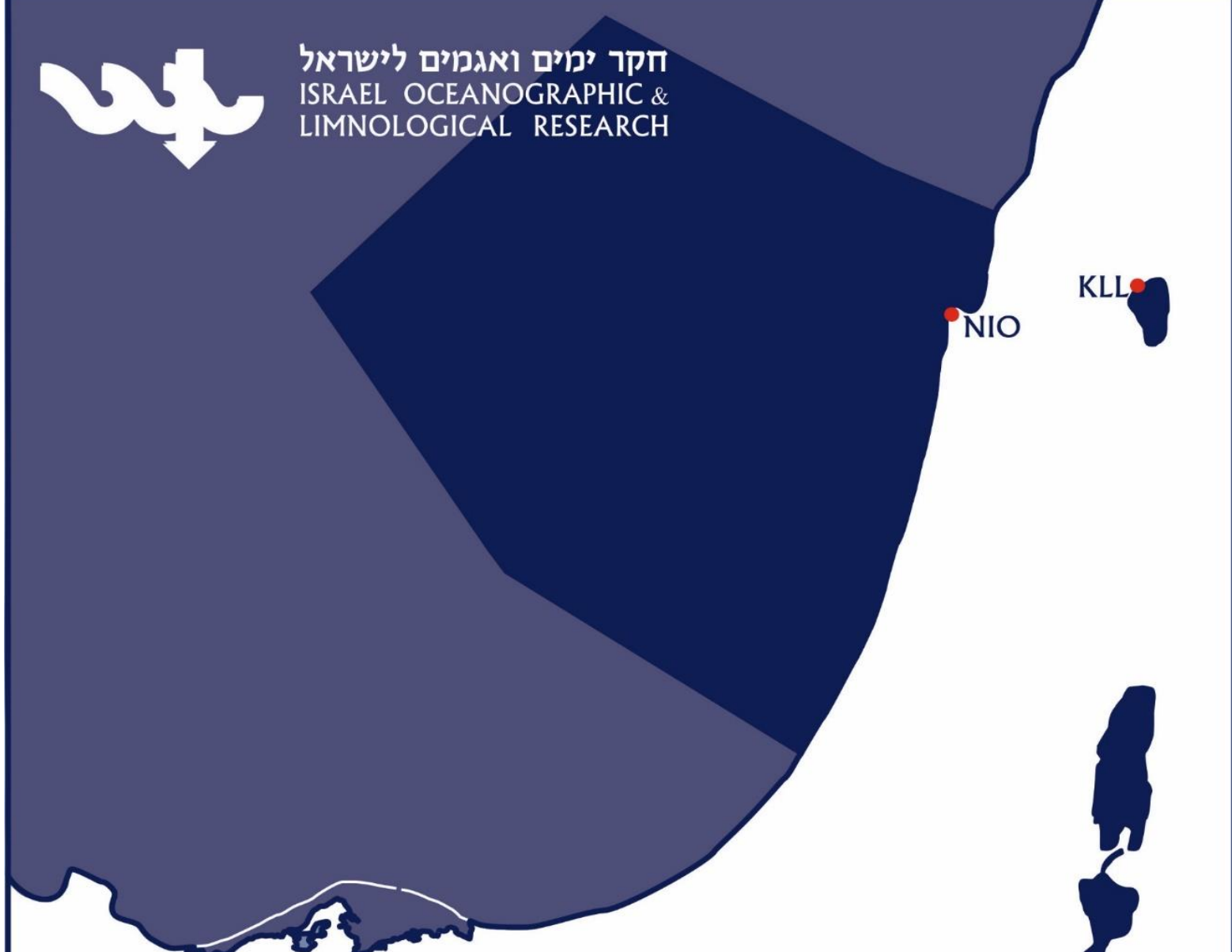




חקר ימים ואגמים לישראל  
ISRAEL OCEANOGRAPHIC &  
LIMNOLOGICAL RESEARCH



## דו"חות חי"ל IOLR REPORTS

תכנית הניטור הלאומית בים התיכון לשנת 2023  
ניטור שינויי אקלים והמערכת  
ההידרוגרפית

דו"ח חי"ל H22/2024

NCM



חקר ימים ואגמים לישראל בע"מ (חל"צ) Israel Oceanographic & Limnological Research Ltd.(PBC)  
חיפה תל-שקמונה, ת"ד 9753, Haifa 3109701, P.O.B. 9753, Tel-Shikmona,  
פקס : 972-4-8511911 Fax: 972-4-8565200 טלפון :  
<http://www.ocean.org.il>

## תכנית הניטור הלאומית בים התיכון לשנת 2023 ניטור שינויי אקלים והמערכת ההידרוגרפית

עריכה וניהול מדעי: איל רהב

דו"ח חיא"ל H22/2024

ברק חרות, טל עוזר, איזק גרטמן, אלי ביטון, איה לזר, רון גולדמן ג'ק  
סילברמן, גיא סיסמה ונטורה

### תוכן

#### עמוד

3	פרק 1 - ניטור שינויים תרמו-הליניים ונתוני מדידה רציפה
21	פרק 2 - ניטור שינויי מפלס ים
24	פרק 3 - ניטור שינויים בחומציות ומערכת הקרבונט במי הים
31	פרק 4 - ניטור שינויים ברמת החמצן והנוטריונטים במי הים
41	פרק 5 - מרכז מידע ימי לאומי (היבטים הידרוגרפיים)

יולי 2024

#### שם הדו"ח לצורך ציטוט:

Herut B., Ozer T., Biton E., Lazar A., Silverman J., Sisma-Ventura G., Goldman R., Gertman I. (2024)\*. The National Monitoring Program of Israel's Mediterranean waters – Scientific Report on Climate Change and Hydrography for 2022, Israel Oceanographic and Limnological Research, IOLR Report H22/2024.

\* הדו"ח מיועד לשימוש הציבור וגופי הממשלה. לצורך פרסום מדעי של המידע בדו"ח יש לקבל אישור מראש מעורכי הדו"ח.

## פרק 1 – ניטור שינויים תרמו-הליניים ונתוני מדידה רציפה

(מרכזים, ד"ר טל עוזר 'tal@ocean.org.il', ד"ר איזק גרטמן isaac@ocean.org.il, ד"ר אלי ביטון elib@ocean.org.il, פרופ' ברק חרות barak@ocean.org.il)

הפרק מתייחס למדדים הקשורים לשינויי אקלים וליעד אקולוגי E07 Hydrography במסגרת אמנת ברצלונה.

### ממצאים עיקריים

#### ניטור שינויים תרמוהליניים באמצעות הפלגות ניטור

- תצפיות במהלך 40 שנים בים העמוק באזור דרום מזרח אגן הלבנט בעונה החמה (יולי-אוקטובר) מראות מגמת עלייה בטמפרטורה ( $0.12 \pm 0.04^\circ\text{C}$  לשנה) ובמליחות ( $0.005 \pm 0.004$  לשנה) של מסת המים העליונה (LSW) (איור 1.1). עליית הטמפרטורה של מי השטח המתקבלת מניתוח נתונים זה גדולה מהתחזית של הפאנל הבין-ממשלתי לשינויי אקלים (IPCC 2021) העומד על בין  $0.055^\circ\text{C}$  ל-  $0.069^\circ\text{C}$  לשנה ונובעת מהעובדה שהנתונים נאספים בעיתוי של שיא ההתחממות השנתית, בסוף הקיץ וממספר הפלגות "קרות" באופן יחסי לעונת הקיץ בתחילת סדרת הנתונים.
- קיימת ירידה משמעותית סטטיסטית בעובי שכבת LSW בקיץ בקצב של כ-0.3db לשנה (בקירוב 30 ס"מ/שנה). בנוסף, ניתן להתרשם כי במשך 15 השנים האחרונות, השינויים בעובי שכבת LSW (סביב קו המגמה) התמתנו ל-  $\pm 10\text{db}$ . ניתן לשייך ממצאים אלו להמשך מהלך ההתחממות התומך ביציבות גבוהה יותר בפני השטח.
- מגמות ארוכות טווח של התחממות ( $0.02 \pm 0.01^\circ\text{C}$  בשנה) והתמלחות ( $0.004 \pm 0.002$  בשנה) נשמרות גם בשכבת מי הביניים הלבנטיניים (LIW) (איור 1.2). סדרת המליחות של שכבת LIW מדגימה מחזור רב-שנתי (בזמן מחזור משתנה בטווח של 5-10 שנים) בנוסף למגמת ההתמלחות הכללית. לדוגמא, החל משנת 2007 ועד שנת 2014 נרשמה מגמת ירידה במליחות. לאחריה התחלפה המגמה לחיובית עד לשנת 2018, ומאז 2019 נמצאת שוב במגמת ירידה. נתונים מהשנתיים האחרונות (2022-23) מצביעים שינוי נוסף ומעבר למגמת עלייה. מגמות דומות נצפות גם בסדרת נתוני המליחות בשכבת LSW, אולם באופן פחות מובהק (איור 1.1).

- בדומה לשנים קודמות, בשנת 2023 נמדדו ערכי טמפרטורה ומליחות בשכבת המים העליונה הגבוהים במעט מהממוצע הקלימטולוגי אך נשמרו בתוך טווח סטיית התקן לעונות הקיץ והחורף (איורים 1.3 ו- 1.4).
- חורף 2024 היה חם יותר בעד כמחצית המעלה עד לעומק הערבוב החורפי של כ-100 מטר (איור 1.4, טמפרטורה). יצוין כי ערכים אלו חורגים ברובם מהממוצע הקלימטולוגי.
- ערכי המליחות בהפלגת הקיץ של אוגוסט 2023 מדגימים עליה שמליחות בטווח העומקים של 50-120 מטר (בהשוואה להפלגת הקיץ בשנה הקודמת) בחלקם, ערכים אלו חורגים מהממוצע הקלימטולוגי. (איור 1.4, מליחות).
- בהתאם למגמה הרב שנתית שנצפתה באיור 1.2, מסות המים העליונות ומי הביניים מראים עלייה במליחות של עד 0.2 יחידות מליחות. בשונה מכך, המדידות בחורף 2024 מראות ירידה קלה המליחות בשכבת המים העליונה (איור 1.5).
- במי העומק, נמשכת מגמה של חזרה למצב שקדם לאירוע ה-EMT (East Mediterranean Transient) בשנות ה-90 של המאה שעברה, קרי, ירידה מונוטונית בערכים תרמוהליניים (טמפרטורה ומליחות). נצפתה התמתנות הגרדיינטים וטשטוש אנומליית ה-EMT בגלל תהליכי דיפוזיה אנכית (איור 1.6).
- בעומקי מים בין 1700 – 1750 מטר (תחנה H06) נצפים שינויים תרמוהליניים וכימיים הקשורים הן למגמת השחיקה של אנומליית ה-EMT והן לשינויים, ככל הנראה עכשוויים מאז 2018, של כניסת מים עמוקים טריים יחסית, שייתכן ומקורם באדריאטי (איור 1.7). הקשר בין שינויי הטמפרטורה לריכוזי הפוספט מלמד על העשרה קטנה של פוספט הקשורה למים העמוקים מן השנים האחרונות. לא נמצא בשלב זה קשר מובהק בין השינויים התרמוהליניים לשינויים בריכוזי הסיליקה, הניטרט וצריכת החמצן המדומה (AOU) במים אלה.

#### ניטור שינויים של טמפרטורת פני הים מהדמיות לוויין (ד"ר גדעון טיבור)

- הטמפרטורה החודשית הממוצעת מעל למדף היבשת של מדינת ישראל (עד למרחק מהחוף של עומק מים 200 מטר) חושבה לשנים 2020-2022 והשוותה לממוצעים החודשיים משנת 2023. הטמפרטורה חושבה על בסיס מדידות יומיות ע"י לוין VIIRS עם רזולוציה של 0.75 ק"מ לפיקסל.

על פי מדידות הלווין טמפרטורת פני הים הממוצעת בשנת 2023 נשמרה מתחת לממוצע הרב שנתי במהלך עונת החימום ומעליו (עד לכדי  $1^{\circ}$ ) בעונת הקירור (איור 1.8).

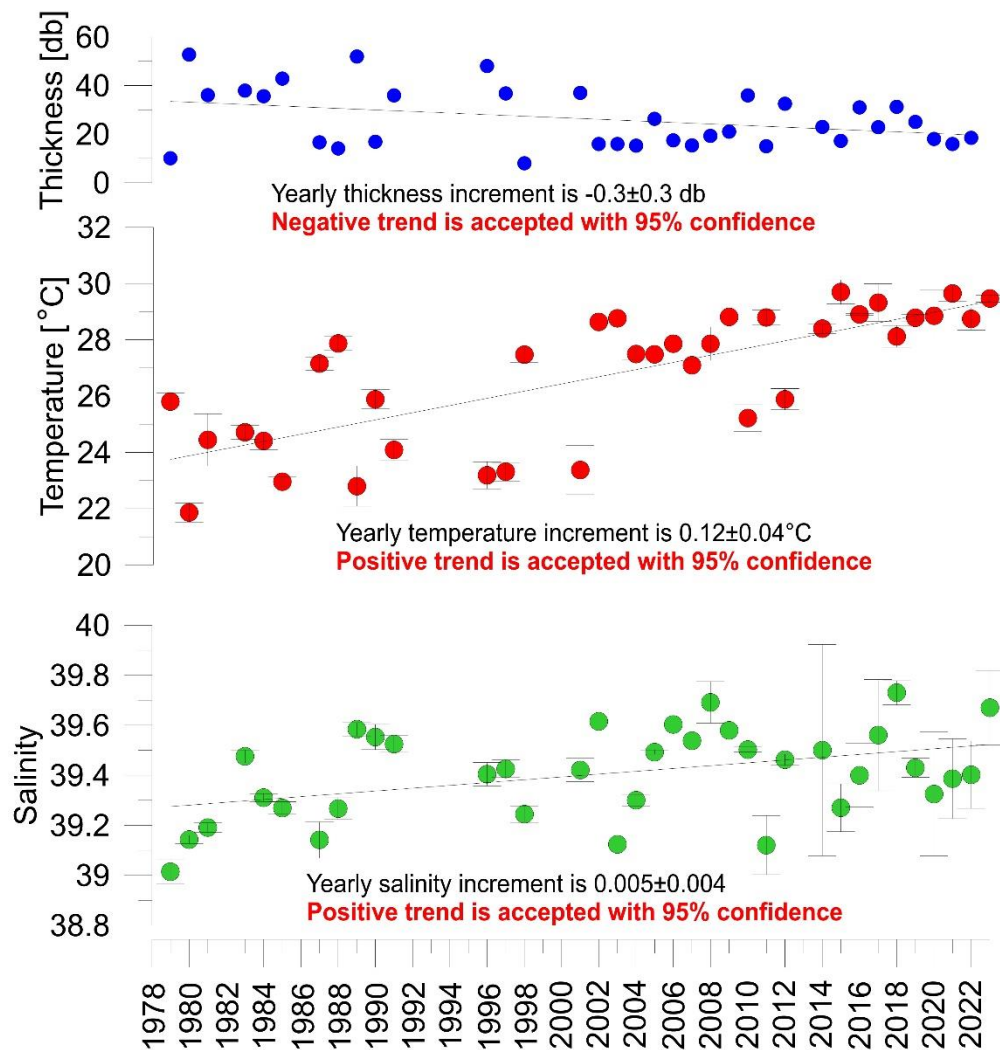
### ניטור שינויים תרמו-הליניים בתחנות מדידה רציפה

- מדידות טמפרטורה רציפות מקצה מזחי הפחם בחדרה ואשקלון מתארות את המהלך העונתי. בשתי התחנות ניתן להתרשם כי חורף 2023-24 היה חם יותר מחורפים קודמים ומינימום הטמפרטורה בשיא הקירור היה גבוה בכ- $2^{\circ}$  צלסיוס. חורף זה התאפיין גם בערכי מליחות גבוהים מהרגיל, בהתאם לתצפיות המדווחות לעיל מהים העמוק. בתחנת אשקלון נפסקו המדידות מאז מאורעות ה-7 לאוקטובר. בשלב זה המצב הביטחוני אינו מאפשר חזרה לאתר לצורך חידוש המדידות (איורים 1.9 ו-1.10).
- כפי שדווח בשנים קודמות, בחודשי האביב והקיץ, נשמרים ערכי טמפרטורה גבוהים יותר בתחנה באשקלון, עד לכדי 2 מעלות צלסיוס. שוני זה נובע על פי רוב מהבדלים גיאוגרפיים-אקלימיים המוכרים בין תחנות המדידה בחדרה ובאשקלון (איורים 1.11-1.12).
- המדידות בתחנת חדרה ב-2023 מראות שתי סטיות משמעותיות ביחס לממוצע הרב שנתי. הראשונה היא ירידה של כ- $3^{\circ}$  צלסיוס בחצי הראשון של חודש יוני, במהלך תקופת החימום. מיד לאחר מכן נרשמת עלייה חדה במליחות של כ-0.2 יחידות מליחות במהלך חודש יולי 2023 (איור 1.13).
- ניתוח השינויים בערכי המליחות והטמפרטורה בשיטות X-i seasonal Mann-Kendall test ו-ARIMA11 לתקופת המדידה של 2011-2021 בתחנת חדרה תומך במגמות ההתמלחות וההתחממות החיוביות שנמצאו בנתונים מהפלגות ים עמוק. יצוין כי קצב עליית הטמפרטורה בסמוך לחוף הינו כמחצית מזה שנמצא בשכבת LSW והוא בהתאמה טובה לפרסומים שונים על קצבי ההתחממות באגן המזרחי ולמדידות ב-LIW. קצב ההתמלחות דומה בשתי האנליזות (איור 1.14).
- ניתוח רב שנתי של המהלך היממתי בעונת הקיץ (חודש אוגוסט) ובעונת החורף (חודש מרץ) מדגיש את ההבדלים במשרעת השינויים בערכים התרמוהליניים בין שתי עונות אלו. בקיץ מתקיימת משרעת של  $0.3^{\circ}\text{C}$  בטמפרטורה וכ-3 מאיות יחידת המליחות, בעוד שבחורף משרעת הטמפרטורה קטנה ל- $0.2^{\circ}\text{C}$  והמליחות נשמרת כמעט ללא שינוי (איור 1.15).

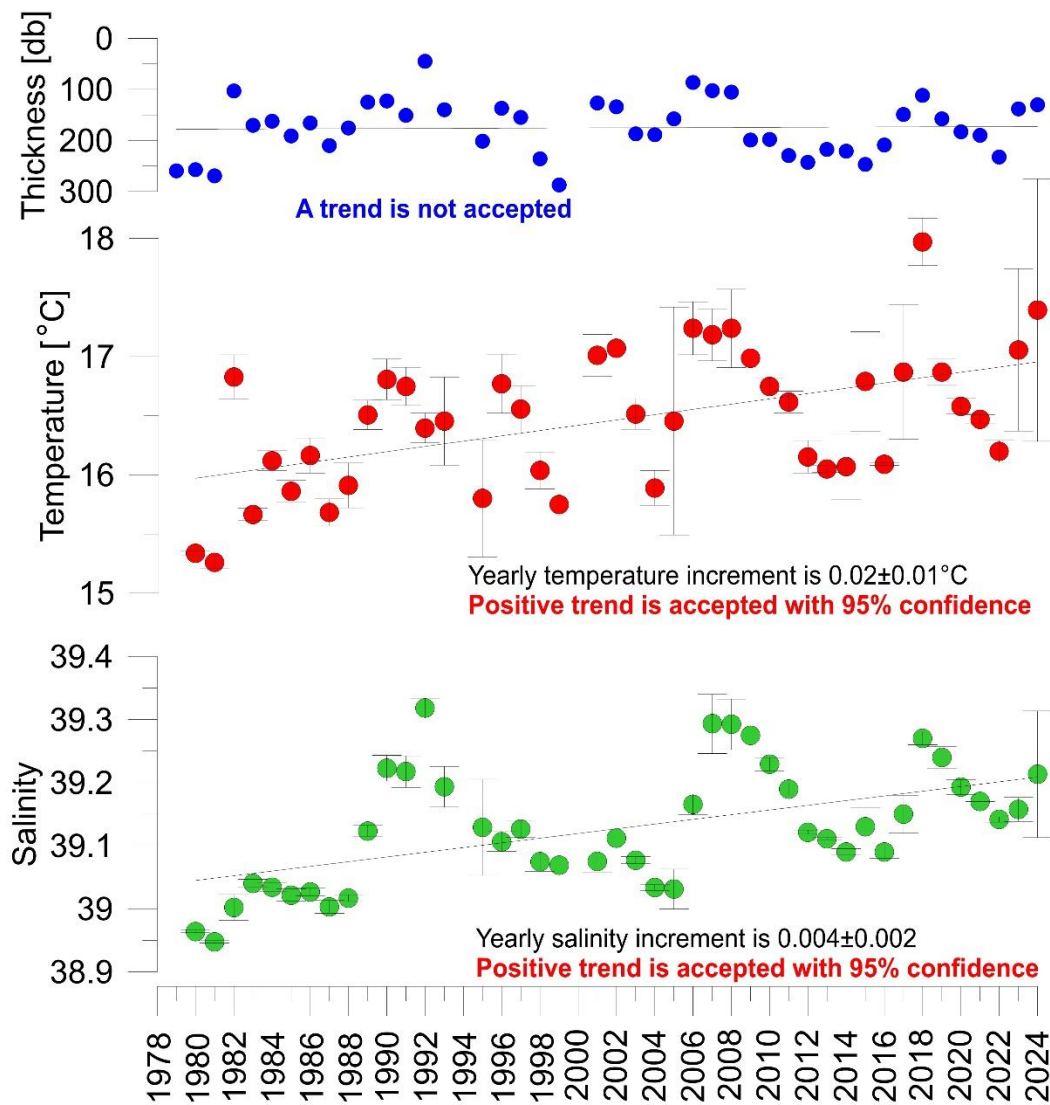
- המדידות בתחנת המדידה בשקמונה מדגימות את מהלך הקירור ההדרגתי בשכבת המים העליונה אשר נשמרת מעורבבת אנכית בטווח המדידה בתחנה כמעט באופן רציף. שיכוב קל, קצר מועב, נצפה בתחנה בשני מועדים: [1] בתחילת ספטמבר 2023 [2] במהלך חודש אפריל 2024. (איור 1.16).

#### היבטים תרמו-הליניים ממשימות גליידרים ימיים

- בחתכים הניצבים לחוף ניתן להתרשם מהתחממות קלה של שכבת המים העליונה עם ההתקרבות לחוף שנשמר בשתי המשימות במיקומים שונים לאורך החוף הישראלי. (איורים 1.17, 1.18, 1.19).
- חתכי המליחות מדגימים שונות גבוהה בטווח העומקים של 50-100 מטר אשר ניתן לשייך ל"כתמיות" של שכבת AW. בעונת החורף, הערבוב האנכי מקשה על זיהוי ברור של שכבות AW ומי הביניים (איורים 1.17, 1.18). שכבות אלו נצפות בצורה ברורה יותר בחתך המליחות בקיץ 2023. AW בטווח הצוין לעיל, ושכבת מי הביניים בטווח העומקים של 100-250 מטר (איור 1.19).
- בשלושת החתכים המוצגים (איורים 1.17, 1.18, 1.19), ניתן לזהות הזזה אנכית (הרמה או הורדה) של קווים שווי טמפרטורה/מליחות אשר נוצרת עקב פעילות דפוסי זרמים.
- במשימת הקיץ נראה שינוי משמעותי במיקום האנכי של הריכוז המקסימלי של כלורופיל (DCM) אשר ממקודם בעומק של כ-50 מטר בטווח של עד כ-25 ק"מ מהחוף ולאחר מכן (מרוחק יותר מהחוף) מעמיק לעומק ממוצע של 100 מטר. באותו מקום ניתן לראות גם הפרעה בקווים שווי צפיפות (טמפרטורה/מליחות), וסביר כי סטייה זו מקורה במים חופיים עשירים בכלורופיל אשר "נכלאו" מעל לזרם מים בעל מליחות הנמוכה (ולכן גם צפיפות נמוכה) המשויכת לשכבת AW כפי שהוסבר לעיל. (איור 1.19). במשימה של חורף 2023 לא נרשם שינוי משמעותי בעומק שכבת DCM במרחב (לא מוצג).

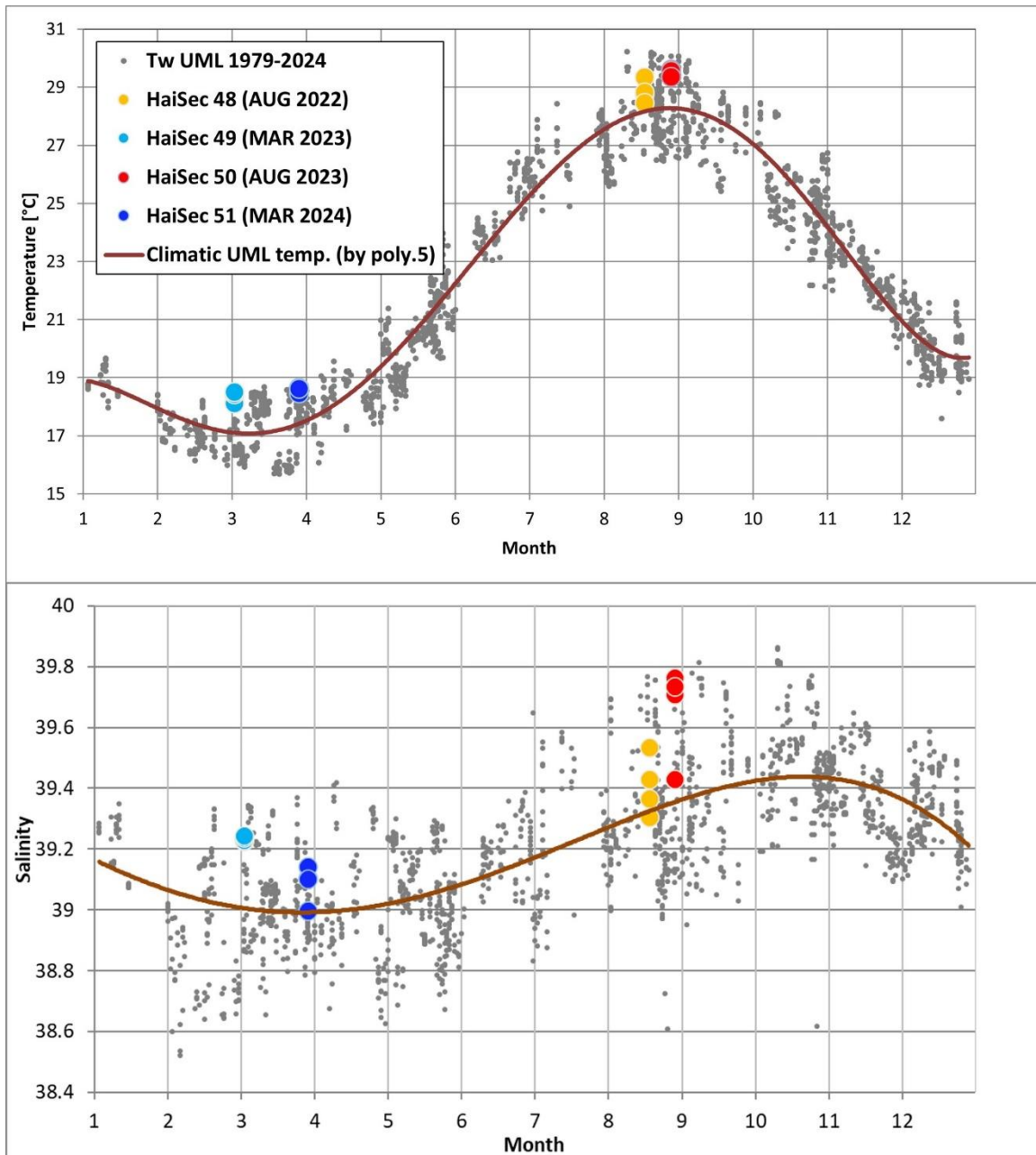


**איור 1.1:** מגמת השינוי בעובי, בטמפרטורה ובמליחות של שכבת LSW כפי שהתקבלה ממדידות CTD בעונת הקיץ (יולי –אוקטובר) בין 1978-2023. עובי שכבת LSW חושב כעומק שבו הצפיפות הייתה גבוהה מ- $0.08 \text{kg/m}^3$  מהצפיפות בפני השטח. רוח בר-סמך לא חושב עבור שנים בהן נאספו פחות משלושה פרופילים של CTD בקרבת תחנה H05.

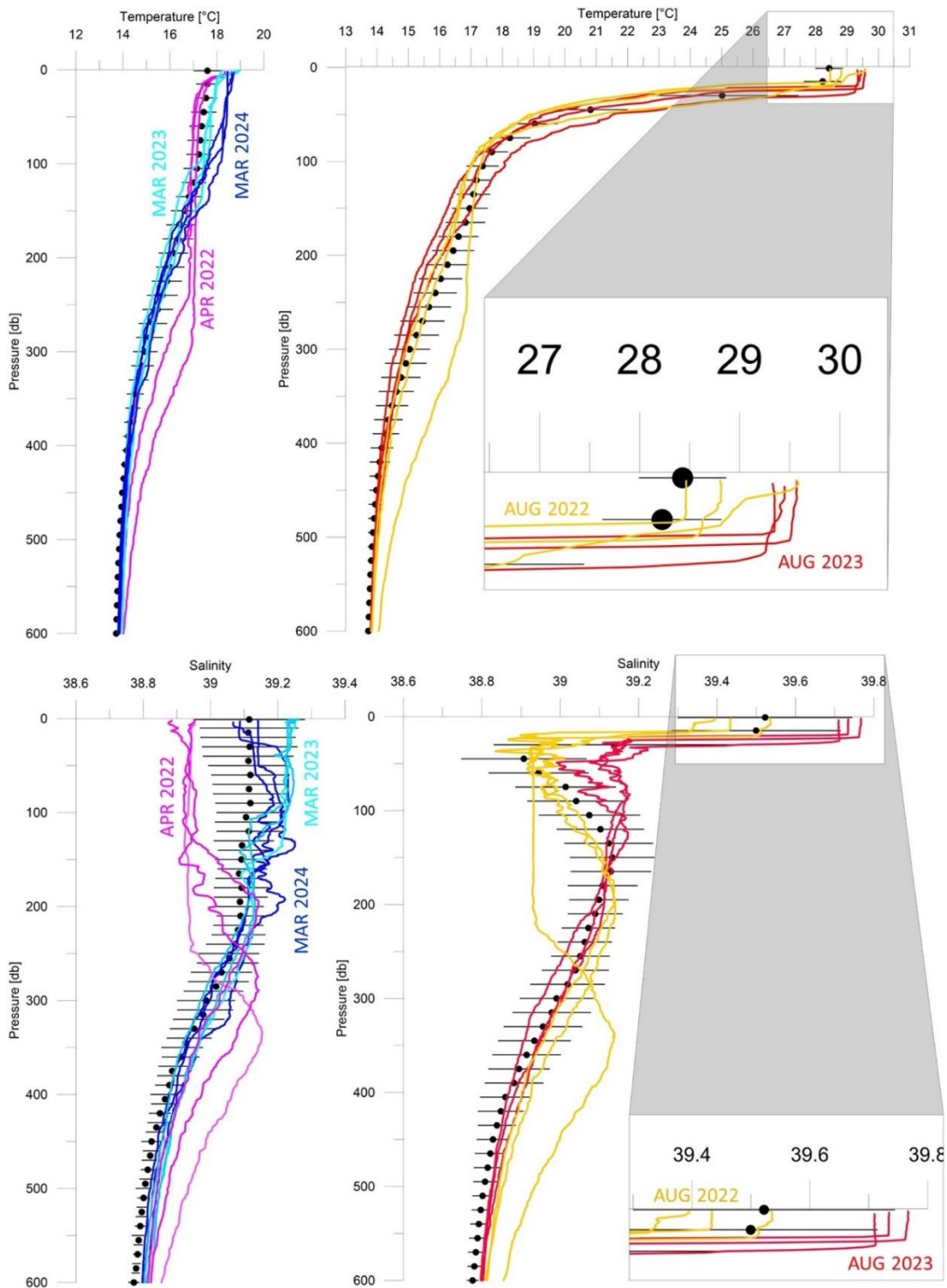


**איור 1.2:** מגמת השינוי בעומק, בטמפרטורה ובמליחות של שכבת LIW כפי שהתקבלה ממדידות CTD בקרבת תחנה H05 בין השנים 1978-2024. מיקום אנכי של LIW נבחר לפי מקסימום מליחות בפרופיל CTD.

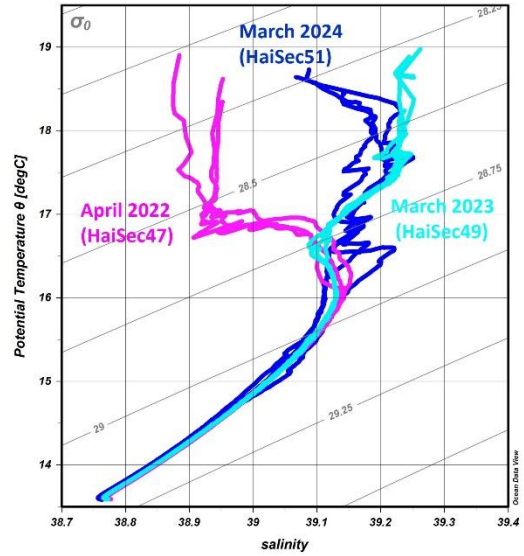
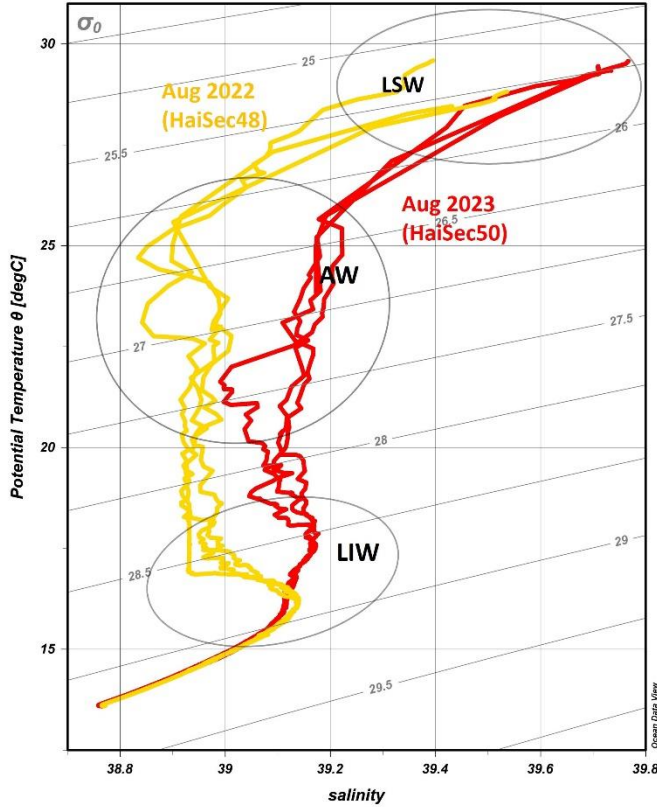




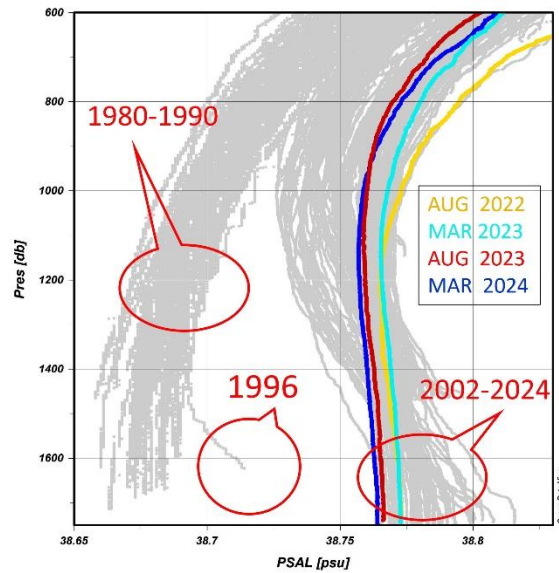
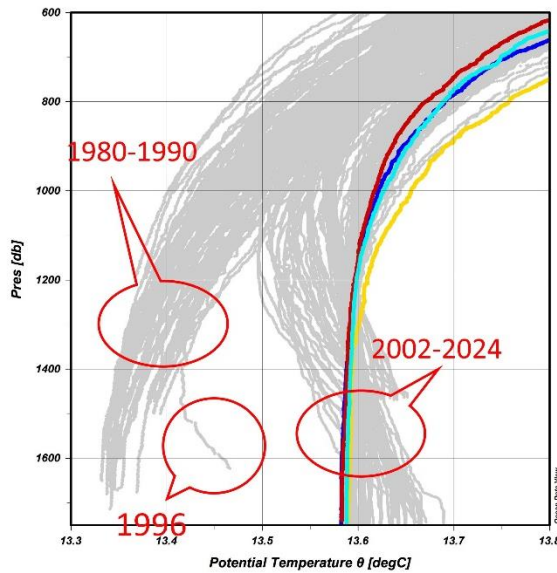
**איור 1.3:** פיזור חודשי של מדידות CTD בשנים 1978-2024 של טמפרטורה (למעלה) ומליחות (למטה) במסת המים העליונה (LSW) באזור תחנה H05. נקודות מודגשות בצבע מציגות מדידות מהשנים 2021-2023 בהפלגות חתך חיפה 46 עד 49. ממוצע קלימטולוגי מוצג בקו מגמה חום.



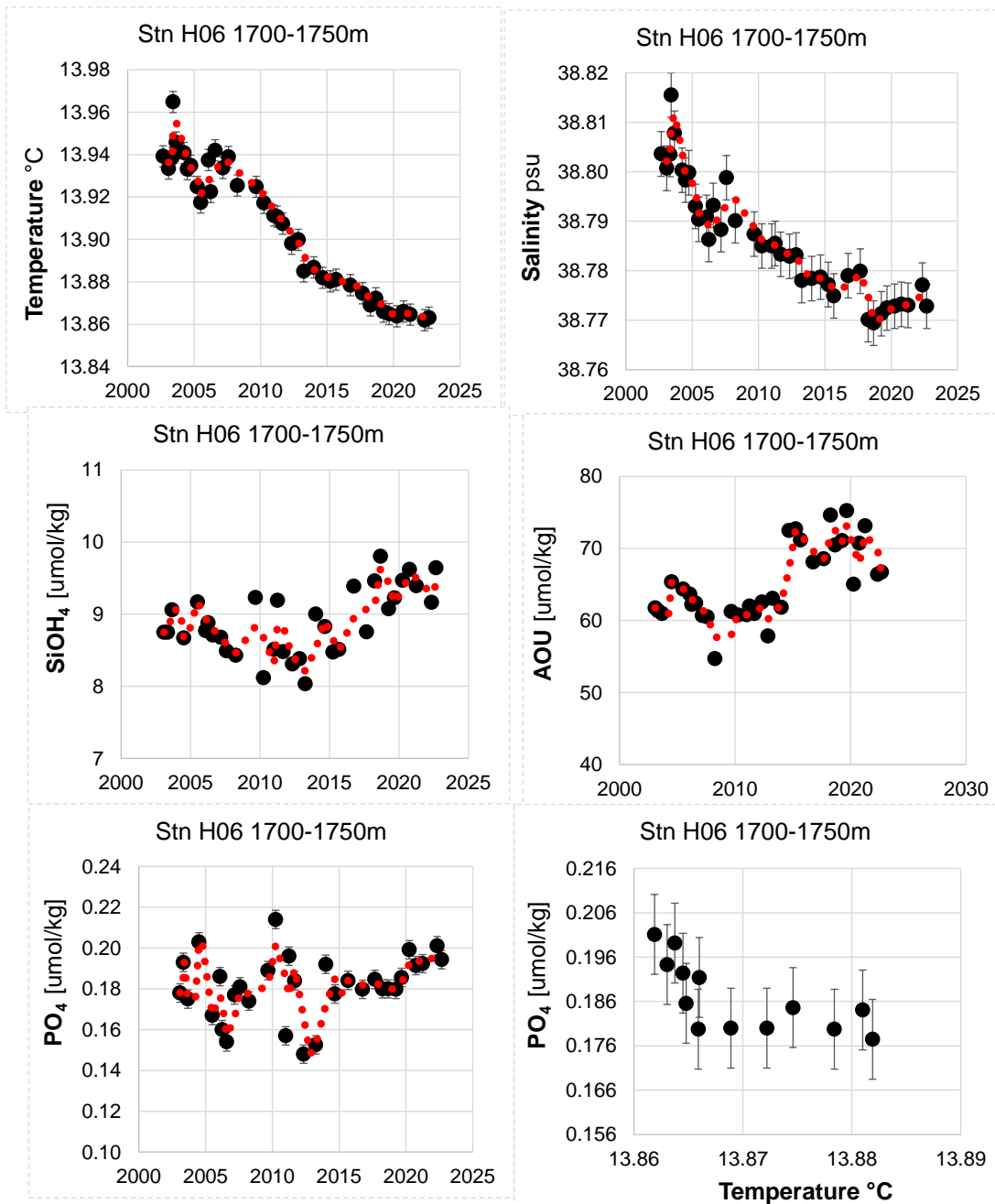
**איור 1.4:** פרופיל טמפרטורה (למעלה) ומליחות (למטה) בתחנות H05, H04, ו-H06 ובאפריל 2022, מרץ 2023 ובמרץ 2024 (שמאל) ובאוגוסט 2022 ו-2023 (ימין). ממוצעים עונתיים כפי שחושבו ממדידות בתחנות H05 ו-H06 מוצגים כנקודות שחורות עם קווי שגיאה.



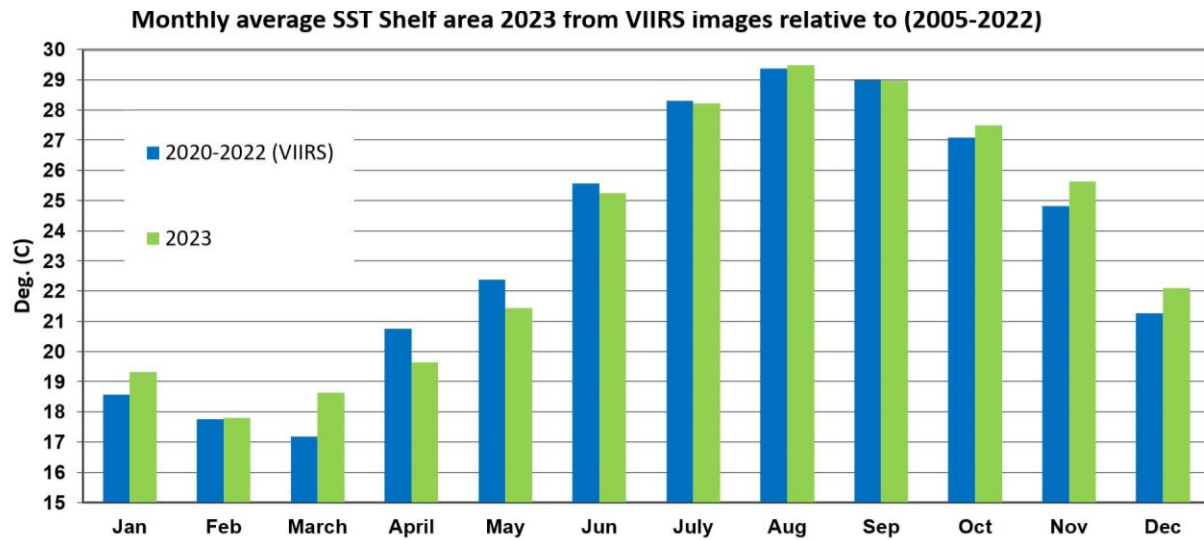
**איור 1.5:** דיאגרמות  $\theta/S$  של תצפיות בתחנות H04, H05, H06 באפריל 2022, מרץ 2023 ובמרץ 2024 (ימין), ובאוגוסט 2022 ו-2023 (שמאל). זיהוי מסות מים אופייניות מסומן בדיאגרמה הקיצית.



**איור 1.6:** שינויים רב-שנתיים בטמפרטורה פוטנציאלית ומליחות מי העומק במזרח הים התיכון כפי שנצפו בפרופילים האנכיים בתחנות H05 ו-H06. בפרופיל מ-1996 ניתן לראות את הגעת מסת מים שמקורה באנומליית האיגאי למדרון מדף היבשת הישראלי. פרופילים בצבע – המדידות בשנים 2022-2024.

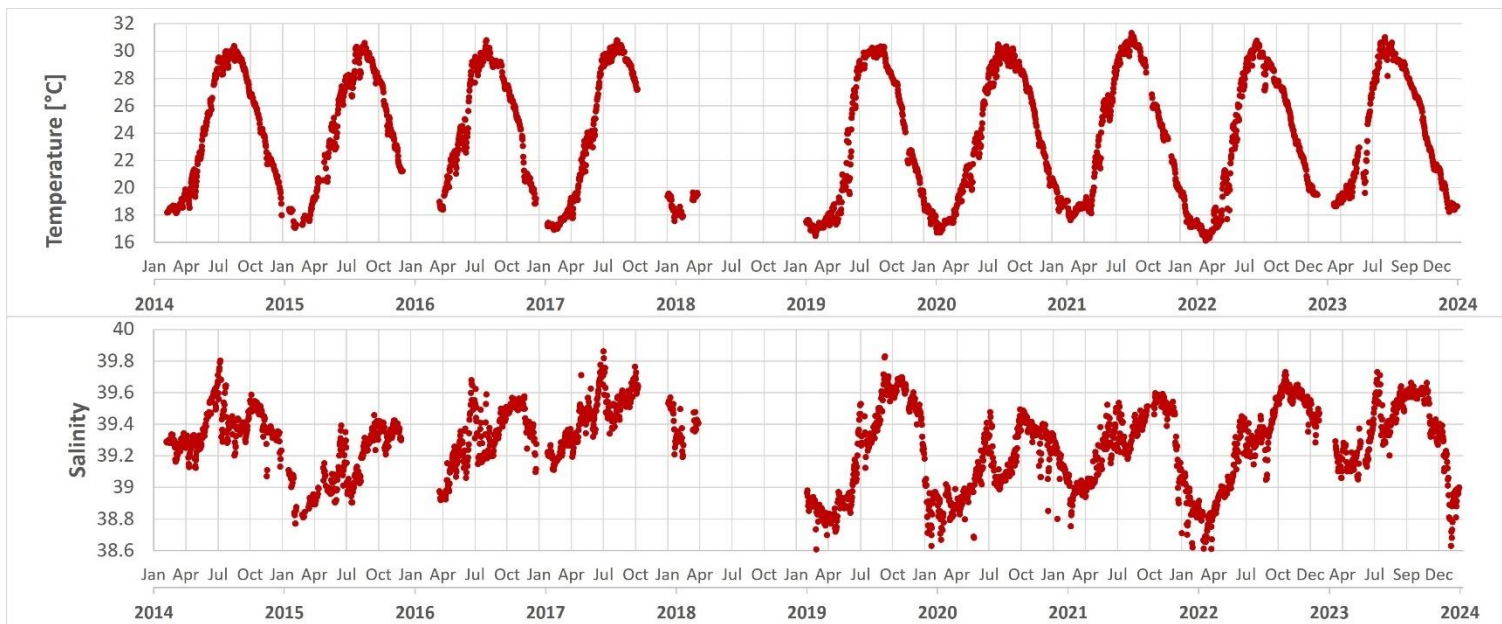


**איור 1.7:** שינויים רב-שנתיים (2002 – 2022) של טמפרטורה, מליחות, סיליקה, פוספט, צריכת חמצן מדומה (AOU) בעומקי מים שבין 1700 ל- 1750 מטר בתחנה H06 (כ- 70 ק"מ מערבית לחיפה). הפנל התחתון הימני מציג את הקשר שבין ריכוזי פוספט לטמפרטורה במי העומק (1700-1750 מ') בשנים 2002 – 2022. עמודות השגיאה מייצגות את שגיאת מכשור המדידה של טמפרטורה ומליחות ( $\pm 0.0045$  for salinity and  $\pm 0.005$  °C for temperature) והשגיאה האנליטית במדידת ריכוזי הפוספט. הקו המקווקו האדום מייצג ממוצע נע.



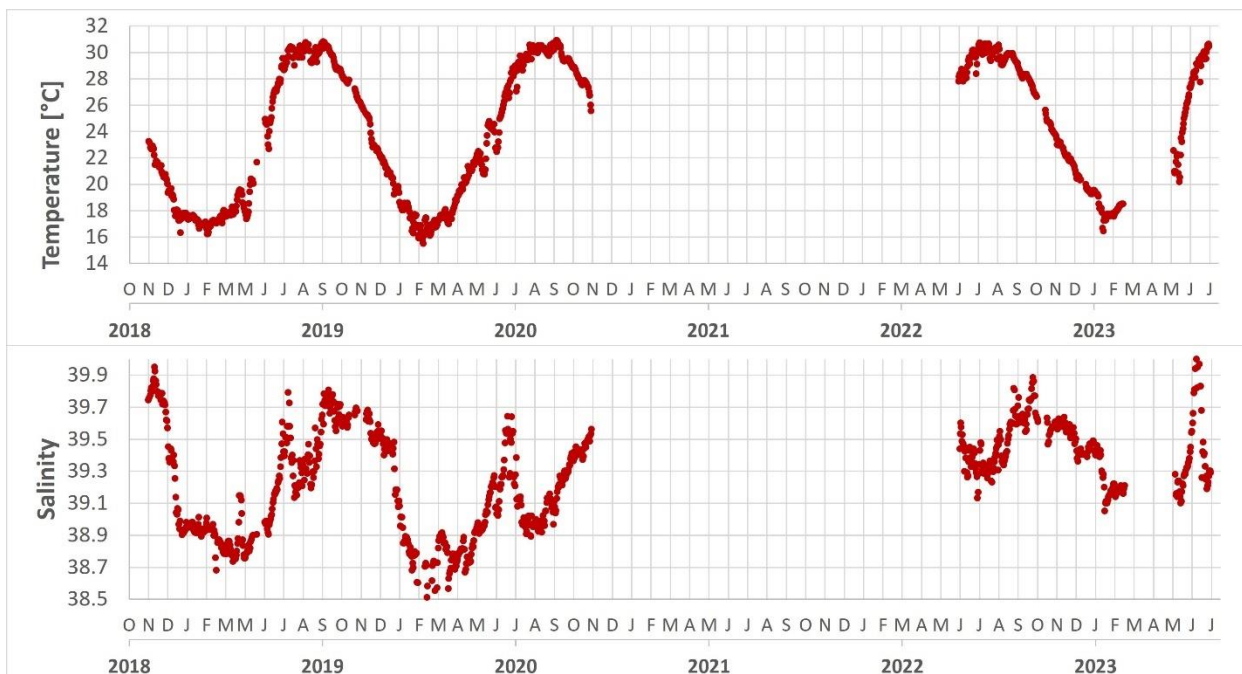
**איור 1.8:** טמפרטורה חודשית ממוצעת לשנת 2022, בהשוואה לממוצע 2020-2022. הנתונים מבוססים על לפחות 4 הדמיות של לוויין VIIRS המצלם ברזולוציה של 750 מטר לפיקסל. דיוק המדידה הוא 0.1 מעלה והיא מייצגת את הטמפרטורה במיקרונים העליונים של פני המים.

### תחנות מדידה רציפה

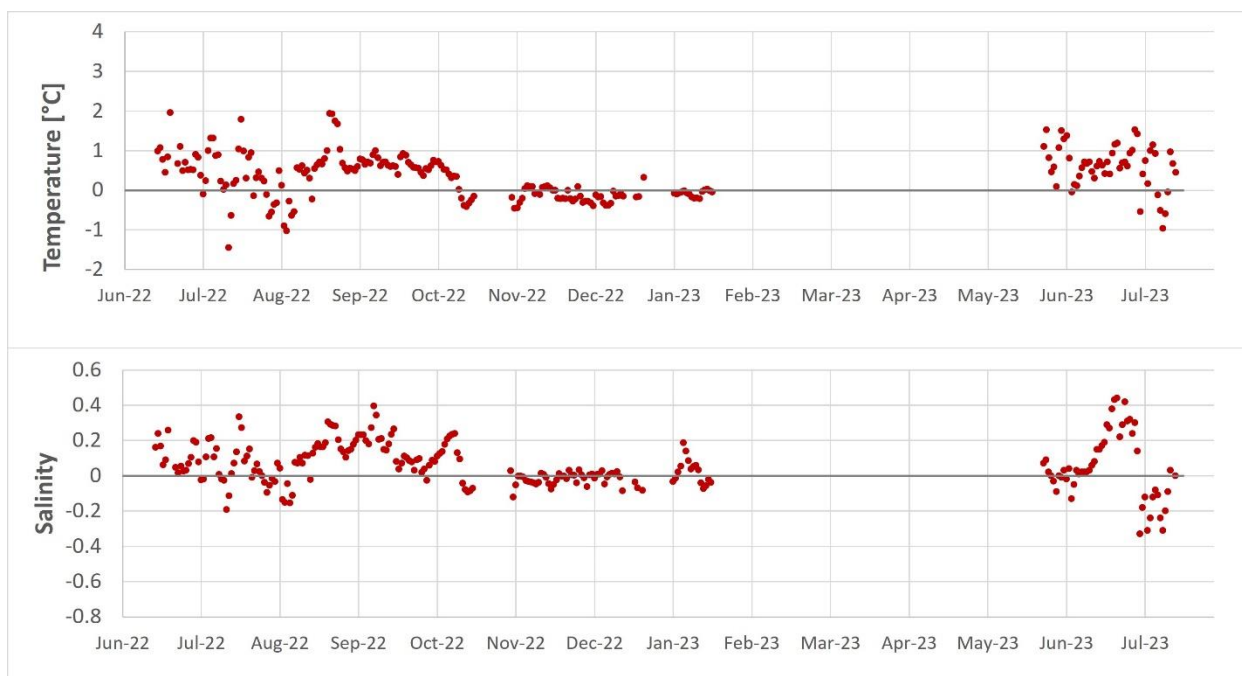


**איור 1.9:** ממוצעים יומיים של טמפרטורה ומליחות הנמדדים בתחנת חדרה באמצעות מכשיר CTD לתקופה פברואר 2014 ועד פברואר 2024.

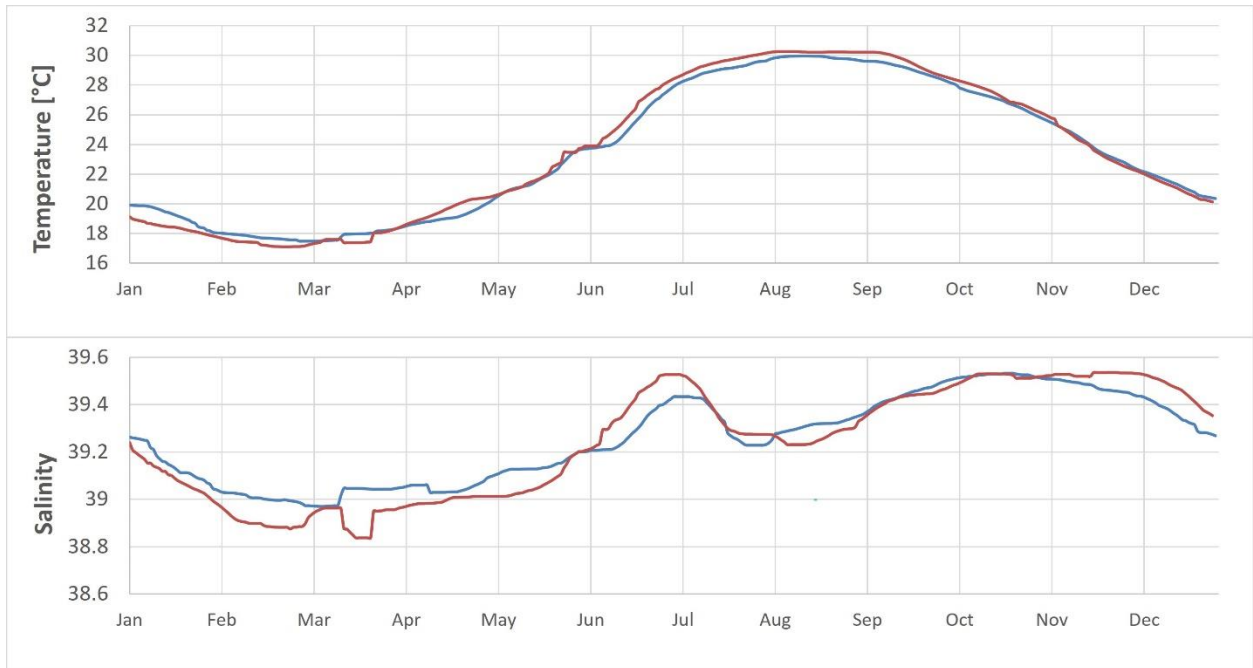




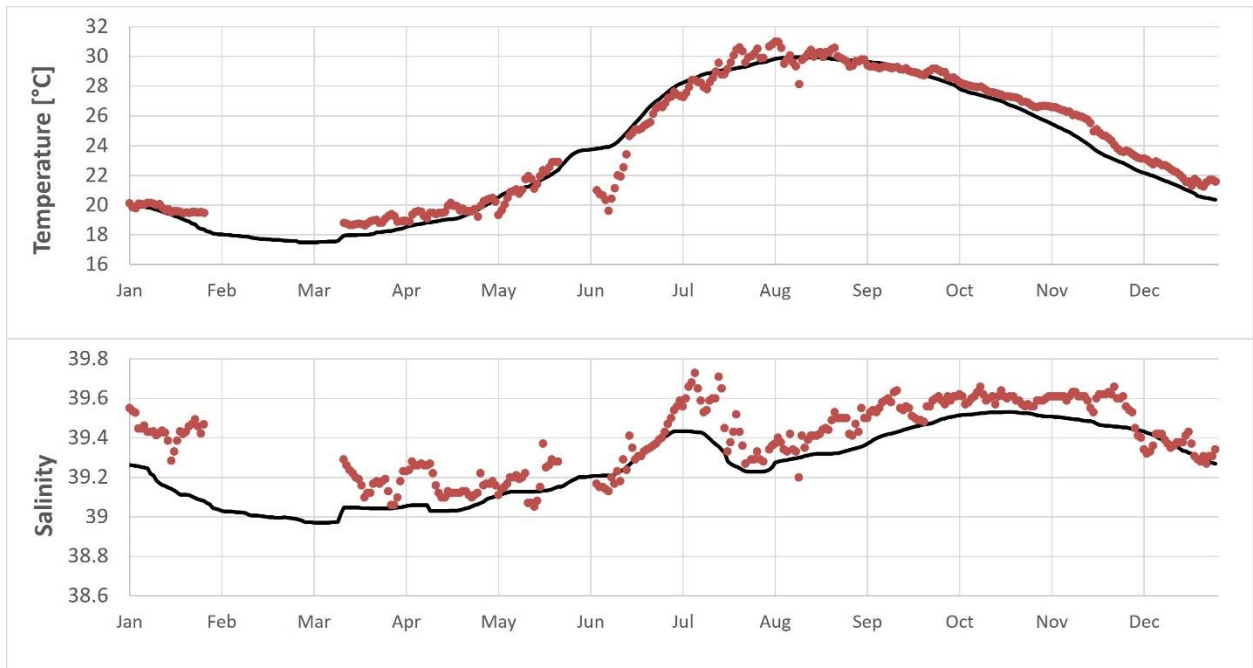
**איור 1.10:** ממוצעים יומיים של טמפרטורה ומליחות הנמדדים בתחנת אשקלון באמצעות מכשיר CTD לתקופה נובמבר 2018 עד יולי 2023.



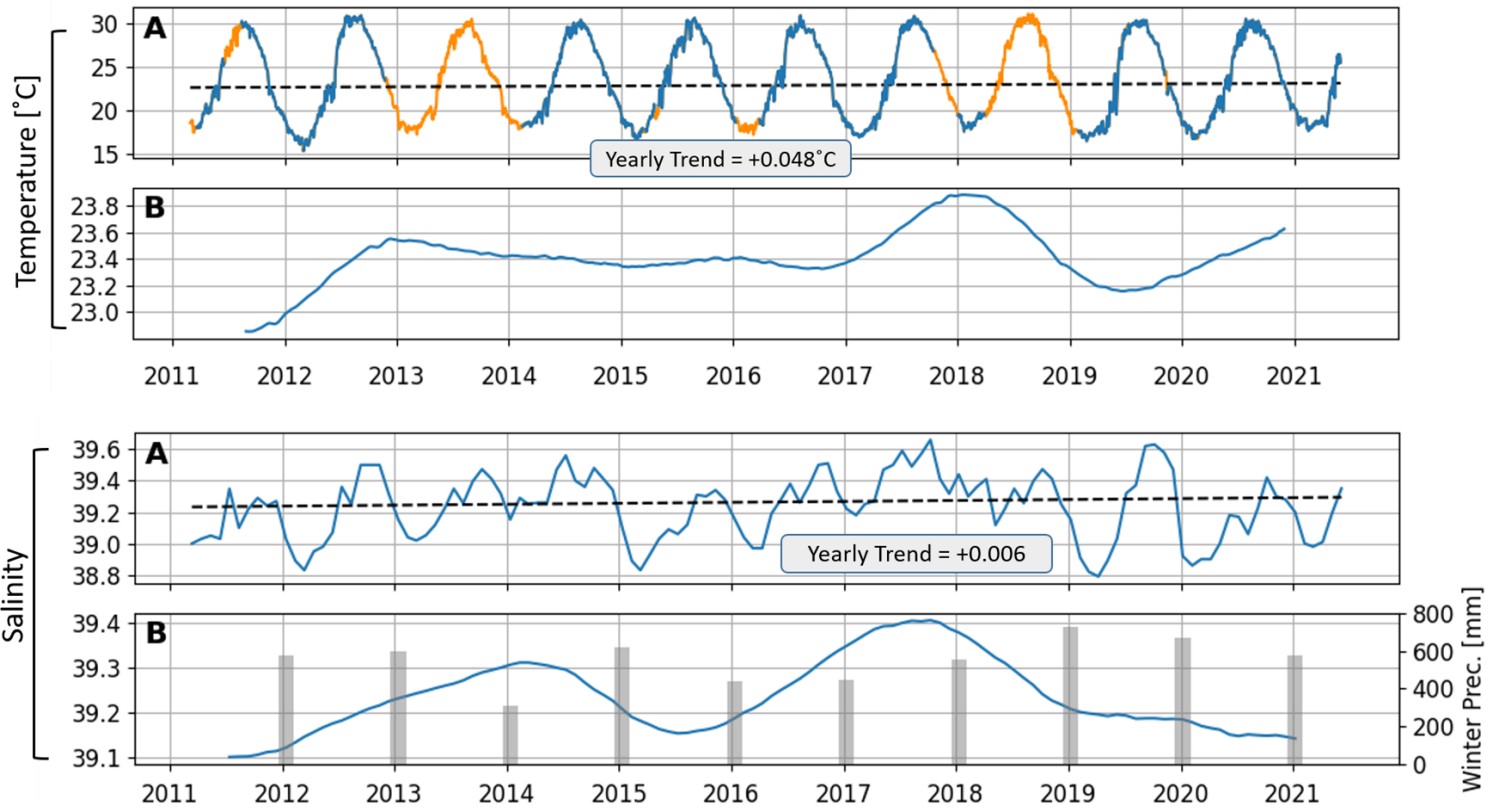
**איור 1.11:** השוואת ממוצעים יומיים של טמפרטורה ומליחות הנמדדים בתחנות אשקלון וחדרה לתקופה של יוני 2022 עד 2023. הערכים המוצגים הינם השארית לאחר חיסור הערך הנמדד בתחנת חדרה מזה הנמדד בתחנת אשקלון.



**איור 1.12:** השוואת נתונים קלימטולוגיים של טמפרטורה ומליחות בתחנות אשקלון (אדום) וחדרה (כחול). הערכים המוצגים הינם ממוצע רב-שנתי המעודכן עד לסוף שנת 2023 (ובהתאם לזמינות הנתונים בתחנות). הערכים המוצגים חושבו לאחר החלקת הממוצע היומי (המוצג באיורים הקודמים) באמצעות חישוב ממוצע נע בחלון של 10 ימים.

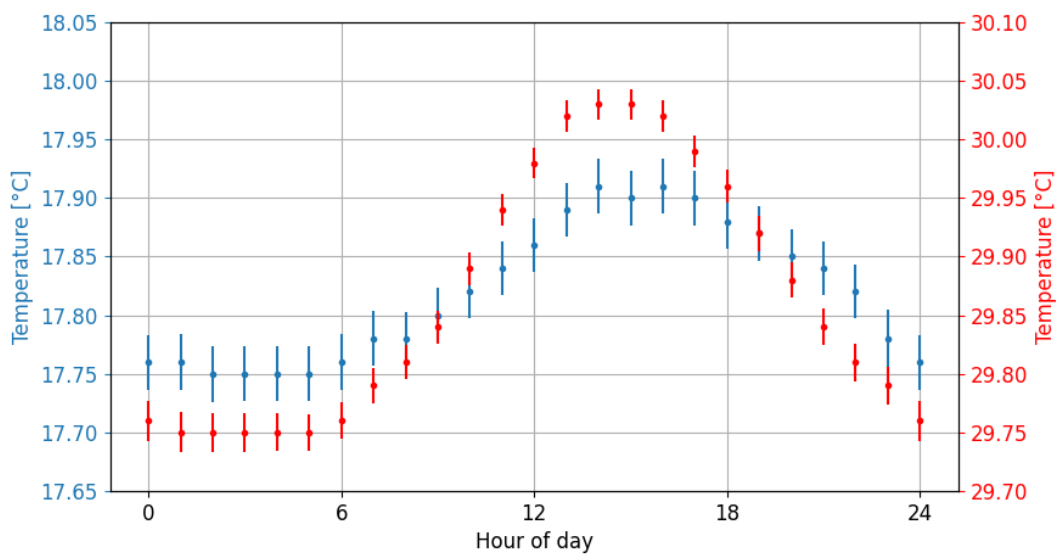
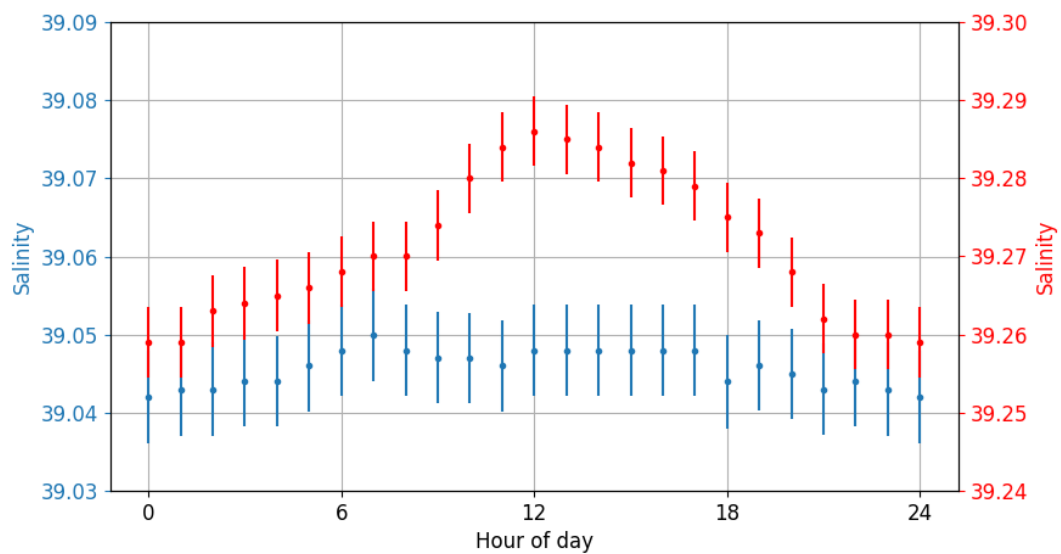


**איור 1.13:** השוואת נתונים תרמוהליניים קלימטולוגיים (קו שחור רציף) לממוצע היומי בשנת 2023 בתחנת חדרה (נקודות אדומות).

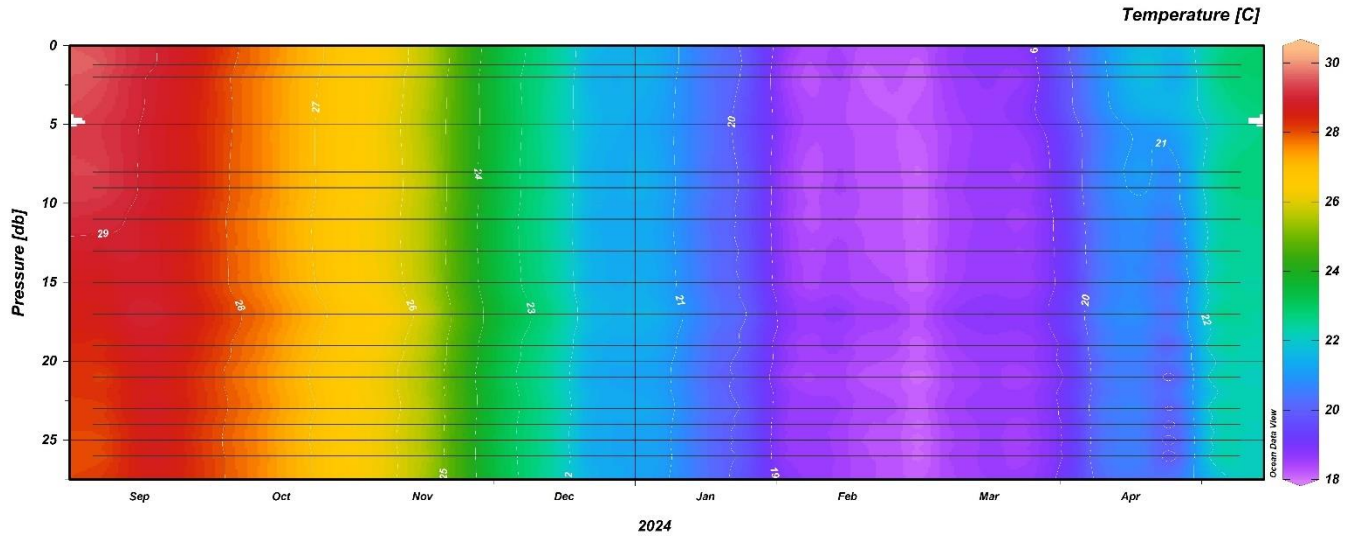


**איור 1.14:** סדרות זמן של עשור של מדידות טמפרטורה ומליחות בתחנת חדרה עם חישוב מגמת שינוי שנתית בשיטת (A) seasonal Mann-Kendall test. ניתוח של מגמות רב שנתיות על ידי דיקומפוזיציה של סדרת הזמן בשיטת X11-ARIMA (B). משקעים שנתיים (ערך מצטבר לכל עונת חורף) מוצגים גל גבי סדרת המליחות באפור).

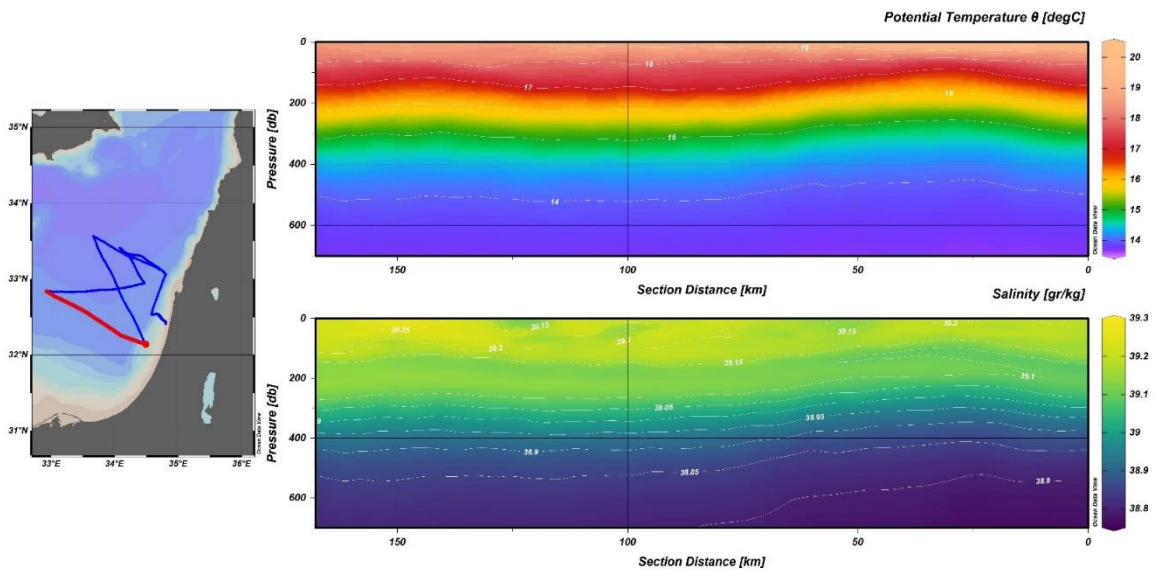




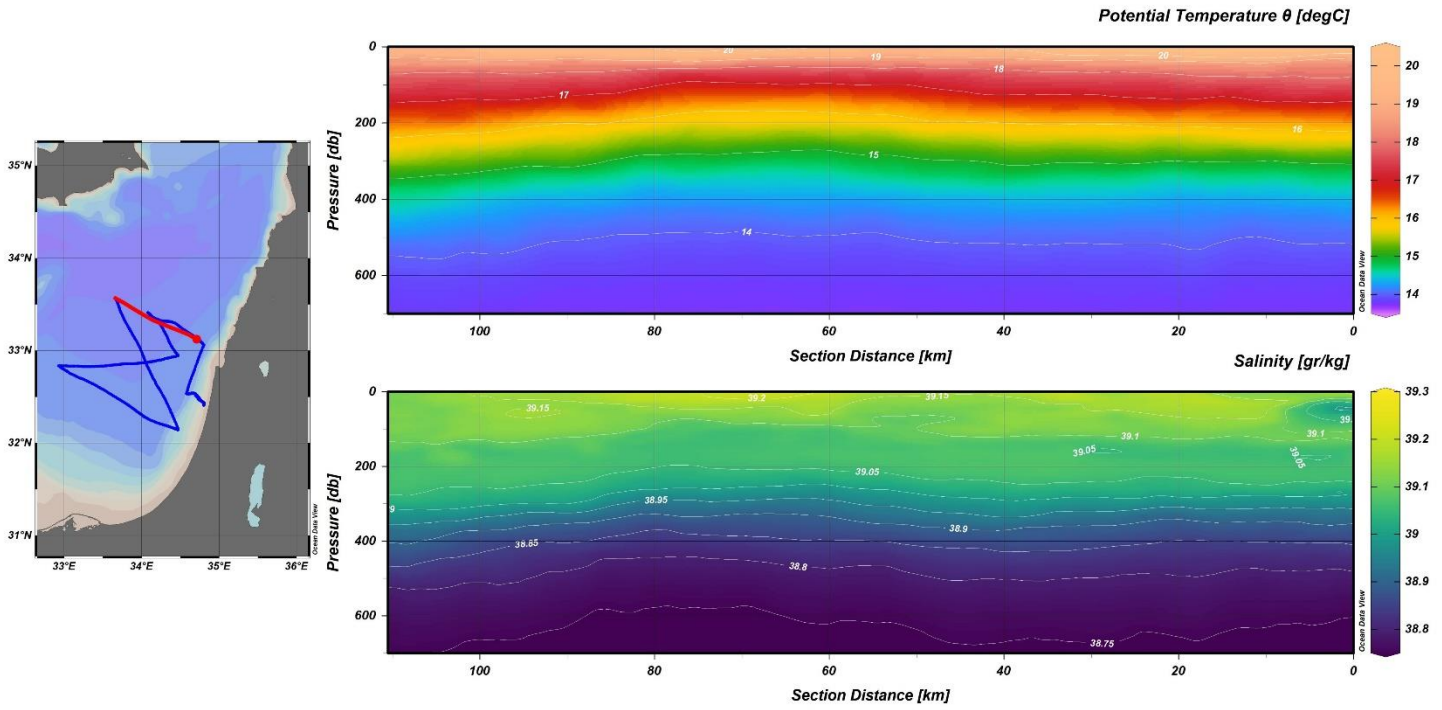
**איור 1.15:** ממוצעים שעתיים של טמפרטורה ומליחות המחושבים על פני עשור של מדידות לחודש אוגוסט (באדום) וחודש מרץ (בכחול).



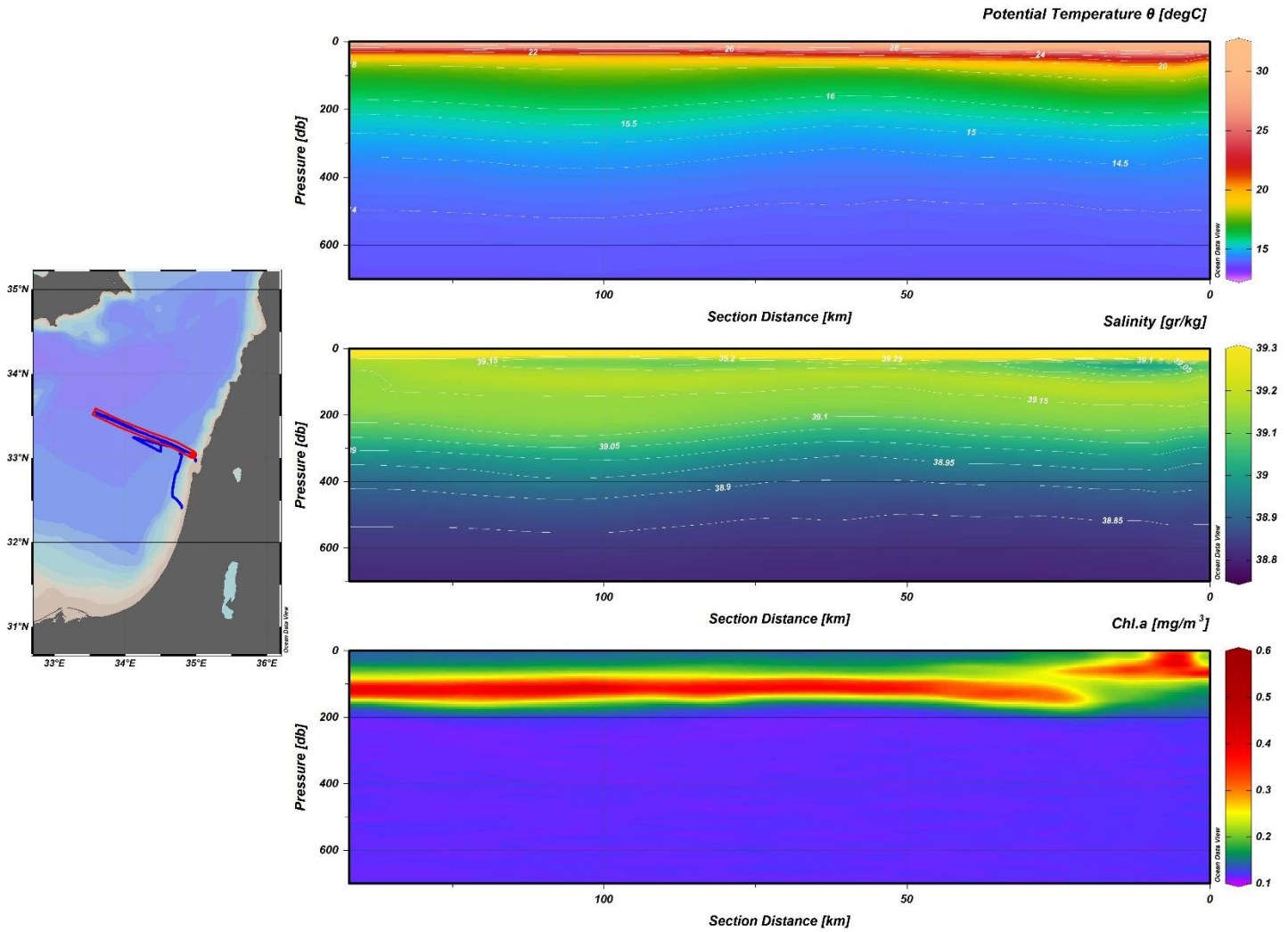
**איור 1.16:** סדרת זמן של נתוני טמפרטורה בארבע-עשר מפלסים ממערכת טרמיסטורים בתחנת הניטור מול תל שקמונה (עומק מים של 26 מטר). הנתונים לתקופה ספטמבר 2023 עד מאי 2024.



**איור 1.17:** חתכי טמפרטורה פוטנציאלית ומליחות ניצבים לחוף שבוצעו בדרום בין הימים 16 ל- 27 לאפריל 2023 במהלך משימת גליידר SEA026-M77.



**איור 1.18:** חתכי טמפרטורה פוטנציאלית ומליחות ניצבים לחוף שבוצעו בצפון בין הימים 6 ל- 12 למאי 2023 במהלך משימת גליידר SEA026-M77.



**איור 1.19:** חתכי טמפרטורה פוטנציאלית, מליחות וכלורופיל ניצבים לחוף שבוצעו בצפון בין הימים 27 ל-אוגוסט ועד ה-11 לספטמבר 2023 במהלך משימת גליידר SEA026-M79.

## פרק 2 - שינויי מפלס ים

**(מרכזים, ד"ר איה לזר [ayahlazar@ocean.org.il](mailto:ayahlazar@ocean.org.il) וד"ר אלי ביטון [elib@ocean.org.il](mailto:elib@ocean.org.il) ויוותם פדידה [yotam@ocean.org.il](mailto:yotam@ocean.org.il))**

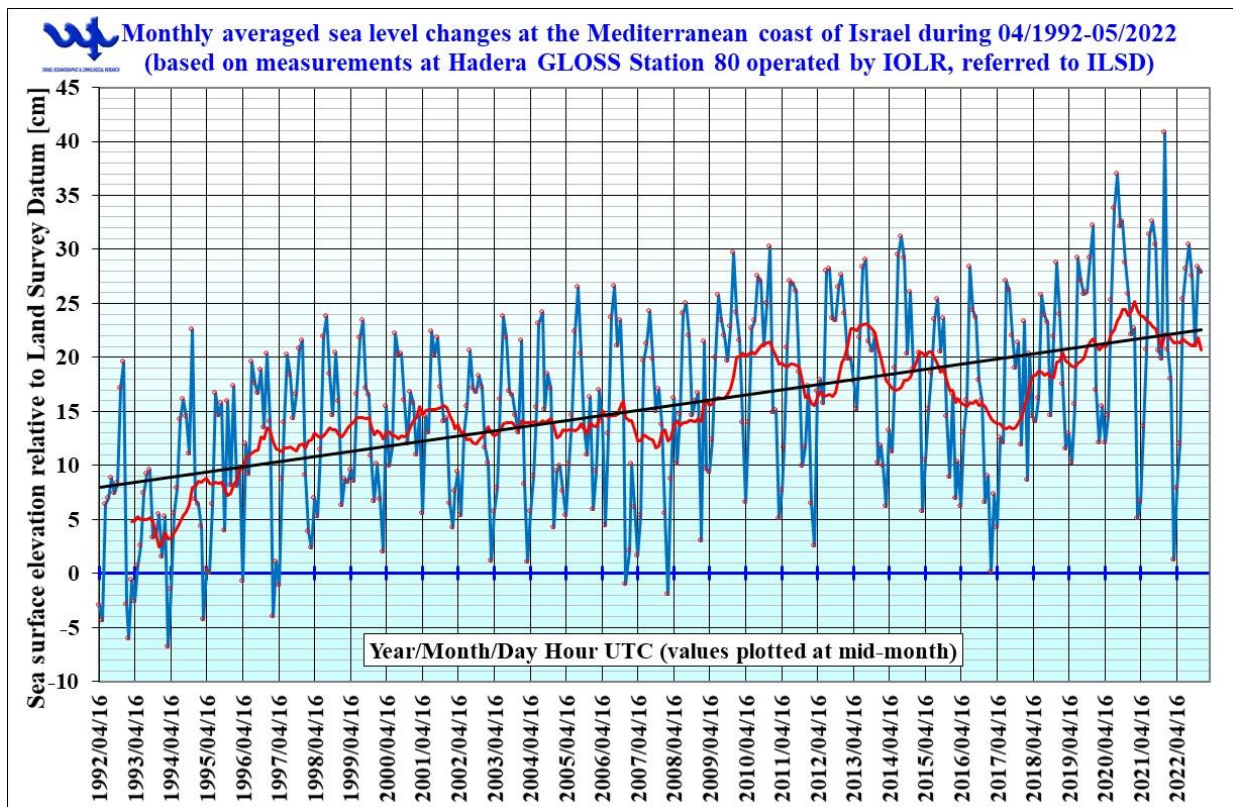
הפרק מתייחס למדדים הקשורים לשינויי אקלים וליעד אקולוגי E07 Hydrography במסגרת אמנת ברצלונה.

### ממצאים עיקריים

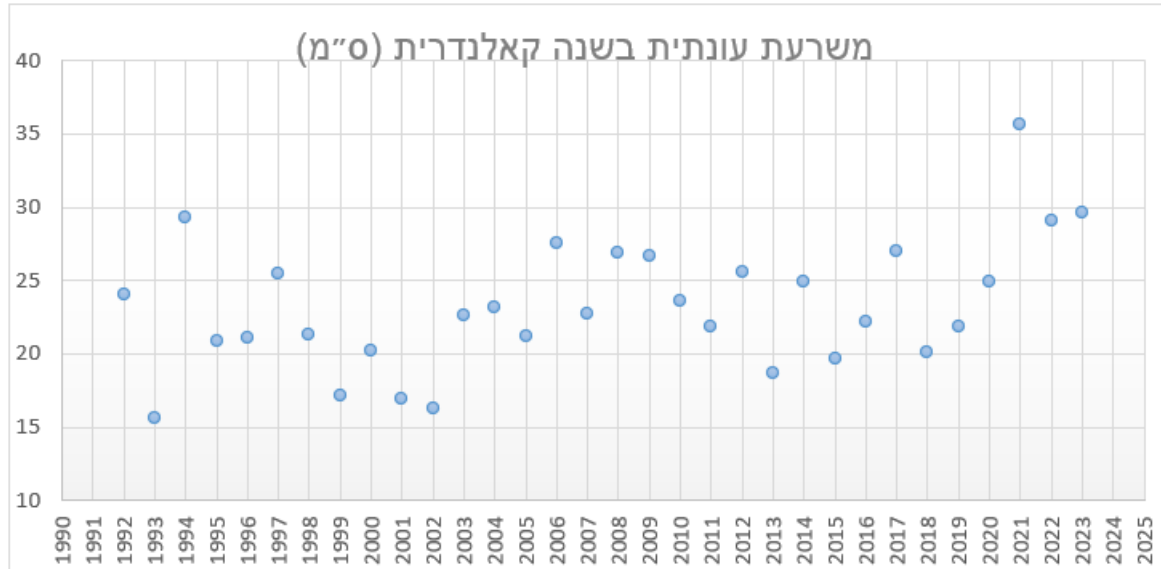
- מאפריל 1992 עד סוף 2023 נמדדה עלייה ממוצעת של כ-4.7 מ"מ בשנה בתחנה בחדרה, המייצרת עלייה רב-שנתית (מאז 1992) של כ-15 ס"מ (איור 2.1). קצב העלייה של מפלס הים נותר ללא שינוי מהשנים האחרונות, והוא גדול מהממוצע הגלובלי הנוכחי. על פי סיכום האינדיקטורים האקלימיים של קופרניקוס [1] העלייה הגלובלית בשנים המקבילות, בין 1993 - 2023 עומדת על 3.4 מ"מ בשנה. קצב עלייה זה גדול מהעלייה הגלובלית, גם כתוצאה מהעלייה החדה בתחילת תקופת המדידה, הנובעת מאפקטים מקומיים בים התיכון, ובפרט ה-Eastern Mediterranean Transient (מפורט מטה). דבר זה אינו מעיד שקצב עליית מפלס הים באזורנו צפויה להיות גבוה באותה מידה גם בעתיד (דו"ח חיא"ל H04/2023). ה-EMT הוא האירוע המתאר מעבר מיקום יצירת המים העמוקים באגן המזרחי מהים האדריאטי לים האגאי והתנאים שקדמו לו, והוא לווה בשינויי צפיפות לאורך עמודת המים ולתבניות הסירקולציה באגן המזרחי. שינויי צפיפות אלו התבטאו בירידה חדה במפלס בין השנים 1987-1993 (בשנים שקדמו לתחילת איסוף הנתונים בתחנה בחדרה) ולאחריה בעלייה חדה במפלס עד תחילת שנות האלפיים, כפי שניתן גם לראות ברקורד מפלס הים בתחנה בחדרה (איור 2.1), זאת בדומה למדווח בספרות עבור אגן הלבנט.
- קצב עליית מפלס הים בעשור האחרון גדול מהממוצע הגלובלי, כאשר בין השנים 2013 ו-2023 בחדרה הוא כ- $6 \pm 1.2$  מ"מ בשנה, בעוד שבעולם הוא  $4.3 \pm 0.6$  מ"מ בשנה [1].
- נראה כי ישנה מגמה של גידול במשרעת העונתית במפלס הים (איור 2.2). בשנים האחרונות, המשרעת העונתית היתה כ-30 ס"מ, ואף יותר מזה, בעוד שבתחילת שנות המדידה המשרעת העונתית היתה נמוכה יותר, ועד תחילת שנות ה-2000 עמדה על כ-20 ס"מ. לפי שעה לא ניתן עדיין לקבוע באם זוהי מגמה מהותית ויש להמשיך לעקוב אחר תופעה זו.



- שינויים החלים בעונתיות מפלס הים באזורינו (בפאזה ובמשרעת) (איורים 2.1, ו-2.2) נובעים משונות פנימית במערכת – בהשפעת לחץ אטמוספרי, רוחות, זרמים, והמאזן ההידרולוגי, וכן ממגמת ההתחממות הגלובלית הכללית והתחממות האגן המזרחי בפרט.
- שינויים חודשיים במפלס הים התיכון מושפעים בעיקרם מתרומות סטריות הנובעות מהתחממות המים בשכבה העליונה בימות הקיץ והתקררותם בחודשי החורף, ומשינויים במאזן הנפחי של הים התיכון הנקבעים על-ידי השטפים במצרי גיברלטר ושטפי אידוי-משקעים בפני הים. עם זאת, באזור החופי של דרום מזרח אגן הלבנט נראה כי הגורם הסטרי הוא המשמעותי ביותר.



**איור 2.1:** נתוני מפלס ים בממוצעים חודשיים כפי שנמדדו בתחנת הניטור הממוקמת בקצה מזח הפחם של תחנת הכוח אורות רבין בחדרה בין אפריל 1992 ועד מאי 2022 (כחול), ממוצע רץ שנתי (אדום), וקו מגמה לכל התקופה (שחור). הערכים המוצגים מיוחסים לאפס האיזון הארצי.



**איור 2.2:** המשרעת העונתית השנתית בין הערך המימינלי לערך המקסימלי בשנה קלנדרית, על פי נתוני מפלס ים בממוצעים חודשיים מאיור 2.1.

**מקורות:**

- [1] CMEMS Ocean Monitoring Indicator based on the C3S sea level product. Credit: C3S/ECMWF/CMEMS (data available at: [https://climate.copernicus.eu/sites/default/files/custom-uploads/ESOTC%202023/DATA/CLIMATE\\_INDICATORS\\_2023\\_DATA\\_SEA\\_LEVEL\\_FIGURE\\_1.zip](https://climate.copernicus.eu/sites/default/files/custom-uploads/ESOTC%202023/DATA/CLIMATE_INDICATORS_2023_DATA_SEA_LEVEL_FIGURE_1.zip))

### פרק 3 - ניטור שינויים רב-שנתיים בחומציות ומערכת הקרבונט במי הים

**(מרכז ד"ר ג'ק סילברמן [jacobs1@ocean.org.il](mailto:jacobs1@ocean.org.il))**

הפרק מתייחס למדדים הקשורים לשינויי אקלים וליעדים אקולוגיים במסגרת אמנת ברצלונה כלהלן:

שימור או שיפור של מגוון במים החופיים ובים העמוק (E01); מינים פולשים לא משנים לרעה את בתי הגידול במים החופיים ובים העמוק (E02); שינויים במרכיבי מארג מזון ימי חסרי השפעה ארוכת טווח על בתי הגידול במים החופיים ובים העמוק (E04); מניעה של אוטרופיקציה (גם פחמן) על-ידי האדם (E05); שינויים בתנאים הידרוגרפיים אינם פוגעים בבתי גידול במים החופיים (E07); הדינמיקה הטבעית של סביבות, בתי גידול ומתארים חופיים נשמרת (E08); מזהמים אינם פוגעים בתפקודי מערכת של בתי גידול במים חופיים ופתוחים ולא פוגעים בבריאות האדם (E09).

#### **ממצאים עיקריים**

- משנת 2018 נרכשה לטובת הניטור הלאומי מערכת ספקטרופוטומטרית למדידת pH של חברת Contros-Kongsberg (HydroFIA pH). במכשיר זה המדידה מתבצעת בטמפרטורה קבועה של  $25^{\circ}\text{C} \pm 0.006^{\circ}\text{C}$  (ללא נדידת אות - drift free) בטווח מליחות של 0-40 עם דיוק מדידה של  $\pm 0.003$  pH. לחלופין, עד אוגוסט 2017 חושבו הפרמטרים השונים של מערכת הפחמן במי הים ממדידות של אלקליניות ו-DIC ומאוגוסט 2018 באמצעות אלקליניות ו-pH. כתוצאה מכל האמור לעיל היו הבדלים בין חישובי פרמטרים של מערכת הקרבונט בין שתי התקופות והיה צורך לעשות כיוול והתאמת שתיהן כדי לקבל רקורדים אחידים ורציפים.
- בים הפתוח ישנה מגמה חיובית ממוצעת של עליית ריכוז הלחץ החלקי של פחמן דו חמצני בקצב של כ-  $+6 \text{ ppmV/yr}$  בין 2012-2024, שהינו גבוה פי 2-3 מקצב עליית הפד"ח באטמוספירה על פי נתוני NOAA לתקופה זו (איור 3.1). מגמה זו מושפעת בעיקר ממגמת העלייה המוגברת בחודשי החורף (2012-2024,  $+7 \text{ ppmV/yr}$ ) לעומת חודשי הקיץ (2014-2023,  $+5 \text{ ppmV/yr}$ ).



- בשקלול כללי, ערכי ה- $pCO_2$  מעידים על כך שהמים הפתוחים עדיין מהווים מקור לפחמן דו-חמצני אטמוספרי ולא מבלע (כלומר תהליך הפוטוסינתזה המבוצע ע"י אצות אינו מפצה על נשימה ושחרור גזים בגלל התחממות המים).
- במקביל למגמת העלייה בלחץ החלקי של פד"ח, ישנה עלייה בחומציות מי הים בקצב ממוצע (2014-2024) של -0.004 יחידות pH לשנה או -0.04 יחידות pH לעשור (איור 3.2). גם שינוי ממוצע זה גבוה מקצב החמצה באוקיאנוסים (-0.002 יחידות pH לשנה). קצב ההחמצה במדידות החורף (2012-2024, -0.006 יחידות pH לשנה) יותר מהיר מקצב ההחמצה בקיץ (2014-2023, -0.002 יחידות pH לשנה). יש לציין, שקצב ההחמצה הממוצע לשנים 2014-2024 (חורף וקיץ) לאחר תיקון ערך ה-pH לטמפרטורה קבועה של 25 מעלות צלזיוס הינו -0.004 יחידות pH לשנה. קצב זה, דומה מאוד לקצב ההחמצה של מי האוקיאנוס האטלנטי שמזינים את מערב הים התיכון כפי שדווח על ידי Flecha et al (2015).

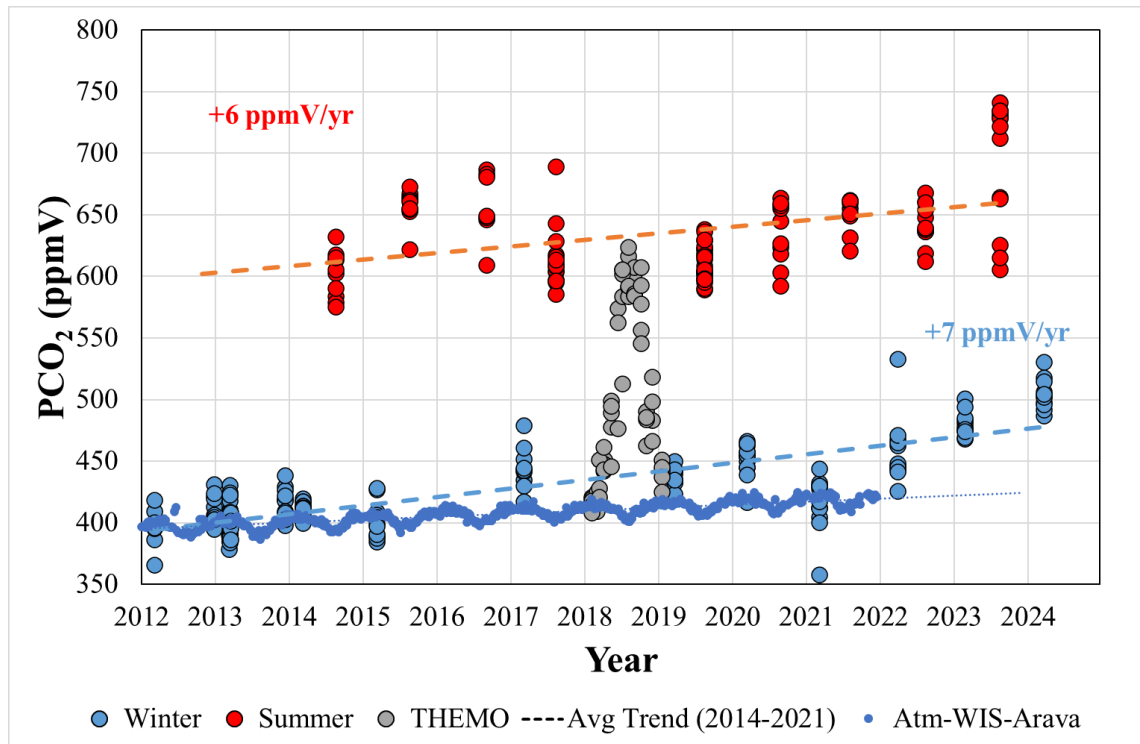
#### ניטור החמצת מי ים בטבלאות הגידוד של חופי אכזיב, שקמונה, הבונים ופלמחים

- גם בסדרת הנתונים הזאת נעשתה אנליזה חדשה לכיול חישוב הפרמטרים של מערכת הקרבונט עם אלקליניות ו-DIC, ואקליניות ו-pH, שנמדד בשיטה ספקטרופוטומטרית.
- בשנים 2013 עד 2021 ניתן לראות עונתיות ברורה של ערכי  $pCO_2$  מחושבים במים בקצה טבלאות הגידוד – גבוה בקיץ ונמוך בחורף (איור 3.3).
- בקיץ המים בקצה טבלאות הגידוד בעל-רוויה גבוהה יחסית ל- $CO_2$  אטמוספרי (420~ ppmv) ובטבלת הגידוד של אכזיב (AKE) התקבל הערך הגבוה ביותר, דווקא באפריל 2019 (911 ppmv) ובאוגוסט 2019 התקבל הערך הגבוה ביותר הבא בתור (835 ppmv). מעניין לציין שבאפריל 2019 ריכוז האלקליניות בקצה הטבלה של אכזיב היה  $2771 \mu\text{mole/kg}$ , המעיד על נוכחות גבוהה של מי תהום מועשרים באלקליניות וגם DIC עם  $pCO_2$  מאוד גבוה.
- בחורף הערכים המינימליים (200~ ppmv) התקבלו בטבלאות הגידוד של תל שקמונה (SKE) והבונים (HBE) (איור 3.3), ובאופן כללי נמצאים בתת-רוויה משמעותית ביחס ללחץ החלקי של פחמן דו-חמצני באטמוספירה (420~ ppmv).

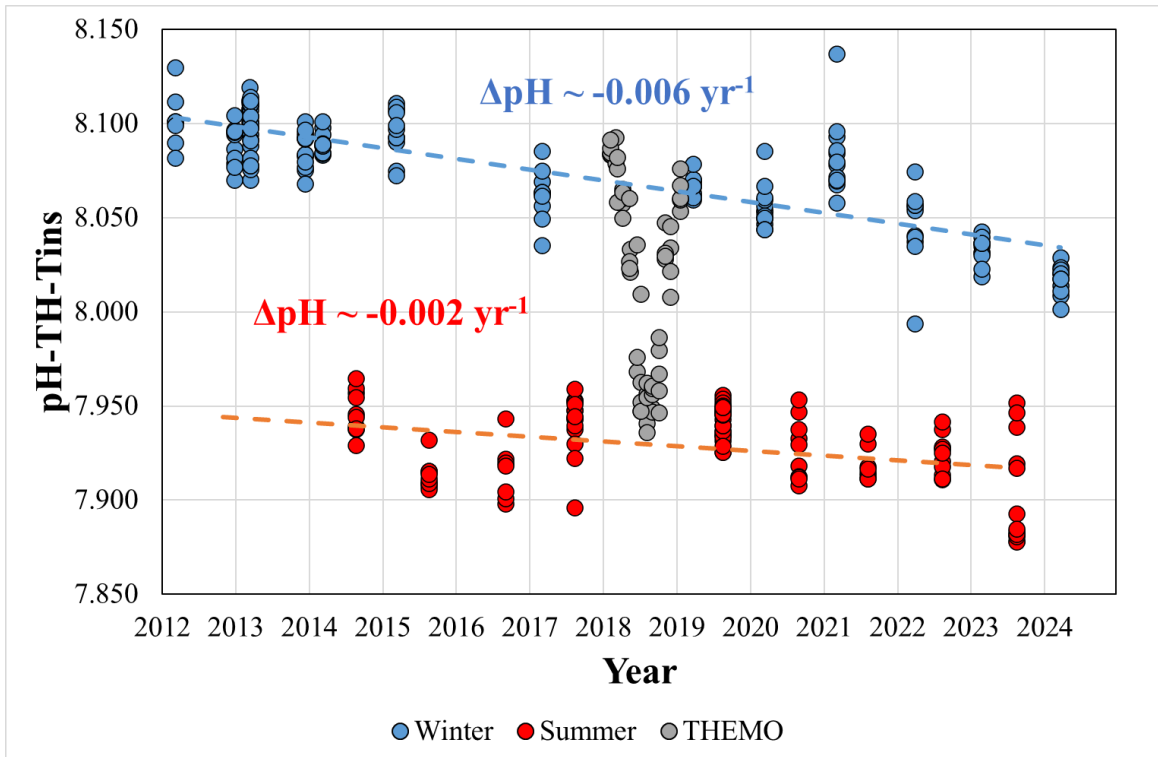
- $\rho\text{CO}_2$  הראה מגמה חיובית עם הזמן בערכים של אכזיב ( $\text{AKE} - +7 \text{ ppmV/yr}$ ), תל שקמונה ( $\text{SKE} - +5 \text{ ppmV/yr}$ ) והבוניים ( $\text{HBE} - +1 \text{ ppmV/yr}$ ). לחלופין, בקצה טבלת הגידוד של פלמחים ( $\text{PLE} - -2 \text{ ppmV/yr}$ ) המגמה הינה שלילית (איור 3.3).
- המגמה הממוצעת של כל טבלאות הגידוד עם הזמן היא  $\pm 5 \text{ ppmV/yr} +4$ , הדומה מאוד לקצב הגידול של פחמן דו חמצני באטמוספירה (איור 3.3).
- הסטייה הממוצעת של לחץ חלקי של פד"ח במי ים מריכוז הפד"ח באטמוספירה בכל תחנות הניטור הינו  $\pm 210 \text{ ppmV} +370$  (איור 3.3). כאשר מי הים נמצאים בעל רוויה ביחס לפד"ח אטמוספרי יותר מ-90% מהזמן. הווה אומר, שמי הים החופיים הסמוכים לטבלאות הגידוד מהווים מקור נטו לפד"ח אטמוספרי.
- יש לציין שהדיגומים בטבלאות מבוצעים במהלך היום, כאשר פוטוסינתזה אמורה להוריד את הלחץ החלקי של פד"ח במי הים ולכן, כאשר בלילה נשימה מעלה את הלחץ החלקי של פד"ח במי הים. לפיכך, המים הסמוכים לטבלאות מהווים מקור לפד"ח אטמוספרי כמעט כל הזמן.
- קיימת מגמת עליה בסטייה של לחץ חלקי של פד"ח במי הים בקצה טבלאות הגידוד עם קצב גידול שנתי של  $\pm 1.9 \text{ ppmV/yr} 5.4$  ( $p=0.0042$ ).
- ניתן לראות עונתיות ברורה של ערכי pH בקצה טבלאות הגידוד – נמוך בקיץ וגבוה בחורף (איור 3.4).
- בקיץ המים בקצה טבלאות הגידוד בעלי pH נמוך יחסית לממוצע ומגיע לערכים מינימליים של 7.8-7.9 בטבלת הגידוד של פלמחים (PLE) ואכזיב (AKE). בחורף הערכים המקסימליים התקבלו לרוב בטבלאות הגידוד של תל שקמונה (SKE) והבוניים (HBE) עד מעל 8.5, כאשר הערך הגבוה ביותר (8.545) התקבל דווקא בחורף בינואר 2017 בקצה טבלת הגידוד של תל שקמונה. יש לציין שכל אתר נדגם בשעה אחרת של היום (באותה שעה פחות או יותר בכל אתר, בכל חודש), שיכול להסביר את ההבדלים ב-pH בין התחנות (איור 3.4).

- מגמה שלילית בערכי pH עם הזמן נמצאה באכזיב ( $\text{AKE} - \text{dpH}/\text{dt} = -0.008 \text{ yr}^{-1}$ ), תל שקמונה ( $\text{SKE} - \text{dpH}/\text{dt} = -0.006 \text{ yr}^{-1}$ ) והבונים ( $\text{HBE} - \text{dpH}/\text{dt} = -0.006 \text{ yr}^{-1}$ ). בקצה טבלת הגידוד של פלמחים ( $\text{PLE} - \text{dpH}/\text{dt} = +0.001 \text{ yr}^{-1}$ ) המגמה הינה חיובית (איור 3.4).

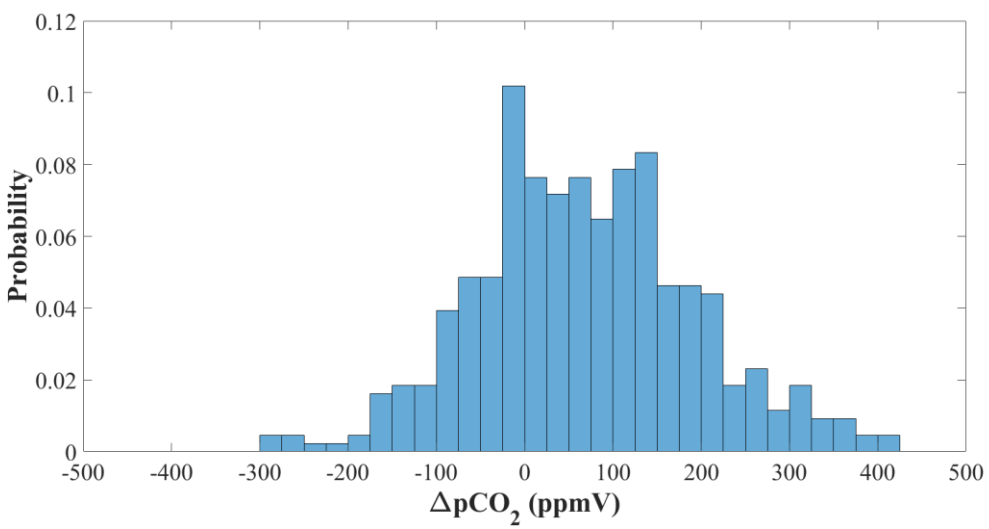
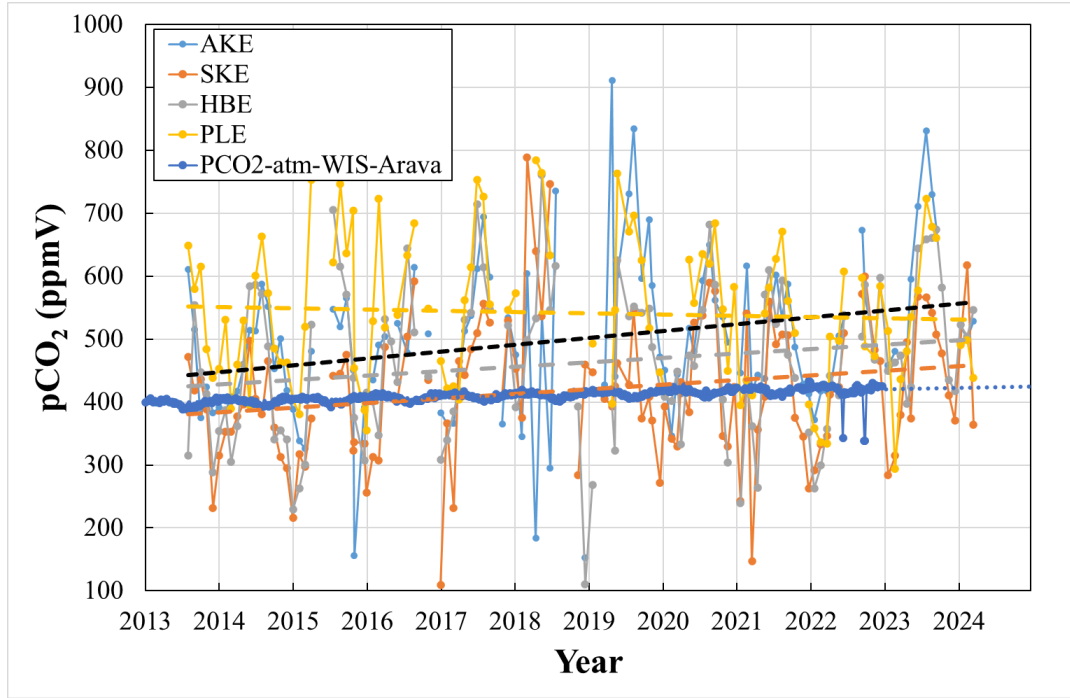
- המגמה הממוצעת של כל טבלאות הגידוד עם הזמן היא  $-0.004 \pm 0.002$  ( $p=0.0039$ ), שהוא גבוה בפקטור של 2 מקצב הירידה של pH באוקיינוסים (איור 3.4).



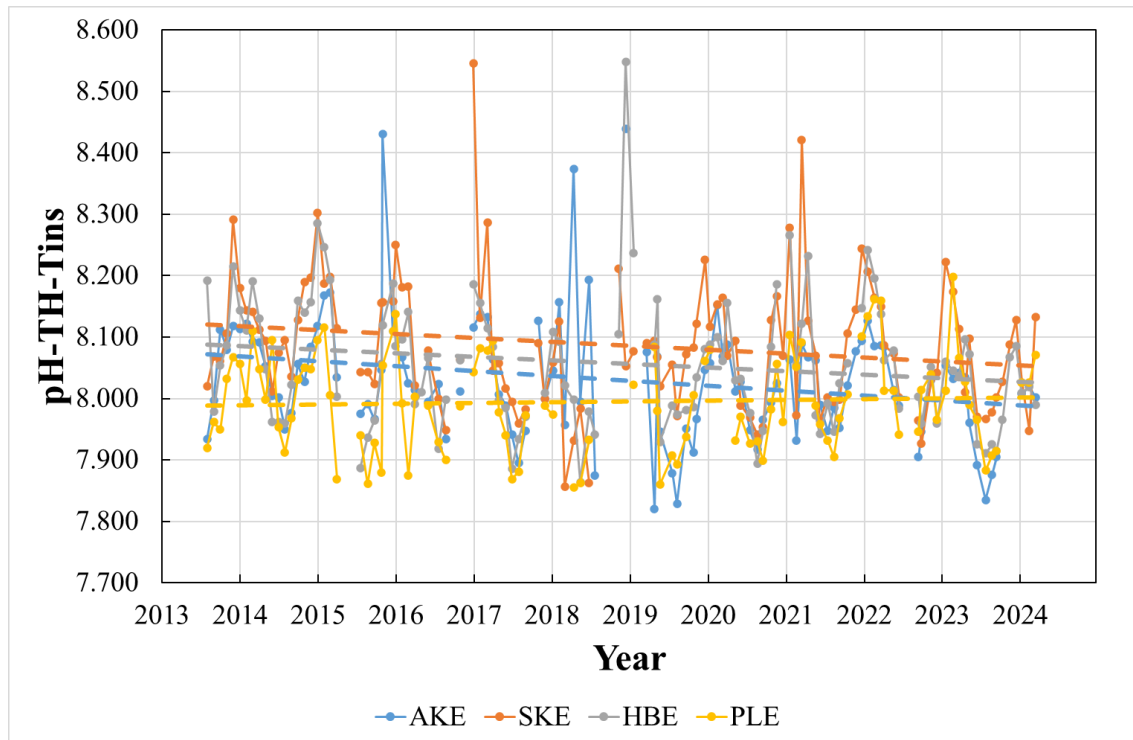
**איור 3.1:** ערכי לחץ חלקי של פחמן דו-חמצני מומס במי הים (עד עומק מים של 30 מ') ( $\text{PCO}_2$ ) מ-2012 עד 2024 פעם עד פעמיים בשנה בעונת הקיץ (עיגולים אדומים) ובעונת החורף (עיגולים כחולים) בים הפתוח של מדינת ישראל בים התיכון, בהשוואה למדידות של פחמן דו-חמצני באוויר בתחנת הניטור של מכון ויצמן בערבה (עיגולים כחולים קהים וקו מגמה כחול דק). העיגולים העפורים מציינים את המדידות שנעשו בתחנות THEMO במהלך פרויקט משותף עם אוניברסיטת חיפה על בסיס חודשי בשנים 2018-2019.



**איור 3.2:** ערכים מחושבים של pH בסקלה Total Hydrogen מתוקנים לטמפרטורת מי הים מ-2012 עד 2024 פעם עד פעמיים בשנה בעונת הקיץ (עיגולים אדומים) ובעונת החורף (עיגולים כחולים) במים הפתוחים של מדינת ישראל בים התיכון (עד עומק מים של 30 מ'). העיגולים העפורים מציינים את המדידות שנעשו בתחנות THEMO במהלך פרויקט משותף עם אוניברסיטת חיפה על בסיס חודשי בשנים 2018-2019. קצב השינוי של pH בתקופת החורף הינו  $-0.006$  לשנה, קצב הגבוה בפקטור של 3 מהמוצע במי השטח של האוקיאנוסים (<https://www.eea.europa.eu/ims/ocean-acidification>)



**איור 3.3: A** - סדרות הזמן של  $pCO_2$  במי הים שנדגם פעם בחודש בין 2013 ל-2024 בקצה טבלאות הגידוד של אכזיב (AKE), תל שקמונה (SKE), הבונים (HBE) ופלמחים (PLE), בהשוואה לסדרת הזמן של פחמן דו חמצני באטמוספירה שנמדד בתחנת הניטור של מכון ויצמן בערבה בין השנים 2013-2023 ( $CO_2$  WIS Arava). הקווים המקווקים מייצגים את ההתאמה המיטבית של קו ישר לנתוני סדרות הזמן השונות. קצבי הגידול של הלחצים החלקיים של  $CO_2$  בתחנות השונות ובאטמוספירה היב: AKE  $+11 \text{ ppmV/yr}$ , SKE  $+7 \text{ ppmV/yr}$ , HBE  $+7$   $CO_2$   $\text{ppmV/yr}$ , PLE  $-2 \text{ ppmV/yr}$  ו-WIS  $+2.2 \text{ ppmV/yr}$ . קצב העליה של הלחץ החלקי של  $CO_2$  הממוצע בכל התחנות הינו  $5.4 \pm 1.9 \text{ ppmV/yr}$ . B - התפלגות החריגות של הלחץ החלקי של פד"ח במי הים מהלחץ החלקי של פד"ח אטמוספרי בכל תחנות הניטור בתקופה 2013-2024. ציר ה-X מייצג את הסטיה מלחץ אטמוספרי ( $\Delta pCO_2 = pCO_{2-sw} - pCO_{2-atm}$ ) וציר ה-Y את אחוז הזמן. הממוצע של כל המדידות הינו  $+70 \text{ ppmV}$ , כלומר המים החופיים מהווים בממוצע מקור לפד"ח אטמוספרי.



**איור 3.4:** סדרות הזמן של pH בסקלה Total Hydrogen מעודכן לטמפרטורת מי הים שנדגמו פעם בחודש בין 2013 ל-2022 בקצה טבלאות הגידוד של אכזיב (AKE), תל שקמונה (SKE), הבונים (HBE) ופלמחים (PLE). הקווים המקווקים מייצגים את ההתאמה המיטבית של קו ישר לנתוני סדרות הזמן השונות.

**פרק 4: ניטור שינויים רב-שנתיים ברמת החמצן המומס והנוטריינטים**  
**(מרכזים, ד"ר גיא סיסמה-ונטורה [guysiv@ocean.org.il](mailto:guysiv@ocean.org.il); פרופ' ברק חרות [barak@ocean.org.il](mailto:barak@ocean.org.il))**

פרק זה מציג אפיון כימי, נוטריינטים וחמצן במי הים התיכון של ישראל תוך התייחסות להיבטים הקשורים בשינויי אקלים ולמספר יעדים אקולוגיים במסגרת אמנת ברצלונה (E01, E04, E06, E09).

**ממצאים עיקריים**

- הפיזור האנכי של נוטריינטים אנאורגניים (קרי  $\text{NO}_2+\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$ ,  $\text{Si(OH)}_4$ ) והחמצן המומס בעמודת המים בתחנות H05-H06 (מייצגות "ים פתוח", מרחק מעל 50 ק"מ מהחוף ועומקי מים בין 1450-1750 מטר) בהפלגות שנערכו בשנת 2023 (מרץ ואוגוסט 2023) מוצג באיור 4.1. ככלל, ריכוזי הנוטריינטים בשכבת המים העליונה, מפני השטח ועד לעומק של כ-200 מטר, היו נמוכים מאוד, ולעיתים מתחת לגבול הקביעה האנליטית (פוספאט וניטראט+ניטריט), כצפוי ממערכת אולטרה-אוליגוטרופית כדוגמת מזרח הים התיכון.
- ריכוזי הנוטריינטים בשכבת המים העליונה בשנת 2023, תאמו את טווח המדידות שנלקחו בין השנים 2002-2022, ללא חריגות. ככלל, ריכוזי הפוספט שנמדדו בשיטה רגישה (שיטת MAGIC ובשיטת long path liquid waveguide capillary cells) בים הפתוח היו נמוכים מ-10 ננו-מולר ומעידים על הגבלה משמעותית של זרחן בעומק הפוטי לאורך רוב ימות השנה. הגבלה משמעותית של חנקן אנאורגני מומס נצפתה בעיקר בחודשי הקיץ (ערכים מתחת לסף הקביעה). עם זאת, ערכי  $\text{NO}_2+\text{NO}_3$  נמוכים ולעיתים מתחת לסף הקביעה נמדדו גם בהפלגות החורף. יש לציין כי ריכוזים נמוכים יחסית של החומצה הסיליצית (0.4-1.2 מיקרו-מולר) נצפו בפני השטח (מטרים עליונים, איורים 4.1 ו-4.2), המעידים על הגבלה גם בנוטריינט זה. אינטגרציה של ערכי החומצה הסיליצית בשכבת מי השטח (50 מ' עליונים, איור 4.3) מראה ריכוזים של 26-96 מילימול למ"ר, שהם נמוכים אפילו ביחס לאזורים אוליגוטרופיים באוקיאנוסים (כ-40-200 מילימול למ"ר).
- ניכרת מחזוריות בריכוזי החומצה הסיליצית של מי השטח (2-3 ו-50 מ' עליונים) שבה נצפו ערכים גבוהים בשנים 2004-2006, ולאחרונה בשנים 2018-2023 (איורים 4.2 ו-4.3). מחזוריות דומה נצפתה באינטגרציה של עמודת המים העליונה עד עומק בסיס הנוטריקלינה (0-500 מ', איור B4.3). הסיבות למחזוריות במים העליונים לא ברורה וייתכן ומוכתבת בין היתר על ידי המערכת

הביולוגית/צריכת סיליקה. מגמת ירידה מובהקת בריכוזי החומצה הסיליצית נצפתה באינטגרציה של עמודת המים עד לעומק של 1450 מ'. מגמה זו קשורה, ככל הנראה, להשפעה מתמשכת של הפחתה בעומסי הסיליקה ממקורות יבשתיים למזרח הים התיכון (כתוצאה מפרגמנטציה של מערכות הנחלים באמצעות סכרים ומאגרים), כפי שניתן לראות באיור 4.4.

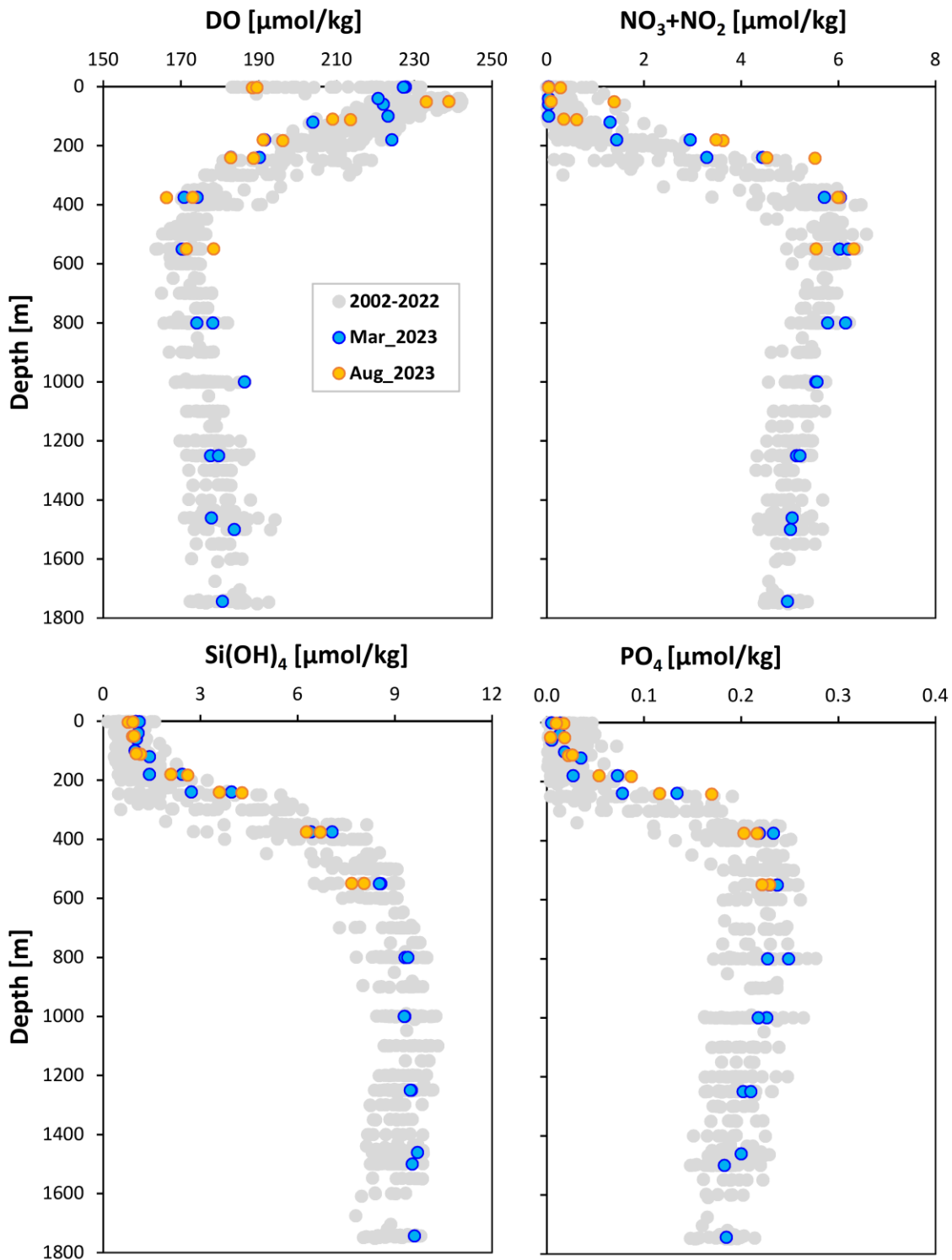
- נתוני 2023 מראים המשך מגמות רב-שנתיות (2003-2022) של טמפרטורה, מליחות, ניטראט+ניטריט, פוספט וסיליקה במי מסת הביניים (LIW, ~130-350 מטר עומק) בתחנות הניטור בים העמוק ושקלול כמות הכלורופיל בעמודת המים (עד 200 מטר עומק) מראים מחזוריות המושפעת משינויים בעוצמת/שטף הכניסה של מים אטלנטיים (AW) אל אגן הלבנט במזרח הים התיכון ושטף היציאה של מי ביניים (LIW) מהאגן המזרחי של הים התיכון דרך מיצרי סיציליה. ניתן להניח שמחזוריות של ריכוזי הנוטריינטים והחמצן במי הביניים (LIW) (איור 4.5) נובעת משינויים שנתיים בשטפים הנ"ל. שינויים אלה נגרמים ככל הנראה על ידי מנגנון שנקרא Adriatic-Ionian Bimodal Oscillating System (BiOS). בשנים מסוימות נצפים טמפרטורה ומליחות גבוהים (שיאים) במי הביניים (LIW) (2008-2010; 2014-2015; 2018-2019), וריכוזי נוטריינטים נמוכים (בחוסר התאמה למליחות), התואמים תקופות של סירקולציה אנטי-ציקלונית של המערבל - North Ionian Gyre.

- מגמת ירידה בריכוזי החמצן בגופי המים העמוקים נצפתה בשנים 2008-2023 בפרופילי העומק של תחנות H05-H06 (>1400 מ') ובתחנה העמוקה ביותר G05 (עומק מרבי של 1925 מ') (איור 4.6). מגמת ירידה בריכוזי החמצן במי העומק (איור 4.6) נצפתה מאז אירוע ה-Eastern Mediterranean Transient (EMT) (EMT), שבו נוצרו מי עומק חדשים באגן שמקורם בים האגאי, בשנים 1988 – 1995, עדות להתיישנות מי העומק, קרי ירידה בקצב הוונטילציה (-Sisma Ventura et al., 2021). קצב הירידה בין השנים 2008-2023 עמד על 0.49 יחידות/שנה שהוא אופייני למי עומק בסביבות אוקיינוסיות. בעבר נצפו קצבים גבוהים יותר של כ-1.3 יחידות/בשנה לאחר אירוע ה-EMT ולכן יש להמשיך ולעקוב אחר מגמות אלו, הקשורות באופן ישיר בשינויי אקלים וההתחממות וההמלחה של מי הים התיכון המזרחי (Ozer et al., 2022).

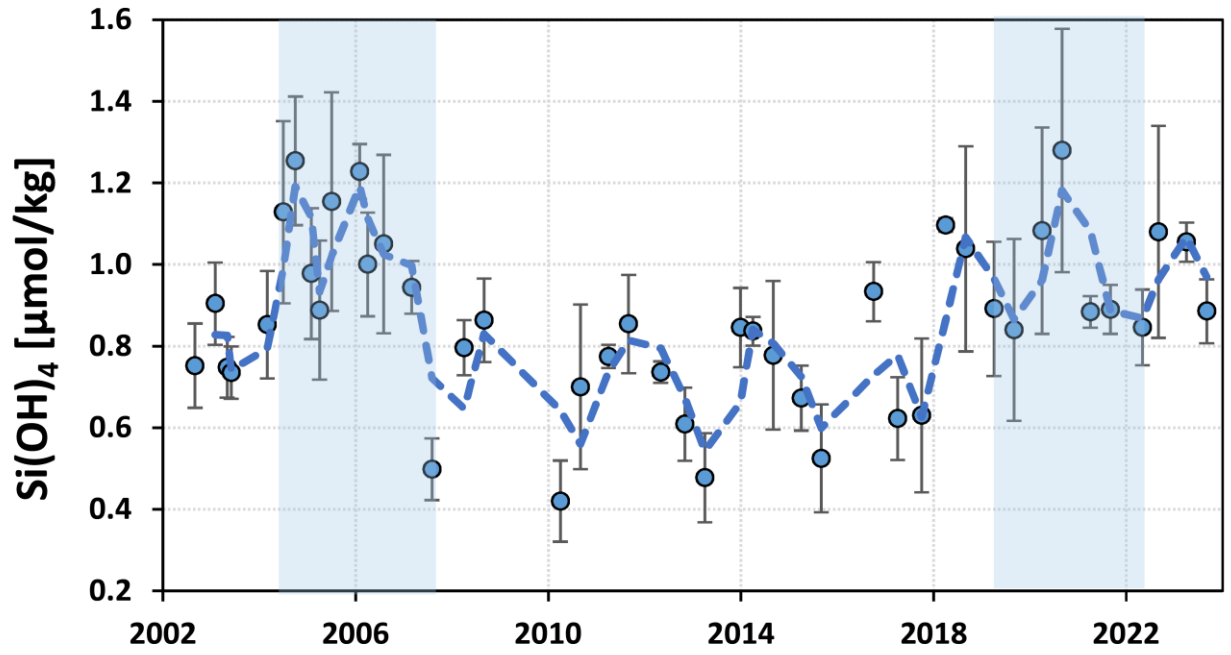
- יחס החנקן/לזרחן (שיפוע המשוואה) המוצג באיור 4.7 ממדידות שנעשו בעומקי הנוטריקלינה מדגים ערך מעט גבוה יותר (כ-19:1) ליחס הסטיוכומטרי של 16:1 שנקבע על-ידי Redfield (1963). הערך  $b$  ברגרסיה הליניארית ( $y=ax+b$ ) מייצג עודף (ערך חיובי) ו/או חוסר (ערך שלילי) של אחד המשתנים ביחס לשני. ערך זה גדול מ-1 בשכבת הנוטריקלינה, דבר המעיד על עודף של



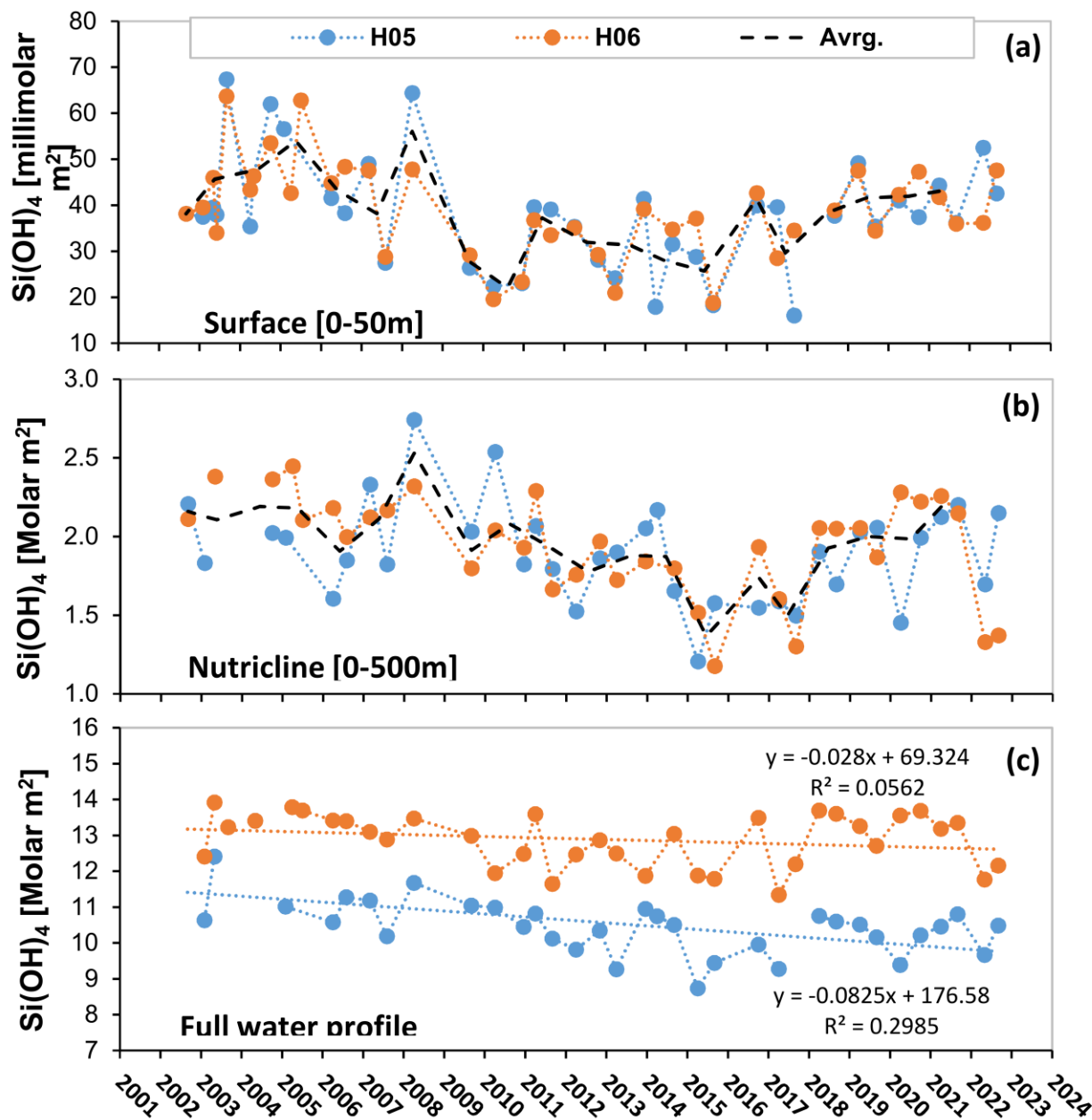
חנקן ביחס לזרחן במי העומק במזרח הים התיכון. ככלל, היחס הסטוכיומטרי של חנקן/לזרחן בשנת 2023 תאם את נתוני 2002-2022. הקשר בין צריכת החמצן (AOU) לנוטריינטים (איור 4.7) בתחום הנוטריקלינה מראה שעבור כל יחידת חמצן שנצרכת משתחרר יותר חנקן ביחס לזרחן לעומת יחסי רדפילד (יחס לש כ- 20 לעומת 16). בשלב זה לא נראית השפעה משמעותית של התחממות המים העליונים על יחסי הנוטריינטים.



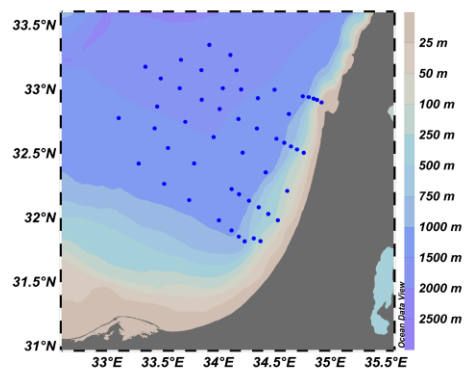
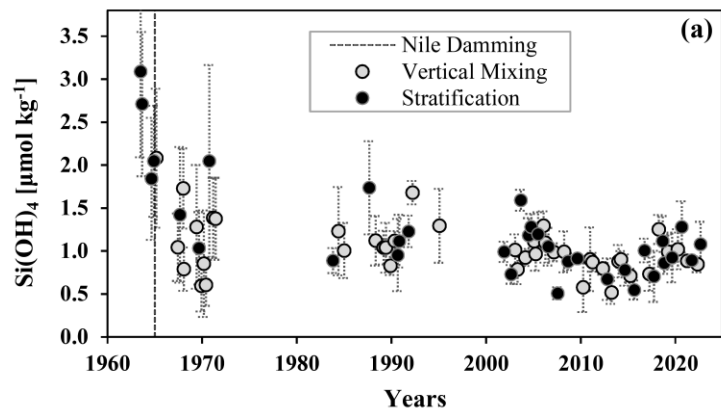
**איור 4.1:** פרופילי עומק של חמצן, ניטראט+ניטריט, פוספאט, וחומצה סיליציית בתחנות H05 ו H06 (עומקי מים של כ- 1500 ו- 1700 מטר). נתוני הפלגות 2023 מוצגים ביחס להתפלגות הרב-שנתית מכ- 40 הפלגות בין השנים 2002 ל 2022.



איור 4.2: ריכוזי סיליקה ממוצעים בפני השטח (2-3 מטרים עליונים) בין השנים 2002-2023.

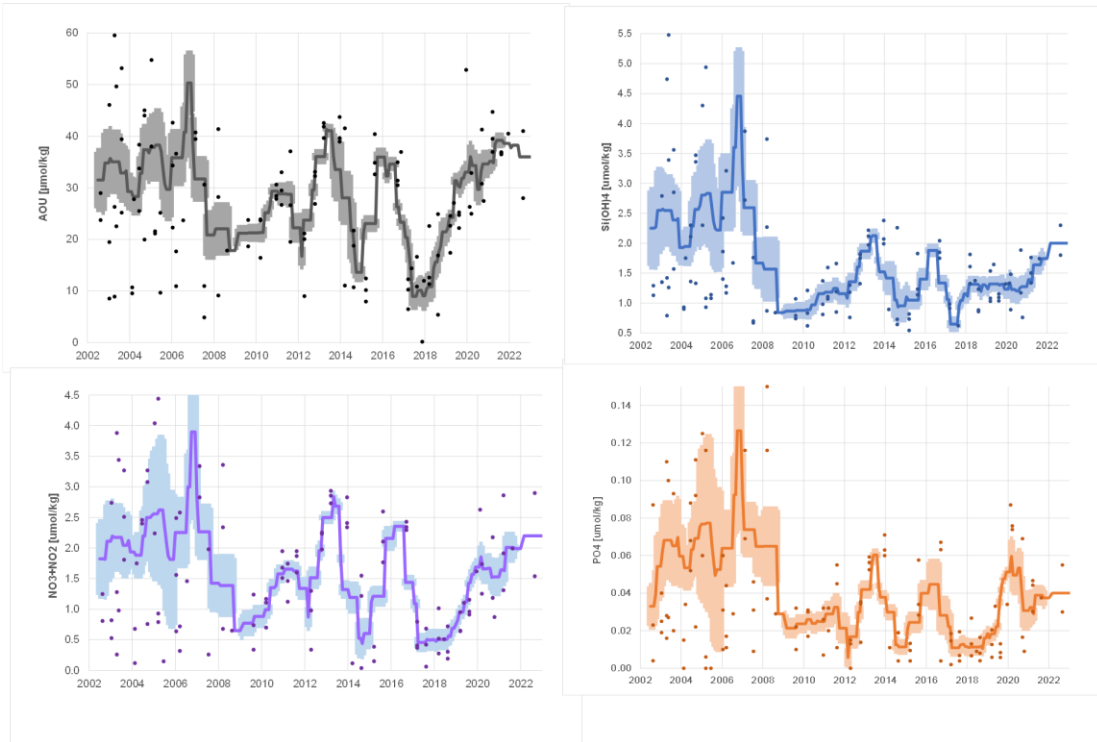


**איור 4.3:** שינויים רב-שנתיים (2003 – 2023) בריכוז הסיליקה באינטגרציה של (a) מי השטח (50 מטרים עליונים), (b) לעומק הניטרקלינה (0-500 מ') ו (c) לכל עמודת המים, בתחנות H05 ו H06.

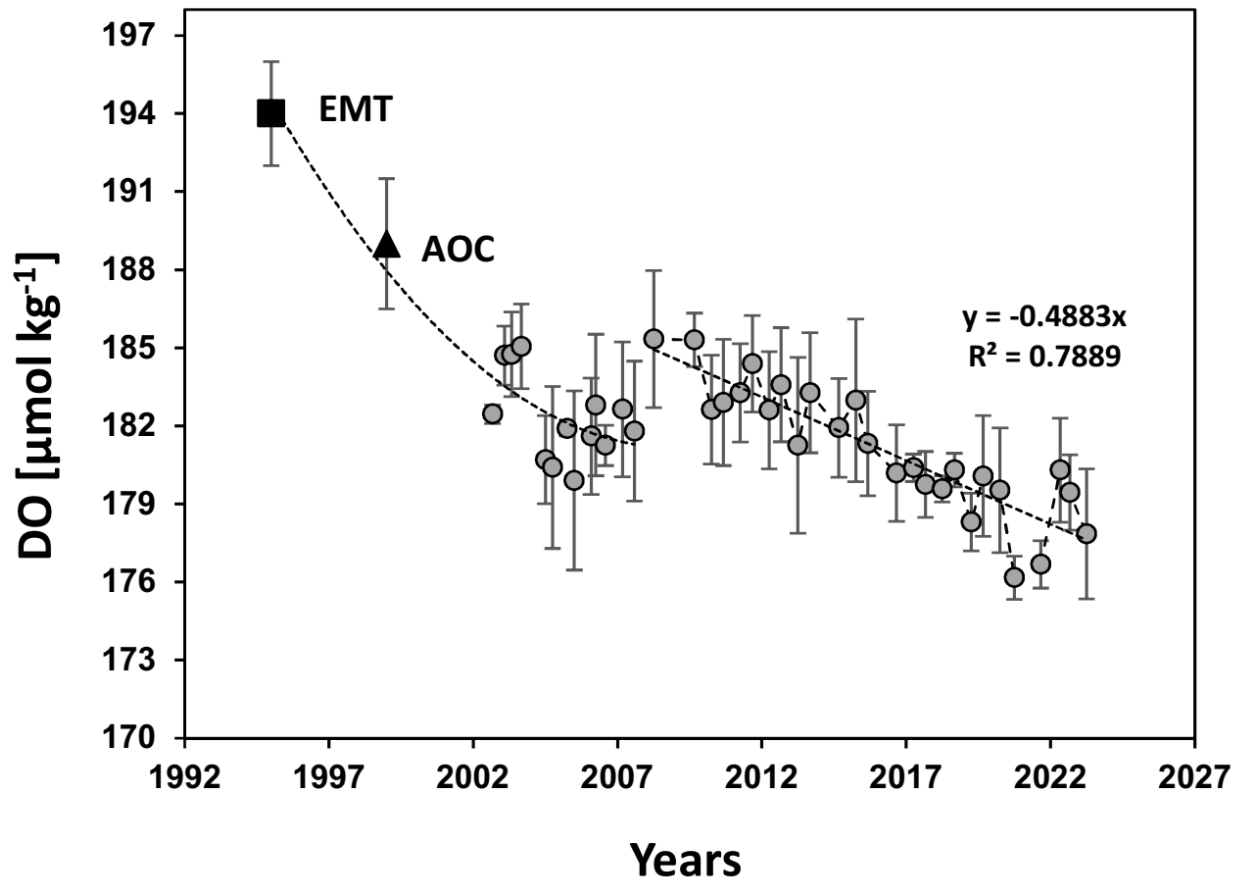


**איור 4.4:** שינויים רב-שנתיים בריכוז הסיליקה של מי השטח (50 מטרים עליונים) בין השנים 1963 (בסמוך לסכירת הנילוס) ו-2023, בחלוקה עונתית לתקופת השיכוב הקיצי (Stratification) והערבול החורפי (vertical mixing), כפי שנדגמו במים הכלכליים של ישראל (ראו מפת תחנות דיגום).

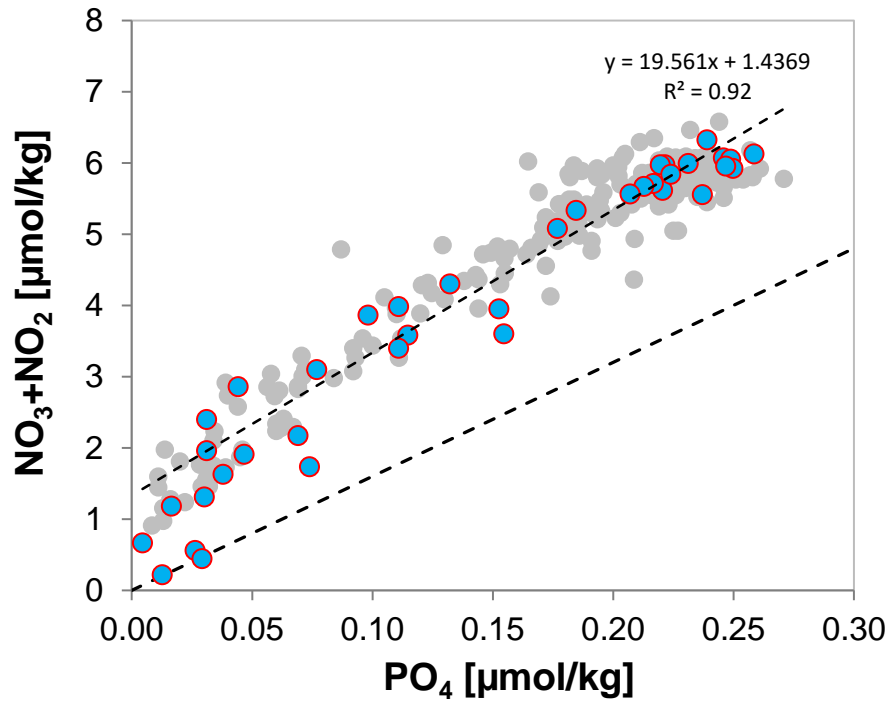
A



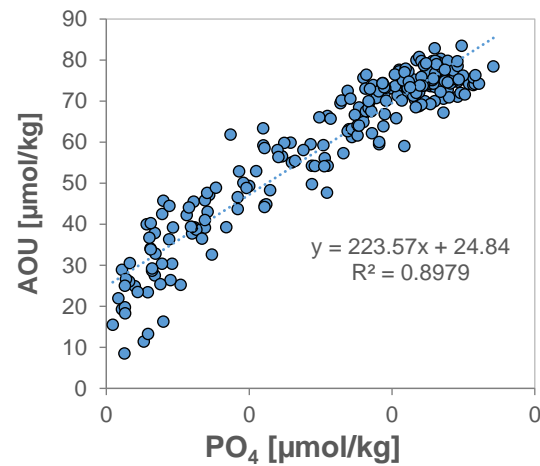
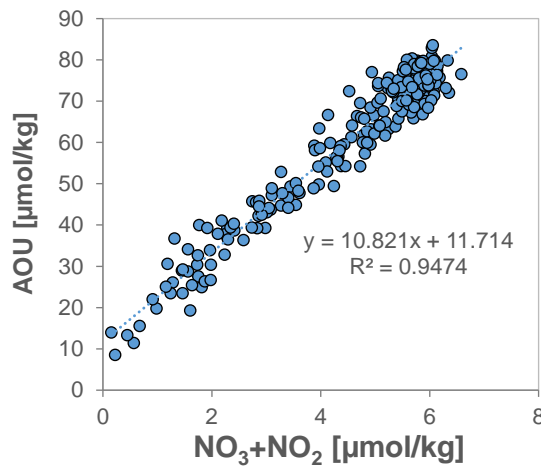
**איור 4.5:** מגמות רב-שנתיות (2002-2023) של ניטראט+ניטריט (סגול), פוספט (כתום), סיליקה (כחול) וצרכית החמצן AOU (שחור) במי הביניים (LIW) (A). השינויים קשורים ככל הנראה לשינויים בין שנתיים בשטף כניסת מים אטלנטיים ויציאת מי ביניים מהאגן המזרחי של הים התיכון דרך מיצרי סיציליה על ידי מנגנון שנקרא Adriatic-Ionian Bimodal Oscillating System (BIOS) (LIW) (2008-2010; 2014-2015); מסוימות נצפים טמפרטורה ומליחות גבוהים (שיאים) במי הביניים (2018-2019) וריכוזי נטרייטים נמוכים (בחסר התאמה למליחות), התואמים תקופות של סירקולציה אנטי-ציקלנית של המערבל - North Ionian Gyre (Ozer et al., 2022 ,B)



**איור 4.6:** שינויים בריכוזי החמצן במסות המים העמוקות (200-1200 מ'), 2002-2023. מגמת ירידה בריכוזי החמצן נצפתה מאז אירוע ה EMT שבו נוצרו מי עומק חדשים באגן הלבנט בתחילת שנות ה-90, עדות להתיישנות מי העומק, קרי ירידה בוונטילציה (Sisma-Ventura et al., 2021). באביב 2021 נצפתה ירידה חריגה של יותר מ 4 מיקרו-מול/ק"ג חמצן מומס. קצב הירידה בין השנים 2008-2023 עמד על 0.49 יחידות/שנה. בעבר נצפו קצבים גבוהים יותר של כ 1.3 יחידות/בשנה. יש להמשיך ולעקוב אחר מגמות אלו, הקשורות באופן ישיר בשינויי אקלים והתחממות המהירה של מי הים התיכון ( Ozer et al., 2022).



A



B

**איור 4.7: A** - יחס חנקן (ציר Y) זרחן (ציר X) בעמודת המים בשנים 2002 ו-2022 (עיגולים אפורים) ובשנים 2023 (עיגולים כחולים) בעומק הנוטריקלינה (180-600 מ'). חישוב היחס הכללי בעמודת המים ברגרסיה לינארית מוצג בהשוואה ליחס הסטוכיומטרי של 16:1 שנקבע על-ידי Redfield (1934) (קו מקוקו). **B** - יחסי גומלין בין צריכת חמצן מדומה (AOU) לבין ריכוזי ניטרט (+ניטריט) ופוספט בעומקי הנוטריקלינה בשנים 2002-2023. שיפוע הקווים מייצג את היחס בין צריכת חמצן לשחרור הנוטריינטים ומראה שחרור גדול יותר של חנקן לעומת זרחן ביחס לצריכת החמצן ביחסי רדפילד.



## פרק 5 – מרכז מידע ימי לאומי

**(מרכזים, ד"ר איזק גרטמן isaac@ocean.org.il ורון גולדמן ron@ocean.org.il)**

אנו נמצאים בהליך להטמעת כל ממצאי הניטור הלאומי על שלל כרכיו ופרקיו ב data space ייחודי ופתוח לציבור. רוב המידע, ובכלל זה נתונים אוקיינוגרפיים, ביולוגים, ופיזיקלים מתחנות המדידה (בכמעט זמן אמת) יועלו למאגד. לפי שעה, קיימים שני מרכזי מידע זמינים לציבור: ISRAMAR המאגד נתונים אוקיינוגרפיים ([/https://isramar.ocean.org.il/isramar2009/](https://isramar.ocean.org.il/isramar2009/)), ו- ISRAMAR-BIO המנגיש נתונים ביולוגים עם שכבות GIS ([/https://isramar.ocean.org.il/isramarbio/](https://isramar.ocean.org.il/isramarbio/)). מאגרי מידע אלה יתווספו למאגד הכללי עליו אנו עמלים ויהיה פתוח לציבור בשנת 2025. כמו כן, נמשך עדכון מאגר המאקרו-אצות ([/https://www.seaweedherbarium.com/](https://www.seaweedherbarium.com/)).

לגבי ISRAMAR - "מרכז המידע הימי הלאומי" הוקם במטרה לרכז, לבקר, לתעד, ולהפיץ נתונים על הסביבה הימית של ישראל ולהפיק מהנתונים מידע שימושי. תפעול המרכז בא, בין היתר, לענות על הדרישה הגוברת במדינה לנתונים ומידע לצרכי תכנון, תפעול ובקרה של הסביבה הימית, כמו גם לצרכים אקדמיים שונים.

תקצוב מרכז המידע נלווה להחלטת הממשלה, אולם לא נמצא עד כה מקור תקציבי להפעלתו (דו"חות מפורטים על פעילות המרכז ודרישות התקציב שהוצגו כנספח להחלטת הממשלה מדצמבר 2018, נשלחו ב- 2019 ובאוקטובר 2020 למשרדי האנרגיה והגנת הסביבה). למרות זאת, **במהלך 2023 נמשכה פעילות מרכז המידע ונרשמו כ-900 אלף מבקרים באתר. כמו כן, מאז ינואר 2020 הועברו כ-50 סדרות נתונים היסטוריים (גלים, זרמים, מפלס ים, טמפרטורה, מליחות) למחקרים אקדמיים (אונ' ת"א; אונ' חיפה; מרכז אקדמי רופין; אונ' בר אילן; אונ' העברית; ומכללת תל חי).** פעילות מרכז המידע במהלך 2023 כוללת:

- המשך קליטה אוטומטית של נתונים מתחנת החוף בחדרה לבסיס נתונים של סדרות זמן. עקב בעיות תשתית, נתונים מתחנת אשקלון הועברו ידנית כל חודשיים ללא תקשורת בזמן אמת. הנתונים נמדדו מיוני 2022 ועד התאונה שהתרחשה במרץ 2023.
- המשך פיתוח תוכנה לקליטת נתונים הידרוגרפיים מאסדת תמר. נתונים מהאסדה מועברים אוטומטית על בסיס יומי למרכז המידע.

- הסתיים פיתוח כלי לאחזור נתונים מבסיס הנתונים ההידרוגרפי על סמך הגובה מעל קרקעית הים. הכלי שימש לחישוב מפות קלימטולוגיות של טמפ' מליחות וחמצן מומס בשכבת הקרקעית של האזור הכלכלי בלעדי של ישראל.
- עודכנה התוכנה ליצור גרפים של סדרות זמן באתר מרכז המידע. התוכנה החדשה משפרת יציבות המערכת.
- המשך השתלבות בפרוטוקול להעברת נתונים במסגרת הרשת האירופאית למידע אוקיאנוגרפי - SeaDataNet.

### להלן איורים המתארים נתונים סטיסטיים שונים.

