

המכון הבינאוניברסיטאי למדעי הים באילת
The Interuniversity Institute for Marine Sciences in Eilat
Founded by the H. Steinitz Marine Biology Laboratory שטיינץ



מרץ 2012

אדר תשע"ב

התוכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת

דו"ח מדעי לשנת 2011



מוגש לוועד המנהל של תכנית הניטור על ידי:

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

התכנית ממומנת ע"י המשרד להגנת הסביבה

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



חברי הוועד המנהל:

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' ברק חירות, חקר ימים ואגמים לישראל
מר רני עמיר, רא"ג ים וחופים, המשרד לאיכות הסביבה
ד"ר מעוז פיין, המכון הבינאוניברסיטאי למדעי הים באילת ואוניברסיטת בר אילן
פרופ' אהרון קפלן, המכון הבינאוניברסיטאי למדעי הים באילת והאוניברסיטה העברית בירושלים
פרופ' אלדו שמש, מכון וייצמן למדע
ד"ר יהושע שקדי, רשות הטבע והגנים
פרופ' חזי גלדור, האוניברסיטה העברית בירושלים

צוות הניטור:

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

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

יעוץ וסיוע:

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

עזרה במכון הבינאוניברסיטאי:

עודד בן שפרוט
יגאל ברנשטיין
גינאדי 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
10	א.5. תקציר באנגלית, English Abstract
15	ב. שונית האלמוגים
15	ב.1. סקר חברת השונית
36	ב.2. צילום אתרים קבועים
44	ב.3. חברת האלמוגים בלגונת שמורת האלמוגים
49	ב.4. סקר חסרי חוליות
53	ב.5. קצב גידול מאקרו-אצות בשונית
57	ב.6. סקר דגי השונית
60	ג. ניטור הסביבה החופית
60	ג.1. מי הים בקרבת החוף
71	ג.2. טפילים ומחלות בדגים לאורך חופי אילת
76	ג.3. ריכוזי מתכות במרינה אילת
81	ג.4. שינויים במאספי פורמינפרים בנתונים בתגובה לפינוי כלובי הדגים במפרץ אילת-עקבה
91	ד. עמודת המים בים העמוק
93	ד.1. מדדים פסיקליים: טמפרטורה ומליחות
97	ד.2. מדדים כימיים
116	ד.3. מדדים ביולוגיים
126	ה. מדידות רציפות
126	ה.1. כלורופיל
127	ה.2. טמפרטורת המים בפני השטח בשמורת חוף אלמוג
129	ה.3. משתנים מטאורולוגיים
136	ה.4. זרמים
137	ה.5. אבק מרחף
139	ו. ביבליוגרפיה
140	ז. נספחים
140	ז.1: מפות אתרי הניטור
142	ז.2. רשימות סוגי האלמוגים
144	ז.3. זיהום ים בדלק, מפרץ אילת, 25-26 ביוני 2011
146	ז.4. תסמונת חדשה באלמוגי אש ממפרץ אילת
147	ז.5. טבלת פעילות צוות הניטור בשנת 2011

א. מבוא

א.1. מטרת הניטור במפרץ אילת

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

א.2. הקדמה

הדו"ח שלהלן מתאר את עבודת הניטור הלאומי בצפון מפרץ אילת בשנת 2011. 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 השמינית בה פועלת תכנית הניטור במתכונת אחידה וכך ניתן לבחון מגמות על פני שמונה שנים בהן נאספו הנתונים בשיטות אחידות, ולהשוות תוצאות מדידות שנעשו באותו אופן על ידי אותו צוות. הדבר מקנה עצמה אנליטית משמעותית לניתוח התוצאות ההשוואתיות ובטחון בנכונותן של המסקנות. 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)
שונית	
סקר חברת השונית	אחת לשנה, בקיץ (מספר שבועות)
ניטור שולחן השונית	אחת לשנה, בקיץ (שבוע)
צילום ריבועים קבועי מקום + ניתוח הצילומים	אחת לשנה, באביב (מספר שבועות)
ניטור חברת האלמוגים 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)
תחנות חופיות	
אפיון מי החופים (מדדים פיסיים, כימיים, ביולוגים)	אחת לחודש
חברת הקרקעית בחוף צפוני	קיץ וחורף
מחלות דגים וטפילים	אחת לשנה, בחורף (מספר שבועות)
ניטור מתכות במרינה אילת	אחת לשנתיים
ים פתוח	
אפיון עמודת המים (מדדים פיסיים, כימיים, ביולוגים)	אחת לחודש
יצרנות ראשונית	אחת לחודש
ניטור זואופלנקטון	אחת לחודש
מדידות רציפות בסמוך למכון הבינאוניברסיטאי	
מדידות יומיות של טמפרטורה וכלורופיל במזח	מדי יום
זרמים	ניטור רציף
תחנה מטאורולוגית + כרית	ניטור רציף
אבק מרחף	ניטור רציף

טבלה א1: פעילויות תכנית הניטור ותדירותן.

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

א.3. תקציר התוצאות והמסקנות

שונית האלמוגים

1. מצבה הכללית של שונית האלמוגים באילת, כפי שמשקף במגוון המדדים המנוטרים, נותר יציב או בשיפור קל בשמונה השנים בהן פועלת תכנית הניטור. להלן מספר נקודות להן ראוי לשים לב בשנים הבאות:
 - א) כיסוי אלמוגי האבן עלה מאז שנת 2004, עם ירידה קלה השנה בהשוואה לשנה הקודמת (אם כי כיסוי גבוה מאשר בשנת 2009). הכיסוי המנורמל (על גבי מצע קשה) עלה אף הוא מאז 2004, בפרט בשנת 2007. הכיסוי המנורמל השנה דומה לזה שנמדד בשנה הקודמת.
 - ב) באתרי IUI, אשר בהם כיסוי האלמוגים היה מלכתחילה נמוך ביותר, נמדדת לאורך השנים התאוששות מתמשכת. שלושת אתרי השמורה (NR) הם עדיין האתרים בעלי הכיסוי המנורמל הגבוה ביותר.
 - ג) צפיפות מושבות אלמוגי האבן באילת לא השתנתה באופן מובהק בשנים האחרונות. השנה נמדדה צפיפות מעט גבוהה מאשר בשנה הקודמת. לא נמצאה קורלציה ברורה בין צפיפות המושבות ואחוז הכיסוי באתרים השונים.
 - ד) חלקם המספרי של אלמוגי האבן הגושיים גדול מזה של המעונפים, והאלמוגים הגושיים הם המכתיבים את התפלגות הגדלים באלמוגי האבן. באתרי IUI גודל המושבות השולט הוא "קטן" ואילו באתרים האחרים הגודל השולט הוא "בינוני" ובחלקם הגדול "גדול" רב יותר מאשר הגודל "קטן". באתר השמורה הרדוד הגדול "גדול" הוא הנפוץ ביותר ושם גם נמצא הכיסוי הגבוה ביותר.
 - ה) באתרי IUI צפיפות המושבות (מנורמלת) גבוהה (בפרט באתרים הרדודים 5 ו-10) וכיסוי האלמוגים המנורמל נמוך (בפרט באתרים הרדודים 5 ו-10).
 - ו) לאורך תקופת הניטור ניכרת ירידת-מה בחלקן של המושבות הקטנות, הנובעת מירידה במספרן. יתכן כי הדבר מצביע על היחלשות אספקת מתיישבים חדשים לשונית.
 - ז) השנה נמדדה ירידה קלה נוספת בממד הרקמה החיה לבריאות אלמוגים. אפשר כי הירידה נובעת מהירידה בחלקן היחסי של המושבות הקטנות, להן על פי רוב מדד רקמה חיה גבוה.
 - ח) זו השנה החמישית בה נסקר שולחן השונית ולאורך תקופה זו לא נמצאו שינויים מובהקים בכיסוי האלמוגים או בצפיפות המושבות.
 - ט) ברוב האתרים המצולמים נמדדה ירידה מתמשכת בשטח אלמוגי האבן. הירידה גדולה יותר עבור אלמוגים מעונפים מאשר אלמוגים לא-מעונפים. באתרי הצילום בחוף הדקל, קצא"א והשמורה נמצא גידול בשטח האלמוגים הלא מעונפים.
 - י) ברוב האתרים המצולמים נמצא עודף מספרי של תמותה על פני התיישבות (פרט לאתרי קצא"א וטאבה).- 2. מגוון המינים והרכב חברת האלמוגים באתרי הניטור נותרו בסך הכל יציבים במשך שמונה השנים בהן פועלת התכנית. יחד עם זאת ישנם מספר שינויים אחריהם ראוי לעקוב:
 - א) בשנות הניטור ניכרת ירידה גדולה (לכדי 50%) בשטח האלמוג *Acropora* אשר היה הנפוץ ביותר בשנים הראשונות. מאז שנת 2008 האלמוג *Goniastrea* תופס את השטח הרב ביותר באתרים המצולמים.
 - ב) בשנתיים האחרונות נמצאה בלגונה ירידה חדה בצפיפות האלמוגים בכלל, וצפיפות האלמוג הדומיננטי *Stylophora pistillata* בפרט. בהיות האלמוג *S. pistillata* נפוץ בהרבה משאר המינים בלגונה, תנודות באוכלוסייתו מכתיבות את השינויים הנצפים בחברת הבלגונה בכלל, כולל עלייה במגוון המינים.
- 3. בשנות הניטור הראשונות תועדה עלייה בצפיפות קיפודי הים, אולם בשלוש השנים האחרונות אוכלוסיית קיפודי הים מצטמצמת באופן ניכר. שכיחות קיפודי הים אשר נמדדה השנה היא הנמוכה ביותר מאז תחילת הניטור ב-2004. הקיפוד *Diadema* הוא הנפוץ ביותר באילת, ואוכלוסייתו היא העקרית אשר נפגעה.
- 4. פוטנציאל גידול אצות ישיבות (על גבי לוחיות התיישבות מוגנות מרעייה באזור השונית) נותר נמוך השנה, בפרט בהשוואה לשנים 8-2007. הסיבה לכך היא, ככל הנראה, ערבוב עמודות המים לעומק רדוד בשנים האחרונות.

הסביבה החופית

5. מחזור הערבוב השנתי הוא התהליך השולט ברוב המדדים הכימיים, הפיסיקליים והביולוגיים הנמדדים בתחנות הניטור החופיות. בעונת החורף, בה טמפרטורת מי השטח דומה לטמפרטורה בעומק, ריכוז רוב המשתנים הנמדדים בתחנות החופיות גבוה מאשר בעונת הקיץ בה מופרדים המים העליונים ממי העומק ע"י הפרש טמפרטורות. השנה, בדומה לשנתיים הקודמות, אופיינה על ידי ערבוב רדוד של עמודת המים.
6. השנה נמדדו מעט אירועי העשרה בנוטריינטים בתחנות הדיגום החופיות, ובמקרים שהתרחשו, הייתה עוצמתן נמוכה בהשוואה לשנים עברו. ערכים גבוהים באופן חריג עבור רוב המדדים נמדדו השנה בחודש אפריל בתחנת כלובי הדגים. יתכן כי באזור זה ישנה כניסת מים זרים דרך תעלת הקינט.
7. סקר טפילים ומחלות בדגי בר בוצע השנה על ידי צוות הניטור בהדרכת פרופ' אריק דיאמנט ממלח"י. בשנתיים האחרונות נמצאה עלייה במספר ובהערכת עושר המינים של הטפילים הטרוקסנים, וגם שכיחות ההדבקה עלתה. עלייה בנוכחות טפילים הטרוקסנים (אשר להם מחזור חיים מורכב גם מחוץ לדגים) עשויה להצביע על שיפור בעושרן ומגווןן של הגומחות האקולוגיות הדרושות לטפילים. נוכחותם מצביעה על מערכת אקולוגית בריאה.
8. בקרב 21 דגי בר אשר נבדקו נמצא רק בדג בודד חשד (לא ודאי) לנוכחות של חיידקי המיקרובקטריום. בסך הכל, ניכרת ירידה בשכיחות חיידק זה באזור הנבדק (החוף הדרומי, סמוך למכון הבינאוניברסיטאי), שהיה בעבר אזור שבו נגיעות בחיידק זה הייתה גבוהה בקרב דגי הסיכר ומינים נוספים.
9. בסקר מתכות דו שנתי שעורך הניטור במרינה אילת (מים וסדימנט) נמצאה עלייה בריכוז הברזל. ערכים גבוהים מערכי התקן לים התיכון (אין תקן למפרץ אילת) נמצאו גם השנה בריכוזי הנחושת במי המרינה.
10. בשנתיים האחרונות מסייעת תכנית הניטור במעקב אחר שינויים בקרקעית הים באזור בו היו כלובי הדגים מאז הוצאתם. המעקב נעשה על ידי שי אורון וחבוריה, ותחילתו כעבודת מחקרה לתואר שני. מאז סיום המחקר נרתמה תכנית הניטור לסייע בהמשך המעקב לאור הממצאים המעניינים שעלו ממנו. השנה תועדה התאוששות נוספת במספר וגודל הפרטים החיים ובמספר המינים החיים באזור בקרקעית הים באזור בו היו עד שנת 2008 כלובי הדגים. בנוסף מתועדת חזרת עשב הים, על מגוון המינים המצויים בו.

עמודת המים בים העמוק

11. הדינמיקה השנתית של ריכוזי נוטריינטים וחמצן במים וזמינותם לאוכלוסיות הפיטופלנקטון בים הפתוח מוכתבת על ידי הערבוב העונתי בעמודת המים. לאחר שנתיים בהן היה ערבוב עמודת המים עמוק עם עלייה גדולה בכמות הנוטריינטים המועלית לשכבה הפוטית (2007-2008), בשלוש השנים האחרונות (2009-2011) היה ערבוב עמודת המים רדוד.
12. טמפרטורת פני הים בחורף הייתה גבוהה יחסית השנה, וכך הגיע עומק הערבוב לכ- 320 מ' בלבד. בעומקים הבינוניים (400-500 מ') נמשכה מגמת החימום של השנים האחרונות, ובמי העומק נמשכה גם השנה מגמת החימום המתונה של שלוש השנים האחרונות.
13. באמצע השנה התקבל מד המליחות החדש שנרכש במכון הבינאוניברסיטאי בהשתתפות תכנית הניטור, ותוצאות המדידות מוצגות החל מחודש יולי 2011. בחודשים הקודמים לכך נלקחו מדידות המליחות ממכשיר ה-CTD. בחודשי הקיץ נרשמה עלייה קלה במליחות בפני הים, ו"שכבת המליחות הנמוכה" האופיינית לא הייתה מובהקת.
14. בהעדר ערבוב עמוק מאז חורף 2008, נמצאה ירידה מתמשכת בריכוז החמצן המומס בערך ההגבה (pH) ובאלקליניות במים העמוקים.
15. ריכוזי הנוטריינטים המומסים במים העמוקים עולים בהתמדה מאז שנת 2008 בה היה ערבוב מלא של עמודת המים בתחנה A. גודל המאגרים המומסים דומה השנה לזה של תחילת שנות הניטור, לפני הערבוב העמוק בשנים 2007-8. חשוב לציין כי קצב עליית הריכוזים המומסים נמוך מקצבים אשר נמדדו לפני שנת 2007.
16. פריחת אביב נמדדה השנה בחודש מרץ. בחודש זה גם הגיעה לשיאה היצרנות הראשונית, ונמדדו ריכוזים גבוהים של זואופלנקטון.

17. היצרנות הראשונית השנתית מוערכת השנה, על סמך המדידות החודשיות, בכ- $144\text{gC/m}^2/\text{year}$, ערך דומה לזה של השנה הקודמת. ערך זה גבוה בכ- 70% מהערכות היצרנות בשנות ה-90' של המאה שעברה, אך נמוך בכ- 20% מהערכים שנמדדו בשנים 2000-4.
18. החל מחודש מרץ החלה תכנית הניטור למדוד ריכוזי זואופלנקטון בעמודת המים העליונה בים העמוק (ביחידות של $\text{mg ash-free dry weight} / \text{m}^3$). מדידה זו מהווה תוספת משמעותית לניטור, בהיותה עוקבת אחר חוליה חשובה במארג המזון במפרץ.
19. השנה גובש הסכם שירות עם יחידת ה- flow-cytometry של מחלקת תשתיות במדעי החיים וההנדסה בטכניון לספירות תאי פיטופלנקטון וחיידקים הטרוטרופים בעמודת המים. בשנים האחרונות נדגמו מים לצורך הספירה ושומרו בהקפאה עמוקה. לאחר גיבוש פרוטוקול המדידה ובקרת איכות החלה התכנית לשלוח דוגמאות קפואות למדידה. השנה מוצגות תוצאות מהחודשים אפריל, יוני, יולי ואוגוסט בלבד. בשנה הבאה מתוכנן להשלים את ספירתן של דגימות העבר על מנת לקבל מבט ארוך טווח על הדינמיקה של פיטופלנקטון במי המפרץ.

מדידות רציפות

20. פריחת אצות פלנקטוניות, המבוטאת בערכי הכלורופיל המרביים בפני הים, מופיעה בשנים האחרונות (החמות) מוקדם מהצפוי על פי הממוצע הרב-שנתי. ערכים מרביים של כלורופיל במדידות היומיות בפני הים התקבלו השנה בחודש מרץ.
21. בתחילת השנה (חורף 2010-2011) הייתה טמפרטורת פני הים גבוהה מן הממוצע הרב שנתי, אך בסופה (חודשי החורף נובמבר-דצמבר) הייתה הטמפרטורה נמוכה מהממוצע. נראה כי התקררות זו לקראת סוף השנה תוביל לערבוב עמוק בשנה הבאה.
22. טמפרטורת פני המים הנמדדת זה למעלה מעשרים שנה במזח המצפה התת-ימי נמצאת במגמה של עלייה ארוכת טווח, בשיעור ממוצע של כ-3 מעלות במאה שנים. יחד עם זאת, הממוצע השנתי המחושב ממדידות אלה היה נמוך השנה ב 0.74°C מהממוצע בשנה הקודמת (2010).
23. ממדידות טמפרטורת הים הרציפות תחת מזח המכון (עומק כ-2 מטרים) עולה כי הטמפרטורה המזערית השנה הייתה דומה לשנה הקודמת וגבוהה בכ-1 מעלה מהטמפרטורה המזערית בשנים הקודמות. לא נמצא שינוי משמעותי בטמפרטורה המרבית, כך שמשרעת הטמפרטורות השנה הייתה קטנה יחסית. גם לטמפרטורת האויר מעל הים הייתה השנה משרעת קטנה מאשר בשנים האחרונות.
24. מד הזרמים אשר הופעל על ידי תכנית הניטור בשנה הקודמת נפגע עקב חדירת מים למחברים החשמליים ונשלח לתיקון בחברה המייצרת. עקב כך לא נאספו השנה נתוני זרם רציפים במסגרת תכנית הניטור.
25. במכון הבינאוניברסיטאי נעשה, בתמיכת תכנית הניטור, ניטור רציף של אבק מרחף מעל הים מאמצע שנת 2006, ונתונים על כמויות האבק זמינים לתכנית. במשך תקופה זו מסתמן מחזור עונתי של שינויים בכמויות האבק במגיע למפרץ: ריכוזי האבק באוויר גבוהים במיוחד באביב, נמוכים יחסית בחודשי הקיץ ועולים שוב בחודשי הסתיו. השנה היו ריכוזי האבק המרביים נמוכים מאשר בשנים הקודמות.

כללי

- בתאריכים 25-26 ביוני דלפו כ-17 מ"ק דלק מאוניה בנמל אילת. פעילות נמרצת של היחידה למניעת זיהום ים באילת (אגף ים וחופים, המשרד להגנת הסביבה) בשיתוף עם אנשי מחוז דרום של רשות הטבע והגנים חסמה את התפשטות הדלק לשמורת האלמוגים ושאבה את רובו המכריע. דיווח על המקרה מובא בנספח 3.ז.
- תיסמונת חדשה הפוגעת באלמוגי אש מהמין *Millepora dichotoma* במפרץ אילת זוהתה על ידי ד"ר אסף זבולוני (ראשות הטבע והגנים), בעבודה משותפת עם תכנית הניטור דווחה התגלית בספרות המקצועית. התסמונת מאופיינת בנקודות מולבנות (חסרות אצות סימביוטיות) הפזורות על פני האלמוג ואשר גודלן ומספרן עולה עם התפתחות התסמונת. טיבה של התסמונת, אשר נקראה Mulit-focal bleaching, והשפעותיה האפשריות על האלמוגים עדיין נחקרות. תקציר הדיווח הפרסום מופיע בנספח 4.ז.
- השנה כמעט והושלם פיתוח מערכת ה-GIS לעיבוד וניתוח הנתונים מאתרי השונית המצולמים.

- עבודת התכנות נעשית עבור תכנית הניטור על ידי מחלקת ה-GIS של האוניברסיטה העברית (על ידי גב' טלי אבירם ומר עדי בן-נר). פיתוח זה הינו תהליך ארוך הנמצא כעת לקראת סופו. נתוני השנתיים האחרונות כבר עובדו ישירות בסביבת התוכנה החדשה, אולם המרת כל נתוני העבר – עבודה עתירת שעות – עדיין לא הושלמה.
- תכנית הניטור הוסיפה השנה את מדידות ריכוזי זואופלנקטון וספירות תאי פיטופלנקטון בעמודות המים העמוקים. שתי מדידות אלה מהוות תוספת חשובה לאפיון עמודות המים ומצב המערכת האקולוגית בה.

4.א. המלצות

- I. שוניות אילת מוגבלות בכיסוי האלמוגים בהן על ידי שרידות מושבות אלמוגים, חלקן הקטן של מושבות אלמוגים גדולות (אשר צמחו במשך שנים רבות) בשוניות אילת הוא המגביל את כיסוי האלמוגים. אין בשוניות מחסור במקום התיישבות או במושבות אלמוגים קטנות – אם כי מספר המושבות הקטנות יורד בשנים האחרונות. לפיכך, הננו ממליצים לצאת בקול קורא למחקרים ייעודיים (ad hoc), אשר מטרתם תהיה לגלות את הסיבות לשרידות המושבות הנמוכה. בד בבד נמשיך לעקוב אחר השינויים בחלקן של המושבות הקטנות על מנת לקבוע האם הירידה במספרן מגמתית.
- II. מאז שנת 2008 מתועדת ירידה בגודל אוכלוסיית קיפודי הים, אחת משתי קבוצות הרועים החשובות בשונית (הקבוצה השנייה היא דגים רועים). תפקידם של הרועים לווסת פריחות של אצות צמודות מצע המונעות בעיקר מכמות הנוטריינטים במים העליונים. בהינתן התנודות חברת הרועים יש לנסות ולהפחית את הלחץ האנושי על הקיפודים והדגים ובפרט אנו ממליצים לאסור כליל דיג של דגים אוכלי אצות בצפון המפרץ, ולפעול להגנתם מפני פגעים נוספים מעשה ידי אדם.
- III. במרינה אילת נמדדים ריכוזי נחושת הגבוהים מהתקן המותר בים התיכון, והשנה נמדדה שם עלייה בריכוז הברזל. יש לברר מה מקור המתכות ולפעול לקביעת תקנים עבור מפרץ אילת בכלל, והמרינה בפרט.
- IV. בשנתיים 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 שוניות.

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 2011

Dr. Yonathan Shaked, Program Manager
Prof. Amatzia Genin, Scientific Director
(March, 2012)

Introduction

This report describes the work and results of the Israel National Monitoring Program in the Gulf of Aqaba (Eilat) – NMP – in 2011. 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 are given in English.

This was the eighth 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, and on the NMP web-site: 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 eight years. Nevertheless, several points worth following closely are listed below:
 - a) Live coral cover has gradually increased since 2004, while this year saw a slight decrease compared with the previous year (however, live coral cover remains higher than in 2009). Normalized coral cover (over hard substrate) has also increased since 2004, particularly between 2006 and 2007. This year's normalized cover is similar to that found in the previous year.
 - b) Coral cover at the IUI sites, which initially had the lowest cover, shows progressive increase. The nature reserve (NR) sites still have the highest normalized cover.

- c) Coral colony density remains without significant change in the past few years. This year's coral density is slightly higher than in the previous year. No clear correlation was found between coral density and cover in the monitored sites.
 - d) Non-branching stony corals vastly outnumber branching corals and dictate the coral's size distribution at the monitored sites. The IUI reefs are dominated by the "small" size fraction, whereas at other sites the biggest fraction is "medium" and at some the "big" size class is larger than the "small" class. At the NR-5 site, "large" corals form the biggest size fraction and this is the site with the highest live cover.
 - e) At the IUI sites normalized coral density is high (especially at the shallower two sites, IUI-5 and IUI-10) and coral cover is the low (especially at the shallow sites).
 - f) Throughout the monitoring period (since 2004) there has been a slight drop in the fraction of "small" corals, driven by a decrease in number. This could point to a shortage in the supply of new recruits to Eilat reefs.
 - g) Live tissue index (LTI) for coral health has further declined this year. This could result, in part, from a smaller fraction of "small" colonies that commonly have a high LTI.
 - h) This was the fifth year of monitoring surveys at the reef table (reef flat) of the nature reserve (NR), showing no significant changes in coral cover and substrate utilization during that period.
 - i) At most photo-sites a gradual decrease in live coral area has been documented over the past eight years. This is more so for branching than non-branching corals. At the Dekel, Katza and Nature Reserve photo-sites there has been an increase in the area of non-branching stony corals.
 - j) Death of individual coral colonies outnumbered recruitment of new colonies at most photo-sites (excluding the sites at Katza and Taba).
2. Species composition and species diversity in the monitored sites are mostly stable, with no significant changes found in the past eight years. There are however, several processes worth following:
 - k) A significant decrease in the cover of *Acropora* was observed at all photo-sites. *Acropora* spp., which used to be the most abundant coral at the photo-sites, has decreased by ~50% in cover relative to 2004. Since 2008 *Goniastrea* has become the dominant taxon.
 - l) At the Nature Reserve lagoon a sharp decline in the number of coral colonies has been observed in the past two years, especially for the coral *Stylophora pistillata*. As this is by far the most abundant coral at the lagoon, a decline in its abundance dictates a corresponding decline in the total coral abundance, concurrently with an increase in the local species diversity.
 3. While the population of sea urchins increased during the first years of monitoring, it has substantially declined in the past three years. Their density this year was the lowest measured since monitoring started in 2004. *Diadema setosum* is the most common sea urchin in Eilat, and it's population has been the most severely effected.
 4. The growth potential of benthic algae, as indicated by settlement over plates protected from the effects of grazing, remained low this year – particularly

when compared to the years 2007-8. The likely reason is the shallow vertical mixing during the past three winters.

Coastal water

5. 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. Accordingly, the concentrations of most variables (nitrogen, phosphate, silicate) are higher in the surface waters during the winter. This year, as in the past two years, mixing of the water column was shallow, affecting most of the measured hydrographic variables.
6. This year fewer abnormal concentrations were measured in Eilat's coastal water, compared with 2004-2007, and the values of abnormal concentrations was much lower as well. Abnormally high values of nutrients occurred in March this year at the Fish Farms sampling station, likely indicating an input of nutrient-rich waters from land.
7. This year the survey of parasites and pathogens in wild rabbitfish was conducted by the monitoring team, under the guidance of Prof. Arik Diamant of IOLR. A rise in the number and richness of intestinal heteroxenic fish parasites has been documented in the past two years, accompanied by an increase in their prevalence. A drop in the occurrence of heteroxenic parasites may indicate damage to an ecosystem needed for them to complete their life cycle. Thus, their proliferation indicates local availability of healthy ecological niches.
8. Of the 21 wild rabbitfish (*Siganus* spp.) examined, only one was suspect of carrying the harmful mycobacterium that was once common in local wild fish.
9. In the bi-annual survey of metal concentrations in the water and sediment of the Eilat Marina an increase in Fe concentration was detected. Concentrations of Cu in the Marina water were still higher than the Mediterranean standard (there is no standard for the Gulf of Eilat).
10. For the past two years, the NMP supported the monitoring of the benthic community where the fish farms used to be (at the northern beach of Eilat). This monitoring started as part of Shai Oron's M.Sc. research in 2008. Since the completion of her thesis (see Appendix G4, in the NMP annual scientific report 2010) the NMP supported the continuation of her monitoring in the field, with the sample analyses being done by S. Oron and collaborators. This year, the number, size and diversity of live specimens in the sea floor sediments continued to increase, with a noticeable return of sea grass meadows with their associated fauna.

The deep sea water column

11. Annual dynamics of variability in concentrations of nutrients, dissolved oxygen and phytoplankton population in the open waters are controlled by the seasonal mixing cycle. Following two years of deep mixing (2007-8), the mixing in the past three winters was shallow (~320m this year).
12. Sea surface temperature this winter was relatively high. At intermediate depths (400-500 m) pronounced warming trend continues. A smaller gradual rise in temperature was observed in deeper waters.
13. A new salinometer was acquired by the IUI with the aid of the NMP, producing measurements since July 2011. During the months in which the old salinometer was non-operational salinity were measured in situ with a CTD.

- This summer a slight increase in salinity was noticed and the characteristic "minimum salinity" water layer was not apparent.
14. Shallow mixing this year facilitated continued drop in dissolved oxygen concentrations in the deep waters, observed since the deep mixing of 2008. Alkalinity and pH also declined.
 15. Concentrations of dissolved nutrients in the deep water have been rising gradually since 2008, when a deep vertical mixing reached the sea floor at Station A. Nutrient inventories measured at "Station A" have reached similar values to those of the early years of monitoring, before the deep mixing of 2007-8, but the rate of inventories replenishment is lower than pre-2007.
 16. The phytoplankton bloom occurred relatively early this year (in March). Maximum primary productivity and highest concentrations of zooplankton were also measured in March.
 17. This year's annual primary production in the water column (based on monthly measurements) was $144\text{gC/m}^2/\text{year}$, similar to that of last year. This value is ~70% higher than those measured in the 1970s to 1990s, but 20% lower than values measured in 2000-4.
 18. Beginning in March, regular monthly measurements of zooplankton concentrations [$\text{mg(ash-free dry weight)/m}^3$] in the upper water column were conducted by the NMP, constituting a significant addition to the monitoring program. Zooplankton is an important link between primary producers and higher trophic levels in the water column.
 19. A work contract was arranged this year between NMP and the Flow-Cytometry Unit of the Technion (Haifa) to measure cell counts of phytoplankton and heterotrophic bacteria. In this report counts from the months of April, June, July and August are presented, with the remaining samples from previous years (kept in a -80°C freezer) scheduled to be processed during the next year.

Continuous measurements

20. The phytoplankton bloom, seen as a maximum in sea-surface *chlorophyll-a* concentration, occurred relatively early this year (in March).
21. Sea surface temperatures were relatively high in the winter at the beginning of the year, but by the end of the year (November-December) were relatively lower than the multi-annual average. While shallow mixing was observed in 2011, deep vertical mixing is expected in 2012.
22. Sea surface temperature (SST) measured daily off the pier of the Underwater Observatory for more than 20 years shows a long-term rise (ca. $3^\circ\text{C}/100$ years). This year's annual mean SST, however, was 0.74°C lower than in 2010.
23. Continuous measurements of sea water temperature off the IUI pier (at ~2 m depth) show that the minimum temperature in 2011 was similar to that of 2010 and $\sim 1^\circ\text{C}$ higher than the minimum temperature of earlier years. The maximum temperature, however, has not changed significantly, implying that the temperature range was relatively narrow this year. This is also true for the air temperature at the IUI pier.
24. The ADCP current profiler deployed by the NMP last year was partly flooded and sent abroad for repair. Therefore, NMP was unable to collect continuous current measurements this year.
25. Continuous monitoring of suspended dust particles above the sea is done at the

IUI since 2006, and dust concentrations are available to the NMP. During this period an annual cycle is observed, with higher dust concentrations occurring during the spring, lower during summer, and rising again in autumn months. This year's maximal dust concentrations were lower than those of previous years.

General

- On July 25-26, 2011, an estimated 17m³ of ship fuel was spilled from a docked ship at Eilat. Rapid action by the Ministry of Environmental Protection's Pollution Control Unit, together with the Nature and Parks Authority, contained the spill and an approximate 12-15m³ of the fuel was removed from the sea. The remainder was trapped beneath the port's pier and dissipated over the following weeks. This incident is reported in Appendix G.3.
- A new syndrome in fire corals of the species *Millepora dichotoma* was identified at the Gulf of Eilat by Dr. Assaf Zvulony of the Nature and Parks Authority working together with the NMP, and was published in the professional literature. The syndrome is characterized by bleached spots scattered over the coral's surface, whose number and size increase as the syndrome progresses. The nature of this syndrome – named "multi-focal bleaching" – and its possible consequences is yet to be determined. An abstract of this publication is presented in appendix G.4.
- The move to utilize custom-designed GIS software to analyze sequences of photos from the permanent photo-sites at the Eilat reefs is almost completed. Development of the GIS platform is contracted to the GIS department at the Hebrew University (programming by Tali Aviram and Adi Ben-Nun). Photos of the last two years have been processed using the new system, and back-processing of older photos is commencing.
- The NMP added monthly measurements of zooplankton concentrations and phytoplankton cell counts to its deep water column monitoring scheme this year. These constitute a significant addition to the monitoring program and will assist in characterizing the deep water column and evaluating its ecological state.

ב. שונית האלמוגים

ב.1. סקר חברת השונית

מטרה

אמזן השיפעה, "מצב הבריאות" ומבנה החברה בשלוש השונות העיקריות לאורך חופי מדינת ישראל בצפון מפרץ אילת. סקר חברת השונית כולל אלמוגי אבן, אלמוגים רכים, וחסרי חוליות נייחים. כמו כן בוצע 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 2, טבלה ז1). בכל חתך נרשם גם סוג המצע תחת סרט המדידה (סלע חשוף, חול, חלוקים, אלמוגים מתים, וכו').

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

עבור כל אלמוג תחת סרט המדידה התבצעה הערכה של אחוז הרקמה החיה בהתחשב בכלל שטח המושבה. 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 ז3).

איור ב1: תצלום אווירי של קטע החוף הצפון-מערבי של המפרץ, דרומית לעיר אילת, עליו מצוינים האתרים בהם נסקרה חברת השונות, מהמעבדה הימית בדרום ועד לקצא"א בצפון. הקווים הצהובים מייצגים את 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.

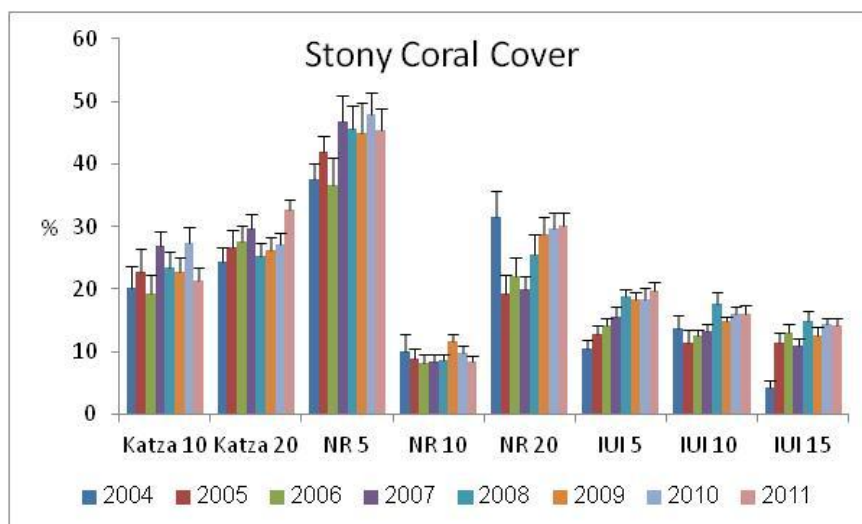
אתר דיגום מוגדר כשילוב של מיקום גיאוגרפי ועומק. עבור כל אתר נמדדו אחוזי כיסוי האלמוגים החיים, כיסוי החול והסלע, צפיפות מושבות אלמוגים, מגוון האלמוגים ועושר המינים, מדד הרקמה החיה לבריאות האלמוגים באתר והתפלגות גודל המושבות. מגוון מינים לפי מדד Shannon Wiener (משוואה 1, כש- P_i הוא פרופורציית מספר המושבות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

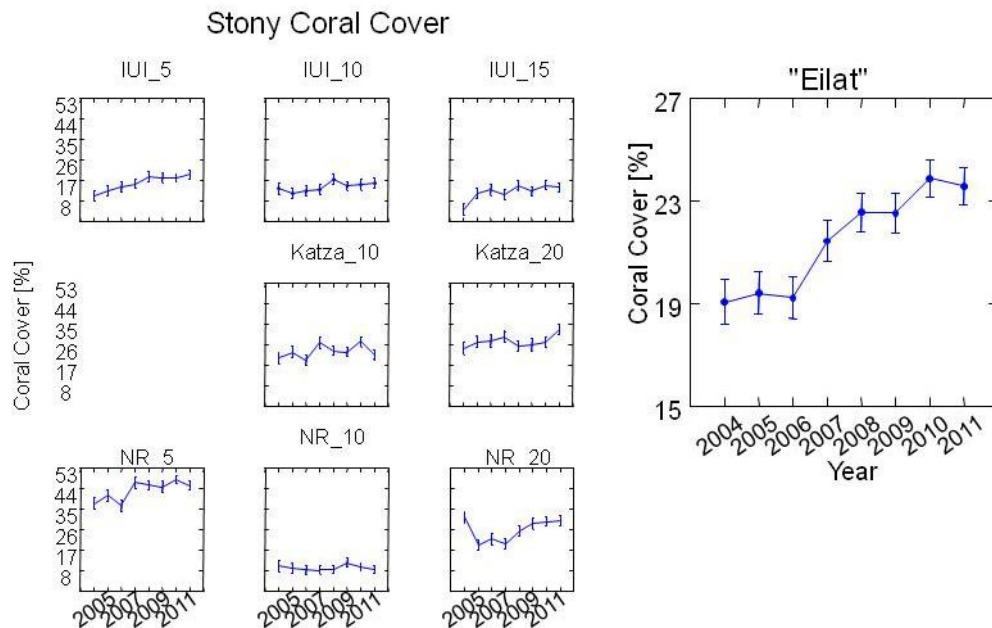
$$H' = -\sum_{i=1}^n P_i \cdot \ln(P_i) \quad \text{משוואה 1:}$$

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 הרביעית 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 תוכנית 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 עם מצוין אחרת.

כיסוי אלמוגים

כיסוי האלמוגים החיים משתנה מאוד בין האתרים (איור ב3). כיסוי האלמוגים הגדול ביותר נמצא בשונית הרדודה בשמורת האלמוגים (5-NR, השנה 45.5%), ערך מעט נמוך מאשר בשנה הקודמת (48.0%). הכיסוי הדל ביותר נמצא אף הוא בשמורה, בעומק 10 מטרים (10-NR, השנה 8.5%), גם הוא מעט נמוך מאשר בשנה הקודמת (9.8%). ברוב האתרים ההבדלים בין השנים קטנים ומצויים בטווח השגיאה של ההערכות, אולם בסך הכל ב"שוניות אילת" נצפית עליה הדרגתית ומתמשכת באחוז כיסוי אלמוגי האבן לאורך שבע השנים האחרונות, ובפרט מאז 2007 (איור ב3, למטה). שגיאות בהערכת כיסוי האלמוגים נובעות בעיקר מהשוניות הטבעית הגדולה בשוניות, ובפרט באתרים בהם מצע חולי הוא מרכיב חשוב הגורם למופע כתמי של השונית, דוגמת אתר השמורה בעומק 10 מ' (איור ב4). ההבדלים בין האתרים, לעומת זאת, משקפים בעיקר את אופיים השונה של בתי הגידול. בין האתרים שנסקרו ישנם הבדלים גדולים (מקדם שונות, $CV = 50\%$) בשטח הכיסוי של אלמוגי אבן חיים (טבלה ב2), ומכאן ש"ערך מייצג" לכיסוי האלמוגים לאורך חופי המפרץ בשטח ישראל יהיה בהכרח מספר לא מייצג. מקדם השונות של כיסוי האלמוגים באתר כלשהו (שילוב של מיקום ועומק) נע בין 17% (KATZA-20) ל-47% (NR-10). מקדם שונות גבוה מצביע על כתמיות חזקה של מיפוזר האלמוגים באתר, ועל מגבלת דייקנותו של הערך הממוצע.

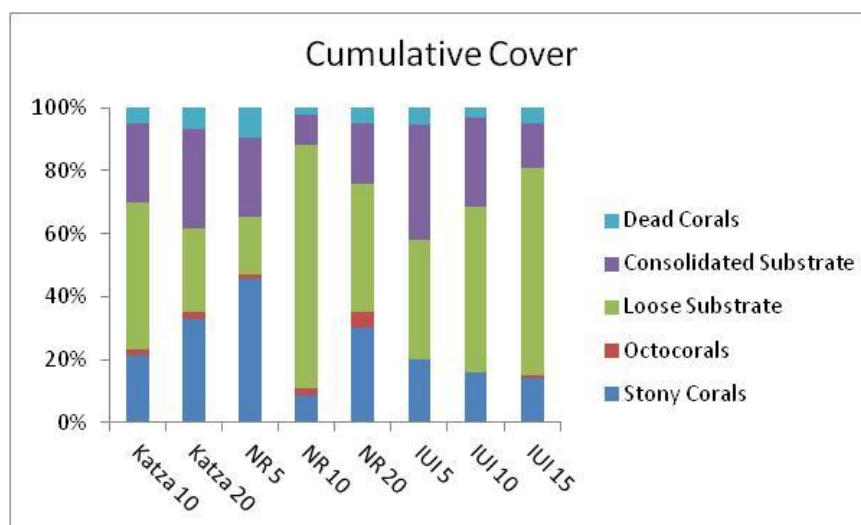




איור 3: שטח הכיסוי הממוצע של אלמוגים חיים (לא כולל אלמוגים רכים) בכל אתר, באחוזים מכלל השטח. למטה- תוצאות מבחן ANOVA למובהקות סטטיסטית של שינויים בכיסוי האלמוגים החיים בשנים 2004-2011. ההבדלים בין השנים מובהקים, וכן גם האינטראקציה בין שנים לאתרים (two way ANOVA, $P=0.026$), שפירושה כי לא כל האתרים השתנו באותו אופן עם הזמן.

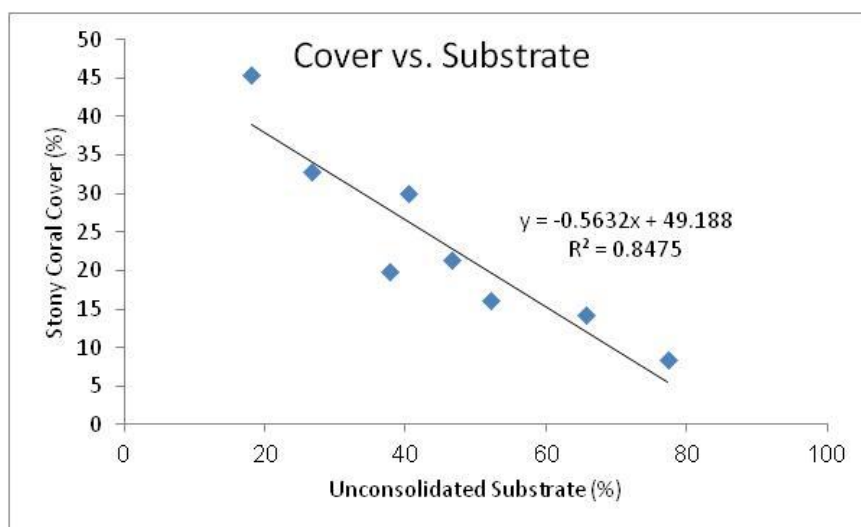
Figure B3: Average live coral cover (excluding soft corals) at each site (percent of total area). Bottom- ANOVA results (least square means) for live coral cover in the years 2004-2011. Differences between years are significant, as is the interaction between years and sites (two-way ANOVA, $P=0.026$) 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 $R^2=0.85$).



איור 4: אחוזי הכיסוי המצטברים של אלמוגים, חול, סלע, ואלמוגים מתים. באתרים בהם אחוזי הכיסוי אינם מסתכמים ב- 100%, קיים כיסוי של חסרי 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 invertebrates such as sea anemones, clams or sponges. The presented percent cover is an average on all transects at each site.



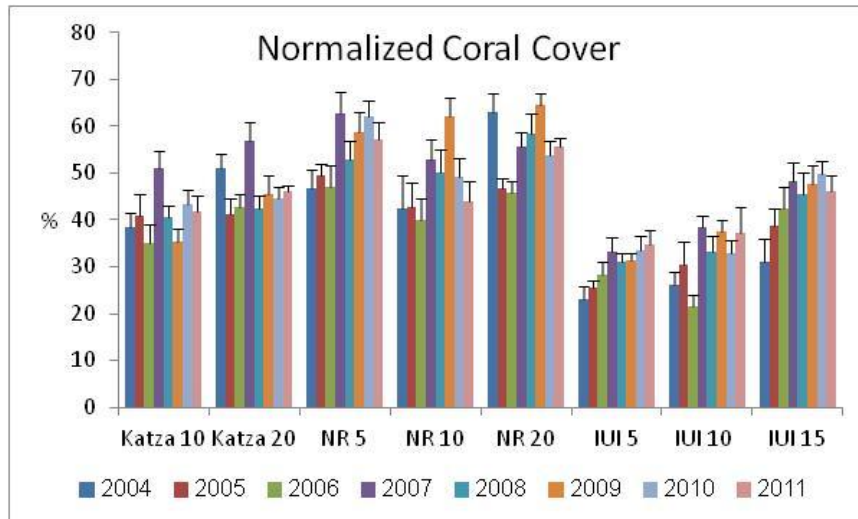
איור ב5: אחוז הכיסוי של אלמוגי אבן חיים כנגד אחוז הקרקע החולית באתרים השונים.
Figure B5: Percent live stony coral coverage versus unconsolidated (sandy) sea floor in the sites examined.

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.

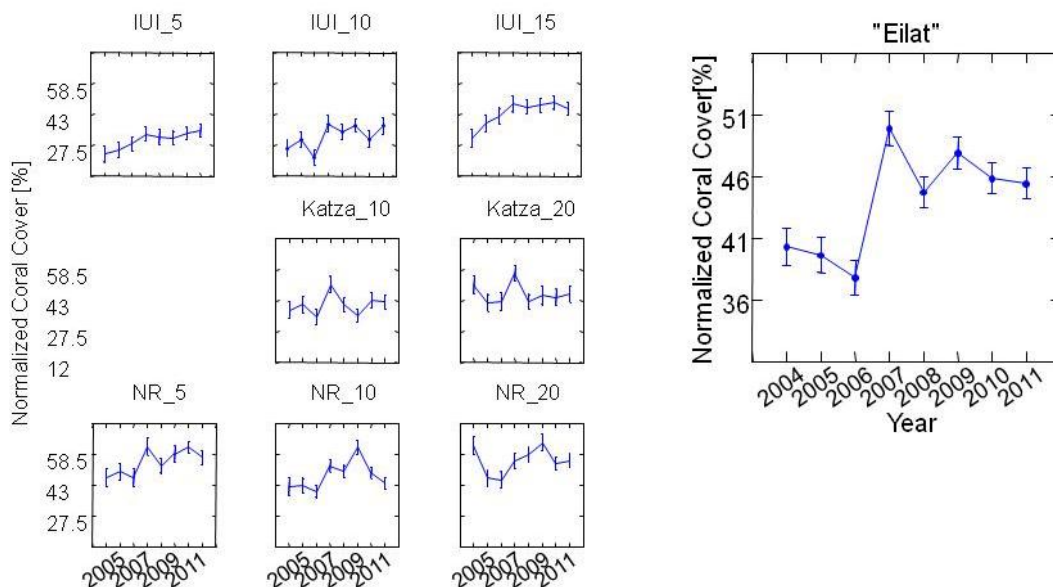
אתרי IUI, ובפרט האתרים הרדודים יותר, היו בשנים האחרונות האתרים בהם אחוז הניצול של המצע המלוכד נמוך ביותר (איור ב6 למעלה). נראה כי באתרים אלה תנאים קשים לאלמוגים בהשוואה לשאר האתרים, ואלמוגים מצליחים לכסות אך חלק קטן מהמצע הקשה באתרים אלה. יחד עם זאת ניכרת באתרי ה-IUI התאוששות הדרגתית מאז 2004. הכיסוי המנורמל הנמוך ביותר השנה נמדד באתר IUI-5, 34.8%, והגבוה ביותר נמצא באתר NR-5, 57.0%.

בשנת 2007, נרשמה עליה מובהקת בניצול המצע הזמין להתיישבות אלמוגים בכל האתרים. בשנת 2008 נצפתה ברוב האתרים ירידת מה בניצול המצע יחסית ל-2007, אך למרות זאת בשנים האחרונות, 2007-2011, 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

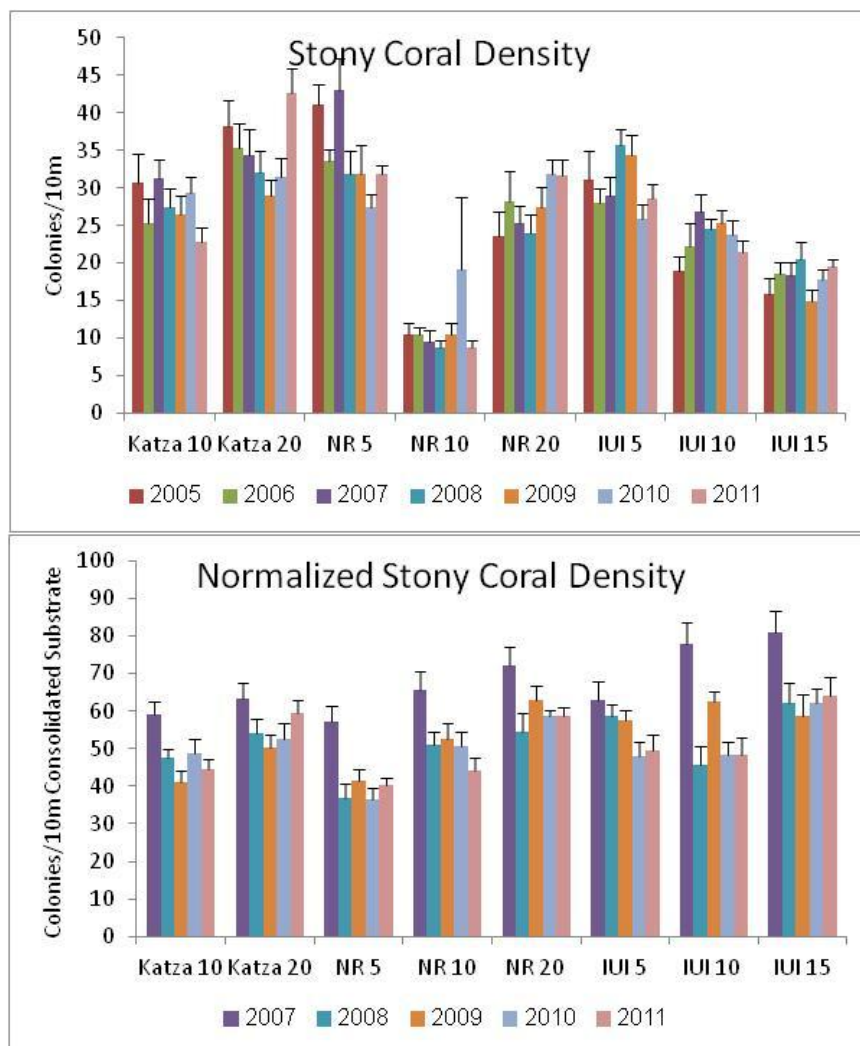


איור 6: ניצול המצע המתאים להתיישבות אלמוגים. למעלה – אחוז הכיסוי של אלמוגי אבן חיים מתוך סך הקרקע הסלעית בכל אתר. אחוזים אלה מורים עד כמה הקרקע הזמינה לאלמוגים מכוסה באלמוגים. למטה – תוצאות מבחן ANOVA למובהקות סטטיסטית של שינויים בניצול המצע הזמין על ידי אלמוגים בשנים 2004-2011. ההבדלים בין השנים מובהקים והאינטראקציה בין שנים לאתרים אינה מובהקת (two way ANOVA, $P=0.057$) ופירושה שאתרים שונים הראו מגמות שאינן 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 2004-2011. changes over time are significant and the interaction between years and sites is not significant (two way ANOVA, $P=0.057$) meaning sites do not differ significantly in the way they change over time.

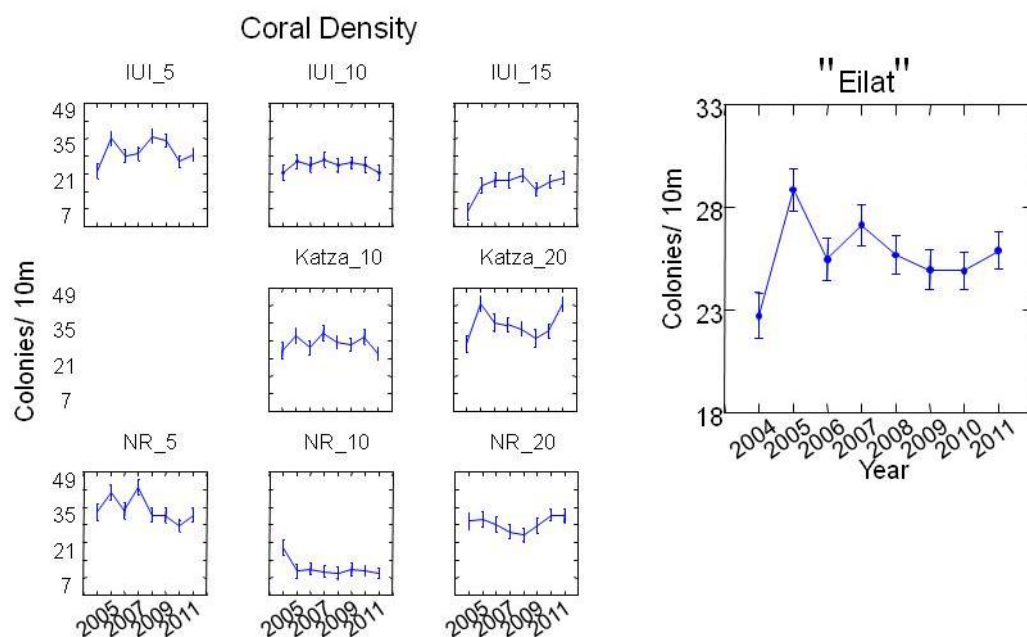
בין האתרים נמצאו גם הבדלים גדולים בצפיפות מושבות האלמוגים (מספר מושבות ממוצע בקו של עשרה מטרים). הצפיפות הגדולה ביותר נמצאה גם השנה באתר Katza-20 (כ-43 מושבות בממוצע בעשרה מטרים), והקטנה ביותר ב-NR-10 (כ-9) (איור 7). צפיפות המושבות הגבוהה יחסית אשר נמדדה בשנה הקודמת באתר NR-10 נשאה שגיאת תקן גדולה, ולא חזרה על עצמה השנה. 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. על מנת להקטין את שגיאות המדגם הנובעות מכתמיות השונית באתרים השונים כדאי להתבונן בצפיפות המושבות מנורמלת לאחוז המצע הקשה, הזמין להתיישבות (איור 7 למטה). בסך הכל, השינויים בצפיפות האלמוגים בשלוש השנים האחרונות קטנים למדי (איור 8).



איור 7: למעלה - מספר מושבות האלמוגים הממוצע בקו באורך עשרה מטרים בכל אתר. למטה - מנורמל למצע קשה הזמין להתיישבות אלמוגים.

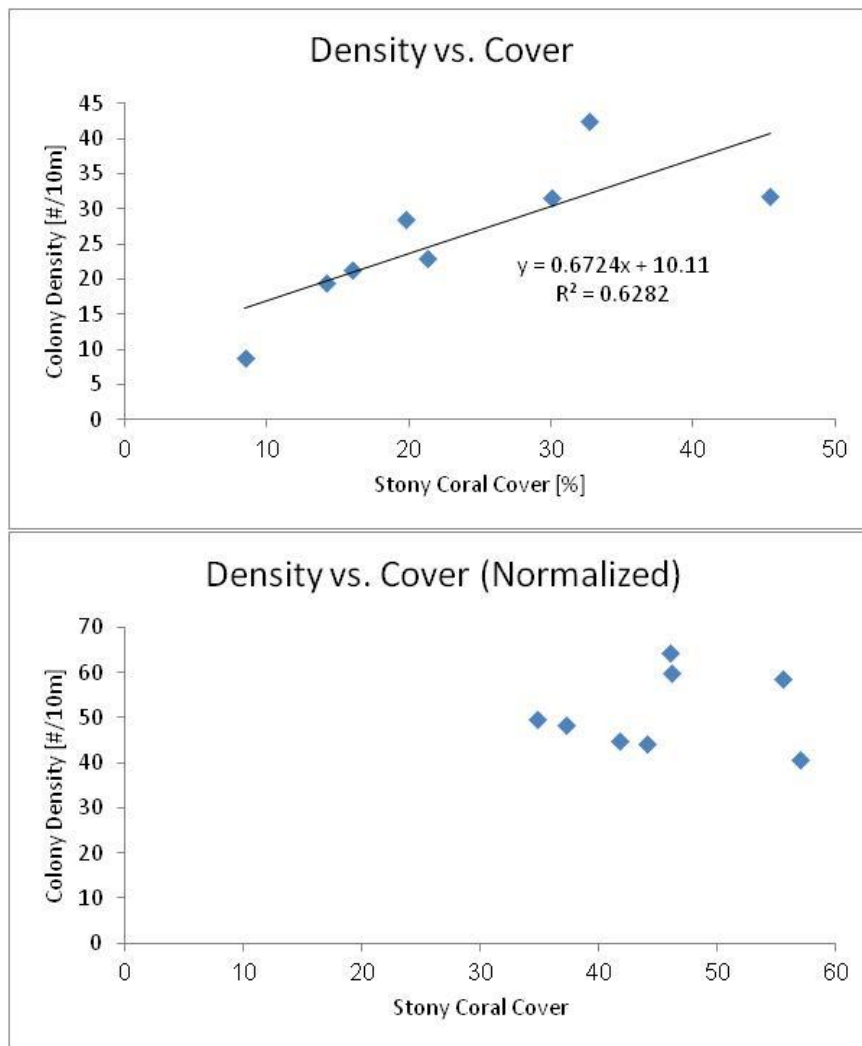
Figure B7: Top - The average number of coral colonies per ten meters line at each site. Bottom - normalized according to the hard substrate that is available for coral settlement.



איור ב8: שינויים בצפיפות ממוצעת של מושבות האלמוגים בשנים 2004-2011. 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 2004-2011. Annual values for "All Sites" differ significantly in an ANOVA test (least square means).

ישנה התאמה סבירה בין צפיפות המושבות (מספר מושבות בחתך ממוצע) ובין אחוז כיסוי האלמוגים (איור ב9, $R^2=0.63$, למעלה). אך יש לשים לב כי הכיסוי הגבוה ביותר (NR-5) אינו האתר בו הצפיפות גבוהה ביותר (KATZA-20). 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 (איור ב9, $R^2<0.01$, למטה), עובדה המצביעה על כך שהקורלציה בין צפיפות מושבות ואחוז כיסוי נבעה מאחוז 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	13	11	13	23	13	16	10	15	24	49	41	114
Stony coral	21.4	32.8	45.5	8.5	30.1	19.9	16.0	14.2	26.8	24.0	16.9	22.0
stdev	7.5	5.5	11.9	4.0	7.7	4.9	4.4	4.3	8.7	17.5	5.1	13.1
SE	2.1	1.6	3.3	0.8	2.1	1.2	1.4	1.1	1.8	2.5	0.8	1.2
CV	0.4	0.2	0.3	0.5	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3	0.7	0.3	0.6
Octocoral	1.8	2.3	1.5	2.3	5.1	0.2	0.1	0.6	2.1	2.8	0.3	1.8
stdev	1.8	2.5	1.7	2.2	4.3	0.4	0.2	0.8	2.1	3.1	0.6	2.5
SE	0.5	0.8	0.5	0.5	1.2	0.1	0.1	0.2	0.4	0.4	0.1	0.2
CV	1.0	1.1	1.2	1.0	0.9	1.8	1.6	1.2	1.0	1.1	1.7	1.4
GRV+Sand	46.5	26.6	18.1	77.4	40.3	37.7	52.2	65.7	37.2	51.8	51.5	48.6
stdev	14.5	11.7	9.2	8.4	12.6	19.0	14.4	12.5	16.6	27.4	19.7	23.4
SE	4.0	3.5	2.6	1.7	3.5	4.7	4.6	3.2	3.4	3.9	3.1	2.2
CV	0.3	0.4	0.5	0.1	0.3	0.5	0.3	0.2	0.4	0.5	0.4	0.5
Rock	24.9	31.5	24.7	9.2	19.0	36.4	28.2	13.8	27.9	15.9	26.1	22.1
stdev	9.5	5.8	11.3	5.5	5.6	18.4	12.8	7.6	8.8	10.0	16.9	13.7
SE	2.6	1.7	3.1	1.1	1.5	4.6	4.0	2.0	1.8	1.4	2.6	1.3
CV	0.4	0.2	0.5	0.6	0.3	0.5	0.5	0.5	0.3	0.6	0.6	0.6
Dead Coral	5.1	6.7	9.7	2.4	4.9	5.5	3.2	5.1	5.8	5.0	4.8	5.1
stdev	3.0	3.8	4.1	1.9	2.0	2.5	1.3	3.6	3.5	4.0	2.9	3.5
SE	0.8	1.1	1.1	0.4	0.6	0.6	0.4	0.9	0.7	0.6	0.5	0.3
CV	0.6	0.6	0.4	0.8	0.4	0.5	0.4	0.7	0.6	0.8	0.6	0.7
Normalized Cover	41.8	46.2	57.0	44.1	55.6	34.8	37.3	46.0	44.1	50.6	39.5	45.2
stdev	11.9	3.6	14.0	19.8	6.8	12.6	17.3	14.0	9.4	16.7	14.9	15.5
SE	3.3	1.1	3.9	4.1	1.9	3.2	5.5	3.6	1.9	2.4	2.3	1.4
CV	0.3	0.1	0.2	0.5	0.1	0.4	0.5	0.3	0.2	0.3	0.4	0.3
Density	22.9	42.6	31.9	8.8	31.6	28.6	21.4	19.5	31.9	21.0	23.5	24.2
stdev	6.7	10.8	4.1	4.7	8.1	7.6	5.0	3.8	13.3	12.8	23.5	11.9
SE	1.8	3.3	1.1	1.0	2.3	1.9	1.6	1.0	2.7	1.8	7.1	1.1
CV	0.3	0.3	0.1	0.5	0.3	0.3	0.2	0.2	0.4	0.6	1.0	0.5
Normalized Density	44.7	59.7	40.5	44.2	58.6	49.5	48.2	64.2	51.4	47.1	54.6	50.7
Stdev	8.4	10.3	7.0	15.5	8.6	17.1	15.3	18.5	12.1	13.9	18.4	15.6
SE	2.3	3.1	1.9	3.2	2.4	4.3	4.8	4.8	2.5	2.0	2.9	1.5
CV	0.2	0.2	0.2	0.4	0.1	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	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, "נירמול" הוא עבור מצע קשה.

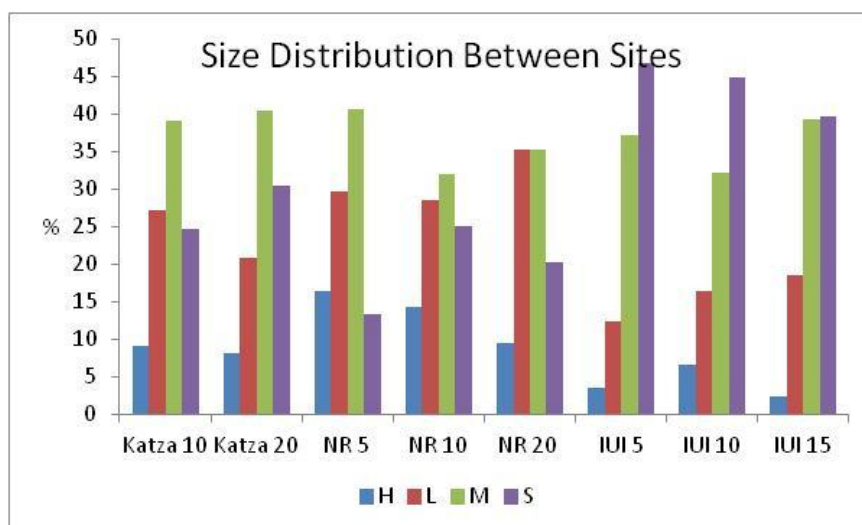
Table B2: Summary of cover data collected in line transects at the monitoring sites. Data is given as average percent cover measured in all transects at each site (combination of location and depth) with associated standard deviation, standard error and variance coefficient. Density is the number of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

גודל מושבות אלמוגים

מושבות אלמוגים תחת סרט המדידה משויכות לאחת מקבוצות הגודל קטן <5 ס"מ; בינוני <15 ס"מ; גדול >30 ס"מ; ענק >30 ס"מ על פי הערכת הסוקר. בחלוקה זו לקבוצות גודל ישנם טווחי גודל שונים כאשר הקבוצה "ענק" מכילה כל מושבה גדולה מ-30 ס"מ. לכאורה, על מנת להציג התפלגות גדלי מושבות אלמוגים, צריך לפרק קבוצה זו לתת-קבוצות רבות אשר יגלמו טווחי גודל של 5-10 ס"מ בדומה לקבוצות האחרות. אולם למעשה 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 באוכלוסיה. 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-מעופפים גדול בערך פי 4 ממספר מושבות האלמוגים המעופפים. על כן התפלגות גדלי כל האלמוגים דומה במידה רבה להתפלגות הגדלים בקבוצת האלמוגים הלא-מעופפים (ראו דו"חות הניטור הקודמים). על ההפרדה בין שתי הקבוצות מקשה העובדה שבגודל הקטן קשה, לעיתים להבחין במופע המעופף, 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 10). באתרי קצא"א והשמורה קבוצת הגודל הנפוצה ביותר היא הבינונית. באתרים אלה ישנו גם ייצוג רב יותר למושבות הגדולות, בהשוואה לאתרי IUI, ובאתר השמורה העמוק לקבוצות הגודל הגדולה והבינונית ייצוג דומה. הייצוג הנמוך ביותר לקבוצת הגודל הקטן נמצא באתר השמורה הרדוד (5-NR).

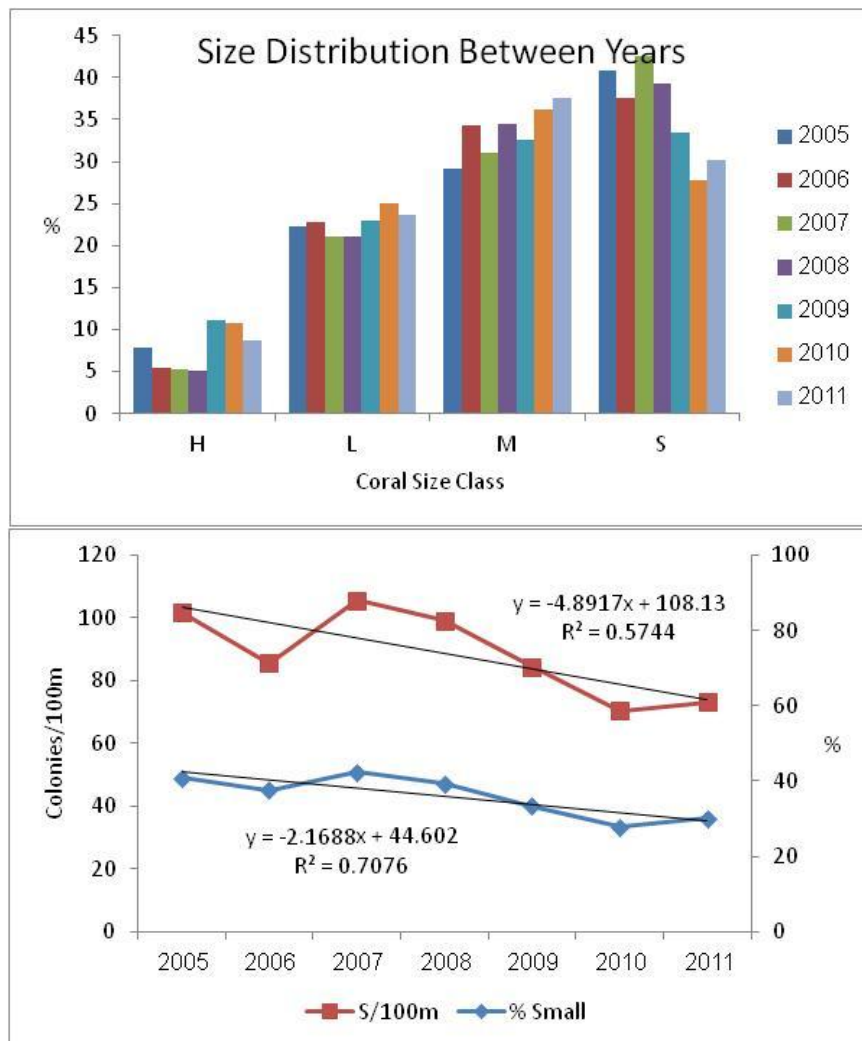


איור 10: התפלגות גודל מושבות האלמוגים באתרים הנסקרים. חלוקת הגדלים לפי המפתח הבא: Small <5 ס"מ; Medium >5 ס"מ; Large >15 ס"מ; Huge >30 ס"מ. הערכים הם אחוזים מסך המושבות מאותה קבוצה באתר.

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

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 11 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 (התיישבות).



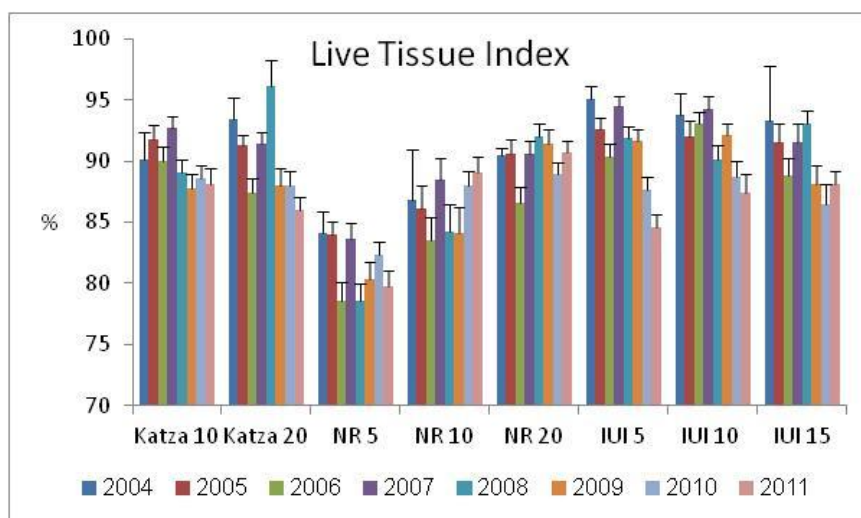
איור ב11: למעלה: שינויים בהתפלגות הממוצעת של קבוצות הגודל בכל האתרים בין השנים 2005 ו-2011. חלוקת הגדלים לפי המפתח הבא: Small < 5 ס"מ; 5 ס"מ < Medium < 15 ס"מ; 15 ס"מ < Large < 30 ס"מ; Huge > 30 ס"מ. למטה: שינויים בקבוצת הגודל "קטן" בשנות הניטור.
Figure B11: Top: Changes in the average size frequency distribution of coral colonies between 2005 and 2011. 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.

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 3ז) מצביעות על דיוק גדול בהרבה מהצפוי. צוות הניטור אשר השתתף בניסוי הוא גם הצוות הקבוע העורך את הסקרים ועובדה זו מוסיפה ביטחון בממצאי המדד.

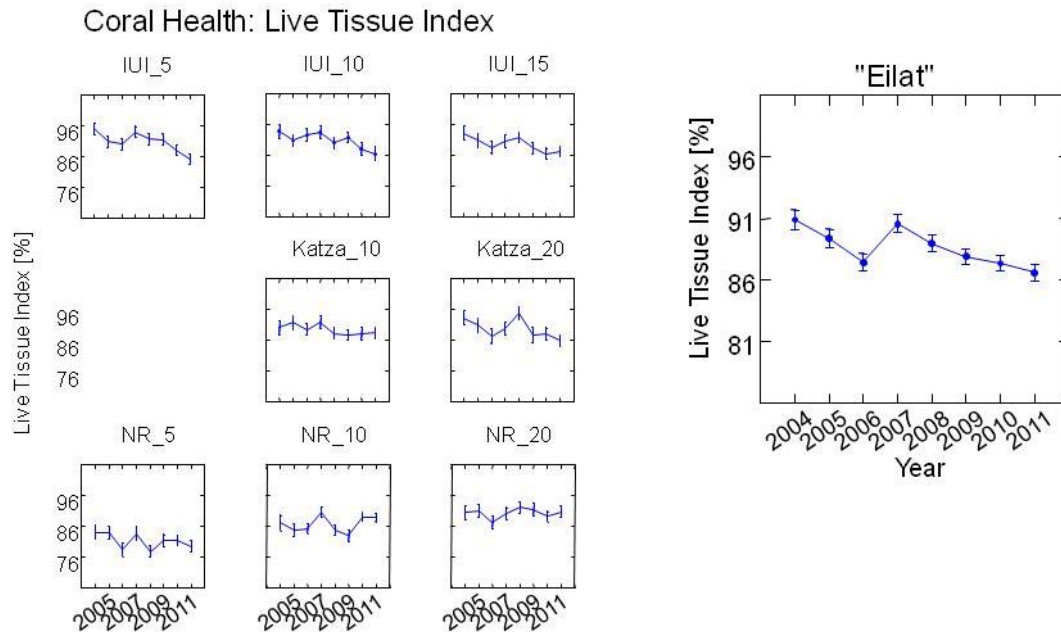
גם השנה, כמו בכל השנים הקודמות, האתר בו מדד הרקמה החיה לבריאות אלמוגים נמוך ביותר היה 5-NR (79.8%, מעט נמוך מאשר בשנה הקודמת). באתר זה מדד הרקמה החיה נמוך במיוחד עקב ריבוי המושבות הגדולות והענקיות בו, מושבות שגילן כנראה רב יותר ולכן אחוז הפגיעה הריקמתית שלהן מהווה סכימה (אינטגרציה) של שנים רבות. המדד הגבוה ביותר נמצא גם השנה באתר 20-NR (90.7%, מעט גבוה מאשר בשנה הקודמת). ברוב שאר האתרים הערכים דומים (סביב 88%) מלבד האתר 5-IUI בו נמצא ערך ביניים – 84.5% (איור ב12). מעקב מדד בריאות האלמוגים בכל אתר יעיל יותר להשוואת שינויים בזמן, ופחות להשוואה בין אתרים. על אף זאת, נמצא כי באתר 20-NR זו השנה השנייה בה אחוז הרקמה החיה גבוה מהצפוי על פי אחוז האלמוגים הקטנים בו.



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.

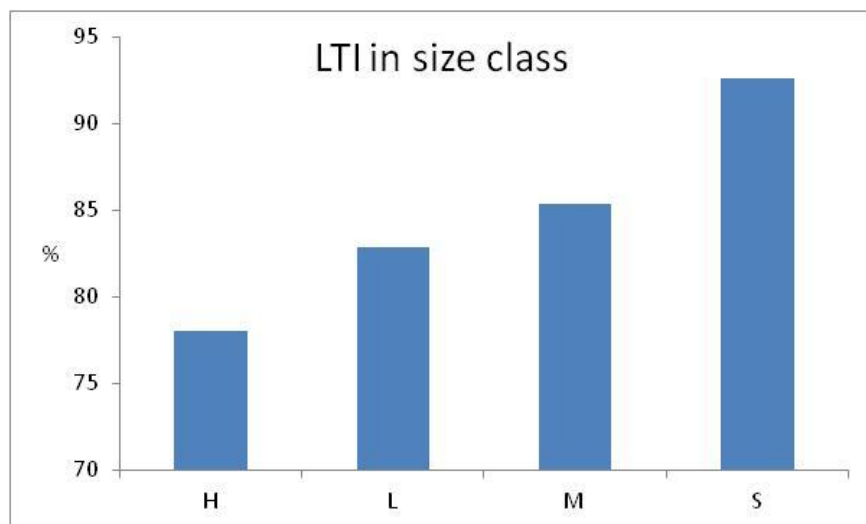
במבט כללי על סך האלמוגים בשוניות אילת נצפו בשש השנים האחרונות שני "מחזורים" של שינוי באחוז הרקמה החיה באלמוגים. בשנים 2004-6 נצפתה ירידה מתמשכת במדד הרקמה החיה, ואילו ב-2007 נמדדו ערכים גבוהים באופן משמעותי. השנים הבאות (כולל השנה הנוכחית) שוב מראות ירידה, אם כי מתונה, באחוז הרקמה החיה - לערך ממוצע דומה לזה של 2006 (איור ב13). הירידה בערך מדד הרקמה החיה באלמוגים בין השנים הינו מובהק, אך האינטראקציה בין שנים ואתרים אינה מובהקת (two way ANOVA, $P=0.090$) ומשמעותה, שאתרים השתנו עם הזמן באופן שאינו נבדל סטטיסטית. במילים אחרות – המגמה עשויה לייצג תהליך המתרחש ב"שוניות אילת".



איור ב13: השינוי במצב האלמוגים על פי האחוז הממוצע של רקמה חיה במושבות אלמוגים (LTI) באילת בשנים 2004-2011.

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 2004-2011.

מדד רקמה חיה נמוך צפוי באתרים בהם האלמוגים גדולים, מכיוון שתמותה חלקית פוגעת באלמוגים גדולים/בוגרים יותר מאשר באלמוגים קטנים/צעירים (איור ב14) – אולי מכיוון שאלמוגים קטנים ימותו עם הפגיעה ולא יכללו במדד, או כי ההסתברות לפגיעה עולה עם הגיל.



איור ב14: השוואה בין מדד הרקמה החיה לבריאות אלמוגים במושבות מקבוצות גודל שונות.

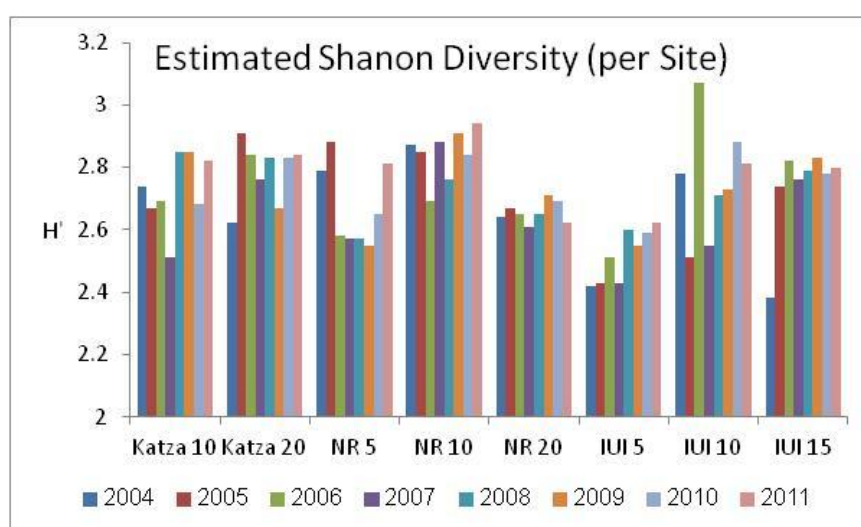
Figure B14: Top- A comparison of the Live Tissue Index in corals of different size class.

מגוון מינים

מגוון המינים מוערך לפי מדד Shannon-Wiener (H') על ידי תכנת EstimateS (Colwell, 2005). בתכנה זו מחושב מגוון המינים לאתר על ידי צבירת נתוני כל חתך עד לקבלת הערכה הנסמכת על מספר החתכים המקסימלי שנעשה, תוך התחשבות במינים נדירים (ראו דיון מפורט בדרכים להערכת מגוון המינים בדו"ח הניטור 2006). התוצאות (איור ב15) ניתנות כהערכת מגוון המינים עבור כל אתר בשלמותו בהסתמך על נתוני חתכי הקו וחישובי EstimateS. בתכנית הניטור נעשה שימוש במגוון המינים המבוסס על מספר מושבות האלמוגים בחתכים. בהשוואות שנעשו בין מדדים המבוססים על אורך מצטבר

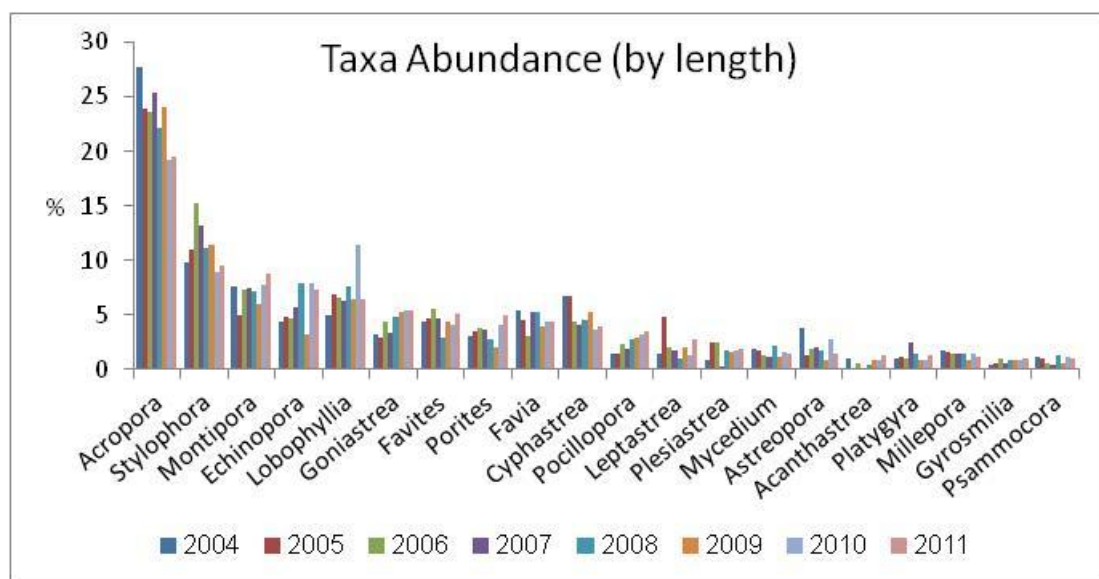
(שטח) של אלמוגים לעומת ספירה נמצא כי ערך המדד המבוסס על ספירה גבוה מעט מהערך המבוסס על שטח.

המגוון הנמוך ביותר נמצא השנה באתרים 5-IUI ו-20-NR ($H' = 2.62$). באתר 5-IUI בו נמצא המגוון הנמוך מאז תחילת הניטור, עלה מעט ערך המדד בהשוואה לשנים הקודמות. המגוון הגבוה ביותר, 2.94, חושב עבור 10-NR (מעט גבוה יותר מהמדד הגבוה בשנה הקודמת, 2.88). השינויים בין השנים במגוון המינים המוערך על פי מדד Shannon-Wiener אינם מצביעים על קיומה של מגמה כלשהי, אם כי באתרים 10-IUI ו-10-NR המדד עולה נראית מגמת עלייה לאורך זמן. חישוב המדד למגוון עבור כלל שוניות אילת נתן השנה ערך של 3.0 (בדומה לשנים הקודמות). בחישוב עבור כיסוי האלמוגים (להבדיל ממספר המושבות) התקבל גם השנה ערך נמוך יותר למדד המגוון של Shannon-Wiener, 2.89, גם זאת בדומה לשנים קודמות. תוצאה זו עשויה להצביע על משקל גדול של אלמוגים בעלי שטח גדול המצויים במספרים יחסית נמוכים, מכיוון שמדד Shannon-Wiener מושפע מאד ממידת האחידות (evenness) של אלמוגים מסוגים שונים. לכן גם נמצא מגוון גבוה באתרים בהם האלמוגים קטנים והכתימות גדולה.



איור B15: מגוון הסוגים הממוצע של אלמוגים באתרים השונים לפי מדד Shannon-Wiener, כפי שהוערכו עבור כל אתר על ידי תכנת EstimateS (Colwell, 2005; <http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS>).
Figure B15: The Shannon-Wiener diversity index of coral taxa estimated for each site by the EstimateS software (Colwell, 2005; <http://viceroy.eeb.uconn.edu/EstimateS>).

עשרים סוגי האלמוגים הנפוצים ביותר בשטח הניטור מופיעים באיור ב-16 לפי סדר אחוז הכיסוי של סוגים אלה ביחס לכלל האלמוגים בשנת 2011. נראה כי למרות שאלמוגי *Acropora* מהווים את חלק הארי מסך הכיסוי של אלמוגים חיים (כ-19.5% השנה, בירידה לעומת השנים האחרונות), חברת האלמוגים באילת מגוונות ואין בה סוג דומיננטי באופן בולט. טבלה 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. עובדה זו מדגישה את חשיבותם של המינים הנדירים בקביעת מדדי עושר ומגוון המינים בשוניות של אילת.



איור ב16: עשרים האלמוגים הנפוצים ביותר בשוניות אילת (לפי האורך הנמדד בחתכי הקו מנתוני 2004 בשנים 2004-2011, מסודרים לפי סדר התפוצה בשנת 2011).

Figure B16: 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 2004-2011, arranged according to their abundance in 2011.

									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>	5.96	4.70	8.59	2.84	6.58	2.45	3.36	1.61	5.38	5.36	2.36	4.29
<i>Stylophora</i>	2.72	3.04	3.32	0.33	1.08	3.07	2.53	1.97	2.86	1.32	2.53	2.08
<i>Montipora</i>	2.65	4.73	1.45	0.58	5.94	0.61	0.64	0.65	3.60	2.23	0.63	1.95
<i>Echinopora</i>	1.71	4.05	4.95	0.33	2.62	0.47	0.10	0.15	2.78	2.16	0.26	1.61
<i>Lobophyllia</i>	0.26	1.04	10.29	0.28	0.30	0.01	0.12	0.05	0.62	2.94	0.05	1.41
<i>Goniastrea</i>	0.40	1.10	4.51	0.72	1.65	0.97	0.39	0.06	0.72	1.97	0.50	1.18
<i>Favites</i>	0.97	3.17	0.92	0.42	1.57	1.17	0.96	0.63	1.98	0.86	0.92	1.12
<i>Porites</i>	1.12	1.35	2.13	0.14	3.20	0.08	0.54	1.11	1.23	1.48	0.57	1.10
<i>Favia</i>	0.35	0.63	1.09	0.43	0.51	3.03	0.75	0.89	0.48	0.63	1.69	0.98
<i>Cyphastrea</i>	0.67	1.98	0.94	0.28	1.02	1.36	0.98	0.43	1.27	0.65	0.93	0.88
<i>Pocillopora</i>	0.24	0.27	0.27	0.51	0.09	1.38	1.71	1.68	0.25	0.34	1.57	0.76
<i>Leptastrea</i>	0.45	1.11	0.65	0.07	0.43	1.03	0.94	0.76	0.75	0.32	0.91	0.62
<i>Plesiastrea</i>	0.60	0.92	0.27	0.13	1.35	0.21	0.21	0.00	0.75	0.49	0.13	0.42
<i>Mycedium</i>	0.85	0.08	1.82	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.49	0.00	0.31
<i>Astreopora</i>	0.05	0.26	0.16	0.25	1.06	0.20	0.28	0.25	0.15	0.44	0.24	0.31
<i>Acanthastrea</i>	0.12	0.39	0.18	0.09	0.55	0.64	0.26	0.17	0.25	0.24	0.37	0.29
<i>Platygyra</i>	0.25	0.00	0.44	0.28	0.17	0.71	0.06	0.12	0.14	0.29	0.33	0.28
<i>Millepora</i>	0.02	0.05	0.31	0.10	0.04	0.69	0.38	0.55	0.03	0.14	0.56	0.27
<i>Gyrosmlia</i>	0.00	0.00	0.00	0.18	0.09	0.01	0.15	1.33	0.00	0.11	0.53	0.24
<i>Psammocora</i>	0.32	0.35	0.38	0.07	0.72	0.06	0.00	0.10	0.34	0.33	0.06	0.23
Stony Corals	21.72	32.70	45.47	8.48	30.06	19.85	16.02	13.99	26.75	24.02	16.77	21.99

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.

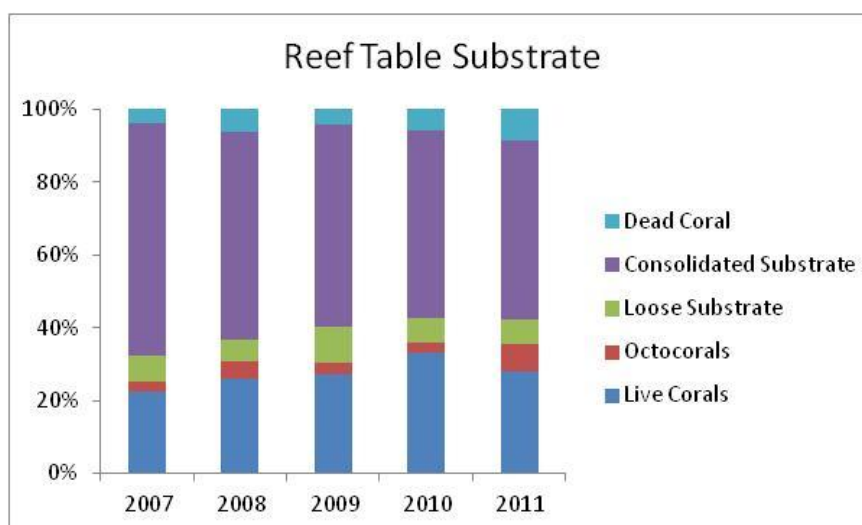
שולחן השונית

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.

אופיו השונה של שולחן השונית ניכר בין היתר בהתפלגות סוגי התשתית שבו. סלע שונית מלוכד מהווה את רב שיטחו של שולחן השונית (איור ב17). בניגוד לאתרי קידמת השונית, שם האחוז הגבוה ביותר של סלע מלוכד חשוף שנמדד השנה הוא כ-36% (5-IUI), בשולחן השונית שטח הסלע המלוכד החשוף מהווה השנה כ-48% (ירידה לעומת השנים הקודמות בהן נמדד תמיד יותר מ-50% סלע מלוכד חשוף בשולחן השונית) ואילו אחוז הקרקע הלא מלוכדת כ-6.5% (בדומה לשנים הקודמות). כתוצאה מכך ההבדל בין אחוז הכיסוי החי לאחוז הכיסוי המנומל (מתוך סך המצע הקשה) אינו גדול בשולחן השונית. השנה נמדדה ירידה בכיסוי אלמוגי האבן החיים בשולחן השונית (כ-28%, איור ב18), ערך דומה לזה שנמדד לפני שנתיים. גם באחוז הכיסוי המנומל לשטח המצע הקשה נרשמה ירידה קלה השנה (33%, איור ב18). במקביל נמדדה עלייה בשטח האלמוגים המתים (כ-9%) ובשטח האלמוגים הרכים (כ-8%). בהינתן ירידה בכיסוי אלמוגי האבן, נראה כי העלייה בשטח האלמוגים הרכים עשויה להסביר את רוב הירידה בשטח הסלע החשוף, הפנוי להתייבשות.

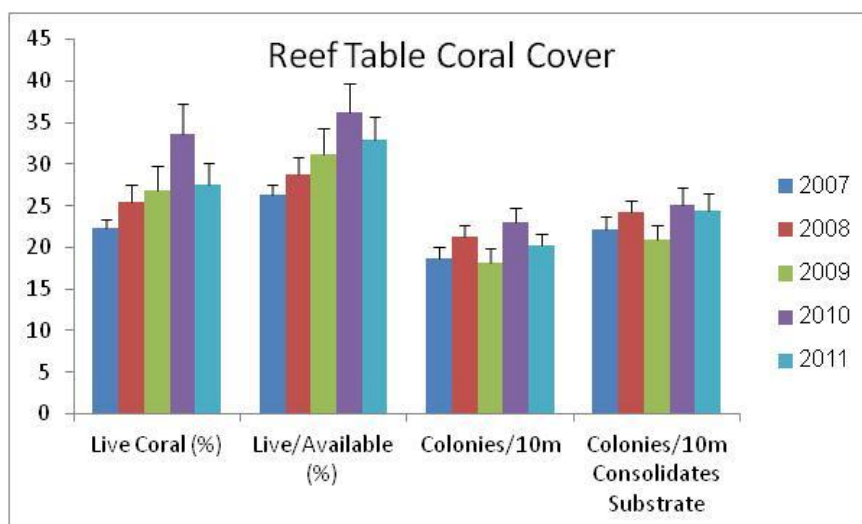
מגוון המינים לפי מדד Shanon-Wiener כפי שמוערך על ידי תכנת EstimateS (Colwell, 2005) היה השנה 2.58, ערך נמוך ממדידות השנים שעברו (איור ב19). בכל השנים נראה כי מדד המגוון בשולחן השונית נמוך מהערך הממוצע באתרי קדמת השונית (ראו למעלה). עובדה זו צפויה, עקב התנאים האחידים והקיצוניים יותר בשולחן השונית.

בשולחן השונית נמצאו השנה 23 סוגי אלמוגים, לעומת 42 בכל אתרי קדמת השונית. עשרים המינים הנפוצים בשולחן השונית השנה מוצגים כנגד עשרים המינים הנפוצים באתרי קדמת השונית בטבלה ב4. רוב האלמוגים הנפוצים מצויים בשני בתי הגידול, אך ישנם הבדלים חשובים, למשל האלמוג *Lobophyllia* אשר תופס מקום נכבד באתרי קדמת השונית אינו מצוי על גבי שולחן השונית. לעומת זאת, האלמוג *Platygyra* אשר לו מקום חשוב בשולחן השונית אינו נפוץ במיוחד באתרי קדמת השונית.

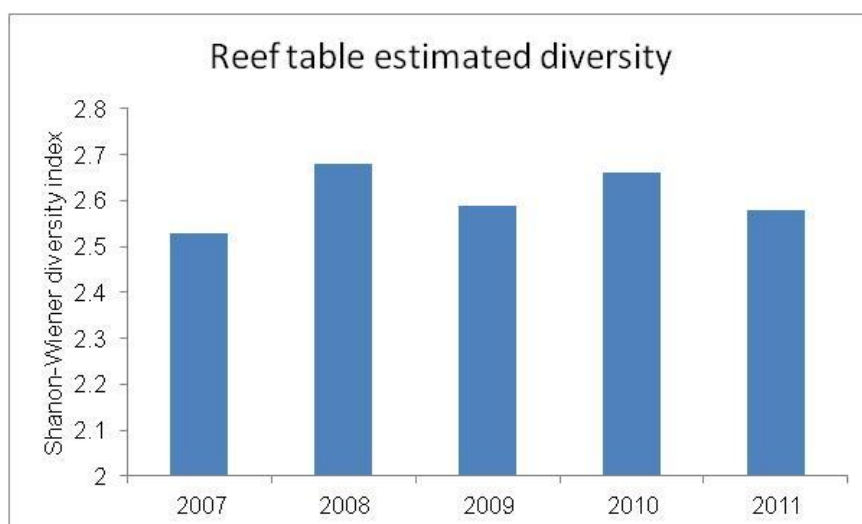


איור ב17: אחוזי הכיסוי המצטברים של אלמוגים, חול, סלע, ואלמוגים מתים. האחוזים הם ממוצעים מתוך כל חתכי הקו.

Figure B17: Cumulative percent cover of live corals, sand, rock and dead corals. Values are averages of line transect values.



איור ב18: אחוז כיסוי האלמוגים וצפיפות מושבות בשולחן השוני 2007-2011.
Figure B18: Percent cover of live corals, and density of coral colonies on the reef table.



איור ב19: מדד Shanon-Wiener למגוון המינים של אלמוגי אבן בשולחן השוני 2007-2011.
Figure B19: Shanon-Wiener diversity of stony corals in the years 2007-2011.

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

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

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 השונית ושולחן השונית בשיטת חתכי הקו. חלקים נוספים, אשר ידונו בהמשך, הם סקר אזור הלגונה, המבוצע בשיטה של ריבועי דיגום סדורים, וצילום אתרים קבועים בשונית. אפיון סטטיסטי של אתרי השונית באמצעות סקרים בשיטת חתכי הקו מצביע על מצב השונית בכל אתר, ואינו מתייחס לגורלה של מושבת אלמוגים זו או אחרת. חזרה על הסקרים באופן סדיר לאורך תקופה ארוכה מאפשרת מעקב אחר שינויים בזמן של מאפייני חברת שונית האלמוגים בשוניות הנמצאות בשטח ישראל. מדידה לאורך חתכים קווים יעילה במיוחד למדידת מאפיינים הקשורים לשטח (אחוזי כיסוי, התפלגות מצע וכד'), ופחות יעילה למדידות המבוססות על ספירה (התפלגות גדלים, צפיפות מושבות וכד') עקב ההטיה המובנית כנגד מושבות בגודל קטן. התפתחות טבעית של "שונית" וכך גם השינויים במאפייני שונית שאינם תוצאה של הפרעה מסיבית הינם תהליכים איטיים ולא בהכרח מונוטוניים. השונית 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 מדאגות, כמו גם לגלות מחזוריים טבעיים ארוכי-גל.

עם הצטברות הנתונים משנה לשנה משתפרת יכולת האבחון הסטטיסטית.

- 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 השונית 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.
- כיסוי האלמוגים בשוניות אילת עלה באופן מובהק מאז תחילת הניטור (2004) ובפרט מאז שנת 2007. עלייה בכיסוי האלמוגים הוא גם המצב הנפוץ ברוב האתרים בשנים האחרונות.
- גם כיסוי האלמוגים המנומל לשטח המצע הקשה גבוה משמעותית השנה בהשוואה לתקופה בה החלה תכנית הניטור למדוד. עיקר השיפור בשנת 2007, ומאז נותר הכיסוי

- המנורמל גבוה. על אף זאת בשנתיים האחרונות ישנה ירידה קלה בכיסוי האלמוגים המנורמל לכמות המצע הזמין להתיישבות בכל אתר.
- באתרי IUI הרדודים נמצא ניצול המצע הנמוך ביותר וכן האחוז הגבוה ביותר של מושבות קטנות, בהשוואה לאתרי קדמת השונית הנמדדים באתרים 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.
 - במשך שנות הניטור נמצאה ירידה בחלקן של המושבות ה"קטנות" באתרי הניטור ועליית-מה בחלקן של המושבות משאר קבוצות הגודל. נראה כי הירידה בחלקן היחסי של המושבות הקטנות נובע במידה רבה מירידה בכמות המושבות הקטנות. קצב הירידה בכמות המושבות הקטנות בשוניות 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 בקצב "אספקת" מושבות קטנות חדשות במקומן.
 - מדד הרקמה החיה במושבות אלמוגים כסמן לבריאות אלמוגים הוסיף לרדת גם השנה, ובסך הכל ישנה ירידה הדרגתית מתמשכת מהערך הגבוה של 2007.
 - במושבות קטנות אחוז הרקמה החיה גבוה מאשר במושבות גדולות מכיוון שבמושבות אלה נדיר למצוא תמותה חלקית – אם בגלל שמושבות קטנות טרם הספיקו להיפגע או בגלל שמושבות קטנות אינן שורדות פגיעה ובזמן קצר ימותו לחלוטין. לפיכך הירידה המתמשכת במדד הרקמה החיה יכול לנבוע, בחלקו לפחות, מגדילת מושבות האלמוגים באילת וירידה בחלקן היחסי.
 - מגוון המינים על פי מדד Shanon-Wiener כמו גם הרכב חברת האלמוגים באתרי הניטור אינם שונים משמעותית משנה לשנה, עדות להרכב חברה יציב. גם השנה התקבל ערך נמוך יותר בחישוב המגוון על סמך שטח הכיסוי (2.89) לעומת המגוון על סמך מספר המושבות (3.0).
 - זו השנה הרביעית בה נסקר שולחן השונית בשמורת האלמוגים. לאתר זה התייחסות נפרדת מאשר לשאר אתרי הניטור, הממוקמים בקדמת השונית, עקב אופיו השונה והמיוחד. כיסוי האלמוגים בשולחן השונית היה השנה נמוך מעט מאשר בשנה הקודמת, ודומה לערך שנמדד בשנת 2009 (כ- 28%). מגוון המינים בשולחן השונית גם הוא נמוך יחסית, 2.58 (על פי מדד Shanon-Wiener).

ב.2. צילום אתרים קבועים

מטרה

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

שיטות

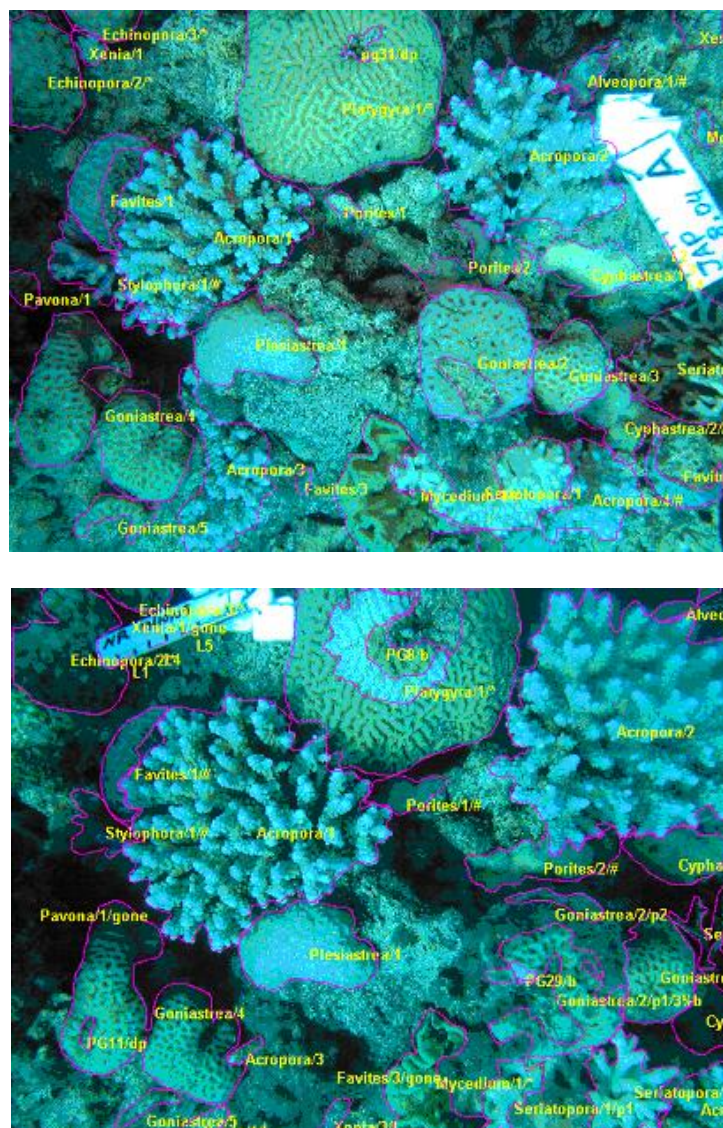
צילום חוזר של שטחי שוניות קבועים באתרי שוניות בחוף הצפוני, חוף הדקל, קצא"א, שמורת האלמוגים, המעבדה הימית, וטאבה (איור ב20). בכל אתר חוברה לסלע תושבת קבועה המיועדת למצלמה, בחמש נקודות נבחרות. בכל נקודה מצולמת השונית בארבעה כיוונים על ידי סיבוב המצלמה בתושבתה. באופן זה ניתן לחזור ולצלם את אותו השטח בדיוק בזמנים שונים (איור ב21). בסך הכל מוקמו 30 נקודות ובכל נקודה מצולמות ארבע תמונות לניתוח כמותי של השינויים באתרים השונים. עקב בלאי והתפוררות סלע השונית המחזיק את התושבות אובדות מדי שנה מספר נקודות, ומספר התמונות מצטמצם. בנסיון לשמור על מספר נקודות קבוע הוספו לעיתים נקודות חדשות במקום נקודות חסרות, בפרט באתרים קצא"א ושמורת חוף אלמוג. בניתוח הנתונים נעשית השוואה בין תמונות חופפות בכל סקר. סקר הצילום נערך בכל שנה באותה עונה.

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

זו השנה השניה בה נעשית הדיגיטציה ושמירת הנתונים במערכת GIS. תמונות חדשות עברו דיגיטציה בעזרת GIS, ותמונות של שנים עוקבות יישמרו כשכבות נפרדות עבור כל נקודה (איור ב22). 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 אומדן כללי של קצבי הגידול, התמותה וההתיישבות של אלמוגים לאורך חופי אילת. התוצאות מוצגות באופן גרפי ועוברות גם עיבוד סטטיסטי. בכל המקרים בהם מופיעים קווי שגיאה, הם מייצגים את שגיאת התקן (Error bars represent the standard error).

איור ב20: אתרי הסקר המצולם לאורך חופי אילת (מסומנים בירוק).
 Figure B20: Sites of the photo-survey of coral reefs along the Eilat coastline (green markers).



איור ב21: 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.

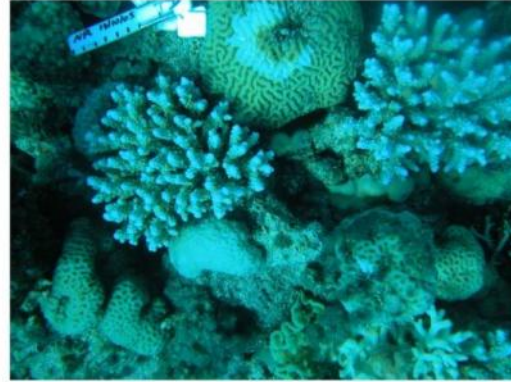
Figure B21: A set of photographs from one of the photo-survey sites in the nature reserve reef (2004 top, 2005 bottom). Among the observed changes are partial mortality of the massive coral *Platygyra 1* (top center), and growth of two colonies of the branching coral *Acropora 1* and *2*, (center and 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 ב22: שמונה שנות מעקב אחר אתר מצולם (שמורת האלמוגים, נקודה A, כיוון מערב).

Figure B22 : Eight years of documentation at permanent photo site Nature Reserve, point A, looking west.

תוצאות

זו השנה השנייה 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 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 האקולוגים באמצעות חתכי הקו.

במהלך שנת 2011 נותחו 111 תמונות לצורך השוואה עם השנים הקודמות (טבלה ב5). בסך הכל נספרו 2328 מושבות מכל הסוגים (לעומת 2341 ב-101 תמונות בשנה הקודמת), מתוכן 1973 מושבות אלמוגי אבן. שטחן של 1250 מושבות אלמוגי אבן נמדד לצורך השוואת שטחים בין השנים. בכל האתרים המצולמים מספר מושבות האלמוגים הלא-מעונפים (גושיים, מרפדים, סוליטריים וכו') גדול בהרבה ממספר המושבות של אלמוגים מעונפים. המספר הגדול ביותר של מושבות מכל הסוגים נסקר גם השנה באתר המכון הבינאוניברסיטאי (632 מושבות השנה, לעומת 733 בשנה הקודמת) ומספר המושבות הקטן ביותר נסקר באתר החוף הצפוני. צפיפות מושבות ממוצעת הגבוהה ביותר בתמונה נמדדה באתר המכון (כ-32 מושבות, מתוכן כ-28 אלמוגי אבן), ובחוף הצפוני כ-13 מושבות בלבד מכל הסוגים. שטח האלמוגים הגדול ביותר נסקר באתר שמורת חוף אלמוג. יש לזכור כי מספר התמונות אינו שווה בין האתרים, וגם משתנה מעט בין שנה לשנה בהתאם למצב הצובות הצילום. מספר מושבות האלמוגים המעונפים קטן בערך פי 5 ממספר המושבות של לא-מעונפים, ושטח האלמוגים המעונפים קטן פי 2.5 מזה של הלא-מעונפים.

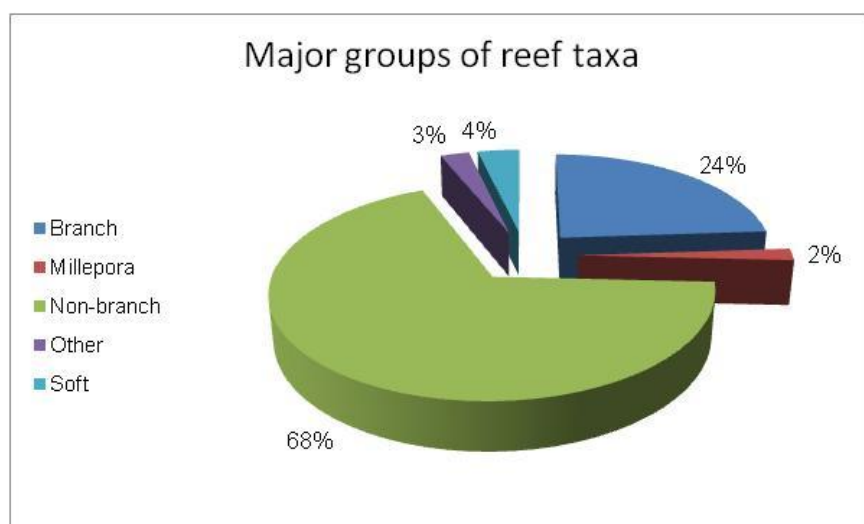
Site	No. of Pictures	Branching stony corals		Non-branching stony corals		All colonies (stony, soft and others)	
		No. of colonies	Area (k-pixels)	No. of colonies	Area (k-pixels)	No. of colonies	Area (k-pixels)
NB	12	19	498	135	12571	161	14483
Dekel	14	44	4890	138	22823	202	29694
Katzaa	24	78	5922	285	14309	406	21616
NR	23	115	13763	325	19291	546	35993
IUI	20	83	3579	471	9113	632	13192
Taba	18	36	3927	244	14616	381	21278
Total	111	375	32579	1598	92723	2328	136256
Site	No. of Pictures	Branching stony corals		Non-branching stony corals		All colonies (stony, soft and others)	
		No. of colonies	Area (k-pixels)	No. of colonies	Area (k-pixels)	No. of colonies	Area (k-pixels)
NB	12	9	125	83	3445	97	4134
Dekel	14	14	1136	60	7074	80	8410
Katzaa	24	50	1722	209	8263	294	10785
NR	23	57	3256	207	9293	338	14577
IUI	20	53	1245	344	6430	455	8078
Taba	18	17	1289	147	5862	228	8377
Total	111	200	8773	1050	40366	1492	54361

טבלה ב5: סיכום נתוני השטחים ומספר מושבות האלמוגים שנאספו בסקר הצילום בשנת הניטור 2011. "שטח מושבת אלמוגים" הוא שטח ההיטל המצולם שלה. 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 2011 photo-

survey session. The “area” of a colony is its pictured area. 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.

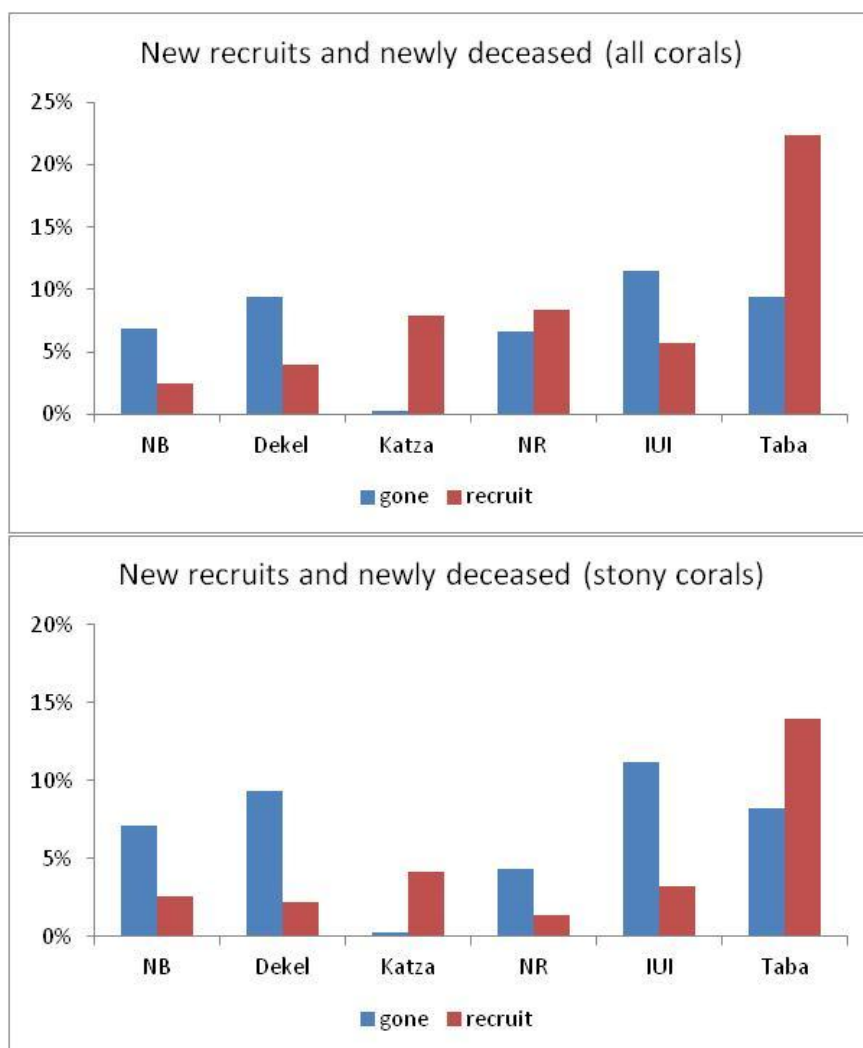
חברת השונית באתרים המצולמים מורכבת בעיקר מאלמוגי אבן (סה"כ כ- 92%) מתוכם 68% אלמוגים לא מעונפים ו-24% אלמוגים מעונפים (איור ב23). הקבוצה העיקרית הנוותרת, כ- 4%, היא האלמוגים הרכים. בקבוצת "אחרים" כלולים צדפות, מאקרו-אצות, ספוגים ועוד. ראוי להזכיר שבחירת השטחים המצולמים נעשתה שלא באקראי והייתה מוטה לטובת כתמי שונית עתירי אלמוגי אבן.



איור ב23: התפלגות הקבוצות העיקריות המרכיבות את חברת השונית באתרים המצולמים בשנת 2011, על פי אחוז השטח היחסי אותו הם תופסים.

Figure B23: Distribution of the main taxa groups comprising reefs at the permanent photo-sites in 2011, according to the relative (percent) area which they occupy.

עודף (מספרי) של התיישבות על פני תמותת מושבות מכל הסוגים נמצא השנה באתרים טאבה, חוף אלמוג וקצא"א. עודף התיישבות של אלמוגי אבן נמצא רק באתרים טאבה וקצא"א (איור ב24). 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 גם באתרים בהם מספר המתיישבים גדול ממספר המושבות שמתו.



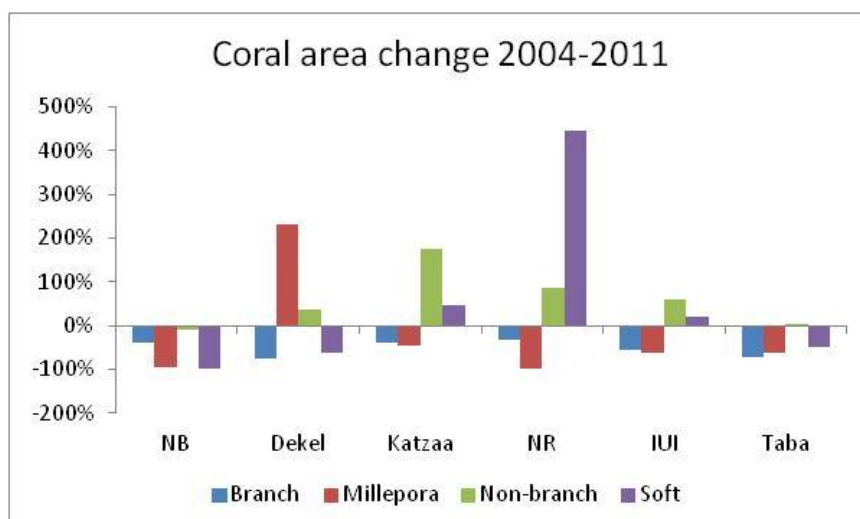
איור ב24: התיישבות ותמותה של מושבות אלמוגים מכל הסוגים (למעלה) ושל אלמוגי אבן (למטה) באתרים המצולמים בשנת 2011. על מנת לאפשר השוואה בין האתרים הנתונים מוצגים כאחוזים מכלל המושבות באתר.

Figure B24: Colony recruitment and death for all corals (top) and for stony corals only (bottom) at the photo-survey sites in 2011. To allow a comparison between sites the data are presented as percent of the total number of colonies at each site.

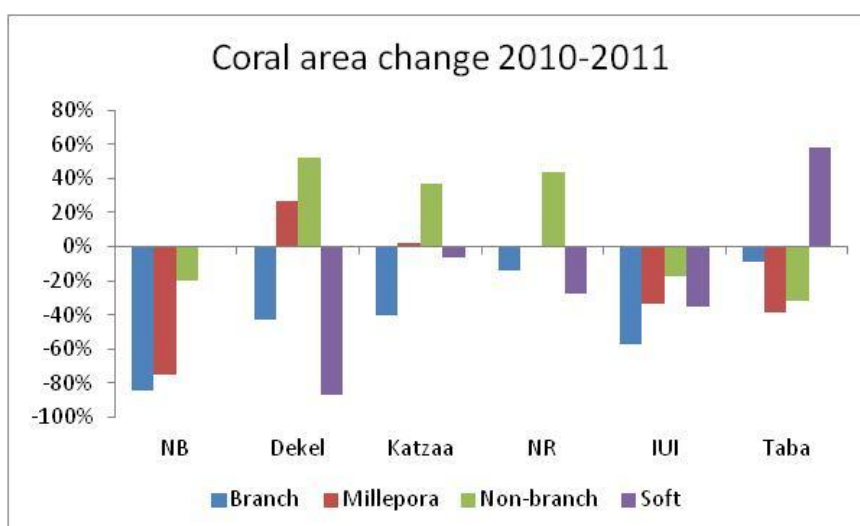
שינויים בשטח החי של אלמוגים מכל הסוגים (כולל תמותה והתיישבות), להלן "השינוי בשטח", מחושב על ידי חיסור סך השטח הנמדד בתמונות 2011 מסך השטח אשר נמדד בשנת 2004 בה נעשתה סידרת הצילומים הראשונה עבור אותן תמונות. המספר הרב של מושבות באנליזה זו גורם לכך שתנועות אקראיות של המצלמה בין השנים מבטלות זו את זו.

השינויים בשטח האלמוגים הרכים ואלמוגי האש גדולים, בדרך כלל, מהשינויים בקבוצות אלמוגי האבן ועומדים על מאות אחוזים (איור ב25). גידול מרבי היה בשטח אלמוגים רכים באתר השמורה. גידול בשטחם של אלמוגי אבן נמצא באתרים IUI, השמורה, קצא"א והדקל עבור אלמוגים לא-מעונפים. שטח האלמוגים המעונפים ירד מאז שנת 2004 בכל האתרים המצולמים. בשל המהירות הגדולה בה מתפשטים אלמוגים רכים ואלמוגי אש ביחס לאלמוגי אבן, גידול בשיטחן של קבוצות אלה עשוי להצביע על "כיבוש" שטח שוניתי מידי אלמוגי האבן ועל כן אינו בהכרח סימן לבריאות השונית.

בשנה האחרונה נמצא גידול בשטח אלמוגי האבן הלא-מעונפים באתרים דקל, קצא"א והשמורה בלבד. שטח האלמוגים המעונפים ירד בשנה האחרונה בכל האתרים המצולמים, וברובם במידה רבה (איור ב26).

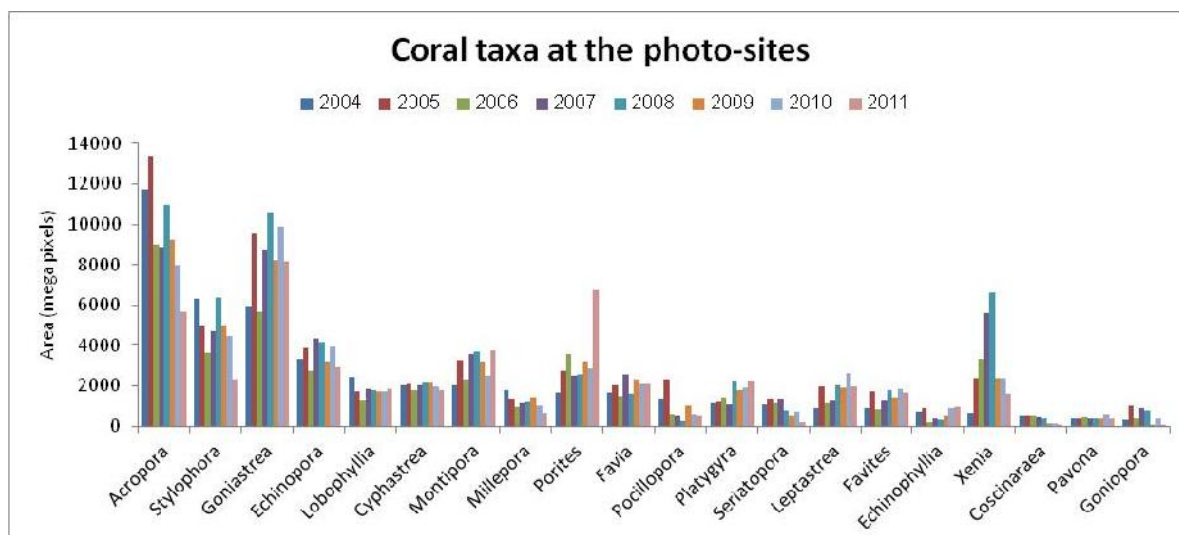


איור ב25: השינוי הממוצע בסך שטח האלמוגים בכל אתר. שינויי שטח מחושבים כהפרש שטח האלמוגים מאותה תמונה בין השנים 2004 ו-2011 חלקי שטח האלמוגים בשנת 2004, וניתן באחוזים.
Figure B25: The average change in live cover for each site. Area changes are the difference in colony area between colonies of a single site between the 2004 photo and the 2011 photo, normalized by the colony area of the 2004 and given as percent change.



איור ב26: השינוי הממוצע בסך שטח האלמוגים בכל אתר בשנה האחרונה. שינויי שטח מחושבים כהפרש שטח האלמוגים מאותה תמונה בין השנה הנוכחית לשנה הקודמת חלקי שטח האלמוגים בשנה הקודמת, וניתן באחוזים.
Figure B26: The average change in live cover for each site in the past year. Area changes are the difference in colony area between colonies of a single site between photos of this year and the previous year, normalized by the colony area of the previous year and given as percent change.

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* ובארבע השנים האחרונות קטן שטחו באתרים המצולמים בכ- 50% (איור ב27). בשנים האחרונות האלמוג *Goniastrea* תופס שטח נרחב יותר. השנה נרשם גידול ניכר בחלקו היחסי של האלמוג הגושי מסוג *Porites*. בסך הכל, השינויים בשטח מאז 2004 לגבי האלמוגים המוצגים באיור ב27 הוא ירידה של כ-3%.



איור ב27: עשרים סוגי האלמוגים הנפוצים ביותר (לפי שטח) בסדרות הצילום 2004-2011.
Figure B27: The twenty most abundant corals (by area) in the 2004-2011 photo-surveys.

סיכום

שינויים בשטח האלמוגים כוללים הן צמיחת מושבות קיימות, הן תמותת אלמוגים והן התיישבות של אלמוגים חדשים. באתרים IUI, שמורה, דקל והחוף הצפוני נספרו יותר מושבות אלמוגי אבן שמתו בשנה האחרונה מאשר מושבות חדשות שהתיישבו. רק באתרים המצולמים בקצא"א וטאבה היה עודף של התיישבות על תמותת אלמוגי אבן. לרוב, השטח האובד על ידי תמותה גדול מהשטח הנוסף על ידי התיישבות מכיוון שהתיישבות היא בהכרח של אלמוגים קטנים ואילו תמותה עשויה לפגוע הן במושבות קטנות והן במושבות גדולות. בשנה האחרונה חל גידול בשטח אלמוגי אבן רק באתרים דקל, קצא"א והשמורה. מאז שנת 2004 חל גידול בשטח אלמוגי אבן רק באתרים קצא"א והשמורה. האלמוג *Acropora* שתפס את השטח הגדול ביותר באתרים המצולמים בשנים הראשונות מאבד בשנים האחרונות כ-50% משיטחו. האלמוג בעל השטח הגדול ביותר באתרים המצולמים מאז 2008 הוא *Goniastrea*.

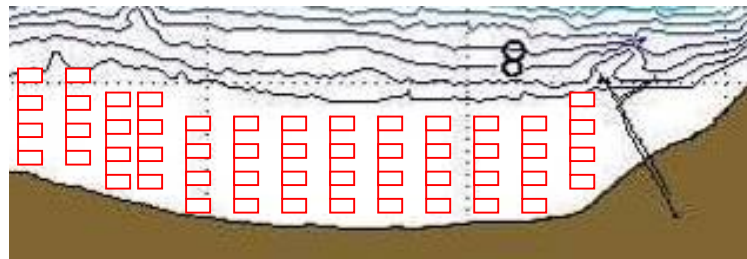
ב.3. חברת האלמוגים בלגונת שמורת האלמוגים

מטרה

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

שיטות

מרכיבי חברת השונית שנסקרו בלגונה הם אלמוגי אבן, אלמוגים רכים, וחסרי חוליות נייחים. קרקעית הים (=מצע) חולקה לחול וחצץ (=מצע לא מלוכד), סלע, ושונית. מפאת מיעוט האלמוגים, שיטת 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 דגום נספרו עד ששה ריבועים, על מנת להימנע מספירת אלמוגים בגב השונית או מהטיה הנובעת מהבדלים ברוחב הלגונה. בסה"כ כלל הסקר השנה 101 מטרים רבועים ב-17 קווי דגום 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 ב28). 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 ב28: 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 דגום). כל קו דגום כלל בין 5 ל-6 ריבועים, (על אף שבאיור משורטטים רק 4 לכל חתך). סה"כ בוצעו 17 קווי דגום בשטח הלגונה (101 ריבועי דגום).

Figure B28: The sampling design in the lagoon. 1 m² quadrates (red circles) were placed 5 m apart along a measuring tape laid cross shore, 9 m from the "shore line" to the reef table. Each cross shore line included 5 or 6 quadrates (though in this figure only 4 are depicted). 17 cross-shore lines were evenly spread to cover the lagoon area (totaling 101 quadrates).

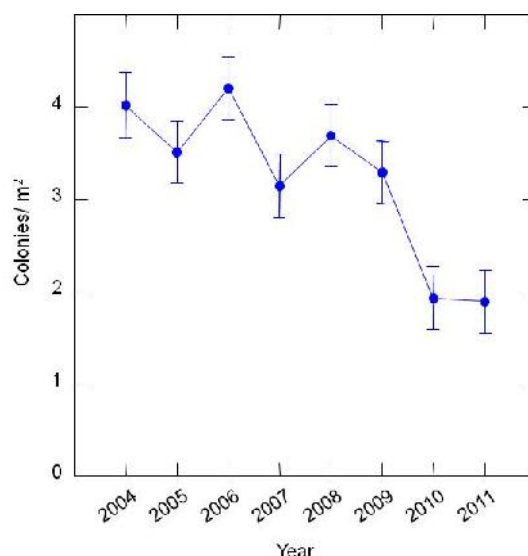
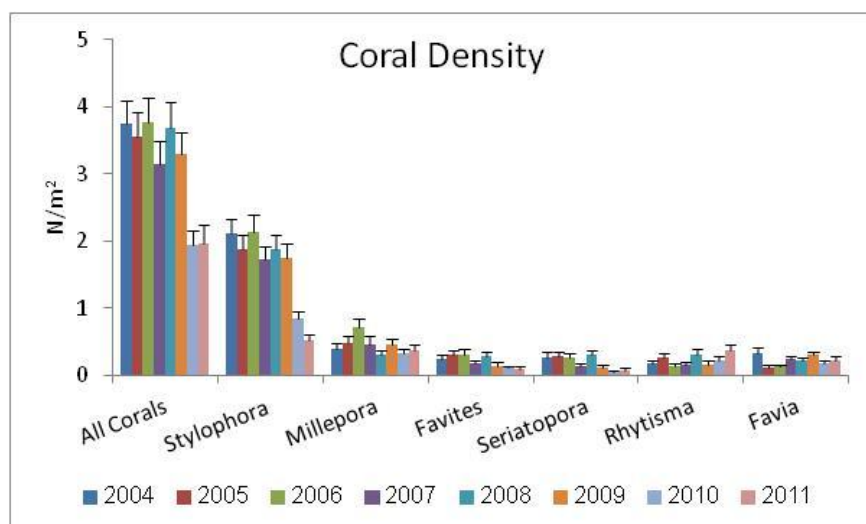
תוצאות

השנה נמשכה מגמת הירידה במספר מושבות האלמוגים בלגונה אשר החלה בשנה הקודמת, אם כי בקצב מתון יותר. ב-101 הריבועים שנסקרו בלגונה נספרו השנה בסה"כ 158 מושבות של אלמוגי אבן (בשנה הקודמת נספרו 168 אלמוגי אבן, ובשנים הקודמות נספרו 2007-9 310 (2009), 322 (2008) ו-288 (2007)).

בדומה לשנה הקודמת נמצאו השנה 14 סוגים של אלמוגי אבן. בנוסף נספרו 46 מושבות אלמוגים רכים מ-4 סוגים. הירידה הגדולה במספר המושבות ניכרת בעיקר באלמוג העיקרי בלגונה - *Stylophora pistillata* - אשר ממנו נספרו השנה רק 53 מושבות, בהשוואה ל-86 ו-178 בשנתיים הקודמות, בהתאמה.

בשנתיים האחרונות ירדה צפיפות מושבות האלמוגים בלגונה לכדי כמעט מחצית מהצפיפות שתועדה בשנות הניטור הראשונות (איור ב29). 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

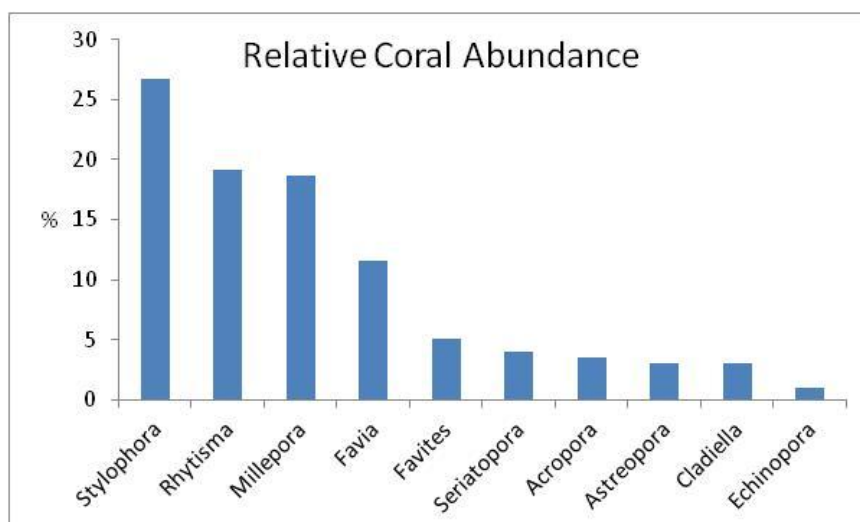
מ- 50-60% בשנות הניטור הראשונות לכ- 27% השנה. הירידה הגדולה בצפיפות מושבות האלמוגים בלגונה הינה מובהקת (מבחן ANOVA).
 צפיפות האלמוגים הממוצעת בלגונה השנה עמדה על 1.96 מושבות אלמוגים ביחידת דיגום (=מטר רבוע), בדומה לשנה הקודמת (1.93). בשנים 2004-2009 הייתה צפיפות המושבות הכללית גבוהה מ-3. צפיפות מושבות של אלמוגי אבן עמדה השנה על 1.56 (בשנה הקודמת ו-3.04 בשנת 2009).



איור ב29: 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 B29: 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 ב30, 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 ב30: השכיחות היחסית (באחוזים, על פי מספר המושבות) של עשרה סוגי האלמוגים העיקריים בלגונה (מהווים 95% מכלל האלמוגים).

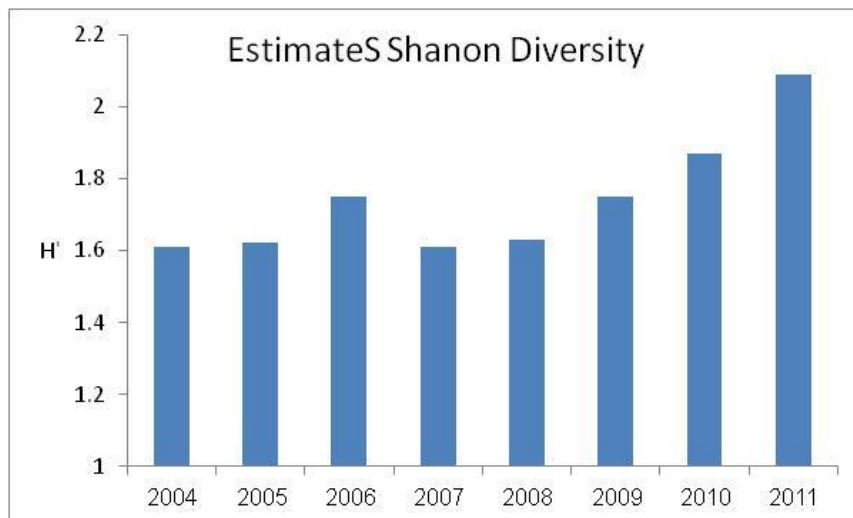
Figure B30: Relative abundance (by colony number) of the 10 most abundant coral genera in the lagoon (these total 95%).

Species	N	Relative abundance (%)	N/m ²
<i>Stylophora</i>	53	26.77	0.52
<i>Rhytisma</i>	38	19.19	0.38
<i>Millepora</i>	37	18.69	0.37
<i>Favia</i>	23	11.62	0.23
<i>Favites</i>	10	5.05	0.10
<i>Seriatopora</i>	8	4.04	0.08
<i>Acropora</i>	7	3.54	0.07
<i>Astreopora</i>	6	3.03	0.06
<i>Cladiella</i>	6	3.03	0.06
<i>Echinopora</i>	2	1.01	0.02
<i>Goniastrea</i>	2	1.01	0.02
<i>Cyphastrea</i>	1	0.51	0.01
<i>Montipora</i>	1	0.51	0.01
<i>Pavona</i>	1	0.51	0.01
<i>Pocillopora</i>	1	0.51	0.01
<i>Sympodium</i>	1	0.51	0.01
<i>Xenia</i>	1	0.51	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.

מגוון המינים המחושב לפי מדד Shannon-Wiener, לעומת זאת, השתנה מאד בשנתיים האחרונות בעקבות הירידה הדרמטית בתפוצת האלמוג *Stylophora*. ערך המדד (כפי שחושב באמצעות תכנת EstimateS) השנה הוא 2.09 לעומת 1.87 בשנה הקודמת ו- 1.75 לפני שנתיים (איור ב31). העלייה במדד המגוון נובעת במידה רבה מהירידה במספר מושבות המין הדומיננטי בלגונה, האלמוג *Stylophora*, המהווה השנה 26% בלבד מכלל מושבות אלמוגי האבן שנספרו (ראו למעלה). בעקבות ירידה זו ניתן משקל רב יותר למינים המצויים בכמות קטנה וכך נוצרת התפלגות מינים מאוזנת יותר.



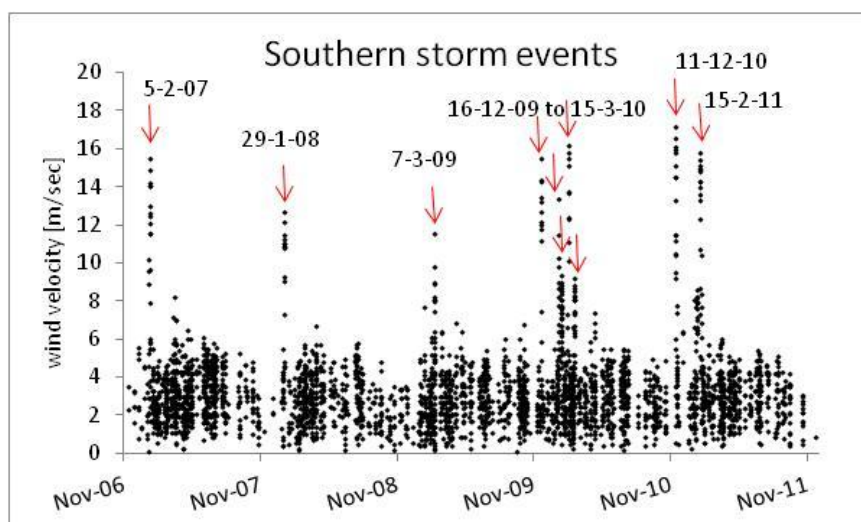
איור ב31: השינויים במגוון מיני האלמוגים (על פי מדד המגוון של Shanon-Wiener) בלגונה מאז 2004 כפי שהוערכו בעזרת תכנת EstimateS.

Figure B31: Changes in coral diversity in the lagoon since 2004, according to the Shanon-Wiener index, estimated using the EstimateS software.

דיון ומסקנות

עד לשנתיים האחרונות הייתה חברת האלמוגים בלגונה יציבה למדי. החל מהשנה הקודמת (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, אשר בעקבות הפגיעה באלמוג *Stylophora* הגיע השנה לערכו הגבוה ביותר. יתכן כי הירידה הניכרת בצפיפות האלמוגים בלגונה נגרמה עקב סערות דרומיות חזקות שפגעו בשנתיים האחרונות בכל האזורים הרדודים מכ-4 מטרים לאורך חלקו הצפוני של המפרץ.

על סמך ניסיונו 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 (8 שנים) עדיין אינו מספיק על מנת לעמוד על תנודות אלו או על זמן המחזור האופייני להן. לא ידוע לנו על גורמים מזיקים אשר עשויים היו להשפיע על אוכלוסיית האלמוגים בלגונה בשנתיים האחרונות, מלבד הסערות הדרומיות החזקות אשר פגעו בצפון המפרץ בתדירות גדולה יחסית בשנים אלה (איור ב32). לסערות דרומיות השפעה ניכרת בלגונה, ועלינו להמשיך ולעקוב אחר שינויים בחברת האלמוגים בלגונה.



איור ב32: מדידות של עצמת רוחות דרומיות מהתחנה המטאורולוגית המופעלת על ידי הניטור (תודה לד"ר זבולוני על עיבוד הנתונים).

Figure B32: Southern wind wind velocities measured by the NMP meteorological station at the IUI pier (thanks to Dr. Zvuloni for analyzing the data).

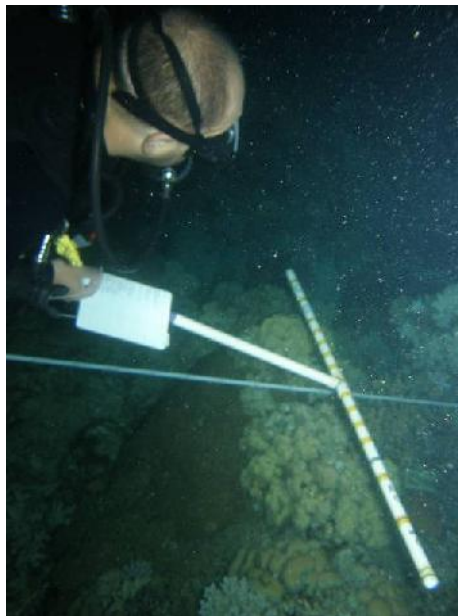
ב.4. סקר חסרי חוליות

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 ב33). בשיטה זו ניתן לכסות שטח גדול ביעילות רבה, ובמקרה זה את מרבית שטחו של כל אתר לאורך קו העומק הנבחר, עובדה בעלת חשיבות עקב מספרם הקטן של חסרי החוליות. מירב השטח באתר נסקר לאורך קו העומק המבוקש לקבלת ספירה מדויקת ככל האפשר, אולם אבדה יכולת ההערכה של פרמטרים סטטיסטיים תלויים בחזרות של יחידות מדידה קטנות הדוגמות את האתר. הפרטים הנספרים, חסרי החוליות הניידים (קוצי עור ורכיכות), מסווגים לפי סוג או משפחה.



איור ב33: 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 B33: Belt-transect survey of motile invertebrates: a diver holding a T-shaped stick passes along a measuring tape counting the individuals found under the cross-arm. This makes a sampling unit whose length is defined by the measuring tape and whose width by the 1 meter long cross-arm. Photo: Tomer Shaulov

תוצאות

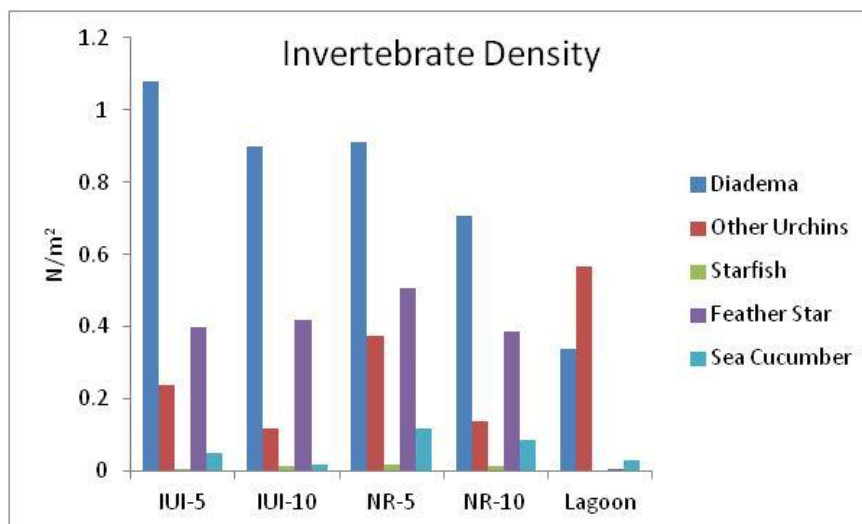
1600 מטרים רבועים נסקרו השנה בכל האתרים (5-IUI ו-10, 5-NR ו-10, לגונת שמורת חוף אלמוג). התפלגות מספר הפריטים לפי סוגים בכל האתרים נתונה בטבלה ב7.

	IUI-5		IUI-10		NR-5		NR-10		Lagoon	
	Density	Number	Density	Number	Density	Number	Density	Number	Density	Number
Diadema	1.08	216	0.90	180	0.91	364	0.71	283	0.34	135
Other Urchins	0.24	48	0.12	24	0.37	149	0.14	56	0.57	226
Total Urchins	1.32	264	1.02	204	1.28	513	0.85	339	0.90	361
Starfish	0.01	1	0.02	3	0.02	7	0.01	5	0.00	0
Feather star	0.40	80	0.42	84	0.51	203	0.39	154	0.00	1
Sea Cucumber	0.05	10	0.02	4	0.12	47	0.09	35	0.03	12
M ² 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 1m²) of mobile invertebrates at the monitored sites.

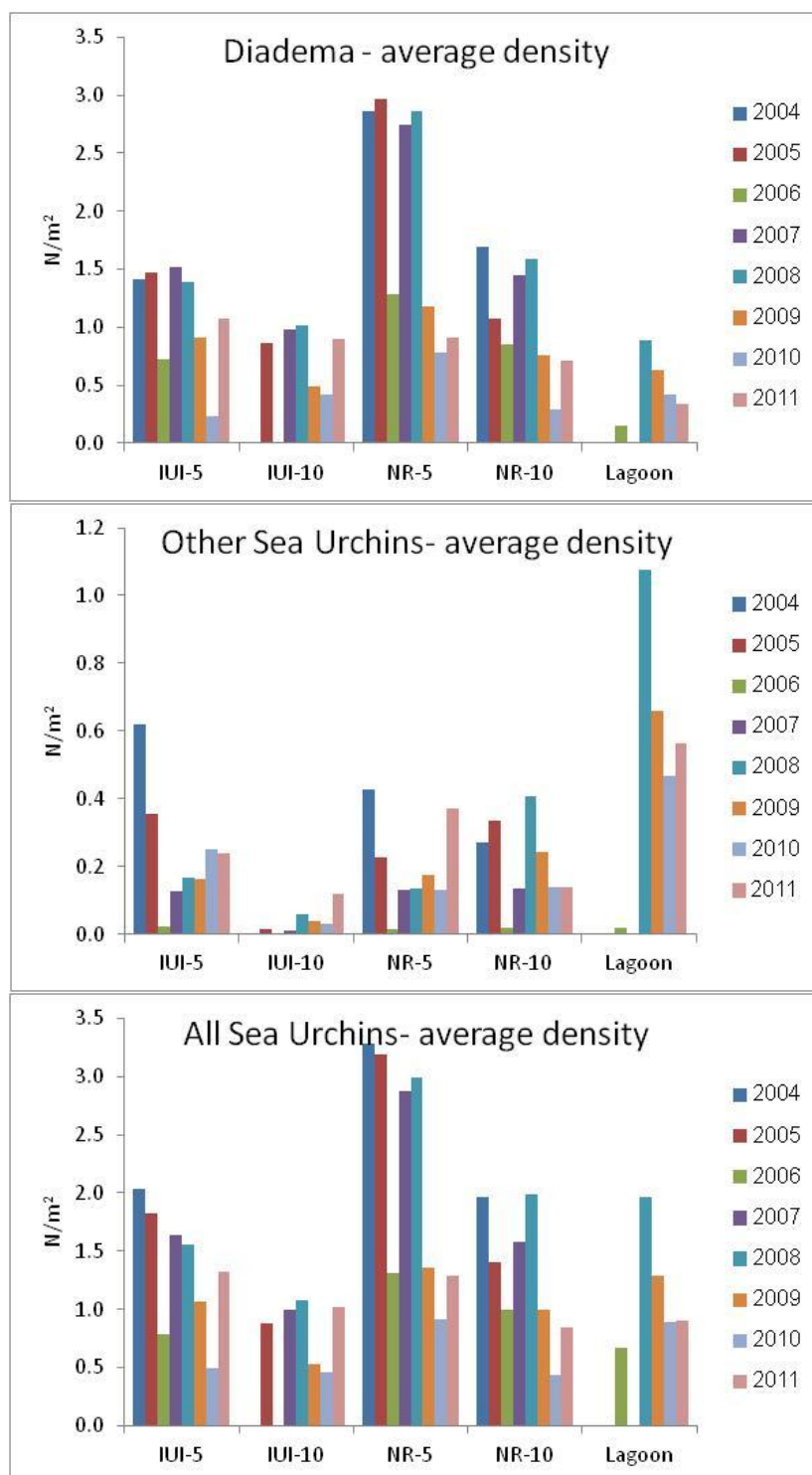
קבוצת הרועים החשובה ביותר בשונית מבין חסרי החוליות היא קיפודי הים, ומתוכה המין הנפוץ ביותר הוא *Diadema setosum* (איור 34). הלגונה היא האתר היחיד בו נמצאו (במשולב) יותר פרטים של קיפודי ים מסוגים אחרים.



איור ב34: הצפיפות הממוצעת (פרטים למ"ר) של חסרי חוליות ניידים באתרי הניטור בשנה הנוכחית.
Figure B34: This year's average density (per m²) of mobile invertebrates at the sampling sites.

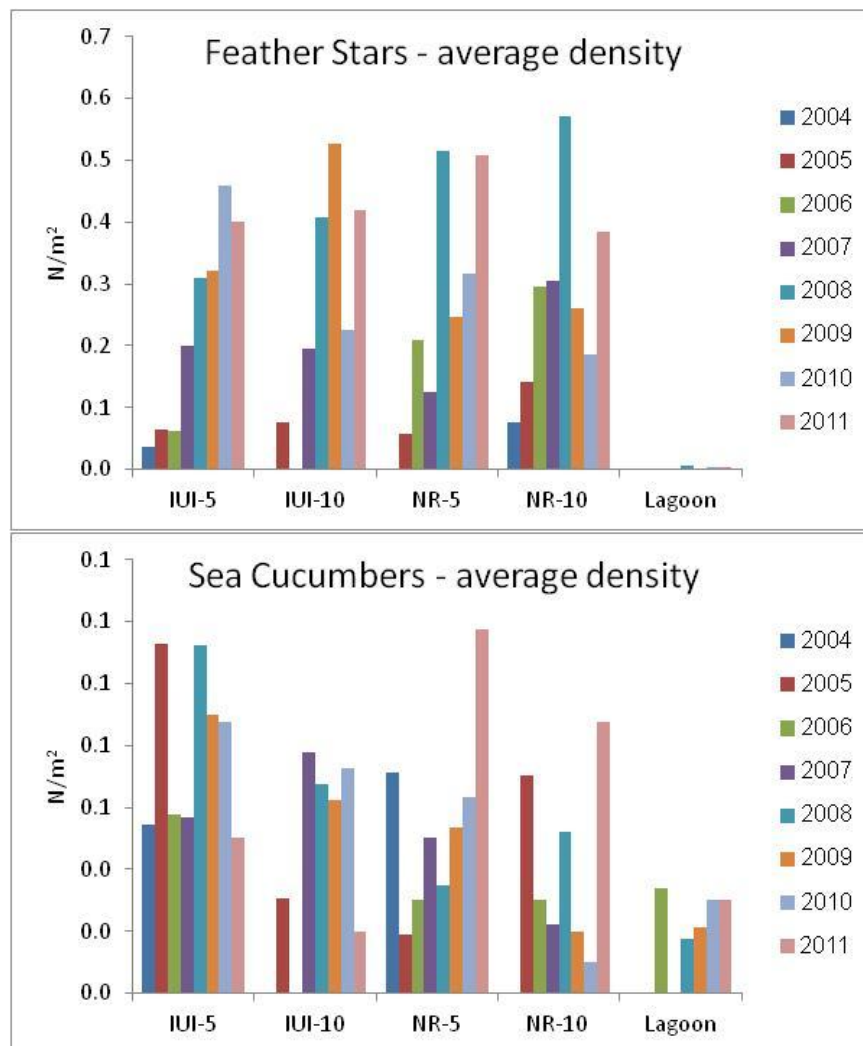
הצפיפות הגדולה ביותר של קיפודי ים מכל הסוגים נמצאה באתר 5-IUI (צפיפות דומה נמצאה גם באתר 5-NR), שם נמצאה גם הצפיפות הגדולה ביותר של קיפודים מסוג *Diadema setosum*. הקיפוד השני הנפוץ ביותר השנה הוא הקיפוד מסוג *Echinometra mataei*. לאחר שבשנים האחרונות נרשמה ירידה דרמטית בצפיפות קיפודי הים באתרים הנסקרים, השנה מתועדת עלייה בצפיפות בחלקם, ובכל מקרה לא נמצאה באף אתר ירידה נוספת. יחד עם זאת עדיין אין צפיפות הקיפודים גבוהה כפי שהייתה בשנות הניטור הראשונות (איור ב35). עד לשנת 2007 תועדה

עלייה בצפיפות קיפודי הים, ואז באו שנים של ירידה אשר נראה כי נפסקת עתה. תבנית זו עשויה לשקף מחזוריים טבעיים בגודל האוכלוסיה, או לחילופין השפעות סביבתיות משתנות. בצפיפות חבצלות הים נמצאה השנה עלייה ברוב האתרים (לבד מאתר IUI-5 שם נמצאה ירידה קלה). בסך הכל אוכלוסיית חבצלות הים גדולה משמעותית משהייתה בשנות הניטור הראשונות (איור 36). באוכלוסיית מלפפוני הים הייתה השנה עלייה באתרי שמורת חוף אלמוג, וירידה קלה באתרי המעבדה הימית (איור 36). בלגונה כמעט ואין חבצלות ים, וגודל אוכלוסיית מלפפוני הים דומה השנה לשנה הקודמת.



איור 35: 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 B35: The average density (individuals per m²) of *Diadema setosum* (top) other urchins (middle) and all sea urchins (bottom) at the sampling sites.



איור ב36: הצפיפות הממוצעת (פרטים למ"ר) של חבצלות ים (למעלה) ומלפפוני ים (למטה) באתרי הניטור.
Figure B36: The average density (per m²) of feather-stars (top) and Sea Cucumbers (bottom) at the sampling sites.

ב.5. קצב גידול מאקרו-אצות בשונית

מטרה

אומדן 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 ההתיישבות 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 ב37). הלוחיות משמשות להתיישבות אצות צמודות מצע, ומהוות מודל להתיישבות אצות בשטחים חשופים בשונית. אחת לחודש מוחלף זוג לוחיות חשופה-מכוסה מצומדות מכל מערך בלוחיות נקיות – זמן השהות של כל לוחית במים כחודשיים.

האצות מגורדות מהלוחיות שהוצאו מהמים ומסוננות על פילטר סיבי זכוכית GF/A. הפילטרים מושרים בתמיסת אצטון:מתנול (50:50) (v/v) למיצוי הפיגמנטים 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 (נוטריינטים) במים. הלוחיות החשופות מהוות מדד לכמות האצות בפועל, וכך למידת הרעייה על אצות. בשל השונות הגבוהה של כמות האצות (= ריכוז *chlorophyll a*) על לוחיות הניסוי, כל מדידה חודשית מחושבת על-פי ממוצע שלוש הלוחיות המוגנות ושלוש הלוחיות החשופות שהוצאו באותו חודש. בכל המקרים בהם מופיעים קווי שגיאה, הם מייצגים את שגיאת התקן (Error bars represent the standard error).



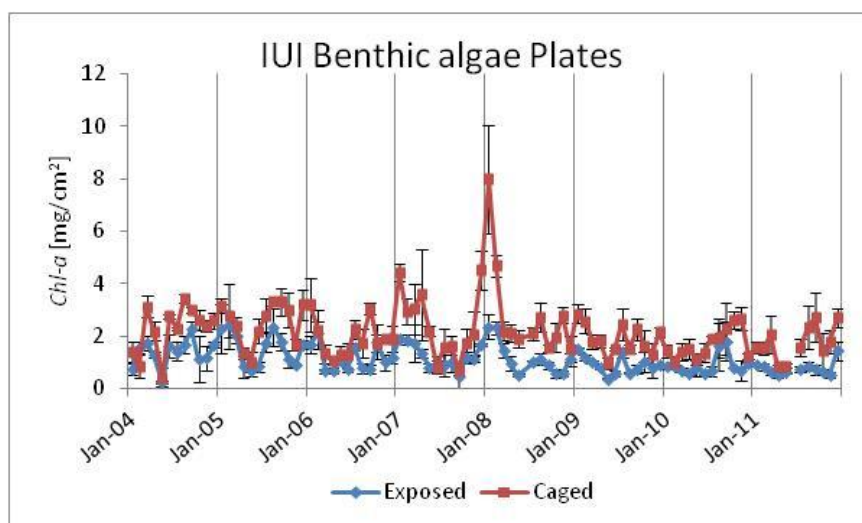
איור ב37: א) מערך של לוחית התיישבות. שתי לוחיות חשופות לרעייה, ושתיים מוגנות על ידי כלוב מתכת. צילום: ניצן שגב ב) החלפת לוחיות בצלילה, מדי חודש מוחלפות הלוחיות ששהו חודשיים בים. צילום: רותי ריף

Figure B37: 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* אשר נמדדו השנה על גבי לוחיות מול המעבדה נמוכים, בדומה לערכי השנתיים הקודמות. ערכים אלה נמוכים מערכי הכלורופיל אשר נמדדו באתר עד לשנת 2008 (איור ב38). הפריחה החזקה שנמדדה על גבי לוחיות מוגנות בחודשי החורף בשנים 2007-8, בהן היה ערבוב עמודת המים עמוק, לא נצפתה השנה. הערבוב השנה היה לעומק של כ-320 מ', ופריחת החורף לא היתה חזקה – עדות לקשר ההדוק בין נוטריינטים בעומק, ערבוב, ופריחת אצות בנתוניו על גבי מדרונות השונית. פוטנציאל גידול האצות כפי שנאמד על סמך ריכוז הכלורופיל על גבי לוחיות מוגנות מרעה נותר נמוך. הריכוז הגבוה ביותר אשר נמדד השנה על גבי לוחיות מוגנות מרעה היה 2.71 mg/cm^2 בחודשים ספטמבר ודצמבר (בשנים הקודמות היו הערכים המרביים 2.66 mg/cm^2 בחודש נובמבר 2010, 2.84 mg/cm^2 בחודש ינואר 2009, ו- 7.99 mg/cm^2 בינואר 2008). גם פריחת אצות על המדרונות, מחוץ ללוחיות לא נצפתה השנה.

גידול אצות בשונית בפועל נאמד על ידי ריכוז הכלורופיל על גבי לוחיות חשופות לרעייה. ריכוזי הכלורופיל על גבי לוחיות חשופות לרעייה נותרו דומים לערכים של השנים הקודמות. הריכוז המרבי שנמדד השנה, בספטמבר, הוא 1.44 mg/cm^2 בדומה לשנתיים האחרונות. בשנת 2008 בה הייתה פריחה חזקה של אצות היה ריכוז הכלורופיל על לוחיות חשופות 2.36 mg/cm^2 בחודש ינואר, ערך שאינו גבוה בהרבה. עובדה זו מעידה על כך כי גם בהעדר פריחה ישנה 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 – צפיפות גבוהה בשנים 2007 ו-2008 וירידה חדה בצפיפות הקיפודים מאז (תת-פרק ב.4 למעלה) – יתכן כי התפתחות אוכלוסיית הקיפודים בשונית מוגבלת על ידי כמות האצות הישיבות.



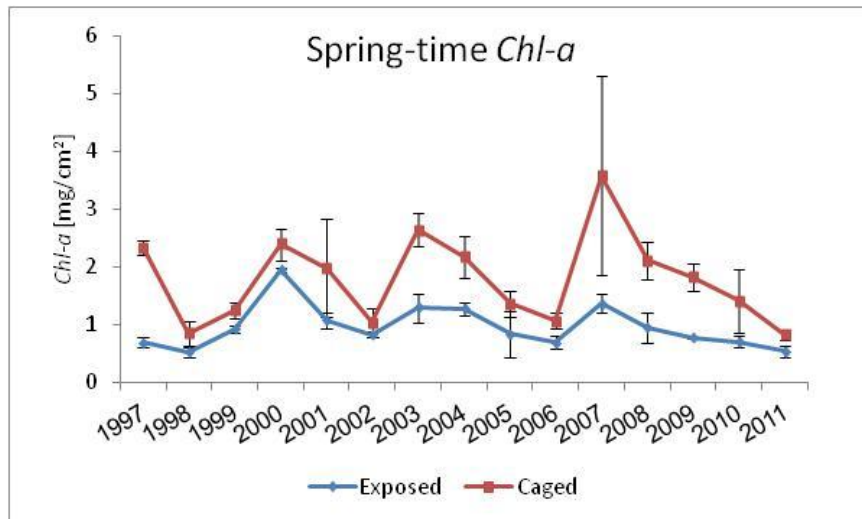
איור ב38: ממוצע כמות *Chlorophyll a* ע"ג לוחית חשופות ומוגנות בכלובים מאז 2004. כל נקודה מייצגת חודש אחד (מחושבת על-פי שלוש לוחיות ששהו בים חודשיים).

Figure B38: 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 נתונה (איור ב39). ישנה מחזוריות בפוטנציאל הגידול של אצות (לוחות מוגנות מרעה) אולם זו אינה סדורה. השנה היה פוטנציאל הגידול באביב הנמוך ביותר מאז תחילת המדידות (1997), ככל הנראה כתוצאה מכך שזו השנה השלישית ברציפות בה עומק הערבוב אינו גדול. פוטנציאל הגידול השנה (0.82 mg/cm^2) דומה לזה של שנת 1998 ונמוך משמעותית מערכי כל שאר השנים שנטרו. שינויים גדולים בכמות האצות באותה עונה בשנים עוקבות מצביעים על כך שכמות האצות מושפעת ממספר תהליכים בנוסף לרעייה. 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. בשלוש השנים האחרונות, בהן לא היה ערבוב עמוק של עמודת המים, כמות האצות הישיבות באזור השונית יורדת בהדרגה.

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 בויסות כמות האצות. בשנים בהן פוטנציאל האצות נמוך ההבדלים בין הלוחיות החשופות והמוגנות קטנים מאד.

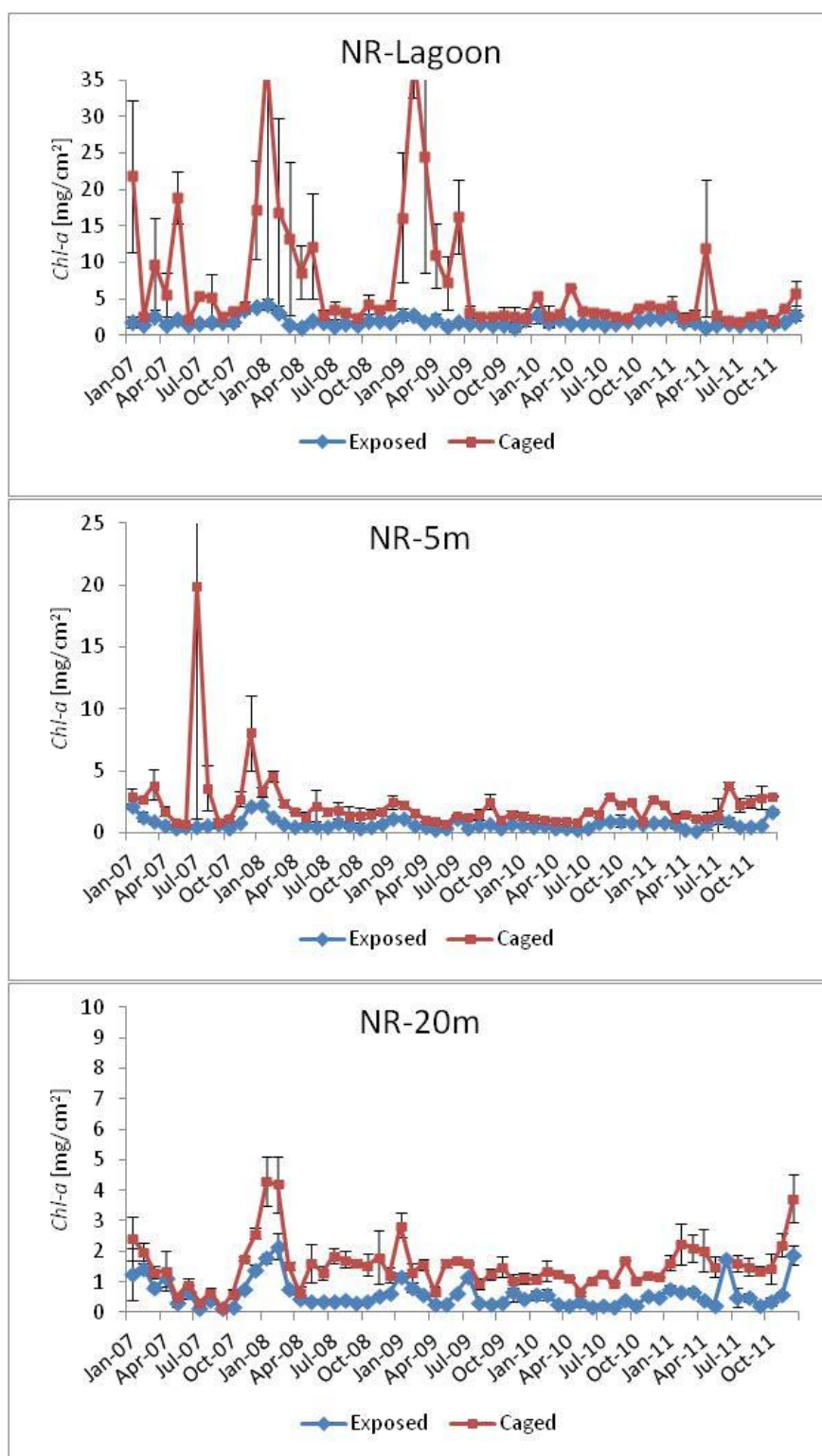


איור ב39: ממוצע כמות Chlorophyll a בחודשי האביב (מרץ-אפריל) על-גבי לוחית חשופות ומוגנות בכלובים, החל משנת 1997. כל נקודה היא ממוצע של שלוש לוחיות ששהו בים חודשיים.
Figure B39: Average chlorophyll a during the months April-May on exposed and caged settlement plates since 1997. Each point is an average 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 ב40). 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 שבועמקים 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 פריחות עונתיות: פריחת חורף (ערכים גבוהים ביותר, בחודש פברואר) ופריחת אביב. בשנתיים האחרונות נמצאה ירידה בפוטנציאל הגידול של אצות בלגונה, והערכים נמוכים בהרבה מאלה של ים 2007-9. עם זאת השנה נמדדה פריחת אביב (בחודש אפריל) חזקה מזו של השנה הקודמת (mg/cm^2 11.93) והקשורה, כנראה, לעומק הערבוב הגדול יותר.

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. השנה פוטנציאל גידול האצות המוערך בשמורה בעומק 5 מטרים גבוה מעט מזה של השנתיים הקודמות, בפרט בחודש אוגוסט (mg/cm^2 3.87). 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. בדומה לעומק 5 מ' פוטנציאל גידול האצות השנה גבוה מעט מאשר בשנתיים הקודמות, הערך הגבוה ביותר שנמדד כאן השנה היה (3.74 mg/cm^2 בחודש דצמבר). בסך הכל ריכוזי הכלורופיל בעומק גבוהים מעט השנה מאלה של השנה הקודמת ונמוכים מאלה של חורף 2007-8. גם בעומק 20 מ' פעילות הרועים מורידה ביעילות את ריכוז הכלורופיל על גבי הלוחיות החשופות, ובחודשי הקיץ ריכוז הכלורופיל עליהן נמוך מ- 1 mg/cm^2 .



איור 40: 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 B40: 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 בשוניות 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 ראיה: על הצולל להיות מסוגל לראות את כל נפח המנסרה בבת אחת, המרחק בין מנסרות נועד לאפשר עבודה בטוחה בצלילה – קשר עין בין דוגמים. יחידות 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.

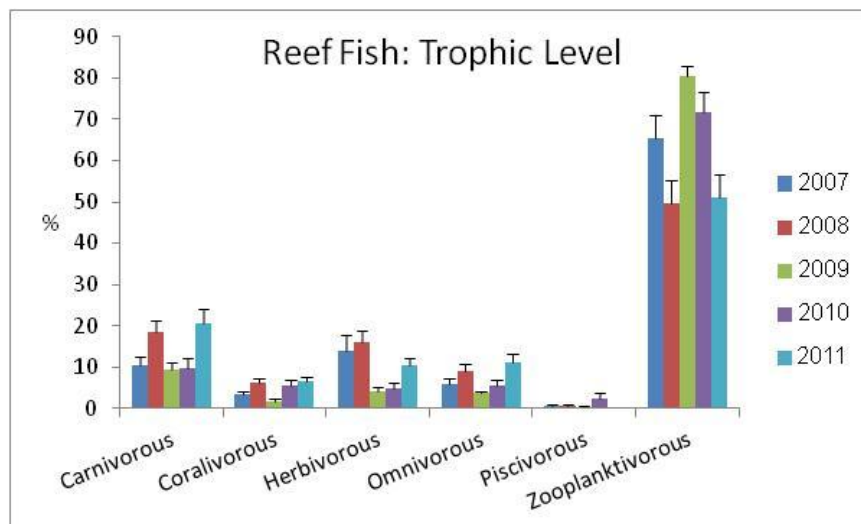
תוצאות

סקר דגי השונית נערך על ידי תכנית הניטור מאז שנת 2007, והנתונים המצטברים מתחילים ליצור תמונה של מבנה חברת הדגים בשמורת חוף אלמוג, על סמך הרמות הטרופיות. יחד עם זאת הבדלים גדולים בכמות הנתונים אשר נאספה בכל שנה ושונות מובנית מאופי הדגימה מקשים על קבלת מסקנות סטטיסטיות. בשנה הנוכחית נדגמו 26 יחידות של 7X1 5X מטרים (עומק המים) 10X דקות (עבור דגים פלגים). בסך הכל נספרו השנה 1615 פרטים, כמחצית ממספר הפרטים אשר נספרו בשנים האחרונות. בשנת 2009 נספרו 7289, אולם תוצאה זו נבעה 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 418 דגים מעמודת המים ו-1150 דגים שוכני קרקעית המשוייכים לאלמוגים ביחידות הדיגום.

בהשוואה לשנים הקודמות – בשנת 2010, למשל, נספרו 2819 דגים שוכני קרקעית – נראה כי ההבדל הגדול בכמות הדגים השנה נובע ממיעוט דגים "קריפטים". 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 יותר מושבות אלמוגים: 123 אלמוגים מאוכלסים ו-125 אלמוגים לא-מאוכלסים (בשנה הקודמת נדגמו 83 ו-97 מושבות בהתאמה). קשה לומר בוודאות מה הסיבה למספר הנמוך של דגים "קריפטים" אשר נצפו השנה, ויש צורך להוסיף ולעקוב אחר השינויים בשנים הבאות.

קבוצת הדגים הזואופלנקטיבורים – הניזונים מזואופלנקטון בגוף המים – היא הגדולה ביותר מבין שוכני השונית, והיוותה השנה כ-51% מכלל הדגים שנסקרו השנה. 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 ב41). דגים זואופלנקטיבורים מהווים חוליה חיונית במארג המזון ברכוז חמרי מזון מהרמות הנמוכות בגוף המים. הקבוצה השנייה בגודלה השנה (כ-20%) הייתה הדגים הטורפים (קרניבורים) דגים המווסתים את אוכלוסיית השונית – חסרי חוליות ודגים אחרים. קבוצת הרועים (הרביבורים), וקבוצת אוכלי הכל (אומניבורים) מהוות כ-10% כל אחת, וקבוצת אוכלי האלמוגים (קורליבורים) היוותה השנה כ-6% 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 ב41: התפלגות דגי השונית על פי הרמה הטروفית מאז שנת 2007.
Figure B41: Distribution of reef fish according to trophic level since 2007.

Taxa	Dweller*	Tropic level**	Occurrence
<i>Amphiprion</i>	Cryptic	Z	9
<i>Chromis dimidiata</i>		Z	4
<i>Chromis viridis</i>		Z	221
<i>Dascyllus aruanus</i>		Z	28
<i>Dascyllus marginatus</i>		Z	184
<i>Gobiidae/Blenniidae</i>		C	54
<i>Neopomacentrus miryae</i>		Z	225
<i>Pomacentrus trichourus</i>		O	118
<i>Pseudanthias squamipinnis</i>		Z	283
<i>Pseudochromidae</i>		C	24
<i>Amphiprion</i>		Z	9
<i>Chromis dimidiata</i>		Z	4
<i>Acanthuridae</i>	Pelagic	H	46
<i>Balistidae</i>		C	19
<i>Bodianus anthioides</i>		C	12
<i>Caesionidae</i>		Z	79
<i>Chaetodontidae</i>		Co	81
<i>Coris aygula</i>		C	12
<i>Gomphosuse caeruleus</i>		C	5
<i>Labroides dimidiatus</i>		C	8
<i>Lethrinidae</i>		C	1
<i>Mullidae</i>		C	35
<i>Pomacanthus imperator</i>		C	1
<i>Scaridae</i>		H	25
<i>Scorpaenidae</i>		C	1
<i>Serranidae</i>		C	21
<i>Thalassoma sp.</i>		C	37
<i>Variola louti</i>		P	2
<i>Zebrasoma xanthurus</i>		H	33
others			47
Total			1615
* 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 ג1, בטבלה ג1, ובטבלת הפעילות. הדיגום נעשה מסירה בשעות הבוקר. במהלך הפלגה רציפה נלקחות משמונה התחנות דוגמאות מים מעומק של 1-2 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.

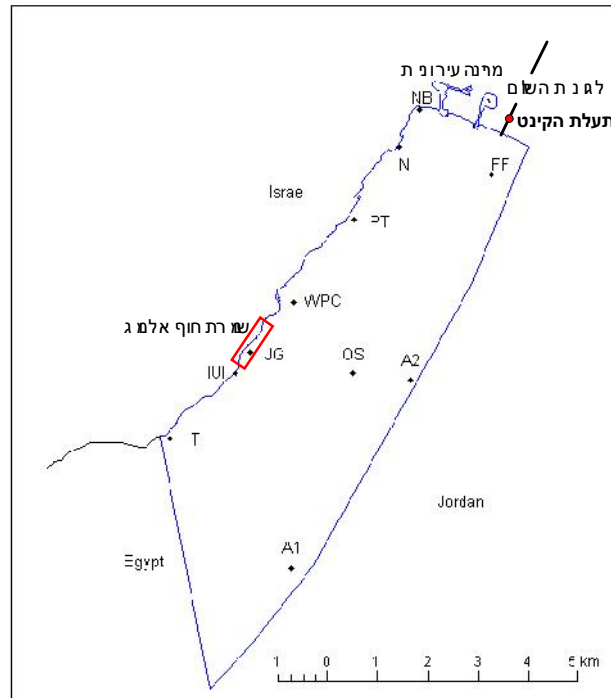
מיד עם החזרה מהפלגת הדיגום מחולקים המים לצורך המדידות הכימיות הבאות:
חמצן מומס: ריכוז החמצן נקבע בשיטת ווינקלר שהיא ריאקציה סתירה המבוצעת בטיטרציה. הדגימות מקובעות ע"י הוספת שני ריאגנטים MnSO_4 ו- $\text{KI} + \text{NaOH}$ ומטוטרות עם $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ בריכוז 0.1N. הטיטרציה מתבצעת באמצעות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

pH: מדידה בעזרת אלקטרודת pH מזכוכית (combined pH electrode) דגם pH2401-7 ומד pH דגם PHM 93 שניהם של חברת Radiometer Copenhagen. ערכי pH נמדדים בטמפרטורה קבועה של 25°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: NO_2 , NO_3 , Si(OH)_4 , PO_4 נמדדים במכשיר QuikChem 8000 flow injection analyzer של חברת Lachat Instruments, Milwaukee, ארה"ב. המדידה מבוססת על תגובת צבע שיוצר כל אחד מהנוטריינטים עם הריאגנט הייחודי לו ליצירת קומפלקס צבע בעל אורך גל בתחום האור הנראה, הנקלט בספקטרופוטומטר של המכשיר.

אלקליניות: נקבעת ע"י 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, שווייץ.

כלורופיל: המים מסוננים דרך פילטרים מסוג GFF. הפילטרים ממוצים באצטון 90% בחושך (במקרר 4°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 QuantTM 2000 של חברת Hoefer 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 צפוני ל - IUI	29°30.183"	34°56.148"

טבלה ג1: מיקום ותיאור תחנות הדיגום החופי של תכנית הניטור הלאומי.
Table C1: Locations of the coastal-water monitoring stations.

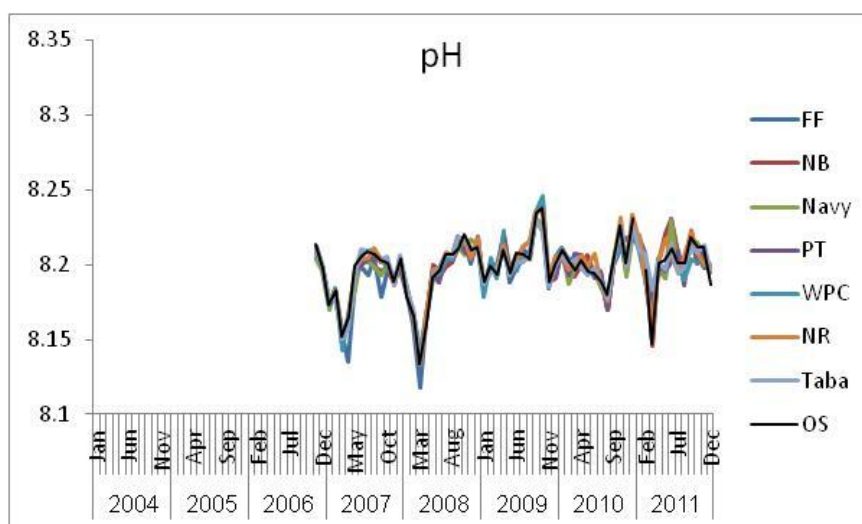
תוצאות

מדדים כימיים

רמת חומציות המים (pH)

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

ערכי ה-pH בחורף נמוכים, בדרך כלל, מאשר בקיץ. זהו מחזור עונתי בו ערכי pH גבוהים נמדדים בחודשי הקיץ והסתיו וערכים נמוכים יחסית נמדדים בחורף המערב. ערכי ה-pH הגבוהים ביותר נמדדו השנה בחודש יוני, בתחנות החוף הצפוני וכלובי הדגים (8.230) (איור ג2). הערכים הנמוכים ביותר השנה נמדדו בחודש מרץ (מינימום 8.146 בחוף בצפוני). ערכי הקיצון השנה נמדדו בתחנות הצפוניות והערכים נמוכים מאשר 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 ג2: ערכי pH חודשיים בכל תחנות הדיגום מאז אוקטובר 2006.

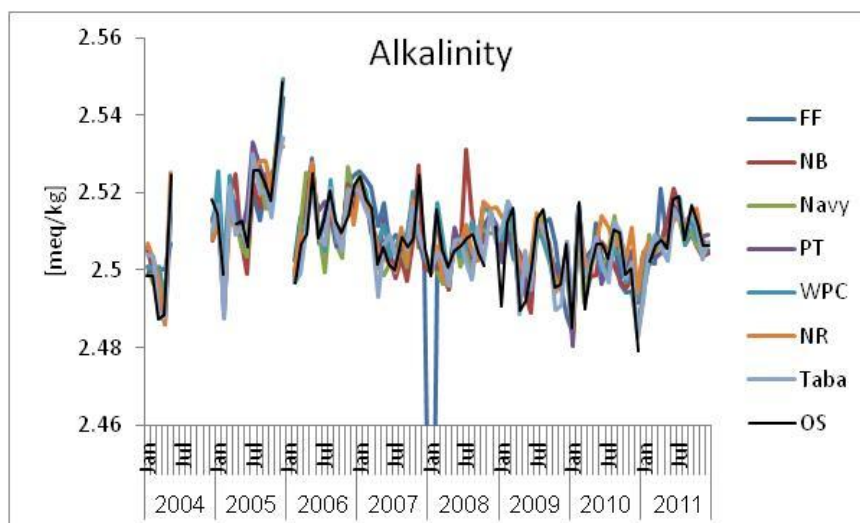
Figure C2: Monthly pH values at all coastal water monitoring stations since October 2006.

ערכי pH בים מושפעים ממגוון של תהליכים, אשר החשובים שבהם כוללים תהליכי נשימה-פוטוסינתזה, תהליכי שיחלוף גזים עם האטמוספירה, ותהליכי ערבוב של מי שטח עם מי עומק בהם ה-pH נמוך יותר. מחזור הערבוב צפוי להשפיע על כל גוף המים, בעוד יחס נשימה-פוטוסינתזה עשוי להשתנות גם באופן מקומי. המחזור השנתי של ערכי pH בכל תחנות המדידה מושפע קרוב לודאי על ידי מחזור הערבוב השנתי. בתקופת החורף מתערבבים מי השטח עם מים עמוקים בהם ה-pH נמוך כתוצאה מעודף נשימה על פוטוסינתזה. בעונת הקיץ המשוכבת מופרדים מי השטח ומי העומק, ובמים העליונים פעילות פוטוסינתטית גורמת לעליית ה-pH. ערכי pH נמוכים ביותר נמדדו בשנות הערבוב העמוק 2007-8, והשנה – בה היה עומק הערבוב בינוני – נמדד ערך ביניים (8.147, בחודש מרץ): גבוה מאשר בשנים 2007-8 אך נמוך מאשר בשנים 2009-10. לערכי pH חשיבות רבה לבריאות השונית, כיוון שסביבה חומצית (pH נמוך) פוגעת בהשקעת שלד גירני.

אלקליניות

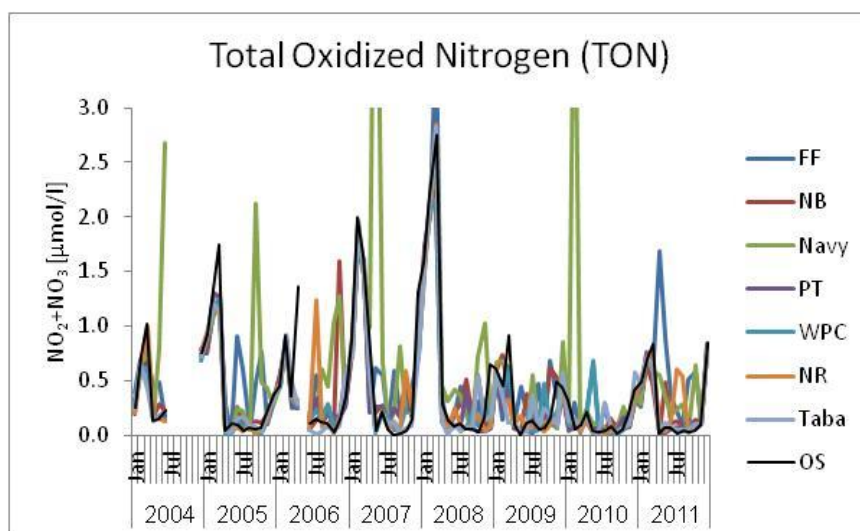
האלקליניות היא מדד לסך החומצות החלשות במים והתהליכים העשויים להשפיע עליה הם תהליכי אידי ומיהול (מליחות), ותהליכי השקעה/המסה של קלציום-קרבונט. שינויים במליחות הינם קטנים ביותר ותהליכי השקעת קלציום-קרבונט צפויים להיות קטנים במים פתוחים. על כן לא צפויים שינויים קיצוניים בערכי האלקליניות במי הים.

מדידות האלקליניות בכל התחנות היו דומות במהלך הפלגת דיגום (באותו חודש), ולא נמדדו ערכים חריגים באופן בולט. החריגה היחידה אשר נמדדה הייתה ערך גבוה בתחנת כלובי הדגים בחודש אפריל – 2.52 לעומת 2.50 במים הפתוחים באותו חודש. השנה היו ערכי האלקליניות באופן כללי מעט גבוהים יותר מאשר בשנתיים הקודמות, אולי כתוצאה מהערבוב הרדוד מאד בשנתיים ההן (איור ג3). בשמונה שנות 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



איור ג3: אלקליניות בתחנות הדיגום החופי מאז שנת 2004.
Figure C3: Monthly alkalinity at the coastal water sampling stations since 2004.

חנקן אנאורגאני מחומצן ($\text{TON} = \text{Total Oxidized Nitrogen} = \text{NO}_3 + \text{NO}_2$)
המחזור השנתי של ריכוז חנקן אנאורגאני מחומצן נשלט גם הוא על ידי מחזור הערבוב של עמודת המים. חודשי הקיץ, בהם עמודת המים משוכבת, נחשבים לתקופה "אוליגורפית", 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 ואו אינטנסיבית עשויה לפגוע בשוניית.
ערבוב עמודת המים השנה לא היה עמוק במיוחד (כ-320 מ'), ועל כן לא נמדדו ריכוזים גבוהים של חנקן אנאורגאני מחומצן במים החופיים גם בחודשי החורף (איור ג4). יחד עם זאת, ריכוזי החנקן המומס בתחנות החופיות היה גבוה מהריכוז שנמדד בים הפתוח בחודשי האביב והקיץ. הריכוז הגבוה ביותר אשר נמדד השנה היה $1.683 \mu\text{mol/l}$, בתחנת כלובי הדגים בחודש אפריל, באותו חודש היה הריכוז בים הפתוח $0.015 \mu\text{mol/l}$. הריכוז הגבוה ביותר שנמדד השנה בים הפתוח היה $0.84 \mu\text{mol/l}$, בחודשים מרץ ודצמבר. זהו ריכוז גבוה מערכי השנה הקודמת בה היה הערבוב רדוד במיוחד. בשנים 2007-8 בהן היה ערבוב עמוק מאד, היה ריכוז החנקן המומס בחורף בים הפתוח גבוה בהרבה.
בשנה הקודמת נמדד ריכוז חנקן גבוה באופן חריג בחודש פברואר בתחנת חיל הים-מלון מרידיאן, $4.84 \mu\text{mol/l}$. החריגה השנה בתחנת כלובי הדגים נמוכה בהרבה, אך נראה כי עדיין מפעם לפעם מגיעים לים מהחוף שטפי נוטריינטים חריגים באזור התחנות הצפוניות.

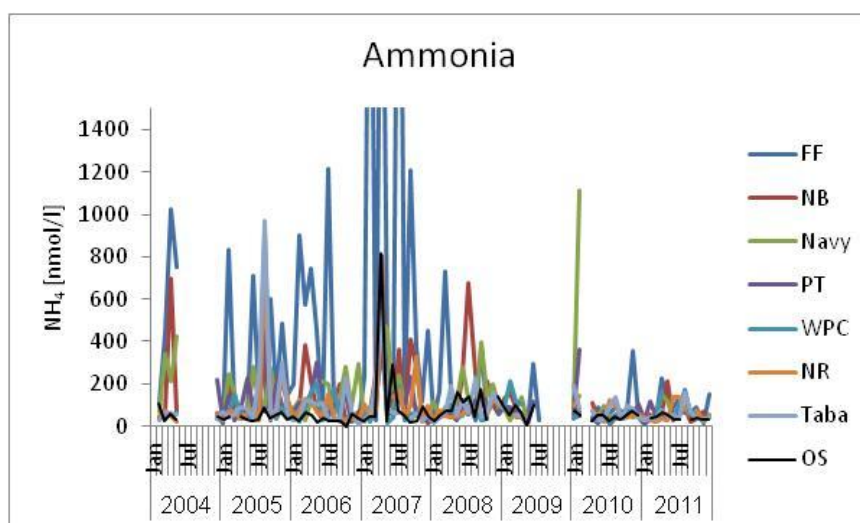


איור ג4: מדידות ניטריט + ניטראט (TON) חודשיות בתחנות הדיגום החופי מאז שנת 2004.
Figure C4: Monthly concentrations of total oxidized nitrogen (TON) at the coastal water sampling stations since 2004.

אמוניה (NH_4)

קשיי דיגום אשר מקורם בבלאי מתמשך של בקבוקי דיגום גרמו לכך שבשנים האחרונות 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 בצידוד החדש. האמוניה היא צורת חנקן זמינה מאוד ונצרכת במהירות על ידי פיטופלנקטון וחיידיקים, ועל כן ריכוזה בים (ובפרט בתנאים אוליגוטרופיים) צפוי להיות נמוך ביותר. ריכוזי אמוניה גבוהים מעודדים גידול אצות העשויות לפגוע בשוניית. 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 אפריל בתחנת כלובי הדגים (229 nmol/l). זהו שיפור גדול לעומת ריכוזי החריגות בשנות הניטור הראשונות, ואף מהשנים האחרונות. בסך הכל מאז 2008 התמעטו המקרים של מדידות חריגות, בפרט באזור כלובי הדגים והחוף הצפוני.

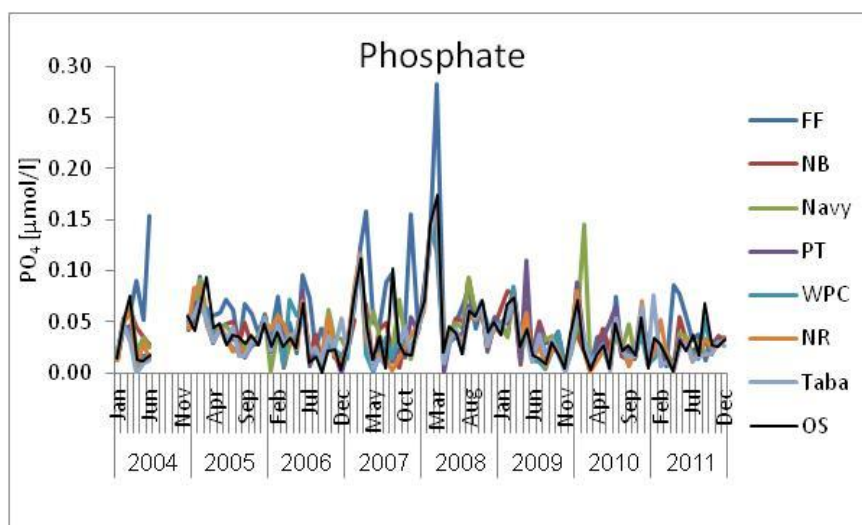


איור ג5: ריכוזי אמוניה (NH_4) בתחנות הדיגום החופי מאז שנת 2004.
Figure C5: Monthly concentrations of ammonia (NH_4) at the coastal water sampling stations since 2004.

פוספט (PO_4^{-3})

ריכוזי פוספט בתחנות החופיות ובים הפתוח מראים מחזוריות שנתית חלשה של ערכים גבוהים יחסית בחורף ונמוכים בקיץ. הפוספט גם הוא נוטריינט חשוב ליצרנות ראשונית, ועל כן בקיץ ריכוזו בפני הים נמוך עקב צריכה בתהליך הפוטוסינתזה. בחורף ריכוזו עולה עקב ערבוב מי השטח עם מי עומק עשירים בנוטריינטים. ריכוזי פוספט מקומיים גבוהים באופן חריג בתחנות החופיות עשויים להצביע על העשרה מקומית בנוטריינטים.

ריכוזי הפוספט בכל התחנות השנה דומים באופן כללי לריכוזי השנתיים הקודמות, ונמוכים בדרך כלל ממדידות השנים 2007-8 (איור 6). הערך הגבוה ביותר נמדד בחודש אפריל בתחנת כלובי הדגים, $0.086 \mu\text{mol/l}$. באותו חודש נמדד בתחנת הים הפתוח ריכוז של $0.002 \mu\text{mol/l}$ בלבד. ערכים נוספים, גבוהים יחסית, נמדדו במספר מקרים, אולם החריגות הגדולות שנמדדו בעבר בעיקר בתחנת כלובי הדגים לא נמדדו בשנים האחרונות.



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

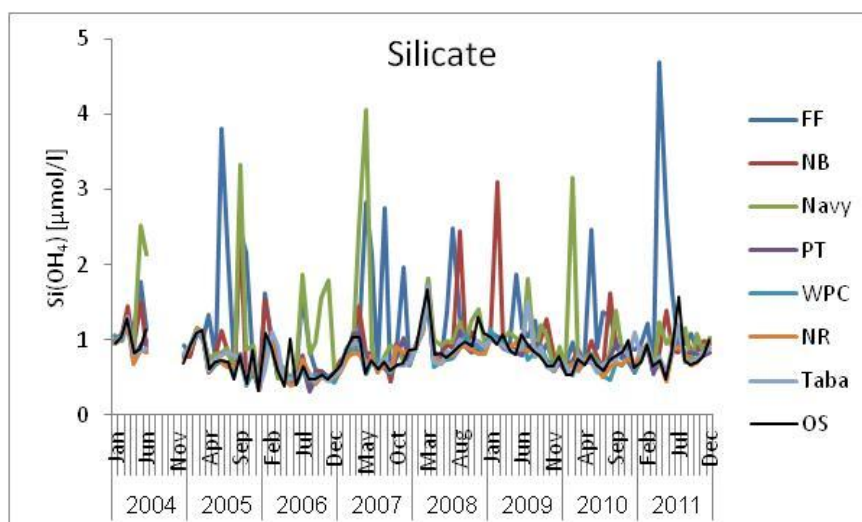
Figure C6: Phosphate concentrations (PO_4) at coastal-water sampling stations since 2004.

סיליקה (Si(OH)_4)

סיליקה היא רכיב מומס המשמש בהשקעת שלד צורני במגוון גדול של פטו/זואו-פלנקטון (דוגמת דיאטומאות) בעמודת המים. בהתאם לכך הסיליקה נצרכת במי השטח על ידי יצורים אלה וריכוזה נמוך במיוחד בקיץ וגבוה מעט יותר בחורף עם ערבוב מי השטח במי עומק עשירים יותר.

משרעת הריכוזים בים הפתוח השנה הייתה $1.572-0.474 \mu\text{mol/l}$, מעט גבוהה מריכוזי השנה הקודמת. על רקע זה בולטת מדידת הריכוז החריג בתחנת כלובי הדגים בחודש אפריל, $4.680 \mu\text{mol/l}$ (איור 7). גם בתחנות חופיות אחרות נמדדו בדרך כלל ריכוזי סיליקה גבוהים מערכי הים הפתוח אולם לא באותה מידה.

בשנים האחרונות נמדדו פחות מקרים של ריכוזי סיליקה (כמו גם נוטריינטים אחרים) גבוהים באופן חריג, אולם ריכוז הסיליקה הגבוה אשר נמדד באפריל בתחנת כלובי הדגים הוא הגבוה מאז תחילת הניטור.



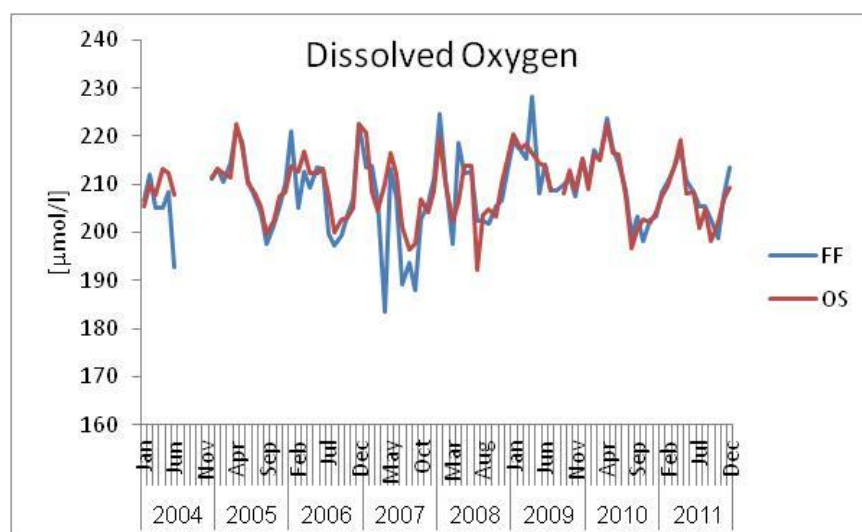
איור ג7: ריכוזי סיליקה (Si(OH)_4) בתחנות הדיגום החופי מאז 2004.

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

חמצן מומס

חמצן מומס נמדד בשתי תחנות, בתחנת "כלובי הדגים" שבחוף הצפוני ובתחנת הים הפתוח. ריכוז החמצן המומס עולה בחודשי האביב, ויורד בקיץ-סתיו. 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 השטח 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 $219.1 \mu\text{mol/l}$ בחודש ל- $198.8 \mu\text{mol/l}$ באוקטובר. הערך המרבי השנה נמוך מעט מהערך המרבי שנמדד בשנה הקודמת. ($223.6 \mu\text{mol/l}$). אולם בסך הכל אין הבדלים גדולים בריכוזי החמצן המומס בים בשנים האחרונות, אם כי בשנים 2007-8 היו תנודות גדולות יותר, עקב הערבוב העמוק אז (איור ג8). דינאמיות של שינויים בריכוזי החמצן עשויה להצביע על מחזוריים של פריחות פטופלנקטון וקריסתן. העובדה כי השינויים השנה קטנים מצביעה אולי על פריחות חלשות.



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

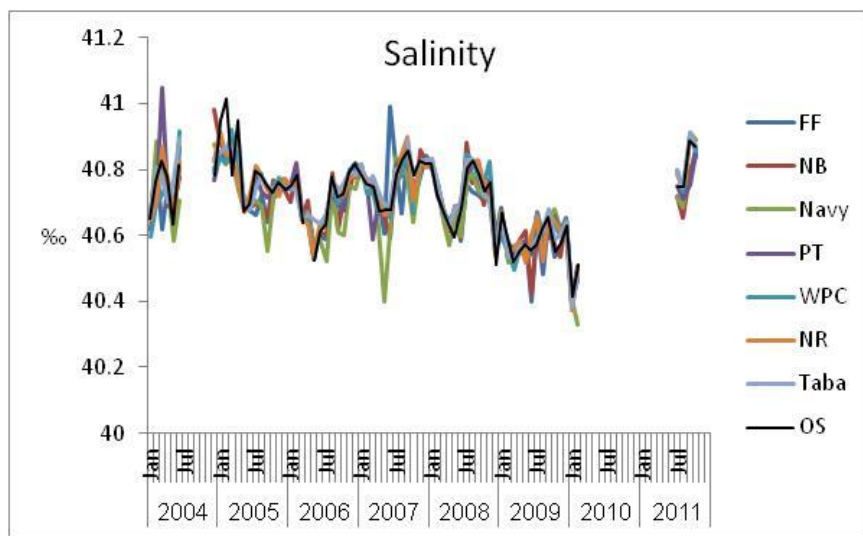
Figure C8: Monthly concentrations of dissolved oxygen at the coastal water sampling stations since 2004.

מדדים פסיקליים

מליחות

בשנה הקודמת אובחנה נדידה חזקה של תוצאות מדידות המליחות במד המליחות במעבדה. כתוצאה מכך הוחלט לא להציג תוצאות מליחות שנמדדו במכשיר זה החל מחודש פברואר 2010. מחודש יולי השנה (2011) מוצגות מדידות אשר נעשות במד מליחות חדש שרכשה התכנית בשיתוף עם המכון הבינאוניברסיטאי. מדידות המליחות במכשיר החדש עברו בדיקות וכיולים לפני שהוסכם לצרפן לרישום המליחות ארוך הטווח אשר מבצעת תכנית הניטור.

מדידות המליחות של סוף השנה הנוכחית גבוהות ממדידות 2009-10 ודומות בערך למדידות העונה המקבילה בשנים 2007-8 (איור ג9).



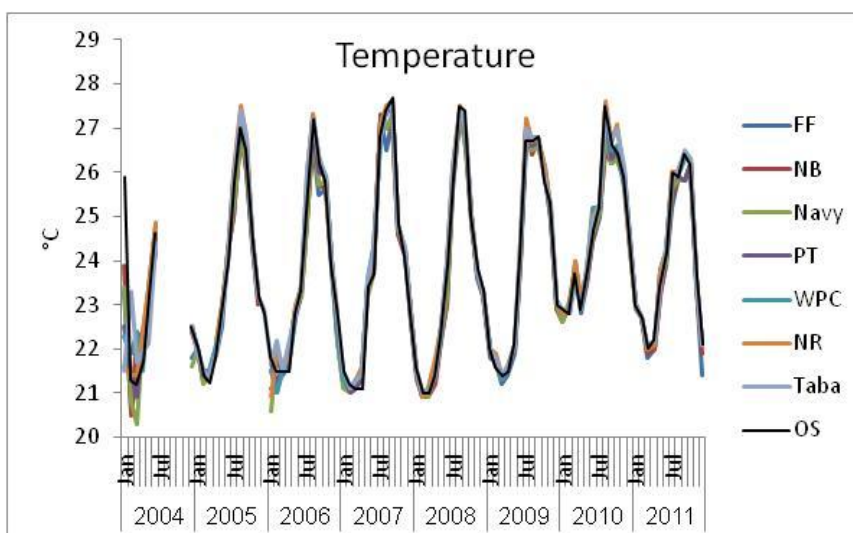
איור ג9: מדידות מליחות בתחנות הדיגום החופי מאז שנת 2004. שגיאה אובחנה במדידות המליחות החל מחודש פברואר 2010, ביולי 2011 החלו להתקבל תוצאות ממכשיר חדש.

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 שנתי מובהק של ערכים נמוכים בחודשי החורף וערכים גבוהים בקיץ. הטמפרטורה אשר נמדדה כל השנה בתחנות החופיות דומה לטמפרטורת הים הפתוח. השנה החלה בטמפרטורת חורף נמוכה של 21.8°C (חודש מרץ) הטמפרטורה הגבוה ביותר נמדדה בחודש ספטמבר 26.5°C , ובסוף השנה עם הקירור של המחזור העונתי הבא נמדדה טמפרטורה נמוכה של 21.4°C (איור ג10). באופן כללי מחזור הטמפרטורות השנה נמוך משני המחזורים הקודמים, עובדה המעידה על אפשרות למחזור ערבוב עמוק בשנה 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).]



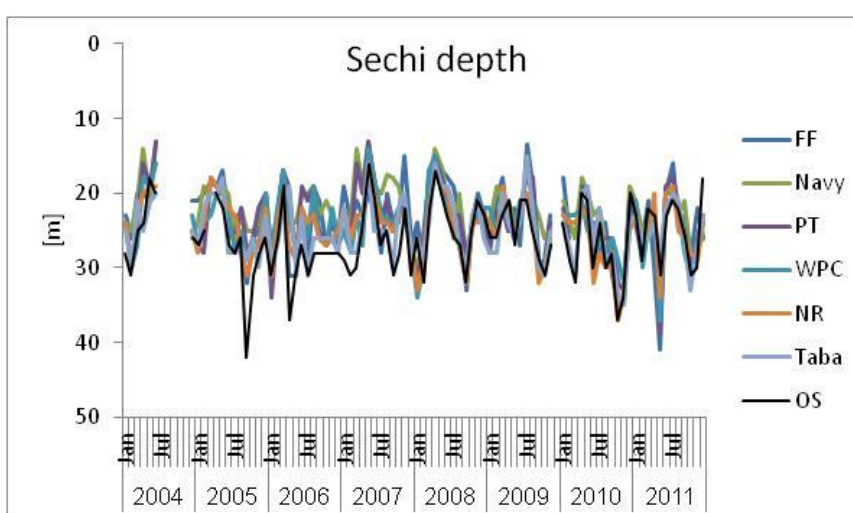
איור ג10: מדידות טמפרטורה בתחנות הדיגום החופי מאז שנת 2004.
Figure C10: Temperature at the coastal water sampling stations since 2004.

עכירות

הערכת עכירות המים נעשית לפי מדידת "עומק סקי" (Secchi) אינה בעלת דיוק גבוה, בהיותה מושפעת גם מגורמים כגון מצב הים (היינו, השתברות 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 16 מ' בחודשים בקיץ בתחנת כלובי הדגים, ועומק מרבי של 41 מ' בחודש מאי, גם כן בתחנה זו (איור ג11). עומק הסקי המרבי היה השנה הגדול ביותר מאז שנת 2005, בה נמדד העומק המרבי במסגרת תכנית הניטור (42 מ' בים הפתוח).



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.

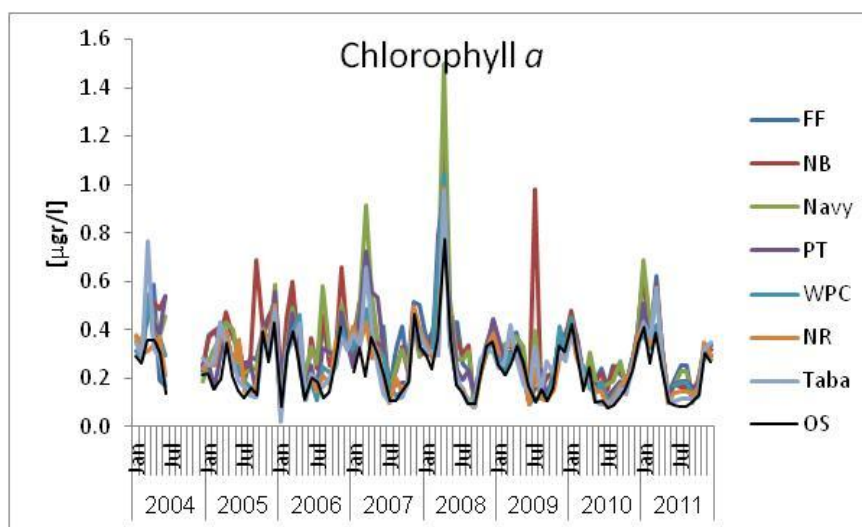
מדדים ביולוגיים

כלורופיל a

ריכוז כלורופיל a קשור ישירות למחזור הערבוב השנתי, המספק חומרי מזון ויוצר פריחת פוטופלנקטון בחודשי האביב. בדרך כלל נמדדים ריכוזים נמוכים יותר בתחנת הים הפתוח ובתחנות הדרומיות, וגבוהים יחסית בתחנות הצפוניות. ריכוזי הכלורופיל שנמדדו השנה נמוכים מאלה של השנים 2007-9, אולם ניתן להבחין בשני מחזורי פריחה – בחודשים ינואר ומרץ – בהם נמדדו ריכוזי כלורופיל גבוהים יחסית (איור ג12). בחודשים אלה היו ריכוזי כלורופיל גבוהים הן בים הפתוח והן (במידה רבה יותר) בתחנות החופיות. בחודשים יולי-אוגוסט היו ריכוזי הכלורופיל בים הפתוח נמוכים (כצפוי) אולם ברוב התחנות החופיות נמדדו ריכוזים גבוהים יותר.

בים הפתוח משרעת ריכוזי הכלורופיל הייתה השנה $0.41 \mu\text{gr/l}$ בחודש ינואר עד $0.08 \mu\text{gr/l}$ בחודשים יולי-אוגוסט. ריכוז כלורופיל מרבי של $0.69 \mu\text{gr/l}$ נמדד השנה בחודש ינואר בתחנת חיל הים-מרידיאן. ריכוזים אלה גבוהים מריכוזי השנה הקודמת, אך נמוכים בהרבה מריכוזי השנים 2007-8. בכל השנים, מאז תחילת הניטור ב-2004, נמדדו מדי פעם ערכים גבוהים המצביעים על פריחת פוטופלנקטון. בשנה הקודמת לא תועדה "פריחת אביב" בשום תחנה, והשנה נראה שהייתה פריחה חלשה. 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 הפוטופלנקטון 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 בפוטופלנקטון.



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.

דין

השנה הייתה טמפרטורת הים בחורף נמוכה באשר בשנתיים הקודמות, והערבוב היה מעט עמוק יותר. ערבוב עמודת המים הוא הגורם העיקרי המשפיע על הדינמיקה המחזורית של רוב המשתנים הנמדדים לאורך החוף. בנוסף לכך, בשלוש השנים האחרונות נמדדו הרבה פחות ערכים גבוהים באופן חריג מאשר בשנים שקדמו להן. השנה בולט בעיקר חודש אפריל בו נמדדו ערכים חריגים ברוב המדדים בתחנת כלובי הדגים.

ערכי רוב המדדים במי השטח גבוהים יותר בחודשי החורף מאשר בקיץ. התהליך השולט ברוב

המדדים הכימיים, הפיסיקליים והביולוגיים הנמדדים בתחנות הניטור החופיות הוא מחזור הערבוב השנתי. מחזור זה נשלט על ידי קירור וחימום מי השטח, אשר להם מחזוריות עונתית ברורה. בעונת החורף טמפרטורת מי השטח דומה לטמפרטורה בעומק, ונוצר גוף מים אחד במאות המטרים העליונים במפרץ. חימום פני המים בקיץ יוצר 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.

אירועי העשרה מקומיים, בפרט בחוף הצפוני, היו השנה מעטים יחסית אפילו בהשוואה לשנתיים הקודמות, ושיעורם היה לרוב קטן. בסך הכל נראה כי המערכת מתייצבת על ערכים דומים לאורך החוף עם מספר חריגות קטן וגם במקרים חריגים שיעור החריגה קטן. עובדה זו נובעת אולי מניתוק אחד המקורות העיקריים להעשרה באזור החוף הצפוני, כלובי הדגים. שלוש שנים לאחר שהוצאו כלובי הדגים מצפון המפרץ יתכן גם כי התמעט שחרור נוטריינטים מהקרקעית במקום בו היו הכלובים, תהליך אשר אמנם לא תועד אך הועלה כסביר לאור ממצאי השנה הקודמת. ראוי לציין כי דווקא בתחנה זו נמדדו בחודש אפריל 2011 הערכים החריגים של השנה, עובדה המצביעה על כך שעדיין מצויים בסביבה גורמי העשרה – תעלת הקינט היא מקור מוכר אפשרי.

פריחת אצות פלנקטוניות בקרבת החופים נמדדה השנה בחודשים ינואר ומרץ, אולם שיעורה לא היה גדול כמו בשנות הערבוב העמוק 2007-8. הגורם העיקרי המשפיע על פריחת אצות הוא אספקת הנוטריינטים באמצעות הערבוב, שהגיע השנה לעומק של כ-320 מ', אולם גם אספקה חיצונית של נוטריינטים עשויה להזין פריחה – ונראה כי גם זה לא קרה השנה.

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. רק בתחנת כלובי הדגים בחודש אפריל היה השנה אירוע העשרה בנוטריינטים מובהק ונמדדו ריכוזים גבוהים של רוב המדדים. ריכוזים אלה מעידים על כניסת מים זרים, מועשרים, אל הים.

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.

שיטות

הסקר מבוצע על ידי תכנית הניטור בהדרכת פרופ' אריק דיאמנט מחי"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 הטרוקסנים 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 הדרומיים ברכיכות וכנראה גם בחסרי חוליות נוספים. מקבוצה זו נבדקו המינים *Hexangium sp.* (Hexan.), *Gyliauchen sp.* (Gyliauc.), *Opisthogonoporides sp.* (Opist.).
המשתנים הנבדקים לגבי מיני טפילים אלה הם שכיחות, עושר המינים, 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. במסגרת הניטור נבדקו גם מספר דגים מהמין *Siganus luridus* (סיכן הודי) שנלכדו במהלך הדיגום. מין זה נבדל בצורתו ובהעדפת איזורי מחיה והמזון שלו מהסיכן המשויש.
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 20 דגים מהמין סיכן משויש ו-8 דגים מהמין סיכן הודי באזור המכון הבינאוניברסיטאי-שמורת האלמוגים (להלן SB). ספירת הטפילים בדגים אלה מובאות בטבלאות ג2 (סיכן משויש) ו-ג3 (סיכן הודי).

No.	location	weight (gr)	length (cm)	fork length (cm)	sex	Parasite						date
						Scler.	Gyliauc.	Proc.	Cucul.	Opist.	Hexan.	
2510111sr	IUI	130	23	5.5	F	0	0	4	0	0	1	25/10/2011
2510112sr	IUI	177	25	7.7	M	0	0	3	0	0	0	25/10/2011
2510113sr	IUI	147	24	6	M	0	0	2	0	0	0	25/10/2011
1511111sr	IUI	101	20	5	M	2	0	1	0	0	4	15/11/2011
1511112sr	IUI	152	24	6.5	nd	0	0	4	0	0	0	15/11/2011
1511113sr	IUI	126	22.5	7	nd	0	0	5	0	0	2	15/11/2011
2211112sr	IUI	100	21	5.7	nd	3	0	1	0	0	1	22/11/2011
2911111sr	IUI	177	25.5	7	M	0	0	1	0	0	1	29/11/2011
612111sr	IUI	108	20.1	6.5	nd	0	0	2	0	0	0	06/12/2011
612113sr	IUI	141	24	7	nd	1	0	0	0	0	4	06/12/2011
1512112sr	IUI	224	28	8	nd	0	8	4	0	0	3	15/12/2011
1512113sr	IUI	102	21	6	nd	5	0	0	0	0	2	15/12/2011
2812111sr	IUI	161	24	7.5	F	1	0	1	0	0	0	28/12/2011
2812112sr	IUI	197	25	7.5	F	0	0	1	0	0	0	28/12/2011
2812113sr	IUI	89	19	6.5	nd	3	0	2	0	0	0	28/12/2011
2812114sr	IUI	142	23	8	F	1	0	1	0	0	0	28/12/2011
2812115sr	IUI	95	19	5.5	F	0	0	2	0	0	3	28/12/2011
2812116sr	IUI	151	24.5	7.5	nd	0	0	3	0	0	0	28/12/2011
2812117sr	IUI	94	19.5	6	nd	1	0	3	0	0	1	28/12/2011
2812118sr	IUI	164	23	7.5	nd	2	0	1	0	1	0	28/12/2011

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

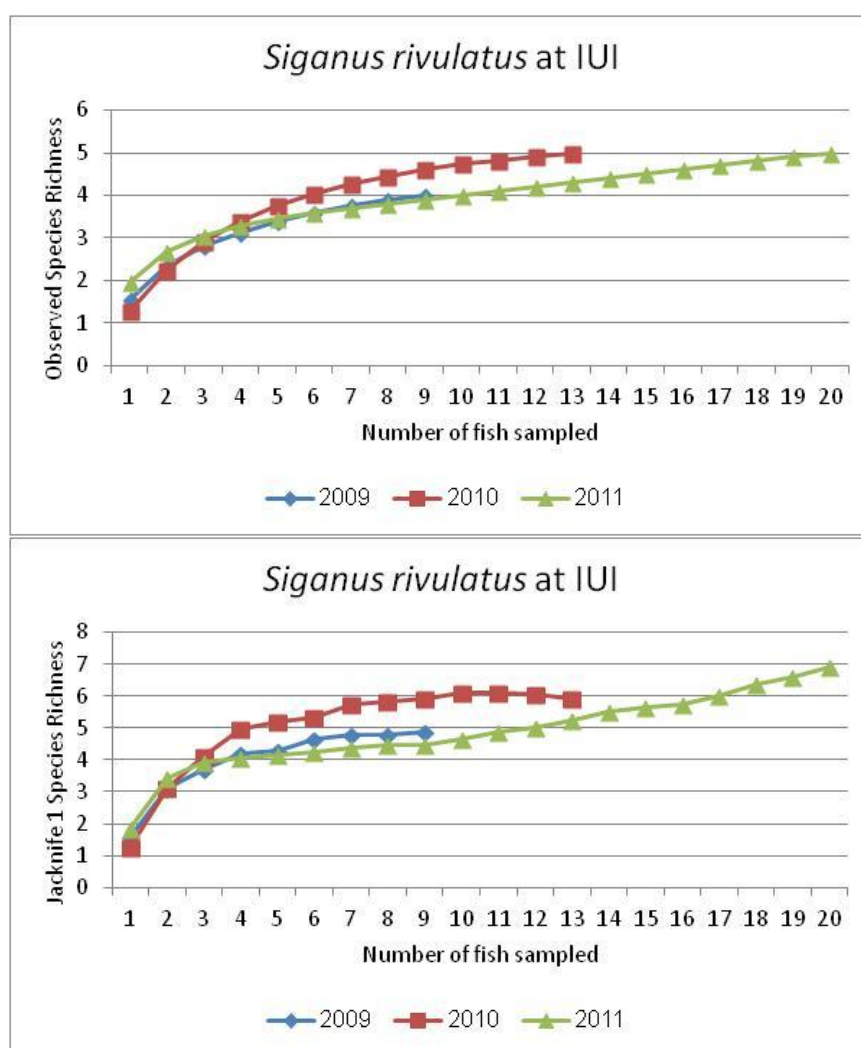
Table C2: Parasites found in *Siganus rivulatus* from near the IUI.

No.	location	weight (gr)	length (cm)	fork length (cm)	sex	Parasite						date
						Scler.	Gyliauc.	Proc.	Cucul.	Opist.	Hexan.	
2009111sl	IUI	191	24.2		M	0	453	48	0	0	0	20/09/2011
2009112sl	IUI	173	22.6		F	0	486	44	0	0	0	20/09/2011
1011111sl	IUI	126	20	5	M	0	511	16	0	2	0	10/11/2011
2211111sl	IUI	154	21.5	6.3	F	0	1362	25	0	0	3	22/11/2011
2311113sl	IUI	124	20.5	5.5	F	0	1565	8	0	0	0	23/11/2011
612112sl	IUI	170	21.5	6.5	F	0	692	7	0	0	2	06/12/2011
612114sl	IUI	121	19.5	5.5	nd	0	476	3	0	0	0	06/12/2011
1512111sl	IUI	200	23.5	7	F	0	387	2	0	0	0	15/12/2011

טבלה ג3: הטפילים שנספרו בדגי סיכן הודי אזור המכון הבינאוניברסיטאי.

Table C3: Parasites found in *Siganus luridus* from near the IUI.

על אף ההבדל בין גודל המדגם בין שני מיני הדגים המאכסנים אשר נבדקו (סיכן משויש וסיכן הודי) ניתן להתרשם שהנמטודה *P. elatensis* והדיגיניאה *Gyliauchen* sp. נפוצים בסיכן ההודי הרבה יותר מאשר בסיכן המשויש. שני המינים נבדלים מעט באזורי מחייתם בשונית, בהתנהגותם החברתית (רעיה בלהקה מול רעיה בזוגות או בבדידות), בהעדפות התזונתיות שלהם (סוג האצות), ועוד (Lundberg, B., 1995 and Golani, D., 1995), ושוני זה ביניהם מתבטא באופי פאונת טפילי המעי המתפתחת בכ"א מהם. תכנית הניטור מזהה ששה מינים של טפילי 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 ג'13), אולם נדמה כי בשנת 2009 היה מספר הטפילים ההטרוקסנים קטן מאשר בשנים 2010-11. הערכת עושר המינים "האמיתי" באמצעות המערך Jackknife 1 מראה תמונה דומה (איור ג'13, למטה) בה עושר המינים ב-2009 מגיע ל-4, ב-2010 ל-6, ובשנה הנוכחית עושר המינים המצופה מגיע ל-7. בכל מקרה נראית עלייה בעושר המינים של הטפילים ההטרוקסנים הנבדקים בין השנים.

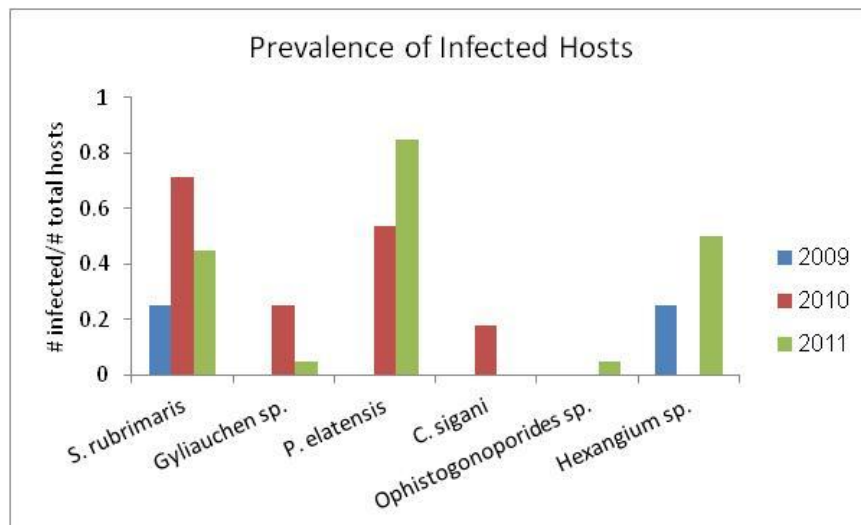


איור ג'13: עקומות צבירה (rarefaction) של עושר מיני הטפילים הנבדקים במעי דגים מהמין סיכן משויש, מחושבות בעזרת תכנת EstimateS. למעלה: עושר המינים הנצפה, למטה: עושר המינים המוערך על פי המודל Jackknife-1.

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

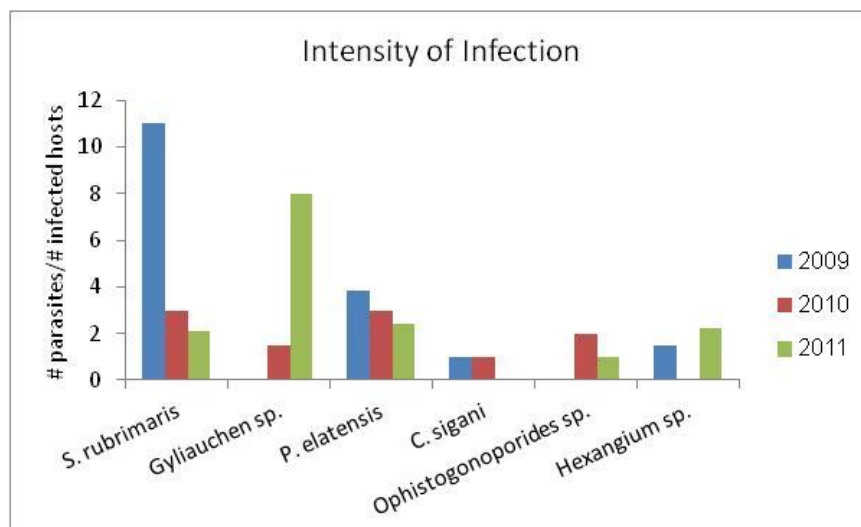
לגבי הטפילים הנבדקים נמדדו שכיחות, עושר המינים, עוצמת הנגיעות וחשיבותה. שכיחות ההדבקה

בטפילים השונים אשר נבדקו מוצגת באיור ג14. ניתן שוב לראות כי מספר הטפילים המזוהים השנה גדול מאשר בשנתיים הקודמות, ושכיחות ההדבקה בדרך כלל גבוהה יותר (בשנת 2010 שכיחות ההדבקה ברוב הטפילים הייתה גבוהה מאשר ב-2009).



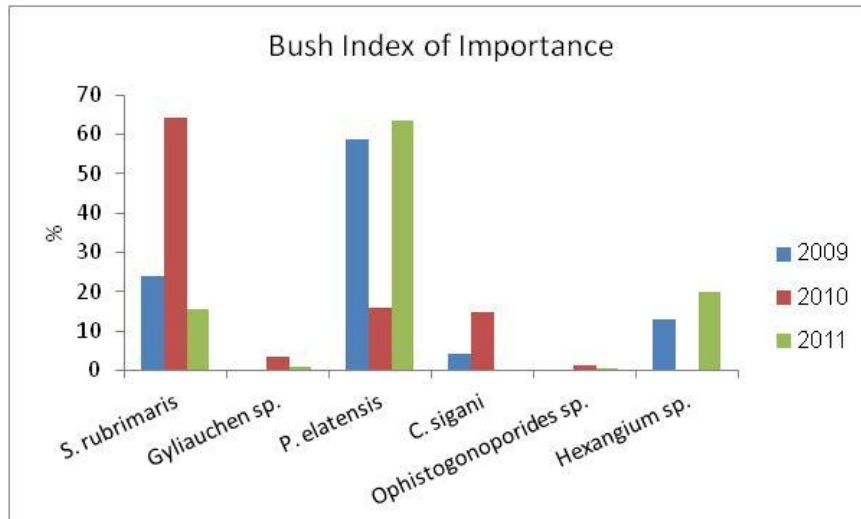
איור ג14: שכיחות הנגיעות בשושה מיני טפילי המעינים הנבדקים בדגי הסיכך המשוויש.
Figure C14: Prevalence of the six gut parasite species examined in *S. rivulatus*.

עצמת ההדבקה עבור הטפילים *S. rubrimaris* ו-*P. elatensis* הייתה גבוהה בשנת 2009 וירדה מאז (איור ג15).



איור ג15: עצמת הנגיעות בשושה מיני טפילי המעינים הנבדקים בדגי הסיכך המשוויש.
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 העקרי בשנים 2009 ו-2011, בעוד שבשנת 2010 היה זה *S. rubrimaris*, שהיה נפוץ גם בשנת 2009 (איור ג16).



איור ג16: אינדקס בוש לחשיבות הנגיעות בששה מיני טפילי המעיים הנבדקים בדגי הסיכן המשווים.
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. בבדיקה ההיסטולוגית נמצא כי מתוך 21 הדגים שנבדקו השנה, ב-8 היו גרנולומות בטחול. סימנים פתולוגיים אלה היו קלים ולא ניתן היה לזהות את הגורם להווצרותם, למעט במקרה אחד שבו התעורר חשד לנוכחות חיידקי מיקובקטריום (*Micobacterium marinum*). בסך הכל, ניכרת ירידה בשכיחות חיידק זה באזור הנבדק (החוף הדרומי, סמוך למכון הבינאוניברסיטאי), שהיה בעבר אזור שבו דגי הסיכן (ומיני דגים נוספים) הציגו שכיחויות 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 הסיכן המשווים (*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. ריכוזי מתכות במרינה אילת

מטרה

מעקב אחר איכות המים והסדימנט במרינה אילת כאזור מועד להצטברות מתכות רעילות.

שיטות

מים וסדימנט נדגמו במשך הפלגת דיגום ייעודית. דוגמאות נלקחו מתעלת הכניסה למרינה (1), בחלקה הצפון-מזרחי של המרינה ליד הגשר (2), בקצה הצפון-מערבי (3), ודוגמת ביקורת בים מחוץ למרינה בעומק מים של כעשרה מטרים (נקודה C, איור 17). מים מפני הים נדגמו ישירות למבחנות נקיות על ידי שחיין במרחק מטרים מהסירה. דוגמאות סדימנט נאספו בשנירקול ישירות לתוך מבחנות נקיות. המבחנות אוחסנו בקירור עד להעברתם למעבדה האנליטית במכון למדעי כדור הארץ של האוניברסיטה העברית, שם בוצעו האנליזות הכימיות. המדידות נעשו על ידי אופיר תירוש (תחת השגחתו של פרופ' יגאל אראל) באמצעות מכשיר ה-ICP-MS (Agilent 7500 cx) במעבדה לגיאוכימיה אנליטית במכון למדעי כדור הארץ, האוניברסיטה העברית, גבעת רם, ירושלים. טיפול: דוגמאות סדימנט יובשו לחלוטין, ולאחר מכן נטחנו לאבקה באמצעות מכתש ועלי ועורבבו. מכל דוגמה נלקחה כמות של 1 גר' לאנליזה. הסדימנטים עברו מיצוי באמצעות חומצה חנקתית (HNO_3) מזוקקת בריכוז 3M במשך 24 שעות. התמיסה נמהלה פי 100 לצורך אנליזה ב-ICP MS. דוגמאות מי ים נמהלו פי 50 לצורך אנליזה ב-ICP MS ונמדדה בשיטת standard addition על ידי הוספת סטנדרטים אנליטיים בריכוזים ידועים לכל אחת מהדוגמאות.



איור 17: מיקום המרינה בחוף הצפוני של מפרץ אילת, בעיר אילת (למעלה) ומיקום נקודות הדיגום במרינה (למטה).

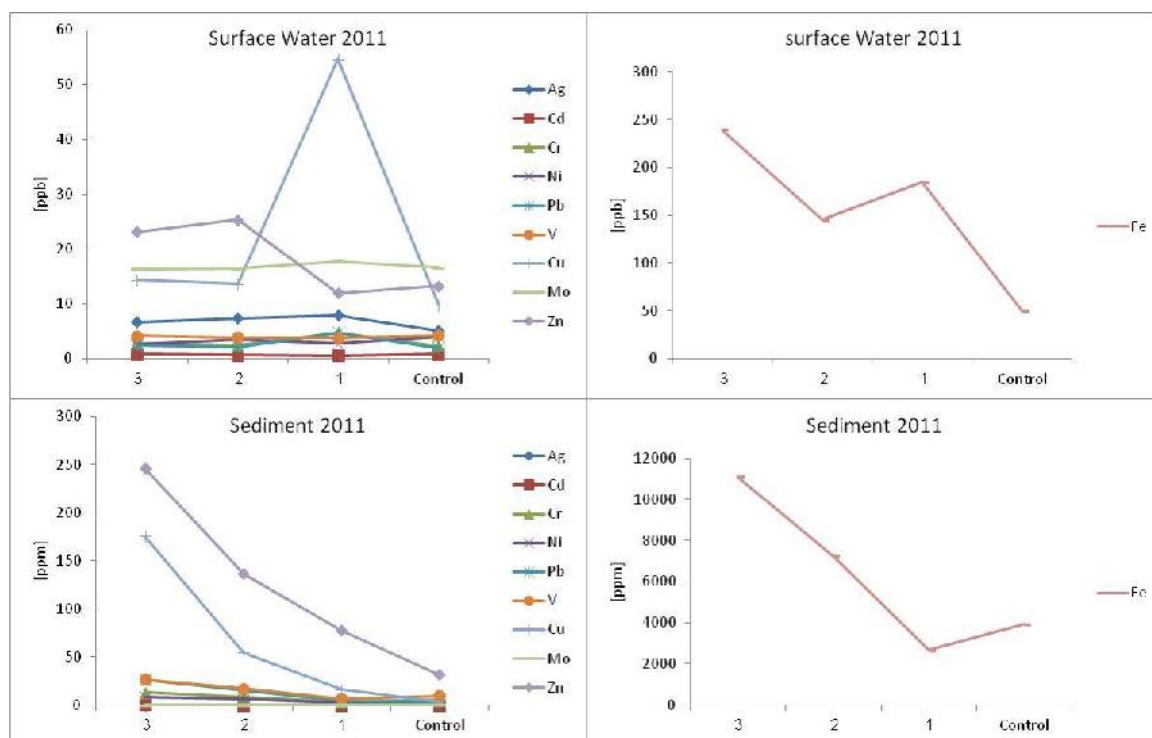
Figure C17: Location of the Eilat marina on the northern beach of the gulf, within the town (top), and location of sampling points within the marina (bottom).

תוצאות

מדידות זיהום נעשו בעבר, בשנים 2004 ו-2006, על ידי המחלקה למניעת זיהום ים של המשרד להגנת הסביבה באילת. תכנית הניטור קיבלה על עצמה את המשך המדידות החל משנת 2009, מתוך החלטה לבצע הדיגום אחת לשנתיים. המדידות הקודמות היו מקיפות יותר מבחינת מספר האלמנטים שנמדדו אולם עבור רבים מהם הריכוז היה נמוך מסף הגילוי של המכשירים האנליטיים בהם נעשה שימוש (האנליזות בעבר נעשו על ידי חברת "בקטוכם" (למעט בדיקות שמן מינרלי אשר נעשו על ידי "מכון הנפט").

מכיוון שלא נמצאו שינויים מהותיים בין המדידות בשנים 2004 ו-2006, הוחלט להתמקד במספר מצומצם יותר של מתכות כבדות ולנסות להגיע לדיוק אנליטי רב יותר, וזאת על מנת שניתן יהיה לכמת את ההתפתחות לאורך זמן. נבחרה סידרה של יסודות המייצגים קבוצות שונות של מתכות אשר מספקת תמונה על מצב הזיהום של המרינה במתכות. הדיוק האנליטי היה גבוה עד כדי שלושה סדרי גודל עבור חלק מהיסודות מאשר במדידות הקודמות (טבלה ג4).

ריכוזי המתכות במי השטח במרינה נמוכים בדרך כלל, ולא שונים הרבה מנקודה לנקודה. יוצאים מן הכלל הם ריכוזי האבץ והנחושת המראים שינויים מקומיים, וריכוז הברזל אשר גבוה משמעותית בנקודה הפנימית ביותר (3) ויורד בנקודות החיצוניות ובעיקר מחוץ למרינה (איור ג18). בסדימנט ניכרת תמונה ברורה יותר של ירידה בריכוזי המתכות מהנקודות הפנימיות לנקודות החיצוניות ולנקודת הביקורת. ההבדלים בין מים וסדימנט צפויים מכיוון שבמים ניכרות השפעות זמניות בעוד שהסדימנט מראה את התמונה המצטברת והצפויה – באזורים בהם תחלופת המים חלשה יותר נצברים ריכוזי מתכות גבוהים יותר. באופן כללי, ריכוזי המתכות בסדימנט גבוהים פי 1000 מהריכוזים במים.



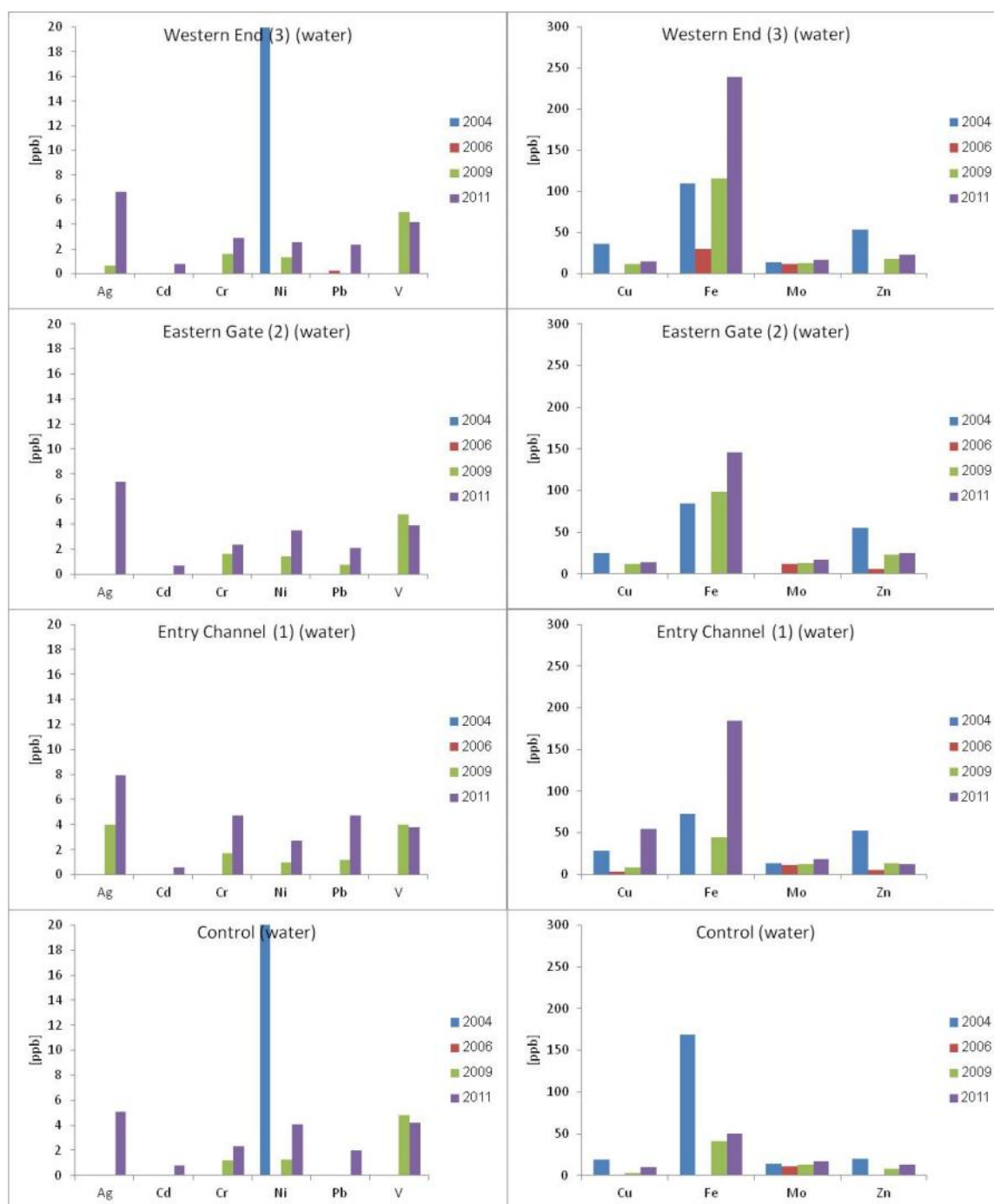
איור ג18: השתנות ריכוזי מתכות במי המרינה (למעלה) ובקרקעית (למטה) בנקודות הדיגום בשנת 2011. נקודה 3 היא הפנימית ביותר במרינה ונקודה 1 נמצאת בתעלת הגישה לים. נקודת הביקורת נמצאת מחוץ למרינה בעומק מים של כעשרה מטרים.

Figure C18: Metal concentrations in the Eilat marina. Top – in surface water, Bottom – in sea floor sediments. Point 3 is at the end of the marina while points 2 and 1 are progressively closer to its outlet to the sea. The control is outside the marina at water depth of approximately 10 meters depth.

במדירות השנים 2004 ו-2006, אשר נעשו על ידי גורם שלישי במיכשור בעל רגישות נמוכה, נמצאו לעיתים ריכוזים גבוהים באופן מעורר חשד במים הפתוחים מחוץ למרינה, למשל ריכוז הברזל שנמדד אז בנקודת הביקורת גבוה בהרבה מהריכוז שנמדד בתוך המרינה ומהריכוזים שנמדדו בנקודה זו מאז (איור ג19). בדומה, ריכוזי הניקל אשר נמדדו באותה שנה גבוהים באופן בלתי סביר. ריכוזי הניקל המדודים בשנת 2004 גבוהים בהרבה מהסקלה המוצגת כאן. חשוב לציין כי מדירות של ריכוזי מתכות רגישות ביותר לזיהומים וישנו חשש לזיהום הדוגמה. המדירות הנ"ל משנת 2004 חשודות על ידינו כשגויות לאור הדיוק הנמוך במדידת מתכות בסקרים מהשנים 2004 ו-2006. רבות מהמתכות היו תחת סף הרגישות של המדידה בשנים 2004 ו-2006 ואין בידינו ערכים להשוואה. מהנתונים הקיימים נראה שריכוזי רוב המתכות ברוב הנקודות לא השתנו בשנים האחרונות, לבד מריכוזי הברזל אשר עלו בכל התחנות (לבד ממדידת הביקורת משנת 2004 הנזכרת למעלה).

הריכוזים החורגים מעל התקן המרבי למי ים התיכון הם ריכוזי הנחושת, אשר עלו מאז שנת 2009. התקן הוא 10ppb (תקני סביבה לאיכות מי הים התיכון בישראל, אגף ים וחופים, המשרד לאיכות הסביבה, 2002. אין תקן מפורסם לאיכות המים במפרץ אילת.) ובשלושת הנקודות הפנימיות במרינה

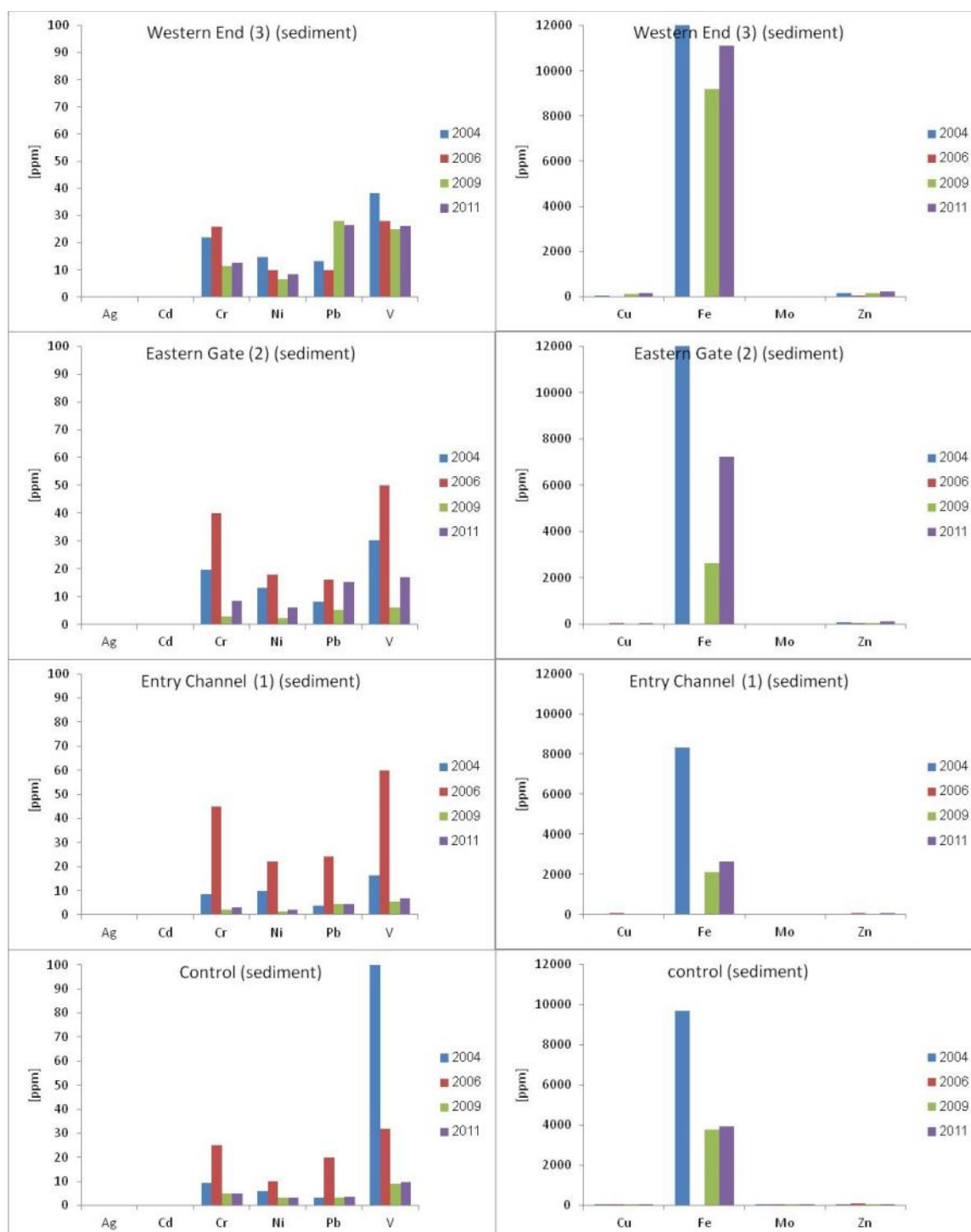
אילת נמדדו השנה ריכוזים גבוהים יותר.



איור ג19: השוואה בין ריכוזי מתכות במי המרינה בין השנים 2004, 2006 ו-2009. נקודה 3 היא הנקודה הפנימית ביותר (בה נמצאו הריכוזים הגבוהים ביותר) ונקודת הביקורת מצויה מחוץ למרינה. Figure C19: A comparison of metal concentrations in sea water of the Eilat marina between the years 2004, 2006 and 2009. Point 3 is the innermost point at the marina, where concentrations were highest, and the control is outside the marina.

גם חלק מריכוזי המתכות בסדימנט המדווחים מהשנים 2004 ו-2006 חשודות בעינינו כשגויות. בפרט נכון הדבר לגבי ריכוזי הברזל בשלוש הנקודות הפנימיות וריכוזי הוונדיום בנקודת הביקורת, משנת 2004. מדידות אלה חורגות מן הסקאלה המוצגת כאן. מלבד אלה, ריכוזי המתכות בסדימנט השנה דומים לריכוזים שנמדדו בשנת 2009, להוציא עלייה ברורה בריכוזי הברזל בשתי הנקודות הפנימיות ביותר (איור ג20). ריכוזי המתכות אשר נמדדו בסדימנט מהמרינה באילת אינם חורגים מהתקנים.

זוהי הפעם השניה שתכנית הניטור מבצעת מדידות במרינה. במקרים רבים מדידות השנים 2004 ו-2006, אשר נעשו ביוזמת היחידה למניעת זיהום ים של המשרד להגנת הסביבה, אינן ברורות השוואה למדידות הניטור עקב רגישות נמוכה של המדידה. בשנים הבאות ניתן יהיה לעקוב אחר ריכוזי המתכות במרינה בהשוואה למדידות 2009 ו-2011.



איור 20: השוואה בין ריכוזי מתכות בסדימנט מקרקעית המרינה בין השנים 2004, 2006 ו-2009. נקודה 3 היא הנקודה הפנימית ביותר (בה נמצאו הריכוזים הגבוהים ביותר) ונקודת הביקורת מצויה מחוץ למרינה.
Figure C20: A comparison of metal concentrations in sediments of the Eilat marina between the years 2004, 2006 and 2009. Point 3 is the innermost point at the marina, where concentrations were highest, and the control is outside the marina.

ג.4. שינויים במאספי פורמיניפרים בנתונים בתגובה לפינוי כלובי הדגים במפרץ אילת-עקבה

הניטור שלהלן החל במסגרת עבודת מחקר של שי אורון לשם קבלת תואר מוסמך במדעי הטבע 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 הניטור מהשנה שעברה (2010), ובו תיעוד תהליכי שיקום קרקעית הים באזור בו נמצאו בעבר כלובי הדגים (אשר הוצאו סופית בקיץ 2008).

לאור הממצאים המעניינים שעלו מעבודת המוסמך הנ"ל, אשר תיעדו התאוששות חברת הבנטוס באזור בו היו 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 כשלוש שנים, כפי שנכתבו על ידי שי אורון והמעורבים הנוספים במחקרה.

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

עקבה

(תקציר תוצאות ומסקנות עבור דו"ח ניטור 2011)

שי אורון^{1,3}, גילי מרקדו¹, סיגל אברמוביץ¹, בברלי גודמן צ'רנוב², משה כפלאווי³, דרור אנג'ל²

¹אוניברסיטת בן גוריון בנגב shaioron@yahoo.com

²אוניברסיטת חיפה

³המכון הבינאוניברסיטאי באילת

1. תקציר (אנגלית)

2. הקדמה

3. תקציר תוצאות ומסקנות עיקריות

3.1 מאסף כולל

3.2 מאסף חי בסדימנט

3.3 מאסף חי על עשב הים

Monitoring the benthic foraminiferal response to the removal of aquaculture fish cages in the Gulf of Aqaba-Eilat

Abstract

For about 20 years, fish cage aquaculture facilities were located at the northern end of the Gulf of Eilat, about 300 m offshore. Rising concerns about the potential damage inflicted on the gulf's ecological system and littoral environment, due to the release of organic material and nutrients from the fish farms, was the center of a heated scientific, legal and public debate that ended with the National Council of Planning and Construction ordering the complete removal of the cages, which occurred in June 2008.

The cessation of fish cage aquaculture operations created a unique opportunity to monitor and assess changes in the benthos in response to the new conditions. The goal of this research was to document the changes in the benthic foraminiferal assemblages in the area where the fish cages were located. As they are sensitive indicators of environmental change, benthic foraminiferal data could be used to monitor the rehabilitation of benthic communities.

Monitoring was done by monthly sediment core sampling from stations at varying distance from the cage location. Sediment cores were cut in one cm thick slices, down to 10cm depth and stained with Rose-Bengal to distinguish between living and dead foraminifera at the time of collection. Changes in diversity and abundance of the total (stained and non-stained) and living (stained) assemblages in the top cm of cores from stations located 0, 20, 40 and 80 m from the cage location were analyzed.

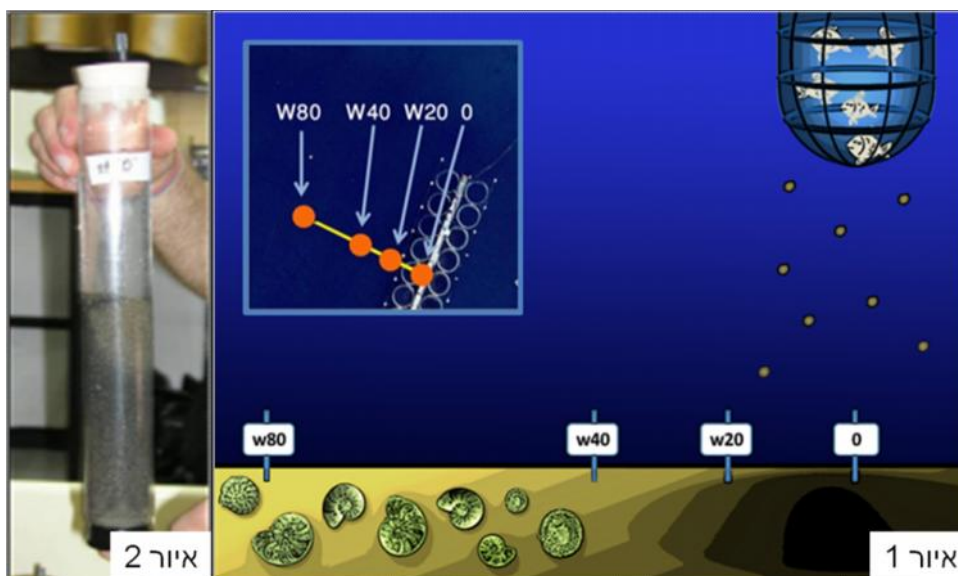
Our results show that the benthos below the fish cages was severely impacted by organic matter loading, resulting in an environment with no living foraminifera. About six months after the removal of the cages living foraminifera, particularly

Assilina ammonoides (86% average relative abundance in live assemblages) appeared in the sediments, concurrently with the appearance of *Halophila stipulacea* (seagrass). All living species found on the seagrasses were also found in the dead assemblages, suggesting that seagrass meadows that existed before eutrophication were the source for some of the species in the dead assemblages.

There were clear trends in the foraminiferal live assemblages, showing progressing stages of succession on the temporal scale, and clear differences in the rate of this process on the spatial scale, related to distance from the point source of the organic enrichment.

2. הקדמה

במפרץ אילת התקיימה חקלאות ימית של גידול דגים בכלובים במשך כ-18 שנים. חוות הדגים מוקמו באזור החוף הצפוני במרחק של כ-300 מטרים מהחוף, בסמוך לגבול ישראל-ירדן. החשש לפגיעה הפוטנציאלית של כלובי הדגים במערכת האקולוגית של המפרץ ובסביבה החופית בשל השחרור המוגבר של תרכובות אורגניות ונוטריינטים העלול לגרום לאאוטריפיקציה היה במרכזו של ויכוח מדעי, משפטי וציבורי שבעקבותיו הורתה המועצה הארצית לתכנון ובנייה על פינוי הכלובים, שהושלם בחודש יוני 2008. הפסקת פעילותם של כלובי הדגים יצרה הזדמנות ייחודית לחקור את תהליך השיקום של אוכלוסיות הפורמינפרים הבנתונים, הידועים כסמנים אקולוגיים רגישים. מרבית הפורמינפרים הבנתוניים אינם יכולים להתקיים בתנאים של רמות חמצן נמוכות. ידועים מספר מינים בעלי יכולת לשרוד בתנאים מסוג זה אך אלו אינם מהווים חלק מהמאספים הטבעיים של מפרץ אילת. מחקרים שנערכו באזור בתקופת פעילות הכלובים תיעדו תנאי אנוקסיה וריכוז סולפידים ואמוניה גבוהים בסדימנט ובמי הנקבובים, וריכוז גבוה של חומר אורגני, מעל 10% באנליזת LOI, בשטח נרחב המשתרע על 7630 m² (Angel et al., 1995; Eden et al., 2003). בתוך שטח זה זוהתה חלוקה ברורה של רמת ההשפעה של הכלובים בהתאם למרחק מהם. ההשפעה הגדולה ביותר הייתה עד למרחק של כ-20 מטרים מהכלובים, אשר בו הופיעו על הסדימנט משטחי בקטריות ובו נצפה הריכוז הגבוה ביותר של חומר אורגני. המעקב במחקר הנוכחי 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 (איורים 1-2). הדיגום הרציף בוצע עד דצמבר 2009 ולאחר מכן בוצעו דיגומי מעקב ביולי 2010 וביולי 2011. 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 *Halophila stipulacea* באזור שבו היו ממוקמים כלובי הדגים נצפתה בחודש אוגוסט 2009 (איור 3) 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 הפורמינפרה החיים עליהם.



איור 1: סכמה המתארת את טרנסקט הדיגום ותצלום אוויר המתעד את כלובי הדגים לפני שפנו עליו מסומנות תחנות הדיגום ביחס למיקום הכלובים.
איור 2: גלעין סדימנט לפני טיפול במעבדה באילת



איור 3: עשב הים *Halophila stipulacea* אשר הופיע באזור הדיגום בחודש אוגוסט 2009

3. תקציר תוצאות ומסקנות עיקריות

3.1 מאסף כולל

המאסף הכולל מראה הצטברות מאסיבית של שלדים השייכים לעשרות מינים שונים אשר אכלסו את האזור בעבר (טבלה 1). הנחת היסוד בעבודה זו הייתה שבאמצעות המאסף הכולל ניתן יהיה לעקוב אחר קצב ואופי השינויים במאספי הפורמיניפרים בסביבה שמתחת לכלובי הדגים במהלך תקופת הדיגום. בסיס הנחה זו הוא ששינויים שהתרחשו במהלך כל חודש יבואו לידי ביטוי בהרכב המאסף הכולל. תוצאות ספירות הפרטים במאסף הכולל בתחנות השונות הראו שהנחה זו אינה נכונה. בחודשים שבהם נצפתה עלייה משמעותית בכמות הפרטים החיים, בעיקר של המין *Assilina ammoniodes* לא נמדדה עלייה מקבילה בכמות הפרטים של מין זה במאסף הכולל. הסיבה לכך היא שעבור מדגם סטטיסטי (250-300 פרטים) של מאסף חי נדרש איסוף של פרטים מכלל הדוגמא בעוד שבמאסף המת החלק היחסי של הדוגמא שנדרש הוא 1/32. דבר זה בא לידי ביטוי גם בהבדלים במספר הפרטים לגרם סדימנט בין שני סוגי המאספים (מאסף כולל ומאסף חי), לדוגמא בחודש אוגוסט 2009 בתחנה W80 נמדדה כמות של 57 פרטים חיים לגרם סדימנט, חלקם היחסי מהמאסף הכולל (1739 פרטים לגרם סדימנט

בממוצע) הוא רק 3%. תרומה בסדר גודל כזה לא יכולה לייצר שינוי מובהק בגודל המאסף הכולל. המאסף הכולל מהווה ממוצע של הרכב החברה במהלך שנים רבות כיוון שמכיל שלדי פרטים מתים שחיו באזור זמן רב לפני הדיגום או הובלו לשם ע"י זרמים. קצב אספקת השלדים החדשים הנמוך ביחס לתקופה שנבדקה לא יכול להשפיע באופן בולט על הרכב המאסף הכולל.

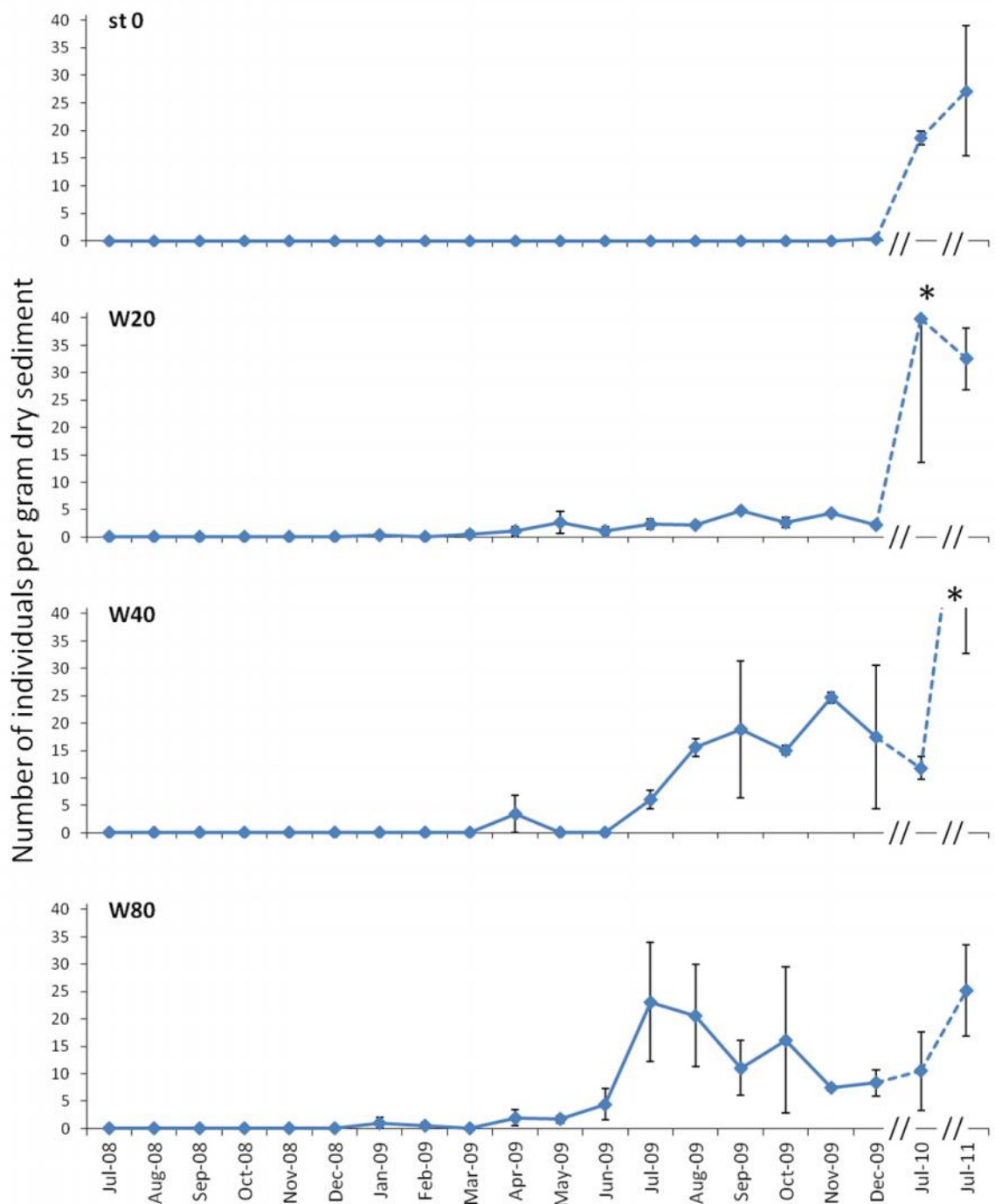
3.2 מאסף חי בסדימנט

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 (צבועים ב Rose Bengal – איור 4) 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 מ 10 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 וביולי 2011 לשם המשך מעקב נתגלה כי הרכב המינים בסדימנט עדיין נשלט על ידי *A. ammonoides* ומספרי הפרטים לגרם סדימנט גבוהים יותר מבעבר בתחנות W40, W80 (איור 5). מספר המינים בדגימות נע בין 0 ל 10 ומראה מגמת עליה בזמן וככל שמתרחקים ממיקום הכלובים (איור 6). 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 המים וחוסר טולרנטיות לריכוזי חמצן נמוכים וריכוזי אמוניה וסולפידים גבוהים במי החללים בסדימנט הנגרמים עקב הריכוזים הגבוהים של החומר האורגני.



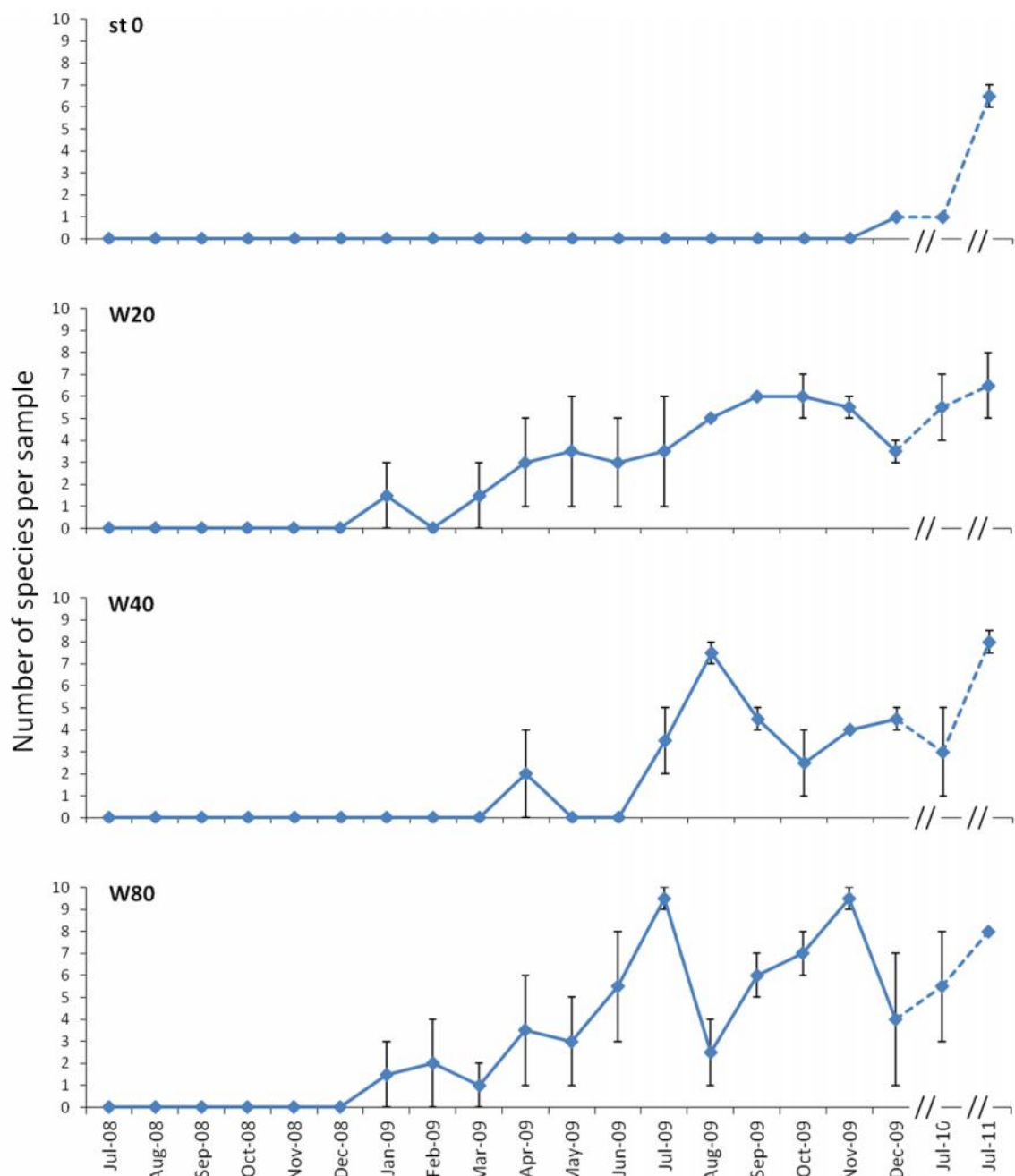
איור 4: פרטים מייצגים מן המאסף החי, צבועים בורוד כהה על ידי Rose Bengal בדגם טיפוסי של מספר חדרים אחרונים בהירים.

A. *Assilina ammonoides* (Gronovius), B. *Amphistegina lessonii*, d'Orbigny, C. *Nonion* sp. A?, D. *Discorbinella rhodiensis* (Terquem), E. *Bolivina variabilis*?, F. *Labrospira jeffreysii* (Williamson), G. *Ammonia* sp. (juvenile), H. *Lagenammina* cf. *L. atlantica* (Cushman)



איור 5: מספר הפרטים החיים לגרם סדימנט יבש בתחנות השונות לאורך תקופת הדיגום. קווי השגיאה מייצגים מינימום ומקסימום.

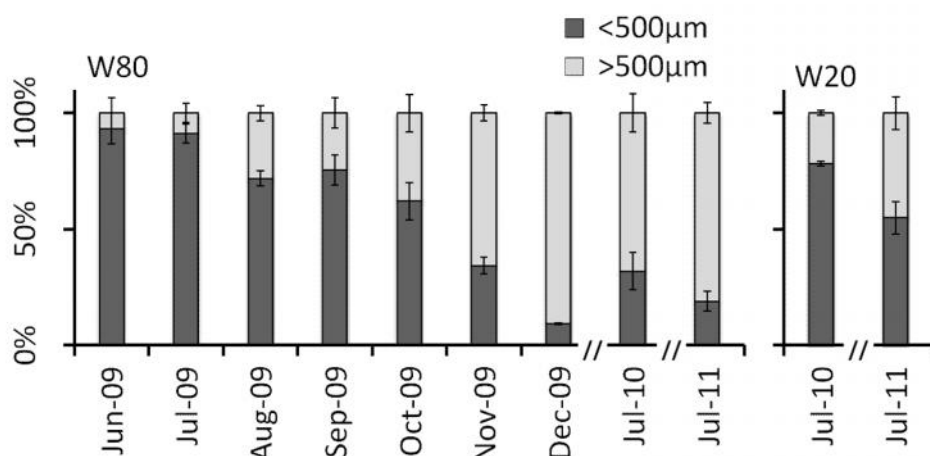
*בתחנה W20 ביולי 2010 ערך המקסימום הוא 66, ובתחנה W40 ביולי 2011 הממוצע הוא 76 וערך המקסימום הוא 118



איור 6: מספר המינים שנמצאו בדגימות לאורך תקופת הדיגום. קווי השגיאה מייצגים מינימום ומקסימום

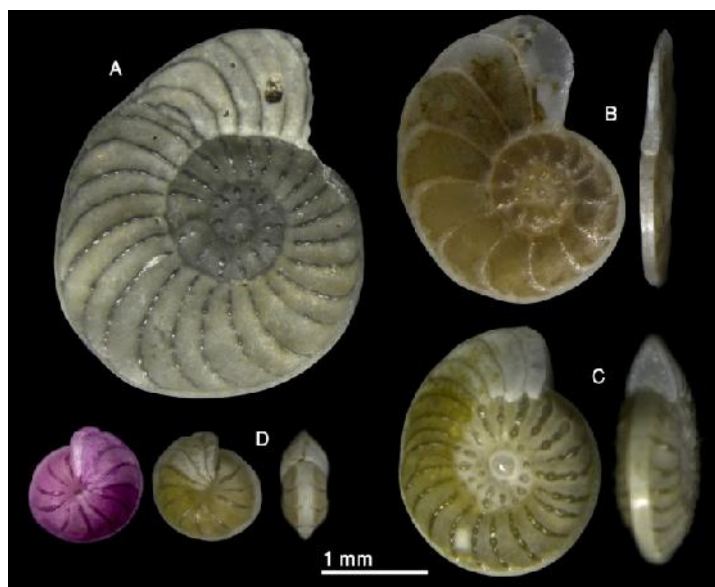
אכלוס הסדימנט שנצפה במחקר זה התבצע באופן כמעט בלעדי על ידי פרטים ג'ובינלים של המין *A. ammonoides* מין זה נושא דיאטומאות סימביוטיות ומראה העדפה לסביבה של אנרגיה חלשה, על מצע של חול רך ובעוצמת אור חלשה עד בינונית (עד 60% קרינה על הקרקעית) (Hohengger et al., 1999). בניגוד למינים רבים אחרים של פורמיניפרים, הוא אינו חי על גבי מצע של עשבי ים (לא אפיפיטי) אלא בסדימנט בלבד. Hottinger and Reis (1993) תיעדו שני מחזורי רבייה, באביב ובסתיו של מין זה. העלייה בכמות הפרטים של מין זה החל מחודש מאי 2009 תואמת את מחזור הרבייה של האביב. ככל הנראה הרבייה של סתיו 2008 לא התקיימה באזור זה בגלל השפעת כלובי הדגים. באופן טבעי ה- *A. ammonoides* הפוכים להיות דומיננטיים רק בעומק של מעל 60 מטר (Perelis-Grossowicz et al., 2008). נוכחות מין זה בעומק של 27 מטר מראה התנהגות שאינה טיפוסית ומזכירה אסטרטגיה אופורטוניסטית. יחסי הגדלים באוכלוסיית *A. ammonoides* השתנו במהלך תקופת השיקום, כאשר בחודשים הראשונים ניתן היה

למצוא בעיקר פרטים צעירים, אותם החליפו בהדרגה פרטים בוגרים יותר. החלוקה נעשתה לפי גבול גודל של 500µm כאשר תחנה W80 נבחרה כמייצגת את תקופת השיקום הראשונית, ועבור הדיגומים ביולי 2010 וביולי 2011 נעשתה חלוקת יחסי גדלים גם בתחנה W20 לשם השוואה עם מצבה של תחנה W80 (איור 7). הדינאמיקה של יחסי הגדלים המשתנים באוכלוסיית ה-*A. ammonoides* במהלך תקופת השיקום מתאימה לאוכלוסייה אשר אינה נמצאת עדיין בשיווי משקל ומראה שלבים ראשונים של התבססות באזור חדש לאחר הפרעה או קטסטרופה.



איור 7 : דינאמיקה של התבססות אוכלוסיה לפי יחסי גדלים של *A. ammonoides* חיים בדגימות מתחנה W80 בזמן תקופת השיקום של 2009, יולי 2010 ויולי 2011, ותחנה W20 ביולי 2010 ויולי 2011.

דימורפיזם ב-*A. ammonoides* (איור 8) תועד במחקרים קודמים ונמצא קורלטיבי לשינויים בעומק המים וככל הנראה מייצג אסטרטגיות רבייה/אקולוגיות שונות (במחקר שלנו כל התחנות נמצאות בעומק של 27 מטרים, הנחשב לגבול הרדוד עבור מין זה). מרבית הפרטים במאספים החיים הינם בעלי מופע נפוח עם פיתול חובק מלא או חלקי, מופע זה נדיר ביותר במאספים המתים. ממצא זה מעיד שיתכן וישנו קשר בין מורפולוגיה זו לאוטוריפיקציה.



איור 8: דימורפיזם ב-*A. ammonoides*. טיפוס A אופייני למאספים המתים, טיפוסים C ו D דומיננטיים במאספים החיים, והתחילו להופיע כשנה לאחר פינוי הכלובים, ואילי טיפוס B הופיע במספרים קטנים בתחנה W20 ביולי 2010. D מדגים את דפוס הצביעה ב Rose Bengal בנוסף לצבע הטבעי של הסימביונטים בפרוטופלסמה.

3.3 מאסף חי על עשב הים

נעשה אפיון של מאספי הפורמיניפירה 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.

טבלה 1: חלוקה טקסונומית של המינים שנמצאו במאסף הכולל, החי, ועל עלי עשב הים האחוזים מייצגים שפעה יחסית של כל קבוצה, סוג או מין בכלל המאסף.

		sediment Total >150 µm	sediment Live (stained) >150 µm	<i>Halophila</i> Live (stained) >150 µm
Suborder ROTALIINA		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>Bolivina 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 ELPHIDIDAE	<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>Siphonovigerina</i> sp	+		
Suborder MILIOLINA		43%	?	22%
Family ALVEOLINIDAE	<i>Borelis schlumbergeri</i>	+		+
Family FISCHERINIDAE	<i>Vetebalina 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 distorta</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>Monahysidium 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>	+		
Suborder TEXTULARIINA		3%	2%	<1%
Family HAPLOPHRAGMOIDIDAE	<i>Labrospira jeffreysii</i>		+	
Family SACCAMINIDAE	<i>Lagenammina</i> cf. <i>L.atlantica</i>		+	
Family TEXTULARIIDAE	<i>Textularia</i> spp	+	+	+

ד. עמודת המים בים העמוק

מטרה

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

שיטות

אחת לחודש מבוצעת בספינת מחקר הפלגה לתחנה A ולצפון המפרץ, בסמוך למקום בו היו כלובי הדגים (FF). פעמיים בשנה (אביב וסתיו) מבוצעת הפלגה ארוכה יותר, בשיתוף עם מדענים מירדן, הכוללת גם תחנה מול גבול ירדן-סעודיה בעומק מים 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 מדידת CTD המודד משתנים פיסיקליים באופן רציף. בתחנה A נלקחו שני קסטים (= 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^- , NO_3^- , $Si(OH)_4$, PO_4^{3-}), פחמן חלקיקי (POC), מליחות, כלורופיל (Chl-a), והתפלגות אוכלוסיית הפיטופלנקטון. סינון הדוגמאות לצורך מדידת כלורופיל ואוכלוסיית הפיטופלנקטון, וקיבוע דוגמאות לצורך מדידת חמצן מומס נעשו בספינה. המדידות בוצעו במעבדה לפי השיטות המתוארות בפרק העוסק במי החופים.

על פי הנוהג המקובל, וכיוון שבבקבוקי 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 לוח הניטור 2007) הוחלט ליותר 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 $0.04 \text{ } ^{14}\text{C}$ 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 מכיוול 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 ההפלה מסוננים המים על גבי פילטרים GF/F אשר חוממו מבעוד מועד בטמפרטורה של 450 מעלות למשך ארבע שעות לפחות, על מנת שיהיו נקיים מפחמן. לאחר הסינון כל פילטר נשמר בצלחת פטרי ומיובש בטמפרטורה של 60 מעלות למשך 24 שעות לפחות. הפילטרים היבשים מאוחסנים במקום יבש עד לאנליזה.

מידת תכולת הפחמן בפילטרים נעשית במכשיר Total Organic Carbon analyzer של חברת Shimadzu Instruments, בו הפחמן המצוי בדוגמה מחומצן בטמפרטורה גבוהה (900-980 מעלות) ליצירת פחמן דו-חמצני (CO_2). הפחמן הדו-חמצני נישא על ידי חמצן גלילאי 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, בנייהול 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 200µm. הרשת מורדת לעומק של 100 מטרים ומועלה תוך כדי שיוט, כך שנעשה מיצוע של עמודת המים עד לעומק של 100 מטר. למסגרת מחוברת מד שטף המודד את כמות המים העוברת דרך הרשת בכדי שניתן יהיה להמיר את כמויות הפלנקטון הנאספות לריכוז ביחידת נפח. בכל מסע דיגום נעשות שלוש חזרות על הגרירה.

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

ד.1. מדדים פיסיקליים: טמפרטורה ומליחות

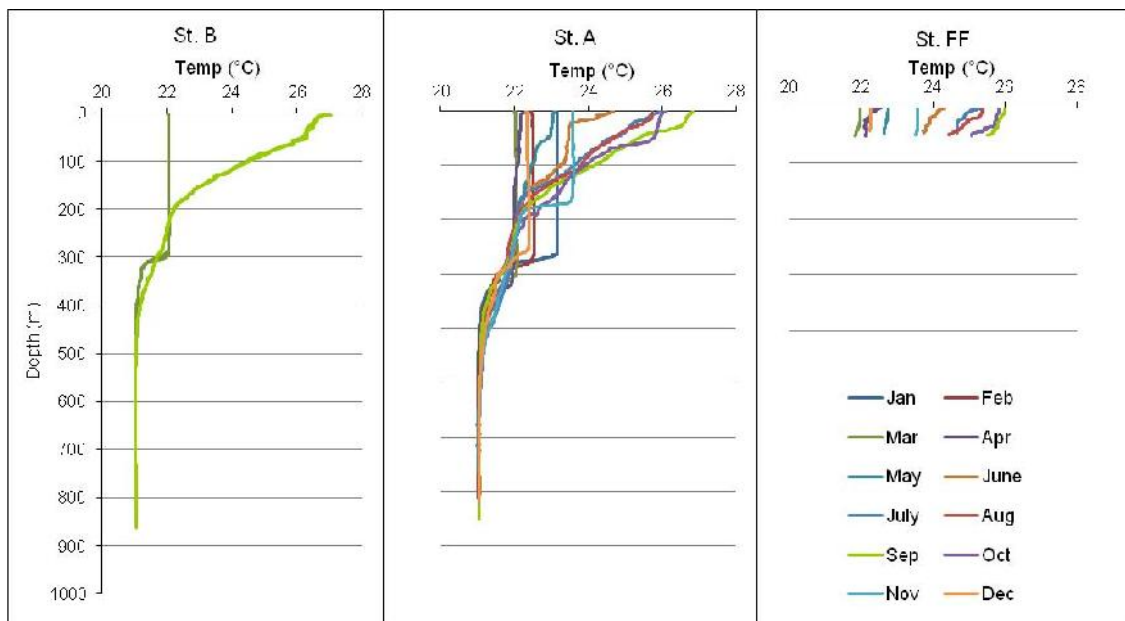
פרופילים רציפים של טמפרטורה, מליחות ופלווארסנציה בעמודת המים נמדדים על ידי מכשיר CTD בהפלגות הניטור החודשיות. נתונים אלה מראים את השינוי העונתי במבנה עמודת המים ברזולוציה גבוהה, ובעזרתם ניתן לעקוב אחר התפתחות הערבוב ככל שהחורף מתקדם, וחזרת המבנה המשובב של עמודת המים עם ההתחממות באביב ובקיץ. מבט ארוך 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 נוטריונים בעמודת המים.]

טמפרטורה

ערבוב עמודת המים היה גם השנה רדוד והגיע לכ-320 המטרים העליונים של עמודת המים, בחודשים מרץ-אפריל. על אף שעומק זה נחשב לרדוד, הרי בשנתיים הקודמות היה עומק הערבוב המרבי 300 ו-250 מטרים בלבד (בשנים 2009 ו-2010 בהתאמה). בשנים 2007-8 היה ערבוב עמודת המים עמוק מ-800 מ'.

הטמפרטורה הגבוהה ביותר שנמדדה השנה בפני המים בתחנה A הייתה 26.85°C , בחודש ספטמבר (איור ד1), כמעלה פחות מהטמפרטורה המרבית בשלוש השנים הקודמות. טמפרטורת החורף השנה הגיעה לערך מזערי של כ- 22°C בפני הים, כמעט חצי מעלה נמוך מאשר בשנים הקודמות. טמפרטורת החורף הנמוכה מעט יותר היא אשר גרמה לערבוב הים להיות עמוק מעט יותר מאשר בשנים האחרונות, וטמפרטורת הקיץ הנמוכה יותר תשפיע – אולי – על עומק הערבוב בשנה הבאה. ערבוב עמודת המים עקב קירור המים מלמעלה, במגע עם האטמוספירה, בעונת החורף הוא גורם מרכזי בדינאמיקה של המערכת האקולוגית במפרץ.



איור ד1: טמפרטורות עמודת המים כפי שנמדדה 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.

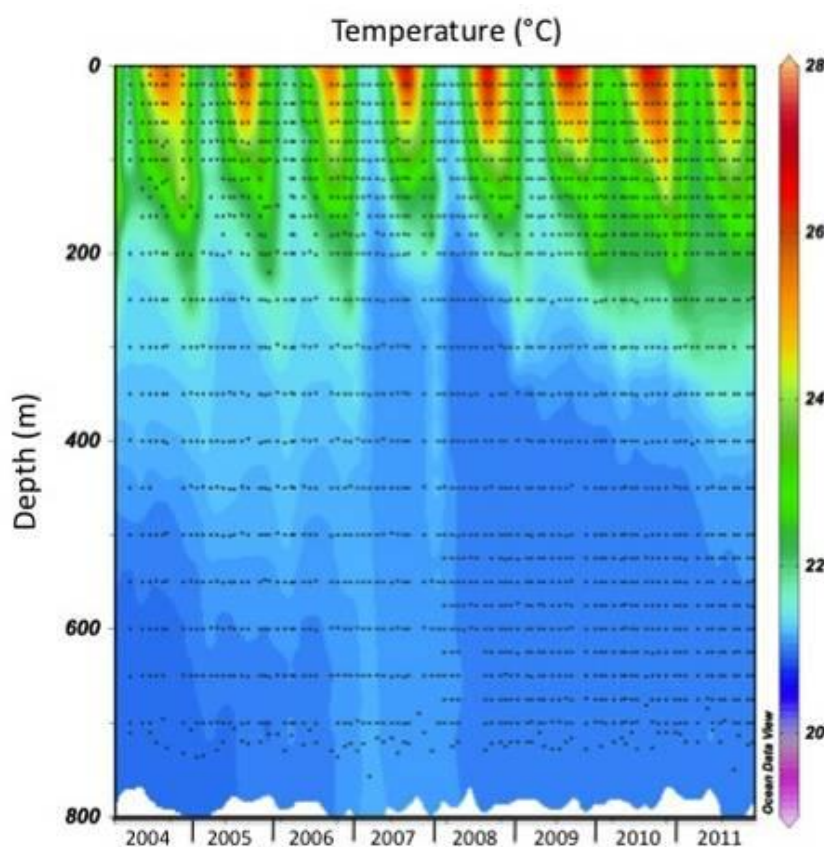
Figure D1: Temperature profiles measured during the monthly monitoring cruises.
Station B is the southernmost and deepest, Station A is on the Israeli/Jordanian/Egyptian border at ca. 700 meters depth, and the Fish Farms station is

close to the northern shore of the Gulf at ca. 50 meters depth.

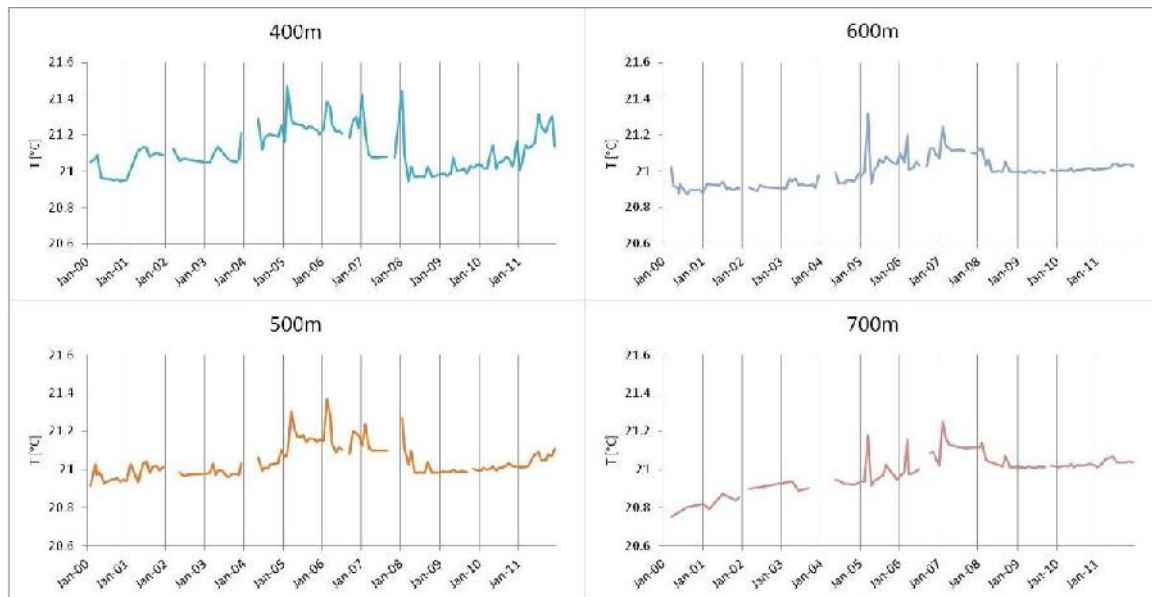
המחזור העונתי של קירור-חימום המים הוא הגורם למחזורי הערבוב-שיכוב האופייניים בעמודות המים הפתוחים. מחזוריות זו ניכרת היטב בכל שנות הניטור, כאשר השנים נבדלות במידת הקירור של פני הים וכך גם בעומק הערבוב. השנה בדומה לשנתיים הקודמות ובניגוד לשנים 2007-8, היה הערבוב רדוד, ומוגבל ל-320 המטרים העליונים בלבד. עקב הערבוב הרדוד נצפית בשנים האחרונות עליית טמפרטורה בעומקי הביניים, עד כ-300-400 מטרים (איור 2).

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, ומאז, בשלוש השנים האחרונות של ערבוב רדוד, שוב מאובחנת מגמת התחממות מתונה (איור 3). בעומקי הביניים, כאמור, עליית הטמפרטורה בשנתיים האחרונות גדולה יותר.

[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 השלום' ומובאים באדיבותם של פרופ' י. ארז ופרופ' ב. לזר.

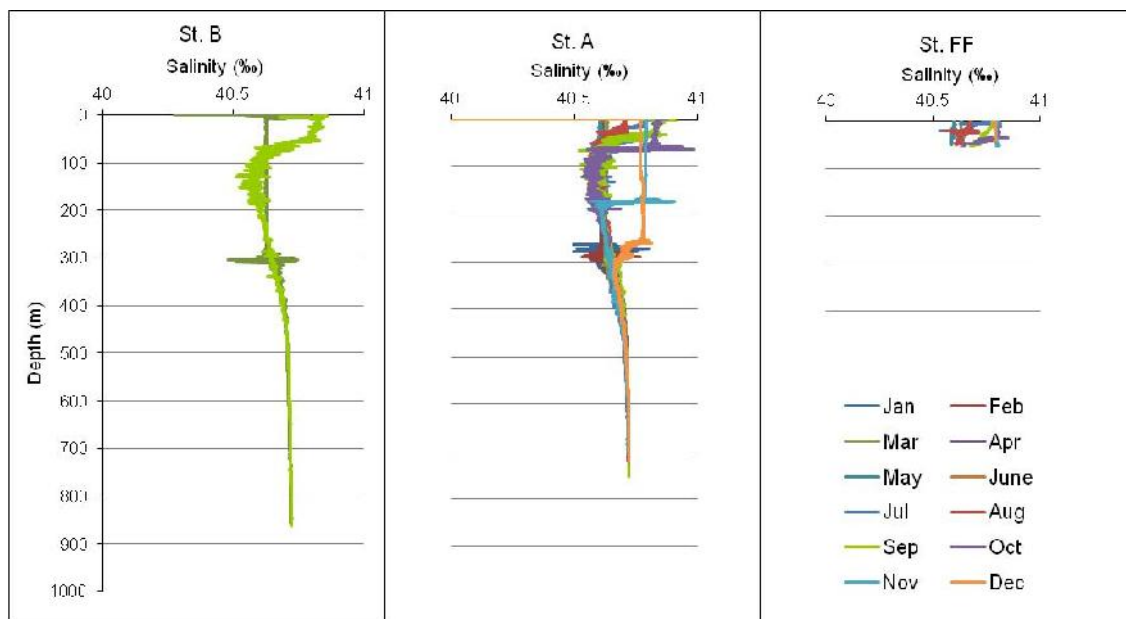
Figure D3: Changes in water temperature at depth (400m to 700m) at Station A since 2000. Data from the years 2000-2002 were collected during the Peace Park Project and are provided courtesy of prof. J. Erez and prof. B. Lazar.

מליחות

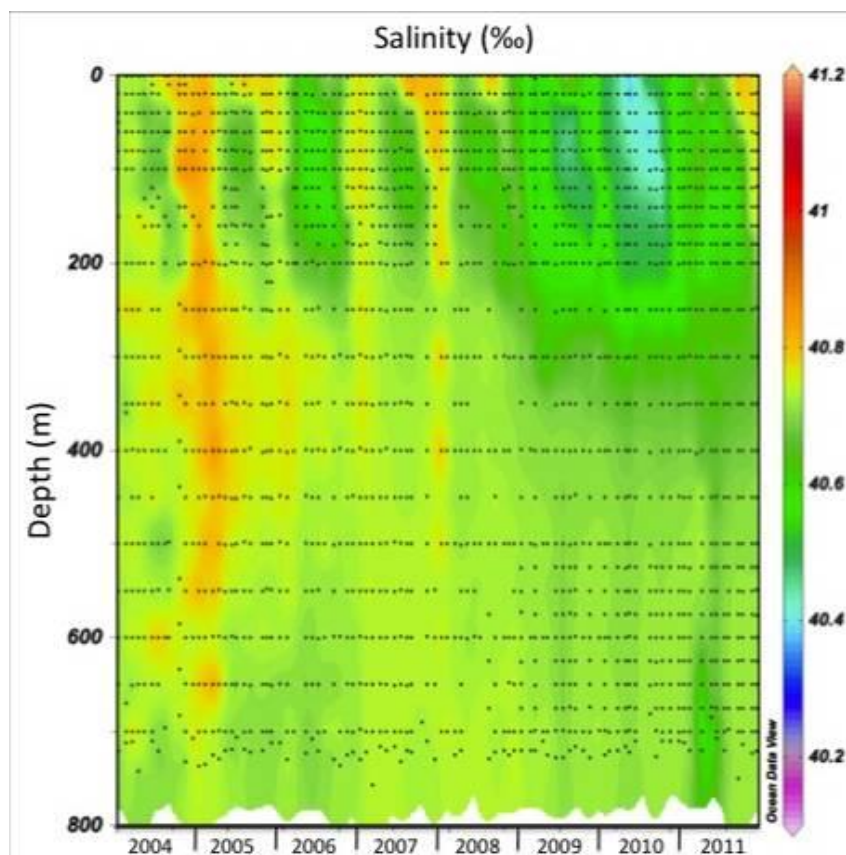
בשנה האחרונה אובחנה נדידה חזקה של תוצאות מדידות המליחות במד המליחות במעבדה. כתוצאה מכך הוחלט לא להציג תוצאות מליחות שנמדדו במכשיר זה החל המחודש פברואר 2010. מדידות המליחות בים העמוק אשר נעשו גם באמצעות מד מליחות אלקטרוני כחלק מפרופיל ה-CTD מוצגות כאן. התכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת, בשיתוף עם המכון הבינאוניברסיטאי למדעי הים, רכשה מד מליחות חדש אשר החל לפעול בחודש יולי 2011.

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 בשכבה העליונה, בעוד שבפני הים האידוי 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.

השנה חדירת גוף של מים בעלי מליחות נמוכה יחסית מובהקת פחות מאשר בשנתיים הקודמות (ובפרט בשנה הקודמת), ואנומליית המליחות קטנה (איור ד5). שינויי המליחות בעמודת המים הינם מחזוריים בעיקרם, ועל אף תבנית מעט שונה משנה לשנה לא ניכרת מגמה של שינוי ארוך טווח. ההבדלים בין השנים קשורים יותר לגופי המים החודרים לאזורינו מדרום מאשר למאזני האידוי המקומיים, אם כי חדירת גופי המים המלוחים קשורה אולי בעומק הערבוב או בטמפ' הים מדרום.



איור ד4: 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 ד5: שינויי מליחות בתחנה A מאז ינואר 2004. הנקודות השחורות מייצגות את עומק המדידה.
Figure D5: Changes in salinity at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths.

ד.2. מדדים כימיים

חמצן (O_2)

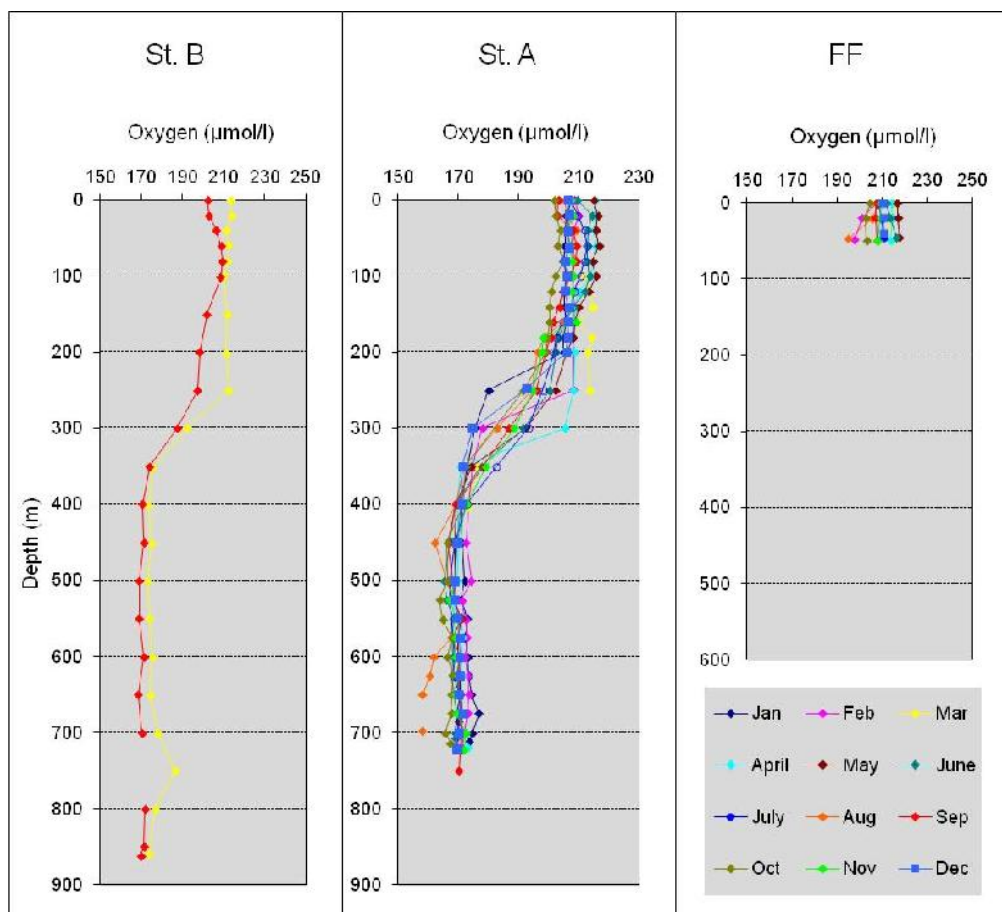
הגורם העיקרי המשפיע על ריכוזי החמצן בעמודת המים הוא המחזור העונתי של שיכוב-ערבוב עמודת המים. בתקופת הערבוב ישנה ירידה בטמפרטורת המים ועל כן עלייה בקליטת חמצן אטמוספירי במים העליונים, אולם מים אלה מתערבבים עם מי עומק עניים בחמצן, וכך, למרות שמאגר החמצן המומס בעמודת המים גדל, נמצא החמצן בתת-רוויה. עם תום 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. גם השנה "אוורור" רק המים העליונים, עקב הערבוב הרדוד (כ- 320 מ'), מעט עמוק מאשר בשנה הקודמת).

ריכוז החמצן המרבי בתחנה A נמדד השנה בחודש מאי בעומקים הרדודים (עד 100 מ'), ועמד על $215-216 \mu\text{mol/l}$ (איור 6). בקרבת החוף, בתחנת FF ריכוז החמצן המרבי שנמדד השנה היה דומה. במים העמוקים ירד ריכוז החמצן במשך השנה מ- $178 \mu\text{mol/l}$ בחודש ינואר (מעט נמוך מערכי השנה הקודמת) לפחות מ- $170 \mu\text{mol/l}$ בחודשים אוגוסט-אוקטובר.

במשך רוב חודשי השנה (ובשנים בהן הערבוב רדוד, כמו 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, בזמן 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 שחלפו מאז, נצרך החמצן במים העמוקים וריכוזו יורד. הערבוב הרדוד בשנים האחרונות לא החדיר חמצן למים העמוקים מכ- 300 מ', וריכוז החמצן בעומקים אלה מוסיף לרדת (איור 7).

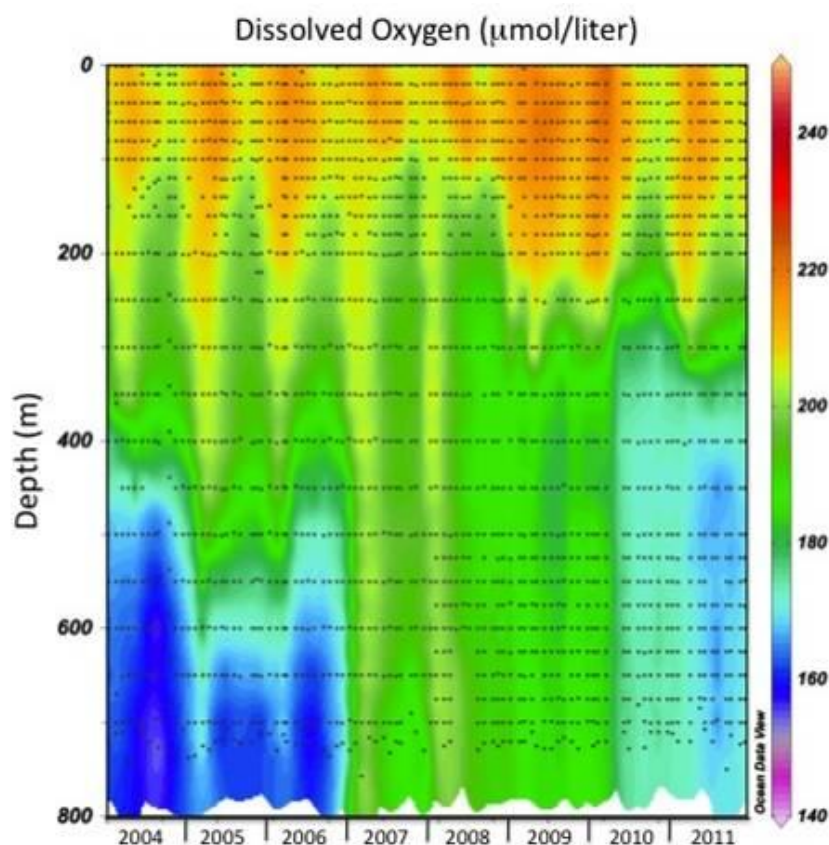
בשנים 2007-9 היה מאגר החמצן המומס בעמודת המים גבוה בזכות הערבובים העמוקים בשנים 2007-8, אולם החל מהשנה ניכרת ירידה במאגר החמצן המומס בעמודת המים לערכים דומים לערכי השנים 2005-6 (איור 8).

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, ומאז – בהעדר ערבוב עמוק – ריכוזי החמצן שוב בירידה. ריכוז החמצן המומס במים העמוקים עדיין גבוה מהריכוז בשנים 2004-6, לפני הערבוב העמוק (איור 9).



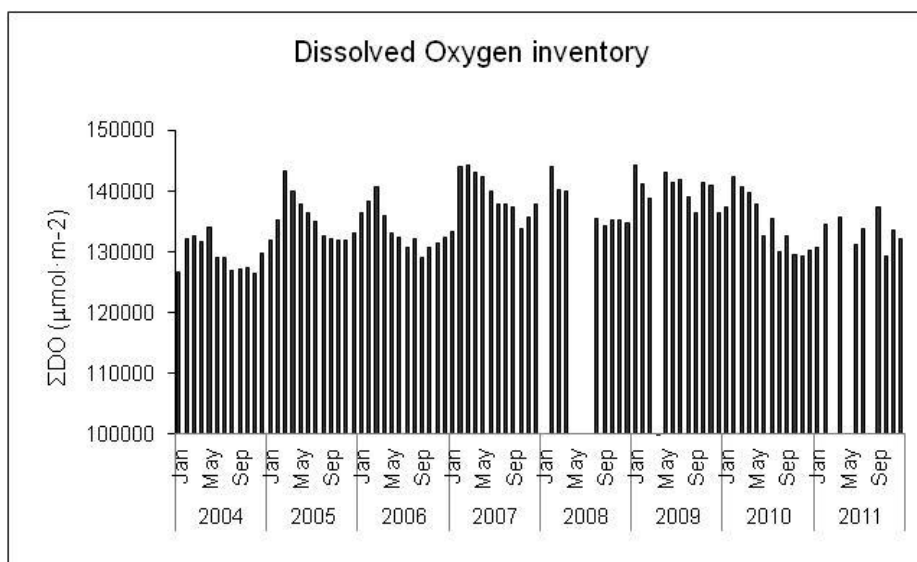
איור ד6: ריכוזי חמצן מומס בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה B היא הדרומית והעמוקה ביותר, תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700 מטרים, ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים.

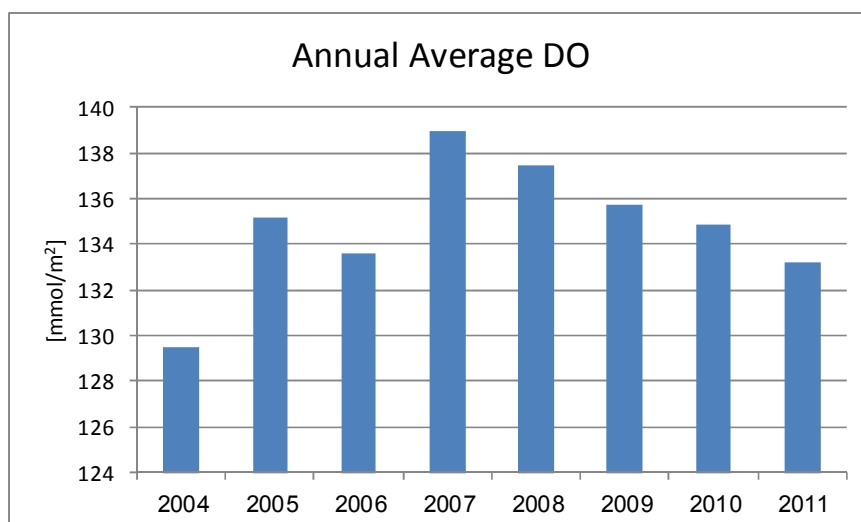
Figure D6: Dissolved oxygen concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Station B is the southernmost and deepest, Station A is on the Israeli/Jordanian/Egyptian border at ca. 700 meters depth, and the Fish Farms station is close to the northern shore of the Gulf at ca. 50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



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

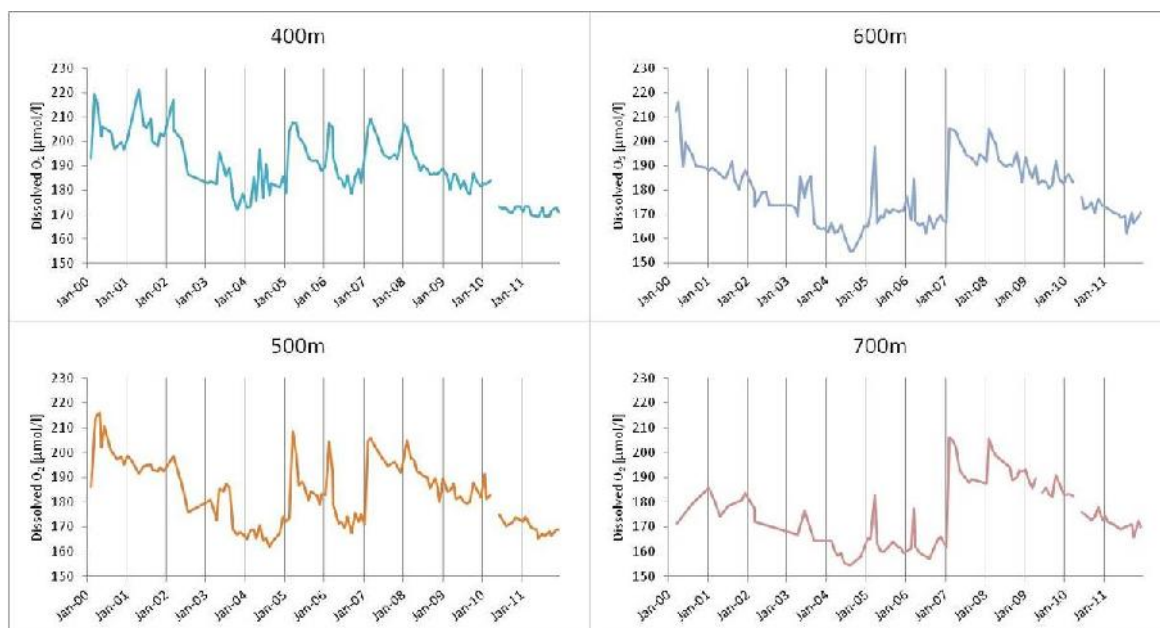
Figure D7: Changes in concentrations of dissolved oxygen in the water column at Station A since 2004. Black dots represent the sampling depths.





איור ד8: שינויים במאגר החמצן המומס בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. למעלה: מדידות חדשיות, 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 ד9: שינויים בריכוזי החמצן המומס בעמקים 400 עד 700 מטרים בתחנה A מאז שנת 2000.

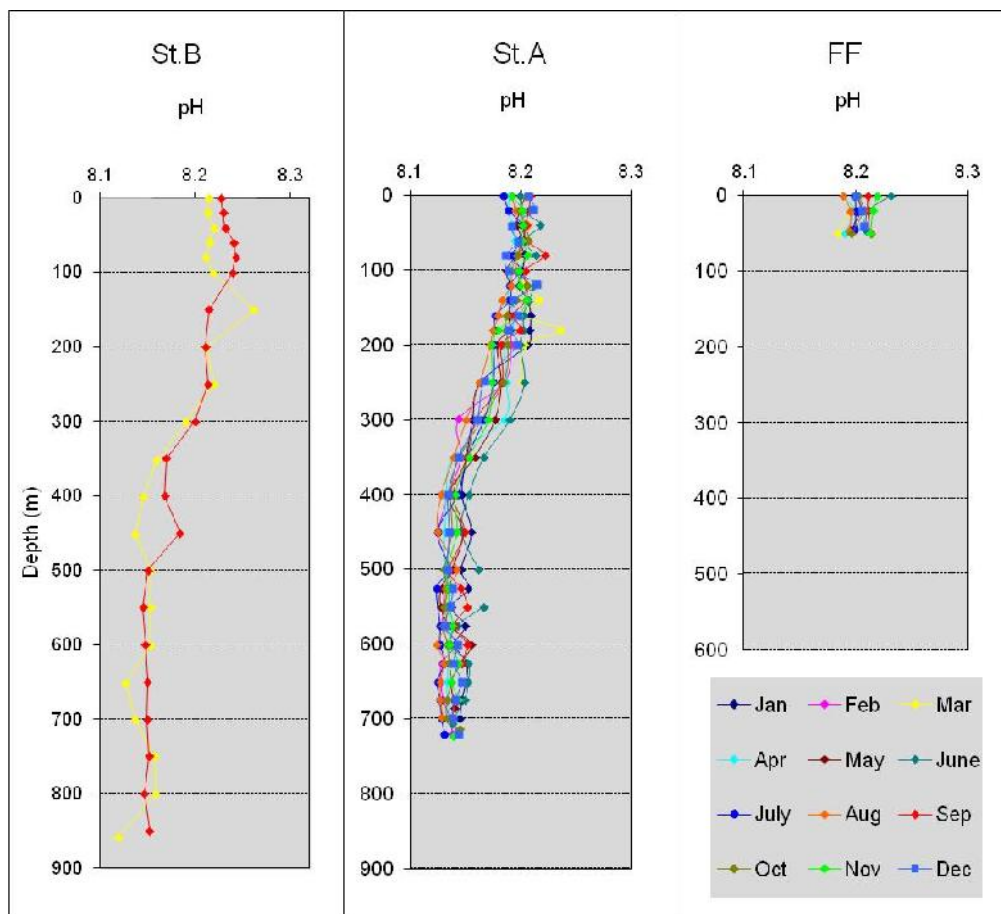
Figure D9: Changes in dissolved oxygen concentrations in 400m to 700m water depth at Station A, since 2000.

ערך הגבה (רמת חומציות המים, pH)

[תזכורת: במהלך שנת הניטור 2006 התברר כי התמיסות המשמשות לכיול מד ה-pH התיישנו על המדף וכתוצאה מכך נוצרה הטייה של הערכים הנמדדים לעבר ערכי pH גבוהים יותר. משהחלו הערכים הנמדדים להיות גבוהים באופן חריג התעורר החשד שקיימת בעיה במדידה עצמה ומקור הבעיה אובחן. נערכה בדיקה של התמיסות, ובמקביל להחלפת כל החומרים ננקטו שתי פעולות: 1. במשך חודשיים נמשכה מדידת pH עם החומרים הישנים במקביל למדידות המכויילות בחומרים חדשים ובדוקים, בניסיון לבדוק האם ניתן יהיה לתקן את הערכים השגויים תיקון מתמטי (בתנאי שניתן יהיה לייצר עקומה המתארת את הטיית ערך המדידות עם הזמן), 2. נערך בירור אשר במהלכו זוהה תאריך תחילת הבעיה (אוקטובר 2003). לפיכך הכרנו בלוח 2007 על אי קבילותן של מדידות ה-pH מאותו תאריך ועד להחלפת התמיסות הבעייתיות ותיקון הבעיה בנובמבר 2006.]

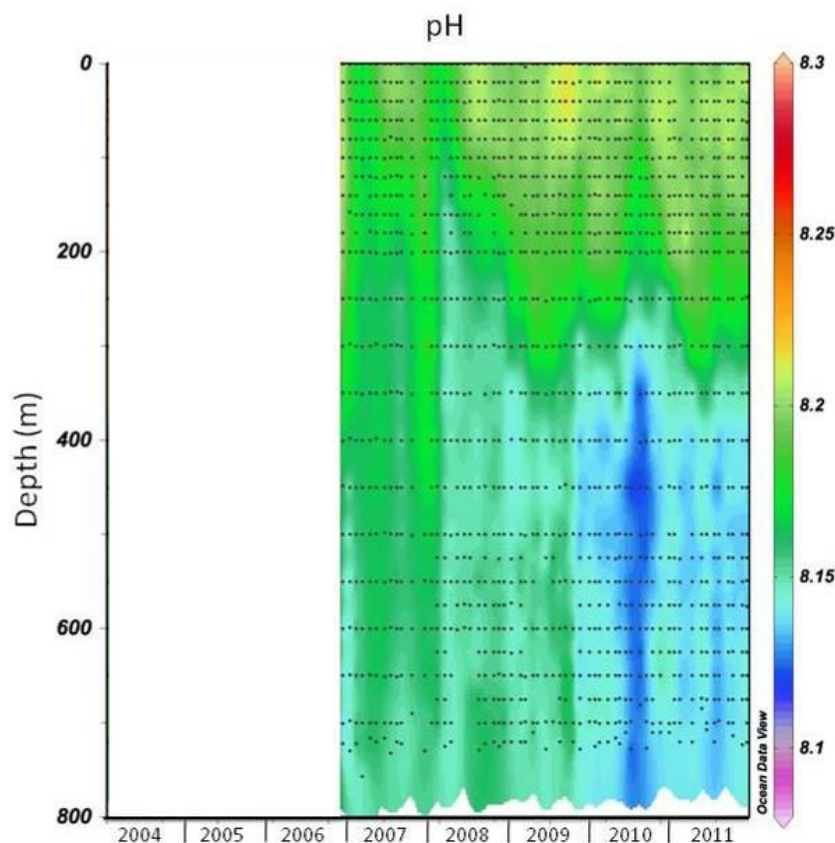
ערכי ה-pH במי העומק בדרך כלל נמוכים יותר מאשר במים הרדודים ועל כן מושפעת גם רמת החומציות בעמודת המים ממחזור הערבוב-שיכוב העונתי. מבנה הפרופיל של ערך הגבה (pH) בעמודת המים דומה, לרוב, לזה של החמצן המומס מכיוון ששני המשתנים תלויים בקצבי הפוטוסינתזה והנשימה. ערך pH מרבי נמדד השנה בחודש מרץ בתחנות A ו-B: $8.24 \sim$ בעומקים 150-180 מ' (איור 10). כיוון שערך זה חריג יש לחשוד באמינות הדגימה. משאר הדגימות נמדד ערך מרבי של 8.232 בפני הים בתחנת כלובי הדגים בחודש יוני. ערכי pH מזעריים נמדדו במים העמוקים ובפרט בחדשי הקיץ, סביב 8.1.

אירועי הערבוב העמוק בשנים 2007-8 העלו מעט את ערך ה-pH במים העמוקים, ובשנים האחרונות, עקב ערבוב רדוד, ניכרת ירידה בערך ה-pH בעומק (איור 11).



איור 10: 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.

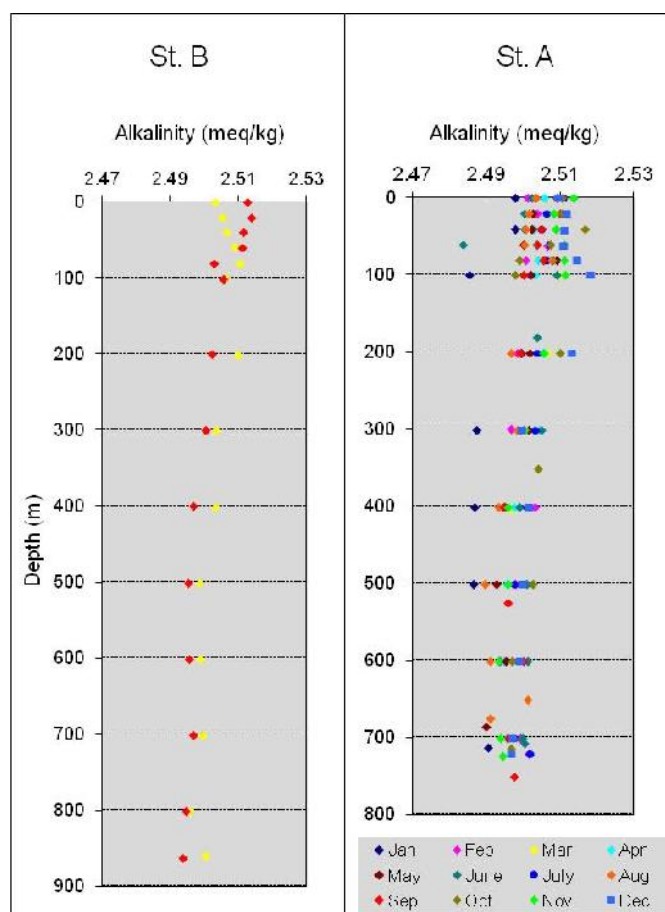


איור ד11: שינויים ברמת החומציות בעמודות המים בתחנה A מאז נובמבר 2006. הנקודות השחורות מייצגות את עומק המדידה.

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

אלקליניות

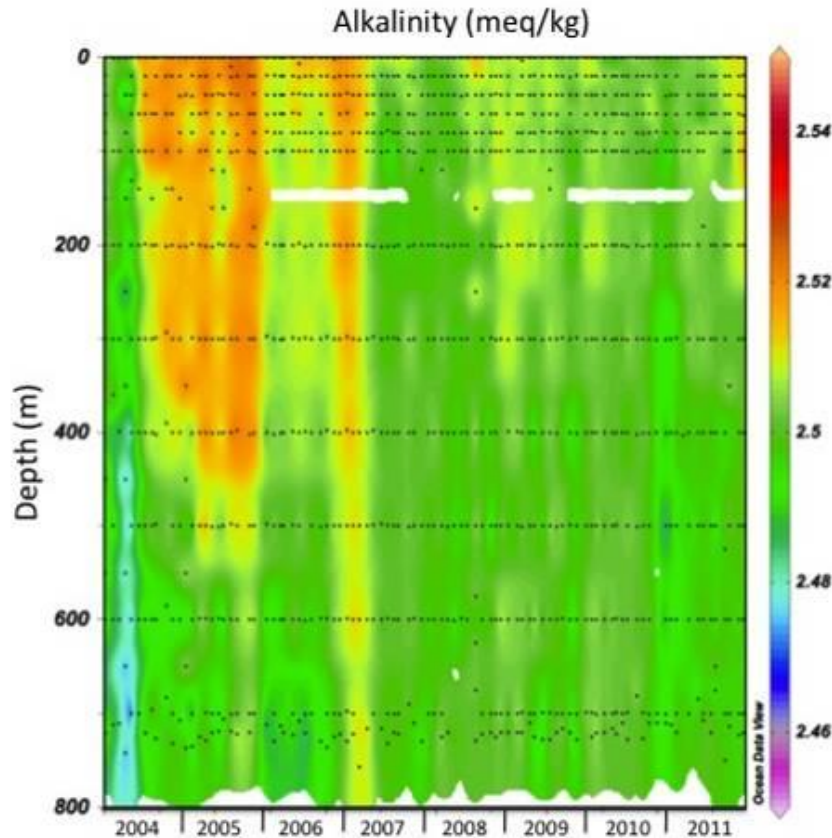
האלקליניות היא מדד לריכוז החומצות החלשות במים, ובעיקר לריכוז יוני הקרבונט והביקרבונט (CO_3^{2-} ו- HCO_3^- בהתאמה). טווח הערכים במדידות האלקליניות קטן מאוד, הן בשינויים העונתיים והן בין העומקים. ערכים נמוכים יחסית של אלקליניות במים העמוקים נרשמים לאחר הקיץ (בחודשים נובמבר-דצמבר), וערכים גבוהים יותר בחודשי הערבוב (חודש פברואר). הערכים המרביים השנה נמדדו בחודשים אוקטובר ודצמבר בעומק 40 ו-100 מ', 2.5167 meq/kg ו- 2.5181 meq/kg (בהתאמה, איור ד12), מעט גבוה מאשר בשנה הקודמת. נראה כי גם ערכי האלקליניות במים העמוקים החלו לרדת בהשוואה ל-2007-8, ומתקרבים לערכים שלפני הערבוב העמוק בשנים אלה (איור ד13).



איור 12: ערכי אלקליניות בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור 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.

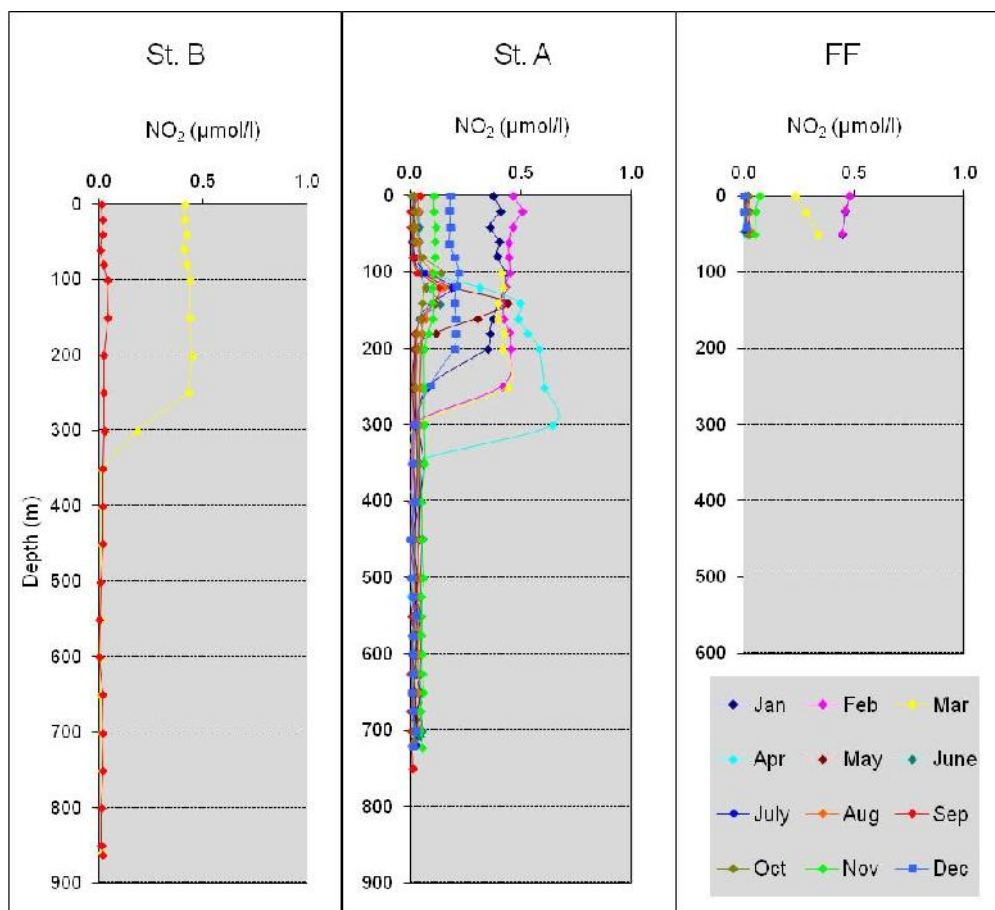


איור ד13: שינויי אלקליניות בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. הנקודות השחורות מייצגות את עומק המדידה.

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

ניטריט (NO_2^-) וניטראט (NO_3^-)

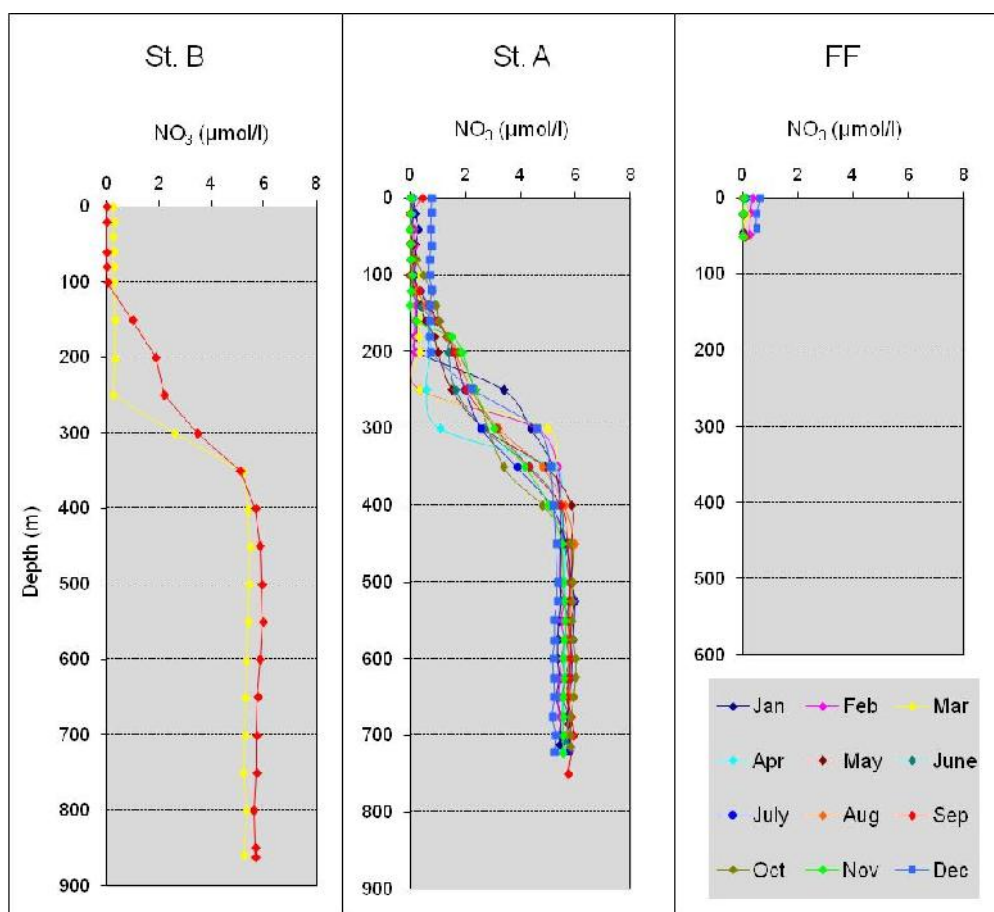
ניטריט נצרך הן על ידי פיטופלנקטון באזור הפוטי והן על ידי בקטריות וארכיאה המחמצנים אותו לניטראט בתהליך הניטריפיקציה המתרחשת בכל עמודת המים, ועל כן ריכוזי הניטריט במים נמוכים מאד. ניטריט יכול להיווצר גם על ידי דניטריפיקציה, חיזור ניטראט על ידי חיידקים אנארוביים, אולם תהליך זה פחות סביר במי המפרץ המחומצנים. יתכן שדניטריפיקציה מתרחשת בסדימנט. ריכוזי הניטריט עולים בתקופת הערבוב בחורף, ועם תחילת השיכוב נוצר בין העומקים 100 ו-300 מ' (מתחת לשכבה הפוטית) אזור בו ריכוז הניטריט גבוה יחסית (איור ד14). באזור זה מתרחשים תהליכי פרוק חומר אורגאני וחמצון בקטריאלי של אמוניה. ככל שעמודת המים מתייצבת מאגר הניטריט באזור זה קטן והולך. השנה נמדד ריכוז ניטריט מרבי בתחנה A בחודש אפריל, בעומק 300 מטרים, $0.643 \mu\text{mol/l}$, כפול מריכוזו המרבי בשנה הקודמת, ודומה לריכוז המרבי שנמדד ב-2009.



איור 14: ריכוזי ניטריט (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 (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 עמודת המים היה רדוד למדי (320 מ') ועל כן לא הובאו נוטריינטים רבים לפני הים. ריכוזי הניטראט אשר נמדדו בפני הים בתחנה A היו קרובים לאפס במשך כל השנה (עלו מעט בחודש דצמבר עם תחילת הערבוב של החורף הבא, אשר צפוי להיות עמוק). הריכוז המרבי אשר נמדד השנה בפני הים, בחודש דצמבר, היה $0.782 \mu\text{mol/l}$. בשנתיים הקודמות, בהן היה ערבוב רדוד במיוחד, נמדדו ריכוזים מרביים נמוכים הרבה יותר, ובשנת 2008 נמדד ריכוז מרבי של $2.257 \mu\text{mol/l}$ בפני הים בתחנה A. הריכוזים הכל-כך נמוכים בפני הים בשנתיים הקודמות נובעים מרצף של ערבוב רדוד בו עמודת המים העליונה דולדלה מנוטריינטים במשך שנתיים של יצרנות ללא אספקה חוזרת. במים העמוקים, לעומת זאת, הגיע ריכוז הניטראט המרבי השנה לערכים הנעים סביב $5.9 \mu\text{mol/l}$, בעלייה מתמשכת בשלוש השנים האחרונות.

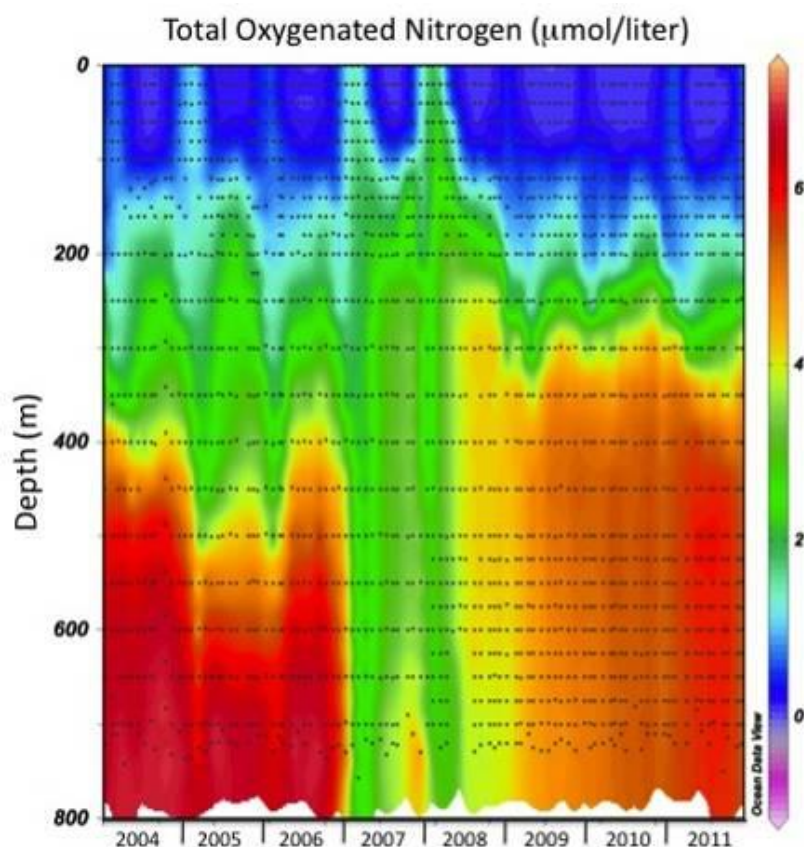


איור 15: ריכוזי ניטראט (NO_3^-) בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה B היא הדרומית והעמוקה ביותר, תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700 מטרים, ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים.

Figure D15: Nitrate (NO_3^-) concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Station B is the southernmost and deepest, 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.

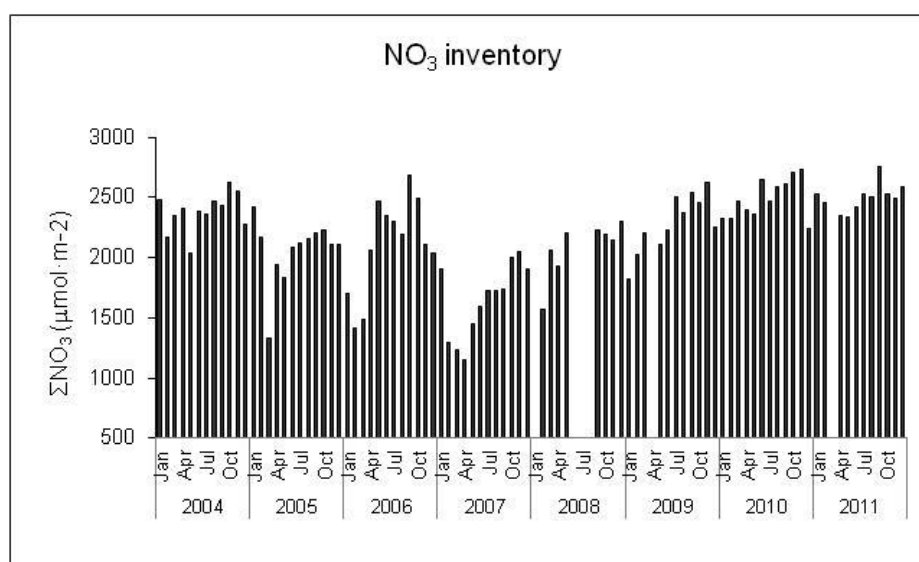
ריכוז החנקן המחומצן בעמודת המים (Total Oxidized Nitrogen - TON) דומה לריכוז מרכיבו העיקרי, הניטראט. משנת 2000, בה היה ערבוב עמוק, עלו ריכוזי החנקן המחומצן במים העמוקים. בחורף 2004-5 בו היה ערבוב של עמודת המים עד לכ-600 מטר ירדו מעט ריכוזי הניטראט במי העומק אולם ב-2006 נמדדו ריכוזים דומים לאלה של שנת 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 מצויים במגמת עלייה (איור 16).

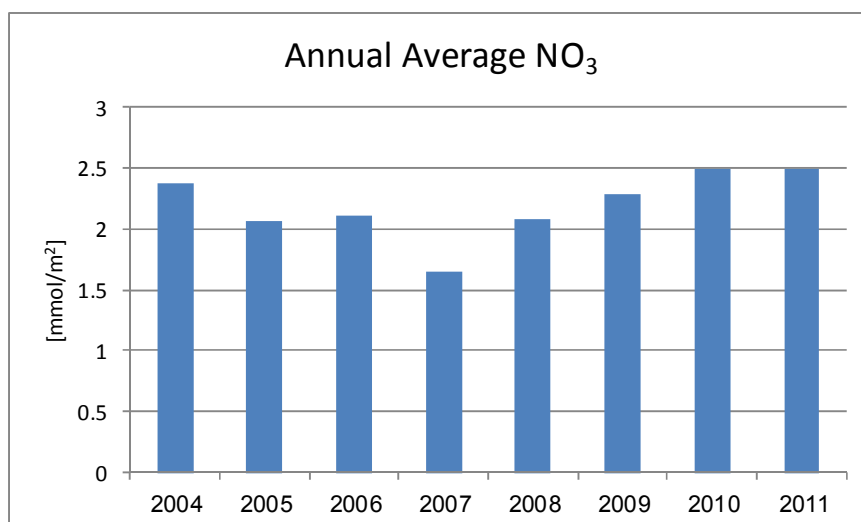
מאגר הניטראט בעמודת המים מאז 2004 מראה תמונה דומה, לפיה עלתה כמות החנקן המחומצן האגור בעמודת המים מאז שנת 2004, בשנות הערבוב 2007-8 נמדדה ירידה, ומאז מאגר החנקן הולך וגדל (איור 17). בחודש ספטמבר השנה היה מאגר הניטראט גבוה מעט מערכו בשנה הקודמת, הערך הגבוה ביותר בשנות פעולתה של תכנית הניטור מאז שנת 2004.



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

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

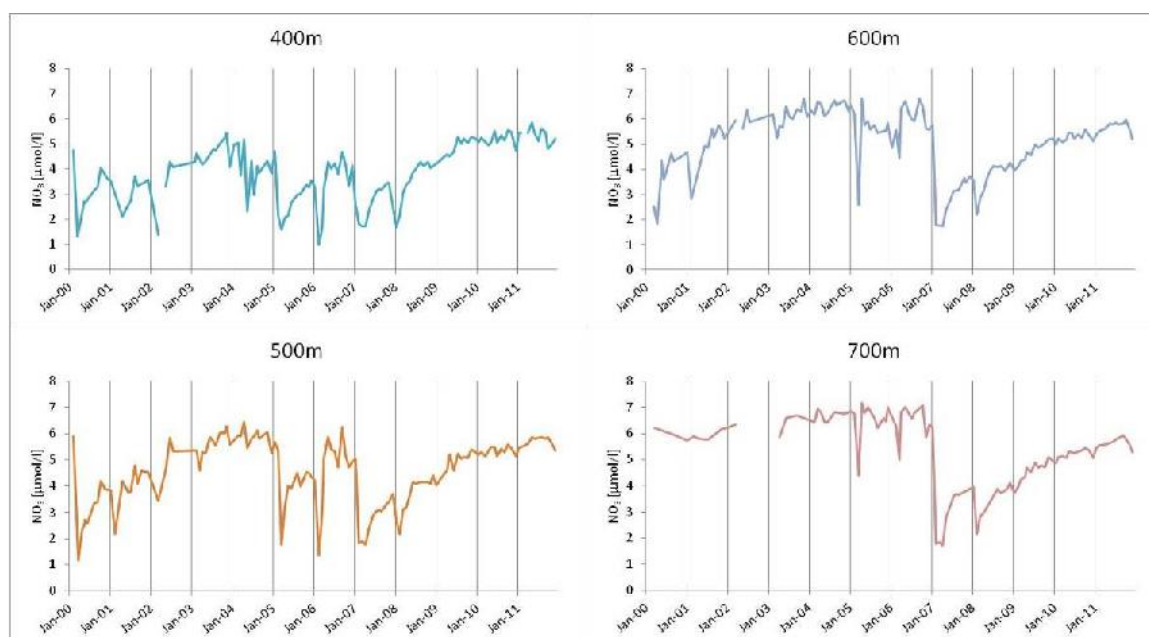




איור 17: שינויים במאגר הניטראט (NO₃) בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. למעלה: מדידות חדשיות, למטה: ממוצע שנתי

Figure D17: Changes in the nitrate (NO₃) inventory in the water column at Station A since 2004. Top: monthly inventories, Bottom: annual average

נראה כי ריכוז הניטראט במים העמוקים 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- $1.7 \mu\text{mol/l}$), והעלייה שאחריה הייתה איטית. בסוף 2007 ריכוז הניטראט בעומק 700 מטרים היה כ- $3.9 \mu\text{mol/l}$. חורף 2008 שוב הוריד את הריכוז (ל- $2.16 \mu\text{mol/l}$), ובסוף 2008 היה הריכוז בעומק 700 מטרים כ- $4 \mu\text{mol/l}$. כמו בשנתיים הקודמות, גם השנה כלל לא הגיע הערבוב למים העמוקים וריכוזי הניטראט הוסיפו לעלות, אולם גם לאחר שלוש שנים של ערבוב רדוד ריכוזי החנקן המחומצן במים העמוקים נמוכים משמעותית מערכים שנמדדו לפני 2007 (איור 18). נדמה כי הקצב בו עולה ריכוז הניטראט במי העומק קטן מאז 2007 בהשוואה לשנים שלפני כן.



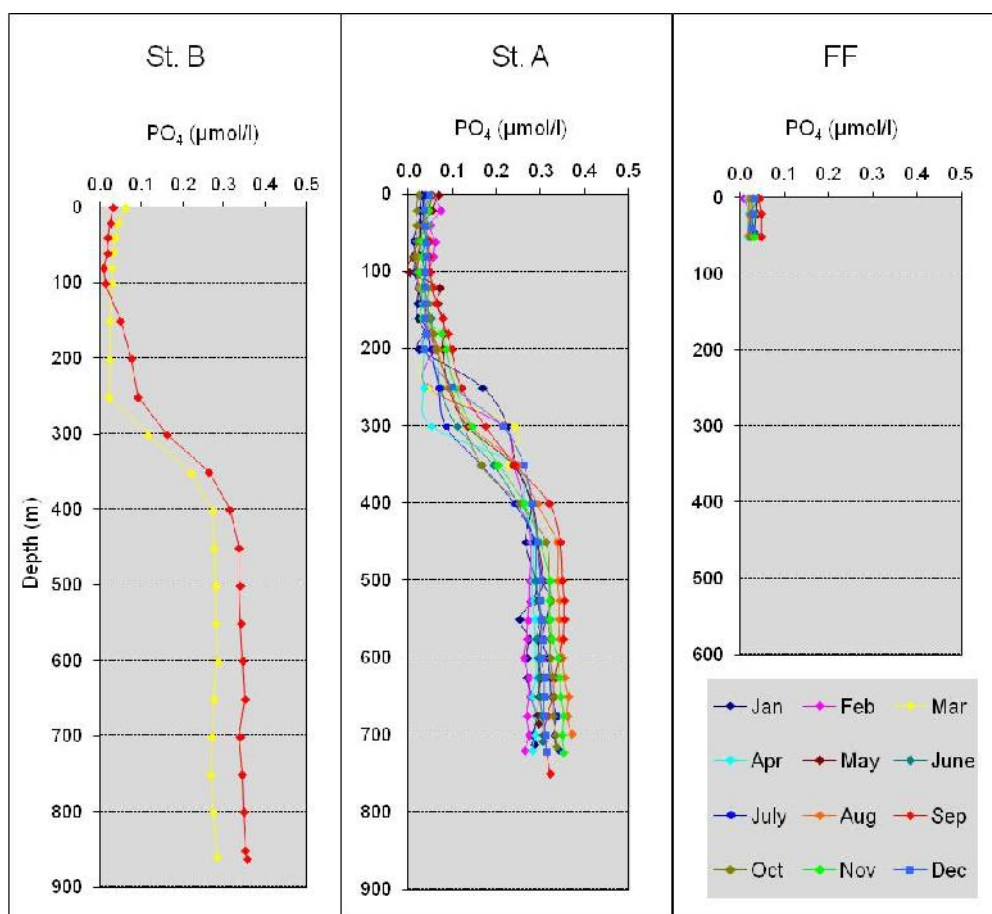
איור 18: שינויים בריכוז הניטראט בעמקים (400 עד 700 מטר) בתחנה A מאז ינואר 2000. נתונים הקודמים לתכנית הניטור נאספו במסגרת פרויקט "פארק השלום" ומובאים באדיבותם של הפרופ' י. ארז

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 $0.067 \mu\text{mol/l}$, כמעט כפול מאשר בשנה הקודמת. במים העמוקים נע ריכוז הפוספט בחודשים אוגוסט-ספטמבר סביב טווח שבין $0.35 \mu\text{mol/l}$, בדומה לערך המרבי בשנה הקודמת. ריכוזים אלו עדיין נמוכים בהרבה מריכוזי 2008.

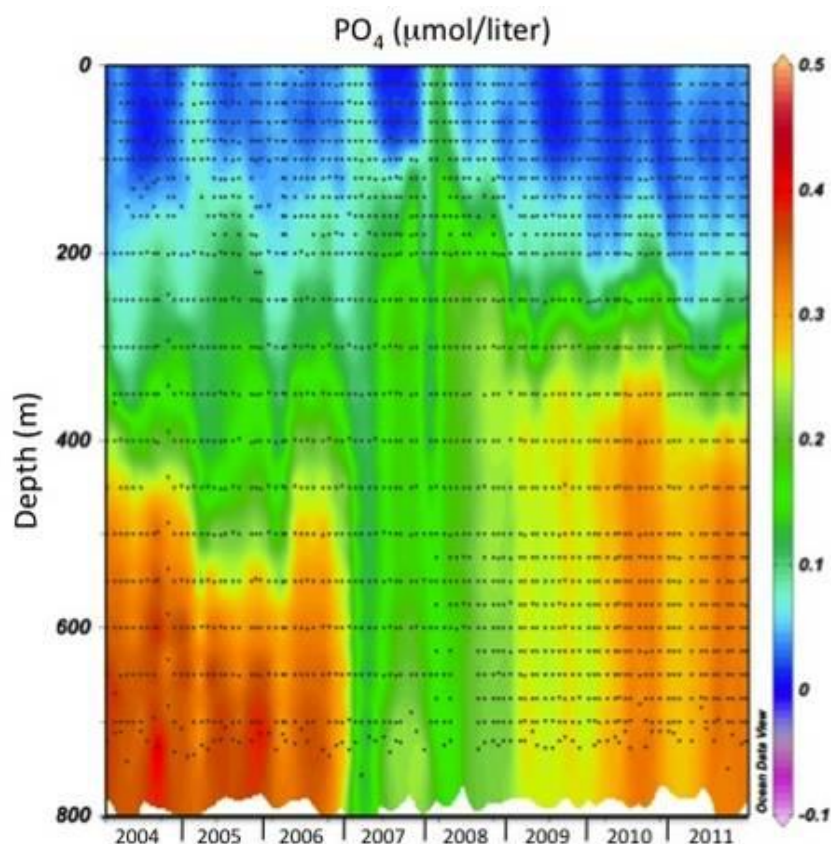
בעקבות אירועי הערבוב העמוק בשנת 2007 ואחר כך שוב בשנת 2008 ירדו ריכוזי הפוספט בעמודת המים באופן משמעותי, ובשלוש השנים האחרונות נמצא ריכוז הפוספט במים העמוקים בעלייה (איור ד20). אף על פי כן, ריכוז הפוספט בעמודת המים נמוך מריכוזו בשנים 2004-5. בשנת 2007 הצטמצם מאגר הפוספט המומס במים אולם החל משנת 2008 שב ונבנה. השנה מאגר הפוספט מעט נמוך מאשר בשנה הקודמת, אולם גודל המאגר אינו שונה משמעותית מאשר בשנים הראשונות של הניטור, לפני הערבוב העמוק בשנים 2007-8 (איור ד21).



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.

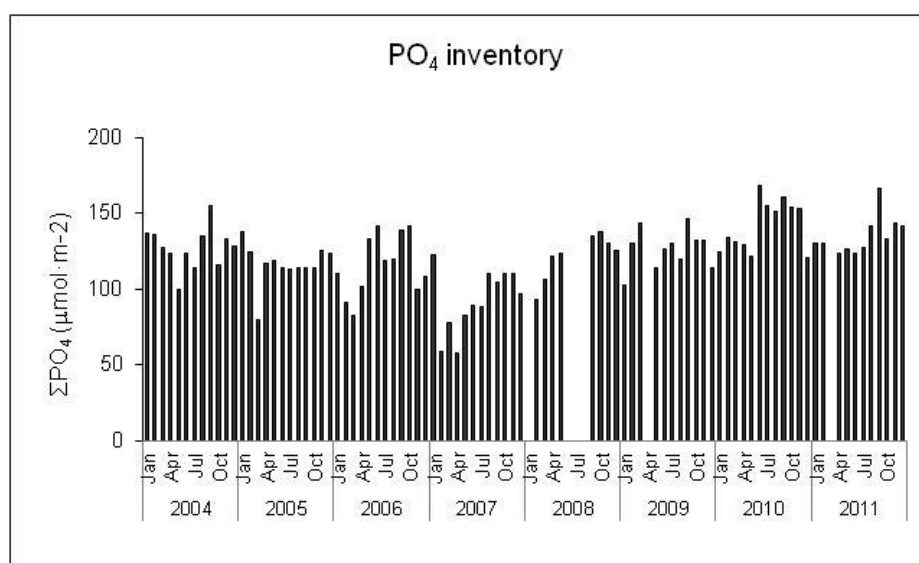
Figure D19: Phosphate (PO_4^{3-}) concentration profiles measured during the monthly

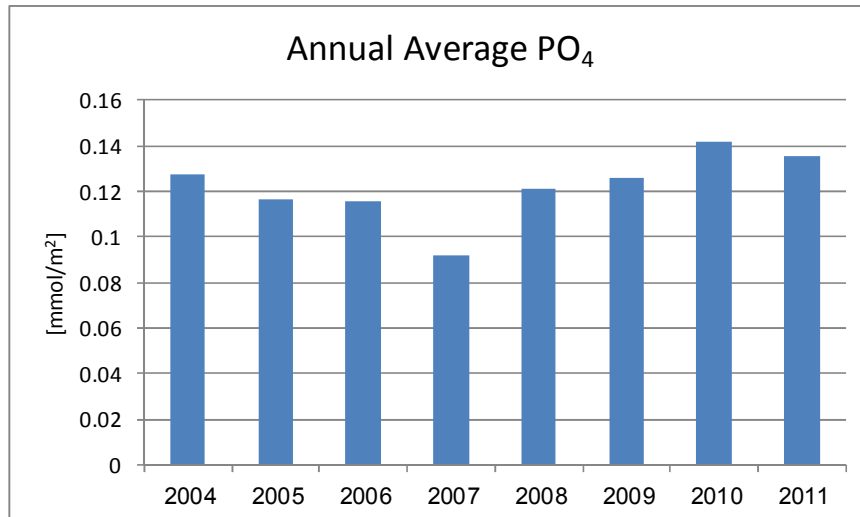
monitoring cruises. Station B is the southernmost and deepest, Station A is on the Israeli/Jordanian/Egyptian border at ca. 700 meters depth, and the Fish Farms station is close to the northern shore of the Gulf at ca. 50 meters depth.



איור D20: 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

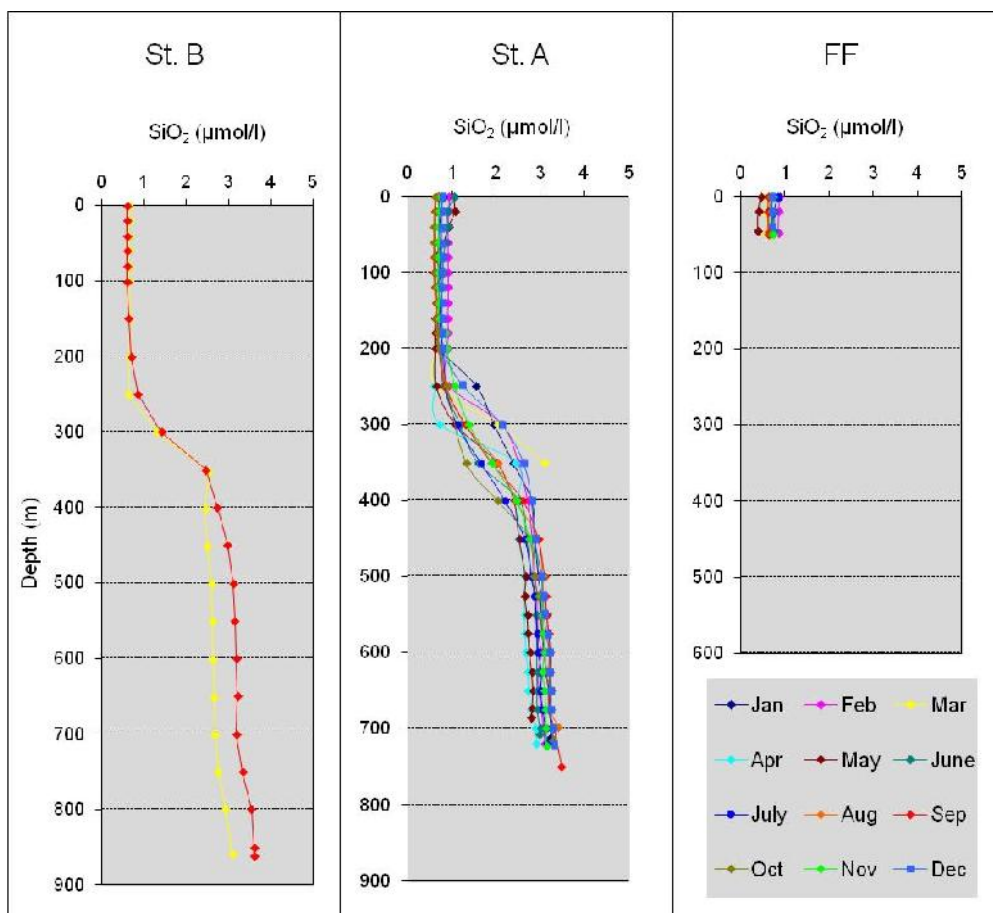
Figure D21: Changes in the phosphate inventory in the water column at Station A since 2004. Top: monthly inventories, Bottom: annual average

סיליקה

ריכוזי הסיליקה בפני הים בתחנה A היו השנה גבוהים מאשר בשנה הקודמת והגיעו לערך מרבי של $1.058 \mu\text{mol/l}$ (בחדש יוני (איור ד22)). במים העמוקים ריכוזי הסיליקה גדל עם העומק והערך המרבי אשר נמדד השנה עמד על $3.478 \mu\text{mol/l}$ בחדש ספטמבר בקרבת הקרקעית, ערך גבוה מאשר בשנה הקודמת. לשינוי בריכוזי הסיליקה במים העמוקים חשיבות רבה מכיוון שהוא מצביע על מקור סיליקה בסדימנט, המסת סיליקה ממוצא יבשתי או שלדים סיליקטים של פלנקטון, בעיקר אצות צורניות [diatoms].

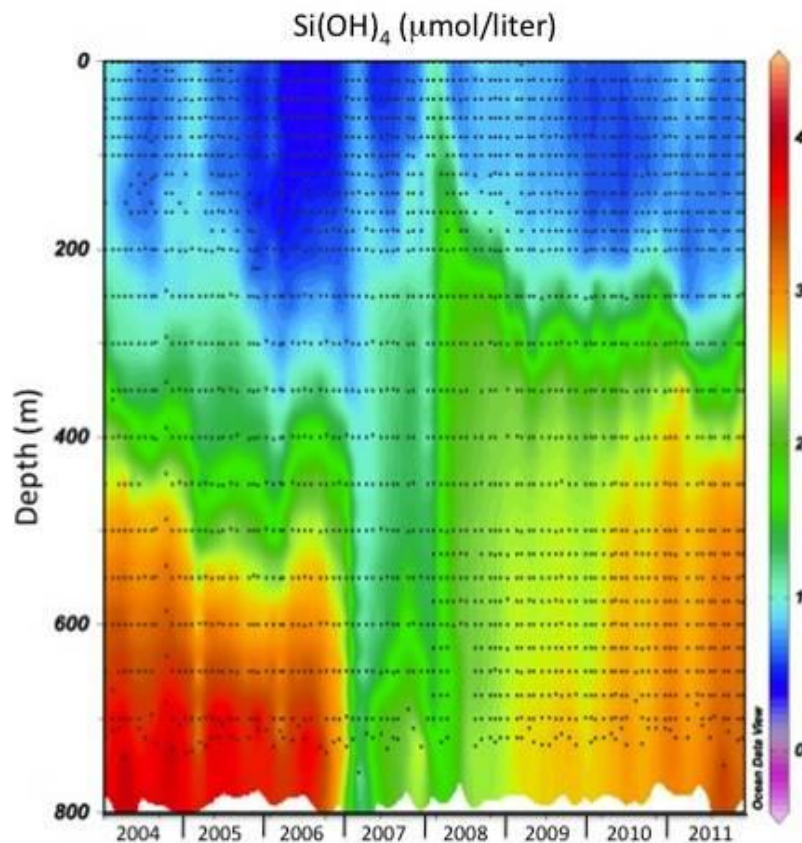
בשנות הניטור נמדד ערך סיליקה מזערי בפני הים בשנת 2006, לפני הערבוב העמוק, ושוב – אם כי במידה פחותה ב-2007. מאז עלה מעט ריכוזי הסיליקה בפני הים ועמד על ערכים דומים אך בשנתיים האחרונות נראית ירידת-מה בריכוזי הסיליקה בפני הים (איור ד23). במים העמוקים עולה ריכוזי הסיליקה מאז חורף 2008.

מאגר הסיליקה בעמודת המים הגיע לערכים נמוכים ביותר בשנת 2007 אולם מאז עלתה כמות הסיליקה המומסת במים והיא דומה היום, או אף גבוהה מערכי השנים 2004-6 (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. בשנים האחרונות השינויים במאגר הסיליקה בעמודת המים קטנים.



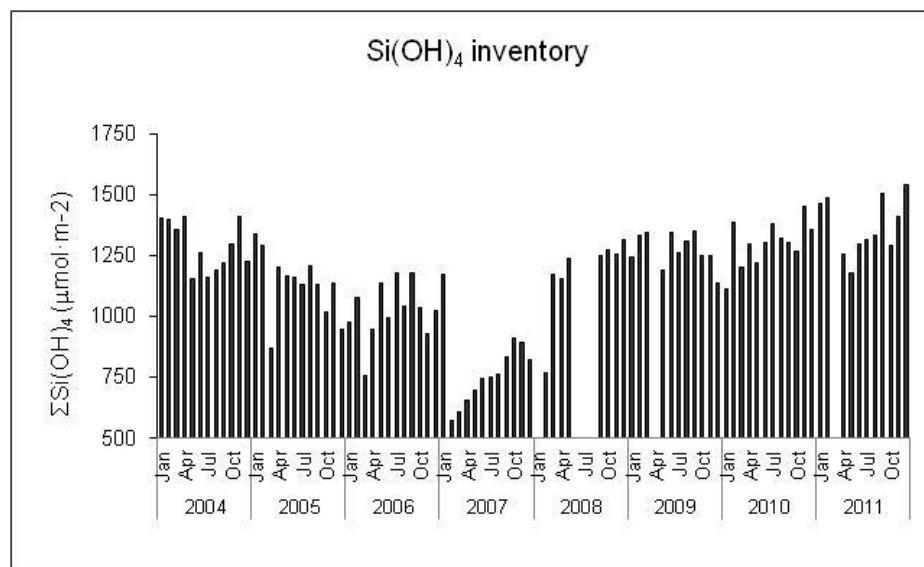
איור D22: ריכוזי סיליקה (Si(OH)_4) בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה B היא הדרומית והעמוקה ביותר, תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700 מטרים, ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים.

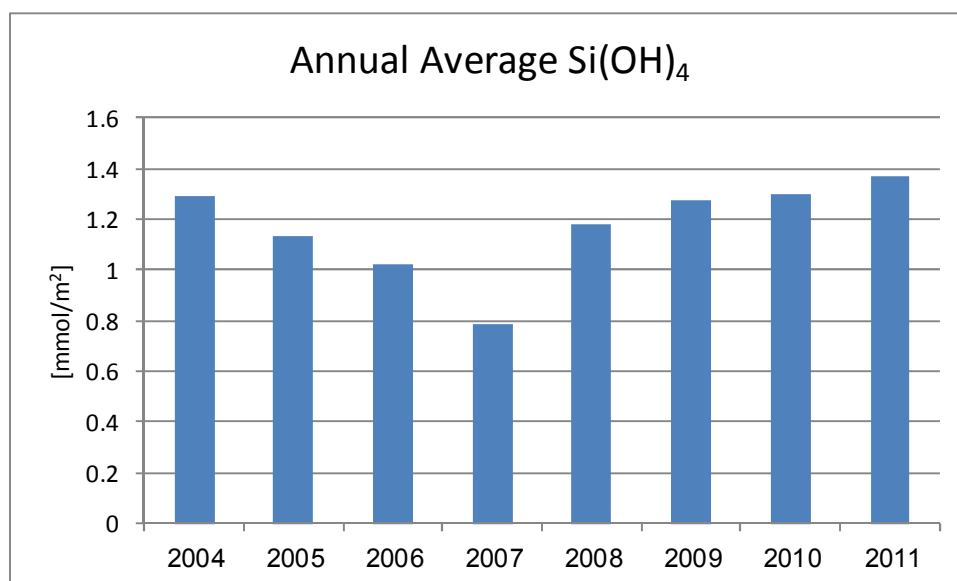
Figure D22: Silicate (Si(OH)_4) concentration profiles measured during the monthly monitoring cruises. Station B is the southernmost and deepest, Station A is on the Israeli/Jordanian/Egyptian border at ca. 700 meters depth, and the Fish Farms station is close to the northern shore of the Gulf at ca.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





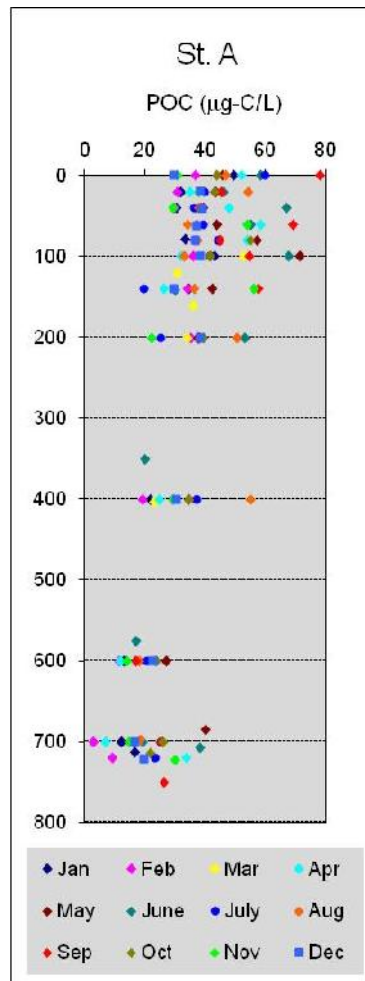
איור ד24: שינויים במאגר הסיליקה בעמודת המים בתחנה A מאז ינואר 2004. למעלה: מדידות חדשיות, למטה: ממוצע שנתי

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 חדש (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 עם צפיפות דגימות גדולה בשכבה הפוטית, וקרוב לקרקעית. ריכוזי הפחמן החלקיקי גבוהים במיוחד ב-100 המטרים העליונים של עמודת המים, וריכוז מרבי של $78 \mu\text{gC/l}$ נמדד השנה בחודש ספטמבר בפני הים (איור ד25). זהו ריכוז גבוה מעט מהריכוז המרבי אשר נמדד בשנה הקודמת, $69 \mu\text{gC/l}$. בעומקים גדולים מ-100 מ' ריכוזי הפחמן החלקיקי יורד מאד, ומשרעת הערכים בקרבת הקרקעית בתחנה A עמדה השנה על $3-38 \mu\text{gC/l}$, עם ערכים גבוהים בקיץ ונמוכים בחורף. עלייה בריכוז פחמן חלקיקי בקרבת הקרקעית עשויה להצביע על הרחפת חלקיקים מהקרקעית.



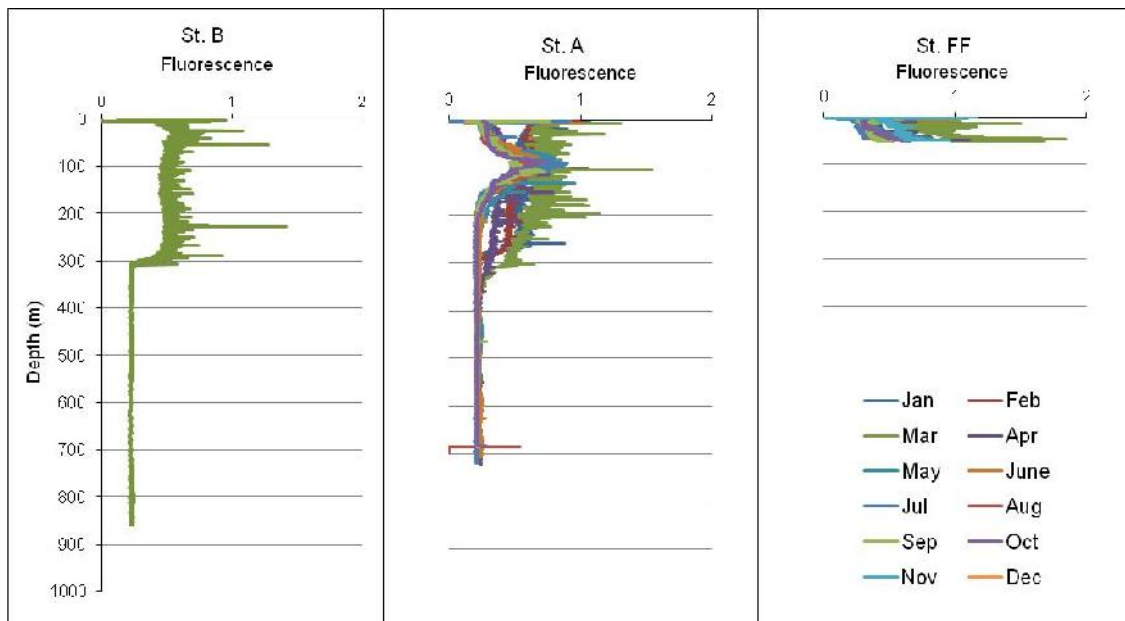
איור ד25: ריכוזי כלורופיל a בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700 מטרים.

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

פלוואורסנציה

הפלוואורסנציה הנמדדת על ידי מכשיר ה-CTD משמשת מדד *in-situ* לריכוז הכלורופיל בעמודת המים. ערכי הפלוואורסנציה מוצגים ביחידות שרירותיות. מדידות הפלוואורסנציה 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 DCM (Deep Chlorophyll Maximum). השנה נמדד שיא ה-DCM בחודשים בהם עמודת המים משוכבת, בעומק של כ-90 מטרים (איור ד26). בתקופה בה עמודת המים מעורבת נמדד ערך אחיד של פלוואורסנציה בעמודה המעורבת.



איור ד26: פלוואורסנציה 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.

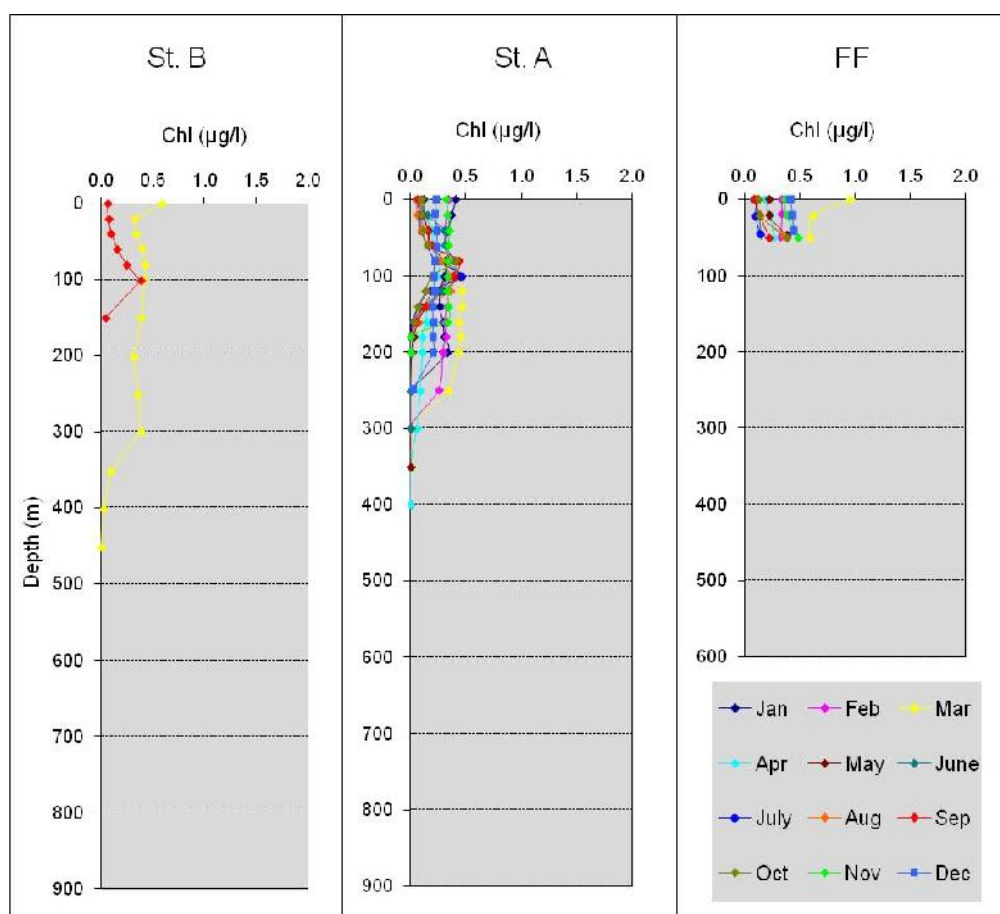
Figure D26: Fluorescence profiles measured during the monthly monitoring cruises. Station A is the southern station on the Israeli/Jordanian/Egyptian border at ca. 700 meters depth, and the Fish Farms station is the close to the northern shore of the Gulf at ca. 50 meters depth.

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 מתאפיינת בריכוז מרבי של כלורופיל *a* בעומקים של 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. ריכוז הכלורופיל המרבי אשר נמדד השנה בתחנה A, $0.462 \mu\text{g/l}$ בחודש מרץ (איור ד27). השנה נמצא כלורופיל עד עומק של מ-300 מטרים בחודש מרץ, בתחנה B. בקרבת החוף, בתחנת כלובי הדגים נמדד בפני הים בחודש מרץ ריכוז כלורופיל מרבי כפול מזה של הים העמוק, $0.958 \mu\text{g/l}$.

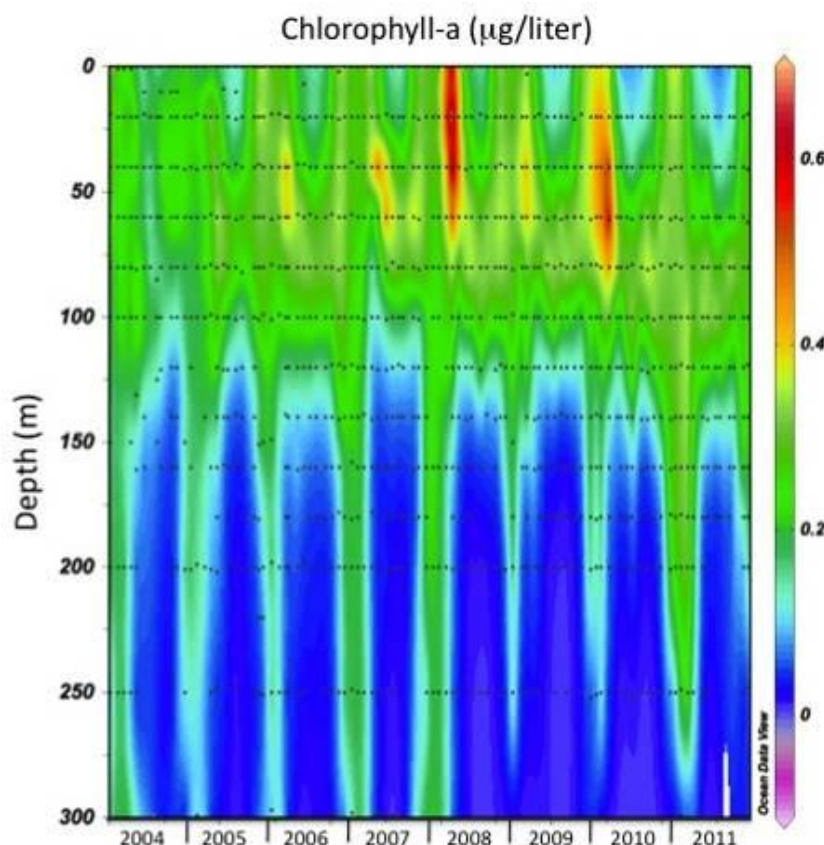
ריכוזי הכלורופיל הנמדדים בסוף תקופת הערבוב בעומק "ריכוז הכלורופיל המרבי" הגיעו לערכים הגבוהים ביותר בשנה השנייה של ערבוב עמוק, 2008, ובשנה הקודמת (2010) אולם השנה שוב נמדדו ריכוזי כלורופיל נמוכים בתחנה A. ריכוז הכלורופיל המרבי ב-2008 היה $1.137 \mu\text{g/l}$, בשנה הקודמת

היה הריכוז $0.853 \mu\text{g/l}$, ואילו השנה, כאמור, נמדד בתחנה A ריכוז מרבי של $0.462 \mu\text{g/l}$ (איור ד28). במבט לטווח ארוך יותר על ריכוזי הכלורופיל בעומק הריכוז המרבי (איור ד29) נראה כי מאז הערבוב העמוק של שנת 2000 (640 מטרים) בו נמדדו ערכי כלורופיל גבוהים במיוחד, ישנה מגמה של עלייה בריכוז הכלורופיל, בפרט במשך פריחת האביב.



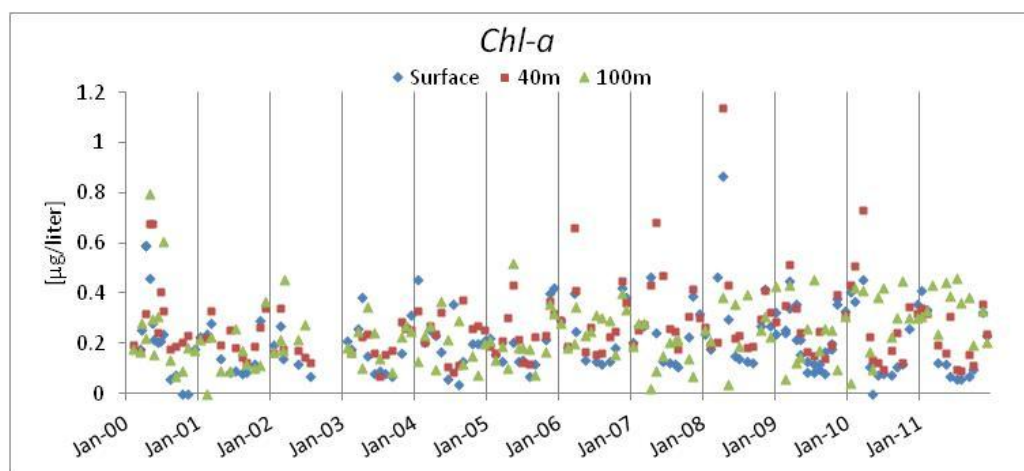
איור ד27: ריכוזי כלורופיל *a* בעמודת המים כפי שנמדדו בהפלגות הניטור החודשיות. תחנה B היא הדרומית והעמוקה ביותר, תחנה A נמצאת בגבול המים של ישראל/ירדן/מצרים בעומק של למעלה מ-700 מטרים, ותחנה FF בחוף הצפוני בעומק של כ-50 מטרים.

Figure 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 הניטור 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.

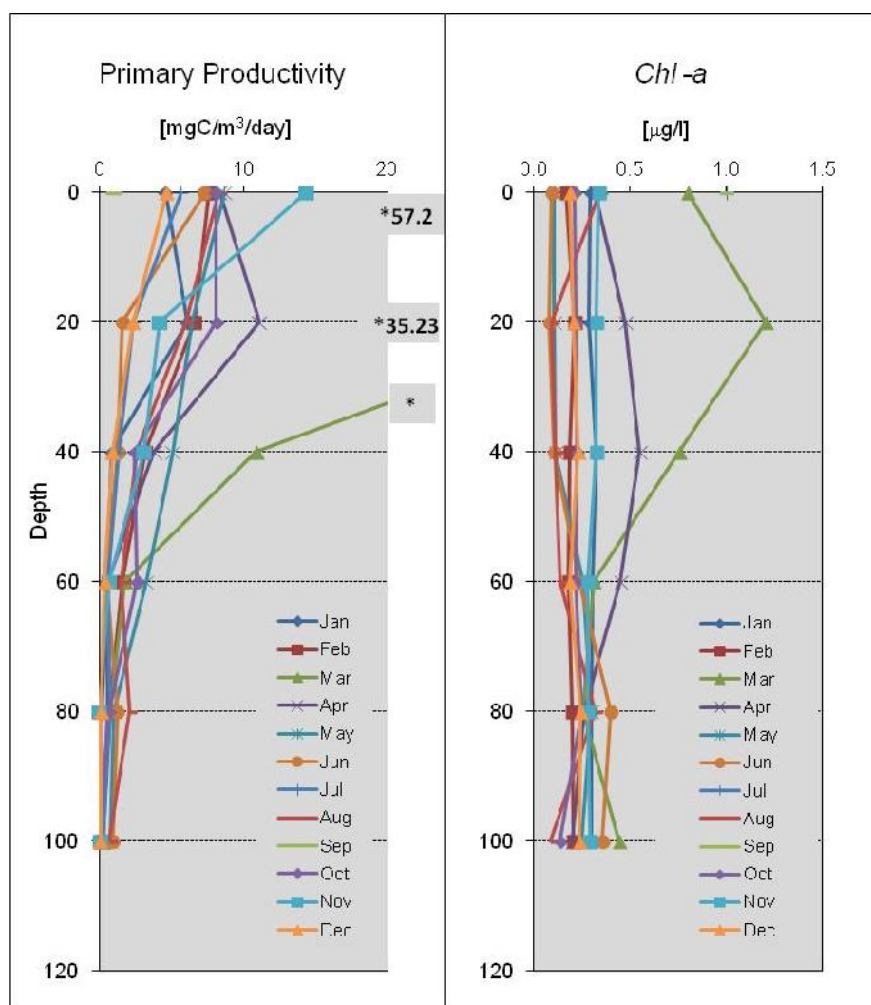
מדידת היצרנות מסובכת וקשה מבחינה טכנית, הן עקב הפעילות הימית המורכבת והן עקב פעילות המעבדה והשימוש באיזוטופים רדיואקטיביים, ועל כן לא בוצעה במפרץ אילת באופן סדיר בשנים האחרונות. מדידות יצרנות בוצעו בין השנים 1989-2002 במסגרת התכנית הקודמות לתכנית הניטור (Reeflux, Red Sea Program, Red Sea Marine Peace Park). תכנית הניטור התאימה את פרוטוקול המדידה אשר פותח על ידי ד"ר דוד אילוז ופרופ' יונתן ארז (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.

השנה ביצענו הערכה מחדש של חישובי היצרנות תוך התחשבות בתוצאות ניסויי מעבדה. בהתאם,

חושבו מחדש ערכי היצרנות אשר דווחו בשנתיים האחרונות.

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

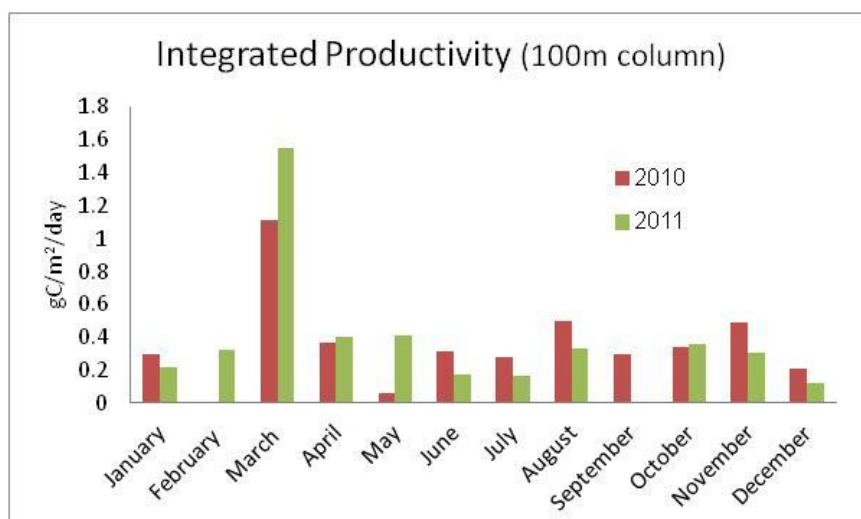
בפרופילים החודשיים נכרת תלות היצרנות בעצמת האור בכך שיצרנות גבוהה נמדדת בעומקים רדודים וירידה ביצרנות עם העומק (איור ד30). ישנם חודשים בהם היצרנות בעומק 20 מטרים גבוהה מהיצרנות בפני הים, ותופעה זו עשויה לנבוע מ"פוטואינהיביציה", הנגרמת מקרינה חזקה בפני הים. בחודש אפריל היצרנות המרבית נמדדה בעומק של 20 מ' בעוד שריכוז הכלורופיל הגבוה ביותר נמדד עמוק יותר. היצרנות המרבית אשר נמדדה השנה הייתה $57.2 \text{ mgC/m}^3/\text{day}$ בפני הים בחודש מרץ. ערך זה גבוה בהרבה מכל הערכים האחרים אשר נמדדו השנה, וערכים גבוהים במיוחד נמצאו בחודש זה במדידות הכלורופיל המצומדות (איור ד30), היומיות והחודשיות.



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 בחודשי 2011 מוצגת באיור ד31. היצרנות המחושבת נעה מערך מזערי של $0.12 \text{ gC/m}^2/\text{day}$ בחודש דצמבר, לערך מרבי של $1.55 \text{ gC/m}^2/\text{day}$ בחודש מרץ. שני הערכים גבוהים מהערכים המקבילים בשנה הקודמת. היצרנות היומית הממוצעת מתוך מדידות 2011 עומדת על $0.395 \text{ gC/m}^2/\text{day}$, ובשנה הקודמת הממוצע היה $0.387 \text{ gC/m}^2/\text{day}$. לשם השוואה, בתחנות הניטור הקבועות בימים האוליגוטרופים שמול הוואי וברמודה, נמדדים ערכים ממוצעים רב-שנתיים הנעים סביב $\sim 0.5 \text{ gC/m}^2/\text{day}$ (<http://hahana.soest.hawaii.edu/hot/methods/fig54.gif>), (http://bats.bios.edu/bats_form_prod.html).

האינטגרל השנתי המחושב על סמך ממוצע המדידות החודשיות של תכנית ניטור בשנת 2011 הוא $144.5 \text{ gC/m}^2/\text{year}$.



איור ד31: אינטגרציה של היצרנות הראשונית במאה המטרים העליונים של עמודת המים, מתוך מדידות היצרנות החודשיות המוצגות באיור ד31.

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

היצרנות השנתית הממוצעת על פי מדידות הניטור השנה היא, כאמור, $144 \text{ gC/m}^2/\text{year}$, ערך גבוה מהערכת היצרנות במפרץ בשנות ה-70 עד '90 של המאה העשרים ($\sim 80 \text{ gC/m}^2/\text{year}$), אך נמוך מהיצרנות בתחילת העשור הקודם בשנים 2000-4 ($\sim 170 \text{ gC/m}^2/\text{year}$).

זואופלנקטון

קבוצת הזואופלנקטון כוללת יצורים הטרוטרופים זעירים החיים מורחפים 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 ביצעה תכנית הניטור זו השנה הראשונה מעקב קבוע וסדיר אחר שינויים בביומסה של זואופלנקטון בשכבה הפוטית לפי פרקציות גודל, החל מחודש מרץ (2011). הניטור נועד לתעד שינויים כמותיים בזואופלנקטון בכלל כמו גם בהרכב קבוצות הגודל בקרבו.

דיגום הזואופלנקטון נעשה מדי חודש בים העמוק (עומק קרקעית 400-500 מ'), באמצעות גרירה אלכסונית של רשת פלנקטון כפולה ("Bongo") עם גודל חור של $200\ \mu\text{m}$ (איור ד32). דיגום זה מתבצע בשעות היום (בדר"כ בין השעות 9-11) לרוב בשבוע האחרון של כל חודש קלנדרי. 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 בסביבות 45° . משך הגרירה הכולל הוא כ-10 דקות. בסה"כ מתבצעות בכל פעם 3 גרירות (= 6 דגימות מאותו יום בכל חודש), כולן במים הפתוחים שבאזור שממול לחוף הדרומי של אילת (מול מלון הנסיכה). לאחר כל גרירה הדגימות מוצאות מקצה הרשת ומועברות מיד לצנצנות פלסטיק ונשמרות בצידנית עם קרח עד לטיפול במעבדה מיד עם החזרה לחוף.

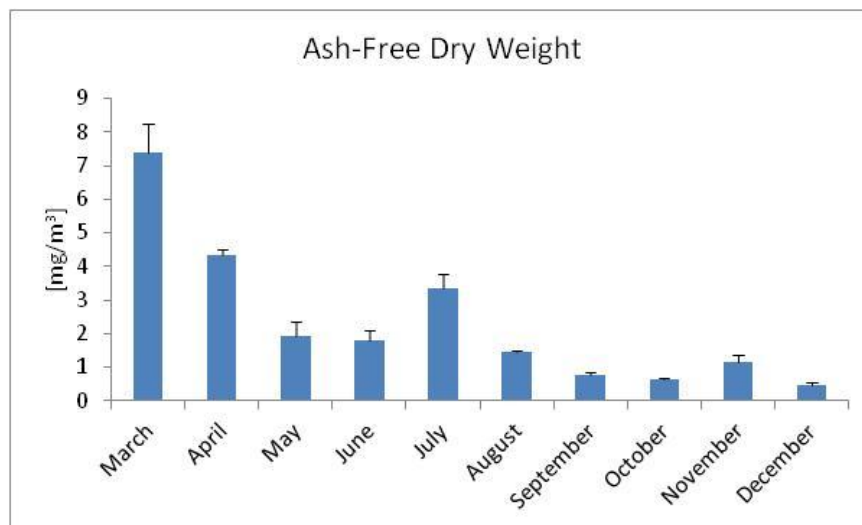
במעבדה כל דגימה מופרדת לשלוש פרקציות גודל באמצעות סינון על קולונה עם שלוש רשתות פלנקטון בגודל חור של 200, 500 ו-1000 מיקרון. לאחר מכן מסוננת כל פרקציה על פילטר סיבי זכוכית GF/A (גודל חור נומינלי של $1.6\ \mu\text{m}$) אשר נשרף מראש בתנור ב 450°C למשך 4 שעות ומשקלו נמדד (יחד עם זה של הכורית שאליה הוא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



איור ד32: רשת הפלנקטון הכפולה ("Bongo") נגררת מהסירה בים העמוק.
Figure D32: A double plankton net ("Bongo") towed from the boat in deep waters.

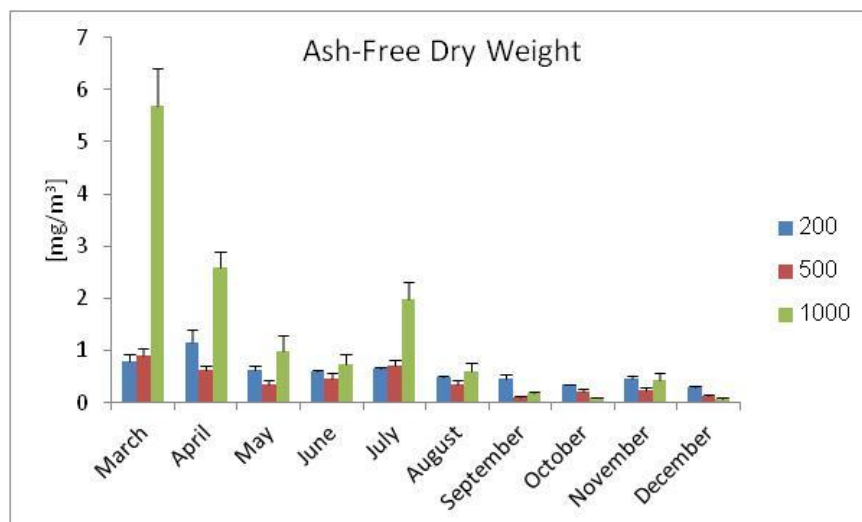
השנה החל ניטור הזואופלנקטון בחודש מרץ, החודש בו הערבוב עמוק ביותר והיצרנות גבוהה ביותר. כצפוי, גם ביומסת הזואופלנקטון היה גדול ביותר בחודש זה (איור ד33). בחודשים הבאים יורדת כמות הזואופלנקטון בהדרגה, עם עליות קלות בחודשים יולי ונובמבר.

התפלגות הזואופלנקטון לפי פרקציות גודל (איור ד34) 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 ד33: ריכוזי זואופלנקטון חודשיים ב-100 המטרים העליונים בים העמוק.

Figure D33: Monthly zooplankton concentrations at the upper 100m of the deep sea.



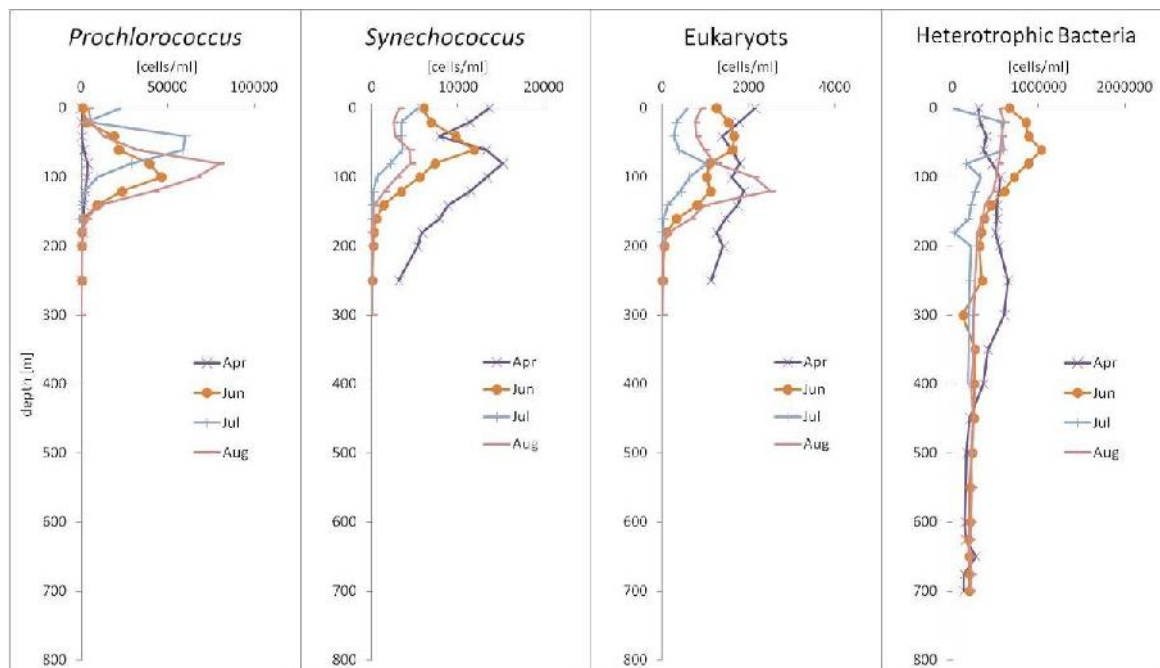
איור ד34: התפלגות גדלים של אכלוסיית הזואופלנקטון ב-100 המטרים העליונים בים העמוק. פרקציות גודל מסוננות על פילטר של 200, 500 ו-1000 מיקרון (ירוק, אדום וכחול, בהתאמה).

Figure D34: Size distribution of the zooplankton population at the upper 100m of the deep sea. Size fraction are filtered on 1000, 500 and 200 μm filters (green, red and blue, respectively)

פיטופלנקטון וחיידקים בעמודת המים

השנה, לאחר מספר שנים בהן לא נספרו תאי פיטופלנקטון וחיידקים, אך נלקחו דוגמאות מים ושומרו לצורך כך, התקבלו תוצאות ראשונות של ספירות. הספירות מבוצעות ביחידת ה- flow-cytometry במחלקת התשתיות של מדעי החיים וההנדסה בטכניון, על ידי 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. למטה מופיעות תוצאות ספירת התאים בעמודת המים בתחנה A, מהחודשים אפריל, יוני, יולי ואוגוסט. לאחר שתהליך קיבוע המדידה הושלם, תישלחנה בשנה הקרובה דוגמאות קפואות לספירה כך שתושלם סדרת הזמן עבור שנת 2011.

ספירת תאי פיטופלנקטון פרוקריוטי (*Synechococcus*, *Prochlorococcus*) ואאוקריוטי, וחיידקים הטרוטרופים במים הפתוחים נעשית בדגימות הנאספות בהפלגות החודשיות מתחנה A. הנתונים המוצגים כוללים את החודשים שלאחר שיא הערבוב אל תוך הקיץ ועל כן קשה למצוא בהם את הדינמיקה העונתית, מלבד כך שריכוזי הפרוכלורוקוקוס נמוכים באפריל ועולים בחודשי הקיץ (עם שיא בעומקים 40-100 מטרים, ואילו ריכוזי שאר התאים בדרך כלל גבוהים בחודשים אפריל-יוני ויורדים בהמשך הקיץ עם שיאים בדרך כלל רדודים יותר (איור ד35)). הריכוזים הגבוהים ביותר של חיידקים הטרוטרופים נמצאו בחודש יוני בעומק של 60 מטרים. חשוב לשים לב להבדלים בריכוזים בין התאים הנמדדים: התאים האאוקריוטיים וסינקוקוקוס נמדדים באלפים, תאי פרוכלורוקוקוס נמדדים בעשרות אלפים, וחיידקים הטרוטרופים נמדדים מיליונים למיליליטר.



איור ד35: ריכוזים חודשיים של תאים (פרוקריוטים (*Synechococcus*, *Prochlorococcus*), אאוקריוטים, וחיידקים הטרוטרופים) בעמודת המים בתחנה A.

Figure D35: Monthly concentrations of prokaryote *Synechococcus* and *Prochlorococcus*, eukaryotes and heterotrophic bacteria in the water column at Station A.

דיון

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 התחממות המים העליונים 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 מכתובה את פרופיל הריכוזים של המרכיבים השונים בעמודת המים לאורך השנה. הדינאמיקה הרב שנתית מושפעת מעומק ומשך הערבוב ומכמויות הנוטריינטים שנצברו במי העומק. לאחר שנתיים בהן היה ערבוב עמודת המים עמוק וכמות גדולה של נוטריינטים הועלתה לשכבה הפוטית (2007-2008) בשלוש השנים האחרונות (2009-2011) ערבוב עמודת המים היה רדוד. בעקבות הערבוב העמוק בשנים 2007-2008 ירד משמעותית ריכוז הנוטריינטים במים העמוקים ועלה ריכוז החמצן המומס בהם. בשנים מאז נמדדה עלייה בריכוזי הנוטריינטים במים העמוקים והמאגרים המומסים התמלאו. ריכוזי הנוטריינטים בעומק הוסיפו לעלות השנה, אם כי עדיין הינם נמוכים מאלו של השנים 2004-2006. נראה כי בשנות הערבוב העמוק נשמר חלק גדול יותר מהנוטריינטים בצורה החלקיקית והמאגרים המומסים היו נמוכים, בפרט בשנת הערבוב 2007. מאז חזרו המאגרים המומסים לערכים דומים לאלה שנמדדו לפני שנות הערבוב העמוק וריכוזם הולך ועולה במים העמוקים. יחד עם זאת חשוב לציין כי קצב עליית הריכוזים המומסים נמוך מקצבים אשר נמדדו לפני שנת 2007. לאחר שטמפרטורת מי העומק ירדה בשנים 2007-2008 כתוצאה מהערבוב העמוק בשנים אלה, בשנים האחרונות נמדדת עלייה קלה בטמפרטורות המים העמוקים, בפרט בעומקים שתחת קצה הערבוב, סביב 400 מטר עומק.

מדידות של ריכוז פחמן אורגני חלקיקי בעמודת המים ויצרנות ראשונית באזור הפוטי נעשו באופן סדיר מדי חודש. מדידות אלה מהוות בשנתיים האחרונות תוספת משמעותית למידע הנאסף על ידי התכנית במטרה לעקוב אחר שינויים אפשריים במצב המערכת האקולוגית של המפרץ. השנה נוספה מדידת ריכוז זואופלנקטון בעמודת המים העליונה בים העמוק, וחודשו ספירות תאים בעמודת המים. תוספות אלה מסייעות "לסגור מעגל" בהקשר של מעבר אנרגיה דרך הרמות הטרופיות בים העמוק. במדידות הפחמן החלקיקי נראית לעיתים עלייה בריכוז בקרבת קרקעית הים, אשר נובעת – כנראה – מהרחפה.

בחודש מרץ לא נמדד קסט רדוד בתחנה A (עקב תנאי ים) בזמן ההפלגה החודשית, אולם מדידות הכלורופיל המצומדות ליצרנות הראשונית מראות ריכוז גבוה של כלורופיל בעומק 20 מטר, גבוה מאשר בשנה הקודמת. בנוסף לכך, בחודש מרץ נמדדה יצרנות גבוהה בפרט ב-40 המטרים העליונים של עמודת המים, ובאותו זמן גם דווחה פריחה בקרבת פני הים ונמדדו ריכוזי כלורופיל גבוהים במדידות היומיות ממזח המצפה (פרק "מדידות רציפות", להלן).

כמות הזואופלנקטון הייתה גם כן גבוהה בחודש מרץ – כפולה מאשר בחודש אפריל – אולם בהעדר מדידות קודמות אין בידינו בסיס להשוואה רב שנתית. נתוני פיטופלנקטון (ספירות תאים) שבידינו השנה החלו בחודש אפריל, אז נמדדו ריכוזים גבוהים מאשר בחודשי הקיץ, אולם גם כאן אין לנו כרגע בסיס להשוואה רב שנתית; בשנה הבאה נעבד דוגמאות שנאספו בכל השנים הקודמות ונוכל להשוות ריכוזים של תאי פיטופלנקטון בין השנים.

מדידות היצרנות השנה דומות למדידות מהשנה הקודמת ומתקבל אינטגרל שנתי של $gC/m^2/year$ של 144 השנה ו- $141 gC/m^2/year$ בשנה הקודמת. ערכים אלה גבוהים בכ-70% מהיצרנות המוערכת במפרץ עד לשנות ה-90, ונמוכים בכ-20% מערכים שנמדדו בתחילת שנות ה-2000. יש לזכור כי בשנתיים האחרונות ערבוב עמודת המים היה רדוד ויתכן שבהינתן ערבוב עמוק יותר תתקבל יצרנות שנתי גדולה יותר, אולם בכל זאת תוצאות אלה מעודדות בהצביען על ירידה אפשרית באאוטרופיקציה אשר נצפתה בתחילת שנות ה-2000.

ה. מדידות רציפות

ה.1. כלורופיל

מטרה

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

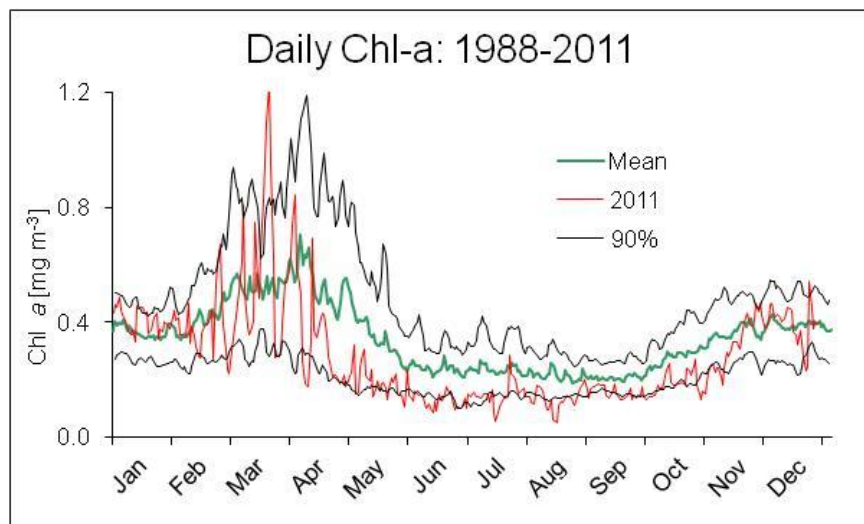
שיטות

מדידה יומית של ריכוז כלורופיל a במים כמדד לשינויים בכמות הפיטופלנקטון. 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°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

גם השנה נמדדו ערכי הכלורופיל המרביים בפני הים מוקדם מהצפוי על פי הממוצע הרב-שנתי. זוהי תבנית החוזרת בשנים האחרונות, אם כי ערכים מרביים התקבלו השנה בחודש מרץ, בשנתיים האחרונות היו הערכים הגבוהים בחודשים ינואר-פברואר. בדרך כלל נמדדו ערכים מרביים בחודשי האביב, מרץ-אפריל-מאי, בהם צפויה פריחת אצות (איור ה1). גם השנה ערכי הכלורופיל בחודשים אפריל-מאי היו נמוכים מהממוצע. הערכים המרביים על פי המחזור העונתי הממוצע מאז 1988, הכולל ריכוז כלורופיל a גבוה יחסית בחודשי החורף ונמוך בקיץ, נמדדים לרוב בחודש אפריל. בשנים 2007-2008 בהן היה ערבוב עמוק של עמודת המים נמדדו שיאי ריכוז כלורופיל גבוהים בהרבה מהממוצע הרב שנתי. השנה נמדד ב-22 במרץ ערך כלורופיל גבוה במיוחד, מי הים נראו ירוקים, והראות הוגבלה לכ- 6 מטרים.



איור ה1: ריכוז כלורופיל a בפני השטח בשמורת חוף אלמוג (בסמוך למזח המצפה הימי). קו אדום - בשנת הניטור 2011, קו ירוק - ממוצע רב שנתי (1988-2010), קו שחור גבול 90% מהנתונים שהצטברו.

Figure E1: Chlorophyll a concentrations sampled daily at the Underwater Observatory jetty in 2011 (red line) and the long-term average (1988-2010, 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.

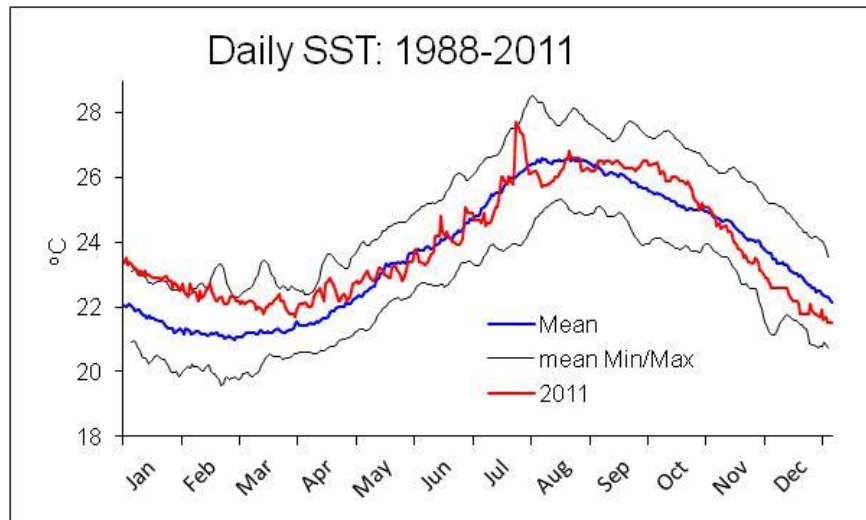
שיטות

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

תוצאות

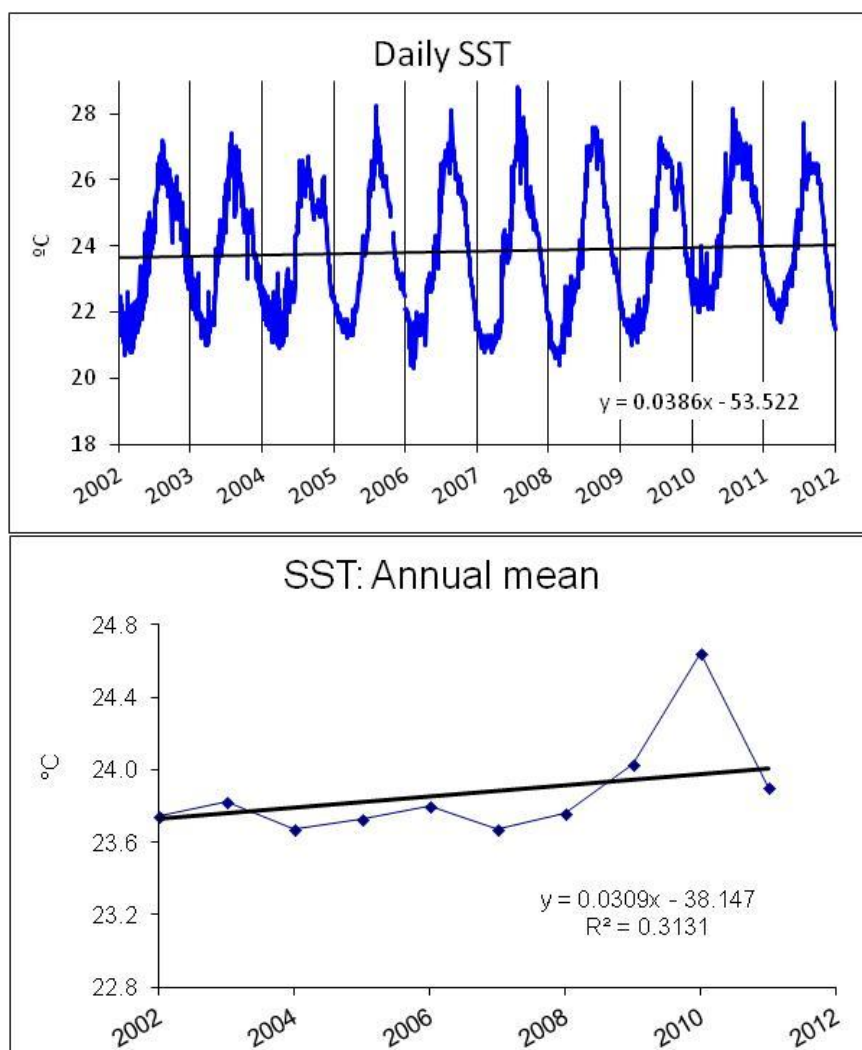
השנה הקודמת הייתה שנה חמה במיוחד עם טמפרטורות פני הים גבוהות מן הממוצע במשך כל השנה. השנה היו הטמפרטורות גבוהות מן הממוצע בחודשים ינואר-מרץ, אולם בחודשי הקיץ נמדדו טמפרטורות דומות לממוצע הרב שנתי. בסתיו, ותחילת החורף (חודשים נובמבר-דצמבר) ירדה הטמפרטורה בפני הים אל מתחת לממוצע (איור ה-2). טמפרטורות החורף הגבוהות גרמו לכך שערבוב עמודת המים היה גם השנה רדוד, אך ההתקררות לקראת סוף השנה מבטיחה ערבוב עמוק יותר בשנה הבאה. הטמפרטורה המרבית אשר נמדדה השנה – 27.7°C בחודש יולי הייתה דומה לטמפרטורה מרבית 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 23.09°C , נמוך בלמעלה ממעלה מאשר בשנה הקודמת (24.64°C). יחד עם זאת, מגמת החימום הרב-שנתי של פני הים עדיין נמשכת.



איור ה-2: טמפרטורות המים בפני הים בשמורת חוף אלמוג (בסמוך למזח המצפה הימי). קו אדום - שנת הניטור 2010, קו כחול - ממוצע רב שנתי של המדידות היומיות מאז 1988, קווים שחורים - ערכי קיצון ממוצעים (ממוצע שבעה ימים) ממדידות 1988-2009.

Figure E2: Daily sea surface temperatures measured from the Underwater Observatory jetty during 2010 (red line), the average SST for 1988-2009 (blue line), and long-term average (1-week running mean) minimum and maximum values from 1988 to 2008.



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.

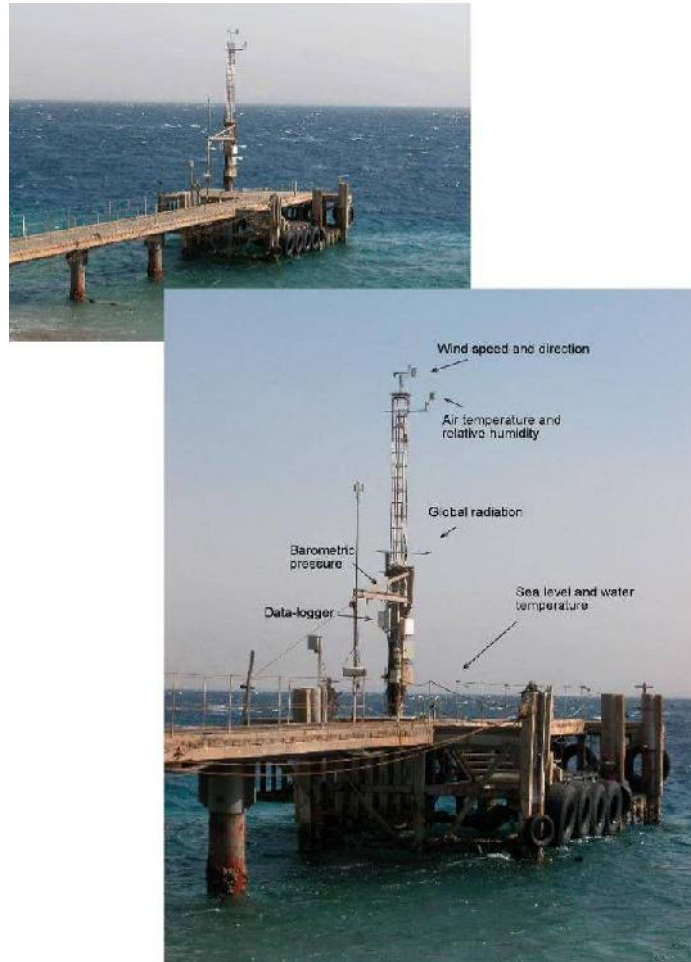
ה.3. משתנים מטאורולוגיים

מטרה

מעקב רציף וארוך-טווח אחר משתנים מטאורולוגיים במפרץ.

שיטות

בקיץ 2006 (21.9.2006) הוקמה על ידי תכנית הניטור תחנה מטאורולוגית בקצה המזרח של המכון הבין-אוניברסיטאי באילת (מיקום: $34^\circ 55.068' \text{ E}$ $29^\circ 30.211' \text{ N}$). 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 פוטוסינתטית (PAR). שני החיישנים הוספו בעקבות התייעצויות עם חוקרים המתמקדים באספקטים שונים של אקולוגיה בשונית (כגון יצרנות ומחלות אלמוגים) ותהליכים פוטוסינתטיים ופוטוכימיים בים, עקב חשיבותם הרבה של אורכי גל אלה לאקולוגית המפרץ. הזמן לפיו נרשמים הנתונים המטאורולוגיים הוא שעון החורף של ישראל (GMT+2).



איור 4: התחנה המטאורולוגית בקצה המזרח 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	CS408
Water temperature	Campbell	108
Data logger	Campbell	CR1000

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

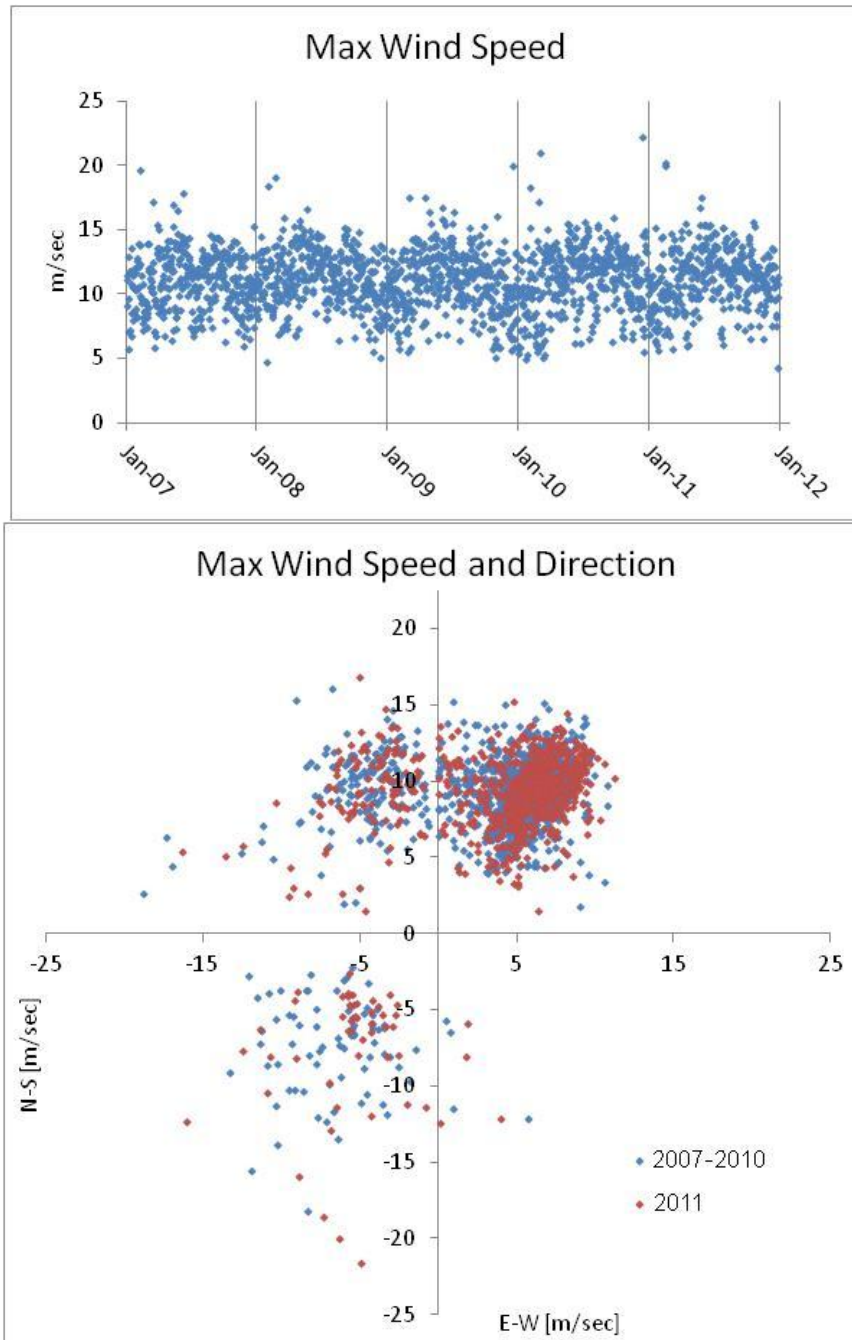
מהירות וכיוון הרוח, וטמפרטורת האוויר והלחות נמדדים מראש התורן שבקצה המזח, כעשרה מטרים מעל לפני הים (בזמן שפל). מד הלחץ הברומטרי ממוקם כחמישה מטרים מעל הים ומתוקן לגובה פני הים. החיישנים המודדים קרינה (גלובלית, UV, PAR) ממוקמים על זרוע במרחק 0.7 מטרים דרומית לתורן בכדי למנוע הצללה, כ-6 מטרים מעל הים. מד לחץ המים מקובע בצינור באורך 3 מטרים וקוטר של 3" המחובר אנכית אל העמוד המרכזי של המזח, ישירות מתחת לתורן. הצינור נועד לשכך את תנודות הגלים, ולצורך כך הוא פקוק בבסיסו בפקק בו קדוח חור בקוטר 3 מ"מ אשר מונע משינויי מפלס בעלי תדירות גבוהה להשפיע על 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, מחוץ 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).

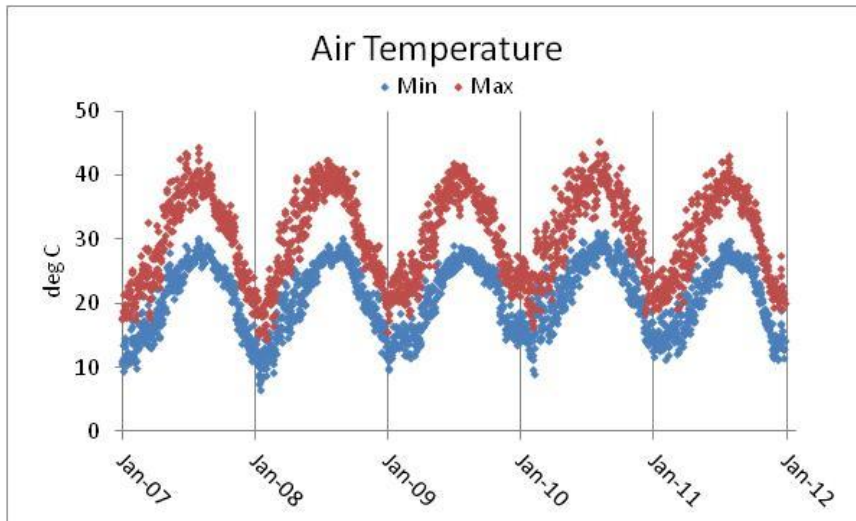
השנה הכתה סערה דרומית חזקה את צפון המפרץ ב-17-16 בפברואר, עם רוחות חזקות שהגיעו למהירות של כ-40 קשר (איור 5).



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

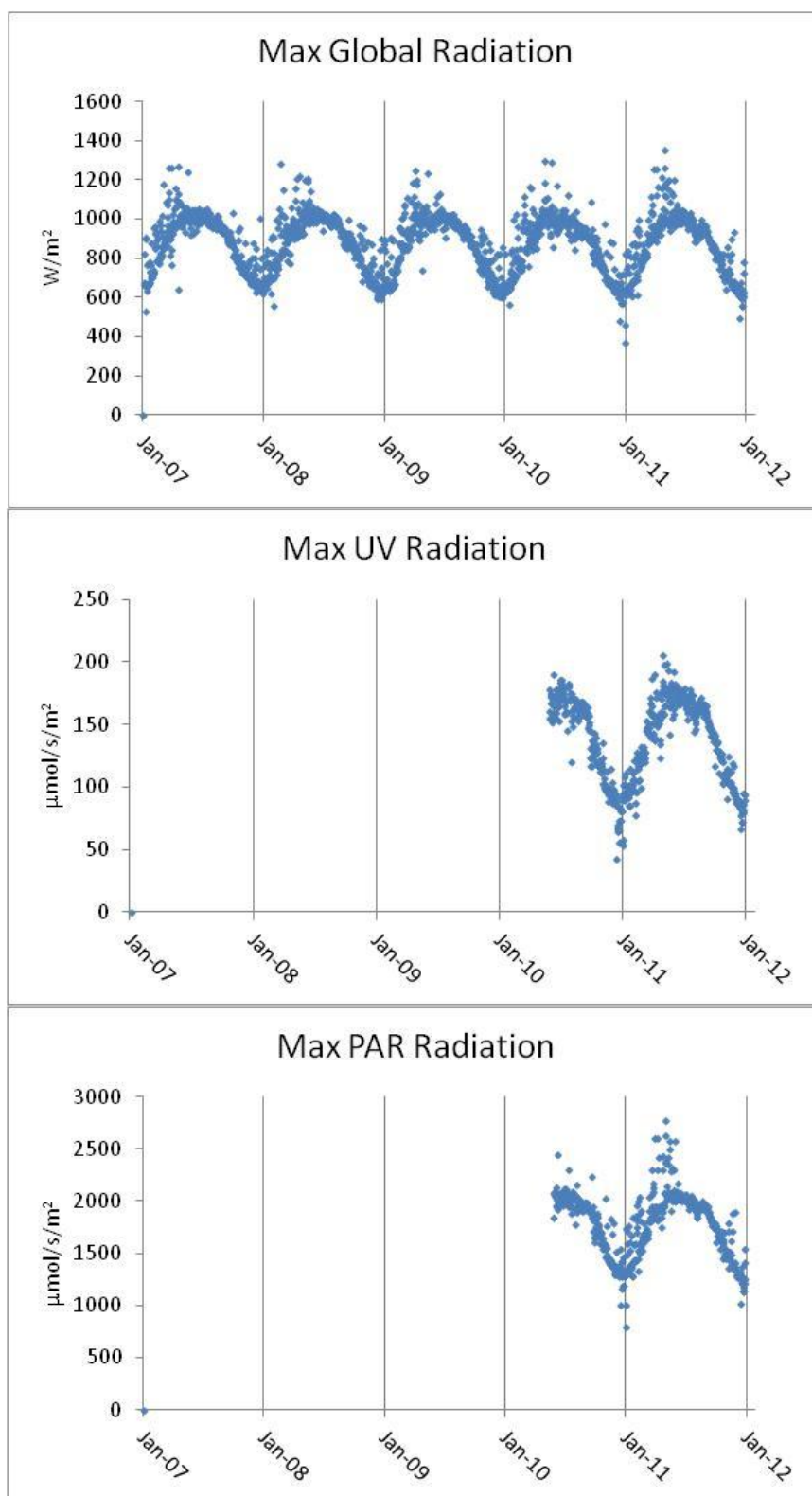
Figure E5: Top- Maximum daily wind speed (m/sec). Bottom- Maximum daily wind speed and direction since January 2007. This year's wind measurements are marked by red squares.

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°C בחודש יולי, מעט נמוך מאשר בשנה הקודמת. הטמפרטורה הנמוכה ביותר השנה הייתה 11.14°C (בחודש פברואר), גבוהה מאשר בשנים האחרונות, ובפרט מאשר בשנים 2007-8. 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 (1356 ואט\מטר רבוע) הייתה מעט גבוהה מהערכים המרביים אשר נמדדו בשנים הקודמות. לא תמיד ישנה התאמה בין זמני מדידות הערכים המרביים של סוגי הקרינות השונות (קרינה גלובלית, קרינת UV, וקרינת PAR), אם כי התבנית הכללית דומה. ישנה סטייה בעיקר בין הימים והשעות של ערכי הקרינה האולטרא-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.

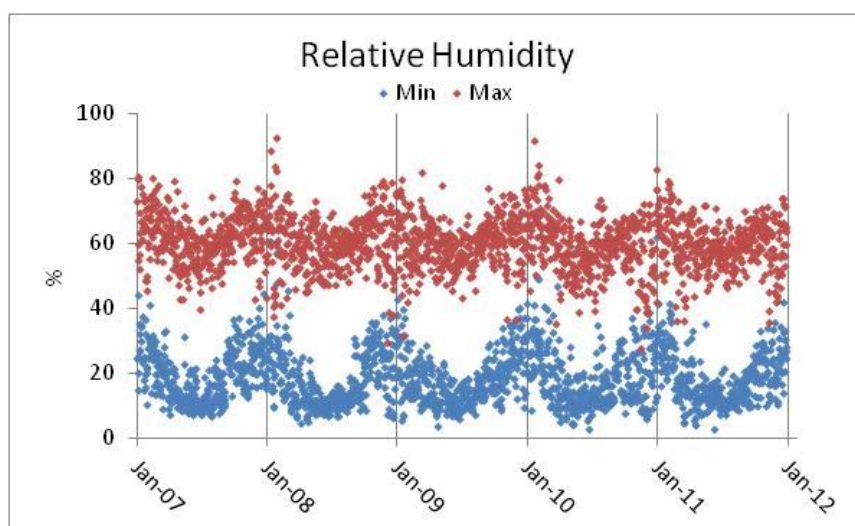


איור 7: ערכים יומיים מרביים של קרינה גלובלית (למעלה), קרינה אולטרא-סגולית (באמצע) וקרינה זמינה לפוטוסינתזה (למטה).

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

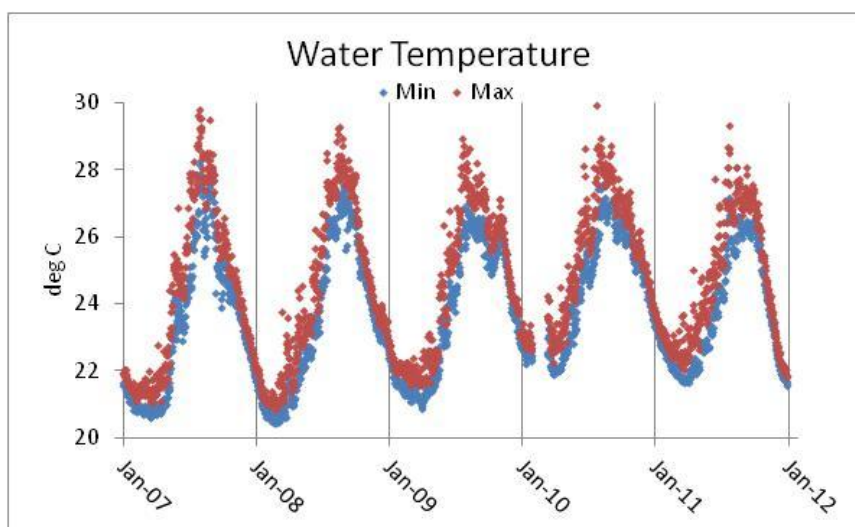
הלחות היחסית, כפי שנמדדה השנה ממזח המכון מעל הים, דומה למדידות שהתקבלו בשנים החולפות אם כי נרשמו פחות ימים של לחות גבוהה (איור 8). שינויים עונתיים במדידות הלחות היחסית קטנים יחסית למשרעת היומית הגדולה, ומונעים במידה רבה על ידי שינויים בכיוון ועוצמת הרוח. ערכי

לחות נמוכים נמדדו בתחילת הקיץ וערכים גבוהים יותר – הן של הלחות המרבית והן המזערית – נמדדו בסתיו ובחורף. בחודשים ינואר ופברואר, בהם הרוח אינה יציבה וישנם יותר אירועי רוח דרומית נמדדה המשרעת הגדולה ביותר בערכי הלחות כמו גם הלחות היחסית הגבוהה 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 8: ערכים מרביים ומזעריים (באדום ובכחול, בהתאמה) של לחות יחסית מעל הים, בכל יומה.
Figure E8: Maximum and minimum (red and blue, respectively) daily values of relative humidity over the sea.

במידות טמפרטורת המים (עומק כ-2.5 מטרים) ניתן לעקוב אחר המחזור העונתי בו טמפרטורת המינימום, 21.65°C נמדדה בחודשים מרץ ואפריל, וטמפרטורת המקסימום, 29.33°C נמדדה בחודש יולי (איור 9). הטמפרטורה המזערית דומה לזו של השנה הקודמת, ואילו המרבית מעט נמוכה יותר. בשנות הניטור הקודמות נמדדה טמפרטורת מים מזערית נמוכה באופן משמעותי – עד כמעלה (!) – ואילו בטמפרטורה המרבית לא נמצאו שינויים מגמתיים גדולים. טמפרטורת הים בחודשי החורף היא המכתיבה את עומק הערבוב וגם החורף היה הערבוב רדוד. ההפרש הממוצע בין טמפרטורת המים המרבית והמזערית גדל בחודשי הקיץ אז מתפתחת תרמוקלינה יומית. בחודשי החורף, ובעיקר בחודשים המובילים לשיא הערבוב, משרעת הטמפרטורות קטנה.

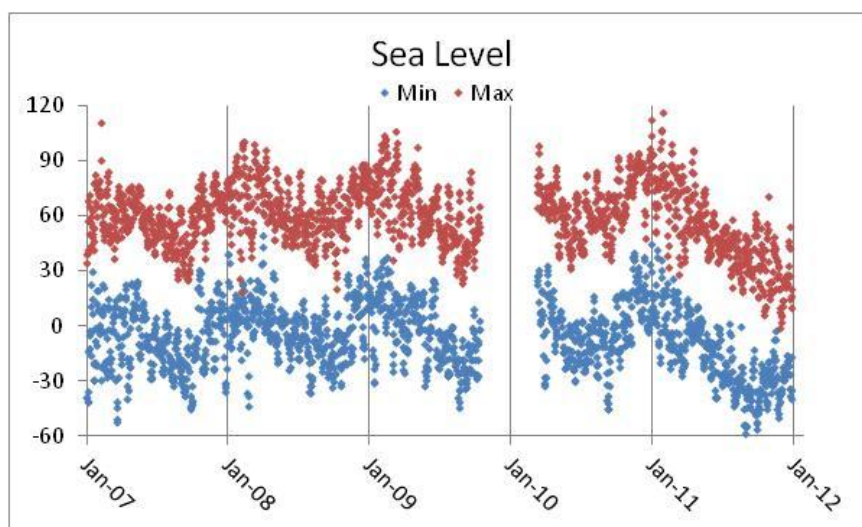


איור 9: ערכים יומיים מרביים ומזעריים (באדום ובכחול, בהתאמה) של טמפרטורת המים (בעומק כ-2.5

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 וכייל והמדידות השגויות הוסרו מבסיס הנתונים של תכנית הניטור.]
מפלס הים משתנה במחזוריות חצי יממית של גאות ושפל. המחזור השנתי מורכב ממפלס ים גבוה בחודשי החורף ונמוך יותר בחודשי הקיץ (איור ה-10). בחודשי החורף גם נמדדות תנודות גדולות יותר במפלס הים המזערי ביממה, וזאת ככל הנראה בהשפעת הרוחות ומערכות האקלים הפחות יציבות בחודשים אלה.
גם השנה נמדדו מספר אירועים של שפל חזק אשר חשף אלמוגים רדודים.



איור ה-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-41-40 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 acustuc 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 השנה חדרו מים לכבל התקשורת של מכשיר ה-ADCP וגרמו לקילקולים אשר אילצו אותנו להוציאו מן הים ולשולחו לתיקון במעבדות החברה בחול. עקב הקושי הכרוך בהוצאה והצבה של המכשיר בעומק, והעיכובים כתוצאה מהמשלוח, לא נמדדו השנה זרמים באופן רציף עד 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.

ה.5. אבק מרחף

מטרה

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

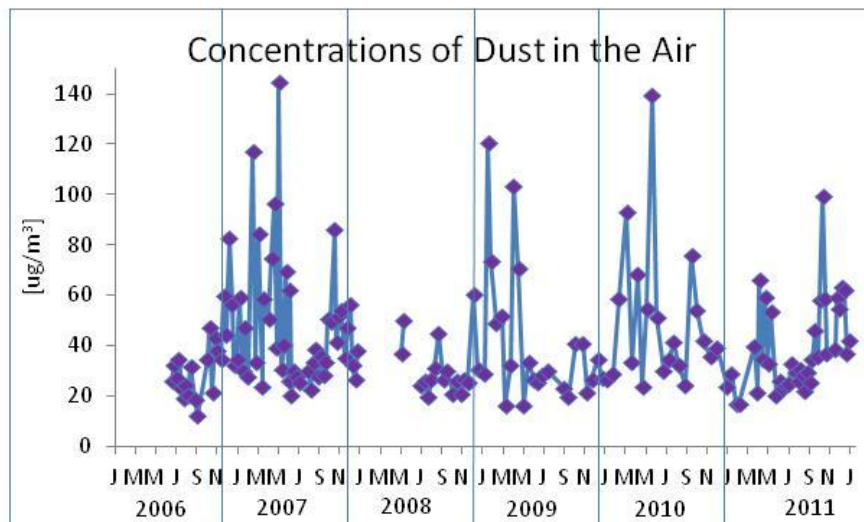
שיטות

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 חוקרי האוניברסיטה) 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 עולים שוב בחודשי הסתיו. חודשי האביב חסרים במדידות 2008, במדידות הקיימות שנת 2007 אופיינה בריכוזי אבק מרחף הגבוהים ביותר, בעיקר באביב. ריכוזי האביב הגבוהים נובעים מריבוי אירועי "סופות אבק" בתקופה זו. השנה היו ריכוזי האבק המרחף הנמוכים ביותר אשר נמדדו מאז תחילת המעקב. הריכוז המרבי אשר נמדד השנה היה $99\mu\text{m}/\text{m}^3$, בחודש אוקטובר. הריכוז המרבי בשנה הקודמת היה $\mu\text{m}/\text{m}^3$ 140 והרכוז המרבי שנמדד עד כה היה $145\mu\text{m}/\text{m}^3$ בשנת 2007, שניהם בחודש מאי.



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

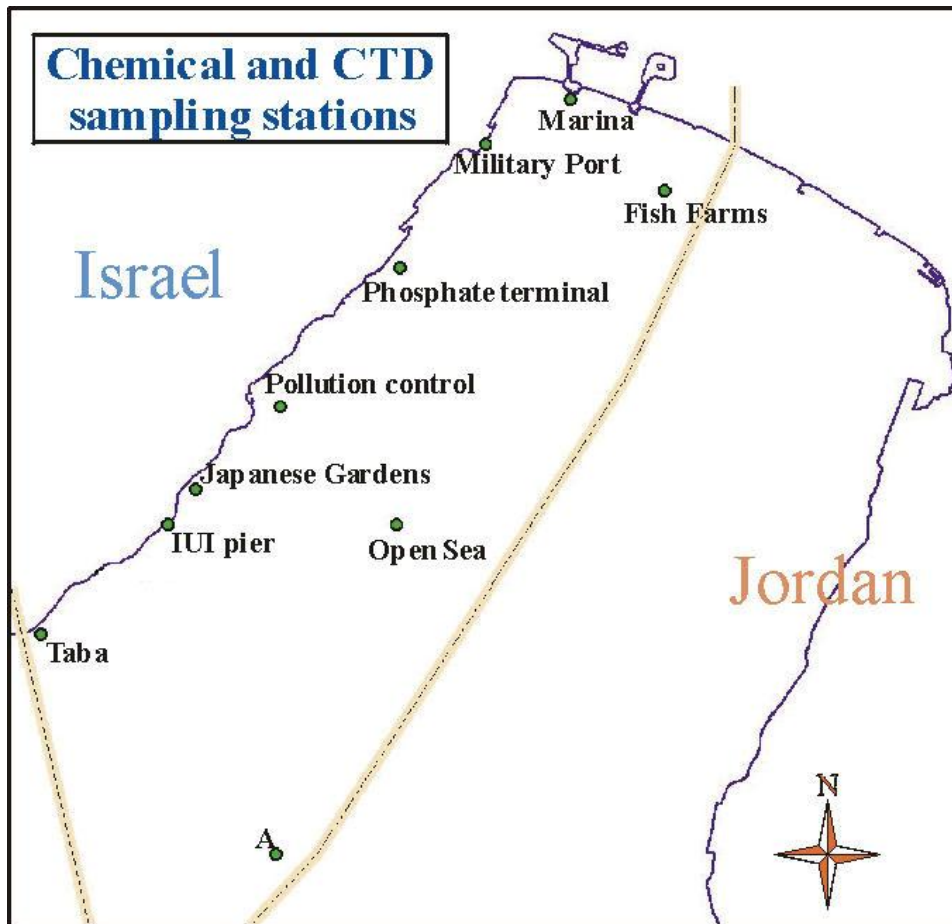
Figure E12: Weekly dust concentrations in the air above the sea. Dust is measured on filters through which air is continuously pumped.

ו. ביבליוגרפיה

- 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>.
- 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.

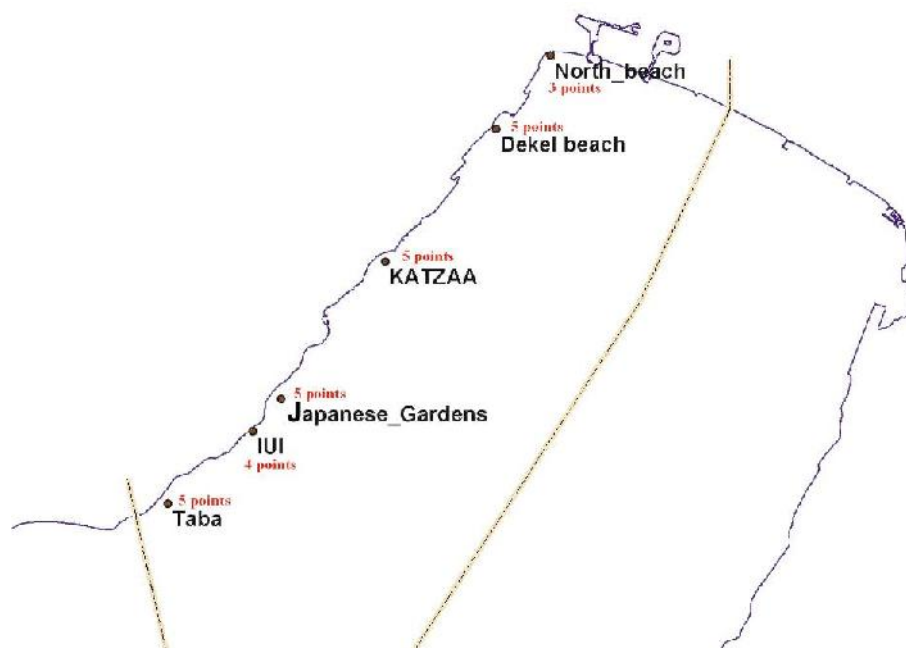
ז. נספחים

ז.1: מפות אתרי הניטור



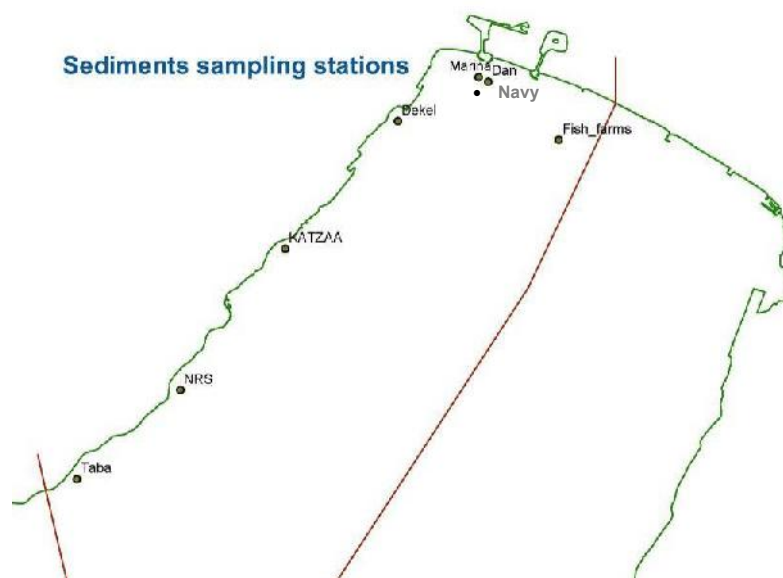
מפה ז1: תחנות דיגום מים (פני הים ועמודת המים). תחנה B אשר אינה כלולה במפה, נמצאת 10 ק"מ דרומית לתחנה A במשולש הגבולות ירדן-מצרים-סעודיה.

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.



מפה ז3: מיקום אתרי דיגום הסדימנטים.

Map G3: Sites of sediment sampling.

2.ז. רשימות סוגי האלמוגים

טבלה ז1: רשימת אלמוגי האבן (ומספר המושבות) בחתכי הקו בסקר חברת השונית בשנת 2011.

Table G1: List of stony corals and the number of colonies of each taxa found in the coral reef line-transect survey, 2011.

Genus	IUI	Katza	NR	Grand Total
<i>Acanthastrea</i>	32	12	21	65
<i>Acropora</i>	62	87	166	315
<i>Agariciella</i>	3		1	4
<i>Alveopora</i>	2		5	7
<i>Astreopora</i>	9	5	18	32
<i>Balastomussa</i>		2		2
<i>Coscinaraea</i>	19	7	2	28
<i>Ctenactis</i>			4	4
<i>Cynarina</i>	2	2		4
<i>Cyphastrea</i>	74	44	42	160
<i>Echinophyllia</i>	6	6	10	22
<i>Echinopora</i>	17	77	98	192
<i>Favia</i>	155	27	43	225
<i>Favites</i>	80	99	65	244
<i>Fungia</i>	2	4	2	8
<i>Galaxea</i>		5	5	10
<i>Goniastrea</i>	38	31	94	163
<i>Goniopora</i>	1	8	6	15
<i>Gyrosmlia</i>	34		8	42
<i>Herpolitha</i>		1	2	3
<i>Hydnophora</i>	1		2	3
<i>Leptastrea</i>	69	25	26	120
<i>Leptoria</i>			2	2
<i>Leptoseris</i>		2	1	3
<i>Lobophyllia</i>	4	15	41	60
<i>Millepora</i>	66	3	10	79
<i>Montipora</i>	32	84	121	237
<i>Mycedium</i>		8	10	18
<i>Pachyseris</i>		1		1
<i>Pavona</i>	2	37	13	52
<i>Platygyra</i>	15	3	13	31
<i>Plerogyra</i>		3	1	4
<i>Plesiastrea</i>	12	18	16	46
<i>Pocillopora</i>	46	3	10	59
<i>Porites</i>	38	44	73	155
<i>Psammocora</i>	6	11	19	36
<i>Seriatopora</i>	1	15	6	22
<i>Siderastrea</i>	25			25
<i>Stylophora</i>	107	70	65	242
<i>Turbinaria</i>	1	3	2	6
Total	961	762	1023	2746

טבלה 2: רשימת המושבות (מכל הסוגים) אשר זוהו באתרי הצילום הקבועים בשנת 2011.

Table G2: list of colonies (of all types) that were recognized in all permanent photo-sites, in 2011.

Genus	NB	Dekel	Katzaa	NR	IUI	Taba	Total
<i>Acanthastrea</i>	0	0	8	3	4	3	18
<i>Acropora</i>	1	33	50	66	12	13	175
<i>Alveopora</i>	1	1	2	5	0	14	23
<i>Astreopora</i>	1	1	0	5	1	1	9
<i>Balanophyllia</i>	0	2	3	0	3	3	11
<i>Coscinaraea</i>	2	2	0	1	3	3	11
<i>Ctenactis</i>	0	0	1	4	0	0	5
<i>Cyphastrea</i>	3	8	16	28	60	22	137
<i>Echinophyllia</i>	0	2	1	1	3	7	14
<i>Echinopora</i>	7	12	42	66	14	6	147
<i>Favia</i>	8	7	20	9	92	33	169
<i>Favites</i>	13	15	51	32	62	20	193
<i>Fungia</i>	2	9	1	5	1	4	22
<i>Galaxea</i>	3	0	3	0	0	1	7
<i>Goniastrea</i>	13	19	25	71	89	44	261
<i>Goniopora</i>	0	1	0	6	0	0	7
<i>Gyrosmlia</i>	0	0	0	0	0	1	1
<i>Herpolitha</i>	0	1	1	2	0	0	4
<i>Hydnophora</i>	3	0	0	0	0	7	10
<i>Leptastrea</i>	10	1	11	6	44	13	85
<i>Leptoria</i>	0	0	0	0	2	1	3
<i>Lithophyton</i>	0	0	0	1	0	0	1
<i>Lobophyllia</i>	12	7	1	8	7	1	36
<i>Millepora</i>	1	6	2	0	42	47	98
<i>Montipora</i>	4	11	42	24	7	6	94
<i>Mycedium</i>	2	2	9	3	0	0	16
<i>Oxipora</i>	1	1	1	0	0	0	3
<i>Palythoa</i>	2	2	0	6	0	2	12
<i>Pavona</i>	4	4	17	7	2	3	37
<i>Platygyra</i>	13	3	1	10	17	16	60
<i>Plerogyra</i>	2	0	3	0	0	0	5
<i>Plesiastrea</i>	0	0	0	1	8	0	9
<i>Pocillopora</i>	4	2	2	9	14	10	41
<i>Porites</i>	18	24	15	15	10	20	102
<i>Psammocora</i>	5	0	2	1	1	2	11
<i>Rhytisma</i>	0	2	2	17	3	3	27
<i>Sarcophyton</i>	0	0	0	0	1	1	2
<i>Seriatopora</i>	0	5	3	18	0	4	30
<i>Sinularia</i>	0	0	1	0	0	1	2
<i>Sponge</i>	4	0	3	8	3	9	27
<i>Stylophora</i>	11	3	22	21	55	9	121
<i>Turbinaria</i>	4	0	1	1	1	0	7
<i>Xenia</i>	0	9	17	58	1	0	85
Total	154	195	379	518	562	330	2138

3. זיהום ים בדלק, מפרץ אילת, 25-26 ביוני 2011

סיכום האירוע הועבר לתכנית הניטור על ידי ד"ר אסף זבולוני, אקולוג מפרץ אילת, רשות הטבע והגנים. פרטים נוספים התקבלו מעוז גורן, סגן מנהל היחידה למניעת זיהום ים (המשרד להגנת הסביבה) באילת. תודה על שיתוף הפעולה.

ביום ו' (25/6/2011) בשעות הבוקר התגלה כתם דלק צף באזור החוף, מצפון לשמורת חוף האלמוגים. על ידי פריסת חוסמים ושאיבת דלק מפני הים הצליחו אנשי היחידה למניעת זיהום ים באילת, הכפופה לאגף ים וחופים במשרד להגנת הסביבה, בשיתוף עם אנשי רשות הטבע והגנים ומתנדבים למנוע את התפשטות הכתם לעבר השמורה ולנקות את הים. פעולות הניקיון נמשכו עד לשעות הערב. למחרת, בשבת בבוקר (26/6/2011) זוהה כתם דלק נוסף, בסמוך לירכתיים של אונית משא תורכית אשר עגנה בנמל אילת. צוללים נשלחו על מנת לאתר את מקור הדליפה בספינה ולחסום אותו. גם באירוע זה נפרשו חוסמים על ידי היחידה למניעת זיהום ים והחלו פעולות שאיבה ונקיון של המים המזוהמים בשיתוף עם מחוז אילת של רשות הטבע והגנים. האוניה עוכבה לחקירה על ידי אנשי משרד התחבורה והמשרד להגנת הסביבה, ונפתח הליך של תביעת נזקי האירוע מחברת הספנות. נראה שאוניה זו – אשר עגנה יום קודם לכן במרכז המפרץ, בין אילת לעקבה – אחראית לשני אירועי הזיהום. כמות הדלק שדלפה לים בשני אירועים אלה מוערכת בכ- 17 מטר מעוקב. הערכת היחידה למניעת זיהום ים היא כי 12-15 מ"ק נשאבו, והשאר התפזרו או נלכדו בין עמודי המזח והשתחררו בטיפטוף. נראה כי הטיפול המהיר והיעיל בשני האירועים מנע נזק חמור למערכת האקולוגית של המפרץ.



כתם דלק שהגיע לחוף התחנה למניעת זיהום ים מטופל באמצעות חוסמים ימיים וסופגים. צילום: א. זבולוני
An oil stain at the sea surface near the station for Marine Pollution Control being contained and treated with floating barriers and absorbers. Photo: A. Zvuloni



כתמי דלק בסמוך לירכתי אוניה שעגנה בנמל אילת. צילום: א. זבולוני
Oil stains near a ship at the port of Eilat. Photo: A. Zvuloni

4.ז. תסמונת חדשה באלמוגי אש ממפרץ אילת

בשנה האחרונה זוהתה על ידי ד"ר אסף זבולוני (ראשות הטבע והגנים), בעבודה משותפת עם תכנית הניטור, תסמונת חדשה הפוגעת באלמוגי אש מהמין *Millepora dichotoma* במפרץ אילת. התסמונת מאופיינת בנקודות מולבנות (חסרות אצות סימביוטיות) פזורות על פני האלמוג. גודל הנקודות המולבנות ומספרן עולה עם התפתחות התסמונת. תסמונת זו זוהתה לכל אורך המפרץ ותפוצתה בשוניות אילת גדולה. עדיין לא ברור טיבה של התסמונת, אשר נקראה Mulit-focal bleaching, והשפעותיה האפשריות על האלמוגים עדיין נחקרות.

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^{1,2,3,*}, Rachel Armoza-Zvuloni^{2,3,4}, Yonathan Shaked³

¹Israel Nature and Parks Authority, PO Box 667, Eilat 88000, Israel

²Department of Zoology, Faculty of Life Sciences, Tel Aviv University, Tel Aviv 69978, Israel

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

⁴National 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

Resale 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 & Pillar 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).

*Email: zvuloni@npa.org.il

© Inter-Research 2011 · www.int-res.com

5.2. טבלת פעילות צוות הניטור בשנת 2011

תאריך וסוג הפעילות	מס' דגימות	מטרת העבודה	ימי עבודה	המבצעים
ינואר דיגום יומימי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מדידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל, טניה, מוראל, ניצן, יוני, מרק
3 ינואר צלילה להוצאת לוחיות התיישבות אצות בנתוניות במכון	6 לוחיות	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	ענבל מוראל
9 ינואר צלילה להוצאת לוחיות התיישבות אצות בנתוניות בשמורה הסגורה	18 לוחיות משלושה עומקים	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	צלילה: ענבל, טניה, שנירקול, מרק, מוראל
12 ינואר	אנליזת דוגמאות	עיבוד נתונים ואנליזת דוגמאות	1	ענבל
13 ינואר דיגום זואופלקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומסה הזואופלקטון במפרץ	2	ענבל, מרק, יוני
17 ינואר הפלגה לתחנות: FF OS, A	78 נוטריינטים, pH 62, 39 חמצן, 39 מליחות אלקליות, 25 כלורופיל, FACS 40	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	8	טניה, ענבל, מוראל, יוני, מרק
18 ינואר דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריינטים 4 חמצן, pH 16, 16 מליחות אלקליות, 8 מליחות כלורופיל 8 FACS	השוואה בין התחנות השונות	6	טניה, ענבל, מוראל, יוני, מרק
13 ינואר דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	3	מרק, ענבל, יוני
23-27 ינואר אנליזת דוגמאות	אנליזת דוגמאות	עיבוד נתונים ואנליזת דוגמאות	5	ענבל מוראל, טניה, ניצן, יוני, מרק
30-31 ינואר אנליזת דוגמאות + כתיבת דוח שנתי	אנליזת דוגמאות	עיבוד נתונים ואנליזת דוגמאות	3	מוראל, טניה, ענבל, יוני, ניצן, מרק
פברואר דיגום יומימי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מדידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל, טניה, מוראל, ניצן, יוני, מרק
1-3 פברואר אנליזת דוגמאות ועיבוד נתונים + כתיבת דוח שנתי	אנליזת דוגמאות מההפלגה	אנליזת דוגמאות ועיבוד נתונים	3 ימים	טניה, מוראל, ענבל, יוני, ניצן, מרק
7 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, מוראל עבודה במעבדה: ענבל
8 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
9 פברואר דיגום זואופלקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומסה הזואופלקטון במפרץ	2	ענבל, מרק, יוני
10 פברואר דיגום חופי דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריינטים 4 חמצן, pH 16, 16 מליחות אלקליות, 8 מליחות כלורופיל 8 FACS	השוואה בין התחנות השונות	6	טניה, ענבל, מוראל, יוני, מרק

הפלגה לתחנות: A, FF OS, 13 פברואר	78 נוטריינטים , pH 62, 39 חמצן, 25 מליחות כלורופיל, FACS 40	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	10	טניה, ענבל, מוריאל, מרק
13-14 פברואר דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	3	מרק, ענבל, יוני
15-17 פברואר אנליזת דוגמאות	אנליזת דוגמאות	אנליזת דוגמאות	1	טניה, מוריאל, ניצן, ענבל, מרק
28 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
6 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
8 מרץ צלילה נקודות צילום	נקודות צילום קבועות	תחזוקת נקודות צילום באתר המעבדה הימית	1	מרק, ענבל
13 מרץ דיגום מסירה + אנליזת מ-8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריינטים 4 חמצן, pH 16, 16 אלקליות, 8 מליחות כלורופיל, FACS 8	השוואה בין התחנות השונות	3	טניה, ענבל, מוריאל, יוני, מרק
14 מרץ לתחנות: A, FF OS, NRR	78 נוטריינטים , pH 62, 39 חמצן, 25 מליחות כלורופיל, FACS 39	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	10	טניה, ענבל, מוריאל, מרק
21-22 מרץ דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	3	מרק, ענבל, יוני
23 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
29-31 מרץ אנליזת דוגמאות	אנליזת דוגמאות		9	טניה, מוריאל ענבל יוני
אפריל 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
5 אפריל 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
6 אפריל בדיקת כמות הכלורופיל בלוחיות ההתיישבות	קריאת 18 דוגמאות בפלואורומטר, הכנסת הנתונים למחשב	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	0.5	ענבל

7 אפריל דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף	24 נטריינטים 4 חמצן, pH 16 16 אלקליות, 8 מליחות 8 כלורופיל, 8 FACS , אמוניה	השוואה בין התחנות השונות	3	טניה, ענבל, מוריאל, יוני, מרק
10 אפריל הפלגה לתחנות: FF OS, A	78 נטריינטים, 78 חמצן, pH 62, 39 אלקליות, 39 מליחות 25 כלורופיל, אמוניה FACS 39	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	6	טניה, ענבל, מוריאל, מרק
11-12 אפריל דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	3	מרק, ענבל, יוני
25 אפריל דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומאסה הזואופלנקטון במפרץ	2	ענבל, מרק, יוני
27 אפריל צלילה להוצאת שש לוחיות התיישבות אצות בנתוניות	שש לוחיות.	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	צלילה: ענבל, מוריאל עבודה במעבדה: ענבל
28 אפריל בדיקת כמות הכלורופיל בלוחיות ההתיישבות	קריאת שש דוגמאות בפלאורומטר, הכנסת הנתונים למחשב	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	0.5	ענבל
מאי 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
1-5 מאי אנליזות	אנליזות של דוגמאות		95	טניה, מוריאל ענבל יוני, מרק
8 מאי צלילה להוצאת לוחיות התיישבות אצות בנתוניות באתר השמורה הסגורה	הוצאת 18 לוחיות. מאתר השמורה הפתוחה וקריאת 18 דוגמאות בפלאורומטר, הכנסת הנתונים למחשב	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	ענבל, טניה, מוריאל יוני, מרק
9 מאי קריאת כלורופיל	קריאת 18 דוגמאות בפלאורומטר, הכנסת הנתונים למחשב	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	0.5	ענבל
15 מאי דיגום חופי דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף	24 נטריינטים 4 חמצן, pH 16 16 אלקליות, 8 מליחות 8 כלורופיל, 8 FACS	השוואה בין התחנות השונות	6	טניה, ענבל, מוריאל, יוני, מרק
16 מאי הפלגה לתחנות: FF OS, A ותחנה B הפלגה משותפת עם הירדנים	78 נטריינטים, 78 חמצן, pH 62, 39 אלקליות, 39 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
17-19 מאי אנליזות	78 נטריינטים, 78 חמצן, pH 62, 39 אלקליות, 39 מליחות 25 כלורופיל, אמוניה FACS 39 אנליזת דוגמאות והזנה במחשב	אנליזת דוגמאות כימיה וביולוגיה	3	טניה, מוריאל, ענבל, מרק
29 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
30 מאי בדיקת כמות הכלורופיל בלוחיות ההתיישבות	קריאת שש דוגמאות בפלאורומטר, הכנסת הנתונים למחשב	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	0.5	ענבל
30 מאי דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומאסה הזואופלנקטון במפרץ	2	ענבל, מרק, יוני
יוני דיגום יומימי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מדידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל, טניה, מוריאל, יוני, מרק
2 יוני סקר החברה באתר הלגונה הסגורה	סקר חברת האלמוגים	סקר חברת האלמוגים באתר הלגונה הסגורה	1	מרק, ענבל, יוני, מוריאל, טניה, ניצן
3 יוני סקר החברה באתר הלגונה הסגורה	סקר חברת האלמוגים	סקר חברת האלמוגים באתר הלגונה הסגורה	1	מרק, ענבל, יוני, מוריאל, טניה, ניצן

5 יוני צלילה להוצאת לוחיות התיישבות בשמורה הסגורה	עבודה על 18 לוחיות	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	טניה, מרק , מוראל יוני, ענבל
6 יוני קריאת כלורופיל	קריאת 18 דוגמאות בפלאורומטר, הכנסת הנתונים למחשב	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	0.5	ענבל
9 יוני סקר חברת האלמוגים באתר המעבדה הימית	ספירת אלמוגים לאורך החתכים במעבדה הימית	סקר חברת השונית בעומקים 15 ו 5 מטר	1	ענבל, טניה ניצן , מרק
12 יוני דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף	24 נטריונים 4 חמצן, 16 pH 16 אלקליות, 8 מליחות 8 כלורופיל, 8 FACS	השוואה בין התחנות השוונות	3	טניה, ענבל, מוראל, יוני
13 יוני הפלגה לתחנות: OS, A, FF	78 נטריונים, 78 חמצן, 62 pH, 39 אלקליות, 39 מליחות 25 כלורופיל, 39 FACS	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	6	טניה, ענבל, מוראל, מרק
13-15 יוני דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	3	מרק, ענבל, יוני
15 יוני צילום ריבועים קבועים באתר המעבדה הימית	צילום 5 נקודות קבועות בחוף הצפוני	מעקב אחרי שינויים בשונית בעזרת צילום ריבועים קבועים בשונית	1	מרק , ניצן
19 יוני סקר חברת האלמוגים באתר המעבדה הימית	ספירת אלמוגים לאורך החתכים במעבדה הימית	סקר חברת השונית בעומקים 15 ו 5 מטר	1	ענבל, טניה, מרק
20 יוני סקר חברת האלמוגים באתר המעבדה הימית	ספירת אלמוגים לאורך החתכים במעבדה הימית	סקר חברת השונית בעומקים 15 ו 5 מטר	1	ענבל, טניה, מרק
21 יוני צילום ריבועים קבועים	צילום 5 נקודות קבועות בדקל	מעקב אחרי שינויים בשונית בעזרת צילום ריבועים קבועים בשונית והוספת נקודות צילום	1	ניצן, מרק
22 יוני דיגום זאופלנקטון	הערכת ביומסה של זאופלנקטון בים הפתוח	גרירת רשת פלנקטון , ואיסוף זאופלנקטון .	1	מרק, ענבל, יוני
23 יוני סקר חברת האלמוגים באתר המעבדה הימית	ספירת אלמוגים לאורך החתכים במעבדה הימית	סקר חברת השונית	1	טניה ניצן
26 יוני סקר חברת האלמוגים באתר השמורה הסגורה	ספירת אלמוגים לאורך החתכים בשמורת חוף אלמוג	סקר חברת השונית	1	ענבל, ניצן , מרק, טניה
27 יוני צלילה להוצאת שש לוחיות התיישבות אצות בנתוניות	שש לוחיות.	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	צלילה: ענבל, מוראל עבודה במעבדה: ענבל
28 יוני צלילות חתכים בשונית, קצאא	ספירת אלמוגים לאורך החתכים . בשונית של קצאא	סקר חברת השונית	1	ענבל, טניה, מרק
29-30 יוני הקלדת נתונים למחשב	הקלדת נתונים במחשב	עיבוד נתונים במחשב	1	ענבל
29 יוני סקר חברת האלמוגים בקצאא	ספירת אלמוגים לאורך החתכים באתר המעבדה	סקר חברת השונית	1	ענבל, טניה, מרק , ניצן
30 יוני סקר חברת האלמוגים במעבדה הימית	ספירת אלמוגים לאורך החתכים באתר המעבדה	סקר חברת השונית	1	ענבל, טניה, מרק
יולי דיגום יומימי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מדידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל, טניה, מוראל, ניצן, יוני
3 יולי צלילות חתכים בשונית בשמורה הסגורה	ספירת אלמוגים לאורך החתכים ב-IUI והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום עבודה שתי צלילות + הכנסת הנתונים במחשב	ענבל, ניצן, טניה, מרק

4 יולי צלילות חתכים בשונית באתר השמורה הסגורה	ספירת אלמוגים לאורך החתכים בשמורה והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום עבודה שתי צלילות + הכנסת הנתונים במחשב	מרק, טניה, ענבל
5 יולי צלילות חתכים בשונית בקצאא	ספירת אלמוגים לאורך החתכים ב-בשמורה וקצאא והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום עבודה שתי צלילות + הכנסת הנתונים במחשב	ענבל, ניצן, טניה, מרק
6 יולי צילום ריבועים קבועים	צילום 5 נקודות קבועות בדקל	מעקב אחרי שינויים בשונית בעזרת צילום ריבועים קבועים בשונית והוספת נקודות צילום	1	ניצן, מרק
7 יולי צלילות חתכים בשונית באתר השמורה הסגורה	ספירת אלמוגים לאורך החתכים בשמורה והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום עבודה שתי צלילות + הכנסת הנתונים במחשב	מרק, טניה, ענבל
10 יולי צלילות חתכים בשונית באתר השמורה הסגורה	ספירת אלמוגים לאורך החתכים בשמורה והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום עבודה שתי צלילות + הכנסת הנתונים במחשב	מרק, טניה, ענבל, ניצן
11 יולי צלילה להוצאת 18 לוחיות התיישבות אצות בנתונות + חתך	הוצאת 18 לוחיות התיישבות בשמורה הסגורה	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתונות בשונית	3	יוני, ענבל, טניה, מוריאל
12 יולי צלילות חתכים בשונית בקצאא	ספירת אלמוגים לאורך החתכים בשמורה והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום עבודה שתי צלילות + הכנסת הנתונים במחשב	מרק, ענבל
13 יולי צלילות חתכים בשונית בקצאא	ספירת אלמוגים לאורך החתכים בשמורה והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום עבודה שתי צלילות + הכנסת הנתונים במחשב	מרק, ענבל, טניה, ניצן
14 יולי דיגום זואופלנקטון	6 דוגמאות מ 3 גרירות	הערכת ביומסה הזואופלנקטון במפרץ	2	ענבל, מרק, יוני
17 יולי דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף	24 נטריינטים 4 חמצן, pH 16 אלקליות, 8 מליחות 8 כלורופיל, 8 FACS	השוואה בין התחנות השוניות	5	טניה, ענבל, מוריאל, יוני, מרק
18 יולי הפלגה לתחנות: OS, A, FF	78 נטריינטים, 78 חמצן, pH 62, 39 אלקליות, 39 מליחות 25 כלורופיל, 39 FACS	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	10 שעות	טניה, ענבל, מוריאל, מרק
19-20 יולי דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	3	מרק, ענבל, יוני
20 יולי סקר על שולחן השונית	ספירת אלמוגים לאורך החתכים ב- בשולחן השונית הסגורה והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום עבודה	ניצן, טניה
25 יולי צלילות חתכים בשונית בקצאא	ספירת אלמוגים לאורך החתכים ב שמורה הסגורה והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום עבודה שתי צלילות + הכנסת הנתונים במחשב	טניה, ניצן, ענבל
27 יולי צלילה להוצאת 6 לוחיות התיישבות לאצות בנתונות	הוצאת 6 לוחיות התיישבות IUI	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתונות בשונית	2	ענבל, מוריאל

28 יולי צלילות חתכים בשונית בקצא"א	ספירת אלמוגים לאורך החתכים ב-בקצאא והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום עבודה שתי צלילות + הכנסת הנתונים במחשב	מרק, טניה,
אוגוסט 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
5 אוגוסט צלילת לצילום נקודות קבועות בדקל	צלילום נקודות קבועות בחוף הדקל	מעקב אחר צילומים קבועים בשונית	3 שעות	מוריאל, ענבל
8 אוגוסט צלילות חתכים בשונית השמורה הסגורה	ספירת אלמוגים לאורך החתכים ב שמורה הסגורה והכנסת הנתונים למחשב.	סקר חברת השונית	1 יום עבודה שתי צלילות + הכנסת הנתונים במחשב	ניצן, ענבל
10 אוגוסט צלילה להוצאת 18 לוחיות התיישבות אצות בנתונות + חתך	הוצאת 18 לוחיות התיישבות בשמורה הסגורה	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתונות בשונית	3	יוני, ענבל, טניה, מוריאל
10 אוגוסט צלילת לילה ללכידת דגים	לכידת סיכנים	בדיקת טפילים בדגים	3 שעות	מרק, ענבל
11 אוגוסט סקר חסרי חוליות צלילת לילה	צלילת לילה לספירת חסרי חוליות	סקר חסרי חוליות	3 שעות	מוריאל, ענבל, מרק, טניה
12 אוגוסט צלילות חתכים בשונית בקצא"א	ספירת אלמוגים לאורך החתכים בקצא"א	סקר חברת השונית	1 יום עבודה הכנסת הנתונים במחשב	ניצן, ענבל, טניה
12 אוגוסט צלילת לילה ללכידת דגים	לכידת סיכנים	בדיקת טפילים בדגים	3 שעות	מרק, ענבל
15 אוגוסט דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף	24 נטריינטים 4 חמצן, 16 pH 16 אלקליות, 8 מליחות 8 כלורופיל, 8 FACS	השוואה בין התחנות השוונות	5	טניה, ענבל, מוריאל, יוני, מרק
16 אוגוסט הפלגה לתחנות: OS, A, FF	78 נטריינטים, 78 חמצן, 62 pH, 39 אלקליות, 39 מליחות 25 כלורופיל, אמוניה, 39 FACS	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	12 שעות	טניה, ענבל, מרק
16-17 אוגוסט דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	3	מרק, ענבל, יוני
19 אוגוסט צלילות חתכים בשונית בקצא"א	ספירת אלמוגים לאורך החתכים בקצא"א	סקר חברת השונית	1 יום עבודה הכנסת הנתונים במחשב	מרק, טניה
22 אוגוסט צלילת לילה ללכידת דגים	לכידת סיכנים	בדיקת טפילים בדגים	3 שעות	מרק, ענבל
23 אוגוסט צלילות חתכים בשונית בקצא"א	ספירת אלמוגים לאורך החתכים בקצא"א	סקר חברת השונית	1 יום עבודה הכנסת הנתונים במחשב	ניצן, טניה, ענבל
23 אוגוסט סקר חסרי חוליות צלילת לילה	צלילת לילה לספירת חסרי חוליות	סקר חסרי חוליות	3 שעות	מוריאל, ענבל, מרק, טניה
24--26 אוגוסט הקלדת נתונים	עבודה במחשב	עבודת מחשב	3 ימים	ענבל, מרק, יוני
29 אוגוסט צלילה להוצאת 6 לוחיות התיישבות אצות בנתונות	הוצאת 6 לוחיות התיישבות IUI	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתונות בשונית	2	ענבל, מרק,
30 אוגוסט סקר חסרי חוליות צלילת לילה	צלילת לילה לספירת חסרי חוליות	סקר חסרי חוליות	3 שעות	ענבל, מרק
ספטמבר 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, טניה, ענבל	1 יום עבודה הכנסת הנתונים במחשב	סקר חברת השונית	ספירת אלמוגים לאורך החתכים בקצא"א	1 ספטמבר צלילות חתכים בשונית בקצא"א
ענבל, מרק, מוראל	3 שעות	סקר חסרי חוליות	צלילת לילה לספירת חסרי חוליות	1 ספטמבר סקר חסרי חוליות צלילת לילה
ניצן, טניה, ענבל,	1 יום עבודה הכנסת הנתונים במחשב	סקר חברת השונית	ספירת אלמוגים לאורך החתכים בשמורה הסגורה	2 ספטמבר צלילות חתכים בשונית בשמורה הסגורה
ענבל, טניה, מוראל מרק	3	מידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	הוצאת 18 לוחיות התיישובות בשמורה הסגורה	5 ספטמבר צלילה להוצאת 18 לוחיות התיישובות אצות בנתוניות + חתך
ענבל, מרק,	3 שעות	סקר חסרי חוליות	צלילת לילה לספירת חסרי חוליות	6 ספטמבר סקר חסרי חוליות במעבדה הימית צלילת לילה
ענבל, מרק, טניה, ניצן, יוני	3 שעות	סקר חסרי חוליות	צלילת לילה לספירת חסרי חוליות	7 ספטמבר סקר חסרי חוליות בשמורה הסגורה צלילת לילה
טניה, ענבל, מוראל, מרק	5	השוואה בין התחנות השוונות	24 נטריינטים 4 חמצן, 16 pH 16 אלקלניות, 8 מליחות 8 כלורופיל, 8 FACS	12 ספטמבר דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף
ענבל, מרק, מוראל, ניצן, יוני	3 שעות	סקר חסרי חוליות	צלילת לילה לספירת חסרי חוליות	12 ספטמבר סקר חסרי חוליות בשמורה הסגורה צלילת לילה
ענבל, מוראל, מרק	10 שעות	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	78 נטריינטים, 78 חמצן, pH 62, 39 אלקלניות, 39 מליחות 25 כלורופיל, 39 FACS	13 ספטמבר הפלגה לתחנות: OS, A, FF
מרק, ענבל, יוני	3	מידת כמות היצרנות הראשונית	24 דוגמאות	14-15 ספטמבר דיגום יצרנות ראשונית
טניה מוראל ענבל ניצן, מרק	8 שעות	אנליזת דוגמאות מההפלגה	אנליזת דוגמאות	14-15 ספטמבר אנליזה
ענבל, מרק, מוראל, ניצן	3 שעות	סקר חסרי חוליות	צלילת לילה לספירת חסרי חוליות	19 ספטמבר סקר חסרי חוליות בלגונה בשמורה הסגורה צלילת לילה
ענבל, מרק, מוראל, ניצן	1 יום	סקר דגים בשמורה הסגורה	צלילה לספירת דגים	21 ספטמבר סקר דגים בשמורה הסגורה
ענבל, טניה	2	מידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	הוצאת 6 לוחיות התיישובות LUI	26 ספטמבר צלילה להוצאת 6 לוחיות התיישובות לאצות בנתוניות
ענבל, טניה, מוראל, ניצן, יוני	0.3	מידת כמות הכלורופיל בשונית.	דוגמא אחת כל יום.	אוקטובר דיגום יומימי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי
ענבל, מרק, מוראל, ניצן	1 יום	סקר דגים בשמורה הסגורה	צלילה לספירת דגים	6 אוקטובר סקר דגים בשמורה הסגורה
ענבל, מרק, מוראל, ניצן	1 יום	סקר דגים בשמורה הסגורה	צלילה לספירת דגים	7 אוקטובר סקר דגים בשמורה הסגורה
טניה, ענבל, מוראל, מרק	5	השוואה בין התחנות השוונות	24 נטריינטים 4 חמצן, 16 pH 16 אלקלניות, 8 מליחות 8 כלורופיל, 8 FACS	10 אוקטובר דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף
ענבל, מוראל, מרק	10 שעות	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	78 נטריינטים, 78 חמצן, pH 62, 39 אלקלניות, 39 מליחות 25 כלורופיל, 39 FACS	11 אוקטובר הפלגה לתחנות: OS, A, FF
מרק, ענבל, יוני	3	מידת כמות היצרנות הראשונית	24 דוגמאות	11-12 אוקטובר דיגום יצרנות ראשונית
ענבל, מוראל, טניה מרק	3	מידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	הוצאת 18 לוחיות התיישובות בשמורה הסגורה	13 אוקטובר צלילה להוצאת 18 לוחיות התיישובות אצות בנתוניות + חתך

17-18 אוקטובר אנליזת דוגמאות	אנליזת דוגמאות	אנליזה והזנת נתונים במחשב	2	טניה, מרק, יוני, ענבל, מוראל
25 אוקטובר סקר חסרי חוליות בשמורה הסגורה צלילת לילה	צלילת לילה לספירת חסרי חוליות	סקר חסרי חוליות	3 שעות	ענבל, מרק, מוראל, ניצן, יוני
1 נובמבר צלילה להוצאת 6 לוחיות התיישבות לאצות בנתוניות	הוצאת 6 לוחיות התיישבות IUI	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	2	ענבל, טניה
נובמבר דיגום יומימי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מדידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל, טניה, מוראל, ניצן, יוני
2 נובמבר	לכידת ארסים	בדיקת טפילים בדגים	3	מרק ענבל
8 נובמבר צלילה להוצאת 18 לוחיות התיישבות אצות בנתוניות + חתך	הוצאת 18 לוחיות התיישבות בשמורה הסגורה	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	3	ענבל, מוראל, טניה, מרק, יוני
14 נובמבר הפלגה לתחנות: OS, A, FF	78 נוטריינטים, 78 חמצן, pH 62, 39 אלקליות, 39 מליחות 25 כלורופיל, FACS 39	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	10 שעות	ענבל, מוראל, מרק, טניה
14-15 נובמבר דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	3	מרק, ענבל, יוני
15 נובמבר דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריינטים 4 חמצן, pH 16, 16 אלקליות, 8 מליחות 8 כלורופיל, FACS 8	השוואה בין התחנות השונות	5	טניה, ענבל, מוראל, מרק
21-22 נובמבר אנליזה	אנליזת דוגמאות	אנליזת דוגמאות	5	טניה, מוראל, ניצן, יוני, מרק, יוני
28 נובמבר צלילה להוצאת 6 לוחיות התיישבות לאצות בנתוניות	הוצאת 6 לוחיות התיישבות IUI	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	2	ענבל, מרק
דצמבר דיגום יומימי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מדידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל, טניה, מוראל, ניצן, יוני, מרק
13 דצמבר דיגום מסירה + אנליזות מ- 8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריינטים 4 חמצן, pH 16, 16 אלקליות, 8 מליחות 8 כלורופיל, FACS 8	השוואה בין התחנות השונות	5	טניה, ענבל, מוראל, מרק
13-14 דצמבר דיגום יצרנות ראשונית	24 דוגמאות	מדידת כמות היצרנות הראשונית	3	מרק, ענבל, יוני
19 דצמבר צלילה להוצאת 18 לוחיות התיישבות אצות בנתוניות + חתך	הוצאת 18 לוחיות התיישבות בשמורה הסגורה	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	3	ענבל, מוראל, טניה, מרק, יוני
23 דצמבר צלילות חתכים בשונית בשמורה הסגורה	ספירת אלמוגים לאורך החתכים בשמורה הסגורה	סקר חברת השונית	1 יום עבודה הכנסת הנתונים במחשב	ניצן, טניה, ענבל, מרק
27 דצמבר הפלגה לתחנות: OS, A, FF	78 נוטריינטים, 78 חמצן, pH 62, 39 אלקליות, 39 מליחות 25 כלורופיל, FACS 39	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	10 שעות	ענבל, מוראל, מרק, טניה