



**אפיון קבוצות המיקרואצות  
במי נחל הקישון המלוח**

**דו"ח ניטור אביב 2021**

**דו"ח חיא"ל H05/2022**

**דו"חות חיא"ל**  
**I O L R REPORTS**



מים ואגמים לישראל בע"מ  
Tel-Shikmona, P.O.B. 8030, Haifa 31080 חיפה, ת"ד 8030  
Tel: 972-4-8515202 : טלפון Fax: 972-4-8511911 : פקס  
<http://www.ocean.org.il>

## **אפיון קבוצות המיקרואצות במי נחל הקישון המלוח**

**דו"ח ניטור אביב 2021**

**דו"ח חיא"ל H05/2022**

**נורית גורדון, ירון גרטנר, גיא סיסמה-ונטורה, נטליה בלקין, איל רהב\***

\* מחבר לתכתובת (eyal.rahav@ocean.org.il)

**מוגש לרשות נחל הקישון**

חתימה :

**פברואר 2022**

## אפיון קבוצות המיקרואצות במי נחל הקישון המלוח דו"ח ניטור אביב 2021

### תקציר

- ריכוזי הנוטריאנטים (חנקות, זרחות וסיליקה) היו גבוהים בפני השטח בכל תחנות הקישון, דבר המצביע על **אאוטרופיקציה גבוהה**. נוטריאנטים אלה נמצאו ביחס חיובי ולינארי לריכוז הכלורופיל והיצרנות החיידקית, דבר המרמז כי לו יופחתו עומסי הנוטריאנטים ממקור אנתרופוגני, כך בהתאמה תרד הביומסה של האצות (כריכוז כלורופיל a) לרמה "תקינה" בהתאם לקריטריונים של מנהל האוקיינוסים והאטמוספירה של ארה"ב לאיכות המים בשפכי נחלים.
- ערכי היצרנות הראשונית היממתית היו גבוהים בפני השטח בסדר גודל ביחס לדיגומי אביב קודמים, דבר המרמז על "פריחת אצות".
- תהליכים אוטורופים (פוטוסינתזה) דומיננטיים ביחס לתהליכים מיקרוביאליים הטורטורופים (חיידקים) בשכבה העליונה של עמודת המים פי 6-2. לעומת זאת, מעל הקרקעית היחס בין התהליכים מתהפך (יצרנות חיידקית פי 49-7 מערכי היצרנות הראשונית). קיימת עקת חמצן (אנוקסיה) בקרבת הקרקעית במעלה האסטואר דבר שיכול להוביל לתמותת דגים ותגובות לא רצויות נוספות.
- בדומה לדיגומים אחרונים משלוש השנים האחרונות (אביב), נמדדו ריכוזים גבוהים מאוד של מיקרואצות ביחס לממוצע הרב שנתי (2002-2021). הרכב הפריחה היה בעיקר אצות צורניות מהמין *Thalassiosira pseudonana*, פלגלטים מקבוצת ה-*Cryptophyceae*, ובקטריות כחוליות מהמין *Synechococcus* sp.(2). באביב 2021 חלה עליה בריכוז תאים וביומסה של מיקרופיטופלנקטון גם במעלה אסטואר הקישון עם הרכב דומה.
- פתח הקישון מתאפיין בהרכב מיני אצות ממקור ימי, עם מספר מינים גבוהה ביחס לגשר ההסתדרות, שם נמצאו בעיקר מינים המאפיינים מים פחות מלוחים.
- באביב 2021 הופיעו בפתח הקישון מספר מינים בעלי פוטנציאל טוקסי, כולל: *Gymnodinium cf.* *Prorocentrum minimum* ו- *Prorocentrum catenatum* בריכוז בינוני. המינים *Alexandrium* sp. ו- *Dinophysis caudate*, שנמדדים תכופות בדיגומי הקישון, הופיעו בדיגום האביב 2021 בריכוז נמוך.

## 1. מטרות הניטור

מטרות הניטור הינן לעקוב אחר שינויים מרחביים, עונתיים, ורב שנתיים באוכלוסיות המיקרואצות (פיטופלנקטון) והחיידקים, וקצב פעילותם (יצרנות ראשונית וחיידקית), בחלקו המלוח של נחל הקישון ואת התנאים הסביבתיים הנלווים. כל שינוי מהתנודות הטבעיות בערכים הנ"ל (גם בין הדיגומים) יסווג כחריג.

## 2. דיגום ושיטות

המערכה התחתונה של נחל הקישון נדגמה באביב 2021. שבע תחנות נדגמו לאורך הנחל, החל ממעלה הנחל ועד לנקודת יציאתו לים (טבלה 1). בכל תחנה נמדד פרופיל עומק של מליחות, טמפרטורה, חמצן מומס במים, אחוז רווית חמצן, ועכירות באמצעות מכשיר Hydrolab MS5 - Multparameter Mini Sonde מחברת OTT. כמו כן, מי שטח ומי עומק בכל תחנה (למעט תחנות במעלה בהן עומק המים היה ס"מ בודדים) נדגמו באמצעות בקבוק ניסקין או ישירות לכלי הדיגום לקביעת ריכוזי כלורופיל *a* (מדד כללי לביומסה של אצות), נוטריאנטים (אורטו-פוספאט, ניטראט+ניטריט+אמוניה, חומצה סיליצית) ספירות חיידקים ופיקופיטופלנקטון (*Synechococcus*, *Prochlorococcus*, pico-eukaryotes, heterotrophic bacteria) ויצרנות ראשונית וחיידקית בעזרת סמנים רדיואיזוטופים (כל התחנות), וכן אפיון טקסונומי של אוכלוסיות פיטופלנקטון ומיקרואצות בשתי תחנות מייצגות: גשר ההסתדרות וגשר יוליוס. הדגימות חולקו לכלי דיגום מתאימים והובאו למעבדה תוך מספר שעות להמשך אנליזות.

במעבדה, דגימות המים לנוטריאנטים הוקפאו עד לבדיקתן בשיטה פוטומטרית וזרימה מקוטעת במכשיר Skalar SAN<sup>plus</sup> systems בשיטות המפורטות ב- (IOC-SCOR-UNESCO, Kress and Herut, 2001; 1994). דגימות מים לקביעת כלורופיל *a* סוננו דרך פילטרים GF/F (0.7µm) לאחר סינון מקדים דרך נפה 63µm, נעטפו בנייר אלומיניום והוקפאו עד לבדיקתם בשיטה פלואורימטרית לפי-Standard Methods 10200H-3 עם שינויים קלים, בתוך מספר ימים.

יצרנות ראשונית נמדדה על ידי סימון מי הדגימה עם ביקרבונט מסומן בפחמן 14 (Steeman-Nielsen, 1952). יצרנות חיידקית נמדדה על ידי הוספה למי הדגימה לאוצין מסומן בטריטיום (Simon et al. 1990). כל הדגימות נעשו בטריפליקטים (שלוש חזרות) והושמו תחת תנאי תאורה וטמפרטורה טבעיים למשך 4 שעות בטרם מדידתם עם מונה נצנץ (סנטילציה) עם שינויים קלים לנחל הקישון (Bar-Zeev and Rahav, 2015).

אפיון אוכלוסיית הפיקו/מיקרו-אצות נעשתה הן על ידי מדידות (Flow-cytometer (Attune, Applied Biosystems), והן בשיטות טקסונומיות מיקרוסקופיות. נוסף לכך, נספרו חיידקים הטרוטרופים (צרכנים שניוניים) לאורך תחנות הדיגום. מי הדגימה קובעו מידית עם גלוטראלדהיד (50%, 0.16% ריכוז סופי), הוקפאו עם חנקן נוזלי לאחר כ-15 דקות, והופשרו באמבט 37°C לפני שהורצו עם ה-Flow-cytometer כעבור מספר ימים. עבור האנליזות הטקסונומיות, מי הדגימה סוננו במעבדה על גבי מספר פילטרים בהתאם לגודל האצות: סוגים קטנים (עד 5 מיקרון) – מי דגימה סוננו על גבי פילטר פוליקרבונט (0.45 מיקרון) ושומרו באמצעות גלוטראלדהיד. הפילטר הונח על זכוכית נושאת עם טיפת שמן אימרסיה. על הפילטר הונחה טיפה נוספת של שמן אימרסיה והפילטר כוסה בזכוכית מכסה. הדגימות נשמרו בהקפאה עד לזיהוי וספירה בעזרת מיקרוסקופ אפיפלאורסנטי תוך מספר חודשים.

סוגים גדולים מ-5 מיקרון – מי דגימה סוננו על גבי פילטרים מפוליקרבונט (5 מיקרון ו-20 מיקרון) ושומרו בשתי שיטות: א. באמצעות שמן אימרסיה בדומה למתואר לגבי התאים הקטנים מ-5 מיקרון. ב. בשיטת FTF

(Hewes, C.D. and Holmes-Hansen, O. (1983). (filter – transfer – freeze) הפילטר הונח על גבי טיפת מי ים שהונחה על זכוכית נושאת עם פני הפילטר כלפי מטה. זכוכית נושא הונחה מיד על גבי קרח יבש ולאחר קפיאת התאים הוסר הפילטר והתאים שנשארו על הזכוכית כוסו בשכבת גליצרין ג'לי שהתייבש תוך זמן קצר. לאחר מכן הונחה על הדגימה טיפת גליצרול שכוסתה בזכוכית מכסה. הדגימות נשמרו בהקפאה עד לזיהוי וספירה שנעשו באור רגיל ובפלורוסנציה באמצעות מיקרוסקופ אפיפלואורסנטי תוך מספר חודשים.

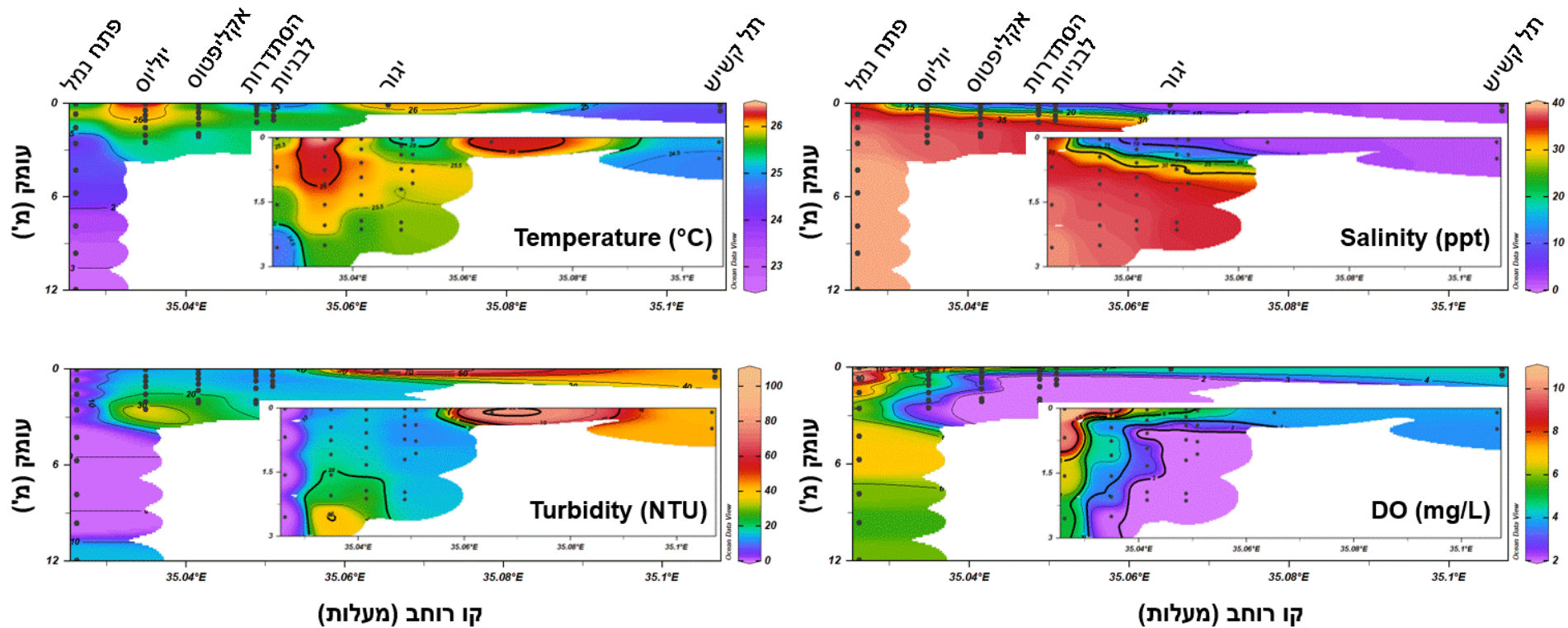
**טבלה 1:** מיקום תחנות הדיגום לאורך נחל הקישון המלוח במהלך דיגום אביב 2021.

| תחנה             | Latitude (N) | Longitude (E) |
|------------------|--------------|---------------|
| חוות החיות       | 32° 41.31'   | 35° 6.39'     |
| יגור             | 32° 45.55'   | 35° 3.91'     |
| לבניות           | 32° 47.27'   | 35° 3.10'     |
| גשר ההסתדרות     | 32° 47.86'   | 35° 2.84'     |
| אקליפטוס         | 32° 48.50'   | 35° 2.30'     |
| גשר יוליוס סימון | 32° 48.01'   | 35° 2.01'     |
| פתח הנמל         | 32° 48.59'   | 35° 1.55'     |

### 3. תוצאות

#### 3.1 פרמטרים כימיים-פיסיקליים בעמודת המים

פרופיל העומק של הטמפרטורה, המליחות, והחמצן המומס, לאורך נחל הקישון המלוח כפי שנמדדו במאי 2021 מוצגים באיורים 1 ו-2 ובטבלה 2. פיזור הטמפרטורה האנכי מראה עמודת המים משוכבת עם הבדל של עד 2.89 מעלות צלזיוס ועד 29.72 יחידות מליחות בין פני השטח לקרקעית, בדומה למצב בקיץ (Bar-Zeev and Rahav, 2015 וראה/י דו"ח חיא"ל H20/2020). שכבת המים העליונים והחמים יחסית (0.5 מ') מלוחה פחות מחלקה התחתון, בתחנות במעלה הנחל, כתוצאה מכניסת מי ים על פני ודרך הסדימנט, בדומה לדיגומים קודמים. ככל שמתקרבים למורד הנחל (קרי התקרבות לים הפתוח) עולה המליחות-הן בגוף המים העליון והן בתחתון- כאשר השינוי במליחות במי השטח גדול מהשינוי במליחות במים העמוקים (איורים 1 ו-2). החמצן המומס במי השטח הגיע רק ל 53% מרוויה (4.4 מג"ל) במעלה הנחל (תחנת "חוות החיות"), וריכוזו עלה ככל שמתקדמים לפתח הנמל, שם ריכוז החמצן הגיע לעל-רוויה (165%, 11.2 מג"ל). במקביל אחוז החמצן מרוויה ירד עם העמקה בעמודת המים בכל התחנות (איורים 1 ו-2) עם ריכוזים המעידים על אנוקסיה (טבלה 3) בתחנות לבניות והסתדרות (0 מג"ל) והפוקסיה (טבלה 3) בתחנות אקליפטוס ויוליוס (0.76 מג"ל המהווים כ 11% מריכוז החמצן מרוויה, ו 1.97 מג"ל המהווה כ 30% מרוויה בהתאמה). ריכוז החמצן במי העומק מוכתב בעיקר ע"י תהליכי נשימה חיידקית ובמידה מסוימת ע"י חדירת מי ים רוויים בחמצן. ריכוז החמצן במי השטח מושפע מתהליכי ערבוב בין מי נחל עניים יחסית בחמצן מהמעלה (כולל – הזרמות מהמפעלים ותשטיפים מחקלאות) לבין מי ים, ומתהליכי פריחת אצות. ערכי החמצן הנמוכים שנמדדו סמוך לקרקעית במעלה הנחל מצביעים על פעילות מטאבולית חיידקית הטרוטרופית ועל אוטרופיקציה של אזורים אילו (ראה/י דיון למטה).

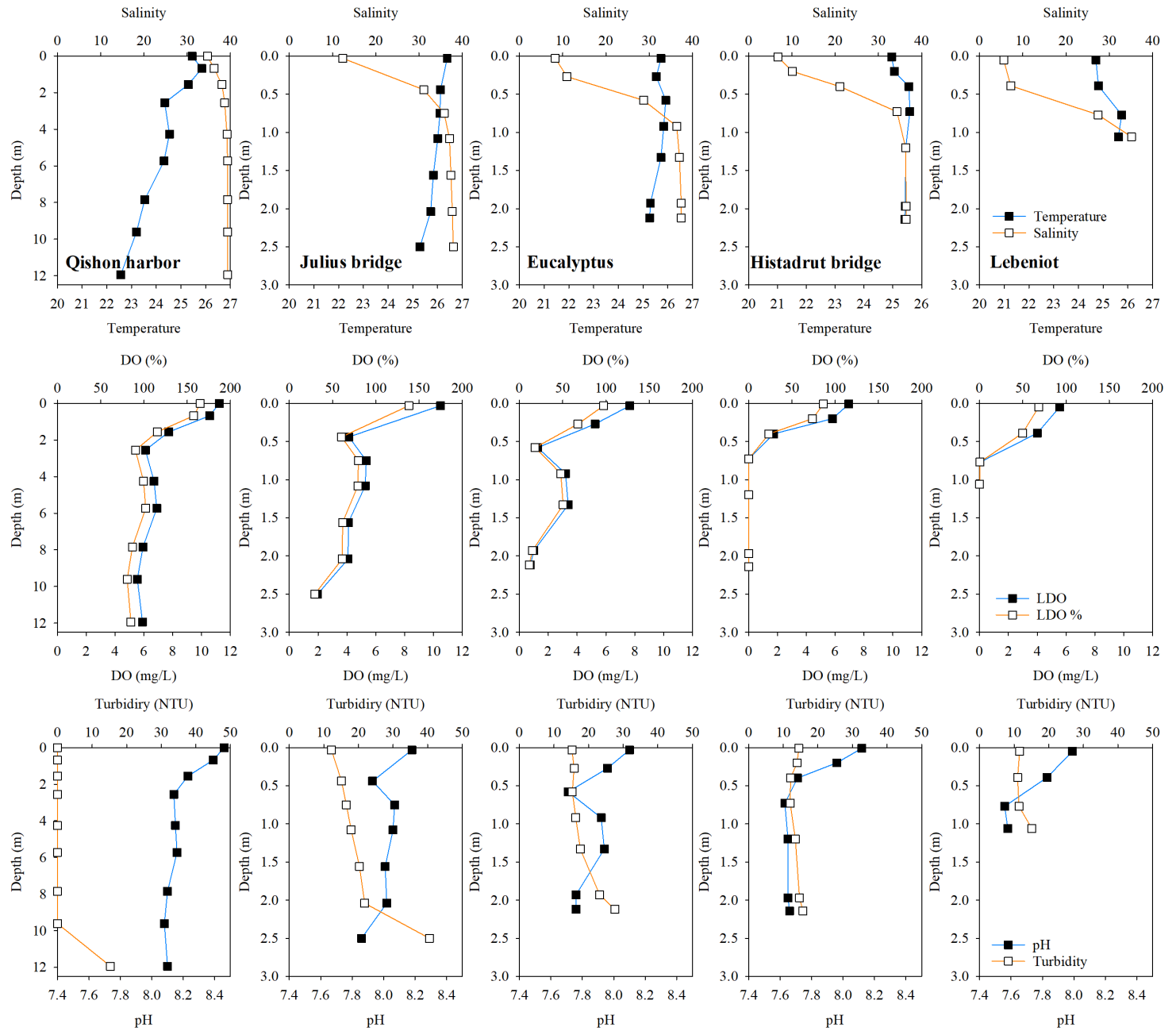


קו רוחב (מעלות)

קו רוחב (מעלות)

**איור 1:** פרופיל עומק של הטמפרטורה ( $^{\circ}\text{C}$ ), מליחות (ppt), עכירות (NTU) וריכוז חמצן מומס ( $\text{mg/L}$ ) כפי שנמדד בדיגום מאי 2021 לאורך נחל הקישון המלוח, שתי תחנות במעלה הנחל ובתחנה בכניסה לנחל. האינטרפולציה בין נקודות המדידה בוצעה באמצעות תוכנת Ocean Data View (גרסה 5.4.0) על ידי שימוש באלגוריתם מסוג Weighted average gridding.

**איור 2:** חתך עומק של כל תחנת דיגום בנפרד עבור הפרמטרים המצוינים באיור 1 וטבלה 2. תחנות יגור וחוות החיות לא מוצגות באיור זה משום שהן רדודות ולא ניתן להציג פרופיל עומק עבורן.



**טבלה 2:** סיכום פרופיל עומק של הטמפרטורה, מליחות, חמצן מומס, קשיות (pH) ועכירות כפי שנמדד במאי 2021 לאורך נחל הקישון המלוח.

| עכירות<br>NTU | pH   | חמצן מומס<br>(mg/L) | מליחות | טמפרטורה<br>(C°) | עומק דיגום<br>(m) | תחנה       |        |
|---------------|------|---------------------|--------|------------------|-------------------|------------|--------|
| 0             | 8.46 | 11.22               | 34.67  | 25.45            | 0.01              | פתח נמל    |        |
| 0             | 8.39 | 10.55               | 36.23  | 25.84            | 0.68              |            |        |
| 0             | 8.23 | 7.72                | 38.04  | 25.29            | 1.56              |            |        |
| 0             | 8.14 | 6.1                 | 38.68  | 24.34            | 2.55              |            |        |
| 0             | 8.15 | 6.7                 | 39.19  | 24.53            | 4.26              |            |        |
| 0             | 8.16 | 6.89                | 39.33  | 24.31            | 5.73              |            |        |
| 0             | 8.1  | 5.93                | 39.3   | 23.53            | 7.85              |            |        |
| 0             | 8.08 | 5.54                | 39.34  | 23.2             | 9.61              |            |        |
| 15.3          | 8.1  | 5.9                 | 39.38  | 22.56            | 11.94             |            |        |
| 12.2          | 8.18 | 10.49               | 12.39  | 26.39            | 0.03              | יוליוס     |        |
| 15.1          | 7.93 | 4.14                | 31.07  | 26.12            | 0.44              |            |        |
| 16.5          | 8.07 | 5.34                | 35.82  | 26.1             | 0.75              |            |        |
| 17.9          | 8.06 | 5.27                | 37.05  | 26.01            | 1.08              |            |        |
| 20.3          | 8.01 | 4.1                 | 37.39  | 25.83            | 1.56              |            |        |
| 21.8          | 8.02 | 4.08                | 37.69  | 25.72            | 2.04              |            |        |
| 40.5          | 7.86 | 1.97                | 37.93  | 25.29            | 2.5               |            |        |
| 15.2          | 8.1  | 7.66                | 8.3    | 25.73            | 0.03              |            |        |
| 15.8          | 7.96 | 5.25                | 11     | 25.54            | 0.27              | אקליפטוס   |        |
| 15.3          | 7.71 | 1.26                | 28.71  | 25.92            | 0.58              |            |        |
| 16.3          | 7.92 | 3.2                 | 36.38  | 25.84            | 0.92              |            |        |
| 17.6          | 7.94 | 3.38                | 37.01  | 25.73            | 1.33              |            |        |
| 23.2          | 7.76 | 1.01                | 37.4   | 25.3             | 1.93              |            |        |
| 27.6          | 7.76 | 0.76                | 37.42  | 25.27            | 2.12              |            |        |
| 14.5          | 8.12 | 6.94                | 6.73   | 24.96            | 0.01              |            | הסדרות |
| 14            | 7.96 | 5.82                | 10.1   | 25.05            | 0.2               |            |        |
| 12.1          | 7.71 | 1.73                | 21.11  | 25.56            | 0.4               |            |        |
| 12            | 7.63 | 0                   | 34.3   | 25.59            | 0.73              |            |        |
| 13.5          | 7.65 | 0                   | 36.29  | 25.45            | 1.2               |            |        |
| 14.7          | 7.65 | 0                   | 36.43  | 25.43            | 1.97              |            |        |
| 15.7          | 7.66 | 0                   | 36.45  | 25.42            | 2.14              |            |        |
| 11.6          | 7.99 | 5.55                | 5.59   | 24.71            | 0.05              | לבניות     |        |
| 11            | 7.83 | 4                   | 7.22   | 24.81            | 0.39              |            |        |
| 11.4          | 7.56 | 0.04                | 27.44  | 25.75            | 0.77              |            |        |
| 15.1          | 7.58 | 0                   | 35.12  | 25.62            | 1.06              |            |        |
| 81.3          | 7.81 | 4.45                | 2.17   | 26.1             | 0.05              | יגור       |        |
| 42.4          | 7.73 | 4.19                | 2.08   | 24.45            | 0.48              | חוות החיות |        |



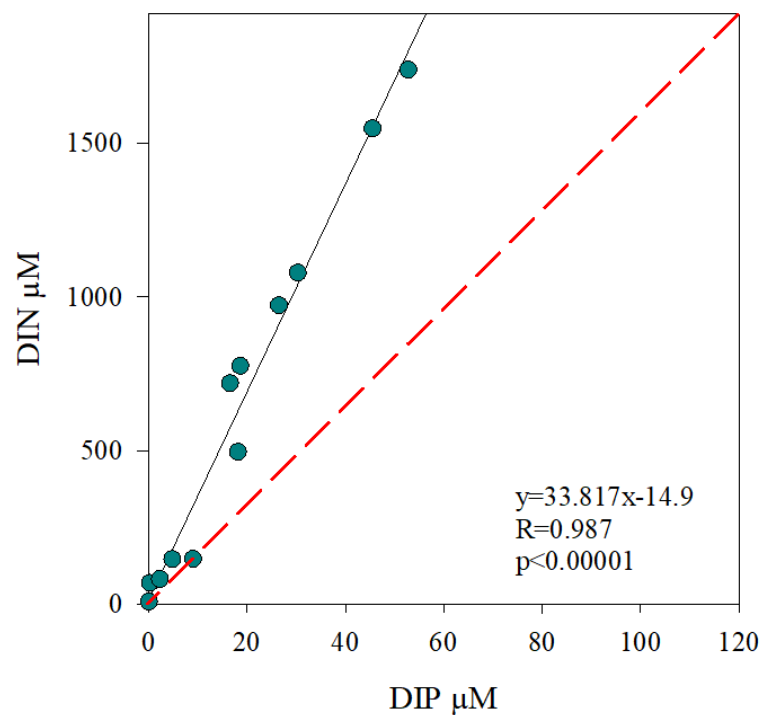
**טבלה 3:** קריטריונים של מנהל האוקיינוסים והאטמוספירה של ארה"ב לאיכות המים בשפכי נחלים  
(National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 1997)

| פרמטר   | יחידת מדידה | נמוך  | בינוני    | גבוה |
|---|-------------|---|-----------|------|
| חמצן מומס (DO)                                    | mg/L        | אנוקסיה = 0, הפוקסיה = 0-2, נזק ביולוגי 2-5 |           |      |
| חנקן אנאורגני (NO <sub>2</sub> +NO <sub>3</sub> ) | mg/L        | <0.1  | 0.1- 1    | >1   |
| זרחן אנאורגני (PO <sub>4</sub> )                  | mg/L        | <0.01                                       | 0.01- 0.1 | >0.1 |
| כלורופיל a  | µg/L        | <5  | 5- 20     | >20  |

ריכוזי הנוטריאנטים (ניטראט + ניטריט + אמוניה, פוספאט וחומצה סיליצית) בדגימות פני השטח ומי העומק בכל תחנת דיגום מוצגים בטבלה 4. ככלל, ריכוז הנוטריאנטים בפני השטח היה גבוה משמעותית מאלה שנמדדו באותה תחנה בעומק. מגמה זו חזרה על עצמה בכל דיגומי אביב מהשנים האחרונות, ונובעת ככל הנראה בגלל הזרמה קבועה של מזהמים בפני השטח. בדומה לדיגומים קודמים, ריכוזי הנוטריאנטים קטנו בכיוון מורד הנחל עם ההתרחקות מהזרמות מהמעלה וממקור קולחי התעשייה והמט"שים המוזרמים לנחל, ובהשפעת מידת המיהול עם מי הים. ריכוזי החנקות והזרחות, מראים שינויים קונסרבטיביים לאורך קטע הנחל ומוכתבים בעיקר ע"י מידת המיהול בין המים מהמעלה הכוללים את הקולחים ומי ים, אבל מושפעים גם מתהליכים ביולוגיים (ניטריפיקציה, נשימה כד'). בכל תחנות הדיגום בתוך אסטואר הקישון (מעלה הנחל ועד גשר יוליוס) נמצאו ריכוזים גבוהים של ריכוזי חנקות וזרחות הן במי השטח והן במי העומק, דבר המצביע על רמת זיהום (איאורופיקציה) גבוהה על פי הקריטריונים של מנהל האוקיינוסים והאטמוספירה של ארה"ב (NOAA, 1997) לאיכות המים בשפכי נחלים (טבלה 3). תופעה זו נצפתה כמעט בכל הדיגומים בשנים האחרונות. היחס האופטימאלי/תקין בין ריכוז חנקות אנאורגניות לריכוז זרחות אנאורגניות באקוסיסטמות אקוויטיות נחשב 16: 1 (Redfield, 1933). היחס הנ"ל באסטואר הקישון עמד על 33.8 (איור 3), ומעיד על עודף חנקות באסטואר שמוזרמות עם השפכים.

**טבלה 4:** ריכוז נוטריאנטים אנאורגניים (mg/L) כפי שנמדדו לאורך נחל הקישון המלוח בתחנות השונות באביב 2021.

| תחנה       | עומק זיגום | NO <sub>2</sub> +NO <sub>3</sub> +NH <sub>4</sub> -N<br>[mg/L] | PO <sub>4</sub> -P<br>[mg/L] | Si(OH) <sub>4</sub> -Si<br>[mg/L] |
|------------|------------|--|------------------------------|-----------------------------------|
| פתח נמל    | פני שטח    | 0.97   | 0.01                         | 0.77                              |
|            | קרקעית     | 0.12   | 0.00                         | 0.16                              |
| יוליס      | פני שטח    | 10.07  | 0.51                         | 7.79                              |
|            | קרקעית     | 1.15   | 0.07                         | 0.73                              |
| אקליפטוס   | פני שטח    | 10.86  | 0.58                         | 8.52                              |
|            | קרקעית     | 2.06   | 0.15                         | 1.50                              |
| הסתדרות    | פני שטח    | 13.62  | 0.82                         | 8.05                              |
|            | קרקעית     | 2.07   | 0.28                         | 1.47                              |
| לבניות     | פני שטח    | 15.10  | 0.94                         | 8.06                              |
|            | קרקעית     | 6.94   | 0.56                         | 4.58                              |
| יגור       | פני שטח    | 21.68  | 1.41                         | 8.59                              |
| חוות החיות | פני שטח    | 24.35  | 1.63                         | 6.91                              |



**איור 3:** ריכוז זרחן אנאורגני מומס כתלות בריכוז חנקן אנאורגני מומס במי הקישון המלוח במאי 2021. שיפוע משוואת הקו מגמה הינו 33.8. מקדם המתאם של קורלציית פירסון הינו 0.95 ( $p < 0.00001$ ). הקו המקווקו האדום מייצג שיפוע קו של 16 (יחס רדפילד בין חנקות לזרחות 16:1), יחס המאפיין אקוסיסטמות אקוויטיות רבות. השיפוע הגדול מ 16 הוא אינדיקציה נוספת להעשרה בחנקן.

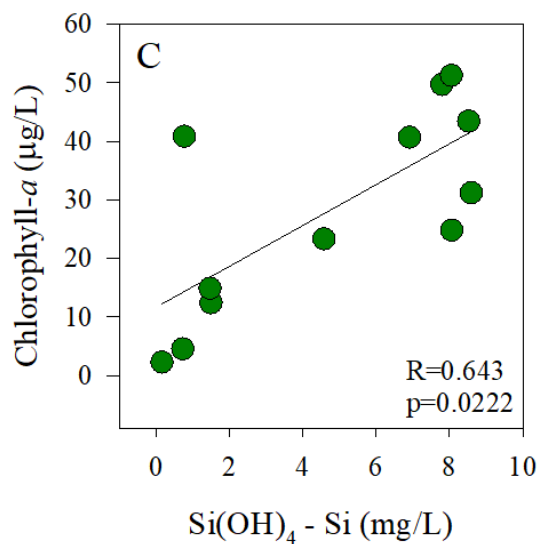
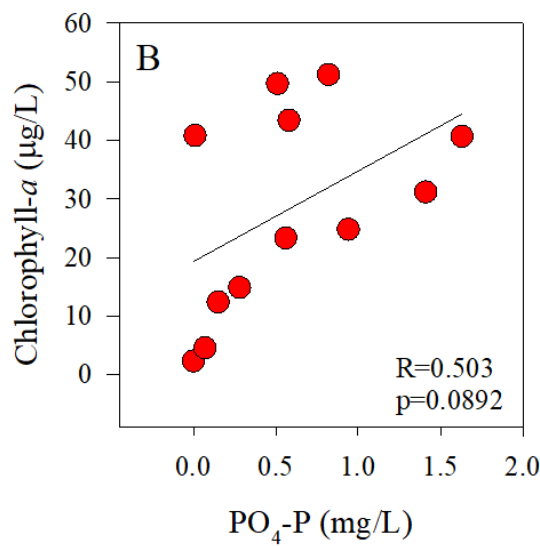
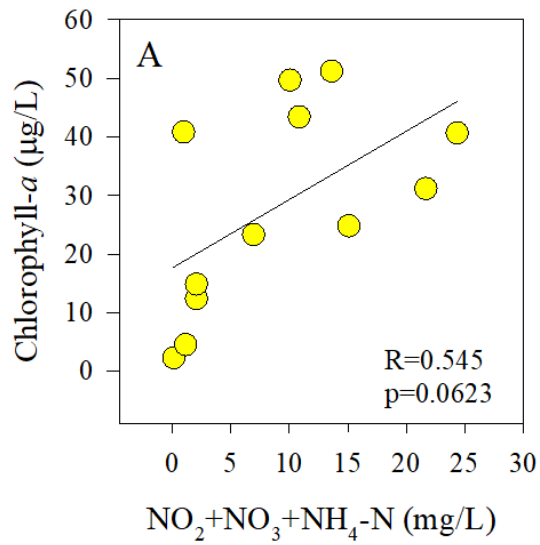
### 3.2 פרמטרים ביולוגים בעמודת המים

ערכי כלורופיל *a* בדיגום אביב 2021 נעו בין 2.3-51.21 מיקרוגרם לליטר לאורך האסטואר המלוח והיו גבוהות במי פני השטח בכל התחנות לאורך האסטואר (טבלה 5). ריכוזי הכלורופיל *a* מעידים על רמת זיהום (איאורופיקציה) גבוהה בפני השטח ובינונית-נמוכה במי העומק, על פי הקריטריונים של מנהל האוקיינוסים והאטמוספירה של ארה"ב (NOAA, 1997) לאיכות המים בשפכי נחלים (טבלה 3). בדומה לשנים קודמות, הסיבה לכך נעוצה בריכוז הנוטריאנטים הגבוה שנמדד לאורך הנחל בתחנות הדיגום השונות, ובמיוחד זה של ניטראט + ניטריט + אמוניה ובמידה רבה גם של זרחות (טבלה 4, איור 4). ציאנובקטריה נעו בין  $0.12 \times 10^8$  תאים בליטר (בתחנת פתח הנמל סמוך לקרקעית) ל- $1.43 \times 10^8$  תאים לליטר (תחנת "ההסתדרות", פני השטח) (טבלה 5). ריכוז אצות אוקריוטיות היה גבוה מזה של ציאנובקטריה בכסדר גודל (0.14-8.68 תאים לליטר  $\times 10^8$ ). כבשנים קודמות, קיים קשר סטטיסטי חיובי (לא תמיד מובהק במבחן קורלציית ספירמן) בין העלייה בריכוז הכלורופיל לריכוזי הניטראט + ניטריט + אמוניה, הזרחן והסיליקה (איור 4). כמו כן, נמצא מתאם משמעותי סטטיסטי בין הפיזור המרחבי של הכלורופיל במי הנחל לשכיחות הציאנובקטריות והפיקו-פיטופלנקטון לאורך הנחל (קורלציית ספירמן,  $R=0.692$ ,  $p=0.0113$ ).

לעומת המיקרואורגניזמים האוטוטרופים (יצרנים ראשוניים, ציאנובקטריה ופיקו-פיטופלנקטון), שכיחות החיידקים ההטרוטרופים היתה גבוהה פי 100-10 מאשר הפיקו-פיטופלנקטון ( $75.21 \times 10^8$ - $8.88 \times 10^8$  תאים בליטר) עם מספר תאים דומה בפני השטח ביחס לקרבת הקרקעית בכל התחנות פרט לפתח הנמל, שם מספר החיידקים ההטרוטרופים היה נמוך במי העומק (טבלה 5). לא נמצא מתאם משמעותי בין ריכוז חיידקים לריכוזי הנוטריינטים (קורלציית ספירמן). יש לציין שבדיקה זו מראה את ריכוז החיידקים במי הדגימה ואינה מרמזת על זהות החיידק, באם הוא פתוגני או לא וכד'. המצאות חיידקים פתוגניים אינה חלק ממטרות מחקר זה לפי שעה.

**טבלה 5:** ריכוז כלורופיל ושכיחות ציאנובקטריות, פיקו-אוקריוטים וחיידקים הטרוטרופים במעלה נחל הקישון במאי 2021.

| Heterotrophic bacteria<br>(cells L <sup>-1</sup> x10 <sup>8</sup> ) | Pico-eukaryotes<br>(cells L <sup>-1</sup> x10 <sup>8</sup> ) | Autotrophic cyanobacteria<br>(cells L <sup>-1</sup> x10 <sup>8</sup> ) | Chlorophyll- <i>a</i><br>(µg L <sup>-1</sup> ) | עומק דיגום | תחנה       |
|---|--|--|--|------------|------------|
| 65.09   | 8.08   | 1.29   | 40.81  | פני שטח    | פתח נמל    |
| 8.88  | 0.14   | 0.12   | 2.3  | קרקעית     |            |
| 55.07   | 6.25   | 0.77   | 49.68  | פני שטח    | יוליס      |
| 61.74   | 1.48   | 0.41   | 4.55   | קרקעית     |            |
| 64.87   | 7.32   | 0.66   | 43.41  | פני שטח    | אקליפטוס   |
| 54.35   | 1.72   | 0.44   | 12.41  | קרקעית     |            |
| 72.87   | 8.68   | 1.43   | 51.21  | פני שטח    | הסתדרות    |
| 68.47   | 1.20   | 0.56   | 14.89  | קרקעית     |            |
| 56.56   | 3.07   | 0.64   | 24.81  | פני שטח    | לבניות     |
| 59.60   | 1.49   | 0.70   | 23.33  | קרקעית     |            |
| 64.41   | 0.65   | 0.18   | 31.17  | פני שטח    | יגור       |
| 75.21   | 0.78   | 0.22   | 40.69  | פני שטח    | חוות החיות |



**איור 4:** ריכוז כלורופיל כתלות בריכוז ניטראט + ניטריט + אמוניה (A), זרחן (B) וסיליקה (C) לאורך נחל הקישון המלוח במאי 2021, עם קווי המגמה ומקדמי המתאם של קורלציית ספירמן. המספרים הגולמיים לפיהם נוצר הגרף מוצגים בטבלאות 4 ו-5.

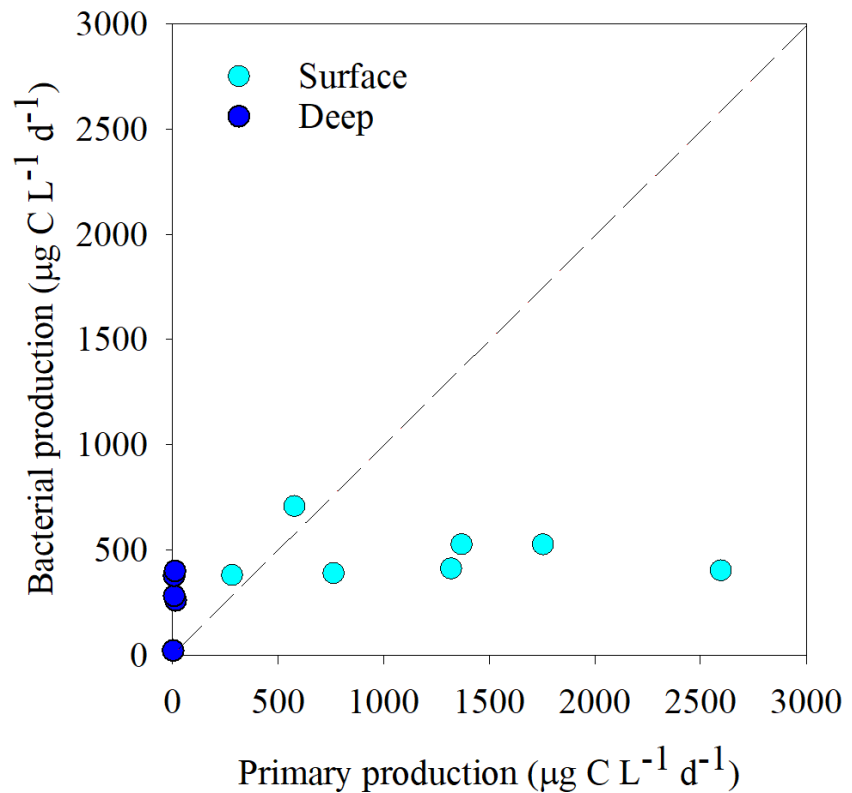
ערכי היצרנות הראשונית היממתית נעו בין 2.8-2596.1 מיקרוגרם פחמן לליטר ליממה (טבלה 6) והיו דומים לערכי היצרנות בדיגום אביב 2020. ערכי היצרנות הראשונית היו גבוהים מערכי הרקע של חוף הים התיכון הנמדדים דרך קבע על ידי חי"ל כחלק מתוכנית הניטור הלאומית (Herut et al., 2016) וממי החוף (Raveh et al., 2016; Rahav et al., 2015). כבעבר. באופן לא מפתיע, היצרנות הראשונית הנמוכה ביותר נמדדה במי העומק בכל תחנות המדידה. ערכים גבוהים (פי 66-919) נמדדו במי השטח היותר מוארים ביחס למי העומק (טבלה 6). יצרנים ראשוניים הנם בסיס שרשרת המזון ותורמים באופן משמעותי למחזור נוטריאנטים והטמעתם לרמות הטרופיות השונות. מדדי איכות מים באסטוארים המתבססים על קצבי יצרנות ראשונית (למשל Nixon, 1995) לוקחים בחשבון הן את ריכוז הניטראט (עם ערך סף של  $30 \mu\text{M}$  אקוויבלנטי ל 0.42 מג"ל חנקות) וכן יצרנות שנתית לכל עמודת המים (מתחת ל  $300 \text{ gC m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ ). אין באפשרותנו לאמוד את היצרנות הראשונית השנתית, בעיקר משום שחסרות מדידות עונתיות (למשל חורף, קיץ), ולכן לא ידוע באם קיימת דינמיקה רב שנתית. אנו ממליצים להמשיך את הדיגומים הללו לאורך הנחל ולהוסיף דיגומי חורף וקיץ.

ערכי היצרנות החיידקית היממתית נעו בין 21-707 מיקרוגרם פחמן לליטר ליממה (טבלה 6) והיו מעט גבוהים מערכי היצרנות בדיגום אביב 2020 (פי 1.4-4.7). קיים מתאם חיובי משמעותי בין מספר התאים של החיידקים ההטרוטרופים ליצרנות החיידקית שנמדדה לאורך האסטואר (קורלציית ספירמן,  $R=0.608$ ,  $p=0.0333$ ). עיקר הפעילות המטאבולית בפני השטח בכל תחנות המדידה הייתה אוטוטרופית ונעשתה על ידי מיקרואצות וציאנובקטריה בתהליך הפוטוסינתזה (איורים 5, 6). ערכי היצרנות הראשונית בפני השטח היו גבוהים משמעותית מערכי היצרנות החיידקית (עד פי 6). במי העומק של כל התחנות הפעילות החיידקית הייתה משמעותית גבוהה מפוטוסינתזה והגיעה לעד פי 49 (בין השאר בגלל הגבלת אור ליצרנים הראשוניים, איור 6). לפיכך, בקרבת הקרקעית של כל התחנות לאורך האסטואר היצרנות נשלטה על ידי פעילות הטרוטרופית של חיידקים המפרקים חומר אורגני, בעיקר בגלל ירידה חדה ביצרנות הראשונית בעומק כנראה עקב הגבלת אור. למעשה, תהליכים בשכבת המים העמוקים, המהווה שכבת הגבול בין הסדימנט לעמודת המים, מוכתבים במידה רבה על ידי חיידקים הטרוטרופיים בסדימנט עצמו. מידת פעילות החיידקים בסדימנט ובשכבת הגבול משלימה את התמונה של תפקוד הנחל כמערכת אקולוגית, שם חלה בניה של חומר אורגני (בתהליך הפוטוסינתזה) ופירוק (פעילות הטרוטרופית) של חומר אורגני וצריכה ושחרור של נוטריינטים. לפיכך, אנו ממליצים להוסיף לדיגומים הקיימים גם דגימות סדימנט בכל אחת מתחנות הדיגום, ובכך להרחיב את התמונה המתקבלת של תפקוד האסטואר.

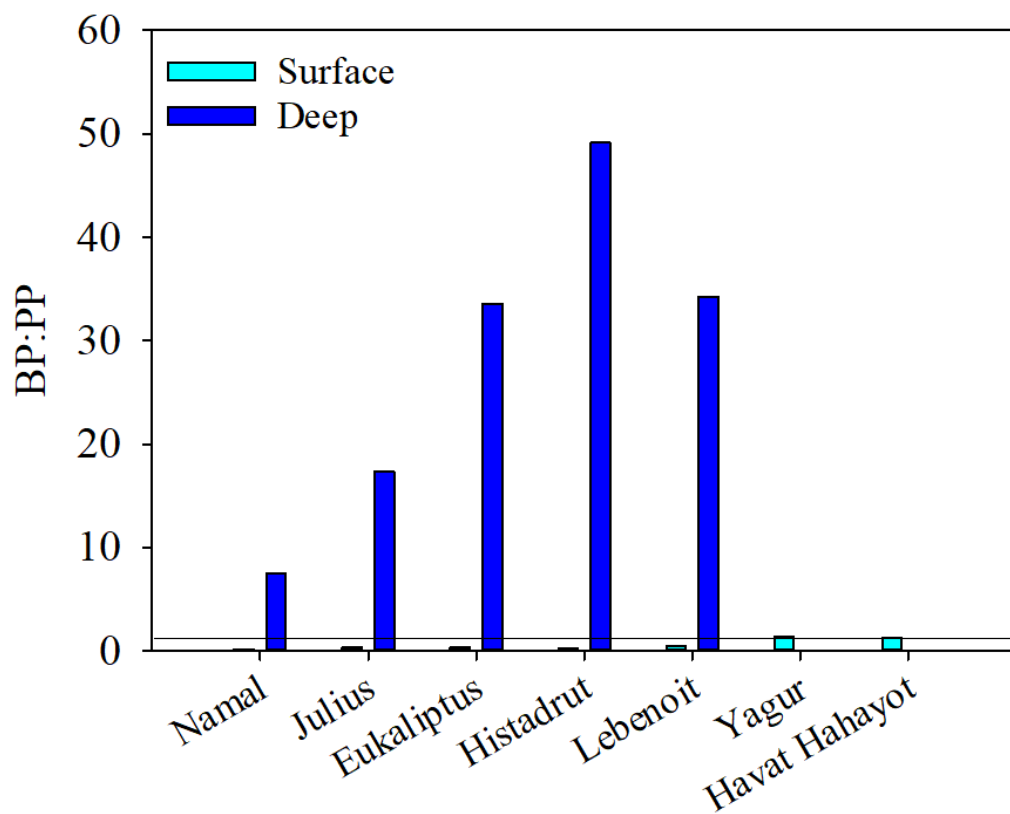
מבחינת מתאם בין ערכי יצרנות ראשונית (PP), יצרנות חיידקית (BP), והיחס ביניהם (BP:PP) לבין ריכוזי הנוטריאנטים מובאים באיור 7. ניתן לראות קשר לינארי חיובי וסטטיסטי בין ריכוז הנוטריאנטים לבין קצב הפעילות של המערכת הטרוטרופית (איור 7 D-F). כמו כן, ככל שריכוז הנוטריאנטים (חנקות, זרחות וסיליקה) עולה, כך היחס בין יצרנות חיידקית ליצרנות ראשונית יורד (איור 7 G-I). מגמה זו מדגישה את ההשפעה של ריכוז הנוטריינטים הגבוה באסטואר על תפקוד היצרנים הטרוטרופים ובכך משנים את המאזן בין השניים.

**טבלה 6:** קצב היצרנות הראשונית (Primary production) והחיידקית (Bacterial production) היממתית בנחל הקישון המלוח במאי 2021. כאשר היחס בין היצרנות החיידקית לראשונית גדול מ-1 המערכת 'נשלטת' על ידי יצרנות הטרוטרופית. כאשר היחס בין היצרנות החיידקית לראשונית קטן מ-1 המערכת 'נשלטת' על ידי יצרנות אוטוטרופית (פוטוסינתזה).

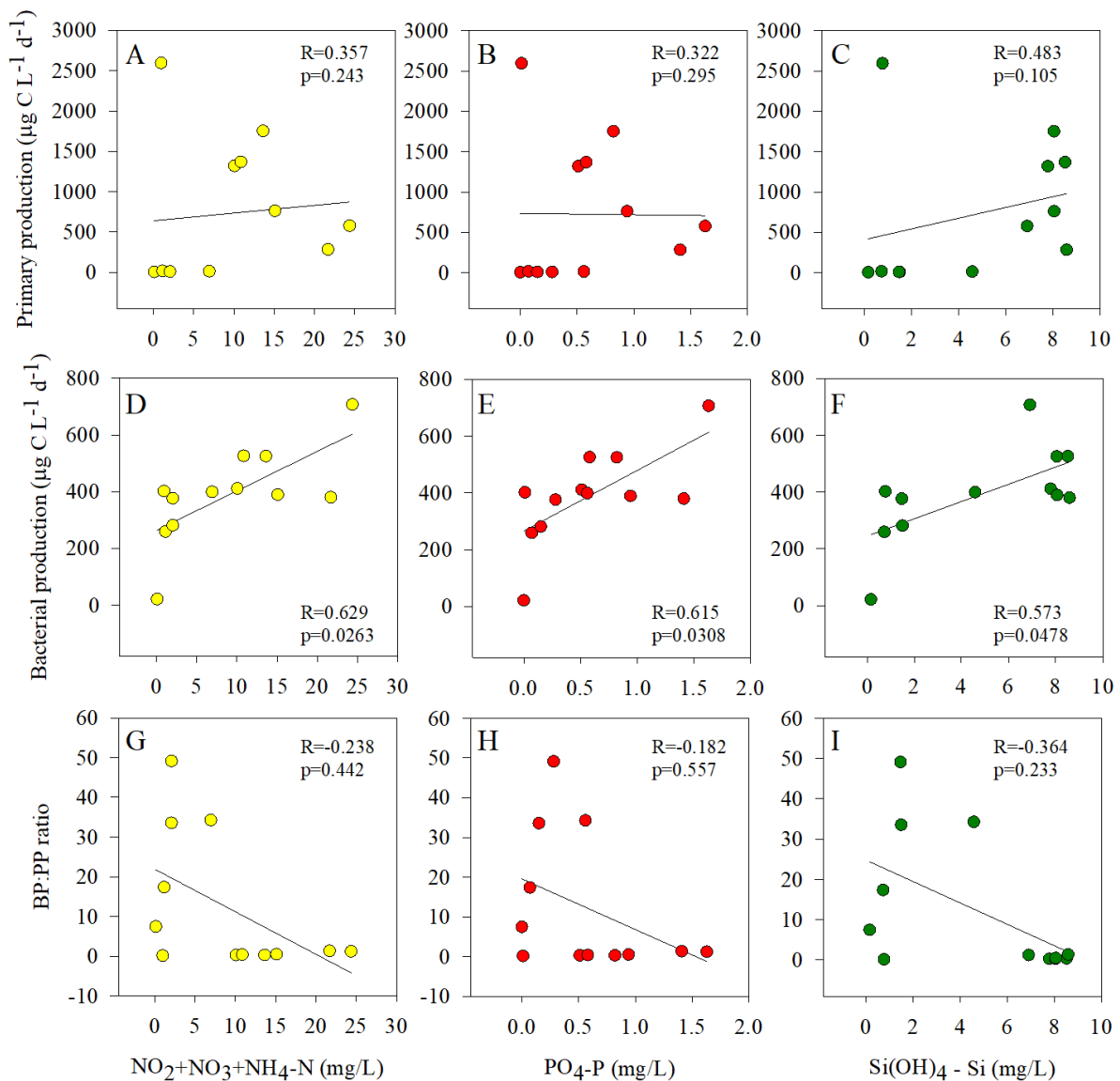
| BP/PP ratio | Primary production ( $\mu\text{g C L}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) | Bacterial production ( $\mu\text{g C L}^{-1} \text{d}^{-1}$ ) | עומק דיגום | תחנה       |
|-------------|---|---|------------|------------|
| 0.2         | 401.87±17.22  | 2596.11±522.02  | פני שטח    | פתח נמל    |
| 7.5         | 21.14±2.89  | 2.83±0.51   | קרקעית     |            |
| 0.3         | 411.00±40.62  | 1318.93±144.15  | פני שטח    | יוליוס     |
| 17.4        | 259.29±27.74  | 14.94±2.20  | קרקעית     |            |
| 0.4         | 526.50±49.58  | 1368.58±18.99   | פני שטח    | אקליפטוס   |
| 33.6        | 280.96±37.15  | 8.37±0.77   | קרקעית     |            |
| 0.3         | 525.68±48.93  | 1753.96±104.45  | פני שטח    | הסתדרות    |
| 49.1        | 376.20±19.71  | 7.66±2.60   | קרקעית     |            |
| 0.5         | 389.08±8.13   | 762.24±78.79  | פני שטח    | לבניות     |
| 34.3        | 398.99±69.31  | 11.64±0.73  | קרקעית     |            |
| 1.3         | 379.99±4.88   | 282.21±51.33  | פני שטח    | יגור       |
| 1.2         | 707.21±41.41  | 576.86±90.79  | פני שטח    | חוות החיות |



**איור 5:** היחס בין יצרנות ראשונית (פוטוסינתזה) ליצרנות חיידקית (קבוע פחמן הטרוטרופי) במימי הקישון המלוח במאי 2021. הקו המקווקוו מייצג יחס של 1:1 בין המשתנים. כאשר היחס זה גדול מ-1 המערכת 'נשלטת' על ידי יצרנות הטרוטרופית.



**איור 6:** היחס בין יצרנות חיידקית (קיבוע פחמן הטרוטרופי) ליצרנות ראשונית (פוטוסינתזה) במימי הקישון המלוח במאי 2021. הקו מהווה יחס של 1:1 בין המשתנים. כאשר היחס זה גדול מ-1 המערכת ינשלטת על ידי יצרנות הטרוטרופית.



**איור 7:** הקשרים הלינאריים בין ערכי היצרנות הראשונית (A-C), היצרנות החיידקית (D-F), והיחס בין יצרנות חיידקית ליצרנות ראשונית (G-I) לבין ריכוזי ניטראט + ניטריט + אמוניה (A,D,G), זרחן (B,E,H) וסיליקה (C,F,I) כפי שנמצא בנחל הקישון המלוח בדיגום מאי 2021. עם קווי המגמה ומקדמי המתאם של קורלציית ספירמן.

במקביל לספירות האצות עם Flow-cytometer, מיני מיקרו-פיטופלנקטון נספרו וזוהו גם בכלים טקסונומיים (מיקרוסקופיה אפיפלורוסנטית) במי השטח של שתי תחנות: תחנת פתח הקישון במורד הנחל, ותחנת גשר ההסתדרות במעלה הנחל. שיטה זו מאפשרת מעקב אחר מינים ספציפיים, כולל מינים בעלי פוטנציאל לרעילות. כמו כן, השוואות רב שנתיות לריכוז, לביומסה ולמגוון מיני מיקרופיטופלנקטון מדיגומים קודמים (החל משנת 2002) להם חשיבות רבה בהערכת טיב המים בנחל.



## ריכוז תאי מיקרו-פיטופלנקטון

ריכוז תאי המיקרו-פיטופלנקטון בפתח הקישון ירד ביחס לשנה קודמת (איור 8) אך נשאר מעל הממוצע הרב שנתי. העלייה בריכוז התאים נבעה בעיקר מפריחה של בקטריות כחוליות ואצות צורניות (איור 9). הבקטריות הכחוליות מהמין *Synechococcus* sp.(2) היו דומיננטיות מבחינה מספרית והיוו 57% מריכוז התאים הכללי. האצות הצורניות היוו 28% מריכוז התאים הכללי. כבשנה שעברה, חלה עלייה נוספת בריכוז התאים הכללי גם בגשר ההסתדרות ביחס לשנה הקודמת (איור 8). בדומה לפתח הקישון, העלייה נבעה מעלייה ניכרת בריכוז של בקטריות כחוליות מהמין *Synechococcus* sp.(2) שהיוו 59% מריכוז התאים הכללי, וכן מעלייה בריכוז אצות צורניות שהיוו 19% מריכוז התאים הכללי (איור 9). יש לציין כי בשנת 2015/16 הזרימו בחודשי הקיץ (החל מחודש מאי) מים שפירים בספיקה של כ 2 מלמ"ק במשך שנתיים במעלה הנחל. ייתכן והעליה הכללית במספר מיני האצות (כמו גם בריכוז הכלורופיל ובמידה מסוימת במגוון המינים) בגשר ההסתדרות קשורה לשינוי זה ומצביעה שהזרמה של מים שפירים מטיבה עם האצות ולפיכך מצב הנחל.

## ביומסה וריכוז כלורופיל

למרות העלייה בריכוז התאים הכללי, הביומסה הכללית וריכוז הכלורופיל בפתח הקישון נותרו דומים לשנה קודמת וגבוהים ביחס לממוצע הרב שנתי (2012-2018) (איור 10). הביומסה הגבוהה בתחנה זו נבעה בעיקר מפריחת אצות צורניות, שהיוו 57% מהביומסה הכללית בתחנה זו (טבלה 7, איור 12). הקבוצות הדומיננטיות הנוספות היו בקטריות כחוליות מהמין הנפוץ בעיקר בקישון *Synechococcus* sp. (2), ופלגלטים מקבוצת ה *Cryptophyceae* והיוו יחד כ – 30% מהביומסה הכללית בתחנה זו.

עם העלייה בריכוז התאים, גם הביומסה הכללית וריכוז הכלורופיל עלו בגשר ההסתדרות ביחס לשנה הקודמת (איור 11). העלייה בביומסה נבעה מעלייה בביומסת האצות הצורניות ומעלייה ניכרת בביומסת הפלגלטים מקבוצת ה *Cryptophyceae* (איור 12) אשר הופיעו בתחנה זו גם בשנים קודמות (איור 18). שתי הקבוצות הללו היוו יחד 74% מהביומסה הכללית (איור 12). ריכוז הכלורופיל היה דומה בשתי התחנות בשנתיים האחרונות (איור 13).

## מגוון המינים

בפתח הקישון חלה ירידה ניכרת במספר המינים (איור 14) ביחס לשנה הקודמת. מגוון מיני האצות הצורניות ירד יחסית לשנה הקודמת, והיה נמוך יחסית לממוצע הרב שנתי (איור 15). חלה ירידה גם במגוון מיני האצות הירוקיות, יחסית לשלוש שנים קודמות. מספר מיני הדינופלגלטים עלה והיה גבוה מהממוצע הרב שנתי. מספר המינים בפתח הקישון, באביב 2021, היה גבוה רק במעט יחסית לגשר ההסתדרות (איור 14). התפלגות המינים והביומסה בגשר ההסתדרות שונה מהתפלגותם בפתח הקישון (טבלה 7, איור 15). מספר מיני דינופלגלטים (רובם מינים ימיים) היה קטן יחסית ואילו מספר מיני אצות ירוקות ובקטריות כחוליות (אופייניות למים בעלי מליחות נמוכה) היה גדול יותר. מקור מרבית הביומסה בפתח הקישון באצות צורניות, לעומת גשר ההסתדרות, שם מרבית הביומסה התחלקה בין אצות צורניות לפלגלטים מקבוצת ה *Cryptophyceae* (איור 15).

## אינדקס מגוון המינים (Diversity Index)

אינדקס מגוון המינים (חושב לפי Menhinick's index - מס' המינים / שורש ריבועי של הבימוסה, במקום ריכוז תאים), ירד בשתי התחנות (איור 16) והיה נמוך יחסית לממוצע הרב שנתי. אינדקס נמוך מצביע על התבססות של מינים על חשבון מיני אצות אחרים, בהתאמה לאאוטרופיקציה הגבוהה (טבלה 2). לפיכך, חשוב לעקוב אחר מגוון מיני האצות באופן תדיר ולוודא, למשל, שלא מתבסס מין רעיל. בדיגום הנוכחי התבססו בעיקר מיני צורניות (*Thalassiosira pseudonana*) ופלגלטים (מקבוצת ה-*Cryptophyceae*).

## הרכב מיני מיקרו-פיטופלנקטון

מגוון אופייני של מיני דינופלגלטים (טבלה 7) הופיע בפתח הקישון. דינופלגלטים קטנים מ-15 μm היו השכיחים ביותר. דינופלגלט מהמין (*Protoperidinium* sp. (54) היה נפוץ, מין זה מופיע גם לאורך החוף, אך בריכוזים נמוכים הרבה יותר.

מבין הצורניות, פריחה צורנית מהמין *Thalassiosira pseudonana* השכיחה בפתח הקישון לאורך השנים. מיקרו-אצה זו הרכיבה כמעט מאה אחוז מבימוסת האצות הצורניות ולמעלה ממחצית הבימוסה הכללית. פלגלטים מקבוצת ה-*Cryptophyceae* וכן הפלגלט *Eutreptia* sp. מקבוצת ה-*Euglenoideae* הופיעו בריכוז גבוה. שני הפלגלטים מאפיינים מים פחות מלוחים אך כנראה בעלי סבילות לטווח מליחויות רחב (טבלה 7). בקטריות כחוליות מהמין (*Synechococcus* sp. (2) פרחו גם כן והיוו 17% מהבימוסה הכללית.

**בגשר ההסתדרות** מגוון המינים היה אופייני למים בעלי מליחות נמוכה. דינופלגלטים שבעיקרם מינים ימיים נעדרו מתחנה זו (טבלה 7). מגוון מיני הצורניות היה קטן יחסית. הצורנית *Thalassiosira pseudonana* יצרה פריחה והיוותה 99% מבימוסת הצורניות, ו-33% מהבימוסה הכללית. פלגלטים מקבוצת ה-*Cryptophyceae* הופיעו בפריחה גדולה יחסית, והיוו 41% מהבימוסה הכללית. בקטריות כחוליות מהמין (*Synechococcus* sp. (2) פרחו והיוו 14% מהבימוסה הכללית.

## מינים בעלי פוטנציאל טוקסי

מספר מינים בעלי פוטנציאל טוקסי נמצאו בפתח הקישון (איור 17, טבלה 7). המינים *Gymnodinium* cf. *Prorocentrum minimum* ו-*catenatum* הופיעו בריכוז בינוני, ואילו המינים *Alexandrium* sp. והמין *Dinophysis caudata* הופיעו בריכוז נמוך. כל המינים הנ"ל הופיעו גם בניטורים קודמים והם ברובם ממקור ימי. פריחה של מינים אלה יכולה, בהכללה, לגרום לתמותת דגים ו/או רכיכות ואף תועדו מקרים חמורים יותר (נדיר ביותר). יש לציין, כי בנוסף למדידת ריכוז מיני אצות רעילות, חשוב לכמת רעלנים במים (קבוצות עיקריות מייצגות) משום שהמצאותם של מיני אצות מסוימות אין משמעה המצאות רעלנים. דיווחים קודמים הצביעו כי עליה בזמן שהות מים בשילוב עם התחממות המים עלולים להוביל לפריחות של אצות רעילות. יש לבחון האם הרחבת הנמל והתחממות המים שמתועדת מזה מספר שנים תורמת לשינוי בשכיחות המינים הרעילים בקישון (נוסף לשינויים רב שנתיים ואחרים).

## השוואה רב-שנתית – תחנות פתח הקישון וגשר ההסתדרות- דיגומי אביב 2003-2021

### ריכוז תאים, ביומסה וריכוז כלורופיל

בין השנים 2003-2020 ריכוז התאים, הביומסה וריכוז הכלורופיל בגשר ההסתדרות היו לרוב גבוהים ביחס לפתח הקישון (איורים 8,13). הן הביומסה והן ריכוז הכלורופיל מראים טרנד דומה בכל תחנה (איורים 10-14). באביב 2005 ו-2019 נמדדו **בפתח הקישון** שיאים של ביומסה, ריכוז הכלורופיל וריכוז התאים, אף גבוהים מהריכוזים בגשר ההסתדרות (איורים 8,10). באביב 2020/2021 חלה ירידה בביומסה ובריכוז הכלורופיל בפתח הקישון, אולם הם נותרו גבוהים מהממוצע הרב שנתי (איור 10).

**גשר ההסתדרות** מתאפיין בפריחות תדירות של אצות (איור 11), אשר יוצרות תנודתיות גדולה בביומסה ובריכוז כלורופיל. עד 2011 ממוצע ריכוז הכלורופיל בתחנה זו היה בתחום ההיפר איאטרופי (מעל  $90\mu\text{g/L}$ ). אולם מאביב 2012-2020 רמת הביומסה והכלורופיל ירדו והתנודתיות פחתה. ממוצע ריכוז הכלורופיל עמד על שליש מהממוצע בשנים קודמות וממוצע הביומסה על כמחצית. בשנתיים אחרונות, חלה עלייה יחסית בביומסה ובריכוז הכלורופיל (איור 11).

### קבוצות מיקרו-פיטופלנקטון

בפתח הקישון הופיעו לאורך השנים מינים האופייניים למי הים (מיני דינופלגלטים ימיים ומיני צורניות ימיות) (טבלה 7, איור 15A). בגשר ההסתדרות הופיעו מגוון מינים קטן יחסית לפתח הקישון (איור 14) המורכב ממינים המאפיינים מים פחות מלוחים, הן מקבוצת הצורניות והן מקבוצת הירוקיות והבקטריות הכחוליות (איור 15B). בחמש השנים האחרונות ניכרת עלייה בביומסה של מין הבקטריות החד תאיות האופייניות בעיקר לקישון (2) *Synechococcus sp.* (איור 19) בשתי התחנות.

אצות צורניות היו דומיננטיות בביומסה הכללית לאורך השנים **בפתח הקישון** (איור 18A, 19A). הן היו הגורם המרכזי לפריחות הגדולות שהופיעו. בין השנים 2003-2011 הן פרחו באופן תנודתי (איור 19) והיוו בממוצע כ-70% מהביומסה הכללית (להוציא 2010) (איור 18B). בשנים 2012-2018 חלה התמתנות וירידה בביומסה הכללית, והיא עמדה בממוצע על כרבע מהביומסה בשנים 2003-2011 (איור 18). היחסים בין הקבוצות המרכיבות את הביומסה השתנו. בשנים אלה עלתה לסירוגין החשיבות היחסית של מיקרואצות הקטנות מ- $5\mu\text{m}$  (איור 18-19) והן היו דומיננטיות לצד האצות הצורניות. בשנתיים האחרונות נמצאו פריחות גדולות בקישון. ב-2019 נמצאה פריחה יוצאת דופן של דינופלגלטים ושל פלגלט בעל פוטנציאל טוקסי מהמין *Heterosigma akashiwo*. באביב 2020 ובאביב 2021 נמצאה פריחה גדולה של אצות צורניות, שהיוו 84% ו-57% מהביומסה הכללית בהתאמה.

אצות צורניות היו דומיננטיות גם **בגשר ההסתדרות** עד 2013 (איורים 18-19) והיוו בממוצע 65% מהביומסה הכללית בשנים אלה. מאביב 2012 פלגלטים מקבוצת ה-*Cryptophyceae*, החלו להוות חלק גדול יותר ומשתנה בביומסה הכללית עד אביב 2017 (איור 20). באביב 2018-2019 פלגלטים אלה היו שוליים בביומסה הכללית ואצות צורניות, מיקרואצות קטנות מ-5 מיקרון ובקטריות כחוליות מהמין (2) *Synechococcus sp.* היו דומיננטיות. באביב 2020 הביומסה הייתה מורכבת בעיקר מצורניות ובקטריות כחוליות ובאביב 2021 נוספה אליהם גם פריחה של פלגלטים מקבוצת ה-*Cryptophyceae* (איור 12).

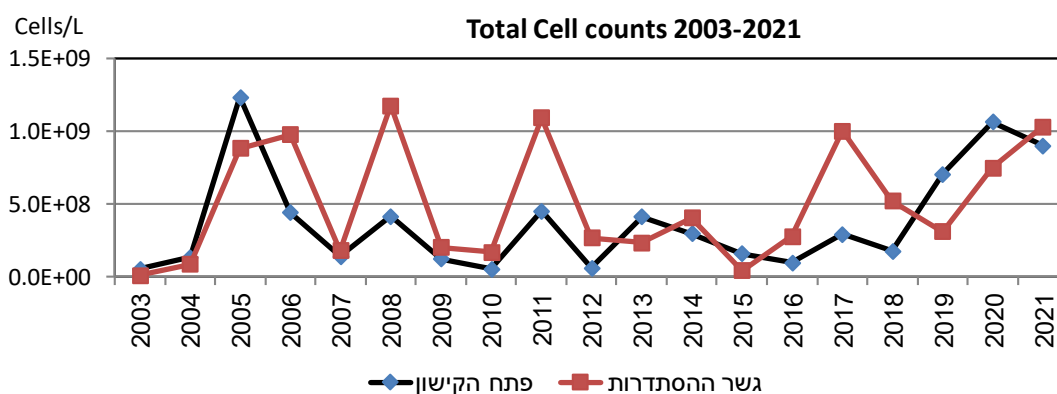
## מגוון מינים

בגשר ההסתדרות מספר המינים ואינדקס מגוון המינים היו נמוכים ביחס לפתח הקישון לאורך השנים (איורים 14,16).

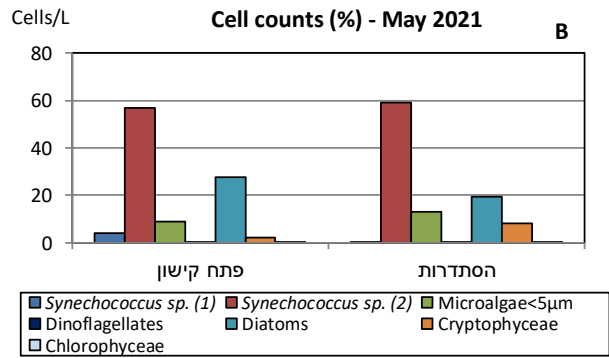
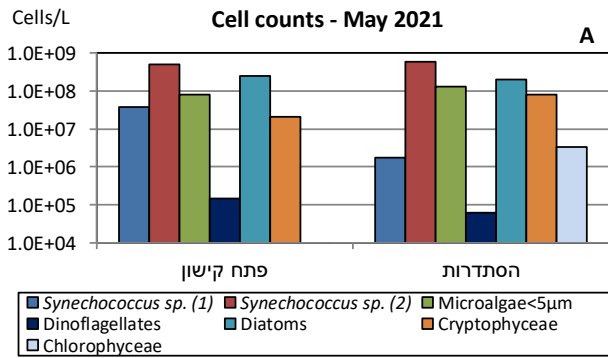
א. **מספר המינים** – בפתח הקישון קיימת מגמה כללית של עלייה במספר המינים לאורך השנים (איור 14). עלייה זו הייתה מגמתית בין השנים 2003-2016 ונבעה בעיקר מעלייה במספר מיני האצות הצורניות (איור 15A). בחמש השנים האחרונות העלייה נפסקה וממוצע מספר המינים עמד על  $62 \pm 9$  מינים. בגשר ההסתדרות עלייה במספר המינים הייתה בין השנים 2008-2012 (איור 14). העלייה נבעה בעיקר מעלייה במספר מיני אצות ירוקות וכן מעלייה קטנה יותר באצות צורניות (איור 15B). אולם מאביב 2013-2021 לא קיימת מגמה כלשהי במספר המינים, שעומד על  $42 \pm 5$  מינים.

ב. **אינדקס מגוון המינים** – בפתח הקישון קיימת מגמה כללית של עלייה באינדקס בין השנים 2003-2016 (איור 16). מאביב 2017 חלה ירידה ניכרת באינדקס מגוון המינים, הנמשכת עד אביב 2021. בגשר ההסתדרות אינדקס מגוון המינים נמוך עם ממוצע רב שנתי של  $0.96 \pm 0.8$  לעומת  $1.9 \pm 1.4$  בפתח הקישון.

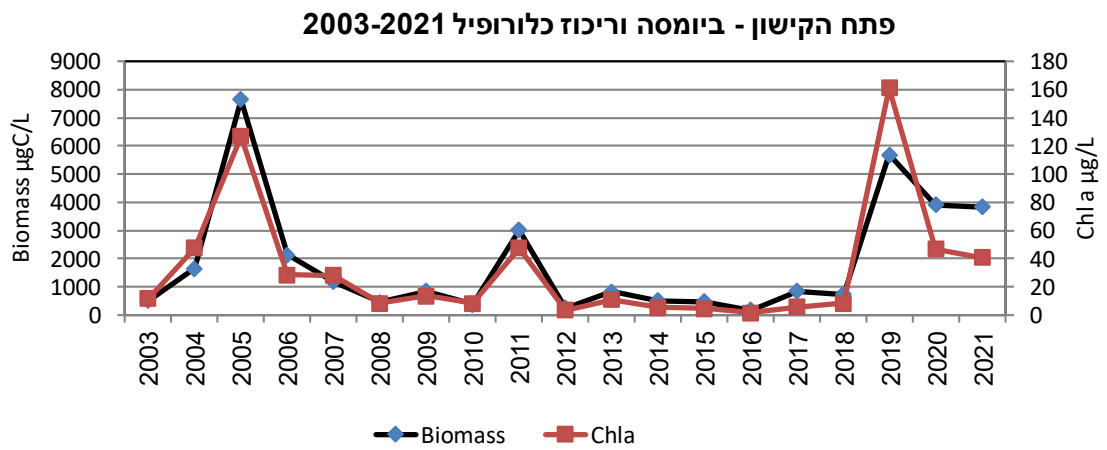
ג. **מינים בעלי פוטנציאל טוקסי** – מגוון מינים בעלי פוטנציאל טוקסי הופיעו לסירוגין במהלך השנים בפתח הקישון בדיגומי האביב (איור 17). חלקם הופיע בפריחה גדולה יחסית כמו *Heterosigma akashiwo* באביב 2002. אחרים הופיעו בשנים מסוימות בריכוז גדול יחסית לריכוזם בשנים האחרות כמו *Prorocentrum minimum* בשנת 2005, *Gymnodinium cf. catenatum* באביב 2009, או *Alexandrium* sp. באביב 2012. בשנים האחרונות החל לעלות ריכוז הפלגט *Heterosigma akashiwo* שפרח באביב 2002 (והופיע בריכוז גבוה גם באביב 2003). באביב 2019 הוא הופיע שוב בפריחה גדולה של  $1 \times 10^7$  תאים לליטר. באביב 2020 הופיע מגוון מצומצם של מינים בעלי פוטנציאל טוקסי ובריכוז קטן בלבד (איור 17, טבלה 7). באביב 2021 הופיעו בריכוז בינוני המינים *Alexandrium* sp. והמין *Dinophysis caudata*.



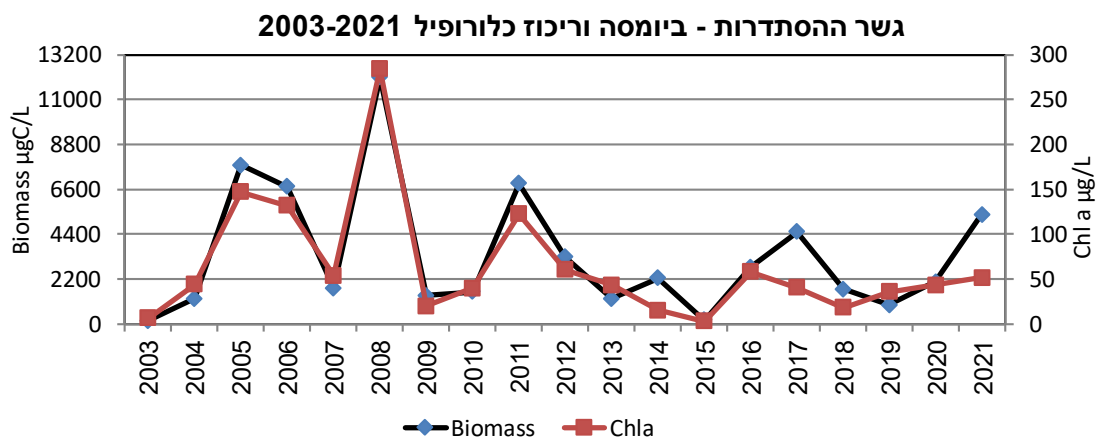
איור 8: התפלגות ריכוז כלל תאי המיקרו-פיטופלנקטון בשתי התחנות בדיגומי אביב 2003-2021



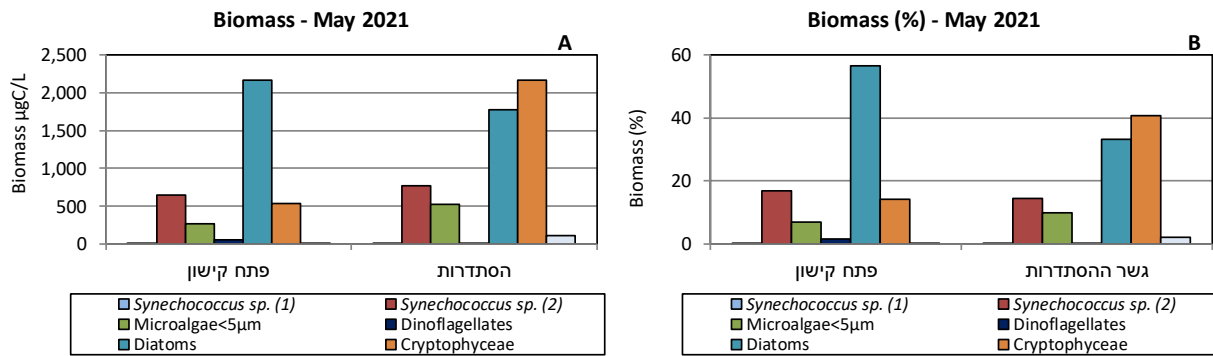
**איור 9:** התפלגות ריכוזי תאי קבוצות המיקרו-פיטופלנקטון (A) וריכוזי היחסי באחוזים (B) בשתי התחנות בדיגום אביב 2021



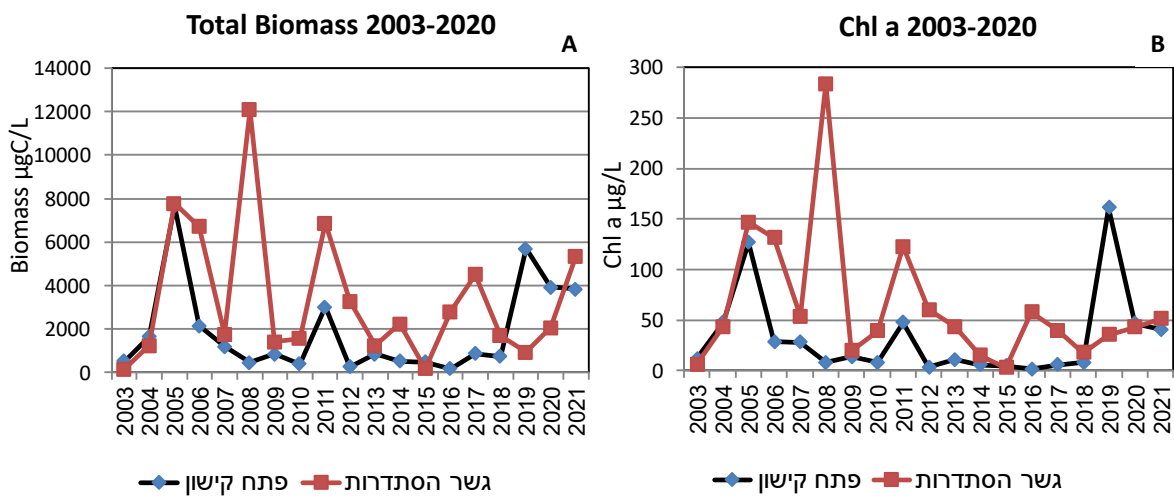
**איור 10:** התפלגות הביומסה וריכוז הכלורופיל בפתח הקישון בדיגומי אביב 2003-2021



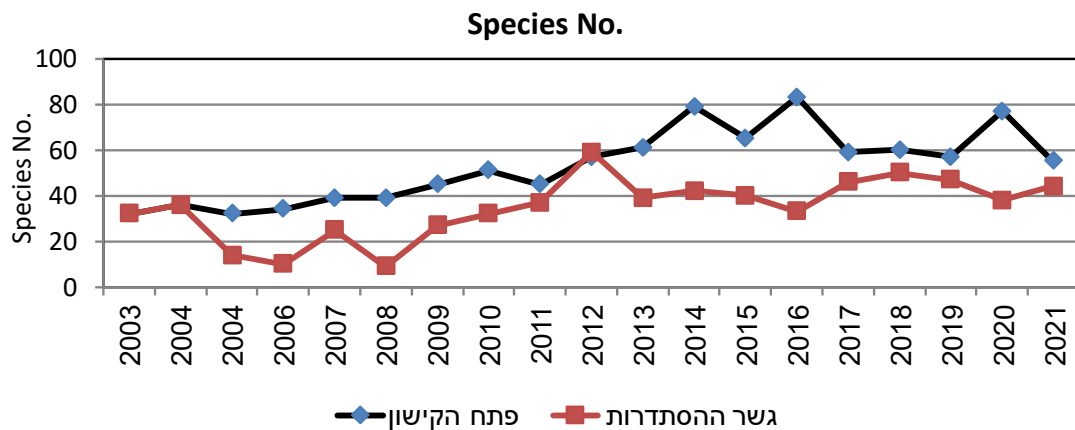
**איור 11:** התפלגות הביומסה וריכוז הכלורופיל בגשר ההסתדרות בדיגומי אביב 2003-2021



איור 12: התפלגות הביומסה של קבוצות המיקרופלנקטון (A) והביומסה היחסית באחוזים (B) אביב 2021

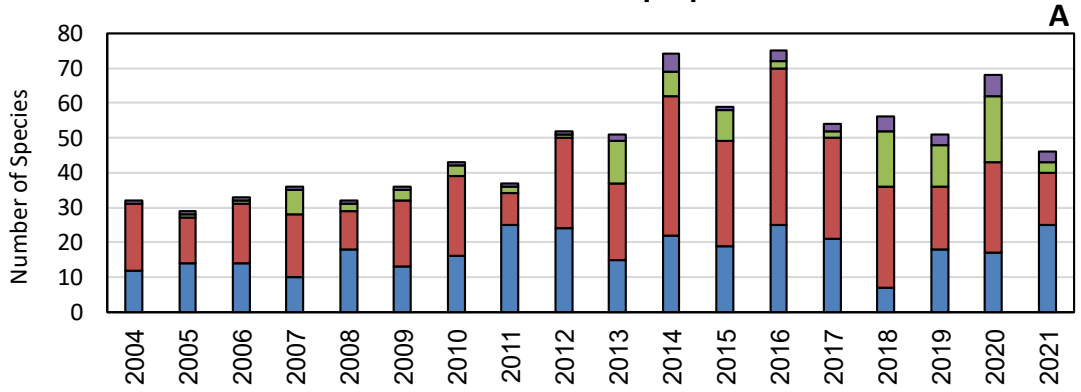


איור 13: התפלגות הביומסה וריכוז הכלורופיל בשתי התחנות בדיגומי אביב 2003-2021

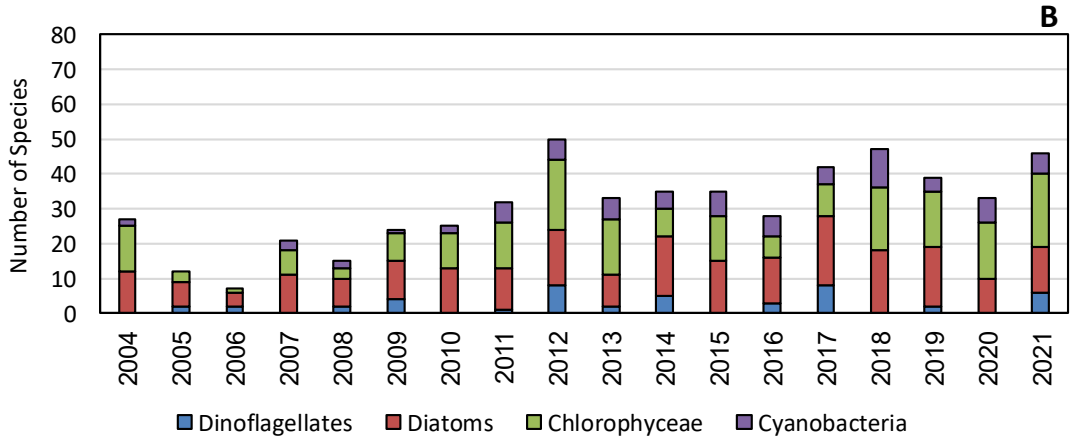


איור 14: התפלגות מספר המינים בשתי התחנות בדיגומי אביב 2003-2021

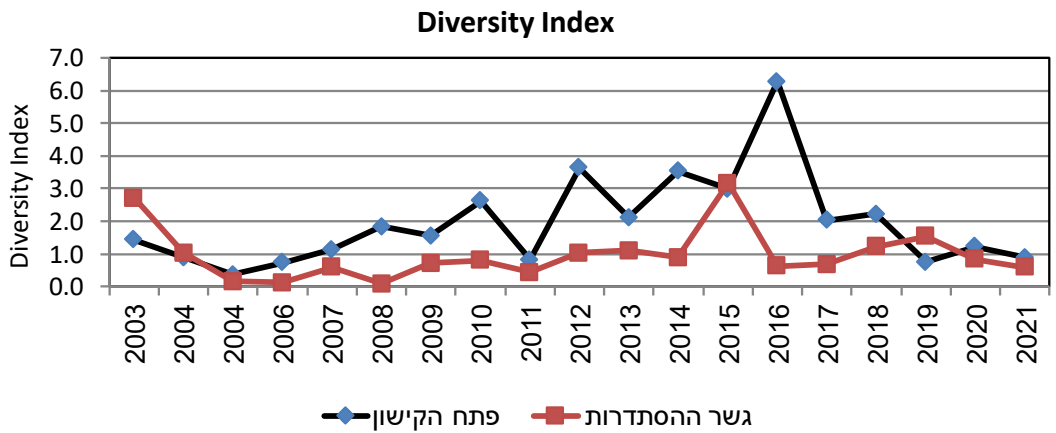
2004-2021 מספר המינים - פתח הקישון



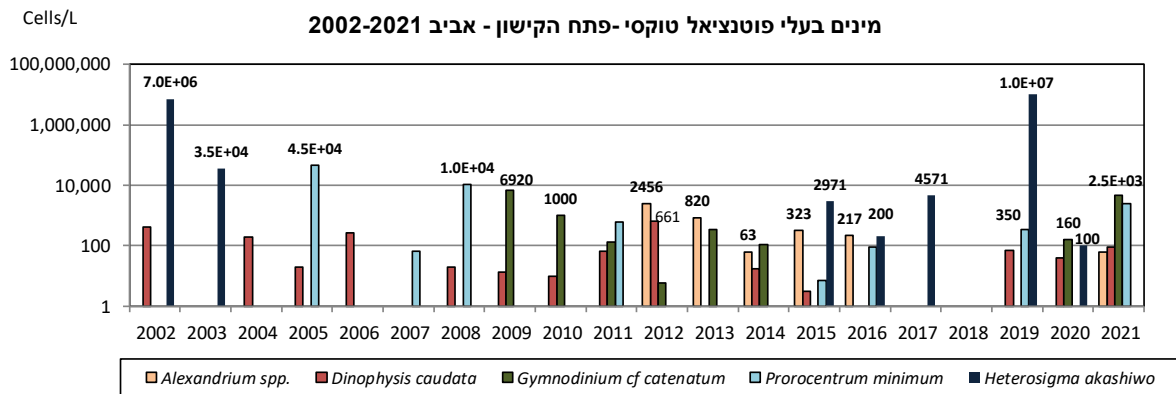
2004-2021 מספר המינים - גשר ההסתדרות



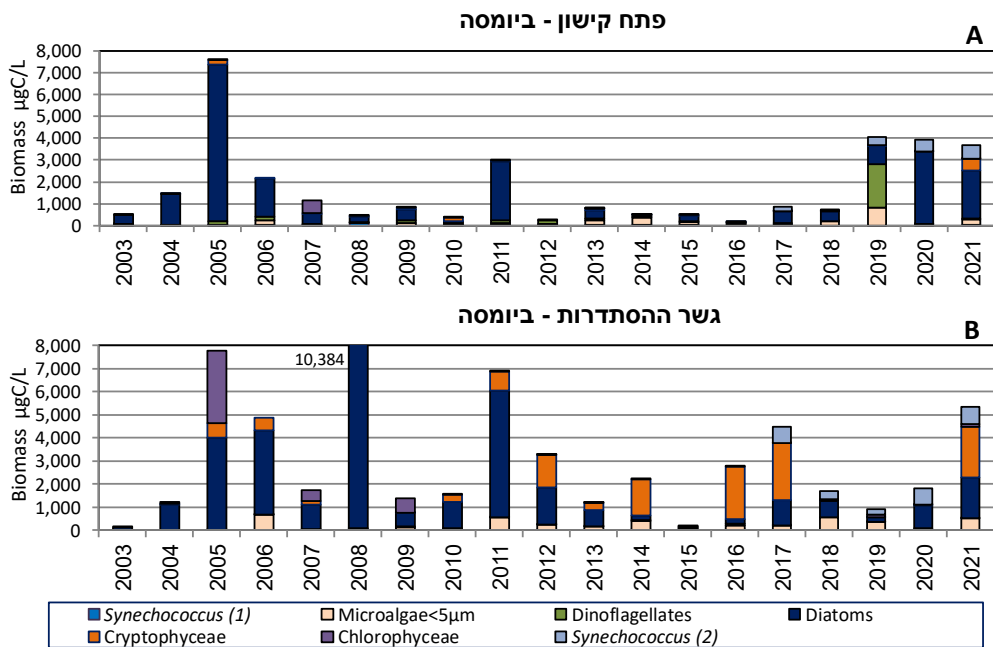
איור 15: התפלגות מספר המינים מהקבוצות השונות בפתח הקישון (A) ובגשר ההסתדרות (B) בדיגומי אביב 2003-2021



איור 16: התפלגות אינדקס מגוון המינים (Diversity Index) בשתי התחנות אביב 2003-2021



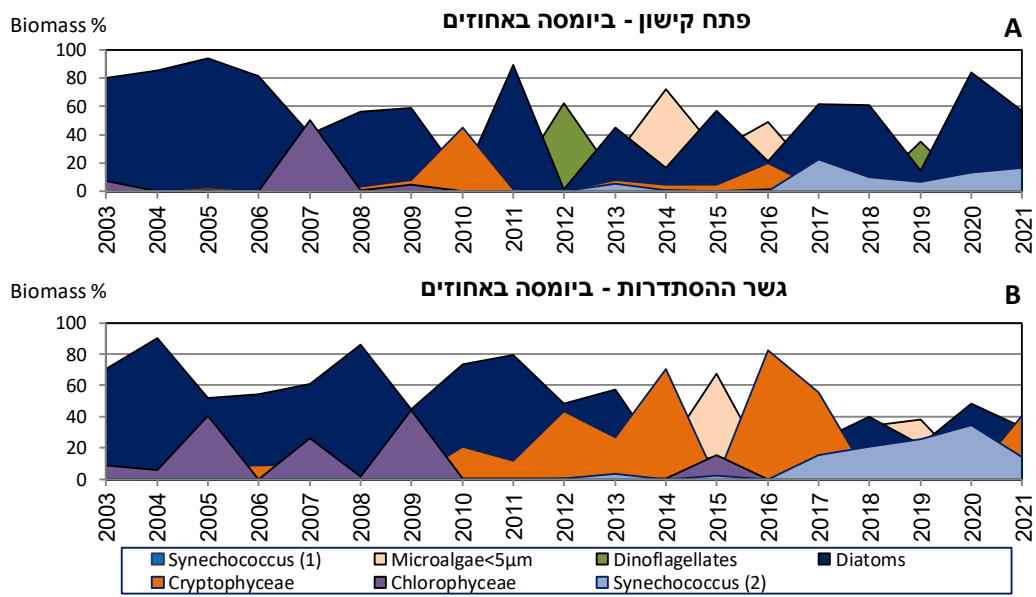
**איור 17:** התפלגות מינים בעלי פוטנציאל טוקסי בפתח הקישון בדיגומי אביב 2002-2021



**איור 18:** התפלגות הביומסה (A) ושיעורה באחוזים (B) בין הקבוצות בפתח הקישון באביב בשנים 2003-

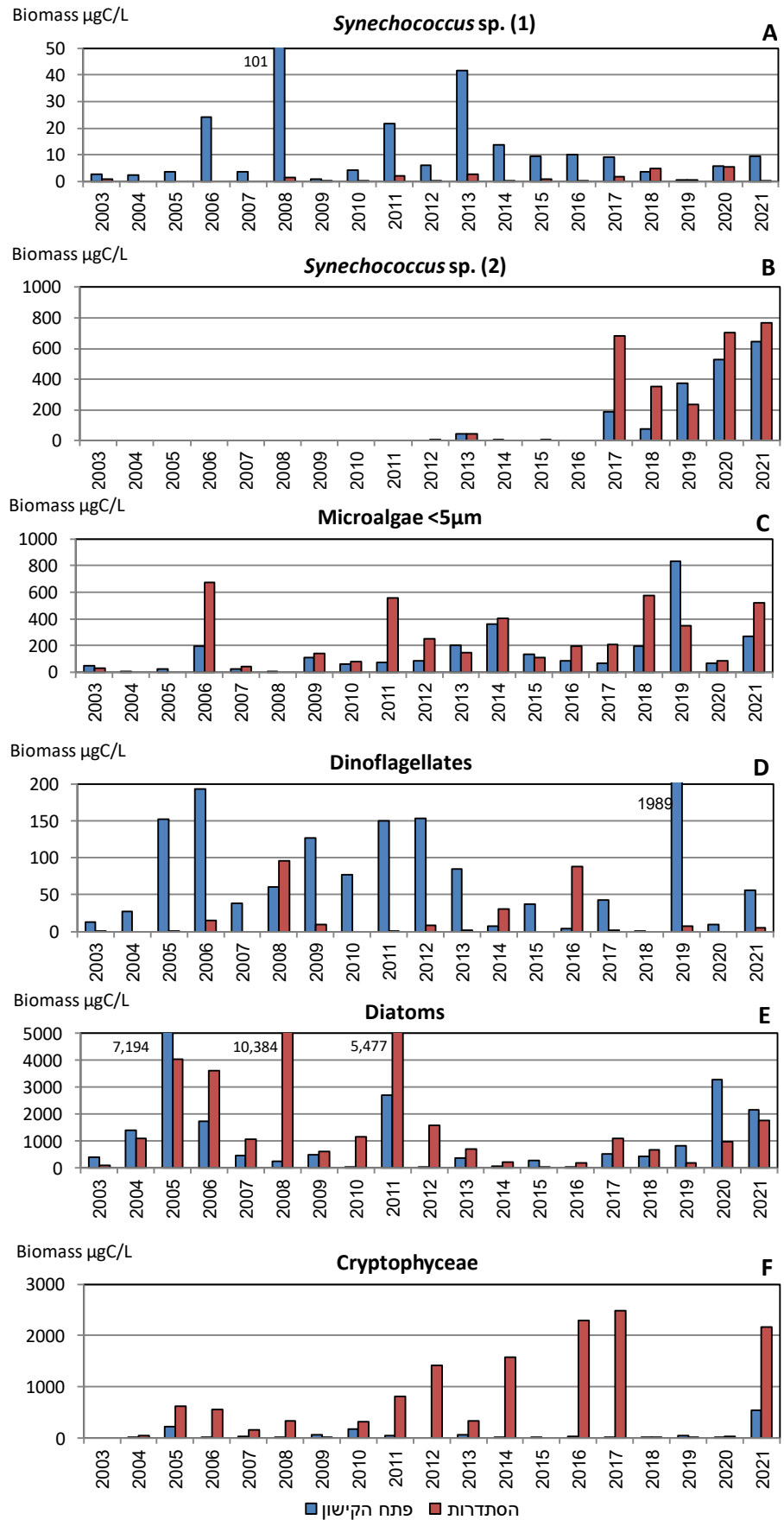
2021





**איור 19:** התפלגות הביומסה בין הקבוצות (A) ושיעורה באחוזים (B) בגשר ההסתדרות באביב בשנים 2003-

2021



איור 20: התפלגות ביומסת קבוצות האצות דיגומי אביב 2003-2021 (יש לשים לב לסקלות השונות)

טבלה 7: מיני המיקרו-פיטופלנקטון וריכוזם (תאים/לליטר) בדגימות הקישון – מאי 2021

|   | פתח הקישון | גשר ההסתדרות |                                    | פתח הקישון | גשר ההסתדרות |
|---|------------|--------------|------------------------------------|------------|--------------|
| <b>Dinoflagellates</b>                  |            |              | <b>Cryptophyceae</b>               |            |              |
| <i>Alexandrium</i> sp.                  | 63         |              | <i>Cryptomonad</i> spp.            | 2.1E+07    | 8.3E+07      |
| <i>Ceratium candelabrum</i>             | 3          |              |                                    |            |              |
| <i>Dinophysis caudata</i>               | 90         | 10           | <b>Chlorophyceae</b>               |            |              |
| <i>Fragilidium mexicanum</i>            | 27         |              | <i>Ankistrodesmus falcatus</i>     |            | 160          |
| <i>Glenodinium</i> sp.                  |            | 160          | <i>Coelastrum microporum</i>       |            | 1.3E+04      |
| <i>Gonyaulax spinifera</i>              | 27         |              | <i>Crucigenia apiculata</i>        |            | 480          |
| <i>Gymnodinium elongatum</i>            | 200        |              | <i>Crucigenia quadrata</i>         | 333        | 1.2E+04      |
| <i>Gymnodinium</i> cf. <i>catenatum</i> | 4.8E+03    |              | <i>Crucigenia tetrapedia</i>       |            | 7.4E+03      |
| <i>Kofooidinium</i> sp.                 | 33         |              | <i>Crucigeniella rectangularis</i> |            | 80           |
| <i>Mesoporos perforatus</i>             | 53         |              | Flagellate sp.                     |            | 1.5E+06      |
| <i>Oxyphysis oxytoxoides</i>            | 100        |              | <i>Monoraphidium arcuatum</i>      | 133        |              |
| <i>Polykrikos kofoidii</i>              | 67         |              | <i>Monoraphidium griffithii</i>    |            | 1.9E+03      |
| <i>Proocentrum balticum</i>             | 13         |              | <i>Monoraphidium minutum</i>       |            | 1.8E+06      |
| <i>Proocentrum compressum</i>           | 7          |              | <i>Oltmannsiella lineata</i>       | 267        |              |
| <i>Proocentrum gracile</i>              | 85         |              | <i>Oocystis</i> spp.               |            | 1.2E+04      |
| <i>Proocentrum micans</i>               | 147        | 40           | <i>Pediastrum duplex</i>           |            | 40           |
| <i>Proocentrum minimum</i>              | 2.5E+03    |              | <i>Scenedesmus acuminatus</i>      |            | 9.6E+03      |
| <i>Proocentrum oblongum</i>             | 7          |              | <i>Scenedesmus opoliensis</i>      |            | 7.6E+03      |
| <i>Proocentrum rotundatum</i>           | 67         |              | <i>Scenedesmus obtusus</i>         |            | 960          |
| <i>Proocentrum triestinum</i>           | 3.2E+03    |              | <i>Scenedesmus quadricauda</i>     |            | 1.1E+04      |
| <i>Protoperdinium joergensenii</i>      | 800        |              | <i>Scenedesmus</i> spp.            |            | 2880         |
| <i>Protoperdinium</i> spp.              | 800        | 240          | <i>Tetraëdron trigonum</i>         |            | 80           |
| <i>Protoperdinium</i> sp. (54)          | 2.7E+04    | 200          |                                    |            |              |
| <i>Scrippsiella</i> spp.                | 2873       |              | <b>Cyanobacteria</b>               |            |              |
| <i>Scrippsiella spinifera</i>           | 13         |              | <i>Chroococcus</i> spp.            | 67         | 320          |
| Dinoflagellates < 15µm                  | 1.0E+05    | 6.0E+04      | <i>Planktothrix</i> sp.            |            | 2.2E+04      |
|   |            |              | <i>Spirulina platensis</i> (µm)    |            | 6.0E+03      |
| <b>Diatoms</b>                          |            |              | <i>Synechococcus</i> sp. (1)       | 3.8E+07    | 1.8E+06      |
| <i>Achnanthes</i> sp.                   | 20         | 80           | <i>Synechococcus</i> sp. (2)       | 5.1E+08    | 6.1E+08      |
| <i>Amphora</i> spp.                     |            | 160          |                                    |            |              |
| <i>Bacillaria paxillifera</i>           |            | 600          | <b>Chrysophyceae</b>               |            |              |
| <i>Bellerochea</i> spp.                 | 13         |              | <i>Chrysochromulina</i> sp.        | 800        |              |
| <i>Chaetoceros</i> spp.                 | 320        |              |                                    |            |              |
| <i>Coscinodiscus</i> sp.                | 3          |              | <b>Euglenoidea</b>                 |            |              |
| <i>Cyclotella</i> sp.                   | 200        | 2.3E+04      | <i>Euglena tripteris</i>           |            | 233          |
| <i>Cylindrotheca</i> sp.                |            | 880          | <i>Eutreptia</i> sp.               |            | 6.3E+05      |
| <i>Entomoneis paludosa</i>              | 7          | 80           | <i>Phacus acuminatus</i>           |            | 333          |
| <i>Lauderia annulata</i>                | 7          |              | <i>Phacus longicauda</i>           |            | 133          |
| <i>Leptocylindrus danicus</i>           | 227        |              |                                    |            |              |
| <i>Melosira moniliformis</i>            | 27         | 640          | <b>Ebriophyceae</b>                |            |              |
| <i>Navicula</i> sp. (320)               | 7          |              | <i>Ebria tripartita</i>            |            | 67           |
| <i>Navicula</i> sp. (588k)              | 7          | 1.4E+03      |                                    |            |              |
| <i>Navicula</i> spp.                    | 7          | 1.6E+05      | <b>Microalgae &lt; 5µm</b>         |            |              |
| <i>Nitzschia lorenziana</i>             |            | 80           |                                    | 8.2E+07    | 1.3E+08      |
| <i>Pleurosigma</i> sp.                  |            | 240          | <b>Ciliates</b>                    |            |              |
| <i>Pseudonitzschia</i> spp.             | 1.2E+04    |              | <i>Mesodinium rubrum</i>           |            | 133          |
| <i>Thalassiosira pseudonana</i>         | 2.5E+08    | 2.0E+08      |                                    |            |              |
| <i>Thalassiosira</i> spp.               | 473        | 1920         | Total                              | 9.0E+08    | 1.0E+09      |

- Bar-Zeev, E and Rahav, E. (2015). Microbial metabolism of transparent exopolymer particles during the summer months along a eutrophic estuary system. *Frontiers in aquatic microbiology*, 6, doi: 10.3389/fmicb.2015.00403.
- Herut, B. and Kress, N. (1997). Particulate metals contamination in the Kishon river estuary, Israel. *Marine Pollution Bulletin*, 34, 706-711
- Herut B., Shefer E., Gordon N., Galil B., Lubinevsky H., Tibor G., Tom M., Rilov G., Silverman J. and Rinkevich B. (2014). The National Monitoring Program of Israel's Mediterranean coastal waters – Scientific Report for 2012, IOLR Report H62/2013.
- Hewes, C.D. and Holmes-Hansen, O. (1983). A method for recovering nanoplankton from filters for identification with the microscope. The filter –transfer – freeze (FTF) technique. *Limnology and Oceanography* 28, 389-394.
- IOC-SCOR-UNESCO (1994). Manual and Guides 29. Protocols for the Joint Global Ocean Flux Study (JGOFS) core measurements.
- Kress, N. and B. Herut (2001) Spatial and seasonal evolution of dissolved oxygen and nutrients in the Southern Levantine Basin (Eastern Mediterranean Sea). Chemical characterization of the water masses and inferences on the high N:P ratio. *Deep Sea Research, Part I*, 48, 2347-2372.
- Lassus, P., Chomérat, N., Hess, P. and Nézan, E., 2016. Toxic and Harmful Microalgae of the World Ocean. Denmark. International Society for the study of Harmful Algae/Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO. IOC manuals and Guides 68. pp 95-96
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 1996. NOAA's Estuarine Eutrophication Survey. Volume 1: South Atlantic Region. Silver Spring, MD. Office of Ocean Resources Conservation Assessment. 50 p.
- Raveh, O., David, N., Rilov, G., and Rahav, E. (2015). The temporal dynamics of coastal phytoplankton and bacterioplankton in the eastern Mediterranean Sea. *PLoS ONE* doi:10.1371/journal.pone.0140690.
- Simon, M., Alldredge, A. L., and Azam, F. (1990). Bacterial carbon dynamics on marine snow. *Marine Ecology Progress Series*, 65, 205–211.
- Sisma-Ventura G., Yam R., Shemesh A (2014) Recent unprecedented warming and oligotrophy of the eastern Mediterranean Sea within the last millennium, *Geophysical Research Letters*, DOI: 10.1002/2014GL060393.

- Supraha, L., Bosak, S., Ljubescic, Z., Mihanovic, H., Olujic, G., Mikac, I., Vilicic, D., (2014). Cryptophyte bloom in a mediterranean estuary: high abundance of *plagioselmis cf. prolonga* in the Krka River estuary (Eastern Adriatic Sea). *Sci. Mar.* 78, 329–338.
- Strathmann, R.R. 1967. Estimating the organic carbon content of phytoplankton from cell volume or plasma volume. *Limnology and Oceanography* 12: 411-418.