

אפיון קבוצות המיקרואצות במי נחל הקישון המלוח

דו"ח ניטור אביב 2020

דו"ח חיא"ל H49/2020

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

מוגש לרשות נחל הקישון

דצמבר 2020

אפיון קבוצות המיקרואצות במי נחל הקישון המלוח

דו"ח ניטור אביב 2020 — דו"ח חיא"ל H49/2020

נורית גורדון, גיא סיסמה-ונטורה, נטליה בלקין, איל רהב. מחבר לתכתובת: eyal.rahav@ocean.org.il
חקר ימים ואגמים לישראל בע"מ, תל שקמונה, ת"ד 8030, חיפה 31080. <http://www.ocean.org.il>

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 והיצרנות הראשונית, דבר המרמז כי לו יופחתו עומסי הנוטריאנטים ממקור אנתרופוגני, כך בהתאמה תרד הביומסה של האצות (כריכוז כלורופיל a) לרמה "תקינה" (בהתאם לקריטריונים של מנהל האוקיינוסים והאטמוספירה של ארה"ב לאיכות המים בשפכי נחלים).
- ערכי היצרנות הראשונית היממתית היו גבוהים בפני השטח בסדר גודל ביחס לדיגומי אביב קודמים, דבר המרמז על "פריחת אצות".
- תהליכים אוטוטרופים (פוטוסינתזה) דומיננטיים ביחס לתהליכים מיקרוביאליים הטרוטרופים (חיידקים) בשכבה העליונה של עמודת המים פי 9-3. לעומת זאת, מעל הקרקעית היחס בין התהליכים מתהפך (יצרנות חיידקית פי 7-4 מערכי היצרנות הראשונית) וקיימת עקת חמצן (היפוקסיה) בקרבת הקרקעית. עומס נוסף של חומר אורגני לקרקעית עלול להוביל לתנאים אנוקסיים (ללא חמצן), שיכולים להוביל לתמותת דגים ותגובות לא רצויות נוספות.
- ריכוז תאי המיקרופיטופלנקטון היה גבוה באופן משמעותי ביחס לדיגומי אביב קודמים (עד פי עשר). הסיבה לכך נעוצה בעיקר בפריחה גדולה במיוחד בפתח הקישון של אצות צורניות מהמין *Thalassiosira pseudonana* ובקטריות כחוליות מהמין *Synechococcus sp.* (2). ערכי ביומסת האצות בפתח הקישון ירדו ביחס לשנה הקודמת, יחד עם זאת נשארו גבוהים ביחס לממוצע הרב-שנתי.
- בשונה משנים 2003-2018, ביומסת המיקרו-פיטופלנקטון נמוכה יותר בגשר ההסתדרות ביחס לפתח הקישון. באביב 2019 פריחות בפתח הקישון גרמו לעלייה חזקה בביומסה וריכוז הכלורופיל בפתח הקישון במקביל להתמתנות הפריחות בגשר ההסתדרות. באביב 2020 חלה ירידה בביומסה וריכוז הכלורופיל בפתח הקישון ביחס לשנה הקודמת, אך הביומסה נותרה גבוהה יחסית לגשר ההסתדרות.
- פתח הקישון מתאפיין בהרכב מיקרואצות ימיים עם מספר מינים גבוה ביחס לגשר ההסתדרות, שם נמצאו בעיקר מינים המאפיינים מים פחות מלוחים. בארבע שנים אחרונות חלה עלייה בריכוז הבקטריות הכחוליות החד-תאיות האופייניות בעיקר לקישון, *Synechococcus sp.* (2), בשתי התחנות.
- באביב 2020 הופיע בפתח הקישון מגוון מצומצם של מינים בעלי פוטנציאל טוקסי ובריכוז קטן בלבד.

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.

2. דיגום ושיטות

המערכה התחתונה של נחל הקישון נדגמה באביב 2020 (מאי). שבע תחנות נדגמו במעלה זרם הנחל (טבלה 1). בכל תחנה נמדד פרופיל עומק של מליחות, טמפרטורה, חמצן מומס במים, אחוז רוויית חמצן, חומציות (pH) ועכירות באמצעות מכשיר YSI 5MS Instruments Springs. כמו כן, מי שטח ומי עומק בכל תחנה נדגמו באמצעות בקבוק ניסקין או ישירות לכלי הדיגום לקביעת ריכוזי כלורופיל a, נוטריאנטים (אורטו-פוספאט, ניטראט+ניטריט, חומצה סיליצית), ספירות חיידקים ופיקופיטופלנקטון (Synechococcus, Prochlorococcus, pico-eukaryotes, heterotrophic bacteria) ויצרנות ראשונית וחיידקית בעזרת סמנים רדיואיזוטופים (בכל התחנות), וכן אפיון אוכלוסיית הפיטופלנקטון (שתי תחנות: גשר ההסתדרות, גשר יוליוס סימון) בעזרת שיטות טקסונומיות מיקרוסקופיות.

במעבדה, דגימות המים לנוטריאנטים הוקפאו עד לבדיקתן בשיטה פוטומטרית וזרימה מקוטעת במכשיר Skalar SANplus systems, בשיטות המפורטות ב-IOC-SCOR-UNESCO 1994; Kress and- Herut, 2001. דגימות מים לקביעת כלורופיל סוננו דרך פילטרים GF/F (0.7 מיקרון), נעטפו בנייר אלומיניום והוקפאו עד לבדיקתם בשיטה פלואורימטרית לפי Standard Methods-10200H-3 עם שינויים קלים, בתוך מספר ימים.

יצרנות ראשונית נמדדה על ידי סימון מי הדגימה עם ביקרבונט מסומן בפחמן 14 (Steeman-Nielsen, 1952). יצרנות חיידקית נמדדה על ידי הוספה למי הדגימה לאוצין מסומן בטריטיום (Simon et al. 1990). כל הדגימות נעשו בטרופליקטים והושמו תחת תנאי תאורה וטמפרטורה טבעיים למשך 4 שעות בטרם מדידתם עם מונה נצנץ (סינטילציה), 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 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) נשמרו על גבי פילטר פוליקרבונט (0.45 מיקרון) עם שמן אימרסיה; סוגים גדולים מ-5 מיקרון סוננו על גבי פילטרים מפוליקרבונט (5 ו-20 מיקרון) ונשמרו בשיטת שמן אימרסיה או בשיטת Hewes and Holmes-Hansen (filter-transfer-freeze; FTF) (1983).

טבלה 1: מיקום תחנות הדיגום לאורך נחל הקישון המלוח במהלך דיגום אביב 2020.

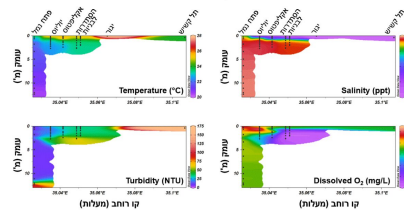
תחנה	Latitude (N)	Longitude (E)
חוות החיות	32°41.31'	35°6.39'

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

3.1 פרמטרים כימיים-פיסיקליים בעמודת המים

פרופיל העומק של הטמפרטורה, המליחות, והחמצן המומס, לאורך נחל הקישון המלוח כפי שנמדדו במאי 2020 מוצגים באיורים 1 ו-2 ובטבלה 2. פיזור הטמפרטורה האנכי מראה עמודת מים משוכבת עם הבדל של עד 2.95 מעלות צלזיוס ועד 31 יחידות מליחות בין פני השטח לקרקעית, בדומה למצב בקיץ (Bar-Zeev and Rahav 2015). שכבת המים העליונים והחמים יחסית (0.5 מ') מלווה פחות מהחלק התחתון, בתחנות במעלה הנחל, כתוצאה מכניסת מי ים על פני ודרך הסדימנט, בדומה לדיגומים קודמים. ככל שמתקרבים למורד הנחל עולה המליחות, הן בגוף המים העליון והן בתחתון, כאשר השינוי במליחות במי השטח גדול מהשינוי במליחות במים העמוקים.

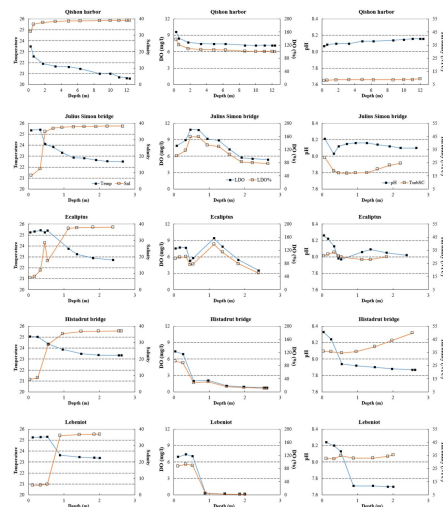
החמצן המומס במי השטח הגיע רק ל-79% מרוויה (6.6 מג"ל) במעלה הנחל (תחנת "חוות החיות"), וריכוזו עלה ככל שמתקדמים לפתח הנמל, שם ריכוז החמצן הגיע לעל-רוויה (138%, 9.7 מג"ל). במקביל אחוז החמצן מרוויה ירד עם ההעמקה בעמודת המים בכל התחנות, עם ריכוזים המעידים על היפוקסיה (טבלה 3) בתחנות לבניות והסתדרות (0.09 מג"ל, כ-1% מרוויה; ו-0.76 מג"ל, כ-11% מרוויה, בהתאמה). בתחנת אקליפטוס ריכוז החמצן בקרקעית ירד ל-3.51 מג"ל, המוגדר כעקת חמצן בינונית. ריכוז החמצן במי העומק מוכתב בעיקר על-ידי תהליכי נשימה חיידקית ובמידה מסוימת על-ידי חדירת מי ים רוויים בחמצן. ריכוז החמצן במי השטח מושפע מתהליכי ערבוב בין מי נחל עניים יחסית בחמצן (כולל הזרמות מהמפעלים) לבין מי ים, ומתהליכי פריחת אצות.



איור 1: פרופיל עומק של הטמפרטורה (°C), מליחות (ppt), עכירות (NTU) וריכוז חמצן מומס (mg/L) בפי שומד בדגום מאי 2020 לאורך נחל הקישון המלוח, שתי תחנות במעלה הנחל ובתחנה בנתיקה לנחל. האינטרפולציה בין נקודות המדידה בוצעה באמצעות תוכנת Ocean Data View גרסה 5.0.0 על ידי שימוש באלגוריתם סוגי Weighted average gridding.

6

איור 1: פרופיל עומק של הטמפרטורה (°C), מליחות (ppt), עכירות (NTU) וריכוז חמצן מומס (mg/L) כפי שנמדד בדגום מאי 2020 לאורך נחל הקישון המלוח.



איור 2: חתך עומק של כל תחנות דגום בנפרד עבור הפרמטרים המצוינים באיור 1. תחנות יגור ותל קשיש לא מוצגות באיור זה בשל רדודות ולא ניתן להציג פרופיל עומק עבורן.

7

איור 2: חתך עומק של כל תחנות דגום בנפרד עבור הפרמטרים המצוינים באיור 1. תחנות יגור ותל קשיש לא מוצגות בשל רדודות.

טבלה 2: סיכום פרופיל עומק של הטמפרטורה, מליחות, חמצן מומס, pH ועכירות כפי שנמדד במאי 2020 לאורך נחל הקישון המלוח.

תחנה	עומק (m)	טמפרטורה (°C)	מליחות	חמצן מומס (mg/L)	pH	עכירות (NTU)
פתח נמל	0.1	23.52	32.42	9.7	8.07	8.1
פתח נמל	0.62	22.61	36.85	8.09	8.09	8.4

תחנה	עומק (m)	טמפרטורה (C°)	מליחות	חמצן מומס (mg/L)	pH	עכירות (NTU)
פתח נמל	1.76	21.93	37.89	7.72	8.1	8.7
פתח נמל	3.31	21.68	38.51	7.48	8.1	8.8
פתח נמל	4.92	21.64	38.73	7.45	8.13	8.8
פתח נמל	6.32	21.45	38.89	7.44	8.13	8.7
פתח נמל	8.71	21.01	39.06	7.21	8.14	8.7
פתח נמל	10.02	21.03	39.08	7.16	8.15	8.8
פתח נמל	11.09	20.7	39.16	7.21	8.16	9.0
פתח נמל	12.02	20.62	39.18	7.18	8.16	9.5
פתח נמל	12.37	20.57	39.2	7.17	8.16	126.5
יוליוס	0.08	25.4	8.21	7.89	8.21	28.9
יוליוס	0.33	25.44	12.33	8.95	8.03	18.8
יוליוס	0.47	24.11	35	10.9	8.12	17.2
יוליוס	0.7	23.84	37.09	10.83	8.15	16.9
יוליוס	0.95	23.32	37.65	9.16	8.16	17.3
יוליוס	1.27	22.86	37.97	8.89	8.16	17.5
יוליוס	1.57	22.82	38.07	7.25	8.14	20.1
יוליוס	1.91	22.65	38.22	5.72	8.12	23.1
יוליוס	2.22	22.53	38.33	5.53	8.1	24.6
יוליוס	2.66	22.51	38.33	5.36	8.1	44.8
אקליפטוס	0.05	25.25	7.2	7.52	8.26	30.7
אקליפטוס	0.17	25.32	8	7.73	8.22	32
אקליפטוס	0.34	25.42	11.83	7.68	8.13	33.5
אקליפטוס	0.46	25.24	28.42	5.28	7.98	30.7
אקליפטוס	0.54	25.4	17.53	5.77	7.97	29.9
אקליפטוס	1.13	23.75	37.36	9.42	8.06	28
אקליפטוס	1.37	23.24	37.74	7.85	8.09	27.9
אקליפטוס	1.82	22.89	37.98	5.45	8.05	30
אקליפטוס	2.39	22.71	38.13	3.51	8.02	61.6
הסתדרות	0.04	25.06	7.61	7.38	8.33	35.9
הסתדרות	0.26	25.04	8.58	6.92	8.24	35.6
הסתדרות	0.56	24.37	28.99	2.01	7.94	34.6
הסתדרות	0.97	23.88	35.46	2.12	7.92	35.7
הסתדרות	1.49	23.49	36.79	1.12	7.9	39.5
הסתדרות	1.989	23.37	37	0.92	7.88	44.2
הסתדרות	2.55	23.35	37.06	0.77	7.87	49.8
הסתדרות	2.63	23.35	37.07	0.76	7.87	71.6

תחנה	עומק (m)	טמפרטורה (C°)	מליחות	חמצן מומס (mg/L)	pH	עכירות (NTU)
לבניות	0.12	25.26	5.85	6.94	8.24	32.7
לבניות	0.34	25.27	5.9	7.38	8.2	32.5
לבניות	0.53	25.32	6.51	7.05	8.13	34.9
לבניות	0.89	23.62	36.05	0.33	7.71	32.9
לבניות	1.44	23.44	36.73	0.15	7.71	33
לבניות	1.86	23.39	36.87	0.09	7.7	34.3
לבניות	2.01	23.37	36.89	0.09	7.7	35.4
יגור	-	27.83	2.19	8.1	-	0.05
תל-קשיש	-	24	2.03	6.6	7.86	173.1

עמודת העומק ריקה עבור תחנות רדודות (יגור, תל-קשיש) בהן לא נמדד פרופיל עומק.

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

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

ריכוזי הנוטריאנטים (ניטראט+ניטריט+אמוניה, פוספאט וחומצה סיליצית) בדגימות פני השטח ומי העומק בכל תחנת דיגום מוצגים בטבלה 4. ככלל, ריכוז הנוטריאנטים בפני השטח היה גבוה משמעותית מאלה שנמדדו באותה תחנה בעומק, מגמה שחזרה על עצמה בכל דיגומי אביב מהשנים האחרונות ונובעת ככל הנראה מהזרמה קבועה של מזהמים בפני השטח. ריכוזי הנוטריאנטים קטנו בכיוון מורד הנחל עם ההתרחקות מהזרמות מהמעלה וממקור קולחי התעשייה, ובהשפעת מידת המיהול עם מי הים. בכל תחנות הדיגום נמצאו ריכוזים גבוהים של חנקות וזרחות במי השטח, המצביעים על רמת איאטרופיקציה גבוהה. היחס האופטימלי/תקין בין ריכוז חנקות אנאורגניות לזרחות אנאורגניות באקוסיסטמות אקוויטיות נחשב 16:1 (Redfield, 1933). היחס באסטואר הקישון עמד על 36.7, ומעיד על עודף חנקות המוזרמות עם השפכים.

טבלה 4: ריכוז נוטריאנטים אנאורגנים (mg/L) כפי שנמדדו לאורך נחל הקישון המלוח בתחנות השונות באביב 2020.

תחנה	עומק דיגום	Si(OH) ₄ -Si	PO ₄ -P	NO ₂ +NO ₃ +NH ₄ -N
פתח נמל	פני שטח	2.84	0.08	4.19
פתח נמל	קרקעית	0.16	0.01	0.09
יוליוס	פני שטח	9.06	0.54	13.19
יוליוס	קרקעית	1.62	0.10	2.80
אקליפטוס	פני שטח	9.08	0.48	12.62
אקליפטוס	קרקעית	0.56	0.06	0.80

תחנה	עומק דיגום	Si(OH)4-Si	PO4-P	NO2+NO3+NH4-N
הסתדרות	פני שטח	8.04	0.67	14.75
הסתדרות	קרקעית	1.21	0.16	1.84
לבניות	פני שטח	9.18	0.73	15.50
לבניות	קרקעית	1.97	0.26	3.22
יגור	פני שטח	8.66	0.99	23.75
חוות החיות	פני שטח	8.79	1.87	27.96

49.8	7.87	0.77	37.06	23.35	2.55
71.6	7.87	0.76	37.07	23.35	2.63
32.7	8.24	6.94	5.85	25.26	0.12
32.5	8.2	7.38	5.9	25.27	0.34
34.9	8.13	7.05	6.51	25.32	0.53
32.9	7.71	0.33	36.05	23.62	0.89
33	7.71	0.15	36.73	23.44	1.44
34.3	7.7	0.09	36.87	23.39	1.86
35.4	7.7	0.09	36.89	23.37	2.01
	8.1		2.19	27.83	0.05
173.1	7.86	6.6	2.03	24	0.38

טבלה 3: קריטריונים של מנהל האוקיינוסים והאטמוספירה של ארצות הברית (NOAA, 1997)	מדידת מדידה	מדידת מדידה	מדידת מדידה	מדידת מדידה	מדידת מדידה
פרמטר	מדידת מדידה	מדידת מדידה	מדידת מדידה	מדידת מדידה	מדידת מדידה
חמצן מומס (DO)	mg/L	אוקסיגן-0, חפשי-2, נוק ביומני 2-5	מדידת מדידה	מדידת מדידה	מדידת מדידה
חנקן אמוניאלי (NH4-N)	mg/L	<0.1	0.1-1	>1	
חנקן אמוניאלי (NO3-N)	mg/L	<0.01	0.01-0.1	>0.1	
חנקן אמוניאלי (PO4-N)	mg/L	<5	5-20	>20	

ריכוזי הנוטריאנטים (ניטראט+ניטריט+אמוניה, מוסטאט וחומצה סיליצית) בדיגומים מן השטח ומי העומק בכל תחנות דיגום שצוינו בטבלה 4. ריכוזי הנוטריאנטים ממוינים הנתונים בדיגומים שצוינו בטבלה 4. באותה תחנה כמות, נמנה וזו הודיע על נכונות כלל דיגומים אביב מחשבים האקטיות, תובעת כלל תחנה בכל תורמם בקיץ של מדידות מן השטח, בדיגומים קרקעית, ריכוזי הנוטריאנטים קטנו בכיוון מורד החל עם התרחקות מהזרמים המועלים ומספור קילוי תחשית המורמים לטח, לבושעת מדידת המיחול עם מי הים. ריכוזי החנקן והזרחות, מראים שינויים קונסרבטיבים לאורך קטע החל מהמכתבים בעיקר ימי מדידת המיחול בין הים המועלה והכללים את הקולחים ומי ים, אבל מושפעים גם מהמכתבים ביולוגיים עשיריפיקציה, נשימה כד', בכל תחנות הדיגום בתוך אסטואר הקישון (מפלה החל ודו מוצא) נמצאו ריכוזים גבוהים של ריכוזי חנקן ושל ריכוזי חנקן ושל ריכוזי חנקן (לעיתים גם מדי העומק), דבר המבטא על רמת ויחום (האטמוספיריקציה) גבוהה על פי הקריטריונים של מנהל האוקיינוסים והאטמוספירה של ארצות הברית (NOAA, 1997). לאיכות המים בשכבי תולים נכללה (3). חופשה זו נפשה כמעט בכל הדיגומים בשנים האחרונות. היחס האטמוספיריקציה בין ריכוזי חנקן אמוניאלי לריכוזי חנקן אמוניאלי באקוסיסטמות אקטיות נחשב 16:1 (Redfield, 1953). היחס הריכוזי באסטואר הקישון עמד על 36.7 (אורן 3), ומעיד על מדרג תפקוד באסטואר שמורמות עם השפכים.

9

איור 3: ריכוז זרחן אנאורגני מומס כתלות בריכוז חנקן אנאורגני מומס במי הקישון המלוח במאי 2020. שיפוע קו המגמה $R=0.948, p<0.00001, 36.7$.

3.2 פרמטרים ביולוגיים בעמודת המים

ערכי כלורופיל a בדיגומי אביב 2020 נעו בין 2.92 ל-46.83 מיקרוגרם לליטר לאורך האסטואר המלוח והגיעו לשיא של 209.21 מיקרוגרם לליטר בתחנות יגור וחוות החיות (ללא השפעת מי ים). ערכים אלה גבוהים מדיגום מאי 2019 במעלה האסטואר, בשל ריכוז הנוטריאנטים הגבוה שנמדד. ציאנובקטריה נעו בין $8^{10} \times 0.37$ ל- $8^{10} \times 0.88$ תאים לליטר, וריכוז אצות אאוקריוטיות היה גבוה מזה של ציאנובקטריה בסדר גודל ($8^{10} \times 7.06 - 0.27$ תאים לליטר). נמצא קשר סטטיסטי חיובי בין העלייה בריכוז הכלורופיל לריכוזי הניטראט+ניטריט+אמוניה והזרחן (קורלציית ספירמן, $p<0.05$).

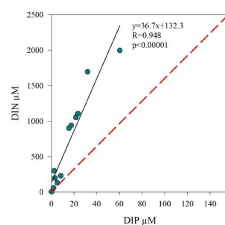
טבלה 5: ריכוז כלורופיל ושכיחות ציאנובקטריות, פיקו-אאוקריוטים וחיידקים הטרוטרופים במעלה נחל הקישון במאי 2020.

תחנה	עומק דיגום	כלורופיל a ($\mu\text{g/L}$)	ציאנובקטריה אוטוטרופית ($8^{10} \times$) (L/תא)	פיקו-אאוקריוטים ($8^{10} \times$) (L/תא)	חיידקים הטרוטרופים ($8^{10} \times$) (L/תא)
פתח נמל	פני שטח	46.83	0.69	7.06	28.34

תחנה	עומק דיגום	כלורופיל a (µg/L)	ציאנובקטריה אוטוטרופית (8×10^4 L/תא)	פיקו-אאוקריוטים (8×10^4 L/תא)	חיידקים הטרוטרופים (8×10^4 L/תא)
פתח נמל	קרקעית	2.92	0.40	0.27	14.13
יוליוס	פני שטח	21.27	0.59	2.57	21.34
יוליוס	קרקעית	21.04	0.45	2.31	15.00
אקליפטוס	פני שטח	22.4	0.74	3.09	21.93
אקליפטוס	קרקעית	16.77	0.37	1.74	10.23
הסתדרות	פני שטח	43.08	0.88	3.68	22.25
הסתדרות	קרקעית	24.9	0.46	2.07	12.25
לבניות	פני שטח	42.89	0.74	2.64	19.12
לבניות	קרקעית	25.28	0.53	2.00	11.89
יגור	פני שטח	209.21	0.60	0.44	19.84
חוות החיות	פני שטח	206.01	0.68	0.51	21.98

טבלה 4: ריכוזי טריאטמים אנאורגים (mg/L) כפי שנמדדו לאורך נחל הקישון המלוח בתחנות השונות באביב 2020

תחנה	עומק דיגום	NO ₃ +NO ₂ +NH ₄ -N (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	Si(OH) ₄ -Si (mg/L)
פתח נמל	פני שטח	4.19	0.08	2.84
	קרקעית	0.09	0.01	0.16
יוליוס	פני שטח	13.19	0.54	9.06
	קרקעית	2.80	0.10	1.62
אקליפטוס	פני שטח	12.62	0.48	9.08
	קרקעית	0.80	0.06	0.56
הסתדרות	פני שטח	14.75	0.67	8.04
	קרקעית	1.84	0.16	1.21
לבניות	פני שטח	15.50	0.73	9.18
	קרקעית	3.22	0.26	1.97
יגור	פני שטח	23.75	0.99	8.66
חוות החיות	פני שטח	27.96	1.87	8.79



איור 3: ריכוזי ריכוזי אנאורגים מומס כוללת בריכוזי חנקן אנאורגים מומס כפי הקישון המלוח במאי 2020. שיטת משוואת חוק גמבה היט 36.7. מקדם המתאם של קורלציה פרישון היט 0.95 ($p < 0.00001$). חוק המסקנות האדום מייצג שיטת קו של 1:1 (חוסר דפיקל בין תחנות לורחות 1:1). יחס המאפיין אקוסיסטמות אקוויטיות רבות.

10

איור 4: ריכוז כלורופיל כתלות בריכוזי ניטראט+ניטריט+אמוניה (A), זרחן (B) וסיליקה (C) לאורך נחל הקישון המלוח במאי 2020.

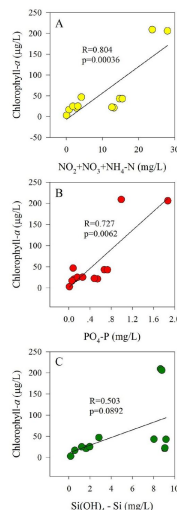
שכיחות החיידקים ההטרוטרופים היתה גבוהה פי 10 מאשר הפיקו-פיטופלנקטון ($8 \times 10^4 \times 8.34$) עד $8 \times 10^4 \times 28.34$ תאים לליטר) עם מספר תאים גבוה עד פי 2 בפני השטח ביחס לקרבת הקרקעית בכל התחנות. נמצא מתאם חיובי בין ריכוזי חיידקים לריכוזי החנקות ($R=0.65$, $p=0.02$), אך לא לריכוזי הזרחות והסיליקה.

ערכי היצרנות הראשונית היממתית נעו בין 8 ל-1987 מיקרוגרם פחמן לליטר ליממה והיו גבוהים בסדר גודל ביחס לערכי היצרנות בפני השטח בדיגום אביב 2019, גבוהים מערכי הרקע של חוף הים התיכון (Herut et al. 2016; Raveh et al. 2015). עיקר הפעילות המטבולית בכל תחנות המדידה

בפני השטח היתה אוטורופית ונעשתה על-ידי אצות וציאנובקטריה. בקרבת הקרקעית של כל התחנות היצרנות נשלטה על-ידי פעילות הטורטרופית של חיידקים המפרקים חומר אורגני. מומלץ להוסיף לדיגומים הקיימים דיגמות סדימנט בכל תחנה.

טבלה 6: קצב היצרנות הראשונית (Primary production) והחיידקית (Bacterial production) היממתית בנחל הקישון המלוח במאי 2020 ($\mu\text{g C L}^{-1} \text{d}^{-1}$). יחס BP/PP גדול מ-1 מציין מערכת הנשלטת על-ידי יצרנות הטורטרופית; קטן מ-1 מציין שליטה אוטורופית.

תחנה	עומק דיגום	יצרנות חיידקית (BP)	יצרנות ראשונית (PP)	יחס BP/PP
פתח נמל	פני שטח	216.95 ± 10.68	1987 ± 137.74	0.1
פתח נמל	קרקעית	29.37 ± 0.12	8.48 ± 2.18	3.5
יוליוס	פני שטח	218.90 ± 19.02	675.40 ± 87.81	0.3
יוליוס	קרקעית	180.77 ± 5.89	35.58 ± 2.00	5.1
אקליפטוס	פני שטח	223.57 ± 5.02	683.35 ± 25.10	0.3
אקליפטוס	קרקעית	151.97 ± 30.29	22.67 ± 6.65	6.7
הסתדרות	פני שטח	183.15 ± 15.35	1131.75 ± 60.93	0.2
הסתדרות	קרקעית	211.55 ± 18.03	41.27 ± 3.75	5.1
לבניות	פני שטח	200.74 ± 7.32	847.67 ± 28.62	0.2
לבניות	קרקעית	139.27 ± 7.79	23.25 ± 1.59	6.0
יגור	פני שטח	141.96 ± 18.75	833.11 ± 50.49	0.2
חוות החיות	פני שטח	149.74 ± 7.44	999.16 ± 40.74	0.1



איור 4: ריכוז כלורופיל כמחמת בריכוזי נטריאט-ניטריט-אמוניה (A), נתרן (B) וסיליקה (C) לאורך נחל הקישון והנחל במאי 2020. עם קווי הנגמה וטסט-ט-סטטיסטיים. הפונקציה הניגמה של קורלציה סטטיסטית. הפונקציה הניגמה של קורלציה סטטיסטית. הפונקציה הניגמה של קורלציה סטטיסטית.

12

איור 5: היחס בין יצרנות ראשונית (פוטוסינתזה) ליצרנות חיידקית (קיבוע פחמן הטורטרופי) במימי הקישון המלוח במאי 2020.

ערכי היצרות הראשונית היומית נעו בין 8 ל-1875 מיקרוגרם פחמן ליטר (למשל 6) והיו נבדחים בסדר גודל ביחס לערכי היצרות בסיוט השטח בדינוס אבס 2019. ערכי היצרות הראשונית היו נבדחים מערכי הרקע של חוף הים התיכון הנמדדים דרך קצב על ידי חיזוי בחלק מחבנות הניטור האטומית (Herut et al., 2016) ומדידות חוף (Rahav et al., 2015; Rahav et al., 2016). באופן כללי ממוצע ערכים נבדחים יותר ומדודי בסיוט השטח היחסי ממוצע ביחס לפי העצם (למשל 6). ערכים ראשוניים נובעים בעיקר משרשרת המזון ותורמים באופן משמעותי למחזור נוטריאנטים והטעמים ליצירת תרופיות השונות. מדדי איכות מים באסטרואים המבוססים על קצבי יצירת ראשונית למשל (Nikolaev, 1995) לוקחים בחשבון רק את ריכוז הניטראט (אם עד סף של 30 מיקרוגרם ל-0.42 מילי מול) וכן יצירות שומות לכל עומדות המים (למשל $300 \text{ gC m}^{-2} \text{ y}^{-1}$). אין באפשרות לאסוף את היצירות הראשוניות השונות, בעיקר משום שחיסרות מדידות עונתיות (למשל חורף, קיץ) ולכן לא ידוע באם קיימת דינמיקה רב שנתית. אנו ממליצים להוסיף את הדיונים הכלליים לאורך החלל ולוסיף דיונים נרחבים וקצרים.

עיקר הפעילות המטבולית בכל תחת המדידה בסיוט השטח היחסי אסטרומטרית הנעשה על ידי אצות וציאנובקטריה בתהליך הפוטוסינתזה (אוריים 5.6). בקצב חקיקות של כל תחתיות לאורך האסטרואי היצירות נשלטת על ידי פעילות הטרנספורט של חידקים המפיקים חומר אורגני, בעיקר בגלל זרימה חדה ביצירות הראשוניות בעומק כנראה עקב הגבלת אור. למעשה, תהליכים שכבת המים העמוקים, המרחוק שכבת הגולל בין הדימוס למעמדות המים, מוכתבים במידה רבה על ידי חידקים הטרנספורטים שדימוס נעמו. מדידת פעילות החידקים בדימוס ובשכבת הגולל משלמה את התמונה של המחקר והל הגולל כמערכת אקולוגית, שם חלה ברור של חומר אורגני המתפרק והמטבוליזם והפירוק הפעילות הטרנספורטים של חומר אורגני וצריכת החומר של נוטריינטים. לפיכך, אנו ממליצים להוסיף לדיונים הקיימים גם דיונים שדימוס בכל אחת מחבנות הדיונים, ובכך להרחיב את התמונה המהימלת של המחקר האסטרואי.

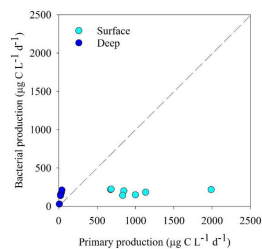
מבחינת ממצאים בין ערכי יצירות ראשוניות (P), יצירות חידקיות (BP), והיחס ביניהם (B:PP) לבין ריכוזי הנוטריאנטים מובאים באיור 7. ניתן לראות קשר לאנלייזי חיובי וסינרגיטיבי בין ריכוזי הנוטריאנטים לבין קצב הפעילות של המערכת האסטרומטרית (P או A-C). כמו כן, ככל שריכוזי הנוטריאנטים (נקודות) ודורות פסיליקטן עולה, כך היחס בין יצירות חידקיות ליצירות ראשוניות יורד (איור 7-G-I), נעמה זו מנגישה את ההשפעה של ריכוז הנוטריינטים הנבדד באסטרואי על המחקר היצירות האסטרומטריות ובכך משיגים את המאון בין השניים.

13

איור 6: היחס בין יצירות חידקיות ליצירות ראשוניות במימי הקישון המלוח במאי 2020, לפי תחנה.

טבלה 6: קצב היצירות הראשוניות (Primary production) וחידקיות (Bacterial production) היומיות בחוף הקישון המלוח במאי 2020. כאשר היחס בין היצירות החידקיות לראשוניות גדול מ-1 המערכת נשלטת על ידי היצירות האסטרומטריות (פוטוסינתזה).

תחנה	עצם דיוס	Bacterial production ($\text{g C L}^{-1} \text{d}^{-1}$)	Primary production ($\text{g C L}^{-1} \text{d}^{-1}$)	B:PP ratio
תחנה נמל	מי שטח	216.95 ± 10.68	1987 ± 137.74	0.1
	קרקעית	29.37 ± 0.12	8.48 ± 2.18	3.5
	מי שטח	218.90 ± 19.02	675.40 ± 87.81	0.3
וילוס	קרקעית	180.77 ± 5.89	35.58 ± 2.00	5.1
	מי שטח	223.57 ± 5.02	683.35 ± 25.10	0.3
	קרקעית	151.97 ± 30.29	22.67 ± 6.65	6.7
הסדירות	מי שטח	183.15 ± 15.35	1131.75 ± 60.93	0.2
	קרקעית	211.55 ± 18.03	41.27 ± 3.75	5.1
	מי שטח	200.74 ± 7.32	847.67 ± 28.62	0.2
לבניות	קרקעית	139.27 ± 7.79	23.25 ± 1.59	6.0
	מי שטח	141.96 ± 18.75	833.11 ± 50.49	0.2
	מי שטח	149.74 ± 7.44	999.16 ± 40.74	0.1



איור 5: היחס בין יצירות ראשוניות (פוטוסינתזה) ליצירות חידקיות (קצב פחמן הטרנספורט) במימי הקישון המלוח במאי 2020. ריכוזי הנוטריינטים מייצגים יחס של 1:1 בין המשטחים. כאשר היחס זה גדול מ-1 המערכת נשלטת על ידי היצירות האסטרומטריות.

14

איור 7: הקשרים הלינאריים בין ערכי היצירות הראשוניות (A-C), היצירות החידקיות (D-F), והיחס ביניהן (G-I) לבין ריכוזי ניטראט+ניטריט+אמוניה, זרחן וסיליקה, מאי 2020.

ריכוז תאי מיקרו-פיטופלנקטון, ביומסה והרכב מינים

ריכוז תאי המיקרו-פיטופלנקטון בפתח הקישון עלה ביחס לשנה קודמת. העלייה נבעה בעיקר מעלייה בריכוז בקטריות כחוליות ואצות צורניות שהופיעו בפריחה. האצות הצורניות היו דומיננטיות מבחינה מספרית והיוו 56% מריכוז התאים הכללי. הבקטריות הכחוליות (2) Synechococcus sp. פרחו גם הן, בדומה לשנה קודמת, והיוו 39% מריכוז התאים הכללי. בגשר ההסתדרות חלה עלייה ניכרת בריכוז

התאים הכללי, בעיקר עקב עלייה של *Synechococcus* sp.(2) (75% מריכוז התאים) וכן עלייה בריכוז אצות צורניות.

למרות העלייה בריכוז התאים הכללי, הביומסה הכללית וריכוז הכלורופיל בפתח הקישון ירדו יחסית לשנה קודמת בשל שינוי בהרכב המינים, אולם עדיין גבוהים ביחס לשנים 2012-2018. הביומסה הגבוהה נבעה בעיקר מפריחת האצה הצורנית *Thalassiosira pseudonana* (99% מביומסת הצורניות, 83% מהביומסה הכללית). הקבוצה הדומיננטית השנייה היתה *Synechococcus* sp.(2) (13% מהביומסה הכללית). בגשר ההסתדרות עלתה הביומסה הכללית וריכוז הכלורופיל יחסית לשנה קודמת, בעיקר עקב עלייה באצות הצורניות ו-*Synechococcus* sp.(2), אך נותרה נמוכה יחסית לפתח הקישון ולממוצע הרב-שנתי.

בפתח הקישון חלה עלייה ניכרת במספר המינים ביחס לשלוש השנים האחרונות, והמגוון היה דומה לממוצע הרב-שנתי, עם עלייה במספר מינים האופייניים למים בעלי מליחות נמוכה (אצות ירוקיות ובקטריות כחוליות). מספר המינים בפתח הקישון היה גבוה יחסית לגשר ההסתדרות. בגשר ההסתדרות לא נמצאו דינופלגלטים ימיים בדיגום זה; מספר מיני הצורניות היה קטן יחסית, לעומת מיני אצות ירוקיות ובקטריות כחוליות המאפיינות מים פחות מלוחים.

מגוון אופייני של דינופלגלטים (בעיקר קטנים מ-15 מיקרון) הופיע בפתח הקישון; המינים הנפוצים היו *Prorocentrum micans* ו-*Protoperidinium* sp.(54). מבין הצורניות פרחו *Thalassiosira pseudonana*, ובריכוז גבוה הופיעו גם *Navicula* spp. ו-*Rhizosolenia setigera*. המין *Cyclotella* sp., האופייני למים בעלי מליחות נמוכה, היה שכיח גם כן. באביב 2020 הופיע בפתח הקישון מגוון קטן של מינים בעלי פוטנציאל טוקסי ובריכוז קטן בלבד; הפלגט *Heterosigma akashiwo*, שפרח באביב השנה הקודמת, הופיע השנה בריכוז נמוך מאוד.

ריכוז תאי מיקרו-פיטופלנקטון
ריכוז תאי המיקרו-פיטופלנקטון בפתח הקישון עלה ביחס לשנה קודמת (אזור 8). העלייה בריכוז התאים נבעה בעיקר מעלייה בריכוז בקטריות כחוליות ואצות צורניות שחופש בריחת אזור 8. האצות הצורניות היו דומיננטיות במיניהם שספירת אזור 8A וחיוו 56% מריכוז התאים הכללי (אזור 8B). הבקטריות הכחוליות מהסוג *Synechococcus* sp.(2) פרוו גם הן, בדומה לשנה קודמת, וחיוו 39% מריכוז התאים הכללי.
חלה עלייה ניכרת בריכוז התאים הכללי גם ב**גשר ההסתדרות** ביחס לשנה הקודמת (אזור 8). גם היא נבעה מעלייה ניכרת בריכוז של בקטריות כחוליות מהסוג *Synechococcus* sp.(2). שרידו 75% מריכוז התאים הכללי, וכן מעלייה בריכוז אצות צורניות (אזור 8).

ביומסה וריכוז כלורופיל
למרות העלייה בריכוז התאים הכללי, הביומסה הכללית וריכוז הכלורופיל בפתח הקישון ירדו יחסית לשנה קודמת בגלל השינוי בהרכב המינים שפרחו, אולם חן הביומסה וחן ריכוז הכלורופיל עדיין נמצאו גבוהים ביחס לשנה קודמת (2012-2018) (אזור 10). הביומסה הגבוהה נבעה בעיקר מפריחת של אצה צורנית מהסוג *Thalassiosira pseudonana* שחיווה 99% מביומסת הצורניות ו-83% מביומסת הכללית (טבלה 7, אזור 12). הקבוצה הדומיננטית השנייה בתחתון זו הייתה של הבקטריות הכחוליות מהסוג הנפוץ בעיקר בקישון *Synechococcus* sp.(2). שחיווה 13% מביומסת הכללית.
גם העלייה בריכוז התאים, הביומסה הכללית וריכוז הכלורופיל ב**גשר ההסתדרות** עלה יחסית לשנה קודמת (אזור 11). העלייה בביומסה נבעה בעיקר מעלייה בכמות האצות הצורניות ובבקטריות הכחוליות מהסוג *Synechococcus* sp.(2). כמו בפתח הקישון, הצורניות היוו כחציית מביומסת הכללית לפחות 34% שרידו הבקטריות הכחוליות. יש לציין שבביומסה הכללית ב**גשר ההסתדרות**, גם השנה הייתה נמוכה יחסית לממוצע הרב ששני יחסית לו בשפת הקישון, בדומה לממצאי שנה קודמת (אזור 10). ריכוז הכלורופיל היה דומה בשני התחנות (אזור 13).

מגוון המינים
בפתח הקישון חלה עלייה ניכרת במספר המינים (אזור 14) ביחס לשלוש השנים האחרונות. מגוון מיני האצות עלה יחסית לשנה קודמת, וזהו דומה לממוצע הרב ששני (אזור 15). נראתה השנה מעליה במספר מינים האופייניים למים בעלי מליחות נמוכה, כגון מיני אצות ירוקיות ומיני בקטריות כחוליות (טבלה 7, אזור 15). מספר המינים בפתח הקישון היה גבוה יחסית לשנה קודמת. כפי שנמצא גם בדיוגמים קודמים (אזור 14) התפתחו המינים ב**גשר ההסתדרות** שנה יחסית לפתח הקישון (טבלה 7, אזור 15). לא נמצאו בדיוגם תוכניו מיני דינופלגלטים שהם בולטים הדורג, מינים ימיים. מספר מיני האצות הצורניות, היה קטן יחסית לפתח הקישון. מאידך חופשו בתחתון זו מיני אצות ירוקיות ובקטריות כחוליות המאפיינות מים בעלי מליחות נמוכה.

אינדקס מגוון המינים (Diversity Index)
אינדקס מגוון המינים (Diversity Index) - מדד המיוחס לשינוי ריכוזי של הביומסה, במקום ריכוז המינים, עלה משנה קודמת (אזור 14) בגלל העלייה במספר המינים (אזור 14) והירידה היחסית בביומסה (אזור 10), אולם הוא היה עדיין נמוך יחסית לממוצע הרב ששני. ב**גשר ההסתדרות**

איור 8: התפלגות ריכוז כלל תאי המיקרו-פיטופלנקטון בשתי התחנות בדיגומי אביב 2003-2020.

החרידה במספר המינים והעלייה היחסית בביומסה הורידו את אינדקס מגוון המינים, יחסית לשנה קודמת ויחסית לממוצע הרב שנתי.

הרכב מיני מיקרו-פיטופלנקטון

[illegible]

מיונים בעלי פוטנציאל טוקסי

מזהמים *Heterosigma akashiwo* שפרח במאי של השנה הקודמת חופיע השנה בריכוז נמוך מאד.

איורים 9-10: התפלגות ריכוז תאי קבוצות המיקרו-פיטופלנקטון וריכוזן היחסי באחוזים בשתי התחנות, אביב 2020.

השוואה רב-שנתית – תחנות פתח הקישון וגשר ההסתדרות- דיגומי אביב 2003-2020

דיכוח תאים, ביומסה וריכוז כלורופיל

בין השנים 2003-2020 רכזו התאים, הביטוחים וריכוז הכחולמים בעשר החסותרות היו לרוב בנתיים ביחס להקשרן הקשרון באזורים 1, 8, 13, 14. הביטוחים והיו לריכוז הכחולמים סגור דומה לכל האזורים (10, 11, 14). באזורים 2008-2018 (החלוצים 2011) ערכי הביטוחים היו נמוכים ביחס לממוצע. באביב 2019 פריחה של אדוות האדוות הכחולמים בנתיים בנתיים חסות למנוצע ולשיא ריכוז הכחולמים. באביב 2020 החלו ירידה בפרסומים אלה, אולם הם עדיין היו בנתיים ביחס לממוצע ריכוז הכחולמים.

בגשר ההסתדרות פריחות של

[illegible]

קבוצות מיקרו-פיטומלנקטון

במפת הקישור הנפוצה לאורך השנים סינים אופייניים למים (דו-עלילסליליים) ואיים ומזרז דורניות (פירות) (15A). אורגניזם זה נחשב לאחד הסינים המרכזיים ביותר, ונמצא בסינים מים קטן וחסות למפת הקישור לאורך המרחב (סינים המאפיינים מים מחול מליחים, קרובות הדורניות קרן מקבוצות הקישוריות והבקטריות התחיליות אינן (15B). לאורך השנים הופיעו השתדלויות סינים יוצרי פירות בפרסיות ידולות. שתי התחלות נראות בארבע שנים אחרונות עלייה במספרן של מין בקטריות חדר האותיות האופייניות (דורניות) (15C). *Synechococcus* (15D).

[illegible]

אצות צורניות היו דומיננטיות גם ב**גשר ההסתדרות** עד 2013 (איור 19A) והיו בממוצע 65% מהביובסה הכללית בשנים אלה (איור 19B). מאז 2012 פלגולים מקובצות ה-*Cryptophyceae*, החלו להיות חלק גדול יותר ומשתנה בביומסה הכללית עד אביב 2017 (איורים 19-20). באביב 2018-2019 פלגולים אלה היו שוליים בביומסה הכללית ואצות צורניות, מיקרואצות קטנות מ- 5 מיקרון ובקטריות כחוליות מהמין

11-14: התפלגות הביומסה הכללית וריכוז הכלורופיל בפתח הקישון ובגשר ההסתדרות, ומספר המינים בשתי התחנות, אביב 2003-2020.

(2) *Synechococcus* sp. דומיננטיות. באביב 2020 הביוססה חייתה מורכבת בעיקר מצורניות ובקטריות כחולות בדומה לפתח הקישון

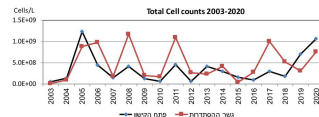
מגוון מינים

בגשר ההסתדרות מספר המינים ואינדקס מגוון המינים היו גבוהים ביחס לפתח הקישון לאורך השנים (איורים 14, 16, 21).

א. מספר המינים - בפתח הקישון קיימת מגמה כללית של עלייה במספר המינים לאורך השנים (איור 14). עלייה זו הייתה ממומשת בין השנים 2003-2014 ונבעה בעיקר מעלייה במספר מיני הצורות הצורניות (איור 15A). בשש שנים אחרונות היו תנודות במספר המינים הממוצע מספר המינים עמד על 67.11 מינים. בגשר ההסתדרות הייתה עלייה במספר המינים בין השנים 2008-2012 (איור 11), שנבעה בעיקר מעלייה במספר מיני צורות ירוקות וכן מעלייה קטנה יותר באצות צורניות (איור 15B). אולם מאז 2013-2020 לא קיימת מגמה כלשהי במספר המינים, שעמד על 42.66 מינים.

ג. אינדקס השונות - בפתח הקישון קיימת מגמה כללית של עלייה באינדקס בין השנים 2003-2016 (איור 16). באביב 2017 ירדה ניכרת באינדקס השונות, והוא נשאר נמוך יחסית למוצע הרב שנה גם בשלוש שנים אחרונות. בגשר ההסתדרות אינדקס השונות נמוך עקמוני מזה שנה של 1.040.8 לעומת 2.011.4 בפתח הקישון (איור 22).

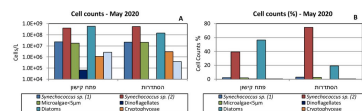
ג. מינים בעלי פוטנציאל טוקסי - מגוון מינים בעלי פוטנציאל טוקסי הופיעו לסינון במהלך השנים בפתח הקישון בדיעבד האביב (איור 17). חלקם הופיעו בפרווח גדולה יחסית כמו *Heterosigma akashii* באביב 2002. אחרים הופיעו בשנים מסוימות בריכוז גדול יחסית לריכוזם בשנים האחרות כמו *Proocentrum minimum* בשנת 2005, *Gymnodinium cf. catenatum* באביב 2009, או *Alexandrium* באביב 2012. בשנים האחרונות החל לעלות ריכוז הפלנט *Heterosigma akashii* שנה באביב 2002 ונחשפו בריכוז גבוה גם באביב 2003. באביב 2019 הוא הופיע שוב בפריחה גדולה של 1×10^7 תאים לליטר. באביב 2020 הופיע מגוון מצומצם של מינים בעלי פוטנציאל טוקסי ובריכוז קטן בלבד (איור 17, טבלה 17).



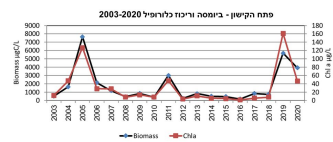
איור 8: התפלגות ריכוז כלל תאי המיקרו-פיטופלנקטון בשתי התחנות בדיעבד אביב 2003-2020

20

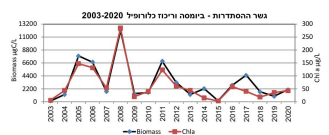
איורים 15-16: התפלגות מספר המינים מהקבוצות השונות בפתח הקישון ובגשר ההסתדרות, ואינדקס מגוון המינים, אביב 2003-2020.



איור 9: התפלגות ריכוז תאי קבוצת המיקרו-פיטופלנקטון (A) וריכוזן יחסי באזורים (B) בשתי התחנות בדיעבד אביב 2020



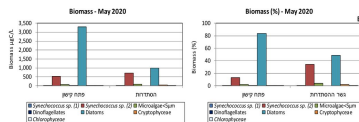
איור 10: התפלגות הביומסה וריכוז הכלורופיל בפתח הקישון בדיעבד אביב 2003-2020



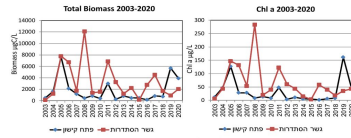
איור 11: התפלגות הביומסה וריכוז הכלורופיל בגשר ההסתדרות בדיעבד אביב 2003-2020

21

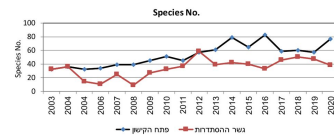
איורים 17-18: התפלגות מינים בעלי פוטנציאל טוקסי בפתח הקישון (2002-2020), והתפלגות הביומסה ושיעורה באחוזים בין הקבוצות בפתח הקישון (2003-2020).



איור 12: התפלגות הביומסה של קבוצות המיקרופלנקטון (A) והביומסה היחסית באזורים (B) אביב 2020



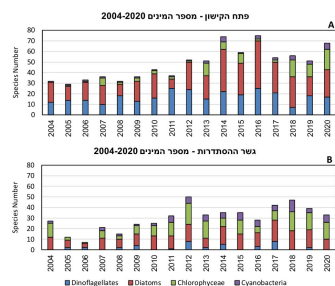
איור 13: התפלגות הביומסה וריכוז הכלורופיל בשתי התחנות בדינומי אביב 2003-2020



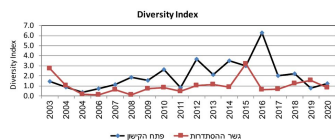
איור 14: התפלגות מספר המינים בשתי התחנות בדינומי אביב 2003-2020

22

איור 19: התפלגות הביומסה בין הקבוצות ושיעורה באחוזים בגשר ההסתדרות, אביב 2003-2020.



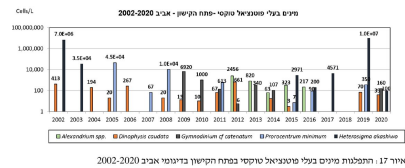
איור 15: התפלגות מספר המינים מהקבוצות חסות בפתח הקישון (A) ובגשר ההסתדרות (B) בדינומי אביב 2003-2020



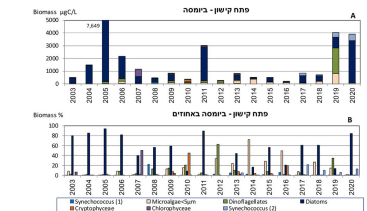
איור 16: התפלגות אינדקס שטון המינים (Diversity Index) בשתי התחנות אביב 2003-2020

23

איור 20: התפלגות ביומסת קבוצות האצות השונות, דינומי אביב 2003-2020, בפתח הקישון ובגשר ההסתדרות (שימו לב לסקלות שונות).



איור 17. התפלגות מינים בעלי פוטנציאל טוקסי במרחב הקישון בדיגומי אביב 2002-2020



איור 18. התפלגות הביומסה (A) ושיעור באחוזים (B) בין הקבוצות במרחב הקישון באביב בשנים 2003-2020

איורים 21-22: ממוצע מספר המינים וממוצע אינדקס מגוון המינים בשתי התחנות בדיגומי אביב 2003-2020 (t-test, אותיות שונות מציינות הבדל סטטיסטי $p < 0.05$).

השוואה רב-שנתית 2003-2020

בין השנים 2003-2020 ריכוז התאים, הביומסה וריכוז הכלורופיל בגשר ההסתדרות היו לרוב גבוהים ביחס לפתח הקישון. באביב 2005 נמדד בפתח הקישון שיא של ביומסה, ריכוז כלורופיל וריכוז תאים. בין השנים 2008-2018 (להוציא 2011) ערכי הביומסה היו נמוכים ביחס לממוצע. באביב 2019 פריחת אצות הובילה לביומסה גבוהה יחסית לממוצע ולשיא בריכוז הכלורופיל; באביב 2020 חלה ירידה בפרמטרים אלה אך הם עדיין היו גבוהים ביחס לממוצע הרב-שנתי. בגשר ההסתדרות פריחת אצות היו תדירות והובילו לתנודתיות גדולה; עד 2012 ממוצע ריכוז הכלורופיל היה בתחום ההיפר-איאוטרופי (מעל 90 µg/L), ומאביב 2013-2020 רמת הביומסה והכלורופיל ירדו והתנודתיות פחתה.

אצות צורניות היו דומיננטיות בביומסה הכללית לאורך השנים בפתח הקישון והיו לרוב הגורם המרכזי לפריחת הגדולות. בין 2003-2011 היוו בממוצע כ-70% מהביומסה. בשנים 2012-2018 חלה התמתנות והירידה בביומסה, ועלתה החשיבות היחסית של מיקרואצות קטנות מ-5 מיקרון. ב-2019 נמצאה פריחה יוצאת דופן של דינופלגטים ושל הפלגט הטוקסי *Heterosigma akashiwo*; באביב 2020 פריחה גדולה של אצות צורניות היוותה 84% מהביומסה הכללית בתחנה זו. בגשר ההסתדרות אצות צורניות היו דומיננטיות עד 2013 (כ-65% מהביומסה בממוצע); מאביב 2012 פלגטים מקבוצת Cryptophyceae החלו להוות חלק גדול ומשתנה בביומסה עד 2017. באביב 2020 הביומסה בגשר ההסתדרות היתה מורכבת בעיקר מצורניות ובקטריות כחוליות, בדומה לפתח הקישון.

מגוון מינים בעלי פוטנציאל טוקסי הופיע לסירוגין במהלך השנים בפתח הקישון בדיגומי האביב. חלקם הופיעו בפריחה גדולה יחסית כמו *Heterosigma akashiwo* באביב 2002; אחרים הופיעו בשנים מסוימות בריכוז גדול יחסית, כמו *Prorocentrum minimum* בשנת 2005, *Gymnodinium cf. catenatum* באביב 2009, או *Alexandrium sp.* באביב 2012. בשנים האחרונות עלה שוב ריכוז

Heterosigma akashiwo, שהופיע בפריחה גדולה של 1×10^7 תאים לליטר באביב 2019. באביב 2020 הופיע מגוון מצומצם של מינים בעלי פוטנציאל טוקסי ובריכוז קטן בלבד.

טבלה 7: מיני המיקרו-פיטופלנקטון וריכוזם (תאים/ליטר) בדגימות הקישון — מאי 2020

טבלה 7: ריכוז תאים (תאים/ליטר) לפי קבוצה ומין, בפתח הקישון ובגשר ההסתדרות, מאי 2020.

קבוצה	מין	פתח הקישון	גשר ההסתדרות
Dinoflagellates	Ceratium declinatum	2	
Dinoflagellates	Ceratium furca	25	
Dinoflagellates	Ceratium kofoidii	11	
Dinoflagellates	Dinophysis acuminata	6	
Dinoflagellates	Dinophysis caudata	39	
Dinoflagellates	Gymnodinium catenatum	160	
Dinoflagellates	Oxyphysis oxytoxoides	160	
Dinoflagellates	Prorocentrum micans	1820	
Dinoflagellates	Prorocentrum rotundatum	7	
Dinoflagellates	Prorocentrum triestinum	113	
Dinoflagellates	Proto-peridinium obtusum	2	
Dinoflagellates	.Proto-peridinium spp	40	
Dinoflagellates	.Proto-peridinium sp	13	
Dinoflagellates	Proto-peridinium sp. (54)	873	
Dinoflagellates	Proto-peridinium bipes	7	
Dinoflagellates	.Scrippsiella spp	233	
Dinoflagellates	לא מזוהה >15µm	6.1E+04	
Diatoms (צורניות)	.Achnanthes sp	8	
Diatoms	Aulacoseira granulata		980
Diatoms	Bacillaria paxillifera		287
Diatoms	Biddulphia alternans	27	
Diatoms	Cerataulina bicornis	53	
Diatoms	.Chaetoceros spp	1273	
Diatoms	Chaetoceros sp. (1085A)	2	
Diatoms	Chaetoceros curvisetus	113	
Diatoms	Chaetoceros danicus	353	
Diatoms	Chaetoceros didymus	227	
Diatoms	.Cyclotella spp	3667	2.0E+06

גשר ההסתדרות	פתח הקישון	מין	קבוצה
	33	Dactyliosolen fragilissimus	Diatoms
60	7	Entomoneis paludosa	Diatoms
	23	Guinardia striata	Diatoms
	247	Hemiaulus sinensis	Diatoms
	973	Leptocylindrus danicus	Diatoms
	27	Lithodesmium undulatum	Diatoms
33	127	Melosira moniliformis	Diatoms
667	1.2E+06	.Navicula spp	Diatoms
	13	Nitzschia lorenziana	Diatoms
47	7	.Pleurosigma sp	Diatoms
	3.3E+05	.Pseudonitzschia spp	Diatoms
	3	Rhizosolenia imbricata	Diatoms
	13	Proboscia alata	Diatoms
	8	Rhizosolenia calcar-avis	Diatoms
	4700	Rhizosolenia setigera	Diatoms
	2	.Surirella spp	Diatoms
287	50	.Thalassiosira spp	Diatoms
1.4E+08	6.0E+08	Thalassiosira pseudonana	Diatoms
3.1E+06	1.1E+06	.Cryptomonad spp	Cryptophyceae
133	1400	.Chrysochromulina sp	Chrysophyceae
933		Actinastrum hantzschii	Chlorophyceae
	900	.Chlorococcum sp	Chlorophyceae
367		Closterium gracile	Chlorophyceae
2800	227	Coelastrum microporum	Chlorophyceae
	147	Crucigeniella rectangularis	Chlorophyceae
	13	.Flagellates spp	Chlorophyceae
2.9E+05		.Selenastrum sp	Chlorophyceae
2800		Monoraphidium	Chlorophyceae
	1100	Monoraphidium minutum	Chlorophyceae
	200	Monoraphidium arcuatum	Chlorophyceae
	100	Monoraphidium irregulare	Chlorophyceae
2.7E+04		.Oocystis spp	Chlorophyceae
2133	1147	Oocystis borgei	Chlorophyceae
	13	Stauridium tetras	Chlorophyceae
54	2	Pediastrum boryanum	Chlorophyceae
	213	Scenedesmus producto-capitatus	Chlorophyceae

גשר ההסתדרות	פתח הקישון	מין	קבוצה
1.9E+04	160	Scenedesmus acuminatus	Chlorophyceae
	187	Scenedesmus acutus	Chlorophyceae
1600	240	Scenedesmus basiliensis	Chlorophyceae
	12	Scenedesmus bicaudatus	Chlorophyceae
6000	2000	Scenedesmus bijuga	Chlorophyceae
2667		Scenedesmus intermedius	Chlorophyceae
5200		Scenedesmus obliquus	Chlorophyceae
	107	Scenedesmus obtusus	Chlorophyceae
1.2E+04	134	Scenedesmus opoliensis	Chlorophyceae
5600	787	Scenedesmus quadricauda	Chlorophyceae
	2.7E+06	.Westella sp	Chlorophyceae
5.2E+04		Anabaena perturbata	Cyanobacteria
	45	.Aphanocapsa sp	Cyanobacteria
	1693	.Chroococcus sp	Cyanobacteria
667	83	.Leptolyngbya spp	Cyanobacteria
5.3E+04		Microcystis aeruginosa	Cyanobacteria
2800		.Oscillatoria sp	Cyanobacteria
2.6E+04	1458	Spirulina platensis	Cyanobacteria
2.2E+07	2.3E+07	Synechococcus sp. (1)	Cyanobacteria
5.6E+08	4.2E+08	Synechococcus sp. (2)	Cyanobacteria
	150	.Eutreptia sp	Euglenoidea
1.1E+05	53	Lepocinclis ovum	Euglenoidea
100		Phacus longicauda	Euglenoidea
	500	.Fibrocapsa sp	Raphidophyceae
	100	Heterosigma akashiwo	Raphidophyceae
	485	Mesodinium rubrum	Ciliates
	240	Ebria tripartita	Ebriophyceae
2.1E+07	1.8E+07	Microalgae < 5µm	—
7.5E+08	1.1E+09	סה"כ תאים לליטר (Total Cells/L)	—

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., Shefer E., Gordon N., Galil B., Lubinevsky H., Tibor G., Tom M., Rilov G., Silverman J. and Rinkevich B. (2014). The National Monitoring Program of Israel's Mediterranean coastal waters – Scientific Report for 2012, IOLR Report H62/2013.
- Hewes, C.D. and Holmes-Hansen, O. (1983). A method for recovering nanoplankton from filters for identification with the microscope. The filter-transfer-freeze (FTF) technique. *Limnology and Oceanography* 28, 389-394.
- IOC-SCOR-UNESCO (1994). Manual and Guides 29. Protocols for the Joint Global Ocean Flux Study (JGOFS) core measurements.
- Kress, N. and B. Herut (2001). Spatial and seasonal evolution of dissolved oxygen and nutrients in the Southern Levantine Basin (Eastern Mediterranean Sea). *Deep Sea Research, Part I*, 48, 2347-2372.
- Lassus, P., Chomerat, N., Hess, P. and Nezan, E. (2016). Toxic and Harmful Microalgae of the World Ocean. 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.
- Raveh, O., David, N., Rilov, G., and Rahav, E. (2015). The temporal dynamics of coastal phytoplankton and bacterioplankton in the eastern Mediterranean Sea. *PLoS ONE* doi:10.1371/journal.pone.0140690.
- Simon, M., Alldredge, A. L., and Azam, F. (1990). Bacterial carbon dynamics on marine snow. *Marine Ecology Progress Series*, 65, 205-211.
- Sisma-Ventura G., Yam R., Shemesh A (2014). Recent unprecedented warming and oligotrophy of the eastern Mediterranean Sea within the last millennium. *Geophysical Research Letters*, DOI: 10.1002/2014GL060393.
- Supraha, L., Bosak, S., Ljubesic, Z., Mihanovic, H., Olujic, G., Mikac, I., Vilicic, D. (2014). Cryptophyte bloom in a Mediterranean estuary. *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.