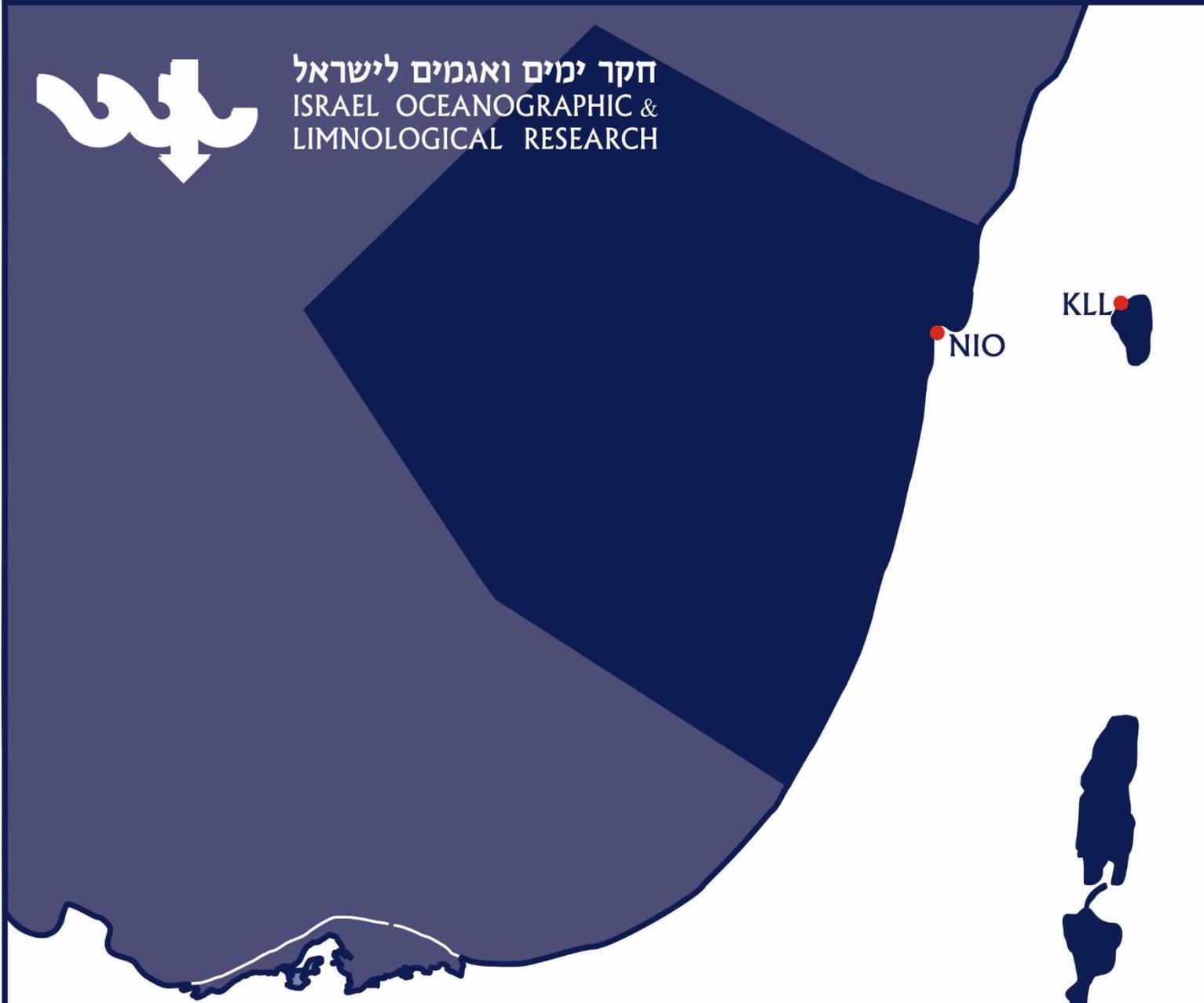


חקר ימים ואגמים לישראל
ISRAEL OCEANOGRAPHIC &
LIMNOLOGICAL RESEARCH



דו"חות חי"א"ל IOLR REPORTS

אפיון קבוצות המיקרואצות
במי נחל הקישון המלוח

דו"ח ניטור אביב 2022

דו"ח חי"א"ל H40/2022





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 2022

דו"ח חיא"ל H40/2022

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

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

מוגש לרשות נחל הקישון

חתימה :

אוקטובר 2022

אפיון קבוצות המיקרואצות במי נחל הקישון המלוח דו"ח ניטור אביב 2022

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, יצרנות ראשונית 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 דומים עד נמוכים בפני השטח בסדר גודל ביחס לדיגום אביב אשתקד.
- תהליכים אוטורופים (פוטוסינתזה) דומיננטיים ביחס לתהליכים מיקרוביאליים הטורטורופים (חיידקים) בשכבה העליונה של מפתח הנמל ועד תחנת האקליפטוס עד פי 2. לעומת זאת, מעל הקרקעית היחס בין התהליכים מתהפך (יצרנות חיידקית פי 6-2 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 של מיקרואצות ביחס לממוצע הרב שנתי (2002-2022). עיקר הרכב הפריחה בפתח הקישון היה אצות צורניות מהמין *Thalassiosira pseudonana*, ובגשר ההסתדרות פלגטים מקבוצת ה- *Cryptophyceae*. בקטריות כחוליות מהמין (2) *Synechococcus sp.* נמצאו בשתי התחנות.
- פתח הקישון מתאפיין בהרכב מיני אצות ממקור ימי, עם מספר מינים גבוהה ביחס לגשר ההסתדרות, שם נמצאו בעיקר מינים המאפיינים מים פחות מלוחים.
- באביב 2022 הופיעו בפתח הקישון מספר מינים בעלי פוטנציאל טוקסי, כולל: *Alexandrium cf. catenella* בריכוז גבוה ו- *Dinophysis caudata* בריכוז בינוני ביחס לממוצע הרב שנתי. רעלנים ממקור אצתי, יכולים לגרום לנזקים סביבתיים והרעה באיכות המים, כדוגמת תמותת דגים, בע"ח וחסרי חוליות. מומלץ לבחון במחקר ייעודי אם אכן מופרשים רעלני אצות בתנאים שונים לאורך הקישון.

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 לנטריאנטים הוקפאו עד לבדיקתן בשיטה פוטומטרית וזרימה מקוטעת במכשיר Skalar SAN^{plus} systems בשיטות המפורטות ב- (IOC-SCOR-UNESCO, Kress and Herut, 2001). 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.

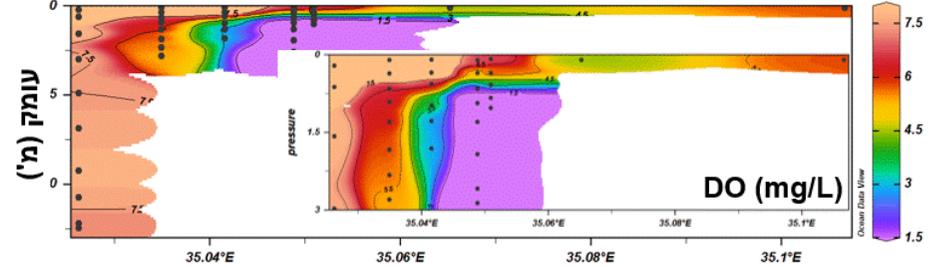
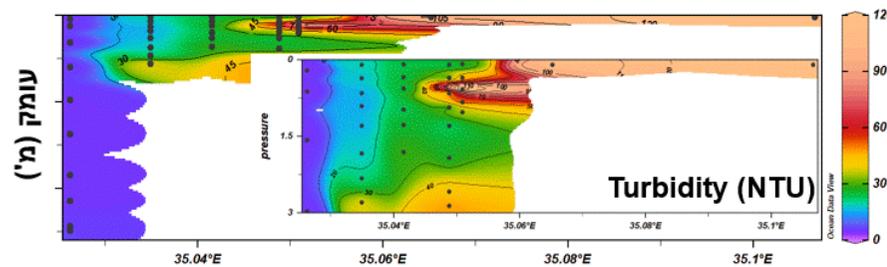
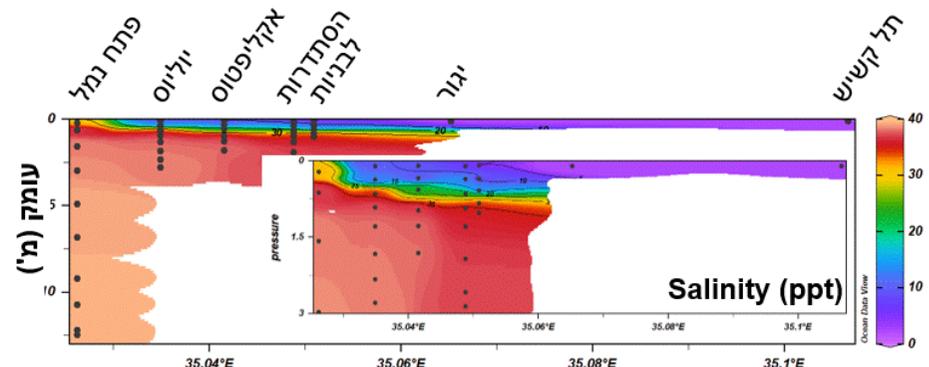
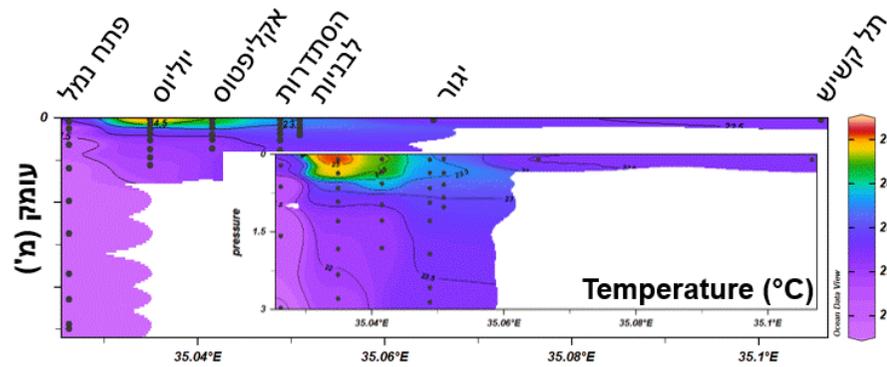
| תחנה | Latitude (N) | Longitude (E) |
|------------------|--------------|---------------|
| חוות החיות | 32° 41.31' | 35° 6.39' |
| יגור | 32° 45.55' | 35° 3.91' |
| לבניות | 32° 47.27' | 35° 3.10' |
| גשר ההסתדרות | 32° 47.86' | 35° 2.84' |
| אקליפטוס | 32° 48.50' | 35° 2.30' |
| גשר יוליוס סימון | 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 2022 מוצגים באיורים 1 ו-2 ובטבלה 2. פיזור הטמפרטורה האנכי מראה עמודת המים משוכבת עם הבדל של עד 3.23 מעלות צלזיוס ועד 32.32 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 הקרקעית 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). ערכי העכירות במים עולים עם עליה במעלה הנחל והעמקה בעמודת המים.

החמצן המומס במי השטח הגיע רק ל 53% מרוויה (4.49 מג"ל) במעלה הנחל (תחנת "יגור"), וריכוזו עלה ככל שמתקדמים לפתח הנמל. בשלוש התחנות הקרובות יותר לפתח הנמל ריכוז החמצן בפני השטח הגיע לעל-רוויה (143-170%, 10.27-13.12 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). בעומק עמודת המים בתחנת אקליפטוס הערכים נמצאו בטווח נזק ביולוגי (טבלה 3, 2.83 מג"ל המהווים כ 41% מריכוז החמצן מרוויה). 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 אאוטרופיקציה של אזורים אילו (ראה/י דיון למטה).

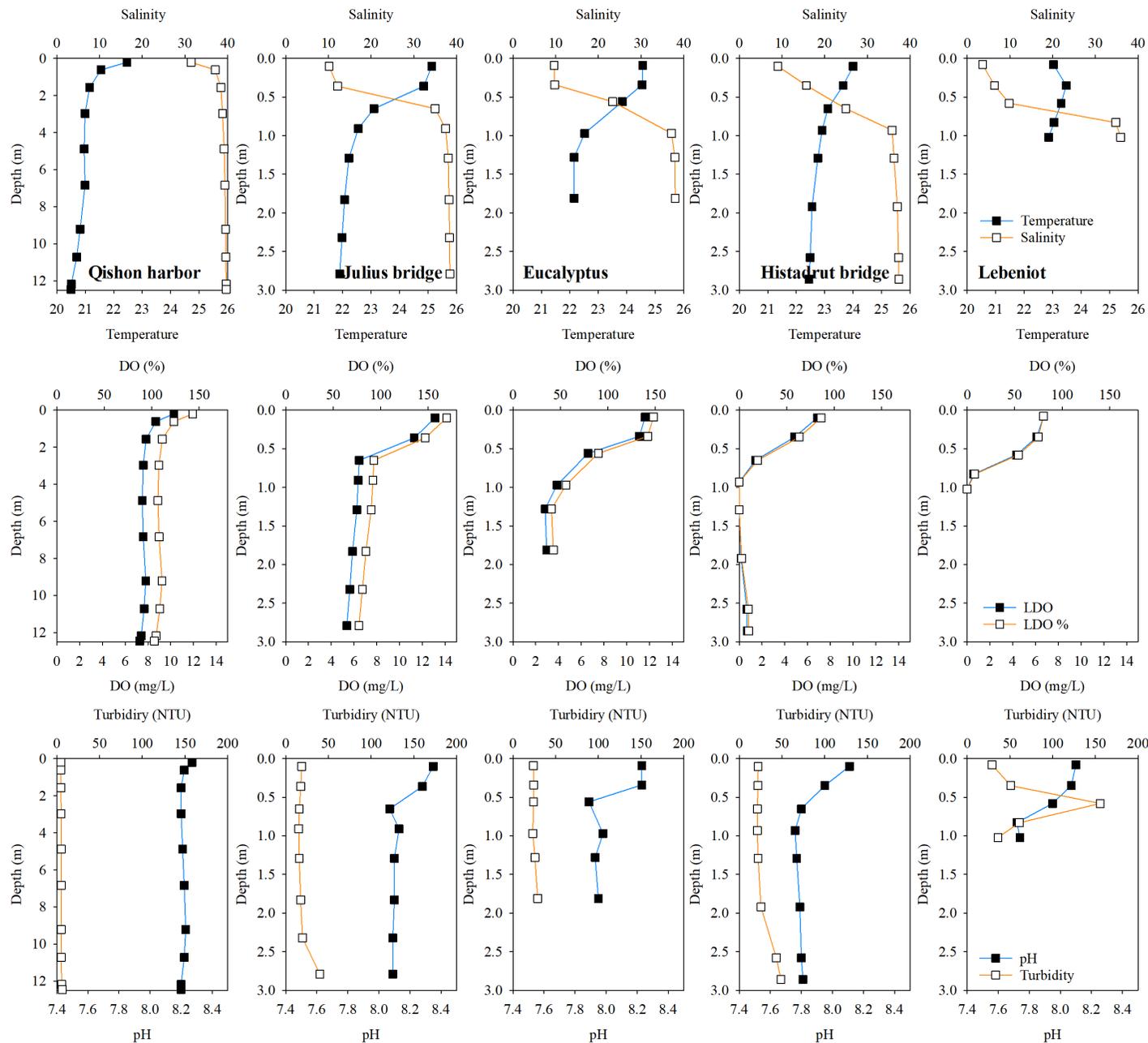


קו רחב (מעלות)

קו רחב (מעלות)

איור 1: פרופיל עומק של הטמפרטורה ($^{\circ}\text{C}$), מליחות (ppt), עכירות (NTU) וריכוז חמצן מומס (mg/L) כפי שנמדד בדיגום מאי 2022 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 2022 לאורך נחל הקישון המלוח.

| עכירות NTU | pH | חמצן מומס (mg/L) | מליחות | טמפרטורה (C°) | עומק דיגום (m) | תחנה |
|---------------|------|------------------------|--------|------------------|----------------------|---------|
| 4.6 | 8.27 | 10.27 | 31.42 | 22.46 | 0.21 | פתח נמל |
| 4.6 | 8.22 | 8.69 | 37.1 | 21.55 | 0.62 | |
| 4.9 | 8.2 | 7.84 | 38.4 | 21.15 | 1.57 | |
| 5 | 8.2 | 7.59 | 38.82 | 20.99 | 2.97 | |
| 5.2 | 8.21 | 7.5 | 39.18 | 20.96 | 4.88 | |
| 5.1 | 8.22 | 7.58 | 39.38 | 20.99 | 6.84 | |
| 5.1 | 8.23 | 7.81 | 39.53 | 20.82 | 9.21 | |
| 5.1 | 8.22 | 7.66 | 39.59 | 20.7 | 10.72 | |
| 5.8 | 8.2 | 7.41 | 39.64 | 20.51 | 12.18 | |
| 6.4 | 8.2 | 7.28 | 39.66 | 20.5 | 12.45 | |
| 18.7 | 8.35 | 13.12 | 10.15 | 25.13 | 0.1 | יוליוס |
| 17.6 | 8.28 | 11.29 | 12.14 | 24.85 | 0.36 | |
| 15.9 | 8.07 | 6.46 | 35 | 23.1 | 0.65 | |
| 15.2 | 8.13 | 6.37 | 37.46 | 22.55 | 0.91 | |
| 15.8 | 8.1 | 6.25 | 38.07 | 22.22 | 1.29 | |
| 17.5 | 8.1 | 5.87 | 38.26 | 22.07 | 1.83 | |
| 19.6 | 8.09 | 5.63 | 38.35 | 21.98 | 2.32 | |
| 40 | 8.09 | 5.37 | 38.44 | 21.9 | 2.79 | |
| 24 | 8.23 | 11.61 | 9.64 | 24.56 | 0.09 | |
| 24.4 | 8.23 | 11.11 | 9.77 | 24.54 | 0.34 | |
| 24.1 | 7.89 | 6.6 | 23.37 | 23.84 | 0.56 | |
| 23.3 | 7.98 | 3.88 | 37.14 | 22.52 | 0.97 | |
| 25.7 | 7.93 | 2.83 | 37.93 | 22.15 | 1.28 | |
| 29 | 7.95 | 2.96 | 38.01 | 22.15 | 1.81 | |
| 22.1 | 8.11 | 6.85 | 9.01 | 24 | 0.1 | הסתדרות |
| 21.9 | 7.95 | 4.86 | 15.72 | 23.65 | 0.35 | |
| 21.2 | 7.8 | 1.43 | 24.97 | 23.11 | 0.65 | |
| 21.1 | 7.76 | 0 | 35.82 | 22.91 | 0.93 | |
| 22 | 7.77 | 0 | 36.24 | 22.76 | 1.29 | |
| 25.4 | 7.79 | 0.17 | 37.03 | 22.56 | 1.92 | |
| 43.4 | 7.8 | 0.66 | 37.32 | 22.49 | 2.58 | |
| 48.7 | 7.81 | 0.69 | 37.37 | 22.45 | 2.86 | |
| 29.1 | 8.1 | 6.7 | 3.62 | 23.03 | 0.08 | לבניות |
| 51 | 8.07 | 6.1 | 6.4 | 23.48 | 0.35 | |
| 155.8 | 7.95 | 4.32 | 9.86 | 23.3 | 0.58 | |

| | | | | | | |
|-------|------|------|-------|-------|------|------------|
| 61.1 | 7.72 | 0.55 | 34.81 | 23.05 | 0.83 | |
| 36.1 | 7.74 | 0 | 35.94 | 22.86 | 1.02 | |
| 108.5 | 7.88 | 4.49 | 2.15 | 22.49 | 0.1 | יגור |
| 139.9 | 7.82 | 5.78 | 2.41 | 22.44 | 0.1 | חוות החיות |

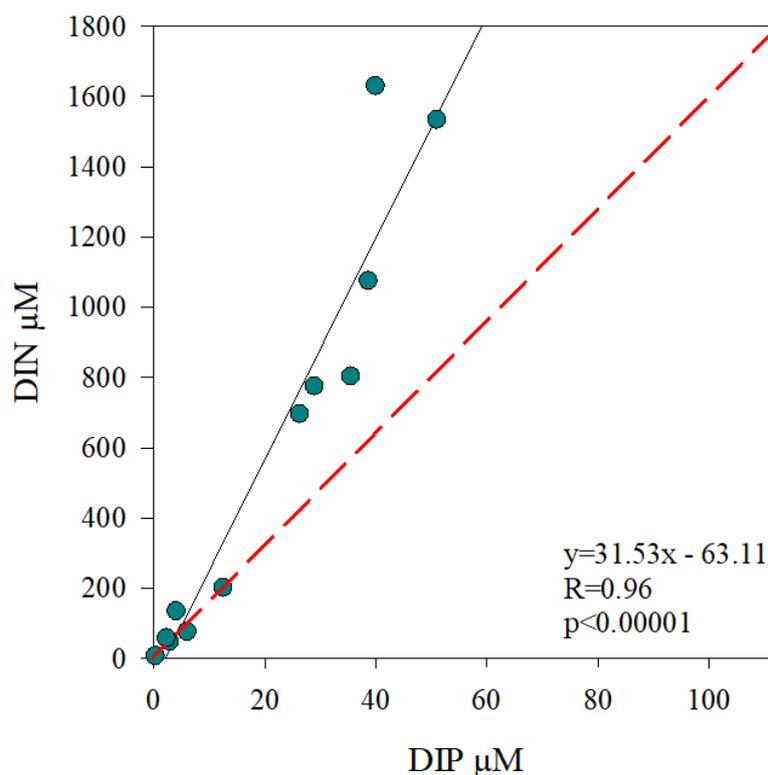
טבלה 3: קריטריונים של מנהל האוקיינוסים והאטמוספירה של ארה"ב לאיכות המים בשפכי נחלים (National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 1997)

| פרמטר | יחידת מדידה | נמוך | בינוני | גבוה |
|---|-------------|---|-----------|------|
| חמצן מומס (DO) | mg/L | אנוקסיה= 0, הפוקסיה= 2-0, נזק ביולוגי 2-5 | | |
| חנקן אנאורגני (NO ₂ +NO ₃) | mg/L | <0.1 | 0.1- 1 | >1 |
| זרחן אנאורגני (PO ₄) | 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 המלוח נמצאו ריכוזים גבוהים של ריכוזי חנקות וזרחות הן במי השטח והן במי העומק, דבר המצביע על רמת זיהום (איאטרופיקציה) 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 אקווטיות נחשב (Redfield, 1933) 16: 1. היחס הנ"ל באסטואר הקישון עמד על 31.5 (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 2022.

| תחנה | עומק דיגום | NO ₂ +NO ₃ +NH ₄ -N [mg/L] | PO ₄ -P [mg/L] | Si(OH) ₄ -Si [mg/L] |
|------------|------------|--|------------------------------|-----------------------------------|
| פתח נמל | פני שטח | 1.90 | 0.12 | 1.48 |
| | קרקעית | 0.11 | 0.01 | 0.14 |
| יוליוס | פני שטח | 9.77 | 0.81 | 6.64 |
| | קרקעית | 0.83 | 0.07 | 0.72 |
| אקליפטוס | פני שטח | 10.87 | 0.89 | 5.74 |
| | קרקעית | 0.69 | 0.09 | 0.66 |
| הסתדרות | פני שטח | 11.27 | 1.10 | 5.91 |
| | קרקעית | 1.08 | 0.18 | 1.01 |
| לבניות | פני שטח | 15.08 | 1.19 | 7.42 |
| | קרקעית | 2.83 | 0.38 | 2.22 |
| יגור | פני שטח | 21.50 | 1.58 | 8.69 |
| חוות החיות | פני שטח | 22.85 | 1.24 | 8.15 |



איור 3: ריכוז זרחן אנאורגני מומס כתלות בריכוז חנקן אנאורגני מומס במי הקישון המלוח במאי 2022. שיפוע משוואת הקו מגמה הינו 31.53. מקדם המתאם של קורלציית פירסון הינו 0.96 ($p<0.00001$). 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.

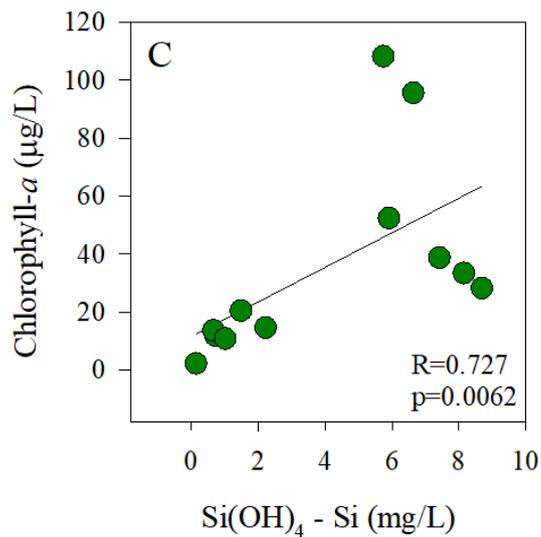
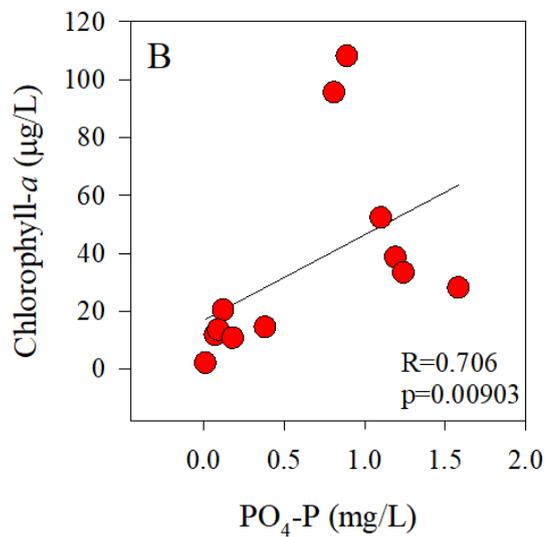
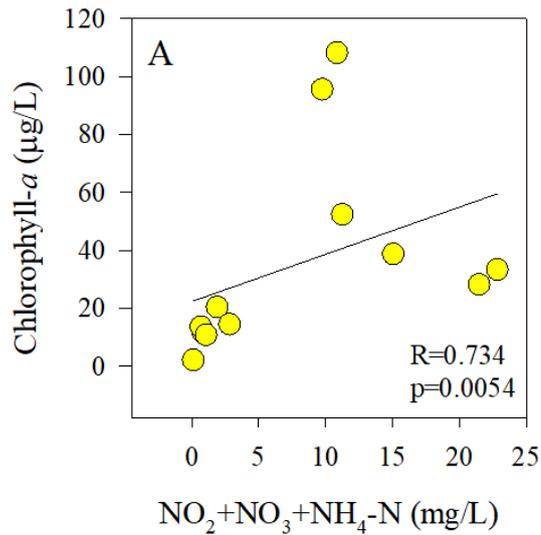
3.2 פרמטרים ביולוגים בעמודת המים

ערכי כלורופיל *a* בדיגום אביב 2022 נעו בין 2.1-108.2 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 וזרחות (טבלה 4, איור 4). ציאנובקטריה נעו בין 0.11×10^8 תאים בליטר (בתחנת פתח הנמל סמוך לקרקעית) ל- 9.25×10^8 תאים לליטר (תחנת "האקליפטוס", פני השטח) (טבלה 5). ריכוז אצות אאוקריוטיות היה גבוה גם כן (3.77-0.04 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 ($R=0.958$ $p<0.00001$) והפיקו-פיטופלנקטון ($R=0.888$ $p<0.00001$) לאורך הנחל (קורלציית ספירמן).

לעומת המיקרואורגניזמים האוטוטרופים (יצרנים ראשוניים, ציאנובקטריה ופיקו-פיטופלנקטון), שכיחות החיידקים הטרוטרופים הייתה גבוהה פי 100-10 מאשר הפיקו-פיטופלנקטון (4.4×10^8 - 64.1×10^8 תאים בליטר) עם מספר תאים גבוה עד פי 5.8 בפני השטח ביחס לקרבת הקרקעית בכל התחנות (טבלה 5). נמצא מתאם משמעותי בין ריכוז חיידקים לריכוזי הנוטריינטים השונים (קורלציית ספירמן $p<0.00001$). 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-אאוקריוטים וחיידקים הטרוטרופים במעלה נחל הקישון במאי 2022.

| Heterotrophic bacteria (cells L ⁻¹ x10 ⁸) | Pico-eukaryotes (cells L ⁻¹ x10 ⁸) | Autotrophic cyanobacteria (cells L ⁻¹ x10 ⁸) | Chlorophyll- <i>a</i> (µg L ⁻¹) | עומק דיגום | תחנה |
|---|--|--|--|------------|------------|
| 25.5 | 0.40 | 2.72 | 20.4 | פני שטח | פתח נמל |
| 4.4 | 0.04 | 0.11 | 2.1 | קרקעית | |
| 55.0 | 2.36 | 7.20 | 95.6 | פני שטח | יוליוס |
| 12.5 | 0.56 | 0.20 | 11.8 | קרקעית | |
| 32.2 | 3.77 | 9.25 | 108.2 | פני שטח | אקליפטוס |
| 16.3 | 0.30 | 0.14 | 13.6 | קרקעית | |
| 44.9 | 1.56 | 7.90 | 52.4 | פני שטח | הסתדרות |
| 13.8 | 0.54 | 0.25 | 10.8 | קרקעית | |
| 52.7 | 1.00 | 5.39 | 38.7 | פני שטח | לבניות |
| 32.1 | 0.83 | 0.39 | 14.5 | קרקעית | |
| 64.1 | 0.68 | 5.36 | 28.2 | פני שטח | יגור |
| 62.3 | 0.75 | 5.31 | 33.4 | פני שטח | חוות החיות |



איור 4: ריכוז כלורופיל כתלות בריכוז ניטראט + ניטריט + אמוניה (A), זרחן (B) וסיליקה (C) לאורך נחל הקישון המלוח במאי 2022, עם קווי המגמה ומקדמי המתאם של קורלציית ספירמן. המספרים הגולמיים לפיהם נוצר הגרף מוצגים בטבלאות 4 ו-5.

ערכי היצרנות הראשונית היממית נעו בין 1060.0-13.5 מיקרוגרם פחמן לליטר ליממה (טבלה 6) והיו דומים לערכי היצרנות בדיגום סתיו 2021. ערכי היצרנות הראשונית היו גבוהים מערכי הרקע של חוף הים התיכון הנמדדים דרך קבע על ידי חיא"ל כחלק מתוכנית הניטור הלאומית (Herut et al., 2016) וממי החוף (Raveh et al., 2015; Rahav et al., 2016) כבעבר. היצרנות הראשונית הנמוכה ביותר נמדדה במי העומק בכל תחנות המדידה בגלל התלות של התהליך באור ועליה בעכירות במי העומק שמונעת מחלק מהאור לחדור בעמודת המים. ערכים גבוהים (פי 4-78) 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.

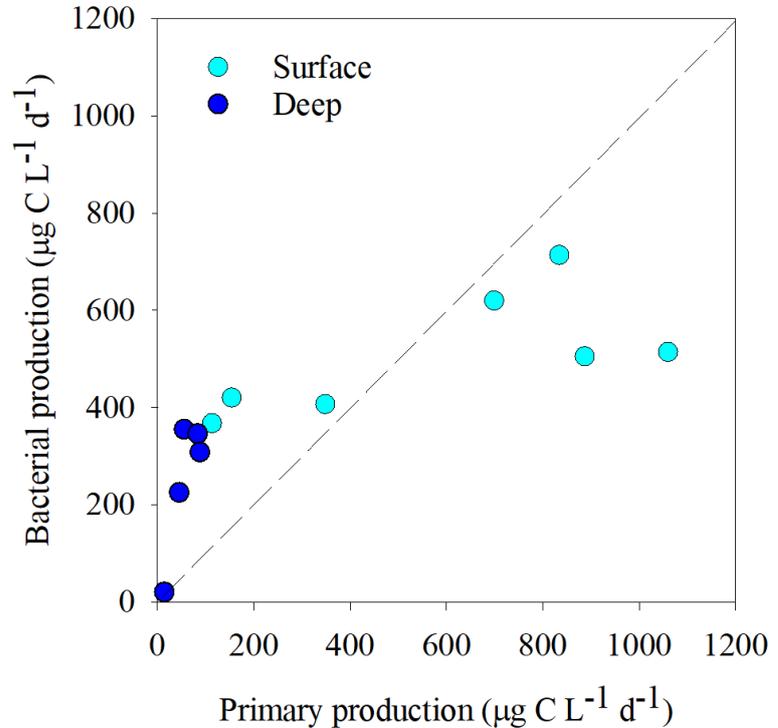
ערכי היצרנות החיידקית היממית נעו בין 19.6-713.6 מיקרוגרם פחמן לליטר ליממה (טבלה 6) והיו מעט גבוהים מערכי היצרנות בדיגום סתיו 2021 (פי 1-9). קיים מתאם חיובי משמעותי בין מספר התאים של החיידקים ההטרוטרופים ליצרנות החיידקית שנמדדה לאורך האסטואר המלוח (קורלציית ספירמן, $R = 0.758, p = 0.0087$).

עיקר הפעילות המטאבולית בפני השטח בתחנות הקרובות לים (מפתח הנמל ועד גשר ההסתדרות) 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 2). במי העומק של כל התחנות הפעילות החיידקית הייתה משמעותית גבוהה מפוטוסינתזה והגיעה לעד פי 6.4 (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.

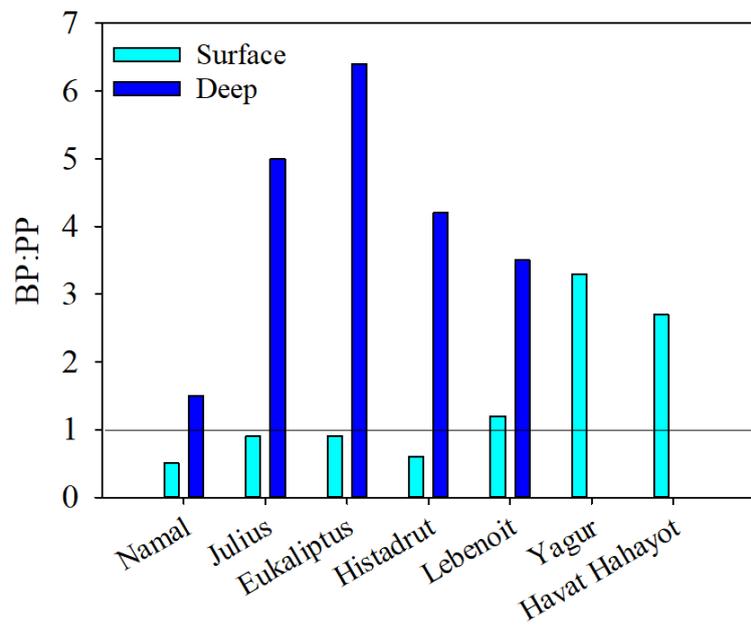
מבחינת מתאם בין ערכי יצרנות ראשונית (PP), יצרנות חיידקית (BP), והיחס ביניהם (BP:PP) לבין ריכוזי הנוטריאנטים מובאים באיור 7. ניתן לראות קשר לינארי חיובי ומשמעותי סטטיסטית בין ריכוז הנוטריאנטים לבין קצב הפעילות של המערכת ההטרוטרופית והאוטוטרופית (איור 7 A-F). כמו כן, ככל שריכוז הנוטריאנטים (חנקות, זרחות 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 האוטוטרופים וההטרוטרופים ובכך משנים את המאזן בין השניים.

טבלה 6: קצב היצרנות הראשונית (Primary production) והחיידקית (Bacterial production) היממתית בנחל הקישון המלוח במאי 2022. 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).

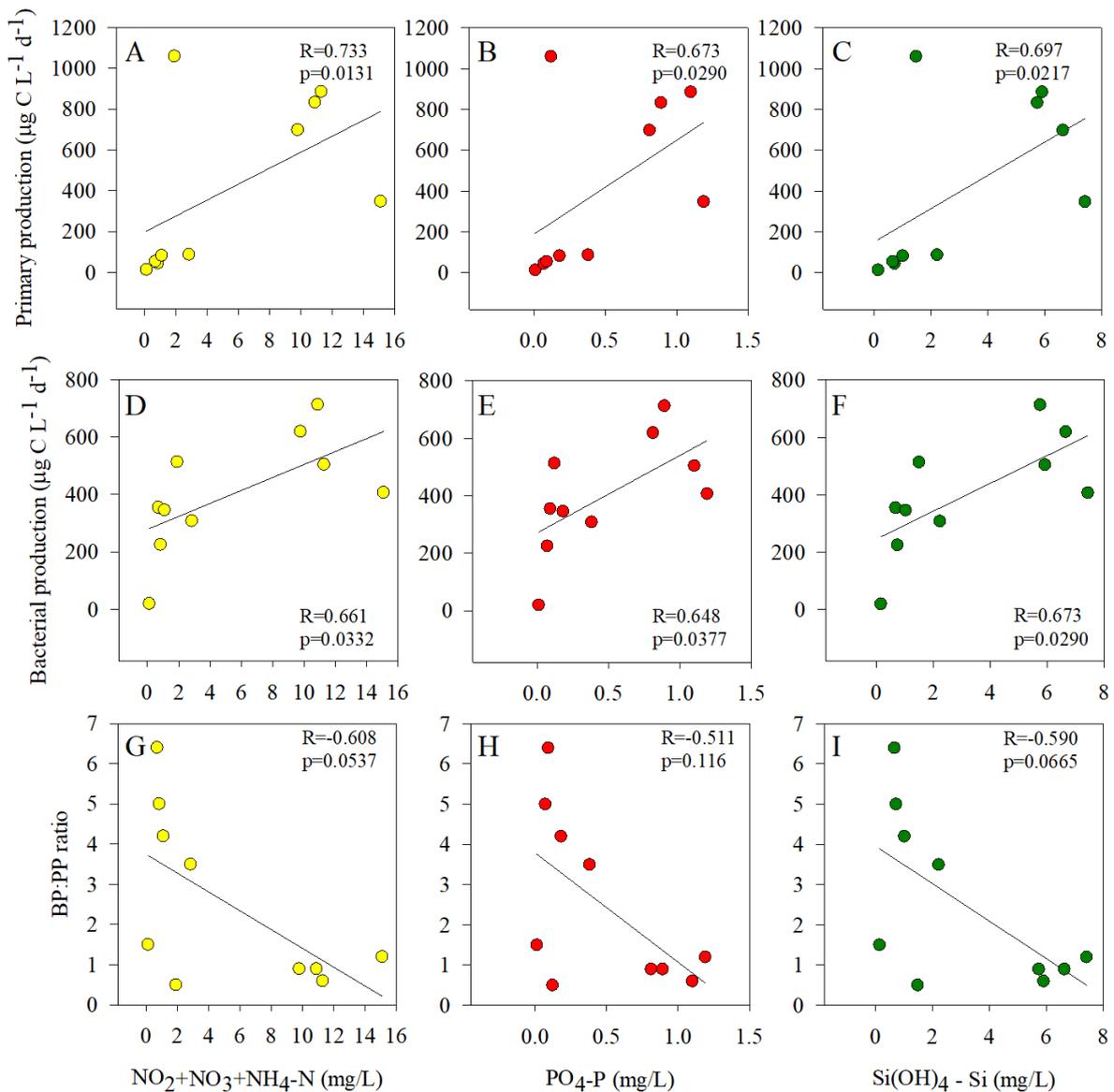
| BP/PP ratio | Primary production ($\mu\text{g C L}^{-1} \text{d}^{-1}$) | Bacterial production ($\mu\text{g C L}^{-1} \text{d}^{-1}$) | עומק דיגום | תחנה |
|-------------|---|---|------------|------------|
| 0.5 | 1060.0±61.3 | 513.9±42.4 | פני שטח | פתח נמל |
| 1.5 | 13.5±7.7 | 19.6±1.5 | קרקעית | |
| 0.9 | 698.9±65.3 | 619.8±31.3 | פני שטח | יוליוס |
| 5.0 | 45.1±3.0 | 225.3±14.4 | קרקעית | |
| 0.9 | 834.0±76.3 | 713.6±19.1 | פני שטח | אקליפטוס |
| 6.4 | 55.0±9.1 | 354.7±25.4 | קרקעית | |
| 0.6 | 886.8±28.4 | 505.0±53.2 | פני שטח | הסתדרות |
| 4.2 | 83.2±9.4 | 346.0±39.5 | קרקעית | |
| 1.2 | 348.2±20.8 | 406.7±34.4 | פני שטח | לבניות |
| 3.5 | 88.0±3.5 | 308.0±21.9 | קרקעית | |
| 3.3 | 113.0±54.1 | 367.4±25.1 | פני שטח | יגור |
| 2.7 | 153.6±29.0 | 420.1±74.8 | פני שטח | חוות החיות |



איור 5: היחס בין יצרנות ראשונית (פוטוסינתזה) ליצרנות חיידקית (קיבוע פחמן הטרוטרופי) במימי הקישון המלוח במאי 2022. 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 2022. הקו מהווה יחס של 1:1 בין המשתנים. כאשר היחס זה גדול מ-1 המערכת ינשלטת על ידי יצרנות הטרוטרופית.



איור 7: הקשרים הליניאריים 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 2022. עם קווי המגמה ומקדמי המתאם של קורלציה ספירמן.

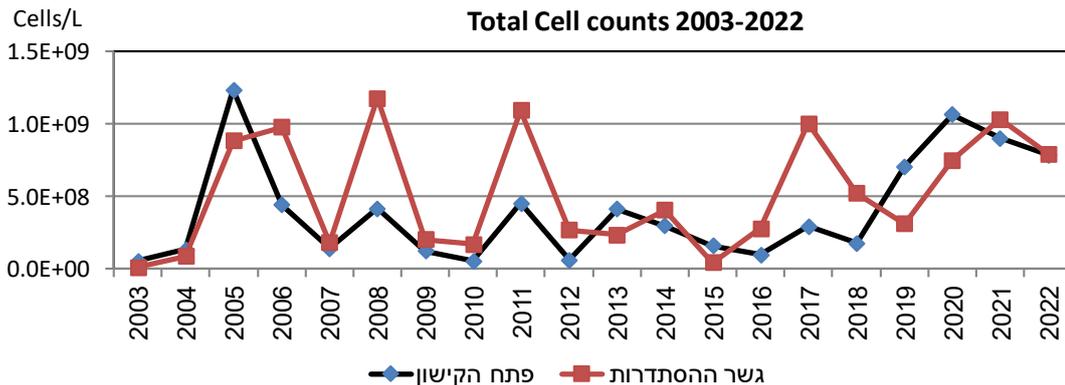
במקביל לספירות האצות עם Flow-cytometer, מיני מיקרו-פיטופלנקטון נספרו וזוהו גם בכלים טקסונומיים (מיקרוסקופיה אפילורוסנטית) במי השטח של שתי תחנות: תחנת פתח הקישון במורד הנחל, ותחנת גשר ההסתדרות במעלה הנחל. שיטה זו מאפשרת מעקב אחר מינים ספציפיים, כולל מינים בעלי פוטנציאל לרעילות. כמו כן, השוואות רב שנתיות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

ריכוז תאי מיקרו-פיטופלנקטון

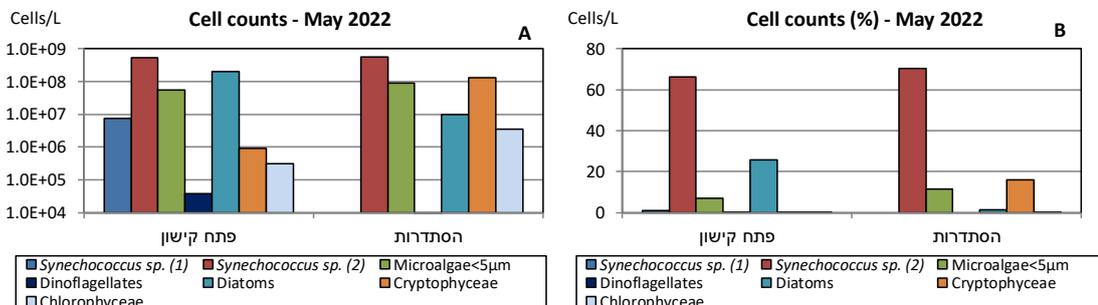
ריכוז התאים הכללי בפתח הקישון ובגשר ההסתדרות ירד בשנתיים האחרונות (ביחס לסתיו 2020) בשתי התחנות (איור 8). למרות הירידה, ריכוז התאים בשתי התחנות היה גבוה מהממוצע הרב שנתי של כל תחנה. הבקטריה הכחולית מהמין *Synechococcus sp.*(2) הייתה דומיננטית מבחינה מספרית בשתי התחנות (איור 9). בפתח הקישון הן היוו 66% מריכוז התאים הכללי ובגשר ההסתדרות 71%. בנוסף, האצות הצורניות היוו 26% ממספר התאים הכללי בפתח הקישון, והפלגלטים מקבוצת ה- *Cryptophyceae*, היוו 16% מריכוז התאים הכללי בגשר ההסתדרות (איור 9).

ביומסה וריכוז כלורופיל

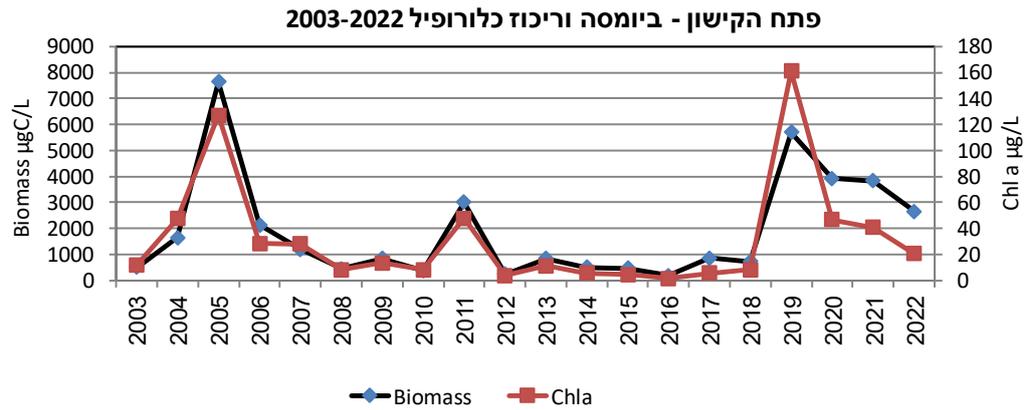
הביומסה וריכוז הכלורופיל ירדו ביחס לסתיו של השנה הקודמת (איורים 10-11) בהתאמה לירידה במספר התאים הכללי בשתי התחנות. בפתח הקישון פריחת אצות צורניות הותירה את הביומסה גבוהה מהממוצע הרב שנתי לתחנה זו (איור 12A) שהיוו 57% מהביומסה הכללית (איור 12B). בפתח הקישון פלגלטים מקבוצת ה- *Cryptophyceae* (איור 12A) שהיוו 73% מהביומסה הכללית (איור 12B) הותירו את הביומסה מעל הממוצע הרב שנתי גם כן.



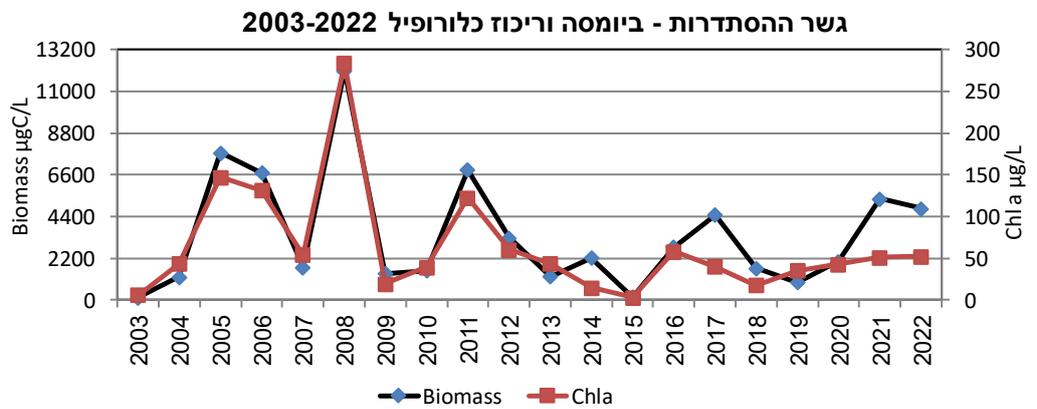
איור 8 : ריכוז תאי מיקרופלנקטון כללי באביב 2003-2022



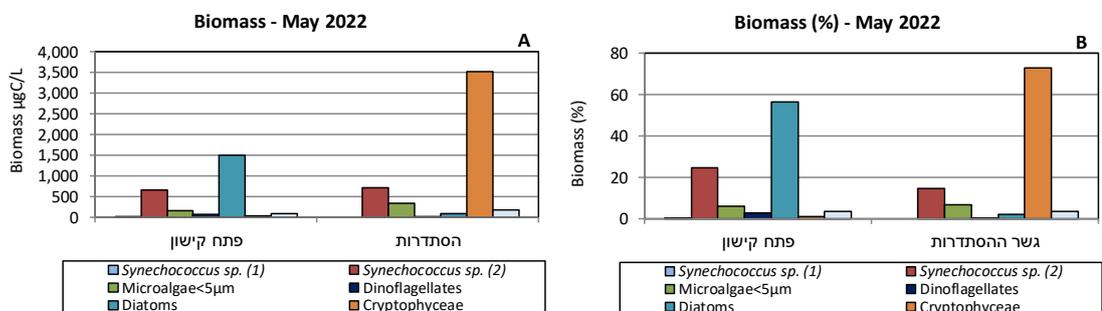
איור 9 : ריכוז תאים בקבוצות המיקרופלנקטון (A) וריכוזם היחסי באחוזים (B) באביב 2022



איור 10 : ביומסה וריכוז כלורופיל בפתח הקישון באביב 2003-2022



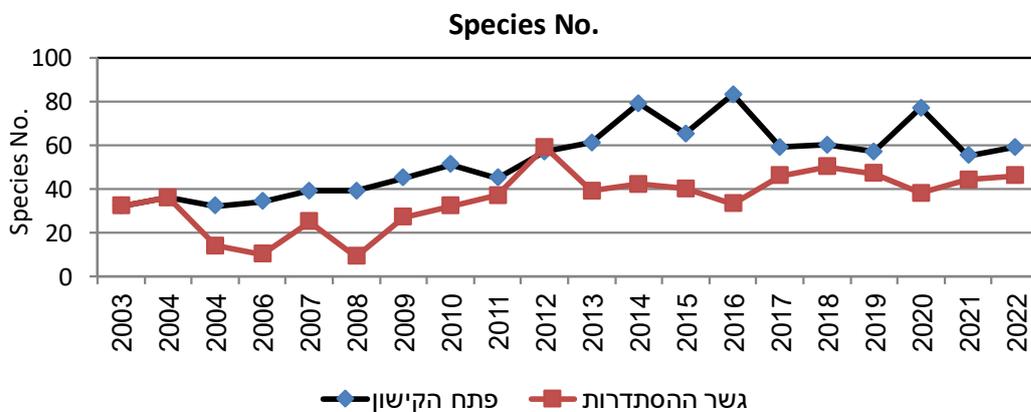
איור 11 : ביומסה וריכוז כלורופיל בגשר ההסתדרות באביב 2003-2022



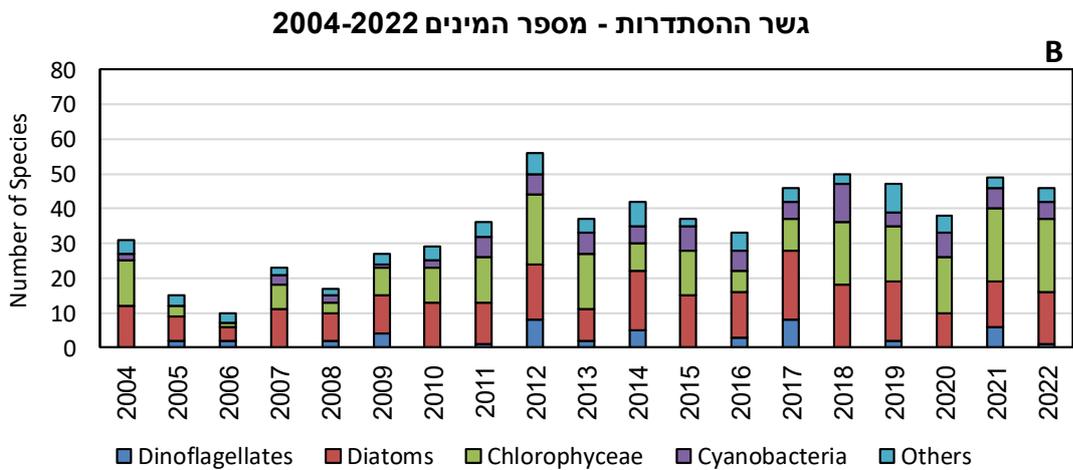
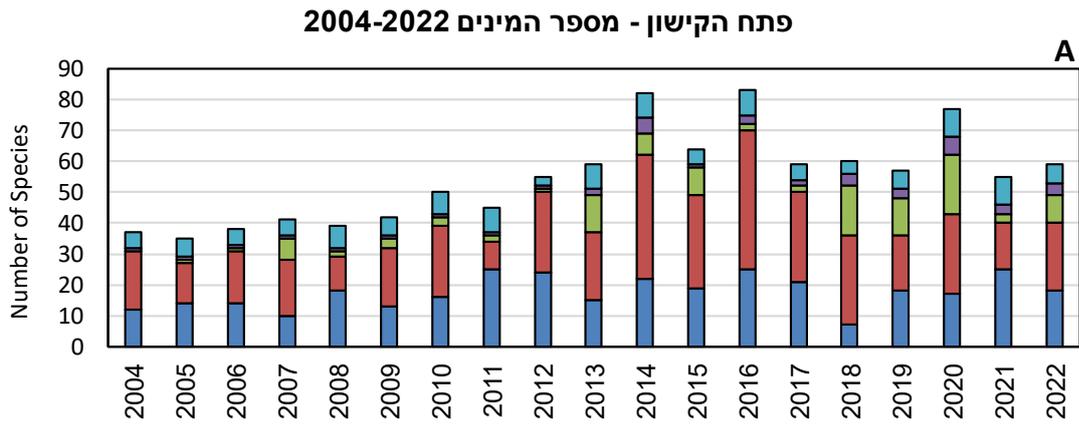
איור 12 : ביומסה של קבוצות המיקרופלנקטון (A) וביומסה יחסית באחוזים (B) באביב 2022

מגוון המינים ואינדקס מגוון המינים (Diversity Index)

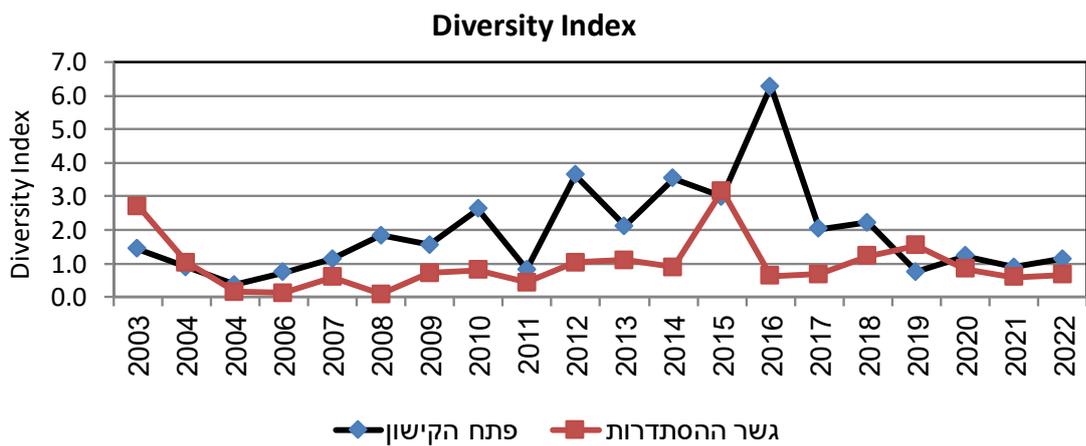
מספר המינים עלה במעט יחסית לשנה קודמת והיה גבוה ביחס לממוצע הרב שנתי (איור 13) בפתח הקישון. העלייה במספר המינים נבעה מעלייה במגוון מיני האצות הצורניות והאצות הירוקיות (איור 14A). בגשר ההסתדרות מספר המינים נותר דומה לשנה קודמת בהרכב המינים שונה מפתח הקישון (טבלה 1, איור 14B), עם מספר מינים גבוה של אצות ירוקיות ובקטריות כחוליות, האופייניות יותר למים בעלי מליחות נמוכה. אינדקס מגוון המינים (חושב לפי Menhinick's index - מסי המינים / שורש ריבועי של הבינומסה, במקום ריכוז תאים), נותר דומה לשנה קודמת בשתי התחנות, (איור 15) ונמצא נמוך יחסית לממוצע הרב שנתי.



איור 13 : מספר מינים בפתח הקישון ובגשר ההסתדרות באביב 2003-2022



איור 14 : התפלגות מספר מינים בפתח הקישון (A) ובגשר ההסתדרות (B) באביב 2004-2022

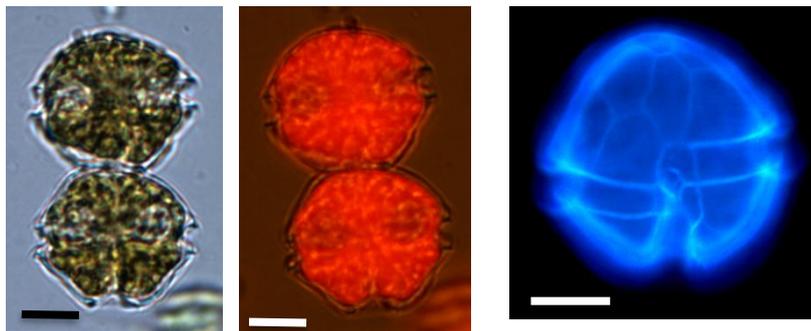


איור 15 : אינדקס מגוון המינים (Diversity Index) באביב 2003-2022

הרכב מיני מיקרופלנקטון

בפתח הקישון פרחו הבקטריות הכחוליות מהמין (2) *Synechococcus sp.* לצד אצות צורניות. בפרט, פרח הצורנית מהמין *Thalassiosira pseudonana*, השכיחה בפתח הקישון. בדומה לשנה קודמת היא הרכיבה כמעט מאה אחוז מביומסת האצות הצורניות ולמעלה ממחצית הביומסה הכללית. בקטריות כחוליות מהמין (2) *Synechococcus sp.* היוו 25% מהביומסה הכללית. דינופלגטים קטנים מ- $15\mu\text{m}$ היו השכיחים ביותר מבין כלל הדינופלגטים (טבלה 1) בפרט, ריכוז גבוה של דינופלגלט מהמין *Polykrikos kofoidi*. דינופלגלט זה גדול יחסית והוא היווה כ-80% מביומסת הדינופלגטים. הוא הטרוטרופ וניזון מתאי מיקרופלנקטון אחרים כולל דינופלגטים אחרים כדוגמת *Alexandrium cf. catenella* (דינופלגלט בעל פוטנציאל טוקסי, תמונה 1) ודינופלגלט מהמין *Scrippsiella sp.* (שניהם נצפו בתוך תאי הדינופלגלט *Polykrikos kofoidi*). לראשונה, הריסנית הפוטוטרופית *Mesodinium rubrum* הופיעה בריכוז גבוה יחסית. ריסנית זו מסוגלת ליצור פריחות, מכילה בתוכה כלורופלסטים של Cryptomonads וניזונה מטריפה של פלגטים אלה. בהתאמה, הופיע ריכוז גבוה יחסית של פלגטים מקבוצת ה- *Cryptophyceae*. בנוסף, הפלגלט *Eutreptia sp.* מקבוצת ה- *Euglenoideae* גם הופיע בריכוז גבוה יחסית. מינים מקבוצה זו מאפיינים בד"כ מים פחות מליחים וחלקם בעלי סבילות לטווח מליחיות רחב (טבלה 7).

מיני אצות צורניות הופיעו בריכוז גבוה יחסית, אך הן היוו רק 2% מהביומסה בגשר ההסתדרות. המינים השכיחים היו *Thalassiosira pseudonana*, *Cyclotella sp.* ומיני *Navicula spp.* דינופלגטים שהם בעיקרם מינים ימיים כמעט נעדרו (טבלה 7). כמו כן פרחו בגשר ההסתדרות מיני פלגטים מקבוצת ה- *Cryptophyceae*: מיני *Cryptomonads* ו- *Hemiselmis sp.* השכיח בתחנה זו גם בדיגומים קודמים. פלגטים אלה היוו 73% מהביומסה הכללית. בנוסף פרחו בתחנה זו בקטריות כחוליות מהמין (2) *Synechococcus sp.* שהיוו 15% מהביומסה הכללית.



דינופלגלט *Alexandrium cf. catenella* (Scale bar = $10\mu\text{m}$).

טבלה 7: ריכוז מיקרופלנקטון (תאים/לליטר) בקישון – מאי 2022

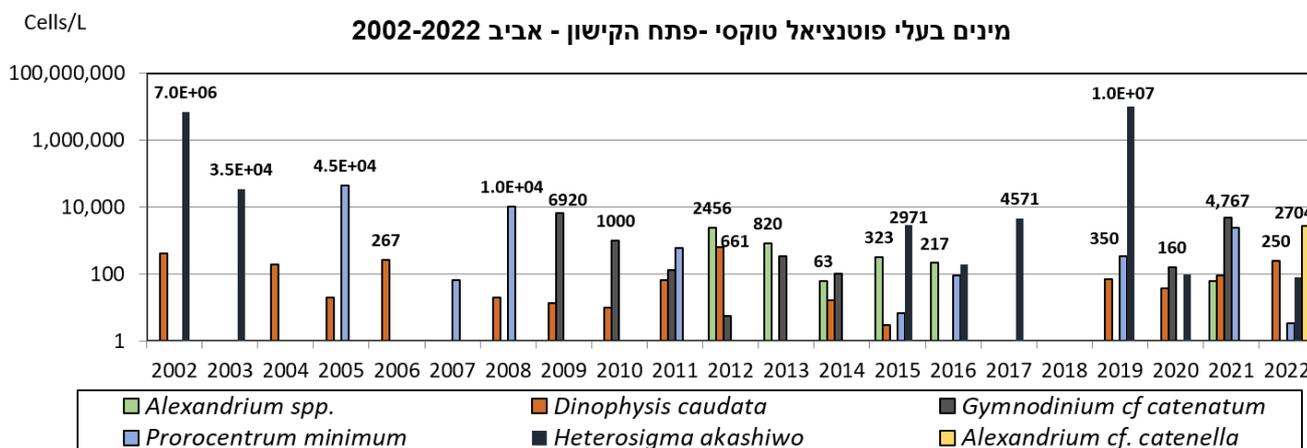
| גשר ההסתדרות | פתח קישון | גשר ההסתדרות | פתח קישון |
|---|-----------|---|----------------|
| Dinoflagellates | | Chlorophyceae | |
| <i>Alexandrium cf. catenella</i> | 2.7E+03 | <i>Actinastrum hantzschii</i> | 1.5E+04 |
| <i>Ceratium furca</i> | 10 | <i>Closteropsis acicularis</i> | 317 |
| <i>Dinophysis caudata</i> | 250 | <i>Coelastrum microporum</i> | 2.1E+04 |
| <i>Dinophysis rotundata</i> | 7 | <i>Crucigenia tetrapedia</i> | 313 |
| <i>Gonyaulax spinifera</i> | 300 | <i>Crucigeniella rectangularis</i> | 800 |
| <i>Gonyaulax</i> spp. | 300 | Flagellates spp. | 3.0E+05 |
| <i>Gymnodinium elongatum</i> | 7 | <i>Micractinium pusillum</i> | 733 |
| <i>Oxyphysis oxytoxoides</i> | 7 | <i>Monoraphidium arcuatum</i> | 1.2E+03 |
| <i>Peridinium</i> sp. (585A) | | <i>Monoraphidium griffithii</i> | 7 |
| <i>Polykrikos kofoidii</i> | 4.4E+03 | <i>Monoraphidium irregulare</i> | 300 |
| <i>Pronoctiluca spinifera</i> | 67 | <i>Monoraphidium minutum</i> | 560 |
| <i>Prorocentrum micans</i> | 170 | <i>Oocystis</i> spp. | 6.3E+03 |
| <i>Prorocentrum minimum</i> | 3 | <i>Pediastrum duplex var clathratus</i> | |
| <i>Prorocentrum triestinum</i> | 160 | <i>Pseudoditymocystis planctonica</i> | |
| <i>Protoperidinium</i> spp. | 67 | <i>Quadrigula</i> sp. | 480 |
| <i>Scrippsiella</i> sp. (329k) | 427 | <i>Scenedesmus acuminatus</i> | 7.4E+03 |
| <i>Scrippsiella spinifera</i> | 40 | <i>Scenedesmus basiliensis</i> | |
| <i>Scrippsiella</i> spp. | 2.1E+03 | <i>Scenedesmus ellipticus</i> | 700 |
| Unidentified dinoflagellates < 15µm | 2.7E+04 | <i>Scenedesmus intermedius</i> | 6.4E+03 |
| | | <i>Scenedesmus opoliensis</i> | 3.1E+04 |
| Diatoms | | <i>Scenedesmus quadricauda</i> | 1.6E+03 |
| <i>Amphora</i> sp. | 80 | <i>Scenedesmus tibiscensis</i> | 1.2E+03 |
| <i>Bacillaria paxillifera</i> | | <i>Stauridium tetras</i> | 33 |
| <i>Chaetoceros</i> spp. | 4.9E+05 | | 20 |
| <i>Chaetoceros curvisetus</i> | 313 | Cyanobacteria | |
| <i>Chaetoceros diadema</i> | 640 | <i>Chroococcus</i> spp. | 196 |
| <i>Coscinodiscus</i> sp. | 3 | <i>Microcystis aeruginosa</i> | 4.5E+04 |
| <i>Cyclotella</i> spp. | 33 | <i>Spirulina platensis</i> | 2.6E+04 |
| <i>Cylindrotheca closterium</i> | 80 | <i>Synechococcus</i> sp. (1) | 7.6E+06 |
| <i>Dactyliosolen fragillissimus</i> | 280 | <i>Synechococcus</i> sp. (2) | 5.2E+08 |
| <i>Entomoneis gigantea</i> | | | 7 |
| <i>Entomoneis paludosa</i> | 13 | Raphidophyceae | 157 |
| <i>Extubocellulus</i> sp. | 2.0E+03 | <i>Heterosigma akashiwo</i> | 80 |
| <i>Leptocylindrus danicus</i> | 4.9E+03 | | |
| <i>Melosira moniliformis</i> | 47 | Euglenophyceae | 800 |
| <i>Navicula</i> sp. (1949) | 73 | <i>Eutreptia</i> sp. | 4.6E+04 |
| <i>Navicula</i> sp. (588k) | | <i>Phacus acuminatus</i> | 500 |
| <i>Navicula</i> spp. | 1.1E+06 | <i>Phacus longicauda</i> | 1.1E+06 |
| <i>Nitzschia lorenziana</i> | 3 | <i>Phacus pyrum</i> | 7 |
| <i>Nitzschia sicula</i> var. <i>bicuneata</i> | 40 | | 7 |
| <i>Nitzschia</i> sp. (1045A) | | Prymnesiophyceae | 200 |
| <i>Nitzschia</i> sp. (351k) | | <i>Chrysochromulina</i> sp. | 113 |
| <i>Nitzschia</i> sp. (592A) | | | 33 |
| <i>Nitzschia</i> spp. | 240 | Ebriophyceae | |
| <i>Pleurosigma</i> sp. | 7 | <i>Ebria tripartita</i> | 13 |
| <i>Pseudonitzschia</i> spp. | 537 | | 7 |
| <i>Skeletonema costatum</i> | 2.0E+04 | Microalgae < 5µm | 5.5E+07 |
| <i>Thalassiosira pseudonana</i> | 2.0E+08 | | 9.1E+07 |
| <i>Thalassiosira</i> spp. | 1196 | Ciliates | |
| | | <i>Mesodinium rubrum</i> | 3.1E+05 |
| Cryptophyceae | | | |
| <i>Cryptomonads</i> spp. | 9.4E+05 | | |
| <i>Hemiselmis</i> sp. | | | 1.9E+06 |
| | | Total Cells/L | 7.9E+08 |
| | | | 7.9E+08 |

מינים בעלי פוטנציאל טוקסי

מספר קטן של מינים בעלי פוטנציאל טוקסי הופיעו בפתח הקישון (איור 16, טבלה 7). החשובים שבהם היי המין *Alexandrium cf. catenella* (תמונה 1), שהופיע לראשונה בריכוז גבוה יחסית לקבוצה זו (2.7×10^3 לליטר). חלק ממיני אלכסנדריום הם בעל פוטנציאל ליצירת נוירוטוקסינים מקבוצת Saxitoxin (STXs) ונגזרות שלו. הללו יכולים לגרום להרעלת PSP (Paralytic Shellfish Poisoning) שבמקרים קשים עלולה להוביל לשיתוק ולמוות. זוהי הופעה שנייה של מין בעל פוטנציאל טוקסי מקבוצה זו תוך שנתיים, בתחנת פתח הקישון. ביולי 2021 הופיע בתחנה זו המין *Alexandrium minutum* בריכוז גבוה בשני סדרי גודל.

חשוב לעקוב אחר התגברות הופעת מינים מקבוצה זו. בנוסף הופיע בפתח הקישון המין *Dinophysis caudata*, בריכוז בינוני יחסית לדיגומים קודמים בתחנה זו (איור 16). חשוב לציין שהופעה של מין בעל פוטנציאל טוקסי אינו מהווה אינדיקציה להימצאות טוקסינים במים. מינים בעלי פוטנציאל טוקסי עלולים

להוות סכנה לאדם ובעלי החיים וזה משתנה כתלות במין של יוצר הפריחה. ישנם כ- 200 סוגי טוקסינים ידועים. פריחות רעילות קורות במקרים רבים במים מועשרים בחנקות עם זמן שהות ארוך יחסית, בדומה לתנאים ששוררים באסטואר ובנמל. מומלץ לבחון ריכוזי רעלנים בתנאים שונים במחקר ייעודי.



איור 16 : התפלגות מינים בעלי פוטנציאל טוקסי בפתח הקישון באביב 2002-2022

השוואה רב-שנתית – תחנות פתח הקישון וגשר ההסתדרות – זיגומי אביב 2003-2022

ריכוז תאים, ביומסה וריכוז כלורופיל

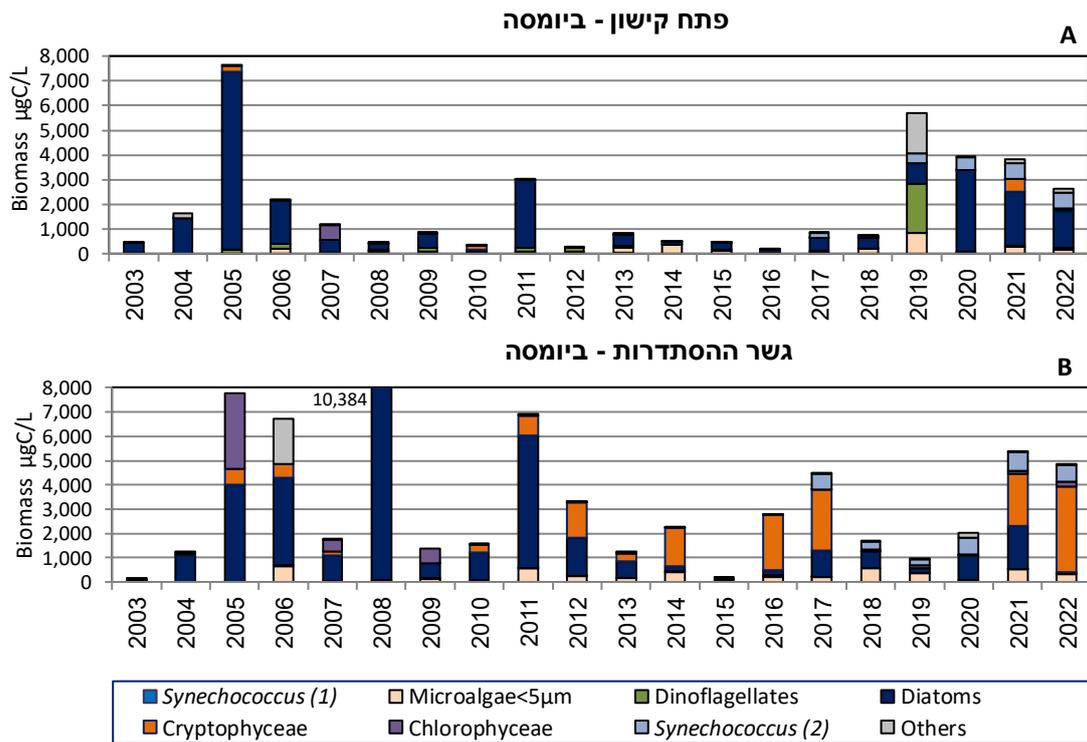
מתקיימת תנודתיות בריכוז התאים (איורים 8-9), בביומסה ובריכוז הכלורופיל (איורים 10-11) לאורך השנים בשתי התחנות עקב אירועי פריחה של אצות. בפתח הקישון אירועי פריחה נרשמו באביב 2005 ו-2011, בכל אירוע נמדד שיא בביומסה ובריכוז הכלורופיל. בשנים 2012-2018 הביומסה וריכוז הכלורופיל ירדו והתמתנו וממוצע הפרמטרים הללו היה נמוך מממוצע שנים קודמות. באביב 2019 שוב הופיעה פריחה וריכוז הכלורופיל הגיע לשיא חדש וכך גם הביומסה. בשנים האחרונות, 2020-2022 נמשכת ירידה הדרגתית בביומסה ובריכוז הכלורופיל, אולם באביב 2022 הביומסה בתחנה זו עדיין גבוהה מהממוצע הרב שנתי ואילו ריכוז הכלורופיל ($20\mu\text{g/L}$), נמוך מהממוצע הרב שנתי לתחנה זו.

פריחות גדולות של אצות הופיעו תדיר (איור 11) בגשר ההסתדרות לאורך השנים. קיימת קורלציה בין ריכוז הכלורופיל לביומסה במיוחד בין השנים 2003-2016. בשנים 2003-2011 התנודתיות הייתה גדולה במיוחד, וממוצע הביומסה וריכוז הכלורופיל בתחנה זו היו גבוהים מהממוצע הרב שנתי (ריכוז הכלורופיל היה בתחום ההיפר איאטרופי מעל $90\mu\text{g/L}$). החל מאביב 2012 ועד 2015 חלה ירידה בביומסה ובריכוז הכלורופיל. בשבע השנים האחרונות חלה התייצבות בריכוז הכלורופיל שעמד על רמה של $43\pm 13\mu\text{g}$. התנודתיות נמשכת בערכי הביומסה: באביב 2017, ואביב 2021-2022 חלה עלייה בביומסה וערכיה גבוהים מהממוצע הרב שנתי בשנים אלה (איור 11).

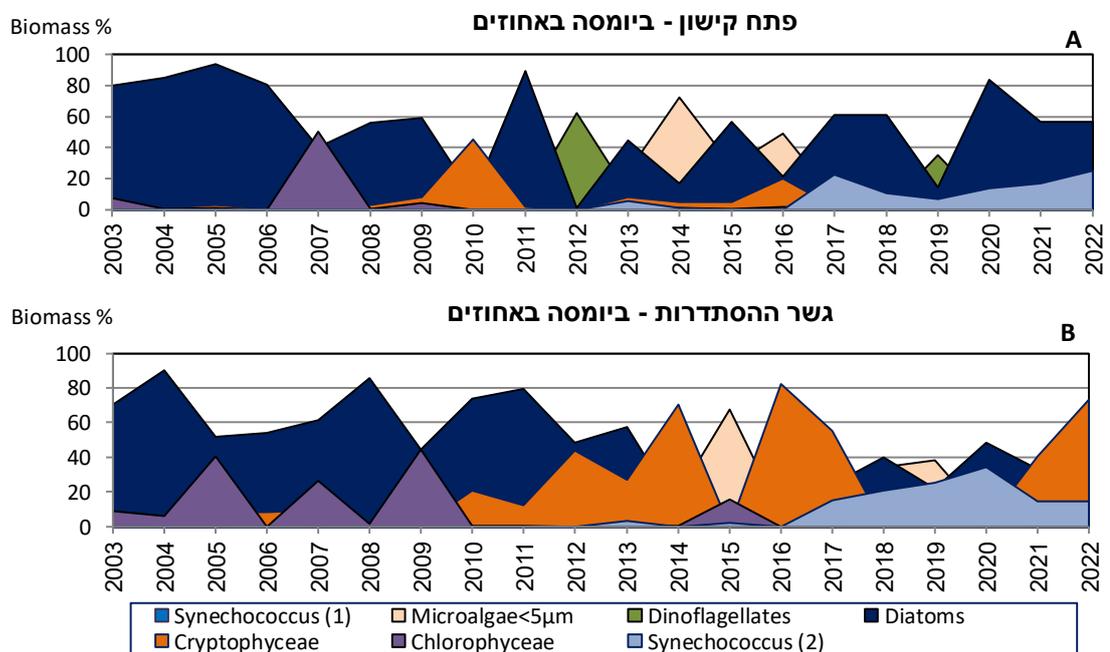
קבוצות מיקרופלנקטון שונות

בפתח הקישון הופיעו במגוון גדול יחסית מינים האופייניים למי ים (מיני דינופלגלטים ימיים ומיני צורניות ימיות) (טבלה 7, איור 14A). בגשר ההסתדרות הופיע מגוון מינים קטן יחסית לפתח הקישון (איור 13) ובעיקר מינים המאפיינים מים פחות מליחים, הן מקבוצת הצורניות והן מקבוצות הירוקיות והבקטריות

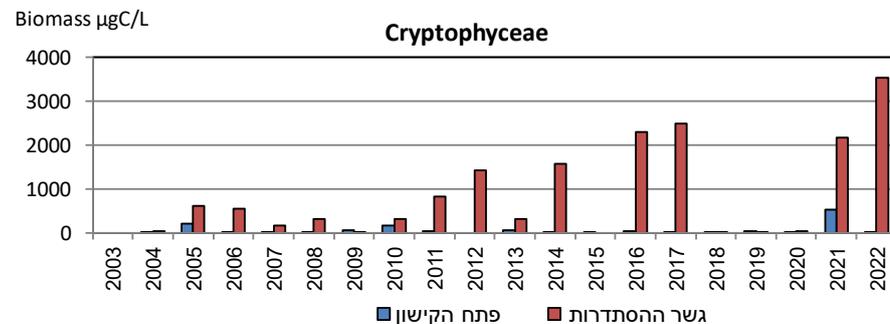
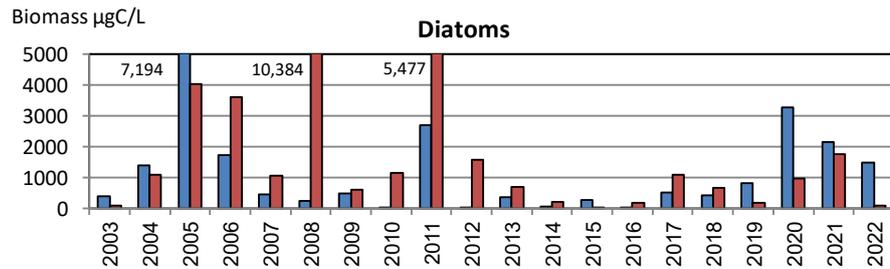
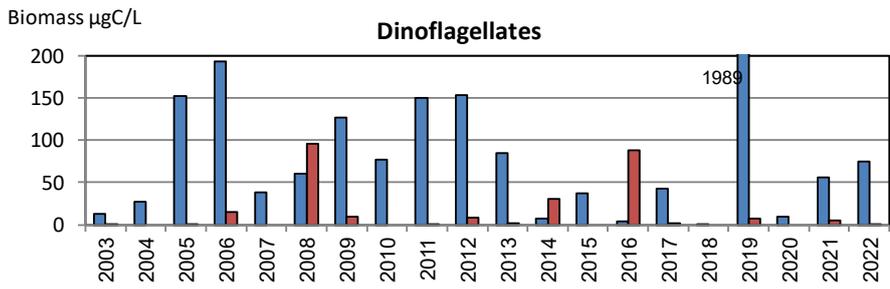
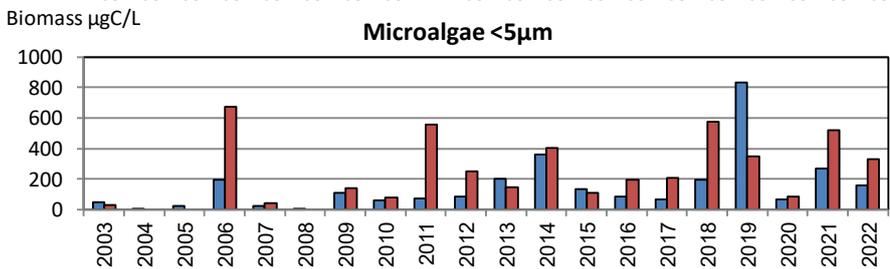
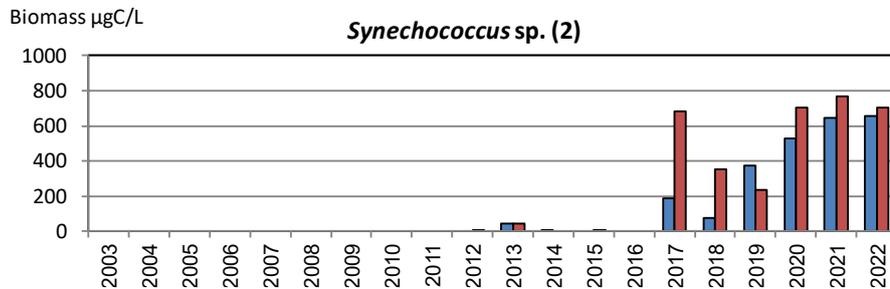
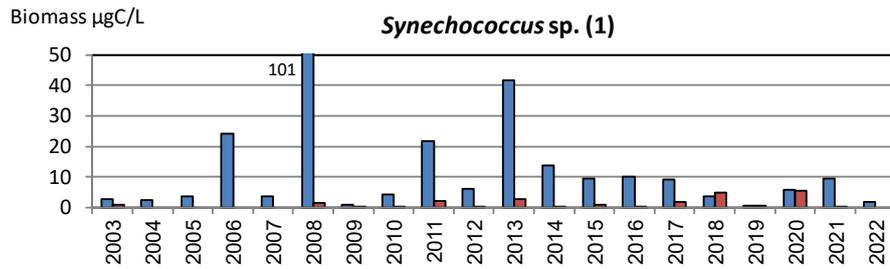
הכחוליות (איור 14B). בשש השנים האחרונות בשתי התחנות, חלה עלייה בריכוז בקטריות כחוליות חד תאיות מהמין (2) *Synechococcus sp.* (איורים 17-19), האופייניות לאזור הקישון ופתח הנמל. דומיננטיות של אצות צורניות בביומסה הכללית מתקיימת בפתח הקישון לאורך השנים (איורים 17A,18A). לרב הן היו הגורם המרכזי לפריחות הגדולות בתחנה זו. בין השנים 2003-2011 הן פרחו באופן תנודתי והיוו בממוצע כ- 70% מהביומסה הכללית (להוציא 2010) (איור 18A). בשנים 2012-2018 חלה התמתנות וירידה בביומסה הכללית, והיא עמדה בממוצע על כרבע מהביומסה בפתח הקישון בשנים קודמות (איור 17A). היחסים בין הקבוצות המרכיבות את הביומסה השתנו, ושיעורן באחוזים מהביומסה השתנה בהתאם (איור 18A). בארבע השנים האחרונות החלו שוב פריחות גדולות בפתח הקישון (איורים 10,17), כאשר ב- 2019 הייתה פריחה יוצאת דופן של דינופלגלטים (איורים 17,19) ושל פלגלט בעל פוטנציאל טוקסי מהמין *Heterosigma akashiwo*. באביב 2020-2022 נמצאה שוב פריחה גדולה של אצות צורניות, שהיו באביב 2020 84% מהביומסה הכללית ובשנתיים אחרונות 57% מהביומסה הכללית (איור 18A). מאביב 2017 חלה מגמת עלייה בריכוז בקטריות כחוליות חד תאיות מהמין (2) *Synechococcus sp.* (איור 19) בפתח הקישון. דומיננטיות של אצות צורניות התקיימה גם בגשר ההסתדרות עד 2013 (איורים 17-19). הצורניות היו בממוצע 65% מהביומסה הכללית בשנים אלה. מאביב 2011 פלגלטים מקבוצת ה- *Cryptophyceae*, החלו להוות חלק גדול יותר בביומסה הכללית עד אביב 2017 (איורים 17, 19). באביב 2018-2020, הביומסה הכללית ירדה, פלגלטים אלה היו שוליים בביומסה הכללית ואצות צורניות, מיקרואצות קטנות מ- 5 מיקרון ובקטריות כחוליות מהמין (2) *Synechococcus sp.* היו דומיננטיים בביומסה. באביב 2020 הביומסה הייתה מורכבת בעיקר מצורניות ובקטריות כחוליות, ובאביב 2021 שוב חלה פריחה של פלגלטים מקבוצת ה- *Cryptophyceae*. גם באביב 2022 פלגלטים אלה הופיעו בפריחה והיו מעל 70% מהביומסה הכללית (איורים 12,18).



איור 17 : התפלגות ביומסת מיקרופלנקטון בפתח הקישון (A) ובגשר ההסתדרות (B) באביב 2003-2022



איור 18 : הביומסה היחסית באחוזים של קבוצות המיקרופלנקטון בפתח הקישון (A) ובגשר ההסתדרות (B) באביב 2003-2022.



איור 19 : ביומסה של אצות מקבוצות שונות באביב 2003-2022

מגוון מינים

מספר המינים ואינדקס מגוון המינים בגשר ההסתדרות היו נמוכים לרוב באופן ניכר ביחס לפתח הקישון לאורך השנים (איורים 13,15). לכן ממוצע פרמטרים אלה היה נמוך באופן מובהק בגשר ההסתדרות ביחס לפתח הקישון.

- א. **מספר המינים** – בפתח הקישון קיימת מגמת עלייה במספר המינים לאורך השנים (איור 13) ובמיוחד בין 2003-2016. מקורה של המגמה הזאת בעיקר בעליית מספר מיני האצות הצורניות (איור 14A). בשש השנים האחרונות ממוצע מספר המינים התייצב על 61 ± 8 . במקביל חלה מגמת עלייה במספר המינים גם בגשר ההסתדרות (איור 13). בין השנים 2008-2012 נמדדה עלייה חדה שנבעה בעיקר מעליה במספר מיני אצות ירוקיות ובמידת קטנה יותר במיני אצות צורניות (איור 14B). בשש שנים אחרונות נמשכת התייצבות במספר המינים שעומד על 45 ± 4 מינים.
- ב. **אינדקס מגוון המינים** - מגמת עלייה באינדקס מגוון המינים בפתח הקישון נמשכה בין השנים 2003-2016 (איור 15). אולם, באביב 2017 חלה ירידה ניכרת באינדקס שהמשיך לרדת לסירוגין עד אביב 2019. בארבעת השנים האחרונות ישנה התייצבות יחסית באינדקס (1.0 ± 0.2). תנודתיות קטנה יחסית באינדקס מגוון המינים חלה לאורך השנים בגשר ההסתדרות והאינדקס היה לרב נמוך יחסית עם ממוצע רב שנתי של 0.96 ± 0.8 , לעומת 1.9 ± 1.4 בפתח הקישון (איור 15).
- ג. **מינים בעלי פוטנציאל טוקסי** – מספר מינים בעלי פוטנציאל טוקסי הופיעו לסירוגין במהלך השנים בפתח הקישון בדיגומי האביב (איור 16). חלקם הופיע בפריחה כמו *Heterosigma akashiwo* באביב 2002. אחרים הופיעו בשנים מסוימות בריכוז גבוה ביחס לשנים 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 באביב 2003), ובאביב 2019 הוא הופיע בפריחה של 1×10^7 תאים לליטר. באביב 2021 הופיעו בריכוז בינוני המינים *Gymnodinium cf. catenatum* והמין *Prorocentrum minimum*. השנה באביב 2022 הופיע לראשונה המין *Alexandrium cf. catenella* (תמונה 1) בריכוז גבוה יחסית לקבוצה זו.

- 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., Ljubesic, 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.