

אפיון קבוצות המיקרואצות במי נחל הקישון המלוח

דו"ח ניטור אביב 2023

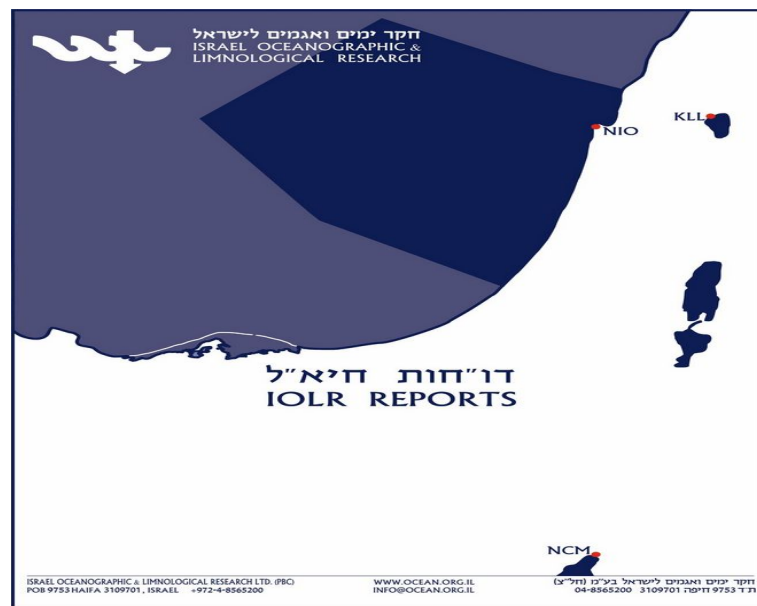
דו"ח חיא"ל H35/2023

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

מוגש לרשות נחל הקישון

חקר ימים ואגמים לישראל בע"מ (חיא"ל)

אוקטובר 2023



לוגו ואזור המחקר של חקר ימים ואגמים לישראל (חיא"ל)

תקציר

- ריכוזי הנוטריאנטים (חנקות, זרחות וסיליקה) היו גבוהים בפני השטח בכל תחנות הקישון, דבר המצביע על אוטרופיקציה גבוהה. נוטריאנטים אלה נמצאו ביחס חיובי ולינארי לריכוז הכלורופיל, יצרנות ראשונית והיצרנות החיידקית, דבר המרמז כי לויפחתו 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 הטרוטרופים (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 וחידקית), 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 (Synecococcus, Prochlorococcus, pico-eukaryotes, heterotrophic bacteria) ויצרנות ראשונית וחידקית 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 SANplus 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 ביקרבוט 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 (סנטיילציה) 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%, 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. על הפילטר הונחה טיפה נוספת של שמן אימרסיה והפילטר כוסה בזכוכית מכסה. הדגימות נשמרו בהקפאה עד לזיהוי וספירה בעזרת מיקרוסקופ אפילווארסנטי 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 (filter-transfer-freeze) (Hewes, C.D. and Holmes-Hansen, O. 1983). 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 אפילווארסנטי תוך מספר חודשים.

טבלה 1: מיקום תחנות הדיגום לאורך נחל הקישון המלוח במהלך דיגום אביב 2023.

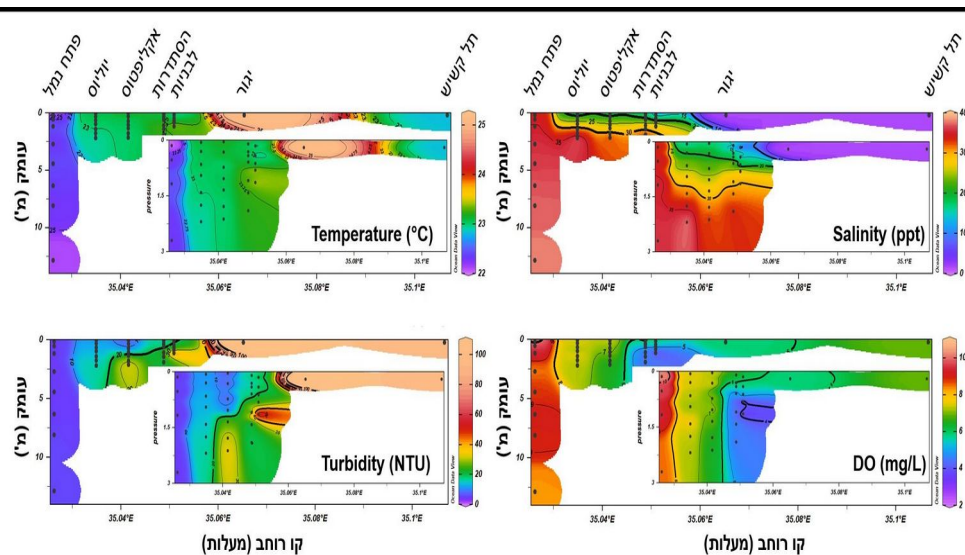
תחנה	Latitude (N)	Longitude (E)
חוות החיות	41.31 32°	6.39 35°
יגור	45.55 32°	3.91 35°
לבניות	47.27 32°	3.10 35°
גשר ההסתדרות	47.86 32°	2.84 35°
אקליפטוס	48.50 32°	2.30 35°
גשר יוליוס סימון	48.01 32°	2.01 35°
פתח הנמל	48.59 32°	1.55 35°

(הרשימה מסודרת ממעלה הנחל ועד לנקודת יציאתו לים.)

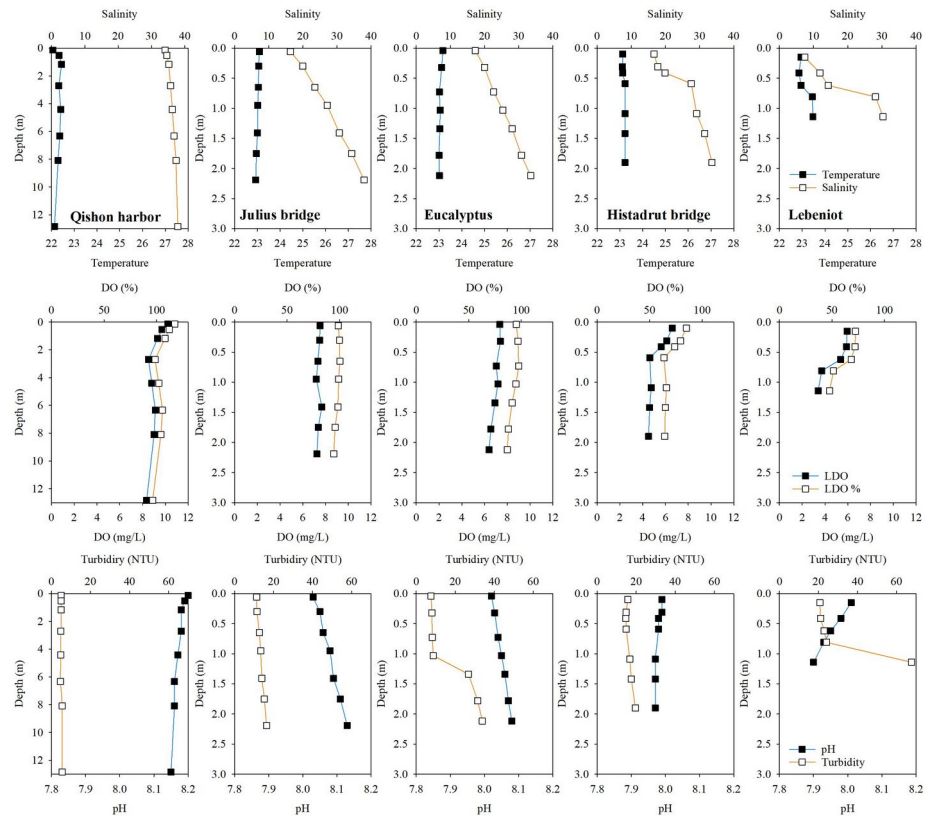
3. תוצאות

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/ 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 אאוטרופיקציה של אזורים אילו.



איור 1: פרופיל עומק של הטמפרטורה ($^{\circ}\text{C}$), מליחות (ppt), עכירות (NTU) וריכוז חמצן מומס (mg/L) כפי שנמדד בדיגום מא' 2023 לאורך נחל הקישון המלוח



איור 2: חתך עומק של כל תחנת דיגום בנפרד עבור הפרמטרים המצוינים באיור 1 וטבלה 2

הערת נגישות: טבלה 2 (סיכום פרופיל עומק של הטמפרטורה, מליחות, חמצן מומס, pH ועכירות לכלל התחנות והעומקים שנמדדו) מוצגת בעמוד הבא כתמונה, בשל היקפה הרב (כ-40 שורות מדידה בעומקים שונים) והסיכון הגבוה לשגיאת שיוך ערך-לתא בתמלול ידני. הערכים הקיצוניים והמגמות העיקריות מפורטים כבר בפסקאות הטקסט שלעיל.

טבלה 2: סיכום פרופיל עומק של הטמפרטורה, מליחות, חמצן מומס, קשיות (pH) ועכירות כפי שנמדד במאי 2023 לאורך נחל הקישון המלוח.

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

טבלה 2 (חלק 1): סיכום פרופיל עומק של הטמפרטורה, מליחות, חמצן מומס, pH ועכירות - מאי 2023

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

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, נוק ביולוגי 2-5		
חנקן אטמורגני (NO ₂ +NO ₃)	mg/L	<0.1	0.1 - 1	>1
זרחן אטמורגני (PO ₄)	mg/L	<0.01	0.01 - 0.1	>0.1
כלורופיל a	g/L	<5	5 - 20	>20

ריכוזי הנוטריאנטים (ניטראט + ניטריט + אמוניה, פוספאט וחומצה סיליצית) בדיגמות 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, ונבעת 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 המזורמים לנחל, ובהשפעת מידת המיחול עם מי הים. ריכוזי החנקות והזרחות, מראים שינויים קונסרבטיביים לאורך קטע הנחל ומוכתבים בעיקר ע"י מידת המיחול 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 אקוטיות נחשב (Redfield, 1933) 16: 1. היחס הנזיל באסטואר הקישון עמד על 12 (איור 3), ומעיד על עודף זרחות באסטואר שמוזרמות עם השפכים, בדומה לאוקטובר 2022.

טבלה 2 (חלק 2, המשך) וטבלה 3: קריטריוני NOAA לאיכות מים

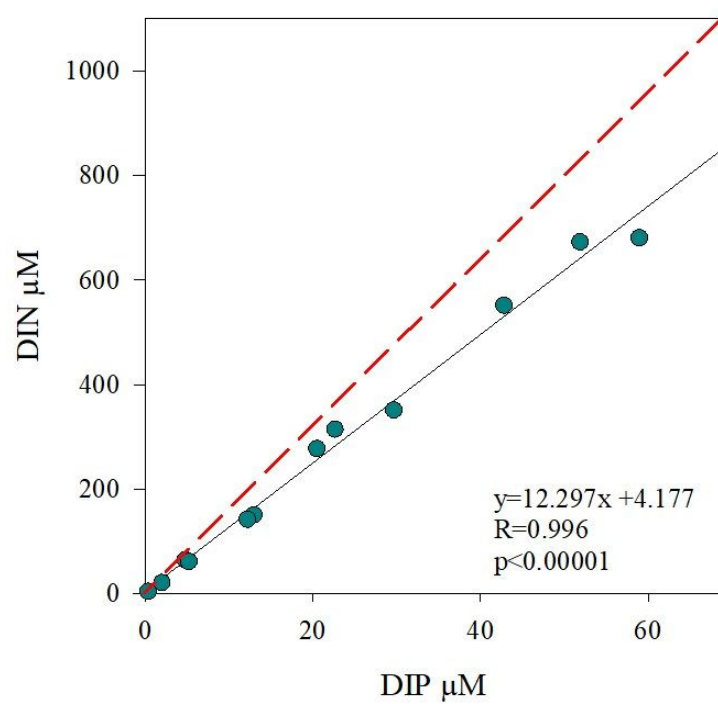
טבלה 3: קריטריונים של מנהל האוקיינוסים והאטמוספירה של ארה"ב לאיכות המים בשפכי נחלים) NOAA, 1997 - מוצגת כאן גם כטקסט נגיש:

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

ריכוזי הנוטריאנטים (ניטראט + ניטריט + אמוניה, פוספאט וחומצה סיליצית) בדגימות פני השטח ופי 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 קונטרבטיביים 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 ריכוזי חנקות אנאורגניות לריכוזי זרחות אנאורגניות באקוסיסטמות אקוטיות נחשב 16:1 (Redfield, 1933). היחס הנ"ל באסטואר הקישון עמד על 12 (איר 3), ומעיד על עודף זרחות באסטואר שמזרמות עם השפכים, בדומה לאוקטובר 2022.

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

תחנה	עומק דיגום	Si(OH) ₄ -Si [mg/L]	PO ₄ -P [mg/L]	NO ₂ +NO ₃ +NH ₄ -N [mg/L]
פתח נמל	פני שטח	1.01	0.15	0.91
פתח נמל	קרקעית	0.12	0.01	0.06
יוליוס	פני שטח	4.04	0.70	4.40
יוליוס	קרקעית	0.36	0.06	0.29
אקליפטוס	פני שטח	3.46	0.63	3.88
אקליפטוס	קרקעית	0.90	0.16	0.86
הסתדרות	פני שטח	3.83	0.92	4.92
הסתדרות	קרקעית	1.70	0.38	1.99
לבניות	פני שטח	5.54	1.33	7.72
לבניות	קרקעית	2.63	0.40	2.11
יגור	פני שטח	6.36	1.82	9.54
חוות החיות	פני שטח	6.13	1.61	9.42



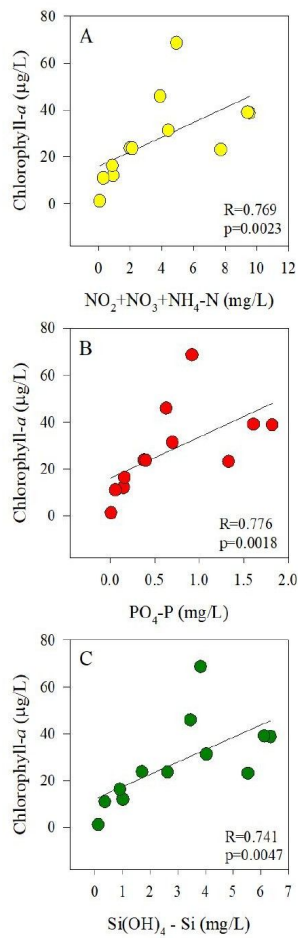
איור 3: ריכוז זרחן אנאורגני מומס כתלות בריכוז חנקן אנאורגני מומס במי הקישון המלוח במאי 2023

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 (איאטרופיקציה) 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 בליטר (תחנות "יוליוס" ו"האקליפטוס", פני השטח) (טבלה 5). ריכוז אצות אאוקריוטיות, הפיקו-פיטופלנקטון נע בין 0.02 - 3.67×10^8 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 האוטוטרופים (יצרנים ראשוניים, ציאנובקטריה ופיקו-פיטופלנקטון), שכיחות החיידקים ההטרוטרופים 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 הטרוטרופים במעלה נחל הקישון במאי 2023.

תחנה	עומק	Chlorophyll-a ($\mu\text{g/L}$)	ציאנובקטריה אוטוטרופית ($\times 10^8/\text{L}$)	פיקו- אאוקריוטים ($\times 10^8/\text{L}$)	חיידקים הטרוטרופים ($\times 10^8/\text{L}$)
פתח נמל	פני שטח	12.1	0.27	0.79	24.2
פתח נמל	קרקעית	1.2	0.03	0.02	6.2
יוליוס	פני שטח	31.3	1.00	2.06	48.7
יוליוס	קרקעית	11.0	0.12	0.25	14.8
אקליפטוס	פני שטח	45.9	0.89	1.86	48.1
אקליפטוס	קרקעית	16.3	0.19	0.40	26.7
הסתדרות	פני שטח	68.6	1.00	3.67	62.6
הסתדרות	קרקעית	23.8	0.33	0.78	43.0
לבניות	פני שטח	23.1	0.48	0.77	44.7
לבניות	קרקעית	23.7	0.45	1.22	48.5
יגור	פני שטח	38.8	0.18	0.60	139.7
חוות החיות	פני שטח	39.1	0.20	0.98	126.9



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 קורלציות ספירמן. המספרים הגולמיים לפיהם נוצר הגרף מוצגים בטבלאות 4 ו-5.

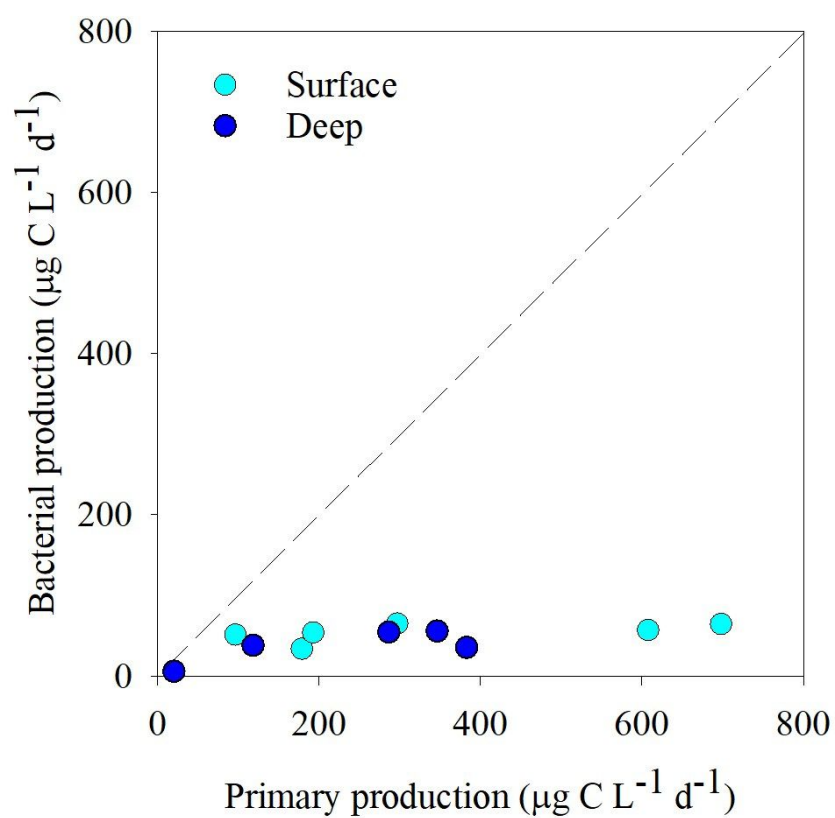
איור 4: ריכוז כלורופיל כתלות בריכוז ניטראט+ניטריט+אמוניה (A), זרחן (B) וסיליקה (C) לאורך נחל הקישון המלוח במאי 2023

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 (Rahav et al. 2015; Raveh 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 9-2) 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 מתחת ל- $300\text{ gC m}^{-2}\text{ y}^{-1}$ לכל עמודת המים. אין באפשרותנו לאמוד את היצרנות הראשונית השנתית, בעיקר משום שחטרות 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 67.5-5.8 מיקרוגרם פחמן לליטר ליממה (טבלה 6). קיים מתאם חיובי משמעותי בין מספר התאים של החיידקים ההטורופים ליצרנות החיידקית שנמדדה לאורך האסטואר המלוח (קורלצית ספירמן, $R=0.794$, $p=0.0038$). עיקר הפעילות המטאבולית בכל התחנות הייתה אוטורופית 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 אוטורופית, עם ירידה יחסית 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 הטורופיים 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 הטורופית) של חומר אורגני וצריכה ושחרור של נוטריינטים. לפיכך, אנו ממליצים להוסיף לדיגומים הקיימים גם דיגומות סדימנט בכל אחת מתחנות הדיגום, ובכך להרחיב את התמונה המתקבלת של תפקוד האסטואר. מבחני מתאם בין ערכי יצרנות ראשונית (PP), יצרנות חיידקית (BP), והיחס ביניהם (PP:BP) לבין ריכוזי הנוטריאנטים מובאים באיור 7. ניתן לראות קשר לינארי חיובי ומשמעותי סטטיסטית בין ריכוז הנוטריאנטים לבין קצב הפעילות של המערכת ההטורופית והאוטורופית (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 האוטורופים וההטורופים 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"-י ו-"Moderate", בעיקר עקב ריכוזים גבוהים לרוב של פוספאט בפני השטח המוזרם (ככל הנראה משפכים/ביוב) ממעלה הנחל (טבלה 7).

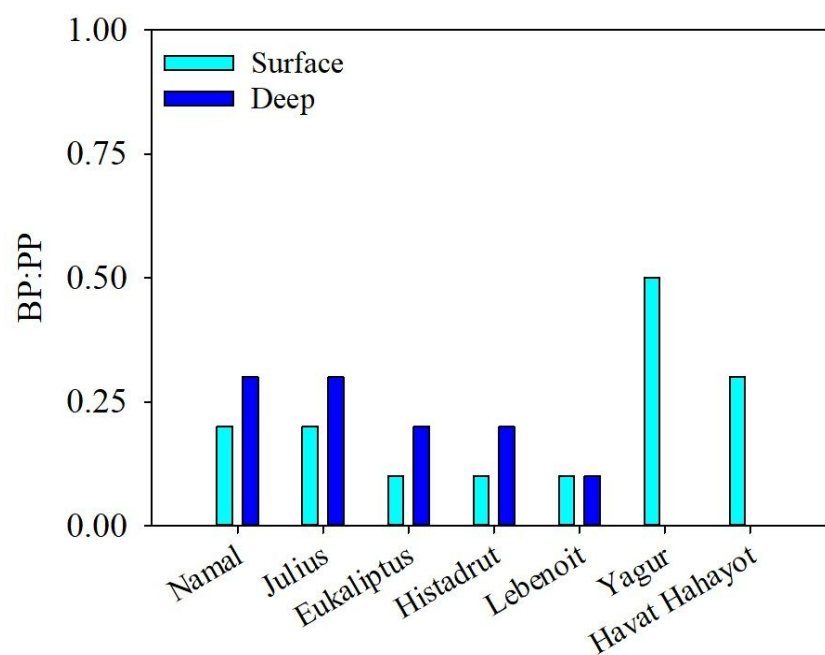
טבלה 6: קצב היצרנות הראשונית (Primary production) והחיידקית (Bacterial production) היממתית בנחל הקישון המלוח במאי 2023.

תחנה	עומק	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	33.7±12.4	178.9±13.0	0.2
פתח נמל	קרקעית	5.8±2.8	20.4±3.7	0.3
יוליוס	פני שטח	64.9±10.2	296.9±32.9	0.2
יוליוס	קרקעית	38.0±2.7	118.5±16.2	0.3
אקליפטוס	פני שטח	64.5±11.2	698.1±18.8	0.1
אקליפטוס	קרקעית	54.3±11.4	286.5±3.5	0.2
הסתדרות	פני שטח	67.5±8.5	891.8±69.8	0.1
הסתדרות	קרקעית	55.7±8.4	346.3±25.8	0.2
לבניות	פני שטח	56.9±11.0	607.7±11.2	0.1
לבניות	קרקעית	35.4±6.5	383.0±43.9	0.1
יגור	פני שטח	61.3±3.1	96.6±25.2	0.5
חוות החיות	פני שטח	53.9±14.8	192.9±30.5	0.3

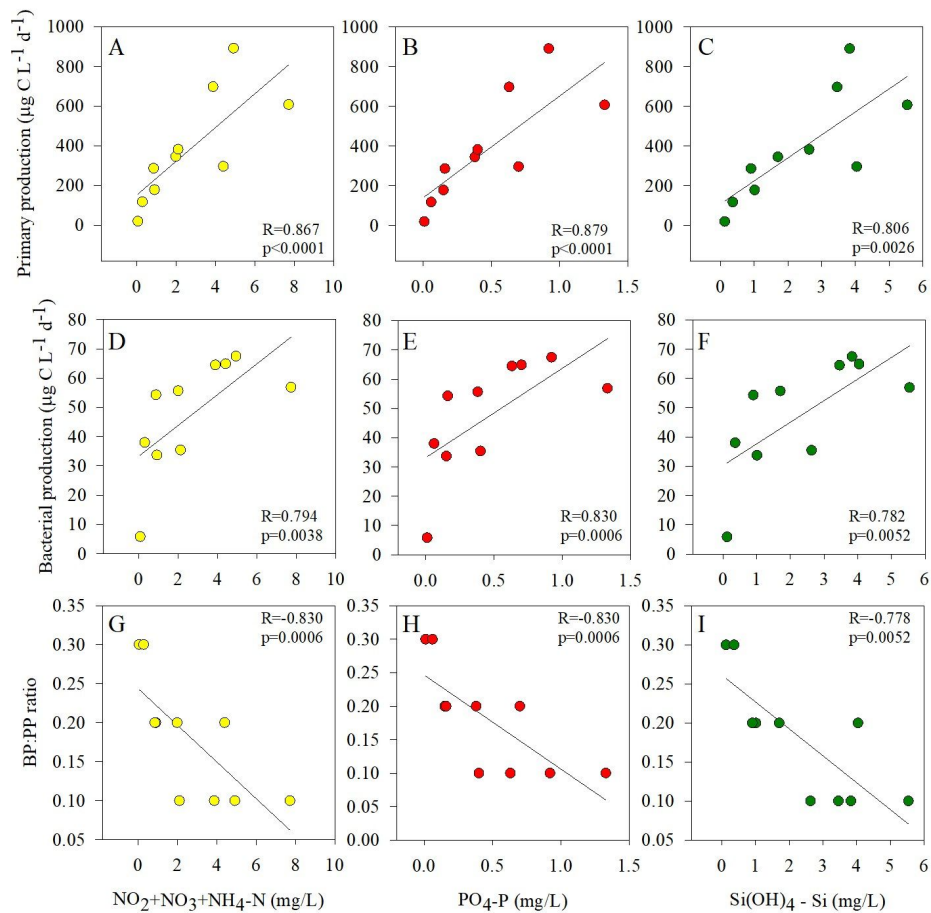
(כאשר היחס בין היצרנות החיידקית לראשונית גדול מ-1, המערכת 'נשלטת' על ידי יצרנות הטורופית. כאשר היחס קטן מ-1, המערכת 'נשלטת' על ידי יצרנות אוטורופית/פוטוסינתזה.)



איור 5: היחס בין יצרנות ראשונית (פוטוסנתזה) ליצרנות חיידקית (קיבוע פחמן הטרוטרופי) במימי הקישון המלוח במאי 2023



איור 6: היחס בין יצרנות חיידקית (קיבוע פחמן הטרוטרופי) ליצרנות ראשונית (פוטוסינתזה) במימי הקישון המלוח במאי 2023



איור 7: הקשרים הלינאריים בין ערכי היצרנות הראשונית (A-C), היצרנות החיידקית (D-F), והיחס בין יצרנות חיידקית ליצרנות ראשונית (G-I) לבין ריכוזי נוטריאנטים, מאי 2023

טבלה 7: סיווג הקריטריונים של מצב הסביבת' בתחנות השונות בנחל הקישון המלוח במאי 2023, בהשוואה לערכי הסף שהוצעו ע"י Herut et al. 2023.

תחנה	עומק	DO	Chl-a	NH4	NO3	PO4
פתח נמל	פני שטח	Good	Moderate	Good	Good	Moderate
פתח נמל	קרקעית	Good	Good	Good	Good	Good
יוליוס	פני שטח	Good	Moderate	Good	Moderate	Bad
יוליוס	קרקעית	Good	Moderate	Good	Good	Good
אקליפטוס	פני שטח	Good	Moderate	Good	Moderate	Bad
אקליפטוס	קרקעית	Good	Moderate	Good	Good	Moderate
הסתדרות	פני שטח	Good	Bad	Good	Moderate	Bad
הסתדרות	קרקעית	Moderate	Moderate	Good	Moderate	Bad
לבניות	פני שטח	Good	Moderate	Good	Moderate	Bad
לבניות	קרקעית	Moderate	Moderate	Good	Moderate	Bad
יגור	פני שטח	Good	Moderate	Good	Bad	Bad
חוות החיות	פני שטח	Good	Moderate	Bad	Bad	Bad

מיני מיקרופיטופלנקטון וריכוזם

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 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 כחוליות 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 פלגלטים מקבוצת ה-Cryptophyceae, שריכוזם עלה יחסית לשנה קודמת והם היוו 29% מהריכוז הכללי (איור 9B).

ביומסה וריכוז כלורופיל

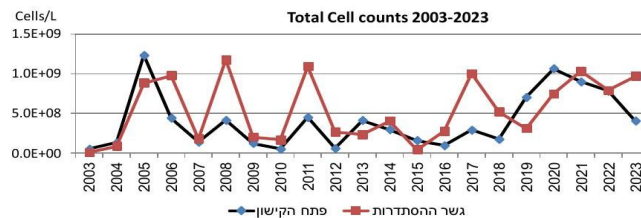
הביומסה הכללית וריכוז הכלורופיל נמצאו בירידה זו השנה הרביעית בפתח הקישון (איור 10), והיו נמוכים יחסית לממוצע הרב שנתי. את עיקר הביומסה בתחנה זו הרכיבו אצות צורניות (איור 12A), שהיוו 70% מהביומסה הכללית (איור 12B). בקטריות כחוליות *Synechococcus* sp.(2) היוו 22% מהביומסה הכללית. בגשר ההסתדרות הביומסה 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 פלגלטים מקבוצת ה-Cryptophyceae (איור 12A), המאפיינים תחנה זו. הם היוו 84% מהביומסה הכללית (איור 12B). ביומסה של הבקטריות כחוליות מהמין *Synechococcus* sp.(2), היוו 8% מהביומסה הכללית (איור 12B).

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 החוליות 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 פלגלטים 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 פלגלטים מקבוצת ה-*Cryptophyceae* (איור 12A), המאפיינים תחנה זו. הם היוו 84% מהביומסה הכללית (איור 12B). ביומסה של הבקטריות החוליות מהמין (*Synechococcus* sp. (2) היוו 8% מהביומסה הכללית (איור 12B).



איור 8: ריכוז תאי מיקרופלנקטון כללי באביב 2003-2023

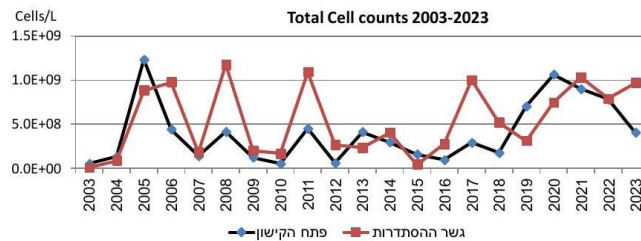
איור 8: ריכוז תאי מיקרופלנקטון כללי באביב 2003-2023

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 פלגלטים מקבוצת ה-*Cryptophyceae*, שריכוזם עלה יחסית לשנה קודמת והם היוו 29% מהריכוז הכללי (איור 9B).

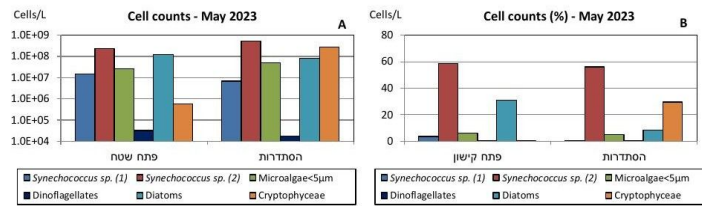
ביומסה וריכוז כלורופיל

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 פלגלטים 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).

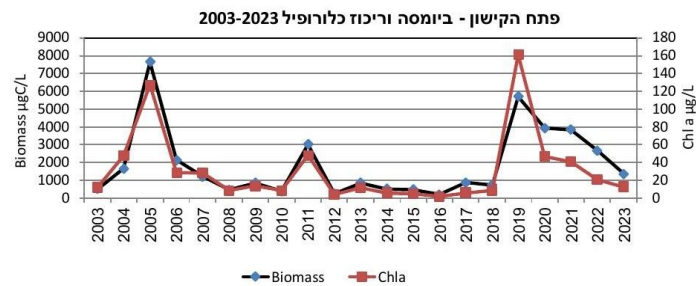


איור 8: ריכוז תאי מיקרופלנקטון כללי באביב 2003-2023

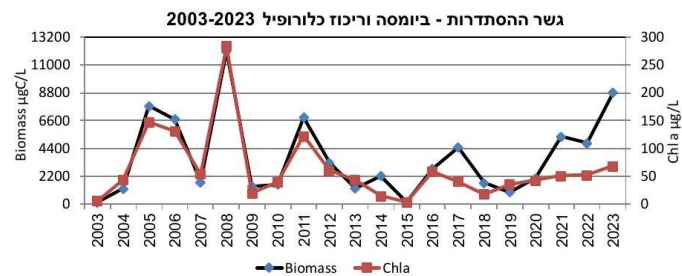
המשך איור 8; איור 9: ריכוז תאים בקבוצות המיקרופלנקטון (A) וריכוזם היחסי באחוזים (B) באביב 2023



איור 9: ריכוזי תאים בקבוצות המיקרופלקטון (A) וריכוזים היחסי באחוזים (B) באביב 2023



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

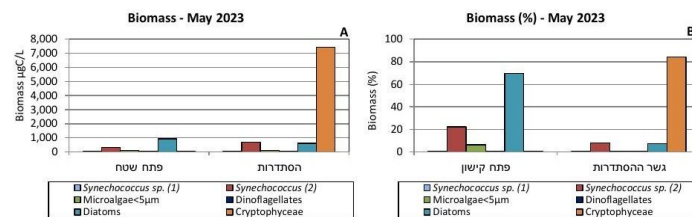


איור 11: ביומסה וריכוז כלורופיל בגשר ההסתדרות באביב 2003-2023

18
איור 10, 11: ביומסה וכלורופיל בפתח הקישון ובגשר ההסתדרות 2003-2023; איור 12: ביומסה לפי קבוצות, מאי 2023

מגוון המינים ואינדקס מגוון המינים (Diversity Index)

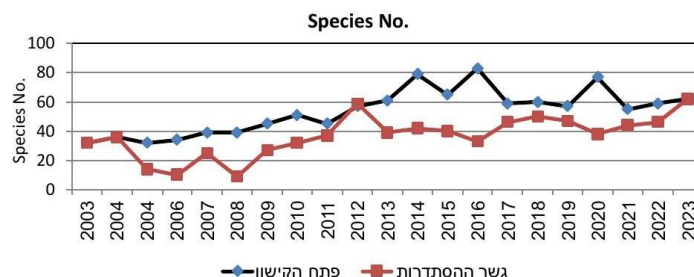
מספר המינים הכללי נותר דומה לשנה קודמת בפתח הקישון (איור 13). מספר מיני האצות הצורניות עלה ומספר מיני הדינופלגלטים ירד ביחס לשנה קודמת (איור 14A). מספר המינים עלה בגשר ההסתדרות ביחס לשנה קודמת, והיה דומה לפתח הקישון. זאת כתוצאה מעלייה במספר מיני הדינופלגלטים והאצות הצורניות (איורים 13, 14). מספר מיני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



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

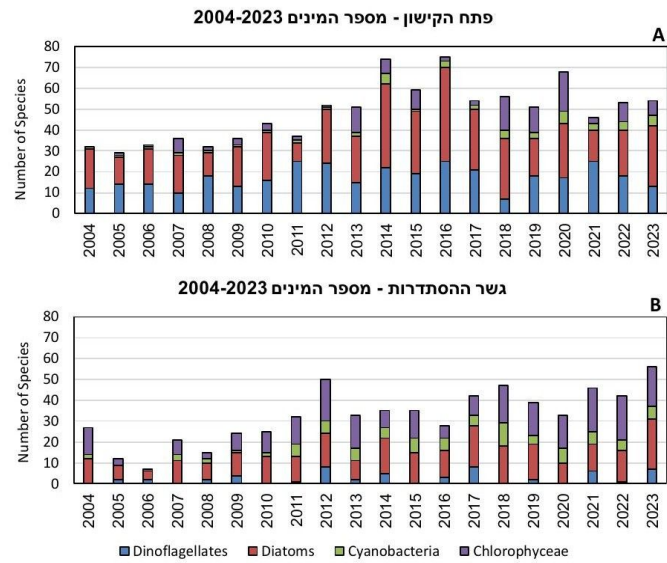
מגוון המינים ואינדקס מגוון המינים (Diversity Index)

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 ההסתדרות 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 בגשרת ההסתדרות ביחס לפתח הקישון (איור 14), בדומה לשנים קודמות. כמו כן התאפיינה תחנת גשר ההסתדרות במספר גדול יותר של מיני אצות ירוקיות ובקטריות כחוליות, האופייניות יותר למים בעלי מליחות נמוכה. אינדקס מגוון המינים (Menhinick's index - מס' המינים / שורש ריבועי של הביומסה), עלה מעט בפתח הקישון ואילו בגשר ההסתדרות נותר דומה לשנה קודמת (איור 15). בשתי התחנות הוא נמצא נמוך יחסית לממוצע הרב שנתי.

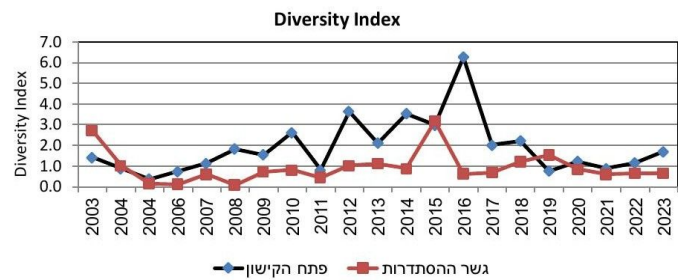


איור 13: מספר מינים בפתח הקישון ובגשר ההסתדרות באביב 2003-2023

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



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



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

70

איור 14: התפלגות מספר מינים בפתח הקישון (A) ובגשר ההסתדרות (B) באביב 2004-2023; 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 *Synechococcus sp.* (2) פרוחו 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, פרוחו מיני פלגלטים מקבוצת ה-Cryptophyceae: מיני *Cryptomonads* והמין *Hemiselmis sp.* שניהם שכיחים בגשר ההסתדרות גם בדיגומים קודמים. בקטריות כחוליות מהמין *Synechococcus sp.* (2) פרוחו, הן הופיעו תדיר גם בדיגומים קודמים. מינים בעלי פוטנציאל טוקסי נראו במספר קטן ובריכוז קטן מאד בפתח הקישון ובגשר ההסתדרות (איור 16, טבלה 8).

הערת נגישות: טבלה 8 (ריכוז מיקרופלנקטון בתאים/ליטר לפי מין, עבור כ-100 טקסונים בשתי התחנות) מוצגת בעמודים הבאים כתמונה, בשל היקפה הרב והסיכון הגבוה לשגיאת שיוך ערך-לתא בתמלול ידני. הממצאים המרכזיים המת"יחסים למינים הדומיננטיים כבר מפורטים בפסקאות הטקסט לעיל.

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

גורם ההסתדרות	פחת הקישון	גורם ההסתדרות	פחת הקישון
Dinoflagellates		Cryptophyceae	
Dinoflagellates < 15 m	2.0E+04	1.2E+04	
Ceratium pulchellum		67	Cryptomonad spp.
Dinophysis caudata		37	Hemiselmis sp.
Gymnodinium elongatum	18	67	
Gymnodinium sp. (667A)	40	4800	Chlorophyceae
Gymnodinium cf. catenatum		133	Actinastrum hantzschii
Oxyphysis oxytoxoides	169	27	Closteropsis acicularis
Prorocentrum gracile	33		Coelastrum microporum
Prorocentrum minimum	50		Crucigenia tetrapedia
Prorocentrum triestinum	10240		Crucigeniella apiculata
Protoperidinium spp.	840		Crucigeniella rectangularis
Protoperidinium sp. (54)	60		Flagellae spp.
Protoperidinium sp. (2024)	733		Monoraphidium arcuatum
Protoperidinium bipes	840		Monoraphidium minutum
Scrippsiella sp.	213		Oocystis borgei
Warnowia sp.	7		Oocystis sp. (1312)
			Oocystis sp. (396k)
Diatoms			Pediastrum duplex
Achnanthes sp.	13	40	Percursaria percursa
Asterionellopsis glacialis	67		Scenedesmus acuminatus
Asteroplanus karianus	140		Scenedesmus abundans
Bacillaria paxillifera	200	7169	Scenedesmus acutus
Biddulphia alternans	40		Scenedesmus obliquus
Cerataulina pelagica	520		Scenedesmus obtusus
Chaetoceros spp.	380		Scenedesmus quadricauda
Coscinodiscus sp.	7		Unidentified (1272)
Cyclotella sp.	100	5267	
Cylindrotheca sp.	460	133	Cyanobacteria
Cymbella sp. (1998)	60	2400	Chroococcus spp.
Dactylosolen fragilissimus	180		Chroococcopsis epiphytica
Diploneis sp.	40		Leptolyngbia sp.
Entomoneis gigantea var sulcata		43	Oscillatoria sp. (463k1)
Entomoneis paludosa		57	Oscillatoria sp. (914a)
Entomoneis sp. (1622)	27		Synechococcus sp. (1)
Leptocylindrus danicus	210		Synechococcus (2)
Melosira moniliformis	67	47	
Navicula sp. (1949)	87	1200	Raphidophyceae
Navicula sp. (313)		67	Heterosigma akashiwo
Navicula sp. (320)	36	133	
Navicula sp. (559A)		1200	Chrysophyceae
Navicula sp. (588k)	40	867	Chrysochromulina sp.
Navicula sp. (597A1)	60	600	
Navicula spp.	530	9867	Euglenoidae
Nitzschia sp. (1566)		933	Euglena sp.
Nitzschia sp. (347k)		2167	Eutreptia sp.
Nitzschia sp. (553A)		200	
Nitzschia sp. (592A)		1696	Dictyochophyceae
Nitzschia spp.		9067	Octactis octonaria
Pleurosigma spp.	40	98	
Proboscia alata	63		Microalgae < 5 m
Pseudonitzschia spp.	40		
Rhizosolenia calcar-avis	40		Ciliates
Rhizosolenia imbricata	53		Mesodinium rubrum
Surirella spp.	44	7	
Thalassiosira pseudonana	1.3E+08	8.3E+07	
Thalassiosira spp.	16776	1087	Total
			4.1E+08
			9.7E+08

טבלה 8 (חלק 1): ריכוז מיקרופלנקטון (תאים/ליטר) בקישון - מאי 2023

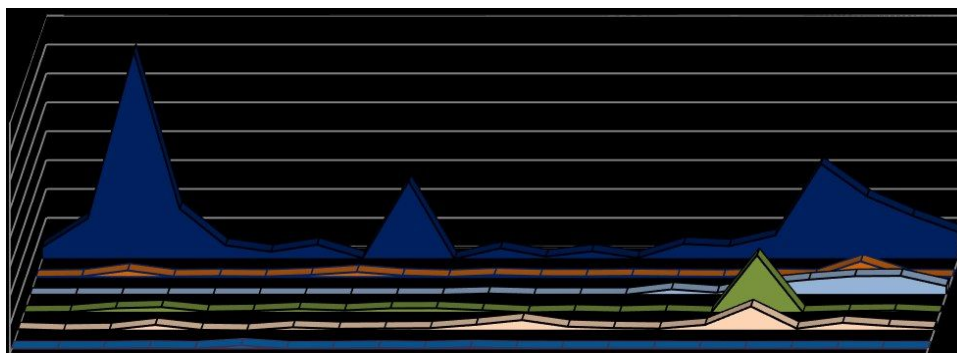
ריכוז תאים, ביומסה וריכוז כלורופיל

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 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 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. בשנים האחרונות (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).

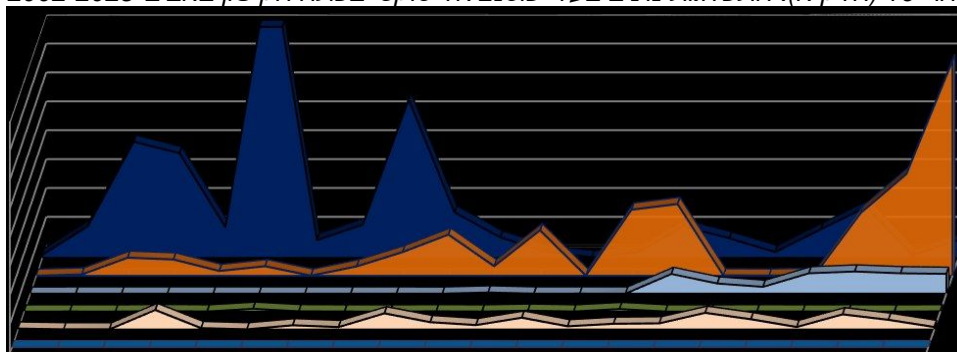
קבוצות מיקרופלנקטון שונות

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 הירוקות 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 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, שהיו $13\pm 67\%$ מהביומסה הכללית (איור 18A). קבוצה נוספת שחשיבותה עלתה בשנים 2017-2023 היא קבוצת הבקטריות הכחוליות מהמין *Synechococcus* sp.(2), אשר פרחו והיוו בממוצע $6\pm 17\%$ 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 *Synechococcus* sp.(2) שהיוו בממוצע כ- 20% מהביומסה הכללית (איורים 17-18).



איור 16 (חלק א): התפלגות מינים בעלי פוטנציאל סוקסי בפתח הקישון באביב 2002-2023



איור 16 (חלק ב, המשך)

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

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 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.

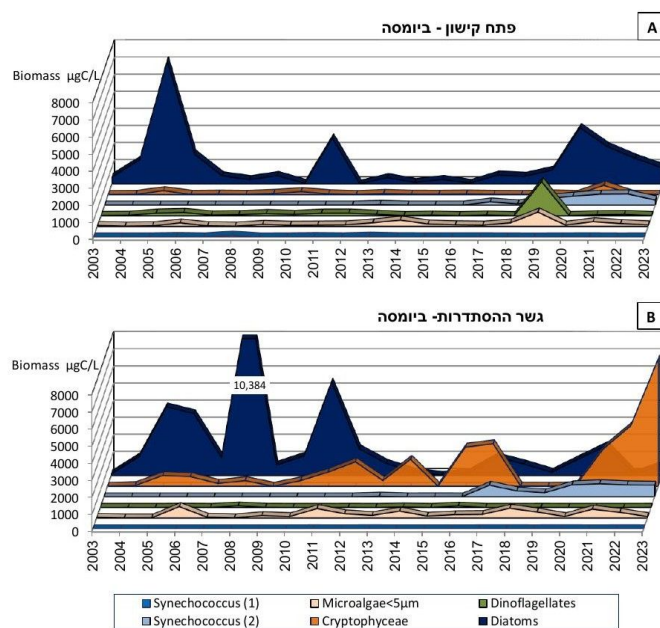
פריחות גדולות של אצות הופיעו תדיר (איור 11) בגשר ההסתדרות לאורך השנים. קיימת קורלציה בין ריכוז הכלורופיל לביומסה במיוחד בין השנים 2003-2016. בשנים 2003-2011 התנודתיות הייתה גדולה במיוחד, וממוצע הביומסה וריכוז הכלורופיל בתחנה זו היו גבוהים מהממוצע הרב שנתי (ריכוז הכלורופיל היה בתחום ההיפר איאוסטרופי מעל $90\mu\text{g/L}$). 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 ריכוז נמצא בירידה (איורים 10, 17, 19). בארבע השנים האחרונות (2020-2023) נמצאו שוב פריחות של אצות צורניות, שהיוו $13\pm 67\%$ מהביומסה הכללית (איור 18A). קבוצה נוספת שחשיבותה עלתה בשנים 2017-2023 היא קבוצת הבקטריות הכחוליות מהמין (2) *Synechococcus sp.*, אשר פרחו והיוו בממוצע $6\pm 17\%$ מהביומסה הכללית (איורים 17-19). באביב 2023 נראתה ירידה בריכוז בפתח הקישון.

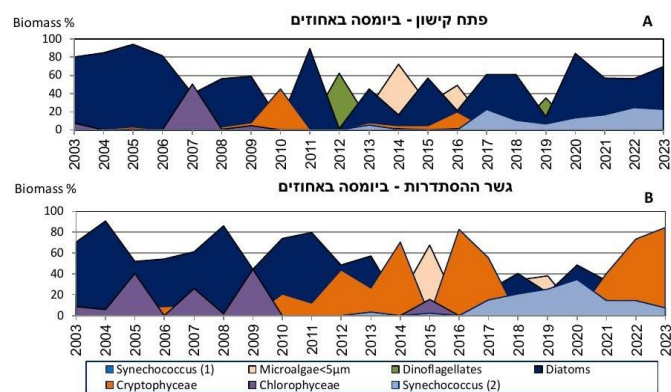
אצות צורניות היו דומיננטיות בגשר ההסתדרות עד 2013 (איורים 17-19) והן היוו בממוצע 65% מהביומסה הכללית. מאביב 2011 פלגלטים מקבוצת ה-Cryptophyceae, החלו להוות חלק הולך וגדל בביומסה הכללית (איורים 17, 19). חלה עלייה בשיאי הפריחה של קבוצה זו לאורך השנים 2003-2023 כאשר באביב 2023 הם היוו 84% מהביומסה הכללית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

מיקרואצות קטנות מ- 5 מיקרומטר תדיר בתחנה זו, אך הופעתם התאפיינה בתנודתיות גדולה לאורך השנים (איורים 17-19).



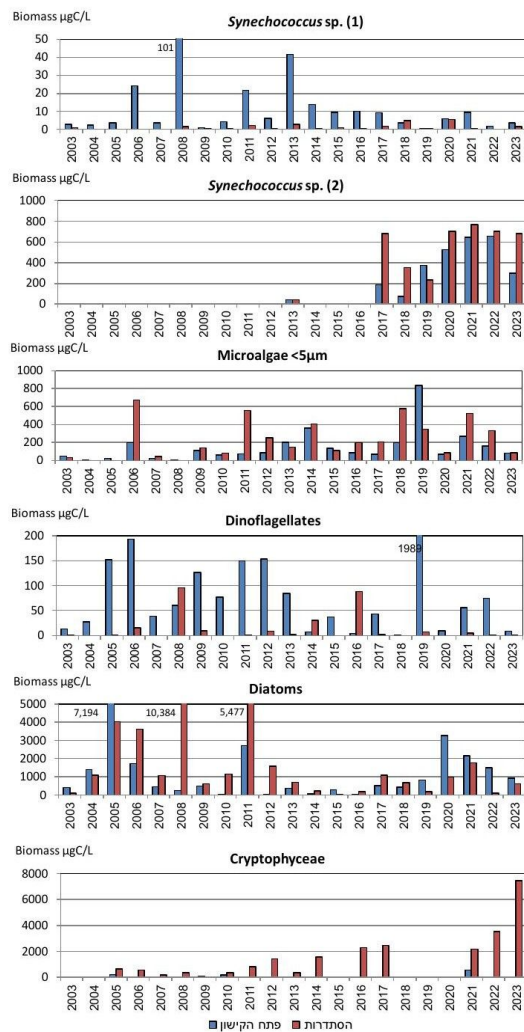
איור 17: התפלגות ביומסת מיקרופלנקטון בפתח הקישון (A) ובגשר ההסתדרות (B) באביב 2003-2023

איור 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 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)

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 התייבבות במספר המינים בפתח הקישון עם ממוצע של 61 ± 7 מינים. בגשר ההסתדרות בעשר השנים האחרונות 2013-2022 התקיימה תנודתיות במספר המינים והם התייבבו על 43 ± 5 מינים (איור 13). באביב 2023 מספר המינים הגיע לשיא והיה דומה למספר המינים בפתח הקישון.

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 התקיימה 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).

מינים בעלי פוטנציאל טוקסי – מגוון מינים בעלי פוטנציאל טוקסי הופיעו לסירוגין במהלך השנים בפתח הקישון בדיגומי האביב (איור 16). חלקם הופיעו 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 הפלגלט *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 ($5-100 \times 10^{-5}$ תאים לליטר).

5. 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., 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., 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.