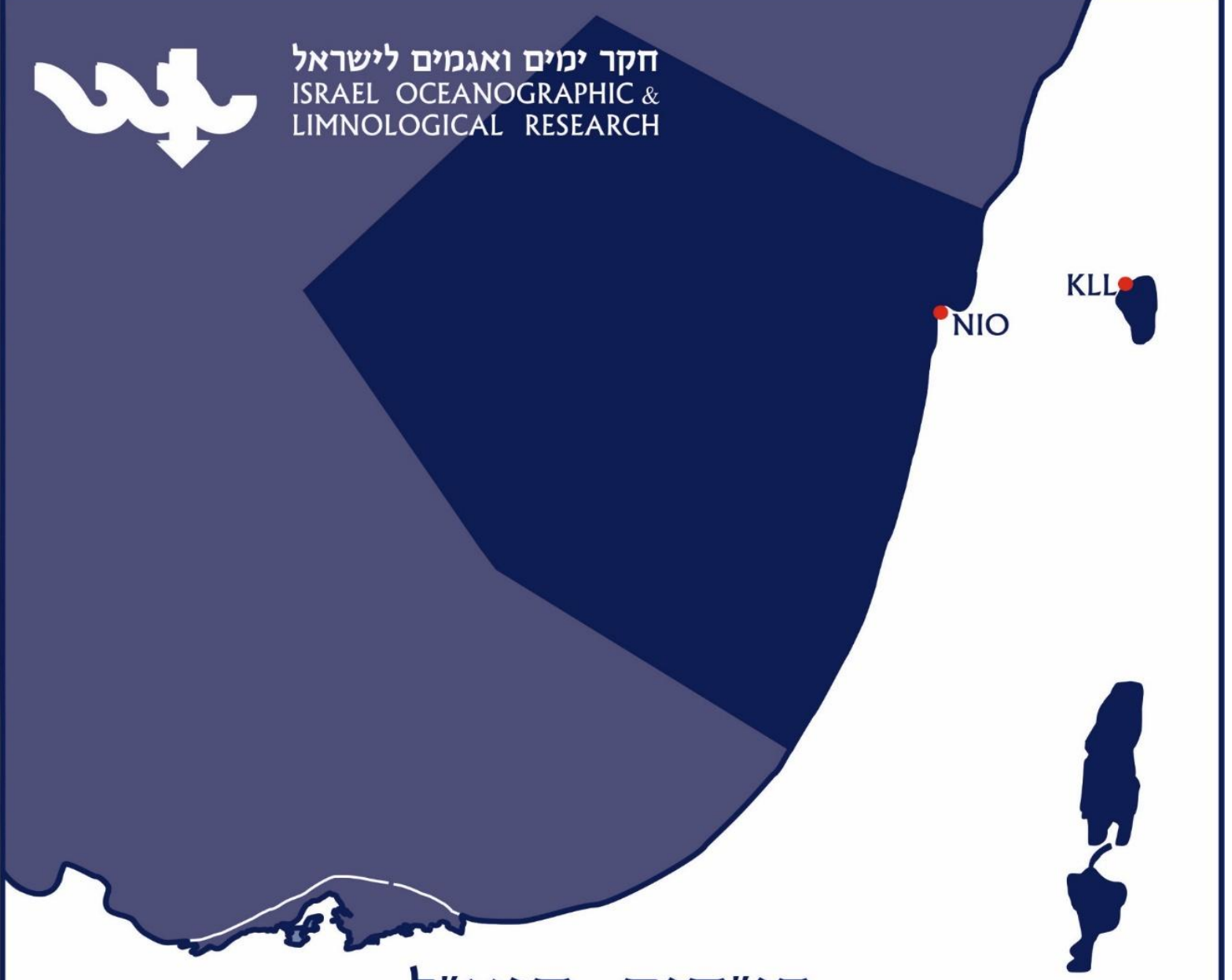




חקר ימים ואגמים לישראל  
ISRAEL OCEANOGRAPHIC &  
LIMNOLOGICAL RESEARCH



## דו"חות חיא"ל IOLR REPORTS

תכנית הניטור הלאומית בים התיכון לשנת 2024  
ניטור שינויי אקלים והמערכת ההידרוגרפית

דו"ח חיא"ל H/15/2025

NCM



<http://www.ocean.org.il>

## **תכנית הניטור הלאומית בים התיכון לשנת 2024**

### **ניטור שינויי אקלים והמערכת ההידרוגרפית**

### **דו"ח חיא"ל H/15/2025**

הדוח מתייחס ליעדים אקולוגיים במסגרת אמנת ברצלונה, כלהלן :

EO5 Eutrophication

EO7 Hydrography

E09 Pollution

**כתיבת הדוח:** טל עוזר, איזק גרטמן, אלי ביטון, איה לזר, רון גולדמן, משה תום, ג'ק סילברמן,  
גיא סיסמה ונטורה וברק חרות.  
**עריכת הדוח:** יעל סגל

יולי 2025

#### **שם הדו"ח לצורך ציטוט:**

Ozer T., Biton E., Lazar A., Silverman J., Sisma-Ventura G., Goldman R., Tom M., Gertman I. Herut B., Segal Y. (2025). The National Monitoring Program of Israel's Mediterranean waters – Scientific Report on Climate Change and Hydrography for 2024, Israel Oceanographic and Limnological Research, IOLR Report H/15/2025.

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

## תוכן עניינים

4	1. ניטור שינויים תרמו-הליניים ונתוני מדידה רציפה
4	abstract
5	תחנות ושיטות דיגום
6	ממצאים מניטור שינויים תרמו-הליניים באמצעות הפלגות ניטור
11	ממצאים מניטור שינויים של טמפרטורת פני הים מהדמיות לוויין (די"ר גדעון טיבור)
11	ממצאים מניטור שינויים תרמו-הליניים בתחנות מדידה רציפה
17	היבטים תרמו-הליניים ממשימות גלידרים ימיים
20	2. שינויי מפלס ים
20	Abstract
20	תחנות ושיטות דיגום
20	ממצאים עיקריים
22	מקורות
23	3. ניטור שינויים רב-שנתיים בחומציות ומערכת הקרבונט במי הים
23	Abstract
23	תחנות ושיטות דיגום
24	ממצאים עיקריים
26	ניטור החמצת מי ים בטבלאות הגידוד של חופי אכזיב, שקמונה, הבונים ופלמחים
30	4. שינויים רב-שנתיים ברמת החמצן המומס והנוטריינטים
30	Abstract
31	תחנות ושיטות דיגום
31	ממצאים עיקריים
37	5. מרכז מידע ימי לאומי
38	Abstract
38	מבוא
38	ממצאים בנוגע למאגר המידע האוקינוגרפי
41	מאגר המידע הביו-גאוגרפי

# 1. ניטור שינויים תרמו-הליניים ונתוני מדידה רציפה

ד"ר טל עוזר [tal@ocean.org.il](mailto:tal@ocean.org.il), ד"ר איזק גרטמן, [isaac@ocean.org.il](mailto:isaac@ocean.org.il), ד"ר אלי ביטון  
[elib@ocean.org.il](mailto:elib@ocean.org.il),

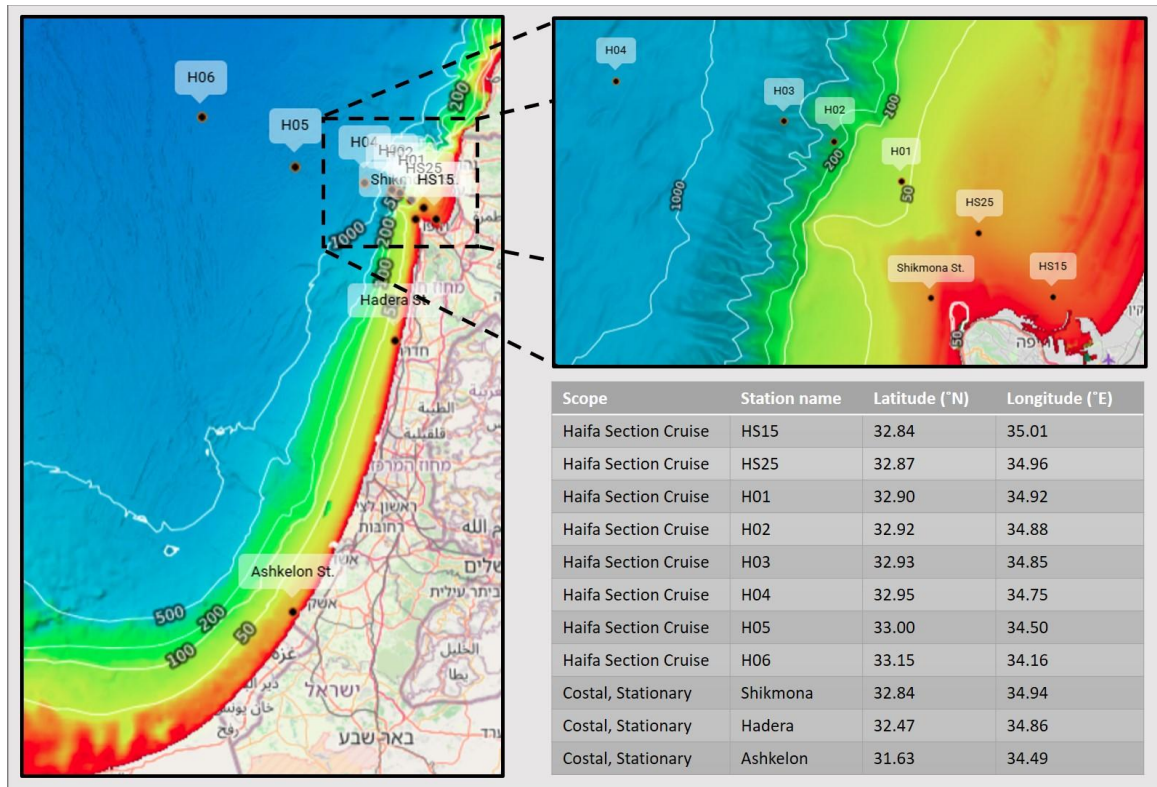
## abstract

As part of the national monitoring program (NMP), biannual research cruises are conducted along the Haifa transect during peak summer and winter seasons. These cruises include full-depth water column profiling and water sampling at eight stations. An additional component of the NMP are three coastal monitoring stations continuously measuring water quality using CTD sensors, with further observations of currents, waves, and sea level. These datasets, alongside glider-based observations, contribute to our understanding of the thermohaline dynamics in the southeastern Levantine Basin.

Key findings of 2024 indicate ongoing thermohaline changes in the southeastern Levantine Basin. Over the past 40 years, the upper water layer has exhibited warming trend of  $0.05 \pm 0.02^\circ\text{C yr}^{-1}$  and salinization at  $0.007 \pm 0.005 \text{ yr}^{-1}$ . The Levantine Intermediate Waters (LIW) shows moderate long-term warming of  $0.02 \pm 0.01^\circ\text{C yr}^{-1}$  and salinization of  $0.004 \pm 0.002^\circ\text{C yr}^{-1}$ , superimposed with multi-year salinity oscillations. At the deep water, the observations suggest a gradual return toward pre-EMT (East Mediterranean Transient) conditions, reflected in declining temperature and salinity gradients. Satellite-derived sea surface temperatures (SST) over Israel's continental shelf confirm persistent warming in 2024, supporting in-situ observations. Continuous CTD measurements from coastal stations, including Hadera and Ashkelon, show higher than average winter temperatures and salinity, with seasonal variability and spatial differences attributed to local climatic factors. Diurnal and seasonal analyses further underscore the greater thermohaline variability in summer compared to winter. Episodic temperature and salinity anomalies suggest increased Atlantic Water (AW) influence, most probably induced by meso-scale structures. The spatial distribution of AW recorded during a glider mission in mid 2024 suggests similar mechanisms.

במסגרת פעילות הניטור מתבצעת הפלגת חתך חיפה בתדירות דו-שנתית, בשיא תקופת החימום (סוף עונת הקיץ) ובשיא הקירור (סוף עונת החורף). ההפלגה כוללת 8 תחנות (איור 1.1) בהן נמדדים פרופילים של עמודת המים ואיסוף דגימות מים מעומקים נבחרים. הדיגום מתבצע באמצעות מערכת של חברת Sea-Bird הכוללת רוזטה הנושאת 24 בקבוקי דיגום מסוג ניסקין (בנפח 8 ליטר כ"א) ומכשיר CTD מדגם PlusV29SBE אליו מחוברים סנסורים חיצוניים הדוגם בתדירות של 24 הרץ.

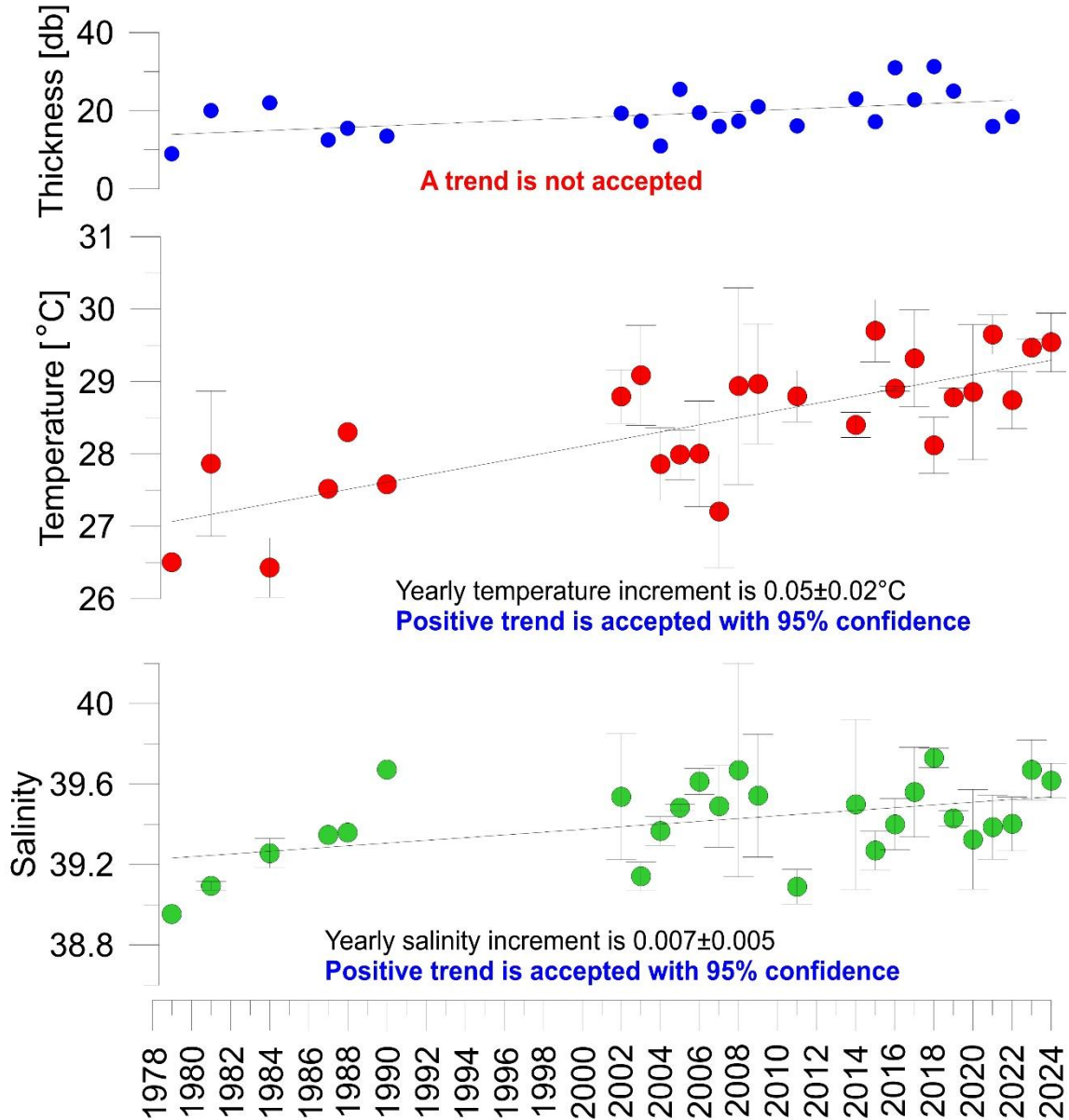
במקביל חיפ"ל מתחזקת 3 תחנות חופיות (איור 1.1) בהן מתבצעת מדידה רציפה של איכות המים באמצעות מכשיר CTD מדגם SBE16PlusV2 משולב עם סנסורים חיצוניים. בתחנות אלו נמדדים בנוסף פרופיל הזרמים, גלים, ומפלס פני הים.



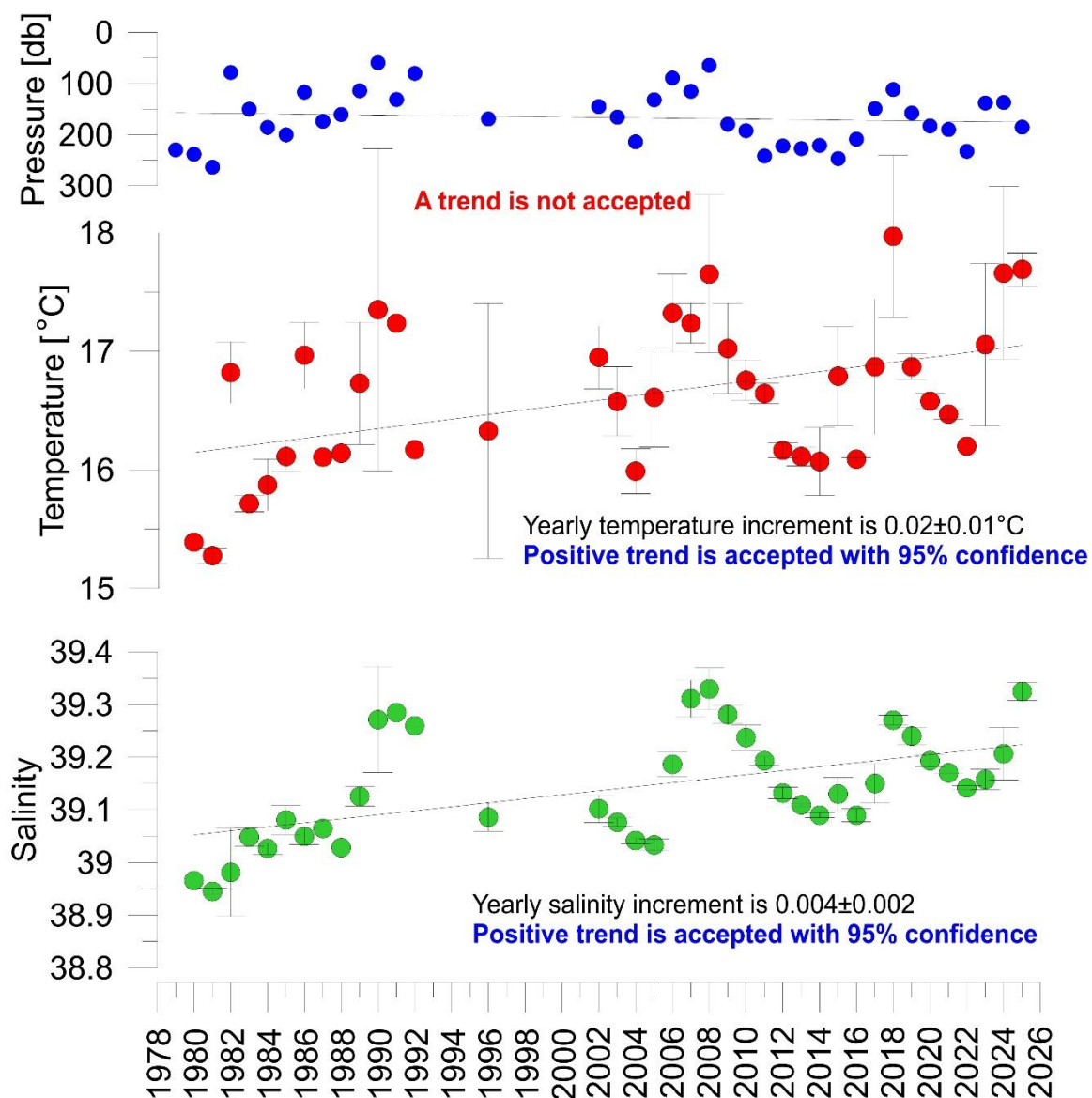
איור 1.1: מפת תחנות דיגום המבוצעות במסגרת הפלגת החתך הדו-שנתית (Haifa Section) ושלוש תחנות הדיגום החופיות המופעלות באופן רציף (שקמונה, חדרה ואשקלון). מפת מסלול משימת גליידר מוצגת בנפרד באיור 1.17.

רכיב נוסף בתכנית הניטור הינו משימות גליידר, שמאפשרות כיסוי מרחבי וטמפורלי נרחב של המים הכלכליים של מדינת ישראל. במסגרת תכנית הניטור מופעלים גליידרים מסוג Sea-Explorer מתוצרת חברת Alseamar הצרפתית, המסוגלים לצלול עד לעומק מירבי של 700 מטר ולשהות עד שישה שבועות בים, ובמהלכם לכסות מסלול של כמה מאות קילומטרים (איור 1.17).

ריכוז המדידות שהתקיימו במהלך 40 השנים האחרונות בעונה החמה (יולי-ספטמבר) במסגרת הפלגות הניטור "חתך חיפה" ובהפלגות מחקר היסטוריות שהתקיימו באיזורי דיגום סמוכים מצביע על מגמות התחממות ( $0.05 \pm 0.02$  °C לשנה) והתמלחות ( $0.007 \pm 0.005$  לשנה) במסת המים העליונה (LSW) (איור 1.2).



איור 1.2: מגמות השינוי בטמפרטורה ובמליחות של שכבת LSW, כפי שהתקבלו ממדידות CTD בעונת הקיץ (יולי-אוקטובר) בין השנים 1978-2024. רווח בר-סמך לא חושב עבור שנים שבהן נאספו פחות משלושה פרופילי CTD בקרבת תחנה H05.

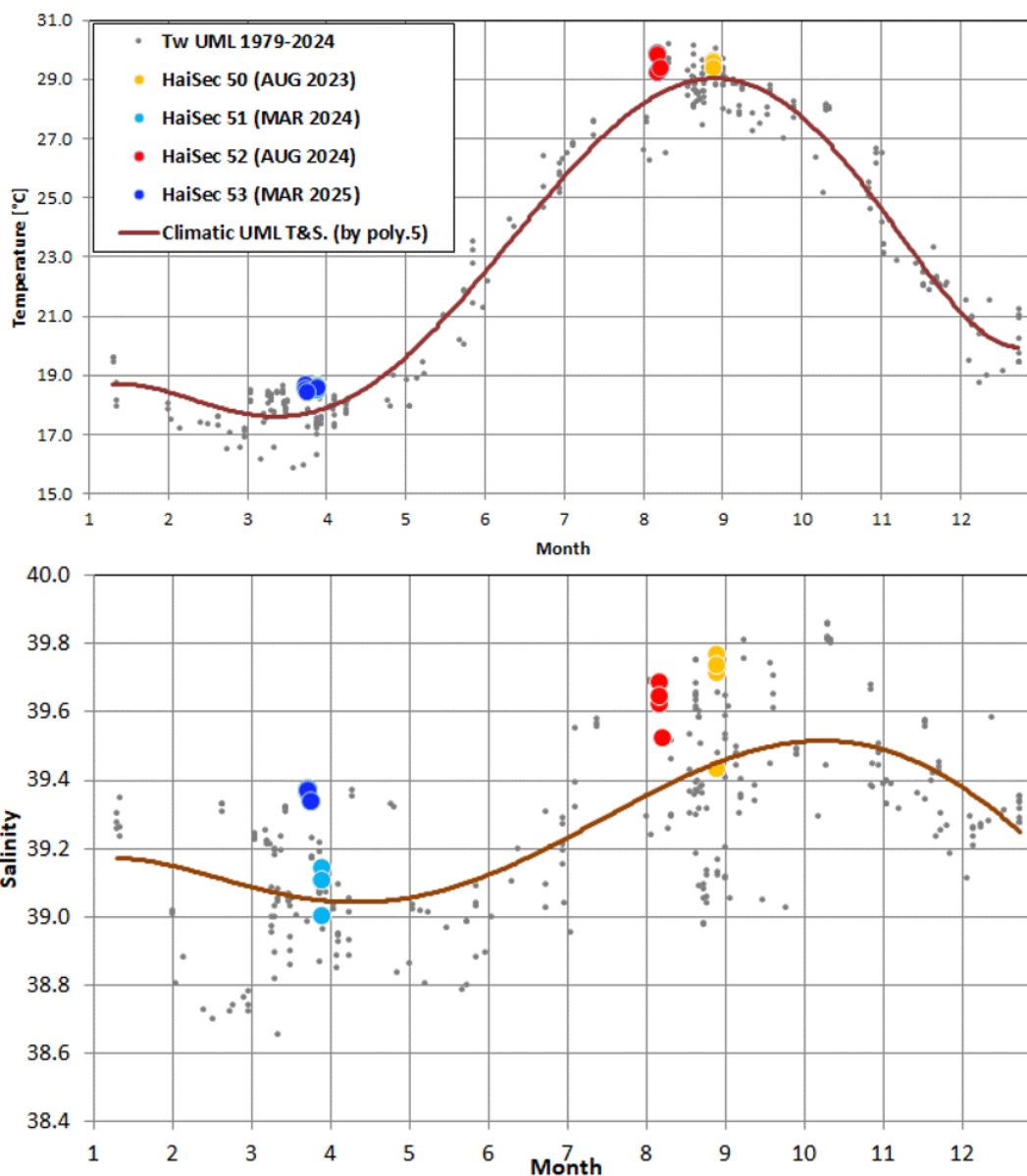


**איור 1.3:** מגמת השינוי בעומק, בטמפרטורה ובמליחות של שכבת LIW כפי שהתקבלה ממדידות CTD בקרבת תחנה H05 בין השנים 1978-2025. מיקום אנכי של LIW נבחר על פי איתור מקסימום מליחות מקומי בפרופיל CTD.

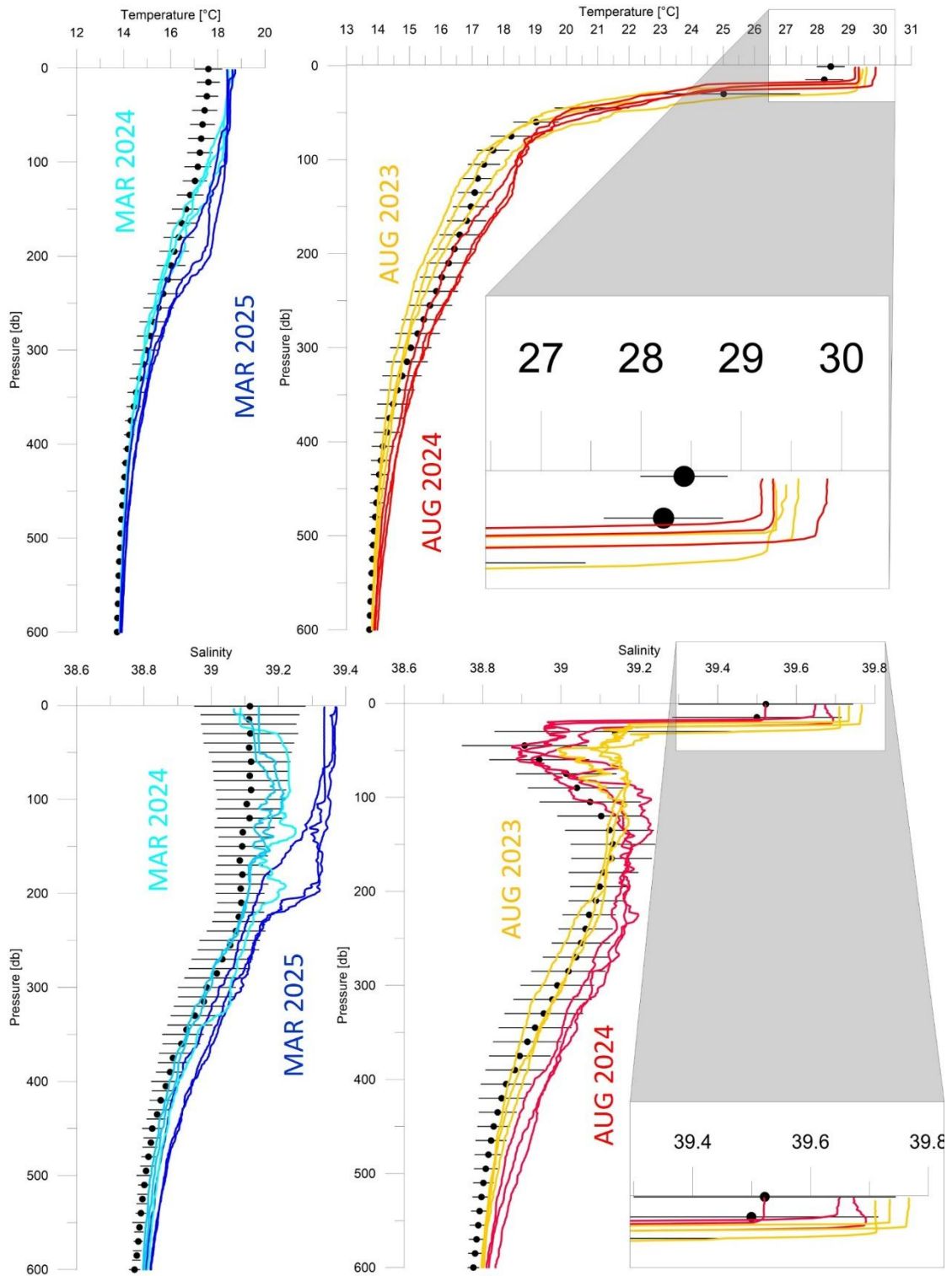
מגמות ארוכות טווח של התחממות ( $0.022 \pm 0.01$  °C בשנה) ושל התמלחות ( $0.004 \pm 0.002$  בשנה) מזהות גם בשכבת מי הביניים הלבנטיניים (LIW – איור 1.3). בנוסף למגמת ההתמלחות הכללית, שכבת LIW מציגה תנודתיות רב-שנתית, כאשר במהלך שלוש השנים האחרונות (2022-2024) נצפית מגמת עלייה. יצויין כי המליחות בשכבה זו הגיעו לשיאה בשנת המדידה האחרונה, וחצתה את ערכי השיא שנמדדו בשנים 1992 ו-2008.

בדומה לשנים קודמות, בקיץ 2024 נמדדו בשכבת המים העליונה ערכי טמפרטורה ומליחות הגבוהים מהמוצע הקלימטולוגי. ערכי המליחות נותרו בטווח סטיית התקן העונתית, בעוד ערכי הטמפרטורה חרגו ממנו. בנוסף, הערכים שנמדדו בהפלגת הקיץ של אוגוסט 2024 מצביעים על עליה בערכי המליחות בעומקים של 100-150 מטר, החורגים מהמוצע הקלימטולוגי לעומקים אלו (**איורים 1.4 ו 1.5**).

בהמשך לתצפית בחורף 2024, שהיה חם יותר בכמחצית המעלה מהערך הקלימטולוגי, גם בחורף 2025 נמדדו ערכי טמפרטורה ומליחות גבוהים, הנמצאים מחוץ לטווח הערכים הקלימטולוגי ב-200 המטרים העליונים. במיוחד בולטת עליית המליחות לכדי 0.1-0.2 מעל לערכים הקלימטולוגיים (**איור 1.5**). יצויין כי בחורף 2025 הגיע עומק הערבוב החורפי עד ל-200 מטר, בשתיים מתוך שלוש תחנות הדיגום העמוקות.

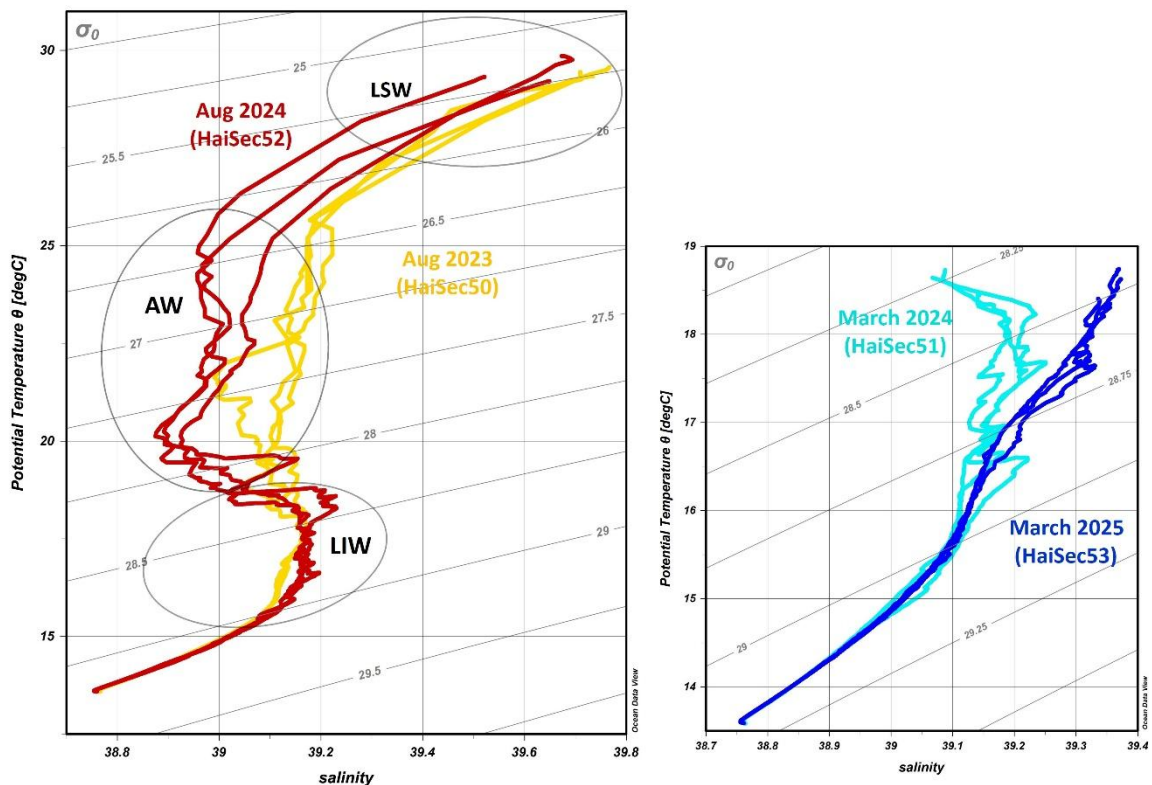


**איור 1.4:** פיזור חודשי של מדידות CTD בשנים 1978-2025 של טמפרטורה (למעלה) ומליחות (למטה) במסת המים העליונה המעורבת (UML) באזור תחנה H05. נקודות מודגשות בצבע מציגות מדידות מהשנים 2023-2025 בהפלגות חתך חיפה מספר 50-53. ממוצע קלימטולוגי מוצג בקו חום.



**איור 1.5:** פרופיל טמפרטורה (למעלה) ומליחות (למטה) בתחנות H04-H05 בחודשי מרץ בשנים 2024 ו-2025 (שמאל), ובחודשי אוגוסט לשנים 2023 ו-2024 (ימין). ממוצעים עונתיים כפי שחושבו ממדידות בתחנות H05 ו-H06 מוצגים כנקודות שחורות עם קווי שגיאה.

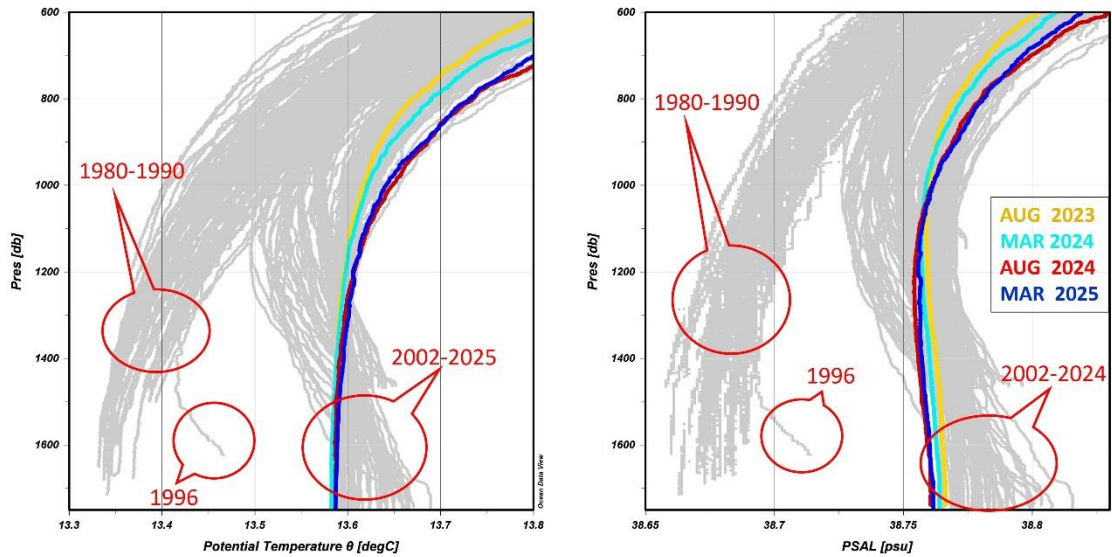
דיאגרמות ה-TS מדגימות סיגנל חזק יותר של מי האטלנטי (AW) בקיץ 2024, ובדומה לאיורים הקודמים, מציגה גם את ההתמלחות של שכבות המים העליונות ומי הביניים בחורף 2024 (איור 1.6).



**איור 1.6:** דיאגרמות  $\theta/S$  המבוססות על תצפיות בתחנות H04-H06 בחודשי מרץ של השנים 2024 ו-2025 (ימין), ובחודשי אוגוסט של השנים 2023 ו-2024 (שמאל). זיהוי מסות מים אופייניות מסומן בדיאגרמה הקיצית.

במי העומק, נמשכת מגמה של חזרה למצב שקדם לאירוע ה-EMT East Mediterranean Transient בשנות ה-90 של המאה שעברה, קרי, ירידה מונוטונית בערכי הטמפרטורה והמליחות. נצפתה התמתנות הגרדיינטים וטשטוש אנומליית ה-EMT בגלל תהליכי דיפוזיה אנכית (איור 1.7).

בעומקי מים שבין 1700 – 1750 מטר, שנדגמו בתחנה H06, נצפים שינויים תרמוהליניים וכימיים הקשורים הן למגמת השחיקה של אנומליית ה-EMT והן לשינויים 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.



**איור 1.7:** 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 מדגישים את המדידות בשנים 2023-2025.

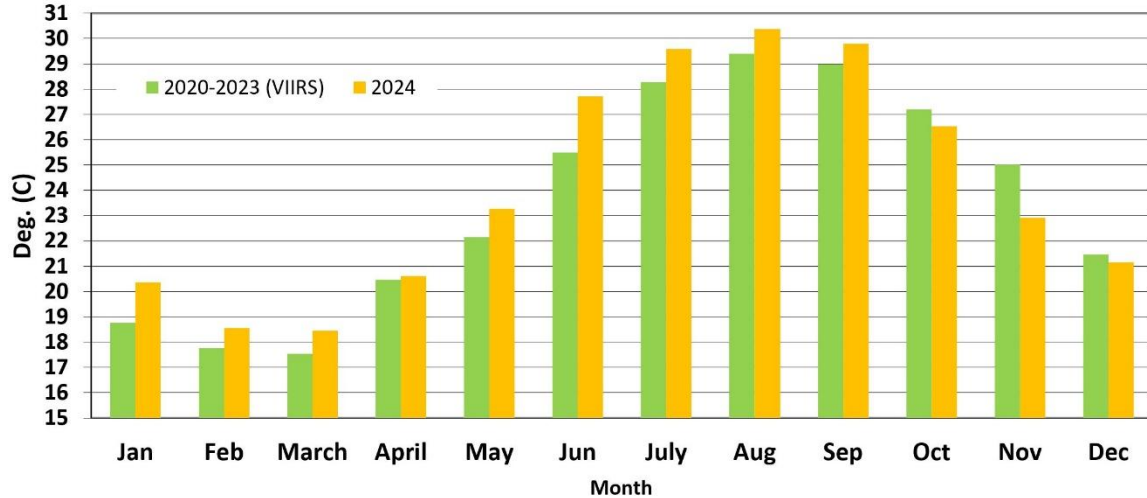
ממצאים מניטור שינויים של טמפרטורת פני הים מהדמיות לוויין (ד"ר גדעון טיבור)

הטמפרטורה החודשית הממוצעת מעל למדף היבשת של מדינת ישראל (עד למרחק מהחוף של עומק מים 200 מטר) חושבה לשנים 2020-2023 והשוותה לממוצעים החודשיים משנת 2024. הטמפרטורה חושבה על בסיס מדידות יומיות ע"י לויין VIIRS עם רזולוציה של 0.75 ק"מ לפיקסל. על פי מדידות הלוויין טמפרטורת פני הים הממוצעת בשנת 2024 נשמרה מעל לממוצע הרב שנתי (עד לכדי  $1.5^{\circ}\text{C}$ ) מלבד במהלך חודשי הסתיו (**איור 1.8**). תוצאה זו נתמכת על ידי התצפיות שהתקבלו בהפלגות חתך חיפה.

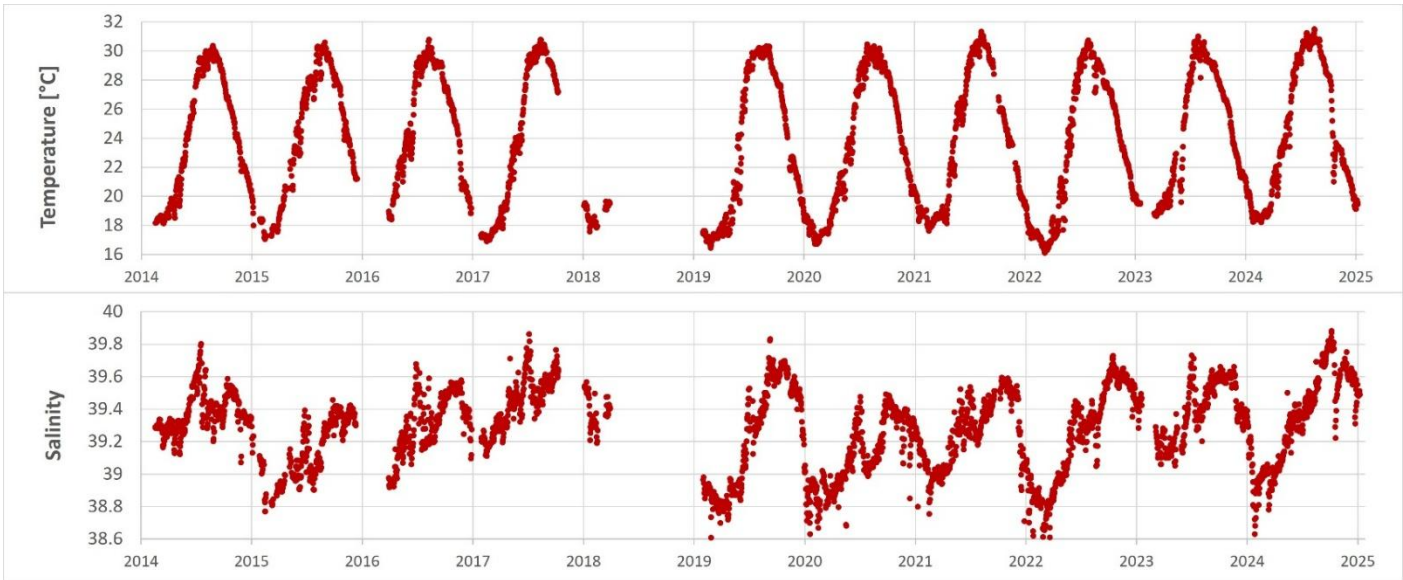
ממצאים מניטור שינויים תרמו-הליניים בתחנות מדידה רציפה

מדידות טמפרטורה רציפות מקצה מזחי הפחם בחדרה ואשקלון מתארות את המהלך העונתי. בתחנת אשקלון המדידה נקטעה עקב חוסר יכולת להגיע לאתר לאורך תקופה ממושכת, כתוצאה ממלחמת חרבות ברזל. התחנה הושבה לפעילות באמצע יולי 2024. בתחנת חדרה ניתן להתרשם כי בדומה לקודמו, גם חורף 2024-2025 היה חם באופן יחסי, כאשר הטמפרטורות המינימליות שנמדדו בשיא תקופת הקירור היו מעל ל- $18^{\circ}\text{C}$ . חורף זה התאפיין גם בערכי מליחות גבוהים מהרגיל, בהתאם לתצפיות המדווחות לעיל מהים העמוק (**איורים 1.8 ו 1.9**).

SST monthly average Israeli Shelf area 2024 from VIIRS images relative to (2020-2023)

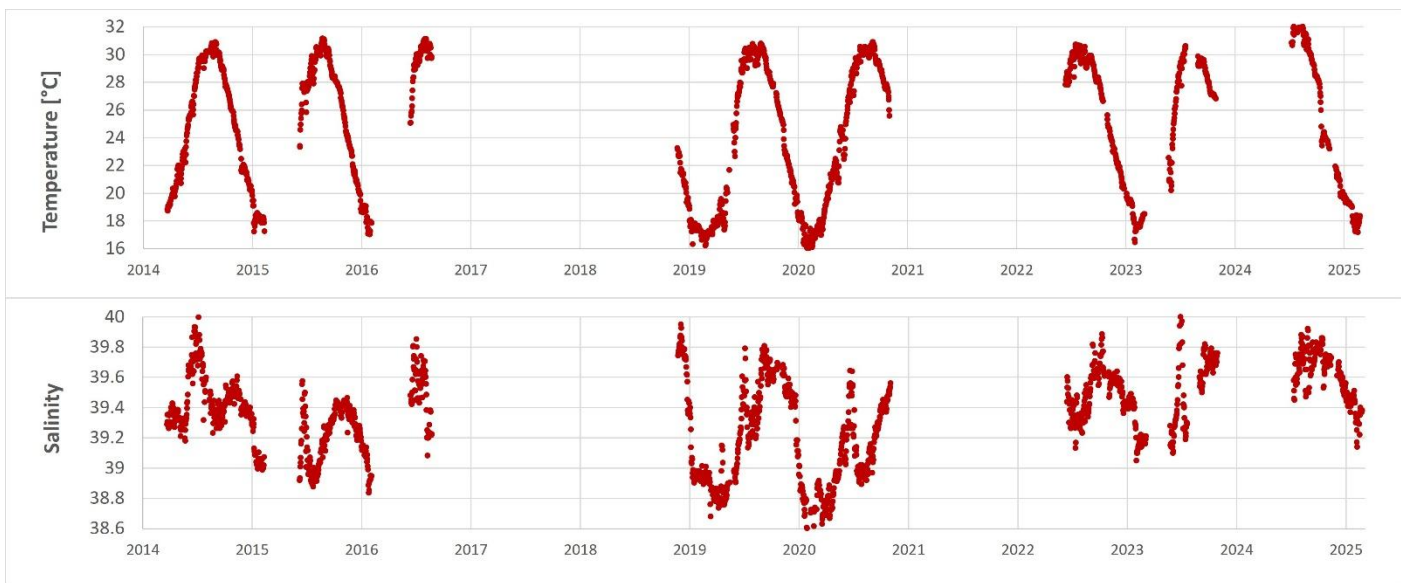


**איור 1.8:** טמפרטורה חודשית ממוצעת לשנת 2024, בהשוואה לממוצע 2020-2023. הנתונים מבוססים על לפחות 4 הדמיות של לוויין VIIRS המצלם ברזולוציה של 750 מטר לפיקסל. דיוק המדידה הוא  $0.1^{\circ}\text{C}$  והיא מייצגת את הטמפרטורה במיקרונים העליונים של פני המים.

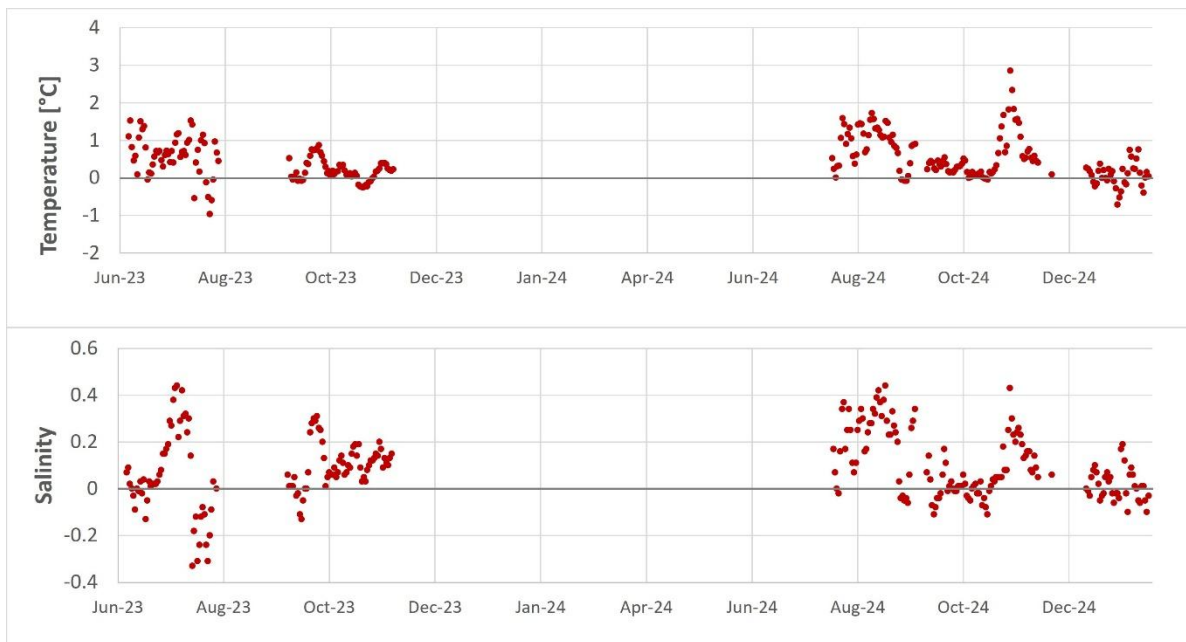


**איור 1.9:** ממוצעים יומיים של טמפרטורה ומליחות הנמדדים בתחנת חדרה באמצעות מכשיר CTD לתקופה שבין פברואר 2014 ועד ינואר 2025.

כפי שדווח בשנים קודמות, במהלך רוב השנה נשמרים ערכי טמפרטורה ומליחות גבוהים יותר בתחנה באשקלון. בשנת 2024 פערים אלו הגיעו עד לכדי  $2^{\circ}\text{C}$  ו- $0.4$  יחידות מליחות (ההשוואה מוגבלת לתקופה בה התקיימו מדידות בתחנת אשקלון). שוני זה נובע על פי רוב מהבדלים גיאוגרפיים-אקלימיים המוכרים בין תחנות המדידה בחדרה ובאשקלון (איורים 1.10-1.12).

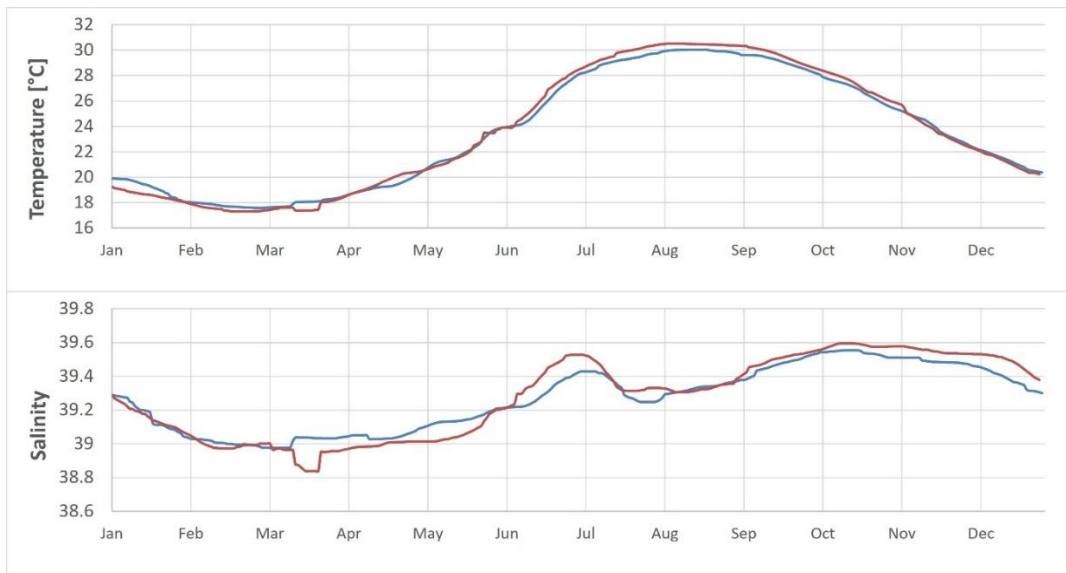


**איור 1.10:** ממוצעים יומיים של טמפרטורה ומליחות הנמדדים בתחנת אשקלון באמצעות מכשיר CTD לתקופה שבין מרץ 2014 ועד ינואר 2025.

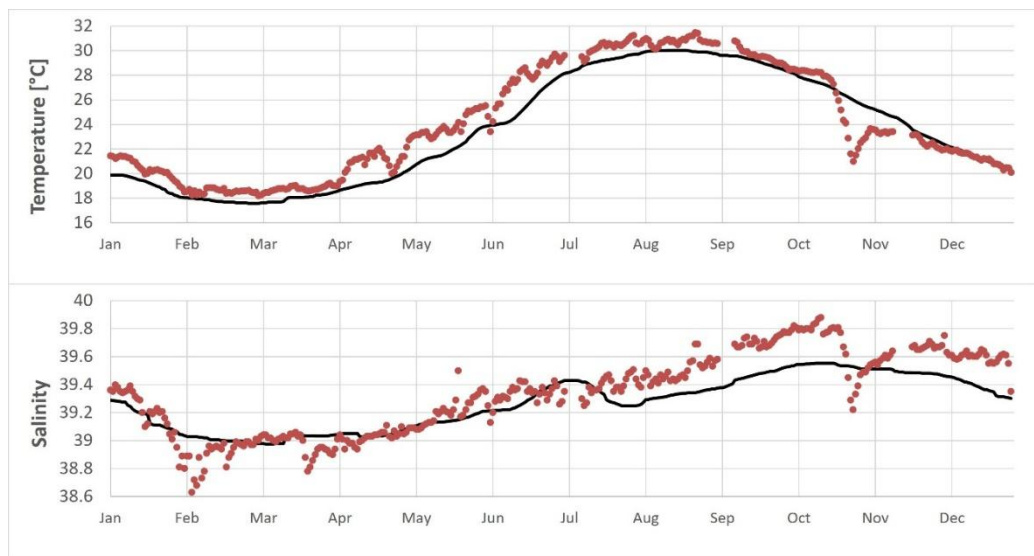


**איור 1.11:** השוואת ממוצעים יומיים של טמפרטורה ומליחות הנמדדים בתחנות אשקלון וחדרה לתקופה שבין יוני 2023 ועד ינואר 2024. הערכים המוצגים הינם השארית לאחר חיסור הערך הנמדד בתחנת חדרה מזה הנמדד בתחנת אשקלון.

המדידות בתחנת חדרה בשנת 2024 מדגימות סטיה משמעותית מהמוצע הרב שנתי בחצי השני של חודש אוקטובר שנמשכה כשבועיים. בתקופה זו ערכי הטמפרטורה ירדו ביותר מ-4 °C והמליחות בכ-0.3 יחידות מליחות ביחס למוצע הרב שנתי (איור 1.13). מהצלבה עם נתוני המודל עולה כי אנומלייה זו נובעת ככל הנראה מהתחזקות של מערבל אנטיציקלוני ה"מזריק" מים ממקור אטלנטי אל קרבת החוף.

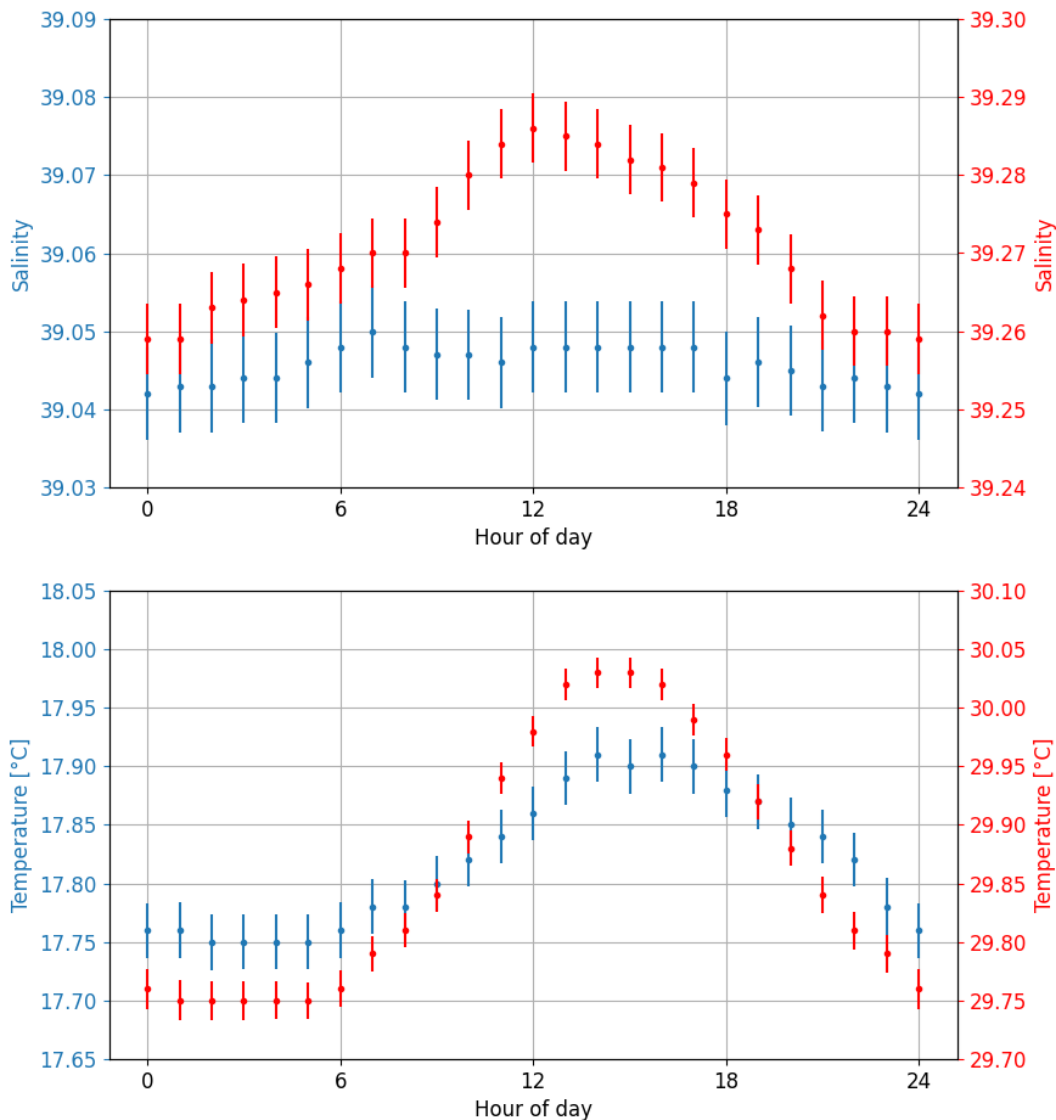


**איור 1.12:** השוואת נתונים קלימטולוגיים של טמפרטורה ומליחות בתחנות אשקלון (אדום) וחדרה (כחול). הערכים המוצגים הינם ממוצע רב-שנתי המעודכן עד לסוף שנת 2024 (ובהתאם לזמינות הנתונים בתחנות). הערכים המוצגים חושבו לאחר החלקת הממוצע היומי (המוצג באיורים הקודמים) באמצעות חישוב ממוצע נע בחלון של 10 ימים.



**איור 1.13:** השוואת נתונים תרמוהליניים קלימטולוגיים (קו שחור רציף) לממוצע היומי בשנת 2024 בתחנת חדרה (נקודות אדומות).

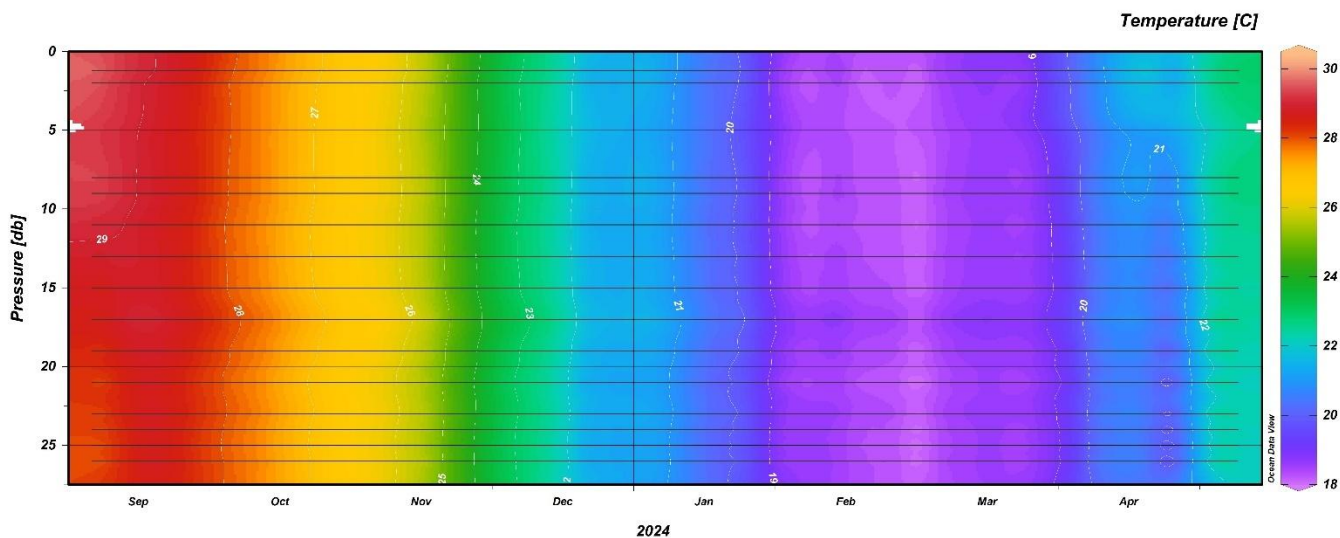
ניתוח רב שנתי של המהלך היממתי בעונת הקיץ (חודש אוגוסט) ובעונת החורף (חודש מרץ) מדגיש את ההבדלים במשרעת השינויים בערכים התרמוהליניים בין שתי עונות אלו. בקיץ מתקיימת משרעת של  $0.3^{\circ}\text{C}$  בטמפרטורה וכ-3 מאיות יחידת המליחות, בעוד שבחורף משרעת הטמפרטורה קטנה ל- $0.2^{\circ}\text{C}$  והמליחות נשמרת כמעט ללא שינוי (איור 1.14).



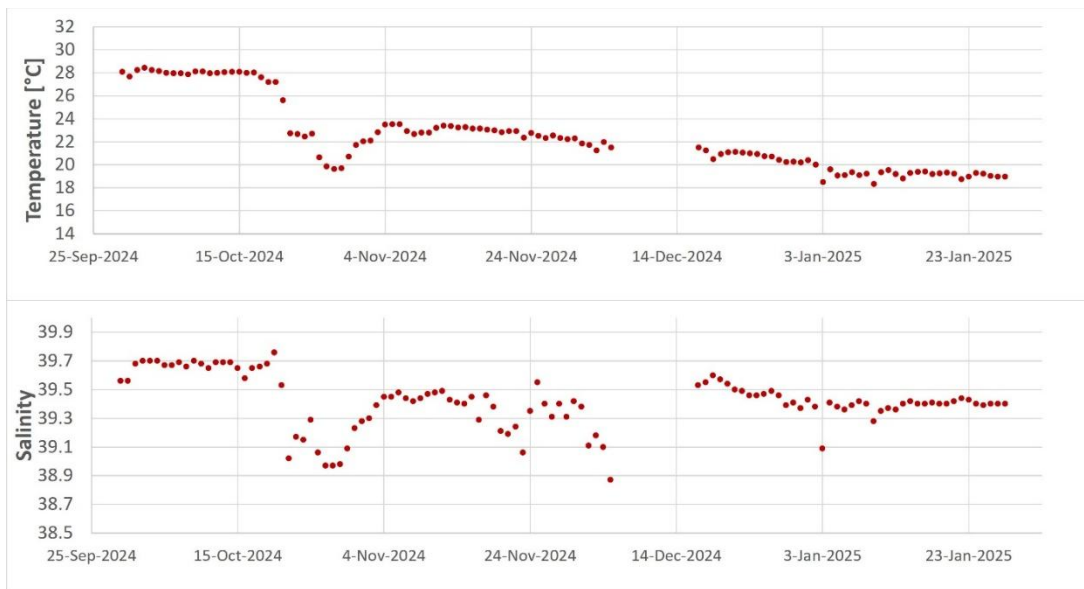
**איור 1.14:** ממוצעים שעתיים של טמפרטורה ומליחות המחושבים על פני עשור של מדידות בתחנת חדרה (2011-2021). מוצגות סדרות ממוצעות לחודש אוגוסט (באדום) ולחודש מרץ (בכחול).

מדידות הטמפרטורה בתחנת המדידה בשקמונה מדגימות את מהלך הקירור ההדרגתי בשכבת המים העליונה אשר נשמרת מעורבת אנכית בטווח המדידה בתחנה כמעט באופן רציף. שיכוב קל, קצר מועד, נצפה בתחנה בתחילת ספטמבר 2023 ובמהלך חודש אפריל 2024 (איור 1.15).

באופן דומה, ה-CTD המוצב בסמוך לקרקעית מדגים ירידה הדרגתית בערכי הטמפרטורה והמליחות בחודשי הסתיו והחורף (2024-2025). בחצי השני של חודש אוקטובר נרשמת גם בתחנה זו האנומליה של ירידה במליחות ובטמפרטורה בדומה לזו שנצפתה בתחנת חדרה (איור 1.16).

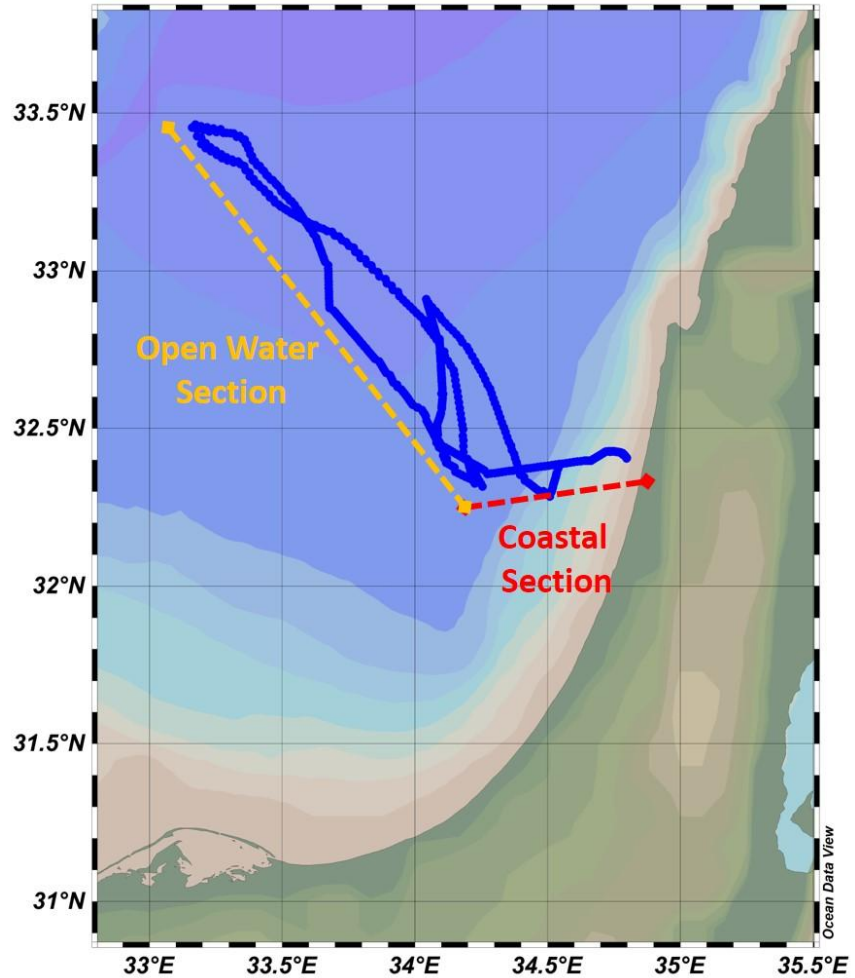


**איור 1.15:** סדרת זמן של נתוני טמפרטורה בארבעה-עשר מפלסים כפי שנמדדו באמצעות מערכת טרמיסטורים בתחנת הניטור שקמונה (עומק מים של 26 מטר). הנתונים לתקופה ספטמבר 2023 עד מאי 2024.



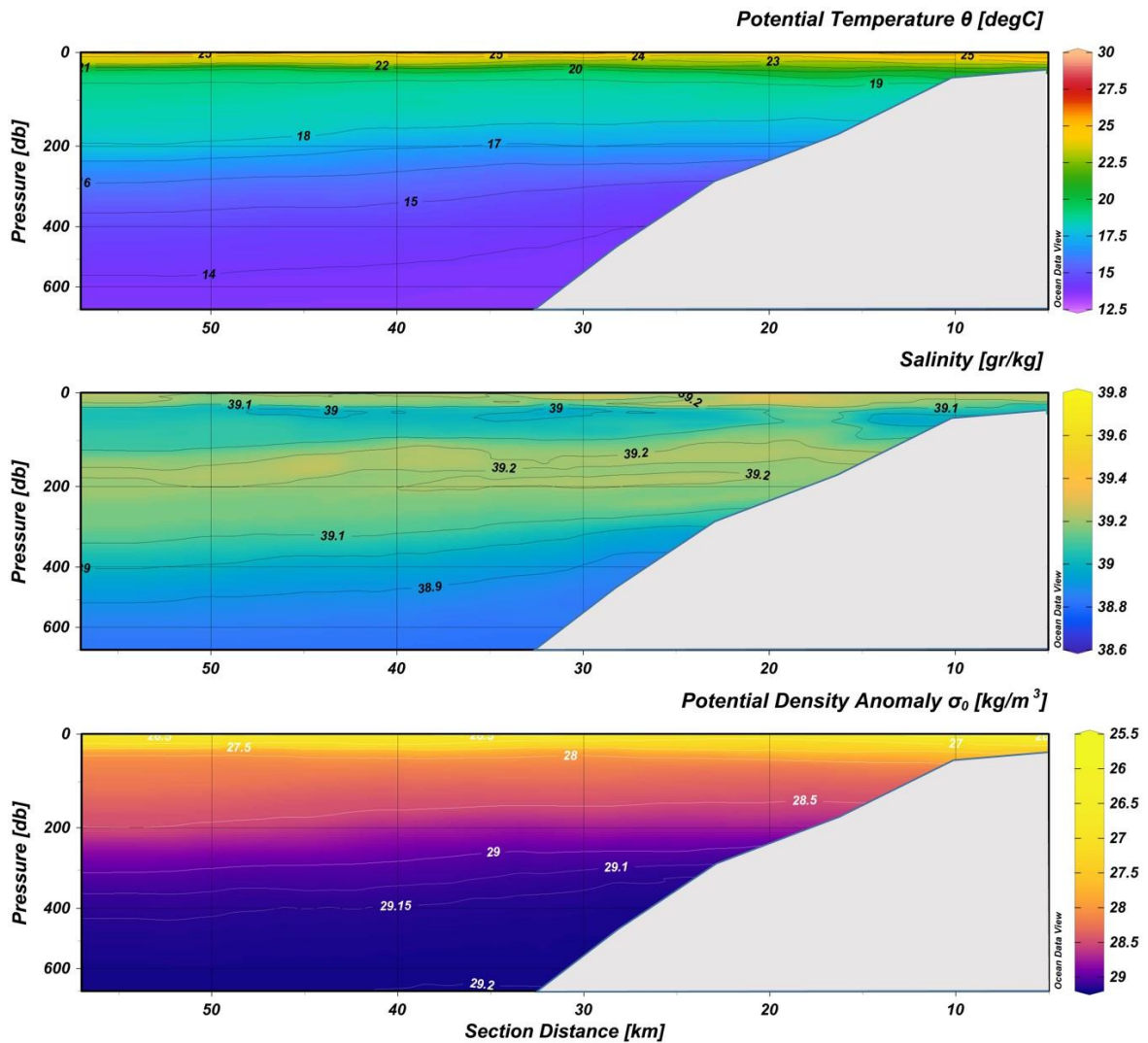
**איור 1.16:** ממוצעים יומיים של טמפרטורה ומליחות שנמדדו בתחנת שקמונה בסמוך לקרקעית (בעומק 26 מטר) באמצעות מכשיר CTD לתקופה ספטמבר 2024 עד ינואר 2025.

הפרעות ה GPS המתמשכות בעקבות מלחמת חרבות ברזל הקשו מאוד על ביצוע משימות גליידר במהלך 2024. המשימה הבודדת שבוצעה בשנה זו (SEA012 M187) היתה כרוכה בסיכון גבוה לציוד ובקשיים תפעוליים (איור 1.17).



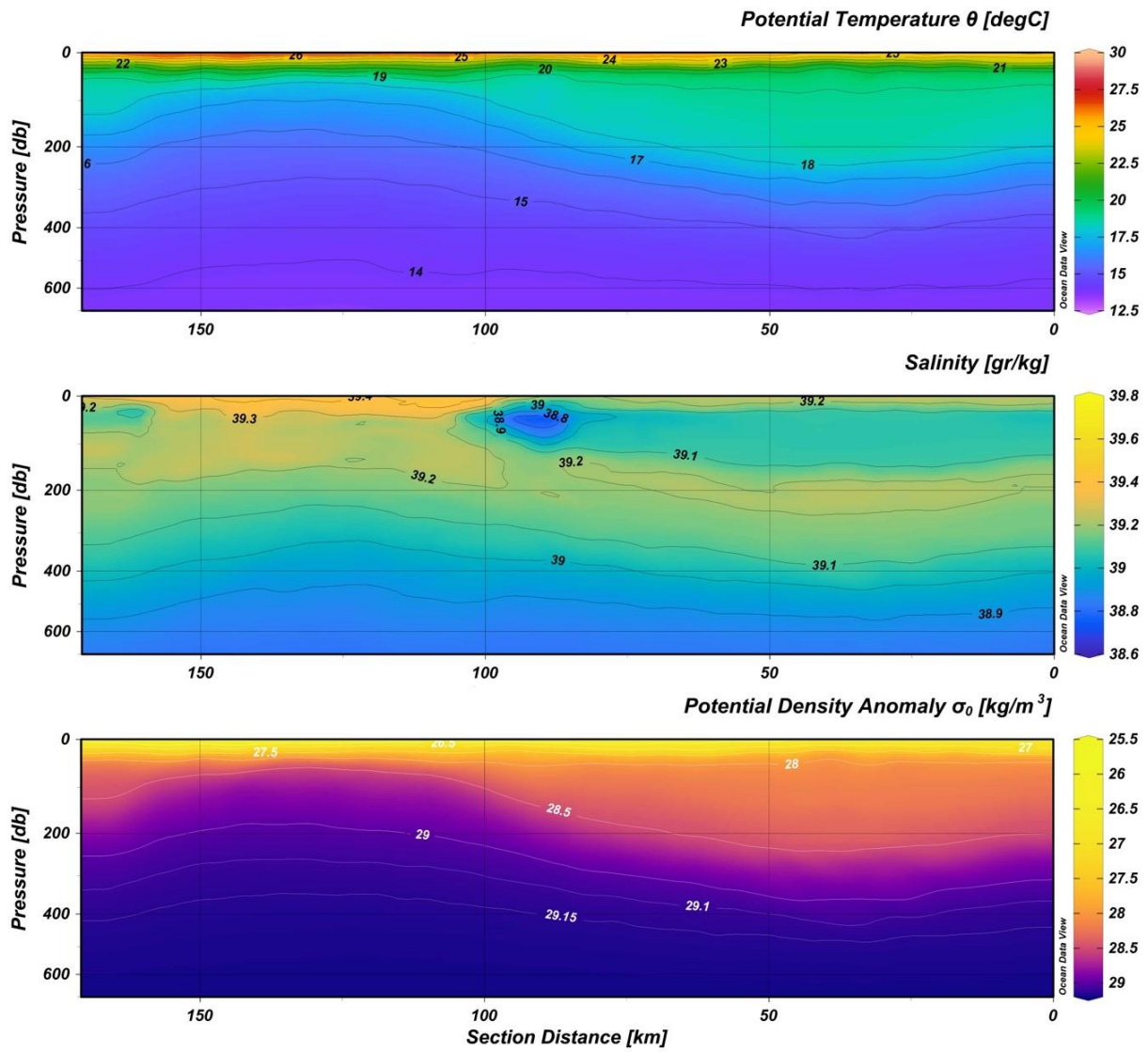
**איור 1.17:** מסלול משימת גליידר (זיהוי SEA012M187 שבוצעה בין ה-5 ליוני ועד ל-11 ליולי 2024) (סה"כ 36 יום). בנוסף מוצג התוואי של חתך חופי וחתך ים עמוק שיוצגו באיורים העוקבים על בסיס הנתונים שנאספו במשימה המוצגת.

בחתך החופי הניצב לחוף ניתן להתרשם מהתחממות קלה של שכבת המים העליונה עם ההתקרבות לחוף ובהתאם בירידה בצפיפות המים. בנוסף ניכר כי הרצף של לשון המליחות הנמוכה הממוקדת בעומק של 50-100 מטרים נקטע מעל מדרון היבשת, כלל הנראה כתוצאה מטורבולנציה מוגברת כתוצאה מנוכחות זרם הסילון (הנע מדרום לצפון) שעוצמתו מוגברת בעונה זו (איור 1.18).



**איור 1.18:** חתך חופי של טמפרטורה פוטנציאלית, מליחות וצפיפות במסלול ניצב לחוף שבוצע במהלך משימת גליידר SEA012M187.

בחתי הים העמוק (**איור 1.19**) ניתן להתרשם כי הגליידר עבר מאזור בו התקיימה זרימה אנטי-ציקלונית אשר מגבירה את הערבוב האנכי וגורמת להעמקה של שכבות מים (בטווח ק"מ 10-80) אל אזור בו נראה כי התקיימה זרימה הפוכה, ציקלונית, אשר גורמת להתחזקות הגרדיינטים האנכיים והתרדדות שכבות המים (בטווח ק"מ 110-160). כמו כן, ניתן לראות סיגנל חזק של מי האטלנטי במרחק של כ-90 ק"מ מתחילת החתך. סיגנל זה נרשם גם כאשר הגליידר חזר על עקבותיו וביצע את החתך בפעם השנייה בשבוע לאחר מכן והוא משוייך לאחד מהמסלולי ההובלה של מי אטלנטי במסלול ה-Mid Meditteranean Jet.



**איור 1.19:** חתך ים עמוק של טמפרטורה פוטנציאלית, מליחות, וצפיפות במסלול ניצב לחוף, שבוצע במהלך משימת גליידר SEA012M187.

## 2. שינויי מפלס ים

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

### Abstract

From 1992 to 2024, sea level measurements at Hadera station revealed an average annual rise of approximately 5.1 mm, culminating in a total increase of around 15 cm. This rate exceeds the global average of 3.4 mm per year recorded between 1993 and 2023, largely due to local Mediterranean influences, most notably the Eastern Mediterranean Transient (EMT), which altered deep-water formation and density patterns. The EMT contributed to fluctuations observed before and after the data collection period, with a sharp increase in sea level beginning in the early 1990s. The regional sea level rise over the last decade (~11 mm/year) measured at Hadera is higher than the global average of ~4.5 mm/year from satellite altimetry, mainly due to accelerated heating of the water column in the Eastern Mediterranean. However, we emphasize that one decade is a short time period to infer rates.

### תחנות ושיטות דיגום

חיא"ל מתחזקת משנת 1992 שתי תחנות חופיות בנמלי הפחם בחדרה ובאשקלון (איור 1.1), בהן מתבצעת מדידה רציפה של מפלס ים. מפלס הים נמדד על ידי מד לחץ טבול בים, המקובע לרגל רציף הפחם במרחק כ-2 ק"מ מהחוף. הנתונים המובאים כאן הם מהתחנה בחדרה, כיון שתחנת אשקלון לא פעילה בצורה רציפה לאורך כל השנים. עם זאת היא משמשת לבדיקה והשוואה של נתוני חדרה. במהלך 2023 ו 2024 הותקנו שני מדי מפלס נוספים בחדרה ואשקלון (במסגרת פרויקט אחר). מדי מפלס אלו מותקנים במעגנות של חברת החשמל, ומוודים את מפלס הים על ידי מדידת המרחק בין מכשיר המדידה, שהותקן מעל פני המים, לבין פני הים. מכשירים אלו יאפשרו ללמוד על ההבדלים בין הים הפתוח למעגנות ולקבל מידע חשוב על מקרי קיצון.

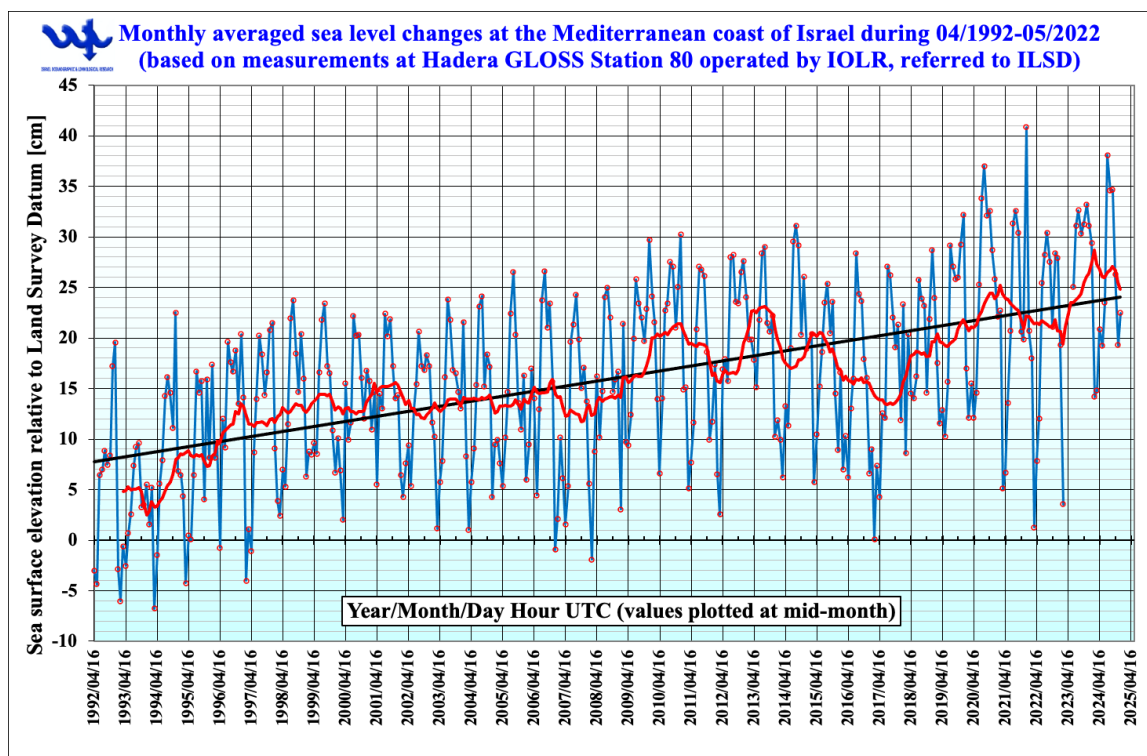
### ממצאים עיקריים

מאפריל 1992 עד סוף 2024 נמדדה עלייה ממוצעת של כ-5.1 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 מהותי מהשנים האחרונות, והוא גדול מהממוצע הגלובלי הנוכחי. על פי סיכום האינדיקטורים האקלימיים של קופרניקוס [1] העלייה הגלובלית בשנים שבין 1993 - 2023 עומדת על 3.4 מ"מ בשנה.

קצב העלייה גדול יחסית, 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 צפוי להיות גבוה באותה מידה גם בעתיד (דו"ח חיא"ל H04/2023). ה-EMT הוא אירוע 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

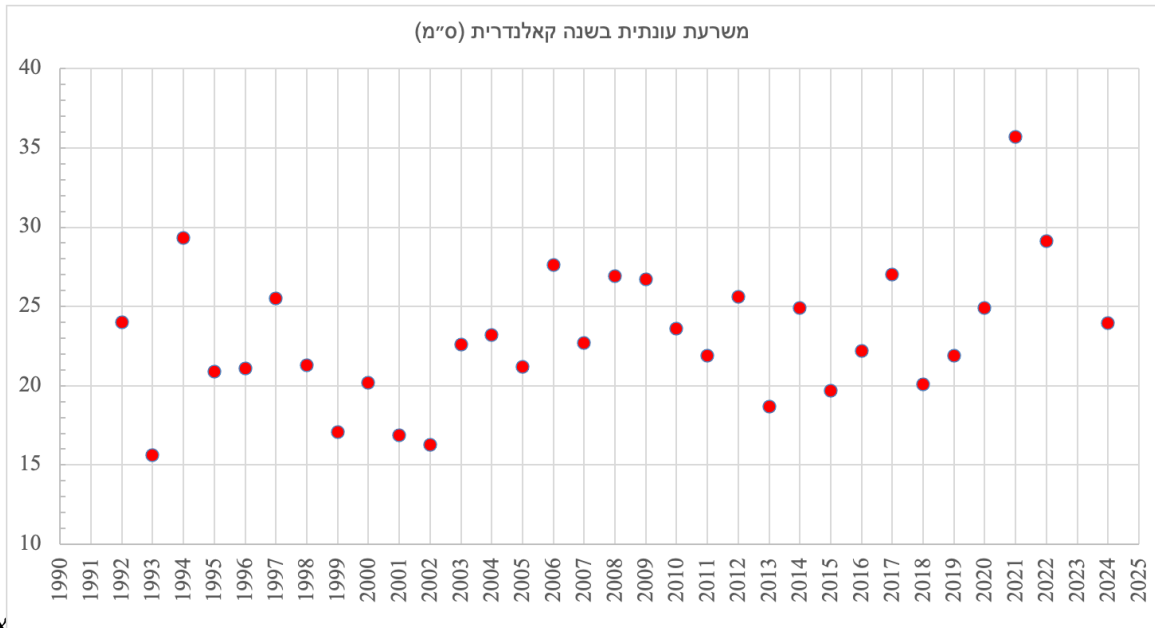
1987-1993 (בשנים שקדמו לתחילת איסוף הנתונים בתחנה בחדרה) ולאחריה בעלייה חדה במפלס עד תחילת שנות האלפיים, כפי שניתן גם לראות ברקורד מפלס הים בתחנה בחדרה (איור 2.1), זאת בדומה למדווח בספרות עבור אגן הלבנט.

קצב עליית מפלס הים בחדרה בעשור האחרון גדול מהמוצע הגלובלי, כאשר בין השנים 2014 ו-2024 בחדרה הוא כ-11 מ"מ בשנה, בעוד שקצב עליית מפלס ממוצע בעולם, כפי שנמדד מנתוני לוויין, הוא 4.5 מ"מ בשנה [1]. אך נדגיש כי עשור זהו זמן קצר בכדי ללמד על קצב, ואין זה אומר שקצב זה ימשיך גם בעתיד.



איור 2.1: נתוני מפלס ים בממוצעים חודשיים כפי שנמדדו בתחנת הניטור הממוקמת בקצה מזרח הפחם של תחנת הכוח אורות רבין בחדרה בין אפריל 1992 ועד דצמבר 2024 (כחול), ממוצע רץ שנתי (אדום), וקו מגמה לכל התקופה (שחור). הערכים המוצגים מיוחסים לאפס האיזון הארצי.

המשך מעקב אחר המשרעת העונתית (איור 2.2) מראה שהמשרעת העונתית בשנה האחרונה קטנה משמעותית, וחזרה לכ-20 ס"מ, לעומת מעל 30 ס"מ של השנים האחרונות (2021 ואילך). כך שנראה שמגמת גידול המשרעת אינה עקבית, והשנים 2021 ו-2022 היו אנומליות. 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 2.2:

המשרעת העונתית השנתית בין הערך המינימלי לערך המקסימלי בשנה קאלנדרית, 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))

### 3. ניטור שינויים רב-שנתיים בחומציות ומערכת הקרבונט במי הים ד"ר ג'ק סילברמן [jacobs1@ocean.org.il](mailto:jacobs1@ocean.org.il)

#### Abstract

Between 2012 and 2024, long-term monitoring of the marine carbonate system was conducted along Israel's Mediterranean coast, utilizing a spectrophotometric pH sensor (HydroFIA pH, Contros-Kongsberg) since 2018. This approach enabled high-precision, drift-free measurements at a constant reference temperature of  $25 \pm 0.006^\circ\text{C}$  across a broad salinity range (0–40 PSU), significantly enhancing the consistency of carbonate chemistry parameters calculated via pH and alkalinity, compared to previous calculations using alkalinity and DIC.

Findings reveal a pronounced increasing trend in surface water  $\text{pCO}_2$  levels, with a mean rate of +8 ppmV/year in open waters, which is three to four times higher than the increase in the partial pressure of atmospheric  $\text{CO}_2$  reported by NOAA for the same period. This trend is most prominent during winter months. Concurrently, seawater pH has decreased at an average rate of -0.05 units per decade (2014–2024), surpassing global ocean acidification rates (-0.02 pH units per decade). Seasonal variations were evident, with lower pH and higher  $\text{pCO}_2$  in summer and visa versa in winter.

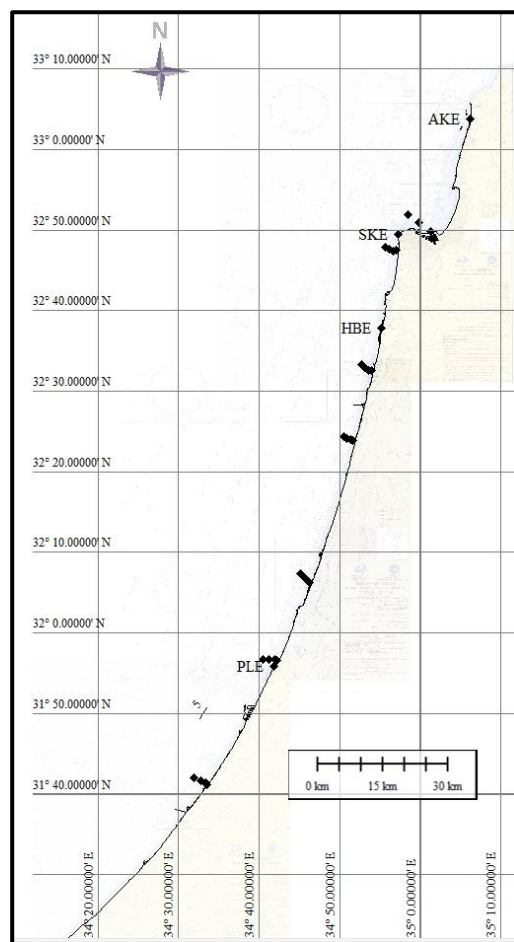
Monitoring of carbonate system parameter of the edge of coastal erosion platforms along the Mediterranean shore of Israel (Akhziv, Tel Shikmona, Habonim, and Palmachim) displayed similar seasonal cycles and long term trends. Notably, Palmachim showed a recent shift in  $\text{CO}_2$  dynamics potentially possibly linked to increased organic carbon loads from discharge of secondary sewage treatment effluents through the nearby Sorek stream (~6000 tons/year). The average deviation between seawater  $\text{pCO}_2$  and saturation levels (at equilibrium with atmospheric  $\text{pCO}_2$ ) across sites was  $+74 \pm 131$  ppmV (average  $\pm$ STD), indicating that coastal waters function predominantly as a net source of atmospheric  $\text{CO}_2$ .

These observations underscore accelerated coastal acidification processes and highlight the impact of anthropogenic inputs through coastal stream and submarine groundwater discharge, necessitating continued high-resolution monitoring to assess ecosystem vulnerability under changing climatic and local stressors.

#### תחנות ושיטות דיגום

משנת 2018 נרכשה לטובת הניטור הלאומי מערכת ספקטרוֹפוטומטרית 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 חושו 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.

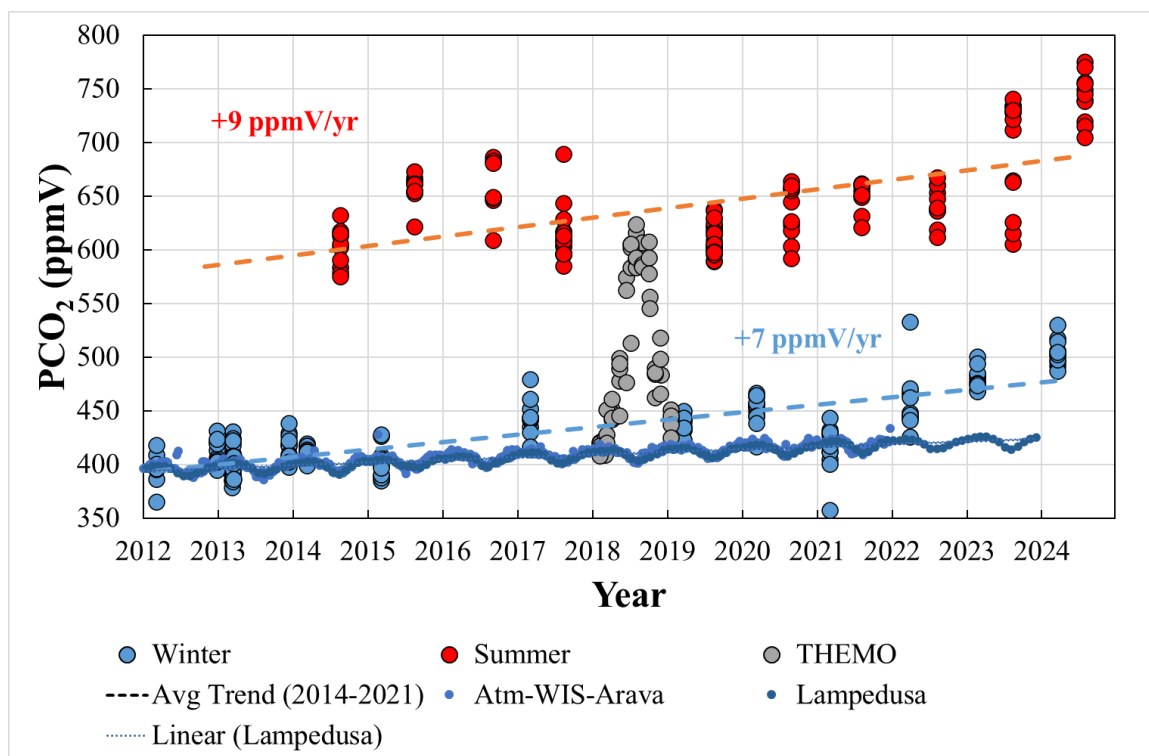
ניטור מערכת הקרבונט מבוצעת אחת לחודש מאז 2013 בתחנות הניטור הביולוגי של המצע הקשה שלבנבטלאות הגידוד לאורך החוף הישראלי בים התיכון בתחנות בחוף אכזיב (AKE), חוף שקמונה (SKE), חוף הבונים (HBE) וחוף פלמחים (PLE) (איור 3). המים נדגמים בקצה הטבלה במקום שבו הם מתחלפים במהירות יחסית גדול עם המים הפתוחים.



איור 3 מפת דיגום

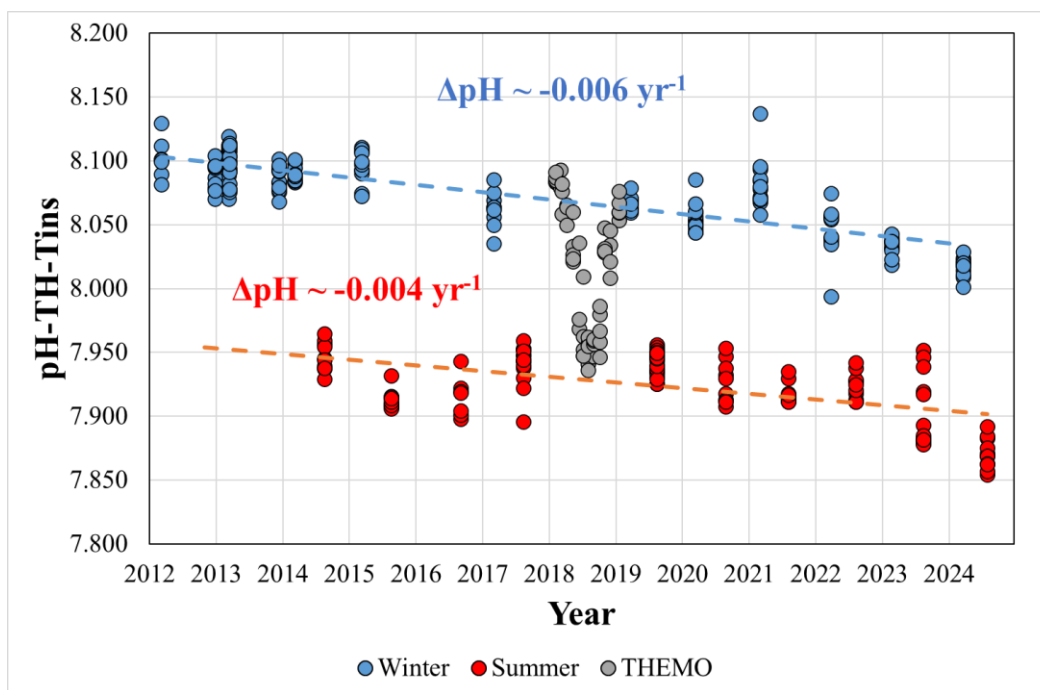
### ממצאים עיקריים

בים הפתוח ישנה מגמה חיובית ממוצעת של עליית ריכוז הלחץ החלקי של פחמן דו חמצני בקצב של כ-  $\text{ppmV/yr}$  +8 בין השנים 2012-2024, שהינו גבוה פי 3-4 מקצב עליית הפד"ח באטמוספירה על פי נתוני NOAA לתקופה זו (איור 3.1). מגמה זו מושפעת בעיקר ממגמת העלייה המוגברת בחודשי החורף ( $\text{ppmV/yr}$  +9, בשנים 2012-2024) לעומת חודשי הקיץ ( $\text{ppmV/yr}$  +7), בשנים 2014-2024).  
 בשקלול כללי, ערכי ה-  $\text{pCO}_2$  מעידים על כך שהמים הפתוחים מהווים מקור משמעותי לפחמן דו-חמצני אטמוספרי ולא מבלע (sink), כלומר תהליך הפוטוסינתזה המבוצע ע"י אצות אינו מפצה על נשימה ושחרור גזים בגלל התחממות המים).



**איור 3.1:** ערכי לחץ חלקי של פחמן דו-חמצני מומס במי הים (עד עומק מים של 30 מ') ( $PCO_2$ ) משנת 2012 בעונת הקיץ (עיגולים אדומים) ובעונת החורף (עיגולים כחולים) בים הפתוח של מדינת ישראל בים התיכון, (איור 1.1). 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.

במקביל למגמת העלייה בלחץ החלקי של פד"ח, ישנה עלייה בחומציות מי הים בקצב ממוצע של  $-0.005$  יחידות pH לשנה או  $-0.05$  יחידות pH לעשור בשנים 2014-2024 (איור 3.2). גם שינוי ממוצע זה גבוה מקצב ההחמצה באוקיאנוסים ( $-0.002$  יחידות pH לשנה). קצב ההחמצה במדידות החורף ( $-0.006$  יחידות pH לשנה, בשנים 2012-2024) יותר מהיר מקצב ההחמצה בקיץ ( $-0.004$  יחידות pH לשנה, בשנים 2014-2024). 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).



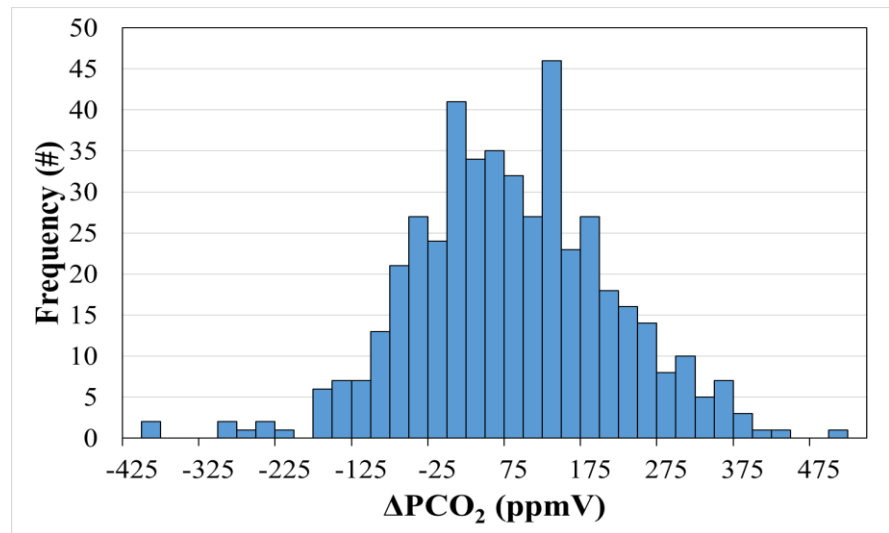
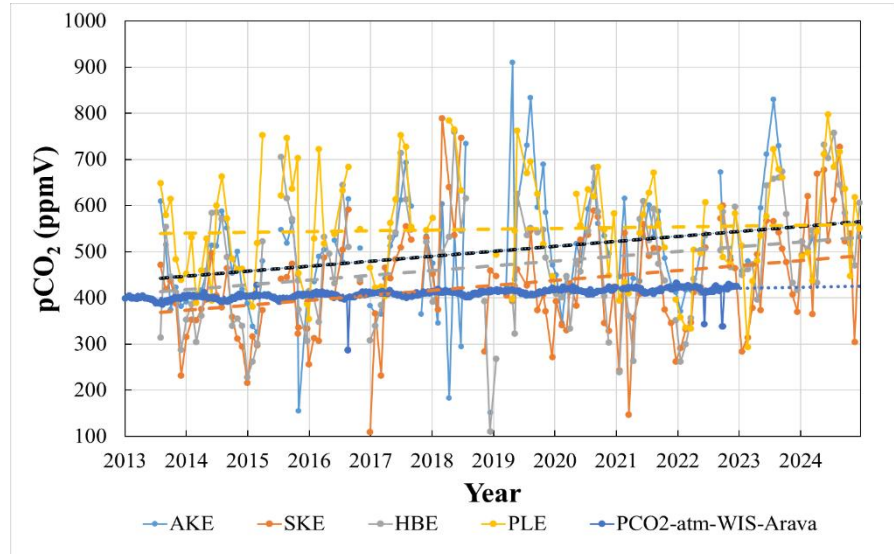
**איור 3.2:** ערכים מחושבים של pH בסקלה Total Hydrogen מתוקנים לטמפרטורת מי היס מ-2012 עד 2024 בעונת הקיץ (עיגולים אדומים) ובעונת החורף (עיגולים כחולים) במים הפתוחים של מדינת ישראל בים התיכון (איור 1.1) (עד עומק מים של 30 מ'). העיגולים העפורים מציינים את המדידות שנעשו בתחנות THERMO במהלך פרויקט משותף עם אוניברסיטת חיפה על בסיס חודשי בשנים 2018-2019.

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

גם בסדרת הנתונים הזאת נעשתה אנליזה חדשה לכויל 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  $pCO_2$  המחושבים במים בקצה טבלאות הגידוד, עם ערך גבוה בקיץ ונמוך בחורף (**איור 3.3**). בקיץ המים בקצה טבלאות הגידוד בעל-רוויה גבוהה יחסית ל- $CO_2$ -אטמוספרי (~420 ppmv). בטבלת 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. בעוד בחורף הערכים המינימליים (~200 ppmv) התקבלו בטבלאות הגידוד של תל שקמונה (SKE) והבונים (HBE), ובאופן כללי נמצאים בתת-רוויה משמעותית ביחס ללחץ החלקי של פחמן דו-חמצני באטמוספירה (~420 ppmv).

ריכוז ה  $pCO_2$  הראה מגמה חיובית עם הזמן בערכים של אכזיב (AKE – +11 ppmV/yr) תל שקמונה (SKE - +11 ppmV/yr) והבוניים (HBE - +10 ppmV/yr). לחלופין, בקצה טבלת הגידוד של פלמחים (PLE - +2 ppmV/yr). בשנת 2024 המגמה השתנתה לחיובית, בניגוד לשנים קודמות ומעידה על אפשרות של הגברת עומס אורגאני במים אלה, אולי משפך נחל שורק, שהוזרמו בו קולחים משפד"ן בספיקה שנתית כוללת של 16 מלמ"ק עם עומס פחמן אורגאני משוער של 6000 טון לשנה.



איור 3.3: בגרף העליון מוצגות סדרות הזמן של  $pCO_2$  במי הים שנדגמים 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 (WIS Arava CO<sub>2</sub>). הקווים המקווקוים מייצגים את ההתאמה המיטבית של קו ישר לנתוני סדרות הזמן השונות. בגרף התחתון מוצגת ההתפלגות של 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 ( $\Delta pCO_2 = pCO_2\text{-sw} - pCO_2\text{-atm}$ ) וציר ה- $Y$  את אחוז הזמן.

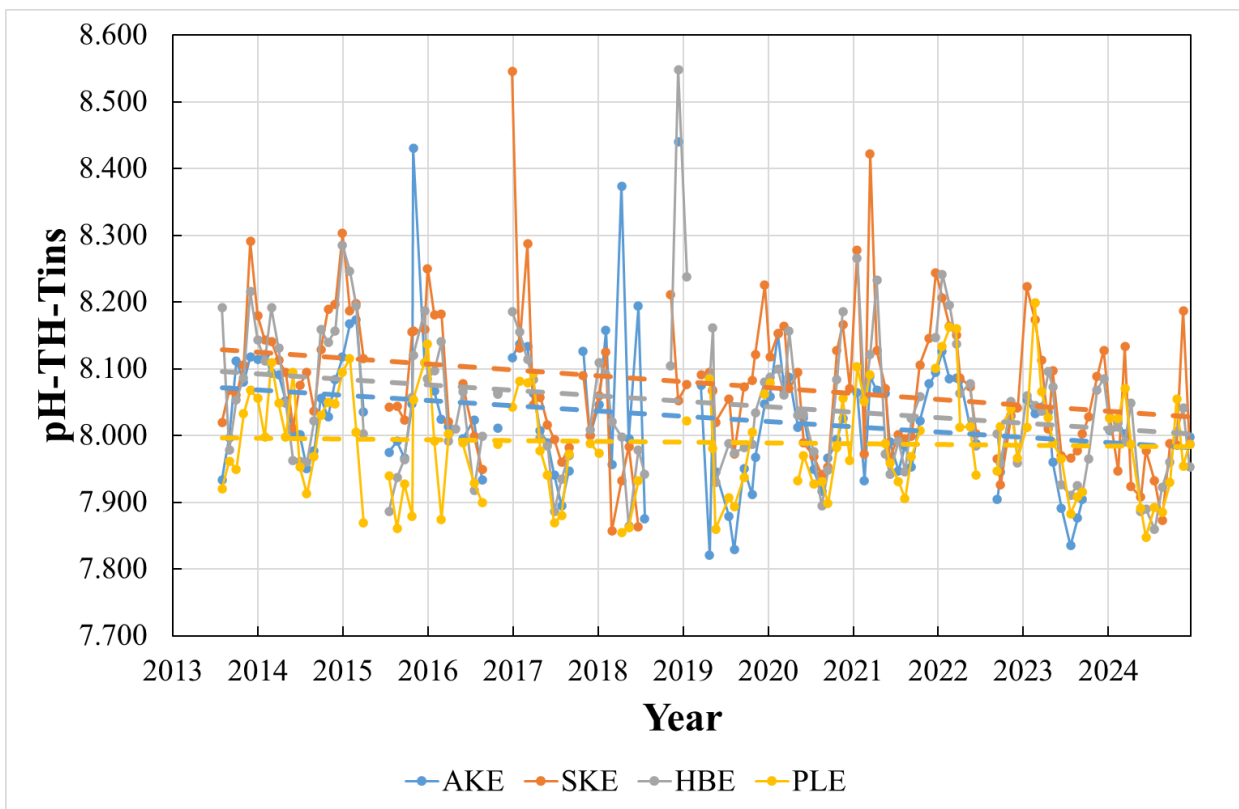
קצב העלייה הממוצעת של לחץ חלקי של  $CO_2$  בכל טבלאות הגידוד עם הזמן (2013-2024) הינו  $+9 \pm 4 \text{ ppmV/yr}$ , שגובה משמעותית מקצב הגידול של פחמן דו חמצני באטמוספירה. הסטייה הממוצעת של לחץ חלקי של פד"ח במי

ים מריכוז הפד"ח באטמוספירה בכל תחנות הניטור הינו  $74 \pm 131$  ppmV. כאשר מי הים נמצאים בעל רוויה ביחס לפד"ח אטמוספרי יותר מ-70% 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, 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  $5.4 \pm 1.9$  ppmV/yr ( $p=0.0042$ ).

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.

בסוף שנת 2024 חושבה מגמה שלילית בערכי pH עם הזמן לכל תקופת המדידה (2013-2024), באכזיב (AKE), -  $0.008$  dpH/dt yr<sup>-1</sup> בתל שקמונה (SKE),  $-0.009$  dpH/dt yr<sup>-1</sup> ובחוף הבונים (HBE),  $-0.008$  dpH/dt yr<sup>-1</sup>. בקצה טבלת הגידוד של פלמחים (PLE),  $-0.001$  dpH/dt yr<sup>-1</sup> נמצא היפוך מגמה מחיובית לשלילית, שאולי קשורה להזרמות קולחים שניונים של שפד"ן משפך נחל שורק לים בהיקף של 16 מלמ"ק ועם עומס פחמן אורגאני משוער של 6000 טון במהלך 2024 (איור 3.4). המגמה הממוצעת של השתנות ערכי ה-pH מתחילת 2013 עד סוף 2024 בטבלאות הגידוד עם הזמן היא ירידה של  $-0.007 \pm 0.004$  לשנה. קצב הגבוה בפקטור של 3 מקצב הירידה של pH באוקיינוסים.



**איור 3.4:** סדרות הזמן של pH בסקלה Total Hydrogen מעודכן לטמפרטורת מי הים שנדגמו פעם בחודש בשנים 2013 ל-2024 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.

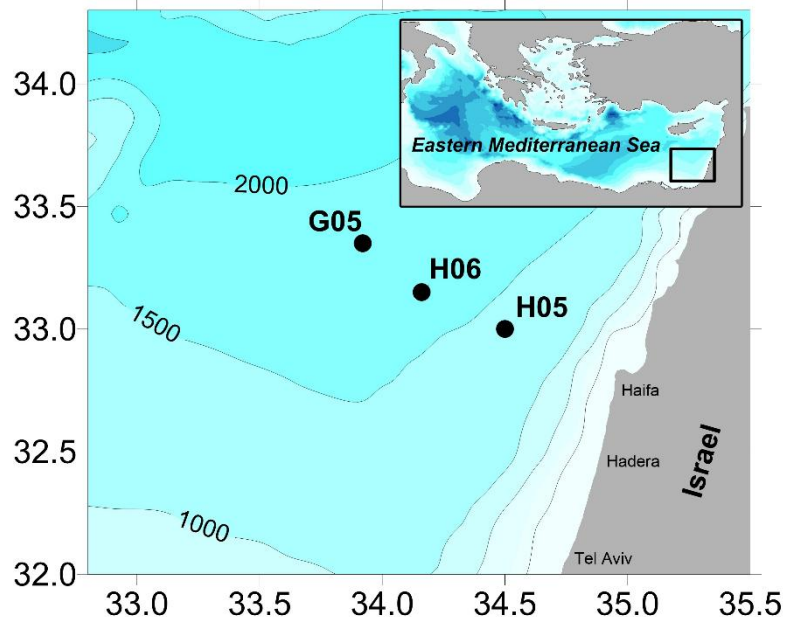
#### 4. שינויים רב-שנתיים ברמת החמצן המומס והנוטריינטים

ד"ר גיא סיסמה-ונטורה [guy.siv@ocean.org.il](mailto:guy.siv@ocean.org.il), פרופ' ברק חרות [barak@ocean.org.il](mailto:barak@ocean.org.il)

##### Abstract

Nutrients and dissolved oxygen were monitored in the open water profiles offshore Haifa at stations located at water depths of 1400 – 1900m (stations H05, H06 and G05; **Figure 1**). The nutrients, namely  $\text{PO}_4$ ,  $\text{NO}_x$  ( $\text{NO}_3 + \text{NO}_2$ ) and  $\text{Si}(\text{OH})_4$  were highly depleted in all seasons at the surface mixed layer, especially during stratification (summer), with values typically close to or below the analytical detection limit ( $9 \text{ nmol L}^{-1}$  for  $\text{PO}_4$ , and  $80 \text{ nmol L}^{-1}$  for  $\text{NO}_2 + \text{NO}_3$  ( $\text{NO}_x$ )). The  $\text{Si}(\text{OH})_4$  concentrations in surface waters are amongst the lowest for any marginal sea, ranging between  $0.4$  and  $1.6 \text{ } \mu\text{mole Kg}^{-1}$  (mean concentration of  $0.85 \pm 0.21 \text{ } \mu\text{mol kg}^{-1}$ ) with no clear seasonal trend in the last few decades, resulting in highly depleted stocks of  $26\text{--}96 \text{ mmol m}^2$ . Pre-Nile damming  $\text{Si}(\text{OH})_4$  concentrations were 2-4 fold higher during the season of the Nile flooding. This extreme oligotrophy results from the Mediterranean anti-estuarine circulation, the limited upwelling by vertical mixing, and extremely low discharge of nutrients from runoff and rivers (the Nile damming). Below the photic layer, nutrient concentrations increased with depth to a maximum located between 400 and 500 m (known as the nutricline) and then slightly decreased with depth to the seafloor. Dissolved oxygen in the bathypelagic depths (1,200–2,000 m) has been decreasing since 2008 at a rate of  $-0.38 \text{ } \mu\text{mol kg}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ . Multiannual variability in oxygen levels superimposed this trend, and is likely associated with variations in thermohaline fluxes. This monitoring highlights the physical and biological processes affecting the oxygen and nutrients variability in deep water masses.

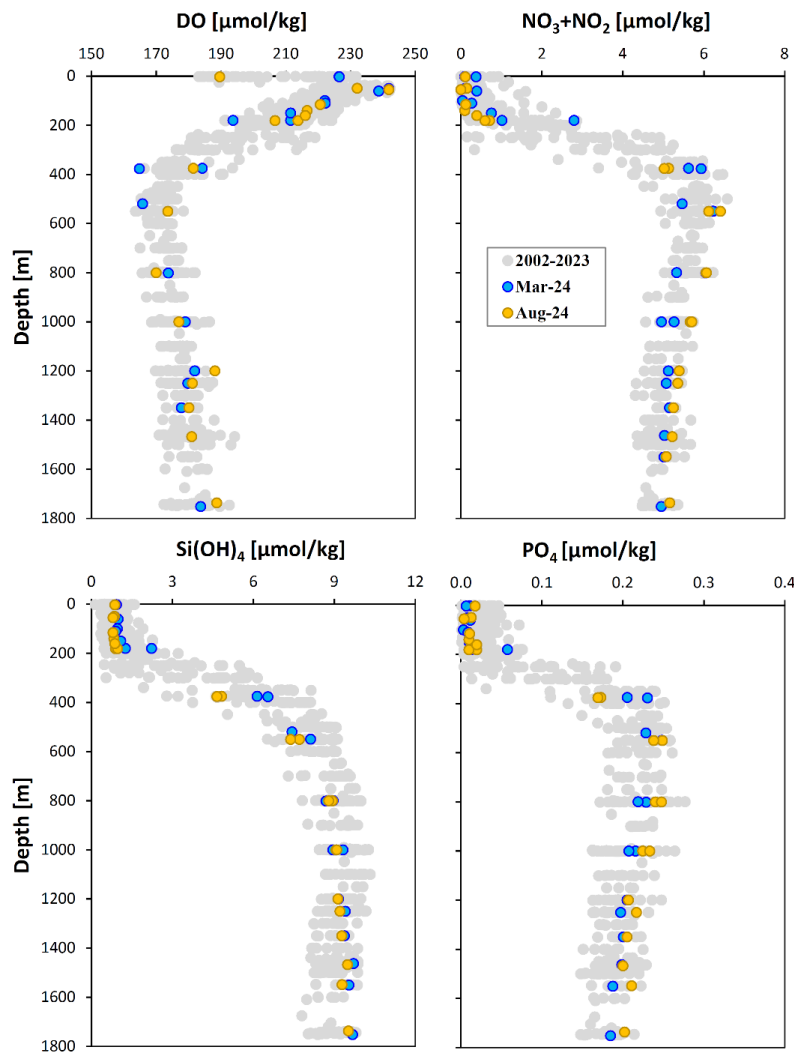
**Fig 1:** A map showing the study site in the southeastern Mediterranean Sea and the long-term monitoring stations: H05 (1450 m), H06 (1750 m), and G05 (1900 m), representing the open water profiles.



פרק זה מציג אפיון כימי, נוטריינטים וחמצן במי הים התיכון של ישראל. הניטור מתמקד בעמודת המים של תחנות הים הפתוח (איור 1) המושפעות מתהליכים מתמשיכים באגן המזרחי של הים התיכון הקשורים בשינויי אקלים מקומיים וגלובליים.

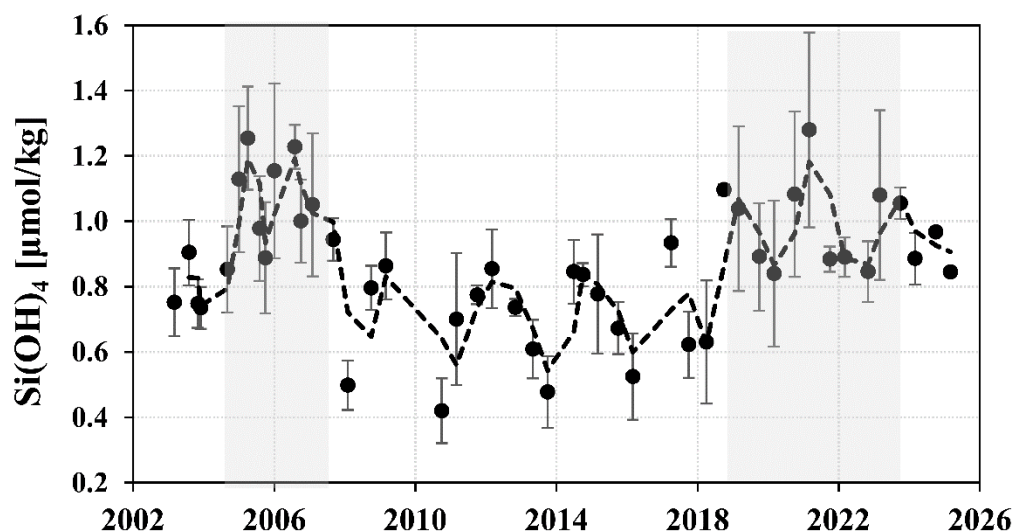
ממצאים עיקריים

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 2024 (מרץ ואוגוסט 2024) מוצג באיור 4.1. ככלל, ריכוזי הנוטריינטים בשכבת המים העליונה, מפני השטח ועד לעומק של כ-200 מטר, היו נמוכים מאוד, ולעיתים מתחת לגבול הגילוי האנליטי של שיטת המדידה (פוספאט וניטראט+ניטריט), כצפוי ממערכת אולטרה-אוליגוטروفית כדוגמת מזרח הים התיכון .



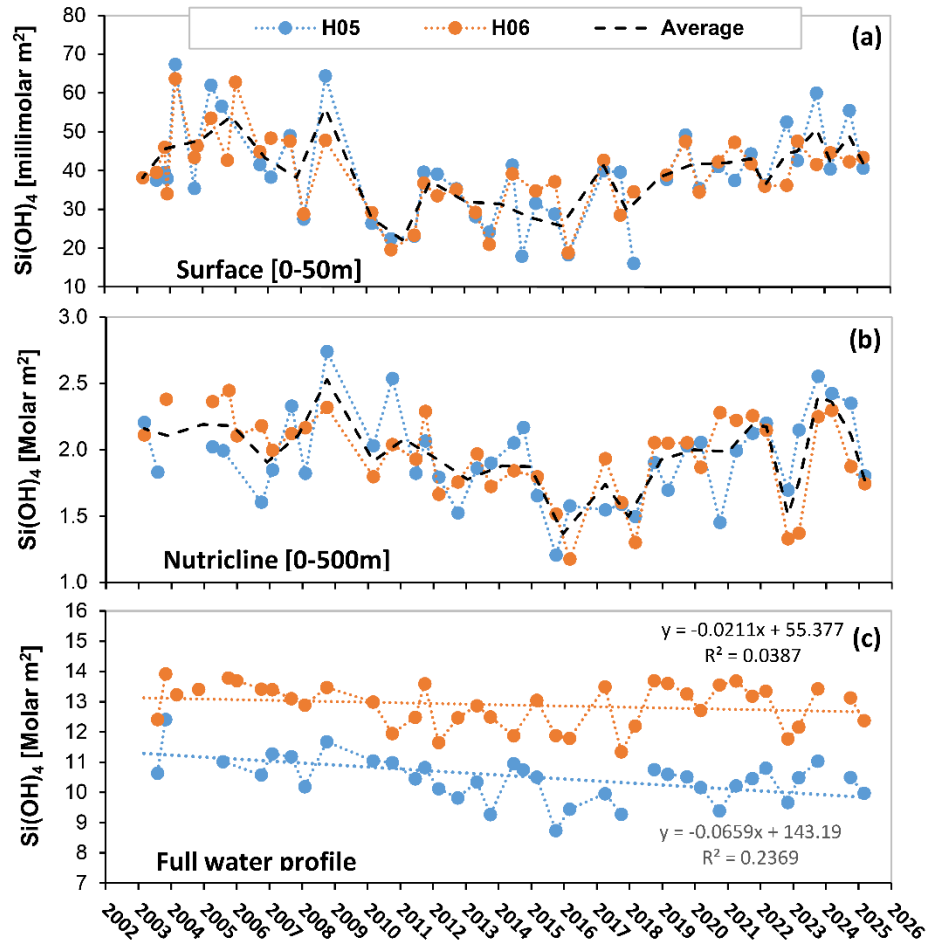
**איור 4.1:** פרופילי עומק של חמצן, ניטראט+ניטריט, פוספאט, וחומצה סיליציית בתחנות H05 ו H06 (עומקי מים של כ- 1500 ו- 1700 מטר). נתוני הפלגות 2024 מוצגים ביחס להתפלגות הרב-שנתית מכ-40 הפלגות בין השנים 2002 ל 2023 .

ריכוזי הנוטריינטים בשכבת המים העליונה בשנת 2024, תאמו את טווח המדידות שנלקחו בין השנים 2002-2023, ללא חריגות. ככלל, ריכוזי הפוספט שנמדדו בשיטה רגישה (שיטת MAGIC ובשיטת long path liquid waveguide capillary cells) הפתוח היו במרבית המקרים 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 הגילוי). עם זאת, ערכי  $\text{NO}_2 + \text{NO}_3$  נמוכים ולעיתים מתחת לסף הגילוי 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 מי עליונים, **איור 4.3**) מראה ריכוזים של 26-96 מילימול למ"ר, שהם נמוכים אפילו ביחס לאזורים אוליגטרופיים באוקיאנוסים (כ-40-200 מילימול למ"ר).

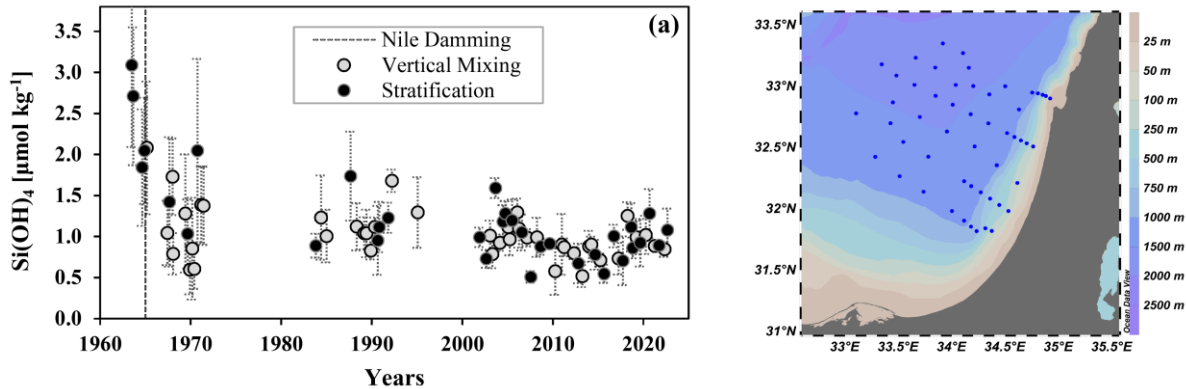


**איור 4.2:** ריכוזי סיליקה ממוצעים בפני השטח (2-3 מטרים עליונים) בין השנים 2002-2024.

ניכרת מחזוריות בריכוזי החומצה הסיליצית של מי השטח (2-3 ו-50 מי עליונים) שבה נצפו ערכים גבוהים בשנים 2004-2006, ולאחרונה בשנים 2018-2024 (**איורים 4.2 ו-4.3**). מחזוריות דומה נצפתה באינטגרציה של עמודת המים העליונה עד עומק בסיס הנוטריקלינה (0-500 מ', **איור 4.3B**). 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**.



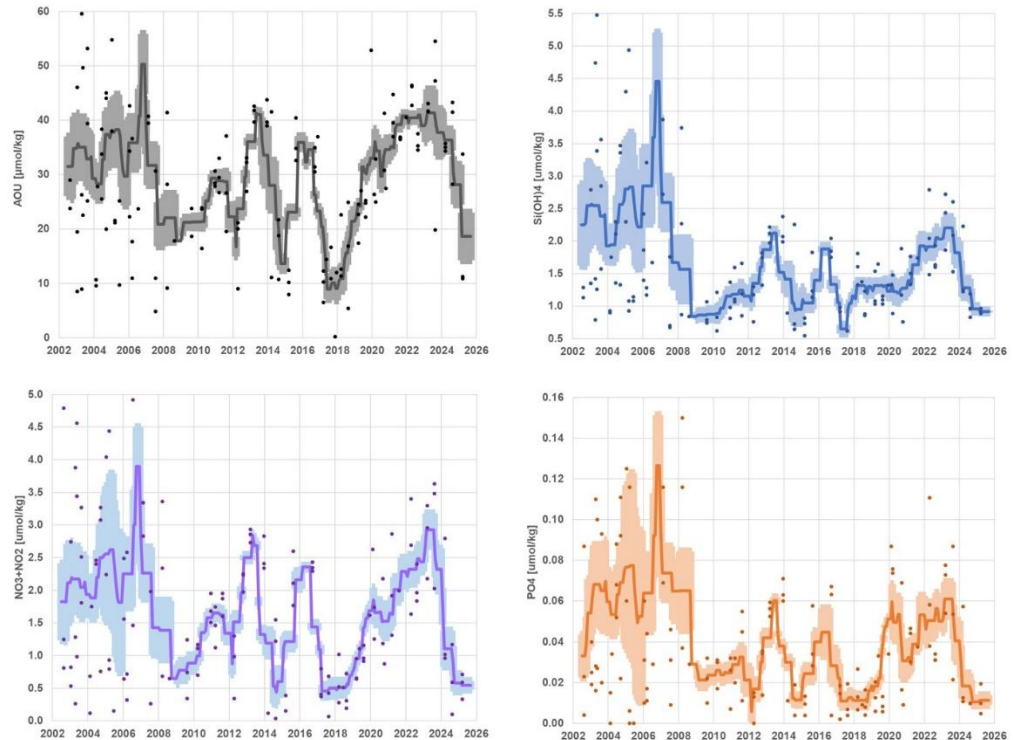
איור 4.3: שינויים רב-שנתיים (2003 – 2024) בריכוז הסיליקה באינטגרציה של מי השטח (50 מטרים עליונים), (b) לעומק הניטרקלינה (0-500 מ') ו (c) לכל עמודת המים, בתחנות H06 ו H05.



איור 4.4: שינויים רב-שנתיים בריכוז הסיליקה של מי השטח (50 מטרים עליונים) בין השנים 1963 (בסמוך לסכירת הנילוס) ו-2024, בחלוקה עונתית לתקופת השיכוב הקיצי (Stratification) והערבול החורפי (vertical mixing), כפי שנדגמו במים הכלכליים של ישראל (ראו מפת תחנות דיגום).

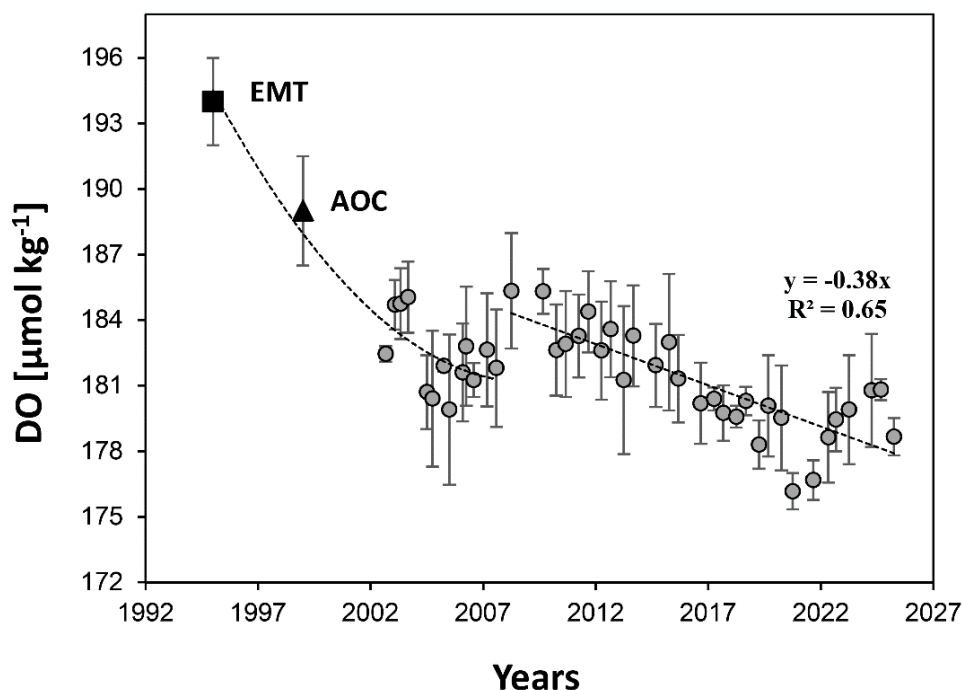
נתוני 2024 מראים המשך מגמות רב-שנתיות (2003-2023) של טמפרטורה, מליחות, ניטראט+ניטריט, פוספט וסיליקה במי מסת הביניים (~130-350 מטר עומק) בתחנות הניטור בים העמוק ושקלול כמות הכלורופיל בעמודת המים

(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 הנוטרייטים 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 (2008-2010; 2014-2015; 2018-2019), (LIW) וריכוזי נוטרייטים נמוכים (בחוסר התאמה למליחות), התואמים תקופות של סירקולציה אנטי-ציקלונית של המערבל North Ionian Gyre.



**איור 4.5:** מגמות רב-שנתיות (2002-2024) של ניטראט+ניטריט (סגול), פוספט (כתום), סיליקה (כחול) וצרכית החמצן (AOI שחור) במי הביניים (LIW) 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). בשנים מסוימות נצפים טמפרטורה ומליחות גבוהים (שיאים) במי הביניים (2008-2010; 2014-2015; 2018-2019) (LIW) וריכוזי נוטרייטים נמוכים (בחוסר התאמה למליחות), התואמים תקופות של סירקולציה אנטי-ציקלונית של המערבל North Ionian Gyre (Ozer et al., 2022).

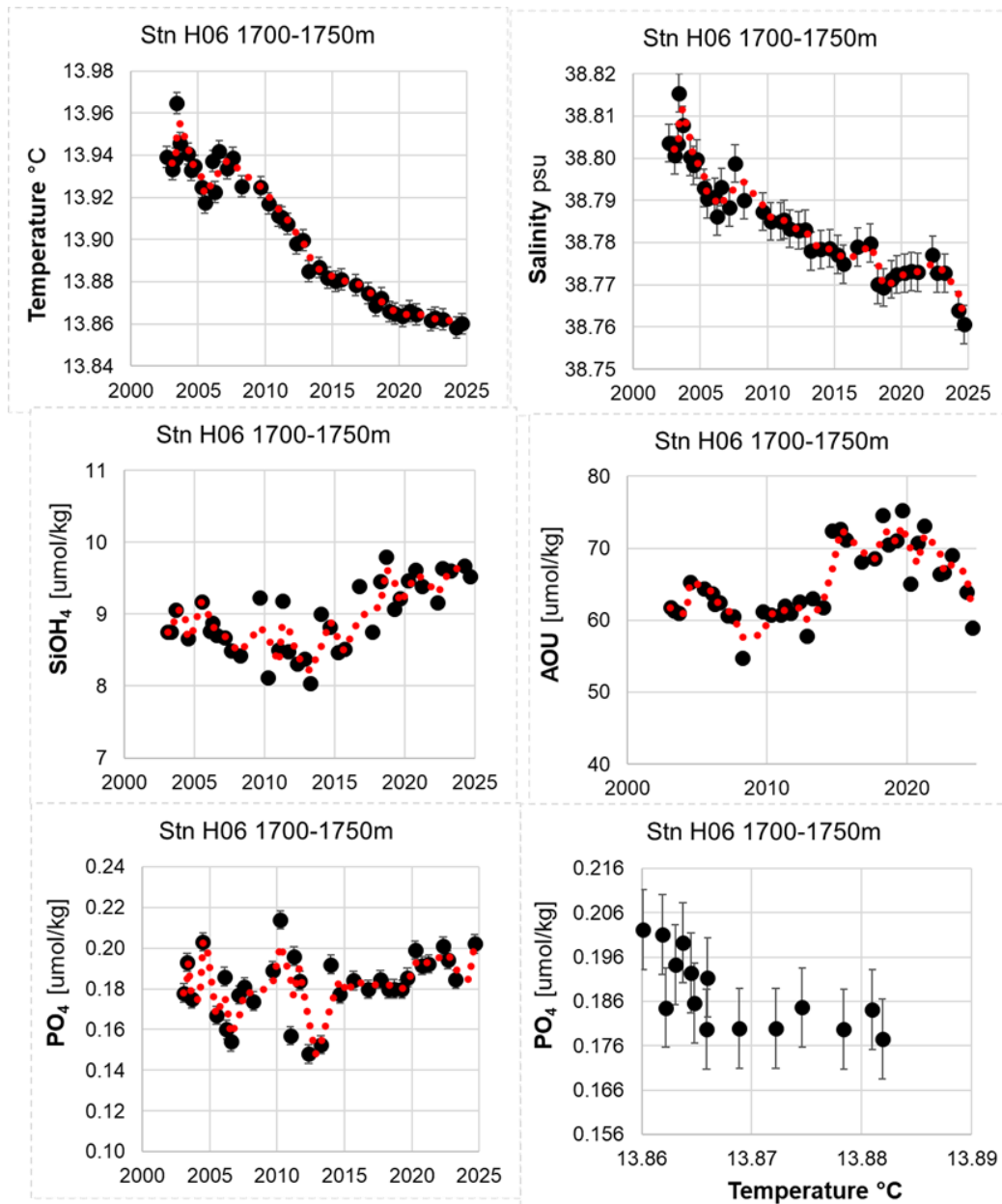
מגמת ירידה בריכוזי החמצן בגופי המים העמוקים נצפתה בשנים 2008-2024 בפרופילי העומק של תחנות H05-H06 (<1400 מ') ובתחנה העמוקה ביותר G05 (עומק מרבי של 1925 מ') (איור 4.6). מגמת ירידה בריכוזי החמצן במי העומק (איור 4.6) נצפתה מאז אירוע EMT- Easternn Mediterranean Transient), שבו נוצרו מי עומק חדשים באגן שמקורם בים האגאי, בשנים 1988 – 1995, עדות להתיישנות מי העומק, קרי ירידה בקצב הוונטילציה (Sisma-Ventura et al., 2021). קצב הירידה בין השנים 2008-2024 עמד על 0.38 יחידות/שנה שהוא אופייני למי עומק בסביבות אוקייניות. בניסור 2024 נצפתה עלייה קלה בריכוזי החמצן המומס. 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 והתחממות וההמלחה של מי הים התיכון המזרחי (Ozer et al., 2022).



**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).

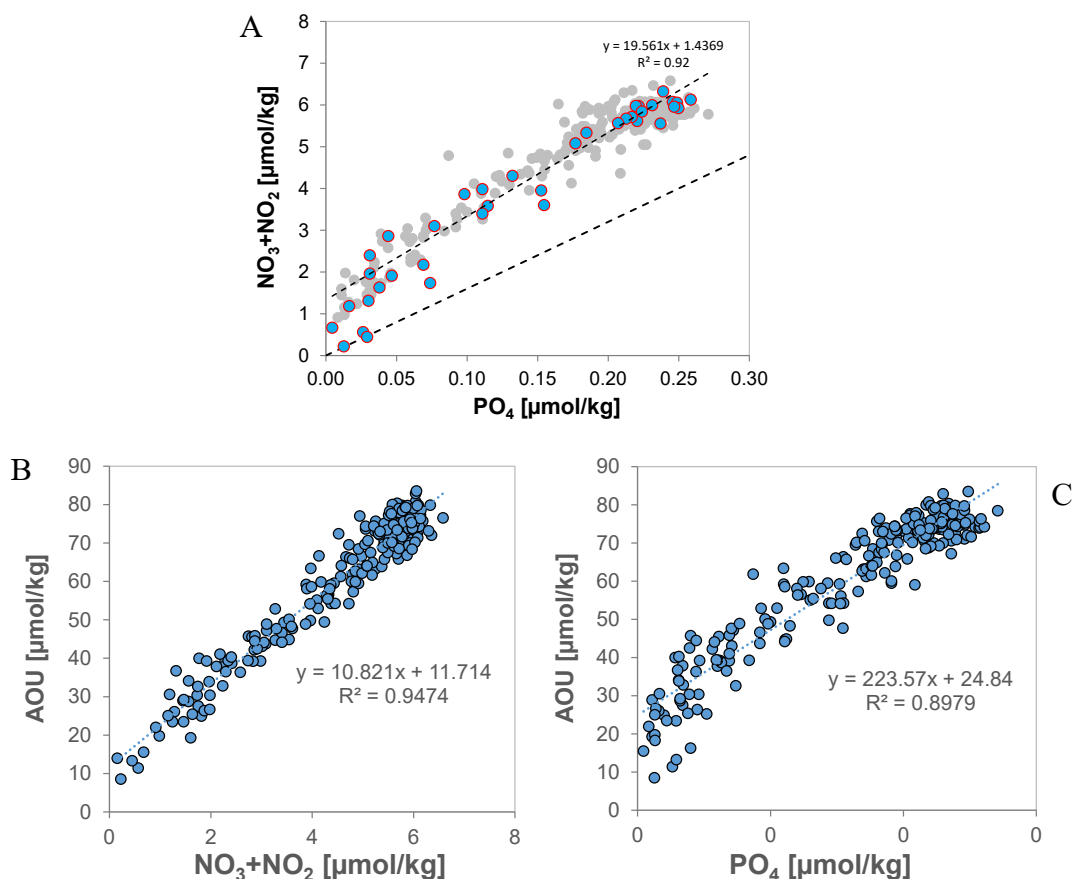
בעומקי מים בין 1700 – 1750 מטר (תחנה H06) נצפים שינויים תרמוהלינים וכימיים הקשורים הן למגמת השחיקה של אנומליית ה- EMT והן לשינויים, ככל הנראה עכשוויים מאז 2018, של כניסת מים עמוקים טריים יחסית, שייתכן ומקורם באדריאטי (איור 4.7). בשנים האחרונות נצפית מגמה של ירידה קטנה בטמפרטורה ובמליחות המים בטווח העומקים הנ"ל. 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.



**איור 4.7:** שינויים רב-שנתיים (2002 – 2024) של טמפרטורה, מליחות, סיליקה, פוספט, צריכת חמצן ביחס לרוויה (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 – 2024. 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.

יחס החנקן/לזרחן (שיפוע המשוואה) המוצג באיור 4.8 ממדידות שנעשו בעומקי הנוטריקלינה מדגים ערך מעט גבוה יותר (כ- 19:1) ליחס הסטוכיומטרי של 16:1 שנקבע על-ידי Redfield (1963) הערך  $b$  ברגרסיה הלינארית ( $y=ax+b$ ) 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 של כ- 20 לעומת 16). בשלב זה לא נראית השפעה משמעותית של התחממות המים העליונים על יחסי הנוטריינטים.



**איור 4.8:** A: יחס חנקן לזרחן בעמודת המים בשנים 2002 ו-2022 (עיגולים אפורים) ובשנים 2024 (עיגולים כחולים) בעומק הנוטריקלינה (600-180 מ'). חישוב היחס הכללי בעמודת המים ברגרסיה לינארית מוצג בהשוואה ליחס הסטוכיומטרי של 16:1 שנקבע על-ידי Redfield, 1934, קו מקוקו). יחסי גומלין בין צריכת חמצן מדומה (AOU) לבין ריכוזי ניטרוניטריט (B) ופוספט (C) 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.

## 5. מרכז מידע ימי לאומי

ד"ר איזק גרטמן isaac@ocean.org.il ורון גולדמן ron@ocean.org.il, ד"ר משה תום

## Abstract

The national marine datacenter, ISRAMAR, continues to collect, archive and distribute marine physical and biogeochemical data that is measured in the national monitoring program. Work has been done in to support and improve the existing datasystems. A new data portal is planned for development in 2024 which will embed existing databases from ISRAMAR along with other databases and datasets of ,2025 the national monitoring.

## מבוא

אנו נמצאים בהליך להטמעת כל ממצאי הניטור הלאומי על שלל כרכיו ופרקיו במאגר מידע לאומי 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:

מאגר נתונים אוקיינוגרפיים פסיקאליים וכימיים - ISRAMAR הפועל משנת 2009. כניסה למאגר בקישורית הבאה:

<https://isramar.ocean.org.il/isramar2009>

ומאגר המנגיש נתונים ביו-גאוגרפיים, ISRAMARBIO הפועל משנת 2018 ומונגש לציבור משנת 2023. כניסה למאגר בקישורית הבאה:

[IsraMarBio Map Dashboard](#)

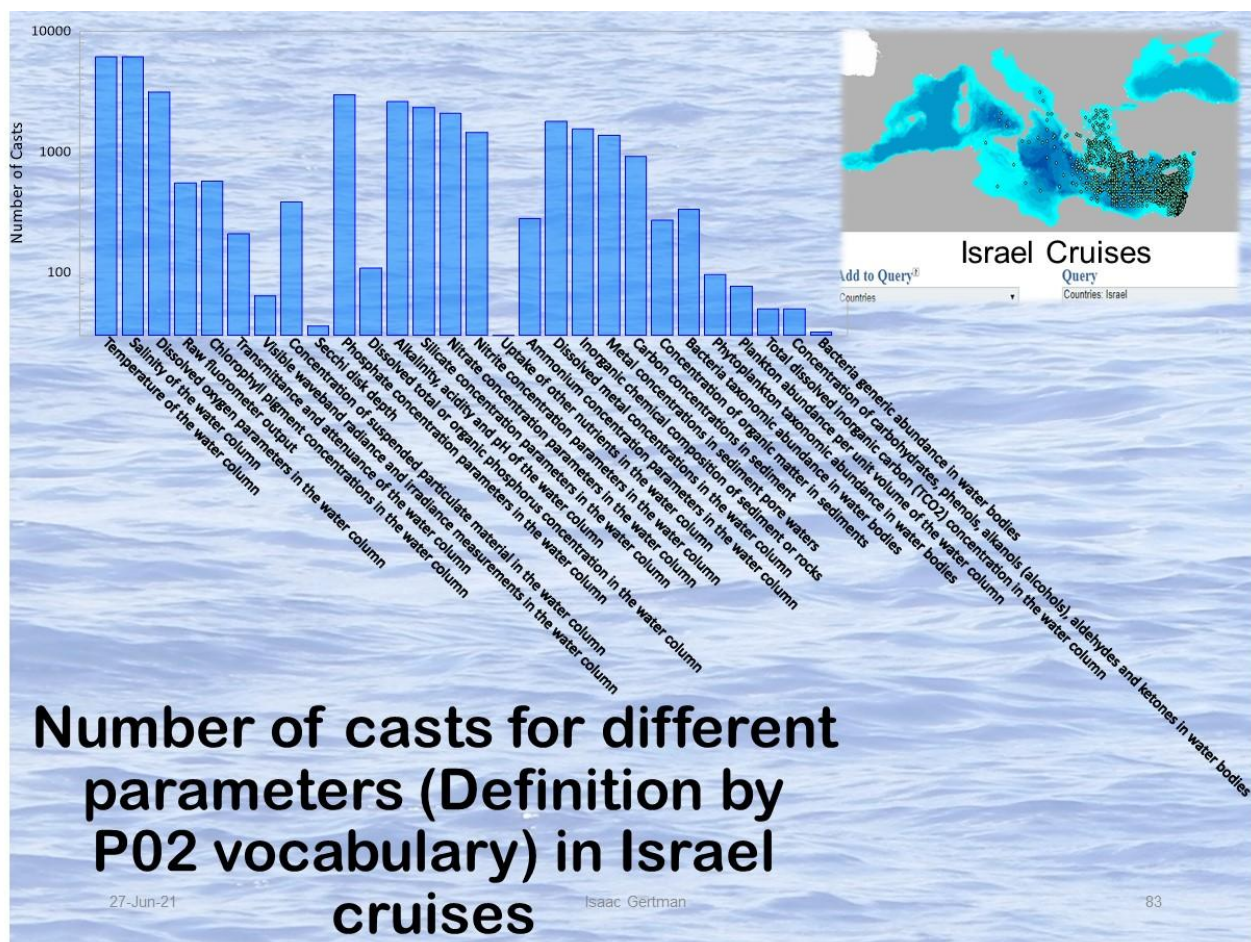
מאגרי מידע אלה יתווספו למאגד הכללי עליו אנו עמלים ויהיה פתוח לציבור בשנת 2026. כמו כן, נמשך עדכון מאגר המאקרו-אצות

<https://www.seaweedherbarium.com>.

## ממצאים בנוגע למאגר המידע האוקיינוגרפי

מרכז המידע הימי הלאומי ISRAMAR 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 (איור 5.1 לדוגמא).

מאז ינואר 2020 הועברו כ-52 סדרות נתונים היסטוריים (גלים, זרמים, מפלס ים, טמפרטורה, מליחות) למחקרים אקדמיים (אוני' ת"א; אוני' חיפה; מרכז אקדמי רופין; אוני' בר אילן; אוני' העברית; ומכללת תל חי).



איור 5.1: התפלגות מספר הפרופילים בהפלגות ישראליות בבסיס הנתונים של ישראל לפי פרמטרים נמדדים.

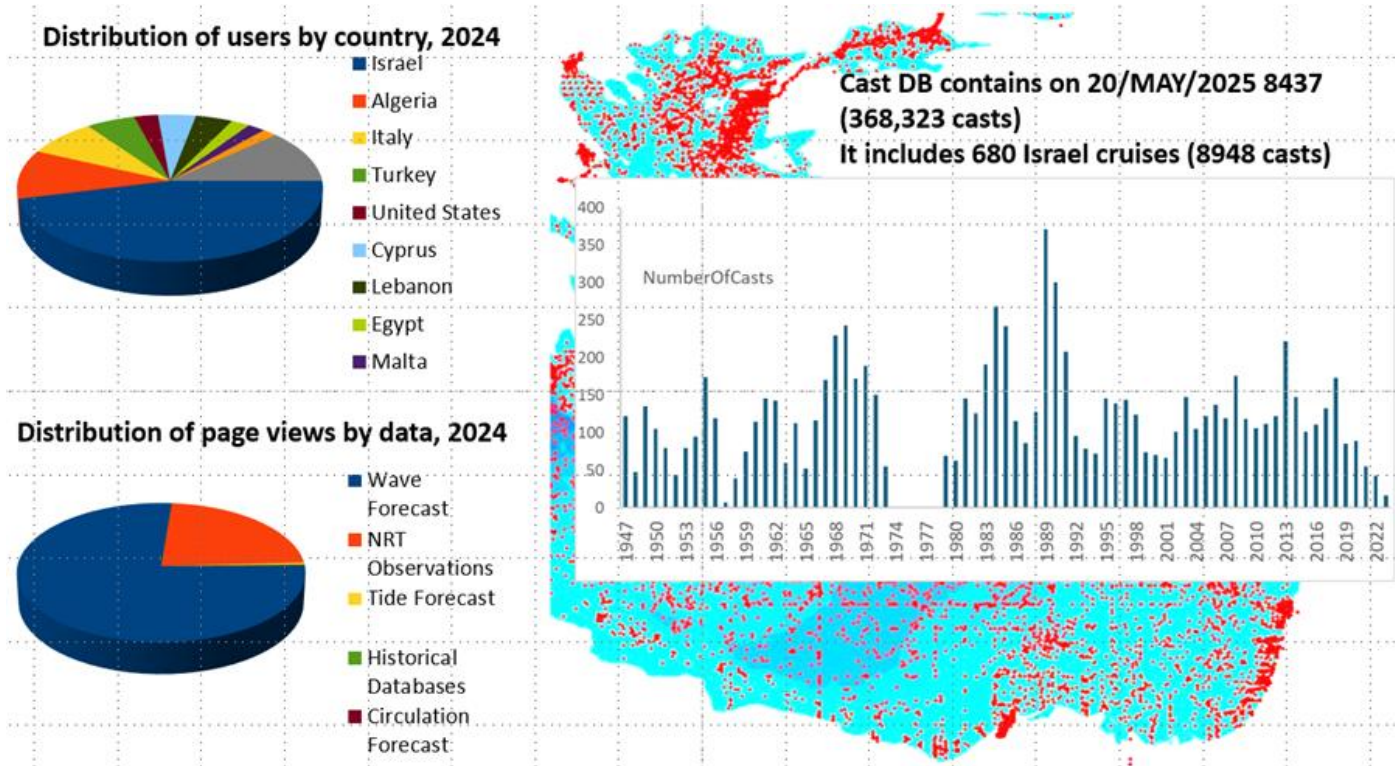
פעילות מרכז המידע במהלך 2024 כוללת:

עדכון מנגנון קליטת הנתונים מתחנות אוטומטיות. השינויים כללו מעבר לפרוטוקול תקשורת SFTP וסגירת שרת FTP באתר. כמו כן, החל תהליך כתיבה מחדש של מנגנון קליטת הנתונים לבסיס הנתונים של סדרות זמן. המשך קליטה אוטומטית של נתונים מתחנת החוף בחדרה לבסיס הנתונים של סדרות הזמן. עקב בעיות תשתית, נתונים מתחנת אשקלון הועברו ידנית כל חודשיים ללא תקשורת בזמן אמת. במקביל החלה קליטה אוטומטית של נתונים משתי תחנות באזור שקמונה: תחנה מטאורולוגית על גג המכון הלאומי לאוקיינוגרפיה, ותחנה ימית על מצוף בעומק מים של 27 מ'. התחנה הימית כוללת מד זרם אקוסטי, CTD סמוך לקרקעית ומדי טמפרטורה ב-7 עומקים קבועים.

נכתבה תוכנה לקליטת נתונים הידרוגרפיים מאסדת תמר. נתונים מהאסדה מועברים אוטומטית על בסיס יומי למרכז המידע. על מנת לקלוט את הנתונים לבסיס של סדרות זמן יש צורך לבצע שינויים בבסיס הנתונים כדי להסדיר את הרשאות הגישה.

המשך השתלבות בפרוטוקול להעברת נתונים במסגרת הרשת האירופאית למידע אוקיאנוגרפי - SeaDataNet.

עקב שגיאה בהתקנת מנגנון איסוף הנתונים החדש של Google Analytics באתר ישראל, סטטיסטיקת הנתונים על שימוש באתר מרכז המידע עבדה רק מספטמבר 2024. מתקופה זאת ועד סוף השנה האתר זכה לכ-285 אלף ביקורים שהם כ-2.44 אלף ביקורים ביום בממוצע לעומת כ-2.46 אלף ביקורים ביום ב-2023 (איור 5.2).



איור 5.2: מימין, התפלגות מספר הפרופילים בבסיס הנתונים של ישראלר לפי שנים. משמאל, סטטיסטיקה של שימוש באתר ישראלר לפי הנתונים שנאספו בשנת 2024: למעלה התפלגות המבקרים לפי מדינות. למטה התפלגות לפי דפי האינטרנט.

מטרת המאגר הוא לאגד את כל נתוני הדיגום הביו-גאוגרפי שנעשו במים של ישראל, עבר, הווה ועתיד כדי לספק לחוקרים, לרוגלטורים וכל המעוניין נתוני דיגום של ביוטה בטווחי זמן של עשרות שנים. המאגר בנוי על פלטפורמה של מערכת מידע גאוגרפית (ממ"ג, GIS) ולכן נתוני הדיגום בנויים בשלוש שכבות: דיגום נקודתי, דיגום לאורך מסלול קווי ודיגום שנעשה בפוליון מוגדר. המאגר בנוי מרשומות כאשר כל רשומה היא שורה בטבלה, מכילה שם של טקסון ובערך 50 נתונים נלווים המתארים את דיגומו והטיפול בו. הם מתחלקים לנתונים טקסונומיים, נתונים של כימות הדיגום, נתוני מיקום גאוגרפי ומיקום מרחבי בים, תאריך הדיגום, מיכשור הדיגום, תהליך עיבוד הדגימה, ונתונים פורמליים כמו: חוקרים אחראיים, שם פרויקט, מסמך מקור, ועוד. ניתן לברור מן הטבלאות המלאות את הנתונים שצריך המשתמש בעזרת כל אחד מן הנתונים הנלווים או שילוב שלהם ולהוריד אותם לטבלה חיצונית. במאגר נמצאות כרגע למעלה מ-200,000 רשומות. בנוסף לברירה הטבלאית מוצגות הרשומות על מפת GIS וניתן לברור דגימות ע"י תיחום פוליון במפה. בנוסף למאגר הנגיש (איור 5.3). אנחנו עושים מאמץ להכניס למאגר כל נתון קיים, נתון עבר או נתון עכשווי, כולל נתוני הניטור הלאומי.

Map area

Full screen map

The screenshot displays the Isramarbio map interface. On the left is a 'Selection pane' with filters for Benthic habitat, Phylum, Class, Order, Family, Is Species Level, and Scientific Name Accepted. The main map area shows the Mediterranean Sea with numerous data points. At the bottom, a 'Full screen attribute table' is visible, showing columns for ID, Phylum, Class, Order, Family, Is Species Level, AphalID Accepted, Scientific Name Accepted, AphalID In Citation, Scientific Name In Citation, Scientific Name Accepted Image, Common Name, Parameter, and Value. A 'Downloading arrow' points to the table's download icon, and a 'Refresh' button is located at the bottom right of the table area.

ID	Phylum	Class	Order	Family	Is Species Level	AphalID Accepted	Scientific Name Accepted	AphalID In Citation	Scientific Name In Citation	Scientific Name Accepted Image	Common Name	Parameter	Value
1	Cnidaria	Anthozoa	Actinaria	0	0	1360	Actinaria	1360	Actinaria		0	Abundance	2
2	Annelida	Polychaeta	0	0	0	883	Polychaeta	883	Polychaeta		0	Abundance	4
3	Arthropoda	Ostracoda	0	0	0	1078	Ostracoda	1078	Ostracoda		0	Abundance	1
4	Cnidaria	Anthozoa	Actinaria	0	0	1360	Actinaria	1360	Actinaria		0	Abundance	2
5	Annelida	Polychaeta	0	0	0	883	Polychaeta	883	Polychaeta		0	Abundance	9
6	Mollusca	Bivalvia	0	Cuspidariidae	1	139433	Cardiomya costellata	139433	Cardiomya costellata		0	Abundance	1

Downloading arrow

Attribute tables

Refresh

איור 5.3 מאגר המידע הביולוגי.

בנוסף לנתונים הביו-גאוגרפיים, כלומר נתוני הדיגומים הביולוגיים, יש במאגר שכבות המספקות נתוני עזר למשתמש. מאגר שכבות אלו גדל עם הזמן ומכיל כרגע שכבת בתי גידול, שכבת שימושי אדם, שיכתב אבעבועים, ומפת תבליט של הקרקעית. פעילות הכנסת הנתונים, בקרת האיכות שלהם, שכבות נוספות ופיתוח יכולות המאגר היא המשכית כולל 2024.

בשנת 2024 קיבל המאגר מענק מחקר אירופי בסך 60,000 יורו במטרה להנגיש את נתוניו למאגרי המידע האירופיים והעולמיים. העבודה במסגרת המחקר הסתיימה אבל העברת הנתונים נמשכת.