

ניטור ומחקרי כנרת דוח פעילות המעבדה בשנת 2019



הליליאן חוזרת למעגן. צילום: עוז צברי – דר.



חקר ימים ואגמים לישראל בע"מ (חל"צ) Israel Oceanographic & Limnological Research Ltd. (PBC)
המעבדה לחקר הכנרת ע"ש יגאל אלון The Yigal Alon Kinneret Limnological Laboratory
ת.ד. 447 מגדל 14950, ישראל, טלפון: 04-6721444 Tel: 04-6724627 Fax: 04-6724627
www.ocean.org.il

ניטור ומחקרי כנרת דו"ח שנתי 2019

המעבדה לחקר הכנרת, חקר ימים ואגמים לישראל

דו"ח חיא"ל T9/2020

בעריכת ד"ר גדעון גל ואיילה לובל - ילס

יולי 2020



עיקרי הדו"ח - תמונה כללית: הכנרת בשנת 2019

שנת 2019 הושפעה מחורף 2018/19 הגשום שהגיע לאחר רצף של חמש שנות הבצורת אשר פקדו את צפון ישראל והביאו לירידה במפלס האגם, למפלס של 214.65- מ' שהיה גבוה ב-22 ס"מ בלבד מהשיא השלילי שנרשם בדצמבר 2001. הירידה במפלס לוותה בעליה במליחות שנשקה בשיא לכ- 325 מ"ג כלור לליטר. החורף הגשום ב- 2018/19 היווה שינוי מגמה וכתוצאה מכך נצפתה עליה של 3.46 מ' במפלס עד לרום של 211.19- מ'. חורף 2019/20 תרם שוב לעלייה של המפלס ובמאי 2020 נרשם מפלס 208.89- מ', סה"כ עליה מצטברת של 5.77 מ' מאז דצמבר 2018. לעליה המבורכת במפלס האגם היו מספר השלכות על האגם שאת חלקם ניתן היה לזהות במהלך השנה וחלקם, על בסיס הידוע לנו מהעבר, יחשפו בעתיד. העלייה במפלס הציפה שטחי חוף נרחבים שכוסו במהלך שנות הבצורת בצמחיה רבה. לצמחיה החופית תפקיד חשוב בשמירה על אוכלוסיות הדגים, כגון האמנונים, התורמים רבות למערכת האקולוגית ואשר מנצלים את הצמחייה להגנה מפני טורפים במהלך תקופות ההטלה, דגירה, בקיעה ואימון של הצעירים. יחד עם זאת, הצמחייה מקשה על גישה של נופשים למים, עלולה ליצור מפגעי ריח ויתושים, וכן לשחרר כמות גדולה של נוטריינטים לאגם עם התפרקות הצמחייה במים. המעבדה לחקר הכנרת פעלה יחד עם רשות המים ורשות ניקוז כנרת לצמצם, מצד אחד, את הפגיעה בנופשים ובעלי החופים, ומצד שני, לשמור על אזורי צמחיה לטובת אוכלוסיות הדגים באגם. עליית מפלס חריגה כפי שנראתה בחורף 2018/19 התבטאה בעבר בהצלחת רבייה גדולה מאוד של דגי הלבנון שתורגמה לביומסה מאוד גדולה ולחץ טריפה גדול על הזואופלנקטון באגם. לרוב עדויות לכך נראות כשנה וחצי לאחר עליית המפלס. נכון לכתיבת שורות אלו לא נצפתה ירידה ממשית בריכוז הזואופלנקטון באגם שתעיד על לחץ טריפה מוגבר. איכות המים בכנרת מכומתת באמצעות מדד ייחודי ("מדד הקיימות של הכנרת") שפותח במעבדה לחקר הכנרת. ערך המדד של 2019 היה מעט נמוך מערך המדד בשנת 2018 ועמד על ערך של 49 אשר רחוק מהסף של הערך הקביל (60). סף הערך הקביל מעיד על שמירת המערכת האקולוגית של האגם בתנאים דומים לאלו שנצפו עד לתחילת שנות ה-90. ערכי המדד עבור שנת 2019, ובשנים שקדמו לה, נמצאים הרבה מתחת לסף הקביל. בנוסף, ערכי המדד סובלים מחוסר יציבות בולט, עם דפוס של עליות וירידות משמעותיות מאז אמצע שנות ה-90. גם בשנה החולפת הסיבה העיקרית לערך המדד הנמוך היה הריכוז הגבוה של כחוליות במים במהלך החורף-אביב. במהלך השנה, נרשמה בכנרת נוכחות של מיקרוציסטיס בחודשי החורף ינואר-מרץ עם ביומסה משמעותית וריכוז מיקרוציסטינים במים שלא עלה על ערך של 1.5 מיקרוגרם לליטר. בחודשי הקיץ והסתיו נצפתה בכנרת אוכלוסייה של אפניזומנון ששיאה



היה באוגוסט-ספטמבר 2019 ונמדד הרעלן צלינדרוספרמופסין במים בספטמבר בריכוז של כ- 1.5 מיקרוגרם לליטר.

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. בנוסף, ניתן להתעדכן במצב האגם על בסיס נתונים המשודרים לאתר בזמן אמת וכן תמונה מהמצלמה המותקנת על הדוברה בתחנה A. את מצב האגם ניתן למצוא בלינק: http://kinneret.ocean.org.il/lake_state_rtl.aspx

טבלה 1: עיקר ממצאי הניטור לשנת 2019

הממצאים	משתנה
מפלס המים באגם עלה במהלך חורף 19/2018 מנקודת שפל בדצמבר 2018 של -214.65 ועד לרום של -211.19 במאי 2019, עליה של 3.46 מ'. בעקבות חורף 20/2019 המפלס המשיך לעלות והגיע לרום של -208.89, במאי 2020. סה"כ עליה מצטברת של 5.77 מ' מאז דצמבר 2018.	מפלס
ערך המדד בשנת 2019 היה מעט נמוך מערכו בשנת 2018 ועמד על 49 שהינו ערך נמוך ומבטא מצב שבו המערכת האקולוגית רחוקה מהמצב שאנו שואפים לשמר. ריכוזים גבוהים וחריגים בעיקר בכחוליות, אבל גם של זואופלנקטון, בחצי הראשון של השנה, היו הסיבות העיקריות לערך המדד הנמוך.	מדד הקיימות של הכנרת
תקופת השיכוב התרמי במהלך 2019 נמשכה 307 יום, בהשוואה לממוצע רב שנתי של 293 ± 18 יום. טמפרטורות המים בשכבה העמוקה היו חמות ב-0.3 מעלות ביחס לממוצע הרב שנתי של העשור האחרון. השכבה הרדודה (0-10 מ') הייתה קרה ב-0.2 מעלות בממוצע מהממוצע הרב שנתי.	טמפ' המים
בעקבות החורף הגשום ב-19/2018 הייתה ירידה תלולה בריכוז הכלוריד באפילימניון לכדי 290 מג"ל בסוף שנת 2019, מערכי שיא של 325 מג"ל בנובמבר 2018.	כלוריד
ערכי זרחן כללי, זרחן מומס וזרחן מומס מגיב באפילימניון של שנת 2019 היו דומים לערכים של הממוצע הרב שנתי.	זרחן



משתנה	המצאים
חמצן	באפילימניון ערכי החמצן בשנת 2019 היו דומים לממוצע הרב שנתי. שיא ריכוזי החמצן בשכבה זו התאחר בחודש ביחס לשנים קודמות. מגמת התפתחות החמצן בשכבת ההיפולימניון הייתה דומה למגמה הרב שנתית אך שונה בצורה בולטת מזו של השנה הקודמת (2018) בה לא התרחש היפוך מלא.
חנקן	ערכי חנקן כללי ואורגני באפילימניון דומים לערכי הממוצע הרב שנתי אם כי בחודשים אפריל – מאי נרשמו ערכים גבוהים. גם עבור ניטראט ישנם ערכים גבוהים מהממוצע הרב שנתי ושיא הריכוזים מאוחר יחסית באפריל ומאי. הערכים הגבוהים הם תוצאה של ספיקות גבוהות מהנחלים.
קיבוע חנקן	בשנת 2019 נמדדו ערכי קיבוע חנקן נמוכים יחסית לשנים האחרונות, וסה"כ קיבוע החנקן לשנה זו הסתכם ב- 47.3 טון לאגם, בהשוואה ל- 70.66 טון בשנת 2018, ו- 94.53 טון בשנת 2017. ערך הקיבוע בשנת 2019 היה הנמוך ביותר מאז 2013.
ייצור שניוני חיידיקי	בשנת 2019 נמדדה פעילות חיידיקית גבוהה מזו שנמדדה בשנים האחרונות. ערכי שיא שנתיים נרשמו באפריל וביולי עם קצבי קיבוע של 2,181 מ"ג פחמן למ"ר ליום, ו- 1,793 מ"ג פחמן למ"ר ליום. מהתוצאות עולה כי הפיזור האנכי של הפעילות מצביע על כך שהפעילות ממוקמת גם באזור הפוטי, וגם בעומק האגם.
מאזני פחמן, חנקן וזרחן	נצפו עליות השנה בשטפי פחמן, חנקן וזרחן לאגם בעיקר מכניסות מהנחלים. עליה בולטת במיוחד הייתה בשטף החנקן לאגם מהנחלים. נרשמה השנה עליה משמעותית בערכי קבורה של פחמן, חנקן וזרחן לסדימנט בקרקעית האגם. השנה היחס GPP/CR ירד ביחס לשנה הקודמת.
פיטופלנקטון	שנת 2019 הייתה שנה שביעית ברצף ללא פריחת פרידיניום, והשנה ה- 17 ללא פריחה מתוך 24 השנים מאז 1996. הפיטופלנקטון ב- 2019 התנהג שונה מאשר בעבר, עם פריחות של מינים שלא פרחו בעבר, ובתזמונים לא שגורתיים. זאת כנראה בגלל היות 2019 שנה גשומה אחרי רצף של 5 שנות בצורת קיצונית, עם עליית מפלס גדולה. באביב 2019 התפתחה פריחה מאסיבית של אצה ירוקית, סטאורסטרום, שבשנתיים הקודמות פרחה בסתיו.

משתנה	המצאים
<p>כחוליות רעילות ורעלנים</p>	<p>בשנת 2019 נרשמה בכנרת נוכחות של מיקרוציסטיס בחודשי החורף ינואר עד יוני. בתקופה זו ריכז המיקרוציסטינים במים לא עלה על 1.5 מיקרוגרם לליטר. בחודשים ינואר עד מרץ ריכז הרעלנים בצופת שנאספה היה נמוך. אולם, מתחילת אפריל ועד סוף יוני, ריכז הרעלנים בצופת מיקרוציסטיס היה חריג ונמדדו ערכים של מעל 2 מיליגרם לגרם חומר יבש. בחודשי הקיץ והסתיו נצפתה בכנרת אוכלוסייה של אפניזומנון ששיאה היה באוגוסט-ספטמבר 2019 ונמדד צלינדרוספרמופסין במים בספטמבר בריכוז של כ- 1.5 מיקרוגרם לליטר.</p>
<p>זואופלנקטון</p>	<p>בשנה האחרונה נמשכה מגמת העליה בצפיפות הזואופלנקטון, במיוחד אוכלוסית הקופפודים שרשמה צפיפות שיא חריגה של 1,100 פרטים לליטר במהלך חודש מאי. באותו חודש נרשמה צפיפות גבוהה גם של רוטיפרים (6,200 פרטים לליטר). הצפיפות הכללית של הזואופלנקטון הייתה הגבוהה ביותר מאז תחילת דיגום הפרופילים ב-2003.</p>
<p>דגים</p>	<p>צפיפויות הדגים מכל קבוצות הגודל בכל העונות היו דומות או אפילו נמוכות מהתחומים הנמוכים שנצפו בשנים 2011-2018. הצפיפות הממוצעת של דגים הגדולים מ-60 dB הייתה 1.4 פרטים / מ"ר שמהווה את הערך הנמוך ביותר שנרשם מאז 2011. הדבר מצביע על ירידה משמעותית בדגים, מכל קבוצות הגודל, במפלסי המים הנמוכים יותר. בינואר 2019 התרכזו הדגים בחלק הצפון-מערבי של האגם. בשאר העונות נרשמו צפיפויות הדגים הגדולות ביותר בקצה הצפוני של האגם ובדצמבר נמצאו גם להקות דגים בחלקו הדרומי של האגם.</p>
<p>חלזונות</p>	<p>שינויי המפלס הובילו להתמעטות קיצונית של החלזונות הטבעיים לכנרת והופעת והשתלטות של מין פולש. מאז 2012 ועד היום החילזון הפולש, <i>Thiara scabra</i>, מהווה מעל 95% מסך החלזונות באגם, בריכחים של אלפי עד עשרות אלפי פרטים למ"ר בעומקים 2.5 ו-5 מ'. מהמינים הטבעיים בכנרת, נצפו ב-2019 רק פרטים בודדים של ביטיניה. משני המינים הפולשים החדשים שנצפו ב-2018, רק אחד מהם, פירגופורוס, נצפה ב-2019 במקרה בודד והמין השני, טרביה, לא נמצא כלל.</p>

הממצאים	משתנה
<p>הריכוזים של חומרי ההדברה נמוכים ביותר באגם וכולם מתחת ל- lppb ועל כן לא היוו מקור לדאגה. מספר דגימות הדגים שהובאו כחשד למקרי הרעלה היה נמוך ביותר השנה. יחד עם זאת, דוגמאות דגים שהגיעו באוגוסט מאזור חוף גולן הצביעו על הרעלה בעזרת אנדוסולפן.</p>	חומרי הדברה
<p>בשנת 2019 נמדדו ריכוזים גבוהים מאוד של חיידקים אינדיקטורים לצואה בתקופת החורף. נמצא שעיקר הזיהום החיידקי שנמדד השנה בכנרת היה בחודשי החורף, ינואר ופברואר, עם ערכים הגבוהים בסדר גודל מאלו שנרשמו ב- 2018 – 9,200 ו- 4,500 חיידקי קוליפורמים צואתיים ל- 100 מ"ל בנקודת הדיגום מול שפך הירדן. מקור הזיהום נבחן בשיטות מולקולריות ונמצא שבמקרים רבים מדובר במעלי גירה, אך נמצאו גם זיהומים ממקור חזירים וממקור הומאני.</p>	אינדיקטורים לזיהום
<p>קצבי הסדימנטציה בכל התחנות היו דומים לערכים הממוצעים שנרשמו בתקופה 1999-2018. קצבי השיקוע בתחנות A, F, M ו-K היו 3.2, 9.5, 7.0 ו-8.7 גרם חומר יבש/מ"ר/יום, בהתאמה.</p>	קצבי שיקוע
<p>בין ינואר לאפריל 2019 ריכוזי הכלורידים בצינור הברבוטים עלו מ-1,300 עד 1,700 מ"ג/ליטר ולאחר מכן החלו בירידה מתונה עד 1,346 מ"ג"ל באמצע דצמבר. כל זה בניגוד לערכים של כ-1,000 מ"ג"ל במהלך שנת 2018. ערכי ריכוז הניטרט הנמוכים, בהמשך למגמה ארוכת הטווח, נשמרים ועומדים על כ-0.5 מ"ג"ל.</p>	הנביעה בברבוטים

תוכן עניינים

1	1 הקדמה: שילוב פעולות הניטור והמחקר במעבדה לחקר הכנרת
	2 ניטור הכנרת (במימון רשות המים)
3	2.1 מבוא
8	2.2 מדד הקיימות של הכנרת
13	2.3 מאזני חנקן, זרחן ופחמן בכנרת
18	2.4 מפלס האגם
20	2.5 מטאורולוגיה ופיזיקה של האגם לשנת 2019
26	2.6 ממצאי הניטור הכימי
33	2.7 קיבוע חנקן
37	2.8 ייצור שניוני חיידקי
40	2.9 ניטור מתכות כבדות בכנרת
43	2.10 פחמן אורגני ואנאורגני מומס וחלקיקי
47	2.11 מדידת פרמטרים בצינור הברבוטים
51	2.12 איתור נביעות מלוחות נוספות
55	2.13 קצבי סדימנטציה
58	2.14 זרחן באבק
61	2.15 חיידקים אינדיקטורים לזיהום צואתי
66	2.16 כלורופיל וייצור ראשוני
70	2.17 ניטור פיטופלנקטון
75	2.18 רעלני כחוליות
80	2.19 מעקב מוגבר אחר פריחות ציאנובקטריה ורעלנים במים
89	2.20 ניטור ציליאטים בכנרת
94	2.21 ניטור זואופלנקטון
102	2.22 אוכלוסיית הדגים - סקרים הידרואקוסטיים



106	2.23 בחינת נוכחות חומרי הדברה במי האגם ובדגה
108	2.24 חלזונות וצדפות בליטוראל
113	2.25 דיגום אוטומטי ברזלוציה גבוהה – מרכז האגם
118	2.26 התקנת פרופיילר אוטונומי נוסף בתחנה G הכולל תחנה מטאורולוגית
120	2.27 איכות מי הכנרת באמצעות צילומי לוויין המשולבים במערכת SISCAL
124	2.28 בסיס הנתונים מרכז מידע כנרת
129	2.29 אתר האינטרנט של מרכז מידע כנרת

3 מחקרי כנרת

131	3.1 בדיקת הזרמת מי התפלה לכנרת באמצעות מודל תלת מימדי
137	3.2 הערכת ההשפעה של הזרמת מי התפלה על מרכיבים ביולוגיים באגם
142	3.3 הדינמיקה של תהליכי חימצון/חיזור בכמוקלינה של אגם הכנרת ניתוח כימי-גנטי
145	3.4 השפעת המליחות בכנרת על התבססות מיקרואורגניזמים שמקורם באבק אטמוספרי השוקע באגם
150	3.5 פיתוח אנדיקטורים מיקרוביאליים להערכת איכות מים ומצב טרופי של מערכות מים טבעיות - הכנרת כמודל
155	3.6 אקולוגיה מולקולרית של החיידק הפתוגני ליגינולה באגם הכנרת
160	3.7 גישות חדשניות לבקרה ומניעת פריחות של ציאנובקטריה רעילות בגופי מים
164	3.8 מערכת ICT לזיהוי תגובת עמידות אקולוגית במערכות מים מתוקים
167	3.9 חיזוי שינויים במערכות אקווטיות בתגובה לשינויים על בסיס מודלים בזמן כמעט אמת
174	3.10 שימוש בציד אקוסטי מתקדם לזיהוי דגים והערכת ביומסה למטרת ניהול ממשק דייג אופטימלי בכנרת
178	3.11 השפעת הצומח החופי על האקולוגיה והפיתוח התיירותי של הכנרת
181	3.12 יערות אשלים מוצפים – בית גידול חדש בכנרת

4 מחקרי אגן ההיקוות של הכנרת וגופי מים אחרים

- 4.1 אפיון היציבות ההידרולוגית-סדימנטולוגית של התא הליטורלי בבקעת בית צידא, הכנרת,
צפון ישראל והשלכות לגבי בתי גידול אקולוגיים במערכת זו 189
- 4.2 בחינה והמלצה למתכונת לניטור נחל הירקון 193
- 4.3 הערכה כמותית של משקעים מנתוני ההנחתה של האות הסלולרי בהתבסס על ניתוח
היסטורי של עוצמות גשם 197
- 4.4 מידול השפעת התמלחת ממתקני ההתפלה על מארג המזון בים תיכון 203
- 4.5 פיתוח מודלים אקולוגיים למרחב מדף היבשת וים עמוק במסגרת תכנית הניטור 211
- 4.6 גליליום – מיזם העשרה ומצוינות במדעים אשכול גליל מזרחי 215

5 נספחים

- 5.1 סטודנטים לתארים מתקדמים בהנחיית חוקרי המעבדה לחקר הכנרת 2019 218
- 5.2 פרסומי המעבדה בספרות הבינלאומית המבוקרת ב- 20/2019 221
- 5.3 דו"חות המעבדה 2019 228
- 5.4 ייעוץ והשתתפות בוועדות ממשלתיות / לאומיות ומקצועיות בישראל ובחו"ל 230
- 5.5 ביקורים במעבדה בשנת 2019 232

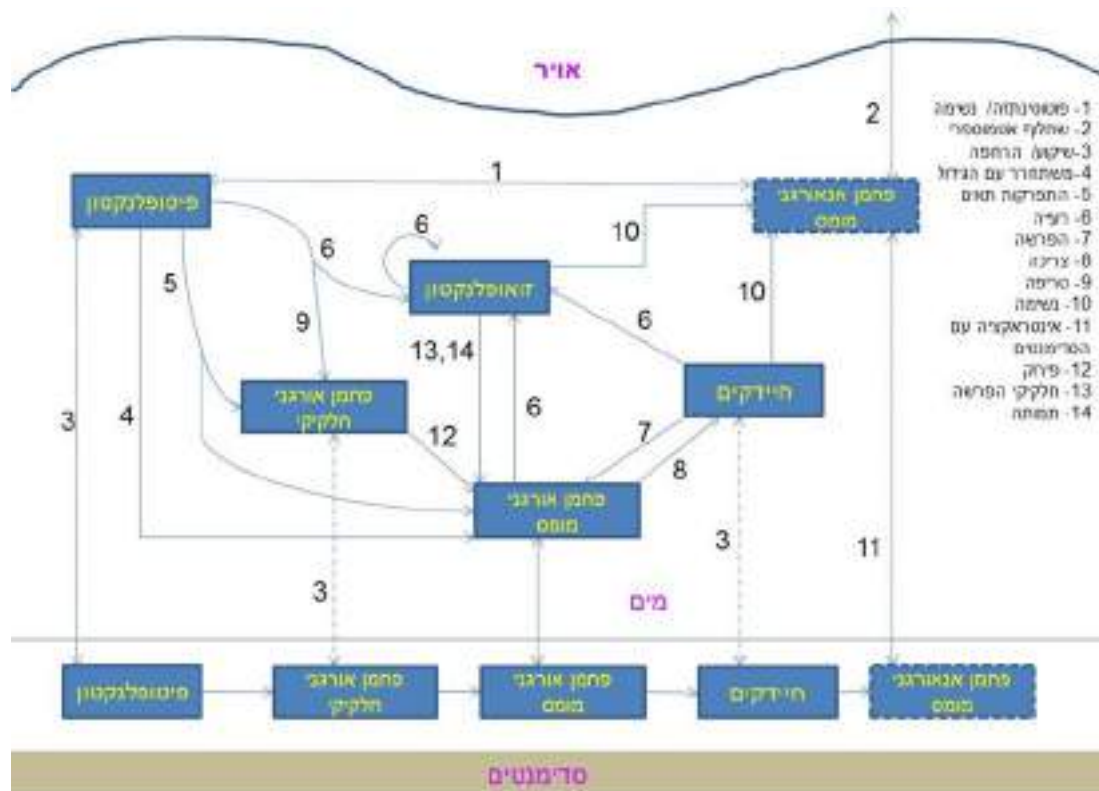


1 הקדמה: שילוב פעולות הניטור והמחקר במעבדה לחקר הכנרת

יעדיה העיקריים של המעבדה לחקר הכנרת, חקר ימים ואגמים לישראל, הם בראש ובראשונה, פיתוח כלים מדעיים לתמיכה בקבלת החלטות בנושא תפעול הכנרת כמערכת אספקת המים הארצית, שימור המערכת האקולוגית והמשך פיתוח מרכז הידע הלימנולוגי, מהמובילים בארץ ובעולם. צוות המעבדה פועל להשגת יעדים אלו ע"י שילוב של תכנית ניטור מקיפה של האגם ופעילות מחקרית מדעית. המעבדה לחקר הכנרת פועלת להבנת מכלול התהליכים הפיזיקליים, 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 מוצג מחזור הפחמן בכנרת באופן סכמתי. האיור מבטא את הגורמים המאלצים המשפיעים באופן ישיר על מרכיבים של המערכת האקולוגית הקיימת באגם. לדוגמה, נוטריינטים וגורמי גידול או עיכוב שנכנסים מאגן ההיקוות משפיעים על התפתחות האצות והחיידקים. באיור מוצגים המרכיבים העיקריים של המערכת האביוטית: נוטריינטים (בסכמה זו מיוצג/מסומן רק פחמן אנאורגני מומס), חומר אורגני מומס, חומר אנאורגני חלקיקי, ורכיבי המערכת הביוטית: אצות, חיידקים, זואופלנקטון (ודגים שאינם מוצגים). התהליכים הקושרים בין המרכיבים האלו מסומנים בחיצים. עבודות הניטור והמחקרים המתבצעים במעבדה לחקר הכנרת מיועדים בין השאר גם לשפר את המודלים הכמותיים ולהבהיר מה הם החלקים הקריטיים במערך מורכב זה. בעזרת המודלים ניתן להגיע להבנה מפורטת יותר של מידת ההשפעה של הגורמים השונים על רמת האיטרופיקציה, על איכות המים ועל מצב המערכת האקולוגית. המעבדה לחקר הכנרת גם נותנת 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 פורומים ממשלתיים ומקצועיים, ישראליים ובינלאומיים. בנוסף, החוקרים היו פעילים כעורכים בעשרה כתבי עת מקצועיים בינלאומיים, פרסמו 25 מאמרים בכתבי עת מדעיים, הגישו 19 דוחות לגופים מממנים ולגופים ממשלתיים שונים.

חוקרי המעבדה לחקר הכנרת הנחו במהלך שנת 2019 סה"כ 21 סטודנטים לתארים מתקדמים (מסטר, דוקטורט ופוסט-דוקטורט) ממגוון אוניברסיטאות בארץ ובעולם. עובדי המעבדה הדריכו לימדו וקיימו ימי העשרה לכ-150 תלמידי בתי-ספר, ובנוסף, קיימו הדרכות לכ-10 קבוצות של מורים, מדריכים ממשרד החינוך ורשויות ניקוז וכן מתלמידים מארגוני מים מחו"ל.

המעבדה לחקר הכנרת מפרסמת כבר שנים רבות את הדוח השנתי הכולל סקירה של הפעילות המחקרית והניטורית של צוות המעבדה. הפעילות המחקרית מתבססת על מימון המגיע מקרנות מימון שונות על בסיס הצעות המחקר המוגשות אליהם. הפעילות הניטורית מממונת בעיקרה ע"י רשות המים ומשרד האנרגיה. השנה עברנו לפורמט חדש של הדוח השנתי שאנו מקווים יהיה קל ונעים יותר לקריאה. ברצוני להודות בהזדמנות זאת לאיילה לובל-ילס, מזכירת המעבדה, שעבדה רבות על הכנת הפורמט החדש וסייעה בעריכת הדוח.



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

2 ניטור הכנרת (במימון רשות המים) 2.1 מבוא



במימון
רשות
המים

צוות המעבדה לחקר הכנרת, חיא"ל

- נתוני הניטור שנאספו בכנרת במשך יותר מ- 50 שנה מהווים בסיס נתונים ומידע ייחודי באופיו, הן בשל רמת דיוק המדידות והן בשל רציפותן, המשמש לקבלת החלטות תפעוליות ומדיניות סביבתית.
- תכנית הניטור של הכנרת הורחבה במהלך שנת 2019 לכלול תחנה מול שפך הצלמון לצורך ניטור רקע כהכנה להזרמת מי מערכת לכנרת דרך נחל צלמון.
- ניטור אדפטיבי של אוכלוסיות הכחוליות מופעל במסגרת ניטור "קשת צפונית". ניטור קשת צפונית מבוצעת עם סימנים ראשונים של התפתחות פריחת כחוליות ומבוצעת עד דעיכת הפריחה ומתבצעת במקביל למעבר לזווין מעל הכנרת.

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 ולשירות המטאורולוגי 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 ופיראס תלחמי מרשות המים, מלווה לאורך שנים את תכנית הניטור ותורם לשיפורה ולהכוונת דרכי פעולתה.

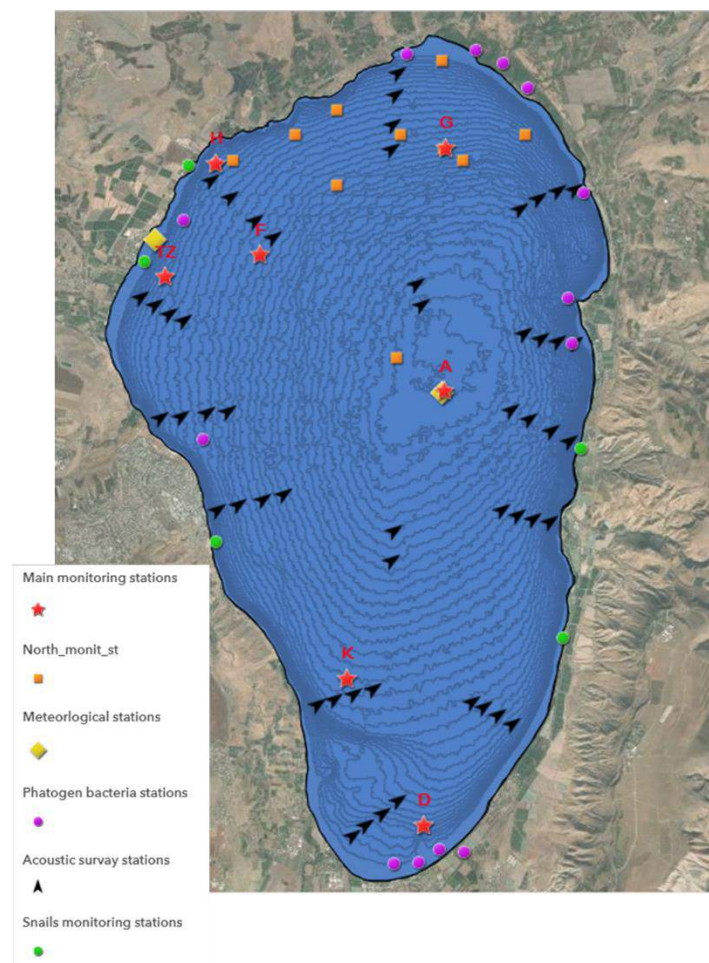
מערך הניטור בכנרת פועל מעל חמישים שנה ומטרתו לעקוב אחר איכות מי הכנרת, לעמוד על שינויים באיכות המים וללמוד על התהליכים המשפיעים על איכותם. צוות המעבדה לחקר הכנרת אחראי לניטור האגם בעוד שיחידת אגן ההיקוות של חברת "מקורות" פועלת לכימות התרומות המגיעות אליו מאגן הניקוז, והשירות ההידרולוגי אחראי על כימות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

יעדי תכנית 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 תכנית 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 הניקיה של המוביל הארצי נבדקים רק חלק מהמשתנים. תחנה חדשה שנוספה במהלך השנה הינה תחנה TZ הממוקמת בשפך נחל צלמון. התחנה נוספה על מנת לאפשר ניטור ויצירת בסיס נתוני רקע לקראת ההזרמה הצפויה של מי מערכת דרך נחל צלמון בשנים הקרובות. ניתן לזהות במפה גם את תחנות הדיגום במה שמוכר כ"קשת הצפונית".

הקשת הצפונית כוללת סדרת תחנות בצפון האגם, המנוטרות רק במהלך תקופות של פריחת כחוליות. עיקר הניטור נעשה בעזרת מכשיר ה-FluoroProbe ומטרת הניטור הינה הרחבת ההבנה, והמעקב אחר ההתפתחות העונתית של פריחת הכחוליות.



תחנות מטאורולוגיות ממוקמות במרכז האגם בתחנה A ועל החוף בגינזור ותחנות דיגום אבק ממוקמות על גג המעבדה לחקר הכנרת ובחוף כינור. ישנם מספר משתנים הנמדדים בחלוציה גבוהה כגון אלו הנמדדים ע"י הפרופיילר בתחנה A, וטמפרטורה בעזרת שרשרות התרמיסטורים בתחנות A ו-F ושרשרת נוספת שנוספה בתחנה D במהלך השנה האחרונה. נתוני הניטור שנאספו בכנרת במשך יותר מ- 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) מחד, ומטרות וסוגיות שעולות לסדר היום, מאידך. השמירה על תכנית הניטור לאורך השנים הינה חיונית לצורך קבלת תמונה מהימנה של השינויים המתרחשים במערכת האקולוגית ויחד עם זה עליה להיות דינמית במידה מסוימת על מנת לתת מענה לבעיות ושינויים המתרחשים באגם.



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

השינויים שחלו במערכת האקולוגית בשנים האחרונות, בעיקר התגברות תדירות, עוצמה ומשך פריחות הציאנובקטריה באגם מצריכים שיפור ביכולות הדיגום המרחביות. התקנת תחנת דיגום רציף נוסף בצפון האגם, האזור שבו מתפתחות לרוב הפריחות, היא צעד הכרחי.

בימים אלו פועלים להתקנה של תחנת דיגום אוטומטי בצפון הכנרת שנרכשה במימון משותף של חיא"ל ורשות המים. צעדים חיוניים נוספים כוללים הרחבה של אמצעי הדיגום המרחביים כגון ה- FluoroProbe אשר החל לפעול במהלך שנת 2018. עם זאת, 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 חיידקים אינדיקטורים, עומק "סקי" וחומרי הדברה. (* תחנות TZ,K - אחת לשבועיים - בים גדול).

סוג הבדיקה	תחנות דיגום	תדירות הדיגום
מטאורולוגיה		
טמפרטורת האוויר	גינסר, A	כל 10 דקות
לחות יחסית	גינסר, A	כל 10 דקות
טמפרטורת פני המים	A	כל 10 דקות
רוח (כיוון ומהירות)	גינסר, A	כל 10 דקות
קרינה קצרת גל	גינסר, A	כל 10 דקות
קרינה ארוכת גל	גינסר, A	כל 10 דקות
לחץ ברומטרי	A	כל 10 דקות
קרינת אור, PAR	גג המעבדה	רציף (ממוצע שעות)
פיזיקה		
פרופיל טמפרטורה במים	A, D, G, H, K*, TZ*	אחת לשבוע
טמפרטורה במים שרשרת טרימיסטורים	D	כל 10 דקות
עומק סקי	A, D, G, H, K*, TZ*	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, TZ	אחת לשבועיים
כלוריד	A, D, G, H, K*, TZ*	אחת לשבוע
מוליכות חשמלית	A, D, G, H, K*, TZ*	אחת לשבוע
סידן	A, D, G, H, K, TZ	אחת לשבועיים
סולפיד	A, D,H, K	אחת לשבועיים
חנקן (קילדל) מסיס	A, D*, G, H*, K*, TZ*	אחת לשבוע
חנקן (קילדל) כללי	A, D, G, H, K*, TZ*	אחת לשבוע
אמוניה	A, D, G, H, K*, TZ*	אחת לשבוע
ניטריט	A, D, G, H, K*, TZ*	אחת לשבוע
ניטרט	A, D, G, H, K*, TZ*	אחת לשבוע
חמצן	A	אחת לשבוע
	D, G, H, K, TZ	אחת לשבועיים
pH	A, D, G, H, K*, TZ*	אחת לשבוע
זרחן כללי מומס	A	אחת לשבוע
	D, G, H, TZ	אחת לשבועיים
אורטופוספאט	A	אחת לשבוע
	G,D,H,TZ	אחת לשבועיים
זרחן כללי	A, D, G, H, K*, TZ*	אחת לשבוע

תדירות הדיגום	תחנות דיגום	סוג הבדיקה
אחת לשבועיים	A	סיליקה
אחת לשבועיים	A, D, G, H, K, TZ	גופרה (סולפאט)
אחת לשבועיים	A, D, G, H	מוצקים מרחפים TSS
אחת לשבוע	A, D, G, H, K*, TZ*	עכירות
אחת לשבועיים	A	פחמן אורגני
אחת לשבועיים	A, D, G, H, K, גשר אריק	חמרי הדברה
אחת לחודש	A	רעלני כחוליות
אחת לשבוע	מעבדה, כינר	זרחן באבק
		ביולוגיה
אחת לשבועיים	A	פיטופלנקטון
אחת לשבועיים	A	כלורופיל
אחת לשבועיים	A	יצרנות ראשונית
אחת לשבועיים	A	זואופלנקטון
אחת לחודש	A	ריסניות (מיקרו-זואופלנקטון)
עונתי	10 חתכים באגם כולו	דגים
אחת לחודש	14 תחנות במים רדודים	חיידקים ממקור צואתי
אחת לחודש	A	יצרנות חיידקית
אחת לחודש	A	נשימה קהילתית
אחת לחודש בזמן פריחות	A	קיבוע חנקן
פעמיים בשנה	5 תחנות חופיות	חלזונות
אחת לשבוע	A, D, G, H, K*, TZ*	פלואורופרוב
		ניטור סינופטי
אחת ל-16 ימים	סינופטי באגם כולו	פיזור מרחבי של טמפ', כלורופיל ועכירות - SISCAL

2.2 מדד הקיימות של הכנרת



במימון
רשות
המים

גדעון גל, נעם שחר

- מדד הקיימות של הכנרת ממשיך להציג ערכים נמוכים ורחוקים מהערך הקביל.
- שני משתנים עיקריים היו בבסיס ערכי המדד הנמוכים: הכחוליות והזואופלנקטון.
- לאורך השנים, תדירות החריגות של הכחוליות מערכי מדד קבילים הינה פי 5 מהצפוי.

מטרת המחקר

איכות המים בכנרת מכומתת באמצעות מדד ייחודי שפותח במעבדה לחקר הכנרת. המדד המקורי פותח בסוף שנות ה-90, ובמהלך שנת 2014 עבר שינויים בהתאם לבקשת 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 2017¹). בנוסף לערך מדרג המחושב עבור על אחד מהמשתנים, מחושב ערך כולל של המדד. הערך הכולל מחושב על בסיס ממוצע משוכלל עם משקולות למשתנים עם הערכים הנמוכים ביותר. ככל שהערך נמוך יותר כך גובה המשקולת עולה. ערכי מדרג של 60 ומעלה נחשבים כערכים קבילים המצביעים על כל שהריכוזים של המשתנים השונים קרובים לערכים הרצויים. ערכי מדד הנעים בין 40-59 נחשבים ללא קבילים ומצביעים על כך שחלק מהמשתנים שונים באופן מהותי מהמצב הרצוי. ערכי מדד נמוכים מ-40 מצביעים על מערכת אקולוגית רחוקה ממערכת אקולוגית של הכנרת ששואפים לשמר. במצב כזה, יש להפעיל צעדי ממשק שיסייעו בהחזרת המערכת האקולוגית למצב הרצוי.

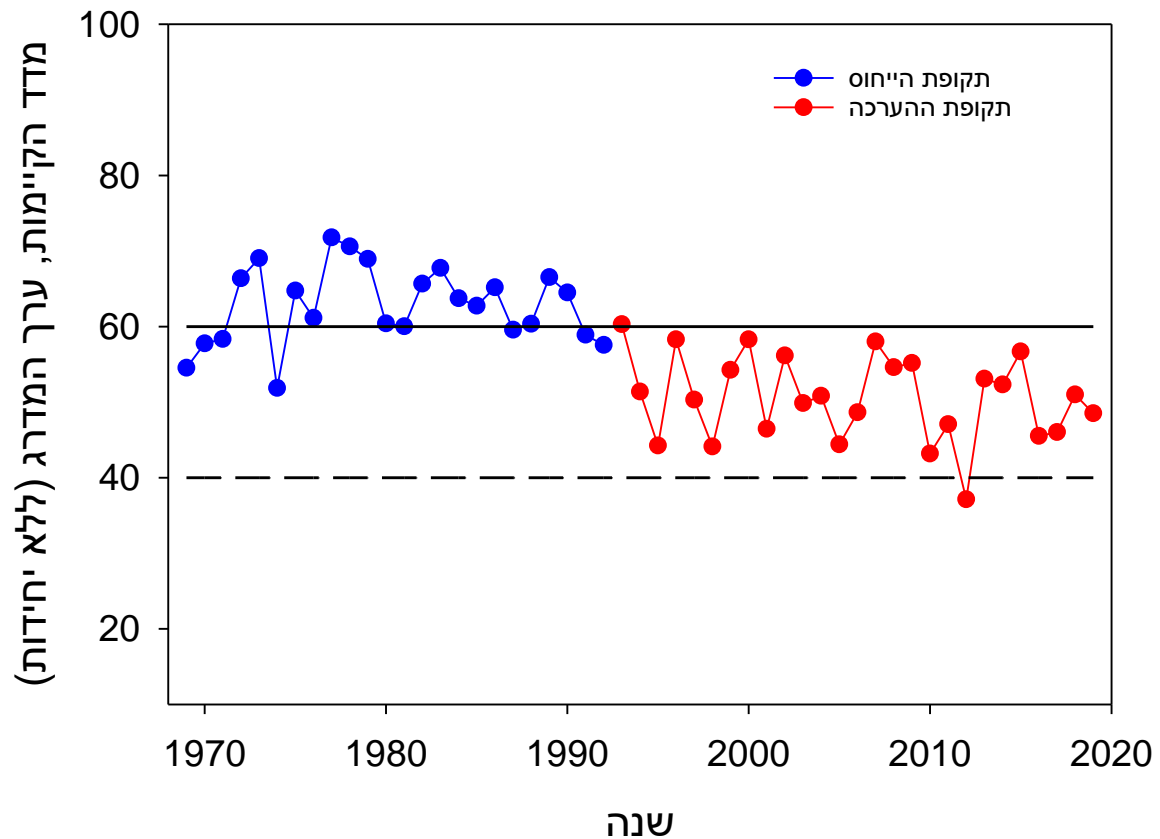
תוצאות ודין

עפ"י מדד הקיימות, המערכת האקולוגית של המים בכנרת בשנת 2014 הייתה במצב דומה למצב בשנת 2013 וטוב באופן משמעותי ממה שנרשם בשנת 2012, בה נרשם הערך הנמוך ביותר אי-פעם (איור 3). למעשה מאז שנת 2016 ערכי המדד הכולל אינם משתנים באופן מהותי משנה לשנה ונעים בין 45-51 שהם ערכים נמוכים המצביעים על מרחק רב בין המצב האקולוגי של הכנרת בשנים אלו לבין המערכת האקולוגית שאנו שואפים לשמר לאורך זמן. בבחינה מעמיקה יותר של ערכי המדד לשנת 2019 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 (46) והוא נבע בראש ובראשונה מערכים נמוכים וחריגים של הכחוליות והזואופלנקטון הטורף. לשני משתנים אלו חושבו ערכי מדד של 20 ו-33, בהתאמה. כפי שניתן לראות בגרפים המופיעים ליד המדד השנתי, (איור 4 תחתון) ריכוזי הכחוליות היו גבוהים מאוד לאורך כל חודשי החורף-אביב, למעט ינואר. כתוצאה, ערכי מדד הכחוליות בחודשים אלו היו נמוכים ביותר, בחלקם ערך של 10 שהוא הערך הנמוך ביותר. גם במקרה של הזואופלנקטון

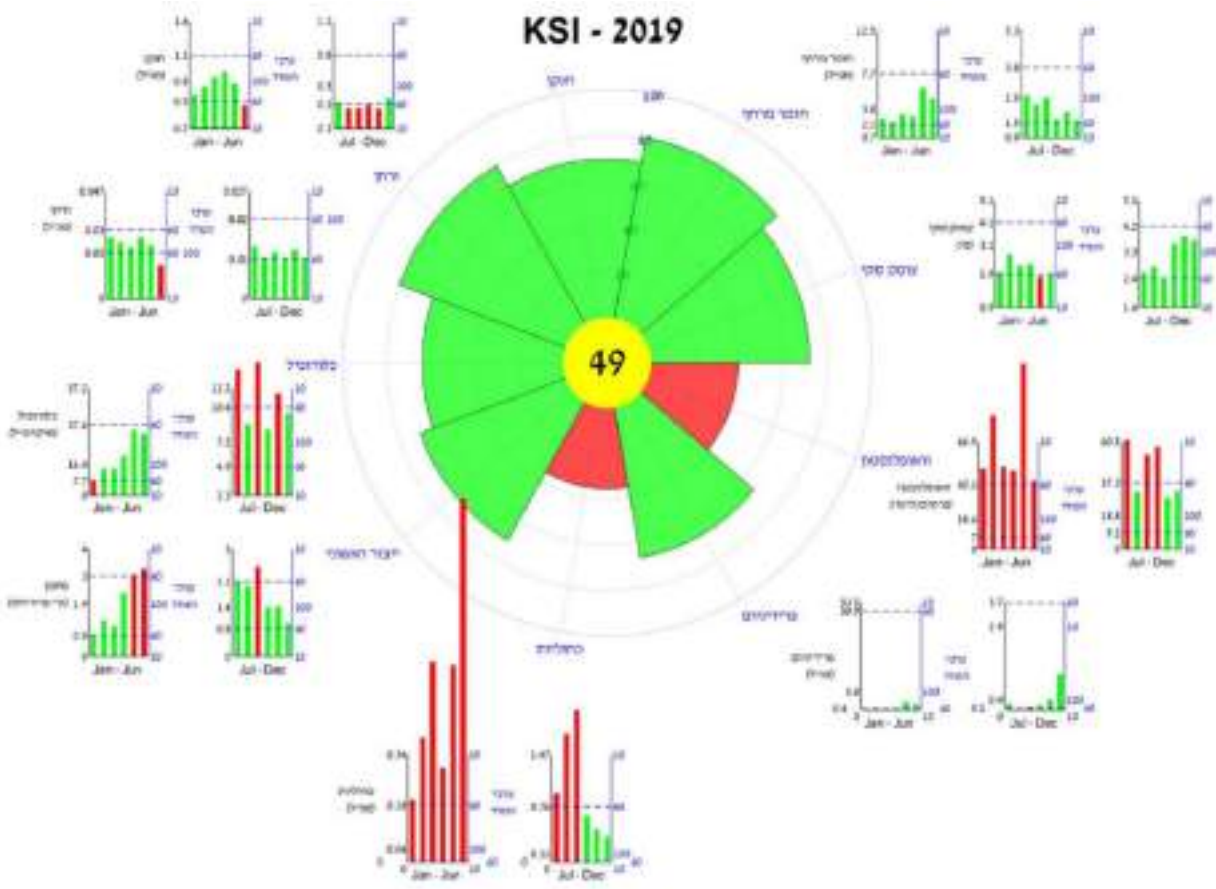
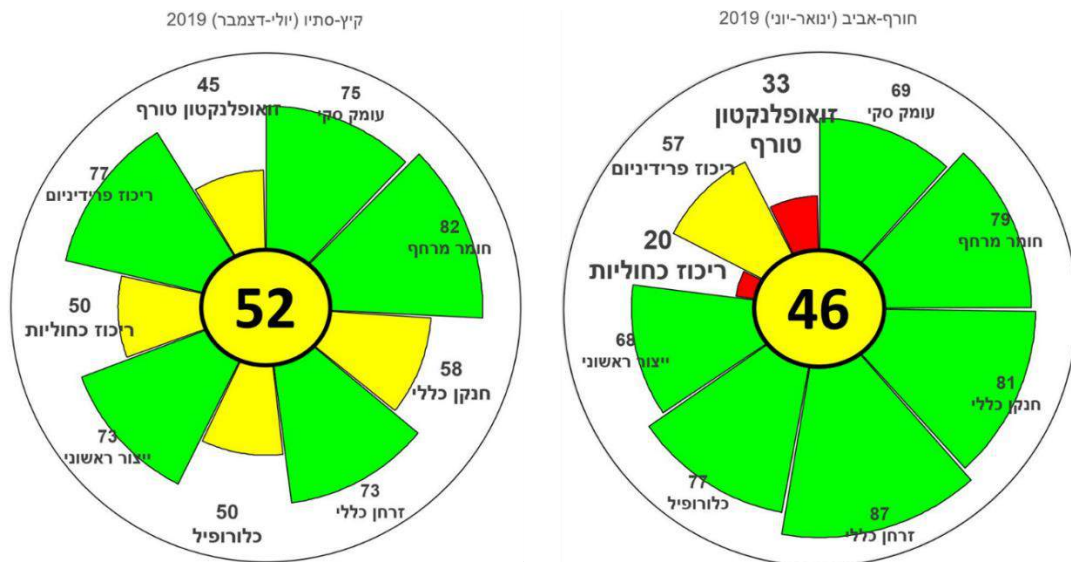
¹ Gal, G.; Zohary, T. Development and application of a sustainability index for a lake ecosystem. *Hydrobiologia* **2017**, *800*, 207-223, doi:10.1007/s10750-017-3269-1.



הטורף נרשמו ריכוזים גבוהים וחריגים במהלך החודשים ינואר- מאי (ראה פרק מס' 2.21 ניטור זואופלנקטון) שהניבו ערכי מדד נמוכים ביותר. הריכוזים הגבוהים של הכחוליות בחורף-אביב 2019 אינם תופעה חד-פעמית אלא המשכה של מגמה שאנו רואים באגם כבר מספר שנים.



איור 3: תיאור גרפי של מדד הקיימות של הכנרת (KSI) עבור תקופת הייחוס (1969-1991 בכחול) ועבור התקופה 1992-2019 (באדום). הקו האופקי השחור מציין את התחום הקביל של הערכים כך שכל ציון הנופל מתחת לערך 60 נחשב לערך לא קביל ומצב לא רצוי המקשה על שימור המערכת האקולוגית הרצויה. הקו המקווקו מציין ערך מדד של 40. ערכים מתחת לערך 40 מצביעים על מערכת אקולוגית רחוקה מאוד מהמערכת שרוצים לשמר והצורך ביישום בצעדי ממשק.

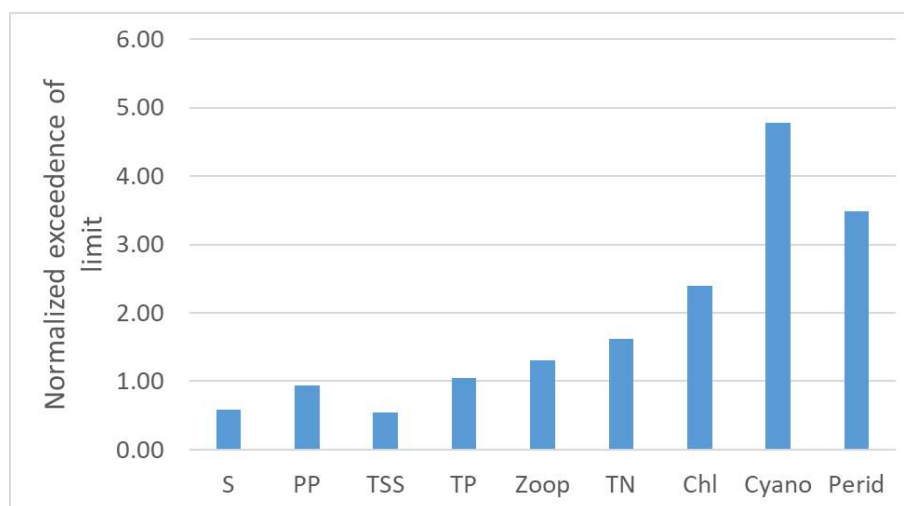


איור 4: מדד הקיימות של הכנרת (Kinneret Sustainability Index) לשנת 2019. ערכי המדד מחולקים לשתי תקופות של חצי שנה: ינואר-יוני ויולי-דצמבר, המוצגים באיורים העליונים. הערכים הממוצעים לשנת 2019 מוצגים באיור התחתון. במרכז האיורים ניתן לראות את הערך הכולל, כאשר ערכים מעל 60 נחשבים בתחום הקביל. צבעי הרקע הינם 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. לצד כל משתנה מופיעים שני גרפים המציגים, עבור כל חצי שנה, את הערכים החודשיים של כל משתנה (ציר אנכי שמאלי) ואת ערכי המדד (ציר אנכי ימני). צבעי העמודות בגרפים הינם ירוק (אם בתחום הקביל) או אדום אם מחוץ לתחום זה. פרטים נוספים על המדד ניתן לקרוא בדו"ח השנתי של 2014.



בחצי השני של השנה, ערך המדד הכולל (52) הושפע מערכי מדד נמוכים של מספר משתנים שכללו את הכחוליות, הזואופלנקטון הטורף, והכלורופיל. ריכוזי הכחוליות היו גבוהים במיוחד בחודשים יולי-ספטמבר עד כדי ערכי מדד 10 בחודשים אוגוסט-ספטמבר. במקרה של הזואופלנקטון, הריכוזים היו גבוהים במהלך כ-3 חודשים בחצי השני של השנה וכתוצאה מכך ערכי המדד נעו בין 16-26 בחודשים יולי, ספטמבר, אוקטובר. ריכוזי הכלורופיל גם הם היו גבוהים במיוחד, בעיקר בחודשים יולי, ספטמבר ונובמבר אשר גררו ערכי מדד נמוכים וסך הכל ערך של 50 בחצי השני של השנה.

מתוך בדיקה של התפלגות ערכי מדד חריגים (<60) של כלל המשתנים בכל תקופות החצי שנתיות בין 1993-2019 עולה כי ישנם שני משתנים שחורגים במיוחד מהערכים הקבילים. ריכוזי הכחוליות והפרדיניום 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 הכחוליות והפרדיניום חורגים כמעט פי 5 ופי 4 יותר מהצפוי (איור 5), בהתאמה. החריגות נובעות מריכוזים גבוהים מהרצוי במקרה של הכחוליות וריכוזים נמוכים מהרצוי במקרה של הפרדיניום. 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 שבעשור האחרון ערכי המדד השנתיים היו בין 37-53 (למעט 2015 עם ערך של 57) מעידה על המצב הקשה של המערכת האקולוגית של הכנרת וההתרחקות מהמערכת האקולוגית שאותה אנו שואפים לקיים ולשמר לאורך זמן. 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 1993-2019 ביחס לערך המירבי הצפוי. ערך של 1 מבטא אחת החריגות החודשיות השווה ערך לאחוז הצפוי על בסיס חישוב עקומות המדרג. ערכים מעל 1 מבטאים אחת חריגות גבוהה מהמצופה, למשל אחת החריגות החודשיות של הכחוליות כמעט פי 5 מהמצופה.

2.3 מאזני חנקן, זרחן ופחמן בכנרת



במימון
רשות
המים

ירון בארי-שלוין, שירה ניניו, ורנר אקרט

- עבור פחמן עיקר המסה של ה-GPP נצרך בתוך האזור הפוטי בנשימה קהילתית אם כי השנה היחס GPP/CR ירד מעט ביחס לשנה הקודמת.
- עליות נרשמו השנה בשטפי פחמן, חנקן וזרחן לאגם בעיקר מכניסות מהנחלים.
- הייתה עליה משמעותית השנה בערכי קבורה של פחמן, זרחן וחנקן לסדימנט בקרקעית האגם.

מטרת המחקר

הערכת מאזנים שנתיים של פחמן, זרחן וחנקן בכנרת.

רקע

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 לשנה. עבור רב השטפים, פנימה והחוצה, ישנה הערכה סבירה לגודל השטף הנובעת ממדידה ישירה של פרמטרים. 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. ערכי שנים קודמות מוצגים בהשוואה לשנת 2019 בטבלה 3.

תוצאות ודין

במקרה של מאזן הזרחן הכללי, ערכי הכניסה והיציאה מוערכים בצורה די טובה למעט קבורה לסדימנט (סדימנטציה נטו). המיחזור הפנימי מהסדימנט, 26.7 טון, מתבסס על ערכי מקסימום של זרחן כללי בהיפולימיניון וערך של כ- 62.2 טון עבור הקבורה לסדימנט (סדימנטציה נטו) משלים את המאזן הכללי. על כן, ערכים אלו מובילים לערכי סדימנטציה של כ- 88.9 טון בשנה. ערכי הסדימנטציה וקבורה לסדימנט גבוהים משמעותית מאלו של השנה הקודמת (פי 2 ופי 7 בהתאמה) והם תוצאה עקיפה של כניסות משמעותיות יותר השנה של זרחן מאבק אך בעיקר מהנחלים ועל כן פעילות ביולוגית נרחבת יותר באפילימיניון.

מאזן החנקן מורכב יותר. כמות החנקן שעובר דניטריפיקציה בתהליכים חיידקיים וחוזר לאטמוספירה מחושב ל- 818 טון בהתבסס על ערכי מקסימום של ניטראט בהיפולימיניון בתחילת השיכוב התרמי. המיחזור הפנימי בכנרת, 898 טון, מבוסס על ערכי מקסימום של אמוניה בהיפולימיניון. הקבורה המוערכת בכ- 419 טון סוגרת את המאזן. ערכים אלו מובילים לערכי סדימנטציה בסך של כ- 1317 טון בשנה. ערכי הסדימנטציה והקבורה גבוהים משמעותית מאלו של השנה הקודמת (פי 2 ופי 4 בהתאמה) והם תוצאה עקיפה של כניסות מנחלים (פי 3.5) ועל כן פעילות ביולוגית נרחבת יותר באפילימיניון.

מאזן הפחמן האורגני (OC) בכנרת עבור 2019 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 אלקטורונים למינרליזציה של פחמן אורגני (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- 2019 הינה 156,500 טון פחמן. ביחס למספר זה, הכניסות והיציאות לאגם (5,000 ו- 1000 טון פחמן אורגני, בהתאמה) הינן זניחות.

בהשוואה לממוצעים של השנים 2001-2011, עם יצרנות ראשונית של כ- 127,000 טון C, נראה שישנה עליה בקצבי היצרנות הראשונית בשנים האחרונות. כמו כן, בהשוואה ל- GPP של

2019, תהליכי קיבוע פחמן אחרים (כמוסינטזה ובקטריות פוטורופיות) הינם הרבה פחות חשובים. אקסטרפולציה של ערכים מהספרות ל- 2019 נותנת סדר גודל של כ- 5,000 טון פחמן אורגני עבור תהליכים אלו. כמו בשנים קודמות, עיקר המסה של ה-GPP נצרך בתוך האזור הפוטי בנשימה קהילתית, אם כי השנה היחס GPP/CR ירד מעט ביחס לשנה הקודמת. בהיפולימיניון הידלדלות בחמצן מומס וניטראט תואמת מינרליזציה של 5,700 טון פחמן אורגני בהתבסס על ריכוזים במים בתחילת השיכוב התרמי באגם. הצטברות של סולפיד בהיפולימיניון כתוצאה של חיזור בקטריאלי של סולפאט (SR) ושל מתאן (כ- 70% מחיזור הסולפאט בכנרת) מעידה על פירוק של 13,000 טון פחמן אורגני. מכיוון ששני התהליכים מתחילים באזור הסדימנט הם מייצגים חלק משטף שקיעת הפחמן האורגני החלקיקי. ההערכה הכוללת שלנו עבור שטף השקיעה – 87,700 טון פחמן. מאזן הפחמן שלנו נסגר ע"י ייחוס שארית של 74,700 טון פחמן אורגני לקבורה בסדימנט תוך התחשבות בעליה באינוונטר באגם (ממוצע 19,500 טון) של כ- 2,100 טון.

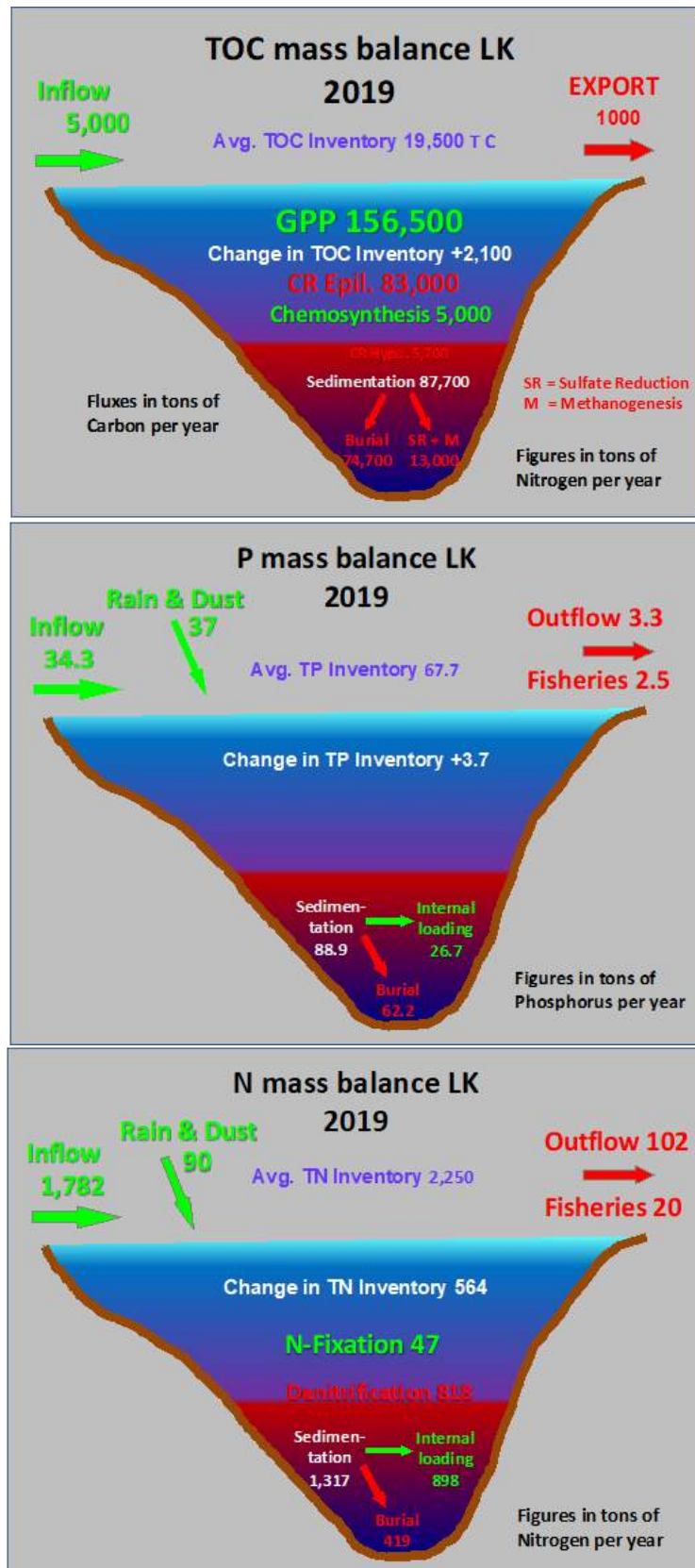


טבלה 3 : ערכי מאזני חנקן, זרחן ופחמן בשנת 2019 בהשוואה לשנים האחרונות. הערכים בסוגריים מבטאים ערכים שליליים.

חנקן						
שנה	"יבוא"			"בוא"		שינוי אינוונטר
	קבורה	דניטרופקציה	שאיבה ודגים	קיבוע חנקן	נחלים ומשקעים	
2015	100	485	96	78	813	(230)
2016	362	718	109	51	616	166
2017	764	464	88	95	625	82
2018	108	543	88	71	593	(76)
2019	419	818	122	47	1,872	564

זרחן				
שנה	"יבוא"		"בוא"	
	קבורה	שאיבה ודגים	נחלים ומשקעים	שינוי אינוונטר
2015	49.7	3.4	43.3	9.8
2016	88.4	4.8	49.4	-22.6
2017	62.4	4.3	48.0	7.0
2018	9.2	5.2	39.4	25.0
2019	62.2	5.8	71.3	3.7

פחמן						
שנה	"יבוא"			"בוא"		
	קבורה	נשימה קהילתית (CR)	שאיבה	כימו-סינטיזה	יצור ראשוני (GPP)	נחלים ומשקעים
2015						
2016	5,800	85,000	1,000	5,000	101,000	1,300
2017	2,500	60,000	1,000	5,000	130,000	1,500
2018	8,600	60,000	1,000	5,000	161,300	1,600
2019	2,100	83,000	1,000	5,000	156,500	5,000



איור 6: מאזני חנקן, זרחן ופחמן בכנרת עבור שנת 2019. בירוק שטפים פנימה ובאדום שטפים החוצה מהאגם. השטפים הינם בטונות לשנה.

2.4 מפלס האגם



30.06.20 מבט מהמעבדה לכנרת. צילום: עוז צברי - דר



15.11.2018 מבט מהמעבדה לכנרת.
צילום: ורנר אקרט

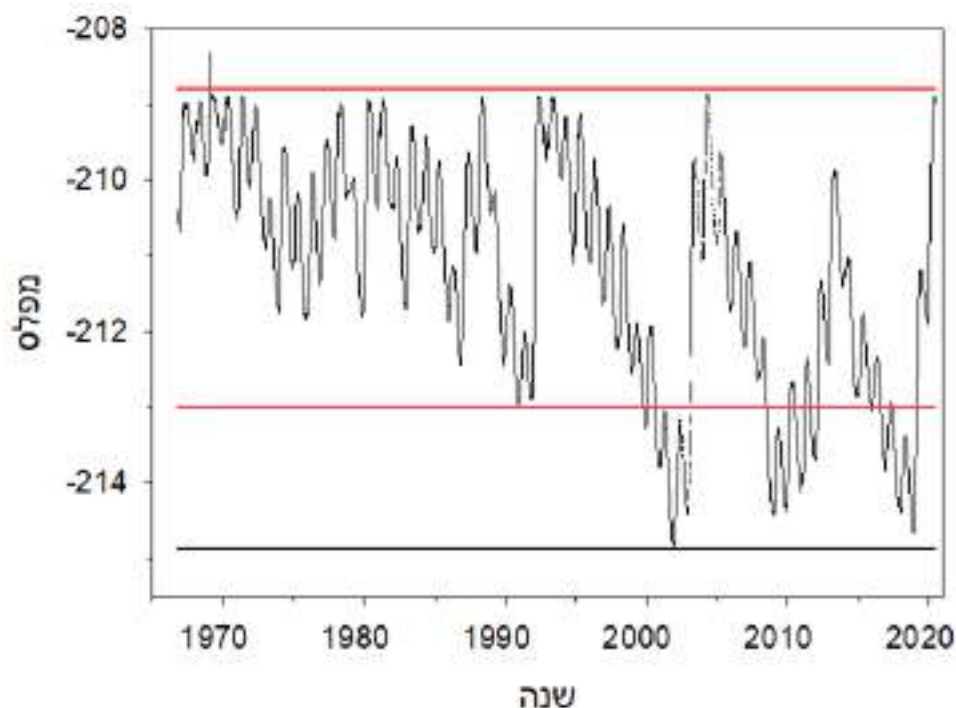
**במימון
רשות
המים**

גדעון גל

- מפלס האגם עלה במצטבר מאז דצמבר 2018 ועד מאי 2020 ב-5.77 מ'.
- בחורף 2018/19 המפלס עלה ב-3.46 מ'

מפלס המים בכנרת משפיע במגוון דרכים על המערכת האקולוגית של הכנרת ועל כן ישנה חשיבות רבה במעקב לאחר 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) חווינו את שנת הבצורות 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-18.11.2019 ושוב ב-3.12.2019 נרשם מפלס של -214.65, רק מעט מעל השפל של -214.87 שנרשם בסוף שנת 2001. ירידת המפלס במהלך חמש שנות הבצורת הייתה מתונה יותר מהירידה הצפויה בעקבות ההחלטה לצמצם למינימום את השאיבה למוביל הארצי. חורף 2018/19 וגם חורף 2019/20 היו מהחורפים הגשומים שנרשמו באגן ההיקוות של הכנרת ובעקבותיהם הייתה עליית מפלס משמעותית. המפלס הגבוה ביותר, -208.89, תועד ב-15.5.2020 ובכך נרשמה סה"כ עליית מפלס של 5.77 מ' בתקופה של 18 חודשים שמתוכם 3.46 מ' בחורף 2018/19 בלבד.



איור 7: מפלס הכנרת, מה-1.10.1966 ועד ה-31.5.2020. 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 מטאורולוגיה ופיזיקה של האגם לשנת 2019



במימון
רשות
המים

יורי לצ'ינסקי

- בשנה ההידרולוגית 2018/19 ירדו 774.6 מ"מ של גשם ישיר על הכנרת, כמות גדולה בהרבה מממוצע הגשמים הרב-שנתי באזור.
- במהלך השנה הורחב הניטור המרחבי של פרופיל טמפרטורת האגם - נוספו שתי תחנות מדידה חדשות.

ניטור מטאורולוגי-פיזיקלי של האגם

באחריות המעבדה לחקר הכנרת נמצאות שלוש תחנות מטאורולוגיות המודדות כל 10 דקות את המשתנים המטאורולוגיים הבאים: גשם, טמפרטורת אוויר, לחות יחסית, מהירות וכיוון רוח, קרינה קצרת גל (2800-305 nm) וקרינה ארוכת גל (5-25 μm).

בסיס הנתונים המטאורולוגי של הכנרת כולל כעת נתוני מדידה מטאורולוגית לפי הפירוט הבא:

- משנת 1996 תחנת טבחה (כעת ממוקמת על המזח בקיבוץ גינוסר).
- משנת 2003 על האקו-ראפט בתחנה A (מופעלת בשיתוף עם השמ"ט).
- משנת 2006 תחנה מטאורולוגית ליד הרכבל העליון בחרמון.



ניטור מרחבי של טמפרטורת עמודת המים - שלוש שרשראות הטרימיסטורים שממוקמות במרחב האגם (תחנות A, D, F) למפה של תחנות הניטור ראה:

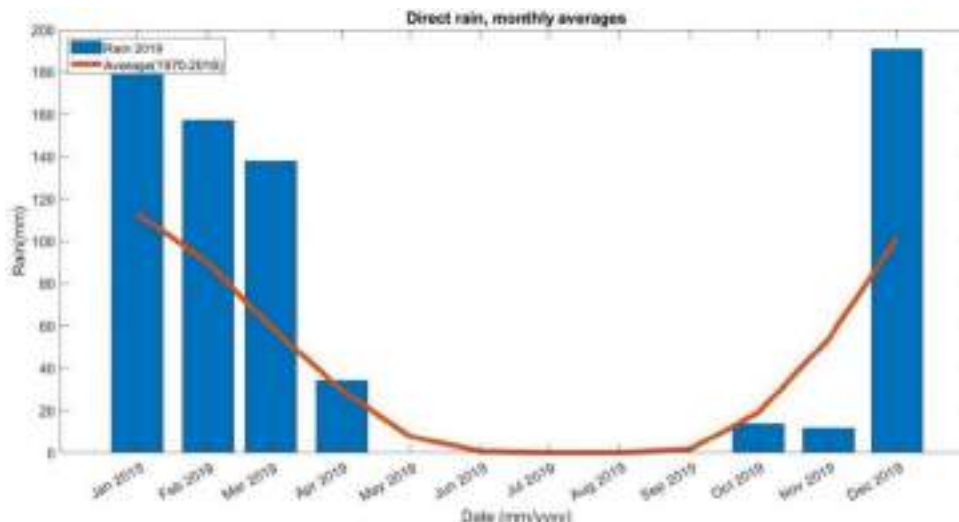
<https://iolr.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=08aa9a423cbb4a1aba63aa3e7524e18b>

סיכום שנתי של מדידת פרמטרים מטאורולוגיים

סיכום המדידות המטאורולוגיות לשנת 2019 מיוצג ע"י ממוצע שעתי (ייצוג התנודה היומית) ע"פ חודשי השנה (ייצוג התנודה העונתית). הפרמטרים שסיכום המדידה השנתי שלהם יוצג הם: 1. טמפרטורת אויר (רום 3 מטר מעל פני האגם); 2. טמפרטורת המים (כ-20 ס"מ עליונים); 3. קרינה קצרת גל; 4. קרינה ארוכת גל; 5. לחות יחסית; 6. מהירות הרוח. ממוצע המדידות לשנת 2019 השווה לסיכום הרב שנתי לשנים 2009-2018. ההשוואה נעשתה ע"י חישוב ההפרש בין ממוצע שעתי לחודש משנת 2019 לעומת ממוצע דומה עבור כל השנים שקדמו לשנה זו, ושרטוט מפת הפרשים בין שני הממוצעים.

גשם ישיר על הכנרת

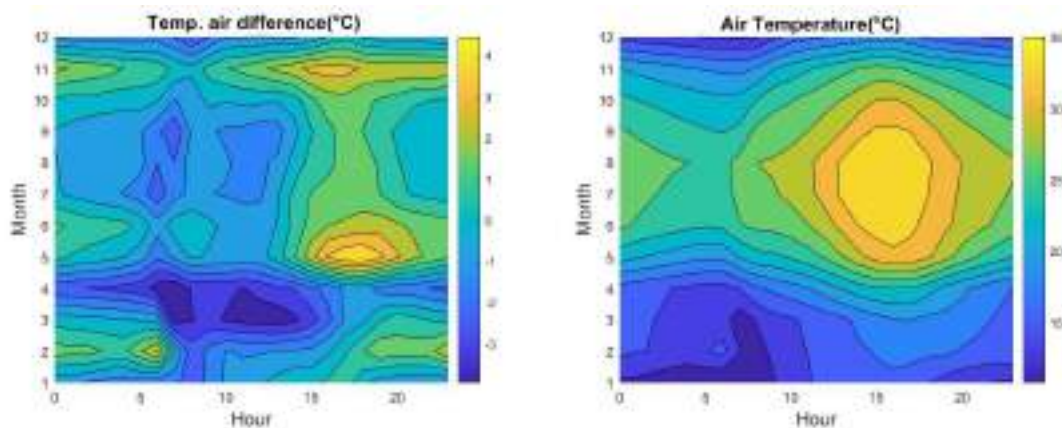
בסיכום עונתי (שנה הידרולוגית) ל- 2018-2019 מתקבלים כ- 774.6 מ"מ על פני האגם (כ- 105 מל"מ"ק). כמות זו גדולה בהרבה מממוצע הגשמים הרב-שנתי באזור הכנרת (ממוצע הרב שנתי הוא 481.2 וסטיית תקן 125.9). חריג במיוחד היה חודש מרץ, אשר היה גשום במידה ניכרת מהממוצע הרב שנתי וכן חודשים דצמבר וינואר הגשומים הרבה מעל הממוצע, לעומתם חודש נובמבר היה שחון יחסית (איור 8).



איור 8: גשם חודשי ממוצע כפי שנמדד בתחנות מסביב לכנרת בשנת 2019 (עמודות), בהשוואה לגשם חודשי ממוצע (קו רציף).

טמפרטורת האוויר

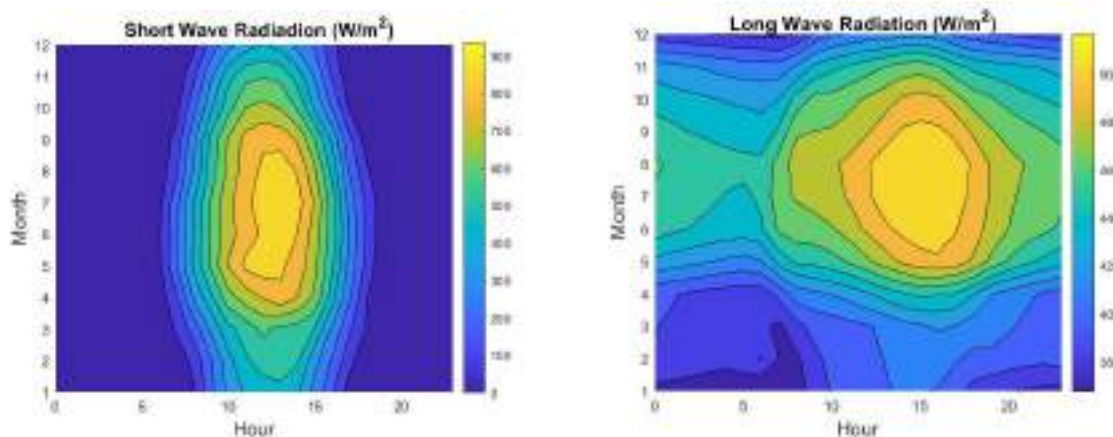
חודשים ינואר ופברואר היו הקרים ביותר בשנה, וחודשי יוני-ספטמבר היו החמים ביותר. בחודשי הקיץ בלטה התנודה היומית של טמפרטורת האוויר (איור 9, ימין). טמפרטורת האוויר הממוצעת של שעות הערב במהלך החודשים החמים של 2019 הייתה בד"כ גבוהה בכ- 0.5 עד 1.5 מעלות מהטמפרטורה החודשית הממוצעת הרב שנתית (איור 9, ימין). חודשי האביב היו קרים בכ- 3 מעלות יחסית לממוצע הרב שנתי (יש לציין כי בחלק מחודשים אלה נמדדו גשמים מעל לכמות החודשית הממוצעת). טמפרטורה בשעות הערב בחודשים מאי ונובמבר הייתה גבוהה מהממוצע הרב שנתי בכ- 4 מעלות צלסיוס.



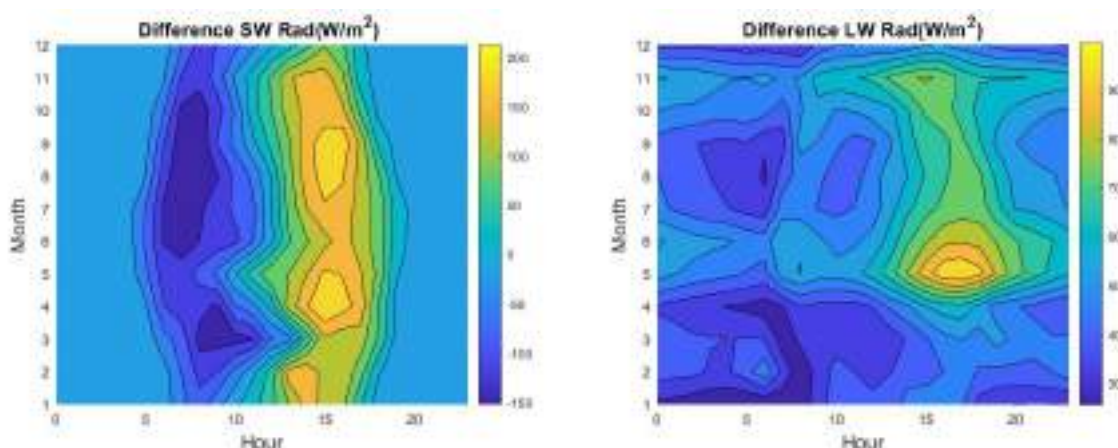
איור 9: סיכום שנתי של ממוצעים שעתיים וחודשיים של טמפרטורת האוויר ברום של 3 מטר מעל פני האגם (ימין), וההפרש בין ממוצע שעתית לחודש שנת 2019 לעומת ממוצע דומה עבור השנים 2009-2018.

קרינה קצרה וארוכת גל

מדידות קרינה קצרת גל (nm 305-2800) מראות באופן קבוע ערך מקסימאלי יומי בשעות הצהריים 12:00-14:00 (שעון חורף). שעת השיא בפועל היא 14:00 לפי שעון קיץ, הן שעות שיא הרוח לאורך כל השנה והחודשים בסקלה העונתית הקרינה המקסימאלית חלה בחודשים מאי-ספטמבר (איור 10 ו-11), כאשר חודשים מאי וספטמבר חריגים מהבחינה הזו. הקרינה ארוכת הגל מראה שיא בקרינה בצהריים של חודשי הקיץ. ההפרש של מדידות הקרינה קצרת הגל מהקרינה הרב שנתית הממוצעת (איור 11) במהלך השנה מעיד על קרינה קצרת גל נמוכה יחסית ביחס לממוצע משעות הבוקר ועד הצהריים, וקרינה גבוהה יחסית לממוצע משעות הצהריים ועד השקיעה במיוחד במהלך חודש מאי וספטמבר, מה שתואם למדידות של טמפרטורת אוויר.



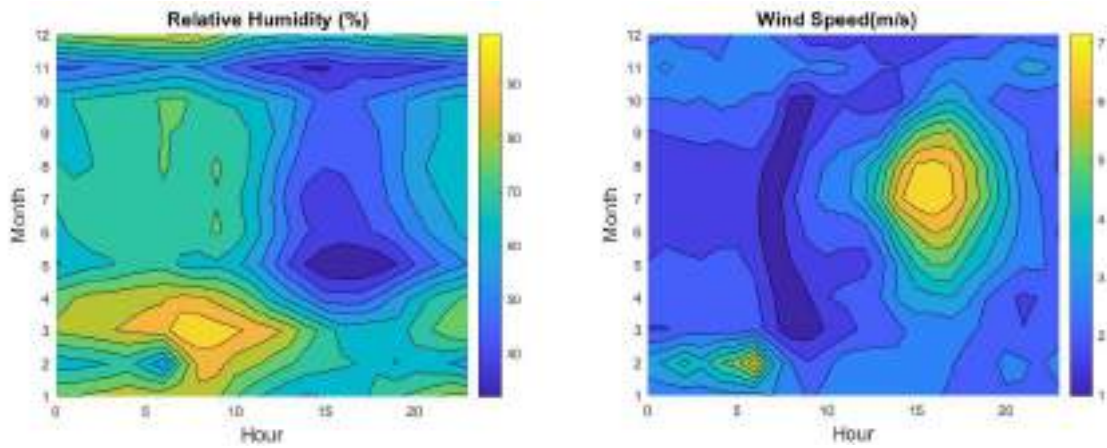
איור 10: סיכום שנתי של ממוצעים שעתיים וחדשיים של קרינה ארוכת גל (Wm^{-2} , ימין) וקצרת גל (Wm^{-2} , שמאל).



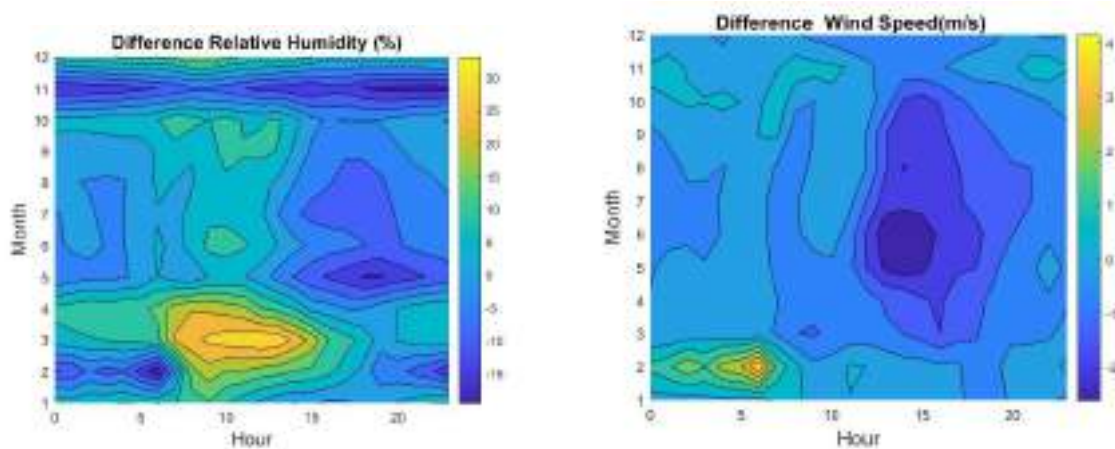
איור 11: ההפרש בין ממוצע שעתית לחודש משנת 2019 לעומת ממוצע דומה עבור השנים 2009-2018. מימין: קרינה ארוכת גל (Wm^{-2}), משמאל: קרינה קצרת גל (Wm^{-2}).

לחות יחסית ומהירות רוח

סיכום שנתי של ממוצעי מהירות הרוח והלחות היחסית (איור 12 ו-13) מדגים את רוחות אחר-הצהריים הקיציות האופייניות לאגם. השעות 15:00 – 17:00 (שעון חורף, שעת השיא בפועל היא 14:00 לפי שעון קיץ), הן שעות שיא הרוח לאורך כל השנה 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-3 מטר לשנייה. הלחות יחסית (%) מעל פני האגם מצויה בד"כ בהתאמה שלילית מסוימת עם מהירות הרוח (מהירות גדלה – לחות פוחתת). נראה כאילו קיימים רק הפרשים אקראיים בין נתוני הרוח השנתיים (2019) לנתונים ההיסטוריים (2009-2018). הלחות היחסית על פני המים נמוכה מאד יחסית בנובמבר וגבוהה מאד בדצמבר, חודשי אביב התאפיינו בלחות גבוהה יחסית לממוצע הרב שנתי.



איור 12: סיכום שנתי של ממוצעים שעתיים וחודשיים של לחות יחסית (שמאל) ומהירות רוח (ימין).

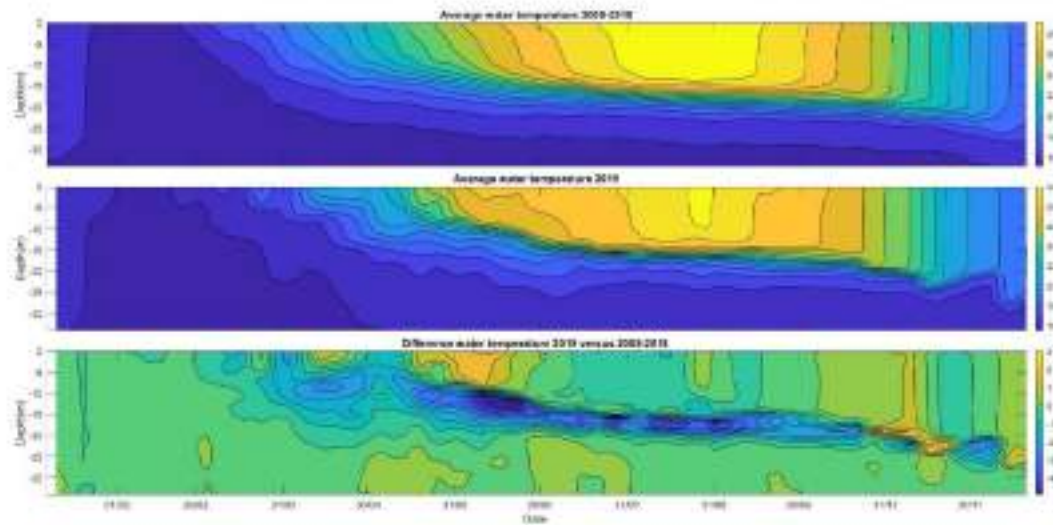


איור 13: ההפרש בין ממוצע שעתית לחודש משנת 2019 לעומת ממוצע דומה עבור השנים 2009-2018. מימין: מהירות רוח (ms^{-1}), משמאל: לחות יחסית (%).

סיכום שנתי של טמפרטורת האגם

פרופיל טמפרטורת גוף המים נבנה על בסיס מדידות שבועיות, באמצעות STD במספר תחנות דיגום (כל 0.1 מטר). הסיכום מתייחס רק למדידות שנעשו בתחנה A. שנת 2019 התאפיינה בטמפרטורה ממוצעת הן באפילימניון והן בהיפולימניון (איור 14). בולטת במיוחד טמפרטורת המים של השכבה העליונה הגבוהה בכ-3 מעלות יחסית לממוצע בחודש יוני. כמו כן נמדדה טמפרטורה נמוכה של המטהלימניון במהלך חודשי אביב-קיץ ובהשוואה לשנים קודמות. מעניין לציין שההפרשים העונתיים הגדולים ביותר בין שנת 2019 לעשור שקדם לשנה זאת היו בטמפרטורה של המים בשכבה העמוקה (עמוק מ-30 מ'). הטמפרטורות העונתיות בשכבה זאת היו חמות ב-0.21-0.36 מעלות עם ממוצע של 0.29 מעלות ביחס לעשות 2009-2018 (טבלה 4). לעומת זאת הטמפרטורות העונתיות של השכבה העליונה (0-10 מ') בשנת 2019 היו נמוכות מממוצע התקופה 2009-2018 ב-0.02-0.30 מעלות עם ממוצע של 0.13 מעלות.

ההבדלים הללו אולי מסבירים בין השאר את משך תקופת השיכוב במהלך 2019 שנמשך כ- 307 יום, בהשוואה לממוצע רב שנתי של 46 השנים האחרונות - 293 ± 18 יום.

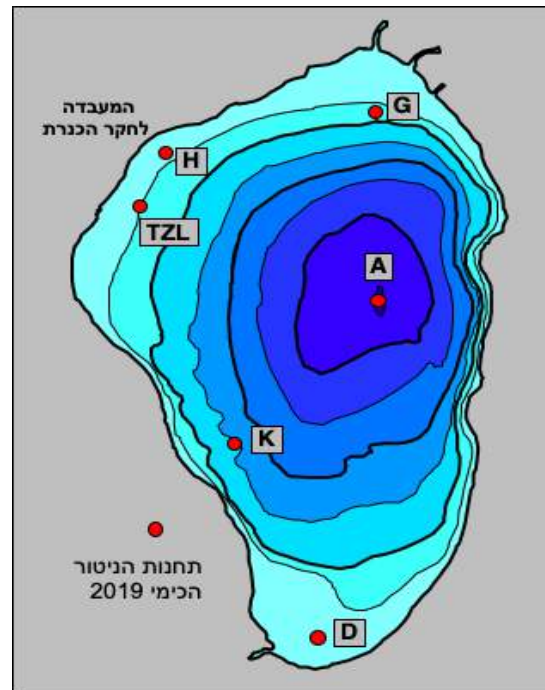


איור 14: פרופיל טמפרטורה של עמודת המים במרכז האגם, למעלה-ממוצע לשנים 2009-2018, אמצע-פרופיל טמפרטורה לשנת 2019 ולמטה הפרש טמפרטורות בין שנת 2019 ל-10 שנים קודמות.

טבלה 4: טמפרטורת המים בשכבה הרדודה (0-10 מ') והשכבה העמוקה (30-38 מ') באגם בשנת 2019 וממוצע השנים 2009-2018.

2018-2009		2019		עומק (מ')	עונה
שגיאת תקן	ממוצע	שגיאת תקן	ממוצע		
0.03	16.4	0.07	16.3	10-0	ינואר-מרץ
0.02	15.6	0.05	15.8	37-30	
0.08	23.6	0.40	23.3	10-0	אפריל-יוני
0.02	15.7	0.02	16.0	39-30	
0.02	29.1	0.07	29.1	10-0	יולי-ספטמבר
0.02	15.9	0.01	16.3	38-30	
0.09	22.9	0.34	22.9	10-0	אוקטובר-דצמבר
0.03	16.1	0.01	16.4	37-30	

2.6 ממצאי הניטור הכימי



במימון
רשות
המים

ירון בארי-שלוין, אדית ליבוביץ', מיקי שליכטר

- פעילות יחסית מאוחרת (חודש-חודשיים) במספר רב של פרמטרים-בשתי השכבות באביב.
- התייצבות לקראת סוף השנה לערכי הממוצע הרב שנתי.
- ירידה בולטת במליחות האגם.

מטרת המחקר

ניטור שוטף של הגיאוכימיה של האגם.

רקע

כמו בשנים קודמות מוצגים נתוני הניטור הכימי משכבת האפילימניון וההיפולימניון בתחנה A בשנת 2019 בהשוואה לממוצעים רב שנתיים (עשר שנים: 2008-2017) וכן לשנה הקודמת, 2018 (איור 15).

תוצאות ודין

להלן סיכום הממצאים לגבי שנת 2019 (ראה איור 15):

אלקליניות וסידן:

התפתחות ערכי האלקליניות והסידן בשכבת האפילימניון בחצי הראשון של 2019 ובעיקר הירידה החריפה בערכים אלו באביב מבטאת שקיעת קלציט בעקבות פעילות ביולוגית. פעילות זו צפויה כל שנה בתקופת האביב בדרך כלל בין מרץ למאי. השנה בדומה ל- 2016 הירידה באלקליניות מאוחרת מעט ומתרחשת בין אפריל ליוני. כמו כן, בולטים ערכים גבוהים יותר מהממוצע הרב שנתי במרץ - אפריל וירידה לערכים הנמוכים מהממוצע הרב שנתי עד יוני- כפועל יוצא של פעילות ביולוגית מוגברת השנה. הביטוי לירידה האביבית מתבטא גם בקלציום, אם כי ברמה פחותה מזו של האלקליניות. מגמת ההתפתחות של אלקליניות וסידן בשכבת ההיפולמניון דומה באופן כללי למגמה הרב שנתית ולערכי השנה הקודמת.

כלוריד:

לאחר מספר שנות בצורת באגן ההיקוות של הכנרת מ- 2014, חורף 2018-2019 היה גשום במיוחד. החל משנת 2014 ריכז הכלוריד התאפיין בעלייה רב שנתית באפילמניון, ובכנרת בכלל. בשנת 2019 השפעת המשקעים מתבטאת בירידה חדה בריכז הכלורידים בחורף- אביב עד מאי ואז ישנה עליה מתונה עד סוף השנה. תבנית זו הינה התבנית השנתית של ירידה בחורף - אביב (דומיננטיות של כניסות מתוקות) ואז מעבר לעליה עד סוף השנה (דומיננטיות של כניסות מלוחות והתאדות) אולם הירידות החדות בחורף - אביב 2019 מבטאות כמות משקעים גדולה במיוחד על רקע הצטברות מליחות גבוהה באגם בשנים הקודמות. בסוף 2019 מליחות האפילימניון הייתה כ- 290 מגכ"ל.

חמצן:

ערכי החמצן בשנת 2019 דומים לממוצע הרב שנתי באפילימניון לאורך רב השנה אם כי שיא ריכוזי החמצן בשכבה זו במאי מאוחר בחודש - חודש וחצי יחסית לשנים קודמות. גל העלייה בערכי חמצן האופייני לאביב מוסבר באופן רגיל בפעילות פוטוסינטטית גבוהה באביב. מגמת התפתחות החמצן בשכבת ההיפולמניון דומה באופן כללי למגמה הרב שנתית אך שונה בצורה בולטת מזו של השנה הקודמת (2018) בה לא התרחש היפוך מלא.

ערכ הגבה (pH):

ערכי ההגבה בשתי השכבות נמצאים בשנת 2019 מעט נמוך ברב חודשי השנה ביחס לממוצע הרב שנתי. הערכים באפילימניון נמוכים מהממוצע הרב שנתי בתחילת השנה - ינואר עד מרץ, ואילו בהיפולמניון התופעה בולטת במחצית השנייה של השנה, בעיקר בספטמבר (בדומה ל- 2018). מגמה זו של ערכים נמוכים מדווחת כבר כמה שנים אך נותרה ללא הסבר.

זרחן:

ערכי זרחן כללי, זרחן מומס וזרחן מומס מגיב באפילימניון של שנת 2019 דומים לערכים של הממוצע הרב שנתי. גם בהיפולמניון, ההתנהגות של זרחן כללי, מומס ומומס מגיב דומים לערכי הממוצע הרב שנתי עם הצטברות המתחילה במאי. בולטת קפיצה קטנה באפריל בריכוזים אשר כנראה מבטאת שקיעה של חומר ופירוק שלו בקרקעית באביב.

חנקן:

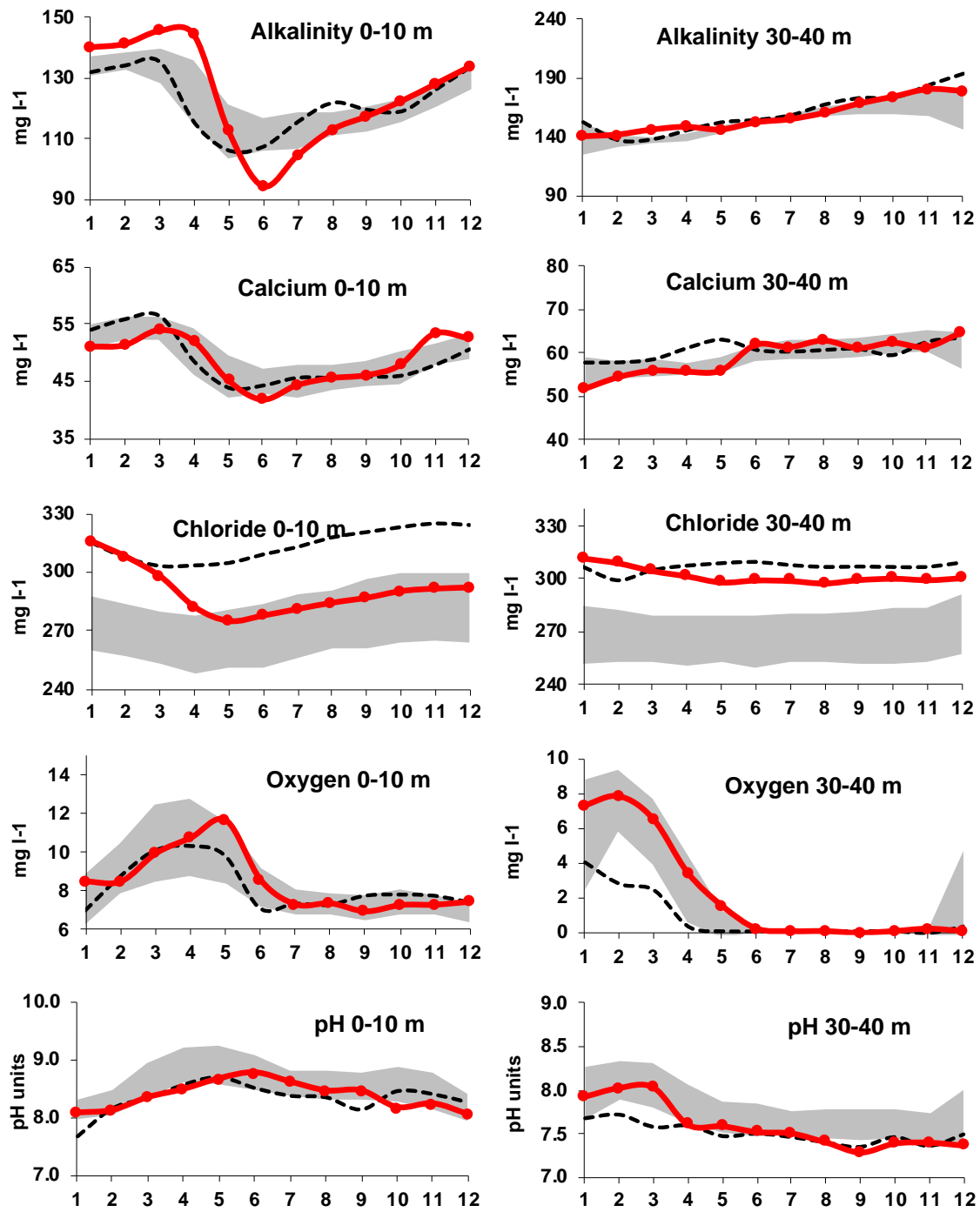
ערכי חנקן כללי ואורגני באפילימיניון דומים לערכי הממוצע הרב שנתי אם כי בחודשים אפריל - מאי טווח הערכים גבוה בתוך הממוצע הרב שנתי (חנקן אורגני) או אף מעליו (חנקן כללי). גם עבור ניטראט ישנם ערכים גבוהים מהממוצע הרב שנתי ושיא הריכוזים מאוחר יחסית באפריל ומאי. שיאים אלו מבטאים זרימה גבוהה בנחלים, בעיקר בירדן עם עומסים גבוהים של חנקן כללי שחציו בערך ניטראט ואורגני. דעיכת ניטראט מתרחשת יחסית מאוחר עד ערכי מינימום ביולי. בהיפולמניון חנקן כללי וניטראט גם גבוהים עם שיאי ניטראט מאוחרים באפריל - מאי ודעיכה מאוחרת. אמוניום מראה תבנית שנתיית רגילה עם התחלת הצטברות מעט מאוחרת ממאי. ניטריט מראה שני שיאים, אחד בתחילת השנה (דצמבר - ינואר) והשני במאי. תופעה זו המייצגת מעבר דו שלבי מניטראט לאמוניום אינה נצפית כל שנה והפעם האחרונה הייתה ב-2016.

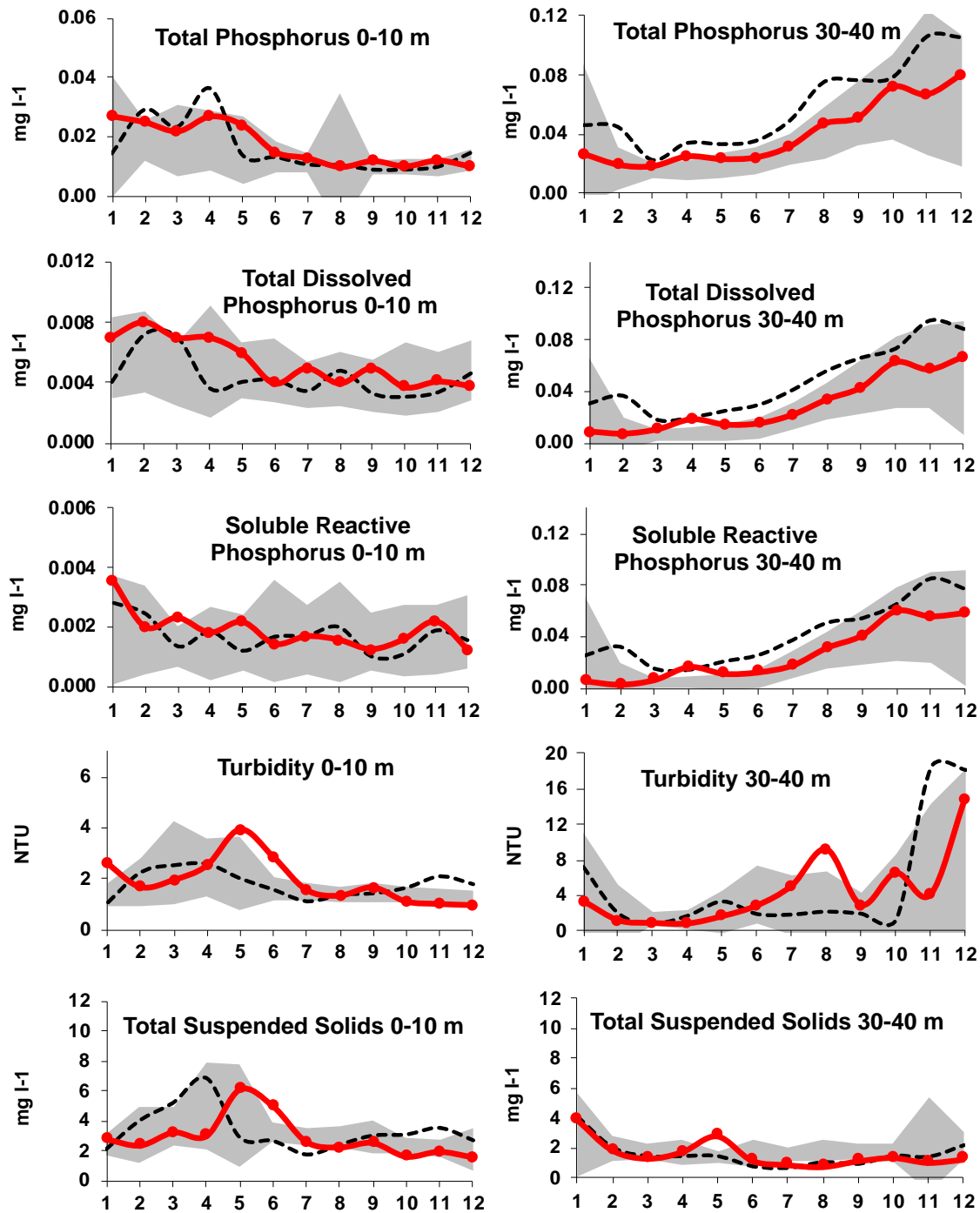
עכירות ומוצקים מרחפים:

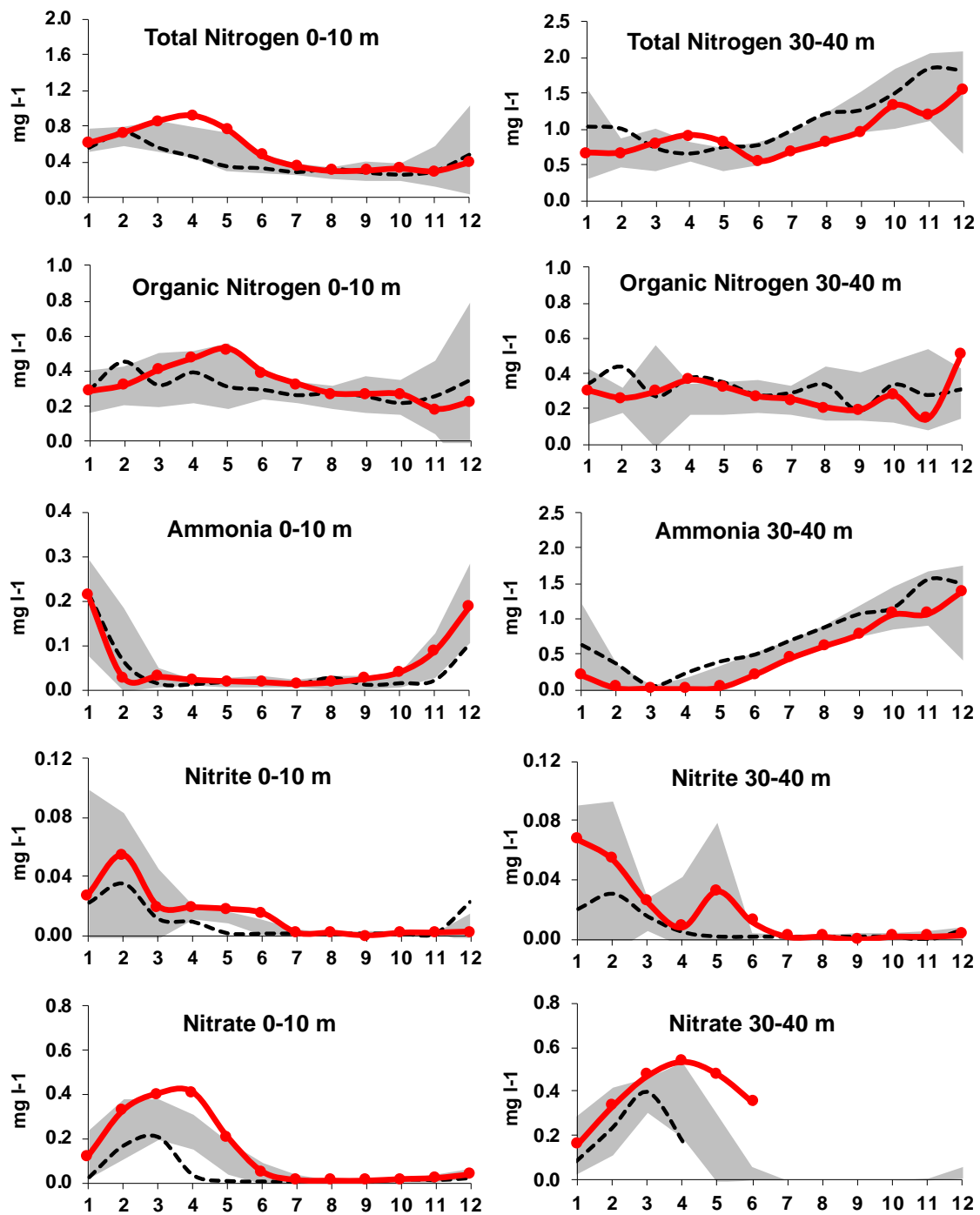
ערכי עכירות וסך המוצקים המרחפים ב-2019 נמצאים בתוך טווח הממוצע הרב שנתי, רב השנה, בשתי השכבות. באפילימיניון בולטות חריגות מעל הממוצע הרב שנתי במאי- יוני (עכירות) אך רק ביוני (מוצקים מרחפים) – תופעה המבטאת פעילות ביולוגית מוגברת בתקופה זו. בהיפולמניון סוף השנה בדרך כלל מאופיין בתנודות חזקות בעכירות כתוצאה מהתעמקות התרמוקלינה והסעת סדימנטים כך גם השנה. עם זאת שיא קטן באוגוסט 2019 מעל ערכי הממוצע הרב שנתי אינו מבטא תופעה זו ונשאר כתופעה לא מוסברת.

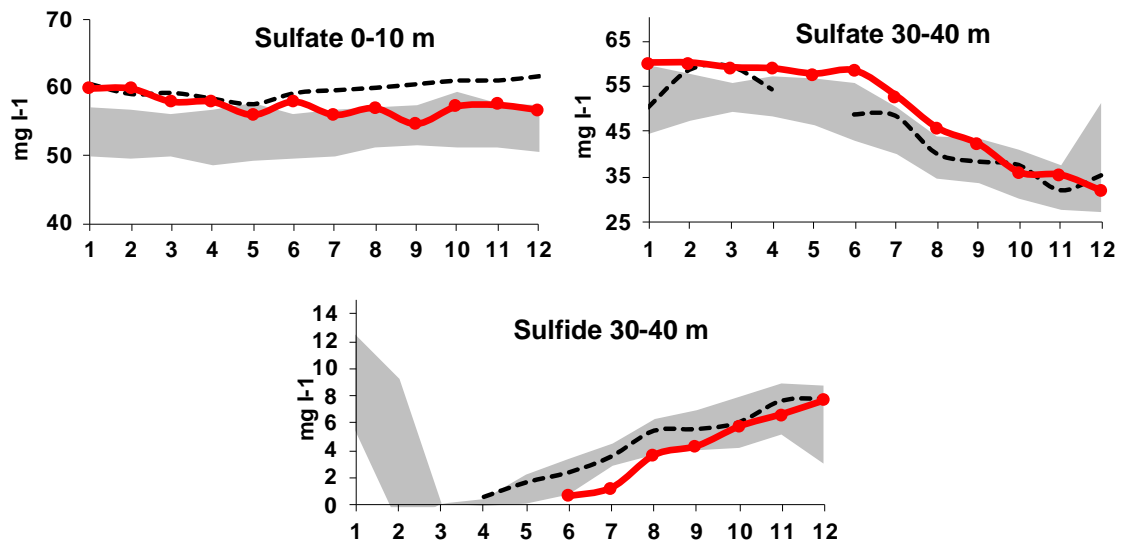
גופרית:

סולפאט באפילימיניון של 2019 מראה מגמת ירידה בתחילת השנה, זאת כתוצאה מהתדלדלות מאגר הסולפאט עם כניסת ספיקות גדולות בשנה זו. ממאי והלאה, ישנה התייצבות בסביבות ערכי הממוצע הרב שנתי. בהיפולמניון הערכים הגבוהים יחסית מבטאים בעיקר ירושה של השנה הקודמת הכלואה בהיפולמניון מתחילת התייצבות השיכוב. מיוני והלאה כמו בכל שנה ישנה ירידה בסולפאט המתואמת עם עליה בסולפיד. העלייה בסולפיד מתחילה מאוחר יחסית כאשר מיוני ועד יולי זאת עליה מתונה מאד ורק מיולי מתחילה עליה חזקה יותר המביאה את ערכי הסולפאט בהמשך אל תוך התחום של הממוצע הרב שנתי. פעילות מאוחרת זו בהיפולמניון תואמת פעילות מאוחרת כללית בכנרת בשתי השכבות כפי שתואר לעיל עבור פרמטרים רבים.









איור 15: ממוצעים חודשיים של ריכוזי הפרמטרים השונים בכנרת בשנת 2019 (קו אדום) בהשוואה לשנה הקודמת (2018, קו שחור מרוסק) ולממוצע הרב שנתי \pm סטיית תקן אחת של עשר השנים שלפניה (-2008, 2017 רקע אפור). הנתונים מוצגים בנפרד עבור שכבת המים העליונה (1-10 מ' עומק) והתחתונה (30-40 מ' עומק).

2.7 קיבוע חנקן



**במימון
רשות
המים**

שירה ניניו, נחמה רושנסקי, עכסה לופו, זהר פריימן

- קיבוע החנקן ב- 2019 התפרס על פני עונה קצרה מהרגיל.
- השיא בקצבי הקיבוע נמדד בתחילת חודש ספטמבר, יחד עם שיא בפריחה של הכחולית אפניזומנון.
- בסך הכל קובעו באגם כ- 47 טון חנקן אטמוספרי במהלך פריחת הכחוליות הקיציות.

רקע

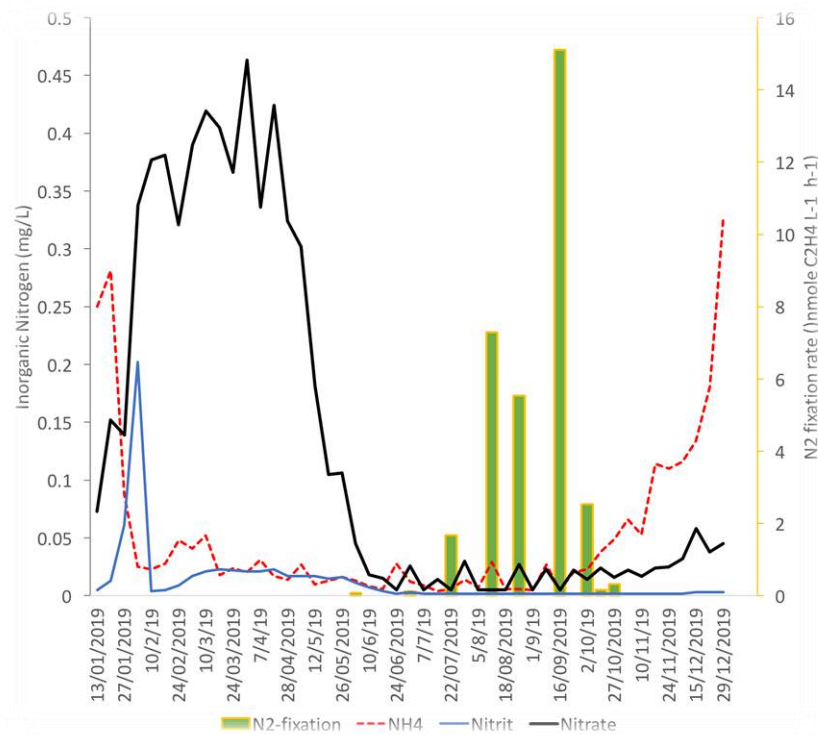
קיימים מספר תהליכים התורמים לכניסה ויציאה של חנקן מהמערכת האקולוגית של הכנרת ומשפיעים על מאזן החנקן באגם. אחד מתהליכים אלו הינו תהליך ביולוגי של קיבוע חנקן אטמוספרי המתרחש בחודשי הקיץ. בתקופה זו ניתן לצפות בפריחות של ציאנובקטריה מקבעות חנקן כמו אפניזומנון וצילינדרוספרמופסיס המתרכזות באזור הפוטי. ללא 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. מדידות של קצבי קיבוע החנקן במי הכנרת החלו בקיץ של שנת 2001 ומאז מהווים חלק מהניטור באגם בקיץ ובסתיו.

שיטות

בדיקת פוטנציאל קיבוע החנקן במי כנרת מתבצעת על ידי הדגרה בעומקים שונים *in situ*. המדידה מסתמכת על פעילות האנזים ניטרוגנאז המצוי בתאים מיוחדים הקרויים הטרוציסטים, והאחראי על קיבוע החנקן האטמוספרי. המעקב במעבדה נעשה ע"י תהליך חזור גז האצטילן לאתילן ע"י הניטרוגנאז, ומדידת שעורי האתילן הנוצרים על ידי כרומטוגראף גזים.

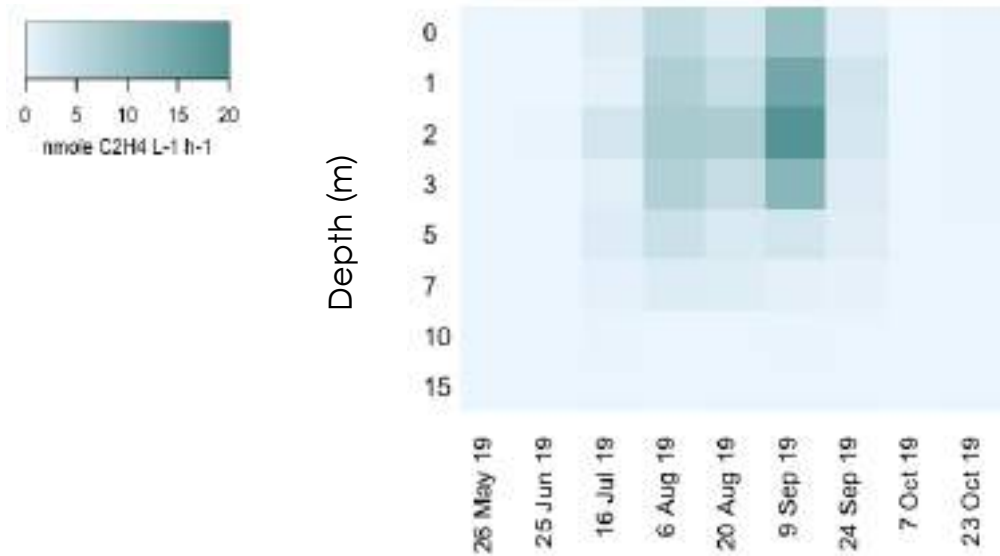
תוצאות ודין

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 2019 נצפתה תלות זו אולם בשל ריבוי הגשמים והזרימות החזקות בנחלים, אוגר החנקן באגם היה גבוה ועונת הקיבוע התקצרה באופן משמעותי. רק בחודש יוני ירד ריכוז הניטראט לערכים נמוכים מספיק המעודדים פעילות קיבוע, ואילו כבר באוקטובר החלה עליה בריכוז החנקן באפילימניון והסתיימה עונת הקיבוע (איור 16).



איור 16: קיבוע חנקן (קצב ממוצע בעומקים 1-3 מ') וריכוזי חנקן אי-אורגני מסיס ב-3 מ' (מיליגרם לליטר) ב 2019.

ב- 2019 נמדדו ערכי קיבוע חנקן נמוכים יחסית לשנים האחרונות, וסה"כ קיבוע החנקן לשנת 2019 הסתכם ב- 47.3 טון לאגם, בהשוואה ל- 70.66 בשנת 2018, ו- 94.53 טון בשנת 2017 (טבלה 5). במהלך עונת הקיבוע נמדד שיא הקיבוע בחודש ספטמבר, עם קצב של 1 טון חנקן מקובע לאגם ליום, באותו הזמן נספרו גם ערכי השיא העונתיים בריכוז הפילמנטים של אפניזומנון, עם קרוב ל- 600 פילמנטים למ"ל. יש לציין שריכוז הפילמנטים של צילינדרוספרמופסיס הגיע לערכים גבוהים מאוד ב- 2019 עם שיא ב- 20 לאוגוסט, אז נספרו מעל 3000 פילמנטים למ"ל, אולם אותה התקופה לא הצטיינה בפעילות שיא של קיבוע חנקן, כך שככל הנראה תרומתה של האצה אפניזומנון משמעותית יותר מזו של צילינדרוספרמופסיס בהיבט של קיבוע חנקן באגם. ניתוח של פיזור פעילות הקיבוע מלמד שב- 2019 קצבי הקיבוע הגבוהים ביותר נרשמו בעומק של 2 מ' (איור 17), וזאת למרות שפיזור הפילמנטים לעומק עמודת המים הפוטית היה אחיד יחסית. עונת הקיבוע הסתיימה באוקטובר עם העלייה בערכי האמוניה באגם, והקיבוע שנמדד בסוף אוקטובר כבר היה אפסי.



איור 17: מפת חום המייצגת את הפיזור האנכי של קצבי קיבוע החנקן בעמדות המים מ-1-15 מ' בשנת 2019. הגוון מייצג את קצב הקיבוע שנמדד ביחידות $\text{nmole C}_2\text{H}_4 \text{ L}^{-1} \text{ h}^{-1}$, על פי הסרגל שלמעלה.

טבלה 5: קיבוע חנקן בכנרת בשנים 2001-2019

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
2019	47.3

2.8 ייצור שניוני חיידקי



**במימון
רשות
המים**

שירה ניניו, נחמה רושנסקי

- בשנת 2019 נמדדה פעילות חיידקית גבוהה מזו שנמדדה בשנים האחרונות.
- ערכי שיא שנתיים נרשמו באפריל וביולי עם קצבי קיבוע של 2,181 מג' פחמן למ"ר ליום, ו- 1,793 מג' פחמן למ"ר ליום.
- הפיזור האנכי של הפעילות מצביע על כך שהפעילות ממוקמת גם באזור הפוטי, וגם בעומק האגם.

רקע

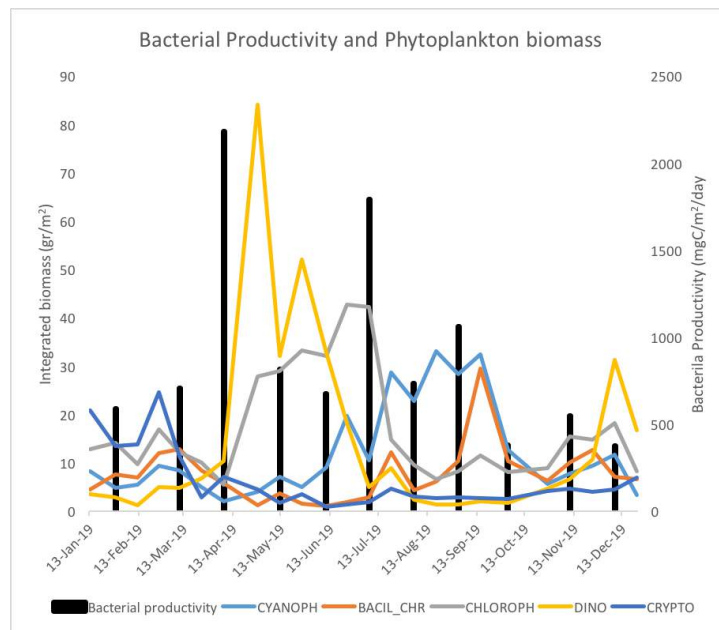
חיידקים הטרוטרופיים הם מרכיב חשוב במארג המזון, עם תפקיד מרכזי בפירוק חומר אורגני ומיחזור נוטריינטים. החיידקים מגיבים מהר לשינויים באגם כולל פריחות של אצות או עליה אחרת בביומסה. התחקות אחר פעילות חיידקית מאפשרת קבלת תמונה של פיזור תהליך הפירוק של חומר אורגני באגם בזמן. מעקב שגרתי אחר פרמטר זה חשוב בכדי לגלות שינויים בתפקוד הלולאה המיקרוביאלית בפרט, והמערכת האקולוגית של האגם בכלל.

שיטות

הייצור החיידקי Bacterial Biomass Production (BBP) נמדד על ידי מעקב אחר קליטת החומצה האמינית לאוצין המסומנת רדיואקטיבית. ניטור ייצור שניוני של חיידקים (ב-6 עומקים בתחנה A) החל ב-2001 ונמשך ב-2019 בתדירות של פעם בחודש.

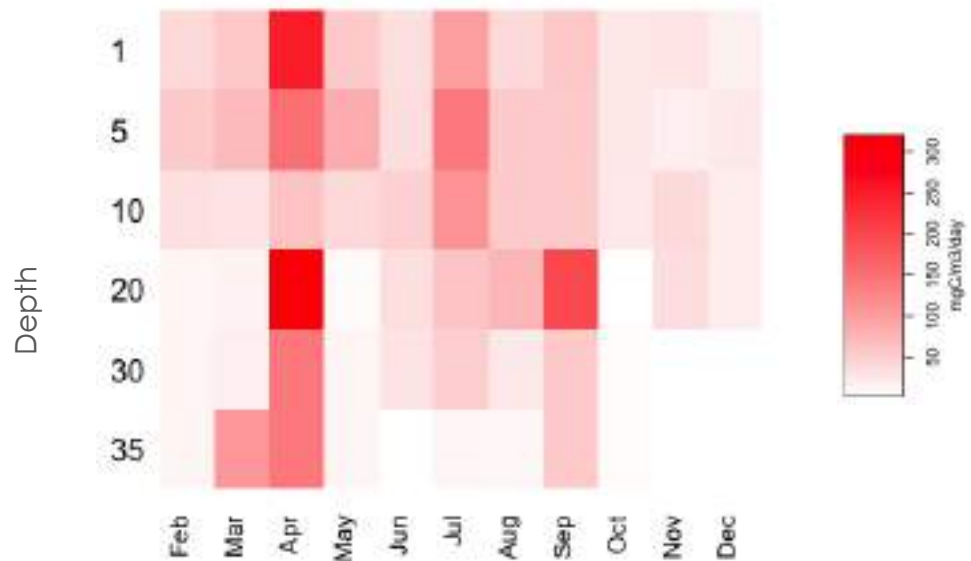
תוצאות ודין

הייצור החיידקי שנמדד ב-2019 היה גבוה מזה שנמדד בשנים האחרונות. ערכי שיא שנתיים נרשמו באפריל וביולי עם קצבי קיבוע של 2,181 מ"ג פחמן למ"ר ליום בחודש אפריל, ו-1,793 מ"ג פחמן למ"ר ליום בחודש יולי (איור 18). הנתונים מצביעים על פעילות חיידקית מוגברת בחודשים אלה, וישנה סבירות שהפעילות המוגברת קשורה לפירוק ביומסה לאחר פריחות של פיטופלנקטון. העלייה בפעילות החיידקית באפריל ככל הנראה מלווה את פירוק הביומסה מפריחות חורפית של קריפטומונס ואחרים בחודשים פברואר ומרץ, אך יתכן וקיימים גורמים נוספים. לעומת זאת, בחודש יולי ככל הנראה קשורה הפעילות המוגברת לפירוק הביומסה של דינופלגלטים ושל הירוקית סטאורסטרומ, שהופיעו יחד באפריל וקרוסו בבת אחת בחודש יולי.



איור 18 : ביומסה של פיטופלנקטון וייצור חיידקי (מ"ג פחמן/מ"ר/יום). בעמודת המים האפילימנטית ב-2019 הערכים מייצגים אינטגרציה של ערכים שנמדדו לאורך עמודת המים בעומקים 1-15 מטר.

בתקופות בהן נמדדה פעילות חיידקית מוגברת, הפיזור האנכי מצביע על כך שהפעילות ממוקמת גם באזור הפוטי, וגם בעומק האגם (איור 19). לדוגמה, בחודשים מרץ, אפריל ומאי נרשמה פעילות חיידקית מוגברת בעומקים שמתחת ל- 20 מ'. ככל הנראה מדובר בפעילות חיידקית המלווה את הפריחה ונמשכת גם עם קריסת הפריחה ושקיעתה. כלומר, בעוד הכח המניע לפעילות הינו הפריחות של מיני פייטופלנקטון, תהליך הקריסה והשקיעה של הפריחות מכתיב את המיקום של הפעילות החיידקית במרחב ובזמן.



איור 19: מפת חום המייצגת את הפיזור האנכי של היצרנות החיידקית בעמודת המים מ- 1-30 מ' בשנת 2019. הגוון מייצג את קצב היצרנות שנמדד ביחידות מ"ג פחמן/מ³/יום, על פי הסרגל שמימין.

2.9 ניטור מתכות כבדות בכנרת



בתמונה: מכשיר Perkin Elmer ICP-MS המחלקה לגיאוכימיה, המכון הגיאולוגי

**במימון
רשות
המים**

ירון בארי-שלוין, גלית שרעבי (המכון הגיאולוגי)

- עבור הרוב המוחלט של היסודות הנמדדים לא התגלו חריגות ריכח ביחס לתקנות מי שתיה.
- התגלו חריגות בהשוואה לתקנות מי שתיה עבור היסודות: אלומיניום, ברזל ואבץ בעיקר בפאזה החלקיקית.
- פרופילי המנגן מצביעים על זיקה בין תפוצתם בעמודת המים לבין משטר החימצון-חיזור באגם.

מטרת המחקר

ניטור שוטף של מתכות קורט באגם ובמוצא הירדן והמשושים.

רקע

הדו"ח הנוכחי מייצג את פעולת ניטור מתכות קורט באגם הכנרת לשנת 2019. עבודה זו הינה במסגרת פרויקט הניטור הרב שנתי הנעשה בשיתוף פעולה בין המכון הגיאולוגי לבין המעבדה לחקר הכנרת (חיא"ל), במימון רשות המים. מטרתה הינה ניטור ריכוזי מתכות קורט במי הכנרת ובמספר נחלים. מחקר זה מדווח מידי שנה לרשות המים. הדו"ח כולל תיאור הניטור וטבלאות המכילות את תוצאות האנליזות של היסודות השונים. תוצאות ניטור המתכות הכבדות מושוות בדו"ח לרמות המותרות במי שתיה (מי הכנרת אינם מי שתיה אלא מי גלם לשתייה), ע"פ תקנות בריאות מים מעודכנות לשנת 2013 (תקנות בריאות העם 2013). בהמשך, כמו בדוחות קודמים, אנו מצרפים דיון בהתנהגות הביו-גאו-כימית של קבוצת יסודות מסוימת. תקופת הניטור המדווחת הינה ינואר עד דצמבר 2019. פעולת הניטור כוללת שלושה פרופילי עומק במרכז האגם (תחנה A) בחודש מרץ (סוף תקופת השיכוב) במקטע של כל 5m, כאשר במדידות בתקופת השיכוב (מאי וספטמבר) נוספו דיגומים נוספים באזור האוקסיקלינה. במקביל נדגמו מי הירדן (גשר אריק) ומי נחל המשושים (סמוך לשפכו של הנחל לאגם).

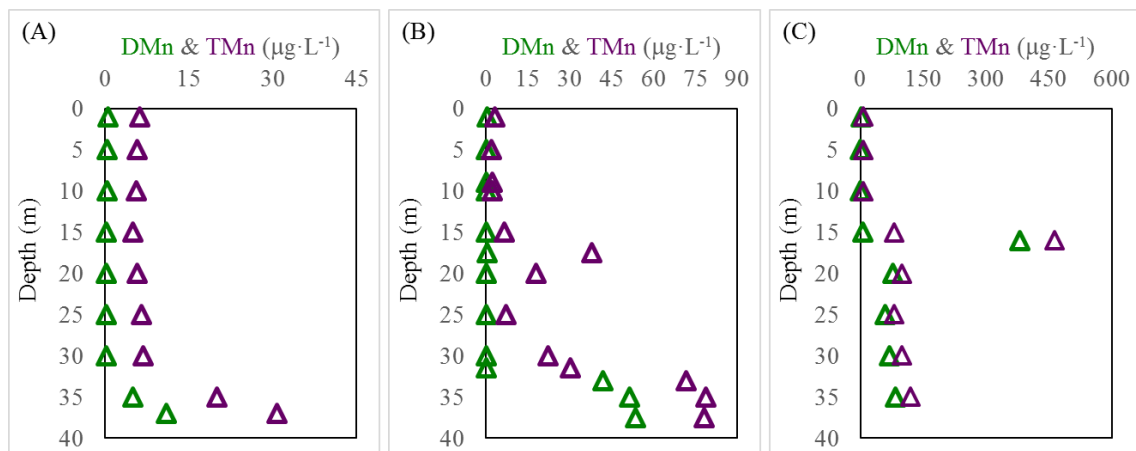
שיטות

דוגמאות מים נאספו באמצעות משאבה פריסטלטי (Masterflex L/S® Easy-Load Head) במרווחים של 5m וברזולוציה גבוהה יותר בתקופת השיכוב, סביב האוקסיקלינה. דוגמאות מים לדיגום יסודות עיקריים נאספו בבקבוקי פלסטיק בנפח של 100 mL שנשטפו 3 פעמים במי הדוגמה ומולאו עד תומם למניעת בריחת גזים מהמים. הבקבוקים נשמרו בקירור (4°C) עד למדידה. דוגמאות מים לדיגום יסודות קורט נאספו בבקבוקי LDPE 125 mL שנשטפו מראש עם ANALYTICAL GRADE HNO₃ 15.6 N HNO₃ (1:4), כאשר עבור ריכוז מתכות כללי נוספו מיד 15 mL חומצה חנקתית מרוכזת (Backer INSTRA-ANALYZED HNO₃). עבור ריכוז מתכות מומס, המים סוננו במהלך השאיבה באמצעות פילטר סטרילי חד פעמי (Whatman 0.45 micron cellulose nitrate) אל תוך בקבוק המכיל 5 mL של חומצה חנקתית 3N. מטרת הליך דיגום זה הינה לזהות את ריכוז יסודות הקורט בדוגמה, כולל מתכות ספוחות. דוגמאות אלו לא נשמרו בקירור. אנליזות המים בוצעו באגף לגיאוכימיה וגיאולוגיה סביבתית במכון הגיאולוגי. קטיונים עיקריים ויסודות קורט, כגון Ba, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Sr, נמדדו באמצעות ICP-OES, Optima 5300, Perkin Elmer. הדוגמאות הוחמצו עם חומצה חנקתית ו-5 ppm Sc המשמש כסטנדרט פנימי. דיוק השיטה עבור יסודות עיקריים וקורט הינו ±0.5% ו-±10% בהתאמה. יסודות קורט נוספים, כגון As, Mo, Zn, נמדדו באמצעות ICP-MS NexION 300D, Perkin Elmer. דיוק השיטה הינו ±10%.



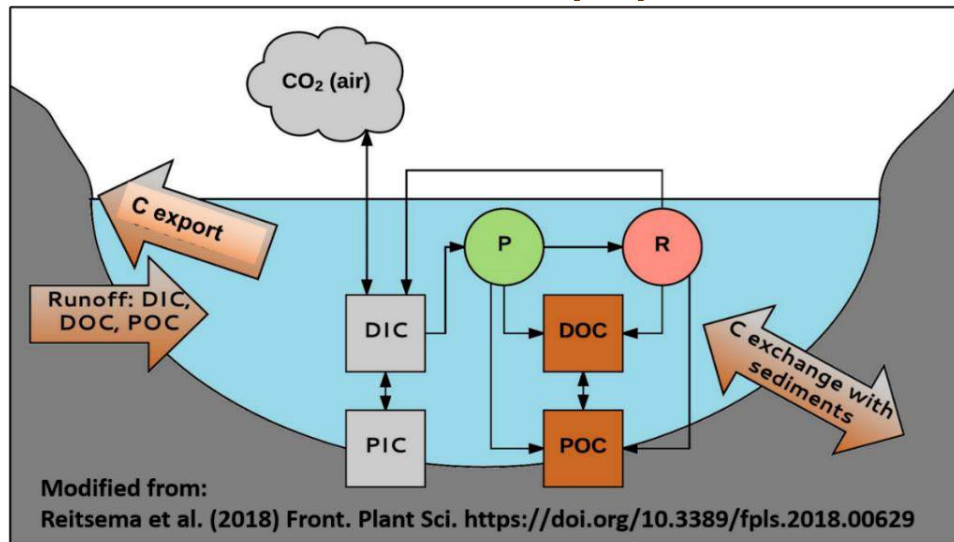
תוצאות ודין

השנה התמקדנו במחזור המנגן בכנרת. פרופילי מנגן אלה מצביעים על זיקה בין תפוצתם בעמדות המים לבין משטר החימצון חזור באגם. בתנאים מחמצנים המנגן מופיע כחלקיקי תחמוצות קשות תמס, ובתנאים מחזרים, מופיע באופן דומיננטי כמומס. כפי שניתן לראות בפרופיל המנגן הכללי (TMn) והמומס (DMn) במרץ, עד לעומק של 35m המים מחומצנים ולפיכך הצורון השולט הוא מנגן חלקיקי ומתחת לעומק של 35m, בסמוך לקרקעית האגם, מתחילים להיווצר תנאים מחזרים והמנגן מופיע בעיקר כצורון מומס (איור 20A). בהמשך, בחודש מאי, המנגן המומס כבר מופיע מתחת לעומק של 33m בהתאם לסביבה המחזרת. כמו כן נצפה שיא בריכוז מנגן חלקיקי בעומק 17.5m בתוך שכבת המטלימניון- ככל הנראה כתוצאה של הצטברות חומר חלקיקי שוקע באזור זה המאופיין במעבר בין צפיפויות מים שונות. בספטמבר 2019 מתקבל פרופיל מנגן אופייני, כאשר התרמוקלינה מתייצבת סביב ה - 17m ובהתאם לכך האוקסיקלינה הנמצאת בתוך התרמוקלינה (איורים 20A,20B). כתוצאה מכך ישנו מעבר מצורון חלקיקי למומס עם המעבר לסביבה המחזרת בעומק זה. במקביל נראה פיק המנגן מומס ($380 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$) המתקבל במטלימניון זאת ככל הנראה כתוצאה משילוב של הצטברות חומר חלקיקי שוקע כמו במאי ומעבר לצורון המומס כתוצאה מהסביבה המחזרת.



איור 20: השתנות ריכוז מנגן כללי (TMn), ריכוז מנגן מומס (DMn) לאורך עמדות המים בכנרת תחנה A. (A) מרץ 2019, (B) מאי 2019, (C) ספטמבר 2019.

2.10 פחמן אורגני ואנאורגני מומס וחלקיקי



במימון
רשות
המים

ורנר אקרט, בני סולימני

- ריכוזי הפחמן האורגני המומס בעמודת המים של הכנרת הראו הבדלים קטנים בין העומקים השונים, אך היו גבוהים בכ- 6% בהשוואה ל- 2018.
- ב- 2019, הערכים המרביים של הממוצעים החודשיים של כלל המוצקים המרחפים והפחמן האורגני החלקיקי היו בחדש יוני.

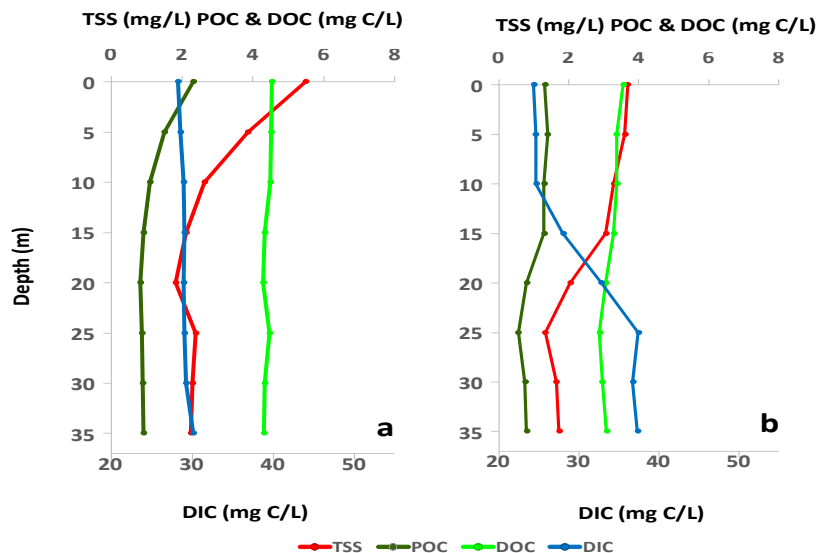
הקדמה

במסגרת הניטור מדדנו את ריכוזי הפחמן המומס בעמודת המים של הכנרת ב-8 עומקים, זאת במקביל למדידה של החומר החלקיקי באותם העומקים. הדיגום בוצע במקום העמוק באגם, בתחנת הדיגום השגרתית (תחנה A). החומר החלקיקי נאסף ע"ג פילטר סיבי זכוכית (GF/F), בעל קוטר נקב ממוצע של 0.7 מיקרון ואילו התסנין של דוגמאות אלה 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 לפי איבוד המשקל לאחר 4 שעות שריפה ב-540°C. לפי זה כמות הפחמן האורגני החלקיקי (POC) תואמת למחצית החומר השרוף.

תוצאות 2019

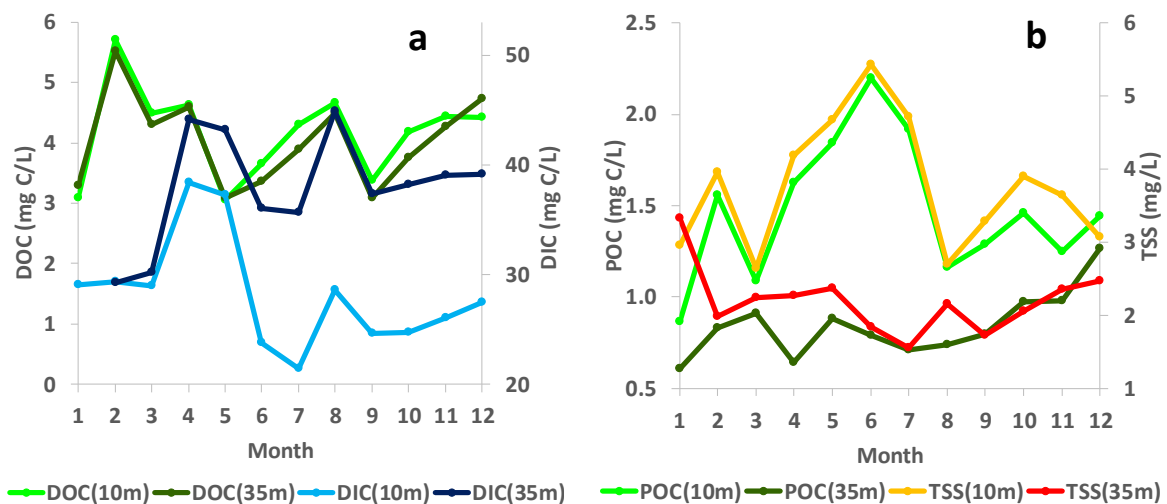
במהלך 2019, ריכוזי הפחמן האורגני המומס בעמודת המים של הכנרת היו 4.02 ± 0.764 מג"ל, גבוהים ב-0.24 מג"ל מאלו של 2018. כמו בשנים קודמות הפיזור האנכי של הפחמן האורגני המומס היה אחיד כפי שניתן לראות מהממוצעים החודשיים ממרץ עד ספטמבר (איור 21 a ו b). כפי שדווח בעבר, הפרופילים של ריכוז הפחמן האנאורגני המומס (DIC) הראו הבדלים בין חורף לקיץ, כאשר הריכוזים בהיפולימיניון עלו, בתקופת השיכוב התרמי, מ-29 מג"ל ל-38 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. ריכוז ה-TSS היה גבוה ביותר בחלקו העליון של האפילימיניון בתקופת האביב ועמד על 7 מג"ל ועם הירידה בעומק חלה ירידה בריכוזו עד לערך של 2 מג"ל, כנראה כתוצאה מהעיכוב בהופעת הפריחה האביבית של פיטופלנקטון ב-2019. באוקטובר ערכי ה-TSS היו בסביבות 4 מג"ל בפני המים ו-2 מג"ל בקרבת הקרקעית. כמו ה-TSS גם ריכוזי הפחמן האורגני החלקיקי (POC) הראו מגמה דומה והערכים שנמדדו היו בממוצע 38.5% מריכוז ה-TSS.



איור 21: ממוצעים חודשיים של TSS, POC, DOC, ו-DIC בעמודת המים של הכינרת שנמדדו: a. במרץ 2019. b. בספטמבר 2019.

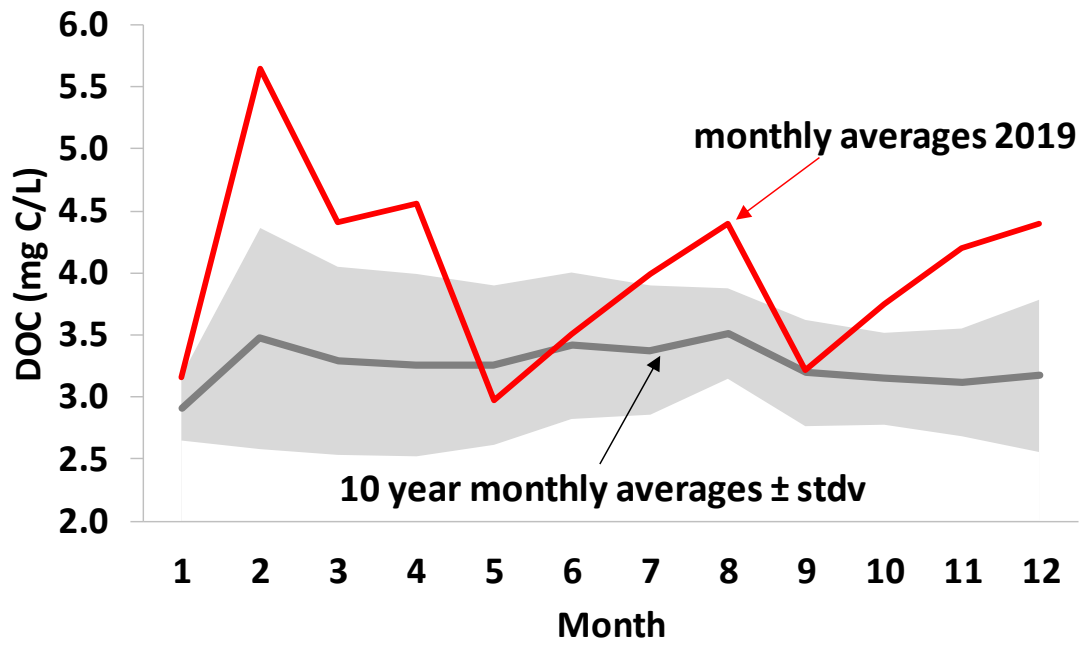
הפרופילים של פחמן אורגני מומס (DOC) בעמודת המים לא הראו הבדלים משמעותיים במהלך השנה כפי שניתן לראות מהגרפים של שינויי הריכוזים כפונקציה של הזמן בעומקים 10 ו-35 מטר (איור 22a). ריכוז DOC מרבי של 5.5 מג"ל פחמן נמדד בפברואר ומקורו כנראה באירועים שיטפוניים. בשאר חודשי השנה הריכוזים נעו בין 4.5 ל 3 מג"ל (איור 22a).

בניגוד לפחמן האורגני המומס, ריכוזי הפחמן האנאורגני המומס הראו שינויים עם הזמן והעומק, כאשר הריכוזים באפילימניון ירדו מ-38 מג"ל פחמן באפריל ל-22 מג"ל ביולי ולאחר מכן נצפתה מגמת עליה הדרגתית עד לסוף השנה. תוצאות אלו מראות קורלציה הפוכה עם פריחת הפיטופלנקטון שהגיעה לשיא בחודש יוני כפי שניתן לראות מערכי הפחמן האורגני החלקיקי (POC) וכלל המוצקים המרחפים בעומק 10 מטר שעמדו על 2.3 מג"ל ו-5.5 מג"ל בהתאמה (איור 22b). הסבר נוסף לקורלציה הפוכה זאת יכול לנבוע משקיעה של קלציט כתוצאה מעליה בערכי ה-pH בזמן פריחת הפיטופלנקטון. בחודש ינואר נמדדו ריכוזי TSS גבוהים יחסית (3.5 מג"ל) שמקורם בחומר אנאורגני חלקיקי שהגיע עם הזרימה השיטפונית מהירדן. ריכוזי ה-TSS וה-POC בהיפולימניון (איור 22b) הראו מגמות דומות במהלך כל השנה ונעו בין 1.8 ל 2.3 מג"ל עבור TSS ו-0.7 ל 3 מג"ל עבור POC.



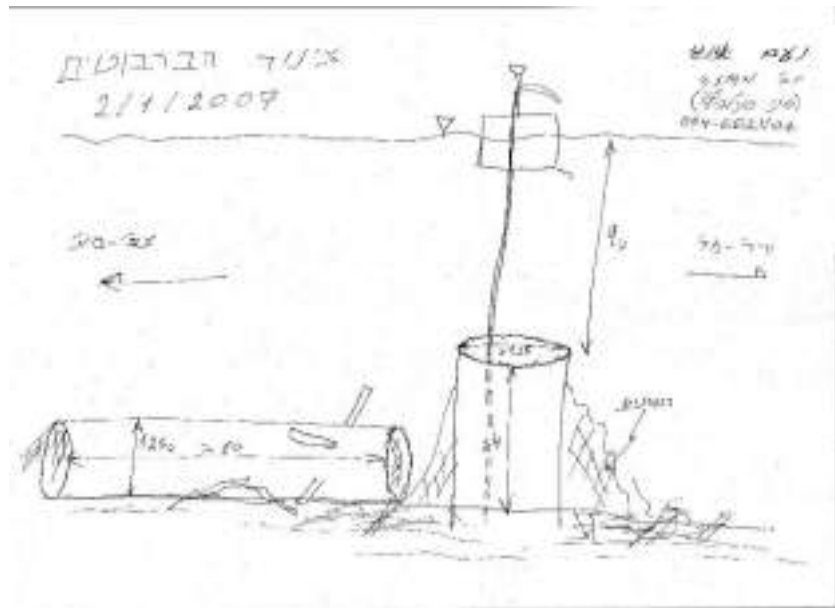
איור 22: שינוי עיתי בממוצעים חודשיים של : פחמן מומס אורגני ואי-אורגני (a) ופחמן חלקיקי וחומר מרחף (b) במהלך 2019 בעומקים 10 ו-35 מטר.

בשנת 2019 הממוצעים החודשיים של ריכוזי ה-DOC בעמודת המים של הכנרת היו שונים באופן מובהק מהממוצע הרב שנתי (איור 23). הריכוזים הגבוהים שנמדדו בתקופה שבין פברואר לאפריל, והגיעו לשיא של 5.7 מג"ל פחמן, הם ככל הנראה תוצאה של שיטפונות חורף.



איור 23: ממוצעים חודשיים של ריכוזי פחמן אורגני מומס בעמודת המים במרכז האגם ב- 2019 בהשוואה לערכי הממוצעים הרב שנתיים.

2.11 מדידת פרמטרים בצינור הברבוטים



במימון
רשות
המים

גדעון טיבור, תמי זילברמן (מכון גיאולוגי), עמי נשרי

- שינויי מליחות בנביעות ה"מלוחות" מבטאים שינויים ביחס שבין ספיקות המים באקוויפרים המתוקים לבין ספיקות התמלחת העמוקה "ספקית המלח".
- בין ינואר 2009 לשלהי 2011 חלה ירידה חריפה בריכוז הכלוריד בנביעת הברבוטים.
- מ-2011 ואילך חלה התייצבות בריכוזי המליחות בתחום של בין 900 עד 1500 מג"ל.
- מטרת העבודה הייתה לבחון את הסיבות לירידה החריפה שבין 2009 לבין 2011. בנוסף, בנביעת הברבוטים קיימת מגמה עונתית של עליה בריכוז הכלוריד בתקופת החורף-אביב וירידה קיצית בניגוד למעיינות היבשתיים.
- המגמה ארוכת הטווח של הניטרט היא של ירידה מריכוזים יחסית גבוהים, יותר מ-1 מג"ל חנקן לריכוזים שהם בסדר גודל של 0.3 מג"ל.

מטרות הניטור

- א. קביעת שטפי מים ומליחים מצינור הברבוטים לכנרת.
- ב. ניסיון לקביעת המנגנונים השולטים בשפיעת נביעה זו.

רקע

ניטור נביעת הברבוטים ע"י המעבדה לחקר הכנרת, חיא"ל, החל בדצמבר 2007 וכלל מגוון של פרמטרים. ניטור רציף של ספיקת המים בצינור הברבוטים החל בדצמבר 2007 והסתיים בסוף נובמבר 2016. מאז לא מתבצע ניטור חיוני זה מאחר ולא נמצא כסף לרכישת מד זרם חדש. בשנים הראשונות לפרויקט נוטרו ברציפות שעתית גם המליחות (מוליכות חשמלית) והטמפרטורה של המים. לאורך כל תקופת הניטור (מסוף 2007 עד 2020) בוצע דיגום חדשי שלאחריו קביעה מעבדתית של ריכוזי כלוריד, ניטרט וההרכב האיזוטופי של חמצן 18 במים. בשנים הראשונות כלל ניטור זה גם קביעת ריכוזי מומסים עיקריים כגון סידן, מגנזיום, אלקליניות קרבונטית, נתרן, אשלגן סטרונציום ובריום. אנליזה של כלורידים ניטרט ואלקליניות מבוצעת במעבדה לחקר הכנרת, חיא"ל, ואילו אנליזות לפרמטרים אחרים (קטיונים עיקריים והרכב איזוטופי) מבוצעים במכון הגאולוגי בירושלים. בשנת 2019 בוצע הניטור במתכונת המינימליסטית וכלל רק דיגום חודשי ואנליזות של כלוריד וניטרט במעבדת חיא"ל.

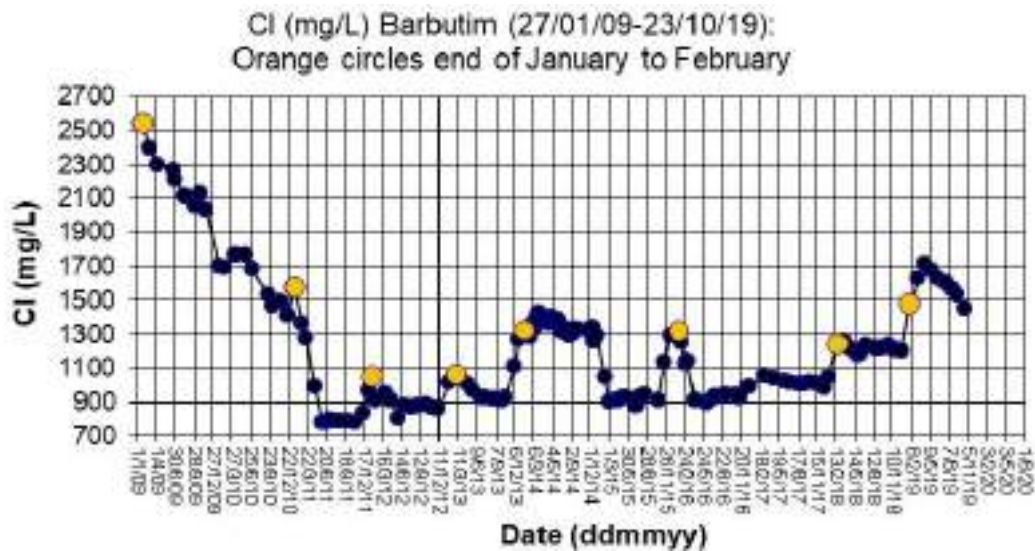
תוצאות ודין

בין ינואר לאפריל 2019 ריכוזי הכלורידים בצינור הברבוטים עלו מ-1,300 עד 1,700 מ"ג/ליטר ולאחר מכן החלו בירידה מתונה עד 1,346 מ"ג/ליטר באמצע דצמבר (איור 24). המוליכות החשמלית מצויה במתאם גבוה עם ריכוז הכלוריד (איור 25) והיא עוקבת אחרי המגמה שהתקבלה בכלוריד. ריכוזי הניטראט (איור 26) נעו בין 0.21 עד 0.63 מ"ג/ליטר כאשר הערכים הגבוהים היו בחודשים מאי וספטמבר-אוקטובר.

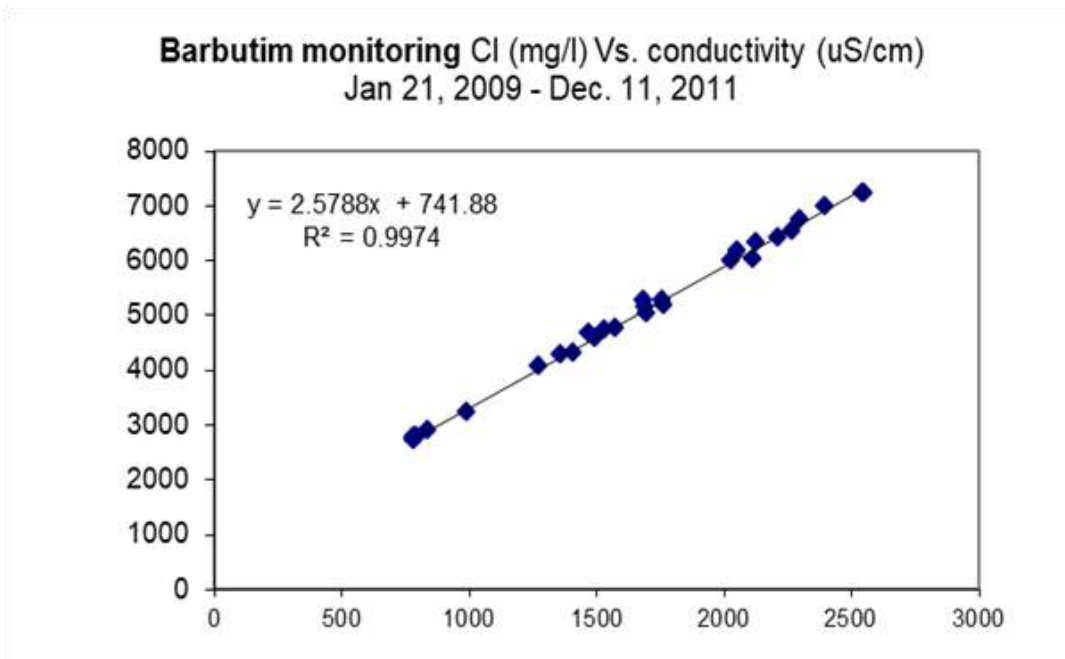
המגמות ארוכות הטווח (ינואר 2009 דצמבר 2020) מצביעות על ירידה התחלתית חריפה בריכוז הכלוריד בין 2009 לבין סוף 2011 מכ- 2700 מג"ל עד כ-800 מג"ל. מסתבר שמעבר למגמות הרב-שנתיות קימת בכל שנה גם מגמה עונתית, כאשר ריכוז הכלוריד בברבוטים עולה בכל שנה בתקופת החורף-אביב (עגולים צהובים באיור 24) ויורד לאחר מכן. המגמה ארוכת הטווח של הניטראט (איור 26) היא של ירידה מריכוזים יחסית גבוהים ב- 2009 (בערך 1.4 מג"ל) לבין כ- 0.5 מג"ל כיום. לדעתנו ירידה זו משקפת השתתפות פחותה והולכת של האקוויפר האאוקני הפריאטי בזרימות לנביעה בטבחה בד בבד עם עליה יחסית בספיקה שמוצאה באקוויפר חבורת יהודה העליונה שהוא כלוא באזור זה.

גם לספיקת המים מתכונת עונתית (איור 27) כאשר בחורף-אביב היא גדולה יותר מאשר בקיץ-סתיו. ההתנהגות העונתית הברורה היא מפתח להבנת ההידראוליקה של הנביעה ולכן היא גם מספקת הסבר להתנהגות הרב-שנתית. כך בברבוטים גשמים ועלית המפלסים באקוויפרים המזינים מתבטאים בעליה בריכוז הכלוריד ובספיקת המים של הנביעה. מאידך במעיינות טבחה

היבשתיות עונת הגשמים מביאה אמנם גם כן לעליה בספיקה אבל גם למיהול עם מים מתוקים ולירידת ריכוז הכלוריד. השנים שבין 2009 עד סוף 2011 מאופיינות כתקופה של בצורת והתקופה שבה החלה שאיבה מוגברת של הבארות המפיקות שנקדחו מצפון מערב לכנרת ובד בבד נפילה חריפה (כמה עשרות מטרים) במפלסי מי התהום שסמוכים לאגם. דהיינו, תקופה שבה ניתן היה לצפות לספיקות שנתיות ירודות של מים מתוקים מהאקוויפרים ולמעשה זו אמורה להיות תמונת ראי של האפקטים שבהם ניתן לצפות בברבוטים בחורף-אביב.

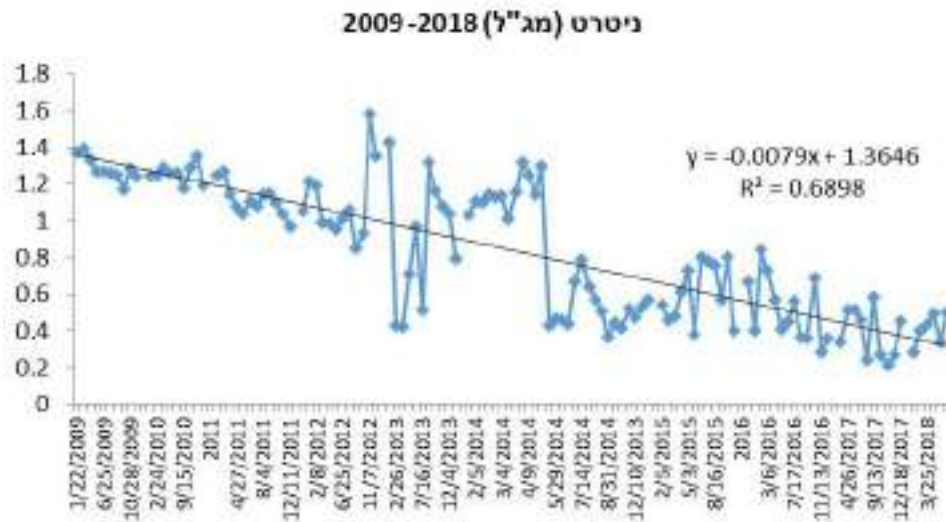


איור 24: ריכוז כלוריד בברבוטים (במ"ל)

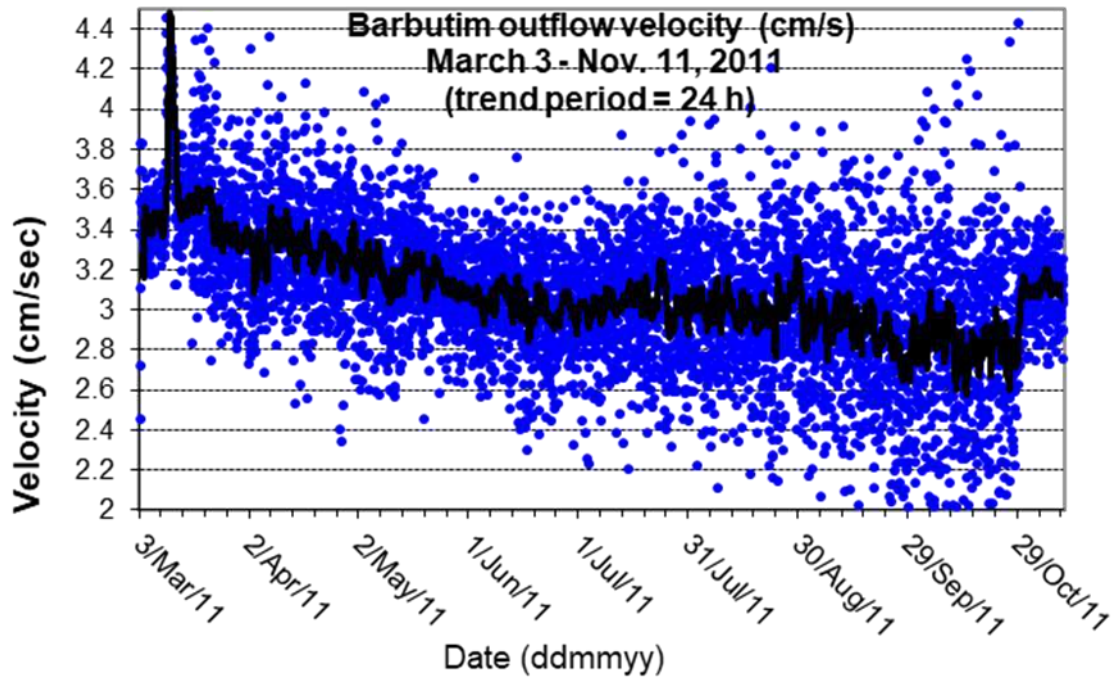


איור 25: ריכוז הכלוריד כנגד המוליכות החשמלית בברבוטים (מיקרו-סימנס לס"מ)



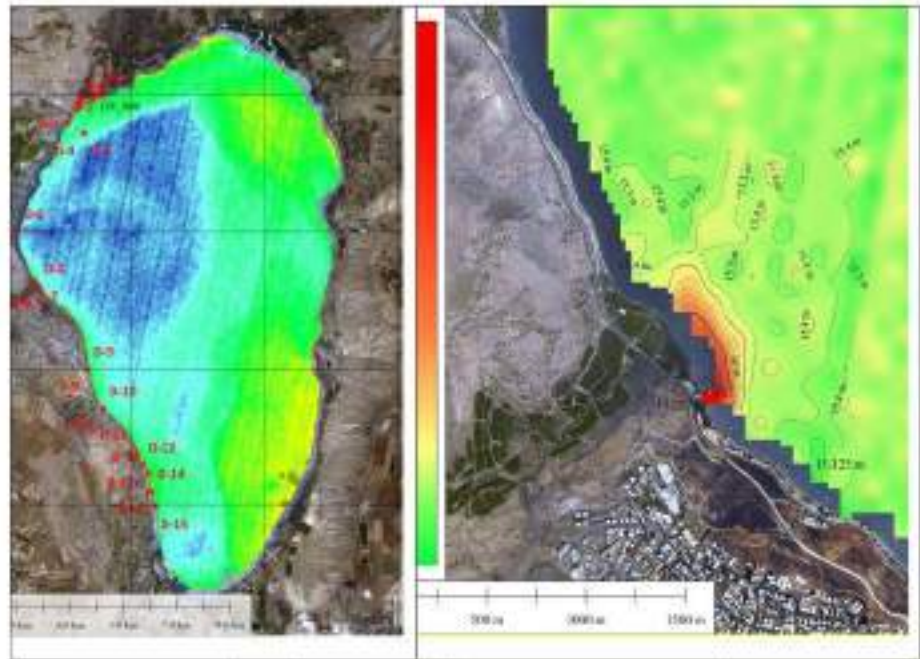


איור 26: ריכוז הניטרט בברבוטים (במיליגרם חנקן לליטר)



איור 27: הדגם העונתי של המהירות ("ספיקת מים") שנמדדה בצינור הברבוטים ממרץ עד אוקטובר 2011.

2.12 איתור נביעות מלוחות נוספות



**ניטור
מורחב-
במימון
רשות
המים**

גדעון טיבור, עמי נשרי, ירון בארי-שלוין

- באנליזות התרמיות של צילומי הלווין מהחוף המערבי התגלו 15 אזורים שבהם יש אנומליות תרמיות במים היכולות להגיע עד 3°C יותר מהסביבה.
- באזור טבחה האנומליה המשמעותית ביותר שמופתה ברחפן היא זו שנגרמה מהנביעה היבשתית של עין נור.
- באזור הנביעה של פולייה היוצרת גם אנומליה במים וכן צפונית ודרומית לכיפה נראה שיש שלוש כניסות של מים חמים מהיבשה שיוצרים אנומליות חזקות.

מטרת המחקר

- א. לאפיין את ההרכב הכימי והאיזוטופי של המקורות המלוחים השאריתיים בקרקעית הכנרת.
- ב. זיהוי "אתרים חשודים" כנביעות באמצעות מיפוי אנומליות תרמיות בפני המים מצילומי לוויין תרמיים וממצלמה תרמית המותקנת על רחפן.
- ג. לבחון באמצעות דיגום ואנליזה כימית- איזוטופית "אתרים חשודים" אלו כדי לבחון האם הרכב המים הדולף באתר זה מתאים לתמלחות השאריתיות העיקריות של הכנרת.

רקע

מליחות הכנרת מהווה בעיה תפעולית למשק המים, בגלל שמימיה משמשים לשתייה ובהמשך כמים מושבים להשקיה חקלאית. מאזני המים והמלח מראים כי רכיב כניסות מלח לא מנוטרות מביא כ- 45,000 טון כלוריד ממקור לא ידוע מקרקעית האגם, לדוגמא מעיינות תת-ימיים. ההרכב הכימי של מקורות המליחות לכנרת נחקר בעבר ובמספר מחקרים הגיעו למסקנה שאלה הם מים מטיפוס "פוליה A". מסקנה זו נבעה בין השאר מהממצא שבמונחים של יחסי יסודות קונסרבטיביים Na/Cl & Br/Cl לנביעה זו ולמי הכנרת הרכב כימי דומה.

מאחר שהנביעה בפוליה A מנוקזת למוביל המלוח, להוציא את הנביעה התת-ימית של הברבוטים, הנחת העבודה במחקר זה היא שנביעות המליחות התת-ימיות הקימות אינן ממוקדות אלא פרוסות על שטח נרחב. למליחות במקורות המליחות לכנרת אסוציאציה ברורה עם חום מכיוון שמקור שניהם הוא עומק המסלע שסמוך לאגם או מתחתיו, בעיקר באזורים ליטורליים. אלה יוצרים אנומליות תרמיות בפני המים בעיקר בחודשים בהם טמפרטורת המים בכנרת נמוכה (דצמבר-מרץ). צילומי לוויין (Landsat 8) ביחד עם מצלמה תרמית המורכבת על רחפן יכולה לספק תמונה מרחבית טובה של אנומליות תרמיות ותמקד לעוד אתרים חשודים בכניסת מים מלוחים לכנרת.

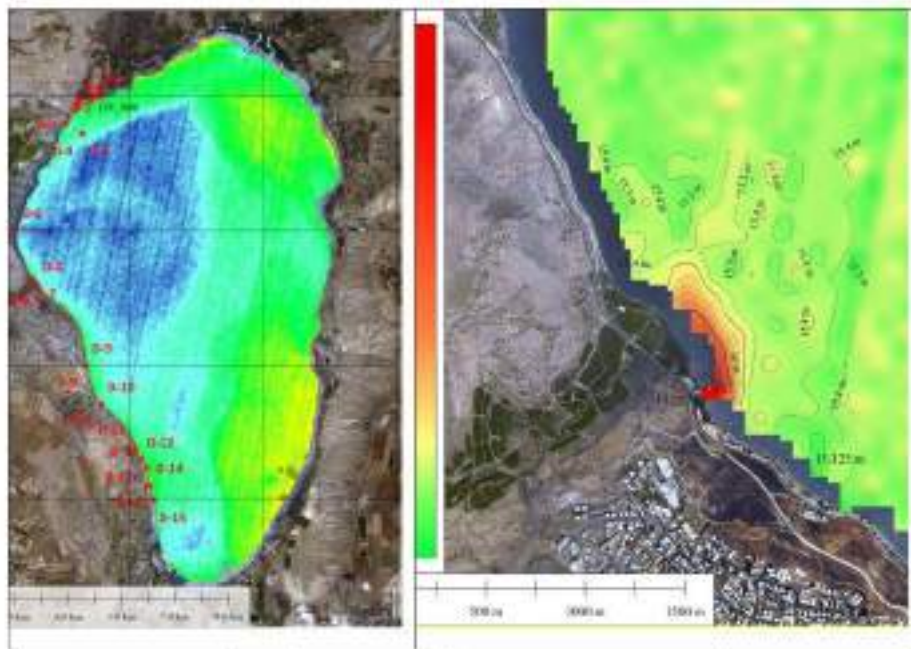
שיטות ואיסוף נתונים

בשלב הראשון נעשה עיבוד ואנליזה של הערוץ התרמי (אורכי גל של 10.6-11.2 mm ו- 11.5-12.5mm) בלוויין Landsat 8 שמצלם את הכנרת כל 16 יום. עיבוד הנתונים, כולל המרת הערכים המוקלטים בסנסור הלוויין (DN) לערכים רדיומטרים מתוקנים והפעלת אלגוריתם ייעודי הממיר אותם לערכי טמפרטורת פני השטח (SST). הרזולוציה המרחבית של הלוויין בערוצים התרמיים היא 100 מטר ודיוק הטמפרטורות היא כ-0.1⁰. בשלב השני נעשה מיפוי מפורט של האנומליות התרמיות שהתגלו מהלוויין באמצעות מצלמה תרמית מסוג Vue Pro R של חברת Flir שהותקנה על רחפן מסוג Phantom 4 של חברת DJI. הרחפן הופעל מספינת המעבדה לחקר הכנרת "ליליאן". עיבוד נתוני הרחפן, כולל יצירת אורתו-פוטו באור הנראה וב-FLIR של אזורים בהם נראו אנומליות תרמיות. העיבוד נעשה בתוכנת Agisoft. במקביל לדיגום הרחפן באזורי האנומליות התרמיות נלקחו דיגומי מים לצורך אנליזה כימית לקביעת המליחות ביחס לאזורי רקע שכנים ולקביעת הפרמטרים הכימיים - Cl, Na, Br המשמשים להגדרה "הכימית" של הנביעה.

תוצאות ודין

בשנת המחקר הראשונה נעשתה קומפילציה של כל הנתונים הקיימים במעיינות הימיים והיבשתיים לקראת אפיון ההרכב הכימי והאיזוטופי ($\delta^{18}\text{H}_2\text{O}$) של המקורות המלוחים השאריתיים בקרקעית הכנרת.

אנומליות תרמיות מעיבוד צילומי לוויין: חודשי החורף (דצמבר-מרץ) הם המתאימים ביותר לאיתור אנומליות תרמיות בפני המים כאשר ההבדל בין מי הכנרת הקרים למים החמים היוצאים מהנביעה התת ימית הוא הגדול ביותר. באנליזה של צילום Landsat 8 מתאריך ה-8 במרץ 2018 התגלו 15 אזורי אנומליות תרמיות בחוף המערבי (כוכבית אדומה באיור 28 בצד השמאלי). באזור נביעת פולייה היבשתית ניתן לראות בבירור את האנומליה התרמית המגיעה עד 3°C מעל הסביבה (איור 28 בצד הימני).



איור 28: מיקום האנומליות התרמיות שהתגלו מאנליזה של הערוץ התרמי של צילומי לוויין מסוג Landsat 8 בחוף המערבי של הכנרת. 15 אנומליות (כוכבית אדומה) התגלו בצילום מתאריך ה-8 במרץ 2018 ו-ב. אנומליה תרמית באזור פולייה (קונטורים כל 0.1°C) מצילום Landsat 8 מתאריך ה-7 ינואר 2018.

אנומליות תרמיות מעיבוד צילומי רחפן: במהלך 2019 נעשה איסוף נתונים מהרחפן באזור קו החוף של טבחה ופולייה בתאריכים: 5/3, 25/3, 26/3 ו-12/9 שכללו מספר טיסות שיצאו וחזרו מספינת הליליאן. האנומליה המשמעותית ביותר שמופתה באזור שבין עין נור לטבחה היא זו הנגרמת מהנביעה היבשתית של עין נור שבה המים החמים מגיעים מהיבשה ויוצרים באגם אנומליה בגודל של כ-150 מטר לאורך החוף וכ-50 מטר לתוך האגם (איור 29). האנומליות המשמעותיות ביותר שהתגלו באזור שנמצא מדרומית למגדל ועד מעגן הדייג בטבריה הם באזור הנביעה של פולייה

היוצרת גם אנומליה במים וכן צפונית ודרומית לכיפה נראה שיש שלוש כניסות של מים חמים מהיבשה שיוצרים אנומליות חזקות באגם (איור 30).



איור 29: אנומליות תרמיות מול עין נור כפי שהתקבלו מאנליזה של צילומי הרחפן בתאריך 25 למרץ 2019. (א) אורתופוטו של צילומי הרחפן בתחום האור הנראה ו-(ב) אורתופוטו של צילומי הרחפן בערוץ התרמי שבו האנומליה התרמית מופיעה בגוונים בהירים במים וביבשה.



איור 30: אנומליות תרמיות באזור הנביעה של פולייה מול תל רקעת כפי שהתקבלו מאנליזה של צילומי הרחפן בתאריך 5 למרץ 2019. ניתן לראות שהכיפה המכסה את הנביעה (חץ אדום) והבולדרים מסביבה מאוד חמים וכן את האנומליות התרמיות מצפון ומדרום לכיפה (גוונים בהירים במים וביבשה).

2.13 קצבי סדימנטציה



**במימון
רשות
המים**

איליה אוסטרובסקי, ניר קורן

- סדימנטציה הינה תהליך חשוב בהסרת חומר חלקיקי מעמודת המים ואחד התורמים העיקריים ליציבות מערכות אקולוגיות אגמיות.
- המטרה העיקרית של הניטור הינה מעקב אחר הדינמיקה העיתית והשינויים המרחביים של קצבי הסדימנטציה בכנרת.
- מדידות מפורטות של קצבי הסדימנטציה מוצגות עבור ארבע תחנות ניטור.

מטרת המחקר

מעקב אחר הדינמיקה העיתית והשינויים המרחביים של קצבי סדימנטציה בכנרת.

רקע

סדימנטציה הינה תהליך חשוב להסרת חומר חלקיקי מעמודת המים ואחד הגורמים העיקריים התורמים ליציבות מערכות אקולוגיות מימיות. קצבי הסדימנטציה הגולמיים בכנרת מנוטרים באופן קבוע החל משנת 1999 באמצעות מלכודות סדימנטים, והראו שונות עיתית ומרחבית משמעותית. תנודות מפלס גדולות באגם בשנים האחרונות השפיעו על תהליכי ההרחפה של הסדימנטים ושינויים בפיזור המרחבי של החלקיקים. אלה גרמו לשינויים בולטים במשטר הסדימנטציה באזורים השונים של קרקעית האגם. ניתן לקשור את השינויים בקצבי הסדימנטציה לתנודות בעומסי הסדימנטים המגיעים לאגם מאגן ההיקוות ועקב התנודות המשמעותיות במפלס פני האגם.

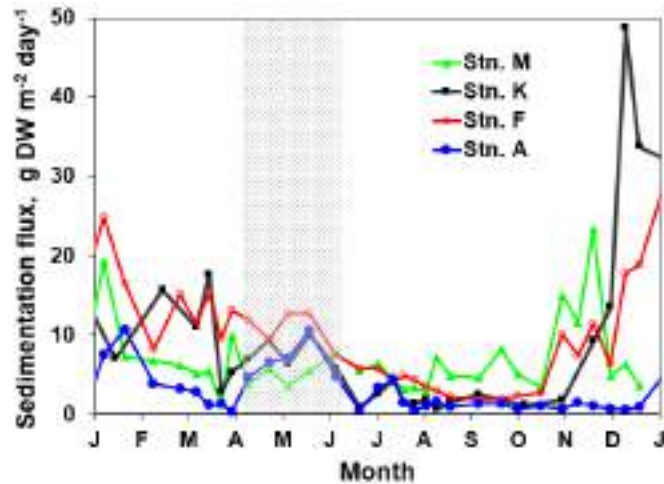
שיטות

קצבי סדימנטציה נבדקו ב- 4 תחנות באגם: A, F, M, ו-K. המלכודות הסטנדרטיות מורכבות מ- 4 (8 בתחנה A) צינורות בעלי קוטר של 5 ס"מ ואורך - 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 כממוצעים משוקללים של תאריכי הדיגום השונים. בנוסף, החומר שנאסף בתחנה A סורכז, יובש בהקפאה ונשמר עבור אנליזות עתידיות של ריכוזי נוטריינטים בחלקיקים.

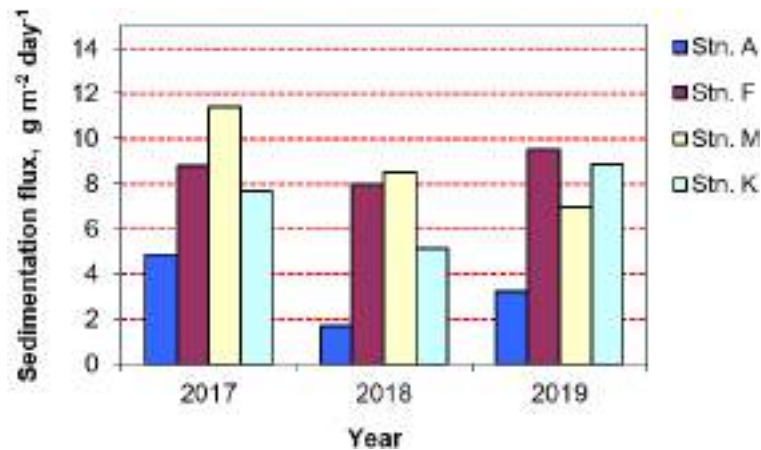
תוצאות ודין

במהלך חודשי החורף ובתחילת האביב (התקופה ההולומיקטית שבה עמודת המים מעורבת) בתחנות F, M ו-K, קצבי הסדימנטציה היו גבוהים משמעותית מאלו שנמדדו בקיץ ובסתיו (איור 31). בתקופת ההשקעה של הקלציט (אפריל ומאי) שיעורי השקיעה בתחנות A ו-K היו מעט גבוהים יותר מאשר בחודשי הקיץ. עליה קלה זו בקצבים הייתה פחות מובהקת מאשר בשנים הקודמות. בחודשי החורף והקיץ, בתחנות ההיקפיות F, K ו-M, קצבי השקיעה היו גבוהים בשיעור ניכר מאלה שבתחנה A. ראוי לציין כי קצבי השקיעה בתחנה K היו דומים בדרך כלל לאלה שבתחנה F, ואילו בדצמבר הקצבים בתחנה K היו גבוהים בהרבה מאשר בכל התחנות האחרות. העלייה הגדולה ביותר בקצבים בתחנות ההיקפיות K ו-F אירעה בנובמבר ודצמבר. תופעה זו נגרמה עקב ההעמקה המהירה של התרמוקלינה, אשר גרמה לרהסוספנסיה של סדימנטים טריים, עשירים בחומר אורגני. סדימנטים אלו הצטברו במהלך חודשי הקיץ והסתיו בהיפולימיניון, בקרבת מיקומי המלכודות הפריפריאליות, ההבדל בין תחנות F ו-K, הממוקמות בעומקים דומים, עשוי להיות קשור להבדל בין הצטברות חלקיקים אורגניים קלים ולתנועות המים ליד הקרקעית בדרום (תחנה K) ובצפון (תחנה F) האגם.

ב-2019 קצבי הסדימנטציה הממוצעים בתחנות M, F, A, ו-K היו 7.0, 8.7 גרם חומר יבש/מ"ר/יום, בהתאמה (איור 32). בשנים 1999-2018 קצבי הסדימנטציה הממוצעים בתחנות M, F, ו-A היו 0.2 ± 3.2 , 0.6 ± 9.4 ו- 1.2 ± 12.6 גרם חומר יבש/מ"ר/יום, בהתאמה. בשנת 2019 קצבי השקיעה בתחנות A ו-F היו דומים למוצעים הרב שנתיים שלהם. לעומת זאת, הקצב בתחנה M היה נמוך פי שניים מהמוצע הרב שנתי. ההבדל האחרון מעיד על כך שמפלס האגם הנמוך במהלך השנים האחרונות גרם ל"ניקוי" האזורים הרדודים מחלקיקים קלים, אשר הורחפו בקלות, והושקעו מחדש באזורים העמוקים יותר של האגם.



איור 31: דינמיקה עונתית של קצבי הסדימנטציה בתחנות השונות ב-2019. תקופת השקעת CaCO₃ באפריל והחצי הראשון של מאי מודגשת. העלייה הגדולה ביותר בקצבים בתחנות ההיקפיות K ו-F אירעה בדצמבר.



איור 32: קצבי סדימנטציה ממוצעים במיקומים השונים ב-2017 – 2019

2.14 זרחן באבק



במימון
רשות
המים

ירון בארי-שליון, אדית ליבוביץ', ניר קורן

- שטפי זרחן זמין באבק בטבחה: 31.7 טון/שנה ובכינר 43.1 טון שנה. ממוצע לכנרת-37.4 טון/שנה.
- תחנת כינר מראה שונות גבוהה יותר הן עונתית והן רב שנתית ביחס לטבחה.
- תרומות זרחן מאבק לאגם בתקופת הקיץ 20-13 טון.

מטרת המחקר

ניטור שוטף של תרומת הזרחן באבק לכנרת.

רקע

מתחילת שנת 2013 עברנו למתכונת ניטור שגרתית 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.

שיטות

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 אידי מוספים בהתאם לעונה ולצורך.

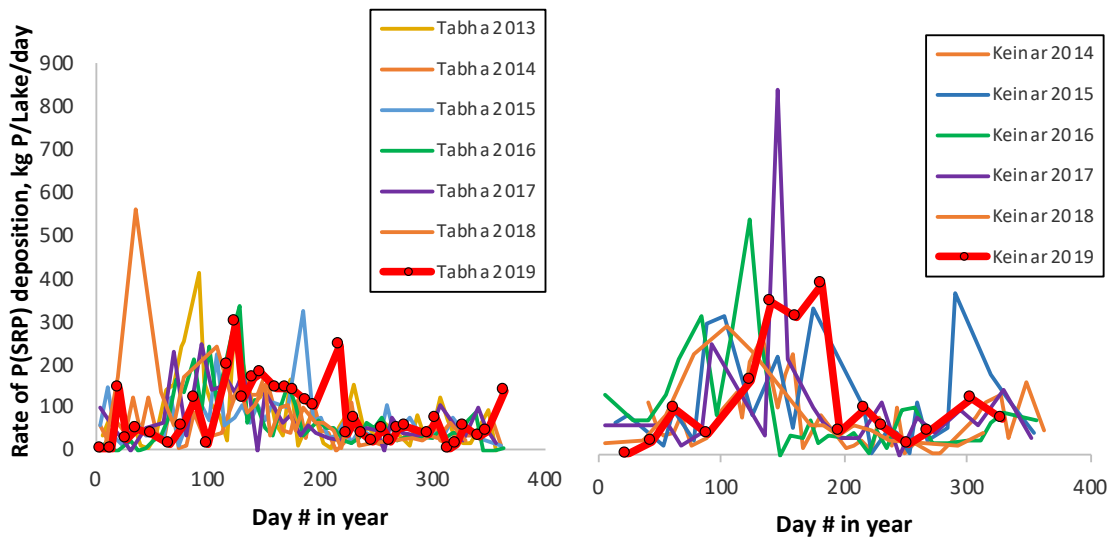
תוצאות ודין

בתחנת טבחה ניתן להבחין בשתי תקופות עיקריות של שטפי זרחן באבק (איורים 33 ו-34): 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 2019 לשנים הקודמות (איור 33) מראה כי למרות השינויים בגודל השטפים בתקופת האביב הרי שמגמת החלוקה העיקרית נשארת וכך גם גודל השטפים בקיץ, כאשר בתחנת טבחה ניתן לראות מגמה ברורה יותר משנים קודמות של דעיכה מתקופת האביב עד התייצבות לערכי קיץ של כ- 50 ק"ג זרחן ליום. בכינר מגמת הדעיכה פחות ברורה. לעומת זאת, תחנה זו מתאפיינת ב- 2019 בערכים גבוהים ויחסית יציבים של כמה מאות ק"ג זרחן ליום ואז נפילה לערכי קיץ של 30-130 ק"ג זרחן ליום (איורים 33 ו-34).

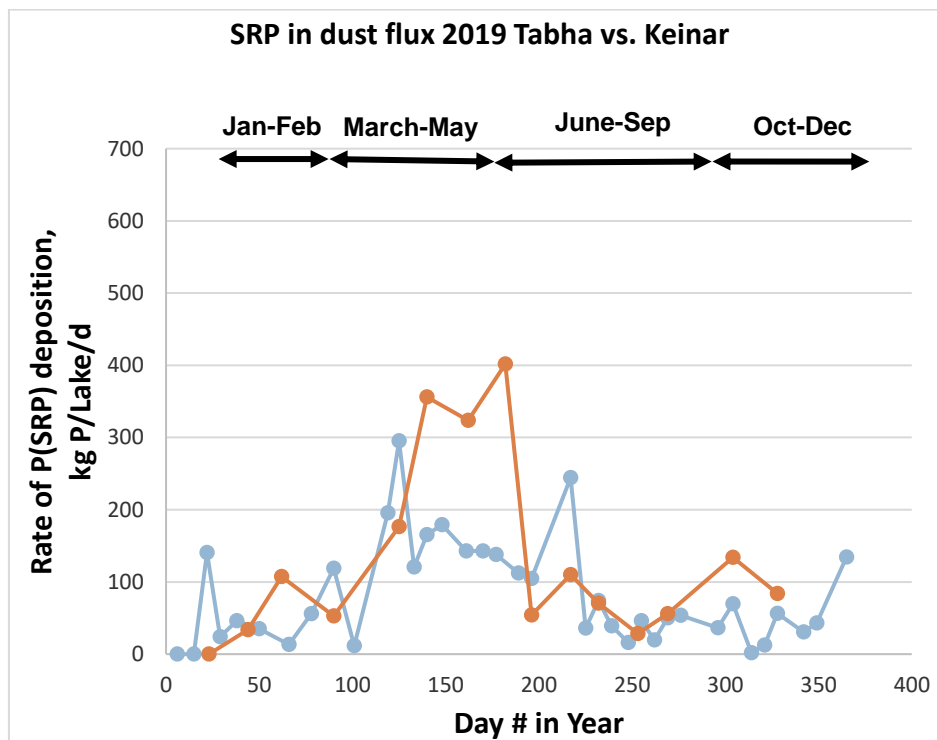
סך השטף השנתי ל- 2019 ממדידות בתחנת טבחה הינו כ- 31.7 טון, כ- 85% ביחס ל- 2018 ו- 115% ביחס לממוצע של 27.5 טון שחושב לתחנה זו עבור השנים 2013-2018. תחנת כינר מאופיינת בוואריאביליות לא קטנה ביחס לתחנת טבחה, זאת לא רק ברמה העונתית אלא גם ברמה הבין שנתית (איורים 33 ו-34). סך השטף השנתי ל- 2019 ממדידות בתחנת כינר הינו כ- 43.1 טון, כ- 140% ביחס ל- 2018 ו- 120% ביחס לממוצע של 36.3 טון שחושב לתחנה זו עבור השנים 2014-2018. ממוצע בין שתי התחנות נותן ערך של 37.4 טון /שנה זרחן מאבק לכנרת.

בחינה של תרומת האבק לזרחן מומס זמין לכנרת 2019 מראה כי שטפים בסדר גודל של 13-20 טון בתקופת הקיץ (טון עד 9 טון לחודש), התקופה בה שטפי הזרחן מאבק נמוכים יחסית 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 ובתקופות בצורת במהלך כל השנה.

SRP in dust fluxes 2013 - 2019



איור 33: השוואת שטפי זרחן מומס עבור השנים 2013-2019 בתחנות טבחה (גג המעבדה לחקר הכנרת) ו השנים 2014-2019 בתחנת כינר.



איור 34: שטפי זרחן מומס בכנרת כפי שנמדדו בתחנות טבחה (גג המעבדה לחקר הכנרת): קו כחול וכינר: קו אדום בשנת 2019.



2.15 חיידיקים אינדיקטורים לזיהום צואתי



**במימון
רשות
המים**

שירה ניניו, ריקי פנקס, נחמה רושנסקי

- ב – 2019 נמדדו ריכוזים גבוהים מאוד של חיידיקים אינדיקטורים לצואה בתקופת החורף.
- מקור הזיהום נבחן בשיטות מולקולריות ונמצא שבמקרים רבים מדובר במעלי גירה, אך נמצאו גם זיהומים ממקור חזירים וממקור הומאני.

רקע

במסגרת הניטור השגרתי נבחנים 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 הכנרת 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 הכוללים:

- אתרי שאיבה
- חופים מייצגים
- אתרי כניסה של נחלים לכנרת

שיטות

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).

תוצאות ודין

ב- 2019 נמדדו ריכחים גבוהים מאוד של חיידקים אינדיקטורים לצואה. 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 הגבוהים בסדר גודל מאלו שנרשמו ב- 2018 – 9,200 ו- 4,500 חיידקי קוליפורמים צואתיים ל- 100 מל' בנקודת הדיגום מול שפך הירדן (טבלה 6).

טבלה 6: אינדיקטורים חיידקיים לזיהום צואתי (מס' ב- 100 מ"ל מים) בתחנות שונות ב- 2019. תקן מי שתיה מחייב 0 חיידקי צואה ל-100 מ"ל, ובחופי רחצה מותרים קוליפורמים צואתיים (Fecal c.) עד 400 ל-100 מ"ל, ואנטרוקוקים עד 104 ל-100 מ"ל.

STATION: JORDAN			
	Fecal C.	E. Coli	Enteroc.
Jan.	9200	3400	1740
Feb.	4500	600	199
Mar.	400	174	59
Apr.	94	49	40
May.	1	0	20
Jun.	8	7	3
Jul.	53	33	0
Aug.	1	1	0
Sep.	1	0	0
Oct.	8	0	4
Nov.	4	4	1
Dec.	27	3	10

STATION: TIBERIAS INTAKE			
	Fecal C.	E. Coli	Enteroc.
Jan.	20	20	28
Feb.	90	43	36
Mar.	3	3	1
Apr.	14	8	11
May.	7	4	37
Jun.	1	2	1
Jul.	0	0	0
Aug.	2	0	1
Sep.	4	2	1
Oct.	34	5	6
Nov.	51	12	9
Dec.	7	4	5

STATION: WATERCARRIER INTAKE			
	Fecal C.	E. Coli	Enteroc.
Jan.	76	37	42
Feb.	350	112	38
Mar.	13	5	8
Apr.	0	0	5
May.	6	0	13
Jun.	2	0	4
Jul.	246	49	0
Aug.	3	0	0
Sep.	1	0	0
Oct.	6	3	2
Nov.	1	1	0
Dec.	9	10	2

STATION: JORDAN VALLEY INTAKE			
	Fecal C.	E. Coli	Enteroc.
Jan.	24	12	12
Feb.	14	7	6
Mar.	4	0	11
Apr.	7	4	29
May.	7	0	25
Jun.	1	0	2
Jul.	1	0	0
Aug.	3	0	0
Sep.	1	0	0
Oct.	2	0	1
Nov.	7	4	0
Dec.	2	5	2

STATION: GOLAN INTAKE			
	Fecal C.	E. Coli	Enteroc.
Jan.	25	13	16
Feb.	6	0	2
Mar.	13	2	9
Apr.	4	2	12
May.	2	0	23
Jun.	0	0	0
Jul.	22	12	0
Aug.	0	0	0
Sep.	3	0	0
Oct.	0	0	0
Nov.	2	2	4
Dec.	24	13	8

STATION: KIBSY			
	Fecal C.	E. Coli	Enteroc.
Jan.	3800	990	2700
Feb.	1	0	0
Mar.	10	1	11
Apr.	17	1	24
May.	0	0	24
Jun.	3	0	3
Jul.	348	73	0
Aug.	12	1	0
Sep.	0	0	0
Oct.	5	0	1
Nov.	0	1	1
Dec.	49	17	10

STATION:AMNUN

	Fecal C.	E.Coli	Enteroc.
Jan.	560	120	305
Feb.	925	450	164
Mar.	11	10	8
Apr.	40	24	13
May.	1	0	2
Jun.	7	2	2
Jul.	76	24	0
Aug.	1	0	0
Sep.	1	0	0
Oct.	7	1	2
Nov.	3	2	0
Dec.	5	4	2

STATION:MASUBA

	Fecal C.	E.Coli	Enteroc.
Jan.	20	20	10
Feb.	41	28	32
Mar.	10	2	18
Apr.	41	23	46
May.	6	0	7
Jun.	3	0	8
Jul.	16	16	3
Aug.	3	0	0
Sep.	1	1	0
Oct.	1	0	1
Nov.	3	1	1
Dec.	11	1	20

STATION:BUGEI

	Fecal C.	E.Coli	Enteroc.
Jan.	120	18	58
Feb.	3	0	2
Mar.	10	3	10
Apr.	6	2	12
May.	1	0	15
Jun.	1	0	0
Jul.	9	6	2
Aug.	1	0	0
Sep.	1	0	1
Oct.	2	0	1
Nov.	3	1	2
Dec.	33	16	14

STATION:MAAGAN

	Fecal C.	E.Coli	Enteroc.
Jan.	36	25	24
Feb.	11	9	3
Mar.	7	2	10
Apr.	3	1	14
May.	0	0	18
Jun.	1	0	1
Jul.	6	1	2
Aug.	4	0	0
Sep.	1	2	0
Oct.	4	3	1
Nov.	3	3	3
Dec.	11	9	6

STATION:ZACHI

	Fecal C.	E.Coli	Enteroc.
Jan.	720	280	480
Feb.	139	46	61
Mar.	21	5	21
Apr.	34	24	41
May.	5	0	3
Jun.	3	1	6
Jul.	11	13	13
Aug.	5	0	0
Sep.	4	0	0
Oct.	12	4	7
Nov.	2	1	1
Dec.	3	6	3

STATION:ALUMOT

	Fecal C.	E.Coli	Enteroc.
Jan.	88	48	70
Feb.	2	0	3
Mar.	4	0	5
Apr.	4	0	14
May.	1	0	17
Jun.	3	0	1
Jul.	4	0	0
Aug.	9	8	2
Sep.	1	1	1
Oct.	8	1	4
Nov.	1	0	1
Dec.	3	5	2

STATION:AMUD

	Fecal C.	E.Coli	Enteroc.
Jan.	40	15	10
Feb.	495	60	24
Mar.	25	5	4
Apr.	0	0	11
May.	4	31	27
Jun.	1	0	8
Jul.	3	0	3
Aug.	3	0	3
Sep.	0	0	0
Oct.	0	0	0
Nov.	9	8	6
Dec.	10	5	1

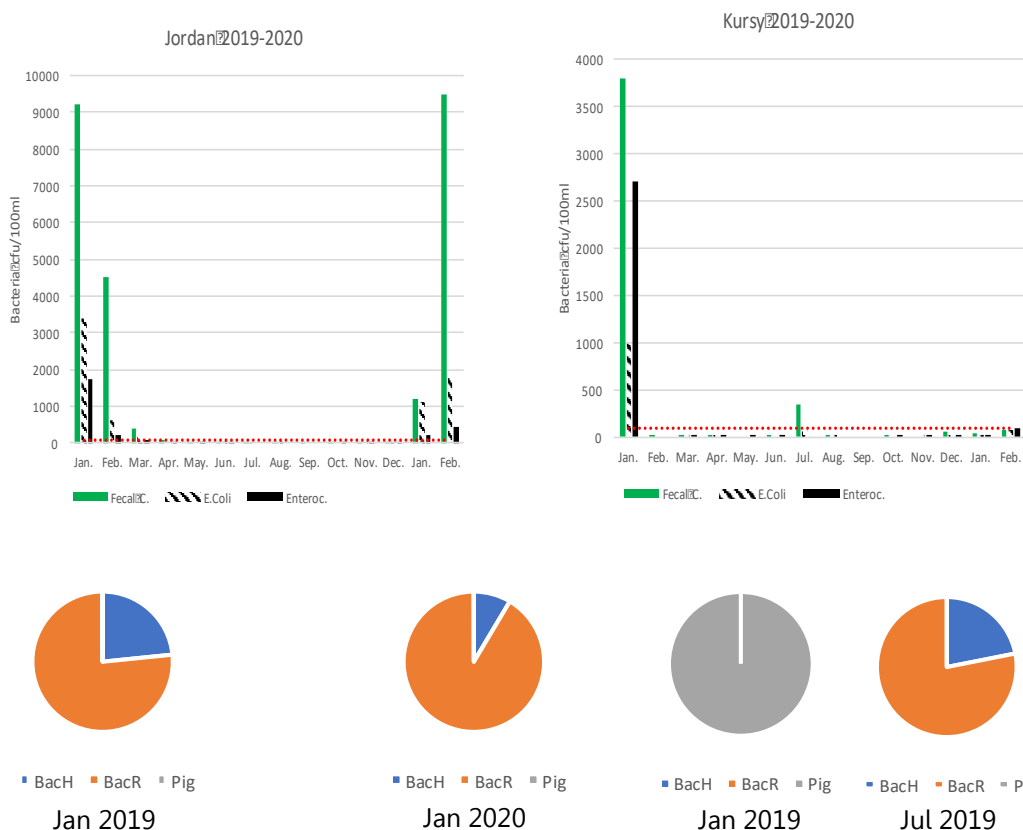
STATION:YARDUCH

	Fecal C.	E.Coli	Enteroc.
Jan.	290	200	175
Feb.	29	19	19
Mar.	3	1	2
Apr.	4	0	18
May.	100	111	19
Jun.	2	1	1
Jul.	1	1	0
Aug.	3	4	2
Sep.	11	4	0
Oct.	13	6	11
Nov.	1	1	3
Dec.	1	2	1

במקרים שבהם נמצאו ערכים גבוהים של אינדיקטורים לצואה, מעל 100 חיידקים ל-100 מ"ל, הופעלה שיטה מולקולרית בשם Microbial source tracking (MST) על מנת לזהות את מקור



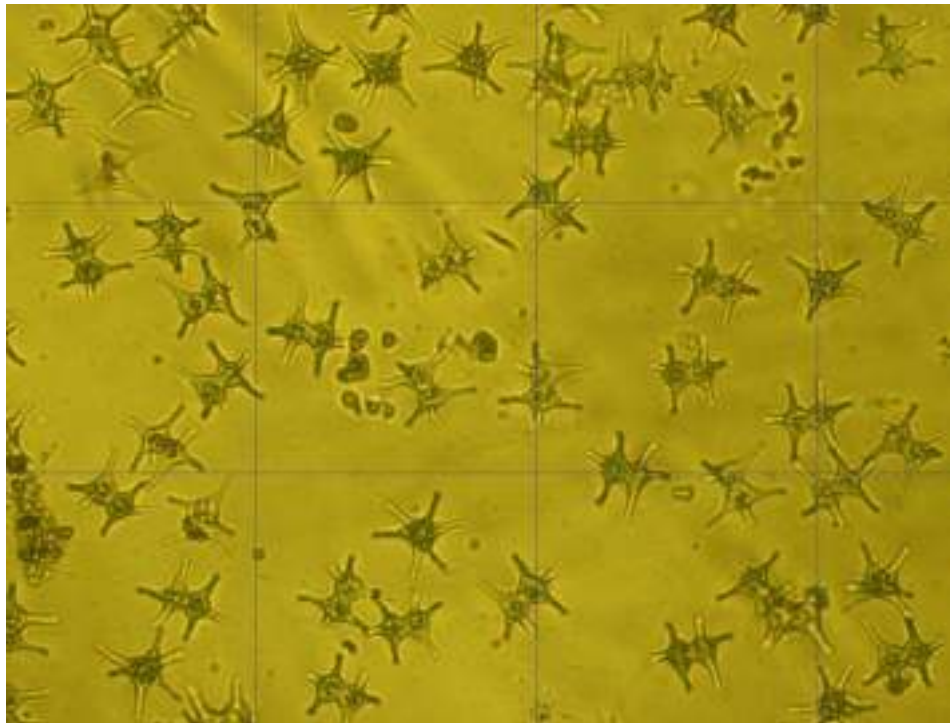
הזיהום (ראה פרק 3.5 - פיתוח אינדיקטורים מיקרוביאליים להערכת איכות המים ומצב טרופי של מערכות מים טבעיות – הכנת כמודל). במקרים רבים נמצא שעיקר הזיהום מקורו במעלי גירה, למשל בשפך הירדן, אולם היו גם מקרים בהם נמצא זיהום ממקור חזירים. גם זיהום ממקור הומאני נמצא בחלק מהמקרים, ויתכן שהדבר מצביע על כשל במערכות ביוב או במחברים באזור אגן ההיקוות (איור 35). לסיכום, הנתונים מצביעים גם השנה על אגן ההיקוות כמקור העיקרי לזיהום החיידקי בכנרת. בשל השטפים הגבוהים שנחלים התקבלו ערכים גבוהים במיוחד בתקופת החורף, עם זיהום ממקורות שונים, כולל זיהום הומאני.



איור 35: ריכוז חיידקים אינדיקטורים לצואה ותוצאות MST בדגימות בהן אותר זיהום משמעותי מול שפך הירדן (שמאל) או כורסי (ימין). גרף העמודות מציג את ריכוז האינדיקטורים, וערך הסף של 100 חיידקים ל-100 מ"ל מודגש (קו אדום מקווקו). תחת העמודות מוצגים גרפים מסוג pie המבטאים את התפלגות מקורות הזיהום – מעלי גירה (כתום), הומאני (כחול) וחזיר (אפור), במספר דגימות, כפי שנקבע בשיטת ה-MST.



2.16 כלורופיל וייצור ראשוני



תמונת מיקרוסקופ של האצה *Staurastrum* שפרחה במאי-יוני

במימון
רשות
המים

תמר זהרי, דוד קמינגס

- 2019 התאפיינה בדגם שנתי של ריכוזי כלורופיל וקצבי ייצור ראשוני הדומה לזה שהיה מוכר משנות פריחת הפרידיניום, עם שיא אביבי של ביומסה ופרודוקטיביות וערכים נמוכים בקיץ. אבל, ב-2019 הפרידיניום לא פרחה, שיאי הכלורופיל והפרודוקטיביות נרשמו כתוצאה מפריחה של אצות ירוקיות ובעיקר הסוג סטאורסטרום (בתמונה). השיא גם נדחה בחודש (לעומת דגם העבר), ונרשם במאי-יוני.
- בספטמבר נרשם שיא משני של כלורופיל וייצור ראשוני, כאשר התורמים העיקריים היו אפניזומנון, צילינדרוספרמופסיס, והצורנית סינדרה.

מטרת המחקר

מעקב רב שנתי אחר ריכוזי הכלורופיל וקצבי הייצור הראשוני במרכז הכנרת.

רקע

ריכח כלורופיל וקצב היצרנות הראשונית באגם הינם מדדים בסיסיים חשובים ביותר למעקב אחר התהליכים בו. נתונים אלה מהווים את הבסיס למארג המזון ושינויים בהם עשויים להצביע על שינויים מרחיקי לכת בתפקוד המערכת האקולוגית. ריכחי הכלורופיל וקצבי הייצור הראשוני מנוטרים בכנרת מאז 1969 (כלורופיל) או 1971 (ייצור ראשוני). בשנות השבעים והשמונים שני פרמטרים אלו התנהגו לפי דגם שנתי טיפוסי שכלל שיא אביבי (אפריל-מאי) בזמן פריחת הפרידיניום, בעוד שבמחצית השנה השנייה נרשמו בדרך כלל ערכים נמוכים. דגם זה השתנה עם העלמות פריחת הפרידיניום.

שיטות

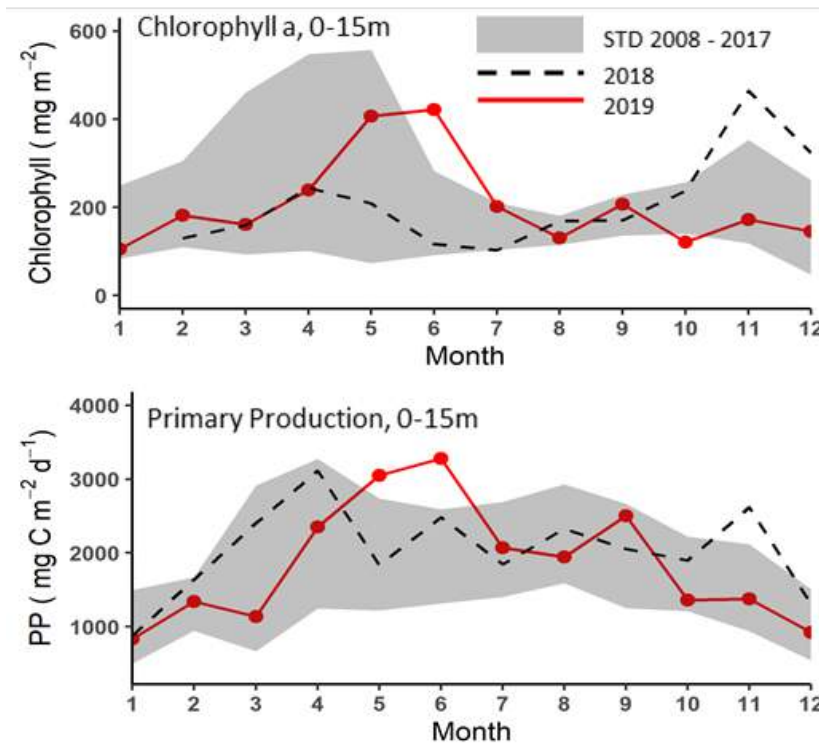
מים למדידת ריכחי כלורופיל וייצור ראשוני נדגמים אחת לשבועיים בתחנה A, בעומקים 0, 1, 2, 3, 5, 7, 10 ו-15 מ'. עבור כלורופיל בלבד נדגמים בנוסף מים מעומק התרמוקלינה בתקופת השיכוב ומעומקים 20, 30, 35 מ' כשהאגם לא משוכב. כלורופיל נמדד בשיטת Holm-Hansen et al 1965 לאחר מיצוי באצטון 90% לכ-18 שעות. ייצור ראשוני נמדד בשיטת הפחמן המסומן רדיואקטיבית לפי Steeman-Nielsen 1952 לאחר אינקובציה של 2-3 שעות *in-situ* בעומקי הדיגום.

תוצאות ודין

שנת 2019 הייתה השנה השביעית ברצף ללא פריחת פרידיניום, וגם השנה ה-17 ללא פריחה מתוך 24 שנים מאז 1996 (איור 38, פרק 2.17 - ניטור פיטופלנקטון). ברוב שנת 2019 הממוצעים החודשיים של ריכחי הכלורופיל נפלו בתוך טווח סטיות התקן של ערכי הכלורופיל בעשור האחרון, למעט שפל סתווי בחודש אוקטובר (איור 36). השיא האביבי שנרשם בשנה זו הינו אמנם שיגרת בעוצמתו אך לא-שגרת בעיתו מכיוון שנרשם בהסתה של כחודש מאוחר יותר, במאי-יוני במקום באפריל-מאי (איור 36). הסיבה לתזמון השונה הוא ככל הנראה מקור השיא – בעוד שבעבר שיא הכלורופיל האביבי היה תוצאה של פריחת פרידיניום, ב-2019 השיא המאוחר יותר היה תוצאה של פריחה לא שגרתית של האצה הירוקית סטאורסטרום (בתמונת השער לפרק זה) וירוקיות נוספות. ריכחי הכלורופיל ב-2019 היו גבוהים מאלו של 2018 בחצי הראשון של השנה ונמוכים מהם בחצי השני של השנה (טבלה 7, איור 36 למעלה). ביחס לממוצע הרב-שנתי, הריכזים היו דומים בחורף (אך ללא פריחת פרידיניום) וכך גם בקיץ (טבלה 7).

ההבדלים המשמעותיים בין חורף (ערכים גבוהים) לקיץ (ערכים נמוכים), שכל כך אופייניים לשנות פרידיניום, מתקיימים ב-2019 הודות לפריחת האביב המאוחר של סטאורסטרום (טבלה 7, איור 36).





איור 36: המהלך השנתי של הממוצעים החודשיים של ריכחי כלורופיל (למעלה) וייצור ראשוני (למטה) ב-2019 בהשוואה ל-2018 ולסטיות התקן סביב הממוצע לעשור 2008-2017. הערכים מוצגים ליחידת שטח, לאחר אינטגרציה לאורך 15 המטר העליונים של עמודת המים.

טבלה 7: ממוצעים (± שגיאת תקן) חצי שנתיים ושנתיים של ריכחי כלורופיל וייצור ראשוני בכנרת. השוואה של 2019 עם 2018 ונתוני העשור שקדם, 2008-2017.

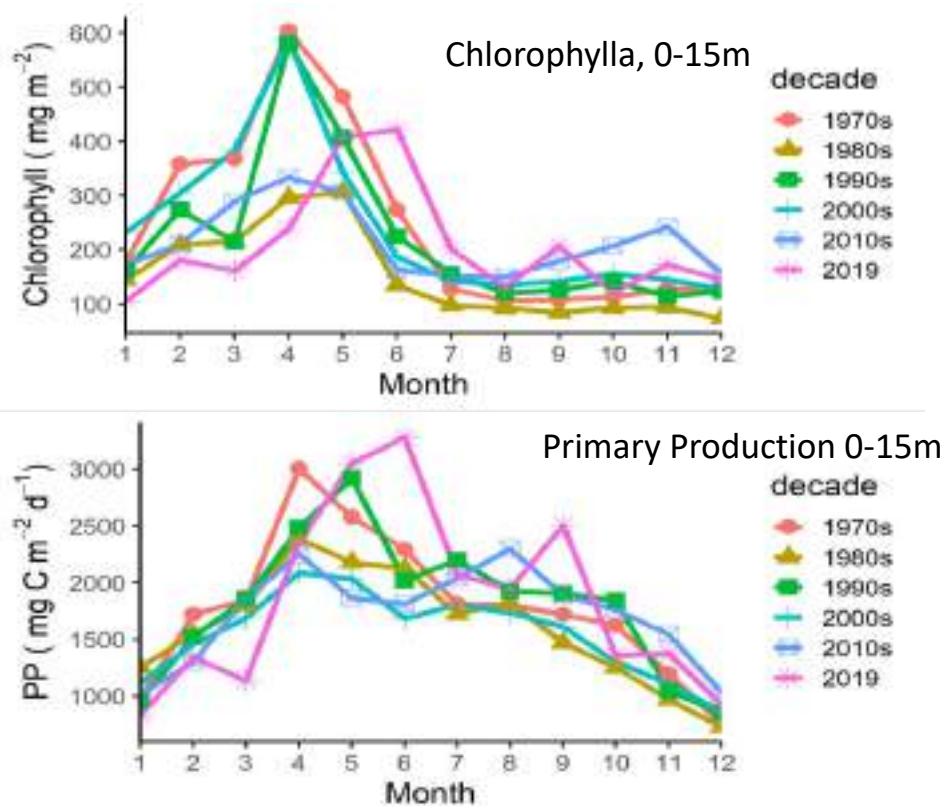
ייצור ראשוני, מ"ג פחמן\מ ² \איממה			כלורופיל, מ"ג למ"ר			תקופה
2017-2008	2019	2018	-2008 2017	2019	2018	
90±1620	425±2000	318±2058	21±238	54±253	24±172	ינו' - יונ'
88±1691	236±1697	184±2008	8±166	15±163	54±245	יול' - דצמ'
63±1650	236±1848	175±2033	12±202	30±208	32±211	ינו' - דצמ'

קצב הייצור הראשוני ב-2019 היה בטווח סטיות התקן של העשור הקודם במהלך רוב השנה (איור 36). במאי ויוני נרשמו ערכים גבוהים במיוחד, מחוץ לתחום סטיות התקן, שוב בגלל פריחת האצה הירוקית סטאורסטרומ (איור 36).

בספטמבר נרשם שיא נוסף אך נמוך יותר בקצב הייצור הראשוני התואם את השיא הנוסף בריכח הכלורופיל באותו החודש (איור 36). עליה זו בריכח הכלורופיל ובקצב הייצור הראשוני קשורה כנראה לעליה בביומאסה של האצות הכחוליות *Cylindrospermopsis* ו *Aphanizomenon*



והאצה הצורנית *Synedra*. שלא כמו בשנים האחרונות בהן פרידיניום לא פרוחה, ב-2019 הייצור הראשוני בחצי השני של השנה היה נמוך מזה של החצי הראשון (טבלה 7), תופעה שדומה לדגם 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 (טבלה 7, איור 37). הבדל זה בין החצי הראשון לחצי השני של השנה היה בולט עוד יותר ב-2019 בריכזי הכלורופיל. עד 2005 הריכוז הממוצע לינואר-יוני היה תמיד גבוה יותר מאשר הממוצע ליולי-דצמבר. משם ואילך יש שנים רבות בהן הריכוז הממוצע בחצי הראשון דומה מאד לזה של החצי השני. ב-2019 ראינו חזרה לדגם הכללי מהעבר למרות שאת פריחת הפרידיניום החליפה פריחה של סטאורסטרומ מאוחרת יותר (איור 37).



איור 37: המהלך השנתי של ריכזי כלורופיל (למעלה) וייצור ראשוני (למטה) ב-2019 בהשוואה למהלך השנתי בעשורים הקודמים (מוצגים ממוצעים לכל חודש בכל עשור). הערכים מוצגים ליחידת שטח, לאחר אינטגרציה לאורך 15 המטר העליונים של עמודת המים.

2.17 ניטור פיטופלנקטון



בתמונה: האצה הירוקית *Staurastrum* שפרחה במאי-יוני 2019.

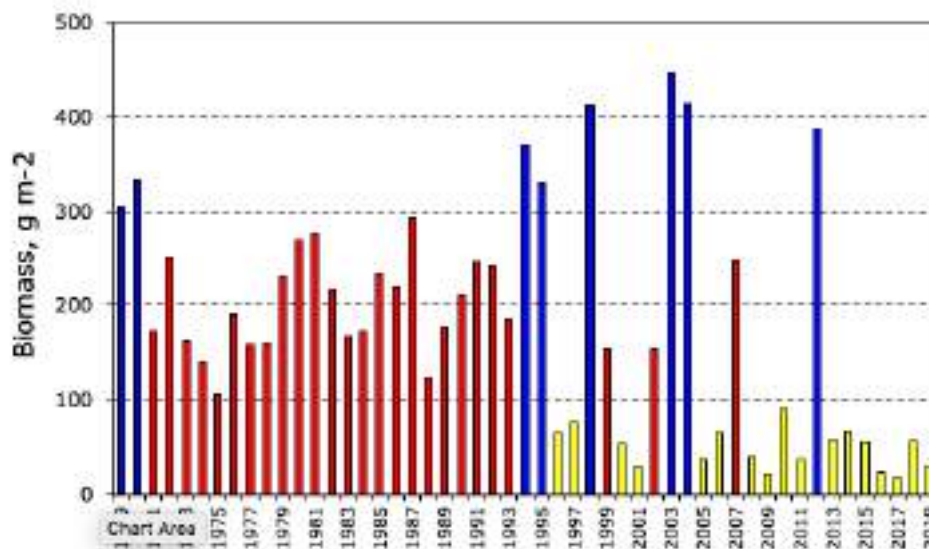
במימון
רשות
המים

תמר זהרי, אלה אלסטר

- שנת 2019 הייתה שנה שביעית ברצף ללא פריחת פרידיניום, והשנה ה-17 ללא פריחה מתוך 24 השנים מאז 1996.
- הפיטופלנקטון ב- 2019 התנהג שונה מאשר בעבר, עם פריחות של מינים שלא פרחו בעבר, ובתזמונים לא שגרתיים. זאת כנראה בגלל היות 2019 שנה גשומה אחרי רצף של 5 שנות בצורת קיצונית, עם עליית מפלס גדולה.
- באביב 2019 התפתחה פריחה מאסיבית של אצה ירוקית, סטאורסטרום, שבשנתיים הקודמות פרחה בסתיו.

שנה שביעית ברצף ללא פריחת פרידיניום

שנת 2019 הייתה שנה גשומה (מים זמינים לכנרת: 546 מלמ"ק) אחרי רצף של 5 שנים שחונות במיוחד באגן ההיקוות של הכנרת (ממוצע מים זמינים: 44 מלמ"ק לשנה, טווח: 24- עד 136 מלמ"ק, נתוני השירות ההידרולוגי של רשות המים). לראשונה מאז 2013, מפלס המינימום השנתי של הכנרת עלה יחסית לזה שבשנה שקדמה לו, ובהרבה: כ- 2.5 מ'. בשנה כזו של עליית מפלס, לא רק שעומסי הנוטריאנטים מאגן ההיקוות גבוהים במיוחד (עקב שטיפה), אלא שבאביב יש תרומה נוספת של נוטריאנטים (זרחן, חנקן, תרכובות אורגניות) בשולי האגם עקב הצפה ופירוק של צמחייה חופית שהתפתחה כשהחופים היו חשופים ממים. עקב כך היה צפי לפריחה של פרידיניום ב-2019 - אך לא כך היה (איור 38). אמנם פה ושם נראו כתמי פרידיניום בכנרת במאי/יוני, אך כתמים אלו היו בודדים, ספורדיים, ונמשכו תקופה קצרה. הממוצע החודשי של ביומסת הפרידיניום בתחנה A ב-2019 הגיע במאי לשיא של 40 ג' למ"ר, נמוך מערך הסף של 100 ג' למ"ר לפיו אנו מגדירים "שנת פרידיניום". לפיכך, שנת 2019 עונה להגדרה של שנה "ללא פריחת פרידיניום" ונוספת ל-16 השנים מאז 1996 בהן הפרידיניום לא פרח. הפריחה האחרונה של פרידיניום הייתה ב-2012 שהייתה גשומה במיוחד, 2019 הייתה השנה השביעית ברצף ללא פריחת פרידיניום.

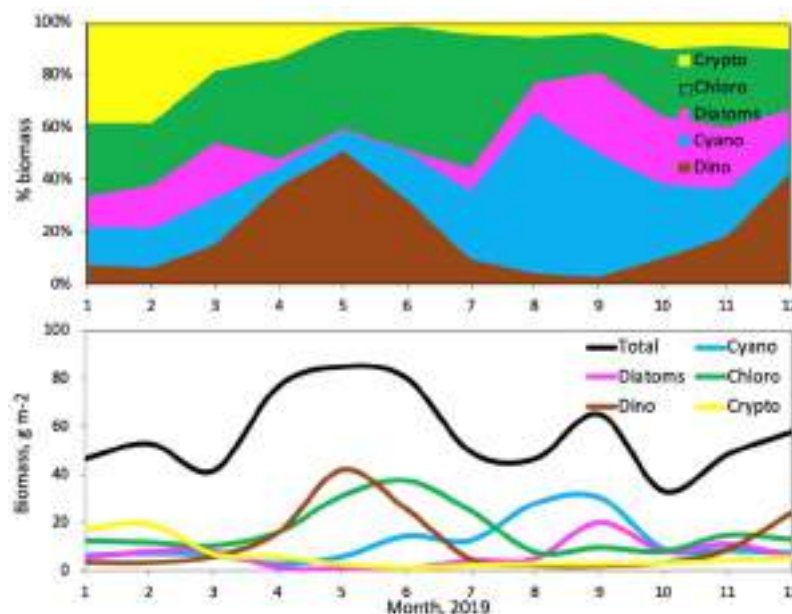


איור 38: עצמת פריחת הפרידיניום בשנים 1969-2019. עצמת הפריחה מבוטאת כממוצע חודשי של הביומסה בחודש בו ביומסת הפרידיניום הגיעה לשיאה השנתי (הערך המרבי בכל שנה). בהתאם לעוצמת הפריחה האביבית השנים חולקו לשלוש קטגוריות: שנים ללא פריחה (צהוב, ביומסה שלא עלתה על 100 ג' למ"ר), שנים עם פריחה ממוצעת (אדום, ביומסה 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 השיטפוניות בתחילת הסדרה), ואילו מאז 1994 נצפו רק 3 שנים של פריחה ממוצעת, 6 שנים של פריחה מאסיבית ו-17 שנים (כולל 2019) ללא פריחה.

הסבר אפשרי לכך שפרידיניום לא פרחה ב-2019 הוא אינוקולום קטן: אחרי 6 שנים רצופות ללא פריחה, רוב גופי הקיימא של פרידיניום ששקעו לקרקעית האגם בפריחה האחרונה ב-2012 כוסו בחומר חלקיקי שקבר אותם. השערה נוספת היא שהחלזונות של המין הפולש (ראו פרק מס' 2.24 חלזונות וצדפות בליטוראל) בקרקעית האגם, שמגיעים לריכחים של עשרות אלפים פרטים למ"ר, מנקים את הקרקעית מחומר אורגני כולל גופי קיימא של פרידיניום. גופי קיימא שכן בקעו והתחילו להתרבות – היו מעטים. עם קצב הגידול האיטי של פרידיניום, האוכלוסייה לא הגיעה לממדי פריחה לפני שינוי התנאים בסוף האביב לכאלו שאינם מתאימים לפרידיניום. לעומת זאת ניבאנו שאם שנת 2020 תהיה שנה גשומה שניה ברצף, כן תתפתח פריחת פרידיניום באביב. בעת כתיבת דוח זה באפריל 2020 ניתן לדווח שאכן כך היה.

סך הביומסה: מהלך עונתי

ללא פריחת פרידיניום, ביומסת הפיטופלנקטון ב-2019 הייתה נמוכה יחסית, עם ממוצע שנתי של 54 ג' למ"ר לעומת ממוצע רב-שנתי של 78 ג' למ"ר. 2019 התאפיינה במהלך עונתי של הביומסה, בו נרשמו שני שיאים, אחד ממושך באביב (אפריל עד יוני) והשני בספטמבר (איור 39 למטה). בשנות ה-70, 80, 90 של המאה הקודמת למהלך העונתי היה דגם ברור של הצטברות ביומסה מתחילת 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. בסוף 2019 צפינו בתחילת עליה חדשה בביומסת הפיטופלנקטון, שנמשכה לתוך שנת 2020.



איור 39: המהלך השנתי של ביומסת הפיטופלנקטון ושל ביומסת הקבוצות הטקסונומיות העיקריות בכנרת, 2019. למעלה: תרומה יחסית של כל אחת מהקבוצות. למטה: ערכים מוחלטים (גר' למ"ר) של ביומסה של כל קבוצה ושל הסה"כ.

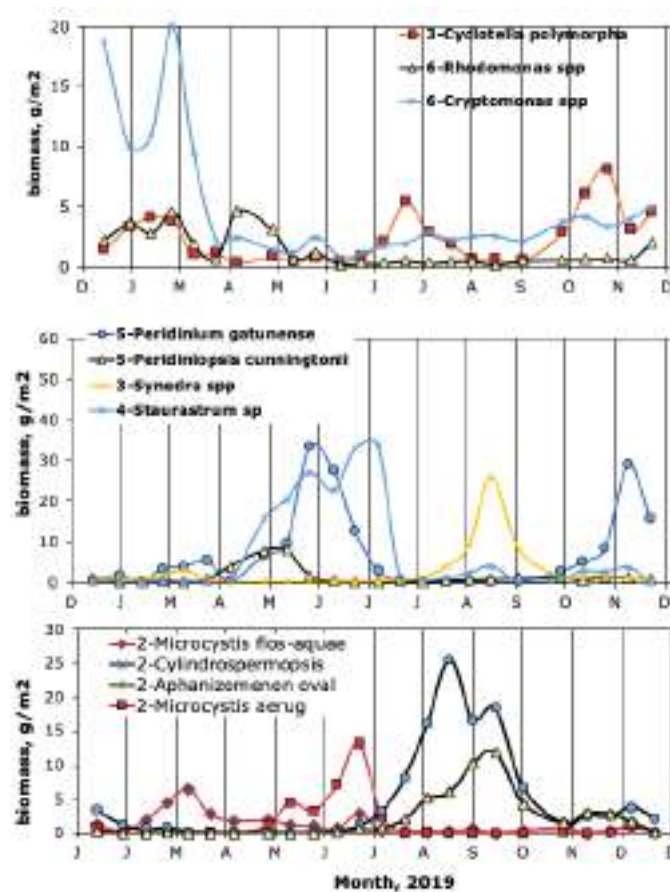
תרומה יחסית של קבוצות הפיטופלנקטון השונות

בתחילת 2019 צפינו בהתפתחות מאסיבית של אצות מקבוצת הקריפטופיטה (איור 39). זה אופייני לעונה, אבל ב-2019 הביומסה של קבוצה זו הייתה גדולה בהרבה מהרגיל, והגיעה לתרומה של קרוב ל-40% מסך הביומסה. יתכן שהסיבה לכך היא תרומת חומרי הדשן וחומרים אורגניים מאגן ההיקוות ומצמחייה חופית מתפרקת.

דינופלגלטים תרמו כחצי מסך הביומסה באפריל-מאי, במקביל להתפתחות פריחה מאסיבית של ירוקיות ביוני- יולי שתרמה גם היא כחצי מסך הביומסה (איור 39). באוגוסט-ספטמבר לכחוליות הייתה התרומה הגדולה מכולם (60%-50%), כאשר בספטמבר גם לצורניות הייתה תרומה של כ-30%. בסוף השנה (דצמבר) התחילה התפתחות מוקדמת של דינופלגלטים (איור 39).

הרכב המינים ודינמיקה עונתית

שנת 2019 נפתחה, כמו רוב השנים בכנרת, בפריחה של אצות מקבוצת הקריפטופיטה (כריפטומונס, רודומונס; איור 40). אצת המיקרוציסטיס נכחה לאורך כל החצי הראשון של השנה, כאשר במרץ המין הדומיננטי של סוג זה היה *Microcystis flos-aqua* – מין בעל מופע חום שרעילותו נמוכה, בעוד שבמאי ויוני צפינו בהתפתחות של מין שני, ירוק ורעיל יותר, *Microcystis aeruginosa*. כמו בשנים אחרות, צפינו בחורף באירועים של צופת מיקרוציסטיס שנסחפה על פני המים עם הרוח והצטברה במקומות מוגנים. בקיץ פרחו הכחוליות מקבעות החנקן שאנו מכירים משנים קודמות – צילינדרוספרמופסיס באוגוסט, אפניזומנון בספטמבר. פרידיניום נראה במים מתחילת אפריל, הגיע לשיא קצר בסוף מאי ודעך; תרומת הדינופלגלטים שאינם פרידיניום, כמו פרידיניופסיס, הייתה זעומה. גם צורניות פרחו השנה: ציקלוטלה ביולי וסינדרה בספטמבר (איור 40).



איור 40: 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. שימו לב לסקלות ציר Y השונות בפנלים השונים.

אבל הפריחה המרשימה ביותר ב-2019 הייתה של האצה הירוקית מקבוצת הדסמידים – *Staurastrum* sp. (איור 40) שעדיין לא הוגדרה לרמת המין. ביוני ויולי מין זה לבדו תרם כמחצית מסך הביומסה. אמנם מין זה הופיע כבר בריכוזים גבוהים מאד ב-2018 וגם ב-2017, אבל בשתי הפעמים הקודמות שיא הפריחה שלו נרשם בנובמבר, בעוד שב-2019 השיא נרשם ביוני-יולי.

לסיכום, 2019 הייתה שנה מאד לא שגרתית מבחינת הפיטופלנקטון, עם פריחות של מינים שלא פרחו בעבר, ובתזמונים לא שגרתיים. זאת כנראה בגלל היותה שנה גשומה אחרי רצף של 5 שנות בצורת קיצונית, עם עליית מפלס גדולה.

2.18 רעלני כחוליות



במימון
רשות
המים

אסף סוקניק, דיתי ויינר-מוציני

- בחורף אביב 2019 זוהו מיקרוציסטינים במים. ריכחם לא עלה על 1.5 מיקרוגרם לליטר.
- במהלך העונה נצפו אירועים של הצטברות צופת מיקרוציסטיס.
- בחודשים מאי-יוני ריכח מיקרוציסטינים בצופת היה חריג והגיע ל 2.7 מיליגרם לגרם חומר יבש.
- מחודש אוגוסט 2019 ועד סוף השנה נמדד צלינדרוספרמופסין בכנרת. ריכח הרעלן במים עלה בהדרגה ובספטמבר נמדד ריכח של כ - 1.5 מיקרוגרם לליטר.

מטרה

קביעה אנליטית של ריכח רעלני כחוליות (ציאנובקטריה) בכנרת.

רקע

פריחות ציאנובקטריה רעילות מופיעות בכנרת בקיץ ובסתיו מזה למעלה משני עשורים. המערך האנליטי לזיהוי ולכימות רעלני ציאנובקטריה בכנרת פועל ברציפות החל משנת 2000 ומדווח על ריכחי הרעלנים במים ובחומר המרחף. ממצעים חריגים מדווחים מידית לרשות המים וספקי המים מהכנרת.

שיטות

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 גם שטחי הציאנובקטריה בדלי ונמדד ריכוז הרעלנים בביומסה. 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 ודין

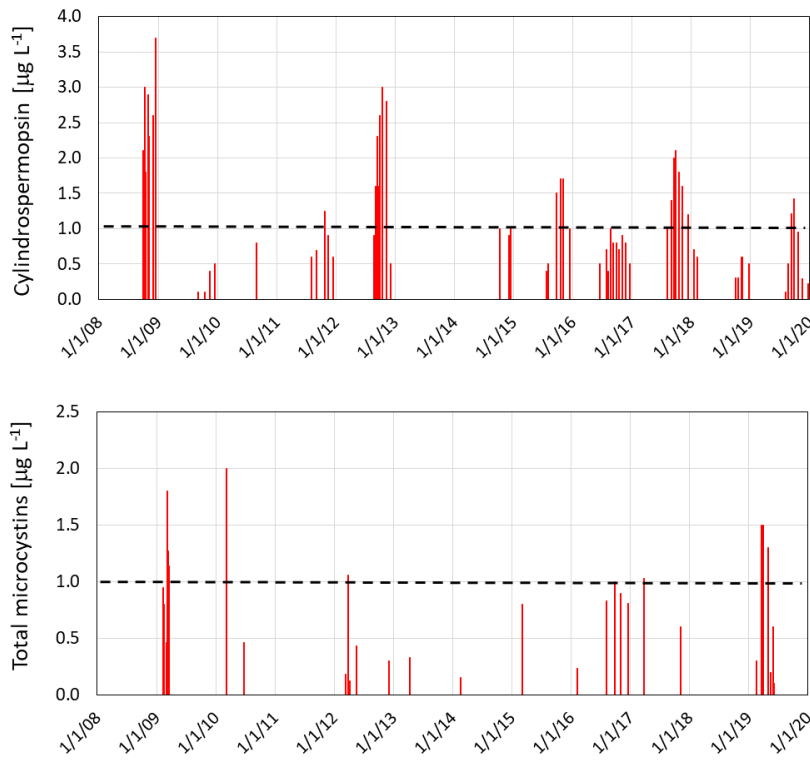
בשנת 2019 נרשמה בכנרת נוכחות של מיקרוציסטיס בחודשי החורף ינואר עד יוני. במהלך העונה נצפו אירועים של הצטברות צופת של מיקרוציסטיס באזורים מוגבלים באגם. בתקופה זו ריכוז המיקרוציסטינים במים לא עלה על 1.5 מיקרוגרם לליטר. בחודשים ינואר עד מרץ ריכוז הרעלנים בצופת שנאספה היה נמוך (טבלה 8) אבל מתחילת אפריל ועד סוף יוני ריכוז הרעלנים בצופת מיקרוציסטיס שנאספה באגם או רוכזה במעבדה היה חריג. נמדדו ערכים של מעל 2 מיליגרם לגרם חומר יבש (טבלה 8). ערכים גבוהים כאלו לא נמדדו בעבר בכנרת ומייצגים נוכחות של זנים רעילים שתפוצתם במים לא גבוהה אך כאשר המושבות מתרכזות בצופת נמדד ריכוז חריג בביומסה. בצופת הרעילה נמצאו מיקרוציסטינים מהסוגים (על פי ריכוזם מהגבוה לנמוך): LR, YR, RR ו LA. (טבלה 8). בחורף אביב 2019 נמדדו במי הכנרת ריכוזי מיקרוציסטינים הגבוהים מ-1 מיקרוגרם לליטר בדומה לשנים 2009 ו-2010 (איור 41) אך השנה ריכוזים גבוהים מ-1 מיקרוגרם נמדדו למשך תקופה ארוכה יחסית. כמו בשנים קודמות גם בחודשי הקיץ והסתיו של שנת 2019 נצפתה בכנרת אוכלוסייה של אפניזומנון ששיאה היה באוגוסט-ספטמבר 2019. מחודש אוגוסט 2019 נמדד צלינדרוספרמופסין בכנרת. ריכוז הרעלן במים עלה בהדרגה ובספטמבר נמדד ריכוז של כ-1.5 מיקרוגרם לליטר. בהמשך ריכוז הרעלן דעך ובדצמבר נמדד ריכוז של כ-0.2 מיקרוגרם לליטר (טבלה 8). תוצאה זו מעידה על יציבות הרעלן במים גם כאשר אוכלוסיית האפניזומנון דעכה. באנליזות נוספות שבוצעו במהלך חודשי הקיץ והסתיו עבור ספקי מים מהכנרת בדגימות מים מאתרים שונים נמדדו ריכוזים של צלינדרוספרמופסין שנעו בין 0.2 ל 1.4 מיקרוגרם לליטר בין אוגוסט לנובמבר עם ערך שיא בספטמבר בדומה לתוצאות שמוצגות בטבלה 8. בקיץ סתיו 2019 ריכוז צלינדרוספרמופסין בכנרת הגיע לערכים של מעל 1 מיקרוגרם לליטר בדומה לתוצאות שהתקבלו בשנים 2017 ו 2015 בעוד בשנים 2008 ו 2012 ריכוז הרעלן הגיע ל 3 מיקרוגרם לליטר (איור 41). במעקב אחר התפוצה המרחבית של צלינדרוספרמופסין בכנרת נאספו דגימות מים מאתרים שונים בצפון האגם ובדרומו. נמצא הבדל של עד 50% בריכוז

צלינדרוספרמופסין בין תחנות צפוניות לתחנות דרומיות, כאשר בדרום האגם הריכוז נמוך יותר (איור 42).

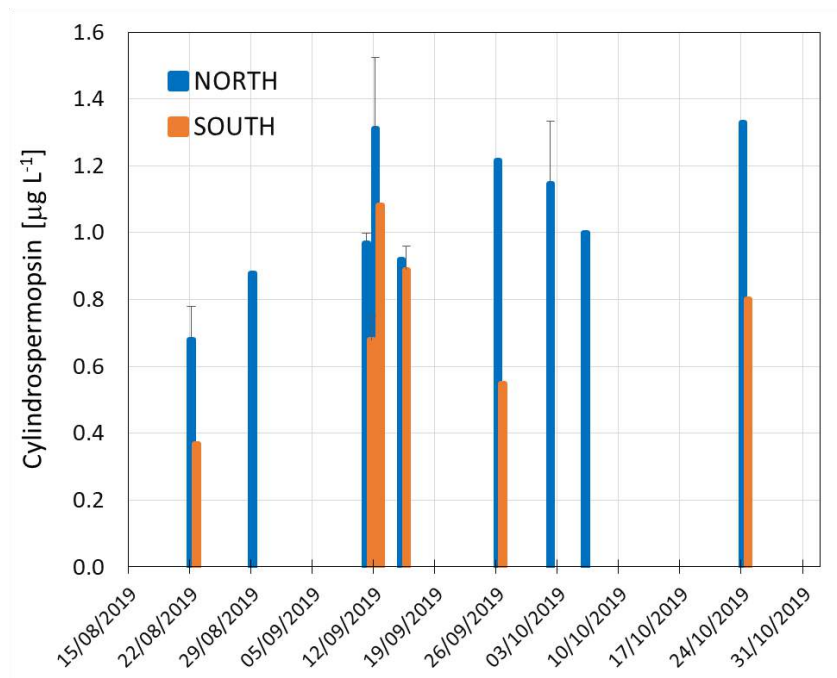
טבלה 8 : ריכוז רעלני כחוליות (צלינדרוספרמופסין ומיקרוציסטינים) בדגימות מים וביומסה של פיטופלנקטון שנאספו מהכנרת במועדים שונים במהלך שנת 2019. הדגימות נאספו בתחנה A מעומק מטר בתדירות של אחת לחודש או בתדירות גבוהה יותר במידה ונצפתה התפתחות של ציאנובקטריה באגם. במועדים מסוימים בהם נצפתה באגם צופת של מיקרוציסטיס, נאספה דגימת צופת ובוצעה אנליזה על בסיס משקל יבש של החומר שנאסף. תס"ג – תחת סף גילוי.

ריכוז מיקרוציסטינים בביומסה ($\mu\text{g/g dw}$)	ריכוז מיקרוציסטינים במים ($\mu\text{g/L}$)	ריכוז צלינדרוספרמופסין במים ($\mu\text{g/L}$)	תאריך דיגום
	תס"ג	תס"ג	13.01.19
Mic. Like=11.1	תס"ג	תס"ג	12.02.19
total 73 Mic. LR=69 Mic. Like=4			21.02.19
	Mic. Like=0.3	תס"ג	03.03.19
Mic. Like=2.2			06.03.19
	Mic. Like=1.5		17.03.19
	Mic. Like=1.5		27.03.19
total 311 .Mic. YR=99.1; Mic LR=110.4 .Mic. RR=98.5; Mic Like=3.3			08.04.19
	total 1.3 Mic. LR=0.24 Mic. RR=0.12 Mic. Like=0.92	תס"ג	28.04.19
total 2724 .Mic. YR=584; Mic LR=1534 .Mic. RR=220; Mic WR=8 .Mic. LA=157; Mic Like=221	Mic. RR=0.2	תס"ג	12.05.19
total 1814 .Mic. YR=383; Mic LR=1003 .Mic. RR=174; Mic WR=6 .Mic. LA=96; Mic Like=152			21.05.19

ריכוז מיקרוציסטינים בביומסה ($\mu\text{g/g dw}$)	ריכוז מיקרוציסטינים במים ($\mu\text{g/L}$)	ריכוז צלינדרוספרמופסין במים ($\mu\text{g/L}$)	תאריך דיגום
total 1301 .Mic. YR=314; Mic LR=617 .Mic. RR=164; Mic LA=70 Mic. Like=136	total 0.6 Mic YR-0.1 Mic LR-0.4 Mic RR- 0		29.05.19
total 1244 Mic. YR=500; Mic. LR=516 Mic. 3 ASP RR=2; Mic. RR=135 Mic. WR=6; Mic. LA=29 Mic. Like=56.4			19.06.19
	total 0.45 Mic. YR=0.15 Mic. LR=0.2 Mic. RR=0.1	תס"ג	23.06.19
	תס"ג	תס"ג	16.07.19
	תס"ג	0.1	06.08.19
		0.5	22.8.19
		0.8	29.8.19
	תס"ג	0.75	10.9.19
		1.21	11.9.19
		1.42	23.9.19
		0.83	26.9.19
	תס"ג	0.95	23.10.19
	תס"ג	0.29	18.11.19
	תס"ג	0.22	22.12.19



איור 41: ריכח צלינדרוספרמופסין (למעלה) ומיקרוציסטינים (למטה) בכנרת בין השנים 2009 ל 2019. הערכים מייצגים מדידות מתחנה A עומק 1 מ'.



איור 42: ריכח צלינדרוספרמופסין בצפון ובדרום הכנרת בתקופה שבין אמצע אוגוסט לסוף אוקטובר 2019. צפון כולל תחנות דיגום קשת צפונית ותחנות דיגום של ספקי מים מצפון לקו עין גב טבריה (כולל תחנה A). דרום כולל תחנות דיגום של ספקי מים מדרום הכנרת.



2.19 מעקב מוגבר אחר פריחות ציאנובקטריה ורעלנים במים



**ניטור
מורחב:
במימון
רשות
המים**

**אסף סוקניק, תמר זהרי, דוד קמינגס, דיתי ויינר-מוציני,
מיקי שליכטר**

- הפלאורופורב מאפשר הבחנה בין קבוצות טקסונומיות של פיטופלנקטון על פי הרכב פיגמנטי העזר, ומעקב אחר שינויים בזמן ובמרחב בהרכב אוכלוסיות הפיטופלנקטון.
- בחורף זוהתה בכנרת אוכלוסייה של מיקרוציסטיס המכיל PE שתפוצתה השתנתה במקום ובזמן.
- במקביל לדעיכת אוכלוסיית המיקרוציסטיס התפתחה אוכלוסייה של ירוקיות שריכזה הגיעה לערכי שיא של מעל 50 מיקרוגרם לליטר כלורופיל.
- מאמצע יוני ועד סוף אוקטובר זוהתה אוכלוסייה של ציאנובקטריה (אפניזומנון וצילינדרוספרמופסיס).
- אוכלוסיית כלורוביום התפתחה במטהלימניון מתחילת אוגוסט ועד אמצע ספטמבר.
- ממעקב אחר התפוצה המרחבית של הפיטופלנקטון עולה האפשרות שהתפתחות אוכלוסיית האפניזומנון מקורה בצפון מערב האגם.
- ריכוזי רעלנים שנמדדו בדגימות כנרת בשיטת ELISA הם בהערכת יתר (בין פי 1.5 לפי 5) יחסית לתוצאות שמתקבלות בשיטת HPLC.

מטרה

מעקב ואפיון ההתפתחות המרחבית של אירועי פריחה של אצות וציאנובקטריה בכנרת זיהוי וכימות מהיר של רעלני ציאנובקטריה תוך שימוש בערכות ייעודיות- ערכות אליזה חזאת במקביל לאנליזות מקובלות בשיטת HPLC.

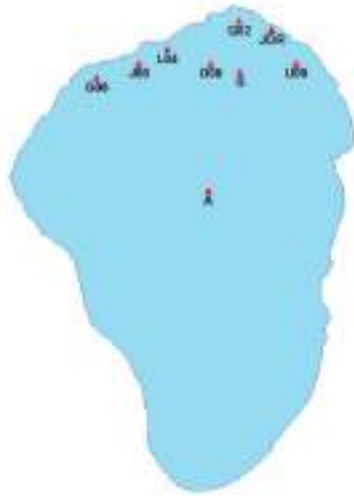
רקע

שילוב התנאים הייחודי בכנרת בשנים האחרונות מדגיש את הצורך להתייחס לאחת הסכנות המידיות על איכות המים באגם - פריחות ציאנובקטריה ממינים שונים והפוטנציאל של יצור והפרשה של רעלנים למים. הניטור השוטף בכנרת מכיל מרכיב של תיעוד אוכלוסיות פיטופלנקטון עם דגש על אוכלוסיות ציאנובקטריה. בגלל חשיבות נושא הציאנובקטריה לאיכות המים נדרש מעקב אחר התפתחות הפריחה במרחב האגם ואחר הפיזור האנכי של האוכלוסייה באתרים שונים. ניתן לאפיין את תבנית הפיזור התלת ממדי באגם (מרחבי ואנכי) על ידי מדידת הפיזור האנכי של אותות פלואורסנטיים שמקורם באוכלוסיית הפיטופלנקטון במרחב הכנרת. המדידה נעשית בעזרת מערכת הפלאורופורב, פרופיילר המספק מידע ספקטרלי על התפוצה של אוכלוסיות פיטופלנקטון (אצות, ציאנובקטריה וחידקים פוטוסינתטיים) על פי הרכב הפיגמנטים שלהם. ביצוע מדידות בנקודות שונות, תוך שילוב דיגום משלים, ייתן תמונת פיזור מרחבית טובה של פריחה באגם בזמן נתון. ביצוע סט מדידות לאורך זמן יאפשר מעקב אחר התפתחות אירוע פריחה משלביו הראשוניים ועד דעיכתו וישדרג באופן ניכר את יכולת הניהול של אירוע פריחה במידה ויתפתח לאירוע המסכן את איכות המים בתחנות השאיבה. אספקט חשוב נוסף בהקשר זה הינו בניית יכולת זיהוי וכימות רעלני ציאנובקטריה בצורה מהירה ע"י ערכות ייעודיות. המעבדה לחקר הכנרת מבצעת כבר שנים בדיקות מדויקות של רעלני ציאנובקטריה תוך שימוש במכשיר HPLC, אולם התוצאות מתקבלות רק לאחר מספר ימים. לאחרונה הוכנסה לשימוש ערכת אליזה המאפשרת זיהוי בדיוק סביר של ריכוזי רעלנים ויתרונה הגדול הוא במהירות התוצאות- תוך כמספר שעות.

שיטות

אפיון הדינמיקה המרחבית של אוכלוסיות הפיטופלנקטון- החל מפברואר 2019 מועד בו אובחנה נוכחות של ציאנובקטריה מהסוג מיקרוציסטיס. הופעל נוהל ניטור של אזור צפון הכנרת ("קשת צפונית") המבוסס על איסוף נתונים ספקטראליים בעמודת המים ב 9 תחנות, מהן 8 באזור צפון הכנרת וכן תחנה A במרכז הכנרת כאתר ייחוס (איור 43).





איור 43: מיקום תחנות הניטור במסגרת פעילות הרחבת הניטור "קשת צפונית", 8 תחנות ניטור במרחב צפון הכנרת ותחנה A במרכז האגם.

בכל תחנת דיגום הופעל פרופיילר מסוג פלאורופורב (FluoroProbe, bbe Moldaenke GmbH, Germany) המודד את תפוצת הפיגמנטים בעמודת המים ומיחס אותה לקבוצות מוגדרות של פיטופלנקטון (ירוקיות, ציאנובקטריה, חומיות-צורניות-דינופלגלטים וקרפטופיטה-אדומיות) וכן בוצעו דיגומים מפני המים ומעומק של 3 מ' בכל אחת מתחנות הדיגום, לקביעת ריכוז כלורופיל לצרכי אימות וכיול המדידות בפלאורופורב. פעולות הדיגום בוצעו בתדירות שבועית או אחת ל 10 ימים במקביל לתאריכי מעבר ליון מעל אזור הכנרת. הפעילות רוכזה בשתי עונות, מפברואר ועד סוף מאי (במטרה לעקוב אחר אוכלוסיות של מיקרוציסטיס) ומאמצע אוגוסט ועד סוף ספטמבר (למעקב אחר אוכלוסיית האפניזומנון/ צלינדרוספרמופסיס). הנתונים שנאספו בעזרת הפלאורופורב הועברו לבסיס הנתונים של המעבדה לחקר הכנרת, עברו סינון ועיבוד סטטיסטי ראשוני ומוצגים כמפות ריכוזים לקבוצות הפיטופלנקטון העיקריות. השינויים בזמן ובמרחב מספקים מידע על התפתחות אוכלוסיות האצות וציאנובקטריה במרחב הצפוני של הכנרת.

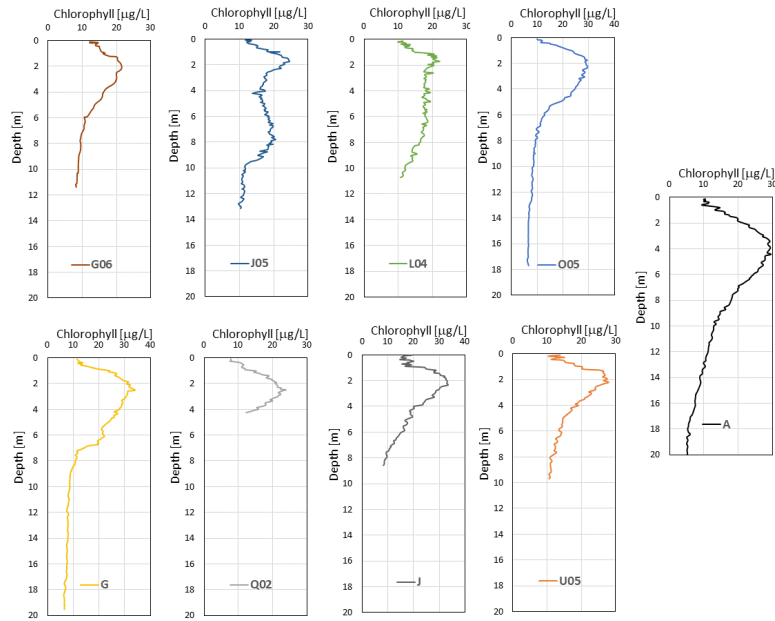
מערכת הפלאורופורב מחשבת את ריכוז הכלורופיל הכללי כסכום הנתרם על ידי קבוצות הפיטופלנקטון השונות על פי הרכב הפיגמנטים שלהן ולכילה נדרשות תרבויות המייצגות את האוכלוסיות באגם. השוני בתכולת הכלורופיל והתפוצה היחסית של פיגמנטי העזר בקבוצות השונות הוא גדול ותלוי בתנאי הגידול, זמינות נוטריינטים תאורה וכדומה. על מנת לוודא ולאמת את תוצאות הפלאורופורב נערכו לאורך תקופה מדידות ישירות של ריכוז כלורופיל בדגימות מים מהכנרת במקביל למדידות הפלאורופורב. המדידה הישירה מבוססת על מיצוי אורגני של הפיגמנטים וקביעת הריכוז בפלואורומטר מעבדתי המכויל לתמיסת כלורופיל סטנדרטית. זיהוי וכימות של רעלני ציאנובקטריה – בעבודה שילבנו שימוש בערכות מסחריות המבוססות על תגובה אימונולוגית (ELISA - enzyme-linked immunosorbent assay) ומיועדות למדידה כמותית של מיקרוציסטינים או צלינדרוספרמופסין, עם מדידה כימית של הרעלנים בשיטה של HPLC. ערכות ה-ELISA בהן השתמשנו בעבודה זו הן מתוצרת חברת ABRAXIS מארה"ב. נעשה שימוש בערכות הבאות: Kit ELISA Cyindrospermopsin 1522011 עבור צלינדרוספרמופסין ו-Kit ELISA Microcystins ADDA 1520011 עבור מיקרוציסטינים.

תוצאות ודין**פיזור אוכלוסיות הפיטופלנקטון – חורף אביב 2019**

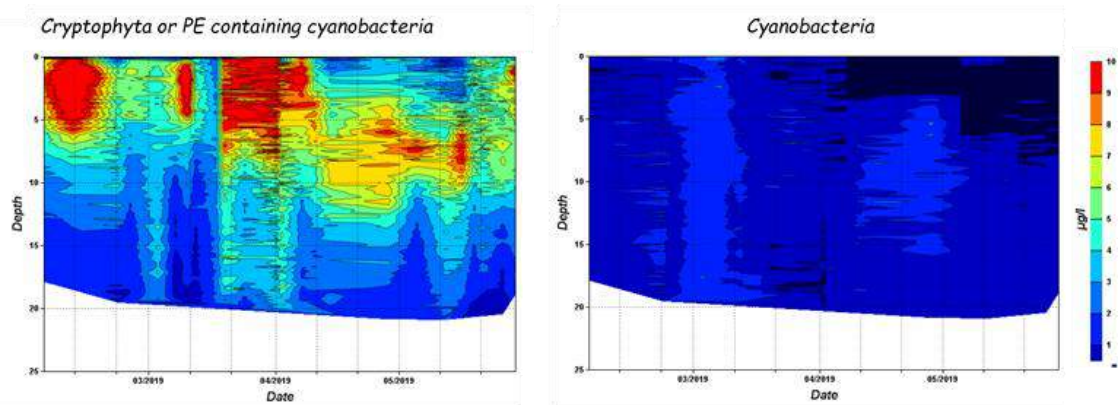
הפיזור האנכי של הכלורופיל נמדד באמצעות הפלואורופורב ב 9 תחנות דיגום ותוצאה אופיינית מוצגת באיור 44 עבור מדידה שבוצעה ב 12 במרץ 2019, מועד בו נצפתה בכנרת נוכחות של ציאנובקטריה מהסוג מיקרוציסטיס.

הפרופילים המוצגים באיור 44 בעלי תבנית כללית דומה. הריכוז המרבי של כלורופיל נמדד באתר J05 (כ- 33 מיקרוגרם לליטר בעומק 2 מ') וכן באתר A ובאתר G, והנמוך ביותר באתר 06G (כ- 21 מיקרוגרם לליטר בעומק 2 מ'). השונות בפרופילי הכלורופיל בתחנות המדידה השונות מייצגת שונות בתפוצת אוכלוסיית הפיטופלנקטון הנשלטת קרוב לוודאי על ידי המרכיב ההידרודינמי (זרמים) שבאזור המדידה. יכולת ההפרדה הספקטרלית של הפלואורופורב מאפשרת הבחנה בין קבוצות טקסונומיות של פיטופלנקטון על פי הרכב פיגמנטי העזר, אולם ההפרדה לא מלאה ובמקרים מסוימים לא ניתן להפריד בין אצות מקבוצת הצורניות (Diatoms) ובין דינופלגלטים כמו פרידיניום, או בין אצות מקבוצת הקריפטופיטה לבין ציאנובקטריה להן פיגמנטים מסוג פיקואריטרין-PE. על מנת לפרש נכונה את האות הנמדד יש צורך בזיהוי מיקרוסקופי ראשוני של האוכלוסייה הנמדדת. כך לדוגמה, במהלך חודשי החורף זוהתה אוכלוסייה של מיקרוציסטיס המכיל PE כקריפטופיטה בעוד ריכוז ציאנובקטריה אחרים היה נמוך ובריכוז כלורופיל קטן מ 2 מיקרוגרם לליטר, כפי שמוצג באיור 45.

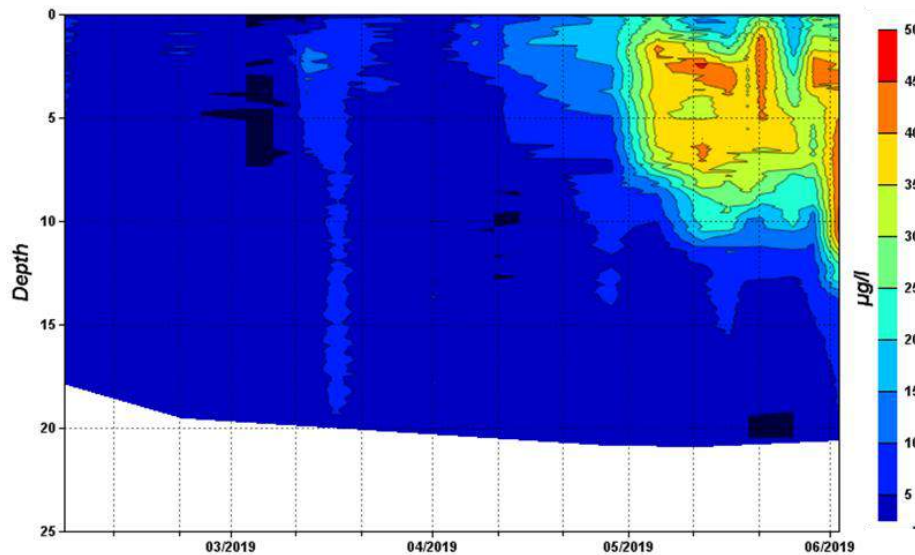
אוכלוסיית הציאנובקטריה באגם (מיקרוציסטיס) דעכה במהלך חודש מאי ובמקביל התפתחה אוכלוסייה של ירוקיות שריכזה הגיעה לערכי שיא של, מעל 50 מיקרוגרם לליטר כלורופיל (איור 46). הפיזור של אוכלוסיית הירוקיות במרחב צפון הכנרת היה אחיד יחסית והראה ריכוזים מעט נמוכים במערב האגם. במקביל נמדד פיזור מרחבי לא אחיד של אוכלוסיית Diatoms (צורניות/דינופלגלטים) כאשר הריכוזים הגבוהים נמדדו בצפון מזרח האגם. במקביל אוכלוסייה שהוגדרה על ידי המכשיר כקריפטופיטים (מיקרוציסטיס חום) הייתה בתפוצה נמוכה בצפון האגם למעט תחנות A ו-J בהן הריכוז היה גבוה יותר (כ- 8 מיקרוגרם לליטר).



איור 44: פרופיל ריכח כלורופיל שנמדד במערכת הפלאורופרוב ב 12 במרץ 2019 בתחנות ה"קשת הצפונית" ובתחנה A.



איור 45: שינויים בריכח כלורופיל שמקורו בציאנובקטריה המכילים פיקואריתרין-PE (מיקרוציסטיס חום) - משמאל וציאנובקטריה ללא PE (מיקרוציסטיס ירוק) - מימין בתחנה G מפברואר ועד סוף מאי 2019. סולם הצבעים מימין מציג ריכח כלורופיל בין 0 ל 10 מיקרוגרם לליטר.

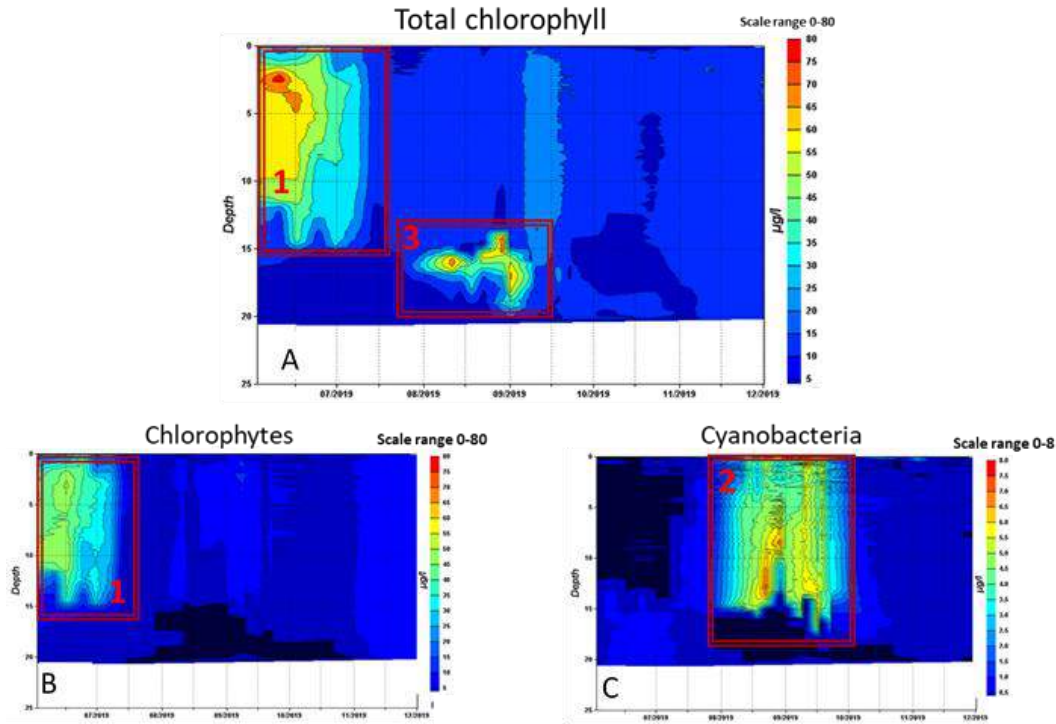


איור 46: שינויים בריכוז כלורופיל שמקורו באצות ירוקיות מפברואר ועד סוף מאי 2019. המדידות בוצעו בתחנה G בתדירות של לפחות אחת לשבוע. סולם הצבעים מימין מייצג ריכוז כלורופיל בין 0 ל 50 מיקרוגרם לליטר.

פיזור אוכלוסיות הפיטופלנקטון – קיץ סתיו 2019

תמונה של הפיזור האנכי של הכלורופיל בתחנה G לתקופה שבין תחילת יוני וסוף נובמבר 2019 מוצגת באיור 47A. ריכוז גבוה של כלורופיל (עד 80 מיקרוגרם לליטר) תועד במהלך יוני (סימון 1 באיור 47A) זוהה כאוכלוסייה דומיננטית של ירוקיות (סימון 1 באיור 47B). מאמצע יוני ועד סוף אוקטובר זוהתה אוכלוסייה של ציאנובקטריה (סימון 2 באיור 47C) שהתפרסה באופן שווה לכל עומדת המים (עד לעומק התרמוקלינה). האות הפלואורסנטי המיוחס לציאנובקטריה מתקבל במועד בו דווח על התבססות אוכלוסייה של ציאנובקטריה מהסוגים אפניזומנון וצילינדרוספרמופסיס.

מעניין לציין את אוכלוסיית הכלורוביום שהתפתחה במטהלימניון מתחילת אוגוסט ועד אמצע ספטמבר (סימון 3 באיור 47A). התופעה מוכרת ותועדה בעבר ומתקיימת באזורים בהם התרמוקלינה יציבה. בקיץ 2019 אוכלוסיית הכלורוביום התבססה במועד מאוחר יחסית לשנים קודמות וגם התקיימה למשך זמן קצר יותר.



איור 47: שינויים בריכוז כלורופיל בעמדות המים של תחנה G בין יוני לנובמבר 2019 (קיץ-סתיו). A- ריכוז כלורופיל כללי, המלבן המצוין 1 מייצג בעיקר אוכלוסייה של ירוקיות כפי שניתן ללמוד מגרף B. האוכלוסייה המסומנת 3 ב-A היא של כלורוביום. האות שמקורו בציאנובקטריה מסומן 2 ב-C ומיצג התפתחות של אוכלוסיות מהסוגים אפניזומנון וצלינדרוספרמופסיס. סולם הצבעים ל-A ול-B מיצג ריכוז כלורופיל בין 0 ל-80 מיקרוגרם לליטר ואילו ל-C סולם הצבעים הוא בין 0 ל-8 מיקרוגרם לליטר.

זיהוי וכימות של רעלני ציאנובקטריה

במהלך מאי 2019, נאספה מהכנרת צופת של מיקרוציסטיס ובאנליזה שבוצעה ב HPLC נמצא ריכוז גבוה וחרוג של מיקרוציסטינים, כ 2,700 מיקרוגרם לגרם חומר יבש צופת (בצופת זוהו מיקרוציסטינים מסוג YR, LR, RR כמרכיבים מרכזיים וכן מספר נגזרות של מיקרוציסטינים (לא מוגדרות). תכולה גבוהה זו של מיקרוציסטינים בצופת העלתה את האפשרות לריכוז חריג של מיקרוציסטינים במים. דגימות מים שנאספו ממספר אתרים בכנרת נבדקו לקביעת ריכוז המיקרוציסטינים בשיטת ה- ELISA במקביל לאנליזות הסטנדרטיות ב HPLC. התוצאות מסוכמות בטבלה 9. שתי שיטות המדידה הראו שבמי הכנרת ריכוז המיקרוציסטינים היה נמוך מ-1 מיקרוגרם לליטר. אולם נמצא הבדל משמעותי בתוצאות האנליטיות. תוצאות האנליזה ב ELISA היו גבוהות בין פי 2.2 לפי 3.5 מהערכים שהתקבלו מהמדידה ב- HPLC. מגמה דומה מצאנו גם בהשוואה של השיטות האנליטיות שנערכה עם דגימות צופת ומים שנאספו מהכנרת בפברואר 2018. חשוב לציין שתוצאות האנליזה האימונולוגית התקבלו בתוך מספר (4-6) שעות מקבלת הדגימה במעבדה בעוד האנליזה ב- HPLC דורשת עבודת הכנה ממושכת והתוצאה התקבלה 7 עד 10 ימים ממועד הדיגום. עם זאת, האנליזה ב- HPLC הראתה שהמיקרוציסטין העיקרי במים היה מסוג RR.

טבלה 9: תוצאות ריכוז מיקרוציסטינים בדגימות מים שנאספו ממספר אתרים בכנרת ב- 12 וב- 15 במאי 2019. התוצאות התקבלו באנליזה אימונולוגית ELISA או באנליזה פיסקו-כימית HPLC.

תחנת דיגום	תאריך	ריכוז MC – ELISA [מיקרוגרם לליטר]	ריכוז MC – HPLC [מיקרוגרם לליטר]
תחנה 1 A מ'	19/5/12	0.70	0.2
דגניה 1 מ'	19/5/15	0.99	0.4
טבריה מ. שאיבה	19/5/16	0.52	0.2
צלמון	19/5/15	0.30	לא נבדק
אתר ספיר	19/5/15	0.87	0.4

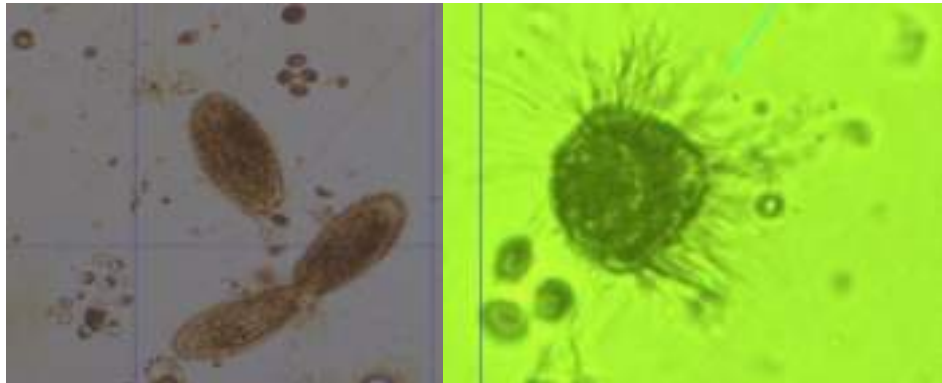
באמצע אוגוסט 2019 כאשר תוצאות ניטור הפיטופלנקטון הצביעו על התפתחות אוכלוסייה של אפניזומנון, ובמקביל לפעילות ה"קשת הצפונית", החל מעקב מוגבר אחר ריכוז צלינדרוספרמופסין בכנרת. דגימות מים נאספו מאתרים שונים וריכוז צלינדרוספרמופסין נמדד בשתי שיטות אנליטיות שונות, שיטה אימונולוגית - ELISA בה משתמשים בנוגדנים כנגד הרעלן ושיטה כימית - HPLC. בטבלה 10 מרוכזות תוצאות של אנליזות לקביעת ריכוז הרעלן בדגימות מים מהכנרת שבוצעו בשתי הגישות האנליטיות. שתי שיטות המדידה הראו נוכחות של צלינדרוספרמופסין (CYN) במי הכנרת. על פי תוצאות ה-ELISA ריכוז הרעלן באוגוסט היה כ- 1.6 מיקרוגרם לליטר ללא תלות באתר הדיגום, אולם תוצאות האנליזה ב-HPLC היו משמעותית נמוכות יותר. ככלל, תוצאות ב-ELISA היו גבוהות בין פי 1.6 במדידות שבוצעו באוגוסט ועד פי 3.5 וגם 4.9 במדידות שבוצעו בספטמבר ביחס לתוצאות ה-HPLC. תופעה של הערכת יתר בשיטת ה-ELISA נצפתה גם עבור אנליזה של מיקרוציסטינים. ריכוז הצלינדרוספרמופסין שנמדד במי הכנרת באוגוסט ובספטמבר היה מעבר לערך של 1 מיקרוגרם לליטר המוצע כערך סף עליון למי שתיה. אולם באנליזה בשיטה האנליטית המומלצת, HPLC, נמדדו ריכחים סביב 1 מיקרוגרם לליטר ואף פחות מכך. חשוב לציין שיצרן הערכות האימונולוגיות ממליץ לחזור ולבדוק את תוצאות האנליזה בשיטות אנליטיות מקובלות כמו HPLC ו-LC-MS.

אם זאת חשוב לחזור ולבחון את הסיבות לפער בתוצאות שהתקבלו בשתי השיטות. סיבה אפשרית היא תגובת יתר של הראקציה האימונולוגית בשל מרכיבים כימיים שמצטברים ומקורם בתהליכים הביולוגיים או מופרשים מאורגניזמים שבמים. נושא זה ייבדק בשנת הפעילות הבאה.

טבלה 10: ריכוז צלינדרוספרמופסין (CYN) בדגימות מים שנאספו ממספר אתרים בכנרת ב 29 באוגוסט וב - 11 זה - 15 בספטמבר 2019. התוצאות התקבלו באנליזה אימונולוגית ELISA או באנליזה ב HPLC.

תחנת דיגום	תאריך	ריכוז CYN – ELISA [מיקרוגרם לליטר]	ריכוז CYN – HPLC [מיקרוגרם לליטר]
A	19/8/29	1.67	1.08
G	19/8/29	1.73	1.06
G06	19/8/29	1.59	0.79
JOR	19/8/29	1.64	0.85
L04	19/8/29	1.53	0.82
A	19/9/11	2.61	0.97
עמק הירדן-גלם	19/9/11	2.24	0.68
חמי טבריה-גלם	19/9/15	3.24	0.91
כינר-גלם	19/9/15	3.31	1.14
עין גב-גלם	19/9/15	3.52	0.71

2.20 ניטור ציליאטים בכנרת



**במימון
רשות
המים**

נחמה רושנסקי, גדעון גל

- צפיפות הציליאטים באפילימניון ובמטהלימניון היו הגבוהים ביותר מאז תחילת הניטור ב-2006.
- ערכי צפיפות הציליאטים במרץ – מאי היו גבוהים יחסית לשנה שעברה.
- בקיץ ובסתיו הביומסה הייתה גבוהה לרוב בשכבות המים לעומת הצפיפות, כנראה גם בגלל פריטים קטנים באוכלוסייה.
- מאז 2014 נמשכת המגמה שצפיפות הציליאטים גבוהה באפילימניון, יורדת במטהלימניון ויחסית נמוכה יותר בהיפולימניון.

מטרה

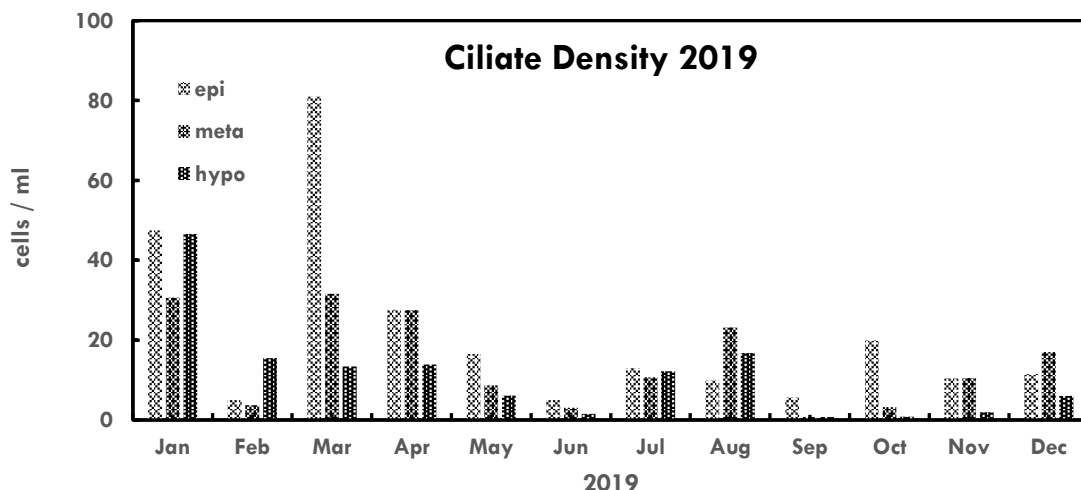
ניטור ציליאטים כמרכיב במארג המזון ובלולאה המיקרוביאלי.

שיטות

ניטור ציליאטים מתקיים משנת 2007 ונערך 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 מאזור התרמוקלינה. אנו משקיעים דוגמת מים בה החלקיקים רוכזו פי 10 בהשקעה מוקדמת וסופרים ומודדים את הציליאטים ב-1 מ"ל מהנפח ששקע. הספירה נעשית לפי סוגים טקסונומיים עבור הסוגים המוכרים לנו כמו *Coleps*, *Tintinidium*, *Vorticella*, ולפי הצורות הגיאומטריות (כדור, גליל, ספרואיד) עבור ציליאטים שאיננו בטוחים בהגדרתם. ביומסת הפחמן חושבה לפי 140 ננוגרם פחמן ל-1 מיקרוגרם משקל רטוב.

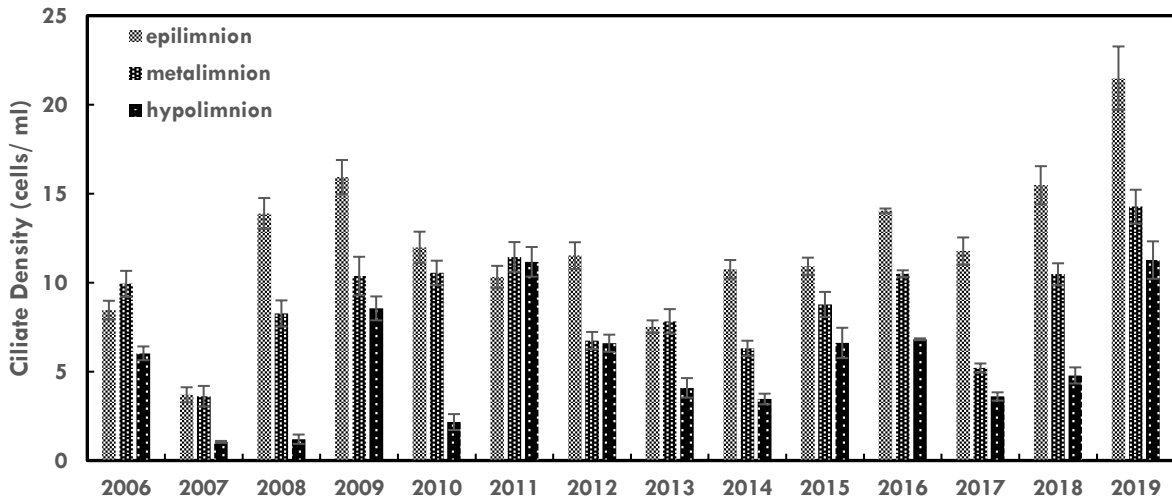
תוצאות ודין

ב-2019, צפיפות כלל הציליאטים בכל שכבת המים הייתה גבוהה באביב (מרץ - מאי) ונמוכה בקיץ ובסתיו (בחודשים יוני-דצמ'), בהשוואה לשנת 2018. בינואר, הצפיפות ב-2019 הייתה גבוהה יחסית בשלושת השכבות, כיוון שהדיגום נערך 4 ימים אחרי ההיפוך ב-9 לינואר 2019. בפברואר, בדומה לשנה שעברה, חזרה על עצמה התמונה שצפיפות הציליאטים נמוכה בשכבות המים העליונות לעומת ההיפולימניון, ובמרץ ערכי הצפיפות היו גבוהים במיוחד באפילימניון. כמו כן, בסתיו (ספט' - דצמ'), הצפיפות בהיפולימניון הייתה נמוכה (איור 48). במטהלימניון ובהיפולימניון, ערכי הצפיפות במרץ - מאי היו גבוהים יחסית לשנה שעברה.



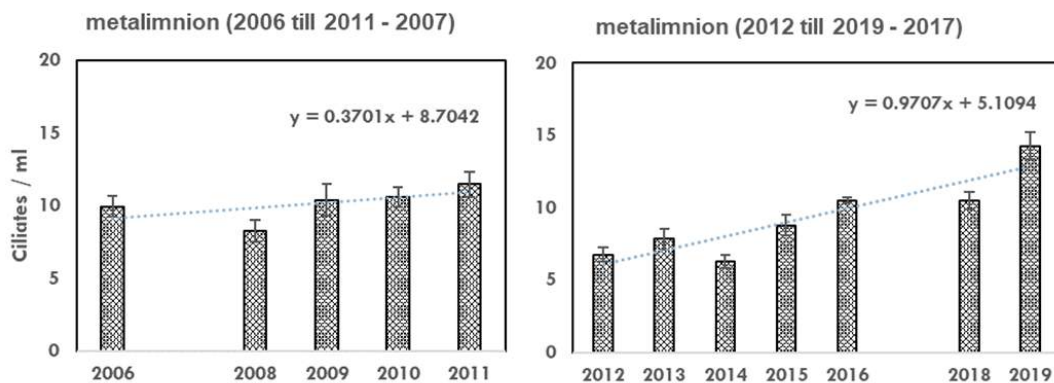
איור 48: הצפיפות החודשית של הציליאטים (מספר למ"ל) בשכבות השונות במהלך שנת 2019.

בהתפלגות הערכים הרב שנתית בין השכבות, ריכחי הציליאטים באפילימניון ובמטהלימניון היו הגבוהים ביותר מאז תחילת הניטור ב- 2006 (איור 49). באפילימניון העליה בצפיפות מ- 2018 ל- 2019 היתה ב-6 תאים למ"ל והיתה גבוהה במיוחד בהשוואה לשנים קודמות, בהן העלייה הממוצעת השנתית בין 2006 ל- 2009 היתה 2.5 תאים למ"ל ובין 2013-2018 היתה 1.3 תאים למ"ל. הריכחים בהיפולימניון היו גבוהים משמעותית לעומת 2018 (11.27 לעומת 4.78 תאים למ"ל) והיו דומים לערכים שנמצאו ב- 2011 (איור 49).



איור 49: הצפיפות הממוצעת של ציליאטים (מספר למ"ל) בשכבות העומק השונות עבור התקופה 2006-2019. הקווים האנכיים מבטאים שגיאת התקן.

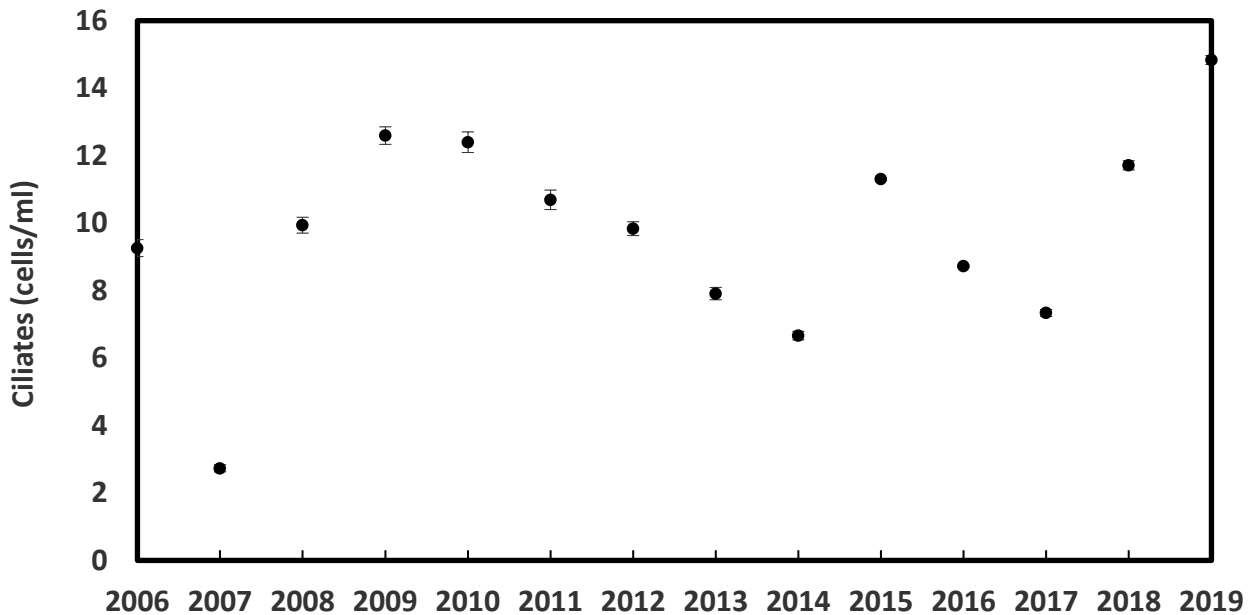
במטהלימניון, בשנים 2006-2011 למעט שנת 2007, שהיתה חריגה בערכים הנמוכים בכל שכבות המים, הצפיפות היתה יחסית גבוהה עם עלייה ממוצעת של 0.37 תאים למ"ל לשנה (איור 50). משנת 2012 ועד ל- 2019, למעט 2017 שהיתה חריגה, העלייה הממוצעת לשנה היתה יותר מכפולה, 0.97 תאים למ"ל.



איור 50: השינוי בצפיפות השנתית הממוצעת במטהלימניון בשנים 2006-2011 (משמאל) ו2012-2019 (מימין ללא השנים החריגות 2007, 2017). הקווים המנוקדים הינם קווי מגמה.

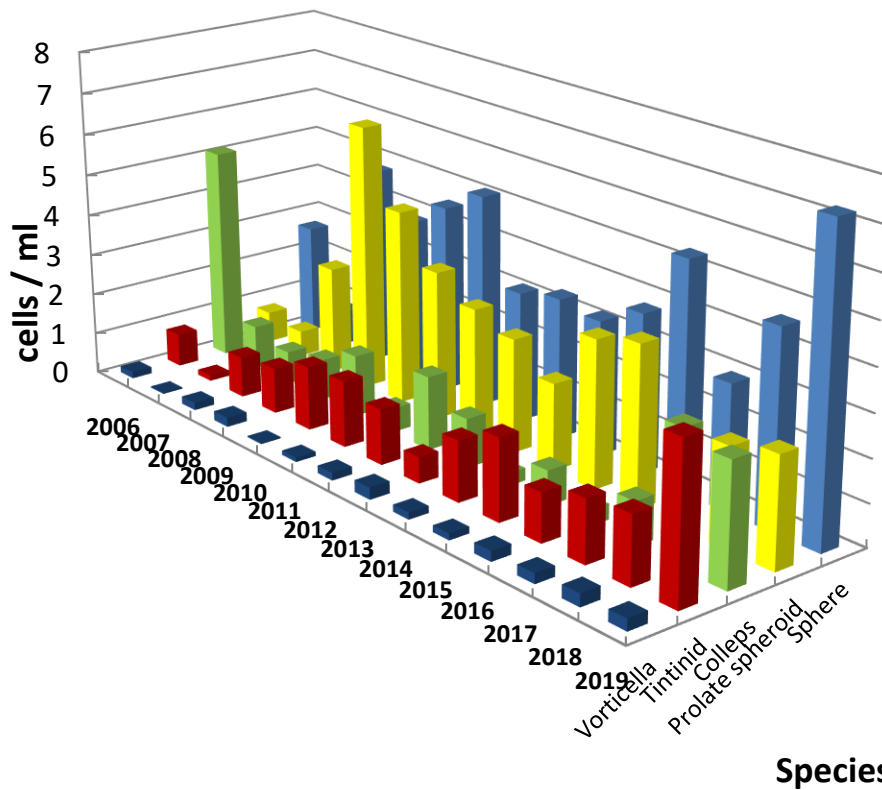


מתוך ספירת דגימות הציליאטים במהלך שנת 2019 מצאנו שמגמת העלייה בערכי הצפיפות השנתית הממוצעת בכל עמודת המים נמשכה גם במהלך שנת 2019 ביחס לערכים שנצפו בשנים 2017 - 2016 (איור 51). מגמת הירידה שנצפתה בריכוז הציליאטים משנת 2010 ועד 2014 יחד עם השינויים מאז שנת 2015, מצביעים על חוסר יציבות ואולי מחזוריות רב-שנתית מסוימת. המשך ניטור הציליאטים בשנים הבאות יאפשר לנו לקבוע האם אכן קיימת מחזוריות רב שנתית באוכלוסיית הציליאטים.



איור 51: ריכוז הציליאטים השנתי הממוצע (2006-2019) על בסיס דיגום של שלושת שכבות עמודת המים: האפילימניון, המטהלימניון, וההיפולימניון. מספר הדגימות בשנה נע בין 35-45. הקווים האנכיים מבטאים את שגיאת התקן.

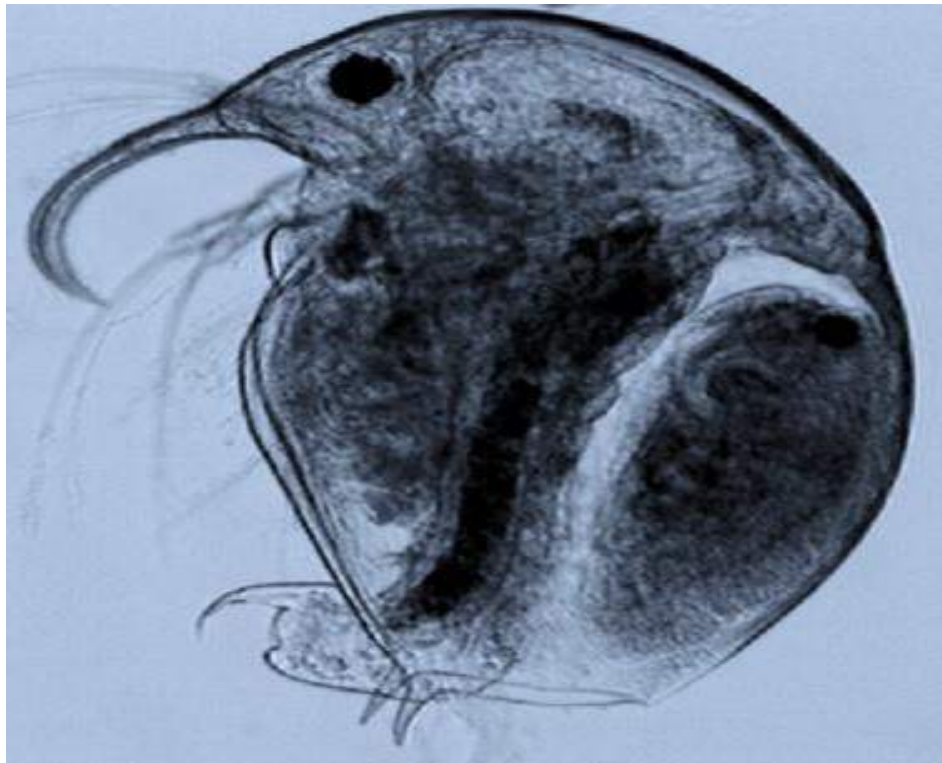
ב- 2019 נמשכה מגמת העלייה הבולטת מ- 2018, בצפיפות הציליאטים המקוטלגים בקבוצת Sphere והערכים שנמדדו היו הגבוהים ביותר מאז תחילת הניטור ב- 2007 (איור 52). כמו כן, נצפתה עלייה בולטת בצפיפות ה- *Tintinides* וגם כאן, נמדדה הצפיפות הגבוהה ביותר מאז 2007. יחד עם זאת, בקבוצה של Prolate spheroid נצפתה מגמת ירידה ברורה בשנים 2010-2014 והתאוששות בין 2015-2018 ללא שינוי ניכר בשנה הנוכחית. למרות עלייה קטנה בצפיפות ה- *Vorticella*, צפיפותם ממשיכה להיות נמוכה באגם מתחילת שנות הניטור.



איור 52: השינויים בצפיפויות השנתיות הממוצעות של קבוצות הציליאטים השונות בעמודת המים עבור התקופה 2006-2019.

קיימים קשיים בדיגום הציליאטים העלולים להשליך על איכות האומדנים שלנו. הדיגום שאנו עורכים מתבצע משלושה עומקים ספיציפיים בלבד בעזרת דוגם מים. ידוע לנו שהציליאטים לעיתים קרובות מרוכזים בשכבות צרות וצפופות. על כן, דיגום בשלושה עומקים ספיציפיים עלול ליצור מצב שבו אנו דוגמים מים שמעט עמוקים או רדודים מהשכבה הצפופה של הציליאטים ובכך כנראה "מפספסים" את אותה שכבה צפופה. בנוסף, 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.

2.21 ניטור זואופלנקטון



צילום: שרה צ'ווה

**במימון
רשות
המים**

גדעון גל, שרון וורולקר

- נרשמה צמיחה משמעותית בגודל אוכלוסיית הקופפודים באגם במהלך השנה
- שיא בצפיפות הזואופלנקטון, בעיקר קופפודים ורטפירים, נרשם במהלך חודש מאי עם ערכים של מעל 6200 פרטים לליטר של רטיפרים 1,100 פרטים לליטר של קופפודים נספרו במהלך אותו חודש.
- צפיפיות הקופפודים במהלך שנת 2019 היו גבוהים באופן משמעותי מהערכים הממוצעים ארוכי הטווח (2000-2017)

מטרת המחקר

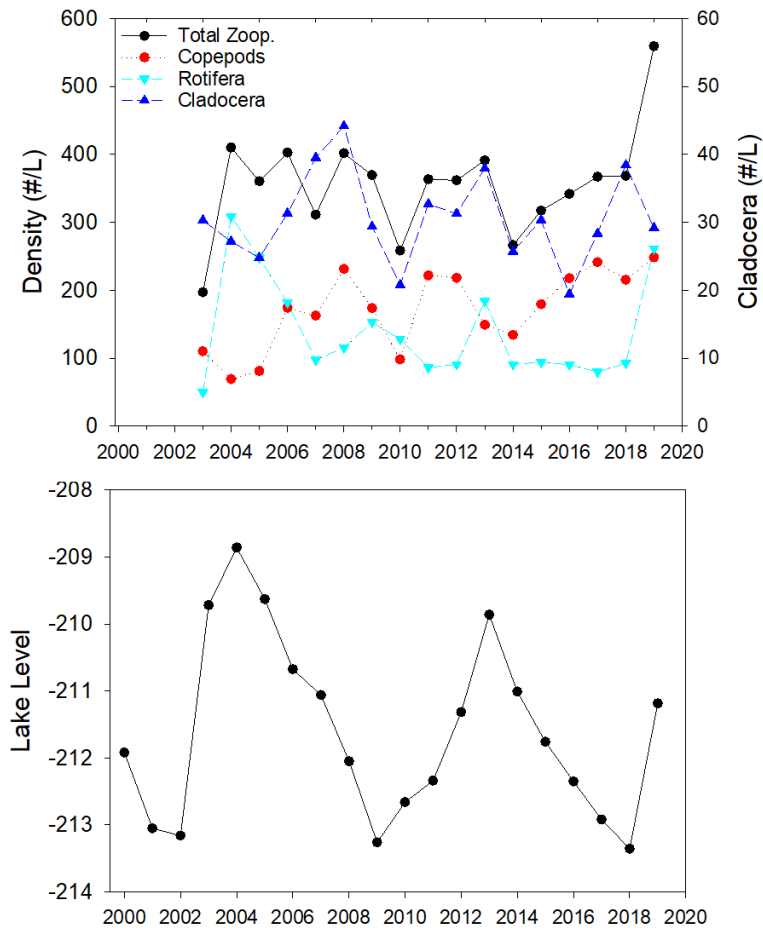
מעקב ארוך טווח אחר השינויים באוכלוסיית הזואופלנקטון בכנרת בדגש על שינויים היכולים להעיד על תמורות במצב המערכת האקולוגית של הכנרת.

רקע

ניטור הזואופלנקטון אשר החל עם תחילת תכנית הניטור של הכנרת בינואר 1969 עבר מספר שינויים לאורך השנים. השינוי הבולט היה השילוב של דיגום פרופילים בנוסף לדיגום המיקס שנערך מאז 1969. בניגוד לדיגום המיקס שכולל דוגמא אחת שהינה תערובת של מים ממספר עומקים, המאפשר תמונה אינטגרטיבית של עמודת המים, דיגום הפרופיל כולל דיגום וספירה של דגימות שנאספו ממספר עומקים. הדיגום בשיטה זאת מאפשר שמירה על המידע הנאסף בכל עומק ועומק וזיהוי מאפיינים ומגמות בזמן וגם במרחב, במימד האנכי. מאז שנת 2003, ניטור הזואופלנקטון כולל את שתי שיטות הדיגום והספירות הללו.

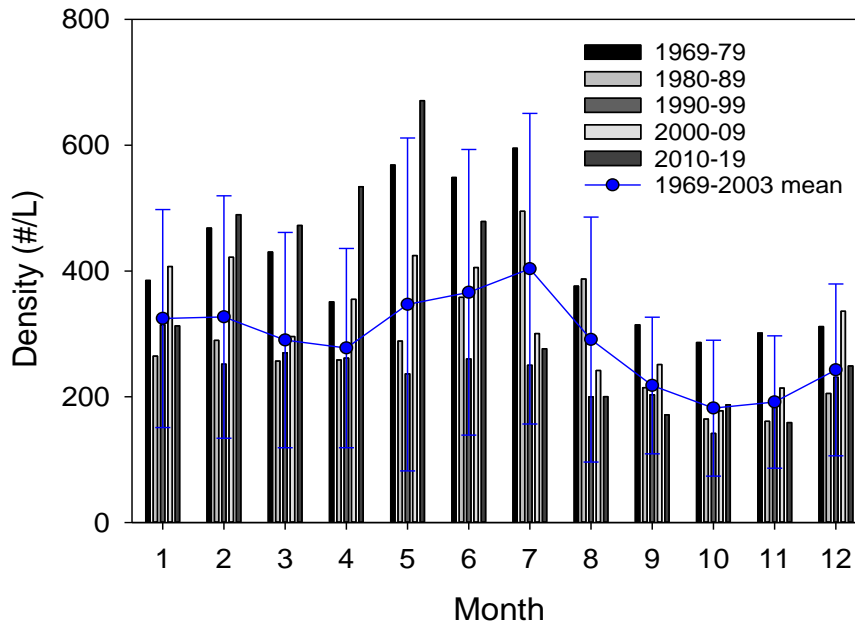
תוצאות ודין

במעקב אחר השינויים בצפיפות הכוללת של הזואופלנקטון באגם מאז 2003, בעזרת דגימות הפרופילים (איור 53), ניתן לראות שבשנה האחרונה נמשכה מגמת העלייה בצפיפות הזואופלנקטון שהחלה בשנת 2014, עם עליה בולטת בריכוז הרוטיפרים ומתונה יותר של הקופפודים. העלייה שנצפתה בשנה שעברה דומה בהיקפה לעליה התלולה שנצפתה בשנת 2004 אם כי שנת 2003 הייתה שנה לא מלאה מבחינת הספירות כך שהעלייה בפועל הייתה מעט מתונה יותר. בשני המקרים מדובר על עליה בולטת בצפיפות בשנים שבאו בעקבות חורפים גשומים בהם חלה עליה משמעותית במפלס האגם לאחר תקופה ממושכת של מפלס נמוך. מאירועי עבר שבהם חלה עליה קיצונית במפלס האגם כגון בחורף 1992/93 ובמידה פחותה ב-2003/04 אנו יודעים שהעלייה המשמעותית במפלס גוררת גידול מהותי באוכלוסיית דגי הלבנון ובעקבות כך קריסה בזואופלנקטון, בעיקר הקופפודים והקלדוצירה בעקבות לחץ טריפה של הדגים על הזואופלנקטון. ואכן, בעקבות תופעה זאת הוחלט על הפעלת תכנית הדילול של הלבנון שפעלה במשך כעשור. בעקבות חורף 2003/04 נצפתה ירידה בצפיפות הקופפודים והקלדוצירה אם כי ירידות מתונות יותר מאשר נצפו בעקבות שינויי במפלס ב-1992/93. בהעדר ניטור של אוכלוסיית השלל המסחרי ומצב הדגים (משקל ואורך הדגים) שבוצע בעבר ע"י משרד החקלאות, אבל הופסקה בשנת 2019, קשה לצפות מה יקרה בשנים 2020-21 מבחינת אוכלוסיית הלבנון והזואופלנקטון.



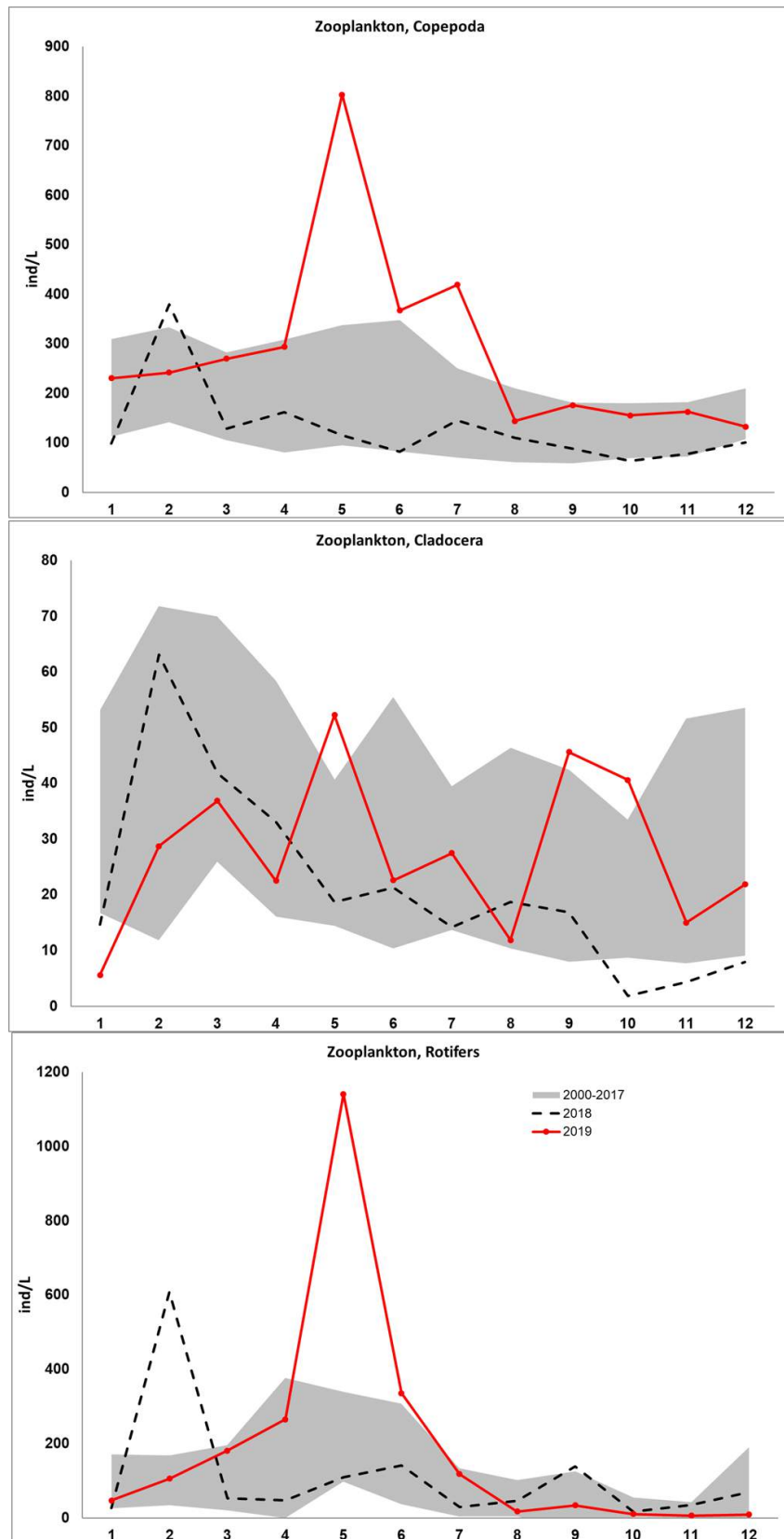
איור 53: באיור העליון, צפיפות שנתית ממוצעת של כלל הזואופלנקטון באגם והחלוקה עפ"י קבוצות טקסונומיות, על פי דיגום הפרופילים, בין השנים 2003-2019. ערכי הצפיפות של קבוצות הקלדוצירה מופיעים בציר האנכי הימני. באיור התחתון, מפלס אגם מקסימלי שנתי משנת 2000.

בניתוח חודשי רב-שנתי על בסיס עשורים ניתן לזהות מספר מגמות (איור 54). בחודשי החורף ובעיקר באביב (פברואר-יוני) ערכי הצפיפות החודשית הממוצעת של כל הזואופלנקטון בשנים 2010-2019 היו מעל הממוצע הרב-שנתי וגבוהים יותר מהעשורים המוקדמים יותר למעט העשור הראשון בניטור הזואופלנקטון (1969-1979). בחודשי קיץ-סתיו המגמה הפוכה ובשנים 2010-2019 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 הקיציית והעליה הדרמטית בתדירות ובעוצמת פריחות הכחוליות הקיציית באגם. יש לציין שהערכים לא היו נמוכים מטווח סטיית התקן לתקופה 1970-2003 בגלל השונות הרבה שנצפתה בתקופה הזאת.



איור 54: צפיפות חודשית ממוצעת של זואופלנקטון עבור עשורים שונים בשנים 1969-2019 (עמודות) והממוצע החודשי הרב-שנתי לשנים 1970-2003 וסטיות התקן (קו אנכי). הנתונים מבוססים על דיגום המיקסים.

בבחינה של צפיפות הקבוצות הטקסונומיות העיקריות של הזואופלנקטון במהלך שנת 2019, ביחס לשנת 2018 ולממוצע הרב-שנתי בין השנים 2000-2017, ניתן להבחין במספר תופעות חריגות (איור 55). התופעה החריגה ביותר שנצפתה במהלך 2019 הייתה ערכי הצפיפות הגבוהים של הרוטיפרים ושל הקופפודים במהלך החודשים מאי עד יולי. במיוחד נרשמו ערכי צפיפות גבוהים וחריגים בחודש מאי בשתי קבוצות הללו. בדיגום המיקס (התוצאות באיור 55) נרשמו ריכוזים של 1974 רוטיפרים לליטר ב-12 למאי ורק כ-308 פרטים לליטר שבועיים מאוחר יותר. לעומת זאת ב-12 למאי נספרו 506 קופפודים לליטר ושבועיים מאוחר יותר צפיפות כפולה מזאת (1,100 פרטים לליטר). עפ"י דיגום הפרופילים, עיקר אוכלוסיית הרוטיפרים התרכז בעומקים 3-5 מ' בתקופה זאת והקופפודים בטווח רחב יותר בין 1-10 מ'. יש להניח שהעלייה המרשימה בריכוז הקופפודים נגרמה בין השאר מהעלייה בריכוז הרוטיפרים המהווים מקור מזון עבור הקופפודים. הקופפודים שמרו על צפיפות גבוהה ביחס לממוצע הרב שנתי וערכי שנת 2018 לאורך כל השנה עם ערכים קרובים לסף העליון של הממוצע + סטיית התקן. הקלדוסירה הציגו ערכי צפיפות גבוהים במהלך מספר מצומצם של חודשים שכללו את מאי, ספטמבר ואוקטובר ובשאר השנה ערכים יחסית נמוכים שאולי נובעים מלחץ הטריפה של הקופפודים הבוגרים. יתכן שהערכים הנמוכים נבעו מלחץ טריפה של דגים, כגון הלבנון, אבל בהעדר המידע לא ניתן לאשש היפותזה זאת.



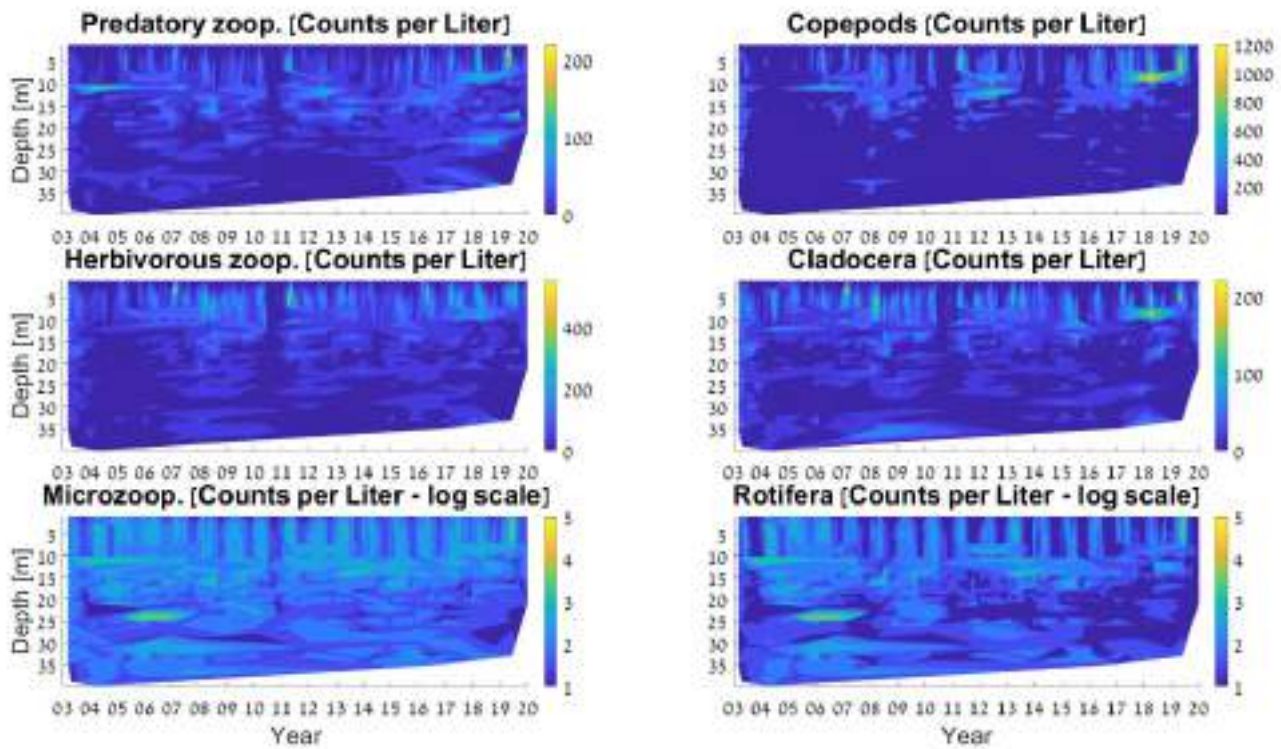
איור 55 : צפיפות חודשית ממוצעת של שלושת הקבוצות הטקסונומיות העיקריות של הזואופלנקטון באגם: הקופפודים (איור עליון), הקלדוצירה (איור אמצעי), וההרוטיפרים (איור תחתון) בשנים 2019 (קו אדום), 2018 (קו שחור מקוקו) וביחס לממוצע הרב-שנתי וסטיות התקן (שטח אפור) בתקופה 2000-2017. על פי דיגום המיקסים.

מתוך מיני הרוטיפרים המין *Keratella cochlearis* היה הדומיננטי עם הערכים החריגים בחודש מאי. עפ"י דיגום הפרופילים נרשמו צפיפיות של 6243 ו-6067 פרטים לליטר בעומקים של 3 ו-5 מ', בהתאמה.

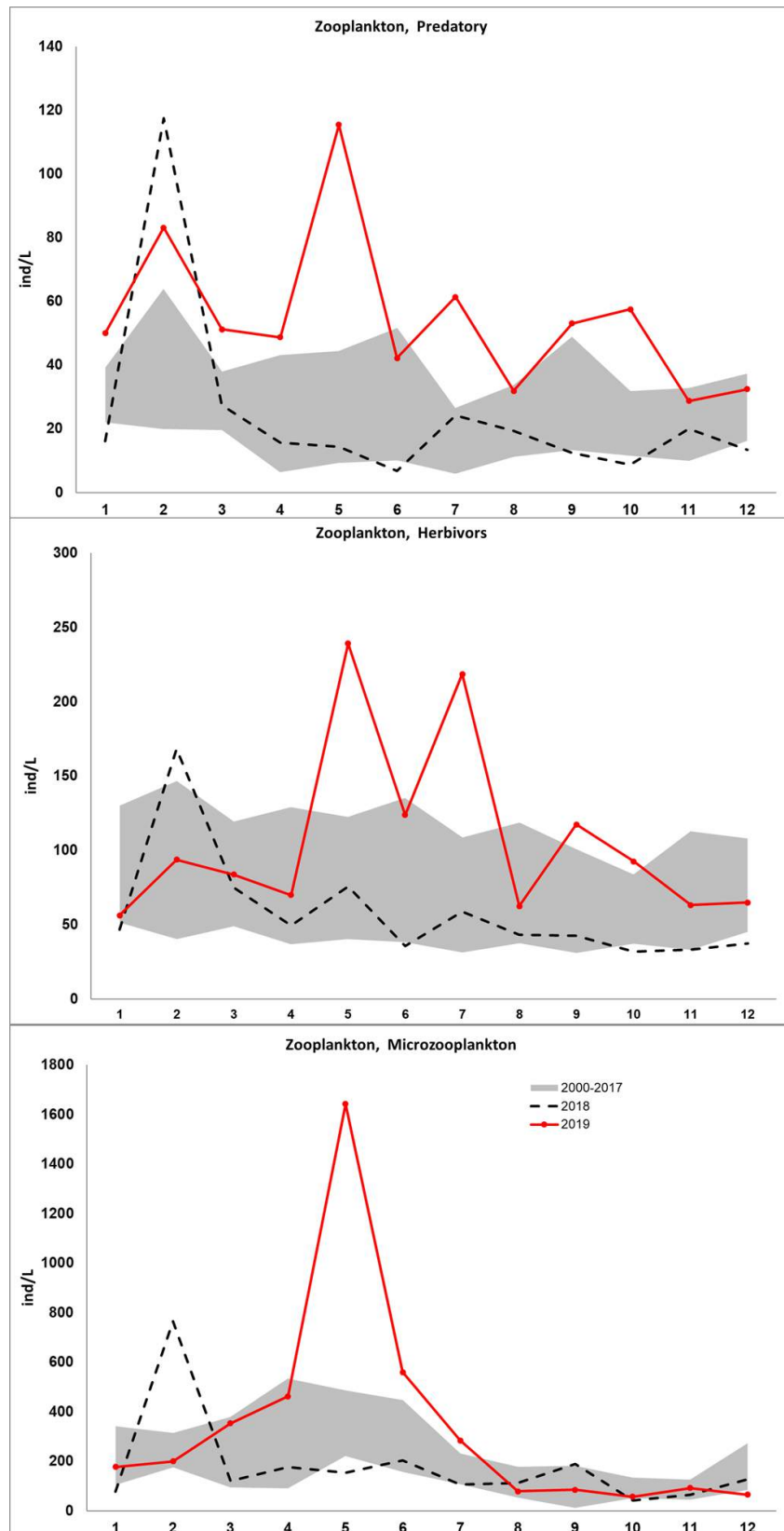
המין הנפוץ הקרוב ביותר מבחינת ערכי צפיפות היה *K. Valga tropica*, עם צפיפיות נמוכות בסדר גודל (537 פרטים לליטר בחודש יוני). ערכי המין *K. cochlearis* היו גבוהים כמעט פי 15 מערכי השיא שנרשמו בשנת 2018. בדומה לשנת 2018, ובניגוד לשנים עברו, בשנת 2019 לא נרשמו ריכוזים גבוהים של המין *Anuraeopsis fissa*.

אם בוחנים את הפיזור של קבוצות הזואופלנקטון בעמודת המים לאורך השנה, החל משנת 2003, ניתן לראות את ההטרוגניות שבפיזור האנכי שלהם (איור 56). בין השאר בולט שהזואופלנקטון הטורף והצמחוני (מיני הקלדוסירה ושלבי הביניים של הקופפודים) מتركז בעיקר בחלק העליון של עמודת המים לעומת המיקרו-זואופלנקטון (הרוטיפרים והשלבים הצעירים ביותר של הקופפודים) שמופיע בצפיפיות גבוהות גם בחלקים עמוקים יותר של עמודת המים, בעיקר באביב, עם יצירת השיכוב. עיקר הפרטים בחלקים העמוקים יותר הם מיני רוטיפרים שונים. בנוסף, בולטת הצפיפות הגבוהה יחסית של הקופפודים והקלדוסירה בעומקים שבין 7-10 מ' החל מ-2017 ולתוך שנת 2019.

אם בוחנים את ההבדלים בין הצפיפיות החודשיות, עבור השנתיים האחרונות (2018, 2019) ביחס לממוצע של השנים 2000-2017, על פי החלוקה לשלשת הקבוצות הפונקצינאליות, הכוללות את הטורפים (קופפודים בוגרים), הצמחוניים (קלדוצירה והקופפודיטים) והמיקרו-זואופלנקטון (רוטיפרים והנאופליי), ניתן להבחין במספר מגמות (איור 57). ראשית, כמצופה, ישנה תאימות בין המגמות הנצפות בחלוקה זאת לבין המגמות שנצפו בחלוקה עפ"י הקבוצות הטקסונומיות. אבל, המגמות בולטות יותר. במהלך שנת 2019 ערכי צפיפיות הזואופלנקטון הטורף (קופפודים בוגרים) היו גבוהים באופן בולט מהממוצע הרב שנתי (2000-2017) וסטיית התקן. בחלק מהחודשים מדובר בערכים גבוהים פי 2 ויותר, למשל בחודש מאי ויולי. תופעה זאת חזרה על עצמה גם במקרה של הזואופלנקטון הצמחוני והמיקרו-זואופלנקטון. הסיבה העיקרית לערכים הגבוהים הללו היא אוכלוסיית הקופפודים אשר הייתה גדולה מאוד במיוחד בחצי הראשון של השנה עם שיא בחודש מאי. יש להמשיך לעקוב אחר השינויים באוכלוסיות הזואופלנקטון בעיקר לאור השינויים במפלס והידוע לנו מאירועים דומים בעבר. המשך העלייה במפלס האגם במהלך חורף 2019/20 והשינויים בשטחי הצמחייה המוצפת והאזורים המצופים סביב האגם צפויים להשפיע על אוכלוסיות הזואופלנקטון בשנים הקרובות.



איור 56: 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 לוגריתמית באיורים התחתונים.



איור 57: צפיפות חודשית ממוצעת של שלושת הקבוצות הפונקציונאליות של הזואופלנקטון באגם: הזואופלנקטון הטורף (איור עליון), הצמחוניים (איור אמצעי), והמיקרו-זואופלנקטון (איור תחתון) בשנים 2019, 2018 ביחס לממוצע הרב-שנתי (וסטיות התקן) בתקופה 2000-2017 על פי דיגום המיקסים.

2.22 אוכלוסיית הדגים - סקרים הידרואקוסטיים



**במימון
רשות
המים**

איליה אוסטרובסקי, סמיון קגנובסקי

- הדגים ממוקמים בראש מארגי המזון האקוטיים, והם משפיעים על צורות החי האחרות ועל איכות המים.
- המטרה העיקרית של המחקר הייתה לנטר את הכמות, הדינמיקה העיתית והתפוצה המרחבית של הדגה באגם תוך שימוש בטכניקות הידרואקוסטיות.
- השינויים העונתיים והשנתיים של כמויות הדגים והפיזור המרחבי שלהם מוצגים בפרק זה.

רקע

הדגים ממוקמים בראש מארגי המזון האקוטיים, והם משפיעים על צורות החי האחרות ועל איכות המים עקב ההשפעה על הפיטופלנקטון, הזואופלנקטון, הזואובונטוס, ומשטר הנוטריינטים באגם.

לתנודות מפלס האגם השפעה ניכרת על הביולוגיה והאקולוגיה של הדגים כמו גם על הרבייה, ההשרדות והדינמיקה באגם. דייג ואיכלוס מיני דגים רצויים משנים את אוכלוסיות הדגים וגם רכיבים אחרים של המערכת האקולוגית, ובכך משפיעים על איכות המים. ממשק לקוי ודייג יתר עלולים לגרום נזק למערכות האקולוגיות של האגם. לכן ממשק אוכלוסיית הדגים הינו כלי חשוב לשמירה על המערכת האקולוגית של האגם ואיכות המים. מאז שנות ה-80 המאוחרות הוכנסה לשימוש מערכת הידרואקוסטית לניטור דגים, על מנת לשפר את הידע לגבי אוכלוסיות הדגים הפלגיים, זאת במטרה לייעל את ממשק הדגה ואת טכניקות האיכלוס בכנרת.

שיטות

סקרים אקוסטיים, שמטרתם הערכה כמותית של מספרי הדגים וגודלם באגם, בוצעו באקוסאונדר מדעי בעל אלומה מפוצלת 120 kHz, מדגם Simrad EY60. הסקרים בוצעו לאורך 14 חתכים בשעות הלילה, מכיוון שאז הדגים מפוזרים על פני עמודת המים לעומת שעות היום בהן הם מקובצים בלהקות. לפני כל סקר כויל האקוסאונדר בעזרת כדור סטנדרט. האקוסאונדר המדעי מצויד במערכת GPS שמאפשרת רישום דגמים מרחביים דו-ממדיים של פיזור המטרות האקוסטיות. מכיון שאקוסאונדר מפוצל אלומה מאפשר זיהוי מהחיישן לכל מטר, הרי שניתן לאפיין מיקום תלת-ממדי של המטרות בגוף המים. דיגום הדגים נעשה בטווח שמעבר ל-2 מ' מהחיישן. חישובי צפיפויות הדגים נעשו בעזרת תוכנת ייעודית לעיבוד נתונים הידרואקוסטיים (S5, Sonar5, Lindem Data Acquisition, http://folk.uio.no/hbalk/sonar4_5/index.htm)

תוצאות ודין

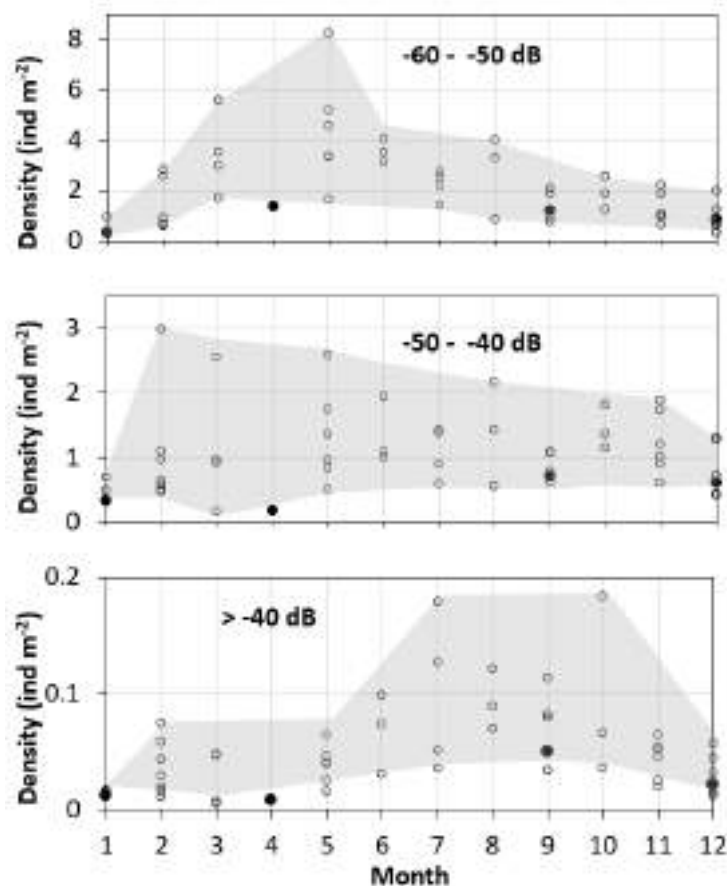
טווח המטרות האקוסטיות חולק לקבוצות: מטרות קטנות מ-50 dB משויכות ללרות ולדגיגים, מטרות 50-40dB הינן ככל הנראה לבנון בוגרים (*Mirogrex terraesanctae*) ומינים נוספים, ומטרות <40dB משויכות לדגים גדולים, חלקם מינים בעלי ערך מסחרי. הדינמיקה העונתית של הדגים משלוש קבוצות הגודל מוצגת באיור 58. הצפיפות הגבוהה יחסית של הדגים הקטנים ביותר (60-50 dB) נצפתה במרץ-מאי, בעוד שהצפיפות הנמוכה התרחשה בין ספטמבר לינואר. הצפיפות הגבוהה של הדגים מקבוצת הגודל הגדולה ביותר (<40 dB) נצפתה בדרך כלל ביולי-אוקטובר, ואילו צפיפות נמוכה נצפתה בין נובמבר לאפריל. צפיפויות הדגים מכל קבוצות הגודל בכל העונות היו בסדר גודל קרוב או אפילו נמוכות מהתחומים הנמוכים נצפו בשנים 2011-2018. הערכים הנמוכים מצביעים על ירידה משמעותית בדגים, מכל קבוצות הגודל, בשנים האחרונות, המחייבים השלמת צעדים אדמיניסטרטיביים כגון ויסות מפלס המים, ירידה בטווח התנודות במפלס המים, ואכיפת ממשק הדייג.

בינואר 2019 התרכזו הדגים בחלק הצפון-מערבי של האגם, לדוגמה האזור שבו *M. terraesanctae* לרוב מטיל ביצים.

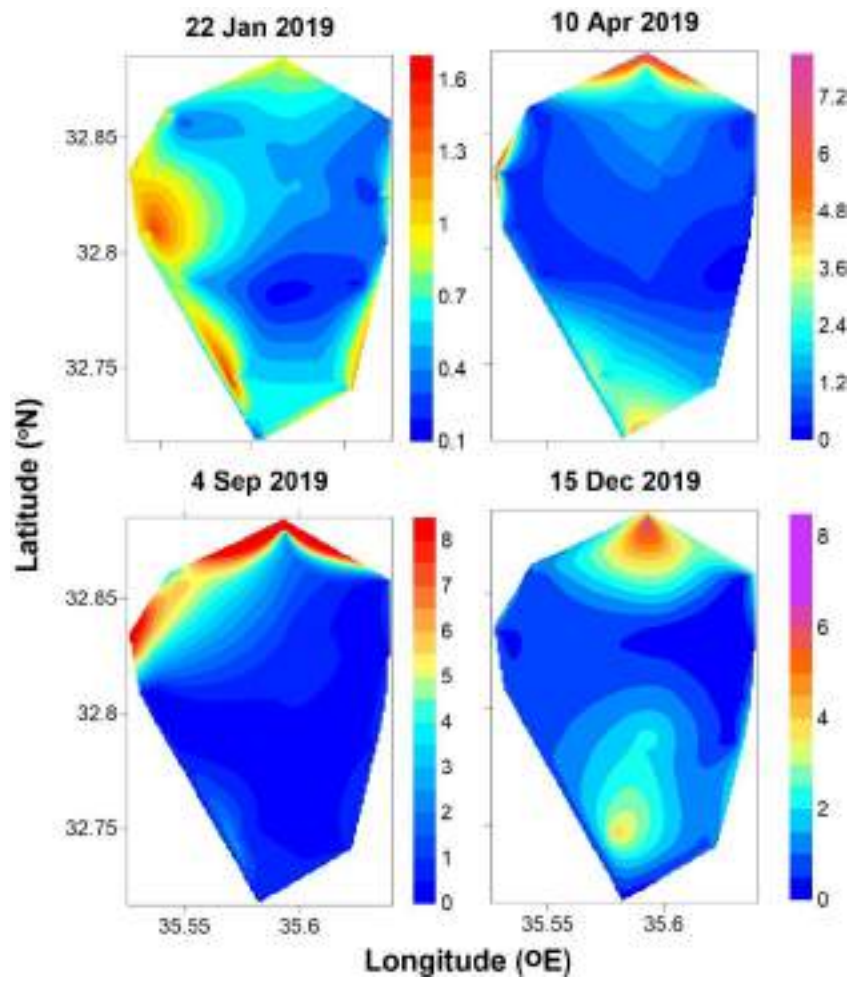


ראוי לציון, כי צפיפות הדגים בתקופה זאת הייתה נמוכה מאוד, מה שעשוי לשקף את הצפיפות הנמוכה בדרך כלל של דגים אלה באגם, או ריכוז גדול של לבנונים מטילים באזור ליטוראל רדוד מאוד, בו לא ניתן לבצע דגימה אקוסטית סטנדרטית. בשאר הזמן נרשמו צפיפויות הדגים הגדולות ביותר בקצה הצפוני של האגם (איור 59). בדצמבר נמצאו גם להקות דגים בחלקו הדרומי של האגם.

בשנת 2019 הצפיפות הממוצעת של דגים הגדולים מ-60 dB הייתה 1.4 פרטים / מ"ר. זהו המספר הנמוך ביותר שנרשם מאז 2011, אז נעשה לראשונה שימוש באקוסאונדר האקוסטי החדש (Simrad EY60). במשך שלוש השנים שקדמו לה 2016, 2017, ו-2018 צפיפות הדגים שגדולה מ-60 dB הייתה 2.9, 3.3 ו-2.1 למ"ר, בהתאמה.



איור 58 : דינמיקה עונתית של דגים מקבוצות גודל שונות בשנת 2019 באגם הכנרת. הנקודות השחורות המלאות מייצגות את הערכים ב-2019, הנקודות השחורות הריקות מייצגות את הערכים של 2018 – 2011. השטחים מייצגים את גבול השונות ב-2018 – 2011. הנתונים מצביעים על כך שצפיפות הדגים מקבוצות גודל שונות הייתה קרובה לגבול התחתון של צפיפויות הדגים שנצפו בשנים 2018-2011.



איור 59 : תפוצה מרחבית של דגים באגם הכנרת ב-2019. צפיפות דגים ניתנת בפרטים למטר מרובע (ind./m^2)

2.23 בחינת נוכחות חומרי הדברה במי האגם ובדגה



במימון
רשות
המים

פלאג אסטרון, אדית ליבוביץ'

- ניטור שאריות חומרי הדברה באגם הכנרת
- ניטור ואנליזה של חומרי הדברה לצרכי דייג לא חוקי

מטרת המחקר

1. ניטור שאריות של חומרי הדברה באגם הכנרת: דיגום מי פני שטח אגם הכנרת לאנליזת חומרי הדברה.
2. אנליזת חומרי הדברה וחומרים המשמשים לדייג לא חוקי (הרעלה) בכנרת ונחלי הסביבה ואנליזה של דגים שסבורים שמתו מהרעלות.

רקע

חומרי הדברה נמצאים בשימוש מוגבר בשדות חקלאיים ואף במשקי בית רבים בישראל. מספר רב של שטחי חקלאות נמצא בחלקה הצפוני של המדינה – בתחומי אגן ההיקוות של הכנרת. לכן קיימת האפשרות שחומרי הדברה רבים מנוקזים בנחלי הצפון המובילים אל הכנרת. במרבית השנים בהם נוהל ניטור זה, ניתן להניח כי המיהול הגדול של מי הנחלים עם מי האגם הוא האחראי לריכוזים נמוכים בדגימות (מתחת ל 1ppb, חלקי המיליארד). עם זאת מספר פעמים נצפו ריכוזים בסד"ג של מספר ppb. דיווחים הקיימים בספרות המדעית מציינים כי למספר חומרי הדברה כגון אנדוסולפן יש השפעה הרסנית על אוכלוסיות זואופלנקטון בריכוזים אלו. תופעה מזיקה נוספת המתקיימת מספר עשורים בסביבות הכנרת (מעט דוגמאות הגיעו במרוצת השנים ממקורות אחרים) היא פעילות דייג פלילית המבוצעת בעזרת חומרי הדברה. שימוש בחומרי הדברת מזיקים שהינם ברובם חומרים נירו-טוקסיים, מביא לעלייה מהירה במצוקת הדגה וכתוצאה ניתן לאסוף יבול רב בזמן מועט.

שיטות

ניטור הכנרת מתבצע ע"י דיגום מ- 5 תחנות האגם G,H,K,DA, ומספר פעמים בשנה גם תחנת גשר אריק, ואנליזת חומרי ההדברה בדוגמאות ע"י מיצוי בממס אורגני ואנליזת GC/MS במעבדת הכנרת. אנליזת דגים נערכת ע"י מיצוי רקמות הדגים הנבחנים המובאים ע"י פקחי אגף הדיג או ע"י פקחי רט"ג.

תוצאות ודין

תוצאות אנליזות חומרי ההדברה מראות כי הריכוזים של חומרי ההדברה נמוכים ביותר באגם וכולם מתחת ל 1ppb, לכן ניתן לסכם שמבחינת חומרי הדברה מצב המים באגם השנה הינו טוב. במהלך שנת 2019 נבחנו גם 4 דגימות דגים ו- 3 דגימות מים בלבד, כאשר מתוכם 3 דוגמאות דגים לא הצביעו על חשד להרעלה, אך דוגמאות דגים שהגיעו באוגוסט מאזור חוף גולן הצביעו על הרעלה בעזרת אנדוסולפן (בריכוז של מעל 300ppb ברקמות). עם זאת, מי האגם ואף מי גלם ותוצר של מתקן טיוב מים מקומי שנבחן באירוע זה היו נקיים מחומר זה. תופעה זו הייתה נפוצה בעבר בזמני החגים כנראה עקב הביקוש הרב לדגים. הרעלה בסביבות מתרחצים (חוף גולן) מהווה בעיה חמורה ולכן ההמלצה היא להגביר את האכיפה והדיגום בחגים וסביב עונת הרחצה. יש לציין כי מספר רב של חומרי הדברה לא נבחנו במרוצת השנים עקב אי יכולת בסיסית (כימית) לבצע ניטור חומרים אלו בעזרת GC/MS המעבדה. שימוש עתידי ב LC/MS יוכל לפתור בעיה זאת.

2.24 חלזונות וצדפות בליטוראל



במימון
רשות
המים

תמר זהרי, בני סולימני, דייב קמינגס

- אוכלוסיות הליטוראל הטבעיות של הכנרת מותאמות לשינויי מפלס בטווח הטבעי של כ-1.5 מ'. אוכלוסיות אלו לא מותאמות לשינויי מפלס בטווח של 6 מ' שאיתם נעלמים מרצועת הליטוראל התשתית האבנית, הכיסוי הצמחי ולגונות הבטיחה.
- שינויי המפלס הובילו להתמעטות קיצונית של החלזונות הטבעיים לכנרת והופעת והשתלטות מין פולש. מאז 2012 ועד היום החילזון הפולש, *Thiara scabra*, מהווה מעל 95% מסך החלזונות באגם, בריכחים של אלפי עד עשרות אלפי פרטים למ"ר בעומקים 2.5 ו-5 מ'.
- גם צדפות הכנרת סובלות מאד משינויי המפלס הקיצוניים. שניים משלושת המינים הטבעיים לאגם בסכנת הכחדה.

מטרת המחקר

מעקב אחר אוכלוסיות החלזונות והצדפות בכנרת.

רקע

שינויי המפלס הקיצוניים בכנרת גורמים לשינויים משמעותיים בבתי הגידול שבליטוראל (אזור המים הרדודים), בו חיים החלזונות והצדפות. במפלסים גבוהים הליטוראל ברובו אבני או סלעי בעוד שבמפלסים נמוכים רובו חולי. היצורים שחיים בליטוראל צריכים להתאים עצמם לשינויים הקיצוניים בבית הגידול. אלו שלא מצליחים להסתגל – נכחדים, ועם היעלמותם נפתחת נישה למינים פולשים. הרכיכות בכנרת הם דוגמא מצוינת לתהליך כזה. צ'רנוב (1975) דיווח על 5 מיני חלזונות בכנרת, מהם 3 גדולים ונפוצים (מגדלית הנחלים, שחריר מצולע, סהרונית הירדן) ועוד 2 זעירים (ביטיניה זעירה, קרינית הירדן). קונכיות של 5 מינים אלו מוכרות מאתרים ארכיאולוגיים וחתכים גיאולוגיים באזור הכנרת, ומעידים על נוכחות המינים הללו באזור כ-1.5 מיליון שנים.

בסוף 2004, לאחר עליית המפלס המהירה של הכנרת בשנים 2002-2003, יוסי הלר מהאוניברסיטה העברית דיווח בע"פ על התמעטות קיצונית של חלזונות בחופי הכנרת. ב-2007 הנק מייניס דיווח לראשונה על המצאות מין פולש של חילזון, *Thiara scabra*, בדרום הכנרת. ב-2010/11 תעדנו את התפשטותו של מין פולש זה בכל חלקי הכנרת. ב-2012 התחלנו בניטור סדיר של חלזונות וצדפות בליטוראל של האגם.

שיטות

ניטור הרכיכות (= מולוסקה, חלזונות וצדפות) מתבצע פעמיים בשנה, בתקופת מפלס המינימום ושוב בתקופת מפלס המקסימום, בחמש תחנות חופיות (חוקוק, גינוסר, חמי טבריה, גופרה, שיטים; איור 60).



איור 60: חמש תחנות הדיגום לחלזונות וצדפות. בכל תחנה דוגמים חלזונות בשלוש נקודות דיגום לאורך חתך מהחוף לים הפתוח בנקודות בהם עומק המים 0.4, 2.5 ו-5 מ'.

בכל תחנה נדגמו חלזונות בשלוש נקודות לאורך חתך מהחוף לכיוון מרכז האגם, בנקודות בהן עומק הקרקעית: 0.4 מ' (דיגום מהחוף), 2.5 מ' ו- 5 מ' (דיגום בצלילה מסירה), סה"כ 15 נק' דיגום לעונה. מסיבות טכניות הדיגום העונתי מתפרש על פני חודש עד חודשיים, ועקב שינויי מפלס מיקום נקודות הדיגום זז עם המפלס מדיגום לדיגום. בכל נקודת דיגום, אוספים חלזונות וצדפות מעשר משבצות קרקעית שנדגמות באופן אקראי באמצעות מסגרת של 20 על 20 ס"מ. תכולת המשבצת נאספת לתוך דלי, האבנים והחול מסולקים במקום, הרכיכות נלקחות למעבדה לזיהוי וספירת כלל הפרטים החיים מכל מין (קונכיות וצדפות ריקות לא נספרות). לרגל דיווחים מרשות הטבע והגנים כי צדפות הכנרת בסכנת הכחדה, התחלנו לחפש, ללמוד, להגדיר ולתעד מינים נדירים של רכיכות, שבעבר לא התייחסנו אליהם.

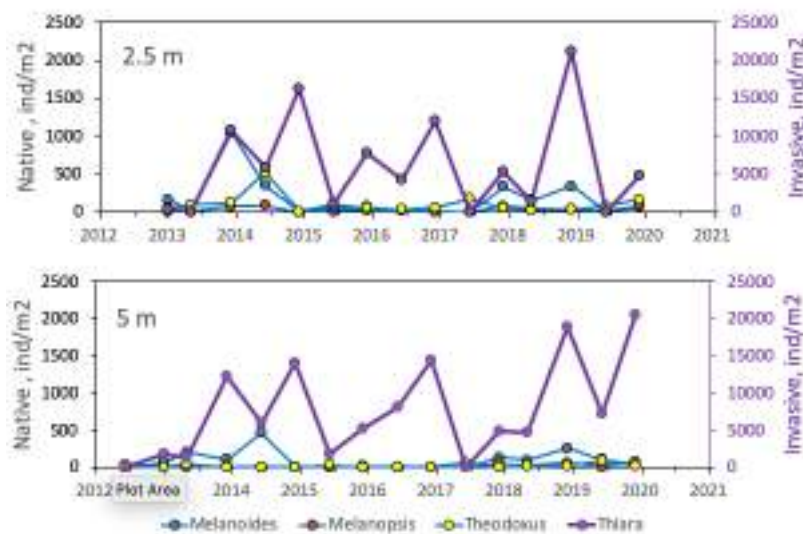
תוצאות ודיון

השינויים עם הזמן ועם עומק הדיגום בריכחי החלזונות (איור 61) והצדפות (איור 62) בליטורל של הכנרת מאז תחילת הדיגום ב-2012, מוצגים כממוצע של מספר הפרטים למ"ר ב 5 התחנות בכל עונת דיגום, ובכל עומק.

חלזונות: ריכחי הפרטים של המין הפולש, *Thiara scabra*, מגיעים לריכחים עצומים של עשרות אלפי פרטים למ"ר (איור 61). בפועל, כשלוקחים חופן מהדגימה, הוא מכיל כמעט רק חלזונות, עם קצת גרגרי חול מסביבם.

לרוב הריכזים גבוהים יותר בדיגומי המפלס הנמוך (בסיום כל שנה קלנדרית) מאשר בדיגומי המפלס הגבוה (אפריל-מאי) (איור 61). סביר שהדבר קשור לתזחת קו המים עם שינויי המפלס כך שלמשל בזמן דיגום המפלס הנמוך החלזונות שנדגמים ב-2.5 מ' הם בנקודה שעד לא מזמן הייתה תחת עמודת מים גבוהה יותר. ריכזי החלזונות מהמין הפולש גבוהים בסדר גודל ויותר מאשר ריכזי שלושת המינים הטבעיים לכנרת, מהם מוצאים פרטים בודדים (אם בכלל) עד עשרות מעטות של פרטים למ"ר. למין הפולש יכולת הסתגלות למפלסים המשתנים, כושר ציפה והתפשטות, אין טורפים, והם דוחקים את הטבעיים עד להכחדה, עם תוצאה של צמצום מגוון המינים.

מהמינים הטבעיים הנדירים יותר בכנרת, ראינו ב-2019 רק פרטים בודדים של ביטיניה, רק ב-5 נקודות דיגום במהלך השנה כולה (מתוך 30 נקודות דיגום בשתי עונות) ובסך הכל נאספו 7 פרטים בלבד של מין זה. משני המינים הפולשים החדשים שנצפו ב-2018, רק אחד מהם, פירגופורוס, נצפה ב-2019 וגם זה במקרה אחד בודד בו 3 פרטים של המין נמצאו בנקודת דיגום יחידה. המין השני, טרביה, לא נמצא כלל, זה מעודד.

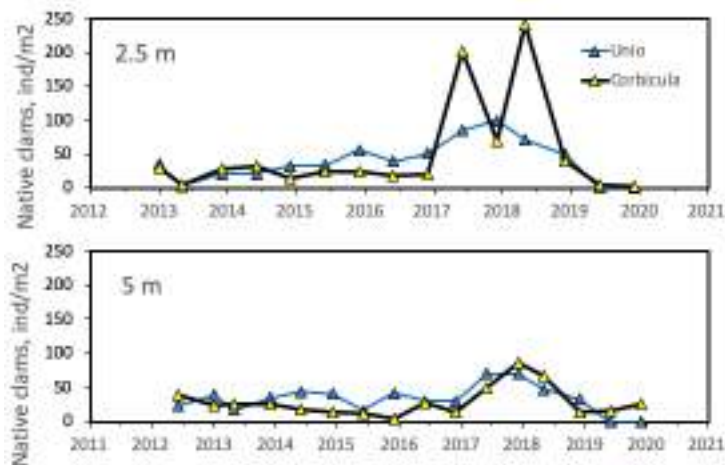


איור 61: ריכזי חלזונות (פרטים למ"ר) מהמין הפולש (קו סגול, ציר Y ימני) ושל שלושה מינים טבעיים לכנרת (קווים כחולים, ציר Y שמאלי), 2012-2019. כל נקודה היא ממוצע הערכים שנמצאו ל-5 תחנות דיגום (איור 60) בעומק 2.5 מ' (גרף עליון) או 5 מ' (גרף תחתון).

ידוע מעמק המעיינות שהטיארה מביאה עמה טפילים של מחלות דגים, ובפרט את הטפיל *Centrocestus* (טרמטודה) שפוגע באמנונים. הטפיל גורם לנזקים כבדים לגידול הדגים המסחרי בעמק המעיינות (חנוך גלסנר, רמה פאלק, מידע אישי). נושא זה לא נחקר בכנרת ומצריך בדיקה.

השערה נוספת שמצריכה בדיקה: בריכוזים העצומים של החלזונות בליטורל – הם מחסלים כל מה שנמצא בחול, כולל ציסטות פרידיניום, ותורמים להעדר פריחות של אצה רצויה זו, בכך מעודדים פריחות של מיני אצות לא רצויים כמו ציאנובקטריה.

צדפות: בכנרת 3 מיני צדפות הטבעיות לאזור: *Unio terminalis*, *Corbicula fluminalis*, *Potomida littoralis* או בעברית: אוניו = צדפת נחלים כנרתית, קורביקולה = סלסילה חומה, פוטומידה = צדפת אגמים כנרתית. מתוכן השתיים הראשונות היו נפוצות מאד בעבר. מאז 2012 ריכזי צדפת האוניו בחופי הכנרת נמוכים מאד, בין אפס עד עשרות בודדים של פרטים למ"ר (איור 62). ריכזי הקורביקולה גבוהים מעט יותר, עד כ-200 פרטים למ"ר. מהמין פוטומידה מצאנו רק פרטים בודדים (לא מופיע באיור). באופן ברור הצדפות סבלו במיוחד מירידת המפלס האחרונה, כנראה לא הספיקו לעקוב אחר נסיגת המים, ובדצמבר 2018 כשמפלס הכנרת הגיע לשפל השנתי של -214.65 מ', אחרי רצף של 5 שנות בצורת, כל אזור צמח הפך לבית קברות של צדפות (תמונת השער לפרק זה). האוניו והפוטומידה הם מינים בסכנת הכחדה עולמית, ושינויי המפלס בכנרת בטווח גדול בהרבה מהטבעי תורמים להכחדתם.



איור 62: ריכזי צדפות (פרטים למ"ר) של שני המינים העיקריים בכנרת, אוניו וקורביקולה, 2012-2019. כל נקודה היא ממוצע הערכים שנמצאו ל-5 תחנות דיגום בעומק 2.5 מ' (גרף עליון) או 5 מ' (גרף תחתון).

2.25 דיגום אוטומטי ברזולוציה גבוהה – מרכז האגם



במימון
רשות
המים

ורנר אקרט, בני סולימני, מיקי שליכטר

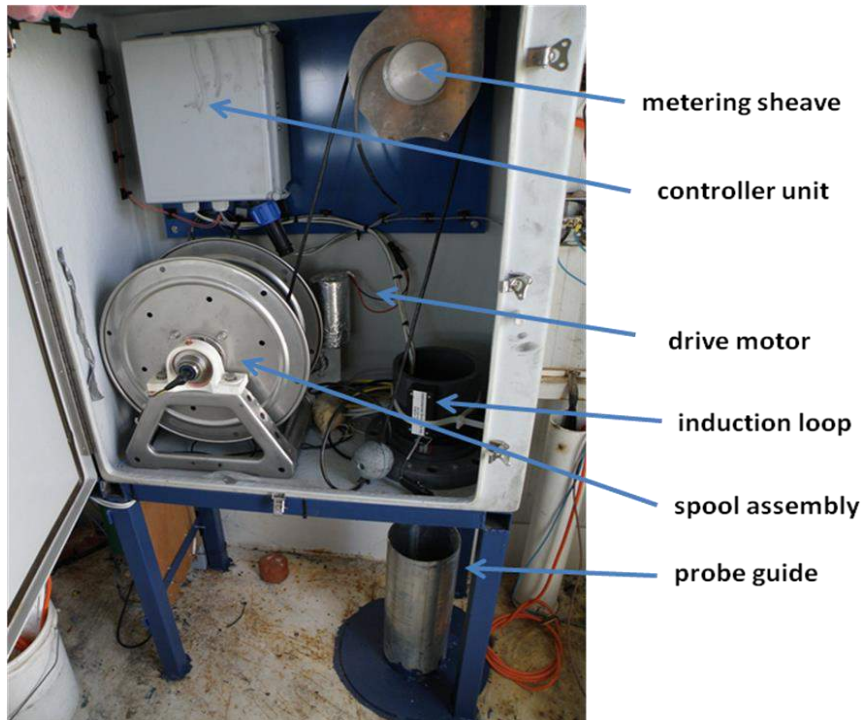
- ב- 2019 היפוך מלא של עמודת המים בכנרת התרחש ב- 7 לינואר.
- שיטפונות חורף חזקים גרמו לעיכוב של חודש בערך בכל התהליכים הביוגאוכימיים בעמודת המים.
- חודשי הקיץ אופיינו בעומק תרמוקלינה לא שגרתי (15 מטר) הגבוה ב- 2 מטרים מזה של שנים אחרות.

רקע

בשנת 2002 החלה המעבדה לחקר הכנרת לנטר את עמודת מי האגם בעזרת ציוד אוטומטי המופעל מדוברת האקוראפט בתחנה A. בשנת 2009 הוחלפה יחידת ה- RUSS/YSY אשר פעלה במקום בשנים 2002-2008, במכשיר המופעל על ידי כננת שעליה מורכב דוגם רב חיישנים מדגם (Texas, Eureka, Austin) Manta II



ומפרופיילר עצמאי מותאם למקום, אשר פותח על ידי חברת Instrumental Solutions Inc.

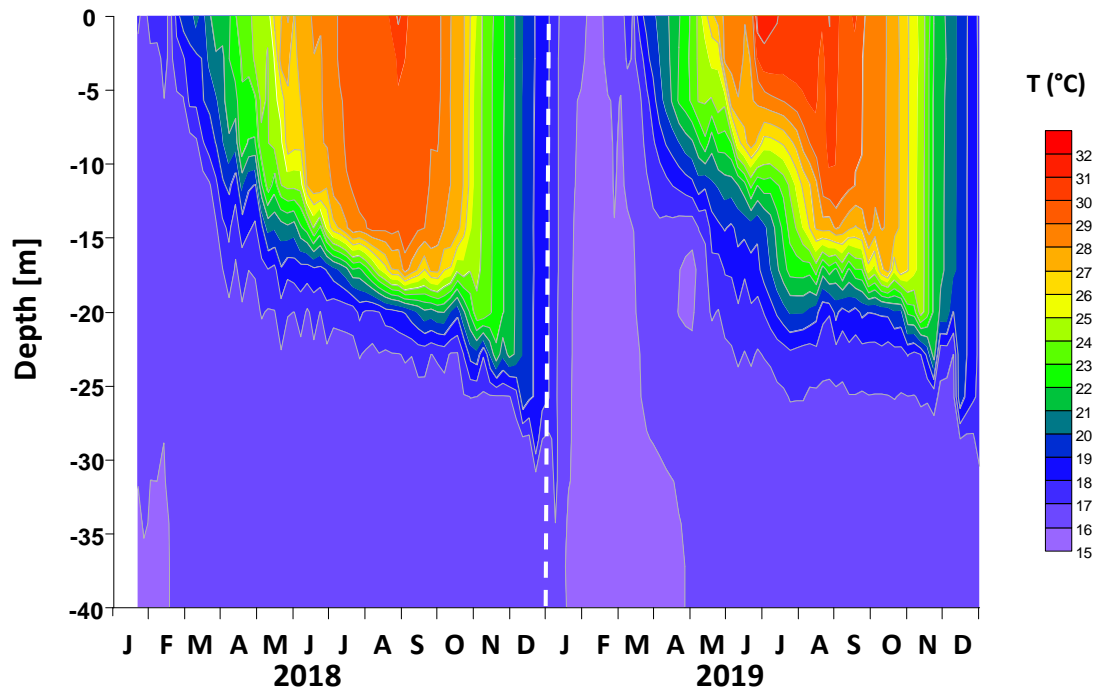


תמונה 1 : יחידת הפרופיילר האוטונומי ISI-AutoReel

דיגום הפרופיילים החל בסוף דצמבר 2009 במדידות טמפרטורה, עומק, חמצן מומס, pH, מוליכות, פוטנציאל חמצון/חיזור, עכירות וכלורופיל a 1-4 פעמים ביממה לאורך עמודת המים ברזולוציה של 0.5 מטר. ב- 2019 תדירות הדיגום הייתה 5 פרופילים כל 24 שעות, למעט שתי תקופות בהן הופסק הדיגום, אחת בין 19/3-16/5 בגלל תקלה בכונת ושניה 26/6-21/8 בשל אספנת האקורפט.

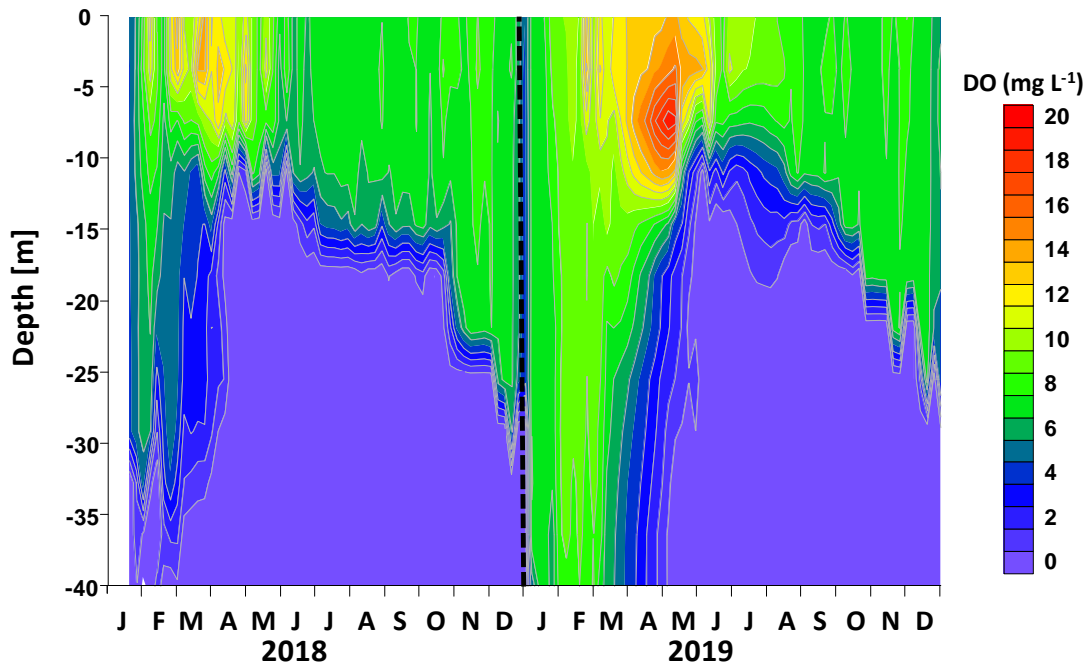
תוצאות מ-2019

בניגוד לערבוב המאוחר והלא מלא של עמודת המים שהתרחשו בשנת 2018, ב- 2019 נצפה היפוך מלא ב- 7 לינואר. טמפרטורת המים בזמן הערבוב ירדה ל 15.7°C , כמעלה אחת פחות מהשנה שקדמה לה (איור 63). השיכוב התרמי התחיל במרץ ונמשך עד לסוף 2019. הריכוזים הגבוהים של חמצן מומס בכל עמודת המים בחודשים ינואר-מרץ, ממחישים יפה את הערבוב המלא של כל עמודת המים ב- 2019 לעומת 2018 (איור 64).

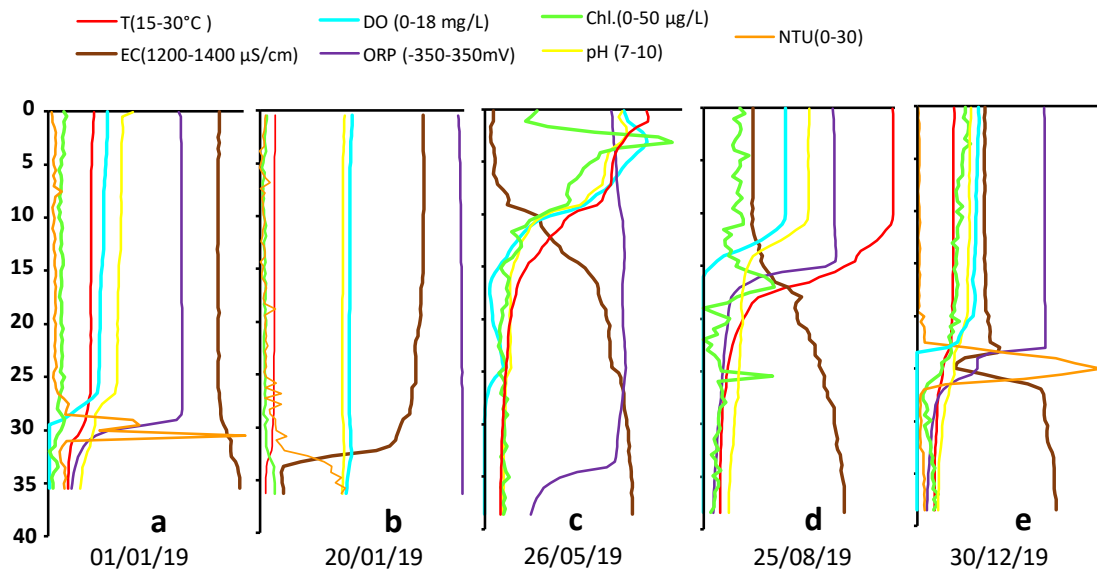


איור 63: איזותרמות של זמן ומרחב בעמודת המים של אגם הכנרת במהלך השנים 2018-2019

הבדל בולט נוסף בין 2018 ל-2019 הוא שלאחר רצף ארוך של שנות בצורת הגיעה שנה עם שיטפונות חורף שהביאו לעלית מפלס של 3.4 מטר, מ-214.6 בדצמבר 2018 ל-211.2 במאי 2019. איור 65 מסכם את האירועים והשינויים העיקריים שהתרחשו באגם במהלך 2019. בתחילת ינואר עמודת המים הייתה עדיין משוכבת תרמית וכימית, כאשר שכבת ההיפולימניון הייתה בעובי 6.5 מטר, ללא חמצן (איור 65a) השיא הבולט בעכירות שנראה בשכבת המטהלימניון נגרם כתוצאה מפעילות חיידקית מוגברת בגבול שבין השכבה המחומצנת לזאת חסרת החמצן.



איור 64: ריכחי חמצן מומס בעמדות המים של הכינרת במהלך 2018-2019



איור 65: פרופילים אופייניים של טמפרטורות, חמצן מומס, כלורופיל, pH, עכירות, פוטנציאל חמצון חיצון (ORP) ומוליכות חשמלית (EC) במהלך תהליך השיכוב בשנת 2019 בעמדות המים של תחנה A.

לאחר ההיפוך ב 7/1/19, מזג אויר קר שלוהו בשיטפונות עזים גרם לירידה בטמפרטורת המים וב- 20/1/19 ניתן לראות בברור את השפעת מי הירדן סמוך לקרקעית המאופיינת בירידה של המוליכות החשמלית מ- 1350 ל- 1250 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (איור 65b).



ניתן להבחין בערכים נמוכים מאוד של כלורופיל a בחודש ינואר שהגיעו ל- 5 מיקרוגרם לליטר. בניגוד לשנים רגילות כאשר שכבת הפן הבייני (BBL) הופכת להיות חסרת חמצן ועשירה בסולפיד לקראת תחילת אפריל, ב- 2019 סולפיד התחיל להצטבר בשכבה זאת רק ב- 26/5, וכתוצאה מכך נראית ירידה בפוטנציאל חימצון חזור (ORP). איחור דומה נצפה גם בפריחה האביבית של הפיטופלנקטון כפי שניתן לראות על פי ריכוז הכלורופיל שהגיע לערך שיא בעומק 3 מטר (איור 65c). חודשי הקיץ אופיינו בעומק תרמוקלינה גבוה מהרגיל (15 מטר באוגוסט) שכנראה היה אחד הגורמים העיקריים לפריחה של חיידקי גופרית פוטוטרופיים בשכבת המטהלימניון, כפי שניתן לראות מהשיא של ערכי הכלורופיל מתחת לכימוקלינה (איור 65d).

בסוף 2019 עמודת המים הייתה עדיין משוכבת עם כמוקלינה ואוקסיקלינה יציבות בעומק 25 מטר (איור 65e). הפרופיל מסוף דצמבר 2019 מראה סימנים של שיטפונות החורף הראשונים המתבטאים בירידה במוליכות החשמלית במטהלימניון, כנראה בשל ערבוב של מי ירדן עשירים בחמצן עם מי כנרת ללא חמצן בעלי צפיפות זהה.

2.26 התקנת פרופיילר אוטונומי נוסף בתחנה G הכולל תחנה מטאורולוגית



**ניטור
מורחב:
במימון
רשות
המים**

ורנר אקרט, גדעון גל, יורי לצ'ינסקי

- המערכת הגיעה בפברואר 2020.
- לאחר הוספת מערכות בטיחות ומניעת ציפורים המערכת מתוכננת להיכנס לפעילות on line בחדש אוגוסט.

רקע

בעקבות אירועים חוזרים של פריחות הכחוליות שבחלקם נמדדו ריכחים יחסית גבוהים של רעלנים בעמודת המים של הכנרת הוחלט במשותף עם רשות המים להרחיב את תכנית הניטור של הכנרת.

ההרחבה מתמקדת בעיקר ביצירת בסיס מידע רחב יותר שיאפשר הבנה טובה יותר של הדינאמיקה של יצירה והתפשטות פריחות של כחוליות באגם. לשם כך הוחלט על:
1. ביצוע דיגום "קשת צפונית" בעונות של פריחת הכחוליות (ראה פרק 2.19 - מעקב מוגבר אחר פריחות ציאנובקטריה ורעלנים במים).

2. רכישה והתקנה של דוברת דיגום אוטומטי בצפון הכנרת, אזור שבו מתפתחות לרוב פריחות של כחוליות. רכישת הדוברת נעשתה במימון משותף של חקר ימים ואגמים ורשות המים כאשר צוות המעבדה אמון על כל הנושא הלוגיסטי. בין השאר הוחלט על רכישת דוברת שנבנתה ע"י חברת Instrumental Solutions Inc (ISI, Vicksburg, Mississippi, US), שתמוקם בצפון הכנרת, בקרבת תחנה G שעומקה המקסימלי 22 מטר. כן הוחלט על התקנת פרופיילר אוטונומי עם כננת מסוג Auto-Reel (תמונה 1) בדיוק כמו זה הפועל באקורפט שבתחנה A משנת 2010. הכננת ניתנת לתכנות כך שאפשר לבצע פרופילים של עומק ברזולוציות זמן שונות, ובין הפרופילים, ניתן לבצע איסוף נתונים מעומק קבוע בזמנים שונים.

התוכנה והחומרה של הכננת הותאמה על ידי הספק להפעלה של דוגם רב חיישנים מדגם Manta (תמונה 2) (מתוצרת Eureka, Austin, Texas, USA) הכוללת מערך סנסורים למדידה של הפרמטרים הבאים: טמפרטורה, עומק, חמצן מומס, עכירות, פוטנציאל חמצון חיזור, כלורופיל a, פיקואריטרין (פיגמנט של מיקרוציסטיס חום), פיקוציאנין (פיגמנט של ציאנובקטריה) ומוליכות חשמלית.



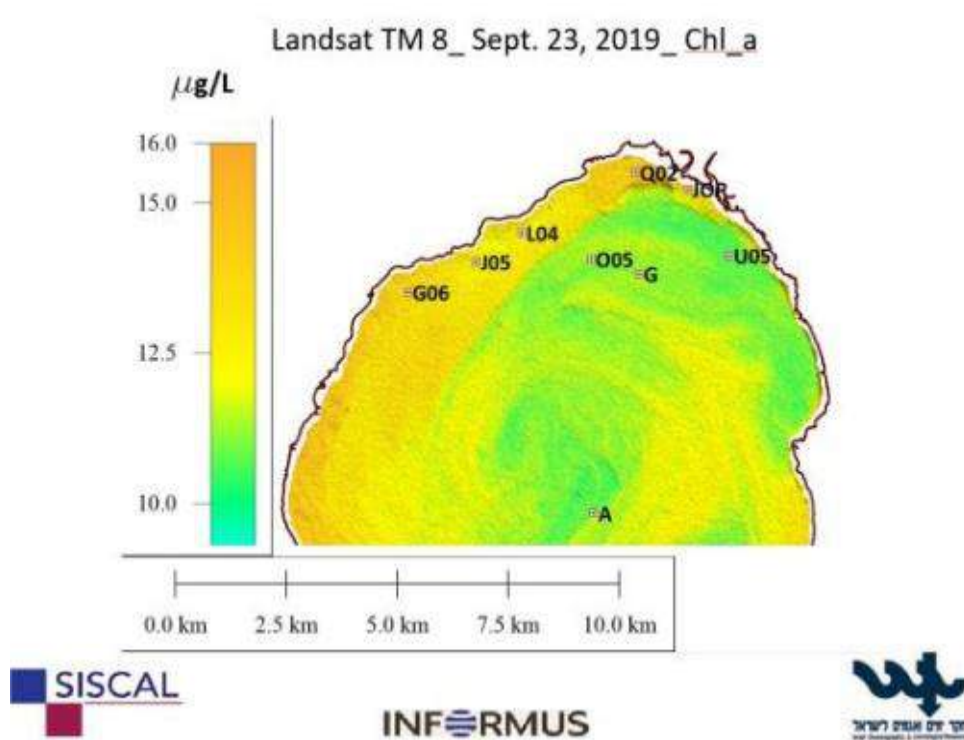
תמונה 2



תמונה 1

על הדוברת החדשה יותקן ציוד נוסף: תחנה מטאורולוגית קומפקטית מדגם Lufft WS-600 (G. Lufft Mess- und Regeltechnik GmbH, Fellbach, Germany) אשר תמדוד את הפרמטרים הבאים בנקודת זמן עכשווית: קרינה גלובלית, טמפרטורת האוויר, לחות יחסית, משקעים, לחץ אוויר, כיוון רוח, מהירות רוח. תהליך התקנת המכשירים, הגדר, ומערכת חשמול נגד ציפורים עומד להסתיים והדוברת עתידה לעבור למשכנה הקבוע בחצי השני של חודש אוגוסט. הנתונים, בדומה לנתונים הנאספים מהדוברת בתחנה A ישודרו למערכת המידע של המעבדה לחקר הכנרת ויוצגו בזמן אמת באתר האינטרנט של המעבדה.

2.27 איכות מי הכנרת באמצעות צילומי לוויין המשולבים במערכת SISCAL



במימון
רשות
המים

גדעון טיבור, נחמה רושנסקי, מיקי שליכטר, לנא אשקר
(מכון גיאולוגי)

- הממוצע החודשי של טמפרטורת פני המים (SST) בכל האגם בחודשים אוגוסט - ספטמבר היה הגבוה ביותר עם טמפרטורה ממוצעת מעל 31° ואילו החודשים ינואר-פברואר היו הקרים ביותר עם טמפרטורה ממוצעת של 16.9°.
- הממוצע החודשי של ריכוזי הכלורופיל (Chl-a) בכל האגם מראה שהריכוז הממוצע הגבוה ביותר (24.9 mg/L) היה בחודש מרץ והנמוך ביותר (11.5 mg/L) בחודש ינואר.
- הממוצע החודשי של עומק הסקי (Secchi) בכל האגם השתנה מ-2.2 מטר בחודש פברואר ועד 2.9 מטר בחודשים יוני-אוגוסט.

מטרת המחקר

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

רקע

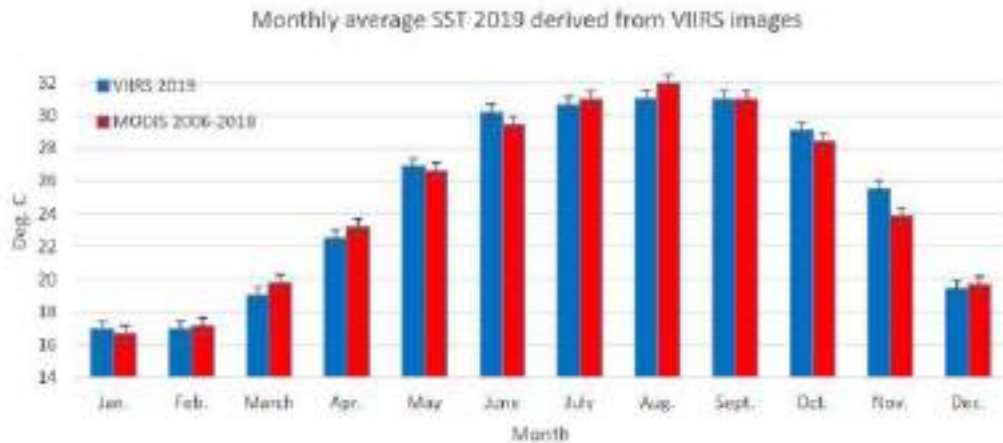
השימוש בלוויינים למיפוי איכות המים בכנרת נעשה באמצעות מערכת SISCAL (Satellite Information System on Coastal Area and Lakes) שפותחה במסגרת מחקר של התוכנית האירופאית החמישית (2002-2005) וכיום מוטמעת ע"י חברת Informus והמכון לחקר ימים ואגמים. הניטור כיום מתבסס על צילומי לוויין יומיים של VIIRS עם רזולוציה מרחבית של 750X750 מטר, על לוויין ה-Landsat 8 עם רזולוציה של 30x30 מטר בערוצי הצבע ו-60X60 מטר בערוץ התרמי שחולף מעל הכנרת פעם ב-16 יום ומסוף שנת 2019, על לוויין יומי חדש Sentinel-3 עם רזולוציה של 300X300 מטר. 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.

שיטות

- הורדת צילומי הלוויין קרוב ל"זמן אמת", הפעלת אלגוריתמים מתאמים ויצירת מפות של טמפרטורת פני המים (SST), ריכזי כלורופיל (Chl a), ריכזי חומר מרחף (TSM) ועומק סקי (Secchi depth),
- בדיקה וכיול אלגוריתמים קיימים מול נתוני אמת שנדגמים קרוב לפני השטח (עד חצי עומק סקי) ע"י המעבדה לחקר הכנרת.
- אנליזה יומית על בסיס נתוני Sentinel-3 וסינופטי של האגם המתבססת על נתוני לוויין ה-VIIRS.
- הפצת סיכום שבועי המתבסס על עיבוד צילומי לוויין Landsat 8 ו-Sentinel-3 לרשות המים ולמעבדה לחקר הכנרת.
- הפצת המידע הנאסף לרשויות ולציבור באמצעות מרכז המידע הימי הלאומי (ISRAMAR) ואתר רשות המים.

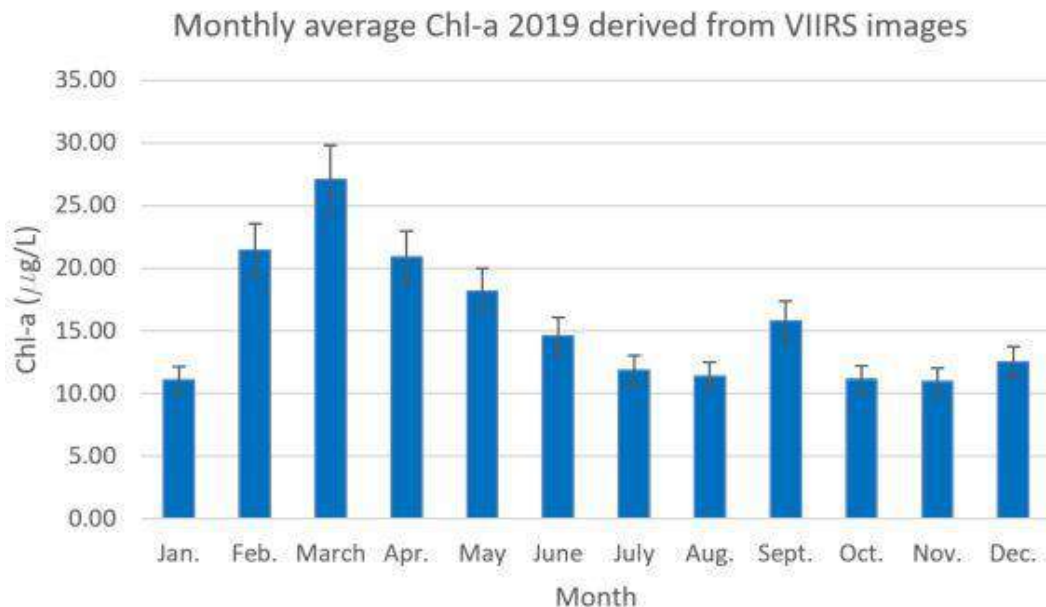
תוצאות ודין : אנליזות סינופטיות:

1. הממוצע החודשי של טמפרטורת פני המים (SST) בשנת 2019 חושב על בסיס 273 צילומי לוויין VIIRS ומוצג באיור 66 יחסית לנתוני ממוצע חודשי שחושב בשנים 2006-2018 מלוויין MODIS -ה ברזולוציה של 1X1 ק"מ. באיור ניתן לראות שחודשים אוגוסט - ספטמבר היו החמים ביותר עם טמפרטורה ממוצעת מעל 31° וחודשים ינואר-פברואר היו הקרים ביותר עם טמפרטורה ממוצעת של 16.9° .



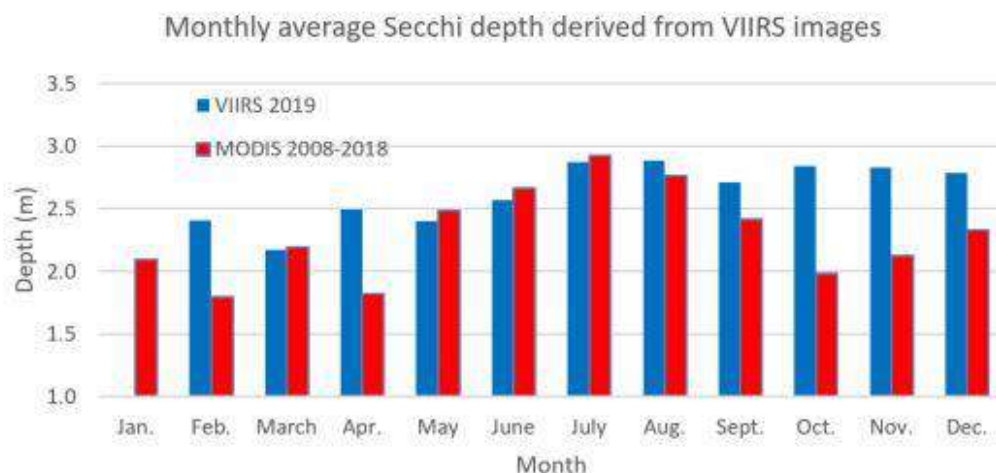
איור 66: טמפרטורת פני השטח (SST) חודשית ממוצעת בכול האגם שחושבה מנתוני לוויין VIIRS בהשוואה לנתונים שחושבו בשנים 2006-2018 מלוויין MODIS.

2. הממוצע החודשי של ריכחי הכלורופיל (Chl-a) בשנת 2019 חושב מ-111 צילומי לוויין VIIRS ומוצג באיור 67. נתוני הלוויין מראים שהריכח הממוצע בכול האגם הגבוה ביותר היה בחודש מרץ והנמוך ביותר (11.5 mg/L) בחודש ינואר.



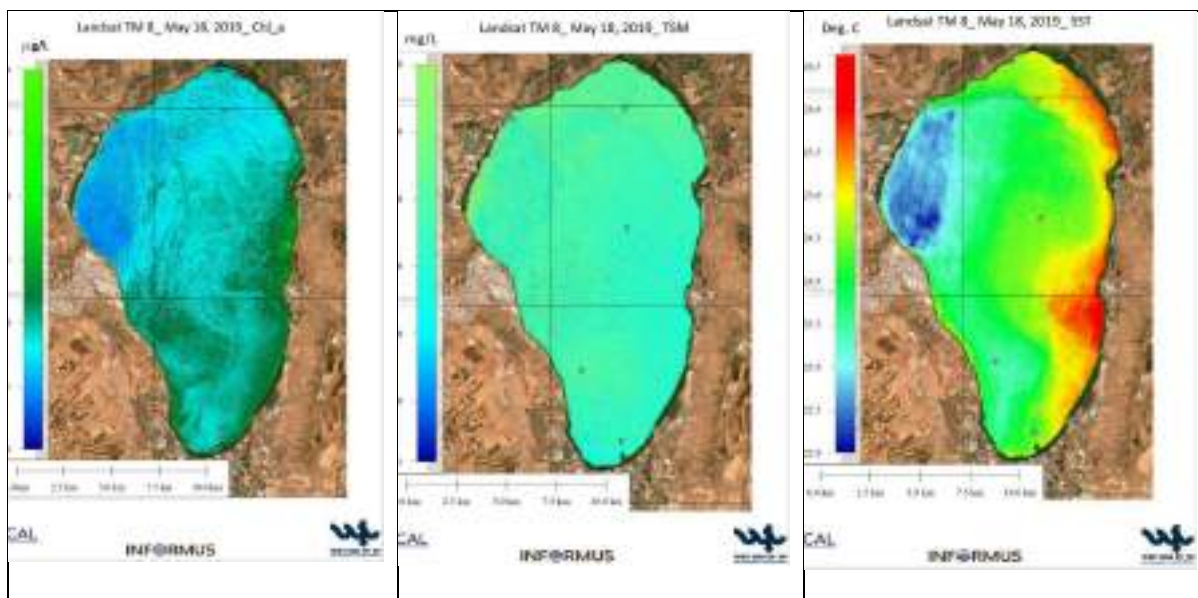
איור 67: ממוצע חודשי של ריכחי כלורופיל (Chl-a) בכול האגם בשנת 2019 המתבססים על אנליזות של צילומי לוויין VIIRS ברזולוציה של 750 מטר.

3. הממוצע החודשי של עומק הסקי (Secchi) בשנת 2019 חושב מ-111 צילומי לוויין VIIRS ומוצג באיור 68 יחסית לנתוני ממוצע חודשי שחושב בשנים 2008-2018 מלוויין ה-MODIS בחלוציה של 1X1 ק"מ.



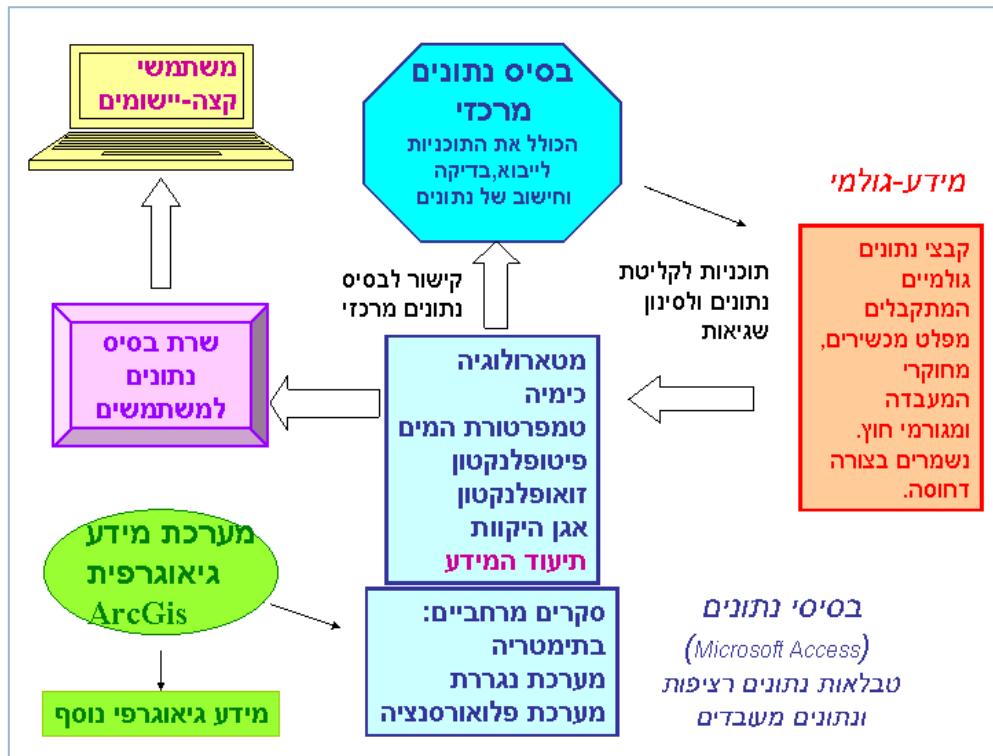
איור 68: עומק סקי (Secchi) חודשי ממוצע בכול האגם שחושב מנתוני לוויין VIIRS בהשוואה לנתונים שחושבו בשנים 2008-2018 מלוויין ה-MODIS. בחודש ינואר לא בוצע חישוב בגלל מיעוט צילומים טובים.

4. אנליזות של Chl-a, TSM, SST מלוויין Landsat 8 נעשות כל 16 יום (מותנה בעננות) ועדכון חודשי נשלח ישירות לרשות המים ולמעבדה לחקר הכנרת. דוגמא של אנליזות מתאריך 18 במאי מוצגות באיור 69.



איור 69: אנליזות של Chl-a, TSM, SST מלוויין Landsat 8 מתאריך ה-18 במאי 2019

2.28 בסיס הנתונים מרכז מידע כנרת



במימון
רשות
המים

מיקי שליכטר

- מרכז המידע הנו מערכת הכוללת את מאגר נתוני הניטור, תיעוד הנתונים, תכניות מחשב הנכתבות לצורך קליטה ועיבוד הנתונים ויישומים 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>

מטרות

מטרותיו של מרכז המידע הינן ריכוז, תיעוד, עיבוד והפצת המידע הנאסף מתוכנית הניטור של הכנרת.

רקע

מאגר הנתונים במרכז המידע כנרת מבוסס על תכנית ניטור הכנרת המתבצעת ע"י המעבדה לחקר הכנרת החל משנת 1969. במאגר כלולים 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 11.

טבלה 11: 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, ליטוראל.	נתוני ניטור
1992	בסיס נתונים (kin_info) הכולל את טבלאות התיעוד בהן מצויה האינפורמציה שנאספה אודות טבלאות הנתונים, תיעוד תחנות הדיגום, טבלאות nfol ייחודיות לנושאים שונים.	תיעוד
2001	אוסף הקבצים המעובדים במערכת הממ"ג: קובצי מפות, תלת ממד, shape files coverages, personal geodatabase, ותמונות בנושאים: בתימטריה, תחנות ניטור, סקרים מרחביים, אגן היקוות, גיאולוגיה, דיגום כלורופיל רב-ערוצי.	נתוני ממ"ג



2004	אוסף תצלומי לוויין של הפרמטרים: טמפרטורת פני המים, כלורופיל, סקי, עכירות.	תצלומי לוויין
2000	נתונים גולמיים ובסיסי נתונים מסקרים מרחביים שהתבצעו החל משנת 2001.	סקרים מרחביים: • נתוני המערכת הנגרת
2002	נתונים גולמיים ובסיסי נתונים: טמפרטורות נחלים, LDS (מטאורולוגיה וטמפרטורות), RUSS (נתונים איכות מים). נתונים מעובדים: נתוני קלט ונתוני אימות למודל.	• פרויקט המודלים
2004	נתונים מתחנות מטאורולוגיות צמח, בית ציידא, A, חרמון	נתונים מגורמי חוץ: • 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

סיכום העבודה בשנת 2019

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 אוטומטי ע"י תכניות מחשב בתחומים הבאים: נתוני 5 תחנות מטאורולוגיות מאזור הכנרת ושתי תחנות מטאורולוגיות בחרמון, נתוני הפרופילים ממערכת הדגם האנכי-Manta ונתוני טמפרטורה ממערכת-LDS. 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.
- העברה רבעונית של בסיס הנתונים המעודכן לרשות המים.

6. העברת נתונים לגורמי חוץ (המשרד לאיכות הסביבה, הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה, חוקרים וסטודנטים במוסדות מחקר בארץ ובחו"ל).
7. גיבויים שוטפים ותקופתיים של מאגר הנתונים.

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.

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.

מערכת מידע גיאוגרפית (ממ"ג-GIS) עבוד המידע הגיאוגרפי במערכת המידע הגיאוגרפית והפקת מפות לפרויקטים שונים. שימוש בתוכנת GIS online מאפשר שילוב ושיתוף המפות באינטרנט.

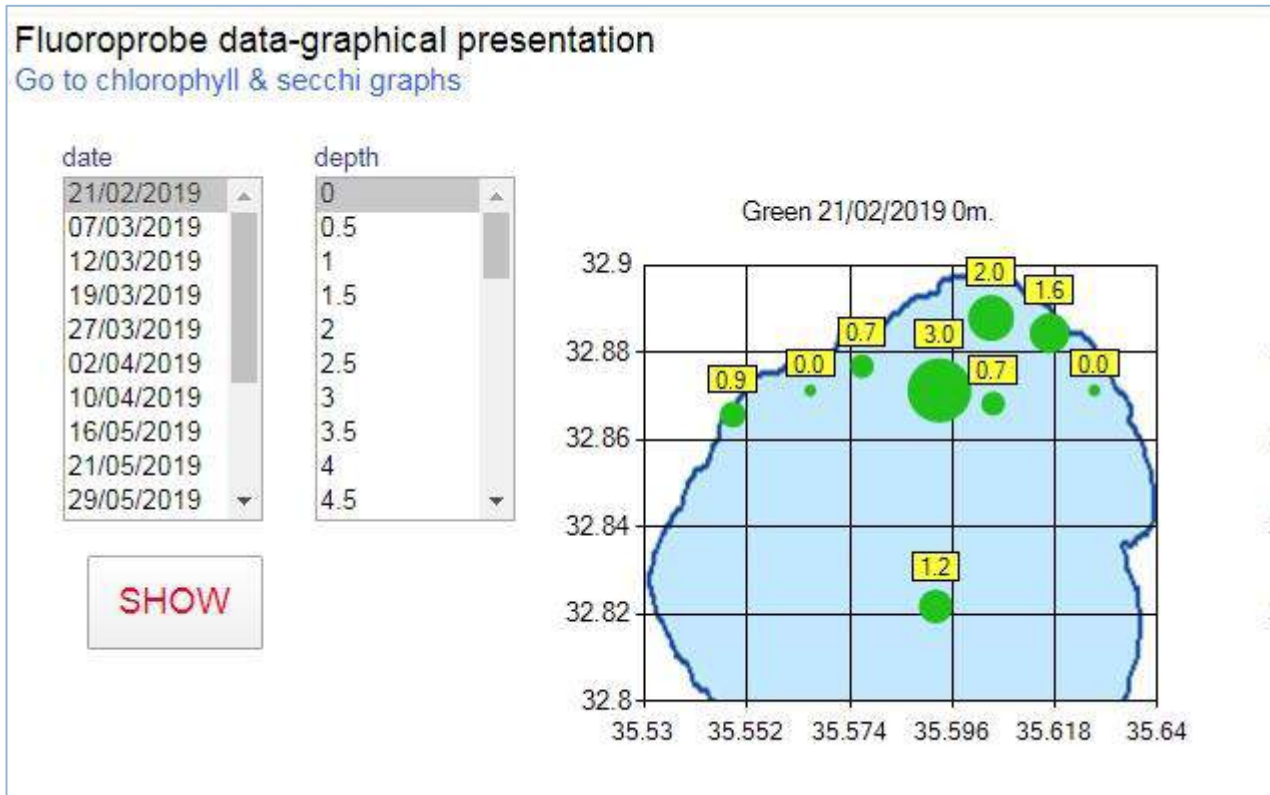
קליטת צילומי הלווין MODIS : טמפרטורת פני המים, עומק סקי, כלורופיל.

קליטת תחומי מידע חדשים למאגר המידע

1. הוספת תחנת ניטור חשובה וקבועה מול שפך הצלמון. כהכנה להזרמת מי מערכת לכנרת דרך נחל צלמון, נקבעה תחנת ניטור כימי חדשה אשר תאפשר יצירת נתוני בסיס במהלך מספר שנים עד תחילת הזרמת מי המערכת. נתונים אלו יאפשרו בחינה עתידית של השפעת ההזרמה על המערכת האקולוגית באזור זה בכנרת ואימות עם מודלים שייבחנו את השכלות ההזרמה.
2. קליטת נתוני מערכת הפלואורופרום המופעל במסגרת הניטור השבועי, בתחנות הניטור הקבועות. בנוסף לקליטת הנתונים, פותחו שתי אפליקציות אינטרנט אינטראקטיביות: האחת לתצוגה בתלת ממד (מפות צבע) של ריכוזי קבוצות האצות השונות, בחתך עומק ולאורך זמן בתחנה נבחרת. אפליקציה שנייה מאפשרת השוואה בין התחנות השונות ע"י תצוגת ריכוזי קבוצות האצות בתחנות השונות, בפרופיל עומק יחיד ובתאריך נבחר.
3. נקלטו נתוני ניטור צפון (קשת צפונית) למאגר הנתונים: נתוני דיגום ב- 9 תחנות בצפון האגם בתקופת פריחת האצות הכחוליות.



הנתונים כוללים את נתוני מערכת הפלואורופרום, ריכחי כלורופיל, עומק סקי ואוסף תמונות המצלמות בכל תחנה. בנוסף לקליטת הנתונים פותחו אפליקציות אינטרנט לתצוגה מרחבית אינטראקטיבית של הנתונים השונים (איור 70).



איור 70: תצוגה מרחבית אינטראקטיבית של נתוני הפלואורופרום מניטור הקשת הצפונית.

2.29 אתר האינטרנט של מרכז מידע כנרת



במימון
רשות
המים

מיקי שליכטר, יורי לצ'ינסקי

- אתר האינטרנט של מרכז מידע כנרת מציג לציבור מידע אודות הכנרת בנושאים שונים: המערכת האקולוגית, תכנית הניטור, גרפים של נתונים בזמן אמת, קטלוג אצות, דוחות, פרסומים ועוד.
- כתובת האתר: <http://kinneret.ocean.org.il/Default.aspx>

מטרות

- מטרת האתר להציג לציבור מידע אודות הכנרת בנושאים שונים:
- מידע אודות מרכז המידע - מטרות 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.
- http://kinneret.ocean.org.il/dc_monitoring_prog.aspx
- תצוגת נתונים בזמן אמת - תצוגה גראפית אינטראקטיבית של נתונים מטאורולוגיים. תצוגת נתוני הדוגם האנכי: הנתונים מוצגים בגרפים תלת-ממדיים או כפרופילי עומק.

http://kinneret.ocean.org.il/ar_grp.aspx



- מצב האגם – שידור ווידאו חי (webcam) ממצלמה הממוקמת בתחנה A במרכז האגם, תצוגת נתונים מטאורולוגיים המתעדכנים מידי 10 דקות, תמונת מצב האגם על בסיס נתוני הפרופיילר. http://kinneret.ocean.org.il/lake_state_rtl.aspx
- נתוני עבר - תצוגה גרפית אינטראקטיבית של נתונים פיזיקליים, כימיים וביולוגיים הנמדדים במסגרת תכנית הניטור החל מראשיתה בשנת 1969. http://kinneret.ocean.org.il/nitur_grp.aspx
- קטלוג אצות הכנרת – תצוגה הכוללת תמונות ומידע אודות מיני האצות בכנרת. ניתן למיין את הקטלוג לפי קבוצות טקסונומיות, צורת האצות או סדר אלפא-ביתי. http://kinneret.ocean.org.il/phyt_cat_listView.aspx
- קטלוג תרביות. <http://kinneret.ocean.org.il/INCCA.aspx>
- פרסומי המעבדה לחקר הכנרת - דוחות שנתיים, דוחות בנושאים שונים, מאמרים נבחרים. <http://kinneret.ocean.org.il/reports.aspx>

התקדמות

במהלך שנת 2019 נמשכה עבודת העדכון השוטף של האתר בנתוני הניטור המוצגים בגרפים: נתוני הדוגם האנכי, נתונים מטאורולוגיים מתחנה A, נתוני ממוצעים חודשיים של פרמטרים מתחום הכימיה, פיטופלנקטון, זואופלנקטון ומטאורולוגיה. נוספו דפים חדשים: דף מצב האגם - שידור ווידאו ממצלמה הממוקמת בתחנה A במרכז האגם, תצוגת נתונים מטאורולוגיים המתעדכנים מידי 10 דקות, ותמונת מצב עדכנית של האגם על בסיס מדידות רציפות המתבצעות באקווראפט הממוקם בתחנה A. דפי קטלוג התרביות המאפשרים עיון במידע אודות כל תרבית באוסף התרביות (איור 71). מקטלוג התרביות ועמוד האינטרנט הייעודי של אוסף תרביות האצות הלאומי של ישראל (INCCA) ניתן להזמין ולרכוש תרביות.

INCCA Strain Catalogue: about INCCA

The Israel National Culture Collection of Algae (INCCA), located at the Kinneret Limnological Laboratory (KLL), Israel Oceanographic & Limnological Research (IOLR), is a biological resource center furnishing a variety of living algal cultures from Israel.

The strain catalogue provides the information about the collection's holdings. You can search the strain catalogue by alphabetical order according to the Genus name or click on the various headers to sort data.

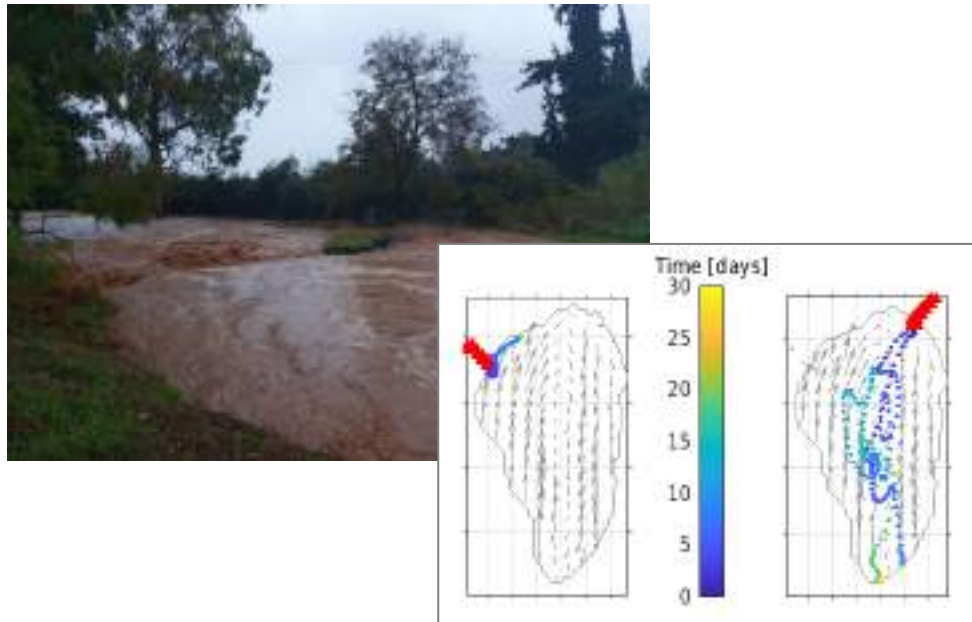
	INCCA No	Genus	Species	Phylum	Class	Order	Family
	details/B1002	Achnanthes	sp.	Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Mastogiales	Achnantheaceae
	details/C3003	Anabaena	sp.	Cyanobacteria	Cyanophyceae	Nostocales	Nostocaceae
	details/C3005	Anabaena	sp.	Cyanobacteria	Cyanophyceae	Nostocales	Nostocaceae
	details/C3007	Anabaena	bergii	Cyanobacteria	Cyanophyceae	Nostocales	Nostocaceae
	details/C3010	Anabaena	bergii	Cyanobacteria	Cyanophyceae	Nostocales	Nostocaceae
	details/G1052	Ankistrodesmus	sp.	Chlorophyta	Chlorophyceae	sphaeropleales	Selenastreae
	details/G1061	Ankyra	sp.	Chlorophyta	Chlorophyceae	sphaeropleales	Characiaceae
	details/C1001	Aphanocapsa	sp.	Cyanobacteria	Cyanophyceae	Synechococcales	Merismopediaceae

איור 71: דף אוסף התרביות באתר מרכז מידע כנרת



3 מחקרי כנרת

3.1 בדיקת הזרמת מי התפלה לכנרת באמצעות מודל תלת מימדי



במימון
רשות
המים

יעל אמיתי

- כניסה של מים מותפלים אל הכנרת דרך הצלמון נבדקת בעזרת מודל תלת מימדי.
- המודל מצליח לדמות את הפיזור המרחבי של הטמפרטורה בפני השטח והן בעומק.
- מים הזורמים מהצלמון מגיעים לשכבות עומק ומתרכזים קרוב לשפך בשונה ממי הירדן.

מטרת המחקר

מידול תרחישי הזרמת מי התפלה אל הכנרת ובדיקת פיזור הזרמה זו כתלות בסירקולציה והשיכוב של מי האגם.

מטרות המשנה הן:

- א. כיול המודל הפיזיקלי שנבנה לכנרת ב-2012: בחינת סימולציות בסיסיות מול מדידות עבר.
- ב. הצגה של זרימה חדשה לכנרת מנחל צלמון\הירדן הצפוני למודל.
- ג. בחינת תרחישי הזרמה בעוצמות שונות זמנים שונים דרך נחל הצלמון ודרך הירדן הצפוני.

רקע

הזרמת מים מותפלים לכנרת נבחנת בימים אלו כאשר מודל זרימה תלת מימדי של הכנרת מאפשר מענה עבור ההיבטים הפיזיקליים של הזרמת מים לאגם בתרחישים השונים. קצב מיהול המים הנכנסים, פיזור המרחבי, השינויים בשיכוב באגם ועוד נבחנים בעזרת מודל הידרודינמי תלת מימדי. באמצעות המודל ניתן להריץ סימולציות עם תנאי שפה שונים, כגון כניסה של מי מערכת ומים מותפלים דרך נחל צלמון או בתוספת לזרימה בירדן, ולבדוק את פיזור המים הנכנסים כתלות בסירקולציה התלת מימדית בכנרת כפי שיוצג בדו"ח זה. פיזור המים בכנרת נבדק בעזרת שימוש באוסף כלי עבודה בסביבת מאטלאב שבאמצעותו אפשר, בהינתן שדה זרימה, לאפיין את המרחב ולעקוב אחר 'חבילות המים' המתחילות את דרכן בשפך הצלמון\הירדן. בנוסף, לצורך אימות המודל, נמדדו עוצמת הזרמים וטמפרטורת המים בפתחת הצלמון (בעומק של 4 מטר) בזמני שיטפון למשך של 10 ימים בינואר 2020. בדו"ח זה מוצגות תוצאות מהרצות המודל ההידרודינמי לצד מדידות ממד הזרם באירועי החורף האחרון.

שיטות

מודל הידרודינמי תלת מימדי

בשנת 2012 נבנה עבור הכנרת מודל תלת מימדי ברזולוציה אופקית של 400 מטר ורזולוציה אנכית של עד מטר. המודל מתבסס על מודל אוקיאני גנרי (MITGCM) אשר הותאם לבתימטריה ולמאפיינים הפיזיים של הכנרת. הפרמטרים הפיזיקליים של המודל כוילו בהתאם למדדים הפיזיים של האגם ומתוך שאיפה להתאים את תוצאות המודל לתצפיות. מודל זה נמצא כעת בתהליכי כיוול ואימות מול תצפיות מהשנים האחרונות. בדו"ח זה הושוו הרצות של שנת 2015 מכיוון שבשנה זו נאספו נתונים מטאורולוגיים ונתוני ירדן ברזולוציה עיתית מספקת כדי לאלץ את המודל. להמשך כיוול ושימוש במודל, קבלת מדדי הנחלים ברזולוציה מספקת מ'מקורות' הינה חיונית. המודל מקבל מהמשתמש תנאי שפה כמו רוחות, משקעים, קרינה אטמוספרית, אידוי, כניסת מים מנחלים.

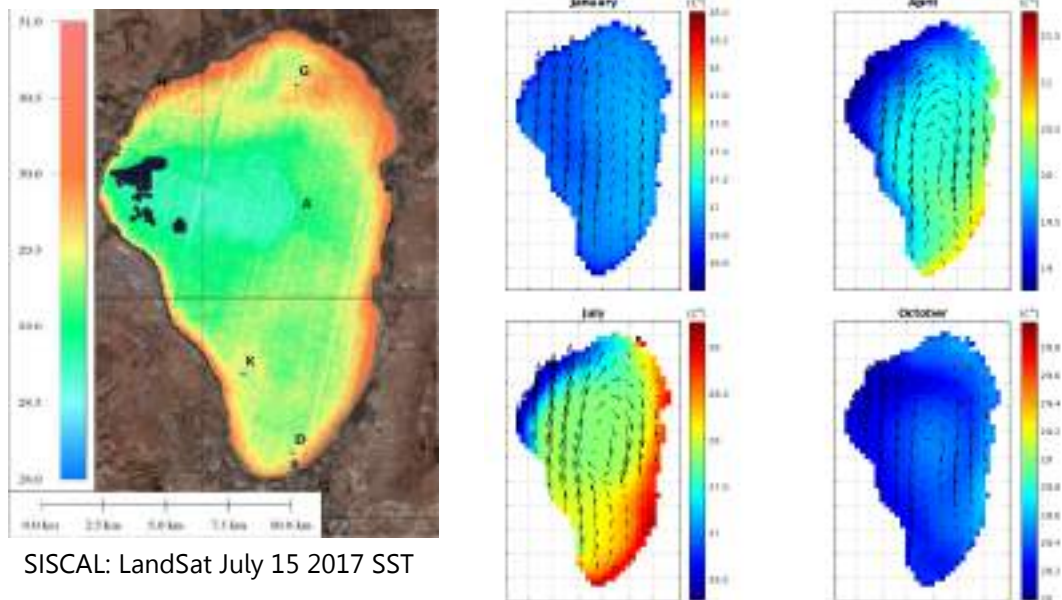
הפלט הבסיסי שלו כולל טמפרטורה, מליחות, גודל וכיוון זרם בכל נקודת שריג במרחב התלת המימדי. מפות הזרמים המשתנות בזמן ניתן לחשב מסלולי חבילות מים בעזרת אוסף כלי עבודה בסביבת מאטלאב הנקרא PaTATo toolbox ולהבחין בשינויים בפיזור ומיהול המים כתלות בכניסה ובעונת השנה.

ניטור זרמים בפתחת הצלמון בזמן שיטפונות

באירועים השיטפוניים בחורף האחרון, מדצמבר 2019 עד פברואר 2020, נעשו מדידות ייעודיות באזור הצלמון כאשר מהן עלה כי הזרימה היא זרימת כובד של מים קרים הנכנסים לאגם, שוקעים כיוון שהם קרים משמעותית ממי הכנרת, וממשיכים להתפזר על הקרקעית. על מנת לקבל תמונה יותר מפורטת של אירועים מסוג זה, הצבנו מד זרם TCM4-tilt Current Meter על הקרקעית (בעומק של כ-4 מטר) בתחנה TZ2 כפי שמוצג באיור 74 למשך שבועיים.

תוצאות ודין

אימות המודל נעשה מול תצפיות מרחביות ממגוון סוגים, מתמונות לוויין ועד פרופילי עומק של מדדים שונים כפי אלו הנמדדים מה-EcoRaft בתחנה A. תצפית מרחבית טובה ניתנת על ידי תמונות לוויין של פני השטח של הכנרת. באיור 72 ניתן לראות מבנה מרחבי יחודי בחודש יולי שבו הטמפרטורות הגבוהות של המים הן בדרום מזרח האגם, בעוד מרכז האגם והחלק המערבי מאופיינים בטמפרטורה נמוכה יחסית.

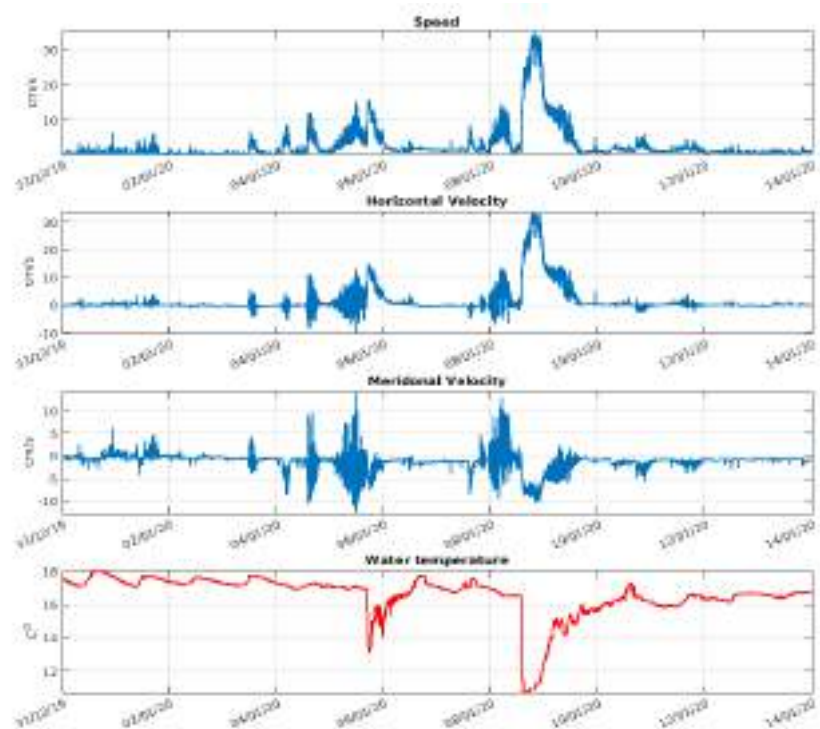


SISCAL: LandSat July 15 2017 SST

איור 72: מימין: טמפרטורת מי השטח (בצבע) והזרמים בפני השטח (חצים) בחודשים השונים בהרצת שנת 2015 על פי המדידות המטאורולוגיות סביב הכנרת. יש לשים לב לסקאלת הצבעים השונה עבור כל חודש בשנה. משמאל: תמונת לוויין של טמפרטורת פני השטח בחודש יולי 2017.

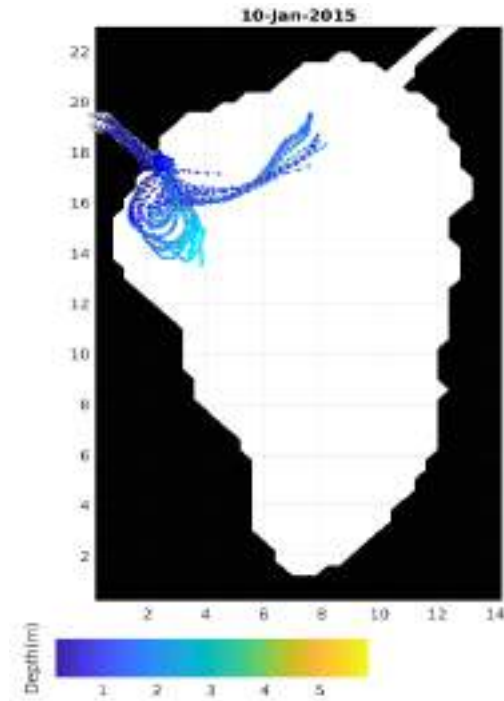
מבנה זה מופיע גם במודל וגם בתמונת הלוויין של חודש יולי. למרות שמדובר בשנים שונות, התנאים האטמוספריים במהלך הקיץ ידועים כיציבים בזמן, עם מעט שינויים רב שנתיים, ולכן ניתן לקיים את ההשוואה. מנעד הטמפרטורה בפני השטח ביולי על פי המודל, הוא $26-30^{\circ}\text{C}$ ואילו בלוויין המנעד גבוה בכמעלה. תופעה זו, של טמפרטורת חמות מהמדידות על ידי הלוויין, הינה תופעה ידועה ולכן על פי ההתאמה המרחבית ניתן לומר שהמודל מצליח לדמות את פני השטח בחודשי הקיץ בכנרת. כמו כן, בדיקה של פרופיל הטמפרטורה הנמדד בתחנה A על ידי

ה- EcoRaft מול פרופיל הטמפרטורה המחושב בתחנה A על יד המודל מראה כי קיים דמיון בתכונות השיכוב וההיפוך של עמודת המים בכנרת לאורך כל שנת 2015. בסוף דצמבר התרחשו מספר אירועים שיטפוניים בנחל צלמון ותצפיות מהתחנות באיור 73 מראות כי באירועים שיטפוניים כמו זה של ה- 6.1.2020 וה- 9.1.2020, מהירות המים קרוב לקרקעית עולה משמעותית. בנוסף טמפרטורת המים יורדת גם היא משמעותית באירועים אלו. בבחינה יותר מפורטת של תוצאות המדידות נראה כי המים נעים מזרחה (ערכים חיוביים בגרף השני) בעוצמה ומתפזרים גם דרומה (ערכים שליליים בגרף השלישי) זאת בהתאמה לכך שהספיקה החזקה מהצלמון גורמת למים לנוע תחילה מזרחה וכוח קוריוליס, בתגובה לתנועה, מסיט אותם ימינה, כלומר דרומה.



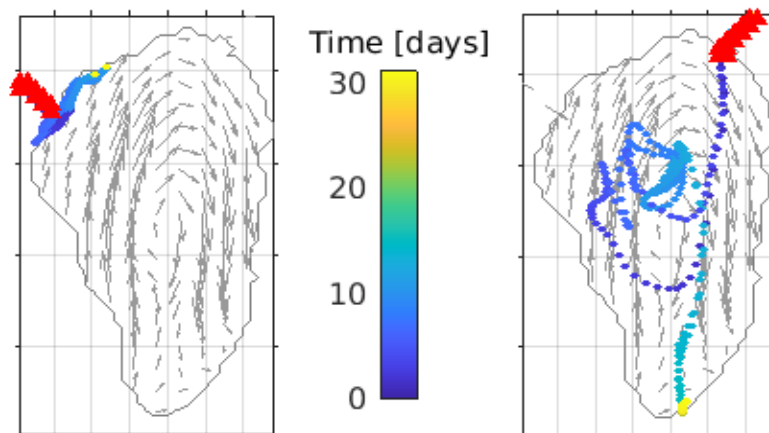
איור 73: תוצאות מד זרם TCM4-tilt Current Meter שהוצב על קרקעית האגם בעומק 4 מטר בתחנה TZ2 כפי שמופיע במפה משמאל. בגרף העליון מהירות הזרם, מתחתיו מהירות הזרם בכיוון מזרח-מערב, מתחתיו מהירות הזרם בכיוון צפון-דרום ובגרף התחתון טמפרטורת המים שנמדדה על יד מד הזרם.

כדי לבחון את פיזור המים במודל, נבנתה סימולציה עם צלמון כנחל פעיל אל הכנרת ופזרו חבילות מים בנחל עצמו. למים ניתנו תנאי שפה של מהירות במורד הנחל וטמפרטורה שקרה בכ-5 מעלות מהטמפרטורה שנמדדה בירדן באותם ימים. באיור 74 ניתן לראות כי המים המגיעים מהצלמון שוקעים לעומק של כ-3 מטר בכיוון דרום מזרח וחלקם אף מתפזרים צפונה בפני השטח. תוצאה דומה, של זרימת פני השטח צפונה, נצפתה בזמן השיטפון של ה- 26.12.2019 על ידי צוות הספנים של המעבדה לחקר הכנרת.



איור 74: פיזור חבילות מים המגיעות מהצלמון במי הכנרת במשך כשבוע. הצבע בגרף מייצג את העומק אליו חבילות המים מגיעות. באזור בו חבילות המים מתפזרות דרומה הן נעות בצמוד לקרקעית.

כאשר משווים את פיזור חבילות המים בפני השטח בלבד מהירדן ומהצלמון במשך חודש התמונה באיור 75 חוזרת על עצמה. השפך מהצלמון נשאר מבודד בצפון-מערב הכנרת בעוד השפך מהירדן מתפזר ונמהל במהרה ומגיע אף לחופי דרום הכנרת. זוהי תוצאה שצריך לקחת בחשבון כאשר חושבים על תרחישי הסעה של מים מותפלים אל הכנרת.



איור 75: פיזור חבילות מים המגיעות מהירדן (ימין) ומהצלמון (שמאל) במי השטח של הכנרת במהלך חודש מרץ 2015. הצבע בגרף מייצג את הימים שעברו מזמן הכניסה מהנחל אל הכנרת.

לסיכום, המודל מדמה בצורה משביעת רצון את הסירקולציה המרחבית באגם וכן את תכונות השיכוב של עמודת המים. בסימולציות בהן נחל הצלמון מזרים מים לכנרת אפשר להבחין בשקיעה של מים לעומק כפי שגם נצפה על ידי צוות המעבדה בזמן שיטפון. תוצאה משמעותית נוספת מסימולציות המודל הינה שפיזור המים מנחל הצלמון ומנחל הירדן הוא שונה כתלות בזמן ועוצמת ההזרמה. בהמשך הפרויקט יתבצעו סימולציות נוספות של הזרמת ספיקות שונות בזמנים שונים דרך הצלמון. כמו כן יעשה כיוול נוסף של המודל לרזולוציה יותר גבוהה במקביל לבדיקות רגישות לקלט (מטאורולוגיה, נחלים וכו').

3.2 הערכת ההשפעה של הזרמת מי התפלה על מרכיבים ביולוגיים באגם



במימון
רשות
המים

אסף סוקניק, תמר זהרי, שירה ניניו, גדעון גל,
ירון בארי-שלוין, אלה אלסטר, דיתי ויינר-מוציני,
עכסה לופו, שרון וורולקר, דייב קמינגס, נחמה
רושנסקי

- על בסיס תוצאות שהתקבלו בניסויי מעבדה עם מינים שבודדו מהכנרת וגודלו במצע שנמהל במי התפלה ניתן להעריך שהזרמת מי התפלה לאגם עלולה לגרום לעיכוב גידול של מיני פיטופלנקטון באזורים שיחשפו למיהול גדול במי התפלה.
- בניסויי מעבדה עם מיני מיקרוציסטיס שבוססו מהכנרת נמצאה יציבות של מינים לטווח רחב של מליחות (בין 250 ל- 1000 מג"ל כלוריד).
- למים מותפלים פוטנציאל לעיכוב גידול פיטופלנקטון ובמיוחד ציאנובקטריה.
- מים מותפלים שיחרמו לכנרת צפויים להשפיע על קצבי קיבוע החנקן של האוכלוסיות המקבעות המופיעות באגם בקיץ.
- הזרמה של מים מותפלים, או של מי מערכת לכנרת, עלולה להשפיע על גידול אוכלוסיות הזואופלנקטון. הפחתה בגידול תהיה בהתאם למידת המיהול של מי התפלה עם מי כנרת.

מטרת המחקר

לברר אם להזרמת מי התפלה, שמליחותם נמוכה, לכנרת תהיה השפעה מקומית או נרחבת יותר על אוכלוסיות הפיטופלנקטון, הזואופלנקטון והחיידיקים באזור ההזרמה ובכנרת כולה. לברר האם הזרמת מים אלו תעודד או תעכב התפתחות של ציאנובקטריה.

רקע

מים מהמערכת הארצית (בעיקר מי ים מותפלים, להלן מי התפלה) אשר יוזרמו לכנרת ישנו את ההרכב הכימי של מי הכנרת באזור מוגבל הקרוב לנקודת ההזרמה ובמידה מוגבלת יותר בכנרת כולה. השינוי יהיה על ידי הפחתת המליחות והפחתת ריכוזי חומרים מומסים ומורחפים במים, עם השלכות אפשריות לגבי הביטה של האגם.

במערכות אקוטיות, ריכוז והרכב הפיטופלנקטון, הזואופלנקטון והחיידיקים (בקטריופלנקטון) משמשים סמנים רגישים לשינויים בהרכב הכימי של המים. במקביל, הרכב הפיטופלנקטון משפיע ישירות על איכות המים. מעקב אחר שינויים בהרכב הפלנקטון יאפשר חיזוי של השפעת ההזרמה של מי התפלה לאגם על איכות המים בתחום מקומי או נרחב. במיוחד יש חשיבות לשאלה אם תוספת של מי התפלה תעודד או תעכב פריחות של ציאנובקטריה העלולות לפגוע באיכות מי הכנרת.

שיטות

בוצעו ניסויים עם תרביות מעבדה של מיני פיטופלנקטון מיצגים, שבודדו מהכנרת, בהם נבחנה השפעת ריכוז מלח (NaCl) או המיהול של התרבית במים מותפלים ביחסים שונים, על קצבי גידול של המינים הנבדקים. בנוסף נבחנו יחסי גומלין בין מינים שונים בתגובה למיהול. בניסויי תחרות אלו נבדקה השפעה דיפרנציאלית של המיהול על שני מינים החולקים את אותה סביבה (לדוגמה מינים של מיקרוציסטיס). נבחנו שני מינים/זנים של מיקרוציסטיס שבודדו מהכנרת ומוחזקים בתרביות במעבדה לחקר הכנרת. שני התבדידים אופיינו כ- *Microcystis aeruginosa* ו- *Miscrocystis* sp. וסומנו כ- Mic G ו- Mic B בהתאמה, בגלל הפיגמנטציה הדומיננטית של כל אחד מהם (צבע ירוק וחום בהתאמה), שמכתיבה תבנית ספקטרלית אופיינית. בוצעה סדרת ניסויי מעבדה בהן נבדקה תגובת אוכלוסיות הפלנקטון (פיטופלנקטון, זואופלנקטון ובקטריופלנקטון) במי כנרת לתוספות שונות של מי התפלה. ניסויים אלו התבצעו ב- 2 מחזורים שכיסו את עונות האביב, והקיץ-סתיו. בניסויים אלו נמדדו השינויים בהרכב ופעילות אוכלוסיות הפיטופלנקטון והזואופלנקטון ונאספו דגימות לקביעת השינויים בהרכב אוכלוסיות הבקטריופלנקטון בשיטות ריצוף מתקדמות.

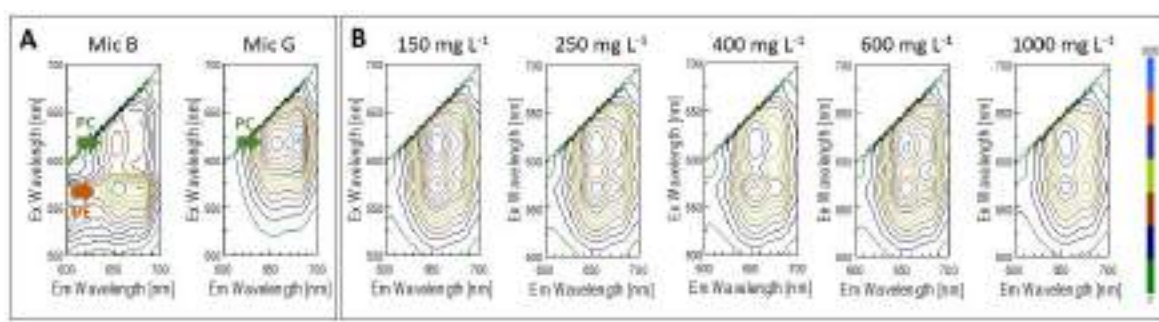
תוצאות ודין**השפעת מליחות על גידול מיני פיטופלנקטון מהכנרת**

מיקרוציסטיס - בניסוי בו נבחנה השפעת המליחות על גידול מיקרוציסטיס בתרבית של מין בודד ובתערובת של שני המינים נבדקה ההשפעה של ריכוז הכלוריד במצע גידול BG11 בו ריכוז חנקת הנתרן צומצם ל 0.5 מילימולר והוסף נתרן כלוריד לריכוז סופי של כלוריד בטווח שבין 250 ל - 1000 מג"ל (150, 250, 400, 600 ו 1000 מג"ל). תרביות במצעים השונים גודלו בתנאים של טמפרטורה אחידה של 25 מעלות ובאור רציף בעוצמה של 15 מיקרומול פוטונים למ"ר לשנייה. לכל רמת כלוריד נבחנה גם תרבית מעורבת בה ריכוז דומה של כל אחד מהזנים. חושב קצב הגידול בתנאי המליחות השונים (טבלה 1). קצב גידול מקסימלי חושב עבור Mic G שגדל בריכוז כלוריד של 400 מג"ל בעוד קצב הגידול המקסימלי עבור Mic B נמדד במליחות של 400 ו 600 מג"ל. נמצא שבמליחות של 400 מג"ל קצב הגידול של Mic B היה איטי ב 15% יחסית לזה של Mic G. בתרביות המעורבות קצב הגידול שנמדד על פי השינוי בריכוז הכלורופיל היה נמוך מזה שנמדד בתרביות של מין בודד, Mic G או Mic B זאת בכל טווח ריכוזי הכלוריד שנבחנו (טבלה 12).

מטריצות ערעור-פליטה (Excitation emission matrices -EEMs) שנמדדו עבור תרביות מעורבות לאחר 14 ימי גידול במליחות שונה הראו ששני הזנים, גם החום וגם הירוק שמרו על תפוצה יחסית דומה בכל טווח המליחות שנבדק (איור 75). האות הספקטרלי של פיקואריתרין PE-, המאפיין את הזן החום והאות הספקטרלי של פיקוציאנין PC- שנמצא בשני הזנים, נשמרו ברמה יציבה יחסית בתרביות המעורבות בכל טווח ריכוזי הכלוריד שנבחנו (איור 75).

טבלה 12: קצב הגידול (על פי שינוי יומי בריכוז כלורופיל) של זני מיקרוציסטיס, Mic G או Mic B שגודלו כתרביות בודדות או כתרבית מעורבת במצעים בהם ריכוז שונה של כלוריד. תרביות של זן/מין אחד או של תערובת של שני הזנים נזרעו למצעים עם ריכוזים שונים של כלוריד וגודלו בתנאים סטנדרטים.

Cultures	Salinity Cl ⁻ [mg L ⁻¹]				
	150	250	400	600	1000
Mic G (single species)	0.234	0.229	0.289	0.261	0.272
Mic B (single species)	0.234	0.244	0.261	0.260	0.224
Mic G + Mic B (two species)	0.234	0.223	0.219	0.231	0.199



איור 75: מטריצות ערעור פליטה (EEMs) של תרביות מיקרוציסטים Mic B או G שגדלו בתנאים שונים. A – EEMs של תרבית Mic G או PC וחץ ירוק מסמנים את האזור הספקטרי של פיקוציאנין. PE וחץ חום מסמנים את האזור הספקטרי של פיקואריתרין שמופיע ב Mic B. B – EEMs של תרבית מעורבת Mic B ו Mic G לאחר שגדלו 14 יום במצע עם מליחות שונה, ריכוז כלוריד בין 250 ל 1000 מג"ל.

השפעת מי התפלה על גידול מיני פיטופלנקטון מהכנרת

ההשפעה האפשרית של מי התפלה על מיני פיטופלנקטון הנפוצים באגם נבחנה בניסוי מעבדה. שני מינים שבודדו בעבר מן האגם וגדלים בתרבית נבדקו: הכחולית אפניזומנון והאצה הירוקית כלורלה. המינים השונים נמהלו במי התפלה ונערך מעקב אחר קצב גידול לאורך כ- 40 ימים, על ידי מדידת ריכוז הכלורופיל בתרבית. הגידול היה במצע הגידול BG, או במצע שנמהל עם 1/3 או עם 2/3 מי התפלה שהתקבלו ממתקן ההתפלה בחדרה בתחילת הניסוי. כביקורת נערכו מיהולים עם מי קולונה נטולי יונים, על מנת להבחין בין השפעה של המיהול לבין השפעה של מי ההתפלה עצמם. התוצאות מצביעות על כך שמיהול במי התפלה גורם לעיכוב בקצב הגדילה של שתי האצות שנבחנו. מיהול של 1/3 ממדיום הגידול במי קולונה או מי התפלה לא הביא לשינוי משמעותי בקצבי הגידול, אולם מיהול שבו שני שליש ממדיום הגידול הוחלף במי קולונה הביא להאטה בקצב הגידול עבור שני זני האצות שנבחנו. כאשר מיהול זה נעשה עם מי התפלה הביא הדבר לעיכוב משמעותי, מעבר לעיכוב שהתקבל במיהול דומה עם מי קולונה. התוצאות בולטות במיוחד במקרה של הכחולית אפניזומנון, עבורה מיהול עם 2/3 מי התפלה הביא לעיכוב כמעט מלא של קצב הגדילה. העיכוב שנצפה בקצב הגדילה של מיני הפיטופלנקטון נובע ככל הנראה מרגישות שלהם לחומרים הנמצאים במי ההתפלה ואינם נמצאים במי קולונה. כיוון שמי ההתפלה שיזרמו לאגם על פי התוכנית, והמים שאיתם נערך הניסוי, הינם מי מערכת מטופלים, יתכן והמים מכילים כלור שאריתי או תרכובות כלורומתאן האחראיות לעיכוב. ניסויים נוספים נדרשים על מנת לאתר את מקור העיכוב במי ההתפלה.

השפעת מי התפלה על רכיבי הפלנקטון בכנרת

בוצעו ניסויים שמטרתם לבדוק כיצד יגיבו אצות, חיידקים חזאופלנקטון במי כנרת בתקופות השנה השונות לתוספת מי התפלה. הניסויים כללו הדגרה במעבדה של מי כנרת עם תוספות שונות של מים מותפלים שהובאו מאתר ההתפלה בחדרה. ההדגרה בוצעה במכלים שקופים של 10 ליטר שהועמדו בחדר בו יש תאורת שמש טבעית רוב היום. להלן סיכום התוצאות ומסקנות:

1. במים מותפלים ריכוזי אמוניום וניטראט בתחום של 0.002 מ"ג/ל, כחמישית עד שליש בהתאמה מריכוזם במי כנרת.
2. ריכוז כלורופיל עלה בכל הטיפולים לאחר יומיים. השינוי בריכוז הכלורופיל בשני טיפולי המיהול היה גדול יחסית לביקורת של 100% מי כנרת.
3. בכל הטיפולים נמדד שימור של היעילות הפוטוסינתטית במהלך הניסוי, עם עליה מסוימת ביומיים הראשונים.
4. תוספת מי התפלה או מים נטולי יונים עודדה גידול של אצות צורניות בעוד שבמי כנרת לא מהולים היה יתרון לציאנובקטריה.
5. מדידה של קצבי קיבוע חנקן אטמוספרי מצביעה על זירוז בקיבוע בעקבות המיהול, מיהול במים נטולי יונים הוביל לזירוז משמעותי, לעומת זירוז קל יותר במיהול עם מי התפלה. יתכן וחומרים הקיימים במי ההתפלה גורמים לעיכוב הקיבוע וממסכים על הזירוז שנגרם מהמיהול עצמו.
6. מיהול המים לא הביא לירידה מידית בקצבי הפעילות החיידקית מעבר לאפקט המיהול עצמו. עם זאת, בעוד שבמי כנרת בלתי מהולים נרשמה עליה בפעילות החיידקית לאחר שלושה ימי ניסוי, בבקבוקי המיהול נרשמה ירידה בפעילות לערכים של כ 30% מהפעילות הראשונית. הירידה בפעילות איננה תלויה בטווח המיהול.
7. אוכלוסיית הזואופלנקטון הגיבה באופן דומה לטיפול של 50% מי מערכת מותפלים וטיפול ב- 50% מים נטולי יונים. בשני הטיפולים השינוי בריכוז הזואופלנקטון, ביחס לריכוז ההתחלתי של הניסוי (T0) היה נמוך מהשינוי שנרשם בטיפול של 100% מי כנרת.

3.3 הדינמיקה של תהליכי חימצון/חיזור בכמוקלינה של אגם הכנרת ניתוח כימי-גנטי



במימון
ISF

ורנר אקרט, שירה ניניו, עודד ברגמן, בני סולימני,
זהר פריימן

- הוכנס לשימוש ספקטרומטר מסה בשיטת ה- Membrane inlet ונמצא ככלי מועיל למדידה רציפה של מתאן מומס ב- overlaying water בגלעיני סדימנט שלמים.
- הצלחנו להסב את דוגם המזרקים למעין משאבת דיגום בעלת 16 ערוצים שתשמש לדיגום הכמוקלינה ברזולוציית עומק של כל 10 ס"מ.

מטרת המחקר

זיהוי פעילות מטאבולית במערכת המיקרוביאלית המורכבת של הכמוקלינה באזור הפלאגי של אגם הכנרת, תוך מעקב אחר המעבר מאזור מחומצן לאזור אנוקסי כפונקציה של ריכוז חומרים מחמצנים / מחזרים וחדירות אור.

היעדים הספציפיים של המחקר הינם:

- מעקב אחר ההתפתחות בזמן ובמרחב של הכמוקלינה באזור הפלאגי של אגם הכנרת.
- אפיון וכימות גנים פונקציונליים חשובים לאורך הכמוקלינה של אגם הכנרת.
- איתור קבוצות מיקרובים עיקריות בניסויי מזוקחם בתנאים מבוקרים של שינוי בפוטנציאל חימצון חיזור.

רקע

הכמוקלינה של האזור הפלגי באגמים המשוכבים תרמית מגשרת על הגבול בין מים מחומצנים ומים אנוקסיים, ומתאפיינת בגרדיאנטים כימיים חדים. התחרות על מקורות אנרגיה ועל חומרים מקבלי אלקטרונים יוצרת שיכוב ברור של אוכלוסיות מיקרובים או קבוצות פונקציונליות באזור צר מאוד. אף על פי כן, הכרונולוגיה של השינוי, ותהליכי הבקרה הקובעים כיצד שינויים הידרו-כימיים מיתרגמים לתגובה תאית, אינם ברורים. במחקר זה תשמם הכנרת כדוגמה להתפתחות הכמוקלינה הפלאגית בזמן ובמרחב, במטרה להסביר את מערכת הכוחות בין פעילות מיקרוביאלית ובין תהליכי חימצון חיזור. המטרה במחקר זה היא לזהות פעילות מטאבולית של האוכלוסיה המיקרוביאלית המורכבת שנמצאת בתווך שבין האזור המחומצן, המיקרוארופילי והאנוקסי כפונקציה של ריכוז חומרים מחמצנים / מחזרים וחדירות אור. ההיפותזה שלנו היא ששינויים במצב החיזור של הכמוקלינה הפלאגית יכולים להיות משויכים לקבוצות פונקציונליות של גנים.

שיטות

בכוונתנו לבחון היפותזה זו על ידי שילוב של שיטות ניטור *in situ*, דיגום ברזולוציה גבוהה וגישה ניסויית, שישתלבו יחד בהתאם לשיכוב הכימי בעמודת המים.

- שיכוב כימי של עמודת המים מנוטר באופן רציף (במחזור של 5-6 שעות) על ידי יחידת profiler אוטונומית המופעלת מהאקורפט.
- לצורך דיגום של הכמוקלינה ברזולוציה גבוהה בנינו דוגם-מזרקים (תמונה 1) שידגום 16 דוגמאות במקביל ברזולוציית עומק של 10 ס"מ. בעזרת פתיחה וסגירה חוזרת של המזרקים על ידי לחץ פנאומטי ושימוש בשסתום חד כיווני, ניתן למלא את שקיות הדגימה לנפח הרצוי.
- הדוגמאות מסוננות על גבי הסיפון לצורך אנליזות כימיות וגנטיות.
- כדי לזהות קבוצות עיקריות של גנים פונקציונלים בתנאי מעבדה מבוקרים, נערוך ניסויי מזוקחם עם מערכת בלתי מופרעת של סדימנט ומים שיחשפו לשינויים מכוונים במצב החיזור של המערכת. נתונים כימיים, כולל גזים מומסים, ימדדו באופן רציף בעזרת ספקטרומטר מסה מסוג MIMS.

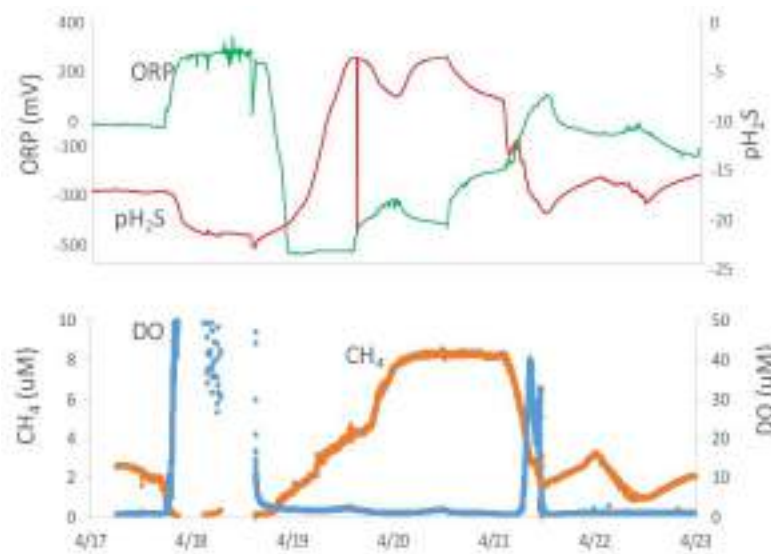
תוצאות ודין

במהלך 2019 התמקדנו בפיתוח ובדיקה של היכולות הטכניות הנדרשות לצורך המחקר. נושא קריטי שנבדק היה השמשה של ה-MIMS כיחידת מדידה רציפה לגזים מומסים במים שמעל הסדימנט בניסויי מזוקחם, ובמיוחד במעבר מתנאים מחומצנים לתנאים אנוקסיים.



תמונה 1: מערך הניסוי עם גלעין סדימנט.

התוצאות מראות ירידה משמעותית ב-ORP עם העלמות החמצן זה מלווה בעליה של מתאן ומימן גופרתי (איור 76). ההשלכות של ניסוי ראשוני זה הן שה- MIMS מוכיח עצמו ככלי שימושי ומתאים לצורך ביצוע מעקב רציף של גזים מומסים במהלך שינויים בתנאי חמצון חיזור.



איור 76: מעקב בזמן אחר פרמטרים הידרוכימיים שנמדדו ב- overlaying water בגלעין סדימנט שהודגר בין ה- 17 ל- 23 לאפריל 2019. (A) קריאה מאלקטרודת Redox, ORP ומימן גופרתי (pH₂S). (B) מדידות MIMS של חמצן מומס (DO) ומתאן (CH₄).

מעבר לניסויי ה- MIMS, ערכנו שינויים והתאמות לדוגם המזרקים באופן שמתיר פתיחה וסגירה חוזרים ונשנים (מהסיפון), דבר המאפשר הגדלה של נפח הדגימה מ- 50 מ"ל ל- 400 מ"ל הדרושים לצורך העבודה המולקולרית. הדוגם החדש נבדק בהצלחה באוקטובר 2019 וישמש תפקיד מפתח במהלך תכנית הדיגום של 2020-2021.

3.4 השפעת המליחות בכנרת על התבססות מיקרואורגניזמים שמקורם באבק אטמוספרי השוקע באגם



במימון
רשות
המים

שירה ניניו, אסף סוקניק, זהר פריימן

- להמתקה של מי הכנרת השפעה על התפתחות של פיטופלנקטון מן האבק.
- ה- heterotrophic nanoflagellates (HNF) נמצאו כחלוצים שמקורם באבק והתפתחותם מידית במים ממקורות שונים ותלויה במקור המים.
- במי כנרת שנחשפו לאבק התפתחה אוכלוסיית פיטופלנקטון מוגבלת עם מינים שונים של ירוקיות בהם הראשון להתפתח היה *Monoraphidium*.

רקע

בכל שנה מגיעים לכנרת כמה אלפי טונות של אבק אטמוספרי ממקורות שונים. אבק זה טומן בחובו פוטנציאל כימי וביולוגי להשפיע על המערכת האקולוגית של האגם. האבק מספק לאגם נוטריינטים ויסודות קורט כמו גם מזרע של מיקרואורגניזמים, כגון אצות חד תאיות, חיידקים (כולל ציאנובקטריה) פטריות וחד-תאיים המוסעים לרוב כספורות, תאי קיימא שנובטים בסביבה המימית ועשויים להתפתח ולשגשג. ישנה אם כן חשיבות גדולה לאפיין את האבק המגיע לכנרת, כדי לאמוד את תרומתו למערכת האקולוגית, ולהעריך מה תהיה השפעתו על המערכת האקולוגית בהינתן שינויים עתידיים הצפויים בגורמים כגון: מליחות, התחממות אזורית/גלובלית, שימושי קרקע, רוחות, משטר המשקעים המקומי, שאיבות, והזרמה של מי התפלה אל האגם. במחקר המוצע כאן בחרנו להתמקד בפוטנציאל ההשפעה של האבק על מרכיב חשוב במערכת האקולוגית של האגם: אוכלוסיות הפיטופלנקטון. זאת מתוך הבנה כי להשפעה על יצרנות ראשונית באגם ישנן השלכות מרחיקות לכת על המערכת האקולוגית בכללותה. המחקר משלב אספקטים ביולוגיים וגיאוכימיים בכדי לבחון סוגיה זו, תוך הבחנה בין אירועי אבק שונים המייצגים מקורות שונים. המחקר משלב ניטור ואפיון כימי-ביולוגי של אבק עם ניסויי מעבדה. מטרת המחקר היא להעריך את הפוטנציאל של אורגניזמים ונוטריינטים מהאבק להשפיע על המערכת האקולוגית של הכנרת כתלות בשינויים הצפויים להתרחש במליחות, טמפרטורה ועומס נוטריינטים באגם כתלות במאזן המים.

מטרות

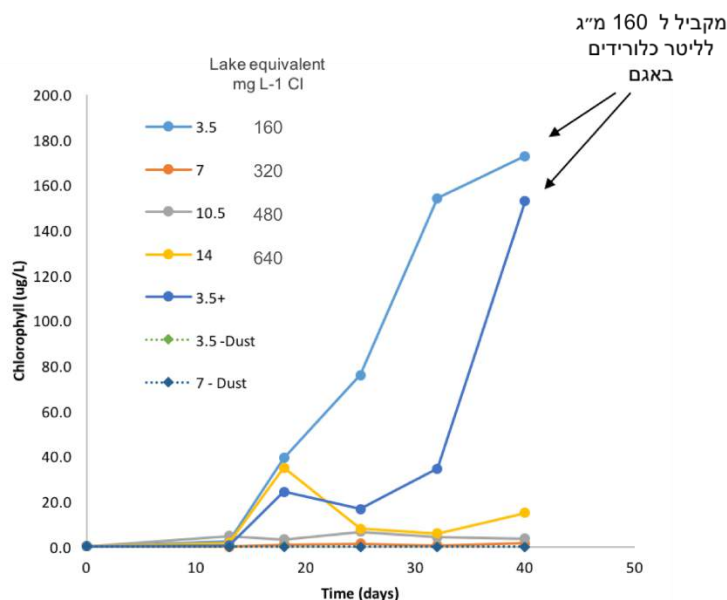
לבחון כיצד עשוי אבק אטמוספרי השוקע בכנרת להשפיע על אוכלוסיית הפיטופלנקטון באגם בהיבט של פוטנציאל ההתבססות של מינים חדשים ויחסי גומלין עם אוכלוסיות מקומיות של פיטופלנקטון ובקטריופלנקטון.

שיטות

מערכת כפולה לדיגום פאסיבי של אבק אטמוספרי הוקמה על מרפסת בניין המעבדה. המערכת מורכבת מקערות נירוסטה שטוחות בקוטר של 40 ס"מ, בעלות פרופיל נמוך, המוצבות על גבי מעמד ייעודי מוגבה. בתוך הקערות נמצאות שכבות של גולות זכוכית מעוקרות שמטרתן לכלוא את האבק הנוחת באופן פאסיבי בקערות. קערה אחת משמשת לאיסוף חומר עבור אנליזה גנטית, והשנייה משמשת לאיסוף אבק יבש עבור ניסויי התבססות ואנליזה כימית.

תוצאות ודין**בחינת פוטנציאל ההתבססות של אוכלוסיות ראשית החורף**

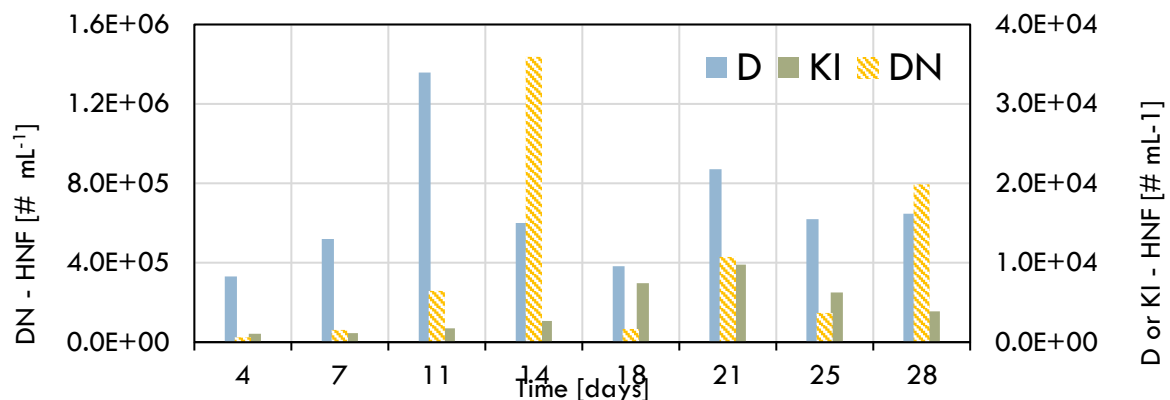
מערך הניסוי הראשון נועד לבחון את השפעת האבק על נביטה והתפתחות של פיטופלנקטון מן האבק של ראשית החורף, בתנאי האגם המתאימים. לצורך כך נדגמו מי כנרת וסוננו על גבי פילטר של 0.2 מיקרון על מנת לשמר את ערכם הכימי תוך סילוק רוב אוכלוסיית הבקטריופלנקטון והפיטופלנקטון מהמים. המים המסוננים שימשו להעמדת מספר מערכות ניסוי, כל אחת בשתי חזרות ביולוגיות, כאשר הגורם המשתנה בין מערכות הניסוי היה רמת המליחות של המים. נבחנו מספר מליחיות: מליחות מי כנרת (בריכוז של 7 mM NaCl, המקביל לכ-320 מ"ג לליטר כלורידים באגם), מיהול של מליחות הכנרת (3.5 mM NaCl, המקביל לכ-160 מ"ג לליטר כלורידים באגם) ומליחיות גבוהות יותר: 10.5 ו 14 mM NaCl. כל הבקבוקים, למעט הביקורת השלילית, נזרעו עם כמות שווה של אבק יבש. בקבוקוני הניסוי הודגרו בתנאי אור וטמפרטורה זהים למשך כ-40 יום. התוצאות מובאות באיור 77, ומראות שלהמתקה של מי הכנרת ישנה השפעה על התפתחות של פיטופלנקטון מן האבק, ובתנאים של מי כנרת מתוקים יותר (3.5 mM NaCl) נרשמה צמיחה מהירה וגבוהה יותר של מיני פיטופלנקטון בבקבוקי הניסוי. ביתר המליחיות גם כן נצפתה נביטה של פיטופלנקטון, אולם במידה פחותה מאוד. בניסוי הביקורת ללא תוספת אבק לא נרשמה נביטה של פיטופלנקטון, מה שמעיד על כך שהתפתחות המינים שנצפו ביתר בקבוקי הניסוי, מקורם מן האבק.



איור 77: נביטה של פיטופלנקטון מן האבק היבש כתלות במליחות המים. מי כנרת מסוננים הובאו למליחיות שונות, כמצוין במקרא ב mM NaCl, והזרעו עם אבק יבש. ביקורת ללא אבק בוצעו בשתי מליחיות 3.5-Dust ו-7-Dust. במערך הניסוי +3.5 הוספו חנקן זרחן לרמה המצויה בכנרת. המים הודגרו בתנאי אור במשך 40 יום, ודגימות נלקחו בנקודות הזמן המצוינות. מוצגים ערכי הכלורופיל הממוצעים שנמדדו בכל נקודת זמן.

אבק כמקור להתפתחות אוכלוסיית הפיטופלנקטון בכנרת²

בניסוי שערכנו באוניברסיטת ארסטוטל בסלוניקי AUTH מי כנרת שנאספו מהאגם במאי 2019 וסוננו לסילוק אוכלוסיות הפלנקטון (KI), נחשפו לאבק שוקע (איסוף פסיבי) למשך 5 ימים על גג בנין הפקולטה לביולוגיה AUT. כביקורת שמשו מים מזוקקים (D) ומים מזוקקים להם הוספו מזינים על פי פרוטוקול מצע גידול (DN) BG11. דגימות המים, 20 ליטר כל אחת, הושארו באמבט פתוח שממדיו 20X40X30 ס"מ ונחשפו לאבק שוקע. בתום תקופת איסוף האבק, כל המים מכל אמבט עורבבו וחולקו ל- 3 מכלים שקופים, כ- 7 ליטר כ"א. מכלים אלו הודגרו במעבדה סמוך לחלון למשך 28 יום. בתקופה זו נדגמו המכלים אחת לארבעה-חמישה ימים לשם מעקב אחר שינויים בריכח המזינים העיקריים ואחר אוכלוסיות הפיטופלנקטון שהתפתחו. מעקב אחר התפתחות מרכיבי הפלנקטון בעקבות חשיפה לאבק, מדגים את חשיבות ה- heterotrophic (HNF) nanoflagellates כחלוצים שמקורם באבק והתפתחותם מידית במים ממקורות שונים ותלויה במקור המים. התפתחותם ושרידותם במים מזוקקים מועשרים בנוטריינטים - DN הייתה מהירה ומסיבית בעוד ההתפתחות במים מזוקקים - D הייתה מתונה ובמי כנרת KI הייתה מוגבלת (איור 78).



איור 78: התפתחות heterotrophic nanoflagellates (HNF) שמקורם באבק כתלות במצע האיסוף של האבק - מים מזוקקים (D), מים מזוקקים בתוספת נוטריינטים (DN) ומי כנרת מסוננים (KI). ציר אנכי משמאל עבור DN וציר אנכי מימין עבור D או KI.

התפתחות פיטופלנקטון במים מזוקקים (D) הייתה מוגבלת ורק בימים האחרונים של הניסוי זוהתה אוכלוסייה מוגבלת של *Chlamydomonas* ו- *Oocystis* (כ- 400 ו- 50 תאים למ"ל בהתאמה). התפתחות הפיטופלנקטון במים מועשרים בנוטריינטים - DN הייתה מהירה ואופיינה בהתפתחות הדרגתית של מגוון מינים של ירוקיות. הראשון להתפתח היה *Chlamydomonas* שיצר אוכלוסייה צפופה ששיאה היה ביום 11 ובהמשך דעכה.

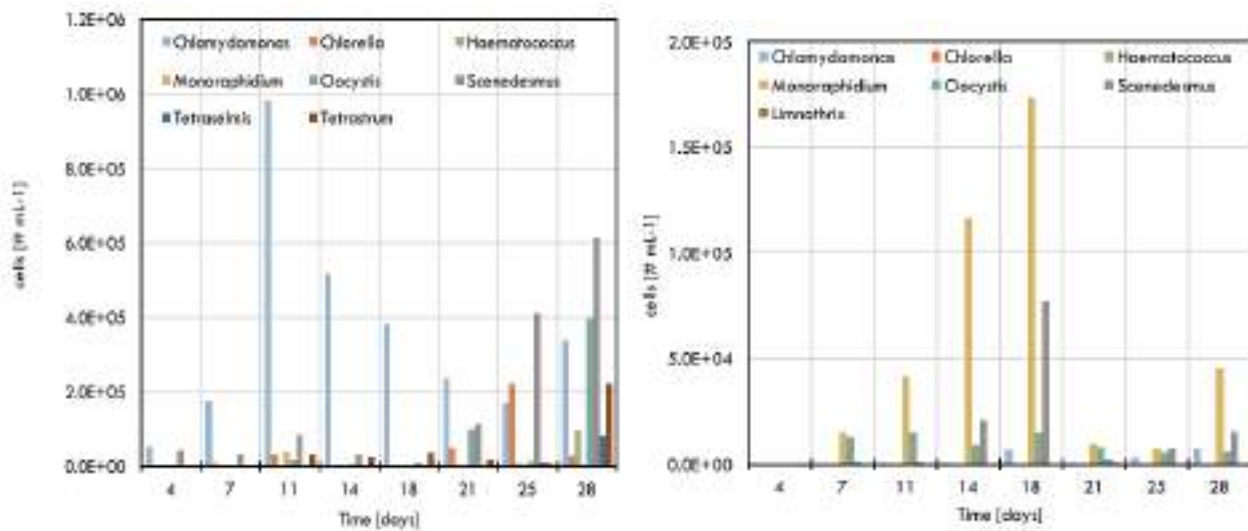
² עבודה זו בשיתוף עם

Dr. Savvas Genitsaris, Prof. Maria Moustaka-Gouni and Natassa Stefanidou from AUTH



סוגים נוספים של ירוקיות כמו *Chlorella*, *Oocystis*, *Scenedesmus* הופיעו והתבססו בהמשך כאשר הסוג *Haematococcus* היה אחרון להופיע (איור 79).

מעניין לציין נוכחות והתפתחות רוטיפרים החל מיום 14 שבסוף הניסוי ריכוזם הגיע ל 1,180 פרטים למ"ל. גם במי כנרת התפתחה אוכלוסייה של ירוקיות אך הראשון להתפתח היה *Monoraphidium* ולא *Chlamydomonas* (איור 79). בהמשך נצפתה אוכלוסייה מוגבלת יחסית של *Oocystis* ו *Scenedesmus*. סה"כ במי כנרת התפתחה אוכלוסייה מוגבלת עם מינים שונים של ירוקיות וגודל האוכלוסייה שהתפתחה היה נמוך בסדר גודל מהאוכלוסייה שהתפתחה ב DN (איור 79). מעניין לציין שבמי כנרת התפתחה גם אוכלוסייה מצומצמת של ציאנובקטריה מהסוג *Limnothrix*. נוכחות רוטיפרים מוגבלת תועדה גם במי כנרת החל מיום 14 אך לא עלתה על 13 פרטים למ"ל.



איור 79: התפתחות אוכלוסיות הפיטופלנקטון (מקורם באבק כתלות במצע האיסוף של האבק, מים מזוקקים בתוספת נוטרינטיים, DN (גרף שמאלי) ומי כנרת מסוננים, KI (גרף ימני).

בהמשך המחקר יערך אפיון כימי וגנטי של דגימות אבק חודשיות מאזור האגם ותוגדר התרומה של האבק מבחינת נוטרינטיים, יסודות קורט ומיקרואורגניזמים אאוקריוטים ופרוקריוטים.

3.5 פיתוח אנדיקטורים מיקרוביאליים להערכת איכות מים ומצב טרופי של מערכות מים טבעיות - הכנרת כמודל



במימון
רשות
המים

שירה ניניו, נחמה רושנסקי, עכסה לופו, זהר פריימן

- ניתוח חומר גנטי מאפשר מעקב אחר תהליכים ביוגאוכימיים המתרחשים באגם.
- במהלך תקופת השיכוב חלים שינויים גדולים בהרכב אוכלוסיית החיידקים בהיפולימיניון.
- בעזרת שיטת ה MST נמצא שמעלי גירה הם התורמים העיקריים לזיהום צואה בכנרת, אולם גם ביוב מוצא את דרכו לאגם לעיתים, למשל דרך ערוץ הצלמון.

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 הביולוגית 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 אקוויטיות אחרות. המחקר פותח צוהר להבנת התפקוד של מיקרואורגניזמים במחזור נוטריינטים 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.

שיטות

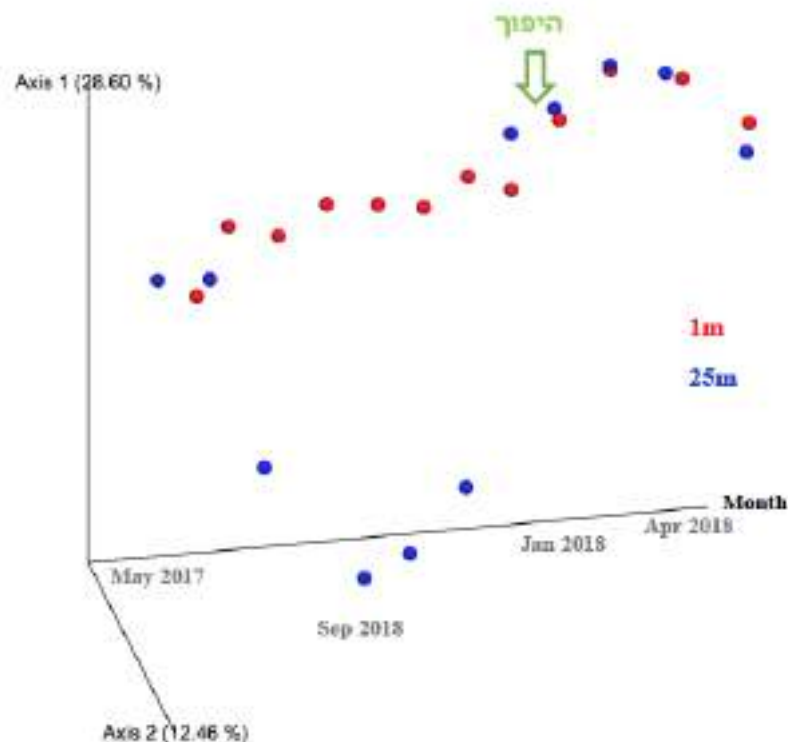
לצורך האנליזה נדגמות בכנרת אוכלוסיות חיידקיות דיגום מרחבי, אנכי ועונתי. מן הדגימות מופק חומר גנטי ונשלח לריצוף בעזרת Illumina Miseq. נתוני הריצוף עוברים ניתוח בעזרת התוכנה QIIME2 לזיהוי שינויים במבנה אוכלוסיית החיידקים בזמן ובמרחב ותגובתן לשינויים באגם, עם דגש על שכבות האפילימניון וההיפולימניון וה-benthic boundary layer.

תוצאות ודיון

אנליזה של אוכלוסיות חיידקים – שונות אנכית ועונתית

על מנת לחקור שינויים בזמן באוכלוסיות החיידקים, ערכנו דיגום חודשי בתחנה A בעומק של מטר אחד ובעומק של 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 80).



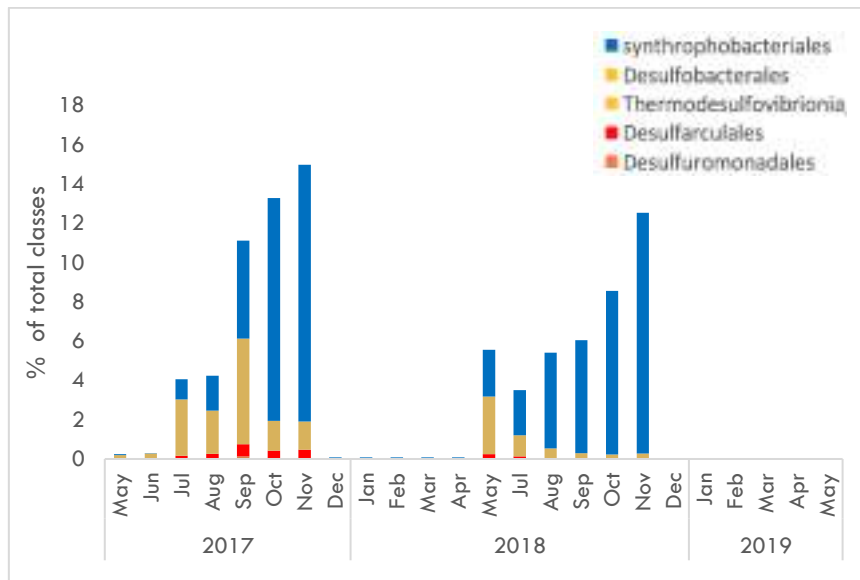
איור 80: ניתוח סטטיסטי של הדמיון בין אוכלוסיות החיידקים בחודשים שונים לאורך שנה על פי שיטת ה-Principal coordinates analysis. כל נקודה מייצגת אוכלוסיית חיידקים שמקורה בדגימת מים מעומק 25 מטרים או מעומק 1 מטר. הדגימות מוצגות על פי סדר החודשים החל במאי 2017 משמאל וכלה אפריל 2018 מימין.

איתור וכימות חיידקים האחראיים לתהליכים ביוגאוכימיים באגם

באגם קיימות אוכלוסיות חיידקיות שונות הנושאות תפקיד חיוני בתהליכים ביוגאוכימיים המתרחשים באגם. מעקב אחר אוכלוסיות ספציפיות מאפשר הבנה עמוקה יותר של התהליכים השונים, התזמון שלהם, והדינמיקה המרחבית שלהם. על מנת להגדיר חיידקים אינדיקטורים לתהליכים המתרחשים בכנרת ערכנו ניתוח של רצפי האוכלוסיות החיידקיות באגם, חזיהנו אוכלוסיות לגבן ידוע כי הן לוקחות חלק בתהליכים מסוימים. אחד מתהליכים אלה הוא חזור סולפאט, עבורו נמצאו שישה גנוטיפים תואמים.

ניתוח של התפוצה היחסית של גנוטיפים אלו תואם את המצופה מחיידקים מחזרי סולפאט – הם נמצאים בעיקר בשכבת ההיפולימניון בתקופת השיכוב (איור 81), וכמעט ולא נצפים בשכבת האפילימניון (לא מוצג).

ניתוח הרצפים שנמצאו בסמוך לסדימנט מצביע על הימצאות תהליך חיזור הסולפאט לאורך כל השנה בשכבת הסדימנט, כפי שידוע ממחקרים קודמים. ניכר שמחזרי סולפאט מהסדרה desulfobacteriales מופיעים בעיקר באזור הסדימנט, וככל הנראה זקוקים חיידקים אלה לתנאים שלא מתקיימים בעמודת המים. בעזרת נתוני הריצוף ניתן בעתיד להגדיר סמן גנטי מתוך הגנוטיפים המתוארים ובעזרתו לערוך מעקב אחר תהליך חיזור הסולפאט באגם. באופן דומה, אנו ממשיכים לבצע אנליזות למציאת סמנים גנטיים לתהליכים ביוגאוכימיים נוספים באגם.

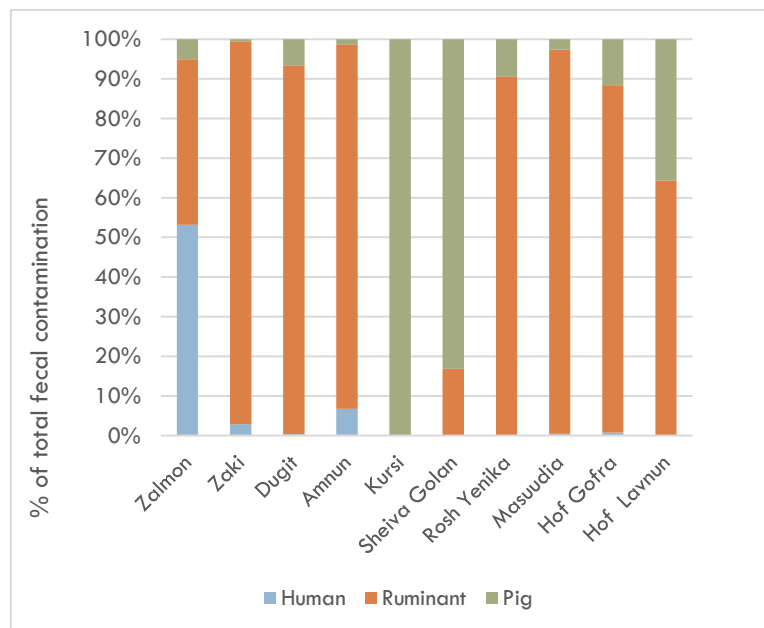


איור 81: מעקב אחר חיידקים המעורבים בתהליך חיזור סולפאט בהיפולימניון בעזרת ריצוף חומר גנטי מעמודת המים. דוגמאות נאספו לאורך 2017-2019 מתחנה A מעומק של 25 מ'. התפוצה היחסית של סדרות חיידקים הידועים כמחזרי סולפאט מכלל סדרות החיידקים מוצגת.

אנליזה גנטית של חיידקים מזהמים לאיתור מקור הזיהום

לעיתים מגיעות אל האגם אוכלוסיות חיידקיות שמקורן בצואת בעלי חיים, או בביוב גולמי. ניטור שוטף מאפשר מעקב אחר חומרת הזיהום בעזרת כימות של חיידקים אינדיקטורים לצואה. לשיטה זו מגבלה משמעותית, שכן מתקבלת מדידה של חומרת הזיהום אבל לא טיבו. כלומר, לא ניתן לדעת מה מקור הזיהום, ובפרט האם הוא מגיע מביוב או מבעלי חיים, ומאילו בעלי חיים. במטרה לבנות כלי שיאפשר זיהוי של מקור זיהום חיידקי והערכה של התרומה היחסית של כל מקור, ערכנו מדידות של מספר סמנים ספציפיים. מקורות הזיהום אחרים עקבנו היו צואת אדם, צואת פרות וצואת חזירים.

עבור כל סמן נבנתה עקומת כיוול בכדי לאפשר אנליזה כמותית של המזהמים. נרמול התוצאות - לאחר מציאת מספר העותקים של כל מקור מכל דוגמא, היה צורך בתרגום הערכים ממספר עותקים לכמות צואה, על מנת לקבל הערכה יחסית למקורות הזיהום השונים. התוצאות של הבדיקה מובאות באיור 82. ניכר כי אירועי זיהום שונים נובעים ממקורות זיהום שונים, כאשר מעלי גירה (ככל הנראה פרות) מהווים את המקור הנפוץ ביותר לזיהומים בכנרת, מתוך האירועים שנדגמו. זיהום שמקורו בצואת חזירים נצפה ברוב הדוגמאות באחוזים נמוכים, אולם בשתי דוגמאות שנאספו בכורסי ובראש השאיבה גולן ניכר שכמעט כל הזיהום מקורו בצואת חזיר. לעומת זאת, זיהום ממקור הומאני, שהוא בעל השלכות החמורות ביותר על בריאות האדם, היה נדיר יחסית ורק בדוגמה אחת (צלמון) היווה זיהום הומאני אחוז גבוה של כ- 50% מכלל הזיהום הצואתי. הדוגמה עם הזיהום ההומאני נאספה בזמן שיטפון, ומצביעה על כך שבנוסף לנגר עילי, שיטפונות בערוצים מסוימים עלולים גם להביא אל הכנרת ביוב גולמי. בהינתן תכניות עתידיות להזרמת מי התפלה בערוץ זה, הגישה הכמותית שמוצגת כאן נותנת פתרון לניטור שמאפשר זיהוי מקורות זיהום צואתי וכימות הרכיב ההומאני מתוך כלל הזיהום.



איור 82: התפלגות יחסית של מקורות זיהום צואתי מצביעים על שוני באופי הזיהום המגיע לאגם באירועים שונים.

3.6 אקולוגיה מולקולרית של החיידק הפתוגני ליגיונלה באגם הכנרת



במימון
הקרן
הלאומית
למדע

שירה ניניו, עודד ברגמן

- נמצא הבדל מובהק בין ריכוז הליגיונלה בין תקופת הערבוב לתקופת השיכוב.
- הריכוזים הגבוהים ביותר של ליגיונלה נמצאו בתקופת החורף, בעומק האגם.
- לא נמצאה תלות בין ריכוז הליגיונלה לבין הביומסה של מיקרואורגניזמים.

מטרות

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

רקע

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.

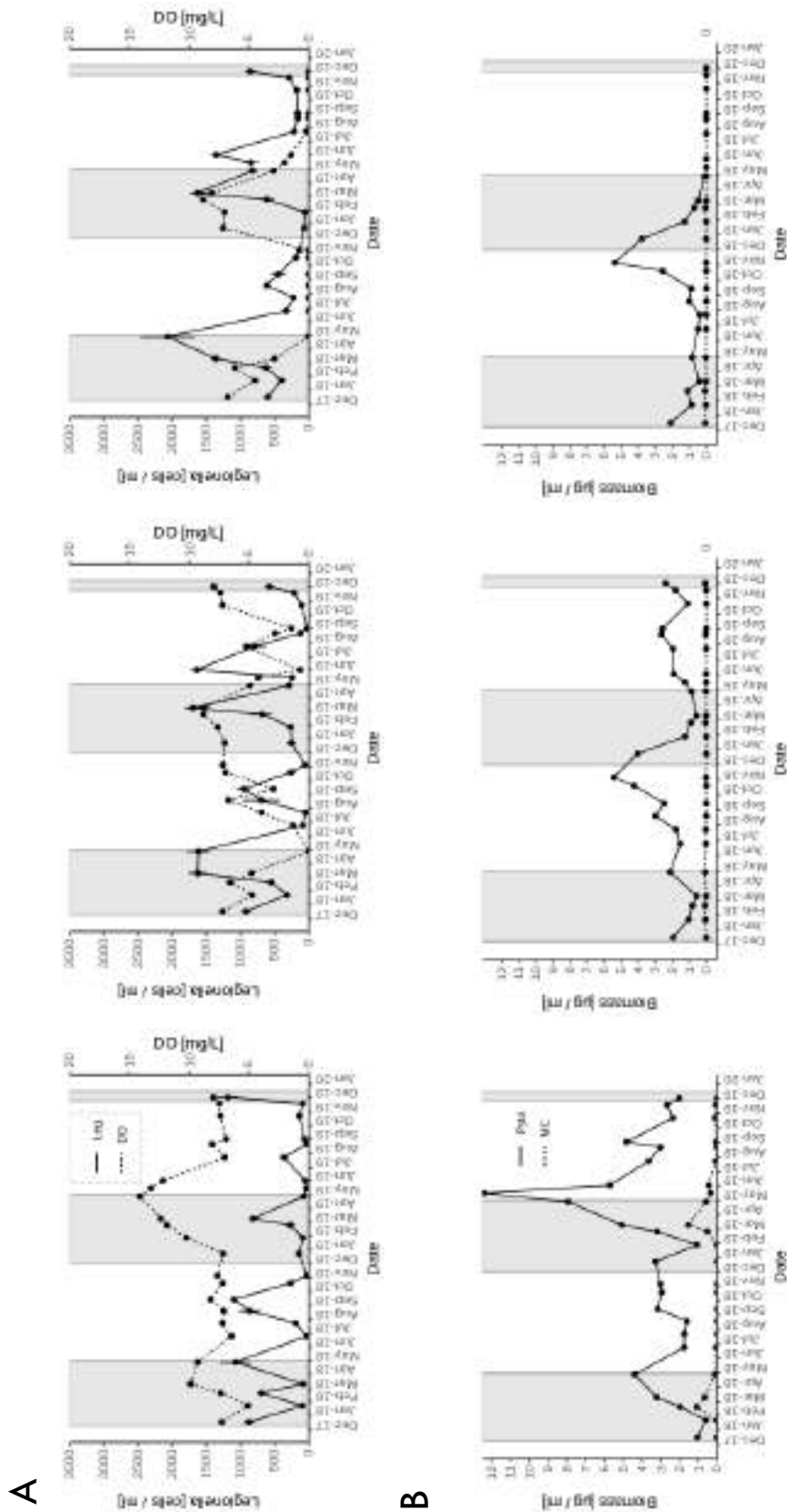
חיידק הליגיונלה יכול לשרוד בטווח רחב של תנאים סביבתיים, ומצוי בביופילם, כפלנקטון וגם כטפיל של פרוטוזואות ממינים שונים. תוצאות ראשוניות מצביעות על קיומם של מספר מיני ליגיונלה באגם הכנרת, ביניהם כאלה הידועים כגורמי מחלה. במחקר זה ממופת הימצאות חיידק הליגיונלה בבתי הגידול המגוונים של האגם, מוגדר המיקרוביום 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.

שיטות

לצורך כימות של מספר החיידקים השייכים לסוג *Legionella* בכל דגימה, בודדו חומצות הגרעין. החומר הגנטי שימש לביצוע תגובת שרשרת כמותית של פולימראז (ריאקציית qPCR). מספר העותקים בדוגמה נקבע בעזרת עקומת כיוול עם סטנדרטים בריכוז ידוע.

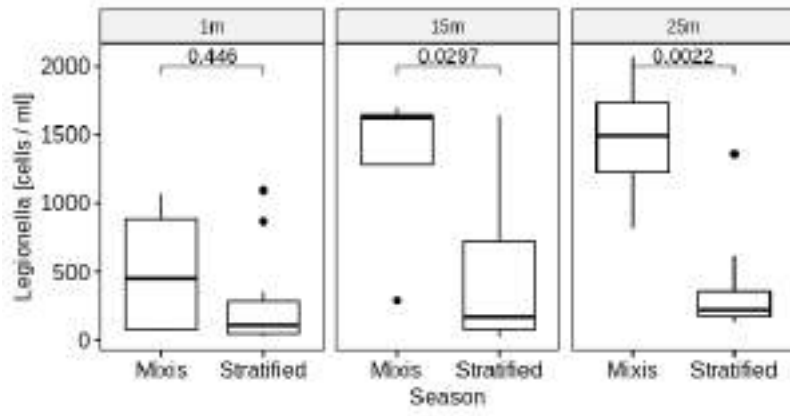
תוצאות ודיון

תפוצתם של חיידקים מן הסוג *Legionella* נבחנה לאורך זמן באגם הכנרת. דגימות מים נלקחו אחת לחודש ומכל הדגימות בוצעה הפקה של חומצות הגרעין, לצורך ביצוע אנליזה גנטית לקביעת ריכוז חיידקי הליגיונלה. התוצאות מראות שריכוז החיידקים לא היה קבוע והראה מחזוריות של עליות וירידות, עם תלות בריכוז החמצן בעמודת המים שניכר בעיקר בעומק 25 מ' (איור 83A). כיוון שהמאכסנים של חיידקי הליגיונלה הינם פרוטוזואות, הניזונות מחיידקים, נבדקה האפשרות שריכוז הליגיונלה מושפע מעליה מקומית ביצרנות ראשונית ובביומאסה, שעשויה לגרום אחריה עליה בפעילות חיידקית ובריכוז הפרוטוזואות. הממצאים מראים שלא נצפתה תלות של ריכוז הליגיונלה בביומסה של כלל הפיטופלנקטון באגם (איור 83B). בנוסף, לא נצפתה תלות של ליגיונלה בריכוז הכחולית מיקרוציסטיס, למרות שתלות כזו דווחה בעבר בסביבה אחרת (איור 83B).



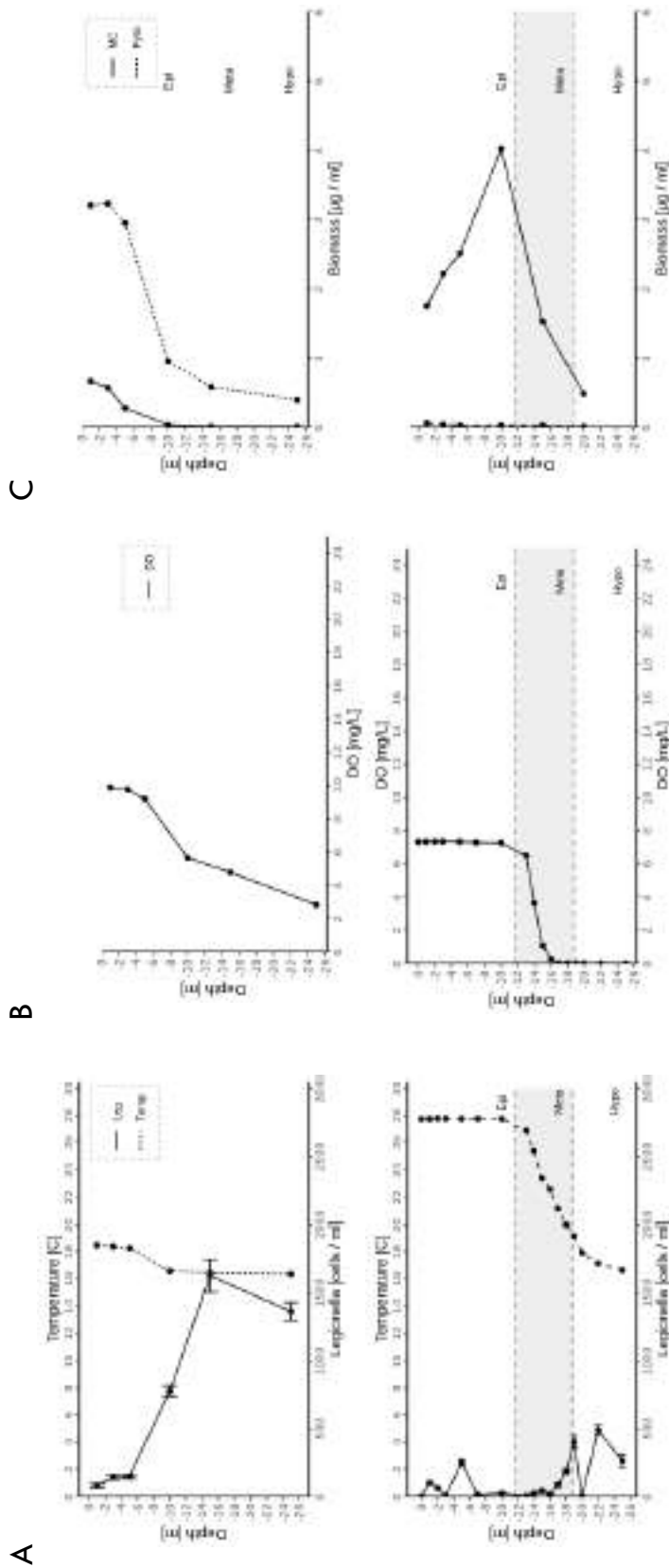
איור 83: תפוצה חודשית של חיידקים מסוג ליגיונלה בשלושה עומקים באגם, בין דצמבר 2017 לדצמבר 2019. עומק 1 מ' (שמאל), 15 מ' (אמצע) ו- 25 מ' (ימין). (A) ריכוז ליגיונלה תאים למ"ל (קו רציף) וריכוז חמצן מסיס (קו מקווקו). (B) ביומסה של פִּיטוֹפְּלַנְקטוֹן (קו רציף Phyt), ושל מיקרוביציוסיס (קו מקווקו MC) נתוני ביומסה מתוך מאגר הנתונים של המעבדה לחקר הכנרת.

הריכוזים הגבוהים ביותר של ליגיונלה נראו דווקא בשכבה התחתונה של האגם, בעומק 25 מ', ושם, כמו גם בעומק 15 מ', נמצא הבדל מובהק בריכוז החיידקים בתקופה של ערבוב יחסית לתקופה משוכבת (איור 84).



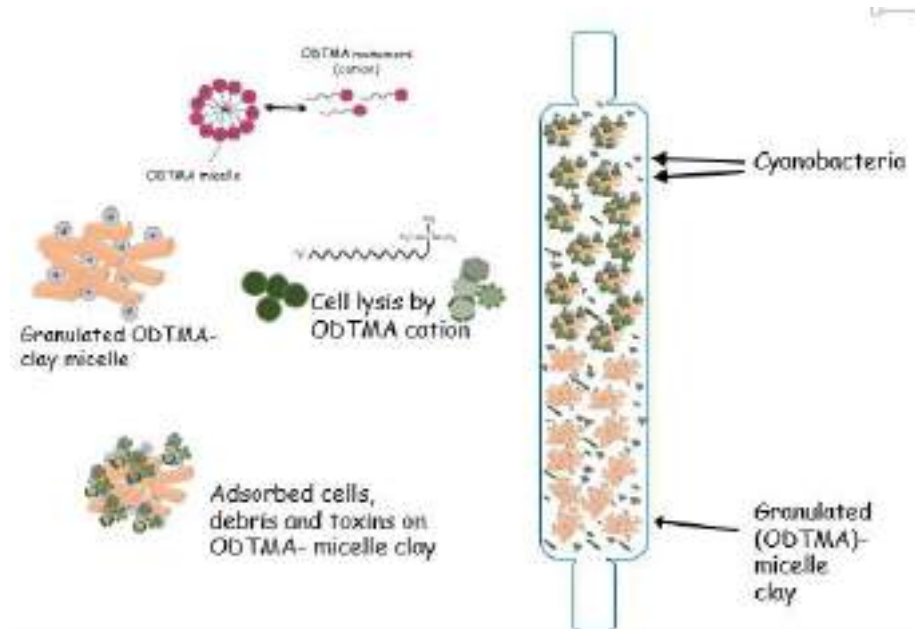
איור 84: ריכוז ממוצע של ליגיונלה בעומקים שונים כמצוין. הדוגמאות נאספו בין דצמבר 2017 לדצמבר 2019 וחולקו לשתי קבוצות על פי תקופת הדיגום - ערבוב (Stratified) ושיכוב (Mixis). מובהקות נבחנה בעזרת Wilcoxon rank-sum test ומוצגת למעלה.

גם באנליזות של תפוצה אנכית, נמצא שהריכוזים הגבוהים ביותר של ליגיונלה נרשמים בעומק האגם, בתקופת החורף (איור 85). ניתוח נרחב של גורמים ביוטיים ואביוטיים, כולל אפיון גנטי, יתבצעו בהמשך המחקר על מנת לברר מה קובע את התפוצה האנכית והעונתית של חיידק הליגיונלה המהווה מרכיב קבע במערכת האקולוגית של אגם הכנרת.



איור 85: תפוצה אנכית של ליגיונלה בשתי עונות בכנרת. פרופיל עומק נדגם בחדש מרץ 2018 (פנל עליון - תקופת ערבוב) ובחדש יוני 2018 (פנל תחתון - תקופת שיכוב). בכל עומק נאספו שתי דגימות ועורבבו לפני הסינון. (A) ריכח ליגיונלה (רציף), וטמפרטורה (מקוקו) (B) ריכח חמצן מסיס, (C) ביומסה של פִּיטוֹפְלַקטוֹן כללי (מקוקו) ומיקרוציסטים (רציף), נתוני ביומסה מתוך מאגר נתוני הכנרת.

3.7 גישות חדשניות לבקרה ומניעת פריחות של ציאנובקטריה רעילות בגופי מים



במימון
משרד
המדע

אסף סוקניק בשיתוף עם אהרון קפלן, שלמה ניר (א).
עברית), פרופ' לירונג סונג (IHB CHINA)

- אמינים רבעוניים אורגניים ATMA alkyl trimethyl ammonium פוגעים ומעכבים פעילות פוטוסינתטית בציאנובקטריה
- השפעת ATMA על הפעילות הפוטוסינתטית באצות ירוקיות היא מתונה מאד בהשוואה לציאנובקטריה.
- לאורך השרשרת של קבוצת האלקיל ב ATMA השפעה על עיקוב הפעילות הפוטוסינתטית, כאשר ATMA עם אלקיל של 16 פחמנים השפעת עיכוב מירבית
- גרנולות מרוכבות של חרסית מיצלות ODTMA מסלקות ביעילות מיקרוציסטינים.
- יעילות הסילוק של מיקרוציסטינים מסוג RR פחותה יחסית למיקרוציסטינים אחרים.

מטרת המחקר

לתכנן ולבחון כלים אמינים לניהול שליטה ובקרה על פריחות של ציאנובקטריה רעילות בגופי מים, אגמים, מאגרים ובריכות.

רקע

מינים שונים של ציאנובקטריה אחראיים לפריחות רעילות בגופי מים בעולם כולו ומהווים איום ממשי על איכות מי השתייה ועל שימושים מגוונים של מערכות אקולוגיות, אגמים, בריכות ומאגרים. בין מיני הציאנובקטריה הרעילים ניתן למנות מגוון סוגים שיוצרים פריחות בכנרת כמו *Microcystis sp* המייצרים משפחה של רעלני כבד וקרויים מיקרוציסטינים (MC) ו *Aphanizomenon* המייצר רעלן הנקרא צלינדרוספרמופסין. באתרים שונים בעולם, הצטברות מאסיבית של ביומסת ציאנובקטריה הביאה למשבר בהספקת מי שתייה בגלל נוכחות רעלנים של ציאנובקטריה. בישראל פריחות ציאנובקטריה מדווחת מידי שנה בבריכות דגים ובמאגרי מי השקיה, וחשוב מכך, מיני מיקרוציסטיס ואפניזומנון רעילים שולטים מדי פעם באוכלוסיות הפיטופלנקטון בכנרת, מקור עיקרי למי שתייה. רשויות מים וגופים האחראיים על הגנת הסביבה זקוקים לפרוטוקול אמין לבקרה וניהול של פריחות רעילות של ציאנובקטריה במיוחד בהינתן מצבי חירום בהם נדרשת תגובה מהירה להפחתת התפשטות הפריחה במקורות המים.

שיטות

פוטנציאל השימוש באמינים רבעוניים אורגניים ATMA alkyl trimethyl ammonium כחומרים מעכבי גידול של ציאנובקטריה נבחן במערכת מעבדתית. תרבויות של ציאנובקטריה ושל אצות ירוקיות נחשפו למינונים שונים של ATMA מסוגים שונים. נבדקה ההשפעה על הפעילות הפוטוסינתטית בשיטות ספקטרליות ויציבות התאים בשיטות מיקרוסקופיות. יכולת הסילוק וההרחקה של מיקרוציסטינים על ידי גרנולות מרוכבות של חרסית ומיצלות ODTMA נבחנה בקולונות ספיחה מעבדתיות תוך שימוש בתמיסת טוקסינים מסחרית או בתערובת של טוקסינים שמקורה בתרבית של מיקרוציסטיס. נפחים עם ריכוז מדוד של מיקרוציסטינים החרמו דרך קולונה שהכילה גרנולות במשקל ידוע וריכוז הרעלנים ביציאה מהקולונה נמדד בשיטות אנליטיות ב-HPLC.

תוצאות ודיון

בניסויי מעבדה נמצא שהאמין הרבעוני Octadecyl trimethyl ammonium (ODTMA) מעכב את הפעילות הפוטוסינתטית של ציאנובקטריה בריכוזים של מיקרומולר (איור 86). חשיפת תרבית מיקרוציסטיס ל ODTMA גורמת לירידה ביעילות הפוטוסינתטית עד להפסקה מוחלטת של הפעילות ובמקביל מתרחשת פגיעה במערכת הפוטוסינתטית שבאה לידי ביטוי בהגברת הסיגנל הפלורוסנטי כתוצאה מניתוק מערכת איסוף האור מהממברנה.

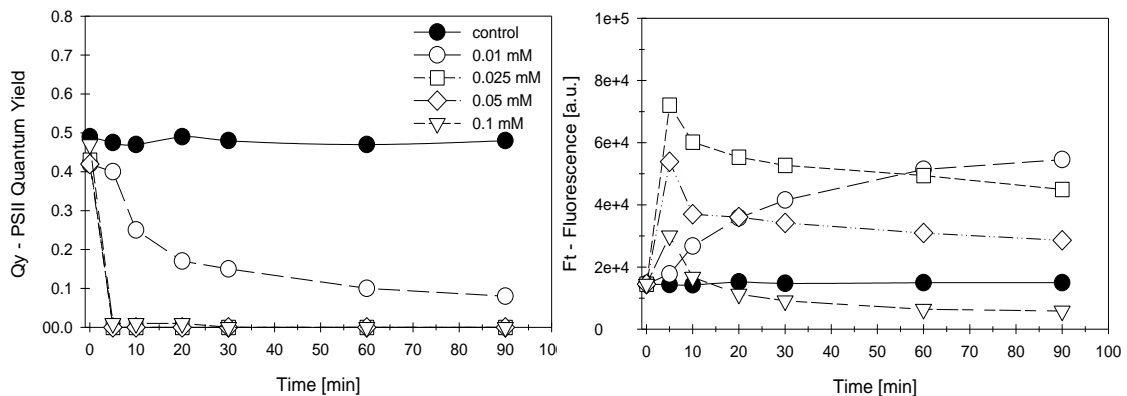


הגברת הסיגנל דועכת עם הזמן ועוצמתה? נמוכה בחשיפה לריכוז גבוהה של ODTMA (איור 86). לציאנובקטריה ממינים שונים רגישות שונה ל ODTMA אבל רגישותם גבוהה משמעותית ביחס לאצות איקוריטיות, ירוקיות ואחרות. בטבלה 1 מוצגים ריכוזי ODTMA הגורמים ל 50% ירידה בפעילות הפוטוסינתטית (ED_{50}) של אצות וציאנובקטריה מסוגים שונים. על פי ממצאים אלו ניתן לדרג את רגישות הסוגים השונים ל ODTMA על פי הסקלה הבאה:

Aphanizomenon > *Microcystis* > *Chlorella* > *Scenedesmus*

על פי התוצאות המוצגות בטבלה 1, HDTMA שלו שרשרת אלקילית בעלת 16 פחמנים, מעכב את הפעילות הפוטוסינתטית במגוון סוגי הפיטופלנקטון שנבחנו, ביעילות גבוהה יותר מ ODTMA ואילו יעילות העיכוב יורדת ב ATMA עם שרשרת אלקילית קצרה יותר, בין 14 ל 10 פחמנים. על פי ממצאים אלו ניתן לדרג את רמת יעילות העיכוב על פי אורך השרשרת הפחמנית על פי הסדר שלהלן:

HDTMA > ODTMA > TDTMA > DDTMA > DTMA



איור 86: שינויים ביעילות הפוטוסינתטית Qy (משמאל) ובעוצמת פלורוסנציה Ft (מימין) במהלך 90 דקות לאחר חשיפה של תרבית מיקרוציסטיס לריכוזים שונים של ODTMA.

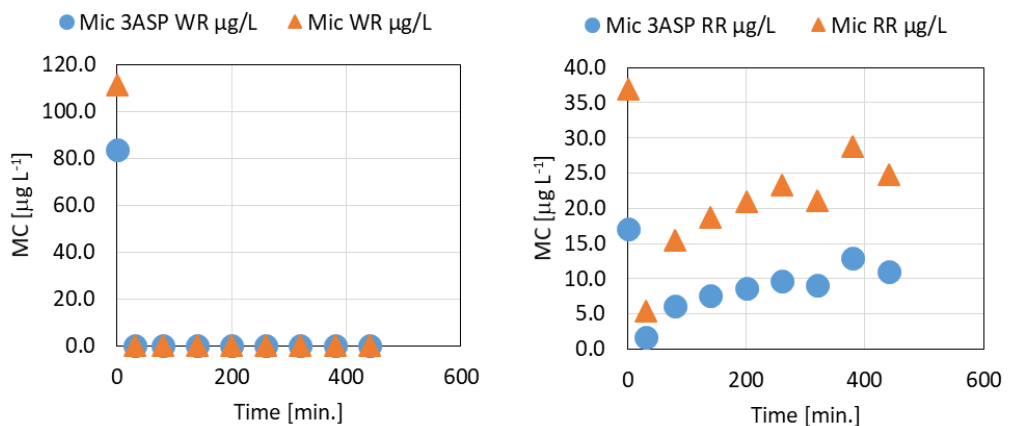
טבלה 13: עיכוב הפעילות הפוטוסינתטית במיני פיטופלנקטון שונים ע"י קטיונים ATMA בעלי שרשרת אלקילית עם מספר פחמנים שונה. הערכים בטבלה מיצגים ריכוז ב μM שגורם ל 50% עיכוב ביעילות הפוטוסינתטית בתוך שעה ($ED_{50(1\text{ hr})}$).

Organism	C18- ODTMA ¹	C16- HDTMA ²	C14- TDTMA ³	C12- DDTMA ⁴	-C10 DTMA ⁵
<i>Microcystis</i>	7.5	4.2	40	250	750 <
<i>Aphanizomenon</i>	1.5	0.9	3	75	250
<i>Scenedesmus</i>	1000 <	1000 <	1000 <	1000 <	1000 <
<i>Chlorella</i>	1000 <	480	.N.D	.N.D	.N.D

מקרא:

1. Octadecyl trimethyl ammonium; 2. Hexadecyl trimethyl ammonium; 3. trimethyl ammonium; 4. Dodecyl trimethyl ammonium; 5. Decyl Tetradecyl trimethyl ammonim.

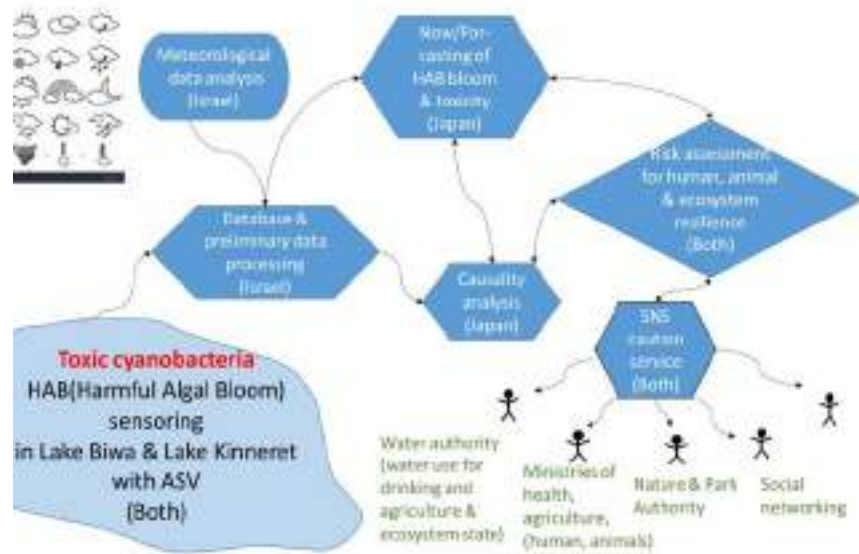
קולונות ספיחה מעבדתיות המכילות גרנולות מרוכבות של חרסית ומיצלות ODTMA נמצאו יעילות בסילוק והרחקה של מיקרוציסטינים מהמים. תערובת מיקרוציסטינים שמקורה בתרבית של מיקרוציסטיס הזרמה לקולונה שהכילה גרנולות מרוכבות, ובנחל שעזב את הקולונה נמצא שריכוז הרעלנים ירד משמעותית. ההרחקה של מיקרוציסטינים מהסוג MC-WR (שני צורונים) היה מלא גם לאחר מעבר של 0.41 מיליגרם של רעלנים אלו. הסילוק של MC-RR (שני צורונים) היה קרוב ל 100% בנפחי סינון קטנים ולאחר הזרמה נמשכת ריכוז הרעלנים ביציאה מהקולונה עלה בהדרגה עד לערך מרבי של כ - 35 מיקרוגרם לליטר, ערך המהווה 66% מהריכוז במקור. ריכוזי הרעלנים שנמדדו במהלך הניסוי מוצגים באיור 87.



איור 87: ריכוז רעלנים MC מסוג RR (משמאל) ומסוג WR (מימין) בכניסה לקולונה (זמן 0) ובנחל היציאה כתלות במשך ההזרמה (בדקות).

בעבודה זו הדגמנו שאמינים רבעוניים אורגניים ATMA alkyl trimethyl ammonium מעכבים את הפעילות הפוטוסינתטית בציאנובקטריה ושלאורך שרשרת האלקילית חשיבות בקביעת רמת העיכוב. בנוסף נמצא שאצות ירוקיות עמידות יותר מציאנובקטריה ל ATMA. בנוסף הודגמה היעילות של גרנולות מרוכבות של חרסית מיצלות ODTMA בסילוק מיקרוציסטינים ממים.

3.8 מערכת ICT לזיהוי תגובת עמידות אקולוגית במערכות מים מתוקים



**במימון
משרד המדע
והטכנולוגיה**

**איליה אוסטרובסקי, אסף סוקניק, פרבין ג'בה-דב,
בשיתוף עם פרופ' קומאגי מ' (Japan)
(Ritsumeikan University**

- הופעלה מערכת אקוסאונדר תלת ערוצית המאפשרת זיהוי והפרדה בין מרכיבים בעלי החזר קול שונה (דגים מול מושבות של מיקרוציסטיס) בעמודת המים בכנרת.
- תוכננה ונבנתה סירת ניטור זעירה שתשתלב במערך לזיהוי מעקב וחיוזי פריחות של מיקרוציסטיס בכנרת.

מטרת המחקר

מטרת הפרויקט היא לפתח טכנולוגיה לאיסוף מידע סביבתי, ניתוחו בשיטות של תקשורת מידע Information communication technology (ICT) ויישום לניטור מערכות אקוויטיות. יעד מרכזי הוא הדגמת הטכנולוגיה באגם BIWA ביפן ובכנרת בישראל תוך שילוב מידע הנאסף בזמן אמת מהמערכות האקולוגיות והטמעתו בגופי מידע ציבוריים לשיפור דרכי קבלת החלטות תפעוליות.

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.

רקע

פריחות של ציאנובקטריה משפיעות לרעה על איכות מי הכנרת. בשני העשורים האחרונים פריחות של ציאנובקטריה מתפתחות בכנרת הן בחורף והן בקיץ. זיהוי בזמן אמת של פריחות חריגות של ציאנובקטריה דורש כלי ניטור מתקדמים המספקים מידע שניתן לשלבו במודל פיזיקלי/אקולוגי לחיזוי קצר טווח זיהוי פוטנציאל הפריחה והפיזור המרחבי של אוכלוסיות הציאנובקטריה המתפתחות. המידע והתחזיות יעמדו לרשות הגופים המפקחים ומתפעלים את האגם ולרשות הגופים האחרים המשתמשים באגם: אספקת מים לשתייה וחקלאות, דיג קייט ונופש.

שיטות

המחקר מבוסס על יישום כלי שיט זעיר אוטונומי (ASV) Autonomous Surface Vehicle עליו מותקנים אמצעי ניטור. אמצעי אקוסטי חדשני לזיהוי פיזור מרחבי של ציאנובקטריה מהסוג מיקרוציסטיס הותאם להפעלה מסירת מחקר זעירה בשילוב עם חיישנים אופטיים לזיהוי פיגמנטים של אצות ושל ציאנובקטריה במים. סירת המחקר תוכננה בתיאום עם הצוות מיפן ויוצרה ביפן. מידע שנאסף על ידי אמצעי הניטור משמש לניתוח התהליכים במערכת ואת הסיכונים למערכת האקולוגית, ליציבותה ולעמידותה (resilience). כל זאת בעזרת כלים של בינה מלאכותית. גישה זו מאפשרת חיזוי הדינמיקה של המערכת האקוויטית בלוחות זמנים קצרים (ימים) וארוכים יותר (שבועות). יתר על כן, הכלים שהמחקר יעמיד יביאו לשיפור יכולות ניהול גופי מים על ידי שימוש במערכות תקשורת חברתיות (social networking service – SNS).

תוצאות ודיון

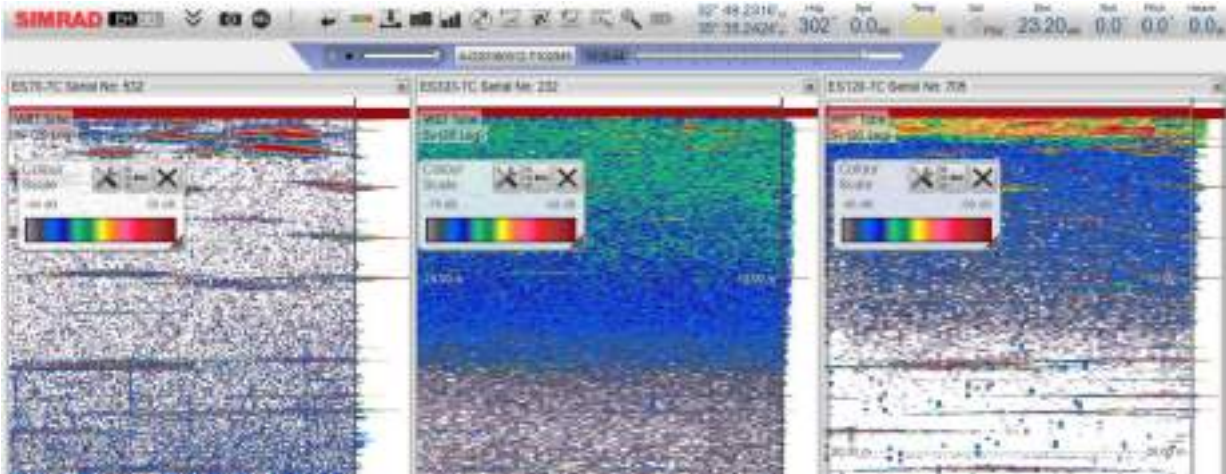
בחורף 2019, במהלך הפריחה האביבית של *Microcystis sp* בכנרת, בדקנו את הביצועים של מערכת אקוסאונדר מתקדמת המבצעת מדידה בשלושה תדרים קוליים (Simrad echosounder EK80). האקוגרמות שמוצגות באיור 88 מראות עלייה בהגברת אותות הפיזור החוזר ככל שמתקרבים לפני המים. אזור זה מאופיין בריכוז גבוה יחסית של מושבות מיקרוציסטיס. הנתונים מציגים תכונות שונות בשלושה תדרים קוליים. הרגישות הגבוהה ביותר לביומסה של מיקרוציסטיס נמצאה בתדר של 333 קילוהרץ, ואילו האות החזק ביותר מדגים מתקבל בתדר של 70 קילוהרץ.

השילוב של שלושת התדרים מאפשר לנו להבחין באורגניזמים שונים בעמודת המים ובכך לכמת בו זמנית רכיבים ביוטיים שונים באזור הפלגי של הכנרת.

במהלך שנת הפעילות ובהמשך לביקור שנערך באוניברסיטת Ritsumeikan, יפן, סוכם על



הפרטים הטכניים לבניית סירת ניטור אוטונומית SASV להפעלה בכנרת. הסירה (איור 89) נבנתה ונשלחה לישראל. הפעלת הסירה בכנרת דורשת הדרכה והכוונה של הצוות מיפן ובשלב זה היא מתעכבת בשל איסור כניסת נוסעים מיפן לישראל בעקבות התפשטות נגיף הקורונה.

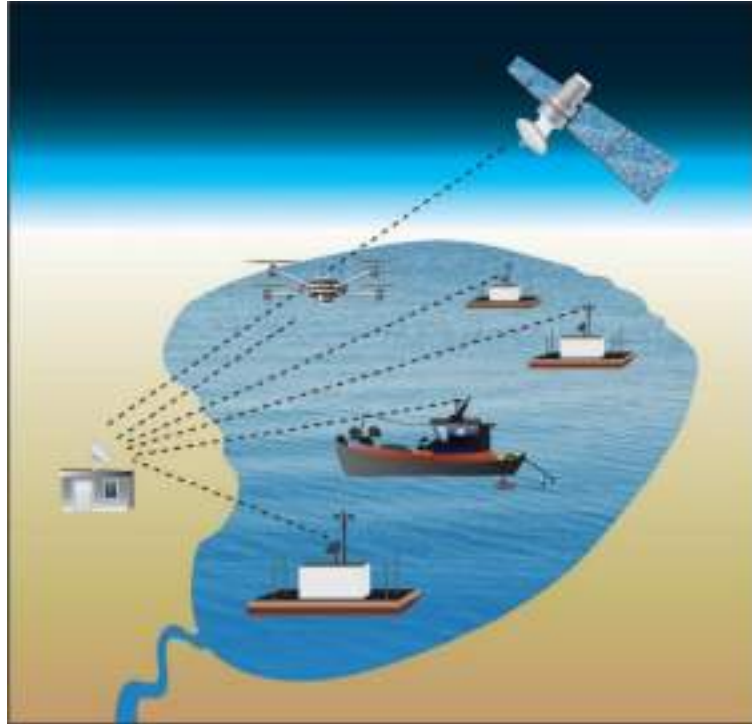


איור 88: אקוגרמות של עמודת המים בכנרת שנרשמו עם אקוסאונדר פס רחב 80EK בשלשה תדרים, 70, 333, ו 120 קילוהרץ. הנתונים נאספו במועד בו התקיימה פריחה של מיקרוציסטיס באגם. הנתונים מוצגים עד עומק של 21 מ'. האקוגרמות נאספו ועובדו ע"י היקרו הומה.



איור 89: מבט כללי על סירת הניטור האוטונומית SASV (Solar-powered Autonomous Surface Vehicle) – משמאל, שנבנתה על ידי הצוות היפני ונועדה לניטור בזמן אמת של פריחות מיקרוציסטיס בכנרת. ב- SASV מוטמעת יכולת הפעלה של אקוסאונדר ואיסוף מידע ספקטרלי מאצות וציאנובקטריה בנוסף למצלמת שטח לזיהוי משטחי צופת של מיקרוציסטיס (מימין).

3.9 חיזוי שינויים במערכות אקוטיות בתגובה לשינויים על בסיס מודלים בזמן כמעט אמת



במימון
משרד
האנרגיה
במסגרת
תכנית
JPI
water

גדעון גל, משה אסטרותי ונעם שחר בשיתוף דון פירסון (אונ' אופסלה), אלינור ג'נינגס (מכון דנדלק לטכנולוגיה), אלורה 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).

- הזמינות הגוברת של סנסורים המאפשרים מדידה בתדירות גבוהה יוצרת מאגרי מידע גדולים המצריכים פיתוח והטמעה של שיטות שינצלו מידע זה.
- הזמינות של נתונים בתדירות גבוהה ובזמן כמעט אמת מאפשרת יצירת תהליכי עבודה שכוללים כיול ואימות של מודלים בזמן אמת לצורך חיזויים קצרי טווח.
- השימוש בנתונים הנאספים בתדירות גבוהה משפר את ההבנה של תהליכים המתרחשים במערכת האקולוגית וכן את יכולת כיול המודלים.

מטרת המחקר

לפתח ולבחון כלים מבוססי מודלים המסוגלים לקלוט נתונים ממערכות מדידה אוטומטיות בזמן כמעט אמת ולתרגם אותם למידע רלוונטי עבור מנהלי משאבי המים.

רקע

משאבי המים המתוקים מספקים לחברה שורה ארוכה של שרותי מערכת אקולוגיים אבל אלו נמצאים בסכנה לאור הלחצים האנתרופוגניים והשינויים הסביבתיים המתחרשים כיום בעולם. ייצור חומרים המזיקים 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, השיכוב התרמי ועומסים של חומרים הנכנסים לאגמים. בשנים האחרונות החלו להטמיע, באירופה ובמקומות נוספים, מערכות מדידה אוטומטיות בתדירות גבוהה (לדוגמה www.netlake.org). בזכות הנתונים הנאגרים ברצף, בתדירות גבוהה ולאורך זמן, ניתן יהיה בעתיד לבחון את ההשפעה של שינויים על המערכות האקוטיות. 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 הייתה, אם כן, לפתח ולבחון כלים מבוססי מודלים המסוגלים לקלוט נתונים ממערכות מדידה אוטומטיות בזמן כמעט אמת ולתרגם אותם למידע רלוונטי עבור מנהלי משאבי המים. בשנים הראשונות של הפרויקט פותחה עבור הכנרת מערכת FABM הכוללת מודל הידרודינמי חד-מימדי, אשר הורץ עבור השנים 1997-2004. בנוסף פותח ויושם תהליך של כיול אוטומטי למודלים אשר ייושמו באגמים השונים הנכללים בפרויקט. אחת המטרות העיקריות של שנת הפרויקט האחרונה הייתה לבחון האם שימוש בנתונים בעלי תדירות גבוהה ובזמן כמעט אמת משפרים את ביצועי המודל הפיזיקלי GOTM.

שיטות

על מנת לבצע את ההשוואה בין איכות כיוול של המודל המתבסס על נתונים הנאספים בתדירות נמוכה לבין כיוול המתבסס על נתונים הנאספים בתדירות גבוהה עשינו שימוש בנתונים הנאספים כחלק בתוכנית הניטור של המעבדה לחקר הכנרת. הנתונים בתדירות נמוכה התבססו על מדידות טמפרטורה בעזרת מכשיר CTD. שימוש במכשיר זה מתבצע פעם בשבוע בתחנה A עם מדידת טמפרטורה כל מ' עד לעומק מרבי של 40 מ'. הנתונים הנמדדים ברזולוציה גבוהה כללו מדידות טמפרטורה ע"י מכשיר Manta המותקן על הפרופיילר המופעל באופן קבוע מהדוברת בתחנה 4-6, A פעמים ביום.



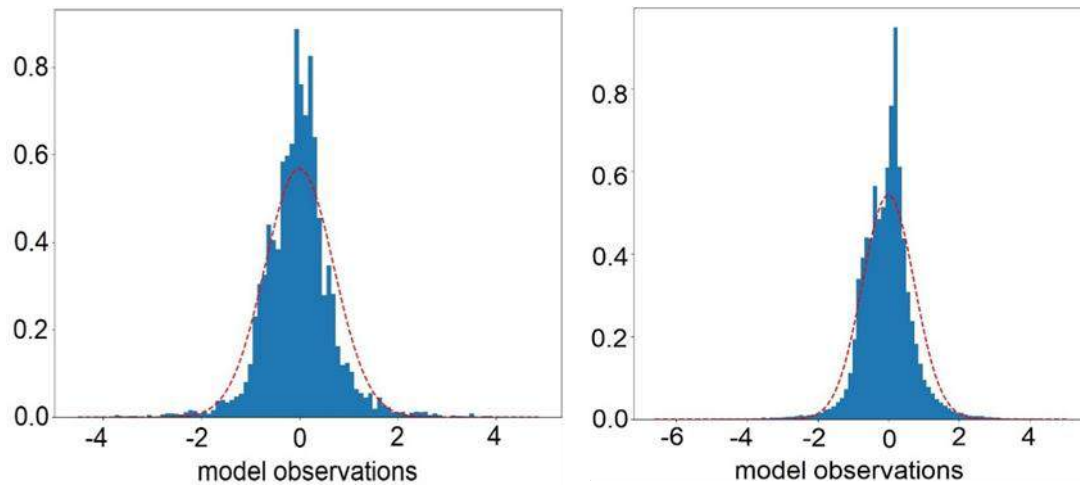
נתונים נוספים אשר שימשו לתהליך הכיול כללו נתונים בתימטריים של האגם ונתונים מטאורולוגיים (קרינה קצרת גל וארוכת גל, טמפרטורת אויר, מהירות רוח ולחות יחסית). הנתונים המטאורולוגיים נמדדו בתדירות של 10 דקות בתחנה של השרות המטאורולוגי המותקנת על הדוברה בתחנה A, אשר נתונה משודרים בזמן לשרת במעבדה לחקר הכנרת. בנוסף, נדרשו נתונים עבור היום הראשון של ההרצה אשר כללו את מפלס האגם ופרופילים התחלתיים של טמפרטורה ומליחות.

הרצנו את מודל GOTM לצורך הדמיית המבנה התרמי של עמודת המים של הכנרת עבור התקופה ינואר 2010-ספט' 2017. עשינו שימוש בכלי המובנה של המודל, המאפשר לבצע תקופת הרצה (spin-up) של המודל שלא נכללת במסגרת הכיול. תקופת ההרצה של המודל כללה תקופה של 3 שנים כך שהכיול נערך על פני התקופה ינו' 2013- ספט' 2017. צעדי הזמן של הסימולציה היו שעתיים וברזולוציה אנכית של 50 שכבות שוות עובי מפני המים ועד הקרקעית.

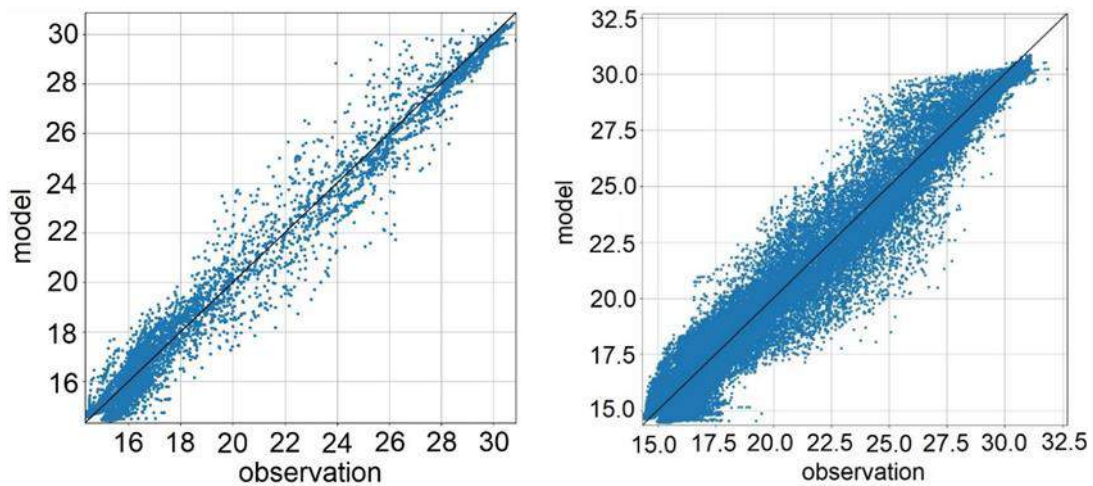
הכיול נערך בעזרת תוכנת ACPy - תוכנת כיול אוטומטית מבוססת תוכנת פייתון, אשר פותחה לכיול מודלים מהסוג של GOTM. תוכנה זו משווה בין הנתונים שנצפו בתקופה מסוימת לבין תוצאות המודל באותה תקופה. התוכנה מבצעת את הכיול ע"י הרצת 5000 חזרות (איטרציות) של המודל עם ערכים שונים של הפרמטרים בטווחים שהוגדרו מראש. תוצאות כל הרצה משוות ע"י התוכנה לערכים הנצפים של האגם באותה התקופה והתוכנה מבצעת ניתוח סטטיסטי אשר מחשב ומציג את ערך לוג הנראות (ln likelihood) של המודל. ערך זה מבטא את רמת הסבירות של אוסף נתוני המודל להיות מקריים בהינתן נתוני האגם הנצפים. במהלך ההרצות ערכי הפרמטרים מתכנסים לערכים שנותנים את ערך הנראות הגבוה ביותר, עד שמגיעים לסט הערכים המכוילים - סט הערכים של החזרה בעלת לוג הנראות הגבוה ביותר. המשתנה העיקרי שעל בסיסו נעשתה ההשוואה הסטטיסטית בין המודל לאגם, הוא טמפרטורת המים (עבור כל שכבות העומק) אם כי משתנה נוסף שהוכנס לתהליך הכיול הוא מפלס האגם. עבור כל אחד משני משתנים אלו בנפרד (פרופיל טמפרטורת האגם ומפלס המים) בוצעו חישובי גודל הטעות (RMSE + MAE), קורלציה, וסטייה כללית (Bias) בין נתוני האגם לבין המודל המכויל.

תוצאות ודין

מצאנו הבדלים בתוצאות הכיול כאשר נעשה שימוש בנתונים שבועיים לעומת שימוש בנתונים שכללו ניטור שבועי ורזולוציה גבוהה (מספר פעמים ביום). השימוש בנתונים בתדירות גבוהה גרר להתפלגות צרה יותר של ערך שארית של 0 (דהיינו, מודל-נתוני אגם) עם אחוז קטן יותר של ערכים עם ערכי שארית (מוחלטים) גבוהים (איור 90). כתוצאה, רוב ערכי המודל נפלו בסמיכות לקו יחס 1:1 של נתונים אגם ומודל (איור 91).



איור 90: התפלגות השארית בהפרשים בין תוצאות המודל לערכים מדודים ששימשו לתהליך כיוול טמפרטורת המים במודל GOTM בעזרת ה-ACPy. האיור משמאל מחושב על בסיס ערכי הניטור השבועי והאיור מימין על בסיס נתונים יומיים ממערכת הפרופיילר והניטור השבועי.



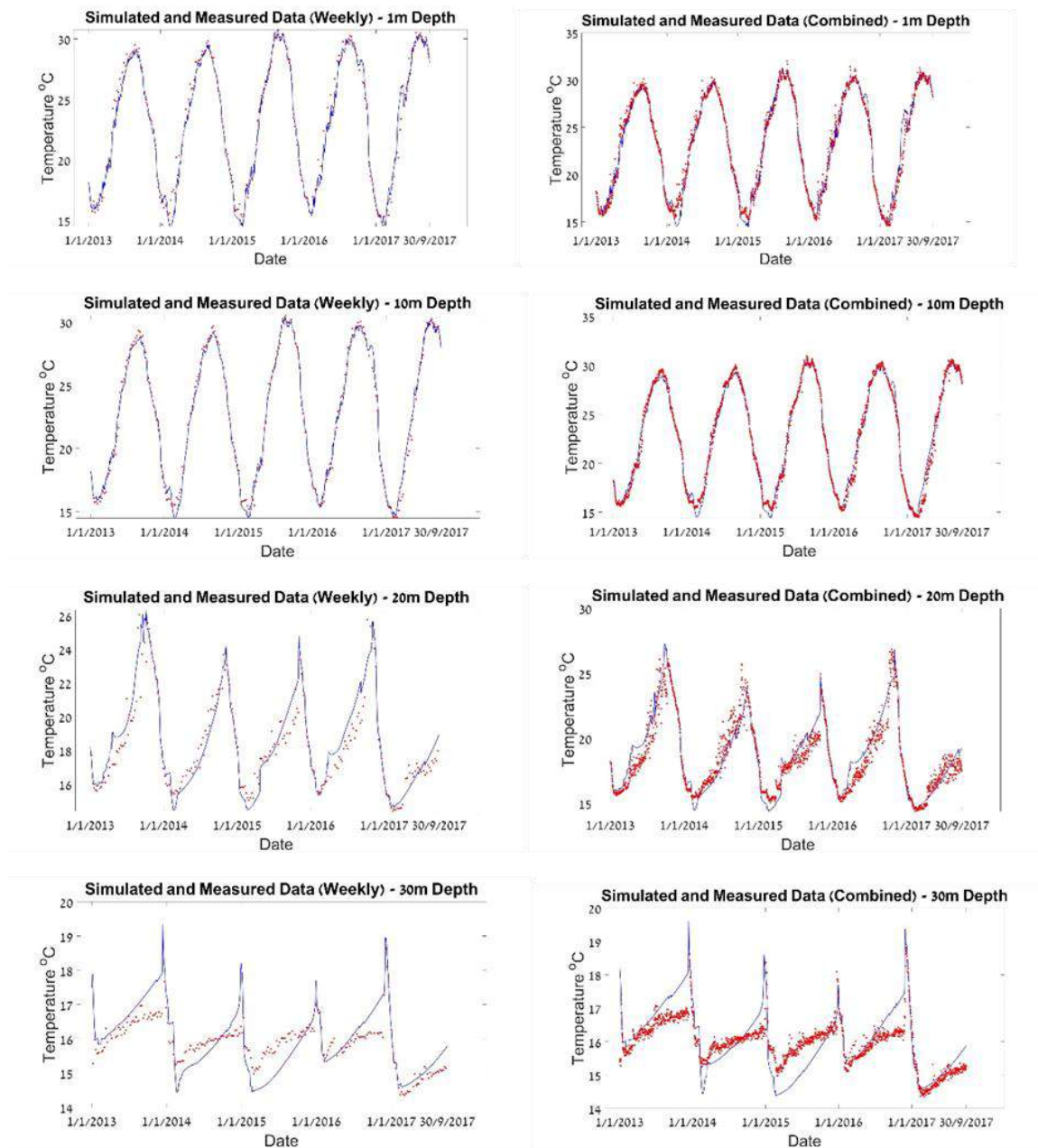
איור 91: השוואה בין תוצאות המודל והערכים המדודים שנמדדו בתדירויות שונות. האיור משמאל מחושב על בסיס ערכי הניטור השבועי והאיור מימין על בסיס נתונים יומיים וממערכת הפרופיילר והניטור השבועי. הקו האנכי מציג יחס 1:1 בין ערכי האגם והמודל.

למרות שההבדלים בין כיוול מבוסס פרופילים שבועיים לעומת כיוול מבוסס נתונים הנמדדים בתדירות גבוהה אינם גדולים כן ניתן היה לראות את התועלת בנתונים התדירים יותר. הדבר בלט בעיקר בהשוואה בעומקים הגדולים יותר (איור 92). בעומקים הרדודים, למשל, 1-10 מ', נמצאה התאמה טובה בין המודל לנתוני האגם בשימוש בשני הכיולים, ללא תלות בתדירות הנתונים. יחד עם זאת, השימוש בנתונים בעלי התדירות הגבוהה שיפר את יכולת המודל להדמות בצורה מדויקת יותר את התופעות ואת שינויי הטמפרטורה בעומקים גדולים יותר של 20-30 מ' למרות שעומקים אלו כוללים את התרמוקלינה במהלך חלק מהשנה. העלייה בשארית (ההפרש בין המודל לבין נתוני האגם) בולטת במיוחד בעומקים 15 ו-20 מ' (איור 93) שהם העומקים שבהם שווה התרמוקלינה במהלך רוב השנה ושהינה בעלת שונות גדולה בטמפרטורה על פני מרחק אנכי קטן. למרות זאת, המודל הצליח להדמות אירועים קצרים וקיצוניים (איור 92).

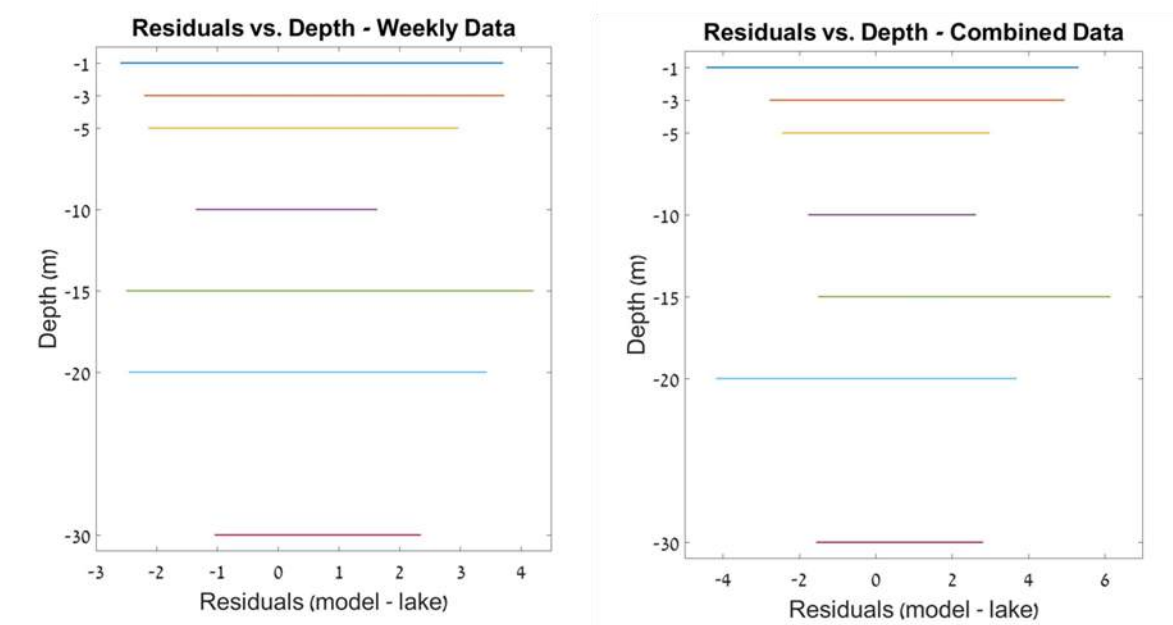
השילוב בשימוש בנתונים בעלי תדירות שונה (שבועית ומספר פעמים ביום) השפיע על תוצאות ההשוואה הסטטיסטית בין תוצאות הכיול (טבלה 14). התוצאה הבולטת הייתה הירידה בערך הנראות בניגוד למדדים סטטיסטיים אחרים שבהם השינוי היה קטן יותר. יחד עם השינויים הללו בערכי המדדים הסטטיסטיים חשוב לציין שהם אינם מצליחים לשקף בצורה טובה את היכולת של המודל להדמות בצורה טובה מאוד אירועים קצרים ובולטים בעומק עמודת המים (איור 92).

טבלה 14: סיכום תוצאות סטטיסטיות של הכיול על בסיס נתונים בתדירות נמוכה (ניטור שבועי) ושילוב של נתונים בתדירות נמוכה וגבוהה.

סוג נתונים	ערך הנראות (לוגריתמי)	קורלציה	סטיה כללית ממוצע הטעות המוחלטת (MAE)	שרש ממוצע ריבועי הטעויות (RMSE)
ניטור שבועי	-1274	0.99	-0.02	0.70
תדירות גבוהה פרופיל שבועי	-25622	0.99	-0.05	0.73



איור 92: סדרות עיתיות טמפרטורת המים המדודה והמחושבת במודל עבור עומקים 1,10,20,30 מ'. האיור משמאל מחושב על בסיס ערכי הניטור השבועי והאיור מימין על בסיס נתונים יומיים ומערכת הפרופילר והניטור השבועי.



איור 93: השארית של ערכי ההפרש (ערכים מהמודל - ערכים מדודים) בטמפרטורת המים בעומקים שונים. האיור משמאל מחושב על בסיס ערכי הניטור השבועי והאיור מימין על בסיס נתונים יומיים וממערכת הפרופיילר והניטור השבועי.

סיכום

הזמינות הגוברת של סנסורים המאפשרים מדידה של משתנים שונים בתדירות גבוהה גוררת יצירת כמויות גדולות של נתונים ומידע הפותחים בפני חוקרים ומקבלי החלטות אפשרויות חדשות. זה נכון במיוחד עבור חוקרים המשתמשים במודלים לניתוח וחיזוי של מערכות אקולוגיות. הזמינות של נתונים בתדירות גבוהה ובזמן כמעט אמת מאפשרת יצירת תהליכי עבודה שכוללים למשל כיול ואימות של מודלים עם מאגרי נתונים גדולים יותר, הטמעת אתחול אוטומטי של מודלים עם קליטה של נתונים מעודכנים ושיפור כלים המאפשרים טכניקות לימוד מכונה. ואכן, תוצאות הכיול עם הנתונים בעלי התדירות הגבוהה היו טובות יותר. התדירות הגבוהה של הנתונים מספקת אפשרויות רבות, אשר באופן תיאורטי, אמורות לאפשר לאנשי המודלים לשפר את יכולות הכיול המודלים, לא רק בגלל הכמויות הגדולות יותר של הנתונים, אלא בגלל היכולת לזהות ולבחון אירועים ותהליכים שלא נצפו בעבר, כמו גם המידע הרב יותר הקיים עבור אותם אירועים נדירים יחסית. זה נכון גם במקרה של כיול המודל בעזרת תוכנות כיול אוטומטיות כגון ACPy. יחד עם זאת, השימוש בנתונים בעלי תדירות גבוהה יותר אינו מבטיח כיול טוב או מדויק יותר של מודלים בגלל מגבלות מובנות במודלים אשר פותחו כאשר נתונים נאספו בתדירות נמוכה בלבד. בנוסף, רק בשנים האחרונות ישנם ניסיונות לפתח כלים שיבטיחו ניצול מרבי ואופטימלי של מגוון, כמות ורזולוציית הנתונים הנאספים כיום. פיתוח והטמעה של כלים אלו הינם חיוניים להבטחת ניצול מרבי של המידע הרב שאנו אוספים כיום.

3.10 שימוש בציוד אקוסטי מתקדם לזיהוי דגים והערכת ביומסה למטרת ניהול ממשק דייג אופטימלי בכנרת



במימון
משרד
המדע
והטכנולוגיה

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

- יש צורך בזיהוי מרחוק של סוגי הדגים בטכניקות אקוסטיות עבור ממשק דיג ולניהול מערכת אקולוגית.
- מטרת המחקר היא פיתוח שיטות אקוסטיות לזיהוי דגים בכנרת.
- באמצעות משרד אקוסטי רחב פס בוצע זיהוי דגים בתנאים ניסיוניים. בנוסף נאספו נתוני אמת לצורך ניתוח נוסף.

מטרת המחקר

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

רקע

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

שיטות

ניטור הדגה התבצע באמצעות מכשיר אקוסטי רחב פס המאפשר הערכת ביומסה עבור המינים העיקריים הניתנים לזיהוי אקוסטי. משדר אקוסטי רחב פס שונה ממשדרים אקוסטיים רגילים בכך שהינו משדר גלי קול על פני ספקטרום רחב של תדרים ולא בתדר אחד קבוע. הניטור האקוסטי רחב הפס מאפשר, בפעם הראשונה, הערכות ביומסה של דגים תוך הפרדה בין מינים וקבוצות דגים מסוגים שונים. שיטה זו מהווה פריצת דרך בהשוואה לשיטות קודמות אשר מספקות אומדנים של ביומסה ללא הבחנה בין מינים / קבוצות פונקציונליות.

נתונים אלה, יוכלו לשמש כבסיס למודלים הלוקחים בחשבון הן את הדגים והן את תפוצת הדגים במטרה לקדם ניהול דייג אופטימלי ובר קיימא. סדרת ניסויים נערכו בבירכות הדגים של קיבוץ גינוסר בכדי להעריך אפשרות לזיהוי מינים שונים של דגים. מדדנו את ההחזר ממטרה (דג) כפונקציה של התדר (Target Strength Frequency Response, TSFR) של 5 מיני דגים: *Oreochromis aureus*, *Tilapia zillii*, *Sarotherodon galilaeus*, *Mugil cephalus* ו *Cyprinus carpio*. נאספו נתונים אקוסטיים לגבי דגים חיים (מין אחד בכל ניסוי) שהוכנסו לכלובי רשת שקועים בבירכה. מיקמנו מתמר (משדר), המכוון כלפי מטה, בפני המים מעל למרכז הכלוב. המדידות נעשו על ידי אקוסאונדר פס רחב מדגם Simrad EK80, המצויד במתמר מפוצל אלומה ES70-7C ומאפשר איסוף נתוני אקוסטיקה בפס רחב בתחום 45 - 90 kHz. משך הפולס וקצב הפינג היו 0.512 ms ו-2.5 הרץ, בהתאמה. במהלך כל ניסוי נאספו נתונים במשך כשעה, אשר סיפקו אלפי נתונים מוקלטים. כיול האקוסאונדר נעשה על ידי כדור טונגסטן בקוטר 38.1 מילימטר. בנוסף, נאספו נתונים אקוסטיים בכנרת ב-12 למרץ 2019 על ידי אותו ציוד אקוסטי במטרה לחקור את ההחזר מהמטרות כפונקציה של התדר (TSFR) של דגים בעומקים שונים.

הניסויים באגם נערכו מהספינה "חרמונה". עיבוד הנתונים האקוסטיים והערכת עוצמת ההחזר (TS) ופונקציית התדר TS(f) נעשו בעזרת תוכנת Echoview 9. המטרות שיוחסו למסלולי הדגים הוגדרו על ידי תוכנת Echoview. מהירויות אנכיות של תנועת הדגים (positive upward) חושבו מתוך שינויי העומק של הדגים המסומנים עם הזמן. נטיית גוף הדג שימשה כמייצגת של המהירות האנכית, כאשר הדג נוטה למעלה – מהירות שחיה חיובית,

וכלפי מטה – מהירות שחיה שלילית. תגובות התדר המנורמלות NTS(f) חושבו לכלל דג על ידי שימוש ב-TS(f). הממוצע במהירות ורטיקלית אפס כבסיס לנורמליזציה. כדי להדגים את היישום של הנתונים הנאספים להבחנה בין מינים, בנינו מודלים סטטיסטיים לסיווג (מסווגים) המותאמים ל- NTS(f) המחושב, על ידי שימוש באנליזות הבחנה ריבועיות, (QDA Tharwat, 2016).

התוצאות של מבחני הסיווג הוצגו כמטריצות ערפול - *confusion matrices* - אשר מייצגות את הספירות של כל צירופי הסוגים החזויים כנגד הסוגים האמיתיים (Lever et al. 2016). כדי להעריך את תוצאות הסיווג השתמשנו באנליזות מאפייני תפעול מקלט (ROC) (Lever et al. 2016).

תוצאות ודין

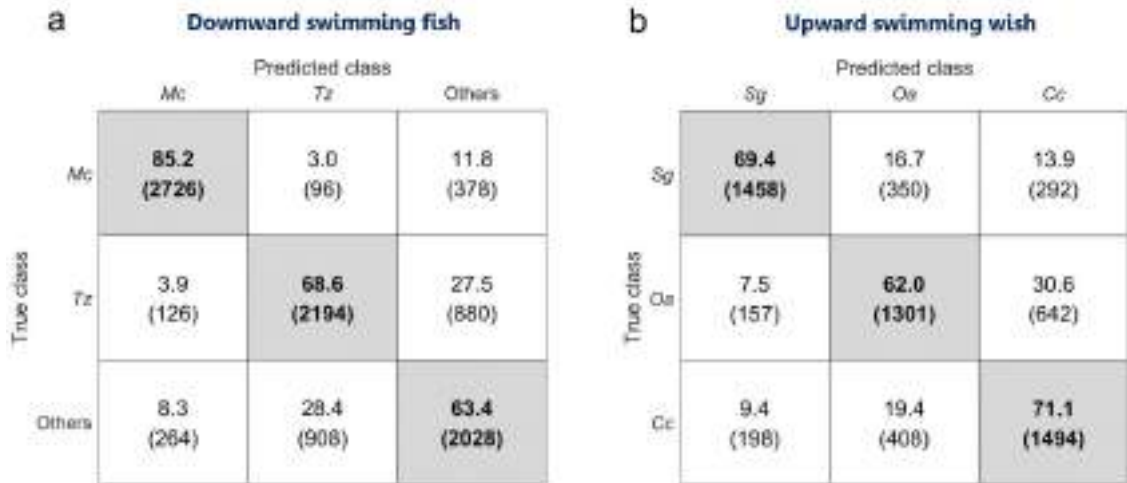
אנליזות של נתונים שנאספו על ידי אקוסאונדר פס רחב EK80 הראו שהחזר המטרות כפונקציית התדר (TSFR) של דגים נחקרים משתנה לפי נטיית הגוף. מצאנו שלמיני דגים שונים עשויה להיות תלות שונה של TSFR על כיווני הנטייה של הגוף. כיוון נטיית הגוף עשוי להיות מיוצג על ידי המהירות האנכית של תנועת הדגים. התוצאות המוצגות באיור 94a מציגות דגמי TSFR של שני מיני דגים (*Mugil cephalus* ו-*Tilapia zillii*), ולפיהן המינים נבדלים היטב זה מזה ומשלושה מיני דגים אחרים (המקובצים לקבוצה משותפת) כאשר הם שוחים כלפי מטה. שלושה מינים אחרים (*Sarotherodon galilaeus*, *Oreochromis aureus*, *Cyprinus carpio*) יכולים להיות מובדלים זה מזה כאשר הם שוחים כלפי מעלה (איור 94b). לבסוף, כל חמשת המינים נבדלים היטב על ידי דגמי ה-TSFR שלהם בניסויי הכלובים. גישה זו עשויה לשמש עבור זיהוי דגים מרחוק, על ידי ניטור הווריאציות של מהירויות השחייה האנכיות שלהם.

נתונים אקוסטיים שנאספו באגם הכנרת ב-12.3.2019 הראו שלדגים שנצפו בשכבות המים השונות היו סטים שונים של דגמי TSFR. לדוגמא, בשכבת 0-4 מטר דגמי ה-TSFR בפס 85-50 קילוהרץ היו מוטים אופקית או מוטים מטה עם שינוי תדר הקול (איור 95a). בשכבת 15-10 מטר נצפו גם דגמי TSFR מוטים או מקומרים (איור 95b).

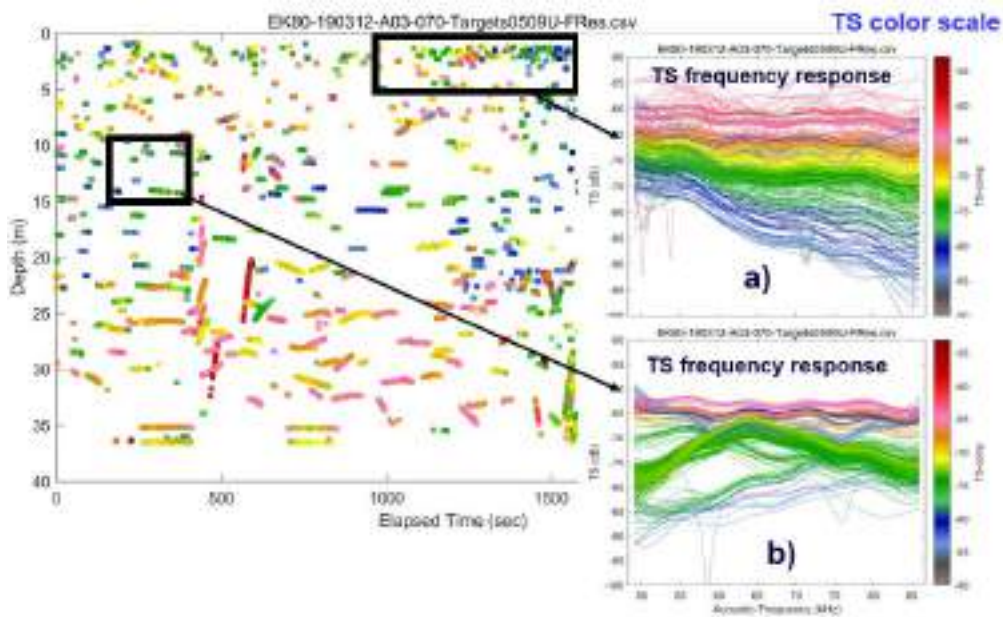
מצאנו שלדגים בעומקים קרובים יש דפוסי TSFR ברורים מאוד, בעוד שלדגים הממוקמים בעומקים שונים יש לעתים קרובות דפוסי TSFR שונים. (איור 95). זה נותן לנו אפשרות לאתר דפוסי TSFR ספציפיים למין דג מסוים.

בשנת 2019 ביצענו מדידות אקוסטיות, במקביל למדידות של דגים שנתפסו במהלך דיג מסחרי על ידי סירת הדייג עין גב. הנתונים שנאספו ינותחו בהמשך כדי להשוות TSFR של סוגי דגים הדומיננטיים עם תוצאות ניתוח של הדגים שנאספו על ידי סירה על מנת למצוא חתימות אקוסטיות (תבניות TSFR) של קבוצות דגים דומיננטיות.





איור 94 : חישובנו מטריצת ערפול (confusion matrix) לשם זיהוי דגים בניסיונות בכלובים. המספרים בתאים מבטאים את הצלחת הזיהוי (%). המספרים בסוגריים מבטאים את כל האובייקטים הממוינים (דגים). זיהוי הדגים נעשה ביחס לכיווני השחייה: (a) *Mugil cephalus* ו- *Tilapia zillii* נבדלים היטב משלושה מיני דגים אחרים (מאוחדים בקבוצה משותפת) כאשר הדגים שוחים כלפי מטה. (b) מהשני כאשר הם שוחים כלפי מעלה. *Oreochromis aureus*, *Sarotherodon galilaeus*, ו- *Cyprinus carpio* מובדלים היטב האחד



איור 95: האקוגרמה (פאנל שמאלי) הוקלטה ב-12.3.19. הפאנלים מימין מציגים דגמי TSFR של דגים המאכלסים שכבות שונות. הנתונים מציגים הבדלים גדולים ב"חתימות האקוסטיות" (דגמי TSFR) של דגים בעומקים שונים.

3.11 השפעת הצומח החופי על האקולוגיה והפיתוח התיירותי של הכנרת



במימון
הקרן
לשטחים
פתוחים

איל אופיר, גדעון גל, תמר זהרי, דייב קמינגס, עמית דולב (רט"ג), אביטל גזית (אוניברסיטת תל אביב), דנה בכר (איגוד ערים כנרת) דפנה עמר ופיראס תלחמי (רשות המים)

- בשנת 2019 התחלנו בפרויקט שמטרתו לאמוד את השפעת הצומח החופי על האקולוגיה והפיתוח התיירותי של הכנרת.
- מטרת הפרויקט היא לשפר את הידע לגבי ההשפעות ההדדיות הקיימות בין צמחייה – נופשים ורביית אמנונים.
- במסגרת הפרויקט נבדקו אתרים בעלי מאפיינים שונים, חלקם עם נוכחות של נופשים וחלקם ללא.
- בתוך האתרים יבחנו מספר חלופות לניהול ממשק הצומח.

מטרת המחקר

לבחון אפשרויות ממשק הצומח על מנת להצביע על החלופות אשר ממקסמות את התועלות הן לציבור הנופשים והן לאקולוגיה של האגם ממנה נהנים משתמשים רבים. הידע שיתגבש כתוצאה מביצוע הסקרים יוכל לשמש בתהליכי תכנון לכלל האגם.

שיטות

הפרויקט נחלק לשני חלקים מרכזיים:

- 1) ביצוע סקרי דגה באזורי נופשים (חוף צינברי) ובאזורי ביקורת (אזור המעבדה).
 - 2) גיבוש התובנות מהסקרים והרצה של תרחישי ניהול צומח במודל האקולוגי.
- לצורך ביצוע הסקרים הפעלנו מספר כלים:
1. שימוש בסונר למים רדודים לצורך ביצוע סקר אקוסטי: על מנת לאתר ולכמת דגים באזורי צמחייה ובאזורים פתוחים, הוחלט על ניסיון חדשני לבצע שימוש בסונר לאיתור דגים (מסוג Gemini 720ik) המותאם למים רדודים. סונר זה היה בשימוש קודם (על ידי חברת Hadas-aqua) בבריכות דגים שם בוצעו בעזרתו בהצלחה ספירות של כמות הדגים. פרוטוקול הניסוי הועבר לרשותנו וממנו למדנו את יכולות המכשיר. קדם לשימוש במכשיר יום הדרכה והתנסות אשר בוצע בחוף המעבדה לחקר הכנרת, היא"ל, במסגרתו מוקם המכשיר ובוצעו מערך של הקלטות באזורים פתוחים ובאזורי צמחייה. לצורך השימוש בסונר נבנתה במעבדה תושבת מיוחדת אשר מאפשרת קביעת גובה הסונר מעל פני הקרקעית, את זווית השידור ואת העומק בו הוא יונח.
 2. סקרים ויזואליים לספירת כמות הדגים: סקר ויזואלי נועד לספירת דגים הנמצאים באזור מסוים בנקודת הזמן בו הוא מבוצע. חוף צינברי נבחר כאתר המתאים לביצוע הסקרים, כחלק ממבנה החוף קיימות בו חומות מעוגלות ("ריאות") אשר מגיעות לקו המים (תמונה 1). בין החומות יש גרמי מדרגות ואזורים פתוחים המאפשרים את ירידת המתרחצים למים. החומות המעוגלות מאפשרות תצפית מגובה של כ-3 מ' על פני אזור המים הרדודים הצמוד לחומה (תמונה 2), שם צפינו בפעילות רבייה אינטנסיבית. לצורך הסקרים הוויזואליים איתרנו ארבע אתרי חומות באזורי צמחייה שונים. לפני ביצוע הסקר נמדד אורך החומה שלאורכה בוצעו ספירות של דגי האמנון שנמצאים בפעילות הקשורה לרבייה. הדגים בשלושת המטרים הקרובים ביותר לחומה ולאורך החומה כולה נספרו בשלוש חזרות, על ידי שלושה אנשים. הסופרים התקדמו לאורך החומה בזה אחר זה ובקצב קבוע תוך כדי ספירת הדגים הנצפים בעזרת מונה ידני. התוצאות שהתקבלו תורגמו לצפיפות דגים ליחידת שטח.
 3. צילומי רחפן: בוצע שימוש בצילומי רחפן כחלק מביצוע הסקרים הוויזואליים של קינון ופעילות אמנונים. כחלק מפרוטוקול הצילום הוחלט על צילום מגובה קבוע מעל פני הקרקע, שנותן תמונה בגודל 10 x 10 מ'. מלבן בגודל השטח המצולם הוגדר על ידי

תקיעה בקרקע של 4 מוטות. הרחפן שהה מעל המלבן כך שהתקבל צילום אנכי של האזור המסומן זאת לאחר זמן מספק (אחרי שהדגים חזרו לאזור) בין הנחת המוטות לביצוע הצילום. כחלק מההתארגנות לסקרים בוצע ניסוי מקדים של שימוש ברחפן בו בדקנו את השעה והזווית האופטימלית לצילום.



תמונה 1: (צילום: רחפן איגוד ערים כנרת, 21/5/2019) – צילומים של האתרים שנבחרו לסקרים ויזואליים.

4. בנוסף לסקרים אלו, ביצע פרופ' אביטל גזית סקרים וויזואליים במהלך תקופות עומס בחגים על מנת לתעד את פעילות הנופשים ולבחון את ההשפעות (באם קיימות) על המערכת האקולוגית.

5. צילום במצלמת GoPro: בכל אחד מאזורי הדיגום היוזואלי נבחרה נקודה בה הונחה מצלמת GoPro על מנת לנסות ולתעד את המתרחש. בשל עכירות המים הסתבר כי מרחק הצילום הוא קצר (פחות משני מ'), כך שלא ניתן היה להסתמך על צילום זה לצורך ניתוח כמותי.

3.12 יערות אשלים מוצפים – בית גידול חדש בכנרת



**במימון
רשות
המים**

תמר זהרי, דוד קמינגס, ירון בארי-שלוין

- צמחיית חופים סבוכה בהיקף גדול היא תופעה חדשה יחסית, מעט ידוע על תפקוד בית הגידול האקוטי שנוצר כשהצמחייה הזו מוצפת.
- מטרת המחקר הייתה אפיון ראשוני של בית הגידול של יער אשלים מוצף.
- תוצאות האנליזות הכימיות ביער האשלים בקיץ 2019 מצביעות על גוף מים ייחודי בו מצטבר חומר אורגני בריכחים גבוהים המלווה בעליית עכירות המים ובריכחי חומרי דשן גבוהים.
- מצאנו אינדיקציות ראשונות לכך שבית גידול זה מהווה "מדגרה" לאצת הפרידיניום.
- תוצאות עבודה פרלימנרית זו הובילו לכתיבת הצעת מחקר שהוגשה לרשות המים וקבלה מימון. המחקר יצא לדרך באביב 2020.

מטרות המחקר

1. אפיון ראשוני של בית גידול חדש יחסית בכנרת: יער אשלים מוצף.
2. לאסוף נתונים הקדמיים לצורך כתיבת הצעת מחקר לאפיון מעמיק ומקיף יותר של יערות אשלים מוצפים כבתי גידול.

רקע

למרות שני החורפים האחרונים הגשומים במיוחד, בממוצע כמויות המים הנכנסות לכנרת מאגן ההיקוות הולכות ופוחתות עם השנים (גבעתי וטל 2017). הגורמים לכך הם בין היתר גידול האוכלוסייה אשר בעקבותיו חלה עליה בצריכת המים בישראל ובשכנותיה מצפון, ושינויי אקלים גלובליים שגורמים להפחתה מתמשכת בכמויות המשקעים באגן ההיקוות. אילוף זה, ביחד עם היות הכנרת מקור מים עיקרי, גרמו להגדלת טווח תנודות המפלס של הכנרת, מטווח טבעי של כ-1.5 מ' בין מפלס מרבי ומזערי (טווח שתועד לפני הקמת סכר דגניה, המברייט חהרי 1995) לטווח עכשווי של כ-6 מ' בין מפלס מרבי של 208.80- מ' ("קו אדום עליון") למזערי ("הקו השחור") של 214.87- מ'. באופן טבעי, מפלס הכנרת נע במהלך השנה בין מפלס מזערי לפני תחילת עונת הגשמים (בין אוקטובר לדצמבר) למפלס מרבי לאחר סיום עונת הגשמים והפשרת השלגים בחרמון (בין מרץ למאי). מעבר לשינויים עונתיים אלו, שינויי מפלס רב-שנתיים תלויים גם בשאיבות מים מהכנרת. לכן, ברצפים של שנות בצורת מפלס המינימום ירד משנה לשנה, לעומת זאת בחורפים גשומים במיוחד (כמו חורף 1991/92, 2002/03, 2012, 2019, 2020) המפלס עלה בין 3 עד 5 מ' תוך חודשים ספורים. עקב נידול הולך וגובר זה של מפלסי הכנרת, התפתח בעשורים האחרונים בשולי הכנרת בית גידול שלא היה קיים בה בעבר: אזורים נרחבים המכוסים צמחייה חופית סבוכה, בעיקר של אשל או קנה. הצמחייה גדלה בחופים כשהם חשופים ממים במפלסים נמוכים, ואחר כך מוצפת (באופן מלא או חלקי) כשהמפלס עולה. כשאזורי צמחייה סבוכה אלו מוצפים, הם נעשים חלק מאזור הליטורל (המים הרדודים) באגם. ליטורל עמוס בצמחייה חופית סבוכה מוצפת הוא מצב חדש יחסית לכנרת, שהתפתח בהדרגה מאז שנות ה-80-90 של המאה הקודמת. הוא גם מצב שמשתנה על ציר הזמן: עם תזוזת קו המים בהתאם לשינויי המפלס העונתיים והרב שנתיים, רצועת הליטורל המכילה צמחייה מוצפת מתכווצת או מתעבה. מכיוון שצמחיית חופים סבוכה בהיקף גדול היא תופעה חדשה יחסית, ידוע מעט מאד על תפקוד בית הגידול האקוטי שנוצר כשהיא מוצפת. מתוך סקרנות יצאנו לחקור את המים שבמעמקי ג'ונגל האשלים הסבוך. אנו מדווחים כאן על התוצאות הקדמיות בלבד אשר מעידות על כך שסבך הצמחייה המוצפת ממלא תפקידים מגוונים במערכת האקולוגית של הכנרת ושחשוב ללמוד ולהכיר בית גידול זה, כדי לקבל החלטות מושכלות לגבי הממשק שלו (להשאר אותו כמו שהוא? לכסח? לעקור?).

שיטות

בחרנו שני אתרי דיגום, אחד במזרח הכנרת: יער אשלים בצד הדרומי של חוף צאלון. השני במערב: ג'ונגל אשלים סבוך שהתפתח בשנים האחרונות מול המעבדה לחקר הכנרת (איור 96) שבאתר ספיר. בכל אתר בחרנו 6 נקודות דיגום המייצגות בתי גידול שונים מבחינת סוג התשתית, עומק המים וסוג הצמחייה המוצפת (אשלים, צומח אחר, ללא צמחייה). בכל אחת מנקודות הדיגום דגמנו מים לביצוע אנליזות כימיות במעבדה, ולהסתכלות במיקרוסקופ על מגוון המינים של הפיטופלנקטון. בנוסף, בכל אתר דיגום דגמנו לאורך חתך חוצה-יער-אשלים, מקו המים לכיוון הפתוחים, במעבר צר שיצרנו על ידי גיזום ענפים (איור 97). התקדמנו רגלית לאורך החתך ועצרנו כל 5 מ' לביצוע מדידות על פרופיל עמודת המים באמצעות מכשיר דיני המכיל רגשים (סנסורים) של טמפרטורה, מוליכות חשמלית, חמצן מומס, pH, ועומק המים. במהלך יוני, יולי ואוגוסט 2019 ביצענו 5 סדרות של מדידות. בסוף אוקטובר 2019 שבנו לתצפיות (ללא מדידות) לאתר המערבי, בזמן זה רוב החתך דרך סבך האשלים היה מחוץ למים עקב ירידת המפלס.



איור 96: יער אשלים מול המעבדה לחקר הכנרת, אוגוסט 2019. צילום: תמר זהרי.



איור 97: מימין: מתווה גזום דרך יער האשלים שמול המעבדה לחקר הכנרת שלאורכו נמדדו פרופילים של טמפרטורה וחמצן מומס כל 5 מ'. משמאל: "קרחת יער" בתוך ג'ונגל האשלים שבחוף המעבדה לחקר הכנרת.

תוצאות ודין

מאפייני בית הגידול של יער אשלים מוצף שבדקנו:

עומק המים: כ-20 עד כ-60 ס"מ, תלוי במרחק מהים הפתוח.
התשתית: בחלק הקרוב ביותר לקו המים (=קו המגע מים-חוף) הקרקעית הייתה מכוסה בשכבה של חומר אורגני כהה, בעובי של ס"מ בודדים עד כ-20 ס"מ. חומר זה הצטבר שם על ידי פעילות הגלים, ועבר פירוק מיקרוביאלי במקום, פירוק שלפחות חלקו אנאירובי - כפי שהעידו ריכוזי החמצן הנמוכים (ראו בהמשך). החומר האורגני הכיל הרבה נשורת אשלים (עלווה, תפרחת, אבקה, ענפים) שמקורם מקומי, וכן כמויות גדולות של גבעולי קנה - שמקורם לא מקומי. כנראה שרוחות חזרים גרמו להצטברות של קנה שכוסח במקום אחר. עם ההתקדמות לאורך החתך לכיוון המים הפתוחים החומר האורגני נעלם והופיעה התשתית הרגילה של הכנרת: חולית או אבנית, תלוי במיקום. ביקור חוזר לאורך החתך באוקטובר, כאשר חלקו הקרוב לחוף של החתך היה כבר מחוץ למים עקב ירידת המפלס, הראה כיסוי של הקרקע בחומר אורגני גם באזורים שביוני ויולי היו חשופים מחומר אורגני. כנראה שבכל מפלס הרוחות מסיעות חומר אורגני חלקיקי צף למים הרדודים ביותר בקרבת החוף, שם הוא מצטבר, ונשאר במקום כשהמים נסוגים.

הצמחייה: הצמחייה בתוך יער האשלים הייתה עבותה והתאפיינה בדומיננטיות מוחלטת של אשלים,

שהגיעו לגובה של כ-3 מ' ויותר וצפיפות של כ-2 עצים למ"ר, כאשר הכיסוי הוא של כמעט 100% ועצמת האור שמגיעה לפני המים שמתחת לעצים היא רק 2-3% מעצמת האור מחוץ ליער. עם זאת, ב"מעמקי הגונגל", במרחק של כ-40 מ' מגבול היער מצד החוף, הגענו ל"קרחת יער" מוארת – אזור של כ-30 מ"ר ללא אשלים, שהיה מוקף אשלים מכל צדדיו (איור 97).

פרופילי טמפרטורה וחמצן מומס:

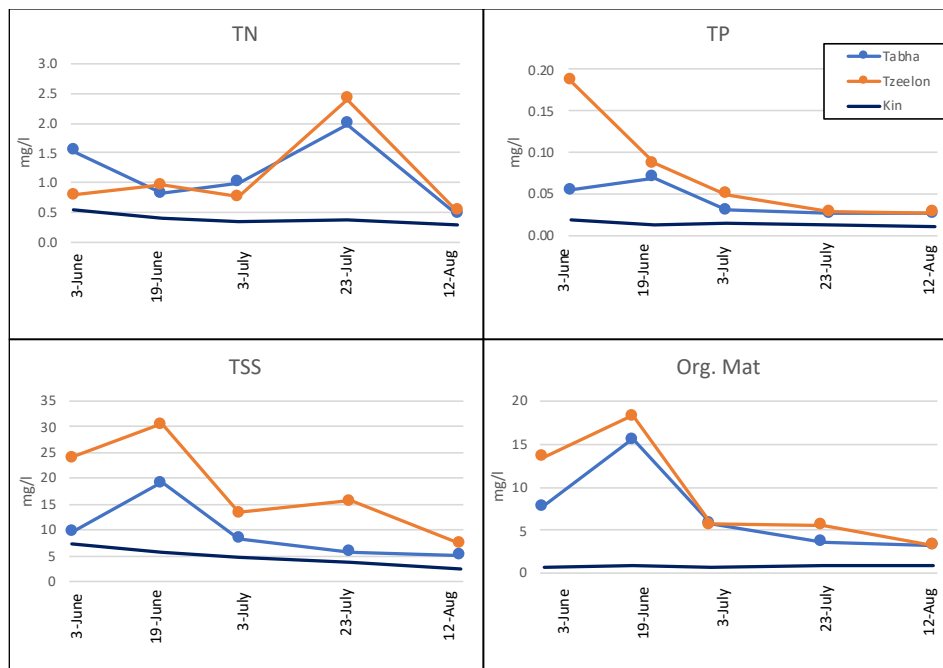
בחתך ניצב לקו המים שעבר דרך סבך האשלים מצאנו שבשעות הבוקר (זמן הדיגום) טמפרטורת המים בכל נקודת דיגום לא השתנתה עם עומק המים, אבל כן השתנתה בהדרגה עם המרחק מהמים הפתוחים, והייתה נמוכה בכ-1-2 מעלות צלסיוס בקרבת החוף יחסית למים הפתוחים. תופעה זו חזרה על עצמה בווריאציות קלות בשני אתרי הדיגום ובתאריכי הדיגום השונים. לעומת האחידות היחסית בטמפרטורה, הקטעים של הסבך בהם הקרקעית הייתה מכוסה בחומר אורגני מתפרק התאפיינו בגרדיאנטים קיצוניים של ריכוזי חמצן מומס. במקומות כאלו, המים בקרבת הקרקע היו חסרי חמצן או קרובים מאד לאנאוקסיה (עקב הפירוק המיקרוביאלי של החומר האורגני) בעוד שבפני המים מדדנו ריכוזי חמצן מעל 80% רוויה. מדובר על גרדיאנט קיצוני בעמודות מים שעומקן כ-20-30 ס"מ בלבד. בנקודות בהן הקרקעית הייתה חולית או אבנית וללא שכבת חומר אורגני, השינויים בריכוזי החמצן עם העומק היו קטנים יותר, ועל הקרקעית נרשמו ריכוזי חמצן מומס בסביבות 30-50% רוויה. גם תופעה זו חזרה על עצמה בווריאציות קלות בשני אתרי הדיגום ובתאריכי הדיגום השונים. אין זה מפתיע שהמים המוצללים בינות העצים היו קרירים במעט מהמים הפתוחים, ושההתקררות התחזקה עם המרחק מהים הפתוח. ככל שעמודת המים רדודה יותר, הטמפרטורה שלה מושפעת יותר מטמפרטורת האוויר. כמו כן, עוצמת תחלופת המים שבתוך היער עם המים שמחוצה לו פוחתת עם המרחק מהים הפתוח. תנועה מוגבלת של המים שבתוך היער ותחלופה זעומה שלהם מסבירים גם את הגרדיאנטים החריפים בריכוזי החמצן המומס שמצאנו בתוך הסבך: תהליכי הפירוק מסלקים את החמצן מהמים, ובהעדר ערבוב עם מים מחומצנים הגרדיאנט נשמר.

כימיה של המים:

המים שבסבך האשלים התאפיינו בצבע חום כהה, כמו תה, שמקורו בחומר האורגני המתפרק. מאפיינים נוספים היו עכירות גבוהה עקב כמות גדולה של חלקיקים מרחפים במים, וריכוזי חומרי דשן (חנקן זרחון) גבוהים בהרבה מאשר במים הפתוחים של הכנרת. במים שבסבך האשלים מדדנו ריכוזי חומר מוצק מרחף גבוהים בממוצע פי 2.5 עד 4.5 בהשוואה לערכים שנמדדו במים הפתוחים של הכנרת (איור 98). אחוז גבוה של חומר מרחף זה (45-70%) היה חומר אורגני, כאשר בכנרת הפתוחה רק 10-35% מהחומר המוצק המרחף היה חומר אורגני. באופן בולט ביוני, ריכוזי החומר האורגני החלקיקי במים שבסבך היה גבוה בסדר גודל מזה



שבמים הפתוחים. גם ריכוזי החנקן הכללי (חלקיקי + מומס) והזרחן הכללי היו גבוהים פי 2 עד פי 6-7 מאשר הריכוזים שנמדדו בתאריכי הדיגום השונים במים הפתוחים של הכנרת (איור 98). ניתן לשער כי החומר האורגני הרב באזורי סבך האשלים מתפרק עם הזמן ותוצריו מומסים אל המים המקומיים כאשר זרחן, שהינו בד"כ הגורם המגביל להתפתחות יצרנים ראשוניים במערכת נצרך ע"י פיטופלנקטון וצמחיה אחרת בסבך ובסביבתו מהר יותר מאשר צורוני החנקן. תחלופה מוגבלת של המים ביער האשלים בחלק הרחוק מהמים הפתוחים עם מי הכנרת הפתוחה עשויה להסביר את מגמות השינוי של צורונים כימיים בנפרד מתהליכים בכנרת הפתוחה.



איור 98: ריכוזי חנקן כללי (TN), זרחן כלי (TN), סך מוצקים מרחפים (TSS) וחומר אורגני חלקיקי (Org Mat) בגוף המים של סבך האשלים בחופי טבחה (Tabha) וצאלון (Tzeelon) יוני-יולי ותחילת אוגוסט 2019. הריכוזים המוצגים הם ממוצעים של ערכים שנמדדו ב-4 נקודות דיגום בכל אתר בכל תאריך. לשם השוואה מוצגים גם הריכוזים שנמדדו במקביל בשכבת המים הרדודה במרכז הכנרת (Kin).

מיקרו-אצות:

באופן מפתיע, ביוני 2019 בג'ונגל האשלים שמול המעבדה לחקר הכנרת מצאנו ריכוזים גבוהים מאד (מאות תאים למ"ל) של אצת הפרידיניום. בתחנה A שבמרכז האגם נרשמו באותו הזמן רק תאים בודדים למ"ל של אצה זו. בנקודות הדיגום ביער האשלים בהן מצאנו ריכוזים גבוהים של פרידיניום נמדדו גם ריכוזי כלורופיל גבוהים פי 5 מאלו שבמרכז האגם. הפרידיניום מהווה מזון מועדף לאמנונים. בעוד שבעבר פרידיניום פרחה בכנרת כל שנה באביב, מאז אמצע שנות ה-90 היא לא הגיעה לממדי פריחה ברוב השנים, ובהעדרה מתעצמות פריחות של אצות כחוליות רעילות כמו מיקרוציסטיס ואפניזומנון.

אסף סוקניק העלה בעבר השערה שלגונות הבטיחה מהוות "מדגרה" לפרידיניום. הממצא מסבך האשלים נותן אישור ראשוני להשערה מסוג זה. כמו מינים אחרים מקבוצת הדינופלגלטים, הפרידיניום יכולה לנצל חומר אורגני מומס במים לשם גידול (בעוד שרוב מיני המיקרו אצות בכנרת לא יכולות לעשות זאת), ויש לה יתרון במקומות בהם מצטבר חומר אורגני.

בחוף צאלון ראינו שהרכב מיני הפיטופלנקטון בחלק מהדוגמאות היה שונה לגמרי מההרכב במי הכנרת הפתוחים במרחק של עשרות מטרים בודדים, מה שמעיד על תנאי סביבה שונים לגמרי ומרמז על שחלוף מים איטי ולא מלא.

דגים וחסרי חוליות:

בעוד המדידות שלנו לא כללו דגים וחסרי חוליות, חיפשנו אותם בתוך סבך האשלים. באשר לדגים - ראינו בעיקר אמנונים (מינים שונים) בוגרים וצעירים, גמבחיות, ושפמנונים. בפרט ראינו אותם ב"קרחות יער" (איור 97). לא ברור אם זה בגלל שקל יותר לראות אותם שם בגלל תנאי תאורה טובים יותר, או בגלל שבאמת שם היו יותר דגים מאשר בסבך הצפוף. בקרחת היער ראינו דגיגי אמנון מלחכים גבעולי צמחים ואוכלים את המעטה האורגני (מיקרואצות, חיידקים, פרוטוזואה, פטריות ודטריטוס) הצמוד לגבעולים ולעלים שבמים. באשר לחסרי חוליות – התמקדנו בחלזונות. באופן בולט ראינו בסבך האשלים את המינים הטבעיים לכנרת (שחרי, סהרונית) שהופיעו על אבנים או טיפסו על גבעולי צמחים. החילזון הפולש שהשתלט על הכנרת (*Thiara scabra*) כמעט ולא נראה בסבך.

לסיכום

תוצאות האנליזות הכימיות ביער האשלים בקיץ 2019 מצביעות על גוף מים ייחודי בשולי האגם בו מצטבר חומר אורגני בריכזים גבוהים ובו מתרחשים תהליכי פירוק אינטנסיביים של חומר אורגני זה, המלווים בעליית עכירות המים ובריכזי חומרי דשן גבוהים לאורך זמן. מקור החומר האורגני מקומי (נשורת מעצי האשלים) אך לא רק, חלקו מוסע ממקומות אחרים ומצטבר בינות האשלים שם הוא מוגן מפעולת הגלים. פירוק החומר האורגני משחרר לגוף המים חומרי דשן, חומרים אורגניים מומסים, חלקיקים ועוד. חלק מחומרי הדשן כנראה נצרך מקומית על ידי פיטופלנקטון וחיידקים, היתר כנראה מגיע לים הפתוח ומדשן את הכנרת כולה.

תהליך פירוק החומר האורגני המרוכז יחד עם קצבי תחלופה נמוכים של המים שבסבך מתבטאים בתת רוויה של חמצן מומס במים, עם ריכזי חמצן השואפים לאפס בקרבת הקרקע. עמודת מים רדודה אך משוכבת זו מאפשרת חיים ותנועה של דגים ב- 20-30 הס"מ העליונים. מבין מיני הדגים בכנרת האמנונים והשפמנונים עמידים יחסית לריכזי חמצן נמוכים ואכן אלו המינים שראינו בסבך.

הממצא המעניין ביותר עד כה היה של הריכוזים הגבוהים של אצת הפרידיניום ביער האשלים שבאתר ספיר. עד אמצע שנות התשעים של המאה שעברה אצת הפרידיניום פרחה כל שנה באביב. מאז, רוב השנים הפרידיניום לא מפתחת פריחות ובמקומה פורחות אצות כחוליות רעילות שפוגעות באיכות המים. אם אכן יערות האשלים משמשים כ"מדגרה" לפרידיניום, הרי שזה תפקיד חשוב ביותר, שכן נוכחות פרידיניום עדיפה לאין שיעור על אצות כחוליות שמייצרות רעלנים. בנוסף, אצת הפרידיניום משמשת מזון מועדף לאמנונים (Spataru 1976), (Zohary et al 1994), וסביר שנוכחות מוגברת שלה ביער האשלים מהווה מוקד משיכה לאמנונים. כדי לברר אם תופעת המדגרה לפרידיניום לא הייתה נקודתית - יש לדגום באביב ביערות אשלים מוצפים במקומות רבים סביב הכנרת. מתבקש לבחון באופן כמותי גם נוכחות זואופלנקטון, חסרי חוליות, דגים ודגיגים. תוצאות עבודה הקדמית זו שמשו כרקע להצעת מחקר שמטרתה לחקור את בית הגידול של יערות אשלים מוצפים, על היבטיו הפיזיקליים, הכימיים והביולוגיים. ההצעה הוגשה לרשות המים וקיבלה מימון, המחקר החל באביב 2020.

ספרות מצוטטת:

גבעתי ע' וטל ע'. 2017. המצב ההידרולוגי באגן הכנרת: מגמות נצפות וחזויות על בסיס מודלים הידרו-אקלימיים. אקולוגיה וסביבה 8: 12 – 19.

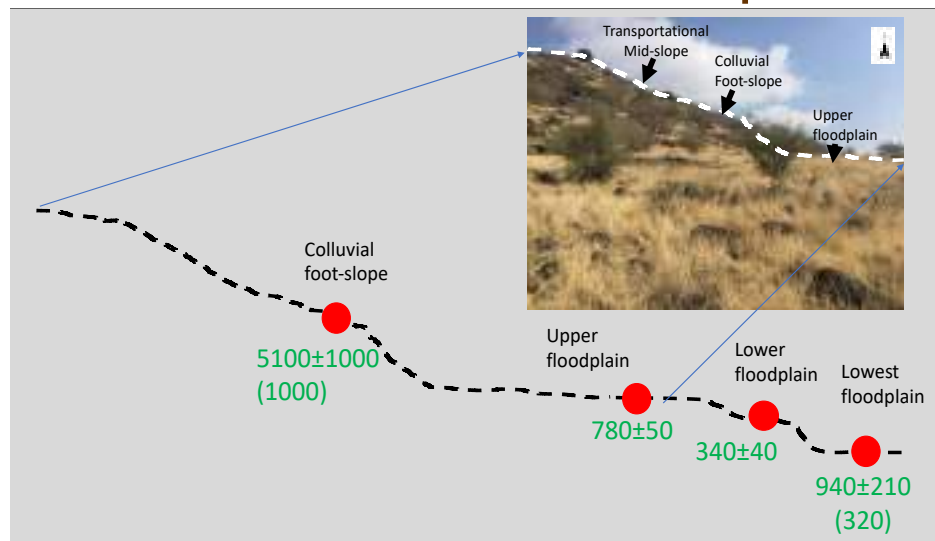
המברייט ד' זהרי ת'. 1995. ההיסטוריה של שינויי המפלס בכנרת. אקולוגיה וסביבה 2: 97 – 100.

Spataru, P. (1976). The feeding habits of *Tilapia galilea* Artedi in Lake Kinneret (Israel). Aquaculture 9: 47-59.

Zohary, T., Erez, J., Gophen, M., Berman-Frank, I., Stiller, M. (1994). Seasonality of stable carbon isotopes within Lake Kinneret food web. Limnol. Oceanogr. 39: 1030-1043.

4 מחקרי אגן ההיקוות של הכנרת וגופי מים אחרים

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



במימון
משרד
המדע

ירון בארי-שלוין, שולמית נוסבוים, רותם רטשטיין
(אוניברסיטת חיפה)

- מידול ריכוז צורונים גיאוכימיים במוצא הנחלים הראה את חשיבות חלוקת העונה הרטובה לתת שלבים.
- קצבי בליה מחושבים לאגן המשושים מאנליזות ^{36}Cl בתחום 1-130 מ"מ /אלף שנה.
- פרופילי $^{210}\text{Pb}_{\text{excess}}$ מעידים כי מדרונות וטרסות הנחל מהווים אתרי אחסון זמניים חשובים באגן.
- החלק העליון של פרופילי $^{210}\text{Pb}_{\text{excess}}$ מעיד על מעבר מהצטברות לבלייה כנראה בהקשר למעבר לתנודת מפלסים גדולה ב- 30 השנים האחרונות באגם.

מטרת המחקר

במחקר שני חלקים. מטרת החלק הראשון – מידול מומסים ומרחפים בנחלי בקעת בית ציידא, בצפון הכנרת. מטרת החלק השני – הערכת בליה והסעת סדימנטים באגן המשושים.

שיטות

מידול מרחפים ומומסים בנחלי בקעת בית ציידא

העבודה כללה השוואת נתוני ספיקה (שירות הידרולוגי) וריכזי גיאוכימיה (מקורות) לאורך השנים, אשר מהווים את בסיסי הנתונים עבור הניטור השוטף של נחלי בקעת בית ציידא. דיגום השלמה בחורפים 2017-2019 התמקד בדיגום מפורט של אירועי גשם ושיטפונות לאנליזות גיאוכימיה. בנוסף, הוצבו מספר תחנות מדידת רטיבות קרקע (10, 30, 50 ס"מ) באתרים שונים באגן המשושים. מודל קונספטואלי אשר נבנה לאגן המשושים היווה את הבסיס ליצירת סטים של משוואות נומריות המתארות את התפתחות הגיאוכימיה במוצא הנחלים עם התפתחות העונה הרטובה.

בליה והסעת סדימנטים באגן המשושים

בחלק זה של המחקר השתמשנו במספר שיטות וסמנים איזוטופים. דוגמאות מעומק 40-60 ס"מ של פשטי נחלים ממספר אתרים תוארכו בשיטת OSL בשיטות סטנדרטיות במכון הגיאולוגי. שפכי בזלות in-situ וכן סדימנטים ממדרונות ופשטי נחלים נדגמו לאנליזות- ^{36}Cl אשר בוצעו במאיץ החלקיקים ב-Cerege, צרפת. מספר פרופילי קרקע רדודים (עד 40 ס"מ) נדגמו ממדרונות פשטי נחלים ומישור מעל הערוץ בכדי לאפיין את פרופיל ה- $^{210}\text{Pb}_{\text{excess}}$ עם העומק. הפרופילים נחתכו לפרוסות של כ- 2 ס"מ והדוגמאות עברו אנליזה באוניברסיטת חיפה.

תוצאות ודין

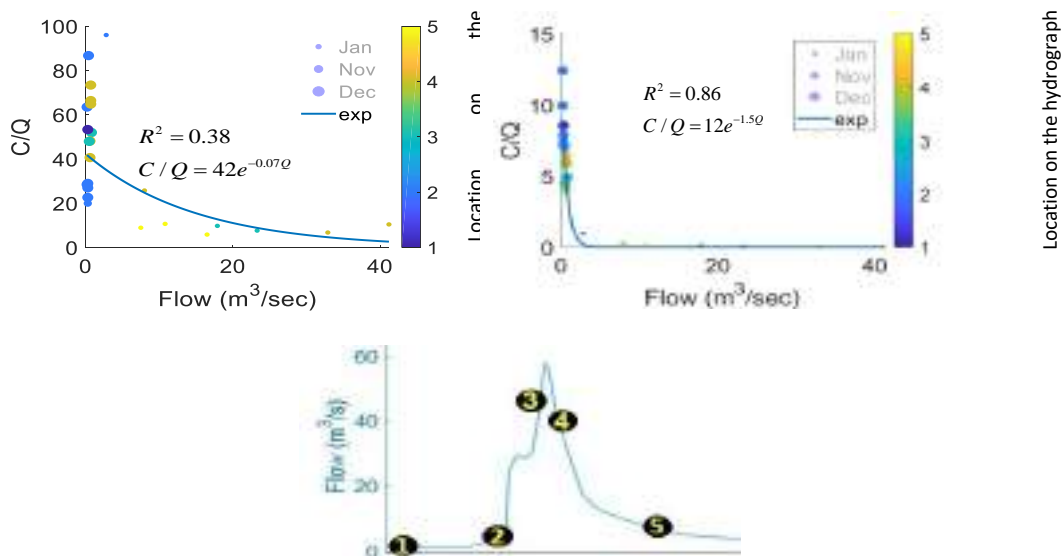
מידול מרחפים ומומסים בנחלי בקעת בית ציידא

מידול ריכז צורונים גיאוכימיים במוצא הנחלים הראה את חשיבות חלוקת העונה הרטובה (סתיו- חורף-תחילת אביב) לתת שלבים. שלב 1 – תקופת היובש אשר מהווה המשך של תקופת הקיץ אל תוך הסתיו. בשלב זה הספיקות נמוכות ויחסית קבועות וריכז הצורונים הגיאוכימיים די קבוע. שלב 2- תקופת הרטבה. זהו השלב מתחילת הגשמים הראשונים ועד השלב בו מתחילים השיטפונות. שלב זה מאופיין בגשמים ללא עליות משמעותיות בספיקות בנחל שכן בשלב זה מתרחשים תהליכי הרטבת קרקע והיא עדיין אינה רוויה. ריכזי הצורונים הגיאוכימיים לעומת זאת עשויים להשתנות בצורה חזקה בשלב זה. שלב 3- תקופת השיטפונות, מאופיין בעליות גדולות בספיקת הנחלים עם כל אירוע גשם. בתקופה זו הקרקע רוויה ועל כן מאפשרת זרימת נגר עלילי לנחל.

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

איור 99 מציג יחסי ריכוז לספיקה (C/Q) עבור שני צורונים: ניטרט וכלל מוצקים מרחפים

(TSS) המייצגים שתי קבוצות צורונים גיאוכימיים על פי ההתנהגות בשלב 3- תקופת השיטפונות. קבוצת הניטראט המכילה את צורוני החנקן, הכלוריד, מוליכות חשמלית קלציום ואלקליניות מראה ירידה בריכוז עם המעבר לשלב 3. קבוצת ה-TSS המכילה את ה-TSS וכן את צורוני הזרחן מאופיינת לעומת זאת בעליית ריכוזים עם המעבר לשלב 3. עבור קבוצת הניטראט ניתן להתאים קו אקספוננציאלי המתאר את הדעיכה לאורך של התקופה הרטובה. לעומת זאת, עבור קבוצת ה-TSS מתקבלים שני מקבצים שונים המתאימים לשלב 2 ולשלב 3 בנפרד. המודל הקונספטואלי שפותח במסגרת המחקר מתייחס לנתיבי זרימה שונים (נגר עלי, זרימת בסיס זרימה בתווך הקרקע). בשלב 2 – תקופת ההרטבה, ובשלב 3 – תקופת השיטפונות, מתקיימים תהליכים שונים של זרימה בקרקע (חידור כלפי מטה זרימה מועדפת בהתאמה). אלו משפיעים על שינוי הספיקה במוצא הנחל ועל ריכוזי מרכיבים גיאוכימיים שונים (ובהתאמה על יחסי C/Q) בשלבי התקופה הרטובה.



איור 99: גרפים של יחסי ריכוז (מ"ג/ל)-ספיקה (מ"ק/שניה)(C/Q) כנגד הספיקה (גרפים עליונים) עבור TSS (משמאל) וניטרט (מימין) בנחל משושים, חורף 2019. ניתן לראות כי יחסי C/Q גבוהים מאפיינים את שלב 2 (עיגולים גדולים, נובמבר-דצמבר). מאוחר יותר בשלב 3 יחסי C/Q קטנים יותר (עיגולים קטנים, ינואר). עבור הניטראט קו אקספוננציאלי מתאר את הדעיכה של C/Q ברציפות לאורך כל העונה. עבור TSS יש שני מקבצים שונים עבור שני השלבים. 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. השלבים השונים מיוצגים בצבעים המתאימים לציר האנכי הימני בשני גרפים העליונים.

בליה והסעת סדימנטים באגן המשושים

בחלק זה של המחקר עסקנו בקצבי בליה באגן המשושים, ובהסעה ואגירה זמנית של סדימנטים. המחקר מציג מיפוי וחלוקה מחדשת של אגן המשושים לארבעה חלקים על בסיס שינויים בשיפועי מדרונות והערוץ עם אפשרות לתת חלוקה נוספת המבדילה את ערוץ הזויתן לחלק חמישי. החלוקה וכן מיפוי של שני חתכי מחקר מייצגים במשושים התיכון והמשושים התחתון היוו את הבסיס לדיגום עבור תיארוכי OSL, פרופילי $^{210}\text{Pb}_{\text{excess}}$ ודוגמאות ^{36}Cl . תיארוכי OSL של פשטי נחלים בשני חתכי המחקר מראים על פעילות צעירה יחסית של היווצרות טרסות נחל המייצגות פשטי נחל נטושים. למרות שישנן עדויות לטרסה עליונה בת כ- 4000 שנה, רב הפשטים התחתונים נעים בתחום מספר מאות שנים בין כ- 800 ל- 320 שנה לפני 2019. פשט הנחל הרחב של בקעת בית ציידא תוארך לגיל צעיר יותר של כ- 170 שנה לפני 2019.

טווח קצבי הבליה לשפכי בזלות אשר חושבו לפי מדידות ^{36}Cl נרחב מאד 1-130 מ"מ/אלף שנה, עם ממוצע של 49 ± 47 מ"מ/אלף שנה. קצב בליה ארוך טווח זה מיתרגם להסרה של כ- $4 \cdot 10^3$ מ"מ³/שנה שווה ערך לכ- $2.16 \cdot 10^4$ טון / שנה מאגן המשושים. קישוריות סדימנטים כפי שמתבטאת מערכי ^{36}Cl בסדימנטים של פני שטח מראה כי עבור קלסטרים במדרונות ישנו דומיננטיות של תרומה מבזלות המתבלות בקצבים בטווח האיטי מאד. דוגמאות מפני שטח של טרסות נחל (פשטי נחל נטושים) מתחלקות לקלסטרים ולדוגמאות חומר דק. טווח קצבי בליה גבוהים מאלו של המדרונות וערכי הבליה המחושבים עבור דוגמאות חומר דק גבוה מזה של הקלסטרים. כמו כן, ישנה עליה בערכים עם המעבר ממעלה האגן למורד עד לבקעת בית ציידא. הקלסטרים בפני השטח של טרסות הנחל נותנים ערכים הדומים יותר לממוצע הבזלות המתבלות באגן. התאמה זו מעידה כי חומר זה בטרסות הנחל מייצג בצורה טובה תרומה אגנית רחבה – כולל תרומה ארוכת טווח של בזלות בעלות ערכי קצבי בליה גבוהים. הסדימנטים הדקים כאמור נותנים ערכים גבוהים אף יותר. אחד ההסברים לסטייה זו עשוי להיות תרומה של אבק אלוכטוני ממקור אטמוספרי כפי שתועדה לאזור. תוצאות פרופילי $^{210}\text{Pb}_{\text{excess}}$ מצביעות על שתי תופעות חשובות בהקשר של מוביליות קרקעות בשולי הערוץ של אגן המשושים: (א) מדרונות וטרסות נחל מהווים אתרים חשובים לאורך זמן עבור אחסון זמני של חומר דק המתבלה באגן. קרוב ל-20% מהבליה השנתית המחושבת לאורך זמן מצטברת באתרים אלו. (ב) רב האתרים מראים שינוי בחלק העליון ביותר והצעיר ביותר של פרופיל הקרקע המעיד על מעבר מהצטברות לבליה והסרת חומר דק כך שהפרופיל אינו בשיווי משקל. תופעה המהווה כ- 16% מפרופיל הצטברות זו צעירה בהרבה מטווח הזמן שמייצג פרופיל בשיווי משקל (כ-100 שנה), והיא כנראה קשורה למעבר לתנודת מפלסים גדולה (כולל ירידה למפלסי מינימום נמוכים מאד) ב- 30 השנים האחרונות. זוהי עדות כי שינוי מפלס בבסיס האגן מתבטאת לא רק בהתחזרות חזקה בתוך הערוץ אלא משפיעה באופן נרחב הרבה יותר על הדינמיקה של הסעת סדימנטים באגן כולו.

4.2 בחינה והמלצה למתכונת לניטור נחל הירקון



מימון
משותף
של
רשות
הירקון
וחיא"ל

עמי נשרי (רכז הפרויקט), ניר קורן, בני סולימני, מיקי שליכטר, אדית ליבוביץ, דיתי ויינר-מוציני, ריקי פנקס, חמי רושנסקי, אלה אלסטר, שירה ניניו, פלג אסטרחן, ירון בארי-שליון, גדעון גל, דוד פרגמנט (רשות הירקון), יוני רז (רשות הירקון)

- האסטואר של הירקון משוכב צפיפיות : שכבתו התחתונה מורכבת בעיקר מי ים ואילו העליונה מורכבת תערובת של מים "מתוקים" (כ-70%) מהמעלה עם מי ים.
- מי הים חודרים לשכבה התחתונה של האסטואר לטרלית, בעיקר כתוצאה מגאוויות ובהמשך הם עולים לפני האסטואר כתוצאה מערבוב אנכי קל.
- השכבה העליונה הפחות צפופה של האסטואר מוסעת לטרלית מערבה וכך מוחזרת המליחות לים. מי הים הם ספק חמצן עיקרי לאסטואר זמן השעות שלהם בו הוא כיומיים.
- קיום מצבים של היפוקסיה-אנוקסיה בעיקר בקרקעית מזרח האסטואר, מעיד על עומס לוקלי גדול של חומרים אורגניים פריקים בד בבד עם מגבלות לאינטרזיה הטרלית של מי הים.

מטרת הפרויקט

קביעת מתכונת הניטור הרצויה (קביעת הפרמטרים, תדירות, מיקום התחנות) והמומלצת לנחל הירקון זאת לאחר לימוד התהליכים האופייניים בו.

שיטות

במסגרת פרויקט זה, דגמנו את נחל הירקון לאורכו לצורך קביעת ריכוזי פרמטרים שונים המאפיינים איכויות מים, וכמו כן, לפרמטרים כימיים כלליים שמעידים על מקורות המים. בנוסף, נבדקה פעילות אינדיקטורים לחיידקים צואתיים ובמספר תחנות נדגמה הקרקעית לצורך קביעת הרכב התרכובות האורגניות הקיימות בה. עיקר המאמץ התמקד בדיגום פרופילים אנכיים של מליחות, חמצן, טמפרטורה ו-pH, במספר רב של תחנות, בעיקר באסטואר. דיגום זה בוצע באמצעות מיקבץ של סנסורים "אלקטרוניים" שמאוגד במכשיר מסוג MANTA. בין אוקטובר 2017 לבין ספטמבר 2018 בוצעו כ-8 דיגומים.

תוצאות ודיון

הניטור השגרתי נערך ע"י רשות הירקון במטרה לקבל תמונה עדכנית של איכות המים בנחל.

קביעת מיקום תחנות הניטור במעלה הנחל היא די טריוויאלית מכיוון שמודל הזרימה במעלה הוא של זרימה בתעלה ומיקום התחנות שנקבע בחלק זה של הנחל הוא בקצה כל קטע שתורם מים באיכות שונה. לדוגמה, תחנת הדיגום בנווה ירק משקפת את תרומות המים מהחלק ה"נקי-מתוק" של הנחל במזרח. מאידך, לתחנת 7 הטחנות (מעל למפל) אשר ממוקמת בקצה המזרחי של המקטע "המזהם" של הנחל (שמצוי במרכזו הגאוגרפי), מצטרפים ניקוזי קולחים בדרגות טיפול שונות. אי לכך, תחנת דיגום זו מייצגת את האפקט המצטבר של תרומות מי מעלה הנחל, טרם כניסתם לאסטואר. האסטואר הוא חלקו המערבי (המורכב יותר פיזיקלית) של הנחל. במקורות המים ה"מתוקים" אליו נכללים גם מי נחל איילון ובתקופות גשומות גם ניקוזי כבישים (סה"כ כ-95,000 קו"ב ליממה).

מקור מים מרכזי נוסף וייחודי לאסטואר הוא הים, שמימיו רוויי חמצן ולכן הוא מהווה מקור עיקרי לחמצן במערכת זו. המקור המידי של מי הים הנכנסים וה"מבלע" של המים ה"סמי-מתוקים" המצויים בפני האסטואר הוא מפרצון שמצוי בינו לבין הים התיכון, בין גשר ווקוף לקו משברי הגלים. מפרצון זה מכיל בעיקר מי ים חמים יחסית שמנוקזים כ"מי קירור מתחנת הכוח" ברידינג. מי הים חודרים לאסטואר באמצעות מהלכי גאות ובכניסות גלים. תודות לצפיפות הגבוהה שלהם, מי הים (SW) שבאים מהמערב נעים בחלקים היותר עמוקים של עמודת המים האסטוארית. את מהלכי הגאות מאפיינים אינטרזיות אופקיות של מי ים חמימים בקרבת הקרקעית של האסטואר והשפעתם מובחנת עד לקצהו המזרחי

(מרחק של 4.3 ק"מ). מאידך, גלי הים החמימים חודרים לאמצע עמודת המים האסטוארית מכיוון שהם צפופים פחות ועשויים מתערובות של מי שטח המוסעים מערבה מהאסטואר פלוס מי קירור עמוקים ימיים.

באופן כללי, בתוך האסטואר ניתן להשתמש בעוקבים התרמיים שמקורם במפרצון, בעיקר כאשר הם משולבים עם סיגנל מליחות (=מוליכות חשמלית) רלוונטי. לא כך הדבר ביחס לחומרים לא קונסרבטיביים כגון תכולת חמצן, המתכלים בדרכם מזרחה. להוציא את התקופות הגשומות, האסטואר משוכב צפיפות, כאשר חלקו העמוק עשוי בעיקר מי ים, ואילו השכבה העליונה מורכבת בעיקר ממי מעלה "מתוקים". פרופילי המליחות שנוצרים נשארים דומים במרבית השנה כך שניתן להתייחס אליהם כמצב תמידי (steady state). בתוך האסטואר מתחולל ערבוב אנכי מתון בין סוגי מים אלו. ערבוב זה אחראי לכך שמי ים שמלכתחילה מוקמו בעומק עמודת המים, מוסעים לפני האסטואר בשטף שהוא אקוילנטי לספיקה היומית של מי הים אל תוך האסטואר. מסיבות פיזיקליות שכבת המים הסמי-מתוקה שבפני האסטואר היא זו שמוסעת מערבה לכיוון הים ומהווה את ה-carrier של המליחות שהועברה אליה באמצעות הערבול האנכי המתון הפנים אסטוארי בחזרה לים.

אנו מעריכים כי כ-40,000 קו"ב מי ים נכנסים מהים לאסטואר מידי יום ושזוהי גם ספיקת היציאה של המים המלוחים לים באמצעות הסעה של השכבה העליונה. בגלל העקום ההיפסומטרי האופייני של הערוץ, (הצטמקות בעובי החתך לכיוון העומק), נפח השכבה התחתונה (מתחת ל-1 מטר עומק) הוא בערך 60,000 קו"ב ואי לכך מרבית השכבה התחתונה באסטואר מתחלפת מידי יום וחצי בממוצע. דהיינו, מידי יום וחצי מגיע לשכבת הקרקעית העמוקה באמצעות מהלך גאות, שטף של חמצן "ימי" מחודש" שמהווה מכפלה של הספיקה היומית בריכוז הממוצע של חמצן ברוויה במי ים מחוממים (כ-33 מעלות צלסיוס = 6 מג"ל). כלומר, מידי יממה מוחדרים לשכבה זו באמצעות הים כ- 15×10^3 מול חמצן מומס. באופן כללי, הסיכויים להתפתחות אנוקסיה באזורי הקרקעית מוכתבים ע"י האיזון שבין עומסי החומרים האורגניים הפריקים (שרובם מובאים מהמעלה) לבין עומסי החמצן המומס שמובאים באינטריות הימיות. אולם, באביב-קיץ מתווסף למערכת זו גם סוכן חימצון משמעותי נוסף והוא הפוטוסינתזה.

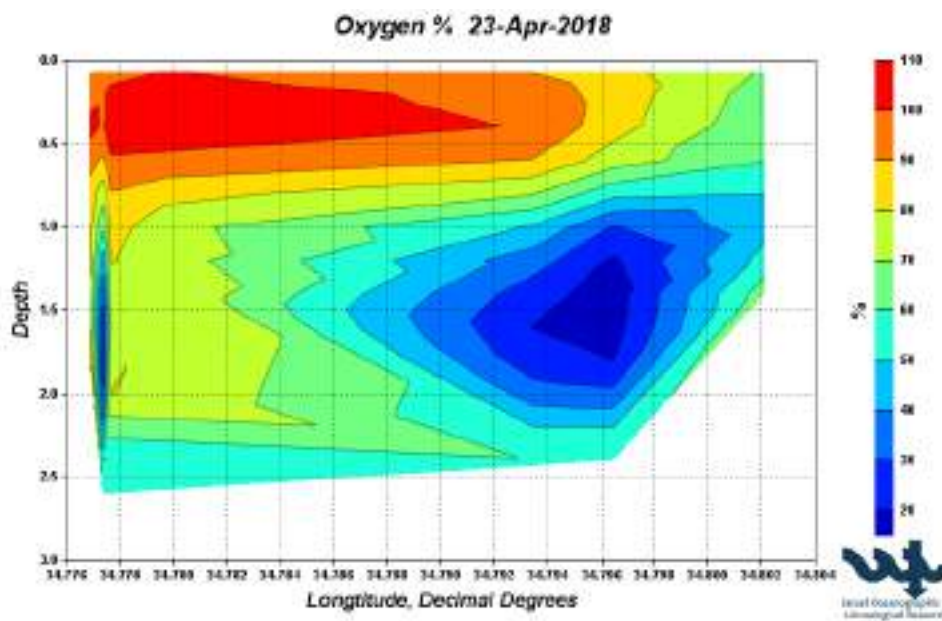
במערכת אקוטית זו הפוטוסינתזה מהווה למעשה המרה של נוטריאנטים מומסים, המובאים ממעלה הנחל לחומר אורגני אוטוכטוני פריק בצורת אצות, שרובן כנראה מוסעות לים התיכון. מהירות ההסעה של מים "מתוקים" מהמעלה לים היא בסדר גודל של יממה ובהנחה שזמן ה"דור" של האצות הוא בסדר גודל של יומיים ויותר, ברור שמרבית האצות האוטוכטוניות מיוצאות לים ולא שוקעות לקרקעית האסטואר. באופן כללי, זיהינו שאזורי הקרקעית אשר ההסתברות לעקת חמצן בהם גדולה יותר הם אלה שבמזרח האסטואר

זאת משתי סיבות א: שיקוע מועדף של חומרים אורגניים המוסעים מהמעלה בצד המזרחי ו- ב: הסעה פחות יעילה של חמצן ימי לאזורים המזרחיים של האסטואר. אולם, ניתן גם לסכם שבחורף, כאשר עומסי המזהמים האורגניים מהמעלה גוברים (הצפות של אגני קולחים וכבישים) וכניסות הים באמצעות גאות פוחתים, ההסתברות לעקות חמצן בקרקעית גוברים. תצפית זו גם מאומתת ממדידות בפועל (איור 100).

מספרי הקוליפורמים בנחל ובאסטואר וריאבליים ונעים בין סדר גודל של מאות בודדות (ל-100 מ"ל) בקיץ לבין מיליונים בתקופות גשומות. מזרח מעלה הנחל נקי יותר מאשר הקטע המרכזי ומהאסטואר. מספרי הפקל קוליים בעומק האסטואר בנוכחות אחז גבוה של מי ים נמוכים במיוחד.

המערכת ההידראולית הסבוכה הזו שתלויה לא רק במיקום אלא גם בזמן (גלים וגאות תלויי עיתוי) מקשה על קביעה אופטימלית של מיקום תחנות הניטור ותיזמון הדיגום באסטואר. נקודות שיש לקחת בחשבון בתכנון תוכנית הניטור כוללות:

- באסטואר צריכות להיות לפחות שלוש תחנות דיגום- במזרח, במערב ובאמצעו.
- יש לנטר באופן רציף פרמטרים כמו ריכוז חמצן, מליחות וטמפרטורה חייבים הן בשכבת הקרקעית והן בפני המים.
- מומלץ לבצע ניטור בקטריאלי (קשה יחסית לביצוע) ב-3 התחנות באסטואר בתדירות שבועית.
- ניטור כימי אחר קונבנציונלי מומלץ לבצע אחת לחודש.



איור 100: אינטרפולציה של פרופילים של % רוויה לחמצן באסטואר (מזרח = צד ימין). בפני האסטואר % הרוויה הולך ועולה מערבה כתוצאה כנראה מפעילות פוטוסינתטית גוברת. בקרקעית האסטואר מצבים של כמעט אנוקסיה שכיחים במזרח האסטואר ואילו במערבו ריכוז החמצן הולך ועולה כתוצאה מהשפעת גאות הים.

4.3 הערכה כמותית של משקעים מנתוני ההנחתה של האות הסלולרי בהתבסס על ניתוח היסטורי של עוצמות גשם



במימון
Helmholtz
Association
of German
Research
Centers

יורי לצ'ינסקי, בשיתוף פנחס אלפרט (הפקולטה למדעי הטבע, אוניברסיטת תל אביב), אלון רימר ז"ל

- השיטה המוצעת מבוססת על העיקרון כי כמות הגשמים המוערכת צריכה להיות דומה במאפיינים סטטיסטיים של עוצמה, משך והסתברות, לאלו של מדידות גשמים היסטוריות.
- התוצאות מראות ששיטת הכיול המוצעת תקפה וניתן להשתמש בה בהצלחה להערכת גשם על סמך נתוני ההנחתה של האות האלקטרומגנטי של התשדורת הסלולרית.

מטרת המחקר

מחקר זה עוסק בשיפור מקדמי האלגוריתם המשמש להערכה כמותית של משקעים המתקבלים מניתוח של רמת ההנחתה של האות האלקטרומגנטי כפי שנמדד על ידי חברות סלולר. העיקרון עליו מבוססת שיטה זו הוא שהפרעות אטמוספריות שונות (גשם, ערפל, אבק) מחלישים את האות האלקטרומגנטי ומניתוח של גודל הפרעה ניתן להעריך כמותית את הגודל של הגורם המפריע. בעבודתנו ננסה לראשונה לנתח סדרות נתונים ארוכות טווח באזורים בעלי אקלים שונה. הכיול של האות הסלולרי מתבצע בשיטות דומות, אך לא זהות, לתהליך שבו מחושבות עקומות עצמה-משך-תדירות (Intensity-Duration-Frequency) של אירועי גשם.

רקע

לצורך הפעלה מיטבית של יישומים הידרולוגיים, חיזוי מזג אוויר וניטור אקלים, קיים צורך בתצפיות מדויקות של כמות הגשמים במרחב ובזמן. עם זאת קיים מחסור בנתונים מדויקים של המשקעים ברוב השטח היבשתי של כדור הארץ, במיוחד ממכ"מי מזג-אוויר קרקעיים. יתר על כן, מספר מדי-הגשם המדווחים יורד באופן דרמטי באירופה, דרום אמריקה ואפריקה (כ-50% בכמות מדי גשם פעילים בתקופה שבין 1989 ל-2006, Lorenz and Kunstmann, 2012). מידע מרחבי מקומי על משקעים נעשה בעזרת שימוש הולך וגובר במכ"מים מסוגים שונים אך עדיין מדידות גשם ממכ"מים מושפעות משגיאות מדידה רבות (Berne, 2013). מאז שנת 2006 הראו מספר חוקרים שניתן להשתמש בנתוני הנחתה של גלי רדיו בין תחנות בסיס של רשתות סלולריות מסחריות לצורך ניטור כמות המשקעים (Messer et al., 2006). עם זאת, היכולת להבחין בסוגים אחרים של משקעים כמו שלג לדוגמה, נשארה מוגבלת כתוצאה מהקושי להפריד בין הפרעות מסוגים שונים שמתקבלים בקריאות ההנחתה.

שיטות

מיון נתוני גשם והגדרת אירועי סופה

עוצמת הגשם (I) בעקומת IDF היא העובי הממוצע של משקעים (Q, מ"מ) ליחידת זמן (D, דקות), ונתונה ביחידות של מ"מ\שעה. נגדיר אירוע סופה באופן הבא: אירועים בעלי אורך של 240 דקות ויותר ואירוע שבו לא נמדדו אירועי גשם בודדים במשך 3 שעות שקדמו לאירוע.

מיון נתוני ההנחתה

לרשותנו עמדו מדידות רגעיות, שהתקבלו מחברת סלקום (מדידה כל 15 דקות, להבדיל מנתוני גשם שנמדדים כל 10 דקות). הפרדה של נתוני ההנחתה שנגרמו על ידי הגשם בוצעה על פי משוואה (1):

$$(1) \quad A(t) = \max\left(\frac{A_{tot}(t) - B(t) - A_w(t)}{L}, 0\right)$$

כאשר $A_{tot}(t)$ מסמן את ההנחתה הכוללת, ההנחתה שמקורה בגשם מסומנת ב- $B(t), A(t)$ מסמן את רעשי הרקע (ההפרעות שקיימות כל הזמן באטמוספירה כגון אבק, לחות ו- $A_w(t)$ מסמנת את רמת ההפרעה כפי שנובעת מרטיבות של המשדר.

קשר בין מפות עצמה-משך- הסתברות ונתוני ההנחתה

לאחר ניתוח אירועי הגשם קיבלנו טבלאות IDP עבור אזור גיאוגרפי נתון. באופן דומה נותחו נתוני לינקים סלולריים שנמצאים באותו תחום גיאוגרפי על ידי השוואה של שתי הטבלאות, לכל D ו-P נתון:

$$(2) \quad \bar{I}(D,P,x) = \frac{1}{L} \int_{x=0}^{x=L} \left(\frac{a \times D^c}{P^b} \right) dx$$

כאשר- x מציין את ציר הלינק, ו- L את אורכו. לאחר ביצוע אינטגרציה מקבלים עוצמת גשם ממוצעת בהסתברות נתונה למשך זמן נתון המאפיינת את התווך שלאורכו משתרע הלינק. להלן משוואה של קשר בין נתוני ההנחתה לעצמת הגשם:

$$(3) \quad \bar{I}(D,P) = \left(\frac{A_T}{m \times L} \right)^{\frac{1}{n}}$$

כאשר I עוצמת הגשם הממוצעת (מ"מ/זמן) כתלות ב- D משך הסופה (דקות), והסתברותה P ניתנים לחישוב מתוך A_T (דציבלים בזמן נתון, dB), אורך הלינק L והמקדמים m ו- n . בהנחה שיש ברשותנו סדרה עיתית (time series) ארוכה מספיק של נתוני ההנחתה בלינק מסוים (A_T), ניתן יהיה לבנות טבלה של עצמה-משך-הסתברות, ומהשוואה של משוואות 2 ו-3, נקבל:

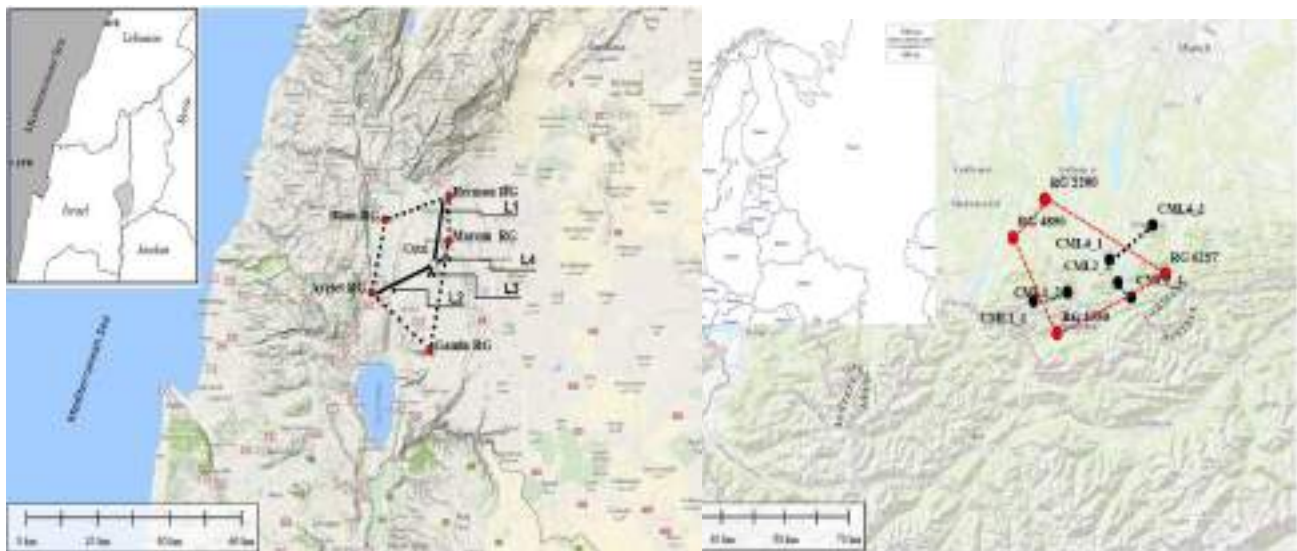
$$(4) \quad A_T(D,P) = L^{1-n} \times m \times \left(\int_{x=0}^{x=L} I(D,P,x) dx \right)^n$$

כאשר בצד ימין תוצאה של אינטגרציה ליניארית של נתוני עוצמת הגשם לאורך לינק בפרק זמן והסתברות נתונים, L הוא אורך הלינק, ו- n ו- m הם מקדמי כיוול. המשמעות המיידית של ממצא זה היא שקיים קשר ברור של שני פרמטרים בין עקומות עצמה - משך- הסתברות של הגשם לבין עקומות עצמה - משך- הסתברות של נתוני ההנחתה.

תוצאות ודיון

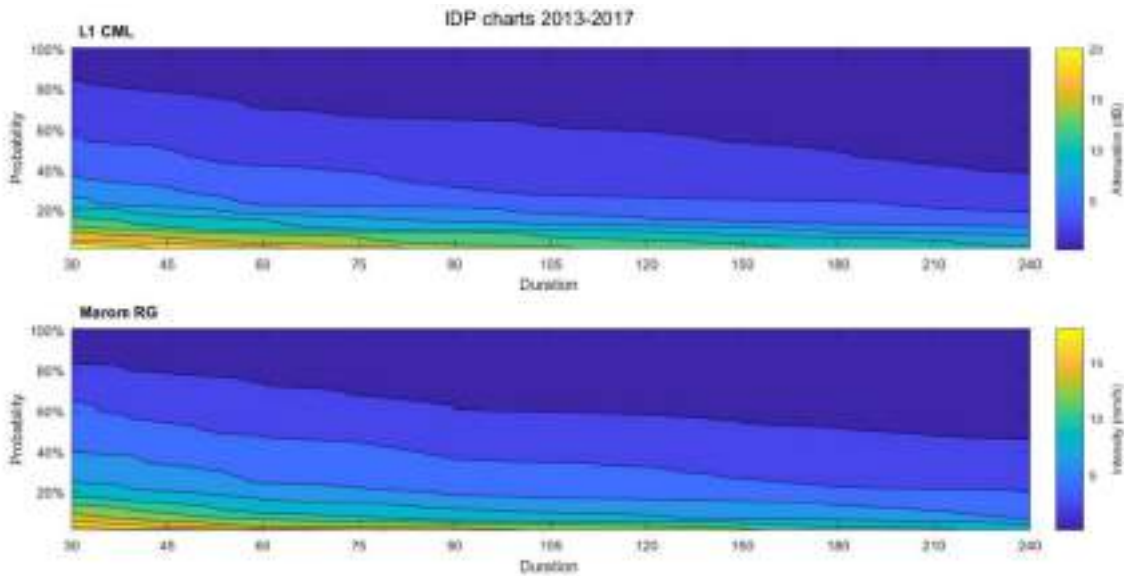
שיטת הכיול המוצעת נבדקה על ידי נתונים זמינים בשני אזורים אקלים שונים (צפון מדינת ישראל ודרום מערב גרמניה, איור 101) אשר משתייכים לאזורי אקלים שונים. בישראל בוצע

ניתוח של 5 תחנות גשם (ארבע שמופעלות על ידי השירות המטאורולוגי ותחנה אחת שמופעלת על ידי המעבדה לחקר הכנרת) ונתוני ארבעה לינקים סלולריים (איור 101) שנאספו בין 2013 לבין 2019. עקב מספר רב יותר של אירועי גשם בגרמניה, הניתוח התבסס על שנה אחת של נתונים (2018), והתבסס על ארבע תחנות גשם של השירות המטאורולוגי הגרמני ושלושה לינקים סלולריים (איור 101 ימין).



איור 101: אזורים בעלי אקלים שונה משמאל-צפון מדינת ישראל מימין דרום גרמניה, נקודות אדומות-מדי גשם, נקודות שחורות- אנטנות סלולריות.

בהשוואה בין טבלת אירועי הגשם לבין טבלת "אירועי" ההנחתה, ניתן לראות שאין שוני מהותי בהסתברויות להתרחשות אירועי גשם ואירועי הנחתה בעוצמה דומה (איור 102). השינויים העיקריים מתרחשים בעוצמות גשם נמוכות. אחת הסיבות לכך היא קצב התאדות נמוך יותר, כלומר פני האנטנה נשארים מכוסים במים לפרקי זמן ארוכים יותר.



איור 102: גרף עוצמה - משך - הסתברות של גשם במרום גולן מלמטה, מלמעלה גרף של נתוני ההנחתה מהלינק.

באמצעות משוואה 4 כיילנו את מקדמי ההמרה. תוצאות הכיול מרוכזות בטבלה 15.

טבלה 15: מקדם מתאם של פירסון עבור מקדמי כיול שנמצאו בעזרת שיטות שונות

שם הלינק	$(R)R^2$	$(R)R^2$	$(R)R^2$
L1(14.34km)	מקדמי המרה שיטה המוצעת כיול נקודתי	מקדמי המרה לפי שיטה מוצעת, כיול מרחבי	מקדמי המרה על פי שיטה המקובלת
(~250)	0.72 (0.85)	0.69 (0.83)	0.65 (0.81)
CML2(5.4km)	0.38 (0.62)	0.37 (0.61)	0.34 (0.58)
(~120)			

במסגרת המחקר בוצע ניתוח של סדרה ארוכה של אירועי גשם, ללא בחירת פרקי זמן נוחים יותר לניתוח, כפי שנעשה לרוב. ניתן עוד לשפר את תוצאות המודל (שיפור של כ-11 אחוז ביחס לשיטה המקובלת). בוצע ניתוח של נתונים שהתקבלו באמצעי מדידה שונים, כגון, באמצעות מד גשם סטנדרטי ובאמצעות מד לייזר (דיסדרומטר). מדידות כפי שהתקבלו ממד גשם סטנדרטי במקרה של טמפרטורות מתחת וקרובות לאפס אינן מדויקות מכיוון שהמדידות

של סך הגשם שירד מתבצעות רק עם הפשרת המכשיר. במקרה של אתר החרמון התוצאות שלנו מראות שהשגיאה שנובעת מכך אינה משפיעה על תוצאות הכיול. חישוב של פריסת גשם מרחבית אינו מדויק עקב מחסור בנתונים. על פי החישוב שביצענו, על מנת להגיע לתוצאות מדויקות, 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 הסלולרית. שיטת הכיול המוצעת אינה תלויה בקורלציה בין זמני המדידה. ערכי ההנחתה השגויים שמתקבלים מאירועי שלג לא מהווים הפרעה לשיטת הכיול המוצעת. לאזור גיאוגרפי אין השפעה ממשית על התוצאות אם כי נתוני ההנחתה באזורים מישוריים מושפעים מטווח רחב של הפרעות שונות.

4.4 מידול השפעת התמלחת ממתקני ההתפלה על מארג המזון בים תיכון



במימון
משרד
המדע

גדעון גל, מיכל גרוסוביץ, שרון וורולקר

- לצורך בחינת השלכת מתקני ההתפלה על המערכת האקולוגית הימית נבנו מודלים של אזור מתקן חדרה ומתקן אשקלון .
- אימות המודלים נעשה בעזרת השוואה לתוצאות איזוטופים יציבים אשר הציגו התאמה טובה.
- מתוצאות תרחישים שנערכו עם המודל המרחבי עולה כי השלכות התמלחת המזרמת ממתקני ההתפלה על המארג המזון אינו גדול .

מטרת המחקר

בחינת השלכות הזרמת תמלחת ממתקני ההתפלה לאורך חופי ישראל על מארג המזון בעזרת סדרה של מודלים אקולוגיים.

רקע

הצורך המתמיד והגדל במי שתייה מוביל לפיתוח טכנולוגיות רבות, ביניהן, 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. הראשונה שבהם היא התמלחת המרוכזת המוחזרת לסביבה החופית הימית. לתמלחת זו ריכוז מלח הגבוה מזה של הסביבה, והיא מכילה כימיקלים נוספים הקשורים לתהליך האוסמוזה ההפוכה וכוללים: *cleaning solutions, antiscalants, neutralizers, biocides, coagulants, hardness adjustors*, ו-pH שונה. התמלחת המוזרמת לים גורמת לעליה ברמת המליחות באזור ההזרמה. כתם המליחות משתנה לפי עונות השנה ושונה בין אתרי מפעלי ההתפלה. הבדלים אלו קשורים בטכנולוגיית ההתפלה ושחרור התמלחת מהמפעל, הזרמים המקומיים, מבנה החוף ועומק הקרקעית, ותכונות פיזיות-כימיות של עמודת המים. הפגיעה האקולוגית והסביבתית בטווח הארוך במערכת האקולוגית לא תועדה בספרות המדעית בצורה יסודית. יחד עם זאת, העלאת המליחות וריכוז הכימיקלים באזורי הזרמת התמלחת, עלולה לפגוע בחיים בים ובאיכות המים. בנוסף, מי הקירור של טורבינות 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 אזור הזרמת התמלחת. אוכלוסיות אלו עלולות לסבול חשיפה כרונית לשינויים במליחות, בטמפרטורה והשפעות הכימיקלים. במחקר זה, אנו בוחנים את השפעת התמלחת על מארג המזון במזרח הים התיכון באמצעות מודל אקולוגי מרחבי של מארג המזון. המודל מתרכז ברמות הטרופיות הנמוכות, חיידקים, יצרנים ראשוניים וצרכניהם.

שיטות

נבחרו שני מתקני התפלה על מנת לבחון את השפעת התמלחת והטמפרטורה על מארג המזון (חדרה ואשקלון, ראה דוח שנתי של המעבדה לשנת 2018). שני המתקנים משחררים את התמלחת קרוב לקו החוף בפני המים. בכל מתקן התפלה נבחרו שתי תחנות דיגום: פתח יציאת התמלחת והסביבה הלא מופרעת. שיטות העבודה מתומצתות כאן בלבד והקורא מופנה לדוח השנתי לשנת 2018 לפרטים נוספים.

איסוף נתונים

במהלך המחקר התקיימו שש הפלגות למתקני ההתפלה בחדרה ובאשקלון. בכל תחנת דיגום (שני מתקני התפלה ושני מרחקים מהחוף) נאספו פיטופלנקטון וזואופלנקטון עבור הערכת ביומסה ומגוון מינים. פיטופלנקטון נאסף ע"י סינון של 10 ליטר מי ים עבור אנליזת איזוטופים יציבים. גרירות רשת זואופלנקטון מסוג בונגו אופקיות עם רשת 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 גרירה עמוקה. במעבדה, דוגמאות הפיטופלנקטון והזואופלנקטון הקפואות הופשרו ויובשו למשך לילה בתנור בטמפרטורה של 60 מעלות צלזיוס ונאטמו לאחר מכן בצלוחית פטרי ופרפילים לפני שליחה לאיזוטופיה (SI). דוגמאות הזואופלנקטון שומרו עד לספירה ואמידת הצפיפות בכל אתר. נתונים נוספים שנדרשו עבור פיתוח המודלים נסתמכו על מידע ממודלים אחרים שפותחו עבור מזרח ים התיכון (Corrales et al. 2017, Shabtay et al. 2017), סקרים (גורן וחוב', לא מפורסם, Shabtay et al. 2017), אתרי מידע בינלאומיים (לדוגמה FishBase), משוואות הערכה (Pauly et al. 1993), סקר ספרות והערכות מיטביות בהעדר נתונים.

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 אזור הנמל בחדרה. בבסיס מודלים מהסוג EwE עומדת הגדרת יחסי הגומלין הטרופיים בין קבוצות פונקציונליות שונות (קבוצה שיכולה להכיל מין אחד או מספר מינים בעלי תכונות אקולוגיות דומות מבחינה טרופית). מכיוון שלמערכת המדוברת יש השפעה על הרמות הטרופיות הנמוכות, התמקדנו בהם. ראשית, כללנו קבוצת חיידקים וקבוצות שונות של זואופלנקטון על מנת להגדיל את הרזולוציה של מארג המזון, וכן, קבוצת הפיטופלנקטון חולקה לשלוש קבוצות לפי פרקציית גודל.

אימות המודל

את מודל מאזן המסות אימתנו אל מול מדידות איזוטופיות של פחמן וחנקן, המצביעות על מקור הפחמן והרמה הטרופית בהתאמה. מהמדידות חושבו הערכים של הרמה הטרופית והם הושוו אל מול הערכים שנתקבלו מן המודל.

מודל מרחבי

לתוכנה יש תוספת בשם Ecospace, היוצרת סימולציות מרחביות. שטח המודל נתחם לאזור הסובב את מתקן ההתפלה (2 ק"מ דרומה, 2 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'. ממודל פיזיקלי, הועלו נתוני טמפרטורה, מליחות חרמים ברזולוציה חודשי עם ממוצעים על פני כל עמודת המים. פונקציות המגדירות רגישות 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 תרחישים: עם ובלי תמלחת, השפעת הגברת הטמפרטורה והשילוב של שניהם (טבלה 16).

טבלה 16: תרחישים שנבחנו בעזרת המודל המרחבי אקוספייס

טווח שינויים ביחס לתרחיש הבסיס (ללא תמלחת)		גורמים סביבתיים	שם התרחיש
טמפרטורה (°C)	מליחות		
-	-	תרחיש בסיס- זרמים, וטמפרטורה ממוצעת על פני עמודת המים	ללא התפלה
-	0 - 2.06‰	זרמים, טמפרטורה ומליחות ממוצעים על פני עמודת המים. מליחות כפי שנמדדה בסמוך למתקני התפלה.	התפלה
-	-0.1 - 7.43‰	זרמים, טמפרטורה ממוצעת בעמודת המים ומליחות עפ"י הריכוז בשכבה הצמודה לקרקעית.	מליחות גבוהה
-0.91 - 2.41	-	זרמים, טמפרטורה של שכבת המים העליונה, מליחות ממוצעת בעמודת המים.	טמפרטורה גבוהה
-0.91 - 2.41	-0.1 - 7.43‰	זרמים, טמפרטורה של השכבה הרדודה, מליחות של שכבת הקרקעית.	טמפרטורה ומליחות גבוהים
	15.5-16.7%	עליה של המליחות ב-15% בכל המרחב	עלית מליחות ב-15%

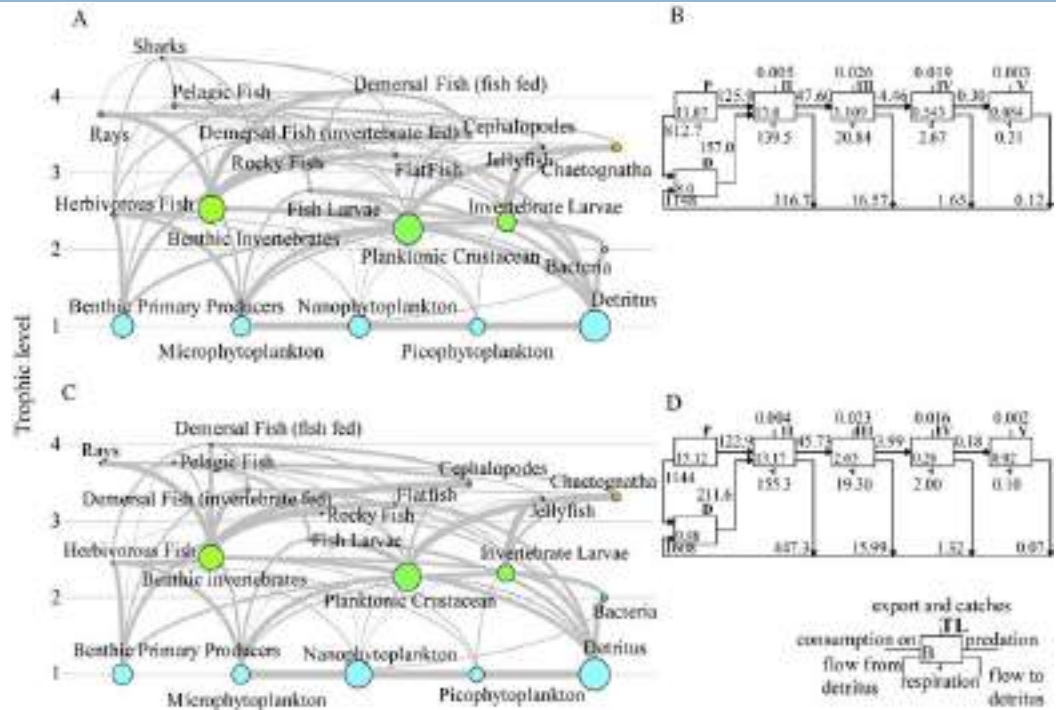
תוצאות ודין

אימות מבנה מודל מארג המזון (איור 103) התבסס על תוצאות האנליזות האיזוטופיות. עבור רוב הקבוצות הפונקציונליות, הרמות הטרופיות במודל תאמו את הרמות הטרופיות שחושבו על בסיס האיזוטופים היציבים (איור 104). ההפרשים ברמות הטרופיות בין המודל לתוצאות האיזוטופים נעו בין 0.03-0.5 רמות טרופיות בלבד ולא היו הבדלים מובהקים בין הערכים. רק בשלוש קבוצות נמצאה הערכת חסר של הרמה הטרופית במודל ביחס לתוצאות האיזוטופיות. השוואה של תרחיש הבסיס (ללא תמלחת) לתרחיש התמלחת העלתה מספר הבדלים (טבלה 17, איור 104). ההבדלים אינם עקביים בכל הקבוצות הפונקציונליות שבמודל. ישנן קבוצות המציגות ירידה בביומסה לעומת אחרות שהביומסה עולה. למשל, הביומסה של הדגים ההרביורים בחדרה ירדה בתרחיש התמלחת אך באשקלון לא היו הבדלים בין התרחישים.

הביומסה של חסרי החוליות הבנתונים ירדה באזור שליד שפך מי התמלחת אבל עלתה באזורים אחרים. לא נמצאו הבדלים בביומסה של הסרטנים הפלנקטוניים בחדרה, אולם באשקלון נרשמה ירידה בביומסה שלהם באזור הזרמת התמלחת אך עליה באזור שדרומית (במעלה הזרם) לאזור זה. במקרה של החיידקים, זוהתה ירידה בביומסה באזור הזרמת התמלחת באשקלון ביחס לתרחיש הבסיס אך בשני האתרים הייתה מגמת עליה על פני כל מרחב המודל.

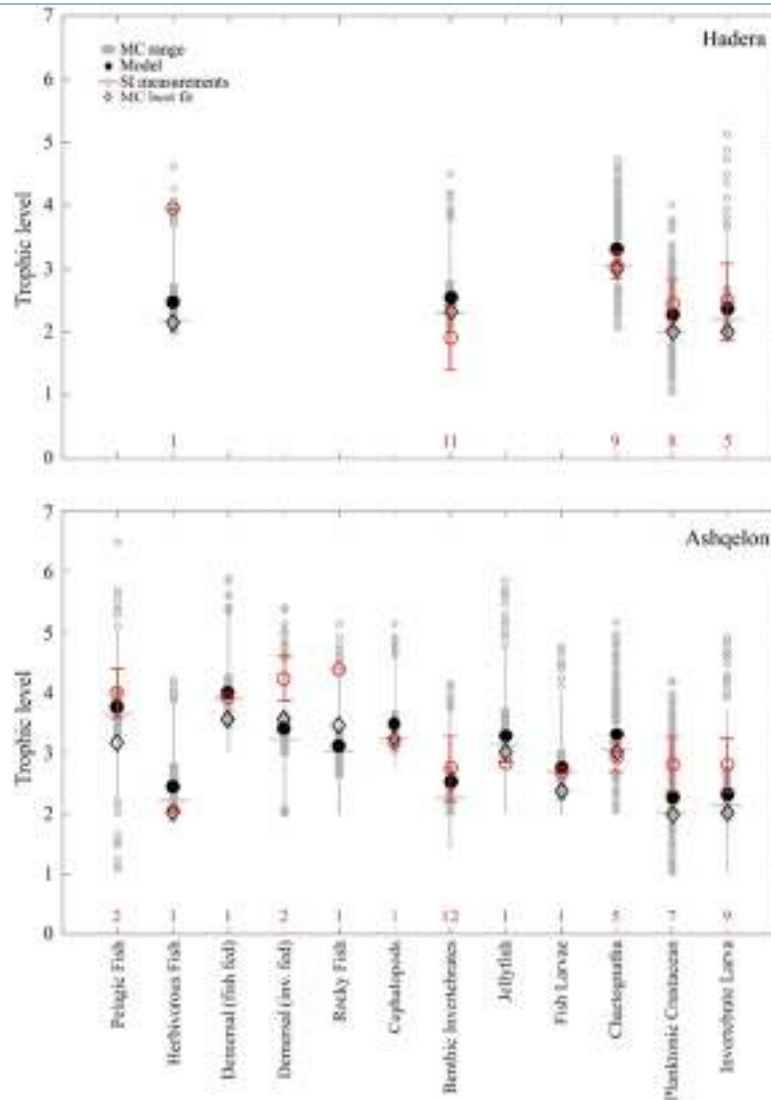
טבלה 17: ההבדלים בין תרחיש הבסיס לתרחישים האחרים במספר קבוצות פונקציונאליות.

קבוצה פונקציונאלית	אשקלון	חדרה
טריגוניים	ירידה כללית בביומסה הגברת המליחות ותרחיש תמלחת יוצרים את הביומסה הגבוהה ביותר הגברת טמפרטורה עם ובלי עליה במליחות גוררת ירידה בביומסה.	עליה כללית בביומסה הביומסה הגבוהה ביותר בתרחיש ללא תמלחת עליה בטמפרטורה גוררת את הביומסה הנמוכה ביותר.
מדוזות	שינויים עונתיים בביומסה. מליחות גבוהה גוררת את הביומסה הגבוהה ביותר. ללא תמלחת נוצרת הביומסה הנמוכה ביותר.	שינויים עונתיים בביומסה. ללא תמלחת נוצרת הביומסה הגבוהה ביותר. בטמפרטורה גבוהה הביומסה היא הנמוכה ביותר.
לרות של דגים	שינויים עונתיים בביומסה. בטמפרטורה גבוהה הביומסה היא הגבוהה ביותר. במליחות גבוהה נוצרת הביומסה הנמוכה ביותר.	שינויים עונתיים בביומסה. ללא תמלחת נוצרת הביומסה הגבוהה ביותר. שילוב של טמפרטורה ומליחות גבוהים יוצרים את הביומסה הנמוכה ביותר.
פיקופלנקטון	שינויים עונתיים בביומסה. ללא תמלחת נוצרת הביומסה הגבוהה ביותר. בטמפרטורה גבוהה הביומסה היא הנמוכה ביותר.	שינויים עונתיים בביומסה. ללא תמלחת נוצרת הביומסה הגבוהה ביותר. בטמפרטורה גבוהה הביומסה היא הנמוכה ביותר.



איור 103: מבנה מארג המזון על פי מודל אקופאת ואיור לינדרמן של השטפים בין הרמות הטרופיות השונות עבור חדרה (שורה עליונה) ואשקלון (שורה תחתונה). הערכים בשרטוט לינדרמן מייצגים את שטפי הביומסה השונים פנימה והחוצה, מכל רמה טרופית.

כאשר בוחנים את הביומסה הממוצעת עבור שנת 2015 בתרחיש התמלחת לעומת תרחיש הבסיס (ללא תמלחת), ניתן לזהות מגמה כללית עם מספר יוצאי דופן. פרט לשלוש קבוצות פונקציונליות באשקלון (דגים הרביבורים, יצרנים ראשוניים בנתוניים, ופיקופלנקטון) וחמש קבוצות בחדרה (טרגיוניים, תולעי חץ, סרטנים פלנקטוניים, ננופלנקטון והדטריטוס), רוב הקבוצות הציגו ירידה בביומסה וחוסר שינוי. היה שינוי ממוצע (וסטיית תקן) של 26% ו-21% בביומסה של כלל הקבוצות, בחדרה ובאשקלון, בהתאמה. קבוצת הננופלנקטון הציגה את העלייה הגדולה ביותר של ביומסה (440%) בחדרה ודגים הרביבורים באשקלון (22%). הירידה הגדולה ביותר בביומסה הייתה במקרה של המדחות (-81%) והננופלנקטון (-76%) בחדרה ובאשקלון, בהתאמה.



איור 104: השוואה של הרמה הטروفית של קבוצות שונות עפ"י המודל ביחס לתוצאות האיזוטופים היציבים. איור עליון- אתר חדרה, איור תחתון- אשקלון. עיגולים שחורים מלאים- תוצאות המודל, ריבועים אפורים- תוצאות מונטה קרלו של המודל, עיגולים אדומים- תוצאות האיזוטופים (ממוצע וסטיית תקן). גודל המדגם מוצג במספרים ליד הציר האופקי התחתון.

סיכום

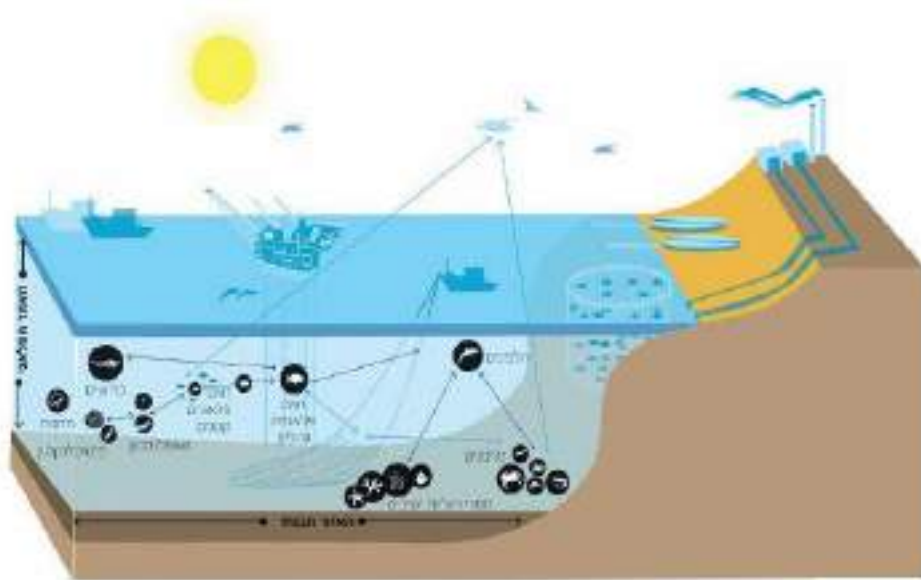
מתוצאות התרחישים עולה כי לתמלחת הנפלטת לים, בשני האתרים שנבחנו במודלים, הינה באופן כללי, בעלת השפעה מרחבית מוגבלת על מרכיבי מארג המזון. יחד עם זאת, נרשמו ירידות, בחדרה ובאשקלון, ועליות, באשקלון, בביימסה של מספר קבוצות פונקציונאליות. השילוב של המליחות הגבוהה של התמלחת עם הטמפרטורה הגבוהה של המים גרם להשפעות צולבות אם כי התוצאות מצביעות על השפעה גדולה יותר של המים החמים הנפלטים ממתקני ההתפלה ביחס למליחות המוגברת במי התמלחת. יש לכך השלכות בעלות משמעות לאור מגמת התחממות מי מזרח ים התיכון כפי שתועד בעשורים האחרונים וכפי שצפוי להחריף בעתיד.

המודלים של אזור מתקני ההתפלה בחדרה ואשקלון ייצגו בהצלחה את מבנה מארג המזון באזורים אלו כפי שעולה בהשוואה לאנליזות האיזוטופיות. עם זאת, צריך לזכור שהמודלים נבנו



על בסיס מארג מזון שקיים באזורים המדוברים ולא על בסיס מארגי מזון באזורים החפים מהשפעת אדם. בנוסף, התרחישים בוצעו על פני תקופות קצרות יחסית לנוכח העדר תוצאות ארוכות טווח של מודל הידרודינמי לאור המורכבות חזמן ההרצה הארוך בסימולציות מאין אלו. עם הרחבת הזמינות של תוצאות סימולציות הידרודינמיות ארוכות טווח ניתן יהיה לבצע הרצות לאורך פרקי זמן ארוכים גם עם המודלים שנבנו, נבחנו ויושמו במחקר זה לצורך בחינת ההשלכות ארוכות הטווח של המים המלוחים והחמים הנפלטים ממתקני ההתפלה על מארג המזון.

4.5 פיתוח מודלים אקולוגיים למרחב מדף היבשת וים עמוק במסגרת תכנית הניטור



במימון
משרד
האנרגיה

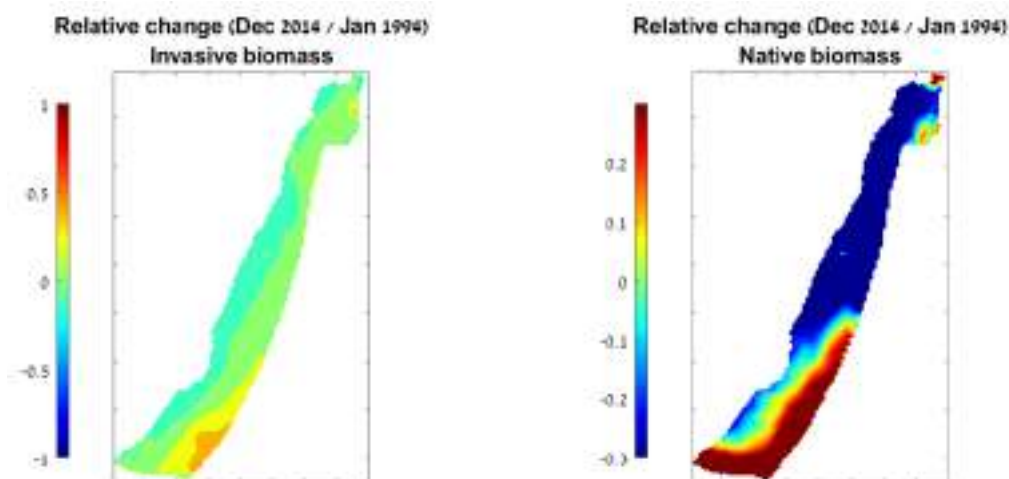
איל אופיר, גדעון גל

- העבודה המתוארת בפרק היא חלק מתוכנית ניטור ים תיכון.
- המטרה הייתה לבנות מודל אקולוגי הנשען על נתוני הניטור הנאספים באופן שגרתי.
- לצורך זאת בוצע תהליך תכנון מודל ובניית תהליך עבודה, זאת בשיתוף עם החוקרים הרלוונטיים.

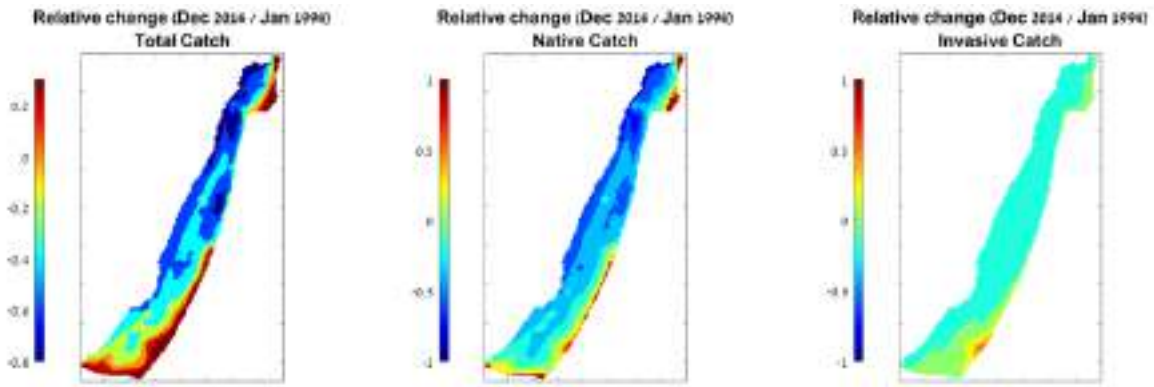
ממצאים עיקריים

- המודל המרחבי שיחזר את התפשטות המינים הפולשים בעיקר מדרום והשינוי בפזור המרחבי של המינים המקומיים (איור 105).
- בוצעה הרצת המודלים עבור התקופה 1994-2014 ובחינתם ביחס לנתונים הקיימים. המודלים שיחזרו בהצלחה את המגמות שתועדו באוכלוסיות הדגים בתקופה זאת (איור 106).

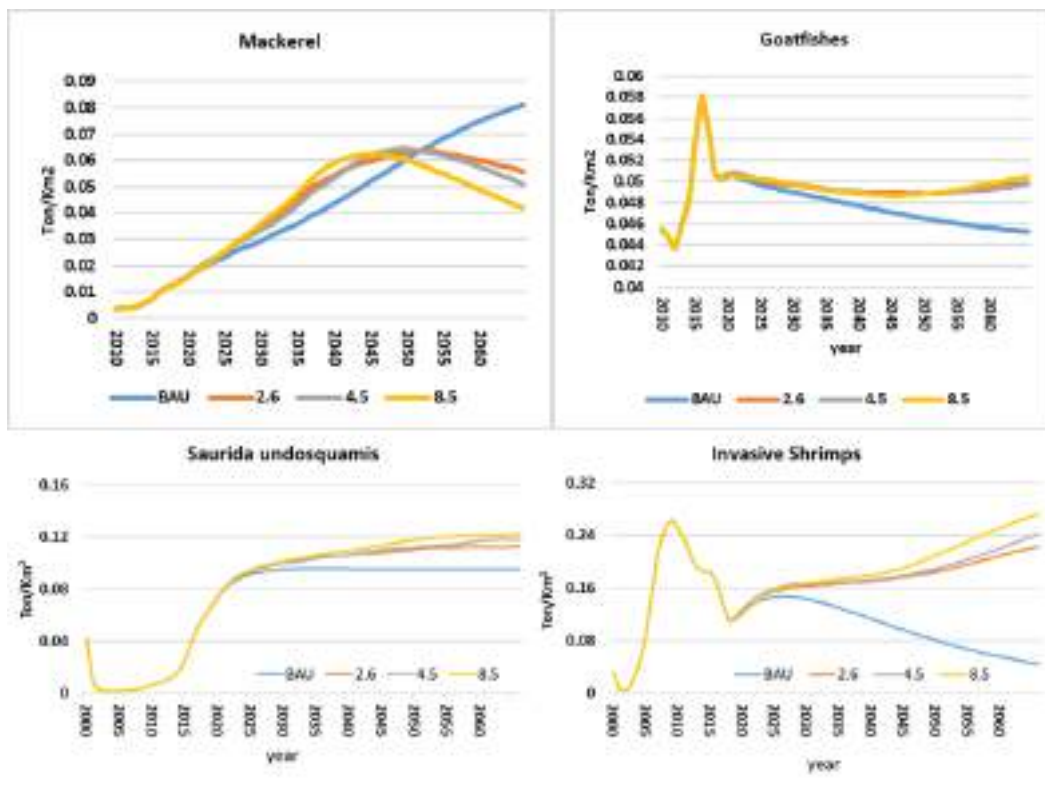
- ניתן לזהות את מגמות השינויים בשלל הדיג המסחרי מאז שנות ה-90 וההשפעה של חדירה של מינים פולשים על השלל המסחרי (איור 106).
- בוצעו הרצות של תרחישי שינויי אקלים לצורך בחינת ההשלכות על הביומסה של מרכיבי מארג המזון, השטפים בין הקבוצות השונות וכן אינדיקטורים אקולוגיים שונים כולל השינויים בביומסה ובשלל (איור 107). מתוך בחינת תוצאות התרחישים עולה כי התגובה של המינים השונים והקבוצות הפונקציונליות השונות אינה אחידה ביחס לשינויי האקלים. לדוגמה: מינים פולשים מתבססים בהצלחה רבה יותר כאשר הטמפרטורות עולות ובכך מגדילים את הרמה הטרופית הממוצעת ואת השונות הביולוגית (איור 108).
- שינויי האקלים הצפויים מטיבים בעיקר עם המינים הפולשים וגוררים עלייה בביומסה של מרבית הקבוצות הפונקציונליות של המינים הפולשים. למשל, צפויה עלייה חדה בביומסה של השרימפסים והסרטנים הפולשים. שינויים אלו קשורים כנראה לירידה בביומסה של הטורפים ושל המתחרים על מקורות המזון. לעומת זאת, צפויה ירידה בביומסה של מיני דגים דמרסליים קטנים מקומיים בעקבות העלייה בטמפרטורה והרעה בתנאים הא-ביוטיים. בנוסף, צפויה ירידה דרמטית בביומסה של המוליות והבקלה בתרחישי האקלים הבינוני והקיצוני ביותר. יחד עם זאת, ישנן קבוצות של מינים מקומיים אשר מפיקים תועלת מהעלייה בטמפרטורת המים, כך למשל הקבוצה הפונקציונלית הכוללת את מיני הדגים הדמרסליים המקומיים הגדולים (איור 107).
- נתוני חי תוך ועל המצע, ונתוני כלורופיל מהניטור הלאומי בשנים 2017-2018 הוטמעו במודל. יחד עם זאת חסרו נתוני שלל וביומסת דייג ממשד החקלאות ומתוכנן לקיים הרצות לשנים האחרונות לכשהמידע יתקבל.



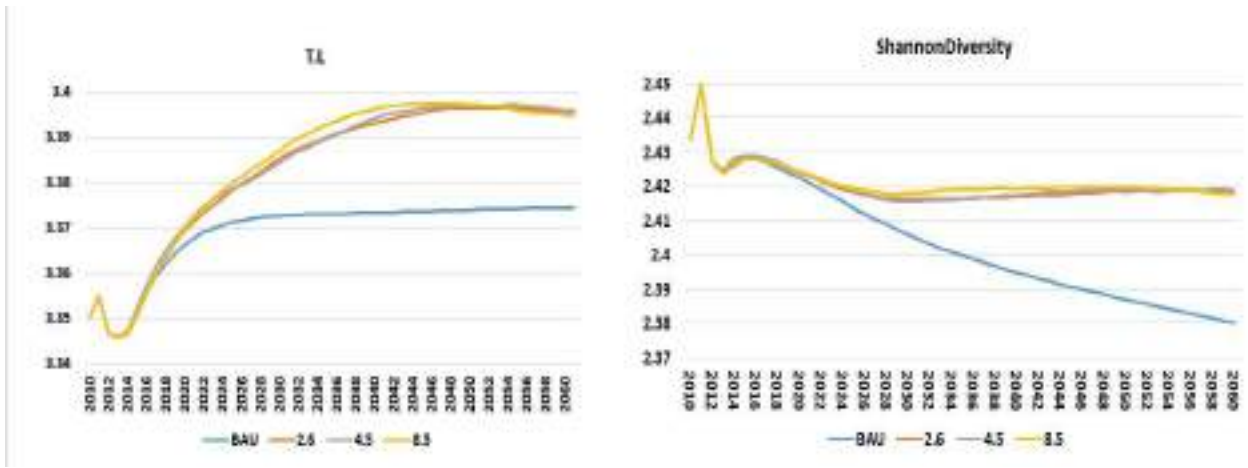
איור 105 : השינויים היחסיים בביומסה של כלל המינים המקומיים והמינים הפולשים במודל בתקופה שבין שנת 1994 לשנת 2014 על פי תוצאות המודל המרחבי. הצבעים מבטאים את השינוי היחסי בין תחילת ההרצה (ינואר 1994) לסיומה (דצמבר 2014). יש לשים לב להבדלים בסקאלות בין האיורים.



איור 106: השינויים היחסיים בסך כל השלל המסחרי וכן שלל המינים המקומיים והמינים הפולשים, עפ"י המודל המרחבי, בין תחילת ההרצה לסופה. הצבעים מבטאים את השינוי היחסי בין תחילת ההרצה (ינואר 1994) לסיימה (דצמבר 2014). יש לשים לב להבדלים בסקאלות בין האיורים.



איור 107: תוצאות מייצגות מתוך בחינת תרחישי שינויי אקלים עם המודל הדינמי בזמן. בנוסף לתרחיש הבסיס (ללא שינוי אקלימי) מוצגים תרחישים שהתבססו על תרחישי הפאנל בין-ממשלתי לשינויי אקלים של האו"ם (IPCC) RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5



איור 108: דוגמה לשימוש באינדקטורים לצורך הבנת השפעות שינויי הטמפרטורה על כלל המערכת האקולוגית. מימין ניתן לראות שינויים בשונות הביולוגית (מדד שנון למגוון המינים) ומשמאל שינוי ברמה הטروفית הממוצעת של כלל המערכת בתרחישים השונים.

מלבד הנושאים המפורטים בדו"ח זה בוצעו במהלך השנה הנסקרת פעולות נוספות אשר נועדו לאפשר את השימוש במודל כחלק מהכלים של הניטור וליצור מצב בו ניתן יהיה לקבל תמונה שוטפת ומעודכנת של המערכת האקולוגית:

1. בנייה של מודל חדש המותאם לים עמוק והניתן לחיבור עם מודל מדף היבשת – נערכה פגישה עם כלל החוקרים הרלוונטיים, ופגישות מעמיקות איתם, לצורך הצגה מעמיקה של אופן עבודת המודל האקולוגי. התוצר של שלב זה הוא מבנה מודל בסיסי אשר נותן מענה למתרחש בים העמוק ויודע להתחבר למודל מדף היבשת.
2. מיצוי כלל הידע הקיים בחיא"ל ושיוכו למבנה המודל – במסגרת שלב זה קיבלנו לרשותנו (באדיבותו של ד"ר משה תום) את כל נתוני הניטור הקיימים בחיא"ל. בתוך בסיס הנתונים ישנם אלפי מינים שנדגמו במסגרת תכניות הניטור של חיא"ל. כל אחד מהמינים הללו נבדק ושויך ביולוגית לאחת מהקבוצות הקיימות במודל. כמו כן נבדקו ותוקנו (במידת הצורך) הקורדינאטות של הדגימה. תוצר שלב זה היה יצירת יכולת תרגום אוטומטית של בסיס הנתונים לנתוני מודל ויצירת מפות פיזור מינים אותם ניתן לשייך למודל המרחבי. פיתוח זה יכול לאפשר הזנה אוטומטית של המודל על בסיס נתוני הניטור והמשך הרצתו לחודשים קדימה לצורך תחזיות.
3. שליחה של דוגמאות רקמה ממינים שונים לצורך קביעת האיזוטופים היציבים – העבודה בוצעה על ידי ד"ר גיא סיסמא-ונטורה, בשיתוף פעולה אתנו ונועדה לנסות למפות את קשרי ההזנה הקיימים במערכת. על בסיס התוצאות מדוגמאות אלו ניתן יהיה לשרטט את קשרי הטריפה הקיימים במערכת.

4.6 גליליום – מיזם העשרה ומצוינות במדעים אשכול גליל מזרחי



במימון
גליליום -
אשכול
רשויות
גליל
מזרחי

רות נ. קפלן-לוי

רקע

המעבדה לחקר הכנרת, חיא"ל, הינה שותפה פעילה במיזם גליליום דרך מרכז הידע "תחנת חקר במדעי המים". מרכז הידע - תחנת החקר במדעי המים מאגדת בתוכה שותפות בין המעבדה לחקר הכנרת-חיא"ל, המכללה האקדמית כנרת, רשות הכנרת, חברת מקורות, מפעלים: א.ר.י, עמיעד, ארקל, נטפים, גולן פלסטיק וחוליות, אגודת המים מי-גולן, קולחי גולן, רשות המים, מכון שמיר למחקר ומכללה אקדמית תל-חי.

התחנה נותנת היום תמיכה במספר תהליכים מרכזיים:

1. עבודות גמר:

- א. במסגרת פרויקט "פרחי הנדסת מים", מחזור ד', התלמידים נמצאים בשנתם האחרונה לפרוייקט ומבצעים 8 עבודות גמר הנדסיות. אחת מהעבודות עוסקה בטיפול ברעלן מיקרוציסטיין במים ובוצעה בתחנת חקר למדעי המים ובליוי של המעבדה לחקר הכנרת. זוהי עבודה משותפת של שלושה תלמידים: הראל קירמה מבית הספר שקד שבשדה אליהו, חושן גנור מבית הספר בית ירח בעמק הירדן ונעה רחמים מאורט כללי בית שאן, בהנחיית ד"ר ליאור פרידמן וד"ר רות נ. קפלן-לוי.
- ב. עבודת גמר שנעשתה במסגרת המעבדה לחקר הכנרת, על ידי התלמיד אושרי סגרון מבית חינוך משותף ניסויי שער הנגב בנושא "חקר הדינמיקה של ריכוז הפיטופלנקטון בכנרת בעונות השנה השונות". בהנחיית ד"ר רות נ. קפלן-לוי.

2. השתלמויות וימי עיון:

- השתלמות לבורנטים של גליליון: ביום חמישי ה - 7.02.2019 קיימנו במעבדה לחקר הכנרת, חיא"ל, השתלמות לבורנטים של המרכזים האקדמיים לנוער מהמכללות האקדמיות תל-חי, כנרת וצפת. בהשתלמות הבורנטים שמעו על הציוד המשמש באופן שותף בניטור ומחקרים ולאחר מכן סיירו במעבדה כדי לבחון את הדברים מקרוב.
- השתלמות לבורנטים של משרד החינוך מחוז צפון: ביום שלישי ה - 25.06.2019 במסגרת השתלמות לבורנטים של משרד החינוך מחוז צפון, הגיעו הבורנטים ליום עיון במעבדה לחקר הכנרת, בו הם נחשפו לפעילות המעבדה, כולל סיור במעבדות.
- השתלמות מדריכי רשות הכנרת: ביום חמישי ה - 12.09.2019 התקיימה במעבדה לחקר הכנרת השתלמות למדריכי רשות הכנרת המדריכים באקו-כנרת על ה"מעבדה השטה". ביום זה הם נחשפו למחקרים החדשים במעבדה ולמדו לעומק על פיטופלנקטון, זואופלנקטון ורכיכות.
- יום עיון לסדנת לימנולוגיה: ביום רביעי ה - 11.12.2019 קיימנו במעבדה לחקר הכנרת השתלמות מורים ומדריכים לקראת פתיחתה של תכנית "סדנת לימנולוגיה". בהשתלמות המשתתפים נחשפו לתכנים ולעבודת המעבדה שהתלמידים שלהם יבצעו במשך הסדנא.

3. ימי העשרה

- פיתוח יום העשרה בנושא "מיקרו-אצות התבוננות זיהוי": יום זה הופעל בתאריך 13.3.2019 כחלק מעבודת ביוחקר – סקירה על הפיטופלנקטון בכנרת וצפיה במיקרוסקופים. וב 11.11.2019 לתלמידי אורט אלון עפולה, לאחר סיור בחוף גופרה.



- במסגרת התוכנית "מוכנות לאקדמיה" בתאריך 20.2.2019 הועבר יום העשרה "תעלומת המים" הכולל מעבדה.

4. עבודות חקר

בחדש מרץ 2019 - הנחיה של 2 עבודות חקר כיתה י' במסגרת פרוייקט "אקטיוואלי" בבית ספר בית ירח, שבצמח הירדן. בפרוייקט חיברו יחד תלמידים ממגמות ביולוגיה, מדעי הסביבה ותקשורת. במסגרת התחנה הונחו 3 עבודות ע"י ד"ר רות נ. קפלן-לוי:

1. השפעה של הזרמת מים מותפלים לכנרת על המיקרואורגניזמים באגם.
2. השפעת פסולת מוצקה על המיקרואורגניזמים באגם.

5. שיתוף פעולה של המעבדה לחקר הכנרת עם מכון ויצמן:

- במסגרת שיתוף הפעולה של המעבדה לחקר הכנרת עם הכיתה הארצית של מדעי כדור הארץ, מכון דוידסון, התבצעו השנה הפלגה ושני סיורים שהבשילו לכדי כתיבת עבודות גיאוחקר ע"י התלמידים.

- חוקרים מהמעבדה לחקר הכנרת הצטרפו לפרוייקט "מדען ברשת" של מכון דוידסון. במסגרת פרוייקט זה החוקר נפגש עם כיתות תלמידים דרך שיחות וידיאו, דבר המאפשר חשיפה של התלמידים אל עולמות המחקר העכשווי.

6. ביקור פורום מנהלי אגפי חינוך של האשכול גליל מזרחי

הביקור התקיים בתאריך 13.05.2019. הביקור כלל הפלגה במעבדה השטה של רשות הכנרת, ביקור בתחנת החקר למדעי המים ופעילות "תעלומת מים".

7. תחרויות 2019 – תחנת החקר למדעי המים

כנס עבודות גמר תשע"ט מחוז צפון:

משרד החינוך יחד עם גליליום משתפים פעולה בכנס האזורי לעבודות גמר של מחוז צפון. במסגרת זו התקיים הכנס ב- 20.12.2018 של עבודות גמר תשע"ט. בתחרות זו זכו כמצטייני מושב 2 עבודות מפרוייקט "פרחי הנדסת מים".

תחרות חוקרי סביבה 2019:

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 צוות התלמידים: תמיר מלטר, נעמי הרחול והראל ליש, מבית ספר תיכון בית ירח, זכו במקום השלישי. נושא העבודה: " השפעת ריכוז זרחן מומס במים על קצב גידול אוכלוסיית האצות הכחוליות *Oscillatoria sp.* ו- *Lyngbya sp.* " בהנחייתה של ד"ר רות נ. קפלן-לוי.



5 נספחים

5.1 סטודנטים לתארים מתקדמים בהנחיית חוקרי המעבדה לחקר הכנרת 2019

מנחה באונ'	מנחה ב"חא"ל	נושא	אוניברסיטה	תואר	שם	
	א' אוסטרובסקי	מערכת ICT לניטור תגובת עמידות אקולוגית במערכות מים מתוקים. מוגש למשרד המדע והטכנולוגיה	חיא"ל Indian Institute of Technology, Madras.	פוסט- דוקטורט	פ' ג'בה - דב	1
	א' אוסטרובסקי	שימוש בציד אקוסטי מתקדם לזיהוי דגים והערכת ביומסה	Tokyo University of Marine Science and Technology, Japan.	פוסט- דוקטורט	ה' הומה	2
L. Song	א' אוסטרובסקי	מחקר אקוסטי של מיקרוציסטיס באגם דאנצ'י	מכון הידרוביולוגי- ויוהאן סין	דוקטורט	ס' ויו	3
ד' שר	פ' אסטרחרן	פוליסכרידים בגופי מים גדולים. אפיון כימי ותכונות ביוכמיות	אוני' חיפה	מוסמך	ע' גת חגי	4
	פ' אסטרחרן	שילוב פוליסכרידים ממקורות שונים כתמך לתהליכי ביודגרציית מזהמים	חיא"ל	פוסט- דוקטורט	ל' קורזן	5
א' סיון	ו' אקרט	מנגנוני חיזור בחל באזור מתאנוגנזה בסדימנטים	אוני' בן-גוריון	דוקטורט	ח' ויגדרוביץ'	6
א' רייכמן א' ליטאור	י' בארי-שלוין	מקורות האבק לכנרת	תל-חי	מוסמך	ע' זרקה	7
נ' גרינבאום	י' בארי-שלוין	הסעת סדימנטים בנחלי בקעת בית-ציידא	אוני' חיפה	מוסמך	ר' רוטשטיין	8



9	מ' אסטרותי	מוסמך	תל-חי	חיזוי שינויים במערכת האקולוגית של הכנרת	ג' גל	י' מרטינז
10	ג' ביטון	מוסמך	אוני' חיפה	Economic aspects of fish stock accounting as a renewable natural capital existing within the Israeli marine habitat	ג' גל	ש' צמח-שמיר
11	י' לצ'ינסקי	דוקטורט	אוני' חיפה	A data-driven approach for ecological monitoring of Lake Kinneret	ג' גל	י' להן
12	ח' קורלס	דוקטורט	אוני' טכנולוגית בקטלוניה	פיתוח מודל אקולוגי במערכת האקולוגית של ים-תיכון	ג' גל	מ' קול
13	ג' שפירו	מוסמך	אוני' חיפה	The comparison of changes in the Food Habits of the mango tilapia, <i>Sarotherodon galilaeus</i> , and the silver carp, <i>Hypophthalmichthys molitrix</i> and their possible competition	ג' גל	א' שפניה
14	ע' ברגמן	פוסט-דוקטורט	חיא"ל	אקולוגיה מולקולרית של חיידק הליגינולה	ש' ניניו	
15	ש' גובר	מוסמך	המרכז האקדמי רופין-קמפוס מכמורת	אקולוגיה של הירקון	ע' נשרי	ש' גפני
16	ת' זילברמן	דוקטורט	אוני' עברית	שימוש באיזוטופים של חנקן למידול מחזור החנקן בכנרת	ע' נשרי	ב' לזר
17	י' שנל	דוקטורט	אוני' עברית	נסיון לזיהוי ביומרקרים בקרקעית הכנרת	ע' נשרי	י' אראל

א' גזית	א' סוקניק	The effect of an Effective Microorganisms (EM) formula on the intensity of growth of toxic cyanobacteria in Lake Kinneret	אוני' תל אביב	מוסמך	א' בן-חור	18
ד' צ'רנוב	א' סוקניק	כיטרידים של אצות הכנרת	אוני' חיפה	דוקטורט	ת' לשם	19
ג' ריטבו	א' סוקניק	הרחקה של ציאנובקטריה ממקורות גלם למי שתיה וממאגרי מים באמצעות מרוכבי חרסיות	תל-חי	מוסמך	ע' רחנשטיין	20
ד' צ'רנוב ד' שר	א' סוקניק	דינמיקה של אוכלוסיות חיידקים המלוות פריחה של מיקרוציסטיס	אוני' חיפה	דוקטורט	א' שויצר	21

5.2 פרסומי המעבדה בספרות הבינלאומית המבוקרת ב- 2019/20

Avetisyan, K., **Eckert, W.**, Findlay, A. J., and A. Kamysny. **2019**. Diurnal variations in sulfur transformations at the chemocline of a stratified freshwater lake. *Biogeochemistry* 146 :1-18. <https://doi.org/10.1007/s10533-019-00614-0>

Bižić, M., Klintzsch T., Ionescu D., Hindiyeh M. Y., Günthel M., Muro-Pastor A. M., **Eckert W.**, Urich T., Keppler F., and H.-P. Grossart. **2020**. Aquatic and terrestrial cyanobacteria produce methane. *Science Advances* 6 (3):1-9. DOI: 10.1126/sciadv.aax5343

Cook, K.V., Li, C., Cai, H., Krumholz, L.R., Hambright, K.D., Paerl, H.W., Steffen, M.M., Wilson, A.E., Burford, M.A., Grossart, H.-P., Hamilton, D.P., Jiang, H., **Sukenik, A.**, Latour, D., Meyer, E.I., Padisák, J., Qin, B., Zamor, R.M. and G. Zhu. **2020**. The global Microcystis interactome. *Limnology and Oceanography*, 65: S194-S207. doi:10.1002/lno.11361

Cohen R, Paikin S., and **P. Astrahan**. **2019**. Carbapenemase Producing Enterobacteriaceae in River Estuaries and Coastal Water of Netanya, Israel. *Open Forum Infectious Diseases*, Vol 6, Issue Supplement_2: 590–591

Corrales, X., Katsanevakis S., Coll M., Heymans J. J., Piroddi C., **Ofir E.**, and **G. Gal**. **2019**. Advances and challenges in modelling the impacts of invasive alien species on aquatic ecosystems. *Biological Invasions*, 22: 907–934 . <https://doi.org/10.1007/s10530-019-02160-0>

Daniel, E., Weiss G., Murik O., **Sukenik A.**, Lieman-Hurwitz J., and A. Kaplan. **2019**. The response of Microcystis aeruginosa strain MGK to a single or two consecutive H₂O₂ applications. *Environmental Microbiology Reports* 11:621-629. <https://doi.org/10.1111/1758-2229.12789>



Dück, Y., Liu L., Lorke A., **Ostrovsky I.**, Katsman R., and C. Jokiel. **2019**. A novel freeze corer for characterization of methane bubbles and assessment of coring disturbances. *Limnology and Oceanography: Methods* 17:305-319.
<https://doi.org/10.1002/lom3.10315>

Eckert, W., Leunert F., Yacobi Y. Z., and K. EE. Kurzbaum. **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 A. Nishri. 2019. 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.), Chapter 20, pp. 377-388. Plantation, FL: J. Ross Publishing

Gal, G., Gilboa, Y., **Schachar, N., Estroti, M.** , and D. Schlabing. **2020**. Ensemble Modelling of the Impact of Climate Warming and Increased Frequency of Extreme Climatic Events on the Thermal Characteristics of a Sub-Tropical Lake. *Water* 12. doi:10.3390/w12071982

Gross, A., Reichmannb O., Zarkab A., Weiner T., **Be'eri-Shlevin Y.**, and A. Angertc. **2019**. Agricultural sources as major supplies of atmospheric phosphorus to Lake Kinneret. *Atmospheric Environment*:117207.
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.117207>

Grossowicz, M., 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. *Marine Sciences* 6:142.



Hillel, N., Wine M. L., Laronne J. B., Licha T., **Be'eri-Shlevin Y.**, and C. Siebert. **2019**. Identifying spatiotemporal variations in groundwater-surface water interactions using shallow pore water chemistry in the lower Jordan river. *Advances in Water Resources* 131:103388. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2019.103388>

Hipsey, M. R., **Gal G.**, Arhonditsis G. B., Carey C. C., Elliott J. A., Frassl M. A., Janse J. H., de Mora L., and B. J. Robson. **2020**. A system of metrics for the assessment and improvement of aquatic ecosystem models. *Environmental Modelling & Software*:104697. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104697>

Hozumi, A., Ostrovsky I., Sukenik A., and H. Gildor. **2019**. Turbulence regulation of Microcystis surface scum formation and dispersion during a cyanobacteria bloom event. *Inland Waters*. 1-20.
<https://doi.org/10.1080/20442041.2019.1637681>

Huang, Y., Liu S., Shen Y., Hong J., Peng L., Li L., Xu P., Hu J., Chen X., and **I. Ostrovsky**. **2020**. Nitrogen availability affects the dynamics of Microcystis blooms by regulating the downward transport of biomass. *Harmful algae* 93:101796. <https://doi.org/10.1016/j.hal.2020.101796>

Kao, Y.-C., Rogers M. W., Bunnell D. B., Cowx I. G., Qian S. S., Anneville O., Beard T. D., Brinker A., Britton J. R., Chura-Cruz R., Gownaris N. J., Jackson J.R., Kangur, K., Kolding, J., Lukin A. A., Lynch, A. J., Mercado-Silva, N., Moncayo-Estrada, R., Njaya, F. J., **Ostrovsky, I.**, Rudstam, L. G., Sandström, A. L.E., Sato, Y., Siguayro-Mamani, H., Thorpe, A., Van Zwieten, P. A.M., Volta, P., Wang, Y., Weiperth, A., Weyl, O. L.F., and J.D. Young. **2020**. Effects of climate and land-use changes on fish catches across lakes at a global scale. *Nature Communications* 11:1-14.
<https://doi.org/10.1038/s41467-020-14624-2>



- Karrasch, B., Horovitz O., Norf H., Hillel N., **Hadas O., Beeri-Shlevin Y.**, and J. B. Laronne. **2019**. Quantitative ecotoxicological impacts of sewage treatment plant effluents on plankton productivity and assimilative capacity of rivers. *Environmental Science and Pollution Research*:1-16.
<https://doi.org/10.1007/s11356-019-04940-6>
- Liu, L., Sotiri K., Dück Y., Hilgert S., **Ostrovsky I.**, Uzhansky E., Katsman R., Katsnelson B., Bookman R., Wilkinson J., and A. Lorke. **2019**. The control of sediment gas accumulation on spatial distribution of ebullition in Lake Kinneret. *Geo-Marine Letters*:1-14. <https://doi.org/10.1007/s00367-019-00612-z>
- Lohrberg, A., Schmale O., **Ostrovsky I.**, Niemann H., Held P., and J. S. von Deimling. **2020**. Discovery and quantification of a widespread methane ebullition event in a coastal inlet (Baltic Sea) using a novel sonar strategy. *Scientific Reports* 10:1-13. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60283-0>
- Minshull, T. A., Marin-Moreno H., Betlem P., Bialas J., Buenz S., Burwicz E., Cameselle A. L., Cifci G., Giustiniani M., Hillman J. I. T., Hölz S., Hopper J. R., Ion G., León R., Magalhaes V., Makovsky Y., Mata M.-P., Max M. D., Nielsen T., Okay S., **Ostrovsky I.**, O'Neill N., Pinheiro L. M., Plaza-Faverola A. A., Rey D., Roy S., Schwalenberg K., Senger K., Vadakkepuliymbatta S., Vasilev A., and V. J.T. **2019**. Hydrate occurrence in Europe: A review of available evidence. *Marine and Petroleum Geology*. 111: 735-764. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2019.08.014
- Naselli-Flores, L., **Zohary T.**, and J. Padisák. **2020**. Life in suspension and its impact on phytoplankton morphology: an homage to Colin S. Reynolds. *Hydrobiologia*:1-24.
<https://doi.org/10.1007/s10750-020-04217-x>

Ninio, S., Lupu A., Viner-Mozzini Y., Zohary T., and A. Sukenik. 2019. Multiannual variations in Microcystis bloom episodes – Temperature drives shift in species composition. *Harmful Algae: 92: 101710.*
<https://doi.org/10.1016/j.hal.2019.101710>

Ostrovsky, I., Wu, S., Li, L., and L. Song. 2020. Bloom-forming toxic cyanobacterium Microcystis: Quantification and monitoring with a high-frequency echosounder. *Water Research:116091.* <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116091>

Poikane, S., **Zohary T.**, and M. Cantonati. **2019.** Assessing the ecological effects of hydromorphological pressures on European lakes. *Inland Waters:1-15.*
<https://doi.org/10.1080/20442041.2019.1654800>

Raveh, O., Angel D. L., **Astrahan P.**, Belkin N., Bar-Zeev E., and E. Rahav. **2019.** Phytoplankton response to N-rich well amelioration brines: a mesocosm study from the southeastern Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin* 146:355-365. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.06.067>

Recknagel, F., **Zohary T.**, Rücker J., Orr P. T., Branco C. C., and B. Nixdorf. **2019.** Causal relationships of Raphidiopsis (formerly Cylindrospermopsis) dynamics with water temperature and N: P-ratios: A meta-analysis across lakes with different climates based on inferential modelling. *Harmful algae* 84:222-232.
<https://doi.org/10.1016/j.hal.2019.04.005>

Schweitzer-Natan, O., Ofek-Lalzar M., Sher D. J., and **A. Sukenik. 2019.** Particle-associated microbial community in a subtropical lake during thermal mixing and phytoplankton succession. *Frontiers in Microbiology* 10:2142.
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02142>



Stockwell, J.D., Doubek, J.P., Adrian, R., Anneville, O., Carey, C.C., Carvalho, L., De Senerpont Domis, L.N., Dur, G., Frassl, M.A., Grossart, H.P., Ibelings, B.W., Lajeunesse, M. J., Lewandowska, A.M., Llamas, M.E., Matsuzaki S-I.S., Nodine, E.R., Nõges, P., Patil V. P., Pomati, F., Rinke, K., Rudstam, L.G., Rusak, J.A., Salmaso, N., Seltmann, C.T., Straile, D., Thackeray, S.J., Thiery, W., Urrutia-Corderon, P., Venail, P., Verburg, P., Woolway, R.L., **Zohary, T.**, Andersen, M.R, Bhattachary, R., Hejzlar, J., Janatian, N., Kpodonu, A.T.N.K., Williamson, T.J., and Harriet L. Wilson. **2020**. Storm Impacts on Phytoplankton Community Dynamics in Lakes. *Global Change Biology*. <https://doi.org/10.1111/gcb.15033>

Sukenik, A., Rucker J., and I. Maldener. **2019**. Dormant cells (akinetes) of filamentous cyanobacteria demonstrate a great variability in morphology, physiology, and ecological function. Pages 65-77 in A. K. Mishra, D. N. Tiwari, and A. N. Rai, editors. *Cyanobacteria - from basic science to applications*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814667-5.00004-0>

Uzhansky, E., Katsnelson, B., **Kaganovsky, S., and I. Ostrovsky**. **2019**. Variability of the Sound Field in the Presence of Internal Kelvin Waves in a Stratified Lake. Pages 1037-1042 in Proceedings of UACE2019, 6th Underwater Acoustics Conference and Exhibition. 30th June to 5th July 2019, Crete, Greece.

Uzhansky, E., Katsnelson, B., Lunkov, A., and **I. Ostrovsky**. **2020**. Spatial and temporal variability of free gas content in shallow sediments: Lake Kinneret as a case study. *Geo-Marine Letters*. 1-15. <https://doi.org/10.1007/s00367-019-00629-4>

Van der Hal, N., Yeruham, E., Shukis, D., Rilov, G., **Astrahan, P.**, and D.L. Angel. **2019**. Uptake and incorporation of PCBs by eastern Mediterranean rabbitfish that consumed microplastics. *Marine pollution bulletin*. 150:110697. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110697>

- Weiss, G., Kovalerchick, D. Lieman-Hurwitz J., Murik O., De Philippis R., Carmeli S., **Sukenik A.**, and A. Kaplan. **2019**. Increased algicidal activity of *Aeromonas veronii* in response to *Microcystis aeruginosa*: interspecies crosstalk and secondary metabolites synergism. *Environmental Microbiology* 21:1140–1150. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.14561>
- Weiss, G., Kovalerchick, D., Murik O., **Sukenik, A.**, Kaplan, A., and S. Carmeli. **2019**. Secondary Metabolites of *Aeromonas veronii* Strain A134 Isolated from a *Microcystis aeruginosa* Bloom. *Metabolites* 9:110. <https://doi.org/10.3390/metabo9060110>
- Wine, M. L., **A. Rimmer**, and J. B. Laronne. **2019**. Agriculture, diversions, and drought shrinking Galilee Sea. *Science of the Total Environment* 651:70-83. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.058>
- Wu, X., Yang, T., Feng, S., Bangding Xiao, L. L., Song, L., **Sukenik A.**, and **I. Ostrovsky**. **2020**. Recovery of *Microcystis* surface scum following a mixing event: Insights from a tank experiment. *Science of the Total Environment*:138727. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138727>
- Zohary, T.** **2020**. Alon Rimmer: Tenacious Hydrologist, Devoted Editor, Mentor 1956-2018. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125067>
- Zohary, T., Alster, A., Hadas, O.**, and U. Obertegger. **2019**. There to stay: invasive filamentous green alga *Mougeotia* in Lake Kinneret, Israel. *Hydrobiologia* 831:87-100. <https://doi.org/10.1007/s10750-018-3522-2>
- Zohary, T.**, G. Flaim, and U. Sommer. **2020**. Temperature and the size of freshwater phytoplankton. *Hydrobiologia*:1-13. <https://doi.org/10.1007/s10750-020-04246-6>

5.3 דו"חות המעבדה 2019

שם הדו"ח/המעבדה לחקר הכנרת ע"ש יגאל אלון	דו"ח חיא"ל מס'
זהרי, ת', קמינגס, ד', סולימני, ב'. 2019. דו"ח אד-הוק לרשות המים: שני מינים נוספים של חלזונות פולשים נתגלו בשנתיים האחרונות בכנרת. מוגש לרשות המים.	T1/2019
בארי-שליון י'. 2019. "ניטור מתכות כבדות בכנרת" דו"ח שנתי 2018. מוגש לתחום כנרת ברשות המים.	T2/2019
אוסטרובסקי, א', סוקניק, א'. 2019. מערכת ICT לניטור תגובת עמידות אקולוגית במערכות מים מתוקים. מוגש למשרד המדע והטכנולוגיה.	T3/2019
גל, ג' (עורך), צוות חוקרי המעבדה לחקר הכנרת. 2019. ניטור ומחקרי כנרת. דו"ח פעילות המעבדה שנת 2018. מוגש למשרד האנרגיה ולרשות המים.	T4/2019
קפלן-לוי, ר'נ'. 2019. בדיקת נוכחות של <i>Prymnesium parvum</i> בכנרת. דו"ח אד הוק, מוגש לרשות המים.	T5/2019
ניניו, ש', סוקניק, א'. 2019. פיתוח אינדיקטורים מיקרוביאליים להערכת איכות מים ומצב טרופי של מערכות מים טבעיות – הכנרת כמודל. דו"ח שנתי - שנה שנייה, מוגש לרשות המים.	T6/2019
בארי-שליון, י'. 2019. המצב האקולוגי בכנרת חורף – אביב. דו"ח אד הוק, מוגש לרשות המים.	T7/2019
נשרי, ע'. 2019. הגישה האינטגרטיבית לבדיקת השפעת גופי מים בעמק החולה על הכנרת. דו"ח שנתי – שנה שנייה, מוגש לרשות המים.	T8/2019
אופיר, א', גל, ג', זהרי, ת', קמינגס, ד'. 2019. השפעת הצומח החופי על האקולוגיה והפיתוח התיירותי של הכנרת. דו"ח ביניים לאבני דרך 1-2, מוגש לקרן לשטחים פתוחים.	T9/2019
Gal, G., Pierson, D., Moore, T., Estroti, M., Bolding, K., Bruggeman, J., Clayer, F., de Eyto, E., Guerrero, J.L., Jeppensen, E., Jennings, E., Nielsen, A., Seifert-Dahn, I., Trolle, D. 2019. Report of use of NRT data to improve model performance. PROGNOS deliverable 4.4, submitted to Water JPI.	T10/2019
Gal, G., Nielsen, A., Trolle, D., Moore, T., Estroti, M., Pierson, D., Bolding, K., Bruggeman, J., Clayer, F., de Eyto, E., Guerrero, L.E., Jeppensen, E., Jennings, E., Seifert-Dahn, I. 2019. Automated use of NRT to drive short-term model forecasts. PROGNOS deliverable 4.5, submitted to Water JPI.	T11/2019
גל, ג' (עורך), צוות חוקרי המעבדה לחקר הכנרת. 2019. דו"ח חצי שנתי לשנת 2019, מוגש לרשות המים.	T12/2019

שם הדו"ח/המעבדה לחקר הכנרת ע"ש יגאל אלון	דו"ח חיא"ל מס'
Ostrovsky, I., Song, L., Sukenik, A., Gildor, H., Hozumi, A., Schweitzer-Natan, O., Wu, S., Li, L., Wu, X., Uzhanskii, E., Katsnelson, B., Kaganovsky, S., Vinner-Mozzini, D., Lupu, A. 2019. Formation of cyanobacteria <i>Microcystis</i> blooms in shallow and deep lakes: implementation of novel methodologies to study spatiotemporal organization of toxic populations. Final report, submitted to ISF-NSFC.	T13/2019
Sukenik, A., Kaplan, A., Nir, S., 2019. Emerging methodologies to control toxic cyanobacterial blooms in natural and manmade water bodies. Annual report, submitted to MOST.	T14/2019
ניניו, ש', סוקניק, א'. 2019. פיתוח אינדיקטורים מיקרוביאליים להערכת איכות מים ומצב טרופי של מערכות מים טבעיות – הכנרת כמודל. דו"ח חצי שנתי - שנה שלישית, מוגש לרשות המים.	T15/2019
ניניו, ש', סוקניק, א' בארי-שליון י'. 2019. השפעת המליחות בכנרת על התבססות מיקרואורגניזמים שמקורם באבק אטמוספרי השוקע באגם. דו"ח חצי שנתי - שנה ראשונה, מוגש לרשות המים.	T16/2019
אלסטר, א'. 2019. ניטור הפיטופלנקטון באגמון החולה. סיכום לשנת 2018 בבחינה רב שנתית. מוגש למיג"ל	T17/2019
בארי - שליון, י'. ניטור מתכות כבדות בכנרת. מוגש לרשות המים.	T18/2019
גל, ג', לובל - ילס, א', שחר, נ'. 50 שנות מחקר במעבדה לחקר הכנרת.	T19/2019

5.4 ייעוץ והשתתפות בוועדות ממשלתיות /לאומיות ומקצועיות בישראל ובחו"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 ובינלאומיים במהלך שנת 2019:

- ✓ ניתנה חוות דעת למשרד להגנת הסביבה בנושא מפגע במסוף הכימיקלים בנמל חיפה/קישון.
- ✓ מעקב אחר אירוע פריחה חורפית של ציאנובקטריה. דו"ח אד הוק נשלח לרשות המים.
- ✓ ממשיכה הסדרת ממשק חדש של העברת נתוני הניטור השוטפים לבסיס הנתונים הראשי של רשות המים.
- ✓ מתן ייעוץ לרשות המים בנושא הזרמת מי התפלה לכנרת. החלו ניסויים מעבדתיים וניסויים במודלים לבחינת ההשלכות.
- ✓ ייעוץ לרשות המים בנוגע לבעיית המלחת הכנרת, המפלסים הנמוכים ושילוב התנאים החריגים באגם בתקופה האחרונה.
- ✓ ייעוץ ומתן חוות דעת בנושא זמן השהות של מי הכנרת וההשלכות על איכות המים.
- ✓ לבקשת רשות המים החל ניטור מורחב של פריחות ציאנובקטריה בכנרת.
- ✓ לבקשת רשות המים החל תכנון וביצוע התקנת תחנת דיגום קבועה בצפון הכנרת לצורך מעקב אחרי התפתחות פריחות ציאנובקטריה באגם.
- ✓ לבקשת רשות נחל הירקון, נבחנת התשתית המדעית לביצוע ניטור שוטף ארוך טווח בנחל הירקון.
- ✓ ייעוץ לרשות המים בנושא רעלני ציאנובקטריה בכנרת, שכלל פיתוח ויישום פרוטוקול דיווח מדורג לרשות המים, וכן דיגום ואנליזות ייעודיות במקרה של פריחה בכנרת.
- ✓ מספר מקרי חשד להרעלת דגים נבחנו גם השנה (כבכל 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 ולרשות המים.

✓ ייעוץ לגבי ממשק יערות האשלים שהתפתחו סביב הכנרת.

השתתפות חוקרים בוועדות ממשלתיות לאומיות ומקצועיות בישראל ובחו"ל

- ✓ השתתפות בפרויקט Conservation of freshwater mussels של COST ACTION של האיחוד האירופי (א' אוסטרובסקי).
- ✓ ועדת התפעול העליונה למשק המים, רשות המים (ג' גל, משקיף).
- ✓ הוועדה לממשק דיג בכנרת, משרד החקלאות (ת' זהרי, חברה).
- ✓ ועדת אינטרדוקציה של בע"ח ואצות, משרד החקלאות (א' אוסטרובסקי, חבר).
- ✓ צוות היגוי ניטור כנרת ואגן ההיקוות, רשות המים (ג' גל, משקיף).
- ✓ ועדה לניטור ומניעת הרעלות דגים בכנרת, משרד החקלאות (ג' גל, משקיף).
- ✓ צוות חשיבה של המשרד להגנת הסביבה בנושא השפעות שינויי אקלים על מערכות מים מתוקים (ת' זהרי, חברה).
- ✓ ועדת ההיגוי של הפורום הציבורי למים (ג' גל, חבר).
- ✓ נציג הקהילה הלימנולוגית הישראלית בארגון הבין-לאומי SIL (א' אוסטרובסקי).
- ✓ מזכירה כללית וגזברית של ארגון הלימנולוגים הבין-לאומי SIL (ת' זהרי).
- ✓ ניהול תחנת חקר במדעי המים בגליליום, שותפות אזורית לקידום חינוך מדעי טכנולוגי באשכול גליל-מזרחי (ר' קפלן-לוי).
- ✓ The management committee at the specialist group on Lake and Reservoir Management, Internation 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 - Editorial Board (ו' אקרט)
- ✓ Editorial Board - Journal of Aquaculture & Marine Biology (א' אוסטרובסקי)
- ✓ Editorial Board - Ecological Informatics, (א' אוסטרובסקי)
- ✓ Energies, MDPI Publishing - Editorial Board (א' אוסטרובסקי)

5.5 ביקורים במעבדה בשנת 2019

שם הארגון	תאריך הביקור	מספר המשתתפים	סוג הפעילות
לבורנטיות של גליליום	07.02.19	8	הרצאה וסיור במעבדות
החוג למדעי הסביבה באוניברסיטה העברית	01.05.19	18	הרצאה והדגמה של ציוד הניטור
שר האנרגיה, מנכ"ל משרד האנרגיה, מדען משרד האנרגיה, עוזרי השר ודירקטוריון חיא"ל	23.05.19	11	הרצאה, סיור והפלגה
לבורנטיות של משרד החינוך	25.06.19	18	הרצאה, הסבר על ספינת הדיגום וסיור במעבדות
לבורנטיות של משרד החינוך	09.07.19	15	הרצאה, הסבר על ספינת הדיגום וסיור במעבדות
דוקטורנטים מהאוניברסיטה החקלאית של סין	13.08.19	11	הרצאה וסיור במעבדות
מורים ומדריכים, מדריכי רשות הכנרת	12.09.19	23	הכשרה לסדנת לימנולוגיה: מידע עדכני על הנעשה במעבדה, המינים השולטים באגם וסיפורים מעניינים נוספים
המעבדה של פרופ' אלון חן - מכון ויצמן	31.10.19	30	הרצאה
משלחת משתלמים מאתיופיה וקניה	09.12.19	22	הרצאה ויציאה למעגן לתצפית על הכנרת
מורים ומדריכים	11.12.19	13	הכשרה לסדנת לימנולוגיה: מידע עדכני על הנעשה במעבדה, המינים השולטים באגם וסיפורים מעניינים נוספים