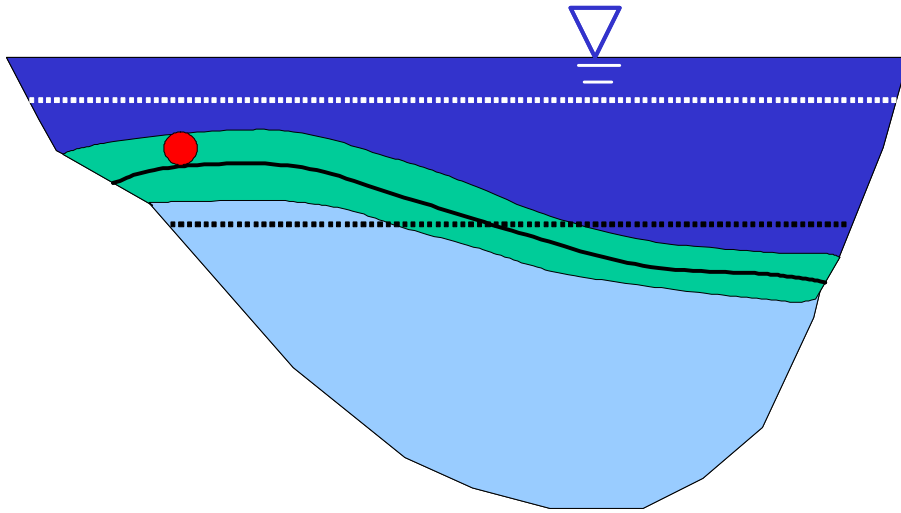


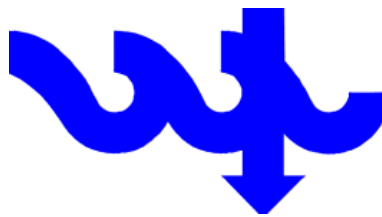
עכירות ואיכות מים ירודה בתחנות שאיבה בכנרת – היכן יש למקם את נקודת השאיבה



דר' אלון רימר

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

ת.ד. 447 מגדל, 14950



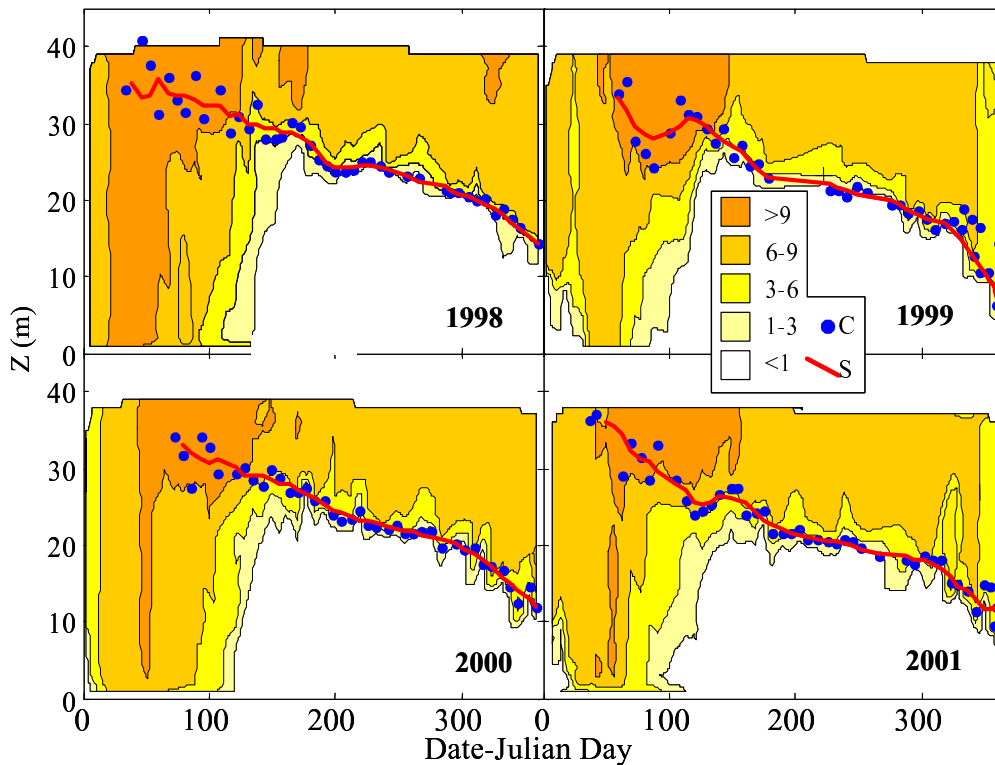
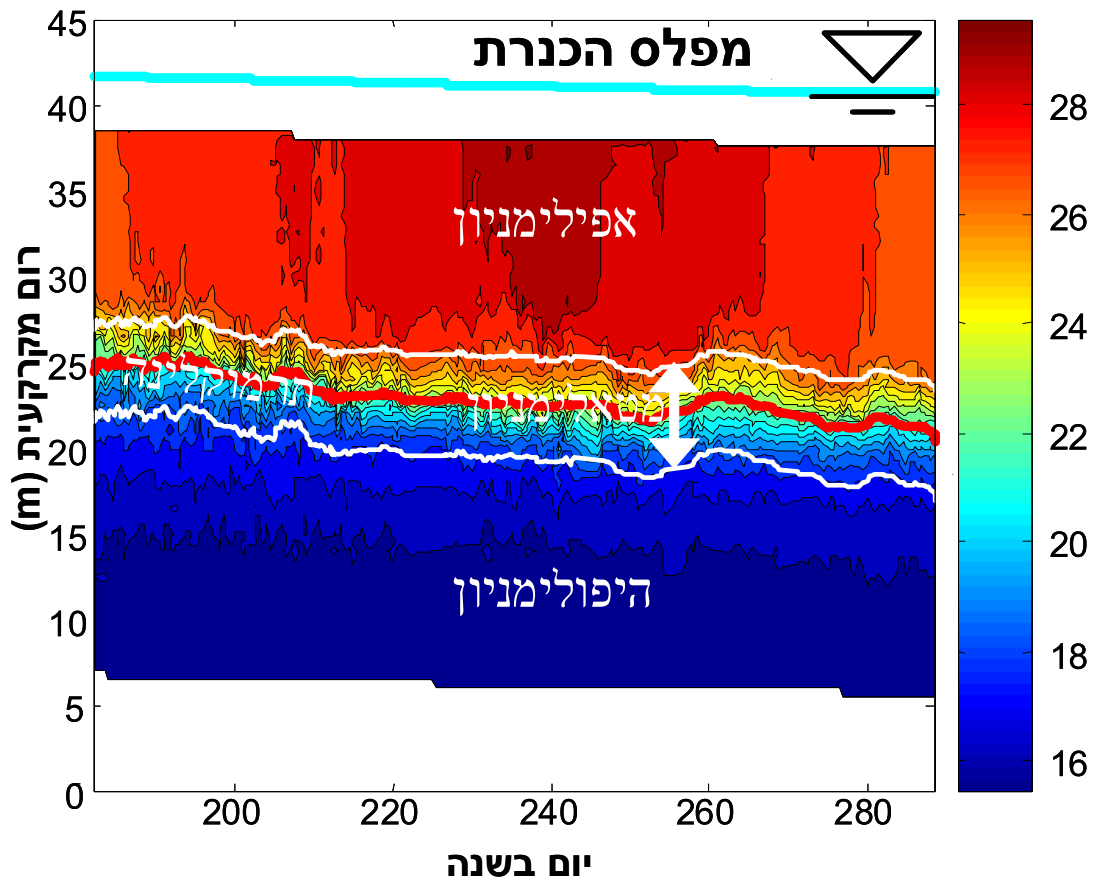
חקר ימים ואגמים לישראל בע"מ

1. הקדמה – תופעות של איכות מים ירודה במתקני שאיבה בכנרת

מכוני שאיבה וסינון לאורך חופי הכנרת (כולל המוביל הארצי) מספקים כמה מאות מליון מ"ק לשנה. בדרך כלל, בכל מתקן, מי הגלם נשאבים מצינור הטובל בנקודת כניסת מי-גלם קבועה מעל קרקעית האגם. בשנים בהן המפלס גבוה (חודשים מאי – יוני 2004 למשל) מתרבות התלונות על תופעות של איכות מים ירודה במתקני שאיבה בשעות מסוימות של היממה – תופעות שאינן שכיחות בשאיבת המים מהכנרת בשנים שבהן המפלס נמוך. מטרות המסמך הנוכחי היא הסבר כללי לתופעות אלה, הקשר שלהן למפלס האגם ולרום ראשי היניקה בשנים שבהן המפלס גבוה ובשנים שבהן המפלס נמוך.

1.1 שיכוב תרמי ושיכוב כימי

במהלך חודשי הקיץ, חימום פני הכנרת ע"י קרני השמש גורם להיווצרות שכבת מים חמים וקלים בעובי של מספר מטרים (אפילימניון, epilimnion) המכסה שכבה של מים קרים וכבדים יותר (היפולימניון, hypolimnion). האיזור המפריד בין שתי השכבות (מטאלימניון, metalimnion) מצטיין במפל (gradient) טמפרטורה גדול, והמשטח שבו מפל הטמפרטורה הוא מקסימלי נקרא תרמוקלינה (thermocline) (תרשים 1). במהלך עונתי רגיל משטח התרמוקלינה נוצר בגלל גידול הדרגתי של קרינה וחום בחודשי האביב, והוא הולך ומעמיק במשך חודשי הקיץ והסתיו בעיקר כתוצאה מערבוב השכבה העליונה של המים ע"י הרוחות המנשבות על פני האגם. בתחילת החורף משתווה הטמפרטורה בשתי השכבות, וכתוצאה מכך בחודשי החורף חל ערבוב מלא של האגם, וחוזר חלילה. בכנרת שבה קיימת תופעת שיכוב תרמי עונתי ברורה, השכבה העליונה שונה מהשכבה התחתונה גם מבחינת ההרכב ההידרוכימי והפעילות הביולוגית. שיכוב תרמי עונתי גורם לכך שהערבוב בין שתי שכבות המים הוא מוגבל, ולכן גם ההרכב ההידרוכימי של השכבה העליונה משתנה בזמן השיכוב באופן שונה מזה של השכבה התחתונה. לדוגמא, עם תחילת השיכוב התרמי מתחילה עלייה בריכוז האמוניום והפוספט (נוטריאנטים) בשכבה התחתונה (היפולימניון) – שניהם כתוצאה מפעילות ביולוגית המפרקת חומר אורגני. פעילות זו צורכת חמצן אשר ריכוזו קטן עם הזמן ובגלל מגבלת הערבוב עם השכבה העליונה, ההיפולימניון הופך אנארובי (ללא חמצן, תרשים 1. Rimmer et al., 2006). בתנאים אלו נוצרות תרכובות מחוזרות כמו סולפיד ברזל דו ערכי ועוד. באותו זמן ריכוז הנוטריאנטים בשכבה העליונה (האפילימניון) הולך ופוחת בעיקבות צריכה על ידי אצות. פעילות זו מוסיפה חמצן לשכבת המים העליונה. התוצאה היא שני גופי מים בהרכב הידרוכימי שונה, המופרדים ביניהם ע"י משטח התרמוקלינה. מכאן שבחודשי הקיץ הכנרת מורכבת למעשה שני גופי מים: החלק העליון באיכות טובה והתחתון באיכות טובה פחות, שאינו מתאים לצריכה שוטפת כמו המים בחלק העליון.

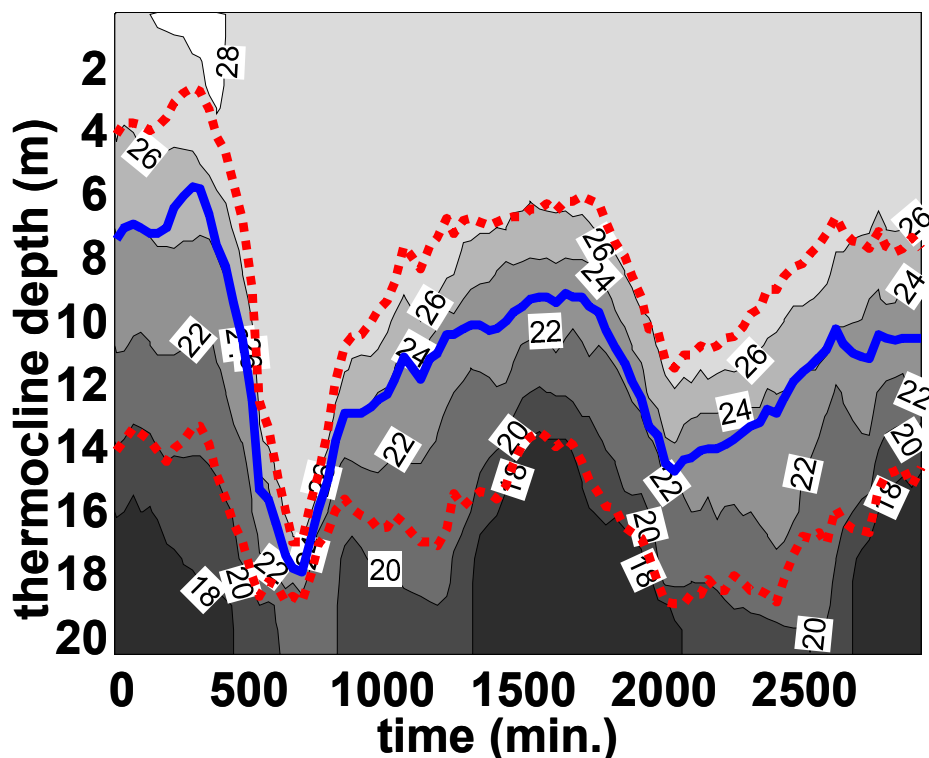


2

תרשים 1. מדידות בתחנה A. למעלה: טמפרטורת מים בחודשים יולי-אוגוסט – ספטמבר 2006 כנגד רום מקרקעית האגם. למטה: עומק התרמוקלינה וריכוז חמצן מומס (0-12 מ"ג/ליטר) כנגד רום מקרקעית האגם בעונות 1998-2001. C עומק התרמוקלינה המחושב מתוך מדידות טמפרטורה שבועיות; S עומק "מוחלק" לצורך שימוש במודלים.

השיכוב התרמי של פרופיל המים גורם גם לתופעה פיזיקלית שנקראת "גלים פנימיים" (תרשים 2), שהיא גורם משמעותי בקביעת איכות המים הנשאבים במהלך היממה. הגורמים לתופעה זו מוסברים להלן:

משטר הרוחות היומי בכנרת בחודשי הקיץ מצטיין ברוחות חזקות בשעות אחה"צ, שכיוון הכללי הוא ממערב למזרח. רוחות אלו גורמות להערמות שכבת מים דקה נוספת בחלק האגם שבמורד כיוון הרוח. כתוצאה מכך גדל הלחץ ההידרוסטטי על עמודת המים בחלק המזרחי של האגם, הגורם לתרמוקלינה לתזוזה אנכית של כמה מטרים כלפי מטה. בחלק האגם שבמעלה הרוח התופעה היא הפוכה, והתרמוקלינה מתרוממת כלפי מעלה. כאשר שוכנת הרוח מתחילה תנועה הרמונית של גלים פנימיים המתבטאת בשינויי טמפרטורה ואיכות מים בזמן ובמקום. תכונות הגלים הפנימיים העיקריים הן: אורך הגל כמה קילומטרים; משרעת הגל יכולה להגיע לכ-10 מטרים; ותדירות הגלים העיקריים היא תדירות יומית וחצי-יומית. תנועת הגלים דועכת במעט במהלך שעות הלילה והבוקר כתוצאה מהפסקת הרוח ואובדן אנרגיה בתהליכים הגורמים לזרימה טורבולנטית, אך למחרת שוב נושבת הרוח והתהליך מתחדש.



תרשים 2. תופעת הגלים הפנימיים בזמן: טמפרטורת פרופיל המים שנמדדה בפרק זמן של יומיים במהלך חודש יוני כ-5 ק"מ מצפון מזרח לטבריה. הצבעים האפורים מייצגים תחומי טמפרטורה, כאשר 28 מעלות בפני המים וכ-18 מעלות בקרקעית. הקו הכחול מייצג את שינוי עומק התרמוקלינה בזמן, ושני הקווים האדומים מייצגים את ההפרדה בין השכבה העליונה, האמצעית והתחתונה.

תנועת הגלים הפנימיים גורמת גם ליצירת כוחות גזירה באזור המגע שבין המטאלימיניון לבין קרקעית האגם, וכוחות גזירה אלו גורמים להרחפת חומר מהקרקעית, ולהגדלת העכירות. קיימים מנגנונים נוספים הגורמים לעכירות גבוהה אך השפעתם היא ככל הנראה פחותה.

תכונה נוספת של הגלים הפנימיים היא שעצמתם גדולה בחודשי השיכוב הראשונים (אפריל – מאי – יוני), שבהן משרעת הגל עשויה להגיע לכ-6 מטר, והיא שוככת לאטה עם הזמן כאשר המשרעת קטנה לכ-1 מטר בלבד באוגוסט – ספטמבר והלאה.

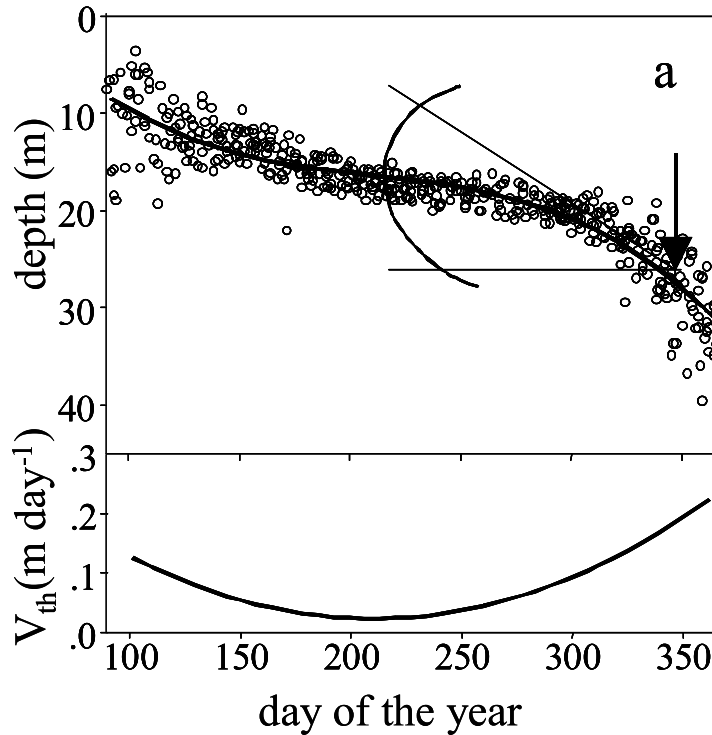
תכונה ידועה אחרת, היא שבמרכז האגם עצמת הגלים הפנימיים קטנה יחסית לזו שבשוליים. בשולי האגם ניתן לזהות חדירות ברורות של מי היפולימיניון בגלים שגבהם מגיע לכמה מטרים, כפי שיודגם בהמשך.

המשמעות של תנועת הגלים הפנימיים היא שאם נציב מדיד של טמפרטורה ומדיד של איכות מים בנקודה קבועה ובעומק השווה בקירוב לעומק התרמוקלינה, נקבל תוצאות המעידות על כך שמים בטמפרטורות ובאיכויות שונות עוברים את המדיד במחזוריות יומית וחצי-יומית.

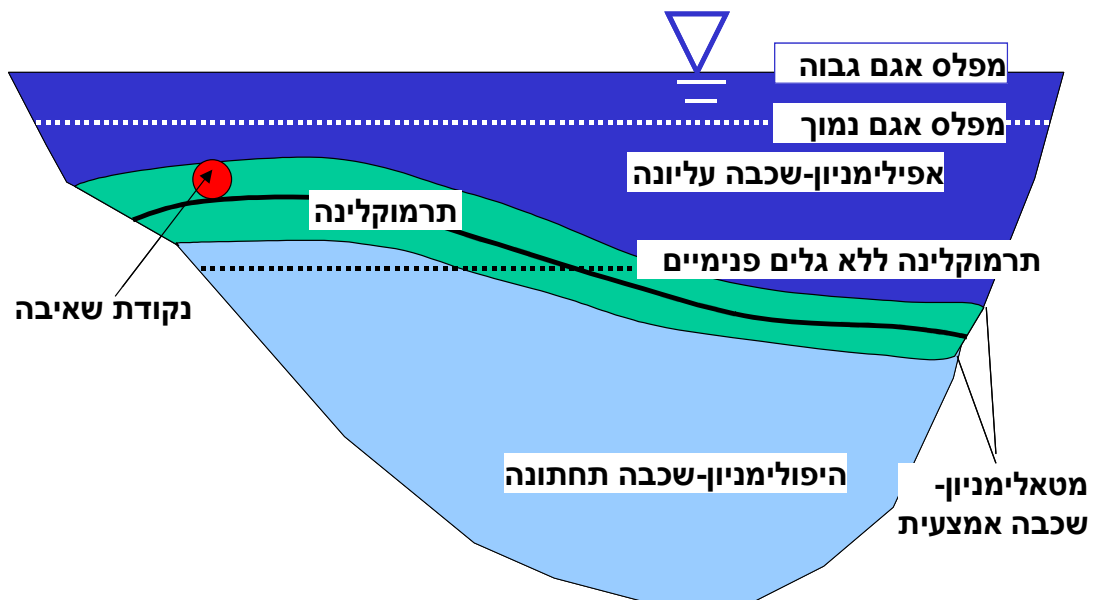
1.3 עכירות גבוהה במתקני שאיבה

תופעות של ירידה באיכות המים ועכירות גבוהה במתקני שאיבה נרשמות בד"כ בחודשי האביב המאוחר ותחילת הקיץ (מאי – יוני – יולי). בתקופה זו משטח התרמוקלינה נע מעומק של 12 עד עומק של כ-17 מטר בממוצע (תרשים 3). מים באיכות טובה ובטמפרטורה המאפיינת את השכבה העליונה (26-28 מעלות) נמצאים כ-2 עד 3 מטר מעל התרמוקלינה, ומים באיכות ירודה נמצאים כ-2 עד 3 מטר מתחתיה.

תרשים 4 מדגים באופן סכמטי את היחס שבין המפלס, הגלים הפנימיים, ומיקום ראש היניקה. ראשי היניקה של הצינורות המזינים את מתקני השאיבה בכנרת נמצאים בד"כ ברום קבוע של כ-216 - עד 220 - מ'. בשנים בהן מפלס הכנרת גבוה ותהליכי השיכוב מתחילים מוקדם יחסית (שנת 2003 ו-2004 למשל), המרחק האנכי של ראשי היניקה במתקני השאיבה קרוב יותר לתרמוקלינה (כ-3 או 4 מטר הפרש לעומת השנים 2000-2002 למשל שבהן המפלס היה נמוך מאד). מאחר וקיימת גם פעולה של הגלים הפנימיים, נמצא שבמפלסים גבוהים קיימת חדירה גדולה יותר של מים היפולימנטיים מאיכות ירודה לתחום שבו נמצא ראש היניקה, ולכן תדירות השאיבה של מים באיכות נמוכה עולה על תדירותה בשנים נמוכות מפלס, והיא מצטיינת במחזוריות המאפיינת את הגלים הפנימיים. בשנים האחרונות היתה הכנרת רוב הזמן במפלס נמוך, ולפיכך המרחק האנכי של סלי היניקה היה רחוק יחסית ממישור התרמוקלינה ולכן תופעות של שאיבת מים באיכות נמוכה היו מעטות יחסית.



תרשים 3. למעלה: תנועת התרמוקלינה במהלך השנה מעומק 10 מ' בתחילת תהליך השיכוב ועד כ- 32 מ' בסיומו. למטה: מהירות התנועה הממוצעת של התרמוקלינה כלפי מטה (V_{th}).



תרשים 4. חלוקת האגם לשכבה עליונה, אמצעית ותחתונה בזמן פעילות גלים פנימיים. נקודת השאיבה נמצאת בנקודה קבועה ביחס לתשתית האגם, בעוד המבנה השכבתי במפלסים גבוהים יזוז כלפי מעלה (ראה קו "מפלס אגם גבוה"), ויגרום לנקודת השאיבה להתקרב להיפולימניון.