



דו"ח חיא"ל T01/2020

**בחינת השלכות של שתי חלופות לחיבור אזורים  
מנותקים על הכנרת**

מוגש ע"י: צוות חוקרי המעבדה לחקר הכנרת,  
חקר ימים ואגמים לישראל

אפריל 2020

**דו"חות חיא"ל**  
**I O L R REPORTS**



**בחינת השלכות של שתי חלופות לחיבור אזורים מנותקים על הכנרת  
המעבדה לחקר הכנרת, חקר ימים ואגמים לישראל  
אפריל 2020**

**1. רקע**

בעקבות רצף של חמש שנות בצורת, ביוני 2018 קיבלה הממשלה החלטה (החלטת ממשלה מספר 3866) העוסקת בתוכנית אסטרטגית להתמודדות עם תקופות בצורת במשך המים בשנים 2018 - 2030. בין השאר, הממשלה הנחתה את רשות המים לפעול לחיבור אזורים מנותקים למערכת המים הארצית על מנת להבטיח אמינות אספקה גבוהה לאזורים אלו גם בעתיד. בהחלטה נקבע כי יש: "להנחות את רשות המים לבחון תכנית לחיבור האזורים המנותקים למערכת הארצית לטובת יצירת אמינות מלאה לאספקת מי שתייה ולהגדלת אמינות אספקת המים לחקלאות, טבע ותיירות באזורים אלו." "האזורים המנותקים" בסעיף זה - אזור מעלה כינרת, הגליל המערבי, עמקים מזרחיים ורמת הגולן. בעקבות ההחלטה בחנה רשות המים מספר חלופות לחיבור האזורים המנותקים למערכת המים הארצית. שתי החלופות העומדות כיום על הפרק מציעות:

(א) להזרים לכנרת את כלל המים מהמערכת הארצית המיועדים הן לכנרת והן לאזורים המנותקים והזרמת מים מהכנרת לאזורים המנותקים.

(ב) הזרמה של חלק ניכר של המים מהמערכת הארצית לכנרת, במקביל לחיבור תשתיתי והזרמת מים מהמערכת הארצית ישירות לאזורים המנותקים.

ברשות המים נבחנו תרחישים שונים על בסיס שתי חלופות אלה תוך הנחות יסוד המתייחסות לצריכה העתידית באזורים אלו וכן לירידה הצפויה במים הזמינים לכנרת בעקבות שינויי אקלים ושאיבות מוגברות בלבנון. עפ"י תרחישים אלו, בשנת 2050 צפוי להיות מוזרם לכנרת, בממוצע, נפח מים של 179 מלמ"ק בשנה בתרחיש של הזרמה מלאה לאגם לעומת נפח מים של 142 מלמ"ק בשנה בתרחיש של הזרמה חלקית לכנרת. רשות המים ביקשה מהמעבדה לחקר הכנרת, חקר ימים ואגמים לישראל, לנסח נייר עמדה בעניין שתי החלופות העומדות על הפרק, מבחינת השלכות האפשריות על המערכת האקולוגית של הכנרת.

נייר עמדה זה מתייחס בעיקר להבדלים הצפויים הנובעים מתפעול האגם בשתי החלופות המדוברות בהנחה שכלל נפח המים השנתי יוזרם לאגם במהלך החודשים ינואר-יוני כל שנה. הנחה נוספת היא שהמים יוזרמו בצינור עד כ-4 ק"מ לפני האגם ומשם בזרימה חופשית בתוואי נחל צלמון.

בימים אלו נבחנים תרחישים אלו בעזרת מודל פיזיקלי תלת מימדי והבדיקה עדיין לא הושלמה. ממצאים ראשוניים מעלים כי ככל הנראה לא צפויים שינויים משמעותיים במשטר הזרימה באגם.

נייר העמדה מבוסס על הידע והנסיון של חוקרי המעבדה לחקר הכנרת וכן על המידע העומד לרשותם.

הזרמת נפחים גדולים של מי מערכת לכנרת היא צעד תפעולי חדש במהותו ולכן אין אפשרות להתייחס למידע המבוסס על נסיון היסטורי מהכנרת. יתרה מזאת, לא נמצאו בספרות המקצועית דוגמאות או תיעוד מאגמים טבעיים אחרים בעולם שבהם בוצעה הזרמה של כמות גדולה כל כך של מים לא טבעיים לאגם. לאור זאת, המסקנות וההמלצות שאנו מעלים במסמך מבוססות על הידע העומד לרשותנו שהוא חסר במהותו ולכן המלצותינו ניתנות תחת רמה מסוימת של חוסר וודאות.

בנוסף, מערכות אקולוגיות אקוויטיות באופן כללי, וזו של הכנרת בפרט, הינן מערכות מורכבות בעלות מספר גדול של מרכיבים ושל יחסי גומלין, שאינם ליניאריים הן בין מרכיבים אלו והן בתגובה של המרכיבים לשינויים סביבתיים. המורכבות הרבה של מערכות אקולוגיות ושל התגובות של המרכיבים הביולוגיים בסביבה הפיזית (כגון טמפרטורה וזרמים) והכימית (כגון ריכוזים של נוטריינטים וכלוריד) מקשה על יכולת החיזוי של ההשלכות של התערבות אנושית על מערכות אלו. קיימות דוגמאות רבות מהעולם של מקרים בהם בוצעה התערבות אנושית במערכות אקולוגיות כדי להשיג מטרה מסוימת, כאשר בפועל התגובה של המערכת האקולוגית הייתה שונה באופן קיצוני מהמצופה, מה שגרם להשלכות לא צפויות ואף מזיקות.

אי לכך, על מנת לצמצם את חוסר הוודאות בדבר השפעות התערבות חיצונית, כדוגמת הזרמת מי מערכת והבדלים אפשריים בין שתי החלופות, יש להתייחס הן למערכת האקולוגית באופן כללי, והן באופן ספציפי למאפיינים הפיזיקליים, הכימיים והביולוגיים של האגם.

## 2. מאפיינים פיזיקליים

### 2.1. מפלס האגם

מפלס האגם הינו מאפיין מרכזי המשפיע על המערכת האקולוגית של הכנרת משום שהשינויים הגדולים במפלסי האגם פוגעים במערכת האקולוגית וביציבותה. לכן, כפי שפורט בהרחבה במחקרים שערכנו ובדוחות ובמאמרים שפרסמנו במהלך השנים ישנה חשיבות רבה לשמירה על מפלסים גבוהים ובמיוחד לשמירה על היציבות של המפלסים ע"י ניווד מצומצם. על כן, חלופה אשר מאפשרת תפעול אגם במפלסים גבוהים שמבטיחים את הצפת לגונות הבטיחה באביב ובטווח מפלסים יחסית יציב (ניווד מוגבל) צפויה להיות חלופה טובה יותר מבחינת המערכת האקולוגית.

### 2.2. מאפיינים תרמיים של הכנרת

בעקבות שינויים אקלימיים צפויה עליה בטמפרטורת מי הכנרת לאורך זמן. לעליית טמפרטורה כזו עלולות להיות השלכות שליליות על הרכב הביוטה של האגם בעקבות העלמות של מינים מקומיים או ירידה בתפוצתם והשתלטות של מינים פולשים (חלקם מזיקים) או התחזקות מינים מקומיים שלא באו לביטוי בטמפרטורות נמוכות. להזרמת מי המערכת הארצית לכנרת עשויות להיות שלוש השפעות מרכזיות על המאפיינים התרמיים של האגם:

- הגברת היציבות התרמית בעקבות הזרמת נפחים גדולים יחסית של מים בטמפרטורה נמוכה ממי הכנרת במהלך רוב חודשי החורף. מידת התרומה תהיה תלויה בהפרשי הטמפרטורה בין המים הזורמים לאגם ומי האגם וכן בנפחי המים. יצירת שכוב תרמי יציב מדי עלולה למנוע ערבול מלא של עמודת המים במהלך חודשי החורף. תזמון נכון של הזרמת מי המערכת לאגם יצמצם השפעה אפשרית זאת.

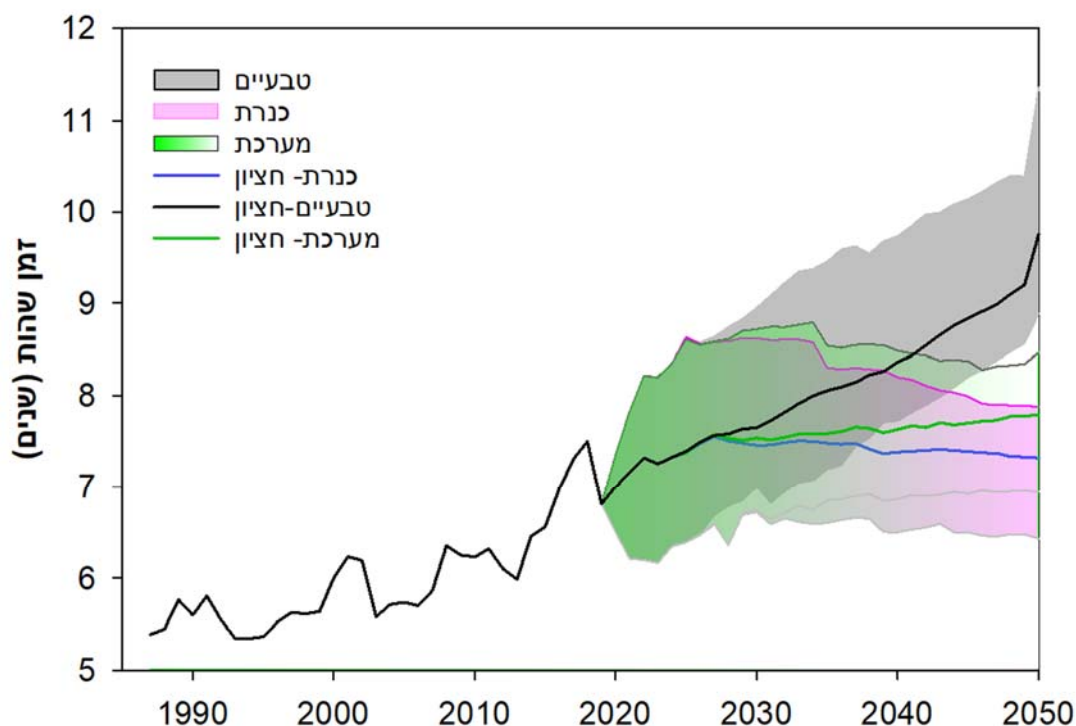
- צמצום הרגישות של הכנרת למגמת ההתחממות הגלובלית והעליה החזויה בתדירות של גלי חום: הזרמת מים חיצוניים לכנרת תאפשר שמירה על מפלס גבוה יותר, ונפח מים גדול יותר באגם, לכן, יידרש שטף חום גדול יותר מהאטמוספירה על מנת לגרור שינויים במאפיינים התרמיים באגם, כגון טמפרטורת המים בשכבה העליונה והעמוקה והשיכוב התרמי. בנוסף, הזרמת כמות מים גדולה יותר בעלת טמפרטורה נמוכה יותר ממי הכנרת תסייע אף היא בשמירה על טמפרטורת הכנרת למרות העלייה הצפויה בטמפרטורת האוויר בתנאי שיתקיים ערבוב מלא של עמודת המים כל חורף.
- שינויים במשטר הזרמים באגם- בעקבות הזרמת נפחי מים גדולים יחסית במהלך החורף- אביב דרך נחל צלמון יש להניח שיהיו שינויים במשטר הזרימה באגם בעיקר באזור שפך הצלמון. בימים אלו נבחנים תרחישים אלו בעזרת מודל פיזיקלי תלת מימדי. נכון לכתבת שורות אלו התרחישים מעלים כי שינויים במשטר הזרימה לא צפויים להיות משמעותיים, ובמיוחד לא צפויים הבדלים בין שתי החלופות. כאמור, נושא זה נמצא כעת בבחינה מעמיקה יותר בסיוע מודל פיזיקלי.

### 2.3 זמן שהות

שינויים במשטר זרימת מים לאגם ובשאיבת מים מהאגם משפיעים על זמן שהות המים באגם. בחודשים האחרונים נבחנו מספר שיטות לחישוב הנכון ביותר של זמן שהות של המים בכנרת. במהלך עבודה שביצעו פרופ' ערן פרידלר ודרי' יעל גלבווע מהטכניון, בשיתוף עם פיראס תלחמי מרשות המים, ודרי' גדעון גל מהמעבדה לחקר הכנרת, נבדקה שיטה חדשה לחישוב של זמן שהות שמהווה לדעתנו שיטה טובה יותר מהשיטות שהיו נהוגות עד כה עבור הכנרת ואגמים אחרים. חישוב זמן שהות, עפ"י שיטה זאת, עבור התקופה של 1987-2018, מצביע על זמן שהות ממוצע של 5.95 שנים. חישוב ממוצע על בסיס תקופות אחרות, למשל, עד שנת 2000, מעיד על זמן שהות היסטורי של כ- 5.57 שנים. שימוש בשיטה זו לחישוב זמן שהות בשנת 2050 על בסיס שתי החלופות מצביע על זמני שהות ממוצעים של 7.15 שנים במקרה של הזרמה מלאה ו- 7.64 שנים במקרה של הזרמה חלקית לכנרת, לעומת 9.4 שנים בממוצע אם לא יוזרמו מים לכנרת. חשוב לציין שבחינה של 30 תרחישים בכל אחת מהחלופות מצביעה על טווח נרחב של זמני שהות בתלות בספיקות הנכנסות והשאיבות בכל שנה. ככל שהספיקות קטנות ועמם השאיבות הרי שההפרשים בין החלופות גדלים (איור 1).

מתוך סקירה של הספרות המדעית המדווחת על השפעת שינויים בזמן שהות על מערכות אקווטיות ובעיקר חשיבותו בהשפעה על הרכב האצות ופריחות של ציאנובקטריה בגופי מים שונים עולה כי לקיצור זמן שהות עשויה להיות השפעה חיובית. במספר מחקרים דיווחו שלהגברת ה"שטיפה" ע"י צמצום זמן שהות כנראה השפעה חיובית על המערכת האקווטית בכל הקשור לפריחות של ציאנובקטריה. עפ"י מאמרים אלו "שטיפה אופקית, על ידי הגברת זרימת המים דרך אגמים או שפכי נהרות, מקטינה את זמן שהייה של המים, ובכך מספקת פחות זמן להתפתחות של פריחות ציאנובקטריה". אך, בכל המקרים המדווחים מדובר על מערכות אקווטיות בעלי זמן שהות קצרים של עד מספר חודשים. על כן, מתוך ההבנה והמידע שברשותנו, במערכת אקווטית, דוגמת הכנרת, בה זמן שהות המים הוא בסדרי גודל של שנים ההשפעה של הגברת קצב השטיפה על אירועי פריחה של ציאנובקטריה תהיה כנראה שולית וככל הנראה ההשפעה תהיה עקיפה, דרך השפעה על מאזני הנוטריינטים או התפתחות של פריחות של אוכלוסיות מתחרות לציאנובקטריה, כגון הפרידיניום.

בהינתן העדר מידע נוסף נראה כי ההשלכות של ההבדלים בזמני השהות בשתי החלופות אינן חד משמעיות. אכן, בעקבות השילוב של מורכבות המערכת האקולוגית, ריבוי התהליכים והשונויות הרבה בגורמים המאלצים, לא ניתן להראות, על בסיס הנתונים הנאספים מהאגם, קשר סטטיסטי מובהק בין זמן שהות לאיכות המים מלבד במספר משתנים המפורטים בהמשך. יחד עם זה, נכון יהיה לפעול לתפעול האגם במצבים דומים לתנאים היסטוריים כלומר לשאוף לזמני שהות דומים ככל הניתן לזמני השהות כפי שחושבו עבור תקופה היסטורית כגון התקופה 1987-2000. המשמעות הינה התחלופה המאפשרת הזרמה ושאיבה של כמויות גדולות של מים מהאגם.

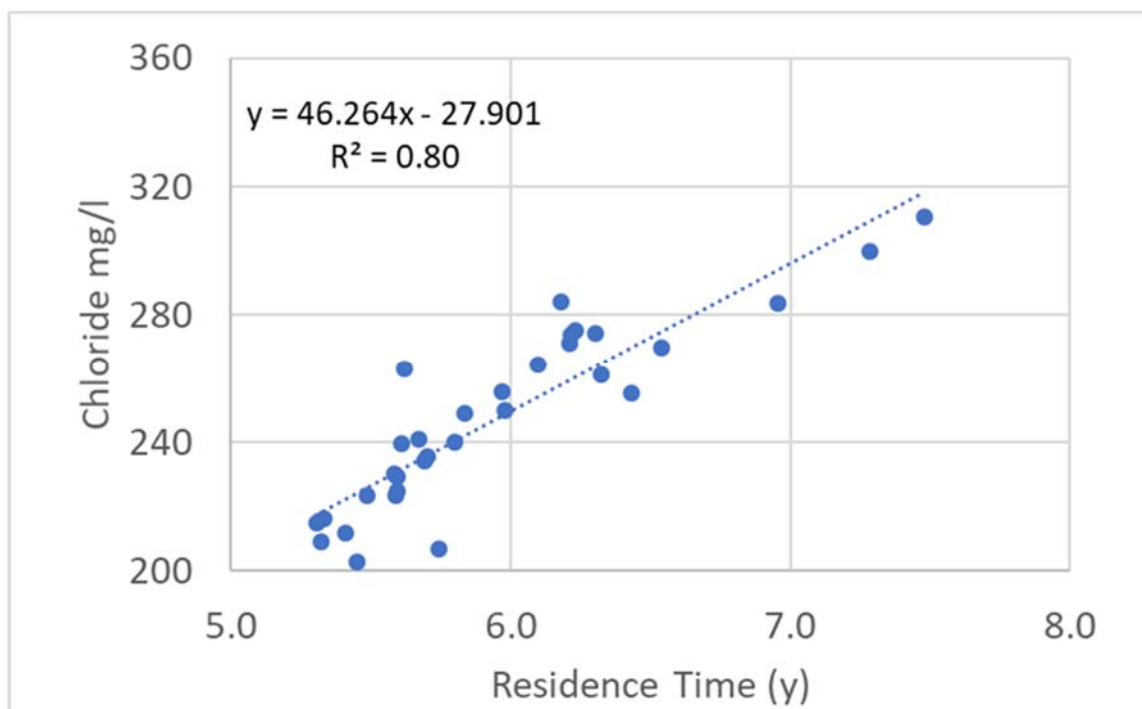


**איור 1.** זמן השהות הצפוי עד שנת 2050 על בסיס שתי החלופות המוצעות וכן במצב של העדר הזרמה של מי מערכת לאגם (מים טבעיים בלבד). הקווים הרציפים העבים מבטאים את ערכי החציון של 30 התרחישים בכל אחד משתי החלופות וחלופת מים הטבעיים בלבד. השטחים מבטאים את טווח הערכים של 30 התרחישים בכל אחת מהחלופות.

### 3. מאפיינים כימיים

#### 3.1. כלוריד

על בסיס ניתוח היסטורי של נתוני הניטור ממאגר הנתונים של המעבדה לחקר הכנרת, חיאל, ניתן לראות קשר ישיר וברור בין זמן השהות לריכוז הכלוריד ומליחות המים באגם (איור 2). עליה בזמן השהות גוררת עליה ברורה במליחות האגם שבאה בעקבות ירידה בספיקות הנכנסות של מים מתוקים וצמצום הסילוק של מי הכנרת המלוחים. על פי חישובי רשות המים, המבוססים על מודל המליחות של דר' אלון רימר ז"ל (חיאל), ריכוז הכלוריד הממוצע הצפוי בשנת 2050 הינו 235 מג"ל ו-248 מג"ל, בחלופות של הזרמה מלאה וחלקית לכנרת, בהתאמה.



איור 2. היחס בין ריכוז הכלוריד השנתי הממוצע במים וזמן שהות. הערכים מחושבים על בסיס השנה ההידרולוגית.

מיני הציאנובקטריה (כחוליות) שפורחים בקיץ בכנרת ידועים כמייצרי רעלנים שבריכוזים גבוהים עלולים להוות סכנה בריאותית לציבור, אם במי השתיה או בחשיפה אליהם תוך כדי שחיה ומגע עם המים. כבר כיום ישנן עדויות נסיבתיות הקושרות בין תגובות אלרגיות של נופשים וגולשים רבים בכנרת לבין המצאות רעלנים שמקורם במיני הציאנובקטריה הקיציים. מחקר שנערך במעבדה על הכחולית הרעילה אפניזומנון מעיד על כך שמין זה, הפורח בקיץ באגם, זקוק לריכוז נתון של לפחות 5mM על מנת לשגשג. לפיכך לערכים של כ- 200 מג"ל או פחות הרי שהסיכויים לפריחות הקיציות של זן רעיל זה הולכים וקטנים.

### 3.2. נוטריינטים

ריכוזי נוטריינטים (חנקן וזרחן ועוד) במי האגם משפיעים באופן ישיר על ביומסת והרכב האצות במים. ככלל אצבע, ככל שריכוז הנוטריינטים באגם עולה תוכל להתפתח אוכלוסייה של אצות בעלת ביומסה גדולה יותר. חשוב מכך, ריכוז הנוטריינטים והיחסים בין ריכוז החנקן והזרחן ייקבעו את אופי אוכלוסיית האצות באגם במהלך השנה. לאורך שנים רבות רשות המים פעלה להורדת עומסי הנוטריינטים המגיעים לאגם דרך הנחלים ע"י שיפור הממשקים באגן ההיקוות כגון שינויים במשטר השימוש בדשנים ע"י חקלאיים, חיבור רפתות למערכות ביוב וכד'. כתוצאה, כפי שניתן לראות במאזנים השנתיים שאנו מפרסמים, בשנים בהן ספיקות המים בנחלים נמוכות יחסית הרי שהמקורות העיקריים של זרחן במי הכנרת הן מקורות אטמוספריים (אבק), מיחזור פנימי הכולל הפרשות של בע"ח ושחרור זרחן מהסדימנטים. המקורות העיקריים של חנקן בכנרת הם ממי הנחלים הנכנסים אליה וכן ממחזור פנימי. הזרמה של נפחי מים גדולים של מי מערכת לא צפויה להוות מקור משמעותי של נוטריינטים לאור הריכוזים הנמוכים שלהם במי מערכת ועל כן לא תשנה מהותית את התרומה היחסית של המקורות השונים. לעומת זאת, להגברת השאיבה מהאגם בעקבות

הזרמת מים לכנרת עשויה להיות השלכות חיוביות. בשנים האחרונות, נעשה צמצום בנפחי המים הנשאבים מהאגם, ובהתאם השאיבה היוותה מנגנון מצומצם יחסית להרחקת הנוטריינטים מהאגם. על כן, הכפלה של הוצאת המים מהאגם בעקבות הגברת כניסת מים עשויה להפוך את השאיבה למנגנון משמעותי בהרחקת נוטריינטים מהאגם. במקרה כזה, ככל שנפחי המים הנשאבים מהאגם גדולים יותר כך מורחקת כמות גדולה יותר של נוטריינטים. יש לשקול את תקופת השאיבות השנתית על מנת להגדיל את ההשלכות החיוביות של שאיבות אלו.

### 3.3. מרכיבים כימיים אחרים

מבדיקה של השנויים בריכוזים של מרכיבים כימיים שונים, כולל יסודות קורט, ביחס לשינויים בזמן השהות ניתן למצוא התאמה מסוימת (מגמת עליה, ערכי  $r^2$  מעל 0.45) בין הריכוז שלהם במים לזמן השהות. מדובר למשל בסילקה, סידן, אלקלניות, סטרונציום, אורניום ומוליבדן. ישנן משמעותיות שונות לכל אחד מהמרכיבים הללו. על כן, תהיה עדיפות לחלופה שבה ניתן לצמצם את זמן השהות בעיקר ליסודות בעלי פוטנציאל רעילות בריכוזים גבוהים כגון אורניום ומוליבדן.

## 4. מאפיינים ביולוגיים

### 4.1. ציאנובקטריה (כחוליות)

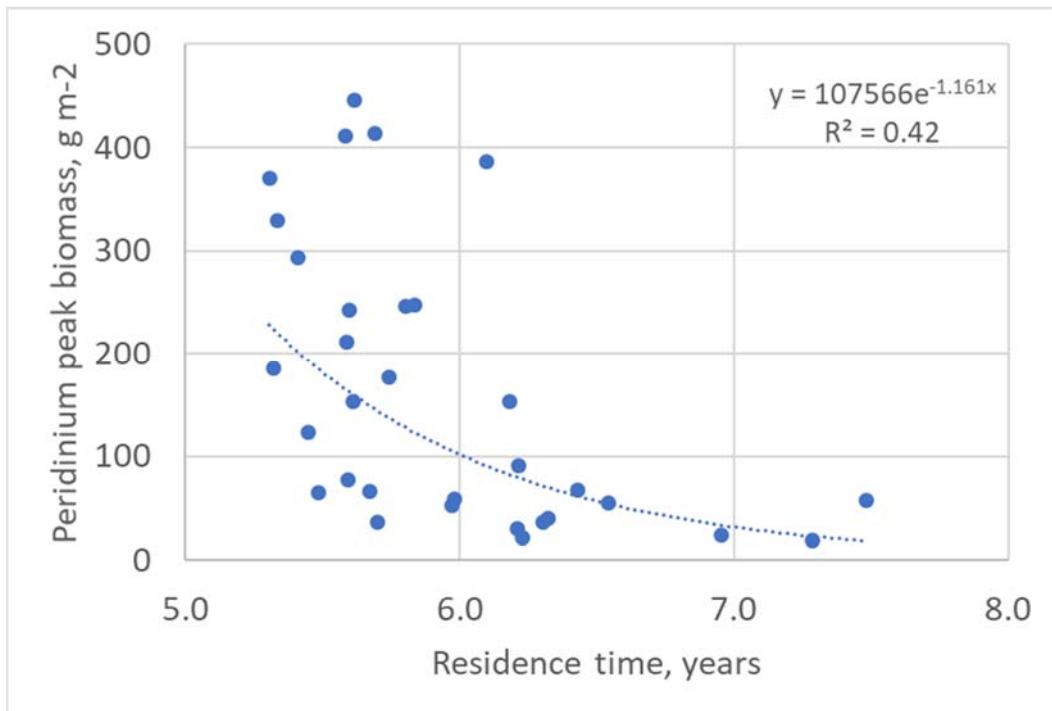
אוכלוסיית הציאנובקטריה בכנרת מתחלקת באופן כללי לשתי קבוצות: זאת המורכבת ממינים שפורחים בחורף כדוגמת המיקרוציסטיס, והקבוצה שמורכבת ממינים הפורחים בקיץ כדוגמת האפניזומינון והצלינדרוספרמופסיס. לחלוקה זאת ישנה משמעות לאור המאפיינים הסביבתיים הנדרשים לפריחות שלהם וכן ההשפעות האפשריות על איכות המים ועל בעיות בריאותיות. פריחת החורף של הציאנובקטריה מתרחשת לרוב בחודשים פברואר-מרץ ותלויה בין השאר בתנאי מזג אוויר מתאימים כגון ימים שמשיים עם מעט רוח וכן ריכוזים גבוהים של נוטריינטים במי השטח בעקבות הערבוב השנתי של כלל עמודת המים. כמו כן, פריחות אלו אינן מתקיימות בשנים בהן מתרחשת פריחה של אצת הפרידיניום באגם. פריחת הפרידיניום התרחשה בשנים האחרונות רק בשנים גשומות עם אירועיים שטפוניים משמעותיים. בנוסף, ישנה סבירות גבוהה שפריחות הפרידיום קשורות גם למפלס האגם והצפת אזור הבטיחה.

מיני הציאנובקטריה הפורחים בקיץ (בעיקר חודשים יוני-נובמבר) הינם בעלי יכולת קיבוע חנקן אטמוספרי המעניקה להם יתרון תחרותי על מינים אחרים של אצות לאור היעדר החנקן הזמין בשכבת המים העליונה במהלך חודשי הקיץ. אבל, יש להם צורך בריכוזים מתאימים של זרחן בשכבת המים העליונה. בעבודה שנעשתה לבקשת רשות המים, גלבוץ וגל (2012) דיווחו, על בסיס הרצות מודל אקולוגי של הכנרת, שירידה במים זמינים גוררת עליה בזמינות של נוטריינטים המתורגמת לעליה בהיקף ותדירות של פריחת ציאנובקטריה. כלומר, ירידה בשאיבות מהאגם, שבעקבותיה ישנה עליה בזמן השהות, גוררת צמצום בהרחקת נוטריינטים מהמים הנאגרים באגם בזמן השכוב. אי-הוצאת הנוטריינטים גורמת לעליה בזמינות של נוטריינטים שעלולה להיות מתורגמת לעליה בביומסה של האצות ובעיקר הציאנובקטריה. אכן, העליה בעוצמת פריחות הציאנובקטריה באגם, בשני העשורים האחרונים, תואמת בזמן לעליה בזמן השהות באגם. על בסיס מה שתואר לעיל ייתכן וצמצום זמן השהות ע"י הגדלת הכניסות והשאיבות מהאגם, יחד עם הכנסת מים דלי נוטריינטים שימהלו את מי האגם, עשויים להביא לירידה בכמות הזרחן הזמין

במים ובעקבות כך לירידה בהיקף פריחות הציאנובקטריה הקיציות. עם זאת, אין ביטחון שצמצום זמן השהות, ע"י הגדלת הכניסות והשאיבות, יגרוור צמצום בהיקף הפריחות הקיציות של הציאנובקטריה משום שיתכן שכמויות הזרחן המסופקות באבק ובמיחזור הפנימי יספיקו לקיום פריחות קיציות גם תחת תנאים של מיהול וקצב מוגבר של הרחקת נוטריינטים מהאגם ע"י שאיבות. על כן יש מקום לבחון את התקופה בשנה והעומקים שמהן יישאבו המים מהאגם על מנת לשפר את ההסתברות להשפעה חיובית על הפריחות הקיציות של הציאנובקטריה.

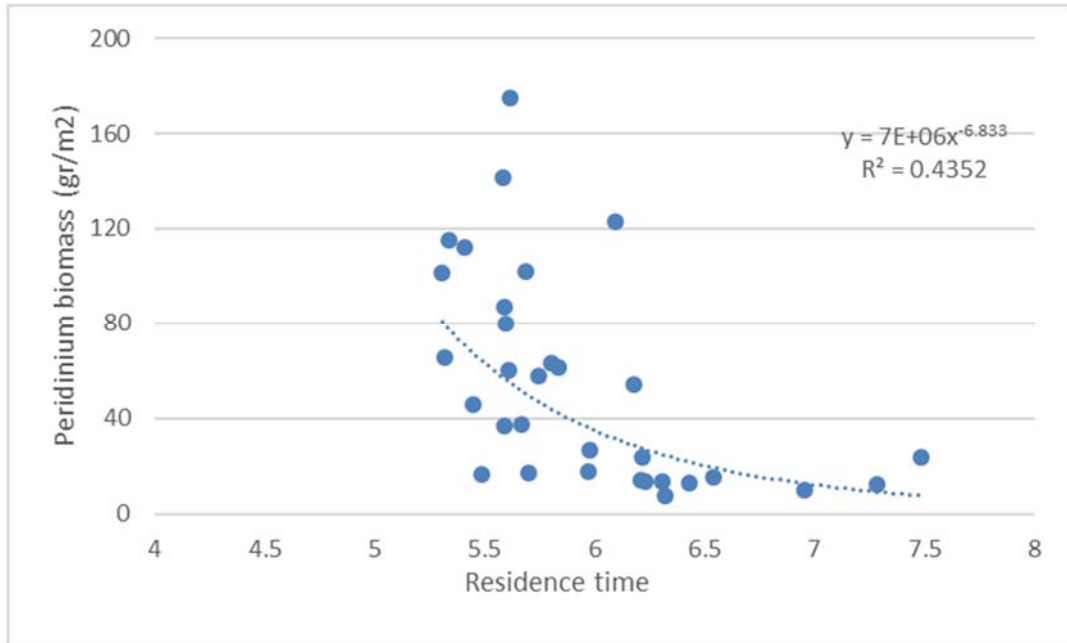
#### 4.2. פרידיניום

אצת הפרידיניום אשר היוותה את עיקר ביומסת האצות באגם עד אמצעי שנות ה-90 פרחת באופן עקבי כל שנה בחודשי האביב. לפריחות הפרידיניום אין השלכות שליליות על איכות המים או על בריאות הציבור וייצגה במהלך שנים רבות יציבות של המערכת האקולוגית. פריחות הפרידיניום כמעט ונעלמו לחלוטין והתקיימו בשני העשורים האחרונים רק בשנים בהם החורף היה גשום עם אירועים שטפוניים. בשנים שבהם התקיימה פריחת הפרידיניום לא התקיימה פריחה חורפית של ציאנובקטריה ועל כן יש משמעות חיובית לפריחות הפרידיניום. בנייתוח הנתונים ההסטוריים ניתן למצוא קשר סטטיסטי (הפוך) ברור בין שיא הביומסה השנתית של פרידיניום וזמן השהות (איור 3). קשר דומה נמצא בין הביומסה הממוצעת של הפרידיניום לבין זמן השהות בחישוב חצי שנתי המבוסס על החודשים אפריל-ספטמבר (איור 4). בנוסף, נמצא קשר סטטיסטי בין היצרנות הראשונית החורפית, בחודשים ינואר-יוני, לבין זמן השהות (איור 5).

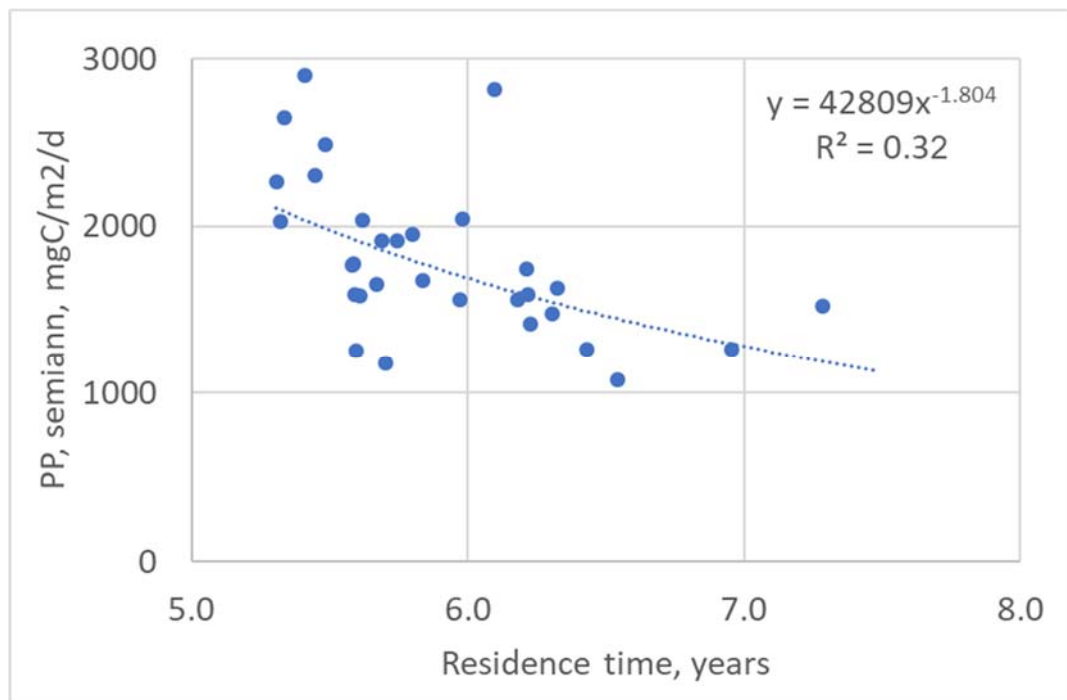


איור 3. היחס שבין הביומסה המירבית בשנה לבין זמן השהות. הערכים מחושבים על בסיס השנה ההידרולוגית.





**איור 4.** היחס שבין הביומסה הממוצעת של הפרידיניום בשנה לבין זמן השהות. הערכים מחושבים על בסיס התקופה אפריל-ספטמבר בכל שנה (1987-2018).



**איור 5.** היחס שבין היצרנות הראשונית החצי-שנתית, בחודשים ינואר-יוני, לבין זמן השהות. ערכי זמן השהות מחושבים על בסיס השנה ההידרולוגית.

## 5. נושאים נוספים

### 5.1. כלור

מי המערכת שיגיעו לכנרת, ללא תלות בחלופה שתיבחר, יגיעו לאחר טיפול הכלרה ועל כן יהיה ריכוז מסוים של  $Cl_2$  ויוני  $Cl$  הנגזרים ממנו במים. הזרמת המים בתוואי של נחל צלמון למשך מספר ק"מ תצמצם את ריכוז הכלור במים בעקבות נידוף של החומר במהלך הזרימה. לא ברור כמה כלור יוותר במים המגיעים לכנרת. בנוסף, ידוע כי נוצרות תרכובות רעילות כגון טריהלומתאנים כתוצאה מאינטרקציה בין מים מוכלרים ובין חומר אורגני. מדובר בתוצרי לוואי של הכלרה, הידועים כמסרטנים לאדם ובניסויי מעבדה גרמו לעיכוב בגידול של אצות חד תאיות. אספקת מים עם כלור לאגם עלולה לגרום פגיעה במרכיבים הביולוגיים של האגם. יש צורך לקבוע מה צפוי להיות ריכוז הכלור במים שיגיעו לכנרת ולמצוא דרכים להפחית את הריכוז שיגיע לאגם אם ע"י הזרמה בתוואי פתוח ואיגום של המים לפני ההזרמה או בסיוע שיטות אחרות.

### 5.2. בורון וברום

מדובר באלמנטים כימיים הקיימים בריכוזים מסוימים במי התפלה ושצפויים להגיע לכנרת כחלק מהזרמת מי המערכת לאגם ללא תלות בחלופה שתיבחר. לא ידוע מספיק על ההשפעות שלהם על מערכות ביולוגיות בריכוזים שונים ומה קצב ההצטברות שלהם במערכות אקוטיות. מכיוון שמדובר בהכנסה וככל הנראה העשרה מהותית של חומר כימי למערכת הטבעית של הכנרת יש לבחון את הדרכים לסילוק חומרים אלו מהמים בטרם הגעתם לכנרת.

### 5.3. מים טבעיים

חיבור האזורים המנותקים, במיוחד אצבע הגליל, למערכת הארצית, בין אם ישירות מהמערכת הארצית או מהכנרת, יאפשר גמישות תפעולית של מקורות המים באצבע הגליל. יש לנצל גמישות זאת להגדלה משמעותית של המים הטבעיים הזורמים בנחלים, בעיקר מי הירדן דרך עמק החולה. אנו צופים שהגדלת זרימת מים טבעיים דרך הירדן והחולה תשפר את הסיכויים לפריחות של האצה פרידיניום מה שעשוי לצמצם את פריחות הציאנובקטריה החורפיות.

### 5.4. מפלס הכנרת

כפי שצוין לעיל, קיימת חשיבות רבה למאמץ לתפעל את האגם בטווח מפלסים צר יחסית ובמפלסים גבוהים שמאפשרים את הצפת הבטיחה באביב. חיבור הכנרת למערכת הארצית יאפשר גמישות תפעולית לשמירה על טווח המפלסים וככל שנפח המים שיזרמו לכנרת תהיה גדולה יותר כך שתגדל הגמישות התפעולית. יש צורך לקבוע טווח ניווד מפלסים מצומצם סביב מפלסים גבוהים יחסית כאחת המטרות התפעוליות העיקריות של הכנרת.

## 6. סיכום

- א. החלופות השונות של הזרמת נפחים גדולים של מי מערכת לכנרת העומדות על הפרק מייצגות מקרים תקדימיים ולכן אין מידע מהכנרת, או מאגמים טבעיים אחרים בעולם, לגבי ההשלכות האפשריות. על כן, קיים חוסר וודאות בדבר ההשפעות האפשריות.
- ב. בשנים האחרונות הכנרת חווה עליה בזמן השהות, מגמה שצפויה להחריף בעשורים הקרובים עקב הירידה החזויה והמתמשכת בספיקות הנחלים והמים הזמינים. עליה זו אינה תורמת לאיכות המים ולמערכת האקולוגית.
- ג. נמצאו קשרים סטטיסטיים בין העליה בזמן השהות למרכיבים כימיים וביולוגיים שונים במערכת האקולוגית של הכנרת המחייבים ממשק מתאים לצורך צמצום הנזק האפשרי.
- ד. העליה בזמן השהות מצמצמת את הוצאת המלח והנוטריינטים מהאגם ובכך תורמת לעליה ברורה בריכוז הכלוריד באגם.
- ה. יחד עם זה, כנראה שלהשפעת מנגנון פיזיקלי של "שטיפה" ע"י צמצום זמן השהות, השפעה ישירה זניחה במערכות אקולוגיות אקוויטיות בעלות זמני שהות ארוכים של המים הנמדדים בשנים, כגון הכנרת. השפעת שינוי זמן השהות על המערכת האקולוגית תהיה דרך צמצום עומסי הנוטריינטים המגיעים לאגם והרחקתם ע"י שאיבות.

## 7. המלצות

- א. בתהליך קבלת החלטות תפעוליות ותכנוניות של הכנרת יש לקחת בחשבון את המפלס ואת זמן השהות ולפעול לתפעול האגם במפלסים קרובים למפלס הקו הירוק ובתחום המשרעת הטבעית כדי לשמור גם על זמני שהות דומים לערכים ההיסטוריים ולהבטיח הצפות של אזורי החוף והבטיחה.
- ב. על מנת לעודד התאוששות של אוכלוסיית הפרידיניום באגם, ובעקבות כך הגבלת פריחות הציאנובקטריה החופיות, יש לפעול לשחרור כמות מים טבעית מירבית דרך הירדן ואגן החולה במהלך חודשי החורף.
- ג. על מנת לצמצם זמינות של נוטריינטים לצורך הגבלת פריחות ציאנובקטריה קיציות יש לפעול להזרמה מירבית אפשרית לכנרת של מי מערכת במהלך חודשי האביב-קיץ ושאובה מירבית במהלך הקיץ ומשכבת המים העליונה. בחירה בחלופה עם הזרמת הכמויות הגדולות יותר לכנרת תאפשר גמישות תפעולית גדולה בקביעת זמני השאובה וכמויות המים הנשאבים מהאגם.
- ד. יש לבחון את כלי הממשק האפשריים להרחקת מרכיבים כימיים נלויים למי ההתפלה על מנת למנוע את הצטברותם באגם ופגיעה עתידית אפשרית במערכת האקולוגית.