץ ביותר ושם גם נמצא הכיסוי הגבוה ביותר.
  - ו) מגמת הירידה בערך מדד הרקמה החיה במושבות אלמוגים כסמן לבריאות אלמוגים עצרה השנה, וניכרת עלייה קלה בערך המדד.
  - ז) מגוון המינים על פי מדד Shannon-Wiener כמו גם הרכב חברת האלמוגים באתרי הניטור אינם שונים משמעותית משנה לשנה, עדות להרכב חברה יציב. השנה נבחן המגוון, עושר והרכב המינים במספר דרכים נוספות המדגישות את ההבדלים בין האתרים ואת ייחודם.
  - ח) לאתר שולחן השונית התייחסות נפרדת מאשר לשאר אתרי הניטור, הממוקמים בקדמת השונית, עקב אופיו השונה והמיוחד. כיסוי האלמוגים וצפיפות המושבות בשולחן השונית היו השנה נמוכים מאשר בשנתיים האחרונות. עובדה זו נובעת ככל הנראה מפגיעה בשני הסוגים שהיו דומיננטים באתר, *Stylophora* ו-*Acropora*. השנה לראשונה שני סוגים אלה אינם דומיננטים. הדבר גם משפיע על מדדי המגוון אשר היו השנה גבוהים מאשר בשנים קודמות.
  - ט) באתרים המצולמים עלה שטחם הממוצע של אלמוגי האבן מאז שנת 2004 פי 1.6. שטח אלמוגי האבן בצילומים הקבועים היה הגדול ביותר בשנת 2009, ומאז חלה ירידה קלה.
  - י) בשנה האחרונה נמדד באתרים המצולמים בממוצע גידול בשטחן של מושבות אלמוגי אבן קיימות המתבטא בצמיחה חיובית. יחד עם זאת נמדד בכל האתרים, מלבד באתר קצא"א, עודף של תמותת מושבות בהשוואה לתוספת מושבות על ידי התיישבות.
  - יא) האלמוג *Acropora* שתפס את השטח הגדול ביותר באתרים המצולמים בשנים הראשונות איבד בשנים האחרונות כ-50% משטחו.
  - יב) החל משנת 2010 נמצאה ירידה חדה בצפיפות האלמוגים בלגונה בכלל, וצפיפות האלמוג הדומיננטי *Stylophora pistillata* בפרט. בהיות האלמוג *S. pistillata* נפוץ בהרבה משאר המינים בלגונה, תנודות באוכלוסייתו מכתיבות את השינויים הנצפים בחברת הלגונה בכלל,

כולל עלייה במגוון המינים.

- ג) יתכן כי הירידה הניכרת בצפיפות האלמוגים בלגונה נגרמה עקב סערות דרומיות חזקות שפגעו בשנים 2010-2011 בכל האזורים הרדודים מכ-4 מטרים. השנה היו הסערות מועטות וחלשות ולא נמצא שינוי בצפיפות האלמוג *Stylophora pistillata*. אוכלוסיית האלמוג *Stylophora* ידעה תנודות רבות במשך השנים (הקודמות לשנות פעילותה של תכנית הניטור) והתאוששה כעבור זמן. משך הזמן בו פועלת תכנית הניטור (9 שנים) עדיין אינו מספיק על מנת לעמוד על תנודות אלו או על זמן המחזור האופייני להן.
2. קבוצת הרועים החשובה ביותר בשונית מבין חסרי החוליות היא קיפודי הים, ומתוכה המין הנפוץ ביותר הוא *Diadema setosum*. הלגונה היא האתר היחיד בו נמצאו (במשולב) יותר פרטים של קיפודי ים מסוגים אחרים.
3. לאחר שבשנים 2009-2011 נצפתה צפיפות נמוכה של קיפודי ים באתרים הנסקרים, השנה מתועדת עלייה חדה בצפיפות הקיפודים בכל באתרים מלבד 10-NR. השינויים בצפיפות קיפודי הים משקפים, כנראה, מחזורים טבעיים בגודל האוכלוסייה, או השפעות סביבתיות מחזוריות.
4. בצפיפות חבצלות הים נמצאה גם השנה עלייה בכל האתרים. בסך הכל אוכלוסיית חבצלות הים גדולה משמעותית משהייתה בשנות הניטור הראשונות.
5. ערכי chlorophyll-a על גבי לוחיות מול המעבדה היו בחורף השנה גבוהים משמעותית מאשר בשלוש השנים האחרונות, והיו נמוכים אך במעט מאלו של שנת 2008. הריכוז הגבוה ביותר אשר נמדד השנה על גבי לוחיות מוגנות מרעיה היה יותר מכפול הריכוז אשר נמדד בשנה הקודמת. השנה גם תועדה פריחת אצות חזקה על המדרונות הרדודים, עד לעומק של כ-30 מטרים
6. ריכוזי הכלורופיל על גבי לוחיות חשופות לרעיה היו אף הם גבוהים מעט מהריכוזים אשר נמדדו בשנים האחרונות, אולם גם בחודשי הפריחה היו כמחצית מאלו של הלוחיות המוגנות.
7. קבוצת הדגים הזואופלנקטיבורים – הניזונים מזואופלנקטון בגוף המים – היא הגדולה ביותר מבין הדגים שוכני השונית, והיוותה כ-70% מכלל הדגים שנסקרו השנה. אלו דגים קטנים יחסית הנעים בלהקות בהן מספר גדול של פריטים ועל כן ישנה שונות גבוהה במספרם הנסקר בין השנים. דגים אלה מהווים חוליה חיונית במארג המזון ברכוז חמרי מזון מהרמות הנמוכות בגוף המים.
8. קבוצת דגי השונית השניה בגודלה השנה (כ-16%) היא הדגים הטורפים (קרניבורים), דגים המווסתים את אוכלוסיית השונית – בעיקר חסרי חוליות, וקבוצת הרועים (הרביבורים) מהווה כ-4%. לדגים הרועים תפקיד חשוב בויסות כמות האצות צמודות-המצע בשונית וכך הינם בעלי השפעה ניכרת על התיישבות אלמוגים ושגשוגם. נוכחותם מקצרת את "שרשרת המזון" במעבר אנרגיה ישיר מהיצרנים הראשוניים (אצות) לדגה.

#### הסביבה החופית

9. השנה הייתה טמפרטורת הים בחורף נמוכה מאשר בשנים האחרונות (מאז 2007 ו-2008) וערבוב עמודת המים היה עמוק. ערבוב עמודת המים הוא הגורם העיקרי המשפיע על הדינמיקה המחזורית של רוב המשתנים הנמדדים לאורך החוף. הערבוב העמוק השנה הניע את המערכת וגרם לריכוזי נוטריינטים גבוהים בחודשי החורף ולפריחת פוטופלנקטון חזקות בחודשי האביב ותחילת הקיץ.
10. לאחר כארבע שנים בהן נמדדו הרבה פחות ערכים חריגים, נמדדו השנה מספר אירועים חריגים באופן מובהק. הראשון בחודש מרץ בתחנת חיל הים\מרידיאן ובו נמדדה מליחות נמוכה וריכוזי נוטריינטים גבוהים. אירועים נוספים נמדדו בחודשים יולי-אוגוסט ונובמבר בתחנת כלובי הדגים, בעלי מאפיינים דומים ואמפליטודה גדולה יותר. חריגות אלה הן הגדולות ביותר בשנים האחרונות. לחריגות השנה מקורות אפשריים במלון המרידיאן העושה שימוש במי תהום לקירור מערכות המיזוג (החורף היה קר במיוחד ונעשה מן הסתם שימוש במערכת המיזוג לחימום) ומזרימים לים לאחר השימוש, ובתעלת הקינט דרכה מוזרמים עודפי מים מן הערבה.
11. שכיחות ההדבקה של דגי בר (סיכן משיש, *Siganus rivulatus*) בטפילי מעיים בעלי מחזור חיים הטרוקסני בדרך כלל גבוהה יותר בשנתיים האחרונות מאשר בשנתיים שקדמו להן. יוצא מן הכלל הוא הדיגיניאה *Gyliuachen* sp., אשר נמצא השנה רק בדג אחד והנמצא בירידה בשנתיים האחרונות. עושר בטפילים הטרוקסנים מהווה מדד לבריאות המערכת האקולוגית

בכללותה.

12. בבדיקה היסטולוגית נמצאו בחמישה דגי בר (מתוך מדגם של 27) גרנולומות בטחול (5/27), לעומת 8/21 בשנה הקודמת. סימנים פתולוגיים אלה היו קלים ולא ניתן היה לזהות את הגורם להיווצרותם, למעט במקרה אחד שבו זוהו בוודאות חיידקי מיקובקטריום (*Micobacterium marinum*). בסך הכל, ניכרת ירידה בשכיחות חיידק זה באזור הנבדק (החוף הדרומי, סמוך למכון הבינאוניברסיטאי), שהיה בעבר אזור שבו דגי הסיכך (ומיני דגים נוספים) הציגו שכיחות ועוצמות הדבקה גבוהות בפתוגן זה.
13. בשנים האחרונות תומכת תכנית הניטור במעקב אחר שינויים בקרקעית הים באזור בו היו כלובי הדגים, מאז הוצאתם. המעקב נעשה על ידי שי אורון וחובריה, ותחילתו כעבודת מחקרה לתואר שני. השנה תועדה עליה נוספת במספר הפרטים החיים ובמספר המינים החיים באזור בקרקעית הים באזור בו היו עד שנת 2008 כלובי הדגים. העליה גדולה במיוחד ממש תחת אתרי הכלובים שהוצאו. בנוסף מתועדת חזרת עשב הים, על מגוון המינים המצויים בו.

#### עמודת המים בים העמוק

14. המערכת האקולוגית, ובפרט הדינמיקה השנתית של ריכוזי נוטריינטים וחמצן במים וזמינותם לאוכלוסיות הפיטופלנקטון בים הפתוח, מונעת על ידי הערבוב העונתי בעמודת המים. הדינמיקה הרב שנתית מושפעת מעומק ומשך הערבוב ומכמויות הנוטריינטים שנצברו במי העומק. השנה ערבוב עמודת המים היה עמוק וזאת לאחר שלוש שנים של ערבוב רדוד (-2009-2011). בכך הושלם מחזור רב-שנתי מלא של ערבוב עמוק בשנים 8-2007, שלוש שנים של ערבוב רדוד ושוב ערבוב עמוק השנה. בכך מתאפשרת הערכה של טווח הערכים האפשרי במי המפרץ והשפעות הערבוב בעומקים שונים.
15. 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. השנה שוב תועדה ירידה בריכוזי ומאגרי הנוטריינטים בעמודת המים בחודשי החורף ועליה בחמצן המומס.
16. טמפרטורת פני ים נמוכה אפשרה ערבוב של עמודת המים לעומק גדול מ-860 מטרים, עומק הקרקעית בתחנת המדידה. יחד עם זאת, עליית הטמפרטורות בסוף החורף הייתה מהירה וגדולה הרבה יותר מאשר בעקבות הערבוב העמוק של 8-2007, ומשך הערבוב השנה היה קצר.
17. טמפרטורת מי העומק ירדה בשנים 2007-2008 כתוצאה מהערבוב העמוק בשנים אלה, ובשנים האחרונות נמדדה עלייה קלה בטמפרטורות המים העמוקים. השנה על אף הערבוב העמוק לא ניכרת ירידה בטמפרטורת המים העמוקים מ-500 מטרים, אולי משום שמשך הערבוב היה קצר יחסית.
18. על אף שריכוזי הנוטריינטים במים העמוקים נותרו בסוף השנה נמוכים בהשוואה לשנים האחרונות, מאגרי הנוטריינטים המומסים דומים בסוף השנה לאלו של השנים הקודמות. נראה כי עקב משכו הקצר של הערבוב והטמפרטורות הגבוהות במים העליונים בחודשי הקיץ, גרמו לכך שבסוף השנה שבו רוב הנוטריינטים למאגרים המומסים, ולא נשמרו במאגר החלקיקי תקופה ארוכה כפי שנצפה בשנים 8-2007.
19. המחזור העונתי השנה היה קיצוני בהשוואה לשנים האחרונות מבחינת עומק הערבוב בחורף וטמפרטורת פני הים הגבוהה בקיץ. שיאי היצרנות והפעילות הביולוגית הופיעו מאוחר יותר, בחודשים אפריל-מאי בהם נמדדו הערכים הגבוהים ביותר של יצרנות, ריכוז כלורופיל ומסת זואופלנקטון. ערכי השיא ביצרנות ומסת הזואופלנקטון לא היו גבוהים בהרבה בהשוואה לשנה הקודמת, וריכוזי כלורופיל בעמודת המים היו גבוהים יותר, אך לא במידה ניכרת.

#### מדירות רציפות

20. השנה נמדדו ערכי כלורופיל מרביים בפני הים בשני שיאים, בחודש מרץ ובחודש אפריל. ריכוזי הכלורופיל בארועי שיא אלה היו גבוהים במידה ניכרת מהערך המרבי אשר נמדד בשנה הקודמת וכמובן גם מערך הממוצע הרב שנתי. בשנת הערבוב העמוק 2007 נמדד ריכוז הכלורופיל הגבוה ביותר בסדרת זמן זו מאז תחילת הניטור.
21. טמפרטורת פני הים היתה השנה נמוכה מהממוצע עד לחודש אפריל ואז החלה לעלות, ובהמשך השנה היתה גבוהה מהממוצע הרב שנתי מאז 1988. הטמפרטורה המזערית אשר נמדדה השנה



היתה  $20.65^{\circ}\text{C}$ , נמוכה בכמעט מעלה מאשר בשנה הקודמת. הטמפרטורה המרבית אשר נמדדה השנה הייתה  $28.60^{\circ}\text{C}$ , גבוהה בכמעט מעלה בהשוואה לשנה הקודמת. טמפרטורת פני הים הממוצעת השנה הייתה  $24.10^{\circ}\text{C}$ , ערך גבוה במעלה שלמה מהממוצע בשנה הקודמת ( $23.09^{\circ}\text{C}$ ) וזאת על אף החורף הקר והערבוב העמוק השנה. מגמת החימום הרב-שנתי של פני הים עדיין נמשכת.

22. טמפרטורת האויר הגבוהה ביותר אשר נמדדה השנה מעל מזח המכון הייתה  $43.3^{\circ}\text{C}$  בחודש יוני, דומה לערך המרבי בשנה הקודמת. הטמפרטורה הנמוכה ביותר היתה בחודש פברואר,  $8.85^{\circ}\text{C}$ , נמוך בכמעט שתיים וחצי מעלות מאשר בשנה הקודמת. הטמפרטורה הנמוכה היא שהניעה את הערבוב העמוק בחורף.

23. בקרבת פני הים כיוון הזרם השלט הוא במקביל לחוף (כיוון צפ'מז'-דר'מע'), עם תדירות מעט גבוהה יותר לכיוון דרום. בעומק זה, זרמים בניצב לחוף הם אירוע נדיר ועצמתם חלשה. בעומק 20 מטרים משטר הזרמים דומה ובקרבת הקרקעית (כ-40 מטרים) משטר הזרמים פחות אחיד, אם כי גם כאן הזרמים במקביל לקו החוף תדירים וחזקים יותר. בעומקים הרדודים ישנם זרמים חזקים יותר מאשר בעומקים הגדולים ובקרבת הקרקעית. כ-90% מהמדידות נתנו מהירויות נמוכות מ-200 מ"מ/שנייה. רק כ-2% מהמהירויות שנמדדו גבוהות מ-300 מ"מ/שנייה.

24. ריכוזי האבק באוויר גבוהים במיוחד באביב, נמוכים יחסית בחודשי הקיץ ועולים שוב בחודשי הסתיו. השנה נמדדו ריכוזים גבוהים ביותר של אבק בחודשים פברואר ואפריל. ריכוזים אלה תואמים אירועים של סופות אבק חזקות שתועדו באילת.

#### כללי

- מבחינה אקלימית היתה שנת 2012 בעלת מספר מאפיינים. סופות אבק חזקות בפברואר ואפריל, אירועי גשם ושטפונות לקראת סוף השנה (אוקטובר, נובמבר) ומיעוט סערות דרומיות חזקות. הטמפרטורה בחורף היתה נמוכה במיוחד (והניעה ערבוב עמוק) אולם הטמפרטורה עלתה במהירות והגיעה לערכים דומים של השנים החמות הקודמות. משך הערבוב היה קצר.
- בשנה הקודמת דיווחנו על תסמונת חדשה שנצפתה באלמוגי אש מהמין *Millepora dichotoma* במפרץ אילת (מחקר של ד"ר אסף זבולוני מרשות הטבע והגנים בשיתוף עם תכנית הניטור; Zvuloni et al., 2011). התסמונת מאופיינת בנקודות מולבנות (חסרות אצות סימביוטיות) הפזורות על פני האלמוג וכונתה *Multifocal bleaching*. בהמשך המחקר (Zvuloni et al., 2012) ובעקבות כיוון שעלה ממחקר בהוואי (Carlson, 2012) נמצא שהגורם לתופעה הוא הדג *Exallias brevis* המצוי גם במפרץ אילת. לא ברור מדוע הופיעה התופעה באופן פתאומי ונרחב כל כך בשנים האחרונות. תקצירי הפרסומים מופיעים בנספח 3.3.
- לבקשת תכנית הניטור נכתב עבור דו"ח זה סיכום נרחב של המידע אשר הצטבר ב-11 שנות מחקר שנעשה על ידי ד"ר אפרת מידר (בהדרכת פרופ' בעז לזר וד"ר יעלה שקד) ומתמקד במחזור החנקן בעמודת המים במפרץ אילת (נספח 4). המחקר מעלה תובנות רבות הקשורות למחזור החנקן במפרץ, וכולל את השנים 2000-2010. נתונים רבים מהשנים האחרונות לקוחים מתכנית הניטור.

#### 4.א. המלצות

I. לאחרונה נראית ירידה במספר מושבות האלמוגים הקטנות בשוניות אילת. ירידה זו מצביעה על ירידה בהצלחת גיוסם של אלמוגים חדשים לשוניות, אם כתוצאה מירידה באספקת המתיישבים, ואם כתוצאה מסיבות המשפיעות על יכולת ההתיישבות. הירידה נכרת בכל האתרים המנוטרים על אף אופיים השונה והריחוק הגאוגרפי ביניהם, ועל כן נראה כי משקפת תופעה אזורית ולא מקומית. למרות זאת, כיסוי האלמוגים בשוניות לא נפגע בהיותו מוכתב בעיקר על ידי מושבות אלמוגים גדולות. אפשר שישנה כאן תופעה מחזורית שאינה מדאיגה, אולם אנו ממליצים לצאת בקול קורא למחקרים ייעודיים (ad hoc), אשר מטרתם תהייה לגלות את הסיבות לירידה בהצלחת גיוס אלמוגים לשוניות, כמו גם הסף המגביל את שרידות האלמוגים לאורך זמן ואת מספר המושבות הגדולות.

II. בשנות הניטור מתועדות תנודות בגודל אוכלוסיית קיפודי הים, אחת משתי קבוצות הרועים החשובות בשונית (הקבוצה השנייה היא דגים רועים) והקבוצה העקרית הניזונה מכיוסי אצות מסוג 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 ובפרט אנו ממליצים לאסור כליל דייג של דגים אוכלי אצות בצפון המפרץ, ולפעול להגנתם מפני פגעים נוספים מעשה ידי אדם.

III. השנה נמדדו שוב מספר אירועים של חריגות – "זיהום" – באזורים חופיים. בפרט נמדדה חריגה גדולה בריכוזי נוטריינטים מומסים בחודש מרץ בתחנת "חיל הים\מלון מרידיאן", ובחודשים יולי-אוגוסט ונובמבר בתחנת "כלובי הדגים" אשר מול מוצא תעלת הקינט. חריגות אלה מעלות חשש לכניסה מקומית של מים נושאי חומרים מומסים מהיבשה לים באזורים אלה. יש להגביר את המאמצים לזהות הגורמים לכך ולעצור את התופעה.

IV. בשנים האחרונות מתועדת התאוששות חברת עשב הים ושוכני הקרקעית בחוף הצפוני, אזור שנפגע רבות בעשורים האחרונים מפעילות אנושית. יש לפעול לשימור ועידוד ההתפתחות של חברות הקרקעית הטבעיות בבית הגידול החולי שבחוף הצפוני, המהווה – בנוסף לערכו העצמי – גם בית גידול ותחנת מעבר לשלבים מוקדמים של דגי שונית.

## א.5. תקציר באנגלית, English Abstract

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

### Scientific report 2012

Dr. Yonathan Shaked, Program Manager  
Prof. Amatzia Genin, Scientific Director  
(March, 2013)

#### Introduction

This report describes the work and results of the Israel National Monitoring Program in the Gulf of Aqaba (Eilat) – NMP – in 2012. 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.

This was the ninth year of standard monitoring operations by NMP, in which data is collected using similar methods by 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 data can be found in the NMP annual scientific report of 2004.

In addition, the NMP has added several new measurements and variables since its initiation, and these are presented in the respective annual reports of their start year.

The NMP reports are available through the web site of Israel's Ministry of Environmental Protection: [www.sviva.gov.il](http://www.sviva.gov.il), and on the NMP web-site: [www.iui-eilat.ac.il/NMP/](http://www.iui-eilat.ac.il/NMP/).

A database that includes data collected by the NMP since 2004 is available for public download through the NMP website.

#### Key findings

##### The coral reefs of Eilat

1. Most of the proxies used to evaluate the state of the coral reefs in Eilat indicate stability or a slight increase over the past nine years. Following are several points worth following closely are listed below:
  - a) Live coral cover at the reefs of Eilat has gradually increased since 2004 and particularly since 2007. This year changes in the live coral cover were small, and on average it is similar to that of the previous year. This is also the case for cover normalized according to the available hard substrate at the different sites.
  - b) At the shallow IUI sites coral cover is lowest and the fraction of small coral colonies is largest, relative to other monitored sites. Nevertheless, at these sites, and more so at the deeper IUI-15 site, substrate utilization has gradually increased throughout the past years of monitoring. The

- three NR sites are still those with the highest normalized cover.
- c) There is a good correlation between coral cover and colony density at the reef sites. This is mainly driven by the amount of available hard substrate. There is no correlation between cover and density after removing the sandy component at a site ("normalized cover").
  - d) Over the past nine years of monitoring a decline in the fraction of "small" colonies has been observed at the monitored sites, and a slight increase in that of "medium" colonies. It seems that the decrease in "small" colonies driven by diminished recruitment of corals. However, the availability of small colonies does not, yet, seem a limiting factor for the live coral cover.
  - e) Non-branching stony corals vastly outnumber branching corals and dictate the size distribution of coral colonies at the monitored sites. At the IUI sites "small" is the dominant colony size, while at other sites "medium" or "large" is more abundant. At the shallow NR site (NR-5) "large" is the dominant colony size, and that is also the site with greatest coral cover.
  - f) The gradual decline in the "live Tissue Index" (LTI) for coral health that was recorded over the past few years has stopped, and this year saw a slight increase in the value of this index.
  - g) The Shannon-wiener index for coral diversity at the monitored sites has remained stable throughout the monitoring years, as has the species composition for the coral community at Eilat. This year we examined the diversity, richness and species composition in several other ways that underline the unique characters of each site.
  - h) The reef table is treated separately from other reef monitoring sites that are fore-reef sites, since it has a special and different set of ecological characteristics. Live coral cover and colony density at the reef table were lower this year than in last two years this is probably due to decline in two dominant coral taxa of the reef table – the branching corals *Acropora* and *Stylophora*. This is the first time that these corals are not dominant on the reef table. As a result, the species diversity measured this year at the reef table site has increased.
  - i) At the permanent photo-sites the average stony coral cover has multiplied by app. 1.6 since 2004. Live coral cover at the photo-sites was largest in 2009, and has dropped slightly since then.
  - j) An average growth of existing coral colonies has been recorded over the past year at the photo-sites. However, at all sites except the KATZA site a greater number of colonies have died than have been added through recruitment.
  - k) The dominant coral *Acropora* that occupied the greatest area at the photo-sites in the initial monitoring years have lost app. 50% of its surface cover throughout the monitored period.
  - l) A sharp decrease in coral colony density was recorded at the nature reserve coral lagoon since 2010, and particularly in the density of the dominant coral *Stylophora pistillata*. Since *S. pistillata* is by far the most dominant coral in the lagoon changes in its population size dictate changes in the entire community of the lagoon, and drive an observed increase in the species diversity index.
  - m) The dramatic decline in coral density at the lagoon may be the result of

sever southern storms that affected all areas shallower than ~4m in the years 2010-11. This year southern storms were few in number and weak in severity and the density of *S. pistillata* did not change. The population of *S. pistillata* has fluctuated considerably in the past (prior to the establishment of the NMP) and has been known to recuperate. The NMP has not yet operated long enough to establish the natural timescale or amplitude of changes in the *S. pistillata* population.

2. Sea urchins are the most important reef grazers of the invertebrate group. The urchin species *Diadema setosum* is the most abundant sea urchin in Eilat and outnumbers all other urchins except at the lagoon (where more individuals of other urchin species (combined) were counted).
3. Following the period 2009-11, in which a low density of sea urchins was noted, this year urchin density increased sharply at all sites but NR-10. These changes in sea urchin density seem to reflect natural fluctuations of the sea urchin population, or are perhaps coupled with fluctuating environmental processes.
4. The density of sea feathers was once again higher this year at all sites. The population of sea feathers is significantly higher now than it was at the initial years of the monitoring program.
5. Chlorophyll-a concentrations on settlement plates at the IUI were higher this year than in the past three years, and were only slightly lower than those of 2008. The highest Chl-a concentration on protected settlement plates ("potential growth") was more than double that of the previous year. Blooms of benthic algae also covered the slopes to a depth of ~30 m.
6. Chlorophyll-a concentrations on settlement plates that were exposed to grazing were also higher this year than those of the past three years, but even during the months of benthic algae blooms remained about half those of the protected plates.
7. The zooplanktivorous fish are the largest functional fish group among the reef fish, comprising ~70% of the fish surveyed this year. These are small fish that comprise large migrating schools and therefore there is a large variance in the numbers counted on different years. This is an important functional group as it transfers nutrients up the aquatic food web.
8. The second largest group of reef fish is the carnivores (16%) that curb populations of invertebrates in the reef. The herbivore fish (grazers) comprise ~4% of the reef fish population and are responsible for curbing benthic algae growth on the reef. Thus, this group has a significant effect on coral settlement and recruitment. Grazers also short-cut the food web through direct passage of energy from primary producers (algae) to fish.

#### Coastal water

9. Winter sea surface temperature (SST) at the coastal stations was lower this year than in the past three years and mixing of the water column was deep. The seasonal cycle of mixing of the upper water column is the dominant process in determining the concentrations of chemical variables measured in the coastal waters of Eilat. This year's deep mixing resulted in high nutrient concentrations during the winter and strong phytoplankton blooms during spring and early summer at all coastal stations.
10. After four years in which the number of "irregular" concentrations at coastal stations declined, this year saw several irregular events. High nutrient

concentrations and low salinity was measured at the navy/Meridien Hotel station in March. Similar irregularities with higher amplitudes were measured in July, August and November at the Fish-Farm station. These are the largest irregular concentrations measured in the past few years. Possible sources may be the Meridien Hotel that circulates ground water through its heating system before dumping to the sea (this was a particularly cold year) and the Kinet channel that funnels run-off from the Arava valley to the sea.

11. The number and richness of intestinal heteroxenic fish parasites as well as their prevalence in wild *Signus rivulatus* from near the IUI has increased in the past two years relative to the preceding two years. An exception is the parasite *Gybiauchen* sp. that was found in only one of the fish examined and whose abundance declined over the past two years. An abundance of heteroxenic parasites indicates healthy ecosystem as these parasites require several hosts to complete their life cycle. Thus, their proliferation indicates local availability of healthy ecological niches.
12. Of the 27 wild rabbitfish (*S. rivulatus*) examined, four had non-specific granulomas, and one had granulomas associated with the *Micobacterium marinum* pathogen, a harmful pathogen that was once common in local wild fish. The occurrence of granulomas this year (5/27) is lower than that of the previous year (8/21).
13. In recent years the NMP supports the monitoring of the benthic community at the location where the fish farms used to be (at the northern beach of Eilat). This led by Shai Oron and began as a M.Sc. research in 2008 (see Appendix G4, in the NMP annual scientific report 2010). This year, the number and diversity of live specimens in the sea floor sediments continued to increase, particularly in the immediate vicinity of the former fish cages. In addition, the return of sea grass meadows and their associated fauna to the region is documented.

#### The deep sea water column

14. Annual dynamics of variability in concentrations of nutrients, dissolved oxygen and phytoplankton population in the open waters are controlled by the seasonal mixing cycle. The inter-annual dynamics are driven by the depth and duration of the seasonal mixing, and the amount of nutrients stored in the deep waters. Following three years of shallow (300-350m) mixing of the water column this year reached the sea floor at the sampling station (~860m) for the first time since 2008. This completes a cycle of deep mixing (2007-8) – shallow mixing (2009-11) – and again deep mixing (20102).
15. Concentrations of nutrients in the deep waters have risen since the deep mixing of 2007-2008, and those of dissolved oxygen have decreased. This year's deep mixing once again reduced nutrient concentrations in the deep waters and increased the dissolved oxygen concentrations there.
16. Low sea surface temperature this winter drove mixing to a depth exceeding 860m (sea floor depth at the March sampling station). However, at the end of winter temperature rose rapidly and reached higher values than following the previous deep-mixing events of 2007 and 2008. The duration of mixing this year was short.
17. Temperature of the deep waters dropped in the years 2007-2008 as a result of the deep mixing and has risen slightly since then. Although this year another deep mixing was recorded water temperature at depths greater than 500m

- hardly changed, perhaps because mixing duration was so short.
18. Nutrient stores in the water column at the end of the year were similar to those of previous years, even if concentrations remained lower in the deep water. It would seem that because mixing was short this year and temperatures high in the upper waters during summer most nutrients were returned to the dissolved state by the end of the year.
  19. The annual cycle this year was dramatic compared to that of previous years, with low temperatures and deep mixing during winter and high temperatures during summer. Peaks of productivity and biological activity appeared later in the year: highest productivity, *chlorophyll-a* concentrations and zooplankton concentrations were measured in April and May. Maximal values of productivity and zooplankton mass were not much higher this year than those of the previous year, and *chlorophyll-a* concentrations were higher – but not by much.

#### Continuous measurements

20. Two peaks, in March and in April, were recorded this year in the sea-surface *chlorophyll-a* concentration measured daily from the Observatory pier. Concentrations of these peaks – representing blooms of phytoplankton – were considerably higher than the multi-annual average and the highest value recorded in the previous year. The highest concentration measured in this time series since the NMP was in the deep-mixing year 2007.
21. Sea surface temperatures were lower than average at the beginning of the year until April, but later rose and stayed higher than average for the rest of the year. Minimum temperature this year was 20.65C, almost a degree lower than last year's minimum. The highest temperature this year was 28.60C, almost a degree higher than last year's maximum. Average SST this year was 24.10C, a full degree higher than last year's average despite the deep mixing of this year. Long term warming trend of the SST continued this year.
22. The highest air temperature measured this year from the IUI pier was 43.3C, in June, similar to that of the previous year. The lowest temperature was 8.85C, almost 2.5 degrees lower than last year's minimum. The low air temperature during winter is the driving force behind this year's deep mixing.
23. Close to the sea surface long shore (NE-SW) currents were dominant, with a slightly higher occurrence of currents to the south. Cross shore currents were rare in the shallow waters and their velocity was low. At 20m depth the current regime was similar, but near the seafloor at 40m currents were less regular although here too the long-shore currents dominated.
24. Currents at shallow depths were stronger than in deeper waters. Some 90% of the measurements at all depths were lower than 200mm/sec, only 2% of the measurements were higher than 300mm/sec.
25. Concentration of suspended dust particles above the sea is high at spring time, relatively low in summer and rise again in autumn. This year highest dust concentrations were measured in February and in April. These correspond to events of large dust storms that affected the region.

#### General

- This year had several climatological characteristics. Heavy dust storms in February and April, rain storms and flash floods in October and November, and scarce southerly storms. Winter temperatures were low and drove a deep

mixing of the water column but rose rapidly to high summer values and the mixing was of short duration.

- A new syndrome in fire corals of the species *Millepora dichotoma* was identified last year at the Gulf of Eilat by Dr. Assaf Zvulony of the Nature and Parks Authority, in collaboration with the NMP, and was published in the professional literature (Zvuloni et al., 2011). The syndrome is characterized by bleached spots scattered over the coral's surface – and was named "multi-focal bleaching". The publication drew a comment by Carlson (2012) based on research in Hawaii and was followed by continuous research (Zvuloni et al., 2012) that found that the syndrome is caused by the blenny fish *Exalias brevis*. It is not clear why the syndrome broke out in such abundance in the past few years. Abstracts of the relevant publications are presented in appendix G.3.
- Following a request from the NMP a summary of research into the transformations of organic-inorganic nitrogen was written for this report (appendix G.4). The summary is based on the work of Dr. Efrat Meeder, which was carried under the supervision of Prof. Boaz Lazar and Dr. Yeala Shaked, and encompasses 11 years of research and data collection (2000-2010). This work brings forth many new insights and combines new methods and measurements predating the NMP with those collected by the NMP during its monthly cruises.



## ב. שונית האלמוגים

### ב.1. סקר חברת השונית

#### מטרה

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

#### שיטות

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

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

טבלה ב1: אתרי הדיגום והעומקים בהם נערכו חתכי קו במהלך הקיץ.

Table B1: Locations and depths of the reef census 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 בין 11 ל-23, ונקבע לפי תוצאות הסקר עד לקבלת דיוק גבוה מ-25% במדד אחוז כיסוי האלמוגים. בכל מקטע של עשרה מטרים נרשם ההיטל של כל מה שנמצא תחת סרט המדידה בדיוק של סנטימטר אחד (איור ב2). אלמוגים חיים (אלמוגי אבן ואלמוגים רכים) וחסרי חוליות אחרים זוהו לרמת הסוג, ובמידה והתאפשר אף לרמת המין (רשימת האלמוגים שנרשמו בכלל החתכים מופיעה בנספח 2ז, טבלה 1ז). בכל חתך נרשם גם סוג המצע תחת סרט המדידה (סלע חשוף, חול, חלוקים, אלמוגים מתים, וכו').

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

עבור כל אלמוג תחת סרט המדידה התבצעה הערכה של אחוז הרקמה החיה בהתחשב בכלל שטח המושבה. אחוז החיות של המושבה הוגדר כאחוז שטח המושבה שאינו מת, לבן או מכוסה באצות. לא כל השלד במושבות אלמוגים חיים מכוסה ברקמה. 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 שנספרו באתר זה.

בדיקה של אמינות ההערכה נעשתה באמצעות סימולציה ממוחשבת בשנת 2008. תוצאות הסימולציה הצביעו על דיוק גבוה של ההערכה ושל המדד המחושב ממנה (התכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת דו"ח מדעי 2008, נספח 3ז).

איור ב1: תצלום אווירי של קטע החוף הצפון-מערבי של המפרץ, דרומית לעיר אילת, עליו מצוינים האתרים בהם נסקרה חברת השונית, מהמעבדה הימית בדרום ועד לקצא"א בצפון. הקווים הצהובים מייצגים את אתרי הדיגום: (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: צוללות בעת דיגום חתך קווי במעבדה הימית (א) ובשמורת האלמוגים (ב). על הדף נרשם ההיטל של כל מה שנמצא תחת החתך ברמת דיוק של סנטימטר אחד. צילומים: דנה ריף.  
**Figure B2: Divers during sampling of line transects at the IUI (A) and the nature reserve (B). The divers record the projected length of all the organisms and substrate underneath the line-transect to a resolution of 1 cm. Photos: Dana Reef.**

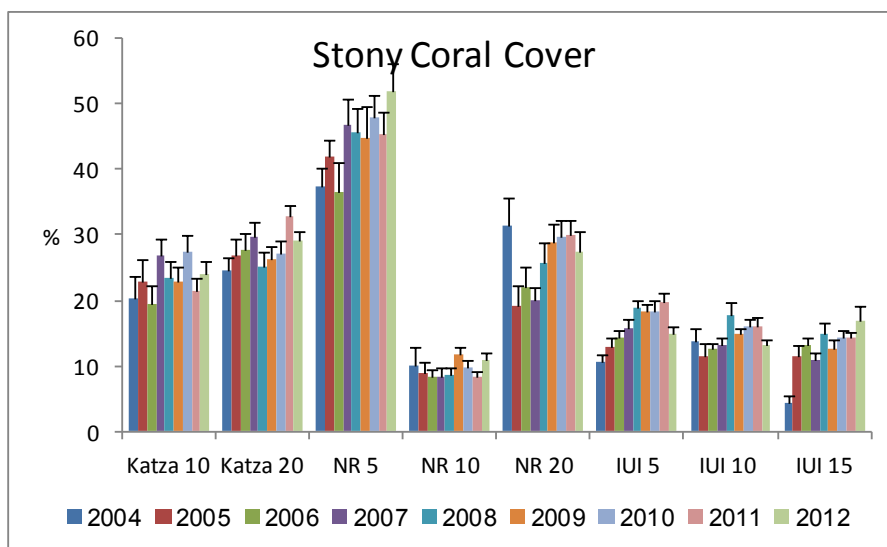
אתר דיגום מוגדר כשילוב של מיקום גיאוגרפי ועומק. עבור כל אתר נמדדו אחוזי כיסוי האלמוגים החיים, כיסוי החול והסלע, צפיפות מושבות אלמוגים, מגוון האלמוגים ועושר המינים, מדד הרקמה החיה לבריאות האלמוגים באתר והתפלגות גודל המושבות.  
 מגוון מינים לפי מדד Shannon Wiener (משוואה 1, כש-  $P_i$  הוא פרופורציית מספר המושבות של מין (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.

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

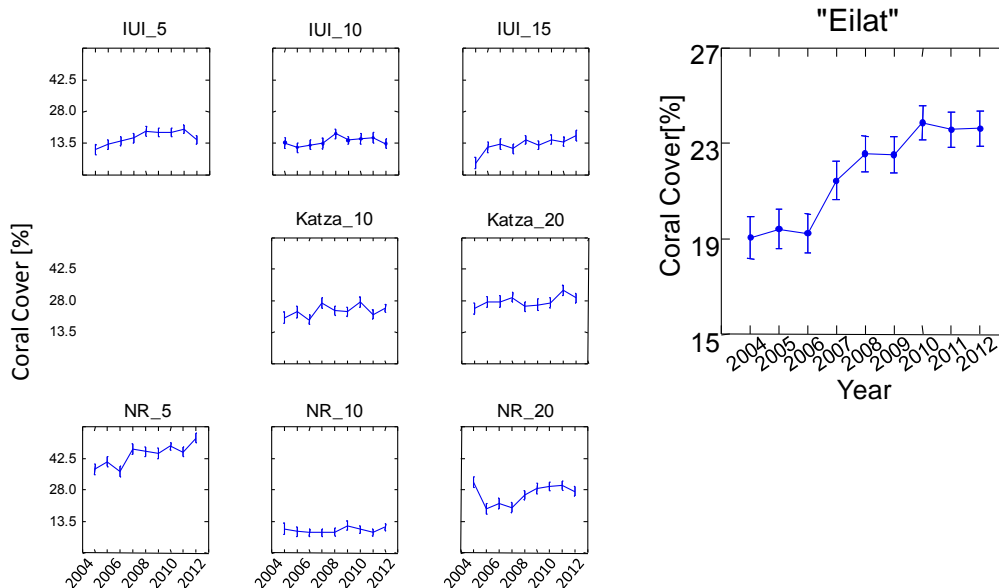
מדד המגוון של Shannon Wiener נבחר מכיוון שהוא המדד בו השתמשו סוקרי השונית באילת בעבר (Loya 1972) וכך מתאפשרת השוואה בין נתונים שנאספים במסגרת תוכנית הניטור לנתונים שנאספו בעבר. יחד עם זאת, מגוון המינים בעבודות הקודמות לתוכנית הניטור חושב עבור חתך בן עשרה מטרים בכל אתר, ולא עבור האתר כולו (דיון מקיף מובא בדו"ח התכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת, 2006).  
 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.  
 זו השנה השישית בה נסקר שולחן השונית בשמורת חוף אלמוג, ההחלטה להוסיף אתר זה לסקר נבעה מחשיבותו של שולחן השונית, לאור נתונים קודמים, לפיהם שולחן השונית נפגע ומצוי במצב של הידרדרות בעשורים האחרונים (ראו למשל Loya, 2004), והן בזכות הקמתה של תחנה מטאורולוגית על ידי תכנית הניטור המאפשרת לעקוב (בין היתר) אחר אירועים אקלימיים קיצוניים להם חשוף שולחן השונית יותר מאתרי קדמת השונית. יחד עם זאת בשל ההבדלים הניכרים בין שולחן השונית וקדמת השונית (ראו דו"ח התכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת, 2007) מוקדש לשולחן השונית תת-פרק נפרד בדו"ח זה.  
 קווי שגיאה מייצגים את שגיאת התקן, אלא אם מצוין אחרת.

כיסוי אלמוגים

כיסוי האלמוגים החיים משתנה מאד בין האתרים (איור ב3). כיסוי האלמוגים הגדול ביותר נמצא בשונית הרדודה בשמורת האלמוגים (5-NR), השנה 51.9% הערך הגבוה ביותר אשר נמדד על ידי התכנית עד כה (בשנה הקודמת היה אחוז הכיסוי שם 45.5%). הכיסוי הדל ביותר נמצא אף הוא בשמורה, בעומק 10 מטרים (10-NR), השנה 10.9% שגם הוא ערך מעט גבוה מאשר בשנה הקודמת (8.5%). בארבעה אתרים נצפתה עליה קלה בכיסוי בהשוואה לשנה הקודמת, ובארבעה נצפתה ירידה. ברוב האתרים ההבדלים בין השנים קטנים ולרוב מצויים בטווח השגיאה של ההערכות, אולם בסך הכל ב"שוניות אילת" נצפית עליה הדרגתית ומתמשכת באחוז כיסוי אלמוגי האבן ובפרט מאז 2007 (איור ב3, למטה). על אף שבין השנים ובין האתרים ישנן תנודות של עליה וירידה, קצב השינוי הממוצע באתרים הנסקרים הוא עלייה של כ- 0.7% בכיסוי האלמוגים החיים בשנה ( $R^2=0.88$ ). שגיאות בהערכת כיסוי האלמוגים נובעות בעיקר מהשוניות הטבעית הגדולה באתרי השונית, ובפרט באתרים בהם מצע חולי הוא מרכיב חשוב הגורם למופע כתמי של השונית. ההבדלים בין האתרים, לעומת זאת, משקפים בעיקר את אופיים השונה של בתי הגידול. בין האתרים שנסקרו ישנם הבדלים גדולים בשטח הכיסוי של אלמוגי אבן חיים (טבלה 2), ומכאן ש"ערך מייצג" לכיסוי האלמוגים לאורך חופי המפרץ בשטח ישראל יהיה בהכרח מספר שלא משקף את המצב באף אתר ספציפי. מקדם השונית של כיסוי האלמוגים באתר כלשהו (שילוב של מיקום ועומק) נע השנה בין 17% (KATZA-20) ל-54% (NR-10). מקדם שונית גבוה מצביע על כתמיות חזקה של מיפזר האלמוגים באתר, ועל מגבלת דייקנותו (precision) של הערך הממוצע.



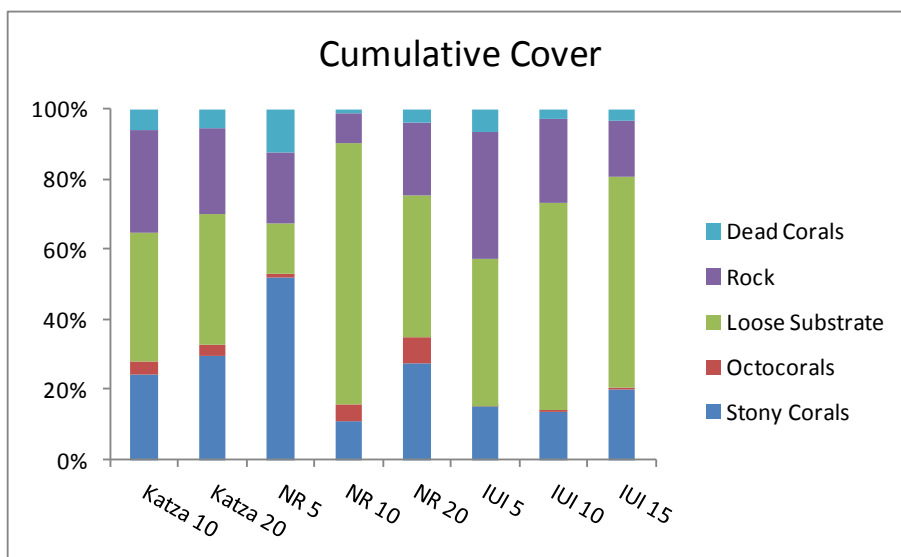
### Stony Coral Cover



איור 3: למעלה- שטח הכיסוי הממוצע של אלמוגי אבן חיים (לא כולל אלמוגים רכים) בכל אתר, באחוזים מכלל השטח. למטה- תוצאות מבחן ANOVA למובהקות סטטיסטית של שינויים בכיסוי האלמוגים החיים בשנים 2004-2012. ההבדלים בין השנים מובהקים, וכן גם האינטראקציה בין שנים לאתרים (two way ANOVA, P=0.013), שפירושה כי לא כל האתרים השתנו באותו אופן עם הזמן.

**Figure B3: Top- average live coral cover (excluding soft corals) at each site (percent of total area). Bottom- ANOVA results (least square means) for live coral cover in the years 2004-2012. Differences between years are significant, as is the interaction between years and sites (two-way ANOVA, P=0.013) meaning different sites changed differently over the years.**

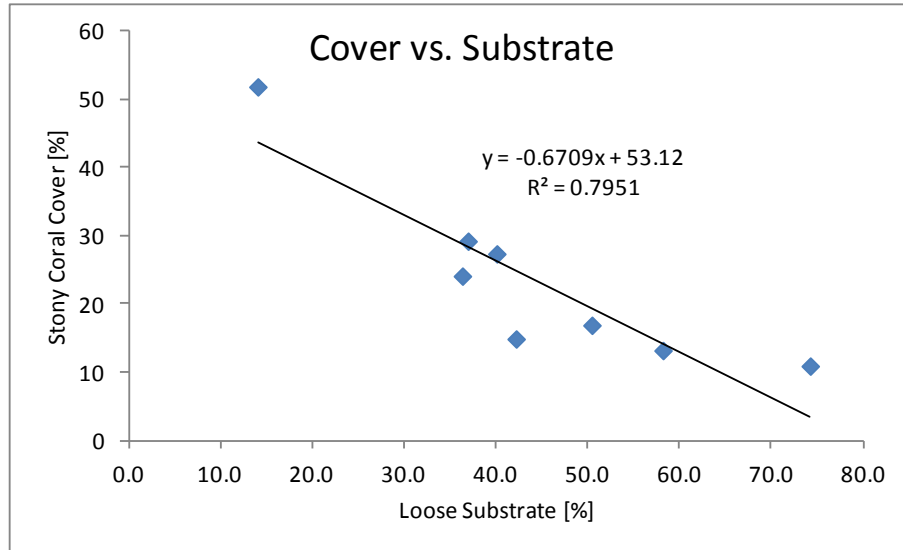
הבדלים גדולים בין האתרים הנסקרים (מלבד הבדלים בעומק) ניכרים בהתפלגות סוג המצע עליו עשויים אלמוגים להתיישב (איור 4). אחוז הכיסוי של אלמוגי אבן חיים באתר נמצא בהתאמה הפוכה לכמות המצע ה"לא מלוכד" (non-consolidated), הכולל חול וחלוקים, באותו אתר (איור 5). נראה שאת רוב ההבדל באחוז הכיסוי החי בין האתרים ניתן להסביר באמצעות הבדלים באחוז המצע הלא מלוכד, אשר אינו מתאים להתיישבות אלמוגים (המתאם השנה עומד על  $R^2=0.79$ ).



איור 4: 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 לא מופיעים באיור זה. אחוזי הכיסוי הם ממוצע כל החתכים באותו אתר.

**Figure B4: Cumulative percent cover of live corals, sand, rock and dead corals. In 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 on all transects at each site.**



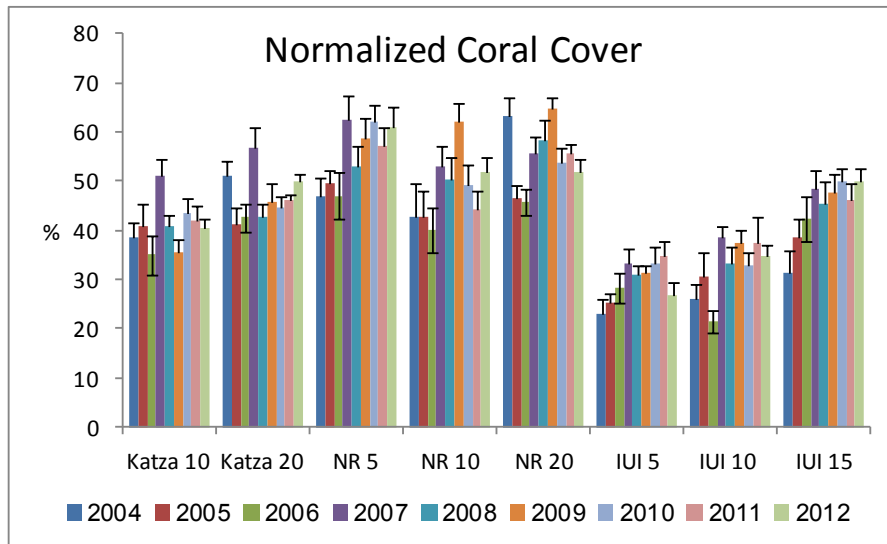
**איור ב5: אחוז הכיסוי של אלמוגי אבן חיים כנגד אחוז המצע הלא-מלוכד (קרקע חולית) באתרים השונים.**  
**Figure B5: Percent live stony coral coverage versus unconsolidated (sandy) sea floor in the sites examined.**

על מנת לנסות ולעמוד אחר הבדלים נוספים בין האתרים, הנוגעים להצלחת האלמוגים, יש לנרמל את אחוז הכיסוי לאחוז הקרקע המלוכדת המתאימה להתיישבות אלמוגים (איור ב6). 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 ושכל האלמוגים יושבים על מצע כזה.

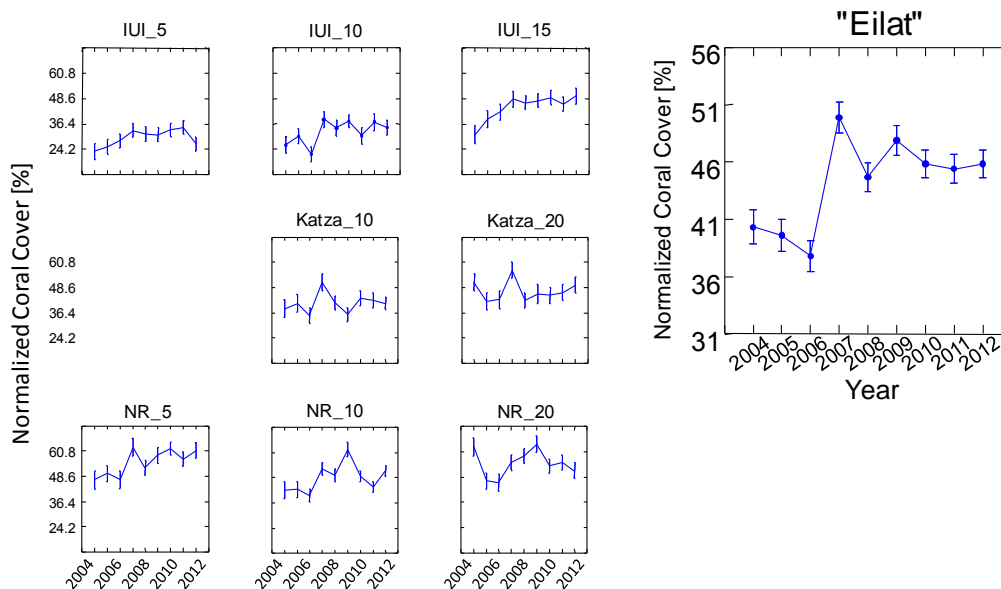
אתרי IUI, ובפרט האתרים הרדודים יותר, היו בשנים האחרונות האתרים בהם אחוז הניצול של המצע המלוכד נמוך ביותר (איור ב6 למעלה). נראה כי באתרים אלה תנאים קשים לאלמוגים בהשוואה לשאר האתרים, ואלמוגים מצליחים לכסות אך חלק קטן יחסית מהמצע הקשה באתרים אלה. לאחר שבשנים האחרונות הייתה עלייה הדרגתית בכיסוי האלמוגים המנורמל באתרי IUI, נמדדה השנה באתר הרדוד, IUI-5, ירידה במדד זה. הכיסוי המנורמל הנמוך ביותר השנה נמדד באתר IUI-5, 26.7% (לעומת 34.8% בשנה שעברה), והגבוה ביותר נמצא באתר NR-5, 61.1%.

בשנת 2007, נרשמה עלייה מובהקת בניצול המצע הזמין להתיישבות אלמוגים בכל האתרים. בשנת 2008 נצפתה ברוב האתרים ירידת מה בניצול המצע יחסית ל-2007, אך למרות זאת מאז 2007 ניצול המצע הזמין לגידול אלמוגים באתרי אילת גבוה באופן מובהק מזה אשר תועד בשלוש שנות הניטור הראשונות, 2004-2006 (איור ב6 למטה).

בחברת השונית קיימות תנודות משנה לשנה ואין די בשנה בודדת להעיד על מגמות ארוכות טווח, אך על אף זאת נראה כי בחלק מהאתרים העלייה מתמשכת על פני מספר שנים. עם הצטברות הנתונים בשמונה השנים האחרונות נראה כי מצב רוב אתרי השונית יציב, ואולי אף משתפר באופן מתון.



Substrate Utilization by Corals

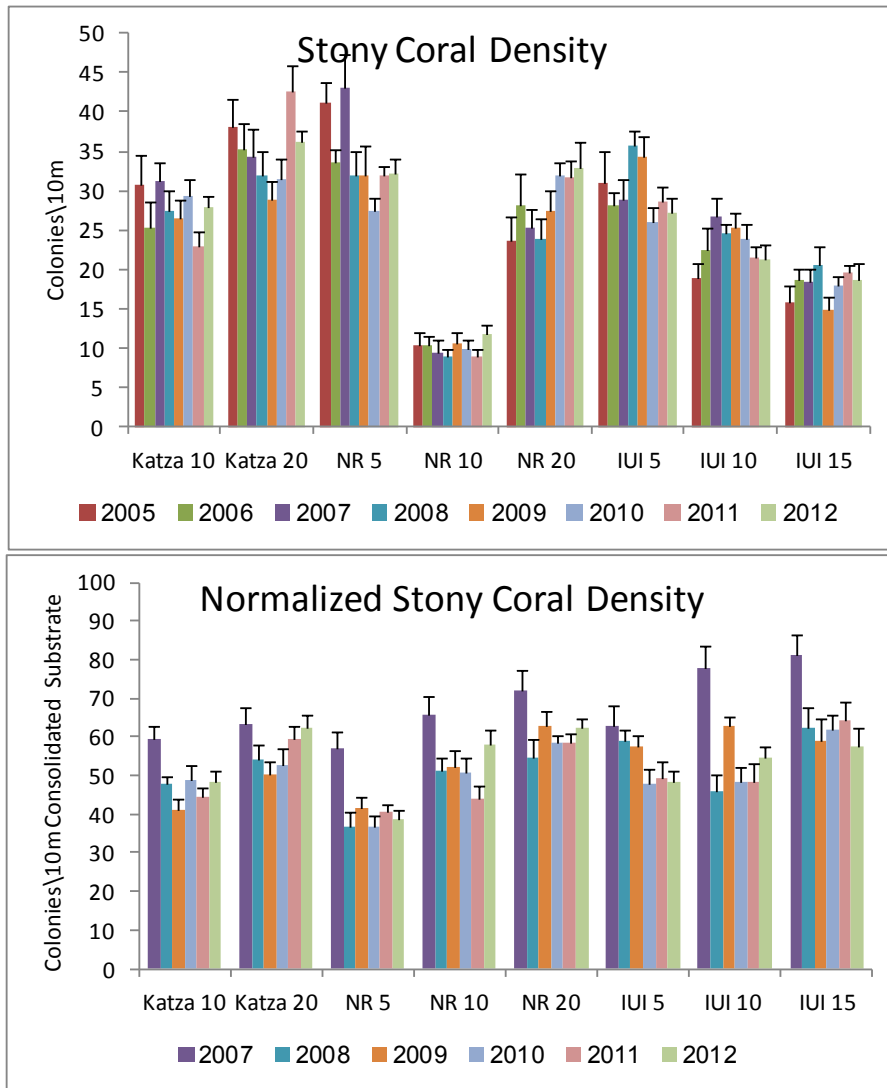


איור ב6: ניצול המצע המתאים להתיישבות אלמוגים. למעלה- אחוז הכיסוי של אלמוגי אבן חיים מתוך סך הקרקע הסלעית בכל אתר. אחוזים אלה מורים עד כמה הקרקע הזמינה לאלמוגים מכוסה באלמוגים. למטה- תוצאות מבחן ANOVA למובהקות סטטיסטית של שינויים בניצול המצע הזמין על ידי אלמוגים בשנים 2004-2012. ההבדלים בין השנים מובהקים והאינטראקציה בין שנים לאתרים מובהקת (two way ANOVA,  $P=0.044$ ) ופירושה שאתרים שונים הראו מגמות שונות באופן מובהק עם הזמן.

**Figure B6: Utilization of available substrate by stony corals. Top-** Percent of live stony coral coverage out of the total consolidated substrate at each site. This indicates how much of the potentially viable substrate is actually covered by live corals. **Bottom-** ANOVA results (least square means) for substrate utilization by corals in the years 2004-2012. changes over time are significant and the interaction between years and sites is significant (two way ANOVA,  $P=0.044$ ) meaning sites differ significantly in the way they change over time.

בין האתרים נמצאו גם הבדלים גדולים בצפיפות מושבות האלמוגים (מספר מושבות ממוצע בקו של עשרה מטרים). הצפיפות הגדולה ביותר נמצאה גם השנה באתר Katza-20 (כ-36 מושבות בממוצע בעשרה מטרים), והקטנה ביותר ב-NR-10 (כ-12) (איור ב7). על מנת להקטין את שגיאות המדגם הנובעות מכתמיות השונית באתרים השונים כדאי להתבונן בצפיפות המושבות מנורמלת לאחוז המצע הקשה, הזמין להתיישבות (איור ב7 למטה).

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, או אפילו שוויון, ילווה בירידה בכיסוי האלמוגים – אלא אם תמותה פוגעת בעיקר באלמוגים קטנים. בסך הכל, השינויים בצפיפות האלמוגים בשנים האחרונות קטנים למדי (איור ב8).

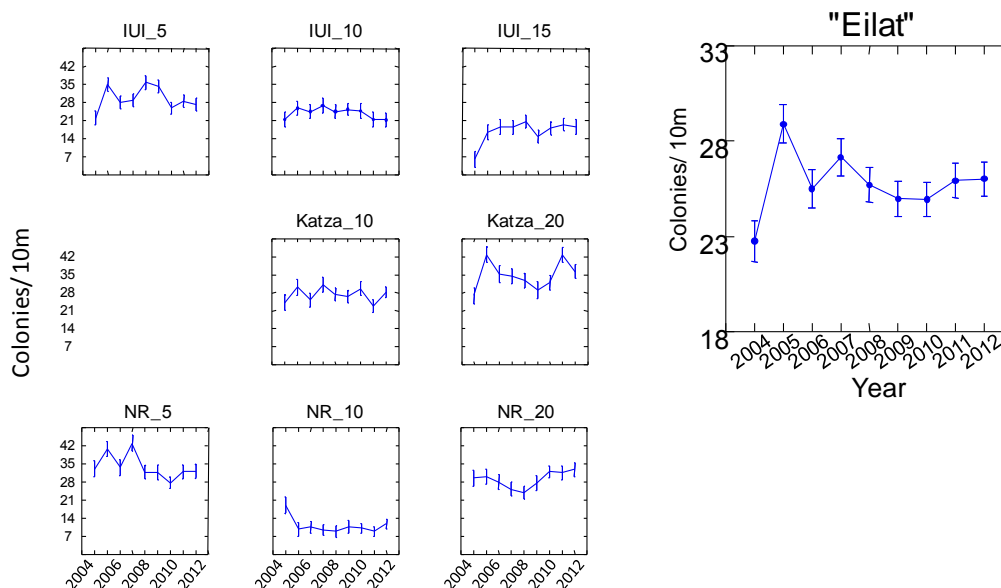


איור ב7: למעלה - מספר מושבות האלמוגים הממוצע בקו באורך עשרה מטרים בכל אתר. למטה - מנורמל למצע קשה הזמין להתיישבות אלמוגים.

**Figure B7: Top - The average number of coral colonies per ten meters line at each site. Bottom - normalized according to the hard substrate that is available for coral settlement.**



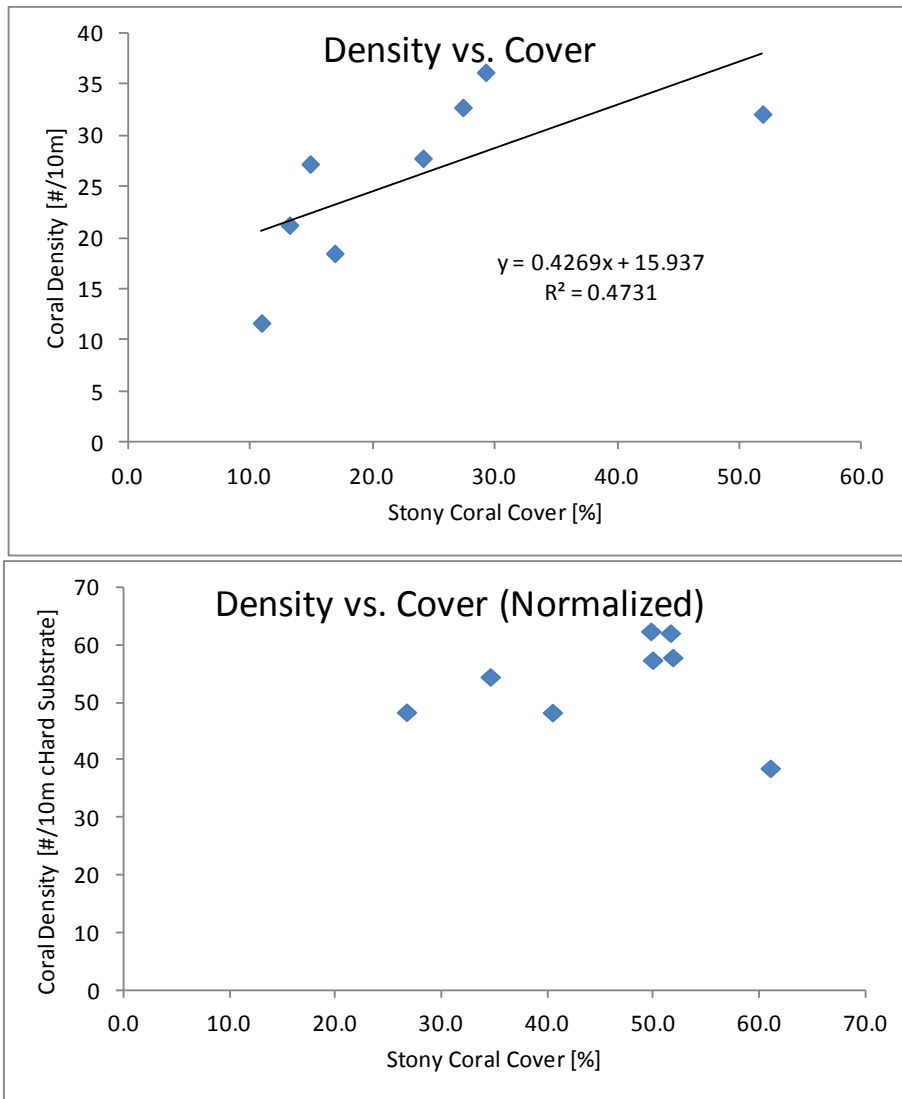
## Coral Density



איור ב8: שינויים בצפיפות ממוצעת של מושבות האלמוגים בשנים 2004-2012. ההבדל בין השנים עבור "כל האתרים" מובהק על פי תוצאות מבחן ANOVA למובהקות סטטיסטית.

**Figure B8: The average density of coral colonies in the years 2004-2012. Annual values for "All Sites" differ significantly in an ANOVA test (least square means).**

ההתאמה בין צפיפות המושבות (מספר מושבות בחתך ממוצע) ובין אחוז כיסוי האלמוגים אינה טובה במיוחד ( $R^2=0.47$ , איור 9, למעלה). בפרט, יש לשים לב כי הכיסוי הגבוה ביותר (NR-5) אינו האתר בו הצפיפות גבוהה ביותר (KATZA-20). למעשה, הכיסוי הגבוה באתר NR-5 הוא הפוגע בהתאמה בין כיסוי וצפיפות מושבות ונראה שללא אתר זה ישנו קשר ישיר בין כיסוי וצפיפות מושבות. אך גם את היחס בין כיסוי ובין צפיפות ראוי לבחון בעזרת נרמול הנתונים לפי אחוז המצע הקשה, הזמין להתיישבות, כפי שנעשה למעלה. כאן לא ניתן להבחין כלל בהתאמה בין המשתנים ( $R^2<0.01$ , איור 9, למטה), עובדה המצביעה על כך שמתאם בין צפיפות מושבות ואחוז כיסוי נשלט על ידי אחוז הקרקע הלא-מלוכדת (הבלתי זמינה להתיישבות) בכל אתר.



איור ב9: למעלה - צפיפות ממוצעת של מושבות האלמוגים כנגד אחוז כיסוי האלמוגים באתרי הדיגום. למטה - צפיפות מושבות האלמוגים כנגד אחוז כיסוי האלמוגים, מנורמלים לפי המצע הקשה באתרי הדיגום.  
**Figure B9: Top - The average density of coral colonies versus the percent coral cover per site. Bottom - The density of coral colonies versus coral cover, normalized by the consolidated substrate available for settlement at each site.**

Site	Katza 10	Katza 20	NR 5	NR 10	NR 20	IUI 5	IUI 10	IUI 15	Averages			Average
									Katza	NR	IUI	Eilat
Transects	20	12	12	23	11	14	13	11	32	46	38	116
<b>Stony coral</b>	<b>24.1</b>	<b>29.2</b>	<b>51.9</b>	<b>10.9</b>	<b>27.4</b>	<b>14.9</b>	<b>13.2</b>	<b>16.9</b>	<b>26.3</b>	<b>25.5</b>	<b>14.9</b>	<b>22.3</b>
stdev	8.0	4.8	14.5	5.9	10.2	4.7	2.9	7.2	7.3	19.6	5.2	14.2
SE	1.8	1.4	4.2	1.2	3.1	1.2	0.8	2.2	1.3	2.9	0.8	1.3
CV	0.3	0.2	0.3	0.5	0.4	0.3	0.2	0.4	0.3	0.8	0.3	0.6
<b>Octocoral</b>	<b>3.4</b>	<b>3.2</b>	<b>1.0</b>	<b>4.5</b>	<b>6.9</b>	<b>0.1</b>	<b>0.5</b>	<b>0.4</b>	<b>3.4</b>	<b>4.2</b>	<b>0.3</b>	<b>2.7</b>
stdev	2.5	2.6	2.5	4.2	4.1	0.3	0.7	0.5	2.5	4.3	0.5	3.5
SE	0.6	0.7	0.7	0.9	1.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.6	0.1	0.3
CV	0.8	0.8	2.5	0.9	0.6	2.1	1.5	1.4	0.7	1.0	1.7	1.3
<b>GRV+Sand</b>	<b>36.3</b>	<b>37.0</b>	<b>14.0</b>	<b>74.2</b>	<b>40.1</b>	<b>42.2</b>	<b>58.2</b>	<b>50.4</b>	<b>36.1</b>	<b>50.4</b>	<b>50.1</b>	<b>46.3</b>
stdev	13.7	7.6	10.5	11.5	11.0	13.0	9.8	12.8	11.7	28.1	13.5	21.1
SE	3.1	2.2	3.0	2.4	3.3	3.5	2.7	3.9	2.1	4.1	2.2	2.0
CV	0.4	0.2	0.7	0.2	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.6	0.3	0.5
<b>Rock</b>	<b>29.1</b>	<b>24.1</b>	<b>20.2</b>	<b>8.8</b>	<b>20.9</b>	<b>36.1</b>	<b>23.3</b>	<b>13.8</b>	<b>27.4</b>	<b>14.7</b>	<b>25.3</b>	<b>21.6</b>
stdev	8.7	5.9	12.0	5.1	6.6	11.8	9.6	5.1	8.1	9.7	13.1	11.9
SE	1.9	1.7	3.5	1.1	2.0	3.2	2.7	1.5	1.4	1.4	2.1	1.1
CV	0.3	0.2	0.6	0.6	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.7	0.5	0.5
<b>Dead Coral</b>	<b>5.9</b>	<b>5.5</b>	<b>12.3</b>	<b>1.2</b>	<b>3.8</b>	<b>6.6</b>	<b>3.1</b>	<b>2.7</b>	<b>5.8</b>	<b>4.7</b>	<b>4.3</b>	<b>4.9</b>
stdev	4.2	3.5	10.7	1.0	2.8	2.8	1.8	2.5	3.9	7.2	3.0	5.3
SE	0.9	1.0	3.1	0.2	0.8	0.8	0.5	0.8	0.7	1.1	0.5	0.5
CV	0.7	0.6	0.9	0.8	0.7	0.4	0.6	0.9	0.7	1.5	0.7	1.1
<b>Normalized Cover</b>	<b>40.5</b>	<b>49.8</b>	<b>61.1</b>	<b>51.9</b>	<b>51.7</b>	<b>26.7</b>	<b>34.6</b>	<b>50.0</b>	<b>44.2</b>	<b>54.2</b>	<b>36.2</b>	<b>45.6</b>
stdev	8.9	5.8	14.0	14.6	9.4	9.6	8.9	8.6	9.0	13.7	13.0	14.5
SE	2.0	1.7	4.1	3.0	2.8	2.6	2.5	2.6	1.6	2.0	2.1	1.3
CV	0.2	0.1	0.2	0.3	0.2	0.4	0.3	0.2	0.2	0.3	0.4	0.3
<b>Density</b>	<b>27.8</b>	<b>36.3</b>	<b>32.2</b>	<b>11.7</b>	<b>32.8</b>	<b>27.3</b>	<b>21.3</b>	<b>18.5</b>	<b>31.2</b>	<b>22.1</b>	<b>22.7</b>	<b>24.8</b>
stdev	6.9	4.8	6.3	5.7	11.4	6.4	6.6	7.0	7.3	12.8	7.5	10.6
SE	1.5	1.4	1.8	1.2	3.4	1.7	1.8	2.1	1.3	1.9	1.2	1.0
CV	0.2	0.1	0.2	0.5	0.3	0.2	0.3	0.4	0.2	0.6	0.3	0.4
<b>Normalized Density</b>	<b>48.4</b>	<b>62.5</b>	<b>38.6</b>	<b>57.9</b>	<b>62.2</b>	<b>48.4</b>	<b>54.5</b>	<b>57.5</b>	<b>53.6</b>	<b>53.9</b>	<b>53.1</b>	<b>53.6</b>
Stdev	13.0	11.4	9.0	19.0	8.7	11.3	11.5	16.4	14.1	17.3	13.3	15.1
SE	2.9	3.3	2.6	4.0	2.6	3.0	3.2	5.0	2.5	2.6	2.2	1.4
CV	0.3	0.2	0.2	0.3	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3

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

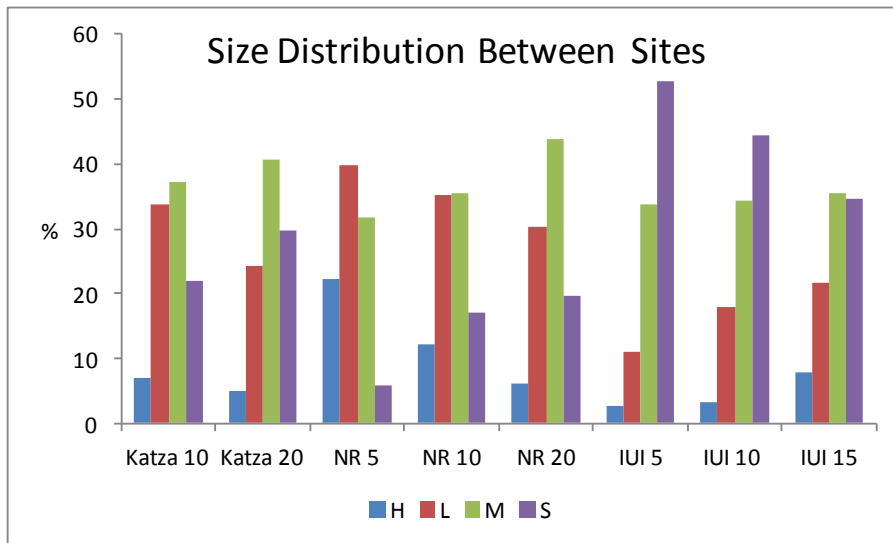
**Table B2: Summary of cover data collected in line transects at the monitoring sites. Data is given as average percent cover measured in all transects at each site (combination of location and depth) with associated standard deviation, standard error and variance coefficient. Density is the number of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

גודל מושבות אלמוגים

מושבות אלמוגים תחת סרט המדידה משויכות לאחת מקבוצות הגודל קטן <math>5\text{cm}</math>; בינוני <math>15\text{cm}</math>; גדול <math>30\text{cm}</math>; ענק <math>30\text{cm}</math> 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.

בנוסף לכך 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 בסקר זה הוא קטן מחלקן היחסי באוכלוסייה. בבחינה שנעשתה על ידי תכנית הניטור עולה כי חלקן האמיתי של מושבות האלמוגים הקטנות מתוך כלל המושבות גדול פי 2 ויותר מהחלק המוצג להלן מתוך נתוני חתכי הקו בשונית (התכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת, דו"ח מדעי לשנת 2008).

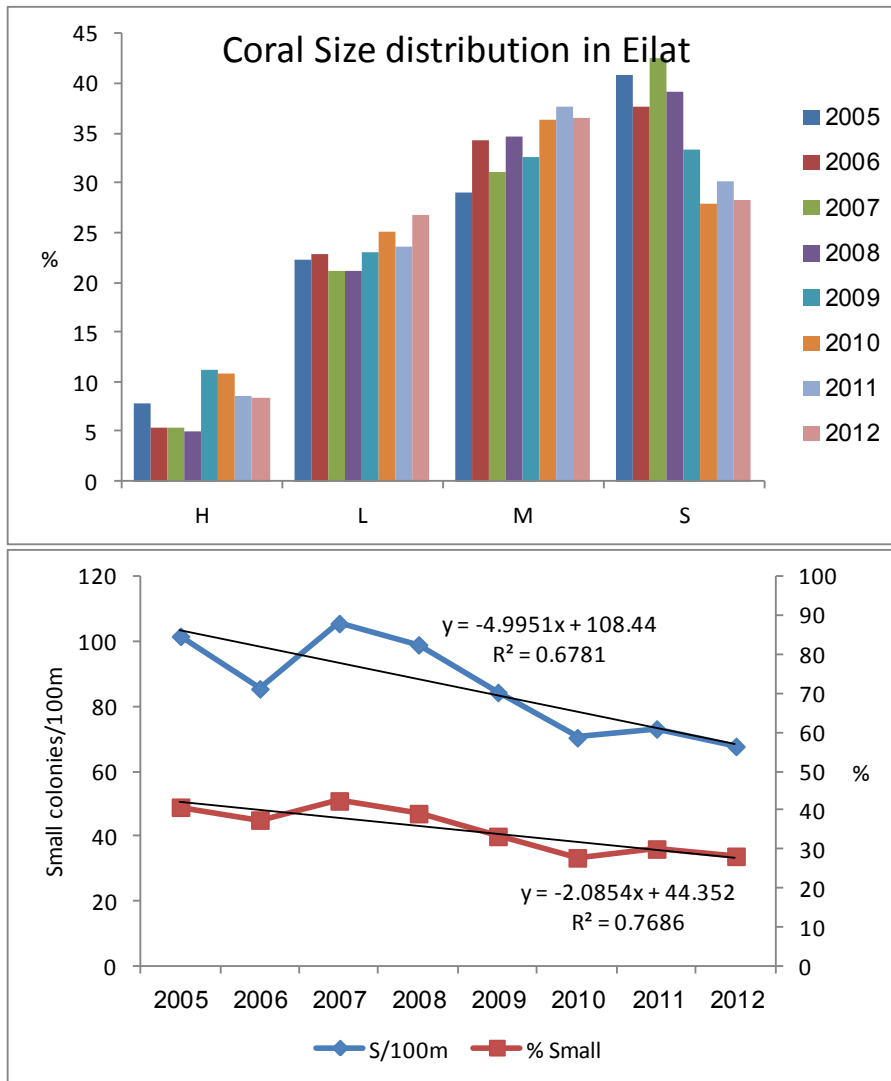
מספר מושבות האלמוגים הלא-מעונפים גדול בערך פי 4 ממספר מושבות האלמוגים המעונפים. על כן התפלגות גדלי כל האלמוגים דומה במידה רבה להתפלגות הגדלים בקבוצת האלמוגים הלא-מעונפים (ראו דו"חות הניטור הקודמים). על ההפרדה בין שתי הקבוצות מקשה העובדה שבגודל הקטן קשה, לעיתים להבחין במופע המעונף, וישנם אלמוגים אשר להם מופעים בשתי הקבוצות. באתרי IUI קבוצת הגודל הנפוצה ביותר היא קבוצת המושבות הקטנות, אם כי באתר העמוק, IUI-15, קבוצת הגודל הקטנה והבינונית דומות (איור ב10). באתרי קצא"א והשמורה קבוצות הגודל הנפוצות הן הבינונית והגדולה. הייצוג הנמוך ביותר לקבוצת הגודל הקטן נמצא באתר השמורה הרדוד (5-NR).



איור ב10: התפלגות גודל מושבות האלמוגים באתרים הנסקרים. חלוקת הגדלים לפי המפתח הבא: <math>5\text{cm}</math> Small; <math>5\text{cm} < \text{Medium} < 15\text{cm}</math>; <math>15\text{cm} < \text{Large} < 30\text{cm}</math>; <math>30\text{cm} < \text{Huge}</math> >30 ס"מ. הערכים הם אחוזים מסך המושבות מאותה קבוצה באתר.

**Figure B10: Size frequency distribution of coral colonies in the surveyed sites. Size classes are: Small<math>5\text{ cm}</math>; 5 cm <math> < \text{Medium} < 15\text{ cm}</math>; 15 cm <math> < \text{Large} < 30\text{ cm}</math>; Huge>30 cm. Values are percent of the total colonies of each coral type at each site.**

בשנים האחרונות ישנה עליה מסוימת בקבוצת הגודל הבינוני וירידת-מה בקבוצת הגודל הקטן (איור 11). הירידה בחלקן היחסי של המושבות הקטנות נובעת ברובה מירידה במספר המושבות הקטנות בחתכי הסקר (איור ב11 למטה). קצב הירידה במספר המושבות כפול מקצב הירידה בחלקן היחסי והבדל זה נובע ברובו ממספרן הגדול יחסית של המושבות הקטנות בשוניות אילת (כ-30% מסך המושבות השנה הן מושבות קטנות). יחד עם זאת נראה כי אבדן המושבות הקטנות מהשונית, אם כתוצאה מתמותה או ממעבר לקבוצת גודל אחרת (גדילה), גדול מקצב ההתחדשות של המושבות האלה (גיוס).



איור ב11: למעלה: שינויים בהתפלגות הממוצעת של קבוצות הגודל בכל האתרים בין השנים 2005 ו-2012. 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. למטה: שינויים בקבוצת הגודל "קטן" בשנות הניטור (מנורמל לאורך חתך של 100 מטרים).

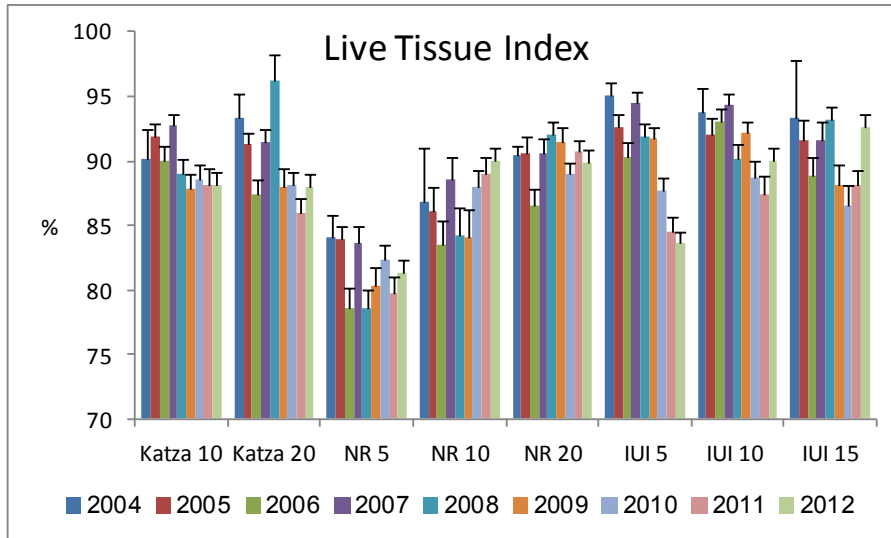
**Figure B11: Top: Changes in the average size frequency distribution of coral colonies between 2005 and 2012. Size groups are: Small <5 cm; 5 cm <Medium <15 cm; 15 cm <Large <30 cm; Huge >30 cm. Bottom: Changes in the "Small" size group, normalized to a 100 meter-long transect.**

### בריאות אלמוגים

בתכנית הניטור נעשה שימוש באומדן שיעור הרקמה הלא פגועה באלמוג כמדד ל"בריאותו". מדד זה, להלן Live Tissue Index (LTI) נמדד עבור כל אחד מאלפי האלמוגים הנכללים בחתכי הקו בשונית, על ידי קביעה ויזואלית (על ידי הצולל הסוקר) של אחוז השטח של שלד המושבה המכוסה ברקמה חיה. למרות שאומדן אחוז הרקמה החי במושבה הוא איכותי, כמות המושבות המשתתפות בסקר (אלפים), העובדה ששגיאת ההערכה עשויה להיות לשני הכיוונים, והמשמעות הקטנה של שגיאת הערכה בסדר של 10% לגבי ממוצע כל המושבות, מבטיחה מדד אמין. על מנת לוודא כי האומדן הוויזואלי על ידי כל דוגם אכן מדויק בטווח של 10%, וכי אין הטיה מגמתית בהערכה, ערכנו בשנת 2008 ניסוי מבוקר להערכת דיוק השיטה. תוצאות הניסוי (התוכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת, דו"ח מדעי 2008, נספח ז3) מצביעות על דיוק גדול בהרבה מהצפוי. צוות הניטור אשר השתתף בניסוי הוא גם הצוות הקבוע העורך

את הסקרים ועובדה זו מוסיפה ביטחון בממצאי המדד.

גם השנה, כמו בכל השנים הקודמות, האתר בו מדד הרקמה החיה לבריאות אלמוגים נמוך ביותר היה 5-NR (81.3%, מעט גבוה מאשר בשנה הקודמת). באתר זה מדד הרקמה החיה נמוך במיוחד עקב ריבוי המושבות הגדולות והענקיות בו, מושבות שגילן כנראה רב יותר ולכן אחוז הפגיעה ברקמותיהן מהווה סכימה (אינטגרציה) של שנים רבות. המדד הגבוה ביותר נמצא בשנה באתר 15-IUI (92.5%, גבוה מאשר בשלוש השנים הקודמות). ברוב שאר האתרים הערכים דומים (88-90%) מלבד האתר 5-IUI אשר בו נמצא ערך נמוך, 83.6%, הנובע מירידה מתמשכת בשנים האחרונות (איור ב12). מעקב מדד בריאות האלמוגים בכל אתר יעיל יותר להשוואת שינויים בזמן, ופחות להשוואה בין אתרים.

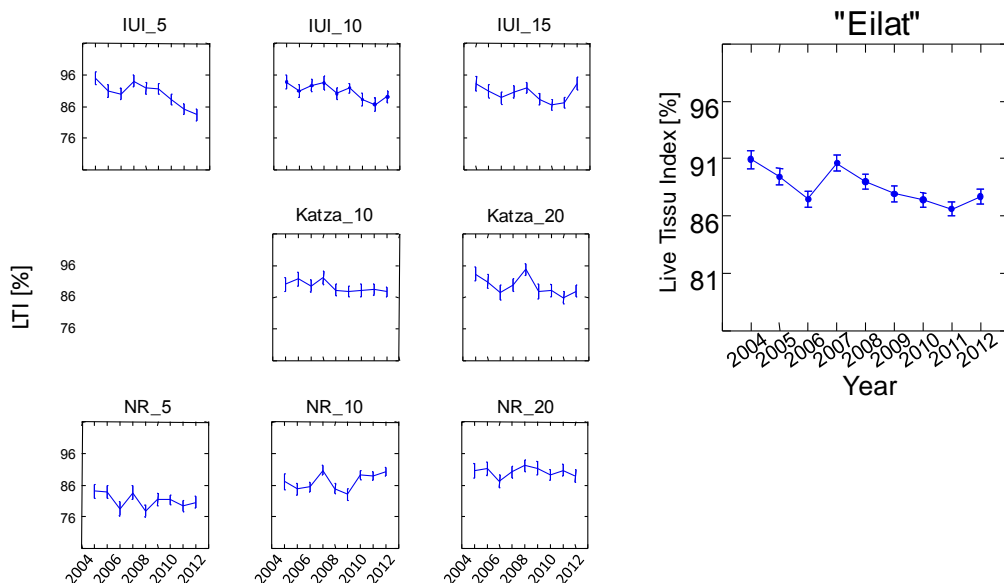


איור ב12: מדד אחוז הרקמה החיה של אלמוגים באתרים השונים. המדד מוגדר כממוצע באתר של אחוז השטח החי/בריא מסך השטח של כל מושבת אלמוגים חיה.

**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.**

במבט כללי על סך האלמוגים בשוניות אילת נצפו בשש השנים האחרונות שני "מחזורים" של שינוי באחוז הרקמה החיה באלמוגים. בשנים 2004-6 נצפתה ירידה מתמשכת במדד הרקמה החיה, ואילו ב-2007 נמדדו ערכים גבוהים באופן משמעותי. השנים הבאות שוב מראות ירידה, אם כי מתונה, באחוז הרקמה החיה - לערך ממוצע דומה לזה של 2006, ואילו השנה שוב ניכרת עליית-מה במדד הרקמה החיה הממוצע בכל מושבות האלמוגים שנסקרו (איור ב13). השינוי בערך מדד הרקמה החיה באלמוגים בין השנים הינו מובהק.

## Coral Health: Live Tissue Index



איור ב13: השינוי במצב האלמוגים על פי האחוז הממוצע של רקמה חיה במושבות אלמוגים (LTI) באילת בשנים 2004-2012.

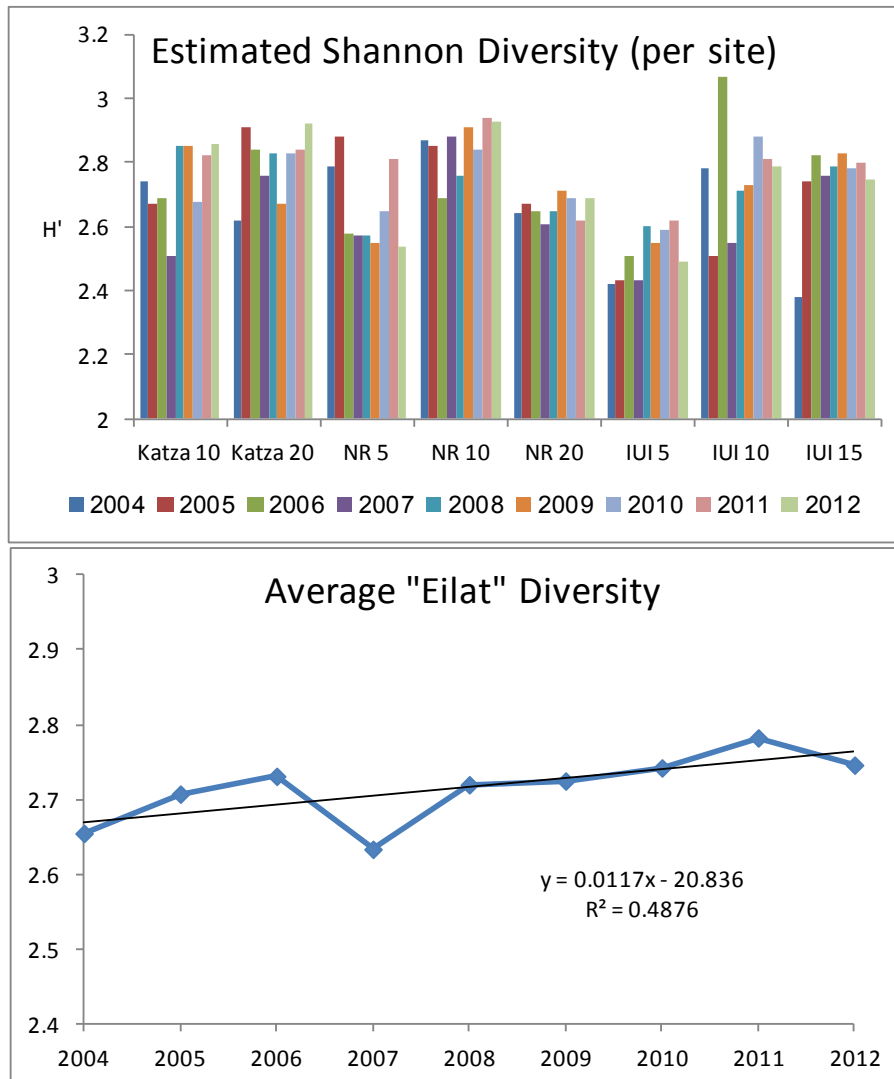
**Figure B13: Changes in the state of coral colonies over time according to the average percentage of living coral tissue (LTI) from all sites over the period 2004-2012.**

מדד רקמה חיה נמוך צפוי באתרים בהם האלמוגים גדולים, מכיוון שתמותה חלקית פוגעת באלמוגים גדולים ובוגרים 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.

### מגוון מינים

מגוון המינים מוערך לפי מדד Shannon-Wiener ( $H'$ ) על ידי תכנת EstimateS (Colwell, 2005). בתכנה זו מחושב מגוון המינים לאתר על ידי צבירת נתוני כל חתך עד לקבלת הערכה הנסמכת על מספר החתכים המקסימלי שנעשה, תוך התחשבות במינים נדירים (ראו דיון מפורט בדרכים להערכת מגוון המינים בדו"ח הניטור 2006). התוצאות (איור ב14) ניתנות כהערכת מגוון המינים עבור כל אתר בשלמותו בהסתמך על נתוני חתכי הקו והישובי EstimateS. בתכנית הניטור נעשה שימוש במגוון המינים המבוסס על מספר מושבות האלמוגים בחתכים. בהשוואות שנעשו בין מדדים המבוססים על אורך מצטבר ("שטח") של אלמוגים לעומת מספר מושבות נמצא כי ערך המדד המבוסס על ספירה גבוה מעט מהערך המבוסס על שטח.

המגוון הנמוך ביותר נמצא באתר IUI-5 ( $H'=2.49$ ). באתר זה נמצא המגוון הנמוך מאז תחילת הניטור, והשנה ערכו ירד מעט בהשוואה לארבע השנים הקודמות. המגוון הגבוה ביותר, 2.93, חושב עבור NR-10, דומה למדד השנה הקודמת. מכיוון שמדד Shannon-Wiener מושפע מאד ממידת האחידות (evenness) של אלמוגים מסוגים שונים נמצא מגוון גבוה באתרים בהם הכתמיות גדולה. חישוב מדד המגוון של Shannon-Wiener ב"שונות אילת" כממוצע כל האתרים מראה מגמה חלשה, לא מובהקת, של עלייה במגוון לאורך שנות הניטור (איור ב14, למטה).



איור ב14: מגוון הסוגים הממוצע של אלמוגים לפי מדד Shannon-Wiener, כפי שהוערכו עבור כל אתר על ידי תכנת EstimateS (Colwell, 2005; <http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS>). למעלה - מדד המגוון עבור כל אתר לאורך שנות הניטור. למטה - מדד Shannon-Wiener הממוצע בכל האתרים לאורך שנות הניטור.

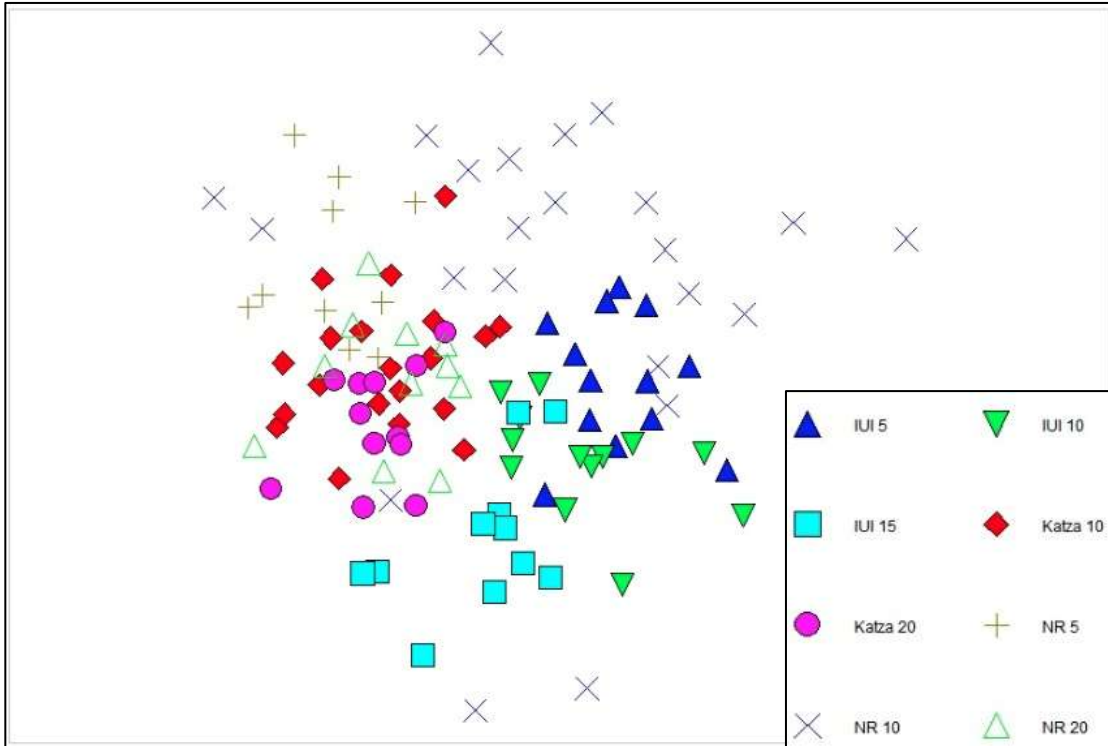
**Figure B14: The Shannon-Wiener diversity index of coral taxa estimated for each site by the EstimateS software (Colwell, 2005; <http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS>). Top-changes in the diversity index at every site; bottom- changes to the "Eilat" average Shannon-Wiener diversity.**

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 ערך ממשי. כך קשה לדעת מה משמעותו של הפרש הערכים מלבד הידיעה האיכותית שמדד גבוה טוב יותר ממדד נמוך. לפיכך החלטנו השנה לבחון את סוגיית המגוון בשתי דרכים נוספות, אנליזה רבת משתנים לבחינת הבדלים בהרכב החברה בין האתרים השונים (איור ב15) ועקומות צבירה (rarefaction) של פרטים מול סוגים (איור ב16).

אנליזה רבת מימדים (MDA) של הרכב סוגי האלמוגים, מבוססת על ספירת מושבות בחתכים בכל אתר, מראה כי ברוב האתרים הנסקרים הרכב ייחודי (איור ב15). אתרי IUI מהווים קבוצה אשר בה האתרים בעומקים השונים מראים שינוי פרוגרסיבי בהרכב החברה. שני אתרי KATZA (קצא"א) דומים למדי זה לזה, אולם גם שם נראה הבדל מסויים בין העומקים, אך במגמה הפוכה לזו שבאתרי IUI. אתר NR (שמורת האלמוגים) בעומק 20 מ' חופף להרכב שני אתרי קצא"א. לאתר השמורה בעומק 5 מ'



הרכב די דומה לזה של אתר השמורה בעומק 10 מ' ולא אתרי קצא"א, וגם הוא מראה שינוי מגמתי עם העומק, כפי שנראה באתרי קצא"א. אתר השמורה בעומק 10 מ' – האתר בו הכתמיות גדולה ביותר מצוי על פני רוב המרחב אך בעיקר בחלקו העליון ביותר. מאנליזה זו ניתן להסיק שלכל אתר מאפיינים ייחודים מבחינת הרכב סוגי האלמוגים בו, לבד אולי מאתר השמורה בעומק 20 מ' הדומה למדי לאתרי קצא"א.

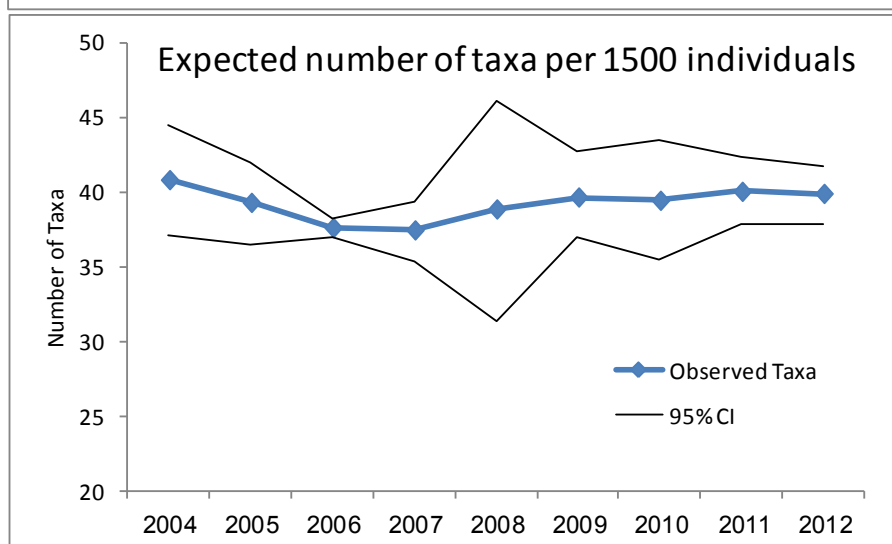
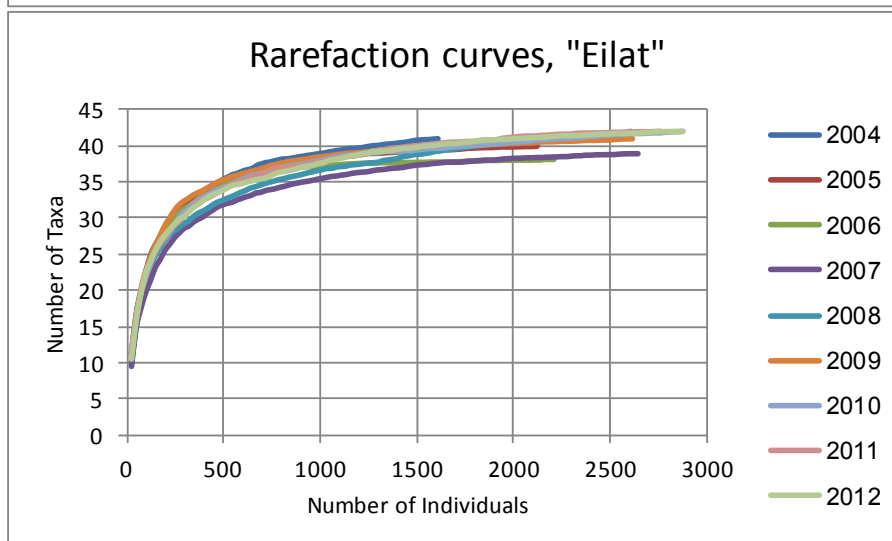
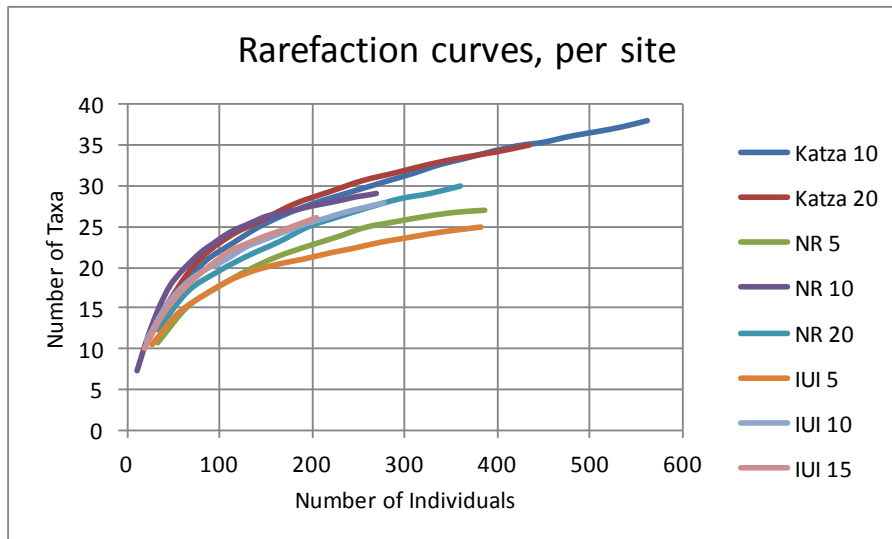


איור ב15: אנליזה רבת מימדים (MDA) להרכב סוגי האלמוגים באתרי הניטור באילת בשנת 2012. האנליזה מבוססת על ספירה של מושבות אלמוגי אבן. (תכנת v. 5.1.2, Primer & Clarke & Gorley 2001). תודה לד"ר אסף זבולוני, רט"ג).

**Figure B15: Multi dimensional analysis (MDA) of taxa composition at the monitoring sites in 2012, based on coral counts. (Primer v. 5.1.2 software, Clarke & Gorley 2001. Thanks to Dr. Assaf Zvuloni, Israel's Nature and Parks Authority).**

עקומות הצבירה מראות תמונה שיש לה יותר משמעות פיסית. 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. בהשוואה בין האתרים השונים (איור ב16, למעלה) ניתן לראות כי האתרים IUI-5 ו-IUI-10 בעלי התוחלת הנמוכה ביותר של סוגים (מספר הסוגים הצפוי להדגם במאמץ דיגום מוגבל, למשל ספירה אקראית של 100 או 200 פרטים), ואילו באתרי קצא"א התוחלת היא הגבוהה ביותר. ממצאים אלה תואמים את התמונה המתקבלת מממד המגוון של Shannon-Wiener. כמו כן נראה כי ברוב האתרים הדיגום אינו ממצה את מגוון הסוגים.

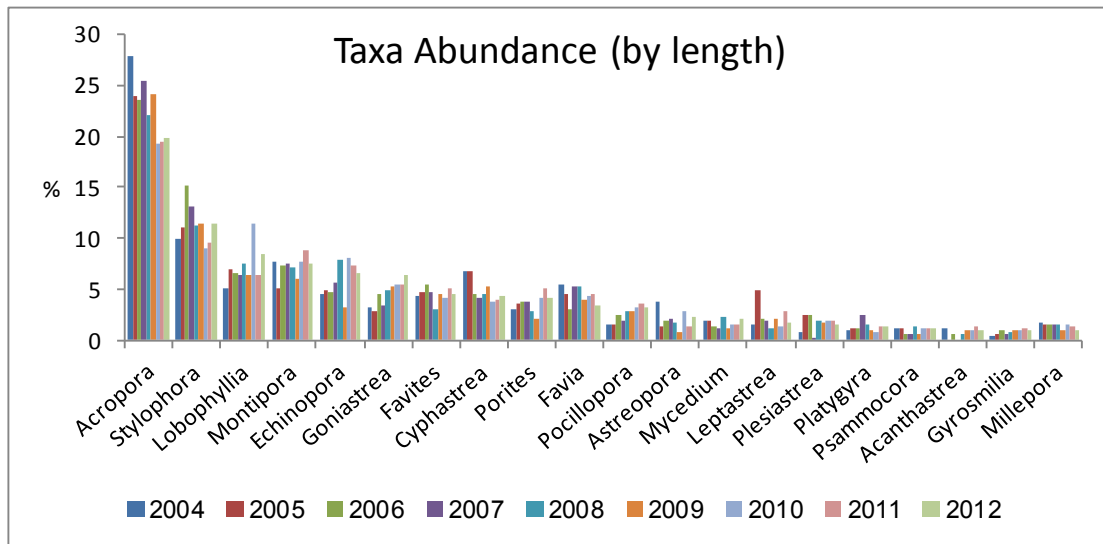
בהשוואה בין השנים של כל נתוני המגוון (ספירת מושבות) אשר נאספו על ידי תכנית הניטור נראה כי תוחלת עושר המינים הייתה נמוכה ביותר בשנתיים 2006-2007. לפני כן הייתה מעט גבוהה יותר, ובשנים האחרונות התוחלת שוב עלתה והתייצבה, כך שבשנים האחרונות העקומות חופפות (איור ב16, באמצע). יחד עם זאת, ההבדלים בין השנים קטנים ונראה כי מאמץ הדיגום הכללי בהחלט ממצה את עושר האלמוגים ב"שוניות אילת". תוחלת מספר סוגי האלמוגים בספירה אקראית של אלף וחמש מאות מושבות אלמוגים ב"שוניות אילת", בהתבסס על עקומות הצבירה, לא השתנתה באופן מובהק מאז שנת 2004 (איור ב16, למטה).



איור 16: עקומות צבירה של מספר הטקסונים מול מספר המושבות כפי שחושבו על ידי תכנת EstimateS (http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS ; Colwell, 2005). למעלה - עקומות צבירה עבור כל אתר בשנת הניסוי 2012. באמצע - עקומות צבירה עבור "שוניות אילת" מאז שנת 2004. למטה - השינוי בתוחלת מספר הטקסונים בספירת 1500 מושבות מאז שנת 2004, מתוך עקומות הרפרקציה של "שוניות אילת" (גרף אמצעי).

**Figure B16: Rarefaction curves of taxa richness based on colony counts, calculated with the EstimateS software (Colwell, 2005 ;<http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS>). Top-curves for every monitoring site in the year 2012; middle- curves for "Eilat reefs" since 2004; bottom- changes to the expected number of taxa per 1500 random coral colonies since 2004 based on the rarefaction curves of the "Eilat reefs"(middle panel).**

עשרים סוגי האלמוגים הנפוצים ביותר בשטח הניטור מופיעים באיור ב-17 לפי סדר אחוז הכיסוי של סוגים אלה ביחס לכלל האלמוגים בשנת 2012. נראה כי למרות שאלמוגי *Acropora* מהווים את חלק הארי מסך הכיסוי של אלמוגים חיים (כ-20% השנה, בדומה לשנים האחרונות), חברת האלמוגים באילת מגוונות ואין בה סוג דומיננטי באופן בולט. טבלה ב-3 מציגה את עשרים סוגי האלמוגים הנפוצים בשטח הניטור ואת אחוזי הכיסוי שלהם בכל אתר. בהשוואה לשנים הקודמות נראה כי אין שינוי משמעותי בהרכב החברה. השנה נסקרו 42 סוגי אלמוגים באילת, ועשרים האלמוגים הנפוצים ביותר מהווים כ-92% (לפי אורך נמדד על סרט המדידה) מכלל האלמוגים באילת. נתונים אלה דומים לשנה הקודמת. עובדה זו מדגישה את חשיבותם של המינים הנדירים בקביעת מדדי עושר ומגוון המינים בשוניות של אילת.



**איור ב-17: עשרים האלמוגים הנפוצים ביותר בשוניות אילת (לפי האורך הנמדד בחתכי הקו מנתוני 2004) בשנים 2004-2012, מסודרים לפי סדר התפוצה בשנת 2012.**

**Figure B17: The twenty most abundant coral taxa in the reefs of Eilat (according to their cumulative measured length in the line transects of 2004) in the years 2004-2012, arranged according to their abundance in 2012.**

										Averages			Average
	Katza 10	Katza 20	NR 5	NR 10	NR 20	IUI 5	IUI 10	IUI 15	Katza	NR	IUI	Eilat	
<i>Acropora</i>	7.03	4.42	6.75	2.11	7.33	1.44	2.61	5.13	22.17	36.71	12.30	4.43	
<i>Stylophora</i>	2.46	3.24	4.98	0.81	1.37	3.84	2.39	2.45	5.09	6.57	2.40	2.53	
<i>Lobophyllia</i>	0.15	1.42	15.97	0.16	0.10	0.04	0.02	0.05	2.32	2.92	2.43	1.88	
<i>Montipora</i>	1.86	3.95	1.53	0.61	5.06	0.31	0.28	1.19	0.52	6.13	0.03	1.67	
<i>Echinopora</i>	1.27	2.32	6.28	0.45	2.05	0.00	0.27	0.53	2.22	2.75	0.46	1.47	
<i>Goniastrea</i>	1.46	0.97	6.60	0.89	0.91	0.83	0.04	0.08	1.40	3.38	0.20	1.41	
<i>Favites</i>	1.15	2.29	0.60	0.41	1.16	1.08	1.27	0.38	1.07	3.43	0.28	1.00	
<i>Cyphastrea</i>	1.85	1.39	0.83	0.39	1.04	1.12	0.81	0.24	1.33	0.92	0.78	0.97	
<i>Porites</i>	0.97	1.57	0.36	0.42	2.93	0.06	0.52	1.37	1.41	0.95	0.63	0.92	
<i>Favia</i>	0.25	0.41	0.17	0.90	0.84	2.46	0.68	0.28	1.00	1.44	0.49	0.76	
<i>Pocillopora</i>	0.49	0.05	0.62	0.56	0.35	0.82	1.81	1.18	0.26	1.00	1.01	0.71	
<i>Astreopora</i>	0.30	0.28	0.35	1.43	0.66	0.08	0.15	0.05	0.28	0.76	1.04	0.49	
<i>Mycedium</i>	0.90	0.37	2.45	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.25	1.39	0.08	0.45	
<i>Leptastrea</i>	0.76	0.47	0.42	0.17	0.29	0.51	0.32	0.06	0.59	0.92	0.00	0.39	
<i>Plesiastrea</i>	0.69	0.67	0.16	0.17	0.38	0.14	0.10	0.30	0.55	0.38	0.26	0.33	
<i>Platygyra</i>	0.06	0.77	0.78	0.12	0.32	0.47	0.00	0.27	0.57	0.31	0.14	0.31	
<i>Pavona</i>	0.39	1.16	0.09	0.03	0.17	0.17	0.15	0.04	0.27	0.49	0.21	0.26	
<i>Psammocora</i>	0.32	0.43	0.12	0.07	0.93	0.02	0.12	0.14	0.57	0.12	0.10	0.24	
<i>Galaxea</i>	0.40	0.79	0.03	0.16	0.32	0.01	0.02	0.00	0.30	0.42	0.07	0.22	
<i>Seriatopora</i>	0.22	0.48	1.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.46	0.24	0.01	0.22	
<b>Stony Corals</b>	<b>24.58</b>	<b>29.23</b>	<b>51.87</b>	<b>10.92</b>	<b>27.37</b>	<b>14.89</b>	<b>13.20</b>	<b>16.90</b>	<b>22.17</b>	<b>36.71</b>	<b>12.30</b>	<b>22.27</b>	

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.

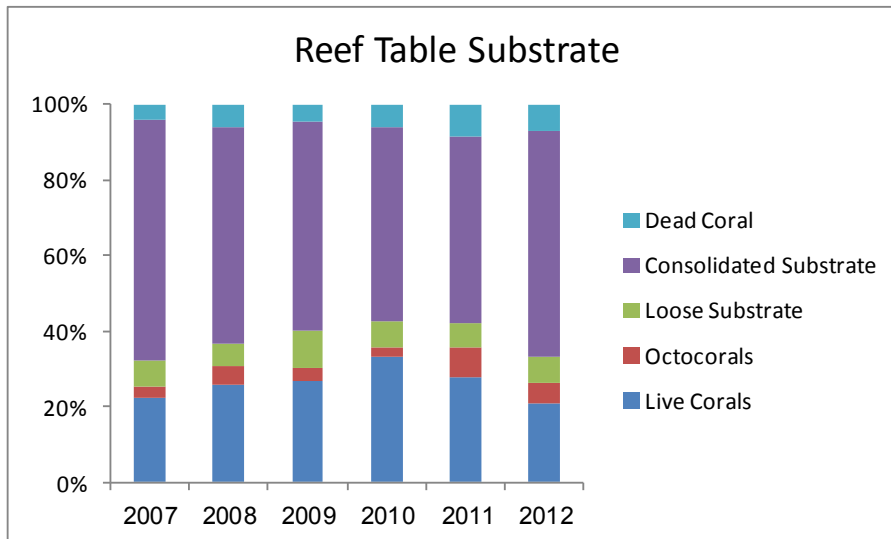
עם הקמתה של תחנת המדידה המטאורולוגית במזח המכון הבינאוניברסיטאי על ידי תכנית הניטור בספטמבר 2006 ניתן לעקוב אחר הגאות והשפל, ועצמת הרוחות וכיוונן ("סערות" במפרץ לרוב מאופיינות ברוח חזקה מכיוון דרום) וכך להוסיף מידע שהיה חסר בעבר לפירוש תצפיות הנוגעות לשולחן השונית. סקרי שולחן השונית במסגרת תכנית הניטור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

אופיו השונה של שולחן השונית ניכר בין היתר בהתפלגות סוגי התשתית שבו. סלע שונית מלוכד מהווה את רב שיטחו של שולחן השונית (איור 18). בניגוד לאתרי קידמת השונית, שם האחוז הגבוה ביותר של סלע מלוכד חשוף שנמדד גם השנה הוא כ-36% (באתר 5-IUI), בשולחן השונית שטח הסלע המלוכד החשוף אשר נמדד השנה הוא כ-59% (כעשרה אחוז יותר מאשר בשנה שעברה) ואילו אחוז הקרקע הלא מלוכדת כ-7% (בדומה לשנים הקודמות). כתוצאה מכך ההבדל בין אחוז הכיסוי החי לאחוז הכיסוי המנורמל (מתוך סך המצע הקשה) בשולחן השונית אינו גדול.

השנה נמדדה ירידה בכיסוי אלמוגי האבן החיים בשולחן השונית (הכיסוי השנה כ-20%, הכיסוי המנורמל כ-23%, איור 19). זו שנה שנייה של ירידה בכיסוי האלמוגים מאז הערך הגבוה של שנת 2010 (34%). העלייה הנמדדת באחוז המצע הקשה החשוף מוסברת בחלקה על ידי ירידה באחוז כיסוי האלמוגים כמו גם באחוז הכיסוי המנורמל אשר נמדדו השנה בשולחן השונית. גם כיסוי האלמוגים הרכים, ואחוז הכיסוי באלמוגים מתים ירד השנה בהשוואה לשנה הקודמת.

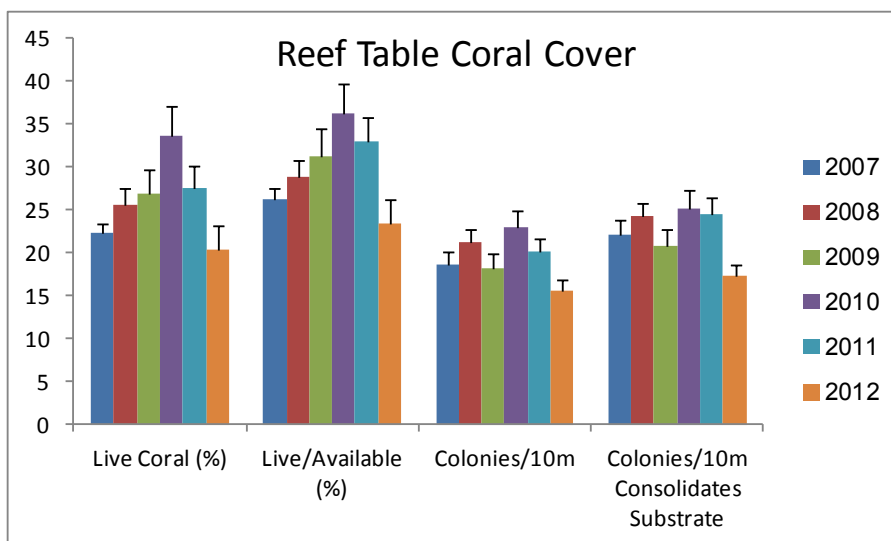
מגוון המינים לפי מדד Shanon-Wiener כפי שמוערך על ידי תכנת EstimateS (Colwell, 2005) היה השנה 2.71, ערך גבוה ממדידות השנים שעברו (איור 20). העלייה נובעת אולי מהירידה בכיסוי האלמוגים, הקשורה בפגיעה בסוגים הדומיננטים, *Acropora* ו-*Stylophora* אשר השנה לראשונה אינם בעלי הכיסוי הגדול ביותר בשולחן השונית (טבלה 4), אך ניכרת גם בעקומות הצבירה שהשנה גבוהה מעט יותר מעקומות השנים הקודמות. 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 האחרים והקיצוניים יותר בשולחן השונית.

בשולחן השונית נמצאו השנה 24 סוגי אלמוגים, לעומת 42 בכל אתרי קדמת השונית. עשרים המינים הנפוצים בשולחן השונית השנה מוצגים כנגד עשרים המינים הנפוצים באתרי קדמת השונית בטבלה 4. רוב האלמוגים הנפוצים מצויים בשני בתי הגידול (14 מתוך 20), אך ישנם הבדלים חשובים. בפרט ראוי לציין כי השנה לראשונה האלמוגים הנפוצים *Acropora* ו-*Stylophora* אשר להם הכיסוי הרב ביותר באתרי קדמת השונית נמצאים רק במקום הרביעי והחמישי בשולחן השונית. עובדה זו מצביעה על פגיעה בסוגים אלה בשולחן השונית. יחד עם זאת אלה אלמוגים המהירים לצמוח וגודל אוכלוסייתם משתנה מאד בין השנים, כך שלא ברור האם ישנה כאן תופעה מדאיגה. הירידה בסוגים אלה בשולחן השונית גם תורמת לעלייה במדד מגוון המינים. על פי נתונים ממחקר שנערך על ידי רשות הטבע והגנים נראה כי חלק מהפגיעה באלמוגים המעונפים בשולחן השונית, ובעיקר ב-*Acropora*, נובע מריכוזים גבוהים של החילזון *Drupella* אשר ניזון מאלמוגים אלה (ד"ר א. זבולוני, דברים בעל פה).



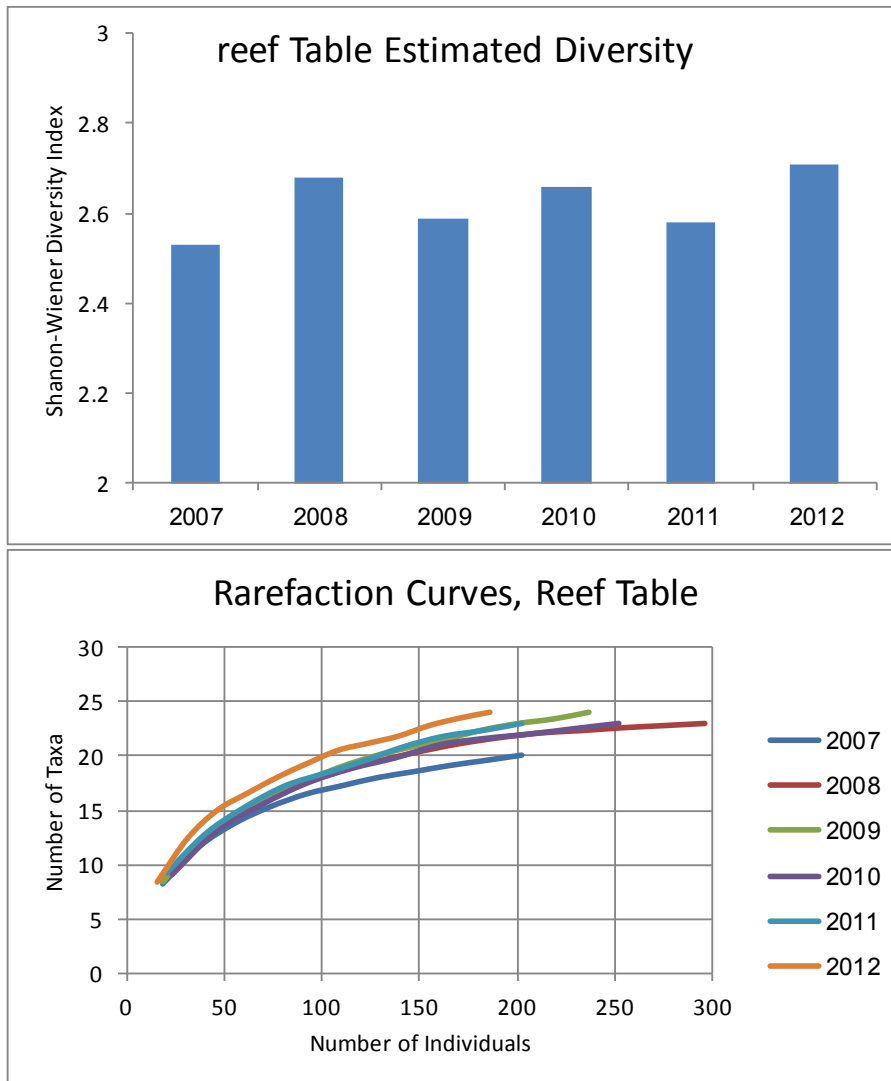
איור ב18: אחוזי הכיסוי המצטברים של אלמוגים, חול, סלע, ואלמוגים מתיים. האחוזים הם ממוצעים מתוך כל חתכי הקו.

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



איור ב19: אחוז כיסוי האלמוגים וצפיפות מושבות בשולחן השוניית מאז שנת 2007.

**Figure B19: Percent cover of live corals and density of coral colonies on the reef table since 2007.**



איור ב20: 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 B20: Top –Shanon-Wiener diversity of stony corals in the years since 2007, bottom – rarefaction curves for coral genus diversity on the reef table since 2007**

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

טבלה ב4: עשרים האלמוגים הנפוצים (לפי אחוז כיסוי) באתרי קדמת השוניית ובשולחן השוניית.

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

### דיון ומסקנות

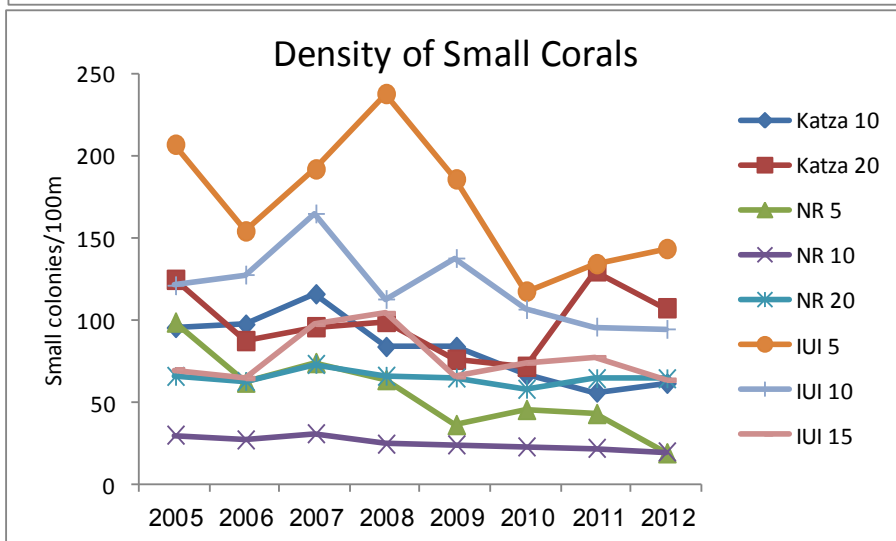
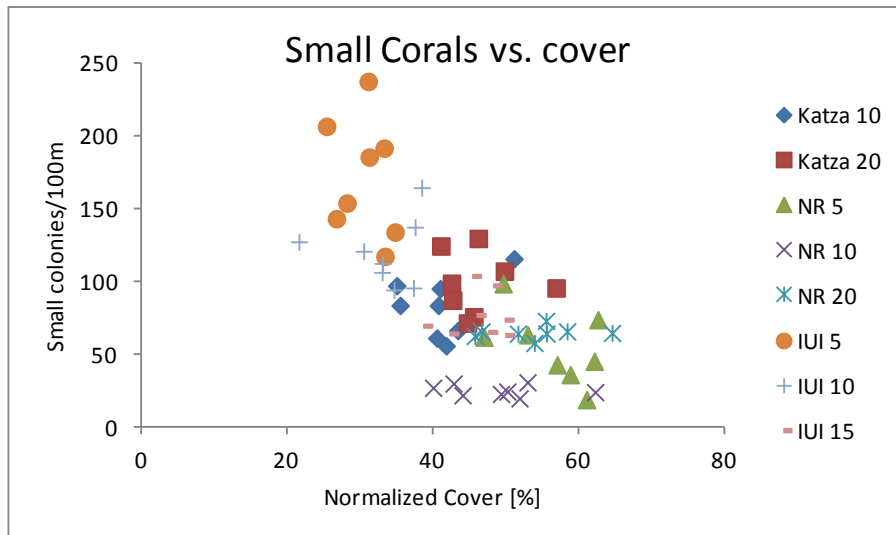
ניטור מצב השוניות באילת מבוצע באמצעות מספר סקרים אקולוגיים המותאמים לסביבות ומטרות שונות. חלק הארי של הסקר האקולוגי מבוצע באתרי קדמת השוניית ושולחן השוניית בשיטת חתכי הקו. חלקים נוספים, אשר ידונו בהמשך, הם סקר אזור הלגונה, המבוצע בשיטה של ריבועי דיגום סדורים, וצילום אתרים קבועים בשוניית. אפיון סטטיסטי של אתרי השוניית באמצעות סקרים בשיטת חתכי הקו מצביע על מצב השוניית 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 שוניית האלמוגים בשוניות הנמצאות בשטח ישראל. מדידה לאורך חתכים קווים יעילה במיוחד למדידת מאפיינים הקשורים לשטח (אחוזי כיסוי, התפלגות מצע וכד'), ופחות יעילה למדידות המבוססות על ספירה (התפלגות גדלים, צפיפות מושבות וכד') עקב ההטיה המובנית כנגד מושבות בגודל קטן. התפתחות טבעית של "שוניית" וכך גם השינויים במאפייני שוניית 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 שוניות אילת מדי שנה, והשוואת הנתונים בין השנים נועדה לאבחן ולהתריע על מצבי קיצון והתפתחויות מדאיגות, כמו גם לגלות מחזוריים טבעיים ארוכי-גל או מגמות שינוי איטיות. עם הצטברות הנתונים משנה לשנה משתפרת יכולת האבחון הסטטיסטית.

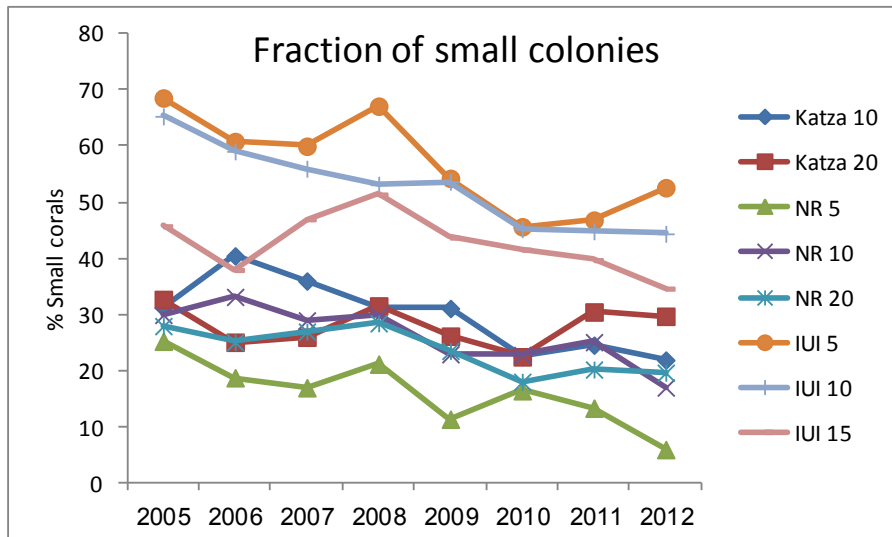
השנה הוקדש מאמץ לבחון את השינויים בהתפלגות גדלי מושבות האלמוגים באתרי השוניית. בפרט נמצא כי כמות מושבות האלמוגים הקטנות יורדת בשנים האחרונות ועולה השאלה האם מצב זה מבטא ירידה באספקת מתיישבים לשוניית או קושי בהתגייסות לאחר ההתיישבות, האם התופעה מקומית או אזורית, והאם ניתן לאבחן גורמים הקשורים בתופעה. ירידה בגיוס אלמוגים לשוניית יכולה לנבוע מסיבות רבות אשר עשויות לגרום לירידה ב"פוריות" השוניית (ז"א אספקת לרוות) או ירידה בהצלחת הגיוס. במסגרת תכנית הניטור כרגע אין מדידה ישירה של פוריות/אספקת לרוות או של התיישבות. אנו סוקרים רק את השלב שאחרי גיוס לשוניית – הגודל המזערי אשר נכלל בסקרי הניטור מייצג פרק זמן של לפחות שנה מזמן ההתיישבות. בכל זאת ניתן לנסות לבחון שתי שאלות בדרך להבנת המנגנון: א) האם הירידה במושבות הקטנות משותפת לכל האתרים וכל העומקים (גורם אזורי לעומת גורם מקומי)? ב) האם הירידה קשורה במגבלות מקום (פגיעה בהצלחת



הגיוס כתוצאה מתחרות)?

ישנו קשר הפוך בולט בין אחוז הכיסוי (המנורמל) באתר ובין כמות המושבות הקטנות בו (איור ב21). קשר זה פורש בדו"חות הניטור בשנים קודמות כמצביע על כך שכיסוי גבוה מושג על ידי מושבות גדולות ולא על ידי ריבוי מושבות קטנות. אולם יתכן שאחוז כיסוי גבוה מייצג מגבלת מקום באמצעות תחרות, המונעת גיוס מושבות קטנות. אם כן, נצפה לראות כי באתרים בהם אלמוגים מכסים חלקים גדולים מהמצע הקשה תהיה ירידה במושבות הקטנות ואילו באתרים בהם ישנו מקום פנוי רב לא תאובחן ירידה. אולם, הירידה בכמות כמו גם בחלקן היחסי של מושבות קטנות משותפת לכל האתרים הנסקרים (איור ב21). מכאן עולה שהגורם הוא אזורי ולא מיוחד למקום או לעומק כלשהו, ואינו קשור בכיסוי האלמוגים, במספר המושבות הקטנות או בחלקן היחסי באתר.



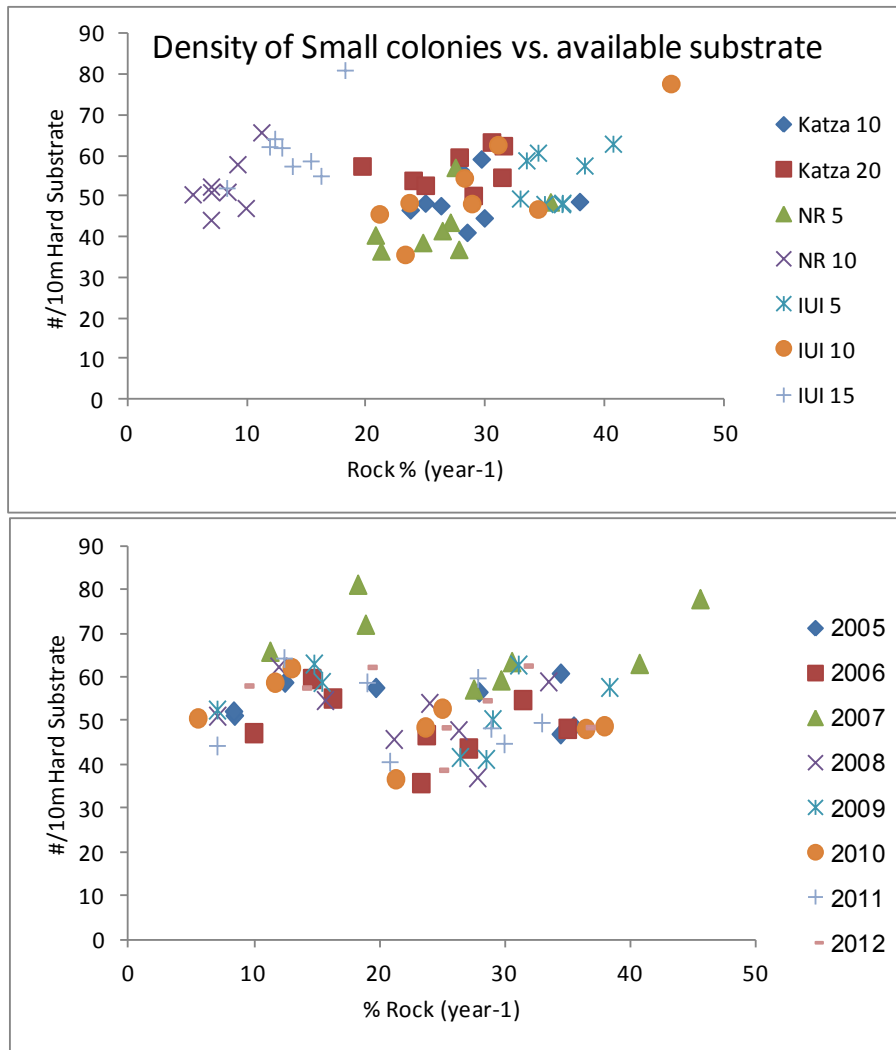


איור ב21: למעלה- כמות המושבות הקטנות באתר (מנורמלת לחתך באורך 100 מטרים) כנגד אחוז הכיסוי המנורמל לפי מצע קשה. באמצע- צפיפות המושבות הקטנות באתרים השונים מאז שנת 2005. למטה- חלקן היחסי של המושבות הקטנות באתרים השונים מאז שנת 2005

**Figure B21: Top-** the number of small coral colonies (normalized to a 100m-long transect) versus the percent coral cover (normalized for hard substrate); **middle-** density of small corals at all sites since 2005; **bottom-** the fraction of small corals at all sites since 2005

דרך נוספת לבחון את השפעת כיסוי האלמוגים הקיים על הצלחת הגיוס היא להעמיד את צפיפות המושבות הקטנות באתר כנגד כמות הסלע שהייתה חשופה בו בשנה הקודמת (איור ב22). מתוך כך נראה שאין קשר בין כמות הסלע החשוף, הפוטנציאלי להתיישבות לרוות, ובין צפיפות המושבות הקטנות בשנה שאחרי כן. עוד נראה כי צפיפות המושבות הקטנות על מצע סלעי דומה גם באתרים בהם אחוז הסלע החשוף גדול ובאתרים בהם רק מעט סלע חשוף. בנוסף לכך, נראה כי בשנת 2007 הייתה צפיפות המושבות הקטנות גדולה במיוחד, עובדה המעידה על גיוס מוצלח/התיישבות מוצלחת ("הצלחת הגיוס"), ברוב האתרים (איור ב22, למטה).

עוד עולה מן הנתונים כי אספקת מגוייסים לשונית אינה מקומית. אם האלמוגים באתר היו אלה המספקים את המגוייסים החדשים, היינו מצפים למצוא מתאם חיובי בין כמות מתגייסים ובין כמות האלמוגים (כיסוי) באתר. העדרו של קשר כזה רומז שאספקת מגוייסים לאתר היא חיצונית לו. נראה, אם כן, כי ישנה ירידה בכמות המגוייסים לשוניות אילת בשנים האחרונות. אספקת מגוייסים לשונית אינה מקומית ולא ניתן לקבוע, על סמך הנתונים הקיימים, האם מדובר בירידה באספקת לרוות או בקשיי גיוס (התיישבות/שרידות מתיישבים). הירידה מאובחנת בכל האתרים הנסקרים, עדות לכך שהתופעה אזורית ולא מקומית. עוד נראה כי הירידה אינה קשורה בכיסוי האלמוגים הקיים (תחרות על מקום מול אלמוגים מבוססים). בנוסף לכך, המגמה אינה עקבית במשך שנות הניטור: בשנת 2007 הייתה עלייה בהצלחת הגיוס, ואפשר שמדובר במחזוריים טבעיים רב-שנתיים. בכל מקרה יש להמשיך לעקוב אחר הצלחת הגיוס, או לנסות לבחון את התופעה באופן ישיר. יחד עם זאת, נדמה כי השוניות באילת אינן מוגבלות בכמות האלמוגים הקטנים בהן, ואלו מהוות חלק קטן ביצירת כיסוי האלמוגים באתר.



איור ב22: למעלה- צפיפות מושבות קטנות באתרי הניטור כנגד המצע הזמין להתיישבות בשנה הקודמת, למטה- סדרת זמן של צפיפות מושבות קטנות כנגד המצע הזמין להתיישבות בשנה הקודמת

**Figure B22: Top- density of small coral colonies at the monitored sites vs. the available substrate a year earlier; bottom- time series of the density of small coral colonies vs. the available substrate a year earlier at all sites**

ממצאים נוספים:

- בין האתרים הנסקרים בתכנית ישנם הבדלים מובנים גדולים, הן כתוצאה מהבדלי העומק, הן הבדלים בסוג המצע, והן הבדלים אוקיינוגרפיים הנובעים ממיקומם השונה של האתרים. להבדלים טבעיים אלה השפעה גדולה וראשונית על אופי השוניית בכל אחד מהאתרים הנסקרים. הממוצע 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. עובדה זו ניכרת בהערכות מגוון המינים המוצגות בדו"ח השנה ומראות כי לכל אחד מהאתרים הרכב מינים ייחודי. כך אין אתר אחד מייצג את השאר, ויש צורך להגן על כולם על מנת לשמר מגוון גבוה.
- כיסוי האלמוגים בשוניות אילת עלה באופן מובהק מאז תחילת הניטור (2004) ובפרט מאז שנת 2007. השנה היו השינויים בכיסוי האלמוגים באתרים השונים קטנים, ובממוצע אין הבדל בינה ובין השנה הקודמת. הדבר נכון גם לגבי כיסוי האלמוגים המנורמל לכמות המצע הקשה בכל אתר.
- באתרי IUI הרדודים נמצא ניצול המצע הנמוך ביותר וכן האחוז הגבוה ביותר של מושבות קטנות, בהשוואה לאתרי קדמת השוניית האחרים. יחד עם זאת נראה באתרי IUI, ובפרט

- באתר העמוק IUI-15, עלייה מתמשכת בניצול המצע לאורך שנות הניטור. אתרי IUI נבדלים מאתרי השמורה וקצא"א בכך שאין שם "שונית" לפי ההגדרה. שונית אלמוגים היא מבנה הבולט מעל קרקעית הים אשר נוצר בידי אלמוגים, אצות גירניות ושאר יושבי השונית. אתרי IUI הם אתרים בהם סלעי חוף שקועים תחת המים מהווים מצע קשה עליו מתיישבים אלמוגים, אולם אין באתרי ה-IUI יצירת מצע – סלע – קרבונטי על ידי האלמוגים. נראה כי בהיסטוריה הגיאולוגית הצעירה לא הייתה כלל שונית באתר. יתכן שסלעי החוף המהווים את המצע הזמין להתיישבות באתרי IUI מהווים מצע פחות טוב ואלמוגים מתקשים להיאחז בהם לאחר התיישבותם, או לחילופין שהאתר עבר שינויים דרמטיים בעת האחרונה (דוגמת רעידות אדמה וקבורה על ידי סדימנטים, Shaked et al, 2004) ועדיין לא נבנתה שם שונית. יתכן גם כי שתי האפשרויות נכונות.
- ישנה התאמה סבירה בין כיסוי האלמוגים ובין צפיפות המושבות באתר – התאמה הנובעת בעיקר מהשפעת כמות המצע הזמין להתיישבות בכל אתר. אין התאמה בין כיסוי האלמוגים וצפיפות המושבות באתר לאחר נירמול לכמות המצע הזמין להתיישבות. עובדה זו רומזת שכמות המושבות באתר אינה הגורם המכתיב את אחוז הכיסוי בו.
  - במשך שנות הניטור נמצאה ירידה בחלקן של המושבות ה"קטנות" באתרי הניטור ועליית-מה בחלקן של המושבות הבינוניות-משאר קבוצות הגודל. נראה כי הירידה בחלקן היחסי של המושבות הקטנות נובע במידה רבה מירידה בכמות המושבות הקטנות. קצב הירידה בכמות המושבות הקטנות בשונית אילת גדול כמעט פי 2 מקצב הירידה בחלקן היחסי, עובדה המעידה כי גם אם מושבות קטנות רבות גדלו ועברו להיספר בקבוצות גודל אחרות ישנה ירידה בגיוס מושבות קטנות חדשות במקומן.
  - מגמת הירידה בערך מדד הרקמה החיה במושבות אלמוגים כסמן לבריאות אלמוגים עצרה השנה, וניכרת עלייה קלה בערך המדד.
  - מגוון המינים על פי מדד Shannon-Wiener כמו גם הרכב חברת האלמוגים באתרי הניטור אינם שונים משמעותית משנה לשנה, עדות להרכב חברה יציב. השנה נבחן המגוון, עושר והרכב המינים במספר דרכים נוספות המדגישות את ההבדלים בין האתרים ואת ייחודם.
  - לאתר שולחן השונית התייחסות נפרדת מאשר לשאר אתרי הניטור, הממוקמים בקדמת השונית, עקב אופיו השונה והמיוחד. כיסוי האלמוגים וצפיפות המושבות בשולחן השונית היו השנה נמוכים מאשר בשנתיים האחרונות. עובדה זו נובעת ככל הנראה מפגיעה בשני הסוגים שהיו דומיננטים באתר, *Stylophora* ו-*Acropora*. השנה לראשונה שני סוגים אלה אינם דומיננטים. הדבר גם משפיע על מדדי המגוון אשר היו השנה גבוהים מאשר בשנים קודמות.

## ב.2. צילום אתרים קבועים

### מטרה

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

### שיטות

צילום חוזר של שטחי שונות קבועים באתרי שונות בחוף הצפוני, חוף הדקל, קצא"א, שמורת האלמוגים, המעבדה הימית, וטאבה (איור ב-23). בכל אתר חוברת לסלע תושבת קבועה המיועדת למצלמה, בחמש נקודות נבחרות. בכל נקודה מצולמת השונות בארבעה כיוונים על ידי סיבוב המצלמה בתושבתה. באופן זה ניתן לחזור ולצלם את אותו השטח בדיוק בזמנים שונים (איור ב-24). בסך הכל מוקמו 30 נקודות ובכל נקודה מצולמות ארבע תמונות לניתוח כמותי של השינויים באתרים השונים. עקב בלאי והתפוררות סלע השונות 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. בנייתוח הנתונים נעשית השוואה בין תמונות חופפות בכל סקר. סקר הצילום נערך בכל שנה באותה עונה.

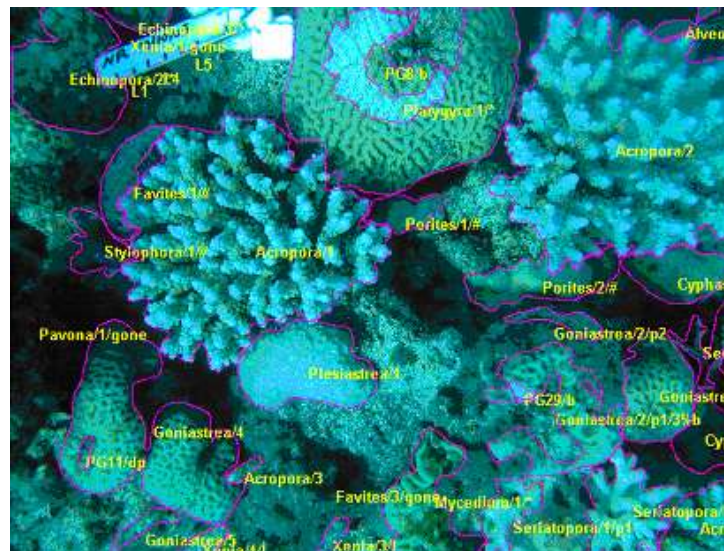
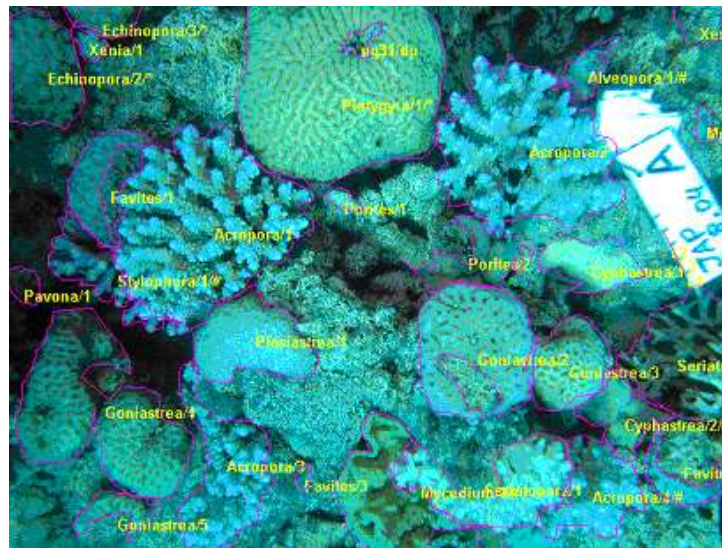
בכל תמונה נספרים האלמוגים ושאר חסרי החוליות הנייחים ונמדד שטח האלמוגים על ידי דיגיטציה של התמונות (ראה דו"ח 2004). לצורך השוואת שטח המושבות נלקחו בחשבון רק מושבות שמופיעות במלואן באופן ברור בשתי סדרות צילומים. במקרים בהם החפיפה בין תמונות משתי השנים לא מלאה (בשל תנועת חצובת המצלמה בתושבת הקבועה, תזוזה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

זו השנה השלישית בה נעשית הדיגיטציה ושמירת הנתונים במערכת GIS. תמונות חדשות עברו דיגיטציה בעזרת GIS, ותמונות של שנים עוקבות יישמרו כשכבות נפרדות עבור כל נקודה (איור ב-25). 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.

שטח האלמוגים ניתן ביחידות pixel מכיוון שכיול השטח לסמ"ר נמצא לא מדויק עקב הבדלי הגובה של מושבות יחסית למצלמה. קנה מידה מקורב למדידות השטח:  $1\text{cm}^2 = 2\text{kp} = 2,000\text{pixels}$ . שינויים בשטח ניתנים באחוזים וכך מנוטרלים הבדלי הכיול והטופוגרפיה בין המושבות. להבדיל מחתכי הקו אשר משווים אפיון סטטיסטי של אתר, בסקר המצולם ישנה השוואה נקודתית של התפתחות אותן מושבות בדיוק משנה לשנה. אתרי הצילום מתעדים נקודות קבועות ואינם מהווים ייצוג סטטיסטי מאפיין של אחוזי כיסוי, מגוון או שכיחות מינים בכלל השטח. כוחו של הסקר המצולם, הנסמך על ניתוח של עשרות ריבועים ב-6 אתרים בין החוף הצפוני לטאבה, הוא במתן 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.



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



2004



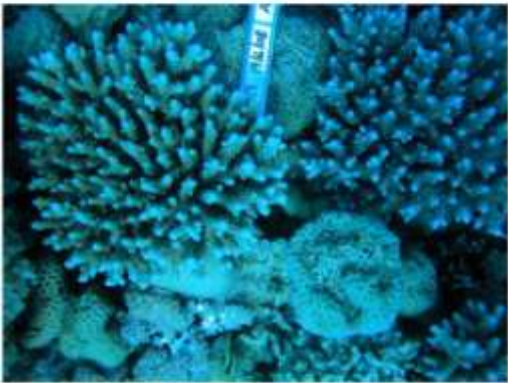
2005



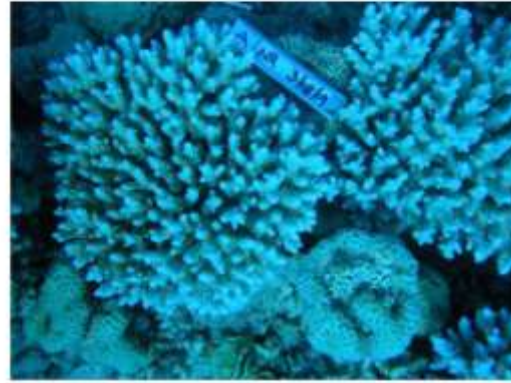
2006



2007



2008



2009



2010



2011

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.

## תוצאות

[זו השנה השלישית בה בוצע עיבוד התמונות מנקודות הצילום הקבועות בעזרת תכנת GIS בסביבת עבודה אשר נבנתה והותאמה לצרכי ניטור האלמוגים מצילומים קבועי מקום על ידי יחידת ה-GIS של האוניברסיטה העברית (תיכנות על ידי - עדי בן-נון, עידן קמינר וטלי אבירם). התמונות אשר צולמו השנה עברו דיגיטציה באמצעות ה-GIS והוחל בבניית מסד נתוני GIS, אשר בו כל נקודה מהווה קובץ אשר השנים העוקבות בו הן שכבות ה-GIS הכוללות את כל המידע הנלווה. בטווח הארוך מעבר זה יאפשר לתכנית הניטור להתמודד עם שפע הנתונים המתקבל מהצילומים, אשר מהווה נדבך משלים חשוב ביותר לסקרים האקולוגיים באמצעות חתכי הקו].

במהלך שנת 2012 נותחו 112 תמונות לצורך השוואה עם השנים הקודמות (טבלה ב5). בסך הכל נספרו 2,302 מושבות מכל הסוגים, מתוכן 1,899 מושבות אלמוגי אבן. שטחן של 1,157 מושבות אלמוגי אבן נמדד לצורך השוואת שטחים בין השנים. מספר מושבות האלמוגים המעונפים קטן בערך פי 5 ממספר המושבות של לא-מעונפים, ושטח האלמוגים המעונפים קטן בערך פי 2.5 מזה של הלא-מעונפים. יש לזכור כי מספר התמונות אינו שווה בין האתרים, וגם משתנה מעט בין שנה לשנה בהתאם למצב הצובות הצילום.

בכל האתרים המצולמים מספר מושבות האלמוגים הלא-מעונפים (גושיים, מרפדים, סוליטריים וכו') גדול בהרבה (כמעט פי 5) ממספר המושבות של אלמוגים מעונפים. המספר הגדול ביותר של מושבות מכל הסוגים נסקר השנה באתר השמורה (564 מושבות). בשנתיים הקודמות מספר המושבות הגדול ביותר נמצא באתר המכון הבינאוניברסיטאי (IUI, 632 מושבות ב-2011 ו-733 ב-2010), והשנה נמצאו שם "רק" 543 מושבות. מספר המושבות הקטן ביותר נסקר גם השנה באתר החוף הצפוני.

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	12	13	508	136	14,341	155	16,305
Dekel	14	31	4,794	117	19,595	172	27,393
Katzaa	24	99	9,525	329	16,584	496	29,399
NR	24	120	12,451	313	20,115	564	43,491
IUI	20	71	3,737	404	9,540	543	13,764
Taba	18	30	4,847	236	16,110	372	23,756
<b>Total</b>	<b>112</b>	<b>364</b>	<b>35,863</b>	<b>1,535</b>	<b>96,284</b>	<b>2,302</b>	<b>154,108</b>
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	12	5	75	83	5,091	92	5,861
Dekel	14	9	1,283	56	3,058	78	4,720
Katzaa	24	61	3,920	212	5,702	316	10,785
NR	24	68	4,758	179	10,045	316	18,937
IUI	20	38	1,372	293	6,267	378	8,072
Taba	18	18	1,461	135	6,764	216	9,603
<b>Total</b>	<b>112</b>	<b>199</b>	<b>12,869</b>	<b>958</b>	<b>36,927</b>	<b>1,396</b>	<b>57,978</b>

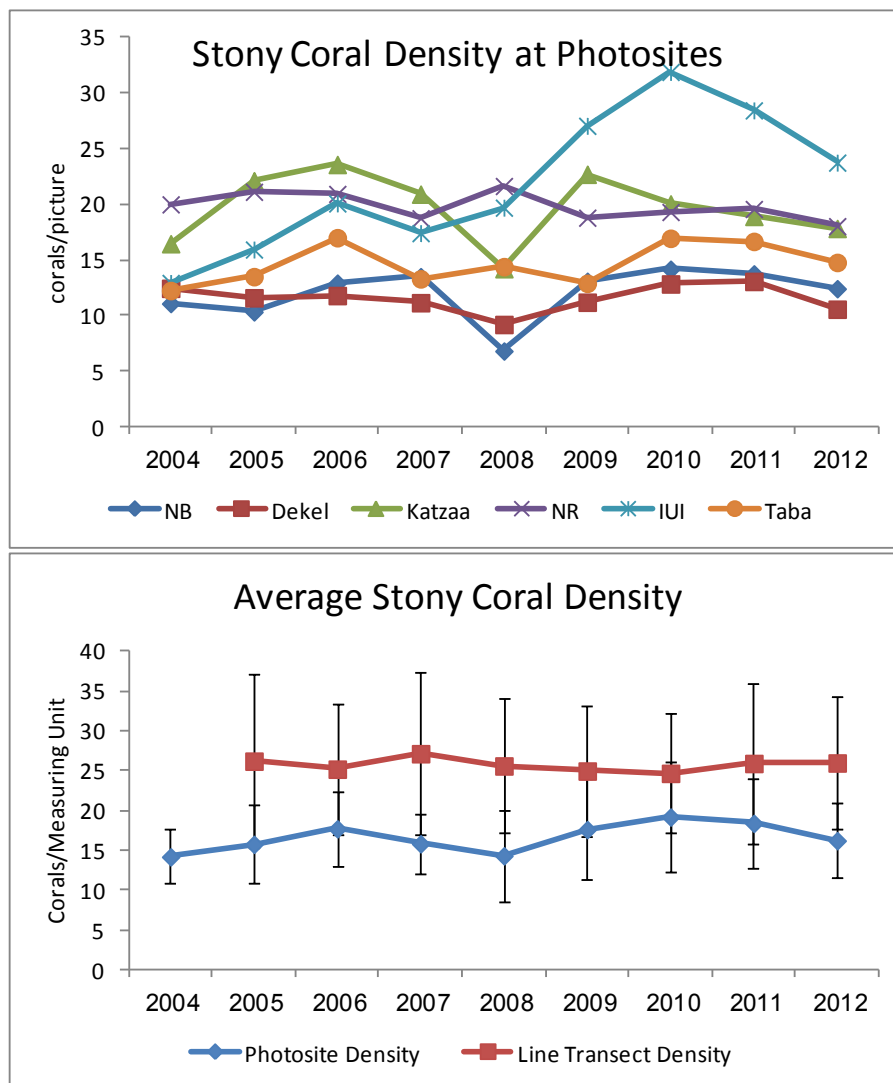
טבלה ב5: סיכום נתוני השטחים ומספר מושבות האלמוגים שנאספו בסקר הצילום בשנת הניטור 2012. "שטח מושבת אלמוגים" הוא שטח ההיטל המצולם שלה (נתון ב-k-pixel). נתוני שטחים נתונים בפיקסלים על מנת שניתן יהיה לבצע השוואה בין שנים עוקבות ולהימנע מבעיות של כיוול הצילומים לשטח "אמיתי". למעלה כל המושבות ולמטה המושבות ששטחן נמדד לצורך חישובי צמיחה.

Table B5: Summary of the areas and number of corals surveyed in the 2012 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. Top: the data for all colonies, Bottom: the data for colonies considered in “growth” calculations.

צפיפות המושבות הממוצעת בתמונה באתר השמורה 23.5, ואילו באתר IUI צפיפות המושבות עדיין גבוהה יותר, כ-27, אולם זו ירידה של כ-15% בהשוואה לשנה הקודמת שם (כ-32 מושבות). יחד עם זאת, נראה כי שנת 2010 הייתה שנה בה כמות המושבות באתר IUI הייתה גבוהה במיוחד והירידה בשנתיים האחרונות עדיין אינה מדאיגה (איור ב26 למעלה). בחוף הצפוני צפיפות המושבות הממוצעת (מכל הסוגים) כ-13 מושבות בתמונה בלבד, בדומה לשנה הקודמת. בממוצע מספר מושבות אלמוגי האבן באתרים המצולמים נותר יציב בתקופת הניטור, בדומה לתמונה המתקבלת מסקר חתכי הקו (איור ב26, למטה). שטח האלמוגים הגדול ביותר נסקר באתר שמורת חוף אלמוג.

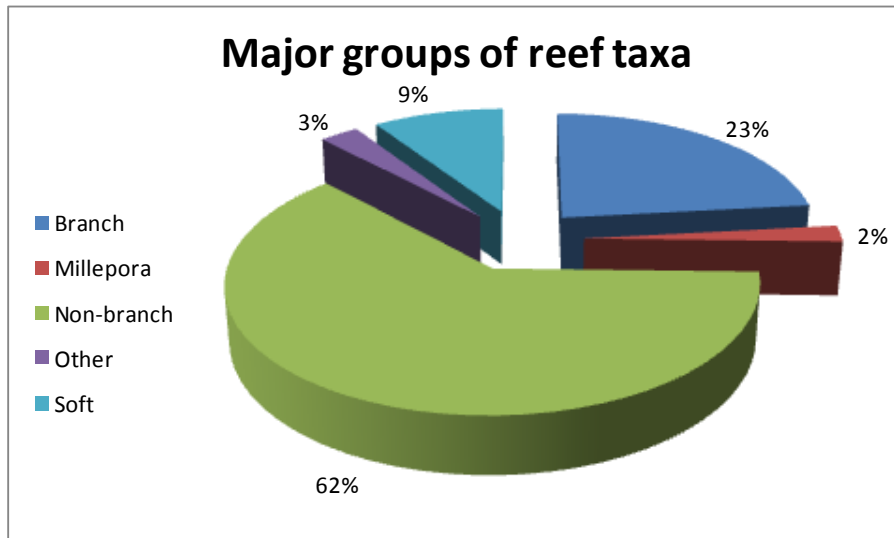


איור ב26 למעלה – שינויים במספר המושבות הממוצע לתמונה בכל אתר מאז שנת 2004. למטה – השוואה בין השינויים בצפיפות מושבות אלמוגי האבן הנמדדת בסקר חתכי הקו (אדום) לזו הנמדדת בסקר המצולם (כחול). הנתונים הם ממוצע "אילת" ליחידת דגימה.

**Figure B26: Top – Changes to the stony average number of stony coral per picture recorded in the permanent phot-sites since 2004. Bottom – the changes in stony coral number per measuring unit in the line-transect survey (red) and the permanent photo-site survey (blue).**

חברת השונית באתרים המצולמים מורכבת בעיקר מאלמוגי אבן. השנה היוו אלמוגי האבן 85%

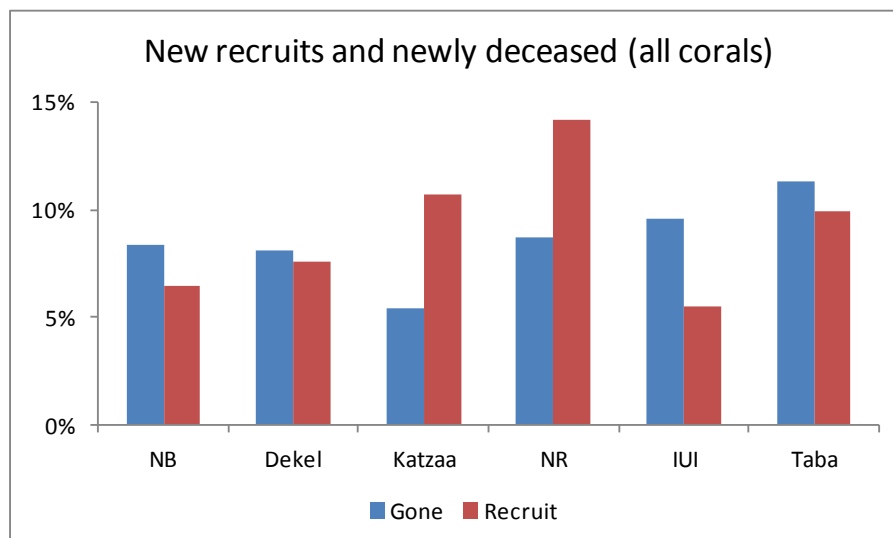
מסך שטח המושבות אשר נמדדו באתרים המצולמים, ירידה של כ- 7% יחסית למשקלם בשנה הקודמת (כ- 92%). ירידה זו מקורה במושבות הלא-מעונפות אשר היוו השנה 62% מסך המושבות באתרים המצולמים איור ב27). חלקן של המושבות המעונפות כמעט ללא שינוי, 23%. עיקר הגידול היה בחלקן היחסי של מושבות האלמוגים הרכים, כ-9% השנה לעומת 4% בשנה הקודמת. בקבוצת "אחרים" כלולים צדפות, מאקרו-אצות, ספוגים ועוד. ראוי להזכיר שבחירת השטחים המצולמים נעשתה שלא באקראי והייתה מוטה לטובת כתמי שונית עתירי אלמוגי אבן.

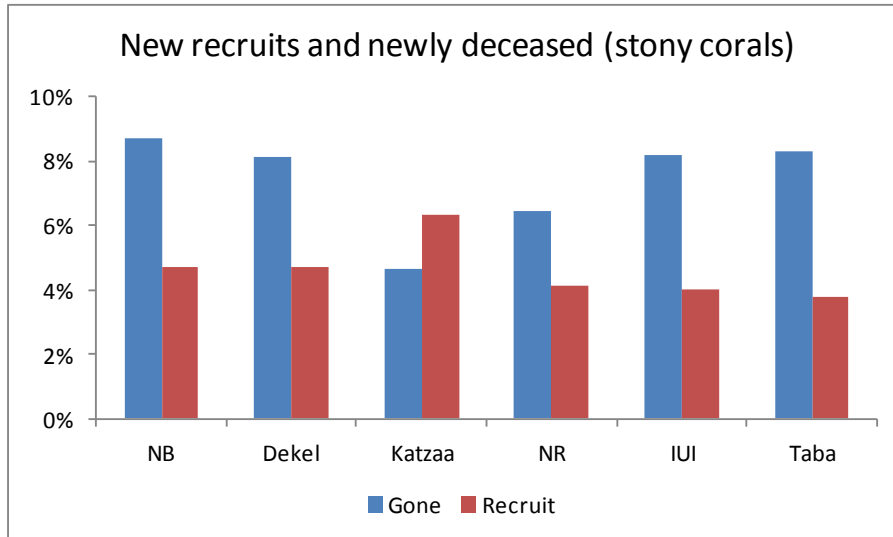


איור ב27: התפלגות הקבוצות העיקריות המרכיבות את חברת השונית באתרים המצולמים בשנת 2012, על פי אחוז השטח היחסי אותו הם תופסים.

**Figure B27: Distribution of the main taxa groups comprising reefs at the permanent photo-sites in 2012, according to the relative (percent) area which they occupy.**

עודף (מספרי) של התיישבות על פני תמותת מושבות מכל הסוגים נמצא השנה רק באתרים חוף אלמוג וקצא"א (איור ב28 למעלה). עודף התיישבות של אלמוגי אבן נמצא רק באתר קצא"א (איור ב28 למטה). בשאר האתרים נמצא עודף מספרי של תמותה על פני התיישבות. 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 הירידה במספר המושבות מלווה בירידה גדולה יותר של שטח הכיסוי. מה שעשוי לאזן את הירידה כתוצאה מאבדן מושבות הוא גידול מושבות קיימות.

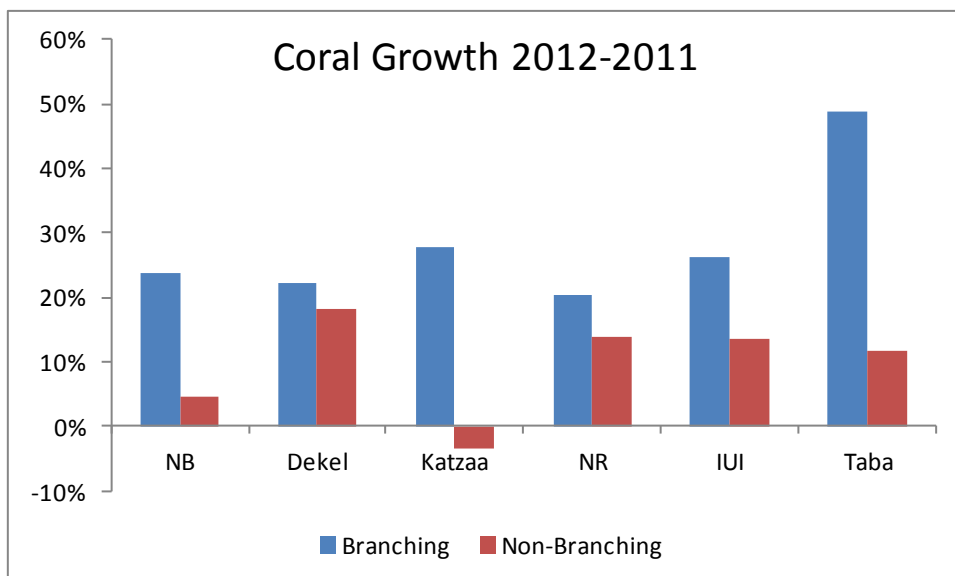




איור ב28: התיישבות ותמותה של מושבות אלמוגים מכל הסוגים (למעלה) ושל אלמוגי אבן (למטה) באתרים המצולמים בשנת 2012. על מנת לאפשר השוואה בין האתרים הנתונים מוצגים כאחוזים מכלל המושבות באתר.

**Figure B28: Colony recruitment and death for all corals (top) and for stony corals only (bottom) at the photo-survey sites in 2012. To allow a comparison between sites the data are presented as percent of the total number of colonies at each site.**

שינוי בשטח מושבות קיימות מוגדר כ"גדילה". ערכים חיוביים מצביעים על עלייה בשטחן של מושבות קיימות בשתי סדרות הצילום ואילו ערכים שליליים מצביעים על כך שבין סדרת צילומים אחת לשנייה חלה ירידה בשטחן של מושבות המצויות במלואן בשתי הסדרות. בהשוואת שטח מושבות אלמוגי אבן המצויות בשתי סדרות הצילומים 2011 ו-2012 נראה כי מושבות אלמוגים בסך הכל גדלו מעט בכל האתרים מלבד קצא"א אשר בו היה "גידול שלילי" בשטחן של מושבות אלמוגים לא-מעונפים (איור ב29). אלמוגים מעונפים, על אף מספרם הנמוך יחסית גדלים במידה רבה יותר מאלמוגים לא-מעונפים וכך עשויים להשפיע על השינוי בכיסוי האלמוגים באתר.

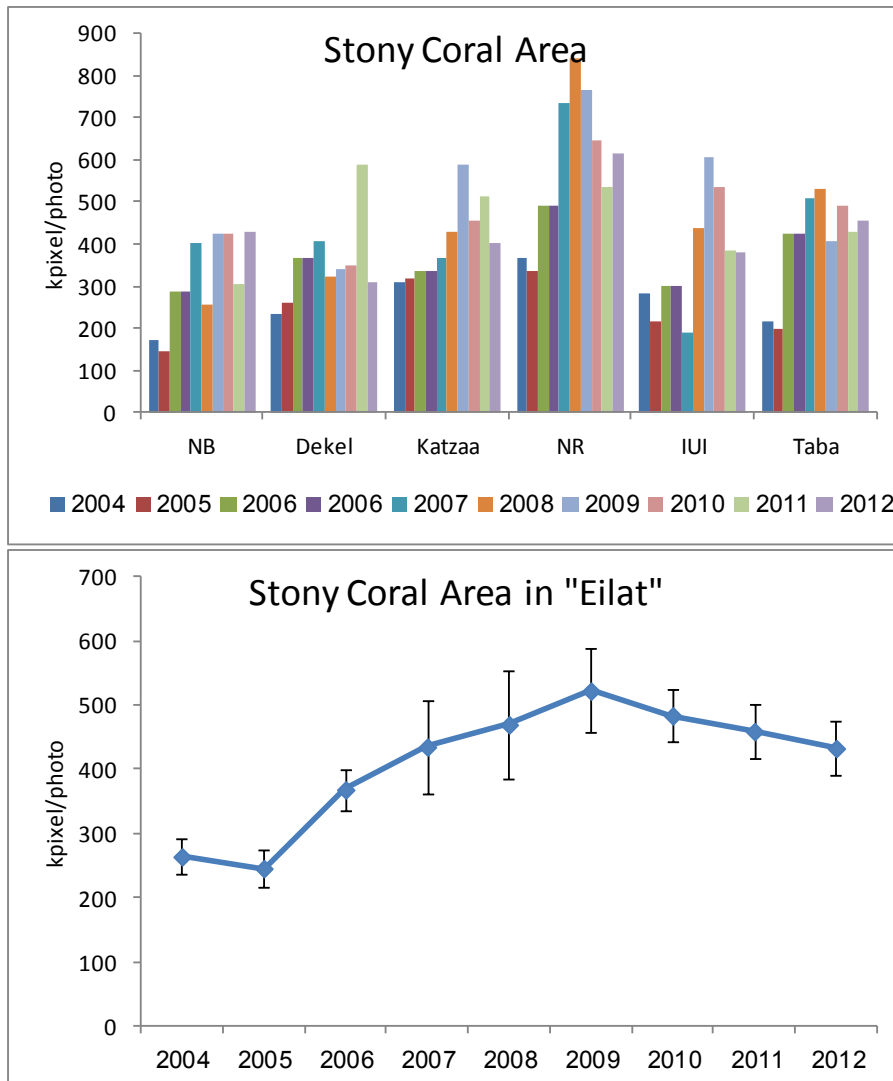


איור ב29: גדילת אלמוגים בשנה האחרונה: השינויים מחושבים כהפרש שטח האלמוגים המצויים במלואם בסדרות הצילום של השנה הנוכחית והשנה הקודמת.

**Figure B29: Coral growth in the past year: changes are calculated as the difference in area of corals fully present in the photos taken this year and the previous year.**

השטח החי של אלמוגים מכל הסוגים (כולל תמותה והתיישבות), להלן "השינוי בשטח", מחושב על ידי סכימת כל שטח האלמוגים בכל תמונה ונירמולו 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.

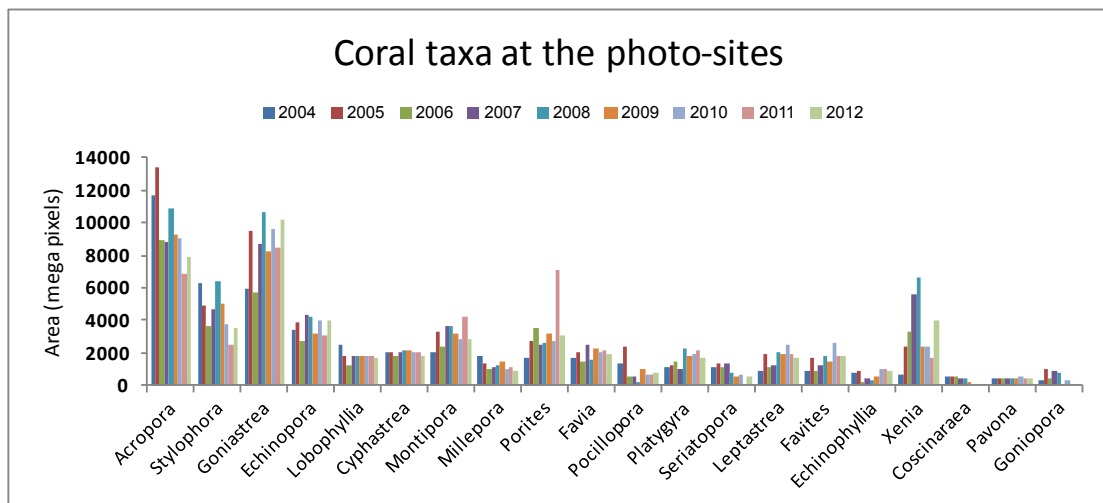
השינויים בשטח האלמוגים הרכים ואלמוגי האש גדולים, בדרך כלל, מהשינויים בקבוצות אלמוגי האבן, והינם פחות "מגמתיים". לעומת זאת, ברוב האתרים נמצא גידול בשטח אלמוגי האבן שהגיע לשיאו בשנים 2008-9, ומאז חלה ירידה קלה (איור ב30). בממוצע, גדל שטח אלמוגי האבן באתרים המצולמים לאורך חופי אילת בין השנים 2004 ו-2009, ומאז חלה ירידה קלה. השטח הממוצע של אלמוגי אבן בתמונה גדול בשנת 2012 פי 1.6 מהשטח הממוצע באתרים המצולמים בשנת 2004.



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

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

מבנה חברת האלמוגים באתרים המצולמים השתנה במהלך בשנות הניטור: במרבית המקרים ערכי השנה נמצאים בטווח הערכים הנצפה בשנות הניטור הקודמות, אולם האלמוג העיקרי (מבחינת שטח) בשנת 2004 היה *Acropora* אולם מאז קטן שטח אלמוג זה באתרים המצולמים במידה רבה, על אף שהשנה נרשמה עלייה בשטחו (איור ב31). בשנים האחרונות האלמוג *Goniastrea* תופס שטח נרחב יותר ומהווה את הסוג הדומיננטי באתרים המצולמים. השנה תועדה עלייה בשטחם של ארבעת הסוגים



איור ב31: עשרים סוגי האלמוגים הנפוצים ביותר (לפי שטח) בסדרות הצילום 2004-2012.  
**Figure B31: The twenty most abundant corals (by area) in the 2004-2012 photo-surveys.**

#### סיכום

באתרים המצולמים עלה שטחם הממוצע של אלמוגי האבן מאז שנת 2004 פי 1.6. שטח זה מחושב על פי סך שטח התמונה בו מופיעים אלמוגי אבן, וכולל הן צמיחה של מושבות קיימות והן את הדינמיקה של התיישבות ותמותה. גבולות השגיאה כאן מושפעים גם מתזוזות של המצלמה בין השנים, אולם תנועות אלה אקראיות וכך מקזוזות זו את זו בחישוב הכולל למעלה מ-100 תמונות בכל שנה בתשע השנים האחרונות. שטח אלמוגי האבן בצילומים הקבועים היה הגדול ביותר בשנת 2009, ומאז חלה ירידה קלה. בשנה האחרונה נמדד בממוצע גידול בשטחן של מושבות אלמוגי אבן קיימות המתבטא בצמיחה חיובית. יחד עם זאת נמדד בכל האתרים, מלבד באתר קצא"א, עודף של תמותת מושבות בהשוואה לתוספת מושבות על ידי התיישבות. באתר קצא"א נמצא גם צמיחה שלילית של מושבות אלמוגי אבן לא-מעונפים.

במשך הזמן נמדדו תנודות בצפיפות המושבות באתרים המצולמים, אולם בסך הכל נמצא שמספר מושבות אלמוגי האבן באתרים המצולמים נותר יציב מאז שנת 2004, וממצא זה תואם גם את מדידות צפיפות המושבות באתרים המנוטרים בשיטת חתכי הקו.

האלמוג *Acropora* שתפס את השטח הגדול ביותר באתרים המצולמים בשנים הראשונות איבד בשנים האחרונות כ-50% משטחו. האלמוג בעל השטח הגדול ביותר באתרים המצולמים מאז 2008 הוא *Goniastrea*.

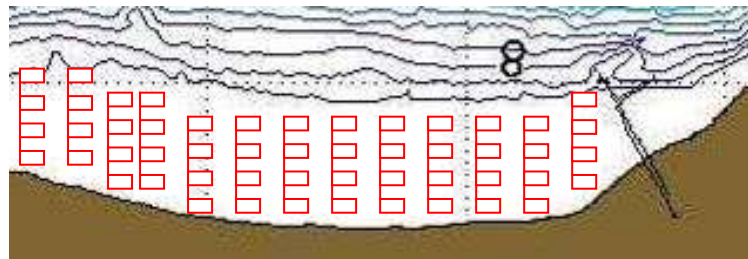
### ב.3. חברת האלמוגים בלגונת שמורת האלמוגים

#### מטרה

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

#### שיטת

מרכיבי חברת השונית שנסקרו בלגונה הם אלמוגי אבן, אלמוגים רכים, וחסרי חוליות נייחים. קרקעית הים (=מצע) חולקה לחול וחציץ (=מצע לא מלוכד), סלע, ושונית. מפאת מיעוט האלמוגים, שיטת חתכי הקו לא התאימה לסקר החברה בלגונה. לפיכך, נעשה שימוש ביחידת דגום של ריבוע בגודל 1X1 מ'. הריבועים מונחים באופן סדור לאורך סרט מדידה שנפרש בניצב לחוף (להלן "קו דגום") 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 דיגום 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 דיגום לאורך החוף הדרומי בשמורת חוף אלמוג מגדר הגבול הדרומי של השטח הפתוח למבקרים ודרומה כ-400 מטרים (עד כ-50 מטר מצפון למזח המצפה התת-ימי) (איור ב32). בכל ריבוע דגום נספרו האלמוגים וזוהו לרמת המין או לרמת הסוג, כפי שניתן היה. נרשמה הערכה ויזואלית של אחוז כיסוי האלמוגים החיים ואחוז וסוג המצע.



איור ב32: תיאור מערך הדיגום של חברת האלמוגים בלגונת השמורה באזור הסגור לקהל. ריבועים בגודל של 1 מ"ר (באדום) הונחו באופן סדור במרחק של 5 מטרים זה מזה לאורך סרט מדידה שהונח בניצב לחוף והתחיל ממרחק 9 מטרים מ"קו החוף" ועד לשולחן השונית (קו דיגום). כל קו דיגום כלל בין 5 ל-6 ריבועים, (על אף שבאיור משורטטים רק 4 לכל חתך). סה"כ בוצעו 17 קווי דיגום בשטח הלגונה (101 ריבועי דיגום).

**Figure B32: The sampling design in the lagoon. 1 m<sup>2</sup> quadrates (red circles) were placed 5 m apart along a measuring tape laid cross shore, 9 m from the "shore line" to the reef table. Each cross shore line included 5 or 6 quadrates (though in this figure only 4 are depicted). 17 cross-shore lines were evenly spread to cover the lagoon area (totaling 101 quadrates).**

#### תוצאות

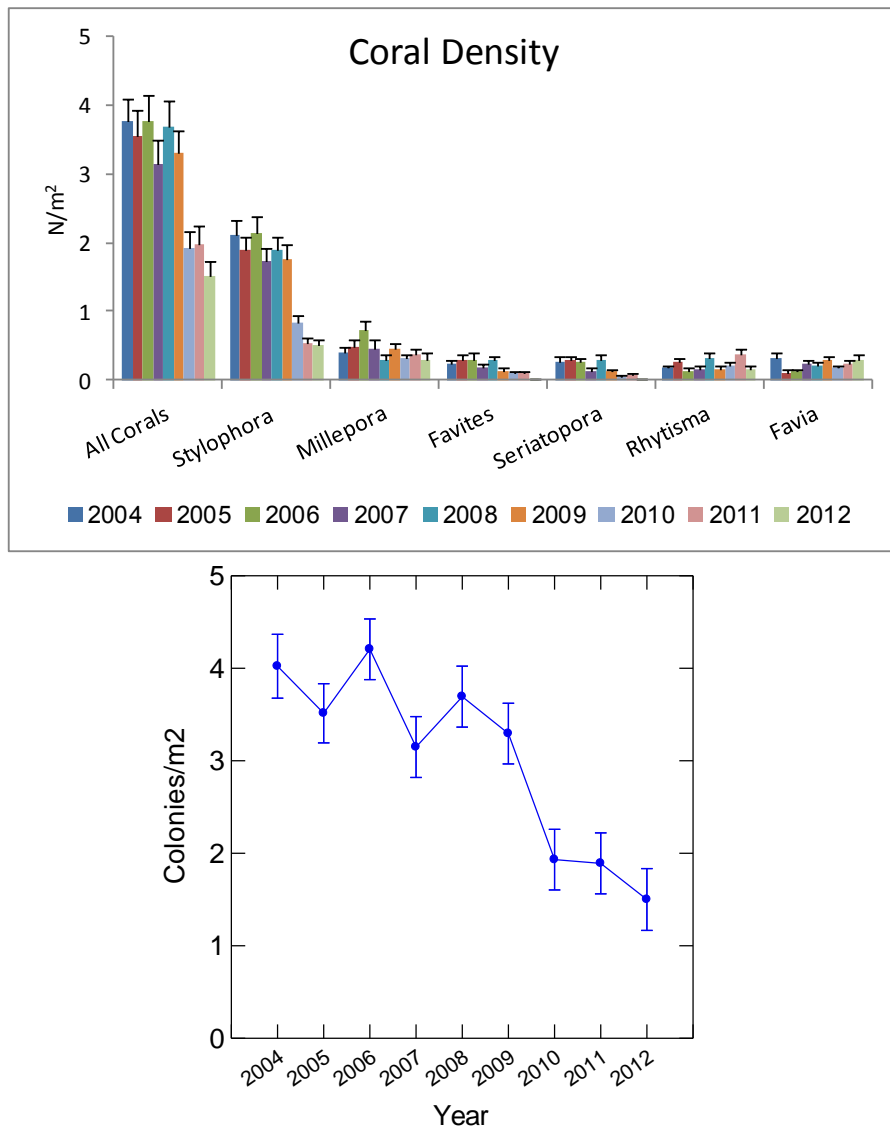
גם השנה נמשכה מגמת הירידה במספר מושבות האלמוגים בלגונה אשר החלה בשנת 2010. ב-98 הריבועים שנסקרו בלגונה נספרו השנה בסה"כ 158 127 מושבות של אלמוגי אבן (בשנה הקודמת נספרו 158 מושבות, ובשנת 2010, 168. לפני כן נספרו 310 (2009), 322 (2008) ו-288 (2007)). השנה נמצאו בלגונה 12 סוגים של אלמוגי אבן, לעומת השנתיים האחרונות בהן נמצאו 13 ו-14 בהתאמה. בנוסף, נספרו בשנה רק 20 מושבות של אלמוגים רכים מארבעה סוגים, לעומת 46 מושבות מ-4 סוגים בשנה הקודמת. הירידה הגדולה במספר המושבות ניכרת בעיקר באלמוג העיקרי בלגונה - *Stylophora pistillata* - אשר ממנו נספרו השנה 51 מושבות, בדומה לשנה הקודמת, בהשוואה ל-86 ו-178 בשנים 2010 ו-2009, בהתאמה.

בשנים האחרונות ירדה צפיפות מושבות האלמוגים בלגונה לכדי מחצית מהצפיפות שתועדה בשנות הניטור הראשונות (איור ב33). הירידה העיקרית בצפיפות האלמוג הנפוץ ביותר, *Stylophora*, ממנו נספרו השנה פחות משליש מספר המושבות שנמצאו בשנת 2009. ירידה זו בשיפעת האלמוג העיקרי בלגונה משפיעה, כמובן, על סך צפיפות האלמוגים. בד בבד, ירדה תפוצתו היחסית של האלמוג מ-50-

60% בשנות הניטור הראשונות לכ-35% השנה (בשנה הקודמת היווה האלמוג 27% בלבד מסך מושבות האלמוגים, קשים ורכים, בלגונה). הירידה הגדולה בצפיפות מושבות האלמוגים בלגונה הינה מובהקת (מבחן ANOVA).

צפיפות האלמוגים הממוצעת בלגונה השנה עמדה על 1.5 מושבות אלמוגים ביחידת דיגום (=מטר רבוע), ירידה נוספת בהשוואה לשנתיים האחרונות (~1.9). בשנים 2004-2009 הייתה צפיפות המושבות הכללית גבוהה מ-3.

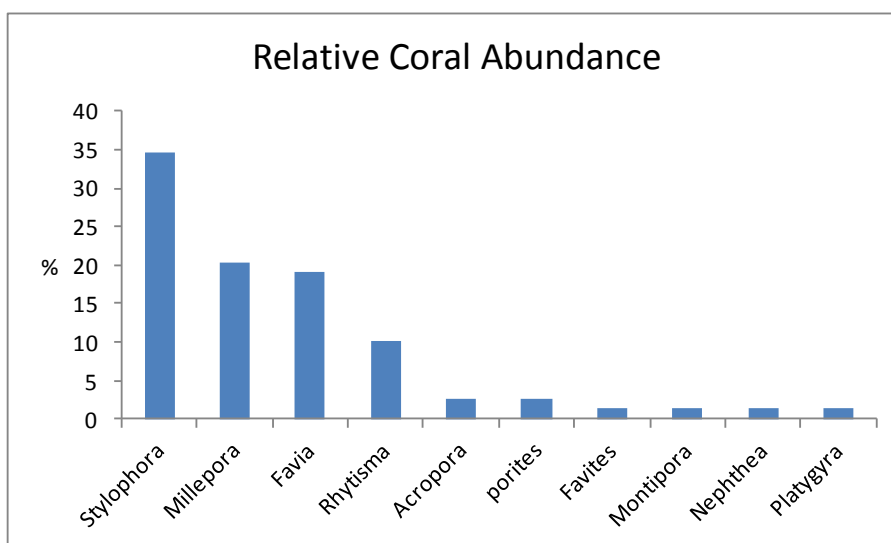
צפיפות מושבות של אלמוגי אבן עמדה השנה על 1.3 מושבות למטר רבוע (1.56 בשנה הקודמת ו-3.04 בשנת 2009).



איור ב33: השוואת הצפיפות הממוצעת (מושבות למטר רבוע) של האלמוגים העיקריים בלגונה בשנים 2004 - 2011. למעלה - לפי סוגי האלמוגים העיקריים, למטה - ההבדלים בין השנים מובהקים (מבחן ANOVA).

**Figure B33: The average density (colonies/square meter) of the dominant coral genera found in the lagoon in 2004 - 2011. Top: the dominant coral taxa, bottom- year to year changes are statistically significant (ANOVA).**

שכיחות עשרה סוגי האלמוגים הנפוצים ביותר (מהווים כ-95% מכלל המושבות) נתונה באיור ב34, וטבלה ב6 מציגה את הנתונים עבור כלל אלמוגי הלגונה. התפלגות המינים בלגונה נשארה דומה בין השנים עם הבדלים קלים, האלמוג *Stylophora pistillata* עדיין הנפוץ ביותר בלגונה אם כי כבר אינו דומיננטי כשהיה.



איור ב34: השכיחות היחסית (באחוזים, על פי מספר המושבות) של עשרה סוגי האלמוגים העיקריים בלגונה (מהווים 95% מכלל האלמוגים).

Figure B34: Relative abundance (by colony number) of the 10 most abundant coral genera in the lagoon (these total 95%).

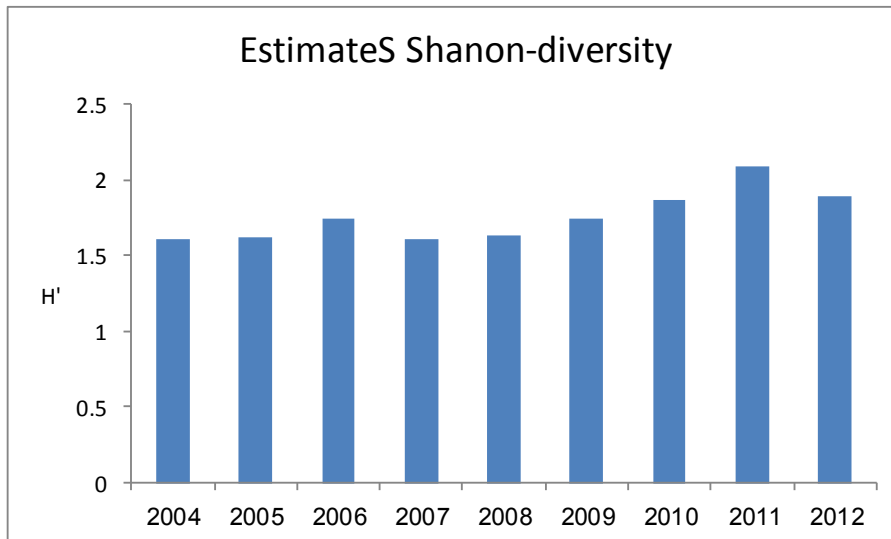
Species	N	Relative abundance (%)	N/m <sup>2</sup>
<i>Stylophora</i>	51	34.69	0.52
<i>Millepora</i>	30	20.41	0.31
<i>Favia</i>	28	19.05	0.29
<i>Rhytisma</i>	15	10.20	0.15
<i>Acropora</i>	4	2.72	0.04
<i>porites</i>	4	2.72	0.04
<i>Favites</i>	2	1.36	0.02
<i>Montipora</i>	2	1.36	0.02
<i>Nephthea</i>	2	1.36	0.02
<i>Platygyra</i>	2	1.36	0.02
<i>Sinularia</i>	2	1.36	0.02
<i>Galxea</i>	1	0.68	0.01
<i>Goniastrea</i>	1	0.68	0.01
<i>Lobophyllia</i>	1	0.68	0.01
<i>Seriatopora</i>	1	0.68	0.01
<i>Xenia</i>	1	0.68	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.

השנה ירד ערכו של מדד Shannon-Wiener למגוון המינים וערכו עומד על 1.89, דומה יותר לערך המדד בשנים 2009-10 (איור ב35). אולי מכיוון שהשנה לא נראתה ירידה גדולה דווקא בצפיפות האלמוג *Stylophora*. השינויים במדד המגוון נובעים במידה רבה מהירידה במספר מושבות המין הדומיננטי בלגונה, האלמוג *Stylophora*, כמו גם העובדה שהשנה נספרו מספר קטן יותר של סוגי אלמוגים בלגונה (16 לעומת 17 בשנה הקודמת).





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

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

#### דיון ומסקנות

עד לשנים האחרונות הייתה חברת האלמוגים בלגונה יציבה למדי. החל משנת 2010 נמצאה ירידה חדה בצפיפות האלמוגים בכלל, וצפיפות האלמוג הדומיננטי *Stylophora pistillata* בפרט. בהיות האלמוג *Stylophora* נפוץ בהרבה משאר המינים בלגונה, תנודות באוכלוסייתו מכתיבות את השינויים הנצפים בחברת הלגונה בכלל, וכך גם את ערך המדד למגוון המינים. יתכן כי הירידה הניכרת בצפיפות האלמוגים בלגונה נגרמה עקב סערות דרומיות חזקות שפגעו בשנים 2010-2011 בכל האזורים הרדודים מ-4 מטרים לאורך חלקו הצפוני של המפרץ. השנה היו הסערות מועטות וחלשות ולא נמצא שינוי בצפיפות האלמוג *Stylophora pistillata*.

על סמך ניסיוננו בלגונה הירידה במספר המושבות בכלל ומושבות *Stylophora* בפרט מהווה חריגה מהמצב "הרגיל" ולא ברור אם חריגה זו "טובה". יחד עם זאת, אוכלוסיית האלמוג *Stylophora* ידעה תנודות רבות במשך השנים (הקודמות לשנות פעילותה של תכנית הניטור) והתאוששה כעבור זמן. משך הזמן בו פועלת תכנית הניטור (9 שנים) עדיין אינו מספיק על מנת לעמוד על תנודות אלו או על זמן המחזור האופייני להן. לא ידוע לנו על גורמים מזיקים, מלבד הסערות הדרומיות החזקות, אשר עשויים היו להשפיע על אוכלוסיית האלמוגים בלגונה בשנים האחרונות. לסערות דרומיות השפעה ניכרת בלגונה, ועלינו להמשיך ולעקוב אחר שינויים בחברת האלמוגים בלגונה.

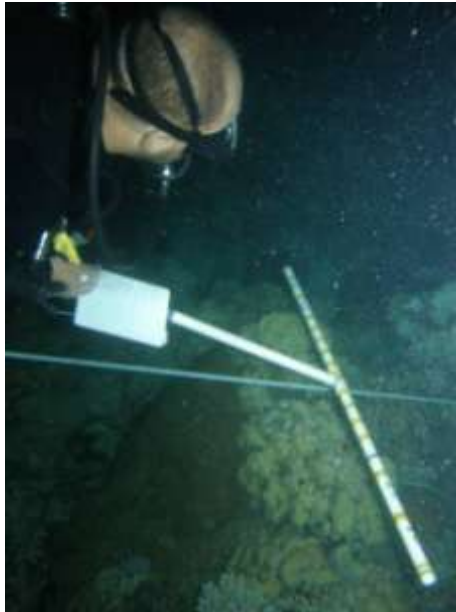
## ב.4. סקר חסרי חוליות

### מטרה

אמזן שיפעת חסרי החוליות הניידים העיקריים בשונית האלמוגים בחוף הדרומי.

### שיטות

סקר חסרי החוליות הניידים נערך בשעות הלילה, מכיוון שבשעות היום מרבית חסרי החוליות 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 חתכי-רצועה (belt-transect) לעומת ריבועי דיגום (quadrates) סדורים בשנים 2004-2005. חתכי 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 ב36). בשיטה זו ניתן לכסות שטח גדול ביעילות רבה, ובמקרה זה את מרבית שטחו של כל אתר לאורך קו העומק הנבחר, עובדה בעלת חשיבות עקב מספרם הקטן של חסרי החוליות. מירב השטח באתר נסקר לאורך קו העומק המבוקש לקבלת ספירה מדויקת ככל האפשר, אולם אבדה יכולת ההערכה של פרמטרים סטטיסטיים התלויים בחזרות של יחידות מדידה קטנות הדוגמות את האתר. הפרטים הנספרים, חסרי החוליות הניידים (קווצי עור ורכיכות), מסווגים לפי סוג או משפחה.



איור ב36: 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 B36: 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

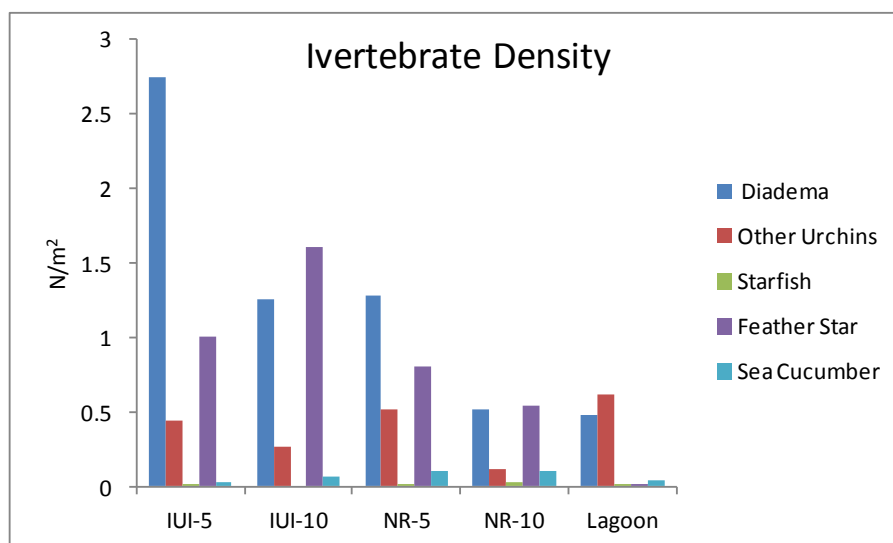
1600 מטרים רבועים נסקרו השנה בכל האתרים (5-IUI ו-10, 5-NR ו-10, ובלגונת שמורת חוף אלמוג). התפלגות מספר הפריטים לפי סוגים בכל האתרים נתונה בטבלה ב7.

	IUI-5		IUI-10		NR-5		NR-10		Lagoon	
	Density	Number	Density	Number	Density	Number	Density	Number	Density	Number
Diadema	2.75	550	1.26	251	1.28	512	0.52	209	0.48	190
Other Urchins	0.44	88	0.27	53	0.52	207	0.11	45	0.62	246
Total Urchins	3.19	638	1.52	304	1.80	719	0.64	254	1.09	436
Starfish	0.02	4	0.00	0	0.01	3	0.03	13	0.00	1
Feather star	1.01	201	1.61	322	0.81	322	0.54	217	0.02	8
Sea Cucumber	0.04	7	0.07	13	0.11	44	0.11	44	0.05	19
M <sup>2</sup> surveyed	200		200		400		400		400	

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

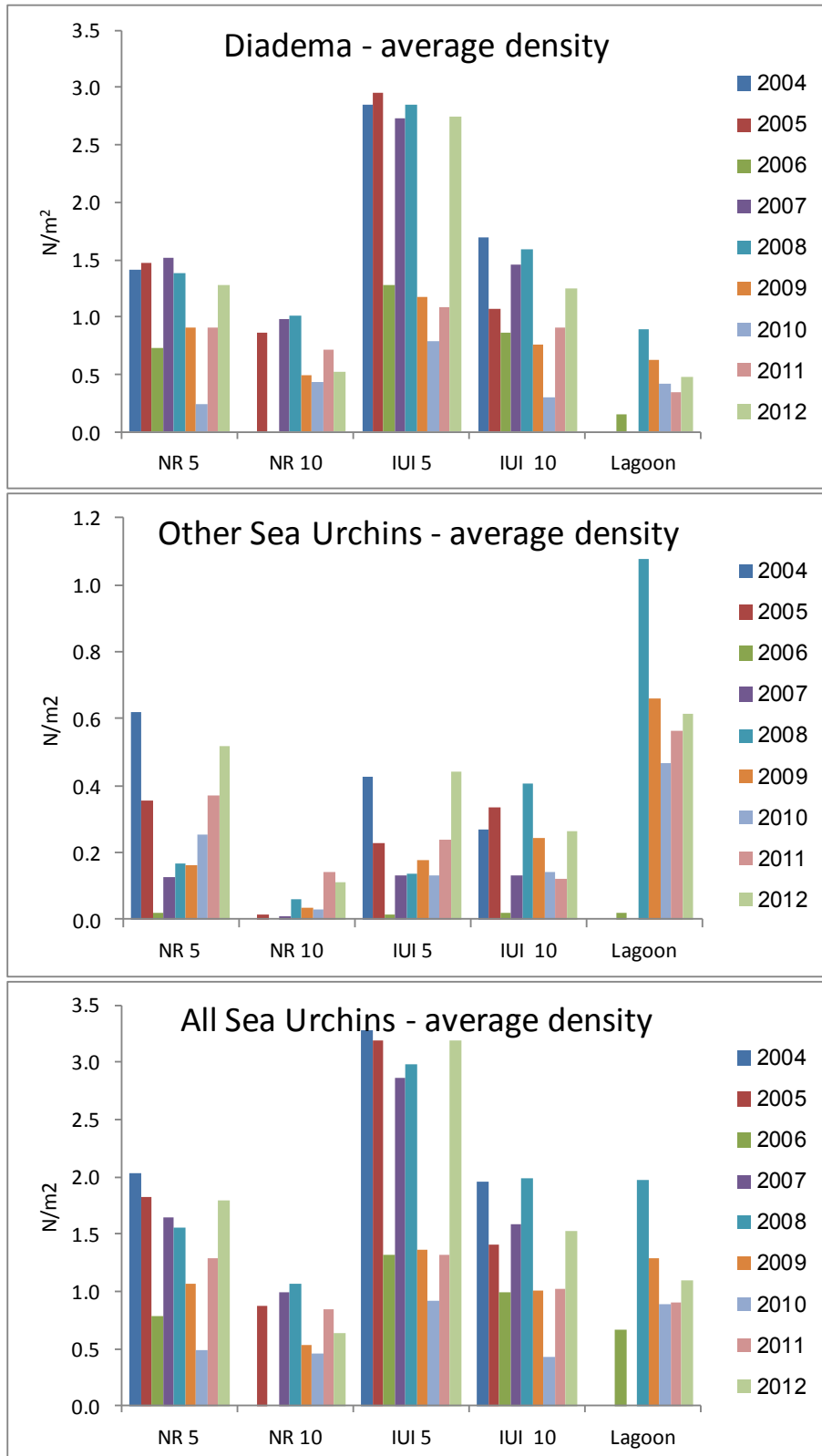
**Table B7: Total abundance and average density (number per 1m<sup>2</sup>) of mobile invertebrates at the monitored sites.**

קבוצת הרועים החשובה ביותר בשונית מבין חסרי החוליות היא קיפודי הים, ומתוכה המין הנפוץ ביותר הוא *Diadema setosum* (איור ב36). הלגונה היא האתר היחיד בו נמצאו (במשולב) יותר פרטים של קיפודי ים מסוגים אחרים.



**איור ב36: הצפיפות הממוצעת (פרטים למ"ר) של חסרי חוליות ניידים באתרי הניטור בשנה הנוכחית.**  
**Figure B36: This year's average density (per m<sup>2</sup>) of mobile invertebrates at the sampling sites.**

הצפיפות הגדולה ביותר של קיפודי ים מכל הסוגים נמצאה באתר 5-IUI (צפיפות דומה נמצאה גם באתר 5-NR), שם נמצאה גם הצפיפות הגדולה ביותר של קיפודים מסוג *Diadema setosum*. הקיפוד השני הנפוץ ביותר השנה הוא הקיפוד מסוג *Echinometra mataei*. לאחר שבשנים 2009-2011 נצפתה צפיפות נמוכה של קיפודי ים באתרים הנסקרים, השנה מתועדת עלייה חדה בצפיפות הקיפודים בכל באתרים מלבד 10-NR. באתרי IUI ובאתר השמורה הרדוד הצפיפות כבר דומה לצפיפות הקיפודים בשנות הניטור הראשונות (איור ב37). השינויים בצפיפות קיפודי הים משקפים, כנראה, מחזורים טבעיים בגודל האוכלוסייה, או השפעות סביבתיות מחזוריות.

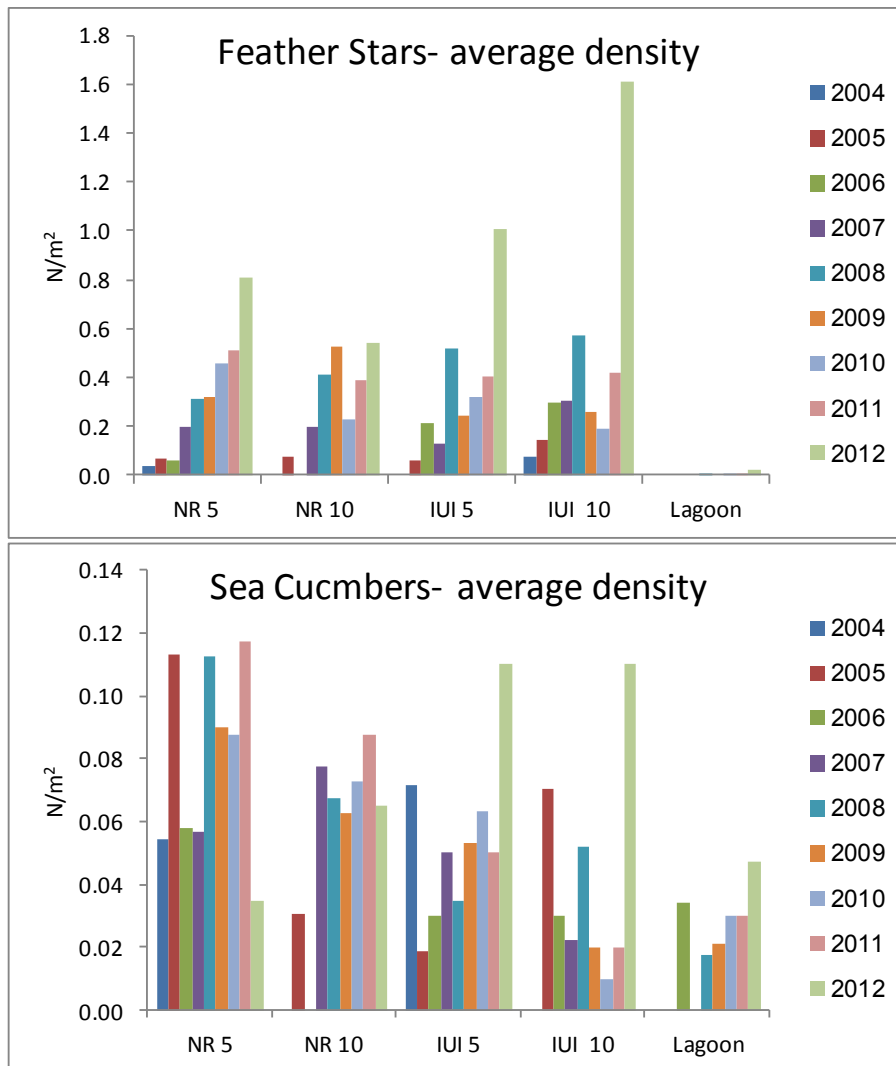


איור ב37: הצפיפות הממוצעת (פרטים למ"ר) של קיפודי הים *Diadema setosum* (למעלה) של קיפודי ים אחרים (באמצע) ושל קיפודי הים מכל המינים (למטה) באתרי הניטור.

**Figure B37: The average density (individuals per m<sup>2</sup>) of *Diadema setosum* (top) other urchins (middle) and all sea urchins (bottom) at the sampling sites.**

בצפיפות חבצלות הים נמצאה גם השנה עלייה בכל האתרים. בסך הכל אוכלוסיית חבצלות הים

גדולה משמעותית משהייתה בשנות הניטור הראשונות (איור ב38 למעלה). באוכלוסיית מלפפוני הים הייתה השנה ירידה בצפיפות באתרי קדמת השונית בשמורת חוף אלמוג, ועליה קלה באתרי המעבדה הימית (איור ב38 למטה). בלגונה כמעט ואין חבצלות ים, וגודל אוכלוסיית מלפפוני הים עלתה מעט בהשוואה לשנה הקודמת.



איור ב38: הצפיפות הממוצעת (פרטים למ"ר) של חבצלות ים (למעלה) ומלפפוני ים (למטה) באתרי הניטור.  
**Figure B38: The average density (per m<sup>2</sup>) of feather-stars (top) and Sea Cucumbers (bottom) at the sampling sites.**

## ב.5. קצב גידול מאקרו-אצות בשונית

### מטרה

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

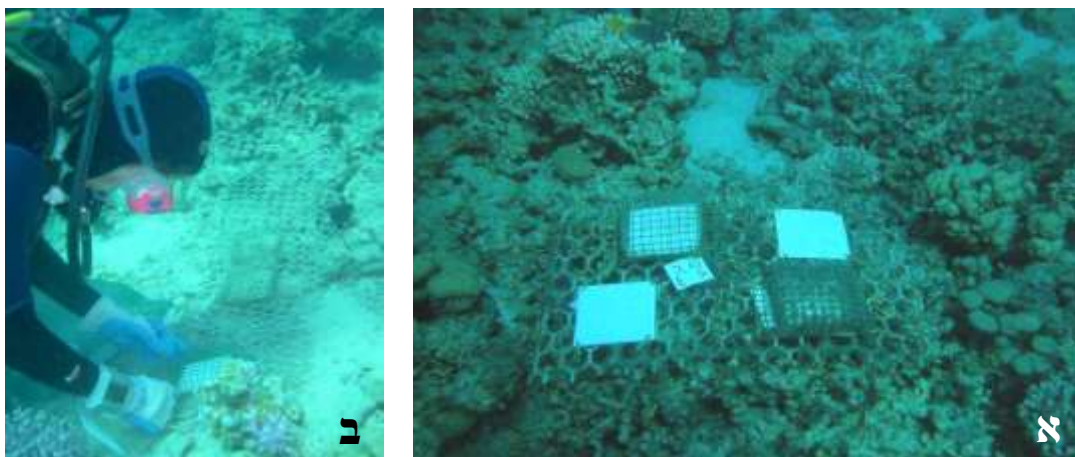
### שיטות

ששה מערכים של שתי 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 ב39). 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 השעות 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 הפוטוסינתטיים המשמשים לאומדן מסת האצות. עצמת בליעת האור באורכי הגל המתאימים לפיגמנטים הפוטוסינתטיים (E664, E647, E630) נמדדת ב-Spectrophotometer ומשמשת לחישוב כמות ה-*chlorophyll a*, הפיגמנט העיקרי באצות אלה, בעזרת המשוואה:

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

הלוחיות המוגנות על ידי כלובי המתכת משמשות לאומדן כמות האצות הפוטנציאלית, בכך שהכלובים מונעים רעייה של דגים, קיפודי ים, וחלזונות גדולים שהם הצרכנים העיקריים של אצות אלה. פוטנציאל הגידול של אצות נשלט במידה רבה על ידי זמינות חומרי המזון (בוטריינטים) 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 חודש. בכל המקרים בהם מופיעים קווי שגיאה, הם מייצגים את שגיאת התקן (Error bars represent the standard error).



איור ב39: (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 B39: 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

ערכי *chlorophyll-a* על גבי לוחיות מול המעבדה היו בחורף השנה גבוהים משמעותית מאשר בשלוש השנים האחרונות, והיו נמוכים אך במעט מאלו של שנת 2008 וגבוהים מערכי הכלורופיל בשנת 2007 (איור ב14). הדבר בולט במיוחד בערכים הנמדדים מלוחיות מוגנות ומשקף פריחה חזקה המונעת מערבוב עמוק של עמודת המים, בדומה לשנים 8-2007. השנה הגיע הערבוב לעומק של כ-860 מ' לפחות, ופריחת החורף הייתה חזקה בהתאם – עדות לקשר ההדוק בין נוטריינטים בעומק, ערבוב, ופריחת אצות ישיבות על גבי מדרונות השונית.

פוטנציאל גידול האצות כפי שנאמד על סמך ריכוז הכלורופיל על גבי לוחיות מוגנות מרעה היה גבוה בחודשי החורף בתחילת השנה ובחודש אוקטובר, בסופה. הריכוז הגבוה ביותר אשר נמדד השנה על גבי לוחיות מוגנות מרעה היה  $6.10 \text{ mg/cm}^2$  בחודש פברואר, יותר מכפול הריכוז אשר נמדד בשנה הקודמת (ערך המרבי  $2.71 \text{ mg/cm}^2$  בחודשים ספטמבר ודצמבר, לקראת החורף של השנה). הערך הגבוה ביותר של ריכוז כלורופיל על גבי לוחיות מוגנות אשר נמדד על ידי תכנית הניטור מול המעבדה היה  $7.99 \text{ mg/cm}^2$ , בינואר 2008. השנה גם תועדה פריחת אצות חזקה על המדרונות הרדודים, עד לעומק של כ-30 מטרים (איור ב40).

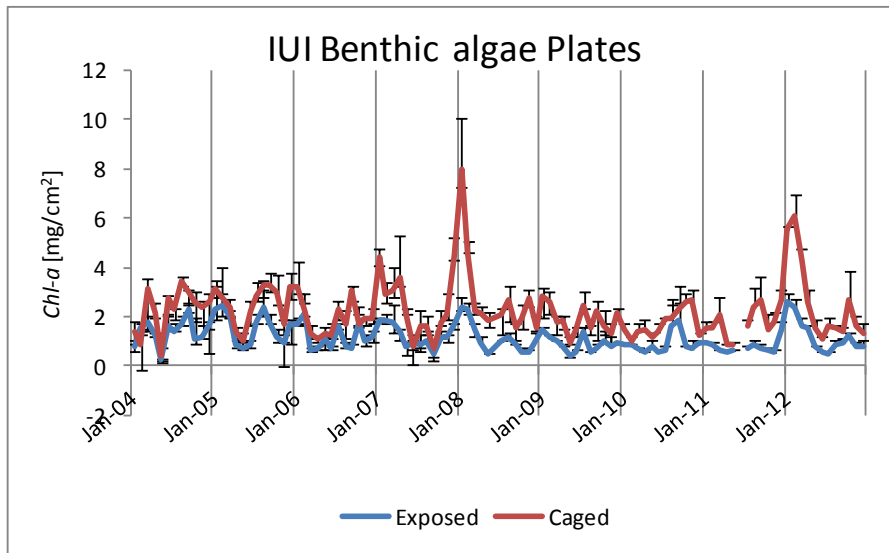


איור ב40: פריחת אצות צמודות מצע במדרון השונית באפריל 2012, באזור "המערות" בחוף הדרומי של אילת. צילום: אירנה קולסניקוב

**Figure B40: Benthic algae cover the reef slopes of the southern coast of Eilat in April 2012. Photo: Irena Kolesnikov**

גידול אצות בשונית בפועל נאמד על ידי ריכוז הכלורופיל על גבי לוחיות חשופות לרעייה. ריכוזי הכלורופיל על גבי לוחיות חשופות לרעה היו אף הם גבוהים מעט מהריכוזים אשר נמדדו בשנים האחרונות, אולם גם בחודשי הפריחה היו כמחצית מאלו של הלוחיות המוגנות. הריכוז המרבי שנמדד השנה, בחודש ינואר, הוא  $2.64 \text{ mg/cm}^2$ . בשנת 2008 בה הייתה פריחה חזקה של אצות היה ריכוז הכלורופיל על לוחיות חשופות  $2.36 \text{ mg/cm}^2$  בחודש ינואר, ערך נמוך מעט מאשר השנה. נראה כי ישנו הפרש זמן מסוים בין התחלת הפריחה לשיא יכולת הרעייה (ריכוז הכלורופיל על גבי לוחיות חשופות היה גבוה בחודש ינואר מאשר בפברואר), ועוד נראה כי תמיד נשאר כמות אצות מזערית אשר הרועים אינם מסוגלים לנצל. המסקנה הזו תואמת גם לממצאים ממחקר ממוקד על רעייה בשונית אשר נתמך על ידי תוכנית הניטור ופורסם כנספח בדו"ח המדעי לשנת 2007.

לאור השינויים הגדולים אשר נמדדו בסקר קיפודי הים בשנים האחרונות (תת-פרק ב.4 למעלה) יתכן כי התפתחות אוכלוסיית הקיפודים בשונית מוגבלת על ידי כמות האצות הישיבות.

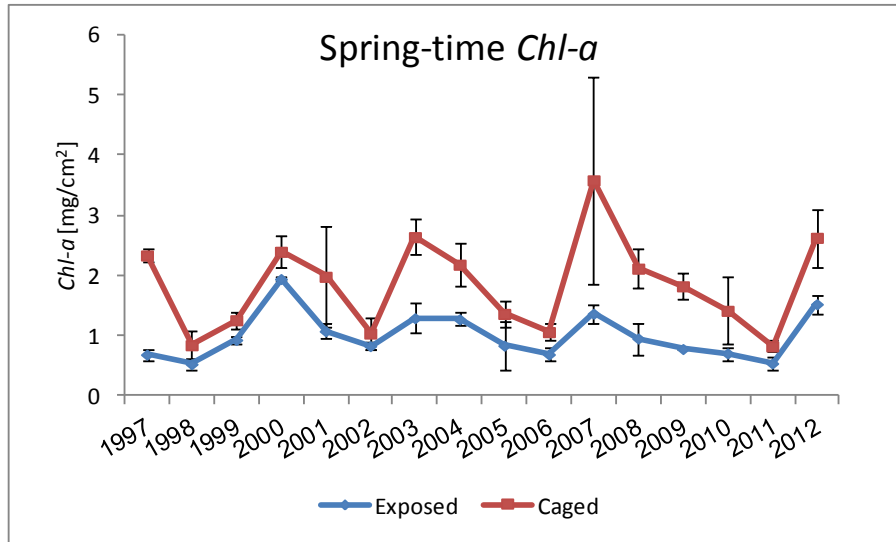


איור ב41: ממוצע כמות Chlorophyll a ע"ג לוחית חשופות ומוגנות בכלובים מאז 2004. כל נקודה מייצגת חודש אחד (מחושבת על-פי שלוש לוחיות ששהו בים חודשיים).

**Figure B41: 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).**

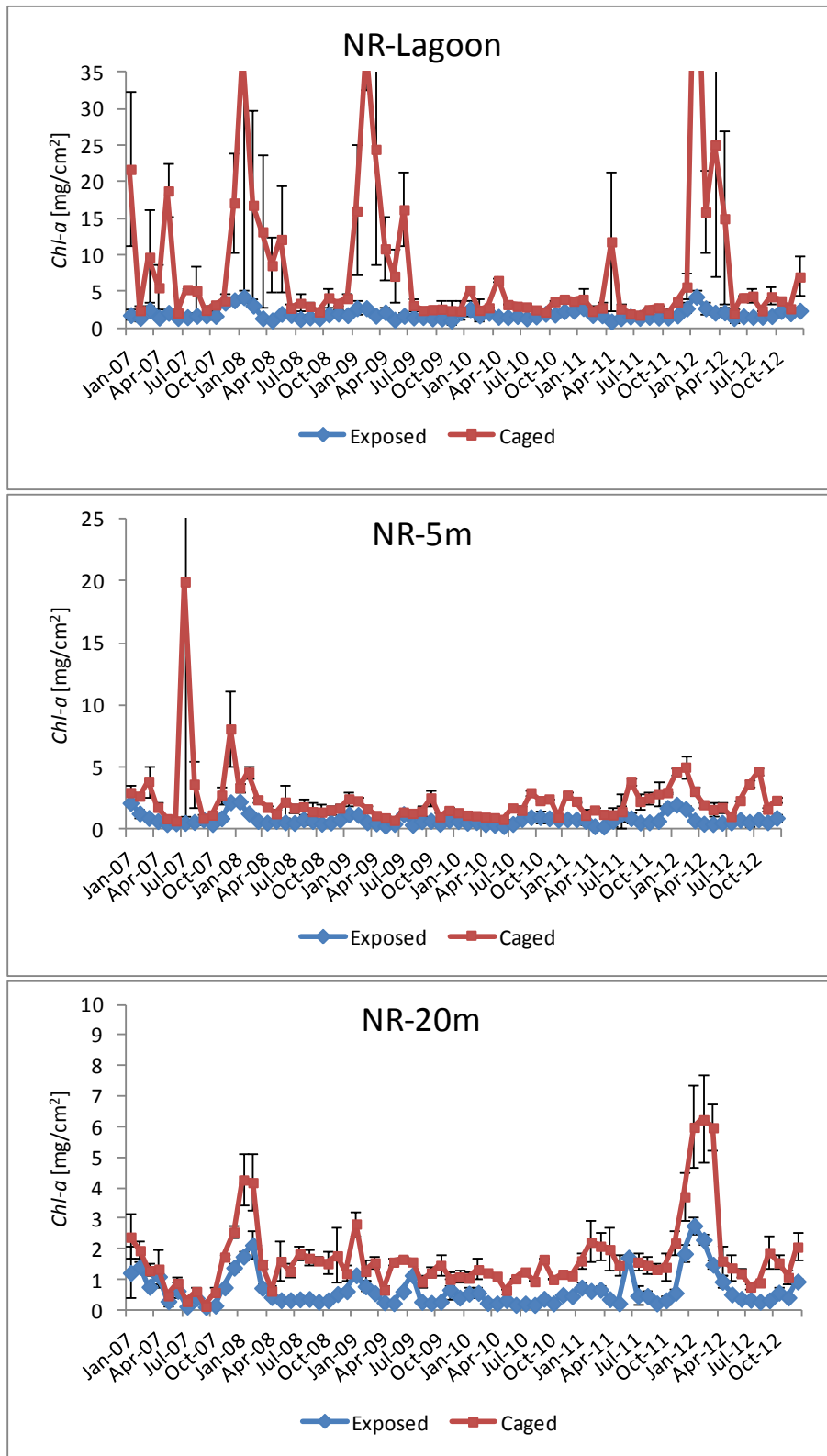
מול המעבדה מתנהל מעקב רב-שנים אחר כמות הכלורופיל על גבי לוחיות ששהו במים משך חודשיים באביב (מרץ-אפריל) ובו נצפים שינויים גדולים משנה לשנה בפוטנציאל גידול האצות בשונית בעונה זו (איור ב42). ישנה מחזוריות בפוטנציאל הגידול של אצות (לוחות מוגנות מרעיה) אולם זו אינה סדורה. השנה היה פוטנציאל הגידול באביב גבוה בהתאם לכך שעומק הערבוב היה עמוק. פוטנציאל הגידול השנה  $(2.62 \text{ mg/cm}^2)$  היה פי שלושה גבוה מאשר בשנה הקודמת  $(0.82 \text{ mg/cm}^2)$ . בהשוואה זו נראה כי כמות הכלורופיל בשנת 2007 הייתה גבוהה מכמות הכלורופיל שנמדדה בעונה זו בכל השנים האחרות מאז 1997. ריכוזים גבוהים במיוחד נמדדו גם בשנים 2000 ו-2003 ומצביעים על עומק הערבוב כגורם מרכזי המשפיע על פריחת האצות. השנה שוב היינו עדים לערבוב עמוק ולפריחת אצות חזקה. 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 לכך שהרעייה יעילה ביותר בווסות 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 מבירידה בלחצי הרעייה לגרם אצה בשלב בו האצות גדלות במהירות. בסיכומו של דבר נראה כי לאוכלוסיית הרועים הקיימת נדרש זמן להתגבר על עלייה בשיפעת האצות בשנים בהן פוטנציאל הגידול גבוה.





**איור ב42: 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 B42: 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.**

מאז שנת 2007 נמדדת התיישבות אצות צמודות-מצע בחלקה הדרומי של שמורת חוף אלמוג, בשלושה עומקים המייצגים שלוש סביבות שונות (איור ב43). 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, והקרע 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 הדיגום (שגיאות תקן גדולות). שגיאות אלה מקשות על ניתוח התוצאות, אך למרות זאת אין ספק כי פוטנציאל הגידול בלגונה עשוי להיות גבוה בסדר גודל מזה שבעומקים גדולים יותר. על גבי הלוחיות החשופות בלגונה, לעומת זאת, 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 שתי פריחת עונתיות: פריחת חורף (ערכים גבוהים ביותר, בחודש פברואר) ופריחת אביב. השנה היה פוטנציאל גידול האצות בלגונה גבוה במיוחד, וערכים גבוהים נמדדו מחודש ינואר ועד לחודש אפריל. הערך הגבוה ביותר נמדד בחודש ינואר,  $60.46 \text{ mg/cm}^2$ , פי חמש מאשר בשנה הקודמת. מערכי הלוחיות בעומק 5 מ' מוצבים על גבי סלע שונית המונע כיסוי בחול. גם כאן נמצאו חודשים בהם אחד הכלובים המגינים על הלוחיות מרעייה התמלא לגמרי באצות. במקרים אלה התקבלו ערכי כלורופיל גבוהים מאד – ושגיאות תקן גדולות. ריכוז הכלורופיל הגבוה ביותר באתר זה מאז תחילת הניטור נמדד בקיץ 2007. כפי שנמצא במדרון מול המעבדה, ריכוזי הכלורופיל בקדמת השונית בשמורה בשנים 2007 ו-2008 היו הגבוהים ביותר בתקופה המנוטרת, והריכוזים המרביים השנה היו מעט נמוכים יותר. השנה פוטנציאל גידול האצות המוערך בשמורה בעומק 5 מטרים היה  $5.02 \text{ mg/cm}^2$  בחודש פברואר, וערך דומה,  $4.69 \text{ mg/cm}^2$ , בחודש אוקטובר. 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, עם שיאים בעיקר בחורף. השנה נמדדו על גבי הלוחיות המוגנות ערכים גבוהים, סביב  $6 \text{ mg/cm}^2$ , בחודשים ינואר-מרץ. ערכים אלה הם הגבוהים ביותר אשר נמדדו בעומק זה במסגרת תכנית הניטור, גבוהים גם מערכי 2007-8. גם בעומק 20 מ' פעילות הרועים מורידה ביעילות את ריכוז הכלורופיל על גבי הלוחיות החשופות, והריכוז המרבי היה פחות מחצי הריכוז הפוטנציאלי גם בחודשי החורף.



איור ב43: 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 B43: 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.**

## ב.6. סקר דגי השונית

### מטרה

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

### שיטות

דגי השונית נסקרו בחלקה הדרומי של שמורת חוף אלמוג, "הגנים היפנים", באזור קדמת השונית בעומקים 5-8 מטרים. תדירות הסקר אחת לשנה, בתקופת הקיץ. מתוך כלל אוכלוסיית הדגים נבחרו 32 סוגים על סמך שני שיקולים: (1) דגים עיקריים (2) סוגים מייצגים של קבוצות פונקציונאליות בשונית. הבחירה נעשתה על סמך הניסיון המצטבר בשונית אילת (Khalaf et al., 2003) ובעצה אחת עם ד"ר ערן ברוקוביץ. אוכלוסיות היעד חולקו לשני חלקים: דגים החיים בעמודת המים (השוחים בעמודת המים ואינם צמודים למושבת אלמוגים זו או אחרת) ודגים מוצנעים (cryptic) שוכני קרקעית (רובם שוהים דרך קבע בין ענפי אלמוגים). הדגים נספרו בסדרה של מנסרות ישרות בעלות בסיס מלבני ברוחב 1 מ' ובאורך 7 מ' ונפח הכולל את עמודת המים בין הבסיס ופני הים. בכל פעם נדגם מערך סדור אשר מיקומו נבחר באופן שרירותי: סדרה של מנסרות סמוכות המופרדות 3 מ' זו מזו לאורך סרט מדידה. מימדי המנסרה נקבעו על פי שיקולים של טווח ראייה: על הצולל להיות מסוגל לראות את כל נפח המנסרה בבת אחת, המרחק בין מנסרות נועד לאפשר עבודה בטוחה בצלילה – קשר עין בין דוגמים. יחידות הדיגום 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 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 לאזורי דיגום מתרחקים הצוללים מרצועות הדיגום וממתנינים 5 דקות לאפשר חזרת הדגים לפעילות רגילה. לאחר פרק זמן זה מתחילה ספירת הדגים שוכני עמודת המים אשר עוברים בנפח המנסרה במשך עשר הדקות הבאות. לאחר ספירת דגים אלו במשך עשר דקות, נספרים הדגים שוכני הקרקעית המאכלסים את מושבות האלמוגים בתחומי בסיס המנסרה. יחד איתם נספרות מושבות האלמוגים המאוכלסות והמושבות הריקות.

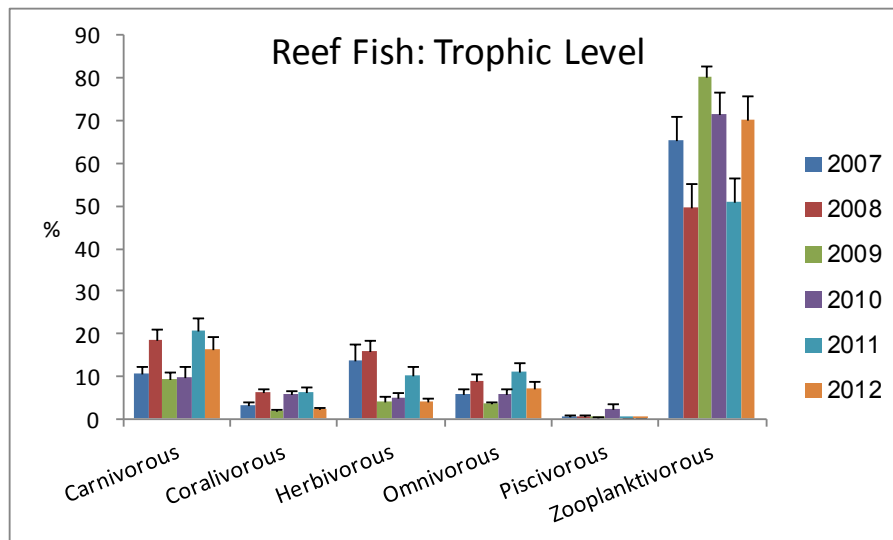
### תוצאות

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. יחד עם זאת הבדלים גדולים בכמות הנתונים אשר נאספה בכל שנה ושונות מובנית מאופי הדגימה מקשים על קבלת מסקנות סטטיסטיות. בשנה הנוכחית נדגמו 25 יחידות של 7X 7X1 מטרים (עומק המים) 10X דקות (עבור דגים פלגים). בסך הכל נספרו השנה 2963 פרטים, פי 1.5 יותר מאשר בשנה הקודמת. בשנת 2009 נספרו 7289, אולם תוצאה זו נובעת בעיקרה מספירת להקות גדולות של דגים נודדים ממין *Atherinomorus lacunostus*. דגים אלה לא נספרו בשנים האחרות (כולל השנה) מכיוון שהדגים נודדים בלהקות ענק (אשר מיקומן אינו קבוע) המטות את הספירה על ידי הימצאותן או העדרן בזמן הסקר. מדגם הדגים כלל 834 דגים מעמודת המים ו-2111 דגים שוכני קרקעית המשוייכים לאלמוגים ביחידות הדיגום. בהשוואה לשנים הקודמות – הספירות השנה דומות יותר לאלו של שנת 2010, בה נספרו 2819 דגים שוכני קרקעית, בשנה הקודמת לעומת זו נמצא מיעוט של דגים "קריפטים", 1150 בלבד. יש להזכיר כי רבים מדגים אלה 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. יחד עם זאת, המדגם השנה כלל כמחצית מושבות האלמוגים שהיו בשנה הקודמת: 57 אלמוגים מאוכלסים ו-67 אלמוגים לא-מאוכלסים. לאור זאת, המספר הגדול של הדגים ה"קריפטים" מרשים יותר.

קבוצת הדגים הזואופלנקטיבורים – הניזונים מזואופלנקטון בגוף המים – היא הגדולה ביותר מבין שוכני השונית, והיוותה כ-70% מכלל הדגים שנסקרו השנה (לעומת 51% בשנה הקודמת). אלו דגים קטנים יחסית הנעים בלהקות בהן מספר גדול של פריטים. נוכחות להקה אחת או יותר של דגים אלה

עשויה לשנות את משקלם הייצוגי אך תמיד נמצא מספר גדול של דגים אלה בשונית (איור ב44). דגים זואופלנקטיבורים מהווים חוליה חיונית במארג המזון ברכזם חמרי מזון מהרמות הנמוכות בגוף המים. הקבוצה השנייה בגודלה השנה (כ- 16%) היתה הדגים הטורפים (קרניבורים) דגים המוסתים את אוכלוסיית השונית – בעיקר חסרי חוליות. קבוצת הרועים (הרביבורים), וקבוצת אוכלי הכל (אומניבורים) מהוות כ-4% ו-7% בהתאמה, וקבוצת אוכלי האלמוגים (קורליבורים) היוותה השנה כ-2% בלבד מכלל הדגים שנסקרו.

לדגים הרועים תפקיד חשוב בויסות כמות האצות צמודות-המצע בשונית וכך הינם בעלי השפעה ניכרת על התיישבות אלמוגים ושגשוגם. נוכחותם מקצרת את "שרשרת המזון" במעבר אנרגיה ישיר מהיצרנים הראשוניים (אצות) לדגה. מכיוון שדגים רועים ניזונים ממאקרו-אצות (אצות בנתוניות, צמודות מצע), הם לרוב דגים גדולים (סיכנים, נתחנים, תוכיננים) ופעולתם (ביחד עם קבוצת הקורליבורים, אוכלי האלמוגים) עשויה גם היא לגרום לבלייה של המצע (קרקעית אלמוגים). קבוצת הדגים אוכלי הדגים (פיסקיבורים) מהווה חלק קטן מאוכלוסיית דגי השונית. חלוקת הדגים לפי הרמה הטروفית מאפשרת התייחסות למבנה החברה והשוואה בין השנים על אף הבדלים ניכרים בגודל המדגם, ומלמדת גם על התפקוד האקולוגי של דגי השונית. רשימת הדגים שנצפו בסקר, הקבוצה הטروفית לה הם משתייכים ושכיחותם בסקר השנה נתונה בטבלה ב8. בין השנים נשמר מבנה החברה המתואר למעלה.



איור ב44: התפלגות דגי השונית על פי הרמה הטروفית מאז שנת 2007.  
**Figure B44: Distribution of reef fish according to trophic level since 2007.**

Taxa	Dweller*	Tropic level**	Occurrence	
<i>Amphiprion</i>		Z	9	
<i>Chromis dimidiata</i>		Z	15	
<i>Chromis viridis</i>		Z	829	
<i>Dascyllus aruanus</i>		Z	3	
<i>Dascyllus marginatus</i>	Cryptic	Z	160	
Gobiidae/Blenniidae		C	35	
<i>Neopomacentrus miryae</i>		Z	552	
<i>Pomacentrus trichourus</i>		O	111	
<i>Pseudanthias squamipinnis</i>		Z	356	
Pseudochromidae		C	36	
Synodontidae		C	5	
Acanthuridae			H	33
Balistidae			C	32
<i>Bodianus</i> sp.			C	10
Caesionidae		Z	494	
Chaetodontidae		Co	43	
<i>Coris</i> sp.		C	10	
<i>Gomphosuse caeruleus</i>		C	3	
<i>Labroides dimidiatus</i>	Pelagic	C	10	
lethrinidae		C	3	
Mullidae		C	64	
Ostraciidae		C	3	
Pomacanthidae		C	1	
Scaridae		H	16	
Serranidae		C	3	
Tetraodontidae		C	2	
<i>Thalassoma</i> sp.		C	71	
<i>Variola louti</i>		P	3	
<i>Zebrasoma</i> sp.		H	33	
others				18
Total				2963

\* Cryptic - close to/hides within coral/rock  
Pelagic - away from coral/rock

\*\* C Carnivorous  
Co Coralivorous  
H Herbivorous  
O Omnivorous  
P Piscivorous  
Z Zooplanktivorous

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

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

## ג. ניטור הסביבה החופית

### ג.1. מי הים בקרבת החוף

#### מטרה

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

#### שיטות

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

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

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

**pH:** מדידה בעזרת אלקטרודת pH מזכוכית (combined pH electrode) דגם pHC2401-7 ומד pH דגם PHM 93 שניהם של חברת Radiometer Copenhagen. ערכי pH נמדדים בטמפרטורה קבועה של  $25^\circ\text{C}$ .

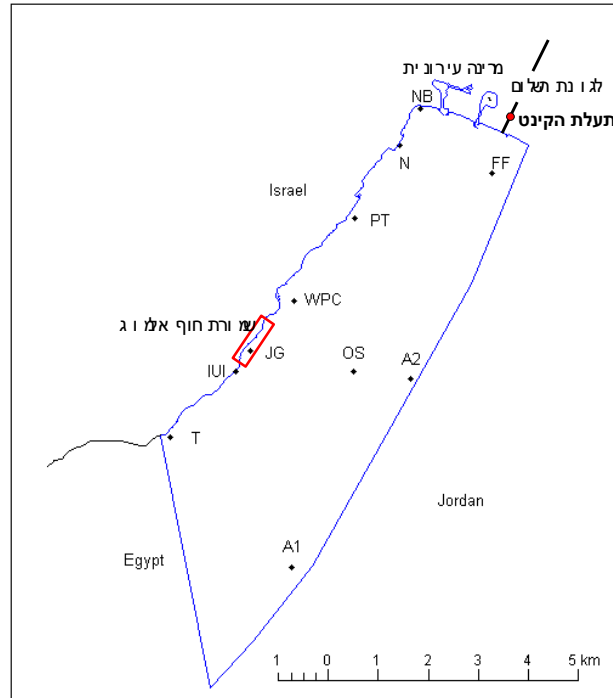
**מליחות:** מדידה במד מליחות מדגם Micro-Salinometer MS-310e של חברת RBR, קנדה. המדידה מבוססת על השראה מגנטית תוך השוואה של מוליכות הדגימה לזו של סטנדרט.

**נוטריינטים:**  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{Si}(\text{OH})_4$ ,  $\text{PO}_4$  נמדדים במכשיר QuikChem 8000 flow injection analyzer של חברת Lachat Instruments, Milwaukee, ארה"ב. המדידה מבוססת על תגובת צבע שיוצר כל אחד מהנוטריינטים עם הריאגנט הייחודי לו ליצירת קומפלקס צבע בעל אורך גל בתחום האור הנראה, הנקלט בספקטרופוטומטר של המכשיר.

**אלקליניות:** נקבעת ע"י טיטרציה Gran עם HCl בריכוז 0.05N המתבצעת באמצעות טיטרטור אוטומטי מדגם DL67 ואלקטרודת pH מזכוכית (combined pH electrode) דגם DG11 של חברת Mettler Toledo, שוויץ.

**כלורופיל:** המים מסוננים דרך פילטרים מסוג GFF. הפילטרים ממוצים באצטון 90% בחושך (במקרר  $4^\circ\text{C}$ ) 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.

**אמוניה:** אמוניה נמדדת באמצעות פלואורומטר DyNA Quant<sup>TM</sup> 2000 של חברת Hoefler לאחר הדגרת הדוגמאות בחושך בתוספת ריאגנט צבע המכיל orthophthaldialdehyde למשך 3 שעות.



איור ג1: מפת תחנות הדיגום במפרץ אילת.

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

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

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

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

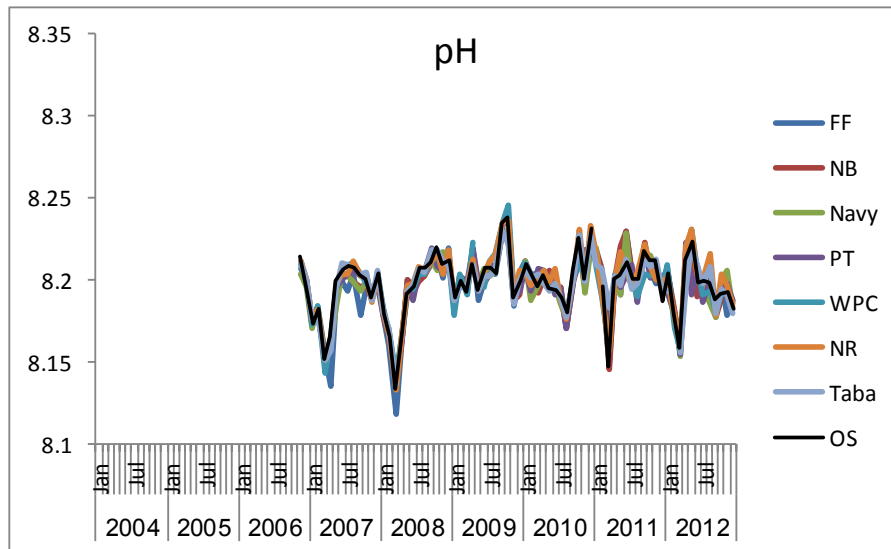
#### תוצאות

#### מדדים כימיים

#### רמת חומציות המים (pH)

**תזכורת:** עקב התיישנות תמיסות התייחסו אל כל ערכי pH אשר נמדדו במסגרת תכנית הניטור מאז חודש אוקטובר 2003 ועד לחודש נובמבר 2006 כחשודים ולא קבילים. הערכים המוצגים למטה מאז שנת 2007 הינם אמיתיים. הערכים הנמדדים מאז סוף 2006 דומים לערכים שנמדדו לפני אוקטובר 2003 ומעידים על כך כי לא ניתן לאבחן מגמה ארוכת טווח של שינוי בערכי pH (בניגוד לאמור בד"ח הניטור 2005, שם הוצגו מדידות שגויות).

ערכי ה-pH בחורף נמוכים, בדרך כלל, מאשר בקיץ. זהו מחזור עונתי בו ערכי pH גבוהים נמדדים בחודשי הקיץ והסתיו וערכים נמוכים יחסית נמדדים בחורף המערבב. ערכי ה-pH הגבוהים ביותר נמדדו השנה בחודש מאי, בשמורת חוף אלמוג (8.231) (איור 2ג). הערכים הנמוכים ביותר השנה נמדדו בחודש אפריל (מינימום 8.196 בטאבה). ערכים אלה דומים לערכים אשר נמדדו לאורך החוף בשנה הקודמת. גם השנה לא נצפה ערך מזערי דומה למדידות השנים 2007-8: 8.118 הוא הערך הנמוך ביותר שנמדד, בחודש מרץ 2008, במקום בו היו כלובי הדגים.



איור 2ג: ערכי pH חודשיים בכל תחנות הדיגום מאז אוקטובר 2006.

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

ערכי pH בים מושפעים ממגוון של תהליכים, אשר החשובים שבהם כוללים תהליכי נשימה-פוטוסינטזה, תהליכי שיחלוף גזים עם האטמוספירה, ותהליכי ערבוב של מי שטח עם מי עומק בהם ה-pH נמוך יותר. מחזור הערבוב צפוי להשפיע על כל גוף המים, בעוד יחס נשימה-פוטוסינטזה עשוי להשתנות גם באופן מקומי. המחזור השנתי של ערכי pH בכל תחנות המדידה מושפע קרוב לודאי על ידי מחזור הערבוב השנתי. בתקופת החורף מתערבבים מי השטח עם מים עמוקים בהם ה-pH נמוך כתוצאה מעודף נשימה על פוטוסינטזה. בעונת הקיץ המשוכבת 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 גם כן ערבוב עמוק, אולם ערכי ה-pH אשר נמדדו לא היו שונים מערכי השנה הקודמת, ובכל מקרה גבוהים מערכי שנות הערבוב הנ"ל.

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 אשר חווה כדור הארץ, והשפעה אפשרית של מגמה כזו על שוניות האלמוגים. ממדידות ה-pH הנעשות במסגרת תכנית הניטור מאז שנת 2007 לא ניתן לאבחן מגמה כזו.

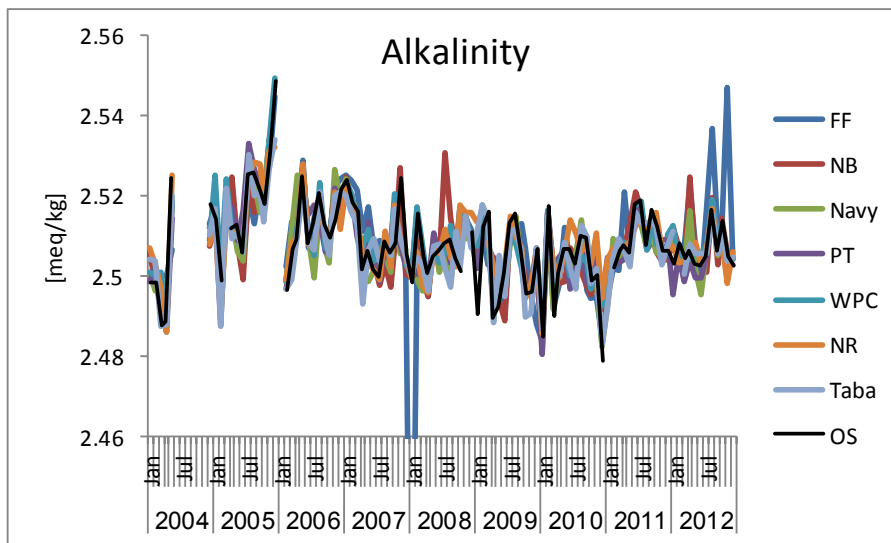
#### אלקליניות

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

השנה נמצא טווח גדול של ערכי אלקליניות בין התחנות החופיות באותו חודש, וחריגות מקומיות גדולות בהשוואה למדידות האלקליניות בים הפתוח (איור 3ג). בפרט גבוהים הערכים אשר נמדדו בתחנת "כלובי הדגים" בחודשים אוגוסט ונובמבר, וחריגות נוספות היו בתחנות החוף הצפוני וחיל היסמרידיאן בחודש אפריל. באופן כללי, היו ערכי האלקליניות השנה גבוהים יותר מאשר בשנים הקודמות, ובפרט לא



נמדדו הערכים הנמוכים אשר נמדדים לעיתים בחודשי החורף. בשנות הניטור לא ניתן לאבחן מחזוריות סדירה בערכי האלקליניות, או בתבנית ברורה בין התחנות. מגמת עלייה אשר הסתמנה בשנים 2004-5 לא נמשכה בשנת 2006, ומאז שנת 2007 ערכי האלקליניות די יציבים.



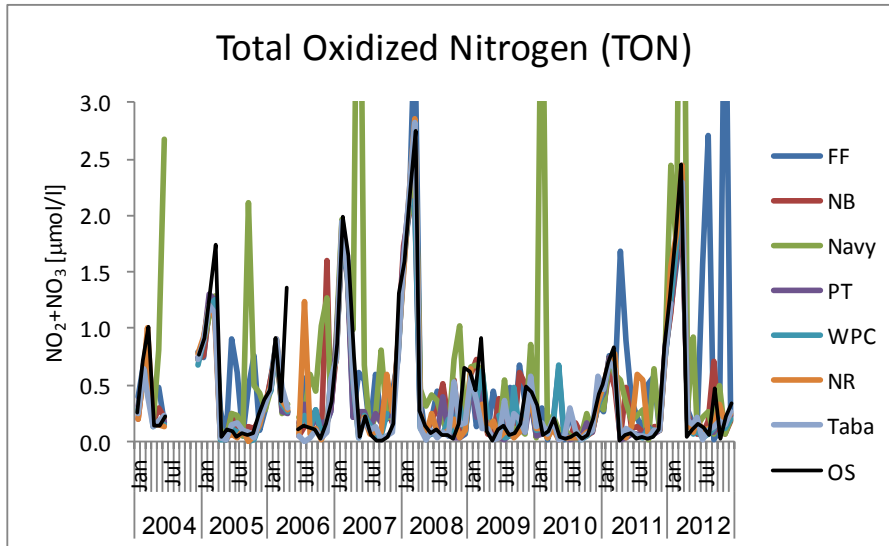
איור ג3: אלקליניות בתחנות הדיגום החופי מאז שנת 2004.

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

חנקן אנאורגאני מחומצן (TON – Total Oxidized Nitrogen = NO<sub>3</sub> + NO<sub>2</sub>)

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 (העליונה) ענייה בנוטריינטים מכיוון שהנטוריינטים בה נצרכו, ואין ערבוב בין מי השטח (העניים בנוטריינטים) למי העומק (שם מצטברים נוטריינטים). ערבוב עמודת המים בחודשי החורף מביא להעשרת מי השטח בחנקן 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 בשוניית.

ערבוב עמודת המים השנה היה עמוק ועל כן נמדדו ריכוזים גבוהים של חנקן אנאורגאני מחומצן במים החופיים בחודשי החורף (איור ג4). ריכוזים אלה היו גבוהים בכל התחנות החופיות בחודשים דצמבר-אפריל, אולם בתחנת חיל היס\מרידיאן נמדדו ריכוזים גבוהים במיוחד. גבוהים משמעותית מריכוזי היס הפתוח ושאר התחנות. בנוסף לכך, נמדדו בתחנת כלובי הדגים ריכוזי נוטריינטים גבוהים באופן חריג בחודשי הקיץ, יולי-אוגוסט ובנובמבר. הריכוז הגבוה ביותר אשר נמדד השנה היה 4.641 μmol/l בחודש נובמבר בתחנת כלובי הדגים. ריכוז זה וכן הריכוזים אשר נמדדו שם בחודשים יולי-אוגוסט גבוהים אפילו מריכוזי החורף. בים הפתוח היה ריכוז החנקן המומס בחודש נובמבר 0.228 μmol/l והריכוז הגבוה ביותר בים הפתוח השנה היה 2.446 μmol/l בחודש מרץ. ריכוז גבוה בהרבה (כמעט פי 3) מהריכוז המרבי בשנה הקודמת, וגם מזה שנמדד בחורף 2007. בחורף 2008 נמדד ריכוז גבוה יותר בים הפתוח. הריכוזים החריגים בחודשי החורף בתחנת חיל היס\מרידיאן הינם תופעה כמעט קבועה, ובתחנת כלובי הדגים על אף הירידה בסך הכל בתדירות אירועים של ריכוזים חריגים, היו השנה שתי חריגות גדולות המצביעות על כניסת נוטריינטים לים באזור זה.

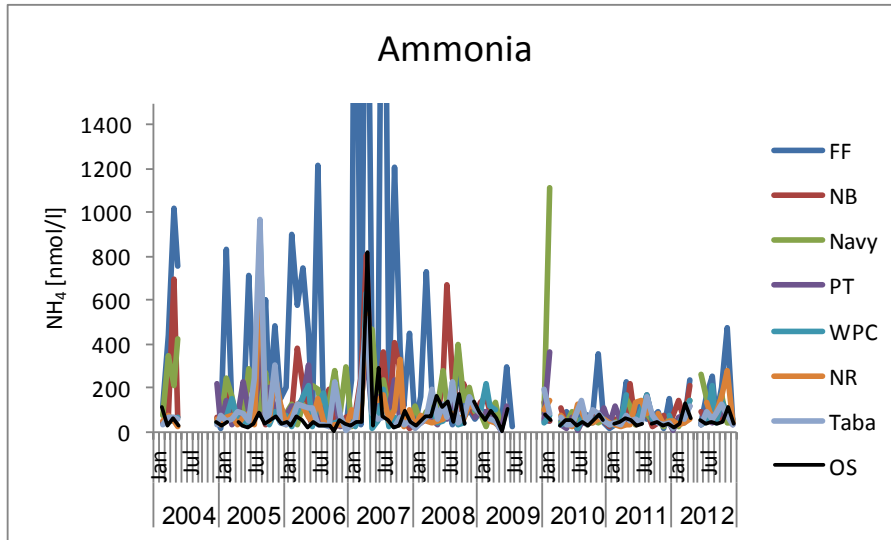


איור ג4: מדידות ניטריט + ניטראט (TON) חודשיות בתחנות הדיגום החופי מאז שנת 2004.  
**Figure C4: Monthly concentrations of total oxidized nitrogen (TON) at the coastal water sampling stations since 2004.**

#### אמוניה (NH<sub>4</sub>)

קשיי דיגום אשר מקורם בבלאי מתמשך של בקבוקי דיגום גרמו לכך שבתקופה מסוימת הועברו מים מבקבוקי הדיגום 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 דיגום (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. האמוניה היא צורן הנצרך במהירות על ידי פיטופלנקטון, ועל כן נוכחות אמוניה במים מעידה על מקור העשרה מקומי.

השנה לא נמדדו חריגות גדולות בריכוזי האמוניה בתחנות החופיות, על אף שהריכוזים שם עדיין גבוהים לרוב מריכוזי הים הפתוח (איור ג5). הריכוז הגבוה ביותר נמדד בחודש נובמבר בתחנת כלובי הדגים (475 nmol/l), בצמוד לערכים הגבוהים של חנקן מומס שנמדדו שם באותו החודש. ערך זה כפול מהריכוז המרבי אשר נמדד בשנה הקודמת (229 nmol/l). עדיין ניכר שיפור גדול לעומת ריבוי החריגות בשנות הניטור הראשונות. בסך הכל מאז 2008 התמעטו המקרים של מדידות חריגות, בפרט באזור כלובי הדגים והחוף הצפוני, אם כי מדידות השנה גבוהות מהצפוי, וגם העיתוי, נובמבר בכלובי הדגים מעלה חשש לחריגה.



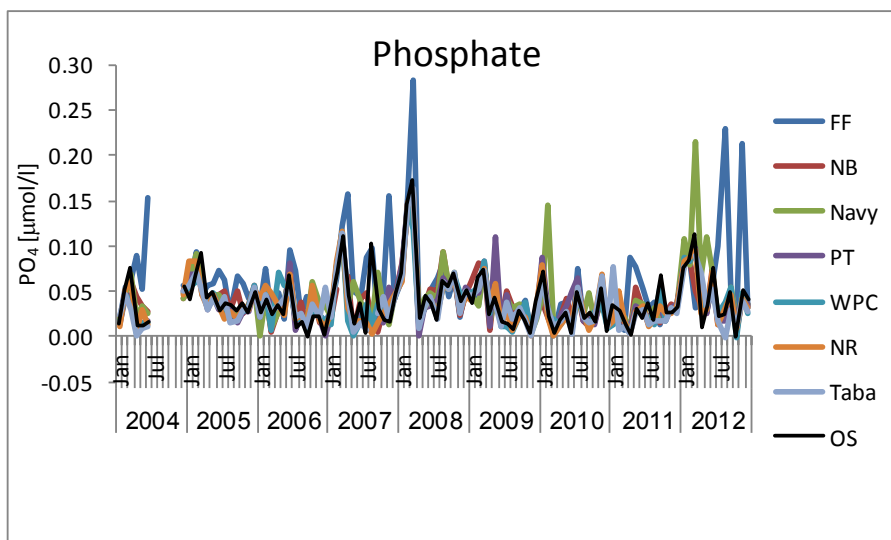
איור 5: ריכוזי אמוניה ( $\text{NH}_4$ ) בתחנות הדיגום החופי מאז שנת 2004.

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

פוספט ( $\text{PO}_4^{3-}$ )

ריכוזי פוספט בתחנות החופיות ובים הפתוח מראים מחזוריות שנתית חלשה של ערכים גבוהים יחסית בחורף ונמוכים בקיץ. הפוספט גם הוא נוטריינט חשוב ליצרנות ראשונית, ועל כן בקיץ ריכוזו בפני הים 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.

ריכוזי הפוספט השנה גבוהים מהריכוזים אשר נמדדו מאז שנת 2008, בהתאמה לערבוב העמוק אשר היה השנה. יחד עם זאת, נמדדו בתחנות חיל הים\מרידיאן ריכוזים חריגים הרבה מעבר לריכוזי הים הפתוח בחודשי החורף, ובתחנת כלובי הדגים היו ריכוזים חריגים בחודשי הקיץ ובנובמבר (איור 6). הריכוז הגבוה ביותר נמדד באוגוסט בתחנת כלובי הדגים –  $0.230 \mu\text{mol/l}$ . ערך זה גבוה פי 3 מהערך המרבי אשר נמדד בשנה הקודמת – ובקיץ, עת צפויים ריכוזים נמוכים. יחד עם המדידות החריגות בשאר הנוטריינטים נראה כי מדובר בהדירת ריכוזים גבוהים לים באזור זה. בים הפתוח נמדד הריכוז הגבוה ביותר בחודש מרץ,  $0.113 \mu\text{mol/l}$ . ערך זה גבוה מערכי השנים האחרונות אולם נמוך מריכוז הפוספט אשר נמדד בחודשי החורף בשנים 2007 ו-2008.

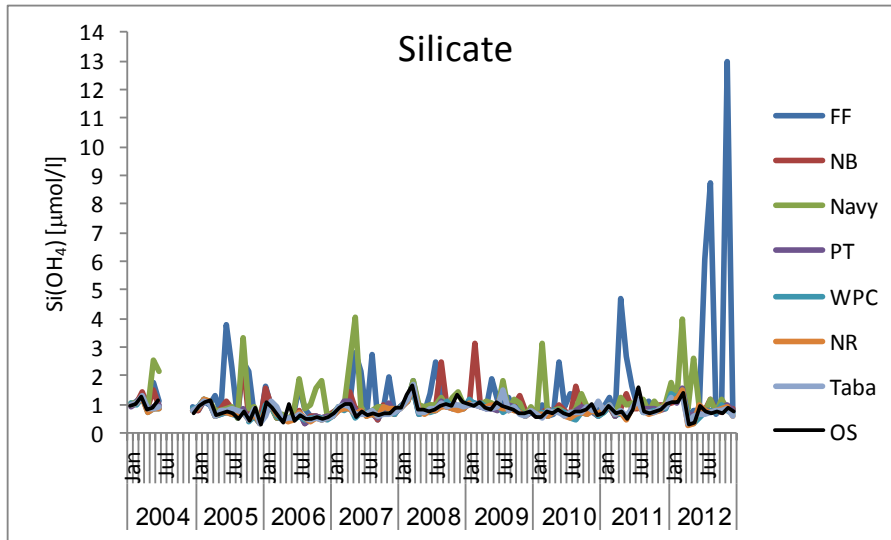


איור 6: ריכוזי פוספט ( $\text{PO}_4$ ) בתחנות הדיגום החופי מאז שנת 2004.

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

### סיליקה ( $\text{Si(OH)}_4$ )

סיליקה היא רכיב מומס המשמש בהשקעת שלד צורני במגוון 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. ריכוזי הסיליקה בים הפתוח היו השנה דומים לשנה הקודמת, עם שיא בחודש מרץ ( $1.419 \mu\text{mol/l}$ ) ולאחריו מינימום בחודש אפריל ( $0.268 \mu\text{mol/l}$ ), המבטא ככל הנראה פריחת אצות צורניות וצריכת הסיליקה (איור 7). על רקע התבנית הטבעית הזו בולטות גם כאן החריגות בריכוזי הסיליקה בתחנות חיל היס\מרידיאן (במרץ ובמאי) ובתחנת כלובי הדגים (בחודשי הקיץ ובנובמבר). חריגות אלה הן הגדולות ביותר אשר נמדדו בתחנות החופיות מאז תחילת פעולתה של תכנית הניטור בשנת 2004.



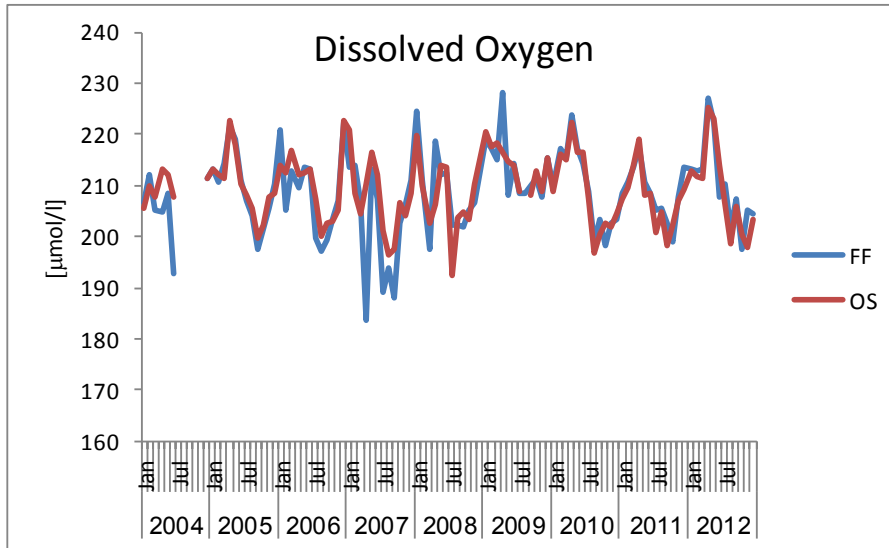
איור 7ג: ריכוזי סיליקה ( $\text{Si(OH)}_4$ ) בתחנות הדיגום החופי מאז 2004.

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

### חמצן מומס

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

משרעת הריכוזים של חמצן מומס השנה נעה בין  $227 \mu\text{mol/l}$  בחודש אפריל ל-  $198 \mu\text{mol/l}$  בנובמבר. הערך הגבוה מעט גבוה יותר ממדידות השנתיים האחרונות ואילו הערך הנמוך דומה לערכי השנתיים הקודמות. בסך הכל אין הבדלים גדולים בריכוזי החמצן המומס בים בשנים האחרונות (איור 8ג), מאז שנת 2007 ובמידה פחותה 2008-9 בהן נמצאו שיאים – הן גבוהים והן נמוכים – של ריכוזי חמצן, בעיקר בתחנת כלובי הדגים. דינאמיות של שינויים בריכוזי החמצן עשויה להצביע על מחזוריים של פריחת פיטופלנקטון וקריסתן.



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

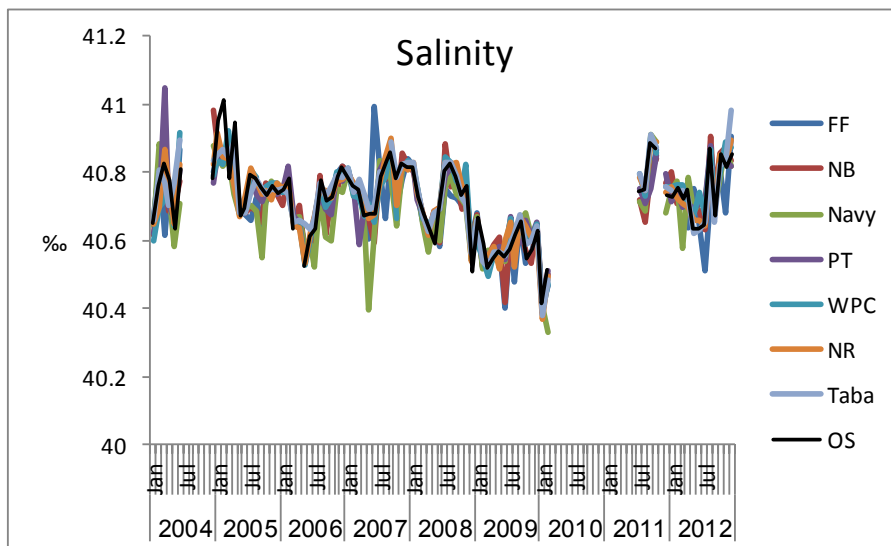
**Figure C8: Monthly concentrations of dissolved oxygen at the coastal water sampling stations since 2004.**

### מדדים פיסיקליים

#### מליחות

[החל מפרברואר 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 ממכשיר החדש עברו בדיקות וכיולים לפני שצורפו לרישום המליחות ארוך הטווח אשר מבצעת תכנית הניטור.]

מדידות המליחות בשנה האחרונה גבוהות ממדידות 2009-10 ודומות בערך למדידות העונה המקבילה בשנים 2007-8 (איור 9). מליחות מי ים נמוכה באופן חריג נמדדה בתחנת חיל היס\מרידיאן בחודש מרץ, ובתחנת כלובי הדגים בחודשים יולי ונובמבר. חריגות אלה מצביעות על מהילה של מי הים במים בעלי מליחות נמוכה יותר, ומצטרפות לעדויות ממדידות הנוטריונים החריגים בחודשים אלה.



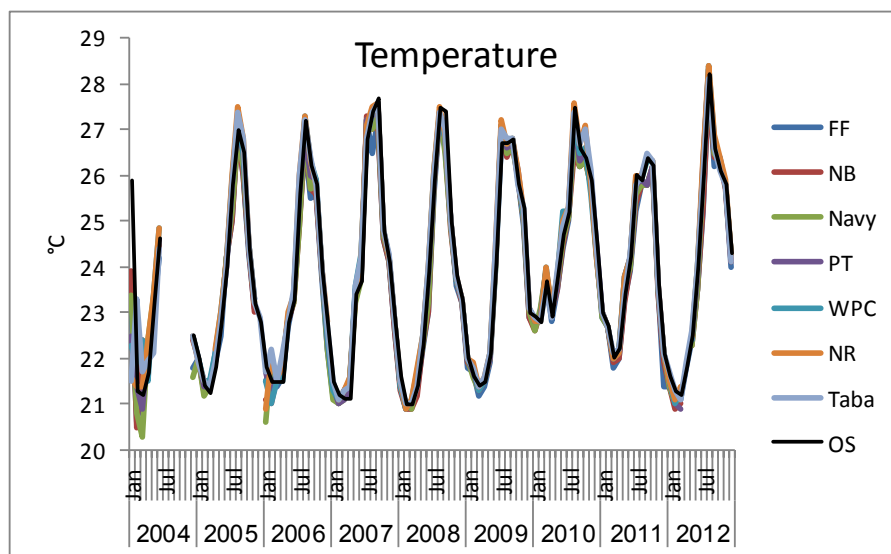
איור 9: מדידות מליחות בתחנות הדיגום החופי מאז שנת 2004. שגיאה אובחנה במדידות המליחות החל מחודש פברואר 2010, ביולי 2011 החלו להתקבל תוצאות ממכשיר חדש.

**Figure C9: Salinity at the coastal water sampling stations since 2004. Measurements dating February 2010- July 2011 were removed because instrumental analytical errors were identified.**

## טמפרטורה

טמפרטורת מי השטח מראה מחזור עונתי מובהק של ערכים נמוכים בחודשי החורף וערכים גבוהים בקיץ. הטמפרטורה אשר נמדדה כל השנה בתחנות החופיות דומה לטמפרטורת הים הפתוח. הטמפרטורה הנמוכה ביותר השנה,  $21^{\circ}\text{C}$  בחודש פברואר, הייתה נמוכה ב-  $0.8^{\circ}\text{C}$  מהטמפרטורה בחורף השנה הקודמת, והניעה ערבוב עמוק כפי שנמדד בעמודת המים (ראו להלן, פרק "ים פתוח"). הטמפרטורה הגבוהה ביותר השנה הייתה  $28.4^{\circ}\text{C}$  בחודש אוגוסט, כמעט  $2^{\circ}\text{C}$  יותר מאשר בשנה הקודמת והגבוהה ביותר אשר נמדדה עד כה בניטור התחנות החופיות (איור ג10). הטמפרטורה הגבוהה בקיץ השנה עשויה להשפיע על עומק הערבוב של השנה הבאה.

[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 דיגיטלי אשר הוחלף במד חום כספית מדויק).]



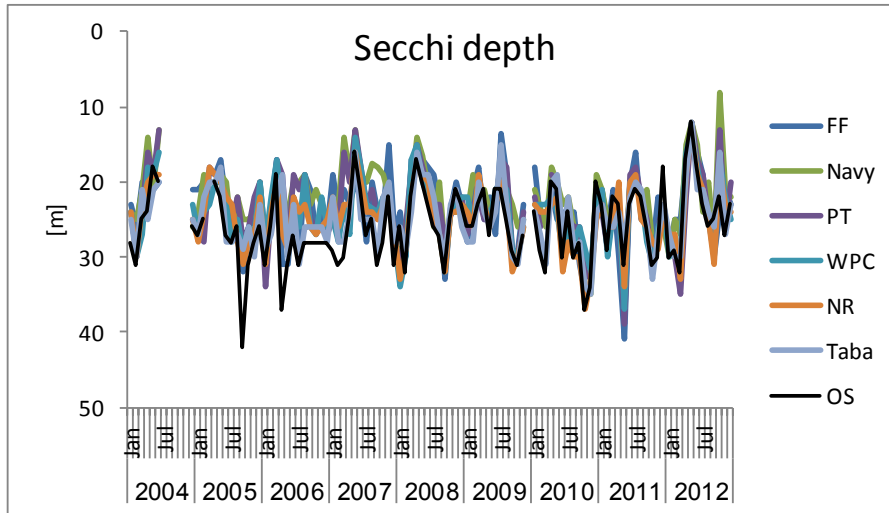
איור ג10: מדידות טמפרטורה בתחנות הדיגום החופי מאז שנת 2004.

Figure C10: Temperature at the coastal water sampling stations since 2004.

## עכירות

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

השנה נמדד בים הפתוח עומק מזערי של 12 מ' בחודש מאי (איור ג11), נמוך מאשר בשנה הקודמת ומעיד, אולי, על פריחת אצות חזקה. העומק המרבי בים הפתוח נמדד בחודש מרץ, 32 מ', ומשקף, אולי, תנאים של טרם-פריחה. עומק הסקי הקטן ביותר נמדד השנה ברוב התחנות החופיות בחודש אוקטובר, בעקבות אירוע גשם ושיטפונות אשר הזרים סדימנט לים וגרם לעכירות גבוהה.



איור ג11: מדידות עכירות (עומק סקי) בתחנות הדיגום החופי מאז שנת 2004.  
**Figure C11: Secchi depth measurements at the coastal water sampling stations since 2004.**

### כלורופיל $a$

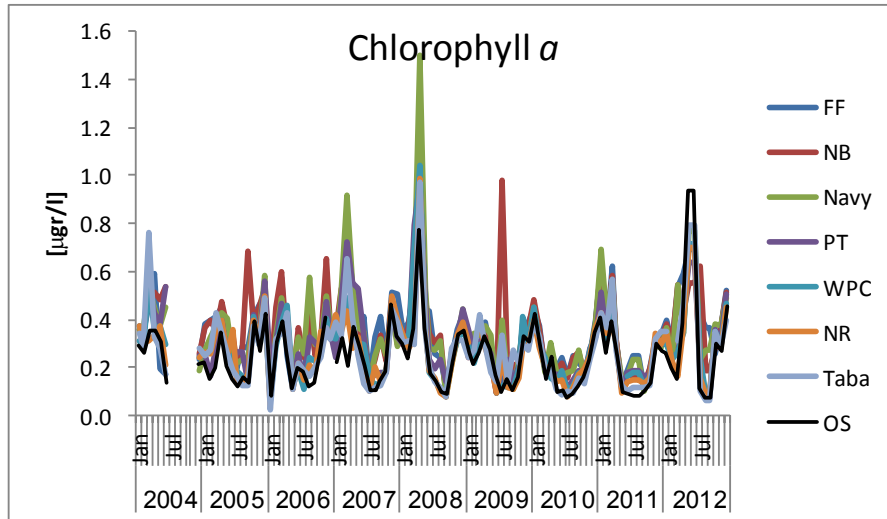
ריכוז כלורופיל  $a$  קשור ישירות למחזור הערבוב השנתי, המספק חומרי מזון ויוצר פריחת פיטופלנקטון בחודשי האביב. בדרך כלל נמדדים ריכוזים נמוכים יותר בתחנת הים הפתוח ובתחנות הדרומיות, וגבוהים יחסית בתחנות הצפוניות. השנה ריכוז הכלורופיל הגבוה ביותר נמדד דווקא בתחנת הים הפתוח.

ריכוזי הכלורופיל שנמדדו השנה גבוהים מאלה שנמדדו בניטור החופי מאז שנת 2008, מלבד פריחה חריגה בחוף הצפוני בשנת 2009 (איור ג12). הריכוזים הגבוהים השנה בכל התחנות נמדדו בחודשים אפריל-יוני ומשקפים פריחת חזקות בעקבות ערבוב עמוק של עמודת המים.

משרעת הריכוזים בים הפתוח נעה בין  $0.939 \mu\text{gr/l}$  בחודשים מאי-יוני ל-  $0.07 \mu\text{gr/l}$  בחודשים אוגוסט-ספטמבר. הריכוזים הגבוהים יותר מכפולים מהריכוזים המרביים בשנה הקודמת.

בכל השנים, מאז תחילת הניטור ב-2004, נמדדו מדי פעם ערכים גבוהים בתחנות שונות, המצביעים על פריחת פיטופלנקטון. בשנתיים האחרונות היו "פריחת אביב" חלשות, ומדידות גבוהות התקבלו לעיתים בתחנות בודדות. במדידות הקודמות לשנת 2008 נמצאו ריכוזים גבוהים המצביעים על פריחת אצות תדירות יותר מאשר בשנים האחרונות, והריכוזים שנמדדו היו בדרך כלל גבוהים יותר.

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



איור ג12: ריכוז כלורופיל *a* בתחנות הדיגום החופי מאז שנת 2004.

**Figure C12: Monthly concentrations of chlorophyll *a* at the coastal water sampling stations since 2004.**

### דיון

השנה הייתה טמפרטורת הים בחורף נמוכה מאשר בשנים האחרונות (מאז 2007 ו-2008) וערבוב עמודת המים היה עמוק. ערבוב עמודת המים הוא הגורם העיקרי המשפיע על הדינמיקה המחזורית של רוב המשתנים הנמדדים לאורך החוף. הערבוב העמוק השנה הניע את המערכת וגרם לריכוזי נוטריינטים גבוהים בפני הים בחודשי החורף ולפריחות פיתופלנקטון חזקות בחודשי האביב ותחילת הקיץ. בנוסף לכך, אחרי כארבע שנים בהן נמדדו הרבה פחות ערכים חריגים, נמדדו השנה מספר אירועים חריגים באופן מובהק. הראשון סביב חודש מרץ בתחנת חיל הים\מרידיאן בו נמדדה מליחות נמוכה וריכוזי נוטריינטים גבוהים. אירועים נוספים נמדדו בחודשים יולי-אוגוסט ונובמבר בתחנת כלובי הדגים בעל מאפיינים דומים ואמפליטודה גדולה יותר. חריגות אלה הן הגדולות ביותר בשנים האחרונות. 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 שיכוב 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 זיהוי זיהומים בחורף עשוי להיות קשה יותר. 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 מתחנת הים הפתוח, אשר עבורה מקור זיהום מקומי אינו סביר, ואם היה כזה המהילה שם רבה יותר מאשר בקרבת החוף. אירועי העשרה מקומיים היו השנה בתחנת חיל הים\מרידיאן בחורף ובתחנת כלובי הדגים בקיץ ובסתיו. אירועים אלה היו גדולים ומחזירים את המצב לשנים של לפני 2007, אז היו אירועי חריגה תדירים וגדולים. לאחריות השנה מקורות אפשריים במלון המרידיאן העושה שימוש במי תהום לקירור מערכות המיזוג (החורף היה קר במיוחד ונעשה מן הסתם שימוש במערכת המיזוג לחימום) ומזרמים לים לאחר השימוש, ובתעלת הקינט דרכה מוזרמים עודפי מים מן הערבה. פריחת האצות הפלנקטוניות השנה הייתה חזקה בכל התחנות, בדומה לפריחות בשנות הערבוב העמוק 2007 ו-2008.



## 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.

### שיטות

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

דגי בר מהסוג סיכן נתפסים חיים על ידי צוללים באזור החוף הדרומי של אילת (המכון הבינאוניברסיטאי/שמורת חוף אלמוג). התפיסה 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 אשר ממוקמים 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 עובר בעיקר בסרטנים ודגי הסיכן מהווים מאכסנים סופיים של משפחה זו. ממשפחה זו נבדקו המינים *Cucullanus sigani* (*Cucul.*) ו-*Procamallanus elatensis* (*Proc.*)

*Acanthocephala* - תולעת בעלת ראש קוצני, טפיל מעיים בעל מחזור חיים הטרוקסני 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 הדרווליים ברכיכות וכנראה גם בחסרי חוליות נוספים. מקבוצה זו נבדקו המינים *Hexangium sp.* (*Hexan.*), *Gyiliauchen sp.* (*Gyiliauc.*), *Opisthognoporides sp.* (*Opist.*)

המשתנים הנבדקים לגבי מיני טפילים אלה הם שכיחות, עושר המינים, עוצמת הנגיעות וחשיבותה. עקומות rarefaction לעושר המינים חושבו באמצעות תכנת EstimateS, והשוואת עושר מיני הטפילים בין השנים נעשתה בעזרת מעריך Jackknife 1 אשר חושב גם הוא מתוך תכנת EstimateS, בעקבות ההמלצה לשימוש במעריך זה לעושר אוכלוסיית פרזיטים כאשר גודל המדגם קטן (Walther & Morand, 1998).

### תוצאות

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.

הרעיון אשר בבחינת הנגיעות בטפילים הטרוקסנים הוא שלהשלמת מחזור חייהם טפילים אלה זקוקים למספר "מארחים" בגומחות אקולוגיות שונות, ועל כן ירידה ניכרת 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.

השנה נתפסו 27 דגים מהמין סיכן משויש באזור המכון הבינאוניברסיטאי-שמורת האלמוגים (להלן SB). ספירת הטפילים בדגים אלה מובאות בטבלה ג.2.

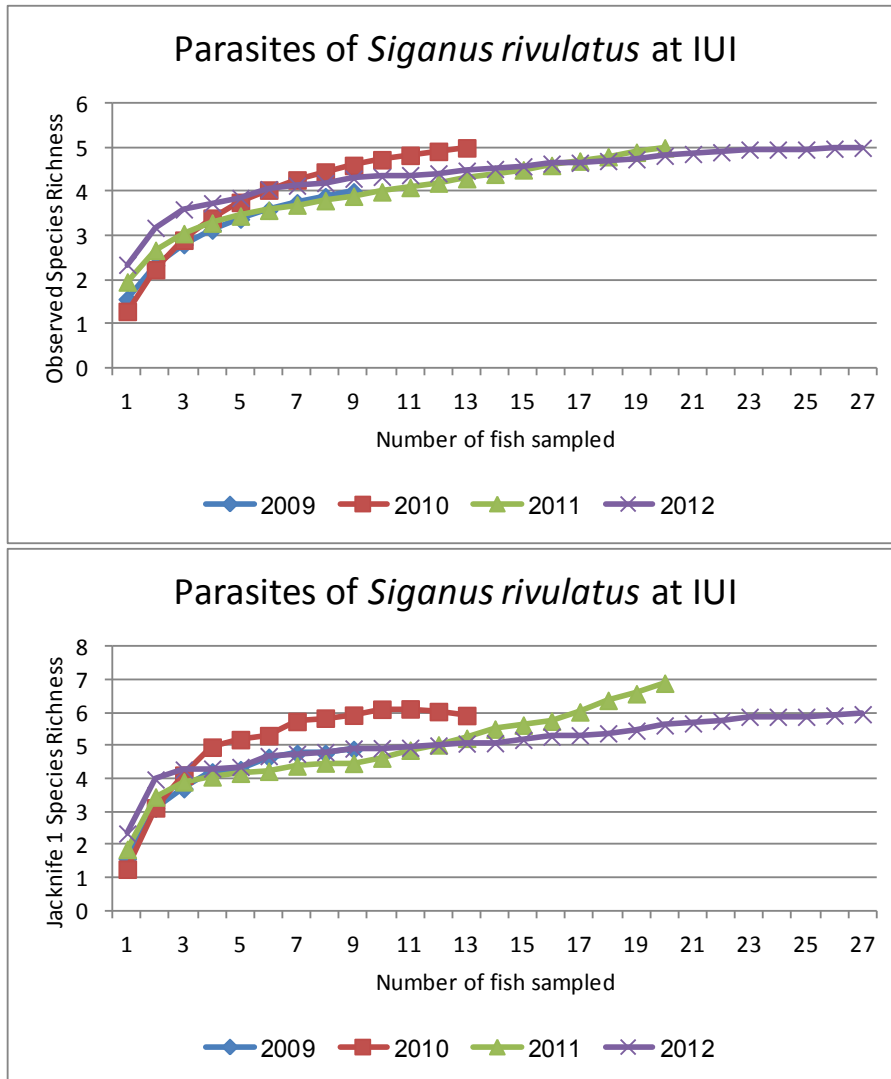
No.	location	weight (gr)	length (cm)	fork length (cm)	sex	Parasite						date
						Scler.	Gyliauc.	Proc.	Cucul.	Opist.	Hexan.	
66121sr	IUI	258.3	25	7	F	1	0	6	0	0	1	6/6/12
66122sr	IUI	261.1	26	7.5	nd	4	0	5	0	0	2	6/6/12
66123sr	IUI	308.1	26.5	8	nd	5	0	3	0	0	2	6/6/12
210121sr	IUI	311	26.5	8	M	0	0	3	0	0	0	2/10/12
210122sr	IUI	208	25	7.5	M	12	0	5	0	0	3	2/10/12
210123sr	IUI	147	23	7	nd	12	6	10	0	0	6	2/10/12
210124sr	IUI	211	26.5	8	nd	2	0	1	0	0	0	2/10/12
210125sr	IUI	186	25	8	F	12	0	2	0	0	1	2/10/12
1610121	IUI	189	27	8	M	13	0	0	0	0	0	16/10/12
1610122	IUI	138	22.5	6.5	nd	1	0	0	0	0	0	16/10/12
1610123	IUI	133	21	7	nd	17	0	0	0	0	7	16/10/12
1610124	IUI	130	21	7	M	9	0	1	0	0	6	16/10/12
1610125	IUI	111	24.5	6.5	nd	4	0	2	0	0	1	16/10/12
1710121sa	IUI	175	22.5	7	nd	7	0	0	0	4	0	17/10/12
1710122sr	IUI	242	27	10	nd	0	0	1	0	42	2	17/10/12
1710123sr	IUI	126	21	6.5	nd	4	0	2	0	0	1	17/10/12
1012121sr	IUI	209	25	8.5	nd	1	0	2	0	0	3	10/12/12
1012122sr	IUI	208	25	8.5	nd	2	0	0	0	0	1	10/12/12
1012123sr	IUI	138	21	7	nd	4	0	1	0	0	2	10/12/12
1912121sr	IUI	222	27.5	7	F	0	0	1	0	5	1	19/12/12
2412122sa	IUI	183	22	8	nd	12	0	0	0	7	0	24/12/12
2412122sr	IUI	174	22.5	7	nd	0	0	0	0	0	0	24/12/12
2412123sr	IUI	158	23	7	nd	0	0	2	0	0	3	24/12/12
2512121sr	IUI	187	24	7.5	nd	8	0	3	0	0	1	25/12/12
2512122sr	IUI	160	23	9.5	nd	9	0	1	0	34	3	25/12/12
2512123sr	IUI	154	23	6.5	nd	0	0	2	0	0	1	25/12/12
2512124sr	IUI	147	22	6.5	nd	3	0	1	0	1	4	25/12/12

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

Table C2: Parasites found in *Siganus rivulatus* from near the IUI.

בדגים שנבדקו השנה לא נמצאו הדיגיניאה *Gyliaunchen* sp. (מלבד בדג אחד) והנמטודה *Cucullanus sigani*.

תכנית הניטור מזהה ששה מינים של טפילים מעיים בדגים. לא בכל שנה מזוהים כל המינים המוכרים, ובכל שנה נתפס גודל מדגם שונה של דגים מאכסנים. לצורך השוואה בין השנים נבנו עקומות צבירה (rarefaction) המראות עד כמה הצליח המדגם ללכוד את עושר המינים הקיים. נראה שבאף אחת מן השנים גודל המדגם אינו מספק (איור ג13), אולם נדמה כי בשנת 2009 היה מספר הטפילים ההטרוקסנים קטן מאשר בשנים 2010-12. הערכת עושר המינים "האמיתי" באמצעות המערך Jackknife 1 מראה תמונה דומה (איור ג13, למטה) בה עושר המינים ב-2009 מגיע ל-4, העושר הגבוה ביותר (7) נמצא בשנה הקודמת, ובשנה הנוכחית עושר המינים המצופה מגיע ל-6. בכל מקרה נראית עלייה בעושר המינים של הטפילים ההטרוקסנים הנבדקים בין השנים.

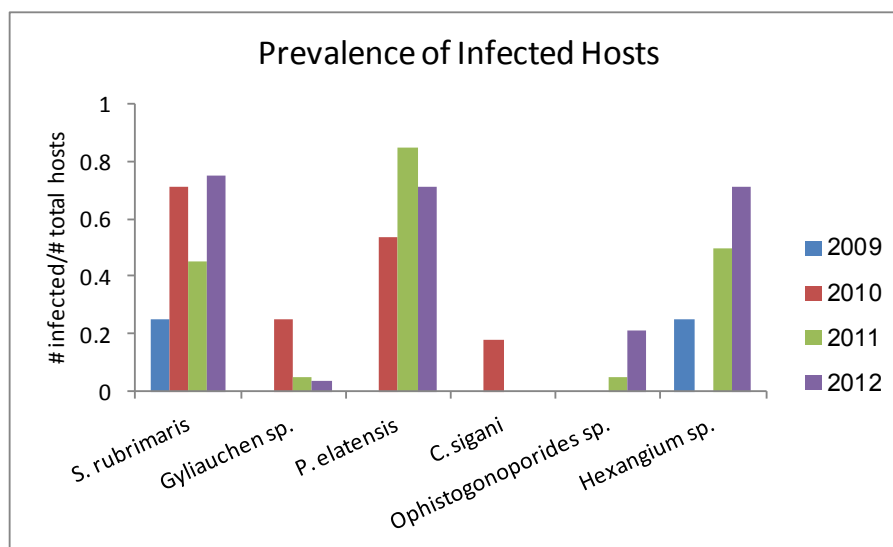


איור ג13: עקומות צבירה (rarefaction) של עושר מיני הטפילים הנבדקים במעי דגים מהמין סיכן משויש, מחושבות בעזרת תכנת EstimateS. למעלה: עושר המינים הנצפה, למטה: עושר המינים המוערך על פי המודד Jackknife-1.

**Figure C13: Rarefaction curves of *S. rivulatus* parasite species richness calculated using the EstimateS software. Top: Observed richness, Bottom: Estimated Jackknife-1 richness.**

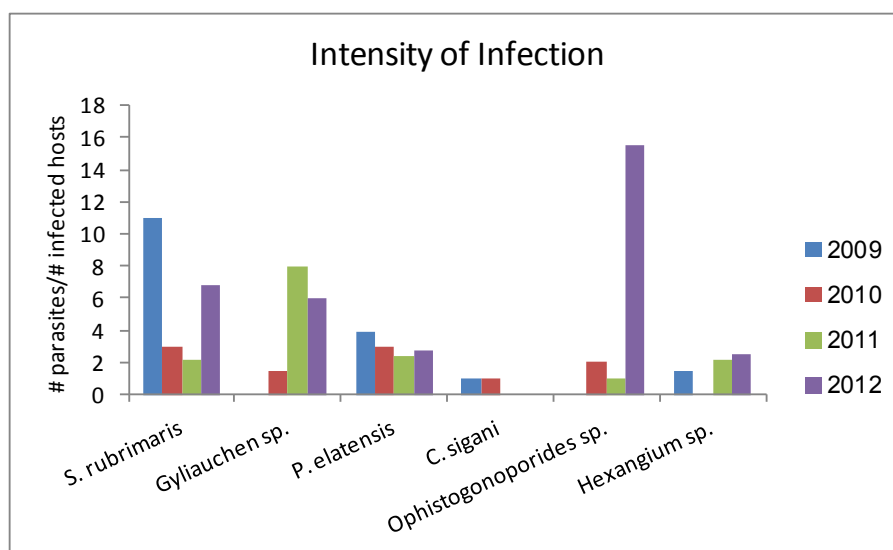
מלבד עושר המינים נמדדו לגבי הטפילים הנבדקים גם שכיחות ועוצמת הנגיעות וחשיבותה. שכיחות ההדבקה בטפילים השונים אשר נבדקו מוצגת באיור ג14. ניתן שוב לראות כי שכיחות ההדבקה בדרך כלל גבוהה יותר בשנתיים האחרונות מאשר בשנתיים שקדמו להן. יוצא מן הכלל הוא הדיגיניאה *sp.*

*Gyliauchen*, אשר נמצא השנה רק בדג אחד והנמצא בירידה בשנתיים האחרונות.



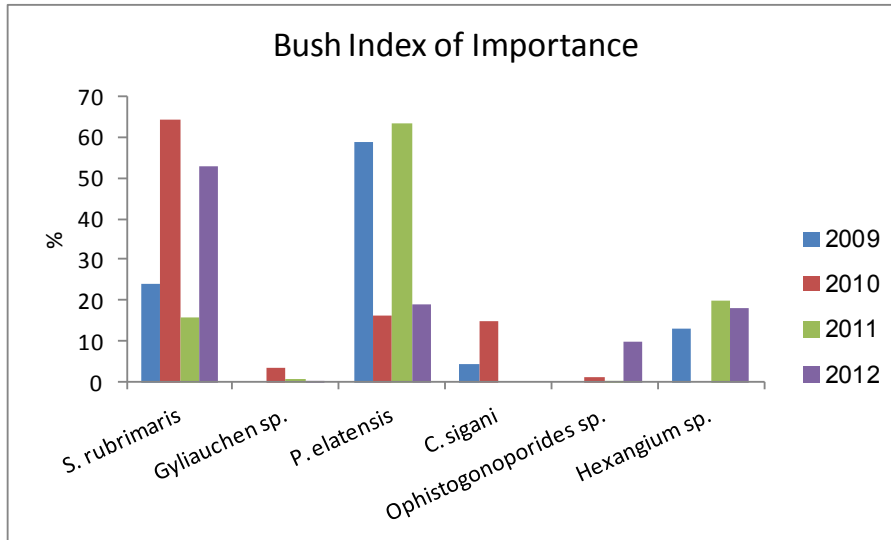
איור ג14: שכיחות הנגיעות בששה מיני טפילי המעיים הנבדקים בדגי הסיכך המשויש.  
**Figure C14: Prevalence of the six gut parasite species examined in *S. rivulatus*.**

עצמת ההדבקה הייתה השנה גבוהה במיוחד עבור הטפילים *Opisthomonoporidae* sp. ו- *S. rubrimaris* (איור ג15). לא ניתן על פי הנתונים הקיימים לאבחן שיטתיות בשינויי עוצמת הנגיעות בטפילים הטרוקסנים בדגי הסיכך המשויש בארבע השנים האחרונות.



איור ג15: עצמת הנגיעות בששה מיני טפילי המעיים הנבדקים בדגי הסיכך 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 לפי מספר המארחים הנדגמים והנגועים) הטפיל *P. elatensis* היה העיקרי בשנים 2009 ו-2011, בעוד שהשנה ובשנת 2010 היה זה *S. rubrimaris*, שהיה נפוץ גם בשנת 2009 (איור ג16).



איור ג16: אינדקס בוש לחשיבות הנגיעות בששה מיני טפילי המעיים הנבדקים בדגי הסיכך המשוויש.  
**Figure C16: Bush Index for the importance of infection of the six gut parasite species examined in *S. rivulatus*.**

טחולי הדגים אשר נותחו נראו תקינים בגודלם וצבעם. הדגים עברו בדיקה היסטולוגית והשנה נמצאו בחמישה מתוכם גרנולומות בטחול (5/27), לעומת 8/21 בשנה הקודמת. סימנים פתולוגיים אלה היו קלים ולא ניתן היה לזהות את הגורם להוצרותם, למעט במקרה אחד שבו זוהו בוודאות חיידקי מיקובקטריום (*Micobacterium marinum*). בסך הכל, ניכרת ירידה בשכיחות חיידק זה באזור הנבדק (החוף הדרומי, סמוך למכון הבינאוניברסיטאי), שהיה בעבר אזור שבו דגי הסיכך (ומיני דגים נוספים) הציגו שכיחות ועוצמות הדבקה גבוהות בפתוגן זה. בשנת 1990 זוהה החיידק הראשון ממין זה במפרץ אילת בדגי לברק מכלובי הדגים, ובשנת 1995-6 הייתה שכיחות הנגיעות בו בדי הסיכך המשוויש (*Siganus rivulatus*) בחוף הדרומי 34%, ושנה אח"כ 66% (Diamant et al., 2000). לעומת נתונים אלה המדגמים שנבדקו במסגרת תכנית הניטור בשנים האחרונות מצביעים על ירידה ניכרת בשכיחותו של חיידק זה בדגי הבר במפרץ בעשור האחרון.

### **ג.3. שינויים במאספי פורמיניפרים בנתונים בתגובה לפינוי כלובי הדגים במפרץ אילת-עקבה**

הניטור שלהלן החל במסגרת עבודת מחקר של שי אורון (M.Sc. באוניברסיטת בן-גוריון בנגב, בהנחיית ד"ר ס. אברמוביץ וד"ר מ. כיפלאווי). המחקר – אשר התבצע דרך המכון הבינאוניברסיטאי ביזמתו של ד"ר ד. אנג'ל מאוניברסיטת חיפה ובשיתוף עם ד"ר ב. גודמן צ'רנוב (אוני' 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. בדו"ח זה ניתן גם למצוא את פרטי שיטות הדגימה והשיטות האנליטיות.

לאור הממצאים המעניינים שעלו מעבודת המוסמך הנ"ל, אשר תיעדו התאוששות חברת הבנטוס באזור בו בעבר כלובי הדגים, החליטה תכנית הניטור לתמוך בהמשך המעקב על ידי סיוע בביצוע הדיגום בצלילה. עקב מגבלות זמן, הוחלט לבצע צלילות אלה בתדירות נמוכה יותר מאשר נעשו בזמן עבודת המוסמך של שי אורון. להלן הממצאים המשקפים פרק זמן של כארבע שנים, כפי שנכתבו על ידי שי אורון והמעורבים הנוספים במחקרה.

## מעקב אחר השינוי במאספי פורמיניפרים בנתונים בתגובה לפינוי כלובי הדגים במפרץ אילת –

### עקבה

(תקציר עבור דו"ח ניטור 2012)

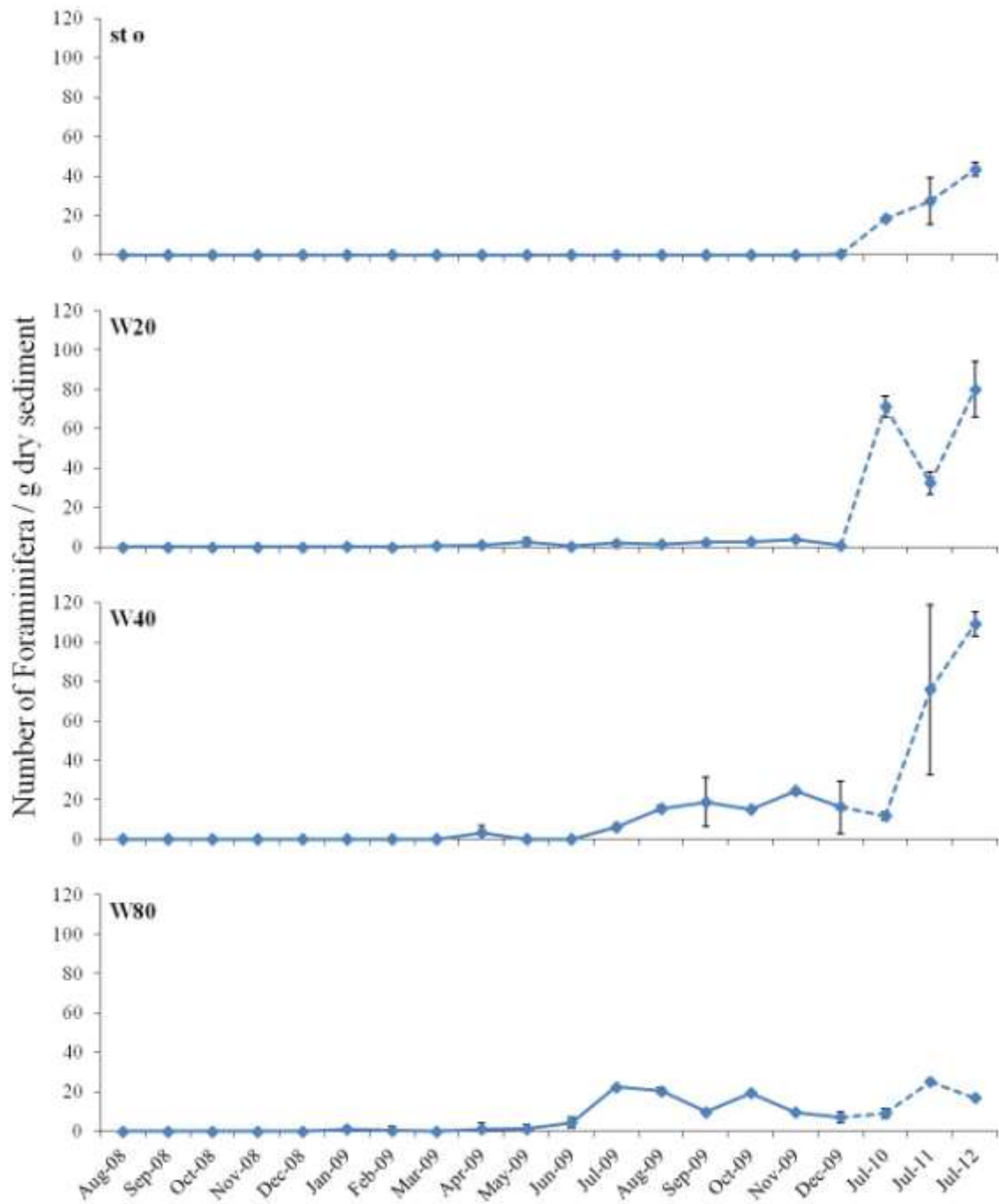
שי אורון<sup>1,3</sup>, גילי מרקדו<sup>1</sup>, סיגל אברמוביץ<sup>1</sup>, בברלי גודמן צ'רנוב<sup>2</sup>, משה כפלאוי<sup>1,3</sup>, דרור אנג'ל<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>אוניברסיטת בן גוריון בנגב [shaieron@yahoo.com](mailto:shaieron@yahoo.com)  
<sup>2</sup>אוניברסיטת חיפה  
<sup>3</sup>המכון הבינאוניברסיטאי באילת

המעקב נעשה על ידי דיגום חודשי שהחל מיד לאחר פינוי הכלובים, ביולי 2008, של גלעיני סדימנט קצרים ועלי עשב ים מתחנות קבועות המייצגות מרחקים שונים מאזור הפעילות של חוות הדגים. הדיגום הרציף בוצע עד דצמבר 2009 ולאחר מכן בוצעו דיגומי מעקב ביולי 2010, יולי 2011 ויולי 2012. דיגומי המשך המעקב נעשים בתמיכת תכנית הניטור הלאומית של מפרץ אילת. מחקר זה מתמקד במעקב כמותי אחר השינויים החלים על מגוון ונפיצות המינים בסנטימטר העליון של הסדימנט על ידי אפיון מאסף תמותה ומאסף חי המזוהה על ידי צביעה ב Rose Bengal. הופעה של עשב הים מסוג *stipulacea Halophila* באזור שבו היו ממוקמים כלובי הדגים נצפתה בחודש אוגוסט 2009. ומסמלת כניסה של מרכיב אקולוגי חשוב הצפוי לגרום להתבססות של מינים אפיפיטים באזור. שינוי זה נבחן על ידי דיגום של עלי עשב הים ואפיון מאספי הפורמיניפרה החיים עליהם.

### מאסף חי בסדימנט

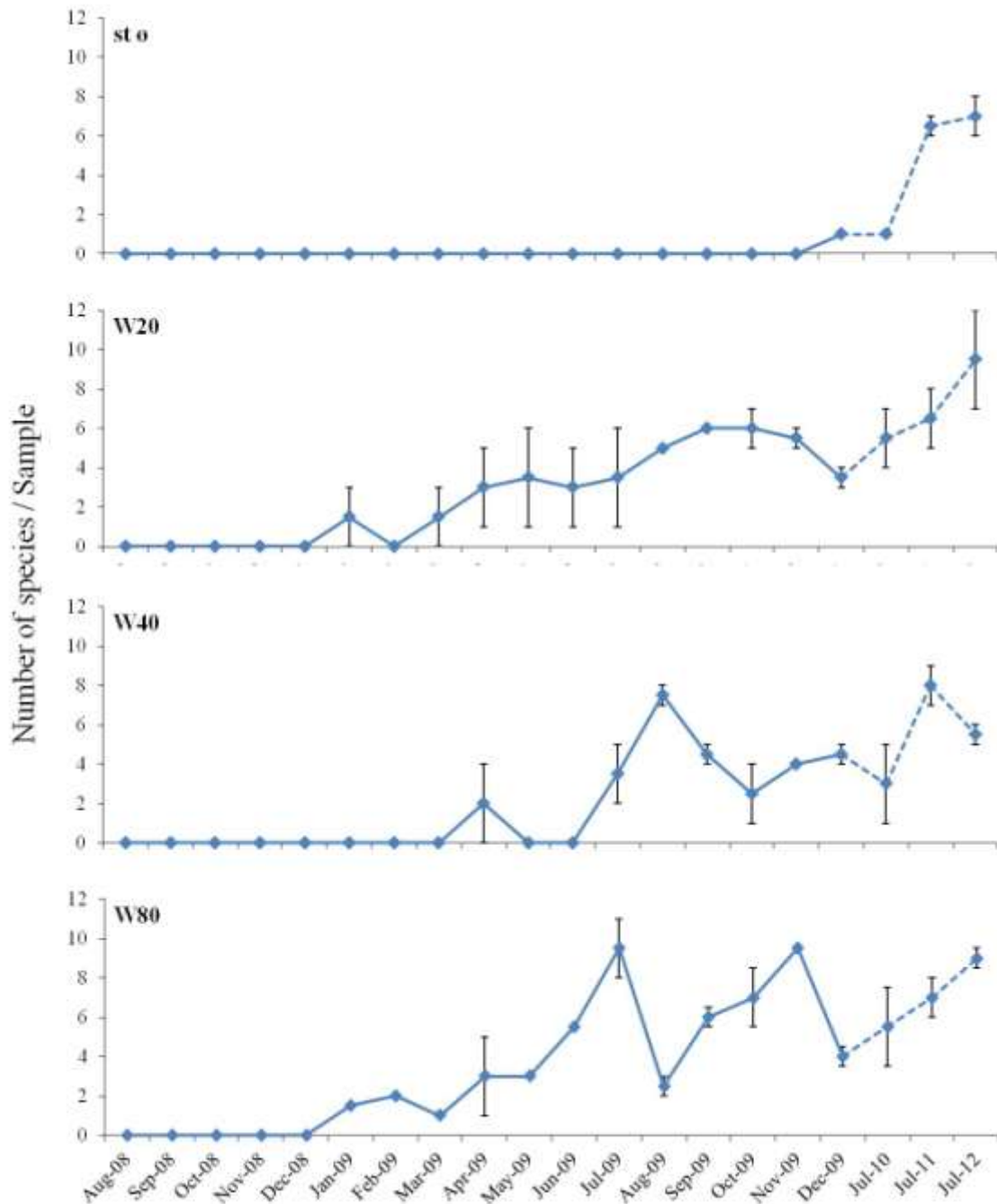
תוצאות המחקר מראות כי ההעשרה האורגנית מכלובי הדגים גרמה ליצירת איזור אזואי (חסר חיים) בסביבתם המיידית, עד לתקופה של כשישה חודשים לאחר פינוי הכלובים. בחודש ינואר 2009 החלו להופיע לראשונה פרטים חיים של פורמיניפרים השייכים בעיקר למין *Assilina ammonoides*, מספרי הפרטים החיים הלכו וגדלו עד לסיום הדיגום החודשי הרציף בדצמבר 2009, כאשר מספרי הפרטים החיים בתחנה המרוחקת 40 ו 80 מטרים ממיקום הכלובים גדולים באופן מובהק מאלה בתחנות הנמצאות 0 ו 20 מטרים ממיקום הכלובים. דפוס השיקום הראה תהליך איטי של סוקסציה והשתלטות של מין בעל התנהגות אופורטוניסטית, כאשר התהליכים התרחשו בקצב שונה בתחנות הדיגום השונות והיו איטיים יותר בתחנות הקרובות למיקום בו היו כלובי הדגים. מספרים של יותר מעשרה פרטים לגרם סדימנט הופיעו לראשונה בתחנה W80 ביולי 2009, ב W40 באוגוסט 2009 ובתחנות W20 ו 0 רק שנה לאחר מכן, ביולי 2010. בדיגומים שנערכו ביולי 2010, יולי 2011 ויולי 2012 לשם המשך מעקב נתגלה כי הרכב המינים בסדימנט עדיין נשלט על ידי *A.ammonoides* ומספרי הפרטים לגרם סדימנט נמצאים במגמת עליה בתחנות 0, W20 ו W40 (איור 1). מספר המינים בדגימות נע בין 0 ל 12 ומראה מגמת עליה בזמן וככל שמתרחקים ממיקום הכלובים (איור 2).

ההיעדרות המוחלטת של פרטים חיים בסדימנט באזור הדיגום בחודשים הראשונים שלאחר פינוי הכלובים מצביעה ללא ספק על כך שסביבה זו לא אפשרה קיום של פורמיניפרים בנתונים. יתרה מכך העדר עשב הים *Halophila* הנפוץ באופן טבעי באזור מעיד על מגבלות סביבתיות חמורות עבור אורגניזמים אלו. ככל הנראה מגבלות האכלוס העיקרית עבור פורמיניפרים הן שינויים ברמות תאורה בקרקעית בשל עכירות עמודת המים וחוסר טולרנטיות לריכוזי חמצן נמוכים וריכוזי אמוניה וסולפידים גבוהים במי החלים בסדימנט הנגרמים עקב הריכוזים הגבוהים של החומר האורגני.



איור 1: מספר הפרטים החיים לגרם סדימנט יבש בתחנות השונות לאורך תקופת הדיגום. קווי השגיאה מייצגים מינימום ומקסימום.





איור 2: מספר המינים שנמצאו בדגימות לאורך תקופת הדיגום. קווי השגיאה מייצגים מינימום ומקסימום

### מאסף חי על עשב הים

נעשה אפיון של מאספי הפורמיניפרה שהתפתחו בעקבות ההתבססות של עשב הים באזור, וזוהו בעיקר מינים הידועים ככאלה החיים באסוציאציה עם עשבי ים ואבנים. כל המינים אשר נמצאו על עשב הים מאפיינים גם את המאסף הכולל (טבלה 1). ולכן ניתן להניח כי מקורם במאסף הכולל הוא עשבי ים אשר כיסו את האזור בעבר ונעלמו בעקבות השפעת כלובי הדגים.

		sediment Total >150 µm	sediment Live (stained) >150 µm	<i>Halophila</i> Live (stained) >150 µm
<b>Suborder ROTALIINA</b>		54%	98%	77%
Family ACERVULINIDAE	<i>Planogypsina acervalis</i>	+		+
Family ALFREDINIDAE	<i>Epistomaroides punctatus</i>	+		
Family AMMONIIDAE	<i>Ammonia</i> spp	+	+	
Family AMPHISTEGINIDAE	<i>Amphistegina lessonii</i>	+ (14%)	+	+ (32%)
	<i>Amphistegina lobifera</i>	+		
	<i>Amphistegina papillosa</i>	+		
Family BOLIVINIDAE	<i>Bolivina</i> sp	+	+	
	<i>Brizalina</i> sp	+		
Family BOLIVINELLIDAE	<i>Bolivinella elegans</i>	+		
Family CIBICIDIDAE	<i>Cibicides mayori?</i>	+		
	<i>Lobatula lobatula</i>	+		+
	<i>Paracibicides edomica</i>	+		+
Family CYMBALOPORIDAE	<i>Cymbaloporeta</i> sp		+	
Family DISCORBINELLIDAE	<i>Discorbinella rhodiensis?</i>		+	
Family ELPHIDIIDAE	<i>Elphidium</i> sp.C	+		
	<i>Elphidium jenseni</i>	+		+
	<i>Elphidium williamsoni</i>	+		
	<i>Elphidium</i> cf. <i>E. limbatum</i>	+		?
Family NONIONIDAE	<i>Nonion</i> spp.		+	
Family NUMMULITIDAE	<i>Assilina ammonoides</i>	+	+ (86%)	+
Family REUSSELLIDAE	<i>Reussella</i> sp	+	+	+
Family ROSALINIDAE	<i>Rosalina</i> sp	+	+	+
Family UVIGERINIDAE	<i>Siphouvigerina</i> sp	+		
<b>Suborder MILIOLINA</b>		43%	?	22%
Family ALVEOLINIDAE	<i>Borelis schlumbergeri</i>	+		+
Family FISCHERINIDAE	<i>Vetebraalina striata</i>	+		+
Family HAUERINIDAE	<i>Agglutinella</i> spp	+		
	<i>Articulina pacifica</i>	+		+
	<i>Articulina antillarum</i>	+	+	
	<i>Hauerina diversa</i>	+		+
	<i>Lachlanella subpolygona</i>	+		
	<i>Lachlanella</i> sp.A	+		
	<i>Miliolinella</i> spp.	+		
	<i>Pseudomassilina pacifiensis</i>	+		
	<i>Pseudomassilina</i> sp.B	+		
	<i>Pseudomassilina reticulata</i>	+		
	<i>Pseudotriloculina</i> sp.B	+		
	<i>Pyrgo striolata</i>	+		
	<i>Quinqueloculina</i> cf. <i>Q. mosharrafai</i>	+		
	<i>Siphonaperta distortaqueata</i>	+		
	<i>Triloculina affinis</i>	+		
	<i>Triloculina serrulata</i>	+		
	<i>Triloculina tricarinata</i>	+		+
	<i>Triloculina trigonula</i>	+		
Family MILIOLIDAE	" <i>Quinqueloculina</i> " sp. A?	+		
Family PENEROPLIDAE	<i>Monalysidium acicularis</i>	+		
	<i>Peneroplis planatus</i>	+	+	+
Family SORITIDAE	<i>Amphisorus hemprichii</i>	+		+
	<i>Sorites orbiculus</i>	+		+
Family SOIROLOCULINIDAE	<i>Spiroloculina attenuata</i>	+		
	<i>Spiroloculina</i> aff. <i>S. communis</i>	+		
<b>Suborder TEXTULARIINA</b>		3%	2%	<1%
Family HAPLOPHRAGMOIDIDAE	<i>Labrospira jeffreysii</i>		+	
Family SACCAMINIDAE	<i>Lagenammia</i> cf. <i>L. atlantica</i>		+	
Family TEXTULARIIDAE	<i>Textularia</i> spp	+	+	+

טבלה ג3: חלוקה טקסונומית של המינים שנמצאו במאסף הכולל, החי, ועל עלי עשב הים. האחוזים מייצגים שפעה יחסית של כל קבוצה, סוג או מין בכלל המאסף

**Table C3: Taxonomy of species found in the live assemblage in sediment and on sea grass. Percents represent relative abundance of each group in the assemblage**

## ד. עמודת המים בים העמוק

[בנספח 4.2 מופיע סיכום 11 שנות מחקר שנעשה על ידי ד"ר אפרת מידר (בהדרכת פרופ' בעז לזר וד"ר יעלה שקד) ומתמקד במחזור החנקן בעמודת המים במפרץ אילת. המחקר מעלה תובנות רבות הקשורות למחזור החנקן במפרץ, וכולל את השנים 2000-2010 – החל מלפני פעולתה של תכנית הניטור ועד לאחרונה. נתונים רבים מהשנים האחרונות לקוחים ממדידות התכנית בהפלגות החודשיות.

עבודה זו מופיעה כאן מכיוון שתכנית הניטור רואה חשיבות גדולה בעדכון ובהפצת מצב הידע הקיים לגבי התהליכים המתרחשים בעמודת המים. תהליכים בעמודת המים מניעים רבות מהתופעות האקולוגיות במפרץ אילת ותכנית הניטור רואה צורך לתמוך במחקרים מסוג זה ובהפצתם. חלקים מהמחקר כבר פורסמו בספרות המקצועית, וחלקים עדיין מצויים בתהליך של עיבוד וכתובה. כל המעוניין לעשות שימוש במחקר זה ובתוצאותיו מתבקש ליצור קשר עם ד"ר מידר, פרופ' לזר או ד"ר שקד ([efratmeeder@gmail.com](mailto:efratmeeder@gmail.com), [boaz.lazar@huji.ac.il](mailto:boaz.lazar@huji.ac.il), [yshaked@vms.huji.ac.il](mailto:yshaked@vms.huji.ac.il)) לשם תאום וקבלת אישור או מידע על מצב הפרסומים].

### מטרה

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

### שיטות

אחת לחודש מבוצעת בספינת מחקר הפלגה לתחנה A ולצפון המפרץ, בסמוך למקום בו היו כלובי הדגים (FF). פעמיים בשנה (אביב וסתיו) מבוצעת הפלגה ארוכה יותר, בשיתוף עם מדענים מירדן, הכוללת גם תחנה מול גבול ירדן-סעודיה בעומק מים של כ-800 מטרים, תחנה B. תחנה A נמצאת על הקו החוצה של המפרץ (גבול ישראל-ירדן) קרוב לנקודה הדרומית ביותר של המים הטריטוריאליים של ישראל במפרץ אילת, בעומק קרקעית גדול מ-700 מטר (מפה 1 בנספח 1.1). 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 נלקחו שני קסטרים (= cast = הורדת רוזטה), קסט עמוק וקסט רדוד, בכדי לקבל רזולוציה גבוהה של דגימות סביב התרמוקלינה ובעמודת המים העליונה. עומקי הדגימה נקבעו בהתאם לשינויי טמפרטורה, מליחות, ופלווארסנציה כפי שהצטיירו בזמן אמת מנתוני ה-CTD בכל הפלגה. בתחנות האחרות נלקח רק קסט אחד, כיוון שעומק המים קטן יותר. עומק הדגימה המרבי בכל תחנה תלוי בעומק הקרקעית ובכל מקרה הבקבוק התחתון נסגר 2-3 מ' מעל הקרקעית.

בכל תחנה מתבצע חתך אנכי רציף של מדידות טמפרטורה, מליחות, לחץ, ופלווארסנציה במכשיר CTD של Sea-Bird Electronics. דגימות המים 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 בוצעו במעבדה לפי השיטות המתוארות בפרק העוסק במי החופים.

על פי הנוהג המקובל, וכיוון שבקבוקי הניסקין נסגרו בשלב הרמת הרוזטה, נלקחו מדידות ה-CTD מזמן ההרמה להצגה ולניתוח. כל הפלגה אורכת יום שלם ובהשוואת הנתונים ממקומות שונים או מקסטים שונים יש לזכור את הפרש הזמן בין המדידות.

[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 לזר 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].

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

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

הדוגמאות מוחזרות למעבדה למחרת, בשעות החשכה, ומכל בקבוק הדגרה מסוננים 50 מ"ל מים על גבי פילטר (NC-45). הפילטרים מיובשים 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.

השנה 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. מונה הסינטילציה החדש מאפשר קריאה וחישוב של ה dpm בצורה אמינה ומדויקת יותר, ובהשוואה בין החישובים מתקבלות תוצאות דומות.

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

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

בנוסחה זו:

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

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

מדידת תכולת הפחמן בפילטרים נעשית במכשיר Total Organic Carbon analyzer של חברת Shimadzu Instruments, בו הפחמן המצוי בדוגמה מחומצן בטמפרטורה גבוהה (900-980 מעלות) ליצירת פחמן דו-חמצני ( $\text{CO}_2$ ). הפחמן הדו-חמצני נישא על ידי חמצן לגלאי IR ויוצר אות אשר שיטחו פרופורציונלי לכמות הפחמן. לצורך כיוול משמשים סוכרים המכילים פחמן בכמות ידועה.

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

**ניטור ריכוזי זואופלנקטון במאה מטרים העליונים של עמודת המים:** דיגום זואופלנקטון נעשה אחת

לחודש מתוך סירה בים העמוק. מעל עומק מים מינימלי של 300 מטרים מתחילים בגרירת רשת פלנקטון כפולה (מחוברת למסגרת "Bongo") בגודל חור של 200 $\mu$ m. 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 דיגום נעשות שלוש חזרות על הגרירה.

במעבדה מחולקות הדגימות באמצעות קולונה לתת דגימות בגדלים 200 $\mu$ m, 500 $\mu$ m, 1000 $\mu$ m. 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).

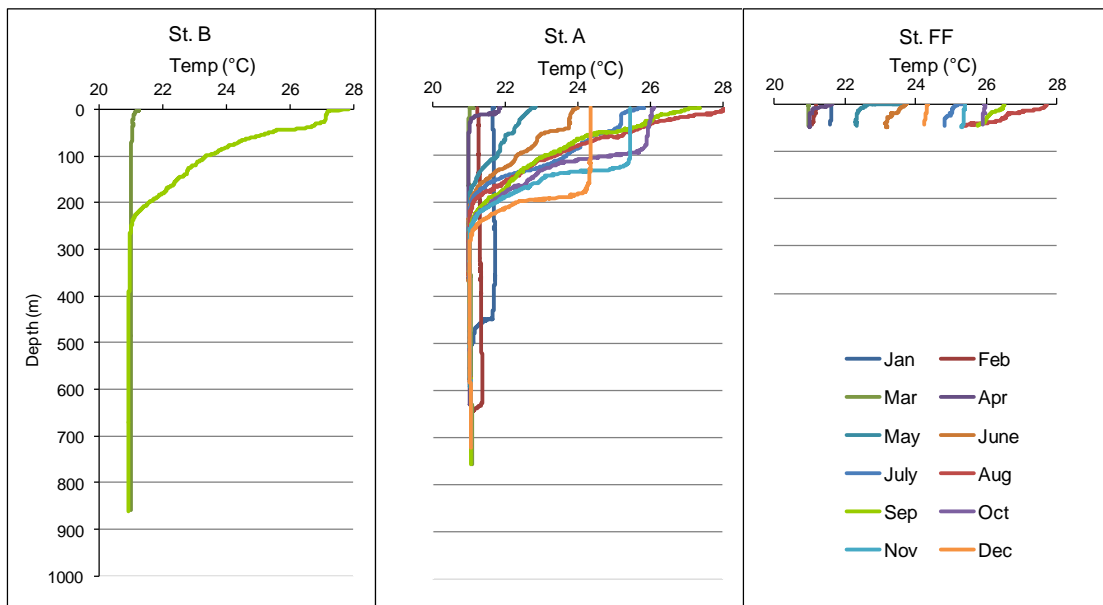
## ד.1. מדדים פיסיקליים: טמפרטורה ומליחות

פרופילים רציפים של טמפרטורה, מליחות ופלווארסנציה 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.

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

### טמפרטורה

ערבוב עמודת המים היה השנה עמוק מאד, מעבר לעומק המדידה בתחנה B, 860 מטרים (איור ד1). הטמפרטורה בחודשי הערבוב פברואר-מרץ הייתה סביב 21 מעלות, כמעלה שלמה נמוך מהערך המזערי אשר נמדד בשנה הקודמת. הערבוב העמוק היה צפוי לאור הטמפרטורה המרבית אשר נמדדה בשנה הקודמת, 26.85 °C בלבד, לעומת טמפרטורה מרבית של 28.2 °C בתחנה A בחודש אוגוסט השנה. הטמפרטורה הגבוהה השנה רומזת על כך שבשנה הבאה צפוי כנראה ערבוב רדוד. ערבוב עמודת המים עקב קירור המים מלמעלה, במגע עם האטמוספירה, בעונת החורף הוא גורם מרכזי בדינאמיקה של המערכת האקולוגית במפרץ.



איור ד1: טמפרטורת עמודת המים כפי שנמדדה במכשיר ה-CTD בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה B היא הדרומית והעמוקה ביותר, תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700 מטרים, ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים.

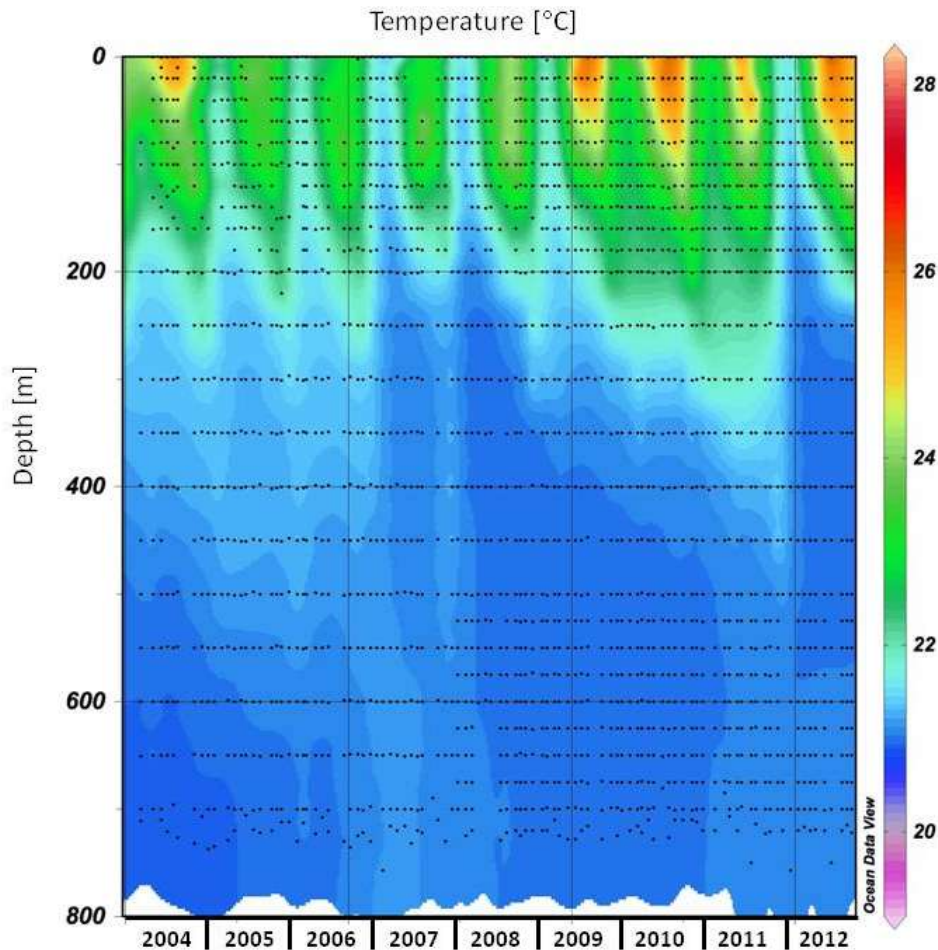
**Figure D1: Temperature profiles measured using a CTD during the monthly monitoring cruises. Station B is the southernmost and deepest, Station A is on the Israeli/Jordanian/Egyptian border at ca. 700 meters depth, and the Fish Farms station is close to the northern shore of the Gulf at ca. 50 meters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

המחזור העונתי של קירור המים בחודשי החורף הוא הגורם למחזורי הערבוב-שיכוב האופייניים בעמודת המים הפתוחים. מחזוריות זו ניכרת היטב בכל שנות הניטור, כאשר השנים נבדלות במידת

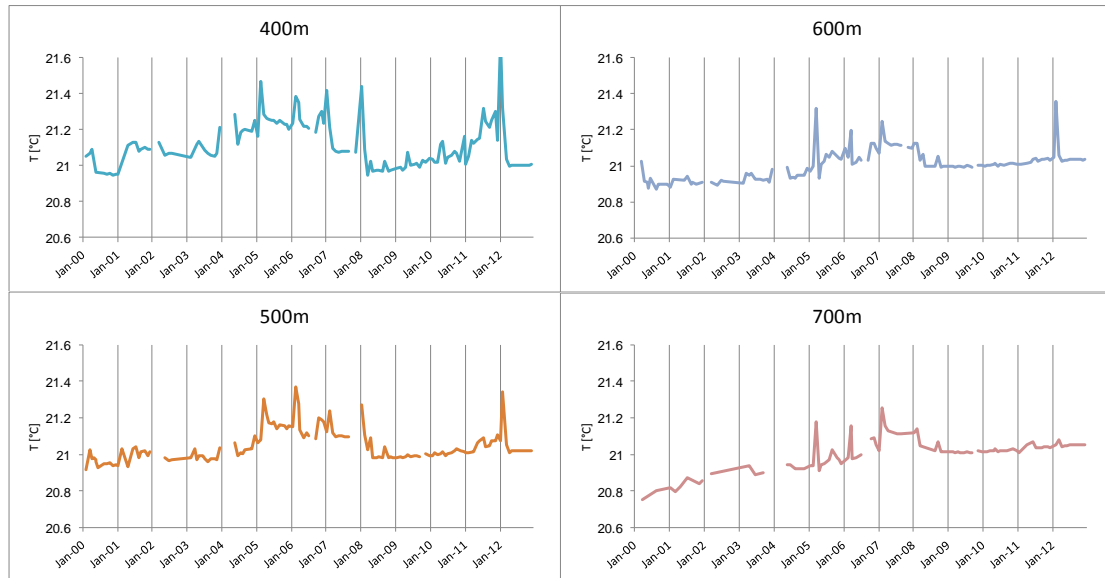
הקירור של פני הים וכך גם בעומק הערבוב. סיום הערבוב ותחילת השייכוך, לעומת זאת, מונעים ככל הנראה על ידי חדירת מים חמים יותר מדרום (Biton & Gildor, 2011). השנה היה ערבוב עמודת המים עמוק מעומק הקרקעית בתחנה B (860 מ'). בכך אנו עדים למחזור שלם של ערבוב עמוק בשנים 2007 ו-2008, שלוש שנים של ערבוב רדוד, בשנים 2009-11, ושוב ערבוב עמוק השנה (איור 2). לערבוב העמוק בשנת 2007 קדמו מספר שנים של ערבוב לעומק בינוני. עקב הערבוב הרדוד נצפיתה בשנים האחרונות עליית טמפרטורה בעומקי הביניים, עד כ-300-400 מטרים אולם השנה שוב התקררו המים עד לקרקעית.

במבט לטווח ארוך יותר, מאז שנת 2000 (נתונים הקודמים לתכנית הניטור נאספו במסגרת פרויקט "פארק השלום" ומובאים באדיבותם של הפרופ' י. ארז ופרופ' ב. לזר), נראה שמי העומק התחממו באופן הדרגתי עד לשנת 2008, בה ערבוב עמוק קירר את מי העומק. בשלוש השנים שלאחר מכן, בהן היה ערבוב רדוד, אובחנה מגמת התחממות מתונה, והשנה התקררו מעט עומקי הביניים אולם המים העמוקים לא התקררו (איור 3). טמפרטורת מי העומק שלאחר הערבוב השנה גבוהה בעד כ-0.04 מעלות בהשוואה לערבוב של שנת 2008.

[דיוק חיישן הטמפרטורה שבמכשיר ה-CTD 0.001 מעלה, עם סטייה של עד 0.002 מעלות בשנה. המכשיר שבשימוש תכנית הניטור כוייל לאחרונה בשנת 2007].



איור 2: שינויי טמפרטורה בתחנה A מאז ינואר 2004. הנקודות השחורות מייצגות את עומק המדידה.  
**Figure D2: Changes in water temperature at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths.**



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

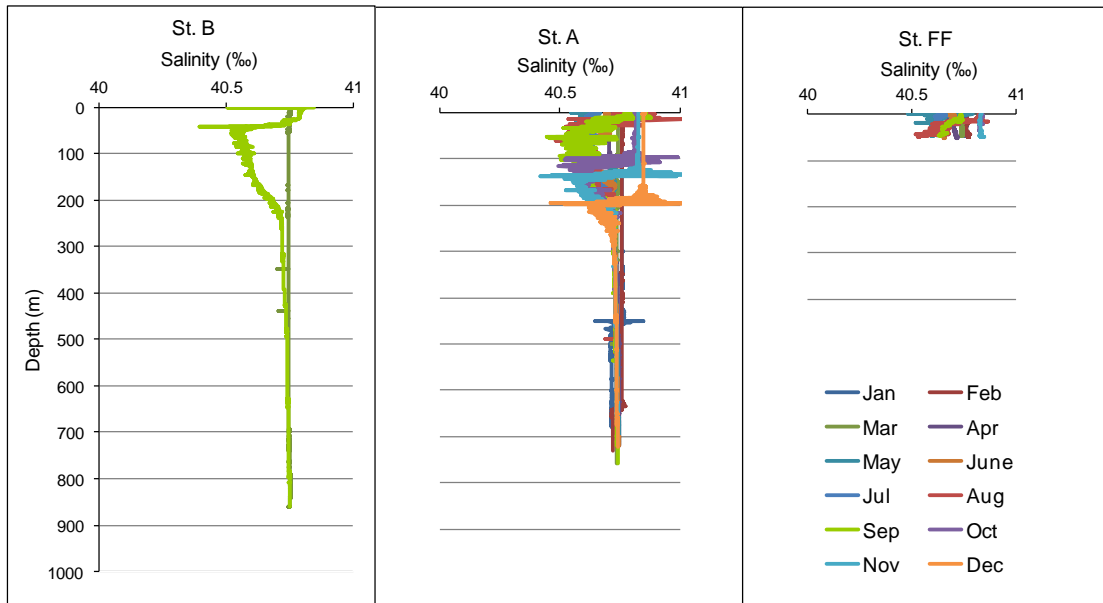
**Figure D3: Changes in water temperature at depth (400m to 700m) at Station A since 2000. Data from the years 2000-2002 were collected during the Peace Park Project and are provided courtesy of prof. J. Erez and prof. B. Lazar.**

#### מליחות

עקב של תוצאות מדידות המליחות במד המליחות במעבדה. כתוצאה מנדידה חזק של מדידות המליחות הוחלט לא להציג תוצאות מליחות שנמדדו בממעבדה החל המחודש פברואר 2010. מדידות המליחות בים העמוק אשר נעשו גם באמצעות מד מליחות אלקטרוני כחלק מפרופיל ה-CTD מוצגות כאן. התכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת, בשיתוף עם המכון הבינאוניברסיטאי למדעי הים, רכשה מד מליחות חדש אשר החל לפעול בחודש יולי 2011 ותוצאותיו מופיעות בלוח זה.

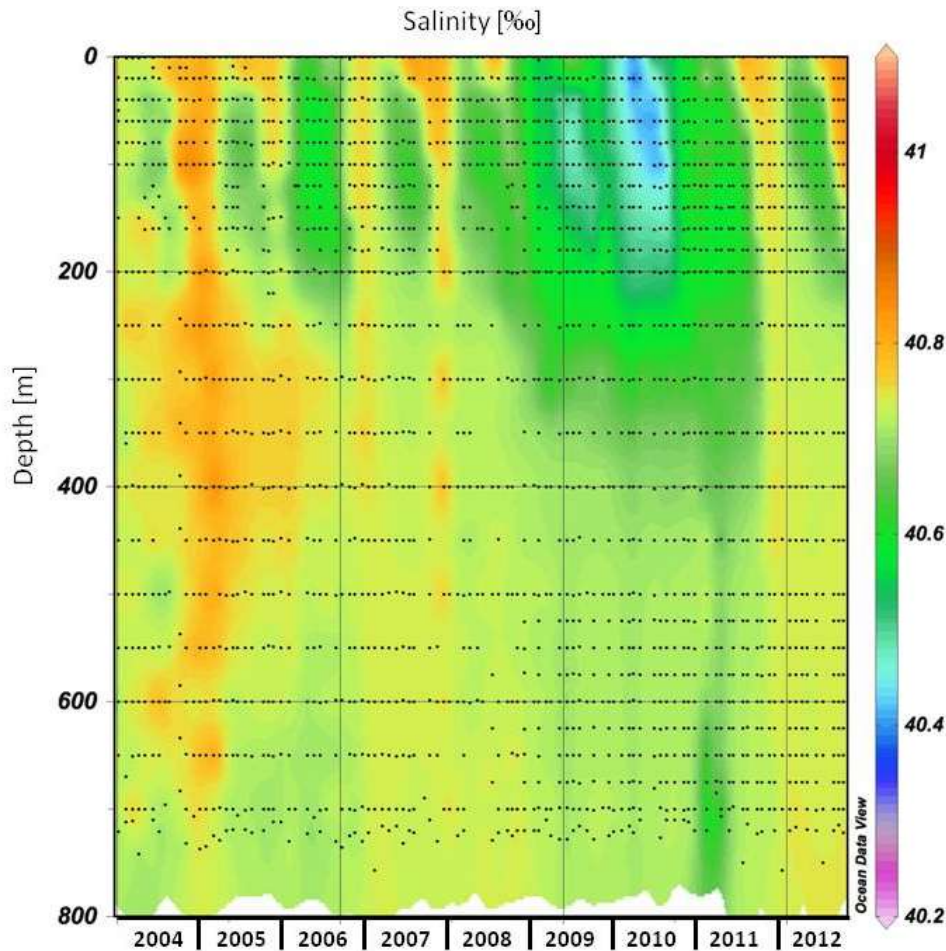
למדידות המליחות מחזור עונתי אופייני של היווצרות שכבת מים בעלת מליחות נמוכה יחסית בעומקים 200-250 מטרים בתקופה המשוכבת (איור ד4). שכבת "המליחות המינימלית" בעמודת המים בתקופת השכוב נוצרת עקב חדירת מים עם מליחות נמוכה יותר שמקורם בדרום המפרץ בסוף החורף. מים אלה מתערבבים עם המים העמוקים יותר של השכבה העליונה, בעוד שבפני הים האידיוי גורם ליצירת שכבה בעלת מליחות גבוהה יחסית (וטמפרטורה גבוהה יחסית). באופן זה "נלכדת" שכבת מים בעלת מליחות נמוכה יחסית בחודשי הקיץ מתחת לפני הים. עם התערערות המבנה המשוכב בסוף הקיץ ותחילת הערבוב, גם מים אלה מתערבבים, ועומק "המליחות המינימלית" השאריתית גדל. חדירת מים בעלי מליחות נמוכה הייתה חזקה ביותר בשנים החמות 2009-2010, ובשנתיים האחרונות מעט פחות מובהקת. יחד עם זאת, ניתן במדידות המליחות להבחין בשכבה המלוכה-פחות ובכך שמאז הופעתה בסוף החורף ועד לסוף השנה השכבה מעמיקה ונמהלת (איור ד5). שינויי המליחות בעמודת המים הינם מחזוריים בעיקרם, ועל אף תכנית מעט שונה משנה לשנה לא ניכרת מגמה של שינוי ארוך טווח. ההבדלים בין השנים קשורים יותר לגופי המים החודרים לאזורינו מדרום מאשר למאזני האידיוי המקומיים, אם כי חדירת גופי המים המלוחים קשורה אולי בעומק הערבוב או בטמפ' הים מדרום.





איור 4: מליחות בעמודת המים כפי שנמדדה בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700 מטרים, ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים.

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



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

## 2.2. מדדים כימיים

### חמצן ( $O_2$ )

הגורם העיקרי המשפיע על ריכוזי החמצן בעמודת המים הוא המחזור העונתי של שיכוב-ערבוב עמודת המים. בתקופת 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. השנה "אוררה" עמודת המים עד לעומק הקרקעית בתחנת המדידה, וזאת לאחר שלוש שנים של ערבוב רדוד בו ירדו ריכוזי החמצן בעומקים הגדולים מ-300 מטרים לערך.

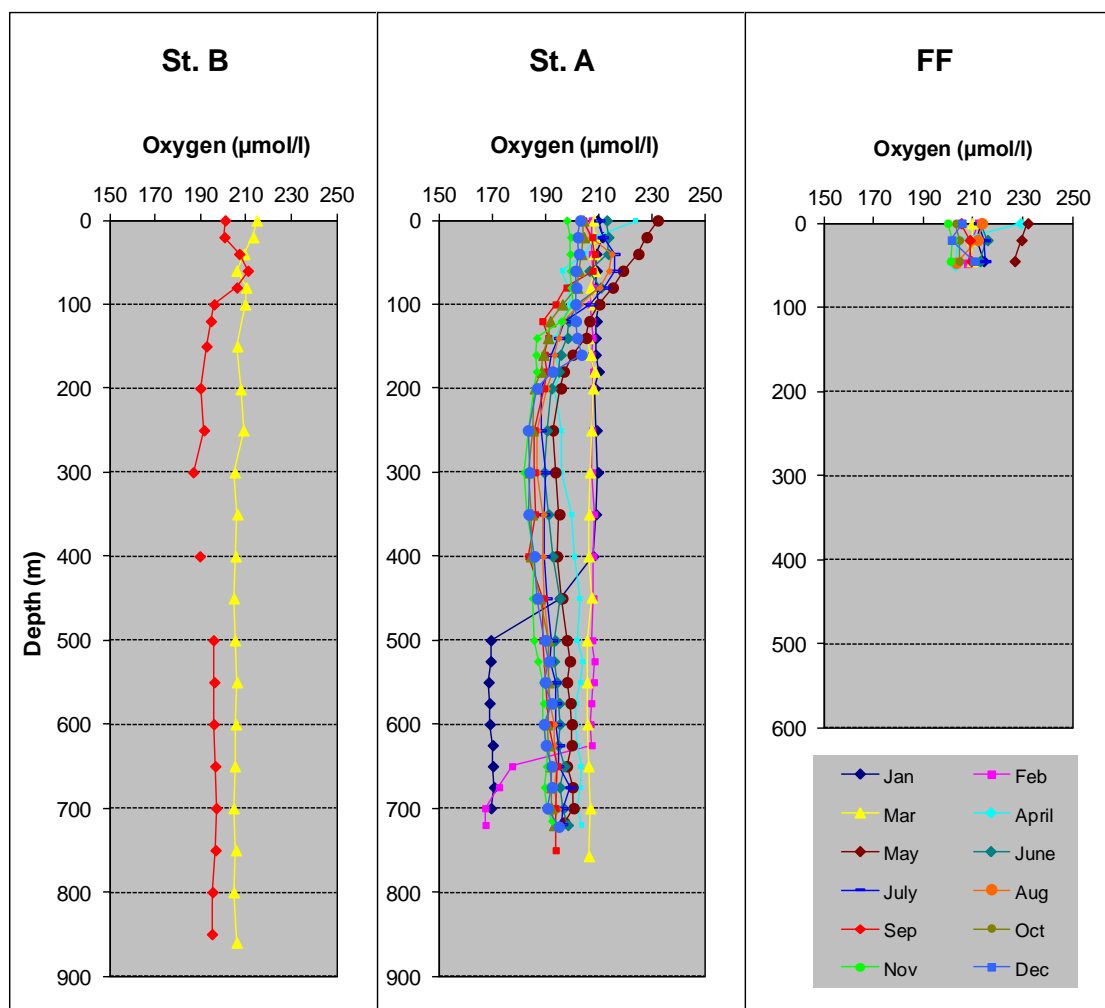
ריכוז החמצן המרבי בתחנה A נמדד גם השנה בחודש מאי בעומקים הרדודים ביותר,  $232 \mu\text{mol/l}$  (איור D6). ריכוז זה גבוה מהערכים המרביים של השנה הקודמת ( $216 \mu\text{mol/l}$ ) ומעיד על יצרנות גבוהה יותר. בקרבת החוף, בתחנת FF ריכוז החמצן המרבי שנמדד השנה היה דומה. במים העמוקים נמדד ריכוז של  $168 \mu\text{mol/l}$  בחודש פברואר בקרבת הקרקעית, ובעקבות הערבוב בחודש מרץ עלה שם ריכוז החמצן ל-  $206 \mu\text{mol/l}$ .

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 כמו השנה, 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' 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. הערבוב העמוק השנה מלא את מאגרי החמצן בעמודת המים והעלה מחדש את ריכוזו במים העמוקים (איור ד7).

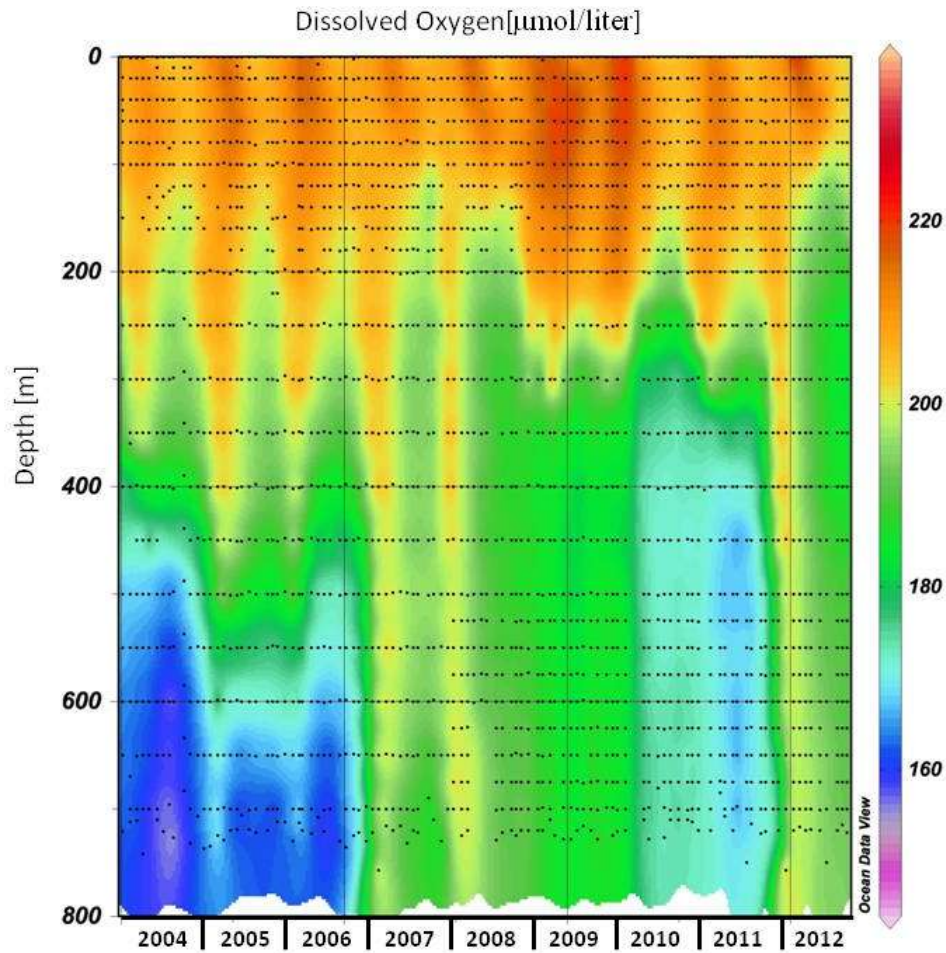
מאז שנת הערבוב העמוק 2007 נמצאה ירידה בכמות השנתית הממוצעת של חמצן המומס בעמודת המים אולם בעקבות הערבוב השנה עלתה כמות החמצן המומס לערך הגבוה ביותר אשר נמדד במסגרת תכנית הניטור (איור ד8).

ריכוז החמצן במים העמוקים ירד בהתמדה מאז שנת 2000 ועד לשנת 2007. שנתיים של ערבוב עמוק בשנים 2007-8 העלו את ריכוזי החמצן בכל העומקים, לערך מרבי בפברואר 2008, ואז בשנים 2009-2011 שוב ירד הריכוז, בהעדר ערבוב עמוק. השנה ערבוב עמוק העלה מחדש את ריכוז החמצן במים העמוקים לערכים דומים לאלה של 2007-8, ומעט נמוכים ממה שנמדד בעקבות הערבוב העמוק בשנת 2000 (איור ד9).



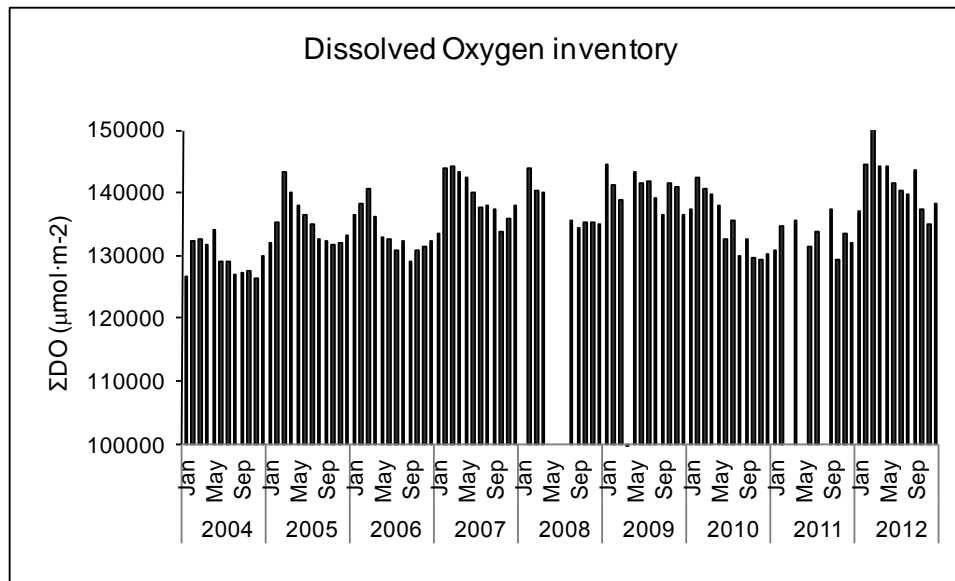
איור ד6: ריכוזי חמצן מומס בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה B היא הדרומית והעמוקה ביותר, תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700 מטרים, ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים.

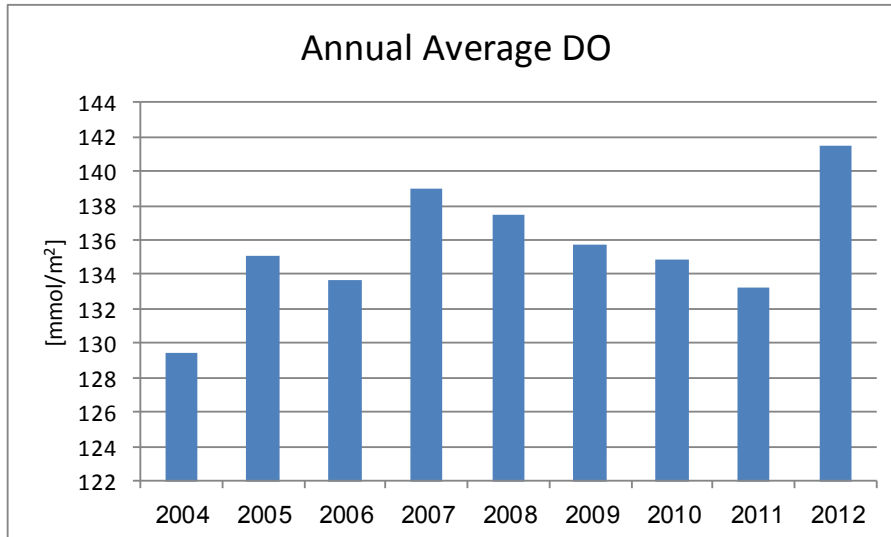
**Figure D6: Dissolved oxygen concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Station B is the southernmost and deepest, Station A is on the Israeli/Jordanian/Egyptian border at ca. 700 meters depth, and the Fish Farms station is close to the northern shore of the Gulf at ca. 50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



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

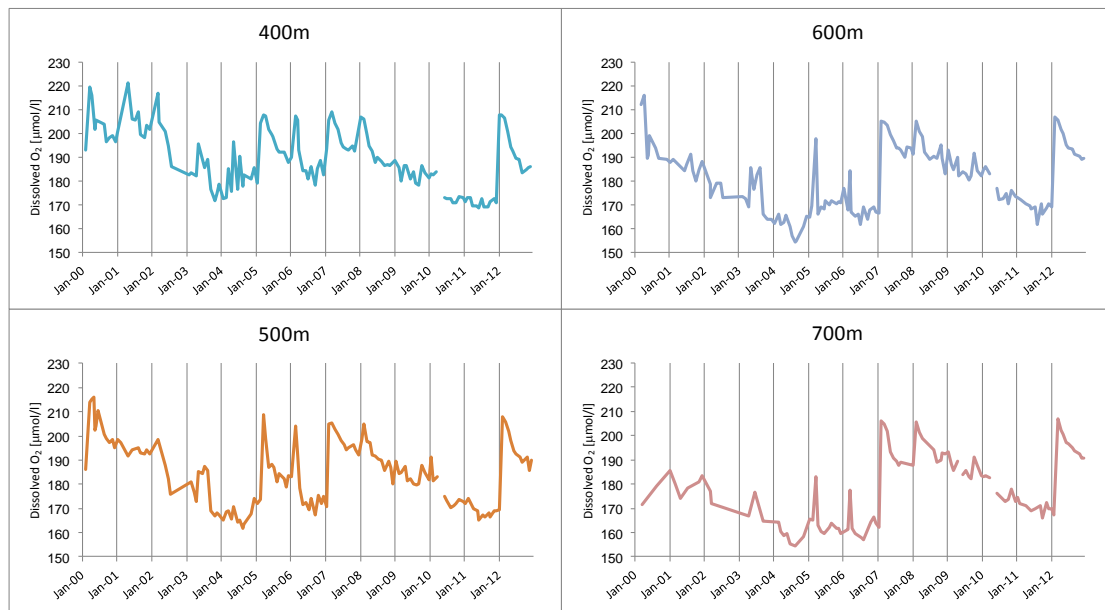
**Figure D7: Changes in concentrations of dissolved oxygen in the water column at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths.**





איור 8: שינויים במאגר החמצן המומס בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. למעלה: מדידות חדשות, 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



איור 9: שינויים בריכוזי החמצן המומס בעמקים 400 עד 700 מטרים בתחנה A מאז שנת 2000.

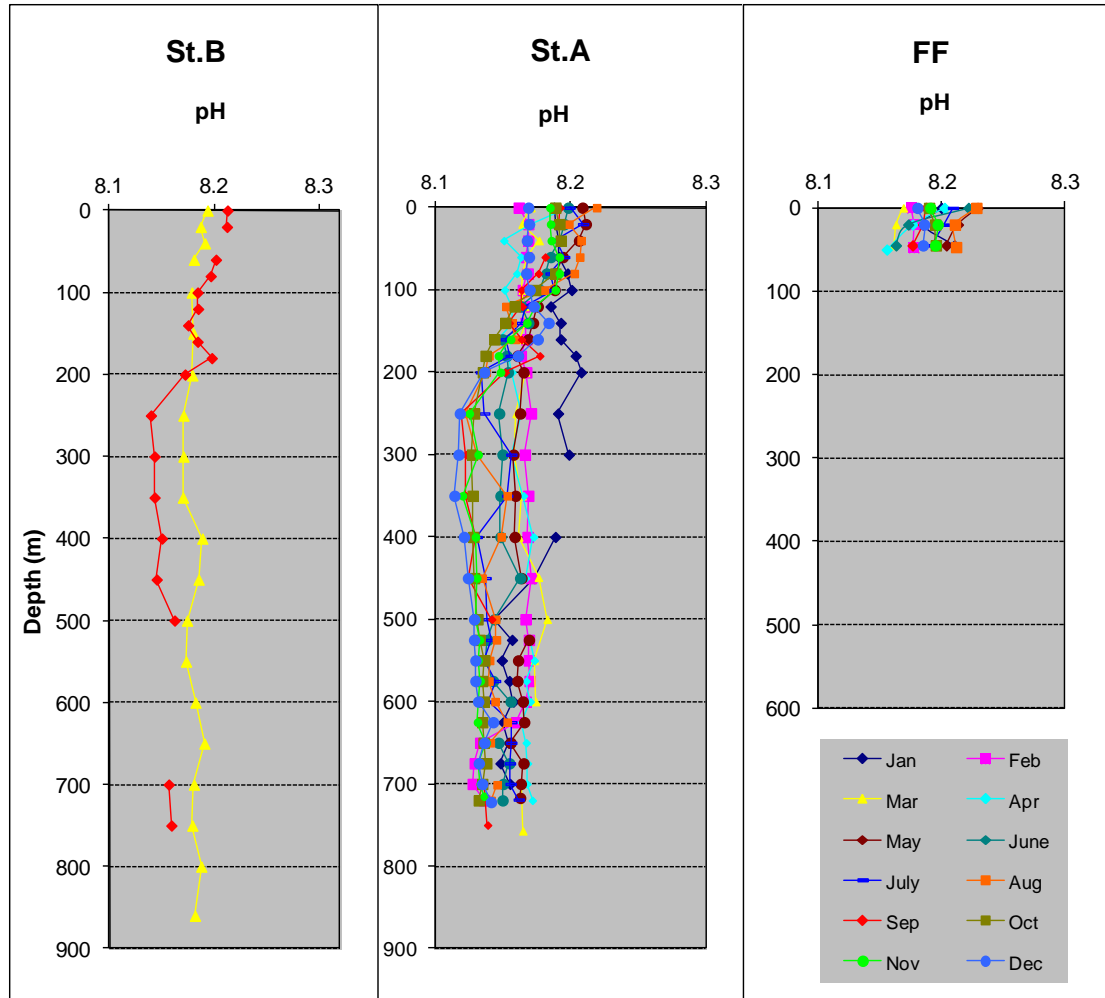
Figure D9: Changes in dissolved oxygen concentrations in 400m to 700m water depth at Station A, since 2000.

ערך הגבה (רמת חומציות המים, pH)

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

ערכי ה-pH במי העומק בדרך כלל נמוכים יותר מאשר במים הרדודים ועל כן מושפעת גם רמת החומציות בעמודת המים ממחזור הערבוב-שיכוב העונתי. מבנה הפרופיל של ערך הגבה (pH) בעמודת המים דומה, לרוב, לזה של החמצן המומס מכיוון ששני המשתנים תלויים בקצבי הפוטוסינתזה והנשימה. ערכי pH גבוהים נמדדו בחודש ינואר בעומקי ביניים של 200-300 מ', אך הערכים הגבוהים ביותר

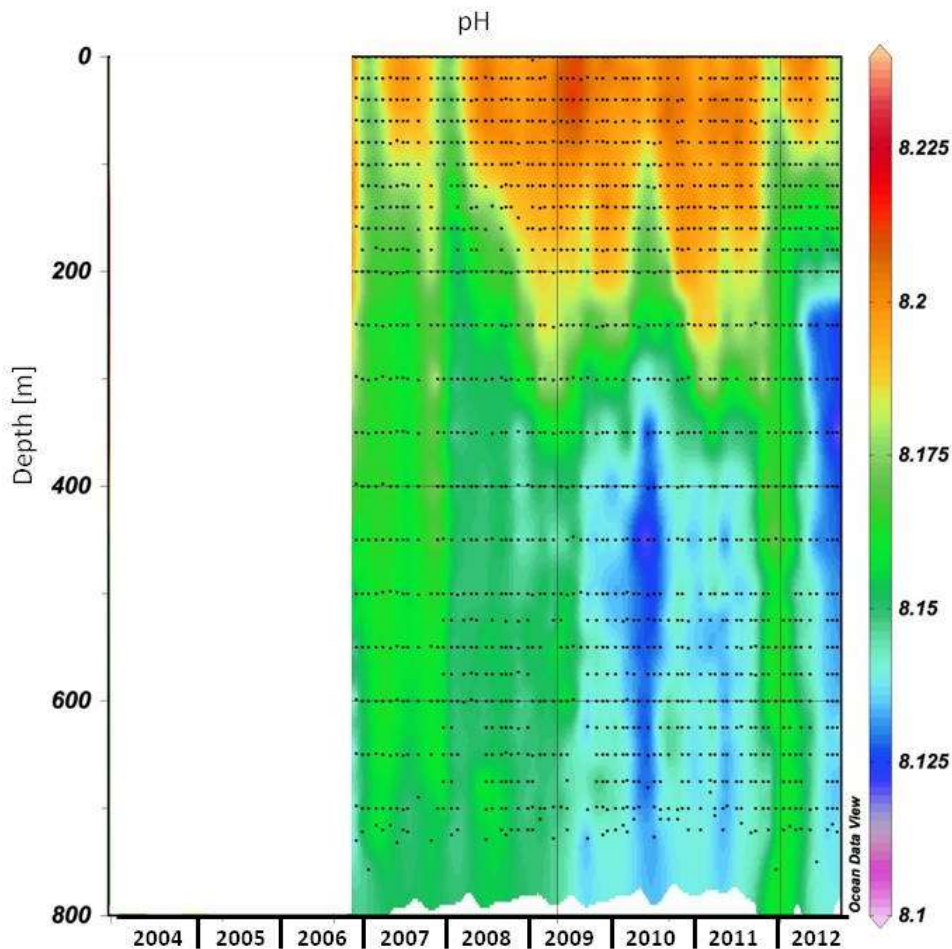
נמדדו בקיץ, בפרט בחודש אוגוסט, בקרבת פני הים, עד ל- 8.229 בתחנת כלובי הדגים (איור ד10). ערכי ה-pH המרביים מעט נמוכים השנה בהשוואה לשנה הקודמת. במים העמוקים נעו ערכי ה-pH בטווח 8.13-8.17 כאשר המספרים הנמוכים נמדדו בחודש פברואר והגבוהים באפריל. בשלוש השנים הקודמות בהן היה הערבוב רדוד, ירד מעט ערך הגבה במי העומק בהשוואה לערכי השנים 2007-8. הערבוב העמוק השנה שוב העלה מעט את ה-pH במי העומק, כפי שקרה במחזור הערבוב העמוק הקודם (איור ד11). בקיץ החם שלאחר הערבוב ירד ערך ה-pH במים הבינוניים-עמוקים במידה רבה.



איור ד10: ערכי רמת חומציות בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה B היא הדרומית והעמוקה ביותר, 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, 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.**



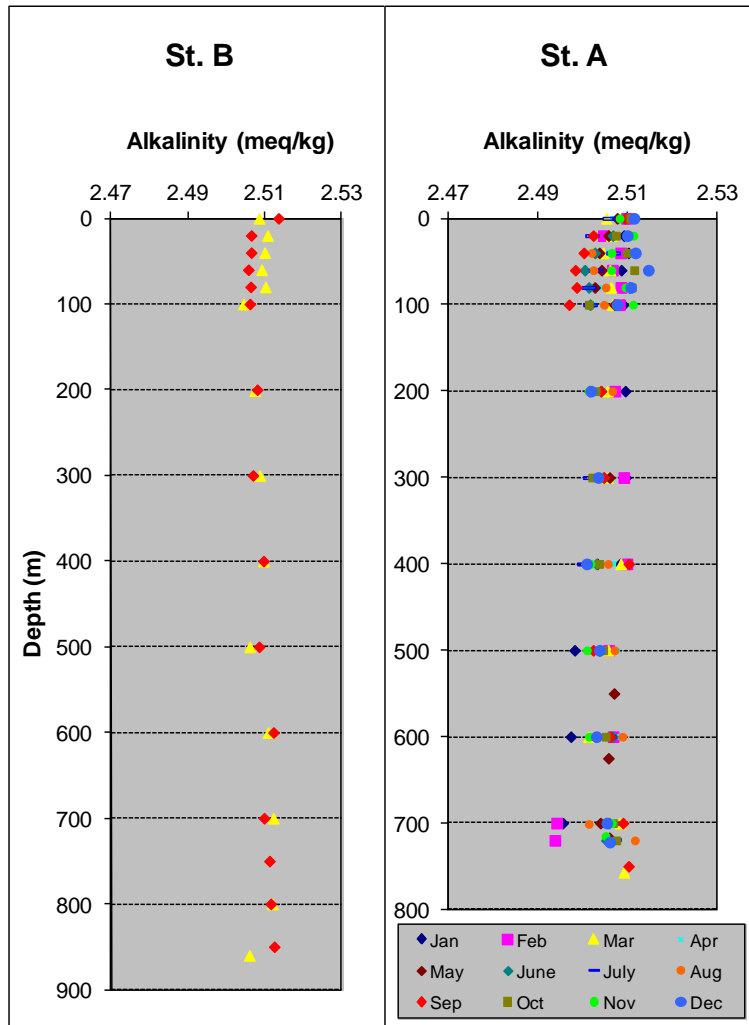


איור 11: שינויים ברמת החומציות בעמודת המים בתחנה A מאז נובמבר 2006. הנקודות השחורות מייצגות את עומק המדידה.

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

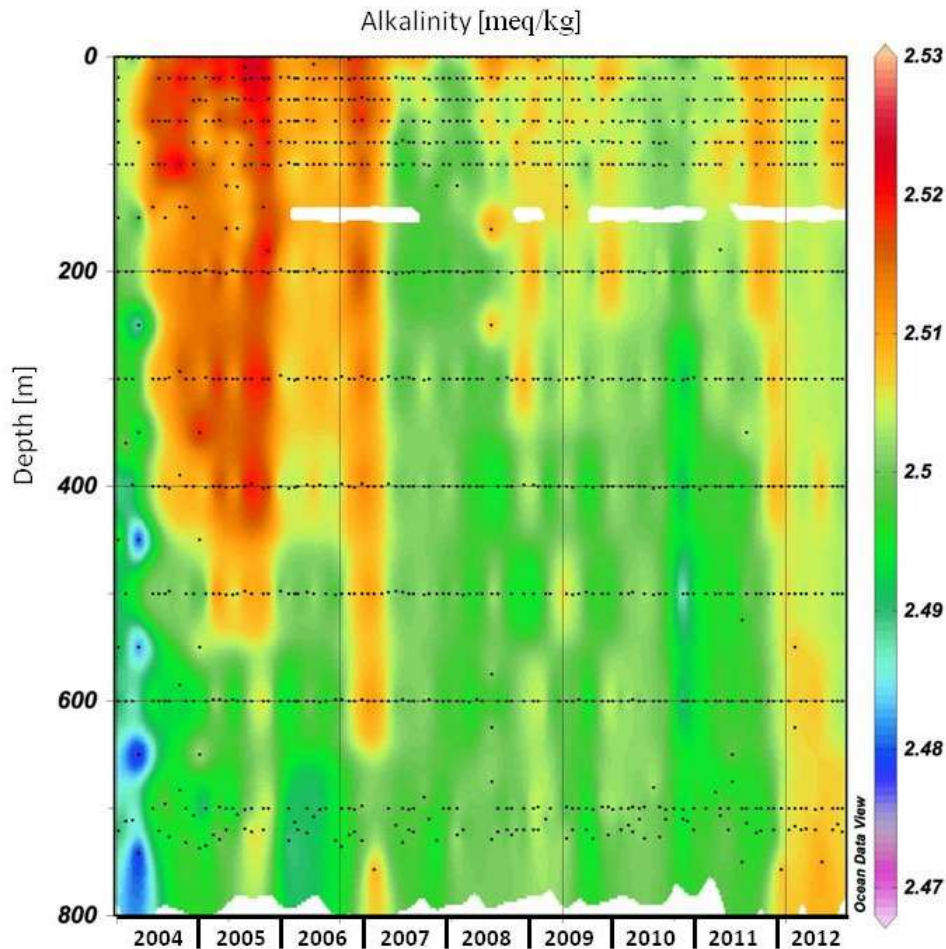
#### אלקליניות

האלקליניות היא מדד לריכוז החומצות החלשות במים, ובעיקר לריכוז יוני הקרבונט והביקרבונט ( $\text{CO}_3^{2-}$  ו- $\text{HCO}_3^-$  בהתאמה). טווח הערכים במדידות האלקליניות קטן מאד, הן בשינויים העונתיים והן בין העומקים. ערכים נמוכים יחסית של אלקליניות במים העמוקים נרשמים לאחר הקיץ (בחודשים נובמבר-דצמבר), וערכים גבוהים יותר בחודשי הערבוב (חודש פברואר). הערך המרבי השנה נמדד בחודש דצמבר בעומק 60 מ',  $2.5148 \text{ meq/kg}$  (איור 12), מעט נמוך מאשר בשנה הקודמת. בשנת הערבוב 2007 ניכרה עלייה באלקליניות, ובאופן דומה אם כי במידה פחותה גם השנה עלתה מעט האלקליניות בעמודת המים בעקבות הערבוב העמוק (איור 13).



איור ד12: ערכי אלקליניות בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניסור החודשיות. תחנה B היא הדרומית והעמוקה יותר, 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 and Station A is on the Israeli/Jordanian/Egyptian border at ca. 700 meters depth.



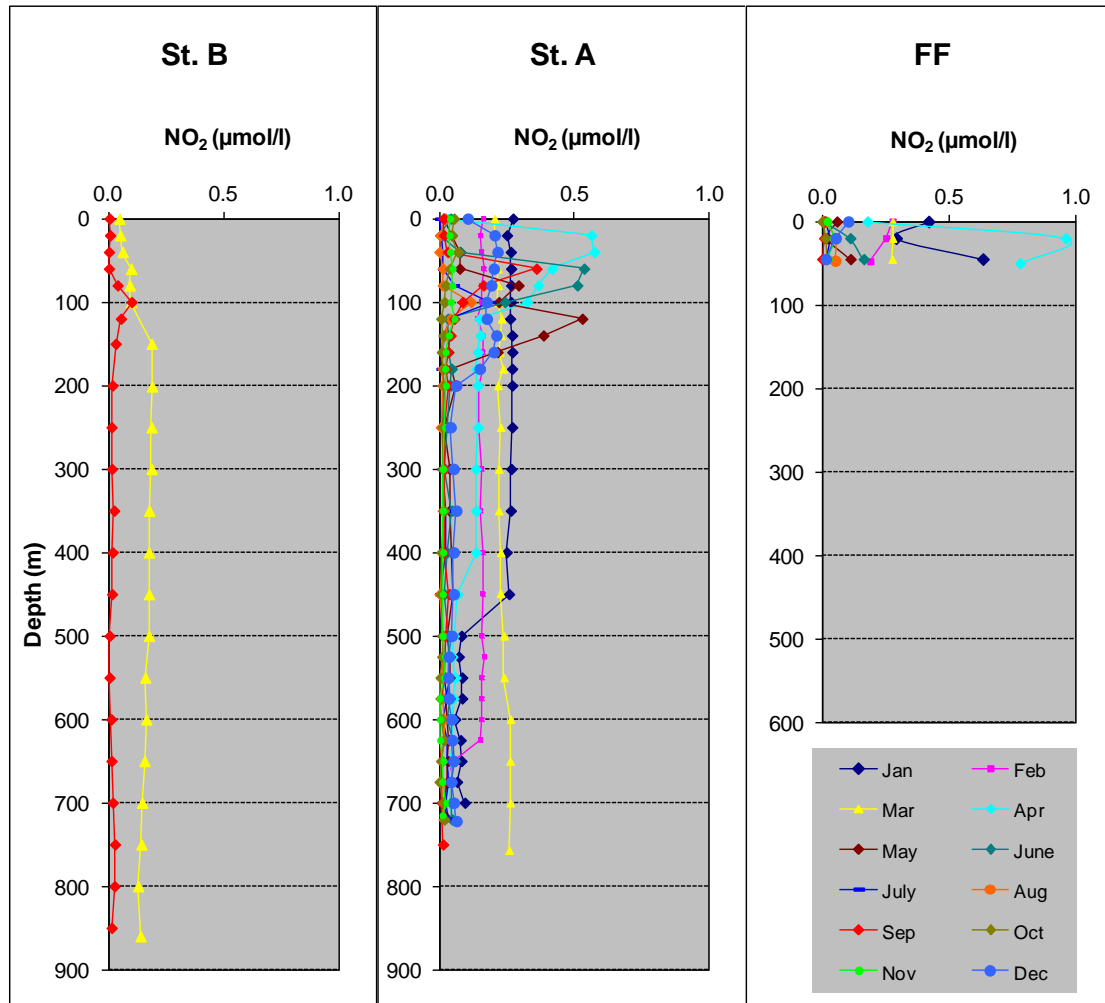


איור D13: שינויי אלקליניות בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. הנקודות השחורות מייצגות את עומק המדידה.

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

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

ניטריט נצרך הן על ידי פיטופלנקטון באזור הפוטי והן על-ידי בקטריות וארכיאה המחמצנים אותו לניטראט בתהליך הניטריפיקציה המתרחשת בכל עמודת המים, ועל כן ריכוזי הניטריט במים נמוכים מאד. ניטריט יכול להיווצר גם על ידי דניטריפיקציה, חיזור ניטראט על ידי חיידקים אנארוביים, אולם תהליך זה פחות סביר במי המפרץ המחומצנים. יתכן שדניטריפיקציה מתרחשת בסדימנט. ריכוזי הניטריט גבוהים יחסית בתקופת הערבוב בחורף, ועם תחילת השיכוב נוצר בין העומקים 100 ו-300 מ' (מתחת לשכבה הפוטית) אזור בו ריכוז הניטריט גבוה יחסית (איור D14). באזור זה מתרחשים תהליכי פרוק חומר אורגני וחמצון בקטריאלי של אמוניה. ככל שעמודת המים מתייבבת מאגר הניטריט באזור זה קטן והולך. השנה נמדד ריכוז ניטריט מרבי בתחנה A בחודש אפריל, בעומק 40 מטרים,  $0.576 \mu\text{mol/l}$ , מעט נמוך מהערך המרבי של השנה הקודמת. בחודשים מאי ויוני נמצא ריכוז הניטריט המרבי בעומקים גדולים יותר ויותר, ולאחר מכן "קרסה" נקודת שיא הריכוז וריכוזי הניטריט בכל עמודת המים ירדו מאד.

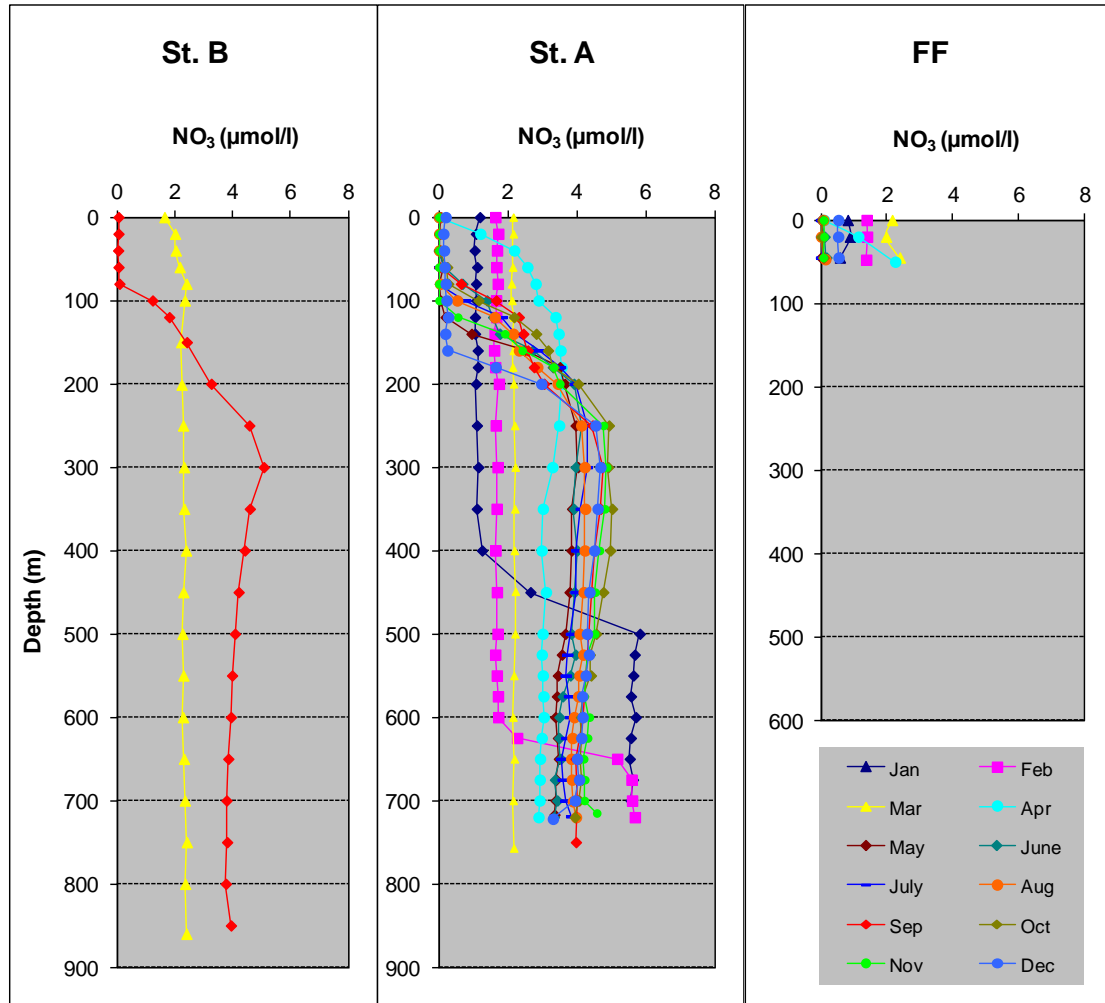


איור 14: ריכוזי ניטריט ( $\text{NO}_2$ ) בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה B היא הדרומית והעמוקה ביותר, תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700 מטרים, ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים.

**Figure D14: Nitrite ( $\text{NO}_2$ ) concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Station B is the southernmost and deepest, 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.**

ניטראט הוא המרכיב העיקרי של מאגר החנקן המחומצן במי העומק. הניטראט הינו התוצר הסופי של תהליך הניטריפיקציה שתחילתו חמצון בקטריאלי של אמוניה ועל כן מהווה מדד לכמות החומר האורגני שפורק בתהליכי נשימה במים העמוקים. בחורף גורם הערבוב להעשרה של מי השטח בניטראט המגיע מהעומק. קליטת הניטראט על ידי פיטופלנקטון בשכבה הפוטית מהווה גורם מרכזי בהגברת היצרנות הראשונית ב"פריחת האביב". עקב צריכתו הגבוהה, ריכוזו בשכבה הפוטית נמוך מהריכוז הנמדד במים העמוקים, מלבד בשכבה המעורבת בזמן ערבוב עמודת המים (איור 15). בתקופת השיכוב ריכוז הניטראט בשכבה העליונה קרוב לאפס, ובזמן הערבוב, ריכוזו עולה.

השנה ערבוב עמוק של עמודת המים הביא נוטריינטים רבים לפני הים. ריכוז הניטראט במים העמוקים ירד באופן דרמטי בין החודשים ינואר-פברואר לחודש מרץ המעורבב, ומאז עלה במתינות אולם לא הגיע לערכים של טרום-הערבוב. ריכוזי הניטראט אשר נמדדו בפני הים בתחנה A עלו בחודשים ינואר-מרץ אז הייתה שכבה מעורבת הולכת ומעמיקה שהביאה נוטריינטים לקרבת פני הים, אולם ירדו לאפס עם תום הערבוב בחודש אפריל וצריכת הניטראט. הריכוז המרבי אשר נמדד השנה בפני הים, בחודש מרץ, היה  $2.158 \mu\text{mol/l}$ , פי שלושה מאשר בשנה הקודמת. בשנת 2008 נמדד ריכוז מרבי של  $2.257 \mu\text{mol/l}$  בפני הים בתחנה A. במים העמוקים, לעומת זאת, הגיע ריכוז הניטראט המרבי לאחר הערבוב השנה לערכים הנעים סביב  $4 \mu\text{mol/l}$  (בהשוואה ל-  $5.9 \mu\text{mol/l}$  בשנה הקודמת).



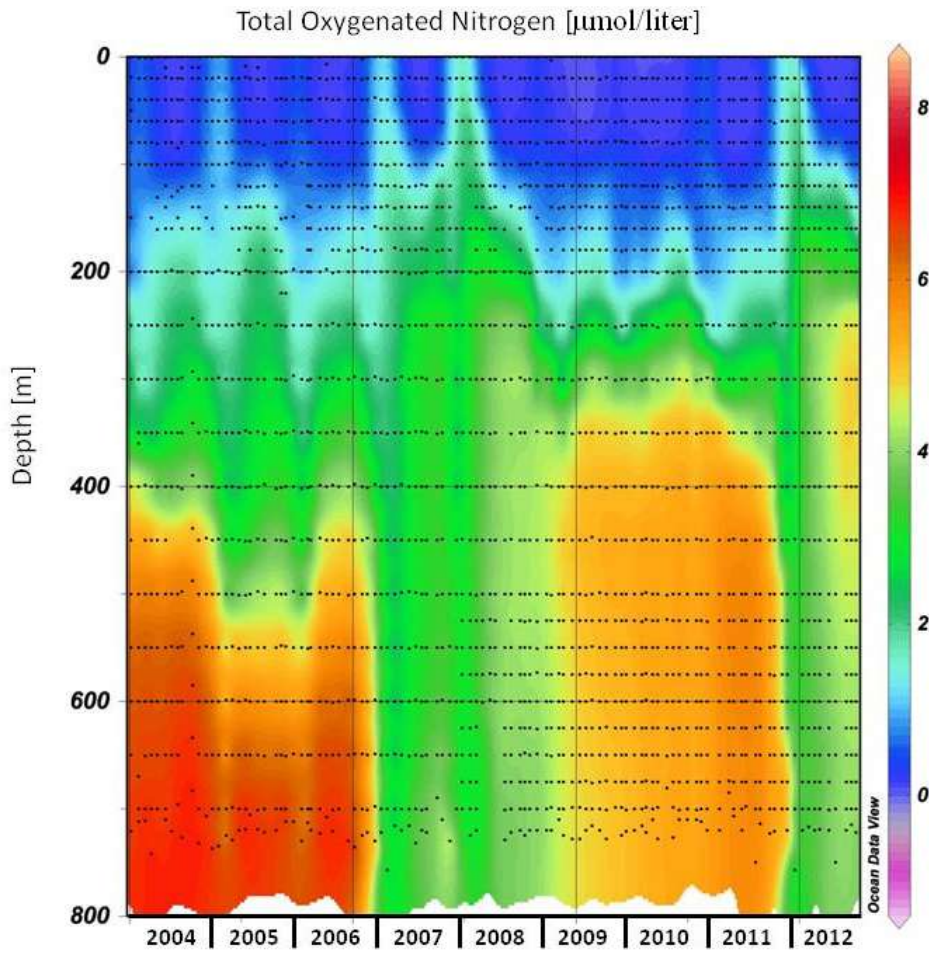
איור 15: ריכוזי ניטראט ( $\text{NO}_3^-$ ) בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה B היא הדרומית והעמוקה ביותר, תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700 מטרים, ותחנה FF בתוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים.

**Figure D15: Nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Station B is the southernmost and deepest, 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.**

ריכוז החנקן המחומצן בעמודת המים (Total Oxidized Nitrogen - TON) דומה לריכוז מרכיבו העיקרי, הניטראט. משנת 2000, בה היה ערבוב עמוק, עלו ריכוזי החנקן המחומצן במים העמוקים. בחורף 2004-5 בו היה ערבוב של עמודת המים עד לכ-600 מטר ירדו מעט ריכוזי הניטראט במי העומק אולם ב-2006 נמדדו ריכוזים דומים לאלה של שנת 2004. שנתיים של ערבוב עמוק (2007-8) הורידו משמעותית את ריכוזי החנקן במים העמוקים, אך מאז פברואר 2008, ריכוזי החנקן במים העמוקים מכ-350 מטרים היו במגמת עלייה. השנה, עקב הערבוב העמוק, ירדו ריכוזי הניטראט והחנקן המחומצן בכלל במים העמוקים במידה ניכרת. עם תחילת השיכוב, החלו שוב לעלות ריכוזי החנקן במי הביניים (איור 16).

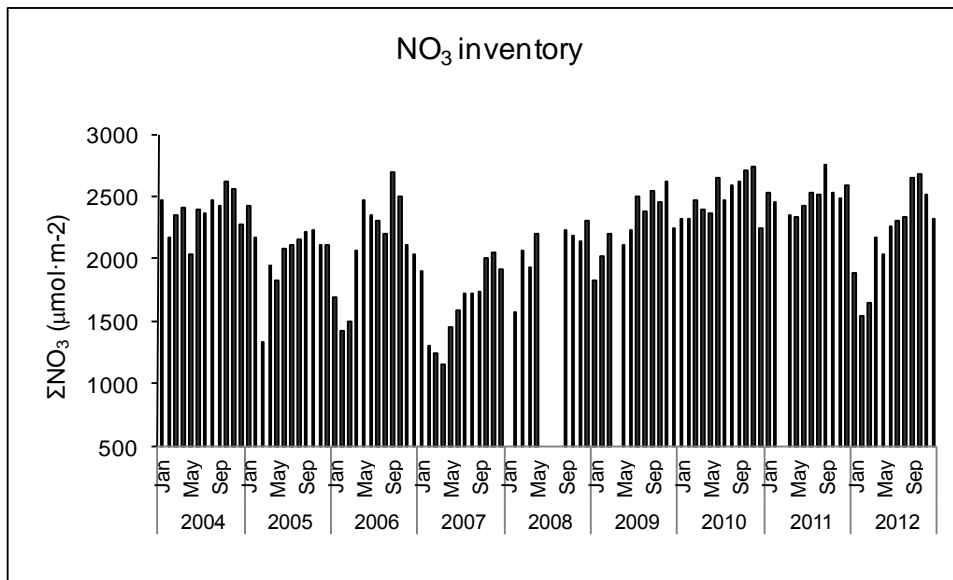
מאגר הניטראט בעמודת המים מאז 2004 מראה תמונה דומה לזו של הריכוזים. כמות החנקן המחומצן האגור בעמודת המים עלתה מאז שנת 2004, בשנות הערבוב 2007-8 נמדדה ירידה ולאחריהן מאגר החנקן גדל עד לחודשי החורף של השנה (איור 17). בחודש ינואר ובעיקר בפברואר ומרץ קטן מאד מאגר החנקן בעמודת המים, ואחר כך החל שוב לעלות. ערכי הקיץ השנה היו גבוהים כמו אלו של השנים האחרונות, גבוהים יותר מהמאגר שחושב בסוף השנים 2007-8. כמות החנקן הממוצעת השנה הייתה נמוכה מזו של שלוש השנים הקודמות (אם כי לא נמוכה בהרבה מזו של שנת 2009), וגבוהה מעט

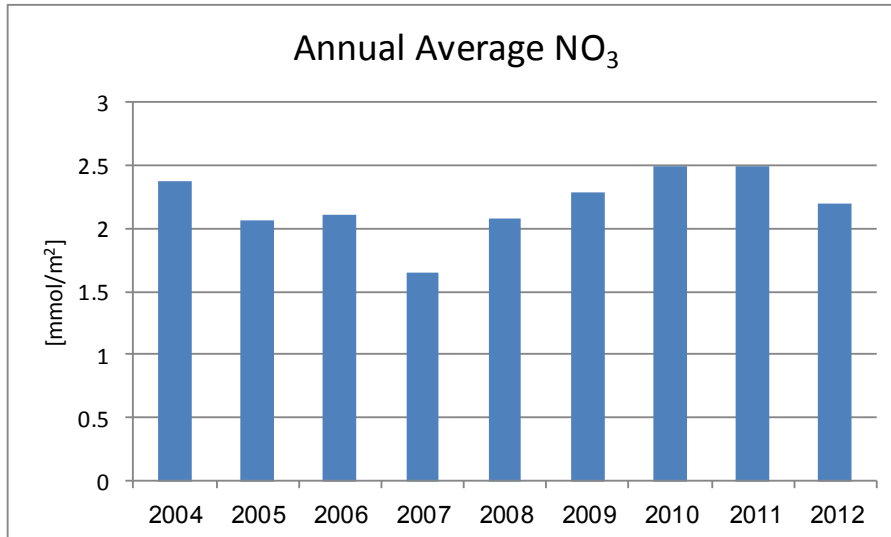
מהכמות השנתית הממוצעת בשנים 2007 ו-2008 (איור ד17, למטה).



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

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

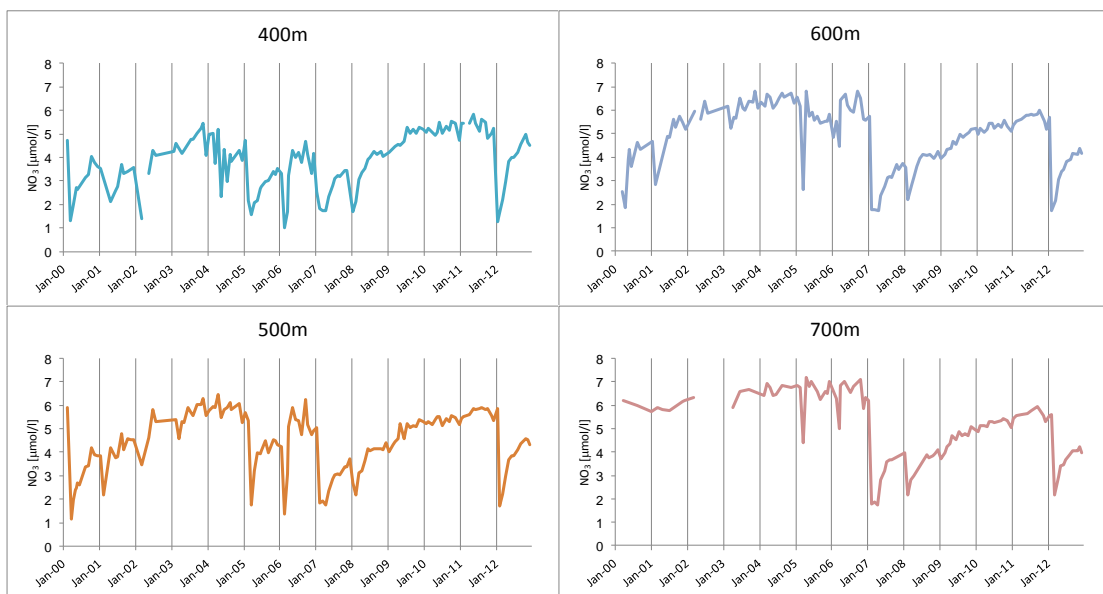




איור 17: שינויים במאגר הניטראט (NO<sub>3</sub>) בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. למעלה: מדידות חדשיות, למטה: ממוצע שנתי

**Figure D17: Changes in the nitrate (NO<sub>3</sub>) inventory in the water column at Station A since 2004. Top: monthly inventories, Bottom: annual average**

נראה כי ריכוז הניטראט במים העמוקים (~700 מטר) הגיע לשיווי משקל גבוה בשנים 2003-2007, אחרי הערבוב העמוק של שנת 2000, והשינויים בו בתקופה זו היו קטנים. ערבוב עמודת המים בתקופת החורף מוריד את ריכוז הניטראט בעומק אליו מגיע הערבוב, אולם החזרה לערכים קודמים היתה מהירה. הערבוב העמוק בשנת 2007 הוריד משמעותית את ריכוזי הניטראט בעומק (ערך מינימום בתקופה זו כ-1.7 μmol/l), והעלייה שאחרי היתה איטית. בסוף 2007 ריכוז הניטראט בעומק 700 מטרים היה כ-3.9 μmol/l. חורף 2008 שוב הוריד את הריכוז (ל-2.16 μmol/l), ובסוף 2008 היה הריכוז בעומק 700 מטרים כ-4 μmol/l. בשלוש השנים הקודמות כלל לא הגיע הערבוב למים העמוקים וריכוזי הניטראט הוסיפו לעלות בכל העומקים הגדולים מ-400 מטרים, אולם נותרו נמוכים מהערכים של לפני שנת 2007. השנה ערבוב עמוק הוריד את הריכוזים בכל העומקים (איור 18). לאחר הערבוב השנה, ריכוז הניטראט בעומקים רדודים מ-400 מטרים עולה חזרה לערכים קרובים לערכי טרום-הערבוב, אולם בעומקים גדולים יותר נותר ריכוז הניטראט נמוך עד לסוף השנה.



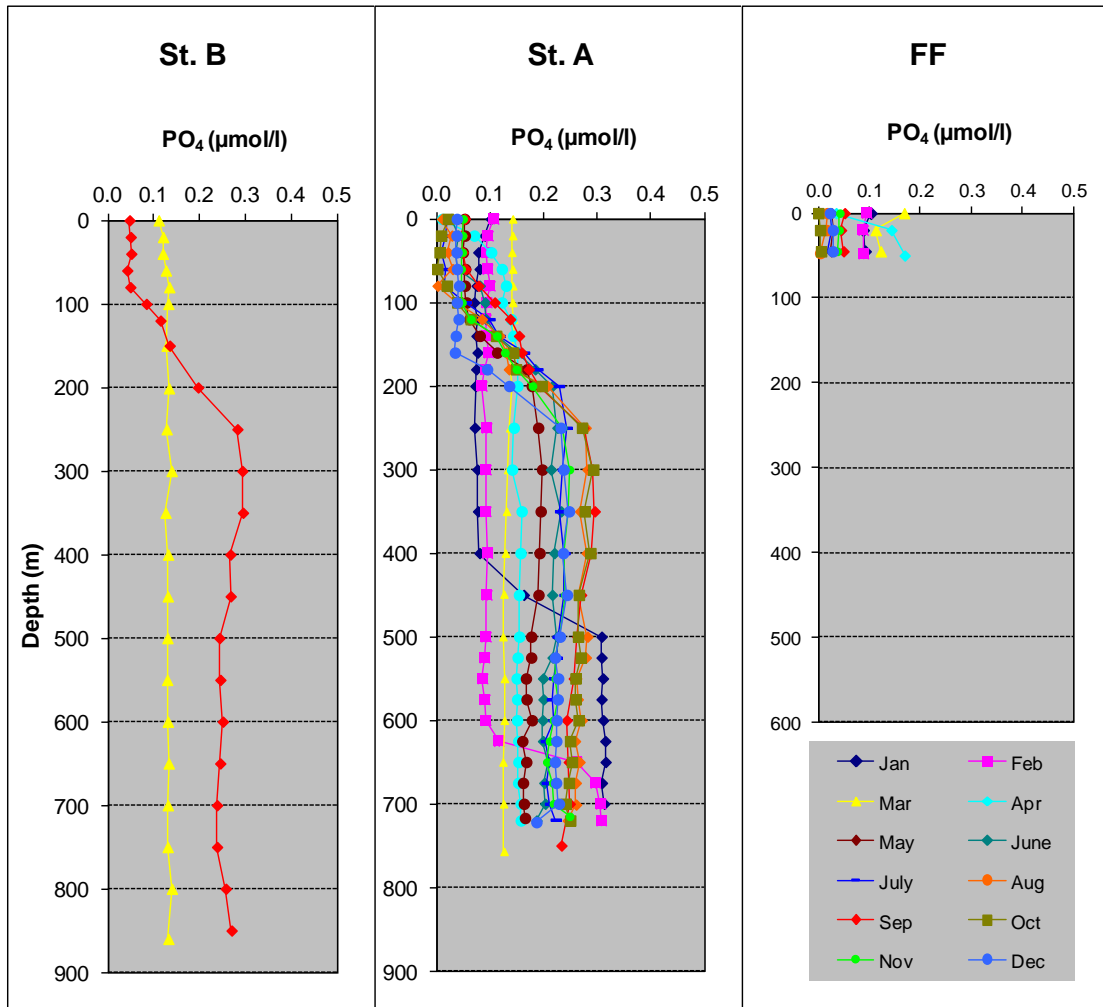
איור 18: שינויים בריכוז הניטראט בעמקים (400 עד 700 מטר) בתחנה A מאז ינואר 2000. נתונים הקודמים לתכנית הניטור נאספו במסגרת פרויקט "פארק השלום" ומובאים באדיבותם של הפרופ' י. ארז

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

פוספט

בדומה לנוטריינטים אחרים, ריכוז הפוספט בעמודת המים נמוך בקרבת פני הים וגבוה יותר בעומק (איור ד19). במים הרדודים נצרכים חומרים אלה בתהליכי יצירת חומר אורגני על ידי היצרנים הראשוניים, ובעקבות שקיעת חלקיקים אורגנים מהמים הרדודים ופירוקם בעומק, עולה ריכוז הנוטריינטים ובכלל זה הפוספט עם העומק. המחזור העונתי של הפוספט דומה לזה הנראה עבור חנקן ומאופיין בעליית הריכוזים בפני הים בעת הערבוב, אך ריכוזי הנוטריינטים אינם זהים. ריכוז הפוספט נמוך בהרבה משל החנקן המחומצן המומס (TON, ניטריט + ניטרט), והשנה הגיע בפני הים בתחנה A לערך מרבי של  $0.142\mu\text{mol/l}$  בחודש מרץ המעורבב, כפול מאשר בשנה הקודמת. במים העמוקים היה ריכוז הפוספט לפני הערבוב (ינואר-פברואר) סביב  $0.30\mu\text{mol/l}$ , ולאחריו (מרץ) ירד ל-  $0.13\mu\text{mol/l}$ , פחות מחצי הערך של השנה הקודמת. בסוף הקיץ היה ריכוז הפוספט במים העמוקים  $0.23\mu\text{mol/l}$ . בעקבות אירועי הערבוב העמוק בשנת 2007 ואחר כך שוב בשנת 2008 ירדו ריכוזי הפוספט בעמודת המים באופן משמעותי, ובשלוש השנים שלאחר מכן עלה ריכוז הפוספט במים העמוקים. הערבוב העמוק השנה גרם לירידת ריכוזי הפוספט במים העמוקים, ולקראת סוף השנה נמצאה עלייה בריכוזי בעומקי הביניים (איור ד20). בשבע השנים האחרונות ריכוזי הפוספט במים העמוקים נמוכים מהריכוזים שנמדדו בשנים 2004-5.

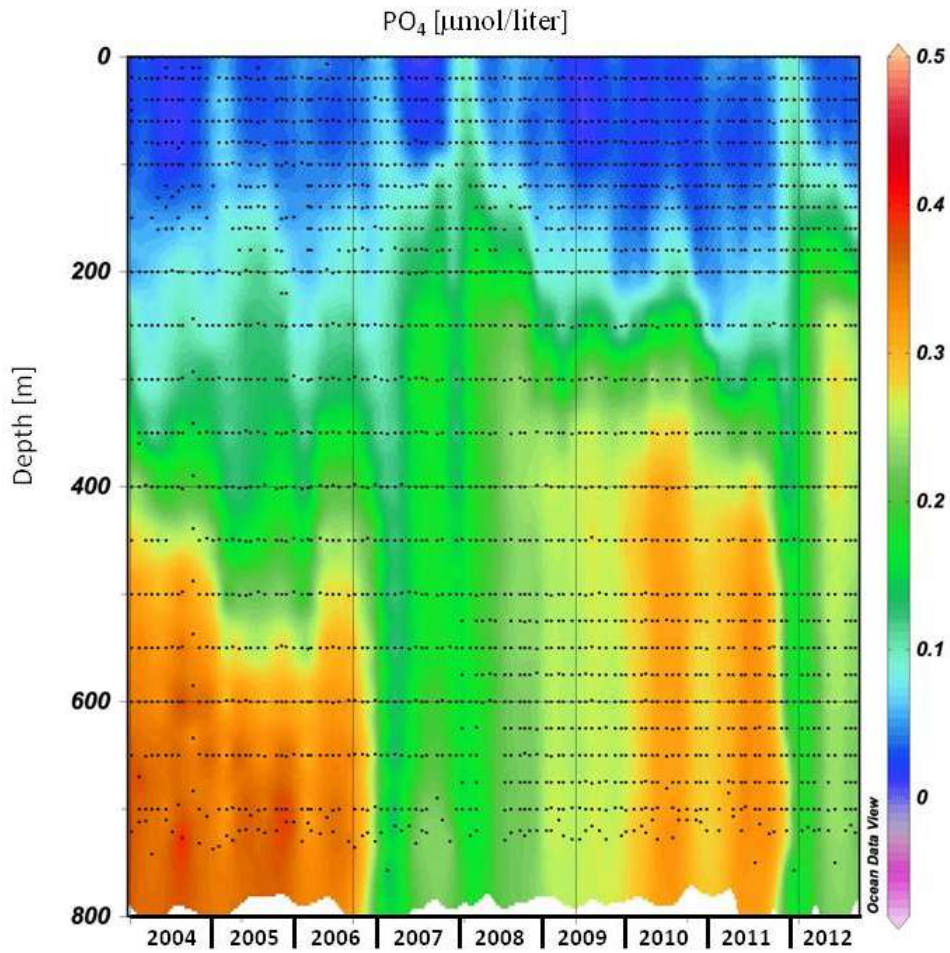
בשנת 2007 הצטמצם מאגר הפוספט המומס במים אולם החל משנת 2008 שב ונבנה. בחורף השנה כמות הפוספט בעמודת המים ירדה מאד, אולם בקיץ עלתה שוב לערכים הגבוהים של השנתיים האחרונות (איור ד21). כמות הפוספט השנתית הממוצעת בעמודת המים דומה השנה לזו של שנת 2009, וגבוהה מזו של שנות הערבוב 2007-8.



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

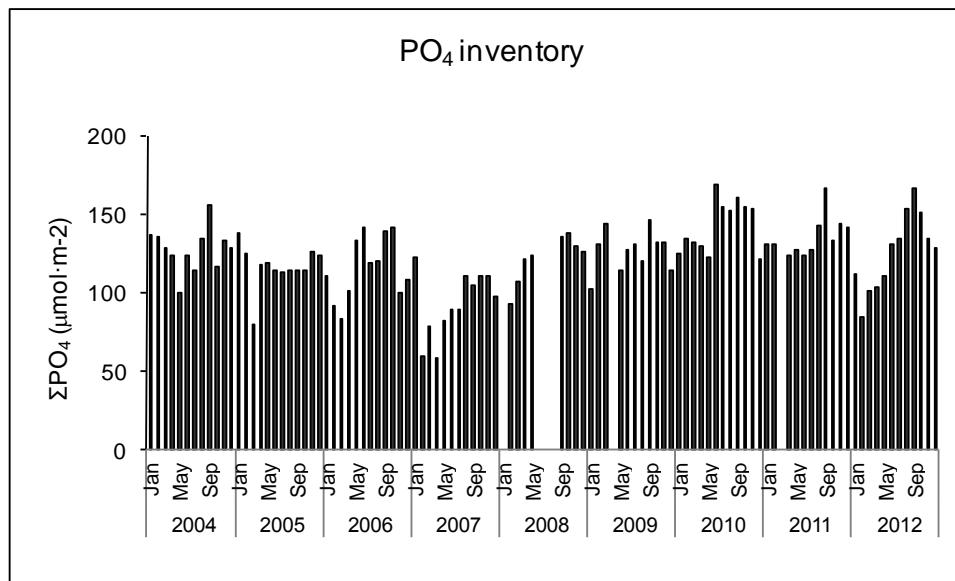
**Figure D19: Phosphate ( $PO_4^{-3}$ ) concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Station B is the southernmost and deepest, Station A is on the Israeli/Jordanian/Egyptian border at ca. 700 meters depth, and the Fish Farms station is close to the northern shore of the Gulf at ca. 50 meters depth.**



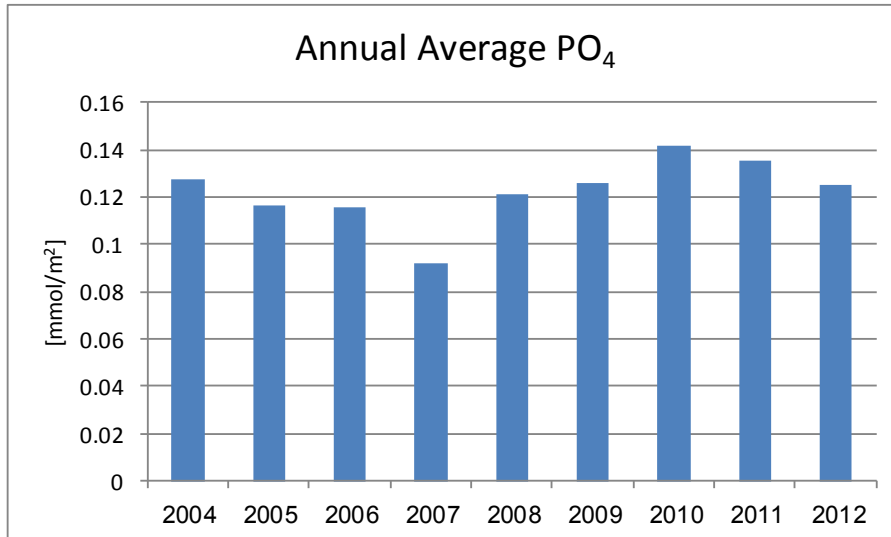


איור ד20: שינויים בריכוז הפוספט בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. הנקודות השחורות מייצגות את עומק המדידה.

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





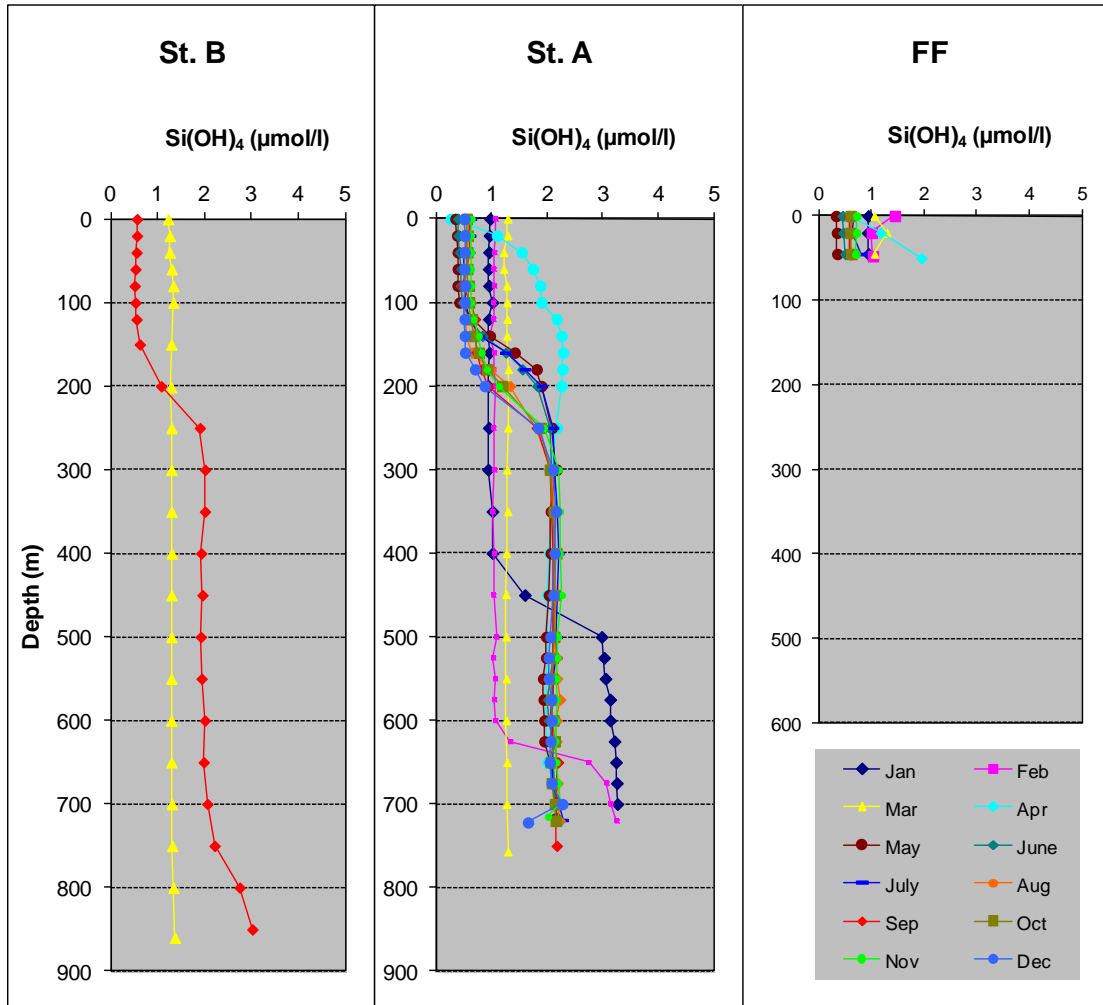


איור ד21: שינויים במאגר הפוספט בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. למעלה: מדידות חדשיות, למטה: ממוצע שנתי

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

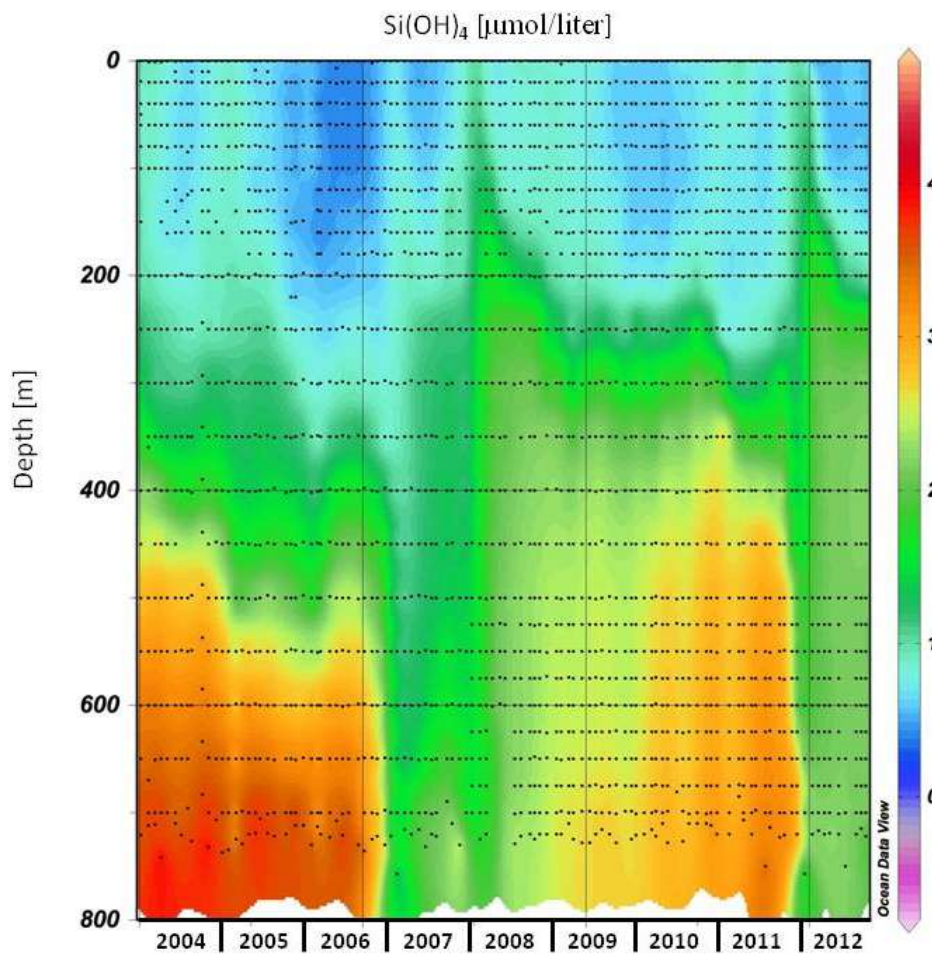
#### סיליקה

ריכוזי הסיליקה בפני הים בתחנה A היו גבוהים בחודש מרץ השנה בעקבות הערבוב העמוק, יותר מאשר בשנה הקודמת, והגיעו לערך מרבי של  $1.293 \mu\text{mol/l}$  (איור ד22). במים העמוקים השתנו ריכוזי הסיליקה כמו ריכוזי שאר הנוטריינטים, והריכוז ירד מ-  $3.267 \mu\text{mol/l}$  בחודש ינואר ל-  $1.274 \mu\text{mol/l}$  בחודש מרץ, ואח"כ עלה במתינות עד ל-  $2.16 \mu\text{mol/l}$  בסוף הקיץ. הריכוז המרבי של סיליקה אשר נמדד השנה נמוך מעט מזה של השנה הקודמת. לשינוי בריכוזי הסיליקה במים העמוקים חשיבות רבה מכיוון שהוא מצביע על מקור סיליקה בסדימנט (ניכר בפרופיל הנמדד בתחנה B בחודש ספטמבר, איור ד22), המסת סיליקה ממוצא יבשתי או שלדים סיליקטים של פלנקטון, בעיקר אצות צורניות [diatoms]. בשנות הניטור נמדד ערך סיליקה מזערי בפני הים בשנת 2006, לפני הערבוב העמוק, ושוב – אם כי במידה פחותה ב-2007. מאז עלה מעט ריכוזי הסיליקה בפני הים ועמד על ערכים דומים אך בשנתיים האחרונות נראתה ירידת-מה בריכוזי הסיליקה בפני הים. השנה שוב נמצא ריכוז נמוך בפני הים לאחר חודשי הערבוב, ובמים העמוקים ירד ריכוזי הסיליקה אשר נצבר מאז 2008 (איור ד23). מאגר הסיליקה בעמודת המים הגיע לערכים נמוכים ביותר בשנת 2007 אולם מאז עלתה כמות הסיליקה המומסת במים עד לשנה הקודמת. השנה בעקבות הערבוב קטן מאגר הסיליקה המומסת העמודת המים בחודשי החורף, ובסוף השנה עדיין נמוך מאשר התקופות המקבילות בשנים האחרונות (איור ד24). ירידה במאגר הסיליקה המומסת בתחילת החורף (סביב תקופת הערבוב המרבי) נובעת, אולי, מפריחת אצות פלנקטוניות צורניות. הירידה הדרמטית במאגר הסיליקה בשנת 2007 מעידה כנראה על פריחה חזקה של אצות אלה עקב הערבוב העמוק שהעלה כמויות גדולות של נוטריינטים. השנה קטן מעט מאגר הסיליקה המומסת בהשוואה לשנים האחרונות, ככל הנראה שוב עקב פריחת אצות צורניות בעקבות הערבוב העמוק.



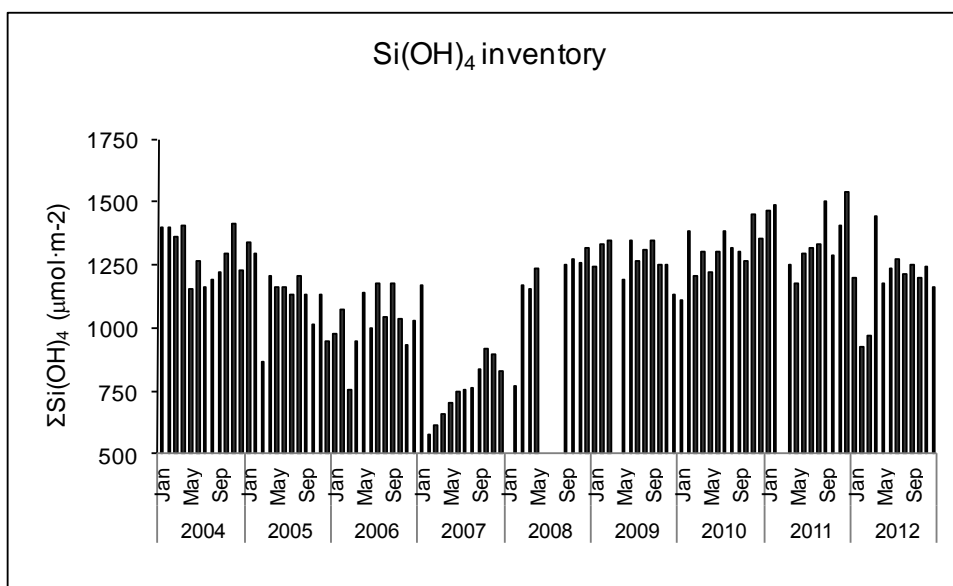
איור ד22: ריכוזי סיליקה ( $\text{Si(OH)}_4$ ) בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה B היא הדרומית והעמוקה ביותר, תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700 מטרים, ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים.

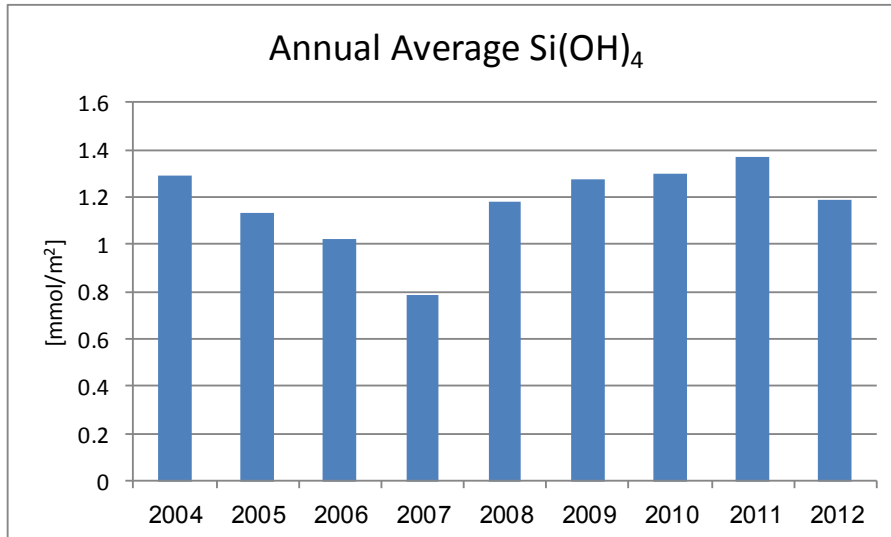
**Figure D22: Silicate ( $\text{Si(OH)}_4$ ) concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Station B is the southernmost and deepest, Station A is on the Israeli/Jordanian/Egyptian border at ca. 700 meters depth, and the Fish Farms station is close to the northern shore of the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



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.





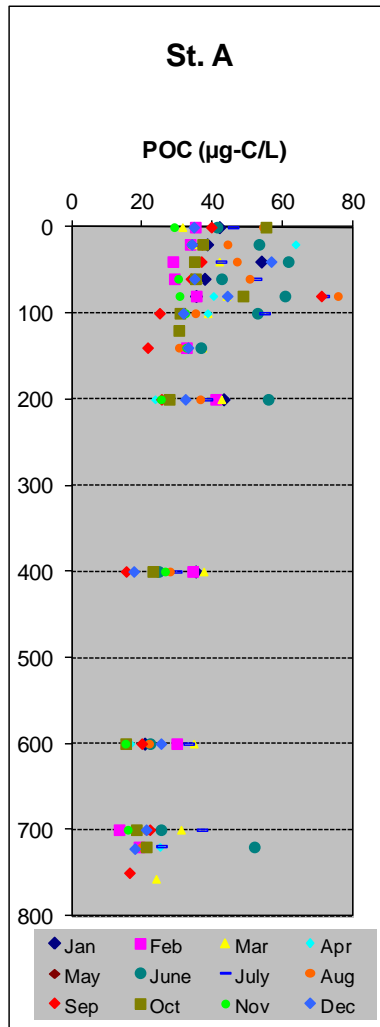
איור ד24: שינויים במאגר הסיליקה בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. למעלה: מדידות חדשיות, למטה: ממוצע שנתי

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

פחמן אורגני חלקיקי (POC)

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

פרופילים של ריכוז הפחמן החלקיקי נמדדו בעמודת המים בתחנה A, עם צפיפות דגימות גדולה בשכבה הפוטית, וקרוב לקרקעית. ריכוזי הפחמן החלקיקי גבוהים במיוחד ב-100 המטרים העליונים של עמודת המים, וריכוז מרבי של 70-76  $\mu\text{gC/l}$  נמדד השנה בחודשים יולי-ספטמבר בעומק של 80 מטרים (איור ד25). בפני הים היו הריכוזים המרביים מעט נמוכים יותר. הריכוז המרבי השנה מעט נמוך מזה של השנה הקודמת, ונמצא עמוק יותר. בעומקים גדולים מ-100 מ' ריכוז הפחמן החלקיקי יורד מאד, ומשרעת הערכים בקרבת הקרקעית בתחנה A עמדה השנה על 13-37  $\mu\text{gC/l}$ , כשהערך הגבוה דומה לשנה הקודמת אולם הערך הנמוך גבוה ממה שנמדד אז. הערך המרבי אשר נמדד השנה בקרבת הקרקעית היה 52  $\mu\text{gC/l}$ , בחודש יוני. עלייה בריכוז פחמן חלקיקי בקרבת הקרקעית עשויה להצביע על הרחפת חלקיקים מהקרקעית, אולם השנה מגמה זו אינה בולטת.



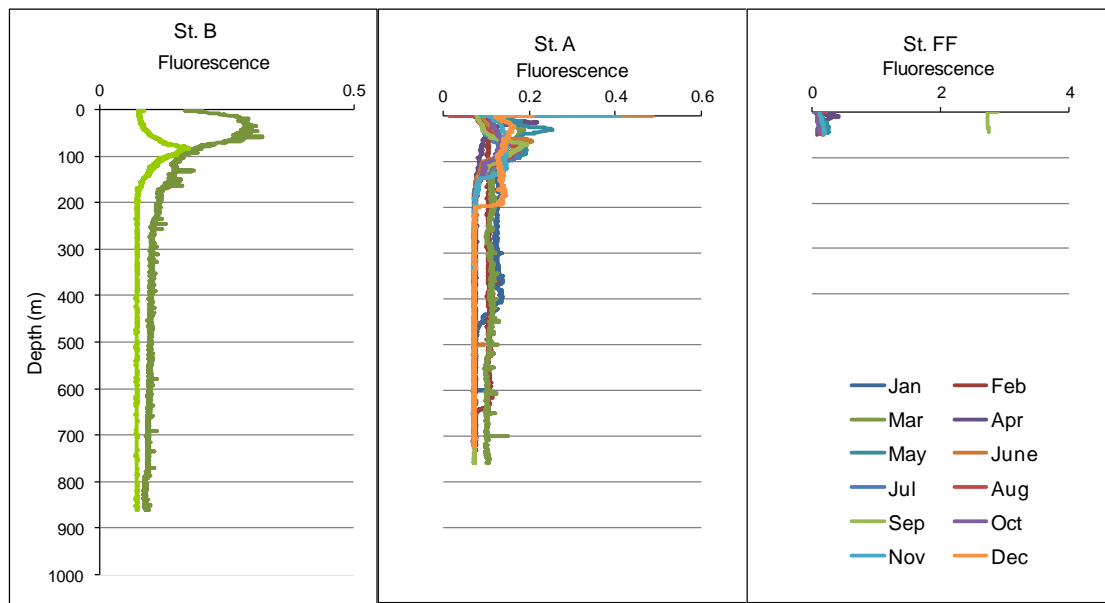
איור D25: ריכוזי כלורופיל a בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700 מטרים.

**Figure D25: Chlorophyll-a 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.**

### ד.3. מדדים ביולוגיים

#### פלואורסנציה

הפלואורסנציה הנמדדת על ידי מכשיר ה-CTD משמשת מדד *in-situ* לריכוז הכלורופיל בעמודת המים. ערכי הפלואורסנציה מוצגים ביחידות שרירותיות. מדידות הפלואורסנציה רועשות אולם למרות זאת ניתן לקבל מהן תמונה של מבנה עמודת המים. התכונה הבולטת היא מציאות ערך מרבי בעומק של 60-80 מ' בתקופה המשוכבת. איזור זה מכונה (Deep Chlorophyll Maximum) DCM. השנה נמדד שיא ה-DCM בחודש מרץ (בתחנה B) בעומק שבין 20 ל-60 מטרים, ובחודש ספטמבר המשוכב שיא חד וחלש יותר, בעומק 80 מטרים (איור 26ד). התחלת הפריחה החזקה בחודש מרץ מעידה על כך שהחלה להיווצר הפרדה בין המים העליונים למי העומק.



איור 26ד: פלואורסנציה בעמודת המים כפי שנמדדה בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700 מטרים, ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים.

**Figure D26: Fluorescence profiles measured during the monthly monitoring cruises. Station A is the southern station on the Israeli/Jordanian/Egyptian border at ca. 700 meters depth, and the Fish Farms station is the close to the northern shore of the Gulf at ca. 50 meters depth.**

#### כלורופיל *a*

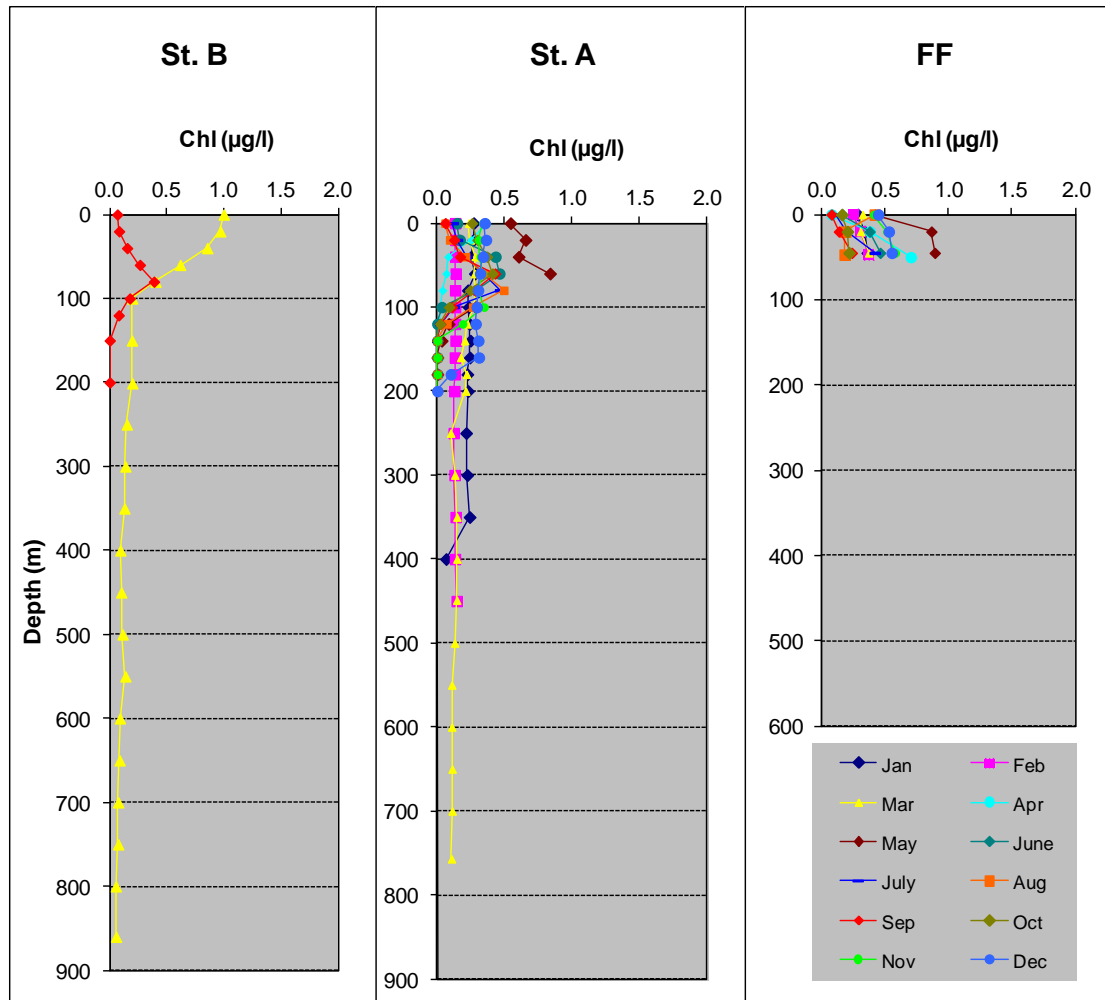
כלורופיל *a* הוא הפיגמנט הפוטוסינתטי העיקרי, ועל כן משמש ריכוזו אינדיקציה (חלקית) לכמות האצות והפעילות הפוטוסינתטית בעמודת המים. ריכוזי הכלורופיל משתנים במחזוריות עונתית של ריכוזים אחידים ונמוכים יחסית בתקופת החורף בעמודת המים המעורבת וריכוזים גבוהים יותר בשכבת המים העליונה באביב, בסוף תקופת הערבוב. 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 נוצרת מגבלת נוטריינטים וריכוזי הכלורופיל בפני הים נמוכים.

השנה נמצא ריכוז כלורופיל גבוה במים העליונים גם בחודש מרץ המעורבב, ובפרט בתחנה B (איור 27ד). כמו במדידות הפלואורסנציה, ניכר ריכוז גבוה של כלורופיל במים העליונים המעידה על כך שעירבוב עמודת המים כבר החל להתערער. הריכוזים הגבוהים ביותר נמדדו במים העליונים בחודש מאי (0.834  $\mu\text{g/l}$ ), כמעט כפול מריכוזו המרבי בשנה הקודמת.

ריכוזי הכלורופיל הנמדדים בסוף תקופת הערבוב בעומק "ריכוז הכלורופיל המרבי" הגיעו לערכים הגבוהים ביותר בשנה השנייה של ערבוב עמוק, 2008, ובשנת 2010. השנה שוב נמדדו ריכוזי כלורופיל

גבוהים בעומק הכלורופיל המרבי, אולם מעט נמוכים מאלו של שנים אלו (איור ד28). ריכוז הכלורופיל המרבי ב-2008 היה  $1.137 \mu\text{g/l}$ , בשנת 2010 נמדד  $0.853 \mu\text{g/l}$ , ואילו השנה, כאמור, נמדד בתחנה A ריכוז מרבי של  $0.834 \mu\text{g/l}$ .

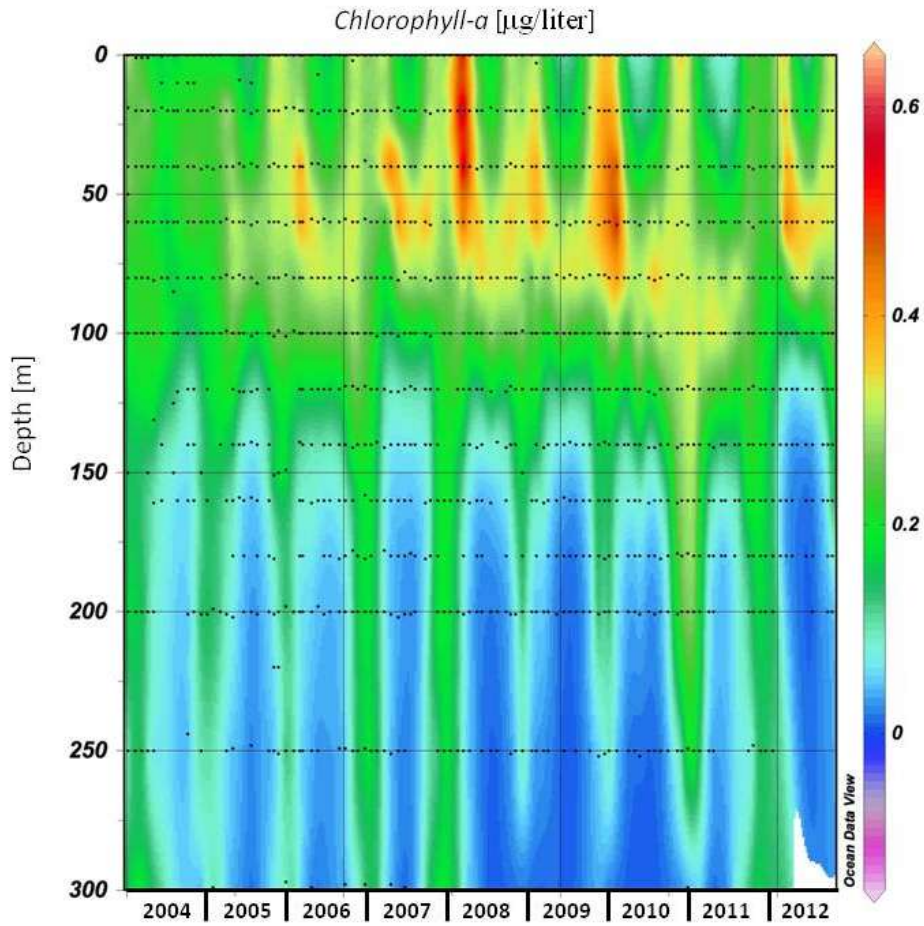
במבט לטווח ארוך יותר על ריכוזי הכלורופיל בעומק הריכוז המרבי לא נמצא שינוי מגמתי בריכוזי הכלורופיל בעמדות המים העליונה (איור ד29), ושנות הערבוב העמוק (200, 2007, 2008 ו-2012) ניכרות בריכוזי אביב גבוהים. מעבר לשנים אלה, נמדדו ריכוזים גבוהים גם בשנת 2010, מסיבה שאינה ברורה.



איור ד27: ריכוזי כלורופיל *a* בעמדות המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה B היא הדרומית והעמוקה ביותר, תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700 מטרים, ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים.

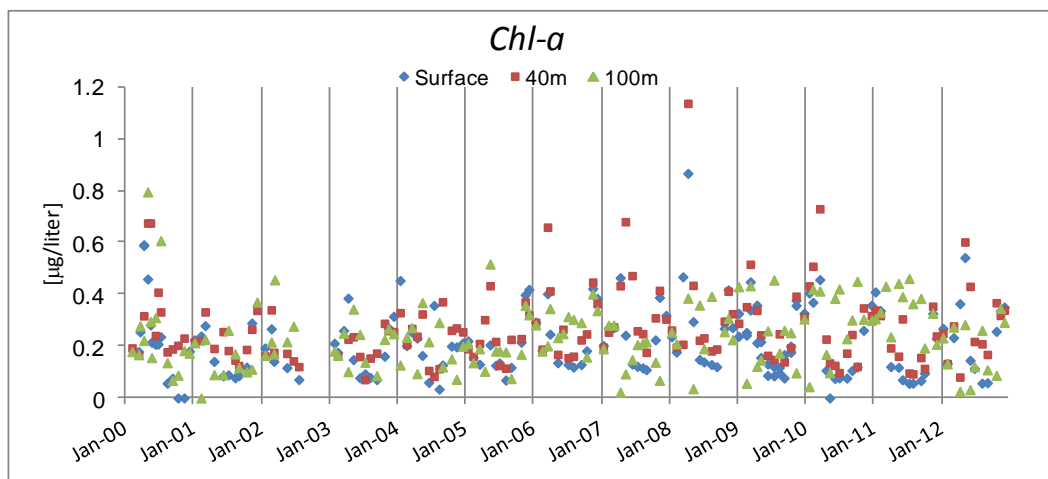
**Figure D27: Chlorophyll-a concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Station B is the southernmost and deepest, Station A is on the Israeli/Jordanian/Egyptian border at ca. 700 meters depth, and the Fish Farms station is close to the northern shore of the Gulf at ca. 50 meters depth.**





איור ד28: שינויים בריכוז כלורופיל *a* בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. הנקודות השחורות מייצגות את עומק המדידה.

**Figure D28:** Changes in the concentration of *chlorophyll-a* in the water column at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths.



איור ד29: ריכוזי כלורופיל *a* בתחנה A מאז ינואר 2000 בפני הים ובעומקים 40 ו-100 מטרים. נתונים הקודמים לתכנית הנישור נאספו במסגרת פרויקט "פארק השלום" ומובאים באדיבותם של הפרופ' י. ארז והפרופ' ב. לזר.

**Figure D29:** 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.



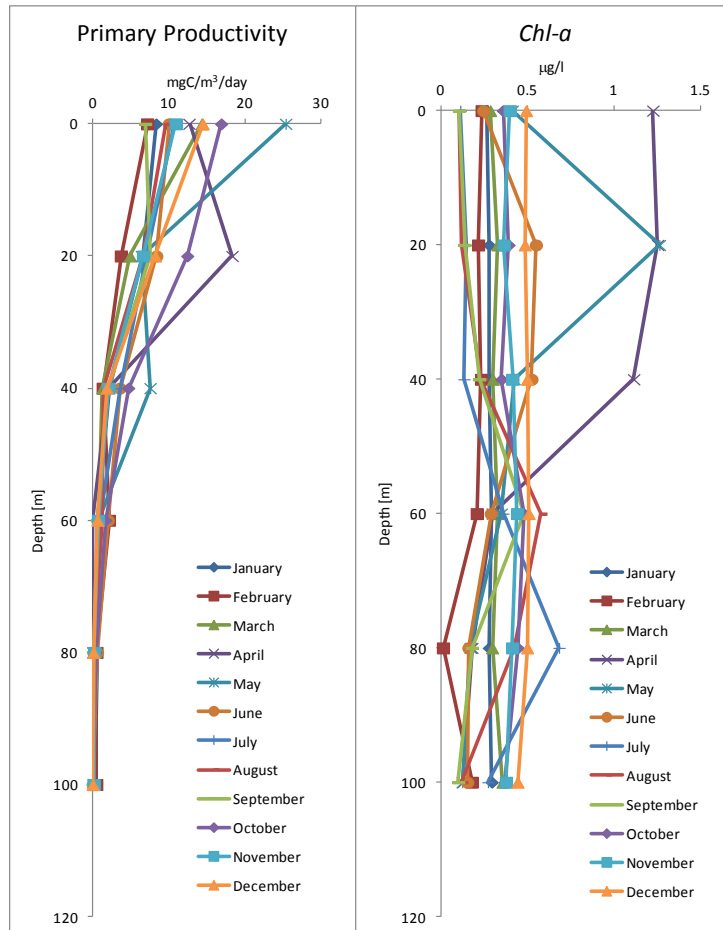
## יצרנות ראשונית

בעקבות הרחבת פעילות הניטור כפי שהומלץ בפגישת תת-הוועדה לנושא הכימיה של מי המפרץ, הוספנו בשנת 2009 מדידה חודשית של יצרנות ראשונית בעמודת המים הרחק מן החוף. למדידת יצרנות ראשונית בעמודת המים חשיבות גדולה בהערכת מצב המערכת האקולוגית במפרץ מכיוון שהעשרה בנוטריינטים עשויה לגרום לפעילות מוגברת של פיטופלנקטון. פעילות מוגברת לא בהכרח תגרום לעלייה משמעותית בריכוז הפיטופלנקטון (המוערך באמצעות ריכוז הכלורופיל) מכיוון שקצב הרעיה של פיטופלנקטון על ידי זואופלנקטון עשוי גם הוא לעלות. לפיכך עלייה ביצרנות עשויה להיות אינדיקציה אמינה ואולי יחידה בשלבים הראשונים, של שינוי מצב במעבר ממערכת כמו-אוליגוטרופית בה היצרנות הראשונית נמוכה והתנאים נוחים לאלמוגים, למערכת אוטרופית בה היצרנות גבוהה.

מדידת היצרנות מסובכת וקשה מבחינה טכנית, הן עקב הפעילות הימית המורכבת והן עקב פעילות המעבדה והשימוש באיזוטופים רדיואקטיביים, ועל כן לא בוצעה במפרץ אילת באופן סדיר בשנים האחרונות. 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 דוד אילוז ופרופ' יונתן ארז (אילוז, 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). הפרוטוקול אשר משמש את תכנית הניטור ואשר תוצאותיו מוצגות בדו"חות המדעיים של התכנית, עבר חודשים של פיתוח וניסויים. מדידות יצרנות החלו להתבצע באופן סדיר מאמצע 2009. היצרנות הראשונית נמדדת בכל חודש בסמיכות להפלגות החודשיות.

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

בפרופילים החודשיים נכרת תלות היצרנות בעצמת האור בכך שיצרנות גבוהה נמדדת בעומקים רדודים וישנה ירידה ביצרנות עם העומק (איור ד30). ישנם חודשים בהם היצרנות בעומק 20 מטרים גבוהה מהיצרנות בפני הים, ותופעה זו עשויה לנבוע מ"פוטואינהיביציה", הנגרמת מקרינה חזקה בפני הים. השנה נמדדה יצרנות מרבית של  $25.37 \text{ mgC/m}^3/\text{day}$  בחודש מאי בפני הים ו-  $18.34 \text{ mgC/m}^3/\text{day}$  בחודש אפריל בעומק של 20 מ'. מדידות הכלורופיל המצומדות ליצרנות מראות ריכוז כלורופיל מרבי בפני הים בחודש אפריל ( $1.23 \mu\text{g/l}$ ), וריכוזים של  $1.27 \mu\text{g/l}$  בחודשים אפריל ומאי בעומק 20 מטרים. היצרנות המרבית אשר נמדדה השנה נמוכה בכדי מחצית ממדידות השנה הקודמת, על אף הערבוב העמוק, מאוחרת יותר בחודש וארוכה יותר. גם במדידות הכלורופיל וריכוזי הזואופלנקטון השנה (ראו להלן) נראה כי שיא הפעילות היצרנית היה בחודשים אפריל-מאי, מאוחר יותר מאשר בשנה הקודמת.

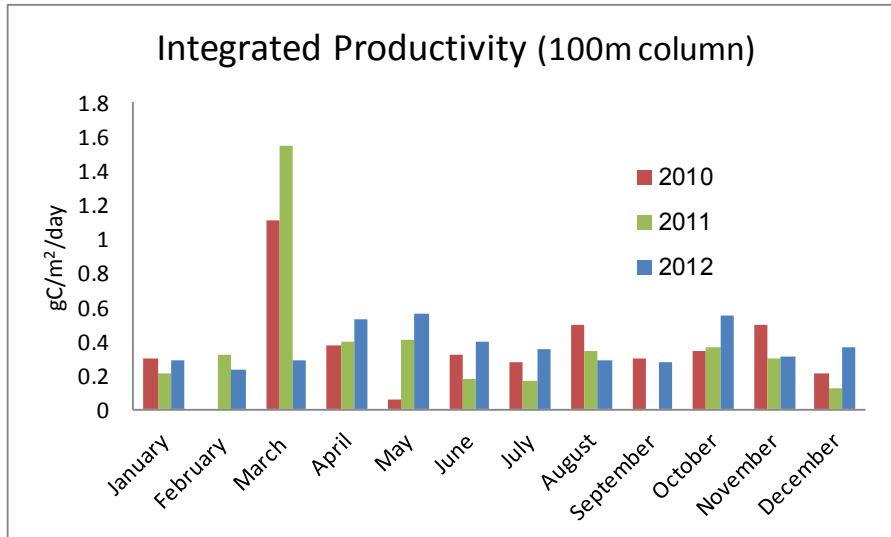


איור ד30: יצרנות ראשונית וריכוזי כלורופיל חודשיים בעמודת המים העליונה.  
**Figure D30: Monthly primary productivity and Chl-a concentrations at the upper water column.**

אינטגרציה של היצרנות בעמודת המים בכל אחד מימי הדיגום מוצגת באיור ד31. השנה נעה היצרנות המחושבת מערך מזערי של  $0.23 \text{gC/m}^2/\text{day}$  בחודש פברואר, לערך מרבי של  $0.56 \text{gC/m}^2/\text{day}$  בחודש מאי. הערך הנמוך כפול מהערך המזערי של השנה הקודמת ואילו הערך המרבי כמעט שליש מזה של שנת 2011. היצרנות היומית הממוצעת השנה עמדה על  $0.367 \text{gC/m}^2/\text{day}$ , דומה לזו של השנתיים הקודמות.

לשם השוואה, בתחנות הניטור הקבועות בימים האוליגוטרופים שמול הוואי וברמודה, נמדדים ערכים ממוצעים רב-שנתיים הנעים סביב  $\sim 0.5 \text{gC/m}^2/\text{day}$  (<http://hahana.soest.hawaii.edu/hot/methods/fig54.gif>) ([http://bats.bios.edu/bats\\_form\\_prod.html](http://bats.bios.edu/bats_form_prod.html)).

האינטגרל השנתי המחושב על סמך ממוצע המדידות החודשיות של תכנית ניטור בשנת 2012 הוא  $134 \text{gC/m}^2/\text{year}$ .



איור 31: אינטגרציה של היצרנות הראשונית במאה המטרים העליונים של עמודת המים, מתוך מדידות היצרנות החודשיות המוצגות באיור 31.

**Figure D31: Integrated values of primary productivity in the upper 100m of the water column, based on the monthly productivity profiles presented in Figure D30.**

בדו"ח הביניים הראשון של תכנית הניטור (גנין וסילברמן, 2003) מובאים ערכי יצרנות אשר נמדדו בחודשים ינואר ו־אפריל בשנים 2000-3. המדידות נעשו תוך שימוש בפרוטוקול הדגרה קצר (כארבע שעות), תוצאות אותן מדידות נעו בטווח  $0.14-0.78 \text{ gC/m}^2/\text{day}$ . בזמן פריחתן קצרת המועד באפריל 2008 של דיאטומאות (אצות צורניות גדולות) נמדדה בעשרים המטרים העליונים עליה ביצרנות מערכים סביב  $15 \text{ mgC/m}^3/\text{day}$  ל-  $30 \text{ mgC/m}^3/\text{day}$  (Iluz et al., 2009). ערכים אלה דומים למדידות המוצגות כאן. השינוי היומי הגדול עליו מדווחים Iluz et al. (2009) מדגים את הדינאמיקה המהירה של יצרנות במפרץ ומלמד כי מדידות בדידות עשויות לסטות משמעותית ממוצע היצרנות.

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

היצרנות השנתית הממוצעת על פי מדידות הניטור השנה היא, כאמור,  $134 \text{ gC/m}^2/\text{year}$ , ערך גבוה מהערכת היצרנות במפרץ בשנות ה-70 עד '90 של המאה העשרים ( $80 \text{ gC/m}^2/\text{year}$ ), אך נמוך מהיצרנות בתחילת העשור הקודם בשנים 2000-4 ( $170 \text{ gC/m}^2/\text{year}$ ).

#### פיטופלנקטון וחיידקים בעמודת המים

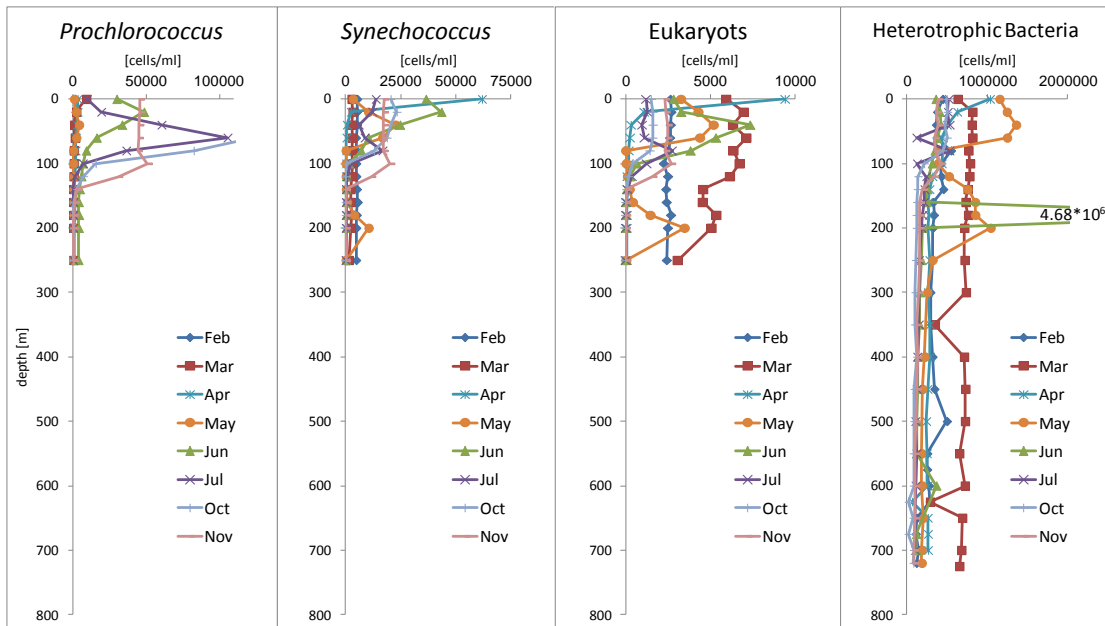
לאחר מספר שנים בהן לא נספרו תאי פיטופלנקטון וחיידקים, אך נלקחו דוגמאות מים ושומרו לצורך כך, החלה תכנית הניטור לשלוח דוגמאות לספירת תאים ליחידת ה- flow-cytometry במחלקת התשתיות של מדעי החיים וההנדסה בטכניון, בניהול ד"ר אפרת ברק. למדידות קדם תהליך ארוך של יצירת פרוטוקול המדידה, ובו היה שותף מרכזי ד"ר גיתאי יהל מבית הספר למדעי הים במכמורת. גם השנה עדיין לא נמדדו כל הפרופילים החודשיים אך נמדדו פרופילים מייצגים של המעבר מחורף מעורב לקיץ משוכב (חודשים פברואר-יולי) בתחנה A.

הספירות כוללות תאי פיטופלנקטון פרוקריוטי (*Synechococcus, Prochlorococcus*)

ואאוקריוטי וחיידקים הטרוטרופים במים הפתוחים, ונעשות מתוך דגימות הנאספות בהפלגות הניטור החודשיות. חשוב לשים לב להבדלים בריכוזים בין התאים הנמדדים: התאים האאוקריוטים וסינקוקוקוס נמדדים באפים, תאי פרוקלורוקוקוס נמדדים בעשרות אלפים, וחיידקים הטרוטרופים נמדדים מיליונים למיליטר.

הפרופילים מראים הבדלים ברורים בין חורף לקיץ כאשר חודשי החורף מראים פרופיל די אהיד (מעורב) של עמודת המים עם ריכוזים נמוכים של תאי פיטופלנקטון פרוקריוטי (איור ד32). החל מחודש יוני נמדדו ריכוזים גבוהים של תאי *Proc.* בקרבת פני הים ובחודש יולי גדל ריכוזם ונקודת השיא העמיקה ל-60 מטרים. גם בריכוזי *Synech.* ישנה העמקה של שיא הריכוז בזמן, עם הופעת ריכוזים גבוהים באפריל בפני הים ושיאי הריכוז יורדים בעוצמתם וגם בעומק עם התקדמות הקיץ. בריכוזי הפיטופלנקטון האאוקריוטי נמצא ערכים גבוהים ואחידים בחודש פברואר, ריכוזים גבוהים יותר במרץ והחל מאפריל שיאי ריכוז עם עומקים משתנים (אך יורדים) כאשר הריכוזים נמוכים ביותר בחודש יולי.

התפלגויות ריכוזי החיידקים ההטרוטרופים בעמודת המים מראות פרופילים די אחידים בחודשים פברואר-אפריל, עם ערכים גבוהים ביותר בחודש מרץ. באפריל הופיע שיא בפני הים ובחודשים מאי-יולי העמודה אינה אחידה: במאי שיא ריכוז נמדד במים העליונים ובעומק 200 מטר, ביוני נמדדו ערכים נמוכים יותר ברוב העומקים אולם נמצא שיא גדול בעומק 180 מטרים, וביוני ריכוזי החיידקים יורדים. ספירת החיידקים מעומק של 180 מטרים בחודש יוני מראה ריכוז גבוה בסדר גודל מכל שאר הדגימות. עומק זה מצוי בבסיס התרמוקלינה באותו חודש וסביבו ריכוז גבוה של פחמן אורגני חלקיקי, ולפיכך יתכן שמראה על כך שבאקראי היה במי הדגימה בבקבוק הניסקין צבר של חיידקים. צברים שכאלה שכיחים ב-marine snow (צברים מוקואידים עתירי חומר אורגני וחיידקים) אשר שוקעים לאיטם במים העמוקים (מתחת לשכבה הפוטית) ומצטברים בעומק בו צפיפות המים דומה למשקלם הסגולי (בדר"כ במקומות של מעברי צפיפות- כמו בתרמוקלינה).



איור ד32: ריכוזים חודשיים של תאים (פרוקריוטים (*Synechococcus*, *Prochlorococcus*), אאוקריוטים, וחיידקים הטרוטרופים) בעמודת המים בתחנה A.

**Figure D32: Monthly concentrations of prokaryote *Synechococcus* and *Prochlorococcus*, eukaryotes and hetrotrophic bacteria in the water column at Station A.**

## זואופלנקטון

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

דיגום הזואופלנקטון נעשה מדי חודש בים העמוק (עומק קרקעית 300-400 מ'), באמצעות גרירה אלכסונית של רשת פלנקטון כפולה ("Bongo") עם גודל חור של  $200\ \mu\text{m}$  (איור ד33). דיגום זה מתבצע בשעות היום (בדר"כ בין השעות 9-11) לרוב 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  $45^\circ$ . משך הגרירה הכולל הוא כ-10 דקות. בסה"כ מתבצעות בכל פעם 3 גרירות (= 6 דגימות מאותו יום בכל חודש), כולן במים הפתוחים שבאזור שממול לחוף 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 קלונה עם שלוש רשתות פלנקטון בגודל חור של 200, 500 ו-1000 מיקרון. לאחר מכן מסוננת כל פרקציה על פילטר סיבי זכוכית GF/A (גודל חור נומינלי של  $1.6\ \mu\text{m}$ ) אשר נשרף מראש בתנור ב  $450^\circ\text{C}$  למשך 4 שעות ומשקלו נמדד (יחד עם זה של הכורית שאליה הוא מוכנס). לאחר מכן הפילטרים עוברים ייבוש בתנור  $60^\circ\text{C}$  למשך שלושה ימים לפחות, נשקלים שוב (לקבלת המשקל היבש של הזואופלנקטון בתת הדגימה) ואח"כ נשרפים ב  $450^\circ\text{C}$  למשך 4 שעות לקבלת משקל יבש של החומר האורגני (Ash Free – Dry Weight – AFDW). התוצאות מוצגות בגרם למ"ק (ממוצע ושגיאת תקן של שלוש גרירות רשת) ומייצגות את הביומסה של זואופלנקטון ב-100 מ' העליונים של עמודת המים (שהיא השכבה הפוטית המוארת).

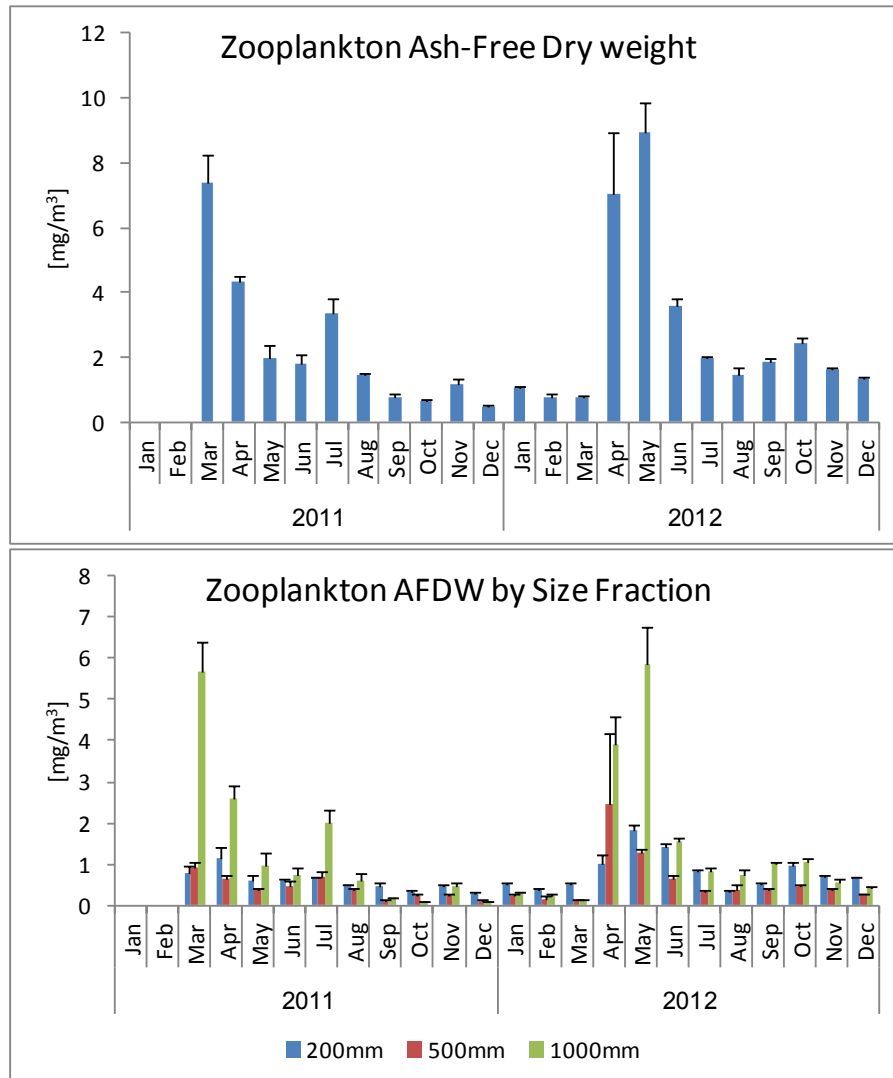


איור ד33: רשת הפלנקטון הכפולה ("Bongo") נגררת מהסירה בים העמוק.  
**Figure D33: A double plankton net ("Bongo") towed from the boat in deep waters.**

פריחת האביב גם במסה גדולה במיוחד של זואופלנקטון (איור ד34). השנה, עקב הערבוב העמוק ופריחת הפיתופלנקטון החזקה יותר, נמדדה מסת זואופלנקטון גבוהה מאשר בחודשים המקבילים בשנה הקודמת. המסה הגדולה ביותר נמדדה בחודשים אפריל ומאי (בו גם נמדד ריכוז הפיתופלנקטון הגבוה

ביותר).

התפלגות הזואופלנקטון לפי פרקציות גודל (איור ד-34, למטה) מראה שבחודשי האביב-קיץ הזואופלנקטון הגדול ( $>1000\mu\text{m}$ ) מהווה את הפרקציה הגדולה ביותר בעוד שבחודשי החורף עולה בחשיבותה הפרקציה של הזואופלנקטון הקטן.



איור ד-34: 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 D34: Monthly zooplankton concentrations at the upper 100m of the deep sea. Top – all zooplankton, bottom – divided to size fractions filtered on 1000, 500 and 200  $\mu\text{m}$  filters (green, red and blue, respectively)**

## דין

עמודת המים העמוקים מעוצבת בעיקר על ידי המחזור העונתי, המורכב מירידת טמפרטורות בפני הים וכתוצאה מכך ערבוב של המים העליונים עם המים העמוקים בחורף ותוך כך - העלאת נוטריינטים מהעומק והעשרת המים העמוקים בחמצן. כשמתחילה העונה החמה, חדירת מים חמים יותר שמקורם בדרום המפרץ יוצרת שיכוב פסיקלי 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 מעומק ומשך הערבוב ומכמויות הנוטריינטים שנצברו במי העומק. השנה ערבוב עמודת המים היה עמוק וזאת לאחר שלוש שנים של ערבוב רדוד (2009-2011). בכך הושלם מחזור רב-שנתי מלא של ערבוב עמוק בשנים 2007-8, שלוש שנים של ערבוב רדוד ושוב ערבוב עמוק השנה. בכך מתאפשרת הערכה של טווח הערכים האפשרי במי המפרץ והשפעות הערבוב בעומקים שונים.

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 2004-6 במחזור הרב-שנתי הקודם. השנה שוב תועדה ירידה בריכוזי ומאגרי הנוטריינטים בעמודת המים בחודשי החורף ועליה בחמצן המומס. יחד עם זאת, עליית הטמפרטורות בסוף החורף הייתה מהירה וגדולה הרבה יותר מאשר בעקבות הערבוב העמוק של 2007-8 ומאגרי הנוטריינטים בסוף השנה היו קרובים לשנים הקודמות על אף שהריכוזים במי העומק נמוכים במידה ניכרת. נראה כי בחודשי הערבוב נשמר חלק גדול מהנוטריינטים בצורה החלקיקית והמאגרים המומסים היו נמוכים, הדבר נכון בפרט בשנת הערבוב 2007. לאחר מכן המעגל הביולוגי ממחזר חומרים אלה בעמודת המים העליונה והריכוזים במי העומק נותרים נמוכים. טמפרטורת מי העומק ירדה בשנים 2007-2008 כתוצאה מהערבוב העמוק בשנים אלה, ובשנים האחרונות נמדדה עלייה קלה בטמפרטורות המים העמוקים. השנה על אף הערבוב העמוק לא ניכרת ירידה בטמפרטורת המים העמוקים מ-500 מטרים, אולי משום שמשך הערבוב היה קצר יחסית.

מדידות של ריכוזי פחמן אורגני חלקיקי בעמודת המים, יצרנות ראשונית באזור הפוטי ומסת זואופלנקטון במים העליונים נעשו השנה באופן מלא ושגרת. מדידות אלה מהוות בשנים האחרונות תוספת משמעותית למידע הנאסף על ידי התכנית במטרה לעקוב אחר שינויים אפשריים במצב המערכת האקולוגית של המפרץ. תוספות אלה מסייעות "לסגור מעגל" בהקשר של מעבר אנרגיה דרך הרמות הטרופיות בים העמוק. המחזור העונתי השנה היה קיצוני בהשוואה לשנים האחרונות מבחינת עומק הערבוב בחורף וטמפרטורת פני הים הגבוהה בקיץ. שיאי היצרנות והפעילות הביולוגית הופיעו מאוחר יותר, בחודשים אפריל-מאי בהם נמדדו הערכים הגבוהים ביותר של יצרנות, ריכוזי כלורופיל ומסת זואופלנקטון. בשנה הקודמת נמדדו רוב הערכים המרביים של המדדים הביולוגיים בחודש מרץ. יחד עם זאת, ערכי השיא ביצרנות ומסת הזואופלנקטון לא היו גבוהים בהרבה השנה בהשוואה לשנה הקודמת, וריכוזי כלורופיל בעמודת המים היו גבוהים יותר אך לא במידה ניכרת ואפילו נמוכים מאשר בשנת 2010 בה היה ערבוב רדוד.

# ה. מדידות סביבתיות בתדירות גבוהה

## ה.1. כלורופיל

### מטרה

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

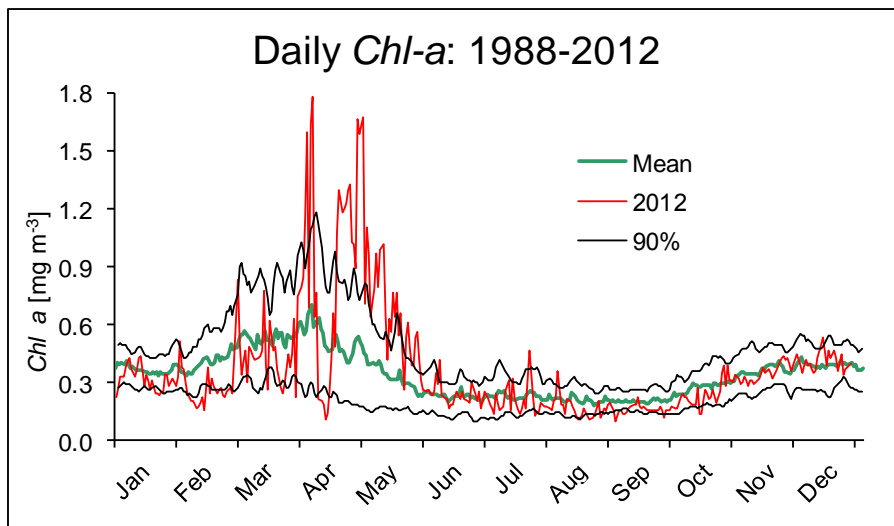
### שיטת

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, מחוץ לשולחן השונית. המים מסוננים במקום דרך רשת  $100\mu\text{m}$  להוצאת זואופלנקטון, ומובאים למדידה במעבדה, שם מסוננת כל דוגמה על פילטר GF/F. מיצוי הכלורופיל נעשה ב-10 מ"ל Acetone (90%) במשך 24 שעות בחושך ב- $4^{\circ}\text{C}$ . האצטון כולל בופר של מגנזיום קרבונט. מדידת ריכוז הכלורופיל מתבצעת בפלואורומטר (Turner Designs TD-700) ומכילות באמצעות מדידה יומית של סטנדרט עם הדוגמאות.

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

### תוצאות

השנה נמדדו ערכי כלורופיל מרביים בפני הים בשני שיאים, בחודש מרץ ובחודש אפריל (איור ה1). ריכוזי הכלורופיל בארועי שיא אלה היו גבוהים במידה ניכרת מהערך המרבי אשר נמדד בשנה הקודמת וכמובן גם מערך הממוצע הרב שנתי. בחודש מרץ נמדד ערך מרבי של  $1.78\text{ mg/m}^3$ , ובחודש אפריל נמשכה הפריחה זמן רב יותר וריכוז הכלורופיל המרבי שנמדד היה  $1.67\text{ mg/m}^3$ . בשנה הקודמת ב-22 במרץ נצפתה פריחה גבוהה במיוחד יחסית לאותה שנה, ונמדד ריכוז כלורופיל של  $1.23\text{ mg/m}^3$ . בתקופת הניטור היו גם השנים 2007-2008 שנים של ערבוב עמוק. בשנת 2008 הייתה פריחה ארוכה אך ריכוז הכלורופיל המרבי הגיע ל- $1.03\text{ mg/m}^3$  בלבד, ובשנת 2007 היה הריכוז המרבי  $1.95\text{ mg/m}^3$ , הערך הגבוה ביותר אשר נמדד מאז הערבוב העמוק בשנת 2000.



איור ה1: ריכוז כלורופיל  $a$  בפני השטח בשמורת חוף אלמוג (בסמוך למזח המצפה הימי). קו אדום - בשנת הניטור 2012, קו ירוק - ממוצע רב שנתי (1988-2011), קו שחור גבול 90% מהנתונים שהצטברו.

**Figure E1: Chlorophyll  $a$  concentrations sampled daily at the Underwater Observatory jetty in 2012 (red line) and the long-term average (1988-2011, green line). Black lines mark the 90% of all accumulated data.**



## ה.2. טמפרטורת המים בפני השטח בשמורת חוף אלמוג

### מטרה

מעקב רציף וארוך-טווח אחר טמפרטורת המים בפני הים.

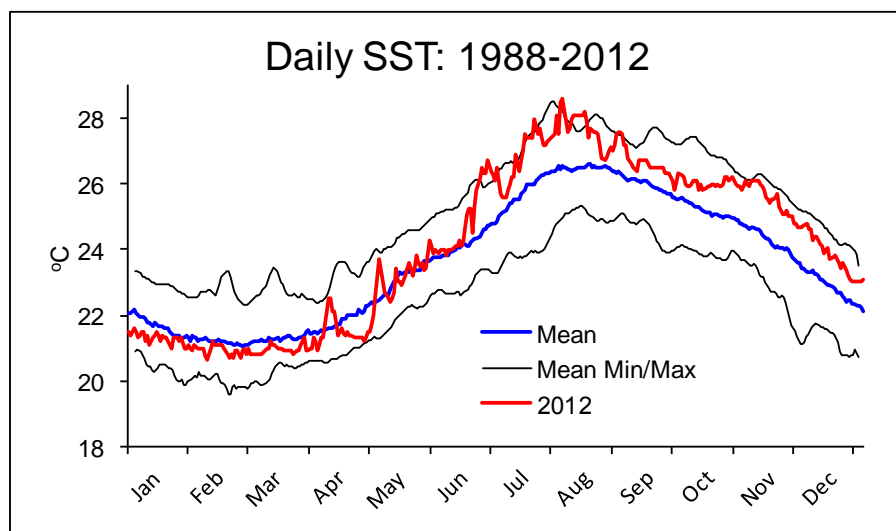
### שיטות

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

### תוצאות

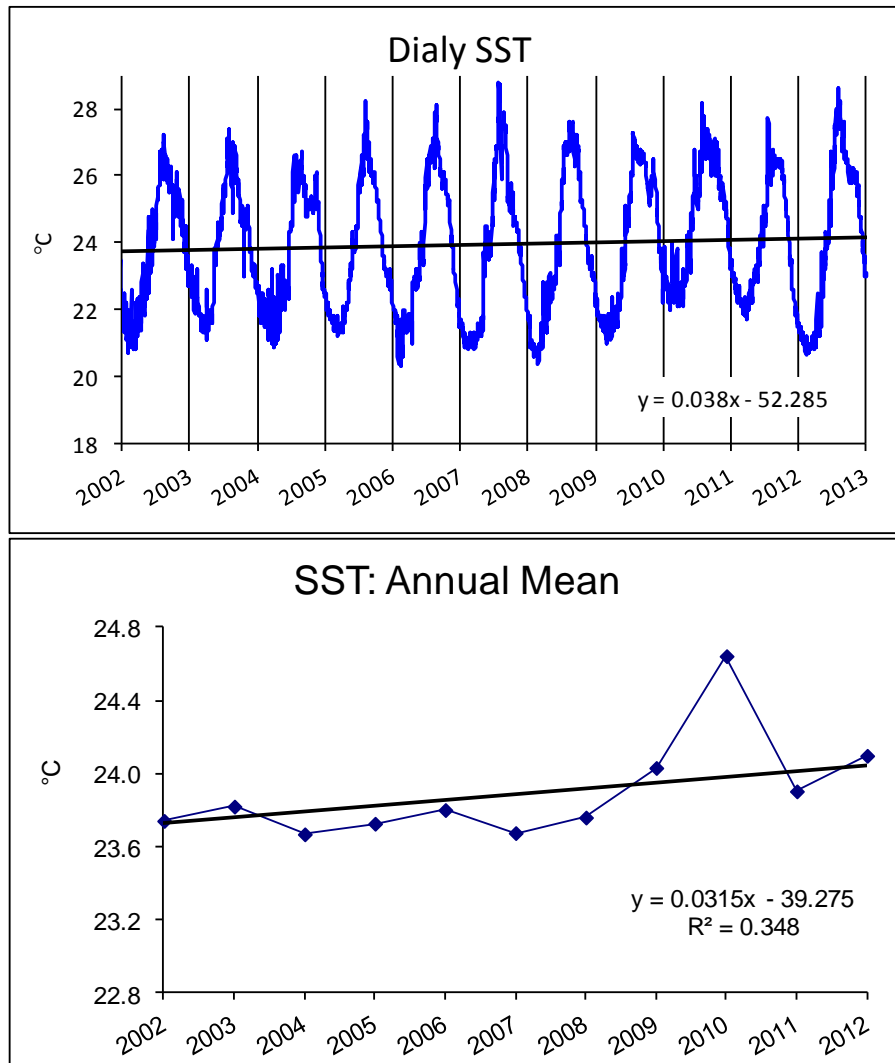
בשנה הקודמת היו הטמפרטורות גבוהות מן הממוצע בחודשים ינואר-מרץ, אולם בחודשי הקיץ נמדדו טמפרטורות דומות לממוצע הרב שנתי והחל מהסתיו ירדה הטמפרטורה בפני הים אל מתחת לממוצע. תבנית זו הובילה לטמפרטורות נמוכות בחורף השנה ולערבוב עמוק של עמודת המים. טמפרטורת פני הים נותרה נמוכה מהממוצע עד לחודש אפריל, ואז החלה לעלות ובהמשך השנה הייתה גבוהה מהממוצע הרב שנתי מאז 1988 (איור ה-2). נראה כי בהתאם לתבנית זו בשנה הבאה צפוי ערבוב רדוד. הטמפרטורה המזערית אשר נמדדה השנה הייתה  $20.65^{\circ}\text{C}$ , כמעט מעלה פחות מאשר בשנה הקודמת. הטמפרטורה המרבית אשר נמדדה השנה הייתה  $28.60^{\circ}\text{C}$ , כמעט מעלה יותר מאשר בשנה הקודמת.

מאז שנת 1988 נרשמת מגמה של עלייה בטמפרטורת פני הים הנמדדת מדי יום בסמוך למצפה התת-ימי (איור ה-3). השנה הייתה טמפרטורת פני הים הממוצעת  $24.10^{\circ}\text{C}$ , ערך זה גבוה במעלה שלמה מהממוצע בשנה הקודמת ( $23.09^{\circ}\text{C}$ ) וזאת על אף החורף הקר והערבוב העמוק השנה. מגמת החימום הרב-שנתי של פני הים עדיין נמשכת.



איור ה-2: טמפרטורת המים בפני הים בשמורת חוף אלמוג (בסמוך למזח המצפה הימי). קו אדום - שנת הניטור 2012, קו כחול - ממוצע רב שנתי של המדידות היומיות 1988-2011, קווים שחורים - ערכי קיצון ממוצעים (ממוצע שבעה ימים) ממדידות 1988-2011.

**Figure E2: Daily sea surface temperatures measured from the Underwater Observatory jetty during 2012 (red line), the average SST for 1988-2011 (blue line), and long-term average (1-week running mean) minimum and maximum values from 1988 to 2011.**



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

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

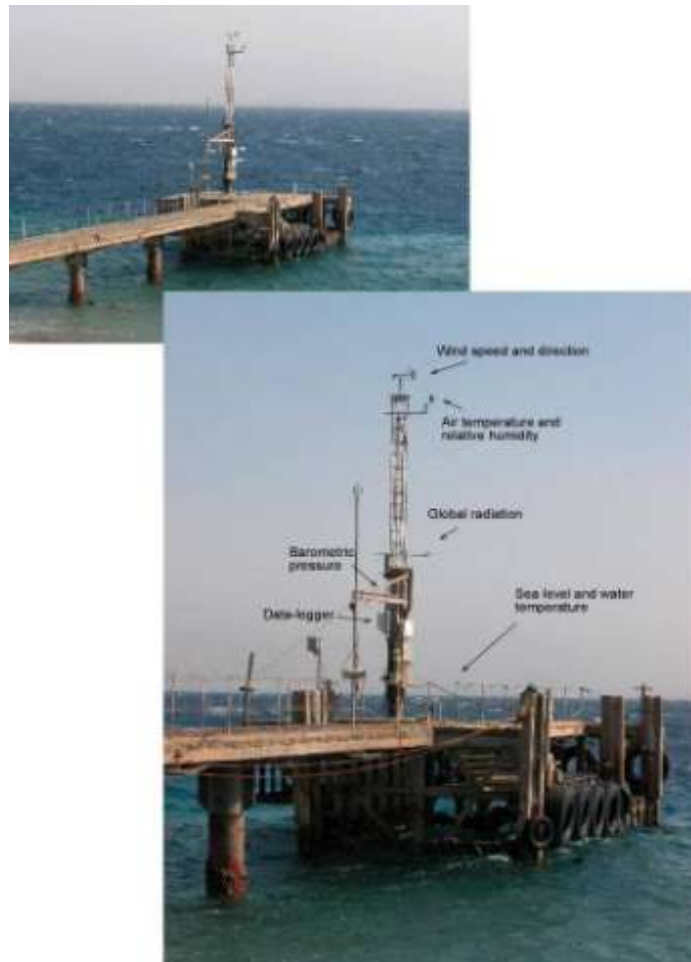
### ה.3. משתנים מטאורולוגים

#### מטרה

מעקב רציף וארוך-טווח אחר משתנים מטאורולוגים במפרץ.

#### שיטות

בקיץ 2006 (21.9.2006) הוקמה על ידי תכנית הניטור תחנה מטאורולוגית בקצה המזח של המכון הבין-אוניברסיטאי באילת (מיקום:  $N 29^{\circ} 30.211'$   $E 34^{\circ} 55.068'$ ). המערכת כוללת מגוון של חיישנים מהטובים בשוק (טבלה 1), ומבצעת מדידות רציפות של המשתנים הבאים: טמפרטורת האוויר, לחות יחסית, לחץ ברומטרי, קרינה גלובלית, מהירות הרוח, כיוון הרוח, טמפרטורת המים ולחץ מים (= מפלס הים). החיישנים מחוברים לרשם-נתונים (data-logger) והמערכת כולה מצויה מעל הים ופועלת באופן עצמאי (איור 4), כאשר נתונים מועברים אוטומטית לשרת המכון הבינאוניברסיטאי. באביב 2010 (26.5.2010) הוספו שני חיישני קרינה לתחנה המטאורולוגית לצד חיישן הקרינה הגלובלית; חיישן לקרינה אולטרא-סגולית (UV), וחיישן לקרינה באורך גל הזמין לפעילות פוטוסינטטית (PAR). שני החיישנים הוספו בעקבות התייעצויות עם חוקרים המתמקדים באספקטים שונים של אקולוגיה בשונית (כגון יצרנות ומחלות אלמוגים) ותהליכים פוטוסינטטיים ופוטוכימיים בים, עקב חשיבותם הרבה של אורכי גל אלה לאקולוגית המפרץ. הזמן לפיו נרשמים הנתונים המטאורולוגים הוא שעון החורף של ישראל (GMT+2).



איור 4: התחנה המטאורולוגית בקצה המזח של המכון הבין-אוניברסיטאי.  
Figure E4: The meteorological station at the end of the IUI pier.

Description	Manufacturer	Model
Wind monitor MA (speed & direction)	Young	05106
Air temperature and relative humidity	Campbell	HMP45C
Casing for temp & RH	Campbell	41003
Barometric pressure	Young	61202
Barometric pressure port (to minimize wind effect)	Young	61002
Global radiation	Kipp&Zonen	CM11B
UV radiation	Apogee	SU-100
PAR radiation	Li-Cor	LI-190SA
Water pressure	Campbell	CS455
Water temperature	Campbell	108
Data logger	Campbell	CR1000

**טבלה ה1: רשימת הרגשים המרכיבים את התחנה המטאורולוגית בקצה המזח של המכון הבין-אוניברסיטאי.**  
**Table E1: Setup of the meteorological station at the end of the IUI pier, list of sensors.**

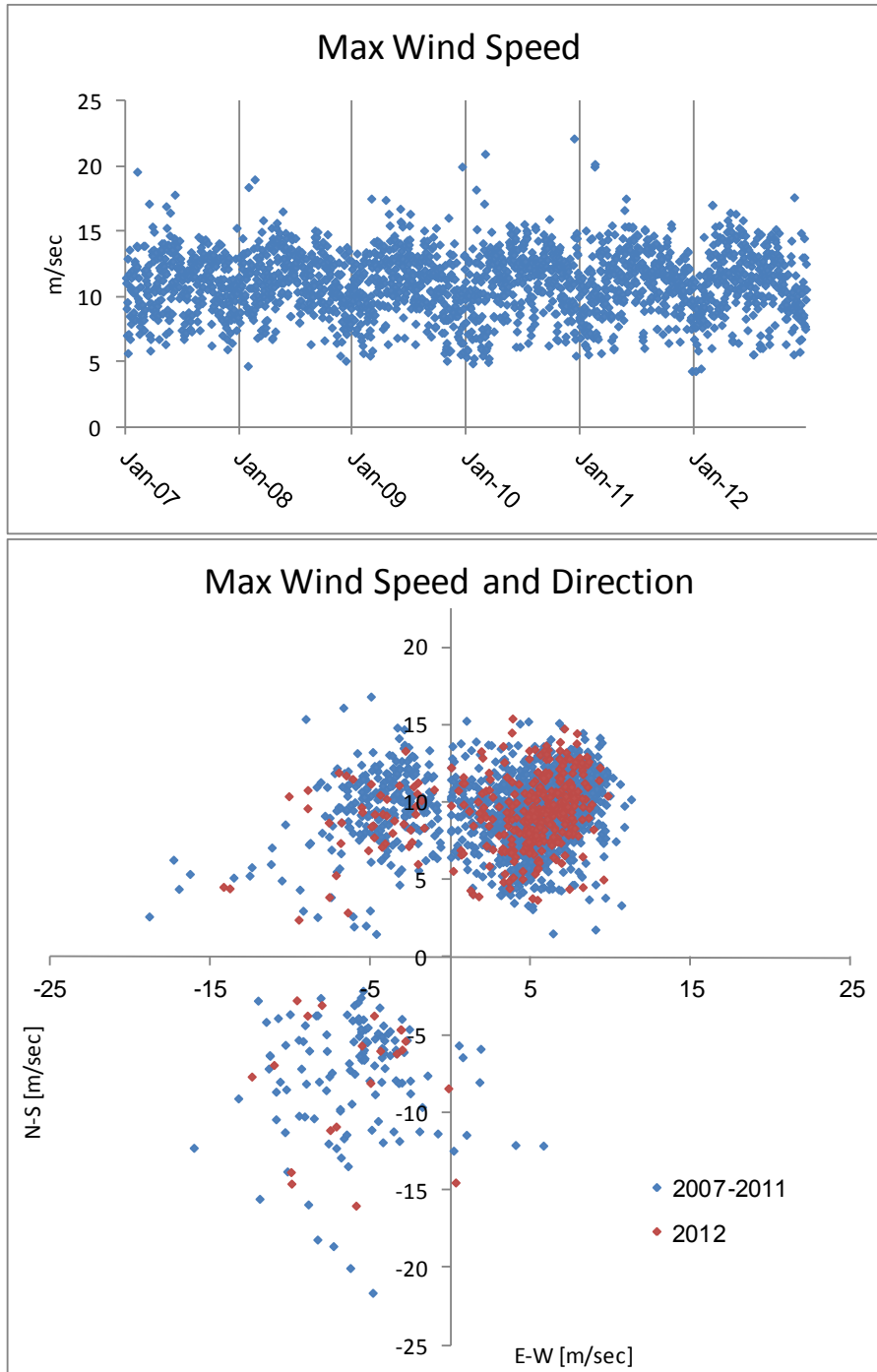
מהירות וכיוון הרוח, וטמפרטורת האוויר והלחות נמדדים מראש התורן שבקצה המזח, כעשרה מטרים מעל לפני הים (בזמן שפל). מד הלחץ הברומטרי ממוקם כחמישה מטרים מעל הים ומתוקן לגובה פני הים. החיישנים המודדים קרינה (גלובלית, UV, PAR) ממוקמים על זרוע במרחק 0.7 מטרים דרומית לתורן בכדי למנוע הצללה, כ-6 מטרים מעל הים. מד לחץ המים מקובע בצינור באורך 3 מטרים וקוטר של 3" המחובר אנכית אל העמוד המרכזי של המזח, ישירות מתחת לתורן. הצינור נועד לשכך את תנודות הגלים, ולצורך כך הוא פקוק בבסיסו בפקק בו קדוח חור בקוטר 3 מ"מ אשר מונע משינויי מפלס בעלי תדירות גבוהה להשפיע על הרגש. הרגש עצמו נמצא בעומק 75.5 ס"מ יחסית למפלס הים הרשמי של המפרץ – כיול גובה הרגש 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 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 בזיכרון הפנימי של רשם הנתונים. מדי שעה מחשב ייעודי מתקשר עם רשם הנתונים ואוסף את נתוני השעה החולפת המאוחסנים על גבי שרת המכון. בנוסף לנתונים הממוצעים על פני עשר דקות, שומר רשם-הנתונים את מהירות הרוח המרבית ואת כיוונה, ואת סטיית התקן של הכיוון בפרק זמן של עשר דקות. בנוסף לאלה שומרת המערכת סיכום של נתוני היממה האחרונה: ערכי קיצון (מרבי ומזערי) של כל המשתנים והזמן בו נקלטו (עבור נתוני הרוח והקרינה נרשמים רק הערכים המרביים, יחד עם כיוון הרוח).

#### תוצאות

מדידות מטאורולוגיות ארוכות טווח נועדו להשלים את התמונה האקולוגית באבחון שינויים ארוכי טווח במשתנים אקלימיים להם עשויה להיות השפעה על התנאים האקולוגיים (כגון שינויים בעוצמת הקרינה, טמפרטורת המים, תדירות ועוצמת סערות), ולבחון אירועים אקלימיים נקודתיים והשפעתם על המערכת האקולוגית (כגון אירועי שפל, סערות, ערכי חום וקרינה קיצוניים).  
השנה נרשמו מספר סערות ואירועים: סופות אבק חזקות בסוף ינואר ובאפריל, סערה דרומית בסוף פברואר, ואירועים קצרים של רוח דרומית מלווה בגשם חזק (6 מ"מ גשם בפרק זמן של כשעה וכ-7 מ"מ בפרק זמן של שתיים בחודשים אוקטובר ונובמבר בהתאמה). הגשמים גרמו לזרימות מי נגר אל הים מערוצים שונים המתנקזים לצפון המפרץ (הערבה, שלמה, שחמון).

על אף אירועי הגשם ומספר "מכות רוח" חזקות נרשמו השנה פחות סערות דרומיות מאשר בשנה הקודמת ועצמתן היתה נמוכה יותר (איור ה5).



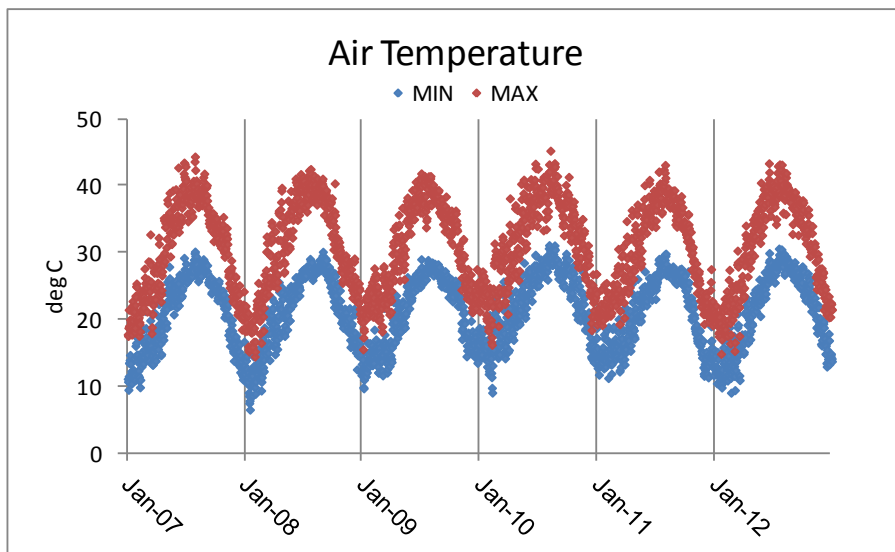
איור 5: למעלה- מדידות מהירות הרוח המרבית בכל יממה במטרים לשנייה. למטה- מהירות הרוח המרבית ביממה וכיוונה מאז תחילת 2007. מדידות השנה האחרונה באדום.

**Figure E5: Top- Maximum daily wind speed (m/sec). Bottom- Maximum daily wind speed and direction since January 2007. This year's wind measurements are marked by red squares.**

טמפרטורת האוויר מעל הים משקפת את המחזור העונתי בשינויים הדרגתיים של הטמפרטורה המרבית והמזערית בכל יממה (איור 6). הטמפרטורה הגבוהה ביותר השנה הייתה  $43.3^{\circ}\text{C}$  בחודש יוני, דומה לערך המרבי בשנה הקודמת. הטמפרטורה הנמוכה ביותר השנה הייתה בחודש פברואר,  $8.85^{\circ}\text{C}$ , נמוך בכמעט שתיים וחצי מעלות מאשר בשנה הקודמת ( $11.14^{\circ}\text{C}$ ). הטמפרטורה הנמוכה היא שהניעה את הערבוב העמוק בחורף.

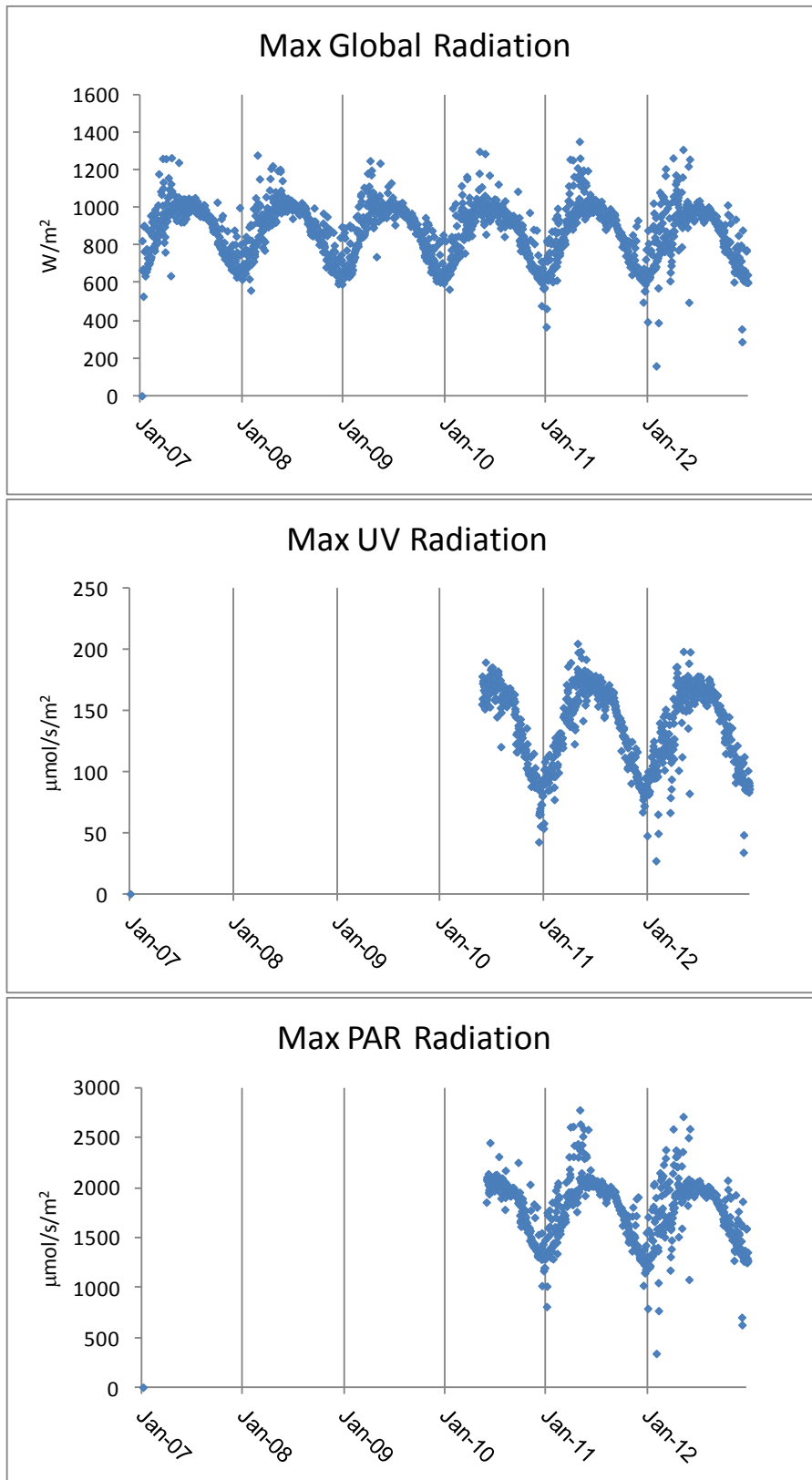
בחודשי הקיץ ההבדלים בין הטמפרטורה המרבית והמזערית ביממה (בשעות הערב ולפנות בוקר

בהתאמה) גדולים מאשר בחודשי החורף. יש לציין כי הטמפרטורות נמדדות מעל הים ויש לצפות למשרעת ערכים קטנה יותר מזו המתקבלת מעל יבשה, דהיינו ערכים מרביים נמוכים יותר וערכים מזעריים גבוהים יותר.



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

הקרינה הגלובלית בעלת מחזור עונתי דומה לזה של טמפרטורת האוויר, אולם ערכים מרביים נמדדים בחודשי האביב (איור ה-7). 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 (1313 ואט'מטר רבוע) הייתה מעט נמוכה מהערך המרבי אשר נמדד בשנה הקודמת. 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-סגולית המרביים ובין זמני המדידות המרביות של הקרינה הגלובלית וקרינת ה-PAR. בנוסף, נראה כי עצמת הקרינה האולטרא-סגולית פוחתת במידה רבה יותר מהקרינה הכללית עם המעבר מקיץ לחורף.



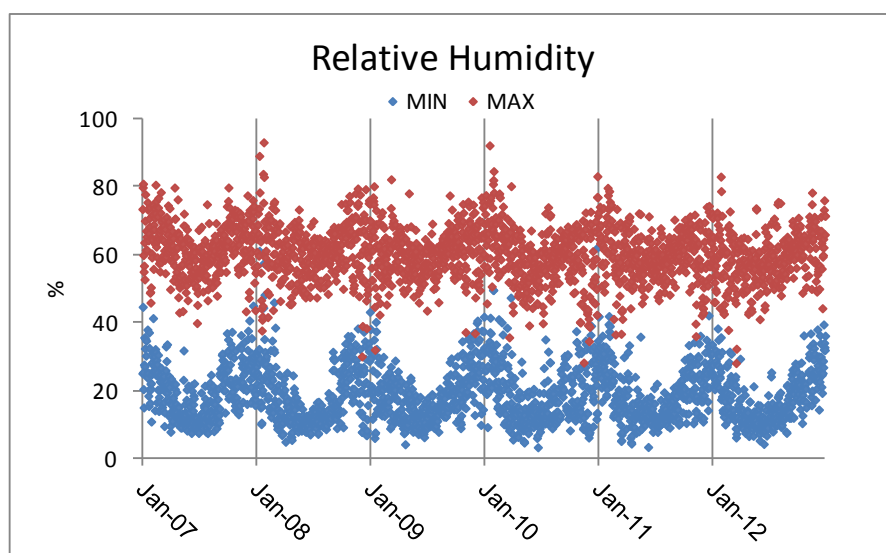
איור 7: ערכים יומיים מרביים של קרינה גלובלית (למעלה), קרינה אולטרא-סגולית (באמצע) וקרינה זמינה לפוטוסינתזה (למטה).

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

הלחות היחסית, כפי שנמדדה השנה ממזח המכון מעל הים, דומה למדידות שהתקבלו בשנים

החולפות אך השנה היו יותר ימים של לחות גבוהה מאשר בשנים האחרונות (איור ה-8). שינויים עונתיים במדידות הלחות היחסית קטנים יחסית למשרעת היומית הגדולה, ומונעים במידה רבה על ידי שינויים בכיוון ועוצמת הרוח. ערכי לחות נמוכים נמדדו בבסוף החורף וערכים גבוהים יותר – הן של הלחות המרבית והן המזערית – נמדדו בסתיו ובחורף. בחודשים ינואר ופברואר, בהם הרוח אינה יציבה נמדדה המשרעת הגדולה ביותר בערכי הלחות כמו גם הלחות היומית המרבית הגבוהה ביותר והנמוכה ביותר. הלחות המרבית נמדדת לרוב בשעות הלילה או הבוקר המוקדמות ואילו הלחות המזערית בשעות אחר הצהריים-ערב.

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

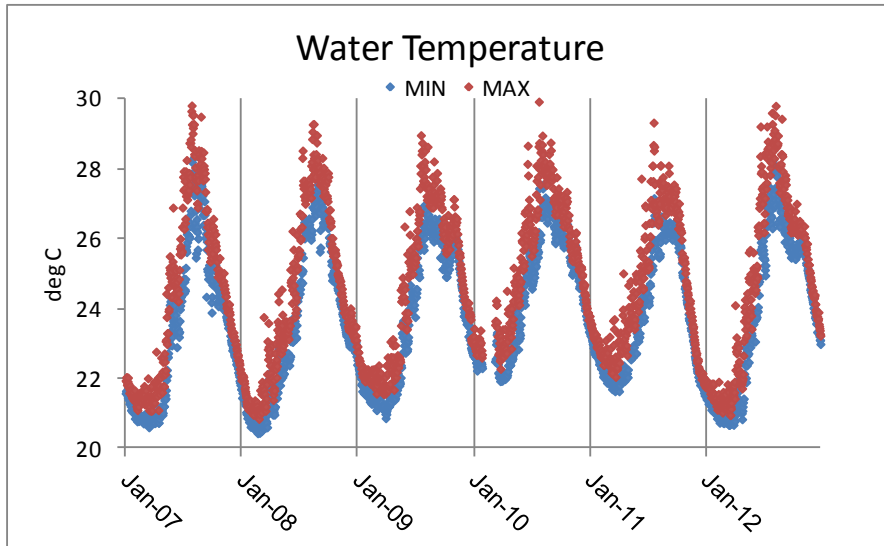


איור ה-8: ערכים מרביים ומזעריים (באדום ובכחול, בהתאמה) של לחות יחסית מעל הים, בכל יממה.  
**Figure E8: Maximum and minimum (red and blue, respectively) daily values of relative humidity over the sea.**

במדידות טמפרטורת המים (עומק כ-2.5 מטרים) ניתן לעקוב אחר המחזור העונתי בו טמפרטורת המינימום ( $20.69^{\circ}\text{C}$ ) נמדדה השנה בחודש מרץ והייתה נמוכה בכמעלה מזו אשר נמדדה בשנה הקודמת,  $21.65^{\circ}\text{C}$ . טמפרטורת המקסימום ( $29.81^{\circ}\text{C}$ ) נמדדה השנה בחודש אוגוסט, לעומת  $29.33^{\circ}\text{C}$  אשר נמדדה בחודש יולי 2011 (איור ה-9). הטמפרטורה המרבית השנה גבוהה בכדי חצי מעלה והמזערית נמוכה בכדי מעלה בהשוואה לשנה הקודמת.

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





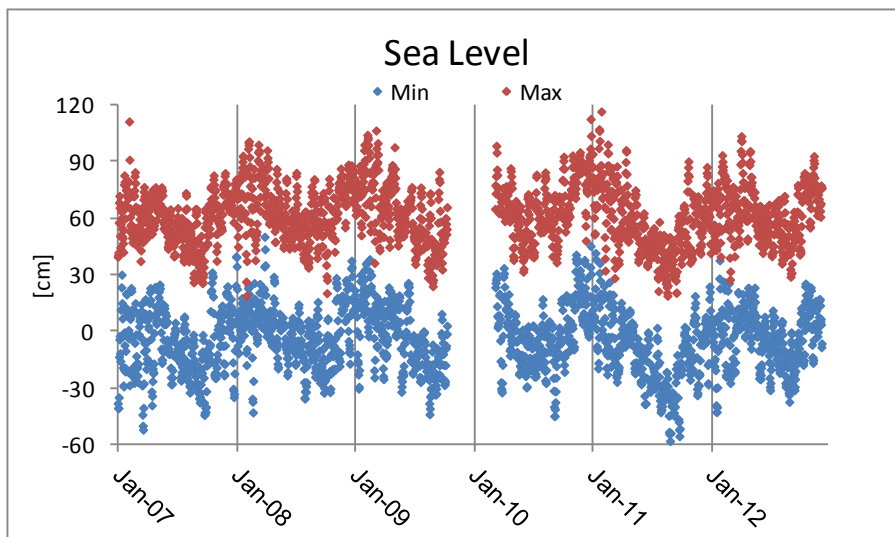
איור 9: ערכים יומיים מרביים ומזעריים (באדום ובכחול, בהתאמה) של טמפרטורת המים (בעומק כ-2.5 מ').

**Figure E9: Maximum and minimum (red and blue, respectively) daily water temperature at ~2.5m depth.**

[מדידות מפלס הים בין 15 באוקטובר 2009 ו-10 במרץ 2010 לקו בשגיאה הנובעת מבעיית חיישן. החיישן הוחלף וכיול והמדידות השגויות הוסרו מבסיס הנתונים של תכנית הניטור. השנה שוב נמצאה סטייה של מדידות המפלס והותקן חיישן חדש ב-6 בנובמבר 2012. המדידות השגויות הוחלפו במדידות אשר נעשות על ידי המרכז למיפוי ישראל ממזח המכון הבינאוניברסיטאי]

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

השנה לא נמדדו מספר אירועים של שפל חזק אשר חשף אלמוגים רדודים.



איור 10: 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

### מטרה

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

### שיטות

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 (איור ה11). המכשיר 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 עומק של כ-40-41 מ', 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. המכשיר מחובר באמצעות כבל חשמל ותקשורת למכון הבינאוניברסיטאי והנתונים (בתדירות של חמש דקות) נשמרים על שרת המכון.



איור ה11: מכשיר ה-ADCP על קרקעית הים בעומק 44 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 44-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

[בתחילת 2011 חדרו מים לכבל התקשורת של מכשיר ה-ADCP וגרמו לקלקולים אשר אילצו אותנו להוציא מן הים ולשולחו לתיקון במעבדות החברה בחול. עקב הקושי הכרוך בהוצאה והצבה של המכשיר בעומק, והעיכובים כתוצאה מהמשלוח, לא נמדדו בשנת 2011 זרמים באופן רציף על ידי תכנית הניטור. ישנן מדידות שנעשות במכון הבינאוניברסיטאי (בעומק רדוד יותר, על המדרון התלול אשר מול המכון) וניתן לקבל את הנתונים על ידי פנייה למכון.]

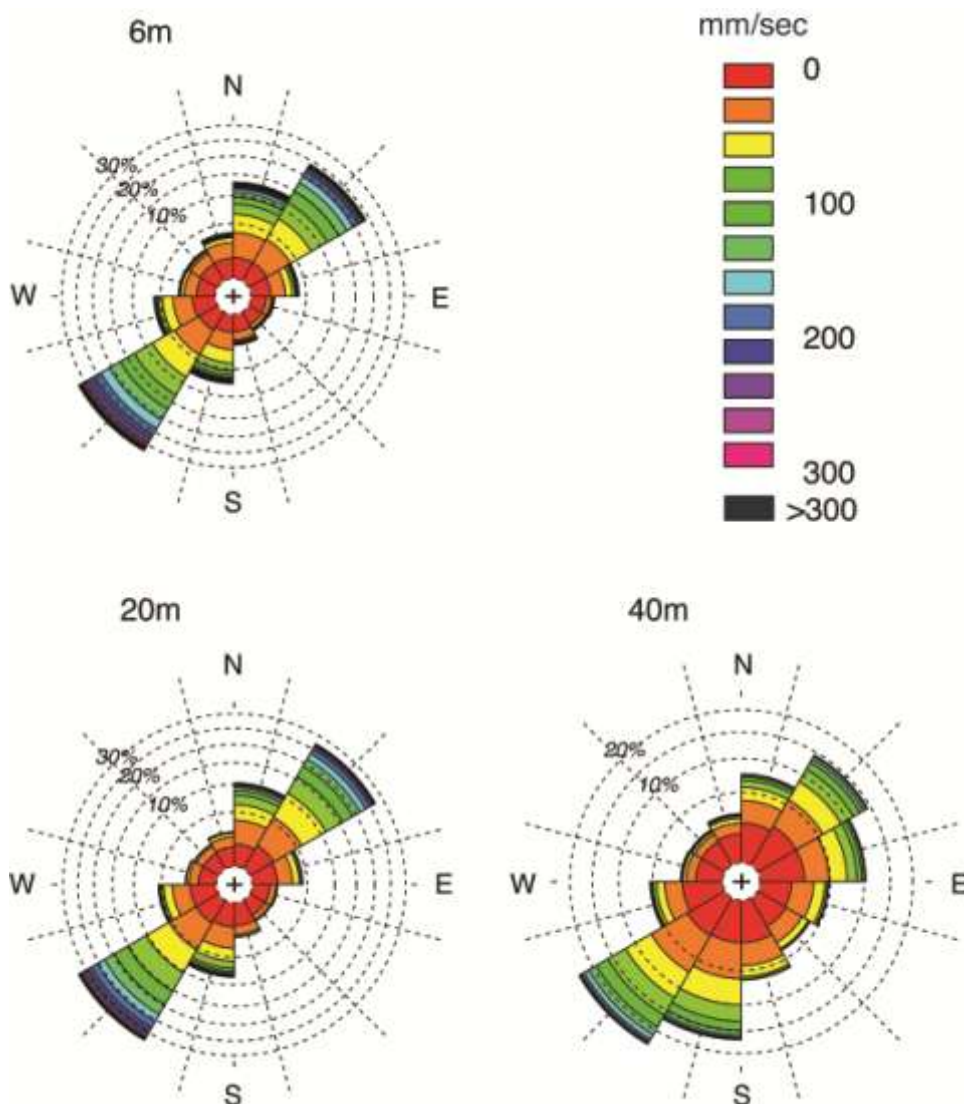
### תוצאות

מכשיר ה-ADCP חזר למדוד זרמים בתחילת השנה ועבד במשך כל השנה. במשך התקופה היו אירועים רבים של נפילת מערכת החשמל או התקשורת ובעקבות כך ישנם "חורים" במערך המדידות.

התפלגות כיווני ועוצמת הזרם עבור שלושה עומקים – 40 מ', 20 מ' ו-6 מ' – מוצגים באיור ה-12. בקרבת פני הים כיוון הזרם השלט הוא במקביל לחוף (כיוון צפ'מז'-דר'מע'), עם תדירות מעט כגבוהה יותר לכיוון דרום. בעומק זה, זרמים בניצב לחוף הם אירוע נדיר ועצמתם חלשה. תוצאות אלה דומות למה שהתקבל בשנת 2010. בעומק 20 מטרים משטר הזרמים דומה, עם תדירות כמעט זהה לכיוון דרום ולכיוון צפון בזרמים המקבילים לחוף. בקרבת הקרקעית, עומק של כ-40 מטרים, משטר הזרמים פחות אחיד וישנם מרכיבים חשובים יותר של זרימה בכיוון תת-מקבילים לחוף, אם כי גם כאן הזרמים במקביל לקו החוף הם החזקים יותר ותדירותם עדיין גבוהה יותר. בעומקים הרדודים ישנם זרמים חזקים יותר מאשר בעומקים הגדולים ובקרבת הקרקעית. כ-90% מהמדדות נתנו מהירויות נמוכות מ-200 מ"מ/שניה. רק כ-2% מהמהירויות שנמדדו גבוהות מ-300 מ"מ/שניה.

בחודשים יולי, אוגוסט, דצמבר נמדדו במים הרדודים זרמים מקבילים לחוף בלבד, ואילו בשאר העומקים ובשאר החודשים היה פיזור מסוים של כיווני הזרם (איור ה-13). מעבר לכך לא נמדדו השנה הבדלים גדולים בין החודשים.

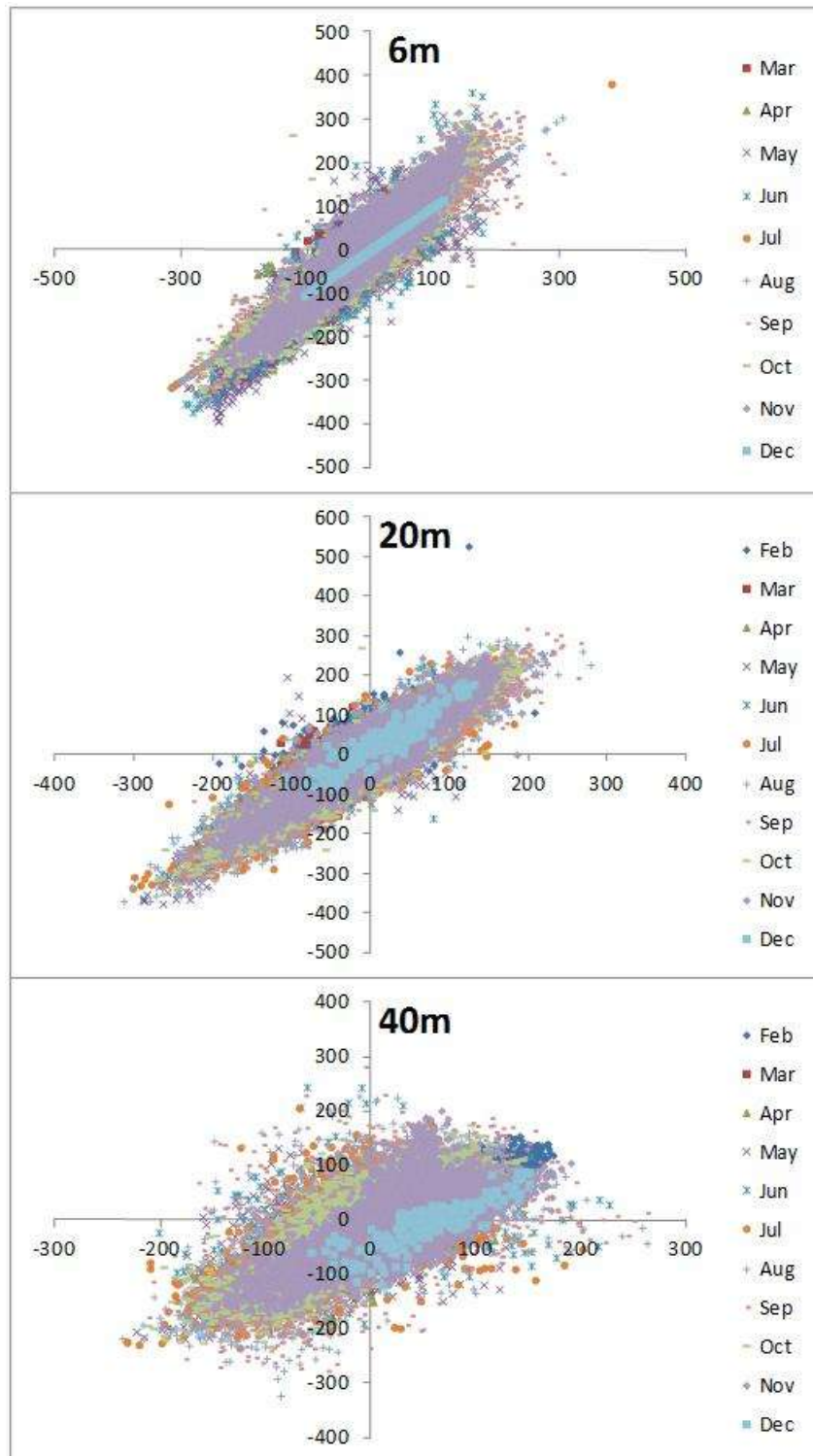
יש להזכיר כי המדידות נעשות בעמודת המים במרחק של כ-150 מטרים מן החוף.



איור ה-12: מדידות הזרמים בשלושה עומקים – 6 מטרים, 20 מטרים ו-40 מטרים. "שושנות רוחות" המראות את תדירות הזרמים בכל כיוון (חלוקה ל"עלים" של 30°) מכלל המדידות בתקופה, מיוצג ע"י גודל "העלה", ועוצמת הזרמים מיוצגת ע"י סולם הצבע (שטח החלקים הצבוע מבטא את תדירות הזרימה בעוצמות השונות).

Figure E12: Current measurements at three depths – 6m, 20m) and 40m. Rose-diagrams showing the frequency of occurrence for given directions (at 30° bins) from the entire

period, given by the size of petals. Current speeds are color coded and the area of each color within a petal represents the frequency of occurrence for that speed.



איור 12: מדידות הזרמים בשלושה עומקים – 6 מטרים, 20 מטרים ו40 מטרים, בהתפלגות לפי חודשים. מהירות הזרם במ"מ/שניה לפי כיווני המצפן.

Figure E12: Current measurements at three depths – 6m, 20m) and 40m, color coded for months. Scale is mm/sec, according to north-south/east-west.

## ה.5. אבק מרחף

מטרה

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

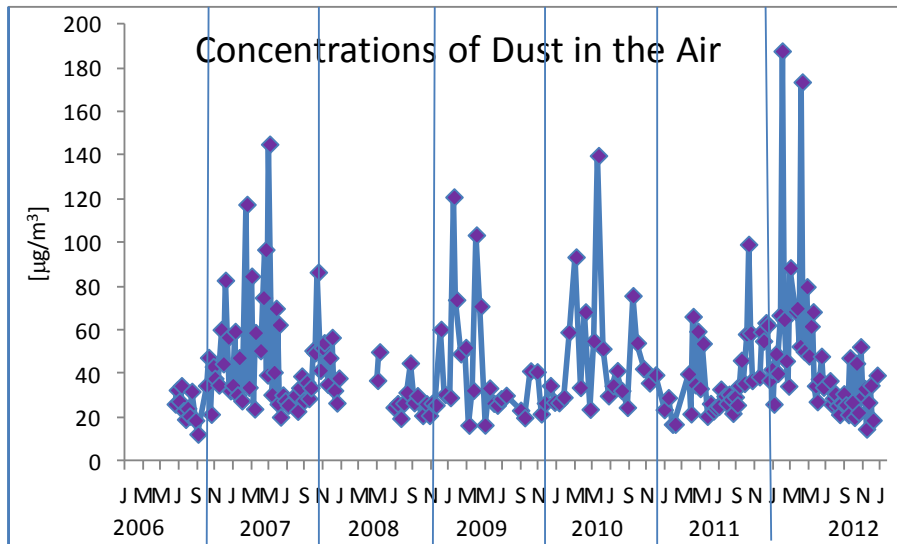
שיטות

אבק מרחף נאסף על גבי פילטר נקי ( $0.45\mu\text{m}$ ) דרכו נשאב אויר בעזרת משאבת ואקום הפועלת ברציפות. הפילטר מותקן בתושבת המורמת מעל מזח המכון הבינאוניברסיטאי בגובה של כ-4 מ' מעל הים ומוחלף מדי 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. יש לציין כי 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) אשר תכנית הניטור תומכת בחלקו. תכנית הניטור בתמיכתה במחקר עוקבת אחר כמויות האבק המגיעות למפרץ במחשבה שאבק עשוי להיות מקור חשוב לנוטריינטים, ובפרט יסודות קורט חיוניים. עם הצטברות הנתונים ולאחר שיתבצע ניתוח של הרכבם (על ידי החוקרים המובילים את המחקר) ניתן יהיה לבחון את תקפותה של ההנחה: עד כמה מהווה האבק מקור משמעותי, עד כמה אחידה תרומת האבק לאורך העונות והשנים, ועד כמה גדולה השפעתו על המערכת האקולוגית במפרץ.]  
לעת עתה מדווח בדו"ח הניטור על שינויים בזמן של ריכוז האבק באוויר מעל צפון המפרץ.

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 במגיע למפרץ (איור ה-12). ריכוזי האבק באוויר גבוהים במיוחד באביב, נמוכים יחסית בחודשי הקיץ ועולים שוב בחודשי הסתיו. השנה נמדדו ריכוזים גבוהים ביותר של אבק בחודשים פברואר ואפריל. ריכוזים אלה תואמים את הידוע – סופות אבק חזקות אשר גרמו להשבתת שדה התעופה באילת למשך שעות. הריכוז המרבי השנה ( $180\mu\text{m}/\text{m}^3$ , בפברואר) גבוה מהריכוז המרבי אשר נמדד בשנת 2007 ( $145\mu\text{m}/\text{m}^3$ , בחודש מאי), וגבוה בהרבה מזה של השנה הקודמת ( $99\mu\text{m}/\text{m}^3$ , גם כן בחודש מאי). ריכוזי האביב הגבוהים נובעים מריבוי אירועי "סופות אבק" בתקופה זו.



איור ה-12: ריכוזי אבק באוויר מעל הים. מדידות נעשות על גבי פילטר דרכו מזרם האוויר ומוחלף מדי שבוע.

**Figure E12: Weekly dust concentrations in the air above the sea. Dust is measured on filters through which air is continuously pumped.**

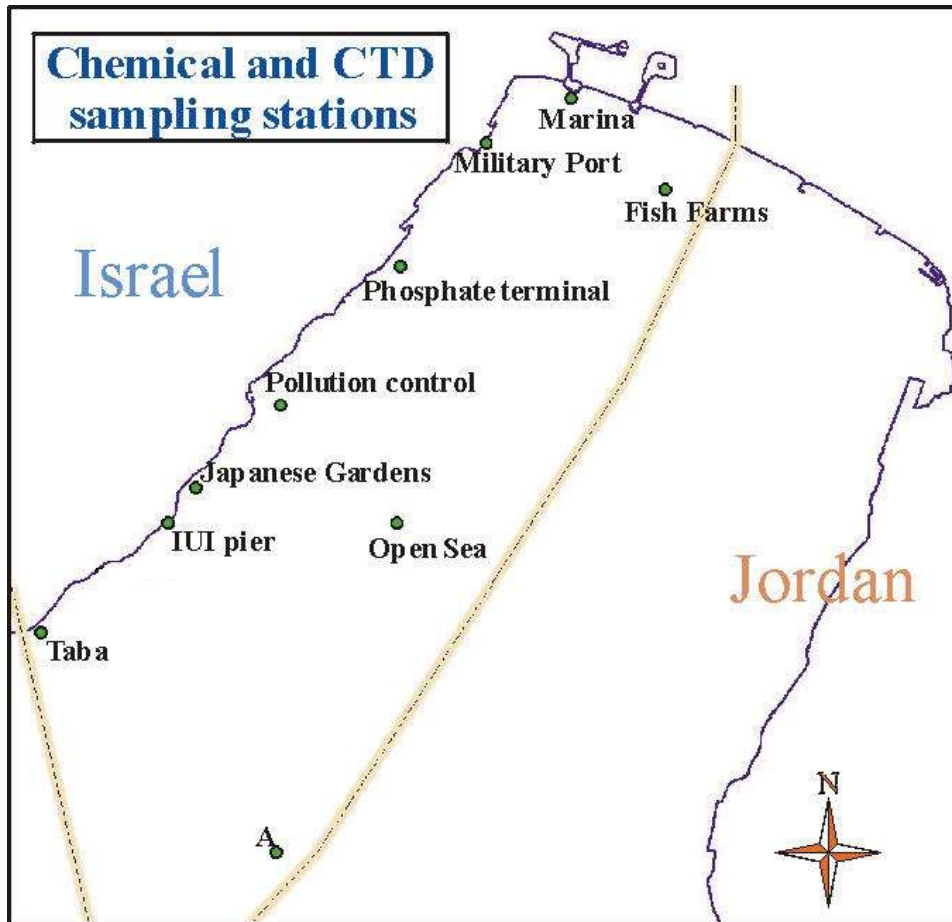


## 1. ביבליוגרפיה

- 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
- Clarke, K.R., Gorley, R.N. (2001). PRIMER v5: User manual/tutorial, PRIMER-E, Plymouth UK, 91pp
- 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>.
- Carlson, B. A. (2012). Feeding activity by the blenny *Exallias brevis* causes multifocal bleaching in corals: Comment on Zvuloni et al. (2011). *Marine Ecology Progress Series*, 463: 297-299.
- 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., 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- Zvuloni, A., Armoza-Zvuloni, R., Shaked, Y. (2011). Multifocal bleaching of *Millepora dichotoma* in the Gulf of Aqaba (Eilat), Red Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 441: 25-32.
- Zvuloni, A., Armoza-Zvuloni, R., Shaked, Y. (2012). Feeding activity by the blenny *Exallias brevis* causes multifocal bleaching in corals: Reply to Carlson (2012). *Marine Ecology Progress Series*, 463: 301-303.

## ז. נספחים

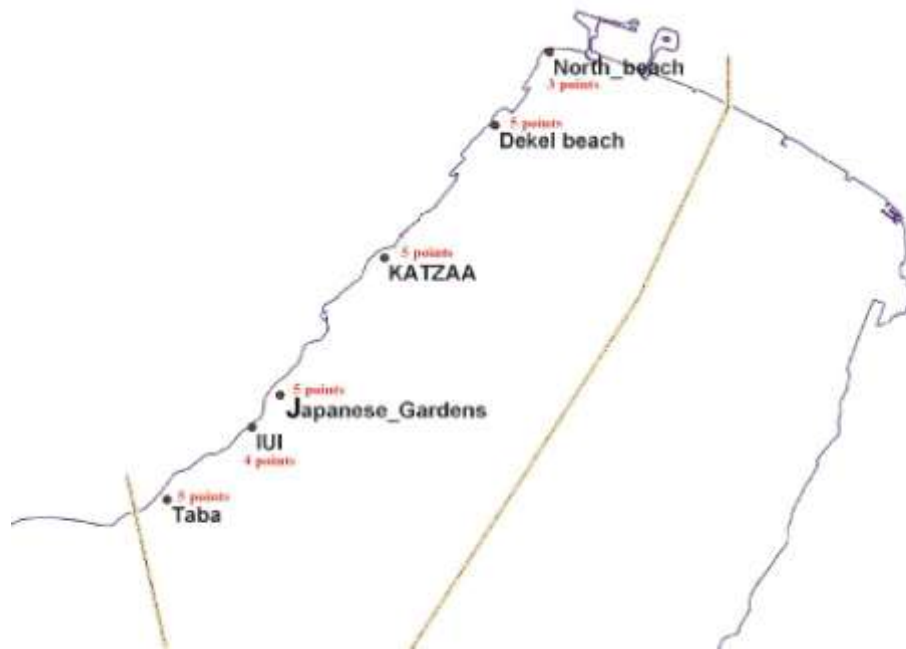
### ז.1: מפות אתרי הניטור



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

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





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

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

## 2.2. רשימת סוגי האלמוגים

טבלה ז1: רשימת אלמוגי האבן (ומספר המושבות) בחתכי הקו בסקר חברת השונית בשנת 2012.

Table G1: List of stony corals and the number of colonies of each taxa found in the coral reef line-transect survey, 2012.

Genus	IUI	Katza	NR	Eilat Total
<i>Acanthastrea</i>	21	7	16	44
<i>Acropora</i>	69	148	153	370
<i>Agariciella</i>	1	1		2
<i>Alveopora</i>		4	3	7
<i>Astreopora</i>	8	13	21	42
<i>Balanophyllia</i>	1	3	2	6
<i>Balastomussa</i>		3	2	5
<i>Coscinaraea</i>	16	4	5	25
<i>Ctenactis</i>			1	1
<i>Cynarina</i>	2	1		3
<i>Cyphastrea</i>	78	65	38	181
<i>Echinophyllia</i>	2	7	3	12
<i>Echinopora</i>	7	56	110	173
<i>Favia</i>	114	22	48	184
<i>Favites</i>	80	99	51	230
<i>Fungia</i>	1	2	3	6
<i>Galaxea</i>	2	17	9	28
<i>Goniastrea</i>	26	54	103	183
<i>Goniopora</i>	8	6	14	28
<i>Gyrosmlia</i>	32	4	8	44
<i>Herpolitha</i>	1	4	2	7
<i>Hydnophora</i>	1	4	8	13
<i>Leptastrea</i>	34	32	21	87
<i>Leptoria</i>		1		1
<i>Leptoseris</i>		4	1	5
<i>Lobophyllia</i>	3	18	44	65
<i>Millepora</i>	53	4	4	61
<i>Montipora</i>	28	117	97	242
<i>Mycedium</i>		13	12	25
<i>Oxipora</i>		1	1	2
<i>Pavona</i>	9	44	7	60
<i>Platygyra</i>	11	6	13	30
<i>Plerogyra</i>		2		2
<i>Plesiastrea</i>	10	24	9	43
<i>Pocillopora</i>	45	12	18	75
<i>Porites</i>	35	57	58	150
<i>Psammocora</i>	6	20	24	50
<i>Seriatopora</i>	1	20	11	32
<i>Siderastrea</i>	24			24
<i>Stylophora</i>	132	93	94	319
<i>Tubipora</i>		2		2
<i>Turbinaria</i>	2	3	3	8
Total	863	997	1017	2877

טבלה 2: רשימת המושבות (מכל הסוגים) אשר זוהו באתרי הצילום הקבועים בשנת 2012.

Table G2: list of colonies (of all types) that were recognized in all permanent photo-sites, in 2012.

Genus	NB	Dekel	Katzaa	NR	IUI	Taba	Total
<i>Acanthastrea</i>	0	0	4	2	2	2	10
<i>Acropora</i>	0	25	56	74	14	7	176
<i>Algea</i>	0	0	12	9	14	40	75
<i>Alveopora</i>	1	1	3	3	0	11	19
<i>Anemone</i>	0	5	7	0	1	0	13
<i>Astreopora</i>	1	1	0	5	1	1	9
<i>Balanophyllia</i>	0	0	2	0	1	1	4
<i>branch sp.</i>	4	0	11	3	4	2	24
<i>Coral sp.</i>	0	0	0	0	2	1	3
<i>Coscinaraea</i>	1	1	0	1	2	3	8
<i>Ctenactis</i>	0	0	0	5	0	0	5
<i>Cyphastrea</i>	2	6	26	27	54	21	136
<i>Echinophyllia</i>	0	2	2	1	3	7	15
<i>Echinopora</i>	7	11	45	56	12	5	136
<i>Favia</i>	9	8	24	13	69	34	157
<i>Favites</i>	18	12	51	29	51	20	181
<i>Fungia</i>	0	1	1	2	1	3	8
<i>Galaxea</i>	3	0	6	0	0	0	9
<i>Goniastrea</i>	16	18	31	70	86	46	267
<i>Goniopora</i>	0	1	0	3	0	0	4
<i>Gyrosmlia</i>	0	0	0	0	0	1	1
<i>Herpolitha</i>	0	1	1	2	0	0	4
<i>Hydnophora</i>	2	0	0	0	0	5	7
<i>Leptastrea</i>	9	1	14	6	38	14	82
<i>Leptoria</i>	0	0	0	0	3	1	4
<i>Lithophyton</i>	0	0	0	1	0	0	1
<i>Lobophyllia</i>	12	5	3	9	8	0	37
<i>Millepora</i>	0	6	2	2	38	44	92
<i>Montipora</i>	2	13	50	27	5	9	106
<i>Mycedium</i>	2	2	12	4	0	0	20
<i>non branch sp.</i>	3	3	15	11	34	15	81
<i>Oxipora</i>	2	1	1	0	0	0	4
<i>Palythoa</i>	1	1	0	4	0	3	9
<i>Pavona</i>	4	3	18	10	3	3	41
<i>Platygyra</i>	13	2	1	9	14	13	52
<i>Plerogyra</i>	2	0	1	0	0	0	3
<i>Plesiastrea</i>	0	0	3	3	6	0	12
<i>Pocillopora</i>	1	1	4	11	14	9	40
<i>Porites</i>	17	24	14	14	9	19	97
<i>Psammocora</i>	4	0	1	0	1	2	8
<i>Rhytisma</i>	0	2	8	19	3	3	35
<i>Sabellidae</i>	1	0	0	0	0	0	1
<i>Sarcophyton</i>	0	0	2	0	1	1	4
<i>Seriatopora</i>	0	2	2	12	1	2	19
<i>Shell</i>	0	0	1	0	0	0	1
<i>Sinularia</i>	0	0	1	0	0	1	2
<i>soft sp.</i>	0	0	0	0	0	3	3
<i>Sponge</i>	2	0	3	9	3	8	25
<i>Stylophora</i>	8	3	26	20	38	10	105
<i>Tridacna</i>	0	0	0	1	4	1	6
<i>Tubipora</i>	0	0	0	1	0	0	1
<i>Tunicate</i>	0	0	0	0	1	1	2
<i>Turbinaria</i>	6	0	0	1	1	0	8
<i>Xenia</i>	2	10	32	85	1	0	130
<b>Total</b>	<b>155</b>	<b>172</b>	<b>496</b>	<b>564</b>	<b>543</b>	<b>372</b>	<b>2302</b>

### 3.2. תסמונת Multifocal bleaching באלמוגי אש ממפרץ אילת

בשנה הקודמת דיווחנו על תסמונת חדשה שנצפתה באלמוגי אש מהמין *Millepora dichotoma* במפרץ אילת (מחקר של ד"ר אסף זבולוני (ראשות הטבע והגנים) בשיתוף עם תכנית הניטור). התסמונת מאופיינת בנקודות מולבנות (חסרות אצות סימביוטיות) הפזורות על פני האלמוג וכונתה Multifocal bleaching. בהמשך המחקר ובעקבות כיוון שעלה ממחקר בהוואי נמצא שהגורם לתופעה הוא הדג *Exallias brevis* המצוי גם במפרץ אילת. לא ברור מדוע הופיעה התופעה באופן פתאומי ונרחב כל כך בשנים האחרונות. להלן תקצירי הפרסומים הדנים בתופעה:

Vol. 441: 25–32, 2011 doi: 10.3354/meps09369	MARINE ECOLOGY PROGRESS SERIES Mar Ecol Prog Ser	Published November 15
---	---	-----------------------

## Multifocal bleaching of *Millepora dichotoma* in the Gulf of Aqaba (Eilat), Red Sea

Assaf Zvuloni<sup>1,2,3,\*</sup>, Rachel Armoza-Zvuloni<sup>2,3,4</sup>, Yonathan Shaked<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Israel Nature and Parks Authority, PO Box 667, Eilat 88000, Israel

<sup>2</sup>Department of Zoology, Faculty of Life Sciences, Tel Aviv University, Tel Aviv 69976, Israel

<sup>3</sup>The H. Steinitz Marine Biology Laboratory, The Interuniversity Institute for Marine Sciences of Eilat, PO Box 469, Eilat 88103, Israel

<sup>4</sup>National Centre for Mariculture, Israel Oceanographic and Limnological Research, PO Box 1212, Eilat 88112, Israel

**ABSTRACT:** The zooxanthellate hydrocoral *Millepora dichotoma* is an important framework builder of shallow reefs in the Gulf of Aqaba (Red Sea). In this study, we document and characterize the emergence of multifocal bleaching (MFB), a new syndrome in *M. dichotoma*. MFB is characterized by bleached spots scattered over the colony. The establishment of MFB in *M. dichotoma* at the study site was surprisingly rapid. We first noticed this phenomenon and assessed its prevalence in February 2010, and re-assessed it 1 yr later, in February 2011. The prevalence of MFB along the reef crest at a depth of 0.5 m is extremely high (63 and 67% in 2010 and 2011, respectively), significantly higher than along the fore-reef at a depth of 2.5 m (16 and 31% in 2010 and 2011, respectively). Spatial analyses were used to characterize the distribution of MFB across 2 spatial scales on the reef: among-transects scale (<800 m) and within-transect scale (<60 m). The results clearly show that the affected hydrocorals are aggregated over these 2 scales. While several factors may contribute to the observed pattern, the aggregated spatial distribution of the affected hydrocorals suggests that local and inter-colonial transmission play a significant role in the spread of MFB.

**KEY WORDS:** Multifocal bleaching · *Millepora* · Hydrocoral · Gulf of Aqaba · Eilat · Spatial pattern

*Re-use or republication not permitted without written consent of the publisher*

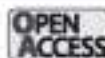
### INTRODUCTION

Coral bleaching and infectious diseases have emerged worldwide as dominant drivers of reef coral population decline (Harvell et al. 2002). During the past few decades, bleaching and disease outbreaks have not only resulted in coral loss and severe decline in coral cover, but have also caused significant changes in coral community structure and reef-associated organisms (Hughes 1994, Aronson & Precht 2001, Loya et al. 2001, Porter et al. 2001, Sutherland et al. 2004, van Woesik et al. 2011). Until recently, the intensively monitored coral reef of Eilat (northern tip of the Gulf of Aqaba, Red Sea) had been relatively free of bleaching and signs of coral diseases (Barash et al. 2005). However, in the past

decade some of these diseases, including black-band disease (e.g. Zvuloni et al. 2009) and white-plague-like disease (e.g. Barash et al. 2005), have appeared in the Gulf. The Eilat coral reef, where most of the present research was conducted, is an intensively studied reef. Scientists from the adjacent Interuniversity Institute for Marine Sciences continuously use this reef for, among other things, study of various aspects of coral and reef ecology (e.g. Loya & Slobodkin 1971, Loya 1972, Riegl & Piller 1999, Glassom et al. 2004, Abelson et al. 2005, Zvuloni et al. 2008a,b,c, 2009). A comprehensive reef monitoring program has been in place since 2003: the Israel National Monitoring Program at the northern Gulf of Aqaba (see INMP annual Scientific reports 2003–2010 at [www.iui-eilat.ac.il/NMP](http://www.iui-eilat.ac.il/NMP)).

\*Email: [zvuloni@npa.org.il](mailto:zvuloni@npa.org.il)

© Inter-Research 2011 · [www.int-res.com](http://www.int-res.com)



COMMENT

## Feeding activity by the blenny *Exallias brevis* causes multifocal bleaching in corals: Comment on Zvuloni et al. (2011)

Bruce A. Carlson\*

Georgia Aquarium, 225 Baker Street, Atlanta, Georgia 30313, USA

**ABSTRACT:** The shortbodied blenny *Exallias brevis* is an obligate corallivore. Studies on Hawaiian reefs and casual observations on other Pacific reefs reveal that *E. brevis* feeds on a wide variety of scleractinian corals, including the hydrocoral *Millepora* spp. This blenny produces distinctive circular feeding marks of ca. 2 cm<sup>2</sup> on corals; the marks can persist for 50 d or more. *E. brevis* is indigenous to the Red Sea and may be responsible for the multifocal bleaching syndrome in Red Sea *Millepora dichotoma* described by Zvuloni et al. (2011; Mar Ecol Prog Ser 441:25–32).

**KEY WORDS:** *Exallias brevis* · Shortbodied blenny · Corallivore · *Millepora* spp. · Multifocal bleaching · Red Sea

Reproduction or translation not permitted without written consent of the publisher

### INTRODUCTION

The shortbodied blenny *Exallias brevis* (Kner) is a combtooth blenny in the tribe Salariai (Hastings & Springer 2009). Combtooth blennies are characterized by a single row of elongate incisiform teeth in each jaw that are used like brushes while grazing on rocky surfaces. The majority of these blennies feed on algae and detritus, but a few species such as *Exceniscus* sp. have been observed feeding on coral tissue (Randall et al. 1997, Carlson & Awai 2008).

Hiatt & Strasburg (1960) reported that *Exallias brevis* at Enewetak Atoll is an herbivore, but Hobson (1974) stated that in the Hawaiian Islands it feeds on coral polyps. Carlson (1978) and Sano et al. (1984) confirmed Hobson's conclusions that *E. brevis* is a corallivore. Carlson (1992) obtained quantitative data on the diet and feeding behavior of *E. brevis*, and these previously unpublished data form the basis of this Comment.

Zvuloni et al. (2011) described an apparently new 'multifocal bleaching' (MFB) syndrome in hydro-

corals *Millepora dichotoma* and *M. platyphylla* in shallow waters off Eilat in the Gulf of Aqaba, Red Sea. Photographs and descriptions published by Zvuloni et al. (2011, their Fig. 1c) bear a remarkable resemblance to the spots on Hawaiian corals resulting from the feeding activity of *E. brevis*.

### OBSERVATIONS AT THE HAWAIIAN ISLANDS

Feeding was recorded over 63 h for 15 tagged male and 5 tagged female *Exallias brevis* on Hawaiian coral reefs at Hanalei Bay and Kahe Point on the island of Oa'hua, from October 21, 1980 through May 9, 1982 (Table 1). Feeding was exclusively on living corals, at rates of 13.9 and 28.4 bites h<sup>-1</sup> for males and females, respectively. A total of 10 feeding marks were photographed and measured. Feeding bites on *Porites lobata* produced circular marks 2.04 ± 0.42 cm<sup>2</sup> (mean ± SD) in area (ca. 1.6 cm diameter) (Fig. 1a,b). Macro-photographs revealed that superficial coenosarc tissue was removed while the polyps remained

\*Email: bcarlson@georgiasaquaarium.org



REPLY COMMENT

## Feeding activity by the blenny *Exallias brevis* causes multifocal bleaching in corals: Reply to Carlson (2012)

Assaf Zvuloni<sup>1,\*</sup>, Rachel Armoza-Zvuloni<sup>2,3</sup>, Yonathan Shaked<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Israel Nature and Parks Authority, PO Box 667, Eilat 88000, Israel

<sup>2</sup>Department of Zoology, Faculty of Life Sciences, Tel Aviv University, Tel Aviv 69978, Israel

<sup>3</sup>The H. Steinitz Marine Biology Laboratory, The Interuniversity Institute for Marine Sciences of Eilat, PO Box 486, Eilat 88103, Israel

**ABSTRACT:** We previously reported the sudden emergence of a disease-like syndrome in which numerous circular white spots were observed in *Millepora dichotoma* colonies in the Gulf of Aqaba (Zvuloni et al. 2011; Mar Ecol Prog Ser 441:25–32) and termed this phenomenon Multifocal Bleaching (MFB). Carlson (2012; Mar Ecol Prog Ser 463:297–299), based on his observations from Hawaiian coral reefs, suggests that the MFB is caused through foraging by the blenny *Exallias brevis*. Carlson's suggestion led us to perform new field and laboratory studies to confirm or discount this possibility. We were unable to document biting of the hydrocorals by *E. brevis* in the field, but our aquarium experiment demonstrated that the white spots are indeed a direct result of the blenny's biting. In addition, we found a strong linkage between the presence of *E. brevis* and the presence of MFB in *M. dichotoma* colonies. We accept Carlson's suggestion, which leads to the following questions: (1) Is the sudden emergence of MFB in the Red Sea caused by a sudden surge in the population of *E. brevis*? (2) Has a change in environmental conditions prompted *E. brevis* to suddenly begin feeding on *M. dichotoma*? (3) What will be the long-term impact of *E. brevis* on populations of *M. dichotoma*, an important component of shallow reefs in the Red Sea?

**KEY WORDS:** *Exallias brevis* · Multifocal bleaching · Feeding scars · Red Sea · Eilat

Reprint or republication not permitted without written consent of the publisher.

### INTRODUCTION

Since February 2010 we have observed a sudden widespread emergence of circular white spots on many *Millepora dichotoma* colonies in the Gulf of Aqaba (see Zvuloni et al. 2011). Following the framework provided by Work & Aoby (2006) to systematically describe and name diseases in corals, this peculiar pattern in which colonies seem to lose their symbiotic algae in discrete focal points was termed Multifocal Bleaching (MFB). We characterized its occurrence, prevalence and spatial pattern, and sug-

gested that MFB 'behaves' in a way reminiscent of coral diseases, but concluded that it is not possible to identify the nature of these bleached spots without further investigation into their character and microbiological attributes.

After publication, a photo of a similar observation from Marsa Shagra (Egyptian Red Sea) was posted by S. Moldzio on the 'Coral-List' ([www.coralreef.noaa.gov](http://www.coralreef.noaa.gov)). This led to contact between B.A. Carlson and A.Z. Based on his observations at Hawaiian coral reefs, Carlson (2012, this volume) suggests that bites by the blenny *Exallias brevis* are the cause of the

\*Email: [zvuloni@npa.org.il](mailto:zvuloni@npa.org.il)

## 4.ז. מעברי חנקן אורגני – אנאורגני במפרץ עקבה

לבקשת תכנית הניטור נכתב עבור דו"ח זה סיכום נרחב של 11 שנות מחקר שנעשה על ידי ד"ר אפרת מידר (בהדרכת פרופ' בעז לזר וד"ר יעלה שקד) ומתמקד במחזור החנקן בעמודת המים במפרץ אילת. המחקר מעלה תובנות רבות הקשורות למחזור החנקן במפרץ, וכולל את השנים 2000-2010 – החל מלפני פעולתה של תכנית הניטור ועד לאחרונה. נתונים רבים מהשנים האחרונות לקוחים ממדידות התכנית בהפלגות החודשיות.

עבודה זו מופיעה כאן מכיוון שתכנית הניטור רואה חשיבות גדולה בעדכון ובהפצת מצב הידע הקיים לגבי התהליכים המתרחשים בעמודת המים. תהליכים בעמודת המים מניעים רבות מהתופעות האקולוגיות במפרץ אילת ותכנית הניטור רואה צורך לתמוך במחקרים מסוג זה ובהפצתם. חלקים מהמחקר כבר פורסמו בספרות המקצועית, וחלקים עדיין מצויים בתהליך של עיבוד וכתובה. כל המעוניין לעשות שימוש במחקר זה ובתוצאותיו מתבקש ליצור קשר עם ד"ר מידר, פרופ' לזר או ד"ר שקד (yshaked@vms.huji.ac.il, boaz.lazar@huji.ac.il, efratmeeder@gmail.com) לשם תאום וקבלת אישור או מידע על מצב הפרסומים.

# Organic-inorganic nitrogen transformations in the Gulf of Aqaba

Efrat Meeder, Yeala Shaked and Boaz Lazar

## Introduction

### *The marine nitrogen cycle – remineralization reactions*

In most oceans, nitrogen is considered the major limiting nutrient on short spatial and temporal scales (Sarmiento and Gruber 2006). It plays a central role in ocean biogeochemistry exerting a significant influence on cycles of many other elements, in particular carbon and phosphorous (Gruber 2008). Although it is a widespread element in the sea, it is mostly in the form of  $N_2$  which is unavailable to most life forms. On the other hand, the concentration of bio-available nitrogen, consisting of nitrate, nitrite, ammonium and amides, are relatively small in seawater and often limit biological productivity.

In the marine environment, nitrogen has 5 relatively stable oxidation states. It can be found as nitrate,  $NO_3^-$  (with an oxidation state of +V), nitrite,  $NO_2^-$  (+III), nitrous oxide,  $N_2O$  (+I), molecular nitrogen,  $N_2$  (0), and ammonium,  $NH_4^+$  (-III). In addition, there is a myriad of organic compounds containing nitrogen, most often in the form of amino-groups in the -III oxidation state. As a result, the nitrogen cycle is composed of oxidation-reduction reactions, many of which are used in the energy metabolism of microbes:

**Nitrogen Fixation** is the process that fixes molecular nitrogen, by reducing to ammonium and provides a primary input of usable nitrogen to the biosphere.

**Ammonification** is the release of ammonium accompanying the breakdown of organic matter containing nitrogen, carried out mostly by ammonifiers. Ammonium

efflux from cells has also been observed following urea uptake in a number of culture experiments (e.g. Rees and Bekheet 1982; Price and Harrison 1988). Grazing of phytoplankton, mainly by micro-zooplankton also release ammonium as a primary nitrogenous excretory product (Carpenter and Capone 1983; Le Corre et al. 1996). The significance of ammonification is that it returns nitrogen to the dissolved inorganic pool. In the ocean, the process of ammonification makes the ammonium a “regenerated” source of nitrogen in the photic zone because it is produced in situ.

**Assimilation** of nitrogen by primary producers is the major sink of dissolved inorganic nitrogen (DIN) in the photic layer. The end products of assimilation processes are reduced organic compounds (Madigan et al. 1997). The assimilation of nitrate or ammonium into organic nitrogen by marine phytoplankton, in order to satisfy their nitrogen demand for growth, is the process that quantitatively dominates the marine nitrogen cycle (Gruber 2008). Regarding the source of nitrogen, the concepts of “new” and “regenerated” production were established, where nitrate was considered the primary source of nitrogen fueling “new” production and ammonium was the dominant regenerated nitrogen source. Recent uptake measurements have shown that there are more nitrogen substrates for primary production such as  $N_2$  (Carpenter et al. 1999; Capone et al. 1998) and DON (Bronk et al. 2007) that call into question the traditional ‘assumptions’ of the new and regenerated production paradigms.

**Nitrification** is an important process that links the most oxidized and most reduced forms of nitrogen and helps determine their overall distribution (Ward 2008). In this process ammonium is oxidized to nitrite and then to nitrate in the presence of oxygen by nitrifiers bacteria and archaea (Schleper et al. 2005). The process of nitrification is carried out in two steps by two functionally distinct groups of nitrifiers: those that oxidize ammonium to nitrite (ammonium oxidizing bacteria and archaea) and those that oxidize nitrite to nitrate (nitrite-oxidizing bacteria). Most of the nitrification is considered to be aerobic and performed by chemolithoautotrophs, with no source of energy other than ammonium or nitrite and no net source of cellular carbon other than carbon dioxide (Ward 2008). There are few reports on heterotrophic nitrification but not from the marine environment (Ward 2008). Recently, an anaerobic oxidation of ammonium, referred to as anammox, has been elucidated (Mulder et al. 1995; van de Graaf et al. 1995). This process however is releasing nitrogen gas, and therefore is more like denitrification in the sense that it loses nitrogen to the atmosphere.

**Denitrification** carried out by bacteria, archaea and some fungi (Knowles 1996; Zumft and Kõrner 1997) is any process that results in a loss of combined nitrogen from the biosphere (that includes anammox). Canonical denitrification is a heterotrophic process in which nitrogen oxides (nitrate or nitrite) that serve as the



terminal electron acceptor are reduced mainly to nitrogen (some nitrous oxide may be formed) for organic carbon metabolism (Codispoti et al. 2001). It is an anaerobic process and in the oceans takes place in areas of very low oxygen concentrations ( $< 5 \mu\text{M}$ ; Devol, 2008).

### *Bioavailability of nitrogen Compounds*

The abundances, distributions and residence times of the different nitrogen compounds in the ocean are almost entirely dictated by the activity of microorganisms, e.g. phytoplankton and bacteria (Mulholland & Lomas, 2008):

**Ammonium** ( $\text{NH}_4^+$ ) rarely occurs at significant concentrations in oxygenated habitats. It is recycled rapidly between heterotrophs which release ammonium by ammonification,  $\text{N}_2$  fixing organisms which excrete ammonium directly or release organic nitrogen that is microbially degraded to ammonium, and many heterotrophic, chemoautotrophic and photosynthetic plankton which utilize ammonium as a nitrogen source. Ammonium is considered the most dominant nitrogen taken up in a variety of marine and estuarine systems. It is readily used by cells because it is already reduced to the same oxidation state as proteins (Syrett 1981). In the oxygenated photic zone, phytoplankton assimilation is often in competition with nitrifying bacteria. In deep waters, ammonium is solely oxidized and is released to the water column by the process of ammonification. The high demand for ammonium results in a rapid turnover times of relatively small standing stock (Glibert 1993).

A sub-surface maximum of ammonium concentration is often observed in the ocean with concentrations of about  $100 - 1000 \text{ nmol L}^{-1}$  (Sanio et al. 1983; Ward et al. 1984; Brzezinski 1988), especially during the spring bloom (Lipschultz et al. 1996; Woodward & Rees 2001).

**Nitrate** ( $\text{NO}_3^-$ ) is the most abundant dissolved inorganic form of nitrogen in the sea, but its assimilation is more energetically demanding than ammonium; it requires the reduction of nitrate to nitrite and then to ammonium. Nitrate is depleted in most of the oligotrophic ocean's surface except for areas where iron limits primary production (high nutrient and low chlorophyll concentrations; Martin and Fitzwater 1988; Martin et al. 1989; Timmermans et al. 1998, 2004). The regeneration of nitrate occurs via the oxidative decompositions of organic matter by the process of nitrification. In deep water, where there is no demand for inorganic nitrogen by phytoplankton, nitrate accumulates as it is the end product of ammonium and nitrite oxidation (Ward 2000). In anaerobic conditions, nitrate can be reduced to nitrous oxide or dinitrogen by denitrification (Madigan et al. 1997).

**Nitrite** ( $\text{NO}_2^-$ ), like ammonium, rarely accumulates in the marine water column, although its uptake is by far less regular than nitrate and ammonium. Nitrite is a

common intermediate in several oxidation and reduction processes in the nitrogen cycle resulting in its fast turnover in oxygenated seawater. Nevertheless, nitrite accumulates in the oceanic waters in two settings. The first, commonly seen in stratified water bodies, is a peak of nitrite at the base of the photic zone, known as the primary nitrite maximum (PNM) ranging from 0.01 to 0.4  $\mu\text{mol L}^{-1}$  with virtually undetectable concentrations below or above that peak (Lomas & Lipschultz 2006). The second, less studied but common nonetheless, is the accumulation of nitrite below the photic zone during periods of convective mixing (Al-Qutob et al. 2002, Lomas & Lipschultz 2006).

**Dissolved organic nitrogen (DON)** is an abundant pool in the nitrogen cycle and the largest reservoir of fixed nitrogen in the sea. Yet its bulk composition and the role it is playing in the nitrogen cycle are poorly understood (Aluwihare & Meador 2008). The concentrations of DON in the ocean are relatively high in the photic zone and decrease to a low and constant value deeper in the water column (Hansell et al., 1993; reviewed in Bronk & Ward 2005; Bronk 2002). This is due to phytoplankton activity in the upper water column that directly release DON to the environment (Bronk 2002). Bacteria are generally thought as DON consumers, but they can also be important producers and remineralizers (Berman et al., 1999, Smith et al., 1992). Other pathways that produce DON are grazer-mediated release and excretion and release via cell lyses (both viral and bacterial; Carlson, 2002). The consumption of DON has been thought to be significant only by bacteria, thereby phytoplankton were neglected as potential consumers. Recent works, however, indicate that phytoplankton may obtain a substantial part of their nitrogen nutrition from organic compounds (Carlson, 2002, Bronk et al, 2007, Burkholder et al., 2008). The bioavailability of DON has a major impact on the nitrogen budget. There is a growing agreement that it is an important flux of nitrogen that supports primary production and its assessment is essential in order to fully understand the marine nitrogen cycle.

The bioavailability of DON molecules is conventionally characterized by the order of their turnover time. The majority of the DON pool is constituted of refractory components, which persist for months to hundreds of years and are not available to the biota in the time scale of this study (Bronk et al., 2002). The more labile fraction of the DON is normally divided into labile moieties, which turn over in the order of days to weeks and semi-labile DON that remineralize within months to years (Bronk 2002). This fraction is thought to be important as it can escape microbial degradation in the surface waters long enough to be entrained to depth via convective mixing. Until recently, estimates of the fraction of labile and refractory DON were done by using size fractionation. However, accumulating evidence has shown that even compounds such as humic substances, considered to be highly refractory because of

their large size, can be labile (See et al., 2006). Other studies have used laboratory short term bioassays for estimating the fraction of labile and semi-labile DON. Reports vary between 12-70% of the DON being bioavailable in orders of days to weeks, although only 5-12% of the DON was identified as one of the highly labile DON compounds (reviewed in Bronk, 2007).

### *Study area –Northern Gulf of Aqaba*

The Gulf of Aqaba (GOA) is a very unique area for *in situ* studying of biogeochemical processes. Its geological structure formed a deep (average depth of 800 m) and narrow water body with chemical and biological characteristic similar to those found in the centre of ocean gyres. The thermohaline current regime that brings only Red Sea nutrient-depleted surface water through the Straits of Tiran, together with the absence of freshwater input, considerably simplify the understanding of the nutrient fluxes. In addition, every winter, convective mixing of the water column, at times, all the way to bottom, resets the mixed layer. As a result, the buildup of a new chemical steady state, which develops rapidly at the exceptional high temperature of GOA's deep waters (above 20°C in 800 m), can then be tracked and examined.

In this study of nitrogen dynamics, we use an approach that observes changes and fluctuations in the various nitrogen pools in the sea. We carried out time series sampling of vertical profiles of DIN (nitrate and nitrite), chlorophyll, particulate organic nitrogen (PON), total dissolved nitrogen (TDN) and DON (see methods for sample collection and analytics chapter 2). Using these data, we calculated the inventories of the dissolved and particulate organic and inorganic nitrogen reservoirs and make an attempt to determine the nitrogen budget of GOA and further apply it in the study of nitrogen transformations, DON dynamics and the estimation of primary production.

## Methods

Water samples were collected at sampling Station A, Gulf of Aqaba, (29°28'N and 34°55'E) from 2000-2010, during monthly cruises aboard the *Sea Surveyor*, *Queen of Sheba*, *Sea Bell* and *Sam Rothberg*. The water were sampled as described in the NMP report.

### *DIN (nitrate, nitrite and ammonium) and chlorophyll*

Sampled and analyzed as described in the NMP report.

### *Total dissolved nitrogen (TDN) and DON*

**Sampling:** Samples were collected directly from the niskins using gloves into EPA vials. Prior to sampling, the vials were rinsed with ethanol, soaked in 20% HCl for 24 hours and washed with high purity water system composed of a pre-filter, ultrafilter and Milli-Q Academic unit, 18.2 MΩ. Samples were not filtered prior to the analysis because particulate organic matter concentration is a very small fraction of the total organic nitrogen in the oligotrophic waters of GOA (< 5%; Meeder 2012). Since the particles are generally small and homogeneously distributed in the samples, the analysis of unfiltered water yields a good measure of DON.

**Preservation:** Samples were kept in 4<sup>0</sup>C until analysis. Storage times never exceeded one month.

**Analysis:** TDN was determined by the high temperature combustion technique using the Shimadzu TOC-VCPH analyzer that was found to give greater yields for DON than the established wet chemical oxidation (Sharp 2004). In this procedure, described by El-Sayed et al. (2003), samples (typically 150 μl, not acidified because here DOC was not measured) were injected onto the combustion column and the TDN was oxidized to NO and HO at 680<sup>0</sup>C in the presence of a catalyst (platinum on aluminium oxide). The combusted gases were dried and purified (halogens are scrubbed) and pulled into a chemoluminescence detector where they reacted with ozone to produce NO<sub>x</sub>. The signal from the detector was recorded (voltage) using a data-acquisition/integration system and peak-area measurement was used for the quantification of concentrations. The Instrument conditions are presented in Table 1.

**Blank determination and detection limit:** Blank was determined using 18.2 MΩ high purity water system composed of a pre-filter, ultrafilter and Milli-Q Academic unit. The blank was 0.8±0.7 μM. The detection limit is 1.5 μM (2σ of the blank).

**Calibration:** Sea water and high purity Milli-Q water were used for conducting standard curves (Figure 1). Slopes were similar in both media, therefore Milli-Q water was used for calibration. Standard curves were sampled for every 40 samples and at the beginning and end of each run.

Combustion temperature	680°C
Carrier gas	UHP Oxygen 99.999%
Carrier flow rate	150 ml/min
Ozone generation gas	Zero Air from Whatman TOC Gas Generator
Ozone flow rate	500 ml/min
Sample sparge time	2.0 minutes
Minimum number of injections	3
Maximum number of injections	5
Number of washes	5
Standard deviation maximum	0.1000
CV maximum	2.00%
Injection volume	150 µl

Table 1: Shimadzu TOC-VCPH analyzer - Instrument conditions

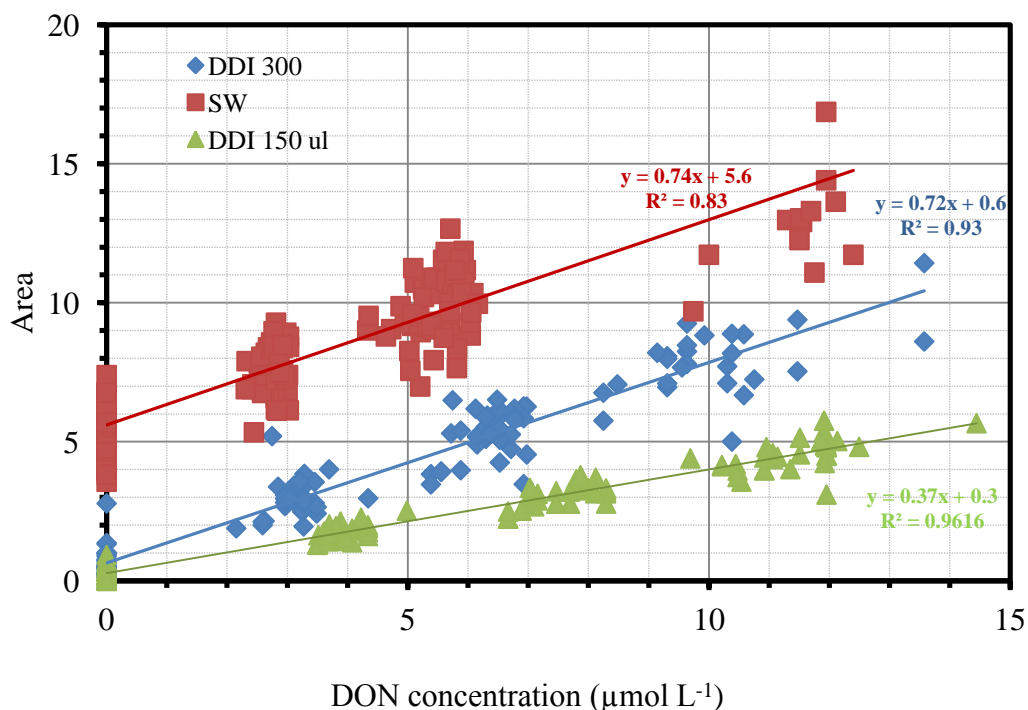


Figure 1: Standard curves of DON in seawater (red), DDI with 300 µl injected into the instrument (blue) and DDI with 150 µl injected into the instrument (green)

**Certified reference material (CRM; Dafner et al. 2002):** During 2008 low TDN

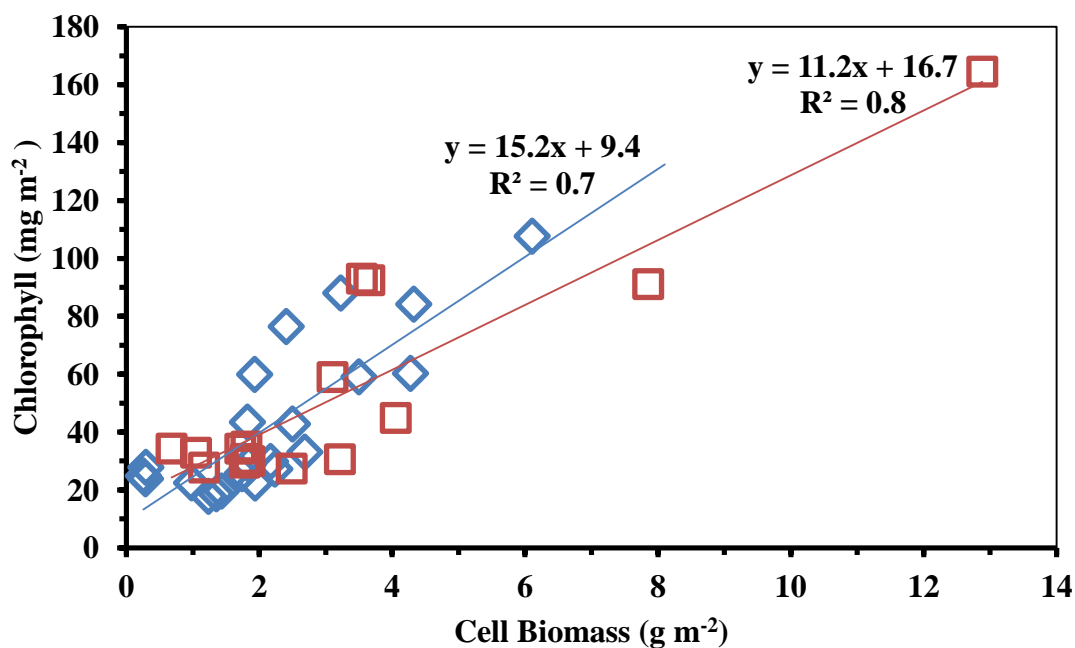
water and deep ocean TDN CRMs have been implemented for every 40 samples and at the beginning and end of each run. The low TDN CRMs produced values similar to the blanks  $0.6\pm 0.5$   $\mu\text{M}$  and the deep water TDN CRMs produced an average value of  $36\pm 1.7$   $\mu\text{M}$ , 8% higher than the TDN determined by the The Hansell and Ogawa laboratories. Samples were not corrected to the CRMs results due to the fact that not all samples were compared with these standards.

### *Phytoplankton cells*

1.8 ml of seawater was collected for phytoplankton counts in sterile 1.8 ml cryotubes. The samples from 2000-2002 were fixed with 0.075 ml of 4% paraformaldehyde pH 7, and samples were later fixed with 20  $\mu\text{l}$  25% glutaraldehyde (Sigma G-5882). All samples were quickly frozen in liquid nitrogen and kept at  $80^{\circ}\text{C}$  until analysis about two months later.

*Synechococcus*, *Prochlorococcus*, and pico-eukaryote cell numbers were estimated by flow cytometric analysis using a FACScan instrument (Beckton Dickinson) and with a 15 mW Neon-Argon laser with a 488 nm excitation light. Before being analyzed the samples were thawed quickly for 1–2 min at  $37^{\circ}\text{C}$ . Samples were run at approximately 60  $\mu\text{l min}^{-1}$  and 10 000 events were acquired in log mode. Yellow-green latex beads (0.93  $\mu\text{m}$ , Polysciences) were added to each sample as an internal standard.

***Biomass estimation:*** Cell numbers, enumerated by flow cytometry, were converted to carbon following Campbell et al. (1998) using conversion factors of 51 fg C cell<sup>-1</sup> for *Prochlorococcus*, 193 fg C cell<sup>-1</sup> for *Synechococcus* and 2100 fg C cell<sup>-1</sup> for pico-eukaryotes. Carbon content was subsequently converted to nitrogen based on Redfield N:C ratio of 1:6.6 (Redfield 1958).



*Figure 2:* Extracted chlorophyll inventory (0-700 m) as a photosynthetic cell inventory (counted by FACS). The regression lines represent the linear fit of samples from 2000-2001 (blue diamonds) and samples from 2006-2007 (red squares). The two sets of samples were measured by different FACS counters.

Most of the chlorophyll *a* in the water column of GOA is attributed to phytoplankton < 5  $\mu\text{m}$ , a size that can be measured by flow cytometry (Lindell and Post 1995; David 2002). It was also suggested for other oligotrophic conditions where water bodies do not support large standing stocks of other phytoplankton size fractions (Madigan et al. 1997). In this study oligotrophic conditions were prevalent throughout most of the year, apart from the deep winter mixing event. Thus biomass estimated based on flow cytometry analyses accounted for the bulk of photosynthetic biomass over most of the year. In this study the cell counts are limited to the years 2000-2001 and several cruises during 2006-2008. Therefore the chlorophyll samples were calibrated to biomass. Figure 2 shows that the integrated chlorophyll *a* content is linearly related to the total biomass ( $\Sigma$  Chlorophyll *a* = total phytoplankton carbon biomass \* 12, n=17).

### *Particulate Organic Nitrogen (PON)*

6 liters of seawater were filtered on pre-combusted GF/F filters for PON analysis. Nitrogen was measured using continuous flow Element Analyzer CE-1112 – Mass Spectrometer Delta plus XL.

### *Calculations*

Water column inventories were calculated from the integrals of the averaged

duplicates of the measured samples. The data was smoothed using the function spline and error was determined by the difference between the integrals of the duplicates. Average errors for DIN, TDN and DON integrals were estimated to be 2, 4 and 4.5 %.

## Results and Discussion

### *Changes in the vertical distribution of the DIN in GOA during 2000-2010*

The vertical distribution of DIN concentrations in GOA is controlled by the annual mixing-stratification cycle. During mixing, the mixed layer DIN concentrations are uniform and when mixing exceeds 200 m they increase with the deepening of the mixed layer (Figure 3). When water column is stratified the DIN is consumed by the phytoplankton in the photic zone - upper 100 m (Stambler 2006) creating a nutrient depleted layer. From the base of this layer until ~200 m depth, the DIN concentrations start raising sharply, a gradient referred to as the nitracline. The nitracline connects the photic zone with the deep water DIN reservoir that is made of nitrate, the end member product of organic matter degradation. Throughout this study, the deep water reservoir showed two distinct profiles: (1) From 2000-2007, as described by David (2002), the DIN concentration increased with depth with two slopes and reached a maximum value  $> 6 \mu\text{mol L}^{-1}$  near the bottom at the end of the stratification periods (Figure 1). (2) From summer 2007 and on, the deep water increase of the DIN stopped



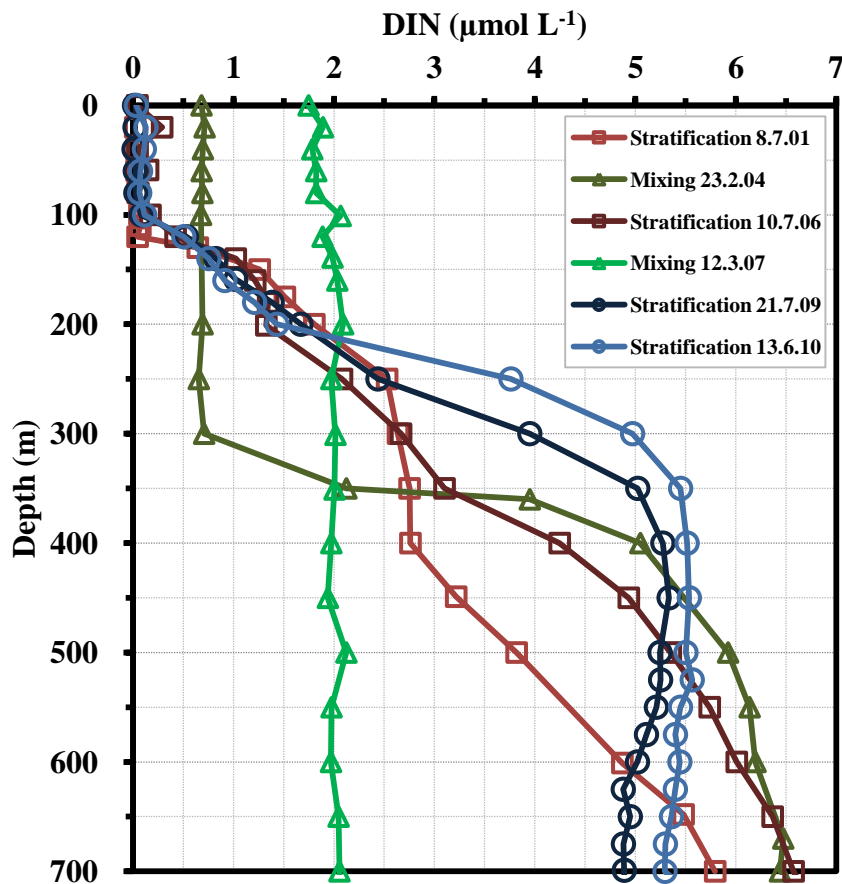


Figure 1: Representative DIN vertical distribution at station A.

at 400 m and stayed constant and even decreased with depth towards the sediment. This phenomenon was clearly reflected by the DIN concentration at 700 m throughout the study period (Figure 2).

### *What drives the seasonality of the DIN?*

The water column DIN inventory (0-700 m) showed a clear semi-annual cycle with average amplitude of  $1.0 \pm 0.2 \text{ mol N m}^{-2}$  that are fluctuations of 40% of the total nitrogen inventory (average of  $2.5 \pm 0.2 \text{ mol N m}^{-2}$ , Figure 3). The DIN inventory started decreasing in the beginning of the mixing, and continued until reaching a minimum at the same time of the deepest mixing. At the onset of stratification, the DIN inventory started rising sharply and then gradually leveled off.

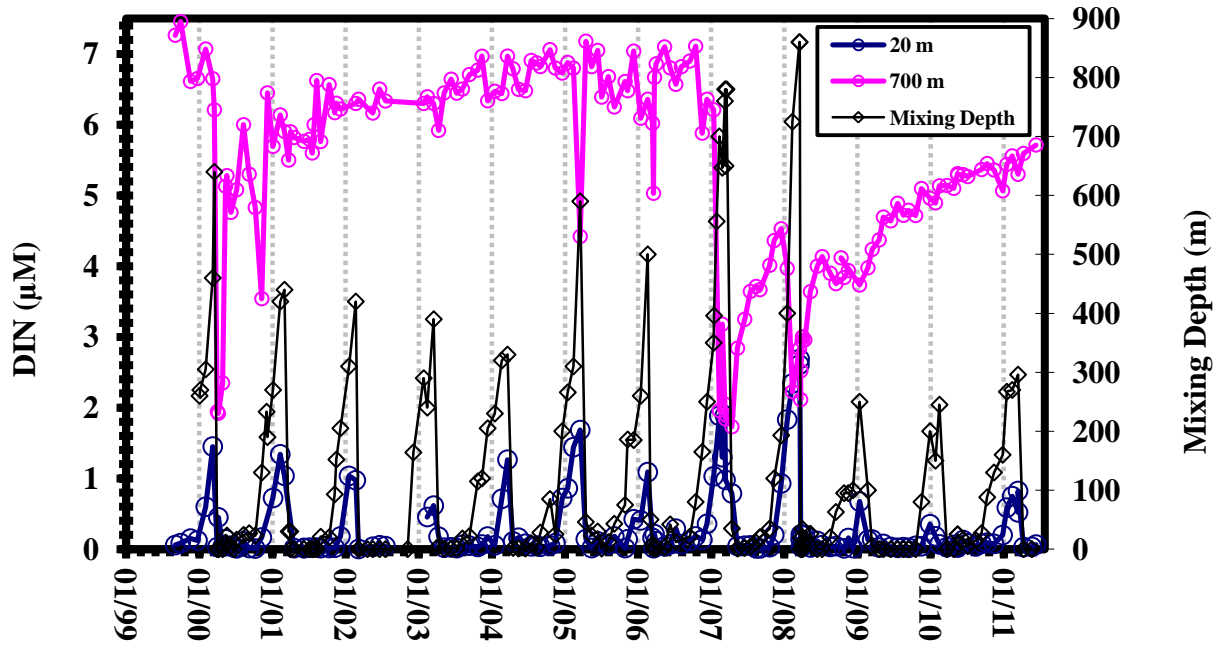


Figure 2: Mixing Depth (black diamond) and DIN concentration at station A during 2000-2011 at 20m (pink circles), 700 m (blue circles).

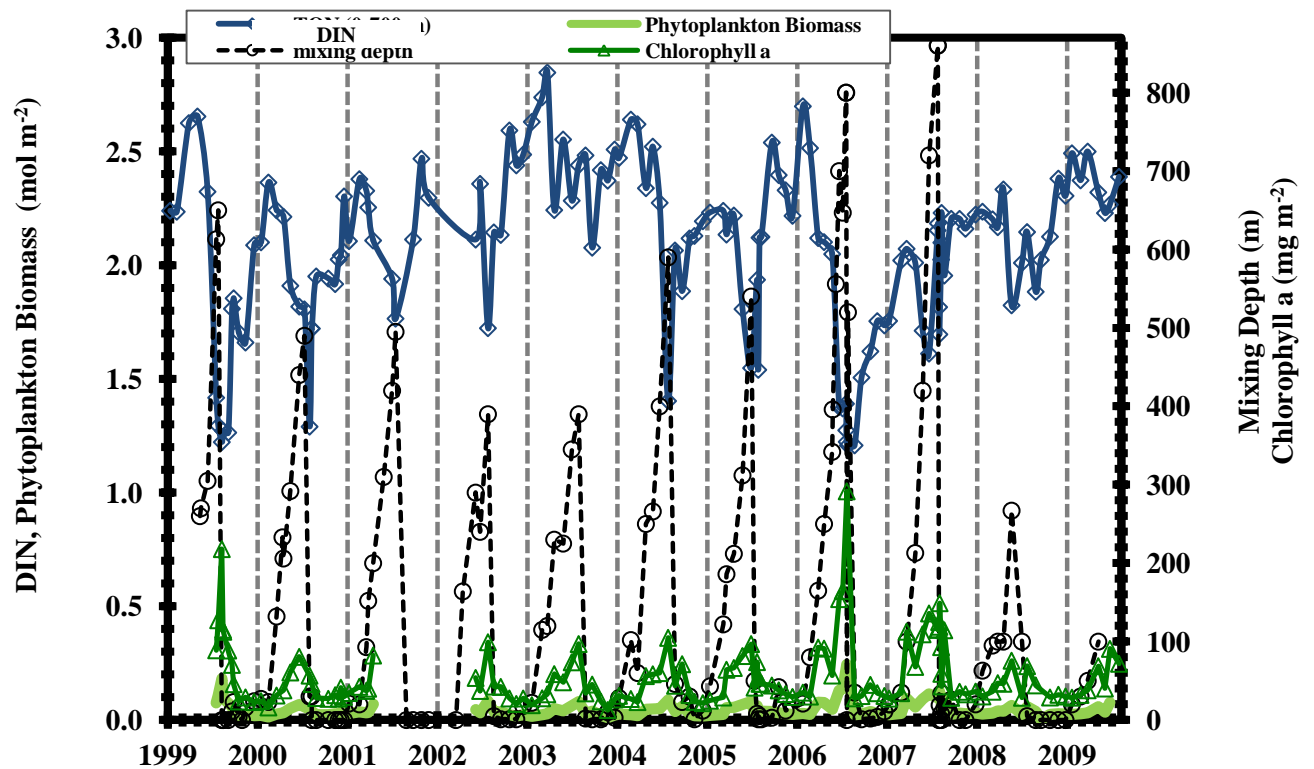


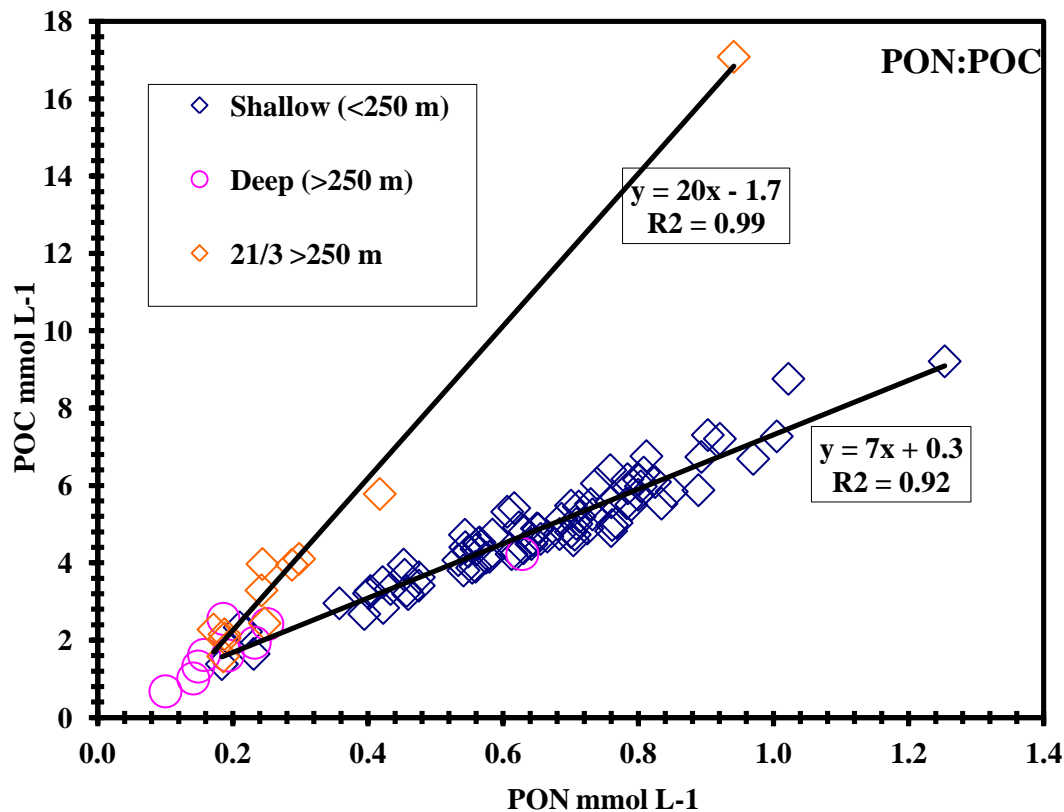
Figure 3: Dissolved inorganic nitrogen (DIN) inventory (circles), biomass inventory (diamonds) and mixing depth (squares) at station A during 2000-2010.

The disappearance of the DIN during the mixing season in GOA and its appearance during stratification was first noticed by David (2002) and has raised the question of what the sources and sinks of nitrogen are in GOA. Using data from 2000-2002, David (2002) suggested that microorganisms drive the seasonal dynamics of the DIN by shifting it to the organic pool during winter and oxidizing it back in deep water during summer. However, phytoplankton counts and PON measurements could be accounted for only 50 % of the DIN drawn down in the winter, and DON measurements were not available.

Further observations on phytoplankton biomass and PON during 2000-2010 revealed similar patterns and estimations to those reported by David (2002):

**Phytoplankton (2000-2010):** The seasonal fluctuations of the chlorophyll inventory showed a reverse trend to that of the DIN inventory. During mixing, the total chlorophyll (which stands for phytoplankton biomass; see methods, Figure 2) increased with the deepening of the mixed layer, reaching its highest values when the mixing depth was maximal (Figure 3). When stratification commenced, the chlorophyll inventory started to decrease until it reached relatively stable and low level values of  $28 \pm 6 \text{ mg m}^{-2}$ . The decrease in DIN inventories, accompanied by an increase in phytoplankton biomass, as reported by David (2002), possibly indicate that phytoplankton assimilate the DIN that was mixed up during winter to the surface layers. Nevertheless, the average amount of nitrogen stored in phytoplankton during winters could be accounted for only ~15% of the winter nitrogen drawn down for each year between 2000-2010 (Table 1). While phytoplankton biomass is small, their fast growth and high turnover rates, including processes such as zooplankton grazing and fecal pellet formation, viral lysis and efflux, may generate high fluxes of organic nitrogen in the form of PON and DON.

**PON (2000-2010):** New measurements of suspended PON from 2006-2008 showed an average inventory of  $0.1 \text{ mol N m}^{-2}$  (Meeder 2012). During 2008-2010, the National Monitoring Program (NMP) measured particulate organic carbon of  $0.65 \pm 0.17 \text{ } \mu\text{mol C m}^{-2}$ . Using GOA's POC:PON ratio of 7 (Figure 4), this value can be modified to  $0.09 \pm 0.02 \text{ } \mu\text{mol N m}^{-2}$ , similar to the direct nitrogen measurements. Consequently, the PON contributes only 10% to the nitrogen drawdown. However, PON includes phytoplankton and not bacterioplankton, thus we have no estimation of non-photosynthetic bacterioplankton. However, it is unlikely that bacterioplankton biomass exceeds that of the phytoplankton (Cho and Azam 1988). We therefore average all of the above to estimate that suspended PON during 2000-2010 does not exceed  $25 \pm 10 \%$  of the winter nitrogen drawdown.



*Figure 4:* Carbon versus nitrogen in particulate matter collected from station A during spring 2006. Except for one profile (orange diamond) that was exceptionally rich in particulate matter, all samples fell on a line with a slope of 7.

Sinking PON can play a significant role in the nitrogen budget of GOA. Although known to be negligible in oligotrophic oceans, large sinking particles can have a high flux to the sediment (see an example of an exceptionally high POM concentrations shown as high carbon and nitrogen values in Figure 4 that were observed in deep water on March 21). Therefore an estimation of the flux from the sediment can imply the sinking flux to the sediment. During the years 2000-2001, rare conditions were established for estimating the turbulence diffusion of deep water and thus the evaluation of the flux of nitrogen from the sediment (David 2002). The average flux estimated was  $1.0 \pm 0.4 \times 10^{-3} \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  supplying  $0.17 \pm 0.01 \text{ mol N m}^{-2}$  to the water column. Similar fluxes ( $0.5 \times 10^{-3} \text{ mol m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ) were estimated from cores sampled during 1999 using chamber incubation (Rasheed et al. 2006). Since the years prior to 2007 were characterized by high productivity due to an activity of fish farms in the gulf, we consider these fluxes as maximal estimations. Accordingly, the winter sinking particle flux to the sediment can explain the maximum of  $0.17 \pm 0.01 \text{ mol N m}^{-2}$ , which contributes another 20% to the 'missing' winter sink.

In summary, all new estimations of PON inventories e.g. live biomass, suspended

particles and sinking particles are in accordance with previous evaluations (David 2002) and can account for half (ca. 45-50%) of the DIN fluctuation. Furthermore, in an attempt to find the missing nitrogen we started measuring DON (as well as TDN).

Year	Minimal DIN inventory (mol m <sup>-2</sup> )	Date of minimal DIN inventory (mol m <sup>-2</sup> )	Maximal DIN Inventory (mol m <sup>-2</sup> )	Date of maximal DIN inventory	Winter DIN decrease (mol m <sup>-2</sup> )	Maximal biomass Inventory (mol N m <sup>-2</sup> )	% Biomass of DIN decrease	Winter Primary production (mol N m <sup>-2</sup> )	Winter Primary production (mol C m <sup>-2</sup> )
			2.60	22/11/1999					
2000	1.22	04/04/2000	2.36	10/10/2000	1.4	0.18	13	0.010	0.07
2001	1.29	26/03/2001	2.38	14/10/2001	1.1	0.07	6	0.006	0.04
2002	1.76	10/03/2002	2.50	10/10/2002	0.6			0.004	0.03
2003	1.72	20/03/2003	2.85	16/11/2003	0.8	0.08	11	0.005	0.03
2004	2.08	16/05/2004	2.64	20/10/2004	0.8	0.08	11	0.004	0.03
2005	1.40	20/03/2005	2.24	30/10/2005	1.2	0.09	7	0.008	0.05
2006	1.54	21/03/2006	2.70	18/09/2006	0.7	0.08	12	0.005	0.03
2007	1.21	16/04/2007	2.07	13/11/2007	1.5	0.24	16	0.007	0.05
2008	1.61	12/02/2008	2.24	16/09/2008	0.5	0.11	24	0.005	0.03
2009	1.82	12/01/2009	2.49	14/09/2009	0.4	0.06	14	0.004	0.02
2010	2.23	26/01/2010			0.3	0.08	31	0.002	0.01
Average					0.84	0.11	14	0.006	0.04
Deviation					0.41	0.06	8	0.002	0.01

*Table 1: Primary production calculated by the differences between maximal and minimal DIN and phytoplankton nitrogen inventories.*

## *TDN and DON*

### **Annual variation of TDN**

TDN and DON were measured over a period of two years (2007/8) together with the other nitrogen species to investigate the role of DON in the nitrogen dynamic in the gulf. The water column TDN inventories showed insignificant annual fluctuation in comparison to the DIN annual fluctuation (Figure 5). These findings indicate that the total nitrogen reservoir is constant throughout an annual cycle, making remineralization within the water column a rational explanation for the annual fluctuations of the DIN. The missing sink of DIN, in that case, should be found as organic nitrogen. Above, we showed that the organic particles contribute up to 50% of

the DIN dynamics. Next we examine the contribution of the DON.

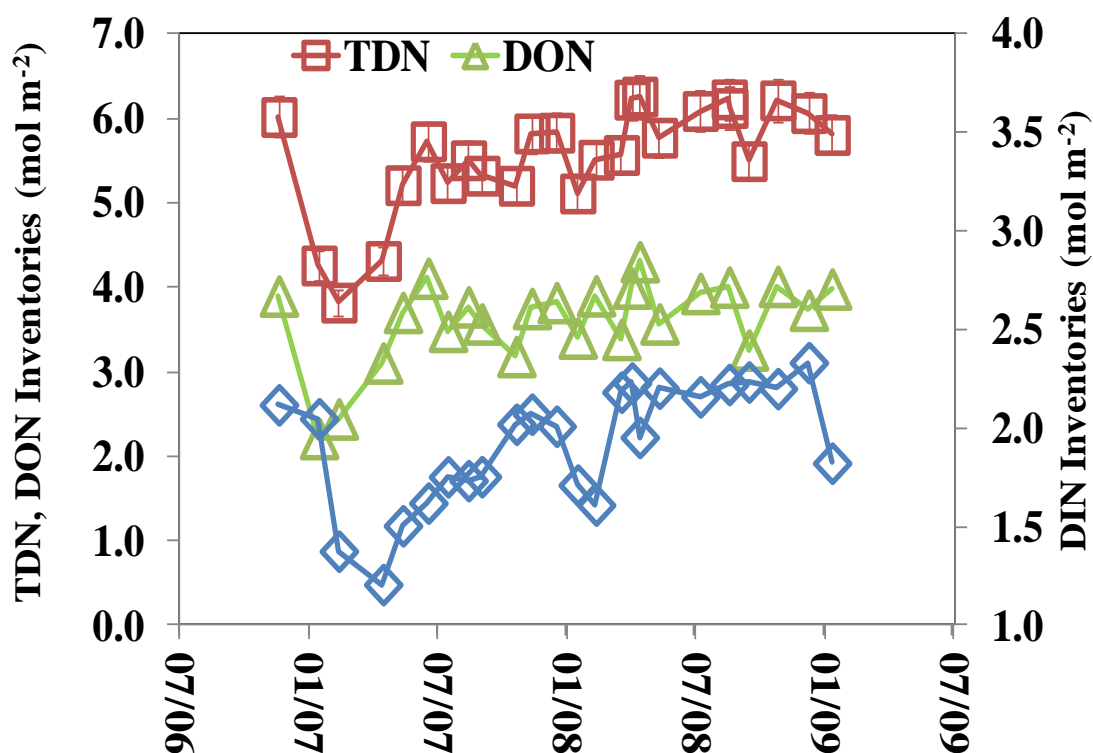


Figure 5: 0-700 m total nitrogen (TDN) inventory (squares), dissolved organic nitrogen (DON) inventory (triangles) and DIN inventory (diamonds) at station A during 2006-2009.

### Estimation of the semi-labile fraction of DON

As the DON pool of GOA (ca. 3.5 mol N m<sup>-2</sup>, Figure 5) is larger than the DIN pool and its annual variations (1 mol N m<sup>-2</sup>), it can potentially account for the missing nitrogen. The large pool of organic nitrogen contains both a refractory fraction that will not be accessible annually (Knapp et al. 2005; Bronk et al. 2007; Meador et al. 2007), and a labile pool that is likely to play a role in the annual variation of the nitrogen mass balance (Aluwihare and Meador 2008). In this section we attempt to determine the fraction of the labile DON and estimate its role in the nitrogen budget of GOA.

The vertical DON distribution in the water column maintained similar patterns throughout the year, with the exception of an increase in surface waters during stratification that was most prominent in the spring bloom (Figure 6). This pattern has been well described by several studies and was mainly related to DON excretion by phytoplankton (Bronk 2002; Bronk et al. 2007). Analytically, the detection of the labile fraction of DON is difficult since it cannot be efficiently separated from the total DON and its fraction in the DON pool is too small. Using GOA special

conditions, the labile fraction of the DON can be estimated. Since no major input of DON is known to the gulf, together with the fact that the entire water column was reset due to deep mixing during winters 2007 and 2008, it can be assumed that the DON rise in surface water directly after mixing was produced by the thriving phytoplankton. Later, this DON was consumed and remineralized, observed by its decrease throughout stratification. Using this argument, we can define the fraction of the labile DON that affects the annual nitrogen cycle as the part of DON that decreases throughout the stratification season. The subtraction of the total amount of DON found at the end of the stratified season from the total DON found at the beginning of stratification (Figure 7) gives an average reduction of ca.  $0.4 \text{ mol N m}^{-2}$ , in the DON inventory for each of the 2 years (Table 2). Thereby, the fraction of the labile part of the DON varied between 7-14% of the DON reservoir in the water column of GOA. As far as we know, this estimation, based on observational nitrogen pools dynamics, provides a new approach for assessing the fraction of bioavailable DON that may support primary production during summer stratification (see discussion ahead).

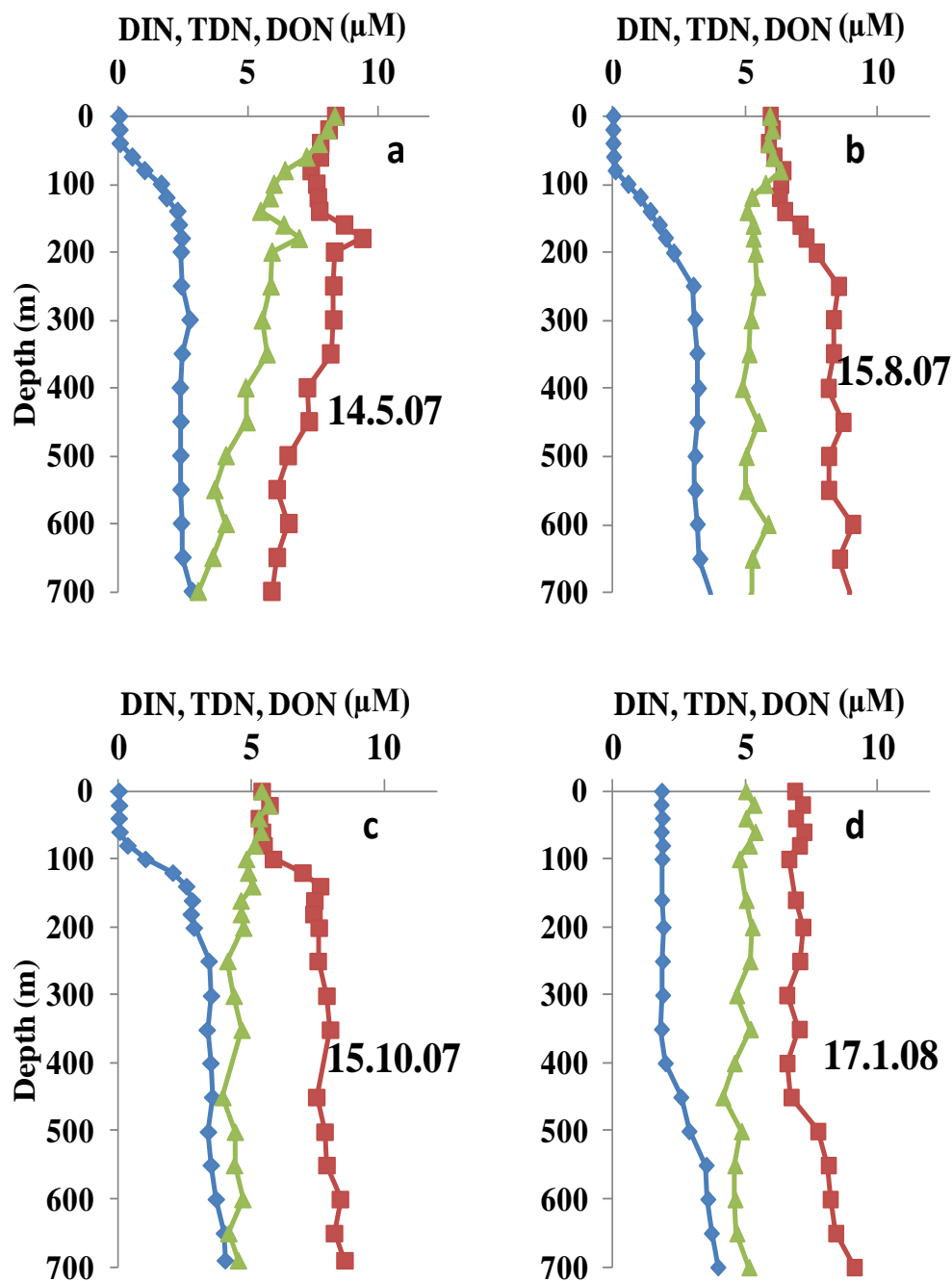


Figure 6: Distribution of DIN (blue diamonds), DON (green triangles) and TDN (red squares) at station A. a) Spring - beginning of stratification. b) Summer - stratification. c) Fall - beginning of mixing. d) Winter - mixing.

### Closing the nitrogen budget of GOA

The labile fraction of the DON that takes part in the annual nitrogen dynamics of GOA was estimated above to be ca.  $0.4 \text{ mol m}^{-2}$ . This is 50% of the average DIN winter drawdown. Given the above approximation for the PON (50% of the DIN winter drawdown), we can conclude that the DIN decrease observed during winter-time is consumed by primary producers that release organic compounds to the water column.



In contrast to winters, during summer stratification, the DIN inventory increased, implying an existence of a source that either supplies DIN or produces it within the water column. There are several possibilities for explaining the observed increase, among are: 1) Atmospheric input; a recent study suggested that atmospheric deposition is an important source of nitrogen that significantly contribute to new production (Wankel et al. 2010). 2) Advection; several studies have demonstrated the

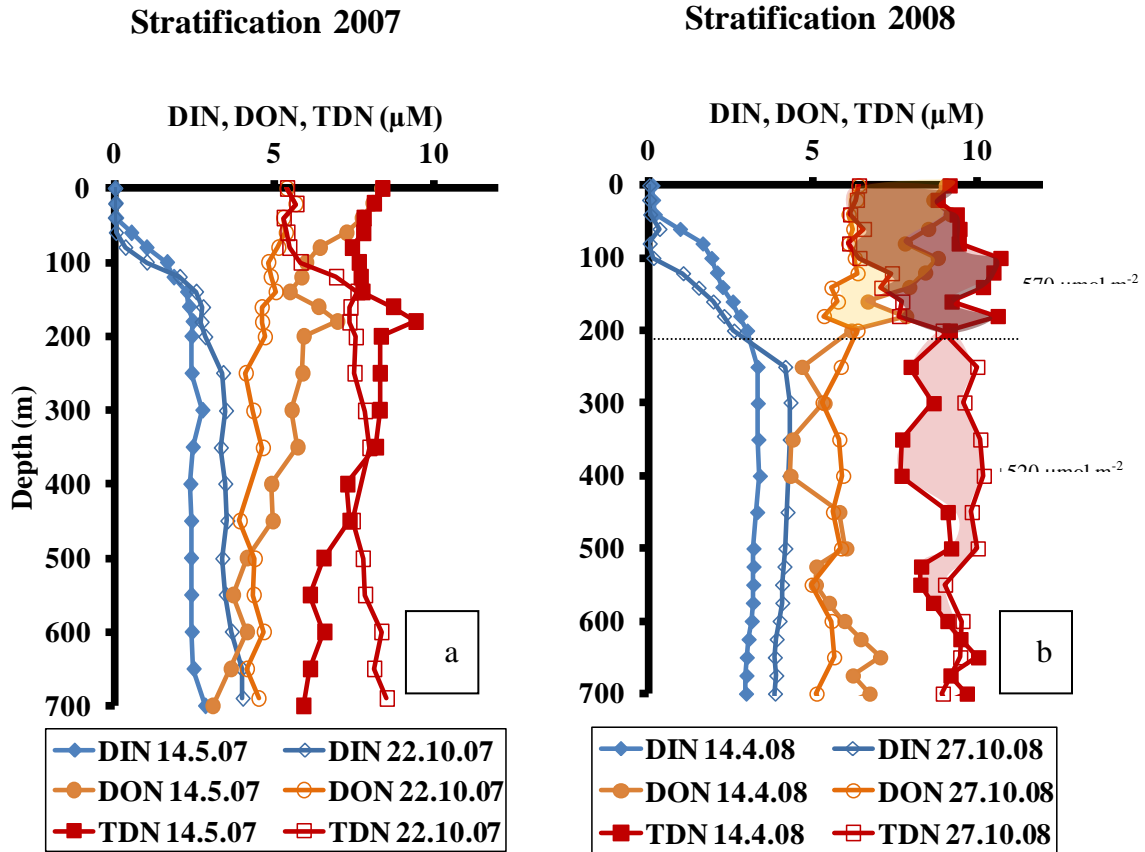


Figure 7: comparison of the distribution of Nitrate (diamond), dissolved organic nitrogen (circles) and total nitrogen (squares) at station A between the beginning of stratification (filled marks) to the end of stratification (clear marks). a) summer 2007 b) summer 2008. The shaded areas in b represent the integrals. The light red areas mark the transformation of TDN between shallow and deep waters. The light blue and light yellow areas represent the ratios between DON and DIN reduction in the depths of phytoplankton consumption activity.

	Date	DON Inventory mol m <sup>-2</sup>	Annual Reduction	% of reduction from the DON inventory
Stratification 2007	14/05/2007	3.7		
	22/10/2007	3.2	0.5	14
Stratification 2008	14/04/2008	4.3		
	27/10/2008	4.0	0.3	7

*Table 2:* The decrease of the DON inventory throughout the stratification season of 2007 and 2008 as presented in *Figure 7*.

importance of horizontal transport to the Gulf (Wolf-Vecht et al. 1992; Silverman and Gildor 2008; Biton and Gildor 2011; Carlson et al. 2012) that may either supply or remove nitrogen. 3) Nitrogen remineralization; here we suggest that during stratification the remains of the winter DON is remineralized back to DIN in deep water. Above we showed that throughout the summer, the DON in the surface layer is decreasing due to its oxidation. Moreover, examination of the vertical distribution of the TDN during stratification reveals that the drawdown of surface TDN throughout the summer (340 and 530  $\mu\text{mol m}^{-2}$  in 2007 and 2008 respectively) equals its increase in deep water (340 and 570  $\mu\text{mol m}^{-2}$  in 2007 and 2008 respectively, demonstrated in *Figure 7b*). These findings suggest that during stratification the deep water DIN inventory increase is balanced by the surface decrease in TDN inventory (mainly decrease in DON).

Despite the seasonal fluctuations in its vertical distribution, The TDN water column inventory is almost constant suggesting that the water column of GOA nearly a closed system on a single annual cycle. It means that almost all the nutrients consumed by the phytoplankton during winter are remineralized during the summer. This conclusion is not inconsistent with other conclusions demonstrating the importance of external nitrogen input. However, it implies that annually, nitrogen sources (if exists) are nearly balanced by its sinks, otherwise a measured accumulation or deficit of nitrogen would occur. It should be noted that inter-annual increase in the DIN budgets were documented in GOA during the operation of the fish farms, which provided a source of “new” nitrogen (Lazar et al. 2008). Even during these years the difference in the DIN budget between two consecutive years was small and could be verified only after several years of continuous monitoring. With regard to advection, it has been shown that there were no significant differences in the vertical profiles of all relevant within 150 km distance south to station A (e.g. *RV Meteor* - data not published). Thus even if horizontal transport is significant, it carries water with the same chemical signature with respect to nitrogen.

## **Primary production in GOA - estimation from nitrogen transformations**

**Winter net primary production:** Nitrogen is considered a limiting nutrient in GOA (Al-Qutob et al. 2002) thus on an annual scale this system fully regenerates its limiting nutrients providing a unique tool for studying processes of primary production and decompositions of organic matter. During winters, when the mixed layer deepens, DIN from under the thermocline is introduced to layers where phytoplankton can utilize it. As a result the total DIN in the water column is depleted. In a closed system, with no significant sources and sinks for nitrogen, the phytoplankton, which are the direct consumers, drive the DIN dynamics. The nitrogen depletion can therefore be a proxy for phytoplankton uptake, and hence for primary production (using Redfield C:N mol ratio of 6.6:1). The primary production rate is in fact the decrease in DIN with time. Productivity rates of the mixing period as presented in Figure 7 were calculated by taking the difference in the DIN inventory between two following sampling dates. The nitrogen differences were then transferred to carbon using the Redfield ratio. The average primary productivity for the winters in the GOA is  $0.04 \pm 0.01 \text{ mol C m}^{-2}$  (Table 1).

**Summer net primary production:** From the onset of stratification and throughout the summer, the TDN decreased in the upper 200 m. This decrease was equal to the increase in TDN in deep water during the same summer (Figure 7). The increase of TDN in deep water was probably a result of organic nitrogen that sank from the upper layers to depth where it regenerated back to DIN (nitrate). The increase in nitrate can then be a proxy for the export production, which is conventionally equal to the new production of the photic zone (Dugdale and Goering 1967; Eppley and Peterson 1979). Presented in Figure 8 are the calculations of summer new primary production based on the differences in deep nitrate reservoirs between two following sampling dates. Using the Redfield Ratio, the average primary productivity for the summers in the GOA is  $0.03 \text{ mol C m}^{-2}$ .

It is generally believed that the  $^{14}\text{C}$  method gives a good estimation of primary production. Nevertheless, it cannot be known whether the  $^{14}\text{C}$  technique measure the rate of gross production, net production, or some intermediate value (Grande et al. 1989 and ref. within). The estimates of primary production presented here are calculated from the nitrogen dynamics (from uptake and remineralization processes) and represent the net nitrogen uptake. Although the two methods are measuring different values of productivity, the results of this study were found to be in agreement with measurements of productivity using the  $^{14}\text{C}$  method (Figure 8 marked in red circles). It should be noticed that the  $^{14}\text{C}$  measurements are limited in GOA and most of the measurements relevant to the time frame of this study were conducted during 2000-2001. The productivity fluxes reported for the winters of these years are

0.05 mol C m<sup>-2</sup> (Iluz et al. 2011), similar values to the estimated productivity using nitrogen transformations. The fact that the methods compare so well is odd and requires more research to clarify.



*Figure 8:* Primary productivity 1) calculated from DIN transformations and transferred to C by Redfield Ratio (diamonds); 2) Measured by 14C technique (from Iluz et al. 2011).

### *Long term changes in deep water nitrate reservoir and the state of eutrophication in northern GOA*

The long term trends of nitrate accumulation at depth were used here to follow changes in nutrients supply to northern GOA and their effect on the primary production. The approach of using the rate of deep water nitrate accumulation as a proxy for primary production in the upper water is well known and have been applied over several decades (e.g. Eppley and Peterson 1979).

Since the development of the cities of Eilat (Israel) and Aqaba (Jordan), northern GOA received significant amounts of nutrients from anthropogenic nitrogen sources such as sewage and aquaculture. It was argued that nitrogen (most probably) from anthropogenic origin was accumulated in the deep water of northern GOA during the last decade, leading to a state of eutrophication (Lazar and Erez 2004; Lazar et al. 2008).

The pattern of deep water nitrate distribution has significantly changed following the mixing event of 2007 and 2008 (Figure 3 and 4). These two mixing events occurred after several years with relatively shallow mixing that enabled nitrate to accumulate in

depth. Yet, the pattern of the deep water nitrate accumulation in the summers following the 2000 and 2007 deep mixing events was significantly different (Figure 3 and 4). During very deep mixing event (down to the bottom in station A), deep water nitrate concentrations decrease as it is mixed up to the photic zone where it is consumed by phytoplankton population. During stratification, the deep water nitrate reservoir is being replenished as organic matter degradation takes place.

**The deep mixing event of 2000:** prior to mixing, the deep nitrate concentrations was ca.  $7 \mu\text{mol L}^{-1}$ , during mixing it dropped down to  $2 \mu\text{mol L}^{-1}$  and by August 2000 it returned already to  $6.5 \mu\text{M}$  (Figure 3). The deep water nitrate kept increasing until reaching  $7 \mu\text{mol L}^{-1}$  in summer 2003, and stayed constant until the next deep mixing in 2007.

**The deep mixings of 2007-2008:** during mixing of 2007 the deep water nitrate dropped to ca.  $2 \mu\text{mol L}^{-1}$ , similarly to that of 2000. In the following summer (August 2007), however, the deep water nitrate concentration reached only  $3.7 \mu\text{mol L}^{-1}$  and at the end of the stratified season it raised to  $4.5 \mu\text{mol L}^{-1}$ . At the end of the deeper mixing event of winter 2008, deep water nitrate dropped again to ca.  $2 \mu\text{mol L}^{-1}$ , however, by the end of the summer it increased only to ca.  $4 \mu\text{mol L}^{-1}$ . The accumulation of the deep nitrate continued over the following years but slower. While after the deep mixing event of 2000, deep water nitrate reached the maximum level within 3 years, after the mixing of 2008, the deep water nitrate did not exceed  $6 \mu\text{mol L}^{-1}$ , even after the following 4 years. The slower rates of deep water nitrate accumulation may imply that the surface primary production has decreased. As nutrients are the limiting factor for primary production in GOA, one potential cause for this decrease in primary production is the reduction of anthropogenic nutrients emissions into northern GOA (Lazar et al. 2008; Iluz et al. 2011).

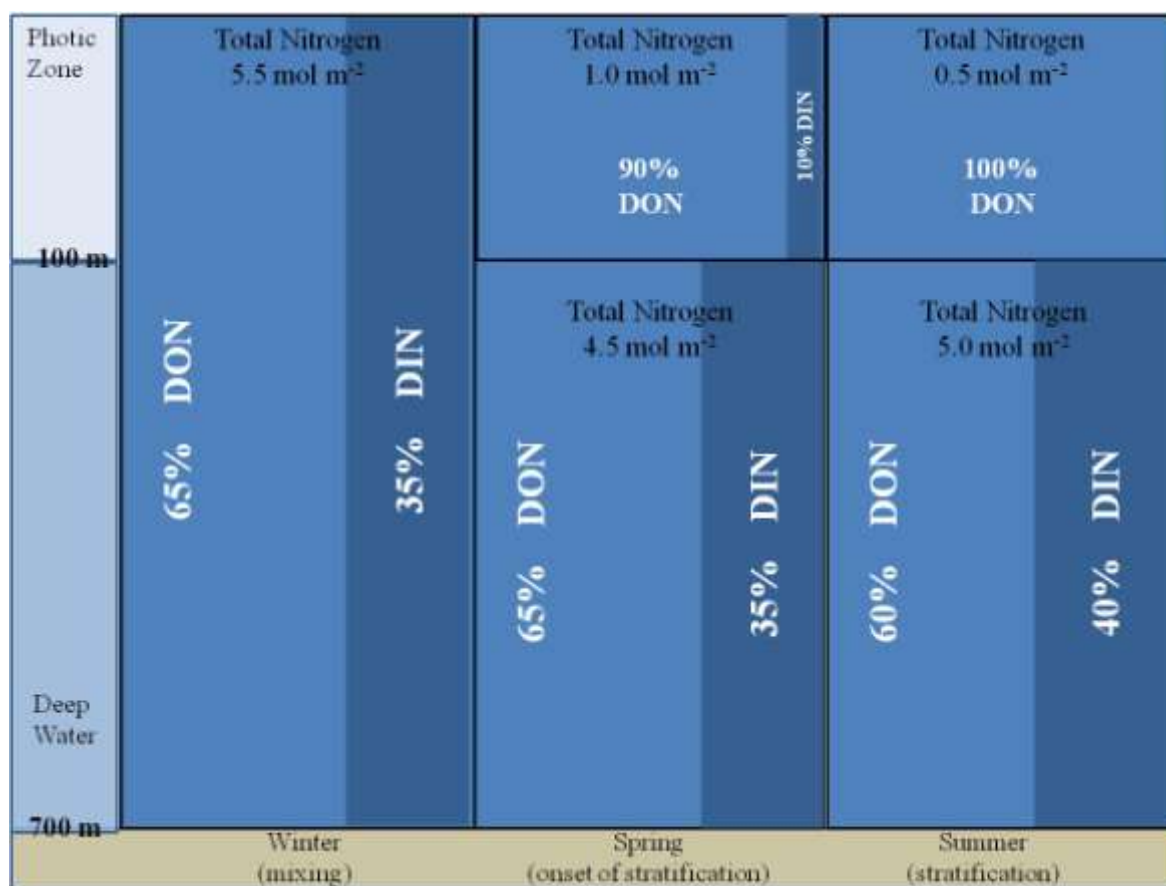


Figure 9: Schematic presentation of the seasonal (lower bar) transformations of nitrogen in the photic zone and the deep water (left bar) in GOA. The total N inventories (per unit area) are in black the relative abundance of inorganic (DIN) and organic (DON) N reservoirs are in white.

The fish farms (operated between 1992-2008) were suggested as a major source for "new" nutrients and increased primary production in northern GOA (Etkinson et al. 2004; Lazar et al. 2008; Iluz et al. 2011). These farms were removed completely in June 2008 (removal started on June 2006). It seems that 3 years after the deep mixing event of 2008, deep water nitrate was significantly lower than the deep water nitrate after the deep mixing event of 2000 (Figure 4). This may indicate that during the years of operations, nutrients emitted from the fish farms contributed significant amounts of N-species into GOA, increasing its primary production and hence the flux of PON (export production) to the deep water.

## Summary

This study shows that the nitrogen budget of GOA can be explained almost exclusively by seasonal transformations between the organic and inorganic nitrogen pools and that practically all the nitrogen of GOA is recycled (estimation error of 95±10%) by microorganisms on an annual time scale (Figure 9). The primary

production and remineralization rates were estimated by the annual dynamics of nitrogen transformations between the different reservoirs. A cartoon summarizing the nitrogen fluxes in the water column of northern GOA during summer stratification is presented in Figure 10. The phytoplankton drive the regeneration cycle by consuming most of the DIN during winter mixing periods and transferring it to PON and DON. When stratification commences, the photic zone is separated from the deep water and phytoplankton biomass decreases sharply. As indicated by water column DON and TDN dynamics, phytoplankton consume the leftover nitrogen from winter and spring in the upper water column and transport it to deep water where it oxidized back to DIN. Using these transformations we estimated an average winter productivity of  $0.04 \text{ mol C m}^{-2}$  and average summer productivity  $0.03 \text{ mol C m}^{-2}$ , which are in agreement with  $^{14}\text{C}$  measurements conducted in the gulf.

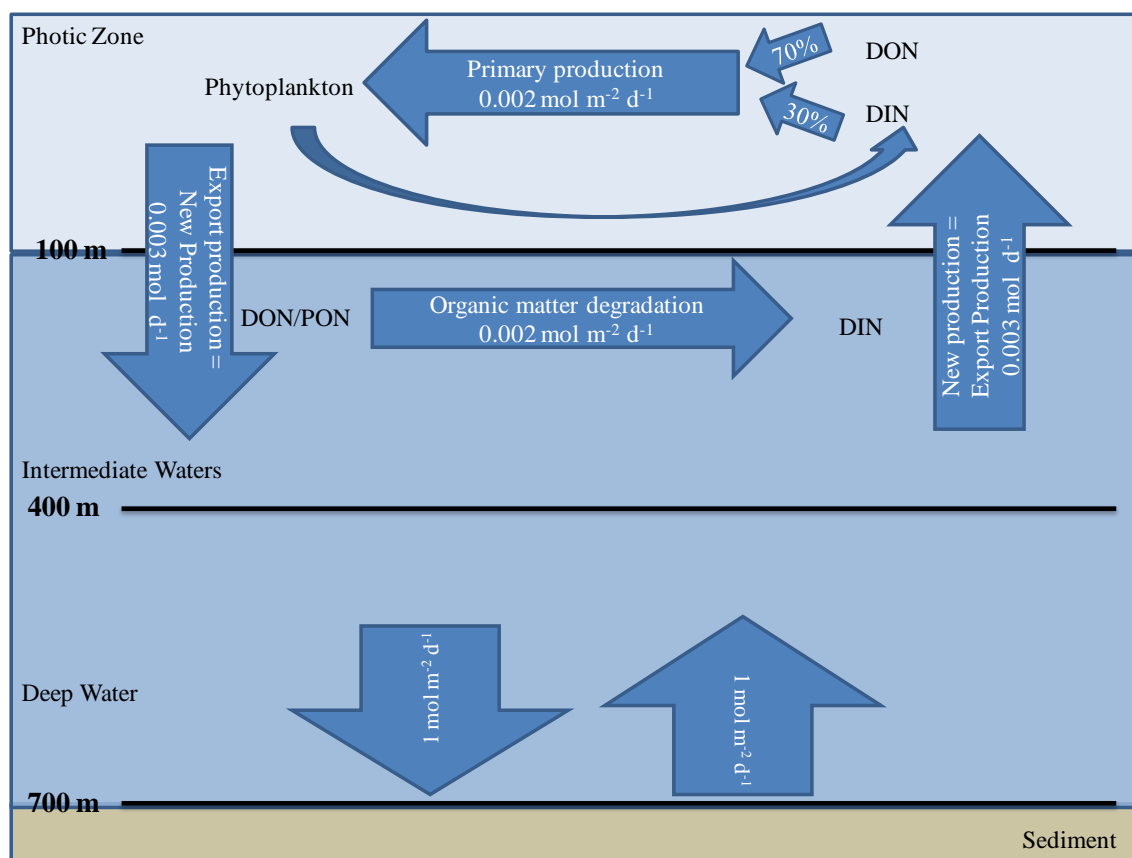


Figure 10: A summary of the nitrogen fluxes (blue arrows) between the different reservoirs during stratification in the water column of northern GOA.

## Bibliography

- Al-Qutob, M., C. Häse, M. M. Tilzer, and B. Lazar. 2002. Phytoplankton drives nitrite dynamics in the Gulf of Aqaba, Red Sea. *Marine Ecology Progress Series* **239**: 233–239, doi:10.3354/meps239233
- Aluwihare, L. I., and T. B. Meador. 2008. Chemical Composition of Marine Dissolved Organic Nitrogen, p. 95–140. *In* D.G. CAPONE, D.A. BRONK, M.R. MULHOLLAND, and E.J. CARPENTER [eds.], *Nitrogen in the marine environment*. Academic Press.
- 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. *Journal of Geophysical Research* **116**.
- Bronk, D. A. 2002. Dynamics of DON, p. 153–249. *In* D.A. Hansell and C. Carlson [eds.], *Biogeochemistry of Marine Dissolved Organic Matter*. Academic Press.
- Bronk, D. A., J. H. See, P. Bradley, and L. Killberg. 2007. DON as a source of bioavailable nitrogen for phytoplankton. *Biogeosciences* **4**: 283–296.
- Bronk, D. A., and B. B. Ward. 2005. Inorganic and organic nitrogen cycling in the Southern California Bight. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* **52**: 2285–2300, doi:10.1016/j.dsr.2005.08.002
- Brzezinski, M. 1988. Vertical-distribution of ammonium in stratified oligotrophic waters. *Limnology and Oceanography* **33**: 1176–1182.
- Capone, D. G., A. Subramaniam, J. P. Montoya, M. Voss, C. Umborg, A. Johansen, Siefert, and E. J. Carpenter. 1998. An extensive bloom of the N<sub>2</sub>-fixing cyanobacterium, *Trichodesmium erythraeum*, in the Central Arabian Sea. *Marine Ecology Progress Series* **172**: 281–292.
- Carlson, D. F., E. Fredj, H. Gildor, E. Biton, J. V. Steinbeck, S. G. Monismith, and A. Genin. 2012. Observations of tidal currents in the northern Gulf of Eilat/Aqaba (Red Sea). *Journal of Marine Systems* **102-104**: 14–28, doi:10.1016/j.jmarsys.2012.04.008
- Carpenter, E. J., and D. G. Capone. 1983. *Nitrogen in the marine environment*, Academic Press.
- Carpenter, E. J., J. P. Montoya, J. Burns, M. R. Mulholland, A. Subramaniam, and D. G. Capone. 1999. Extensive bloom of a N<sub>2</sub> fixing symbiotic association in the tropical Atlantic Ocean. *Marine Ecology Progress Series* **188**: 273–283.
- Cho, B. C., and F. Azam. 1988. Major role of bacteria in biogeochemical fluxes in the ocean's interior. *Nature* **332**: 441–443.
- Codispoti, L. A., J. A. Brandes, J. P. Christensen, A. H. Devol, S. W. A. Naqvi, H. W. Paerl, and T. Yoshinari. 2001. The oceanic fixed nitrogen and nitrous oxide budgets: Moving targets as we enter the anthropocene? *Scientia Marina* **65**: 85–105.
- Le Corre, P., M. Wafar, S. L. Helguen, and J. F. Maguer. 1996. Ammonium assimilation and Plankton, regeneration by size-fractionated plankton in permanently well-mixed temperate waters. *Journal of Plankton Research* **18**: 355–370.
- Dafner, E. V., A. Wangersky, and J. B. Peter. 2002. A brief overview of modern directions in marine DOC studies Part I.—Methodological aspects. *J. Environ. Monit.* **4**: 48–54.
- David, E. 2002. *Vertical Distribution and Fluxes of Dissolved Inorganic Nitrogen and Phytoplankton in the Northern Gulf of Aqaba (Eilat)*. Hebrew University.
- Devol, A. H. 2008. Denitrification including Anammox, p. 263–292. *In* D.G. CAPONE, D.A. BRONK, M.R. MULHOLLAND, and E.J. CARPENTER [eds.], *Nitrogen in the marine environment*. Academic Press.
- Dugdale, R. C., and J. J. Goering. 1967. Uptake of new and regenerated forms of nitrogen in primary productivity. *Limnology and Oceanography* **12**: 196–206, doi:10.4319/lo.1967.12.2.0196
- El-Sayed, B. A., E. P. Achterberg, A. D. Tappin, S. J. Hill, and B. C. Braungardt. 2003. Determination of dissolved organic nitrogen in natural waters using high-temperature catalytic oxidation. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* **22**: 819–827, doi:10.1016/S0165-9936(03)01202-0



- Eppley, R. W., and B. J. Peterson. 1979. Particulate organic matter flux and planktonic new production in the deep ocean. *Nature* 677–680.
- Etkinson, M., Y. Birk, and H. Rosental. 2004. ההערכה של כלובי דגים במפרץ אילת.
- Glibert, P. M. 1993. The interdependence of uptake and release of NH<sub>4</sub> and organic nitrogen. *Mar. Microb. Food Webs* 7: 53–67.
- Van de Graaf, A. A., A. Mulder, P. Debruijn, M. S. M. Jetten, L. A. Robertson, and J. G. Kuenen. 1995. Anaerobic oxidation of ammonium is a biologically mediated process. *Applied and Environmental Microbiology* 61: 1246–1251.
- Grande, K. D., P. J. L. Williams, J. Marra, D. A. Purdie, K. Heinemann, R. W. Eppley, and M. L. Bender. 1989. Primary production in the North Pacific gyre: a comparison of rates determined by the <sup>14</sup>C, O<sub>2</sub> concentration and <sup>18</sup>O methods. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers* 36: 1634–1621.
- Gruber, N. 2008. The Marine Nitrogen Cycle: Overview and Challenges, p. 1–43. *In* D.G. Capone, D.A. Bronk, M.R. Mulholland, and E.J. Carpenter [eds.], *Nitrogen in the marine environment*. Academic Press.
- Iluz, D., J. Erez, Z. Dubinsky, J. Silverman, C. Haese, and B. Lazar. 2011. Increase in Primary Productivity in the Northern Gulf of Aqaba, Red Sea – Environmental Response to Open-Water Fish Farming. Submitted to *Environmental Science Technology*.
- Knapp, A. N., D. M. Sigman, and F. Lipschultz. 2005. N isotopic composition of dissolved organic nitrogen and nitrate at the Bermuda Atlantic time-series study site. *Global Biogeochemical Cycles* 19: GB1018.
- Knowles, R. 1996. Denitrification: Microbiology and ecology. *Life support biosph. Science* 3: 31–34.
- Lazar, B., and J. Erez. 2004. Concentrating and analyzing the available chemical data Principal. IET Recommendation No. 7
- Lazar, B., J. Erez, J. Silverman, T. Rivlin, A. Rivlin, M. Dray, E. Meeder, and D. Iluz. 2008. Recent environmental changes in the chemical-biological oceanography of the Gulf of Aqaba (Eilat), p. 299–321. *In* D. Por [ed.], *Aqaba-Eilat, the Improbable Gulf. Environment, Biodiversity and Preservation*. Magnes Press.
- Lindell, D., and A. F. Post. 1995. Ultraphytoplankton succession is triggered by deep winter mixing in the Gulf of Aqaba (Eilat), Red Sea. *Limnology and Oceanography* 40: 1130–1141, doi:10.4319/lo.1995.40.6.1130
- Lipschultz, F., O. C. Zafiriou, and L. A. Ball. 1996. Seasonal fluctuations of nitrite concentrations in the deep oligotrophic ocean. *Deep Sea Research Part II* 43: 403–419.
- Madigan, M. T., J. M. Martinko, and J. Parker. 1997. *Brock: Biology of Microorganisms*, Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Martin, J. H., and S. E. Fitzwater. 1988. Iron-deficiency limits phytoplankton growth in the Northeast Pacific Subarctic. *Nature* 331: 341–343.
- Martin, J. H., R. M. Gordon, S. E. Fitzwater, and W. W. Broenkow. 1989. VERTEX: Phytoplankton/ iron studies in the Gulf of Alaska. *Deep Sea Research* 36: 649–680.
- Meador, T. B., L. I. Aluwihare, and C. L. Mahaffey. 2007. Isotopic heterogeneity and cycling of components of the dissolved organic nitrogen pool in the oligotrophic ocean. *Limnology and Oceanography* 52: 934–947.
- Meeder, E. 2012. Dynamics of Nitrogen Species in the Oceanic Water Column - The Gulf of Aqaba “Natural Experiment”. Hebrew University.
- Mulder, A., A. A. van de Graaf, L. A. Robertson, and J. G. Kuenen. 1995. Anaerobic ammonium oxidation discovered in a denitrifying fluidized-bed reactor. *FEMS Microbiology Ecology* 16: 177–183.
- Mulholland, M. R., and M. W. Lomas. 2008. Nitrogen Uptake and Assimilation, p. 303–361. *In* D.G. CAPONE, D.A. BRONK, M.R. MULHOLLAND, and E.J. CARPENTER [eds.], *Nitrogen in the marine environment*. Academic Press.
- Price, N. M., and P. J. Harrison. 1988. Uptake of urea C and nitrogen by the coastal marine diatom *Thalassiosira pseudonana*. *Limnol. Oceanogr. Limnology and Oceanography* 33: 528–537.

- Rasheed, M., S. Al-Rousan, R. Manasrah, and F. Al-Horani. 2006. Nutrient fluxes from deep sediment support nutrient budget in the oligotrophic waters of the Gulf of Aqaba. *Journal of Oceanography* **62**: 83–89, doi:10.1007/s10872-006-0034-x
- Rees, T., and I. Bekheet. 1982. The role of nickel in urea assimilation by algae. *Planta* **156**: 385–387.
- Sanio, T., H. Otabe, E. Wada, and A. Hattori. 1983. Subsurface ammonium maximum in the northern North Pacific and the Bering Sea in summer. *Deep Sea Research* **30**: 1157–1171.
- Sarmiento, J. L., and N. Gruber. 2006. *Ocean Biogeochemical Dynamics*, Princeton University Press.
- Schleper, C., G. Jurgens, and M. Jonuscheit. 2005. Genomic studies of uncultivated archaea. *Nat. Rev. Microbiol.* **3**: 479–488.
- Sharp, J. 2004. A direct instrument comparison for measurement of total dissolved nitrogen in seawater. *Marine Chemistry* **84**: 181–193, doi:10.1016/j.marchem.2003.07.003
- Silverman, J., and H. Gildor. 2008. The residence time of an active versus a passive tracer in the Gulf of Aqaba: A box model approach. *Journal of Marine Systems* **71**: 159–170, doi:10.1016/j.jmarsys.2007.06.007
- Stambler, N. 2006. Light and picophytoplankton in the Gulf of Eilat (Aqaba). *Journal of Geophysical Research* **111**: 1–12, doi:10.1029/2005JC003373
- Syrett, P. J. 1981. Nitrogen metabolism in microalgae. *Can. Bull. Fish. Aquat. Sci.* **210**: 182–210.
- Timmermans, K. R., M. A. van Leeuwe, J. T. M. de Jong, R. M. L. McKay, R. F. Nolting, H. J. Witte, H. van Ooyen, J., Swagerman, M. J. W., Kloosterhuis, and H. J. W. de Baar. 1998. Iron stress in the Pacific region of the Southern Ocean: Evidence from enrichment bioassays. *Marine Ecology Progress Series* **166**: 27–41.
- Timmermans, K. R., B. van der Wagt, and H. J. W. de Baar. 2004. Growth rates, half-saturation constants, and silicate, nitrate, and phosphate depletion in relation to iron availability of four large, open-ocean diatoms from the Southern Ocean. *Limnology and Oceanography* **49**: 2141–2151.
- Wankel, S. D., Y. Chen, C. Kendall, A. F. Post, and A. Paytan. 2010. Sources of aerosol nitrate to the Gulf of Aqaba: Evidence from  $\delta^{15}\text{N}$  and  $\delta^{18}\text{O}$  of nitrate and trace metal chemistry. *Marine Chemistry* **120**: 90–99, doi:10.1016/j.marchem.2009.01.013
- Ward, B. B. 2000. Nitrification and the marine nitrogen cycle., p. 427–453. *In* Kirchman [ed.], *Microbial ecology of the oceans*. Wiley.
- Ward, B. B. 2008. Nitrification in Marine Systems, p. 199–248. *In* D.G. Capone, D.A. Bronk, M.R. Mulholland, and E.J. Carpenter [eds.], *Nitrogen in the marine environment*. Academic Press.
- Ward, B. B., M. Talbot, and M. Perry. 1984. Contributions of phytoplankton and nitrifying bacteria to ammonium and nitrite dynamics in coastal waters. *Continental Shelf Res.* **3**: 383–398. *Continental Shelf Research* **3**: 383–398.
- Wolf-Vecht, A., N. Paldor, and S. Brenner. 1992. Hydrographic indications of advection convection effects in the Gulf of Elat. *Deep Sea Research Part I* **39**: 1393–1401.
- Woodward, E., and A. P. Rees. 2001. No Nutrient distributions in an anticyclonic eddy in the northeast Atlantic Ocean, with reference to nanomolar ammonium concentrations. *Deep Sea Research Part II* **48**: 775–793.
- Zumft, W. G., and H. Körner. 1997. Enzyme diversity and mosaic gene organization in denitrification. *Antonie Leeuwenhoek.* **71**: 43–58.

## 5.2. טבלת פעילות צוות הניטור בשנת 2012

תאריך וסוג הפעילות	מס' דגימות	מטרת העבודה	ימי עבודה	המבצעים
ינואר דיגום יומיומי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מדידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל, טניה, מוריאל, ניצן, יוני, מרק
9 ינואר צלילה להוצאת לוחיות התיישבות אצות בנתוניות בשמורה הסגורה	18 לוחיות משלושה עומקים	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	צלילה: ענבל, טניה, שנרקול מרק, מוריאל
12 ינואר	אנליזת דוגמאות	עיבוד נתונים ואנליזת דוגמאות	1	ענבל
15 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	6	טניה, ענבל, מוריאל, יוני, מרק
16 ינואר הפלגה לתחנות: FF OS, A	78 נוטריינטים, 78 חמצן, 62 pH, 39 אלקלניות, 25 כלורופיל, 40 FACS	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	8	טניה, ענבל, מוריאל, יוני, מרק
22-23 ינואר דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	3	מרק, ענבל, יוני
26 ינואר דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומסה הזואופלנקטון במפרץ	2	ענבל, מרק, יוני
22-27 ינואר אנליזת דוגמאות	אנליזת דוגמאות	עיבוד נתונים ואנליזת דוגמאות	5	ענבל מוריאל, טניה, ניצן, יוני, מרק
31 ינואר צלילה להוצאת לוחיות התיישבות אצות בנתוניות במכון	6 לוחיות	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	ענבל מוריאל
30-31 ינואר אנליזת דוגמאות + כתיבת דוח שנתי	אנליזת דוגמאות	עיבוד נתונים ואנליזת דוגמאות	3	מוריאל, טניה, ענבל, יוני, ניצן, מרק
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
1-2 פברואר אנליזת דוגמאות ועיבוד נתונים + כתיבת דוח שנתי	אנליזת דוגמאות מההפלגה	אנליזת דוגמאות ועיבוד נתונים	3 ימים	טניה, מוריאל, ענבל, יוני, ניצן, מרק
7 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	6	טניה, ענבל, מוריאל, יוני, מרק
8 פברואר הפלגה לתחנות: FF OS, A	78 נוטריינטים, 78 חמצן, 62 pH, 39 אלקלניות, 25 כלורופיל, 40 FACS	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	10	טניה, ענבל, מוריאל, מרק

12-13 פברואר דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	3	מרק, ענבל, יוני
9 פברואר דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומאסה הזואופלנקטון במפרץ	2	ענבל, מרק, יוני
15 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
16 פברואר בדיקת כמות הכלורופיל בלוחיות ההתיישבות	קריאת 18 דוגמאות בפלואורומטר, הכנסת הנתונים למחשב	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	0.5	ענבל
19-23 פברואר אנליזת דוגמאות	אנליזת דוגמאות	אנליזת דוגמאות	1	טניה, מוריאל, ניצן, ענבל, מרק
26 ינואר דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומאסה הזואופלנקטון במפרץ	2	ענבל, מרק, יוני
27 פברואר צלילה להוצאת לוחיות התיישבות אצות בנתוניות במכון	6 לוחיות	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	ענבל מוריאל
1 מרץ אנליזת דוגמאות	אנליזת דוגמאות	עיבוד נתונים ואנליזת דוגמאות	1	ענבל
מרץ דיגום יומימי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מדידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל, טניה, מוריאל, יוני, ניצן, מרק
5 מרץ צלילה להוצאת לוחיות התיישבות אצות בנתוניות בשמורה הסגורה	18 לוחיות.	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	צלילה: ענבל, יוני שנירקול: מוריאל מרק עבודה במעבדה: ענבל
7 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
13 מרץ דיגום מסירה + אנליזות מ-8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריינטים 4 חמצן, 16 pH אלקלניות, 8 מליחות 8 כלורופיל, FACS 8	השוואה בין התחנות השונות	3	טניה, ענבל, מוריאל, יוני, מרק
14 מרץ לתחנות: NRR, FF OS, A	78 נוטריינטים, 78 חמצן, pH 62, 39 אלקלניות, 39 מליחות 25 כלורופיל, FACS 39	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	10	טניה, ענבל, מוריאל, מרק
19-20 מרץ דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	3	מרק, ענבל, יוני
29 מרץ דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומאסה הזואופלנקטון במפרץ	2	ענבל, מרק, יוני
28 אפריל 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

25-29 מרץ אנליזות	אנליזות של דוגמאות	9	טניה, מוריאל ענבל יוני
אפריל דיגום יומיומי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	0.3	ענבל, טניה, מוריאל, יוני, ניצן
4 אפריל צלילה להוצאת לוחיות התיישבות אצות בנתוניות בשמורה הסגורה	18 לוחיות.	1	צלילה: ענבל, יוני שנירקול: מוריאל, מרק עבודה במעבדה: ענבל
6 אפריל בדיקת כמות הכלורופיל בלוחיות ההתיישבות	קריאת 18 דוגמאות בפלווארומטר, הכנסת הנתונים למחשב	0.5	ענבל
15 אפריל הפלגה לתחנות: FF OS ,A	78 נוטריינטים, 78 חמצן, 62 pH, 39 אלקלניות, 39 מליחות 25 כלורופיל, אמוניה 39 FACS	6	טניה, ענבל, מוריאל, מרק
16 אפריל דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריינטים 4 חמצן, 16 pH 16 אלקלניות, 8 מליחות 8 כלורופיל, 8 אמוניה FACS	3	טניה, ענבל, מוריאל, יוני, מרק
23-24 אפריל דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	3	מרק, ענבל, יוני
29 אפריל דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	2	ענבל, מרק, יוני
30 אפריל צלילה להוצאת שש לוחיות התיישבות אצות בנתוניות	שש לוחיות.	1	צלילה: ענבל, מוריאל עבודה במעבדה: ענבל
1 מאי בדיקת כמות הכלורופיל בלוחיות ההתיישבות	קריאת שש דוגמאות בפלווארומטר, הכנסת הנתונים למחשב	0.5	ענבל
מאי דיגום יומיומי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	0.3	ענבל, טניה, מוריאל, יוני, ניצן מרק
1-3 מאי אנליזות	אנליזות של דוגמאות	95	טניה, מוריאל ענבל יוני, מרק
9 מאי צלילה להוצאת לוחיות התיישבות אצות בנתוניות באתר השמורה הסגורה	הוצאת 18 לוחיות. מאתר השמורה הפתוחה וקריאת 18 דוגמאות בפלווארומטר, הכנסת הנתונים למחשב	1	ענבל, טניה, מוריאל יוני, מרק
10 מאי קריאת כלורופיל	קריאת 18 דוגמאות בפלווארומטר, הכנסת הנתונים למחשב	0.5	ענבל
10 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	6	טניה, ענבל, מוריאל, יוני, מרק

13 מאי הפלגה לתחנות: A, FF OS ותחנה B הפלגה משותפת עם הירדנים	78 נוטריינטים, 78 חמצן, pH 62, 39 אלקלניות, מליחות 25 כלורופיל, FACS 39	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	6	טניה, ענבל, מוריאל, מרק
16-17 מאי דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	3	מרק, ענבל, יוני
20-24 מאי אנליזות	78 נוטריינטים, 78 חמצן, pH 62, 39 אלקלניות, מליחות 25 כלורופיל, אמוניה FACS 39 אנליזות דוגמאות והזנה במחשב	אנליזת דוגמאות כימיה וביולגיה	3	טניה, מוריאל, ענבל, 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 בפלווארומטר, הכנסת הנתונים למחשב	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	0.5	ענבל
31 מאי דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומסה הזואופלנקטון במפרץ	2	ענבל, מרק, יוני
יוני דיגום יומיומי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מדידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל, טניה, מוריאל, יוני, מרק
6 יוני לכידת ארסים	לכידת ארסים	בדיקת טפילים בדגים	3	מרק אירנה
6 יוני צלילה להוצאת לוחיות התיישבות בשמורה הסגורה	עבודה על 18 לוחיות	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	טניה, מרק, מוריאל יוני, ענבל
6 יוני קריאת כלורופיל	קריאת 18 דוגמאות בפלווארומטר, הכנסת הנתונים למחשב	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	0.5	ענבל
7 יוני דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריינטים 4 חמצן, 16 pH 16 אלקלניות, 8 מליחות 8 כלורופיל, FACS 8	השוואה בין התחנות השוונות	3	טניה, ענבל, מוריאל, יוני
10 יוני הפלגה לתחנות: A, FF OS,	78 נוטריינטים, 78 חמצן, pH 62, 39 אלקלניות, מליחות 25 כלורופיל, FACS 39	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	6	טניה, ענבל, מוריאל, מרק
11-12 יוני דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	3	מרק, ענבל, יוני
13-14 כנס				יוני, ניצן, ענבל
21 יוני צילום ריבועים קבועים באתר המעבדה הימית	צילום 5 נקודות קבועות באתר המעבדה הימית	מעקב אחרי שינויים בשונית בעזרת צילום ריבועים קבועים בשונית	1	מרק, ניצן
24 יוני צילום ריבועים קבועים באתר הדקל	צילום 5 נקודות קבועות בחוף הדקל	מעקב אחרי שינויים בשונית בעזרת צילום ריבועים קבועים בשונית	1	ענבל, ניצן
25 יוני צילום ריבועים קבועים בטאבה	צילום 5 נקודות קבועות בחוף הנסיכה	מעקב אחרי שינויים בשונית בעזרת צילום ריבועים קבועים בשונית	1	ענבל, ניצן
26 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

ענבל, ניצן	1	מעקב אחרי שינויים בשונית בעזרת צילום ריבועים קבועים בשונית	צילום 5 נקודות קבועות בחוף הצפוני	28 יוני צילום ריבועים קבועים בחוף הצפוני
מרק, ענבל, יוני	1	גרירת רשת פלנקטון, ואיסוף זואופלנקטון.	הערכת ביומאסה של זואופלנקטון בים הפתוח	28 יוני דיגום זואופלנקטון
ענבל, טניה, מוריאל, ניצן, יוני	0.3	מדידת כמות הכלורופיל בשונית.	דוגמא אחת כל יום.	יולי דיגום יומימי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי
ענבל, טניה, ניצן, מרק	1	סקר חברת השונית בעומקים 5 ו 15 מטר	ספירת אלמוגים לאורך החתכים במעבדה הימית	1 יוני סקר חברת האלמוגים באתר המעבדה הימית
טניה, ענבל, מוריאל, יוני, מרק	5	השוואה בין התחנות השונות	24 נוטריונים 4 חמצן, 16 pH אלקלניות, 8 מליחות 8 כלורופיל, FACS 8	2 יולי דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף
טניה, ענבל, מוריאל, מרק	10 שעות	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	78 נוטריונים, 78 חמצן, pH 62, 39 אלקלניות, 39 מליחות, 25 כלורופיל, FACS 39	3 יולי הפלגה לתחנות: FF OS, A
מרק, ענבל, יוני, מוריאל, טניה, ניצן	1	סקר חברת האלמוגים באתר הלגונה הסגורה	סקר חברת האלמוגים	5 יולי סקר החברה באתר הלגונה הסגורה
מרק, ענבל, יוני	3	מדידת כמות היצרנות הראשונית	24 דוגמאות	8-9 יולי דיגום יצרנות ראשונית
מוריאל, טניה, מרק, אירנה, יוני, ענבל	20	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	נוטריונים, חמצן, pH אלקלניות, מליחות, כלורופיל סדימנט, פלנקטון	11 הפלגה סקר בחוף הצפוני
יוני, ענבל, טניה, מוריאל	3	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	הוצאת 18 לוחיות התיישבות בשמורה הסגורה	16 יולי ציליה להוצאת 18 לוחיות התיישבות אצות בנתוניות + חתך
מרק, ניצן	1	סקר חברת השונית	ספירת אלמוגים לאורך החתכים בשמורה והכנסת הנתונים למחשב.	16 יולי ציליות חתכים בשונית באתר המעבדה הימית
ענבל, ניצן, טניה, מרק	1	סקר חברת השונית	ספירת אלמוגים לאורך החתכים ב-בשמורה וקצאא והכנסת הנתונים למחשב.	17 יולי ציליות חתכים בשונית בקצאא
ענבל, ניצן, טניה, מרק	1	סקר חברת השונית	ספירת אלמוגים לאורך החתכים ב-בשמורה וקצאא והכנסת הנתונים למחשב.	18 יולי ציליות חתכים בשונית בקצאא
מרק, טניה, ענבל, ניצן	1	סקר חברת השונית	ספירת אלמוגים לאורך החתכים בשמורה והכנסת הנתונים למחשב.	19 יולי ציליות חתכים בשונית בקצאא
מרק, טניה, ענבל, ניצן	1	סקר חברת השונית	ספירת אלמוגים לאורך החתכים בשמורה והכנסת הנתונים למחשב.	22 יולי ציליות חתכים בשונית בקצאא
מרק, ענבל, יוני	3	מדידת כמות היצרנות הראשונית	24 דוגמאות	22-23 יולי דיגום יצרנות ראשונית בחוף הצפוני
מרק, טניה, ענבל, ניצן	1	סקר חברת השונית	ספירת אלמוגים לאורך החתכים בשמורה והכנסת הנתונים למחשב.	24 יולי ציליות חתכים בשונית בקצאא
מרק, ענבל, ניצן	1	סקר חברת השונית	ספירת אלמוגים לאורך החתכים בשמורה והכנסת הנתונים למחשב.	26 יולי ציליות חתכים בשונית בקצאא

28 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
30 יולי צלילות חתכים בשונית בקצאא	ספירת אלמוגים לאורך החתכים בשמורה והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1	מרק, ענבל, טניה, ניצן
31 יולי דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומאסה הזואופלנקטון במפרץ	2	ענבל, מרק, יוני
אוגוסט דיגום יומיומי של כמות הכלורופיל בשונית ממוח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מדידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל, טניה, מוריאל, ניצן, יוני, מרק
1 אוגוסט צלילות חתכים בשונית בקצאא	ספירת אלמוגים לאורך החתכים ב שמורה הסגורה והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1	טניה, ניצן, ענבל, מרק
1 אוגוסט צלילות חתכים בשונית במעבדה הימית	ספירת אלמוגים לאורך החתכים ב שמורה הסגורה והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום עבודה שתי צלילות + הכנסת הנתונים במחשב	טניה, ניצן, ענבל, מרק
2 אוגוסט צילום ריבועים קבועים בקצאא	צילום 5 נקודות קבועות בקצאא	מעקב אחרי שינויים בשונית בעזרת צילום ריבועים קבועים בשונית	1	ענבל, ניצן
5 אוגוסט צלילות חתכים בשונית בחוף המעבדה הימית	ספירת אלמוגים לאורך החתכים ב-בחוף המעבדה הימית והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1	מרק, טניה,
8 אוגוסט צלילה להוצאת 18 לוחיות התיישבות אצות בנתוניות + חתך	הוצאת 18 לוחיות התיישבות בשמורה הסגורה	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	3	יוני, ענבל, טניה, מוריאל
9 אוגוסט צלילות חתכים בשונית השמורה הסגורה	ספירת אלמוגים לאורך החתכים ב שמורה הסגורה והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1	ניצן, ענבל
9 אוגוסט צלילות חתכים בשונית המעבדה הימית	ספירת אלמוגים לאורך החתכים ב מעבדה הימית והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1	ניצן, ענבל
12 אוגוסט דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריינטים 4 חמצן, 16 pH 16 אלקלניות, 8 מליחות 8 כלורופיל, FACS 8	השוואה בין התחנות השוונות	5	טניה, ענבל, מוריאל, יוני, מרק
13 אוגוסט הפלגה לתחנות: FF OS, A	78 נוטריינטים, 78 חמצן, pH 62, 39 אלקלניות, 39 מליחות 25 כלורופיל, FACS 39, אמוניה	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	12 שעות	טניה, ענבל, מרק
14 אוגוסט צלילות חתכים בשונית השמורה הסגורה	ספירת אלמוגים לאורך החתכים	סקר חברת השונית	1	ניצן, ענבל, טניה, מרק
15 אוגוסט צלילות חתכים בשונית בקצא"א	ספירת אלמוגים לאורך החתכים בקצא"א	סקר חברת השונית	1	מרק, טניה, ענבל, ניצן
16 אוגוסט צלילות חתכים בשונית השמורה הסגורה	ספירת אלמוגים לאורך החתכים	סקר חברת השונית	1	ניצן, ענבל, טניה
20 אוגוסט צלילות חתכים בשונית המעבדה הימית	ספירת אלמוגים לאורך החתכים ב מעבדה הימית והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1	ניצן, ענבל, טניה, מרק



21 אוגוסט צלילות חתכים בשונית המעבדה הימית	ספירת אלמוגים לאורך החתכים ב מעבדה הימית והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1	ניצן, ענבל, טניה, מרק
21 אוגוסט סקר חסרי חוליות צלילת לילה	צלילת לילה לספירת חסרי חוליות	סקר חסרי חוליות	3 שעות	מוריאל, יוני, ענבל, מרק, טניה
22 אוגוסט צלילות חתכים בשונית המעבדה הימית	ספירת אלמוגים לאורך החתכים ב מעבדה הימית והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1	ניצן, ענבל, טניה, מרק
22 אוגוסט סקר חסרי חוליות צלילת לילה	צלילת לילה לספירת חסרי חוליות	סקר חסרי חוליות	3 שעות	מוריאל, ענבל, מרק, טניה
23 אוגוסט צלילות חתכים בשונית המעבדה הימית	ספירת אלמוגים לאורך החתכים ב מעבדה הימית והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1	ניצן, ענבל, טניה, מרק
23 אוגוסט סקר חסרי חוליות צלילת לילה	צלילת לילה לספירת חסרי חוליות	סקר חסרי חוליות	3 שעות	מוריאל, יוני, ענבל, מרק, טניה
26 אוגוסט צלילות חתכים בשונית המעבדה הימית	ספירת אלמוגים לאורך החתכים ב מעבדה הימית והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1	ניצן, ענבל, טניה, מרק
27 אוגוסט סקר חסרי חוליות בלגונה הסגורה לילה	צלילת לילה לספירת חסרי חוליות	סקר חסרי חוליות	3 שעות	מוריאל, ענבל, מרק, טניה
28 יולי צלילה להוצאת 6 לוחיות התיישבות לאצות בנתונות	הוצאת 6 לוחיות התיישבות IUI	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתונות בשונית	2	ענבל, טניה
28 אוגוסט סקר חסרי חוליות בשמורה הסגורה צלילת לילה	צלילת לילה לספירת חסרי חוליות	סקר חסרי חוליות	3 שעות	מוריאל, ענבל, מרק, טניה
29 אוגוסט צלילות חתכים בשונית המעבדה הימית	ספירת אלמוגים לאורך החתכים ב מעבדה הימית והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1	ניצן, ענבל, טניה, מרק
29 אוגוסט סקר חסרי חוליות צלילת לילה	צלילת לילה לספירת חסרי חוליות	סקר חסרי חוליות	3 שעות	מוריאל, ענבל, מרק, טניה
30 אוגוסט דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומסה הזואופלנקטון במפרץ	2	ענבל, מרק, יוני
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
2 ספטמבר צלילות חתכים בשונית בשמורה הסגורה	ספירת אלמוגים לאורך החתכים	סקר חברת השונית	1	מרק, טניה, ענבל
2 ספטמבר סקר חסרי חוליות צלילת לילה	צלילת לילה לספירת חסרי חוליות	סקר חסרי חוליות	3 שעות	ענבל, מרק, מוריאל
3-4 ספטמבר דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	3	מרק, ענבל, יוני
4 ספטמבר צלילות חתכים בשונית בשמורה הסגורה	ספירת אלמוגים לאורך החתכים	סקר חברת השונית	1	טניה, ענבל

5 ספטמבר ציליה להוצאת 18 לוחיות התיישבות אצות בנתוניות + חתך	הוצאת 18 לוחיות התיישבות בשמורה הסגורה	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	3	ענבל, טניה, מוריאל מרק
6 ספטמבר ציליות חתכים בשמורה הסגורה	ספירת אלמוגים לאורך החתכים	סקר חברת השונית	1	טניה, ענבל
9 ספטמבר דיגום מסירה + אנליזות מ-8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריינטים 4 חמצן, 16 pH 16 אלקלניות, 8 מליחות 8 כלורופיל, FACS 8	השוואה בין התחנות השוונות	5	טניה, ענבל, מוריאל, מרק
10 ספטמבר סקר חסרי חוליות בשמורה צילית לילה	צילית לילה לספירת חסרי חוליות	סקר חסרי חוליות	3 שעות	ענבל, מרק, מוריאל, ניצן, יוני
11 ספטמבר משותפת עם ירדן הפלגה לתחנות: A, FF OS, B	78 נוטריינטים, 78 חמצן, pH 62, 39 אלקלניות, 39 מליחות 25 כלורופיל, FACS 39	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	10 שעות	ענבל, טניה, מרק
13 ספטמבר ציליות חתכים בשמורה הסגורה	ספירת אלמוגים לאורך החתכים	סקר חברת השונית	1	טניה, ענבל, מרק
19 ספטמבר ציליות חתכים בשמורה הסגורה	ספירת אלמוגים לאורך החתכים	סקר חברת השונית	1	טניה, ענבל, מרק, ניצן
20 ספטמבר צילום ריבועים קבועים בחוף הצפוני	צילום 5 נקודות קבועות בחוף הצפוני	מעקב אחרי שינויים בשונית בעזרת צילום ריבועים קבועים בשונית	1	ענבל, ניצן
23 ספטמבר דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומסה הזואופלנקטון במפרץ	2	ענבל, מרק, יוני
23 ספטמבר ציליה להוצאת 6 לוחיות התיישבות אצות בנתוניות	הוצאת 6 לוחיות התיישבות IUI	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	2	ענבל, טניה
אוקטובר דיגום יומימי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מדידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל, טניה, מוריאל, ניצן, יוני, מרק
2 אוקטובר לכידת ארסים	לכידת ארסים	בדיקת טפילים בדגים	3	מרק אירנה
10 אוקטובר ציליה להוצאת 18 לוחיות התיישבות אצות בנתוניות + חתך	הוצאת 18 לוחיות התיישבות בשמורה הסגורה	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	3	ענבל, מוריאל, יוני טניה
10 אוקטובר סקר חברת האלמוגים על שולחן השונית בלגונה הסגורה	ספירת אלמוגים לאורך החתכים	סקר חברת השונית	1	ניצן, מרק
11 אוקטובר סקר חברת האלמוגים על שולחן השונית בלגונה הסגורה	ספירת אלמוגים לאורך החתכים	סקר חברת השונית	1	טניה, ענבל, מרק
14 אוקטובר סקר דגים בשמורה הסגורה	ציליה לספירת דגים	סקר דגים בשמורה הסגורה	1	ענבל, מרק, מוריאל, ניצן, יוני
15 אוקטובר סקר דגים בשמורה הסגורה	ציליה לספירת דגים	סקר דגים בשמורה הסגורה	1	ענבל, מרק, מוריאל, ניצן, יוני
15 אוקטובר לכידת ארסים	לכידת ארסים	בדיקת טפילים בדגים	3	מרק אירנה
16 אוקטובר סקר דגים בשמורה הסגורה	ציליה לספירת דגים	סקר דגים בשמורה הסגורה	1	ענבל, מרק, מוריאל, ניצן, יוני

16 אוקטובר לכידת ארסים	לכידת ארסים	בדיקת טפילים בדגים	3	מרק אירנה
17 אוקטובר לכידת ארסים	לכידת ארסים	בדיקת טפילים בדגים	3	מרק אירנה
23 אוקטובר דיגום מסירה + אנליזות מ-8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריונים 4 חמצן, 16 pH 16 אלקלניות, 8 מליחות 8 כלורופיל, FACS 8	השוואה בין התחנות השונות	5	טניה, ענבל, מוריאל, מרק, יוני
29 אוקטובר הפלגה לתחנות: A, FF OS,	78 נוטריונים, 78 חמצן, pH 62, 39 אלקלניות, 39 מליחות 25 כלורופיל, FACS 39	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	10 שעות	ענבל, מוריאל, מרק
29-30 אוקטובר דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מידת כמות היצרנות הראשונית	3	מרק, ענבל, יוני
30 אוקטובר דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומאסה הזואופלנקטון במפרץ	2	ענבל, מרק, יוני
31 אוקטובר ציליה להוצאת 6 לוחיות התיישבות לאצות בנתוניות	הוצאת 6 לוחיות התיישבות IUI	מידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	2	ענבל, מרק
נובמבר דיגום יומיומי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל, טניה, מוריאל, ניצן, יוני, מרק
2 נובמבר	לכידת ארסים	בדיקת טפילים בדגים	3	מרק אירנה
5 נובמבר ציליה להוצאת 18 לוחיות התיישבות לאצות בנתוניות + חתך	הוצאת 18 לוחיות התיישבות בשמורה הסגורה	מידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	3	ענבל, מוריאל, טניה, מרק, יוני
11-12 נובמבר דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מידת כמות היצרנות הראשונית	3	מרק, ענבל, יוני
18 נובמבר דיגום מסירה + אנליזות מ-8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריונים 4 חמצן, 16 pH 16 אלקלניות, 8 מליחות 8 כלורופיל, FACS 8	השוואה בין התחנות השונות	5	טניה, ענבל, מרק, מוריאל, מרק
20 נובמבר הפלגה לתחנות: A, FF OS,	78 נוטריונים, 78 חמצן, pH 62, 39 אלקלניות, 39 מליחות 25 כלורופיל, FACS 39	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	10 שעות	ענבל, מוריאל, מרק, טניה
26 נובמבר ציליה להוצאת 6 לוחיות התיישבות לאצות בנתוניות	הוצאת 6 לוחיות התיישבות IUI	מידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	2	ענבל, מרק
27 נובמבר דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומאסה הזואופלנקטון במפרץ	2	ענבל, מרק, יוני
דצמבר דיגום יומיומי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל, טניה, מוריאל, ניצן, יוני, מרק
2-6 דצמבר כתיבת דו"ח אנליזות נתונים	כתיבת דו"ח אנליזות נתונים	כתיבת דו"ח אנליזות נתונים	5	ענבל, טניה, מוריאל, ניצן, יוני, מרק
10 דצמבר לכידת ארסים	לכידת ארסים	בדיקת טפילים בדגים	3	מרק אירנה
10 דצמבר דיגום מסירה + אנליזות מ-8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריונים 4 חמצן, 16 pH 16 אלקלניות, 8 מליחות 8 כלורופיל, FACS 8	השוואה בין התחנות השונות	5	טניה, ענבל, מרק, מוריאל, מרק

11 דצמבר הפלגה לתחנות: A, OS, FF	78 נוטריינטים, 78 חמצן, pH 62, 39 אלקלניות, מליחות 25 כלורופיל, FACS 39	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	10 שעות	ענבל, מוריאל, מרק, טניה
16-20 דצמבר כתיבת דו"ח ואנליזת נתונים	כתיבת דו"ח אנליזת נתונים	כתיבת דו"ח אנליזת נתונים		ענבל, מוריאל, מרק, טניה, ניצן, יוני
19 דצמבר לכידת ארסים	לכידת ארסים	בדיקת טפילים בדגים	3	מרק אירנה
25 דצמבר דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומאסה הזואופלנקטון במפרץ	2	ענבל, מרק, יוני
25-27 דצמבר דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	3	מרק, ענבל, יוני
24 דצמבר לכידת ארסים	לכידת ארסים	בדיקת טפילים בדגים	3	מרק אירנה
25 דצמבר לכידת ארסים	לכידת ארסים	בדיקת טפילים בדגים	3	מרק אירנה
26 דצמבר צלילה להוצאת 6 לוחיות התיישבות לאצות בנתונות	הוצאת 6 לוחיות התיישבות IUI	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתונות בשונית	2	ענבל, מרק