



חקר ימים ואגמים לישראל
Israel Oceanographic & Limnological Research Authority

חקר ימים ואגמים לישראל
המעבדה לחקר הכנרת ע"ש יגאל אלון

ניטור ומחקרי כנרת דוח פעילות המעבדה בשנת 2018



www.ocean.org.il



חקר ימים ואגמים לישראל בע"מ. ISRAEL OCEANOGRAPHIC & LIMNOLOGICAL RESEARCH LTD.
המעבדה לחקר הכנרת ע"ש יגאל אלון THE YIGAL ALLON KINNERET LIMNOLOGICAL LABORATORY
ת.ד. 447 מגדל 14950, ישראל טלפון: 04-6721444: TEL: 04-6724627 פקס: E-mail: kil@ocean.org.il P.O.B. 447, MIGDAL 14950, ISRAEL

ניטור ומחקרי כנרת דו"ח שנת 2018

המעבדה לחקר הכנרת, חקר ימים ואגמים לישראל

דו"ח חיא"ל T4/2019

בעריכת ד"ר גדעון גל

מאי 2019

תמונה כללית: הכנרת בשנת 2018

שנת 2018 הושפעה מרצף שנות הבצורת הפוקדות את צפון ישראל שהביאו לירידה במפלס האגם ועליה במליחות. המפלס בתום שנת 2017 היה כ- 1.38 מ' מתחת לקו האדום ולא היווה מרווח בטחון מספק למיעוט במים הזמינים בשנת 2018 שהסתיים עם מפלס נמוך בהרבה מתחת לקו האדום והגיע בתחילת דצמבר לכדי 22 ס"מ מהקו השחור, וזאת למרות השאיבות המצומצמות של מים למוביל הארצי. בשנים האחרונות נוצר שילוב של תנאים חריגים בכנרת שלא מוכר לנו לפחות ב-50 השנים האחרונות. אלו כוללים מפלסים נמוכים, זמן שהות ארוך של המים באגם, מליחות גבוהה ופריחות של ציאנובקטריה. בשנת 2018 התגברו רוב התנאים החריגים האלו. מפלס האגם חרג מתחת לרצועת ניוד המפלסים המומלצת והתקרב לקו השחור, זמן שהות היה כ-28 שנים והמליחות המשיכה לעלות ונשקה בשיא לכ- 325 מ"ג כלור לליטר. בנוסף, גם השנה הופיעה פריחה חורפית גדולה של ציאנובקטריה במקביל להופעה של ריכוזים נמוכים של פרידניום.

איכות המים בכנרת מכומתת באמצעות מדד ייחודי ("מדד הקיימות של הכנרת") שפותח במעבדה לחקר הכנרת. ערך המדד של 2018 היה מעט טוב יותר מערך המדד בשנת 2017 אבל ממשיך להיות מתחת לסף הערך הקביל. סף הערך הקביל מעיד על שמירה של המערכת האקולוגית של האגם בתנאים דומים לאלו שנצפו עד לתחילת שנות ה-90. ערכי המדד עבור שנת 2018, ובשנים שקדמו לה, נמצאים הרבה מתחת לסף הקביל. בנוסף, ערכי המדד סובלים מחוסר יציבות בולטת, עם דפוס של עליות וירידות משמעותיות מאז אמצע שנות ה-90. חוסר היציבות מקשה על ניהול נכון של האגם ועל ההתמודדות עם תופעות מזיקות ובלתי רצויות כגון פריחות של אצות כחוליות.

השנה נרשמו שני אירועים חריגים במשתנים שאחריהם אנו עוקבים. בניגוד לשנים עברו, בשנת 2018 לא התרחש היפוך מלא של עמודת המים למעט למספר מצומצם של ימים. לרוב, ההיפוך מתרחש במהלך החורף ונמשך מספר חודשים. בנוסף, נרשמו במהלך חודש דצמבר ערכי חמצן נמוכים באופן חריג שמעולם לא תועדו בכנרת. נכון לכתובת שורות אלו אין עדיין הסבר לשתי התופעות ואנו ממשיכים לבדוק את הנושא ואת הקשר למפלס הנמוך ולמליחות הגבוהה. למעט האירועים החריגים, בחלק מהמשתנים הנמדדים חל ב- 2018 שיפור מסוים בהשוואה לאלו של 2017. כך למשל בחלק מהמשתנים הכימיים (כגון, ערכי זרחן כללי, זרחן מומס, ערכי חנקן כללי ואורגני באפילימיניון, ערכי עכירות וסך המוצקים המרחפים) היינו עדים בשנת 2018 לחזרה לריכוזים ומגמות התואמים את הממוצעים הרב שנתיים של העשור האחרון. יחד עם זה, ערכי קיבוע החנקן השנה היו גבוהים יחסית.

למרות השיפור בחלק מהמשתנים הכימיים, בחלק מהמשתנים שאנו מודדים תועדו המשך של מגמות שנצפו בשנים האחרונות. בין השאר, בולטת העליה המתמשכת גם השנה במליחות כפי שמתבטא בריכוזי כלורידים גבוהים. בניגוד לריכוזי הכלורופיל הנמוכים, קצבי הייצור הראשוני ב- 2018 היו גבוהים מהממוצע הרב שנתי רוב השנה. הייצור השניוני של חיידקים באגם ב- 2018 היה דומה לזה שנמדד בשנים האחרונות. השנה התאפיינה, כצפוי, בריכוזים נמוכים של אצת הפרידניום עקב כמות המשקעים הנמוכה בעונת החורף 2017/2018. במהלך השנה נרשמה בכנרת נוכחות של מיקרוציסטיס בחודשי החורף ינואר-מרץ עם ביומסה לא משמעותית וריכוז מיקרוציסטינים במים לרוב מתחת לסף הגילוי. בחודשי הקיץ והסתיו של שנת 2017 נצפתה בכנרת

אוכלוסייה של אפניזומנון. גם במהלך שנת 2018 השליטה של החלזון הפולש, פסאודופלוטיה, נמשכה בכל העומקים ואף החריפה. השנה נצפה לראשונה מין זר שלישי של חלזון בכנרת, טראביה. חלק ניכר מנתוני הניטור מוצגים כיום ב"מרכז מידע כנרת" שבאתר חיא"ל www.ocean.org.il (או בלינק ישיר: <http://kinneret.ocean.org.il/Default.aspx>). חלק מהנתונים מוצגים בזמן אמת וחלקם כנתונים היסטוריים. האתר אינטראקטיבי ומאפשר את בחירת הפרמטרים ופרקי הזמן עבורם יוצגו הנתונים.

טבלה 1: עיקר ממצאי הניטור לשנת 2018

משתנה	הממצאים
מפלס	מפלס המים באגם המשיך לרדת בעקבות חורף נוסף שהתאפיין במיעוט של גשמים וזאת למרות השאיבה המוגבלת למוביל הארצי. השנה התחילה עם מפלס של 214.37- והסתיימה במפלס של 214.47-. המשמעות היא כמעט מטר וחצי מתחת לקו האדום ובסך הכל 40 ס"מ מעל הקו השחור. העליה החורפית הייתה מוגבלת בשנה החולפת והגיעה ל 213.35- בלבד, כבר ב- 30.4.2018. סה"כ העליה במפלס מהמינימום בדצמבר 2017 ועד לרום מקסימלי באפריל 2018 היתה 1.04 מ'.
טמפ' המים	המאפיין הבולט ביותר בשנת 2018 היה העדר הערבוב המלא של עמודת המים למעט תקופה קצרה של מספר ימים. העדר הערבוב המלא השפיע על ריכוז החנקן והזרחן במים בהמשך השנה. טמפרטורות פני המים במהלך חודשי האביב היו חמים מהממוצע הרב-שנתי בכדי 2.5 מעלות אבל קרים מהממוצע במהלך חודשי הקיץ בכמעלה אחת.
כלוריד	לאחר רצף של שנות בצורת באגן, ריכוזי הכלוריד עלו והגיעו לערך מקסימלי של 325 מ"ג לליטר באפילימניון בנובמבר ואז ירדו מעט לקראת דצמבר 2018. אלו ערכים שלא נרשמו בכנרת מאז שנות ה-60.
זרחן	ערכי הזרחן הכללי, הזרחן המומס והזרחן המומס המגיב באפילימניון היו דומים לערכים של הממוצע הרב שנתי למעט שיאים נקודתיים בפברואר ואפריל המתאימים לשטפי זרחן מאבק גבוהים בתקופה זו. בהיפולמניון ההיפוך המאוחר והחלקי התבטא בערכי הפתיחה של צורוני זרחן גבוהים משמעותית כבר במרץ ומכאן מגמת עליה דומה לשנים קודמות. לקראת סוף השנה נראה שזרחן בכל צורוניו התכנס חזרה אל טווח ערכי הממוצע הרבה שנתי.
חמצן	ערכי החמצן בשנת 2018 נמצאים בטווח ממוצע הרב שנתי באפילימניון לאורך רב השנה, אך נמוכים משמעותית מערכי 2017 בתקופת החורף-אביב. בהיפולמניון ישנו ביטוי בולט להיפוך המאוחר והלא מלא השנה כאשר אין עליה מלאה של ערכי החמצן בשכבה זו בעת הערבוב החלקי בפברואר. בהמשך, דעיכת ערכי החמצן בשכבה זו מתונה יותר משנים קודמות עד לערכי מינימום כבר באפריל. יש לציין כי ערכי חמצן מהנמוכים שנרשמו אי פעם תועדו במהלך חודש דצמבר.

משתנה	הממצאים
חנקן	<p>ערכי חנקן כללי ואורגני באפילימיניון דומים לערכי הממוצע הרב שנתי של השנים הקודמות אם כי בחנקן כללי מאפריל ועד אוגוסט ערכים אלו נמצאו בקצה הנמוך של תחום הממוצע הרב שנתי ונמוכים בצורה ברורה מערכי השנה הקודמת. בהיפולימיניון, ריכוז החנקן הכללי ביטא, כמו בצורוני הזרחן, את ההיפוך המאוחר והלא מלא עם ערכים גבוהים בקצה העליון של טווח הממוצע הרב שנתי או מעט מעל טווח זה ממאי ועד אוגוסט.</p>
ייצור שניוני חיידקי	<p>הייצור השניוני של חיידקים באגם ב- 2018 היה דומה לזה שנמדד בשנים האחרונות. בחודשים מרץ עד מאי נרשמו ערכי שיא שנתיים עם קצבי קיבוע של 800 מג' פחמן למ"ר ליום בחודש מרץ, 617 מג' פחמן למ"ר ליום באפריל ו- 975 מג' פחמן למ"ר ליום במאי.</p>
פיטופלנקטון	<p>2018 הייתה שנה נוספת (השנה ה-16 מאז 1996) ללא פריחת פרידיניום. ביומסת הפיטופלנקטון הייתה נמוכה מהממוצע הרב שנתי, והתאפיינה בשני שיאים, אחד באביב ושני, גבוה מהראשון, בסתיו. השיא הסתוי היה הודות לפריחה מאסיבית של אצה ירוקית חדשה יחסית לכנרת, <i>Staurastrum</i> sp. ריכוזי הכלורופיל היו נמוכים במהלך רוב השנה אך גבוהים במיוחד בנובמבר-דצמבר.</p> <p>בניגוד לריכוזי הכלורופיל הנמוכים, קצבי הייצור הראשוני ב-2018 היו גבוהים מהממוצע הרב שנתי רוב השנה, עם שיא בנובמבר בזמן פריחת הסטאורסטרום.</p>
כחוליות רעילות ורעלנים	<p>בשנת 2018 נרשמה בכנרת נוכחות של מיקרוציסטיס בחודשי החורף ינואר עד מרץ. במהלך העונה נצפו אירועים של הצטברות צופת של מיקרוציסטיס באזורים מוגבלים באגם כאשר שיא הפריחה היה באמצע פברואר. ריכוז הרעלנים בביומסה שנאספה כצופת היה נמוך בשיעור שלא נצפה בעבר, לא יותר מ 13.3 מיקרוגרם מיקרוציסטיין LR לגרם חומר יבש, וכן ריכוז נמוך של חומרים חשודים כמיקרוציסטינים. בחורף 2018 ריכוז מיקרוציסטינים במים היה מתחת לסף הגילוי. בחודשי הקיץ והסתיו של שנת 2018 נצפתה בכנרת אוכלוסייה מצומצמת יחסית של אפניזומנון ששיאה היה מאוגוסט ועד דצמבר 2018. הרעלן צלינדרוספרמופסין נמדד בכנרת גם בחודשי החורף (ינואר, פברואר 2018). במהלך חודשי הקיץ לא נמדד צלינדרוספרמופסין בכנרת אבל בחודשי הסתיו אוקטובר ונובמבר נמדדו ריכוזים נמוכים של 0.3 ו 0.6 מיקרוגרם צלינדרוספרמופסין לליטר.</p>
קיבוע חנקן	<p>בשנת 2018 נמדדו ערכי קיבוע חנקן גבוהים מהממוצע הרב שנתי. קיבוע החנקן לשנת 2018 הסתכם ב 70.66 טון לאגם, בהשוואה ל 94.53 בשנת 2017, ו 51.22 טון בשנת 2016.</p>

משתנה	הממצאים
זואופלנקטון	בשנה האחרונה נמשכה מגמת העליה בצפיפות הזואופלנקטון. מקור העליה בצפיפות הזואופלנקטון הייתה עליה בריכוזי הקלדוסירה והרוטיפרים. הקופודים לעומת זאת היו בריכוזים נמוכים ובטווח התחתון של הממוצע הרב שנתי.
דגים	צפיפויות הדגים מכל קבוצות הגודל בכל העונות היו דומות או אפילו נמוכות מהתחומים הנמוכים שנצפו בשנים 2011-2017. הדבר מצביע על ירידה משמעותית בדגים, מכל קבוצות הגודל, במפלסי המים הנמוכים יותר. הצפיפות הגדולה ביותר ב-2018 של דגים הגדולים מ-60 dB הייתה 2.1 למטר מרובע, מספר הנמוך מזה של השנים 2015-2017. ערכי השיא השנתיים של דגים בגודל 60- 50- dB נצפו במאי.
חלזונות	ב - 2018 נצפה לראשונה מין זר שלישי של חלזון בכנרת, <i>Tarebia granifera</i> , מין המוכר כמין פולש במקומות רבים בעולם. גם בשנה זו נרשמה שליטה מוחלטת של המין הפולש, <i>Pseudoplotia scabra</i> , בכל תחנות הדיגום, בכל העומקים, במפלסים השנתיים הנמוכים והגבוהים.
חומרי הדברה	ריכוזי חומרי ההדברה בשנת 2018 במי האגם לא היוו מקור לדאגה והיו מתחת לגבול רעילות לסביבות ימיות. מספר דגימות הדגים שהובאו כחשד למקרי הרעלה היה נמוך ביותר השנה.
אינדיקטורים לזיהום	הנתונים מצביעים גם השנה על אגן ההיקוות כמקור העיקרי לזיהום החיידקי בכנרת, עם ערכי שיא שנתיים בחדשים ינואר ופברואר. בשל השטפים הנמוכים בנחלים, במדידות רבות ב- 2018 נתקבלו ערכים נמוכים מאוד, ובאופן חריג, ובדומה למה שנצפה ב- 2017, נרשם העדר מוחלט של חיידקים אינדיקטורים לצואה בחלק מהמדידות.
קצבי שיקוע	קצבי הסדימנטציה בכל התחנות היו נמוכים באופן ניכר בהשוואה לממוצעים הרב שנתיים שלהם. בכל חודשי החורף בתחנות F, M ו-K היו קצבי הסדימנטציה גבוהים מאלו שנמדדו בקיץ ובסתיו. בקיץ ובסתיו, בתחנות הפריפריאליות F ו-M, היו קצבי הסדימנטציה גבוהים מאלו שבתחנות A ו-K. העליה הסתווית הגדולה ביותר של קצבי הסדימנטציה בתחנה F התרחשה מאמצע ספטמבר עד תחילת דצמבר, בעוד שבתחנה K התרחשה עליה מהירה מאוחר יותר.
הנביעה ברבועים	ריכוזי הכלוריד היו די קבועים במשך שנת 2018, עם ערכים של כ-1000 ppm.

תוכן עניינים

2	.....	ניטור ומחקרי כנרת	
9	.....	1 הקדמה: שילוב פעולות הניטור והמחקר במעבדה לחקר הכנרת	
11	.....	2 ניטור הכנרת (במימון רשות המים)	
11	.....	2.1 מבוא	
14	.....	2.2 הערכה כמותית של איכות המים	
17	.....	2.3 מאזני חנקן, זרחן ופחמן בכנרת	
19	.....	2.4 מפלס	
20	.....	2.5 המטאורולוגיה והפיזיקה של האגם לשנת 2018	
26	.....	2.6 ממצאי הניטור הכימי	
32	.....	2.7 הערכת שפיעת המלח במעיין הברבוטים	
34	.....	2.8 קצבי סדימנטציה	
36	.....	2.9 פחמן אורגני ואנאורגני מומס וחלקיקי	
39	.....	2.10 זרחן באבק	
41	.....	2.11 קיבוע חנקן	
43	.....	2.12 ייצור שניוני חיידקי	
45	.....	2.13 חיידקים אינדיקטורים לזיהום צואתי	
47	.....	2.14 כלורופיל וייצור ראשוני	
49	.....	2.15 פיטופלנקטון	
		2.16 מדידת הרכב אוכלוסיית הפיטופלנקטון עם מערכת פלואורסנציה רב ערוצית – Fluoroprobe	
54	.....	2.17 רעלני כחוליות	
57	.....	2.18 ציליאטים	
60	.....	2.19 ניטור זואופלנקטון	
65	.....	2.20 דגים - סקרים הידרואקוסטיים	
70	.....	2.21 חלזונות וצדפות בליטוראל	
72	.....	2.22 בחינת נוכחות חומרי הדברה במי האגם ובדגה	
78	.....	2.23 הפעלת פרופיילר אוטונומי בתחנה A כחלק מתוכנית הניטור של אגם הכנרת	
81	.....	2.24 איכות מי הכנרת באמצעות צילומי לוויין המשולבים במערכת SISCAL	
84	.....	2.25 בסיס הנתונים מרכז מידע כנרת	
89	.....	2.26 אתר האינטרנט של מרכז מידע כנרת	
92	.....	3 מחקרי כנרת	
93	.....	3.1 מתכות קורט	
93	.....	3.2 איתור וניטור מעיינות תת-ימיים בכינרת בדגש על אזור חמי טבריה	
95	.....	3.3 חנקן אורגני מומס בכנרת	
99	.....	3.4 פירוק הורמונים סטרואידיאליים באמצעות תהליך ביואוגמנטציה מתקדם	
103	.....	3.5 אקולוגיה מולקולרית של החיידק הפתוגני ליגיונלה באגם הכנרת	

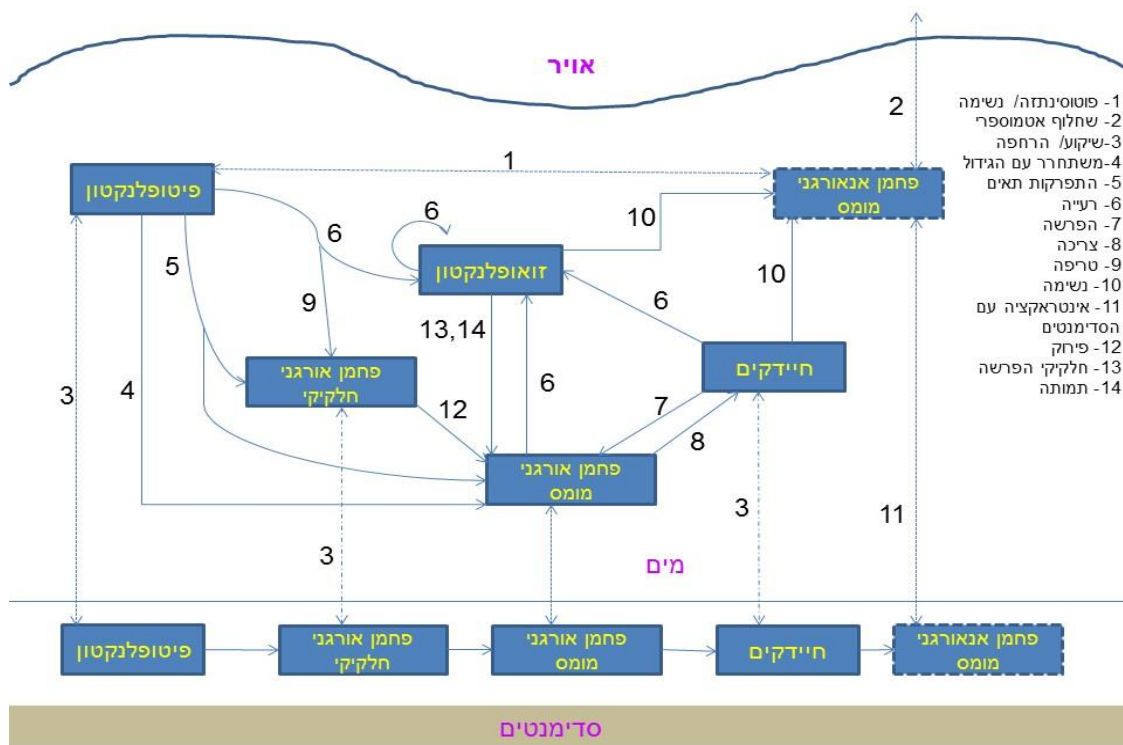
פיתוח אנדיקטורים מיקרוביאליים להערכת איכות מים ומצב טרופי של מערכות מים טבעיות – הכנרת כמודל.....	109.....	3.6
פיתוח ויישום טכניקות אקוסטיות למעקב אחר התפתחות ופיזור של אוכלוסיות מיקרוציסטיס באגמים.....	114.....	3.7
שימוש בציוד אקוסטי מתקדם לזיהוי דגים והערכת ביומסה למטרת ניהול ממשק דייג אופטימלי בכנרת.....	119.....	3.8
מערכת ICT לזיהוי תגובת עמידות אקולוגית במערכות מים מתוקים.....	120.....	3.9
חיזוי שינויים במערכות אקוטיות בתגובה לשינויים חיצוניים על בסיס מודלים בזמן כמעט אמת.....	121.....	3.10
4 מחקרי אגן ההיקוות של הכנרת וגופי מים אחרים.....	128.....	
שילוב מידע מאנטנות סולריות לניתוח משקעים על פני שטחים מורכבים.....	128.....	4.1
ניטור הפיטופלנקטון באגם אגמון ב - 2018.....	133.....	4.2
אפיון היציבות ההידרולוגית-סדימנטולוגית של התא הליטורלי בבקעת בית צידא, הכנרת, צפון ישראל והשלכות לגבי בתי גידול אקולוגיים במערכת זו.....	136.....	4.3
קביעת המתכונת לניטור נחל הירקון.....	143.....	4.4
גישה אינטראקטיבית לבחינת השפעת עמק החולה על הכנרת.....	150.....	4.5
גליליום – מיזם העשרה ומצינויות במדעים אשכול גליל מזרחי.....	153.....	4.6
מידול השפעת התמלחת ממתקני ההתפלה על מארג המזון בים תיכון באמצעות Ecopath, Ecosim and Ecospace.....	158.....	4.7
פיתוח מודל אקולוגי וכלכלי של כלי מדיניות במרחב הימי של ישראל בהתבסס על הערכת שירותי המערכת האקולוגית.....	163.....	4.8
פיתוח מודלים אקולוגיים למרחב מדף היבשת וים עמוק במסגרת תכנית הניטור.....	167.....	4.9
5 נספחים.....	170.....	
סטודנטים לתארים מתקדמים בהנחיית חוקרי המעבדה לחקר הכנרת 2018.....	170.....	5.1
פרסומי המעבדה בספרות הבינלאומית המבוקרת ב- 2018/19.....	172.....	5.2
דו"חות המעבדה 2018.....	175.....	5.3
ייעוץ והשתתפות בוועדות ממשלתיות/לאומיות ומקצועיות בישראל ובחו"ל.....	177.....	5.4

1 הקדמה: שילוב פעולות הניטור והמחקר במעבדה לחקר הכנרת

יעדיה העיקריים של המעבדה לחקר הכנרת הם פיתוח כלים מדעיים לתמיכה בקבלת החלטות בנושא תפעול הכנרת במערכת אספקת המים הארצית, שימור המערכת האקולוגית והמשך פיתוח מרכז הידע הלימנולוגי, מהמובילים בארץ ובעולם. צוות המעבדה פועל להשגת יעדים אלו ע"י שילוב של תוכנית ניטור מקיפה של האגם ופעילות מחקרית מדעית. פעילות צוות המעבדה כוללת בין השאר איתור והערכת סיכונים סביבתיים והשלכות שינויי אקלים באגן הניקוז ואגם הכינרת; מחקר והערכה של המצב האקולוגי ואיכות המים של הכינרת, הנחלים וגופי מים מתוקים אחרים; חקר תהליכים פיסיקליים, כימיים ביולוגיים וגיאולוגיים בכינרת ובגופי מים מתוקים; הדרכה, חינוך וקשר לקהילה; ניטור אקולוגי של מערכת אגם הכינרת; פיתוח כלים מדעיים להערכת מצב מערכות אקולוגיות ימיות ואגמיות; מרכז מידע כינרת - ארכיבאות והנגשה; פיתוח כלים אופרטיביים לתמיכה בקבלת החלטות על ניהול הכנרת.

המעבדה לחקר הכנרת פועלת להבנת מכלול התהליכים הפיסיקליים, הכימיים והביולוגיים המשפיעים על מצב המערכת האקולוגית ועל איכות המים בכנרת. המשתנים המשפיעים באופן ישיר על מצב המערכת האקולוגית באגם הם ריכוז והרכב החומרים המזינים באגם, החומר האורגני המומס במים, כמות וסוגי האורגניזמים, והקשרים ביניהם, כפי שהם מתבטאים במחזורי הפחמן, הזרחן והחנקן באגם. באיור 1 מחזור הפחמן בכנרת מוצג באופן סכמתי. האיור מבטא את הגורמים המאלצים המשפיעים באופן ישיר על מרכיבים של המערכת האקולוגית הקיימת באגם. לדוגמה, נוטריאנטים וגורמי גידול או עיכוב שנכנסים מאגן ההיקוות משפיעים על התפתחות האצות והחיידקים. כן, מוצגים המרכיבים העיקריים של המערכת האביוטית: נוטריאנטים (בסכמה זו מיוצג/מסומן רק פחמן אנאורגני מומס), חומר אורגני מומס, חומר אנאורגני חלקיקי, ורכיבי המערכת הביוטית: אצות, חיידקים, זואופלנקטון. התהליכים הקושרים בין המרכיבים האלו מסומנים בחצים. עבודות הניטור והמחקרים המתבצעים במעבדה לחקר הכנרת מיועדים בין השאר גם לשפר את המודלים הכמותיים ולהבהיר מה הם החלקים הקריטיים והרגישים במערך מסובך זה. בעזרת המודלים ניתן להגיע להבנה מפורטת יותר של מידת ההשפעה של הגורמים השונים על רמת האיטרופיקציה ועל איכות מים.

חוקרי המעבדה לחקר הכנרת מספקים ייעוץ מקצועי לממשלה ע"י השתתפות של נציגים בוועדות ממשלתיות, השתתפות בדיונים של פורומים ממשלתיים שונים והגשת חוות דעת מקצועיות בע"פ ובכתב. בשנה החולפת חוקרי המעבדה היו שותפים ביותר מ-10 פורמים ממשלתיים ומקצועיים, ישראלים ובינלאומיים. בנוסף, החוקרים היו פעילים כעורכים בתשעה כתבי עת מקצועיים בינלאומיים, פרסמו 12 מאמרים בכתבי עת מקצועיים, הגישו 20 דוחות לגופים מממנים ולגופים ממשלתיים שונים. בנוסף לכל הפעילויות הללו, החוקרים היו מעורבים בהנחיית סטודנטים החל מפרויקטים של סטודנטים לתואר ראשון ועד להנחיית פוסט-דוקטוראנטים. סה"כ, חוקרי המעבדה לחקר הכנרת הנחו במהלך 2018 25 סטודנטים לתארים מתקדמים (מסטר, דוקטורט ופוסט-דוקטורט) ממגוון אוניברסיטאות בארץ ובעולם.



איור 1: תיאור סכימתי של מחזור הפחמן בכנרת, על מרכיביו הביזויים והאביוטיים העיקריים והקשרים ביניהם.

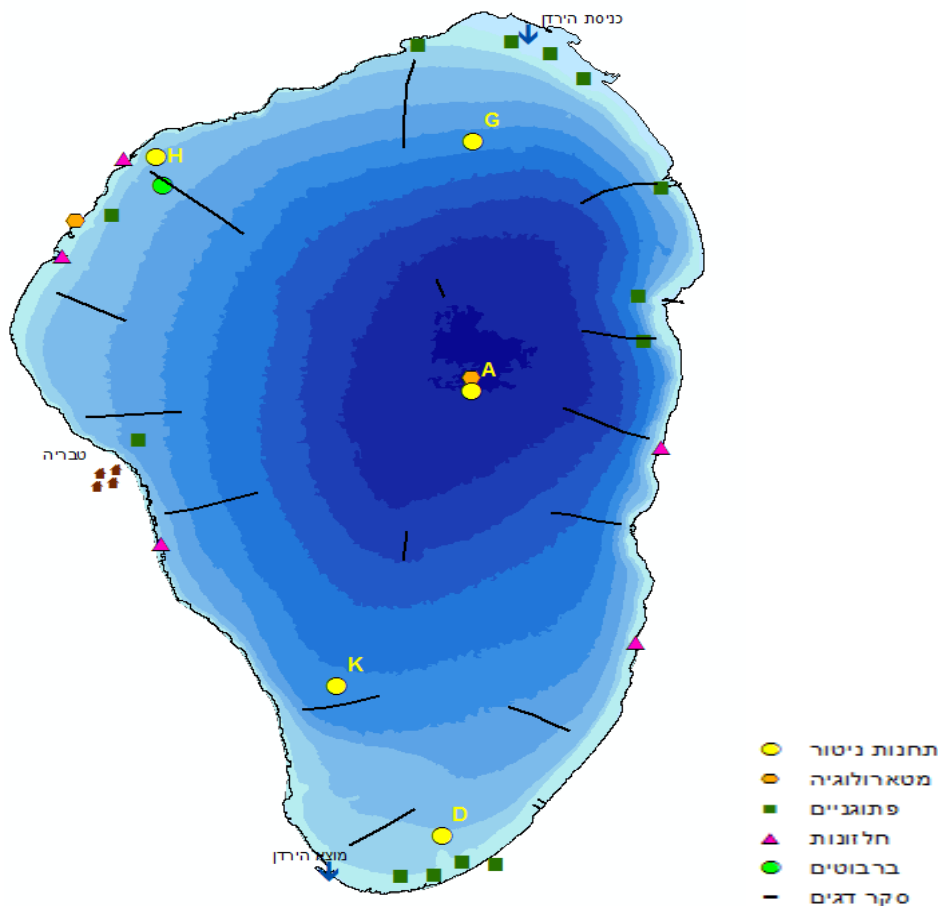
2.1 מבוא

תכנית ניטור הכנרת המבוצעת על ידי המעבדה לחקר הכנרת ממומנת על ידי רשות המים (הוצאות ישירות) ומשרד התשתיות (הוצאות עקיפות). תודתנו נתונה לחברת מקורות, לשירות ההידרולוגי, לשירות המטאורולוגי ולאגף הדיג על העברת נתוני הניטור הנוספים הנאספים על ידם בכנרת ובאגן ההיקוות, וכן על שיתוף הפעולה לאורך השנים. יחידת אגן ההיקוות של מקורות מבצעת את האנליזות הכימיות של דגימות המים הנאספות במהלך ניטור הכנרת. צוות היגוי ניטור כנרת, בראשותם של פרופ' אורי שמיר מהטכניון וד"ר דורון מרקל מרשות המים (כיום המדען הראשי של קק"ל), מלווה לאורך שנים את תכנית הניטור ותורם לשיפורה, להכוונת דרכי פעולתה ולעיתים גם להצטיידותה במכשור הנדרש.

מערך הניטור בכנרת פועל כבר חמישים שנה, ומטרתו לעקוב אחר איכות מי הכנרת, לעמוד על שינויים באיכות המים וללמוד על התהליכים המשפיעים על איכותם. צוות המעבדה לחקר הכנרת אחראי לניטור האגם בעוד שיחידת אגן ההיקוות של חברת "מקורות" פועלת לכימות התרומות המגיעות אליו מאגן הניקוז והשירות ההידרולוגי אחראי על כימות כניסות המים לאגם. במתכונתה הנוכחית, תוכנית הניטור השנתית, אשר התפתחה במהלך שנות הניטור, מבוססת על דיגום במספר תחנות בכנרת בעומקים שונים, ובדיקת מספר רב של משתנים פיסיקליים, כימיים וביולוגיים. ניתוח נכון שלהם מאפשר כימות השטפים של החומרים השונים, ביטוי של איכות מי האגם, קביעת מגמות של שינויים באיכות המים ואיתור מגמות של זיהום המערכת.

יעדי תוכנית הניטור קובעים במידה רבה את תדירות הדיגום, את מספר תחנות הדיגום ומיקומן בגוף המים ואת המשתנים הנבדקים. יתר על כן, אופי גוף המים, עומקו, משטר הזרמים שבו והטופוגרפיה של קרקעית האגם (בתימטריה) מכתיבים את מספר הדגימות שנאספות מעומק עמודת המים בכל תחנת דיגום ואת סוג הבדיקות שנערך בכל אחת מהדגימות. באיור 2 מוצג המיקום של תחנות הניטור העיקריות, על פי תוכנית העבודה השנתית של המעבדה לחקר הכנרת. תחנה A, הנמצאת במרכז האגם, נדגמת בתדירות של אחת לשבוע ובה נבדק מספר רב של משתנים כמפורט בטבלה 2. בנוסף, נדגמים בעזרת הפרופיילר מספר משתנים מכל מטר בעמודת המים 4-6 פעמים ביממה. בתחנות הדיגום הנוספות D, G, ו-K, הממוקמות לאורך ציר צפון-דרום, נבדק מספר משתנים מצומצם יותר. בתחנה H הקרובה לראש היניקה של המוביל הארצי נבדקים רק חלק מהמשתנים. תחנות מטאורולוגיות ממוקמות במרכז האגם בתחנה A ועל החוף בגינוסר ותחנות דיגום אבק ממוקמות על גג המעבדה לחקר הכנרת ובחוף כינר. ישנם מספר משתנים הנמדדים ברזולוציה גבוהה כגון אלו הנמדדים ע"י הפרופיילר בתחנה A, וטמפרטורה בעזרת שרשרות התרמיסטורים בתחנות A ו-F. בשנה האחרונה התווסף למערך הניטור מערכת פלורוסנציה רב-ערוצית (FluoroProbe) אשר נרכשה בשיתוף עם רשות המים.

נתוני הניטור שנאספו בכנרת במשך 50 שנה מהווים בסיס נתונים ומידע ייחודי באופיו, הן בשל רמת דיוק המדידות והן בשל רציפותן, המשמש לקבלת החלטות תפעוליות ומדיניות סביבתית. יעדי הניטור ואופיו נשקלים אל מול יכולת הביצוע (תשתיות ותקציב), ולעיתים יש צורך בצמצום בתדירות הניטור במספר תחנות הדיגום.



איור 2: מפה בתימטרית של הכנרת ותחנות הדיגום של תכנית ניטור כנרת

השינויים שחלו במערכת האקולוגית בשנים האחרונות, בעיקר התגברות תדירות, עוצמה ומשך פריחות הציאנובקטריה באגם, האזור שבו מתפתחות לרוב הפריחות, היא צעד הכרחי. בימים אלו אנו פועלים לרכישה והתקנה של תחנת דיגום אוטומטי בצפון הכנרת שעלות התחנה מתחלקת באופן שווה בין חיא"ל ורשות המים. צעדים חיוניים נוספים כוללים הרחבה של אמצעי הדיגום המרחביים כגון ה- FluoroProbe שהחל לפעול במהלך שנת 2018. אך יש צורך בכלים נוספים כגון רחפן עם אמצעים אופטיים מתקדמים ועוד. המעבדה לחקר הכנרת תפעל לרכישת והטמעת כלים אלו ונוספים בשנים הקרובות.

טבלה 2: ניטור הכנרת – משתנים, תחנות, ותדירות הדיגום. הבדיקות מתבצעות בעומקים שונים לאורך עמודת המים, מלבד פרמטרים מטאורולוגיים, פרמטרים ממערכות סינופטיות, ופרמטרים כמו חיידיקים אינדיקטורים, עומק "סקי" וחומרי הדברה. (* תחנה K - אחת לשבועיים - בים גדול).

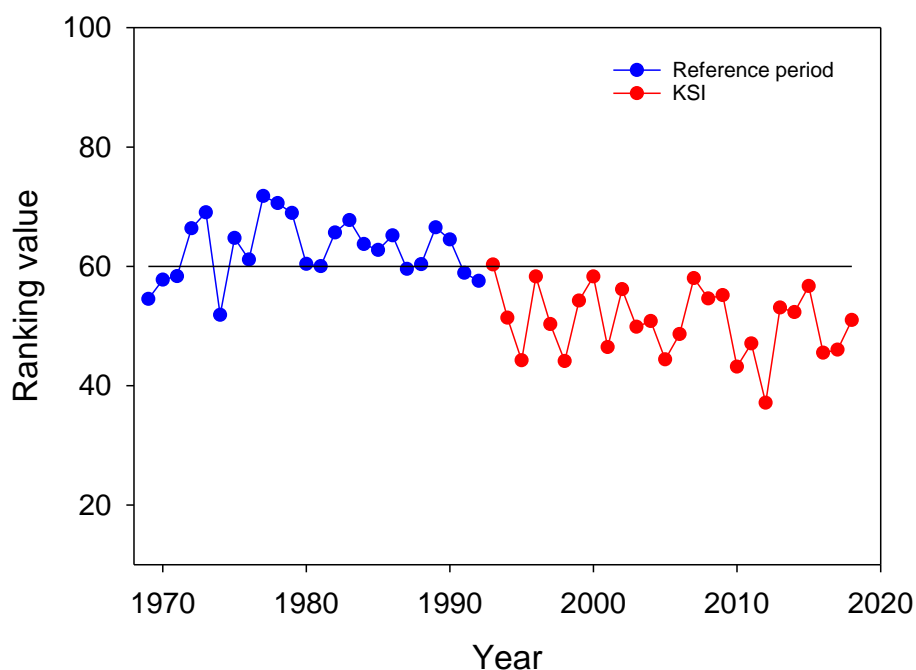
סוג הבדיקה	תחנות דיגום	תדירות הדיגום
מטאורולוגיה		
טמפרטורת האוויר	גינוסר, A	כל 10 דקות
לחות יחסית	גינוסר, A	כל 10 דקות
טמפרטורת פני המים	A	כל 10 דקות
רוח (כיוון ומהירות)	גינוסר, A	כל 10 דקות
קרינה קצרת גל	גינוסר, A	כל 10 דקות
קרינה ארוכת גל	גינוסר, A	כל 10 דקות
לחץ ברומטרי	A	כל 10 דקות
קרינת אור PAR	גג המעבדה	רציף (ממוצע שעות)
פיסיקה		
פרופיל טמפרטורה במים	A, D, G, H, K	אחת לשבוע
טמפרטורה במים שרשרת טרימיסטורים, ברבוטים	F	כל 10 דקות
עומק סקי	A, D, G, H, K	אחת לשבוע
פרופיל חדירות האור	A	אחת לשבועיים
קצבי סדימנטציה	A, F, K, M	אחת לשבוע עד שבועיים
כימיה		
אלקליניות	A, D, G, H, K	אחת לשבועיים
כלוריד	A, D, G, H, K*	אחת לשבוע
מוליכות חשמלית	A, D, G, H, K*	אחת לשבוע
סידן	A, D, G, H, K	אחת לשבועיים
פחמן דו-חמצני	A, D, G, H, K	אחת לשבועיים
פחמן אורגאני	A	אחת לשבועיים
סולפיד	A, D, H, K	אחת לשבועיים
גופרה	A	אחת לשבוע
חנקן (קילדל) מסיס	D, G, H	אחת לשבועיים
חנקן (קילדל) כללי	A, D, G, H, K*	אחת לשבוע
אמוניה	A, D, G, H, K*	אחת לשבוע
ניטריט	A, D, G, H, K*	אחת לשבוע
ניטרט	A, D, G, H, K*	אחת לשבוע
חמצן	A	אחת לשבוע
	D, G, H, K	אחת לשבועיים
pH	A, D, G, H, K*	אחת לשבוע

סוג הבדיקה	תחנות דיגום	תדירות הדיגום
זרחן כללי מומס	A	אחת לשבוע
	D, G, H	אחת לשבועיים
אורטופוספאט	A	אחת לשבוע
	G,D,H	אחת לשבועיים
זרחן כללי	A, D, G, H, K*	אחת לשבוע
סליקה	A	אחת לשבועיים
גופרה (סולפאט)	A, D, G, H, K	אחת לשבועיים
מוצקים מרחפים TSS	A, D, G, H	אחת לשבועיים
עכירות	*A, D, G, H, K	אחת לשבוע
חמרי הדברה	A, D, J, H, גשר אריק	אחת לשבועיים
רעלני כחוליות	A	אחת לחודש
ביולוגיה		
פיטופלנקטון	A	אחת לשבועיים
כלורופיל	A	אחת לשבועיים
יצרנות ראשונית (פוריות)	A	אחת לשבועיים
זואופלנקטון	A, D, G, H, K	אחת לשבועיים
ריסניות (מיקרו-זואופלנקטון)	A	אחת לחודש
דגים	10 חתכים באגם כולו	אחת לחודש-חודשיים
חיידקים ממקור צואתי	14 תחנות במים רדודים	אחת לחודש
חיידקים – ספירה כללית	A	אחת לחודש
יצרנות חיידקית	A	אחת לחודש
נשימה קהילתית	A	אחת לחודש
קיבוע חנקן	A	אחת לחודש בזמן פריחות
ניטור סינופטי		
פיזור מרחבי של טמפ', כלורופיל ועכירות - SISCAL	סינופטי באגם כולו	אחת ל-16 ימים

2.2 הערכה כמותית של איכות המים

איכות המים בכנרת מכומתת באמצעות מדד ייחודי שפותח במעבדה לחקר הכנרת. המדד המקורי פותח בסוף שנות ה-90, ובמהלך שנת 2014 עבר שינויים עפ"י בקשת רשות המים. בדוח השנתי של 2014 דווח על שינויים אלה. על מנת להבדיל בין המדדים, שונה שם המדד המעודכן, והוא נקרא עתה מדד הקיימות של הכנרת - Kinneret Sustainability Index (KSI). השם החדש משקף היטב את משמעות המדד, דהיינו, הנסיון לשמר את המערכת האקולוגית בדומה לתקופת ייחוס שנחשבה תקופה יציבה ורצויה. מדד הקיימות מתבסס על ערכים מדודים של תשעה משתנים שונים, אשר מחושבים ביחס לתחום הערכים הנחשב כקביל. ערכים אלו נקבעו על בסיס טווח הערכים במהלך

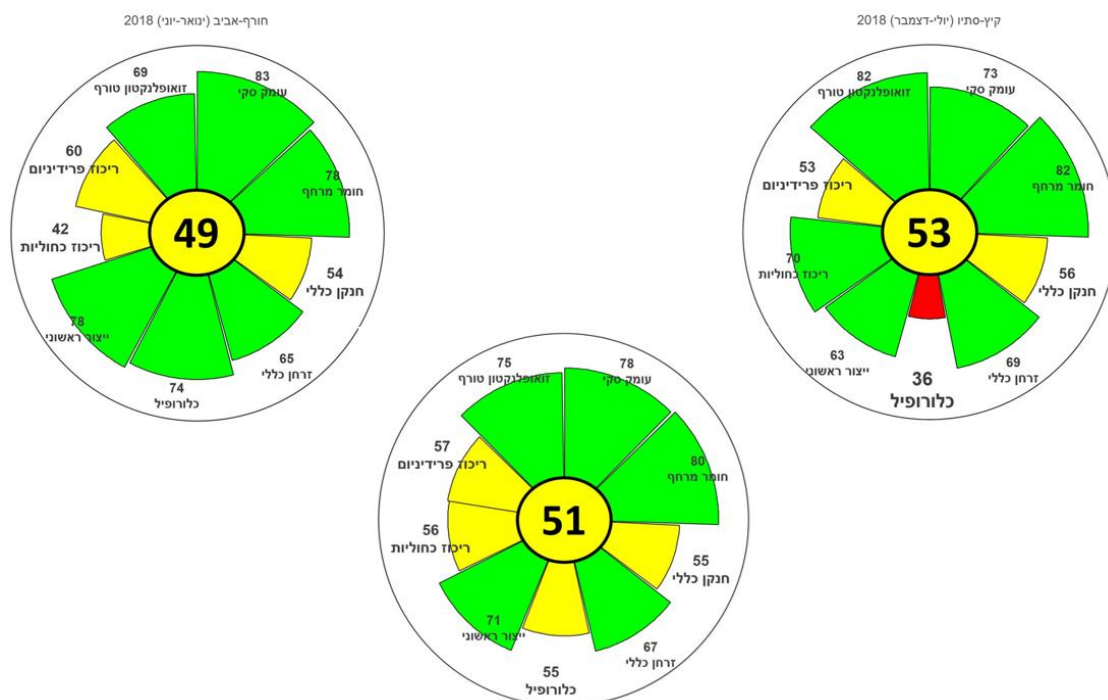
תקופת הייחוס (למידע נוסף ראה Gal and Zohary 2017). עפ"י מדד הקיימות, המערכת האקולוגית של המים בכנרת בשנת 2014 הייתה במצב דומה למצב בשנת 2013 וטוב באופן משמעותי ממה שנרשם בשנת 2012, שהייתה השנה עם הערך הנמוך ביותר שנרשם עד כה (איור 3). בשנת 2015 נצפתה עלייה בערך השנתי של המדד שהגיע לערך כולל של 57, ערך הנמוך רק במעט מהקביל (60). ערכי המדד בשנים 2016 ו-2017 היו דומים (46, 47, בהתאמה) ונמוכים משמעותית מהערך בשנת 2015. בשנה החולפת ערך המדד חצה את רף ה-50 ועמד על ערך של 51. למרות העלייה ביחס לשנתיים הקודמות הערך עדיין נמוך מאוד ביחס לערך הקביל (60) ומסמל שוב את ההבדלים בין המערכת האקולוגית בשנה החולפת בהשוואה למערכת האקולוגית שאפיינה את תוקפת הייחוס.



איור 3: תיאור גרפי של מדד הקיימות של הכנרת (KSI) עבור תקופת הייחוס (1969-1991 בכחול) ועבור התקופה 1992-2018 (באדום). הקו האופקי השחור מציין את התחום הקביל של הערכים כך שכל ציון הנופל מתחת לערך 60 נחשב לערך לא קביל, מצב לא רצוי ומערכת אקולוגית שרחוקה מהמערכת האקולוגית ששואפים לשמר.

בבחינה מעמיקה יותר של ערכי המדד לשנת 2018 יש לשים לב להבדלים בין שתי התקופות החצי-שנתיות ולגורמים שהשפיעו לרעה על ערכי המדד (איור 4). בתקופה ינואר-יוני הערך הכולל היה נמוך ביותר (49) והוא נבע בראש ובראשונה מערך נמוך וחריג של הכחוליות. ערך זה נובע בעיקר מהריכוז הגבוה של מיקרוציסטיס ברוב בתקופת החורף-אביב. למעשה רק בחודש ינואר היה ערך המדד עבורם מעל 60 (63). הריכוזים הגבוהים של הכחוליות בחורף-אביב 2018 אינם תופעה חד-פעמית אלא המשכה של מגמה שאנו רואים באגם כבר מספר שנים. הגורם השני לערך המדד הנמוך בחורף-אביב היה החנקן הכללי שהציג ריכוזים נמוכים מהמצופה בחודשים אפריל-יוני. יתכן שערכים נמוכים אלו הם תוצאת לוואי של ההעדר ההיפוך המלא שאפיין את חורף 2018. בחצי השני של השנה, ערך המדד הכולל הושפע במיוחד מערך הכלורופיל (36) ובמידה פחותה מערכי הפרידיניום (53) והחנקן הכללי (56). ריכוז הכלורופיל בתקופה זאת, במיוחד בין אוגוסט לדצמבר,

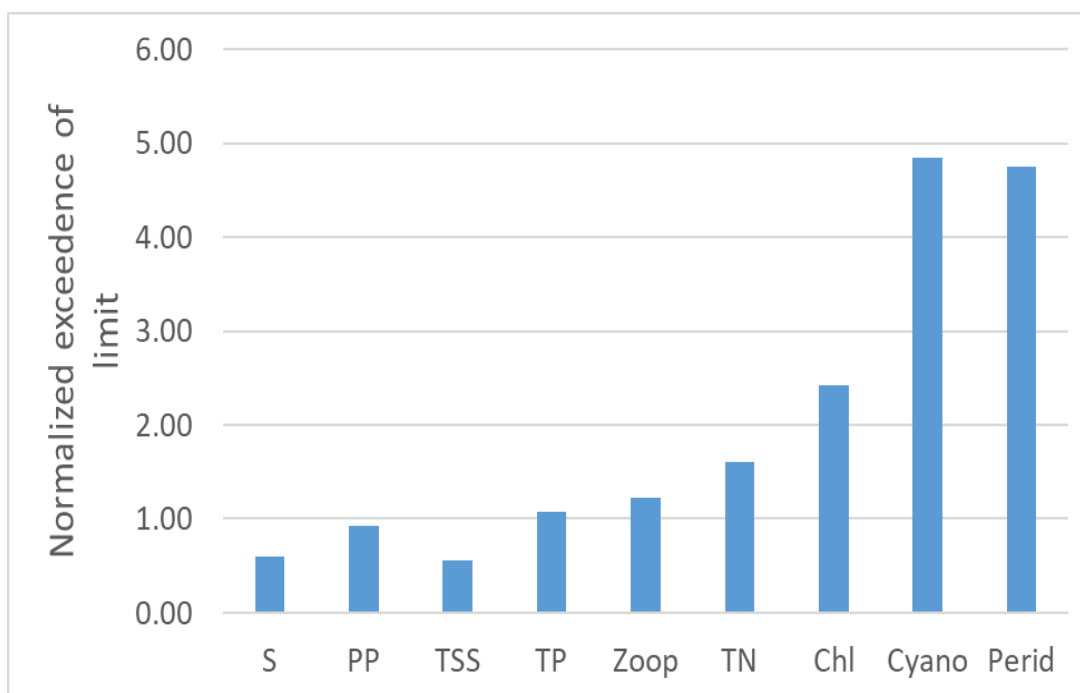
היה גבוה בהרבה מעל המצופה, תהליך שאנו עדים לו בשנים האחרונות עם השינוי בהרכב אוכלוסיות הפיטופלנקטון באגם והעליה בריכוזם במהלך חודשי הקיץ-סתיו.



איור 4: מדד הקיימות של הכנרת (Kinneret Sustainability Index) לשנת 2018. ערכי המדד מחולקים לשתי תקופות של חצי שנה: ינואר-יוני ויולי-דצמבר, המוצגים באיורים העליונים. הערכים הממוצעים לשנת 2018 מוצגים באיור התחתון. במרכז האיורים ניתן לראות את הערך הכולל, כאשר ערכים מעל 60 נחשבים בתחום הקביל. צבעי הרקע הינם צבעי רמזור: ירוק עם ערכים של 60 או יותר, צהוב בין 40-60 ואדום מתחת ל-40. הערך הכולל מבוסס על חישוב ערכי 9 משתנים הנמצאים בהיקף, כאשר ערכו של כל משתנה מוצג הן מספרית, הן בצבעי הרמזור והן בגודל הגזרה. ככל שהגזרה גדולה יותר כך ערכו מתקרב לערך המקסימלי של 100. פרטים נוספים ניתן לקרוא בדוח השנתי של 2014.

מתוך בדיקה של התפלגות ערכי מדד חריגים (<60) של כלל המשתנים בכל תקופות החצי שנתיות בין 1993-2018 עולה כי ישנם במיוחד שני משתנים שחורגים המערכים הקבילים. ריכוזי הכחוליות והפרידיניום סוטים מהריכוז הצפוי בתדירות גבוהה. ואכן, אם מחשבים את היחס שבין מספר החודשים שבהם ערכי המדד של המשתנים היה נמוך מ-60 לבין מספר החריגות הצפוי על בסיס אופן חישוב המדרגים עולה כי שני משתנים אלו חורגים כמעט פי 5 יותר מהצפוי (איור 5). החריגות נובעות מריכוזים גבוהים מהרצוי במקרה של הכחוליות וריכוזים נמוכים מהרצוי במקרה של הפרידיניום.

במבט ארוך טווח של מדד הקיימות של הכנרת ברור שהמערכת האקולוגית אינה במצב יציב או במצב רצוי. חוסר היציבות במערכת האקולוגית, הבאה לידי ביטוי במספר אינדיקטורים כגון המדד שמוצג כאן, מצביעה על השינוי הגדול שחל במערכת האקולוגית מאז שנות ה-90. העובדה שמאז שנת 2010 ערך המדד הגבוה ביותר היה 56 וכל שאר הערכים היו לא יותר מ-51, ובדרך כלל פחות, מעידה על המצב הקשה של המערכת האקולוגית של הכנרת. חוסר היציבות שבא לידי ביטוי בערכי המדד מקשה מאוד על ניהול נכון שיאפשר שיפור במצב המערכת האקולוגית של האגם.



איור 5: החריגות של המשתנים השונים בתקופה 1993-2018 ביחס לערך המרבי הצפוי. ערך של 1 מבטא אחוז החריגות החודשיות שווה ערך לאחוז הצפוי על בסיס חישוב עקומות המדרג. ערכים מעל 1 מבטאים אחוז חריגות גבוה מהמצופה, למשל אחוז החריגות החודשיות של הכחוליות כמעט פי 5 מהמצופה.

2.3 מאזני חנקן, זרחן ופחמן בכנרת

ירון בארי שליון, שירה ניניו וורנר אקרט

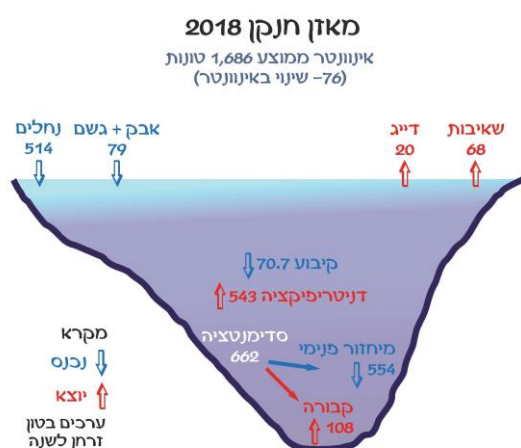
מאזני חנקן, זרחן ופחמן חושבו השנה כדי לבחון את התהליכים השונים המעורבים בשטפים של יסודות אלו פנימה והחוצה מהאגם, ולבדוק את רמת אי הודאות לגביהם. המאזנים מוצגים באיור 6 כאשר כל המספרים הינם בטונות. לצורך הפשטת חישוב השטפים והאינוונטרים בחרנו להתייחס לחנקן כללי (TN) וזרחן כללי (TP) בכל המערכת למרות שעבור שני פרמטרים אלו לא כל השטף זמין לפעילות הביולוגית.

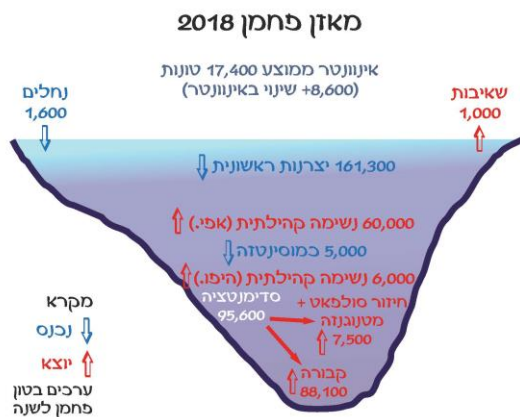
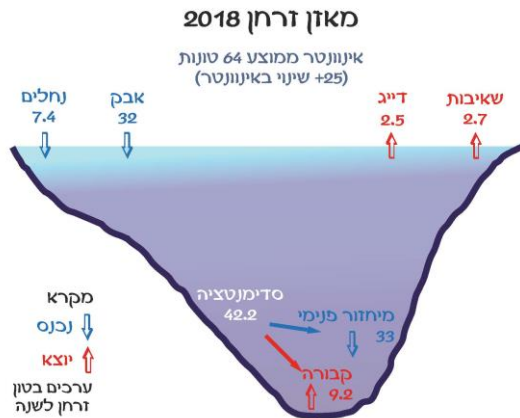
בשנים האחרונות, בעיקר החל מ-2014, עומס הנוטריינטים דרך הירדן והנחלים קטן במידה משמעותית. חורף 2017-2018 המשיך רצף של כ-5 שנות בצורת וכן כמות קטנה יותר של כניסת נוטריינטים מאגן ההיקוות. עבור רב השטפים, פנימה והחוצה, ישנה הערכה סבירה לגודל השטף הנובעת ממדידה ישירה של משתנים. לגבי זרחן כללי ערכי הכניסה והיציאה מוערכים בצורה די טובה למעט קבורה לסדימנט (סדימנטציה נטו). ערך של כ-9 טון עבור משתנה זה משלים את המאזן הכללי. המיחזור הפנימי מהסדימנט, 33 טון, מתבסס על ערכי מקסימום של זרחן כללי בהיפולימניון. ערכים אלו מובילים לערכי סדימנטציה של כ-42 טון בשנה.

מאזן החנקן מורכב יותר. כמות החנקן שעובר דניטריפיקציה בתהליכים חידקיים וחוזר לאטמוספירה מחושב ל-543 טון בהתבסס על ערכי מקסימום של ניטראט בהיפולימניון בתחילת השיכוב התרמי. המיחזור הפנימי בכנרת, 554 טון, מבוסס על ערכי מקסימום של אמוניה

בהיפולמניון. הקבורה מוערכת כ- 108 טון הסוגרים את המאזן. ערכים אלו מובילים לערכי סדימנטציה בסדר גודל של 662 טון בשנה.

מאזן הפחמן האורגני (OC) בכנרת עבור 2018 חושב מנתונים דו-שבועיים של יצרנות ראשונית (PP) נשימה קהילתית (CR), ריכוזי פחמן אורגני מומס (DOC) וחלקיקי (POC), מהערכות קודמות לגבי כמוסינטזה, מכניסות ויציאות (תוך שימוש בריכוזי OC) ומהשינוי בזמן של מקבלי אלקטרונים למינרליזציה של OC (חמצן מומס, ניטראט וסולפאט) בתחתית האגם. בניגוד למחזורי החנקן והזרחן באגם מאזן הפחמן מושפע באופן ניכר מיצרנות אוטיגנית. הערכה של יצרנות ראשונית ברוטו (GPP) ב- 2018 הינה 161,300 טון C. ביחס למספר זה הכניסות והיציאות לאגם (1600 ו- 1000 טון OC בהתאמה) הינן זניחות. בהשוואה לממוצעים של השנים 2001-2011 עם יצרנות ראשונית של כ- 127,000 טון C נראה שישנה עליות בערכי יצרנות ראשונית בשנים האחרונות. כמו כן בהשוואה ל- GPP של 2018 תהליכי קיבוע פחמן אחרים (כמוסינטזה ובקטריות פוטורופיות) הינם הרבה פחות חשובים. אקסטרפולציה של ערכים מהספרות ל- 2018 נותנת סדר גודל של כ- 5,000 טון OC עבור תהליכים אלו. כמו בשנים קודמות עיקר המסה של ה-GPP נצרך בתוך האזור הפוטי בנשימה קהילתית אם כי השנה היחס GPP/CR עלה. בהיפולימניון הידלדלות בחמצן מומס וניטראט תואמת מינרליזציה של 6,000 טון OC בהתבסס על ריכוזים במים בתחילת השיכוב התרמי באגם. הצטברות של סולפיד בהיפולימניון כתוצאה של חיזור בקטריאלי של סולפאט (SR) ושל מתאן (כ 70% מחיזור הסולפאט בכנרת) מעידה על פירוק OC בסדר גודל של 7,500 טון. מכיוון ששני התהליכים מתחילים באזור הסדימנט הם מייצגים חלק משטף שקיעת ה- POC. מאזן ההפחמן שלנו נסגר ע"י ייחוס שארית של 88,100 טון OC לקבורה בסדימנט תוך התחשבות בעליה באינוונטר האגם (ממוצע 17,400 טון) של כ- 8,600 טון. ההערכה הכוללת שלנו עבור שטף השקיעה – 95,600 טון C.



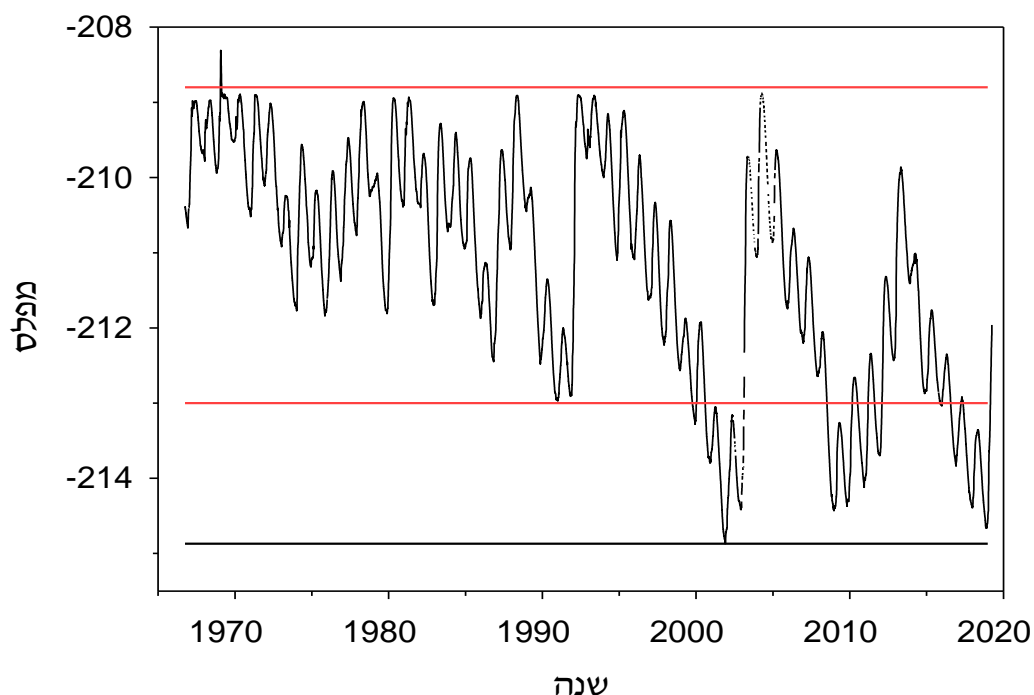


איור 6: מאזני חנקן, זרחן ופחמן בכנרת עבור שנת 2018. בכחול שטפים פנימה ובאדום שטפים החוצה מהאגם. השטפים הינם בטונות לשנה.

2.4 מפלס

מפלס המים בכנרת משפיע במגוון דרכים על המערכת האקולוגית של הכנרת, על כן ישנה חשיבות רבה למעקב אחר השינויים במפלס לאורך השנה ולאורך תקופה של שנים. רבים מהפרקים בדו"ח מתייחסים למצב המפלס ולכן הנתונים מוצגים כאן (באדיבות השירות ההידרולוגי). בשנים האחרונות אנו עדים לשינויים קיצוניים במפלס האגם. לאחר החורף הגשום של 2012/2013, שהסתיים עם מפלס 209.86- מ', בתחילת מאי 2013 (איור 7) חוונו את שנת ה בצורות הראשונה מתוך רצף של חמש שנים. כך, העדר הגשמים בחורף 2013/14 החזיר את הכנרת לכיוון הקו האדום התחתון. עליית המפלס החורפית ב-2014 הייתה זעומה, 40 ס"מ בלבד, ובאפריל המפלס הגיע לערך מרבי של 211.01- מ'. ארבע שנות בצורת נוספות שהסתיימו בחורף 2018/19 הביאו לירידה מתמשכת של מפלס האגם כמעט עד כדי השפל ההיסטורי שנרשם בנובמבר ודצמבר 2001. ואכן, ב-18.11.2018 ושוב ב-3.12.2019 נרשם מפלס של 214.65-, רק מעט מעל השפל של 214.87- שנרשם בסוף שנת 2001. ירידת המפלס בחמש השנים האחרונות, בעקבות ה בצורת באגן ההיקוות של הכנרת ובצפון הארץ, הייתה מתונה יותר מהירידה הצפויה בעקבות ההחלטה לצמצם למינימום

את השאיבה למוביל הארצי. חורף 2018/19 היה אחד החורפים הגשומים שנרשמו באגן ההיקוות של הכנרת ובעקבותיו הייתה עליית מפלס משמעותית. עם כתיבת שורות אלו עדיין לא הסתיימה עליית המפלס אך הצפי הוא לעליה שתסתכם בכ - 3.5 מ'.



איור 7: מפלס הכנרת, מה-1.10.1966 ועד 1.4.2019. מוצגים "הקווים האדומים", העליון (-208.80 מ') והתחתון (-213 מ'), וכן הקו השחור (-214.87 מ'), המינימום של כל הזמנים שנרשם בכנרת בנוב' 2001. הנתונים באדיבות השירות ההידרולוגי, רשות המים.

2.5 המטאורולוגיה והפיזיקה של האגם לשנת 2018

יורי לצינסקי, מיקי שליכטר

סיכום שנתי של מדידת פרמטרים מטאורולוגיים

כיום נמצאות באחריות המעבדה לחקר הכנרת ארבע תחנות מטאורולוגיות המודדות סימולטנית כל 10 דקות את המשתנים המטאורולוגיים הבאים: גשם, טמפרטורת אוויר, לחות יחסית, מהירות וכיוון רוח, קרינה קצרת גל (2800-305 nm) וקרינה ארוכת גל (25-5 μm). תחנה A, שבמרכז האגם, היא התחנה העיקרית לדיגום מטאורולוגי, בה נמדדים גם טמפרטורת פני המים וקרינה נטו, באמצעות מדידות ישירות של קרינה ארוכת גל וקרינה קצרת גל מוחזרת מפני המים. בתחנת הרכבל התחתון בחרמון נמדד השלג (מד גשם מחומם) קרינה ארוכת גל, ואלבדומטר. בסיס הנתונים המטאורולוגי של הכנרת כולל כעת נתוני מדידה מטאורולוגית לפי הפירוט הבא:

- משנת 1996 תחנת גינוסר (לשעבר טבחה).
- משנת 2003 על האקו-ראפט בתחנה A (חלקית תחנת השמ"ט).

- משנת 2006 תחנה מטאורולוגית ליד הרכבל העליון בחרמון.
- משנת 2008 ועד אוגוסט 2018 תחנה מטאורולוגית ליד הרכבל התחתון בחרמון.

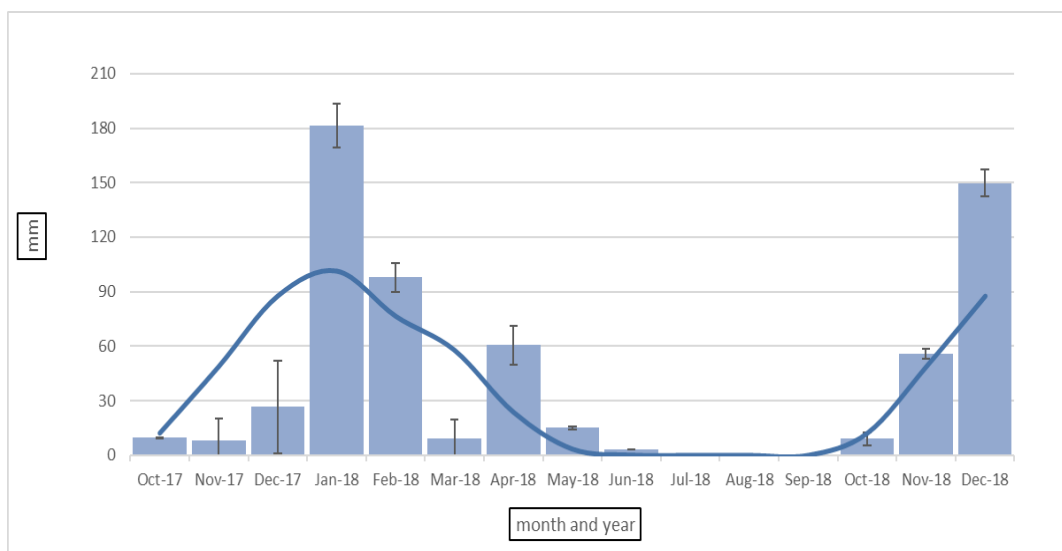
סיכום המדידות בשנת 2018

כבשנים קודמות, סיכום הגשם החודשי (איור 8) כולל את כל השנה ההידרולוגית 2017-2018 (אוקטובר 2017-ספטמבר 2018) ואת חודשי אוקטובר-דצמבר 2018 כדי להשלים את תיאור שנת 2018 (1.10.2017 עד 31.12.2018). נתוני הגשם החודשי נלקחו מתוך בסיס הנתונים הפתוח של השמ"ט. הגשם המייצג הוא הממוצע הנמדד בתחנות אמנון, צמח, דגניה א', כפר נחום, קבוצת כנרת ובטבחה. סיכום המדידות המטאורולוגיות לשנת 2018 מבוסס על נתוני התחנה המטאורולוגית בתחנה A ועל התחנה המטאורולוגית בגינוסר. איורים 9 עד 14 מייצגים את הממוצע השעתי (ייצוג התנודה היומית) ע"פ חודשי השנה (ייצוג התנודה העונתית) של הפרמטרים המטאורולוגיים המדודים. הפרמטרים שסיכום המדידה השנתי שלהם יוצג הם:

1. טמפרטורת אויר (רום כ- 8 מטר מעל פני האגם); 2. טמפרטורת המים (עומק עד 20 ס"מ);
3. קרינה קצרת גל; 4. קרינה ארוכת גל; 5. לחות יחסית; 6. מהירות הרוח. ממוצע המדידות לשנת 2018 השווה לסיכום הרב שנתי ל-11 השנים האחרונות 2006-2017. ההשוואה נעשתה ע"י חישוב ההפרש בין ממוצע שעתי לחודש משנת 2018 לעומת ממוצע דומה עבור 11 השנים שקדמו לשנה זו, ושרטוט מפת הפרשים בין שני הממוצעים.

גשם על הכנרת בשנת 2018

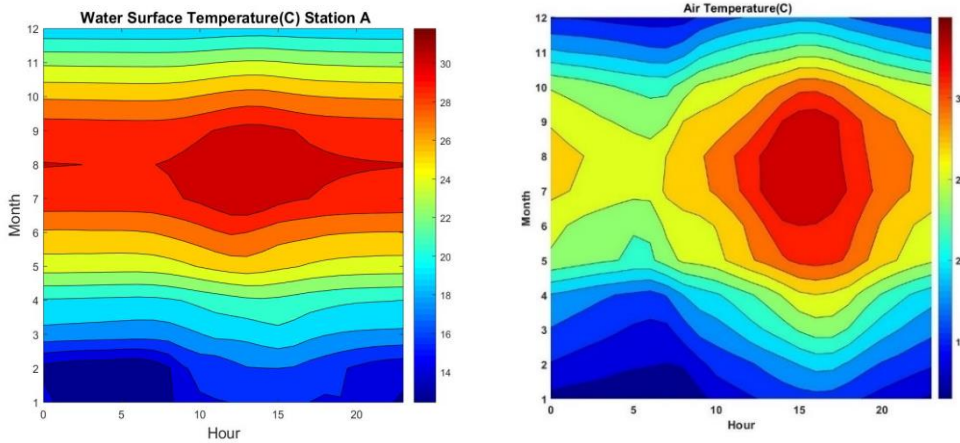
בסיכום עונתי ל- 2017-2018 בלבד מתקבלים כ- 580 מ"מ על פני האגם. פריסת הגשמים על פני עונת 2017-2018 התאפיינה בכמות המשקעים כפולה מהממוצע בחודשים ינואר 2018 ודצמבר 2018 כאשר חודשים נובמבר ודצמבר 2017 וחודש מרץ 2018 היו יבשים מאוד (כשליש מהכמות הממוצעת).



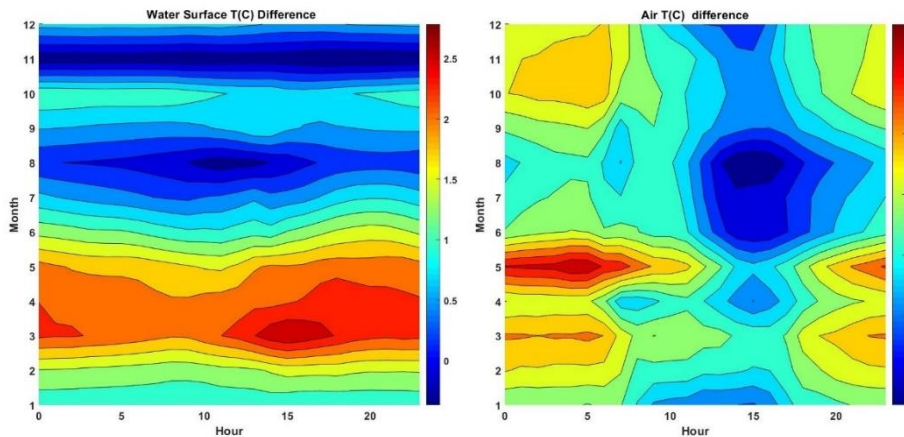
איור 8: גשם חודשי ממוצע מ-6 תחנות מסביב לכנרת וסטיית התקן בין התחנות, החל מחודש אוקטובר 2017 ועד דצמבר 2018 (עמודות), בהשוואה לגשם חודשי ממוצע על הכנרת (קו רציף).

טמפרטורת המים והאוויר

במהלך השנה התנודה היומית של טמפרטורת האוויר (איור 9 ימין), השפיעה רבות על התנודה היומית של טמפרטורת פני המים (איור 9 שמאל). טמפרטורת האוויר הממוצעת שנרשמה במהלך חודשי האביב הייתה גבוהה במעט מהטמפרטורה הממוצעת הרב שנתית בחודשים אלו (איור 10 מימין). לעומת זאת, בשעות הבריזה הים תיכונית (12:00 עד 20:00) הטמפרטורה דומה למוצע הרב שנתי. חודשי האביב אופיינו בהתחממות ניכרת של טמפרטורת פני המים בכ-2 מעלות בממוצע, כאשר בחודשים אוגוסט ונובמבר 2018 המים היו קרים יותר מהממוצע הרב-שנתי.



איור 9: סיכום שנתי של ממוצעים שעתיים וחודשיים של טמפרטורת האוויר ברום של כ-8 מטר מעל פני האגם (ימין), וטמפרטורת פני המים (שמאל).

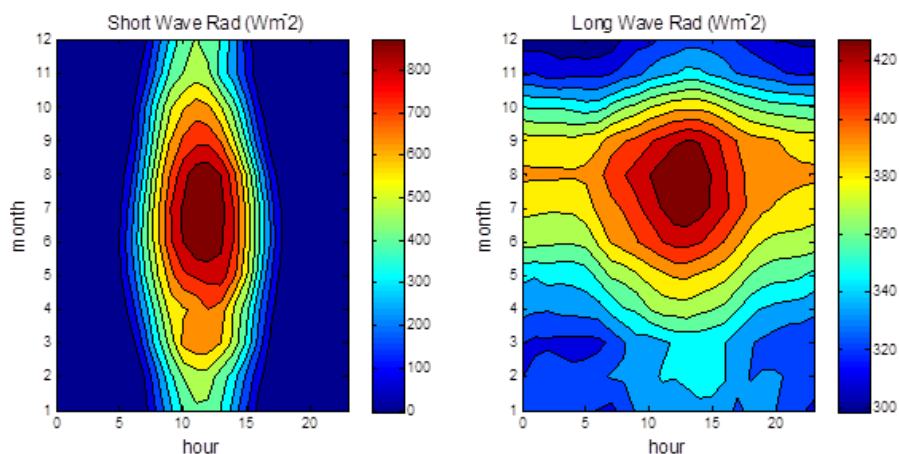


איור 10: ההפרש בין ממוצע שעתית לחודש משנת 2018 לעומת ממוצע דומה עבור השנים 2006-2017 מימין: טמפ' אויר (°C); משמאל: טמפ' פני מים (°C).

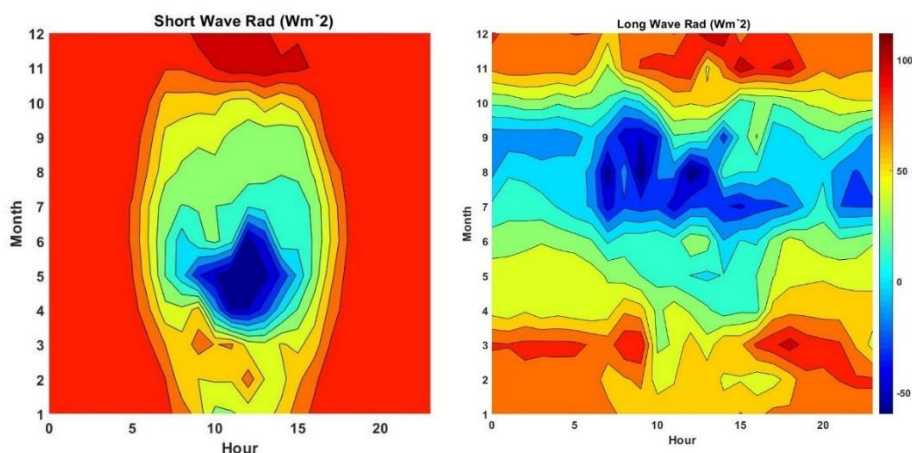
קרינה קצרה וארוכת גל

מדידות קרינה קצרת גל (nm 305-2800) מראות באופן קבוע על ערך מקסימאלי יומי בשעות הצהריים 11:00-14:00 (לפי שעון חורף).

בסקלה העונתית הקרינה המקסימאלית חלה בחודשים יוני ויולי (איורים 11 ו-12). הקרינה ארוכת הגל מראה שיא בקרינה בצהריים של חודש אוגוסט. תחום הקרינה קצרת הגל הוא בין 0 (לילה) לכ- 900 Wm^{-2} בשעות היום. תחום הקרינה ארוכת הגל הוא בין 320 ל- 500 Wm^{-2} בקירוב. ההפרש בין מדידות הקרינה ארוכת הגל לבין הקרינה הרב שנתית הממוצעת (איור 12), בדומה למדידות טמפרטורה, מעידות על חריגה בחודשים נובמבר ודצמבר ומאי יחסית לממוצע של שנים קודמות. הסיבה לכך היא ככל הנראה, מספר ימי הגשם הנמוך עם סך משקעים חודשי נמוך ב-50 אחוז מהממוצע הרב שנתי (איור 8) בחודשים האלו.



איור 11: סיכום שנתי של ממוצעים שעתיים וחודשיים של קרינה ארוכת גל (Wm^{-2} , ימין) וקצרת גל (שמאל).



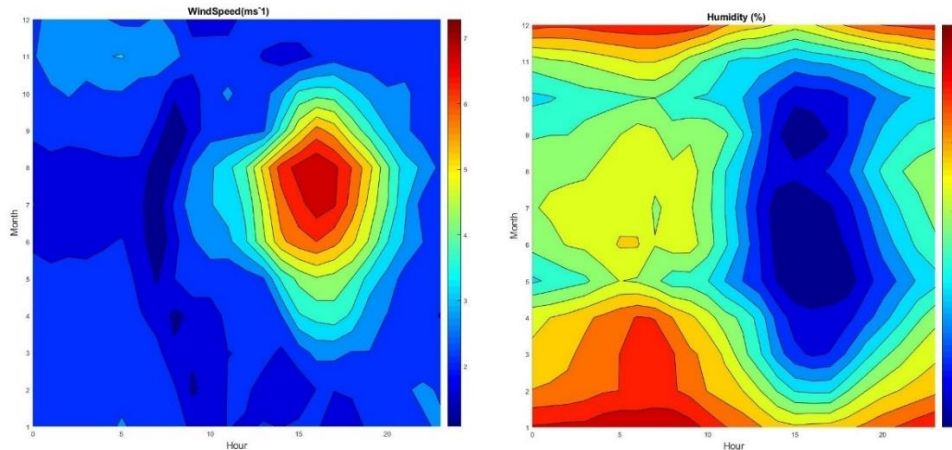
איור 12: ההפרש בין ממוצע שעותי לחודש משנת 2018 לעומת ממוצע דומה עבור השנים 2006-2017. מימין: קרינה ארוכת גל (Wm^{-2}), משמאל: קרינה קצרת גל (Wm^{-2}).

לחות יחסית ומהירות רוח

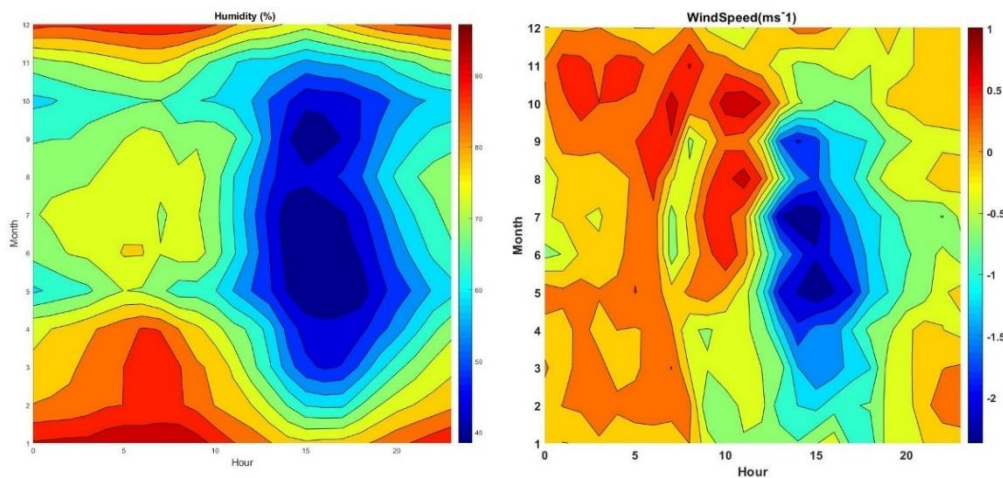
סיכום שנתי של ממוצעי מהירות הרוח והלחות היחסית (איורים 13 ו-14) מדגים את רוחות אחר-הצהריים הקיציות האופייניות לאגם. השעות 15:00 – 16:00 הן שעות שיא הרוח לאורך כל השנה (שעון חורף, שעת השיא בפועל היא 14:00 לפי שעון קיץ), והחודשים יוני-יולי-אוגוסט הם החודשים בהם הרוחות הן החזקות ביותר. חודשי החורף והשעות 00:00 עד 10:00 הם בהכללה הזמנים שבהם ממוצע מהירות הרוח היא הנמוכה ביותר ועומד על פחות מ-2 מטר לשנייה. הלחות יחסית (%)

מעל פני האגם מצויה בד"כ בהתאמה שלילית מסוימת עם מהירות הרוח (מהירות גדלה – לחות פוחתת).

נתוני הרוח השנתיים (2018) מראים על רוחות חזקות מהמוצע (שעות אחר הצהריים בחודשים נובמבר ודצמבר) עם ערכים שאופייניים יותר לחודשי הקיץ. הלחות היחסית על פני המים (תחנה A) נמוכה מאד יחסית בנובמבר ודצמבר וגבוהה מאוד יחסית בשעות אחר הצהריים בחודשי האביב והקיץ.



איור 13: סיכום שנתי של ממוצעים שעתיים וחודשיים של לחות יחסית (ימין) ומהירות רוח (שמאל).

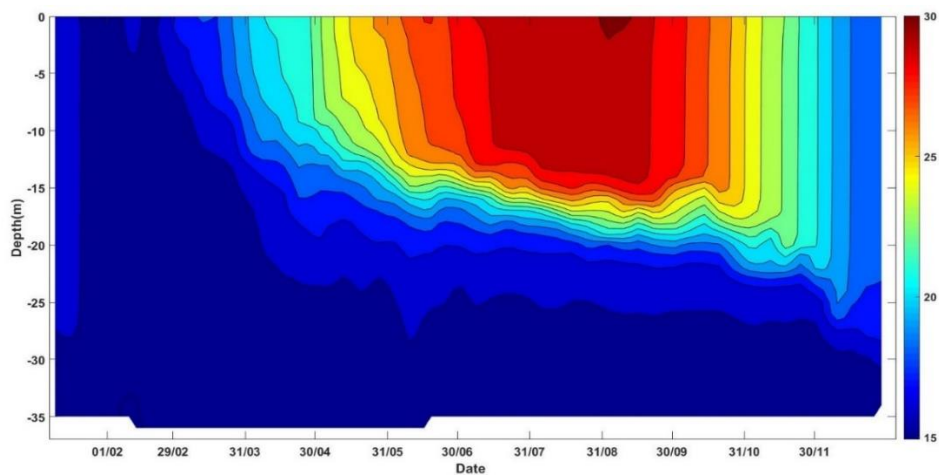


איור 14: ההפרש בין ממוצע שעתיים לחודש משנת 2018 לעומת ממוצע דומה עבור השנים 2006-2017 (טבח ותחנה A). מימין: מהירות רוח (ms^{-1}), משמאל: לחות יחסית (%).

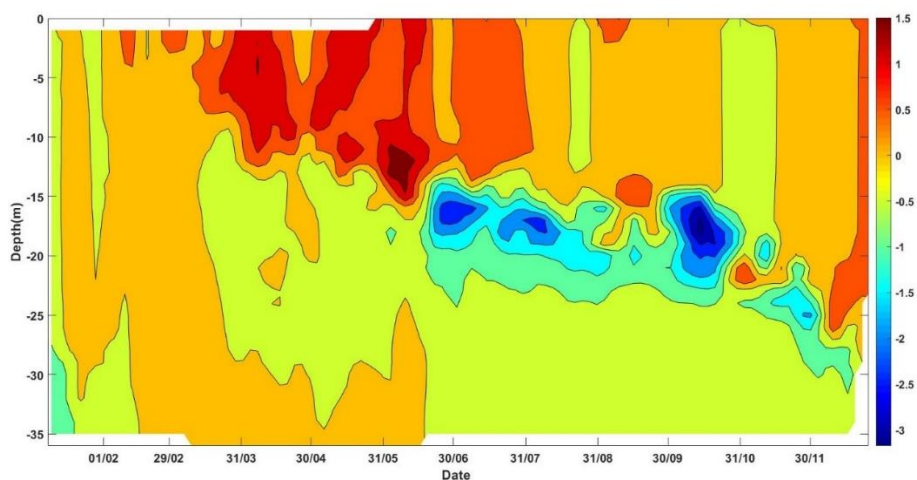
סיכום שנתי של טמפרטורת האגם

פרופיל טמפרטורת גוף המים נמדד כל 0.1 מטר על בסיס שבועי באמצעות STD במספר תחנות דיגום (איור 15). הסיכום שמוצג כאן מתייחס למדידות שנעשו בתחנה A. תקופת הערבוב של שנת 2018 התאפיינה בטמפרטורה ממוצעת. לאחר תחילת תהליך השיכוב, הטמפרטורה של האפילימניון הייתה גבוהה בכ-1.5 מעלות מעל הממוצע ובהיפולימניון במחצית השניה של השנה טמפרטורת המים הייתה נמוכה מהממוצע (איור 16). בדיקת השיכוב התרמי במהלך 2018 העלתה כי הוא נמשך

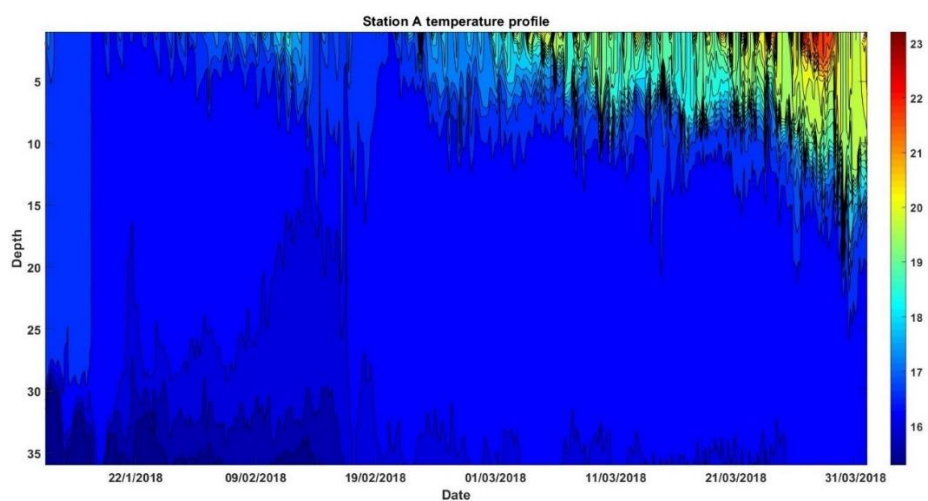
כ- 315 יום, בהשוואה לממוצע רב שנתי של 46 השנים האחרונות - 293 ± 18 יום. מספר ימי ערבוב מלא היה מועט יחסית (איור 17).



איור 15: פרופיל טמפרטורת האגם לשנת 2018.



איור 16: הפרש טמפרטורות באגם בין שנת 2018 לטמפרטורה הממוצעת בשנים 2015-2017.



איור 17: פרופיל טמפרטורה חודשי ינואר-פברואר מרץ 2018

2.6 ממצאי הניטור הכימי

ירון בארי-שליון, מיקי שליכטר

הקדמה

כמו בשנים קודמות מוצגים נתוני הניטור הכימי משכבת האפילימניון וההיפולימניון בתחנה A בשנת 2018 בהשוואה לממוצעים רב שנתיים (עשר שנים: 2007-2016) וכן לשנה הקודמת, 2017 (איור 18).

תוצאות

להלן סיכום הממצאים לגבי שנת 2018 (ראה איור 18):

אלקליניות וסידן:

התפתחות ערכי האלקליניות והסידן בשכבת האפילימניון בחצי הראשון של 2018 ובעיקר הירידה החריפה בערכים אלו בין מרץ למאי מבטאת שקיעת קלציט בעקבות פעילות ביולוגית באביב. פעילות זו צפויה כל שנה בתקופת האביב. בשנים האחרונות הירידה מאוחרת יחסית, למשל ב-2016 הירידה הייתה מתונה מאד והתייצבה רק ביוני על ערכים בקצה העליון של הממוצע הרב שנתי. המגמות האביביות של 2017 הראו חזרה לתבנית הרגילה של העשור האחרון. כך גם בשנה הנוכחית, 2018, הירידה החריפה מתחילה מוקדם (מרץ) וכבר במאי מגיעים לערכי המינימום. אין ביטוי משמעותי בפרופילי האפילימניון האלו להיפוך הלא מלא שהתרחש השנה (ראה בהמשך). לעומת זאת העליה החדה בערכי אלקליניות עד אוגוסט אל מעל הממוצע הרב שנתי מלווה בהמשך בירידה והתייצבות לערכי הממוצע הרב שנתי.

מגמת ההתפתחות של אלקליניות וסידן בשכבת ההיפולימניון דומה באופן כללי למגמה הרב שנתי ולערכי השנה הקודמת. יחד עם זאת, ערכים אלו חורגים ממרץ והלאה מעל הממוצע הרב שנתי. כתוצאה מההיפוך הלא מלא והמאוחר השנה, העליה בערכים אלו מתחילה מערכי פתיחה גבוהים יותר ועל כן צפוי שהצטברות תתבטא בערכים גבוהים מהממוצע. באלקליניות מגמת העליה נשארת קבועה יחסית והערכים נמצאים בקצה העליון או מעל הממוצע הרב שנתי עד סוף השנה. נצפתה ירידה בריכוז הסידן במאי והתייצבות אל תוך טווח הערכים של הממוצע הרב שנתי בהמשך.

כלוריד:

ריכוז הכלוריד התאפיין החל מ-2014 שהייתה שנה שחונה במיוחד, בעלייה רב שנתי באפילימניון, ובכנרת בכלל. בשנת 2014 התבנית השנתית של ירידה בחורף-אביב (דומיננטיות של כניסות מתקוות) ואז מעבר לעליה עד סוף השנה (דומיננטיות של כניסות מלוחות והתאדות) לא התקיימה בפעם הראשונה ולאורך כל השנה הייתה עליה בערכי הכלוריד.

השנים הבאות היו עדיין שנים שחונות אך נראתה בהן התבנית השנתית הרגילה לכנרת של ירידה במליחות בחורף אביב ואז עליה מסוף האביב עד סוף השנה. בשנת 2018 שוב ישנה ירידה בערכים בחורף-אביב ואז עליה בקיץ-סתיו.

מעבר לוריאציות הקטנות במגמת התפתחות ערכי הכלורידים לאורך השנים האחרונות המגמה הכללית כולל 2018, היא של עליה ברורה במליחות הכנרת. ב- 2018 ערכי המליחות של הממוצע החודשי באפילמניון הגיעו בנובמבר ל- 325 מ"ג כלוריד לליטר ואז ירדו במעט לקראת דצמבר.

חמצן:

ערכי החמצן בשנת 2018 דומים לממוצע הרב שנתי באפילמניון לאורך רב השנה אם כי בצורה בולטת הם נמוכים מערכי השנה הקודמת בתקופת החורף והאביב. גל העליה בערכי חמצן, האופייני לאביב, מוסבר באופן רגיל בפעילות פוטוסינטטית גבוהה באביב. השנה גל זה נמוך משמעותית מהשנה הקודמת. תופעה זו תואמת ערכי כלורופיל נמוכים בתקופה זו השנה ביחס לשנה שעברה. בהיפולימניון ישנו ביטוי בולט להיפוך המאוחר והלא מלא השנה. בניגוד למגמה הרגילה אשר מתבטאת הן בטווח הממוצע הרב שנתי והן בערכי 2017, ב- 2018 אין עליה מלאה של ערכי החמצן בשכבה זו בינואר - פברואר. מכאן והלאה ישנה דעיכה במגמה מעט מתונה יותר משנים קודמות, אך הגעה לערכי מינימום של חמצן כבר באפריל, כחודש מוקדם מהממוצע הרב שנתי וחודשיים מוקדם מ- 2017. בדצמבר נצפית עליה קלה בערכי החמצן בשכבה זו המייצגת את התחלת השפעת הערבוב של עמודת המים בעומק.

ערך הגבה (pH):

ערכי ההגבה בשתי השכבות נמצאים בשנת 2018 מעט נמוך ברב חודשי השנה ביחס לממוצע הרב שנתי ובהיפולימניון גם בהשוואה לשנה הקודמת, 2017. מגמה זו (ערכים נמוכים) בעיקר באפילמניון- מדווחת כבר כמה שנים אך נותרה ללא הסבר.

זרחן:

ערכי זרחן כללי, זרחן מומס וזרחן מומס מגיב באפילמניון של שנת 2018 דומים לערכים של הממוצע הרב שנתי למעט תחילת השנה בין ינואר למאי כאשר בפברואר ובאפריל נראות עליות משמעותיות בזרחן כללי ובפברואר- מרץ בזרחן מומס כללי. עליות אלו תואמות שטפי זרחן מאבק כפי שנצפו השנה בתקופה זו. זרחן מומס ריאקטיבי אמנם מראה ערכים גבוהים יחסית בינואר אך עדיין בתוך טווח הממוצע הרב שנתי. בהמשך צורון זה נמצא היטב במרכז הממוצע הרב שנתי בדומה לשנה הקודמת. ההבדל בין הצורונים באפילמניון מוסבר בכך שזרחן מומס ריאקטיבי מומס צפוי שייצרך מיידית על ידי הביולוגיה בתקופת האביב ועל כן גם בשטפים מוגברים של זרחן מאבק לא נצפה לריכוזים גבוהים של הצורון המומס ריאקטיבי.

ריכוזי זרחן כללי מומס וזמין בהיפולימניון של 2018 מבטאים היטב את ההיפוך המאוחר והלא מלא של 2018. כתוצאה מתופעה זו ערכי הפתיחה של צורונים אלו גבוהה משמעותית כבר במרץ ומכאן מגמת עליה דומה לשנים הקודמות כתוצאה מתהליכי פירוק חומר אורגני תתבטא בסדרת ערכים גבוהה יחסית. לקראת סוף השנה נראה שזרחן בכל צורוניו מתכנס חזרה אל טווח ערכי הממוצע הרבה שנתי.

חנקן:

ערכי חנקן כללי ואורגני באפילימיניון דומים לערכי הממוצע הרב שנתי של השנים הקודמות אם כי בחנקן כללי מאפריל ועד אוגוסט ערכים אלו נמצאים בקצה הנמוך של תחום הממוצע הרב שנתי ונמוכים בצורה ברורה מערכי השנה הקודמת. בהיפולימיניון, חנקן כללי מבטא, כמו בצורוני הזרחן, את ההיפוך המאוחר והלא מלא עם ערכים גבוהים בקצה העליון של טווח הממוצע הרב שנתי או מעט מעל טווח זה ממאי ועד אוגוסט.

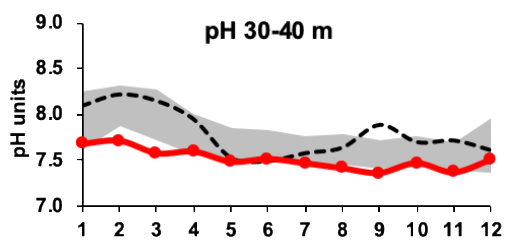
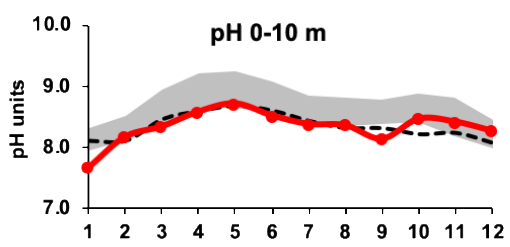
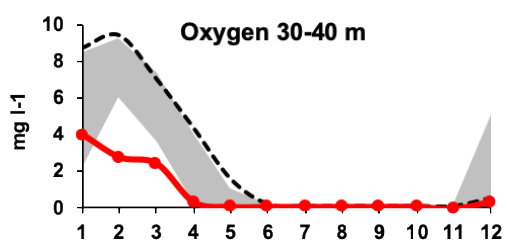
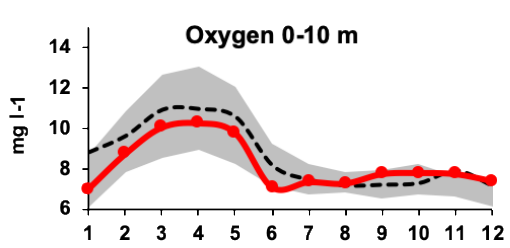
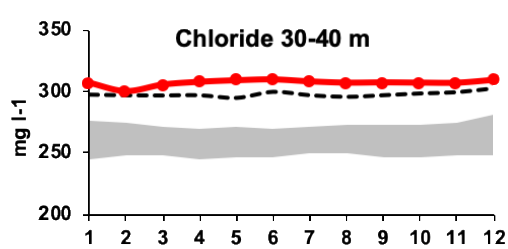
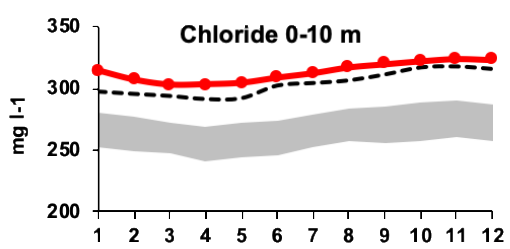
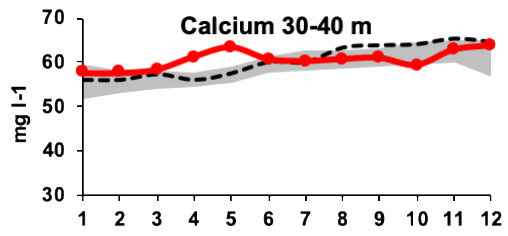
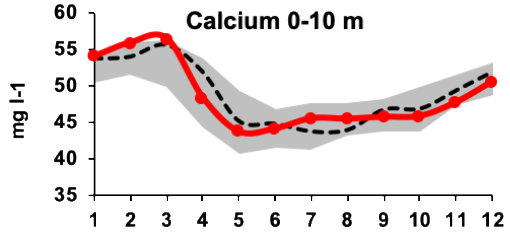
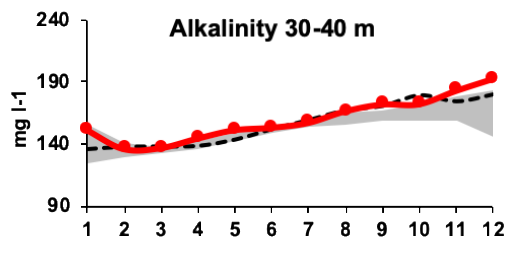
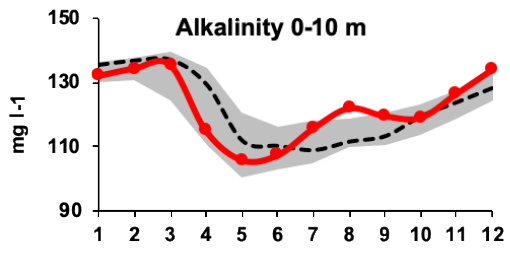
אמוניום בהיפולימיניון מבטא את התופעה הזו בצורה בולטת יותר עם ערכים גבוהים מטווח הממוצע הרב שנתי ממרץ עד אוגוסט ואז התכנסות אל תוך תחום הממוצע הרב שנתי. ניטריט באפילימיניון דומה לשנים הקודמות. בהיפולימיניון, צורון זה מראה גל עליה אחד בפברואר, בדומה במידה מסוימת לשנה הקודמת ובניגוד לשנים הקודמות המאופיינות בשני גלי ניטריפיקציה-דניטריפיקציה. ניטראט באפילימיניון מראה מגמה דומה לשנים הקודמות אך בצורה ברורה גל העלייה של סוף החורף-אביב נמוך משמעותית מהשנה הקודמת וברב הזמן גם מטווח הממוצע הרב שנתי. תופעה זו עשויה להיות מוסברת במחסור בשטף חנקן זמין כתוצאה מההיפוך המאוחר והלא מלא במהלך 2018.

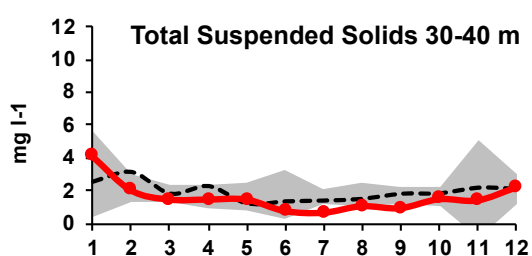
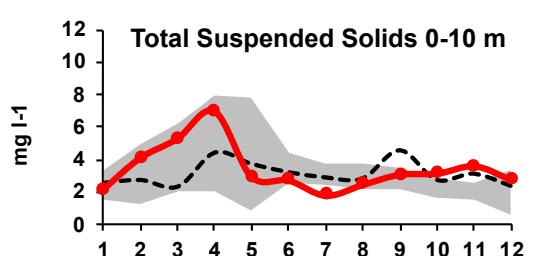
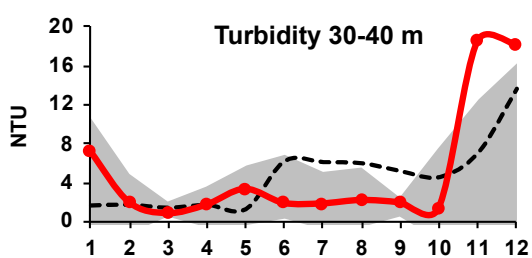
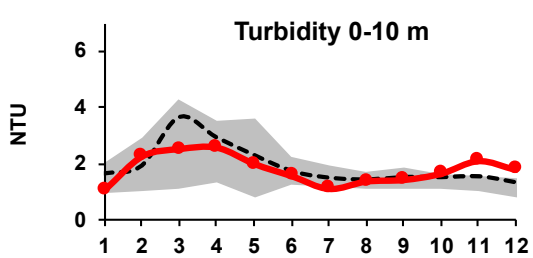
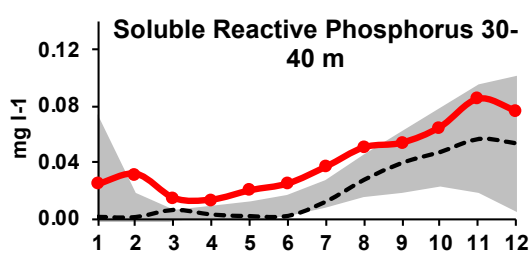
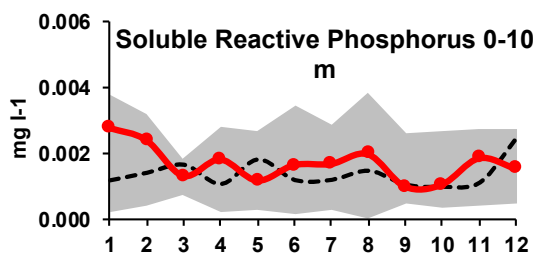
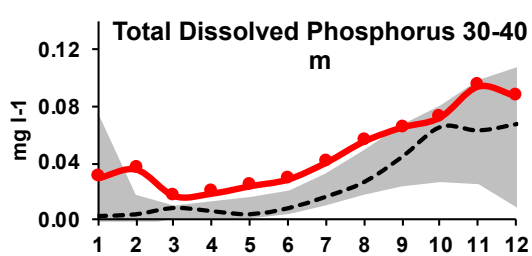
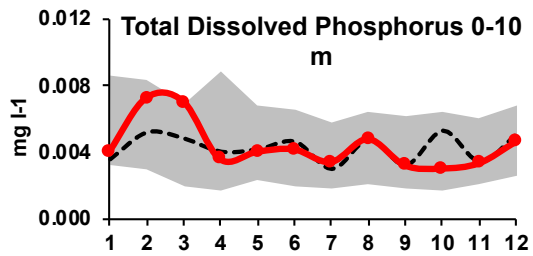
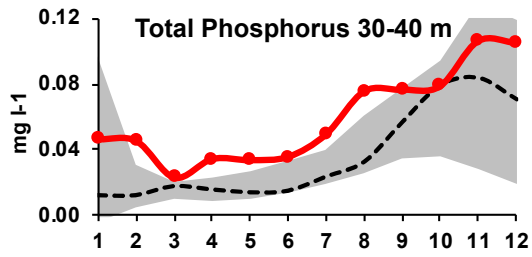
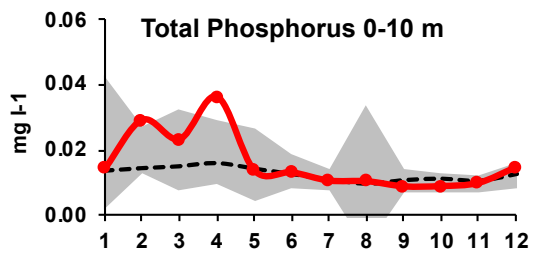
עכירות ומוצקים מרחפים:

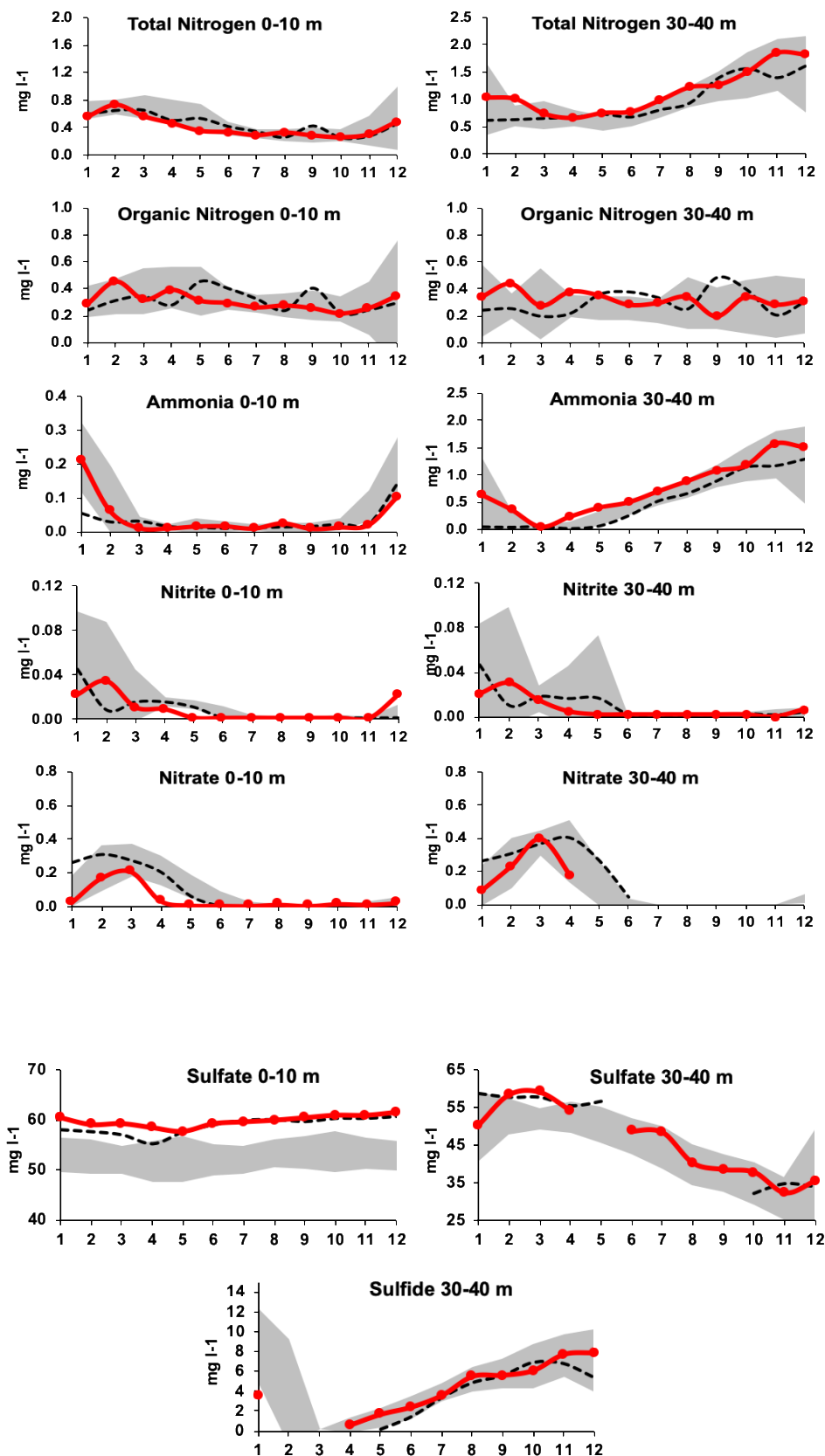
ערכי עכירות וסך המוצקים המרחפים נמצאים בתוך טווח הממוצע הרב שנתי, רב השנה, בשתי השכבות. בולטת חריגות בעכירות בסוף השנה בהיפולימיניון, ככל הנראה שילוב של מפלס נמוך והעמקה של התרמוקלינה בתקופה זו. ביחס לשנה הקודמת, ערכי העכירות בשיא האביב נמוכים במעט אך ערכי כלל המוצקים המרחפים גבוה יותר. בשנתיים האחרונות נראית עכירות גבוהה יחסית בסוף השנה מנובמבר וערכי מוצקים מרחפים גבוהים כבר מאוגוסט. אלו כנראה ביטויים של פריחת אוכלוסיות אצות גבוהה יחסית בשנים האחרונות בתקופת הקיץ.

גופרית:

ערכי הסולפאט לאורך רב השנה באפילימיניון נמצאים במגמת עליה, מעל הממוצע הרב שנתי עבור כל חודש, החל משנת 2015. כמו כן, ההפרש משנה לשנה הולך ומחריף. עליה זו מייצגת כנראה את המאזן בין תרומה קבועה (או אף יורדת קלות) של סולפאט אל הכנרת, מצד אחד, אך, מצד שני, את הירידה המשמעותית בשאיבות מהכנרת מאז 2014. ערכי הסולפאט בהיפולימיניון עוקבים אחר המגמה הרב שנתי. ניתן לראות כי העליה של סולפיד ממאי ועד סוף השנה מלווה בירידה בסולפאט בשכבה זו. בניגוד לשנה הקודמת בה סולפיד הפסיק להצטבר באוקטובר ב-2018, מגמה זו ממשיכה עד לסוף השנה בדומה לממוצע הרב שנתי.







איור 18: ממוצעים חודשיים של ריכוזי הפרמטרים השונים בכנרת בשנת 2018 (קו אדום) בהשוואה לשנה הקודמת (2017, קו שחור מרוסק) ולממוצע הרב שנתי \pm סטיית תקן אחת של עשר השנים שלפניה (2007-2016 רקע אפור). הנתונים מוצגים בנפרד עבור שכבת המים העליונה (10-1 מ' עומק) והתחתונה (30-40 מ' עומק).

2.7 הערכת שפיעת המלח במעיין הברבוטים

גדעון טיבור, תמי זילברמן (מכון גאולוגי) ועמי נשרי

מטרת המדידות

המטרה המרכזית של ניטור מעין הברבוטים היא קביעת שטפי מים ומלחים מצינור הברבוטים לכינרת. בתוך כך יבוצע ניסיון לקביעת המנגנונים ששולטים בשפיעת נביעה זו.

רקע

ניטור ספיקת המים בצינור הברבוטים החל ב- 13 בדצמבר 2007 עם סנסור מסוג Aanddera שהוחלף בחודש מרץ 2011 בסנסור מסוג SonTeck. במקביל נערך ניטור כימי - איזוטופי של מים אלו שכלל קביעת ריכוזי כלוריד, מוליכות חשמלית, ניטרט והרכב האיזוטופי של חמצן (1.18 אנליזה של כלורידים וניטרט מבוצעת במעבדה לחקר הכנרת ואילו אנליזות לפרמטרים אחרים (יונים עיקריים והרכב איזוטופי) מבוצעות, לפי הצורך.

תוצאות ודין

בין ינואר למרץ 2018 ריכוזי הכלורידים בצינור הברבוטים עלו מ-1,040 עד 1,260 מ"ג/ליטר (איור 19) ונשארו בריכוזים כמעט קבועים של כ-1210 מ"ג/ליטר עד לתחילת עונת הגשמים של 2018, 2019, שבה אובחנה קפיצה בריכוז הכלוריד (ובמוליכות החשמלית). המוליכות החשמלית "עוקבת" אחרי ריכוז הכלוריד (איור 20) ובעונת הגשמים של 2019 היא עלתה מעל ל-5000 מיקרו-סימנס לס"מ. ריכוזי הניטראט (איור 21) נעו בין 0.28 עד 0.5 בחודשים ינואר עד אמצע ספטמבר ואז עלו לערך של 0.8 מ"ג/ליטר.

המגמות ארוכות הטווח (ינואר 2009 עד מרץ 2019, (איורים 19-21) מצביעות על ירידה התחלתית (בין 2009 ל- קיץ 2011) בריכוז הכלוריד (ובמוליכות החשמלית) ולאחר מכן תקופה של כשנתיים (עד שלהי 2013) ריכוזים נמוכים במיוחד של בערך 900 מ"ג/ל. החל בסוף 2013 חלה קפיצת מדרגה בריכוז הכלוריד (והמוליכות החשמלית) והתייצבות על רמה של בערך 1400 מ"ג/ל (ו-4600 מיקרו-סימנס לס"מ במוליכות). בסוף תקופה זו נפל ריכוז הכלוריד שוב לרמה של כמעט 900 מ"ג/ל ורק בתחילת 2017 החלה עליה מתונה בריכוזו.

ככלל, בפרופיל המליחות (כלוריד ומוליכות חשמלית) מעבר למגמות הרב-שנתיות, מובחנות תקופות קצרות יחסית (עיגולים צהובים באיור הכלוריד) שבהן המליחות "קופצת" מעלה ונוחתת לאחר מכן לרמה הממוצעת הקודמת. ה"קפיצות" בריכוז המליחות מתחוללות בדרך כלל בסוף ינואר כתוצאה מגשמים. יתכן שזהו המפתח להבנה של המנגנון ההידראולי שמאפשר הגברת המליחות עם עליה במשקעים. תופעה דומה ניתן לצפות בנביעות החופיות של פוליה וזהו למעשה הבסיס למחשבה שעומד הידראולי אקויפרי גבוה תורם לשטיפות של האקויפר ממלחים.

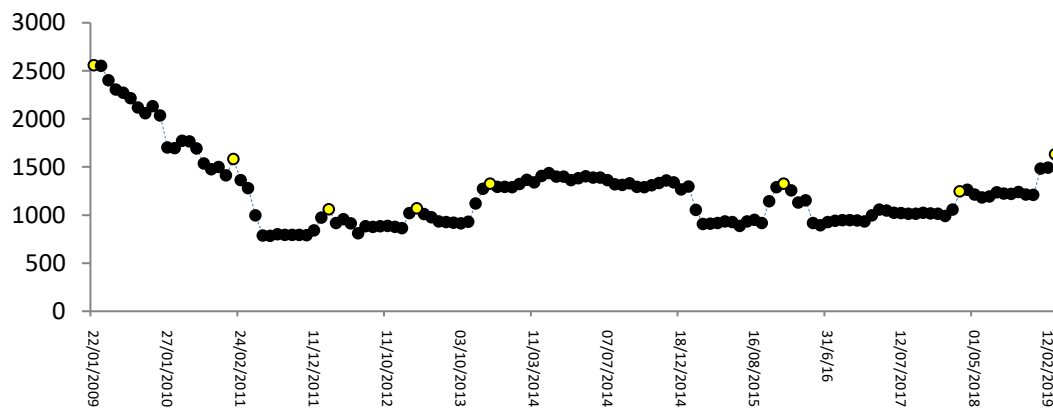
תופעה זו מנוגדת למעינות טבחה היבשתיים שבהן חורף גשום ממלא את האקויפר האוקני (כנראה) ומביא בעקבותיו ירידה במליחות של הנביעות. אלון רימר ז"ל הסביר את ההבדל בכך שהעומד ההידראולי בקבוצת פוליה ובברבוטים מוכתב ע"י מפלס הכינרת ואילו בקבוצת טבחה היבשתיית העומד שונה ותלוי באקויפר המקומי.

בריכוז הניטרט בברבוטים מובחנת ירידה רב-שנתית (איור 21). לדעתנו ירידה זו נובעת מ"השתתפות" הולכת ופוחתת של האקוויפר שמכיל ניטרט בריכוזים גבוהים (כנראה האאוקן או החלק העליון של הקנומן) בתרומה למי הנביעה. גשם שמחלחל דרך הקרקע למי התהום הוא קרוב לוודאי הספק המרכזי של הניטרט. לסיכום, אנחנו מציעים שהעליות החורפיות קצרות המועד במליחות הברבוטים נובעות מכך שהוא מקבל מים מכל סדרת האקויפרים המקומית, כולל:

- הקנומן התחתון שבו כנראה ריכוזי מליחות גבוהים יחסית שבאים מלמטה מהקרתיקון.
- קנומן עליון עם ריכוזי מליחות קטנים יחסית.
- אאוקן עם ריכוזי מליחות נמוכים במיוחד ועם ריכוזי ניטרט גבוהים במיוחד המגיעים מהקרקעות שמעל, ייתכן שריכוזים אלו נובעים מכך שזהו אקוויפר שמתאפיין בתנאים מחמצנים ולא מאפשר חיזור קל של הניטרט.

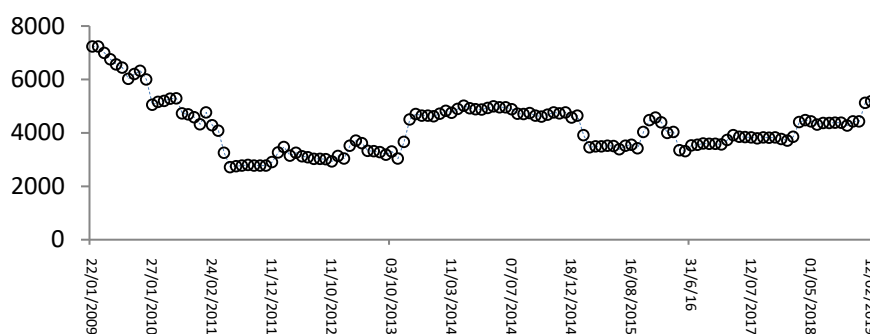
בשנים האחרונות חלה כנראה ירידה בעומד ההידראולי של האקויפרים המזינים וזאת נובע מצירוף של מיעוט גשמים ומשאיבות באמצעות קידוחים ממערב לכנרת. הנמכה זו התבטאה בפחיתה בעוצמת השטיפה דרך האקוויפר התחתון, היחסית מלוח, ובמבט רב-שנתי, ריכוזי הכלוריד בנביעת הברבוטים פחתו ממליחות של כ-2500 מג"ל בשנת 2008 עד לכ-1000 מג"ל בהווה. יחד עם זה, חורפים שטפוניים מגדילים באופן זמני את השטיפה וגורמים לפולסים קצרי מועד של המליחות.

Chloride concentration in Barbutim (mg/l)
between Jan 2009 and Mar 2019



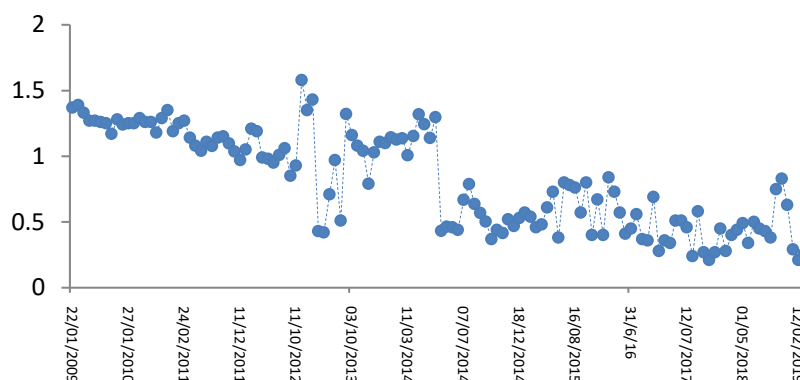
איור 19: ריכוז כלוריד בברבוטים (במ"ל)

Conductivity level in Barbutim ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
between Jan 2009 and Mar 2019



איור 20: מוליכות חשמלית בברבוטים (מיקרוסימנס לס"מ).

Nitrate concentration in Barbutim (mg/l)
between Jan 2009 and Mar 2019



איור 21: ריכוזי ניטרט (מיליגרם חנקל לליטר) בברבוטים

תכנית להמשך הניטור בשנת 2019

המשך דגימות מים חודשיות מקרקעית הצינור וביצוע אנליזות של מליחות, ספיקות, כלורידים וניטראטים.

2.8 קצבי סדימנטציה

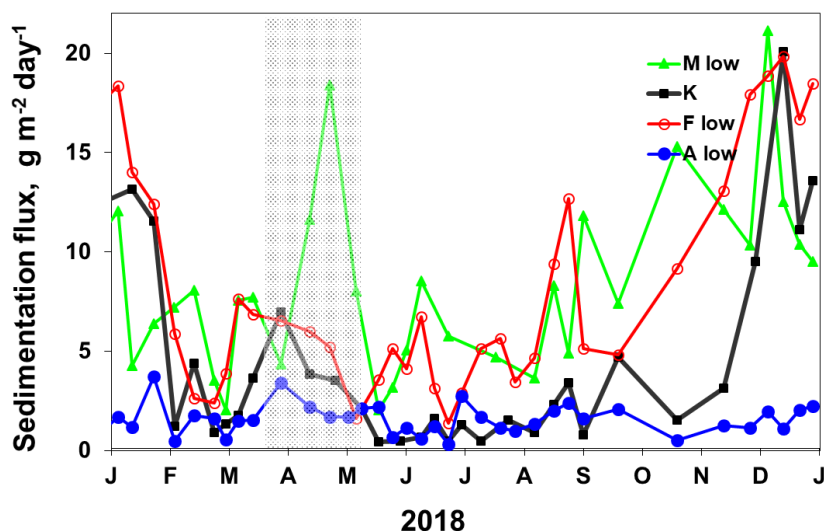
איליה אוסטרובסקי וניר קורן

קצבי סדימנטציה נבדקו ב- 4 תחנות: A, F, M, ו-K. המלכודות הסטנדרטיות מורכבות מ- 4 צינורות (8 בתחנה A) (קוטר - 5 ס"מ, אורך - 50 ס"מ). בתחנות A ו-F מוקמו המלכודות 2.5 מ' מעל הקרקעית, בעוד שבתחנות M ו-K המלכודת מוקמו 1.5 מ' מעל הקרקעית. חומר שוקע נאסף אחת לשבוע עד שבועיים. דוגמאות (בדופליקטים) של סדימנט מצטבר סוננו על גבי פילטר GF/F. תכולת חומר יבש נקבעה על ידי שקילת הדוגמאות לאחר חימום ב- 80°C למשך 4 ש'. קצבי הסדימנטציה השנתיים בתחנות השונות חושבו כמוצעים משוקללים של תאריכי הדיגום השונים. בנוסף, החומר שנאסף בתחנה A סורכז, יובש בהקפאה ונשמר עבור אנליזות עתידיות של ריכוזי נוטריינטים בחלקיקים. בכל חודשי החורף (התקופה ההולומיקטית)

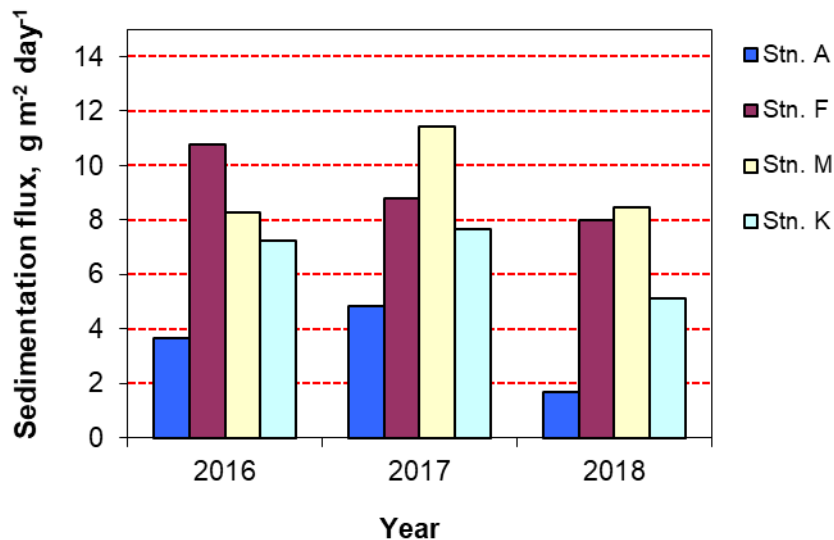
בתחנות F, M ו-K היו קצבי הסדימנטציה גבוהים באופן ניכר מאלו שנמדדו בקיץ ובסתיו (איור 22). במהלך תקופת שקיעת הקלציט (סוף מרץ עד תחילת מאי) היו קצבי הסדימנטציה בתחנות השונות מעט גבוהים מאשר בחודשי הקיץ. עליה קלה זו בקצב הייתה פחות מובהקת מאשר בשנים הקודמות. בקיץ ובסתיו, בתחנות הפריפריאליות F ו-M, היו קצבי הסדימנטציה גבוהים מאלו שבתחנות A ו-K. ראוי לציין שממאי עד ספטמבר קצבי הסדימנטציה בתחנה K היו דומים לאלו שבמרכז האגם (תחנה A), בעוד שבדצמבר היו קצבי הסדימנטציה בתחנה K דומים לאלו של תחנות F ו-M. העלייה הסתווית הגדולה ביותר של קצבי הסדימנטציה בתחנה F הפריפריאלית התרחשה מאמצע ספטמבר עד תחילת דצמבר, בעוד שבתחנה K התרחשה עליה מהירה מאוחר יותר- בין המחצית השנייה של נובמבר ועד לתחילת דצמבר. תופעה זו נגרמה עקב ההעמקה המהירה של התרמוקלינה, אשר גרמה לרהסוספנסיה של סדימנטים טריים. סדימנטים אלו הצטברו בהיפולימניון בקרבת מיקומי המלכודות הפריפריאליות בחודשי הקיץ. ההבדל שבין תחנות F ו-K, הממוקמות בעומקים דומים, עשוי להיות קשור בהבדל שבין תנועות המים בקרבת הקרקעית בין החלק הדרומי (K) והצפוני (F) של האגם, אשר מחייב מחקר מפורט.

ב - 2018 קצבי הסדימנטציה הממוצעים בתחנות A, F, M, ו-K היו 1.7, 8.0, 8.5 ו-5.1 גרם חומר יבש/מ"ר/יום, בהתאמה (איור 23). בשנים 1999-2017 קצבי הסדימנטציה הממוצעים בתחנות A, F, ו-M היו 0.2 ± 3.2 , 0.6 ± 9.5 ו- 1.2 ± 12.8 גרם חומר יבש/מ"ר/יום, בהתאמה.

ב - 2018 היו קצבי הסדימנטציה בכל התחנות נמוכים באופן ניכר בהשוואה לממוצעים הרב שנתיים שלהם, תופעה אשר עשויה להעיד על שינויים בתכונות החומר השוקע (לדוגמא – יותר אורגניזמים פלנקטוניים השוקעים לאט יותר, כמו גם מחזור יעיל יותר של החומר החלקיקי באפילימניון ב-2018 בהשוואה לשנים הקודמות. שינויים אלה גם מעידים על כך שמפלס האגם הנמוך במהלך השנים האחרונות גרם ל"ניקוי" האזורים הרדודים מחלקיקים קלים המורחפים מחדש בקלות, ואשר הושקעו מחדש באזורים העמוקים יותר של האגם.



איור 22: דינמיקה עונתית של קצבי הסדימנטציה בתחנות השונות ב-2018. תקופת השקעת CaCO₃ באפריל והחצי הראשון של מאי מודגשת.



איור 23: קצבי סדימנטציה ממוצעים בתחנות השונות ב- 2018 – 2016

2.9 פחמן אורגני ואנאורגני מומס וחלקיקי

ורנר אקרט ובני סולימני

הקדמה

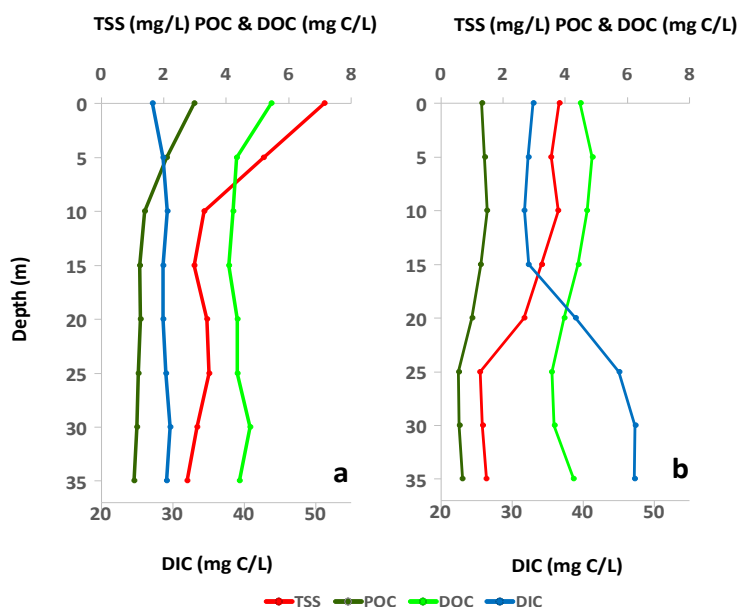
במסגרת הניטור מדדנו את ריכוזי הפחמן המומס בעמודת המים של הכנרת ב-8 עומקים, וזאת במקביל למדידה של החומר החלקיקי באותם העומקים. הדיגום בוצע במקום העמוק באגם, בתחנת הדיגום השגרתי (תחנה A). החומר החלקיקי נאסף ע"ג פילטר סיבי זכוכית (GF/F), בעל קוטר נקב ממוצע של 0.7 מיקרון ואילו התסנין של דוגמאות אלו שימש לקביעת ריכוז הפחמן האורגני (DOC) והאי-אורגני המומס במים (DIC). המדידה בוצעה באמצעות מכשיר של חברת SHIMADZU המודד את ערכי הפחמן ע"י חיישן אינפרא אדום.

השתמשנו בפילטרים שקולים ושרופים מראש על מנת לקבוע את סך כמות המוצקים המרחפים (TSS) לאחר ייבוש ב-110°C למשך הלילה, ולשם קביעת תכולת החומר האורגני על בסיס אובדן משקל לאחר 4 שעות שריפה ב-540°C. על פי חישוב זה כמות הפחמן האורגני החלקיקי (POC) תואמת למחצית החומר השרוף.

תוצאות 2018

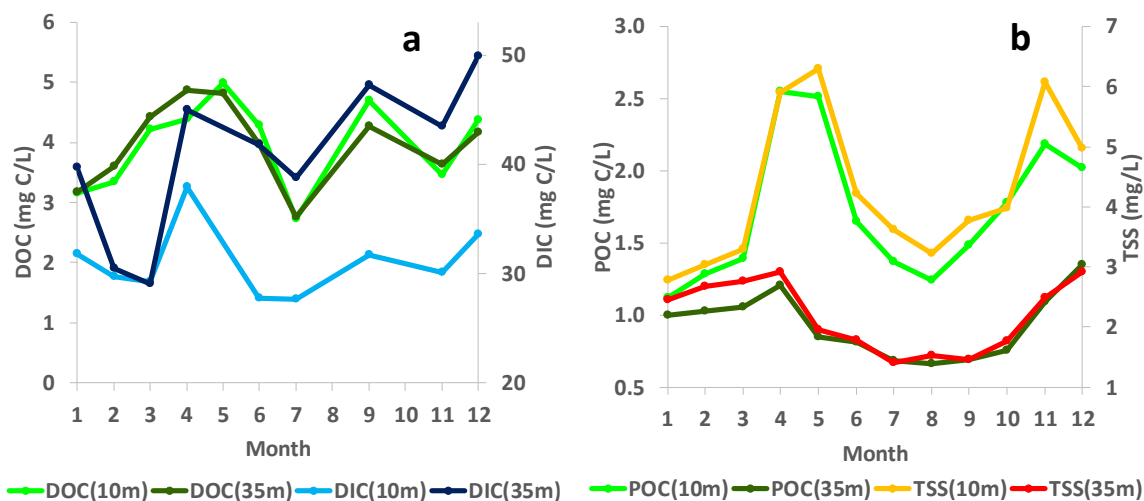
במהלך 2018, ריכוזי הפחמן האורגני המומס בעמודת המים של הכנרת היו 3.88 ± 0.76 מג"ל וגבוהים ב-0.5 מג"ל מאלו של 2017. כמו בשנים קודמות, הפיזור האנכי של הפחמן האורגני המומס היה אחיד כפי שניתן לראות מהממוצעים החודשיים של מרץ וספטמבר (איור 24). כפי שדווח בעבר, ניתן לראות הבדלים עונתיים בין הקיץ לחורף, בפרופילים של ריכוז הפחמן האנאורגני המומס, כאשר הריכוזים בהיפולימניון עלו, במהלך תקופת השיכוב הטרמי, מ-30 מג"ל ל-48 מג"ל כתוצאה מתהליכי שקיעה, המסה ומינרליזציה של חומר חלקיקי. תוצאות אלו נתמכות גם בערכים

גבוהים יחסית של כלל המוצקים המרחפים (TSS) בחודשי האביב לעומת הסתיו. הריכוזים הגבוהים ביותר של TSS היו בחלקו העליון של האפילימניון בתקופת האביב ועמדו על כ-7 מג"ל ועם הירידה בעומק חלה ירידה בריכוז עד לערך של 3 מג"ל. באוקטובר ערכי ה TSS היו בסביבות 4 מג"ל בפני המים ו-2 מג"ל בקרבת הקרקעית. בדומה לTSS גם ריכוזי הפחמן האורגני החלקיקי (POC) הראו מגמה דומה והערכים שנמדדו היו במוצע 40.6% מריכוז ה TSS.



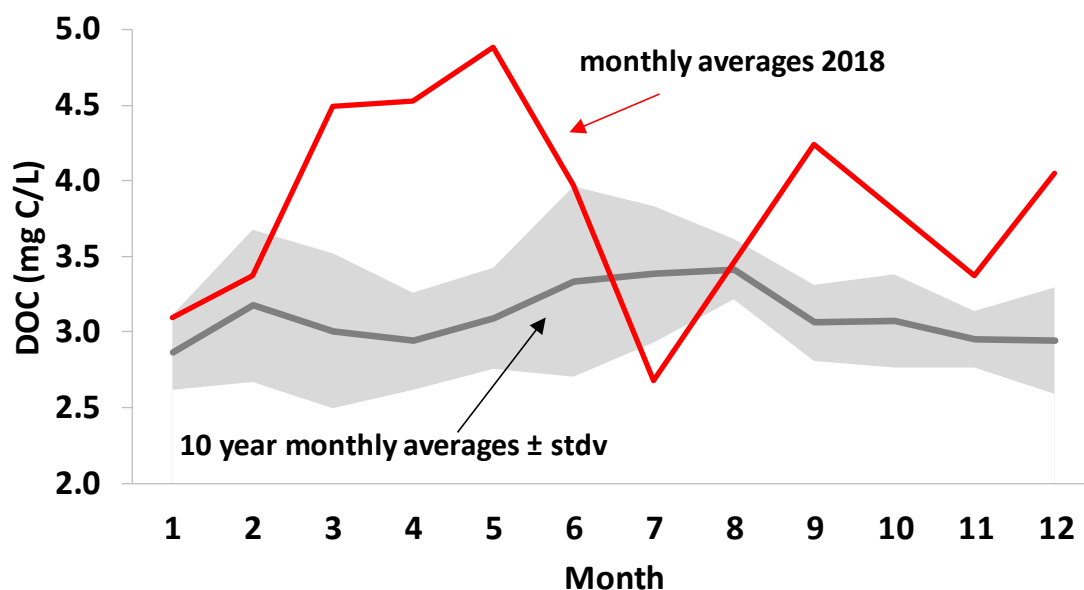
איור 24: ממוצעים חודשיים של DIC, TSS, POC, ו-DOC בעמודת המים של הכינרת שנמדדו: במרץ (a) ובספטמבר 2018 (b).

הפרופילים של פחמן אורגני מומס (DOC) בעמודת המים לא הראו הבדלים משמעותיים במהלך השנה כפי שניתן לראות מהתוצאות של שינויי הריכוזים כפונקציה של הזמן בעומקים 10 ו-35 מטר (איור 25a). ריכוז DOC מרבי של 5 מג"ל פחמן נמדד באפריל בעוד שבשאר חודשי השנה הריכוזים נעו בין 4.5 ל 3 מג"ל (איור 25a). ההבדלים בריכוזי הפחמן האנאורגאני המומס (DIC) לאורך עמודת המים החלו באפריל כאשר הממוצעים החודשיים בעומק 10 מטר החלו לדעוך לעומת אלו שב - 35 מטר. ריכוז ה DIC בעומק 35 מטר עלה מ - 30 מג"ל פחמן באפריל ל - 50 בדצמבר. השינויים בריכוזי ה TSS וה POC (איור 25b) באפילימניון ובהיפולימניון הראו מגמות דומות במהלך השנה. הריכוזים האפילימנטיים הגיעו לשיא בשני מועדים, אפריל-מאי ונובמבר, כאשר ערכי ה TSS היו 6 מג"ל וה POC 2.7 מג"ל. הריכוזים בהיפולימניון הראו מגמות דומות והערכים היו בין 0.3 ל 1.7 מג"ל POC ו 1-3 מג"ל עבור TSS.



איור 25: שינוי עונתי בממוצעים חודשיים של במהלך 2018 בעומקים 10 ו-35 מטר.
(a) DOC and DIC and (b) POC and TSS.

שלא כמו בשנים קודמות, בשנת 2018 הממוצעים החודשיים של ריכוזי ה-DOC בעמודת המים של הכנרת היו שונים באופן מובהק מהממוצע הרב שנתי (איור 26) במיוחד בתקופה מרץ-מאי, כאשר הריכוזים היו כ-2 מג"ל מעל הממוצע הרב שנתי.



איור 26: ממוצעים חודשיים של ריכוזי פחמן אורגני מומס בעמודת המים במרכז האגם במהלך שנת 2018 בהשוואה לערכי הממוצעים הרב שנתיים.

ירון בארי-שליון, אדית ליבוביץ, ניר קורן

הקדמה

מתחילת שנת 2013 עברנו למתכונת ניטור שגרתי של הזרחן באבק במסגרת מערך הניטור של האגם ומפברואר 2014 נוספה גם תחנה קבועה במזרח הכנרת (בכינר). על כן זו השנה החמישית בה קיימות שתי תחנות ניטור זרחן באבק סביב הכנרת.

דיגום האבק מבוצע ע"י הצבת 4 דליים מלאים במים מזוקקים מורעלים בסודיום אזיד על גג המעבדה לחקר הכנרת (תחנת טבחה) וכן עוד 2 דליים בחוף כינר (תחנת כינר) במזרח האגם. נפח הדלי המלא הוא כ- 18 ליטר ושטח הפנים העליון שלו 650 סמ"ר. הדליים נדגמים למדידת זרחן מומס אחת לשבוע לערך ומים מזוקקים לקיזוז הפסדי אידוי מוספים בהתאם לעונה ולצורך.

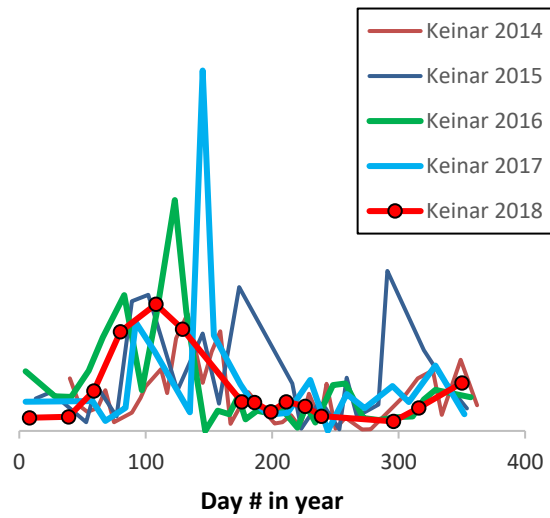
תוצאות ודין

בתחנת טבחה ניתן להבחין בשתי תקופות עיקריות של שטפי זרחן באבק (איורים 27 ו- 28): אביב עם שטפים גדולים יחסית וקיץ-סתיו-חורף עם שטפים נמוכים יותר. תקופת האביב (אל תוך תחילת הקיץ) מאופיינת לא רק בשטפים גדולים יחסית אלא גם בתנודתיות רבה והיא נעה בין ערכים של כ- 50 עד כמה מאות ק"ג זרחן מומס זמין לאגם ליום. השוואה בין שנת 2018 לשנים הקודמות (איור 27) מראה כי למרות השינויים בגודל השטפים בתקופת האביב הרי שמגמת החלוקה העיקרית נשארת וכך גם ערכי השטפים בקיץ (סדר גודל של 50 ק"ג זרחן מומס מגיב לאגם ליום). יחד עם זאת, בשנת 2018 דווקא החורף מאופיין בתנודתיות ובשטף גדול (כמה מאות ק"ג זרחן מומס זמין בפברואר). סך השטף השנתי ל- 2018 ממדידות בתחנת טבחה היה כ- 34.5 טון, כ-35% יותר משנת 2017. השטפים השנתיים בטבחה בשנים 2014-2017 נעו בין 20.6 ל 25.6 טון. ערכי השטף של שנת 2018 היו דומים יותר לערכי השטף בשנת 2013 שבה השטף השנתי היה מעל 31.9 טון.

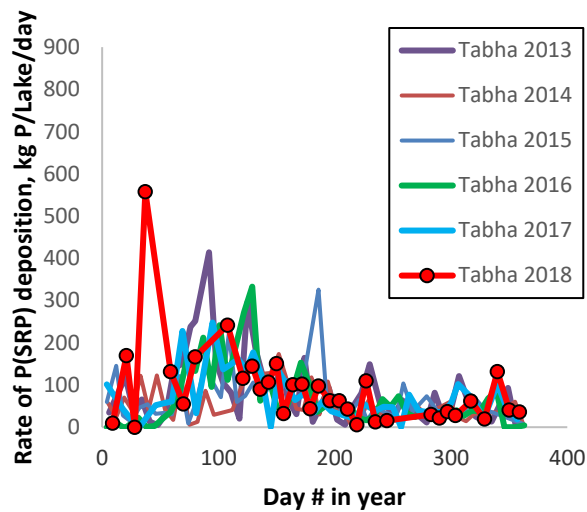
תחנת כינר גם מאופיינת בשונות רב שנתית רבה. בין 2014 ל- 2018 השטפים בתחנה זו נעו בין 28.6 ל-44.3 טון לשנה עם ממוצע רב שנתי של 37.1 ± 5.3 טון לשנה. בחינת התוצאות של תחנת כינר אל מול תחנת טבחה (איורים 27 ו- 28) מראה כי בניגוד לשנים קודמות, תבנית שטפי הזרחן כמו גם השטף העונתי במזרח ובמערב האגם היו דומים, זאת להוציא את הקפיצה הגדולה בשטף בתחנת טבחה בפברואר 2018. סך השטף השנתי בתחנת כינר ב- 2018 עמד על כ- 34.6 טון דומה מאד לסך השטף השנתי שנמדד בטבחה. השוני בשטף הזרחן בין שתי התחנות בשנים קודמות הוסבר בשינויים עונתיים במשטר רוחות ולתרומה שונה של זרחן מומס מאבק ממזרח וממערב לאגם (או מכיוונים אחרים כגון צפון) לאורך השנה. ב- 2018 השפעות כאלו היו כנראה מועטות יותר. התנודתיות המועטה יותר באיור 28 עבור תחנת כינר לעומת טבחה ב- 2018 נובעת בין היתר ממיעוט דיגומים בתחנה זו במשך השנה כתוצאה מאילוצים טכניים. יחד עם זאת, הדמיון במגמות העונתיות (למעט פברואר) ובסך השנתי בין שתי התחנות השנה בולט. המשך מעקב בשתי התחנות חשוב לכימות תרומות אלו למאזן העונתי והשנתי אל האגם עצמו.

בחינה של תרומת האבק לזרחן מומס זמין לכנרת מראה כי שטפים בסדר גודל של 6-9 טון בתקופת הקיץ (2 עד 3 טון לחודש), הינה כמות משמעותית לאגם, שכן בתקופה זו שטפים ממקורות אחרים נמוכה מאד. תצפיות אלו לאורך השנים האחרונות מראות כי לאבק תרומה חשובה ועיקרית למאזן

הזרחן באגם בקיץ אך כנראה (לפחות לאורך 5 שנות הבצורת האחרונות) גם בשאר השנה (ראה פרק 2.3 מאזני חנקן, זרחן ופחמן בכנרת).

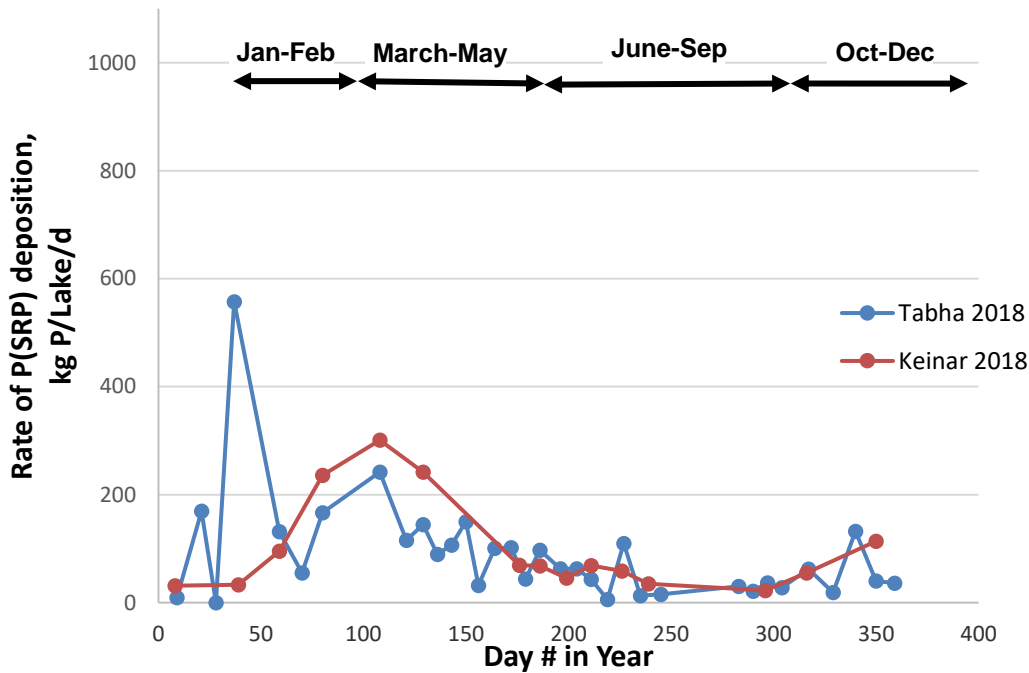


SRP in dust fluxes 2013 - 2018



איור 27: השוואת שטפי זרחן מומס עבור השנים 2013-2018 בתחנות טבחה (גג המעבדה לחקר הכנרת) והשנים 2014-2018 בתחנת כינר.

SRP in dust flux 2018 Tabha vs. Keinar



איור 28: שטפי זרחן מומס בכנרת כפי שנמדדו בתחנות טבחה: (קו כחול) וכינר (קו אדום) בשנת 2018.

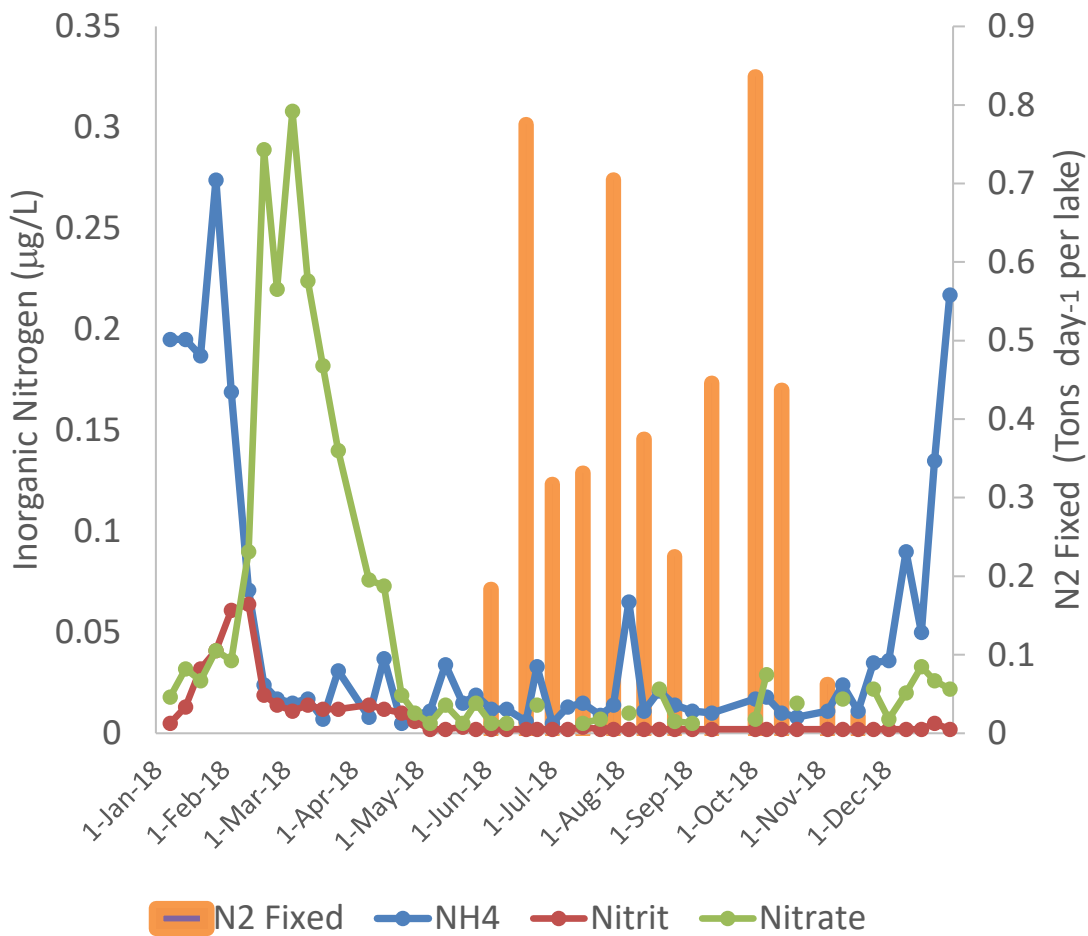
2.11 קיבוע חנקן

שירה ניניו, ריקי פנקס, נחמה מלינסקי רושנסקי

קיימים מספר תהליכים התורמים לכניסה ויציאה של חנקן מהמערכת האקולוגית של הכינרת ומשפיעים על מאזן החנקן באגם. אחד מתהליכים אלו הינו תהליך ביולוגי של קיבוע חנקן אטמוספרי המתרחש בחודשי הקיץ אז ניתן לצפות בפריחות של ציאנובקטריה מקבעות חנקן כמו אפניזומנון וצילינדרוספרמופסיס המתרכזות באזור הפוטי. ללא מדידה אמינה של רכיב קיבוע החנקן במאזן האגמי, תחזיות ומאזנים עונתיים ושנתיים לוקים בהערכה חסרה. לפיכך יש חשיבות רבה לבחון את התרומה היחסית של קיבוע החנקן במאזנים העונתיים במדידות סדירות של קיבוע חנקן בכנרת. בדיקות של פוטנציאל קיבוע החנקן במי כנרת שהודגרו בעומקים שונים *in situ* החלו בקיץ של שנת 2001 ומאז מהווים חלק מהניטור באגם בקיץ ובסתיו. המדידה מסתמכת על פעילות האנזים ניטרוגנאז המצוי בתאים מיוחדים הקרויים הטרוציסטים, והאחראי על קיבוע החנקן האטמוספרי. המעקב במעבדה נעשה ע"י תהליך חיזור גז האצטילן לאתילן ע"י הניטרוגנאז, ומדידת שעורי האתילן הנוצרים על ידי כרומטוגרף גזים. מצאנו שקיבוע החנקן תלוי באנרגיית אור, עולה עם הזמן, מעוכב על ידי אמוניה ומתרחש רק באור.

קיימת תלות בין הפריחות של ציאנובקטריה מקבעות חנקן באגם לבין ההרכב הכימי של עמודת המים. עונת הקיבוע מתחילה באופן טיפוסי בחודש יוני כאשר אוגר הניטראט באגם מגיע לערכים נמוכים מאוד כתוצאה מתהליכי דניטריפיקציה המתרחשים בחורף ובאביב. הקיבוע מפסיק כאשר מגיע לאפילימניון חנקן מקובע מאגן ההיקוות או משכבת ההיפולימניון. גם בשנת 2018 נצפתה

תלות זו ואף יתכן שעונת הקיבוע התחילה לפני המדידה הראשונה, עוד בחודש מאי, כיוון שריכוזי הניטראט ירדו אז לערכים נמוכים מאוד (איור 29).



איור 29: קיבוע חנקן (טון ליום לאגם) וריכוזי חנקן איאורגני מסיס ב- 5 מ' (מיליגרם לליטר) ב 2018.

ב - 2018 נמדדו ערכי קיבוע חנקן גבוהים מהמוצע (טבלה 3). מדידת הקיבוע החלה בחודש יוני, והקיבוע נמשך עד נובמבר כשסה"כ קיבוע החנקן לשנת 2018 הסתכם ב 70.66 טון לאגם, בהשוואה ל - 94.53 בשנת 2017, ו - 51.22 טון בשנת 2016 (טבלה 3). מדידת הקיבוע החלה בראשית חודש יוני עם העלייה במספר הפילמנטים של הכחוליות מקבעות החנקן. באותה תקופה גם ירד באופן משמעותי ריכוז הניטראט באגם (איור 29) מערכי חורף-אביב גבוהים לערכים נמוכים מאוד של 0.005 מ'ג לליטר. ריכוז החנקן הנמוך נתן יתרון לכחוליות מקבעות חנקן, ואפשר תנאים פיזיולוגיים המעודדים קיבוע. במהלך עונת הקיבוע נמדדו מספר שיאים של קיבוע עם ערכים קרובים ל- 0.8 טון לאגם ליום, בחודשים יוני, יולי ואוקטובר. עונת הקיבוע נסתיימה בנובמבר עם העלייה בערכי האמוניה באגם, והקיבוע שנמדד באמצע נובמבר כבר היה אפסי. לסיכום, ערכי הניטראט והאמוניה תחמו ב - 2018 את עונת הקיבוע, מה שמצביע על הקשר הישיר בין ההרכב הכימי של עמודת המים לבין תהליכי קיבוע החנקן באגם (איור 29).

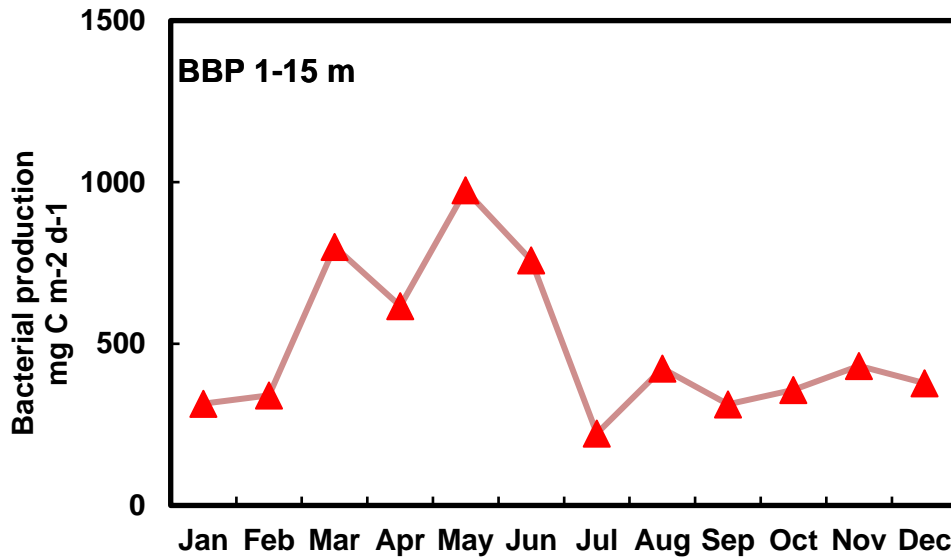
Year	N2 Fixed, tons per lake
2001	97.5
2002	12.5
2003	0.5
2004	83.4
2005	123.0
2006	35.1
2007	1.6
2008	59.0
2009	81.1
2010	21.0
2011	6.9
2012	79.0
2013	5.3
2014	50.5
2015	78.3
2016	51.2
2017	94.5
2018	70.7

2.12 ייצור שניוני חיידקי

שירה נינו, נחמה מלינסקי רושנסקי

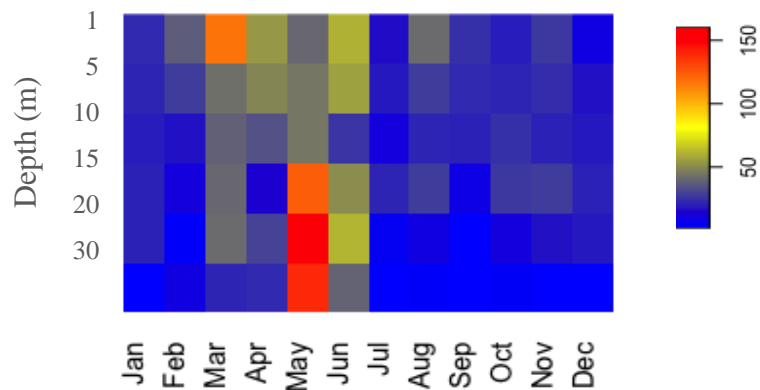
חיידקים הטרוטרופיים הם מרכיב חשוב במארג המזון, עם תפקיד מרכזי בפירוק חומר אורגני ומיחזור נוטריינטים. החיידקים מגיבים מהר לשינויים באגם כולל פריחות של אצות או עליה אחרת בביומסה. התחקות אחר פעילות חיידקית מאפשרת קבלת תמונה של פיזור תהליך הפירוק של חומר אורגני באגם במרחב ובזמן. הייצור החיידקי (Bacterial Biomass Production (BBP נמדד על ידי מעקב אחר קליטת החומצה האמינית לאוצין המסומנת רדיואקטיבית. ניטור של ייצור שניוני של חיידקים (ב-6 עומקים בתחנה A) החל ב-2001 ונמשך ב-2018 בתדירות של פעם בחודש. מעקב שגרתי אחר פרמטר זה חשוב בכדי לגלות שינויים בתפקוד הלולאה המיקרוביאלית בפרט, והמערכת האקולוגית של האגם בכלל.

הייצור החיידקי שנמדד ב- 2018 היה דומה לזה שנמדד בשנים האחרונות. בחודשים מרץ עד מאי נרשמו ערכי שיא שנתיים עם קצבי קיבוע של 800 מג' פחמן למ"ר ליום בחודש מרץ, 617 מג' פחמן למ"ר ליום באפריל ו- 975 מג' פחמן למ"ר ליום במאי (איור 30). הנתונים מצביעים על פעילות חיידקית מוגברת בחודשים אלה, וישנה סבירות שהפעילות המוגברת קשורה לפירוק חומר אורגני במהלך ולאחר הפריחה של האצה הכחולית מיקרוציסטיס שתרמה לעליה משמעותית בריכוז הביומסה באגם בחודשים פברואר ומרץ.



איור 30: ייצור חיידקי (PBB) בעמודת המים האפילימנטית ב 2018 לפי חודש (מג' פחמן/מ"ר/יום). הערכים מייצגים אינטגרציה של ערכי הייצרנות שנמדדו לאורך עמודת המים בעומקים 1-15 מטר.

בתקופה בה נמדדה פעילות חיידקית מוגברת השתנה בהדרגה המיקום האנכי של הפעילות, כשבתחילת התקופה התרכזה הפעילות בפני השטח ולקראת סוף התקופה נמדדה רוב הפעילות בשכבה עמוקה יותר (איור 31).



איור 31: מפת חום המייצגת את הפיזור האנכי של הייצרנות החיידקית בעמודת המים מ-1-30 מ' בשנת 2018. הגוון מייצג את קצב הייצרנות שנמדד ביחידות מג' פחמן/מ"ר/יום, על פי הסרגל שמימין.

2.13 חיידקים אינדיקטורים לזיהום צואתי

שירה ניניו, ריקי פנקס, נחמה מלינסקי רושנסקי

במסגרת הניטור השגרתי נבחנו סמנים (אינדיקטורים) חיידקים לזיהום צואתי המצביעים על זיהום בקטריאלי של מי האגם. חיידקים מזהמים יכולים להגיע לאגם כתוצאה ממספר גורמים שונים, ביניהם פעילות של בעלי חיים באזור אגן ההיקוות, עבודות בניה או כשל של קו ביוב. מעקב אחר חיידקים אינדיקטורים מאפשר להתחקות אחר כניסת מזהמים אל הכינרת ולאמוד את תזמון הזיהום, מקורו, פיזורו והאימפקט שלו על האגם כגוף מים טבעי וכמקור למי שתיה ונופש. לצורך ניטור זה נדגמים מים בתחנות ייעודיות אחת לחודש. מוצגות תוצאות הבדיקות ב - 14 אתרים סביב הכנרת (טבלאות 4-17) הכוללים:

- א. אתרי שאיבה
- ב. חופים מייצגים
- ג. אתרי כניסה של נחלים לכנרת

התוצאות ניתנות כמספר חיידקים ל-100 מל' מים. הבדיקות נעשו בשיטת ה- Membrane filter והחיידקים שנבדקו: קוליפורמים צואתיים (Fecal coliform), אשריכיה קולי (*Escherichia coli*) ואנטרוקוקי (Enterococci).

כמו בשנים קודמות, כך גם ב-2018 ניכר כי רוב הזיהום החיידקי מקורו מאגן ההיקוות. עם הגשמים הראשונים נשטף אגן ההיקוות וכשמתחילות זרימות חזקות בנחלים מגיע הזיהום החיידקי לכנרת, בעיקר לשפך הירדן. אכן נמצא שעיקר הזיהום החיידקי שנמדד השנה בכנרת היה בחודשי החורף ינואר ופברואר עם ערכים של 460 ו-730 חיידקי קוליפורמים צואתיים ל-100 מל' בנקודת הדיגום מול שפך הירדן (טבלה 4). נתונים אלה מצביעים גם השנה על אגן ההיקוות כמקור העיקרי לזיהום החיידקי בכינרת, אם כי בשל השטפים הנמוכים בנחלים, ברוב מדידות הזיהום החיידקי ב - 2018 נתקבלו ערכים נמוכים מאוד, ובאופן חריג, ובדומה למה שנצפה ב-2017, מדידות רבות הראו העדר מוחלט של חיידקים אינדיקטורים לצואה (טבלאות 4-17).

טבלאות (4-17): אינדיקטורים חיידקיים לזיהום צואתי (מס' ב 100 מל' מים) בתחנות שונות ב - 2018

	Fecal C.	E.Coli	Enteroc.
Jan.	430	260	520
Feb.	760	460	700
Mar.	25	5	13
Apr.	310	150	410
May.	14	3	6
Jun.	3	0	2
Jul.	16	2	0
Aug.	9	7	4
Sep.	54	13	9
Oct.	10	3	4
Nov.	9	3	2
Dec.	490	250	100

	Fecal C.	E.Coli	Enteroc.
Jan.	48	30	33
Feb.	23	22	11
Mar.	6	3	1
Apr.	5	3	0
May.	2	2	0
Jun.	9	1	5
Jul.	10	2	1
Aug.	4	1	0
Sep.	3	1	1
Oct.	35	21	8
Nov.	1	0	1
Dec.	6	0	13

	Fecal C.	E.Coli	Enteroc.
Jan.	29	25	19
Feb.	11	0	14
Mar.	4	1	0
Apr.	27	3	3
May.	6	0	6
Jun.	2	1	0
Jul.	4	2	1
Aug.	8	1	0
Sep.	5	0	2
Oct.	73	5	7
Nov.	34	5	12
Dec.	13	0	30

	Fecal C.	E.Coli	Enteroc.
Jan.	7	7	0
Feb.	12	3	5
Mar.	12	3	0
Apr.	3	1	1
May.	1	1	1
Jun.	2	2	3
Jul.	3	0	0
Aug.	4	0	5
Sep.	1	0	10
Oct.	3	1	1
Nov.	1	0	1
Dec.	2	2	1

	Fecal C.	E.Coli	Enteroc.
Jan.	6	2	4
Feb.	0	0	0
Mar.	3	1	2
Apr.	0	0	3
May.	0	0	0
Jun.	3	0	0
Jul.	2	0	0
Aug.	2	0	0
Sep.	0	0	0
Oct.	0	0	1
Nov.	16	8	6
Dec.	4	0	5

	Fecal C.	E.Coli	Enteroc.
Jan.	22	8	1
Feb.	6	2	0
Mar.	10	2	4
Apr.	10	4	0
May.	4	0	0
Jun.	7	3	2
Jul.	2	0	0
Aug.	10	7	3
Sep.	7	3	2
Oct.	35	4	3
Nov.	6	4	3
Dec.	8	2	17

	Fecal C.	E.Coli	Enteroc.
Jan.	31	22	43
Feb.	44	20	46
Mar.	14	6	6
Apr.	17	5	6
May.	1	0	2
Jun.	4	2	0
Jul.	2	0	0
Aug.	1	1	1
Sep.	5	0	2
Oct.	36	7	3
Nov.	10	4	5
Dec.	325	175	88

	Fecal C.	E.Coli	Enteroc.
Jan.	22	10	12
Feb.	6	2	4
Mar.	4	4	3
Apr.	10	3	14
May.	5	0	0
Jun.	13	6	4
Jul.	0	0	0
Aug.	3	2	1
Sep.	1	0	0
Oct.	11	5	2
Nov.	3	1	13
Dec.	16	1	7

	Fecal C.	E.Coli	Enteroc.
Jan.	240	124	120
Feb.	182	130	60
Mar.	22	14	21
Apr.	10	5	21
May.	11	1	3
Jun.	1	0	1
Jul.	1	1	0
Aug.	4	1	2
Sep.	18	6	0
Oct.	140	56	5
Nov.	2	2	2
Dec.	11	8	7

	Fecal C.	E.Coli	Enteroc.
Jan.	30	10	15
Feb.	36	34	50
Mar.	9	3	10
Apr.	53	40	62
May.	11	2	2
Jun.	6	2	2
Jul.	0	0	0
Aug.	6	2	2
Sep.	10	1	2
Oct.	4	1	2
Nov.	1	1	5
Dec.	12	5	10

	Fecal C.	E.Coli	Enteroc.
Jan.	13	8	4
Feb.	3	3	2
Mar.	2	2	2
Apr.	0	0	1
May.	0	0	0
Jun.	2	0	0
Jul.	0	0	0
Aug.	1	0	0
Sep.	0	0	0
Oct.	0	0	0
Nov.	12	3	4
Dec.	4	3	7

	Fecal C.	E.Coli	Enteroc.
Jan.	11	3	2
Feb.	17	7	4
Mar.	8	2	2
Apr.	0	0	0
May.	0	0	0
Jun.	1	0	0
Jul.	0	0	0
Aug.	0	0	0
Sep.	0	0	1
Oct.	0	0	0
Nov.	15	1	12
Dec.	7	0	7

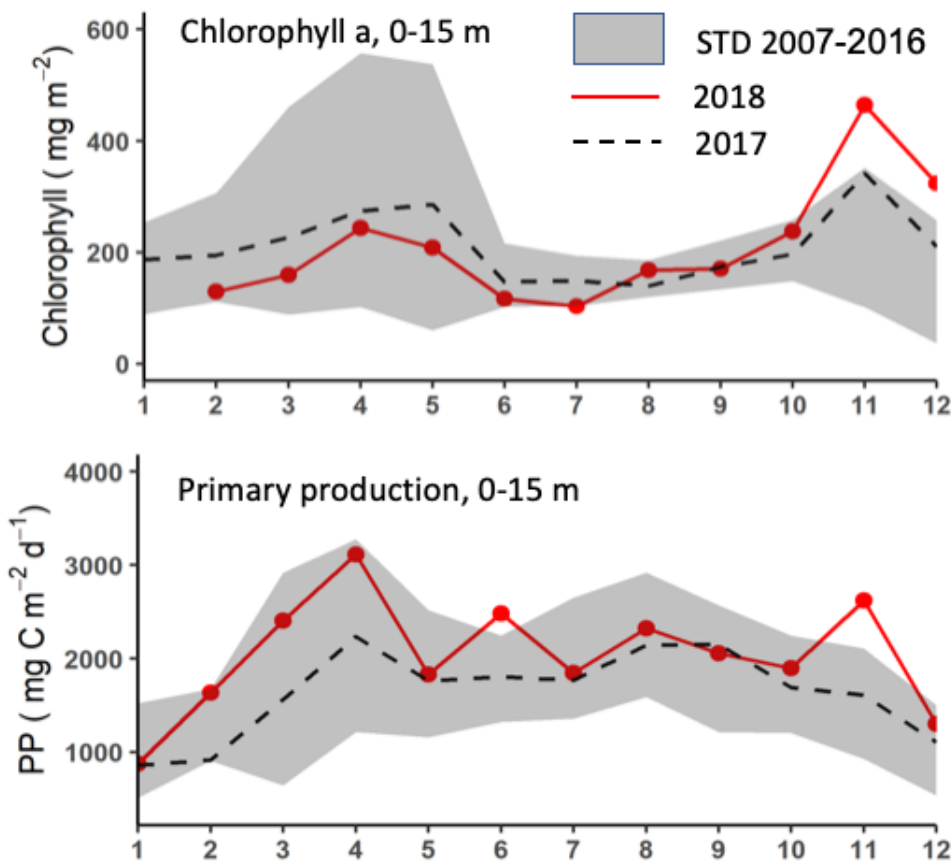
	Fecal C.	E.Coli	Enteroc.
Jan.	10	4	3
Feb.	8	4	1
Mar.	0	0	0
Apr.	0	0	0
May.	5	1	0
Jun.	1	0	0
Jul.	0	0	0
Aug.	1	0	0
Sep.	0	0	0
Oct.	12	2	2
Nov.	2	2	7
Dec.	7	0	7

	Fecal C.	E.Coli	Enteroc.
Jan.	11	1	3
Feb.	4	0	0
Mar.	4	1	2
Apr.	0	0	0
May.	0	0	0
Jun.	0	0	0
Jul.	0	0	0
Aug.	0	0	0
Sep.	0	0	0
Oct.	0	0	0
Nov.	2	2	2
Dec.	5	2	2

2.14 כלורופיל וייצור ראשוני

תמר זהרי ודייב קמינגס

שנת 2018, שנה שיטית ברצף ללא פריחת פרידיניום (איור 34, פרק 2.15) התאפיינה בריכוזי כלורופיל נמוכים מהמוצע במהלך רוב השנה, בעיקר בפברואר, יוני ויולי בהם הערכים היו בתחתית סטיית התקן של הערכים שנרשמו בעשור האחרון, אך גבוהים במיוחד, הרבה מעל תחום סטיות התקן, בנובמבר-דצמבר (איור 32), וזאת עקב פריחה לא שגרתית של האצה הירוקית *Staurastrum*. באפריל נרשם שיא כלורופיל אביבי מתון, נמוך יותר מהמוצע הרב שנתי אך דומה לשיא האביבי של 2015 ו-2017. באופן בולט, השיא האביבי השנה היה נמוך בהרבה מהשיא של נובמבר (איור 32). המהלך השנתי של הכלורופיל ב-2018 היה דומה לזה של שנת 2017 (איור 32), שגם בה נרשם שיא סתווי בנובמבר עקב פריחה של אותה אצה ירוקית. שיא כלורופיל בסוף השנה הוא תופעה לא שגרתית בכנרת, כמו המין שהיה אחראי לפריחה בשנתיים האחרונות. אך זהו מין שאיננו מייצר רעלנים ולכן עדיף על פריחה סתוית של כחוליות.



איור 32: המהלך השנתי של ריכוזי כלורופיל (למעלה) וייצור ראשוני (למטה) ב-2018 בהשוואה ל-2017 ולסטיות התקן סביב הממוצע לעשור 2007-2016. הערכים מוצגים ליחידת שטח, לאחר אינטגרציה לאורך 15 המ' העליונים של עמודת המים.

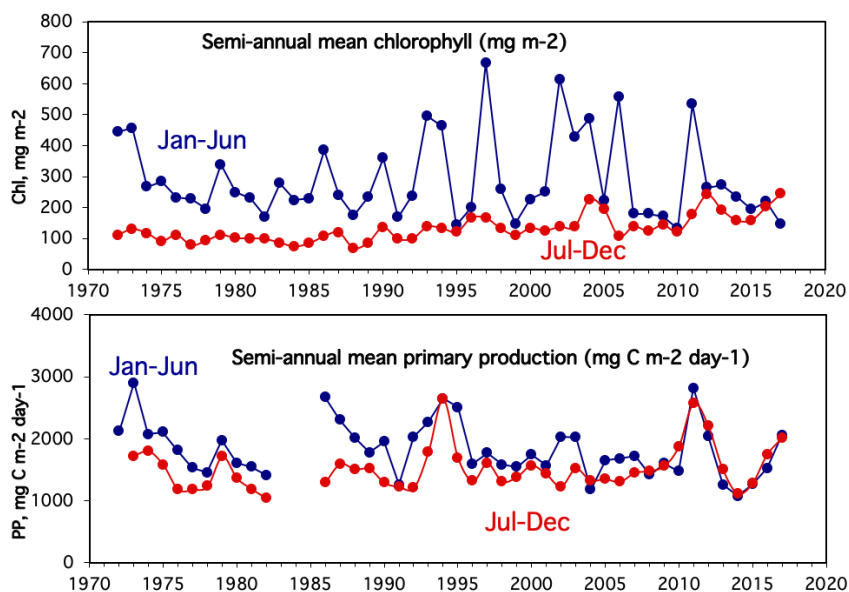
ריכוזי הכלורופיל ב-2018 היו נמוכים מאלו של 2017 בחצי הראשון של השנה וגבוהים מהם בחצי השני של השנה (טבלה 18, איור 32 למעלה). ביחס לממוצע הרב-שנתי, הריכוזים היו נמוכים בחורף (ללא פריחת פרידיניום) אך גבוהים בקיץ. ההבדלים המשמעותיים בין חורף (ערכים גבוהים) לקיץ (ערכים נמוכים), שכל כך אופייניים לשנות פרידיניום, לא קיימים בשנים ללא פרידיניום.

טבלה 18: ממוצעים (± סטיית תקן) חצי-שנתיים ושנתיים של ריכוזי כלורופיל וייצור ראשוני בכנרת: השוואה של 2018 עם 2017 ונתוני העשור שקדם, 2007-2016.

ייצור ראשוני, מג' פחמן/מ"ר/יממה			כלורופיל, מג' למ"ר			תקופה
2007-2016	2018	2017	2007-2016	2018	2017	
1635 ± 461	2058 ± 779	1525 ± 563	272 ± 40	196 ± 101	219 ± 53	ינו' - יונ'
1635 ± 499	2008 ± 450	1745 ± 433	156 ± 78	147 ± 56	202 ± 86	יול' - דצמ'
1635 ± 453	2033 ± 607	511±1635	214 ± 151	245 ± 116	69±211	ינו' - דצמ'

בניגוד לריכוזי הכלורופיל הנמוכים רוב השנה, קצבי הייצור ב-2018 היו גבוהים רוב השנה (איור 32), ובחלק מהחודשים היו בקצה העליון של טווח סטיות התקן לעשור 2007-2016 (פברואר עד אפריל), או אפילו מעל ומעבר לטווח זה (יוני, נובמבר). בלטה העובדה ששיא הפרודוקטיביות

באפריל היה השנה גבוה למרות ששיא הכלורופיל האביבי היה נמוך. ממאי ואילך הייצור הראשוני היה כמעט אחיד לאורך זמן, מלבד שיא בולט ולא שגרתי בנובמבר, בזמן פריחת הסטאורסטרום. כמו בשנים האחרונות בהן פרידיניום לא פרחה, גם ב-2018 הייצור הראשוני בחצי השני של השנה היה דומה לזה של החצי הראשון (טבלה 18), תופעה ששונה מאד מהדגם הרב שנתי של שנות ה-70 עד שנות ה-90, בהן ממוצע הייצור הראשוני לחודשים ינואר עד יוני היה תמיד גבוה יותר באופן משמעותי מאשר יולי עד דצמבר (איור 33). הבדל זה בין החצי הראשון לחצי השני של השנה היה בולט עוד יותר בריכוזי הכלורופיל. עד 2005 הריכוז הממוצע לינו'-יוני' היה תמיד גבוה יותר מאשר הממוצע ליולי'-דצמ'. משם ואילך יש שנים רבות בהן הריכוז הממוצע בחצי הראשון דומה מאד לזה של החצי השני. ב-2018 לראשונה חל היפוך וממוצע הכלורופיל של יולי'-דצמ' היה גבוה יותר (איור 33).



איור 33 : ממוצעים חצי שנתיים של ריכוז הכלורופיל (למעלה) והייצור הראשוני (למטה) בכל שנה, 1971-2018. כחול: ממוצעים לינואר עד יוני, אדום: יולי עד דצמבר.

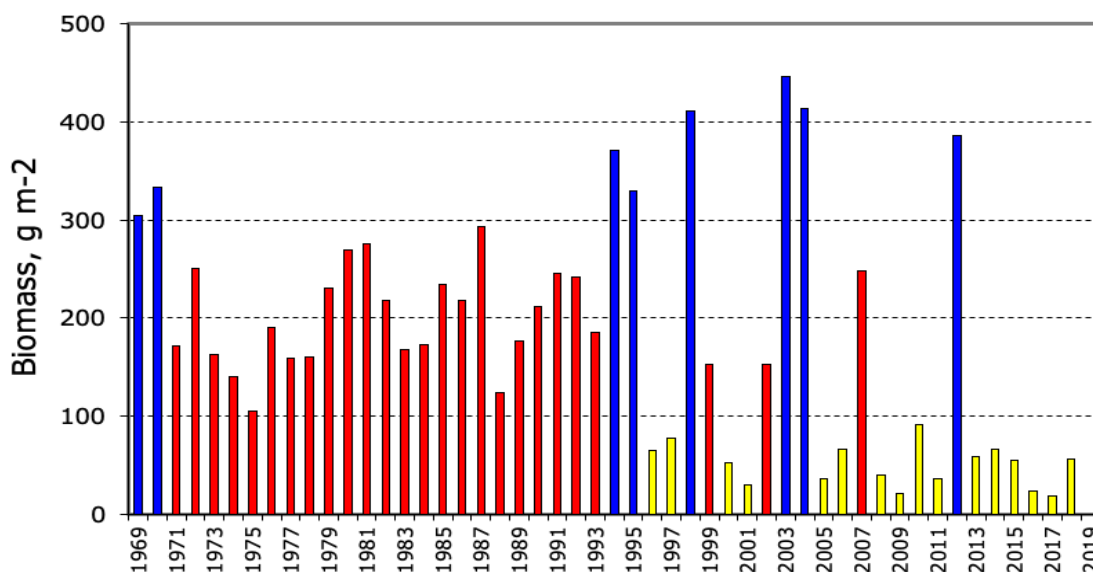
2.15 פיטופלנקטון

תמר זהרי ואלה אלסטר

שנה ששית ברצף ללא פריחת פרידיניום

שנת 2018 הייתה שנה שחונה נוספת באגן ההיקוות של הכנרת, עם מפלסים יורדים למרות שאיבה מינימלית למוביל הארצי. זה אחרי שגם ארבע השנים שקדמו היו שחונות, מתוכן 2014 הייתה השחונה ביותר במאה השנים האחרונות, עם כמות שלילית של מים זמינים (= סך הכניסות לכנרת פחות ההתאדות). עקב כך היה צפי של העדר פריחה של פרידיניום גם ב-2018, ואכן כך היה (איור 34). אמנם פה ושם נראו כתמי פרידיניום בכנרת באפריל/מאי, אך כתמים אלו היו בודדים, ספורדיים, ונמשכו תקופה קצרה. הממוצע החודשי של ביומסת הפרידיניום בתחנה A ב-2018 היה, בשיאו (מאי), 57 ג' למ"ר, נמוך מערך הסף של 100 ג' למ"ר לפיו אנו מגדירים "שנת פרידיניום".

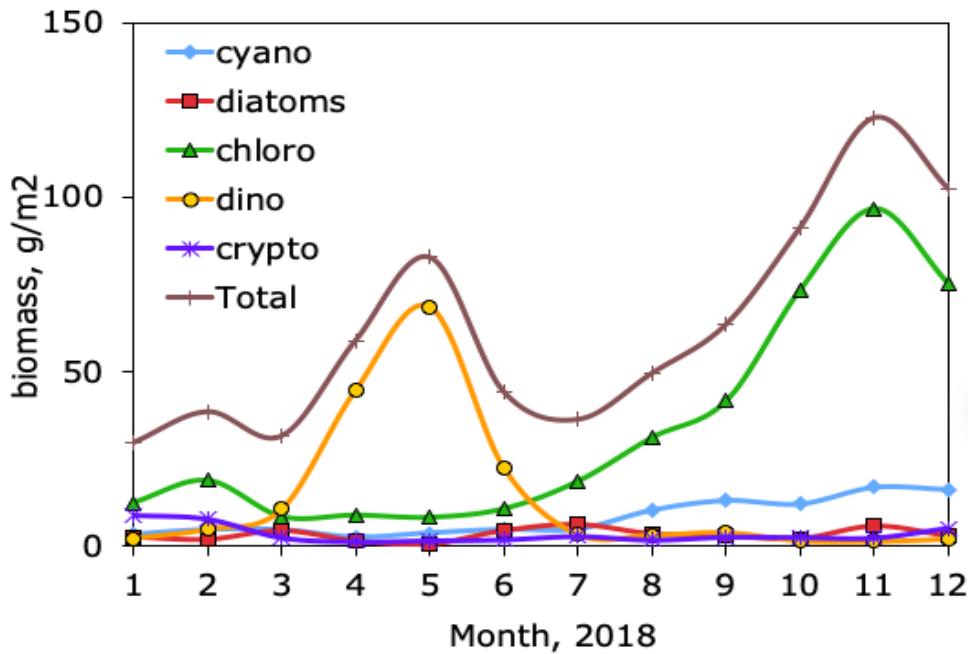
לפיכך, שנת 2018 עונה להגדרה של שנה "ללא פריחת פרידיניום" ונוספת ל-15 השנים מאז 1996, בהן הפרידיניום לא פרח. הפריחה האחרונה של פרידיניום הייתה ב-2012 שהייתה גשומה במיוחד, 2018 הייתה השנה השישית ברצף ללא פריחת פרידיניום.



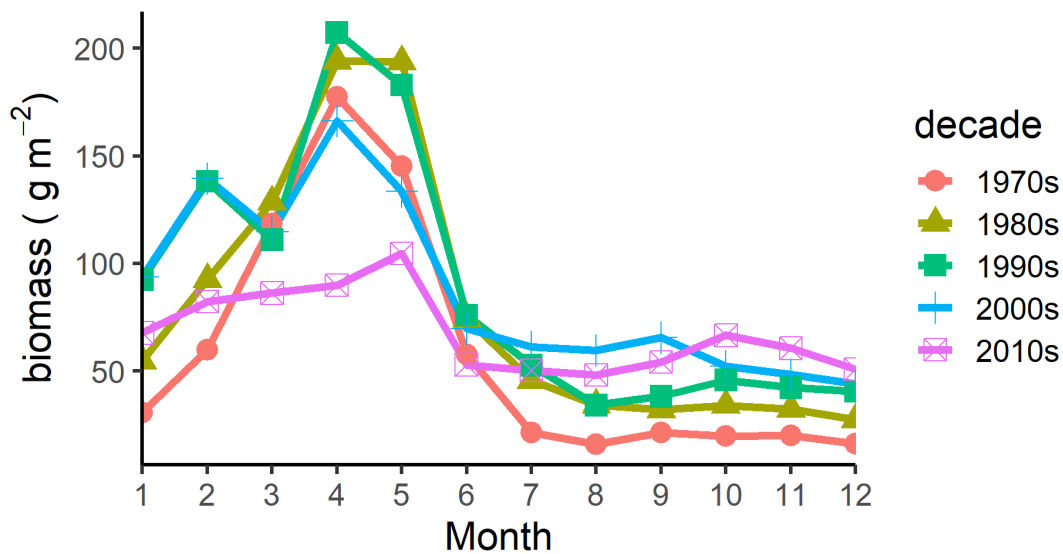
איור 34: עצמת פריחת הפרידיניום בשנים 1969-2018. עצמת הפריחה מבוטאת כממוצע חודשי של הביומסה בחודש בו ביומסת הפרידיניום הגיעה לשיאה השנתי (הערך המרבי בכל שנה). בהתאם לעוצמת הפריחה האביבית השנים חולקו לשלוש קטגוריות: שנים ללא פריחה (צהוב, ביומסה שלא עלתה על 100 ג' למ"ר), שנים עם פריחה ממוצעת (אדום, ביומסה בין 100-300 ג' למ"ר) ופריחה מאסיבית במיוחד (כחול, ביומסה מעל 300 ג' למ"ר). עד אמצע שנות ה-90 כל השנים היו ממוצעות (למעט השנתיים השטפוניות בתחילת הסדרה), ואילו מאז 1994 נצפו רק 3 שנים של פריחה ממוצעת, 6 שנים של פריחה מאסיבית ו-16 שנים (כולל 2018) ללא פריחה.

סך הביומסה: מהלך עונתי ומגמות רב שנתיות

ללא פריחת פרידיניום, ביומסת הפיטופלנקטון ב-2018 הייתה נמוכה יחסית, עם ממוצע שנתי של 63 ג' למ"ר לעומת ממוצע רב שנתי של 78 ג' למ"ר. 2018 התאפיינה במהלך עונתי של הביומסה, בו נרשמו שני שיאים, אחד באביב (מאי) והשני בסתיו (נובמבר), כאשר השיא הסתווי (123 ג' למ"ר) היה גבוה בהרבה מהשיא האביבי (83 ג' למ"ר במאי; איור 35). בשנות ה-70, 80, 90 של המאה הקודמת למהלך העונתי היה דגם ברור של הצטברות ביומסה מתחילה השנה ועד לשיא אביבי גדול באפריל או מאי, ומשם דעיכה תלולה ביוני-יולי וערכי ביומסה נמוכים כל הקיץ. לעומת זאת, בעשורים הראשון והשני של המאה ה-21 הולכת ומתפתחת מגמה חדשה של שיא ביומסה שני בסתיו, דגם שמאפיין שנים ללא פרידיניום (איור 36). מגמה רב-שנתית נוספת שמתבררת מעיון באיור 36 היא שבעשור האחרון ערכי הביומסה הממוצעים בחצי הראשון של השנה נמוכים בהרבה מאשר ב-40 השנים שקדמו להם, אבל בחצי השני של השנה קיימת מגמה הפוכה, של עליית הערכים מעשור לעשור, כאשר בתקופה 2010-2018 ערכי הביומסה בחצי השני של השנה קרובים לאלו של החצי הראשון (איור 36).



איור 35: המהלך השנתי של הביומסה הכללית ושל הביומסה של הקבוצות הטקסונומיות העיקריות בכנרת, 2018.

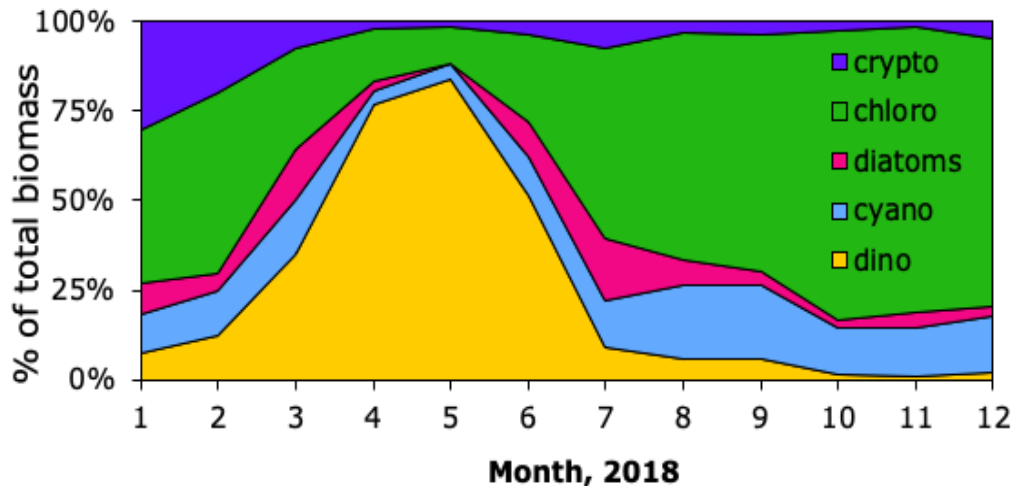


איור 36: המהלך השנתי הממוצע של סך ביומסת הפיטופלנקטון בכל אחד מהעשורים מאז תחילת הניטור. הערכים המוצגים הם ממוצעים לכל חודש בכל עשור, מ-1970 ועד 2018.

תרומה יחסית של קבוצות הפיטופלנקטון השונות

מבחינת התרומה היחסית לסך הביומסה, החלק החצי הראשון של 2018 היה "טיפוסי", עם תרומת דינופלגלטים שמגיעה ל-83% מהסה"כ במאי, לעומת תרומה זעומה יחסית של הקבוצות הטקסונומיות האחרות (איור 37). אך אחוז ביומסה גבוה זה היה מתוך ביומסה כללית נמוכה (איור 35) ונבע מתרומה נמוכה של יתר הקבוצות. החצי השני של השנה התאפיין בתרומה גדולה יחסית לשנים קודמות של ירוקיות, בין 50-80% מסך הביומסה (איור 37) בד בבד עם שיא ביומסה סתווי

של כ-100 גר למ"ר של ירוקיות בנובמבר (איור 35). שיא ירוקיות סתווי כזה הוא נדיר בכנרת ונצפה בעבר רק ב-2010. ברוב השנים בחצי השני של השנה לכחוליות, צורניות וירוקיות תרומה דומה לסך הביומסה. תרומת הצורניות ב-2018 הייתה נמוכה ופחות או יותר קבועה כל השנה. תרומת הכחוליות הייתה משמעותית בחצי השני של השנה אבל נמוכה יחסית לשנים קודמות (איורים 35, 37). לאצות מקבוצת הקריפטופיטה הייתה תרומה יחסית קבועה לאורך השנה של 2-5%, עם ערך גבוה במיוחד של 29% בינואר.



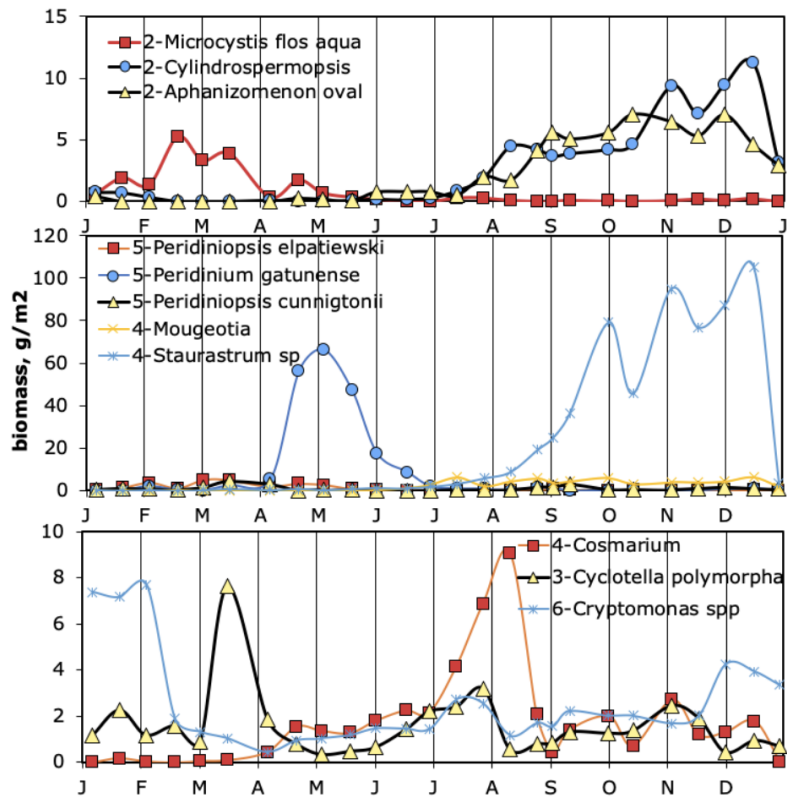
איור 37: ממוצעים חודשיים (2018) של התרומה היחסית של קבוצות הפיטופלנקטון העיקריות בכנרת לסך הביומסה.

הרכב המינים ודינמיקה עונתית

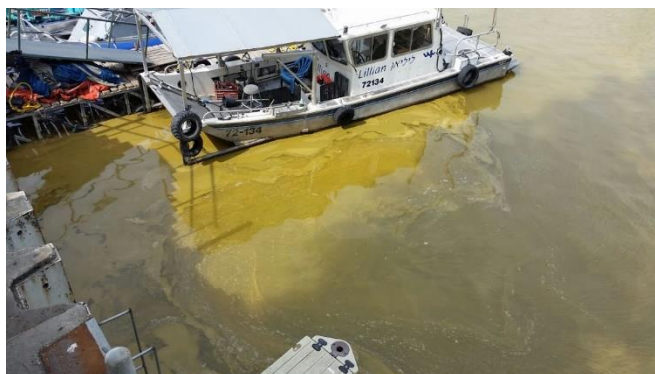
שנת 2018 נפתחה, כמו רוב השנים בכנרת, עם נוכחות של אצות מקבוצת הקריפטופיטה (כריפטומונס, רודומונס; איור 38 למטה) והתפתחות מוגבלת מאד של החוטית הצורנית *Aulacoseira granulata* (לא מוצג). אצת המיקרוציסטיס נכחה לאורך כל החצי הראשון של השנה, אבל בריכוזים שבתחנה A לא עלו על 6 ג' למ"ר (איור 38 למטה). כמו בשנים אחרות, צפינו בחורף באירועים של צופת מיקרוציסטיס שנשחפה על פני המים עם הרוח והצטברה במקומות מוגנים כמו מעגן עין גב (איור 39). במרץ צפינו בפריחה של הצורנית הקטנטונת, ציקלוטלה פולימורפה (איור 38 למטה), שהגיעה לשיא של כ-10,000 תאים למ"ל, אבל בגלל גודל התא הקטן היא תרמה לביומסה רק כ-8 גר למ"ר. פרידיניום נראה במים מתחילת אפריל, הגיע לשיא קצר בתחילת מאי ודעך; תרומת הדינופלגלטים שאינם פרידיניום, כמו פרידיניופסיס, הייתה זעומה בשנה זו (איור 38 באמצע).

ביוני-יולי ביומסת הפיטופלנקטון הייתה בשפל (איור 35). כמו בכל שנה בעשור האחרון, המין הנפוץ ביותר בעונה זו היה הציאנודיקציון, אצה כחולית מושבתית שתאיה זעירים, עם אלפי מושבות למ"ל. בסוף יולי התחילה פריחה של אצה כחולית קטנטונת נוספת, שעדיין לא הוגדרה סופית, בינתיים אנחנו קוראים לה "דמויית-רומרייה", גם היא בריכוזים של אלפי חוטים זעירים למ"ל. בגלל גודלם הקטן, תרומת שני מינים אלו לסך הביומסה הייתה זעומה. ביולי פריחה אצה ירוקית מהסוג *Cosmarium*, הגיעה לשיא בתחילת אוגוסט ודעכה במהירות אח"כ (איור 38 למטה).

במקביל התחילה פריחה של אצה ירוקית אחרת, מקבוצת הדסמידים, מהסוג סטאורסטרום *Staurastrum* שהגיעה לשיא עצום של מעל 100 גר למ"ר ב-17 לדצמבר (איור 38 באמצע). שיא כזה של אצה ירוקית נרשם בעבר רק בפריחות המוגושיה. התפתחות הפריחה התפרשה על פני כעשרה שבועות בין יולי לאוקטובר והשיא שלה נמשך על פני חודשיים נוספים, עד אמצע דצמבר.



איור 38: המהלך השנתי של הביומסה של מינים תורמי ביומסה עיקריים. למעלה: אצות כחוליות. באמצע - האצות הגדולות יחסית (מיני דינופלגלטים, האצה החוטיות מוגושיה, והירוקית סטאורסטרום) למטה: מינים נוספים שהיו נפוצים ב-2018.



איור 39: צופת מיקרוציסטיס במעגן בעין גב צובעת את המים בצבע חאקי. צולם ב-25 לפברואר 2018 על ידי עוז צברי - דר.

לעומת זאת, הקריסה שלה, במהלך השבועיים האחרונים של דצמבר הייתה מהירה מאד (איור 38 באמצע). אותו מין פרח לראשונה בכנרת בסתיו 2017, בו הגיע לשיא של 38 ג' למ"ר בסוף נובמבר ואז קרס תוך שבועיים לריכוזים של קרוב לסף הגילוי. בזכות מין זה נרשמו בנובמבר-דצמבר ריכוזי כלורופיל גבוהים מאד, מעל 30 מיקרוגרם לליטר. מפתיעה יכולת צבירת הביומסה של מין זה בתקופה בה ריכוזי הנוטריאנטים במים נמוכים מאד, יתכן שהיא מסוגלת לנצל חנקן וזרחן ממקור אורגני שמומסים במים. סביר גם שהיא לא נאכלת על ידי זואופלנקטון, ויש לבחון מה עשוי להיות מנגנון ההגנה שלה מרעייה (הפרשת חומרים כימיים שדוחים זואופלנקטון?).

2.16 מדידת הרכב אוכלוסיית הפיטופלנקטון עם מערכת פלואורסנציה רב ערוצית

Fluoroprobe –

אסף סוקניק, דיתי וינר – מוציני

מטרה: מעקב אחר הרכב אוכלוסיות הפיטופלנקטון במרחב הכנרת. במהלך 2018 הופעלה במסגרת מערך ניטור כנרת, מערכת מדידה מסוג FluoroProbe המבוססת על פלואורסנציה רב ערוצית (מפר"ע) ומופעלת כפרופיילר למדידת ריכוז הכלורופיל בעמודת המים ואפיון קבוצות הפיטופלנקטון העיקריות על פי הרכב הפיגמנטים שלהן (איור 40). השימוש במפר"ע מאפשר ביצוע מדידות במספר תחנות ניטור במסגרת פעילות הניטור השגרתית. תוצאות המדידות השבועיות מעובדות ומוצגות כמפות עיתיות של תפוצת כלורופיל או קבוצות של פיטופלנקטון בתחנות הניטור השונות.



איור 40: פרופיילר תת מימי לאנליזה ספקטרלית של קבוצות פיטופלנקטון על פי הרכב הפיגמנטים העיקריים מתוצרת BBE גרמניה (FluoroProbe, מערכת פלואורסנציה רב ערוצית – מפר"ע). המערכת מודדת פלואורסנציה לאחר ערעור במספר אורכי גל, מעבר אור (transmission) וכן מספקת מדידה של טמפרטורת המים ושל עומק הדיגום. משמאל תמונה של המערכת ומרכיביה, מימין הפעלת המערכת מסירת המחקר ליליאן במסגרת פעילות הניטור בכנרת.

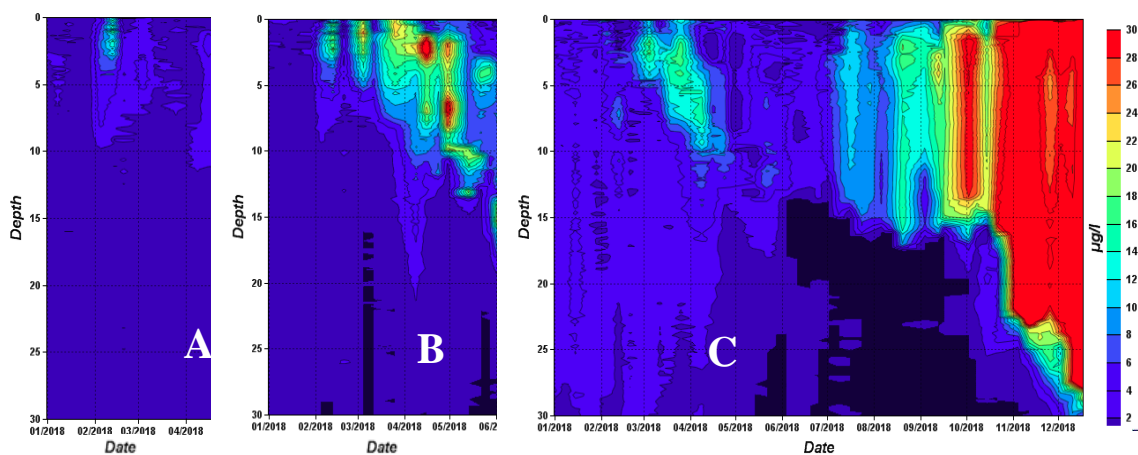
הפעלה סדירה של המפר"ע במהלך שנת 2018 אפשרה זיהוי ומעקב אחר התפתחות אוכלוסייה הפיטופלנקטון באגם (איור 41). כמו שדווח בשנה הקודמת גם השנה זוהתה התפתחות של חיידקים

פוטוסינתטיים בשכבת המטאלימניון (איור 42). להלן מספר דוגמאות למידע המתקבל מפעילות ניטור זו.

דינמיקה עונתית של אוכלוסיות הפיטופלנקטון

מניתוח נתוני המפר"ע שנאספו במהלך שנת 2018 בתדירות שבועית בתחנות הניטור בכנרת עולה התמונה הבאה:

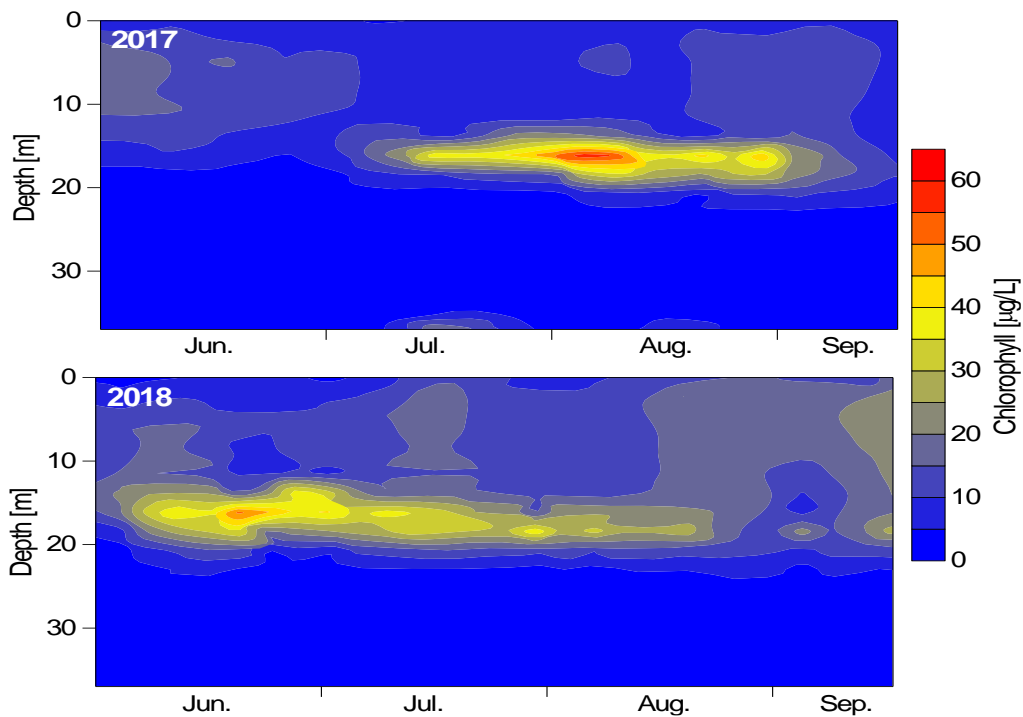
1. ריכוז נמוך יחסית של כלורופיל בפברואר 2018 (איור 41A), המיצג נוכחות של ציאנובקטריה (על בסיס האות הספקטראלי שמקורו בפיקואריתרין המאפיין מיקרוציסטיס מזן "חום" שאינו מייצר מיקרוציסטינים)
2. התפתחות מוגבלת של אוכלוסיית דינופלגלטים בחודשי האביב מיוצגת על ידי האות המזוהה על ידי המפר"ע כצורניות (איור 41B). ריכוז הכלורופיל בתקופה זו מוגבל יחסית ודועך לקראת סוף חודש אפריל.
3. ריכוז גבוה יחסית של כלורופיל המייצג אוכלוסייה של ירוקיות ומגיע לערכי שיא של כ- 50 מיקרוגרם לליטר בנובמבר ודצמבר (איור 41C). האוכלוסייה הזו מתחילה באוגוסט ספטמבר ומוגבלת לעומק של עד 15 מ'. בהמשך, האוכלוסייה מעמיקה עם העמקת התרמוקלינה וריכוזה עולה ומגיע לשיא בדצמבר ותחילת ינואר 2019. אוכלוסייה מוגבלת של ירוקיות זוהתה גם באביב 2018 (איור 41C)
4. אוכלוסייה מצומצמת של ציאנובקטריה (מינים של NOSOCALES) נמדדה בחודשים נובמבר ודצמבר (נתונים אלו לא מוצגים בגלל האות החלש יחסית של אוכלוסיה זו). בהשוואה לנתוני 2018, בקיץ-סתיו 2017 ריכוז הכלורופיל שמקורו בציאנובקטריה היה כפול והגיע ל-4 מיקרוגרם לליטר.
5. אוכלוסייה מטאלימנטית של חיידקים פוטוסינתטיים מהסוג *כלורוביום* (איור 42 בהמשך).



איור 41: מפה דמוית תלת מימד של הפיזור האנכי של הכלורופיל, בתחנה A בכנרת במהלך 2018 (ינואר עד דצמבר). ריכוז הכלורופיל מוערך ממדידת האות הפלואורסנטי על ידי המפר"ע שהופעל כרופיילר בתחנה A בתדירות שבועית. האות הפלואורסנטי תורגם לריכוז כלורופיל שמקורו בקבוצות פיטופלנקטון שונות על פי הרכב הפיגמנטים שלהן: A- ציאנובקטריה המכילות את הפיגמנט פיקואריתרין (משויך למיקרוציסטיס מזן חום) B- דינופלגלטים וצורניות (בבחינה מיקרוסקופית דינופלגלטים היוו מרכיב מרכזי באוכלוסייה זו) C- ירוקיות. נתוני הניטור מהמפר"ע מועלים לבסיס נתוני כנרת, מנותחים ומוצגים בעזרת ממשק שפותח על ידי מיקי שליכטר.

חיידיקים פוטוסינתטיים מהסוג כלורוביום במטאלימנון

לחיידיקים הפוטוסינתטיים מהסוג כלורוביום את פלואורסנטי אופייני הנקלט על ידי המערכת בעיילות גבוהה. האוכלוסייה המטאלימנטית מתפתחת בחודשים יוני-יולי ודועכת במהלך חודש ספטמבר. באיור 42 מוצגות מפות דמויות תלת מימד של של פיזור הכלורופיל בעמודת המים במהלך החודשים יוני-ספטמבר בשנים 2017 ו 2018 בתחנה A בכנרת. האות הפלואורסנטי הדומיננטי בשכבת המים שבין 14 ל 21 מ' מקורו באוכלוסייה של החיידיק הפוטוסינתטי מהסוג *כלורוביום*. שכבת הכלורוביום נצפתה רק בתחנות A, G ו K בהם נוצר מטאלימנון יציב ותנאים אנארוביים. בתחנות רדודות יותר כמו H או D לא זוהתה אוכלוסייה זו. מעקב לזיהוי שונות גנטית באוכלוסיית *הכלורוביום* בוצע על ידי ד"ר שירה נינו בכלים של ריצוף גנטי מתקדם, ומדווח בהמשך.



איור 42: מפה דמוית תלת מימד של הפיזור האנכי של הכלורופיל, בתחנה A בכנרת בתקופה שבין סוף יוני לספטמבר בשנים 2017 ו 2018. האות הפלואורסנטי הדומיננטי בשכבת המים שבין 14 ל 21 מ' מקורו באוכלוסייה של החיידיק הפוטוסינתטי מהסוג *כלורוביום*. חשוב לציין שמערכת ההפעלה של המפר"ע מזהה את האות הפלורסנטי בשכבת מים זו כאות של צורניות אבל מידע מיקרוסקופי וביולוגי משלים שולל את האפשרות הזו ומצביע על דומיננטיות של חיידיקים פוטוסינתטיים.

2.17 רעלני כחוליות

אסף סוקניק, דיתי ויינר – מוציני

מטרה: מדידה כמותית ואיכותית של רעלני כחוליות (ציאנובקטריה) בכנרת. המערך האנליטי לזיהוי ולכימות רעלני ציאנובקטריה בכנרת פועל ברציפות החל משנת 2000. דגימות מים נאספות בתחנה A בכנרת מעומק מטר, בתדירות של אחת לחודש. כאשר עולה ריכוז הציאנובקטריה במים עולה גם תדירות הדיגום לרעלנים. באירועים של פריחת *מיקרוציסטיס* היוצרת משטחים צפים, נדגמים משטחי הציאנובקטריה בדלי ונמדד ריכוז הרעלנים בביומאסה. לאחר מיצוי וריכוז, הדגימות נלקחות לאנליזה איכותית וכמותית לרעלנים משתי קבוצות: מיקרוציסטינים (שמקורם *מיקרוציסטיס*) וצלינדרוספרמופסין (שמקורם *אפניזומנון*). המדידות מבוצעות בשיטות HPLC מתאימות והתוצאות מוצגות כריכוז הרעלן ליחידת נפח מים (בדגימות מים) או כריכוז הרעלן בביומסה (ליחידת משקל יבש). תוצאות הזיהוי והכימות של רעלני ציאנובקטריה בכנרת בשנת 2018 מוצגות בטבלה 19.

בשנת 2018 נרשמה בכנרת נוכחות של *מיקרוציסטיס* בחודשי ינואר עד מרץ. במהלך העונה נצפו אירועים של הצטברות צופת של מיקרוציסטיס באזורים מוגבלים באגם כאשר שיא הפריחה היה באמצע פברואר. באיור 43 מוצגות תמונות של צופת של מיקרוציסטיס שצולמו במועדים שונים במהלך הפריחה. ריכוז הרעלנים בביומסה שנאספה כצופת היה נמוך בשיעור שלא נצפה בעבר, לא יותר מ- 13.3 מיקרוגרם מיקרוציסטיס LR לגרם חומר יבש, וכן ריכוז נמוך של חומרים חשודים כמיקרוציסטינים (טבלה 19). ממצאים אלו מצטרפים לתוצאות שהתקבלו בשנים האחרונות ומעידים על דומיננטיות מוגבלת של אוכלוסיית *מיקרוציסטיס* עם רעילות. בחורף 2018 לא נמדדו מיקרוציסטינים בדגימות המים מהכנרת, ריכוז מיקרוציסטינים במים היה מתחת לסף הגילוי.



איור 43: תצלומים ממועדים שונים המציגים משטחי צופת של *מיקרוציסטיס* במהלך אירוע הפריחה בכנרת, ינואר 2018 – מרץ 2018. התצלום מ- 25 בפברואר 2018 נלקח ממעגן עין גב שהוא מקום סגור יחסית והאוכלוסייה של המיקרוציסטיס שוהה בו זמן ארוך יחסית ולכן מתקבלת צופת מרוכזת יחסית לאזורים פתוחים האגם.

בחודשי הקיץ והסתיו של שנת 2018 נצפתה בכנרת אוכלוסייה מצומצמת יחסית של *אפניזומנון* ששיאה היה מאוגוסט ועד דצמבר 2018. הרעלן צלינדרוספרמופסין נמדד בכנרת גם בחודשי החורף (ינואר, פברואר 2018) תוצאה שמעידה על יציבות הרעלן במים גם כאשר אוכלוסיית האפניזומנון

דעכה בגלל ערבול מאוחר של כל עמודת המים. במהלך חודשי הקיץ לא נמדד צלינדרוספרמופסין בכנרת אבל בחודשי הסתיו אוקטובר ונובמבר, נמדדו ריכוזים נמוכים של 0.3 ו - 0.6 מיקרוגרם צלינדרוספרמופסין לליטר. באנליזות נוספות שבוצעו במהלך חודשי הקיץ והסתיו עבור ספקי מים מהכנרת בדגימות מים מאתרים שונים נמדדו ריכוזים של צלינדרוספרמופסין עד ערך מרבי של 0.6 מיקרוגרם לליטר וזאת רק בין אוקטובר לדצמבר בדומה לתוצאות שמוצגות בטבלה 19.

תוצאות ניטור רעלני ציאנובקטריה צלינדרוספרמופסין ומיקרוציסטיין המרוכזות בטבלה 19 מציגות באופן ברור שבשנת 2018 ריכוז הרעלנים היה נמוך בהשוואה לריכוזים שנמדדו בשנים האחרונות.

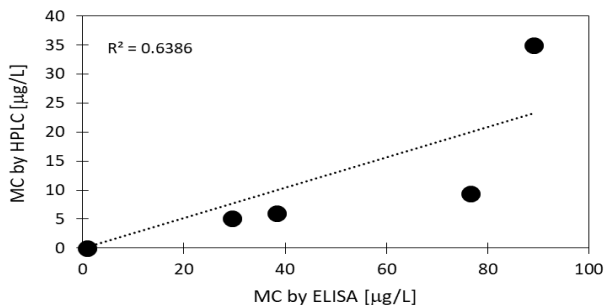
טבלה 19: ריכוז רעלני כחוליות (צלינדרוספרמופסין ומיקרוציסטינים) בדגימות מים וביומסה של פיטופלנקטון שנאספו מהכנרת במועדים שונים במהלך שנת 2018. הדגימות נאספו בתחנה A מעומק מטר בתדירות של אחת לחודש או בתדירות גבוהה יותר במידה ונצפתה התפתחות של ציאנובקטריה באגם. במועדים מסוימים בהם נצפתה באגם צופת של מיקרוציסטיס, נאספה דגימת צופת ובוצעה אנליזה על בסיס משקל יבש של החומר שנאסף. תס"ג – תחת סף גילוי.

תאריך דיגום	ריכוז צלינדרוספרמופסין במים ($\mu\text{g/L}$)	ריכוז מיקרוציסטינים במים ($\mu\text{g/L}$)	ריכוז מיקרוציסטינים בביומסה ($\mu\text{g/g dw}$)
14.01.18	0.7	תס"ג	
31.01.18			Mic. Like=5.1
01.02.18			Mic. Like=6
04.02.18	0.6	תס"ג	Mic. Like=9.3
06.02.18			Mic. LR=13.3
			Mic. Like=21.7
20.02.18			תס"ג
25.02.18	תס"ג	תס"ג	תס"ג
11.03.18	תס"ג	תס"ג	
25.03.18	תס"ג	תס"ג	
22.04.18	תס"ג	תס"ג	
21.05.18	תס"ג		
19.06.18	תס"ג		
01.07.18	תס"ג		
29.07.18	תס"ג		
08.08.18	תס"ג	תס"ג	
03.09.18	תס"ג	תס"ג	
02.10.18	0.3	תס"ג	
14.10.18	0.3		
04.11.18	0.6	תס"ג	

במסגרת פעילות הניטור, וכמהלך משלים לאנליזה הסטנדרטית המתבצעת במהלך העשורים השונים ומבוססת על שיטה כרומטוגרפית (HPLC), במהלך 2018 בחנו את האפשרות ליישם ערכות אימונולוגיות מסחריות לאנליזה מהירה של רעלני ציאנובקטריה (ELISA). היתרון העיקרי של ערכות מסחריות אלו היא במשך הזמן הקצר בו מתקבלת התוצאה האנליטית. החיסרון של השיטה היא אמינות מוגבלת ותוצאות חיוביות כוזבות (false positive). הערכות שנבדקו הן: Microcystins-ADDA ELISA (Microtiter Plate), מק"ט 522011, Cylindrospermopsin ELISA (Microtiter Plate), מק"ט 520011. שניהם מתוצרת חברת Abraxis.

ערכת ELISA לאנליזה כמותית של צילינדרוספרמופסין שמשה לבדיקת מי כנרת ומים גולמיים ומסופקים (לאחר טיפול), ונמצא שקיים ערך קריאת רקע של כ - 0.2 מיקרוגרם לליטר צילינדרוספרמופסין. כאשר דוגמאות אלו נבדקו באמצעות HPLC הערכים היו תחת סף גילוי (תס"ג ≥ 0.05 מיקרוגרם לליטר). בכדי לברר האם זאת תוצאת אמת או מגבלה של הקיט, הוספו לדגימת מי כנרת מאוקטובר 2018 ריכוזים ידועים של סטנדרד מסחרי של צילינדרוספרמופסין, וריכוז הרעלן נמדד בעזרת ערכה ה-ELISA המסחרית. תוצאות אנליזה זו הראו שתוצאה המתקבלת עם הערכה המסחרית היא בהערכת יתר של 0.54 מיקרוגרם לליטר. באנליזות שבוצעו במערכת HPLC על אותה הדוגמה (דגימת מקור ללא תוספת רעלן) נמצא ריכוז של 0.3 מיקרוגרם לליטר צילינדרוספרמופסין. בבדיקות נוספות עם ערכת ה-ELISA נעשה שימוש בתרביות של אצות וציאנובקטריה שאינן מכילות צילינדרוספרמופסין, וכן גם בתסנין של אותן תרביות שהועבר דרך פילטר של 0.45 מיקרון. תוצאות האנליזה האימונולוגית: בתרבית של האצה הירוקית כלוללה התקבלה תוצאה של נוכחות צילינדרוספרמופסין בריכוז של 0.064 מיקרוגרם לליטר, ובתסנין של אותה תרבית ריכוז של 0.056 מיקרוגרם לליטר. בתרבית של צילינדרוספרמופסין (שאינו מיצר את הרעלן צילינדרוספרמופסין) נמדד ריכוז של 0.1 מיקרוגרם לליטר ובתסנין של תרבית זו ריכוז של 0.057 מיקרוגרם לליטר. למרות שהשיטה האימונולוגית נוחה לביצוע ומספקת תוצאה בזמן קצר, התוצאות שדווחו לעיל מדגישות את הבעייתיות של השימוש בערכת ה-ELISA במיוחד בדגימות בהם התוצאה מורה על ריכוז רעלן קטן מ - 1 מיקרוגרם לליטר. חשוב לציין שהנחיות היצרן של ערכת ה-ELISA המסחרית מנחה את המשתמש שבמידה והתוצאה המתקבלת היא חיובית (נמדד צילינדרוספרמופסין) יש לוודא את התוצאה באנליזה כימית בשיטת HPLC.

ערכת ELISA לאנליזה כמותית של מיקרוציסטינים נבחנה גם היא עם מי כנרת גולמיים ועם מים מסופקים (לאחר טיפול). גם כאן נמצא שקיים ערך קריאת רקע בקיט של כ - 0.13 מיקרוגרם לליטר מיקרוציסטיין. בבדיקות של צופת מיקרוציסטיס, שנאספה מהכנרת במהלך ינואר – פברואר 2018, בהשוואה למדידה במערכת HPLC נמצא כי ערכת ה-ELISA המסחרית נותנת הערכת יתר של ריכוז מיקרוציסטינים בהשוואה למדידה במערכת ה-HPLC, כאשר המתאם בין שתי השיטות האנליטיות אינו גבוה. ($r^2=0.64$ איור 44), עם סטייה גבוהה בדגימות צופת בהן ריכוז גבוה יחסית של MC. גם ביישום ערכת ה-ELISA לאנליזה למיקרוציסטינים, למרות הנוחות בביצוע ומהירות קבלת התוצאה יש לבחון את התוצאות המתקבלות במיוחד בדגימות בהם התוצאה מורה על ריכוז רעלן קטן מ 1 מיקרוגרם לליטר. בנוסף נראה כי ערכת ה-ELISA למיקרוציסטינים פחות מתאימה לאנליזות של דוגמאות צופת. גם לערכה זו מצורפות הנחיות היצרן המנחות את המשתמש לוודא תוצאה חיובית באנליזה כימית בשיטת HPLC.

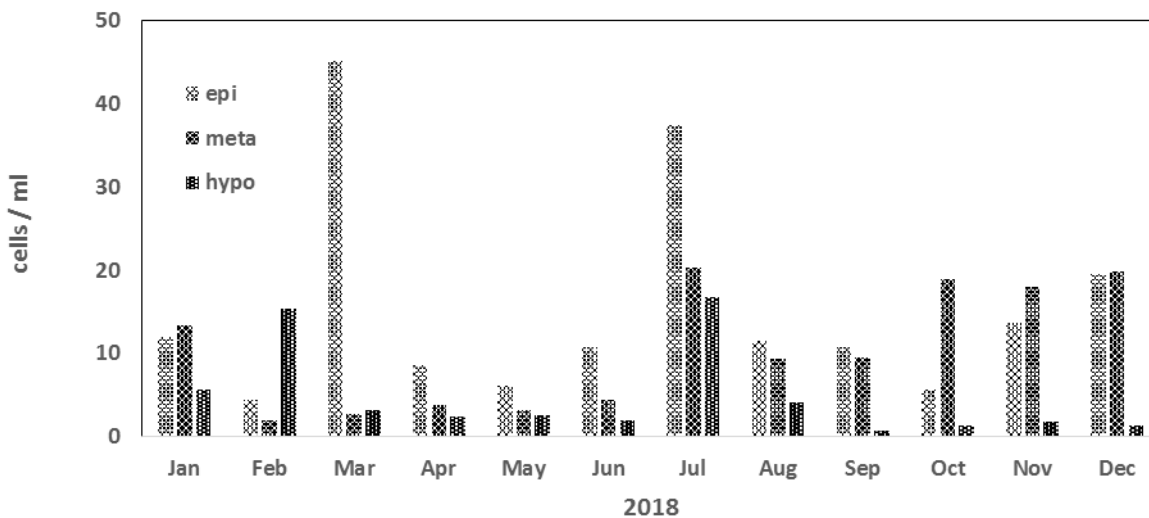


איור 44: ריכוז מיקרוציסטינים בדגימות צופת שנאספו מהכנרת במהלך ינואר-פברואר 2018. השוואה בין תוצאה שהתקבלה בשיטה אימונולוגית (ELISA) למדידה כימית בשיטת HPLC

חמי מלינסקי - רושנסקי וגדעון גל

במהלך שנת 2018, בדומה לשנים האחרונות, נערך ניטור הציליאטים פעם בחודש בתחנה A משלוש שכבות של עמודת המים: פני המים, האפילימניון (עומק 1 מ'), אזור המטהלימניון (20 מ') והשכבה העמוקה, ההיפולימניון (35 מ'). בזמן השיכוב נלקחת דגימה נוספת מאיזור התרמוקלינה. הספירה נעשית לפי סוגים טקסונומיים עבור הסוגים המוכרים לנו כמו *Tintinidium*, *Coleps*, *Vorticella*, ולפי הצורות הגיאומטריות (כדור, גליל, ספרואיד) עבור ציליאטים שאיננו בטוחים בהגדרתם.

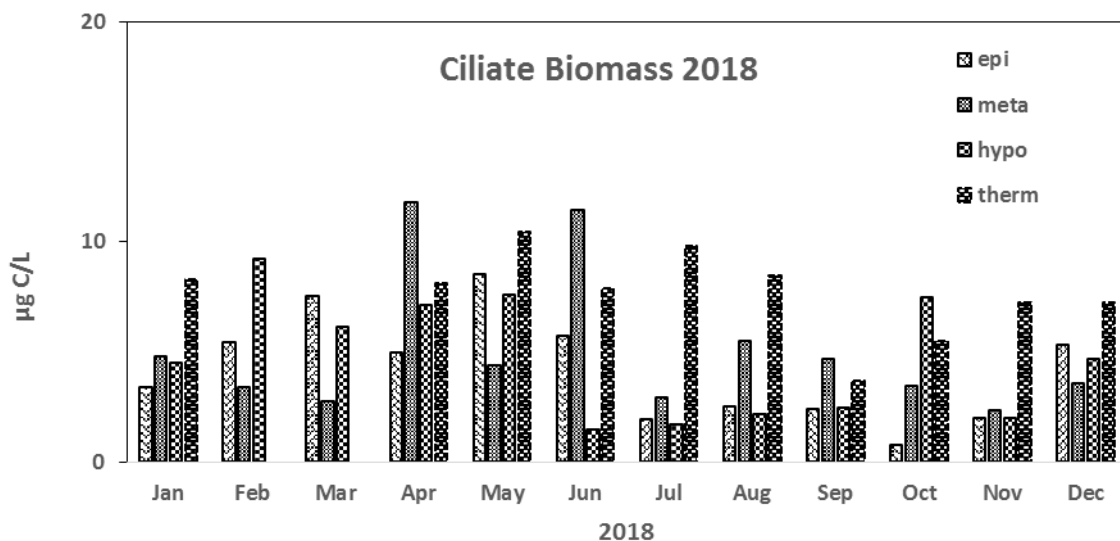
ב 2018, צפיפות כלל הציליאטים בכל שכבת המים הייתה נמוכה באביב (מרץ – יוני), למעט ערכים גבוהים באפילמנון במרץ, וגבוהה יחסית באפילמיון ובמטהלימניון בקיץ ובסתיו. בתחילת הקיץ, בחודש יולי, הייתה צפיפות גבוהה יחסית של כל הציליאטים. הצפיפות בהיפולימניון היתה נמוכה בין החודשים ספט' – דצמבר, אך הייתה גבוהה יחסית בחודשי ינואר - פברואר (איור 45). המגמה דומה למה שנצפה ב - 2017, פרט לערכים הגבוהים יחסית שנמצאו באפילימניון בינואר ובמרץ. בנוסף, הערכים ביולי 2018 היו גבוהים בהרבה יחסית ל - 2017 (37 ו - 7 ציליאטים למ"ל, בהתאמה) הערכים בהיפולימניון מאוגוסט - דצמבר 2018 היו נמוכים בהרבה מאשר ב - 2017 (2 - 1 ו - 1 - 6 תאים למ"ל, בהתאמה).



איור 45: ריכוז הציליאטים החודשי הממוצע בתחנה A ב 2018, בשלוש שכבות עמודת המים: האפילימניון (epi), המטהלימניון (meta), וההיפולימניון (hypo).

ערכי הביומסה ב - 2018 היו גבוהים ביחס לאלו שנמצאו ב - 2017. בחורף ובאביב ביומסת הציליאטים הייתה גבוהה (איור 46) עם צפיפות נמוכה יחסית (איור 45) שכנראה נובע מכך שאוכלוסית הציליאטים היתה מורכבת מפריטים גדולים. בקיץ ובסתיו הביומסה באפילימניון היתה נמוכה לעומת הצפיפות, כנראה בגלל פריטים קטנים באוכלוסיה. בחודש מרץ ויולי הצפיפות באפילימניון היתה גבוה בצורה חריגה, עם ביומסה רגילה יחסית. בתקופה זו האוכלוסיה נשלטה על ידי די sphere קטנים וביולי היו גם מספר גבוה יחסית של Coleps קטנים.

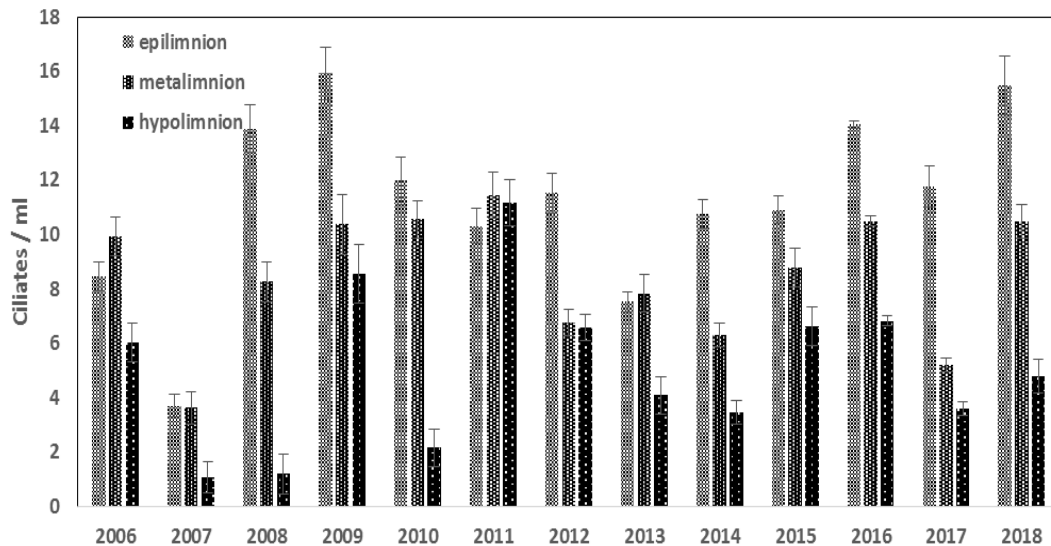
במטהלימניון הביומסה היתה גבוה באביב עם צפיפות יחסית נמוכה, כשמספר הפריטים היה גדול אך, גודלם היה קטן. בהיפולימניון נמצאו ערכים ביומסה גבוהים יחסית בחודש מרץ עד מאי, כשמספרי הצילאטים היו נמוכים, אך הפריטים היו גדולים יחסית (במיוחד ה Tintinid במרץ).



איור 46: ביומסת הציליאטים החודשי הממוצע בתחנה A ב - 2018, בשלושת שכבות עמודת המים: האפילימניון (epi), המטהלימניון (meta), ההיפולימניון (hypo), והטרמוקלינה (therm) (בינואר, אפריל – דצמבר).

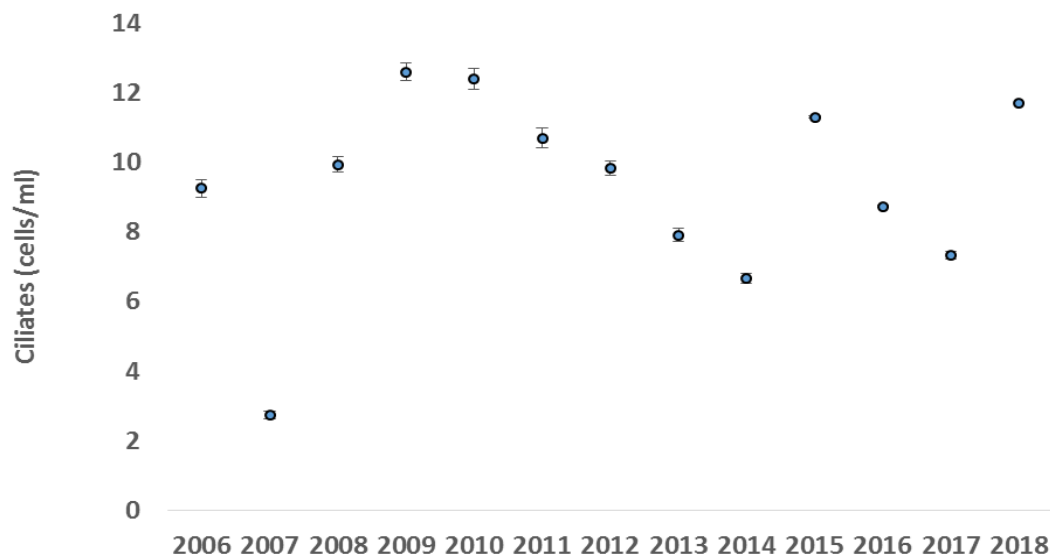
יש לציין כי בכל השכבות הייתה עליה מודגשת במספרי ה Coleps לעומת השנים האחרונות (2015-2017).

בהתפלגות הערכים הרב שנתית בין השכבות, ריכוזי הציליאטים באפילימניון ובמטהלימניון היו גבוהים בהשוואה ל - 2017, אך דומים לערכים שנמצאו ב - 2008, 2009 וב - 2016 (איור 47). בשנים 2006-2011 הצפיפות הייתה גבוהה במיוחד במטהלימניון, למעט שנת 2007 שהייתה חריגה בערכים הנמוכים בכל שכבות המים. הצפיפות בהיפולימניון ב - 2018 הייתה דומה לערכים שנמצאו ב- 2017, אך הייתה נמוכה יותר מאשר ב 2015-2016, (איור 47). באופן כללי, ניתן לראות שמאז 2014 נמשכת המגמה שצפיפות הציליאטים גבוהה באפילימניון, יורדת במטהלימניון ונמוכה יותר בהיפולימניון.



איור 47: הצפיפות הממוצעת של ציליאטים (מספר למ"ל) בשכבות העומק השונות עבור התקופה 2006-2018. הקווים האנכיים מבטאים שגיאת התקן.

מתוך ספירת דגימות הציליאטים במהלך שנת 2018 נמצאה עליה בערכי הצפיפות השנתית הממוצעת לעומת הערכים שנצפו בשנים 17 - 2016 (איור 48). אנו רואים שמגמת ירידה משנת 2015 נפסקה, כפי שקרה בשנת 2015 כשהייתה עלייה בצפיפות הציליאטים לאחר מגמת ירידה דומה שהחלה ב 2010.



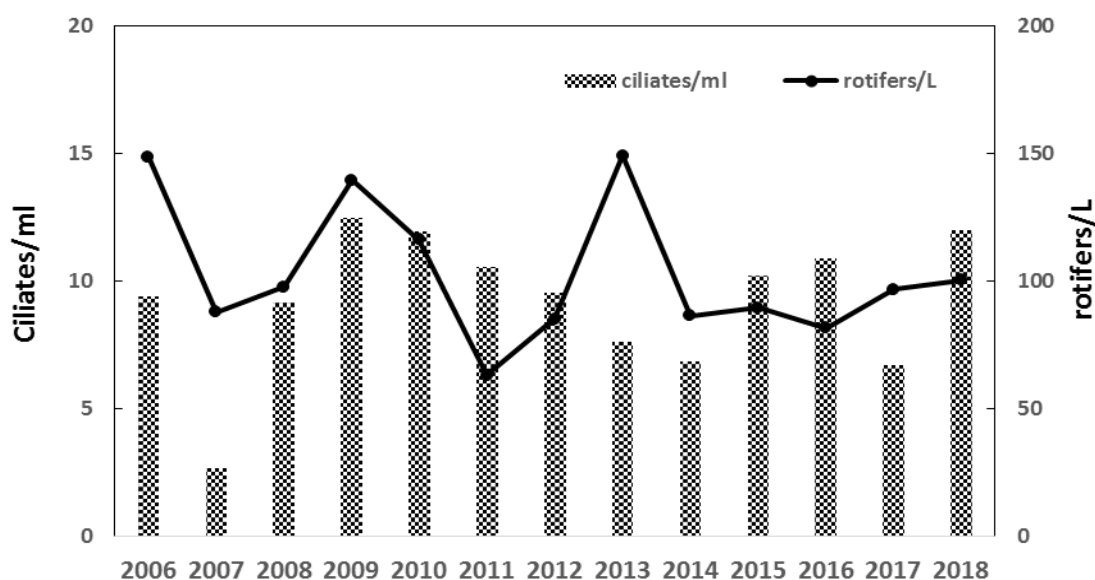
איור 48: ריכוז הציליאטים השנתי הממוצע (2006-2018) על בסיס דיגום של שלושת שכבות עמודת המים: האפילימניון, המטהלימניון, וההיפולימניון. מספר הדגימות בשנה נע בין 35-45. הקווים האנכיים מבטאים שגיאת התקן.

קיימים קשיים בדיגום הציליאטים העלולים להשליך על איכות האומדנים שלנו. הדיגום שאנו עורכים מתבצע משלושה עומקים ספציפיים בלבד בעזרת דוגם מים. ידוע לנו שהציליאטים

לעיתים קרובות מרוכזים בשכבות צרות וצפופות. על כן, דיגום בשלושה עומקים ספציפיים עלול ליצור מצב שבו אנו דוגמים מים שמעט עמוקים או רדודים מהשכבה הצפופה של הציליאטים ובכך כנראה "מפספסים" את אותה שכבה צפופה. למרות השגיאה האפשרית, מגמת הירידה שנצפתה בריכוז הציליאטים משנת 2010 ועד 2014 והעליה החדה ב 2015 ומגמת הירידה הנוספת מאז, והעליה החדה השנה איננה משאירה מקום לספקות לגבי עצם קיום השינויים באוכלוסיה. לפי הערכים שנמצא בשנים הבאות נוכל לברר אם קיימת מחזוריות רב שנתית בצפיפות הציליאטים.

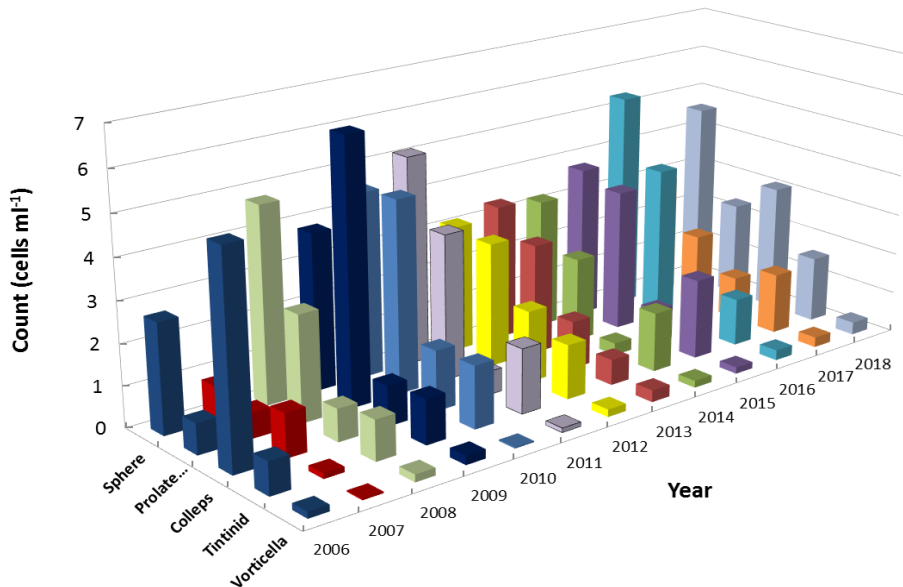
השוואה בין אוכלוסיות הציליאטים והרוטיפרים, (איור 49), מעידה לרוב על מגמות הפוכות. עד שנת 2010 ראינו בבירור את המגמה ההפוכה בין הציליאטים לרוטיפרים לאור העובדה שרוטיפרים ניזונים מציליאטים. משנת 2012 לא נמצאה התאמה בין שתי האוכלוסיות. לא ברור בשלב זה מה הגורם לניתוק במגמות בין הציליאטים והרוטיפרים. בשנת 2014, חלה ירידה ברורה בריכוז הרוטיפרים לעומת שמירה על יציבות בריכוז הציליאטים. בשנים 2015-2016 נראתה התייצבות הן במספרי הרוטיפרים והן במספרי הציליאטים.

ב - 2017 לעומת זאת, במקביל לירידה המתונה בריכוז הציליאטים נצפתה עליה קלה בריכוז של הרוטיפרים כפי שנמצא בשנים 2006-2012 ומרמז שוב על יחסי טורף-נטרף בין שתי הקבוצות, אך ב - 2018 צפיפות הרוטיפרים לא עלתה במקביל לעלייה במספרי הציליאטים. מעניין לציין שלמרות השינויים בריכוזי הציליאטים בין השנים 2006-2018, השינויים בין השנים אינם גדולים כל כך, מלבד השנה החריגה ב- 2007. הממוצע הרב שנתי (2006-2016) עומד על 9.2 ± 2.7 פרטים למ"ל אם לוקחים בחשבון את שנת 2007 החריגה ו- 9.8 ± 2.0 פרטים למ"ל ללא שנה זאת. השינויים הרב-שנתיים בצפיפויות של יתר מרכיבי הזואופלנקטון גדולים הרבה יותר ובמקרה של הרוטיפרים, שינויים של מעל 30 ו-40% אינו חריג בשתי שיטות הדיגום (פרופילים ומיקס).



איור 49 : צפיפות הציליאטים (תאים למ"ל) והרוטיפרים (תאים לליטר) בכנרת בתחנה A בין השנים 2006 ל- 2018.

ב - 2018 הייתה עלייה בולטת בצפיפות הציליאטים המקוטלגים בקבוצות Sphere ו Coleps (איור 50). הערכים הנמוכים שנצפו בשנת 2017 הם בניגוד לערכים גבוהים יחסית בתקופה 2008-2016. יחד עם זאת, בקבוצה של Prolate spheroid נצפתה מגמת ירידה ברורה בשנים 2010-2014 והתאוששות ניכרת ב-2015-2018. ב- 2018 נצפתה עליה משמעותית בצפיפות הפרטים מהסוג Coleps במיוחד במטהלימניון ובטרמוקלינה, לאחר מגמת ירידה ברורה ומתמשכת מאז 2012. ב- 2018 מספרי ה- Tintinides עלו מעט לעומת הערכים ב- 2017, ולא נצפה שינוי בצפיפות ה- Vorticella שממשיכים להיות נמוכים באגם.



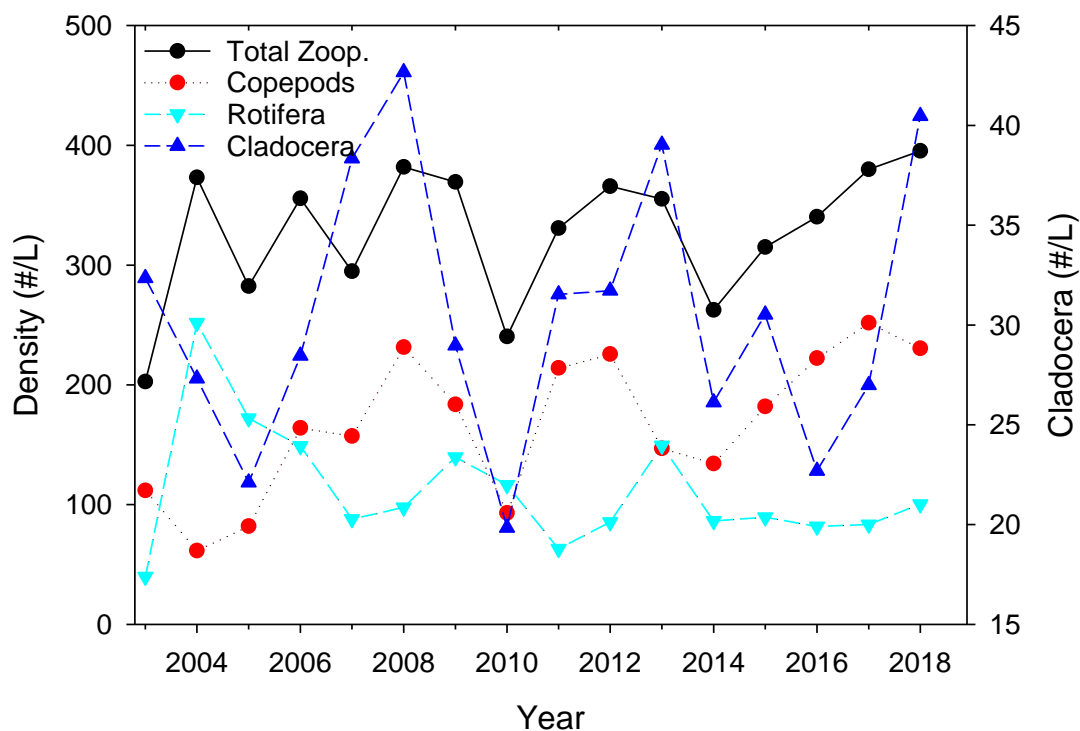
איור 50: השינויים בצפיפויות השנתיות הממוצעות של קבוצות הציליאטים השונות בעמודת המים עבור התקופה 2006-2018

לאור חשיבותם של הציליאטים במארג המזון וכחוליה מחברת בין הרמות הטרופיות הנמוכות ביותר לזואופלנקטון באגם, יש למצוא דרך לשפר את אופן ביצוע הניטור באגם. השונות הרב שנתית בצפיפויות הציליאטים, בעומקים השונים ובכלל עמודת המים, מחייבים מציאת פתרון לאופי הדיגום על מנת לצמצם את ההשפעות האפשריות של תדירות הדיגום (בזמן ובעומק) על התוצאות.

גדעון גל ושרון וורולקר

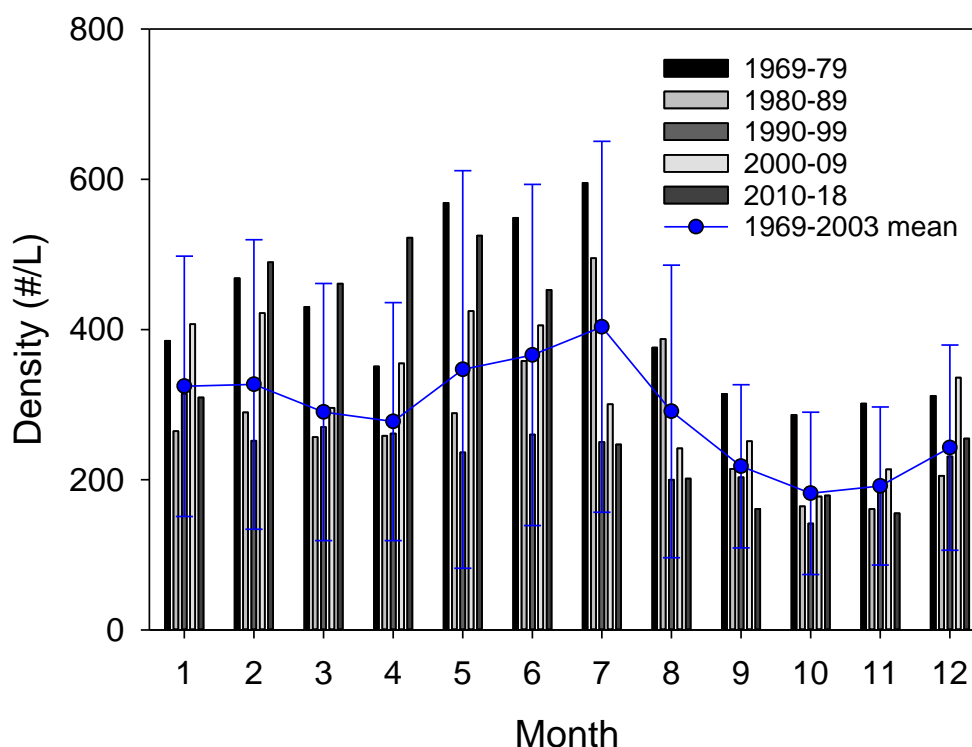
במעקב אחר השינויים בצפיפות הכוללת של הזואופלנקטון באגם מאז 2003, בעזרת דגימות הפרופילים (איור 51), ניתן לראות שבשנה האחרונה נמשכה מגמת העלייה בצפיפות הזואופלנקטון שהחלה בשנת 2014, אם כי, בשינוי מתון ביחס לשינויים מהשנים האחרונות. מקור העלייה בצפיפות הזואופלנקטון הינו העלייה בריכוזי הקלדוסירה והרוטיפרים ולמרות הירידה המתונה בקופפודים, בניגוד למגמות מהשנים האחרונות. יחד עם זה, השינויים בשנים האחרונות מעידים על המשך חוסר יציבות באוכלוסיית הזואופלנקטון במבט רב שנתי.

בניתוח חודשי רב-שנתי על בסיס עשורים ניתן לזהות מספר מגמות (איור 52). בחודשי החורף ובעיקר באביב (פברואר-יוני) ערכי הצפיפות החודשית הממוצעת של סך כל הזואופלנקטון בשנים 2010-2018 היו מעל הממוצע הרב-שנתי וגבוהים יותר מהעשורים המוקדמים יותר למעט העשור הראשון בניטור הזואופלנקטון (1969-1979). בחודשי קיץ-סתיו המגמה הפוכה ובשנים 2010-2018 הערכים היו מהערכים הנמוכים ביותר שנרשמו בעשורים האחרונים ומתחת לממוצע הרב-שנתי. הסיבות למגמות הללו לא ברורות אבל יתכן וישנו קשר לשינויים שחלו באוכלוסיית האצות מאז אמצע שנות ה-90 והעלייה הדרמטית בתדירות ובעוצמת פריחות הכחוליות באגם. יש לציין שהערכים לא היו נמוכים מטווח סטיית התקן לתקופה 1970-2003 בגלל השונות הרבה שנצפתה בתקופה הזאת.



איור 51: צפיפות שנתית ממוצעת של כלל הזואופלנקטון באגם והחלוקה עפ"י קבוצות טקסונומיות, על פי דיגום הפרופילים, בין השנים 2003-2018. ערכי הצפיפות של קבוצות הקלדוצירה מופיעים בציר האנכי הימני.

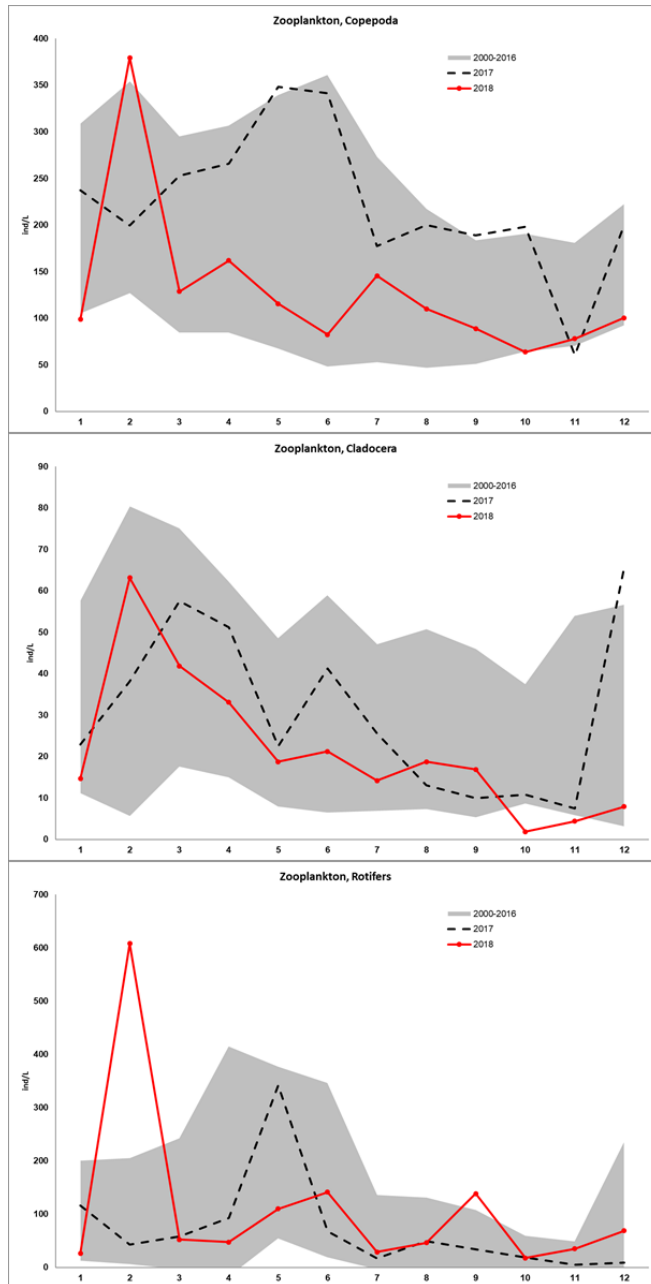
בבחינה של צפיפות הקבוצות הטקסונומיות העיקריות של הזואופלנקטון במהלך שנת 2018 ביחס לשנת 2017 ולממוצע הרב-שנתי בין השנים 2000-2016 ניתן להבחין במספר מגמות (איור 53). למעט חודש פברואר שהיה בעל ערכים גבוהים וחריגים (מדיגום שנערך ב-4.2.2018) הרי שצפיפות הקופפודים הייתה נמוכה ביחס לשנת 2017. המגמה של ערכי צפיפות הקרובים לערכים הנמוכים של הממוצע הרב שנתי פחות סטית התקן נמשכה לאורך כל השנה. צפיפות הקלדוסירה תאמה במידה רבה את המגמה של הקופפודים ואכן נראה ערך גבוה וחריג במהלך חודש פברואר ובהמשך השנה הערכים היו דומים לערכים שנרשמו במהלך שנת 2017 אם כי גם בטווח הנמוך של הממוצע הרב שנתי. צפיפות הרוטיפרים הייתה במהלך רוב השנה במרכז הטווח הרב שנתי (\pm סטית התקן) למעט הערך החריג בחודש פברואר 2018.



איור 52: צפיפות חודשית ממוצעת של זואופלנקטון עבור עשורים שונים בשנים 1969-2018 (עמודות) והממוצע החודשי הרב שנתי לשנים 1970-2003 וסטיות התקן (קו אנכי). הנתונים מבוססים על דיגום המיקסים.

אם בוחנים את הפיזור של קבוצות הזואופלנקטון בעמודת המים לאורך השנה, החל משנת 2003, ניתן לראות את ההטרונגניות שבפיזור האנכי שלהם (איור 54). בין השאר בולט שהזואופלנקטון הטורף והצמחוני (מיני הקלדוסירה ושלבי הביניים של הקופפודים) מתרכז בעיקר בחלק העליון של עמודת המים לעומת המיקרו-זואופלנקטון (הרוטיפרים והשלבים הצעירים ביותר של הקופפודים) שמופיע בצפיפויות גבוהות גם בחלקים עמוקים יותר של עמודת המים, בעיקר באביב, עם יצירת השיכוב. יחד עם זה, ניתן לראות ערכים גבוהים יחסית של השלבים הבוגרים

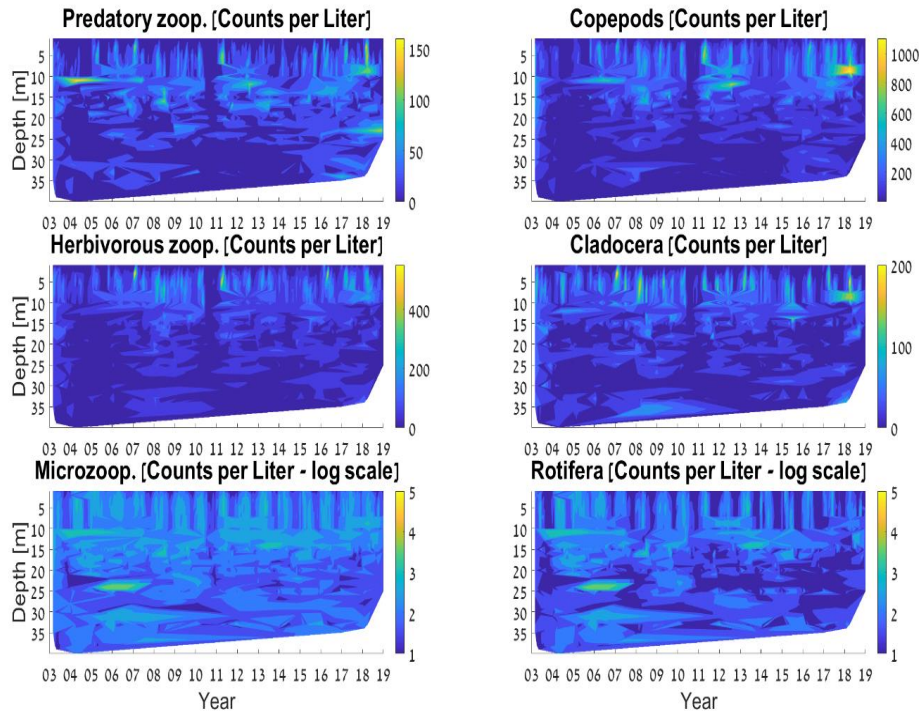
של הקופפודים (הזואופלנקטון הטורף) בעומק של 25 מ' בעיקר בחצי השני של שנת 2018. בנוסף, בולטת הצפיפות הגבוהה יחסית של הקופפודים והקלדוסירה בעומקים שבין 7-10 מ' החל מ-2017 ולתוך שנת 2018.



איור 53: צפיפות חודשית ממוצעת של שלושת הקבוצות הטקסונומיות העיקריות של הזואופלנקטון באגם: הקופפודים (איור עליון), הקלדוצירה (איור אמצעי), וההרוטיפרים (איור תחתון) בשנים 2018 (קו אדום), 2017 (קו שחור מקוקו) וביחס לממוצע הרב-שנתי וסטיות התקן (שטח אפור) בתקופה 2000-2016 על פי דיגום המיקסים.

שני מינים של רוטיפרים, *Keratella cochlearis* ו-*K. Valga tropics*, היו מיני הרוטיפרים הדומיננטיים בשנת 2018 עם ריכוזים גבוהים בעיקר בחודשי החורף-אביב. המין *K. cochlearis* הגיע לשיא של 475 פרטים ליטר בעומק של 12 מ' ב-3.6.2018 והמין *K. Valga tropics* הגיע

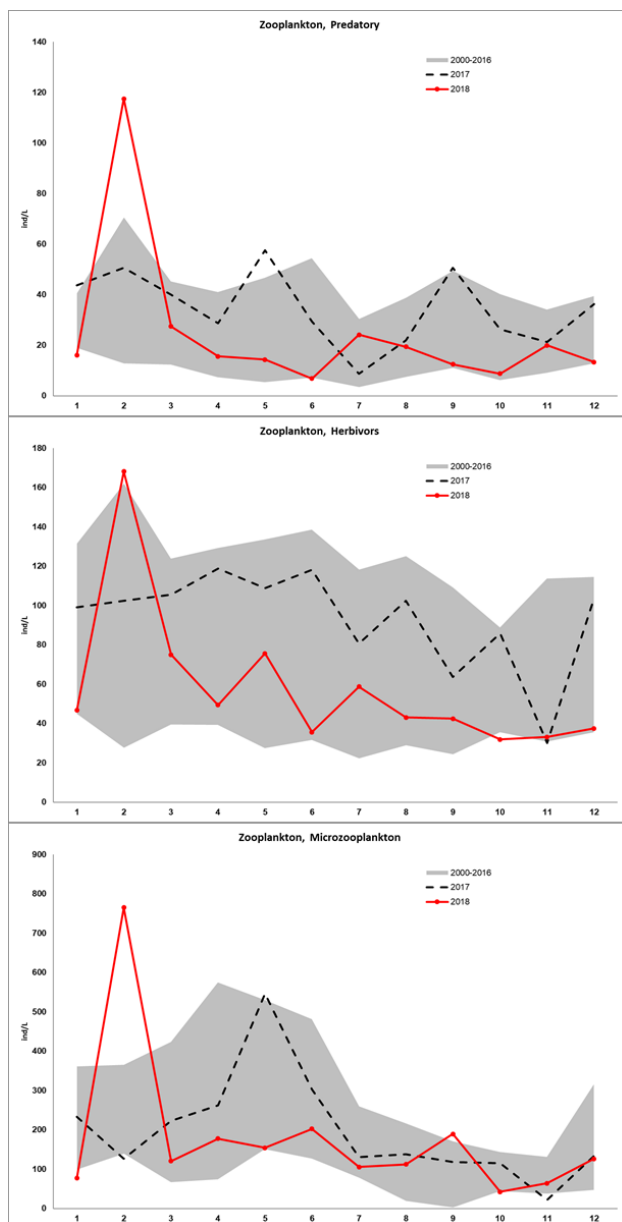
לערכים של 344 פרטים לליטר ב- 4.2.2018 בעומק של 33 מ' אבל הצפיפויות היו גבוהות בכל העומקים שבין 10-33 מ'. בניגוד לשנים עברו, בשנת 2018 לא נרשמו ריכוזים גבוהים של המין *Anuraeopsis fissa*.



איור 54: ערכי הצפיפות החודשיים הממוצעים בעמודת המים על בסיס דיגום הפרופילים החל פברואר 2003 ועד סוף שנת 2018 שהצבעים כחולים מבטאים ערכים נמוכים וצבעים אדומים מיצגים צפיפויות גבוהות. הערכים הם של (א) קופפודים, (ב) זואופלנקטון טורף, (ג) קלדוצירה, (ד) זואופלנקטון צמחוני, (ה) רוטיפרים, (ו) מיקרו-זואופלנקטון. יש לשים לב שהבדלים בטווחי הערכים בכל איור והשימוש בסקאלה לוגוריתמית באיורים התחתונים.

ניתן לבחון את אוכלוסיית הזואופלנקטון כקבוצות פונקציונאליות הכוללות את הטורפים (קופפודים בוגרים), הצמחוניים (קלדוצירה והקופפודיטים) והמיקרו-זואופלנקטון (רוטיפרים והנאופליי), במקום כקבוצות טקסונומיות. אם בוחנים את ההבדלים בין הצפיפויות החודשיות, עבור השנתיים האחרונות (2017, 2018) ביחס לממוצע של השנים 2000-2016, על פי החלוקה לשלשת הקבוצות הפונקציונאליות ניתן להבחין במספר מגמות (איור 55). ראשית, במהלך רוב השנה, צפיפויות הזואופלנקטון הטורף היו נמוכות יותר מאלו שנצפו בשנת 2017 ומערכי הממוצע הרב-שנתיים (2000-2016) ובחלקו התחתון של טווח סטיות התקן. במקרה של הזואופלנקטון הצמחוני, הערכים שנצפו במהלך שנת 2018 היו נמוכים מאלו שנצפו בשנת 2017 ובטוח התחתון מהממוצע הרב שנתי וסטיית התקן. במקרה של המיקרו-זואופלנקטון, הערכים החודשיים במהלך שנת 2018 היו דומים או מעט נמוכים מהערכים שנרשמו בשנת 2017 ובמהלך רוב השנה בטווח הנמוך של הממוצע הרב-שנתי פחות סטיית התקן.

יש להמשיך לעקוב אחר השינויים באוכלוסיות הזואופלנקטון בעיקר לאור השינויים במפלס, במליחות ובאוכלוסיות הציאנובקטריה במהלך שנת 2018 וחורף 2018/19 ובהמשך בשנת 2019. בנוסף, על סמך הידוע לנו מאירועים דומים בעבר, העלייה החדה במפלס האגם במהלך חורף 2018/19 צפויה להשפיע רבות על אוכלוסיות הזואופלנקטון בשנים הקרובות.



איור 55: צפיפות חודשית ממוצעת של שלושת הקבוצות הפונקציונאליות של הזואופלנקטון באגם: הזואופלנקטון הטורף (איור עליון), הצמחוניים (איור אמצעי), והמיקרו-זואופלנקטון (איור תחתון) בשנים 2017, 2018 ביחס למוצע הרב-שנתי (וסטיות התקן) בתקופה 2000-2016 על פי דיגום הפרופילים.

2.20 דגים - סקרים הידרואקוסטיים

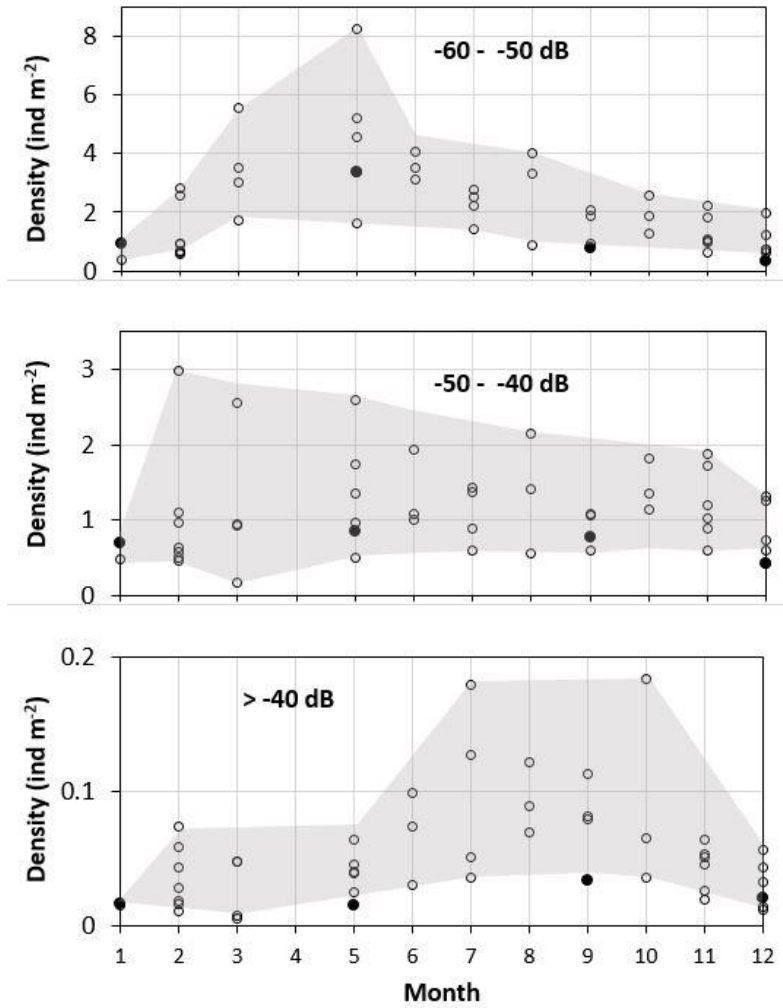
איליה אוסטרובסקי וסמיון קגנובסקי

סקרים אקוסטיים, שמטרתם הערכה כמותית של מספרי הדגים וגודלם באגם, בוצעו באקוסאונדר מדעי בעל אלומה מפוצלת 120kHz , דגם Simrad EY60. הסקרים נערכו לאורך 14 חתכים בשעות הלילה, כיון שבלילה הדגים מפוזרים על פני עמודת המים לעומת שעות היום בהן הם מקובצים בלהקות. לפני כל סקר כויל האקוסאונדר בעזרת כדור סטנדרטי. האקוסאונדר המדעי צויד במערכת GPS שמאפשרת רישום דגמים מרחביים דו-מימדיים של פיזור המטרות האקוסטיות. מכיון שאקוסאונדר מפוצל אלומה מאפשר זיהוי מהחיישן לכל מטרה, הרי שניתן לאפיין מיקום תלת-מימדי של המטרות בגוף המים. דיגום הדגים נעשה בטווח שמעבר ל-2 מ' מהחיישן. חשובי צפיפויות הדגים נעשו בעזרת תוכנת עיבוד הנתונים ההידרואקוסטיים (S5, Sonar5, Lindem Data Acquisition, http://folk.uio.no/hbalk/sonar4_5/index.htm) טווח המטרות האקוסטיות חולק לקבוצות: מטרות קטנות מ-50dB - משויכות ללרוות ולדגיגים, מטרות -40dB – -50 הינן ככל הנראה בוגרים של לבנון (*Mirogrex terraesanctae*) ושל רוב הדגים האחרים, ומטרות >-40dB משויכות לדגים גדולים, חלקם מינים בעלי ערך מסחרי. הדינמיקה העיתית של הדגים משלוש קבוצות הגודל הראתה איפיונים דומים בעלי עונתיות ברורה (איור 56). העונתיות של הדינמיקה של צפיפות הדגים נקשרת לתהליכי הנדידה והרבייה של הלבנון (*Mirogrex terraesanctae*), שהינו המין הדומיננטי מספרית מכלל כמות הדגה. צפיפות הדגים המינימלית באגם (עומק דיגום גדול מ-7 – 10 מטר) אופיינית לחורף ולשלהי הסתיו, כאשר הלבנונים הבוגרים נודדים אל קירבת החופים לשם רבייה. הצפיפויות הגדולות ביותר של דגים בגודל -50 – -60 dB נצפו במאי. צפיפויות הדגים מכל קבוצות הגודל בכל העונות היו בסדר גודל קרוב, או אפילו נמוכות, מהתחומים הנמוכים שנצפו בשנים 2011-2017. הדבר מצביע על ירידה משמעותית בדגים, מכל קבוצות הגודל, במפלסי המים הנמוכים יותר, דבר המצריך השלמה של צעדי ממשק כגון ויסות מפלס המים וקביעת תחום תנודה אופטימלי (Ostrovsky et al., 2014).

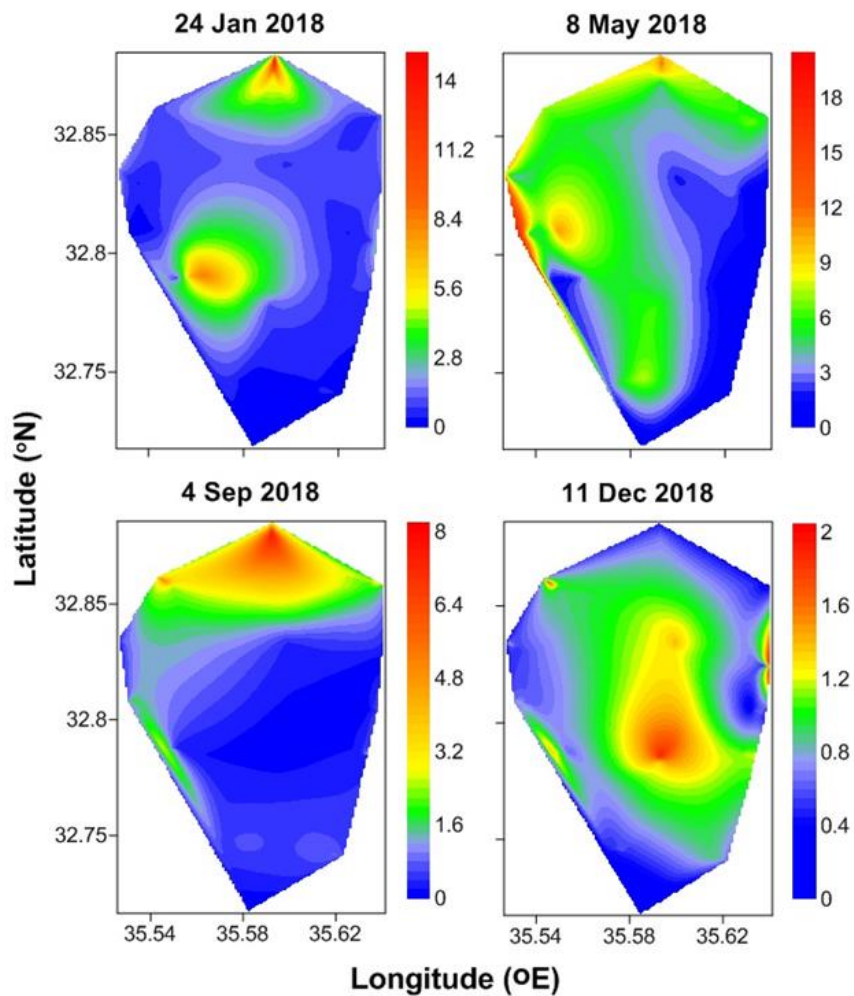
בפברואר 2018 נמדדה צפיפות דגים גדולה בקצה הצפוני של האגם ובמרכז החלק המערבי שלו. במאי ריכוזים גבוהים של דגים נצפו בחלקו הצפון - מערבי הרדוד של האגם ובספטמבר רוב הדגים נצפו בצפון (איור 57). ההבדל הגדול בתפוצת הדגים נצפה בדצמבר כאשר רוב הדגים נמצאו באזורים המרכזיים. הצפיפויות הגדולה ב-2018 של דגים הגדולים מ-60 Db היתה 2.1 למטר מרובע, מספר הנמוך מזה של השנים 2015-2016-2017 – 2.7, 3.3 ו-2.9 למ"ר, בהתאמה.

ספרות:

Ostrovsky, I., T. Zohary, J. Shapiro, Z. Snovsky, D. Markel (2014) Fisheries management in Lake Kinneret. Chap. 36. In *Lake Kinneret: Ecology and Management* (Eds T. Zohari, A. Sukenik, T. Berman, A. Nishri). Springer, Dordrecht. DOI: 10.1007/978-94-017-8944-8_36



איור 56: דינמיקה עונתית של דגים מסוגים שונים בגודל בשנת 2018 באגם הכנרת . הנקודות השחורות המלאות מייצגות את הערכים ב-2018, הנקודות השחורות הריקות מייצגות את הערכים של 2011 – 2017. השטחים מייצגים את גבול השונות ב-2011 – 2017. הנתונים מצביעים על כך שצפיפות הדגים מקבוצות גודל שונות הייתה קרובה לגבול התחתון של צפיפויות הדגים שנצפו בשנים 2011-2017.



איור 57: תפוצה מרחבית של דגים באגם הכינרת ב-2018. צפיפות דגים ניתנת בפרטים למטר מרובע (ind./m²)

2.21 חלזונות וצדפות בליטוראל

תמר זהרי, בני סולימני, דייב קמינגס

הרכיכות בכנרת קבלו עד כה יחסית מעט תשומת לב מחקרית. בעבר לא נעשה ניטור שלהן ואין בידינו נתוני רקע להשוות לנתונים הנאספים כיום, אפשר רק להסתמך על עדויות בכתב כמו "נמצאו בהמוניהן על כל אבן וסלע". המינים המקומיים של רכיכות המים המתוקים בישראל הם בין בעלי החיים המאוימים ביותר, בעיקר עקב העלמות בתי הגידול שלהם ודחיקתם על ידי מינים פולשים (מילשטיין וחוב' 2012). בשנות השבעים של המאה הקודמת תוארו בכנרת 5 מיני חלזונות (טבלה 20), חלקם אנדמיים, כולם נמצאו בגופי מים מתוקים באזור מאז הפלייסטוקן התחתון, לפני כ- 1.5 מיליון שנה (Tchernov 1975). ארבעה מינים תוארו כנפוצים מאד בשנות השבעים של המאה הקודמת: מגדלית הנחלים *Melanoïdes tuberculata*, סהרונית הירדן *Theodoxus jordani*, שחריר מצולע *Melanopsis costata*, ביתיניה זעירה *Bithynia phialensis*

(טבלה 20). מין חמישי, אנדמי לכנרת ומערכת הירדן, קרינית הירדן *Falsipyrgula barroisi* (previously *Pyrgula barroisi*), היה פחות נפוץ. מאז ירידת המפלס הקיצונית של 2001 צפיפותם של חלזונות מקומיים אלו ירדה באופן קיצוני. ב-2007 התגלה לראשונה בכנרת חילזון פולש, *Thiara scabra* (איור 58) ממשפחת ה-Thiaridae (Meinins & Meinis 2008). בשנים 2009 - 2010 עקבנו אחרי התפשטותו בכל האגם והפיכתו למין השליט שדוחק את מיני החלזונות המקומיים (Heller et al 2014).

טבלה 20: מיני החלזונות בכנרת, בית הגידול הטיפוסי להם בכנרת, סיווגם כמין מקומי או פולש ומצבם העכשווי.

שם עברי	שם לטיני	בית גידול – סוג התשתית	מקומי/פולש	מצב עכשווי
ביטיניה זעירה	<i>Bithynia phialensis</i>	אבנית	מקומי	בסכנת הכחדה
קרינית הירדן	<i>Falsipyrgula barroisi</i>	אנדמי לכנרת ונחלים במע' הירדן	אנדמי לכנרת ונחלים במע' הירדן	כנראה נכחד*
מגדלית הנחלים	<i>Melanoides tuberculata</i>	דקת גרגר	מקומי	בסכנת הכחדה
שחריר מצולע	<i>Melanopsis costa</i>	אבנית	מקומי	בסכנת הכחדה
סהרונית הירדן	<i>Theodoxus jordani</i>	אבנית	מקומי	נפוץ
-	<i>Pyrgophorus</i> sp.	דקת גרגר	פולש	תפוצה מוגבלת בצפון-מערב הכנרת
-	<i>Tarebia granifera</i>	דקת גרגר, אבנית, מופרת**	פולש	בשלבי התבססות אוכלוסייה ראשונים
-	<i>Thiara scabra</i>	דקת גרגר ואבנית	פולש	מין שליט

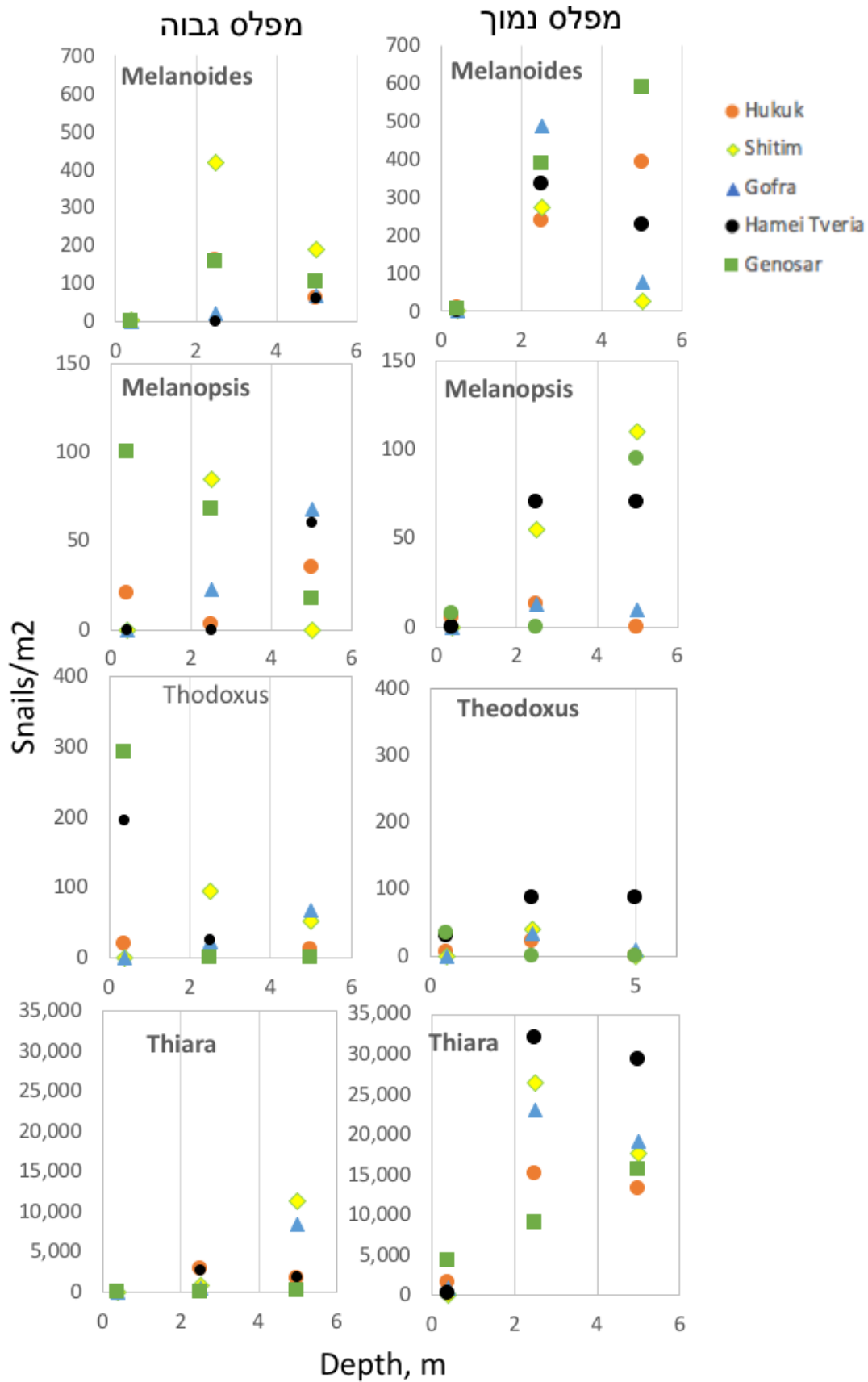
* לא נמצא אפילו פרט אחד מאז תחילת הניטור ב-2012
 ** בית הגידול לפי Ben-Ami 2006, Appleton et al 2009



איור 58: משמאל: החלזון הפולש, *Thiara scabra*. אורך הסרגל: 0.5 ס"מ. מימין: מצבור קונכיות בחוף שיטים, כנרת, פברואר 2019. הקונכיות שצבען חום בהיר או כהה, כולן של טיאהרה. רק פרטים בודדים, לבנים, הם של קונכיות מהמינים הטבעיים לכנרת.

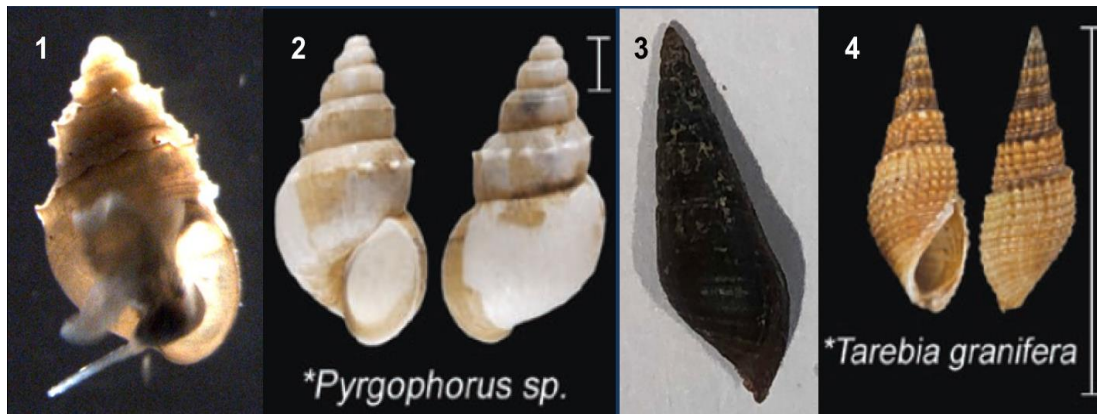
בעקבות הופעתו של מין פולש זה התחלנו ב-2012 בניטור שגרתית של חלזונות וצדפות פעמיים בשנה, בתקופת מפלס המינימום ושוב בתקופת מפלס המקסימום, בחמש תחנות: חוקוק, גינוסר, וחמי טבריה בצד המערבי, ובשיטים וגופרה בצד המזרחי של הכנרת. בכל תחנה מתבצע דיגום בשלשה עומקים: 0.4 מ' (דיגום מהחוף), 2.5 מ' ו-5 מ' (דיגום בצלילה מסירה), סה"כ 15 נק' דיגום לעונה. הדיגום מתבצע על ידי איסוף לדלי של התשתית (אבנים, חול, טון) מ-10 משבצות אקראיות של 20 x 20 ס"מ, סינון על רשת לסילוק חומר דק הגרגר, ואיסוף, זיהוי וספירה של כל החלזונות והצדפות. כשריכוזי החלזונות גדולים נספרת תת-דגימה שקולה. התוצאות מדווחות כמס' פרטים ל-מ"ר.

ממצאי הניטור (איור 59) מעידים שמאז תחילת המעקב השוטף ב-2012 טיאהרה, המין הפולש, מהווה מעל 90% מכלל החלזונות בכנרת. מין זה התרבה בממדי ענק והתפשט לכל חלקי האגם למעט המים העמוקים. בעומקים של 2.5 ו-5 מ' הריכוזים שלו מגיעים במקרים רבים לריכוזים עצומים של עשרות אלפי פרטים למ"ר (איור 59). קרקעית האגם במקומות כאלו מכילה בעיקר חלזונות חיים ומתים, כמעט ללא גרגרי חול ביניהם. צפיפות עצומה זו נצפית גם במצבורי קונכיות שנשטפים לחוף (איור 58). באשר למינים הטבעיים - הקרינית נעלמה לחלוטין. ביטיניה הפכה לנדירה ביותר, כמעט ונעלמה. צפיפות שלשת המינים הטבעיים הנוספים, שחריר, מגדלית, וסהרונית, פחתה מאד. הדבר מתבטא בכך שחציון הריכוזים שנמדדו עבור שחריר, מגדלית וסהרונית בשנים 2012 – 2017 בכל נקודות ותאריכי הדיגום, היה 0 פרטים למ"ר. במילים אחרות, עבור כל מין משלשה מינים טבעיים אלו שהיו נפוצים מאד בעבר, לא נמצא אפילו פרט אחד ביותר מחצי מ-180 הדגימות (12 עונות דיגום x 15 נקודות דיגום בכל עונה). לעומתם, החציון עבור המין הפולש, טיאהרה, היה 92 פרטים למ"ר. כלומר, בחצי מהדגימות נצפו לפחות 92 פרטים למ"ר. גם ערכי המקסימום מצביעים על אותה תופעה: עשרות אלפי פרטים למ"ר של טיאהרה לעומת עשרות עד מאות בודדות של פרטים בכל המינים האחרים (איור 59). במילים אחרות, מין אחד כנראה הוכחד, לפחות 3 מתוך 4 המינים הטבעיים שנותרו בכנרת נמצאים בסכנת הכחדה.



איור 59: ריכוזי חלזונות מהמינים השונים ב-5 תחנות בכנרת, באפריל-מאי 2018 (מפּלס גבוה) ונובמבר - דצמבר (מפּלס נמוך).

על רקע מצב עגום זה אנו מדווחים בזאת על פלישה בשנה האחרונה של שני מינים נוספים של חלזונות זרים לכנרת: בנובמבר 2017 מצאנו בחוף גינוסר ובחוף חוקוק חילזון השייך לסוג פירגופורוס (*Pyrgophorus* sp.) (טבלה 20, איור 60). זהו חילזון זעיר, שאורכו כ-5-7 מ"מ. זיהויו קל בגלל נוכחות רכסים ספירליים על הקונכייה עם זיזים לאורך אחד הרכסים (מילשטיין ושות' 2012, איור 59). מקורו של מין פולש זה באיים הקריביים, הוא נראה לראשונה בישראל בתחילת שנות ה-2000. עד 2011 דווח על אוכלוסיות שלו בכמה מנחלי החוף ובתעלות עמק המעיינות (מילשטיין ושות' 2012), לא בכנרת.



איור 60: שני מינים נוספים של חלזונות פולשים בכנרת: (1,2) *Pyrgophorus* sp., מין חדש של חילזון שנמצא לראשונה בכנרת בחופי גינוסר וחוקוק, נובמבר 2017. (1) פרט חי מחוף גינוסר, נוב' 2017. (2) קונכייה ריקה עם פיתולים מודגשים וסדרת זיזים על הפיתולים התחתונים. אורך הסרגל: 1 מ"מ. (3,4) *Tarebia granifera*. (3) פרט חי מגינוסר, נוב' 2018. (4) קונכיית ריקות. אורך הסרגל 30 מ"מ. תמונות 2,4 לקוחות מהמגדיר של מילשטיין ושות' (2012) ושמשו להגדרת המין.

ב-19 לנובמבר 2017 ראינו אותו לראשונה בחוף גינוסר, בו נמצאו פרטים אחדים של המין בכל אחד משלשת עמקי הדיגום. למחרת נמצאו 3 פרטים נוספים בחוף חוקוק בדיגום בעומק 5 מ' אך לא בעומקי הדיגום האחרים. ב-2018 הוא נמצא שוב, בריכוזים של פרטים בודדים עד מקסימום של 90 פרטים למ"ר בגינוסר, בחוקוק, ולראשונה גם בחמי טבריה (7 פרטים למ"ר). הוא לא נמצא כלל בחופים המזרחיים. כלומר, בשלב זה התפשטותו מוגבלת ואיטית. הנק מייניס (תקשורת בע"פ) העלה השערה שהחילזון הגיע עם חסת המים (*Pistia stratiotes*), מין פולש של צמח מים שהתרבה מאד בשפך נחל צלמון לכנרת בקיץ 2013.

ב-9 לדצמבר 2018 נצפה לראשונה במים הרדודים של חוף גינוסר חילזון ממין זר שלישי שמקורו במזרח הרחוק, *Tarebia granifera* Lamarck 1816 (איור 60) ממשפחת Thiaridaen, אליה שייכים גם הטיארה והמגדלית (גינור: 43 פרטים למ"ר בעומק 0.4 מ'; חוקוק: 13 פרטים למ"ר בעומק 0.4 מ'). בין הפרטים היו צעירים ובוגרים, דבר המעיד על אוכלוסייה שמתרבה. מין זה מוכר כמין פולש בצפון אמריקה, דרום אמריקה ובאפריקה. בדרום אפריקה דווח על ריכוזים של עשרות אלפי פרטים למ"ר. המין גדל במים שפירים עד מליחים, ויכול לשרוד תקופות של עד שבועות במים ים או אפילו בסביבה לחה ללא מים ע"י התחפרות בחול (Appleton et al. 2009). הוא משמש כמנקה ביולוגי בתעשיית האקווריומים וכנראה כך התפשט בעולם, אולי גם הגיע כך לישראל, בה דווח לראשונה

על הופעתו ב- 2004 (Ben-Ami 2006). המין מוכר כפונדקאי של תולעים טפילות מקבוצת הטורמטודה הגורמות לתחלואה בבני אדם ובדגים. במהלך הדיגום הקרוב במאי 2019 נברר אם תפוצת החילזון התרחבה ואם מספר הפרטים הנצפים עלה.

עתידם של שני המינים הפולשים החדשים לא ידוע: לא ברור אם יתרבו בדומה לטיארה, איזו השפעה תהיה להם על מארג המזון, האם תהיה להם השפעה מזיקה על בני אדם או דגים עקב היותם נשאים של טפילים, האם יהיו להם טורפים מקומיים? סביר שאם יתרבו הם יתרמו לדחיקה נוספת ועד להכחדה מוחלטת של מיני החלזונות הטבעיים לכנרת. הופעתם של שני מינים פולשים נוספים מבשרת רעות: היא מעידה על מצבה העדין והרגיש של הכנרת כמערכת אקולוגית, ושל מארג המזון שבה הנתון כיום לטלטלות ושינויים קיצוניים.

ספרות:

מילשטיין ד, מיניס ה, ריטנר ע. 2012. מדריך שדה לרכיכות המים הפנימיים של ישראל. הוצ' רט"ג.

Appleton CC, Forbes AT, Demetriades NT. 2009 The occurrence, bionomics and potential impacts of the invasive freshwater snail *Tarebia granifera* (Lamarck, 1822)(Gastropoda: Thiaridae) in South Africa. Zoologische Mededelingen. 83:525-536.

Ben-Ami F. 2006. First report of the invasive freshwater snail *Tarebia granifera* (Lamarck, 1816) (Gastropoda: Thiaridae) from Israel.— The Nautilus 120: 156-161.

Meinis H, Meinins D. 2008. *Thiara scabra*, a tropical snail, invaded the Sea of Galilee, Israel. Triton 18: 35-36.

Serruya C. 1978. Mollusca, pp. 381-389, in: Serruya C (Ed). Lake Kinneret. W Junk, The Hague.

Tchernov E. 1975. The Molluscs of the Sea of Galilee. Malacologia 15: 147-184.

פג אסטרוחן ואדית לייבוביץ

גם השנה נבחנה במסגרת הניטור באגם נוכחות חומרי ההדברה במי הכנרת. מטרת הניטור הנ"ל הינו מעקב אחר נוכחות חומרי הדברה באגם. מקורות חומרים אלו הם בעיקר מהשימוש החקלאי בחומרים אלו והגעתם לאגם בדרכים שונות. דגימות מים נאספות אחת לשבועיים מחמש תחנות הדיגום (A,G,H,D,K) באגם ונוכחות החומרים נבחנת ע"י כרומטוגרף מסות. גם השנה לא נמצאו חומרי הדברה בכל התחנות דיגום מעל ריכוזי סף של 1 חלקי המיליארד. נוכחות שולטת של DDT על צורותיו השונות עדיין מאובחנת באגם כל השנה, ובנוסף- ריכוזים נמוכים של חומרים דוגמת אנדוסולפן המופיעים בצורה ספורדית. ניתן לציין כי חומרים אלו נאסרו לשימוש לפני עשרות שנים. בעוד ולנגזרות ה- DDT יכולת שאירותיות גבוהה לאורך שנים, חומרים דוגמת אנדוסולפן ובעלי רמה טוקסית גבוהה, מתפרקים מהר יותר בתנאי הסביבה. יתכן כי המקור של אלו הוא במלאי ישן הקיים אצל החקלאים. ניתן לציין כי בשנים האחרונות יש ירידה בריכוזי חומרי ההדברה אך קיימת סבירות כי עם השנים חל מעבר לשימוש בחומרי הדברה חדשים. שינוי מערך הסטנדרטים טעון בדיקה והסתמכות מחודשת על דו"חות שימוש עדכניים בחומרי הדברה, כאלו אין לפי שעה. לפני כשלוש שנים לערך נצפה ערך יחיד של אנדוסולפן בתחנה A (מרכז האגם), ריכוז זה יכול להביא למוות של מספר מיני דגים ואף דפניות כמדווח בספרות העולמית אך לא נבדק על דגת הכנרת. יש להניח כי ריכוזים אלו קיימים אך לא נמצאו בדגימות השנה. בנוסף, ניתן להניח כי קיימת אפשרות למציאת חומרי הדברה הספוחים לשכבת הסדימנט ממנו ניזונים דגי אגם מסוימים. ריכוזים גבוהים של אנדוסולפן מביאים לכדי הרעלה מאסיבית של דגים ולכן יש לעקוב אחרי כל ריכוז של חומר זה בנוסף לבחינת ההשפעה האקוטית ואו הכרונית על דגת האגם. כבכל שנה נבדקים אירועים שונים של תמותת דגים מאסיבית בעזרת פקחי רט"ג. הדגים נבחנים גם הם ע"י מיצוי רקמות הדג ובחינתם בעזרת כרומטוגרף מאסות. השנה לא אובחנה הרעלה מאסיבית בדגים אך דווח בחודש נובמבר כי קיים חשד לשימוש בשמן ציפורן ע"י צוללן שנתפס עם שלל רב. חומר זה הינו חומר הרדמה ידוע המצוי בשימוש בטיפול בדגים. הצפי השנה לצערנו, כולל חזרה למקרי הרעלה מכוונת עקב המפלס הנמוך המביא עמו קושי לתפיסת דגי האגם המתחבאים בצמחיה שנוצרה לאורך החופים. עד כה (2 דוגמאות דגים) לא נמצאו חומרי הדברה בדגים המובאים. עם זאת ניתן לציין כי בעקבות אירועי עבר (טבלאות 21 ו 22) ניתן להבחין במקרי הרעלה המתרחשים גם בנחלי הצפון, כך ניתן לדוגמא להבחין בעלייה דרמטית שהתרחשה בשנת 2015 (טבלה 22), לאחריה הובא מספר מצומצם יותר של דוגמאות ובהן לא אובחנו מקרי הרעלה.

טבלה 21: תוצאות אנליזות דגימות דגים בשנים 2013-2014 ערכים חשודים מסומנים באדום.

DDD	DDE	Endosulfan α	תאריך	מס'ד
		0.2	14.3.2013	F1 13
1.28	9.1	1.95	14.4.2013	F2 13
	8.6	367.9	18.04.2013	F3 13
	7.16		19.4.2013	F4 13
	12.7		19.4.2013	F5 13
	12.1		19.4.2013	F6 13
	7.33		19.4.2013	F7 13
	24	967.7	22.4.2013	F8 13
			29.5.2013	F9 13
0.2	3.4	4.23	10.6.2013	F10 13
			30.7.13	F11 13
1.1	3.8		16.10.13	F12 13
		50	23.3.14	F1 14
	2.72		3.4.14	F2 14
	31.1	430.8	5.8.14	F3 14

טבלה 22: תוצאות אנליזות דגימות דגים שנת 2015, ערכים חשודים מסומנים באדום.

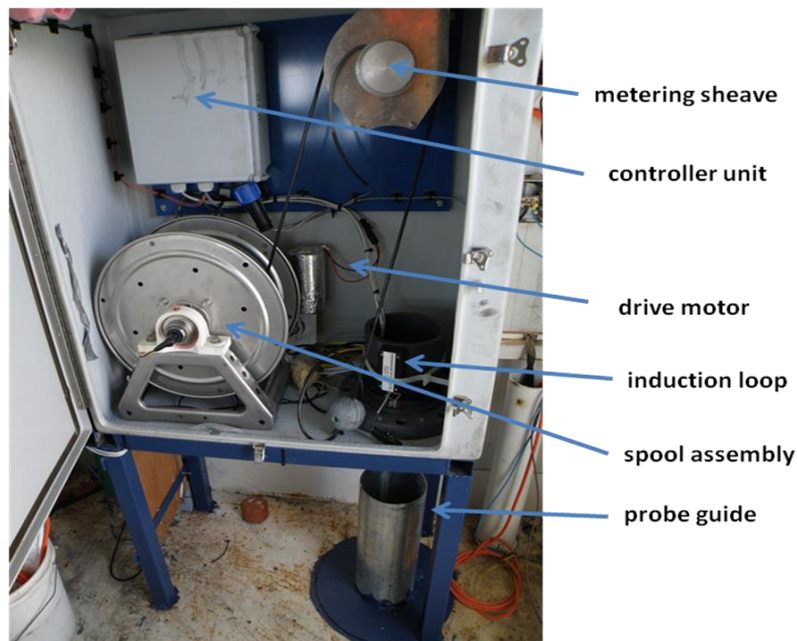
Terbutryme	DDD	DDT	DDE	Endosulfan sulfate	Endosulfan β	Endosulfan α	תאריך	מס'ד
		1.44					19.1.15	F2 15
			11.05				1.2.15	F3 15
			5				9.4.15	F4 15
			37			343.6	9.4.15	F5 15
						1058	20.4.15	F6 15
					0.07	0.03	20.4.15	W3 15
0.054						0.06	21.4.15	W4 15
							21.4.15	W5 15
		1.58	9.63				22.4.15	F9 15
	1.48	2.37					4.6.15	F10 15
			5			20	24.6.15	F11 15
			16.7			1296	8.7.15	F12 15
						16.76	8.7.15	W7 15
						7	12.7.15	W8 15
				0.39	18.9	23.6	14.7.15	W9 15
				1.63	9.4	9.27	14.7.15	W10 15
						1.08	22.7.15	W11 15
						0.33	22.7.15	W12 15
			12	87		608	17.8.15	W13 15

2.23 הפעלת פרופיילר אוטונומי בתחנה A כחלק מתוכנית הניטור של אגם הכנרת

ורנר אקרט, בני סולימני ומיקי שליכטר

רקע

ב - 2002 החלה המעבדה לחקר הכנרת לנטר את עמודת מי האגם בעזרת ציוד אוטומטי המופעל מדוברת ה - *Ecoraft* בתחנה A . בשנת 2009 הוחלפה יחידת ה-RUSS/YSY , שפעלה במקום בשנים 2002-2008, במכשיר המופעל על ידי כננת ומורכב מדוגם רב חיישנים מדגם MANTA II (Eureka, Austin, Texas) ומפרופיילר עצמאי מותאם למקום, אשר פותח על ידי Instrumental Solutions Inc, Vicksburg Mississippi (איור 61).

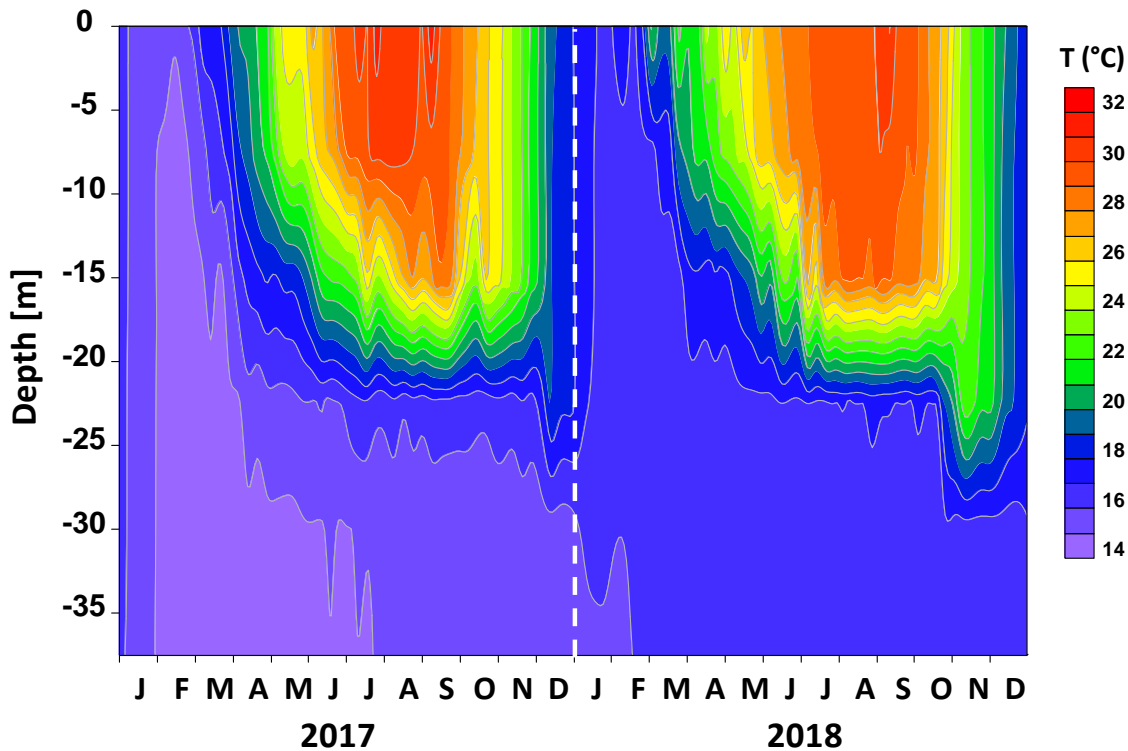


איור 61 : יחידת הפרופיילר האוטונומי ISI-AutoReel

דיגום הפרופילים החל בסוף דצמבר 2009, במדידות טמפרטורה, עומק, חמצן מומס, pH, מוליכות, פוטנציאל חמצון/חיזור, עכירות וכלורופיל a, פעם אחת עד 4 פעמים ביממה לאורך עמודת המים ברזולוציה של 0.5 מטר. ב - 2018 תדירות הדיגום הייתה 5 פרופילים ביממה.

תוצאות מ - 2018

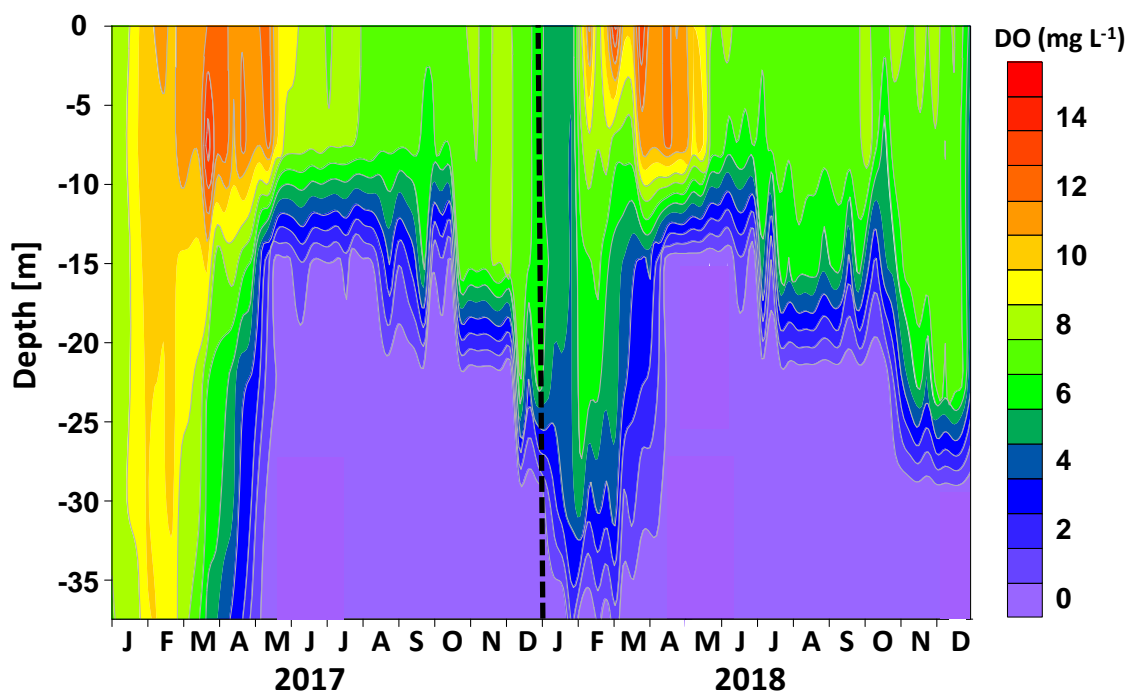
בניגוד ל - 2017 בה עמודת המים הייתה מעורבת לחלוטין בתחילת ינואר, ב - 2018 למעשה לא נמדד היפוך מלא של עמודת המים רק באמצע פברואר לפרק זמן קצר ולמעשה ערבוב מלא, וטמפרטורה אחידה, של עמודת המים במהלך חורף 2018 (איור 62, איור 15 פרק 2.5). טמפרטורת המים בפברואר עמדה על 16.5°C , שתי מעלות מעל הטמפרטורה בשנה שעברה. התרמוקלינה התייצבה בעומק 18 מטר מיוני ועד סוף אוקטובר. שלא כמו ב-2017, טמפרטורת האפילימניון עלתה מעל 30°C רק למספר ימים בתחילת ספטמבר וזאת כתוצאה מהקיץ הנוח יחסית. למרות טמפרטורות המים החמימות בהיפולימניון, עמודת המים נשארה משוכבת עד סוף 2018.



איור 62: טמפרטורה עמודת המים של אגם הכנרת במהלך השנים 2017-2018. הצבעים מבטאים את הטמפרטורה והקווים מייצגים טמפרטורות שונות (איזותרמות).

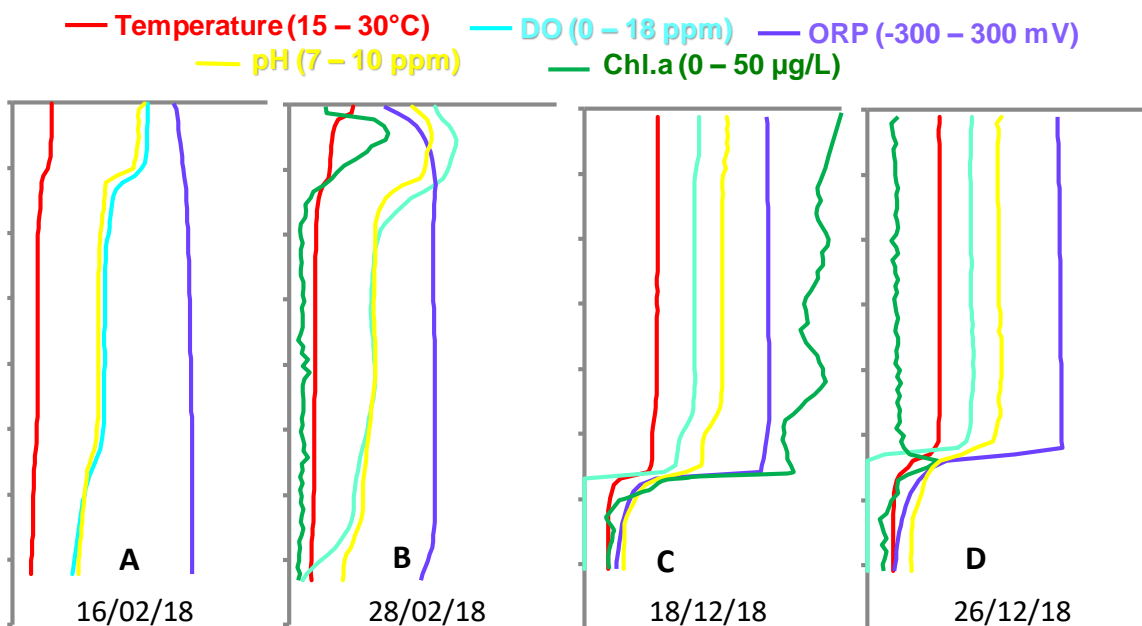
המאפיין החריג ביותר במהלך 2018 היה היפוך לא מלא של עמודת המים שהתבטא בריכוזים נמוכים אך משתנים של חמצן מומס קרוב לקרקעית מינואר עד מרץ (איור 63). כך גם לגבי נוכחות סולפיד מתחת ל-35 מטר עד אמצע פברואר. פרופיל פוטנציאל חמצון-חיזור הוא הפרמטר הראשון שהראה נוכחות חמצן בקרקעית האגם (איור 64A). מספר ימים מאוחר יותר ריכוז החמצן המומס קרוב לקרקעית ירד שוב (איור 64B) והאפילימניון התחמם במקביל לפריחה אביבית של פיטופלנקטון.

לא ידוע על אירועי עבר שבהם תועדו חוסר יציבות בערבוב מלא של עמודת המים כפי שתועד ע"י ריכוז החמצן המומס בחודשים ינואר-מרץ 2018 (איור 63).



איור 63: ריכוזי חמצן מומס בעמודת המים של אגם הכינרת במהלך 2017-2018.

בסוף מרץ האוקסיקלינה עלתה ל - 15 מטר (איור 63) והתנדנדה בין 14 ל - 15 מטר עד אמצע יולי, אז העמיקה בהדרגה עד ל - 20 מטר. היא נשארה יציבה יחסית בעומק זה עד לסוף אוקטובר ואז, בדומה לשינוי שחל בטמפרטורה של המים, האוקסיקלינה העמיקה בצורה חדה ל - 28 מטר. תופעה חריגה נוספת שנצפתה ב - 2018 היא הריכוזים הגבוהים יחסית של כלורופיל באפילימניון בסוף הסתיו, שהגיעו עד ל - 50 מיקרוגרם לליטר כלורופיל a אך לא באו לידי ביטוי בעליה בריכוז החמצן המומס (איור 64). ב - 25-26 לדצמבר פריחת הפיטופלנקטון דעכה בפתאומיות ולוותה בירידה בריכוז החמצן המומס באפילימניון, שהגיע ב - 29 לדצמבר למינימום של כל הזמנים (4.8 מג"ל) באזור הפוטי של הכנרת. ההשערה היא שהתמוטטות פריחת האצות בדצמבר ובעקבות כך הפעילות החיידקית בשילוב עם העמקת התרמוקלינה גרמו לעליה בצריכה הכימוטורפית של החמצן המומס ובעקבות כך הירידה החדה בריכוז החמצן במים.



איור 64: פרופילים מאפיינים של טמפרטורות, חמצן מומס, כלורופיל, pH ומוליכות חשמלית במהלך תהליך השיכוב בשנת 2018 בעמודת המים של תחנה A.

2.24 איכות מי הכנרת באמצעות צילומי לוויין המשולבים במערכת SISCAL

גדעון טיבור (המכון הלאומי לאוקיאנוגרפיה), חמי רושנסקי-מלינסקי, מיקי שליכטר, לנא אשקר (מכון גיאולוגי)

הקדמה

מטרות: בניית בסיס מידע סינופטי רב-שנתי של כל האגם; 2. אספקה שוטפת של נתוני טמפרטורה, כלורופיל וחומר מרחף סינופטיים מהאגם כולו כנתוני בסיס לניתוח אירועים חריגים (פריחות, זיהומים, ירידת המפלס) וכנתונים לכליול המודלים הלימנולוגיים של הכנרת; 3. הפצת המידע הנאסף לרשויות ולציבור באמצעות מרכז המידע הימי הלאומי (ISRAMAR) ואתר רשות המים.

רקע: השימוש בלוויינים למיפוי איכות המים בכנרת נעשה באמצעות מערכת SISCAL (www.siscal.net) שפותחה במסגרת מחקר של התוכנית האירופאית החמישית וכיום מוטמעת ע"י חברת Informus והמכון לחקר ימים ואגמים. הניטור כיום מתבסס על צילומי לוויין ה-VIIRS שלו רזולוציה מרחבית של 0.75 x 0.75 ק"מ ועל לוויין ה-Landsat 8 שלו רזולוציה של 30 x 30 מטר בערוצי הצבע ו-60 x 60 מטר בערוץ התרמי. הלוויין חולף מעל הכנרת פעם ב-16 יום. הנתונים הנאספים קרוב לפני המים ע"י המעבדה לחקר הכנרת בתחנות הקבועות והנתונים הנאספים בצורה רציפה ע"י ה-profiles בתחנה A משמשים להמשך כיוול ובדיקה של האלגוריתמים השונים.

שלבי הניטור

- הורדת צילומי הלוויין קרוב ל"זמן אמת" ויצירת מפות של טמפרטורת פני המים (SST), ריכוזי כלורופיל (Chl a), ריכוזי חומר מרחף (TSM) ועומק סקי (Secchi depth).

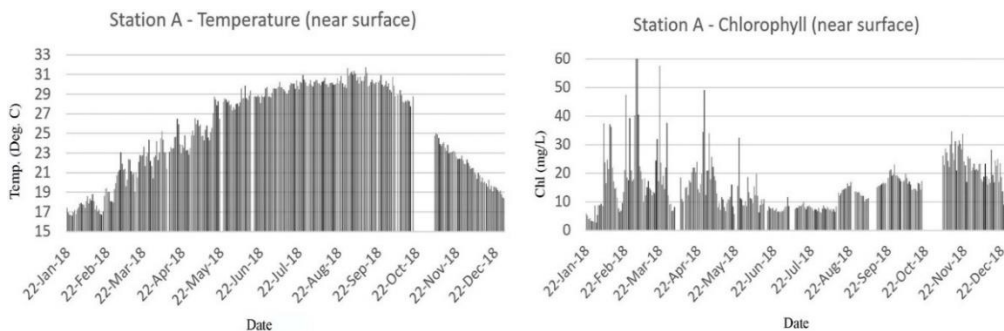
- בדיקה וכיול אלגוריתמים קיימים מול נתונים מהשטח שנואספים ע"י המעבדה לחקר הכנרת.
 - אנליזה סינופטית של האגם.
 - הפצת עיבוד צילומי לוויין Landsat 8 קרוב לזמן אמת לרשות המים ולמעבדה לחקר הכנרת.
 - הפצת המידע הנאסף לרשויות ולציבור באמצעות מרכז המידע הימי הלאומי (ISRAMAR) ואתר רשות המים.
- דו"ח זה מסכם את הפעילות שנעשתה במהלך 2018:

שלב א: קליטת צילומי לוויין

במהלך 2018 נקלטו ושולבו במערכת ה-SISCAL 59 צילומי לוויין מסוג MODIS AQUA לחודשים ינואר עד מרץ ו- 184 צילומי לוויין מסוג VIIRS לחודשים אפריל עד דצמבר, מתוכם נשלחו 97 נתוני SST, 77 נתוני SEC ו- 12 נתוני CHL לאתר ISRAMAR. כמו כן עובדו 15 צילומי לוויין מסוג Landsat 8 (ראה נספח א).

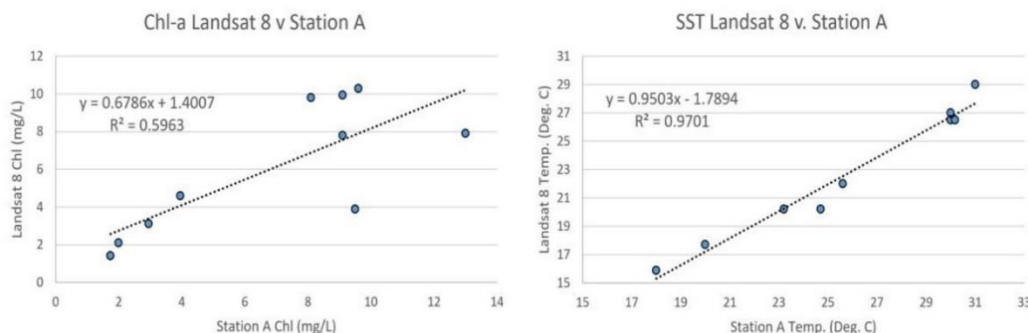
שלב ב: בדיקת מוצרי הלוויין השונים מול נתוני in situ

במהלך 2018 נמשכה הבדיקה של האלגוריתמים מול הנתונים הנמדדים ע"י המעבדה לחקר הכנרת לחקר הכנרת בתחנות A, D, G, H, K והנתונים שנמדדים באמצעות ה- profiles בתחנה A (איור 65).



איור 65: ריכוזי כלורופיל (ימין) וטמפרטורת המים קרוב לפני השטח (שמאל) שנמדדו במהלך השנה בתחנה A ע"י ה-Profiler. ערך הכלורופיל המקסימאלי שנמדד היה 147 mg/l ב-4 למרץ 2018.

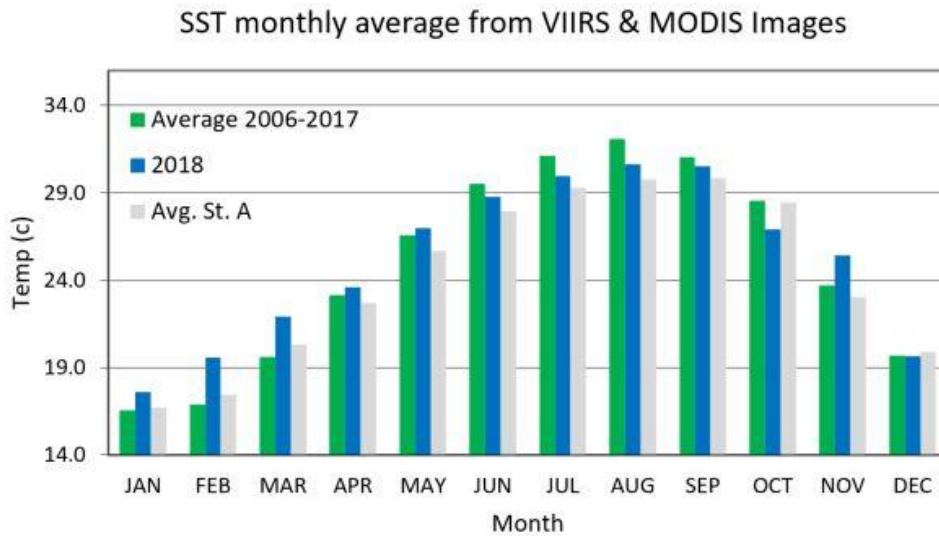
השוואת ריכוזי הכלורופיל וטמפרטורת פני המים שנמדדו ב-Profiler בתחנה A בזמן חליפת לוויין Landsat 8 מעל הכנרת עם הריכוזים והטמפרטורות שחושבו מהלוויין מוצגת באיור 66.



איור 66: השוואת נתונים שחושבו מלוויין Landsat 8 לנתונים שנמדדו ע"י ה-Profiler בתחנה A בזמן חליפת הלוויין מעל הכנרת. טמפרטורת פני המים (גרף ימין) וריכוזי כלורופיל (גרף שמאל).

טמפרטורת פני המים (SST)

טמפרטורת פני המים (מיקרוניס עליונים) החודשית הממוצעת בשנת 2018 חושבה על בסיס 82 צילומי לוויין מסוג MODIS ו-VIIRS שאין בהם עננות או הפרעות אטמוספריות אחרות. בשלושת החודשים הראשונים (ינואר-מרץ) נתוני ה-SST חושבו מלוויין ה-MODIS ובשאר החודשים מלוויין ה-VIIRS. באיור 67 ניתן לראות שנמשכת המגמה של התחממות פני המים של הכנרת בחודשים ינואר-מאי יחסית לטמפרטורה החודשית הממוצעת בשנים 2006-2017. חודש אוגוסט הוא החם ביותר עם טמפרטורה ממוצעת של 34.2° וחודש ינואר הוא הקר ביותר עם טמפרטורה ממוצעת של 16.2° .

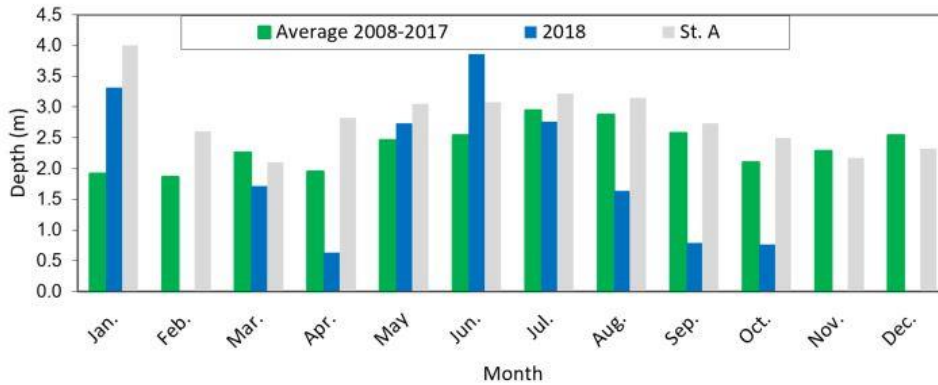


איור 67: טמפרטורת פני המים (SST) החודשית הממוצעת בשנת 2018 (כחול) יחסית למוצע הרב שנתי בין השנים 2006-2017 (ירוק). הנתונים מתחנה A (אפור) מתבססים על מדידות ה-profiler קרוב לפני המים.

עומק הסקי (Secchi)

עומק הסקי (מדד לשקיפות המים) חושב על בסיס 53 צילומי לוויין מסוג MODIS ו-VIIRS שאין בהם עננות או הפרעות אטמוספריות אחרות. עומק הסקי החודשי הממוצע לשנת 2018, עומק הסקי החודשי הממוצע בשנים 2008-2017 וממוצע נתוני ה-in situ שנאספו ע"י המעבדה לחקר הכנרת מתחנות הניטור מוצג באיור 68. שנת 2018 התאפיינה בעומק סקי שנע בין 3.9 מטר בחודש יוני ועד 0.6 מטר בחודש אפריל. עומק הסקי בחודשים ינואר, מאי, ויוני יחסית למוצע הרב שנתי (2008-2017) הוא גדול יותר (ראה תרשים). חודשים פברואר, נובמבר-דצמבר לא בוצע חישוב ממוצע בגלל מיעוט בצילומי הלוויין. דיוק המדידות המתקבלות מהלוויין הוא עד חצי מטר.

Secchi depth monthly average from VIIRS & MODIS Images



איור 68: עומק סקי החודשי הממוצע בשנת 2018 (כחול) יחסית לממוצע הרב שנתי בין השנים 2008-2017 (ירוק) ולנתוני ה-in situ מהפרופיילר בתחנה A (אפור). חודשים בהם היו פחות מ-3 דמיות טובות לא נכנסו לחישוב.

ריכוזי כלורופיל

מאחר ולווין ה-MODIS שממנו חושבו ריכוזי הכלורופיל בשנים האחרונות לא משולב יותר ב-SISCAL והאלגוריתמים של לווין ה-VIIRS אינם מכילים לא בוצעו אנליזות של כלורופיל ב-2018.

שלב ד

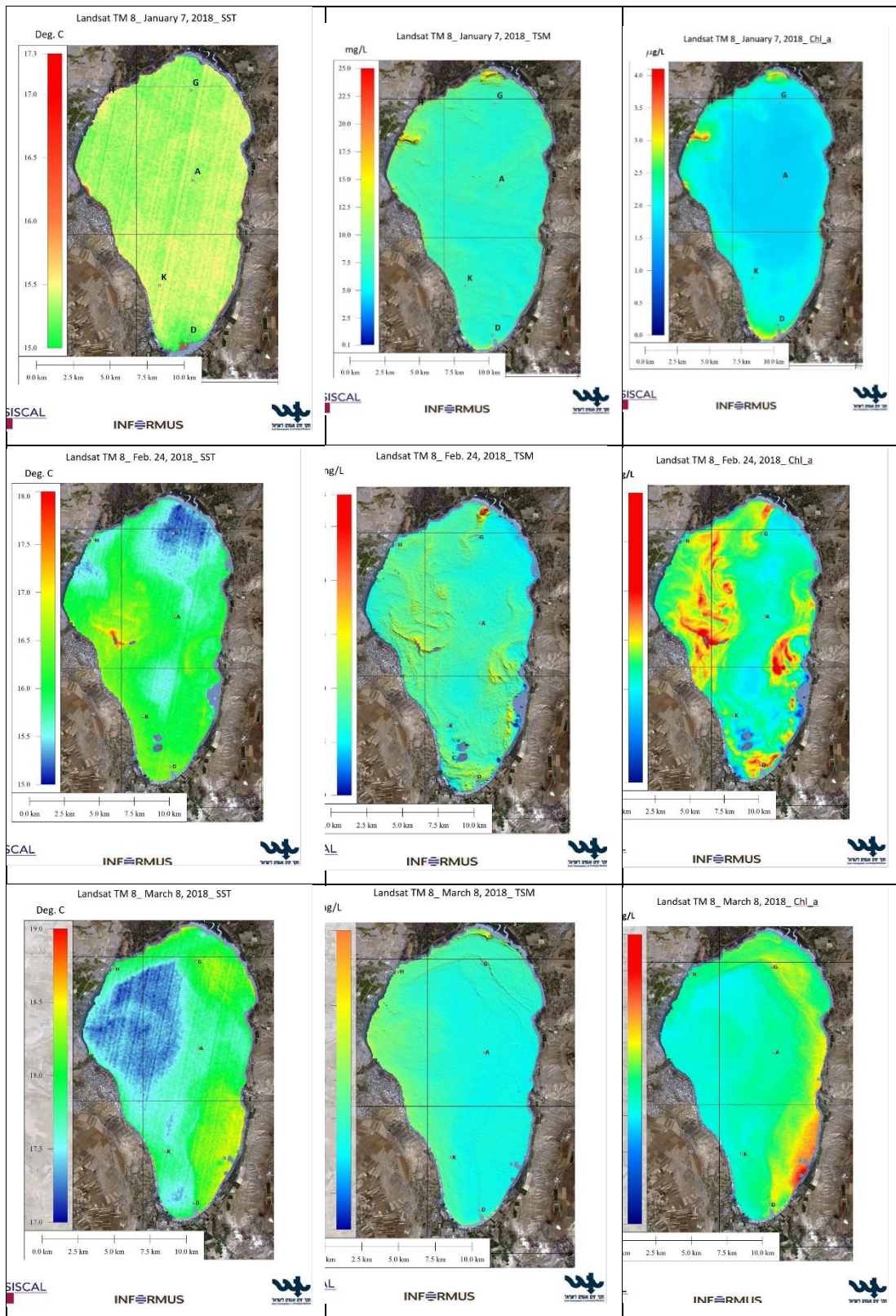
הפצת המידע הנאסף לרשויות ולציבור באמצעות מרכז המידע הימי הלאומי (ISRAMAR) ואתר רשות המים הפצת המידע לרשויות ולציבור נעשית היום דרך האתר במרכז המידע הלאומי (<http://isramar.ocean.org.il>) באמצעות ממשק המאפשר הצגת מוצרי הלווין השונים מהכנרת.

תוכנית העבודה לשנת 2019

- א. המשך האנליזות הסינופטיות
- ב. המשך שילוב לווין Landsat TM8 ושליחת עדכונים חודשיים
- ג. המשך אספקת אנליזות לווין "קרוב לזמן אמת" במהלך אירועים חריגים (לדוגמא: פריחות, זיהומים)
- ד. שילוב לווין Sentinel + כיוול – מותנה במתן תקציב מיוחד
- ה. המשך פיתוח יישומים בממשק של מרכז המידע הלאומי

<http://isramar.ocean.org.il>

נספח א: דוגמאות (ינואר-מרץ) לתוצאות אנליזות של SST, TSM, Chl-a מלוויין Landsat 8 (עדכון חודשי נשלח ישירות לרשות המים)



מיקי שליכטר

מרכז המידע - תיאור כללי

מטרותיו של מרכז המידע הקיים במעבדה לחקר הכנרת הנן לרכז את המידע הנאסף מתוכנית הניטור של הכנרת, לתעדו לעבד אותו ולהפיצו. מרכז המידע הנו מערכת הכוללת את מאגר נתוני הניטור, תיעוד הנתונים, תכניות מחשב הנכתבות לצורך קליטה ועיבוד הנתונים, יישומים הנכתבים לשימוש חוקרי המעבדה. במרכז המידע משולבת מערכת מידע גיאוגרפית המשמשת לתצוגה עיבוד וניתוח של הנתונים הגיאוגרפיים.

חלק מהמידע מוצג בצורה גרפית באתר האינטרנט של חיא"ל במרכז מידע כנרת:

<http://kinneret.ocean.org.il/default.aspx>

מאגר הנתונים במרכז המידע כנרת מבוסס על תכנית ניטור הכנרת המתבצעת ע"י המעבדה החל משנת 1969, וכלולים בו נתונים מתחומי המטאורולוגיה, פיסיקה, כימיה וביולוגיה של האגם. המידע נאסף ברציפות ובשיטתיות בתחנות דיגום קבועות ובתדירות קבועה. בנוסף לגוף מידע זה נמצאים במאגר נתונים הקשורים לאגן ההיקוות המתעדכנים מגופים חיצוניים (מקורות, השרות ההידרולוגי), נתונים מפרויקטים המתבצעים במעבדה ושאינם כלולים בתוכנית הניטור ונתונים ממקורות אחרים שנאספו למטרות מוגדרות באופן חד-פעמי.

מאגר הנתונים מהווה את הבסיס לניתוח ממצאי הניטור: באמצעותו ניתן לזהות ולבדוק מגמות רב שנתיות המתרחשות באגם, המאגר מאפשר את בדיקת הקשר והאינטראקציה בין מרכיביה השונים של המערכת האקולוגית בכנרת לאורך זמן ומשמש בסיס לבניית מודלים לחיזוי תהליכים בכנרת. בנוסף מאגר נתוני הכנרת משמש ככלי מחקרי בו עושים שימוש אינטנסיבי חוקרים במעבדה ובמוסדות מחקר אחרים.

תכולת מאגר נתוני הכנרת מסוכמת בטבלה 23. תיאור מפורט של מאגר הנתונים תכולתו, ארגונו ותפעולו מופיע בדו"ח "מאגר נתוני כנרת" (דו"ח חיא"ל T20/06) שיצא לאור בדצמבר 2006.

טבלה 23 : סוגי המידע במאגר הנתונים של המעבדה לחקר הכנרת.

שנת התחלה	תכולה	סוג המידע
1969	הנתונים המקוריים, בפורמט המקורי, במצב דחוס, ללא שינוי ועבוד. (עד 1992 על גבי מדיה מגנטית). מאורגנים ע"פ נושאים בספריות מחשב.	מידע גלמי
1969	בסיסי נתונים הכוללים טבלאות נתונים בתחומים: בתימטריה, מטאורולוגיה, טמפרטורות, זרמים, כימיה, פיטופלנקטון, זואופלנקטון, דגים, ירמוך, ליטורל.	נתוני ניטור
1992	בסיס נתונים (kin_info) הכולל את טבלאות התיעוד בהן מצויה האינפורמציה שנאספה אודות טבלאות הנתונים, תיעוד תחנות הדיגום, טבלאות Info ייחודיות לנושאים שונים.	תיעוד

שנת התחלה	תכולה	סוג המידע
2001	אוסף הקבצים המעובדים במערכת הממ"ג: קובצי מפות, תלת ממד, personal geodatabase, shape files coverages, ותמונות בנושאים: בתימטריה, תחנות ניטור, סקרים מרחביים, אגן היקוות, גיאולוגיה, דגום כלורופיל רב-ערוצי.	נתוני ממ"ג
2004	אוסף תצלומי לוויין של הפרמטרים: טמפרטורת פני המים, כלורופיל, סקי, עכירות.	תצלומי לוויין
סקרים מרחביים:		
2000	נתונים גולמיים ובסיסי נתונים מסקרים מרחביים שהתבצעו החל משנת 2001.	נתוני המערכת הנגזרת
2000	נתונים גולמיים ובסיסי נתונים מסקרים מרחביים חודשיים בשנים 2000-2004.	נתוני המפר"ע
2002	נתונים גולמיים ובסיסי נתונים: טמפרטורות נחלים, LDS (מטאורולוגיה וטמפרטורות), RUSS (נתונים איכות מים). נתונים מעובדים: נתוני קלט ונתוני אימות למודל.	פרויקט המודלים
נתונים מגורמי חוץ:		
2004	נתונים מתחנות מטאורולוגיות צמח, בית צידא, A, חרמון.	נתוני השרות המטאורולוגי
1970 2018	נתוני חברת "מקורות": נתוני כימיה מתחנות גשר חורי וגשר אריק בירדן. נתוני כימיה מנחלי אגן ההיקוות ומעינות מלוחים.	נתוני אגן היקוות

סכום העבודה בשנת 2018

ניהול שוטף של מאגר הנתונים

- קליטת הנתונים המתקבלים מהחוקרים, ממכשירי מדידה שונים או מגורמי חוץ: חברת מקורות, שרות מטאורולוגי ורשות המים, בדיקתם וקליטתם לבסיסי הנתונים.
- בקרה על התוכניות לקליטה אוטומטית של נתונים. לבסיס הנתונים נקלטים נתונים באופן אוטומטית ע"י תכניות מחשב בתחומים הבאים: נתוני 5 תחנות מטאורולוגיות מאזור הכנרת ושתי תחנות מטאורולוגיות בחרמון, נתוני הפרופילים ממערכת הדוגם האנכי-Manta. מערכות קליטת הנתונים דורשות פיקוח ובקרה שוטפים.
- ביצוע חישובים המבוססים על הנתונים וקליטתם לטבלאות. לדוגמא-חישובי ביומסה של פיטופלנקטון מתוך נתוני ספירות ומדידות התאים, חישוב של מספר הפרטים בקבוצות הטקסונומיות השונות של זואופלנקטון, חישוב עומק התרמוקלינה ועוד.
- עיבוד נתונים לצורכי המחקר בפרויקטים שונים.

5. העברה רבעונית של בסיס הנתונים המעודכן לרשות המים.
6. העברת נתונים לגורמי חוץ (המשרד לאיכות הסביבה, הלשכה לסטטיסטיקה, חוקרים וסטודנטים במוסדות מחקר בארץ ובח"ל).
7. גיבויים שוטפים ותקופתיים של מאגר הנתונים.
בנוסף לפעילות השוטפת, התחלנו השנה בתהליך של העברת נתוני הניטור לבסיס הנתונים של רשות המים. הנתונים שהועברו לרשות המים עד כה, הועברו במבנה הקיים בבסיס הנתונים של המעבדה ותוך שימוש בתוכנה של בסיס הנתונים של המעבדה (Microsoft Access). כדי לאפשר את קליטת נתוני הניטור של המעבדה בבסיס הנתונים של הרשות יש צורך בהמרת מבנה הטבלאות הקיים למבנה שהוגדר על ידי מנהל מערכות המידע ברשות המים. למטרה זו פותחה תכנית שתבצע באופן אוטומטי את התהליך. באמצעות תכנית זו הועברו ונקלטו ברשות המים נתוני הכימיה וטמפרטורת המים.

פיתוח ותחזוקה של היישום "כנרת"

יישום המשמש את כלל החוקרים לגישה לבסיס הנתונים, עיבוד הנתונים ותצוגה גרפית. היישום מתפתח במשך השנים בהתאם להתרחבות מאגר הנתונים והתחומים החדשים המתווספים אליו.

מערכת מידע גיאוגרפית (ממ"ג - GIS)

עבוד המידע הגיאוגרפי במערכת המידע הגיאוגרפית והפקת מפות לפרויקטים שונים. השנה הופקו מפות לפרויקט ניטור הירקון, תצוגת שימושי קרקע באגן ההיקוות, תצוגת תחנות הפלואורופרוב ועוד.

קליטת צילומי הלוויין MODIS : טמפרטורת פני המים, עומק סקי, כלורופיל.

קליטת תחומי מידע חדשים למאגר המידע

השנה החלה קליטתם של נתונים נוספים מחברת מקורות: נתוני הכימיה מניטור נחלי אגן ההיקוות של הכנרת ונתוני הכימיה מהמעיינות המלוחים.

גישה לנתוני הניטור באינטרנט - לחוקרי המעבדה

עדכון שוטף של נתוני הניטור באתר האינטרנט. תחזוקת היישום המאפשר לחוקרי המעבדה, גישה דרך האינטרנט לטבלאות המרכזיות של בסיס הנתונים. היישום מאפשר צפייה, בחירת נתונים, ביצוע חישובים וייצוא הנתונים לקבצי אקסל. ממשק המשתמש דומה לממשק של היישום "כנרת" הפועל ברשת הפנימית של המעבדה.

2.26 אתר האינטרנט של מרכז מידע כנרת

מיקי שליכטר, יורי לשינסקי

בנובמבר 2011 נפתח [אתר האינטרנט של מרכז מידע כנרת](#) לציבור. האתר משולב באתר האינטרנט של היא"ל.

מטרת האתר להציג לציבור מידע אודות הכנרת בנושאים שונים:

- מידע אודות מרכז המידע - מטרת מרכז המידע ומקור הנתונים.
- המערכת האקולוגית בכנרת - הצגה של נושאים שונים בתחומי הפיסיקה, כימיה וביולוגיה של הכנרת. כל נושא מיוצג ומוסבר בטקסט בליווי גרפים, תמונות, מאמרים ועוד.
- תכנית הניטור של הכנרת - הצגת מערך הניטור המתבצע בכנרת-המכשור הקיים, תחנות הדיגום, הפרמטרים הנמדדים ועוד.
- תצוגת נתונים בזמן אמת - תצוגה גראפית אינטראקטיבית של נתונים מטאורולוגיים. תצוגת נתוני הדוגם האנכי: הנתונים מוצגים בגרפים תלת-ממדיים או כפרופילי עומק.
- נתוני עבר - תצוגה גרפית אינטראקטיבית של נתונים פיסיקליים, כימיים וביולוגיים הנמדדים במסגרת תכנית הניטור החל מראשיתה בשנת 1969 .
- מדדי איכות מים - תצוגת תרשימים שנתיים של מדדי איכות המים בכנרת.
- קטלוג אצות הכנרת – תצוגה הכוללת תמונות ומידע אודות מיני האצות בכנרת. ניתן למיין את הקטלוג לפי קבוצות טקסונומיות, צורת האצות או סדר אלפא-ביתי.
- פרסומי המעבדה לחקר הכנרת - דוחות שנתיים, דוחות בנושאים שונים, מאמרים נבחרים.

במהלך שנת 2018 נמשכה עבודת העדכון השוטף של האתר בנתוני הניטור המוצגים בגרפים:

- נתוני הדוגם האנכי.
- נתוני מטאורולוגיים מתחנה A.
- נתוני ממוצעים חודשיים של פרמטרים מתחום הכימיה, פיטופלנקטון, זואופלנקטון ומטאורולוגיה.

השנה המשכנו בפיתוח ועדכון קטלוג האצות האינטרנטי. נוספו מיני אצות לתצוגה, עודכן והורחב המידע לכל מין.

3.1 מתכות קורט

ירון בארי-שלוין וגלית שרעבי (המכון הגיאולוגי)

במימון המכון הגיאולוגי ורשות המים

הקדמה

ניטור זה אשר מטרתו הכרת התנהגות המתכות וריכוזיהן בכנרת ובאגן ההיקוות מבוצע מזה כ- 15 שנה במסגרתו נדגמים בכנרת 3-4 פרופילים לשנה לאנליזה של יסודות קורט. האנליזות מבוצעות במכון הגיאולוגי בירושלים.

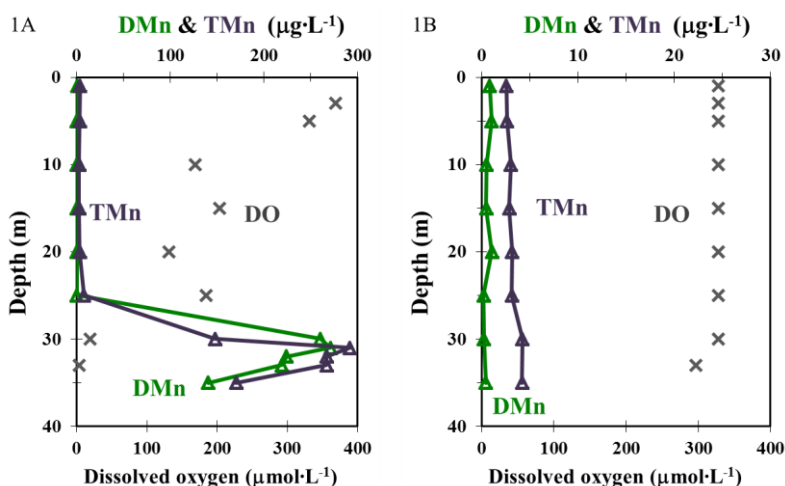
תוצאות ודין

במהלך שנת הניטור של 2018 נדגמו שלושה פרופילים לאורך עמודת המים בתחנה A במרכז האגם בחודשים פברואר (בתקופת הערבוב- שיכוב חלקי בגלל הערבוב המאוחר והלא מלא השנה), יוני וספטמבר (תקופת השיכוב). כמו כן, נדגמו מי שפך הירדן (גשר אריק) ונחל מושישים (סמוך לשפכו של הנחל לאגם) בצימוד לכל דיגום כנרת.

כמו בדוחות קודמים, אנו מצרפים דיון קצר בהתנהגות של מתכות לאורך פרופיל העומק בכנרת. השנה התמקדנו בדיון ביסוד מנגן (Mn) אשר מושפע באופן בולט במעבר בין פאזה חלקיקית למומסת מתנאי החמצון חוזר של המים.

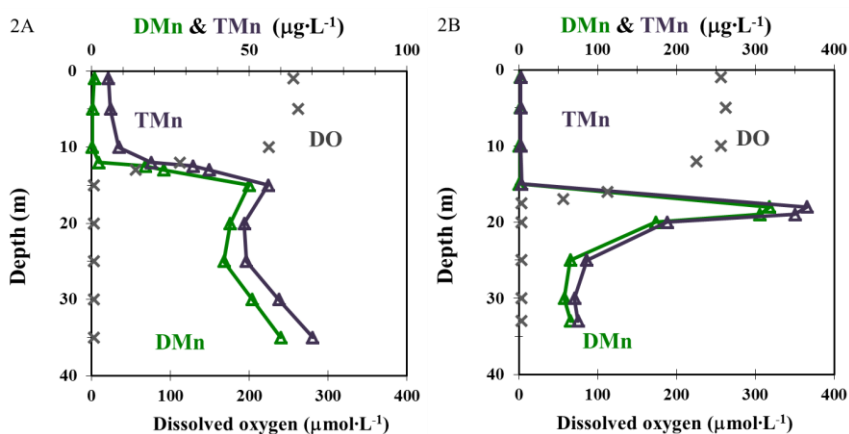
בחודשי החורף, מי האגם מעורבבים וטמפרטורת האגם קרה וקבועה (כ- 16°C) לאורך כל עמודת המים. ריכוז חמצן מומס קבוע וגבוה (כ- 8 מ"ג לליטר), ובהתאם לכך ריכוז המתכות בתקופה זו אחיד וקבוע לאורך עמודת המים.

בניגוד לשנים עברו, בפברואר 2018, ריכוז החמצן המומס קטן לאורך עמודת המים עד היעלמותו מתחת לסף מדידה מתחת לעומק 30 מ' וזאת בין היתר כתוצאה מערבוב מאוחר ולא מלא של עמודת המים השנה. בשנת 2018, בחודש זה, מתחת לעומק 30 מ' התפתחו תנאים מחזרים. לצורך אבחנה זו בחרנו להתמקד במנגן משום שהגיאוכימיה ונפיצותו במי הכנרת קשורים הדוקות למשטר חמצון-חיזור השורר לאורך עמודת המים. בתנאים מחמצנים המנגן מופיע כחלקיקי תחמוצות קשות תמס, ובתנאים מחזרים, מופיע באופן דומיננטי כמומס. כפי שניתן לראות, בפרופיל המנגן הכללי (TMn) והמומס (DMn) (איור 69 פאנל שמאלי), מתחת לעומק 30 מ' המנגן מופיע בעיקר כפאזה מומסת. בהשוואה למי האגם בפברואר 2017 (איור 69 פאנל ימני), ניתן לראות שריכוז החמצן המומס במים היה אז גבוה ואחיד לאורך כל עמודת המים ובהתאמה, ריכוז המנגן היה קבוע וחלקיקי לאורך כל עמודת המים.



איור 69: השתנות ריכוז מנגן כללי (TMn), ריכוז מנגן מומס (DMn) וריכוז חמצן מומס (DO) לאורך עמודת המים בכנרת בפברואר 2018 (פאנל שמאלי-1A) לעומת פברואר 2017 (פאנל ימני-1B)

בחודשי האביב, תוך כדי יצירת שיכוב באגם, השכבה העליונה מתחממת ומתחדשת בחמצן שמיוצר בה ו/או נקלט בה מן האטמוספירה, בעוד שהשכבה התחתונה נותרת קרה וחסרת חמצן. בחודשי קיץ האגם משוכב: השכבה העליונה מחומצנת וחמה, השכבה התחתונה מחוזרת וקרה ובשכבת הביניים מפלי חמצן וטמפרטורה גדולים ושם גם נצפים שינויים בנפיצות מתכות העוברות תהליכי חמצון-חיזור. ניתן לראות שבחודשי יוני וספטמבר 2018 מתקבל פרופיל מנגן אופייני לתקופות השונות ולמצב השיכוב בכל עונה (איור 70). ביוני, כאשר התרמוקלינה מתייצבת סביב עומק 15 מ', שיא המנגן נמצא בעומק זה כאשר מעל התרמוקלינה רב החומר נמצא במצב חלקיקי ואילו מתחת לשיא זה רב החומר במצב מומס (איור 70 פאנל שמאלי). בהמשך, התרמוקלינה מעמיקה כמטר בחודש ומתייצבת סביב ה-18 מ' עומק בחודש ספטמבר, ובהתאם גם האוקסיקלינה הנמצאת בתוך התרמוקלינה. כתוצאה מכך שיא המנגן החלקיקי המתקבל מיד עם המעבר לסביבה המחוזרת מעמיק מעומק 15 מ' בחודש יוני לעומק 18 מ' בחודש ספטמבר (איור 70 פאנל ימני). כמו כן, מתחת לשיא בתרמוקלינה-אוקסיקלינה היחס בין הפאזה מומסת לחלקיקית גבוה יותר מאשר ביוני.



איור 70: השתנות ריכוז מנגן כללי (TMn), ריכוז מנגן מומס (DMn) וריכוז חמצן מומס (DO) לאורך עמודת המים בכנרת תחנה A ביוני 2018 (פאנל שמאלי-2A) ובספטמבר (פאנל ימני-2B).

3.2 איתור וניטור מעיינות תת-ימיים בכינרת בדגש על אזור חמי טבריה

גדעון טיבור, עמי נישרי, ירון בארי-שלוין, אדית ליבוביץ', מוטי דיאמנט, ניר קורן ועוז צברי - דר

במימון רשות המים

מטרת המחקר

איתור מעיין תת-ימי מלוח באזור חמי טבריה אשר יכול להיות ראוי להטיה עתידית למוביל המלוח וניטורו במשך כשנתיים על מנת ללמוד על הספיקות, מליחות ועומס המלח הנפלט מהמעיין. מטרת המשנה הן:

- א. דיגום ראשוני בבורות 18 ו 81 הנמצאים בבלוק חמי טבריה בעומק של 18 מ' ו 23 מ' בהתאמה.
- ב. ביצוע אנליזות כימיות ואיזוטופיות לפיענוח ההרכב הכימי ומקור המים בבורות 18 ו 81.
- ג. במידה ותתגלה אנומליה באנליזות הכימיות יוצבו דוגמי סמפרטורה קבועים שינטרו את הטמפרטורה בסדימנט לפני הסדימנט בבורות 18 ו 81 במשך שנתיים.

רקע

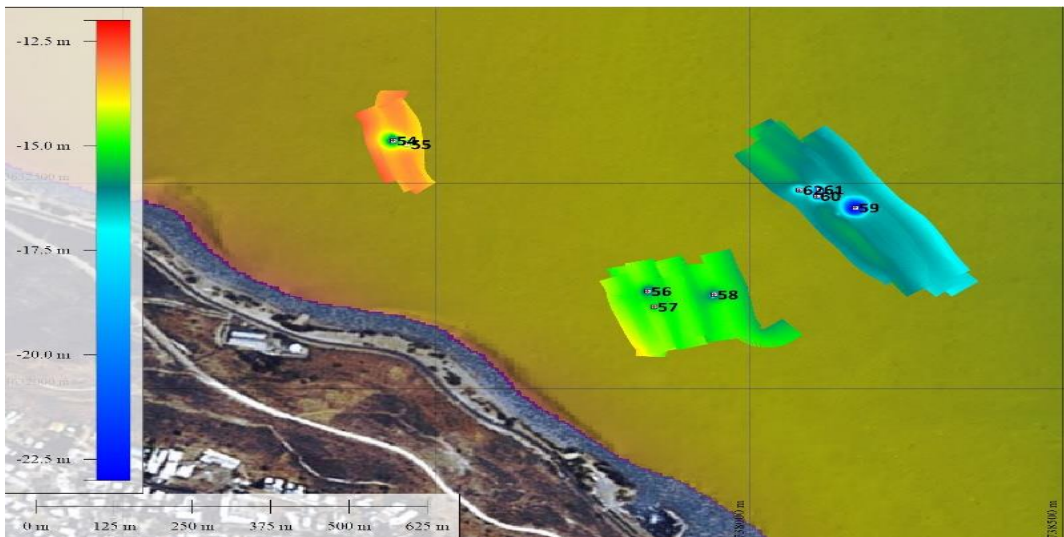
מליחות הכינרת מהווה בעיה תפעולית למשק המים, בשל מליחות גבוהה יחסית של מי השתייה ואף בשל מליחות גבוהה מדי של המים המושבים המשמשים להשקיה חקלאית. הערכת מליחות עתידית של הכינרת בחילוף מים נמוך מראה שהמליחות עלולה לעלות למרות הטיית מעיין פוליה A. משום כך, הוחלט ברשות המים להמשיך ולחפש מעיין תת-ימי נוסף הראוי לאחיזה והטיה בעתיד. מאזני המים והמלח של יח' אגן ההיקוות "מקורות" וכן סקרי המעיינות המלוחים של השרות הידרולוגי מראים כי רכיב כניסות מלח לא מנוטרות מביא כ- 45,000 טון כלוריד ממקור לא ידוע שמליחותו עולה על 10,000 מג"ל כלוריד. המליחות הגבוהה של מקור זה מרמזת על אפשרות שהמעיין התת-ימי התורם את המלח נמצא בבלוק חמי טבריה (שכידוע מליחות המעיין הראשי בחמי טבריה היא 17,000 מג"ל כלוריד). השילוב של הצורך בחיפוש מעיין תת-ימי נוסף להטיה עתידית עם ההערכה שמעיין תת-ימי שלא זוהה עד עתה בעל במליחות גבוהה מ 10,000 מג"ל כלוריד תורם חלק חשוב מתרומת המלח הלא מנוטרת בכינרת הביא להזמנת מחקר זה שמטרתה העיקרית היא איתור מעיין תת-ימי מלוח באזור חמי טבריה וניטורו.

מאחר ובשנת המחקר הראשונה לא נמצאו עדויות לנביעות מלוחות בבורות שנבדקו מול חמי טבריה, טבריה, האון ואזור עין גב הוחלט שבשנת המחקר השנייה 2018 (הארכה) נתרכז בבורות מעגן ואלו שמול פוליה. דו"ח זה מציג את התוצאות בבורות מעגן ואלו שמול פוליה.

תוצאות ודיון

בורות מעגן (59-61) ובורות מול פוליה (54-58) מופו באמצעות מולטיבים לראשונה בשנת 2008 ובשנית ב-2016 (איור 71). הדיגום של הבורות נערך ב-14 בנובמבר 2018 ע"ג ספינת ה"לילאן" וכלל את השלבים הבאים: מדידות CTD מהספינה לתוך הבור (בבורות הקטנים סביר להניח שמכשיר ה-CTD לא נכנס לתוך הבור), לקיחת גלעינים ממרכז הבורות באמצעות צלילה על מנת לקבוע את הפרופילים האנכיים של פרמטרים שונים (כולל מוליכות חשמלית) בקרקעית הבורות בכדי לקבוע האם אלה בורות פעילים. בור פעיל מוגדר כבור שהוא מלוח מהכינרת ומאופיין ע"י פרופיל

אדבקטיבי, זאת בניגוד לפרופילים שצורתם מוכתבת ע"י דיפוזיה (מולקולרית) והם מוגדרים כבורות לא פעילים. סיכום המדידות הראשוניות ניתן בטבלה 24.



איור 71: מיקום בורות מעגן ומול פוליה על רקע מפת מולטיבים משנת 2016.

טבלה 24: סיכום המדידות הראשוניות

Name	Max. depth	Core description	Upper core water conductivity mSc	Upper core water temp. deg.	Comments
54	-17.3	ס"מ עליון מחומצן, שכבות חרסית, אורך קור 55~ ס"מ	2050	25.2	קרקעית הבור חמה
55	-16.2	ס"מ עליון מחומצן, שכבות חרסית, אורך קור 27~ ס"מ	1402	25.2	קרקעית הבור חמה
56	-15.7	ס"מ עליון מחומצן, שכבות חרסית, אורך קור 37~ ס"מ	1450	24.6	קרקעית הבור חמה?
58	-19.2	ס"מ עליון מחומצן, שכבות גיר, אורך קור 26~ ס"מ	1414	23.9	בועיות בפני המים
59	-21.5	אורך קור ~ 38 ס"מ	1398	23.2	פחות סדימנט מרחף
60	-20.4	שכבת ברזל, אורך קור ~ 13 ס"מ	1404	23.6	פחות סדימנט מרחף
61	-22.2	ס"מ עליון מחומצן, שכבות קלצית, אורך קור 18~ ס"מ	1401	24.7	בועיות בפני המים, קירות ורטיקלים, פחות סדימנט מרחף

תוצאות מדידות ה-CTD

- נתוני המוליכות החשמלית: בכל הבורות למעט בורות 56 ו-58, הפרופילים הם כמעט קבועים בכל עמודת המים של הבור עצמו. בורות 56, 58 יש עליה במוליכות החשמלית בקרקעית עד לערך של $3009 \mu\text{Simens}$ בקרקעית הצמודה לו.

2. טמפרטורת המים בבורות או בקרבתם: כל הבורות למעט בורות 56 ו-58, מאופיינים בפרופילים תרמיים שמאפיינים את מי הכינרת עצמה. בורות 56, 58 יש עליה בטמפרטורה בקרבת הקרקעית (0.05° עד 0.2°) מעל לרקע שאר הבורות.

תוצאות אנליזת הגלעינים

פרוסת הסדימנט העליונה 0-5 ס"מ מאופיינת בכך שהיא מעורבת עם מי כינרת ולכן תמיד המוליכות החשמלית שלה נמוכה מזו של מי החללים שמתחת (טבלה 25). בורות 54 עד 58 ההומוגניות של המוליכות החשמלית בעומק גדול יותר מ-5 ס"מ ומתאימה להגדרה של בור פעיל שבו ההומוגניות נוצרת עקב אדבקציה כלפי מעלה. בור 59 (מעגן) למשל, מתאפיין בגרדיאנט חריף של מליחות כלפי מטה (שנובע מדיפוזיה מולקולרית) וממצא זה מעיד על כך שאיננו אקטיבי.

תוצאות אנליזות מי החללים מגלעינים

תוצאות האנליזה שנעשתה במכון הגיאולוגי (טבלה 26) מוצגות ביחידות של מיליגרם לליטר, כאשר רק סטרונציום מוצג בדיוק עשרוני. בהתאם לאנליזה של המוליכות החשמלית השכבה העליונה של מי החללים (0-5 ס"מ) כנראה מעורבת עם המים שמעל. לא תמיד המים המוהלים הם מי כינרת למשל בבור 54 המים שמעל (OW) מלוחים בערך פי 2 ממי הכינרת ויכולות להיות לכך שתי סיבות:

- זרימה של תמלחת על קרקעית הכינרת הנובעת אולי מכיפת פוליה הנמצאת כ-500 מטר מערבית לבור עם דיסיפציה מופחתת.
- שהבור פעיל וקימת בו אדבקציה משמעותית מעלה שמי הכינרת אינם מטשטשים את הסיגנל שלה.

טבלה 25: תוצאות אנליזת הגלעינים

בור #	אורך קור (ס"מ)	חלוקה לפרוסות עומק (ס"מ)	משקל סדימנט לפני צנטריפוגה (גר)		מוליכות מי חללים (גר)		OD	Cl ⁻ mg/L
			משקל סדימנט לפני צנטריפוגה (גר)	משקל סדימנט לאחר צנטריפוגה (גר)	מוליכות מי חללים (גר)	מוליכות מי חללים (גר)		
54	28cm	0-5	183.31	102.3	81	5230	309.2	1546
		5-10	183.33	112.89	70	5660	334.2	1671
		10-15	177.42	117.62	60	5630	332	1660
		15-20	169.3	115.92	53	5550	321.1	1606
55	25cm	0-5	173.89	96.05	78	5050	291.5	1458
		5-10	185.31	106.23	79	5540	325.7	1629
		10-15	172.08	106.9	65	5580	327	1635
		15-20	197.67	147.46	50	5500	165	1650

# בור	אורך קור (ס"מ)	חלוקה לפרוסות עומק (ס"מ)	משקל	משקל	מוליכות מי חללים (גר')		OD	Cl ⁻ mg/L
			סדימנט לפני צנטריפוגה (גר')	סדימנט לאחר צנטריפוגה (גר')				
56	36cm	0-5	172.24	100.74	72	2810	142.2	711
		5-10	161.25	106.27	55	3690	193.3	967
		10-15	167.31	112.6	55	3740	198.3	992
		15-20	167.21	113.47	54	3780	200.3	1002
		20-23	139.91	100.68	39	3760	198.6	993
58	25cm	0-5	169.44	98.47	71	3390	872.8	873
		5-10	177.32	114.59	63	4030	1113.2	1113
		10-15	195.55	136.85	59	4070	226.4	1132
		15-20	161.26	123.82	37	4030	222	1110
59	30cm	0-5	173.71	95.48	78	2410	98.4	492
		5-10	165.76	98.28	67	3610	149.1	746
		10-15	157.23	101.64	56	5710	245.4	1227
		15-22	195.55	123.61	72	7180	318.3	1592
60	10cm		83.08	63.38	20	3050	78.2	782
61	14cm	0-5	185.16	161.00	24	1973	95.3	477
		5-13	235.29	207.67	28	2810	71.1	711

טבלה 26 : תוצאות אנליזה מי חללים ביחידות מיליגרם לליטר

	Depth (cm)	SiO ₂	Na	K	Ca	Mg	Sr	SO ₄	Br	δ ¹⁸ O ‰
בור 54	OW	17	368	16	135	69	2.1	97	7	-0.45
	0-5	22	665	24	250	113	3.8	145	12	-3.43
	15-20	31	703	23	276	122	4.1	143	13	-4.36
בור 55	0-5	38	642	22	244	113	3.7	55	12	-3.66
	15-20	32	711	28	234	118	3.9	60	15	-4.38
בור 56	0-5	48	326	14	139	66	1.7	25	5	-1.66
	15-20	57	446	18	192	85	2.3	7	6	-4.92
בור 58	0-5	52	389	15	155	78	2	10	6	-2.45
	W10-15	59	494	18	186	96	2.5	27	9	-4.97
בור 59	0-5	34	228	14	110	76	1.8	27	3	1.27
	15-22	60	695	27	286	221	4.8	6	14	-1.89
בור 60		43	328	19	83	88	1.8	33	4	-0.65
בור 61	May-13	32	320	21	96	71	1.6	10	6	-0.7

מסקנות המחקר

דיגום הבורות שהתגלו במיפוי המולטיבים שבוצע בשנת 2008 וזה של 2016 בדרום ומרכז הכינרת (מעין גב במזרח ועד פולייה במערב) וביצוע אנליזות של נתוני CTD ואנליזות מי חללים בקורים הקצרים שנלקחו מהבורות מצביע מספר מסקנות:

- א. לא נמצאו עדויות לנביעות מלוחות בבורות שנבדקו מול חמי טבריה, טבריה, האון ואזור עין גב.
- ב. בורות מעגן (59-61) שהיו פעילים בשנות ה-60 עד אמצע שנות ה-80 אינם פעילים כיום.
- ג. השוואה של היחסים המולריים הטיפוסיים בין מספר יסודות קונסרבטיביים בנביעות קיימות (פולייה A&B, טבחה מתוק, רומי) ומי כינרת מראה שניתן לשלול את היות חמי טבריה וטבחה מקור עיקרי של מליחות לכינרת ואילו מי החללים שבגלעינים שדגמנו בבורות מול פולייה התאימו למודל של מים מטיפוס פוליה שיש להם דמיון רב לכינרת. חמי טבריה וקבוצת טבחה אינם מהווים מקור עיקרי של מליחות לכינרת.
- ד. בורות מול פוליה (54-58) הם בורות מלוחים ואקטיביים המשויכים כנראה לקבוצת פוליה. טמפרטורת מי הבורות גבוהה מזו שבכינרת והפרופיל הוורטיקלי של היונים מצביע על קיום אדבקציה.
- ה. אנחנו מציעים לנטר ולדגום את בורות 54-58 בצורה רציפה על מנת לקבוע את השטפים של הנביעות ולקבוע בוודאות את סוגם.

3.3 חנקן אורגני מומס בכנרת

פלא אסטרון ואספ סוקניק

במימון רשות המים

מטרות

זיהוי ואפיון רכיבי החנקן האורגני במי הכנרת ובמוצא הירדן והשפעתם על תרביות ציאנובקטריה הגדלות באגם.

רקע

חנקן אורגני מומס בכנרת הינו נושא בו רב הנסתר על הנגלה. בהשוואה לחנקן אי-אורגני המתקיים בריכוזים של כ-0.5 מג"ל רוב חודשי השנה, למעט בסוף הקיץ בו יורד הריכוז לאפס, חנקן אורגני מתקיים בריכוזים של כ-0.5 מג"ל כל השנה. תופעה זו מעלה תהיות רבות לגבי יכולת היצור והניצול שלו באגם או בסביבתו. בנוסף, הרכבו הכימי ויכולת ניצול המולקולות השונות אינם ידועים.

מהלך הניסוי

הניסוי התבצע בשני כיוונים:

1. אפיון כימי לדוגמאות מים וחקנים אורגניים מאגם הכנרת והירדן הצפוני.
2. בחינת יכולת הפירוק של חנקנים אורגניים שונים ע"י תרביות הציאנובקטריה מיקרוציסטיס ואפניזומנון.

האפיון הכימי פורט בהרחבה בדו"חות קודמים, דו"ח לרשות המים ובהרצאת יום כנרת. בקצרה, דוגמאות מי ירדן נאספו החל מכניסת הירדן לכיוון מרכז הכנרת. מדדי מוליכות, טמפרטורה, עומק, ריכוזי חנקנים (אורגני/אי-אורגני) וספקטרום אינפרא אדום ראשוני לדוגמאות נבחנו במעבדה והשוו למידע אקוטי ספרותי. בנוסף, נאספה דוגמת מים מהכנרת (תחנה A) בחודש ספטמבר בו ריכוז החנקן האי-אורגני אפסי ולכן מרבית החנקן בדוגמא הינו אורגני. הדוגמא נטענה על גבי קולונות מצע מוצק ופרקציות שונות המכילות חנקנים שונים בודדו ונבחנו. גם מהלך ניסויי ההוספה של הפרקציות השונות פורטו בהרחבה זה מכבר. בקצרה - תרביות אפניזומנון ומיקרוציסטיס גודלו על גבי מצע נוזלי עשיר עד שלב סטציונרי, התרביות סורכזו והורחפו במצע גידול חדש ללא חנקן.

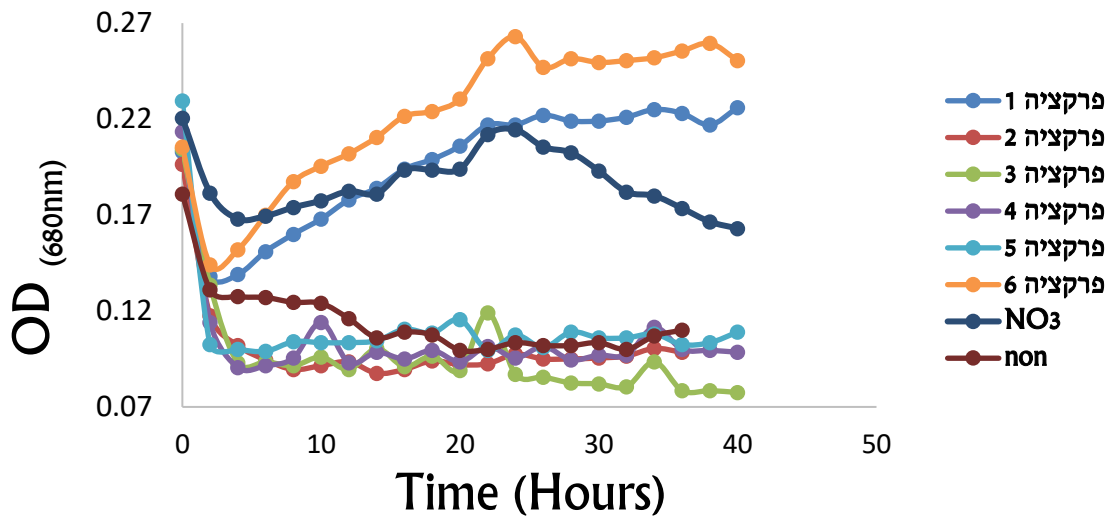
תקציר הממצאים

הירדן מספק לאגם חנקן אי - אורגני רב אך ריכוזי החנקן האורגני בירדן זהים לריכוז באגם. בחודשים ספטמבר בתחנה A ובאוקטובר 2016 בקרבת כניסת הירדן לכנרת, נמצאו מספר חנקנים אורגניים המשמשים תרביות אפניזומנון כתחליף לניטראט במצע הגידול. חנקנים אורגניים נוספים המתקיימים בעונה זו אינם מהווים תחליף ואולי אף מאלצים עיכוב מסוים (ראה איור 72). לחנקנים אורגניים אלו סיגנל ברור המאובחן וניתן למעקב בספקטרום IR. עוד נמצא כי גם ללא בידוד חנקנים מהאגם, חנקנים אורגניים רבים המתקיימים בסביבות אקוטיות משפיעים על תרביות האפניזומנון והמיקרוציסטיס באחד משלושת האופנים (ראה איורים 73 ו 74 מטה):

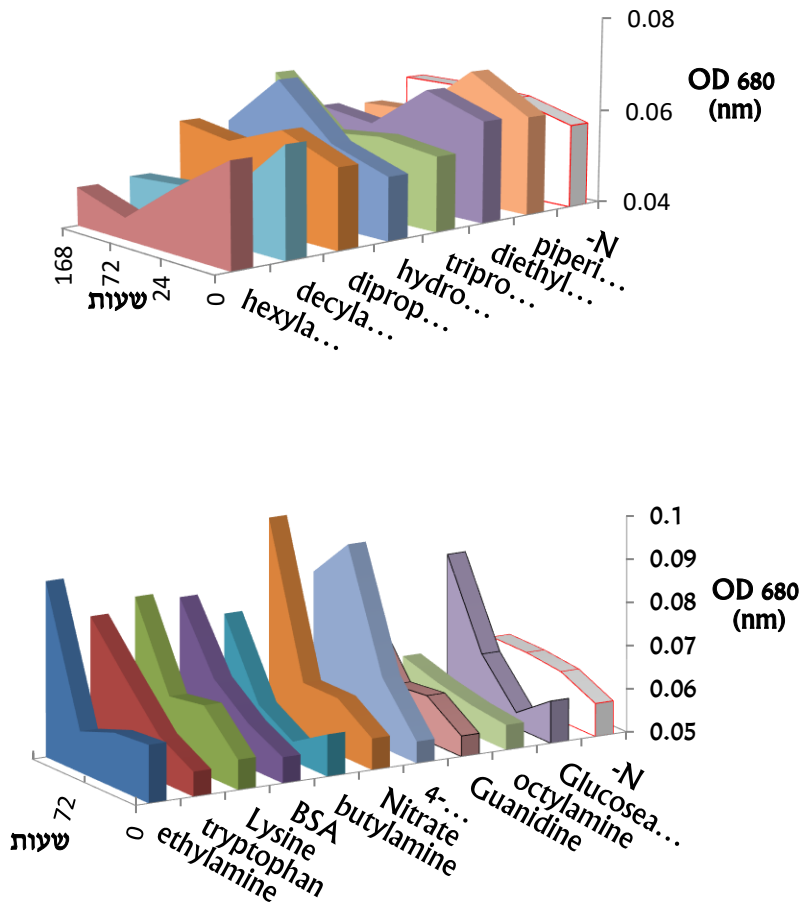
1. יכולת החלפת ניטראט במצע הגידול.
2. חסרי יכולת החלפה (זהים לביקורת ללא חנקן כלל).
3. אפקט טוקסי (האטה בקצב הגידול בהשוואה לביקורת ללא תוספת חנקן).

האפקט הטוקסי הנ"ל רב יותר במיקרוציסטיס מאשר באפניזומנון ולעיתים כולל מולקולות נפוצות כגון חומצות אמינו ונוקלאוטידים הרעילים לתרביות מיקרוציסטיס אך מועילים לתרביות האפניזומנון.

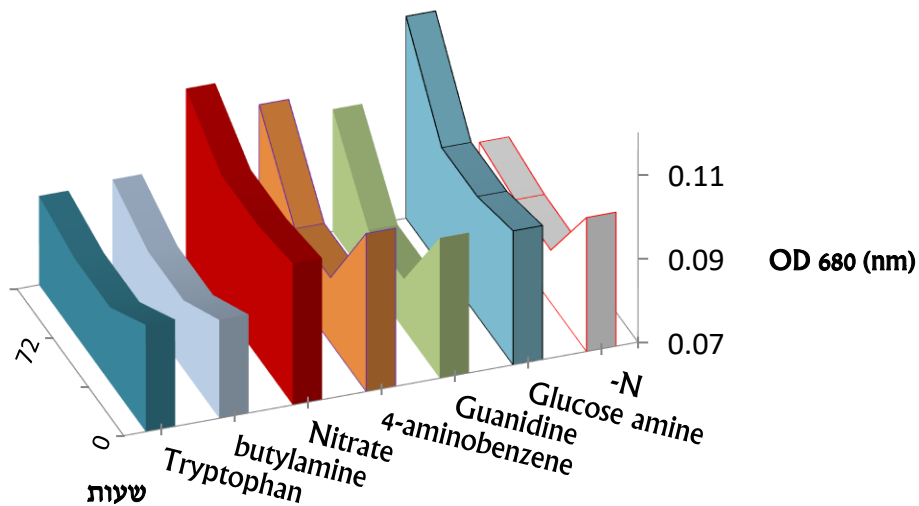
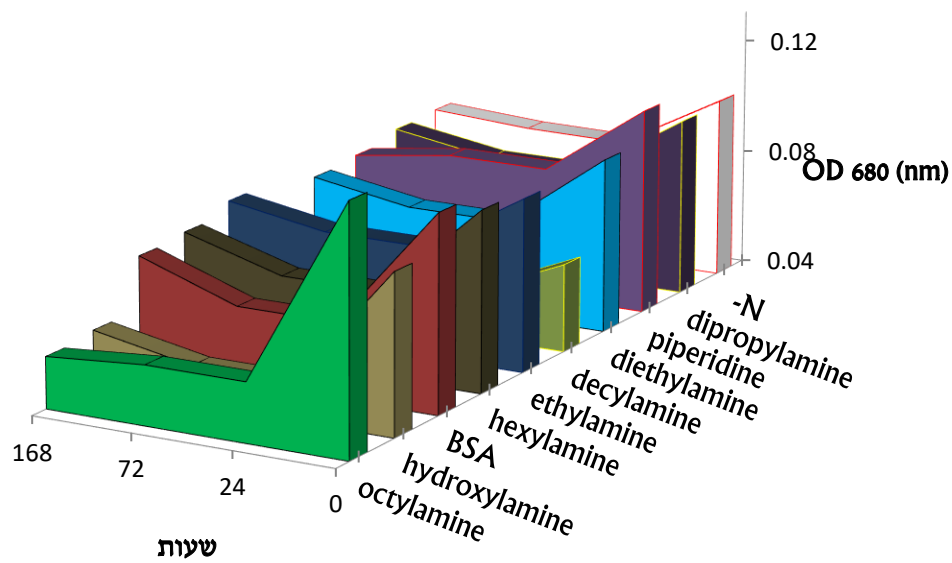
תוצאות אלו מראות כי אפניזומנון ומיקרוציסטיס הגדלים באגם מסוגלים לנצל חנקנים אורגניים רבים הקיימים בכנרת גם בתקופות סוף הקיץ וחקנים אורגניים בהן אין חנקן אי - אורגני. השימוש באלו מעכב את קצב קיבוע החנקן האטמוספרי וייצור הטרופוציסטים בתרביות האפניזומנון. יש לסייג ולציין כי כל הניסויים בתרביות נערכו בנוכחות מולקולת חנקן אורגני ספציפית כמקור יחיד לחנקן בכל ניסוי.



איור 72: ריכוז כלורופיל בדוגמאות אפניזומנון הגדלות עם פרקציות שונות של חנקנים אורגניים מהכנרת כמקור חנקן בלעדי.



איור 73: ריכוז הכלורופיל (OD 680nm) בזמני גידול שונים כפי שמאובחן בתרביות אפניזומנון המגודלות עם חנקנים אורגניים שונים (ביקורת ללא חנקן מסומנת כ -N). בפאנל עליון - חנקנים אורגניים המוספים לתרביות אפניזומנון וגורמים לירידה/שינוי קל בריכוז הכלורופיל, בפאנל תחתון - חנקנים אורגניים המוספים לתרביות אפניזומנון וגורמים לעליה בריכוז הכלורופיל.



איור 74: ריכוז הכלורופיל (OD 680nm) בזמני גידול שונים כפי שמאובחן בתרביות אפניזומנון המגודלות עם חנקנים אורגניים שונים (ביקורת ללא חנקן מסומנת כ -N). בפאנל עליון - חנקנים אורגניים המוספים לתרביות מיקרוציסטיס וגורמים לירידה/שינוי קל בריכוז הכלורופיל, בפאנל תחתון-חנקנים אורגניים המוספים לתרביות המיקרוציסטיס וגורמים לעליה בריכוז הכלורופיל.

3.4 פירוק הורמונים סטרואידאליים באמצעות תהליך ביואוגמנטציה מתקדם

פלג אסטרון וליאור קורזן, פרויקט משותף בניהול אופיר מנשה ממכללת כנרת ואייל קורצבאום
מהמכון לחקר הגולן
במימון משרד המדע

מטרות

בחינה של שיטה חדשנית לפירוק שאריות ההורמון הסינטטי 17 α -Ethinylestradiol (EE2) במי קולחין, בעזרת קפסולות מתוצרת חברת ביוקסל.

רקע

הורמון ה-EE2, כמו גם אחרים, קיימים במערכות קולחין, ומקורם הוא השימוש הנרחב בגלולות נגד הריון. הורמונים נוספים נמצאים במערכות ביוב המנקז רפתות וחקלאות בקר. הריכוז של הורמון זה במערכות ביוב כפי שנמדד בארץ הוא בסדרי גודל של מספר ננוגרמים לליטר. במקרה של חדירת מי קולחין למערכות אקווטיות, נמצא כי גם לריכוזים בסדר גודל זה השפעה על אוכלוסיות אקווטיות שונות כגון שינוי יחסי הזוויג באוכלוסיות דגה ואחרות. מכאן בא הצורך המידי למציאת פתרון יעיל כנגד שאריות הורמונים אלו.

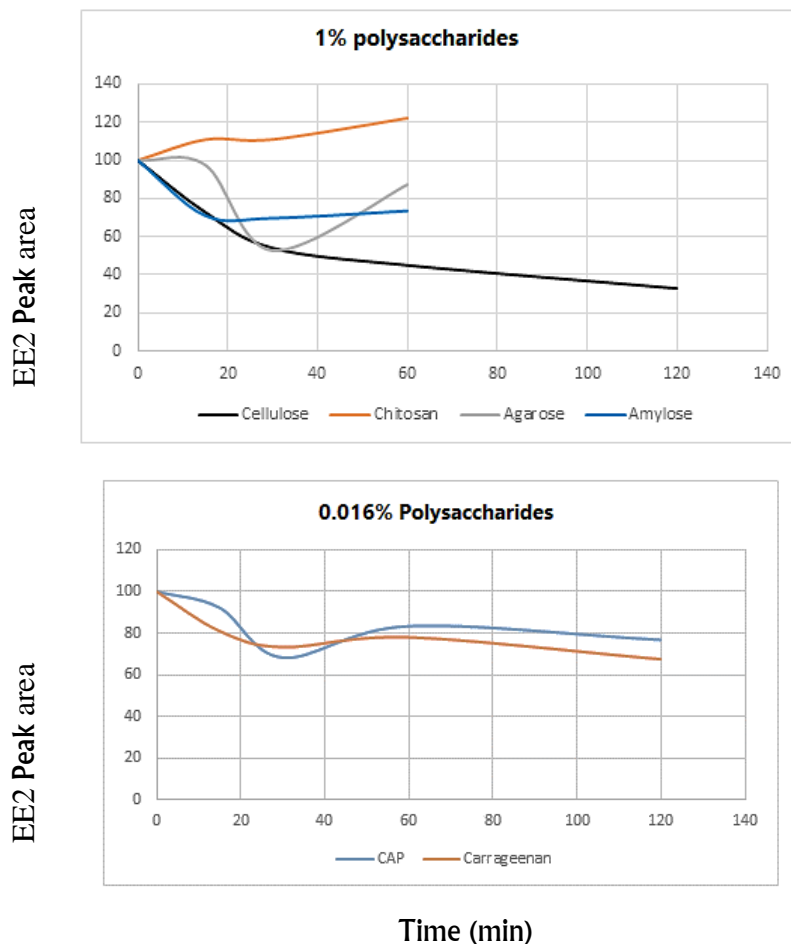
שיטות וממצאי החלק הניסויי במעבדות חקר ימים ואגמים

קפסולות הניסוי הללו הכילו חיידקים שיכולת פירוק הורמון ה-EE2 שלהם, הוכחה מדעית ע"י אחרים. לשם בחינת קצב הפירוק נבחנו מספר שיטות אנליטיות, המסוגלות לתת מענה לבחינה של הורמון זה בריכוזים שונים (חלקי המיליון לליטר = ppm עד חלקי הטרייליון לליטר = ppt). נמצא כי למרות קיום צלחות אלייזה לבחינת כמות ההורמון בריכוזים נמוכים, השיטה יקרה, לא יעילה ונתקלת בקשיים רבים כאשר חל שימוש במי קולחין כממס הניסוי. השיטה הנבחרת כללה שימוש מורכב אך מוצלח יותר ב GC/MS של המעבדה לחקר הכנרת בכדי לבחון ריכוזים מתחת לתחום ה-ppb. ריכוזים גבוהים יותר ניתן לבחון בקלות בעזרת מכשור אנליטי אחר הכולל HPLC-FLD (מכון לאוקיאנוגרפיה) ונמצא מתאים לבחינת ריכוזים בתחום ה-ppm.

בחינת יעילות הקפסולות נערכה ע"י הדגרתם עם הורמון ה-EE2 לאורך זמן ובחינת מדיום הניסוי לנוכחות ההורמון. עקב כך, נמצא כי קצב ירידת ההורמון ממי הניסוי מהיר ביותר ע"י שימוש במספר רב של קפסולות. עם זאת, למרות הפוטנציאל הטמון בשימוש בחיידקים מפרקי הורמון המוספים לתוכן הקפסולות, מתקיימת ספיחה לא ספציפית של ההורמון לקפסולות עצמן, עובדה זאת נמצאה לאחר ניסויים באותם תנאים רק בעזרת קפסולות שעברו עיקור באוטוקלאב (אוכלוסיית החיידקים בהם הומתה). כתוצאה, נמצא כי ספיחת ההורמון התרחשה בקצב דומה לקפסולות שלא עברו עיקור. חזרה על הניסוי הראתה את אותם הממצאים. חזרה שלישית עם קפסולות מעוקרות אך הפעם ספוגות בהורמון כטיפול מקדים (בוצע במעבדות המרכז לחקר הגולן) הראתה שאין ירידה בכמות ההורמון מהמדיום בניסויי קפסולות מעוקרות.

על בסיס תוצאות אלו, במקום לרכז את המאמץ בביסוס אוכלוסיות חיידקים שונות המסוגלות לפרק את ההורמון בקפסולות, הוכנו ניסויים המחקים ומעצימים את קצב הספיחה של ההורמון למצעים שונים כדוגמת מצע הקפסולה (cellulose acetate). כך נמצא כי ניתן לספוח למצעים שונים

כמויות רבות יותר של הורמון זה. באיור 75 ניתן להבחין במספר פוליסכרידים המשמשים כמצעים הסופחים את ההורמון. ריכוזי הפוליסכרידים (מצעים) בניסויים אלו, נמוכים בסדרי גודל מריכוזי ה cellulose acetate המשמשים להכנת הקפסולות בניסויים שבוצעו עד כה, על כן ניתן לסכם כי אלו בעלי פוטנציאל רב יותר.



איור 75: בתמונה העליונה ניתן להבחין בספיחת ההורמון EE2 לפוליסכרידים שונים המוספים בריכוז 1% במדיום הניסוי. בתמונה התחתונה - ספיחת ההורמון לפוליסכרידים שונים המוספים בריכוז 0.016% (16 מ"ג ל 100 מ"ל). המביאים לירידה של עד 40% בערך מריכוז ה EE2 הראשוני תוך מספר דקות.

מסקנות

ניתן לסכם כי בקפסולות הניסוי מתקיימת ספיחה בלתי ספציפית לפולימר החיצוני. מספר פוליסכרידים כגון צלולוז, קארגינן וצלולוז אצטאט פטלאט (CAP) מסוגלים לסלק את ההורמון מהתמיסה בריכוזים נמוכים ותוך מספר דקות. חומרים אלו זולים ביותר ונמצאים בשימוש תעשייתי רב שנים רבות. המשך המחקר הנ"ל יבחן את התמודדות חומר חי עם ההורמון במדיום.

3.5 אקולוגיה מולקולרית של החיידק הפתוגני ליגיונלה באגם הכנרת

שירה ניניו

במימון הקרן הלאומית למדע

מטרות

מיפוי והגדרת בתי הגידול של חיידק הליגיונלה באגם הכנרת, ואפיון מולקולרי ופיזיולוגי של המינים השונים המצויים באגם.

רקע/התקדמות

חיידק הליגיונלה הוא חיידק נפוץ מאוד במערכות מים מתוקים, ומצוי הן במערכות מלאכותיות והן בטבעיות. חשיפה לנתז של מים המכילים חיידקי ליגיונלה יכולה להוביל למחלת ריאות חמורה. חיידק הליגיונלה יכול לשרוד בתווך רחב של תנאים סביבתיים, ומצוי בביופילם, כפלנקטון וגם כטפיל של פרוטוזואות ממינים שונים. תוצאות ראשוניות מצביעות על קיומם של מספר מיני ליגיונלה באגם הכנרת, ביניהם כאלה הידועים כגורמי מחלה. במחקר זה ממופת הימצאות חיידק הליגיונלה בבתי הגידול המגוונים של האגם, מוגדר המיקרוביום של בתי הגידול השונים ונבחנת ההשפעה של תנאי הסביבה על הפיזיולוגיה של החיידק והאינטרקציה שלו עם אורגניזמים אחרים הנמצאים בסביבתו. המחקר צפוי לקדם את זיהויים של תהליכים אקולוגיים שעשויים לתרום להתפתחות אבולוציונית של זני חיידקים סביבתיים בעלי פוטנציאל לגרימת מחלה באדם.

תוצאות

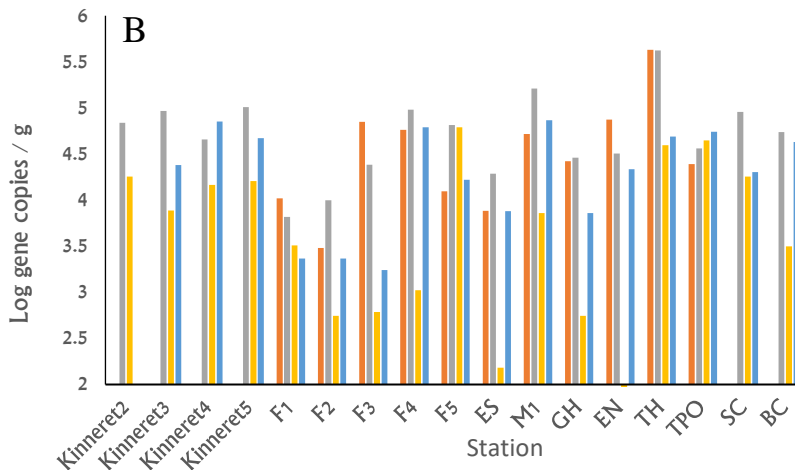
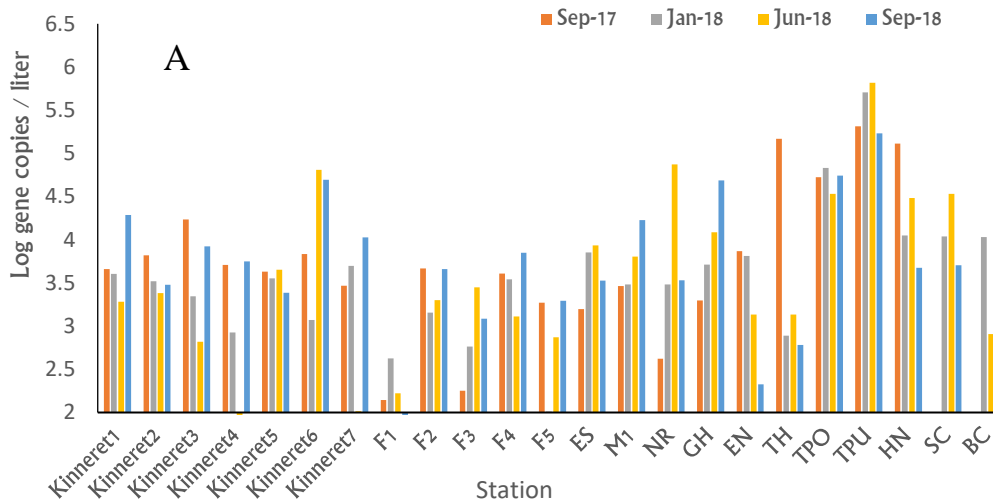
דיגום מהכנרת ומבתי הגידול הסובבים אותה באתרים שונים ובעונות שונות

מטרתו של שלב זה הינו לאתר ריכוזים של חיידק הליגיונלה באגם ובמעיינות הסובבים אותו. לצורך כך נבחרו 23 תחנות דיגום שונות, בעלות מאפיינים כימיים נרחבים. בכל תחנה נדגמו מים וכן ביופילם, או סדימנט. הדיגומים בוצעו אחת לרבעון, בתאריכים הבאים: ספטמבר 2017, ינואר 2018, יוני 2018, ספטמבר 2018. מכל הדגימות בוצעה הפקת של חומצות הגרעין, לצורך ביצוע אנליזה גנטית ובנוסף מבוצע אפיון כימי של המים בכל תחנת דיגום.

אנליזה גנטית של הדגימות השונות

לצורך איתור תחנות בהן ריכוז חיידקי הליגיונלה הינו גבוה, בוצע כימות של מספר החיידקים בכל דגימה. חומצות הגרעין שבודדו בשלב הקודם, נלקחו לצורך ביצוע תגובת שרשרת כמותית של פולימראז (ריאקציית qPCR). מתוך התוצאות עולה כי ישנן מספר תחנות בהן ריכוז חיידקי הליגיונלה גבוה (איור 76), לדוגמא בתחנות TH, TPO, TPU, HN. מתוך התחנות הוגדרו מספר נקודות בהן ריכוז החיידקים גבוה במיוחד, או שהתנאים הפיזיקו-כימיים מצביעים על יכולת הישרדות לא טיפוסית של מיני ליגיונלה. דגימות אלו נשלחו לריצוף גנטי מתקדם על מנת לזהות

ולאפיין את אוכלוסיית החיידקים בבתי הגידול השונים. מריצוף הדגימות וניתוח התוצאות עולה שברוב נקודות הדיגום ניתן למצוא מספר מינים של חיידקי ליגיונלה (טבלה 27). נקודות אלה נדגמות כעת באופן עונתי. אנו נמצאים בשלבי סיום של אפיון כימי של התחנות וביצוע אנליזה סטטיסטית בכדי לאפיין את הפיזור המרחבי והעונתי של חיידק הליגיונלה בהתחשב בפרמטרים אלו.



איור 76: ריכוזים (Log) של חיידק ה- *Legionella* במים (A) וביופילם/סדימנט (B), בתחנות שונות בכנרת ובמעיינות בסביבתה, בעונות השנה השונות. כימות מספר עותקי הגן ל רנ"א ריבוסומלי 16S הספציפיים לליגיונלה בוצע על ידי real-time PCR. בוצעה נורמליזציה של מספר ההעתקים בהתאם לנפח המים שסונן ומשקל הביופילם/סדימנט.

טבלה 27: זהות חמש מיני ה Legionellales – הנפוצים, על בסיס ה OTU's (Operational Taxonomic Unit) בסביבות שנדגמו.

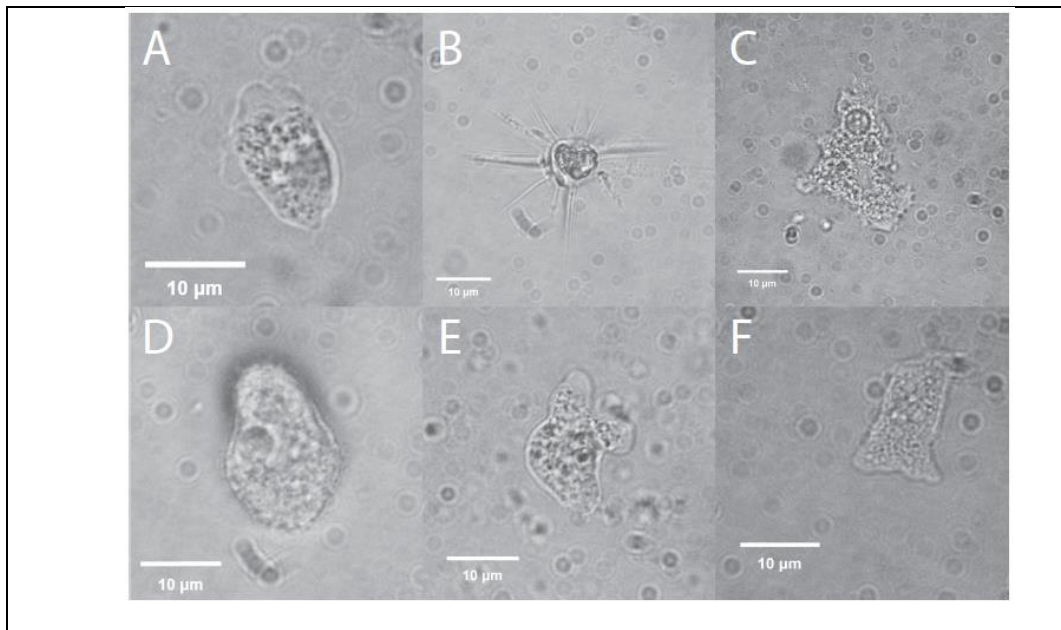
OTU# ¹	% samples with OTU	closest identity ²	% identity	E value	remarks
1	92	<i>Legionella pneumophila</i>	100	0.0	clinical isolate
2	54	<i>Legionella sp.</i> 91-004	100	0.0	environmental
3	62	<i>Legionella londiniensis</i>	96	1.00E-168	clinical isolate
4	54	<i>Aquicella siphonis</i>	89	3.00E-132	infects protozoa
5	54	<i>Legionella longbeachae</i>	99	0.0	clinical isolate

¹ מספור ה OTU's – הנו על בסיס השכיחות היחסית

² כל OTU סווגו טקסונומית באמצעות NCBI BLAST. האורגניזם המוצג הראה את ציון הזהות הגבוהה ביותר, כפי שנמצא במאגר הנתונים.

בידוד מאכסנים פוטנציאליים

אמבות מהוות מאכסן טבעי לחיידקי הליגיונלה, ולחיידקים עמידים אחרים. על מנת לחקור את יחסי הגומלין בין ליגיונלה לאמבות שבסביבתן הטבעית פיתחנו ויישמנו שיטה לבידוד אמבות מדגימות מים. תהליך הבידוד הצליח ובידנו מספר רב של תבדידים שעל פי סממנים מורפולוגיים ומולקולאריים שייכים למינים שונים של אמבות (איור 77 וטבלה 28).



איור 77: בידוד אמבות מאגם הכנרת וממעינות הסובבים אותה.

מבין האמבות שבודדו ניתן לראות מופע צמוד מצע של האמבה (A) *Vannella sp.* וכן מופע free swimming (B), אשר בודדו מתחנה NR. (C) מופע צמוד מצע של האמבה *Acanthamoeba sp.*, אשר בודדה מתחנה F4. (D) האמבה *Vannella sp.*, אשר בודדה מתחנה BC. (E) האמבה *Naegleria sp.*, בודדה מתחנה M1. (F) *Vahlkampfia avara*, אשר בודדה מתחנה NR. התמונות צולמו במצלמת מיקרוסקופ Olympus BX 100x עם שמן אימרסיה. הזיהוי המולקולארי בוצע באמצעות PCR וריצוף Sanger של גן לרנ"א ריבוסומלי 18S.

טבלה 28: זיהוי מולקולארי של אמבות אשר בודדו בתחנות שונות בכנרת ובמעיינות בסביבתה

Organism ¹	# of isolates	Station
<i>Vannella sp.</i>	3	NR
	5	ES
	1	M1
	3	SC
<i>Acanthamoeba sp.</i>	2	F4
	2	NR
	2	SC
<i>Vahlkampfia avara</i>	1	NR
<i>Naegleria sp.</i>	2	M1
<i>Paracercomonas crassicauda</i>	9	Multiple

¹האמבות סווגו טקסונומית ע"י ריצוף הגן לרנ"א ריבוסומלי 18S ובאמצעות NCBI BLAST, והאורגניזם המוצג הראה את ציון הזהות הגבוהה ביותר.

3.6 פיתוח אנדיקטורים מיקרוביאליים להערכת איכות מים ומצב טרופי של

מערכות מים טבעיות – הכנרת כמודל

שירה נינו, אסף סוקניק ועכסה לופו

במימון רשות המים

רקע

הכנרת כגוף מים עילי, נתונה להשפעות סביבתיות מגוונות, חלקן טבעיות אך רובן קשורות לפעילות אנושית אזורית או גלובלית. ליציבות המערכת האקולוגית של הכנרת ולתגובתה למגוון גורמים מאלצים משמעות רבה למשק המים הרואה בכנרת מאגר מים חשוב גם בעידן הנוכחי של התפלת מי ים. מערכת הניטור הביולוגי בכנרת שמה דגש, לאורך שנים, על אוכלוסיות הפיטופלנקטון בעוד המעקב אחר תמורות באוכלוסיות החיידקים היה מוגבל ומצומצם בהיקפו בעיקר בגלל היעדר כלים אנליטיים מתאימים. מטרת מחקר זה היא לפתח וליישם כלים חדשים למעקב אחר מבנה האוכלוסיות המיקרוביאליות (micro-biome) במערכת האקולוגית של הכנרת תוך שימוש בטכנולוגיה קיימת של ריצוף גנטי מתקדם. בעזרת הגישה המוצעת מתגלה בפנינו חוליה חשובה שרמת הידע עליה מוגבלת אך מהווה רכיב חשוב במערכת של הכנרת כמו גם במערכות אקוטיות אחרות. המחקר פותח צוהר להבנת התפקוד של מיקרואורגניזמים במחזור נוטרייטיים בפירוק חומרים אורגנים ובתגובתם לשינויים סביבתיים טבעיים או מאלצים. הנחה בסיסית של המחקר היא שמיקרואורגניזמים רגישים מאוד לסביבתם ועשויים להגיב לשינויים במערכת האקולוגית, לפני ששינויים אלה באים לידי ביטוי במדדים ביו-גיאוכימיים מקובלים. מטרתנו היא לספק כלים מתקדמים למעקב אחר המיקרואורגניזמים באגם הכנרת.

מטרות

פיתוח כלים חדשים למעקב אחר מבנה אוכלוסיות המיקרוביאליות (micro-biome) במערכת האקולוגית של אגם הכנרת תוך שימוש בטכנולוגיה קיימת של ריצוף גנטי מתקדם.

פעילות המחקר

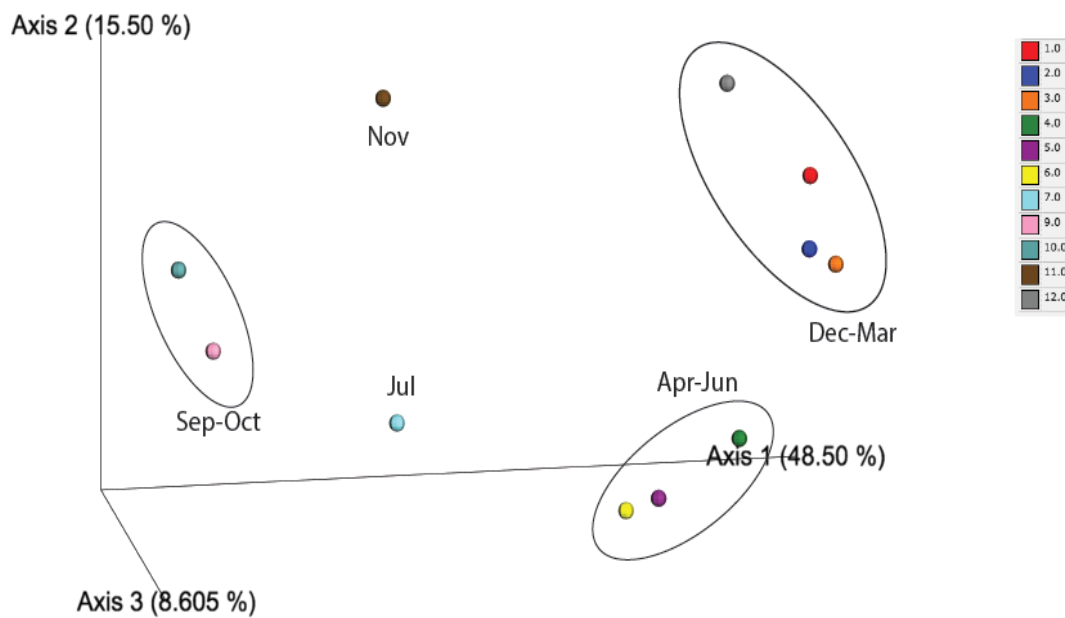
שנת המחקר השנייה התנהלה בהתאם לתוכנית העבודה. היעדים של תקופת מחקר זו היו:
א. דיגום אוכלוסיות חיידקיות בכנרת, כולל דיגום מרחבי ועונתי.
ב. הכנת הדגימות לריצוף ואנליזה גנטית של האוכלוסיות החיידקיות.
ג. ניתוח סטטיסטי של האוכלוסיות החיידקיות, זיהוי שינויים במבנה אוכלוסיית החיידקים בזמן ובמרחב ותגובתן לשינויים באגם.

התוצאות העיקריות

אנליזה של אוכלוסיות חיידקים – שונות מרחבית-ועתית

על מנת לחקור שינויים בזמן באוכלוסיות החיידקים, ערכנו דיגום חודשי בתחנה A בעומק של מטר אחד ובעומק 25 מטרים. הדוגמאות שנאספו עברו אנליזה גנטית בשיטות של ריצוף מתקדם לקבלת רצפי הגנים ל רנ"א ריבוסומלי 16S הקיימים בדוגמה ומייצגים את מיני החיידקים השונים ואת הכמות היחסית שלהם. תוצאות הריצוף עברו עיבוד בעזרת תוכנת Qiime2 וניתוח סטטיסטי בעזרת שפת התכנות R על מנת לבחון את השוני בין האוכלוסיות לפי שיטת ה principal

coordinates analysis. התוצאות מראות באופן מובהק שמבנה אוכלוסיות החיידקים בהיפולימניון משתנה מהותית לאורך השנה כתגובה לשינויים החלים באגם. ניתן להבחין שקיים דמיון רב בהרכב האוכלוסיות בחודשים דצמבר עד מרץ, בתקופה הגשומה של השנה סביב תקופת ההיפוך ותחילת השיכוב. השונות הרבה ביותר נצפתה בין אוכלוסיות חורף אלה לבין האוכלוסיות של סוף הקיץ ספטמבר-אוקטובר (איור 78). בהמשך המחקר נשתמש בכלים סטטיסטיים נוספים על מנת לזהות את המרכיבים העיקריים המובילים לשינויים במבנה האוכלוסיות החיידקיות לאורך השנה.



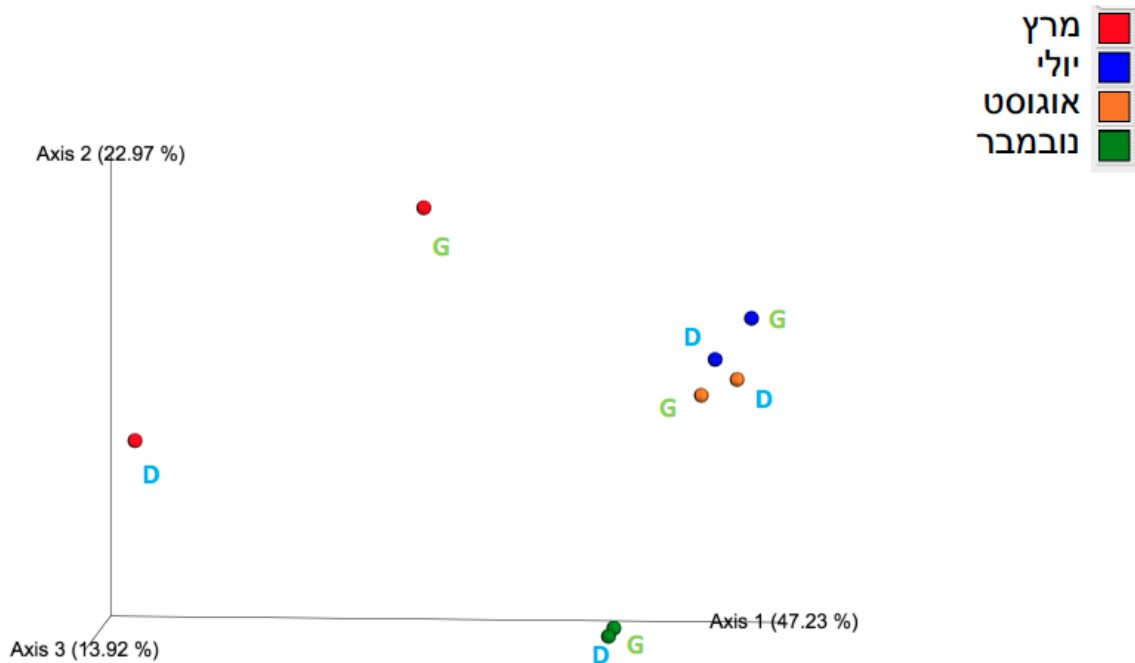
איור 78: ניתוח סטטיסטי של הדמיון בין אוכלוסיות החיידקים בחודשים שונים לאורך שנה אחת -2017, 2018, על פי שיטת ה-Principal coordinates analysis. כל נקודה מייצגת אוכלוסיית חיידקים שמקורה בדגימת מים מעומק 25 מטרים, וצבע הנקודות תואם את החודש בו בודדו, בהתאם לפירוט המופיע בצד האיור.

אנליזה של אוכלוסיות חיידקים – שונות מרחבית של אוכלוסיות

על מנת לבחון כיצד מושפעות אוכלוסיות חיידקיות ממיקומן המרחבי באגם, נאספו דגימות בתדירות עונתית משכבת האפילימניון (עומק 1 מ') בשלוש תחנות שונות – תחנה A במרכז האגם, תחנה D המייצגת את דרום האגם, ותחנה G המייצגת את אזור שפך הירדן. דגימות מים נאספו בחודשים אוגוסט 2017, נובמבר 2017, מרץ 2018 ויולי 2018, סוננו על פילטר סופור 0.2 מיקרון, ועברו הפקה של חומצות גרעין דנ"א. החומר הגנטי שהופק עבר כימות וביקורת איכות במעבדה ונשלח לריצוף מתקדם של גן ה-16S הריבוזומלי על פי הפרוטוקול שפותח בשלבי הפרויקט הקודמים.

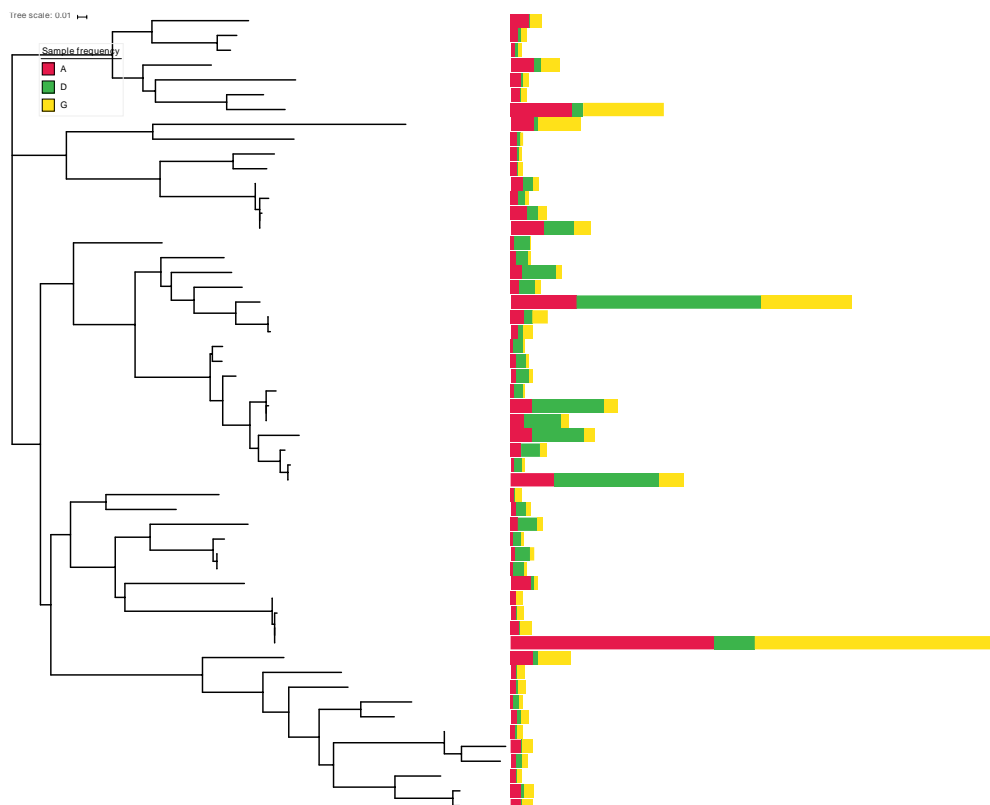
השונות בין אוכלוסיות החיידקים שנדגמו באזורים השונים ובעונות השונות נבחנה בכלי סטטיסטי של principal coordinate analysis. נמצא שהאוכלוסיות החיידקיות בצפון ובדרום האגם דומות מאוד זו לזו בחודשי הקיץ, עם שונות מינימלית בין האוכלוסיות, אפילו אם נדגמו בהפרש של שנה זו מזו, כמו אוגוסט 2017 ויולי 2018 (איור 79). גם בחודש נובמבר ניכר שהאוכלוסיה שנדגמה בצפון

האגם לא נבדלת מזו שנדגמה בדרום. לעומת זאת בחודש מרץ, המייצג את העונה הגשומה, ניכר שוני רב בין אוכלוסיות הצפון והדרום (איור 79).



איור 79: ניתוח סטטיסטי של הדמיון בין אוכלוסיות החיידקים בצפון האגם (תחנה G) ודרום האגם (תחנה D) בעונות שונות בשנים 2017-2018, על פי שיטת ה-Principal coordinates analysis. כל נקודה מייצגת אוכלוסייה אחת של חיידקים שמקורה בדגימת מים אחת, וצבע הנקודות תואם את החודש בו בודדו, בהתאם לפירוט המופיע בצד האיור. תחנת הדיגום מצוינת באות לועזית בסמוך לכל נקודה.

על מנת לאפיין את ההשפעה הגאוגרפית על אוכלוסיות החיידקים נערכה אנליזה פילוגנטית של האוכלוסיות שהתקבלו בשלוש תחנות הדיגום, המוצגת לצד התדירות היחסית של כל מין חיידקים בתחנות השונות (איור 80). ניכר שקיימים מינים שתפוצתם שונה בין התחנות השונות, לדוגמה ישנם מספר מינים הקרובים אבולוציונית זה לזה, המופיעים בתדירות גבוהה יותר בתחנה D שבדרום האגם מאשר ביתר התחנות (עמודות ירוקות, איור 80). תופעה זו מצביעה על כך שאוכלוסיות החיידקים בשכבת האפילימניון אינן אחידות לאורך האגם, ומושפעות מהמיקום הגיאוגרפי שלהן. בהמשך המחקר נערוך אנליזה נרחבת בעונה הגשומה על מנת לבחון את האפשרות שהשוני הנצפה הוא טיפוסי לעונה הגשומה באגם. בעזרת סדרת דיגומים ואנליזות נבחן את ההשערה המרכזית שכניסה של מים אל הכינרת דרך הירדן והנחלים הצפוניים עשויה לתרום לשינויים מהותיים באוכלוסיות החיידקים הסמוכות לאזור כניסת המים. כלים מולקולריים יאפשרו זיהוי של אורגניזמים ספציפיים המרכיבים את האוכלוסייה ויכולים לשמש כסמנים לשינוי סביבתי ביולוגי תלוי מיקום מרחבי.

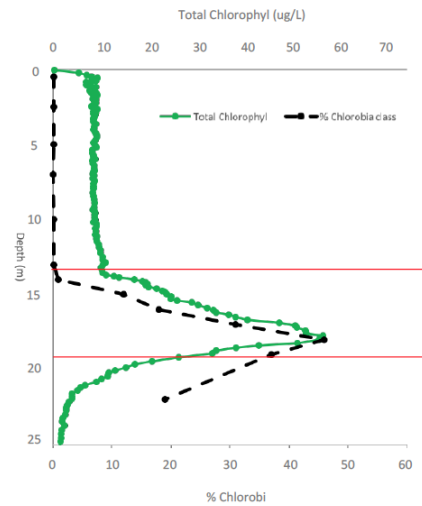


איור 80: עץ פילוגנטי של אוכלוסיות החיידקים שנמצאו בתחנות הדיגום A, G, ו-D בדיגום של מרץ 2018. התדירות היחסית של המינים השונים מוצגת בגרף העמודות שממין, אדום – תחנה A, צהוב – תחנה G, וירוק – תחנה D.

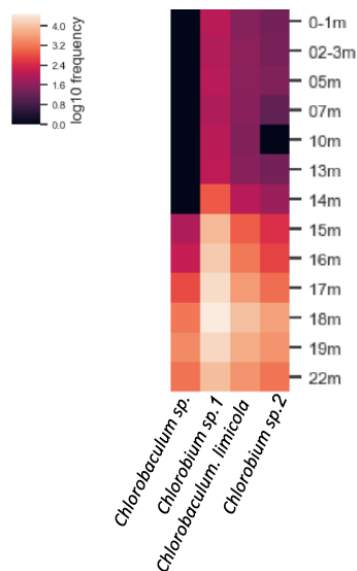
אפיון פריחת חיידקים מהמערכה Chlorobi

בדומה לשנים קודמות גם במהלך החודשים יוני-אוגוסט 2018 זוהתה בכנרת התפתחות של אוכלוסיית חיידקים פוטוסינתטיים בשכבת המטאלימניון ותועדה בעזרת מכשיר פלוראופורב (ראה איור 42, פרק 2.16). על מנת לאפיין את אוכלוסיית החיידקים המרכיבים פריחה זו, נדגמו מים בתאריך 18.6.2018 במספר עומקים שונים בתחנה A. דגימות המים סוננו, ומעקב לזיהוי שונות גנטית באוכלוסיית הכלורוביום בוצע בעזרת ריצוף מתקדם של גן ה-16S הריבוזומלי על פי הפרוטוקול שפותח בשלבי הפרויקט הקודמים. הרצפים שהתקבלו סוננו על פי שיוכם הפילוגנטי למערכה Chlorobi, ונמצא שריכוזם היחסי במטאלימניון מאוד גבוה, ושהתפלגותם האנכית של המינים ממערכה זו תואמת להתפלגות האות הפלורסנטי שנמדד בעמודת המים באותו תאריך בעזרת מכשיר פלוראופורב ומיוחס לכלורופיל (בשכבת המטאלימניון לבקטריו-כלורופיל) (איור 81). כוחה של שיטת הריצוף בא לידי ביטוי באנליזה זו כיוון שמתאפשר אפיון של האוכלוסייה שאיננו תלוי בזיהוי מורפולוגי, או בבידוד של מינים מאגם, אלא מסתמך על רצף גנטי. אפיון גנטי מטבעו רגיש יותר, ומאפשר זיהוי וכימות בו זמנית של מינים רבים המרכיבים את חברת (community) החיידקים כולה, כולל סוגים ומינים שלהם תפוצה גבוהה ("פריחה"). בגישה זו ניתן לראות שהאוכלוסייה הפורחת מורכבת מארבעה מינים שונים של Chlorobi המיוצגים בתדירות שונה ואף מראים התפלגות שונה לפי עומק (איור 82). ב-2018 נראו ארבעה מינים דומיננטיים, כולם ממשפחת ה- Chlorobiaceae, שני מינים לא מוגדרים מסוג Chlorobium, ושניים מסוג Chlorobaculum, האחד ממין לא מוגדר והשני ממין Limicola. בדגימות

שנאספו משכבת האפילימניון נראתה נוכחות של חלק ממיני ה-Chlorobi למרות שבשכבת מים זו רמת החמצן היתה כ-8.5 מג' לליטר, סביבה שאינה תומכת במינים אלו, אולם ידוע כי קיימים מנגנונים תאיים למניעת עקת חמצן, המאפשרים למיני Chlorobi לשרוד גם בנוכחות חמצן. הדבר יכול גם להעיד על זליגה של מינים אלו מהמטאלימניון לאפילימניון אבל נוכחות רצפים אלו באפילימניון אינה מעידה שהאורגניזמים פעילים מטאבולית.



איור 81: תפוצת הרצפים השייכים למערכת Chlorobi בעמודת המים תואמת את ריכוז הכלורופיל שנמדד במהלך הדיגום בעזרת הפלואורוב. עבור כל דגימה מוצג אחוז הרצפים ששייך למערכת Chlorobi מתוך כלל רצפי החיידקים שהתקבלו בדוגמה. שכבת המטאלימניון תחומה על יד הקווים האדומים.



איור 82: תפוצה של מיני כלורוביה בעמודת המים בתחנה A מוצגת כמפת חום של התדירות היחסית של מיני Chlorobi הדומיננטים בזמן הפריחה ביוני 2018. כל טור מייצג מין אחר של חיידקים מן המערכת Chlorobi ובכל שורה מוצגים המינים שנמצאו בעומק הנקוב. הגוון מייצג את התפוצה היחסית של כל מין על פי סרגל הצבע שמשמאל.

3.7 פיתוח ויישום טכניקות אקוסטיות למעקב אחר התפתחות ופיזור של

אוכלוסיות מיקרוציסטיס באגמים

איליה אוסטרובסקי, אסף סוקניק, בשיתוף עם פרופ' סונג (IHB, China).

אורנה שוויצר – נתן, סטודנטית לדוקטורט, ממומנת חלקית ע"י מלגת רשות המים.

במימון הקרן הישראלית למדע – ISF

מטרה

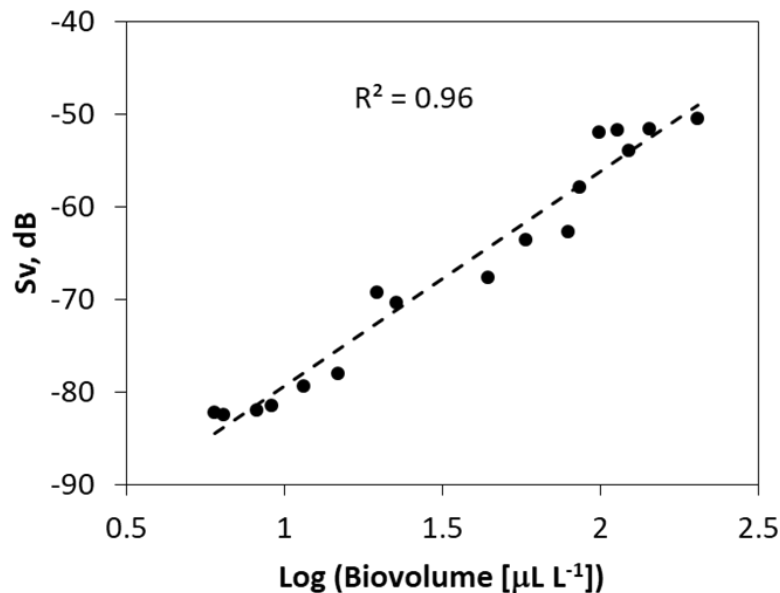
אפיון הדינמיקה העונתית והמרחבית של פריחת מיקרוציסטיס בשיטות הידרו אקוסטיות. מינים שונים של *Microcystis* נפוצים בגופי מים ברחבי העולם ואחראים ליצירה של פריחות רעילות הפוגעות באפשרות לאספקת מים לצריכה ביתית ולשימושים אחרים במקורות מים אלו. לתאי ה-*Microcystis* תכונת ציפה, ובשילוב עם יצירה של מושבות המאגדות מספר רב של תאים האוכלוסייה מקיימת תנועה אנכית בעמודת המים תוך ניצול של משאבי האור והמזינים וכמו כן יתרון בהתמודדות עם מתחרים. במחקר זה אנו מיישמים טכנולוגיות לא פולשניות ללימוד הדינמיקה של פריחת ה-*Microcystis* תוך מעקב אחר גורמים ביוטיים וא-ביוטיים השולטים בהיווצרות פריחה של *Microcystis* והתבססותה בגופי מים. למחקר ארבע מטרות: (1) התאמה ויישום של שיטה הידרואקוסטית וטכניקות לייזר למעקב אחר הפיזור האנכי של מושבות של *Microcystis*; (2) זיהוי ההשפעה של פרמטרים סביבתיים (ריבוד תרמי, עוצמה ועומק ערבוב, שדה אור, ריכוזי מזינים וכו') על התפוצה של אוכלוסיית ה-*Microcystis* ועל מגוון החיידקים ההטרורטרופים המלווים את תנועת/נדידת המושבות; (3) חקירת ההשפעה של תנאים סביבתיים (ריכוזי מזינים, מיקום גיאוגרפי, מאפייני אגמים ודינמיקה של פרמטרים פסיקו-כימיים) על המאפיינים הפיסיולוגיים והגנטיים של אוכלוסיית ה-*Microcystis*, עיתוי הפריחה, משך הפריחה ועוצמתה ועל חילופי מיני המיקרוציסטיס במהלך הפריחה; (4) פיתוח, אימות ויישום מודל/ים לחיזוי פריחות רעילות של ציאנובקטריה באגמים בישראל ובסין. הפרויקט מבוסס על שיתוף פעולה בין מדענים סינים וישראלים, בעלי מומחיות מגוונת בתחומי האקולוגיה של פיטופלנקטון, טוקסיקולוגיה והידרו-אקוסטיקה, והוא יתרום להבנת התהליכים האקולוגיים העומדים מאחורי התפתחות פריחות רעילות ויאפשר יישום שיטות לניהול גופי מים בהגנה על משאב טבע זה. במהלך פברואר - מרץ 2018 נערך מעקב אחר השינויים בתפוצה המרחבית של אוכלוסיית המיקרוציסטיס בכנרת תוך יישום שני אמצעים הידרואקוסטיים:

1. Portable scientific Simrad EY60 echo sounder operated at 120 kHz (7° opening angle)

2. Five-beam Teledyne RD Acoustic Doppler Current Profilers (ADCPs) - Sentinel V50 (500 kHz)

במקביל בוצעה מדידה של טמפרטורת עמודת המים (CTD) והערכת ריכוז והתפלגות גודל החלקיקים המרחפים בעמודת המים בעזרת (Submersible laser-diffraction based particle size analyzer LISST-100x, Sequoia Scientific, Inc). כמו כן נאספו דגימות מים מעומקי מים שונים ונקבע ריכוז הכלורופיל בשיטה פלואורסנטית. תוצאות המחקר הראו כי למושבות מיקרוציסטיס המכילות בוועיות גז, החזר אקוסטי חזק בתדרים שנמדדו. במהלך תקופת הפריחה של מיקרוציסטיס,

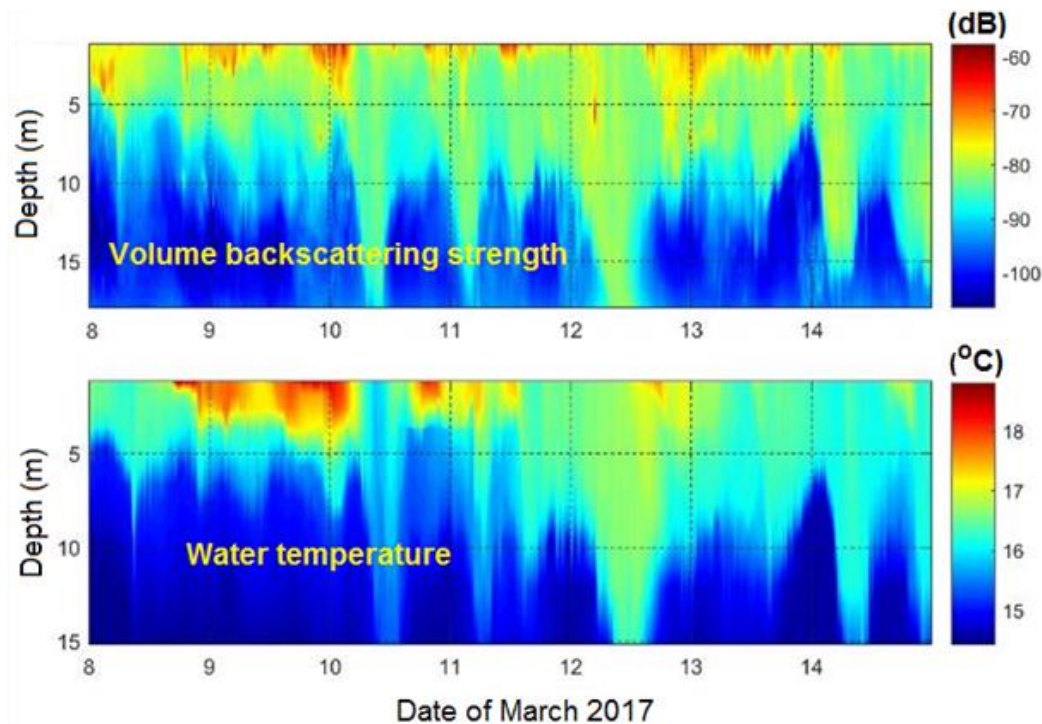
הערך הממוצע של עוצמת ההחזר האקוסטי (S_v (dB), the mean volume backscattering strength, S_v (dB)), במדידות שנערכו עם מתמר 120 קילו-הרץ, הראה התאמה ברורה לביומסה (biovolume) בעמודת המים (איור 83). במהלך התקופה בה בוצעו המדידות אוכלוסיית המיקרוציסטים תרמה עד 98% למסה (נפח) של החלקיקים המרחפים במים. נמדדה קורלציה גבוהה בין ריכוז נפחי של החלקיקים (סקלה לוגריתמית) לבין הערך האקוסטי S_v . קשר זה מצביע על אפשרות לכמת במדויק ביומסה של מיקרוציסטים בשיטות הידרואקוסטיות.



איור 83: קשר בין ערך ממוצע של עוצמת ההחזר האקוסטי ליחידת נפח מים mean volume backscattering strength, S_v , (נמדד על ידי האקוסאונדר) ובין לוג הריכוז הנפחי של החלקיקים שנמדד על ידי מערכת ה-LISST. הערכים לקוחים מסדרה גדולה של מדידות שנערכו במרחב הכנרת במהלך פריחת מיקרוציסטים בחורף 2018.

תצפיות רציפות אחר שינויים במרחב ובזמן בעוצמת האות האקוסטי בוצעו בעזרת מערכת ADCP הראו קשר ברור בין הפיזור של אוכלוסיית המיקרוציסטים לבין השכוב התרמי בעמודת המים. בחודשי החורף, בימים ללא עננות, קרינת שמש מרבית ומזג אויר שקט, מתפתחת במהלך שאות הבוקר, שכבה דקה של מים בטמפרטורה גבוהה יחסית. בתנאים אלו מואץ תהליך הציפה של מושבות המיקרוציסטים והן נחשפות לתנאי תאורה וטמפרטורה המשפרים את הגידול שלהן. התרמוקלינה הזמנית שנוצרת איננה יציבה והמערכת מתערבלת בלילה עם ירידת טמפרטורת פני המים והתחזקות הרוחות. בתחילת האביב השכוב התרמי מתחזק ומתייצב תופעה שמוצגת באיור 84. יחסים ברורים אלו בין שני המשתנים מתארים מתאם חיובי חזק בין הביומסה של מיקרוציסטים ובין טמפרטורת המים. השינוי העייתי בעובי הרובד העליון החם נגרם על ידי כוח הרוח, גלים פנימיים ו/או ערבוב.

תוצאות אלו מדגימות כיצד מערכת הידרואקוסטית יכולה לשמש לכימות ומעקב אחר התפתחות של אוכלוסיית מיקרוציסטים באגם בשל נוכחות בועיות גז בתאים ובמושבות. כמו כן נמצא שניתן להעריך את הריכוז הנפחי של אוכלוסיית המיקרוציסטים על ידי מערכת LISST-100x. כמו כן, השימוש במד זרם מסוג ADCP מאפשר מעקב עיתי אחר הפיזור האנכי של אוכלוסיית המיקרוציסטים בכנרת.



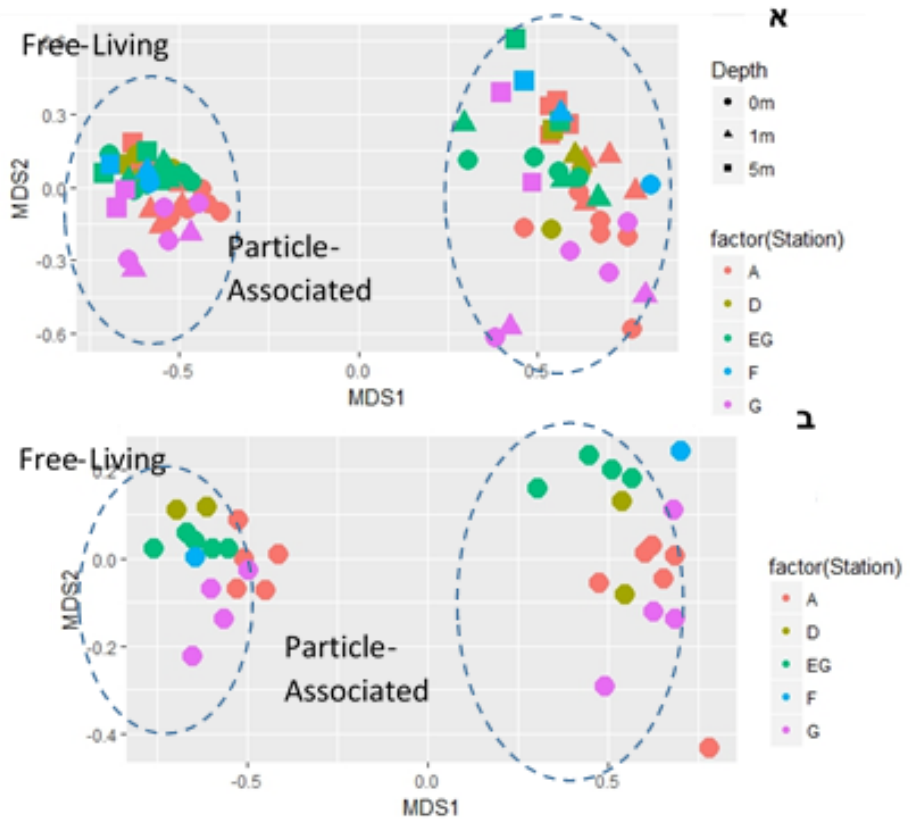
איור 84: שינויים בזמן ובמרחב (עומק עמודת המים) בעוצמת ההחזר האקוסטי הנפחי (איור עליון) והמבנה התרמי של עמודת המים (איור תחתון) במהלך חודש מרץ 2017 בזמן פריחת מיקרוציסטים בכנרת. ערכי החזר האות האקוסטי חושבו מתוך נתונים שנאספו על ידי מערכת ADCP שמוקמה בעומק 20 מ'. נתוני הטמפרטורה נאספו על ידי שרשרת טרמיסטורים שמוקמה בסמוך ל ADCP.

במחקר משלים אופיינו השינויים המתקיימים בזמן ובמרחב באוכלוסיות החיידקים המלוות פריחות של מיקרוציסטים. המחקר התמקד באירוע פריחת מיקרוציסטים בחורף 2016 במהלכו נאספו דגימות בשני מועדים סמוכים, ב - 15 וב - 17 בפברואר. דוגמאות נאספו מנקודות שונות במרחב האגם ובכל נקודה נדגמו שלושה עומקים, וזאת על מנת לזהות שינויים מרחביים (אופקיים ואנכיים) באוכלוסיית המיקרוציסטים והחיידקים הנלווים לה. הדוגמאות נאספו מתחנות הניטור הקבועות A, G, F, D, ומתחנה נוספת 300 מטר מערבית למעגן הסירות של עין גב (תחנה EG). בכל תחנה נאספו דוגמאות מעומקים 0, 1, ו-5 מטר. ריכוזי כלורופיל נמדדו על מנת לאמוד את עוצמת הפריחה ולקבל מדד לאופי הפיזור המרחבי של אוכלוסיות הפיטופלנקטון (טבלה 29). נמצאה שונות מובהקת בריכוז הכלורופיל בפני השטח (עומק 0) בין התחנות השונות ובמרבית התחנות, בפני המים ריכוז הכלורופיל היה גבוהה יותר (עד פי 3) מאשר בעומק של 5 מ'. פיזור מרחבי זה מדגים את חוסר האחידות של פיזור אוכלוסיית המיקרוציסטים באגם. הדגימות סוננו ורוכזו על ממברנה של 5 מיקרון, במטרה לקבל חיידקים נלווים לחלקיקים (particle associated bacteria), והתסנין סונן פעם נוספת על

ממברנה של 0.22 מיקרון, על מנת לקבל חיידקים חופשיים (free-living bacteria). תוצרי הגברת הגן 16S rRNA מראים שהרכב חברת החיידקים משתנה במרחב האגם. חישוב מטריצת מרחקים בין הדוגמאות, באמצעות NMDS (mean square distance normalized), מציג שונות מובהקת בין הרכב אוכלוסיות החיידקים הנלווים לחלקיקים לאוכלוסיות החיידקים החופשיים (איור 85-א), ובנוסף נראה כי קיימים הבדלים בין הרכב אוכלוסיית החיידקים ההטרורופיים בעומקים 0 ו-1, לזו של 5 מטר ($p\text{-value} < 0.05$). אנליזה דומה שנערכה רק על דוגמאות שנאספו מעומק 0 מטר מראה כי ישנה הפרדה בין התחנות עבור אוכלוסיות החיידקים הנלווים ואוכלוסיות החיידקים החופשיים ($p\text{-value} < 0.05$), כלומר הרכב האוכלוסיות משתנה בצורה משמעותית במרחב. המשמעות האקולוגית של שינויים והקשר של האוכלוסיות השונות עם אוכלוסיית המיקרוציסטיס והרכבה הגנטי דורש ברור מעמיק.

טבלה 29: ריכוז כלורופיל בדגימות שנאספו בתחנות שונות ומעומקים שונים באירוע פריחה חורפי של מיקרוציסטיס בכנרת. תחנה EG- עין גב.

ריכוז כלורופיל ($\mu\text{g L}^{-1}$)	עומק (מ')	תחנת דיגום	תאריך
33.5	0	D	15.2.16
28.5	1	D	15.2.16
21	5	D	15.2.16
25	0	EG	15.2.16
24	1	EG	15.2.16
15	5	EG	15.2.16
30	0	A	15.2.16
8	1	A	15.2.16
10	5	A	15.2.16
12	0	F	15.2.16
11	1	F	15.2.16
10	5	F	15.2.16
45	0	G	15.2.16
36	1	G	15.2.16
21	5	G	15.2.16
19	0	EG	17.2.16
17	1	EG	17.2.16
16	5	EG	17.2.16
32	0	A	17.2.16
28	1	A	17.2.16
21	5	A	17.2.16
36	0	G	17.2.16
34	1	G	17.2.16



איור 85: NMDS של חברת החיידקים ההטרוטרופיים על בסיס חישוב מטריצת מרחקים בין כל הדוגמאות (פאנל א') ודוגמאות שנאספו מעומק 0 מטר (פאנל ב'). הדוגמאות בפאנל א' מוצגות על פי עומק הדגימה (0 מטר: עיגול, 1 מטר: משולש, 5 מטר: ריבוע). הצבעים מיצגים את תחנות הדגום השונות.

3.8 שימוש בציוד אקוסטי מתקדם לזיהוי דגים והערכת ביומסה למטרת ניהול

ממשק דייג אופטימלי בכנרת

איליה אוסטרובסקי, היקרו חומה בשיתוף עם יונתן בלמקר (אוניברסיטת תל אביב), אבי אוסטפלד (טכניון), ובוריס קצנלסון (אוניברסיטת חיפה)

במימון משרד המדע הטכנולוגיה

רקע מדעי

דגי הכנרת מושפעים בעשורים האחרונים ממגוון גורמים הכוללים: העשרת אוכלוסיות של דגים מסחריים, תמורות בלחץ הדיג ושינויים אקולוגיים באגם. הבנת השפעתם של גורמים אלו על הדגה ופיתוח מדיניות בר-קיימא לניהול הכנרת, מחייבים הערכות מדויקות של פרמטרים דמוגרפיים של אוכלוסיות הדגים.

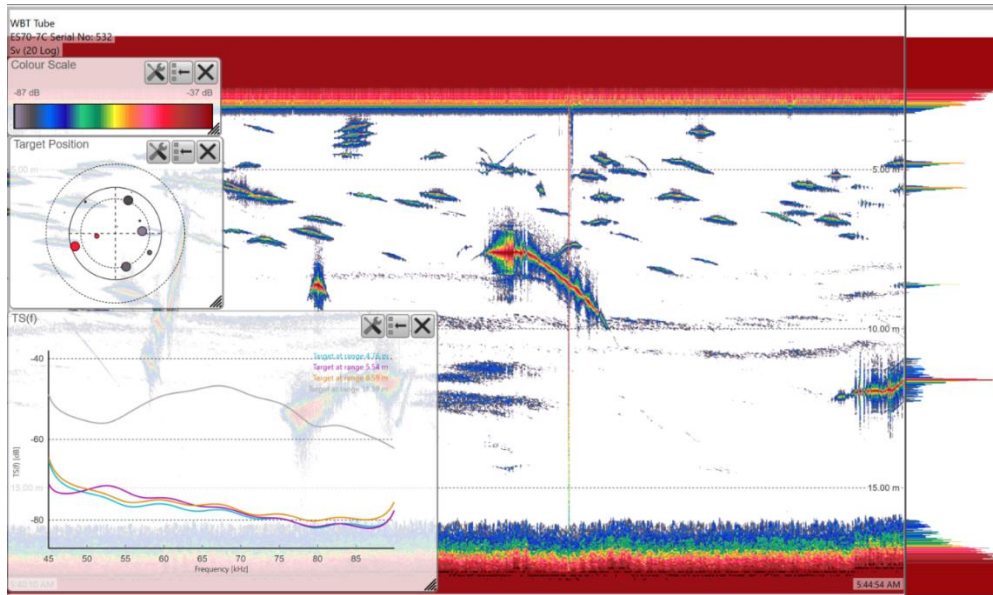
מטרות המחקר

מטרת המחקר היא קבלת מידע אמין לגבי גודל ויצרנות אוכלוסיות מיני המטרה בכנרת על ידי שימוש בטכניקה חדשנית לניטור אקוסטי בפס רחב. מידע זה ישמש להערכת מצבם הנוכחי של אוכלוסיות דגי הכנרת, ולאחר מכן יעבור אינטגרציה עם מודל מתקדם במטרה לייעל את ניהול הדיג בכנרת.

מתודולוגיה

ניטור הדגה יתבצע באמצעות מכשיר אקוסטי רחב פס שיאפשר הערכת ביומסה עבור המינים העיקריים הניתנים לזיהוי אקוסטי. הניטור האקוסטי רחב הפס יאפשר, בפעם הראשונה, הערכות ביומסה של מינים וקבוצות דגים עיקריות על פני האגם כולו. שיטה זו מהווה פריצת דרך מהותית בהשוואה לשיטות קודמות אשר סיפקו אומדנים של ביומסה ללא הבחנה בין מינים / קבוצות פונקציונליות. נתונים אלה ישמשו בתורם, לבסס מודלים הלוקחים בחשבון הן את ביומסת הדגים והן את תפוצת הדגים במטרה לבסס ניהול דייג אופטימלי ובר קיימא.

השנה הראשונה של הפרוייקט הוקדשה ברובה להכנת המכשיר ולפיתוח מתודולוגיה. ב-2018 הזמנו את תוכנת העיבוד – ECHOVIEW – לשם עיבוד הנתונים האקוסטיים (חיא"ל) ונתוני האקוסטאונדר רחב הפס בעל שני החיישנים (אוניברסיטת תל אביב). כמו כן העסקנו פוסט דוקטורנט בעל רקע מתאים בלימנולוגיה פיזיקלית. לאחר שקיבלנו את המכשיר החדש והתוכנה יזמנו הערכה של תגובת התדירות האקוסטית למיני דגים ידועים בניסויי מיכלים בבריכות גינוסר. כמו כן ביצענו מחקר אקוסטי ראשוני של דגים בכנרת במהלך הפלגות מחקר אקוסטי לילות. הדיגום הראשון שנעשה לאורך חתך באגם הכינרת הראה שרוב המטרות האקוסטיות (דגים) שהיו מרוכזות במרכז האפילימיון (עומק הקטן מ-9 מטר) היו בעלות ספקטרום תדירות אקוסטית ("חתימה אקוסטית") דומה למדי, בעוד שהדגים בעומקים הגדולים (קרוב לטרמוקלינה) היו בעלי ספקטרום תדירות שונים (איור 86). תוצאות מביטוחות ראשוניות אלה מעידות שדגים החיים במיקומים שונים עשויים להיות מובדלים בעזרת החתימות האקוסטיות שלהם, אשר מיוחסות כנראה למינים שונים.



איור 86 : אקוגרמה שנעשתה בעזרת אקוסאונדר רחב פס בתדירות אמצעית של 70 קילוהרץ. הקו האנכי הרציף בצידה הימני של האקוגרמה מציג את מיקום הזמן של האלומה החוצה 4 מטרות. מיקום מדויק של מטרות אלה באלומה האקוסטית מוצג בפאנל השמאלי העליון. ספקטרומי תגובת התדירות ("חתימה אקוסטית") של מטרות אלה מוצגים בפאנל השמאלי התחתון. ניתן לראות שלשלוש המטרות הממוקמות בעומקים הקטנים מ-9 מטר יש ספקטרום דומה, בעוד מטרה אחת הינה בעלת ספקטרום שונה וממוקמת בעומק 12 מטר.

3.9 מערכת ICT לזיהוי תגובת עמידות אקולוגית במערכות מים מתוקים

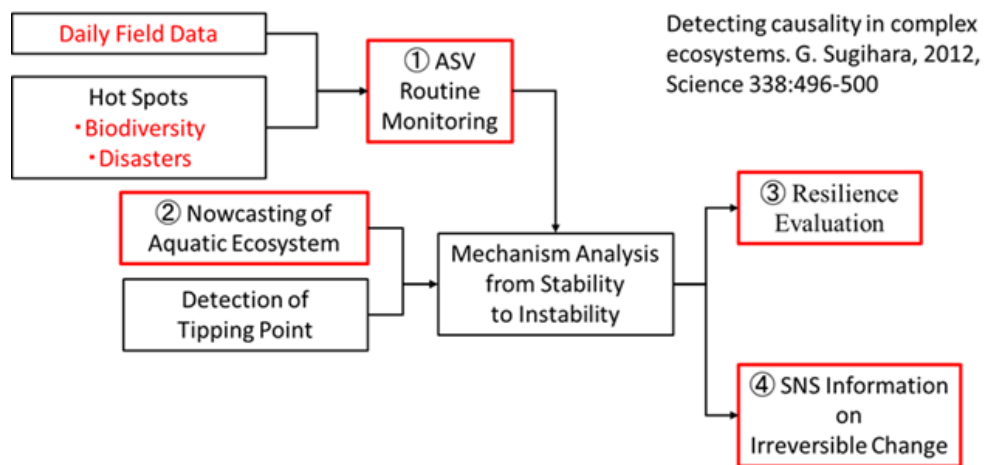
איליה אוסטרובסקי, אסף סוקניק, בשיתוף עם פרופ' Kumagai, Ritsumeikan University, Japan.

במימון משרד המדע והטכנולוגיה – MOST

מטרת הפרויקט היא לפתח טכנולוגיה לאיסוף מידע ניתוח ויישום בשיטות של תקשורת מידע (Information communication technology – ICT) ויישומה לניטור מערכות אקוויטיות, תוך הדגמת הטכנולוגיה באגם ביווה ביפן ובכנרת בישראל. מנקודת מבט מדעית, זה ניסיון ראשוני לשלב מידע הנאסף בזמן אמת מהמערכות האקולוגיות והטמעתו בגופי מידע ציבוריים לשיפור דרכי קבלת החלטות תפעוליות.

המחקר מבוסס על יישום כלי שיט זעיר אוטונומי Autonomous Surface Vehicle (ASV) עליו מותקנים אמצעי ניטור. המידע שנאסף על ידי אמצעי הניטור משמש לניתוח בכלים של אינטליגנציה מלאכותית את התהליכים במערכת ואת הסיכונים למערכת האקולוגית וליציבותה ולגמישות התגובה שלה (resilience). גישה זו מאפשרת חיזוי הדינמיקה של המערכת האקוויטית בלוחות זמנים קצרים (ימים) וארוכים יותר (שבועות). יתר על כן הכלים שהמחקר יעמיד יביא לשיפור יכולות ניהול גופי מים על ידי שימוש במערכות תקשורת חברתיות (social networking service – SNS).

היעדים המחקריים המידיים הם לזהות במקום ובזמן התפתחות של אוכלוסיות רעילות של ציאנובקטריה ולחזות את פוטנציאל ההתפתחות של פריחות אלו בטווח זמן קצר nowcasting, ובמרחב גוף המים, תוך שילוב המידע במערכות תקשורת SNS. יעדי המחקר מוצגים באיור 87.



איור 87: סכמה כללית המציגה את מבנה תכנית המחקר והמעורבות של השותפים. סעיפים 3 ו 4 מבוצעים בהובלה של הקבוצה היפנית.

המחקר החל ברבע האחרון של שנת 2018 ובמהלך תקופה זו נרכשו ונקלטו אמצעי מדידה מתאימים (1-MHz Aquadopp Profiler) ותואמה עבודת הפיתוח עם הצוות היפני תוך חילופי ידע ותיאום הפעילות.

3.10 חיזוי שינויים במערכות אקווטיות בתגובה לשינויים חיצוניים על בסיס

מודלים בזמן כמעט אמת

גדעון גל, משה אסטרוטי ונעם שחר בשיתוף דון פירסון (אונ' אופסלה), אלינור ג'נינגס (מכון דנדלק לטכנולוגיה), אלוירה דה איטו (מכון ימי אירלנד), אריק יפסן ודניס טרולה (אונ' ארהוס), ראול קונטור ואיזבל סייפרט (ניב"ה), וקארסטן בולדינג ויורן ברוגמן (בולדינג וברוגמן בע"מ).

במימון משרד התשתיות הלאומיות והאיחוד האירופאי המסגרת תוכנית JPI-Water Works

רקע

משאבי המים המתוקים מספקים לחברה שורה ארוכה של שרותי מערכת אקולוגיים אבל אלו נמצאים בסכנה לאור הלחצים האנתרופוגניים והשינויים הסביבתיים המתחרשים כיום בעולם. יצור של חומרים מזיקים לסביבה ופריחות של אצות רעילות הינם רק שניים מהאתגרים העומדים בפני מנהלי משאבי המים. השינויים האקלימיים בהם אנו נתונים מחריפים את הקושי להתמודד עם הבעיות השונות. שינויים בעוצמות ובתדירות שינויי טמפרטורה ואירועי קיצון, רוחות ואירועי גשם משפיעים

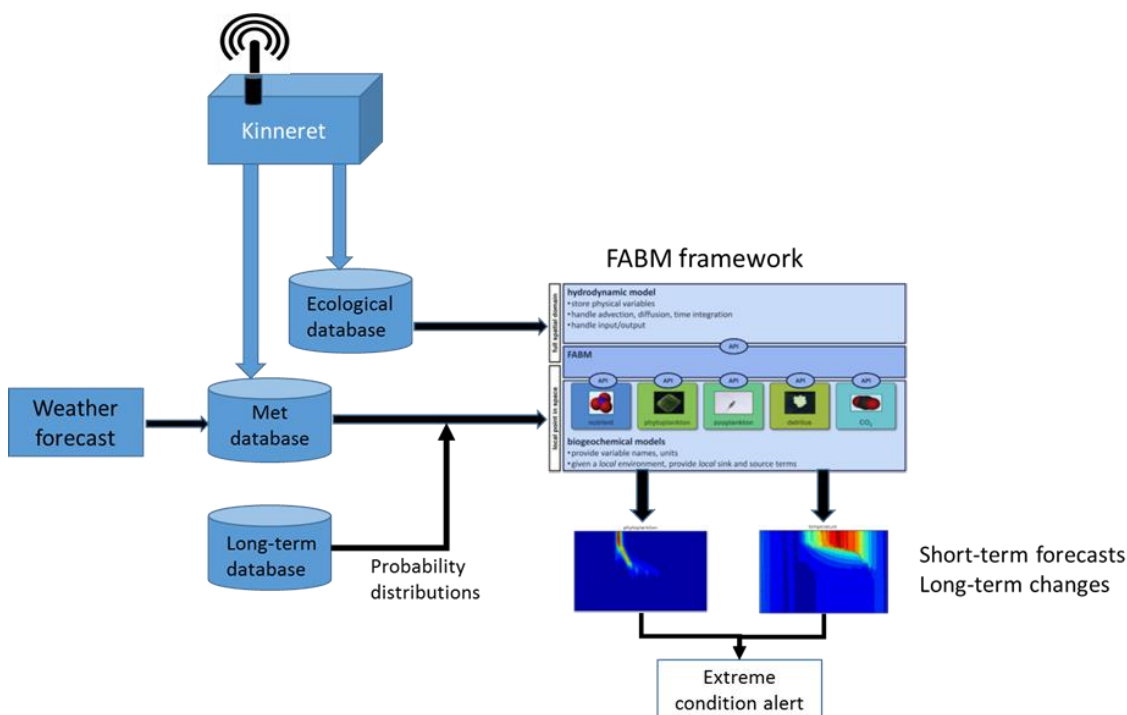
וצפויים להמשיך להשפיע על משטר הערבוב באגמים, השכוב התרמי ועומסים של חומרים הנכנסים לאגמים.

בשנים האחרונות החלו להטמיע, באירופה ובמקומות נוספים, מערכות מדידה אוטומטיות בתדירות גבוהה (לדוגמא www.netlake.org). בזכות הנתונים הנאגרים ברצף, בתדירות גבוהה ולאורך זמן ניתן יהיה בעתיד לבחון את ההשפעה של שינויים על המערכות האקוויטיות. אבל זה לא מספק. על מנת לנצל את הנתונים הללו בצורה מיטבית עליהם, ראשית, להיות מסופקים למנהלי משאבי המים בזמן כמעט אמת, ושנית יש צורך לפתח כלים שיכולים לחזות בטווח המידי ובטווח זמן קצר השפעות של אירועים על איכות המים. מטרת הפרויקט היא, אם כן, לפתח ולבחון כלים מבוססי מודלים המסוגלים לקלוט נתונים ממערכות מדידה אוטומטיות בזמן כמעט אמת ולתרגם אותם למידע רלוונטי עבור מנהלי משאבי המים (איור 88).

בשנתיים הראשונות של הפרויקט פותחה עבור הכנרת מערכת FABM הכוללת מודל הידרודינאמי חד-מימדי, אשר הורץ עבור השנים 1997-2004. בנוסף פותח ויישם תהליך של כיול אוטומטי למודלים שיישמו באגמים השונים הנכללים בפרויקט.

מטרות השנה השלישית של הפרויקט כללו:

1. הרחבת הרצת המודל לתקופה נוספת 2010-2017
2. שילוב מודל האקולוגי עם המודל ההידרודינאמי



איור 88: ביטוי גרפי למטרות ורכיבי הפרויקט הכוללים קליטה של מידע הנמדד בתדירות גבוהה ומועבר לשרת מרכזי ויחד עם נתונים נוספים משמשים כנתוני קלט למודל אקולוגי. המודל יחזה שינויים בטווח הקצר (ימים) אשר יתרחשו במערכת האקולוגית.

מטרות הפרויקט מיושמות ל-5 אתרים ברחבי אירופה וישראל במטרות לאפשר השוואה ישירה בין האתרים. האתרים כוללים טווח רחב של תנאים אקלימיים ואתגרים ממשקיים. על מנת לעמוד במטרות הפרויקט אנו מיישמים מסגרת מודלים בשם (Framework for Aquatic) FABM (Biogeochemical Models) המאפשר שילוב של מודלים ומודולים ממודלים שונים. השימוש בכלי זה מגדיל את מרחב האפשרויות העומדות בפני מפתח מודלים עבור גוף מים כלשהוא. בפרויקט זה נעשה שימוש במודל הידרו-דינאמי חד-מימדי המצומד למודל אקולוגי תחת מסגרת FABM. המודל ההידרו-דינאמי שמושם עבור כלל האגמים הינו מודל (General Ocean Turbulence) GOTM (Model). מודל זה פותח במקור לסביבות ימיות והוסב בשנים האחרונות לשימוש באגמים. המודל מאפשר סימולציה של שינויי טמפרטורה ומליחות יומיים, עונתיים ורב-שנתיים וכן מעקב אחר התפתחות השכוב התרמי באגם ושינויי צפיפות של המים. לשם כך נדרשים נתוני קלט שונים כגון התנאים המטאורולוגיים לאורך תקופת הרצת המודל, מידע על הכניסות והיציאות מאגם. הרצת המודל, כולל קליטת נתוני הקלט ויצירת קבצי הפלט, נעשתה במסגרת FABM על מנת ליצור את ההקשרים הנדרשים לחיבור המודל ההידרו-דינאמי למודל אקולוגי.

הרצת מודל GOTM לכנרת נעשתה עבור התקופה ינואר 1997 עד דצמבר 2004, תקופה מקבילה לתקופה שבה הרצנו בעבר מודלים הידרו-דינאמיים אחרים לכנרת, וכן עבור התקופה ינואר 2010 עד ספטמבר 2017. נתוני הקלט כללו משתנים מטאורולוגיים (טמפרטורת אוויר, מהירות רוח, לחות יחסית, קרינה קצרת גל, כיסוי עננים וגשם) ברזולוציה שעתית, ספיקות וטמפרטורת המים בכניסות העיקריות לכנרת וכן נפחי המים הנשאבים מהאגם. תוצאות ההרצה הושוו לנתונים שנאספו בתחנה A, במרכז האגם. ההשוואה בוצעה על בסיס טמפרטורת ברזולוציה אנכית של 1 מ' וברזולוציה שעתית או יומית.

בנוסף, על מנת לשפר את ביצועי המודל בוצע כיוול של מספר פרמטרים מרכזיים בעזרת כיוול אוטומטי המתבסס על אלגוריתם גנטי. תהליך הכיוול האוטומטי מבצע סדרה של איטרציות של המודל תוך שינוי ערכי הפרמטרים בתוך טווח ערכים המוגדר ע"י המשתנה. הפרמטרים שנכללו בכיוול האוטומטי כללו בין השאר פרמטרים הקשורים לחדירת האור (כגון עומק חדירת האור הנראה והאור הבלתי-נראה) ולאנרגיה הקינטית. הכיוול האוטומטי הורץ מספר פעמים עבור נתונים ברזולוציות שונות על מנת למצוא את הרזולוציה האידיאלית לכיוול מוצלח ובכך לשפר את יכולות החיזוי ולייעל את השימוש בנתונים.

לצורך אימות תוצאות הכיוול, נערכה השוואה של טמפרטורות מדודות וטמפרטורות המתקבלות במודל. בנוסף, נערכה השוואה בין מפלס האגם כפי שהתקבל במודל למפלס הכנרת המדוד. מכיוון שהכיוול בוצע על מנת להשיג התאמה בטמפרטורות בלבד, קבלת התאמה במפלסים מהווה אימות נוסף לפרמטרים שהתקבלו בכיוול.

המודל האקולוגי שמושם עבור הכנרת תחת מסגרת FABM הינו מודל PC-Lake. זהו מודל חד מימדי אשר פותח לאגמים רדודים, ומדמה את התהליכים הכימיים והאקולוגיים המתרחשים באגם הכוללים אינטראקציות בין הקבוצות הטרופיות השונות. צימוד המודל האקולוגי למודל ההידרו-

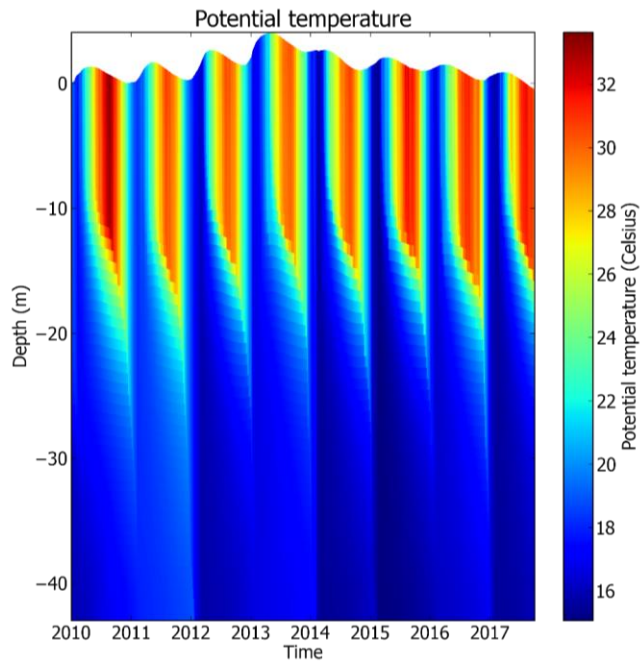
דינאמי תחת מסגרת FABM מאפשר את קבלת נתוני הפלט של המודל האקולוגי כפונקציה של עומק, בהתאם לתהליכים ההידרו-דינאמיים. לאחר הכיול של מודל GOTM, כוייל גם מודל PC-Lake תחת מסגרת FABM בשילוב עם מודל GOTM על בסיס ערכים מדודים של מספר משתנים באגם בשנים האמורות, כפי שמופיע בטבלה 30. ערכים אלה מהווים פרופילי עומק של נקודה A (הנקודה העמוקה ביותר באגם), ומקורם מבסיס הנתונים של המעבדה לחקר הכנרת.

טבלה 30: רשימת המשתנים אשר על בסיסם נערך הכיול.

משתנה	תדירות מדידה
טמפרטורת מים	פרופיילר אוטומטי יומי
חמצן מומס	פרופיילר אוטומטי יומי
ניטראט	דיגום כימיה דו-שבועי
אמוניה	דיגום כימיה דו-שבועי
חנקן כללי	דיגום כימיה דו-שבועי
זרחן כללי	דיגום כימיה דו-שבועי
כלורופיל A	דיגום כימיה דו-שבועי

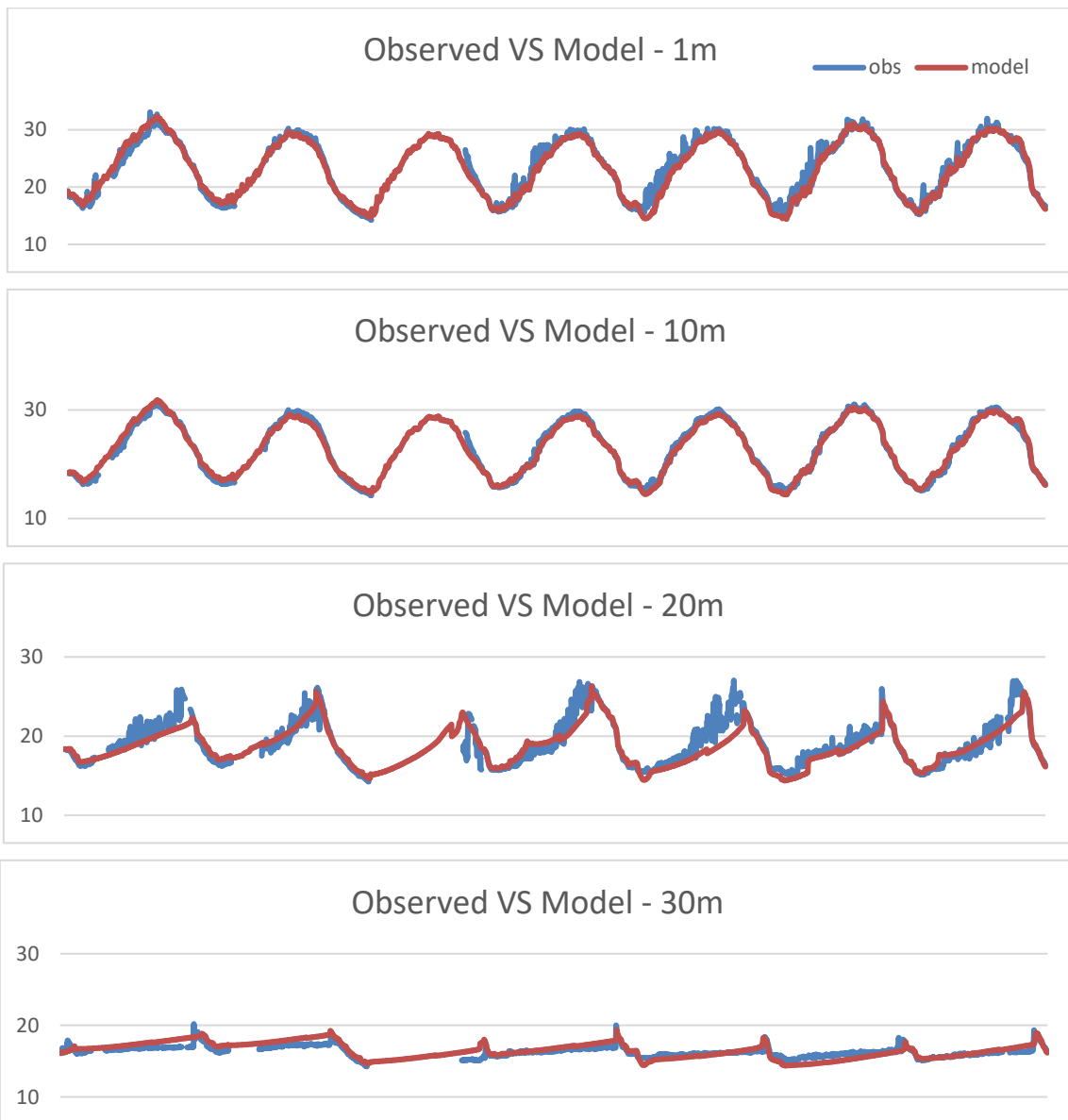
תוצאות

במסגרת המודלים FABM הופעל מודל GOTM עבור הכנרת לתקופות 1997-2004 ו-2010-2017. המודל הצליח לשחזר בצורה טובה את השינויים היומיים, עונתיים ורב-שנתיים של טמפרטורת המים כולל ההתפתחות והדעיכה העונתית של השיכוב התרמי (איור 89). ניתן לראות בברור את ההתפתחות העונתית של השיכוב בתקופת האביב, ההעמקה וההתייצבות של התרמוקלינה עד לתהליך ההיחלשות של השיכוב והערבוב המלא בתחילת החורף. כמו כן, בולטת ההתקררות היחסית של המים באגם בשנים גשומות בעקבות הספיקות הגבוהות של הכניסות לאגם שגם הביאו איתם כמויות גדולות של מים קרים.

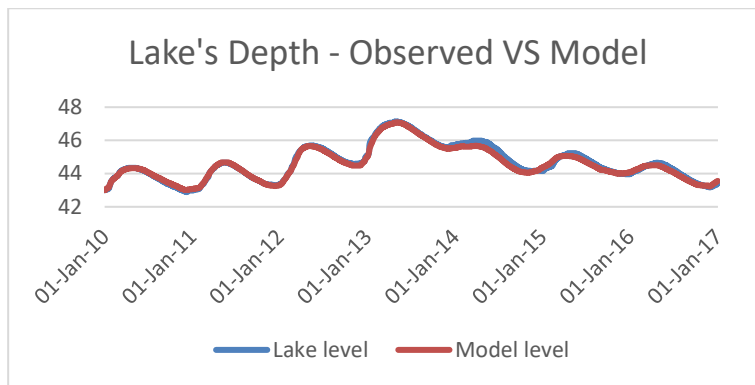


איור 89: תוצאות הרצת מודל GOTM לכנרת עבור התקופה 1.1.2010 – 30.9.2017. הציר האנכי הוא עומק והצבע מבטא את טמפרטורת המים.

תהליך הכיול האוטומטי בוצע בהצלחה ולמעשה התוצאות (איור 89) הינם תוצאות שלאחר הכיול האוטומטי. הפעלת הכיול האוטומטי שיפרה את תוצאות המודל ביחס לנתוני האגם (איור 90). המודל הצליח לחשב בצורה טובה את מפלס האגם עם תאימות גבוהה לאורך תקופת ההרצה למעט מספר תקופות קצרות (איור 91). מתוך השוואה כמותית של תוצאות המודל לטמפרטורה המדודה עולה כי הטעות הממוצעת (MAE) הייתה 0.52 מעלות, ה-RMSE (שורש טעות ריבועית ממוצעת) היה 0.76. בשני המקרים מדובר בתוצאות טובות מאוד. העובדה שלאורך כמעט כל התקופה הייתה תאימות טובה מעידה על כך שניתן להניח שחלק מהבעיות באותם תקופות של תאימות פחותה נובעות מבעיית נתוני קלט.



איור 90: השוואה בין הטמפ' שהתקבלה במודל (קו כתום) לבין נתוני האגם (קו כחול) בעומקים שונים. ניתן לראות שקיימות מספר חריגות בעיקר באזור התרמוקלינה (כ-20 מ').

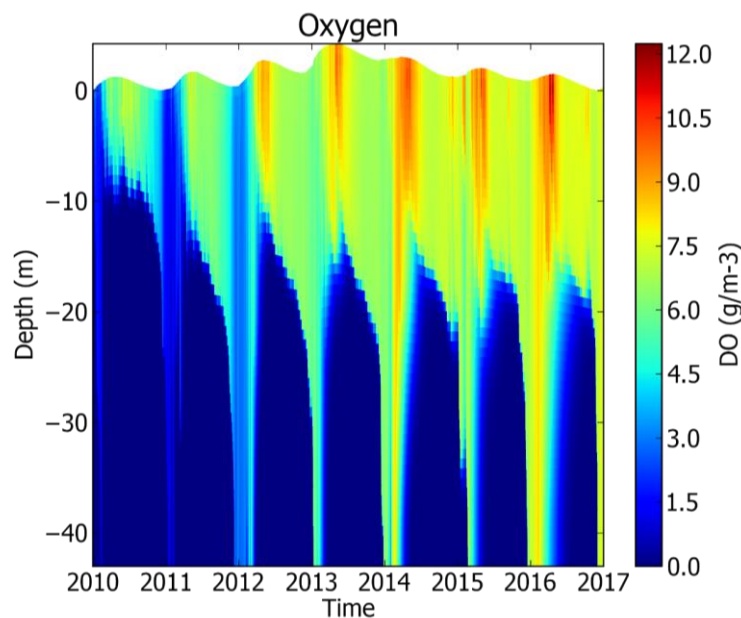


איור 91: השוואה בין מפלס הכנרת המחושב ע"י מודל GOTM עבור התקופה 1.1.2010 – 30.9.2017 לבין הערכים המדודים.

כיול מודל PC-Lake שנועד תחת מסגרת FABM, בוצע על בסיס מספר משתנים כימיים, על פי הפרוטוקול שפותח במסגרת הפרויקט הנוכחי. בשלב זה טרם הצלחנו להגיע לתוצאות מספקות של המודל הביוגיאוכימי (איור 92). בשנה הקרובה תימשך מאמץ בכיוון זה.

תכניות לשנה הקרובה

1. חיבור המודל לממשק נתוני מזג אוויר, כך שיפעל באופן רציף לפי נתוני זמן אמת ועל סמך תחזית לטווח קצר.
2. סימולציה וניסיון לחיזוי של אירועים חריגים באגם כגון הפריחה הגדולה של מיקרוציסטיס בינואר-מרץ 2016.



איור 92: תוצאות הרצת FABM עבור חמצן מומס במים. ארבע השנים הראשונות מהוות זמן הרצה שהכיל מתעלם ממנו, ומטרתו להביא לייצוב המערכת מהערכים הראשוניים. ניתן לראות את היווצרות השיכוב בקיץ, ואת הערבוב בחורף, וכן עלייה בריכוז כתוצאה מפעילות יצרנית.

4.1 שילוב מידע מאנטנות סלולריות לניתוח משקעים על פני שטחים מורכבים

יורי לצינסקי ואלון רימר ז"ל, בשיתוף פנחס אלפרט, הפקולטה למדעי הטבע, אוניברסיטת תל אביב.

במימון Helmholtz Association of German Research Centers

מחקר זה עוסק בפיתוח אלגוריתם חדש להערכה כמותית של נתוני גשם המופקים מנתוני ההנחתה של האות האלקטרומגנטי. העיקרון הבסיסי של השיטה זו הוא שהפרעות אטמוספריות שונות (גשם, ערפל, אבק) מחלישים את האותות האלקטרומגנטיים. רוב המחקרים שפורסמו בנושא מתייחסים בעיקר לפרקי זמן קצרים, כלומר לאירועים אשר נבחרו על ידי עורכי המחקר, ובהם המרת ההנחתה של האות הסלולרי לגשם בוצעה ע"י משוואות סטנדרטיות. בעבודתנו ננסה לראשונה לנתח סדרות נתונים ארוכות ושלמות. הכיול של האות הסלולרי מתבצע בשיטות דומות, אך לא זהות, לתהליך שבו מחושבות עקומות עצמה-משך-תדירות (Intensity-Duration-Frequency) של אירועי גשם.

מיון נתוני גשם וניתוח אירועי סופה

עוצמת הגשם (I) בעקומת IDF היא העובי הממוצע של גשמים (Q, מ"מ) שנופל ליחידת זמן (D, דקות), ונתונה בדרך כלל ביחידות של מ"מ/שעה. נבחן להלן את דרך הניתוח של אירועי גשם, ואת האופן שבו ניצר בסופו של דבר את עקומת IDF לתחנת גשם נתונה. נגדיר אירוע גשם באופן הבא: בין סופות גשם בודדות לא יורד גשם במשך 3 שעות לפחות ונתייחס רק לאירוע שבו ירד גשם במשך 240 דקות (4 שעות) באופן רציף. עוצמות גשם בפרקי זמן של i דקות מחשבים ע"פ נוסחה 1 (כאשר j-הוא מספר סידורי של המשתנה):

$$(1) \quad I_{i,j} = \frac{Q_{i,j}}{i} \times 60$$

מיון נתוני ההנחתה

לצורך המחקר השתמשנו במדידות רגעיות, כפי שסופקו על ידי חברת סלקום (מדידה כל 15 דקות, להבדיל מנתוני גשם שנמדדים כל 10 דקות). קיימות מספר שיטות שונות לצורך ניתוח נתוני הגל. בנייתן שלנו עשינו שימוש באלגוריתם (2):

$$(2) \quad A(t) = \max\left(\frac{A_{tot}(t) - B(t) - A_w(t)}{L}, 0\right)$$

כאשר $A_{tot}(t)$ מסמן את ההנחתה הכוללת כפי שנמדדה על ידי הספק, ההנחתה שנובעת מהגשם מסומנת ב $A(t)$, $B(t)$ עבור רעש בסיס (כמות הפרעות שקיימת כל הזמן באטמוספירה ללא חריגות) ו- $A_w(t)$ מסמנת את רמת הרעש כפי שנובע מתופעת אנטנה רטובה.

קשר בין מפות עצמה-משך-הסתברות ונתוני ההנחתה

בעזרת ניתוח אירועי הגשם קיבלנו טבלאות IDP עבור אזור גיאוגרפי נתון, ונתוני לינקים סלולריים שנמצאים בתחום הגיאוגרפי המכוסה בקירוב ע"י תחנות מדידת הגשם. כאשר מניחים את מפת לינקים של התקשורת הסלולארית על פני מפות עוצמת הגשם אפשר לבצע מיצוע של עצמת הגשם לאורך לינק בודד בין אנטנה סלולארית אחת לשכנתה, לכל D ו-P נתון:

$$(3) \quad \bar{I}(D, P, x) = \frac{1}{L} \int_{x=0}^{x=L} \left(\frac{a \times D^c}{P^b} \right) dx$$

במשוואה זו x מציין את ציר הלינק, ו- L את אורכו. תוצאת האינטגרציה שמוצגת היא עצמת גשם ממוצעת בהסתברות נתונה ולמשך זמן נתון המאפיינת את הטווח שלאורכו משתרע הלינק. משוואת הקשר בין נתוני החברות הסלולאריות לעצמת הגשם היא:

$$(4) \quad \bar{I}(D, P) = \left(\frac{A_T}{m \times L} \right)^{\frac{1}{n}}$$

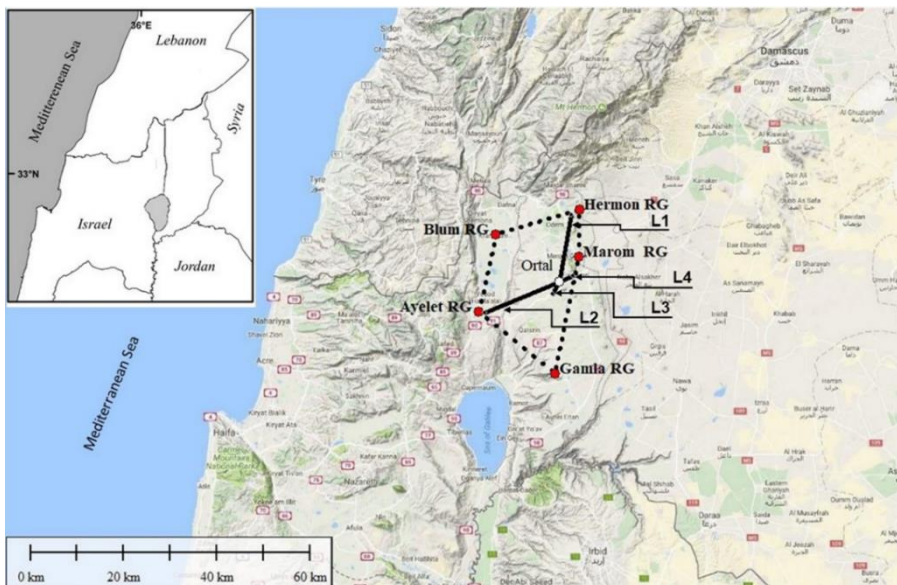
כאשר גם כאן I עצמת הגשם הממוצעת (מ"מ/זמן) כתלות ב- D משך הסופה (דקות), והסתברותה P ניתנים לחישוב מתוך A_T (הפחתת דציבלים בזמן נתון, dB), אורך הלינק L והמקדמים m ו- n . אנו מניחים כי אם ברשותנו סדרה עיתית (time series) ארוכה מספיק של נתוני הפחתת דציבלים בלינק מסוים (A_T), ניתן לייצר עבורו טבלה של עצמה-משך-הסתברות, ואת הקשר בין טבלה זו לטבלת הסתברויות נתוני הגשם המדוד ניתן לכייל ע"י השוואה בין משוואה 4 למשוואה 3, נקבל:

$$(5) \quad A_T(D, P) = L^{1-n} \times m \times \left(\int_{x=0}^{x=L} I(D, P, x) dx \right)^n$$

במשוואה 5 הסוגריים בצד ימין הם תוצאה של אינטגרציה ליניארית של נתוני עצמת הגשם לאורך לינק בפרק זמן והסתברות נתונים, L הוא אורך הלינק, ו- n ו- m הם מקדמי כיוול. המשמעות המידית של ממצא זה היא שקיים קשר ברור של שני פרמטרים בין עקומות עצמה-משך-הסתברות של הגשם לבין עקומות עצמה-משך-הסתברות של הפחתת האות הסלולרי כתוצאה מהגשם.

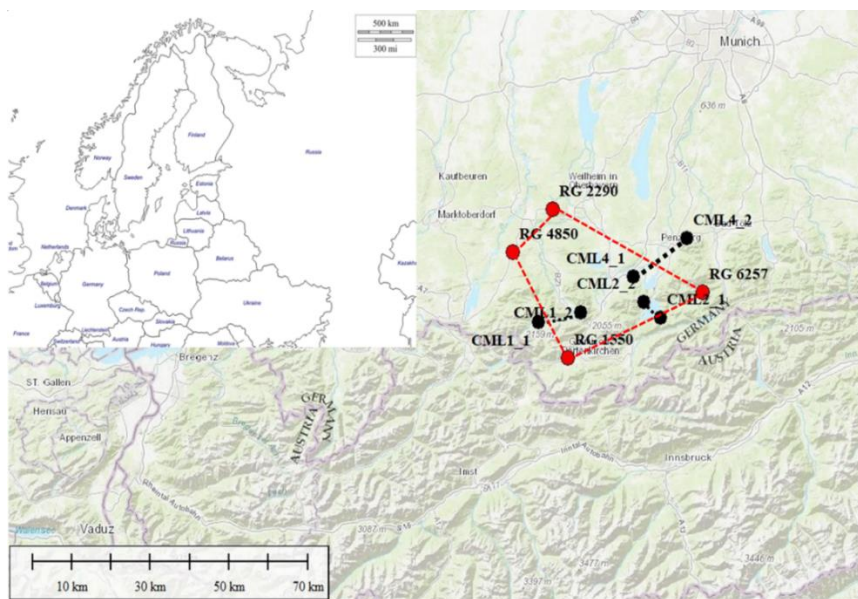
השוואת מפות עוצמה-משך-הסתברות עבור אזורים בעלי אקלים שונה

על מנת לבדוק את טיב השיטה המוצעת ביצענו ניתוח של נתונים כפי שנאספו באזורי אקלים שונים (ישראל ודרום גרמניה). בישראל בוצע ניתוח של נתוני 5 תחנות גשם (ארבע שמופעלות על ידי שירות מטאורולוגי ותחנה אחד שמופעלת על ידי המעבדה לחקר הכנרת) ונתוני ארבעה לינקים סלולריים (איור 93) שנאספו בין 2013 לבין 2017.



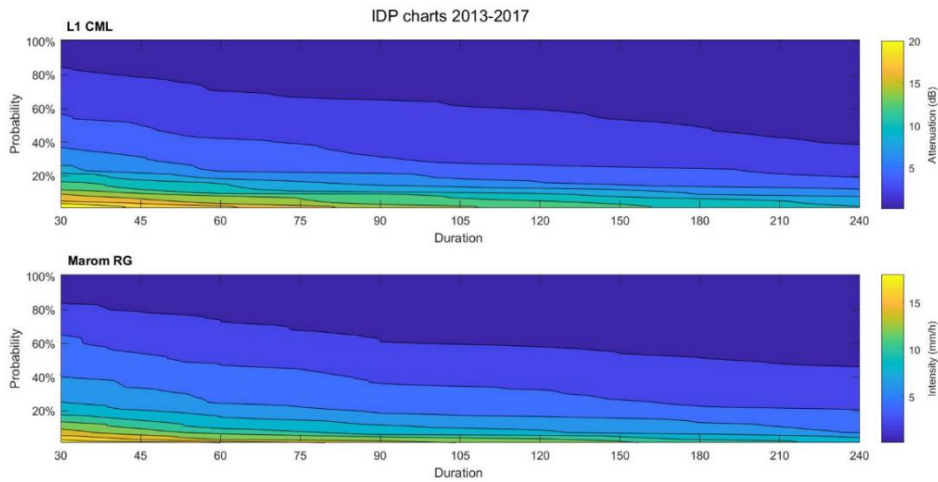
איור 93: אזור מחקר בצפון מדינת ישראל, נקודות אדומות מסמנות מדי גשם, קו שחור מודגש מציג את הלינקים הסלולריים.

עקב מספר רב יותר של אירועי גשם בגרמניה הניתוח התבסס על שנה אחת של נתונים (2017), והתבסס על ארבע תחנות גשם של השירות המטאורולוגי הגרמני ושלושה לינקים סלולריים (איור 94).

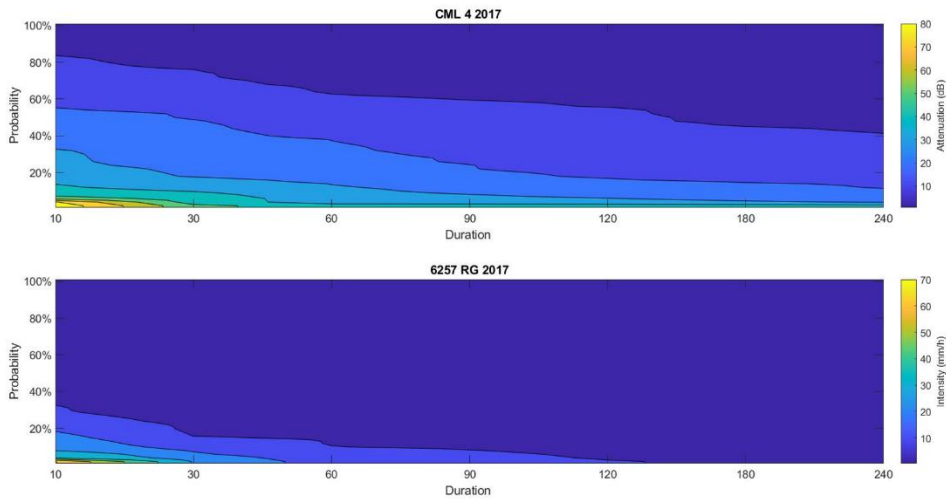


איור 94: דרום גרמניה, נקודות אדומות מסמנות תחנות גשם, נקודות שחורות מסמנות אנטנות סלולריות וקוים שחורים מקווקים מסמנים לינקים.

בהשוואה בין נתונים של עוצמות גשם במהלך סופות שארכו 4 שעות ויותר, ניתן לראות שאין שוני מהותי בהסתברויות להתרחשות אירועי גשם ואירועי הנחתה בעוצמות דומות (איורים 95,96). השינויים העיקריים מתרחשים בעוצמות גשם נמוכות (איור 96), אחד הסיבות לכך הוא קצב התאדות נמוך יותר, כלומר שטח פני האנטנה נשאר מכוסה מים לפרקי זמן ארוכים יותר.



איור 95: גרף עוצמה משך הסתברות של נתוני גשם במרום גולן מלמטה, מלמעלה גרף של נתוני ההנחתה מלינק 1.



איור 96: גרף עוצמה משך הסתברות לינק 4 (למעלה) ותחנת גשם 6257 הקרובה אליו, גרמניה.

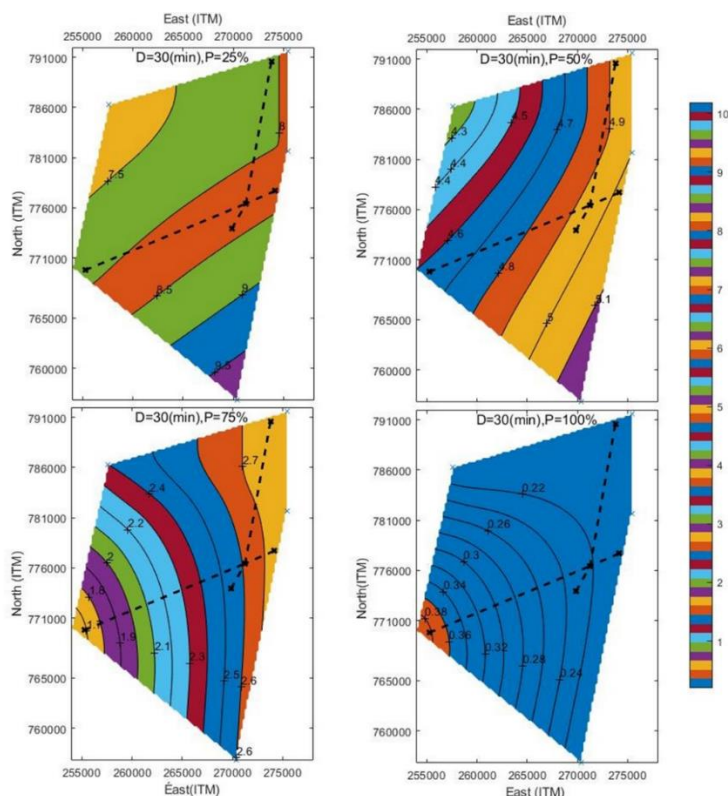
כיול מקדמי ההמרה

השימוש במשוואה 5 מודגם באמצעות איור 97. מפות של קווים שוויו עוצמה גשם I עבור פרקי זמן זהים של 30 דקות ועבור הסתברויות שונות. המפות שורטטו בהתבסס על טבלאות $I(D, P)$ שחושבו עבור חמש תחנות גשם שפרוסות במרחב נתון (איור 97). ארבעה לינקים סלולריים מופיעים באיור בקווים מקווקים. שימוש במשוואה 5 לצורך כיול מקדמי המרה עבור לינק מסוים בוצע על כל הצירופים של D ו-P. חושבו מקדמי ההמרה בהתבסס על נתוני 2012-2017 ובדיקת איכות (validation) על בסיס נתוני חורף של שנת 2018.

סיכום

במסגרת העבודה בוצע ניתוח של סדרה ארוכה של אירועי גשם, ולא עבור אירוע גשם בודד כפי שנהוג לרוב. ניתן עוד לשפר את תוצאות המודל (קיים שיפור של כ-7 אחוז ביחס למודל המקובל). בוצע ניתוח של נתונים שהתקבלו באמצעי מדידה שונים, באמצעות מד גשם סטנדרטי ובאמצעות מד לייזר (דיסדרומטר). מדידות על ידי מד גשם במקרה של טמפרטורות מתחת לאפס אינם

מדוייקים מכיוון שכל הגשם נמדד ברגע ההפשרה. במקרה של אתר החרמון התוצאות שלנו מראות שהשגיאה שנובעת מכך אינה משפיעה על תוצאות הכיול. חישוב של פריסת גשם מרחבית אינה מדוייקת עקב מחסור בנתונים. על פי חישוב שביצענו, על מנת להגיע לתוצאות מדוייקות, קיים צורך בסדרה עיתית שתכלול כ-50 אירועים בעלי המשכיות של יותר מ-240 דקות, כלומר קיים צורך ב-5 שנות נתונים רציפים של ההנחתה הסולרית. שיטת הכיול המוצעת אינה תלויה בקורלציה בין זמני המדידה. ערכי ההנחתה השגויים שמתקבלים כתוצאה מאירועי שלג לא מהווים הפרעה לשיטת הכיול המוצעת. לאיזור גיאוגרפי אין השפעה ממשית על התוצאות אם כי נתוני ההנחתה באיזורים מישוריים מושפעים מטווח רחב של הפרעות שונות.



איור 97: אינטגרציה על לינק עבור מפות המייצגות D זהו P שונה, מדי גשם בפינות המחומש, לינקים מסומנים בקו מקווקו.

4.2 ניטור הפיטופלנקטון באגם אגמון ב - 2018

אלה אלסטר

במימון רשות הטבע והגנים

אגם אגמון

אגם אגמון היא רטובית ששטחה 1.1 קמ"ר, עומקה כ-30-20 ס"מ ונוצרה ב-1994 במסגרת פרויקט שיקום אגם החולה. האגמון מקבל מים מצינור ניקוז (כל השנה) ומקטע משוחזר של נהר הירדן (בעונה הגשומה). מעקב אחר הפיטופלנקטון באגמון החל מיד לאחר מילוי גוף המים באפריל 1994 ונמשך עד סוף 1996. במהלך 2001-2000 בוצע מעקב אחר מגוון המינים של אצות כחוליות. ב - 2008 ניטור הפיטופלנקטון באגמון התחדש במטרה להתחקות אחר מגוון המינים והביומסה ומאז ניטור זה נמשך בתדירות של אחת לחודש או קרוב לתדירות זו.

שיטות

דוגמאות לבדיקת ריכוז כלורופיל וזיהוי פיטופלנקטון נאספו בנקודה יציאת המים מאגמון. ב - 2018 הדוגמאות נאספו בחודשים ינואר, פברואר, אפריל, יוני, יולי, אוגוסט, ספטמבר ונובמבר.

לאחר הדיגום, 25 - 10 מ"ל מהדוגמא, ב-2 חזרות, סוננו על פילטרים והוקפאו. יתרת הדוגמא שומרה בלוגול בבקבוק כהה. הדיגום נעשה ע"י צוות רשות הטבע והגנים. הפילטרים הקפואים והדוגמאות המשומרות הועברו למעבדה לחקר הכנרת למדידת כלורופיל ולזיהוי האצות. הפילטרים שימשו למדידה פלואורומטרית של ריכוזי הכלורופיל לאחר מיצוי באצטון 90%. עשרה מ"ל של דוגמאות משומרות בלוגול נבדקו תחת מיקרוסקופ הפוך לאחר 24 שעות השקעה בתאי שיקוע.

האצות זוהו לרמת המין או הסוג על פי הספרות הטקסונומית המקובלת:

Cox 1996, Ettl 1978, John et al 2002, Huber-Pestalozzi 1969, Komarek Anagnostidis 1999, 2005, Komarek and Fott 1983, Wotowski and Hindak 2005.

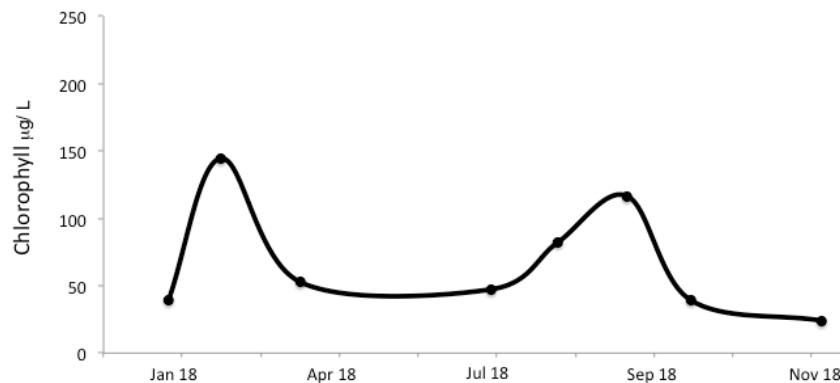
תדירות ההופעה של כל מין נקבעה לפי סולם התדירות המוצג בטבלה 31:

טבלה 31: סולם תדירות הופעת מינים לפי Korde (1956)

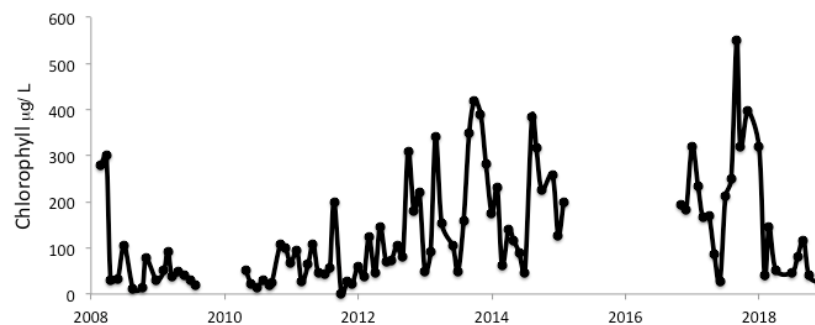
מספר תאים שנצפו	תדירות הופעתם	ציון
1-5 תאים בתא שיקוע	מידי פעם	1
10-15 תאים בתא שיקוע	נדיר	2
20-30 תאים בתא שיקוע	נפוץ	3
1 תא בסטריפ	תכוף	4
מספר תאים בסטריפ	תכוף מאוד	5
מספר תאים בכל שדה תצוגה	שופע	6

כלורופיל

ריכוזי הכלורופיל באגמון ב - 2018 נעו בין 24 - 145 מיקרוגרם לליטר, עם שני שיאים: הראשון באביב והשני בסתיו (איור 98). שני שיאים אלו מופיעים באגמון מדי שנה, כאשר לרוב השיא האביבי שחל בין פברואר לאפריל נמוך יותר מהשיא הסתווי שחל בין ספטמבר לנובמבר (איור 99). השיאים האביביים לרוב קשורים לפריחות של אצות ירוקות קריפטופיטים וצורניות, בעוד השיאים הסתויים נגרמים על ידי פריחות של אצות כחוליות. החל משנת 2011 נצפתה כל שנה פריחה קייצית של אצות כחוליות שהתבטאה בריכוזי שיא של כלורופיל באוגוסט או ספטמבר (איור 99). בשנת 2018 העלייה התקופתית הזו בריכוז הכלורופיל הייתה הנמוכה ביותר מאז 2011.



איור 98: ריכוזי הכלורופיל באגמון ב - 2018.



איור 99: ריכוזי הכלורופיל באגמון במהלך שנות הניטור (פברואר 2008 עד נובמבר 2018).

הרכב המינים והמהלך העונתי של הפיטופלנקטון באגמון

מאז 2008 בדגימות המים של האגמון נצפו מעל 200 מינים/סוגים של אצות. האצות השתייכו ל-9 מערכות: קריפטופיטה, עינניות, ירוקיות, חארופיטה, ציאנובקטריה, צורניות, קסאנוטופיטה, דינופלגטה וזהוביות. השינויים העונתיים של הפיטופלנקטון באגמון חלים כדלקמן: בסוף החורף התחלת האביב שולטות ירוקיות, צורניות וקריפטופיטה שגורמות לשיא האביבי של כלורופיל. במאי מתפתחת באגמון פריחה מאסיבית של צמחים עילאיים טבולים שמגיעה לשיאה ביוני-יולי ולא מותירה נוטריאנטים לאצות המיקרוסקופיות. במקביל לכך נצפה שפל עונתי בביומסת הפיטופלנקטון שמתבטא בריכוזי כלורופיל נמוכים. בתקופה זו ניתן לצפות במגוון גבוה של אצות

מכל המערכות אך כל מין בצפיפות נמוכה. בסוף הקיץ (אוגוסט - ספטמבר) שהצמחים העילאיים קורסים ומפנים מקום להתפתחות פריחה של ציאנובקטריה שגורמת לשיא סתווי של כלורופיל. אחרי שפריחת הציאנובקטריה נגמרת, באגם נשארות ירוקיות, צורניות וקריפטופיטה בצפיפות נמוכה. במהלך 2018 נצפו 109 מינים/סוגים של אצות באגמון. בדוגמא בודדת זוהו בין 13 ל- 53 מינים. האצות שנמצאו הן משש מערכות: קריפטופיטה, עינניות, ירוקיות, כחוליות, צורניות. במהלך שנת 2018 הרכב המינים באגמון היה כדלקמן:

בינואר - בפברואר באגם שלטו קריפטופיטה וירוקיות האצה. הדומיננטיות היו *Ankyra sp.*, *Cryptomonas sp.* באפריל קריפטופיטה וצורניות היו הדומיננטיות, המינים הנפוצים היו *Aulacoseira granulata* *Cryptomonas sp.*, *Cyclotella meneghiniana* ו- *Nitzschia sp.* היו הדומיננטיות. ביולי התחילה העלייה השגרתית של הכחוליות, הן היו הדומיננטיות יחד עם הצורניות, המינים הנפוצים היו הצורנית *Aulacoseira granulata* והכחולית *Anabaena planktonica*. באוגוסט באגמון נצפה מגוון מינים גדול של כחוליות אבל בריכוזים נמוכים, והאצה הצורנית *Aulacoseira granulata* הייתה הדומיננטית באגם. בספטמבר מגוון המינים היה גדול אך אף מין לא היה דומיננטי. בנובמבר ריכוז של כל האצות ירד וגם מגוון המינים היה מצומצם (טבלה 32).

טבלה 32: מיני הפיטופלנקטון הדומיננטיים (אלו שקבלו ציון 5 או 6 בסקלת Korde) באגמון בכל אחד מתאריכי הדיגום ב- 2018.

Dominant species	31-Jan-18	25-Feb-18	30-Apr-18	29-Jun-18	29-Jul-18	31-Aug-18	30-Sep-18	30-Nov-18
Cyanophyta								
<i>Anabaena bergii</i>				5				
Cryptophyta								
<i>Cryptomonas sp.</i>	5	5	5					
Diatoms								
<i>Aulacoseira granulata var. angustissima</i>				5	5	5		
<i>Cyclotella meneghiniana</i>		5	5					
<i>Nitzschia sp.</i>				5				

סיכום

פריחת הכחוליות באגמון ב- 2018 הייתה קצרה (חודש אחד בלבד). צפיפות הכחוליות וריכוז הכלורופיל בזמן הפריחה היו הנמוכים ביותר שנרשמו מאז 2011. הקבוצות הטקסונומיות הדומיננטיות באגמון ב-2018 היו קריפטופיטה וצורניות.

4.3 אפיון היציבות ההידרולוגית-סדימנטולוגית של התא הליטורלי בבקעת בית ציידא, הכנרת, צפון ישראל והשלכות לגבי בתי גידול אקולוגיים במערכת זו

שולמית נוסבוים, ירון בארי-שליון, אלכס פורמן (הטכניון) ואלון רימר ז"ל.

במימון משרד המדע

רקע

מחקר זה מתמקד בהיבטים ההידרולוגיים וסדימנטולוגיים של בקעת בית ציידא. המחקר הינו ארבע שנתי וזו השנה השלישית של המחקר.

שיטות

בחירת מגמות בסדרות זמן גיאוכימיות

העבודה על מודל קונספטואלי של מומסים ומרחפים באגנים ובאופן ספציפי עבודה על נחלי בית ציידא נמשכה גם השנה תוך התמקדות באספקטים של חלוקת עונת החורף למספר שלבים. האגן הראשי עליו מתבצעת העבודה הינו אגן המשושים אך נאספים ונבחנו נתונים גם עבור נחלים אחרים בבקעת בית ציידא וכרפרנט גם נאספו ונבחנו בכמה מקרים נתונים משיטפונות בנחלים ממערב לכנרת. בחירת סדרות זמן של גיאוכימיה במשושים נערכה על שני מסדי נתונים. מתוך מסד הנתונים של חברת מקורות נמצאו מתאימים לשימוש נתונים משנות השבעים עד תחילת שנות התשעים. מעבר לשנים אלו הרזולוציה של הנתונים המדווחים נמצאה פחות מתאימה ועבור חורפים 2018-2019 נערכו סדרות דיגום ידני ואנליזה גיאוכימית של מספר מרכיבים גיאוכימיים במעבדה לחקר הכנרת. סדרות דיגום אלו התמקדו בעיקר בתקופת החורף בדגש על רזולוציית דיגום גבוהה בעת אירועי גשם משמעותיים בתחילת החורף ובאירועים שיטפוניים בהמשך. מדידות אלו מאפשרות הבנת מנגנוני הסעה שונים הן בגשמים של תחילת העונה והן במהלך אירועי שיטפון בשלב מאוחר יותר של החורף. בנוסף לכך, נעשה שימוש בנתוני ספיקות מהשירות ההידרולוגי ונתוני גשם מהשירות המטאורולוגי ומתחנות גשם של רשות המים. עבור עבודה זו הוצבו גם חיישני רטיבות קרקע באגן המשושים בארבע נקודות כשבכל נקודה מוצבים חיישנים בעמק 10, 30 ו-50 ס"מ. בעזרת הנתונים הגיאוכימיים, רטיבות הקרקע ונתוני הספיקה והגשם ניתן להציג תמונה כוללת של מנגנוני ההסעה ולעמוד על ההבדלים המאפיינים את שינויי הריכוזים בתקופה שלפני תחילת השיטפונות ומאוחר יותר בחורף, בעת השיטפונות. התוצאות המוצגות כאן הם עבור המשושים, אך הראנו התנהגות דומה גם עבור היהודיה והדליות.

תוצאות

ריכוזים כנגד ספיקות

בחירת שינויי הריכוזים של מרכיבים גיאוכימיים לאורך השנה באגן המשושים, מאפשרת לחלק את התנהגות אגן ההיקוות של נחלי הבטיחה לשלושה שלבי חורף (איורים 101,100):

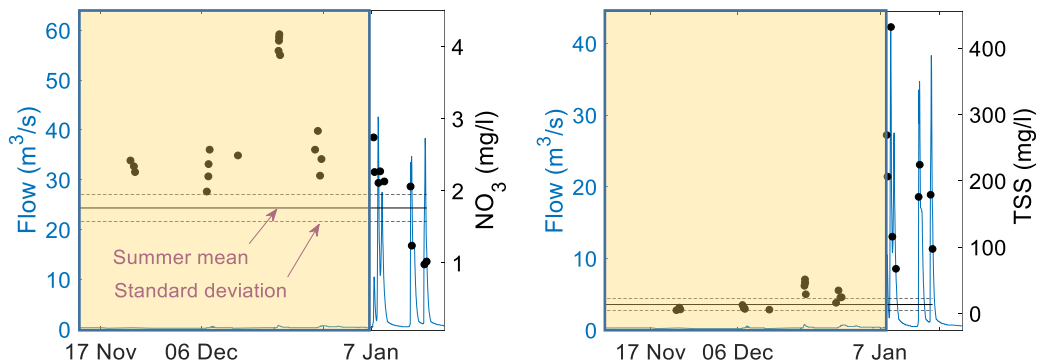
שלב חורף 1- תקופת היובש. תקופה זו כוללת את תקופת הגשמים המוקדמים ללא השפעה משמעותית על יובש הקרקע.

שלב חורף 2- תקופת הרטבת הקרקע, לפני תחילת השיטפונות.

שלב חורף 3- תקופת השיטפונות.

בקיץ הקרקע יבשה ולאורך כל עונה זו אין שינויי ריכוז משמעותיים בגיאוכימיה של הנחל, לכל היותר שינויים יומיים קטנים הקשורים כנראה לפעילות ביולוגית (נושא אשר יבדק בהמשך המחקר), אך בכל מקרה לא בסדרי גודל המתקבלים בעונת הגשמים (שלבי חורף 2, 3). זהו המצב גם בשלב חורף 1. בשלב זה של תחילת החורף, הגשמים הראשונים הם אירועי גשם קצרים ולא משמעותיים (לרוב פחות מ-2 מ"מ) ולעיתים אחריהם אף יבואו ימים ארוכים של יובש. לעומת זאת, בשלב חורף 2, תקופת הרטבת הקרקע, מבחינים באירועי עליית ריכוזים משמעותית עבור צורונים גיאוכימיים רבים, למרות שהעלייה בספיקה קטנה מאד ולעיתים אף זניחה. עליית ריכוזים זו עשויה להשתוות בגודלה לזו המושגת בנחל בעת שיטפון משמעותי. על כן, מתקבל יחס שונה בין הריכוז (C) לספיקה (Q) בין שלב חורף 2 לשלב חורף 3 (איור 100). התנהגות של מרכיבים גיאוכימיים שונים בתקופת השיטפונות (שלב חורף 3) מצביעה על כך שקיימות שתי קבוצות עיקריות של מרכיבים גיאוכימיים: כאלו המציגים עליית ריכוזים בעת שיטפון, לדוגמה TSS, ואחרים המציגים ירידת ריכוזים בעת שיטפון, לדוגמה ניטרט. בהמשך נתייחס אל שתי הקבוצות ונכנה אותן "קבוצת ה-TSS" ו-"קבוצת הניטראט". שמות אלו ניתנו לקבוצות על פי הגיאוכימיה המקומית, אך בהחלט יתכן שבאגנים אחרים חומרים אחרים יציגו התנהגות זו.

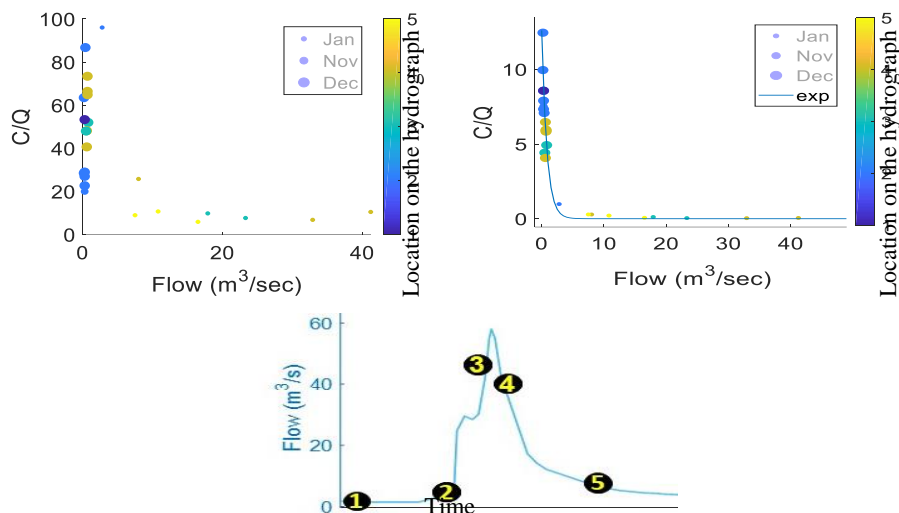
שתי הקבוצות מציגות ריכוזים קבועים (פחות או יותר) בתקופת היובש (ובגשמים הראשונים) ושתי הקבוצות מציגות עליית ריכוזים בשלב חורף 2, בעת הרטבת הקרקע. ההבדל בהתנהגות הוא שלב חורף 3 בלבד. אך כפי שנראה בהמשך, אנו מציעים שמנגנוני ההסעה של הצורונים הגיאוכימיים של שתי הקבוצות האלו שונים גם בתקופת הרטבת הקרקע.



איור 100: גרפים של ריכוזי ניטראט (משמאל) ומוצקים מרחפים, TSS (מימין) מול ספיקה במשויים מתחילת חורף 2018/2019. ממוצע וסטיית תקן עבור תקופת הקיץ מוצגים כרפרנס. ניתן לראות חלוקה עיתית בין שלבי חורף 1+2, לפני השיטפונות (רקע צהוב), ושלב חורף 3, תקופת השיטפונות (רקע לבן). כמו כן ניתן לראות כי לשני הצורונים התנהגות שונה בתקופת השיטפונות: הניטראט מציג ירידה בריכוז וה-TSS עולה עם הספיקה.

יחסי ריכוז-ספיקה

המגמות השונות של קבוצות הניטראט והמוצקים המרחפים בשלבי החורף מהווים את המוטיבציה לחקור היבטים של מנגנוני הסעה שונים לקבוצות אלו. בחינה של הגרף בו מוצג היחס C/Q כנגד הספיקה (איור 101) מראה כי היחס גדול בשלב חורף 2, הרטבת הקרקע, וקטן בשלב חורף 3, תקופת השיטפונות, עבור שתי הקבוצות. אנו מציעים שמדובר בתהליכי הסעה שונים המעורבים בכל אחד מהשלבים של החורף. קבוצת הניטראט מציגה ירידה רציפה ביחס C/Q עד לסוף תקופת השיטפונות. הירידה הרציפה עוקבת בצורה טובה אחרי עקומה אקספוננציאלית ($R^2 > 0.8$). לעומת זאת, קבוצת ה-TSS מראה שתי קבוצות של יחסי C/Q : אחת בתקופת הרטבת הקרקע והשנייה בתקופת השיטפונות (איור 101).

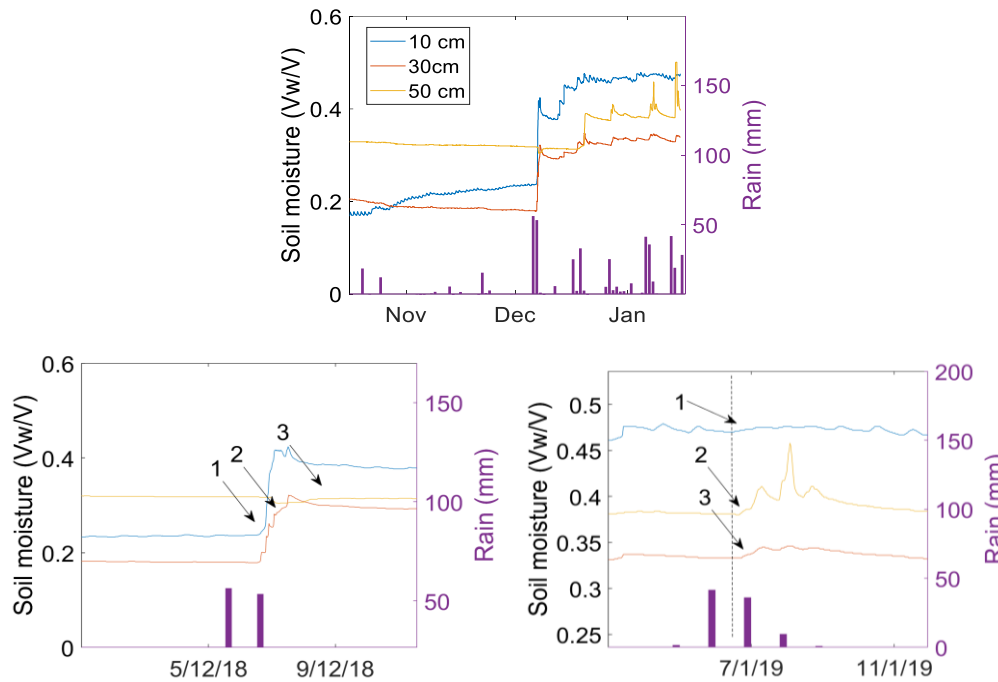


איור 101: גרפים של יחסי ריכוז-ספיקה (C/Q) כנגד הספיקה (גרפים עליונים: מימין עבור ניטראט ומשמאל עבור מוצקים מרחפים) בנחל משושים בחורף 2018/2019. ניתן לראות כי יחסי C/Q גבוהים מאפיינים את שלבי חורף 1+2 תקופות קדם השטפונות (עיגולים גדולים, נובמבר-דצמבר) כאשר הספיקה נמוכה. מאוחר יותר, בשלב חורף 3- תקופת השטפונות יש מעבר ליחס C/Q נמוך יותר (עיגולים קטנים, ינואר). ניתן לראות כי עבור הניטראט ניתן להתאים קו אקספוננציאלי רצוף המתאר היטב את הדעיכה בגודלו של היחס C/Q ברציפות לאורך כל העונה. עבור המוצקים מרחפים שני מקבצים שונים עבור שתי התקופות. הגרף התחתון מראה את שלבי הדיגום בהידרוגרף טיפוסי של אירוע. 1: זרימת בסיס, 2: התחלה 3: מעבר לשיא של הזרימה, 4: התחלת הדעיכה, 5: דעיכה סופית של האירוע. שלבים אלו מתאימים לציר האנכי הימני בשני הגרפים העליונים.

רטיבות קרקע באגן המשושים

החלוקה לשלבים שהוצגה עד כה מתקבלת בהתאמה טובה לתהליכי הרטבה של הקרקע. כפי שניתן לראות באיור 102, שלב חורף 1 אין שינוי ברטיבות הקרקע. בשלב חורף 2-הרטבת הקרקע, מתרחשת הרטבה של הקרקע עם חזית הרטבה המתקדמת מטה. בשלב חורף 3- שיטפונות, הקרקע מגיעה לרוויה ונוצר נגר עילי. ישנה הגעה לערך קרוב לרוויה בכל עמודת הקרקע הנמדדת (עד 50 ס"מ). בעת אירוע גשם מתקיימת רוויה מלאה. ניתן להבחין בתבנית

של זרימה מועדפת בעת שיטפונות, האופיינית למצב רוויה של הקרקע. בעת זרימה מועדפת המים בוחרים בנתיבי זרימה מועדפים ומהירים יותר (למשל סדקים), כך שניתן לראות ששכבות עמוקות יותר מגיעות לרוויה לפני או יחד עם שכבות הרדודות יותר בדומה למיכל המתמלא מהתחתית כלפי מעלה (איור 102).



איור 102: שלשה שלבים של הרטבת קרקע כפי שנמדדו בתחנת צנובר (ליד קדמת צבי), דיגום בסוף 2018 אל תחילת 2019. לפני נובמבר, שלב חורף 1: לא נראה שינוי ברטיבות קרקע (נראה רק מקטע קצר משלב זה). בשנה זו לא היו אירועי גשם, אך בתחילת חורף 2018 היו מספר אירועי גשם קטנים מאד (0.1-0.2 מ"מ) שבניהם היו ימי יובש רבים ולא הייתה השפעה על רטיבות הקרקע. מתחילת נובמבר, שלב חורף 2: ישנה התקדמות של חזית הרטבה משכבות הקרקע העליונות כלפי מטה עד שלב חורף 3 בינואר 2019, בו נראית רוויה אפקטיבית בכל העמודה שהופכת לרוויה מלאה עם אירוע גשם משמעותי. בשלב ההרטבה חזית ההרטבה מתקדמת משכבות הקרקע העליונות כלפי מטה (איור תחתון משמאל), החיצים מראים את הסדר בו שכבות הקרקע מתחילות להרטב: ראשית השכבה בעומק 10 ס"מ ולאחריה 30 ס"מ ולבסוף 50 ס"מ. בשלב חורף 3- עם השיטפונות ניתן להבחין בזרימה מועדפת (איור תחתון מימין): אמנם השכבה הראשונה שמציגה הרטבה זו השכבה בעומק 10 ס"מ, אך לאחריה ניכרת הרטבה בעומק 50 ס"מ ורק לבסוף בעומק של 30 ס"מ.

דיון

תיאוריה מוצעת למנגנוני הסעה בנחל בהשפעת רטיבות קרקע באגן בעל אקלים ים

תיכונן

תוצאות המחקר מאפשרות להבחין במספר מגמות: (1) עליות ריכוזים משמעותיות, ללא עליות ספיקה חדות בשלב הרטבת הקרקע (2) עונתיות ביחס בין הספיקה והריכוז: היחסים הגבוהים

מתקבלים בתקופת הרטבת הקרקע והנמוכים בעונת השיטפונות (3) ישנן שני סוגי התנהגויות המאפשרות לחלק את המרכיבים הגיאוכמיים בנחל לשתי קבוצות: קבוצה בה לאורך כל החורף יש דעיכה ביחסי הספיקה והריכוז באופן רציף וקבוצה שמציגה 2 קבוצות של יחסים: יחסים גבוהים בתחילת החורף ונמוכים בסוף החורף. (4) השינויים במגמות לפי תוצאות 1-3 בשלב ההרטבה ובשלב השיטפונות מקבילים בזמנם לשינויים במצב הקרקע. אנו מציעים מנגנוני הסעה שונים בכל תקופה ומבחינים בין שתי קבוצות, על פי ההתנהגות בשלב השיטפונות, אך כפי שנראה לפי התאוריה המוצעת, גם בשלב ההרטבה של הקרקע.

כדי להסביר את התמונה השלמה העולה מהמצאים אנו מציעים תיאוריה המדגישה במנגנוני ההסעה את תרומתה של רטיבות הקרקע להבנת התהליכים. על סמך תיאוריה זו נציג ביטויים מתמטיים המבוססים על התהליכים בשלבי החורף השונים ועבור הקבוצות השונות. הצגת ביטויים מתמטיים המבוססים על התאוריה תאפשר בחינה של התיאוריה כנגד הנתונים.

בתקופת הקיץ הקרקע יבשה והמים המעטים שמוחזקים בה אינם בתנועה, בשל כוחות קפילריים. לאחר שלב זה הקרקע מתחילה להירטב ומתחילה תנועת מים במנגנון של חידור כלפי מטה (איור 102). מים אלו מסיעים איתם חומר שהצטבר בחודשי הקיץ בעמודת הקרקע, כדוגמת ניטראט וכלוריד. מים אלו מגיעים לנחל ויוצרים עליה קטנה בספיקה. בשלב זה של החורף לא ניתן להסביר את עליות הספיקה בנגר עילי, מכיוון שהקרקע עדיין אינה רוויה. העלייה בספיקה גורמת להרחפת הקרקעית ויצירת עליית ריכוזים של חומרים נוספים כדוגמת TSS וזרחן כללי. אם כך, בתחילת החורף (שלב חורף 2) מתקבלת עלייה זמנית בריכוזי מי הנחל עבור קבוצת ה-TSS וקבוצת הניטראט. עבור קבוצת הניטראט ספיקה גדולה של מים בעמודת הקרקע תביא לעליית ריכוזים גדולה במי הנחל, עם זאת, ככל שהשטיפה גדולה יותר מדלדל המאגר של החומר המומס בקרקע עד שלבסוף, לאחר גשמים רבים הוא נשטף כמעט כליל. אנו מציעים, על כן לתאר את ריכוזי קבוצת הניטראט ברכיב הזרימה המהיר (שמגיע לנחל לזמן קצר יחסית לאחר אירוע הגשם) בתקופת ההרטבה בנחל על ידי ביטוי שפרופורציוני לרכיב הזרימה המהיר, אך גם דועך ככל שהיא מתגברת:

$$(1) \quad C_s = \exp(-kQ_s)Q_s$$

כאשר C_s הוא הריכוז בנגר העילי, כולל הריכוז ברכיב המהיר של הזרימה בקרקע, k הוא קבוע לכיול שקשור בדעיכה של הנגר העילי ו- Q_s היא ספיקת הנגר העילי כולל הרכיב המהיר של ספיקת המים בקרקע. הריכוז הכולל בנחל עבור קבוצת הניטראט ניתן אם כך, על ידי:

$$(2) \quad C_t = \frac{C_b Q_b + (\exp(-kQ_s)Q_s)Q_s}{Q_t}$$

כאשר C_b הוא הריכוז בספיקת הבסיס והחלק האיטי של המים בקרקע ו- Q_b היא ספיקת הבסיס, כולל הספיקה האיטית יותר של המים בקרקע. אנו מניחים שהריכוז בספיקת הבסיס קבוע לאורך כל השנה.

עבור קבוצת ה-TSS, ככל שהספיקה גדולה יותר, כך גדלה ההרחפה, ולכן הריכוז במי הנחל גדול יותר. על כן הקשר הבא מוצע לתיאור ריכוזי ה-TSS ברכיב הזרימה המהיר בתקופת ההרטבה:

$$(3) \quad C_s = \gamma Q_s$$

כאשר γ הוא קבוע פרופורציה לכיול, שככל הנראה קשור לחומר הזמין. והריכוז הכולל בנחל נתון על ידי:

$$(4) \quad C_t = \frac{C_b Q_b + \gamma Q_s \cdot Q_s}{Q_t}$$

כאשר גם עבור קבוצת ה-TSS אנו מניחים ריכוז קבוע לאורך השנה בספיקת הבסיס.

בהמשך החורף (שלב חורף 3), הקרקע רוויה והספיקה הופכת לשיטפונית. בזמן זה הניטראט ממשיך להישטף ובנוסף מי השיטפונות מדללים את הריכוז בספיקת הבסיס ולכן ריכוזי הניטראט יורדים עם הספיקה השיטפונית. לכן, למעשה ביטוי 2 מתאר את שינויי הניטראט גם בשלב זה של החורף, שכן הם מתרחשים ברציפות לאורך כל העונה. לעומת זאת, הספיקה השיטפונית מביאה איתה חומר חדש מרחבי אגן ההיקוות ולכן חומרים מקבוצת ה-TSS מציגים עליית ריכוזים בתקופה זו. יחד עם זאת, כפי שראינו הפרופורציה בין הספיקה לריכוז שונה בקבוצה זו ביחס לקבוצת הניטראט ולכן, עבור עונה זו ביטוי 4 תקף, אך יש צורך ב- γ בעלת ערך שונה עבור תקופת הרוויה. בהמשך, בעונה היבשה, הספיקה של הנגר אינה קיימת ולכן ביטויים 2 ו-4 מתאפסים וקיימים רק ריכוזים קבועים עבור שתי הקבוצות בספיקת הבסיס.

כדי למצוא את ספיקות הבסיס ורכיב הזרימה המהיר (Q_s) יש להשתמש בהפרדת הידרוגרף. אנו מציעים להשתמש בשיטת הפילטר. לשם כך נדרש למצוא את הפרמטרים הנדרשים להפרדת ההידרוגרף בשיטת הפילטר (β, α). את α אנו מציעים למצוא בדרכים המקובלות (גודל זה מוגדר כ- $\exp(-K)$ כאשר K הוא קבוע הדעיכה של ההידרוגרף בתקופת היובש), למשל בשיטות המוצעות אצל (Rimmer and Hartmann, 2014). את β ניתן למצוא בכיול (Rimmer and Hartmann, 2014) או מערכים בספרות (Eckhardt, 2005). בשלב מתקדם של עבודה זו נציג שיטה נוספת למציאת α ושיטה למציאת β המבוססת על תכונות הידרולוגיות של האגן.

סיכום ומסקנות ראשוניות ותוכניות לשנה הקרובה

הראנו שבאגן בית ציידא יש שלוש תקופות לאורך השנה שמתבטאות בשלשה פרמטרים במקביל: בשינויי ריכוזים (איור 100), ביחס הריכוז לספיקה (איור 101) וברטיבות הקרקע (איור 102). שינויים אלו מוצעים כדגם כללי לאגן היקוות החווה תקופת יובש ולכן הביטויים שפותחו בעבודה זו עשויים לשמש בתיאור תהליכים באגנים נוספים. ביטויים אלו אינם דורשים כיול מורכב והנתונים הנדרשים להרצת הביטויים האלו הם ספיקות וגשם, שזמינים עבור נחלים רבים. בהמשך המחקר נבחן את נכונותה של טענה זו מול נתונים גיאוכימיים במספר נחלים.

הביטויים שפותחו נבחנו רק באופן חלקי ולכן נבחן בהמשך את המודל המוצע עבור שתי הקבוצות וכן בחינה הכוללת תמונה שלמה יותר עבור מרכיבים גיאוכימיים נוספים. נצפה לראות שחומרים בעלי תכונות דומות או מקורות דומים יוצגו על ידי אותה משוואה. כדי לבחון את כלליות התופעה

נרצה לבחון את המודל עבור מספר נחלים. על מנת שהמודל יהיה שימושי, יהיה צורך למדל את תחילת תקופת ההרטבה ואת ההגעה לרוויה (והיציאה מהרוויה) בהתאם להתפתחות הרטיבות בקרקע. לשם כך אנו שוקלים לייצג את נקודות זמן אלו על ידי גשם מצטבר ופירוס אירועי הגשם בזמן בהתחשבות במרקם הקרקע. בנוסף נבחן באיזו מידה השינויים היומיים משמעותיים ואת המאפיינים שלהם. הדבר יעשה על ידי 1-2 ימי דגימה מרוכזים בקיץ ובסתיו (לפני הגשמים) בהם יילקחו מספר דגימות ליום.

משום שהנתונים הנדרשים לשימוש בביטויים זמינים עבור נחלים רבים, נבחן אפשרות לחזות ריכוזים בנחלים בהם קיימים נתוני ספקות וגשם בלבד, אך אין ניטור גיאוכימי. הדבר יעשה באמצעות רגיונליזציה (דימיון בין אגני היקוות לשם מציאת הפרמטרים מאגן מנוטר לאגן שאינו מנוטר) בשיטות PUB (Blöschl *et al.*, 2013).

ספרות

Blöschl, G. *et al.* (2013) *Runoff Prediction in Ungauged Basins: Synthesis across Processes, Places and Scales Edited More information*. Available at: www.cambridge.org (Accessed: 27 February 2019).

Eckhardt, K. (2005) 'How to construct recursive digital filters for baseflow separation', *Hydrological Processes*, 19(2), pp. 507–515. doi: 10.1002/hyp.5675.

Rimmer, A. and Hartmann, A. (2014) 'Optimal hydrograph separation filter to evaluate routines of hydrological models', *Journal of Hydrology*, 514, pp. 249–257. doi: [transport 10.1016/j.jhydrol.2014.04.033](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.04.033).

4.4 קביעת המתכונת לניטור נחל הירקון

עמי נשרי (מרכז), ניר קורן, בני סולימני, ירון בארי-שלווין, גדעון גל, אדית ליבוביץ, אלה אלסטר, דיתי ויינר-מוציני, חמי רושנסקי, מיקי שליכטר, פלג אסטרון, ריקי פנקס ושירה ניניו.

במימון רשות הירקון וחי"א"ל

מטרת הפרויקט

קביעת המלצות למתכונת ניטור הירקון בעקבות בחינת התהליכים האופייניים לו.

רקע

נחל הירקון אינו כשיר כיום לרחצת בני אדם וזאת מחמת כניסות קולחים, שמטופלים חלקית, לאזורים המרכזיים של מעלה הנחל. כמוכן בתקופות גשמים מתנקזים לאפיק הנחל מי שיטפונות עירוניים באיכות ירודה. מקורות זיהום אלה מתבטאים ב:

1. ריכוזים גבוהים של חיידקים צואתיים בפני המים ולעיתים גם בשכבה העמוקה של האסטואר.

2. עומס גבוה של חומרים אורגניים חלקיקיים ששוקעים לקרקעית האסטואר וגורמים להתפתחות אנוקסיה ובהמשך היתכנות לשחרור סולפידים, בעיקר בחלקים המזרחיים של האסטואר.

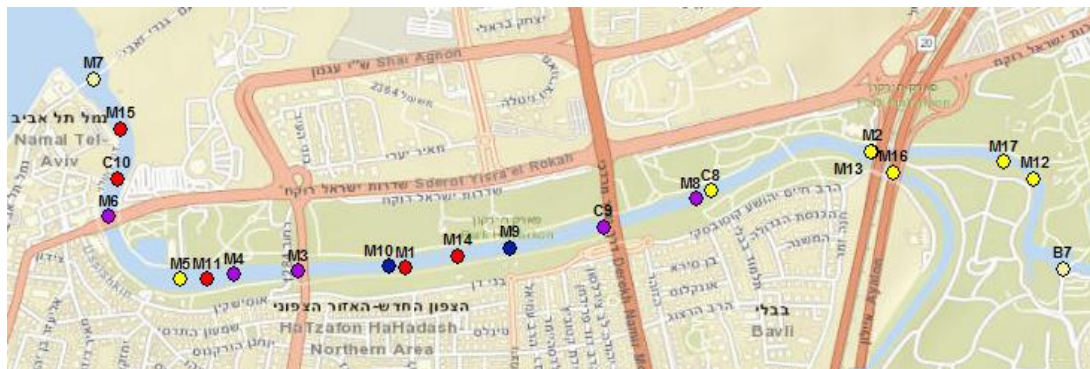
3. עומסי נוטריאנטים מומסים שמהווים תשתית להתפתחות פיטופלנקטון בפני הנחל.

הפרויקט הנוכחי נערך בגישה אינטר-דיסציפלינרית שכוללת את בדיקת ההשפעות הפיזיקליות, כימיות וביולוגיות על איכות המים בנחל בכלל ובאסטואר בפרט. גישה זו מבוססת על היכולות המחקריות והמעבדתיות המגוונות של המעבדה לחקר הכנרת, חי"א"ל.

בשמונה מועדים שונים, בין אוקטובר 2017 לנובמבר 2018, בצענו ניטור ביו-גאו-כימי בנחל הירקון, לכל אורכו. מכיוון שבמעלה הנחל מבוצעות במקביל פעילות מחקרית ע"י גוף אחר, התמקדנו בניטור האסטואר במסגרתו בדקנו במקביל מגוון של פרמטרים כימיים, פיזיקליים וביולוגיים בגוף המים ובקרקעית. פרמטרים מסוימים (כגון: טמפרטורה, חמצן, מליחות ו- pH) נדגמו *In-situ* באמצעות פרופילים במכשיר מסוג MANTA. כל שאר הפרמטרים (פיטופלנקטון, כלורופיל, בדיקות סדימנטים, פקל-קוליים, נוטריאנטים הכוללים חנקנים וזרחנים, ריכוז כלוריד, סידן ואלקליניות) נמדדו במעבדה. דוגמאות המים לבדיקה המעבדתית נלקחו מפני הנחל (10 ס"מ העליונים) וסמוך לקרקעית. דוגמאות הסדימנטים נלקחו משכבת הקרקעית העליונה (מספר ס"מ) באמצעות dredge sampler. במעלה הנחל נדגמו רק דוגמאות מפני המים. מיקום התחנות במעלה הנחל נקבע בהתאם למיקומם של המקורות השונים של המים ושהנחנו שיש להם השפעה פוטנציאלית על איכות המים בנחל. מיקום התחנות באסטואר התבסס על מספר תחנות קבועות אליהם נוספו תחנות שנדגמו אד-הוק בהתאם לתוצאות שהפקנו ממדידות פרופילים באמצעות מכשיר ה-MANTA.

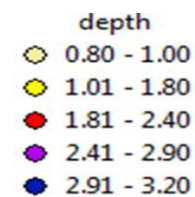
בפרק זה אנו מתייחסים לנושא קצב שחלוף המים ולמזהמים אורגניים. התייחסות לכלל העבודה שנערכה במסגרת מחקר זה ניתן לקרוא בדוח המסכם של הפרויקט.

למעלה הנחל שתי מקורות מים לא מלוחים: מקור מים שנשאבים מאקוויפר הטורון בקרבת ראש העין ומקורות קולחים שחלקם מטופלים. מי הטורון שאובים בספיקה יציבה ולהוציא אירועים שטפוניים גם הקולחים מסופקים בספיקה קבועה. האסטואר מצוי בחלק המערבי של הנחל וגובל בים התיכון והוא מורכב משכבה תחתונה מלוחה ושכבה עליונה שמייצגת תערובות בפרופורציות משתנות בין "מים מתוקים" לבין מי ים שמקורם בים התיכון. גאות היא המנגנון העיקרי שאחראי לחדירה של מי הים ליבשת ואילו השפל גורם ליציאתם מהאסטואר. קיום מנגנון גאות ושפל מסתבר מהתנודתיות הדו-יממתית במפלס המים באסטואר, שבה מזוהים שני ערכי שיא ושני ערכי מינימום (כל 12 שעות לערך). בשלב הנוכחי של המחקר אנחנו מתעלמים ממנגנונים פוטנציאליים נוספים כגון תנועות מים שנובעות מרוח (בעיקר מערבית). תחנות דיגום בולטות באסטואר הן תחנת "שבע הטחנות" (B7, איור 103) שמצויה בנקודת המפגש בן הקצה המזרחי של האסטואר לבין מעלה הנחל. מערבה לה ואחרי נקודת ההתחברות של נחל איילון לירקון מצויה תחנה M16, גשר הירקון היא תחנה C9, ואילו בקצה המערבי של האסטואר מצויה תחנה M7 (מערבית לגשר ווקוף) שאליה זורמים מי ים חמים (מי קירור) שמקורם בתחנת הכוח (איור 103).



איור 103: מפת האסטואר והתחנות בו.

מפתח צבעים לעומקי התחנות בירקון (במטר):



תוצאות ודין

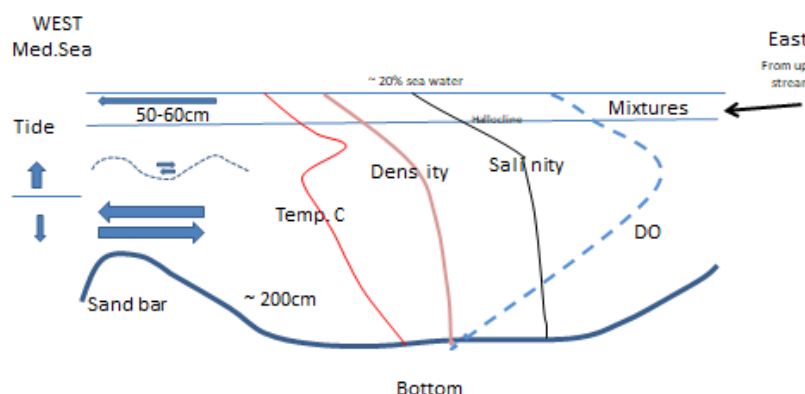
להוציא אירועים שטפוניים וניקוז כבישים עירוניים מקור המים ה"מתוקים" הבלעדי לאסטואר הוא במעלה הנחל ומוצאם בים התיכון, אולם יתכן גם חלחול מסוים של מים אלו לאקוויפר שמתחת. למעט תקלות בתפעול מפעלי הקולחים זרימת המים מהמעלה היא מוסדרת ויציבה. מקור המים המלוחים באסטואר הוא הים התיכון. אזור המפגש שבין הנחל לים מתאפיין במי ים שמצויים בטמפרטורה שהיא גבוהה יותר ב-4 עד 8 מעלות מהטמפרטורה ה"טבעית" של הים. מקור המים הוא "מי קירור" שהם מי ים שנשאבו לתחנת הכוח רידינג, שימשו שם לקירור הטורבינות ופוגו משם דרומה לאזור פתח האסטואר עם תכולת החום הגבוהה האופיינית שלהן. תנודות מפלס המים באסטואר תואמות את הגאות והשפל בים ומשרעת הגאות-שפל משתנית בתחום שבין מספר

סנטימטרים למקסימום של כ-40 ס"מ. המשרעת משתנה במחזור הן חודשי והן עונתי אולם לרוב היא קרובה יותר ל-40 ס"מ. הנחת הבסיס שלנו היא שבזמן גאות "מי קירור" חמים יחסית רוויי חמצן חודרים מזרחה על גבי קרקעית האסטואר ואילו בזמן שפל מי אסטואר מדולדלי חמצן, שהינן תערובות בפרופורציות שונות מי ים ומים מתוקים, נעים מערבה לים התיכון. התנועה האופקית מערבה מתרחשת באמצע עמודת המים וזאת בהתאם לצפיפות של התערובת. זהו מודל מקובל למדי בספרות הרלוונטית.

בזמן גאות, תנועות המים בפני האסטואר ובשכבה התחתונה מנוגדות בכיונם מכיוון שהשכבה התחתונה הצפופה יותר נעה מזרחה ואילו השכבה העליונה, המתוקה יותר, ממשיכה לנוע מערבה. מאידך בזמן שפל תנועות כל שכבות המים היא בכיוון מערב אם כי תתכן שונות במהירות האופקית שלהן. בנסיבות אלה, וכתוצאה מחיכוך בין השכבות, הן מתערבבות חלקית ומליחיות הביניים שנוצרות באזורי המגע ביניהן מתבטאות בפרופילי המליחות האנכיים שמאפיינים את האסטואר (איור 104). חוץ מאשר בקרבה מיידית לקרקעית שמאופיינת ע"י נוכחות מי ים "טהורים", הפרופילים מצביעים על קיום תערובות במרבית עמודת המים שמעל. כללית, ריכוז המליחות גדל עם העומק אולם ניתן להבחין ב-2 שכבות: שכבה עליונה שבה ריכוזי המליחות משתנים בין 10-20% מי ים בפני המים ועד ל-95% מי ים בעומק של 1 מטר ושכבה תחתונה (מ-1 מטר לערך ועד לקרקעית שעומקה הטיפוסי 2.2 מטר) שריכוז מי הים בה גדל בהדרגה עד לקרקעית. השכבה העליונה מתאפיינת בגרדיאנט מליחות חריף ואילו השכבה התחתונה בגרדיאנט מתון מאוד. משיקולים של צפיפות ניתן להניח שכניסת מי הים לאסטואר מתרכזת בשכבת הקרקעית ואילו יציאתם למערב מתרחשת באמצע עמודת המים. בתקופות שיטפוניות שמתחוללות לאחר גשמים מסיביים (גשם יממתי < 30 מ"מ ליום) האסטואר עשוי להפסיק להיות משוכב וכולו נכבש ע"י מים מתוקים.

פרופיל הטמפרטורה באסטואר בתקופת השוכב שונה מפרופיל המליחות. כמעט לכל אורך האסטואר הפרופיל מתאפיין בטמפרטורה גבוהה יחסית בקרבת הקרקעית (איור 104). טמפרטורה זו היא תמיד גבוהה מזו של פני הנחל ומזו של פני מי הים התיכון, היא תוצר של חדירה מי קירור ים ש"מסומנים חומנית" בטמפרטורה התחלתית שהיא גבוהה ב 4 עד 8 מעלות ממי הים שנשאבים ממערב לתחנה. פרופיל הצפיפות המחושב מהמליחות ומהטמפרטורה עבור המטר התחתון של עמודת המים באסטואר הוא בדרך כלל די אחיד. דהיינו, עלית הטמפרטורה עם העומק "מתקזזת" עם העלייה במליחות ואי לכך לא זיהינו אי-יציבויות (instabilities) בעמודה זו. מאידך, אמצע עמודת המים (עומק של כ-80 ס"מ) מתאפיין גם הוא לעיתים בטמפרטורות שהן גבוהות חריגות.

Yarkon Estuary- general shape of MANTA profiles during the stratified period



איור 104: פרופילים טיפוסיים של מוליכות, טמפרטורה, חמצן (ריכוז במיליגרם לליטר) וצפיפות באסטואר

פרופיל החמצן המומס הטיפוסי (איור 104, קו כחול מקוטע) מתבטא בערכי מינימום בקרבת הקרקעית, ערכי מקסימום באמצע עמודת המים ושוב ירידה לערכים נמוכים בשכבת פני המים, שמאופיינת באחוז גבוה של מים מתוקים. ערך המינימום ליד הקרקעית נובע מ"צריכת חמצן" לוקלית גבוהה כתוצאה מנשימה של חלקיקים אורגניים ברי פירוק ששקעו לקרקעית. מקורות חלקיקים אלו הם קולחים שמיובאים ממעלה הנחל ו/או תוצרי יצרנות ראשונית שמתחוללת בפני האסטואר (השכבה הפוטית) על חשבון נוטריאנטים מומסים שמובאים ממעלה הנחל. דהיינו ה"גרעונות" שתמבטאים בפחיתה בחמצן הם ביטוי לרמת הזיהום הכללית במעלה והיא כוללת הן את הזיהום שמוסע ישירות בפאזה החלקיקית ושוקע עם כניסתו לאסטואר מסיבות הידרודינמיות (הזרימות נעשות איטיות יותר) והן את ה"זיהום" שמופיע בצורת נוטריאנטים מומסים שנהפכים לפלורה פרטיקולרית שחלקה שוקעת לקרקעית.

ככלל, אנחנו מניחים שה "מרענן" לחמצן באסטואר הוא הים התיכון שמצוי בערכי רוויה לחמצן. כך לדוגמא, בעומק של 1 ± 0.2 מטר באסטואר, עומק שבו אחוז מי הים הוא בין 85 ל-90 מתקיים ריכוז החמצן מקסימלי טיפוסי של קרוב ל-100% רוויה (בהתאם למליחות והטמפרטורות). בהנחה שאין בעומק זה פוטוסינתזה, המשמעות של ממצא זה היא שבחלק זה של עמודת המים קצב הצריכה של החמצן (או קצב הפירוק של חומרים אורגניים) קטן יחסית בגלל זמן שהות קצר של החלקיקים בעומק זה וכך נשמרים שם ריכוזי חמצן דומים למי ים חמים מעט (מי קירור ברוויה בין 6 ל-7 מיליגרם לליטר חמצן מומס). תת הרוויה לחמצן בשכבת פני האסטואר דורשת הסבר. בשכבה זו מתחוללת פוטוסינתזה (P), עדויות מרכזי כלורופיל ומהירידה בנוטריאנטים עם ההתקדמות מערבה) שאמורה להוסיף חמצן לשכבה זו וכמוכן מתקיים בה שיחלוף גזים עם האוויר, שאמור לגרום לשינוי משקל של לחצי חמצן עם האוויר. אי לכך, תת-רוויה זו לחמצן ניתן להסביר רק בכך ששטף הנשימה (R) של תרכובות אורגניות מומסות שמובאות מהמעלה הוא גדול במיוחד $(R > P)$. ריכוז החמצן בכל זמן שהוא בשכבה התחתונה מושפע גם ממהירות השיחלוף של שכבה זו עם הים. שיחלוף מהיר גורם לגרעון קטן בחמצן בשכבה זו ולהפך ביחס לשיחלוף איטי. אין ברשותנו

מדידות ישירות של המהירות האופקית שבה נעים מי שכבה זו ונאלצנו לנקוט בשיטה חלופית להערכת זמן השהות של המים.

מדידות מפלס האסטואר מצביעות על משרעות גאות-שפל משתנות שמשמעותן שנפחי מי הים שחוזרים בכל מחזור גאות לאסטואר משתנים בתלות במחזור החודשי והשנתי של הגאות. שטח הפנים של האסטואר, על פי מדידות שנעשו באמצעות google maps, הוא כ-160,000 מ"ר (או נפח השכבה העליונה קרוב ל-160,000 מ"ק). דהיינו, שיא המשרעת של גאות שפל (40 ס"מ) מייצג מצב שבו נפח המים ברזרבואר המשתנה בכ-64,000 מ"ק למחזור ומכיוון שקיימים שני מחזורים ליממה הרי שכניסות מי הים מסתכמות בכ-128,000 מ"ק ליממה. אילו הבתימטריה של האסטואר הייתה ידועה היטב ניתן היה לנצל אינפורמציה זו על מנת להעריך מה זמני השהות של המים בשכבה התחתונה המלוחה של האסטואר. אולם בגלל מחסור במדידות בתימטריות רלוונטיות נאלצנו להעריך מהו המבנה (עומק חתכי רוחב) הטיפוסי של האסטואר ועומקי הדיגום שנקבעו באמצעות הורדת מערכת החיישנים לקרקעית בכל אחת מתחנות הדיגום. בהתאם להערכות אלה נפח השכבה התחתונה (ה-1.2 מטר התחתונים) הוא בין 50,000 ל-100,000 מ"ק. מכאן מתקבל שכאשר משרעת הגאות-שפל מקסימלית זמן השהות הטיפוסי של המים המלוחים בשכבה זו הוא בסדר גודל של יממה ואולי אף פחות מזה. תימוכין למהירות תחלופה גבוהה זו באים מטמפרטורות המים בשכבה זו במזרח האסטואר. העובדה שאפילו שם עודף החום שנתרם בכניסה המערבית באמצעות מי הקירור המלוחים פג רק בחלקו. דהיינו, למרות הפיזור כלפי מעלה, חלק מעודף החום נשמר בקרבת הקרקעית וזהו סימן להסעה אופקית מהירה של מי ים חמים למזרח האסטואר. בתנאים אלה של משרעת גאות-שפל ניתן לשייך את הגרעון בחמצן בשכבה זו לתהליכי נשימה שמתרחשים בפרק זמן של פחות מיממה. מאידך, באותם ימים שמשרעת הגאות קטנה יש סיכוי ל"הצטברות גרעון" גדולה יותר בשכבה התחתונה. כך הגרעון במאגר החמצן בשכבה התחתונה ניתן להערכה בעזרת מעקב אחרי ריכוז החמצן במספר מקומות לאורך האסטואר.

חומרים נדיפים/חצי נדיפים בשכבת הסדימנט בירקון, דצמבר 2018

תרכובות אורגניות נדיפות/חצי נדיפות מכילות בין היתר גם מזהמים שונים כגון תוצרי מנועי בעירה, רעלים שונים ואף נגזרות קרצינוגניות שונות (מסרטנות) ולכן אלו נבחנו פעמים רבות. חומרים אלו ואחרים יכולים להימצא בסביבות אקווטיות כגון נחלים ימים ואגמים במצב מומס או חלקיקי במים ואו בסדימנט. עקב נדיפותם הם משתחררים לאוויר כתלות בגורמי סביבה רבים כגון טמפרטורה ואופייניות למים או לחומר חלקיקי ממוצא שונה. נוכחות אלו נבחנה במספר דוגמאות סדימנט.

שיטות

סדימנטים נדגמו בעזרת grab sampler בדצמבר 2018 מארבע נקודות דיגום. 15-30 גרם סדימנט מכל דוגמא מוצו ע"י תערובת Hexane:dichloromethane 1:1 בעזרת מבחנות לחץ. אלו הודגרו בטמפרטורה קבועה של 100 מעלות למשך 2 שעות. לאחר מכן כל הדוגמאות רוכזו ל 1 מ"ל בעזרת rotary evaporator ונבחנו ע"י מערכת גז כרומטוגרף מסות במעבדות חיא"ל, המעבדה

לחקר הכנרת. אנליזה כמותית בוצעה ע"י השוואה לסטנדרטים (sigma-aldrich) ואנליזה חצי כמותית נערכה ע"י השוואה לספריות חומרים (<90%).

תוצאות

הממצא העיקרי בדוגמאות הינו נגזרות ארומטיות של דלקים. מקורם של חומרים אלו בדלקים שונים הנפלטים ממנועי בעירה כגון אלו הקיימים במכוניות, סירות ומפעלים. נגזרות אלו אינן הרכיב המרכזי בדלקים ו/או בתוצרי הבעירה שלהם אך לחלק גדול מהם רמה טוקסית גבוהה (חשודים כמחוללי סרטן חזקים) ובעלי עמידות רבה בתנאי הסביבה. בדוגמאות הסדימנט, הרכיב העיקרי של קבוצה ארומטית זו הינה קבוצת החומרים המונוארומטית BTEX המורכבת מ benzene, ethylbenzene, toluene, xylenes. אלו קיימים באזורים רבים ומכילה חומרים נדיפים יחסית הקיימים גם במצב ספוח לחומר חלקיקי. על בסיס האנליזה הכמותית בעזרת סטנדרטים נמצא כי ריכוזי ה BTEX יורדים ככל שמתקרבים לאסטואר (שפך הנחל לחוף) באזור רידינג (איור 105 וטבלה 33). מפל ריכוזי (גראדיאנט) ה BTEX בסדימנט מתחיל מ 4.5ppm באזור נקודת דיגום 7 טחנות ויורד ל 0.3ppm באזור גשר ווקופ. ריכוזים אלו גבוהים יחסית כאשר משווים זאת לנחלים רבים בעולם.

סריקה חצי כמותית לחומרים נדיפים/חצי נדיפים, המצויים בסדימנטים הראתה כי קיים מפל ריכוזים זהה גם לחומרים רב-טבעתיים כגון dimethyl phenantrene הקיים בדלקים רבים ולחומר נוסף הנקרא cyproconazole המשמש להדברת פטריות.

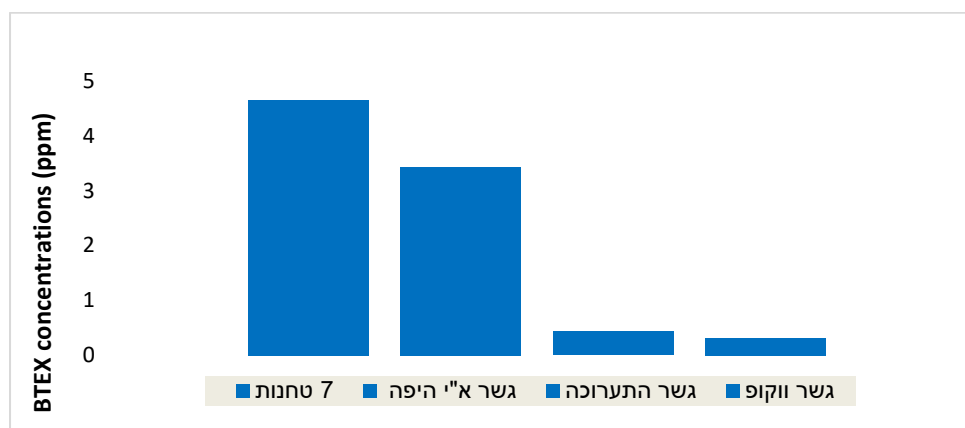
סיבות אפשריות להופעת מפל הריכוזים של חומרים אלו ממזרח לכיוון מערב (רידינג) הן:

א. שיקוע מועדף של סדימנטים מזהמים שמקורם במעלה הנחל מבוצע בעיקר בחלקו המזרחי של הנחל.

ב. קצב דגרדציית מזהמים אורגנים נמוך יותר במזרח (מעלה הנחל) עקב מחסור בחמצן באזור זה בהשוואה לאסטואר.

ג. קירבה לנתיבי תנועה ראשיים כגון כביש איילון המהווים מקור זיהום אפשרי. בכדי לברר נקודה זו כדאי לבצע דיגומים נוספים לבחינת התרומה האטמוספרית לעומת התרומות של מזהמים נקודתיים לאורך הנחל.

ד. ייתכן והסעה חזקה יותר של סדימנטים מתקיימת בחלקו המערבי של הנחל ולכן גם עומס הרכיבים האורגניים נמוך יותר בחלקו המערבי.



איור 105: ריכוזי סכום נגזרות ה BTEX בסדימנטי הירקון במיליגרם לכל ליטר (ppm)

טבלה 33: ריכוזי סכום נגזרות ה BTEX בסדימנטי הירקון במיליגרם לכל ליטר (ppm)

BTEX sum (ppm)	Ethylbenzene	3 Xylene forms	Toluene	
4.7	0.5	1.7	2.4	7 תחנות
3.4	0.2	0.6	2.6	גשר א"י היפה
0.4	0.06	0.2	0.2	גשר התערוכה
0.3	0.06	0.1	0.1	גשר ווקופ

מסקנות

מתכונת הניטור המומלצת לרשות הירקון היא:

- א. ניטור באמצעות פרמטרים "אלקטרוניים" של חמצן, מוליכות חשמלית וטמפרטורה בלפחות 3 אתרים לאורך האסטואר. זאת בכדי להעריך את אינוונטר החמצן בשכבה שמתחת לעומק של 1 מטר בכל זמן שהוא. הניטור חייב להיות רציף ורצוי באמצעות קריאה On-line ב-3 תחנות באסטואר (שבע התחנות, גשר איילון וגשר התערוכה). רזולוציית הדיגום כל עשר דקות.
- ב. בדיקות אינדיקטורים לזיהום צואתי באותן תחנות עם רזולוציית זמן מרווחת יחסית (כל חודש) בקיץ, ודו-שבועית בעונת הגשמים.
- ג. ניטור נוטריאנטים ב-5 התחנות שלעיל בתדירות דומה לזו של האינדיקטורים לזיהום צואתי. זאת על מנת להעריך ייצור ראשוני. (נושא זה לא הוצג בפרק זה)
- ד. המשך ניטור רציף של מפלס הנחל באזור גשר התערוכה ובתחנה נוספת במזרח האסטואר ורצוי גם סימולטנית של מפלס הים התיכון באזור הכניסה לנחל.
- ה. מדידות בתימטריות של הנחל מידי שנתיים.
- ו. דיגום סדימנטים (מתכות כבדות, חומר אורגני ונגזרי תרכובות דלקים) מידי כחצי שנה.

4.5 גישה אינטראקטיבית לבחינת השפעת עמק החולה על הכנרת

עמי נשרי

במימון רשות המים

מטרת המחקר

לימוד וכימות מנגנון שטיפת הכבול בעמק החולה במהלך זרימות שיטפוניות באמצעות שילוב של מדידת פרמטרים הידרולוגיים-כימיים ואיזוטופיים. זאת על מנת לכמת את עצמת שטיפות אלו שהן בעלות זיקה לפריחות אצות בכינרת וכמו כן לשחזר באיזה אופן שטיפות אלה הושפעו מהשינויים שחלו בעמק החולה בעשרות השנים האחרונות.

היפותזת המחקר

לפריחה האביבית של אצת הפרידיניום בכינרת השפעה ניכרת על כלל הפעילות הביולוגית באגם. ב-45 השנים האחרונות השתנתה עצמת פריחה זו באופן מהותי כמו גם השונות בעצמתה. בין 1972 ל-1994 עצמת הפריחות הייתה בינונית ויחסית קבועה, ואילו במרבית השנים לאחר 1994 הפריחות היו בדרך כלל חלשות יותר אך מיעוטן היו חזקות במיוחד. אל השינוי בדגם הפריחות התלוו גם שינויים בהופעת סוגי האצות הקייציות-סתויות באגם. השוואה בין מידע ביולוגי זה לספיקות המים החורפיות המגיעות לאגם באמצעות הירדן, מצביעה על קיום קשר כללי ביניהם. פריחות מסיביות בדרך מתרחשות לאחר חורפים שטפוניים, ואלה מצידם מתאפיינים בשטיפות של קרקעות הכבול שבעמק החולה אל הירדן. מי כבול תורמים לירדן מגוון של מרכיבים מומסים וחלקיקיים אשר לחלקם פוטנציאל לעידוד גידול אצת הפרידיניום באגם ואולי גם לאצות אחרות. הידועים ביניהם הם חנקן ניטרטי, זרחן וסלניום אולם לדעתנו גם סידן, פחמן אנאורגני מומס (DIC) ומרכיבים אורגניים תומכים בפריחות הפרידיניום באגם ישירות בעזרת קיום מיקסוטרופיזם. היפותזת העבודה שלנו היא שעצמת הפריחה בכינרת קשורה לספיקת המים העוברים דרך קרקעות הכבול תוך כדי אינטראקציה אתה, ומתנקזים לירדן בדרכם לאגם. אנו מניחים כי היחס בין תרומת ספיקות מי הכבול לירדן לבין מידת שיטפוניות המערכת לא היה קבוע במשך 50 השנים האחרונות, מאידך לאחר ייצוב מי התהום בעמק החולה והקמת האגמון בשנת 1994 יחס זה השתנה. כעשור לאחר ייבוש החולה, בין שנות השישים ועד ל-1994 חלה ירידה במפלסי מי התהום בעמק החולה וכתוצאה מכך חלה ביודרדציה מואצת של הכבול תחת תנאים אוקסיים. תהליך זה גרם להרס של הסטרוקטורה של הקרקע. בד בבד התחוללו בקרקע שינויים דיאגנטיים וביניהם יצירת גבס משני בריכוזים גבוהים. ב-1994 יוצב מפלס מי התהום בעמק ונחלשה הביודרדציה המסיבית. אנו מניחים שעקב שינויים אלה עצמת שטיפת הקרקע הכבולית פחתה. המטרה הראשונית של המחקר המוצע היא לכמת את הספיקות הנוכחיות של מי כבול לירדן באמצעות שילוב של מאזנים הידרולוגיים, כימיים ואיזוטופיים וכן לימוד מכלול הגורמים שמשפיעים על היחס שבין עוצמת הגשמים ועיתוים לשטיפות דרך הכבול. הירדן מהווה נקז למקורות מים רבים באגן ההיקוות. ניתן להבחין בחלק ממקורות אלו באמצעות מעקב אחרי שינויים בגיאוכימיה של המים לאורך תוואי הזרימה בנהר. אולם באמצעים קונבנציונליים, כימיים והידרולוגיים קשה לכמת במדויק את אותו מרכיב זרימה שמקורו בקרקעות ה"כבוליות" של העמק. בחורף התרומה הכוללת של מים מהעמק לירדן

מורכבת מאותם גשמים שנופלים על פני השטח ומתנקזים במהירות דרך תעלות הניקוז ללא אינטראקציה משמעותית עם קרקעות כבוליות וכן מזרימות תת-קרקעיות דרך הכבול המושהות קצת ביחס לזרימות המהירות אך גם הן מתנקזות לתעלות ומשם לירדן. תרומה זו ניתנת לאמדן באמצעות מאזנים הידרולוגיים לאורך תחנות בנהר אולם, ממאזנים אלה לא ניתן להבחין בין מים שעברו דרך הקרקעות הכבוליות לבין מים שזרמו על פני השטח. ביצוע של מאזנים כימיים למומסים שמקורם הברור הוא בכבול (כגון ניטרט) משפר במידה מסוימת את המאזנים.

בתקופות היבשות, מאידך, התמונה ההידרולוגית מסתבכת מכיוון ששטף האבפוטנספירציה בתוך העמק גדול יחסית וקשה לאמידה מדויקת, ולכן הוא ממסך את הערכת שטפי היציאה האחרים מעמק החולה לירדן. אמנם תרומת מי הכבול לירדן מתבטאת בשינויים בהרכב הכימי של הנהר במספר מומסים (ביניהם, בין השאר, ביון הסולפט ובצורני החנקן) אולם מסיבות שונות יש לשיטות כימיות אלה רעש רקע גבוה וכאשר אחוז מי הכבול במי הירדן-גשר חורי נמוך מ-3% רגישותם איננה מספקת. מאידך הגברת רגישות השיטה מתאפשרת באמצעות מאזנים איזוטופיים וזאת מכיון שקיים מרחק איזוטופי רב בין מרכיבי הקצה שבאגן ההיקוות ומכיון שהרגישויות האנליטיות של איזוטופים אלו משופרות. ועל כן, עדיף לכמת את המרכיב הכבולי בזרימה באמצעות מדידת ההרכב האיזוטופי של סולפט וניטרט בנהר. יון הסולפט מהווה "עוקב" (tracer) למעבר מים דרך הכבול שבחולה. ריכוזי ועומסי סולפט לאורך תוואי הירדן מצביעים על 2 מקורות עיקריים: הנחלים הצפוניים, ובהם בעיקר הבניאס, ועמק החולה. מקור הסולפט בבניאס הוא גבס טריאסי ואילו זה שבעמק החולה מקורו בהמסה מסיבית של גבס משני שמצוי בריכוזים גבוהים בקרקעות הכבול. היחס בין תרומות אלה לירדן, כפי שנמדד בגשר חורי, משתנה עונתית. ריכוז הסולפט בירדן הצפוני (צפונה לגשר יוסף) גם כן משתנה עונתית ובקיץ הוא גבוה מזה שבחורף, כנראה בגלל תרומות מים שמקורם נמוך יותר בחתך הגאולוגי של האקוויפר הטריאסי-יורסי שמזין את הבניאס בקיץ. דהיינו בקיץ אם לא מתקיימות תרומות מים מעמק החולה ריכוז הסולפט בחורי נשלט בעיקרו ע"י הבניאס הטריאסי. בחורף התמונה הפוכה: ריכוזי סולפט טיפוסיים בגשר חורי, מדרום לעמק, עשויים להיות כ-50 מג"ל לעומת כ-20 מג"ל בגשר יוסף שבכניסה לעמק, מצפון, ובמקרה זה התרומה מעמק החולה שולטת. השונות העונתית הן בריכוזי הסולפט והן בתרומה היחסית של הבניאס מקשה על השימוש בריכוז הכימי של עוקב זה לזיהוי שטיפות מים דרך החולה. מאידך לשימוש בהרכב האיזוטופי של עוקב זה ערך מוסף שניתן לנצלו ו- $^{34}\text{S}_{\text{SO}_4}$ בגבס נמצא שווה ל-8.1%+. לעומת זאת, הרכב הסולפט במי הבניאס שמייצגים המסה של גבס טריאסי הוא 20%+. קיים אם כן הבדל גדול בין הספקים הפוטנציאליים העיקריים של סולפט לירדן. להערכתנו ועל בסיס השגיאה האנליטית בקביעת ^{34}S מספיק שמי ניקוז הכבול יהוו 10% ממי הירדן בגשר חורי על מנת שניתן יהיה לכמת את נפחי המים העוברים דרך קרקעות הכבול. מיקסוטרופיזם היא תכונה שמאפיינת אצות שמקיימות הן יצרנות ראשונית והן צריכה ישירה של חמרים אורגניים. מקור הפחמן לאצות אלה מגוון, ועשוי להיות אנאורגני (ביקרבוט, CO_2), המשמש בתהליך הפוטוסינתטי, ואורגני, שמתבטא בצריכה ישירה של תרכובות אורגניות (הטרורופיזם). תופעת המיקסוטרופיזם נמצאה במחוזותינו עוד קודם לכן, במחקר במאגרי בית נטופה הסתמן שלמרות מחסור אקוטי בזרחן זמין, המסולק בתהליך הקואוגולציה, האצות הלהוביות פורחות במאגר זה בגלל תכונת המיקסוטרופיות שלהן. אצות אלה משלימות את המחסור בזרחן במים באמצעות צריכה שלו מחומרים אורגניים אלוכטוניים המוסעים מהכינרת במוביל הארצי ואינם מושפעים מתהליך

הקואוגולציה. כאן המקום לציין שחמרים אורגניים מהוים לא רק מקור פוטנציאלי לפחמן וזרחן אלא בדומה למתרחש ביצרנים משניים הם מהוים גם מקור לאנרגיה. לסיכום, המיקסוטרופיזם מקנה לאצות יתרון בסביבות אקווטיות בהן זמינות הפחמן האנ-אורגני ו/או הזרחן עשויה להוות מגבלה. תכונה זו אף עשויה להקנות יתרונות נוספים שאיננו מודעים להם, בשל מיעוט מחקרים שבדקו את הקשר ליחסים הכמותיים שבין פוטוסינתזה לבין הטרוטרופיזם באצות מיקסוטרופיות. לאחרונה מתגבשת ההשקפה (דברים בע"פ Giovanna Flaim) שמיקסוטרופיזם נפוץ בדינופלאגלטים. במחקר שעדיין לא פורסם מצא אסף סוקניק אינדיקציה לכך שהפרידיניום היא אצה מיקסוטרופית. חומרים שונים שסומנו ב-C¹³ שרתו בנסיונות מעבדה אלה כמקור פחמן לפרידיניום. קליטת הפחמן נבדקה ע"י מיצוי של ליפידים שאופייניים לאצה זו בלבד. בהשוואה בין מקורות פחמן שונים נמצא שאצטט היווה את מקור הפחמן המועדף על הפרידיניום (בהשוואה לגלוקוז ולביקרבונט שהעדפה ביניהם הייתה די דומה). ממצא זה סביר מכיון שהאצטט מהווה אבן בנין לחומצות הליפידיות. המחקר הנוכחי כולל דיגום מים בכניסת הירדן לכינרת ולאורך הירדן, בגשר חורי ובתחנות אחרות (גשר יוסף, תעלה משתנות, דן, בניאס, תעלה מערבית מוצא שמורת החולה) בתקופות שונות ובתדירויות משתנות לקביעת ההרכבים הכימיים והאיזוטופיים של מומסים וחלקיקים שונים במים אלו. בשנת 2018 התקדנו בנסיונות מעבדה לקביעת המיקסוטרופיות של הפרידיניום. בוצעו מספר רב של נסיונות במטרה לנסות ולשלול התערבות של חיידקים (התרביות אינן אקסיניות) כסוכני מעבר של מקורות הפחמן השונים שהוספו לקליטה ע"י האצה עצמה. בנסיונות התחלתיים הסתמן שאכן הפרידיניום מיקסוטרופי. בהמשך מנסיונות להפסקה סלקטיבית של פעילות חיידקים בו זמנית בעזרת תוספות של חמרים אנטיביוטיים שונים התברר שבנוסף לאצות בתרביות אלה גדלים פטריות במקום חיידקים. לא הצלחנו לפתור בעיה זו ועברנו לשיטת סימון מקור הפחמן ב-C¹³ ושבה בתום נסיון הגדילה מפרידים בין הפרידיניום לחיידקים באמצעות פילטרציה שלאחריה נבדקת השכיחות של האיזוטופים באצות (מעל ל- 1 מיקרון) ובחיידקים (פילטר של 0.2 מיקרון). בשנה זו גם המשכנו בעיבוד נתונים היסטוריים של הירדן (מים וכימיה) ובתור דוגמא לעיבוד זה להלן איור 106: שמייצג את הפרש החודשי בין ספיקות המים בגשר חורי (במלמ"ק לחודש) לבין זה שבגשר יוסף במשך כ-40 שנה. הפרש זה אמור לבטא "יציאות המים החודשיות מעמק החולה" בגישה מאזנית הידרולוגית. בסוף שנות ה-80 הכבול הניב "יותר מים". במציאות לא הובחנה מגמה רב-שנתית בכמויות המשקעים וספיקות המים בירדן בגשר חורי שבדרום העמק ושינוי מגמת הפרש נבע מכך שעד לאמצע שנות השמונים יותר מים (כ-120 מלמ"ק לשנה) הופנו בסכר בית הלל מערבה למעבר דרך ברכות הדגים שבצפון מערב עמק החולה ומשם נקזו בסופו של הדבר באמצעות התעלה המערבית לירדן באזור גשר חורי. זוהי דוגמא לשינוי הידרולוגי ודאי והממצא הזה נותן פרספקטיבה נוספת לשינויים רב-שנתיים שעברו על הממשק ההידרולוגי בעמק החולה.

עבודות גמר במסגרת התחנה

בשנים 2017-2018 התבצעו 9 עבודות גמר במעבדה לחקר הכנרת חיא"ל, מתוך סך של 17 עבודות בתוכנית פרחי הנדסת מים. בין המנחים במעבדה היו רות נ. קפלן-לוי שהנחתה 3 תלמידות, שרון וולרוקר הנחתה 2 תלמידות, עכסה לופו הנחתה 2 תלמידות, דייב קמינגס עם תלמידה אחת וירון בארי-שלוין הנחה תלמידה אחת. במסגרת זו גם התקיים מחנה מיון בו התקיימה מעבדה בנושא "תעלומת המים". ראה בהמשך את הישגי התלמידים בתחרויות השונות. בשנת 2018 החלו תלמידי מחזור ג' 10 עבודות גמר במסגרת התחנה, המנחים הגיעו מהתעשייה והאקדמיה.

תמיכה אקדמית במורים

חלק מתפקיד תחנת החקר היא לתת מענה ותמיכה אקדמית למורים לפיתוח חקר משמעותי לתלמידים בבתי הספר. ב-2018 ליוותה תחנת החקר מורים מבתי הספר – בית ירח בעמק הירדן. כמו כן במסגרת שיתוף הפעולה עם מכון דוידסון, הזרוע החינוכית של מכון ויצמן, תלמידי יא' – יב' הלומדים בכיתה הארצית למדעי כדור הארץ וסביבה, הגיעו למעבדה לחקר הכנרת לבצע את עבודת הגיאוטופ שלהם (יחידת בגרות אחת). השנה קיימו 2 גיאוטופים בהנחייתו של ד"ר ירון בארי-שלוין:

1. פרופילי הכנרת - דגימה ואנליזה על סיפון ספינת הניטור - נערך ב 11 בנובמבר 2018.
2. המעיינות החמים/מלוחים סביב הכנרת - מדידת טמפ' ומוליכות חשמלית של מי המעיינות - נערך ב 11 בדצמבר 2018.

לשני הגאוטופים קדמו שיעורים מקוונים שדר' ירון בארי-שלוין העביר לתלמידים בשעות הערב.

ימי העשרה

יום מגמה – ביום 15/04/2018 הועבר יום מגמה של 5 שעות לימוד ומעבדה עבור תלמידי 5 יח' ביולוגיה בנושא הנדסה גנטית, התלמידים התנסו בתהליכים כמו PCR, אלקטרופורזה והפקת DNA מחיידקים (איור 107).

יום העשרה – בשנה זו החלה ההפעלה של מערך "זיהוי פלילי" בתחנה הכולל גם זיהוי DNA בעזרת ג'ל אלקטרופורזה.

השתלמויות

בשנת 2018 התקיימו מספר השתלמויות במסגרת תחנת החקר למדעי המים:

1. בתאריך 11.1.2018 התקיימה השתלמות צוות גליליים בנושא הכנרת. הצוות שמע על "ברקוד לא רק בסופר, גם בכנרת: סמנים גנטיים של פיטופלנקטון באגם" מדר' רות נ. קפלן-לוי, מהמעבדה לחקר הכנרת ומנהלת תחנת החקר למדעי המים בגליליים. וכן על מצב הכנרת מפיו של ד"ר דורון מרקל מרשות המים.
2. בתאריך 06.04.2018 התקיימה השתלמות מכשור התחנה לצוות המרכז האקדמי לנוער, מכללה אקדמית כנרת.
3. בתאריך 03.07.2018 התקיימה השתלמות לבורנטיות לכימיה של בתי ספר ממחוז צפון, זוהי השנה השנייה ברציפות (איור 107). ההשתלמות עסקה בנושא טיפול ואיכויות מים, כולל הרצאה על הכימיה של הכנרת שניתנה על ידי דר' ירון בארי-שלוין.
4. בתאריך 18.10.2018 התקיימה בתחנת החקר השתלמות מדריכי גליליים על הכימיה של המים, בשיתוף פעולה עם אגף החינוך של רשות הכנרת (המעבדה השטה).

5. בתאריך 12.11.2018 התארח דר' דן וובר מאוניברסיטת ווינסקונסין, ארה"ב, בתחנת החקר והעביר השתלמות למורי המדעים של עמק הירדן, צוות גליליום ומדריכי רשות הכנרת בנושא "בעלי חיים כביו-אינדיקטורים: השימוש בתולעת השלשול כמודל לתגובה התנהגותית לחומרים מזהמים". הביקור של דר' דן וובר לארץ הינו חלק מתוכנית שיתוף פעולה מדעי בסוכנות היהודית. יום למחרת ביקר המדען במעבדה לחקר הכנרת, חיאל כדי להכיר את העשייה המדעית המתקיימת במעבדה.
6. השתלמות מורי מדעים ז' ח' מעמק הירדן התקיימה בתחנת חקר לאורך כל השנה.

ימי קהילה

במסגרת יום המדע בתאריך 11.3.2018 התקיים יריד מדעים במכללה האקדמית אוהלו. במסגרת היריד, הכנו דוכן עם מיקרוסקופים בעזרתם הילדים התבוננו במיקרואורגניזמים שבמי הכנרת (איור 107).



איור 107: תמונות מפעילויות שונות במסגרת תחנת החקר למדעי המים. מימין יום מגמה על הנדסה גנטית, במרכז השתלמות איכויות מים ללבורנטיות לכימיה מחוז צפון ומשמאל יריד מדעי על המיקרואורגניזמים בכנרת במסגרת יום המדע, במכללה האקדמית אוהלו.

תחרויות 2018 – תחנת החקר למדעי המים

כנס אזורי לעבודות גמר מחוז צפון תשע"ז:

משרד החינוך יחד עם גליליום משתפים פעולה בכנס האזורי לעבודות גמר של מחוז צפון. השנה הכנס התקיים במכללה האקדמית תל-חי. במסגרת הכנס זכתה התלמידה לובנא סלימאן, מבית ספר מקיף א' ע"ש קאסם עאנם, מג'אר כמצטיינת מושב 4 שעסק בביולוגיה וביוטכנולוגיה. לובנא ביצעה את עבודתה במעבדה לחקר הכנרת, חיאל, בהנחייתה של שרון וורולקר בנושא: "קצב רעיית זואופלנקטון מסוג בוסמינה על ציאנובקטריה רעילה מהמינים *Aphanizomenon ovalisporum* ו-*Microcystis aeruginosa*". לובנא הינה תלמידה בתוכנית פרחי הנדסת מים המתקיימת במכללה האקדמית כנרת.

תחרות חוקרי סביבה 2018:

משרד החינוך, המשרד להגנת הסביבה, מכון דוידסון ועמותת מלר"ז משתפים פעולה בפרוייקט "חוקרים סביבה", המיועד לתלמידי מגמות מדעי הסביבה. במסגרת הפרוייקט מוזמנים תלמידי מדעי הסביבה, העוסקים בעבודות האקוטופ להגיש את עבודותיהם לשיפוט.

השנה פרויקט תחרותי של משרד החינוך לעבודות חקר מצטיינות במדעי הסביבה התקיים בטכניון.



תלמידי בית ירח זכו במקום הראשון בתחרות "חוקרים סביבה" בנושא: "השפעת ריכוז מלחים במים על גודל אוכלוסיית האצה הכחולית *Microcystis aeruginosa*". העבודה בוצעה בהנחייתה של דר' רות נ. קפלן-לוי בתחנת החקר מים, ועזרתם של צוות המרכז האקדמי לנוער מהמכללה האקדמית כנרת.

תחרות אדם וים 2018:

תחרות "אדם וים" על שם תא"ל מיל' גדעון רז המתקיימת מידי שנה במרכז המדעים הרצליה הינה תחרות כלל ארצית בשיתוף משרד החינוך, משרד המדע, הטכנולוגיה והחלל, עיריית הרצליה, עמותת "דולפינ", מדרשת שדה בוקר, המרכז האקדמי רופין ועשרות בתי ספר מדן ועד אילת.

בכל שנה מתחרים מאות תלמידי כיתות ט' עד י"ב ומציגים עבודותיהם ומחקריהם בתחום הימי במספר קטגוריות: מדע וטכנולוגיה (פיזיקה, מכניקה והנדסה), מדעי הים (ביולוגיה ומדעי הסביבה), גיאוגרפיה, אדם וסביבה (גיאוגרפיה ימית וחופית, השפעת האדם על הסביבה הימית) ומאות צילומים העוסקים בים ובסביבה הימית והחופית מוצגים ומתמודדים בקטגורית צילום מעל ומתחת לפני המים.

התחרות נושאת פרסים ומהווה כר פורה להרחבה והעמקת ההיכרות עם סביבת הים והחוף ומיועדת לקרב בני נוער לנושא הים ולהטמיע את חשיבות הנושא הימי לקיומה וחזקה הכלכלי, הביטחוני והסביבתי של מדינת ישראל, לתלמידים המתמודדים ניתנת הזדמנות להפגין הישגיהם והעבודות המתמודדות בתחרות זוכות לחשיפה בפני מומחים מעולם המחקר ובכירים במערכת החינוך.

בתחרות השנה זכו במקום הראשון של קטגוריית "מדעי טכנולוגי" התלמידים אוריה אבודרהם מאולפנית טבריה, יחד עם אלכסי גרוסמן מנופי גולן קצרין, תלמידי התוכנית פרחי הנדסת מים,



המתקיימת במרכז האקדמי לנוער במכללה האקדמית כנרת. העבודה בוצעה בתחנת החקר למדעי המים במכללה האקדמית כנרת, בהנחייתו של המהנדס אבירם מויאל מקולחי גולן. נושא העבודה: "טיפול בשפכי בתי בד"

בנוסף, בקטגוריית מדעי הים, זכתה התלמידה הזארה סלאח מבית ספר מקיף א' ע"ש קאסם גאנם, מגאר במקום השלישי. עבודתה של הזארה בוצעה במעבדה לחקר הכנרת, חקר ימים ואגמים לישראל, תחת הנחייתו של דר' ירון בארי-שלוין בנושא: "איתור נביעות מלוחות בקרקעית הכנרת". הזארה גם היא תלמידה בתוכנית פרחי הנדסת מים המתקיימת במכללה האקדמית כנרת.

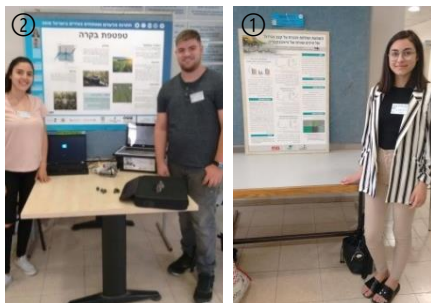
תחרות פרס המים של שטוקהולם לנוער בישראל 2018:

פרס המים של שטוקהולם היא תחרות לבני נוער הכותבים עבודות מחקר בתחום המים ושימורם תוך התייחסות להיבטים שונים – מדע, חברה, היסטוריה, אמנות. התחרות נערכת בארץ בחסות ובארגון הפקולטה להנדסה אוניברסיטת תל-אביב, בתמיכת קרן רחל ומנואל קלצ'קי וקרן פרסונס

קק"ל-ארה"ב ובשיתוף הפיקוח המרכז על מדעי הסביבה במשרד החינוך. הזוכים בתחרות הארצית נשלחים לייצג את ישראל בתחרות בין-לאומית הנערכת מדי שנה בשטוקהולם בחסות בית המלוכה השוודי.

השנה ניגשו 50 עבודות לתחרות. 12 עבודות עלו לגמר, מתוכן נבחרו 3 עבודות של תלמידים מתכנית פרחי הנדסת מים של גליליוס בשיתוף עם עמותת עתידים.

העבודות שעלו לגמר הן:



1) הדיל נאסר ממקיף ב' מג'אר, בהנחיית דר' רות נ. קפלן- לוי מהמעבדה לחקר הכנרת, חיאל. בנושא: "השפעת מליחות הכנרת על גידולן של ציאנובקטריה מקבוצות שונות".

2) דניאל לרמן ורן טננהאוז מבית החינוך גאון הירדן דרכא, עמק המעיינות, בהנחיית מהנדס אלחנדרו שניר מנטפים קיבוץ יפתח. בנושא: "טפטפת בקרה".



3) אוריה אבודרהם מאולפנית טבריה ואלכסי גרוסמן מנופי גולן, קצרין בהנחייתו של מהנדס המים אבירם מויאל מקולחי גולן. עבודתם על "טיפול במי שפכים של בתי בד" התבצעה בתחנת החקר במדעי המים במכללה האקדמית כנרת, וזכתה במקום השני והמכובד בתחרות.

תחרות עבודות גמר במגמת מדעי כדור הארץ תשע"ח:



ב 27.06.2018 התקיימה תחרות עבודות גמר במגמת מדעי כדור הארץ במכון דוידסון, הזרוע החינוכית של מכון ויצמן. בתחרות זו זכתה במקום הראשון התלמידה הזאר סאלח אשר ביצעה את עבודתה על "איתור נביעות מלוחות בקרקעית הכנרת" בהנחייתו של ד"ר ירון בארי-שלוין מהמעבדה לחקר הכנרת.

4.7 מידול השפעת התמלחת ממתקני ההתפלה על מארג המזון בים תיכון

באמצעות Ecopath, Ecosim and Ecospace

מיכל גרוסוביץ, גדעון גל

במימון משרד המדע

רקע

הצורך המתמיד והגדל במי שתייה מוביל לפיתוח טכנולוגיות רבות, ביניהם, התפלת מי ים בשיטת אוסמוזה הפוכה. התפלת מי ים הינה תעשייה ההולכת וגדלה ברחבי העולם ומהווה כ- 59 אחוזים מההתפלה הכוללת הגלובלית. יחד עם זאת, להתפלה יש תוצרי משנה רבים, בהם בראשונה היא התמלחת המרוכזת שמוחזרת לסביבה החופית הימית. התמלחת בעלת ריכוז מלח הגבוה מזה של הסביבה, ובעלת כימיקלים נוספים הקשורים לתהליך האוסמוזה הפוכה וכוללים: coagulants, biocides, neutralizers, antiscalants, cleaning solutions, hardness adjusters, ו- pH שונה. המליחות ליד פתחי היציאה של התמלחת בים, גורמים לעליית המליחות בסביבה זו. כתם המליחות משתנה לפי עונות השנה ובין אתרי מפעלי ההתפלה. הבדלים אלו קשורים בטכנולוגיית ההתפלה ושחרור התמלחת מהמפעל, הזרמים באיזור, מבנה החוף ועומק הקרקעית, ותכונות פיזיות-כימיות של עמודת המים. הפגיעה האקולוגית והסביבתית לא תועדה בספרות המדעית בצורה יסודית. יחד עם זאת, העלאת המליחות וריכוז הכימיקלים באזורי פריקת התמלחת עלולה לפגוע בחיים בים ובאיכות המים. בנוסף, מי הקירור של הטורבינות של תחנות הכוח אשר נמצאות בסמיכות למתקני ההתפלה, מעלים את טמפרטורת הסביבה במספר מעלות מטמפרטורת הסביבה, שינוי העלול לגרום לעקה תרמית לבעלי חיים רבים.

שחרור תמלחת יכול להשפיע לרעה לא רק על האוכלוסיות הפלאגיות, אלא גם על אוכלוסיות בנתיות בסביבת איזור היציאה של התמלחת מהמפעל. אוכלוסיות אלו יכולות לסבול חשיפה כרונית לשינויים במליחות, טמפרטורה וחשיפה לכימיקלים בסביבתם. מעט המחקרים הקיימים היום מצביעים כי עיקר ההשפעה של התמלחת היא על אוכלוסיות חיידיקים חופיים המהווים את בסיס מארג המזון הימי. במחקר זה, אנו בוחנים את השפעת התמלחת על מארג המזון המזרחי ים תיכוני באמצעות מודל אקולוגי מרחבי של מארג המזון. המודל מתרכז ברמות הטרופיות הנמוכות, חיידיקים, יצרנים ראשוניים וצרכניהם.

שיטות

אתר המחקר

נבחרו שני מתקני התפלה על מנת לבחון את השפעת התמלחת והטמפרטורה על מארג המזון בים תיכון (חדרה ואשקלון, ראה דוח שנתי 2017). שני המתקנים משחררים את התמלחת קרוב לקו החוף בפני המים. בכל מתקן התפלה נבחרו שתי תחנות דיגום: פתח יציאת התמלחת והסביבה הלא מופרעת.

איסוף נתונים

במהלך המחקר התקיימו שש הפלגות למתקני ההתפלה בחדרה ובאשקלון. בכל תחנת דיגום (שני מתקני התפלה ושני מרחקים מהחוף) נאספו פיטו- וזואופלנקטון עבור הערכת ביומסה ומגוון מינים. פיטופלנקטון נאסף ע"י סינון של 10 ליטר של מי ים עבור אנליזת איזוטופים יציבים. מי הים סוננו באמצעות משאבה פריסטלטיית על גבי שני פילטרי זכוכית: GF/F ומעליו GF/D, על מנת לקבל שתי פרקציות גודל (ננו ומיקרו בהתאמה). כיום לא קיים פילטר זכוכית יעיל שיכול לתפוס פרקציית גודל פיקו. לאחר הסינון, הפילטרים הונחו בצלוחיות פטרי אטומות בפרפילם והועברו להקפאה. גרירות רשת זואופלנקטון מסוג בונגו אופקיות בקוטר 200 מיקרון ובמשך 15 דקות נעשו בסביבה המופרעת ובסביבה הטבעית בעומק פני השטח ביום ובלילה. בנוסף, בסביבה הלא מופרעת מעל עומק של כ- 20 מטרים נוספה גם גרירה עמוקה. הדוגמאות שומרו באתנול 99%, אך לפני השימור, מספר פרטים נלקחו עבור אנליזת איזוטופים יציבים והוקפאו מיד. במעבדה, דוגמאות הפיטו- והזואופלנקטון הקפואות הופשרו ויובשו למשך לילה בתנור בטמפרטורה של 60 מעלות צלזיוס ונאטמו לאחר מכן בצלוחית פטרי ופרפילם לפני שליחה לאיזוטופיה (SI). דוגמאות הזואופלנקטון שומרו עד לספירה ואמידת הצפיפות בכל אתר. אנליזת האיזוטופים היציבים (SI) נעשתה על $C^{12/13}$ ו- $N^{14/15}$ במעבדת איזוטופים יציבים באוניברסיטת קורנל, איתקה, ניו-יורק, ארה"ב. נתונים נוספים עבור המודלים נאספו ממודלים אחרים (Corrales et al. 2017, Shabtay et al. 2017), סקרים (גורן וחוב', לא מפורסם, Shabtay et al. 2017), אתרי מידע בינלאומיים (לדוגמא FishBase), משוואות הערכה (Pauly et al. 1993), סקר ספרותי והערכות מיטביות כשנתונים אינם קיימים.

מודל

באמצעות התוכנה Ecopath with Ecosim (EwE) ניתן למדל מערכות אקולוגיות מימיות בשיטות חישוביות תוך כדי עריכת סימולציות שונות. התוכנה נפוצה מאוד בחקר מערכות ימיות ובחקר הדיג בפרט ככלי למידול ולהמחשה של המורכבות הקיימת במערכת אקולוגית ימית טבעית. הבסיס למידול ההשפעה של התמלחת שמקורה במתקני ההתפלה על מארג המזון לחופי המזרחיים של הים התיכון הוא במודל EwE קיים של איזור הנמל בחדרה. מושג המפתח ב EwE הוא ההגדרה של יחסי גומלין טרופיים בין קבוצות פונקציונליות שונות (קבוצה שיכולה להכיל מין אחד או כמה מינים בעלי תכונות אקולוגיות דומות מבחינה טרופית). מכיוון שלמערכת המדוברת יש השפעה על הרמות הטרופיות הנמוכות, התמקדנו בהם. ראשית, הוספו קבוצת חיידקים וקבוצות שונות של זואופלנקטון על מנת להגדיל את הרזולוציה של מארג המזון, וכן, קבוצת הפיטופלנקטון חולקה לשלוש קבוצות לפי פרקציית גודל. במודל של חדרה נוספה קבוצת כרישים. הוספת הקבוצות הפלנקטוניות הייתה הכרחית על מנת לייצג את הלולאה המיקרוביאלית במודל, לולאה ההכרחית להבנת האפקט של התמלחת על הרמות הטרופיות הנמוכות, ולפיכך, על מארג המזון כולו. המודל אוזן על פי הפרוטוקולים.

אימות המודל

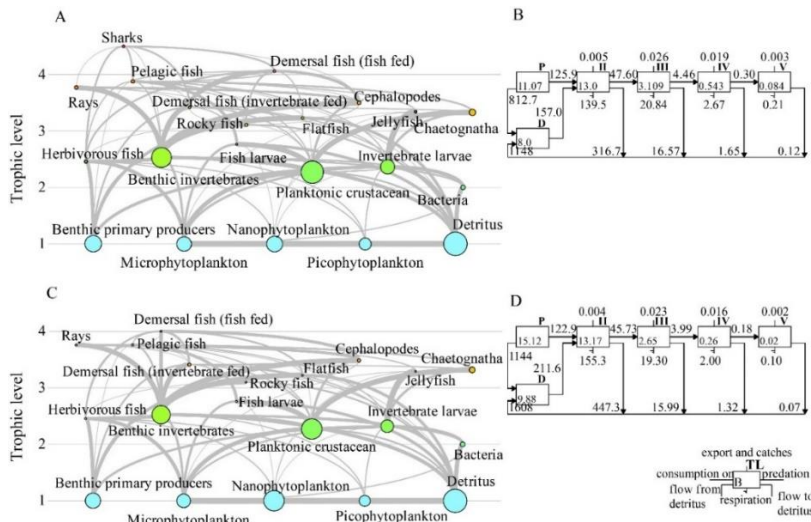
את מודל מאזן המסות אימתנו אל מול מדידות איזוטופיות של פחמן וחנקן המצביעים על מקור הפחמן והרמה הטروفית בהתאמה. מהמדידות חושבו הערכים של הרמה הטروفית והשוו מול הערכים שנתקבלו מן המודל.

מודל מרחבי

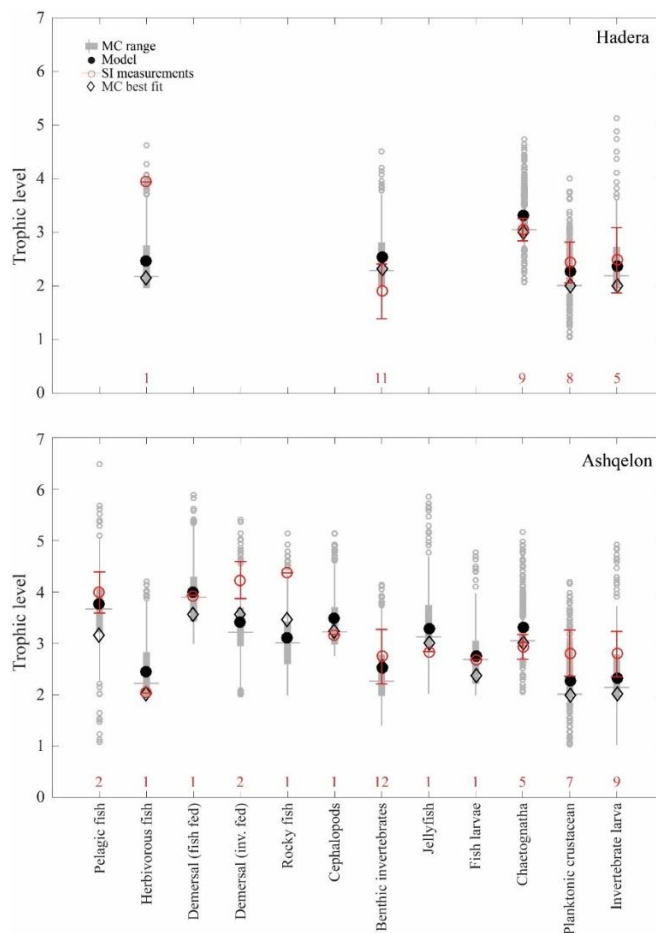
לתוכנה יש תוספת בשם Ecospace היוצרת סימולציות מרחביות. שטח המודל נתחם לאיזור הסובב מתקן ההתפלה (2 ק"מ דרומה, שני ק"מ מערבה, ו-3 או 5 ק"מ צפונה ממנו באשקלון וחדרה בהתאמה, שטח של 19.06 קמ"ר בחדרה, ו-10.23 קמ"ר באשקלון), עם רזולוציה מרחבית בגריד של 100 מ' × 100 מ'. שטחים סלעיים הוספו כשכבה בחדרה (באשקלון אין). ממודל פיזיקלי, הועלו נתוני טמפרטורה, מליחות וזרמים ברזולוציה של חודש אחד עם ממוצעים על פני כל עמודת המים. פונקציות המגדירות סבילות של הקבוצות הפונקציונליות השונות לטמפרטורה ומליחות הוגדרו לפי הספרות, יחד עם קצבי תפוצה, יכולת נדידה (למשל בקבוצת הכרישים) והיסחפות בזרמים. המודל הושווה לספירות של דגים מרשתות עומדות שנספרו בשנת 2015 וסקרי הזואופלנקטון שנערכו במהלך ההפלגות. בנוסף, השתמשנו במודל על מנת לבחון מספר תרחשים: עם ובל תמלחת, השפעת הגברת הטמפרטורה והשילוב של שניהם.

תוצאות ודין

מתוצאות מודל ה-Ecopath עולה כי בשני האתרים נראה שקבוצות חסרי החוליות, הסרטנים הפלנקטוניים והלרוות של חסרי החוליות הן הקבוצות הדומיננטיות ביותר במארג המזון (איור 108). שתי הקבוצות האחרונות הינן פלנקטוניות ועובדה זו מצביעה על כך שקבוצות אלו חשובות ולא ניתן להתעלם מהן או להתחשב בהן כקבוצה אחת. בנוסף, גם המדוזות ותולעי החץ הינן בעלות רמה טروفית השווה לזו של הראשרגליים, דגים שטוחים ודגים שוכני קרקעית, כלומר, כטורפים, וזה מחזק את הטענה האחרונה. היצרנים הראשוניים יחדיו מהווים את מרבית הביומסה בשני האזורים. אין כמעט הבדלים בתוצאות הרמה הטروفית בין האתרים. ישנם הבדלים בין היעילות האקוטרופית שניתן לראות גם איור Lindemian (איור 108) שמצביע על כך שהחל מהרמה הטروفית השלישית, יש פחות מעברי אנרגיה באשקלון לעומת חדרה, וכמו כן יש יותר דטריטוס באשקלון. רוב הקבוצות שנבחנו הראו התאמה טובה לרמה הטروفית שנמדדה בשטח (איור 109), מלבד מספר מועט של קבוצות כגון הדגים הצמחוניים בחדרה (ככל הנראה לא צמחוניים לגמרי וניזונים גם מחסרי חוליות הגדלים על האצות וממדוזות) וכמו כן מספר קטן של קבוצות שככל הנראה לא דייקנו בהרכב המזון שלהם. אי הדיוק נבחן באמצעות אלגוריתם מונטה קרלו שנתן מספר אופציות לשיפור מטריצת המזון.

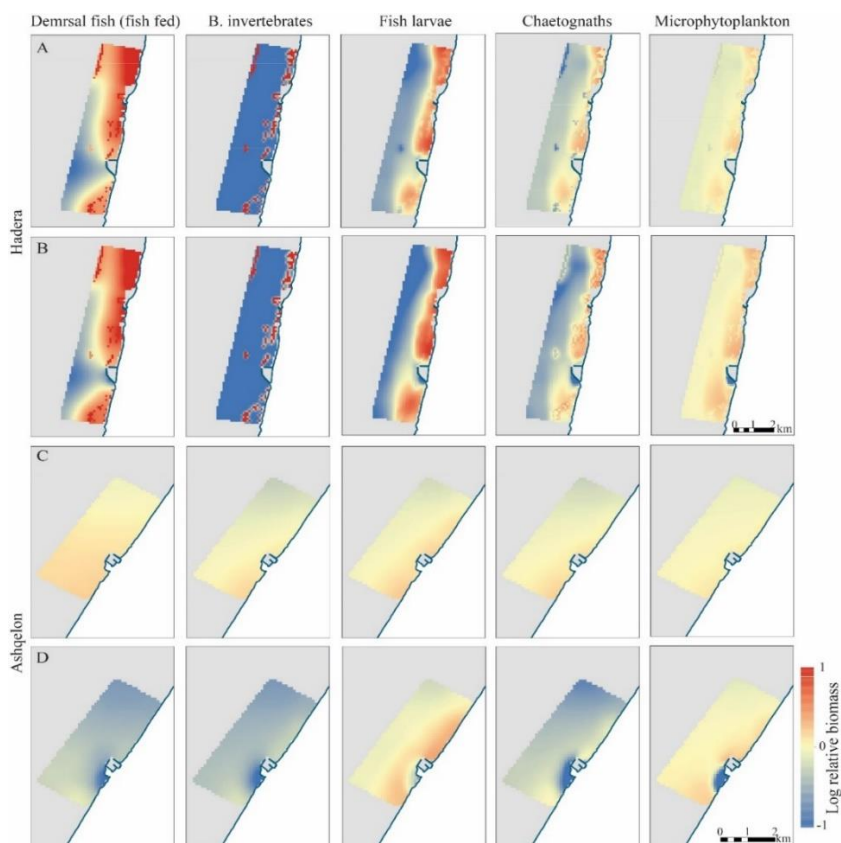


איור 108: מבנה מארג המזון ומעברי אנרגיה של Lindman. A, B – חדרה, C, D – אשקלון. גודל המעגל מתאר את הגודל היחסי של הקבוצה ועובי הקו פרופורציונלי למעבר האנרגיה הטרופי. הציר האנכי הוא ערך הרמה הטרופית. מעברי האנרגיה המייצגים ביומסה ברמות השונות ומעברי אנרגיה בצורת טריפה, נשימה ואובדן ליצור דטריטוס.

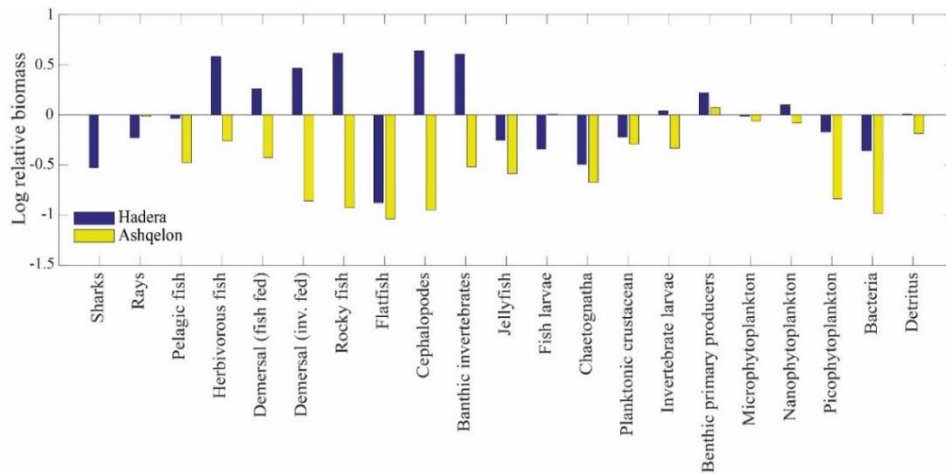


איור 109: השוואה בין הרמה הטרופית שנקבלה ממדידות האיזוטופיה לעומת המודל. מדידת רגישות המודל למטריצת המזון נבדקה עם אלגוריתם מונטה קרלו (הערכים באפור ושחור).

איור 110 מציג דוגמא של חמש קבוצות מכלל הקבוצות (הקבוצות דגים דמרסלים הניזונים על דגים, חסרי חוליות בנתיים, לרוות של דגים, תולעי חץ ומיקרופיטופלנקטון) בצעד הזמן האחרון של הרצת המודל המרחבי (דצמבר 2018) בה ניתן לראות הבדל מרחבי בין האתרים (חדרה ואשקלון) עם ובלי השפעת תמלחת. אם בוחנים את כלל הקבוצות, ההבדלים בין מודל התמלחת למודל ללא התמלחת קטנים יחסית בחדרה ואילו משמעותיים יותר באשקלון. כשבוחנים את שינוי בביומסה הממוצע לשנת 2015 רואים כי ברוב הקבוצות הייתה ירידה בביומסה מתחילת הרצת המודל, התקופה בה לא הייתה השפעת תמלחת (איור 111). באשקלון, מלבד היצרניים הבנתיים, כל הקבוצות איבדו ביומסה ואילו בחדרה רוב הקבוצות איבדו ביומסה מהפעלת התמלחת במודל (בשנת 2015).



איור 110: השוואה בביומסה של הקבוצות דגים דמרסלים הניזונים על דגים, חסרי חוליות בנתיים, לרוות של דגים, תולעי חץ (*Chaetognathes*) ומיקרופיטופלנקטון, בצעד הזמן האחרון בהרצת המודל המרחבי, בין האתרים במודל עם ובלי השפעת התמלחת. **A** – חדרה ללא תמלחת, **B** – חדרה במודל התמלחת, **C** – אשקלון ללא תמלחת, **D** – אשקלון במודל התמלחת.



איור 111: שינוי ביומסה בין שנת 2015 (ממוצע שנתי) לעומת תחילת המודל, לפני הוספת התמלחת. מלבד היצרניים הבנתיים, כל הקבוצות באשקלון הראו ירידה בביומסה. יש לשים לב שהסקאלה של הערכים בציר האנכי הינה סקאלה לוגריתמית.

4.8 פיתוח מודל אקולוגי וכלכלי של כלי מדיניות במרחב הימי של ישראל

בהתבסס על הערכת שירותי המערכת האקולוגית

אייל אופיר, דפנה בן יוסף וגדעון גל בשיתוף עם שירי צמח-שמיר, מוטי שכטר ויואב פלד (אונ' חיפה).

במימון קרן פילנטרופית

רקע

מזרח הים התיכון הוא ים אולטרה-אוליגוטרופי החשוף לפעילות אנתרופוגנית משמעותית הפוגעת במערכת האקולוגית. המגוון הביולוגי גדול ובחלקו ייחודי והוא מאוים על-ידי מינים פולשים רבים ועל-ידי הפעילות האנושית המתגברת. פלישת המינים מים סוף לים תיכון, המכונה גם "הגירה לספסיאנית" והחלה מספר שנים לאחר פתיחתה של תעלת סואץ (בשנת 1869), התגבר בעשורים האחרונים. כיום אפשר למצוא במזרח הים התיכון כמעט 700 מינים פולשים שמקורם בים סוף. בנוסף, ניהול לקוי של פעילות הדיג במרחב הישראלי תרם אף הוא להידלדלות הדגה ולפגיעה קשה במשאבי סביבה חיוניים.

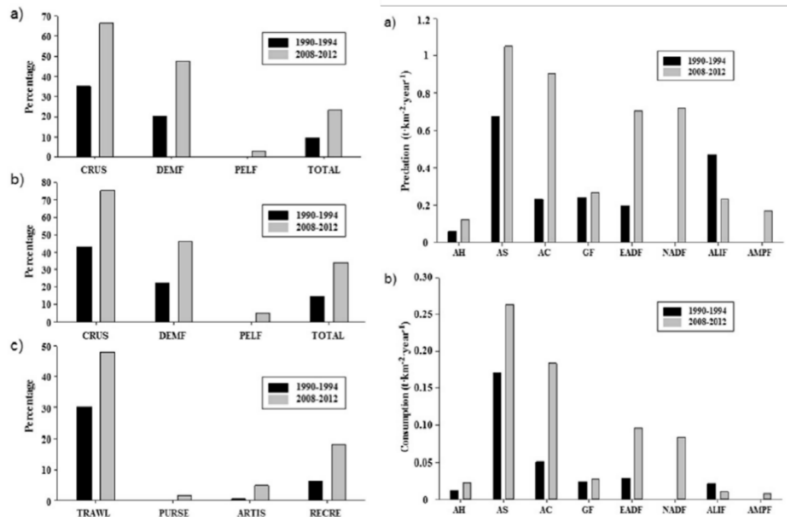
למרות ההתפתחות הניכרת במיפוי ובמחקר של המרחב הימי בעשורים האחרונים, הידע על המרחב הימי הישראלי בים התיכון, ובפרט על הים העמוק המהווה את רובו, מוגבל. בעשורים האחרונים הפך אזור הים התיכון הישראלי למרחב רב שימושים ופעילויות ועתיר קונפליקטים. לחצי התשתית והפיתוח העירוני והכפרי לאורך החופים ומכלול השימושים בים רבו מאוד עם גילוי הגז הטבעי. למרות ההבנה שהיוזמות במרחב הימי וסביבו ילכו ויתרבו והלחצים המופעלים על הסביבה הימית עקב שינויים גלובליים כמו שינויי אקלים הרי שטרם נתגבשה מדיניות מרחבית ברורה ולכלי רגולציה אפקטיביים לתכנון המרחב ולניהולו. במצב זה עלולות רבות מההזדמנויות לחמוק או להתעכב, והאיומים – להתממש. על רקע אתגרים דומים, ברבות מהמתקנות שבמדינות העולם, פותחו בעשורים האחרונים מנגנונים של תכנון וניהול המרחב הימי ומשאביו, המבוססים על מידע וידע

מדעי. מנגנונים אלה קוראים לפיתוח מאוזן וזהיר, שומרים על חוסנה ועל בריאותה של הסביבה הימית ומגנים על משאבי הים לדורות הבאים. דוגמאות למנגנונים או לגישות אלה הן תכניות תכנון מרחבי ימי (Marine spatial planning MSP) שהתפתח מאוד בשנים האחרונות בעיקר בצפון אמריקה, באירופה ובאוסטרליה, וכן גישת ניהול מבוסס מערכות אקולוגיות (Ecosystem Based Management) המדגישה, בראש ובראשונה, את הראיה המערכתית וכן את הצרכים והמטרות של בעלי העניין השונים, ומאזנת ביניהם תוך שמירה על מערכת אקולוגית חסונה, בריאה ויצרנית. יישום והתאמת הידע והמתודולוגיות שפותחו בעולם למרחב הימי של ישראל הם מחויבי המציאות. ככלל, מערכות אקולוגיות ימיות הן דינמיות ומורכבות, מכילות אינטראקציות, לולאות משוב והשפעות סביבתיות בלתי צפויות לעיתים. פעילות דיג משפיעה על המבנה והתפקוד של המערכת האקולוגית הימית בכך שמשנה רכיבים מסוימים ומשפיעה על מכלול האינטראקציות של כלל המרכיבים הביולוגיים של המערכת. חיזוי שינויים כאלו לאורך זמן והשפעתם על המאזן האקולוגי הימי הינו אתגר לא פשוט. לצורך התמודדות עם אתגר זה נעזרים במודלים אקולוגיים המתארים תהליכים המתרחשים במערכת האקולוגית ומאפשרים בחינה של תופעות ושל השפעות של שינויים סביבתיים או צעדי ממשק על המערכת האקולוגית. אחת התוכנות הנפוצות ביותר לבניית מודלים אקולוגיים ימיים היא Ecopath with Ecosim (EwE) ששימשה לבניית מאות רבות של מודלים של אזורים ימיים ואגמים סביב לעולם.

לצורך בחינה של תרחישי ניהול בוצע שימוש במודל EwE אשר נבנה במסגרת פרויקט קודם עבור אזור מדף היבשת במרחב ים התיכון הישראלי. במסגרת הפרויקט נבנה מודל מאזני (Ecopath) ומודל דינאמי בזמן (Ecosim). ניתוח תוצאות המודל המאזני אפשרו הבנה מעמיקה של התמורות והשינויים אשר חלו במרחב, בעיקר עקב התגברות פלישת המינים והמודל הדינאמי בזמן הניח יסודות לבחינה של תרחישים חלקם ניתנים לשליטה על ידי האדם (למשל שינוי מאמץ הדיג) וחלקם ללא שליטתנו (למשל: עליית טמפרטורת מי הים). להלן עיקרי התוצאות.

מינים פולשים

על מנת לבחון את ההשפעה של מינים פולשים על המערכת האקולוגית נערכה השוואה בין התקופות בתרומה היחסית של מינים אלו לביומסה והשלל. התוצאות הצביעו על תרומה משמעותית של מיני הסרטנים והדגים הפולשים שאף גדלה בין תחילת תקופת הסימולציות לסופה (1990-2010). תרומת המינים הפולשים לביומסה הכללית גדלה פי 3 מ-1990 ל-2010 (איור 112). ובקבוצות הסרטנים והדגים הקרקעיים אחוז המינים הפולשים גדל פי 2 לאותם תקופות. קבוצת החסילונים הפולשים, למשל, הגדילה את הביומסה ב-2010 ב-55% וקבוצת הדגים הקרקעיים הפולשים המוקדמים ב-25.6%. נתון חשוב לציון הוא הביומסה הגדולה של הדגים הפולשים החדשים שהציגו קצב עליה של 0.01 טון/קמ"ר לשנה. גם בקבוצות הפלאגיות נרשם גידול בביומסה של 2.6% בין התקופות. בהשוואה בין הטריפה לצריכה של המינים הפולשים והמקומיים ניתן לראות כי הטריפה של המינים הפולשים הייתה גבוהה יותר מהצריכה שלהם על ידי טורפים אחרים במערכת. תוצאות אלו עולות בקנה אחד עם מחקרים קודמים המראים כי במזרח הים התיכון יש למינים פולשים השפעה ניכרת על המערכת וכי ישנה ירידה במספרי המינים המקומיים. יתכן כי הצלחה זו מתאפשרת הודות להימצאותן של נישות לא מנוצלות עדיין. לכך מצטרפות גם השפעות הדיג על המינים המקומיים והשינויים הסביבתיים בטמפרטורה והמליחות שהם נוחים יותר למינים המהגרים הלספסיים ומעניקים להם יתרון בתחרות עם המינים המקומיים.



איור 112: ההשפעה של מינים פולשים על המערכת האקולוגית והדיג לאורך חופי ישראל. משמאל, האחוז היחסי של המינים הפולשים בסה"כ הביומסה (למעלה), לשלל של קבוצות מסחריות שונות (באמצע), וסה"כ השלל של ציי הדיג השונים. מימין, ביחידות של טון לקמ"ר לשנה, טריפה של מינים פולשים על מקורות המזון שלהם (למעלה) ומינים פולשים כמקור מזון לטרופיהם (למטה). בכל האירוס העמודות השחורות מייצגות את תחילת תקופת הסימולציות (1990-1994) והעמודות האפורות את התקופה המאוחרת יותר (2008-2012). מקור: Corrales et al. 2017.

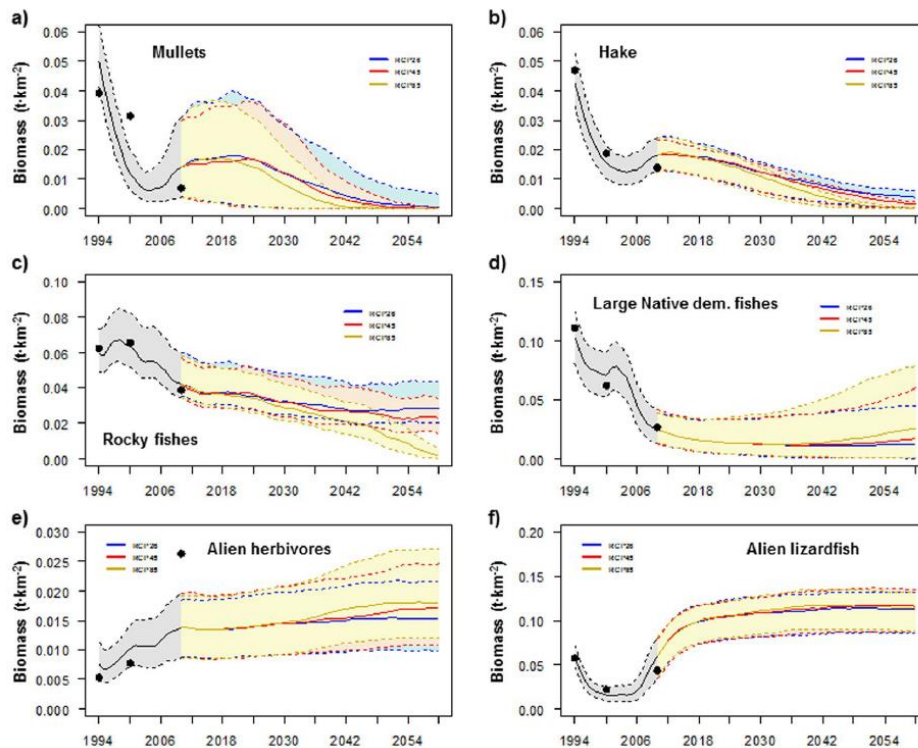
שינויי אקלים

במהלך המאה ה-21 צפויים שינויים ניכרים באקלים ברחבי העולם, ואף יותר מכך באגן הים התיכון. שינויים אלו עלולים להוביל לפגיעה משמעותית ברווחת האדם ובמערכות הטבעיות. באגן הים התיכון צפויה עליית טמפרטורה ממוצעת של 1.5-2.2 מעלות עד סוף המאה הנוכחית וירידה בכמויות הגשמים בתחום של 4-27 אחוז, בהשוואה לסוף המאה העשרים. דו"ח ה-IPCC (International panel of climate change) חוזה מספר תרחישים להתחממות הגלובלית עד 2100.

על מנת לבחון את השינויים הצפויים במערכת האקולוגית של הים התיכון בתרחישים השונים של ההתחממות, השתמשנו במודל ה-Ecosim על פי תרחישים בו בחננו את המשמעות של עליה בטמפרטורה בין 1994-2016 על בסיס שלוש תרחישי אקלים שהוגדרו ע"י ה-IPCC: RCP2.6, 4.5, 8.5. תרחישי שינויי הטמפרטורה אלו הושוו לתרחיש "עסקים כרגיל" בו לא היה שינוי

בטמפרטורות הממוצעות.

התוצאות של התרחישים מצביעות על השפעה הולכת וגדלה של העליה בטמפרטורה על קבוצות שונות במארג המזון. ההשפעות אינן אחידות ומשפיעות לרעה על הביומסה בעיקר במקרה של המינים המקומיים במקביל לעליה משמעותית בביומסה של מדגים וחסרי חוליות של מינים פולשים (איור 113). מגמה דומה אפשר לראות בשלל הדיג. בתרחיש של עליה במעלה אחת במודל מראה עליה בשלל של המינים הפולשים ב-40% לערך בשנת 2030 בהשוואה לתרחיש "עסקים כרגיל" לעומת ירידה ב-30% לערך בשלל הדיג של המינים המקומיים באותה שנה. בתרחיש של עליה בארבע מעלות כבר נבלמת מגמת העלייה בשלל הדיג של המינים הפולשים ומגיעה ל-33% יותר ב-2030 לעומת 2010, במינים המקומיים לעומת זאת ניכרת ירידה של 30% באותם שנים בהתאמה.



איור 113: ההשפעה של שלושה תרחישי שינויי אקלים על מספר קבוצות במודל לאורך התקופה 1994-2060. הנקודות מייצגות נתוני אמת. מוצגים ממוצעים וטווח הערכים שבין האחוזון ה-5 וה-95. מקור: Corrales et al. 2018.

ניהול הדיג

על מנת לבחון את ההשפעה של מדיניות הדיג על המערכת האקולוגית של מדף היבשת הים תיכוני השתמשנו במודל הדינמי בזמן (Ecosim) שנבנה במחקר זה. התרחישים שנבחרו התמקדו בהגבלת או שינוי במאמץ הדיג בציים השונים (הקפה, חופי, מכמורת, ספורטיבי) בכל פעם ברמות שונות (0%, 50%, 200%) ובדיקת ההשלכות האקולוגיות (ביומסה כוללת, שלל, רמה טרופית) על כלל הקבוצות הפונקציונליות במערכת בכל תרחיש. התרחישים הורצו לאורך 20 שנה החל משנת 2010. התוצאות הושוו לתרחיש ה"עסקים כרגיל" בו מאמצי הדיג נשארו כפי שהיו ב-2010.

התוצאות מראות כי השינוי בביומסה המשמעותי ביותר היה בתרחיש שבו הופסק דיג המכמורת כליל, וההשפעה ניכרה בקבוצות של המינים הפולשים והמקומיים. במינים הפולשים הביומסה עלתה פי 1.5-2 ביחס לתרחיש "עסקים כרגיל" ובמינים המקומיים חל גידול של פי 2 בביומסה. מאידך, ככל שהעלינו את המאמץ של דיג המכמורת, הביומסה של קבוצות אלו ירדה עד לכ-30% לעומת תרחיש "עסקים כרגיל".

הדיג החופי ודיג ההקפה משפיעים בעיקר על קבוצות הדגים המקומיות וככל שעולה המאמץ בשיטות אלו יורדת הביומסה שלהן כלומר ישנה השפעה צולבת בין הדיג החופי וההקפה לבין דיג המכמורת. לדיג הספורטיבי לא הייתה השפעה משמעותית בכל התרחישים אך יתכן וזה נובע מהיעדר נתונים על ההיקף האמיתי של ענף דייג זה.

להמשך קריאה ולהעמקה במודל ובתוצאות ניתן לפנות לדו"ח מס' 2018 / T 20 "מודלים אקולוגיים לניהול הסביבה הימית".

- Corrales, X., E. Ofir, M. Coll, M. Goren, D. Edelist, J. J. Heymans, and G. Gal. 2017. Modeling the role and impact of alien species and fisheries on the Israeli marine continental shelf ecosystem. *Journal of Marine Systems* 170:88-102.
- Corrales, X., M. Coll, E. Ofir, J. J. Heymans, J. Steenbeek, M. Goren, D. Edelist, and G. Gal. 2018. Future scenarios of marine resources and ecosystem conditions in the Eastern Mediterranean under the impacts of fishing, alien species and sea warming. *Scientific Reports* 8:14284.

4.9 פיתוח מודלים אקולוגיים למרחב מדף היבשת וים עמוק במסגרת תכנית

הניטור

אייל אופיר וגדעון גל

במימון משרד הגנת הסביבה ומשרד האנרגיה

יישום מערכת מודלים אקולוגיים מאפשרת מעקב אחרי שינויים המתרחשים במערכת האקולוגית שלא ניתן לכמת או לבחון באמצעים אחרים וכן מאפשרים בחינה של השפעות סביבתיות או אנתרופוגניות צפויות על המערכת האקולוגית. שילוב של מודלים אקולוגיים במערך ניטור הינו בעל ערך רב ומספק ערך מוסף לנתונים הנאספים במסגרת הניטור. ניתן, למשל, בעזרת המודלים למקד את פעילות הניטור; לחשב שטפים ומשתני מצב שונים של המערכת האקולוגית שלא ניתנים לחישוב ללא מודל; לחשב ולהשתמש באינדיקטורים מגוונים שלא ניתנים לחישוב (או רק בקושי רב) ללא המודלים; לזהות את הרגישות של האינדיקטורים האקולוגיים השונים לשינויים וללחצים חיצוניים על המערכת האקולוגית; לכמת את חוסר הוודאות בנתונים הנאספים במבט רחב של כלל המערכת האקולוגית; לזהות ולתעדף את החולשות ופערי מידע וידע. תוכנת Ecopath with Ecosim (EwE) הינה התוכנה הנפוצה ביותר למידול מארגי מזון ימיים עם מאות רבות של מאמרים מדעיים ודו"חות שפורסמו מאז פותחה התוכנה לפני יותר מ-30 שנה. כיום יש בעולם קהילה גדולה של משתמשים אשר דוחפת ומממנת המשך פיתוח של התוכנה והכלים שהיא מכילה. בעזרת התוכנה ניתן לבנות 3 סוגי מודלים: מודל סטטי (Ecopath), מודל דינאמי בזמן (Ecosim) ובמרחב (Ecospace). המודל הסטטי, אקופאת, מאפשר למשתמש ליצור תמונת מצב של המערכת האקולוגית בנקודת זמן מסוימת ובכך בעצם להשוות בצורה קלה בין מודלים שונים המיצגים נקודות שונות בזמן. מודלים מהסוג אקוסים מאפשרים מעקב אחר השינויים בזמן וגם בחינת תרחישים הכוללים שינויים סביבתיים או אנתרופוגנים שונים. המודל המרחבי, אקוספייס, מאפשר בחינה של שינויים בזמן ובמרחב. אחת היתרונות הגדולים של מודלים אלו היא היכולת לחקור את תפקוד המערכת האקולוגית ואת השינויים המתרחשים במערכת לאורך זמן. התוכנה מספקת מגוון רחב של כלים שבעזרתם ניתן לאמוד שינויים של משתנים, קצבים ומדדים רבים ולא רק שינויים בריכוז של משתנה

זה או אחר. מערכות מודלים מהסוג EwE משמשות ככלי ניהולי וממשקי (Ecosystem based approach) ומאפשרות ניהול מערכתי של אינדיקטורים שונים המוגדרים באמנת ברצלונה. חלק מה דיסקריפטורים המוגדרים ב- MAP-ECAP ו-MSFD-EU ניתנים לכימות ובחינה בעזרת המודלים. אלו כוללים בין השאר שמירה על מגוון המינים, רמת המינים הפולשים וההשלכות שלהם על המערכת האקולוגית, מצבם של אוכלוסיות הנתונות לדיג, שמירה על ההביטטים הבנתונים. בחינה של דיסקריפטורים נוספים אפשרית אבל תחייב שינויים רחבים יותר במודלים. אלו כוללים, למשל, את בחינת ההשפעה של מזהמים על המערכת האקולוגית.

כחלק מתוכנית ניטור ים עמוק יבנו מודלים אקולוגיים שיתנו פתרון למספר סוגיות:

1. יצירת בסיס ומסגרת משותפים בין מגוון הנתונים והמידע הנאספים במסגרת תוכנית הניטור.

2. מעקב שוטף אחר השינויים במערכת האקולוגית.

3. בחינת השינויים באינדקטורים בהם יהיה שימוש במרחב.

במהלך שנת 2018 התמקדנו באיסוף נתונים ויצירת שפה משותפת הבאה לידי ביטוי בקביעת מבנה המודל. מבנה המודל מבטא את הידע בנושא מגוון המינים הקיים במערכת ויוצר מכנה משותף בין מינים שונים כך שניתן לאחד אותם לקבוצות פונקציונאלית במודל. כמשתמע קבוצה פונקציונאלית היא קבוצה המורכבת ממספר מינים להם מכנה אקולוגי משותף בעיקר מבחינת מקורות המזון, בדומה הגדרת ה- guild האקולוגי. קביעת מבנה המודל היא שלב מאוד מרכזי וחשוב זאת כי כל שינוי במבנה המודל לאחר שנבנה וכויל מצריך זמן ומאמץ רב. קביעת מבנה המודל צריך בין השאר לקחת בחשבון את הידע והמידע הקיים וכן את המטרות והשאלות שעשויות לעניין את המשתמש, או את מקבלי החלטות, בעתיד. לשם קביעת מבנה המודל הוצג עקרון הפעולה של המודל לכלל החוקרים הרלוונטיים בחיא"ל. הצגה זאת לוותה בפגישות אישיות עם החוקרים על מנת להבין את המידע והידע הקיים וכן את המרכיבים המרכזיים של המערכת האקולוגית של מדף היבשת וים עמוק. כתוצאה מהפגישות התקבלו מספר החלטות לגבי המבנה:

1. מבנה מודל מדף היבשת יהיה זהה למודל ים עמוק, כך ניתן יהיה לבצע השוואה בין האזורים.

2. בשל מגוון המינים המיקוד של המודל יהיה ברמות הטרופיות הנמוכות.

3. יינתן מענה לכלל מארגי המזון (מבוסס פוטוסינטיזה ומבוסס כימוסינטיזה)

4. יש דגש על מינים בנתונים המרכיבים את עיקר הביומסה

5. יהיה חיבור מסוים למודל מדף היבשת זאת בעיקר בהגדרת המינים הפלגיים.

בוצע מאמץ איסוף נתונים שכלל את כלל המידע הקיים בחיא"ל ובנוסף מידע שנתקבל מאוניברסיטאות שונות. על בסיס מידע זה נבנה לצורך התייחסות מבנה ראשוני למודל אשר תוקן על ידי החוקרים השונים כך שבסופו של דבר התקבל מבנה מודל עם 36 קבוצות (טבלה 34). במהלך שנת 2019 בכוונתנו להמשיך באיסוף מידע, בבניית המודלים המאזניים וכיולם.

טבלה 34: הקבוצות הפונקציונליות המוצעות במודל ים עמוק ומדרון היבשת.

מספר קבוצה	שם קבוצה
1	Bacteria
2	Cemo Bacteria
3	Phytoplankton
4	Microzooplankton (20–200 μm)
5	Mesozooplankton (0.2 mm–2 cm)
6	Gelatinous plankton
7	Polychaeta
8	Amphipoda
9	Cumacea
10	Tanaidacea
11	Decapoda
12	Copepoda
13	Ostracoda
14	Pycnogonida
15	Gastropoda
16	Polyplacophora
17	Bivalvia
18	Aplacophora
19	Scaphopoda
20	Echinocardium cordatum
21	Ophiuroidea
22	Anthozoa
23	Phoronida
24	Nematoda
25	Platyhelminthes
26	Sipuncula
27	Chondrichthyes
28	Osteichthyes
29	Small pelagic fishes
30	Large pelagic fishes
31	Deep rocky habitat species
32	Turtles
33	Sea birds
34	Dolphins
35	Detritus
36	Discards

5.1 סטודנטים לתארים מתקדמים בהנחיית חוקרי המעבדה לחקר הכנרת 2018

מס' שם ומשפחה	תואר	אונ'	נושא	מנחה חיאל
1. אוז'נסקי א'	מסטר	אונ' חיפה	אקוסטיקה של סדימנט	א' אוסטרובסקי
2. אופיר א'	פוסט דוקטורט	חיאל	מודל דייג בכנרת	ג' גל
3. אסטרותי מ'	מסטר	מכללת תל-חי	שינויים במערכת האקולוגית של הכנרת	ג' גל
4. ג' ביטון	מוסמך	אונ' חיפה	Economic aspects of fish stock accounting as a renewable natural capital existing within the Israeli marine habitat	ג' גל
5. בן-יונה מ'	מסטר	מכללת תל-חי	מודל גשם-נגר בנחלי אגן ההיקוות של הכנרת	א' רימר ז"ל
6. ברגמן נ'	פוסט דוקטורט	אונ' חיפה	אפיון היציבות הסדימנטולוגית בנחלי בקעת בית-ציידיא	י' בארי - שלוין
7. ברגמן ע'	פוסט דוקטורט	חיאל	אקולוגיה מולקולרית של החיידק ליגיונלה	ש' ניניו
8. גובר שי	מסטר	המרכז האקדמי רופין- קמפוס מכמורת	אקולוגיה של הירקון	ע' נשרי
9. הזומי א'	פוסט דוקטורט	אונ' עברית	פיסיקה ומיקרוציסטיס	א' אוסטרובסקי
10. הומה ה'	פוסט דוקטורט	יפן, Tokyo University of Marine Science and Technology	שימוש בציוד אקוסטי מתקדם לזיהוי דגים והערכת ביומסה	א' אוסטרובסקי
11. וו ש'	דוקטורט	סין, מכון להידרוביולוגיה	אקוסטיקה של מיקרוציסטיס	א' אוסטרובסקי
12. ויגדרוביץ' ח'	דוקטורט	אוניב' בן-גוריון	מנגנוני חיזור ברזל באזור מתאנוגנזה בסדימנטים	ו' אקרט
13. זילברמן ת'	דוקטורט	אונ' העברית	שימוש באיזוטופים של חנקן למידול מחזור החנקן בכנרת	ע' נשרי

מס' שם ומשפחה	תואר	אוני' אוני'	נושא	מנחה היא"ל
14. זרקה ע'	מסטר	אוני' תל-חי	מקורות האבק לכנרת	י' בארי – שלוין
15. חגי ע'	מסטר	אוני' חיפה	פוליסכרידים בסביבות אקווטיות נרחבות	פ' אסטרסון
16. ליבוביץ' ח'	דוקטורט	אוני' בן-גוריון	מנגנוני חיזור ברזל בסדימנטים של מדף היבשת בים התיכון	ו' אקרט
17. לשם ת'	דוקטורט	אוני' חיפה	זיהוי וכימות ציאנובקטריה	א' סוקניק
18. נוסבוים ש'	דוקטורט	הטכניון	חיזוי ריכוזי מומסים וחומר מרחף במוצא נחלים על סמך נתוני ספיקות ואירועי גשם	א' רימר ז"ל, י' בארי – שלוין
19. קוראלס ח'	דוקטורט	אוני' טכנולוגית בקטלוגיה	פיתוח מודל אקולוגי למערכת האקולוגית של ים-תיכון	ג' גל
20. קורזון ל'	פוסט-דוקטורט	חיא"ל	שילוב פוליסכרידים ממקורות שונים כתמך לתהליכי ביודגרדציית מזהמים	פ' אסטרסון
21. רוטשטיין ר'	מסטר	אוני' חיפה	בלייה וזמני שהות של סדימנטים במשושים	י' בארי – שלוין
22. שוויצר א'	דוקטורט	אוני' חיפה	דינמיקה של אוכלוסיות חיידקים המלוות פריחה של מיקרוציסטיס	א' סוקניק
23. שין צ'	פוסט דוקטורט	סין, מכון להידרוביולוגיה	ביולוגיה של מיקרוציסטיס	א' סוקניק, א' אוסטרובסקי
24. שנל י'	דוקטורט	אוני' העברית	נסיון לזיהוי ביומרקרים בקרקעית הכנרת	ע' נשרי
25. שפירו ג'	מוסמך	אוני' חיפה	The comparison of changes in the Food Habits of the mango tilapia, Sarotherodon galilaeus, and the Silver carp, Hypophthalmichthys molitrix and their possible competition	ג' גל

Astrahan, P. (2018). Monocyclic aromatic hydrocarbons (phthalates and BTEX) and aliphatic components in the SE Mediterranean costal Sea-surface microlayer (SML): Origins and phase distribution analysis. *Mar. Chem.* 205 (20), 56-69.

Bruce, L.C, Frassl, M.A., Arhonditsis, G.B., **Gal, G.**, Hamilton, D.P., Hanson, P.C., Hetherington, A.L., Melack, J.M., Read, J.S., Rinke, K., Rigosi, A., Trolle, D., Winslow, L., Adrian, R., Ayala, A.I., Bocaniov, S.A., Boehrer, B., Boon, C., Brookes, J.D, Bueche, T., Busch, B.D., Copetti, D., Cortés, A., de Eyto, E., Elliott, J.A., Gallina, N., Gilboa, Y., Guyennon, N., Huang, L., Kerimoglu, O., Lenters, J.D., MacIntyre, S., Makler-Pick, V., McBride, C.G., Moreira, S., Özkundakci, D., Pilotti, M., Rueda, F.J., Rusak, J.A., Samal, N.R., Schmid, M., Shatwell, T., Snorthheim, C., Soulignac, F., Valerio, G., van der Linden, L., Vetter, M., Vinçon-Leite, B., Wang, J., Weber, M., Wickramaratne, C., Woolway, R.I., Yao, H., and M.R. Hipsey. (2018). A multi-lake comparative analysis of the General Lake Model (GLM): Stress-testing across a global observatory network. *Environ. Model. Soft.* 102: 274-291.

Corrales, X^S., Coll, M., **Ofir, E.**, Heymans, J.J., Steenbeek, J., Goren, M., Edelist, D., **Gal, G.** In press. Future scenarios of marine resources and ecosystem conditions in the Eastern Mediterranean under the impacts of fishing, alien species and sea warming. *Sci. Rep.* 8:14284.

Corrales, X^S., Katsanevakis, S., Coll, M., Heymans, J.J., Piroddi, C., **Ofir, E.**, and **Gal, G.** In press. Advances and challenges in modelling the impacts of invasive alien species on aquatic ecosystems. *Biol. Invasions.*

Dücker, Y., Liu, L., Lorke, A., **Ostrovsky, I.**, Katsman, R., Jokieli, C. 2019. A novel freeze corer for characterization of methane bubbles and assessment of coring disturbances. *Limnology and Oceanography: Methods.* DOI:10.1002/lom3.10315

Eckert, W. Leunert, F., Yacobi, Y.Z., Kurzbaum E., (2019) Diurnal changes in the delayed fluorescence response of an ambient light-excited green alga. *Photosynthetica* 57: 40 - 46. DOI: 10.32615/ps.2019.012.

Eckert, W., **Beeri-Shlevin, Y.** and **Nishri, A.** (in press) Internal phosphorus loading in subtropical Lake Kinneret under extreme water level fluctuation. In: Internal Phosphorus Loading: Causes, Case Studies, and Management (A.D. Steinman and B.M. Spears, eds.). Plantation, FL: J. Ross Publishing.

Grossowicz, M^S., Sisma-Ventura, G. and **G. Gal.** 2019. Using stable carbon and nitrogen isotopes to investigate the impact of desalination brine discharge on marine food webs. *Front. Mar. Sci.* 6:142.

Katsnelson, B., Lunkov, A., **Ostrovsky, I.**, Uzhanskii, E. 2018. Estimation of gassy sediment parameters from measurements of angular and frequency dependencies of reflection coefficient. *Proceedings of Meetings on Acoustics* 33, 005004. DOI: 10.1121/2.0000963.

Muhl, R.M.W., Roelke, D.L., **Zohary, T.**, Moustaka-Gouni, M., Sommer, U., Borics, G., Gaedke, U., Frances G. Withrow, F.G., Bhattacharyya, J. (2019) Resisting annihilation: Relationships between functional trait dissimilarity, biodiversity and allelopathy. *Ecol. Lett.* 21: 1390-1400, Doi: 10.1111/ele.13109

Ostrovsky, I., Uzhanskii, E., Katsnelson, B., Kaganovsky, S., 2018. Implementation of Acoustic Methodology for Investigation of the Ecology of Gas-Containing Toxic Cyanobacterium *Microcystis* sp. In *Proceedings of 2018 Joint Conference – Acoustics*, Ustka, Poland, September 11 – 14, 2018: 236-239. DOI: 10.1109/ACOUSTICS.2018.8502288

Robarts, R. D., **Zohary, T.** (2018). Limnology and the future of African Inland Waters. *Inland Waters* 8 : 399-412.

Shabtay, A., Portman, M.E., **Ofir, E.**, Carmel, Y. and **G. Gal.** (2018). Using ecological modelling in marine spatial planning to enhance ecosystem-based management . *Mar. Policy*, 95:14-23.

Sukenik A., Rucker J, Maldener I. 2019. Dormant cells (akinetes) of filamentous cyanobacteria demonstrate a great variability in morphology, physiology, and ecological function. In A.K. Mishra, D.N. Tiwari and A.N. Rai (eds) *Cyanobacteria - from basic science to applications* (pp. 65-77). Academic Press.

Weiss G, Kovalerchick D, Lieman-Hurwitz J, Murik O, De Philippis R, Carmeli S, **Sukenik A.**, Kaplan A. (2019). Increased algicidal activity of *Aeromonas veronii* in response to *Microcystis aeruginosa*: inter-species crosstalk and secondary metabolites synergism. *Environ. Microbiol.* 21, 1140–1150. doi:10.1111/1462-2920.14561.

Zohary, T., Alster, A., Hadas, O., Obertegger, U. (2018). There to stay: invasive filamentous green alga *Mougeotia* in Lake Kinneret, Israel. *Hydrobiol.* 831: 87-100.

זהרי, ת', קמינגס, ד', סולימני, ב'. (2019) שני מינים נוספים של חלזונות פולשים נתגלו בשנתיים האחרונות בכינרת. ארץ הכינרת, 24, 27-24.

דו"ח חיא"ל מס'	שם הדו"ח / המעבדה לחקר הכנרת
T01/2018	סוקניק, א', ויינר-מוציני, ד', לופו, ע', אלסטר, א', זהרי, ת', נינו, ש'. 2018. פיטופלנקטון ובקטריופלנקטון במאגרי אשכול בעקבות אירועי הרעלת דגים במאגרים, דו"ח ביניים. מוגש לחברת "מקורות".
T02/2018	סוקניק, א', בארי-שליון, י', שליכטר, מ'. 2018. אירוע פריחת מיקרוציסטיס בכנרת, דו"ח ביניים דצמבר 2017 – מרץ 2018. מוגש לתחום כנרת ברשות המים.
T03/2018	Zohary, T. 2018. PlanktoMetrix – II. User Manual
T04/2018	נינו, ש', סוקניק, א'. 2018. פיתוח אינדיקטורים מיקרוביאליים להערכת איכות מים ומצב טרופי של מערכות מים טבעיות – הכנרת כמודל. מוגש ליחידת המחקרים ברשות המים.
T05/2018	סוקניק, א', בארי-שליון, י', זהרי, ת', שליכטר, מ'. 2018. דו"ח סיכום אירוע פריחה חורפית של מיקרוציסטיס בכנרת ודיווח על הופעת פרידניום אביבי. מוגש לתחום כנרת ברשות המים.
T06/2018	סוקניק, א', ויינר-מוציני, ד'. 2018. סילוק צלינדרוספרמופסין ממי הכנרת – בחינת יעילות מחמצנים וחומרים סופחים. דו"ח מסכם, מוגש לאגודת המים עמק-הירדן.
T07/2018	זהרי, ת', גל, ג', אופיר, א', גזית, א', קמינגס, ד'. 2018. מיפוי אזורי צמחייה מוצפת בליטרל וחיזוי הצלחת רבייה לצורך קיום ממשק לחיזוק רבייה טבעית של אמנונים בכנרת. דו"ח סופי, מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות.
T08/2018	אלסטר, א'. 2018. ניטור הפיטופלנקטון באגם אגמון בשנים 2010-2017. מוגש למיג"ל.
T09/2018	נשרי, ע', גבריאלי, א'. 2018. גישה אינטגרטיבית לבדיקת השפעת גופי מים בעמק החולה על הכנרת. דו"ח שנתי, מוגש ליחידת המחקרים, רשות המים.
T10/2018	נינו, ש'. 2018. Molecular ecology of the bacterial pathogen legionell. דו"ח סיכום, מוגש לקרן הלאומית למדע.
T11/2018	בארי-שליון, י', חוקרים ועובדי המעבדה לחקר הכנרת. 2018. ניטור ומחקרי כנרת דוחות פעילות המעבדה לשנת 2017. מוגש למשרד התשתיות הלאומיות, האנרגיה והמים ולרשות המים.
T12/2018	גל, ג', אסטרותי, מ', שחר, נ'. 2018. חיזוי שינויים במערכות אקוטיות בתגובה לשינויים חיצוניים על בסיס מודלים בזמן כמעט אמת. דו"ח שנתי, מוגש למדען הראשי במשרד התשתיות הלאומיות.
T13/2018	בארי-שליון, י', סוקניק, א', נשרי, ע'. 2018. תהליכים ביו-גיאוכימיים של סלגים בכנרת והשפעתם על הפריחה העונתית של הדינופלגלט פרידניום גטוננזה בכנרת. דו"ח מסכם, מוגש ליחידת המחקרים של רשות המים.

ד"ר חיא"ל מס'	שם הד"ר ח / המעבדה לחקר הכנרת
T14/2018	נשרי, ע'. 2018. הכנת תשתית מדעית לביצוע ניטור שוטף ארוך טווח בנחל הירקון. ד"ר ח ביניים, מוגש לרשות הירקון.
T15/2018	אסטרון, פ', סוקניק, א'. 2018. חנקן אורגני מומס בכנרת – אפיון המרכיבים, זיהוי המקורות והערכת השפעתו על אוכלוסיות הפיטופלנקטון ואיכות מי האגם. ד"ר ח מסכם, מוגש לרשות המים.
T16/2018	נשרי, ע', גבריאלי, א'. 2018. גישה אינטגרטיבית לבדיקת השפעת גופי מים בעמק החולה על הכנרת. ד"ר ח ביניים, מוגש ליחידת המחקרים, רשות המים.
T17/2018	ניניו, ש', סוקניק, א'. 2018. פיתוח אינדיקטורים מיקרוביאליים להערכת איכות מים ומצב טרופי של מערכות מים טבעיות – הכנרת כמודל. ד"ר ח ביניים, מוגש ליחידת המחקרים ברשות המים.
T18/2018	בארי-שלוין, י', צוות הניטור וחוקרי המעבדה לחקר הכנרת, חיא"ל. 2018. ד"ר ח חצי שנתי ניטור כנרת 2018. מוגש לרשות המים.
T19/2018	גל, ג', אסטרותי, מ', שחר, נ'. 2018. חיזוי שינויים במערכות אקווטיות בתגובה לשינויים חיצוניים על בסיס מודלים בזמן כמעט אמת. ד"ר ח חצי שנתי. מוגש למשרד האנרגיה.
T20/2018	גל, ג', אופיר, א', בן – יוסף ד', גורן מ'. 2018. מודלים אקולוגיים לניהול הסביבה הימית. מוגש לקרן יד הנדיב.

5.4 ייעוץ והשתתפות בוועדות ממשלתיות/לאומיות ומקצועיות בישראל ובח"ל

כללי

המעבדה לחקר הכנרת, כאחת היחידות של חקר ימים ואגמים לישראל, נותנת ייעוץ מקצועי לממשלה ע"י השתתפות של נציגים בוועדות ממשלתיות, השתתפות בדיונים של פורומים ממשלתיים שונים והגשת חוות דעת מקצועיות בע"פ ובכתב.

להלן מספר דוגמאות להשתתפות חוקרי המעבדה לחקר הכנרת בדיונים מקצועיים ופעולות ייעוץ לגורמים ממשלתיים ובינ"ל"א במהלך שנת 2018.

- ✓ הוגש דו"ח מסכם בנושא מודלים אקולוגיים, המסכם פרויקט שמטרתו לפתח כלים לסיוע בקבלת החלטות לגבי המרחב הימי של ישראל בים התיכון.
- ✓ הוגש דוח לרשות המים המסכם את אירוע הפריחה החורפית של הציאנובקטריה בכנרת.
- ✓ הוכן דוח מעקב אחר הופעה מאוחרת של פרידניום בכנרת לבקשת רשות המים.
- ✓ זיהוי חילזון פולש נוסף בכנרת. דיווח נשלח לרשות המים, לרט"ג ולחוקרים מהאקדמיה.
- ✓ החלה הסדרת ממשק חדש של העברת נתוני הניטור השוטפים לבסיס הנתונים הראשי של רשות המים.
- ✓ ייעוץ לרשות המים בנושא הזרמת מי התפלה לכנרת.
- ✓ במסגרת בחינת ההשפעה של הזרמת מי התפלה לכנרת, נערך פיילוט ראשוני של בדיקת חיידקים בנחלי ארבל, צלמון ועמוד. דו"ח נשלח לרשות המים.
- ✓ ייעוץ לרשות המים בנוגע לבעיית המלחת הכנרת, המפלסים הנמוכים ושילוב התנאים החריגים באגם בתקופה האחרונה.
- ✓ לבקשת רשות המים הוגשו הצעות לניטור מורחב של פריחות ציאנובקטריה וחיפוש מעיינות מלוחים בקרקעית הכנרת.
- ✓ הוגש למיג"ל דוח המסכם את הניטור הפיטופלנקטון באגמון החולה.
- ✓ לבקשת רט"ג נשלחה הצעה מפורטת לניטור של אוכלוסיית סומית הגליל (הסרטן העיוור).
- ✓ במסגרת ייעוץ לרשות נחל הירקון וניסיון לבנות עבורם בסיס ידע לצורך ניהול מיטבי של הנחל, נמשך ניטור בירקון ותוצאות ראשוניות דווחו לרשות ירקון.
- ✓ ייעוץ לרשות המים בנושא רעלני ציאנובקטריה בכנרת, שכלל פיתוח ויישום פרוטוקול דיווח מדורג לרשות המים, וכן דיגום ואנליזות ייעודיות במקרה של פריחה בכנרת.
- ✓ ייעוץ לחיל האויר בנושא חיפוש הטיס הנעדר יקיר נווה בכנרת.
- ✓ מתן חוות דעת לרשות המים בנושא ריכוזים חריגים של מתכות במים המסופקים לעיר טבריה.

✓ מספר מקרי חשד להרעלת דגים נבחנו גם השנה (ככל שנה), הממצאים מצביעים מספר פעמים בשנה על פעילות עבריינית של הרעלת דגים. השנה קיים חשד לניסויי תכשירים שונים לביצוע פעילות זו המאלצים ניתוח מעמיק יותר. דיווחים נשלחו לאגף הדיג במשרד החקלאות, רט"ג ולרשות המים.

✓ ייעוץ לחברת "מקורות" בהקשר לפיטופלנקטון ובקטריופלנקטון במאגרי אשכול בעקבות אירועי הרעלת דגים במאגרים. דו"ח ביניים הוגש לחברת "מקורות".

✓ ייעוץ לרשות המים ולמשרד התיירות בנושא צמחיית חופי הכנרת. נערך סיור חופים באזורי בניית מלונות עם מנכ"ל משרד התיירות, ראשי מועצות סובב כנרת וגורמים נוספים. כמו כן נערך דיון מסכם במעבדה לחקר הכנרת.

✓ ייעוץ לרשות המים בנושא בחינת תוספים כימיים למערכות מים מתוקים למניעת התפתחות פיטופלנקטון.

אנליזות של צילומי לוויין לגבי פרמטרים שונים רלוונטיים של הכנרת נשלחים באופן שוטף למשרדי הממשלה הנוגעים.

השתתפות בפורומים מקצועיים

השתתפות חוקרים בוועדות ממשלתיות לאומיות ומקצועיות בישראל ובחו"ל

✓ ועדת התפעול העליונה למשק המים, רשות המים (ג' גל, י' בארי-שליון משקיפים).

✓ הוועדה הלאומית להידרולוגיה (UNESCO), משרד המדע והטכנולוגיה (א' רימר (ז"ל), חבר עד מועד פטירתו).

✓ הוועדה לממשק דיג בכנרת, משרד החקלאות (ת' זהרי, חברה, ג' גל משקיף).

✓ ועדת אינטרדוקציה של בע"ח ואצות, משרד החקלאות (א' אוסטרובסקי, חבר).

✓ צוות היגוי ניטור כנרת ואגן ההיקוות, רשות המים (ג' גל, י' בארי-שליון משקיפים).

✓ ועדה לניטור ומניעת הרעלות דגים בכנרת, משרד החקלאות (ג' גל, י' בארי-שליון משקיפים).

✓ חבר ועדת ההיגוי של הפורום הציבורי למים (י' בארי-שליון).

✓ נציג הקהילה הלימנולוגית הישראלית בארגון הבין-לאומי SIL (א' אוסטרובסקי).

✓ מזכירה כללית וגזברית של ארגון הלימנולוגים הבין-לאומי SIL (ת' זהרי).

✓ ועדה מייעצת מדעית מקצועית לרשות הטבע והגנים (א' סוקניק).

✓ ניהול תחנת חקר במדעי המים בגליליוס, מיזם להעשרה ולמצוינות במדעים באשכול גליל-מזרחי (ר' קפלן-לוי).

✓ The Management Committee member at the European Cooperation in Science and Technology (COST) ESSEM COST Action ES1405 "Marine gas hydrate - an indigenous resource of natural gas for Europe (MIGRATE)". (א' אוסטרובסקי).

✓ *The Management Committee* at the Specialist Group on Lake and Reservoir Management, International Water Association (א' אוסטרובסקי)

חברות במערכות של עיתונים מדעיים

יו"ר הוועד המנהל של כתב העת "אקולוגיה וסביבה" (א' סוקניק).	✓
חבר מערכת Advances in Oceanography and Limnology (א' סוקניק).	✓
Frontiers in Aquatic Microbiology - Editorial Board (א' סוקניק).	✓
Hydrobiologia - Editorial Board (ג' גל).	✓
Inland Waters - Editorial Board (ת' זהרי).	✓
Inland Waters - Editorial Board (ו' אקרט).	✓
Scientific Reports (Nature) - Editorial Board (ו' אקרט)	✓
Journal of Aquaculture & Marine Biology - Editorial Board (א' אוסטרובסקי)	✓
Ecological Informatics - Editorial Board (א' אוסטרובסקי)	✓