

מרץ 2005

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



אדר תשס"ה

תכנית הניטור הלאומית בצפון מפרץ אילת

דו"ח מדעי לשנת 2004

מוגש לוועד המנהל של תכנית הניטור על ידי:
פרופ' אמציה גנין, מנהל התכנית
יעקב (ג'ק) סילברמן, ראש צוות הניטור

התכנית ממומנת ע"י המשרד לאיכות 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 ישעיהו בר אור, מדען ראשי, המשרד לאיכות הסביבה, יו"ר
פרופ' מיכאל אוטולנגי, המכון הבינאוניברסיטאי למדעי הים באילת והאוניברסיטה העברית בירושלים
פרופ' מיכה אילן, אוניברסיטת תל אביב
פרופ' שמשון בלקין, האוניברסיטה העברית בירושלים
פרופ' אהרון קפלן, האוניברסיטה העברית בירושלים
פרופ' אלדו שמש, מכון וייצמן למדע
ד"ר יהושע שקדי, רשות הטבע והגנים
מר יצחק בן דוד, סמכ"ל בכיר לאכיפה, המשרד לאיכות הסביבה
מר רני עמיר, רא"ג ים וחופים, המשרד לאיכות הסביבה
מר אלון זסק, אגף ים וחופים, המשרד לאיכות הסביבה

צוות הניטור:

פרופ' אמציה גנין, מנהל התכנית
יעקב (ג'ק) סילברמן, ראש צוות הניטור
ענבל איילון, ביולוגיה
מוריאל דריי, כימיה
טניה ריבלין, כימיה
רותי ריף, ביולוגית שונית האלמוגים
רחמים שמ טוב, מאגר נתונים

עזרה טכנית במכון הבינאוניברסיטאי:

אסף ריבלין
מוטי אוהביה
בעז ליבס
איציק לרר

תוכן עניינים

4	א. תקציר
4	א.1. רקע:
4	א.2. תוצאות
6	א.3. דיון בבעיות האקולוגיות שנתגלו
7	א.4. English abstract
11	א.5. המלצות אופרטיביות
12	ב. תוצאות ניטור שונית האלמוגים
12	ב.1. סקר חברת השונית
27	ב.2. דיגום החברה בלאגונת שמורת האלמוגים
30	ב.3. ריבועי דיגום קבועים
32	ב.4. דיגום חסרי חוליות
36	ב.5. התפקוד המטבולי של שונית האלמוגים
42	ב.6. מדידות מינימום מקסימום
51	ב.7. קצב גידול מאקרואצות בשונית
54	ג. תוצאות ניטור הסביבה החופית
54	ג.1. דיגום חופי
64	ג.2. מדידות בתעלת הקינט
72	ג.3. קרקעית חולית
74	ד. תוצאות ניטור המים הפתוחים
74	ד.1. הקדמה
74	ד.2. טמפרטורה ומליחות
86	ד.3. תוצאות המדידות הכימיות והביולוגיות בעמודת המים
101	ד.5. ספירת אוכלוסיות הפיטופלנקטון
108	ד.6. יצרנות ראשונית
110	ה. מדידות רציפות
110	ה.1. כלורופיל
111	ה.2. טמפרטורת המים בפני השטח בשמורת חוף אלמוג
112	ה.3. מדידות זרמים
114	ו. ביבליוגרפיה
115	ז. נספחים
115	נספח 1: מפות אתרי הניטור
117	נספח 2: פיסיולוגיה של אלמוגים
129	נספח 3: פעילות צוות הניטור

א. תקציר

א.1. רקע:

הדו"ח שלהלן מתאר את עבודת הניטור הלאומי בצפון מפרץ אילת בשנת 2004. הדו"ח מחולק לפרקי העבודה השונים. 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). בחלק מפרקי העבודה ניתן היה להשוות את התוצאות לפרויקטים קודמים על מנת לבחון את קיומן של מגמות רב שנתיות. בחלקים אחרים תוצאות הניטור מדווחות זו השנה השנייה בלבד ולכן הן אינן יכולות עדיין לשמש לאבחון מגמות ארוכות טווח.

דו"ח זה מופיע בשלמותו באתר האינטרנט של המשרד לאיכות הסביבה (www.sviva.gov.il). הנתונים הגולמיים זמינים להורדה מאתר תכנית הניטור (www.inm-eilat.org.il) על ידי כל המעוניין.

השנה בוצע הניטור במקביל לפרויקט ה-IET אשר מטרתו הייתה לבחון את מידת השפעתם של כלובי הדגים על המערכת האקולוגית של צפון מפרץ אילת. שיתוף הפעולה בין תכנית הניטור ל-IET היה נרחב ופורה וכלל בניית מאגרי נתונים משותפים, דיונים רבים וגיבוש מסקנות. פרויקט ה-IET נעזר גם הוא במידה לא מבוטלת במסד הנתונים של תכנית הניטור (בפרט בתוצאות ההפלגות החודשיות והמטבוליזם של השונית). יש לציין ולהדגיש שדו"ח הניטור אינו מתמקד בנושא כלובי הדגים דווקא, אלא מתייחס לכל ההיבטים האקולוגיים של צפון מפרץ אילת.

א.2. תוצאות

א.2.1. עמודת המים

1. עומק ערבוב עמודת המים בחורף 2004 היה רדוד יחסית (350 מ'). משום כך, בשנה זו המשיכו מאגרי הנוטריינטים במים העמוקים לעלות וריכוזי החמצן לרדת. רמותיהם של שני פרמטרים אלו הגיעו לערכים הקיצוניים ביותר מאז תחילת המדידות בצפון מפרץ אילת לפני כ-30 שנה (ריכוז הניטריט + הניטראט הגיע ל- $7 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ וריכוז חמצן לערכים נמוכים מ- $150 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$). הדבר מצביע על המשך מגמת ההעשרה האורגנית במי העומק בצפון המפרץ (מגמה הנצפית לפחות מאז שנת 1999).
2. קצב היצרנות הראשונית במים הפתוחים של צפון מפרץ אילת ירד אמנם למחצית מערכו בשנת 2003 אך ממשיך להיות גבוה (בערך פי 1.7) מערכו הממוצע לפני שנת 2000, וזאת על אף הערבוב הרדוד של עמודת המים בחורף 2004. ערכי היצרנות הנוכחיים גבוהים במידה ניכרת מאלו הצפויים בים אוליגוטרופי (דל נוטריינטים) כמו מפרץ אילת.
3. ניכרת עליה בריכוזי האמוניה (אחד ממרכיבי החנקן האנאורגני המומס במים), אשר הפך השנה למרכיב משמעותי של מאגר החנקן האי אורגני המומס בתחנות הדיגום בחוף הצפוני. גם תהליך זה מצביע על העשרה אורגנית באזור.
4. השנה, לראשונה נמצאה עדות (עקיפה) לקיומה של דניטריפיקציה משמעותית בקרקעית הים (דניטריפיקציה הינה נשימת ניטראט בתנאים עניים בחמצן אשר במהלכה מחזור הניטראט בתהליך הפרוק של חומר אורגני). קיומו של תהליך זה מעיד על העשרה אורגנית בקרקעית.
5. כמות החנקות הנכנסת למפרץ מחוצה לו הינה גבוהה ביותר. המקור העיקרי הינו כלובי הדגים מהם מופרשים למעלה כ-280 טון חנקן לשנה (דו"ח IET). מדידותינו בנחל ערבה ("תעלת הקינט") מראות הסעת חנקן בקצב של כ-10 טון לשנה. מדידות המכון הגיאולוגי במסגרת פרויקט ה-IET מראות קצב

- כניסה של כ- 30 טון בזרימת המים התת קרקעיים בכל צפון המפרץ (כולל אזור עקבה).
6. באם מלון מרידיאן מנצל במלואה את כמות מי התהום שהותרה לו לשאיבה עבור מערכת הקירור (300 מ"ק לשעה), הרי שכמות החנקן הנכנסת לים ממקור זה היא כ- 12 טון לשנה. מדידותינו בים מצביעות על עלייה ניכרת בריכוז החנקן המומס ובקצבי היצרנות הראשונית במי השטח שבסביבת מלון מרידיאן, דבר המעיד על השפעת המלון על איכות המים בסביבתו המקומית (כנראה בגלל חילוף איטי של המים באזור זה של המפרץ).
 7. הערבוב הרדוד בשנים האחרונות והיצרנות הראשונית הגבוהה הביאו לעלייה מועטה ב- pH (ירידה בחומציות) במי השטח בצפון מפרץ. מצב זה מהווה שיפור בתנאים הדרושים ליצירה ביולוגית של שלד גירני ע"י אלמוגים, אצות גירניות וחסרי חוליות אחרים בשונית.
 8. למרות האמור לעיל, הניטור הכימי של מי השונית (בלגונת השונית בחוף אלמוג) מצביע על ירידה של 20% בקצב השנתי של השקעה ביולוגית של שלדים גירניים (יחסית לשנים 2001-2003).
 9. מעקבנו ארוך הטווח (17 שנה) אחר ריכוז כלורופיל a במי השטח בחוף אלמוג מצביע על העדר מגמת שינוי בפרמטר זה (המשמש מדד לכמות הפיטופלנקטון). עובדה זו הינה לכאורה מנוגדת לצפוי, מכיוון שלפי הצפוי, עלייה במאגר הנוטריינטים וביצרנות הראשונית, כמתואר לעיל, אמורה לגרום לעלייה משמעותית בריכוז הפיטופלנקטון. העדר עלייה בפיטופלנקטון נובע כנראה מצריכתו המוגברת על ידי זואופלנקטון (תהליך אקולוגי שכיח בבתי גידול מימיים).
 10. מעקבנו ארוך הטווח הנ"ל מצביע גם על העדרה של מגמת חימום פני המים בצפון מפרץ אילת. דבר זה מבדיל את צפון מפרץ אילת ממקומות רבים בעולם שם נמצאה מגמת חימום. עובדה זו חשובה ל"בריאות" השונית, מכיוון שתופעת הלבנת האלמוגים מתרחשת במקרים רבים בעקבות התחממות מי הים.

א.2.2. שונית האלמוגים:

11. אחוזי הכיסוי של אלמוגי אבן בשוניות באילת הינם נמוכים יחסית לאלו המאפיינים שוניות באתרים רבים בעולם. סקר השונית והשוואת התוצאות לסקרים מהעבר מראים על ירידה מדאיגה באחוזי הכיסוי, בפרט בחלק הרדוד (5 מ') של שמורת חוף אלמוג ועל ירידה ניכרת בשכיחות קיפודי הים (אשר תפקודם כרועי אצות חשוב ביותר להתיישבות אלמוגים בשונית). מגמה זו לוותה בשינוי הרכב מיני האלמוגים בחברה. עם זאת, בהשוואה לסקרים מהעבר, לא נראה שינוי משמעותי ברמת מגוון המינים. צפיפות האלמוג *Stylophora* בשטח הלגונה של שמורת חוף אלמוג (החלק שבין החוף לשולחן השונית) התייצבה בשלוש השנים האחרונות לאחר עליה הדרגתית בשנים הראשונות לאחר סגירתה למבקרים ב- 1996. מין זה של אלמוגים היה המין השליט בבית גידול זה בעבר (Loya 1971).
12. נמשכת מגמת העלייה הנצפית זו השנה השביעית בקצב הגידול הפוטנציאלי של מאקרו-אצות בשונית. מאידך, לא נראית מגמת שינוי בגידול המאקרו-אצות בשטחים הפתוחים לרעייה (ע"י דגים, קיפודי ים, חלזונות וכד'), קרי, העלייה בפוטנציאל לא ממומשת בשונית עצמה. עובדה זו מעידה על חשיבותם הרבה של היצורים רועי האצות (בפרט הדגים, שהרי שכיחות הקיפודים, כמצוין לעיל, קטנה והולכת) אשר מונעים את כיסוי השונית במאקרו-אצות והריסתה (כפי שקרה בשונית בג'מייקה ובמקומות אחרים באיים הקריביים עקב הכחדתם של אותם רועים).
13. בחינת קצב ההשקעה של CaCO_3 בשונית הרדודה לאור דרגת הרוויה של ארגוניט במים מעידה על ירידה היכולה לנבוע מירידה בכיסוי החי של יצורים משקיעי שלד (בעיקר אלמוגים), עלייה בקצב המסה של CaCO_3 , או משני התהליכים גם יחד.
14. השנה, לראשונה, מצורף לדו"ח נספח המתאר עבודה ייעודית ייזומה ("מחקר ad hoc") אשר התמקדה בהשוואת קצבי הגידול והנשימה של אלמוגים באתרים שונים במפרץ, מאזור המכון הבינאוניברסיטאי ועד לסביבת כלובי הדגים. התוצאות מצביעות על העדרו של הבדל מובהק בקצבי הגידול והנשימה בין האתרים השונים.

א.3. דיון בבעיות האקולוגיות שנתגלו

א.1.3. הידרדרות שונית האלמוגים

הירידה המתמשכת בכיסוי אלמוגים חיים בחלקים הרדודים של שמורת חוף אלמוג, כמו גם הערכים המוחלטים הנמוכים של אחוזי הכיסוי בשוניות שנסקרו, מדאיגים ביותר. למרות קיומן של מספר השערות על תרומתן של מספר הפרעות אנתרופוגניות (ממקור פעילות האדם) להידרדרות הנצפית, עד כה אין בידנו הוכחות חד משמעיות לגבי מידת תרומתו של גורם זה או אחר. לכן, הגישה עליה ממליצה תכנית הניטור הינה "גישה רוחבית" אשר בעיקרה שאיפה להקטנה מרבית של כל מקורות הנזק הידועים (ראה מטה).

א.2.3. איאטרופיקציה בעמודת המים

העובדה שמגמות שינוי תועדו בארבעה פרמטרים שונים אשר מדידותיהם אינן תלויות זו בזו מבחינה אנליטית (עלייה בריכוז הנוטריינטים במים העמוקים, ירידה בחמצן במים העמוקים, עליה בפוטנציאל הגידול של אצות בנתוניות בשונית האלמוגים ועליה באחוז החומר האורגני בקרקעית) כמו גם שמירה על רמה גבוהה של יצרנות ראשונית בעמודת המים והעדות להתגברות תהליך הדניטריפיקציה בקרקעית העמוקה, מחזקים את המסקנה בדבר קיומה המתמשך ורחב ההיקף של מגמת העשרה אורגנית (איאטרופיקציה) בצפון המפרץ. איאטרופיקציה שכזו הינה שינוי מהותי של איכות המים במפרץ.

השאלה המרכזית העומדת על הפרק היא האם תהליך זה הינו טבעי או מושפע מפעילות האדם, ואם מושפע, באיזו מידה. יתכן שעליית הנוטריינטים וירידת החמצן נובעות מתהליך טבעי, רב שנתי, הקורה בהדרגה במשך השנים שחולפות אחר חורף בו הערבוב האנכי עמוק במיוחד (האחרון היה בחורף 2000). מאידך, יתכן והעשרת נוטריינטים על ידי פעילות האדם, בפרט כלובי הדגים, תורמת למגמות אלה תרומה משמעותית. את התשובה לשאלה מרכזית זו ניתן למצוא במאמץ מחקרי המשלב בתוכו שלוש פעילויות מרכזיות: (א) אפיון משטר הזרימה ומשך השהות של מים בצפון מפרץ אילת. (ב) בניית מודל המסתמך על תוצאות החלק הפיסיקלי, המתמקד בדינמיקה של הנוטריינטים והסעתם בצפון המפרץ. על המודל לכלול את התהליכים הבאים: קליטה ומחזור של נוטריינטים כמרכיבי הגוף של פיטופלנקטון, זואופלנקטון וחלקיקים שוקעים, פירוק החומר האורגני בקרקעית ותהליכי הסעת הנוטריינטים שעברו מינרליזציה על ידי פירוק זה חזרה למים העליונים. (ג) ניטור השינויים הביוגיאוכימיים והפיסיקלים, תוך התמקדות על בחינת השינויים לאחר חורף נוסף עם ערבוב עמוק, לכשיתרחש. בפרט, החלק האחרון (התהליכים אחר ערבוב עמוק נוסף) יאפשר לבחון את תרומת האדם לתהליכי ההעשרה הנצפים בשנים האחרונות.

למרות הצורך במחקר נוסף, כמפורט לעיל, על מנת להבין את הסיבות לעלייה בריכוז הנוטריינטים במים העמוקים בשנים האחרונות, העדויות שהצטברו עד כה מעידות על סבירות גבוהה לתרומה משמעותית של כלובי הדגים לעלייה זו. דפוס השינוי בריכוז החנקן במים העמוקים בנוי מהקטנה משמעותית של ריכוז החנקן באביב שאחרי חורף בו הערבוב האנכי הגיע לעומק רב מאד (יותר מ- 600 מ') ולאחר מכן הצטברות הדרגתית רב-שנתית במשך שנים בהן הערבוב האנכי רדוד יחסית, עד הגעתו של חורף נוסף בו הערבוב עמוק מאד. מחזור שכזה תועד בין הערבוב העמוק בחורף 1993 לזה שבחורף 2000 ובין האחרון ועד היום (2004). אלא שהעלייה בתקופה הראשונה (1993-2000) הייתה איטית מזו שנצפתה במחזור האחרון הנמשך כיום. דבר זה מעיד על הצטברות מוגברת של חנקן במחזור האחרון. התגברות זו תואמת את העלייה בכמות הדגים המגודלים בכלובים במשך המחזור הנוכחי (בהשוואה לתקופה 1993-2000). כמפורט לעיל, כלובי הדגים הינם המקור הדומיננטי לחנקן המוכנס למפרץ ממקורות חיצוניים (280 טון חנקן לשנה מהכלובים לעומת לא יותר מ- 50 טון מכל המקורות האחרים הידועים). מסקנה אפשרית, אם כך, היא שלכלובי הדגים תרומה משמעותית להצטברות החנקן במים העמוקים ושכמותם הגבוהה של הדגים המגודלים בכלובים מאז שלהי שנות ה-1990 ועד היום הביאה להתגברות קצב הצטברות החנקן במשך המחזור הנוכחי. מסקנה טנטטיבית זו תקבל חיזוק משמעותי באם רמות הנוטריינטים והחמצן לא יחזרו לרמותיהם הקודמות (כפי שנמדדו בשנות ה-1990) לאחר חורף עם ערבוב אנכי עמוק מאד בעתיד.

The Israel National Monitoring Program in the Northern Gulf of Aqaba
(Funded by the Israel Ministry of the Environment)

Science Report for Year 2004

Submitted to the Steering Committee by:

Prof. Amatzia Genin, Program Manager
Jacob (Jack) Silverman, Team Leader
(March 2005)

Background

This Report describes the results of the monitoring program in 2004. The Report is divided into a several working chapters. Each chapter consists of a short description of the methods followed by a detailed description of the results and discussion. Detailed descriptions of the methods can be found in the program's first Annual Report (2003). The entire report can be found at the web site of the Ministry of the Environment: (www.swiva.gov.il). The raw data are available for viewing and download at the program's web site www.inm-eilat.org.il.

This year the monitoring project was in parallel with the IET Project, the goal of which was to test the effects of the fish cages on the Gulf's open water and coral reef ecosystems. Tight cooperation between the IET Project and the Monitoring Program allowed the construction use of a joint database as well as productive exchange of ideas and opinions. The IET Project used the database of the NMP Program (especially the results of the monthly cruises and the reef metabolism).

The state of the water column

1. The deep mixing of winter 2004 was relatively shallow (350m). Consequently, this year nutrients continued to accumulate in the deep waters and the concentration of oxygen continued to decline. The level of these two parameters reached the most extreme values since their measurements started some three decades ago. (The concentration of nitrite and nitrate reached $7 \mu\text{mol-L}^{-1}$ while oxygen concentration declined below $150 \mu\text{mol-L}^{-1}$.) This trend indicates a continuation of the organic enrichment and eutrophication observed in the Gulf's deep waters since 1999.

2. The rate of primary productivity in the open waters declined to half the level of 2003 but is still higher (approx. x1.7) than its average value in the years prior to 2000 and is higher than the values "typical" for oligotrophic seas. The decrease in primary productivity this year was apparently due to the relatively shallow vertical mixing in winter 2004.

3. Ammonium concentrations increased and became a major component of the dissolved inorganic nitrogen pool near the north beach. This process is an indication of local eutrophication.
4. Evidence of substantial denitrification was observed, for the first time, near the bottom. This process is the reduction of nitrate through bacterial respiration of organic matter in oxygen-poor waters. It indicates the occurrence of organic enrichment in the sediment.
5. Substantial amounts of nitrogen from allochthonous (outside) sources are delivered to the northern region of the Gulf. The main source, amounting to ~280 tons N /year (IET report), is the fish cages. Our measurements in the Arava stream (the “Kinet Canal”) indicate a transport of ~10 tons N / year. Measurements made by the Israel Geological Survey as part of the IET Project indicate a sub-terrain transport of ~30 tons N / year in the entire northern Gulf region (including Aqaba).
6. The Meridian Hotel uses N-rich, sub-terrain water for its cooling system. Under permit this hotel is allowed to pump 300m³/hr, thereby delivering ~12 tons N / year to the sea. Our measurements in the water column off Meridian Hotel indicate a significant increase in the concentration of dissolved inorganic nitrogen and significantly elevated rates of primary production in surface water. This observation indicates a local effect of the Hotel on the water quality in its proximity (probably because of slow exchange of water in this part of the Gulf).
7. The shallow mixing in the past few years and the high primary production have caused a small increase in pH (decrease in acidity) in the surface water in the northern Gulf. This situation shows an improvement in the conditions needed for the formation of a biological carbonate skeleton by the corals, carbonate alga and other invertebrates in the reef.
8. Despite the above, the chemical monitoring of seawater overlying the reef (at the reef lagoon in the Nature Reserve) showed a decrease of 20% in the annual rate of biological production of carbonate skeletons (compared to years 2001-2003).
9. Our long (17 years) time series of chlorophyll *a* in the surface water above the coral reef at the Nature Reserve indicates a lack of long-term increase, which had been expected due to the aforementioned increase in primary productivity and elevated nutrients in the deep waters. That chlorophyll *a* (a proxy for phytoplankton biomass) had not increased was probably due to the efficient functional (and probably numerical) responses by herbivorous zooplankton.
10. Our 17 year-long time series of sea-surface temperature indicates a lack of warming trend. This differentiates the northern Gulf of Eilat from many other places in the world where a warming trend was found. This is important for the “well-being” of the reef, since coral bleaching is frequently associated with sea warming.

Coral Reefs

11. The percentage of stony coral cover at the reef of Eilat is very low compared with many other sites in the world. A survey of the reef, in comparison to previous reef surveys, indicates a decrease in percentage cover especially at the shallow part (5m) of the Nature Reserve, and a very noticeable decrease in the abundance of sea urchins (their function as algal grazers is very important for coral settlement in the reef). A change in

the species composition of stony corals in comparison with a few decades ago was also documented. However, compared to previous surveys there were no dramatic changes in the diversity of coral families. The density of *Stylophora* in the area of the lagoon in the Nature Reserve (situated between the beach and the reef table) has stabilized over the past 3 years after an increasing period which started following the closure of the area to visitors in 1996. This species dominated that lagoon zone in the past (Loya, 1971).

12. A continuous increase in the potential growth rate of macro algae has been observed in the coral reef in the past 7 years. However, no such trend has been observed in the realized growth (on plates open to herbivores). This observation indicates that the herbivores (especially fish, as sea urchins have declined) are important in keeping macro algae at low abundance. At several coral reefs in the world (e.g. Jamaica) the reef severely deteriorated because of algal growth following the disappearance of fish (over-fished) and sea urchins (due to disease).

13. The biogenic formation of CaCO_3 skeleton in the shallow waters of the reef, in respect of aragonite saturation in the water, decreased. This trend could be due to a reduction of live cover of calcifying organisms (especially corals), a decrease in the rate of dissolved CaCO_3 , or both.

14. This year, for the first time, the Report includes “ad hoc” work that compared the rates of coral growth and respiration between different sites in the northern section of the Gulf (from the IUI reef in the south up to the fish cages in the north). The results indicate no significant inter-site difference.

Discussion: the major ecological problems

1. Coral-reef deterioration

The decline in the cover of live corals at the shallow zone of the reef at the Nature Reserve, as well as the low cover found elsewhere (relative to many other reefs in the world), are very worrisome. Several hypotheses relating the poor state of the reef to recent anthropogenic activities have been suggested, however, so far, there is no strong evidence corroborating any of the proposed mechanisms. Therefore, we strongly recommend a “sweeping response” through which a substantial reduction will be enforced on all potential sources of deterioration known to date.

2. Eutrophication

A significant trend was observed in four different parameters the measurements of which are analytically independent: (i) increase in the deep pool of dissolved inorganic nitrogen [DIN]; (ii) decline in oxygen in the deep water; (iii) increase in the potential growth of macro algae in the reef; (iv) and increase in the organic content of the sediment. In addition, the water column primary productivity was high and new evidence for denitrification over the deep bottom were found. All these observations strongly support the conclusion that the northern section of the Gulf is exposed to an on-going eutrophication. Eutrophication is a substantial disturbance and a major change in water quality.

The central question at stake is whether the observed eutrophication is part of a natural cycle or an outcome of both anthropogenic and natural processes. If the latter is the case, a key objective is to resolve the relative contributions of the anthropogenic and natural sources. It is possible that the increase in the nitrogen pool and the decrease in oxygen in the deep waters are part of a natural, quasi-decadal cycle, as follows. The deep vertical mixing in anomalously cold year, and the ensuing strong spring bloom after such mixing, “reset” the system by delivering substantial amounts of dissolved nitrogen to particulate form (in the bodies of phytoplankton). Consequently, the DIN concentration in the deep waters decreases to a low level (about 2 $\mu\text{mol/L}$). Then, in the following years, as long as no anomalously cold winter occurs, the nitrogen pool in the deep water gradually increases due to the sinking of particulate matter from the photic layer and its re-mineralization at depth. This cycle has been observed in the past and was well documented in two such cycles: one after the deep mixing of winter 1993 until late 1999 and the other after the mixing of winter 2000 until now. It is possible that the substantial flux of nitrogen from anthropogenic sources, especially from the fish cages (~280 ton N / yr), strongly augments the cycle. In order to assess the anthropogenic contribution to the above cycle, the following research projects will be necessary: (i) Characterizing the current regime in the region; (ii) modeling the nutrient dynamics, including physical advection, uptake and recycling in the water column food web, sinking, decomposition and re-mineralization in deep water and on the bottom, and upward entrainment via re-suspension and mixing; (iii) monitoring the bio-geo-chemical and physical parameters hoping for a cold winter to occur soon, which will allow a comparison between the DIN values after deep mixing in the future and those in the previous cycles. If anthropogenic sources of DIN contribute substantially to the above cycle, we should expect the new “post-reset” values to remain at significantly higher levels than in the past.

Although, as mentioned above, more research is needed to evaluate the anthropogenic contribution to the aforementioned DIN cycle, some indirect evidence suggests that this contribution may be substantial. A comparison between the rate of increase of DIN pool in the deep waters between the previous cycle (1993-2000) to the current one (2000-present) indicates that the rate of DIN accumulation was faster in the latter. This accelerated accumulation corresponds to the concurrent increase in the aquaculture fish production. This tentative suggestion will be tested following the next “reset” in a cold winter, when it occurs.

א.5. המלצות אופרטיביות

1. הירידה המתמשכת באחוז הכיסוי של אלמוגי האבן והירידה בצפיפות קיפודי הים מחייבים פעילות מחקרית נמרצת למציאת הסיבה (או הסיבות) להידרדרות זו. לשם כך הננו ממליצים לצאת בקול קורא למחקרים ייעודיים (ad hoc) אשר מטרתם תהייה לגלות את הסיבות הללו. מכיוון שעיקר ההידרדרות נמצאה בעומקים הרדודים הננו ממליצים שמחקרים אלה יתמקדו בבחינת הימצאותם והשפעתם האפשרית של מקורות זיהום יבשתיים (כגון חומרי הדברה) וגורמים הסמוכים לפני הים (כגון רעלי anti-fouling מתחתיתן של ספינות).
2. מגמת האיאוטרופיקציה באזור צפון המפרץ מחייבת נקיטת פעולה אפקטיבית "רוחבית" של הפסקת כניסתו של חנקן אנתרופוגני למימי צפון המפרץ מכל מקום בו מתועדת כניסה משמעותית, בפרט מכלובי הדגים שהם התורם העיקרי לכניסת חנקן חיצוני לצפון המפרץ.
3. למרות התרומה הנמוכה יחסית לכניסת החנקן של תעלת הקינט, על מנת למנוע נזק מקומי בחוף הרחצה הסמוך, הננו ממליצים לבדוק את מהותה של המחזוריות הימתית (העלייה בשטף המים והנוטריינטים בשעות הלילה) בתעלה זו, ובפרט לוודא שלא מדובר בהזרמת ביוב.
4. בדומה לכך, על מנת למנוע נזק מקומי באזור החוף הצפון-מערבי, אנו ממליצים להפסיק את הזרמת מי התהום (עתירי החנקן) ממלון מרידיאן לים.

ב. תוצאות ניטור שונית האלמוגים

ב.1. סקר חברת השונית

מטרה

דיגום חברת השונית (אלמוגי אבן, אלמוגים רכים וחסרי חוליות) לאמדן השפיעה, מצב "הבריאות", מבנה החברה וסוגי המצע במדרון של שלוש השוניות העיקריות לאורך חופי מדינת ישראל בצפון מפרץ אילת.

שיטות

חברת האלמוגים נדגמה בשלושה אתרים שונים, בעומקים שונים לפי הפירוט המופיע בטבלה ב1 ובתצלום האווירי (איור ב1). תדירות הדיגום – אחת לשנה, בתקופת הקיץ.

טבלה ב1: אתרי הדיגום והעומקים בהם נערכו חתכי קו במהלך קיץ 2004.

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	5, 10, 20
קצא"א (בין המזחים)	KATZAA	34°56'.04	29°31'.37	10, 20

דיגום חברת האלמוגים נעשה באמצעות שיטת חתכי הקו שפותחה על-ידי Loya et al. (1972). בכל אתר סרט מדידה באורך 50 מטרים נפרש מנקודת התחלה אקראית לאורך קו העומק הנבחר (טבלה ב1). לאורך סרט המדידה נבחרה מראש נקודת ההתחלה של החתך על-ידי מחולל מספרים אקראיים. כל חתך היה באורך של 10 מטרים. בשל שיקולי בטיחות (קשר עין בין צוללים) שני חתכים בני 10 מטרים כל אחד, בוצעו בצמידות זה לזה כשמטר אחד מפריד ביניהם. כל הנתונים נאספו במהלך 30 צלילות על-ידי צוות של שתי צוללניות מנוסות בזיהוי אלמוגים.

בעת דיגום החתך, נרשם ההיטל של כל מה שעבר תחת החתך הקווי בדיוק של סנטימטר אחד לאורך כל עשרת המטרים (איור ב2). אלמוגים חיים (אלמוגי אבן ואלמוגים רכים) זוהו לרמת המין למעט מקרים בהם הזיהוי לא התאפשר תחת המים ואז נרשם האלמוג ברמת הסוג בלבד (ראה נספח א' לרשימת האלמוגים שנרשמו בכלל החתכים). חסרי חוליות קבועי מקום אחרים זוהו גם הם לרמת המין אם היה ידוע. כמו כן נאספו נתונים לגבי כיסוי הסלע החשוף, החול והאלמוגים המתים בכל חתך.

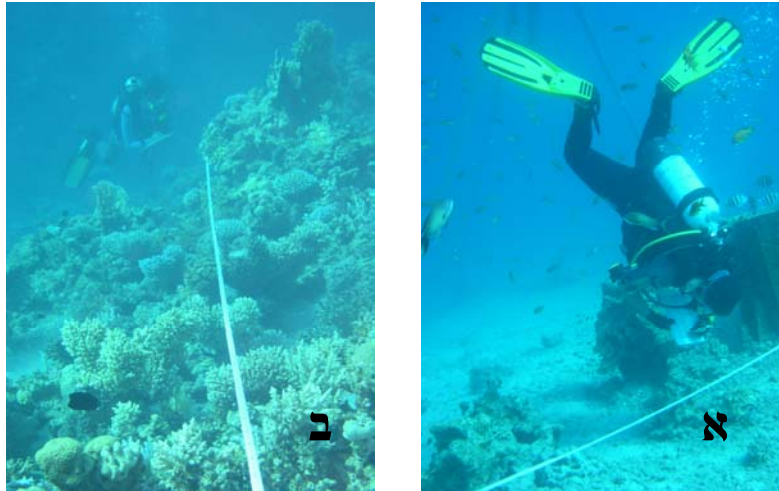
מלבד הנתונים שנאספו עבור החתך הקווי בוצעו שתי מדידות נוספות עבור כל מושבת אלמוגים שנפלה תחת החתך. מושבות אלמוגים חולקו לאחת מארבע קטגוריות גודל ואחוז החיות של המושבה נרשם. ארבע קטגוריות הגודל שנבחרו באקראי נעו בין < 5 ס"מ, $5-15$ ס"מ, $15-30$ ס"מ ו- > 30 ס"מ (L, M, S ו-H בהתאמה). אחוז החיות של המושבה הוגדר כאחוז של המושבה שאינו מת, לבן או מכוסה באצות. מדד הבריאות של כל אזור (Health Index – HI) חושב כממוצע אחוז החיות של כל המושבות שנמדדו באזור זה.

מספר החתכים שבוצעו בכל אתר נקבע לפי השונות שנמדדה באחוז הכיסוי של אלמוגים חיים בין החתכים. חתכים נוספים בוצעו עד שהתקבל ערך של רווח בר סמך סביב לממוצע נמוך מ- $\pm 10\%$ כיסוי חי ברמת ודאות של 95%. מספר החתכים הנמוך ביותר בעומק מסוים באתר היה 8 חתכים והגבוה ביותר היה 11.

איור ב1: תצלום אווירי של אתרי דיגום חברת השונית, מהמעבדה הימית בדרום ועד לקצא"א בצפון. הקווים הצהובים מייצגים את אתרי הדיגום במעבדה הימית (1), בשמורת האלמוגים (2) ובקצא"א (3). קו קנה המידה השחור המופיע בתחתית התמונה מייצג 100 מ'.

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





איור ב2: הצוללניות 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: The divers during the sampling of line transects at the IUI (A) and the nature reserve (B). The divers recorded the projected length of all the organisms or substrate underneath the line-transect to a resolution of 1 cm. Photos: Dana Reef.

בכל אזור דיגום (שילוב של אתר ועומק) נמדדו הכיסוי החי של אלמוגים, כיסוי החול, כיסוי הסלע, מגוון מיני האלמוגים, עושר המינים, בריאות חברת האלמוגים והתפלגות גדלי המושבות. הנתונים (באחוזים) של מדדים אלה מכל חתך מוצעו עבור כל אזור דיגום. ההבדלים בחברת האלמוגים בין האזורים השונים נותחו גם באמצעות ניתוח רב משתני. מגוון מינים חושב לפי מדד Shannon Wiener (משוואה ב1) כש- P_i הוא פרופורצית מספר המושבות של מין i (או סוג) מתוך סה"כ n המינים (או הסוגים) שנספרו.

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

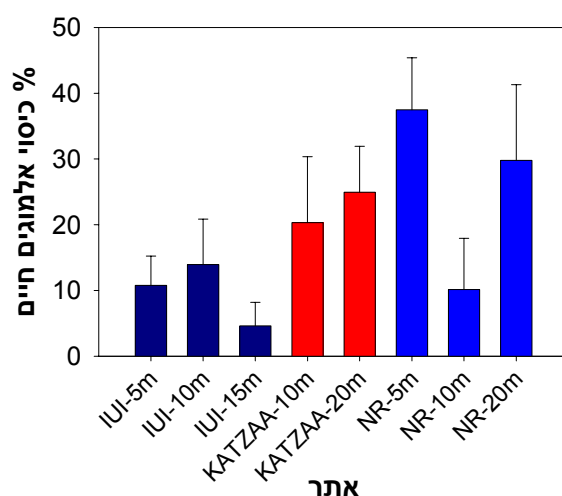
מדד מגוון זה נבחר מכיוון שהוא המדד בו השתמשו סוקרי השונית באילת בעבר (ראה Loya 1972). באתר שמורת האלמוגים בו הייתה חפיפה בין העבודה שלנו לבין עבודות קודמות ערכנו השוואה של אחוזי הכיסוי ומגוון המינים. העבודה שבוצעה בחפיפה הגבוהה ביותר לשטח אותו דגמנו ובאותה שיטת דיגום בה אנו השתמשנו נעשתה בשנת 1985 ע"י ד"ר אביגדור אבלסון (במסגרת עבודת המוסמך אשר הושלמה והוגשה בשנת 1986). ד"ר אבלסון עבד בשמורת האלמוגים אולם חלק מהשטח שנדגם בעבודתו נמצא צפונה לשטח אותו אנחנו דגמנו. ישנן עדויות שהשטח הצפוני לשטח בו אנו דגמנו עני יותר בכיסוי אלמוגים ובמגוון מינים. ההשוואה בין שני מערכי הנתונים נעשתה באמצעות מבחן שונויות דו כיווני. השוואת המגוון נעשתה ברמת הסוג בלבד בשל אופי הנתונים בעבודה ההיסטורית. לצורך זה, קיבצנו את הנתונים הגולמיים בכל אחד משני הסקרים לקבוצות טקסונומיות זהות.

הניתוח הסטטיסטי נעשה באמצעות Primer for Windows ver. 5.2.2 (Primer-E Ltd., UK) ו- Statistica 6.0 (Statsoft, USA).

תוצאות:

שונות גבוהה באחוז הכיסוי של אלמוגי אבן חיים נמצאה בין האתרים השונים ובין העומקים השונים שנדגמו (איור ב3). מאידך, רמת השונות המקומית, קרי, השונות בין חתכים שונים באותו מיקום (אותו אתר ואותו עומק) הייתה נמוכה יחסית, עם ממוצע מקדם שונות (CV) של 0.48 וערך מרבי של 0.77 (באתר IUI 15 מ' שם אחוז הכיסוי היה הנמוך ביותר – איור ב3). עובדה זו מעידה על מידת האחידות המקומית של השונית בכל אתר ועומק. עובדה זו אפשרה לנו להגיע לרמת דייקנות גבוהה (רווח בר סמך, CI, הקטן מ- 10% כיסוי) באמצעות מספר סביר של חתכים (8-12).

אחוזי הכיסוי הגבוהים ביותר התקבלו בחתך הרדוד של שמורת האלמוגים (38%, איור ב3) ובחתך העמוק (31%). האזורים עם כיסוי האלמוגים הדליל ביותר הם המעבדה הימית, שם אחוז הכיסוי של אלמוגים חיים לא עלה על 14% כמו גם אתר NR-10m שם התקבל אחוז כיסוי של 10% בלבד.



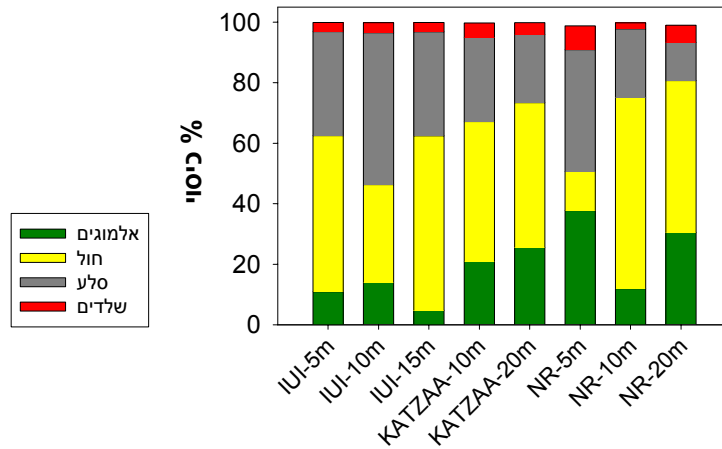
איור ב3: אחוז הכיסוי הממוצע של אלמוגים חיים בכל אתר מאתרי הסקר. אחוז הכיסוי המוצג אינו כולל אלמוגים רכים. קווי השגיאה הם סטיות תקן סביב הממוצע.

Figure B3: Average percent live coral cover at each site. The percent cover presented does not include soft corals. Error bars are 1 standard deviation around the mean.

סוגי המצע השונים, חול וסלע חשוף (הפנוי להתיישבות אלמוגים) נבדלו גם הם באופן ניכר בין המיקומים השונים (איור ב4). אחוז הכיסוי של אלמוגים מתים לא נבדל באופן מובהק ($P > 0.1$) בין האתרים (איור ב4, אדום).

איור ב5 מראה כי בכל האתרים שנדגמו, אחוז כיסוי האלמוגים נמוך ביחס לשטח הפנוי לגדילת אלמוגים. מתרשימים 4 ו-5 ניתן לראות כי אחוז כיסוי האלמוגים הנמוך בשמורת האלמוגים בעומק 10 מטרים נובע ממצע חולי שאינו מתאים להתיישבות אלמוגים ושלמעלה מ-60% מהמצע הסלעי מכוסה אלמוגים (הערך הגבוה ביותר בין האתרים). אחוז הכיסוי הנמוך שהתקבל במעבדה הימית אינו נובע מסוג המצע מכיוון שרק מעט יותר מ-20% מהמצע המתאים להתיישבות אלמוגים אכן מאוכלס (איור ב5).

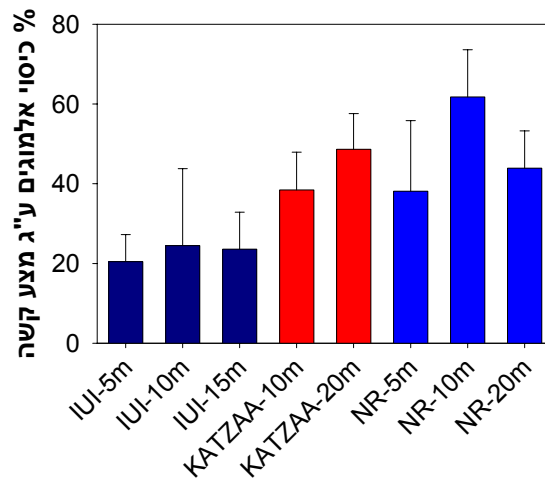
השינויים במספר המושבות לחתך בין האתרים (איור ב6) עוקבים אחר השינויים המרחביים באחוז הכיסוי. היכן שאחוז הכיסוי גבוה יותר כך יש יותר מושבות אלמוגים ולהפך.



אתר

איור ב4: אחוזי הכיסוי המצטברים של אלמוגים (ירוק), חול (צהוב), סלע (אפור) ואלמוגים מתים (אדום). באתרים בהם אחוזי הכיסוי אינו מסתכמים ב- 100%, ישנו כיסוי נמוך של חסרי חוליות כגון שושנות ים, צדפות ענק ו/או ספוגים אשר לא מופיעים באיור זה. אחוזי הכיסוי הם ממוצע כל החתכים באותו אתר.

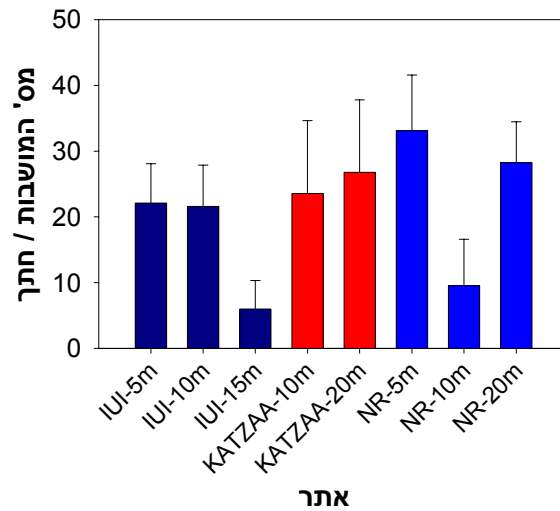
Figure B4: Cumulative percent cover of live corals (green), sand (yellow), rock (grey) and dead corals (red). In sites where cover does not add up to 100% there is a low cover of invertebrates such as sea anemones, clams or sponges. The presented percent cover is an average on all transects at each site.



אתר

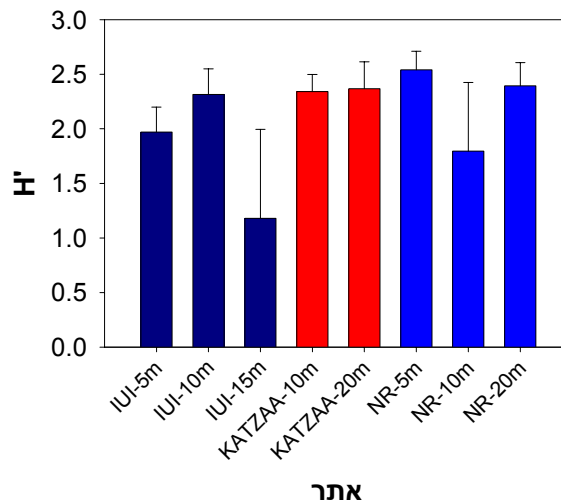
איור ב5: אחוזי הכיסוי של אלמוגי אבן חיים על גבי מצע קשה, המתאים להתיישבות אלמוגים. אחוזי הכיסוי הם ממוצע כל החתכים באותו אתר וקווי השגיאה הם סטיית התקן סביב הממוצע.

Figure B5: Percent cover of live stony corals on hard substrate, suitable for coral settlement. The percent cover presented is the average on line transects at each site. Error bars are 1 standard deviation around the mean.



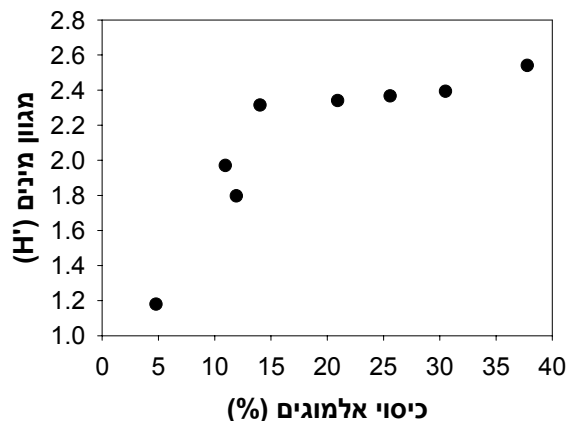
איור ב6: ממוצע מס' מושבות אלמוגי האבן בחתך באורך 10 מטרים. קווי השגיאה הם סטיית תקן סביב הממוצע.

Figure B6: The average number of coral colonies counted along a 10 m line transect at each site. This figure includes only stony corals. Error bars are 1 standard deviation from the mean.



איור ב7: מגוון המינים הממוצע של אלמוגי האבן באתרי הדיגום השונים. מגוון המינים חושב לפי משוואת Shannon wiener (משוואה ב1). קווי השגיאה הם סטיית תקן סביב הממוצע.

Figure B7: The average species diversity of stony corals at the different sites. Species diversity was calculated according to the Shannon-Wiener equation (Eq. B1). Error bars are 1 standard deviation around the mean.



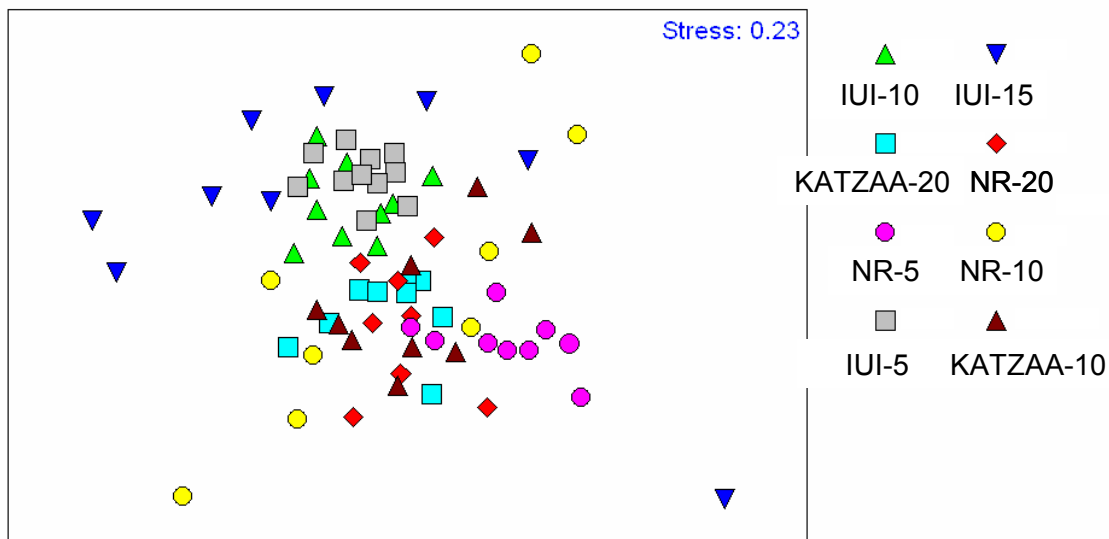
איור 8: מגוון המינים הממוצע לפי מדד Shannon-Wiener (משוואה 1) כתלות באחוז כיסוי האלמוגים הממוצע. כל נקודה מייצגת אתר דיגום אחד. מגוון המינים מגיע לרוויה בכיסוי גבוה מ- 15%.

Figure B8: Average species diversity (Eq. B1) as a function of average coral cover. Each point represents one sampling site. Species diversity reaches a plateau when coral cover exceeds 15%.

מגוון המינים הגבוה ביותר התקבל באזור הרדוד של שמורת האלמוגים (איור 7). מגוון המינים הנמוך ביותר התקבל במעבדה הימית בעומק של 15 מטרים, שם גם התקבל כיסוי האלמוגים הנמוך ביותר. מגוון המינים עלה עם אחוז הכיסוי עד כיסוי של 15%. מעל 15% כיסוי עלייה בכיסוי האלמוגים לא הובילה לעלייה במגוון המינים (איור 8).

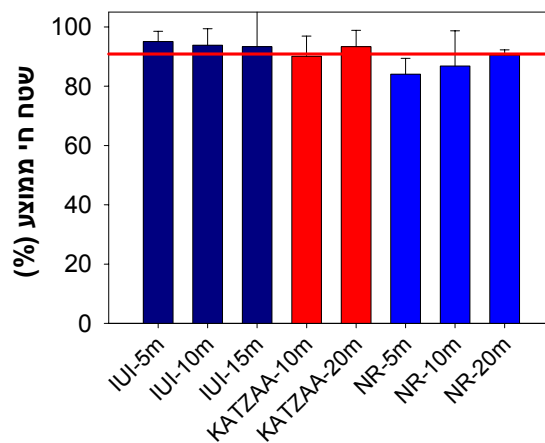
למרות מדדי המגוון הדומים ברוב האתרים, חברות אלמוגים שונות מתפתחות באתרים השונים (איור 9). הפעלת מדד דמיון Bray-Curtis על לוגריתם ערכי אחוז הכיסוי (הטרנספורמציה על-מנת להפחית את משקל המינים הנדירים) מראה שחתיכים מאותו אתר דומים יותר זה לזה בהרכב המינים שבהם מאשר לחתיכים באתרים שונים (איור 9). הבדל זה הינו מובהק (ANOSIM, $R=0.47$, $p<0.001$) ומבחן post-hoc מראה שכל האתרים והעומקים נבדלים זה מזה בחברת האלמוגים המתפתחת בהם מלבד חברת האלמוגים בשמורה הסגורה בעומק 20 מטרים שנמצאה דומה לשני העומקים שנבחנו בקצא"א (10 ו-20 מטרים) (ANOSIM pairwise test, $p>0.2$).

על פי מדד הבריאות הממוצע (איור 10) עולה כי בשונית אילת קיימת תמותה חלקית ממוצעת של 10% משטח המושבה. האתרים נבדלו זה מזה בערכו של מדד הבריאות (Kruskal-Wallis ANOVA, $p<0.01$) ובשמורת האלמוגים בעומק 5 מטרים התקבל הערך הנמוך ביותר (תמותה חלקית של למעלה מ- 15% בממוצע). הערך הנמוך בחלק הרדוד של שמורת האלמוגים הוא שגרם להבדל המובהק בין האתרים במדד הבריאות (Multiple Comparisons, $p<0.05$).



איור 9: איור MDS המבוסס על מדד דמיון Bray-Curits המתאר את ההבדלים בין החתכים ע"פ הרכב המינים. חתכים מאותו אתר מתקבצים יחד והם שונים מחתכים באתרים שונים באופן מובהק.

Figure B9: An MDS based on a Bray-Curtis generated similarity matrix describing the differences between single line-transects based on coral community composition. Transects from the same sites are significantly closer to each other than transects from different sites.

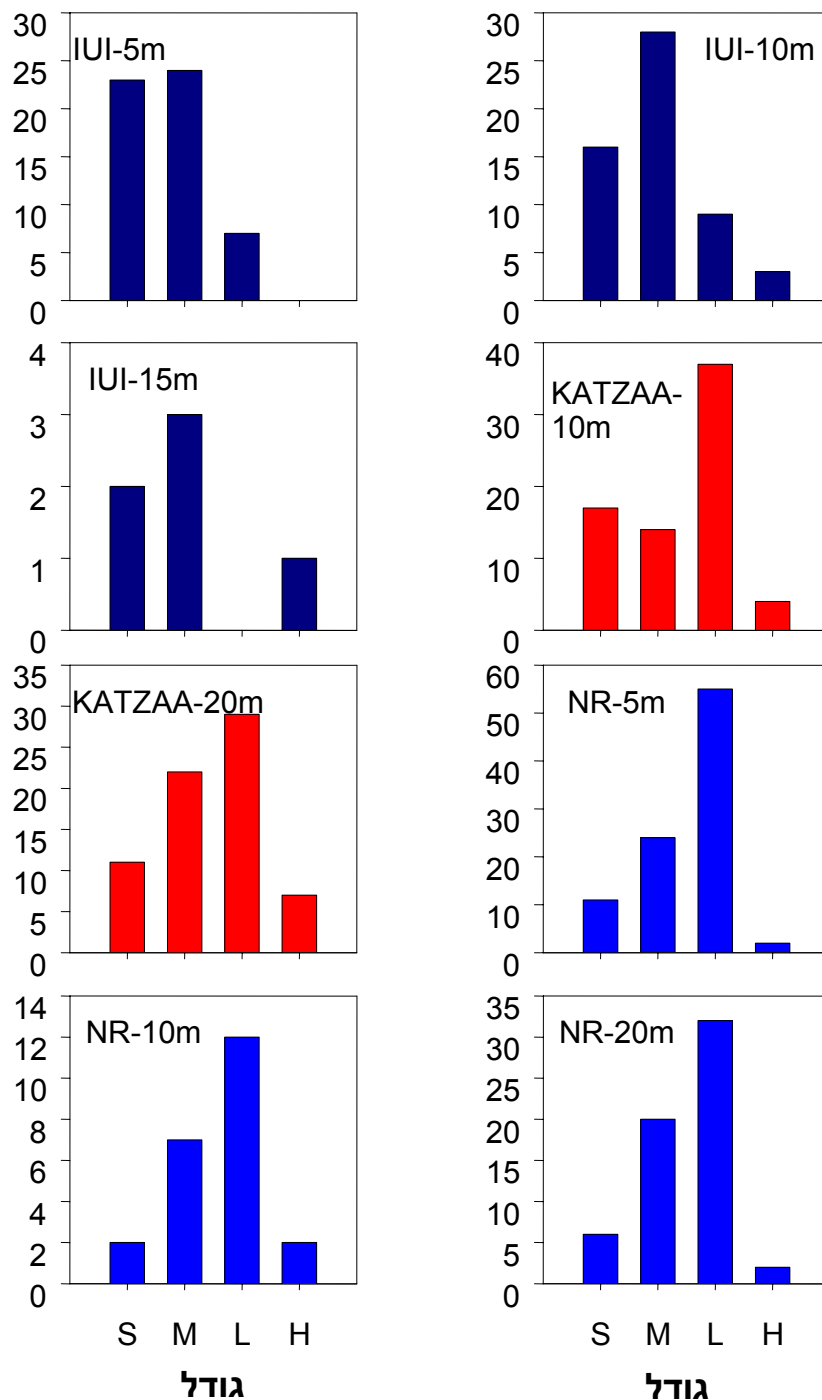


אתר

איור 10: מדד הבריאות הממוצע בכל אתר דיגום. מדד הבריאות חושב כממוצע האחוז החי במושבות האלמוגים באתר. קווי השגיאה הם סטיית תקן סביב הממוצע. הקו האדום מייצג את הערך הממוצע של מדד הבריאות עבור כל האתרים.

Figure B10: The average health index for each sampling site. The health index was calculated as the average live area of each coral colony. Error bars are 1 standard deviation around the mean. Red bar represents the average health index for all of the sites.

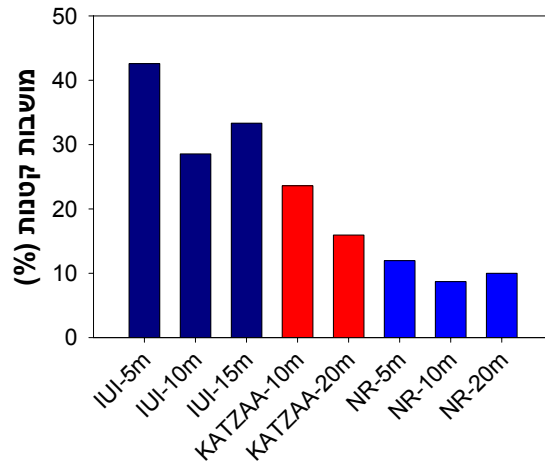
מספר מושבות



איור ב11: התפלגות הגדלים של מושבות אלמוגים מעונפים (מהסוגים *Acropora*, *Pocillopora*, *Seriatopora* ו-*Stylophora*) בכל אחד מהאתרים. קטגוריות הגודל חולקו ע"פ קוטר האלמוג (S- >5 ס"מ, M- 5-15 ס"מ, L- 15-30 ס"מ ו-H- >30 ס"מ).

Figure B11: Coral colony size distribution for branching corals of the species *Acropora*, *Pocillopora*, *Seriatopora* and *Stylophora* at each site. Size categories were S- <5 cm diameter, M- 5-15 cm, L- 15-30 cm and H- >30 cm.

התפלגות הגדלים של מושבות האלמוגים המעונפים (אלמוגים מהסוגים *Acropora*, *Pocillopora*, *Seriatorpora* ו-*Stylophora* בלבד) מוצגות באיור ב11. תוצאות חישוב של אחוז המושבות הקטנות מסך מושבות האלמוגים המעונפים מוצגות באיור ב12.



אתר

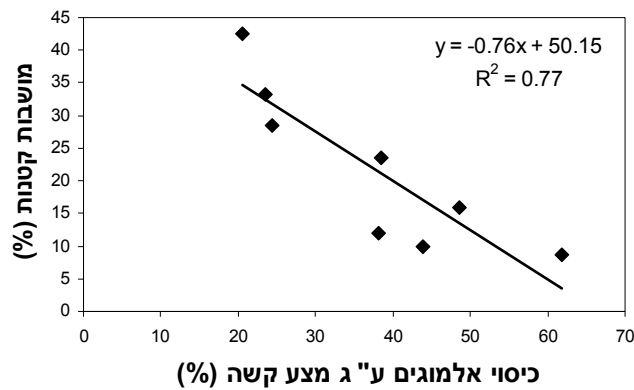
איור ב12: אחוז המושבות הקטנות (קוטר > 5 ס"מ) מסך המושבות עבור אלמוגים מעונפים מהסוגים *Acropora*, *Pocillopora*, *Seriatorpora* ו-*Stylophora* בכל האתרים.

Figure B12: The fraction (%) of small (<5 cm) coral colonies of the genus *Acropora*, *Stylophora*, *Pocillopora* and *Seriatorpora* at each site.

נראה כי מספר המושבות הקטנות מתוך סך כל המושבות הוא הגבוה ביותר בשונית המעבדה הימית. אחוזי המושבות הקטנות הנמוכים ביותר התקבלו בשמורת האלמוגים. התפלגות גדלים של מושבות אלמוגים יכולה להוות כלי לזיהוי תהליכים המתרחשים בגיוס ובשרידות של אלמוגים. אחוז גבוה של מושבות קטנות יכול להעיד על גיוס רב של מושבות אלמוגים לשונית. מצאנו מתאם שלילי גבוה בין אחוז הכיסוי של אלמוגים חיים למספר המושבות הקטנות (איור ב13). הדבר יכול היה להעיד על תחרות על מקום להתיישבות, אם רוב המצע היה תפוס. אך זה רחוק מלהיות המצב. לדוגמא, לא נמצא מתאם בין אחוז האלמוגים הקטנים לכמות השטח הפנוי להתיישבות (Pearson's $r = 0.45$, $p > 0.25$). אם כך, הקורלציה השלילית בין אחוז הכיסוי למספר המושבות הקטנות כנראה שמעיד על עקה מתמשכת באותם אתרים בהם כיסוי האלמוגים נמוך, דבר הגורם או לגידול איטי של כל מושבה או לתמותה בגיל צעיר (ולכן חסר באלמוגים גדולים). אחד האתרים בו הדבר נראה באופן הבולט ביותר הוא השונית שמול המכון הבינאוניברסיטאי.

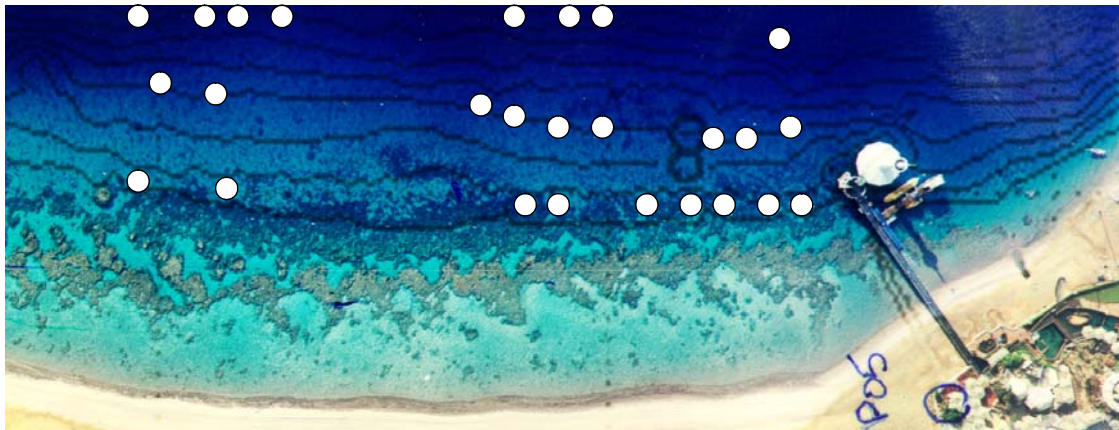
שטח הדיגום בשמורת האלמוגים כלל את האזור הסגור למבקרים מהמצפה התת-ימי צפונה עד גבול השטח הסגור למבקרים בשמורה (איור ב14). מיקום החתכים בוצע באופן אקראי וכפי שנראה באיור ב14 מאמץ הדיגום אכן כיסה בצורה טובה את כל שטח הדיגום. אחוזי כיסוי האלמוגים לא נבדלו באזורים השונים של שטח הדיגום (Two-way ANOVA, $p > 0.87$) (איור ב15). זאת בדומה לעדויות קודמות (Loya 1972).

האלמוג הנפוץ ביותר כיום בשונית שנסקרו הוא *Acropora variabilis*. רשימת 20 מיני (או סוגי) האלמוגים הנפוצים ביותר במפרץ אילת מופיעה בטבלה ב2.



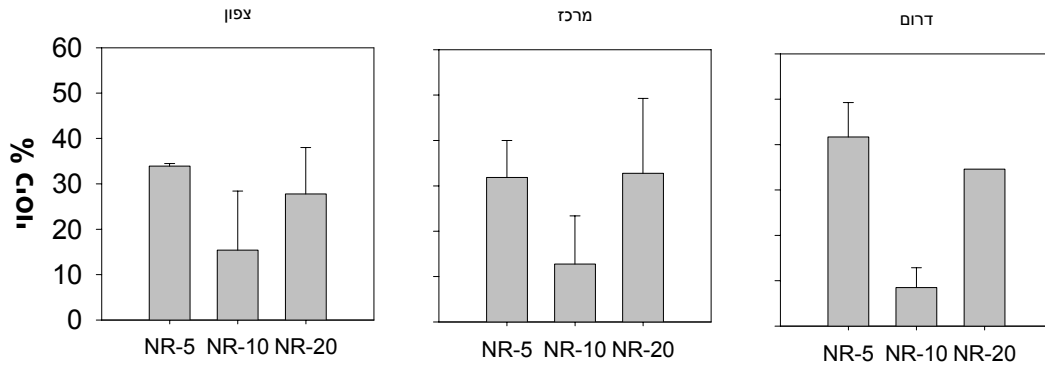
איור ב13: אחוז המושבות הקטנות מסך המושבות כתלות בכיסוי האלמוגים ע"ג מצע קשה. בשוניות בהן אחוז הכיסוי ע"ג המצע הפנוי להתיישבות גבוה, אחוז המושבות הקטנות הוא הנמוך ביותר.

Figure B13: The fraction of small colonies (%) as a function of coral cover on suitable substrate. In reefs with high coral cover there is a smaller fraction of small colonies.



איור ב14: מיקום החתכים בשמורת האלמוגים. על-גבי התצלום האווירי של החלק הדרומי בשמורת האלמוגים (הסגור למבקרים) הוספנו מפה בתימטרית (Reidenbach et al. 2000) בה כל קו מתאר שינוי של שני מטרים בעומק. כל עיגול לבן ע"ג המפה מתאר חתך קווי אחד בן 10 מטרים.

Figure B14: The approximate place of each of the line transects sampled at the nature reserve. A bathymetric map (Reidenbach et al. 2000) was superimposed on this aerial photo where each line represents a depth change of 2m. Each white circle represents a 10 m long line transect.



עומק (מ)

איור ב15: אחוז כיסוי האלמוגים החיים בשמורה הסגורה בחלק הדרומי, המרכזי והצפוני בכל העומקים שנדגמו. לא נמצא הבדל באחוז הכיסוי בין שלושת האזורים בכל עומקי הדיגום (Two-way ANOVA, $p > 0.87$).
Figure B15: The live coral cover percent of the nature reserve at each of the three sub-sections (north, middle and south) for each of the three depths sampled. We did not find a difference in coral cover between the three sub-sections (Two-way ANOVA, $p > 0.87$)

טבלה ב2: 20 מיני (או סוגי) האלמוגים הנפוצים ביותר במפרץ אילת ואחוז הכיסוי הממוצע שלהם בכל אחד מאתרי הדיגום.

Species	IUI-10m	IUI-15m	KATZAA-20m	NR-20m	NR-5m	NR-10m	IUI-5m	KATZAA-10m
<i>Acropora variabilis</i>	1.2	0.3	3.8	5.2	3.9	0.7	0.7	3.9
<i>Stylophora sp.</i>	2.4	0.6	2.7	2.3	1.3	0.7	3.0	1.4
<i>Montipora sp.</i>	0.5	0.2	3.4	3.6	1.5	0.5	0.4	1.6
<i>Favia sp.</i>	0.8	0.1	0.8	1.5	1.2	0.7	2.1	0.7
<i>Acropora maryae</i>	0.2	0.0	2.8	1.7	0.8	0.3	0.0	2.4
<i>Lobophyllia corymbosa</i>	0.0	0.0	0.1	0.0	6.9	0.0	0.1	0.1
<i>Favites sp.</i>	2.4	0.2	0.6	1.3	0.5	0.6	0.5	0.2
<i>Echinopora gemmacea</i>	0.1	0.0	0.5	1.3	4.1	0.0	0.1	0.5
<i>Acropora hemprichi</i>	0.5	0.6	1.1	1.2	0.4	0.2	0.2	1.1
<i>Astreopora myriophthalma</i>	0.0	0.0	0.5	1.2	1.2	1.7	0.0	0.9
<i>Cyphastrea chalcidicum</i>	0.3	0.2	1.5	1.3	0.1	0.4	0.3	0.9
<i>Cyphastrea microphthalma</i>	0.5	0.3	0.6	0.8	0.8	0.3	0.4	0.8
<i>Acropora eurystoma</i>	0.1	0.0	0.0	0.4	2.9	0.3	0.0	0.4
<i>Seriatopora caliendrum</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	0.6	0.0	0.1
<i>Mycedium tubifex</i>	0.0	0.0	0.8	0.2	1.8	0.0	0.0	0.1
<i>Millepora sp.</i>	1.0	0.5	0.0	0.0	0.1	0.0	0.7	0.0
<i>Goniastrea retiformis</i>	0.2	0.0	0.1	0.0	0.9	0.8	0.1	0.5
<i>Acropora humilis</i>	0.3	0.5	0.3	0.4	0.3	0.5	0.0	0.2
<i>Goniastrea pectinata</i>	0.1	0.0	0.2	0.2	1.3	0.0	0.1	0.2
<i>Coscinarea monile</i>	0.5	0.0	0.2	0.4	0.0	0.1	0.0	0.6

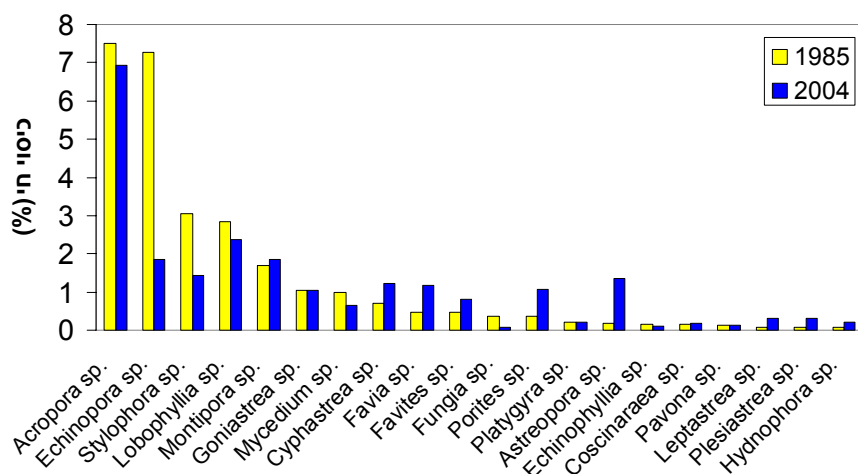
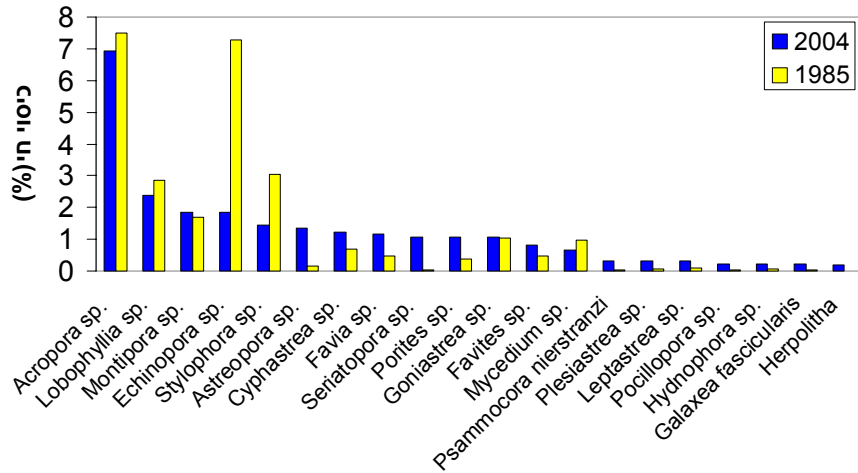
השוואה עם נתוני העבר

אחוזי כיסוי האלמוגים בשונית באילת הינם נמוכים יחסית לרוב השוניות המפותחות בעולם. השאלה המרכזית העומדת על הפרק היא האם שכיחות נמוכה זו היא מאפיין טבעי של השונית במקום מקדמת דנא או פועל יוצא של הידרדרותה בשנים האחרונות. נתוני עבר אשר נאספו בשיטה זהה לזו שבה השתמשנו בניטור קיימים מהשונית בשמורת חוף אלמוג משתי תקופות, האחת מ 1969-1970 (מועד דיגום השונית במסגרת עבודת הדוקטוראט של פרופ' יוסי לוייה- ראה Loya 1971) והאחרת משנת 1985 (מועד דיגום השונית במסגרת עבודת המוסמך של ד"ר אביגדור אבלסון [1986]). אולם, לצערנו, הסתבר שהשוואה מדויקת עם אותם שני סקרים הינה בעייתית מכיוון שמיקומם לא סומן בשטח ולכן אינו ידוע בוודאות. ניסיונו לשחזר את המיקומים עם אותם חוקרים מצביע על סבירות גבוהה שהסקר של לוייה כלל את החלק הפתוח למבקרים בשמורת חוף אלמוג, קרי, צפונית לשטח בו נעשה הסקר שלנו (אשר התרכז ב"גנים היפניים", בשטח הסגור למבקרים- איור ב14). יש לציין ששכיחות האלמוגים בשטח הצפוני הפתוח למבקרים נמוכה מאשר בדרום ולכן צפוי היה שבסקר שלנו נמצא שכיחות גבוהה יחסית של אלמוגים. לסקר של אבלסון הייתה חפיפה של לפחות 2/3 עם הסקר שלנו ולכן ניתן להשתמש בו לשם השוואה עם נתוני 2004 תוך התחשבות בחלקיות זו של החפיפה בין השטחים שנסקרו. לצורך השוואה זו השתמשנו בנתונים הגולמיים אותם אסף ד"ר אבלסון ב- 1985 והעמיד לרשותנו ברצון רב ובנדיבות רבה (ועל כך תודתנו).

מאז שנת 1985 חלו שינויים משמעותיים בשכיחותם היחסית של מינים נפוצים בשונית, קרי, במבנה חברת השונית (איור ב16). הסוג הנפוץ ביותר היה ונשאר *Acropora* ושכיחותו נשארה דומה. לעומת זאת, שכיחות האלמוגים מהסוג *Echinopora* (אלמוגים מרפדים היוצרים לעיתים ענפים), אשר היו האלמוגים השניים בשכיחותם בחלק הרדוד של שמורת האלמוגים ב-1985, ירדו בנפיצותם באותו אזור לכרבע משכיחותם הקודמת. אחוז הכיסוי הממוצע של כלל אלמוגי האבן החיים בשמורת האלמוגים בחלק שנסקר על ידי אבלסון היה 28.2% בשנת 1985 לעומת 25.6% בשנת 2004 (איור ב17). למרות שעל פניו כל העומקים לא חל שינוי סטטיסטי מובהק באחוזי הכיסוי בין השנים (Factorial ANOVA, $p=0.03$), הרי שבעומק הרדוד (5 מ'), חלה ירידה חדה באחוז כיסוי האלמוגים משנת 1985. מספר המושבות לחתך הראה מגמה דומה לזו של אחוזי הכיסוי. קרי, בניתוח סטטיסטי על פניו כל העומקים לא חל הבדל מובהק במספר המושבות מאז שנת 1985 (Factorial ANOVA, $p=0.2$), בעוד שהפרדת נתוני האזור הרדוד (5 מ') מיתר הנתונים מראה ירידה במספר המושבות. מגוון הסוגים ב-2004 עלה מעט אך באופן מובהק (Kruskal Wallis ANOVA, $p<0.05$) יחסית לשנת 1985 בכל העומקים (איור ב18). אולם כפי שניתן לראות באיור ב16, למרות ערכים דומים במגוון, הרכב המינים בבית גידול זה השתנה.

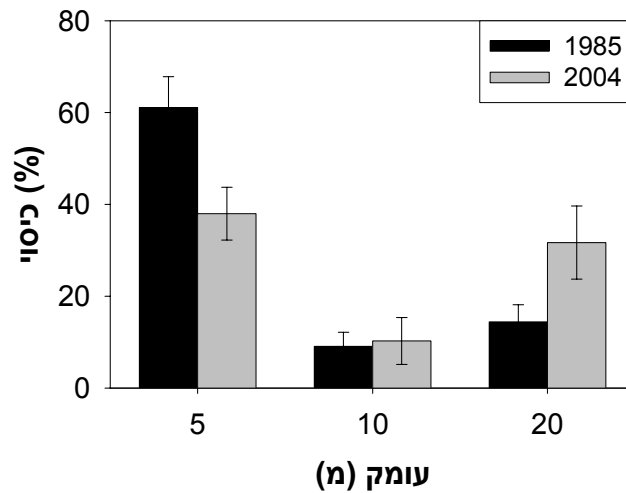
השנה (סתיו 2004) ביצעו פרופ' לוייה ותלמידיו סקר מקיף של שונית האלמוגים בשמורת חוף אלמוג באופן זהה לזה שנעשה ע"י לוייה לפני כ- 35 שנה. שני הסקרים תומכים חד משמעית במסקנה שקיימת ירידה ניכרת באחוזי הכיסוי של אלמוגי האבן באזור הרדוד (5 מ'). מאידך, ישנם הבדלים במסקנות שני הסקרים לגבי האזורים העמוקים יותר: סקר לוייה מצביע על העדר שינוי בעומק 20 מ' וירידה של כ-4% כיסוי בעומק 10 מ', בעוד שסקר תכנית הניטור מצביע על עליה בכיסוי ב- 20 מ' ועל העדר שינוי ב- 10 מ'. סיבה אפשרית להבדל זה במסקנות היא העדר חפיפה מלאה בין האזורים שנכללו בשני הסקרים. סקר לוייה היה מוסט יחסית צפונה, כך שכלל שטח באזור הפתוח למבקרים מצפון "לבלט העגול" (אשר מסיבת היותו פתוח לשחיינים לא נכלל בתכנית הניטור) ולא כלל את האזור הדרומי ביותר של ה"גנים היפניים" בסמוך למצפה הימי (אשר נכלל בתכנית הניטור מכיוון שהוא אחד האתרים העשירים ביותר בחופי אילת). בניגוד לשונית הרדודה אשר הינה רציפה ודי אחידה לכל אורך שמורת חוף אלמוג (כולל השטח הצפוני שנכלל בסקר לוייה), השונית ב- 10 ו- 20 מ' שונה מאד בין חלקה הדרומי ביותר (ע"י המצפה) לזוה שמצפון לבלט העגול.

המשך סקר השונית אחת לשנה במסגרת תכנית הניטור תיתן תשובה חד משמעית לשאלה הקריטית באם ההידרדרות נמשכת גם כיום.



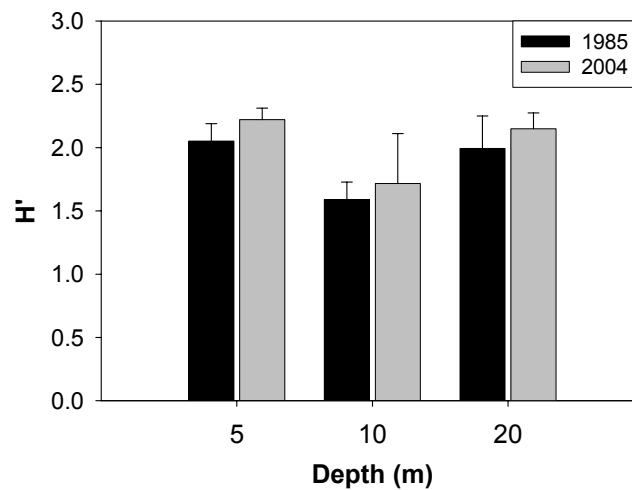
איור ב16: אחוז הכיסוי הממוצע של 20 סוגי האלמוגים השכיחים ביותר בשמורת האלמוגים לפי סדר שכיחותם בשנת 2004 (איור עליון) ולפי סדר שכיחותם בשנת 1985 (איור תחתון). ניתן לראות מגמה של שינוי בשכיחותם של מיני מפתח בשונית האלמוגים.

Figure B16: The average percent cover of the 20 most common corals at the nature reserve plotted according to their ranking in the year 2004 (upper plate) and their ranking in 1985 (lower plate).



איור ב17: אחוז הכיסוי הממוצע של אלמוגי אבן חיים בשלושת עומקי הדיגום בשמורת האלמוגים בשנת 1985 (שחור) וכיום (אפור). לא חל שינוי מובהק באחוז הכיסוי בשנת 2004 לעומת שנת 1985 (Factorial ANOVA, $p=0.03$).

Figure B17: Percent cover of live stony corals at the three sampling depths of the nature reserve in 1985 (black) and present (grey). There has been no significant change in coral cover between 1985 and now.



איור ב18: מגוון הסוגים (Shannon-Wiener) הממוצע בשלושת העומקים השונים בשמורת האלמוגים בשנת 1985 (שחור) ובשנת 2004 (אפור). ישנה עלייה מובהקת במגוון בין שתי השנים (Kruskal-Walis ANOVA, $p<0.05$).

Figure B18: The average genus diversity (Shannon-Wiener) at the three sampled depths at the nature reserve during 1985 (black) and present (grey). There is a significant increase in diversity between the two years (Kruskal-Walis ANOVA, $p<0.05$).

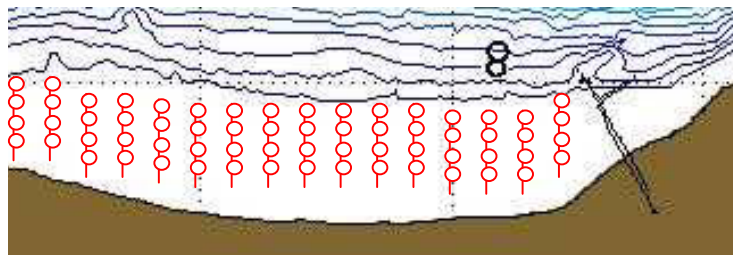
2. ב. דיגום החברה בלאגונת שמורת האלמוגים

מטרה:

דיגום חברת השונית (אלמוגי אבן, אלמוגים רכים וחסרי חוליות) על מנת לאמוד את השפיעה, מבנה החברה וסוגי המצע בלאגונה של שוניות האלמוגים בחלקה הדרומי (הסגור למבקרים) של שמורת חוף אלמוג.

שיטות:

מפאת מיעוט האלמוגים, שיטת חתכי הקו לא התאימה לדיגום החברה בלאגונה. לכן, השתמשנו ביחידת דיגום של ריבוע בגודל 1X1 מ. ריבועי הדיגום הונחו בשיטה סדורה לאורך סרט מדידה שהונח בניצב לחוף (להלן "קו דיגום") ממרחק של 9 מ' מקו החוף ועד לשולחן השונית במרווחים של 5 מטרים זה מזה. לצורך דיגום זה הוגדר "קו החוף" כקו הברור בו מתחיל סלע החוף (beach rock) להיות מכוסה במאקרו-אצות כחוליות. קו זה מסמן את גובה המים בשיא שפל ה-spring. בסה"כ בוצעו 16 קווי דיגום אשר פיזורם אחיד לאורך החוף הדרומי בשמורת חוף אלמוג לאורך המקטע המתחיל בגדר הפרדה בין השטח הפתוח לסגור למבקרים ומשם 400 מטרים דרומה (עד כ- 50 מטר מצפון למצפה התת-ימי) (איור ב19). בכל ריבוע דיגום נספרו האלמוגים וזוהו לרמת הסוג (והמין אם ניתן). נרשמה הערכה ויזואלית של אחוז כיסוי החול, אחוז כיסוי האלמוגים החיים וסוג המצע.



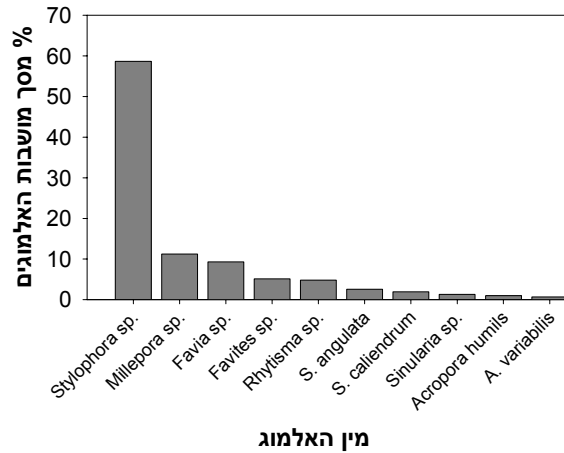
איור ב19: תיאור דיגום חברת האלמוגים בלאגונת השמורה באזור הסגור לקהל. ריבועי הדיגום בגודל של 1 מ"ר (באדום) הונחו באופן סדור במרחק של 5 מטרים זה מזה לאורך סרט מדידה שהונח בניצב לחוף והתחיל ממרחק 9 מטרים מ"קו החוף" ועד לשולחן השונית (קו דיגום). כל קו דיגום כלל בין 4 ל- 5 ריבועים, על אף שבאיור מפורטים רק 4 לכל חתך. סה"כ בוצעו 16 קווי דיגום בשטח הלאגונה (72 ריבועי דיגום).

Figure B16: A description of the lagoon sampling method. 1 m² quadrates (red circles) were placed evenly 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 4 or 5 quadrates (though in this figure only 4 are depicted). 16 cross-shore lines were spread out evenly throughout the lagoon (totaling 72 quadrates).

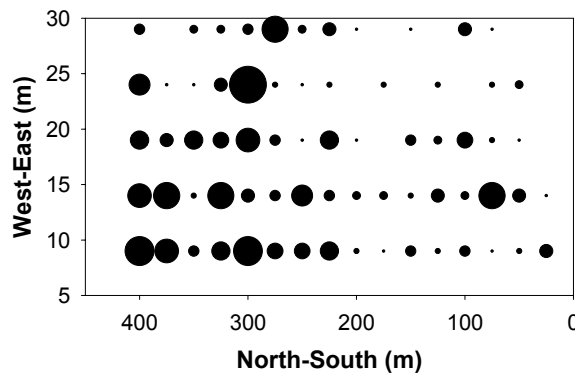
תוצאות:

ב- 72 ריבועי הדיגום שנדגמו בלאגונה צפיפות האלמוגים הממוצעת הייתה 4 מושבות אלמוגים למטר רבוע ($3.26 \pm$). בכל ריבוע הופיעו בממוצע אלמוגים משני מינים ($1.38 \pm$) ומגוון המינים הממוצע לפי מדד Shannon Wiener היה $0.54 (0.5 \pm)$ למטר רבוע.

בכל 72 המטרים הרבועים שנדגמו נספרו סה"כ 312 מושבות אלמוגים מ- 19 מינים. מגוון המינים לפי מדד Shannon Wiener היה 1.57. המין הנפוץ ביותר בלאגונה הוא האלמוג *Stylophora pistillata* והוא מהווה 58% מכל מושבות האלמוגים שנדגמו. שכיחות המינים השונים מופיעה באיור ב20.



איור ב20: השכיחות היחסית של מיני האלמוגים העיקריים שנצפו בלאגונה.
Figure B20: The relative frequency of the coral species recorded at the lagoon.



איור ב21: תיאור מרחבי של מספר האלמוגים למטר רבוע בנקודות הדיגום השונות בלאגונה. הציר האופקי הוא ציר צפון דרום (לאורך החוף) ואילו הציר האנכי הוא מערב-מזרח (בניצב לחוף). מעבר ל- 30 מטרים בניצב לחוף מתחיל אזור שולחן השוני. גודל הנקודה המשורטטת עומד ביחס ישר למספר האלמוגים שנדגמו באותה נקודת דיגום.

Figure B21: A bubble plot presenting the number of corals colonies per m² at the different quadrates. The horizontal axis is North-West (along shore) and the vertical is West-East (cross shore). The reef table begins after 30 m east of the shore line. The size of the bubble is linearly correlated to the number of corals recorded at that quadrate.

מניתוח הנתונים מתקבל שכיסוי האלמוגים בלאגונה הוא כתמי. הכתמיות נמדדה באמצעות מדד הכתמיות של Lloyd (1967) (משוואה 2) כש- \bar{x} הוא מספר המושבות הממוצע ליחידת דיגום ו- σ היא סטיית התקן של ממוצע המושבות ליחידת דיגום. ערך מדד זה הוא 1.42, ערך המעיד על כתמיות חלשה.

$$P = 1 + \frac{(\sigma^2 - \bar{x})}{\bar{x}^2} \quad \text{משוואה 2:}$$

הפיזור המרחבי של מושבות האלמוגים בלאגונה לא היה אחיד (איור ב21). החצי הצפוני (עד 200 מ' דרומית לגדר הפרדה) היה עשיר יותר במושבות אלמוגים לעומת החלק הדרומי (5.6 מושבות למ"ר בחצי הצפוני לעומת 2.3 בלבד בחצי הדרומי) באופן מובהק (t-test, p<0.01). לא היה הבדל מובהק בכיסוי החול בין החלק הצפוני לדרומי (טבלה ב3) ולא באחוז הבלטים (העשירים יותר באלמוגים בד"כ) בין שני החלקים (טבלה ב3) (t-test, p=0.14 ו-0.47 בהתאמה).

טבלה 3: תוצאות ספירת האלמוגים ואמדן כיסוי החול וכיסויי הבלטים בלאגונת השניית בשמורת האלמוגים.

אזור	מס' מושבות במ"ר	% כיסוי חול	% כיסוי בלטים
צפון (0-200 מ')	5.6 (±3.3)	36.1 (±44)	11 (±24.5)
דרום (200-400 מ')	2.3 (±2.1)	46.3 (±40)	10.5 (±23.7)
כל שטח הלאגונה	4 (±3.3)	41.1 (±42.3)	10.8 (±24)

מין	מס' מושבות למ"ר
<i>Stylophora sp.</i>	2.35 (±0.35)
<i>Millepora sp.</i>	0.45 (±0.16)
<i>Favia sp.</i>	0.37 (±0)
<i>Favites sp.</i>	0.21 (±0.11)
<i>Rhytisma sp.</i>	0.19 (±0.19)
<i>Seriatopora angulata</i>	0.1 (±0.59)
<i>Seriatopora caliendrum</i>	0.08 (±0.82)
<i>Sinularia sp.</i>	0.05 (±0.16)
<i>Acropora humilis</i>	0.04 (±0.11)
<i>Acropora variabilis</i>	0.03 (±0.49)
<i>Acropora hemprichi</i>	0.03 (±0.32)
<i>Acanthastrea echinata</i>	0.03 (±0.11)
<i>Acropora scandens</i>	0.01 (±0.86)
<i>Porites sp.</i>	0.01 (±0.31)
<i>Platygyra sp.</i>	0.01 (±0.11)
<i>Pavona sp.</i>	0.01 (±0.11)
<i>Montipora sp.</i>	0.01 (±0.16)
<i>Goniopora sp.</i>	0.01 (±0.11)
<i>Acropora eurystoma</i>	0.01 (±1.27)

דיגום לאגונת השונית נעשה באילת זו הפעם הראשונה (למעט ספירות של מושבות האלמוג *Stylophora* אשר נעשות אחת לשנתיים מאז 1996 בחציו הצפוני של השטח שנכלל בסקר הניטור במסגרת קורס במכון הבינאוניברסיטאי בהנחיית אמציה גנין). תוצאות סקר הניטור דומות מאד שהתקבלו בקורס הנ"ל בחודש מאי 2004. תוצאות הקורס ב- 8 השנים שעברו מראות עלייה הדרגתית בצפיפות האלמוג *Stylophora*, מממוצע של קרוב למושבה אחת למ"ר סמוך לסגירת הלאגונה למבקרים בשנת 1996, ועד 3-4 מושבות למ"ר בשנים 2002-2004. מין זה היה האלמוג הדומיננטי בלגונת השונית גם בעבר (Loya 1971).

3.3. ריבועי דיגום קבועים

מטרה: מעקב רב שנתי אחר שינויים בשפיעה, גודל המושבות ובריאותן בחלקות מסומנות (קבועות) לאורך חופי מדינת ישראל בצפון מפרץ אילת.

שיטות

חמש נקודות בכל אחת מהשוניות הבאות נבחרו וסומנו: טאבה, המעבדה הימית, שמורת האלמוגים, קצא"א, חוף הדקל והחוף הצפוני (איור ב22). בכל נקודה חוברת למצע הסלעי תושבת קבועה אליה ניתן לחבר מתקן מיוחד אשר בקצהו מצלמה הפונה מטה אשר מאפשר צילום חוזר מדויק של אותו השטח הנמצא מתחת למצלמה (איור ב23). המצלמה מופנית באותה נקודה לארבעה כיוונים שונים (East, North, West, South) כך שסה"כ יש 20 ריבועי דיגום קבועים בכל אתר דיגום.

הצילומים נעשו ברזולוציה גבוהה (5 מגה-פיקסל) ובגודל תמונה מירבי (2560x1920) במצלמת Coolpix 5400 הנתונה בתוך מארז תת-מימי. על מנת להתגבר על הצלליות הנובעות מהמבנה התלת מימדי של השונית נעזרנו במקור אור המחובר למצלמה. בשל המורכבות המרחבית של השונית, גודל השטח המצולם שונה בנקודות הצילום השונות. עם זאת, התושבת הקבועה מאפשרת חזרה מדויקת על השטח המצולם באותה נקודה בזמנים שונים.

התמונות נותחו באמצעות תוכנת עיבוד תמונה (Image-Pro Plus ver. 4, MediaCybernetics) וגודל, מיקום ומין האלמוג או חסר החוליות הנייה תועדו. באמצעות עכבר המחשב סומן קו סביב כל ריקמה חייה של אלמוג או חסר חוליות אחר בתמונה. כל סימון ע"ג התמונה מלווה בשם האלמוג או חסר החוליות, המיקום בתמונה של מרכז הדמות, השטח התחום בקו (בפיקסלים רבועים) והיקפו (בפיקסלים). הנתונים מועברים לגיליון Excel (טבלה ב4) והקווים שסומנו ע"ג התמונה נשמרים בקובץ מיוחד אשר ניתן לפתוחו ו"להלביש" על התמונה בשנה הבאה על מנת לזהות שינויים (איור ב24).

איור ב22: אתרי השוניות לאורך חופי אילת בהם הוצבו התושבות למעקב הצילומי אחר ריבועים קבועי מקום. האתרים מצוינים בירוק.

Figure B19: The sites of permanent quadrat photography in the coral reefs along the Eilat coastline (green markers).





איור 23: מערך צילום ריבועי הדיגום הקבועים. המצלמה נמצאת על מתקן המתחבר בצידו התחתון לנקודות קבועות בשונית על מנת לאפשר צילום חוזר מדויק של ריבועים בשונית. בנוסף למצלמה ישנו מקור אור שמפחית את כמות הצלליות בתמונה.

Figure B19: The permanent quadrat photography array. The camera is placed on top of a custom made tripod that connects to permanent attachments at the reef. This array allows an accurate repetition of quadrat photos over time. In addition to the camera a light source is used for reducing the amount of shadow in the pictures taken.

תוצאות

במהלך שנת 2004 צולמו ונותחו 97 תמונות. פרק עבודה זה הינו חדש בשונית האלמוגים באילת אשר שנת עבודה זו נוצלה בעיקר לפיתוחו לצורך תכנית הניטור. ניתוח הנתונים המצולמים הדיגיטליים הביא להפקת לקחים ביולוגיים לגבי רוב, אך לא כל התמונות. חלק מהתושבות יועבר למקום אחר, מתאים יותר. לדוגמא, ישנן תמונות בהן אחוז הכיסוי של חול גבוה מאוד ולכן תמונות אלה אינן יעילות לזיהוי שינויים בחברת האלמוגים. התמונות שנותחו השנה מהוות כמובן את תחילת מסד הנתונים ולכן לא ניתן להשוותן לנתוני העבר לשם הסקת מסקנות לגבי שינויים אפשריים בחברת האלמוגים.



איור 24: תמונה קבועה באתר טאבה שצולמה שבשנת 2004. על גבי התמונה משורטטים נתוני תוכנת עיבוד התמונה. נתונים אלה מופיעים בטבלה 4.

Figure B24: A permanent quadrat photo taken at Taba during 2004. Superimposed on this

picture are traces made using image analysis software. This data is presented in Table B4.

טבלה ב4: נתוני תוכנת עיבוד התמונה עבור איור ב21. משמאל לימין, מס' האובייקט, זיהוי האובייקט, מיקום בתמונה (אופקי אנכי), שטחו והיקפו.

Feature No.	Species	Pos X	Pos Y	Area (pix ²)	Length (pix)
1	<i>Goniastrea</i>	88	50	13674	527.2164
2	<i>Goniastrea</i>	709	268	19092	554.3793
3	<i>Goniastrea</i>	837	643	34782	711.7054
4	<i>Favia</i>	944	973	18467	543.9402
5	<i>Favia</i>	834	959	3413	359.2383
6	<i>Echinophyllia</i>	879	1206	39835	769.7874
7	<i>Cyphastrea</i>	501	775	62744	1574.301
8	<i>Agariciella</i>	174	386	15126	762.8185
9	<i>Echinophyllia</i>	85	656	57428	1097.557
10	<i>Goniastrea</i>	99	1071	53122	1196.829
11	<i>Grayella</i>	440	554	3607	320.5557
12	<i>Fungia</i>	1609	685	68204	1038.769
13	<i>Coscinarea</i>	1444	651	6742	338.5518
14	<i>Millepora sp.</i>	1789	1108	22840	1116.92
15	<i>Millepora sp.</i>	1808	794	15606	547.4116
16	<i>Stylophora</i>	1621	315	35662	1101.136
17	<i>Goniastrea</i>	1274	177	15138	503.4094
18	<i>Goniastrea</i>	2088	1054	115741	1494.645
19	<i>Stylophora</i>	2257	207	191423	2556.842
20	<i>Leptastrea</i>	1853	188	96469	1637.784
21	<i>Montipora</i>	993	166	8389	449.0957
22	Ascidian	1849	1201	7455	428.5224
23	<i>Fungia</i>	2040	1562	89792	1293.243
24	<i>Fungia</i>	1755	1561	52971	838.3941
25	<i>Acropora</i>	2426	1618	104465	2053.803
26	<i>Favia</i>	451	1793	6475	305.1713
27	<i>Stylophora</i>	2118	1771	93305	3613.884
28	<i>Millepora dichotoma</i>	1563	1024	2917	221.8747

ב.4. דיגום חסרי חוליות

מטרה

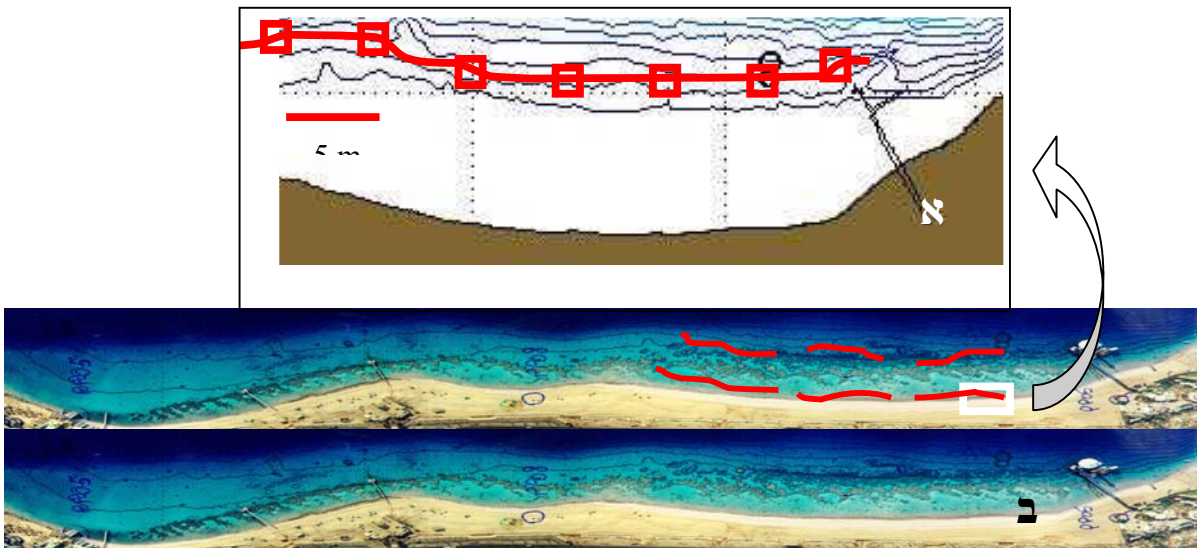
דיגום חסרי חוליות ניידים עיקריים על מנת לאמוד את שפיעתם בשונית האלמוגים בחוף הדרומי.

שיטות

דיגום חסרי החוליות נעשה בשעות הלילה מכיוון שבשעות היום מרבית חסרי החוליות מסתתרים. הדיגום נערך שעה אחת אחר רדת החשיכה, לאחר יציאת חסרי החוליות ממסתורם לשם שיהור מזונם.

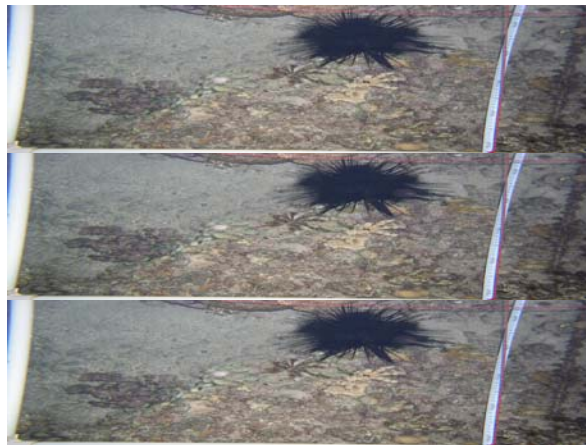
הדיגום נערך בשוניות האלמוגים במעבדה הימית ובשמורת האלמוגים (באזור הסגור למבקרים) בעומקים 5 ו-10 מטרים (במקביל לעומקים בהם נערכים חתכי האלמוגים, איור ב1). הדיגום נעשה באמצעות ריבוע דיגום בגודל 1 מ"ר אשר הונח ע"ג סרט מדידה באורך 100 מטרים במרווחים של 5 מטרים בין ריבוע לריבוע (איורים א' ו-23). סרט המדידה נפרש לאורך קו העומק הנדגם מנקודה אקראית (איור ב'25). בכל ריבוע נדגמו כל חסרי החוליות הניידים (קווצי עור ורכיכות). קיפודי ים מהמין *Diadema setosum* חולקו לאחת משתי קטגוריות גודל בזכות ההבחנה המורפולוגית הברורה בין בוגר לצעיר (לצעירים יש קוצים

מפוספסים לעומת צבע אחיד וכהה אצל הבוגרים).



איור ב25: א) ריבועי הדיגום בשטח של מטר רבוע (ריבוע אדום) במרווחים של חמשה מטרים לאורך סרט המדידה (קו אדום) המונח לאורך קו עומק נתון. ב) ששת אתרי הדיגום בשמורת האלמוגים. כל קו אדום הוא סרט מדידה באורך 100 מטרים לאורכו הונחו 20 ריבועי דיגום כמו בלוח א.

Figure B25: A) The 1 m² quadrates (red square) are spread 5 m apart along the measuring tape at each sampling depth. B) The 6 sampling sites at the nature reserve. Each red line is a 100 m long transect along which 20 quadrates were laid as in A.



איור ב26: תצלום לילי של רבע מריבוע דיגום המונח לאורך סרט המדידה (חץ). בריבוע דיגום זה שהונח בעומק 5 מטרים במעבדה הימית נדגמו קיפוד ים מהסוג *Echinothrix* וחבצלת הים *Lamprometra kulzingeri*. צילום: רותי ריף

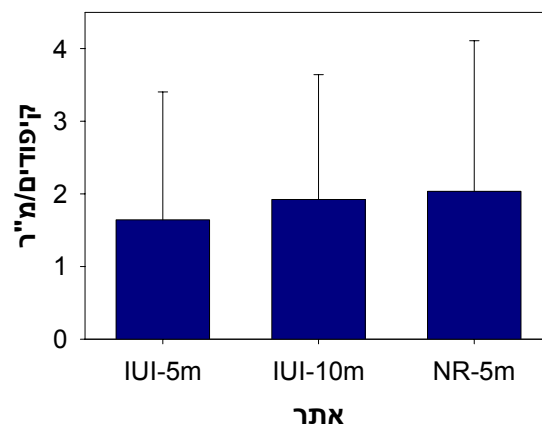
Figure B26: A photo taken at night of a quarter of the sampling quadrat along the measuring tape (arrow). In this quadrat, laid at 5 m depth at the IUI we sampled a sea urchin of the genus *Echinothrix* and the feather star *Lamprometra kulzingeri*. Photo: Ruti Reef

תוצאות

סה"כ נדגמו 125 ריבועי דיגום של 1 מ"ר רבוע (57 מ"ר בשמורת האלמוגים בעומק של 5 מ', ו- 26 מ"ר במעבדה הימית בעומקים 5 מ' ו- 10 מ' בהתאמה). השנה לא בוצע דיגום חסרי חוליות בשמורת האלמוגים בעומק של 10 מ' עקב מגבלות זמן.

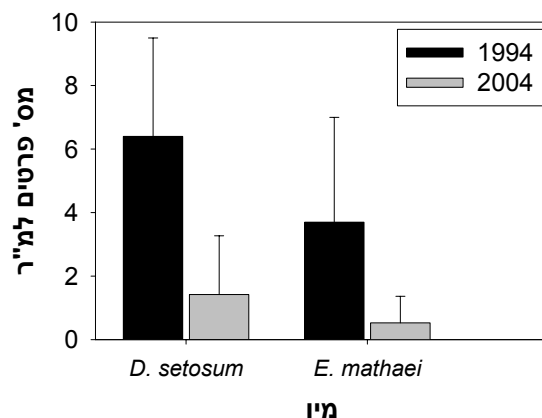
צפיפות כל מיני חסרי החוליות שנדגמו מוצגות בטבלה ב5. צפיפות קיפודי הים, קבוצת הרועים החשובה ביותר לשוניית מבין חסרי החוליות מוצגת באיור ב27. לא נמצא הבדל בצפיפות קיפודי הים בין האתרים השונים שנדגמו (ANOVA, $p>0.6$).

מהנתונים שאספנו עולה כי חסרי החוליות הנפוצים ביותר מבין אלו שנספרו היו קיפודי הים *Diadema setosum* ואחריו קיפודי הים *Echinometra mathaei* (טבלה ב5). בהשוואה לעבודה קודמת בה נמדדה צפיפותם של שני מיני קיפודים אלה בשוניית שמורת האלמוגים, במהלך 10 השנים האחרונות חלה ירידה חדה ומובהקת בצפיפות שני המינים (איור ב28) (t -test, $p<0.01$).



איור ב27: הצפיפות הממוצעת של קיפודי הים (פרטים למ"ר) בשלושת אתרי הדיגום. קווי השגיאה הם סטיית תקן סביב הממוצע.

Figure B27: The average density of sea urchins (per m²) at the three sampling sites. Error bars are 1 standard deviation from the mean.



איור 28: צפיפות קיפודי הים מהמינים *Diadema setosum* ו-*Echinometra mathaei* בשמורת האלמוגים בשנת 1994 (שחור) ובשנת 2004 (אפור). קווי השגיאה הם סטיית התקן סביב הממוצע. נתוני 1994 הותאמו מ- (Mokady et al. 1996). חלה ירידה מובהקת בצפיפות קיפודי הים משני המינים בשמורת האלמוגים (t-test, $p < 0.01$).

Figure 28A: The density of sea urchins of the species *Diadema setosum* and *Echinometra mathaei* at the nature reserve in the year 1994 (black) and 2004 (grey). Error bars are 1 standard deviation from the mean. 1994 data was adapted from Mokady et al. (1996). There is a significant decline in the density of both species since 1994 (t-test, $p < 0.01$).

טבלה 5: צפיפות חסרי החוליות הממוצעת למ"ר (וסטיית התקן) בשלושת אתרי הדיגום.

Species	IUI-5m	IUI-10m	NR-5m
<i>Diadema setosum</i> (young)	1.21 (1.76)	0.88 (1.07)	0.89 (1.31)
<i>Diadema setosum</i> (Adult)	1.64 (1.99)	0.81 (1.02)	0.53 (1.05)
<i>Echinometra mathaei</i>	0.33 (0.72)	0.04 (0.2)	0.53 (0.84)
<i>Cidaridae</i> sp.	0.05 (0.22)	0.08 (0.39)	0.07 (0.33)
<i>Tripneustes gratilla</i>	0.02 (0.15)	0.08 (0.27)	0.02 (0.13)
<i>Asthenosoma marisrubri</i>	0.02 (0.15)	0.04 (0.2)	0 (0)
<i>Echinotrix calamaris</i>	0 (0)	0.04 (0.2)	0 (0)
<i>Lamprometra klunzingeri</i>	0 (0)	0.04 (0.2)	0.02 (0.13)
<i>Capillaster multiradiatus</i>	0 (0)	0.04 (0.2)	0.02 (0.13)
<i>Tectus dentatus</i>	0.02 (0.15)	0.04 (0.2)	0.05 (0.23)
<i>Astropecten polyacanthus</i>	0.02 (0.15)	0 (0)	0.02 (0.13)
<i>Cerithium</i> sp.	0.45 (0.99)	0 (0)	0 (0)
<i>Holothuria (Halodeima) edulis</i>	0.02 (0.15)	0 (0)	0.02 (0.13)
<i>Actinopyga bannwarthi</i>	0.05 (0.22)	0 (0)	0.02 (0.13)
<i>Synapta maculata</i>	0 (0)	0 (0)	0.02 (0.13)

5. התפקוד המטבולי של שונית האלמוגים

שיטות:

במהלך שנת הפעילות השנייה של תכנית הניטור בוצעו שתי מדידות תפקוד מטבולי (פירוט בטבלה ב) במתכונת של מחזור יומי בו נלקחו דגימות מים מתחנה קבועה (CTD) בחלקה הדרומי של שמורת חוף אלמוג (איור ב29). המחזור נמשך 24 - 40 ש' במהלכן נדגמו מים מהלגונה לביצוע אנליזות כימיות במעבדה כל 3 ש' ביום וכל 4 ש' בלילה.

טבלה ב6: תאריכי ביצוע מדידות של תפקוד מטבולי בשונית האלמוגים בחוף אלמוג אילת. כל המדידות כללו מחזור דיגום בתחנה הקבועה בחלקה הדרומי של הלגונה ולפחות מדידה אחת בים הפתוח במרחק של כ-1 עד 2 ק"מ מהשונית.

תאריכים	משך	הערות
16-18/2/2004	40 ש'	דוגמאות מים נאספו במסגרת פרויקט סטודנטים בקורס ביוגאוכימיה של שונית האלמוגים במכון הבינאוניברסיטאי באילת בהשגחת ג'ק סילברמן (ראש צוות הניטור). דגימות מים נלקחו לאנליזות ע"י מוריאל דריי וטניה ריבלין.
23-24/3/2004	24 ש'	כיול אלקטרודת pH שנעשה עבור אנליזות דגימות השונית לקויה. חושב ערך יומי ממוצע מערך הים הפתוח שנמדד בסדרת מדידות ההפלגה החודשית (יום לפני הדיגום בשונית) ויחס פוטוסינתזה לנשימה בשונית לפי מדידות החמצן המומס.
14-15/6/2004	24 ש'	

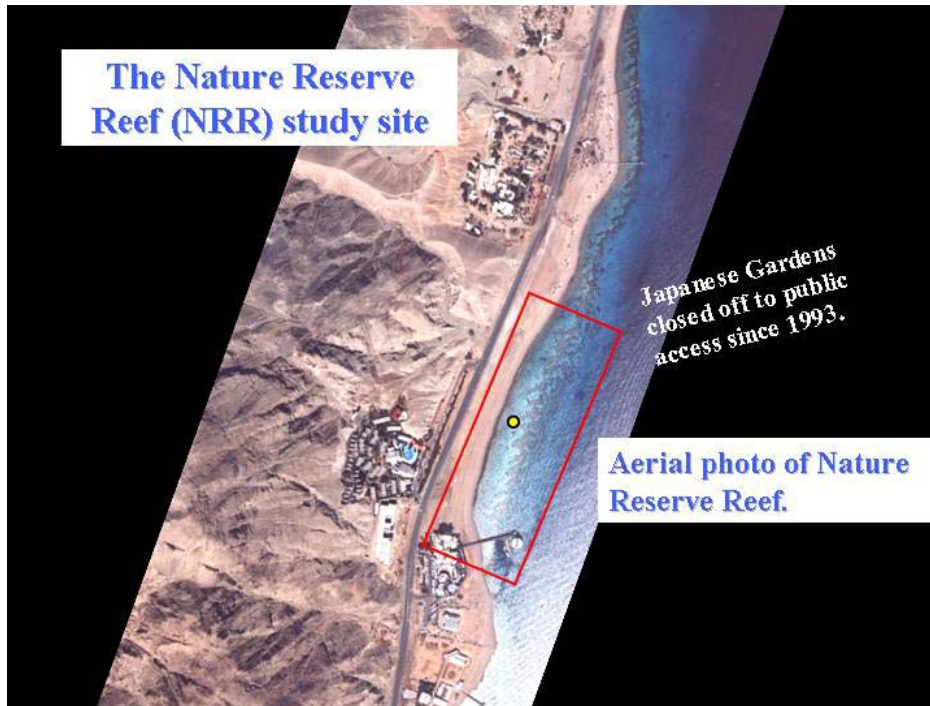
תוצאות:

המחזור היומי של החמצן בלגונה (איור b30a) משתנה באופן צפוי במהלך היממה. באופן כללי עודף פוטוסינתזה על פני נשימה מעלים את ריכוז החמצן בשונית מעל ערכי הים הפתוח עד לערך מכסימאלי בשעות אחה"צ. בלילה בהעדר יצרנות ראשונית ערכי החמצן יורדים מתחת לערכי ים פתוח עד למינימום לפנות בוקר כתוצאה מנשימה בשונית. ניסיון העבר מלמד שערכי הים הפתוח כמעט ולא משתנים במהלך מחזור יומי אחד ולכן למרות שמדידות אלה לא בוצעו בלילה ניתן להניח כי הם שווים לאלה שנמדדו במהלך היום.

על פי איור (b30b) ניתן לראות כי המחזור היומי של pH בשונית דומה לזה של החמצן בהתאם לצפוי. במהלך היום הוצאת פחמן מומס מהמים בתהליך הפוטוסינתזה גורמת לעליה ב-pH עד למקסימום בתאום עם החמצן ואילו בלילה כתוצאה מנשימה ובהעדר פוטוסינתזה פחמן מומס מתוסף למים וגורם לירידה בערכי ה-pH עד למינימום לפנות בוקר. למרות, שבמהלך אותו מחזור נצפים שינויים באלקליניות (איור b30c) עקב השקעה של $CaCO_3$ ע"י אלמוגים ושאר משקיעי שלד גירני צמודי מצע בשונית, אין לכך השפעה גדולה על pH ולכן ניתן ליחס את רב השינוי ב-pH ליחסים בין יצרנות וצריכה של חומר אורגני בשונית. כאמור, השינויים באלקליניות הנצפים במהלך המחזור היומי בשונית נובעים מהמסה והשקעה של $CaCO_3$ בשונית ותחלופת מים עם הים הפתוח. כאשר ירידה באלקליניות יחסית לערכו בים הפתוח (שם ערכו קבוע, בדומה לחמצן) מעידים על השקעה נטו של $CaCO_3$. הערך המינימאלי נמדד בשיא היום באותו זמן בו נמדדים הערכים המכסימליים של חמצן ו-pH, דבר המעיד על קשר בין פוטוסינתזה לקלסיפיקציה. בלילה חוזרים ערכי האלקליניות לערכם המדוד בים הפתוח, דבר המעיד על היעדר השקעה או המסה נטו של $CaCO_3$ בשונית בלילה.

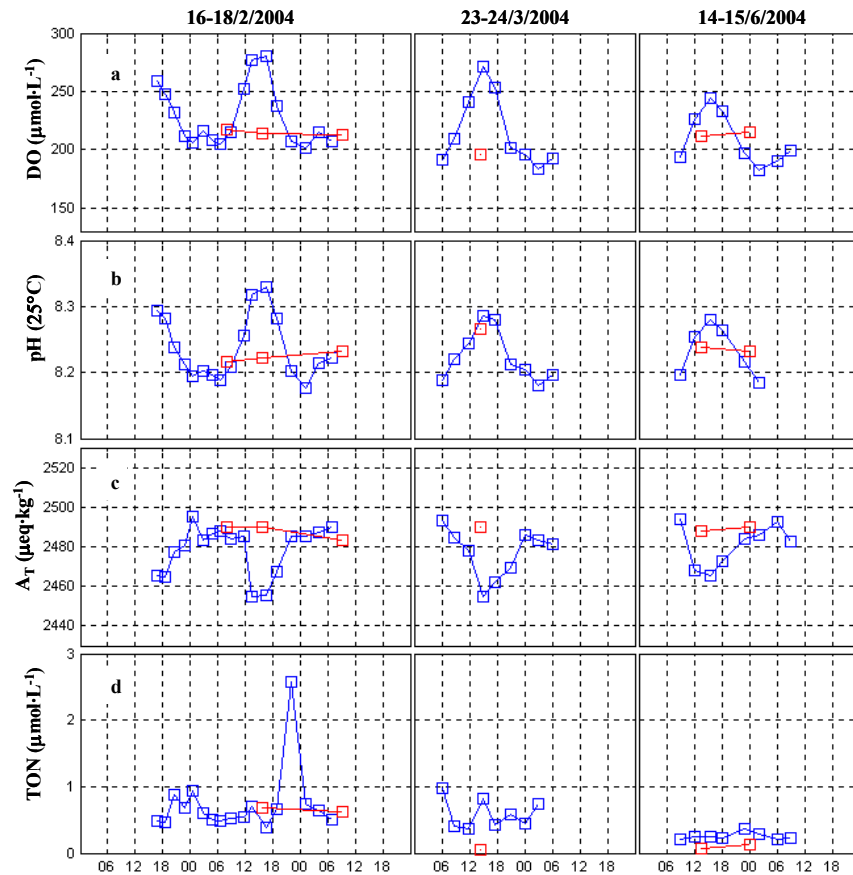
סך ריכוזי תרכובות החנקן המחומצנות (TON – Total oxidized nitrogen) המומסות במים משתנה גם הוא במהלך המחזור היומי (איור b30d). הערכים הנמוכים הנמדדים במהלך היום הם כתוצאה מצריכה ע"י פוטוסינתזה, ובלילה עולים ערכי ה-TON כתוצאה מנשימה ותהליכי ניטריפיקציה. ערכי ה-TON בשונית גבוהים יותר מאלו שבים הפתוח בתקופת השיכוב ובתחילת תקופת הערבוב. הדבר מעיד על כך שהשונית מהווה מקור נוטריינטים ליצרנות ראשונית בים הפתוח. עודפי הנוטריינטים מהשונית מגיעים לים הפתוח כתוצאה מתחלופת מים בגאות ובשפל וכתוצאה מזרמי ים חלשים ככוון ניצב לחוף. לעומת זאת במדידה שנעשתה בסוף מרץ ערכי הים הפתוח גבוהים מאלו שנמדדו בשונית, דבר המעיד על כך שהשונית צורכת

נוטריונים שמקורם בים הפתוח וגם ממחזור חומר אורגני בתהליכי נשימה בשונית. על פי מדידה זו ניתן לומר כי השונית מתפקדת בתנאים אוטרופיים (העשרה בנוטריונים).



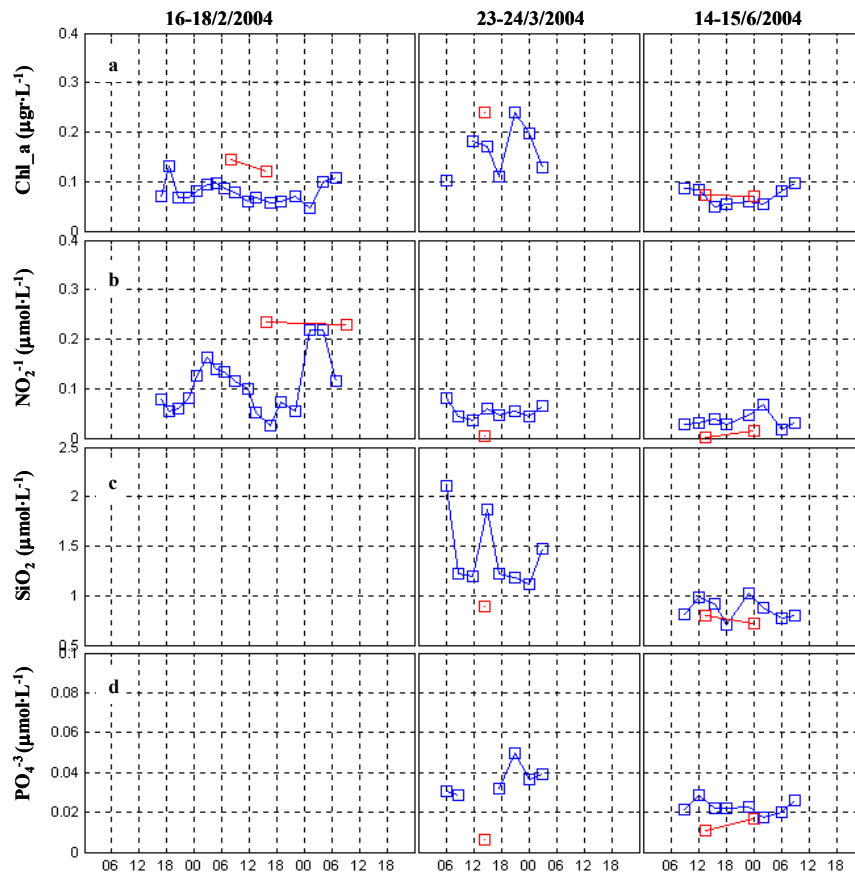
איור ב29: צילום אוויר של חוף אלמוג מחלקה הצפונית של השמורה ועד למזח המכון הבינאוניברסיטאי (IUI) בדרום. עבודת הדיגום התבצעה באזור הגנים היפניים (מוקף במסגרת אדומה). תחנת הדיגום בלגונה מצוינת בנקודה הצהובה שם ממוקם באופן קבוע (פרט לטיפולים תקופתיים ותקלות) דוגם אוטומטי (CTD), אשר מודד ומקליט כל 10 דק' מדידות של טמפרטורה, מליחות, לחץ, חמצן מומס, pH, ועצמת אור נראה. מדידות מכשיר זה מוצגות בזמן אמיתי באתר תכנית הניטור.

Figure B29: Aerial photo of the nature reserve reef from the northern end of the nature reserve to the IUI jetty in the south. Diurnal cycle sampling was conducted in the Japanese Gardens (red frame). The permanent CTD deployed in the reef lagoon is designated by a yellow filled circle. The CTD measures and records at 10 minute intervals the following parameters: temperature, salinity, pressure, dissolved oxygen, pH and PAR. These measurements are displayed in real-time on the monitoring website.



איור ב 30a – d: ערכי מדידות מחזור יומי בחלקו הדרומי של לגונת שמורת חוף אלמוג בתחנת CTD (כחול) וערכי המדידות המקבילות בים הפתוח (אדום) של הפרמטרים הבאים: חמצן מומס (a), pH כפי שנמדד במעבדה בתנאי טמפרטורה קבועים של 25°C, (b), אלקליניות (c), וסך תרכובות החנקן האנאורגני המחומצן המומסים במים (d).

Figure B 30a-d: Values of diurnal cycle studies conducted during February, March and June 2004 of lagoon water (blue) and open-sea water (red) of the following chemical constituents: a. dissolved oxygen. b. pH measured at 25°C. c. Total alkalinity. d. Total oxidized nitrogen.



איור ב31 a – d: ערכי מדידות מחזור יומי בחלקו הדרומי של לגונת שמורת חוף אלמוג בתחנת CTD (כחול) וערכי המדידות המקבילות בים הפתוח (אדום) של הפרמטרים הבאים: (a) כלורופיל a, (b) ניטריט, (c) סיליקה, ופוספט (d).

Figure B31 a-d: Values of diurnal cycle studies conducted during February, March and June 2004 of lagoon water (blue) and open-sea water (red) of the following dissolved and particulate constituents: a. Chlorophyll a. b. Nitrite. c. Silicate. d. Phosphate.

קצבי תפקוד מטבולי

שטפי הפחמן האנאורגאני המומס מהשונית לים הפתוח ומהים הפתוח לשונית מושפעים בעיקר משלושה תהליכים ביולוגיים – פוטוסינתזה, נשימה וקלסיפיקציה. באמצעות חישוב קצבי תחלופת המים בין הים הפתוח לשונית וזמן השהות הממוצע של מים בשונית ניתן להעריך את קצבי הפוטוסינתזה, נשימה וקלסיפיקציה של כל חברת השונית. קצבים אלו חושבו לשלושה מחזורים דיגום יומיים אשר בוצעו במהלך שנת הניטור הנוכחית ומסוכמים בטבלה (ב7).

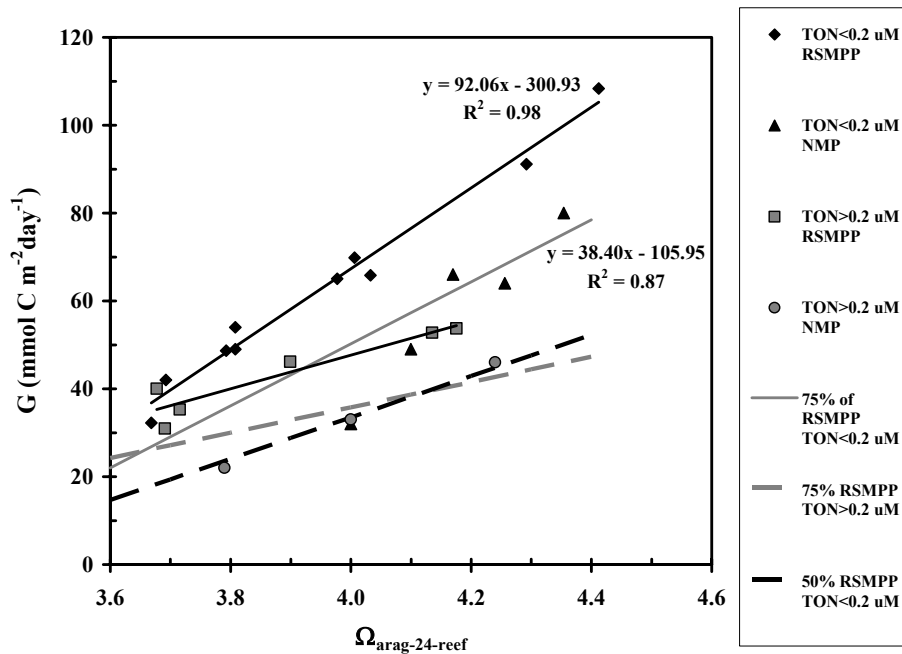
טבלה ב7: טבלת סיכום תפקוד מטבולי של שונית האלמוגים בשמורת חוף אלמוג

תאריך יחידות	פוטוסינתזה P_g $\text{mmole C m}^{-2}\text{day}^{-1}$	נשימה R $\text{mmole C m}^{-2}\text{day}^{-1}$	יצרנות נטו $P_n = P_g - R$ $\text{mmole C m}^{-2}\text{day}^{-1}$	$P_g \cdot R$	קלסיפיקציה G $\text{mmole C m}^{-2}\text{day}^{-1}$
16-18/2/2004	220	120	100	1.8	33
23-24/3/2004	200	140	60	1.4	46
14-15/6/2004	160	200	-40	0.8	33

* הערכת קצבים מטבוליים מבוססת על זמן שהות ממוצע של 4.5 שעות ועומק ממוצע כפי שחושב באינטרפולציה מסדרת הזמן של נתוני הלחץ הממוצעים היומיים בלגונה המוצג בפרק ה.3.1.

ערכי הקלסיפיקציה שנמדדו במהלך 2004 אינם שונים מהותית מאלו שנמדדו בשונית בשנים 2000-2002 במסגרת פרויקט ה-RSMPP (Red-Sea Marine Peace Park). עם זאת בהשוואת קצבי הקלסיפיקציה, שנמדדו במסגרת תכנית הניטור, לדרגת הרוויה של ארגוניט בשונית (המינרל אותו משקיעים אלמוגים) מתקבלת תמונה שונה לחלוטין ומאוד מדאיגה. מהמדידות שנערכו בתקופת פרויקט ה-RSMPP ניתן לראות בבירור (איור ב32) כי ישנה קורלציה חיובית בין קלסיפיקציה לדרגת הרוויה של ארגוניט, כאשר מחלקים את נקודות המדידה על פי ריכוז הנוטריינטים המצויים במי הים הפתוח. בריכוז נוטריינטים (NO_3^-) גבוה מ- $0.2 \text{ } \mu\text{M}$ ערכי הקלסיפיקציה קטנים בעד 65% יחסית לקצבים המדודים בתנאים בהם ריכוז הנוטריינטים נמוך מ- $0.2 \text{ } \mu\text{M}$ עבור ערכים דומים של דרגת רוויה של ארגוניט. תצפית זו מעידה על כך שההעשרה בנוטריינטים המתרחשת באופן טבעי במפרץ אילת במהלך תקופת הערבוב האנכי של עמודת המים הפתוחים בחורף מפחיתה את הקלסיפיקציה.

בהנחה שקלסיפיקציה ברמת החברה תלויה רק בדרגת הרוויה של ארגוניט וכיסוי חי של אלמוגים בשונית ניתן לומר כי שינוי בתלות בין קלסיפיקציה ודרגת הרוויה של ארגוניט מעידה על שינוי בכיסוי חי. דרך מדידות פרויקט הניטור עובר קו חדש (איור ב32) אשר מחושב ע"י הכפלה בפקטור של 0.75 במשוואת הרגרסיה של ה-RSMPP. ניתן לפרש שינוי זה כירידה בקלסיפיקציה כתוצאה מירידה של 25% בכיסוי החי של אלמוגים בשונית יחסית לתקופת ה-RSMPP. כלומר, אם בתקופת ה-RSMPP הכיסוי החי היה 30% בתקופת הניטור הוא בערך 23%. השנה שתי המדידות שבוצעו בפברואר ומרץ נמצאות אף הן על קו פקטור 0.75 בדומה לאלו של 2003 שנמדדו אף הם בתקופה בה ריכוזי הניטרת בים הפתוח גבוהים מ- $0.2 \text{ } \mu\text{mol-L}^{-1}$. לעומת זאת הנקודה שנמדדה ביוני 2004 אינה נמצאת על קו הפקטור של 0.75 עבור ניטרת נמוך מ- $0.2 \text{ } \mu\text{mol-L}^{-1}$ אלא על קו פקטור של 0.5. בהינתן ונקודה זו אינה חריגה היא מעידה על ירידה נוספת בכיסוי החי של השונית בסך של 50%. מגמה זו מקבלת ביסוס תצפיתי נוסף בפרק הבא המציג ודן במדידות המינימום/מקסימום בשמורת חוף אלמוג.



איור 32: השוואה בין קצבי קלסיפיקציה לדרגת הרוויה הממוצעת של ארגוניט ל-24 שעות בשונית בתקופת פרויקט ה-RSMPP (2000-2002) ובתקופת פרויקט הניטור (NMP – 2003-2004). הנקודות מחולקות על פי ריכוזי הנוטריינטים (TON) המצויים במי הים הפתוח בזמן המדידה. מעוינים שחורים (RSMPP) ומשולשים שחורים (NMP) מציינים ריכוז TON נמוך מ-0.2 μM וריבועים אפורים (RSMPP) ועיגול אפור (NMP) מציינים ריכוז TON גבוה מ-0.2 μM . קוים מקווקווים מציינים את מכפלת משוואות הרגרסיה של נוטריינטים גבוהים (אפור מקווקו) ונמוכים (אפור) מתקופת פרויקט ה-RSMPP בפקטור של 0.75. הקו השחור המקווקו מציינן את מכפלת משוואות הרגרסיה של נוטריינטים נמוכים בפקטור של 0.5.

Figure B3: Comparison of diurnal average calcification rates (G) and aragonite degree of saturation (Ω_{arag}) in the NRR measured during the RSMPP project (2000-2002) and the (2003-2004). The data is divided into two subsets according to the open-sea water TON (200 TON concentration above and below 0.2 μM). Black diamonds (RSMPP) and triangles (NMP) designate data points with open-sea TON < 0.2 μM . Grey squares (RSMPP) and circle (NMP) designate data points with open-sea TON > 0.2 μM . Dashed and continuous grey lines represent the high and low TON regression lines calculated for RSMPP data multiplied by a factor of 0.75 respectively. The black dashed line indicates the low TON regression line multiplied by a factor of 0.5.

סיכום פרק התפקוד המטבולי

בשנת הניטור השנייה נמדדו ערכי קלסיפיקציה נמוכים מעט יותר מאלו שנמדדו במהלך פרויקט ה-RSMPP. בהשוואה לערכי דרגת הרוויה של ארגוניט בשונית, ערכי הקלסיפיקציה המדודים נמוכים ב-25-50% מהצפוי באתר, הן במצב בו ריכוזי הנוטריינטים גבוהים מ-0.2 μM והן עבור ריכוזים נמוכים מערך זה. ייתכן ותצפית זו מעידה על קיומה של עקה מתמשכת או לחילופין ירידה בכיסוי האלמוגים מ-30% ל-15-25% בשנתיים וחצי שחלפו מאז פרויקט ה-RSMPP. @@@

6.ב. מדידות מינימום מקסימום

שיטות:

דגימות מים נלקחו באמצעות בקבוק ניסקין מהתחנה הקבועה אשר מוצבת בחלקה הדרומי של שמורת חוף אלמוג באמצע הלגונה. דיגום זה מתבצע פעמיים בשבוע בד"כ בימי ראשון ורביעי בשעה 06:00-07:00 בבוקר ובשעה 14:00-15:00 אחה"צ. ניסיון העבר מלמד שהערכים של מרבית המרכיבים הכימיים המושפעים מתהליכים ביולוגיים בשונות מראים ערכי קיצון בזמנים אלו. לדוגמא ערך החמצן המומס המדוד הוא הנמוך ביותר במהלך מחזור יממי בסוף הלילה והגבוה ביותר בשעות אחה"צ, כנ"ל לגבי pH. האלקליניות בשונות גבוהה בסוף הלילה ובד"כ דומה לערך הים הפתוח, ונמוכה מערך זה בשעות אחה"צ. בנוסף למרכיבים אלו נמדדים גם ריכוזי ניטריט, ניטראט, וכלורופיל. כמו כן מדידות חמצן, pH, ומליחות משמשים לכיול נתוני ה-CTD בשמורה.

בדו"ח 2003 נעשה שימוש במדידות החמצן והאלקליניות בלבד להערכת התפקוד המטבולי של השונות, קרי יצרנות וקלסיפיקציה נטו. לעומת זאת בדו"ח הנוכחי נעשה גם שימוש במדידות ה-pH. באמצעות פרמטרים אלה ניתן לחשב את הערך של הפרמטר הסביבתי (REP – Reduced Environmental Parameter) ואת המדד לאחוז כיסוי של יצורים משקיעי שלד CaCO_3 בשונות האלמוגים (CCI – Calcifier Cover Index). REP הוא בעצם הערכה גסה ליחס בין קצב ההשקעה של CaCO_3 לבין המצב הטרופי של השונות. ערכי ה-pH והאלקליניות ביחד עם מליחות וטמפרטורה מאפשרים לחשב את ריכוז יון הקרבונט, אשר אקוויוולנטי לדרגת הרוויה של ארגוניט במי השונות. קצב ההשקעה מבוטא ע"י ההבדל הממוצע בין ערך מינימאלי (אחה"צ – AT-afternoon) וערך מקסימלי (בוקר – AT-morning) של אלקליניות בשונות לבין ערכו בים הפתוח (ממדידות הדיגום החופי וההפלגות AT-open-sea). המצב הטרופי של השונות מבוטא ע"י היחס בין הפרשים של חמצן מקסימום (אחה"צ – DOafternoon) ומינימום (בוקר – DOmorning) מערכו בים הפתוח (ממדידות הדיגום החופי וההפלגות – DOopen-sea). להלן הנוסחאות לחישוב REP ו-CCI:

$$REP = \frac{\left((A_{T\text{-afternoon}} - A_{T\text{-open-sea}}) + (A_{T\text{-morning}} - A_{T\text{-open-sea}}) \right) / 2}{\left(\frac{DO_{\text{afternoon}} - DO_{\text{open-sea}}}{DO_{\text{open-sea}} - DO_{\text{morning}}} \right)}$$

$$CCI = \frac{\left((A_{T\text{-afternoon}} - A_{T\text{-open-sea}}) + (A_{T\text{-morning}} - A_{T\text{-open-sea}}) \right) / 2}{\left(\Omega_{\text{arag-morning}} + \Omega_{\text{arag-afternoon}} \right) / 2}$$

כפי שראינו בפרק הקודם ישנו קשר בין קצב ההשקעה של CaCO_3 בשונות לבין ערכי דרגת הרוויה של המים בה ביחס למינרל ארגוניט (המינרל אותו משקיעים אלמוגים) ולכן ה-CCI שהוא היחס בין קצב ההשקעה המוערך לבין דרגת הרוויה הממוצעת של ארגוניט בשונות יהווה אף הוא אינדיקציה למצב הכיסוי של אורגניזמים משקיעי שלד בשונות. את קצב ההשקעה הממוצע היומי של CaCO_3 בשונות ניתן להעריך גם באמצעות חישוב על פי המשוואה הרשומה מטה. במשוואה ממוצע הפרשים של סטיות ערכי האלקליניות בשונות לעומת הים הפתוח בבוקר ואחה"צ מוכפל בפקטור של 0.79 הממיר אותו לממוצע של 24 שעות, ובעומק הממוצע של השונות (1.7 מ'), ומחלקים בזמן שהות הממוצע של המים בלגונת השונות (4.5 שעות). על מנת להקטין את שגיאת החישוב מחשבים קצב מצטבר (אינטגרל הקצבים המחושבים) לתקופה של 4 חודשים (20 עד 30 מדידות). תוצר החישוב הינו קצב גידול תקופתי או (Periodic Growth) PGE. (Estimate).

$$G_t = \frac{1.7}{4.5} \cdot 24 \cdot 0.5 \cdot 0.79 \cdot \left(\frac{(A_{T-PM} - A_{T-OS}) + (A_{T-AM} - A_{T-AM})}{2} \right)$$

$$\bar{G}_t = (G_{t-1} + G_t) \cdot \frac{\Delta t}{2}$$

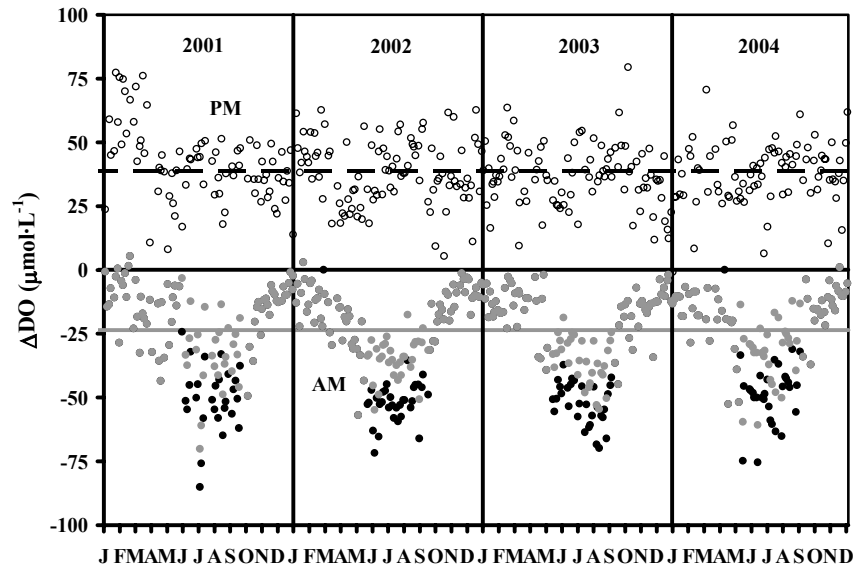
$$PGE_{t=4 \text{ months}} = \sum_{t=0}^{t=4 \text{ months}} \bar{G}_t$$

ערכי דרגת הרוויה משתנים בעיקר כפונקציה של טמפרטורה וייתכן שגם כפונקציה של עומק הערבוב בתקופת החורף ובשונית כתוצאה מהבדלים בין פוטוסינתזה לנשימה של חברת השונית. בחורפים בהם עומק הערבוב גדול ישנה עלייה משמעותית של פחמן מומס במי השטח כתוצאה מעלייה של מים עשירים בפחמן מומס מהעומק, הגורמת לירידה בדרגת הרוויה של ארגוניט. מצב זה נשמר גם בתקופת השיכוב כתוצאה משחלוף גזים עם האטמוספירה שהוא יחסית איטי. בחורף העלייה בפרודוקטיביות הנמדדת במים הפתוחים כתוצאה מהעשרה בנוטריינטים שמקורם במים העמוקים, ביחד עם גידול אוכלוסיית האצות צמודי המצע בשונית מעלים את דרגת הרוויה בניגוד להשפעת הירידה בטמפרטורה.

תוצאות ומסקנות:

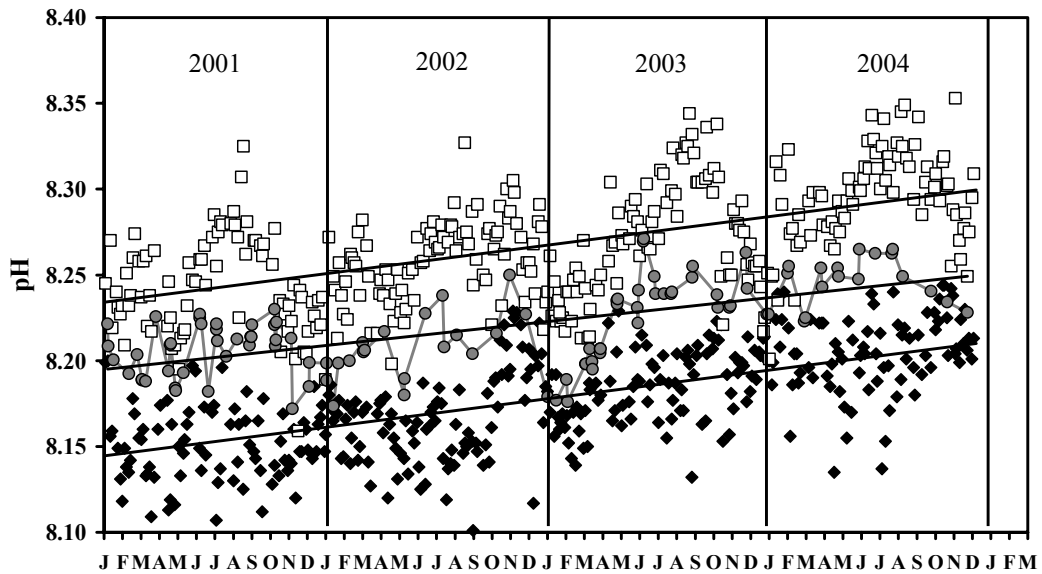
מאיוור ב33 נראה כי ההבדלים בין הערכים של ריכוזי החמצן בשונית בבוקר לבין ערכי הים הפתוח משתנים במהלך השנה באופן מחזורי קבוע. ההבדלים הנמוכים ביותר מתקבלים בתקופת החורף בין נובמבר לאפריל ($-10 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$) ובקיץ (מאי עד אוקטובר) ההבדל המכסימלי מגיע ל- $40 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. אחה"צ, למרות שריכוזי החמצן בשונית משתנים לא ניתן להבחין בהתנהגות אופיינית (עונתית) והריכוז הממוצע הנו $40 \pm 13 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$. במהלך הקיץ ממוצע היחסים בין הבדלי אחה"צ להבדלי הבוקר הנו 1.3 ובחורף ממוצע זה עומד על 3.5. ההבדל בין יחס החורף לעומת הקיץ מעיד על עודף משמעותי של יצרנות ראשונית על פני נשימה במהלך החורף לעומת הקיץ. ממוצע היחסים הרב שנתי לכל תקופת המדידות (2001-2004) בין הבדלי ריכוזי החמצן בשונית ובים הפתוח בבקר ואחה"צ הנו 1.6.

ה-pH (איור ב34) מתנהג בהתאמה לחמצן בשונית כלומר עולה ויורד כתלות בנשימה ופוטוסינתזה. גם הקלסיפיקציה משנה את ה-pH, כאשר השקעה נטו מורידה אותו והמסה נטו מעלה אותו. מהמדידות ארוכות הטווח ניתן להבחין במחזוריות חצי שנתית בערכי ה-pH של אחה"צ הנובעת כנראה משינויים ב-CT הקשורים בשחלוף גזים עם האטמוספירה, ערבוב אנכי של עמודת המים הפתוחים בחורף שמעלה גם את הפרודוקטיביות כתוצאה מהספקה מוגברת של נוטריינטים שמוחזרו במהלך הקיץ במאגר העמוק. נראית מגמת עלייה כללית ב-pH של הבוקר, אחה"צ והים הפתוח הנובעת בעיקר מעליית ה-pH במים הפתוחים כתוצאה מעומק ערבוב יחסית קטן בשני החורפים האחרונים ולא דווקא מעידים על תהליכים בשונית. עם זאת נראה עלייה במשרעת העונתית של מדידות אחה"צ בשנים 2003 ו-2004 לעומת 2001 ו-2002. כמוכן המחזוריות העונתית של מדידות הבוקר שנראית ב-2001 ו-2002 פחות בולטת בשנים 2003 ו-2004. כיוון שתופעה דומה לא נצפתה בחמצן ניתן לייחס שינויים אלו לירידה בקצב ההשקעה של CaCO_3 כאשר, השקעה מורידה pH ולכן אם ההשקעה יורדת ה-pH יעלה יותר ביום עבור אותו פוטוסינתזה (עליה ב-pH כתוצאה מפוטוסינתזה) וירד פחות בלילה עבור אותו נשימה מנשימה (ירידה ב-pH כתוצאה מנשימה).



איור 33: הפרשי המדידות של מינימום (עיגולים שחורים) מקסימום (עיגולים אפורים) בתחנה הקבועה בשמורת חוף אלמוג מינואר 2001 עד דצמבר 2004 של חמצן מומס מערכיהם בים הפתוח באותם זמנים. בקיץ מתקבלים ערכי המינימום בשעה יותר מוקדמת משעת הדיגום וההבדל היחסי הממוצע בין מדידה בשעה מאוחרת לבין הערך האמיתי הוא 10%. העיגולים השחורים מייצגים את ערכי הפרשים המוערכים ביו מינימום מתוקן (-10%) לריכוזי החמצן בים הפתוח באותם זמנים. הקו האפור מציין את הסטייה הממוצעת הרב שנתית של ערכי המינימום מים פתוח ($-23.5 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) והקו השחור המקווקו מציין את הסטייה הרב השנתית הממוצעת של המקסימום מים פתוח ($38.6 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$).

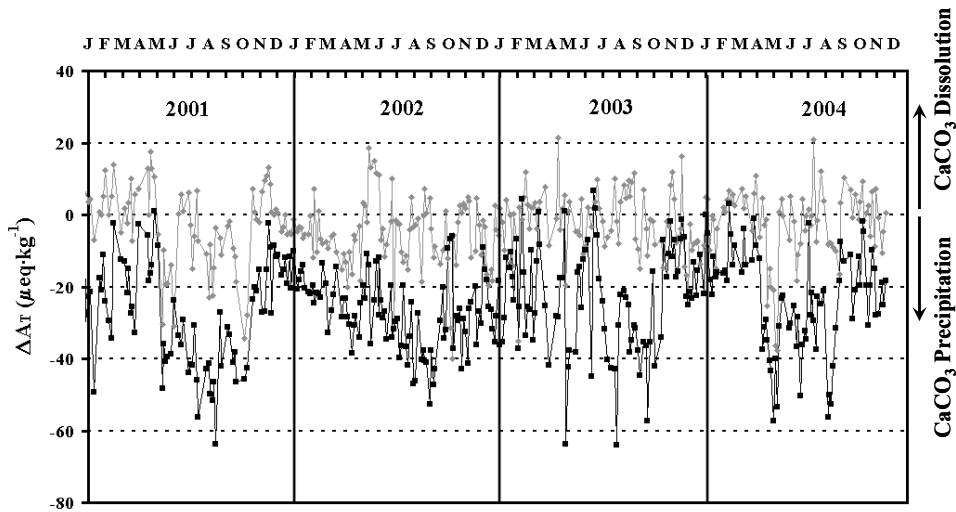
Figure B33: Long-term record of the differences between dissolved oxygen concentrations (ΔDO) measured in the NRR lagoon and open sea twice a week at 06:30 (grey circles) and 14:30 (empty circles) from January 2001 to December 2004. The black dashed line represents the overall average afternoon ΔDO ($38.6 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) and the grey line the overall average early morning ΔDO ($-23.5 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$). Black circles represent the estimated summer early morning ΔDO , assuming a correction factor of 0.9 for the measured DO in the lagoon.



איור ב34: מדידות מינימום (מעוינים שחורים) מקסימום (ריבועים ריקים) בתחנה הקבועה בשמורת חוף אלמוג מינואר 2001 עד דצמבר 2004 של pH שנמדד בטמפרטורה של 25 °C לעומת הים הפתוח (עיגולים אפורים) ממדידות הדיגום החופי וההפלגות.

Figure B34: Minimum (black diamonds) and maximum (empty squares) measurements of pH (at 25°C) at the permanent monitoring station in the Japanese Gardens lagoon relative to the open-sea (grey circles) from the coastal station and monitoring cruise measurements for the period January 2001 to December 2004.

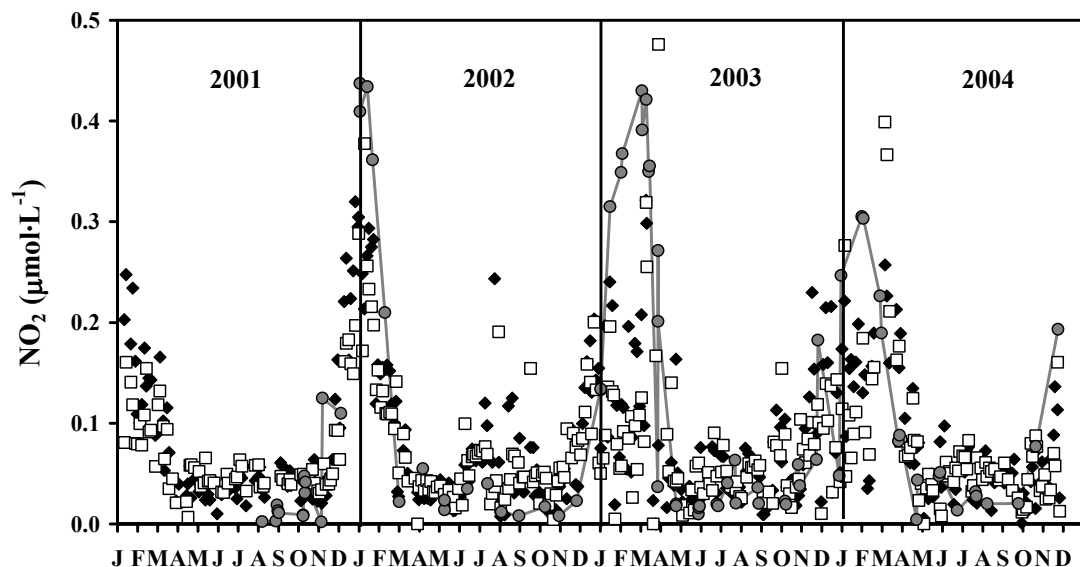
מחזוריות שנתית נצפתה באלקליניות (איור ב35) עבור ערכי אצה"צ, שכן ערכי הבוקר בד"כ דומים לערכי ים פתוח. ההסבר לכך הוא שבמשך הלילה קצב ההשקעה של CaCO_3 בשונית מאוד נמוך. גם בתקופת הדיגום של פרויקט הניטור ערכי המינימום גבוהים, הווה אומר שקצב ההשקעה של CaCO_3 בשונית נמוך, זאת משתי סיבות עיקריות: תוספת נוטריינטים למערכת בתקופת הערבוב (השנה לא עברה את ערך הסף של $0.2 \mu\text{M}$) וירידה בדרגת הרוויה של ארגוניט (Ω_{arag}) הקשורה בירידת הטמפרטורה של פני הים במחזור השנתי.



איור ב35: הפרשים בין מדידות אלקליניות מינימום (מעוינים אפורים) ומקסימום (ריבועים שחורים) לבין ערכי הים הפתוח בתחנה הקבועה בשמורת חוף אלמוג מינואר 2001 עד דצמבר 2004.

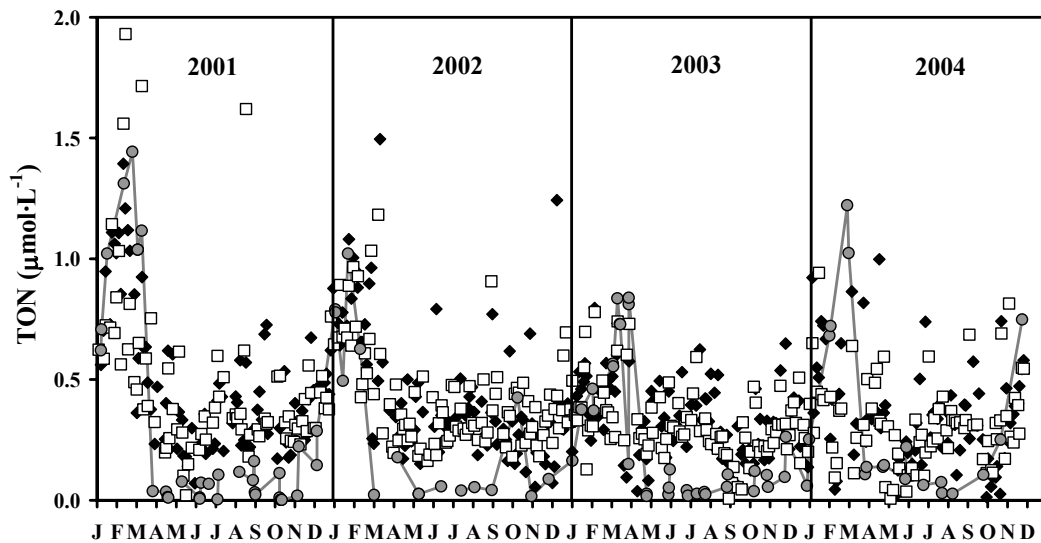
Figure B35: The differences between open sea total alkalinity and Minimum (grey diamonds) and maximum (black squares) measurements at the permanent monitoring station in the Japanese Gardens lagoon for the period January 2001 to December 2004.

ריכוזי הניטריט (איור ב36) בשונית בתקופת הדיגום הנוכחית גבוהים במעט מערכי הים הפתוח עבור ערכי המינימום והמקסימום וזאת בניגוד לחורפים קודמים. עם זאת הערכים המקסימאליים נופלים מאלה שנמדדו בחורף 2001/02 בפקטור של 2-3 כנראה כתוצאה מהערבוב החלש בעמודת המים הפתוחים השנה. מגמה דומה מתקבלת מאותה סיבה עבור ניטריט + ניטראט (איור ב37) וכלורופיל (איור ב38).



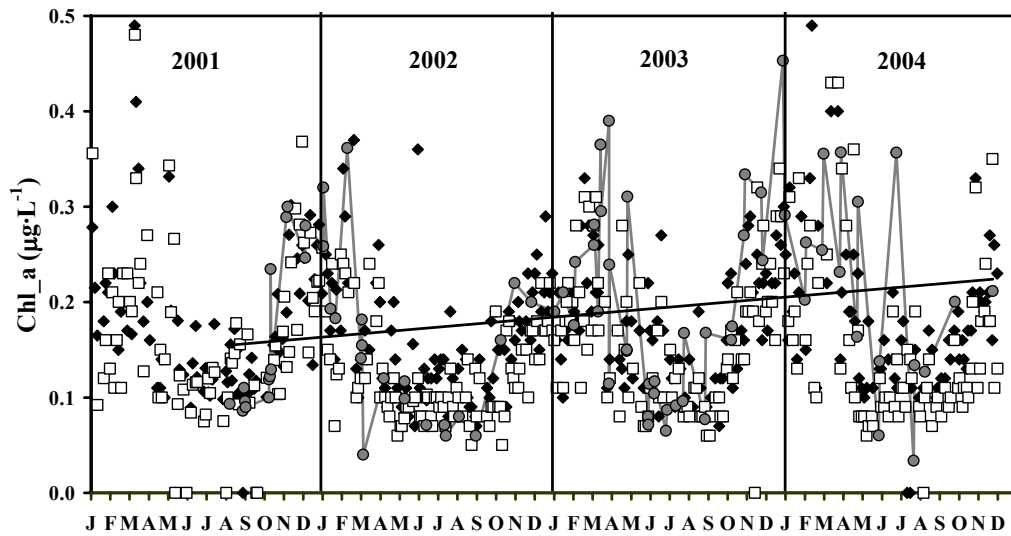
איור ב36: מדידות מינימום (מעוינים שחורים) מקסימום (ריבועים ריקים) של ניטריט בתחנה הקבועה בשמורת חוף אלמוג לעומת הים הפתוח (עיגולים אפורים) ממדידות הדיגום החופי וההפלגות מינואר 2001 עד דצמבר

Figure B36: Minimum (black diamonds) and maximum (empty squares) measurements of nitrite at the permanent monitoring station in the Japanese Gardens lagoon relative to the open-sea value (grey circles) from the coastal station and monitoring cruise measurements for the period January 2001 to December 2004.



איור 37: מדידות מינימום (מעוינים שחורים) מקסימום (ריבועים לבנים) של ניטריט+ניטריט (TON) בתחנה הקבועה בשמורת חוף אלמוג לעומת הים הפתוח (עיגולים אפורים) ממדידות הדיגום החופי וההפלגות מינואר 2001 עד דצמבר 2004. שימו לב כי בתקופת השיכוב ריכוז ה-TON בים הפתוח נמוך מאוד יחסית לריכוזים שנמדדו בשוניית מה שמעיד על מחזור של חומר אורגאני פרטיקולרי מהים הפתוח לצורך קיום היצרנות הראשונית בשוניית.

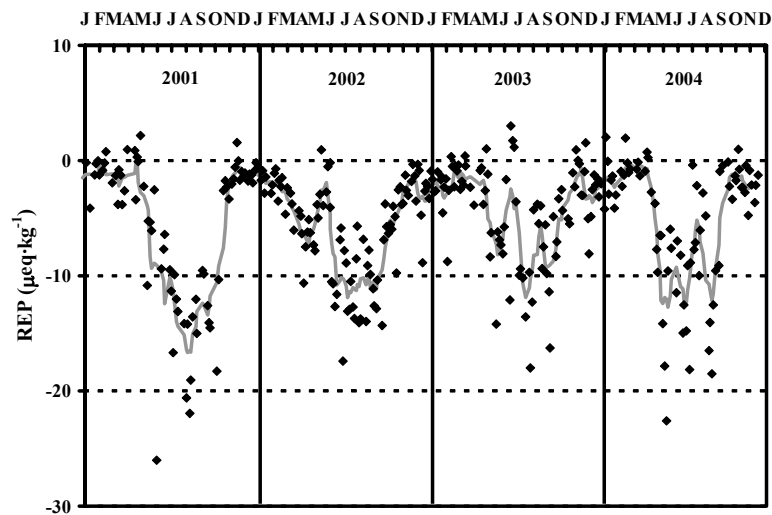
Figure B37: Minimum (black diamonds) and maximum (empty squares) measurements of total oxidized nitrogen at the permanent monitoring station in the Japanese Gardens lagoon relative to the open-sea value (grey circles) from the coastal station and monitoring cruise measurements for the period January 2001 to December 2004. Note that during the stratified period the open sea TON is much lower than the reef concentrations. This indicates the recycling of particulate organic matter from the open sea by reef heterotrophs, which supports primary production in the reef during this period.



איור

ב38: מדידות מינימום (מעוינים שחורים) מקסימום (ריבועים ריקים) של כלורופיל a בתחנה הקבועה בשמורת חוף אלמוג לעומת הים הפתוח (עיגולים אפורים) ממדידות הדיגום החופי וההפלגות מינואר 2001 עד דצמבר 2004. הקו השחור מייצג את קו המגמה של מדידות הים הפתוח.

Figure B38: Minimum (yellow diamonds) and maximum (red squares) measurements chlorophyll a concentration at the permanent monitoring station in the Japanese Gardens lagoon relative to the open-sea value (pink circles) from the coastal station and monitoring cruise measurements for the period January 2001 to December 2004.

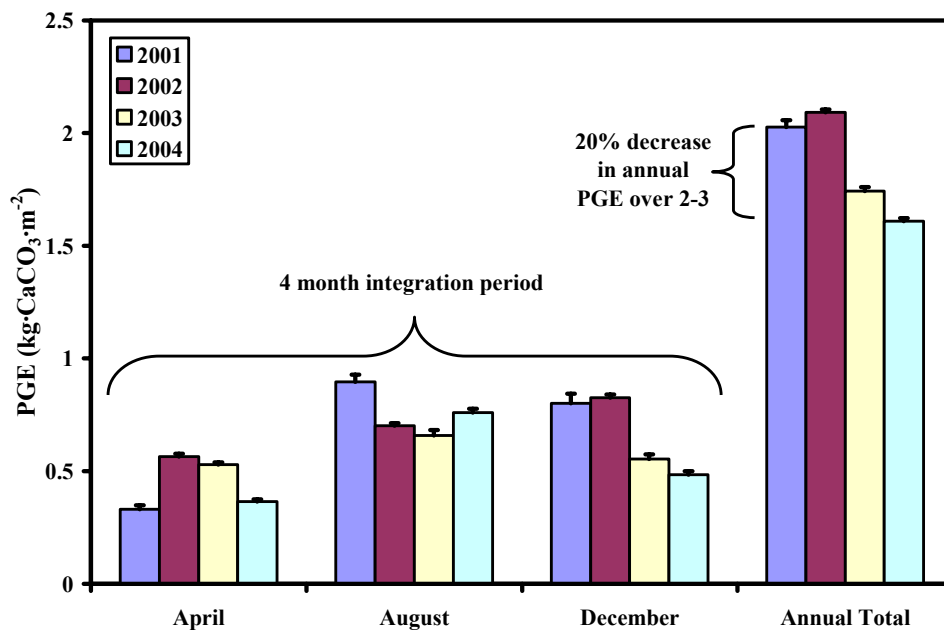


איור ב39: ערכי REP בתחנה הקבועה בשמורת חוף אלמוג מינואר 2001 עד תחילת דצמבר 2004 שחושב ממדידות האלקליניות והחמצן בשונות ובים הפתוח. הקו האפור מייצג את הממוצע הנע של 7 נקודות בסדרת הנתונים הגולמית.

Figure B39: REP (Reduced Environmental Parameter) values calculated from diurnal minimum-maximum measurements of total alkalinity and dissolved oxygen at the permanent monitoring station in the Japanese Gardens lagoon and their corresponding values in the open-sea for the period January 2001 to December 2004. The grey line indicates the 7 point moving average of the displayed data points.

הגרף המסכם את כל המדידות הנ"ל מוצג באיור ב-39 המתאר את השתנות הפרמטר הסביבתי (REP) עם הזמן. כמצופה מניסיון העבר חורף זה אינו שונה בהרבה מהחורפים של 2001/02 ומתקבלים ערכים מאוד קרובים ל-0 של REP כתוצאה מירידה בקצב ההשקעה של CaCO_3 ומעבר השנתי למצב של עודף יצרנות ראשונית, אם בגלל קצב הנשימה או בגלל עלייה בקצב היצרנות הקשורה בהעמסת נוטריינטים מהים הפתוח.

איור ב-40 מתאר את סך כמות ה- CaCO_3 שהצטברה בשנתי במשך תקופות בנות 4 חודשים מדצמבר 2000 עד דצמבר 2004. ניתן לראות כי הכמות השנתית המצטברת אינה עולה על $2 \text{ kg CaCO}_3 \text{ m}^{-2}$ לשנה. ערך זה נמוך ב-50% מהערך הממוצע לשנתיים הים האדום והאינדו-פציפי. כמו כן האיור מראה שהכמות המצטברת ב-2004 נמוכה בכ-20% יחסית ל-2001 ו-2002. אם נתעלם מהערך שחושב לתקופה דצמבר 2000 לאפריל 2001 (משום שחושב עם 20-30% פחות מדידות משאר הערכים) ניתן לראות כי קיימת מגמת ירידה מובהקת בהערכות ההשקעה התקופתיות. ירידה זו בלבד מצביעה על ירידה בפעילות של משקיעי שלד גירני בשנתי ומאידך גיסא יכולה להעיד גם על עלייה בקצב ההמסה של מבנה השנתי (עשוי גיר) והסדימנטים הקרבונטיים בתוכה (לאגונה, קרחות בקדמת השנתי). העלייה בהמסה נובעת בד"כ מעומס מוגבר של חומר אורגני בשנתי המעודד את התפתחות אוכלוסיות האורגניזמים הקודחים בשנתי, אצות אנדוליטיות וכו'. מצב זה אופייני למקומות בהם יש העשרה משמעותית בנוטריינטים.

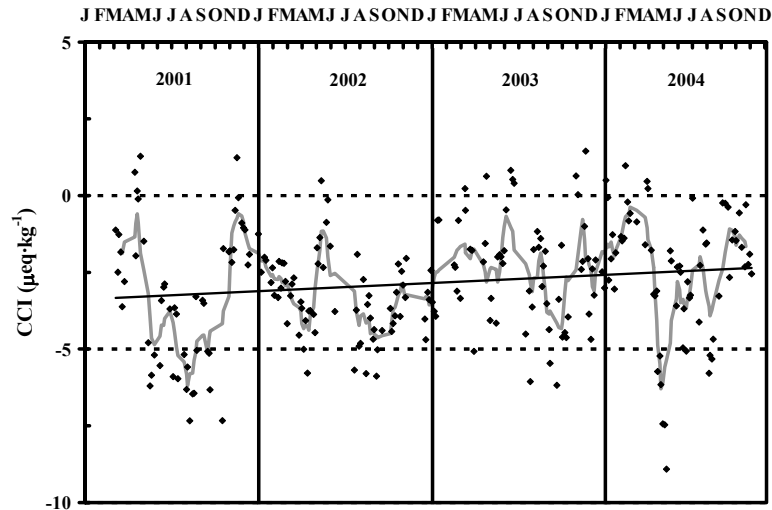


איור ב-40: ההצטברות התקופתית של CaCO_3 בשנתי בחוף אלמוג מדצמבר 2000 עד דצמבר 2004 בתקופות של 4 חודשים (דצמבר עד אפריל (April), אפריל עד אוגוסט (August) ואוגוסט עד דצמבר (December)) ושנתית מחושבים על פי הנוסחה של PGE. שימו לב לירידה של 20% שחלה בהצטברות השנתית של CaCO_3 בשנתי ב-2004 לעומת 2001.

Figure B40: The annual accumulation of CaCO_3 in the nature reserve reef and over 4 month periods (December to April (April), April to August (August), August to December (December)) for the period January 2001 to December 2004. Values were calculated from numerical integration of PGE (see above equation). Note the 20% decrease in annual PGE in 2004 relative to 2001.

באיור ב-41 מוצגים ערכי ה-CCI שהם היחס בין סטית הממוצע היומי של אלקליניות בשנתי מערכו בים הפתוח לבין הממוצע היומי של דרגת הרוויה של ארגוניט (מחושב מ-pH ממוצע, טמפרטורה ממוצעת ואלקליניות ממוצעת בשנתי). יחס זה מהווה מדד ישיר למידת הפעילות של אורגניזמים משקיעי שלד בשנתי

כיוון שהוא גם כולל את התנאים של מערכת הקרבונט, אשר קובעת למעשה את קצב ההשקעה כפי שהתקבל במדידות מעבדה על אלמוגים בודדים (Langdon et al. 2003) ובמדידות השדה של סילברמן ושות' (2004). מאיור זה ניתן להבחין בברור במגמת עלייה ב-CCI כאשר השינוי הממוצע בערך זה בין 2001 ל-2004 הוא מ-3.4 ל-2.2. שינוי זה מעיד על ירידה בכיסוי חי של ~30% בשונית לפחות עד עומק של 5 מ' במהלך תקופת המדידות.



איור ב41: ערכי CCI (היחס בין הסטייה של האלקליניות הממוצעת בשונית מערכה בים הפתוח לבין דרגת הרוויה של ארגוניט ממוצעת יומית בשונית) בחוף אלמוג ממרץ 2001 עד דצמבר 2004 (יהלומים שחורים). הקו האפור מציין את הממוצע הנע של 7 ערכים סמוכים בסדרת הערכים המקורית. הקו השחור מציין את הרגרסיה הליניארית של סדרת הערכים המחושבים. השינויים העונתיים במהלך השנה נובעים כנראה מהשפעת הנוטריונטים על הקשר בין דרגת הרוויה של ארגוניט וקצב ההשקעה של CaCO_3 בשונית (איור ב32)

Figure B41: Values of the Calcifier Cover Index (CCI, black diamonds), which is the ratio between the average difference of reef total alkalinity and its corresponding open sea value and the daily average aragonite degree of saturation, at the nature reserve reef between March 2001 and December 2004. The grey line indicates the 7 point moving average of the original calculated series. The black line is the linear regression line of the calculated values of CCI. The increasing trend indicates the decrease in live coral cover over the past 4 years by approximately 30% in December 2004 relative to March 2001. The annual variation in CCI indicates the effect of nutrients on the dependence of calcification on the aragonite degree of saturation (Figure B32).

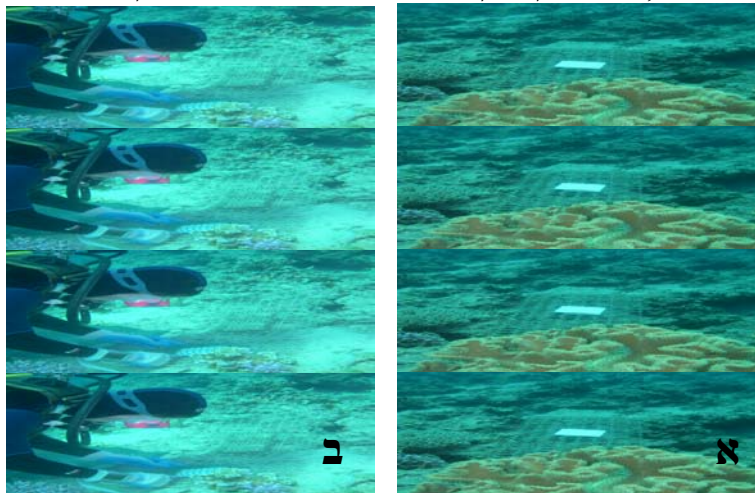
ב.7. קצב גידול מאקרו-אצות בשונית

מטרה:

לאמוד את קצבי ההתיישבות והגידול של אצות בנתוניות.

שיטות:

ניטור זה נעשה בשונית שמול המכון הבינאוניברסיטאי בעומק 7-10 מ'. המדידה כוללת הצבה חודשית (ראה להלן) של ששה מערכי ניסוי כאשר כל מערך בנוי משש לוחיות PVC בגודל של 10 X 10 ס"מ הסמוכות זו לזו (איור ב42). על לוחיות ה-PVC מתיישבות אצות בנתוניות בתדירות דומה להתיישבות הטבעית על שטחים פנויים בשונית. באופן זה אומדן ביומסת האצות על פני הלוחית משמש כאומדן להתיישבות וגידול אצות בנתוניות בשונית כולה. בשלושה מששת המערכים, הלוחיות מוגנות בתוך כלוב מתכת בעל גודל עין של 1 X 1 ס"מ על מנת למנוע רעייה על ידי דגים, קיפודי ים וחלזונות גדולים אשר אינם יכולים לעבור מבעד לרשת הכלוב (1 ס"מ). בשלושת המערכים הנותרים הלוחיות אינן מוגנות על-ידי כלוב וחשופות לרעייה. מכיוון שביומסת האצות על גבי הלוחיות מראה שונות גבוהה (בזמן ובמרחב), כל מדידה (פעם בחודש) כללה מיצוי פיגמנטים מ-6 לוחיות, שלוש מהן מתוך כלובים ושלוש האחרות מהמערך הפתוח לרעייה.



איור ב42: א) לוחית התיישבות במערך ללא הגנת כלוב. לוחיות אלה חשופות לרעייה ובהשוואה ללוחיות המוגנות בתוך כלוב (ב) ניתן לאמוד את קצבי הרעייה בשונית. צילום: רותי ריף

Figure B42: A) A settlement plate without a cage. These settlement plates are exposed to natural herbivory rates as opposed to the settlement plates protected by cages (B). Herbivory rates can be calculated by comparing the two plates. Photos: Ruti Reef.

אחוז הכיסוי בלוחיות המוגנות על-ידי הכלובים הינו מדד לקצב הגידול הפוטנציאלי של ביומסת האצות. מכיוון שביומסת האצות הבנתוניות בשונית נשלטת בעיקר על ידי רמת הנוטריינטים (הקובעת את קצב הגידול) ושיעור הרעייה (הקובע את קצב צריכת האצות), פוטנציאל הגידול בלוחיות המוגנות מרעייה יכול

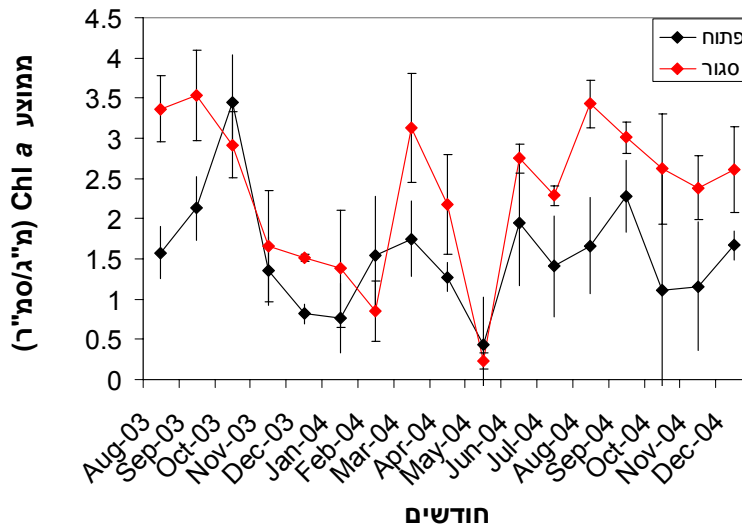
לשמש כאינדיקטור עקיף לזמינות הנוטריינטים בשונית, בעוד שהביומאסה בלוחיות החשופות מייצגת את השפעתם המשולבת של שני התהליכים (גידול ורעייה).

בסוף חודש ינואר 03 הוכנסו המערכים למים בשונית מול המכון הבינאוניברסיטאי על-ידי צוללי SCUBA ומוקמו באופן אקראי בעומק 7–10 מ'. ששת הלוחיות הראשונות (אחת מכל מערך) הוצאו בסוף פברואר (26.2.03) ובכל חודש הוצאה לוחית אחת עד סוף חודש יוני. בעקבות המלצות הוועדה המייעצת שונה פרוטוקול הניסוי כמפורט להלן. הפרוטוקול החדש הופעל בסוף חודש יוני 2003. פרוטוקול זה מבוסס על הכנסת כל לוחית לים למשך חודשיים וביצוע המעקב באופן רצוף כל חודשי השנה (לעומת חורף-אביב לפני כן).

האצות מגורדות מהלוחית ומסוננות על פילטר סיבי זכוכית GF/A. הפילטרים מושרים בתמיסת אצטון:מתנול (50:50) (v/v) למיצוי הפיגמנטים הפוטוסינתטיים. ביומסת האצות נאמדת על-ידי ביומסת הפיגמנטים הפוטוסינתטיים. הבליעה באורכי הגל השונים במכשיר Spectrophotometer מכמתת את הכמות שיש מכל פיגמנט וחישוב כמות כלורופיל a , הפיגמנט העיקרי באצות אלה, נעשה עפ"י המשוואה:

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

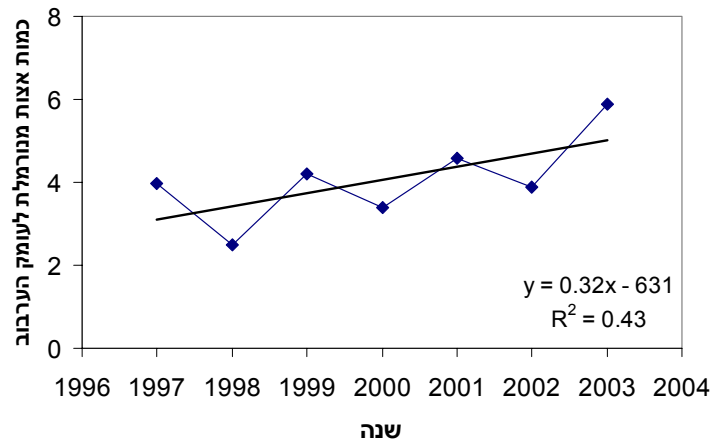
כאשר E מסמל את הבליעה באורך הגל המצוין.



איור ב43: ממוצע כמות Chlorophyll a ע"ג הלוחית בכל אחד מחודשי הדיגום החל מאוגוסט 2003 בתוך הכלוב (אדום) ומחוץ (שחור).

Figure B43: Average chlorophyll a on settlement plates protected by cages (red) and open to grazers (black).

השוואת שנת 2004 לשנת 2003 מראה דמיון בכמות האצות בקיץ ועל עלייה בכמות האצות בסתיו ותחילת החורף בשנת 2004 (איור ב43). עם זאת, לא ניתן עדיין (שנתיים מתחילת סדרת הזמן) להשתמש במדד זה לשם אבחנת מבוססת של מגמה רב שנתית.



איור ב44: כמות הכלורופיל על הלוחיות הסגורות בכלוב מנורמלת לעומק הערבוב. נראית מגמת עלייה מאז 1997.

Figure B44: The amount of chlorophyll *a* on the cage-protected settlement plates normalized by dividing the biomass by the mixing depth of that year and subsequently multiplying by a factor of 1000. There has been a steady increase in algal biomass at the reef since 1997.

ככל שעומק הערבוב עמוק יותר כך עולים יותר נוטריינטים לפני השטח ופריחת האצות הבנתוניות גדולה יותר. אולם, כאשר מנרמלים את כמות האצות הבנתוניות לעומק הערבוב (על ידי חלוקת ביומסת האצות בעומק הערבוב והכפלה ב-1000) מתקבלת מגמת עלייה (איור ב44) מאז שנת 1997. דבר זה מעיד על עלייה בכמות האצות הבנתוניות בשונית שאינה תלויה בעומק הערבוב.

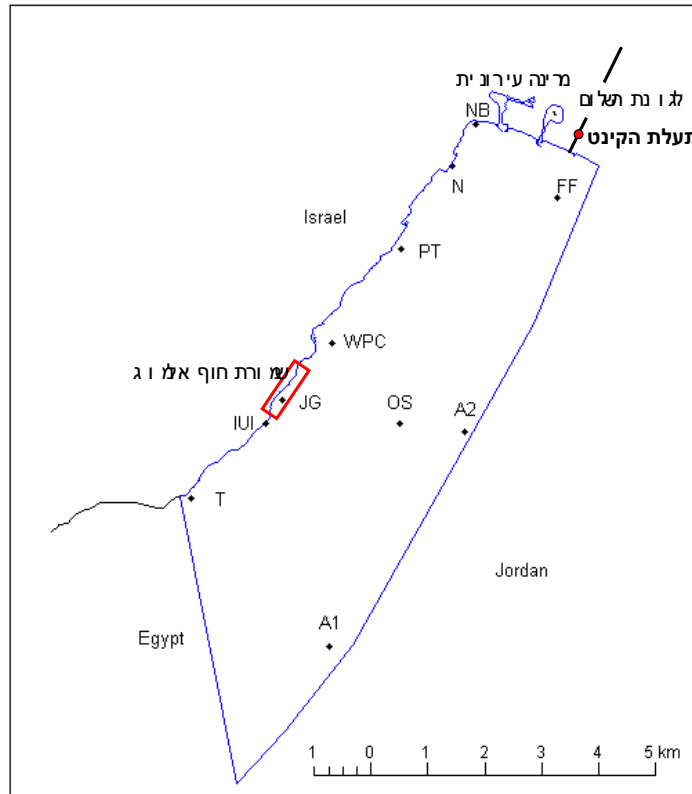
ג. תוצאות ניטור הסביבה החופית

ג.1. דיגום חופי

במהלך פרויקט הניטור בוצעו אחת לחודש מדידות של פרמטרים כימיים וביולוגיים במי השטח במספר תחנות לאורך החוף הישראלי של המפרץ כפי שמפורט באיור ג1, בטבלה (ג1) ובטבלת הפעילות. המדידות כללו: חמצן, pH, אלקליניות, מליחות, כלורופיל, ריכוז תרכובות חנקן מחומצנות בפאזה המומסת (TON), סיליקה, פוספט, אמוניה ועומק סקי (secchi – מדד לעכירות המים). כמוכן מדדנו את טמפרטורת מי שטח בכל תחנה החל מהדיגום בינואר 2003. דגימות המים נאספו באמצעות בבקבוקי ניסקין 5 ליטר של GOFLO מהמטר העליון של פני המים, הדיגום נעשה מסירה בין השעות 08:00 ל-12:00. הטמפרטורה נמדדה באמצעות תרמומטר מתהפך כמטר מתחת לפני המים.

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

שם תחנה	תיאור מיקום	קו רוחב GPS (N)	קו אורך GPS (E)
FF	כלובי הדגים	29° 32'.25	34° 55'.75
NB	חוף צפוני מול מלון דן	29° 32'.94	34° 58'.23
N	מול קצה דרומי של בסיס חיל הים וכ-50 מ' מזרחית לשפך מי הקירור של מלון מרידיאן	29° 32'.55	34° 57'.36
PT	מסוף טעינת פוספטים	29° 31'.76	34° 57'.09
WPC	תחנת היחידה למניעת זיהום ים	29° 30'.87	34° 56'.54
JG	גנים יפניים שמורת חוף אלמוג – עומק קרקעית ~20 מ'	29° 30'.33	34° 55'.78
T	מול מעבר הגבול בטאבה	29° 29'.41	34° 54'.24
OS	ים פתוח מול ה - IUI	29° 30'.11	34° 56'.52

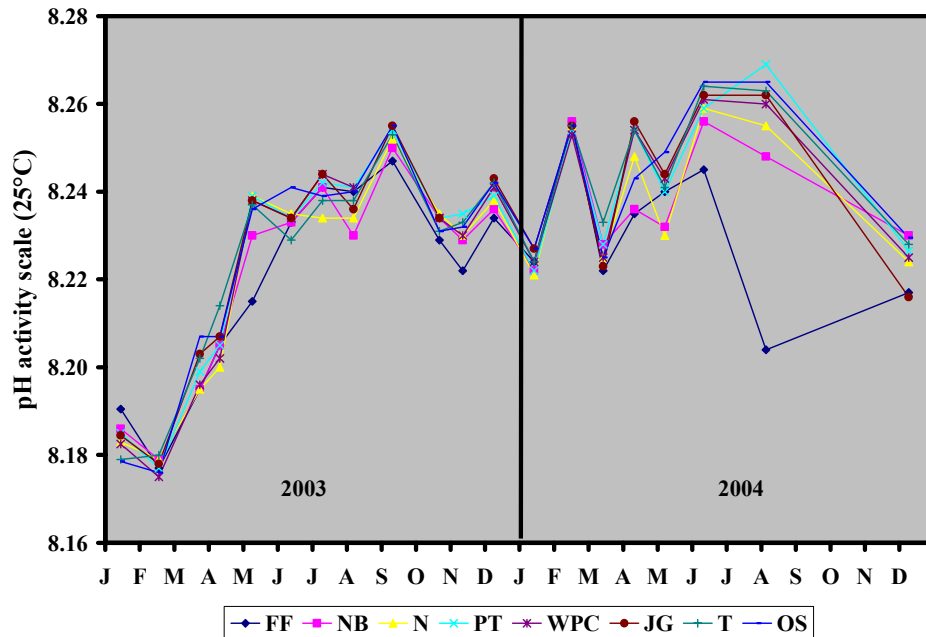


איור 1ג: מפת תחנות הדיגום במפרץ אילת. נקודה אדומה מייצגת את מיקום מד הזרם במדידות תעלת הקינט.
Figure C1: Map of the open-water monitoring station in the territorial waters of Israel in the Gulf of Eilat.

תוצאות ומסקנות:

1.1.ג רמת חומציות המים - pH

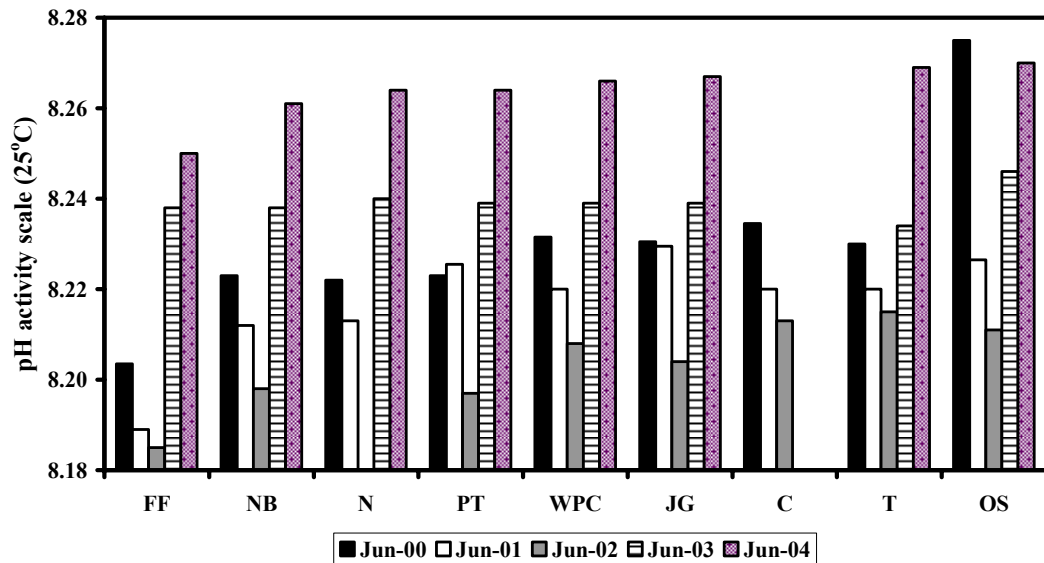
מדידת ה-pH בדיגום החופי (איור 2ג) מהווה מדד לפעילות הביולוגית, היינו תהליכי פוטוסינתזה ונשימה בגוף המים ובקרקעית ומושפעת בעיקר משחלוף CO_2 בין הים לאטמוספירה. היות והאנליזות התבצעו בטמפרטורה קבועה ($25^{\circ}C$) ותהליכי הקלסיפיקציה זניחים במים הפתוחים, אזי השינויים ב-pH המוצגים כאן נובעים משינויים ב- C_T (סך הפחמן האנאורגני המומס – Total Dissolved Inorganic CO_2), ולכן כאשר ה-pH עולה יורד ולהפך. שינויים ב- C_T של מי השטח עשויים לנבוע משחלוף גזים עם האטמוספירה, ערבוב אנכי של עמודת המים ויצרנות ראשונית. בתקופת החורף מים עמוקים עשירים בנוטריינטים ו- C_T מתערבבים כלפי מעלה וכתוצאה מכך מעלים את ה- C_T בפני השטח ומורידים את ה-pH. כפי שקרה בינואר-פברואר 2003 (איור 2ג). בחורף 2003-4 עומק הערבוב של עמודת המים הפתוחים היה מאוד רדוד ולכן השינויים בערכי-pH בכל התחנות החופיות ובמים הפתוחים קטנים יחסית לחורף הקודם. בנוסף, ניתן לראות שהערכים דומים בין התחנות במהלך כל 2003 למרות שברוב התחנות הצפוניות (FF, NB, N ו-PT) הערכים יותר נמוכים יחסית. ב-2004 בתחנות הצפוניות התקבלו ערכים נמוכים בהרבה מהערכים בתחנות הדרומיות ומערכים במים הפתוחים מאפריל 2004. עם זאת ערכים אלו עדיין גבוהים יותר מהערכים שנמדדו בשנים קודמות (ראה איורים 3ג ו-4ג) כנראה כתוצאה מהערבוב הרדוד של החורף הקודם. מבחינת C_T , מי השטח של צפון מפרץ אילת נמצאים בתת רוויה גדולה יחסית לפחמן דו-חמצני באטמוספירה (פרט לאזור כלובי הדגים – FF). תצפית זו מעידה בהכרח על יצרנות ראשונית מוגברת שמשיגה את קצב השחלוף של פחמן דו חמצני עם האטמוספירה.



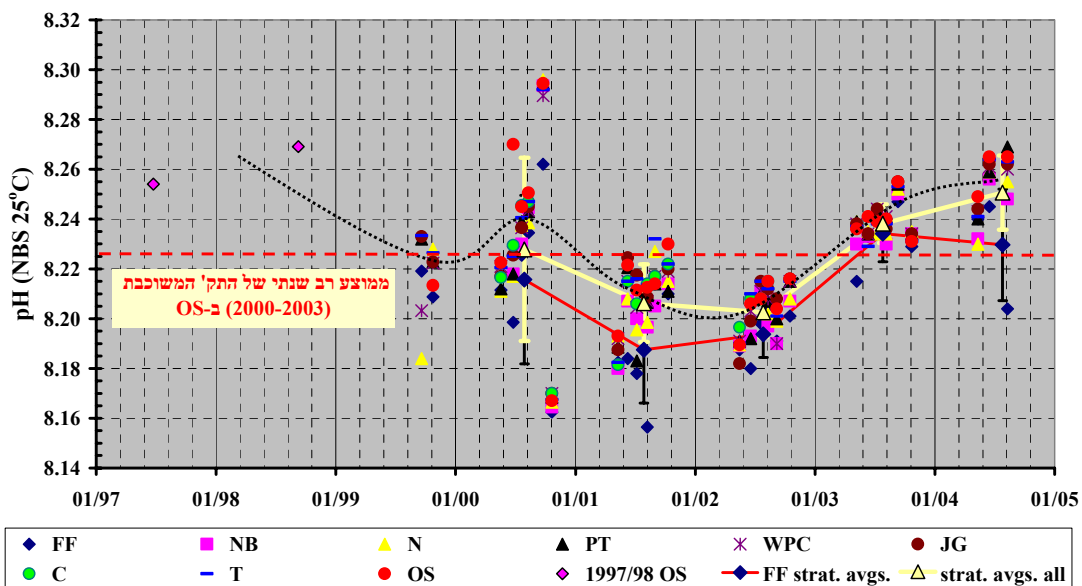
איור 2: ערכי pH מזודים בכל תחנות הדיגום מינואר 2003 ועד דצמבר 2004, נמדדו בטמפרטורה קבועה של 25 oC.

Figure C2: pH measurements at all coastal water monitoring stations from January 2003 to December 2004 measured at a constant temperature of 25°C.

מבסיס הנתונים ארוך הטווח ניתן לראות שיפור משמעותי באיכות המים מבחינת ה-pH ומגמת הירידה שדווח עליה בדו"ח הביניים של 2003 נפסקה (איור 3). ניתן לראות בברור שמאז יוני 2000 ישנה ירידה של 0.06 יחידות pH עד 2002. ב-2003-04 חלה התאוששות ועלייה חזרה לערכים של סוף העשור הקודם (pH = 8.26). לתצפית זו ישנה משמעות חשובה לגבי קצב השקעת שלד גירני ע"י האלמוגים בשוניות המפרץ כפי שתואר בחלק ב.5. עם זאת כדאי לשים לב לכך שעל פי איור 3 בו מוצגות כל מדידות ה-pH בכל תחנות הדיגום החופי במהלך התקופה המשוכבת משנת 2000, השינוי העונתי קטן יחסית ב-2003 בהשוואה לשנים קודמות וב-2004 כמעט ואין שינוי עונתי. הדבר עשוי לנבוע מהבדלים בעומק הערבוב של עמודת המים בחורפים בין השנים 2000-2003 וקצב יצרנות ראשונית מוגבר. השנה עומק הערבוב היה 350 מ', רדוד אף יותר מ-חורף 2002-03 (450 מ').



איור ג3: מדידות pH של כל תחנות הדיגום החופי בחודש יוני של השנים 2000-2004.
 Figure C3: pH measurements at all coastal water sampling station during June of each year (2000-2004).



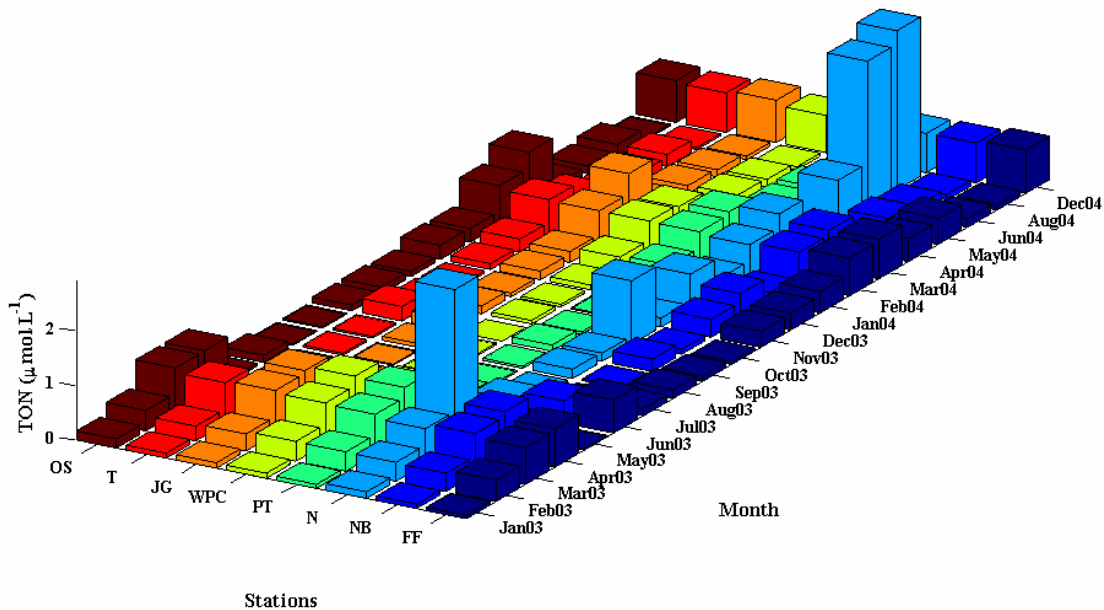
איור ג4: מדידות pH בתחנות הדיגום החופי בתקופה המשוכבת (מאי עד אוקטובר) של השנים 1997-2004. בנוסף מוצגים ערכים ממוצעים לכל התקופה המשוכבת עבור השנים 2000-2004 בכלובי הדגים (יהלומים כחולים עם קו אדום מחבר) וממוצע כל התחנות בכל תקופה משוכבת (משולשים צהובים עם מסגרת שחורה וקו צהוב מחבר).

Figure C4: pH measurements during the stratified season (May-October) at the coastal water sampling stations during the period 1997-2004. In addition stratified season average values for the fish farm (blue diamonds and red connecting line) and all stations (yellow triangle with black frame and yellow connecting line) are plotted for the years 2000-2004.

ף

2.1.ג חנקן אנאורגני מחומצן ($\text{TON} = \text{NO}_3 + \text{NO}_2$)

זהו רכיב מומס המהווה נוטריינט לתהליך היצרנות הראשונית המתרחש בעמודת המים ע"י אצות מרחפות (פיטופלנקטון) או אצות צמודי מצע קשה. במים אוליגוטרופיים כמו אלו של מפרץ אילת מקובל שחנקן מהווה גורם מגביל ליצרנות ראשונית. בתקופת הקיץ כמעט ואין TON במי השטח כיוון שהוא נצרך בקצב מהיר וקצב האספקה שלו, ממאגר המים העמוקים העשירים בו, איטי מאוד ולעיתים אף אפסי. לעומת זאת בתקופת החורף עם העמקת השכבה המעורבת של המים העליונים לתוך מאגר המים העמוקים ריכוז TON עולה ככל שעומק הערבוב גדל. באיור 5 ניתן לראות את ההתנהגות העונתית גם בתחנות החופיות שבהן ריכוז TON אינו עולה ברוב המדידות מעל $1 \mu\text{M}$ פרט למספר מדידות בתחנה N (חיל הים – מלון מרידיאן). בתחנה זו קיים מקור חנקן ממי התהום הנשאבים ומזורמים לים אחר שימושם במערכת הקירור של המלון. השטף המירבי של חנקן ממקור זה הוא כ-12 טון חנקן לשנה. חישוב זה מסתמך על מדידות כימיות מטעם התחנה למניעת זיהום המראות ריכוז של $20 \text{ מ"ג ניטראט ועל הנחה שהמלון שואב את מלוא כמות המים המותרת לו על פי היתר (300 מ"ק לשעה)}$. קיימת מידה מסוימת של אי ודאות לגבי תרומת מי הפליטה של המרידיאן כיוון שלא רואים ירידה משמעותית במליחות שכן מים אלה פחות מלוחים (במידה לא ידועה) ממי השטח של המפרץ ולכן היה צפוי למצוא ירידה מסוימת במליחות מי הים בפני השטח באזור, דבר שלא נמצא במדידותינו. ביוני ויולי השנה נמדדו ערכי החנקן גבוהים ביותר בתחנת חיל הים $2.6 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ו- 2.9 בהתאמה. כמו ב-2003, מחודש מאי השנה התקבלו הבדלים בין התחנות אשר באופן כללי ניתן לאפיינם כגרדיאנט מכיוון צפון לדרום שבו הריכוזים בתחנות הצפוניות גבוהים פי 2-10 מהריכוזים בתחנות הדרומיות והים הפתוח. לעומת זאת ריכוז הניטראט במים הפתוחים ובגנים היפניים במרץ השנה (OS ו-JG) היו הגבוהים ביותר ($0.8 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) יחסית לשאר התחנות בדומה לאפריל 2003. ייתכן שהבדלים אלו נובעים מהבדלי עומק הקרקעית והקרבה למים עמוקים שכן במהלך הערבוב העמוק יכולת הפיטופלנקטון לנצל נוטריינטים מהמים העמוקים יורד ככל שעומק הערבוב גדל, אשר על כן מגבלת הקרקעית מאפשרת ניצול גדול יותר של נוטריינטים במים החופיים בתקופת הערבוב העמוק.



איור 5: מדידות ניטריט + ניטראט (TON) בתחנות הדיגום החופי מינואר 2003 עד דצמבר 2004.

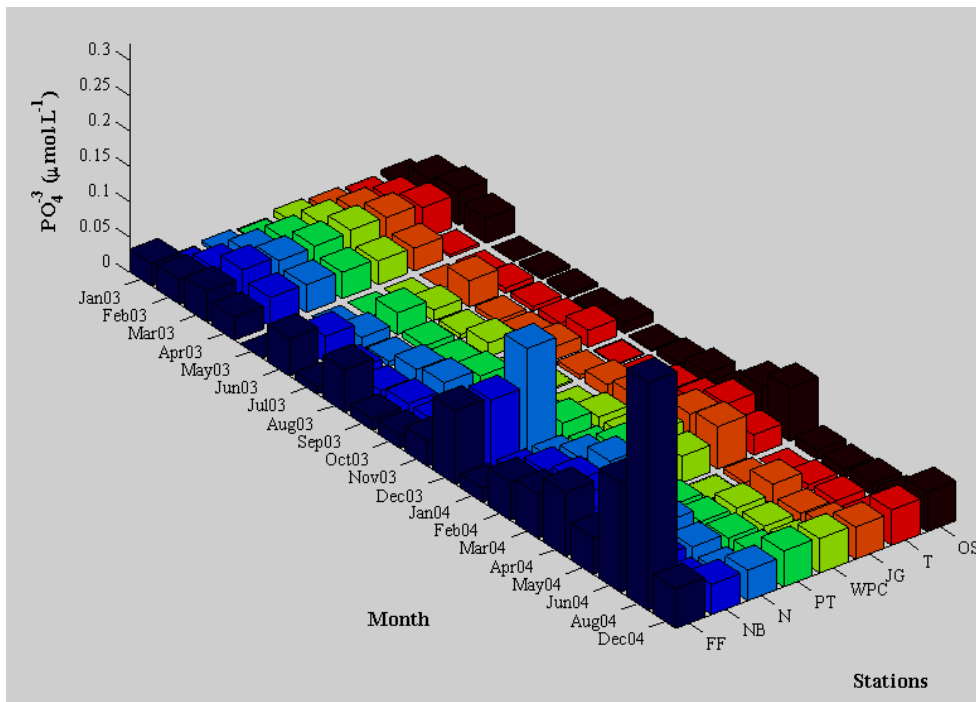
Figure C5: Total oxidized nitrogen concentrations at the coastal water sampling stations from January 2003 to December 2004.

ג.3.1 פוספט – PO_4^{-3}

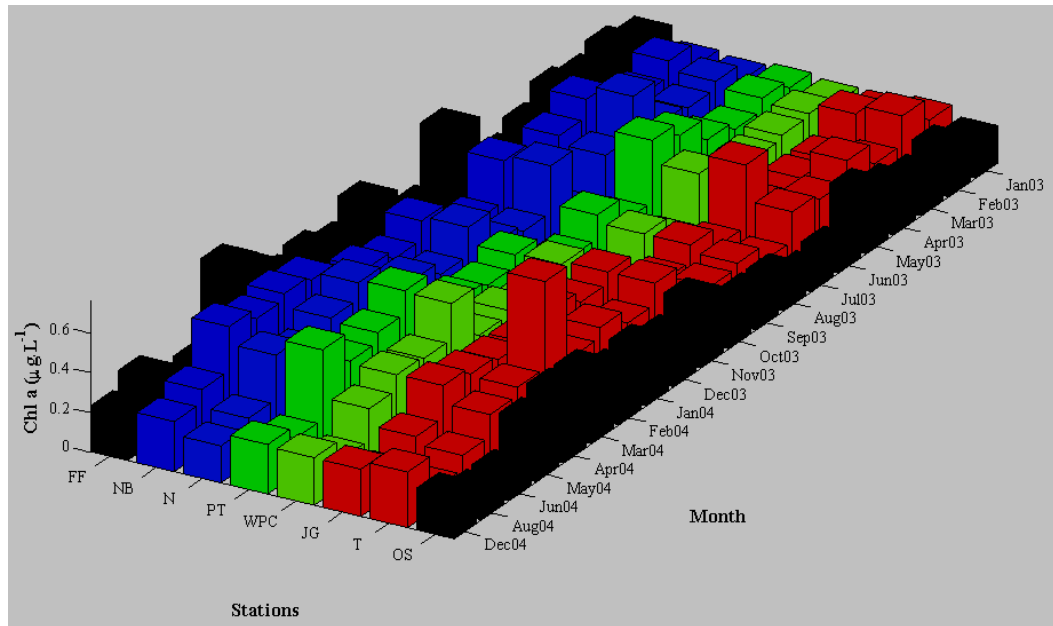
מדידות הפוספט בדיגום החופי (איור ג6) מציגות עונתיות הדומה לזו של TON בכל התחנות. בנוסף ניתן לראות כי באופן כללי ערכי הפוספט בתחנות הצפוניות גבוהים מאלו שנמדדו בתחנות הדרומיות ובמים הפתוחים. בדצמבר 2003 ובאוגוסט 2004 נמדדו ערכים חריגים במיוחד ב- FF, NB ו-N. על פניו תצפית זו יכולה להעיד על מקור זיהום פוספט באזור החוף הצפוני אשר זהותו אינו ידוע אך בהמשך נראה כי זהו תוצר של תהליך נשימה מוגבר באזור זה.

ג.4.1 כלורופיל a

ריכוזי הכלורופיל בדיגום החופי מהווים מדד עקיף לרמת היצרנות הראשונית במים בנוסף למדידה ישירה באמצעות מדידות קיבוע של ^{14}C (ראה פרק 5.7). באיור ג7 ריכוז הכלורופיל משתנה בטווח של $0.1 \mu g \cdot L^{-1}$ – $0.6 \mu g \cdot L^{-1}$, כאשר בתחנות הדרומיות פרט למדידה אחת בגנים היפניים ביוני ובטאבה הערכים המדודים אינם עולים על $0.35 \mu g \cdot L^{-1}$. הערכים החריגים נמדדו דווקא בתקופת הקיץ בתחנות חיל הים, כלובי הדגים, חוף צפוני ומסוף טעינת הפוספטים. במהלך החורף ישנו גרדיאנט כמעט קבוע בין התחנות הצפוניות לאלו שבחוף הדרומי. ריכוזי הכלורופיל בתחנות הצפוניות בתקופה זו גבוהים בכ $0.2 - 0.05 \mu g \cdot L^{-1}$ מאלו שנמדדו בתחנות הדרומיות.



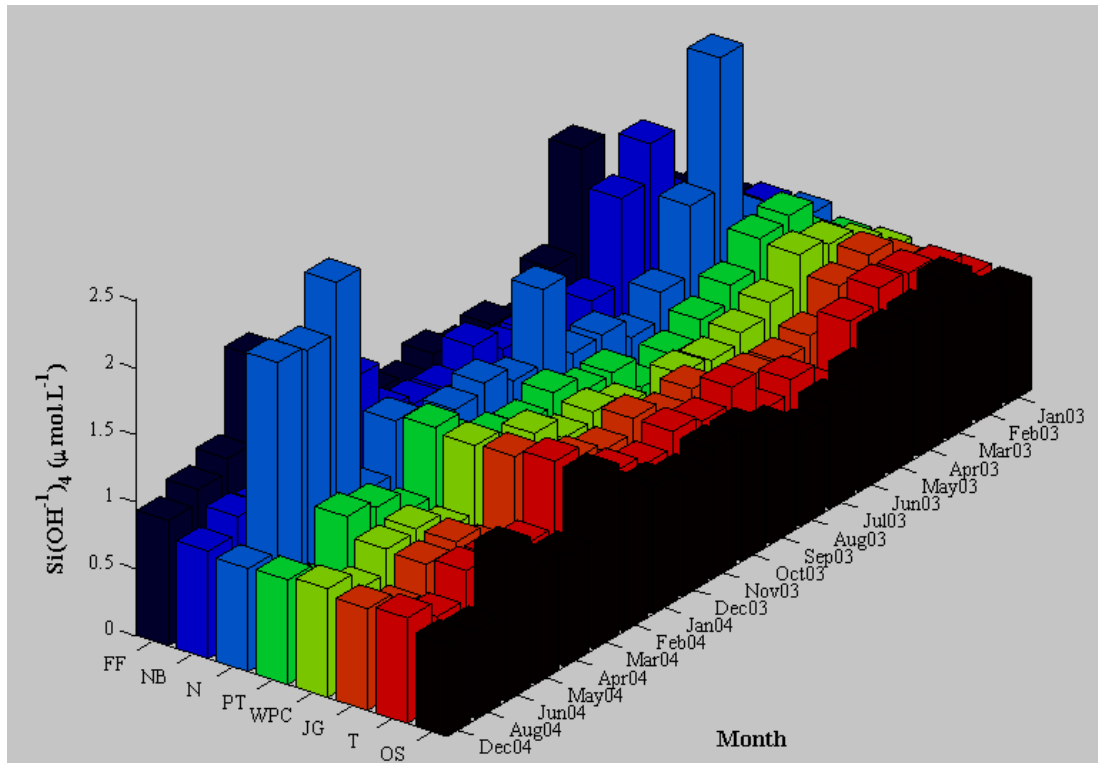
איור ג6: מדידות פוספט (PO_4^{-3}) בתחנות הדיגום החופי ינואר 2003 עד דצמבר 2004.
Figure C6: Phosphate concentrations at the coastal water sampling stations from January 2003 to December 2004.



איור ג7: מדידות כלורופיל (Chl_a) בתחנות הדיגום החופי מינואר 2003 עד דצמבר 2004.
Figure C7: Chlorophyll a concentrations at the coastal water sampling stations from January 2003 to December 2004.

ג.5.1 סיליקה (Si(OH)₄)

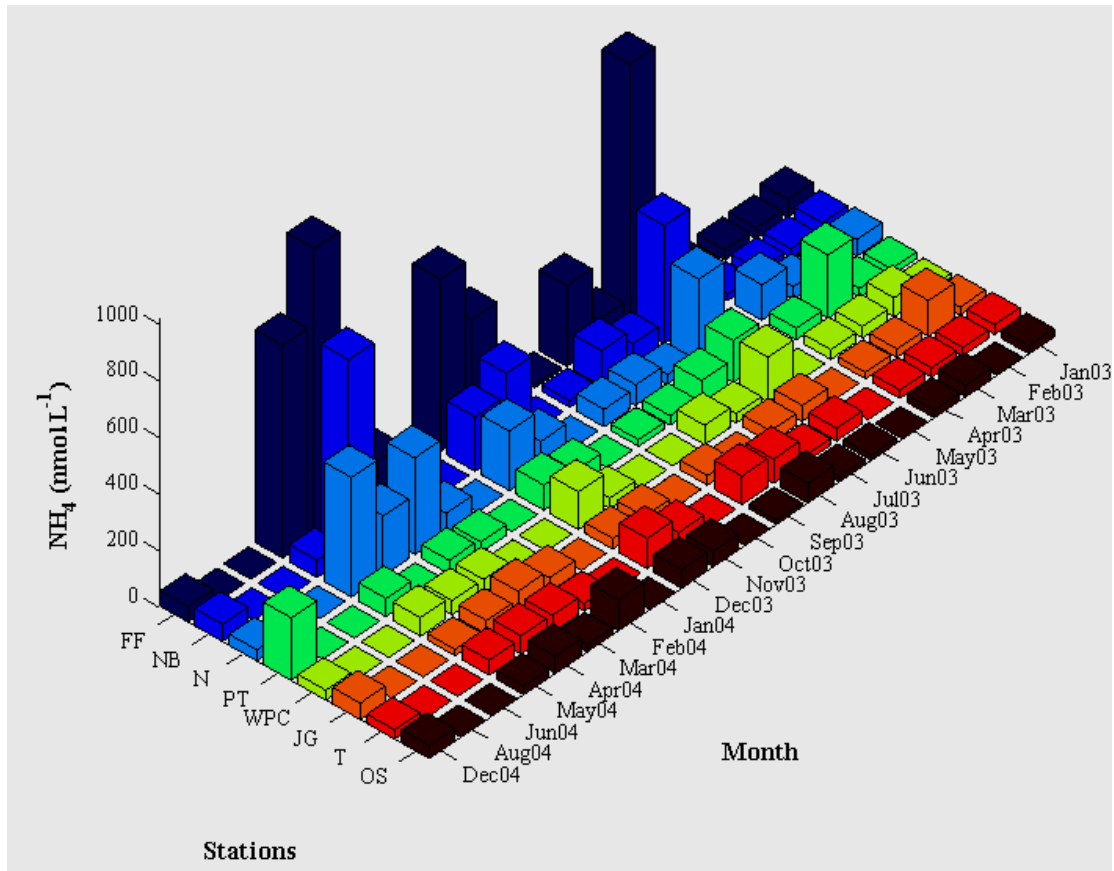
זהו רכיב מומס המשמש בהשקעת שלד אופליני במגוון גדול של פיטו/זואו פלנקטון (דיאטומאות – Diatoms, Pteropods) בעמודת המים. על פי מדידות ריכוז הסיליקה ב-OS (איור ג8) נראה כי הוא בעל מחזור שנתי בו ריכוזי המינימום נמדדים בינואר ובאוגוסט וריכוזי המקסימום באוקטובר ואפריל. ניתן לראות כי ריכוזי הסיליקה בתחנות נע בין $0.6-1.3 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ (פרט לערכים חריגים) ואינו עולה על הריכוזים הממוצעים בתקופת הערבוב בחוף הצפוני ובים הפתוח. בתקופה שלאחר תחילת השיכוב נצפים ערכים חריגים בתחנות NB, N, FF והגדולים פי 1.5 – 2.5 משאר הערכים בתחנות האחרות. עליית ריכוזי הסיליקה דווקא בקיץ בשיעור כה גבוה מאוד תמוה ולא נותר אלא לקבוע כי זוהי תוצאה של הזרמה ממקור חיצוני. פרט למי הקירור של מלון המרידיאן שבוודאי עשירים בסיליקה (מי תהום) גם תעלת הקינט יכולה להוות מקור אפשרי. מדידות בתעלת הקינט מוצגות בפרק ג.2.



איור 8: מדידות סיליקה (Si(OH)_4) בתחנות הדיגום החופי מינואר 2003 עד מדצמבר 2004.
Figure C8: Silicate concentrations at the coastal water sampling stations from January 2003 to December 2004.

ג.1.6.1 אמוניה (NH_4)

האמוניה היא תוצר ראשוני של חמצון חומר אורגני ומהווה תרכובת עיקרית לתהליך הפוטוסינתזה. ריכוזי האמוניה בעמודת המים נמוכים מאוד בד"כ כיוון שתהליך החמצון אשר הופך אותה בתחילה לניטריט ולאחר מכן לניטראט מהיר וצריכת האמוניה ביצרנות משנית (ממוחזרת) גבוהה מאוד. למעשה זוהי תרכובת החנקן המועדפת לפוטוסינתזה משיקולים אנרגטיים של האצה. מתוצאות הניטור עולה כי ריכוזי האמוניה משתנים על ציר הזמן בין ערך מינימאלי של $12 \text{ nmol}\cdot\text{L}^{-1}$ לערך מקסימאלי של $2477 \text{ nmol}\cdot\text{L}^{-1}$ (באוגוסט 2001), ובאופן כללי קשה להבחין במחזוריות כלשהי (איור ג.9). אם זאת בתאריכי דיגום מסוימים ניתן להבחין בגרדיאנט ברור של אמוניה מצפון(בכלובי הדגים) לדרום (בטאבה) ביוני, אוגוסט דצמבר ונובמבר 2003, ובמרץ, אפריל, מאי 2004. ברור כי ערכים גבוהים אלו מחייבים התחשבות בריכוזי האמוניה בעת השוואת ריכוזי חנקן אנאורגני מומס לשאר התרכובות החיוניות (פוספט, סיליקה, חמצן).



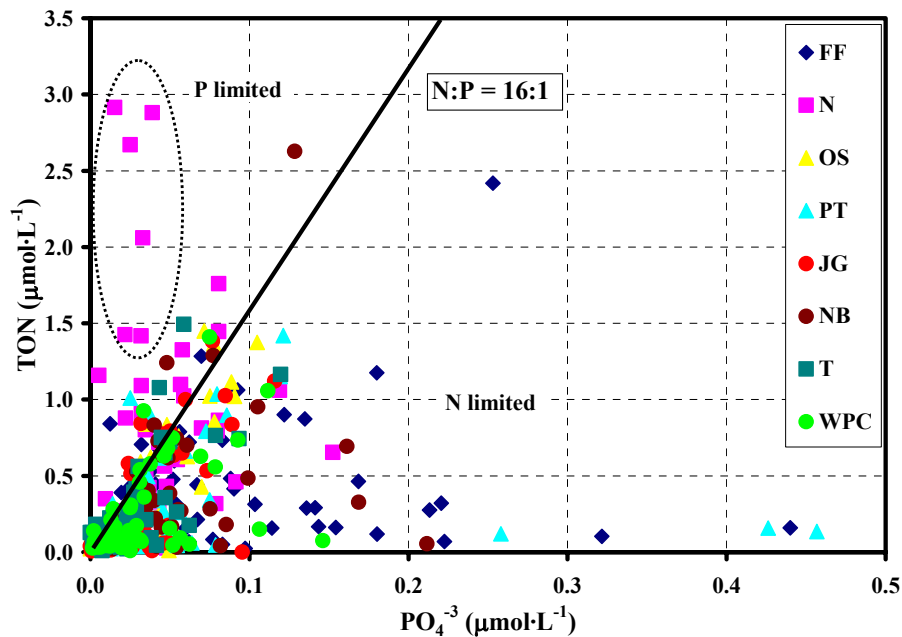
איור 9: מדידות אמוניה (NH_4) בתחנות החופי מינואר 2003 עד ספטמבר 2003. בלוקים חסרי עובי מעידים על מחסור בערך עבור אותה מדידה.

Figure C9: Ammonia concentrations at the coastal water sampling stations from January 2003 to December 2004. Flattened blocks indicate no data for that measurement.

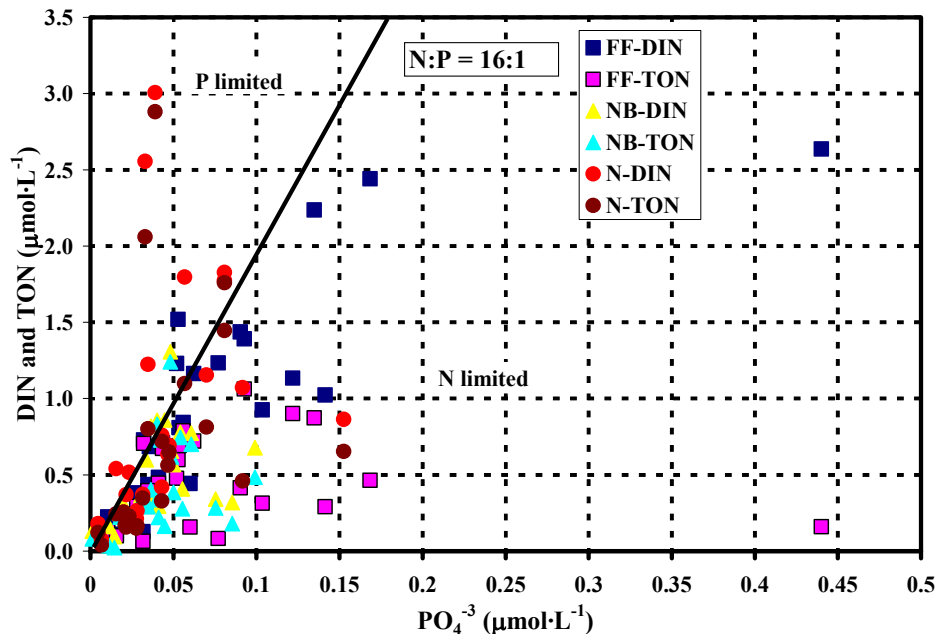
השוואת ריכוזי נוטריינטים (חנקן אנאורגאני מומס ופוספט)

השוואות מסוג זה נהוג לעשות על מדידות של פרופילים אנכיים בעמודת המים הפתוחים שבה חומר אורגאני נוצר בתהליך פוטוסינתזה בשכבה המוארת ועקב כך ריכוזי הנוטריינטים בשכבה זו יורדים לאפס. עם גידול אוכלוסיית הצרכנים (זואופלנקטון דגים) הפרשותיהם, המכילים חומר אורגאני, צונחים למים העמוקים ומתחילים לעבור תהליך של פרוק ומחזור. תהליך זה מעלה את ריכוזי הנוטריינטים במים העמוקים ומוריד את ריכוזי החמצן וה-pH. בהשוואת השינויים בין ריכוזי חנקן אנאורגאני מומס ופוספט בפני בשטח ובמים העמוקים מתקבל בד"כ יחס של בערך $\text{N:P} = 16:1$ הקרוי גם יחס רדפילד (Redfield Ratio). יחס זה מייצג את יחס הנוטריינטים ביצרנים הראשוניים הצורכים אותם וכתוצאה מכך גם את יחס הנוטריינטים באורגניזמים הצורכים את היצרנים הראשוניים (you are what you eat). באיור 10 מוצגים ערכי ה- PO_4^{3-} כנגד TON שנמדדו בכל ההפלגות של הדיגום החופי מאז 1999. כיוון שמסת המים משתנה מרגע לרגע לא ניתן לומר כי קיים קשר מרחבי או זמני בין מדידה אחת לזו שבאה אחריה ולכן קשה להצדיק השוואה שכזו. למרות זאת, ניתן לראות שקיימת התנהגות רדפילדיאנית טיפוסית הנובעת כנראה מההתנהגות העונתית הטבעית של משטר הנוטריינטים במפרץ אילת (ערבוב ושיכוב). ניתן לראות כי רוב הנקודות, בעיקר אלה של התחנות הדרומיות (תחנת זיהום מי ים (WPC) עד טאבה (T) וים פתוח (OS)), מתרכזות סביב קו המגמה של 16:1 לעומת זאת התחנות הצפוניות חורגות מקו זה גם לכיוון מגבלה בורחן (P limited) וגם לכיוון מגבלה בחנקן (N limited). התחנות הדרומיות כולן נופלות בתחום מגבלת החנקן. אין בכך לומר שיצרנות ראשונית בערכי חנקן גבוהים מוגבלת אלא שהחנקן ייגמר ראשון במים אלו לפני הזרחן במידה ונעקוב אחריהם עם הזמן. בתחנת חיל הים רואים בברור כי קיימת מגבלת זרחן המעידה כנראה על תרומה

חשובה של מים עשירים בחנקן אנאורגאני מומס ועניים בזרחן למערכת ממקור חיצוני. כמובן שערבוב מים אלו עם מי מפרץ עשירים יותר בזרחן בוודאי תתמוך ביצרנות ראשונית במורד הזרם. לעומת זאת בתחנות הצפוניות האחרות ניכר כי דווקא החנקן נגמר קודם ונותרים עם עודף זרחן גדול - האומנם? כפי שראינו האמוניה (NH_4) היא מרכיב בלתי זניח בהרכב החנקן האנאורגאני המומס (איור 9) בתחנות הצפוניות וסך הריכוזים של מרכיבים אלו מכונה DIN ($\text{Dissolved Inorganic Nitrogen} = \text{NO}_2^{-1} + \text{NO}_3^{-1} + \text{NH}_4$). לצערנו אין בכל זמני הדיגום החופי מדידות של אמוניה אך באיור 35 מוצגים הנקודות שעבורן יש כ-DIN ביחד עם אותם זמנים כ-TON כנגד PO_4^{-3} . ניתן לראות כיצד ערכי ה-DIN לעומת PO_4^{-3} מתכנסים יותר לקו המגמה הרדפילדיאני דבר המעיד על תהליכי נשימה אינטנסיביים ועומס גדול של חומר אורגאני. לעומת זאת המדידות במעגן חיל הים נשארות בתחום מגבלת הזרחן מה שתומך ברעיון שאלו מי פליטה של המרידיאן עניים בזרחן ועשירים בחנקן וסיליקה.



איור 10: השוואת ריכוזי פוספט (PO_4^{-3}) וסך החנקן המחומצן המומס ($\text{TON} = \text{NO}_2^{-1} + \text{NO}_3^{-1}$) של כל המדידות שנעשו במהלך הדיגום החופי מאז 1999. שימו לב כיצד מרבית הנקודות מתרכזות סביב קו מגמה של $(\text{N:P} = 16:1)$.



איור 11: השוואת ריכוזי הפוספט (PO_4^{3-}) עם סך התנקן האנאורגאני המחומצן המומס (TON) וסך התנקן האנאורגאני המומס כולל אמוניה (DIN) בתחנות הדיגום החופי באזור החוף הצפוני (כלובי הדגים, מלון דן ומעגן חיל הים). שימו לב, כאשר לוקחים בחשבון את האמוניה הנקודות מתכנסות ליהס רדפילדיאני ($N:P = 16:1$).

2.2. מדידות בתעלת הקינט

מבוא:

בעקבות בקשת הוועד המנהל של פרוייקט הניטור הלאומי של מפרץ אילת התבקש צוות הניטור לבצע מדידה מפורטת של שטפי נוטריינטים ממקורות יבשתיים על מנת להשלים את מאזן הנוטריינטים של מי המפרץ. מקור ידוע הינו תעלת הקינט, אשר מנקזת שפכים של מספר מפעלים המצויים באזור החוף הצפוני של המפרץ ומזרימה אותם לים. בעבר זרמו בתעלה זו מי הביוב העירוני של אילת עד 1994. על פי המחלקה למניעת זיהום ים של המשרד לאיכות הסביבה במפרץ אילת, רשאים על פי היתר להזרים לתעלת הקינט המפעלים הבאים:

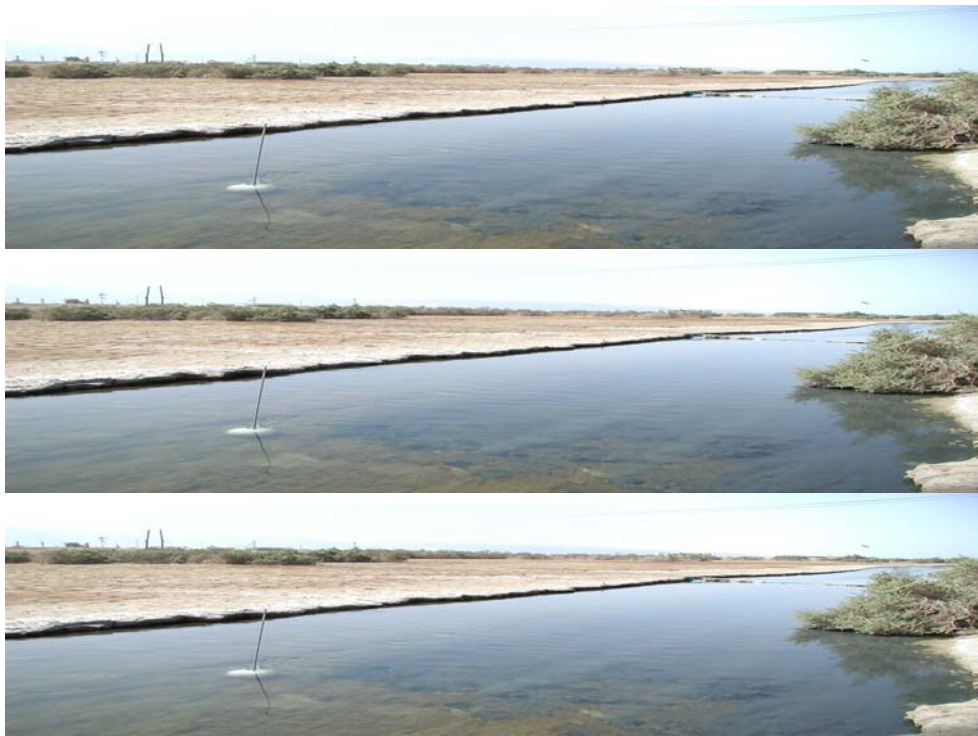
1. חקר ימים ואגמים
2. מפעל לגידול דגיגים
3. חברת המלח
4. מפעל ההתפלה
5. מפעל האצות NBT

6. ניקוז של מי השקיה משטחים חקלאיים סמוכים.

כל מפעל מדווח על ספיקת המים שלו במוצא מהמפעל ומבצע בדיקות שתוצאותיהם מדווחות למחלקת זיהום ים – BOD, מוצקים מרחפים, ניטריט, ניטראט, זרחן וחנקן.

שיטות:

בשלב ראשון הוחלט לבצע מדידה של מחזור יומי במי התעלה בקרבת המוצא אל הים (ראה איור ג1). במהלך המחזור נמדדה מהירות הזרם במרכז התעלה בנקודה הנמצאת כ-200 מ' צפונה מקו החוף. מדידה זו בוצעה בעזרת מכשיר S4 (מד זרימה מגנטי), אשר מדד את מהירות הזרימה, טמפרטורה ומליחות במים כל 10 דקות במשך דקה (איור ג12). מידת הדיוק של מד הזרם נבדק באמצעות השוואה עם מהירות זרימה שנמדדה באמצעות הזרקת פלורוסין בפני המים במעלה הזרם ומדידת זמן הגעה ל-25 מ' מנקודת ההזרקה במורד הזרם. נמדד שטח החתך של התעלה במקום בו הוצב מד הזרם. בנוסף לכך נלקחו דוגמאות מים בממוצע כל 3 ש' מהגשר העובר מעל לתעלה כ-100 מ' צפונית לקו החוף. דוגמאות אלה נלקחו למעבדה ונשמרו במקרר עד לביצוע האנליזות (יום לאחר סיום הדיגום). במים אלה בוצעו האנליזות הבאות במעבדה הגאוכימית של פרופ' בעז לזר מהאוניברסיטה העברית, אשר במכון הבינאוניברסיטאי באילת: ניטריט+ניטראט, אמוניה, פוספט וסיליקה.

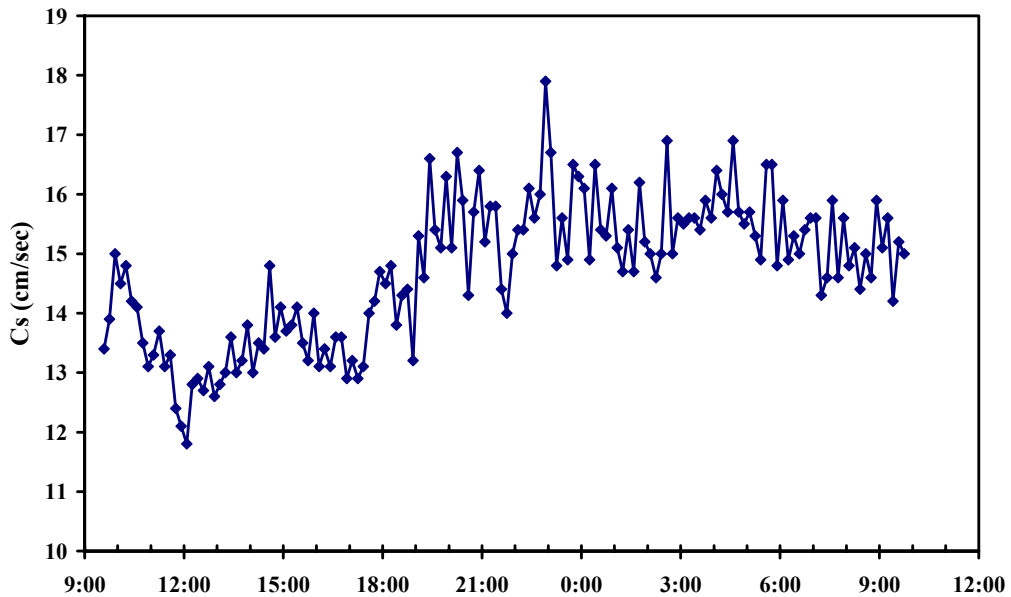


איור ג12: מד זרם S4 ממוקם במרכז תעלת הקינט כ-200 מ' צפונית לקו החוף.

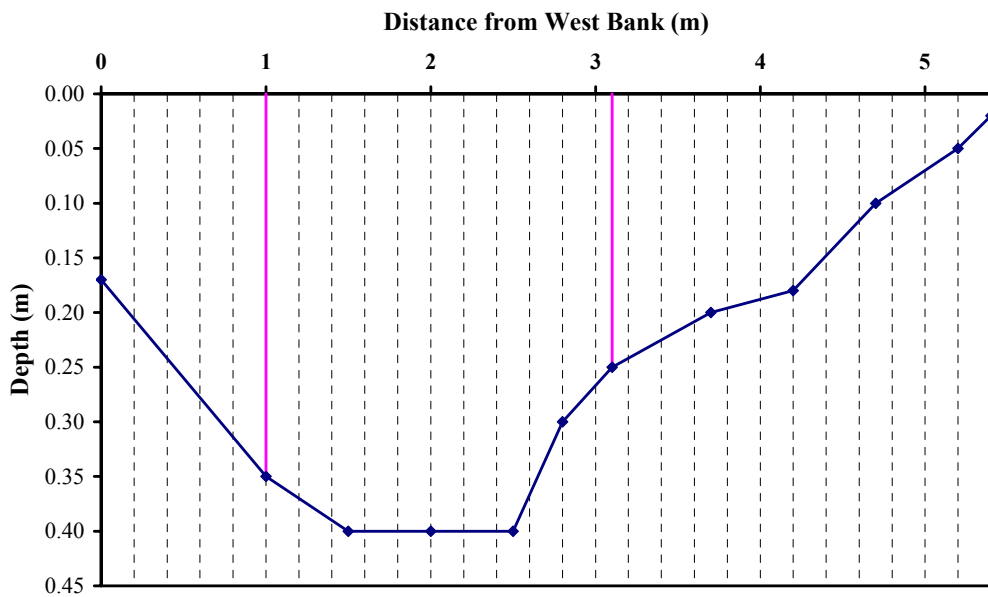
תוצאות:

זרם

מדידות מהירות הזרם המוצגות באיור ג13 מראות מחזור יומי ברור בו מהירות הזרם משתנה בין 13 ס"מ/שנ' ביום ו-16 ס"מ/שנ' בלילה. מהירות הזרם הממוצעת במהלך המחזור היא כ-15 ס"מ/שנ'. שטח החתך של התעלה בנקודת המדידה היה כ-1.4 מ"ר (איור ג14). על מנת לחשב את הספיקה חילקנו את החתך לשלושה תאים. בתא האמצעי מהירות הזרם הייתה כפי שנמדדה ואילו בשני התאים האחרים הוכפלה מהירות הזרם במקדם של 0.8. ספיקת המים בתעלה שחושבה בדרך זו שווה ל-16000 מ"ק/יום.



איור 13: מדידת מהירות הזרם בתעלת הקינט ב- 18-19/5/2004 בתדירות של דקה כל 10 דק'.

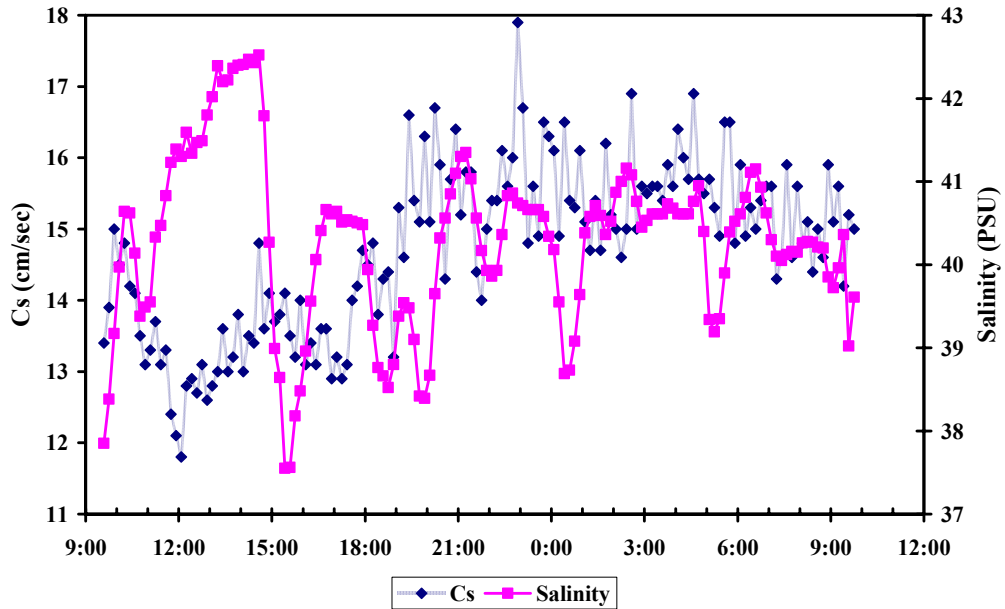


איור 14: שטח בחתך של התעלה בנקודת ההצבה של מד הזרם. הקווים הורודים מסמנים את גבולות התאים עבורם חושב הספיקה לכל אחד בנפרד. בתא האמצעי נלקחה מהירות הזרם המזודה ואילו בשני התאים בצדדים הוכפלה מהירות הזרם ב-0.8 לקבל את הספיקה דרך החתך של תאים אלו.

מליחות

סיגנל המליחות במהלך המחזור היומי המוצג באיור 15 מדגים מחזוריות בת 4-5 ש' בה המליחות משתנה בין מתחת ל- PSU 40 (ערך המליחות של מי הים 40.7 PSU) ל- PSU 42.5 במשך היום ו- PSU 40.8

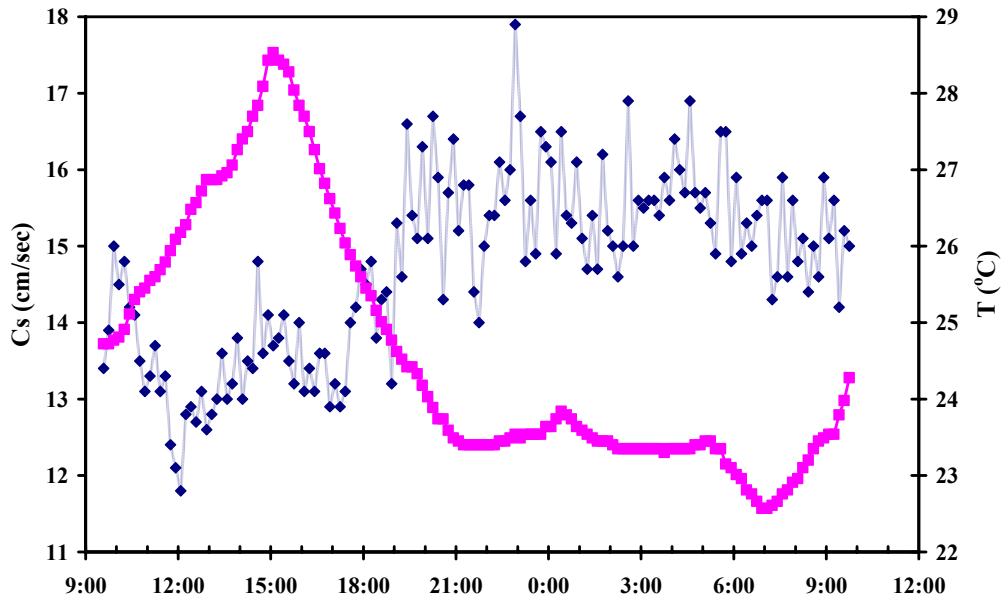
בלילה. המליחות יורדת ועולה חזרה באופן חד (PSU 2-3) במהלך שעה אחת ואשר על כן מצביעה על הזרמת מים מתוקים יותר בתעלה במקום המים המלוחים יותר ממי - ים (אין מחזוריות דומה בזרימה). ייתכן ומדובר בשחרור מי רכז ממפעל ההתפלה.



איור 15: מדידות רציפות של מליחות (ורוד) ומהירות זרם (כחול) בתעלת הקינט ב- 18-19/5/2004.

טמפרטורה

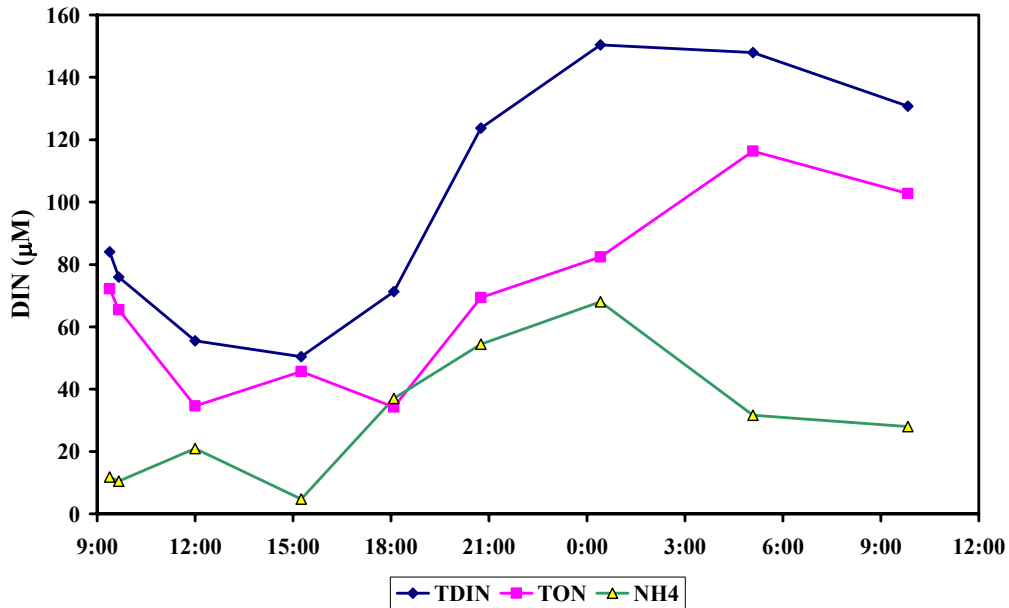
בפרמטר זה ניתן לראות את המחזוריות היומית הצפויה בה הטמפרטורה משתנה בין 22.5 מעלות בשעות הבוקר המוקדמות ו- 28.5 מעלות בשעות אחה"צ (איור ג16). ניתן להבחין במספר פרטים מעניינים בלילה: (א) בין 21:00 למחרת בבקר הטמפרטורה נשארת די קבועה ב- 23.5 מעלות. (ב) ב- 24:00 ישנה עלייה בטמפרטורה התואמת את הירידה הפתאומית במליחות. (ג) ניתן להבחין באירוע דומה בערך ב- 05:00.



איור ג16: מדידות רציפות של טמפרטורה (ורוד) ומהירות זרם (כחול) בתעלת הקינט ב- 18-19/5/2004.

חנקות אי-אורגניות מומסות

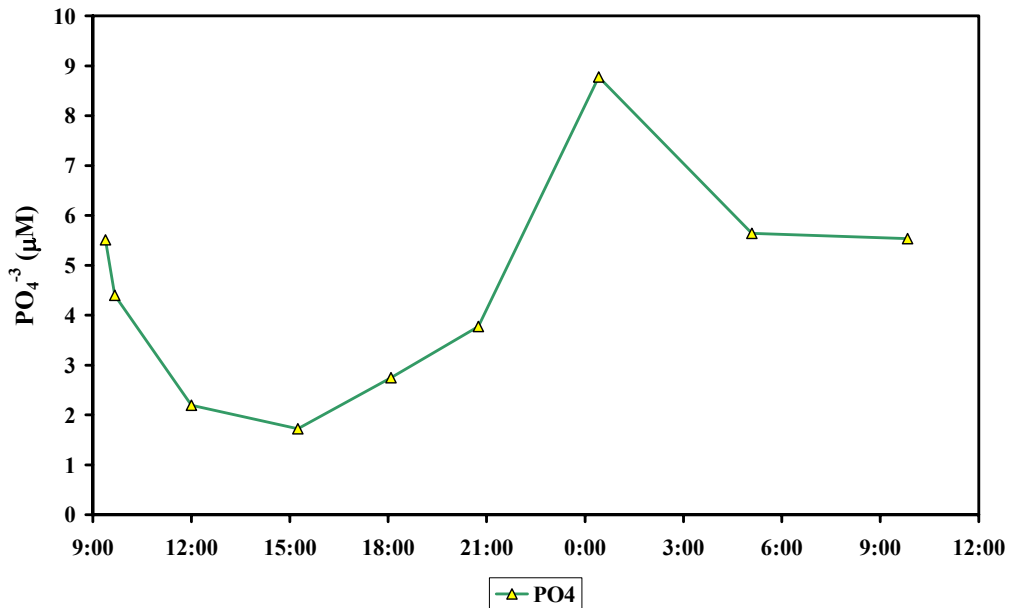
השינויים בריכוזי החנקות המומסות במים הם בעלי מחזוריות יומית (איור ג'17). ריכוז סך החנקות המומסות משתנה בין $50 \mu\text{M}$ אחה"צ למקסימום של $150 \mu\text{M}$ ב- 24:00. היחס בין חנקות מחומצנות לסך החנקות הוא 70%, ובין אמוניה לסך החנקות 30% בממוצע. ריכוזים אלו גדולים ב-2 עד שלושה סדרי גודל יחסית לריכוזם בים הפתוח. הריכוז הממוצע היומי של סך החנקות המומסות הינו כ- $110 \mu\text{M}$. על פי נתוני הספיקה ובהנחה שמחזור זה מייצג את שאר הימים בשנה חישבנו שטף של כ- 10 טון חנקות מומסות לשנה הנפלטים לים באזור החוף הצפוני.



איור ג'17: מחזור יומי של ריכוז סך החנקות המומסות במי התעלה (כחול), סך חנקות מחומצנות (ורוד) ואמוניה (ירוק + משולשים צהובים) במהלך המדידה שנערכה בתעלת הקינט 18-19/5/2004.

זרחן ריאקטיבי מומס (SRP)

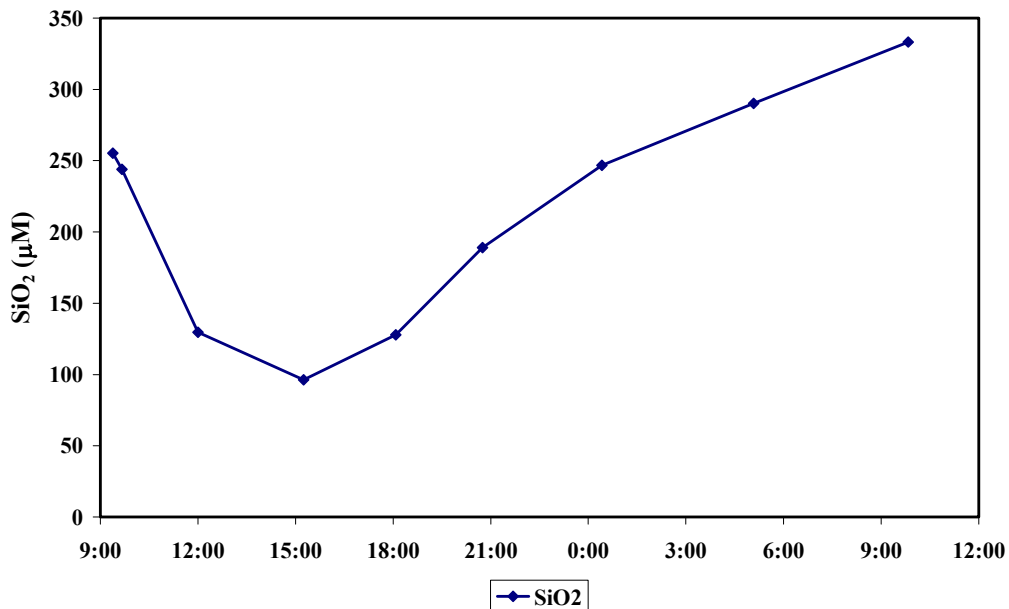
גם בזרחן ניתן לראות מחזור יומי בו הריכוז משתנה בין $1.7 \mu\text{M}$ ב- 15:00 ל- $8.8 \mu\text{M}$ ב- 24:00 (איור ג'18). ריכוז הזרחן הממוצע במהלך המחזור היה $4.6 \mu\text{M}$, אשר על כן שטף הזרחן לים המחושב לערכי הספיקה הוא 0.4 טון לשנה.



איור 18: מחזור יומי של ריכוז זרחן ריאקטיבי מומס במהלך המדידה שנערכה בתעלת הקינט 18-19/5/2004.

סיליקה

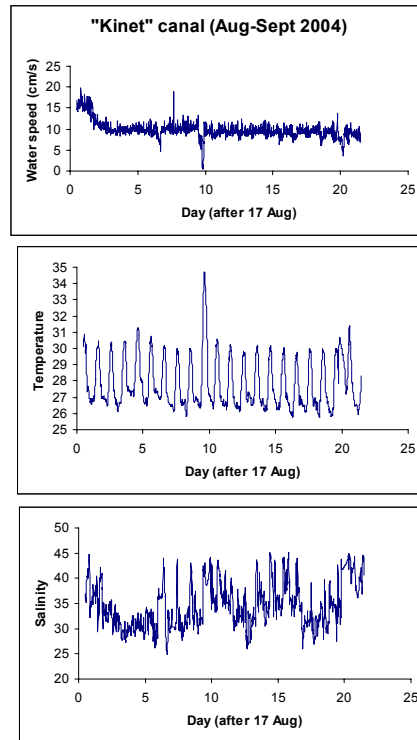
גם בסיליקה ניתן לראות מחזור יומי בו הריכוז משתנה בין 100 µM ב- 15:00 ל- 330 µM ב- 09:50 למחרת (איור 19). ריכוז הסיליקה הממוצע במהלך המחזור היה 210 µM, אשר על כן שטף הסיליקה לים המחושב לערכי הספיקה הוא 18.4 טון לשנה.



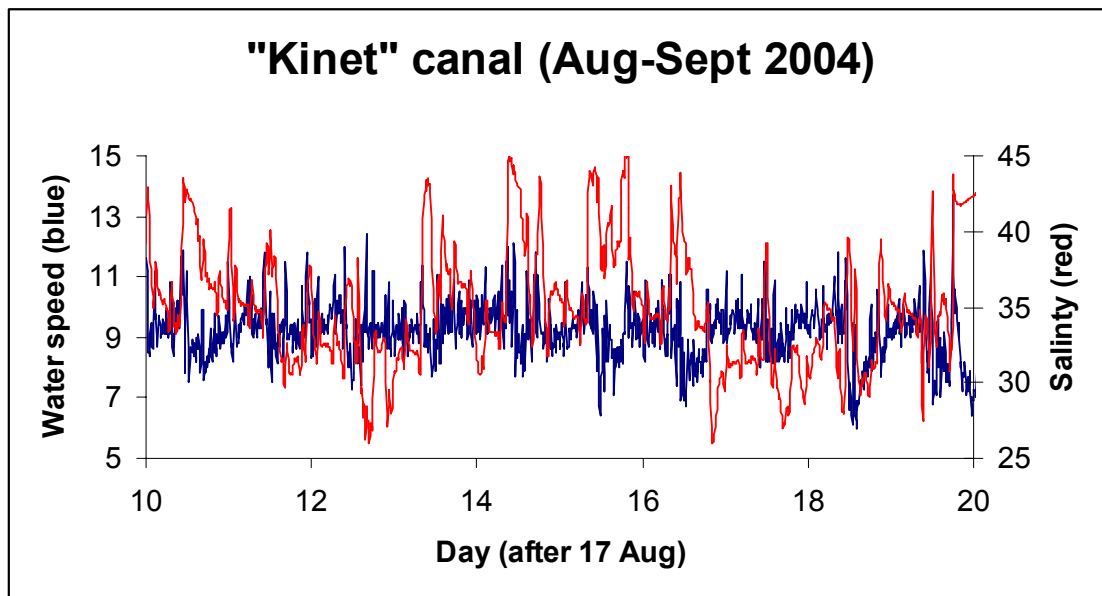
איור 19: מחזור יומי של ריכוז סיליקה מומס במהלך המדידה שנערכה בתעלת הקינט 18-19/5/2004. מדידות זרם בתעלת הקינט – אוגוסט-ספטמבר 2004

על מנת לחזור ולבדוק את משטר הזרימה, הטמפרטורה והמליחות בתעלת הקינט, הצבנו את מד הזרם (S4) במרכז התעלה כ- 300 מ מצפון לשפכה בתאריך 17.8.2004 למשך שלושה שבועות. התוצאות מתוארות באיור 20. כמו כן נמדד פרופיל העומק של התעלה על מנת לחשב ספיקה. כפי שנראה באיור 20,

המחזוריות הימתית מתקיימת רק בחלק מהימים. הגדלת אותם ימים מראה (איור ג21), שוב, כי שעות של זרם מוגבר יחסית הן של מים מתוקים יחסית. לפיכך ישנו חשש שמקור הגברת הזרימה הוא של מים מתוקים, יתכן ביוב.



איור ג20: מהירות הזרימה (פאנל עליון), טמפרטורה (אמצעי) ומליחות (תחתון) בשלושת שבועות המדידה בתעלת הקינט. יום מס' 1 הוא 17.8.2004.



איור 21: מהירות הזרימה (קו כחול, סקאלה משמאל) ומליחות (קו אדום, סקאלה מימין) בתעלת הקינט עבור ימי המדידה בהם נראתה מחזוריות יממתית בזרימה. יום מס' 1 הוא 17.8.2004. שיים לב שפעמים רבות הגברה בזרימה הייתה מלווה בירידה במליחות.

מראה עיניים

בביקורינו בתחנת הדיגום במהלך המחזור היומי היה ניתן לראות שינוי משמעותי מאוד באיכות המים. במהלך היום המים נראו צלולים יחסית, אך בלילה המים נראו עכורים מאוד ובנוסף לכך צפו על המים גושים אשר נראו כהפרשות צואתיות. בבוקר שלמחרת בשיחה עם דייר המתגורר בחוף הסמוך לשפך התעלה דווח לי כי תופעה זו מתרחשת בכל לילה ומלווה בריח לא טוב. עקב עלייה בספיקה מ-13 ל-16 ס"מ/שנ' בין היום והלילה וגם בגלל השינוי שתואר לעיל מתעורר חשד סביר כי בתעלה זו מוזרמים שפכי ביוב בשעות הלילה.

סיכום:

מניתוח הנתונים עולה כי תעלת הקינט מזרימה כ-10 טון חנקות לשנה לים וכי קיים חשד סביר שבתעלה מוזרמים גם שפכי ביוב בשעות הלילה. מומלץ לבצע דגימות נוספות בתעלה בשעות הלילה ולבדוק את ההשערה כי מדובר בהזרמת ביוב על-ידי בדיקות *e-coli* וחידקים צואתיים.

3.ג. קרקעית חולית

רקע: בשנת העבודה 2004 קיבל דיגום הסדימנטים עדיפות נמוכה וזאת משום בעייתיות שיטת המדידה על ידי ייבוש ושריפה. בעקבות תחילת שיתוף פעולה פורה עם המכון הגיאולוגי, תקבל העבודה על הסדימנטים עדיפות ראשונה לשדרוג השיטה ויישומה הנרחב בשנת העבודה הבאה. לפיכך, התוצאות המוצגות בדו"ח זה אמורות לשמש כמדד השוואתי בין תחנות ובין תקופות.

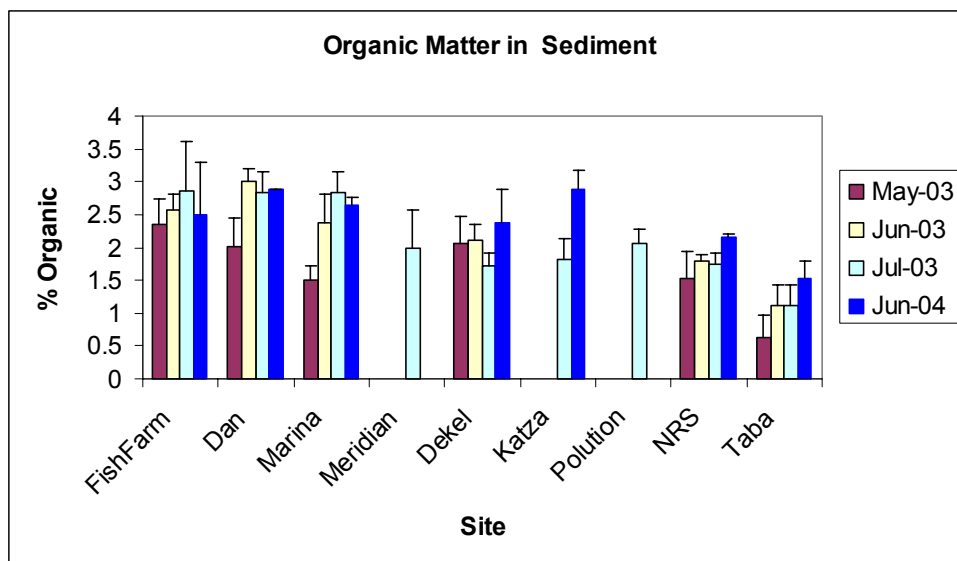
דיגום: הסדימנט נעשה מסירה לאורך החוף הישראלי של המפרץ בתחנות הבאות: כלובי הדגים (FF), מול מלון דן (DAN), מול המרינה (MARINA), חוף חברת החשמל (ELECTRIC CO) חוף דקל

(DEKEL), בחלקה הדרומי של שמורת חוף אלמוג (NRS) וטאבה (TABA). בוץ מהקרקעית הועלה לסירה באמצעות מחפרון (Grab) מעומק 20 מטר במרחק של כ-100 מטר מהחוף. הסדימנט נדגם מתוך המחפרון באמצעות מזרקים ששימשו כדוגמי ליבה (3 קורים מכל מחפרון). מכל ליבה נחתכה פרוסת סדימנט עליון בעובי של 1 ס"מ. בבדיקה מקדימה (בחורף 2003) הוצאו שלושה מחפרונים בכל אתר ושלושה קורים מכל מחפרון על מנת לבדוק את השונות התוך-אתרית. תוצאות המדידה הצביעו על שונות נמוכה (< 10%) ולכן הוחלט שפרוטוקול הניטור יסתמך על דגימת מחפרון אחת בכל אתר (שלושה קורים מכל דגימת מחפרון).

דגימות הסדימנט עברו יבוש בתנור בטמפרטורה של 105 °C למשך 24 שעות. לאחר הייבוש הועברו הדגימות לתנור שריפה על מנת לשרוף את כל החומר האורגני ב-450 °C למשך 4 שעות. כמות החומר האורגני בכל דגימה שווה להפרש המשקלים לפני ואחרי השריפה. אחוז החומר האורגני בסדימנט חושב לכל האתרים. יש לציין ששיטה זו הינה בעייתית מכיוון שהיא מסתמכת על שרפת הסדימנט אשר עלולה גם לשרוף חלק מהקרבונט. לכן, בשלב זה, לא ניתן להסיק מסקנה אמינה לגבי אחוז החומר האורגני בסדימנט. לכן מדידה זו מיועדת להיות נושא מוקד לשנת העבודה הבאה (במסגרת שיתוף הפעולה עם המכון הגיאולוגי).

תוצאות המדידה באתרים השונים מוצגות באיור 22 (ממוצע ורווח בר סמך של 95%). האיור מראה כי אחוז החומר האורגני בסדימנט גבוה בתחנות הצפוניות ויורד ככל שמדרימים, אם כי ירידה זו אינה מונוטונית ומלווה בשונות גבוהה יחסית בתוך כל אתר. עם זאת, בולט ההבדל בין התכולה האורגנית הנמוכה ביותר בתחנה הדרומית ביותר (טאבה) לבין התחנות בחוף הצפוני (כלובי הדגים, מול מלון דן ומול המרינה). מבחינה זו המגמה דומה לזו שדווחה בשנה שעברה. המגמה מצביעה על אחת משתי האפשרויות הבאות (או על שתיהן יחדיו): קיומו של מקור העשרה אורגנית בסביבת החוף הצפוני או קיומו של מפל (גראדינט) בהרכב גודל הגרגר בסדימנט עם פרקציה גדלה והולכת של גרגרים גסים לכוון דרום. בגלל הקרבה לשונית, צפוי שהסדימנטים בדרום יכללו יותר חלקיקים קרבונטים ואלו שבצפון יותר חרסיות (באופן יחסי). לכן, הסדימנטים בדרום יהיו מאווררים יותר ולכן חומר אורגני בתוכם יפורק מהר יותר. אפשרות זו תיבדק בניסוי ייעודי בשנת הניטור הקרובה.

מדידות חוזרות באותה תקופה (אביב) בשנים 2003 ו-2004 מראות עליה בחומר האורגני בשנת 2004. שוב, מגמה זו מהווה המשך לזו שדווחה בשנה שעברה.



איור 22: אחוז חומר אורגני בסדימנט בתחנות המדידה בצפון מפרץ אילת בעונת האביב בשנת 2003 ו-2004.

ד. תוצאות ניטור המים הפתוחים

ד.1. הקדמה

בתקופת הדיגום הנוכחית (שנת 2004) בוצעו 12 הפלגות חודשיות לתחנה A (ראה איור ג1). עומק הקרקעית בתחנה זו הינו כ-700 מ' והיא נמצאת סמוך לקו החוצה של המפרץ כ-3 ק"מ צפונית מזרחית לנקודה הדרומית ביותר של המים הטריטוריאליים של מדינת ישראל במפרץ אילת. למעט הדיגום באוקטובר 2004, הדיגומים בוצעו ב-2 הורדות (casts) בקבוקים, CTD וחיישנים נוספים על גבי נושא המיכשור – (rosette). הורדה אחת הייתה עמוקה והאחרת רדודה, כאשר בכל אחת נדגמו 11 בקבוקי מים. העומק המרבי של ההורדה העמוקה היה תלוי בעומק הקרקעית, כאשר הבקבוק התחתון דגם מים 2-3 מ' מעל הקרקעית. עומקי סגירת הבקבוקים נקבעו עבור כל הורדה בנפרד בהתאם לפרטים מעניינים שהופיעו בתוצגת המכשירים בספינה בזמן אמיתי, לדוגמא: מקסימום פלואורוסנציה, מינימום מליחות ומיקום התרמוקלינה. באוקטובר 2004 היה ה-CTD של המכון בשיפוץ וכיול בארה"ב ולכן במקומו הורד CTD ישן של המכון (SBE-19 open S/N 156) ללא פלוארומטר עד לעומק של 500 מ'. בנוסף לתחנה A בוצעו הורדות גם בתחנה OS (open sea) הנמצאת על הקו החוצה בין תחנה A לכלובי הדגים כ-4 ק"מ דרומית לכלובים בעומק קרקעית של 400 מ'. כמוכן בוצעו קסטים בסמוך לכלובי הדגים (עומק קרקעית 55 מ' בצד הדרומי) וסמוך לבסיס חיל הים (עומק קרקעית 50 מ').

בחודשים פברואר ואוגוסט 2004 (15/8/2004, 22/2/2004) בוצעה הפלגות בהשתתפות צוות מדענים מהמעבדה הימית בעקבה, ירדן בראשותו של ד"ר מוחמד בדרן. מטרת ההפלגות האלו הייתה לבדוק את קיומו של גרדיאנט נוטריינטים במים העמוקים לכיוון דרום מעבר לתחום המים הטריטוריאליים של מדינת ישראל. לצורך כך, מעבר לתחנות הרגילות, קרי כלובי הדגים, OS ו-A בוצעו עוד 2 הורדות (עמוק ורדוד) בתחנה B הנמצאת על הקו החוצה כ-19 ק"מ דרומית לכלובים בשטח המים הטריטוריאליים של ירדן ובעומק קרקעית של 850 מ'.

בחתכים האנכיים נמדדו טמפרטורה, מליחות, לחץ, פלואורוסנציה באופן רציף בעזרת CTD של Sea-Bird Electronics ודגימות מים נלקחו מעומקים שונים שבהם נמדדו: חמצן מומס (DO), pH, אלקליניות (A_T), נוטריינטים (NO_2^{-1} , NO_3^{-1} , SiO_2 , PO_4^{-3}), מליחות, כלורופיל (Chl_a), התפלגות אוכלוסיית הפיטופלנקטון (FACS) ופרודוקטיביות (בעזרת אינקובציות עם ^{14}C).

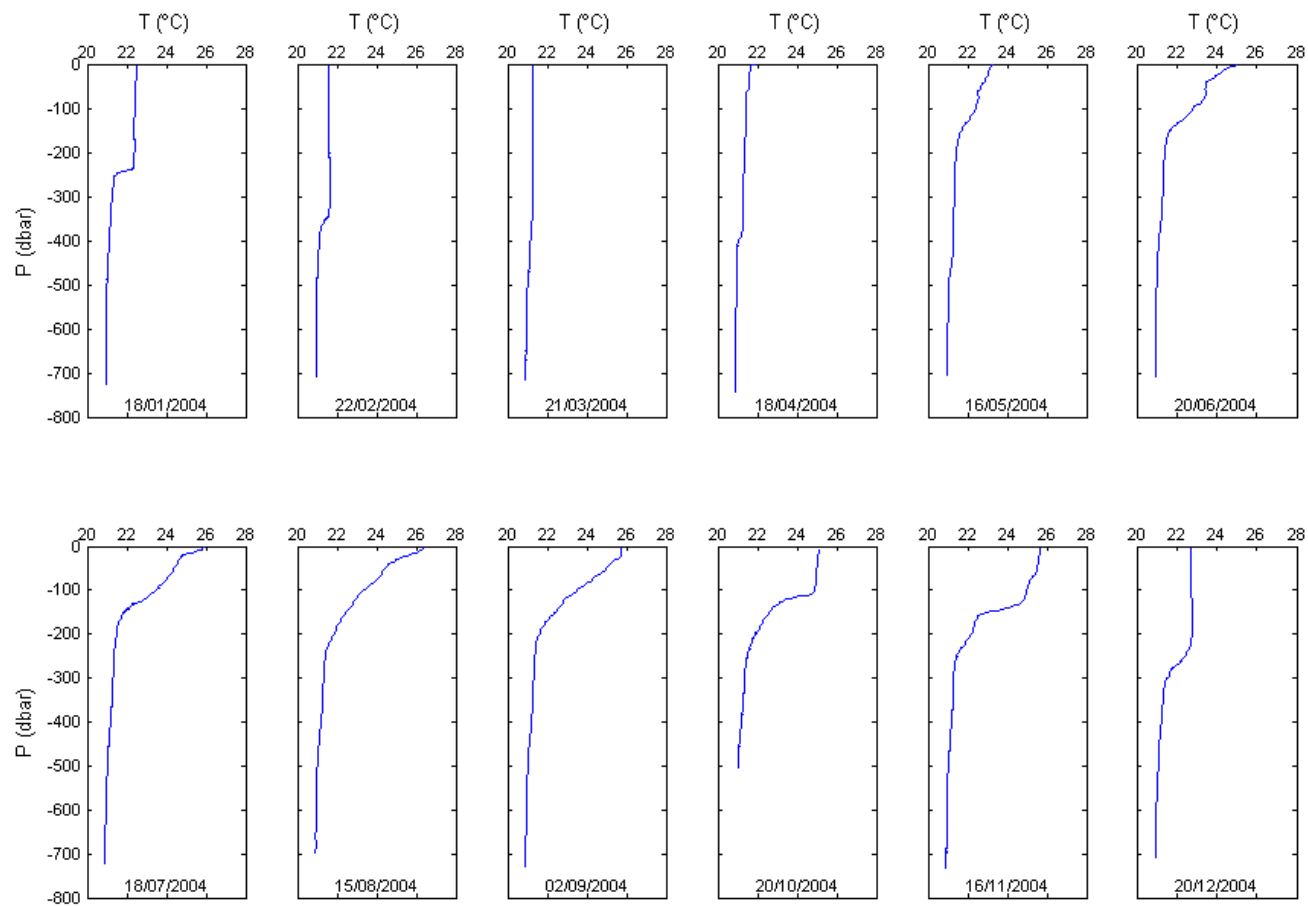
מדידות המכשירים לעיתים לא היו עקביות בהורדת הקסט לעומת ההרמה כנראה כתוצאה מהסתגלות הסנסורים למים. לכן על פי קונוונציה ועל פי העובדה שבקבוקי הניסקין נסגרו בשלב ההרמה תמיד נלקחו מדידות ה-up cast להצגה ולניתוח. בנוסף, בשלב עיבוד הנתונים בגלל רעש מדידה גדול בעיקר במליחות ובפלואורוסנציה, חושבו נתוני הטמפרטורה, המליחות והפלואורוסנציה לתאי עומק במרווחים קבועים של 1 dbar (Binning) ע"י מיצוע המדידות של כל תא עומק בסינגל המקורי. כמו-כן, סינגל המליחות והפלואורוסנציה נוקו מרעש לבן (white noise) ע"י שימוש בפונקציה wden.m (Wavelet Denoising) שנמצא ב-wavelet toolbox של תכנת Matlab.

ד.2. טמפרטורה ומליחות

איור 1ד מציג את כל מדידות הפרופילים של הטמפרטורה בתחנה A מינואר עד דצמבר 2004. באופן כללי ניתן לראות כי ישנו מחזור שנתי אופייני למבנה התרמלי של עמודת המים במהלך שנת הניטור האחרונה. בחורף (ינואר עד מרץ) עומק השכבה המעורבת הולך וגדל עד למקסימום של 350 מ' במרץ (טמפרטורת השכבה $21.29^{\circ}C$) לעומת 400 מ' במרץ אשתקד (טמפרטורת שכבה מעורבת $21.51^{\circ}C$). באפריל למרות שהשכבה המעורבת נראית עמוקה (370 מ') היא למעשה מתחילה להימחק וניתן לראות את התחלת התפתחות התרמוקלינה של הקיץ ב-50 המטרים העליונים. מחודש אפריל עומק בסיס התרמוקלינה הולך וגדל

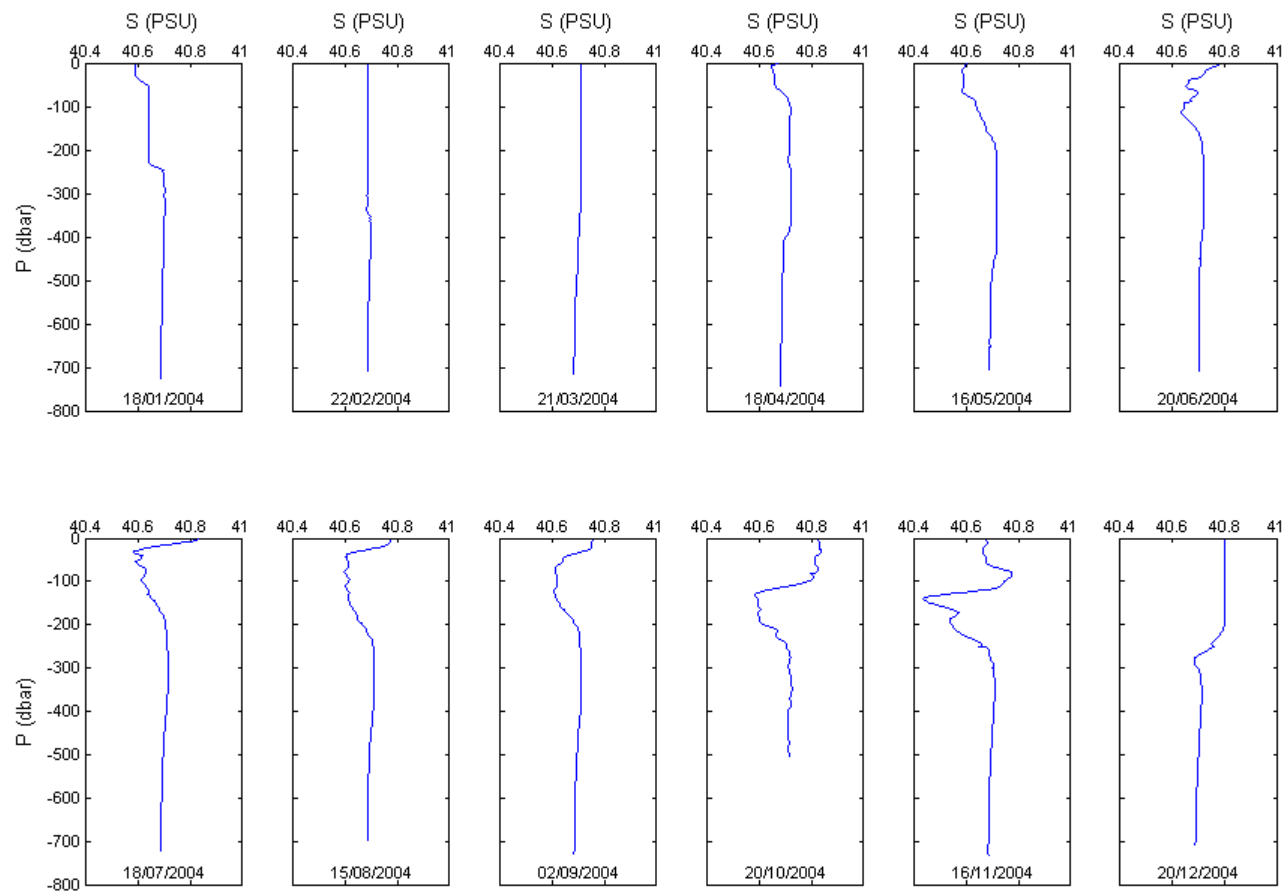
עד מקסימום של בערך 200 מ' בספטמבר (גם ביוני עד אוגוסט בסיס התרמוקלינה ב-200 מ'). למעשה מחודש יוני מרבית החום הנכנס נאגר בשכבה העליונה וגורם לעליית הטמפרטורה. הטמפרטורה המקסימאלית שנמדדה בפני השטח הייתה 26.39°C באוגוסט. מאוקטובר נראית כבר ירידה משמעותית בכמות החום האגורה במים העליונים ולמרות שנראית תרמוקלינה חלשה של 0.1°C בין 0 ל-40 מ' השכבה המערבבת כבר מגיעה ל-100 מ'. בנובמבר נראה כי התרמוקלינה מתחילה להתפתח מחדש ומי השטח מתחממים בכ- 0.5°C . למרות התקופה החמה של נובמבר שכבת המים העליונה מתערבבת עד עומק של 190 מ' ומתקררת ב- 2.9°C .

איור 2 ד מציג את כל מדידות הפרופילים של המליחות בתחנה A מינואר 2003. כמו בטמפרטורה מתקיים מחזור שנתי אופייני של מבנה עמודת המים מבחינת המליחות. בחורף (ינואר עד מרץ) עמודת המים של השכבה המערבבת אחידה מבחינת המליחות בדומה לטמפרטורה עד עומק מכסימאלי של 370 מ' במרץ (PSU 40.7). עם תחילת השייכוּב מופיעה שכבה של מים יותר טריים בחלקה העליון של העמודה. במהלך תקופת השייכוּב שכבה זו מתערבבת עם המים העמוקים יותר באופן מכני או בתהליך דיפוזיה ואילו מעל ל-50-70 מ' המים הולכים ומתאדים. כך נוצר מינימום המליחות האופייני לתקופת הקיץ במים הפתוחים. בספטמבר מינימום המליחות נמצא בעומק שבין 60 ל-130 מ' וערכו PSU 40.6. באותו זמן מליחות פני השטח PSU 40.754. באוקטובר בהתאם לשינוי במבנה הטרמלי גם המליחות הופכת אחידה כתוצאה מערבוב קונבקטיבי ונוצרת אי רציפות במליחות בעומק 100 מ'. בעומק זה מתרחש מעבר מהיר ממליחות של 40.8 בשכבה המערבבת ל- PSU 40.6 במינימום מליחות על פני טווח העומקים 100 עד 180 מ'. בנובמבר עם ההתחממות של השכבה העליונה יש הספקה של מים פחות מלוחים (כנראה מדרום) ומתפתחת שכבה של מליחות גבוהה בטווח העומקים 60 עד 110 מ'. בדצמבר ביחד עם הקירור האינטנסיבי נמחקת גם ההלוקלינה והמליחות נהיית קבועה מפני המים עד לעומק של 200 מ' בערך של PSU 40.8. באיור 3 מוצגים הפרופילים של פלואורוסנציה בתחנה A. סיגנל זה משקף את ריכוז הכלורופיל בכל עומקי המדידה. התכונה הבולטת של מבנה עמודת המים מבחינת פלואורוסנציה בתקופה המשוכבת היא קיומו של מקסימום בעומק של 100 מ' שזהו גם עומק השכבה האאופוטית במפרץ. עם תחילת הערבוב באוקטובר נמרה הסיגנל על פני כל השכבה המערבבת באופן אחיד. נראה כי האינטגרל של הפלואורוסנציה גדול יותר במדידות החורף משאר המדידות שנערכו בתקופת השייכוּב.

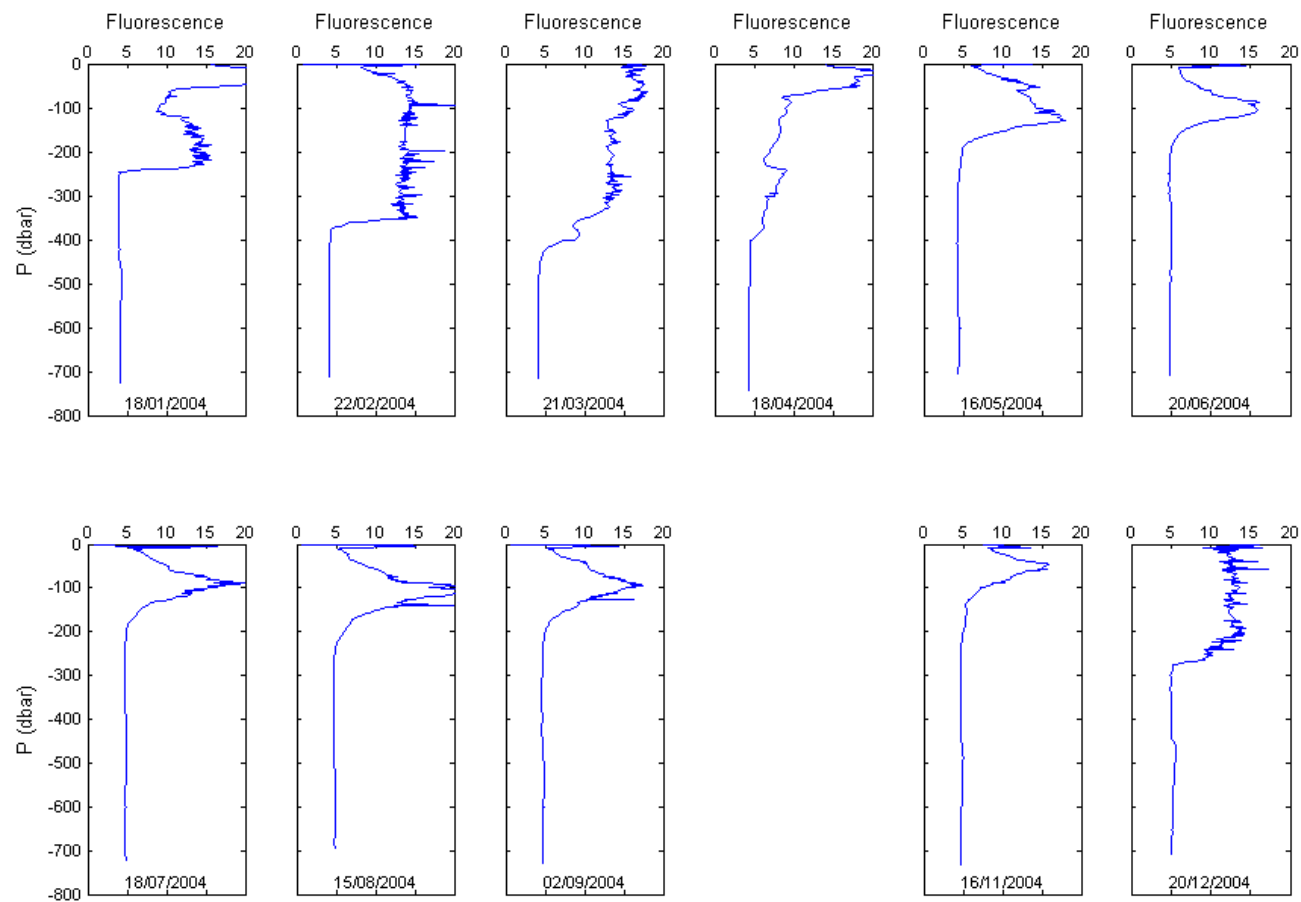


איור 17: פרופילים אנכיים של טמפרטורה בתחנה A מינואר עד דצמבר 2004. הטמפרטורות מוצגות בסקאלה של IPTS-68.

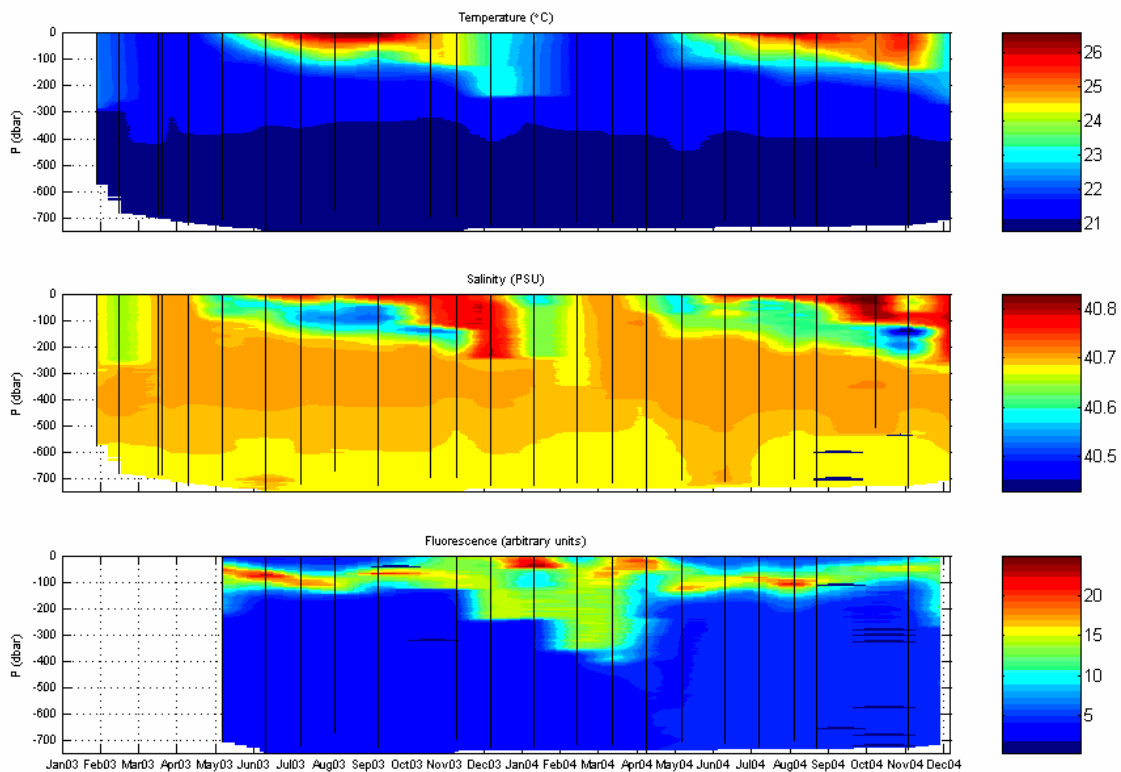
Figure D1: Vertical profiles of temperature at station A from January to December 2004. The temperature is presented in the IPTS-68 scale.



איור ד2: פרופילים אנכיים של מליחות בתחנה A מינואר עד דצמבר 2004. המליחות מוצגות בסקאלה של IPS-78.
Figure D2: Vertical profiles of salinity at station A from January to December 2004. The salinity is presented in the IPS-78 scale.



איור ד3: פרופילים אנכיים של פלואורוסנציה בתחנה A מינואר עד דצמבר 2004. הפלואורוסנציה מוצגת ביחידות שרירותיות.
Figure D3: Vertical profiles of fluorescence at station A from January to December 2004. The fluorescence is presented in arbitrary units.



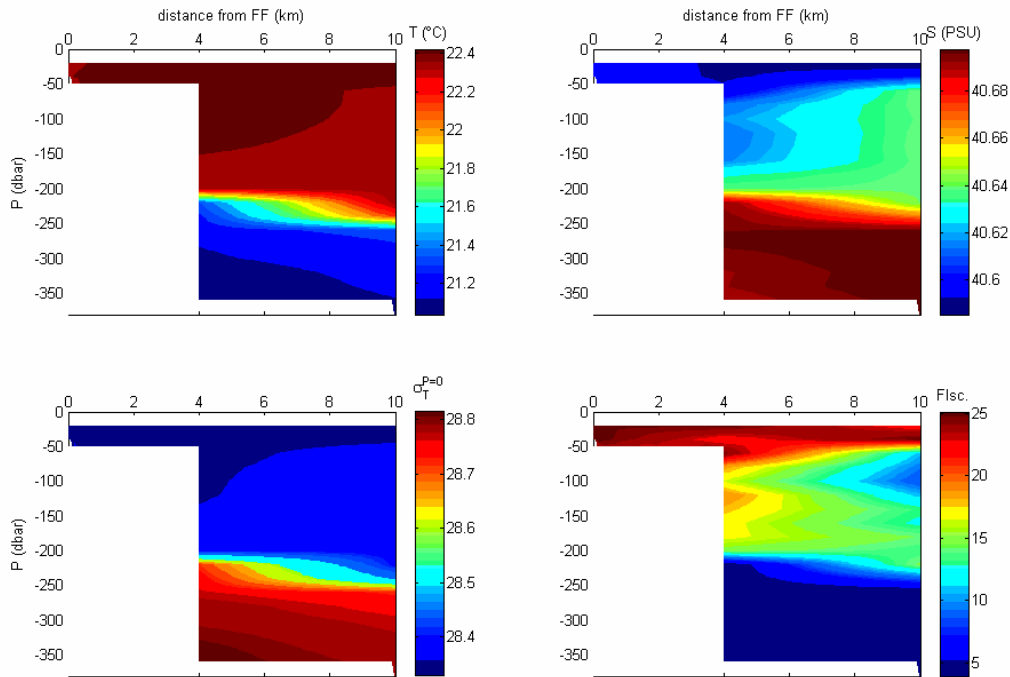
איור 4ד: תצוגת קונטור של טמפרטורה (פנל עליון), מליחות (פנל אמצעי) ופלאורוסנציה (פנל תחתון) לאורך הזמן מתחילת פרויקט הניטור בינואר 2003. הקווים באיורים מייצגים את זמני המדידות ועומקן המקסימאלי. לפני שלב הרישות (gridding) המליחות והפלאורוסנציה עברו תהליך של Wavelet Denoising ו-binning. והטמפרטורה עברה רק binning. ניתן לראות בברור את המחזוריות העונתית של השתנות הפרמטרים הללו לאורך עמודת המים.

Figure D4: Contour plots of temperature (upper panel) and salinity (lower panel) at station A throughout the year. The vertical black lines in the plots represent the time of the casts at station A throughout the year. Before gridding the raw data the salinity was denoised with a wavelet filtering procedure. The seasonal cycle of these parameters in the open sea water column in the northern Gulf of Eilat are readily apparent in this presentation.

כאמור בהפלגות בוצעו גם מדידות פרופילים אנכיים ב-OS ובכלובי הדגים (FF), ע"מ לבדוק את קיומו של גרדיאנט צפון דרום לאורך הקו החוצה את המפרץ. ראוי לציין כי מרווח הזמן בין המדידות בתחנות השונות לא עלה בד"כ על 3 ש"ע (לכל היותר). עובדה זו בעלת משמעות משום שבמהלך התקופה המשוככת במדידות עוקבות בתחנה A (מחזור יומי 24 ש"ע, כל שעתיים) נראו שינויים בעומק הטרמוקלינה עד כדי עשרות מטרים במרווחי זמן של כמה שעות בין מדידה למדידה המעידים על קיומן של גלים פנימיים (מדידה זו בוצעה במסגרת הקורס שיטות מחקר בריכוזו של פרופ' בועז לור מהמכון למדעי כדה"א באוניברסיטה העברית בקיץ 2003). לכן במדידות הגרדיאנט לא צריך לתת יותר מדי משקל לוריאביליות אנכית בין תחנות (בייחוד באזור הטרמוקלינה), מפני שהיא יכולה להיות תוצאה של התקדמות גל פנימי עם הזמן. לעומת זאת וריאביליות אופקית היא בעלת משמעות רבה יותר בתנאי מדידה אלו. באיורים הבאים מובאים ציורי קונטורים של טמפרטורה, מליחות, צפיפות בלחץ אטמוספרי (σ_T) ופלאורוסנציה.

בינואר נראה כי כל צפון המפרץ לפחות עד לעומק של 200 מ' כמעט הומוגני מבחינה תרמלית (איור 5ד). כמוכן קיים הבדל מליחיות קטן (PSU 0.02) בשכבת ה-200 מ' העליונים בין האזור התחום בין כלובי הדגים ל-OS לבין תחנה A. הבדל הזמנים בין המדידה בתחנה A לתחנה OS הוא בערך 4 ש"ע מה שיכול להסביר את ההשתנות האנכית של הטרמוקלינה, הלוקלינה ופיקוקלינה ובמידה מסוימת מדידת

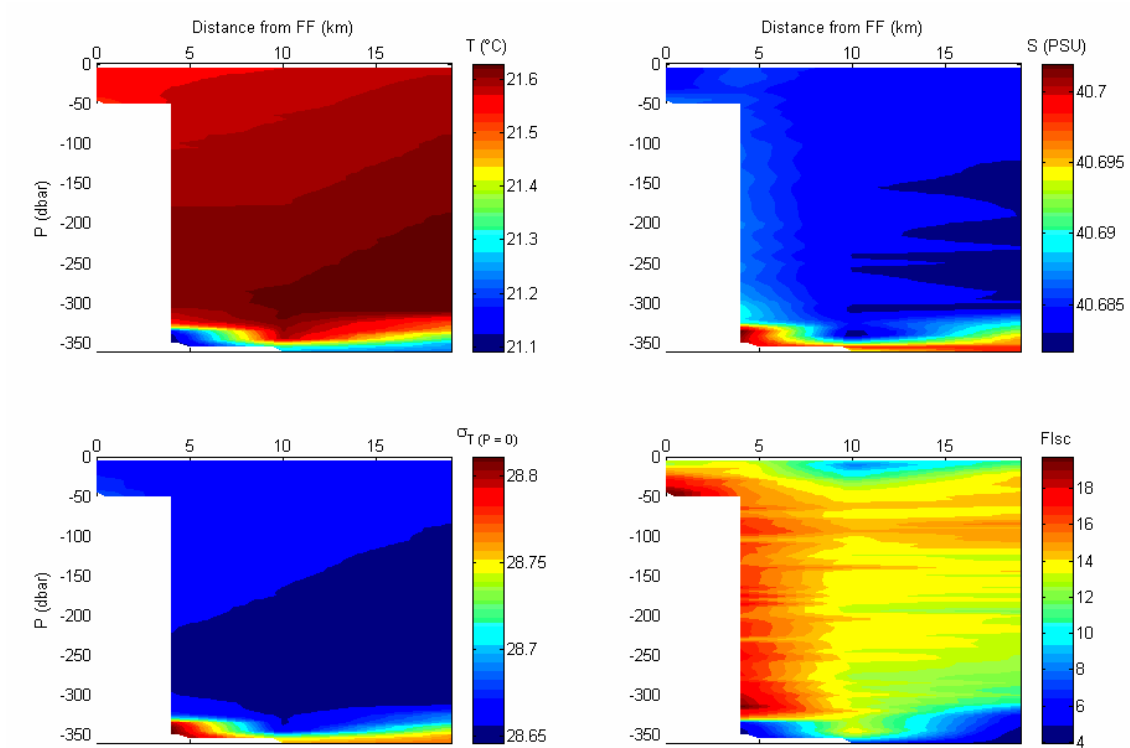
הפלווארוסנציה. זמן זה קטן בשעתיים מזמן מחצית המחזור של גל הכרית ולכן אם מדדנו בתחנה A קצת אחרי שיא השפל אזי המדידה ב-OS נעשתה קצת לפני שיא הגאות ולכן נצפה להשקעה של הטרמוקלינה וכל השאר. במדידת הפלווארוסנציה באזור החוף הצפוני נראים ערכים גבוהים יותר מאשר באזור תחנה A בטווח העומקים של 100 עד 200 מ'. כיוון שעומקים אלה נמצאים מתחת לשכבה האאופוטית סביר להניח שהעשרה זו באזור OS והכלובים קשורה דווקא בערבוב אנכי מוגבר על המדף שאף היא תוצר של שבירת גלים פנימיים.



איור 5ד: פרופיל צפון דרום לאורך הקו החוצה של המפרץ ב-18/1/2004 מתחנה A בדרום במרחק 10 ק"מ מכלובי הדגים ועומק קרקעית של 700 מ', דרך תחנת OS במרחק של 4 ק"מ מהכלובים ועומק קרקעית של 400 מ' ולבסוף כלובי הדגים בעומק קרקעית של 55 מ'. מוצגים תרשימי קונטור של טמפרטורה (פנל שמאלי עליון), מליחות (פנל ימני עליון), צפיפות מחושבת מטמפרטורה ומליחות בלחץ אטמוספרי ביחידות סיגמה (פנל שמאלי תחתון) ופלווארוסנציה ביחידות שרירותיות (פנל ימני תחתון).

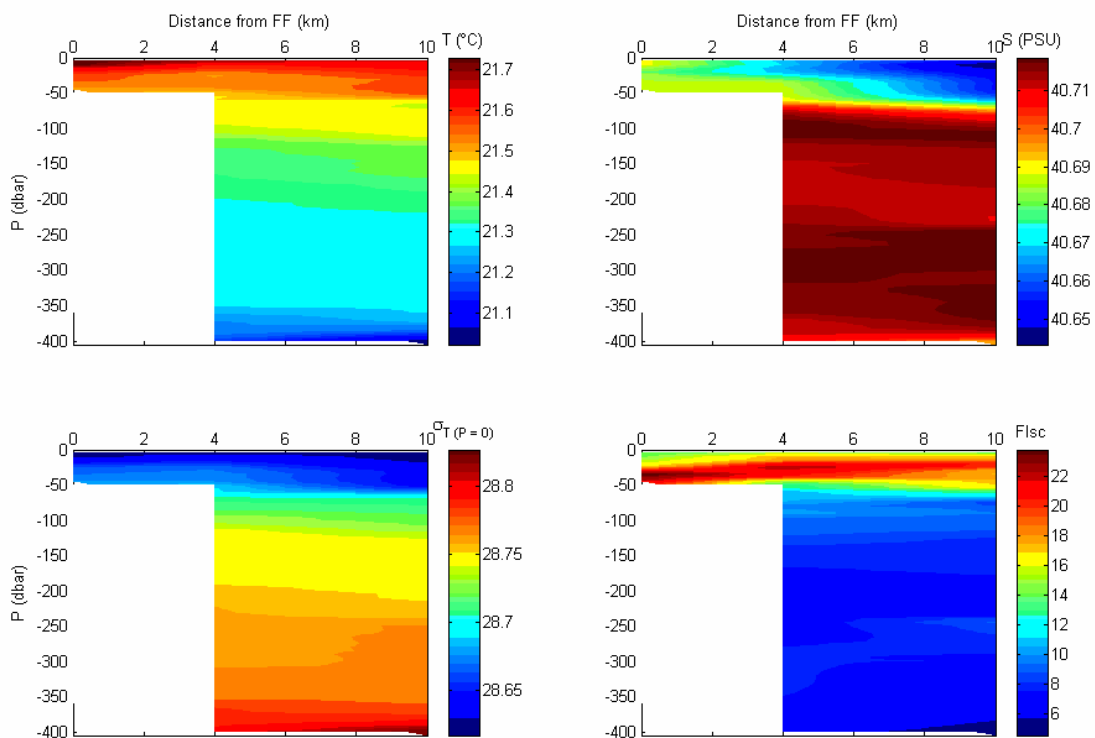
Figure D5: North to south profile along the Gulf bisecting line between stations A in the south through OS station to the FF station (0 on the x axis) in the north during the January 2004 monitoring cruise. Contour plots of temperature (upper left panel), salinity (upper right panel), density (in sigma T units and atmospheric pressure, lower left panel) and fluorescence (arbitrary units) are presented.

בחודש פברואר הפלגת הניטור כללה גם את תחנה B שהיא כ-19 ק"מ דרומית לכלובי הדגים על הקו החוצה של מפרץ אילת במים הטרטוריאליים של ירדן. מתוצאות המדידה רואים כי העמודה מעורבת לחלוטין עד לעומק של קצת פחות מ-350 מ' מבחינת כל הפרמטרים הפיסיקליים (איור 6ד). עם זאת ניתן לראות הבדל אופקי משמעותי במדידת הפלווארוסנציה שבה הערכים הגבוהים יותר נצפו מכלובי הדגים כמעט עד תחנה A והנמוכים יותר באזור תחנה B. ניתן לפרש את התצפית אם נתחשב בעומק הקרקעית בקרבת או על מדף היבשת שבה אין מגבלת אור ליצרנות ראשונית כפי שיש במים העמוקים יותר שבהם היצרנים הראשוניים מתערבבים אל הרבה מתחת לשכבה האאופוטית. הערכים הגבוהים בצפון הם כנראה תוצאה של ערבוב אופקי בין A למים רדודים יותר מצפון לתחנה זו. עצם העובדה שניתן לראות גרדיאנט אופקי שכזה מעיד על זמן שהות מספיק ארוך גם כאשר המים הם הומוגניים מבחינת צפיפות באזור החוף הצפוני. לא ניתן להעריך זמן זה ממדידות אלו אלא רק ע"י הזרקת סמן פסיבי.



איור ד6: כמו איור ד5 עבור חודש פברואר כולל את תחנה B (22/2/2004).

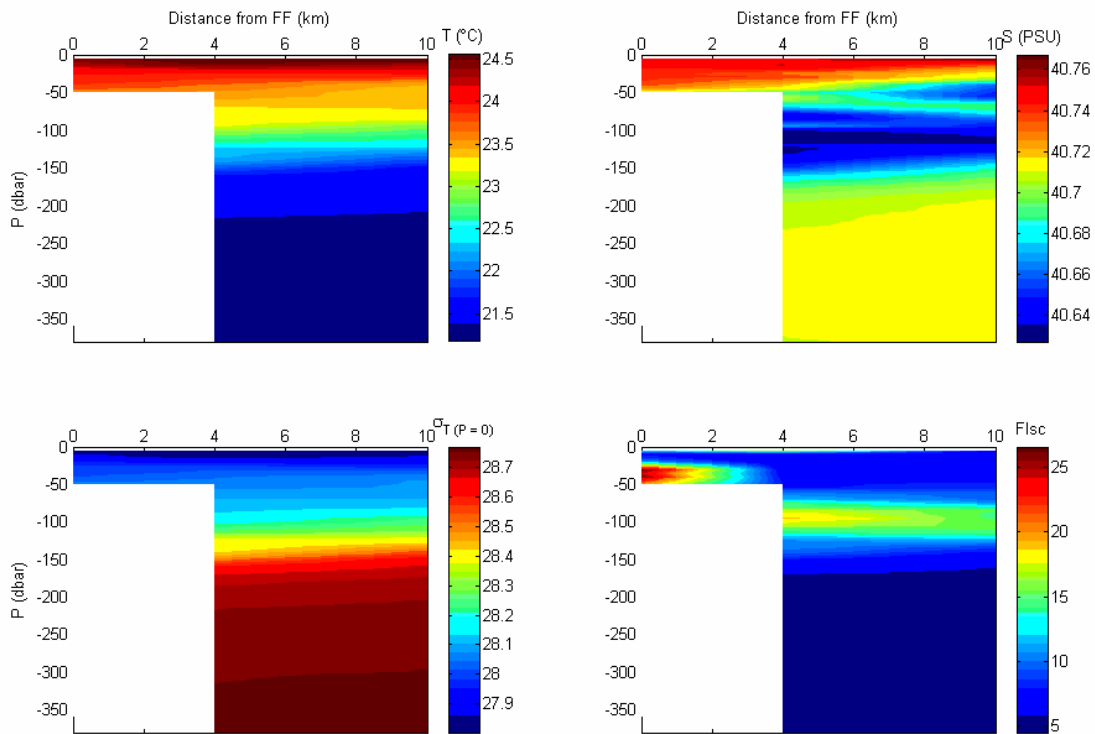
Figure D6: North to south profile along the Gulf bisecting line between station B in the south (territorial water of Jordan) through station A, OS station to the FF station (0 on the x axis) in the north during the February 2004 joint (Israeli – Jordanian) monitoring cruise. Contour plots of temperature (upper left panel), salinity (upper right panel), density (in sigma T units and atmospheric pressure, lower right panel) and fluorescence in arbitrary units (lower right panel) are presented.



איור 7ד: כמו איור 6 עבור חודש אפריל (18/4/2004).

Figure D7: North to south profile along the Gulf bisecting line between stations A in the south through OS station to the FF station (0 on the x axis) in the north during the April 2004 monitoring cruise. Contour plots of temperature (upper left panel), salinity (upper right panel), density (in sigma T units and atmospheric pressure, lower left panel) and fluorescence in arbitrary units (lower right panel) are presented.

בחודש אפריל ישנה מעט וריאביליות אופקית ועמודת המים נראית משוכבת באותה מידה מבחינת כל הפרמטרים. עובי העמודה המעורבת בין כלובי הדגים ל-OS הוא בערך 50 מ' לפי טמפרטורה ו- σ_T . בחודש יוני (איור 8ד) שוב ניכרת השפעת השיכוב על מבנה עמודת המים אך הבדל הטמפרטורה בין השכבה העליונה והתחתונה הולך וגדל. אין הבדלים אופקיים בפרמטרים בין התחנות פרט לפלואורוסנציה שגבוהה מאוד באזור כלובי הדגים מעומק של 20 מ' עד לקרקעית. בין OS לתחנה A הפלואורוסנציה בעומקים אלה מאוד נמוכה ועלולה רק ב-DCM האופייני לתקופה המשוכבת עם ערכים מעט יותר גבוהים ב-OS לעומת A.



איור 8ד: כמו איור 6 עבור חודש יוני (20/6/2004).

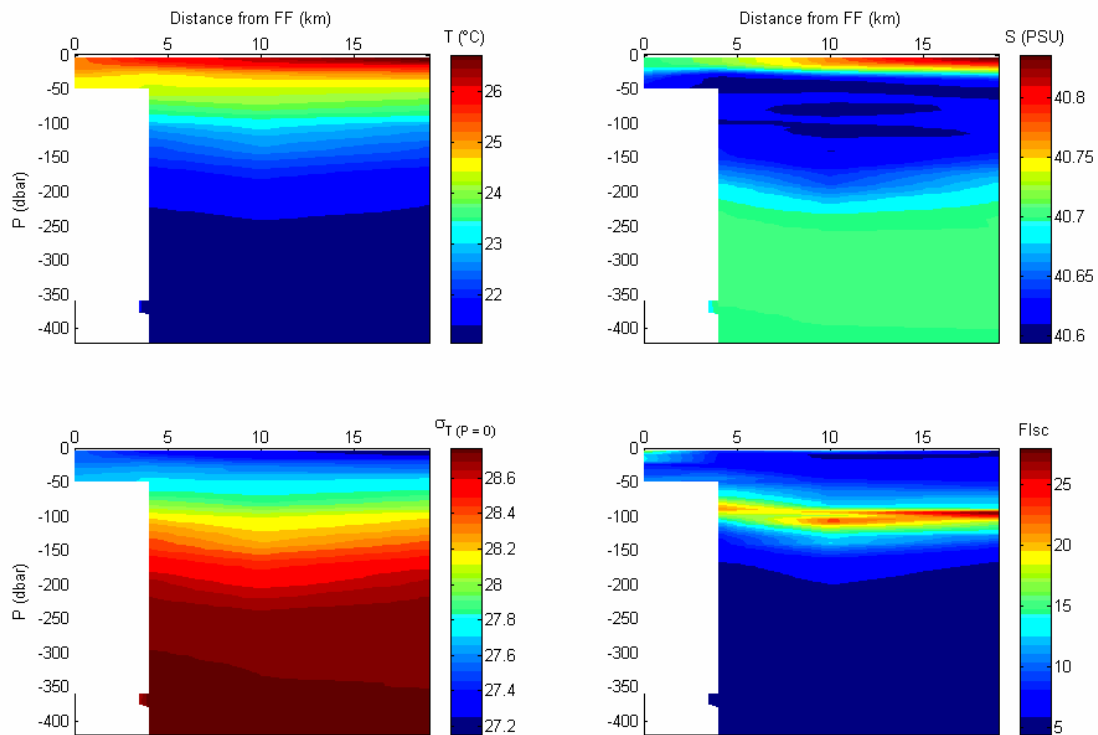
Figure D8: North to south profile along the Gulf bisecting line between stations A in the south through OS station to the FF station (0 on the x axis) in the north during the June 2004 monitoring cruise. Contour plots of temperature (upper left panel), salinity (upper right panel), density (in sigma T units and atmospheric pressure, lower left panel) and fluorescence in arbitrary units (lower right panel) are presented.

באוגוסט שוב נערכה הפלגה בשיתוף עם חוקרים ירדניים לתחנה B הנמצאת 19 ק"מ דרומית לכלובי הדגים על קו חוצה צפון/דרום של המפרץ (איור 9). לא נראים הבדלים מהותיים או מגמות שינוי מצפון לדרום בכל הפרמטרים למעט מליחות שבו ניתן לראות גרדיאנט של 0.05 PSU על טווח של 10 ק"מ עד לעומק של 30 מ' מפני המים מכלובי הדגים דרומה. גם בפלואורוסנציה ניתן לראות ערכים קצת יותר גבוהים בקרבת פני השטח באזור כלובי הדגים בדומה ליוני.

בהפלגה זו גם מדדנו בתחנות הנמצאות מערבה ומזרחה לתחנה A על קו הניצב בערך לקו החוצה של המפרץ. באיור 11 ניתן לראות את תרשימי הקונטורים של הפרמטרים שנמדדו ב-CTD המראים מספר פרטים מאוד מעניינים אשר יכולים להיות בעלי חשיבות מרכזית בהבנת מבנה עמודת המים בפרופיל על קו צפון דרום של צפון המפרץ. בצד המזרחי של המפרץ ניתן לראות כי התרמוקלינה עד עומק של 80 מ' עבה יותר יחסית לזו שבצדה המערבי של המפרץ שבו מפל הטמפרטורות משתרע על 60 המטרים העליונים, 20 מ' פחות. בנוסף לכך ההלוקלינה נראית שהיא מרדידה ממערב למזרח בערך ב-15 מ'. מבנה דומה למבנה התרמלי נראה בצפיפות שרואים בצד המזרחי מעין התפצלות בקווי שווי צפיפות כלפי מעלה ומטה בעומק של 40 מ'. אותם קווים מצטופפים באזור התחנה המערבית בדומה לקווים שווי טמפרטורה. לבסוף גם בתחנה המזרחית וגם בתחנה המערבית ישנה הרדדה של ה-DCM (Deep Chlorophyll Max). הפרשנות המקובלת לתצפית זו היא עליית מים עמוקים כתוצאה מהסעת אקמן מכיוון החוף המזרחי לכיוון החוף המערבי בהשפעת הרוח הצפונית השכיחה במהלך כל השנה. הסבר זה אינו משביע רצון כיוון שהוא לא מסביר את ההתפצלות וההצטופפות של קווים שווי צפיפות וטמפרטורה בקרבת התחנה המזרחית והמערבית בהתאמה. כמוכן בשתי התחנות ה-DCM מרדיד, מה שמצביע על זמינות נוטריינטים ליצרנות ראשונית במים יותר רדודים בשתי

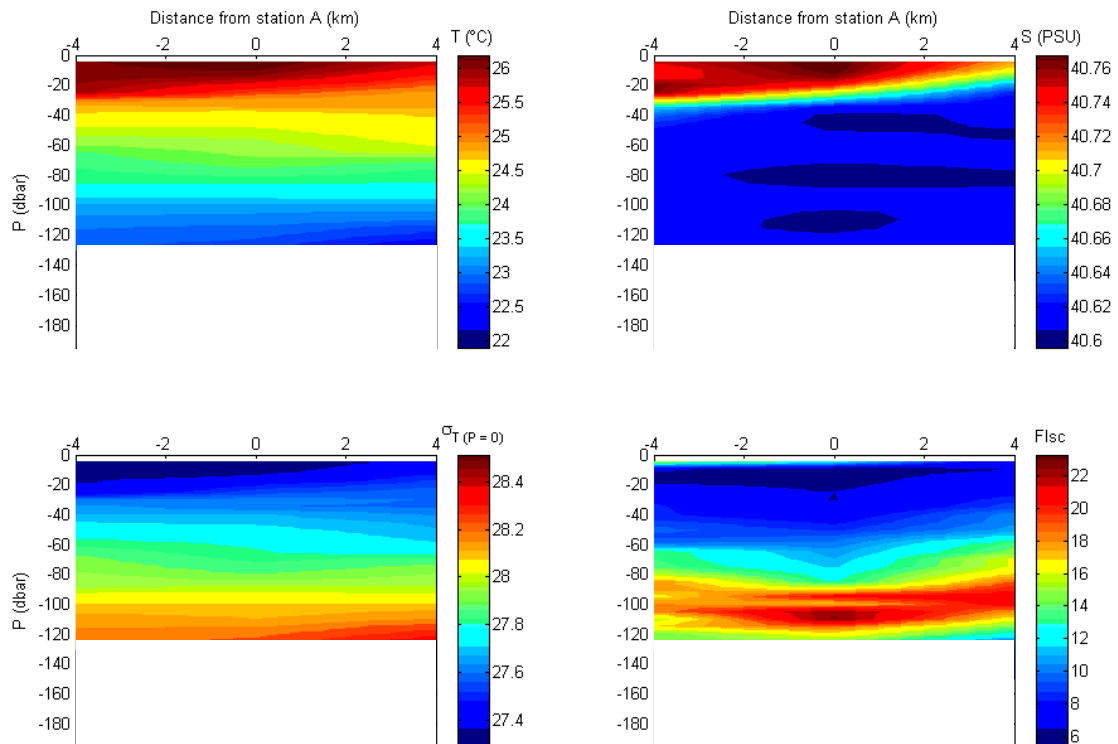
התחנות. אפשרות נוספת להסביר תופעה זו היא אינטראקציה של גלי הכרית הפנימיים המתקדמים לאורך הפיקנוקלינה עם הקרקעית בקרבת החוף כאשר התופעה הזאת יותר חזקה אם מדרון היבשת תלול יותר. אכן מדרון היבשת בצד הירדני של המפרץ יותר תלול לפחות בצפון המפרץ ממדרון היבשת בצד המערבי של המפרץ.

מליחות וטמפרטורת המים באזור הכלובים (איור ד9) די דומים לאלו שנמדדו בתחנה המזרחית (איור ד10) דבר המצביע על אפשרות שמקור המים בכלובים הוא בכלל מהחוף המזרחי של המפרץ. לכן על מנת לקיים את עיקרון הרציפות בהנחה שמים נמצאים בתנועה מתמדת מי הכלובים חייבים להתפנות משם לכיוון מערב. פרשנות זו אינה נתמכת במדידות זרמים אך בהחלט תומכת בתזה שמי כלובים מושאים לאורך החוף המערבי של המפרץ כפי שנבדק ע"י אבלסון ושות' ויכולים להגיע לשוניות האלמוגים בחוף הדרומי של אילת.



איור ד9: כמו איור 66 עבור חודש אוגוסט (15/8/2004).

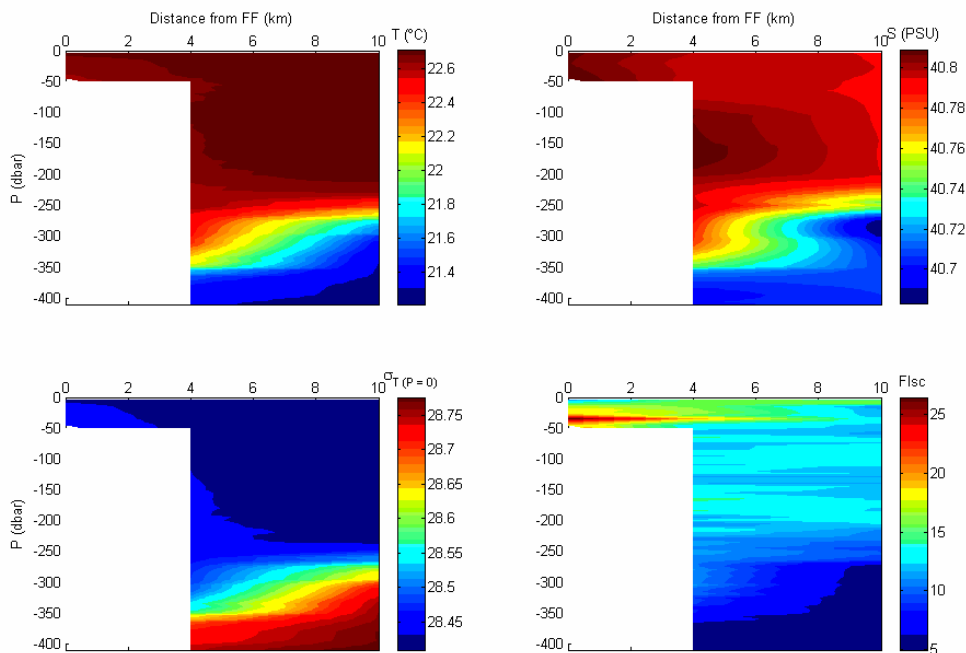
Figure D9: North to south profile along the Gulf bisecting line between station B in the south (territorial water of Jordan) through station A, OS station to the FF station (0 on the x axis) in the north during the August 2004 joint (Israeli – Jordanian) monitoring cruise. Contour plots of temperature (upper left panel), salinity (upper right panel), density (in sigma T units and atmospheric pressure, lower right panel) and fluorescence in arbitrary units (lower right panel) are presented.



איור 10: פרופיל ממערב למזרח דרך תחנה A (0 על ציר ה-X) בניצב לקו החוצה צפון דרום של המפרץ (שלילי מערבה לתחנה A וחיובי מזרחה לתחנה A) שנמדד בהפלגה המשותפת עם הירדנים באוגוסט 2004 (15/8/2004). באיורים מוצגים תרשימי קונטור של טמפרטורה (פנל שמאלי עליון), מליחות (פנל ימני עליון), צפיפות ביחידות סיגמא שחושב ללחץ אטמוספרי ממליחות וטמפרטורה (פנל שמאלי תחתון) ופלוואורוסנציה ביחידות שרירותיות (פנל ימני תחתון).

Figure D10: East west profile through station A (0 on the X axis) at a right angle to the north-south Gulf bisector (negative west of station A and positive is east of station A) measured during a joint cruise with the Jordanian monitoring team during August 2004. Contour plots of temperature (upper left panel), salinity (upper right panel), density in sigma units calculated for atmospheric pressure with temperature and salinity (lower left panel) and fluorescence in arbitrary units (lower right panel).

באיור 11 מוצגות המדידות מהפלגת הניטור של חודש דצמבר 2004 שבה כבר ניכרת השפעת הקירור של פני המים על מבנה עמודת המים מבחינת כל הפרמטרים. בכל זאת קיימת מידה קטנה מאוד של וריאביליות אופקית בטמפרטורה ומליחות נמוך וגבוה בהתאמה בצפון המפרץ לעומת דרום המפרץ. הבדלים אלה משתקפים בתרשימי קונטורי הצפיפות אשר למעשה מציגים תמונה של יצירת מי עומק על מדף היבשת השוקעים לעומק בצפון ומוחקים את שאריות התרמוקלינה של הקיץ מצפון לדרום. גם בפלוואורוסנציה ישנו גרדיאנט מובהק מצפון לדרום בין 20 ל-50 מ' מפני המים (הכי גבוה בכלובים). שוב תצפית זו מדגימה את התזה של זמן שהות באזור החוף הצפוני גם כשעמודת המים מעורבת לגמרי ולא ערבוב מידי.



איור 11: כמו איור 6 עבור חודש דצמבר (20/12/2004).
Figure D11: As in Figure D6 for December (20/12/2004).

3. ד. תוצאות המדידות הכימיות והביולוגיות בעמודת המים

להלן מתוארות תוצאות המדידות הכימיות והביולוגיות שנערכו במסגרת דיגום המים הפתוחים.

חמצן

על פי (איור 12) ניתן לראות כי בחורף למרות שמאגר החמצן הולך וגדל בשכבה המעורבת ריכוזו עדיין נמוך מרוויה, בשל עליית מים עניים בחמצן תוך כדי הערבוב. לעומת זאת, עם תחילת השיכוב ועליית הטמפרטורה מי השכבה העליונה מצויים בעל רוויה ברורה החל מחודש מאי כתוצאה מיצרנות ראשונית מוגברת בחודשי האביב. התפתחות מקסימום החמצן בשכבה האאופוטית מתחילה כבר במאי ועומקו מתאים בקרוב לעומק המקסימום כלורופיל (DCM). לכן מקורו ביצרנות ראשונית.

במים העמוקים (400 - 650 מ') נראית עליה במאגר החמצן מינואר עד מרץ (איורים 12 ו-21) ובאפריל המאגר קטן ועולה לערך המכסימלי במאי ($43.5 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2}$). לאחר מכן יורד המאגר לערך המינימום שלו בספטמבר ($40.5 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2}$) ומתחיל לעלות עד דצמבר. ישנה ירידה של $1.2 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2}$ (בערך 2.5%) במאגר החמצן של שנת 2004 בעמודה העמוקה בהשוואה לשנת 2003.

כיוון שהמים העמוקים אינם מגיעים למגע עם האטמוספירה ואין בהם יצרנות, אזי הירידה יכולה לקרות רק כתוצאה מצריכה בתהליכי חמצון חומר אורגני הנמצא או מגיע למים העמוקים בגוף המים או בסדימנט. בשנת 2003 ריכוז החמצן בקרבת הקרקעית ירד ל- $162 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ואילו השנה ירד ריכוז החמצן ל- $153 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ בחודש ספטמבר ועומק של 727 מ'. ריכוז זה הוא הנמוך ביותר שנמדד אי פעם בתחנה A מכל המדידות שנעשו מאז שנות ה-70. איור 19 ממחיש בצורה ברורה ביותר את תהליך האאוטרופיקציה שמתרחש בצפון מפרץ אילת בשנים האחרונות. באיור זה מוצגת השתנות ריכוזי החמצן בעומקים השונים בתחנה A מאז שנת 1975. באיור זה ניתן לראות את ירידת ריכוז החמצן במים העמוקים עם הזמן מערכים של $190-200 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ בעבר לריכוזים של $150-160 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ כיום. בנוסף לכך מוצגים הסטיות

של ריכוזי החמצן שנמדדו מערכי הרוויה שחושבו כפונקציה של טמפרטורה ומליחות בכל עומק ועומק. ערך זה קרוי AOU (Apparent Oxygen Utilization) המבטא את צריכת החמצן בעמודת המים בתהליכים חמצון של חומר אורגני. לכן ערכים יותר שליליים מבטאים צריכה יותר גדולה של חומר אורגני בתחנה A. הנתונים מציגים מגמה ברורה של תהליך אוטוריפיקציה בצפון מפרץ אילת.

pH

מדידות ה-pH מוצגות באיור 13 כפי שנמדדו במעבדה בטמפרטורה של 25°C . פרופילי ה-pH דומים לפרופילי החמצן מפני ששני הפרמטרים תלויים בקצבי הפוטוסינתזה והנשימה בעמודת המים. במים העמוקים נראה כי בניגוד למצופה (כתוצאה מנשימה) ערכי ה-pH עולים במעט במהלך השנה בערך ב-0.05 יחידות pH. דבר זה אפשרי רק אם יש במקביל לנשימה המסה של CaCO_3 או דניטריפיקציה (צריכת ניטראט בנשימה אנאירובית) אשר תעלה את האלקליניות ותגרום לעליית ה-pH. תהליכים אלו מתקיימים בסדימנטים וניתן לראות את קיומם במדידות הניטראט או האלקליניות. באיור 25 מוצגים ערכי ה-pH כנגד ריכוזי החמצן בעומקים הגדולים מ-650 מ'. ניתן לראות בברור כי קיים קשר הפוך בין pH לחמצן בעומקים אלו. כל השינוי ב-pH בים העמוק הוא +0.03 יחידות pH עבור שינוי של $7 - \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ חמצן. בהתחשב בדיוק במדידה (± 0.003 יחידות pH) הבדל זה הינו משמעותי (ולא ניתן לייחסו ל"רעש" אנליטי). תצפית זו יכולה להוות עדות תומכת בקיום תהליך הדניטריפיקציה במים העמוקים ו/או בהמסה של CaCO_3 בסדימנטים.

ניטריט

מדידות הניטריט המובאות באיור 14 מדגימות את הקשר החזק בין דינאמיקת הנוטריינטים בעמודת המים לתהליכים הביולוגיים המתרחשים בה. ניטריט הוא תוצר ביניים רעיל באופן מיוחד וגורם להפסקת נשימה, אך לא בריכוזים הנמוכים בהם הוא מצוי בעמודת המים. הניטריט נוצר בתהליך חמצון בקטריאלי של אמוניה המופרשת בתהליכי חמצון חומר אורגני, או לחלופין בתנאים אנארוביים בהם מתקיים תהליך של דניטריפיקציה מיקרוביאלי שבו מתבצע חיזור של ניטרט לניטריט. מכיוון שעמודת המים היא אירובית לא סביר שהתהליך השני מתרחש בבית גידול זה, אך יתכן שהוא מתקיים בסדימנטים. ניתן לראות סימנים לכך בעליית ריכוז הניטריט בעומקים גדולים מ-600 מ' בינואר, מאי, יוני ואוגוסט. לעומת זאת ריכוז הניטריט משתנה באופן משמעותי מתחת ל-DCM (Deep Chlorophyll Max) – אקוויולנטי למקסימום פלואורוסנציה) במהלך תקופת השיכוב ובשכבה המעורבת בחורף. בתקופת החורף מאגר הניטריט המומס בשכבה המעורבת הולך וגדל עם העמקת הערבוב. עם תחילת השיכוב מתפתח בשכבה שבין 100 ל-200 מ' (מתחת לשכבה האאופוטית) אזור של מקסימום ניטריט (ריכוז גבוה יחסית למים שמעל ומתחת). תופעה זו מעידה על קיום שכבה מוגבלת בה תהליכי פרוק החומר האורגני וחמצון בקטריאלי של אמוניה הינם חזקים יחסית. עם זאת מאגר הניטריט באזור זה הולך וקטן ככל שעמודת המים מתייצבת, דבר המעיד על הירידה במאגר החומר האורגני במים העליונים ועל אי חידושו עקב הנתק המתחזק בין שכבת השטח הענייה בנוטריינטים למים העמוקים שהם מקור הנוטריינטים ליצרנות ראשונית. בשנת 2004 התקיים המקסימום הזה בכל משך התקופה המשוכבת למעט חודש יולי.

ניטראט

הניטראט (איור 15) נוצר ע"י חמצון בקטריאלי של אמוניה או חנקן אורגני (דרך ניטריט) ומהווה את מרבית החנקן המחומצן במי העומק ובעצם מהווה אינדיקציה לכמות החומר האורגני שפורק בתהליכי נשימה במים אלה. בחורף גורם הערבוב להעשרה של מי השטח בניטראט המגיע מהעומק. הניטראט מנוצל ליצרנות ראשונית ולכן ריכוזו נמוך יחסית לריכוזו בעומק. כשעומק הערבוב גדל מעבר לעומק הקריטי (400 – 500 מ' – על-פי ב. לזר) ריכוז הניטראט מתחיל לעלות באופן מהיר בעמודה המעורבת עקב חוסר ניצול ע"י היצרנים הראשוניים שאינם נמצאים מספיק זמן באור. לרוב בתקופת הערבוב ריכוז הניטראט בפני השטח יכול להגיע ל- $0.5-2 \mu\text{M}$ (בהתאם לעומק הערבוב), כפי שקרה גם השנה בסוף מרץ ותחילת אפריל (עומק ערבוב 350 מ', ו- $\sim 1 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1} \text{NO}_3^-$). למרות שעומק הערבוב היה יותר רדוד השנה בכ-50 מ' יחסית לשנה שעברה ריכוז הניטראט בפני השטח היה גבוה פי-2. במהלך תקופת השיכוב ריכוז הניטראט אפסי בפני השטח

והמאגר שלו גדל במים העמוקים. ניטראט נוצר הן במים העמוקים והן באזור שמתחת ל-DCM בו נראה מקסימום הניטריט. השנה ריכוז הניטרט במים העמוקים הגיע ל- $7.016 \mu\text{M}$. זהו ערך חסר תקדים מאז שלור וארו התחילו למדוד בסוף שנות ה-80. באיור 20 ניתן לראות כיצד משתנה ריכוז הניטראט על פני כל העמודה עם הזמן מאז 2000. האיור מצביע על מגמת עלייה במאגר הניטראט במים העמוקים עם התייצבות בערכים מעט גבוהים מאלו של השנה שעברה. השוואת מדידות הניטראט למדידות החמצן (איור 23) מכל הפלגות הניטור בתחנות A ו-OS מכל העומקים מציגה שיפוע של קו המגמה של ~ 7 (שיפוע זה קטן ב-1 מהמצופה על פי יחס רדפילד וניתן להסבר ע"י שחלוף של חמצן עם האטמוספירה. השנה השיפוע הוא מעט יותר גבוה מזה של שנה שעברה ועומד על 7.2. כאשר ניקח את המדידות מתחנה A מעומק של 400 מ' ומטה השיפוע נהיה $8.5 (O:N = 138:16)$, יחס רדפילד). ערך זה מעט יותר גבוה מהערך שהתקבל בשנה שעברה ($O:N = 8$). בצדו הימני של הגרף עבור ערכי ניטראט גבוהים נראה כי למרות שחמצן משתנה כמעט ב-10 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ אין שינוי תואם בניטראט שצפוי להיות $1.25 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ מיחס רדפילד. תצפית זו מצביעה על אפשרות של תהליך דניטריפיקציה כנראה בסדימנטים המשפיעה על יחסי הנוטריינטים במים העמוקים.

פוספט

ריכוז הפוספט נמוך במידה ניכרת מזה של הניטראט אך שינויו במרחב ובזמן דומים (איור 16). בשיא תקופת הערבוב הגיע ריכוז הפוספט בפני השטח ל- $0.07 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$. במים העמוקים ריכוז הפוספט הגיע ל- $0.44 \mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ בחודש ספטמבר. בהשוואת כל ריכוזי החנקן המחומצן (TON) והפוספט (יחס רדפילד $N:P = 16:1$) מכל התחנות שנדגמו במהלך הפלגות הניטור (A, OS, כלובים ותחנה B) ובכל העומקים על פני כל השנה (איור 25), התקבל שיפוע של 18.8 בחיתוך של קו המגמה בראשית הצירים. ערך זה גבוה ב- $0.35 \mu\text{M}$ TON מזה שנמצא ב-2003 בתחנה A. לאחרונה ניתן הסבר לתופעה זו של סטייה מקו מגמה של רדפילד במחקרם של Sanudo-Wilhelmy et al (Nature, 432, 2004) שהראו כי מדובר בתהליכי ספיחה של פוספט אשר גורם לעליה ביחס ניטראט לפוספט. משמעות הדבר היא שעם הגברת שטף החלקיקים לקרקעית כך תגדל גם הספיחה ויחס ניטראט לפוספט יעלה. לכן, הגברת יצרנות ראשונית תגביר את כמות החלקיקים הצונחים ואת יחס N:P, דהיינו אינדיקציה לאאוטרופיקציה.

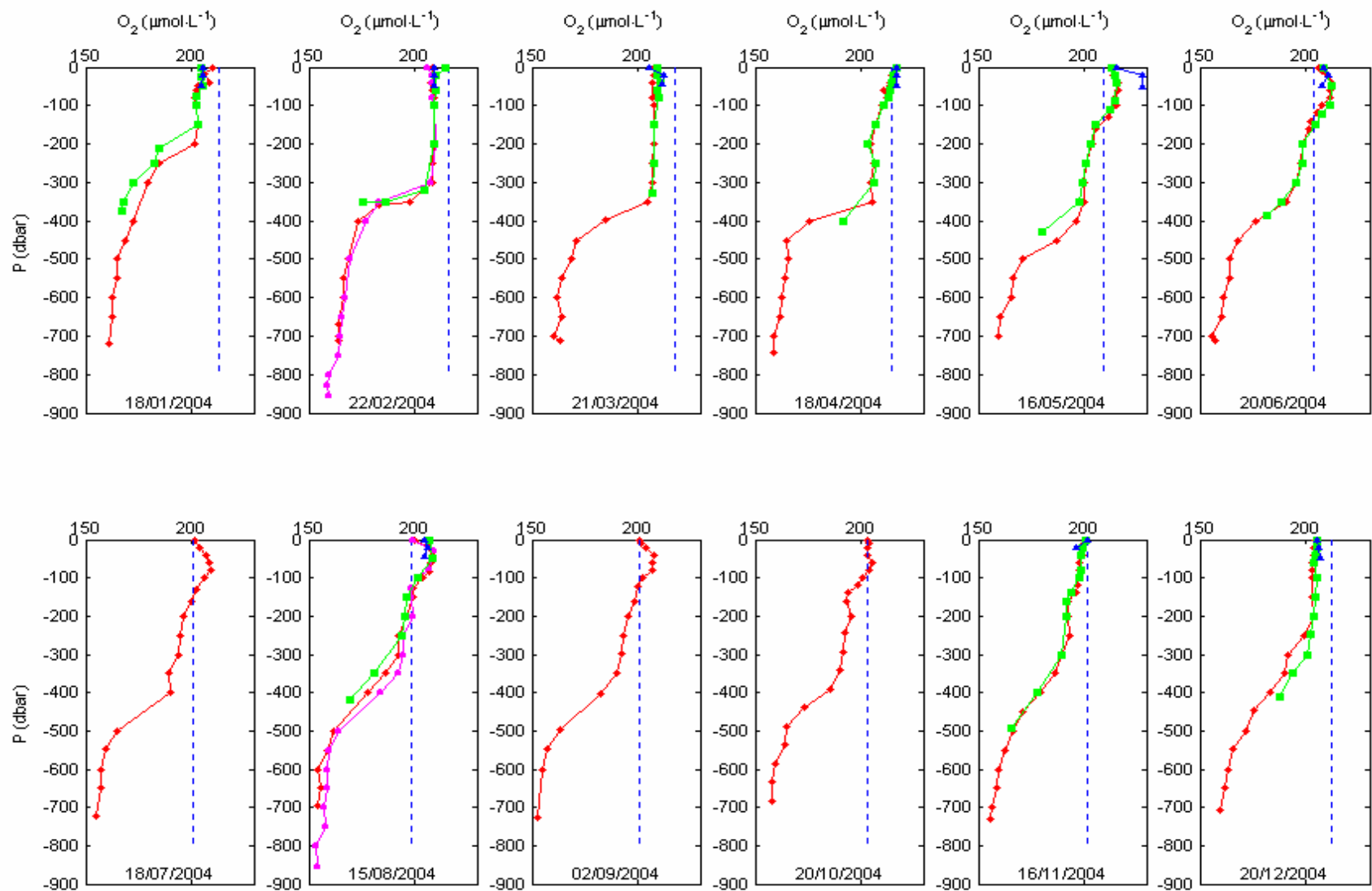
יש לציין שמדידותינו אינן כוללות מדידות ישירות של ריכוזי המאגרים האורגאניים המומסים של חנקן וזרחן.

סיליקה

השתנות הסיליקה בעמודת המים בתחנות A, OS, FF ו-B (בפברואר ואוגוסט) במהלך הפלגות הניטור מוצגת באיור 17. ניתן לראות יציבות יחסית (רב שנתית) בריכוזי הסיליקה. אפשר לחלק את העמודה למים העמוקים שבהם עקומת הריכוזים אקספוננציאלית ודועכת כלפי מעלה עד ל-300 מ', ושכבה עליונה יותר בה הסיליקה בריכוז נמוך יחסית אך קבוע. ההתנהגות האקספוננציאלית בעלת משמעות רבה כיוון שהיא מעידה בהכרח על כך שהסדימנט מהווה מקור לסיליקה, דהיינו המסה של סיליקטים ממוצא יבשתי וביוגני ששקעו לקרקעית. ראוי לציין כי הגברה של יצרנות ראשונית ע"י פיטופלנקטון צורני (diatoms), שהוא פיטופלנקטון גדול יחסית הזקוק לריכוז גבוה של נוטריינטים ע"מ להתפתח, מעיד בד"כ על אאוטרופיקציה. בנוסף פרופילים של סיליקה מלפני סוף שנות ה-90 הראו אמנם עלייה בריכוזי הסיליקה במים העמוקים אך הם היו ישרים, דהיינו קצב הערבוב היה מהיר מקצב היצירה בסדימנט. מאז שנת 2000 מראות העקומות תדירות רבה של פרופילים בהם השינוי אקספוננציאלי.

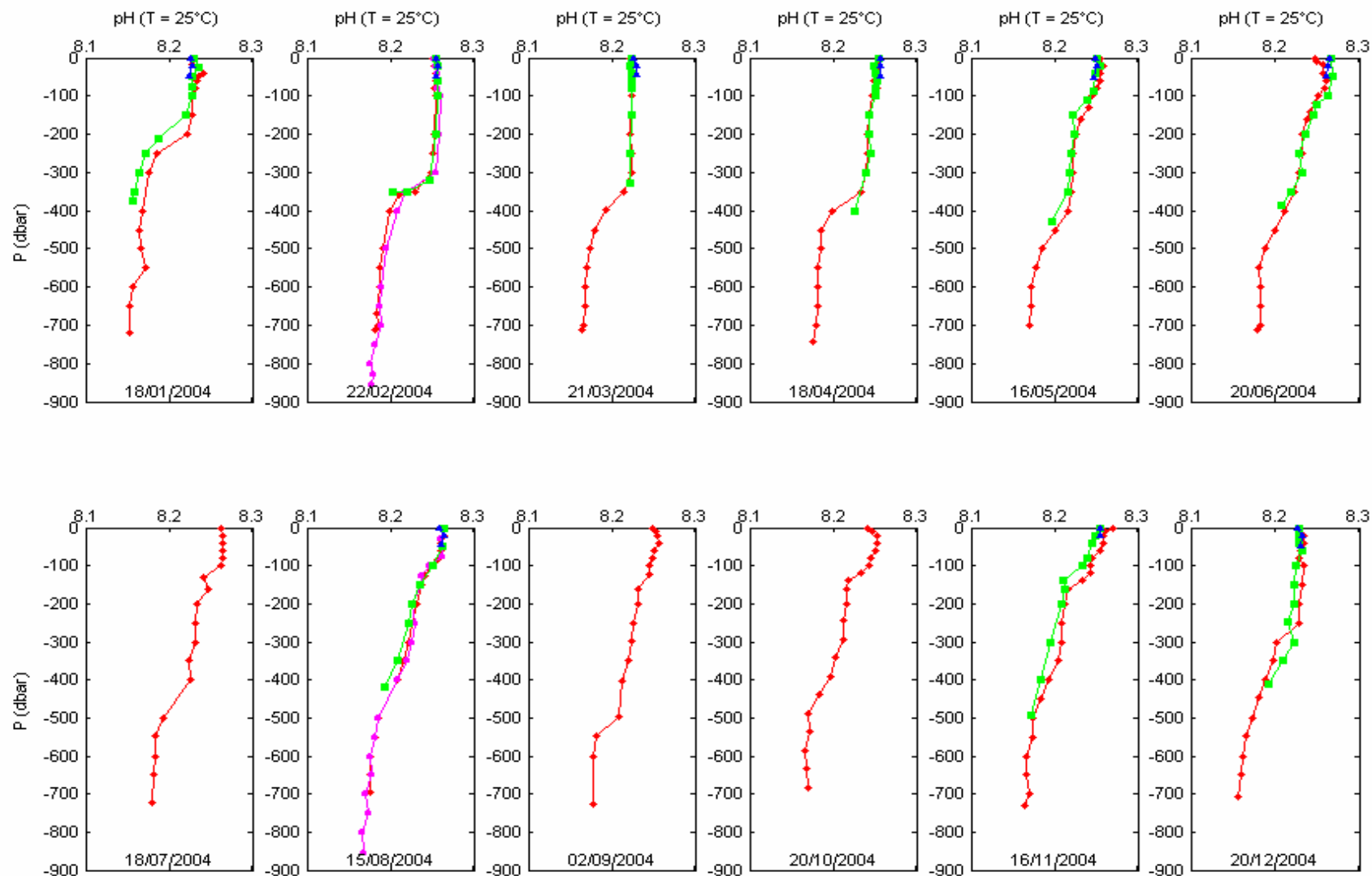
כלורופיל

מאגר הכלורופיל (איור 18) מראה שינויים עונתיים עם מקסימום מיד לאחר תקופת הערבוב (מרץ). במהלך התקופה המשוכבת מתפתחת התופעה האופיינית של ריכוזי מקסימאלי עמוק (deep chlorophyll maximum) בעומק 80-100 מ'. מתחת לעומק המקסימום, בעומק בו עוצמת האור חלשה, יורד כצפוי ריכוז הכלורופיל ל-0. בדומה לפרופילים בים FF לתחנה A של פלוריסנציה שהוצגו בפרק הקודם, גם הכלורופיל מציג גרדיאנט ריכוזים מצפון לדרום (גבוה בצפון).



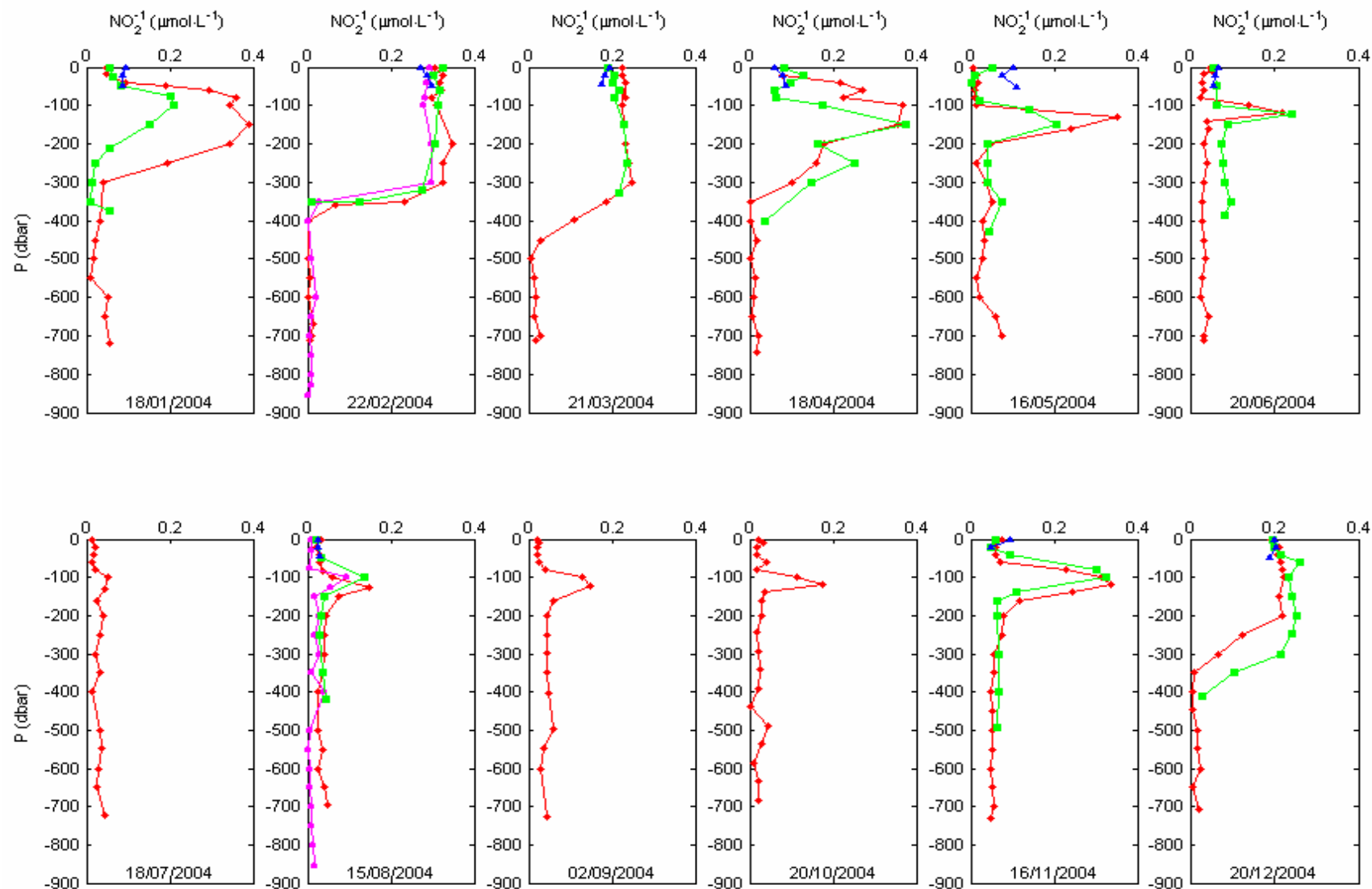
איור 12 : מדידות חמצן מומס (O_2) בעמודת המים במהלך ההפלגות החודשיות לתחנה A (אדום), OS (ירוק), FF (כחול) וגם לתחנה B ב-22/2/2004 וב-15/8/2004 (ורוד). בנוסף, מוצגים גם ערכי החמצן ברוויה המחושבים לפי טמפרטורה ומליחות של המים בפני השטח בכל הפלגה (קו כחול מקווקו).

Figure D12: Vertical profiles of dissolved oxygen (O_2) in the open-sea water column for each monthly cruise to station A (red), OS (green), FF (blue) and station B on 22/2/2004 and 15/8/2004 (pink). Also presented are the calculated values of oxygen saturation concentration as a function of temperature and salinity at the water surface for each cruise (blue dashed line).



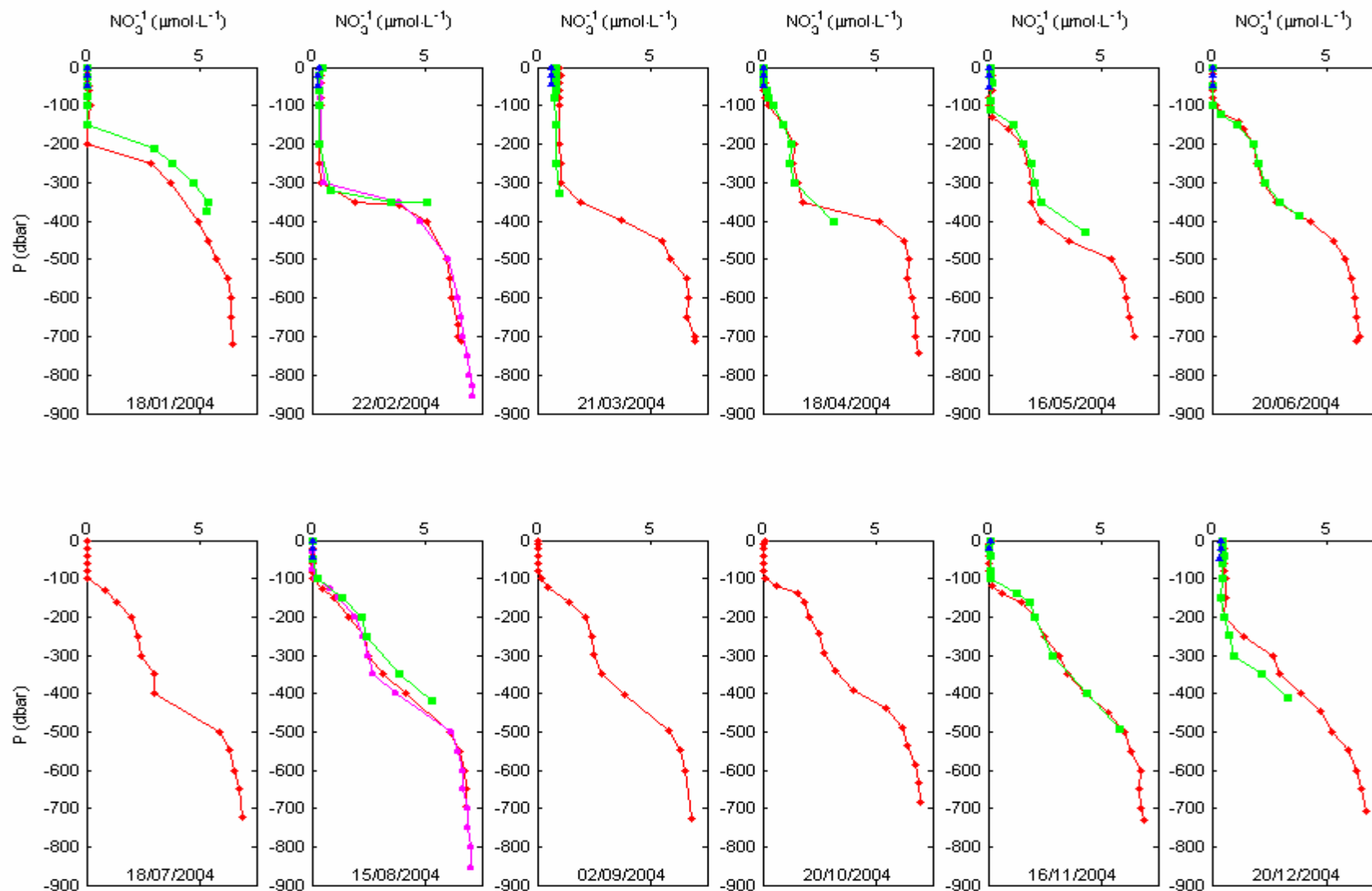
איור ד13: מדידת pH בתחנות A (אדום), OS (ירוק), FF (כחול) ותחנה B בפברואר ואוגוסט 2004 (ורוד) מההפלגות החודשיות. ערכי ה-pH נמדדו בטמפרטורה קבועה של 25 °C עם אלקטרודת זכוכית.

Figure D13: Vertical profiles of pH (measured at 25°C with a glass electrode) in the open-sea water column for each monthly cruise at station A (red), OS (green), FF (blue) and station B during February and August (pink).



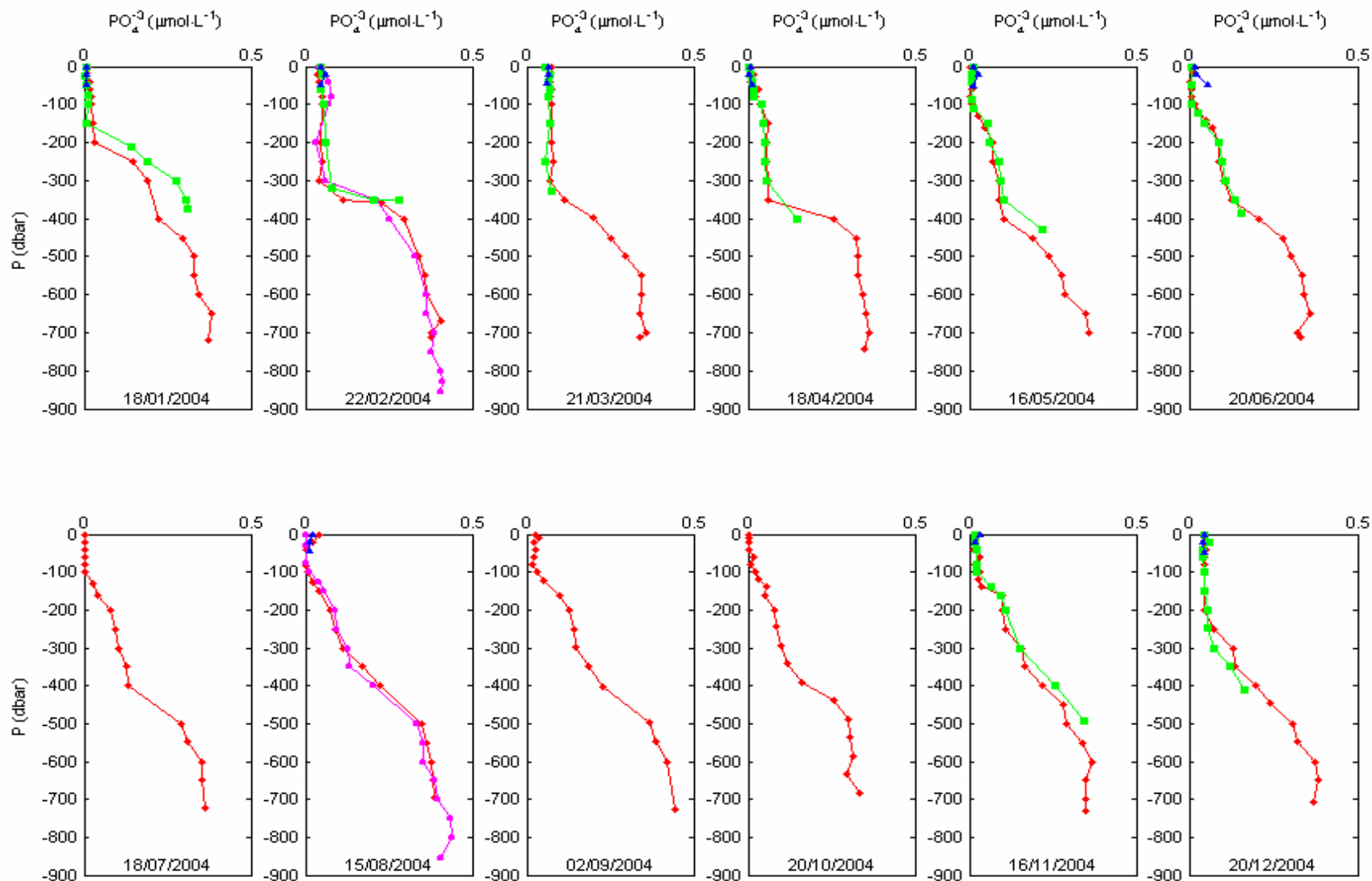
איור 14: מדידות ניטריט (NO_2^-) בעמודת המים במהלך ההפלגות החודשיות לתחנה A (אדום), OS (ירוק), FF (כחול) וגם לתחנה B בהפלגות של פברואר ואוגוסט 2004 (ורוד).

Figure D14: Vertical profiles of nitrite (NO_2^-) in the open-sea water column for each monthly cruise to station A (red), OS (green), FF (blue) and station B in February and August 2004 (pink).



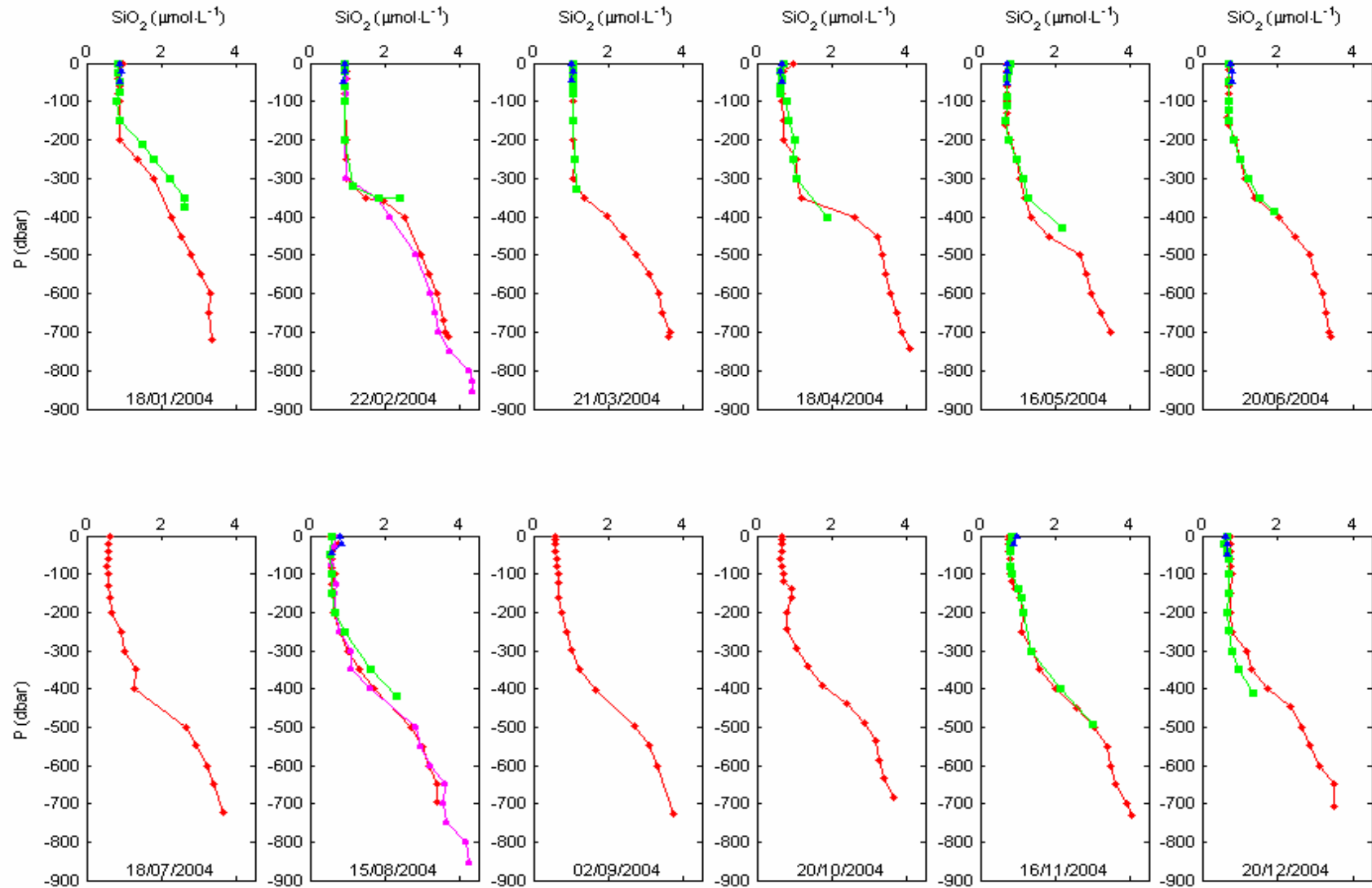
איור 15: מדידות ניטרט (NO_3^-) בעמודת המים במהלך ההפלגות החודשיות לתחנה A (אדום), OS (ירוק), FF (כחול) וגם לתחנה B בהפלגות של פברואר ואוגוסט 2004 (ורוד).

Figure D15: Vertical profiles of nitrate (NO_3^-) in the open-sea water column for each monthly cruise to station A (red), OS (green), FF (blue) and station B in February and August 2004 (pink).



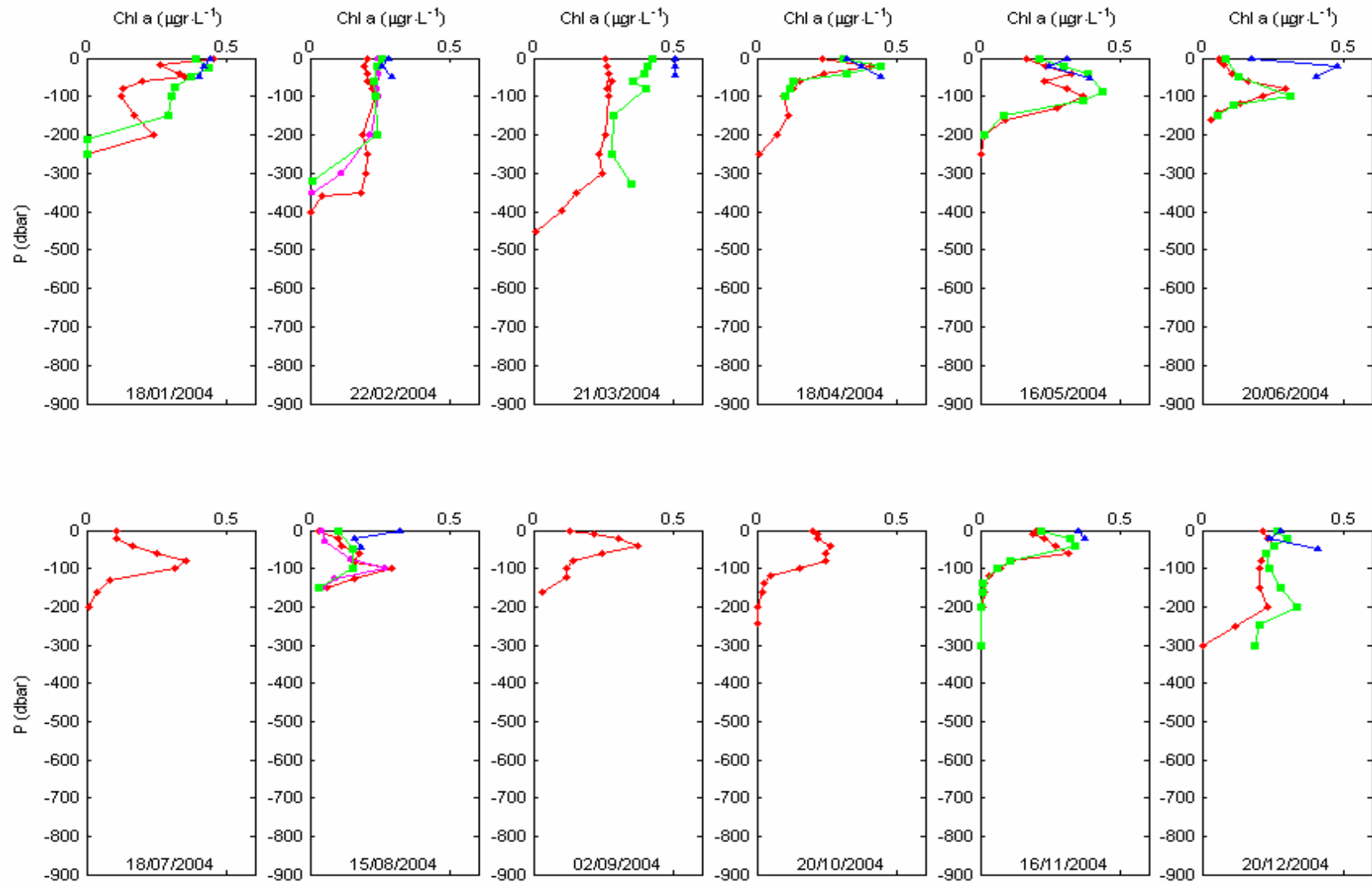
איור ד16 : מדידות פוספט (PO_4^{3-}) בעמודת המים במהלך ההפלגות החודשיות לתחנה A (אדום), OS (ירוק), FF (כחול) וגם לתחנה B בהפלגות של פברואר ואוגוסט 2004 (ורוד).

Figure D16: Vertical profiles of phosphate (PO_4^{3-}) in the open-sea water column for each monthly cruise to station A (red), OS (green), FF (blue) and station B in February and August 2004 (pink).



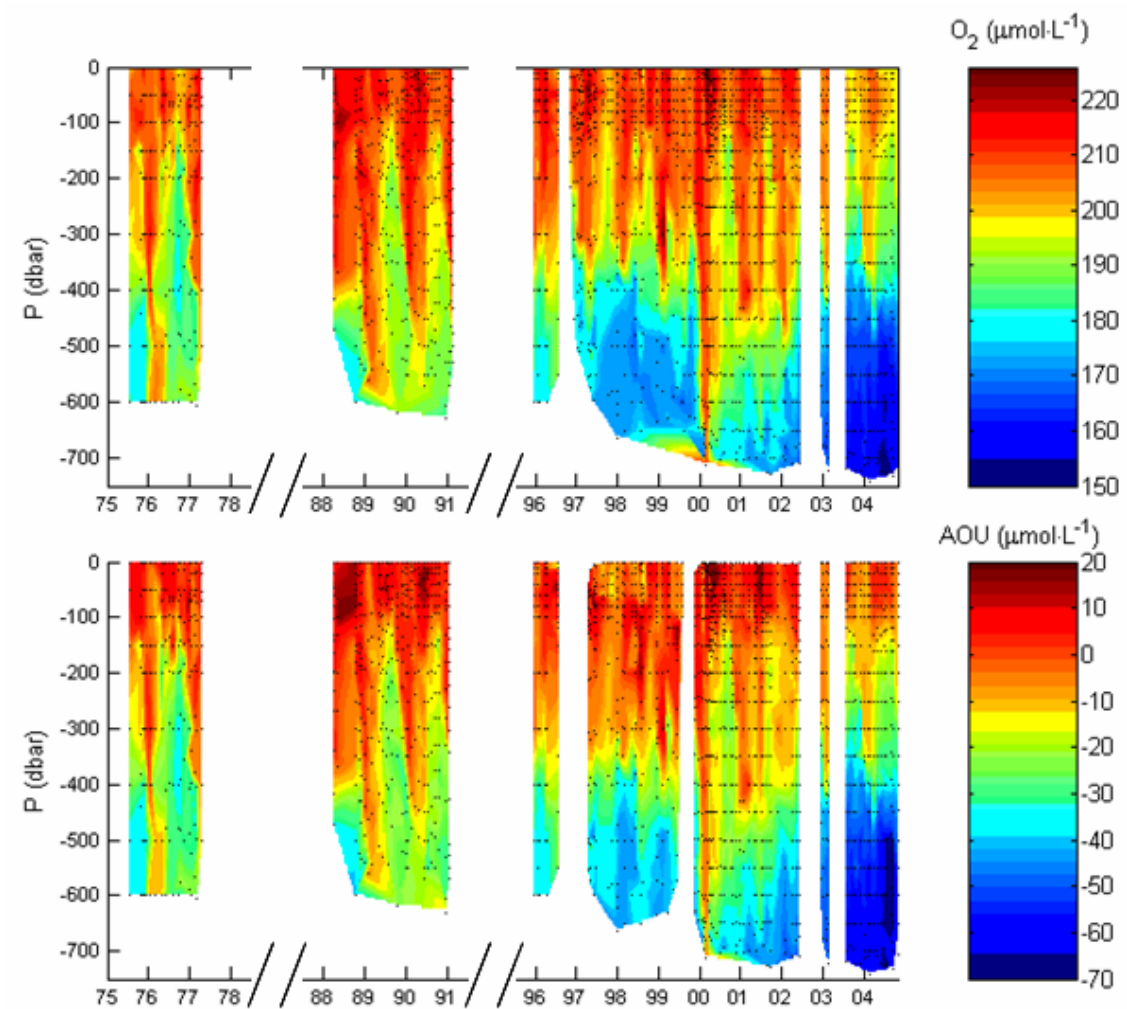
איור ד17 : מדידות סיליקה (SiO_2) בעמודת המים במהלך ההפלגות החודשיות לתחנה A (אדום), OS (ירוק), FF (כחול) וגם לתחנה B בהפלגות של פברואר ואוגוסט 2004 (ורוד).

Figure D17: Vertical profiles of silicate (SiO_2) in the open-sea water column for each monthly cruise to station A (red), OS (green), FF (blue) and station B in February and August 2004 (pink).



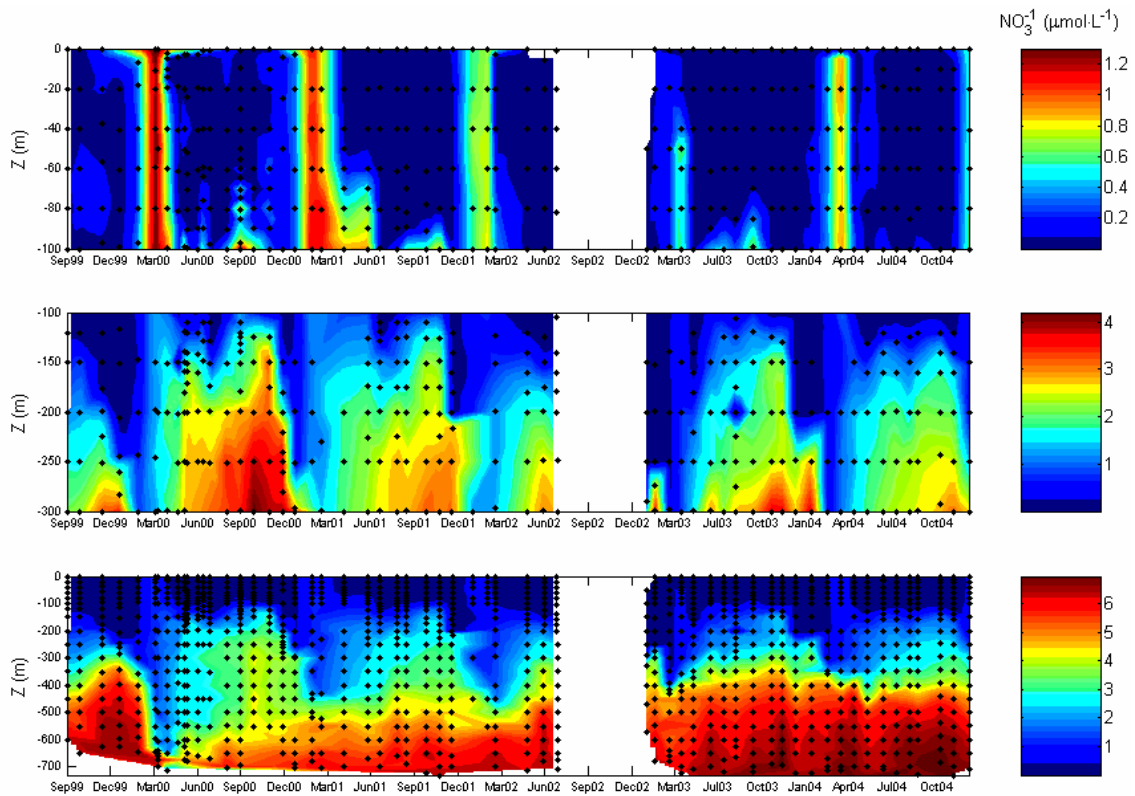
איור ד18: מדידות כלורופיל a (Chl a) בעמודת המים במהלך ההפלגות החודשיות לתחנה A (אדום), OS (ירוק), FF (כחול) וגם לתחנה B בהפלגות של פברואר ואוגוסט 2004 (ורוד).

Figure D18: Vertical profiles of chlorophyll a (Chl a) in the open-sea water column for each monthly cruise to station A (red), OS (green), FF (blue) and station B in February and August 2004 (pink).



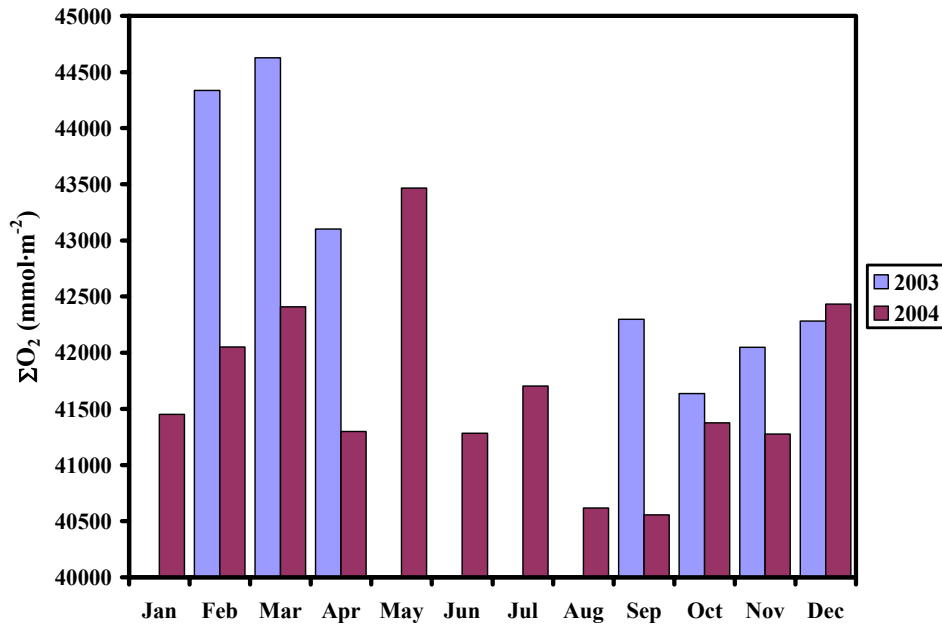
איור D19: השתנות ריכוז החמצן (פנל עליון) והמרחק שלו מרוויה (פנל תחתון) בעמודת המים של צפון מפרץ אילת (תחנה A) משנת 1975 עד סוף 2004. ערכי הרוויה חושבו עבור טמפרטורה ומליחות שנמדדו בכל עומק. כל המדידות מצוינות על-ידי הנקודות השחורות המופיעות בשני הפנלים.

Figure D19: Contour plots of dissolved oxygen concentrations at varying depths in station A since 1975 (upper panel) and their deviations from oxygen saturation (AOU – Apparent Oxygen Utilization), which was calculated from temperature and salinity measured at each depth (lower panel). All measurement depth and times are indicated by the black dots.



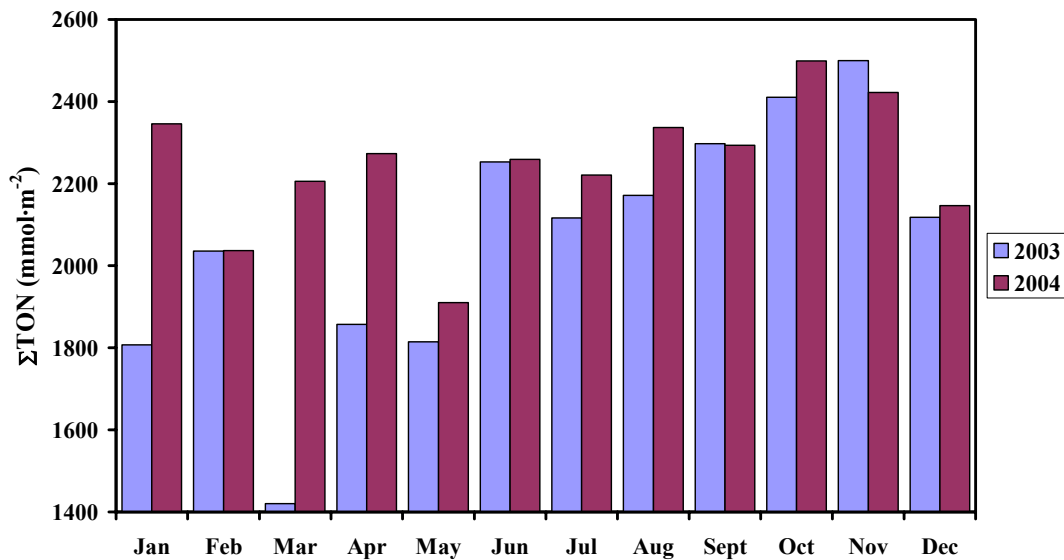
איור 20: גרף קונטורים המתאר את השתנות ריכוז הניטראט בכל עמודת המים משנת 2000 עד סוף 2004 בשלושה טווחי עומק 0-100 מ' (פנל עליון), 100-300 מ' (פנל אמצעי) ו-700-0 מ' (פנל תחתון). נקודות שחורות מציינות את הזמנים והעומקים בהם בוצעו המדידות בתחנה A.

Figure 20: Contour plot of nitrate concentrations at station A from the end of 1999 to the end of 2004 at varying depth ranges. The black dot indicate the times and depths of measurement at station A.



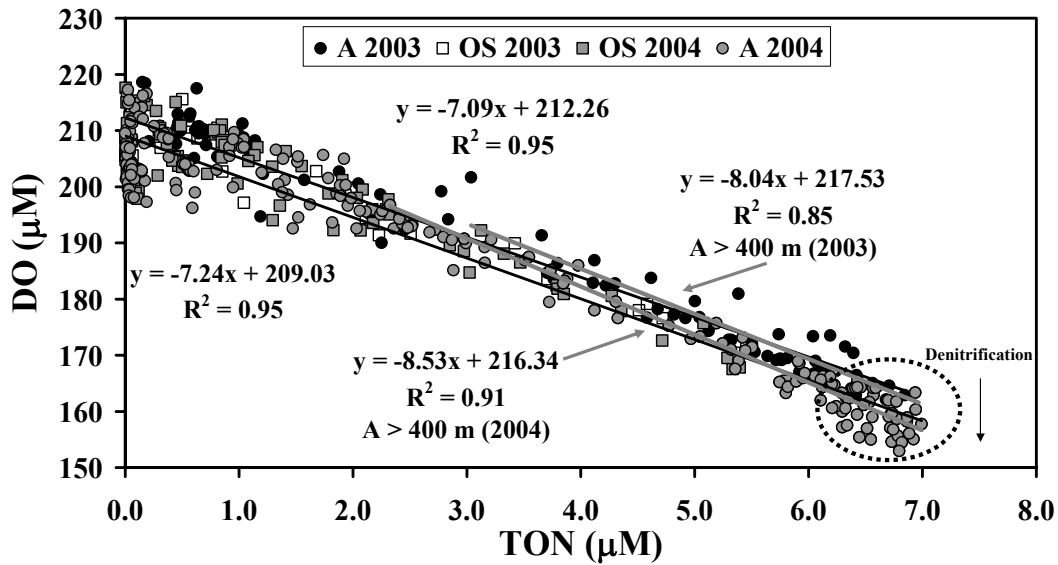
איור ד' 21 : מאגר החמצן בחודשי הניסור של שנת 2003 (תכלת) ו- 2004 (סגול) בתחנה A בשווח העומקים 400-650 מ'.

Figure D21: The monthly oxygen inventory during 2003 (light blue) and 2004 (maroon) in the open-sea water column at station A in the 400-650 m depth range.



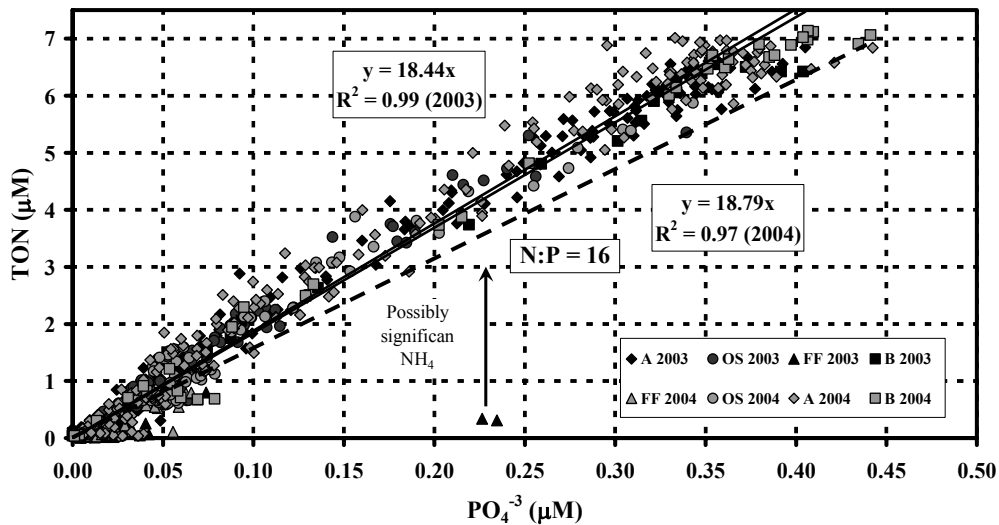
איור ד' 22 : מאגר סך החנקן המחומצן המומס במים (Total Oxidized Nitrogen) בעמודת המים בין 0-680 מ' בתחנה A לשנים 2003 ו- 2004.

Figure D22: The total oxidized nitrogen inventory (TON) of the open-sea water column at station A in the 0-680 m depth range for each cruise during 2003 and 2004.



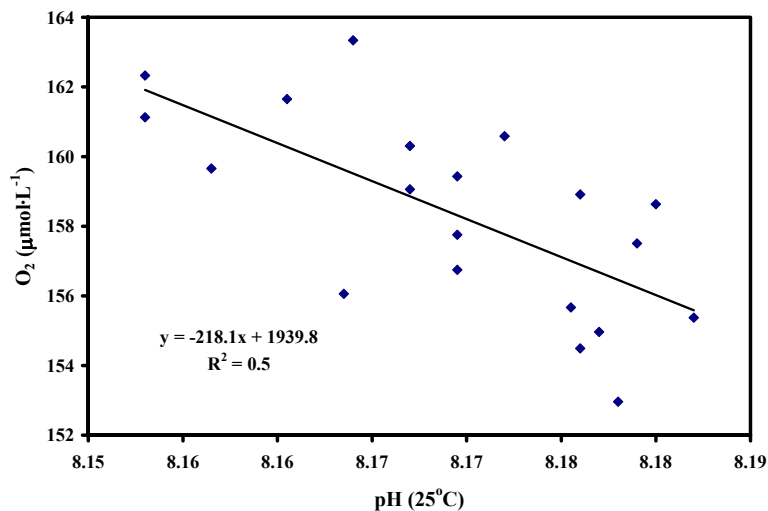
איור ד23 : השוואת מדידות ניטריט+ניטרט (TON) למדידות החמצן בתחנה A (עיגולים מלאים, מילוי שחור מציינ את מדידות 2003 ומילוי אפור מציינ את מדידות 2004) ו-OS (ריבועים, ללא מילוי מציינ את מדידות 2003 ועם מילוי אפור מציינ את מדידות 2004) בכל העומקים. קו מגמה שחור מייצג את הקשר בין חמצן לחנקן על פני כל העמודה בתחנה A. קו מגמה אפור מייצג את הקשר בין חמצן לחנקן במדידות שנלקחו מעומק גדול מ-400 מ' בתחנה A. שימו לב לריכוזי החנקן הגבוהים שבם ניתן לראות כי חמצן ממשיך לרדת אך חנקן לא ממשיך לעלות. תופעה זו חזקה יותר במדידות 2004 וכנראה מבטאת תהליך של דניטרפיקציה (חיזור של NO_3^- בתהליכי נשימה אנארוביים – בסביבה ענייה בחמצן).

Figure D23: Comparison of TON and DO measurements from all depths at stations A (filled circles, black and grey filling indicates measurements made during 2003 and 2004 respectively) and OS (squares, empty and grey filling indicate measurements made during 2003 and 2004 respectively). The black trend lines represent the relation between nitrogen and oxygen throughout the entire water column in 2003 and 2004. Grey trend lines represent the same relation for samples taken below 400 m. Note that oxygen decreases at high TON concentration and TON changes very little in the 2004 measurements. This suggests an increase in denitrification, which is the process of respiration that utilizes NO_3^- instead of oxygen under anaerobic conditions.



איור 24: השוואת מדידות ניטריט+ניטרט (TON) למדידות בפוספט בתחנה A (יהלומים), OS (עיגולים), כלובי הדגים (משולשים) ותחנה B (ריבועים) בכל העומקים ובכל הפלגות הניטור. המילויים מבדילים בין השנים 2003 (שחור) ל-2004 (אפור). שימו לב כי בשתי השנים יחס N:P גדול מ-16 (יחס Redfield) מה שאולי מעיד על שטף חלקיקים מוגבר אשר גורם לספיחה מוגברת של PO_4^{3-} על פניו והוצאתו מעמודת המים. נראה כי השיפוע של קוי המגמה גדל מ-2003 ל-2004 במעט ואולי מעיד על הגברת שטף חלקיקים בין השנים. כמוכן כפי שכבר הראינו המרחק הגדול של נקודות שנמדדו בכלובי הדגים מקו המגמה של Redfield נוצר כנראה מעליה בחשיבותו של אמוניה במאזן החנקן האנאורגאני המומס, מה שלא מובא בחשבון באיור זה.

Figure D24: Comparison of TON and phosphate from all depths at stations A (grey circles), OS (black filled circles), FF (empty triangles) and B (grey filled squares) for all the monitoring cruises.



איור 25: השוואת מדידות חמצן מומס ל-pH מעומקים הגדולים מ-650 מ' בתחנה A שמדדו בכל הפלגות הניטור של שנת 2004.

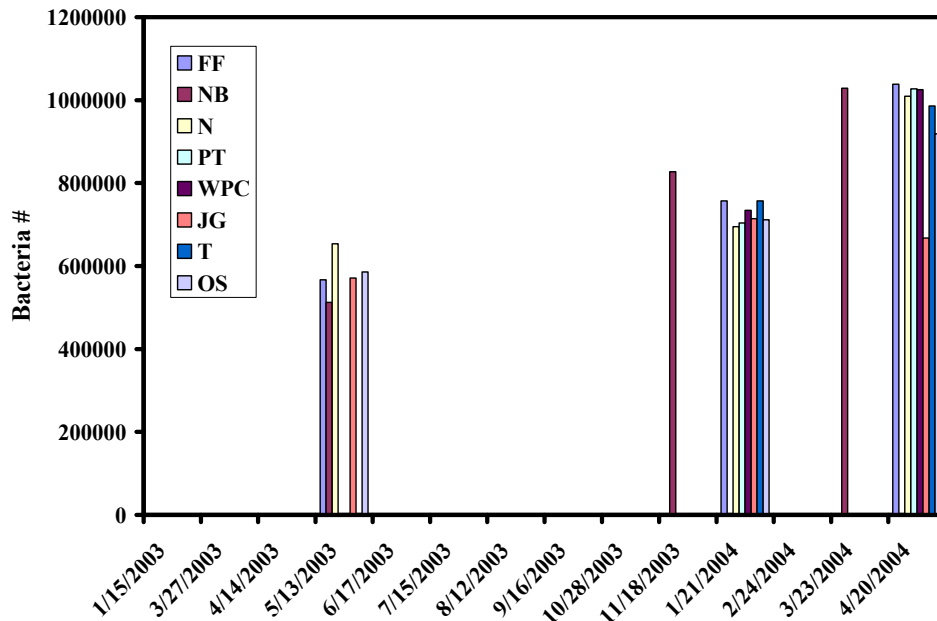
Figure D25: Comparison of dissolved oxygen and pH measurements made on samples taken from below 650 m at station A.

5. ד. ספירת אוכלוסיות הפיטופלנקטון

אוכלוסיית הפיטופלנקטון נמדדה בסופר תאים מסוג FACScan (Beckton Dickenson, USA) אשר מסוגל להפריד בין קבוצות תאים שונות לרבות אצות אאוקריוטיות ותאי *Synechococcus* בהסתמך על הבדלים בפרמטרים של פליטה (פלווארסנציה) ופיזור אור על-ידי התאים (איור ד26). גודל התאים (קטנים או גדולים) מהווים אינדיקציה מהימנה לרמת הנוטריינטים ומבנה שרשרת המזון ותפקודה בסביבה הימית שנדגמה. פרמטרים אלה (סוג וגודל תאי הפיטופלנקטון) מתקבלים על ידי מכשיר ה-FACS. ספירות התאים חולקו לשלוש קטגוריות מהקטן לגדול: Bacteria, *Synechococcus* ו-Eukaryotes. ערכי המדידות מוצגים בגרפים הבאים.

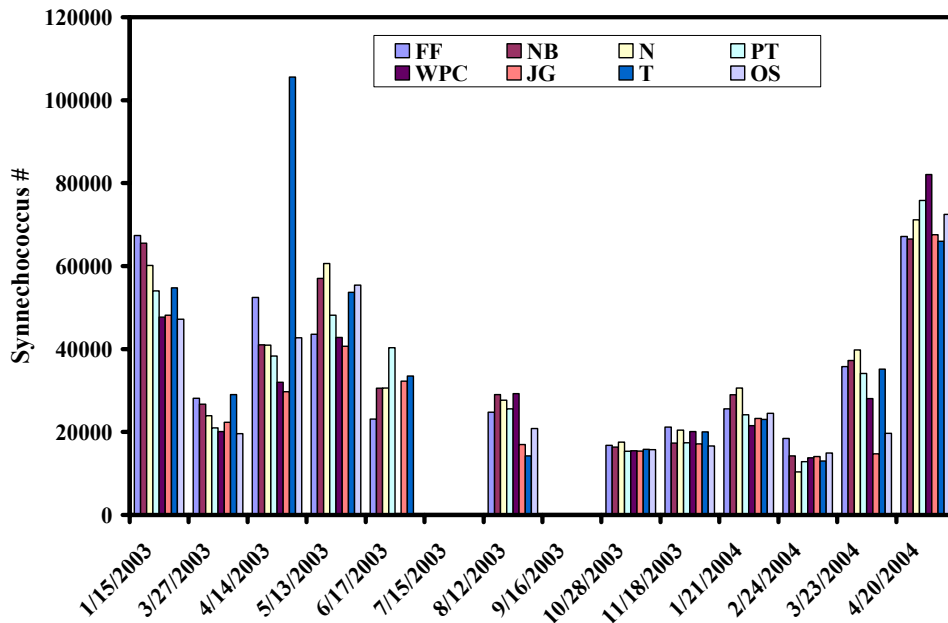
דיגום חופי

בדיגום החופי נראית הומוגניות בביומסת הפיטופלנקטון לאורך החופים כפי שניתן לראות מאיורים ד26-28. ערכי הספירות של *Synechococcus* (איור ד27) נעות בין 10,000 ל-80,000 תאים ל- ml אך לא ניתן להבחין בעונתיות ברורה ממדידות אלה. גם באאוקריוטים (איור ד28) לא ניתן להבחין בעונתיות והספירות משתנות בין 3000 ל-30,000 תאים ל- ml. ישנם שני זמנים בהם נמדדו ערכים בטווח הגבוה בכל התחנות ביוני 2003 ובמרץ 2004 בכל שאר הזמנים ערכי הספירות לא עוברים את ה-10,000. ספירות הבקטריות (איור ד26) משתנות בין 600,000 ל-1,000,000 תאים ל- ml. אין מספיק מדידות בשביל לראות איזו שהיא וריאביליות עונתית וקרוב לוודאי שאין כפי שנראה בקטגוריות הגודל של התאים הגדולים יותר.

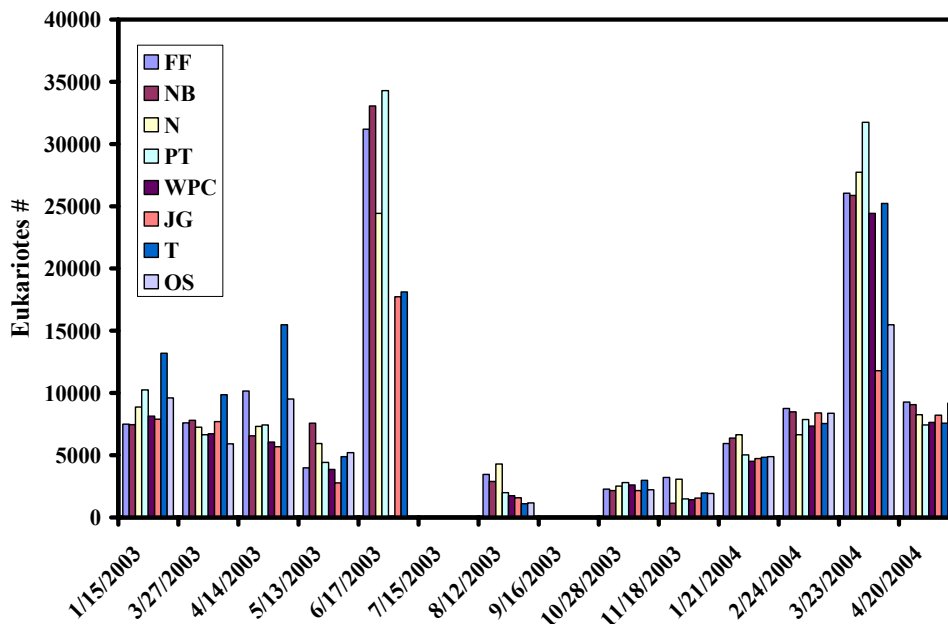


איור ד26: ספירות FACS בקטגוריית הגודל של בקטריות בתחנות הדיגום החופי.

Figure D26: FACS counts of cells in the bacteria size category in samples taken from the coastal sampling stations.



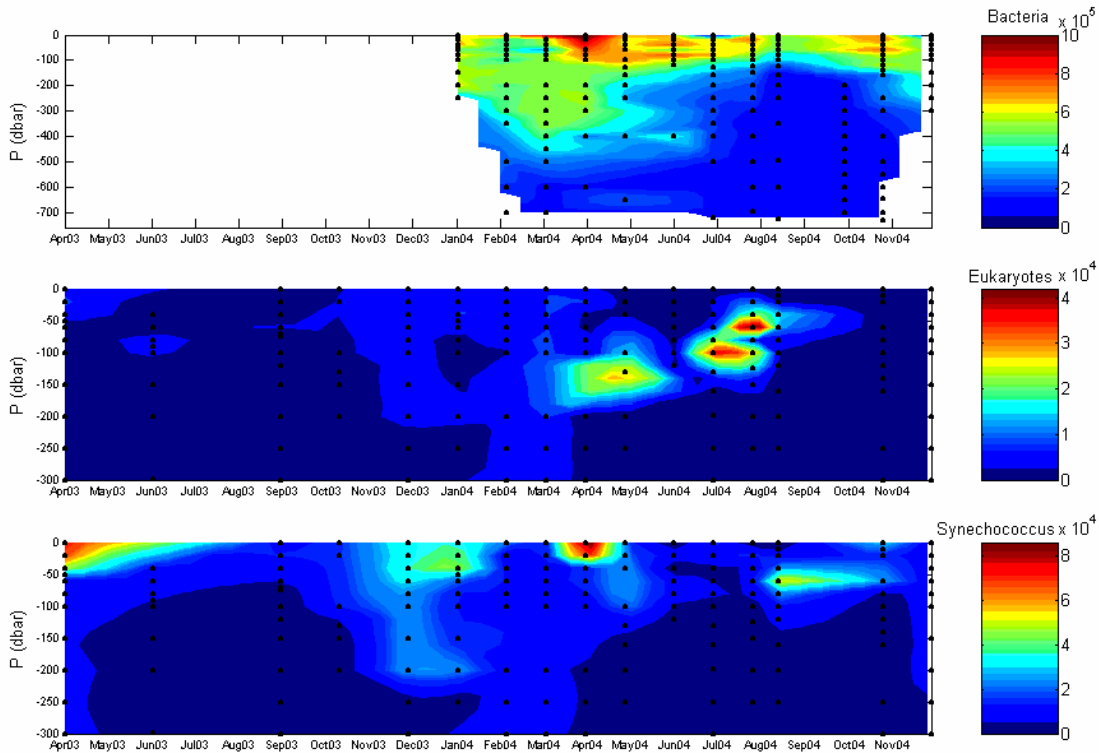
איור ד27: ספירות FACS בקטגוריית הגודל של *Synechococcus* בתחנות הדיגום החופי.
 Figure D27: FACS counts of cells in the *Synechococcus* size category in samples taken from the coastal sampling stations.



איור ד28: ספירות FACS בקטגוריית הגודל של אאוקריוטיים בתחנות הדיגום החופי.
 Figure D28: FACS counts of cells in the Eukaryotes size category in samples taken from the coastal sampling stations.

מדידות FACS במים הפתוחים

מאיו 29 ניתן לראות התנהגות עונתית מסוימת בכל קטגוריות הגודל של ספירות ה-FACS. מספר התאים ליחידת נפח משתנה בין 10,000 ל-1,000,000 (סדר גודל) בקטגוריית הגודל של בקטריות כאשר אינטגרל הספירות על פני כל העמודה נמוכות יותר בקיץ יותר מאשר בחורף והספירות גבוהות יותר ב-100 עד 200 המטרים העליונים. ב-2004 מתקבלים ערכים מכסימליים בחודש אפריל שכנראה קשור לתחילת השיכוב ופריחת האביב ובנובמבר שכנראה קשור לתחילת העמקת השכבה המעורבת עם תחילת הקירור בפני השטח בתחילת החורף. בקטגוריית הגודל של אאוקריוטיים הספירות נעות בין 0 ל-50,000 תאים ל-ml. הערכים המכסימליים נמדדו באפריל וביולי-אוגוסט בתחתית השכבה האאופוטית שם כנראה הספקת הנוטריינטים (NO_3^-) דרך הנוטריקלינה מספיק גדולה על מנת לקיים את האוכלוסייה הזו. לבסוף בקטגוריית הגודל של *Synechococcus* הספירות נעות בים 0 ל-100,000 תאים ל-ml. הערכים המכסימליים מתקבלים בזמני הפריחות של הסתיו והאביב קרוב לפני המים.

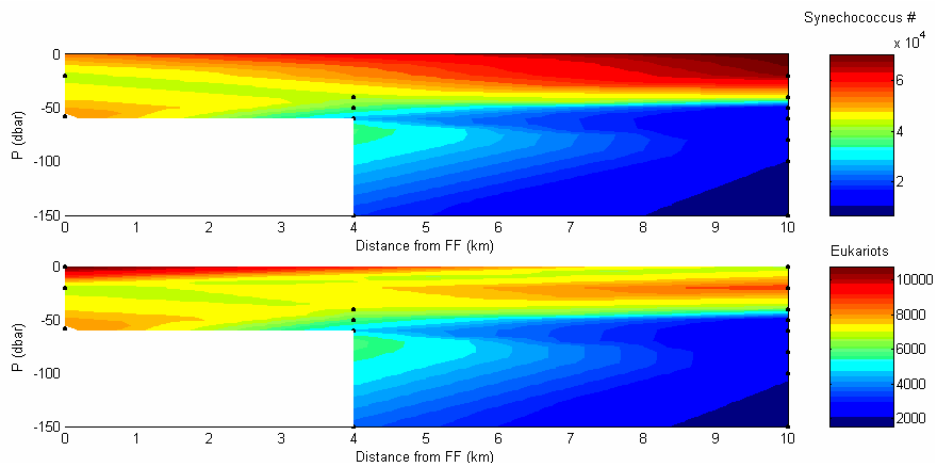


איור 29: השתנות ספירות תאים עם הזמן בכל העומקים בתחנה A בקטגוריית הגודל: בקטריה (פנל עליון, עד 700 מ'), אאוקריוטים (פנל אמצעי, עד 300 מ') ו-*Synechococcus* (פנל תחתון, עד 300 מ').

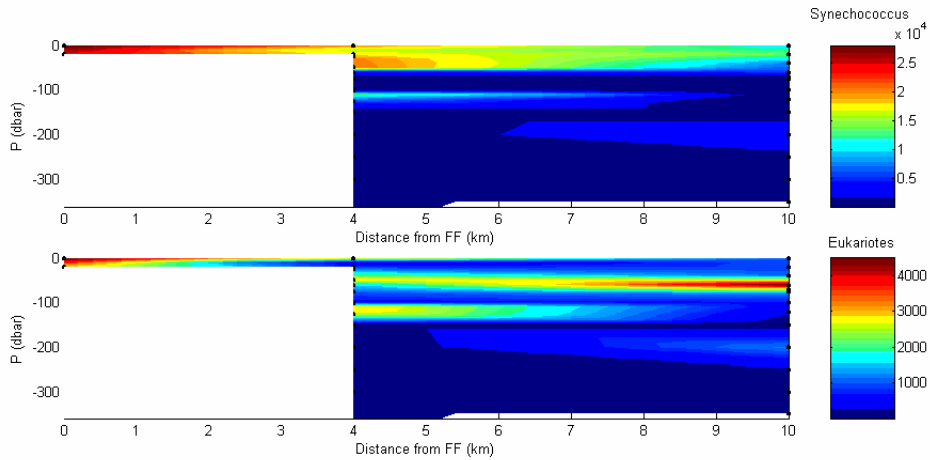
Figure D29: Contour plot of the change in cell counts within the range of depths in which measurements were made at station A according to the following size categories: bacteria (upper panel, down to 700 m), eukaryotes (middle panel, down to 300 m) and *Synechococcus* (lower panel, down to 300 m).

פרופילים בין תחנה A לכלובי הדגים

במרץ ודצמבר 2004 ניתן לראות גרדיאנט מצפון לדרום בערכי ספירות ה-FACS בכל קטגוריות הגודל (איורים 30-37). התפלגות זאת כנראה קשורה להספקה המוגברת של נוטריונים מהמים העמוקים בעת הערבוב העמוק בתחילת ובסוף החורף וההבדלים בעומק הקרקעית בכל התחנות. באפריל 2003 ישנו גרדיאנט מכיוון צפון לדרום עבור *Synechococcus* ב-50 המטרים העליונים ובכיוון ההפוך עבור אאוקריוטיים. באוקטובר 2003 הגרדיאנט עבור שתי קטגוריות הגודל הפוך לגמרי. המצאות של אאוקריוטיים מעידה על זמינות יחסית גבוהה של נוטריונים ובגלל זה הם נמצאים בד"כ בתחתית השכבה האאופוטית כפי שרואים בספטמבר 2003 (איור 31). לעומת זאת ה-*Synechococcus* אמנם יכול להסתדר בריכוזי נוטריונים מאוד נמוכים אך הוא סובל יותר ממגבלת אור ולכן נמצא בעיקר בקרבת מי השטח גם כאשר הנוטריונים אינם זמינים. בספטמבר 2003 (איור 31) ונובמבר 2004 (איור 36) רואים דוגמאות טובות למיקום האאוקריוטיים בתחתית השכבה האאופוטית. עם זאת ישנה עלייה ברורה בריכוזם בפני השטח בקרבת כלובי הדגים מה שמעיד על זמינות גבוהה של נוטריונים באזור זה בספטמבר 2003 אך לא בנובמבר 2004. כך המצב גם באפריל 2003 (איור 30). במרץ 2004 (איור 35) נראה גרדיאנט מובהק ב-*Synechococcus* ואאוקריוטיים מכיוון הכלובים לכיוון תחנה A. לעומת זאת בבקטריה כל העמודה מתחת ל-50 מ' אחידה ומעל 50 מ' ישנה שכבה דקה במים הפתוחים שנמשך עד אזור הכלובים. בפברואר 2004 (איור 34) רואים גרדיאנט ברור בכל קטגוריות הגודל מכיוון כלובי הדגים בצפון ועד לתחנה B כ-19 ק"מ דרומה. מהאיורים הללו משתמע שלמרות הקושי בזהוי וריאביליות עונתית בתחנה A עבור האוכלוסיות השונות בעיקר בגלל מחסור במדידות ניתן לראות עלייה ברורה בביומאסה של פיטופלנקטון בקרבת כלובי הדגים גם כשלא צריך להיות מה שיכול להעיד על אזור זה של המפרץ כמועשר תמידית בנוטריונים גם כשאין אנו מסוגלים למדוד אותם.

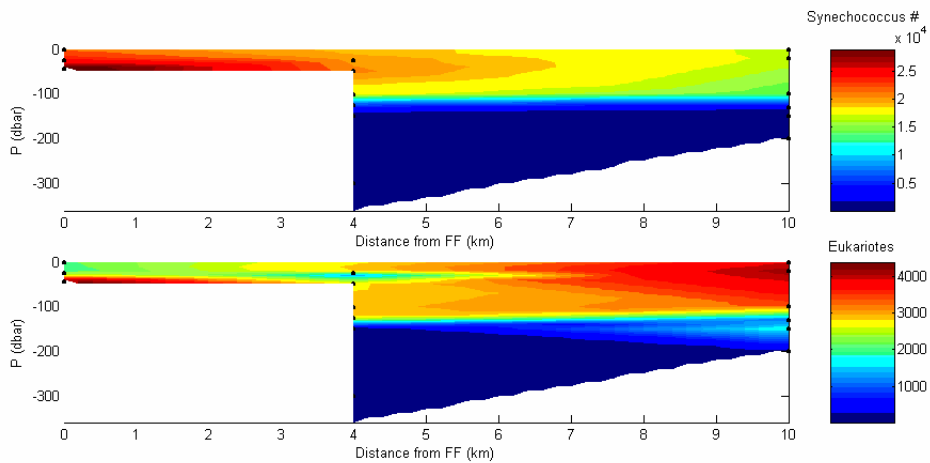


איור 30: צפיפות הפיטופלנקטון (כחוליות ואאוקריוטיים) בעומקים השונים בין 0 ל-150 מ' לאורך הקו החוצה של המפרץ מתחנה A בדרום ועד כלובי הדגים בצפון שנמדדו במהלך הפלגת הניטור של אפריל 2003.
Figure D30: Contour plots of FACS samples taken between 0 and 150 m depth from station A in the south to the fish cages in the north during the April 2003 monitoring cruise.



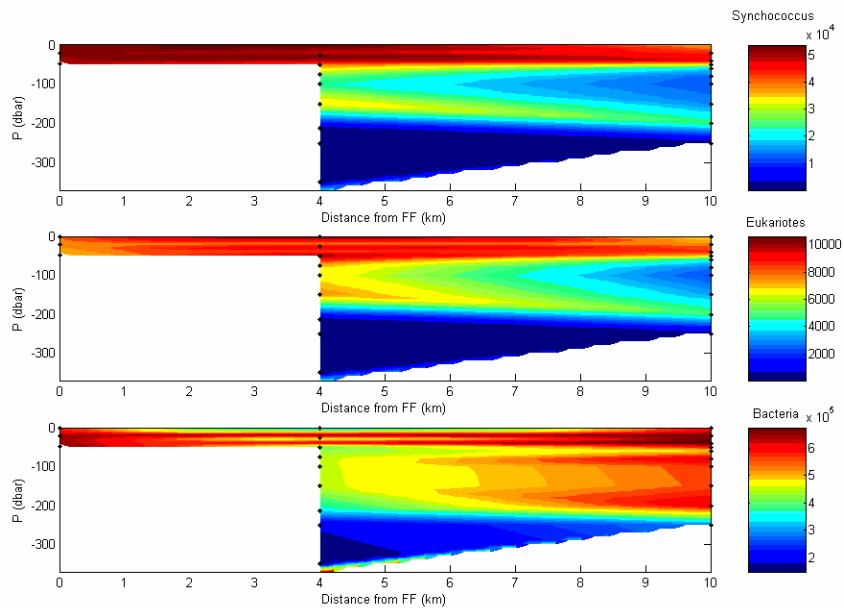
איור ד31: השתנות ספירות ה-FACS בעומקים השונים בין 0 ל- 150 מ' לאורך הקו החוצה של המפרץ מתחנה A בדרום ועד כלובי הדגים בצפון שנמדדו במהלך הפלגת הניטור של ספטמבר 2003.

Figure D31: Contour plots of FACS samples taken between 0 and 150 m depth from station A in the south to the fish cages in the north during the September 2003 monitoring cruise.

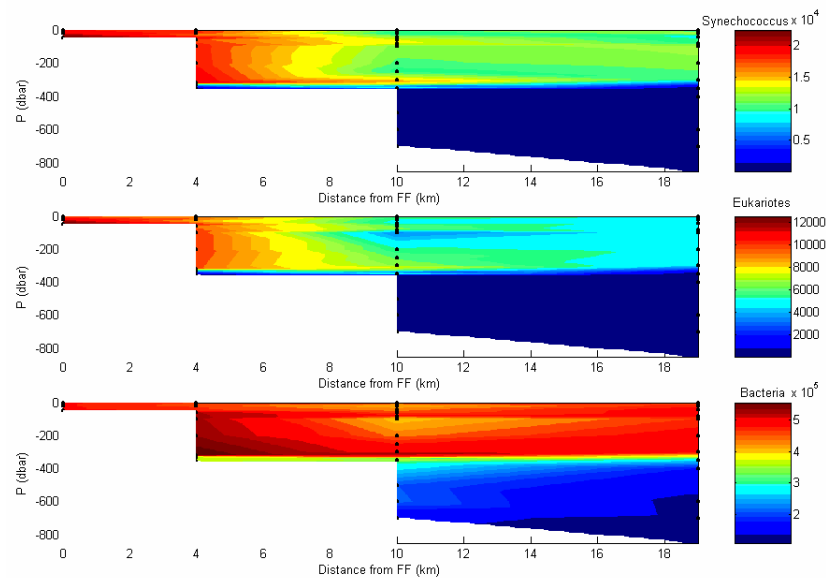


איור ד32: צפיפות הפיטופלנקטון (כחוליות ואוקריוטים) בעומקים השונים בין 0 ל- 150 מ' לאורך הקו החוצה של המפרץ מתחנה A בדרום ועד כלובי הדגים בצפון שנמדדו במהלך הפלגת הניטור של אוקטובר 2003.

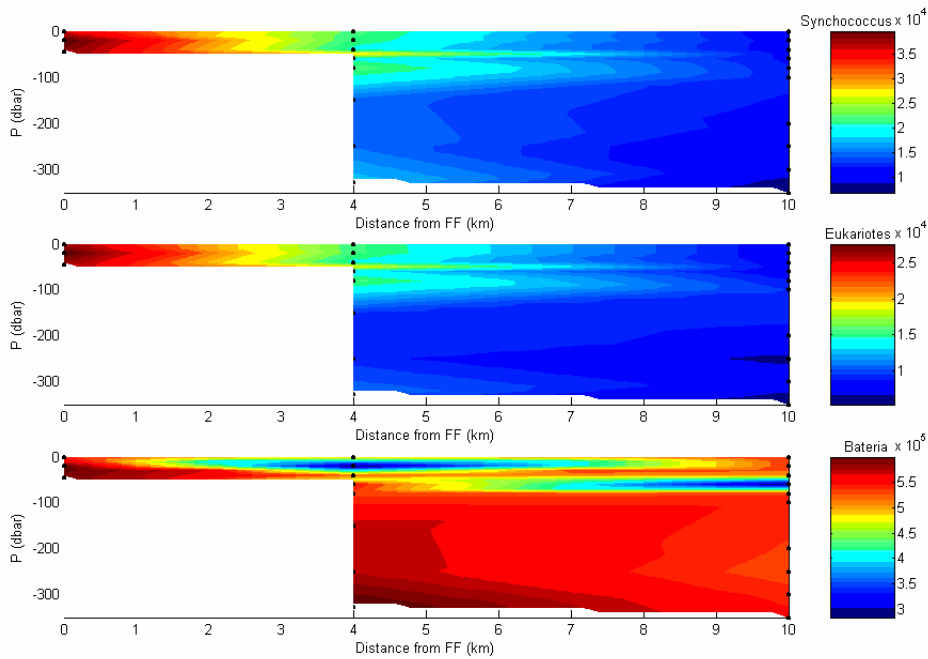
Figure D32: Contour plots of FACS samples taken between 0 and 150 m depth from station A in the south to the fish cages in the north during the October 2003 monitoring cruise.



איור ד33: השתנות ספירות ה-FACS בעומקים השונים בין 0 ל-150 מ' לאורך הקו החוצה של המפרץ מתחנה A בדרום ועד כלובי הדגים בצפון שנמדדו במהלך הפלגת הניטור של ינואר 2004.
Figure D33: Contour plots of FACS samples taken between 0 and 150 m depth from station A in the south to the fish cages in the north during the January 2004 monitoring cruise.

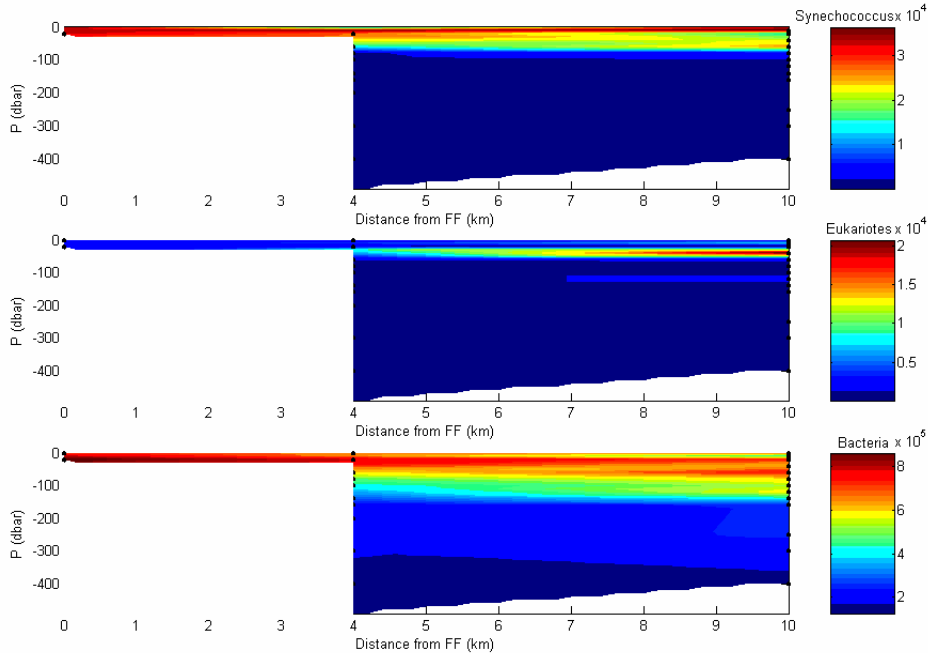


איור ד34: צפיפות הפיטופלנקטון (כחוליות ואאוקריוטים) וחיידקים בעומקים השונים בין 0 ל-150 מ' לאורך הקו החוצה של המפרץ מתחנה A בדרום ועד כלובי הדגים בצפון שנמדדו במהלך הפלגת הניטור של פברואר 2004.
Figure D34: Contour plots of FACS samples taken between 0 and 150 m depth from station A in the south to the fish cages in the north during the February 2004 monitoring cruise.



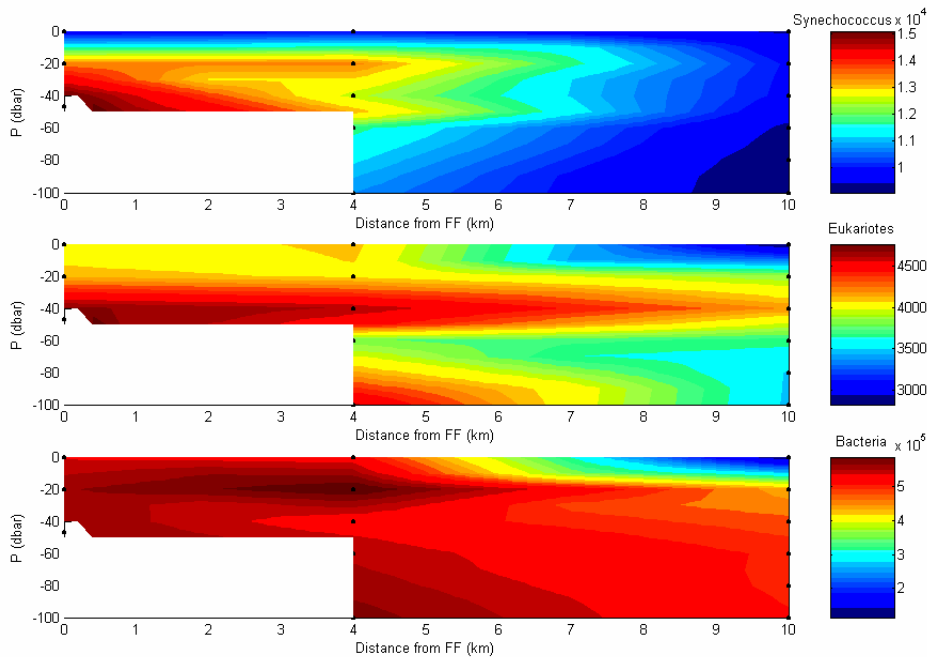
איור ד35: צפיפות הפיטופלנקטון (כחוליות ואוקריוטים) וחיידקים בעומקים השונים בין 0 ל- 150 מ' לאורך הקו החוצה של המפרץ מתחנה A בדרום ועד כלובי הדגים בצפון שנמדדו במרץ 2004.

Figure D35: Contour plots of FACS samples taken between 0 and 150 m depth from station A in the south to the fish cages in the north during March 2004.



איור ד36: השתנות ספירות ה-FACS בעומקים השונים בין 0 ל- 150 מ' לאורך הקו החוצה של המפרץ מתחנה A בדרום ועד כלובי הדגים בצפון שנמדדו במהלך הפלגת הניטור של נובמבר 2004.

Figure D36: Contour plots of FACS samples taken between 0 and 150 m depth from station A in the south to the fish cages in the north during the November 2004 monitoring cruise.



איור ד37: צפיפות הפיטופלנקטון (כחוליות ואאוקריוטים) וחיידקים בעומקים השונים בין 0 ל- 150 מ' לאורך הקו החוצה של המפרץ מתחנה A בדרום ועד כלובי הדגים בצפון שנמדדו במהלך הפלגת הניטור של דצמבר 2004.

Figure D37: Contour plots of FACS samples taken between 0 and 150 m depth from station A in the south to the fish cages in the north during the December 2004 monitoring cruise.

ד.6. יצרנות ראשונית

מדידה זו מהווה מדד עיקרי למידת השפעתה של אאוטרופיקציה על תהליכים ביולוגיים. לעיתים לא ניתן למדוד את הנוטריוטים עצמם בשכבה האאופוטית, אך ניתן למצוא עדות לקיומם בעזרת מדידת הפרודוקטיביות. בים אוליגוטרופי ערך הפרודוקטיביות המקובל לשכבת המים המוארת הוא $100 \pm 200 \text{ mg C m}^{-2} \text{ day}^{-1}$. ערכים גבוהים יותר אופייניים לאזורים שבהם מים עשירים בנוטריינטים עולים מהעומק, או באזורים חופיים בהם ישנו נגר עילי גדול. מדידות פרודוקטיביות בראש מפרץ אילת בוצעו באופן סדיר אחת לחודש משנת 1989 במסגרת פרויקט REEF LUX, פרויקט "הים האדום" Red sea Project פרויקט פארק השלום "RSMPP" וממשיכות בתכנית הנוכחית לניטור מפרץ אילת. עיקר המדידות נעשו בתחנה A, ולעיתים נמדדו תחנות נוספות בחתכי אורך ורוחב במפרץ. לכל אורך תקופת המדידה קצב הפרודוקטיביות השנתית הממוצעת היה בערך

$220 \text{ mg C m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ (נתוני דוד אילוז ויונתן ארז). משנת 2000 החלו להימדד ערכים חריגים הגבוהים באופן משמעותי מהערכים שנמדדו בתקופה הקודמת. בחורף של שנת 2001-02 נמדד ערך פרודוקטיביות של $1400 \text{ mg C m}^{-2} \text{ day}^{-1}$. בשלושת החורפים שעברו משנת 1999-00 אמנם היה ערבוב עמוק (מתחת לעומק הקריטי של 450 מ') של עמודת המים הפתוחים אך מבחינה זו לא היו חריגים. השנה כפי שהוצג בפרקים 2.1 ו-2.3 עומק הערבוב לא עבר את העומק הקריטי אך עם זאת ערכי הפרודוקטיביות כפי שניתן לראות בהמשך היו עדיין חריגים בדומה למדידות של 2003.

שיטות העבודה: דיגום המים למדידת פרודוקטיביות נעשה בתחנה A. הדיגום נעשה בשעות אחה"צ המוקדמות באמצעות רוזטה מפני המים עד עומק של 100 מטר ובמרווחים של כל 20 מטר. הדגימות סומנו

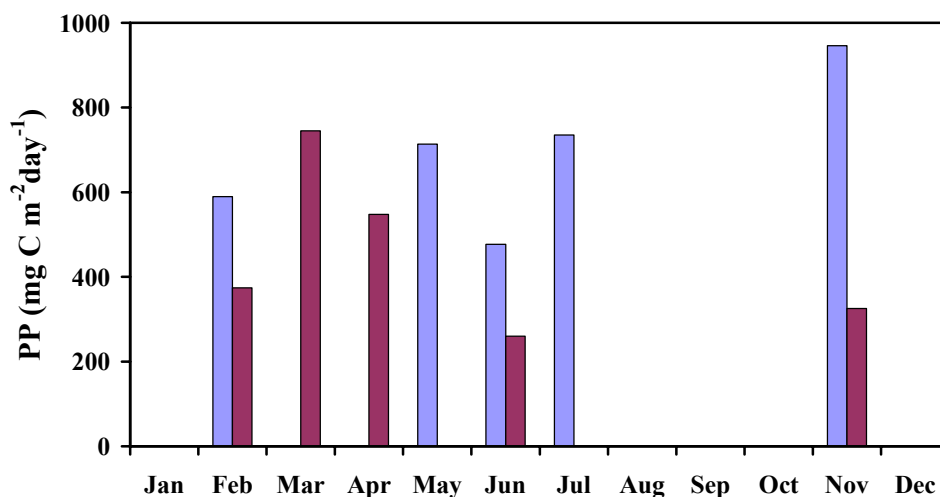
בפחמן 14 והוכנסו לים לפני עלות השחר לעומקים המתאימים, לאינקובציה in situ למשך 24 שעות. סיום האינקובציה חל לפני עלות השחר למחרת. הדוגמאות סוננו מיד דרך פילטר GFF אשר נחשפו לאדי HCl ולאחר מכן הוסף נוזל סינטילציה לדוגמא והוכנסה למונה סינטילציה (10 דקות לכל דוגמה).

תוצאות:

מנתוני הטבלה המסכמת את ערכי הפרודוקטיביות למ"ר 1 בעמודת המים עד עומק 100 מ' (מדידה כל 20 מ') בתחנה A בחודשים פברואר, מאי-יולי ונובמבר ניתן לראות כי כל המדידות היו גבוהות מהמוצע של השנים 1989 עד 1999, גם בקיץ וגם בחורף. ראוי לציין כי בשנים קודמות ערכי הפרודוקטיביות ירדו למינימום במשך חודשי הקיץ אך השנה ביולי נמדד ערך הפרודוקטיביות הגבוה ביותר שנמדד עד כה ($740 \text{ mg C m}^{-2} \text{ day}^{-1}$). אינטגרל הפרודוקטיביות בין 0 ל-20 מ' עומק בתחנות החופיות (איור ד38) מראה כי הפרודוקטיביות היומית גבוהה יותר באזור החוף מאשר במים הפתוחים (A1). הערך החריג בחודש יוני נמל הצבאי (mg C) $1100 \text{ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$) מעיד על העשרה נקודתית אינטנסיבית בנוטריינטים, כנראה ממקור מי התהום המוחזרים לים במלון מרידיאן.

טבלה ד1: אינטגרל הפרודוקטיביות בעמודת המים הפתוחים לשנת 2003 במדידות שנעשו בתחנה A מפני המים עד לעומק של 100 מ' במרווחים של 20 מ'. לשם השוואה, אינטגרל היצרנות לפני שנת 2000 היה כ-200 מ"ג פחמן למ"ר ליום.

תאריך	נתוני עבר: אינטגרל פרודוקטיביות ($\text{mg C m}^{-2} \text{ day}^{-1}$) על 100 מ' עמודה בתחנה A - 2003	תאריך האינקובציה	אינטגרל פרודוקטיביות ($\text{mg C m}^{-2} \text{ day}^{-1}$) על 100 מ' עמודה בתחנה A - 2004
17/2/2003	590	23/2/2004	370
12/5/2003	710	22/3/2004	745
17/6/2003	480	19/4/2004	550
14/7/2003	740	17/6/2004	260
17/11/2003	950	22/11/2004	330
ממוצע יומי	730		390



איור ד38: אינטגרל הפרודוקטיביות ב-100 המטרים העליונים של עמודת המים בתחנה A בחודשים בהם בוצעו מדידות הפרודוקטיביות ב 2003 (תכלת) וב-2004 (סגול).

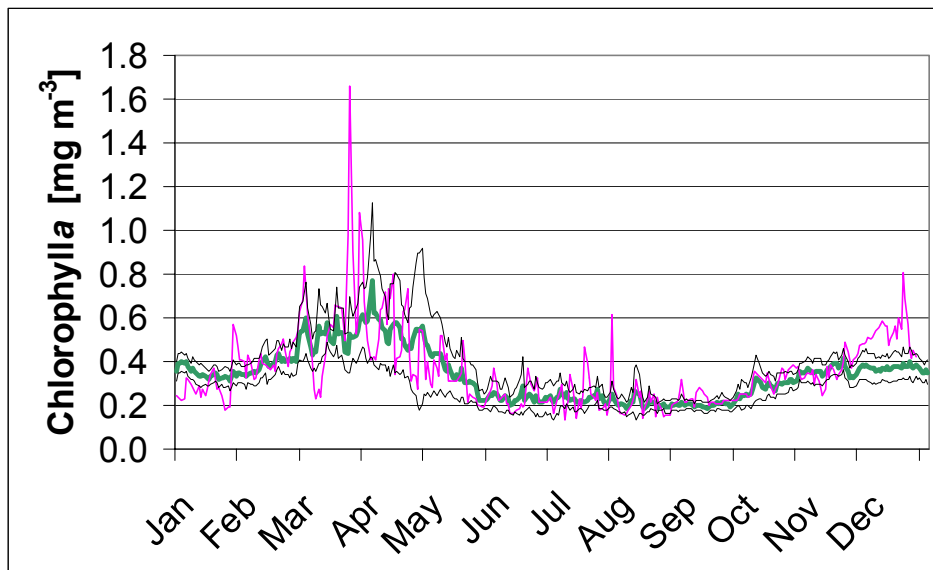
Figure D38: Integrated value of primary production in upper 100m of the column at station A for the months in which these measurements were made in 2003 (blue) and 2004 (maroon).

השנה אמנם ממוצע הפרודוקטיביות בתחנה A נמוך מזהו שבשנה שעברה (טבלה מעל) אך הוא עדיין גבוה מהערך הממוצע מהתקופה שלפני שנת 2000. ייתכן והערכים הנמוכים יותר יחסית נובעים מעומק ערבוב קטן יותר השנה לעומת שנה שעברה אך עדיין התקבלו ערכים שנתיים גבוהים בהרבה מאלו האופייניים לים אוליגוטרופי כמפרץ אילת.

ה. מדידות רציפות

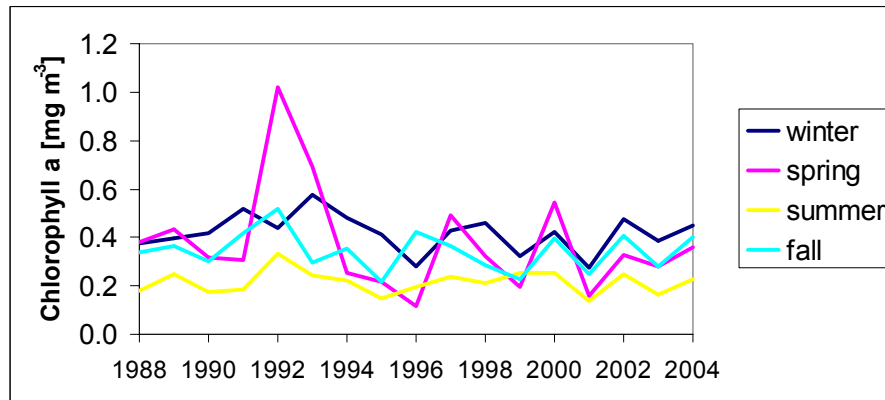
ה.1. כלורופיל

מדידות יומיות אלה נעשות מידי בוקר בין השעה שמונה לתשע. שתי דגימות מים (300 מ"ל) נלקחות ממי השטח בנקודה קבועה במזח המצפה התת-ימי (מחוץ לשולחן השונית). להוצאת הזואופלנקטון המים מסוננים דרך רשת $100 \mu\text{m}$ לתוך שני בקבוקים של 300 מ"ל ומובאים למעבדה, כל אחת מהדגימות מסוננת על פילטר GF/F. המיצוי של הכלורופיל נעשה ב 10 מ"ל Buffered Acetone 90% למשך 24 שעות במקרר. איורים ה-1 ו-2 מראים כי ריכוז הכלורופיל בשנת 2004 לא נבדל מהממוצע הרב שנתי.



איור ה-1: ריכוז כלורופיל a בפני השטח בשמורת חוף אלמוג (בסמוך למזח המצפה הימי). קו ורוד - בשנת הניטור 2004, קו ירוק - ממוצע רב שנתי (1988-2003), קווים שחורים דקים - רווח בר סמך 95%.

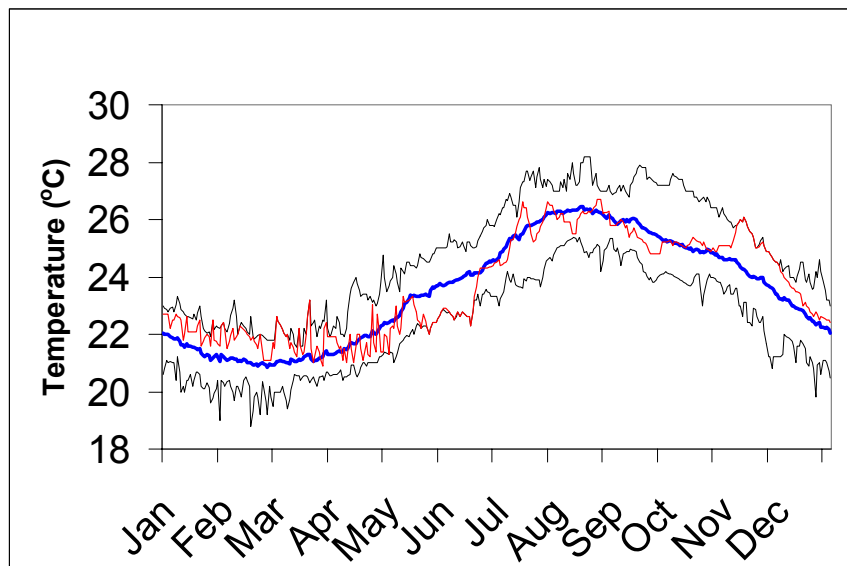
Figure E1: Continuous record of chlorophyll a concentration sampled daily at the underwater observatory jetty in 2004 (pink line) and the long-term average (1988-2003, green line). The black lines represent the 95% confidence interval of the multi annual record.



איור 2: סדרת זמן של ממוצע ריכוז הכלורופיל בפני השטח בשמורת חוף אלמוג בעונות השונות מאז 1988.
Figure E2: Time series of seasonal average chlorophyll a concentrations measured at the underwater observatory jetty since 1988.

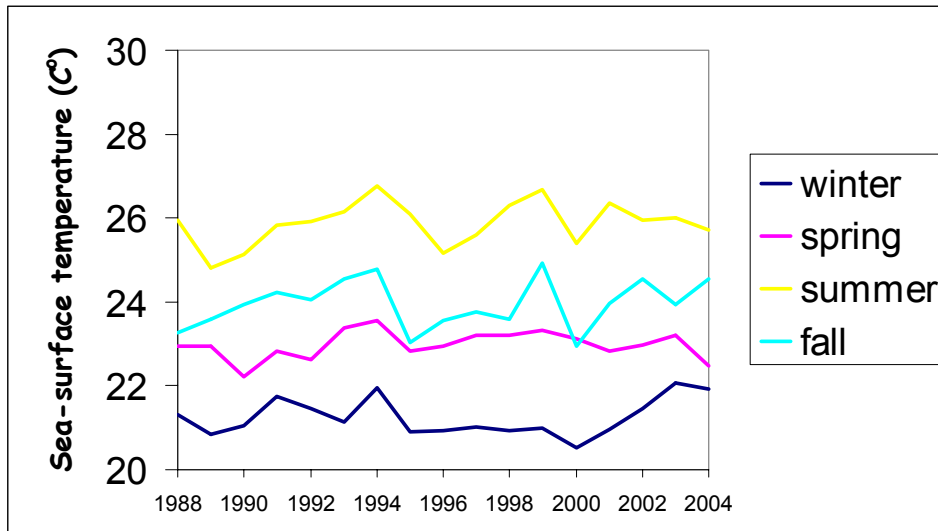
ה.2. טמפרטורת המים בפני השטח בשמורת חוף אלמוג

טמפרטורת המים בפני הים נמדדת הצמידות למדידה היומית של הכלורופיל בקצה מזח המצפה הימי. איורים 3 ו-4 מראים שטמפרטורת פני השטח בשנת 2004, בדומה לכלורופיל, לא חרגה מהממוצע הרב שנתי.



איור 3: טמפרטורת המים בפני השטח בשמורת חוף אלמוג (בסמוך למזח המצפה הימי). קו אדום - שנת הניטור 2004, קו כחול - ממוצע רב שנתי של המדידות היומיות בשנים 1988-2003, קווים שחורים דקים - טווח הטמפרטורות (מינימום ומקסימום) עבור אותם ימים מאז 1988.

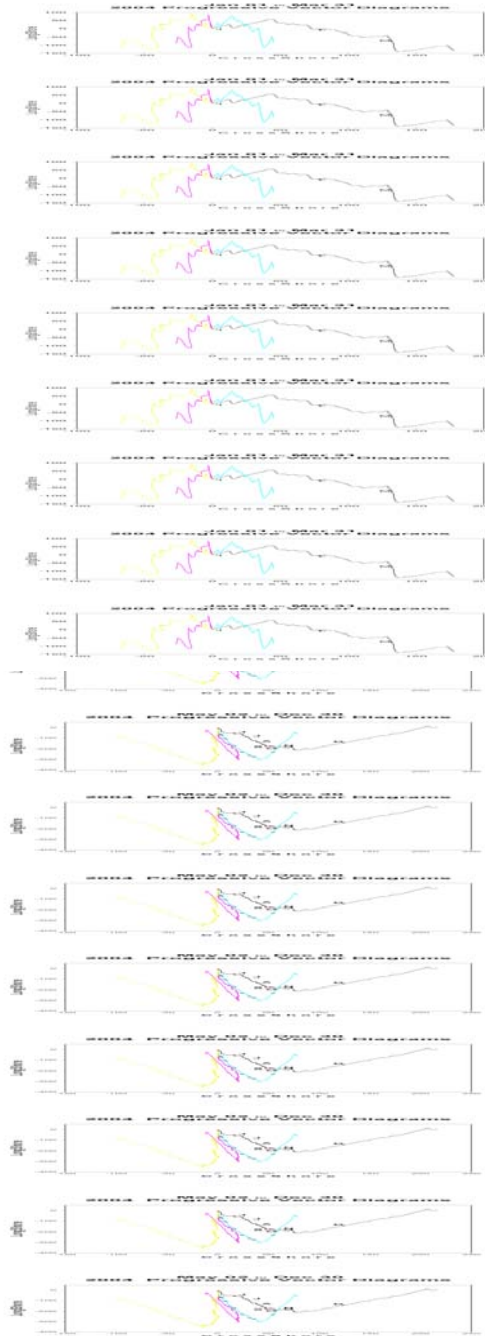
Figure E3: Continuous water surface temperature measured every morning at the underwater observatory jetty during 2003 (red line), multi annual average (1988-2003, blue line) and black lines represent the multi annual minimum-maximum temperature range.



איור ה-4: סדרת זמן של ממוצע טמפרטורת המים בפני השטח בשמורת חוף אלמוג בעונות השונות מאז 1988.
Figure E4: Time series of seasonal average temperature measured at the underwater observatory jetty since 1988.

ה.3. מדידות זרמים

בפרק זה מוצגות מדידות מד זרם (ADCP – Acoustic Doppler Current Profiler) המוצב בעומק 30 מ' מתחת לפני המים על המדרון מול המכון הבינאוניברסיטאי ומכוון כלפי מעלה (מעומק 30 מ' עד פני המים). המכשיר דוגם את כיוון ומהירות הזרם כל 10 דק' בשכבות שעוביין 1 מ' בטווח העומקים בין 3 – 27 מ'. עיבוד הנתונים כלל הוצאת מדידות בדידות חריגות ($> 2 * s.d$) ושרטוט וקטור מתמשך (progressive vector diagram) עבור ארבעה עומקים מייצגים (איור ה-5). האיור מראה משטר זרימה דומה לזה שנמדד בעבר, עם היפוך כוון הזרימה באמצע החורף, מזרימה לכוון צפון לזרימה לכוון דרום. ההיפוך השנה (בחודש ינואר 2004) היה מוקדם בכמה שבועות מזה שנצפה בשנות ה-1990 (בחודש פברואר). הדומיננטיות של המחזוריות הדו-ימתית נצפתה גם השנה בתקופת השיכון (אביב, קיץ ותחילת הסתיו). כמו כן, כפי שנראה באיור ה-5, הייתה הזרימה בכוון ניצב לחוף בולטת ברוב חודשי השנה, עם רכיב זרימה משמעותי לכוון החוף במים העליונים וזרימה החוצה (מזרחה) בקרבת הקרקעית.



איור 5: משטר הזרימה הקרבת שונית האלמוגים מול המכון הבינאוניברסיטאי. השרטוט מציג וקטור מתקדם (Progressive Vector Diagram) בחודשים ינואר – מרץ (איור עליון) ומאי-דצמבר (איור תחתון) מד הזרם לא פעל בחודש אפריל. מיקום הוקטור ביום הראשון של כל חודש מצוין בנקודה על הקו. האות הראשונה של שם החודש כתובה בסמוך לנקודה על קו אחד בלבד. הקווים השונים מציינים עומקים שונים: שחור-28 מ', כחול-20 מ', סגול 12 מ', צהוב – 4 מ'. בשרטוט הכוון ישירות כלפי מעלה מציינ את כוון קו החוף לעבר קצהו הצפוני של המפרץ (37°).

Fig. E5: The current regime near the coral off the Interuniversity Institute. Plotted are progressive vector diagram for 4 different depth (black-28m, blue – 20m, purple – 12m, and yellow 4m) for the period January-March (top panel) and May-December (bottom panel). The current meter malfunctioned during April. The first day of each month is indicated by the circle on the plot. The first letter of the month name is indicated next to the black plot.

ו. ביבליוגרפיה

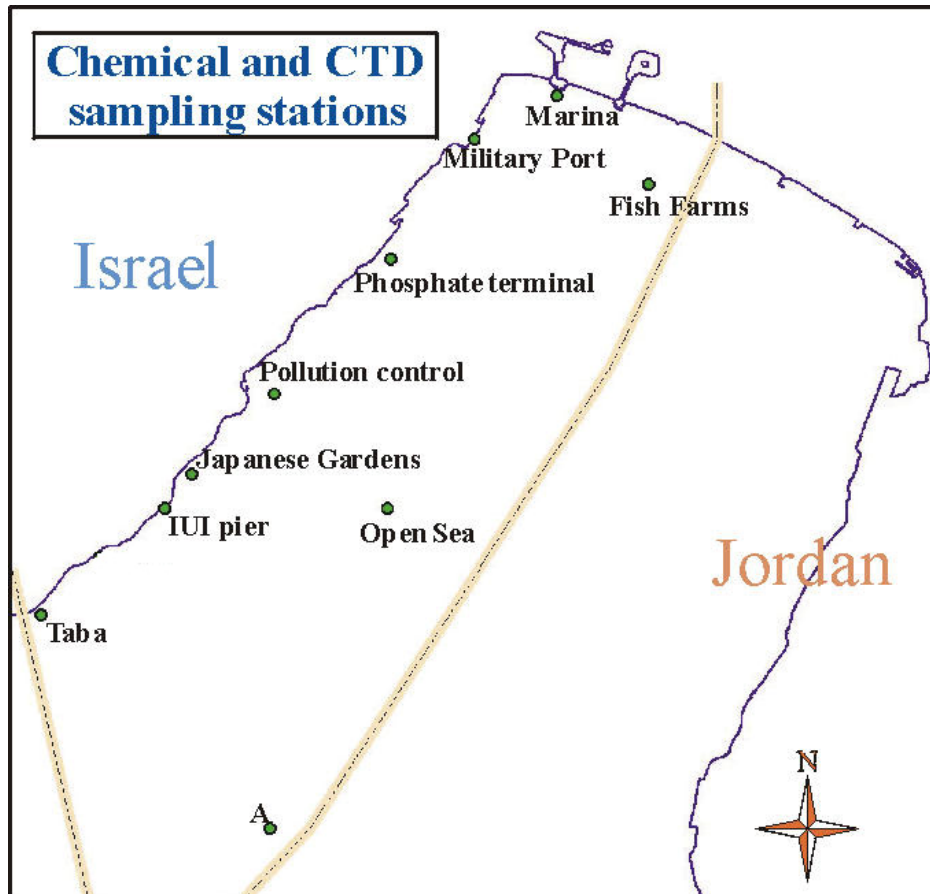
Loya, Y. and L. B. Slobodkin (1971) The coral reefs of Eilat (Gulf of Eilat, Red Sea).
Symp. Zool. Soc. Lond. 28:117-139.

Loya Y. (1972) Community structure and species diversity of hermatypic corals at Eilat,
Red Sea. *Mar. Biol.*13:100-123.

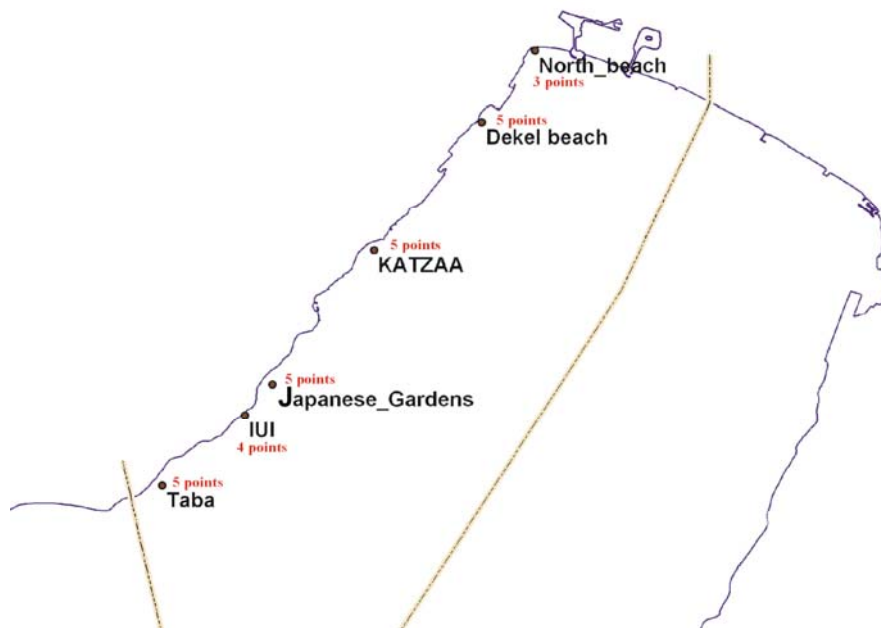
אבלסון, א. (1986) עבודת גמר לתואר מוסמך. אוניברסיטת תל אביב.

ז. נספחים

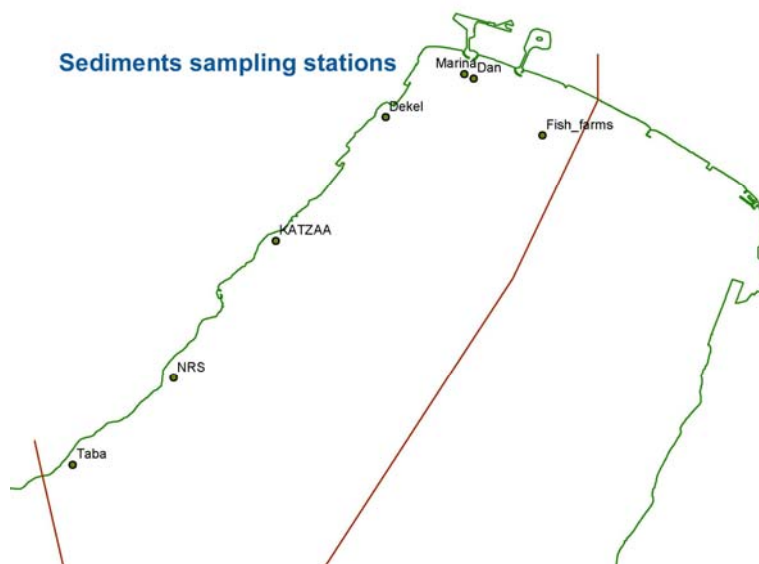
נספח 1: מפות אתרי הניטור



מפה 1: תחנות דיגום עמודת המים. תחנה B אשר אינה כלולה במפה, נמצאת 10 ק"מ דומית לתחנה A במשולש הגבולות ירדן-מצרים-סעודיה.



מפה 2: מפת מיקום אתרי השונית בהם הוצבו תושבות למעקב צילומי אחר חלקות קבועות. ראה פירוט תצלום האויר באיור ב1 בגוף הדו"ח.



מפה 3: מיקום אתרי דיגום הסדימנטים.

נספח 2: פיסיולוגיה של אלמוגים

(מחקר ייעודי- ע"י טלי לבנון ופרופ' צבי דובינסקי)

1.Objectives:

Physiological indicators of coral stress

Objective: to develop and implement a coral-based bioassay for detecting stress gradients in the Gulf's coral reefs and refine non-destructive methods to assess coral health in situ
Coral bioassays for stress monitoring Physiological coral health probes

2. Methods

Activities October- present:

Two species of stony corals (*Acropora*, *Stylophora*) and one Hydrocorallian (*Millepora*) were chosen. Colonies of the three species were cut to small sub-colonies (30 of each species) and glued onto plates. The plates were placed next to the I.U.I at depth of five meters for acclimation of three months. At the onset of the project we weighed, dyed with alizarin red and photographed all the colonies by a digital camera to allow additional information on growth in addition to buoyant weight. This reveals changes in colony architecture such as branching patterns, branch orientation and thickness, such that are not seen from buoyant weight. During December 03- January 2004 we conducted 24h measurements by submersible respirometer of 6 colonies of each coral species. At the end of these time zero measurements all the colonies was placed in their new six locations to acclimatize in a way that in each location there will be 5 colonies of each species. The locations were chosen in consultation with the Nature Reserve staff, and are close to sites where other IET activities take place so that supporting data can eventually be obtained for result interpretation: North beach (near the fish farm) at 19 m two species (*Acropora*, *Stylophora* only) Hof Hadekel at 8 m three species Oil port at 8 m three species IUI at 8 m three species IUI at 19 m two species (*Acropora*, *Stylophora* only) Taba border at 8 m three species See Table 3 at appendix and map (figure 1).

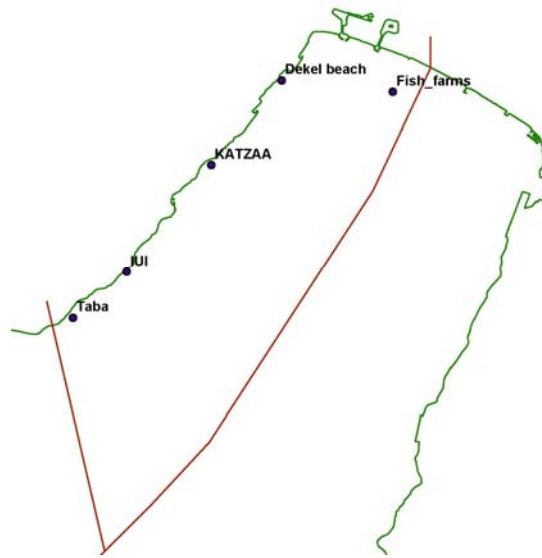


Figure 1. Map of the bioassay stations

Throughout April-June 2004 and October –November we conducted a second and third series of 24h measurements by submersible respirometer of 3 colonies of each coral species at each location. Measurements of metabolic parameters (by submersible respirometer), were conducted in a 14,000-liter, 1.2 m depth outdoor pool at the IUI. Nubbins from all sites were transferred carefully by boat to the IUI and subsequently returned to their respective locations. Digital image recording from the same angle and distance as the initial ones were taken, and buoyant weight measurements were also conducted.

Oxygen measurements of photosynthesis and dark respiration.

The *in situ* oxygen flux data, which allow measurement of both symbiont photosynthesis and colony respiration, were obtained using submersible respirometer (AIMS, Australia) (after Levi *et al.*, 2004). Data was processed using the AIMS ‘Respiro’ program for calibrating the instrument and converting measurements from millivolt changes into oxygen fluxes and then normalizing the data to mol oxygen per coral unit area equivalents (after Levi *et al.*, 2004). Parameters from P versus E curves, including α (initial slope), Pmax, Ecom (compensation intensity), Eopt (optimum irradiance), and Ek were calculated using non-linear curve-fitting based on theoretical models of a hyperbolic tangent equation (Ben-Zion & Dubinsky 1988).

FRR fluorescence measurements.

Changes in chlorophyll fluorescence and photosynthetic characteristics These measurements of corals were monitored using the SCUBA-based FRRF (Gorbunov *et al.* 2000). The FRR fluorometer measures the chlorophyll fluorescence yield using a sequence of flashlets that gradually close the PSII reaction centers, leading to an increase in the

chlorophyll fluorescence (Kolber & Falkowski 1993). The slope of the raise in fluorescence depends only on σ_{PSII} , the functional cross section of PSII. A subsequent series of weak "probe" flashes, allows following the decay of chlorophyll fluorescence from its maximal values as all "traps are closed" to its ground state. This rate of decay, τ , depends on the amount of Rubisco per photosynthetic unit, and the intensity of ambient light. Furthermore, the variable fluorescence $(F_{max} - F_0) / F_{max}$ is a measure of the photosynthetic capacity of the zooxanthellae and their "health". The unique SCUBA FRRF allows as many as 50 measurements in a single dive or many nubbins in sequence, according to our experimental design. Relative Buoyant Weight was measured by the follow equilibrium (Eq. 1):

$$RBW = SBW / IBW$$

RBW (Relative Buoyant Weight) - Buoyant Weight of the colony in relation to its initial weight.

SBW (Sample Buoyant Weight) - Buoyant Weight of the last measure

IBW (Initial Buoyant Weight) - Initial Buoyant Weight of the colony

By this equilibrium we get the relative addition in B.W respectively to the initial colony weight. The percentage off adding weight was measured by the follow equilibrium (Eq.2)

$$\% \text{ Add weight} = (SBW - IBW) / SBW \times 100$$

this method is a modification of the buoyant Weighting technique (Jokiel *et al.*, 1978; Davies, 1989).

Alizarin red staining of the skeleton of the living coral marks the beginning of the experiment and allows careful quantification of growth upon its termination. The procedure was conducted according to the protocol of Barnes (1972, 1973)

3. Results

We measured the following at the beginning of the experiment (t_0) after the nubbins recovered, and in intervals of three months in order to cover all seasons. The first measurement covers the winter growth (t_1), and the second the summer's growth (t_2).

- a. Growth and calcification rate- by buoyant weight
- b. Colony architecture- from digital imaging
- c. Zooxanthellae photosynthesis (including the quantum yield, ϕ , σ_{PSII} , P_{max} , and variable fluorescence F_{var}), from FRRF data
- d. Colony respiration- by submersible respirometry
- e. Colony metabolism - by submersible respirometry



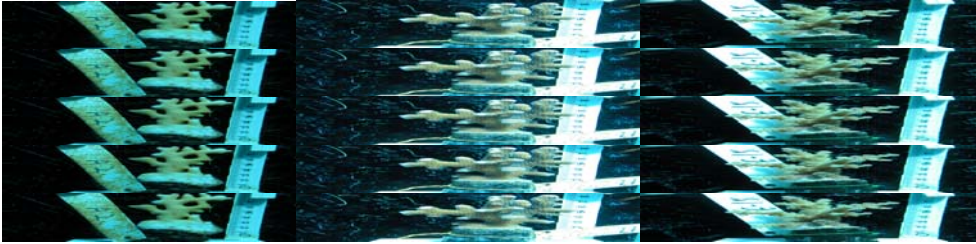


Figure 2: Nubbins of *Stylophora pistillata*, *Acropora variabilis* and *Millepora dichotoma* during pre-acclimation.

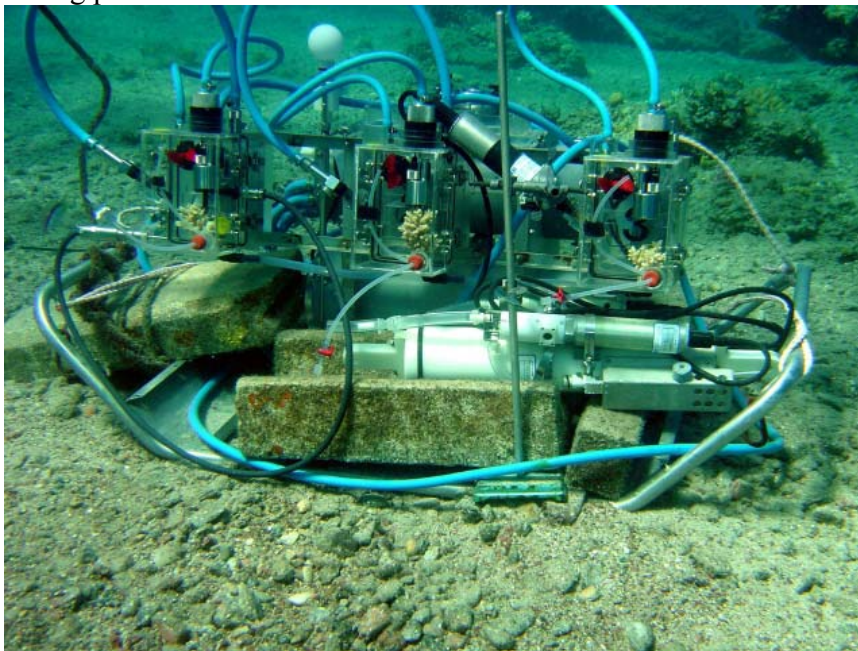


Figure 3: The three submersible respirometer chambers are constructed from UV-transparent material, each equipped with an oxygen sensor. The instrument has one light sensor, a temperature probe and a data logger. A centrifugal pump flushes the water in the chambers at programmable intervals. Instrument photographed during in situ measurements of diurnal photosynthesis on hermatypic corals at 5 m depth in the Red Sea, Eilat

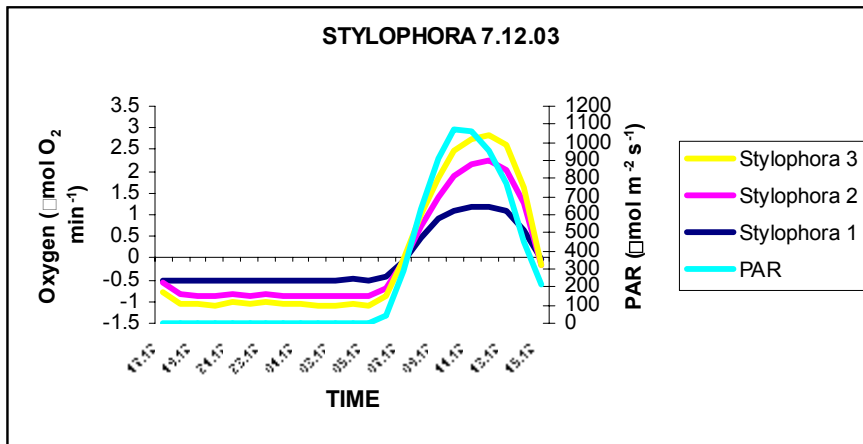


Figure 4: Sample submersible respirometer 24 hour plot: Changes in light intensity and net oxygen fluxes in the respirometer plotted against the time of day in *Stylophora pistillata*. Each color represent replicate colonies of the same species we had 3 replicates at each location. The respirometer was programmed for 60-min incubations periods, and between those - one 20sec of pump operation flushing 15 liters of seawater per coral chamber, to avoid oxygen depletion at night or supersaturation during daytime. Continuous measurements of light, temperature, and O₂ (by Clark type electrodes), were recorded and stored by the respirometer logger every 2 minutes.

Acropora C2 22.4.04

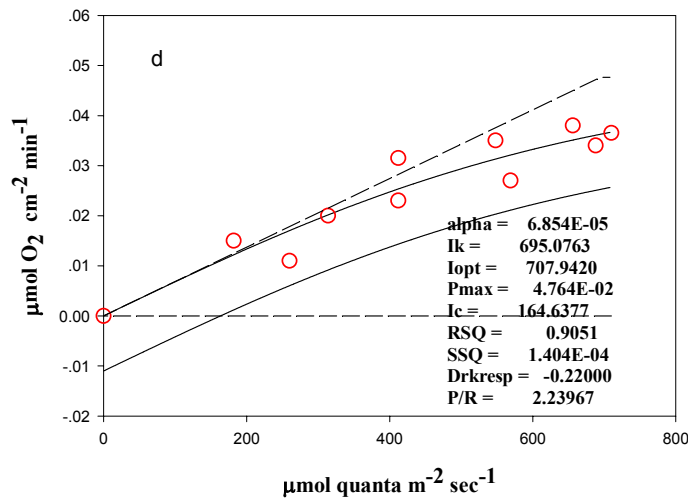


Figure 5: Sample of P-I graph

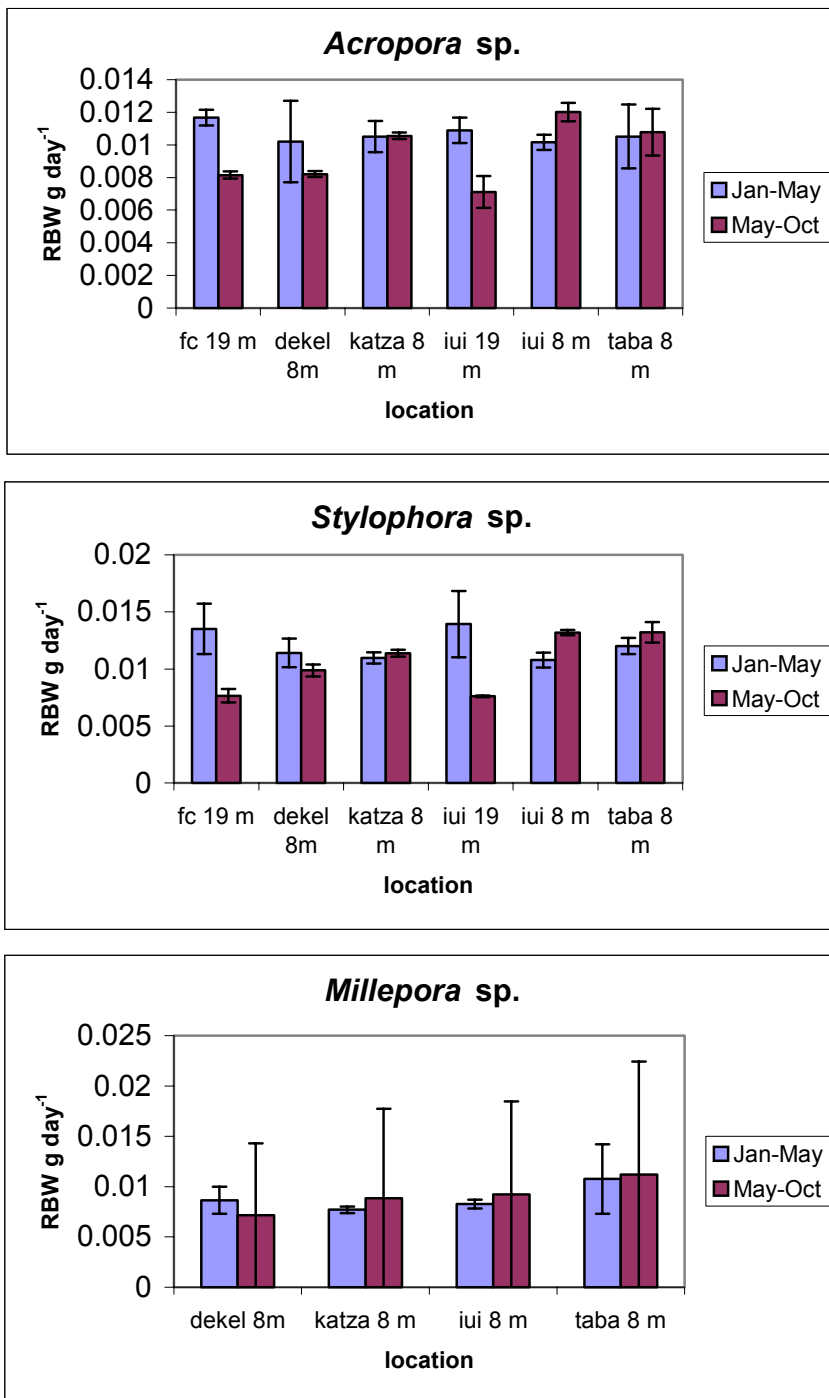


Figure 6: The average Relative Buoyant Weight (RBW) in g day⁻¹ (n=3) of the three species at the end of the winter (blue) and the end of summer (red). Growth rates did not differ between the sites and the seasons at the 8m sites (Two-way ANOVA $p > 0.05$). At the 19m sites the RBW was significantly higher in winter (Two-way ANOVA, $p < 0.05$).

Table 1: Average and std (n=3) of photosynthetic parameters of the three species at the end of the winter and the end of summer. P/R did not differ between sites but was found to be significantly different between the seasons (Factorial ANOVA, P=0.047 and P=0.02 for *Millepora* and *Stylophora*& *Acropora* respectively). Ic differed significantly between the seasons and the sites, showing significant differences between the two depths (Kruskal-Wallis ANOVA, P<0.01 for all coral species). For *Acropora*, Pmax and alpha differed between 8 m and 19 m at the IUI (Kruskal-Wallis ANOVA, P=0.04). Dark respiration differed between seasons and sites, at the end of summer there was a significant difference between *Stylophora* (P=0.01) in the 19 m sites and the 8 m sites and *Millepora* (P=0.03) between Taba and all other sites.

sp.	date	Data	location					
			dekel 8m	fc 19 m	iui 19 m	iui 8 m	katza 8 m	taba 8 m
<i>Acropora</i>	summer	avg P/R	3.32E+00	3.11E+00	2.48E+00	2.92E+00	2.74E+00	
		std P/R	2.48E-02	1.82E-01	6.78E-01	1.57E-01	4.05E-01	
		avg Ic	1.98E+02	7.46E+01	1.05E+02	1.68E+02	1.58E+02	
		std Ic	1.04E+01	1.08E+01	9.35E+00	4.49E+00	4.15E+01	
		avg Pmax	2.29E-01	2.19E-01	3.30E-02	1.81E-01	1.31E-01	
		std Pmax	3.68E-02	8.71E-02	7.45E-03	1.34E-02	3.26E-02	
		avg alpha	2.82E-04	5.46E-04	9.82E-05	2.36E-04	3.18E-04	
	std alpha	2.49E-05	2.33E-04	1.07E-05	9.91E-06	1.97E-04		
	avg Drkresp	-8.80E-01	-6.93E-01	-3.37E-01	-8.20E-01	-6.33E-01		
	std Drkresp	4.10E-01	6.94E-02	4.71E-03	9.90E-02	2.49E-02		
	winter	avg P/R	2.47E+00	2.49E+00	2.49E+00	3.63E+00	2.92E+00	2.96E+00
	std P/R	1.05E-01	6.48E-02	2.76E-01	2.08E-01	1.81E-01	2.35E-01	
	avg Ic	4.53E+02	1.51E+02	1.54E+02	4.16E+02	3.98E+02	3.63E+02	
	std Ic	4.69E+01	1.14E+01	1.27E+01	2.22E+01	5.03E+01	3.60E+01	
avg Pmax	8.43E-02	7.87E-02	6.03E-02	4.60E+02	1.21E-01	1.05E-01		
std Pmax	1.66E-02	2.61E-02	1.88E-02	6.50E+02	2.58E-02	3.23E-02		
avg alpha	5.12E-05	7.37E-05	7.45E-05	8.08E-05	7.19E-05	7.02E-05		
std alpha	1.05E-05	3.41E-06	1.38E-05	8.57E-06	1.66E-05	2.25E-05		
avg Drkresp	-5.47E-01	-3.27E-01	-2.03E-01	-1.06E+00	-7.57E-01	-6.13E-01		
std Drkresp	8.96E-02	2.05E-02	1.70E-02	2.57E-01	1.09E-01	1.03E-01		
<i>Millepora</i>	summer	avg P/R				3.22E+00	2.21E+00	4.62E+00
		std P/R				7.40E-02	7.92E-02	3.85E-01
		avg Ic				1.39E+02	1.85E+02	1.31E+02
		std Ic				0.00E+00	1.36E+01	9.68E+00
		avg Pmax				7.04E-02	1.76E-02	1.78E-01
		std Pmax				1.44E-02	1.24E-03	4.87E-02
		avg alpha				1.29E-04	3.58E-05	2.42E-04
	std alpha				2.39E-05	2.78E-06	6.16E-05	
	avg Drkresp							
	std Drkresp				-3.27E-01	-1.47E-01	-9.25E-01	
	std Drkresp				5.31E-02	3.68E-02	1.25E-01	
	winter	avg P/R	2.99E+00			3.47E+00	3.09E+00	3.41E+00
	std P/R	1.83E-01			4.23E-01	3.06E-01	1.44E-01	
	avg Ic	3.23E+02			4.35E+02	3.70E+02	4.46E+02	

		std lc	3.41E+01			5.59E+01	4.08E+01	4.45E+01
		avg Pmax	3.11E-02			1.08E+02	1.65E-01	1.71E-01
		std Pmax	1.73E-02			1.52E+02	6.71E-02	9.25E-02
		avg alpha	4.36E-05			4.42E-05	8.01E-05	3.86E-05
		std alpha	1.86E-05			1.55E-05	1.61E-05	3.66E-06
		avg Drkresp	-3.60E-01			-5.10E-01	-4.57E-01	-5.33E-01
		std Drkresp	2.94E-02			2.45E-02	6.85E-02	1.25E-02
<i>Stylophora</i>	summer	avg P/R	4.84E+00	3.51E+00	2.95E+00	2.50E+00	3.47E+00	1.92E+00
		std P/R	4.65E-02	1.04E+00	7.18E-01	1.61E+00	1.04E-01	3.14E-01
		avg lc	1.40E+02	1.01E+02	9.65E+01	1.39E+02	1.75E+02	2.88E+02
		std lc	0.00E+00	3.77E+01	1.02E+01	6.68E+00	7.13E+00	3.63E+01
		avg Pmax	2.88E-01	8.14E+02	4.76E-02	1.52E+00	1.60E-01	4.38E-01
		std Pmax	4.01E-02	6.18E+02	1.23E-02	1.93E+00	1.47E-02	1.25E-02
		avg alpha	3.42E-04	4.74E-04	1.22E-04	2.61E-04	2.04E-04	7.08E-04
		std alpha	4.78E-05	2.28E-04	9.77E-06	1.20E-04	2.57E-05	3.06E-05
		avg Drkresp	-1.03E+00	-7.03E-01	-4.47E-01	-9.50E-01	-8.00E-01	-4.93E+00
		std Drkresp	1.80E-01	1.60E-01	1.01E-01	5.30E-01	1.06E-01	3.10E-01
	winter	avg P/R	2.57E+00	2.18E+00	2.36E+00	3.64E+00	2.75E+00	2.47E+00
		std P/R	1.72E-01	7.70E-02	1.72E-01	1.04E-01	7.51E-02	2.61E-01
		avg lc	4.13E+02	1.69E+02	1.73E+02	3.97E+02	4.74E+02	4.83E+02
		std lc	3.62E+01	2.18E+01	1.65E+01	2.57E+01	1.44E+01	5.87E+01
		avg Pmax	2.13E-01	8.05E-02	1.08E-01	1.89E-01	1.12E-01	1.06E-01
		std Pmax	5.86E-02	2.74E-02	6.62E-02	2.90E-02	9.23E-03	7.60E-03
		avg alpha	1.37E-04	9.51E-05	6.98E-05	8.39E-05	5.61E-05	6.88E-05
		std alpha	3.16E-05	1.58E-05	1.88E-05	2.02E-05	1.15E-06	5.95E-06
		avg Drkresp	-9.00E-01	-4.43E-01	-3.57E-01	-1.36E+00	-9.37E-01	-8.60E-01
		std Drkresp	4.90E-02	1.37E-01	8.65E-02	1.70E-01	6.80E-02	7.26E-02

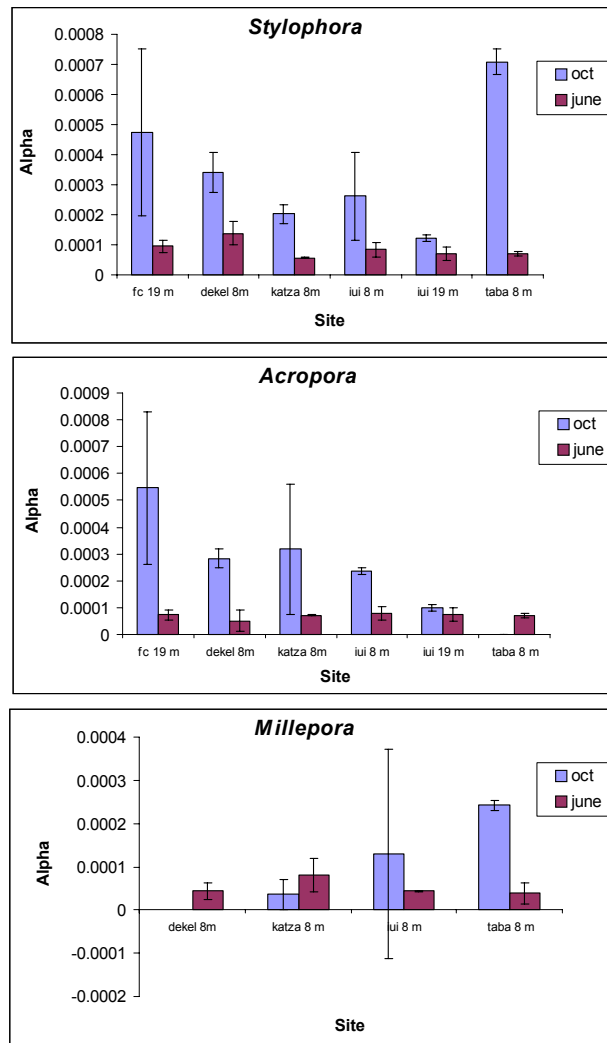


Figure 9: Alpha differed significantly between season but not between sites or depths (Kruskal Wallis ANOVA $P=0.003$ and $P>0.05$ respectively). During the summer (blue) values were much higher than during the winter (red) indicating lower photosynthetic yield during the summer.

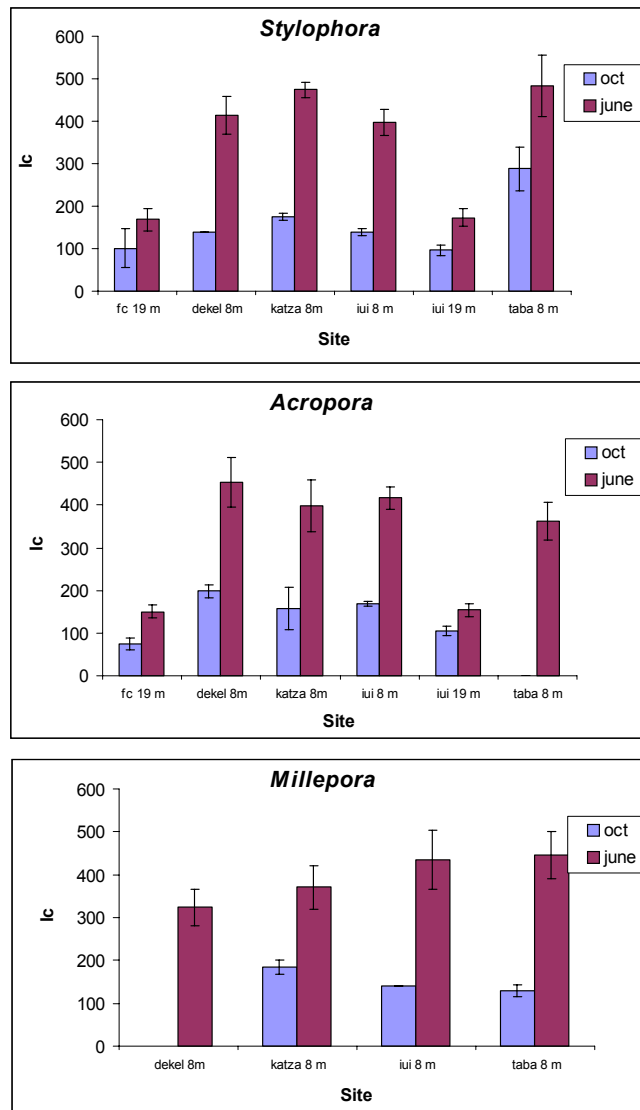


Figure 8: I_c , the light intensity at which coral primary production equals respiration, differed significantly between 8 m and 19 m (Kruskal-Wallis ANOVA, $P < 0.05$). There was also a significant difference between the seasons (Kruskal-Wallis ANOVA, $P = 0.01$), I_c was much lower during the summer (blue) than during the winter (red). No differences in I_c were found between the sites.

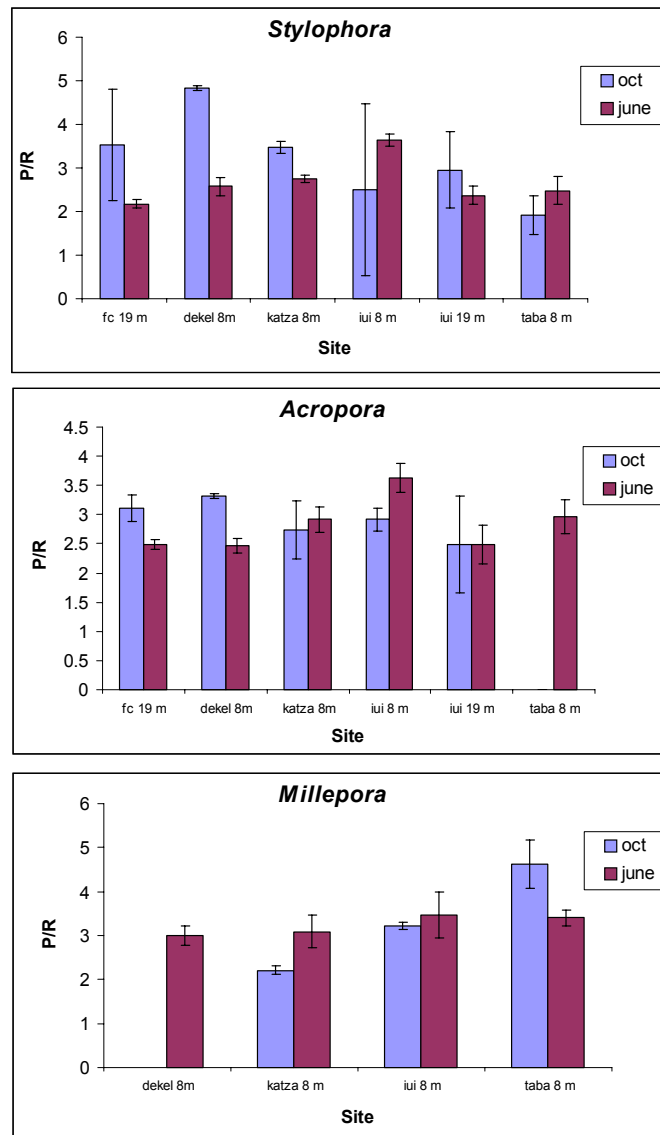


Figure 7: P/R ratio did not differ significantly between the seasons nor between sites (Factorial ANOVA $P > 0.06$ for all coral species). This indicates that photosynthetic rates are similar at all of the sites and all year round. Primary productivity exceeds coral respiration at all sites.

4. Summary and Conclusions of Coral Physiology

When comparing between the seasons, we found a significant increase in I_c during the winter accompanied by a significant decrease in α . At the deep sites (19 m) we also observed faster growth rates during winter. When comparing between depths we found a significant increase in I_c at the two deeper sites (19 m). We did not find significant

differences in the growth or in other physiological parameters between the sites. Conclusions 1 and 2 prove that this method is reliable and can be used to detect difference between sites, if exist. We interpret the depth differences in the photosynthetic parameters as the effect of light intensity, and the differences between seasons as resulting from the combination of lower irradiance and temperature, with enhanced nutrient availability. Based on our results we suggest that the growth condition of the three species we have checked and the photosynthetic parameters are the same all along the Israeli side of the Gulf of Aqaba.

References

- Barnes DJ. (1972). The structure and function of growth ridges in scleractinian coral skeletons. *Proc R. Soc. Lond. (Biol)* 182: 331-350.
- Barnes DJ. (1973). Growth in colonial sceractinians. *Bulll. Mar. Sci.* 23: 280-298.
- Ben-Zion M, Dubinsky Z (1988) An on-line system for measuring photosynthetic characteristics via an oxygenelectrode.
- Davies, PS. (1990). A rapid method for assessing growth rates of corals in relation to water pollution. *Marine Pollution Bulletin.* 21: 346-348
- Gorbunov MY, Falkowski PG, Kolber ZS (2000) Measurement of photosynthetic parameters in benthic organisms in situ using a SCUBA-based fast repetition rate fluorometer. *Limnol Oceanogr* 45:242–245
- Jokiel, PL. Maragos, J.E. Franzisket, L. (1978). Coral growth: Buoyant weight technique. In: (Stoddart, DR. Johannes, R.E eds.). *Coral reef research methods*, Monogr. Oceanogr. Methodol. UNESCO. 5: 529-543.
- Kolber Z, Falkowski PG (1993) Use of active fluorescence to estimate phytoplankton photosynthesis in situ. *Limnol Oceanogr* 38:1646–1665
- Levy O, Dubinsky Z, Schneider K, Achituv Y, Zakai D, Gorbunov MY (2004) Diurnal hysteresis in coral photosynthesis. *Mar Ecol Prog Ser* 268: 105–117.

נספח 3: פעילות צוות הניטור

תאריך דיגום+סוג הפעילות	מס' דגימות	מטרת העבודה	ימי עבודה	המבצעים
ינואר דיגום דו שבועי בלגונה הדרומית שבשמורת חוף אלמוג + אנליות	48 נוטריאנטים 48 חמצן, 32 pH 32 אלקלניות, 16 כלורופיל	מטבוליזם של השונית וכיול CTD	8	משה, טניה, מוריאל
21 ינואר דיגום מסירה + אנליות מ-8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריאנטים 4 חמצן, 16 pH, 16 אלקלניות, 8 מליחות Fcas 8 כלורופיל	השוואה בין התחנות השונות	3	רחמים, טניה, ענבל, משה, מוריאל
18 ינואר הפלגה לתחנות: OS, A, NRR, FF	78 נוטריאנטים, 78 חמצן, 62 pH, 39 אלקלניות, 39 מליחות 25 כלורופיל	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	6	רחמים, טניה, ענבל, מוריאל, משה
דיגום יומימי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל אילון
28 ינואר צלילה להוצאת שש לוחית התיישבות אצות בנתוניות	שש לוחיות.	מידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	צלילה: ענבל אילון, מוריאל דריי. עבודה במעבדה: ענבל אילון.
29 ינואר בדיקת כמות הכלורופיל בלוחיות התיישבות	קריאת שש דוגמאות בספקטרופלורומטר, הכנסת הנתונים למחשב	מידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	0.5	ענבל אילון
פברואר דיגום דו שבועי בלגונה הדרומית שבשמורת חוף אלמוג + אנליות	48 נוטריאנטים 48 חמצן, 32 pH 32 אלקלניות, 16 כלורופיל	מטבוליזם של השונית וכיול CTD	8	משה, טניה, מוריאל
פברואר דיגום יומימי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל אילון
22 פברואר הפלגה משותפת עם הירדנים לתחנות: OS, A, FF, NRR	116 נוטריאנטים, 116 חמצן, 62 pH, 58 אלקלניות, 58 מליחות 30 כלורופיל	כימיה ופיזיקה של עמודת המים בתחנה עמוקה B והשוואתה לתחנות הקבועות (OS, A)	10	רחמים, טניה, ענבל, מוריאל, משה, ג'ק
24 פברואר דיגום מסירה + אנליות מ-8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריאנטים 4 חמצן, 16 pH, 16 אלקלניות, 8 מליחות Facs 24 כלורופיל	השוואה בין התחנות השונות	3	רחמים, טניה, ענבל, משה, מוריאל
29 פברואר צלילה להוצאת שש לוחיות התיישבות אצות בנתוניות	שש לוחיות.	מידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	1	צלילה: ענבל אילון, מוריאל דריי. עבודה במעבדה: ענבל אילון.
1 מרץ בדיקת כמות הכלורופיל בלוחיות התיישבות	קריאת שש דוגמאות בספקטרופלורומטר, הכנסת הנתונים למחשב	מידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	0.5	ענבל אילון
מרץ דיגום דו שבועי בלגונה הדרומית שבשמורת חוף אלמוג + אנליות	48 נוטריאנטים 48 חמצן, 32 pH 32 אלקלניות, 16 כלורופיל	מטבוליזם של השונית וכיול CTD	8	משה, טניה, מוריאל
מרץ דיגום יומימי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי	דוגמא אחת כל יום.	מידת כמות הכלורופיל בשונית.	0.3	ענבל אילון
22 מרץ הפלגה לתחנות: OS, A, FF, NRR	78 נוטריאנטים, 78 חמצן, 62 pH, 39 אלקלניות, 39 מליחות 25 כלורופיל	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	6	רחמים, טניה, ענבל, מוריאל, משה
23 מרץ דיגום מסירה + אנליות מ-8 תחנות לאורך החוף	24 נוטריאנטים 4 חמצן, 16 pH, 16 אלקלניות, 8 מליחות Facs 24 כלורופיל	השוואה בין התחנות השונות	3	רחמים, טניה, ענבל, משה, מוריאל

ציליה:ענבל אילון, טניה ריבלין עבודה במעבדה: ענבל אילון.	1	מידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	שש לוחיות.	29 מרץ ציליה להוצאת שש לוחיות התיישבות אצות בנתוניות
ענבל אילון	0.5	מידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	קריאת שש דוגמאות בספקטורופלורומטר, הכנסת הנתונים למחשב	30 מרץ בדיקת כמות הכלורופיל בלוחיות התיישבות
משה, טניה, מוריאל	8	מטבוליזם של השונית וכיול CTD	48 נוטריאנטים 48 חמצן, 32 pH	אפריל דיגום דו שבועי בלגונה הדרומית שבשמורת חוף אלמוג + אנליות
ענבל אילון	0.3	מידת כמות הכלורופיל בשונית.	דוגמא אחת כל יום.	אפריל דיגום יומיומי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי
רחמים, טניה, ענבל, מוריאל, משה	6	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	78 נוטריאנטים, 78 חמצן, 62 pH, 39 אלקלניות, 39 מליחות כלורופיל,	18 אפריל הפלגה לתחנות: A, OS, FF, NRR
רחמים, טניה, ענבל, משה, מוריאל	3	השוואה בין התחנות השונות	24 נוטריאנטים 4 חמצן, 16 pH אלקלניות, 8 מליחות 8 כלורופיל, Facs 24	20 אפריל דיגום מסירה + אנליות מ-8 תחנות לאורך החוף
ציליה:ענבל אילון, טניה רבלין עבודה במעבדה: ענבל אילון.	1	מידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	שש לוחיות.	28 אפריל ציליה להוצאת שש לוחיות התיישבות אצות בנתוניות
ענבל אילון	0.5	מידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	קריאת שש דוגמאות בספקטורופלורומטר, הכנסת הנתונים למחשב	29 אפריל בדיקת כמות הכלורופיל בלוחיות התיישבות
משה, טניה, מוריאל	8	CTD מטבוליזם של השונית וכיול	48 נוטריאנטים 48 חמצן, 32 pH	מאי דיגום דו שבועי בלגונה הדרומית שבשמורת חוף אלמוג + אנליות
ענבל אילון	0.3	מידת כמות הכלורופיל בשונית.	דוגמא אחת כל יום.	מאי דיגום יומיומי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי
ג'ק, טניה, משה, מוריאל, ענבל	3	מטבוליזם של השונית וכיול CTD	24 נוטריאנטים 16 חמצן, 8 pH אלקלניות, 8 מליחות 8 כלורופיל,	14-15 מאי מחזור דיגום כל 3 שעות במשך 24 שעות בלגונת שמורת האלמוגים
רחמים, טניה, ענבל, מוריאל, משה	6	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	78 נוטריאנטים, 78 חמצן, 62 pH, 39 אלקלניות, 39 מליחות כלורופיל,	16 מאי הפלגה לתחנות: A, OS, FF, NRR
רחמים, טניה, ענבל, משה, מוריאל	3	השוואה בין התחנות השונות	24 נוטריאנטים 4 חמצן, 16 pH אלקלניות, 8 מליחות 8 כלורופיל, Facs 24	17 מאי דיגום מסירה + אנליות מ-8 תחנות לאורך החוף
משה, טניה, מוריאל	8	מטבוליזם של השונית וכיול CTD	48 נוטריאנטים 48 חמצן, 32 pH	יוני דיגום דו שבועי בלגונה הדרומית שבשמורת חוף אלמוג + אנליות
ענבל אילון	0.3	מידת כמות הכלורופיל בשונית.	דוגמא אחת כל יום.	יוני דיגום יומיומי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי
רחמים, טניה	0.3	סקר חברת השונית	ציליה לצילום ריבועים קבועים	5 יוני ניטור השונית בגנים היפנים
ציליה:רותי ודנה עבודה במעבדה: ענבל אילון.	1	מידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	שש לוחיות.	6 יוני ציליה להוצאת שש לוחיות התיישבות אצות בנתוניות
ענבל, רחמים	1-דיגום 1- עיבוד	בדיקת כמות החומר האורגני בסדימנט, בתחנות השונות.	הורדת גרב מסירה ב-ארבע תחנות (כלובי דגים, מלון דן, חברת חשמל, טאבה) לעומק של 20 מ'. לקיחת 12 ליבות סה"כ.	6 יוני דיגום סדימנט בתחנות לאורך החוף
רחמים, טניה, ענבל, מוריאל, משה	6	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	78 נוטריאנטים, 78 חמצן, 62 pH, 39 אלקלניות, 39 מליחות כלורופיל,	20 יוני הפלגה לתחנות: A, OS, FF, NRR
רחמים, טניה, ענבל, משה, מוריאל	3	השוואה בין התחנות השונות	24 נוטריאנטים 4 חמצן, 16 pH אלקלניות, 8 מליחות 8 כלורופיל, Facs 24	21 יוני דיגום מסירה + אנליות מ-8 תחנות לאורך החוף
ציליה:ענבל אילון, טניה רבלין עבודה במעבדה: ענבל אילון.	1	מידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	שש לוחיות.	28 יוני ציליה להוצאת שש לוחיות

				התיישבות אצות בנתוניות
ענבל אילון	0.5	מידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	קריאת שש דוגמאות בספקטרופלורומטר, הכנסת הנתונים למחשב	29 יוני בדיקת כמות הכלורופיל בלוחיות ההתיישבות
רחמים, טניה	0.3	סקר חברת השונית	צלילה לצילום ריבועים קבועים	30 יוני ניטור השונית מול מלון הנסיכה
רחמים, טניה, מוריאל, ענבל	8	מטבוליום של השונית וכיול CTD	48 נוטריאנטים 48 חמצן, 32 pH, אלקלניות, 16 כלורופיל	יולי דיגום דו שבועי בלגונה הדרומית שבשמורת חוף אלמוג + אנליות
ענבל אילון	0.3	מידת כמות הכלורופיל בשונית.	דוגמא אחת כל יום.	יולי דיגום יומימי של כמות הכלורופיל בשונית ממזה המצפה התת-ימי
ענבל, רותי	כל שעתיים כל צלילה	סקר חברת השונית	ספירת אלמוגים לאורך החתכים בקצאא וב-IUI והזנת הנתונים למחשב.	5,6 יולי צלילות חתכים בשונית
רחמים, ענבל	0.6	סקר חברת השונית	צלילה לצילום ריבועים קבועים	11, 12 יולי ניטור השונית מול מלון הנסיכה וחוף הדקל
ענבל, רותי, טניה	כל שעתיים כל צלילה	סקר חברת השונית	ספירת אלמוגים לאורך החתכים בקצאא וב-IUI והזנת הנתונים למחשב.	13, 14, 15 יולי צלילות חתכים בשונית
רחמים, טניה, ענבל, מוריאל,	6	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	78 נוטריאנטים, 78 חמצן, 62 pH, 39 אלקלניות, 39 מליחות כלורופיל	18 יולי הפלגה לתחנות: FF OS, A, NRR
רחמים, ענבל	0.3	סקר חברת השונית	צלילה לצילום ריבועים קבועים	19 יולי ניטור השונית מול IUI
רותי, עומר	כל שעתיים כל צלילה	סקר חברת השונית	ספירת אלמוגים לאורך החתכים בקצאא והזנת הנתונים למחשב.	19 יולי צלילות חתכים בשונית
רותי, ענבל, טניה	כל שעתיים כל צלילה	סקר חברת השונית	ספירת אלמוגים לאורך החתכים בקצאא והזנת הנתונים למחשב.	25, 26 יולי צלילות חתכים בשונית
רחמים, טניה, ענבל, מוריאל,	8	מטבוליום של השונית וכיול CTD	48 נוטריאנטים 48 חמצן, 32 pH, אלקלניות, 16 כלורופיל	אוגוסט דיגום דו שבועי בלגונה הדרומית שבשמורת חוף אלמוג + אנליות
ענבל אילון	0.3	מידת כמות הכלורופיל בשונית.	דוגמא אחת כל יום.	אוגוסט דיגום יומימי של כמות הכלורופיל בשונית ממזה המצפה התת-ימי
צלילה: ענבל, מוריאל עבודה במעבדה: ענבל	1	מידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	שש לוחיות.	2 אוגוסט צלילה להוצאת שש לוחיות התיישבות אצות בנתוניות
ענבל אילון	0.5	מידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	קריאת שש דוגמאות בספקטרופלורומטר, הכנסת הנתונים למחשב	3 אוגוסט בדיקת כמות הכלורופיל בלוחיות ההתיישבות
ענבל, טניה	כל שעתיים כל צלילה	סקר חברת השונית	ספירת אלמוגים לאורך החתכים ב-IUI והזנת הנתונים למחשב.	3 אוגוסט צלילות חתכים בשונית
רחמים, ענבל	0.3	סקר חברת השונית	צלילה לצילום ריבועים קבועים	3, 4 אוגוסט ניטור השונית גנים יפנים
ענבל, רותי	כל שעתיים כל צלילה	סקר חברת השונית	ספירת אלמוגים לאורך החתכים בגנים יפנים והזנת הנתונים למחשב.	7, 8 אוגוסט צלילות חתכים בשונית
ג'ק רחמים, טניה, ענבל, מוריאל	10	כימיה ופיזיקה של עמודת המים בתחנה עמוקה B והשוואת לתחנות הקבועות (OS, A)	116 נוטריאנטים, 116 חמצן, 62 pH, 58 אלקלניות, 58 מליחות כלורופיל	15 אוגוסט הפלגה משותפת עם הירדנים לתחנות: FF OS, A, B, NRR
רחמים, טניה, ענבל, מוריאל	3	השוואה בין התחנות השונות	24 נוטריאנטים 4 חמצן, 16 pH, אלקלניות, 8 מליחות 8 כלורופיל, Facs 24	16 אוגוסט דיגום מסירה + אנליות מ-8 תחנות לאורך החוף
ענבל, רותי, טניה	כל שעתיים כל צלילה	סקר חברת השונית	ספירת אלמוגים לאורך החתכים בגנים יפנים והזנת הנתונים למחשב.	24, 25 אוגוסט צלילות חתכים בשונית
צלילה: ענבל, מוריאל עבודה במעבדה: ענבל	1	מידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	שש לוחיות.	1 ספטמבר צלילה להוצאת שש לוחיות התיישבות אצות בנתוניות
ענבל	0.5	מידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	קריאת שש דוגמאות בספקטרופלורומטר, הכנסת הנתונים למחשב	2 ספטמבר בדיקת כמות הכלורופיל בלוחיות ההתיישבות
רחמים, טניה, ענבל, מוריאל	8	מטבוליום של השונית וכיול CTD	48 נוטריאנטים 48 חמצן, 32 pH	ספטמבר

			אלקלניות, 16 כלורופיל	דיגום דו שבועי בלגונה הדרומית שבשמורת חוף אלמוג + אנליות
ענבל אילון	0.3	מידת כמות הכלורופיל בשונית.	דוגמא אחת כל יום.	ספטמבר דיגום יומימי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי
רותי, טניה	שעתיים כל צלילה	סקר חברת השונית	ספירת אלמוגים לאורך החתכים בגנים יפנים והזנת הנתונים למחשב.	7 – 8 ספטמבר צלילות חתכים בשונית
רחמים, טניה, ענבל, מוריאל,	5	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	44 נוטריאנטים, 44 חמצן, pH 22, 22 אלקלניות, 22 מליחות כלורופיל,	2 ספטמבר הפלגה לתחנה: A
צלילה: טניה רבלין, מוריאל דריי. עבודה במעבדה: ענבל	1	מידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	שש לוחיות.	28 ספטמבר צלילה להוצאת שש לוחיות התיישבות אצות בנתוניות
ענבל אילון	0.5	מידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	קריאת שש דוגמאות בספקטרופלורומטר, הכנסת הנתונים למחשב	29 ספטמבר בדיקת כמות הכלורופיל בלוחיות התיישבות
רחמים, טניה, מוריאל, ענבל	8	מטבוליזם של השונית וכיול CTD	48 נוטריאנטים 48 חמצן, pH 32	אוקטובר דיגום דו שבועי בלגונה הדרומית שבשמורת חוף אלמוג + אנליות
ענבל אילון	0.3	מידת כמות הכלורופיל בשונית.	דוגמא אחת כל יום.	אוקטובר דיגום יומימי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי
רחמים, טניה, ענבל, מוריאל,	5	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	44 נוטריאנטים, 44 חמצן, pH 22, 22 אלקלניות, 22 מליחות כלורופיל,	2 אוקטובר הפלגה לתחנה: A
רותי, טניה, ענבל	שעתיים כל צלילה	סקר חברת השונית	ספירת אלמוגים לאורך החתכים בגנים יפנים והזנת הנתונים למחשב.	17, 18, 19, 21, 25 אוקטובר צלילות חתכים בשונית
צלילה: טניה רבלין, ענבל איילון. עבודה במעבדה: ענבל אילון.	1	מידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	שש לוחיות.	27 אוקטובר צלילה להוצאת שש לוחיות התיישבות אצות בנתוניות
ענבל אילון	0.5	מידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	קריאת שש דוגמאות בספקטרופלורומטר, הכנסת הנתונים למחשב	28 אוקטובר בדיקת כמות הכלורופיל בלוחיות התיישבות
רחמים, טניה, מוריאל, ענבל	8	מטבוליזם של השונית וכיול CTD	48 נוטריאנטים 48 חמצן, pH 32	נובמבר דיגום דו שבועי בלגונה הדרומית שבשמורת חוף אלמוג + אנליות
ענבל אילון	0.3	מידת כמות הכלורופיל בשונית.	דוגמא אחת כל יום.	נובמבר דיגום יומימי של כמות הכלורופיל בשונית ממזח המצפה התת-ימי
ענבל, טניה	שעתיים כל צלילה	סקר חברת השונית	ספירת אלמוגים לאורך החתכים בגנים יפנים והזנת הנתונים למחשב.	3 נובמבר צלילת חתכים בשונית
ענבל, רותי, דנה, טניה, מוריאל, רחמים	שעתיים כל צלילה	סקר חברת השונית	ספירת קיפודי ים לאורך החתכים בגנים יפנים וב-IUI והזנת הנתונים למחשב.	5, 11, 12, 14, 19 נובמבר צלילות סקרי קיפודי ים
טניה, ענבל, מוריאל	שעתיים	סקר חברת האלמוגים	ספירת אלמוגים לאורך החתכים בלגונה בחלק הסגור של שמורת האלמוגים והזנת הנתונים למחשב	11 נובמבר
טניה, ענבל, מוריאל	שעתיים	סקר חברת האלמוגים	ספירת אלמוגים לאורך החתכים בלגונה בחלק הסגור של שמורת האלמוגים והזנת הנתונים למחשב	14 נובמבר
רחמים, טניה, ענבל, מוריאל,	6	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	78 נוטריאנטים, 78 חמצן, pH 62, 39 אלקלניות, 39 מליחות כלורופיל,	16 נובמבר הפלגה לתחנות: A, FF OS
צלילה: טניה רבלין, ענבל איילון. עבודה במעבדה: ענבל אילון.	1	מידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	שש לוחיות.	28 נובמבר צלילה להוצאת שש לוחיות התיישבות אצות בנתוניות

ענבל אילון	0.5	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	קריאת שש דוגמאות בספקטרופלורומטר, הכנסת הנתונים למחשב	29 נובמבר בדיקת כמות הכלורופיל בלוחיות ההתיישבות
טניה, מוריאל, ענבל	8	מטבוליזם של השונית וכיול CTD	48 נוטריאנטים 48 חמצן, 32 pH	דצמבר דיגום דו שבועי בלגונה הדרומית שבשמורת חוף אלמוג + אנליות
ענבל אילון	0.3	מדידת כמות הכלורופיל בשונית.	דוגמא אחת כל יום.	דצמבר דיגום יומיומי של כמות הכלורופיל בשונית ממזה המצפה התת-ימי
2רותי, הלנה, טניה,	שעתיים כל צלילה	סקר חברת השונית	ספירת קיפודי ים לאורך החתכים בגנים יפנים וב-IUI והזנת הנתונים למחשב.	2 דצמבר צלילות סקרי קיפודי ים
טניה, ענבל, מוריאל,	6	כימיה ופיזיקה של עמודת המים	78 נוטריאנטים, 78 חמצן, 62 pH, 39 אלקליות, 39 מליחות כלורופיל	20 דצמבר הפלגה לתחנות: FF OS, A
טניה, ענבל, מוריאל, מוטי	3	השוואה בין התחנות השונות	24 נוטריאנטים 4 חמצן, 16 pH, 8 אלקליות, 8 מליחות 8 כלורופיל, 24 Facs	22 דצמבר דיגום מסירה + אנליות מ-8 תחנות לאורך החוף
צלילה: טניה, מוריאל עבודה במעבדה: ענבל אילון.	1	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	שש לוחיות.	28 דצמבר צלילה להוצאת שש לוחיות התיישבות אצות בנתוניות
ענבל אילון	0.5	מדידת קצב הגידול והצטברות ביומסה של אצות בנתוניות בשונית	קריאת שש דוגמאות בספקטרופלורומטר, הכנסת הנתונים למחשב	29 דצמבר בדיקת כמות הכלורופיל בלוחיות ההתיישבות