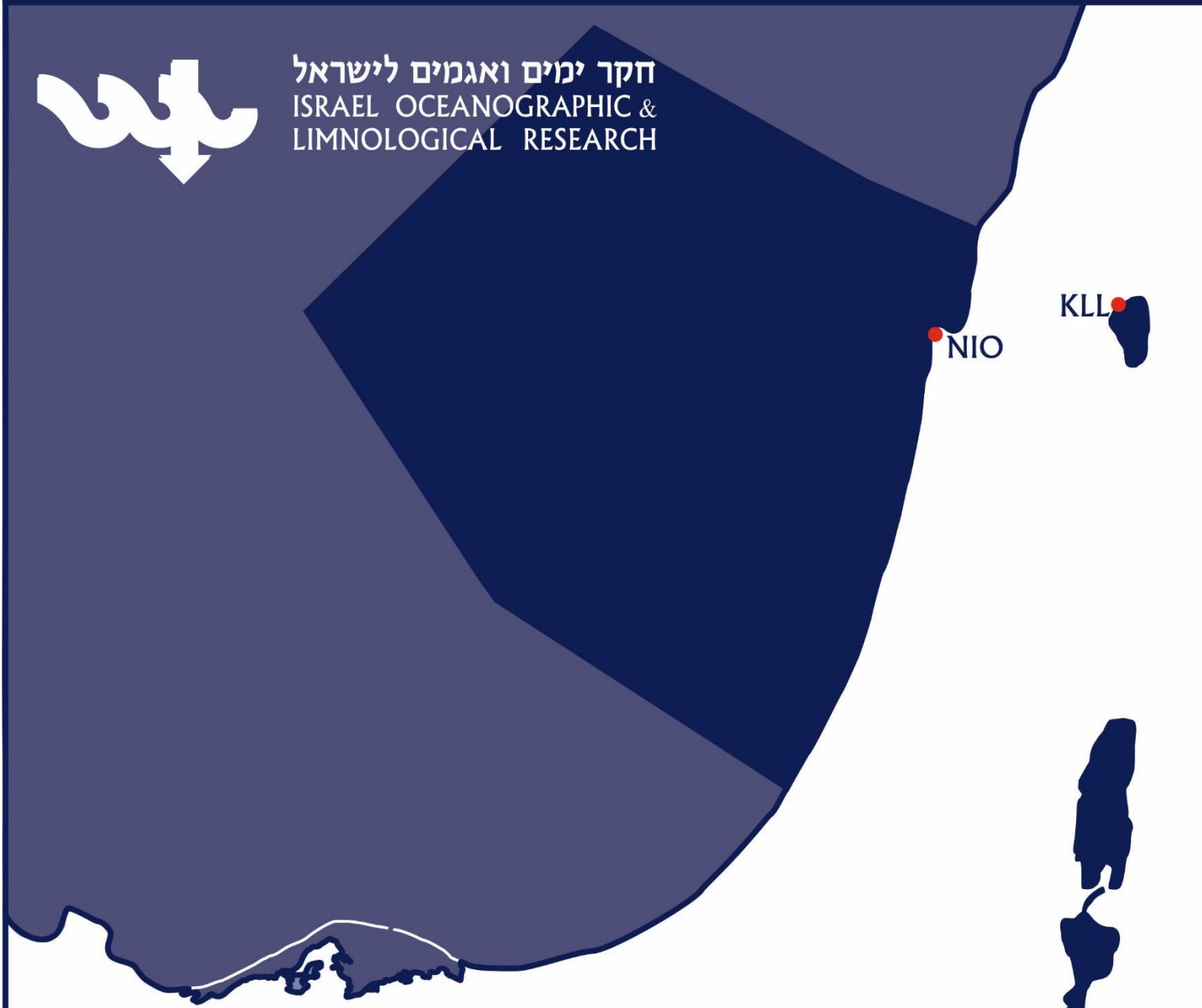




חקר ימים ואגמים לישראל
ISRAEL OCEANOGRAPHIC &
LIMNOLOGICAL RESEARCH



דו"חות חי"א"ל IOLR REPORTS

אפיון קבוצות המיקרואצות
במי נחל הקישון המלוח

דו"ח ניטור אביב 2023

דו"ח חי"א"ל H35/2023





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 2023

דו"ח חיא"ל H35/2023

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

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

מוגש לרשות נחל הקישון

חתימה :

אוקטובר 2023

אפיון קבוצות המיקרואצות במי נחל הקישון המלוח דו"ח ניטור אביב 2023

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.
- נמצאה מגמת ירידה ביחס בין ריכוזי החנקות לזרחות מאז שנת 2019, אשר בסתיו 2022 עמד על 12.6. זה מעיד על עודף זרחות שנכנסו עם השפכים ממעלה הנחל לאסטואר. הערכת מצב הסביבתי בתחנות השונות באסטואר המלוח בהשוואה לערכי סף של קריטריונים להערכת מצב הסביבתי באסטוארים קטנים נמצא מצב "Bad" בסטטוס ריכוז הפוספאט במי פני השטח המוזרמים ממעלה הנחל. שאר הפרמטרים סווגו במצב "Moderate" ו "Good".
- תהליכים אוטורופים (פוטוסינתזה) היו דומיננטיים ביחס לתהליכים מיקרוביאליים הטורופים (חיידקים) בכל תחנות האסטואר, בכל העומקים. לא נמדדה עקת חמצן (אנוקסיה) באף תחנה.
- ריכוז תאי מיקרופיטופלנקטון, כלורופיל והביומסה של האצות בפתח הקישון נמצא בירידה מזה 4 שנים ונמצא מתחת לממוצע הרב שנתי. בגשר ההסתדרות המגמה הפוכה והערכים גבוהים מהממוצע הרב שנתי. עיקר הרכב הפריחה בפתח הקישון היה אצות צורניות מהמין *Thalassiosira pseudonana* ובקטריות כחוליות מהמין *Synechococcus* sp.(2), ובגשר ההסתדרות פלגלטים מקבוצת ה-Cryptophyceae כבעבר.
- בשתי התחנות אינדקס מגוון המינים נמוך ביחס לממוצע הרב שנתי. במקביל, מתקיימת מגמה כללית של עלייה במספר המינים לאורך השנים. פתח הקישון מתאפיין בהרכב מיני אצות ממקור ימי ובגשר ההסתדרות נמצאו מינים המאפיינים מים פחות מלוחים.
- מינים בעלי פוטנציאל טוקסי נמצאו במגוון ובריכוז נמוכים מאד בפתח הקישון ביחס לדיגומי אביב משנים קודמות.

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 2023. 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 - Multiparameter 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^{plus} 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 2023.

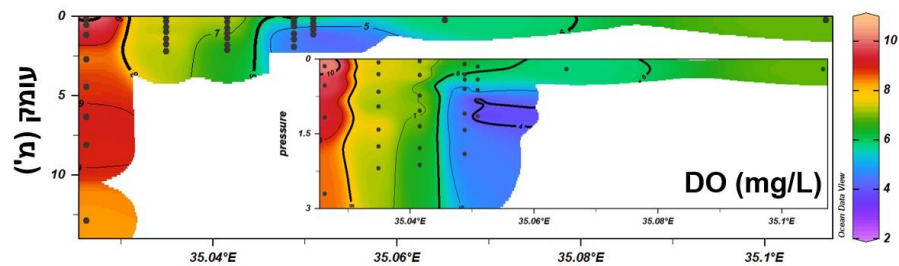
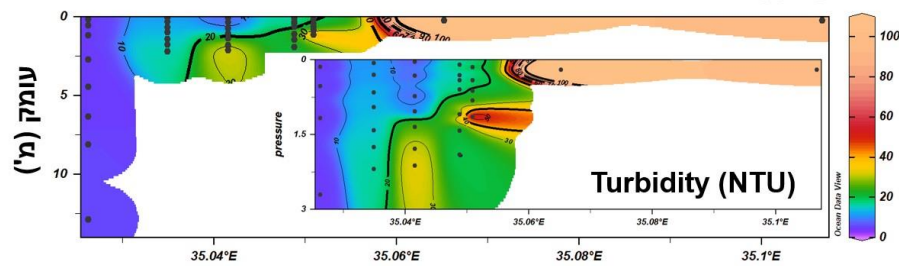
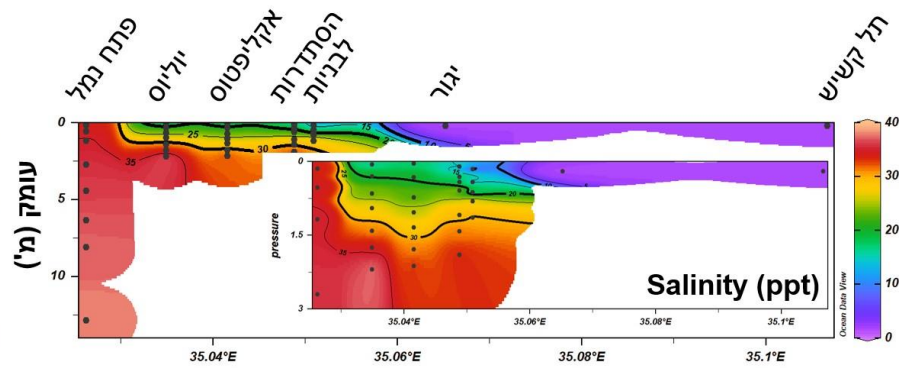
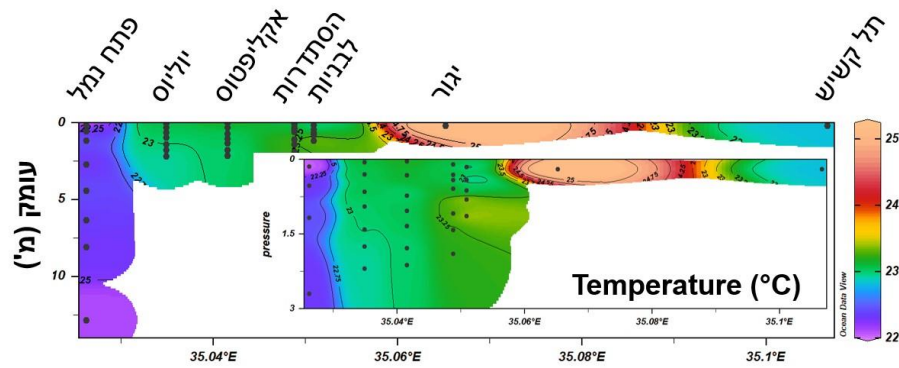
תחנה	Latitude (N)	Longitude (E)
חוות החיות	32° 41.31'	35° 6.39'
יגור	32° 45.55'	35° 3.91'
לבניות	32° 47.27'	35° 3.10'
גשר ההסתדרות	32° 47.86'	35° 2.84'
אקליפטוס	32° 48.50'	35° 2.30'
גשר יוליוס סימון	32° 48.01'	35° 2.01'
פתח הנמל	32° 48.59'	35° 1.55'

3. תוצאות

3.1 פרמטרים כימיים-פיסיקליים בעמודת המים

פרופיל העומק של הטמפרטורה, המליחות, והחמצן המומס, לאורך נחל הקישון המלוח כפי שנמדדו במאי 2023 מוצגים באיורים 1 ו-2 ובטבלה 2. פיזור הטמפרטורה האנכי מראה עמודת המים משוכבת עם הבדל של עד 0.5 מעלות צלזיוס ועד 22.96 יחידות מליחות בין פני השטח לקרקעית, בדומה למצב בקיץ (Bar-Zeev and Rahav, 2015 וראה/י דו"ח חיא"ל H20/2020). טמפרטורת המים עולה ככל שמתקדמים במעלה האסטואר המלוח, שכבת המים העליונים (0.5 מ') מלווה 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 ל 72% מרוויה (5.9 מג"ל) במעלה הנחל (תחנות יגור ולבניות), וריכוזו עלה ככל שמתקדמים לפתח הנמל, שם הגיע לעל רוויה (117%). במקביל אחוז החמצן מרוויה ירד עם העמקה בעמודת המים בכל התחנות (איורים 1 ו-2) עם ריכוזים המעידים על נזק ביולוגי אפשרי (טבלה 3) בתחנות לבניות והסתדרות (3.4 מג"ל ו-4.5 מג"ל 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).

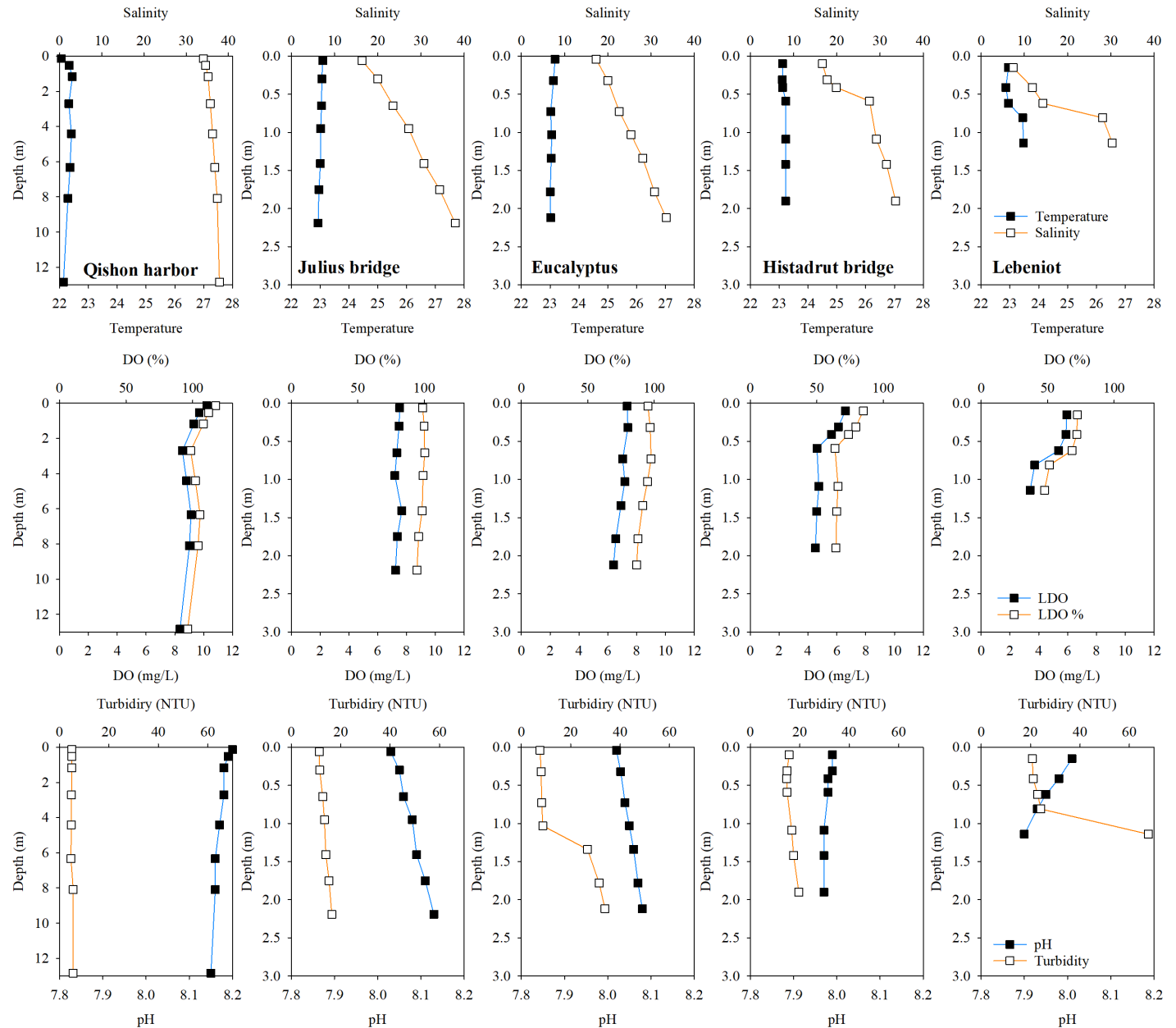


קו רחב (מעלות)

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 2023 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 2023 לאורך נחל הקישון המלוח.

עכירות NTU	pH	חמצן מומס (mg/L)	מליחות	טמפרטורה (C°)	עומק דיגום (m)	תחנה
4.9	8.196	10.21	34.1	22.06	0.14	פתח נמל
5	8.18971	9.69	34.6429	22.33	0.53	
4.9	8.18343	9.32	35.1857	22.44	1.17	
4.8	8.17714	8.52	35.7286	22.32	2.7	
4.7	8.17086	8.81	36.2714	22.41	4.41	
4.6	8.16457	9.12	36.8143	22.36	6.33	
5.5	8.15829	9.01	37.3571	22.29	8.09	
5.5	8.152	8.35	37.9	22.13	12.84	
11.3	8.033	7.52	16.4	23.09	0.06	יוליום
11.5	8.04833	7.48	19.9833	23.06	0.3	
12.7	8.06367	7.32	23.5667	23.05	0.65	
13.4	8.079	7.19	27.15	23.02	0.95	
14	8.09433	7.67	30.7333	23.01	1.41	
15.3	8.10967	7.36	34.3167	22.96	1.75	
16.4	8.125	7.23	37.9	22.93	2.19	
7.6	8.016	7.35	17.3	23.17	0.04	
8	8.02667	7.4	20	23.12	0.32	
8.3	8.03733	7.04	22.7	23.02	0.73	
8.7	8.048	7.18	25.4	23.05	1.03	
26.8	8.05867	6.92	28.1	23.04	1.34	
31.5	8.06933	6.56	30.80	23	1.78	
33.9	8.08	6.4	33.5	23.02	2.12	
15.7	7.994	6.59	16.66	23.12	0.1	הסתדרות
14.8	7.98917	6.1	17.76	23.11	0.31	
14.7	7.98433	5.62	19.86	23.12	0.41	
14.9	7.9795	4.62	27.58	23.23	0.59	
16.7	7.97467	4.75	29.13	23.23	1.09	
17.5	7.96983	4.61	31.49	23.22	1.42	
19.6	7.965	4.52	33.62	23.22	1.9	
20.7	8.006	5.95	7.4	22.95	0.15	
21.1	7.98025	5.89	11.83	22.86	0.41	
22.9	7.9545	5.38	14.34	22.95	0.62	
24.2	7.92875	3.72	28.14	23.44	0.81	
67.7	7.903	3.4	30.36	23.47	1.14	

121	8.012	5.88	1.82	25.22	0.2	יגור
103.7	8.02	6.91	1.87	22.83	0.2	חוות החיות

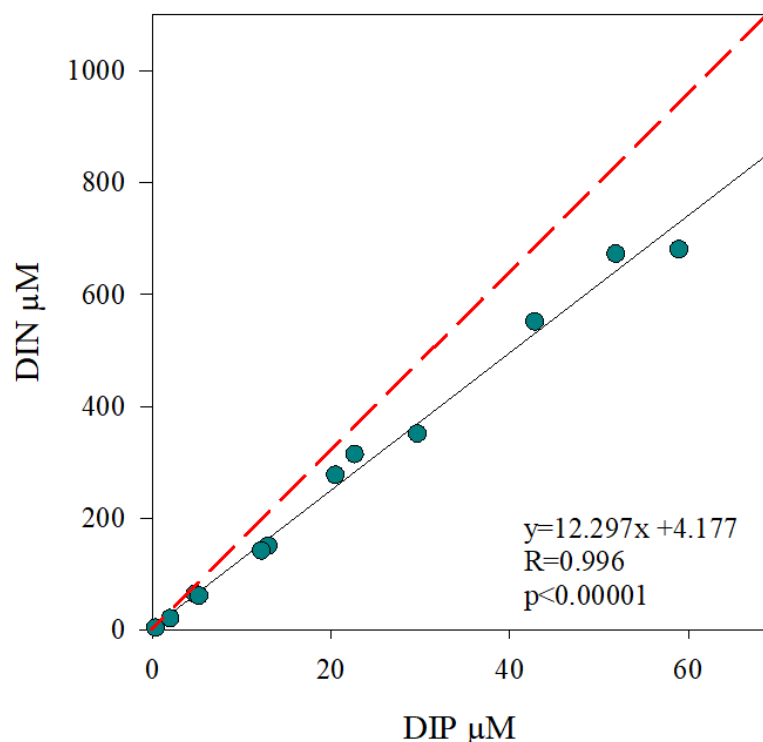
טבלה 3: קריטריונים של מנהל האוקיינוסים והאטמוספירה של ארה"ב לאיכות המים בשפכי נחלים (National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 1997)

פרמטר	יחידת מדידה	נמוך	בינוני	גבוה
חמצן מומס (DO)	mg/L	אנוקסיה = 0, הפוקסיה = 0-2, נזק ביולוגי 2-5		
חנקן אנאורגני (NO 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, ריכוזי 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 (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/תקיין בין ריכוזי חנקות אנאורגניות לריכוזי זרחות אנאורגניות באקוסיסטמות אקוויטיות נחשב (Redfield, 1933) 16: 1. היחס הנ"ל באסטואר הקישון עמד על 12 (איור 3), ומעיד על עודף זרחות באסטואר שמוזרמות עם השפכים, בדומה לאוקטובר 2022.

טבלה 4: ריכוז נוטריאנטים אנאורגניים (mg/L) כפי שנמדדו לאורך נחל הקישון המלוח בתחנות השונות באביב 2023.

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	0.91	0.15	1.01
	קרקעית	0.06	0.01	0.12
יוליס	פני שטח	4.40	0.70	4.04
	קרקעית	0.29	0.06	0.36
אקליפטוס	פני שטח	3.88	0.63	3.46
	קרקעית	0.86	0.16	0.90
הסתדרות	פני שטח	4.92	0.92	3.83
	קרקעית	1.99	0.38	1.70
לבניות	פני שטח	7.72	1.33	5.54
	קרקעית	2.11	0.40	2.63
יגור	פני שטח	9.54	1.82	6.36
חוות החיות	פני שטח	9.42	1.61	6.13



איור 3: ריכוז זרחן אנאורגני מומס כתלות בריכוז חנקן אנאורגני מומס במי הקישון המלוח במאי 2023. שיפוע משוואת הקו מגמה הינו 12.3. מקדם המתאם של קורלציית פירסון הינו 0.996 ($p < 0.00001$). הקו המקווקו האדום מייצג שיפוע קו של 16 (יחס רדפילד בין חנקות לזרחות 1:16), יחס המאפיין אקוסיסטמות אקוויטיות רבות. השיפוע הקטן מ 16 הוא אינדיקציה נוספת להעשרה בזרחן.

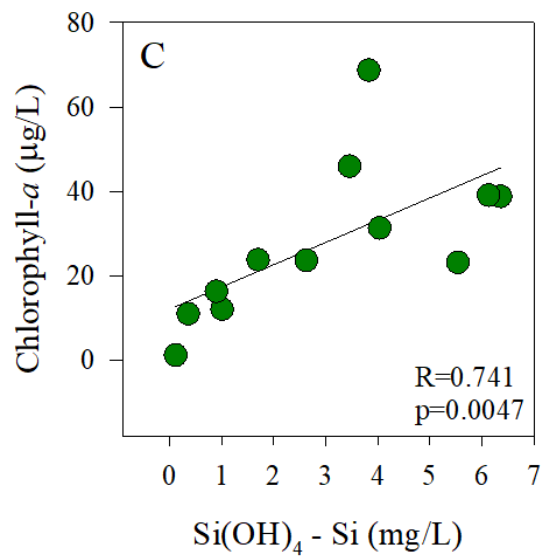
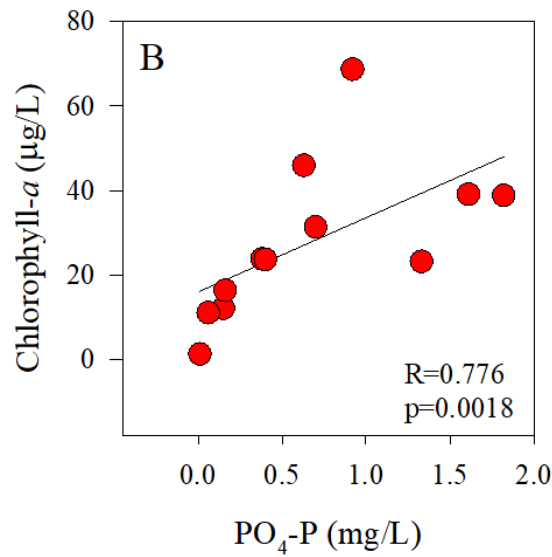
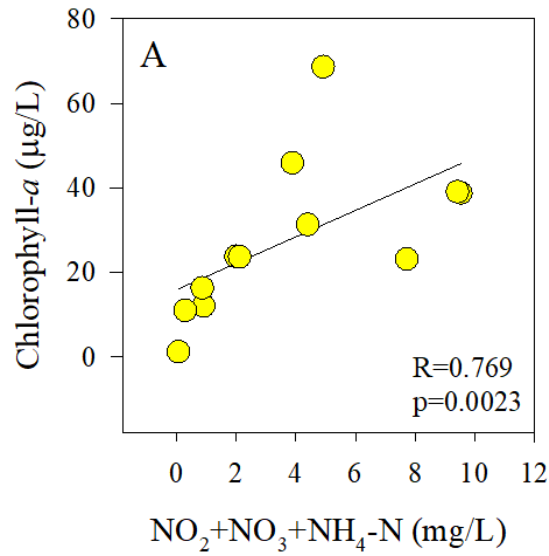
3.2 פרמטרים ביולוגים בעמודת המים

ערכי כלורופיל *a* בדיגום אביב 2023 נעו בין 1.2-68.6 מיקרוגרם לליטר לאורך האסטואר המלוח והיו גבוהות במי פני השטח החל מהסתדרות ושאר התחנות במורד 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 הזרחות (טבלה 4, איור 4). ציאנובקטריה נעו בין 0.03×10^8 תאים בליטר (בתחנת פתח הנמל סמוך לקרקעית) ל- 1.00×10^8 תאים לליטר (תחנות "יוליוס" ו"האקליפטוס", פני השטח) (טבלה 5). ריכוז אצות אאוקריוטיות, הפיקו-פיטופלנקטון נע בין $0.02-3.67 \times 10^8$ תאים לליטר. כבשנים קודמות, קיים קשר סטטיסטי חיובי מובהק 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 ($R=0.918$ $p<0.00001$) והפיקו-פיטופלנקטון ($R=0.891$ $p<0.00001$) לאורך האסטואר המלוח (קורלציית ספירמן).

לעומת המיקרואורגניזמים האוטורופים (יצרנים ראשוניים, ציאנובקטריה ופיקו-פיטופלנקטון), שכיחות החיידקים ההטרורופים הייתה גבוהה פי 49-788 ופי 17-231 מאשר הציאנובקטריות והפיקו-פיטופלנקטון בהתאמה עם מספר תאים גבוה עד פי 3.9 בפני השטח ביחס לקרבת הקרקעית (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 הטרורופים במעלה נחל הקישון במאי 2023.

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
24.2	0.79	0.27	12.1	פני שטח	פתח נמל
6.2	0.02	0.03	1.2	קרקעית	
48.7	2.06	1.00	31.3	פני שטח	יוליוס
14.8	0.25	0.12	11.0	קרקעית	
48.1	1.86	0.89	45.9	פני שטח	אקליפטוס
26.7	0.40	0.19	16.3	קרקעית	
62.6	3.67	1.00	68.6	פני שטח	הסתדרות
43.0	0.78	0.33	23.8	קרקעית	
44.7	0.77	0.48	23.1	פני שטח	לבניות
48.5	1.22	0.45	23.7	קרקעית	
139.7	0.60	0.18	38.8	פני שטח	יגור
126.9	0.98	0.20	39.1	פני שטח	חוות החיות



איור 4: ריכוז כלורופיל כתלות בריכוז ניטראט + ניטריט + אמוניה (A), זרחן (B) וסיליקה (C) לאורך נחל הקישון המלוח במאי 2023, עם קווי המגמה ומקדמי המתאם של קורלציית ספירמן. המספרים הגולמיים לפיהם נוצר הגרף מוצגים בטבלאות 4 ו-5.

ערכי היצרנות הראשונית היממית נעו בין 892-20 מיקרוגרם פחמן לליטר ליממה (טבלה 6) והיו דומים לערכי היצרנות בדיגומים קודמים. 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., 2016; Rahav et al., 2015) 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 2-9) נמדדו במי השטח היותר מוארים ביחס למי העומק (טבלה 6). יצרנים ראשוניים הנם בסיס שרשרת המזון ותורמים באופן משמעותי למחזור נוטריאנטים והטמעתם לרמות הטורפיות 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.

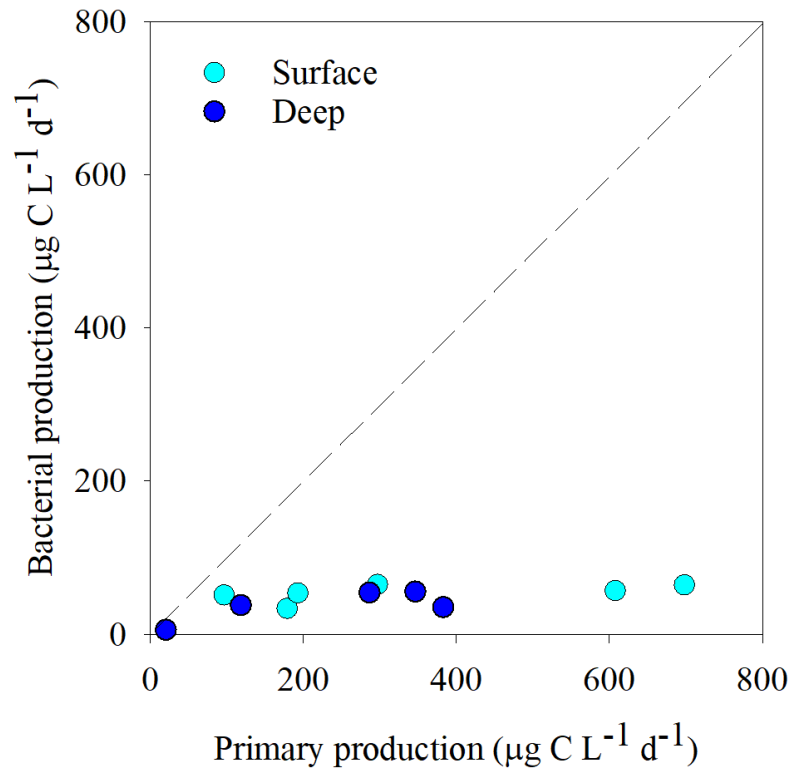
ערכי היצרנות החיידקית היממית נעו בין 6.5-5.8 מיקרוגרם פחמן לליטר ליממה (טבלה 6). קיים מתאם חיובי משמעותי בין מספר התאים של החיידקים ההטרוטרופים ליצרנות החיידקית שנמדדה לאורך האסטואר המלוח (קורלציית ספירמן, $R=0.794$, $p=0.0038$). עיקר הפעילות המטאבולית בכל התחנות הייתה אוטוטרופית ונעשתה על ידי מיקרואצות וציאנובקטריה בתהליך הפוטוסינתזה (איורים 5, 6). ערכי היצרנות הראשונית בפני השטח היו גבוהים משמעותית מערכי היצרנות החיידקית (עד פי 13). גם בקרבת הקרקעית של כל התחנות לאורך האסטואר היצרנות נשלטה על ידי פעילות אוטוטרופית, עם ירידה יחסית ביצרנות הראשונית בעומק כנראה עקב הגבלת אור. למעשה, תהליכים בשכבת המים העמוקים, המהווה שכבת הגבול בין הסדימט 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 דיגומי 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 השפעה של ריכוז הנוטריינטים הגבוה באסטואר על תפקוד היצרנים האוטוטרופים וההטרוטרופים ובכך משנים את המאזן בין השניים.

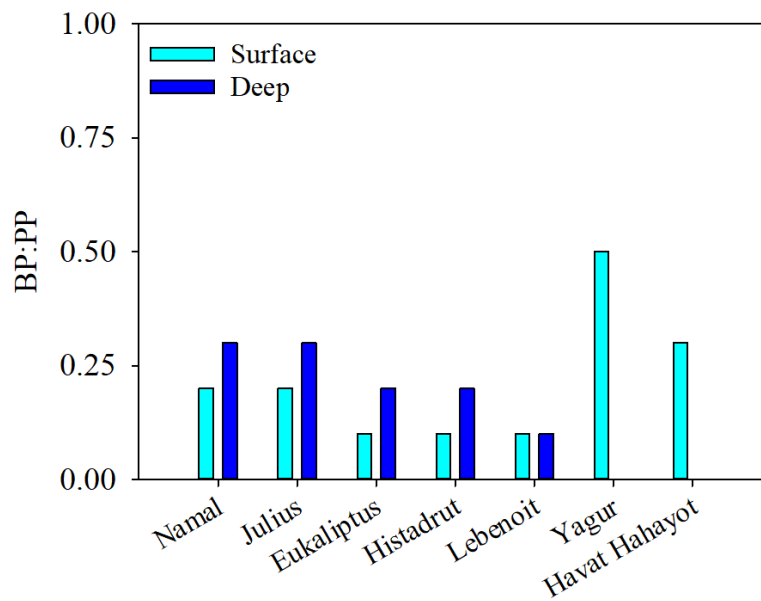
בהשוואה של ריכוז הנוטריינטים, חמצן מומס במים וכלורופיל בתחנות השונות אל מול ערכי הסף עבור קריטריונים שהוצעו לאחרונה ע"י Herut et al., 2023 להערכת הסטטוס הסביבתי של אסטוארים קטנים, עולה כי רק תחנת פתח הקישון נמצאת בסטטוס של מצב טוב ("Good") מבחינת ריכוזי הנוטריינטים השונים, ריכוזי החמצן והכלורופיל (טבלה 7). זאת בזכות המיהול המשמעותי של מי הנחל עם מי הים בתחנה זאת. שאר התחנות לאורך האסטואר מסווגות עפ"י הקריטריונים לסטטוס "Bad" ו-"Moderate", בעיקר עקב ריכוזים גבוהים לרב של פוספאט בפני השטח המוזרם (ככל הנראה משפכים/ביוב) ממעלה הנחל (טבלה 7).

טבלה 6: קצב היצרנות הראשונית (Primary production) והחיידקית (Bacterial production) היממתית בנחל הקישון המלוח במאי 2023. 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	178.9±13.0	33.7±12.4	פני שטח	פתח נמל
0.3	20.4±3.7	5.8±2.8	קרקעית	
0.2	296.9±32.9	64.9±10.2	פני שטח	יוליוס
0.3	118.5±16.2	38.0±2.7	קרקעית	
0.1	698.1±18.8	64.5±11.2	פני שטח	אקליפטוס
0.2	286.5±3.5	54.3±11.4	קרקעית	
0.1	891.8±69.8	67.5±8.5	פני שטח	הסתדרות
0.2	346.3±25.8	55.7±8.4	קרקעית	
0.1	607.7±11.2	56.9±11.0	פני שטח	לבניות
0.1	383.0±43.9	35.4±6.5	קרקעית	
0.5	96.6±25.2	61.3±3.1	פני שטח	יגור
0.3	192.9±30.5	53.9±14.8	פני שטח	חוות החיות



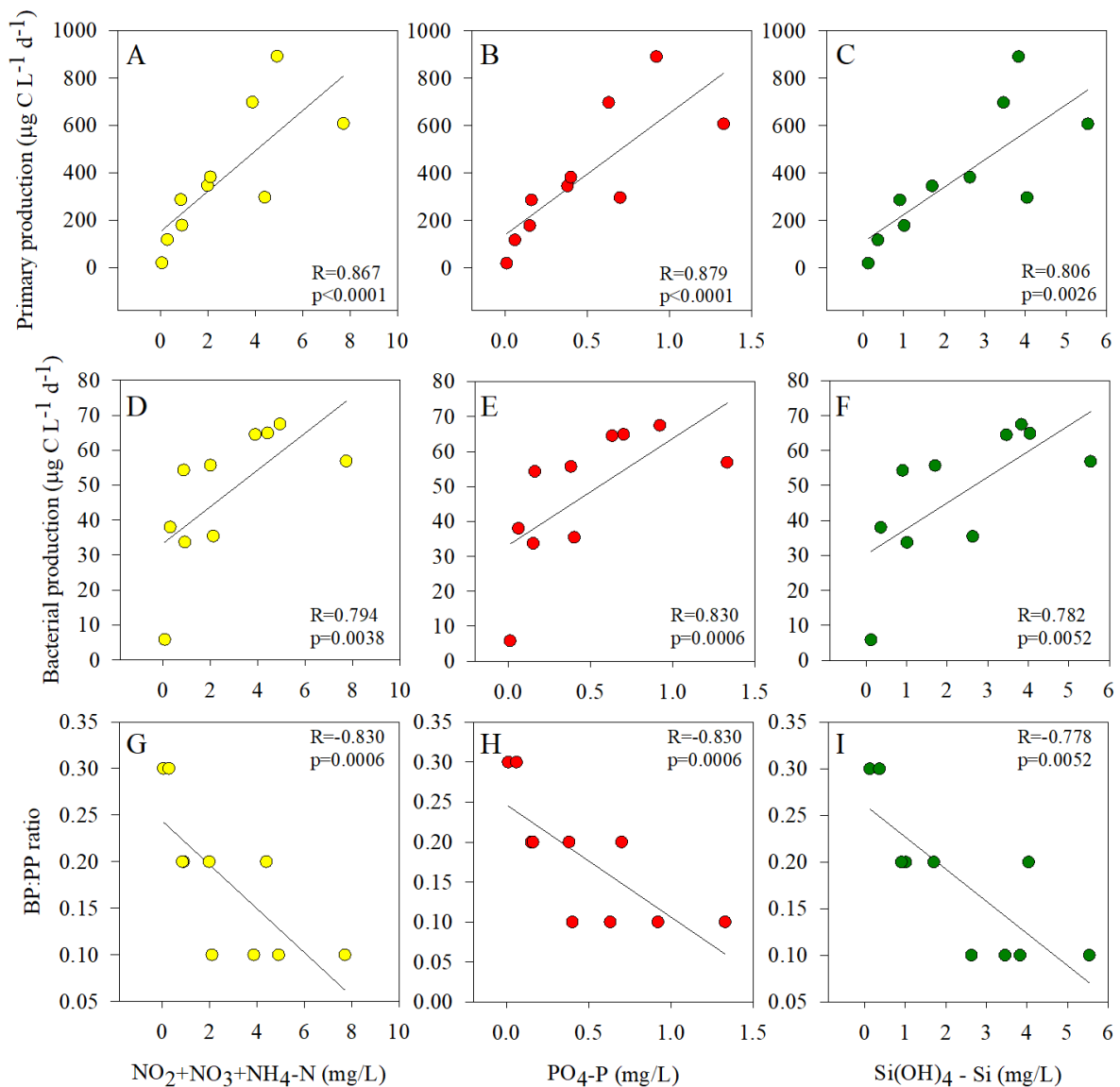
איור 5: היחס בין יצרנות ראשונית (פוטוסינתזה) ליצרנות חיידקית (קיבוע פחמן הטרוטרופי) במימי הקישון המלוח במאי 2023. הקו המקווקו מייצג יחס של 1:1 בין המשתנים. כאשר היחס זה קטן מ-1 המערכת 'נשלטת' על ידי יצרנות ראשונית.



איור 6: היחס בין יצרנות חיידקית (קיבוע פחמן הטרוטרופי) ליצרנות ראשונית (פוטוסינתזה) במימי הקישון המלוח במאי 2023. הקו מהווה יחס של 1:1 בין המשתנים. כאשר היחס זה קטן מ-1 המערכת 'נשלטת' על ידי יצרנות ראשונית.

טבלה 7: סיווג הקריטריונים של מצב הסביבתי בתחנות השונות בנחל הקישון המלוח במאי 2023 כפי שנובע מהשוואת הפרמטרים השונים שנמדדים בניטור (ריכוזי פוספאט, ניטראט, אמוניה, כלורופיל וחמצן מומס במים) אל מול ערכי הסף שהוצעו ע"י Herut et al., 2023 על מנת להעריך את המצב הסביבתי באסטואר.

תחנה	עומק דיגום	PO ₄	NO ₃	NH ₄	Chl- <i>a</i>	DO
פתח נמל	פני שטח	Moderate	Good	Good	Moderate	Good
	קרקעית	Good	Good	Good	Good	Good
יוליס	פני שטח	Bad	Moderate	Good	Moderate	Good
	קרקעית	Good	Good	Good	Moderate	Good
אקליפטוס	פני שטח	Bad	Moderate	Good	Moderate	Good
	קרקעית	Moderate	Good	Good	Moderate	Good
הסתדרות	פני שטח	Bad	Moderate	Good	Bad	Good
	קרקעית	Bad	Moderate	Good	Moderate	Moderate
לבניות	פני שטח	Bad	Moderate	Good	Moderate	Good
	קרקעית	Bad	Moderate	Good	Moderate	Moderate
יגור	פני שטח	Bad	Bad	Good	Moderate	Good
חוות החיות	פני שטח	Bad	Bad	Bad	Moderate	Good



איור 7: הקשרים הלינארים בין ערכי היצרנות הראשונית (A-C), היצרנות החיידקית (D-F), והיחס בין יצרנות חיידקית ליצרנות ראשונית (G-I) לבין ריכוז ניטראט + ניטריט + אמוניה (A,D,G), זרחן (B,E,H) וסיליקה (C,F,I) שנמצא בנחל הקישון המלוח בדיגום מאי 2023. עם קווי המגמה ומקדמי המתאם של קורלציית ספירמן.

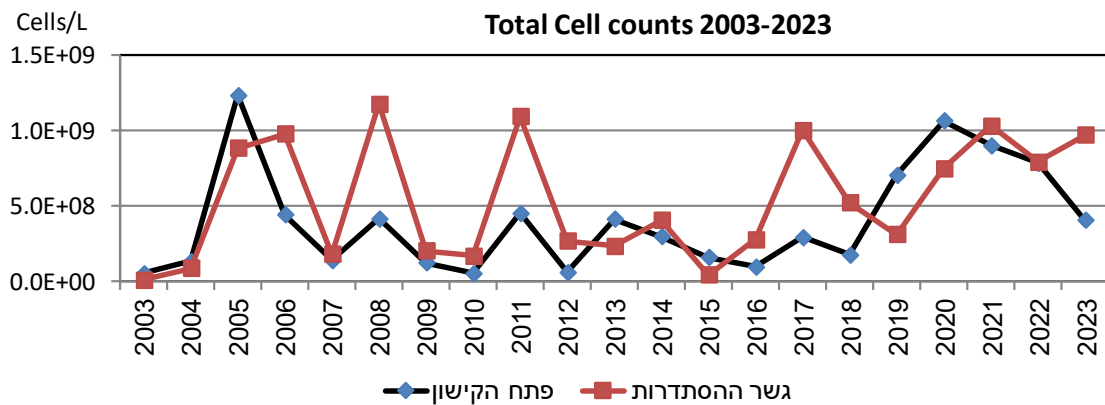
במקביל לספירות האצות עם Flow-cytometer, מיני מיקרו-פיטופלנקטון נספרו וזוהו גם בכלים טקסונומיים (מיקרוסקופיה אפיפלורוסנטית) במי השטח של שתי תחנות: תחנת פתח הקישון במורד הנחל, ותחנת גשר ההסתדרות במעלה הנחל. שיטה זו מאפשרת מעקב אחר מינים ספציפיים, כולל מינים בעלי פוטנציאל לרעילות. כמו כן, השוואות רב שנתיות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

ריכוז תאי מיקרו-פיטופלנקטון

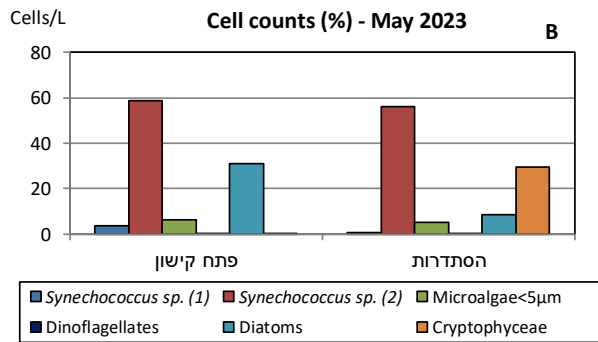
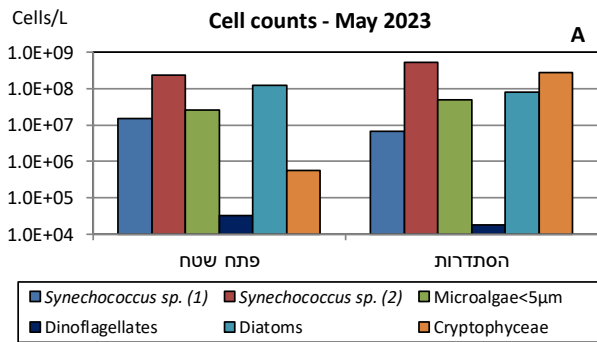
ריכוז התאים הכללי בפתח הקישון ירד כבשלוש שנים האחרונות (איור 8) והיה דומה לממוצע הרב שנתי. בגשר ההסתדרות חלה עלייה בריכוז התאים יחסית לשנה קודמת, והריכוז נשאר גבוה מהממוצע הרב שנתי, בדומה ל-4 שנים אחרונות (איור 8). בשתי התחנות הבקטריות הכחוליות מהמין *Synechococcus sp.*(2) היו דומיננטיות מבחינה מספרית (איור 9). בפתח הקישון נמצאה פריחה של בקטריות כחוליות ואצות צורניות (איור 9A), בדומה לממצאי שנתיים קודמות. *Synechococcus sp.*(2) היו דומיננטיות מספרית והיוו 59% מריכוז התאים הכללי ואילו אצות צורניות היוו 31% מהריכוז הכללי, בדומה לשנה קודמת (איור 9B). בגשר ההסתדרות, *Synechococcus sp.*(2) היוו 56% מריכוז התאים הכללי, במקביל לפריחת פלגטים מקבוצת ה-*Cryptophyceae*, שריכוזם עלה יחסית לשנה קודמת והם היוו 29% מהריכוז הכללי (איור 9B).

ביומסה וריכוז כלורופיל

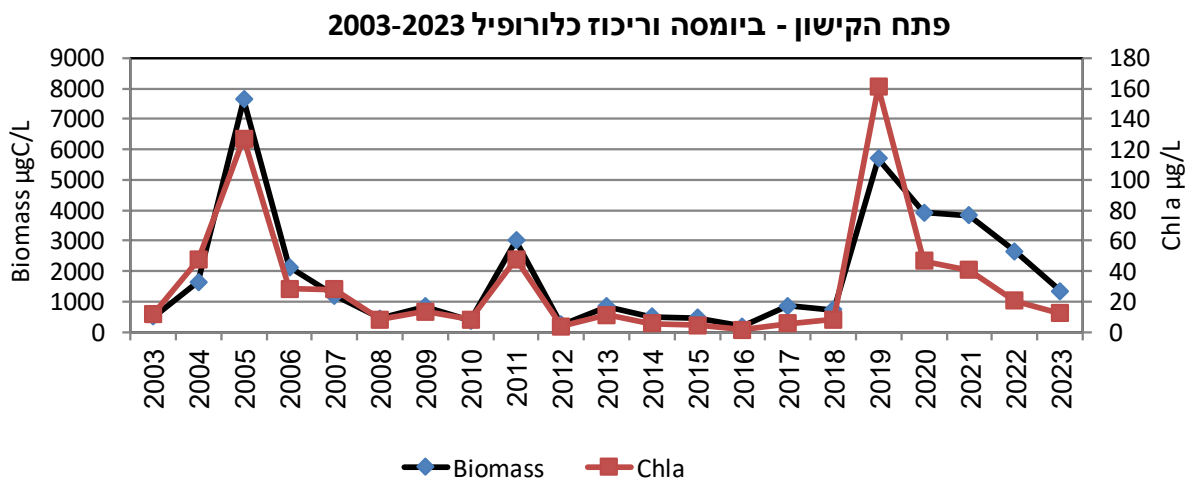
הביומסה הכללית וריכוז הכלורופיל נמצאו בירידה זו השנה הרביעית בפתח הקישון (איור 10), והיו נמוכים יחסית לממוצע הרב שנתי. את עיקר הביומסה בתחנה זו הרכיבו אצות צורניות (איור 12A), שהיוו 70% מהביומסה הכללית (איור 12B). בקטריות כחוליות (*Synechococcus sp.* (2) היוו 22% מהביומסה הכללית. בגשר ההסתדרות הביומסה הכללית עלתה ביחס לשנה קודמת, בהתאמה לעליה בריכוז התאים, והייתה גבוהה מהממוצע הרב שנתי (איור 11). ריכוז הכלורופיל עלה זו השנה החמישית והיה גבוה ביחס לשנה קודמת ולממוצע הרב שנתי. הביומסה הגבוהה בתחנה זו נבעה מפריחה של פלגטים מקבוצת ה-*Cryptophyceae* (איור 12A), המאפיינים תחנה זו. הם היוו 84% מהביומסה הכללית (איור 12B). ביומסה של הבקטריות הכחוליות מהמין *Synechococcus sp.* (2) היוו 8% מהביומסה הכללית (איור 12B).



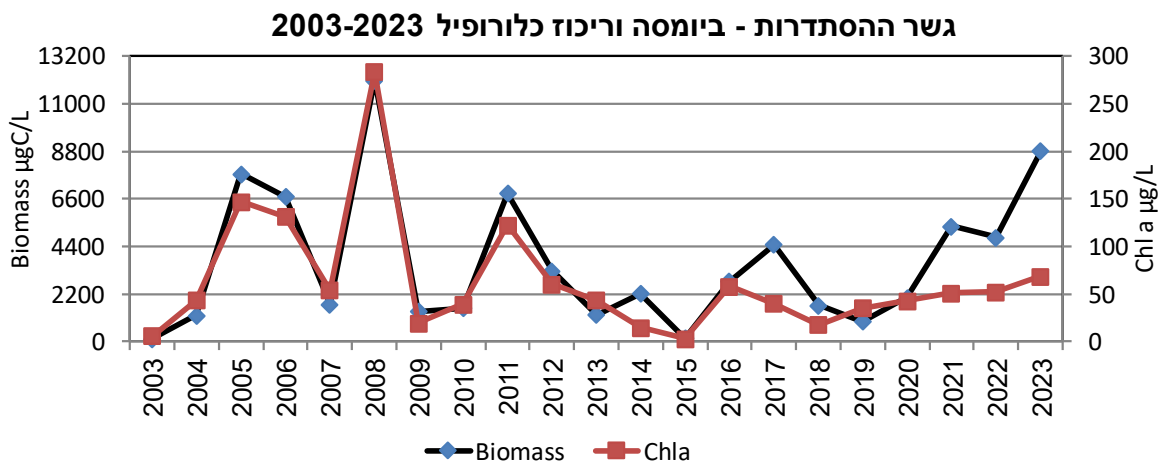
איור 8 : ריכוז תאי מיקרו-פיטופלנקטון כללי באביב 2003-2023



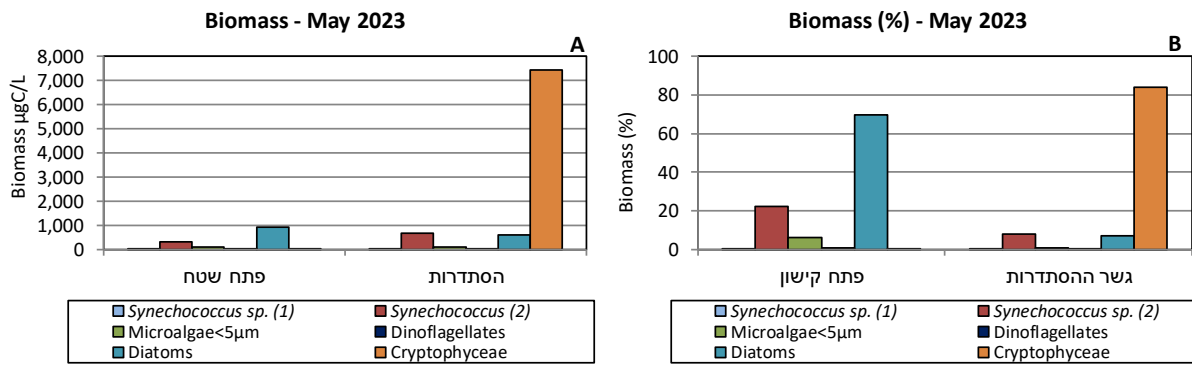
איור 9: ריכוז תאים בקבוצות המיקרופלקטון (A) וריכוזם היחסי באחוזים (B) באביב 2023



איור 10: ביומסה וריכוז כלורופיל בפתח הקישון באביב 2003-2023



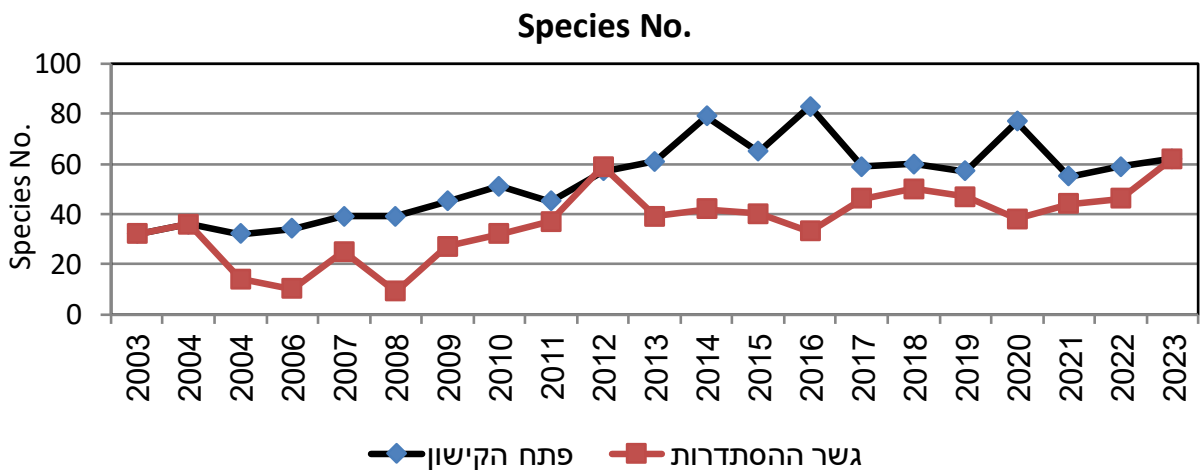
איור 11: ביומסה וריכוז כלורופיל בגשר ההסתדרות באביב 2003-2023



איור 12 : ביומסה של קבוצות המיקרופלנקטון (A) וביומסה יחסית באחוזים (B) באביב 2023

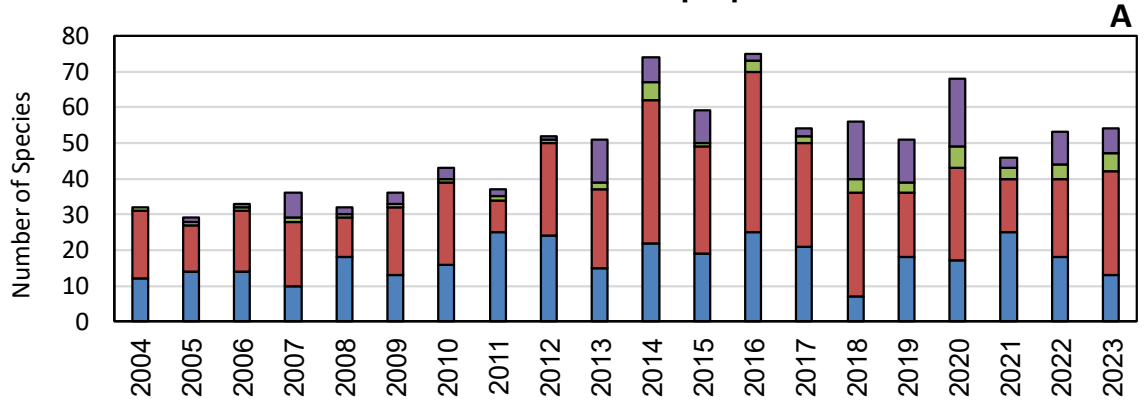
מגוון המינים ואינדקס מגוון המינים (Diversity Index)

מספר המינים הכללי נותר דומה לשנה קודמת בפתח הקישון (איור 13). מספר מיני האצות הצורניות עלה ומספר מיני הדינופלגלטים ירד ביחס לשנה קודמת (איור 14A). מספר המינים עלה בגשר ההסתרות ביחס לשנה קודמת, והיה דומה לפתח הקישון. זאת כתוצאה מעלייה במספר מיני הדינופלגלטים והאצות הצורניות (איורים 13,14). מספר מיני הדינופלגלטים, שבעיקרם הינם מינים ימיים, היה נמוך בגשר ההסתרות ביחס לפתח הקישון (איור 14), בדומה לשנים קודמות. כמו כן התאפיינה תחנת גשר ההסתרות במספר גדול יותר של מיני אצות ירוקיות ובקטריות כחוליות, האופייניות יותר למים בעלי מליחות נמוכה. אינדקס מגוון המינים (Menhinick's index - מסי המינים / שורש ריבועי של הביומסה), עלה מעט בפתח הקישון ואילו בגשר ההסתרות נותר דומה לשנה קודמת (איור 15). בשתי התחנות הוא נמצא נמוך יחסית לממוצע הרב שנתי.

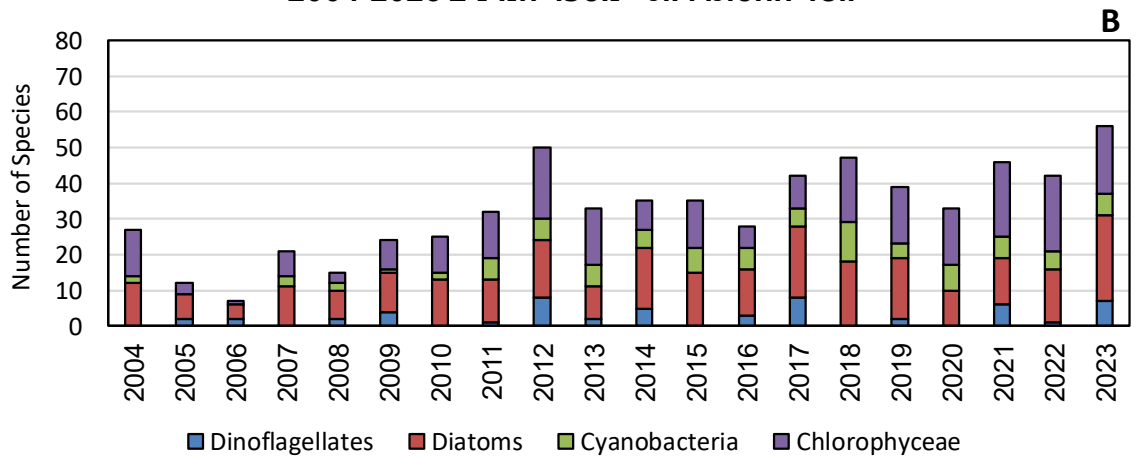


איור 13 : מספר מינים בפתח הקישון ובגשר ההסתרות באביב 2003-2023

פתח הקישון - מספר המינים 2004-2023

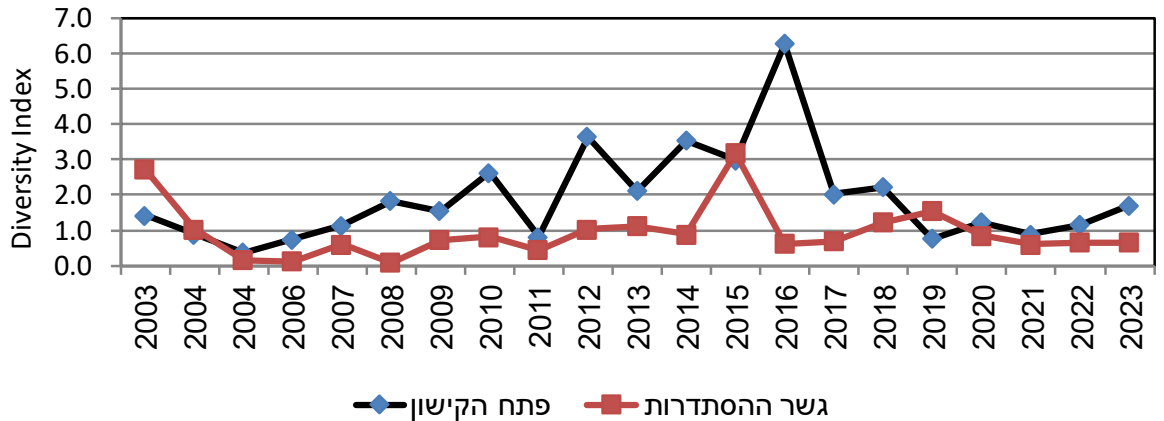


גשר ההסתדרות - מספר המינים 2004-2023



איור 14: התפלגות מספר מינים בפתח הקישון (A) ובגשר ההסתדרות (B) באביב 2004-2023

Diversity Index



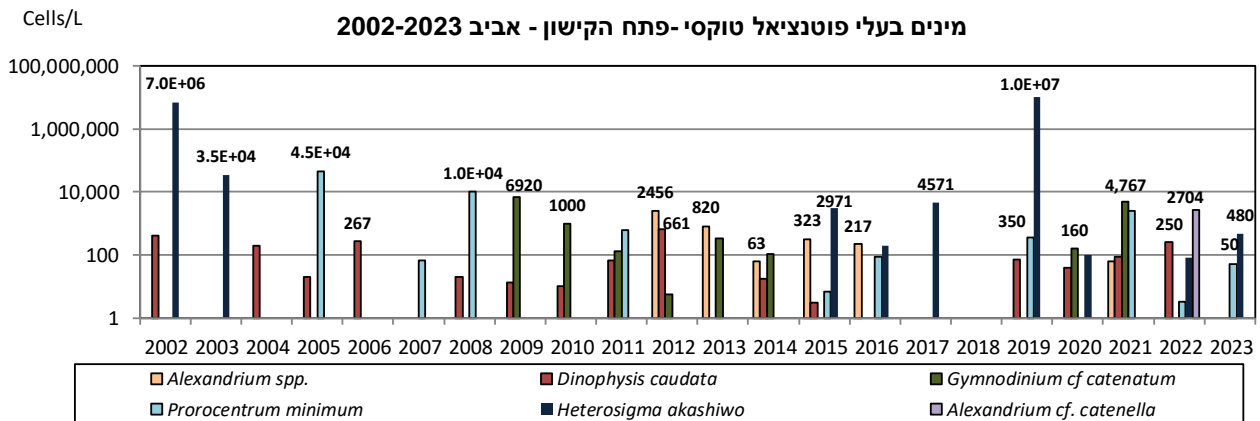
איור 15: אינדקס מגוון המינים (Diversity Index) באביב 2003-2023

הרכב מיני מיקרופלנקטון

דינופלגלטים קטנים מ- $15\mu\text{m}$ היו השכיחים ביותר מספרית מבין הדינופלגלטים, בפתח הקישון בדומה לדיגומים קודמים (טבלה 8). ריכוז גבוה של דינופלגלט מהמין *Prorocentrum triestinum* אשר היה שכיח גם בדיגומי אביב קודמים, נמצא באביב 2023. במקביל פרוחה הצורנית מהמין *Thalassiosira pseudonana* גם היא שכיחה לאורך השנים בפתח הקישון. היא הרכיבה כמעט מאה אחוז מביומסת האצות הצורניות ו- 70% מהביומסה הכללית. בקטריות כחוליות מהמין (2) *Synechococcus sp.* פרחו והיוו 22% מהביומסה הכללית.

דינופלגלטים כמעט ונעדרו בגשר ההסתדרות בשנה קודמת, אך הופיעו באביב 2023 בריכוז גבוה. הופיעו מספר מינים בריכוז קטן, שאינם אופייניים למים אלה ומרביתם היו קטנים מ- $15\mu\text{m}$ (טבלה 8). מספר מיני צורניות הופיעו, אך השכיחה ביותר היתה צורנית מהמין *Thalassiosira pseudonana* בדומה לפתח הקישון. בנוסף, פרחו מיני פלגלטים מקבוצת ה- *Cryptophyceae* : מיני *Cryptomonads* והמין *Hemiselmis sp.* שניהם שכיחים בגשר ההסתדרות גם בדיגומים קודמים. בקטריות כחוליות מהמין (2) *Synechococcus sp.* פרחו, הן הופיעו תדיר גם בדיגומים קודמים.

מינים בעלי פוטנציאל טוקסי נראו במספר קטן ובריכוז קטן מאד בפתח הקישון ובגשר ההסתדרות (איור 16, טבלה 8).



איור 16 : התפלגות מינים בעלי פוטנציאל טוקסי בפתח הקישון באביב 2002-2023

טבלה 8 : ריכוז מיקרופלנקטון (תאים/לליטר) בקישון – מאי 2023

	פתח הקישון	גשר ההסתדרות		פתח הקישון	גשר ההסתדרות
Dinoflagellates					
Dinoflagellates<15µm	2.0E+04	1.2E+04	Cryptophyceae		
<i>Ceratium pulchellum</i>		67	<i>Cryptomonad</i> spp.	5.6E+05	2.0E+08
<i>Dinophysis caudata</i>		37	<i>Hemiselmis</i> sp.		8.2E+07
<i>Gymnodinium elongatum</i>	18	67			
<i>Gymnodinium</i> sp. (667A)	40	4800	Chlorophyceae		
<i>Gymnodinium</i> cf. <i>catenatum</i>		133	<i>Actinastrum hantzschii</i>		686
<i>Oxyphysis oxytoxoides</i>	169	27	<i>Closteriopsis acicularis</i>	40	1800
<i>Prorocentrum gracile</i>	33		<i>Coelastrum microporum</i>		1667
<i>Prorocentrum minimum</i>	50		<i>Crucigenia tetrapedia</i>		200
<i>Prorocentrum triestinum</i>	10240		<i>Crucigeniella apiculata</i>	107	1333
<i>Protoperdinium</i> spp.	840		<i>Crucigeniella rectangularis</i>		533
<i>Protoperdinium</i> sp. (54)	60		Flagellae spp.	5.3E+03	
<i>Protoperdinium</i> sp. (2024)	733		<i>Monoraphidium arcuatum</i>	20	207
<i>Protoperdinium bipes</i>	840		<i>Monoraphidium minutum</i>	80	333
<i>Scrippsiella</i> sp.	213		<i>Oocystis borgei</i>		733
<i>Warnowia</i> sp.	7		<i>Oocystis</i> sp. (1312)		807
			<i>Oocystis</i> sp. (396k)		1333
			<i>Pediastrum duplex</i>		4667
Diatoms			<i>Percursaria percursa</i>		1333
<i>Achnanthes</i> sp.	13	40	<i>Scenedesmus acuminatus</i>	240	3066
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	67		<i>Scenedesmus abundans</i>	53	
<i>Asteroplanus karianus</i>	140		<i>Scenedesmus acutus</i>		267
<i>Bacillaria paxillifera</i>	200	7169	<i>Scenedesmus obliquus</i>		733
<i>Biddulphia alternans</i>	40		<i>Scenedesmus obtusus</i>		267
<i>Cerataulina pelagica</i>	520		<i>Scenedesmus quadricauda</i>		107
<i>Chaetoceros</i> spp.	380		Unidentified (1272)		1.8E+03
<i>Coscinodiscus</i> sp.	7				
<i>Cyclotella</i> sp.	100	5267			
<i>Cylindrotheca</i> sp.	460	133	Cyanobacteria		
<i>Cymbella</i> sp. (1998)	60	2400	<i>Chroococcus</i> spp.	320	133
<i>Dactyliosolen fragillissimus</i>	180		<i>Chroococcopsis epiphytica</i>		133
<i>Diploneis</i> sp.	40		<i>Leptolyngbia</i> sp.		2.4E+04
<i>Entomoneis gigantea</i> var <i>sulcata</i>		43	<i>Oscillatoria</i> sp. (463k1)	200	
<i>Entomoneis paludosa</i>		57	<i>Oscillatoria</i> sp. (914a)	800	2.5E+04
<i>Entomoneis</i> sp. (1622)	27		<i>Synechococcus</i> sp. (1)	1.5E+07	6.7E+06
<i>Leptocylindrus danicus</i>	210		<i>Synechococcus</i> (2)	2.4E+08	5.5E+08
<i>Melosira moniliformis</i>	67	47			
<i>Navicula</i> sp. (1949)	87	1200	Raphidophyceae		
<i>Navicula</i> sp. (313)		67	<i>Heterosigma akashiwo</i>	480	
<i>Navicula</i> sp. (320)	36	133			
<i>Navicula</i> sp. (559A)		1200	Chrysophyceae		
<i>Navicula</i> sp. (588k)	40	867	<i>Chrysochromulina</i> sp.	80	
<i>Navicula</i> sp. (597A1)	60	600			
<i>Navicula</i> spp.	530	9867	Euglenoidea		
<i>Nitzschia</i> sp. (1566)		933	<i>Euglena</i> sp.		67
<i>Nitzschia</i> sp. (347k)		2167	<i>Eutreptia</i> sp.	240	400
<i>Nitzschia</i> sp. (553A)		200			
<i>Nitzschia</i> sp. (592A)		1686	Dictyochophyceae		
<i>Nitzschia</i> spp.		9067	<i>Octactis octonaria</i>	80	
<i>Pleurosigma</i> spp.	40	98			
<i>Proboscia alata</i>	63		Microalgae<5µm	2.6E+07	5.0E+07
<i>Pseudonitzschia</i> spp.	40				
<i>Rhizosolenia calcar-avis</i>	40		Ciliates		
<i>Rhizosolenia imbricata</i>	53		<i>Mesodinium rubrum</i>	273	67
<i>Suriella</i> spp.	44	7			
<i>Thalassiosira pseudonana</i>	1.3E+08	8.3E+07			
<i>Thalassiosira</i> spp.	16776	1087	Total	4.1E+08	9.7E+08

השוואה רב-שנתית – תחנות פתח הקישון וגשר ההסתדרות – דיגומי אביב 2003-2023

ריכוז תאים, ביומסה וריכוז כלורופיל

מתקיימת תנועתיות בריכוז התאים (איורים 8-9), בביומסה ובריכוז הכלורופיל (איורים 10-11) לאורך השנים בשתי התחנות עקב אירועי פריחה של אצות. בפתח הקישון אירועי פריחה תועדו באביב 2005 ו-2011, בכל אירוע נמדד שיא בביומסה ובריכוז הכלורופיל. בשנים 2012-2018 הביומסה וריכוז הכלורופיל ירדו וממוצע הפרמטרים הללו היה נמוך מממוצע שנים קודמות. באביב 2019 שוב הופיעה פריחה, ריכוז הכלורופיל וביומסה הגיעו לשיא חדש. בשנים האחרונות (2020-2023) נמשכת ירידה הדרגתית בביומסה ובריכוז הכלורופיל. באביב 2023 הביומסה והכלורופיל נמוכים יחסית לממוצע הרב שנתי.

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 התנועתיות הייתה גדולה במיוחד, וממוצע הביומסה וריכוז הכלורופיל בתחנה זו היו גבוהים מהממוצע הרב שנתי (ריכוז הכלורופיל היה בתחום ההיפר איאוטרופי מעל $90\mu\text{g/L}$). החל מאביב 2012 ועד 2015 חלה ירידה בביומסה ובריכוז הכלורופיל. בשנים אחרונות (אביב 2019-2023) חלה עלייה בביומסה שהייתה מלווה גם בעלייה בריכוז הכלורופיל (איור 11). באביב 2023 הביומסה וריכוז הכלורופיל גבוהים מהממוצע הרב שנתי (איור 11).

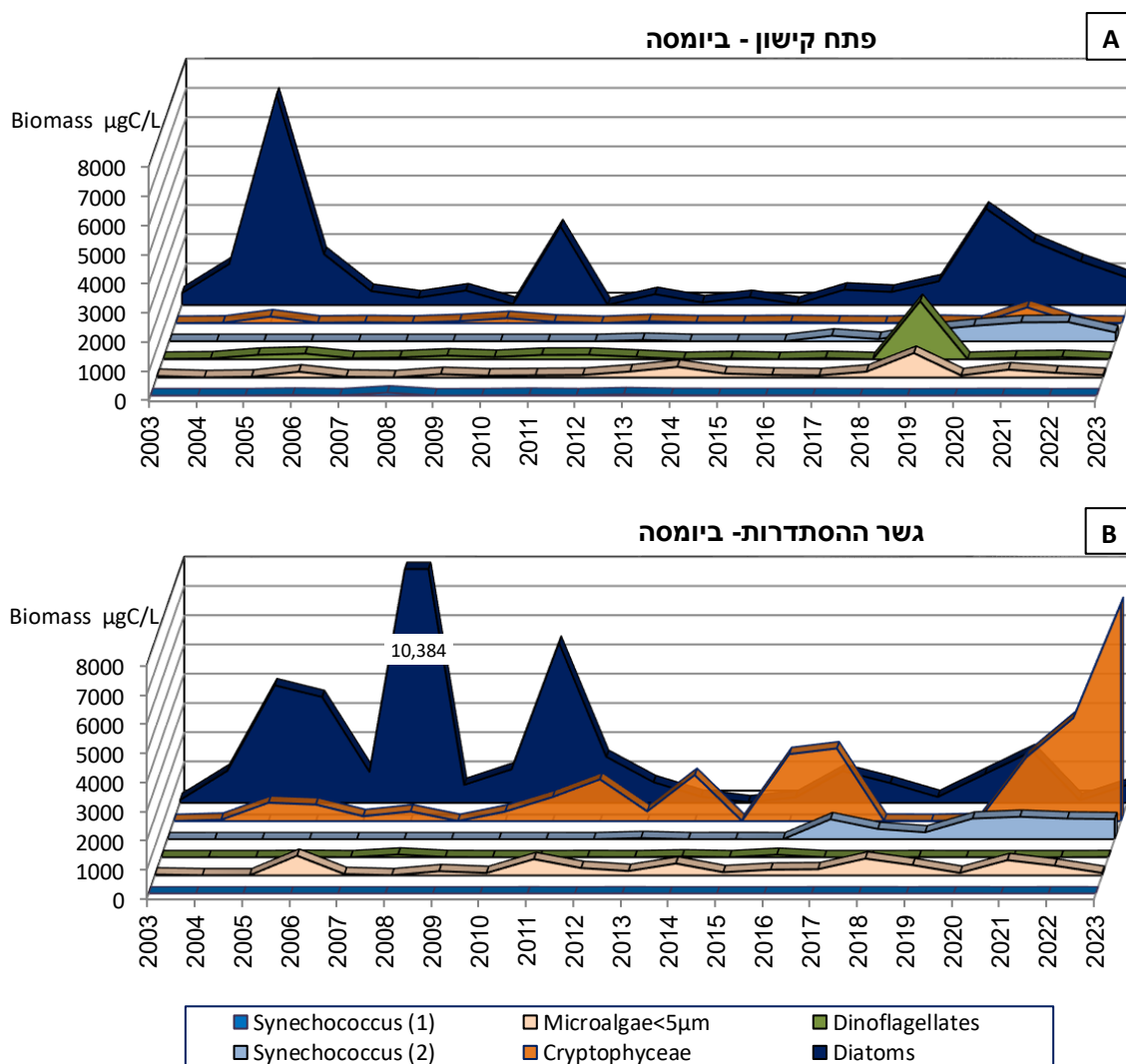
קבוצות מיקרופלנקטון שונות

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

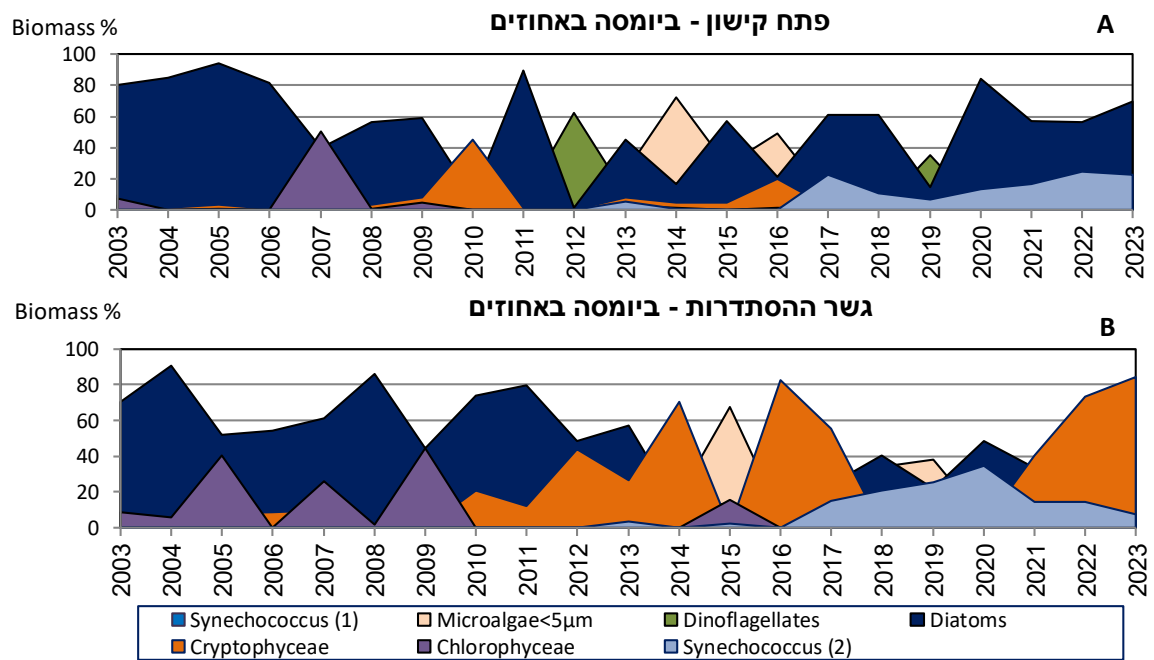
הגורם המרכזי לפריחות הגדולות משתקף בדומיננטיות של אצות צורניות בביומסה הכללית בפתח הקישון המתקיימת לאורך השנים (איורים 17-19). בין השנים 2003-2011 הן פרחו באופן תנודתי והיוו בממוצע כ-70% מהביומסה הכללית (להוציא 2010, איור 18A). בשנים 2012-2018 חלה התמתנות וירידה בביומסה הכללית בתחנה זו (איור 10), והיא עמדה בממוצע על כרבע מהביומסה בשנים קודמות (איור 17A). היחסים בין הקבוצות המרכיבות את הביומסה בשנים אלה השתנו, ובהתאם השתנה שיעורן באחוזים מהביומסה הכללית (איור 18). באביב 2019 נמצאה בפתח הקישון ביומסה גבוהה במיוחד כתוצאה מפריחה יוצאת דופן של דינופלגלטים, של פלגלט בעל פוטנציאל טוקסי מהמין *Heterosigma akashiwo* ושל מיקרואצות קטנות מ- $5\mu\text{m}$, ומאז ריכוזן נמצא בירידה (איורים 10,17,19). בארבע השנים האחרונות (2020-2023) נמצאו שוב פריחות של אצות צורניות, שהיוו $67\% \pm 13$ מהביומסה הכללית (איור 18A). קבוצה נוספת שחשיבותה עלתה בשנים 2017-2023 היא קבוצת הבקטריות הכחוליות מהמין (2) *Synechococcus sp.*, אשר פרחו והיוו בממוצע $17\% \pm 6$ מהביומסה הכללית (איורים 17-19). באביב 2023 נראתה ירידה בריכוזן בפתח הקישון.

אצות צורניות היו דומיננטיות בגשר ההסתדרות עד 2013 (איורים 17-19) והן היוו בממוצע 65% מהביומסה הכללית. מאביב 2011 פלגלטים מקבוצת ה- *Cryptophyceae*, החלו להוות חלק הולך וגדל בביומסה הכללית (איורים 17, 19). חלה עלייה בשיאי הפריחה של קבוצה זו לאורך השנים 2003-2023 כאשר באביב 2023 הם היוו 84% מהביומסה הכללית (איור 12). בדומה לפתח הקישון, בשנים 2017-2023 הופעה של בקטריות כחוליות מהמין (2) *Synechococcus sp.*, שהיוו בממוצע כ-20% מהביומסה הכללית (איורים 17-18).

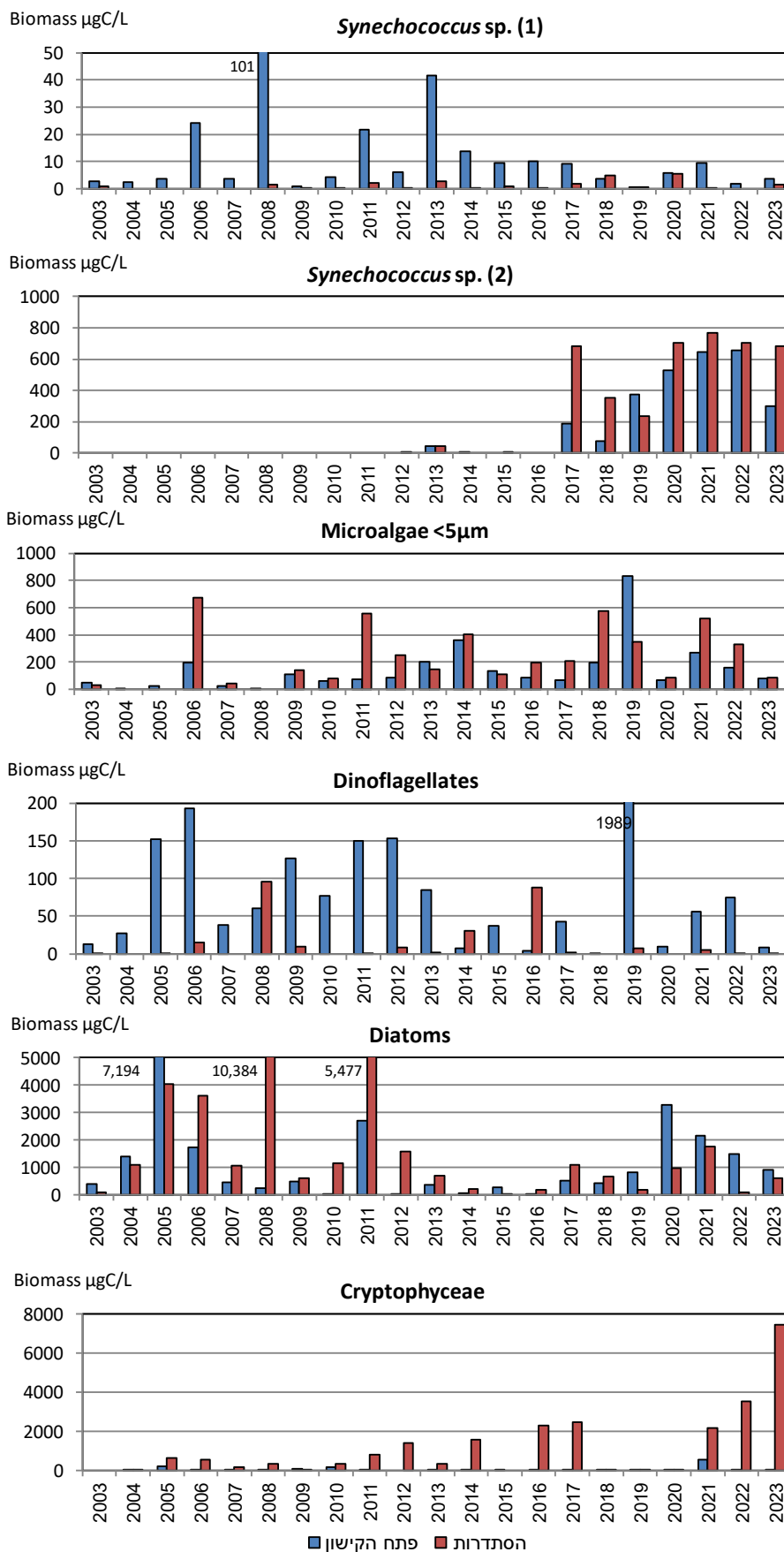
מיקרואצות קטנות מ- $5 \mu\text{m}$ הופיעו תדיר בתחנה זו, אך הופעתם התאפיינה בתנודתיות גדולה לאורך השנים (איורים 17-19).



איור 17 : התפלגות ביומסת מיקרופלנקטון בפתח הקישון (A) ובגשר ההסתדרות (B) באביב 2003-2023



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 2003-2023 (סקלת ציר Y בהתאם לביומסה)

מגוון מינים

מספר המינים – בשתי התחנות קיימת מגמה כללית של עלייה במספר המינים בין השנים 2003-2023 (איור 13). בפתח הקישון בין השנים 2003-2016, קיים מתאם חיובי של עלייה במספר המינים עם השנים, ומקורו היה בעלייה במספר מיני האצות הצורניות (איורים 13-14). בשנים 2017-2023 חלה התייצבות במספר המינים בפתח הקישון עם ממוצע של על 61 ± 7 מינים. בגשר ההסתדרות בעשר השנים האחרונות 2013-2022 התקיימה תנודתיות במספר המינים והם התייצבו על 43 ± 5 מינים (איור 13). באביב 2023 מספר המינים הגיע לשיא והיה דומה למספר המינים בפתח הקישון.

א. אינדקס מגוון המינים – בפתח הקישון התקיימה מגמת עלייה באינדקס בין השנים 2003-2016 (איור 15). מאז אביב 2017 חלה ירידה ניכרת באינדקס מגוון המינים, ובשנתיים אחרונות מתקיימת עלייה מתונה. בגשר ההסתדרות נתקיימה פחות תנודתיות באינדקס מגוון המינים לאורך השנים והוא היה סביב הממוצע הרב שנתי של 1.89 ± 1.4 , לעומת 0.9 ± 0.8 בפתח הקישון (איור 15).

ב. מינים בעלי פוטנציאל טוקסי – מגוון מינים בעלי פוטנציאל טוקסי הופיעו לסירוגין במהלך השנים בפתח הקישון בדיגומי האביב (איור 16). חלקם הופיע בפריחה גדולה יחסית כמו *Heterosigma akashiwo* באביב 2002. אחרים הופיעו בשנים מסוימות בריכוז גדול יחסית 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 הופיע בפריחה גדולה של 1×10^7 תאים לליטר. באביב 2021 הופיעו בריכוז בינוני המינים *Gymnodinium cf. catenatum* והמין *Prorocentrum minimum*. באביב 2022 הופיע לראשונה המין *Alexandrium cf. catenella* בריכוז גבוה יחסית לקבוצה זו. באביב 2023 נראו בפתח הקישון שני מינים בעלי פוטנציאל טוקסי, אולם בריכוז נמוך מאד ($5 \times 10 - 100$ תאים לליטר).

- 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.
- Herut, B., Gertner, Y., Segal, Y., Sisma-Ventura, G., Gordon, N., Belkin, N. and Rahav, E. (2023). Long-Term (2002–2021) Trend in Nutrient-Related Pollution at Small Stratified Inland Estuaries, the Kishon SE Mediterranean Case. *Water*, 15(3), p.484.
- 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., Ljubetic, Z., Mihanovic, H., Olujić, 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.