

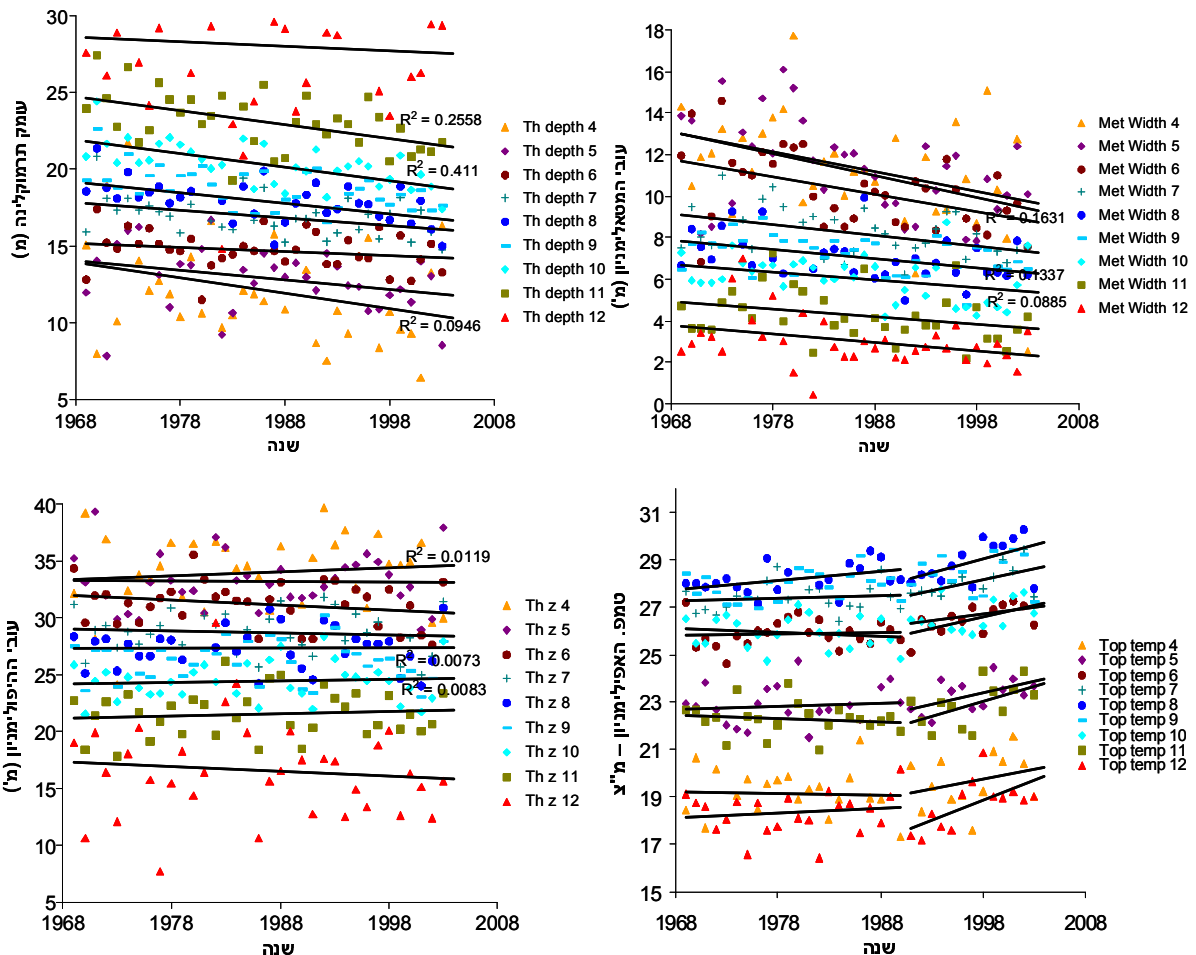
1. שינויים רב שנתיים בשיכוב התרמי אלון רימר

הקדמה

בדו"ח שהגישה המעבדה לחקר הכנרת בסתיו 2008 נבחן השינוי הרב שנתי במאפייני השיכוב התרמי והקשר שלו למפלס האגם ולמשטר התפעול שלו. מאז הגשת הדו"ח הורחב המחקר בעניין זה. בפרק זה נחזור בקצרה על הממצאים העיקריים במבנה השיכוב התרמי, ונציג ממצאים חדשים לגבי השפעת מפלס האגם והספיקות החיצוניות על דרגת השיכוב ועל אורכה של תקופת השיכוב בכנרת.

שינויים רב-שנתיים במבנה התרמי של הכנרת

מיקום התרמוקלינה ומאפייני השיכוב התרמי חושבו על בסיס מדידה שבועית, על פ"פ 38 שנים (1969-2007). תוצאות המדידה מוצגו עבור כל חודש, ואלה הוצגו כפונקציה של הזמן. איור 1 מסכם את הממצאים לגבי תכונות השיכוב של האגם לגבי כל חודש בנפרד. החודשים ינואר עד מרץ אינם מוצגים מאחר ובמהלכם האגם מעורבב היטב, ללא שיכוב כלשהו.



איור 1. משמאל למעלה בכיוון השעון בשנים 1969 עד 2007: שינויים עיתיים בעומק התרמוקלינה; שינויים עיתיים בעובי המטאלימניון; שינויים עיתיים בטמפרטורת האפילימניון, כאשר קצב השינוי גדל החל מתחילת שנות ה-90; אי השתנות עובי היפולימניון לאורך ציר הזמן.

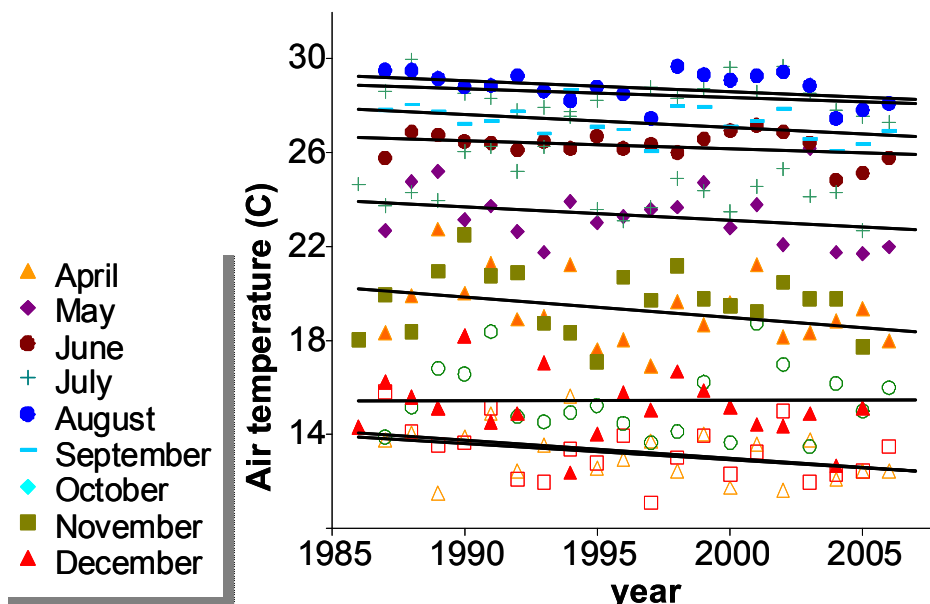
מהתרשימים והניתוח הראשוני עולות באופן מובהק המגמות הבאות עבור כל חודשי תקופת השיכוב:

1. ניכרת הפחתה עם הזמן בעובי האפילימניון (עומק התרמוקלינה), בשיעור של כ- 1 עד 3 מטר.
2. ניכרת הפחתה ברורה עם הזמן בעובי המטאלימניון, בשיעור של כ- 1.5 מ' בחודש דצמבר, עד כ- 3 מ' בחודש אפריל.
3. ניכרת עלייה ברורה ומובהקת עם הזמן בטמפרטורת האפילימניון בקצב ממוצע של כ- 0.028 מעלה לשנה. עלייה זו נצפית בכל חודשי תקופת השיכוב. יתרה מכך, האיור מראה כי קצב התחממות האפילימניון גדל החל מתחילת שנות ה-90 בערך.
4. אין שינוי משמעותי לאורך זמן בעובי ההיפולימניון. יש לציין כאן שלמרות מסקנה זו נמצאה הפחתה מובהקת בעובי ובנפח ההיפולימניון עם ירידת המפלס.
5. אין שינוי משמעותי לאורך זמן בטמפרטורת ההיפולימניון.

התוצאות המוצגות באיור 1 תואמות את המגמות שהוצגו בעבודתם של Hambright et al. (1994) שניתחו את נתוני הכנרת לתקופה שבין 1968 ל 1994. במאמרם קשרו המחברים את השינוי בעומק התרמוקלינה עם שינויים אקלימיים, ובעיקר עם הפחתה בטמפרטורות החורף. לפי הבנתנו השינויים המינוריים שהראו המחברים ביחס לטמפרטורות החורף אינם מצדיקים מסקנה כה גורפת. לעומתם, לאחר בדיקה מקיפה של הממצאים באיור 1, להלן מספר מסקנות חדשות שלא הופיעו בדו"ח המפלסים.

א. טמפרטורת האוויר

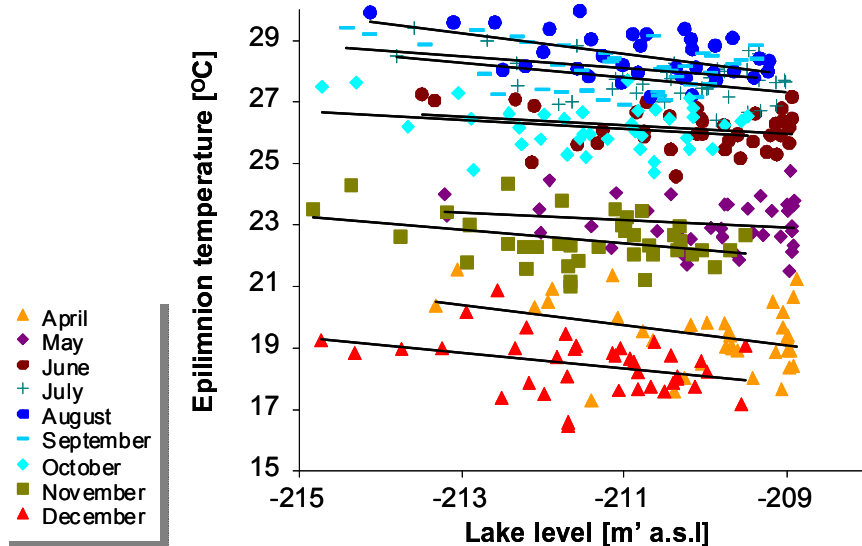
באופן די מפתיע, ניתוח חודשי של טמפרטורת האוויר מעל פני הכנרת החל משנת 1986 ועד היום (נתוני מקורות) מראה כי באופן כללי טמפרטורת האוויר פוחתת במעט במהלך השנים (איור 2). נתוני התחנה המטאורולוגית של המעבדה בטבחה משנת 1996 תומכים בממצא זה, והוא עולה בקנה אחד עם הממצאים של Hambright et al. (1994), אלא שבניגוד להם מגמת הירידה בטמפרטורת האוויר אופיינית לכל חודשי השנה, ולא רק לחודשי החורף. ברור אם כן שמגמת החימום של האפילימניון איננה תוצאה של השינויים בטמפרטורת האוויר.



איור 2. ממוצע חודשי של טמפרטורת האוויר מעל פני הכנרת החל משנת 1986 ועד היום. חודשי החורף ינואר – פברואר – מרץ מסומנים בצורות פתוחות. חודשי השיכוב מפורטים במקרא.

ב. מפלס הכנרת

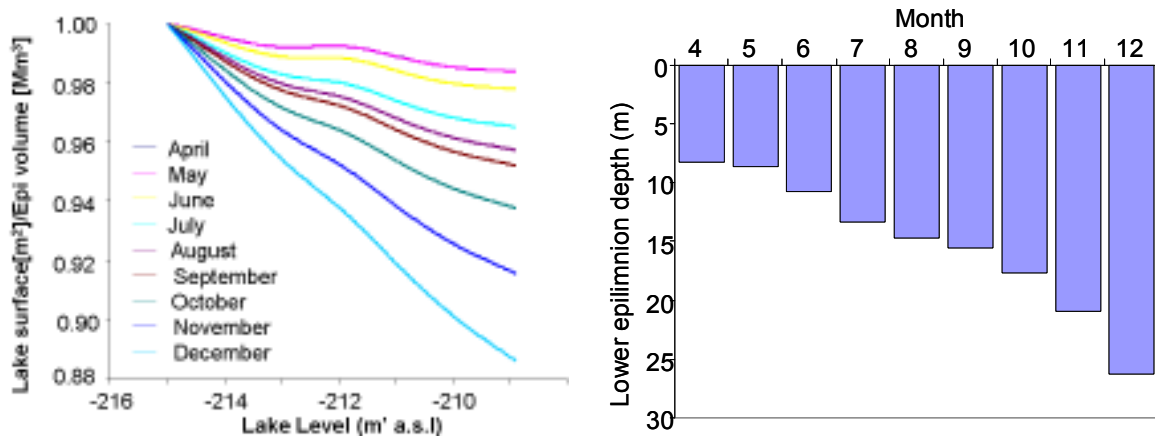
בדיקת הקשר שבין מפלס האגם בכל חודש לבין טמפרטורת האפילימניון מעלה כי קיים קשר מובהק בין שני המשתנים (איור 3) בכל חודשי תקופת השיכוב (מפלס יורד-טמפרטורה עולה). קשר מובהק דומה קיים בין מפלס האגם לבין עובי האפילימניון (מפלס יורד – עובי אפילימניון קטן).



איור 3. ממוצע חודשי של טמפרטורת האפילימניון כפונקציה של מפלס האגם בכל חודש החל משנת 1969 ועד היום.

ניתוח הגורמים האפשריים לתופעה זו מראה כי היא תוצאה אפשרית של השינוי במבנה הבתימטרי של חלקו העליון של האגם עם שינוי המפלס. בדיקה מפורטת של רכיבי מאזן החום של הכנרת מראה כי שטפי שטח הפנים (הקרינה, ההתאדות והחום המוחשי) שולטים באופן כמעט מוחלט במאזן החום של האגם. לפיכך הנחנו כי ליחס (שטח פנים/נפח אפילימניון) יש חשיבות עיקרית בשינוי הטמפרטורה באפילימניון ומצב השיכוב במפלסים שונים. הבדיקה של הנחה זו נעשתה בדרך הבאה:

1. בחנו את שטח פני האגם שדרכו מתבצעים החילופים התרמיים במפלסים שונים, החל מ-216 ועד -209, וכן את נפח האפילימניון במפלסים אלה, בהנחה שמרנית שעומק גבול האפילימניון התחתון בכל חודש הוא עומק ממוצע (איור 4).
2. אם היחס (שטח פנים/נפח אפילימניון) משתנה במידה קטנה מאד, או נשאר קבוע עבור מפלסים שונים, הרי שאין בסיס פיסיקלי תיאורטי להנחה כי למפלס האגם השפעה על מבנה השיכוב התרמי.
3. אם היחס (שטח פנים/נפח אפילימניון) משתנה במידה ניכרת עבור מפלסים שונים, הרי זו הוכחה ברורה שחייב לחול שינוי ביחס שבין שטפי שטח הפנים לבין משטר החום של האפילימניון, ולכן חומו ועוביו חייב להשתנות ביחס לממוצע.
4. גם אם נקבל את האמור בסעיף 3, עדיין נותר להראות (עדיין לא בוצע) כי כיוון השינוי יהיה התחממות האפילימניון. יש לזכור כי שטפי שטח הפנים כוללים בתוכם רכיב מחמם (קרינה), רכיב מקרר (התאדות), ורכיב שלפעמים מחמם ולפעמים מקרר (חום מוחשי) ביחס לאפילימניון.



איור 4. מימין: עומק ממוצע חודשי של גבול האפילימניון מ-1969. משמאל: היחס (שטח פנים/נפח אפילימניון) המתקבל עבור מפלסים שונים, כאשר הוא מנורמל עבור היחס במפלס -215.

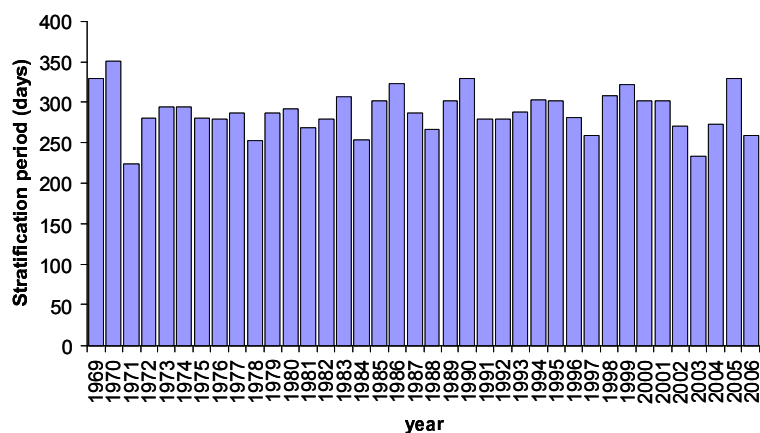
מאיור 4 ברור כי ככל שהמפלס נמוך יותר גוברת השפעת שטח פני האגם על העומק הנתון כאפילימניון ב-1% עד 11% כתלות בנפח האפילימניון האופייני לכל חודש. גדלו היחסי של השינוי הזה גדול בהרבה מכל שינוי של רכיב אחר במערכת (שינויי טמפרטורת אוויר, שינויים בקרינה עצמה, ואפילו השינויים המובהקים בכמות המים הנכנסת ושוטפת את האגם), ולכן זהו ככל הנראה הגורם הדומיננטי בשינויים של אופי השיכוב שנצפו לעיל (תרשים 1).

ג. כניסות ויציאות מים

גורם משני בחשיבותו לשינויים בשיכוב התרמי הוא הפחתת הכניסות הממוצעות לאגם בשיעור כ-20% ויותר בעשרות השנים האחרונות, והגידול המקביל בניצול האגם בחודשי השיכוב – דהיינו שאיבה בחודשים אפריל עד דצמבר כאשר בד"כ אין יציאת מים דרך סכר דגניה. בדו"ח המפלסים מ-2008 ניתנה לגורם זה חשיבות ראשונה, אולם בדיקה נוספת הראתה כי כניסות ויציאות מים מן האגם השפיעו על שינוי מידת השיכוב רק בחודשים נובמבר, דצמבר ואפריל – חודשים שבהם פחתו הספיקות לתוך הכנרת בזמן תקופת השיכוב.

ד. אורך תקופת השיכוב

נושא זה לא נכלל בדו"ח המפלסים. בדיקה מפורטת העלתה כי בממוצע, אורך תקופת השיכוב לא השתנה ב-37 השנים האחרונות והוא עומד על 28 ± 28 יום (איור 5).



איור 5. אורך תקופת השיכוב בימים משנת 1969 עד 2006.