



חקר ימים ואגמים לישראל (IOLR)

אפיון קבוצות המיקרואצות במי נחל הקישון המלוח

דו"ח ניטור סתיו 2022
דו"ח חיא"ל H07/2023

מוגש לרשות נחל הקישון

מחברים: נורית גורדון, נטליה בלקין, גיא סיסמה-ונטורה, ירון גרטנר, איל רהב* (מחבר לתכתובת: eyal.rahav@ocean.org.il)

חקר ימים ואגמים לישראל בע"מ (Israel Oceanographic & Limnological Research Ltd), תל-שקמונה, ת"ד 8030, חיפה 31080. טלפון: 972-4-8515202, פקס: 972-4-8511911 <http://www.ocean.org.il>

מוגש לרשות נחל הקישון. מרץ 2023.

תקציר

- ריכוזי הנוטריאנטים (חנקות, זרחות וסיליקה) היו נמוכים מאשר בסתיו 2021, אך בהשוואה לשנים 2019–2020 ריכוז הפוספאט באסטואר המלוח עלה (עד פי 9). דבר המצביע על אאוטרופיקציה גבוהה שממשיכה להגיע ממעלה הנחל. כל הנוטריאנטים נמצאו בקשר לינארי חיובי ביחס לריכוז הכלורופיל, ריכוז בקטריות, היצרנות הראשונית והחידקית באסטואר המלוח.
- 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 המצב הסביבתי בתחנות השונות באסטואר המלוח בהשוואה לערכי סף של קריטריונים להערכת מצב הסביבתי באסטוארים קטנים נמצא מצב "Bad" בסטוס ריכוז הפוספאט במי פני השטח המוזרמים ממעלה הנחל. שאר הפרמטרים סווגו במצב "Moderate" ו-"Good".
- ערכי היצרנות הראשונית היממתית היו דומים בפני השטח לדיגומי סתיו קודמים. הפעילות החידקית שנמדדה לאורך האסטואר המלוח הייתה גבוהה עד פי 7 ביחס ליצרנות החידקית בסתיו אשתקד. תהליכים אוטורופים (פוטוסינתזה) היו דומיננטיים ביחס לתהליכים מיקרוביאליים הטרורופים (חידקים) בפני השטח בכל התחנות באסטואר המלוח. במי העומק שבתחנות מעלה הנחל, תהליכים הטרורופים דומיננטיים. לא נמדדה עקת חמצן חמורה (אנוקסיה) בקרבת הקרקעית, ריכוז החמצן הנמוך ביותר היה במי העומק בתחנת לבניות (2.02 מג"ל) ונמצא בטווח הנזק הביולוגי.
- חל שינוי בהרכב קבוצות הפיטופלנקטון בשתי התחנות. את הבקטריות הכחוליות מהמין (2) *Synechococcus* sp., אשר בשנתיים אחרונות היו דומיננטיות בביומסה הכללית, החליפו בפתח הקישון מיקרואצות קטנות מ-5 מיקרון ואצות צורניות. בגשר ההסתדרות היו דומיננטיים פלגלטים מקבוצת ה-Cryptophyceae, ודינופלגלטים ללא כלורופיל, שפרחו באופן יוצא דופן.

- פתח הקישון מתאפיין בהרכב מיני אצות ממקור ימי, עם מספר מינים ואינדקס מגוון מינים גבוה ביחס לגשר ההסתדרות, שם נמצאו בעיקר מינים המאפיינים מים פחות מלוחים. השנה חלה ירידה במספר המינים ובאינדקס מגוון המינים בשתי התחנות.
- לא נמצאו מינים בעלי פוטנציאל טוקסי.

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 בסתיו בתאריך 31 באוקטובר 2022. 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 רוויית חמצן, ועכירות באמצעות מכשיר Hydrolab MS-5 Mini Multiparameter 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 פוטומרית וזרימה מקוטעת במכשיר Skalar SAN plus systems, המפורטות בשיטות UNESCO-SCOR-IOC (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 פלואורומטרית 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 2 שעות בטרם מדידתם עם מונה נצנץ (סנטימציה) עם שינויים קלים לנחל הקישון (Bar-Zeev and Rahav, 2015).

אפיון אוכלוסיית הפיקו/מיקרו-אצות נעשתה הן על ידי מדידות Flow-cytometer (Applied Biosystems), והן בשיטות טקסונומיות מיקרוסקופיות. נוסף לכך, נספרו חיידקים הטרוטרופים (צרכנים שניוניים) לאורך תחנות הדיגום. מי הדגימה קובעו מידית עם גלוטראלדהיד (50%, ריכוז סופי 0.16%), 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, כוסה בשכבת שמן נוספת ובזכוכית מכסה, ונשמר בהקפאה עד לזיהוי וספירה בעזרת מיקרוסקופ אפיפלאורסנטי. סוגים גדולים מ-5 מיקרון – מי דגימה סוננו על גבי פילטרים מפוליקרבונט (5 ו-20 מיקרון) ושומרו בשתי שיטות: באמצעות שמן אימרסיה כמתואר לעיל, ובשיטת (Filter-Transfer-Freeze (FTF; Hewes and Holmes-Hansen, 1983), ונשמרו בהקפאה עד לזיהוי וספירה שנעשו באור רגיל ובפלאורסנציה תוך מספר חודשים.

טבלה 1: מיקום תחנות הדיגום לאורך נחל הקישון המלוח ושתי תחנות במעלה הנחל בדיגום אוקטובר 2022

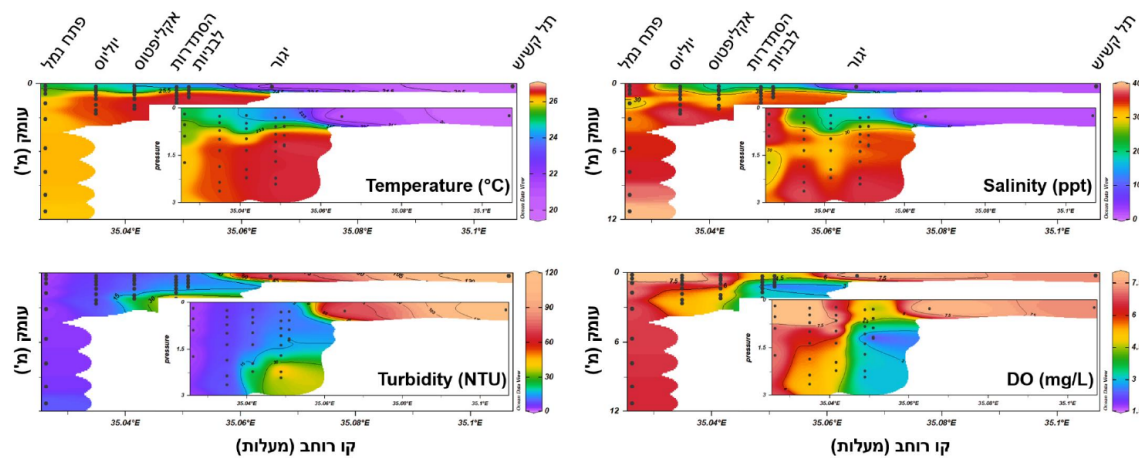
טבלה 1: מיקום תחנות הדיגום (קואורדינטות מקורבות)

תחנה	Latitude (N)	Longitude (E)
חוות החיות	32°45.55'	35°06.39'
יגור	32°45.55'	35°06.39'
לבניות	32°35.91'	35°47.27'
גשר ההסתדרות	32°35.10'	35°47.86'
אקליפטוס	32°32.30'	35°48.50'
גשר יוליוס סימון	32°35.01'	35°48.01'
פתח הנמל	32°31.55'	35°48.59'

הערה: נתוני הקואורדינטות המדויקים מוצגים בקובץ המקור; הערכים כאן משוחזרים מתוך טבלת המקור ועשויים להכיל אי-דיוק קל בעיגול השניות.

3.1 פרמטרים כימיים-פיסיקליים בעמודת המים

פרופיל העומק של הטמפרטורה, המליחות, עכירות המים והחמצן מומס, לאורך נחל הקישון המלוח ושתי תחנות במעלה הנחל כפי שנמדדו באוקטובר 2022 מוצגים באיורים 1-2 ובטבלה 2. ככלל, טמפרטורת המים הייתה אופיינית לעונה ונעה בין 19.9 ל-26.7 מעלות צלזיוס. פיזור הטמפרטורה האנכי מראה כי עמודת המים הייתה משוכבת ברוב תחנות הדיגום בקישון המלוח (הפרש מקסימלי של 2.83 מעלות צלזיוס בין מי פני השטח למי העומק). טמפרטורת המים בתחנות הדיגום במעלה הנחל (יגור ותל קשיש) היו נמוכות יותר (19.9-21.3 מעלות צלזיוס), ככל הנראה בגלל נפח המים הקטן בתחנות אלו ומכאן ההשפעה הרבה יותר כאשר טמפרטורת הסביבה (אוויר) נמוכה. בדומה לדיגומים קודמים, שכבת המים העליונים (0.5-1 מ') הייתה מלוחה פחות מחלקה התחתון, כתוצאה מכניסת מי ים בעומק עמודת המים ודרך הסדימנט (הפרש מקסימלי של 20.21 יחידות מליחות בין מי פני השטח למי העומק). ככל שמתקרבים למורד הנחל (קרי התקרבות לים הפתוח) עלתה המליחות – הן בגוף המים העליון והן בתחתון. במי השטח הגרדיאנט גדול/משמעותי יותר לעומת הגרדיאנט במים העמוקים (20.79 ו-3.79 יחידות מליחות בפני שטח ובעומק בהתאמה).



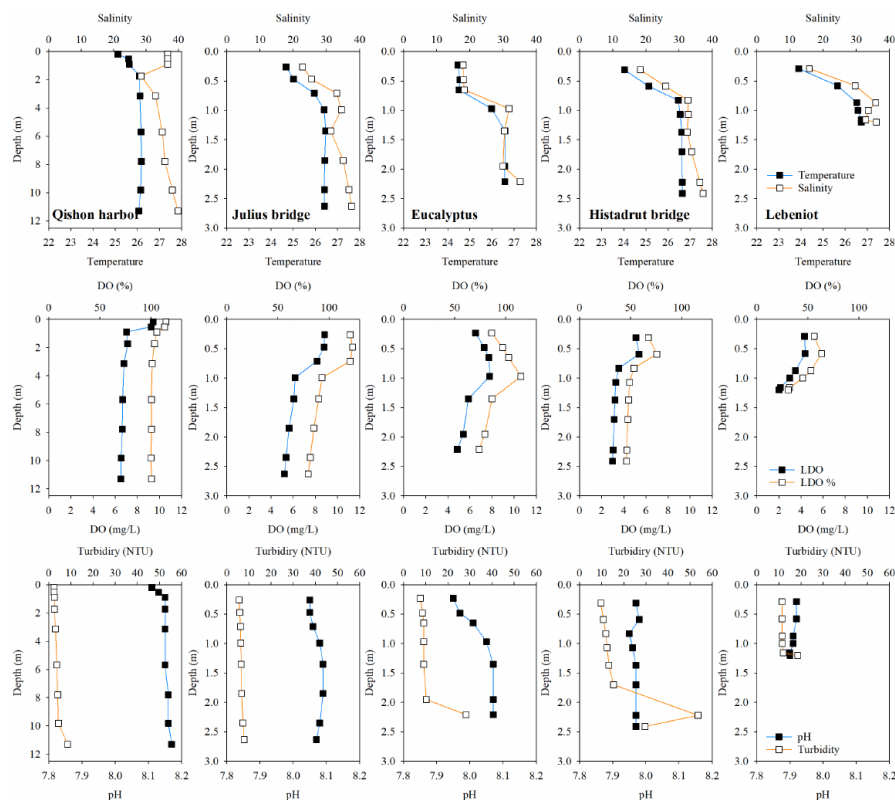
איור 1: פרופיל עומק (עם הגדלה של 3 מטרים העליונים) של הטמפרטורה ($^{\circ}\text{C}$), מליחות (ppt), ריכוז חמצן מומס (mg/L), ועכירות (NTU) באוקטובר 2022 לאורך נחל הקישון המלוח ושתי תחנות במעלה הנחל. האינטרפולציה בין נקודות המדידה בוצעה באמצעות תוכנת Ocean Data View (גרסה 5.0.0) על ידי שימוש באלגוריתם Weighted-average gridding.

6

איור 1: פרופיל עומק (עם הגדלה של 3 מטרים העליונים) של הטמפרטורה ($^{\circ}\text{C}$), מליחות (ppt), ריכוז חמצן מומס (mg/L), ועכירות (NTU) באוקטובר 2022 לאורך נחל הקישון המלוח ושתי תחנות במעלה הנחל. האינטרפולציה בין נקודות המדידה בוצעה באמצעות תוכנת Ocean Data View (גרסה 5.0.0) על ידי שימוש באלגוריתם Weighted-average gridding.

ריכוז החמצן המומס במים ירד בכל תחנה ככל שמעמיקים, וככל שמתרחקים מפתח הנמל במעלה האסטואר, עם ריכוזים הנמוכים ביותר בתחנת לבניות (2.02–4.33 מג"ל) שם החמצן המומס במי השטח הגיע רק ל-56% מרוויה (4.33 מג"ל). אחוז החמצן מרוויה ירד עם העמקה בעמודת המים בכל התחנות, עם ריכוזים המעידים על עקת חמצן בינונית (נזק ביולוגי 2–5 מג"ל, טבלה 3) במי העומק בתחנות לבניות, הסתדרות ואקליפטוס. יש לציין שהפעם לא נמדדו ערכים בטווח ההיפוקסיה במי העומק כבעבר. ריכוז החמצן במים מוכתב בעיקר ע"י תהליכי נשימה חיידקית, פוטוסינתזה, ובמידה מסוימת ע"י חדירת מי ים. ריכוז החמצן במי השטח מושפע מתהליכי ערבוב בין מי נחל מהמעלה (כולל הזרמות מהמפעלים) לבין מי ים שלרוב עשירים יחסית בחמצן, ומתהליכי פריחת אצות. המצב האנוקסי שנמדד בנחל בשנים קודמות במקומות רבים מצביע על פעילות מטאבולית הטרוטרופית חיידקית ועל אאוטרופיקציה של אזורים אלו. בניגוד לשנים קודמות, המגמה באוקטובר 2022 דומה לשני דיגומי הסתיו האחרונים; יש להמשיך לעקוב אחר העניין בדיגומי הסתיו הבאים, כולל מדידות יממיות (שכן פוטוסינתזה מושפעת מתאורה).

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



7

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

טבלת הנתונים המלאה (טבלה 2) המסכמת את פרופילי העומק של הטמפרטורה, מליחות, חמצן מומס, הגבה (pH) ועכירות בכל תחנה ותחנה מוצגת כתמונה להלן, לשם שימור נאמן של מבנה הנתונים הרב-עומקי המקורי.

טבלה 2: סיכום פרופילי עומק של הטמפרטורה, מליחות, חמצן מומס, קשיות (pH) ועכירות באוקטובר 2022 לאורך נחל הקישון המלוח ושתי תחנות במעלה הנחל (כמוצג באיורים 1 ו-2).

עכירות NTU	pH	חמצן מומס (mg/L)	מליחות	טמפרטורה (C°)	עומק דיגום (m)	תחנה
2.3	8.11	9.43	36.65	25.12	0.19	פתח נמל
2.4	8.13	9.24	36.65	25.61	0.53	
2.5	8.15	7.02	36.65	25.64	0.89	
2.5	8.15	7.13	28.48	26.09	1.73	
3	8.15	6.79	32.94	26.12	3.13	
3.6	8.15	6.66	35.02	26.17	5.69	
4	8.16	6.64	35.82	26.18	7.79	
4.3	8.16	6.53	38.14	26.15	9.82	
8.5	8.17	6.51	39.86	26.06	11.3	
5.6	8.05	8.83	22.82	24.68	0.26	יוליוס
5.8	8.05	8.79	25.52	25.02	0.47	
6.1	8.06	8.14	33.11	25.95	0.71	
6.3	8.08	6.17	34.51	26.4	0.99	
6.5	8.09	6.07	31.3	26.47	1.35	
6.7	8.09	5.63	35.07	26.42	1.85	
7.3	8.08	5.35	36.82	26.41	2.35	
7.9	8.07	5.20	37.54	26.41	2.63	
7.6	7.95	6.51	17.95	24.46	0.23	אקליפטוס
8.6	7.97	7.29	18.05	24.55	0.48	
9.2	8.01	7.73	18.39	24.51	0.65	
9.2	8.05	7.79	31.78	25.98	0.97	
9.1	8.07	5.86	30.42	26.59	1.35	
10.3	8.07	5.40	30.00	26.58	1.95	
28.3	8.07	4.87	35.11	26.58	2.21	
9.7	7.97	5.12	18.32	24.03	0.31	הסתדרות
10.8	7.98	5.39	25.93	25.13	0.59	
11.9	7.95	3.56	32.65	26.47	0.83	
12.5	7.96	3.27	32.75	26.55	1.07	
13.3	7.97	3.21	32.48	26.62	1.37	
15.4	7.97	3.14	33.77	26.63	1.7	
53.6	7.97	3.03	36.23	26.64	2.22	
29.6	7.97	2.99	37.25	26.64	2.41	
11.4	7.92	4.33	15.86	23.9	0.29	לבניות
11.4	7.92	4.39	29.7	25.65	0.58	
11.5	7.91	3.49	35.88	26.52	0.87	

טבלה 2: סיכום פרופילי עומק של הטמפרטורה, מליחות, חמצן מומס, הגבה (pH) ועכירות באוקטובר 2022 לאורך נחל הקישון המלוח ושתי תחנות במעלה הנחל.

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

טבלה 3: קריטריוני NOAA (1997) לאיכות מים בשפכי נחלים

פרמטר	יחידת מדידה	נמוך	בינוני	גבוה
חמצן מומס (DO)	מג"ל	אנוקסיה = 0	היפוקסיה = 0-2	נזק ביולוגי 2-5
חנקן אנאורגני (NO ₂ +NO ₃)	מג"ל	מעל 1	0.1-1	מתחת ל-0.1
זרחן אנאורגני (PO ₄)	מג"ל	מעל 0.1	0.01-0.1	מתחת ל-0.01
כלורופיל a	מיקרוגרם/ל	מעל 20	5-20	מתחת ל-5

הערה: עבור חמצן מומס וחנקן אנאורגני, ערך גבוה יותר בעמודת "נמוך" משקף מצב סביבתי טוב יותר (ריכוז נמוך של מזהמים); יש לפרש כל פרמטר בהתאם להגדרתו במקור.

ריכוזי הנוטריאנטים (ניטראט + ניטריט + אמוניה, פוספאט וחומצה סיליצית) בדגימות פני השטח ומי עומק בחלקו של הקישון המלוח (פתח נמל עד לבניות) כמו גם תחנות במעלה הנחל (יגור וחוות החיות) מוצגים בטבלה 4. בתחנות הקישון המלוח, ריכוזי הנוטריאנטים בפני השטח (N 0.34-10.68; P 0.05-1.95; Si 0.66- 10.53 mg/L) היו גבוהים מאלה שנמדדו מעל הקרקעית (N 0.06-2.17; P 0.01-0.44; Si 0.13-2.85 mg/L). בדומה לדיגומים קודמים, ריכוזי הנוטריאנטים קטנו בכוון מורד הנחל עם ההתרחקות מהזרמות המפעלים וממקור קולחי התעשייה המוזרמים לנחל, ובהשפעת מידת המיהול עם מי הים. ריכוזי הזרחות, החנקות והסיליקה 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). בכל תחנות הדיגום בתוך הקישון (מעלה הנחל ועד מוצאו) נמצאו ריכוזים גבוהים של חנקן וזרחן (ערך מקסימום של 10.68 ו-1.95 מג"ל בהתאמה), דבר המצביע על רמת זיהום (אאוטרופיקציה) גבוהה (ריכוזים גבוהים מ-1 מג"ל ומ-0.1 מג"ל בהתאמה) על פי הקריטריונים של NOAA (טבלה 3).

טבלה 4: ריכוז נוטריאנטים אנאורגנים (מג"ל) לאורך נחל הקישון המלוח ובתחנות במעלה הנחל, אוקטובר 2022

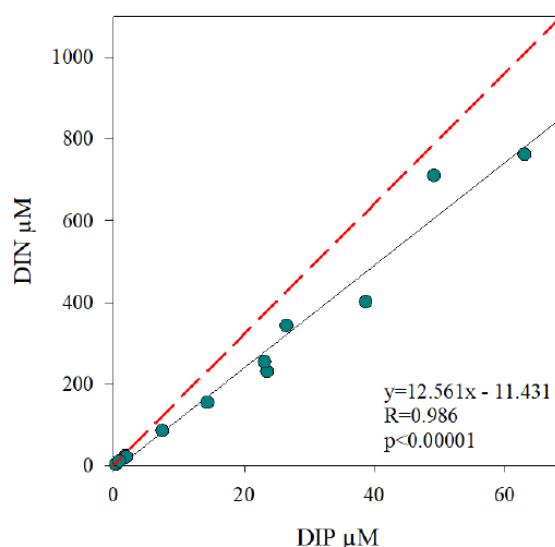
טבלה 4: ריכוזי NO₂+NO₃+NH₄-N ו-Si(OH)₄-Si, PO₄-P (מג"ל) לפי תחנה ועומק דיגום

תחנה	עומק דיגום	Si(OH) ₄ -Si (מג"ל)	PO ₄ -P (מג"ל)	NO ₂ +NO ₃ +NH ₄ -N (מג"ל)
פתח נמל	פני שטח	0.66	0.05	0.34
פתח נמל	קרקעית	0.13	0.01	0.06
יוליוס	פני שטח	6.16	0.72	3.57
יוליוס	קרקעית	0.29	0.03	0.16

תחנה	עומק דיגום	Si(OH) ₄ -Si (מג"ל)	PO ₄ -P (מג"ל)	NO ₂ +NO ₃ +NH ₄ -N (מג"ל)
אקליפטוס	פני שטח	7.19	0.82	4.81
אקליפטוס	קרקעית	0.54	0.06	0.31
הסתדרות	פני שטח	4.55	0.73	3.24
הסתדרות	קרקעית	1.57	0.23	1.21
לבניות	פני שטח	8.32	1.20	5.63
לבניות	קרקעית	2.85	0.44	2.17
יגור	פני שטח	10.12	1.52	9.95
חוות החיות	פני שטח	10.53	1.95	10.68

טבלה 4: ריכוז נוטריאנטים אנאורגניים (mg/L) לאורך נחל הקישון המלוח ובתחנות במעלה הנחל באוקטובר 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	0.34	0.05	0.66
	קרקעית	0.06	0.01	0.13
יוליס	פני שטח	3.57	0.72	6.16
	קרקעית	0.16	0.03	0.29
אקליפטוס	פני שטח	4.81	0.82	7.19
	קרקעית	0.31	0.06	0.54
הסתדרות	פני שטח	3.24	0.73	4.55
	קרקעית	1.21	0.23	1.57
לבניות	פני שטח	5.63	1.20	8.32
	קרקעית	2.17	0.44	2.85
יגור	פני שטח	9.95	1.52	10.12
חוות החיות	פני שטח	10.68	1.95	10.53



איור 3: ריכוז זרחן אנאורגני מומס כתלות בריכוז חנקן אנאורגני מומס במי הקישון המלוח באוקטובר 2022. שיפוע משוואת הקו מגמה הינו 12.56. מקדם המתאם של קורלציית פירסון הינו 0.986 ($p < 0.00001$). הקו המקווקו האדום מייצג שיפוע קו של 16 (יחס רדפילד בין חנקות לזרחות 1:16), יחס המאפיין אקוסיסטמות אקוויטיות רבות.

3.2 פרמטרים ביולוגים בעמודת המים

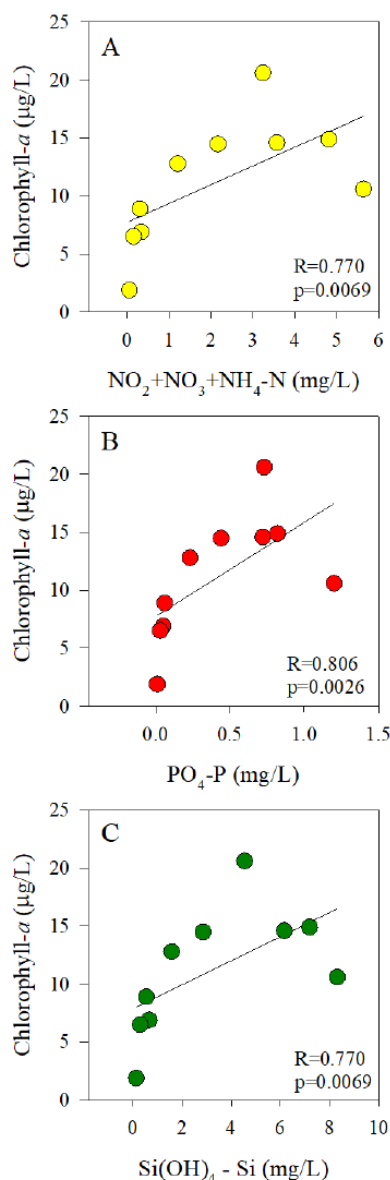
ערכי כלורופיל a בדיגום סתיו 2022 היו גבוהים (1.9-29.8 g/L) (טבלה 5). ביחס לקריטריונים של מנהל האוקיינוסים והאטמוספירה של ארה"ב (NOAA, 1997) לאיכות המים בשפכי נחלים (טבלה 3), ערכים אלה מצביעים על רמת אאוטרופיקציה בינונית במרבית האסטואר המלוח ואאוטרופיקציה גבוהה במעלה האסטואר (חוות החיות ויגור). נמצא קשר סטטיסטי חיובי מובהק בין העלייה בריכוז הכלורופיל לריכוזי

איור 3: ריכוז זרחן אנאורגני מומס כתלות בריכוז חנקן אנאורגני מומס במי הקישון המלוח באוקטובר 2022. שיפוע משוואת קו המגמה הינו 12.56. מקדם המתאם של קורלציית פירסון הינו 0.986 ($p < 0.00001$). הקו המקווקו האדום מייצג שיפוע קו של 16 (יחס רדפילד בין חנקות לזרחות 16:1), יחס המאפיין אקוסיסטמות אקוויטיות רבות.

עודף נוטריאנטים נמדד ברב הדיגומים בשנים האחרונות ובמיוחד עודף בחנקות. יש לציין שבאוקטובר 2022 ריכוזי כל הנוטריאנטים היו נמוכים מאשר אלה שנדגמו בסתיו 2021 (פרט למי העומק בתחנת הלבניות והנמל). היחס האופטימלי/תקין בין ריכוז חנקות אנאורגניות לריכוז זרחות אנאורגניות באקוסיסטמות אקוויטיות נחשב 16:1 (Redfield, 1933). היחס הנ"ל באסטואר הקישון בסתיו 2022 נמוך ועמד על 12.6 (איור 3), ומעיד באופן יוצא דופן ביחס לדיגומי העבר על עודף זרחות באסטואר שמזרמות עם השפכים. בהשוואה לדיגומי סתיו 2020 ו-2019, ריכוז הפוספאט בדיגום הנוכחי גבוה פי 2–9 בכל התחנות, לעומת ריכוזי החנקות אשר ברב התחנות ריכוזן נמוך מהשנים הנ"ל. כאשר בוחנים את יחס חנקות לזרחות בדיגומי סתיו בארבע השנים האחרונות (2019–2022), היחס ירד בהדרגה מ-112.8 בשנת 2019 ל-12.6 בסתיו 2022. שינוי היחס מעיד על כך שבעבר האסטואר היה מקבל עודף חנקות, ובשנתיים האחרונות התהפך המאזן לעודף של זרחות (Herut et al., 2023).

3.2 פרמטרים ביולוגיים בעמודת המים

ערכי כלורופיל a בדיגום סתיו 2022 היו גבוהים (1.9–29.8 מיקרוגרם/ל, טבלה 5). ביחס לקריטריונים של NOAA (1997) לאיכות המים בשפכי נחלים (טבלה 3), ערכים אלה מצביעים על רמת אאוטרופיקציה בינונית במרבית האסטואר המלוח ואאוטרופיקציה גבוהה במעלה האסטואר (חוות החיות ויגור). נמצא קשר סטטיסטי חיובי מובהק בין העלייה בריכוז הכלורופיל לריכוזי הנוטריאנטים (קורלציית ספירמן, $p < 0.01$, איור 4). ריכוז אצות אאוקריוטיות בפני השטח לאורך האסטואר היה גבוה מזה של ציאנובקטריה פי 3–6 ונע בין $1.54-1.78 \times 10^8$ תאים לליטר. נמצא מתאם משמעותי סטטיסטי בין ריכוז הכלורופיל לשכיחות הפיקו-פיטופלנקטון לאורך הנחל המלוח ($R=0.952$, $p < 0.0001$) מבחן ספירמן) אך לא לציאנובקטריה. זאת כפי הנראה בגלל הדומיננטיות של הפיקו-פיטופלנקטון והמיקרואצות. ריכוז הכלורופיל עולה בהתאמה לריכוז הנוטריינטים האנאורגנים ומדגים את ההשפעה של העשרת הנוטריינטים באסטואר על היצרנים הראשוניים (איור 4).



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

בהתאמה לריכוזי האצות האאוקריוטיות הקטנות, ערכי היצרנות הראשונית (primary production) היו גבוהים אף הם בפני השטח לאורך האסטואר המלוח ונעו בין 504-768 מיקרוגרם פחמן לליטר ליום והיו גבוהים ביחס ליצרנות מעל הקרקעית פי 252-60 (טבלה 6). היצרנות הראשונית הנמוכה ביותר בפני השטח נמדדה בתחנות במעלה הנחל (יגור וחוות החיות) כבשנים קודמות. ערכי היצרנות הראשונית (היממתית) היו דומים ואף מעט נמוכים מהיצרנות שנמדדה בסתיו בשנים 2020-2021. כבשנים קודמות, 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., 2017) וממי החוף (Rahav et al., 2016; Raveh et al., 2015). יצרנים

איור 4: ריכוז כלורופיל כתלות בריכוז ניטראט+ניטריט+אמוניה (A), זרחן (B) וסיליקה (C) לאורך נחל הקישון המלוח בלבד באוקטובר 2022, עם קווי המגמה ומקדמי המתאם של קורלציית ספירמן.

שכיחות החיידקים ההטרוטרופים הייתה בין סדר גודל עד שני סדרי גודל גבוהה מהפיקו-פיטופלנקטון ($10^8 \times 4.8 - 10^8 \times 38.7$ תאים בליטר) עם מספר תאים גבוה עד פי 4.3 בפני השטח ביחס לקרבת הקרקעית (טבלה 5). נמצא מתאם משמעותי בין ריכוז חיידקים לריכוזי הנוטריאנטים השונים ($R=0.782-0.794$, $p<0.0001$) מבחן ספירמן) לאורך האסטואר המלוח. יש לציין שבדיקה זו מראה את ריכוז החיידקים במי הדגימה ואינה מרמזת על זהות החיידק, באם הוא פעיל, פתוגני או לא וכד'. המצאות חיידקים פתוגנים אינה חלק ממטרות מחקר זה לפי שעה.

טבלה 5: ריכוז כלורופיל ושכיחות ציאנובקטריות, פיקו-פיטופלנקטון וחיידקים הטרוטרופים במעלה נחל הקישון, אוקטובר 2022

טבלה 5: כלורופיל (מיקרוגרם/ל) ושכיחות תאים ($10^8 \times$ ל) לפי תחנה ועומק

תחנה	עומק דיגום	Chlorophyll-a ($\mu\text{g/L}$)	ציאנובקטריות אוטוטרופיות ($10^8 \times$ ל) תאים/ל	Picoeukaryotes ($10^8 \times$ ל) תאים/ל	חיידקים הטרוטרופים ($10^8 \times$ ל) תאים/ל
פתח נמל	פני שטח	6.9	1.63	0.25	10.1
פתח נמל	קרקעית	1.9	0.73	0.03	4.8
יוליוס	פני שטח	14.6	0.54	1.70	38.7
יוליוס	קרקעית	6.5	0.28	0.10	8.9
אקליפטוס	פני שטח	14.9	0.53	1.78	32.6
אקליפטוס	קרקעית	8.9	0.33	0.34	10.3
הסתדרות	פני שטח	20.6	0.35	1.75	29.3
הסתדרות	קרקעית	12.8	0.40	0.77	19.8
לבניות	פני שטח	10.6	0.27	1.54	19.7
לבניות	קרקעית	14.5	0.33	0.79	26.1
יגור	פני שטח	26.9	0.33	0.09	18.6
חוות החיות	פני שטח	29.8	0.30	0.24	31.0

בהתאמה לריכוזי האצות האאוקריוטיות הקטנות, ערכי היצרנות הראשונית (primary production) היו גבוהים אף הם בפני השטח לאורך האסטואר המלוח ונעו בין 504–768 מיקרוגרם פחמן לליטר ליום והיו גבוהים ביחס ליצרנות מעל הקרקעית פי 60–252 (טבלה 6). היצרנות הראשונית הנמוכה ביותר בפני השטח נמדדה בתחנות במעלה הנחל (יגור וחוות החיות) כבשנים קודמות. ערכי היצרנות הראשונית (היממתית) היו דומים ואף מעט נמוכים מהיצרנות שנמדדה בסתיו בשנים 2020–2021. כבשנים קודמות, 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., 2017) וממי החוף (Raveh et al., 2015; Rahav et al., 2016). יצרנים ראשוניים הנם בסיס שרשרת המזון ותורמים באופן משמעותי למחזור נוטריאנטים והטמעתם לרמות הטרופיות השונות (צרכנים שניוניים, שלישוניים וכו').

בדומה ליצרנות הראשונית, הפעילות החיידקית במי פני השטח הייתה גבוהה מאשר במי העומק (עד פי 9). ערכי היצרנות החיידקית נעו בין 25.9–533.0 מיקרוגרם פחמן לליטר ליום באסטואר המלוח עם יצרנות מקסימלית בפני השטח של תחנת יוליוס (טבלה 6). פעילות החיידקית שנמדדה לאורך האסטואר המלוח הייתה גבוהה עד פי 7 ביחס ליצרנות החיידקית בסתיו אשתקד ועד פי 2.4 ביחס לשנת 2020.

בדומה לאוקטובר 2020–2021 ובניגוד לסתיו 2018 ו-2019, עיקר הפעילות המטאבולית בפני השטח של כל התחנות הייתה אוטוטרופית (פוטוסינתזה) ונעשתה על ידי יצרנים ראשוניים, אצות וציאנובקטריה (טבלה 6, איורים 5–6). למעשה, ערכי היצרנות הראשונית היו גבוהים במי פני השטח באסטואר המלוח מערכי היצרנות החיידקית (פי 1.2–4.6). בשונה מסתיו בשנת 2021, ניכר כי הפעילות ההטרוטרופית הייתה דומיננטית במי העומק (יחס BP:PP נמוך מ-1) ובמעלה הנחל והייתה גבוהה פי 4–59. מבחני מתאם בין ערכי יצרנות ראשונית (PP), יצרנות חיידקית (BP), והיחס ביניהם (PP:BP) לבין ריכוזי הנוטריאנטים מובאים באיור 7. קיים קשר לינארי חיובי ומובהק בין ריכוז הנוטריאנטים לבין קצב הפעילות של המערכות האוטוטרופית וההטרוטרופית. כמו כן, ככל שריכוז הנוטריאנטים (חנקות, זרחות וסיליקה) עולה, כך היחס בין יצרנות חיידקית ליצרנות ראשונית יורד (איור 7 G-I) והמערכת האקולוגית הופכת יותר אוטוטרופית. מגמה זו מדגישה את ההשפעה ההדוקה של ריכוז הנוטריינטים הגבוה באסטואר על תפקוד היצרנים ובכך משנים את המאזן בין השניים.

טבלה 6: קצב היצרנות הראשונית (Primary production) והחיידקית (Bacterial production) היממתית, אוקטובר 2022

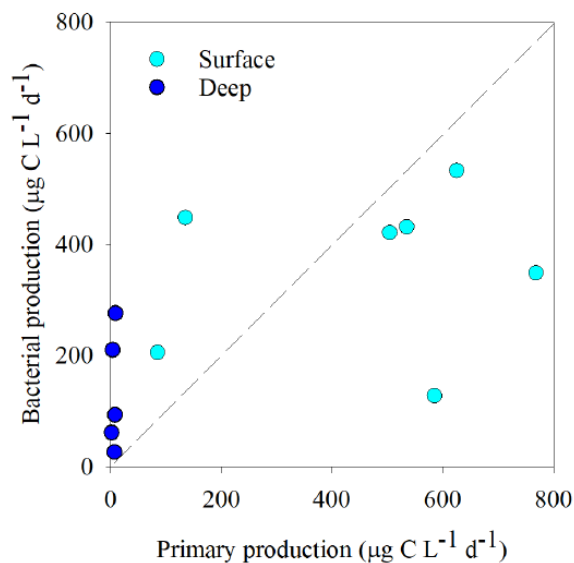
טבלה 6: יצרנות חיידקית ויצרנות ראשונית (מיקרוגרם פחמן לליטר ליום) ויחס BP/PP לפי תחנה ועומק. כאשר היחס גדול מ-1 המערכת נשלטת על ידי יצרנות הטרוטרופית; כאשר קטן מ-1 נשלטת על ידי יצרנות אוטוטרופית.

תחנה	עומק דיגום	Bacterial production ($\mu\text{g C L}^{-1} \text{ d}^{-1}$)	Primary production ($\mu\text{g C L}^{-1} \text{ d}^{-1}$)	יחס BP/PP
פתח נמל	פני שטח	14.7 ± 127.5	66.3 ± 585.0	0.2
פתח נמל	קרקעית	1.5 ± 25.9	2.3 ± 6.9	3.8
יוליוס	פני שטח	81.2 ± 533.0	53.3 ± 624.7	0.9
יוליוס	קרקעית	4.1 ± 61.0	0.8 ± 2.5	24.6
אקליפטוס	פני שטח	94.4 ± 421.5	206.3 ± 504.5	0.8
אקליפטוס	קרקעית	13.1 ± 92.6	4.6 ± 8.5	11.0

תחנה	עומק דיגום	Bacterial production ($\mu\text{g C L}^{-1}$ (d^{-1})	Primary production ($\mu\text{g C L}^{-1}$ (d^{-1})	יחס BP PP
הסתדרות	פני שטח	107.6 ± 348.6	35.3 ± 768.5	0.5
הסתדרות	קרקעית	18.6 ± 210.5	2.2 ± 3.6	59.1
לבניות	פני שטח	47.5 ± 431.6	86.7 ± 535.0	0.8
לבניות	קרקעית	12.4 ± 276.1	3.4 ± 8.7	31.8
יגור	פני שטח	30.7 ± 205.4	10.9 ± 85.4	2.4
חוות החיות	פני שטח	32.4 ± 448.3	30.3 ± 134.9	3.3

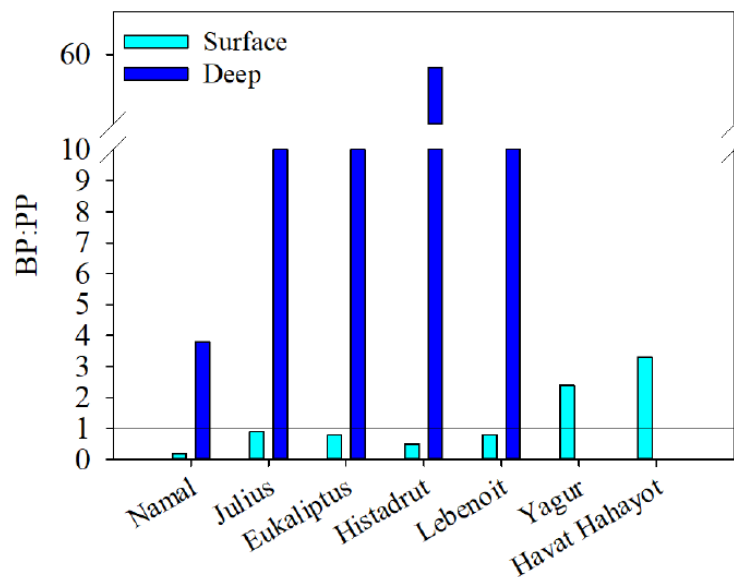
טבלה 6: קצב היצרנות הראשונית (Primary production) והחיידקית (Bacterial production) היממתית בנחל הקישון המלווה ובשתי תחנות במעלה הנחל באוקטובר 2022. כאשר היחס בין היצרנות החיידקית לראשונית גדול מ-1 המערכת 'נשלטת' על ידי יצרנות הטרוטרופית. כאשר היחס בין היצרנות החיידקית לראשונית קטן מ-1 המערכת 'נשלטת' על ידי יצרנות אוטוטרופית (פוטוסינתזה).

תחנה	עומק דיגום	Bacterial production ($\mu\text{g C L}^{-1} \text{d}^{-1}$)	Primary production ($\mu\text{g C L}^{-1} \text{d}^{-1}$)	BP/PP ratio
פתח נמל	פני שטח	127.5±14.7	585.0±66.3	0.2
	קרקעית	25.9±1.5	6.9±2.3	3.8
יוליוס	פני שטח	533.0±81.2	624.7±53.3	0.9
	קרקעית	61.0±4.1	2.5±0.8	24.6
אקליפטוס	פני שטח	421.5±94.4	504.5±206.3	0.8
	קרקעית	92.6±13.1	8.5±4.6	11.0
הסתדרות	פני שטח	348.6±107.6	768.5±35.3	0.5
	קרקעית	210.5±18.6	3.6±2.2	59.1
לבניות	פני שטח	431.6±47.5	535.0±86.7	0.8
	קרקעית	276.1±12.4	8.7±3.4	31.8
יגור	פני שטח	205.4±30.7	85.4±10.9	2.4
	פני שטח	448.3±32.4	134.9±30.3	3.3



איור 5: היחס בין יצרנות ראשונית (פוטוסינתזה) ליצרנות חיידקית (קיבוע פחמן הטרוטרופי) במי הקישון באוקטובר 2022. הקו המקווקו מייצג יחס של 1:1 בין המשתנים. כאשר היחס זה גדול מ-1 המערכת 'נשלטת' על ידי יצרנות הטרוטרופית.

איור 5: היחס בין יצרנות ראשונית (פוטוסינתזה) ליצרנות חיידקית (קיבוע פחמן הטרוטרופי) במי הקישון באוקטובר 2022. הקו המקווקו מייצג יחס של 1:1 בין המשתנים.



איור 6: היחס בין יצרנות חיידקית (קיבוע פחמן הטרוטרופי) ליצרנות ראשונית (פוטוסינתזה) במי הקישון באוקטובר 2022. הקו מהווה יחס של 1:1 בין המשתנים. כאשר היחס זה גדול מ-1 המערכת 'נשלטת' על ידי יצרנות הטרוטרופית.

טבלה 7: סיווג הקריטריונים של מצב הסביבתי בתחנות השונות בנחל הקישון המלוח 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	Good	Good	Good	Moderate	Good
	קרקעית	Good	Good	Good	Good	Good
יוליס	פני שטח	Bad	Moderate	Moderate	Moderate	Good
	קרקעית	Good	Good	Good	Moderate	Good
אקליפטוס	פני שטח	Bad	Moderate	Moderate	Moderate	Good
	קרקעית	Good	Good	Good	Moderate	Moderate
הסתדרות	פני שטח	Bad	Moderate	Moderate	Moderate	Good
	קרקעית	Moderate	Good	Good	Moderate	Moderate
לבניות	פני שטח	Bad	Moderate	Moderate	Moderate	Moderate
	קרקעית	Bad	Moderate	Good	Moderate	Moderate
יגור	פני שטח	Bad	Bad	Good	Moderate	Good
חוות החיות	פני שטח	Bad	Bad	Good	Moderate	Good

איור 6: היחס בין יצרנות חיידקית (קיבוע פחמן הטרוטרופי) ליצרנות ראשונית (פוטוסינתזה) במי הקישון באוקטובר 2022. הקו מהווה יחס של 1:1 בין המשתנים.

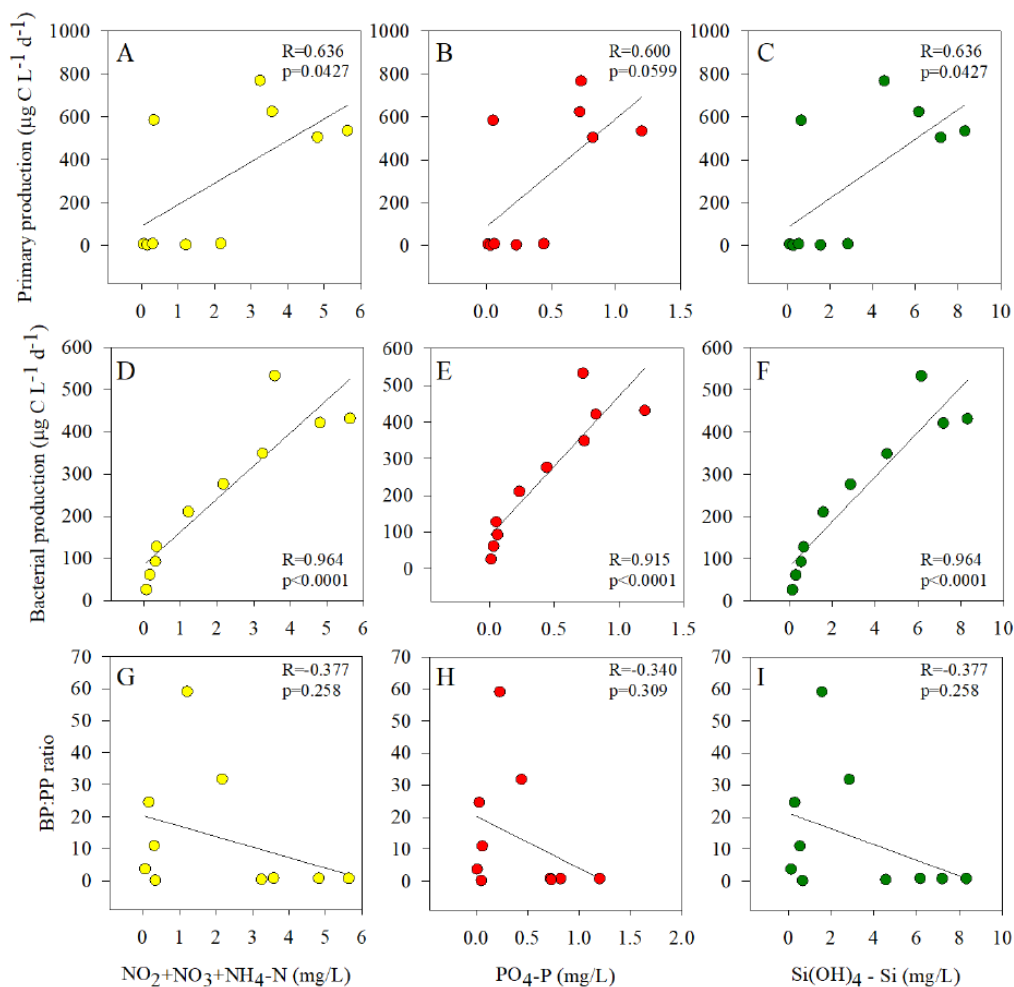
טבלה 7: סיווג הקריטריונים של המצב הסביבתי בתחנות השונות בנחל הקישון המלוח

הסיווג נובע מהשוואת הפרמטרים השונים שנמדדים בניטור (ריכוזי פוספאט, ניטראט, אמוניה, כלורופיל וחמצן מומס במים) אל מול ערכי הסף שהוצעו ע"י Herut et al., 2023 להערכת המצב הסביבתי באסטוארים קטנים.

טבלה 7: סיווג מצב סביבתי (Good/Moderate/Bad) לפי תחנה, עומק וחמישה פרמטרים

תחנה	עומק דיגום	DO (חמצן מומס)	Chl-a (כלורופיל)	NH4 (אמוניה)	NO3 (ניטראט)	PO4 (זרחן)
פתח נמל	פני שטח	Good	Moderate	Good	Good	Good
פתח נמל	קרקעית	Good	Good	Good	Good	Good
יוליוס	פני שטח	Good	Moderate	Moderate	Moderate	Bad
יוליוס	קרקעית	Good	Moderate	Good	Good	Good
אקליפטוס	פני שטח	Good	Moderate	Moderate	Moderate	Bad
אקליפטוס	קרקעית	Moderate	Moderate	Good	Good	Good
הסתדרות	פני שטח	Good	Moderate	Moderate	Moderate	Bad
הסתדרות	קרקעית	Moderate	Moderate	Good	Good	Moderate
לבניות	פני שטח	Moderate	Moderate	Moderate	Moderate	Bad
לבניות	קרקעית	Moderate	Moderate	Good	Moderate	Bad
יגור	פני שטח	Good	Moderate	Good	Bad	Bad
חוות החיות	פני שטח	Good	Moderate	Good	Bad	Bad

רק תחנת פתח הקישון נמצאת בסטטוס "Good" בכל הפרמטרים, בזכות המיהול המשמעותי עם מי הים בתחנה זו. שאר התחנות מסווגות ברובן "Bad" או "Moderate", בעיקר עקב ריכוזים גבוהים של פוספאט בפני השטח המוזרם ממעלה הנחל.



איור 7: הקשרים הלינארים 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) בנחל הקישון המלוח בלבד באוקטובר 2022. עם קווי המגמה ומקדמי המתאם של קורלציות ספירמן.

במקביל לספירות האצות עם Flow-cytometer, מיני מיקרופלנקטון נספרו וזוהו גם בכלים טקסונומים (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 (2002-2022) חשיבות רבה בהערכת טיב המים בנחל.

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) בנחל הקישון המלוח בלבד באוקטובר 2022, עם קווי המגמה ומקדמי המתאם של קורלציית ספירמן.

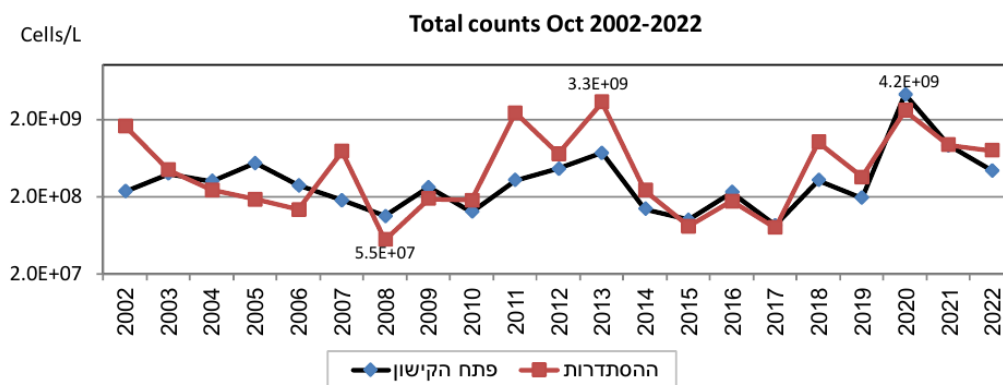
במקביל לספירות האצות עם Flow-cytometer, מיני מיקרופלנקטון נספרו וזוהו גם בכלים טקסונומיים (מיקרוסקופיה אפיפלואורסנטית) במי השטח של שתי תחנות: תחנת פתח הקישון במורד הנחל, ותחנת גשר ההסתדרות במעלה הנחל. שיטה זו מאפשרת מעקב אחר מינים ספציפיים, כולל מינים בעלי פוטנציאל לרעילות. כמו כן, השוואות רב שנתיות לריכוז, לביומסה ולמגוון מיני מיקרופיטופלנקטון מדיגומים קודמים (2002–2022) בעלות חשיבות רבה בהערכת טיב המים בנחל.

ריכוז תאי מיקרו-פיטופלנקטון

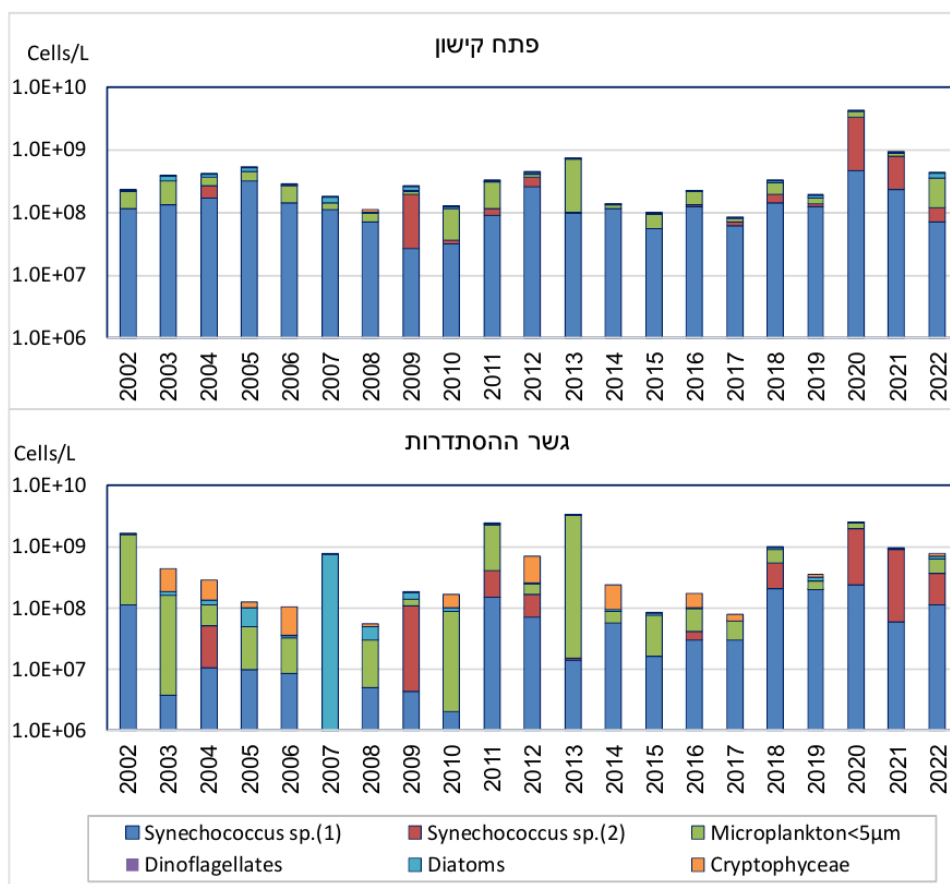
ריכוז התאים הכללי בפתח הקישון ובגשר ההסתדרות, נמצא בירידה זו שנה שנייה (איור 8). ירידה זו מקורה בעיקר בירידה יחסית בריכוז בקטריות כחוליות מהסוג *Synechococcus* (איור 9). בשתי התחנות עלה שיעורן היחסי של מיקרואצות קטנות מ-5 מיקרון בריכוז התאים כללי (איורים 9,10). בפתח הקישון הן היוו 50% מריכוז התאים הכללי ואילו בגשר ההסתדרות שליש מריכוז התאים הכללי, בדומה לשיעור הבקטריות הכחוליות מהמין *Synechococcus* sp. (2) (איור 10B), אשר היו שכיחות מאד בשנתיים קודמות בשתי התחנות (איור 9).

ריכוז תאי מיקרו-פיטופלנקטון

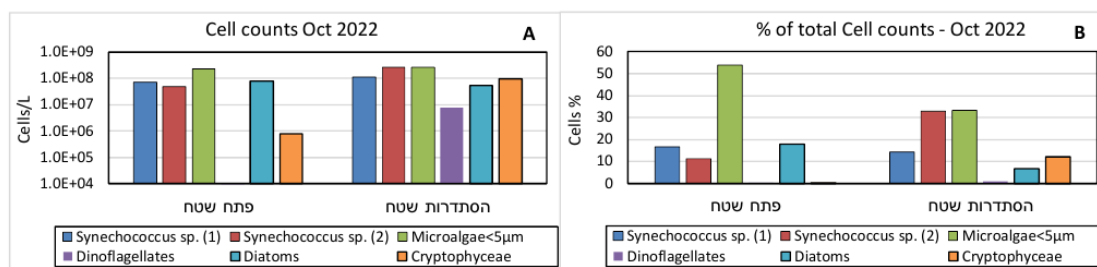
ריכוז התאים הכללי בפתח הקישון ובגשר ההסתדרות, נמצא בירידה זו שנה שנייה (איור 8). ירידה זו מקורה בעיקר בירידה יחסית בריכוז בקטריות כחוליות מהסוג *Synechococcus* (איור 9). בשתי התחנות עלה שיעורן היחסי של מיקרואצות קטנות מ- 5 מיקרון בריכוז התאים כללי (איורים 9,10). בפתח הקישון הן היוו 50% מריכוז התאים הכללי ואילו בגשר ההסתדרות שליש מריכוז התאים הכללי בדומה לשיעור הבקטריות הכחוליות מהמין *Synechococcus* sp. (2) (איור 10B), אשר היו שכיחות מאד בשנתיים קודמות בשתי התחנות (איור 9).



איור 8: ריכוז התאים הכללי בפתח הקישון ובגשר ההסתדרות בסתיו 2002-2022



איור 9: התפלגות ריכוז התאים מקבוצות המיקרופלנקטון השונות, בשתי התחנות בסתיו 2002-2022



איור 10: ריכוז התאים בקבוצות המיקרופלנקטון (A) וריכוז היחסי באחוזים (B) בסתיו 2022

איור 9: התפלגות ריכוז התאים מקבוצות המיקרופלנקטון השונות, בשתי התחנות בסתיו 2002–2022. איור 10: ריכוז התאים בקבוצות המיקרופלנקטון (A) וריכוזם היחסי באחוזים (B) בסתיו 2022.

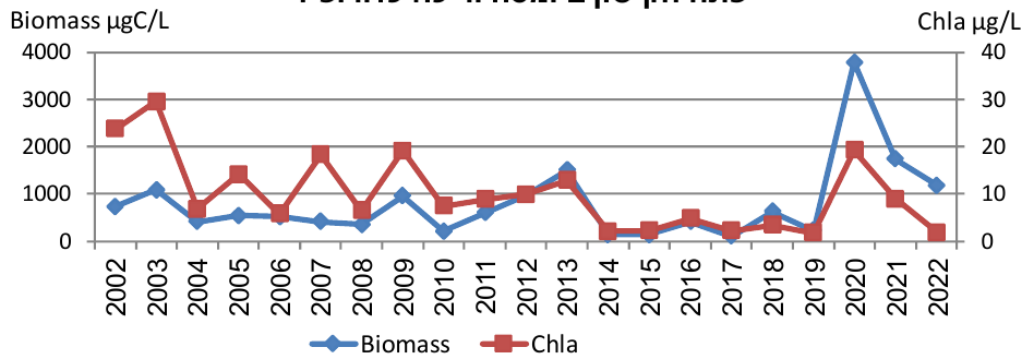
ביומסה וריכוז הכלורופיל

בפתח הקישון הביומסה וריכוז הכלורופיל ירדו זו שנה שנייה, בדומה לריכוז התאים (איור 11). בשונה משנה קודמת, בהן הבקטריה הכחולית מהמין (2) *Synechococcus* sp. את עיקר הביומסה בשתי התחנות (איורים 17,18), בניטור סתיו השנה, עיקר הביומסה בפתח הקישון הייתה של מיקרואצות קטנות מ-5 מיקרון ואצות צורניות, אשר יחד היוו 87% מהביומסה הכללית (איור 13). בגשר ההסתדרות הביומסה עלתה יחסית לשנה קודמת (איור 12) ופרחו בה פלגלטים מקבוצת ה-Cryptophyceae, השכיחים בתחנה זו לאורך השנים, וכן דינופלגלטים שאינם פוטוסינתטיים שהיוו רבע מהביומסה (איור 13). דינופלגלטים אלה אינם פוטוטרופיים, וחסרי כלורופיל, לפיכך אינם תורמים לריכוז הכלורופיל ובכך יוצרים חוסר התאמה בין ריכוז הכלורופיל (שירד) לביומסה (שעלתה, איור 12) ביחס לשנה קודמת. ריכוז הכלורופיל בפני השטח בפתח הקישון היה בתחום הבינוני ואילו בגשר ההסתדרות היה בתחום הגבוה יחסית לקריטריונים של איכות מים בשפכי נחלים (טבלאות 3,5).

ביומסה וריכוז הכלורופיל

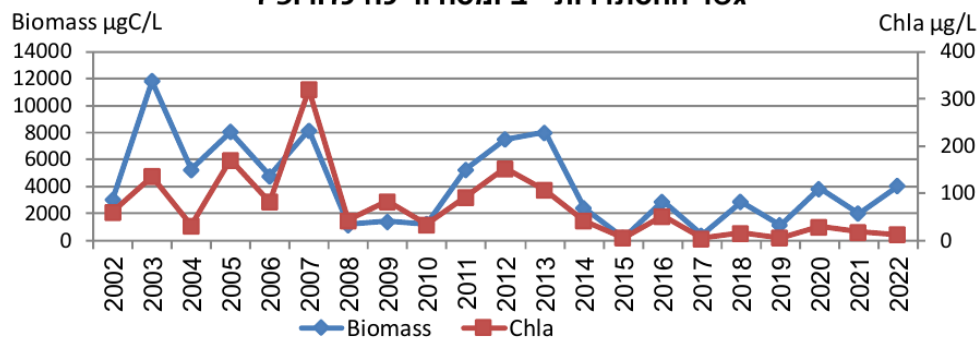
בפתח הקישון הביומסה וריכוז הכלורופיל ירדו זו שנה שנייה, בדומה לריכוז התאים (איור 11). בשונה משנה קודמת, בהן הבקטריה הכחולית מהמין (2) *Synechococcus sp.* היוותה את עיקר הביומסה בשתי התחנות (איורים 17,18), בניטור סתיו השנה, עיקר הביומסה בפתח הקישון הייתה של מיקרואצות קטנות מ-5 מיקרון ואצות צורניות, אשר יחד היוו 87% מהביומסה הכללית (איור 13). בגשר ההסתדרות הביומסה עלתה יחסית לשנה קודמת (איור 12) ופרחו בה פלגלטים מקבוצת ה- *Cryptophyceae*, השכיחים בתחנה זו לאורך השנים, וכן דינופלגלטים שאינם פוטוסינתטיים שהיוו רבע מהביומסה (איור 13). דינופלגלטים אלה אינם פוטוטרופיים, וחסרי כלורופיל, לפיכך אינם תורמים לריכוז הכלורופיל ובכך יוצרים חוסר ההתאמה בין ריכוז הכלורופיל (שירד) והביומסה עלתה (איור 12) ביחס לשנה קודמת. ריכוז הכלורופיל בפני השטח בפתח הקישון היה בתחום הבינוני ואלו בגשר ההסתדרות הוא היה בתחום הגבוהה יחסית לקריטריונים של איכות מים בשפכי נחלים (טבלאות 3,5).

פתח הקישון ביומסה וריכוז כלורופיל



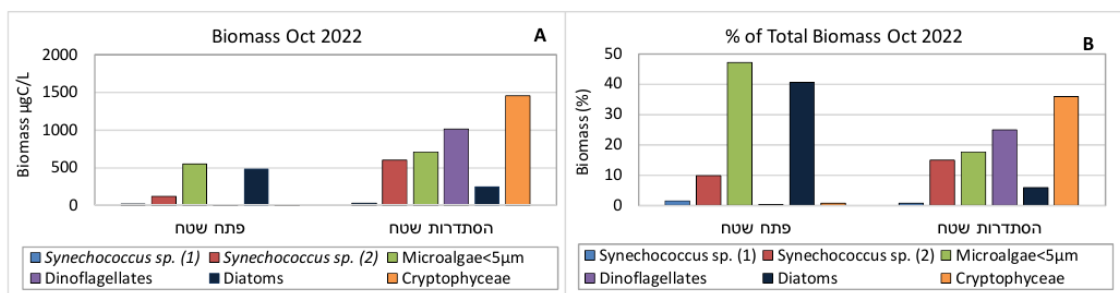
איור 11: התפלגות הביומסה הכללית וריכוז הכלורופיל בפתח הקישון בסתיו 2002-2022

גשר ההסתדרות - ביומסה וריכוז כלורופיל



איור 12: התפלגות הביומסה הכללית וריכוז הכלורופיל בגשר ההסתדרות בסתיו 2002-2022

איור 11: התפלגות הביומסה הכללית וריכוז הכלורופיל בפתח הקישון בסתיו 2002–2022. איור 12: התפלגות הביומסה הכללית וריכוז הכלורופיל בגשר ההסתדרות בסתיו 2002–2022.

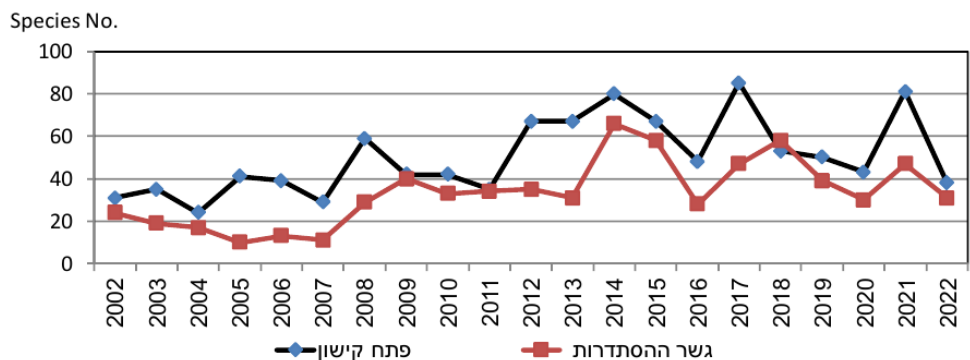


איור 13: ביומסת קבוצות המיקרופלנקטון (A) ושיעורה באחוזים (B) באוקטובר 2022

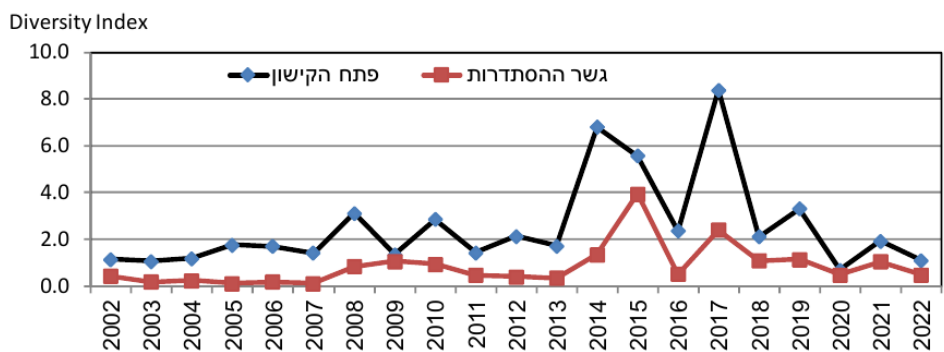
מגוון המינים ואינדקס מגוון המינים (Diversity Index)

מספר המינים בשתי התחנות ירד ביחס לשנה הקודמת (איור 14, טבלה 8). מספר המינים בפתח הקישון היה נמוך מהממוצע הרב שנתי, ודומה לממוצע הרב שנתי בגשר ההסתדרות.

אינדקס מגוון המינים (Diversity Index) (חושב לפי Menhinick's index - מס' המינים / שורש ריבועי של הבינומה, במקום ריכוז תאים) ירד בהתאמה עם הירידה במספר המינים, בשתי התחנות, בהשוואה לשנה קודמת (איור 15). בשתי התחנות אינדקס מגוון המינים היה נמוך יחסית לממוצע הרב שנתי.



איור 14: מספר המינים בפתח הקישון ובגשר ההסתדרות בסתיו 2002-2022



איור 15: אינדקס מגוון המינים (Diversity Index) בסתיו 2002-2022

מגוון המינים ואינדקס מגוון המינים (Diversity Index)

מספר המינים בשתי התחנות ירד ביחס לשנה הקודמת (איור 14, טבלה 8). מספר המינים בפתח הקישון היה נמוך מהממוצע הרב שנתי, ודומה לממוצע הרב שנתי בגשר ההסתדרות.

אינדקס מגוון המינים (Diversity Index) (חושב לפי Menhinick's index – מס' המינים חלקי שורש ריבועי של הביומסה, במקום ריכוז תאים) ירד בהתאמה עם הירידה במספר המינים, בשתי התחנות, בהשוואה לשנה קודמת (איור 15). בשתי התחנות אינדקס מגוון המינים היה נמוך יחסית לממוצע הרב שנתי.

הרכב מיני המיקרופלנקטון

עיקר הבימסה בפתח הקישון הייתה של מיקרואצות קטנות מ- 5 מיקרון ואצות צורניות (איור 13). מבין האצות הצורניות הייתה שכיחה הצורנית מהמין *Thalassiosira pseudonana*, הנפוצה בדיגומי הקישון וכן צורנית מהמין *Chaetoceros* sp. יחד הן היו את עיקר ביומסת הצורניות בשתי התחנות (טבלה 8). נמצאו מעט מאוד דינופלגלטים בפתח הקישון, ואילו בגשר ההסתדרות נמצאה פריחה של דינופלגלטים שאינם פוטוסינתטיים שהיו 99% מבימסת הדינופלגלטים. בנוסף, פרחו פלגלטים מקבוצת ה- *Cryptophyceae* אשר היו 35% מהבימסה הכללית וכן הופיע ריכוז גבוה יחסית של מיקרואצות קטנות מ- 5 מיקרון ובקטריות מהמין (2) *Synechococcus* sp. אשר היוו שליש מהבימסה הכללית בגשר ההסתדרות. בדיגום זה, לא נמצאו מינים בעלי פוטנציאל טוקסי.

טבלה 8: ריכוז המיקרופלנקטון (תאים/לליטר) בקישון – אוקטובר 2022

גשר ההסתדרות	פתח הקישון	גשר ההסתדרות	פתח הקישון
Dinoflagellates		Diatoms	
Unidentified<15 m	1667	<i>Nitzschia acicularis</i>	3
<i>Ceratium furca</i>	17	<i>Nitzschia lorenziana</i>	3
<i>Ceratium kofoidii</i>	3	<i>Nitzschia</i> sp. (1045A)	86
<i>Dinophysis</i> sp.	3	<i>Nitzschia</i> sp. (1566)	857
<i>Gymnodinium</i> sp.	2067	<i>Nitzschia</i> sp. (351k)	3
<i>Metadinophysis sinensis</i>	7	<i>Nitzschia</i> sp. (592A)	23
<i>Oxytoxum</i> sp. (1934a)	67	<i>Odontella mobiliensis</i>	3
<i>Dinophysis ovum</i>	3	<i>Pleurosigma</i> spp.	35
<i>Prorocentrum gracile</i>		<i>Pseudonitzschia</i> spp.	10
<i>Prorocentrum micans</i>	7	<i>Streptotheca tamesis</i>	3
<i>Protoperidinium joergensenii</i>	67	<i>Surirella</i> spp.	3
<i>Protoperidinium</i> spp.		<i>Thalassionema nitzschioides</i>	7
<i>Protoperidinium</i> sp. (54)	67	<i>Thalassiosira pseudonana</i>	4.8E+07
<i>Protoperidinium bipes</i>	267	Cryptophyceae	
<i>Scropsiella spinifera</i>		<i>Cryptomonads</i> spp.	7.7E+05
Diatoms		<i>Hemiselmis</i> sp.	8.1E+07
<i>Bacillaria paxillifera</i>		Chlorophyceae	
<i>Chaetoceros</i> spp.	2.9E+07	<i>Flagellae</i> spp	2.2E+04
<i>Cyclotella</i> spp.	3.4E+05	<i>Monoraphidium arcuatum</i>	29
<i>Cylindrotheca closterium</i>	7	<i>Scenedesmus opoliensis</i>	70
<i>Cymbella</i> sp. (1998)	67	Cyanobacteria	
<i>Entomoneis gigantea</i>		<i>Oscillatoria</i> sp. (328A)	279
<i>Entomoneis</i> sp. (518K)	1267	<i>Oscillatoria</i> sp. (613k)	1167
<i>Entomoneis</i> sp. (BS21)	30	<i>Synechococcus</i> sp. (1)	7.2E+07
<i>Melosira moniliformis</i>	267	<i>Synechococcus</i> sp. (2)	4.9E+07
<i>Navicula</i> sp. (1913)		Ebriophyceae	
<i>Navicula</i> sp. (1949)	267	<i>Hermesinium adriaticum</i>	67
<i>Navicula</i> spp.	200	Microalgae<5 m	2.3E+08
		Total Cells/L	4.3E+08
			7.9E+08

הרכב מיני המיקרופלנקטון

עיקר הביומסה בפתח הקישון הייתה של מיקרואצות קטנות מ-5 מיקרון ואצות צורניות (איור 13). מבין האצות הצורניות הייתה שכיחה הצורנית מהמין *Thalassiosira pseudonana*, הנפוצה בדיגומי הקישון וכן צורנית מהמין *Chaetoceros* sp. יחד הן היוו את עיקר ביומסת הצורניות בשתי התחנות (טבלה 8). נמצאו מעט מאד דינופלגלטים בפתח הקישון, ואילו בגשר ההסתדרות נמצאה פריחה של דינופלגלטים שאינם פוטוסינתטיים שהיוו 99% מביומסת הדינופלגלטים. בנוסף, פרחו פלגלטים מקבוצת ה-Cryptophyceae אשר היוו 35% מהביומסה הכללית וכן הופיע ריכוז גבוה יחסית של מיקרואצות קטנות מ-5 מיקרון ובקטריות מהמין (2) *Synechococcus* sp. אשר יחד היוו שליש מהביומסה הכללית בגשר ההסתדרות. בדיגום זה, לא נמצאו מינים בעלי פוטנציאל טוקסי.

הרכב מיני המיקרופלנקטון

עיקר הביומסה בפתח הקישון הייתה של מיקרואצות קטנות מ- 5 מיקרון ואצות צורניות (איור 13). מבין האצות הצורניות הייתה שכיחה הצורנית מהמין *Thalassiosira pseudonana*, הנפוצה בדיגומי הקישון וכן צורנית מהמין *Chaetoceros* sp. יחד הן היו את עיקר ביומסת הצורניות בשתי התחנות (טבלה 8). נמצאו מעט מאוד דינופלגלטים בפתח הקישון, ואילו בגשר ההסתדרות נמצאה פריחה של דינופלגלטים שאינם פוטוסינתטיים שהיו 99% מביומסת הדינופלגלטים. בנוסף, פרחו פלגלטים מקבוצת ה- *Cryptophyceae* אשר היו 35% מהביומסה הכללית וכן הופיע ריכוז גבוה יחסית של מיקרואצות קטנות מ- 5 מיקרון ובקטריות מהמין (2) *Synechococcus* sp. אשר היוו שליש מהביומסה הכללית בגשר ההסתדרות. בדיגום זה, לא נמצאו מינים בעלי פוטנציאל טוקסי.

טבלה 8: ריכוז המיקרופלנקטון (תאים/לליטר) בקישון – אוקטובר 2022

גשר ההסתדרות	פתח הקישון	גשר ההסתדרות	פתח הקישון
Dinoflagellates		Diatoms	
Unidentified < 15 m	1667	<i>Nitzschia acicularis</i>	3
<i>Ceratium furca</i>	17	<i>Nitzschia lorenziana</i>	3
<i>Ceratium kofoidii</i>	3	<i>Nitzschia</i> sp. (1045A)	86
<i>Dinophysis</i> sp.	3	<i>Nitzschia</i> sp. (1566)	857
<i>Gymnodinium</i> sp.	2067	<i>Nitzschia</i> sp. (351k)	3
<i>Metadinophysis sinensis</i>	7	<i>Nitzschia</i> sp. (592A)	23
<i>Oxytoxum</i> sp. (1934a)	67	<i>Odontella mobiliensis</i>	3
<i>Dinophysis ovum</i>	3	<i>Pleurosigma</i> spp.	35
<i>Prorocentrum gracile</i>		<i>Pseudonitzschia</i> spp.	10
<i>Prorocentrum micans</i>	7	<i>Streptotheca tamesis</i>	3
<i>Protoperdinium joergensenii</i>	67	<i>Surirella</i> spp.	3
<i>Protoperdinium</i> spp.		<i>Thalassionema nitzschioides</i>	7
<i>Protoperdinium</i> sp. (54)	67	<i>Thalassiosira pseudonana</i>	4.8E+07
<i>Protoperdinium bipes</i>	267	Cryptophyceae	
<i>Scropsiella spinifera</i>		<i>Cryptomonads</i> spp.	7.7E+05
Diatoms		<i>Hemiselmis</i> sp.	8.1E+07
<i>Bacillaria paxillifera</i>		Chlorophyceae	
<i>Chaetoceros</i> spp.	2.9E+07	<i>Flagellae</i> spp	2.2E+04
<i>Cyclotella</i> spp.	3.4E+05	<i>Monoraphidium arcuatum</i>	29
<i>Cylindrotheca closterium</i>	7	<i>Scenedesmus opoliensis</i>	70
<i>Cymbella</i> sp. (1998)	67	Cyanobacteria	
<i>Entomoneis gigantea</i>		<i>Oscillatoria</i> sp. (328A)	279
<i>Entomoneis</i> sp. (518K)	1267	<i>Oscillatoria</i> sp. (613k)	1167
<i>Entomoneis</i> sp. (BS21)	30	<i>Synechococcus</i> sp. (1)	7.2E+07
<i>Melosira moniliformis</i>	267	<i>Synechococcus</i> sp. (2)	4.9E+07
<i>Navicula</i> sp. (1913)		Ebriophyceae	
<i>Navicula</i> sp. (1949)	267	<i>Hermesinium adriaticum</i>	67
<i>Navicula</i> spp.	200	Microalgae < 5 m	2.3E+08
		Total Cells/L	4.3E+08
			7.9E+08

טבלה 8: ריכוז המיקרופלנקטון (תאים/ליטר) בקישון – אוקטובר 2022. הטבלה המלאה כוללת רשימת מינים מפורטת בקבוצות Dinoflagellates, Diatoms, Cryptophyceae, Chlorophyceae, Cyanobacteria ו-Ebriophyceae, ומוצגת כתמונה לשם שימור נאמן של הרשימה הטקסונומית המלאה.

השוואה רב-שנתית – תחנות פתח הקישון וגשר ההסתדרות – דיגומי סתיו 2022-2002

ריכוז התאים, הביומסה וריכוז הכלורופיל

קיימת תנודתיות בריכוז התאים (איורים 8-9), בביומסה ובריכוז הכלורופיל (איורים 11-12) לאורך השנים בסתיו. בין השנים 2002-2013, הביומסה וריכוז הכלורופיל היו גבוהים באופן מובהק ביחס לאלו שבשנים 2014-2019 (איור 11) בפתח הקישון. בסתיו 2020, שיא בביומסה נבע מפריחת בקטריות כחוליות (איור 16), ובשנים 2020-2022 ממוצע הביומסה בפתח הקישון היה גבוה ביחס לממוצע שנים קודמות. בשנתיים האחרונות נראתה ירידה בביומסה של הבקטריות הכחוליות (איור 16) וכן בביומסה הכללית (איור 11), אולם הביומסה הכללית נשארה גבוהה ביחס לממוצע הרב שנתי. לעומת זאת, ריכוז הכלורופיל בפתח הקישון היה נמוך מאד ביחס לממוצע הרב שנתי (איור 11).

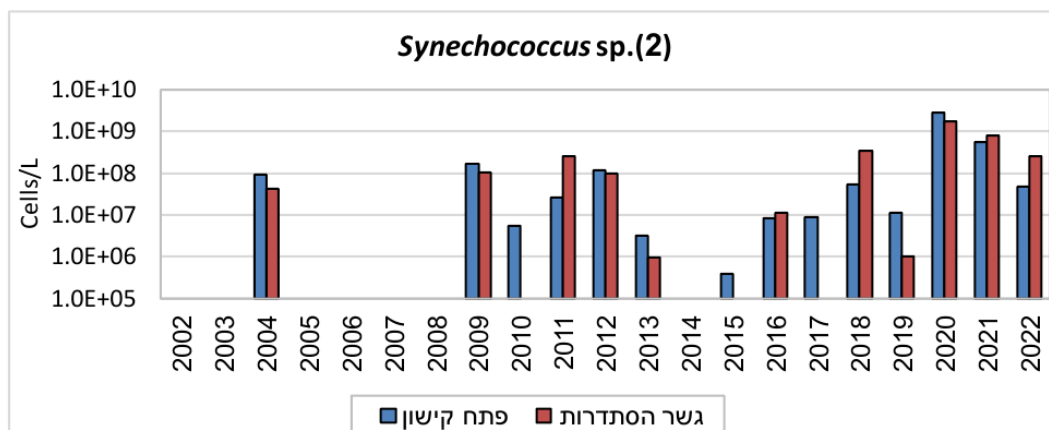
תנודות גדולות בביומסה ובריכוז הכלורופיל בשנים 2002-2013 התקיימו בגשר ההסתדרות בדומה לפתח הקישון. הביומסה וריכוז הכלורופיל היו גבוהים באופן מובהק יחסית לשנים 2014-2022 (איור 12). בתקופה שבין השנים 2014-2022 היו תנודות מתונות בהרבה בביומסה ובריכוז הכלורופיל. בסתיו 2022 הביומסה עלתה ואילו ריכוז הכלורופיל היה נמוך יחסית לממוצע הרב שנתי (איור 12).

מקבוצת ה- *Cryptophyceae*, המאפיינים תחנה זו, ובאופן יוצא דופן פרחו גם דינופלגלטים שאינם פוטוסינתטיים (איור 17).

מגוון המינים ואינדקס מגוון המינים (Diversity Index)

בגשר ההסתדרות מספר המינים ואינדקס מגוון המינים היו נמוכים, ולעיתים באופן ניכר ביחס לפתח הקישון לאורך השנים (איורים 14-15).

- א. **מספר המינים** – בשתי התחנות בשנים 2002-2007 ממוצע מספר המינים יחסית נמוך, לאחר מכן חלה עלייה במספר המינים. לאורך השנים 2008-2022 מתקיימת תנודתיות גדולה ללא מגמה כלשהי (איור 14). בניטור סתיו 2022 מספר המינים ירד בשתי התחנות, בפתח הקישון הוא היה נמוך יחסית לממוצע הרב שנתי ואילו בגשר ההסתדרות הוא דומה לממוצע הרב שנתי.
- ב. **אינדקס מגוון המינים** – קיימת תנודתיות באינדקס מגוון המינים בפתח הקישון במיוחד (איור 15). בשתי התחנות חלה עלייה באינדקס מגוון המינים שהגיע לשני שיאים (2014-2015, 2017). בשנים אחרונות קיימת ירידה כללית באינדקס מגוון המינים. בסתיו 2022 חלה ירידה באינדקס בשתי התחנות, והוא היה נמוך יחסית לממוצע הרב שנתי (איור 15).



איור 16: ריכוז הבקטריות הכחוליות *Synechococcus sp. (2)* בשתי התחנות בסתיו 2002-2022

פתח הקישון התאפיין בדומיננטיות של קבוצת הצורניות וקבוצת המיקרואצות הקטנות מ-5 מיקרון בביומסה הכללית, לסירוגין (איורים 17-18), עם תנודתיות בין השנים. בפרט, הדומיננטיות של האצות הצורניות שהחלה בסתיו 2003 התחלפה ב-2011 בדומיננטיות של מיקרואצות קטנות מ-5 מיקרון (איורים 17-18) ונמשכה עד סתיו 2019. בין השנים 2020-2021 הן התחלפו בדומיננטיות של הבקטריות הכחוליות, חד-תאיות מהמין *Synechococcus* sp. (2) המאפיינות את פתח הקישון (איורים 9, 16), והן היו במוצע $62\pm 6\%$ מהביומסה הכללית (איורים 17-18). בקטריות כחוליות מהמין *Synechococcus* sp. (1), השכיחות גם במים העמוקים במפרץ חיפה וכן לאורך החוף הישראלי, היו דומיננטיות מבחינה מספרית לאורך השנים (איור 9). ריכוזן נמצא בירידה בשנתיים אחרונות, והשנה מיקרואצות קטנות מ-5 מיקרון ואצות צורניות חזרו להיות דומיננטיות בהרכב הביומסה.

קבוצת דינופלגלטים המורכבת ברובה ממינים ימיים, הייתה מגוונת יותר במספר המינים בפתח הקישון ביחס לגשר ההסתדרות. מיני דינופלגלטים קטנים מ-15 מיקרון היו השכיחים ביותר, כמו במפרץ חיפה ולאורך החוף הישראלי. לרוב קבוצה זו מהווה חלק קטן מהביומסה הכללית. בסתיו 2022 נמצאו מעט מאד דינופלגלטים בפתח הקישון ותרומתם להרכב הביומסה זניח (איורים 10, 13). קיימת חשיבות גדולה במעקב אחר קבוצה זו משום שמינים רבים בה מסוגלים ליצור פריחות מזיקות או רעילות בתנאים מתאימים.

גשר ההסתדרות – הביומסה של המיקרופלנקטון הייתה הרבה יותר גבוהה בגשר ההסתדרות ביחס לפתח הקישון, וגם התנודתיות בהתפלגות הקבוצות השונות הייתה גדולה יותר (איור 17). פלגלטים מקבוצת ה-Cryptophyceae היו דומיננטיים בחלק ניכר מהדיגומים, כאשר לסירוגין פרחו מינים מקבוצות אחרות (אצות צורניות, מיקרואצות קטנות מ-5 מיקרון ופלגלטים מהמין *Euglena* sp.). החל מסתיו 2014 חלה ירידה בביומסה ובשיאי הפריחה (איורים 17-18). בסתיו 2020-2021 בקטריות כחוליות חד-תאיות משני המינים פרחו וריכוזן היה גבוה מאד ביחס לשנים קודמות (איור 16). ריכוזן ירד השנה במקביל לפריחה של פלגלטים מקבוצת ה-Cryptophyceae, המאפיינים תחנה זו, ובאופן יוצא דופן פרחו גם דינופלגלטים שאינם פוטוסינתטיים (איור 17).

מגוון המינים ואינדקס מגוון המינים (Diversity Index) – השוואה רב-שנתית

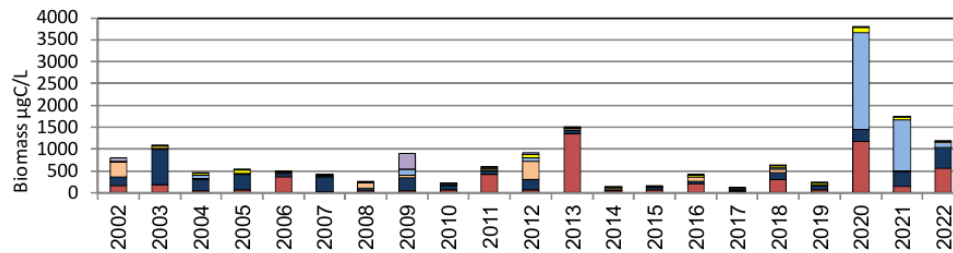
בגשר ההסתדרות מספר המינים ואינדקס מגוון המינים היו נמוכים, ולעיתים באופן ניכר, ביחס לפתח הקישון לאורך השנים (איורים 14-15).

1. **מספר המינים** – בשתי התחנות בשנים 2002-2007 ממוצע מספר המינים יחסית נמוך, לאחר מכן חלה עלייה במספר המינים. לאורך השנים 2008-2022 מתקיימת תנודתיות גדולה ללא מגמה כלשהי (איור 14). בניטור סתיו 2022 מספר המינים ירד

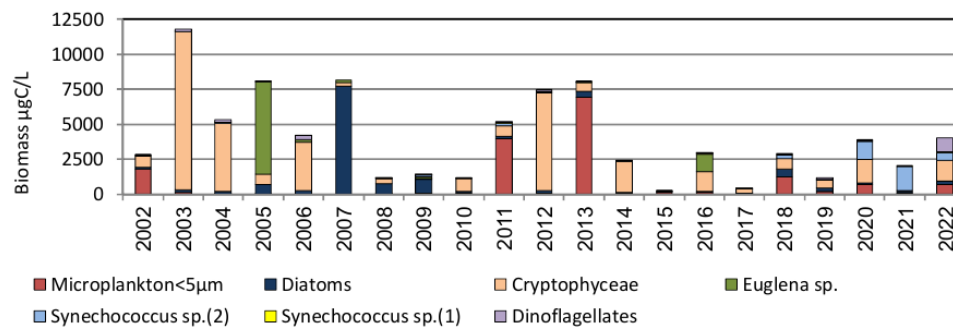
בשתי התחנות, בפתח הקישון הוא היה נמוך יחסית לממוצע הרב שנתי ואילו בגשר ההסתדרות הוא דומה לממוצע הרב שנתי.

2. **אינדקס מגוון המינים** – קיימת תנודתיות באינדקס מגוון המינים בפתח הקישון במיוחד (איור 15). בשתי התחנות חלה עלייה באינדקס מגוון המינים שהגיע לשני שיאים (2014-2015, 2017). בשנים אחרונות קיימת ירידה כללית באינדקס מגוון המינים. בסתיו 2022 חלה ירידה באינדקס בשתי התחנות, והוא היה נמוך יחסית לממוצע הרב שנתי (איור 15).

ביומסה פתח קישון 2002-2022

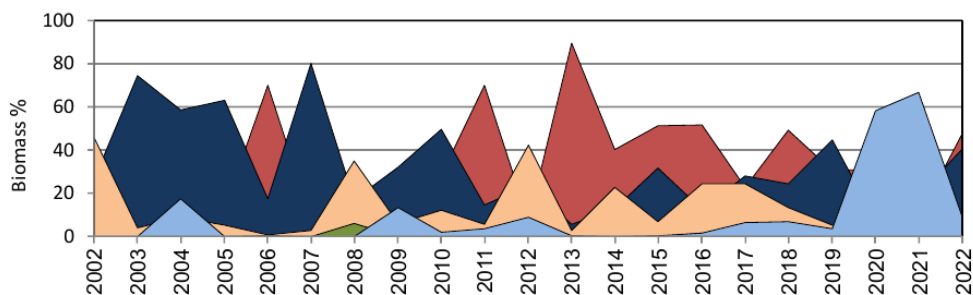


ביומסה גשר ההסדרות 2002-2022

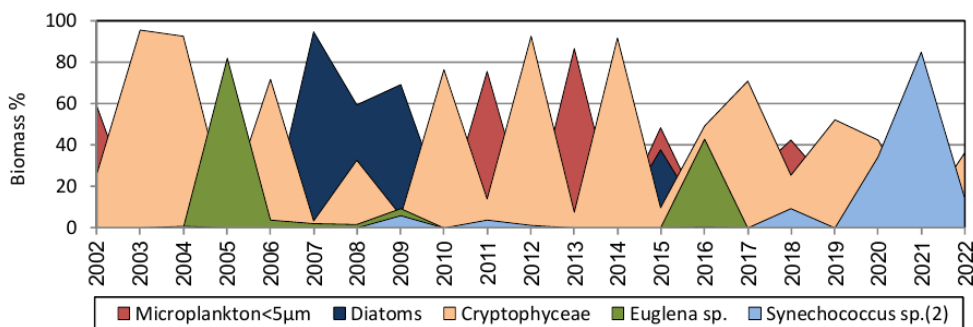


איור 17: התפלגות הביומסה של קבוצות דומיננטיות בסתיו 2002-2022

פתח קישון



גשר הסדרות



איור 18: הביומסה היחסית באחוזים של קבוצות המיקרופלנקטון בסתיו 2002-2022

4. מראי מקום

- 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., Rahav E., Gordon N., Galil B., Lubinevsky H., Tibor G., Tom M., Rilov G., Silverman J. and Rinkevich B. (2015). The National Monitoring Program of Israel's Mediterranean coastal waters – Scientific Report for IOLR Report, 2014.
- 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.
- 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.
- Strathmann, R.R. 1967. Estimating the organic carbon content of phytoplankton from cell volume or plasma volume. *Limnology and Oceanography*, 12, 411-418.

