



חקר ימים ואגמים לישראל
ISRAEL OCEANOGRAPHIC &
LIMNOLOGICAL RESEARCH

NIO

KLL

דו"חות חיא"ל IOLR REPORTS

תכנית הניטור הלאומית בים התיכון לשנת 2024
ניטור זיהום ים

דו"ח חיא"ל H/13/2025

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 2024

ניטור זיהום ים

דו"ח חיא"ל H/13/2025

הדוח מתייחס למדדים הקשורים ליעדים אקולוגיים במסגרת אמנת ברצלונה, כלהלן:

EO5 Eutrophication

EO9 Pollution

כתיבת הדוח: יעל סגל, ברק חרות, גיק סילברמן, גדעון טיבור ומיקי שליכטר.

איורים ומפות: ירון גרטנר

עריכת הדוח: יעל סגל

דיגום: גיא סיסמה ונטורה, ירון גרטנר, אביב שכנאי, הגר האוזנר, ארסני מורוב, גיא כהן, צחי יעקבסון, צוות מדקס, צוות בת גלים.

מדידת מתכות כבדות: מיה מרמורי, מריה אבו חדרה ואביב שכנאי

מדידת נוטריאנטים: דני לב, הגר האוזנר, רוזאן ריזיק

צילום שער: יעל סגל

ניטור הנמלים והמעגנות מומן ע"י חיל הים/משרד הביטחון

יולי 2025

שם הדו"ח לצורך ציטוט:

Segal Y., Herut B., Silverman J., Sisma-Vantura G., Gertner Y., Tibor G., Slichter M. (2025). The National Monitoring Program of Israel's Mediterranean waters – Scientific Report on Marine Pollution for 2024, Israel Oceanographic and Limnological Research, IOLR Report H/13/2025.

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

תוכן עניינים

4	פרק 1 - מזהמים בסדימנטים ימיים ובשפכי נחלים
4	Abstract
4	תחנות ושיטות דיגום
6	ממצאים עיקריים
17	פרק 2 - מתכות ומזהמים אורגניים בנמלים ובמעגנות
17	פתח דבר
17	Abstract
17	איכות מי הים בנמלים ובמעגנות
18	איכות הסדימנטים בנמלים ובמעגנות
23	פרק 3 - ניטור כימי של מזהמים בבעלי חיים ימיים
23	Abstract
23	תחנות ושיטות דיגום
23	ממצאים עיקריים
32	המלצות
33	פרק 4 - ניטור כימי של משקעים אטמוספיריים
33	פתח דבר
33	Abstract
33	ממצאים עיקריים
37	פרק 5 - נוטריינטים וכלורופיל בנחלי החוף ובמדף הרדוד
37	Abstract
37	תחנות ושיטות דיגום
37	ממצאים עבור נוטריאנטים בנחלי החוף
40	ממצאים עבור נוטריאנטים לאורך החוף
42	ממצאים עיקריים - בניטור מלווינים (SISCAL)

פרק 1 - מזהמים בסדימנטים ימיים ובשפכי נחלים

ד"ר יעל סגל rael_segal@ocean.org.il, ד"ר ג'ק סילברמן jacobs1@ocean.org.il

Abstract

This study examines heavy metal concentrations in sediment samples collected from coastal stations, the Haifa Bay area, and coastal rivers from the 1980s through 2024. Measurements were conducted by the Marine Chemistry Department in IOLR Haifa under ISO 17025 accreditation.

Findings reveal that mercury contamination in sediments is influenced by historical pollution sources (the Electrochemical Industries in Akko) and the Kishon River estuary. Although mercury levels have significantly declined over time, they still represent moderate pollution levels according to NOAA guidelines.

Cadmium concentrations initially decreased but have risen again in recent years, warranting further investigation.

Organic matter near Haifa Port has increased in recent years, correlating with inflow from the Kishon River.

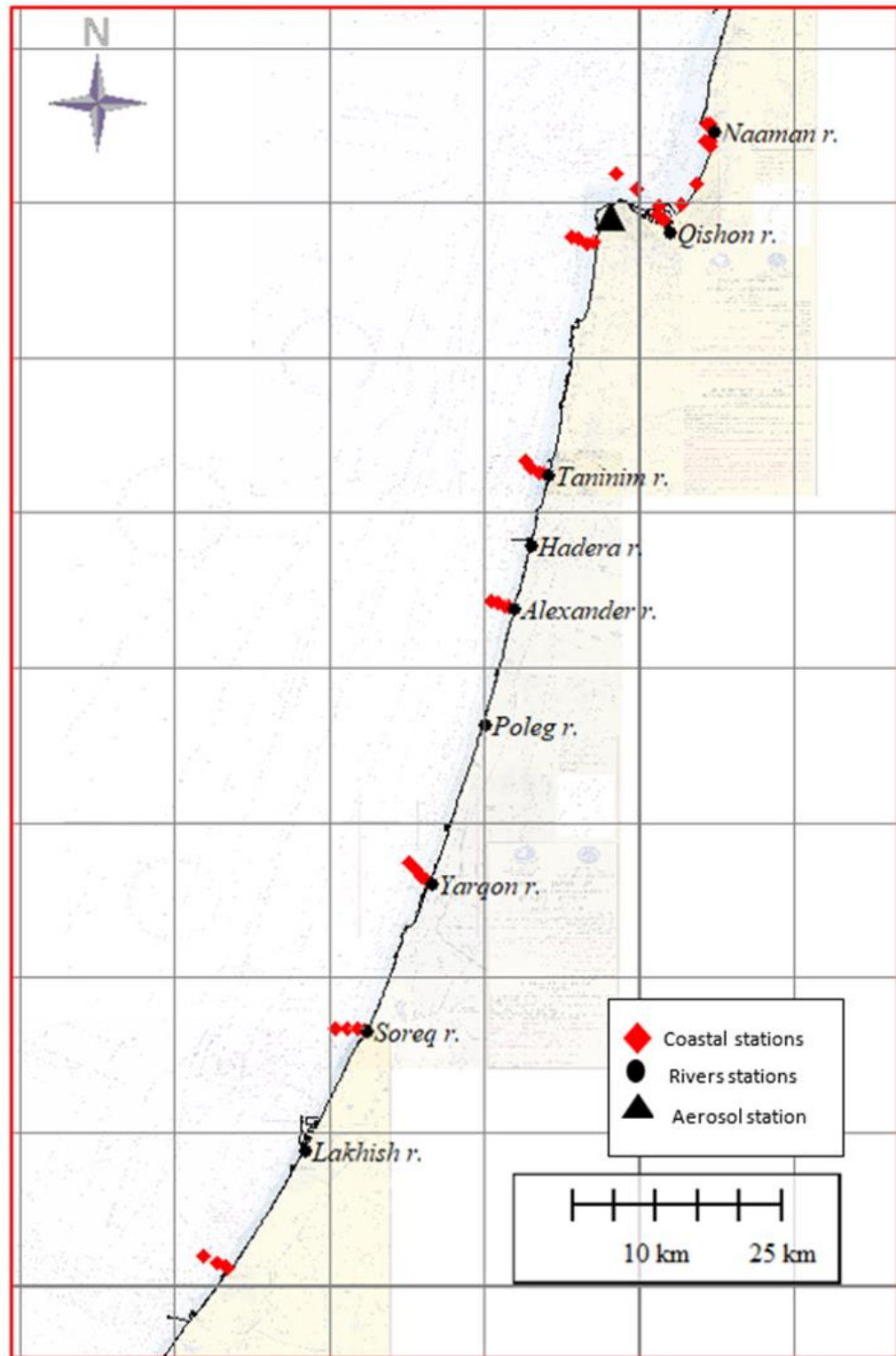
Lead contamination declined following the phaseout of leaded fuels, but regional variations remain, with increases reported in multiple areas.

Nahal Lachish exhibits moderate levels of contamination across various heavy metals.

תחנות ושיטות דיגום

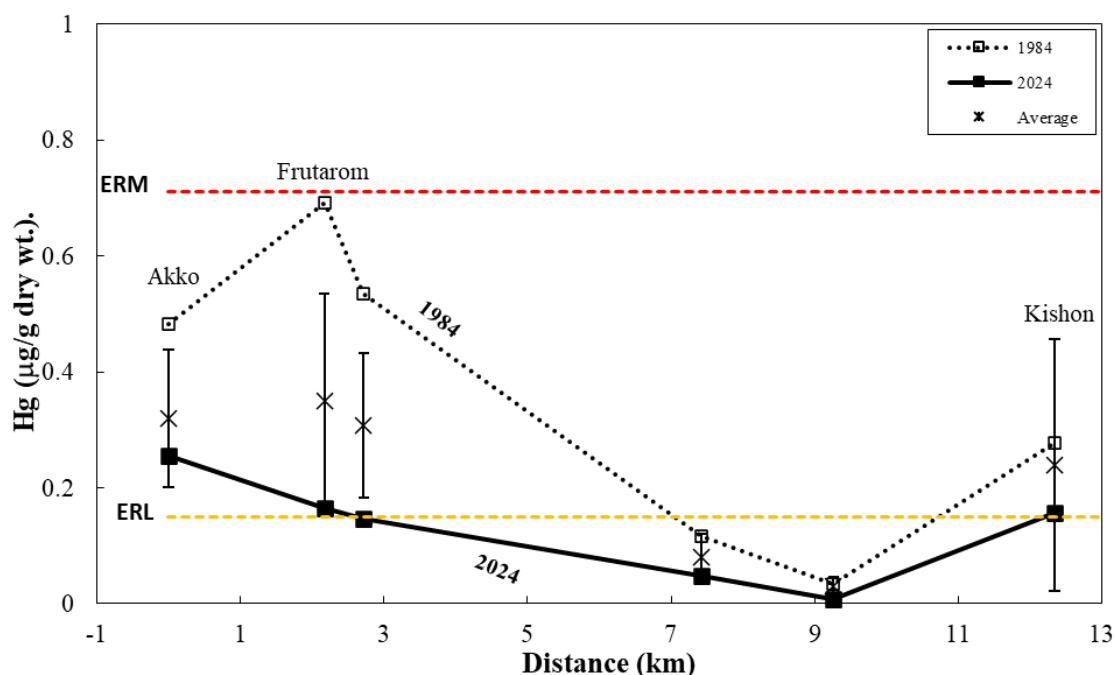
מתכות כבדות נדגמות בסדימנט בנחלי החוף, בתחנות לאורך החוף ובמפרץ חיפה משנות השמונים של המאה הקודמת (איור 1). המדידות בוצעו במחלקת כימיה ימית חיאל חיפה, מעבדה מוסמכת לפי תקן Iso17025. בשנת 2024 בשל המלחמה לא סופקה חומצה פלורית למעבדה ולכן חלק מהמתכות הכבדות לא נמדדו.

תחנות הדיגום בניטור הלאומי 2024



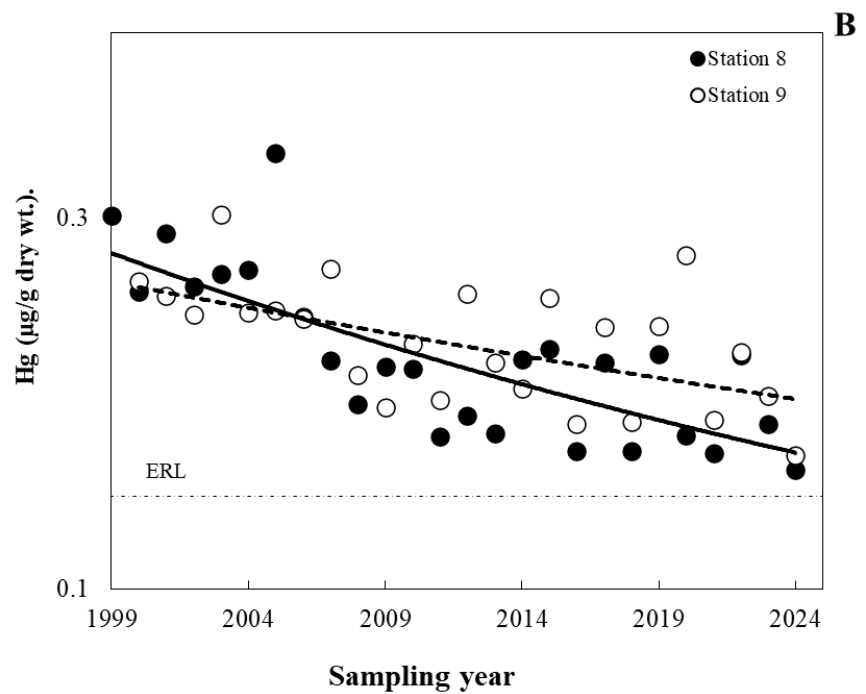
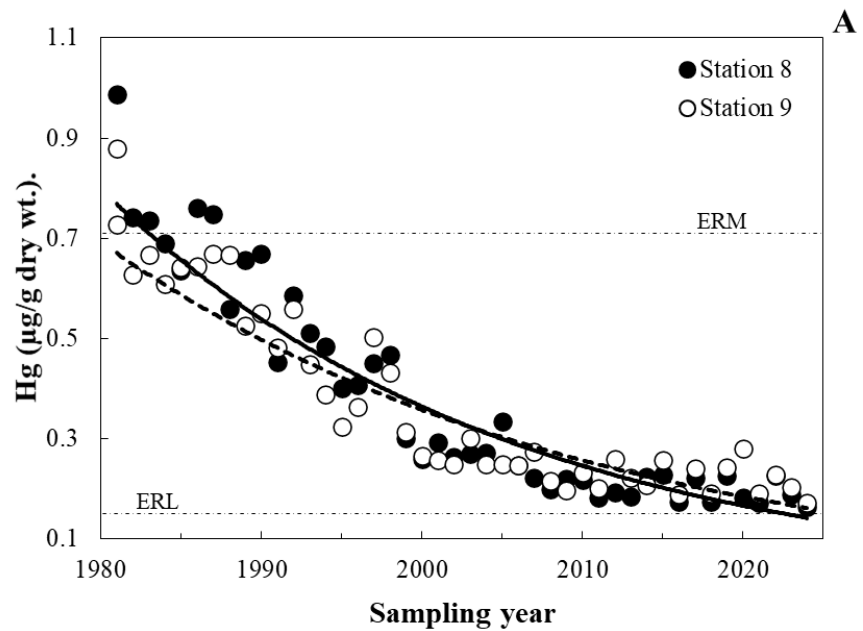
איור 1: מפת דיגום אורך החוף, מפרץ חיפה ונחלי החוף.

בשנות ה-80 ניתן היה להבחין בשני מוקדי זיהום כספית בסדימנט במרץ חיפה: מפעל "התעשיות האלקטרוכימיות" (פרוטרום) בצפון, שנסגר בנובמבר 2004, ובשפך נחל הקישון בדרום (איור 1.1). בפרוטרום ניתן להבחין בהפחתה משמעותית (פי 3) לאורך השנים בעוד בקישון ההפחתה פחות משמעותית, עם תנודתיות גדולה לאורך השנים. בשנת 2024, בדומה לשנים קודמות, שני האתרים מראים דרגת זיהום נמוכה של כספית, לפי הקריטריונים לאיכות סדימנטים של מנהל האוקיינוסים והאטמוספירה של ארה"ב (NOAA) והמדד שאומץ ע"י אמנת ברצלונה. בשנת 2024 נמדדה בעכו רמת זיהום נמוכה אך גבוהה מריכוזי הכספית בתחנות הדרומיות יותר אלו, ככל הנראה בשל הסעת הזיהום מהתעשיות האלקטרוכימיות צפונה והצטברות שם.

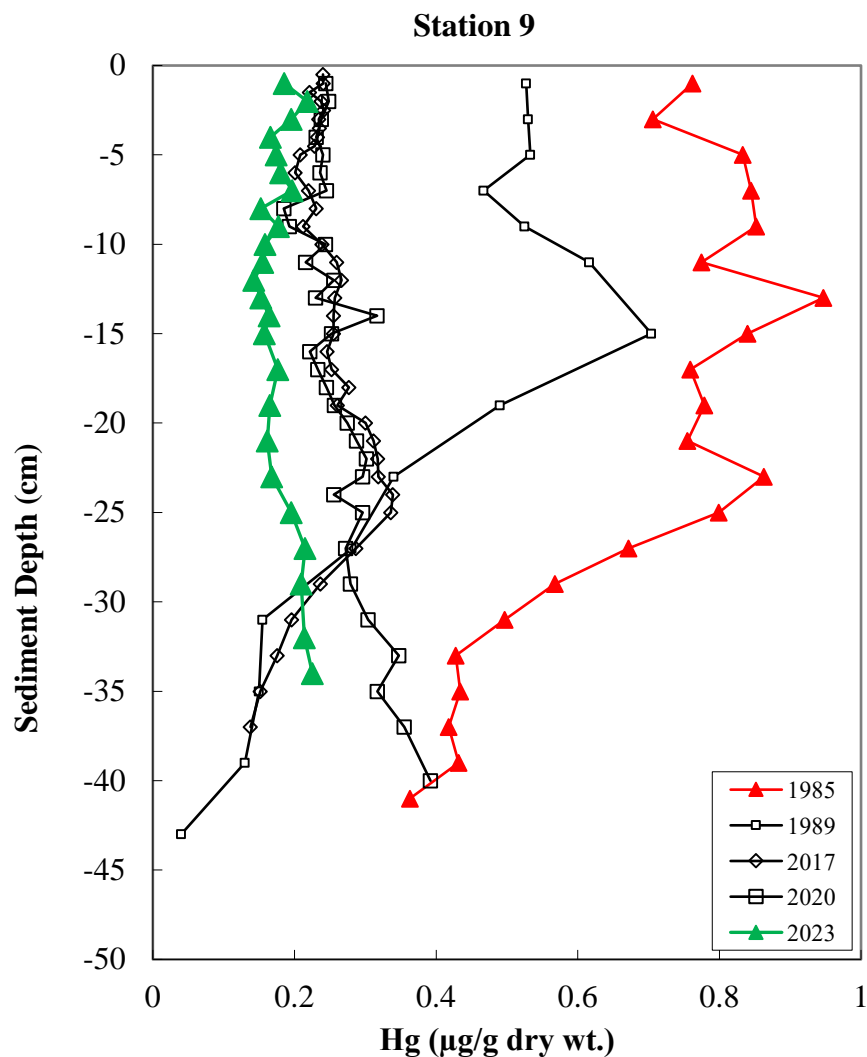


איור 1.1: ריכוזי כספית בסדימנטים במפרץ חיפה בשנים 1984, 2024 ומוצע רב שנתי בשנים 1984-2024. ציר X מייצג את המרחק דרומה מהתחנה הצפונית ביותר (עכו – 0 ק"מ) עד לתחנה הדרומית ביותר (קישון – 12 ק"מ).

ההפחתה בריכוזי הכספית בסדימנט נראית בבירור בתחנות הקרובות לאתר בו הייתה בעבר ההזרמה של שפכי "התעשיות האלקטרוכימיות" (איור 1.2): תחנה מס' 8 (3 מ' עומק מים) ותחנה מס' 9 (6 מ' עומק מים) בשנים 1980 ועד 2010. אולם החל משנת 2010 נראה כי ריכוזי הכספית התייצב בדרגת זיהום נמוכה ולא ממשיך לרדת כשריכוזים גבוהים יותר נצפו בתחנה הרדודה יותר. ההפחתה בריכוזי הכספית הופיעה לאורך כל עומק הסדימנט ולא רק בפני השטח (איור 1.3), והתייצבה בשנת 2023 על ריכוז כספית של $0.17 \pm 0.02 \mu\text{g/g}$, רמת זיהום נמוכה על פי מדדי NOAA.



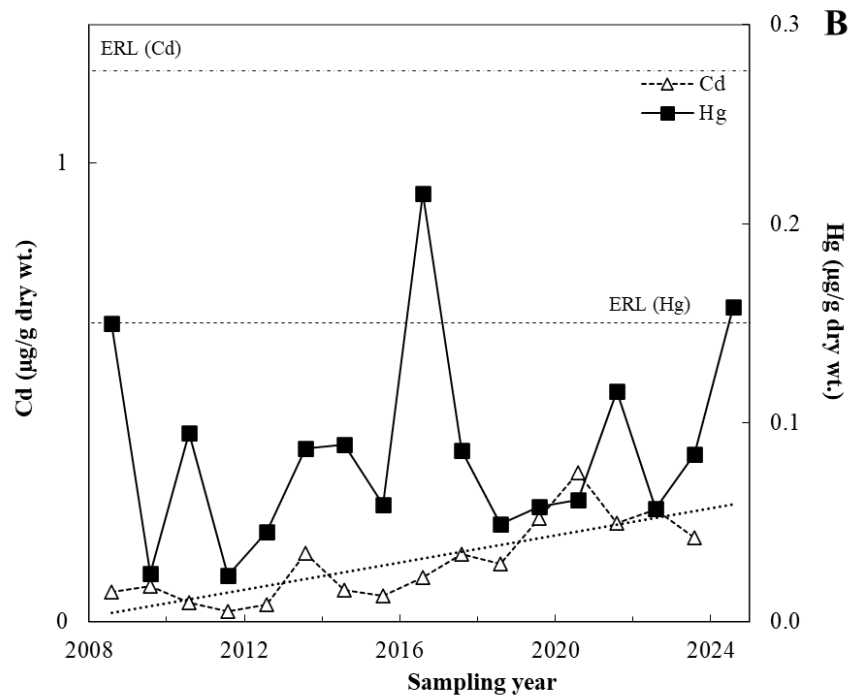
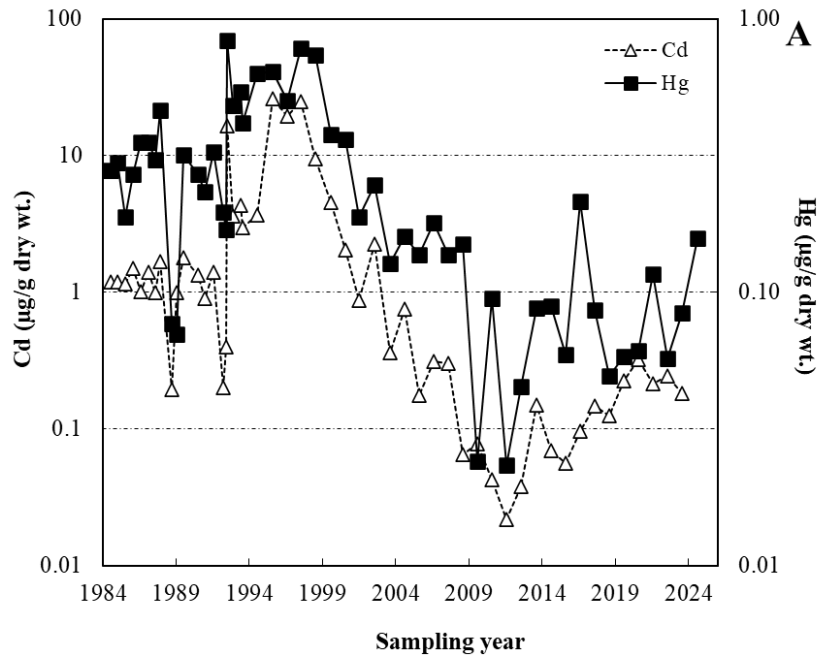
איור 1.2: ריכוזי כספית בסדימנטים במפרץ חיפה (מול "התעשיות האלקטרוכימיות") בתחנות 8 ו-9 (עומק המים בתחנות 3 ו-6 מ' בהתאמה), בשנים 1981-2024 (A) ובשנים 1999-2024 (B). ERM מייצגים ריכוזי כספית נמוכים ובינוניים בהתאמה.



איור 1.3: ריכוזי כספית שנמדדו לעומק הסדימנט בתחנה 9 במפרץ חיפה בשנים 1985-2023.

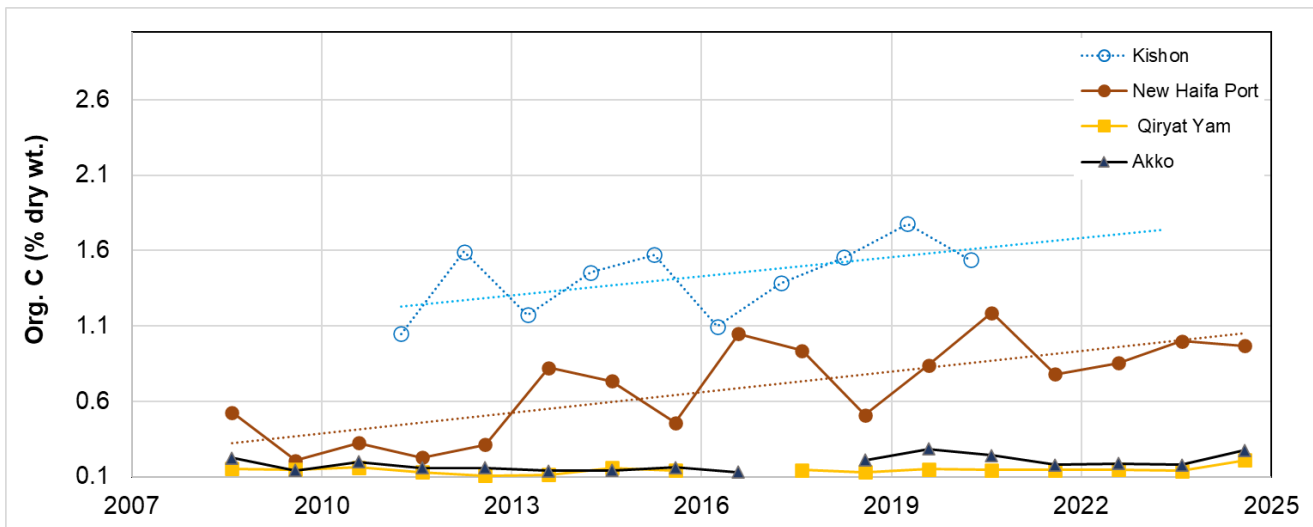
מגמה דומה ניתן לראות גם עבור ריכוז הכספית בסדימנט בתחנת הקישון, בדרום מפרץ חיפה (איור 1.4), עם תנודתיות גבוהה בשנים האחרונות. בשנת 2024 ריכוז הכספית בקישון עלו והגיע לרמת זיהום נמוכה, בדומה לשנת 2016. בשנת 2016-2016 ריכוז הכספית הגבוה נבע ככל הנראה מפעילות החפירה (וחשיפה של שכבות מזוהמות בכספית) במסגרת בניית הנמל החדש.

ריכוזי הקדמיום בסדימנט הראו ירידה בתחנת הקישון משנת 1995 ועד 2011, בדומה לכספית (איור 1.4), הנובעת, ככל הנראה, מההפחתה הדרסטית בהזרמת הקדמיום אל נחל הקישון החל משנת 2000 (רשות נחל הקישון, 2004). עם זאת בשנים האחרונות ניתן להבחין בעליה בריכוז הקדמיום ($R^2=0.64$), הדורשת המשך מעקב וברור מקורות הזיהום.



איור 1.4: ריכוזי קדמיום וכספית בסדימנטים בשפך נחל הקישון (תחנה מס' 27) בשנים 1984-2024 (A) ובשנים 2008-2024 (B). באיור A ציר Y סקלה לוגריתמית.

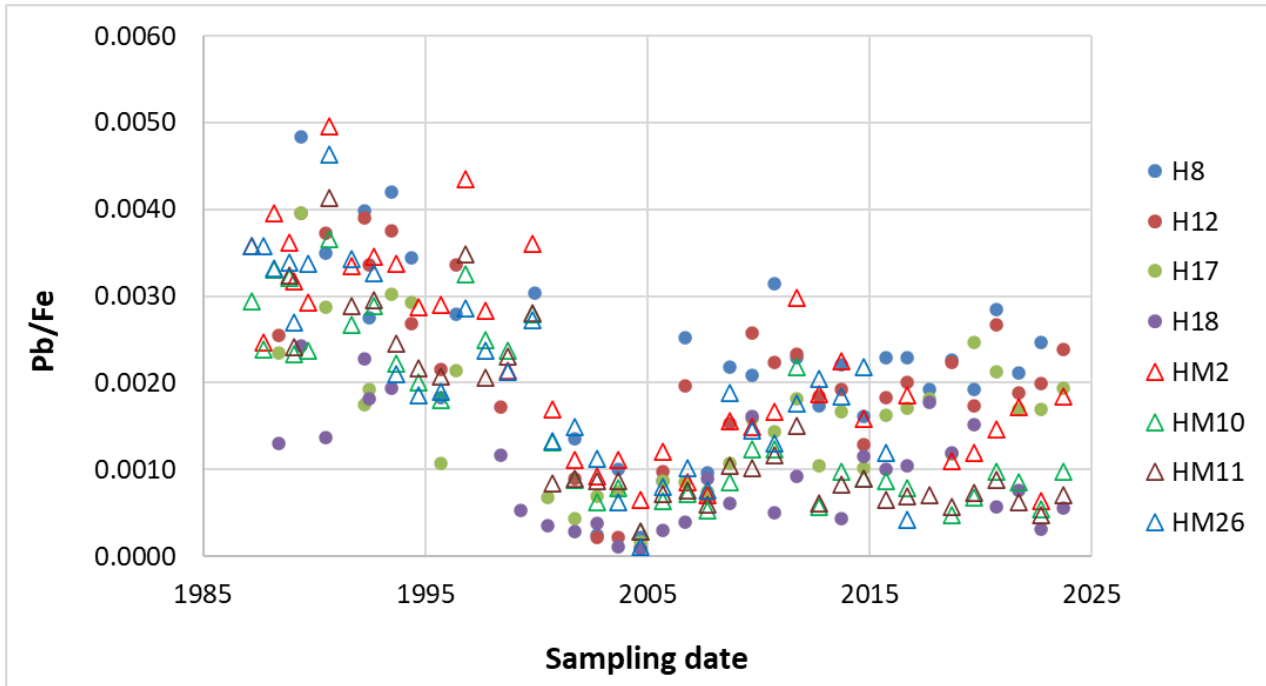
ריכוזי החומר האורגני בקרקעית, בתחנה סמוך לנמל חיפה, גבוה בסדר גודל בהשוואה לתחנות במרכז מפרץ חיפה (קריית ים) ובצפון המפרץ (עכו) (איור 1.5). מקור החומר האורגני הוא בנחל הקישון, המסיע חומר אורגני לים (תחנת קישון נמצאת במעלה הנחל).



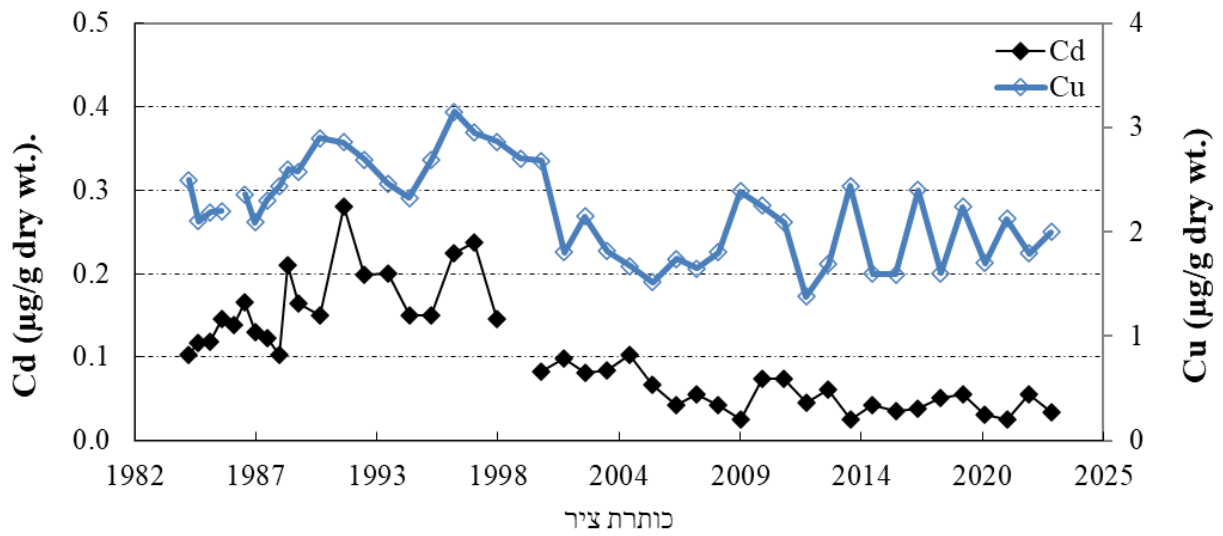
איור 1.5: ריכוזי חומר אורגני בסדימנט פני השטח (TOC) בשפך נחל הקישון (תחנה מס' 27), מול קריית חיים (תחנה 23) ודרומית לעכו (תחנה 1), בשנים 2008 - 2024.

משנת 1996 ועד 2005 פחתו רמות העופרת בסדימנטים הן בתחנות החופיות (עיגולים באיור 1.6) והן בסדימנטים במפרץ חיפה (משולשים באיור 1.6). ככל הנראה כתוצאה מהפחתת פליטות העופרת בעקבות המעבר לשימוש בדלקים דלי עופרת באירופה (סוף שנות השמונים), בישראל (אמצע שנות התשעים) ובמצרים (סוף שנות התשעים). בתחנות הדרומיות של מפרץ חיפה נראה כי ישנה התייצבות משנת 2015, לעומת התחנה הצפונית, סמוך לעכו (HM2, משולשים אדומים), בה ניתן להבחין בעליה וריכוזים גבוהים יותר, ככל הנראה בהשפעת מקורות זיהום מקומיים. לעומת זאת בכל התחנות החופיות נראת עליה משמעותית ביחס לריכוזי 2005. בתחנה מול שפך נחל שורק (H18, עיגולים סגולים), נראת ירידה והתייצבות משנת 2020.

ריכוזי הקדמיום והנחושת בסדימנטים מול קריית ים מראים מגמת ירידה משמעותית משנות התשעים ועד תחילת שנות האלפיים עם התייצבות בעשורים האחרונים (איור 1.7). עבור שתי המתכות הריכוזים מתחת לסף הזיהום הנמוך, לפי הקריטריונים של NOAA, לאורך כל השנים.



איור 1.6 : יחסי עופרת/ברזל בסדימנטים ממפרץ חיפה (משולשים) ולאורך החוף (עיגולים) בשנים 1987 – 2023.



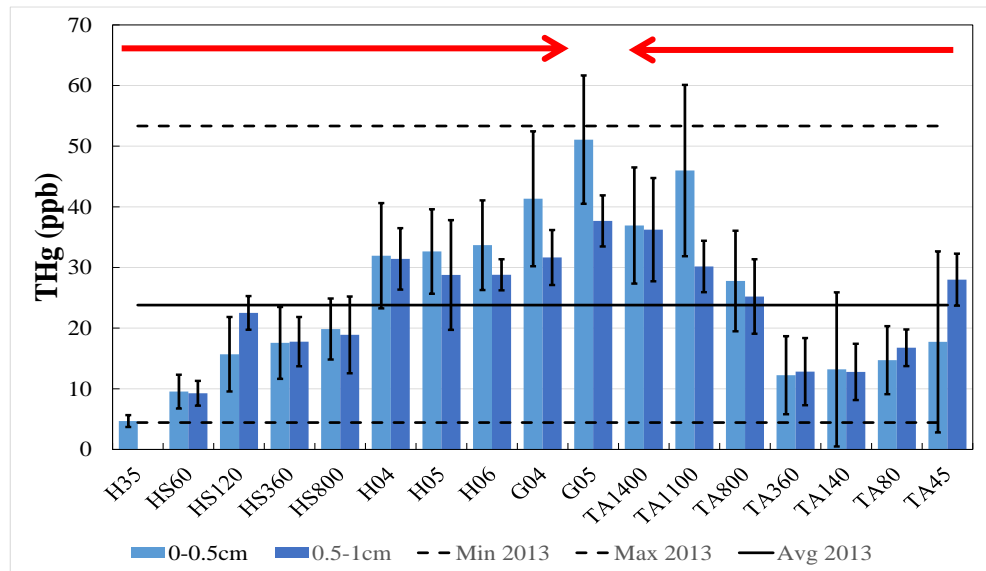
איור 1.7 : ריכוזי נחושת וקדמיום בסדימנטים מול קריית חיים בשנים 1988 – 2023.

בשנת 2024 נחל לכיש הראה רמת זיהום בינונית בקדמיום, עופרת, ניקל וכרום, עפ"י הקריטריונים לאיכות סדימנטים של NOAA (טבלה 1.1). נחל נעמן ממשיד להיות מזוהם בכספית, כנראה זיהום שאריתי מהתקופה בה פעלו "התעשיות האלקטרוכימיות" הסמוכות לשפכו. זיהום בינוני של ניקל נמצא בנחלי המרכז והדרום. בשנת 2024, בדומה לשנת 2023, לא נמצאה דרגת זיהום גבוהה בסדימנטים בנחלים, לפי הקריטריונים של NOAA.

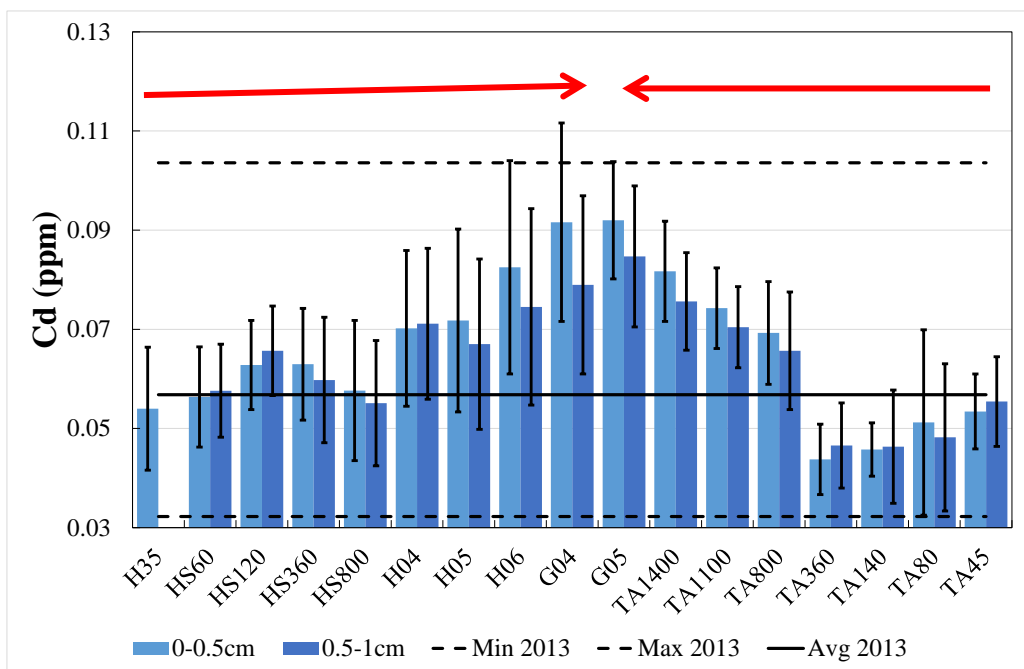
טבלה 1.1: מצב הסדימנטים במורד נחלי החוף, בהתאם לקריטריונים לאיכות סדימנטים של NOAA בשנת 2024.

Cr (µg/g)	Ni (µg/g)	Pb (µg/g)	Zn (µg/g)	Cu (µg/g)	Cd (µg/g)	Hg (µg/g)	קריטריון ≥ERM
לכיש (53)	תנינים (22) חדרה (22) שורק (27) לכיש (26)	לכיש (53)		לכיש (35)	לכיש (233)	נעמן (0.27)	ERL - ERM

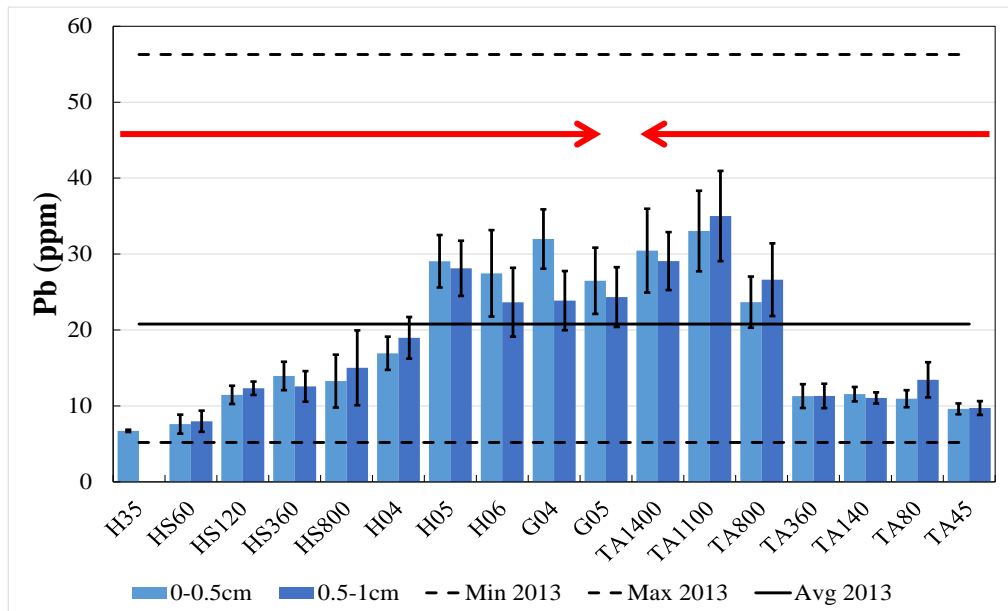
ריכוזי כספית (ממוצעים וסטיות תקן) (איור 1.8), קדמיום (איור 1.9) ועופרת (איור 1.10) בשכבת השטח (0.5-0 ס"מ עליונים) ובשכבה 1-0.5 ס"מ מתחתיה, של קרקעית הים בתחנות הדיגום של הניטור הלאומי בים העמוק (2017-2023) מדגימות תבנית התנהגות של עליה משמעותית בריכוז לכיוון הים העמוק, המעידה על כך, שמקור דומיננטי של מתכות אלה הינו אטמוספרי. בהשוואת הריכוזים בין השכבות, ניתן לראות הבדלים משמעותיים של כספית, עופרת וקדמיום בתחנות המייצגות עומקי מים מעל 1700 מטר (H06, G04, G05) (גדולים מסטיות התקן). ניתן לפרש הבדלים אלה כהעשרה אנתרופוגנית, בעיקר ממקור אטמוספרי, הולכת וגוברת מאז תחילת המהפכה התעשייתית. תבנית זו והשונוות בריכוזים משמשים כערכי ייחוס להערכת מידת ההעשרה של מתכות אלה כתוצאה מפעילות אנתרופוגנית מקומית (הטלת חומרי חפירה מהנמלים והמעגנות; הטלת עפר פחם בעבר; קידוחים בים העמוק ועוד). דיגום סדימנט בים העמוק מבוצע אחת לשלש שנים ויתקיים שוב בשנת 2026.



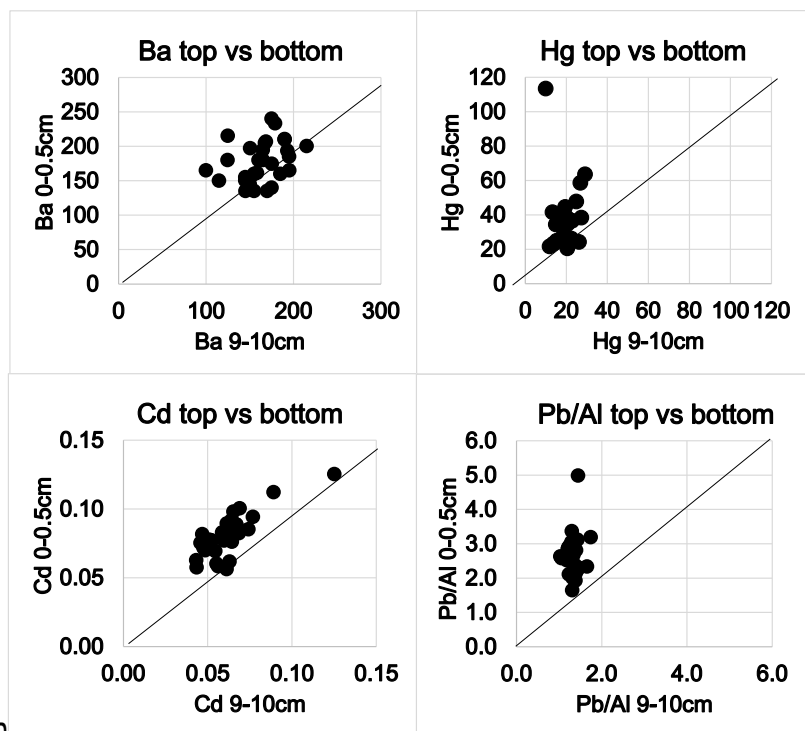
איור 1.8: ממוצעים וסטיות התקן של ריכוזי הכספית הכללית שנמדדו במהלך הניטור הלאומי 2017-2023 בתחנות הדיגום לאורך חתך חיפה (HS) וחתך מול תל אביב (TA). הריכוזים נמדדו בשכבת השטח 0-0.5 ו-0.5-1 ס"מ של הקרקעית שנדגמה. החיצים מייצגים את הכיוון מהתחנה הרדודה ביותר לתחנה העמוקה ביותר לאורך החתך (1900 מ' מול חיפה ו-1400 מ' מול ת"א). הקו האופקי הרצוף והקווים המקווקים השחורים מייצגים את הערך הממוצע ואת ערכי הקיצון של ריכוזי הכספית שנמדדו בשכבה 0-1 ס"מ של הקרקעית ב-52 תחנות שנדגמו בכל רחבי המים הכלכליים של מדינת ישראל מעבר לקצה מדף היבשת בסקר הרקע 2013.



איור 1.9: ממוצעים וסטיות התקן של ריכוזי הקדמיום שנמדדו במהלך הניטור הלאומי 2017-2023 בתחנות הדיגום לאורך חתך חיפה (HS) וחתך מול תל אביב (TA). הריכוזים נמדדו בשכבת השטח 0-0.5 ו-0.5-1 ס"מ של הקרקעית שנדגמה. החיצים מייצגים את הכיוון מהתחנה הרדודה ביותר לתחנה העמוקה ביותר לאורך החתך (1900 מ' מול חיפה ו-1400 מ' מול ת"א). הקו האופקי הרצוף והקווים המקווקים השחורים מייצגים את הערך הממוצע ואת ערכי הקיצון של ריכוזי הקדמיום שנמדדו בשכבה 0-1 ס"מ של הקרקעית ב-52 תחנות שנדגמו בכל רחבי המים הכלכליים של מדינת ישראל מעבר לקצה מדף היבשת בסקר הרקע 2013.



איור 1.10: ממוצעים וסטיות התקן של ריכוזי העופרת שנמדדו במהלך הניטור הלאומי 2017-2023 בתחנות הדיגום לאורך חתך חיפה (רקע ירוק) וחתך מול תל אביב (רקע אדום). הריכוזים נמדדו בשכבת השטח 0-0.5 ו-0.5-1 ס"מ של הקרקעית שנדגמה. החיצים מייצגים את הכיוון מהתחנה הרדודה ביותר לתחנה העמוקה ביותר לאורך החתך (1900 מ' מול חיפה ו-1400 מ' מול ת"א). הקו האופקי הרצוף והקווים המקווקים השחורים מייצגים את הערך הממוצע ואת ערכי הקיצון של ריכוזי העופרת שנמדדו בשכבה 0-1 ס"מ של הקרקעית ב-52 תחנות שנדגמו בכל רחבי המים הכלכליים של מדינת ישראל מעבר לקצה מדף היבשת בסקר הרקע 2013.

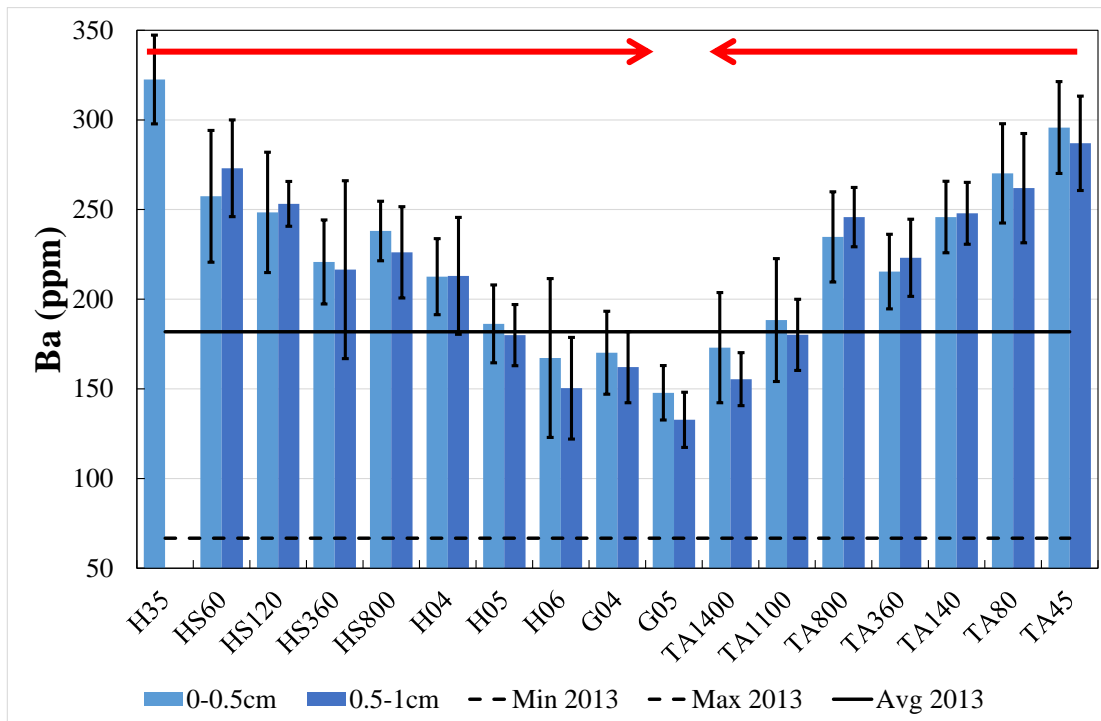


ריכוזי הכספית, העופרת והקדמיום

בשכבת פני הקרקעית (0-0.5 ס"מ) בעומקי מים מעל 1150 מטר (תחנות, H05; H06; G05; TA1100; TA1400, בשנים 2019-2023) מועשרים גם ביחס לשכבת סדימנט עמוקה יותר (9-10 ס"מ) המייצגת את התנאים טרם המהפכה התעשייתית (איור 1.11).

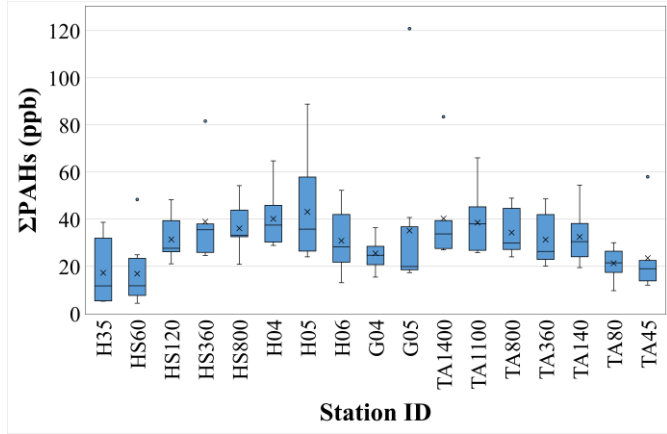
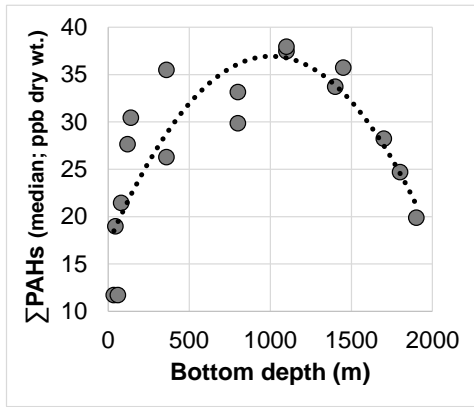
איור 1.11: יחסי הגומלין בין ריכוזי כספית, קדמיום, עופרת (כ- Pb/Al_2O_3) ובריום בין שכבת הסדימנט העליונה ביותר (0-0.5 ס"מ) לבין שכבה עמוקה יותר (9-10 ס"מ), המייצגת התנאים טרם המהפכה התעשייתית) בתחנות הים העמוק בין 1170 ל-1900 מטר עומק מים (תחנות H06, G04, G05, TA1100 ו-TA1400) בשנים 2019-2023.

באיור 1.12 מוצגים ריכוזי הבריום בשכבת השטח (0-0.5 ס"מ עליונים) ובשכבה 0.5-1 ס"מ מתחתיה, של קרקעית הים בתחנות הדיגום של הניטור הלאומי בים העמוק (2017-2023). מאיור זה ואיור 1.10 ניתן לראות שבשכבה העליונה ביותר יש ריכוזים גבוהים מאלה שבשכבות העמוקות יותר בתחנות העמוקות ביותר (H06, H04, G05, G04, TA1100 ו-TA1400), ולפיכך ניתן לקבוע שאכן יש העשרה. לא ניתן להוציא מכלל אפשרות שהעשרה זו נובעת מהתפשטות של בוץ קידוח (הכולל בריט – בריום סולפאט) במרחב הים העמוק מאתרי קידוח סמוכים.

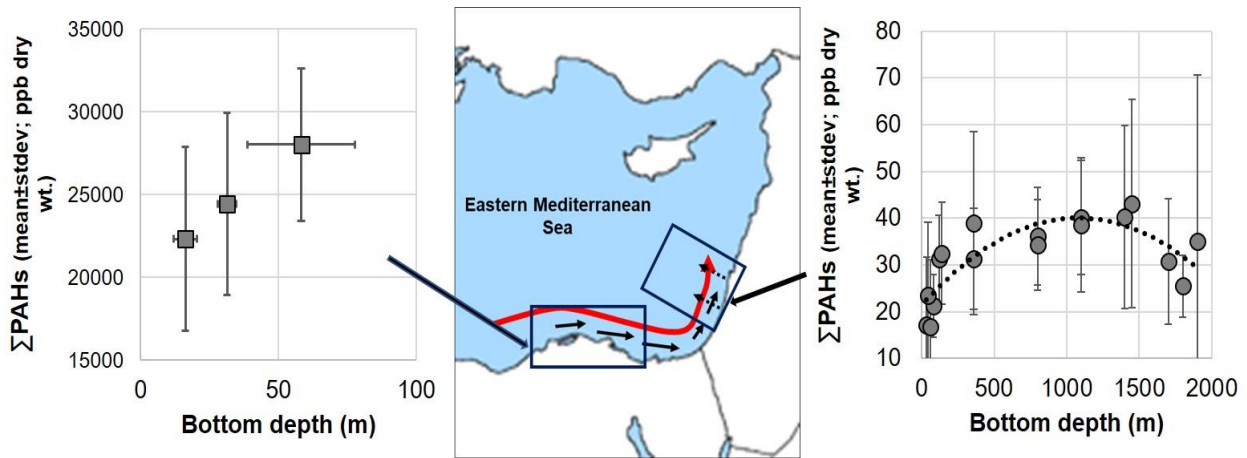


איור 1.12: ממוצעים וסטיות התקן של ריכוזי הבריום שנמדדו במהלך הניטור הלאומי 2017-2023 בתחנות הדיגום לאורך חתך חיפה (רקע ירוק) וחתך מול תל אביב (רקע אדום). הריכוזים נמדדו בשכבת השטח 0-0.5 ו-0.5-1 ס"מ של הקרקעית שנדגמה. החיצים מייצגים את הכיוון מהתחנה הרדודה ביותר לתחנה העמוקה ביותר לאורך החתך (1900 מ' מול חיפה ו-1400 מ' מול ת"א). הקו האופקי הרצוף והקווים המקווקים השחורים מייצגים את הערך הממוצע ואת ערכי הקיצון (מחוץ לגרף, 532 ppm) של ריכוזי הבריום שנמדדו בשכבה 0-1 ס"מ של הקרקעית ב-52 תחנות שנדגמו בכל רחבי המים הכלכליים של מדינת ישראל מעבר לקצה מדף היבשת בסקר הרקע 2013.

באיור 1.13 מוצגים חומרים פוליציקלים ארומטיים (PAHs) בשכבת פני השטח של הסדימנט בשנים 2019 – 2023. מוצגת ההתפלגות באמצעות דיאגרמת קופסא והקשר בין הריכוז החציוני לבין עומק הקרקעית. ניתן לראות שנצפית העשרה בריכוזי ה-PAHs באזור מדרון היבשת והתחלת הבתיאל (בין 400 ל-1500 מטר עומק קרקעית). העשרה זו נובעת ככל הנראה משילוב של תרומה ממקורות אטמוספיריים ויבשתיים ותהליכי הסעה של חומר אורגני באמצעות משטר הזרמים באזור (איור 1.14). לאחרונה התפרסמו נתונים על ריכוזי PAHs בסדימנטים במדף היבשת של מצרים, המייצגים עומקי קרקעית בין 10 ל-90 מטר ומרחק של עד 44 ק"מ מהחוף (El-Maradny et al., 2023). אלה נמצאו גבוהים במעל 2 סידרי גודל מהריכוזים שנמדדו במסגרת הניטור הלאומי מול חופי ישראל. לפיכך, אין לשלול הסעה של חלקיקים מזוהמים ב-PAHs מאזור מדף היבשת המצרי לעבר המרחב הימי של ישראל, והצטברותו בעיקר באזור מדרון היבשת והתחלת הבתיאל (איור 1.14).



איור 1.13: התפלגות דיאגרמת קופסא (ימין) וריכוז חציוני (שמאל) של חומרים פוליציקלים ארומטיים (PAHs) בשכבת פני השטח של הסדימנט בשנים 2019 – 2023. הקו המקווקו (ימין) מייצג עקומת פולינום ממעלה שניה ביחסי הגומלין בין הריכוז החציוני לעומק הקרקעית.



איור 1.14: ריכוזים ממוצעים וסטיות התקן של חומרים פוליציקלים ארומטיים (PAHs) בשכבת פני השטח של הסדימנט במרחב הימי של ישראל (ימין) ובמדף היבשת של מצרים (שמאל), מייצג עומקי קרקעית עד עומק 90 מטר במרחק של עד 44 ק"מ מהחוף. המפה במרכז מייצגת את אזורי הדיגום (מרובעים שחורים) ומשטר הזרמים (חיצים בשחור ואדום, Schattner et al., 2015). El-Maradny, A., Radwan, I. M., Amer, M., Fahmy, M. A., Mohamed, L. A., & Ibrahim, M. I. (2023). Spatial distribution, sources and risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in the surficial sediments of the Egyptian Mediterranean coast. *Marine Pollution Bulletin*, 188, 114658.

פרק 2 - מתכות ומזהמים אורגניים בנמלים ובמעגנות

פרופ' ברק חרות barak@ocean.org.il

פתח דבר

פרק זה מציג ממצאים מניטור שבוצע עבור חיל הים/משרד הביטחון בו נבדקו מתכות כבדות ומזהמים אורגניים במים ובסדימנטים בנמלים ובמעגנות לאורך חוף הים התיכון של ישראל.

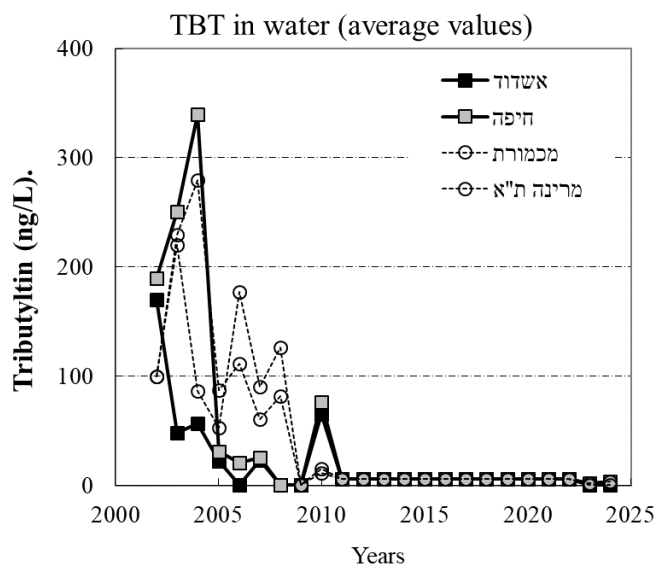
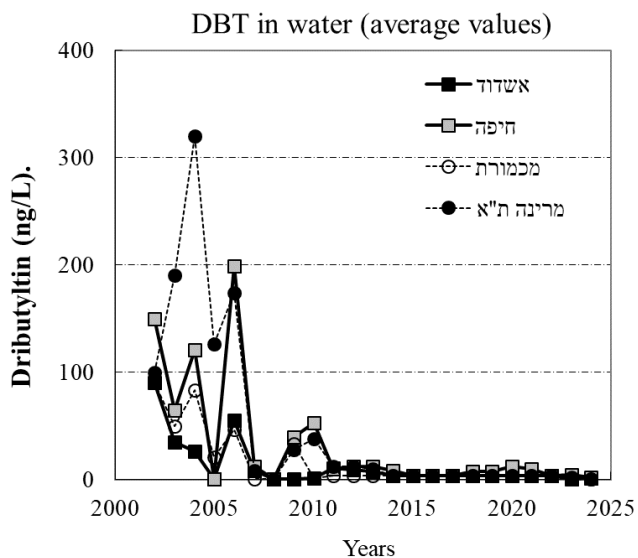
Abstract

This chapter, titled "Metals and Organic Pollutants in Ports and Marinas," presents findings from monitoring conducted for the Israeli Navy and Ministry of Defense on the status and trends of heavy metals and organic pollutants in the water and sediments of ports and marinas along Israel's Mediterranean coastline. For most pollutants, a significant decrease in concentrations has been recorded over the past two decades, particularly for tributyltin in the water phase. In general, the concentrations of heavy metals, polychlorinated biphenyls (PCBs), organotins, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and pesticides were found to be below ecological threshold values.

איכות מי הים בנמלים ובמעגנות

ריכוזי המתכות הכבדות במים (ריכוזים מומסים) היו בד"כ קטנים מסף הגילוי. ריכוזי כל המתכות הכבדות היו קטנים מערכי התקן הסביבתי, מערכי תקן מי השתייה של ישראל (תקנות בריאות העם - איכות התברואה של מי שתייה תשל"ד 1974, נוסח משולב התש"ס 2000) או של הסוכנות להגנת הסביבה של ארה"ב (EPA), ומהתקנים לאיכות מי ים (ריכוזים מומסים בהם לא צפויה פגיעה בלתי קבילה באוכלוסיית החי הימי כתוצאה מחשיפה מתמשכת), המומלצים ע"י המשרד להגנת הסביבה או ע"י ה-EPA. ריכוזי פורמאלדהיד במים נמצאו קטנים מערכי סף הגילוי האנליטי (0.1 mg/L). ריכוזי התרכובות הנדיפות שנמצאו במים היו קטנים מסף הגילוי האנליטי (> 0.05-100 ug/L), וקטנים מערכים בהם צפויה פגיעה בלתי קבילה באוכלוסיית החי הימי. כל ריכוזי המיקרו מזהמים האורגניים הנדיפים למחצה (PAH's) במים נמצאו קטנים מערכים בהם צפויה פגיעה בלתי קבילה באוכלוסיית החי הימי (ערכים מומלצים ע"י מנהל האוקיינוסים והאטמוספירה של ארה"ב - NOAA).

ריכוזי התרכובות האורגניות של בדיל, Tributyltin (TBT) ו/או תוצרי הפירוק שלה Dibutyltin (DBT) ו- Monobutyltin (MBT) נמצאו (לפי סדר יורד) בתחנות: נמל חיפה < מרינה ת"א < מרינה אשקלון < מרינה אשדוד < נמל אשדוד ומעגן עכו (איור 2.1). בתחנות אלה הריכוז דומה או מעט גדול מהתקן לאיכות מי ים (2 ng/L) המומלץ ע"י המשרד להגנת הסביבה, אולם קטן מהתקן לאיכות מי ים של הסוכנות להגנה על הסביבה של ארה"ב (EPA 10 ng/L).



איור 2.1 מגמות השתנות של ריכוזי מזהמים TBT ו DBT במים בשנים 2002 - 2024.

נצפתה מגמת ירידה לערכים נמוכים בשנים 2011-2014 והתייצבות על ערכים קטנים משנת 2014 והילך, כפי שהיינו מצפים כביטוי לפעולות שננקטו ע"י הרשויות להפסקת השימוש בישראל בצבעים לכלי שייט המכילים TBT (איור 2.1). יחד עם זאת הסדימנטים בנמלים עדיין מכילים ריכוזים גדולים יחסית של TBT כמפורט להלן. ריכוזי חומרים מקבוצת ה-PCB's ורוב חומרי ההדברה האורגנוכלוריים במים היו מתחת לסף הגילוי של הבדיקות, למעט לגבי חומר ההדברה Diuron שנמצא במספר מרינות בריכוזים נמוכים (סדר יורד): מרינה אשדוד, מעגן עכו, מעגן מיכאל, מרינה אילת, מרינה הרצליה, נמל אשדוד, מעגן מכמורת ונמל חיפה. החומר 2-Phenylphenol (OPP) נמצא בנמל חיפה והחומר Tiabendazole (TBZ) נמצא במעגן חדרה. החומרים Bifenthrin ו-Flutolanil נמצאו דרומית למרינה הרצליה וככל הנראה קשורים למוצא קולחין הרצליה. לא נמצאו חריגות ביחס לערכי הייחוס הסביבתיים. ריכוזי דיאוקסינים במים היו מתחת לסף הגילוי של הבדיקה ($\sim 1\text{pg/L}$).

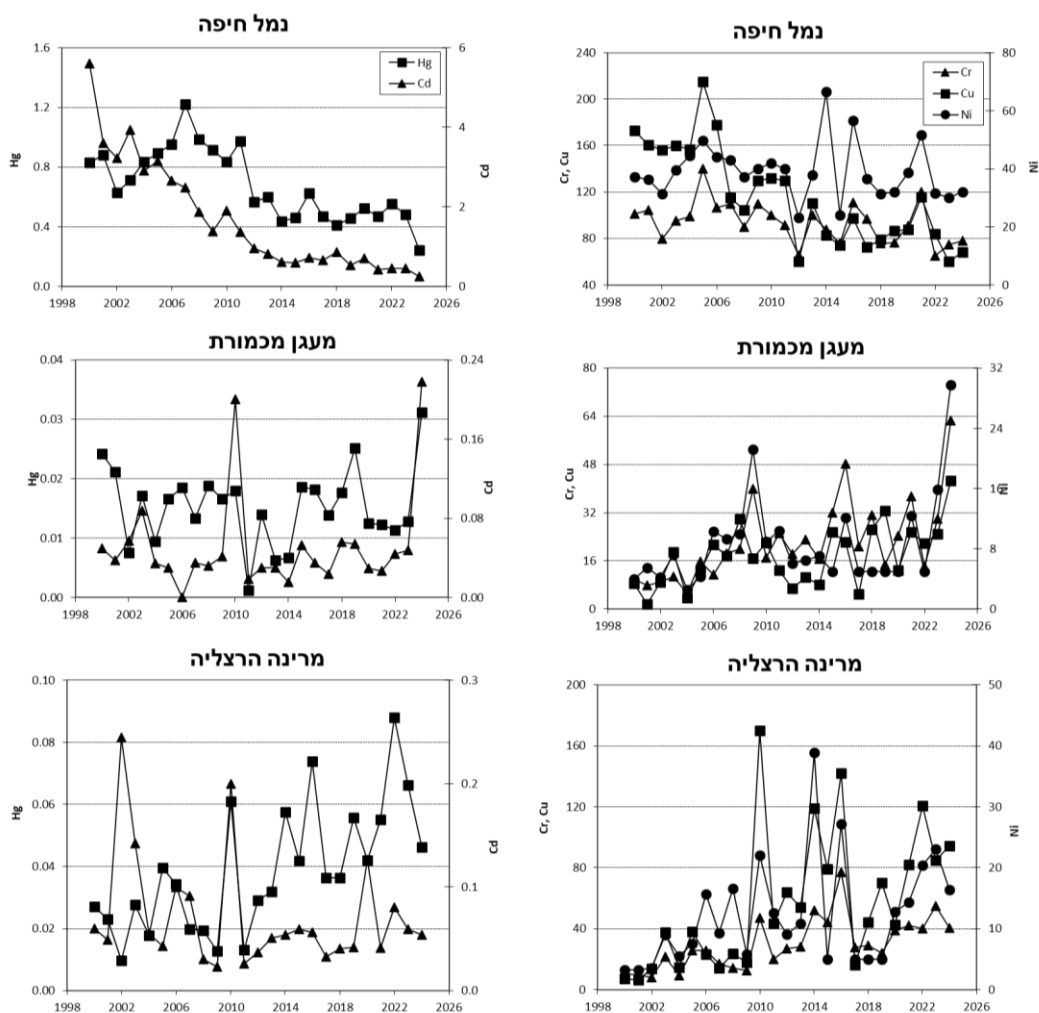
איכות הסדימנטים בנמלים ובמעגנות

רמות הזיהום של הסדימנטים במתכות ובמזהמים אורגניים בנמלים ובמעגנות נבחנו עפ"י הקריטריונים לאיכות סדימנטים של NOAA ומוצגים בטבלה 2.1. בשנת 2024 נמדדה רמת זיהום גבוהה של ארסן בסדימנטים במרינה ת"א ונמל היובל, רמות גבוהות של כסף נמדדו בנמל חיפה, מעגן חדרה ודרומית למרינה הרצליה ורמות זיהום בינוניות של מתכות הכבדות נמצאו בנמלי חיפה ואשדוד, במספר מרינות ומעגן עכו כמפורט בטבלה 2.1.

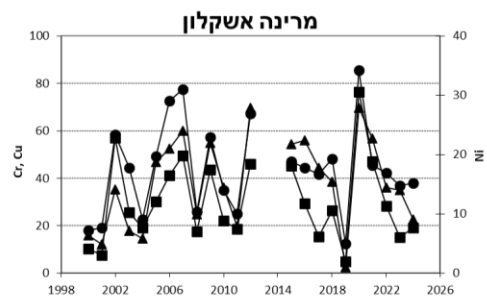
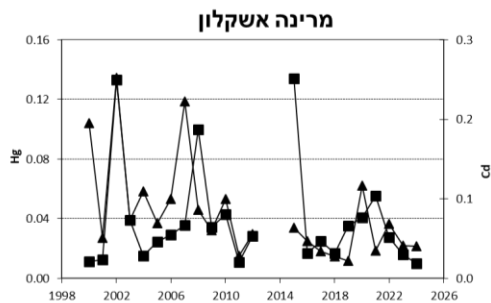
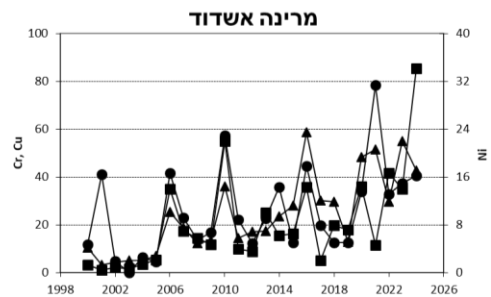
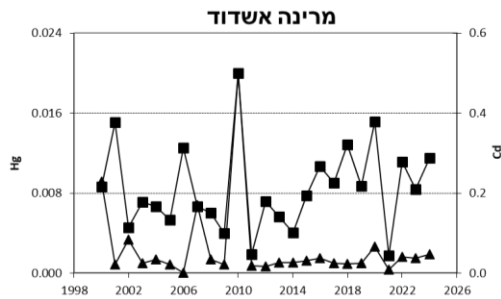
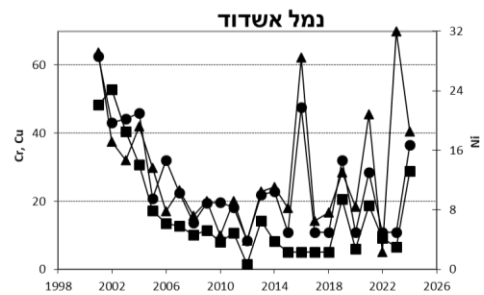
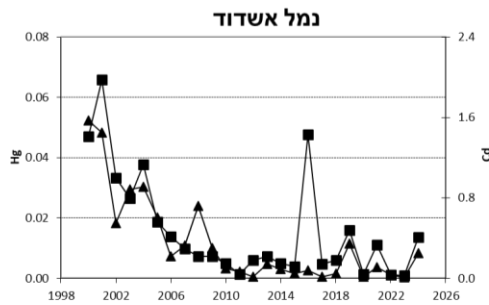
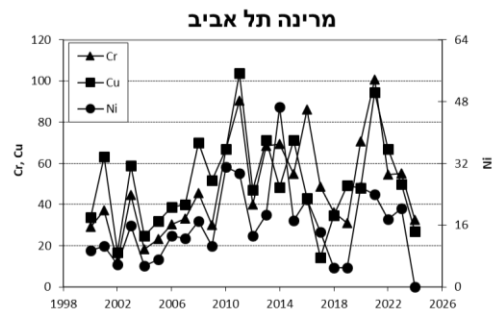
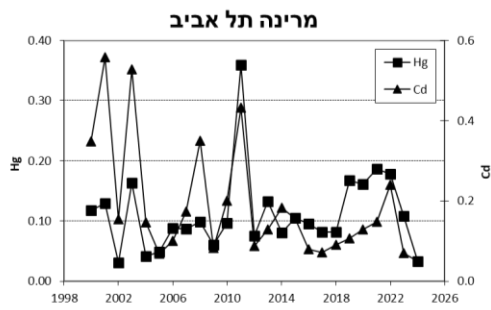
טבלה 2.1 : מצב הסדימנטים בנמלים ובמעגנות ביחס לקריטריונים : של NOAA בשנת 2024.

	Hg	Ag	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn	DDT	PCB`s
>ERM		נמל חיפה, מעגן חדרה, הרצליה דרום	מרינה ת"א, נמל היובל, נחל לכיש								
>ERL <ERM	מעגן עכו, עכו-קציני ים, נמל חיפה				נמל כרמל	מעגן עכו, נמל חיפה, מכמורת, מרינה הרצליה, נמל אשדוד	מעגן עכו, נמל חיפה	נמל חיפה, מכמורת, אשדוד, קצא"א	מעגן עכו, נמל חיפה, נמל אשדוד	מעגן עכו, מעגן מכמורת	נמל חיפה
<ERL	נמל חיפה, עתלית, מעגן מיכאל, מעגן חדרה, מעגן מכמורת, מרינה הרצליה, הרצליה דרום, מרינה ת"א, נמל אשדוד, מול נחל היובל, מול נחל לכיש, מרינה אשדוד, מעגן אשקלון, מוצאים קצא"א, מוצאים רוטנברג	מעגן עכו, עכו-קציני ים, נמל חיפה, עתלית, מעגן מיכאל, מעגן מכמורת, מרינה הרצליה, מרינה ת"א, נמל אשדוד, מול נחל היובל, מול נחל לכיש, מרינה אשדוד, מעגן אשקלון, מוצאים קצא"א, מוצאים רוטנברג	מעגן עכו, עכו-קציני ים, נמל חיפה, עתלית, מעגן מיכאל, מעגן מכמורת, מרינה הרצליה, מרינה דרום, מרינה ת"א, נמל אשדוד, מול נחל היובל, מול נחל לכיש, מרינה אשדוד, מעגן אשקלון, מוצאים קצא"א, מוצאים רוטנברג	מעגן עכו, עכו-קציני ים, נמל חיפה, עתלית, מעגן מיכאל, מעגן מכמורת, מרינה הרצליה, מרינה דרום, מרינה ת"א, נמל אשדוד, מול נחל היובל, מול נחל לכיש, מרינה אשדוד, מעגן אשקלון, מוצאים קצא"א, מוצאים רוטנברג	מעגן עכו, עכו-קציני ים, נמל חיפה, עתלית, מעגן מיכאל, מעגן מכמורת, מרינה הרצליה, מרינה דרום, מרינה ת"א, נמל אשדוד, מול נחל היובל, מול נחל לכיש, מרינה אשדוד, מעגן אשקלון, מוצאים קצא"א, מוצאים רוטנברג	מעגן עכו, עכו-קציני ים, עתלית, מעגן מיכאל, מעגן מכמורת, מרינה הרצליה, מרינה דרום, מרינה ת"א, נמל אשדוד, מול נחל היובל, מול נחל לכיש, מרינה אשדוד, מעגן אשקלון, מוצאים קצא"א, מוצאים רוטנברג	מעגן עכו, עכו-קציני ים, עתלית, מעגן מיכאל, מעגן מכמורת, מרינה הרצליה, מרינה דרום, מרינה ת"א, נמל אשדוד, מול נחל היובל, מול נחל לכיש, מרינה אשדוד, מעגן אשקלון, מוצאים קצא"א, מוצאים רוטנברג	מעגן עכו, עכו-קציני ים, עתלית, מעגן מיכאל, מעגן מכמורת, מרינה הרצליה, מרינה דרום, מרינה ת"א, נמל אשדוד, מול נחל היובל, מול נחל לכיש, מרינה אשדוד, מעגן אשקלון, מוצאים קצא"א, מוצאים רוטנברג	מעגן עכו, עכו-קציני ים, עתלית, מעגן מיכאל, מעגן מכמורת, מרינה הרצליה, מרינה דרום, מרינה ת"א, נמל אשדוד, מול נחל היובל, מול נחל לכיש, מרינה אשדוד, מעגן אשקלון, מוצאים קצא"א, מוצאים רוטנברג	מעגן עכו, עכו-קציני ים, עתלית, מעגן מיכאל, מעגן מכמורת, מרינה הרצליה, מרינה דרום, מרינה ת"א, נמל אשדוד, מול נחל היובל, מול נחל לכיש, מרינה אשדוד, מעגן אשקלון, מוצאים קצא"א, מוצאים רוטנברג	מעגן עכו, עכו-קציני ים, עתלית, מעגן מיכאל, מעגן מכמורת, מרינה הרצליה, מרינה דרום, מרינה ת"א, נמל אשדוד, מול נחל היובל, מול נחל לכיש, מרינה אשדוד, מעגן אשקלון, מוצאים קצא"א, מוצאים רוטנברג

איור 2.2 מציג נתונים רב-שנתיים (בשנים 2000 – 2024) של מתכות כבדות (כספית, קדמיום, ניקל, נחושת וכרום) בסדימנטים בתחנות נבחרות שנדגמו בנמלים ובמעגנות. בנמל חיפה במהלך 2 עשורים ירידה בריכוזי הקדמיום והכספית. בנמל אשדוד מגמת ירידה ברמת הזיהום של כרום, נחושת, ניקל, כספית וקדמיום במהלך שני העשורים האחרונים עם שינויים/עליה מסוימת בשנים מסוימות. במעגנות לאורך החוף אין מגמה ברורה לגבי כספית וקדמיום, למעט ככל הנראה ירידה קטנה בריכוזי הכספית במעגן עכו במהלך 24 השנים האחרונות. בשנת 2024 לא נמצאו שאריות של חומרי הדברה אורגנוכלוריים מעל גבול הגילוי האנליטי, למעט החומרים Diuron, Diflufenican ו-Diphenylamine בעיקר בנמלי חיפה ואשדוד, מעגן עכו וברב המרינות. DDT נמצא בנמל אשדוד ומרינה ת"א. חומר ההדברה Bifenthrin נמצא במעגן עכו, חדרה, מכמורת, מרינות הרצליה ות"א. זיהום משמעותי של TBT ונגזרותיו בסדימנטים (100 ng/g נמצא בתחנות: נמל חיפה <math>< 100 \text{ ng/g}</math> נמל אשדוד <math>< 100 \text{ ng/g}</math> מעגן עכו. ריכוזים יחסית גבוהים נמצאו גם במרינה ת"א, מרינה אשדוד, מעגן מכמורת, מרינה אשקלון. נתונים רב-שנתיים של ריכוזי TBT בסדימנטים בנמלים ובמעגנות מראים מגמת ירידה בנמלים חיפה ואשדוד, אולם ב-2024 עדיין נמדדת רמת זיהום גבוהה (איור 2.3). למרות שבמים ריכוזי ה-TBT היו קטנים, היחס של Tributyltin/Dibutyltin של בסדימנטים בנמלים ובמעגנות רבות מלמד שעדיין קיים זיהום טרי יחסית.



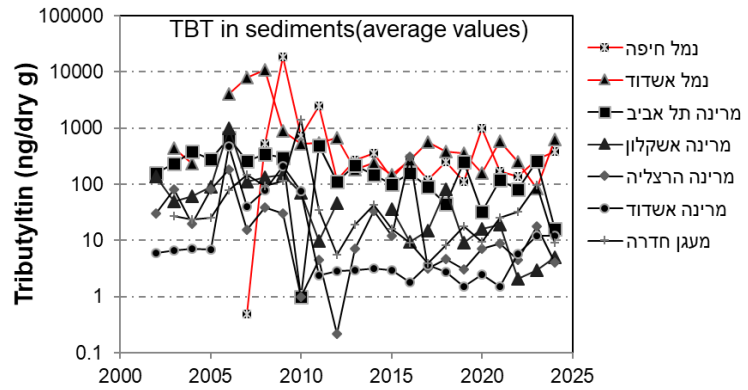
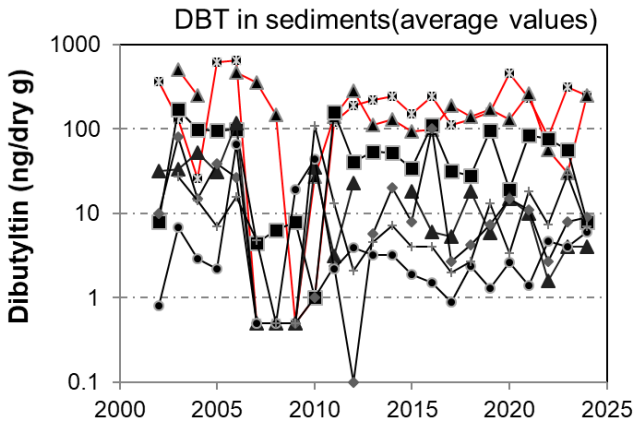
איור 2.2 : מגמות השנתיות של ריכוזי מתכות כבדות בסדימנטים ($\mu\text{g/g dry wt.}$) בנמלים ובמעגנות בשנים 2000 – 2024.



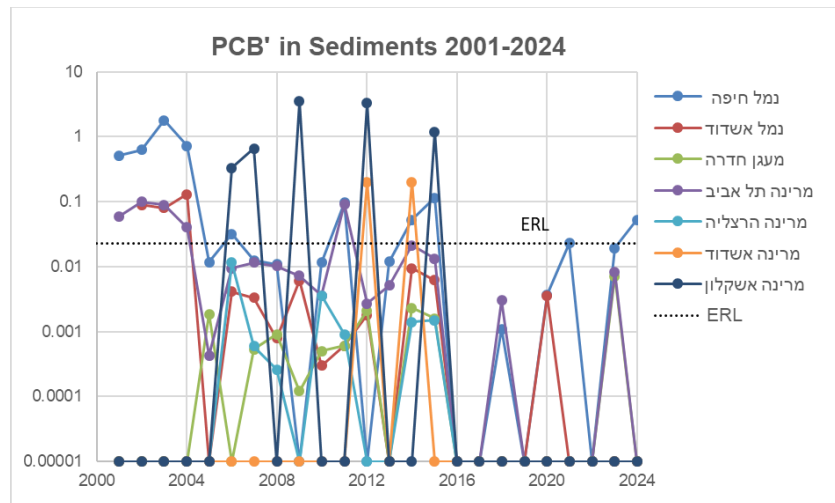
2.2 איור

המשך

בשנת 2024 נוכחות של חלק מהביפנילים מותמרי כלור (PCB's) נמצאו בסדימנטים במעגנות עכו, נמל חיפה ונמל אשדוד. הריכוזים בנמל חיפה מראים דרגת זיהום בינוני, מעל ערכי ERL, איור 2.4. כללית רוב החומרים הפוליציקלים הארומטיים (PAHs) נמצאו מתחת לגבול הגילוי האנליטי. ריכוזי התרכובות הנדיפות בסדימנט נמצאו קטנים מסף הגילוי האנליטי (> 0.2-100 ננוגרם/גרם יבש או רטוב), למעט החומר למעט החומר Dichloromethane במעגן חדרה, נמל חיפה ונמל אשדוד-היובל. ריכוזי הדיאוקסינים בסדימנטים היו מתחת או דומים לסף הגילוי של הבדיקה, למעט סימנים (ריכוז נמוך ביותר) במעגן חדרה, נמל חיפה ונמל אשדוד-היובל.



איור 2.3 מגמות השתנות של ריכוזי מזהמים TBT ו-DBT בסדימנטים (בסקלה לוגריתמית) בנמלים ומעגנות לאורך חוף הים.



איור 2.4 שינויים של ריכוזי מזהמים PCB בסדימנטים (בסקלה לוגריתמית) בתחנות: נמל חיפה, אשדוד, מרינה ת"א, חדרה, מרינה אשדוד, מרינה אשקלון, מרינה הרצליה, בשנים 2001 - 2024.

פרק 3 - ניטור כימי של מזהמים בבעלי חיים ימיים

ד"ר יעל סגל yael_segal@ocean.org.il

Abstract

This monitoring assessed heavy metal concentrations in key marine species along Israel's Mediterranean coast, emphasizing spatial and temporal variability. Measurements were performed by the Marine Chemistry Department, Haifa, an accredited laboratory (IOS17025).

Results revealed a significant long-term decline in mercury concentrations in *Macra stultorum* from northern Haifa Bay between 1981 and 1994, followed by sporadic peaks in 2018 and 2023. *Patella sp.* consistently exhibited elevated mercury levels in Haifa Bay compared to southern stations, with high inter-annual variability. Cadmium concentrations in *Patella sp.* at Shemen Beach and Kiryat Yam declined sharply from 1997 to 2001, aligned with reduced industrial discharge into the Kishon River, though variability persisted post 2005. During 2024 Atlit demonstrated higher levels of lead, cadmium, and manganese compared to the other station.

Mercury levels, in fish species, declined from the 1980s through the early 2000s, reversed during 2000–2012, and showed renewed fluctuations through 2024.

These findings highlight species-specific responses to local pollution sources and suggest both long-term recovery trends and episodic contamination events across Israel's coastal ecosystems.

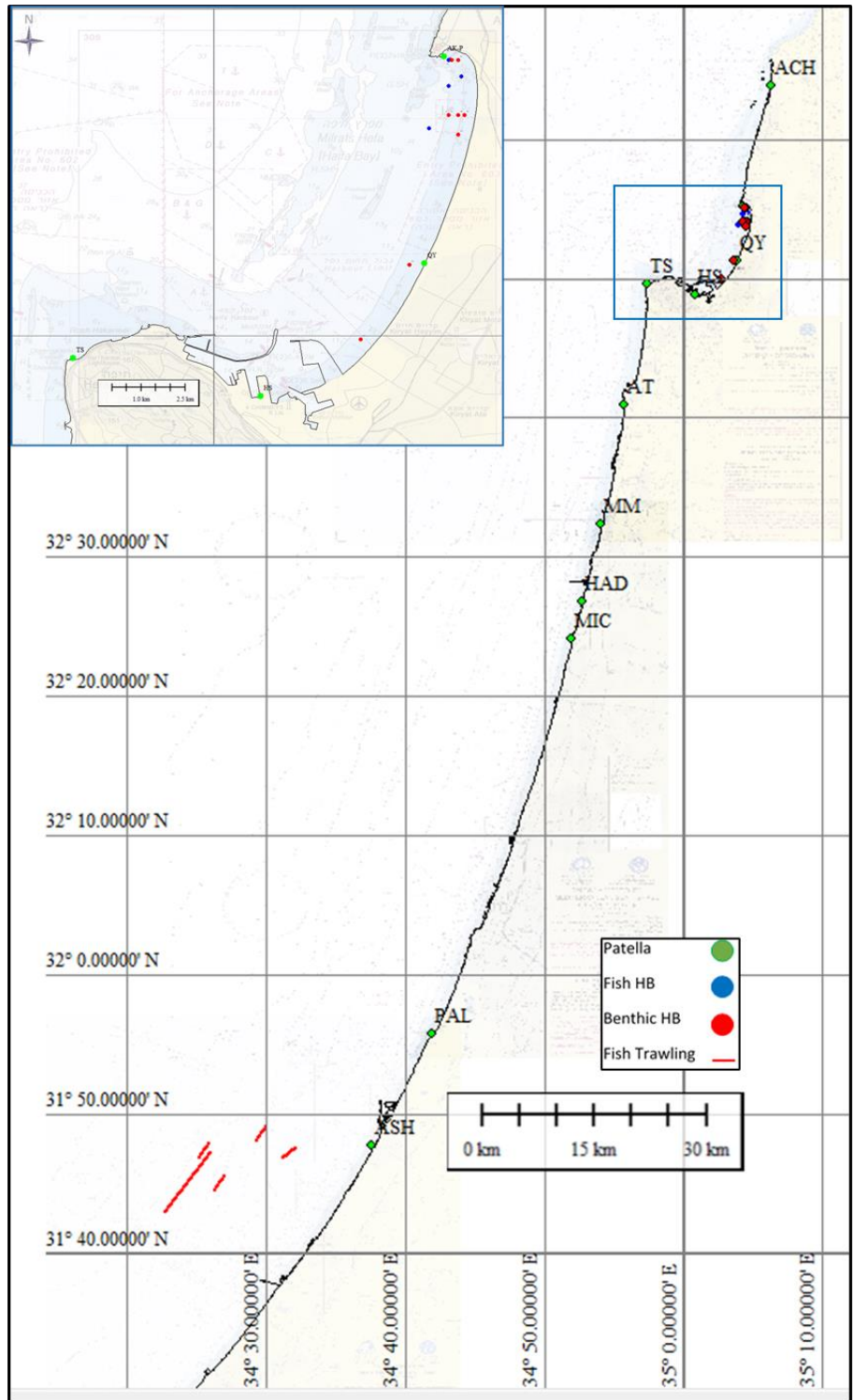
תחנות ושיטות דיגום

מתכות כבדות נדגמות בדגים, בחלזונות ממין פטלה וסלנה, אשר חיים בצמוד למצע קשה במדף היבשת הרדוד וברכיכות כגון מקטרה וקרדיום. המדידות בוצעו במחלקת כימיה ימית חיאל חיפה, מעבדה מוסמכת לפי תקן IOS17025.

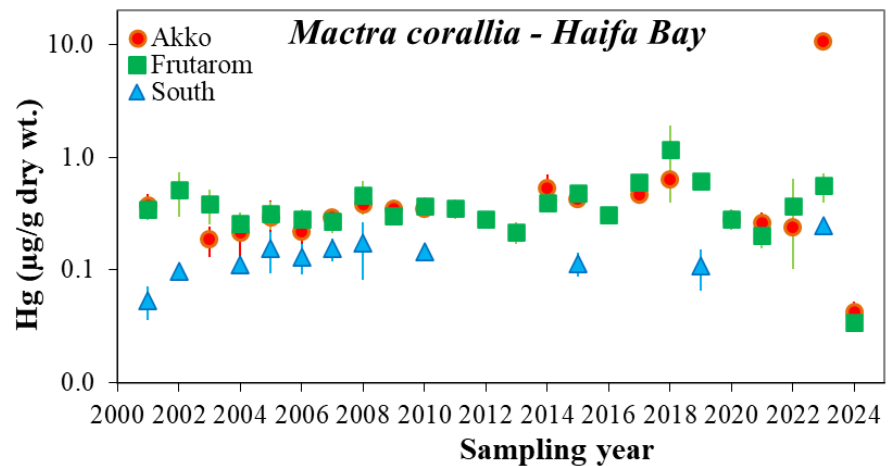
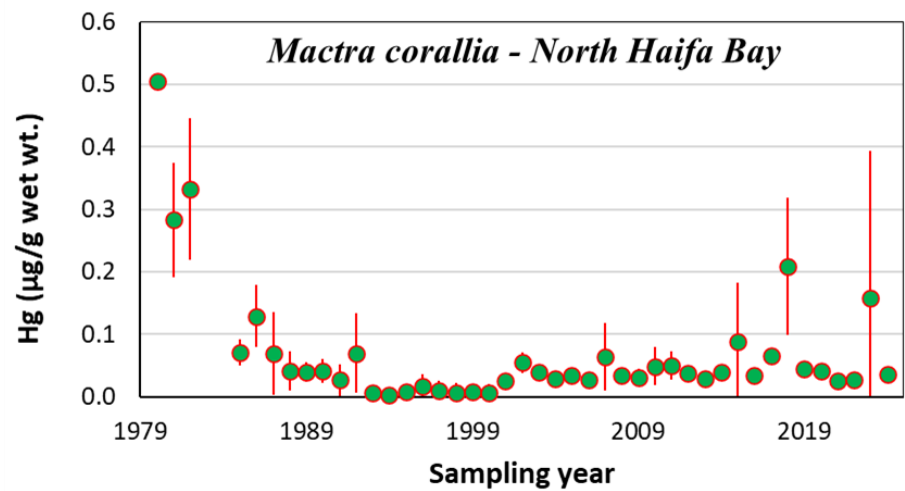
בשנת 2024 נבדקו ריכוזי מתכות כבדות ברקמות שריר של 102 דגים מאזור אשדוד, מפרץ חיפה ושקמונה, 51 רכיכות ממפרץ חיפה, 91 פטלות ו 29 סלנות באתרים רבים לאורך החוף (איור 3).

ממצאים עיקריים

ריכוזי הכספית בצדפות ממין מקטרה (*Macra stultorum*) הראו ירידה מובהקת בשנים 1981-1994 בתחנות הצפוניות של מפרץ חיפה (עכו ופרוטרם). בתחנות הצפוניות התקבלו ריכוזים גבוהים משמעותית, בהשוואה לדרום המפרץ (איור 3.1). נראה כי בשני העשורים האחרונים ישנה התייצבות בריכוזי הכספית במקטרות במפרץ, למעט ארועים חריגים בשנים 2018 ו 2023, בהם התקבלו ריכוזי כספית גבוהים במיוחד בצפון המפרץ. הסיבה לעליות אלה לא ברורה וייתכן וקשורה לאירועי דליפת מי תהום מזוהמים בכספית, שנצפו בעבר.

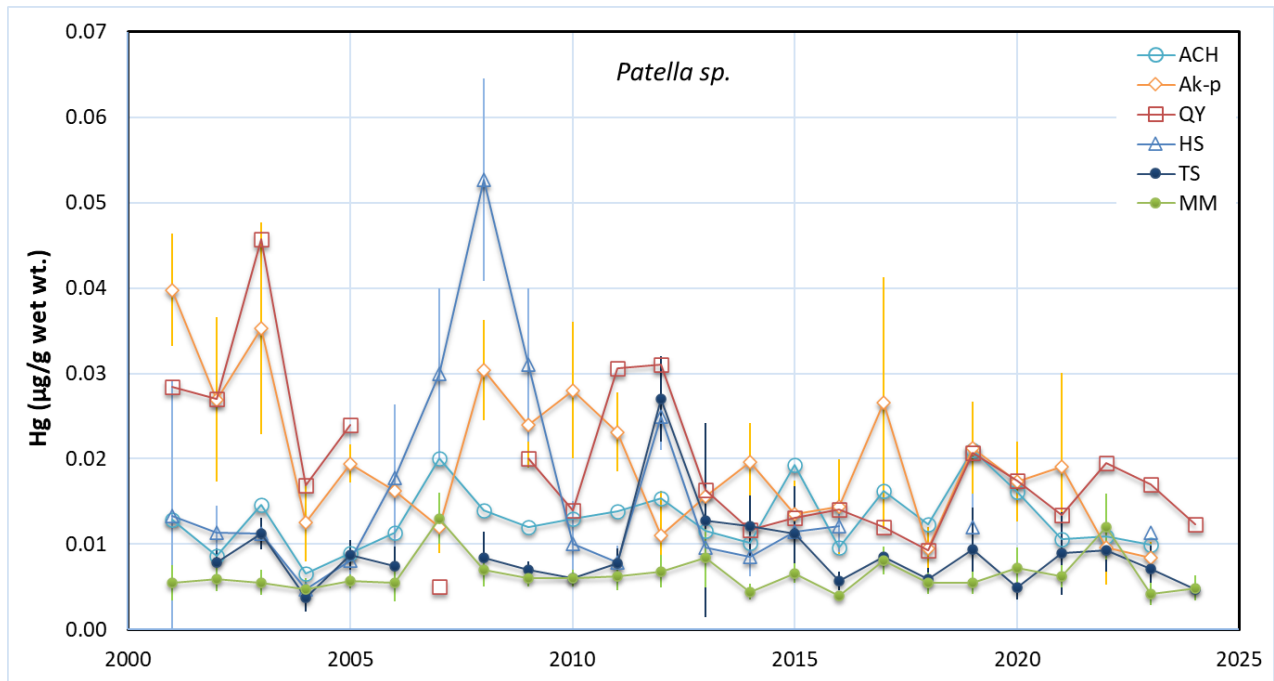


איור 3 מפת דיגום ביוטה לטובת מתכות כבדות.



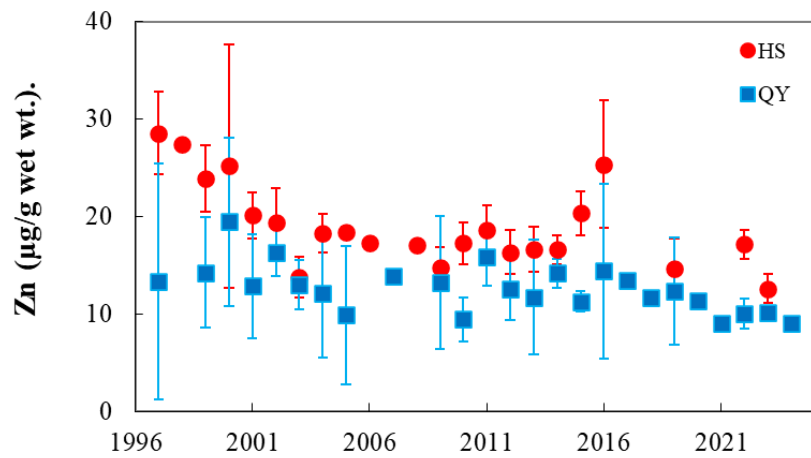
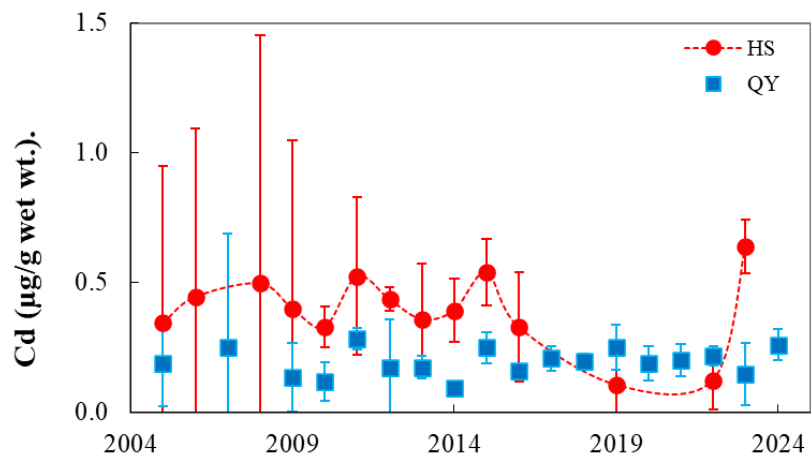
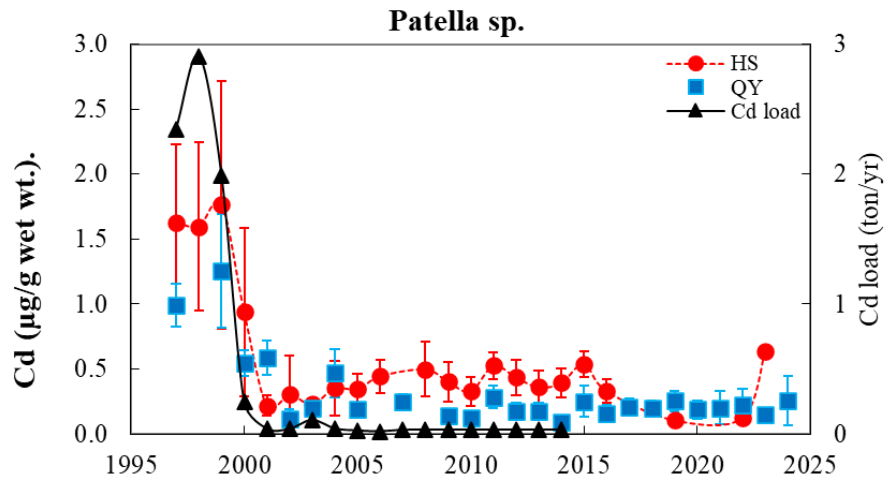
איור 3.1: ריכוזי הכספית בצדפות ממין מקטרה (*Mactra stultorum*) במפרץ חיפה. בגרף העליון נתונים בחומר רטוב עבור התחנות הצפוניות (עכו ופרוטרום) בשנים 1980-2024. בגרף התחתון נתונים בחומר יבש באזורים שונים במפרץ חיפה בשנים 2001-2024, ציר Y בסקלה לוגריטמית.

ריכוזי הכספית בפרטים של החילזון ממין *Patella sp* מראים ריכוזי כספית גבוהים יותר במפרץ חיפה, בהשוואה לתחנות מדרום למפרץ (איור 3.2). לאורך השנים נראה כי ריכוזי הכספית יציבים וקבועים בתחנות מחוץ למפרץ (תל שיקמונה ומעגן מיכאל, למעט ארועים בודדים). לעומת זאת, ריכוזי הכספית בתחנות במפרץ ובאכזיב מראות תנודתיות גבוהה לאורך השנים (עשרות אחוזי שינוי), ללא קורלציה מובהקת בין התחנות השונות. עדות אפשרית למקורות זיהום מקומיים ולמנגנונים שונים המשפיעים על הזיהום בתחנות השונות.



איור 3.2: שינויים בריכוז הכספית בחלזונות ממין פטלה (*Patella sp.*) באתרים שונים לאורך החוף (אכזיב, ACH, עכו, AK, קריית ים, QY, חוף שמן, HS, תל שקמונה, TS, ומעגן מיכאל (MM) בשנים 2001 – 2024.

בפרטים של החילוץ ממין *Patella sp.* מחוף שמן (שפך הקישון) וקריית ים נצפתה מגמת ירידה בריכוזי הקדמיום משנת 1997 עד 2001 (איור 3.3), כתוצאה מההפחתה בהזרמת הקדמיום אל נחל הקישון, בעיקר ממפעל "חיפה כימיקלים" (החל מחודש יוני 2000). בתחנת קריית ים משנת 2005 נמצאה שונות גבוהה בין הפרטים וכן שינויים בריכוזי הקדמיום לאורך השנים, עדות אפשרית למקור זיהום מקומי. בשנים האחרונות אוכלוסיית הפטלות בחוף שמן השתנתה ובחלק מהשנים לא נמצאו פרטים באתר הדיגום, ככל הנראה בהשפעת בניית נמל המפרץ סמוך לתחנת הדיגום. לעומת זאת, בקריית ים חלה התייצבות בריכוזי הקדמיום משנת 2013, עם ריכוזים נמוכים משמעותית בהשוואה לחוף שמן. תמונה דומה נמצאה גם בריכוזי האבץ (איור 3.3).



Sampling year

איור 3.3: ריכוזי קדמיום בחלזונות

ממין פטלה מחוף שמן, בשפך נחל הקישון (HS) ומקריית ים (QY) בשנים 1997 – 2024 בגרף העליון ובשנים 2005-2024 בגרף המרכזי. הקו הרציף בגרף העליון מציג את השינויים בכמויות הקדמיום שהוזרמו במשך השנים לנחל הקישון. וריכוזי אבץ בחלזונות ממין פטלה מחוף שמן, בשפך נחל הקישון (HS) ומקריית ים (QY) בשנים 1997 – 2024 בגרף התחתון.

בשנת 2024 בתחנות הדרומיות נמצאו ריכוזי מתכות כבדות גבוהים בהשוואה לתחנות המפרץ, למעט כספית (טבלה 3.1, איור 3.4 ריכוזים מעל ל 1 הם מעל הממוצע). בתחנות עתלית ופלמחים נמצאו ריכוזי עופרת גבוהים משמעותית, בהשוואה לתחנות האחרות וריכוזי מנגן גבוהים נמצאו בתחנות פלמחים ומכמורת. בעתלית נמצאו גם ריכוזי קדמיום גבוהים.

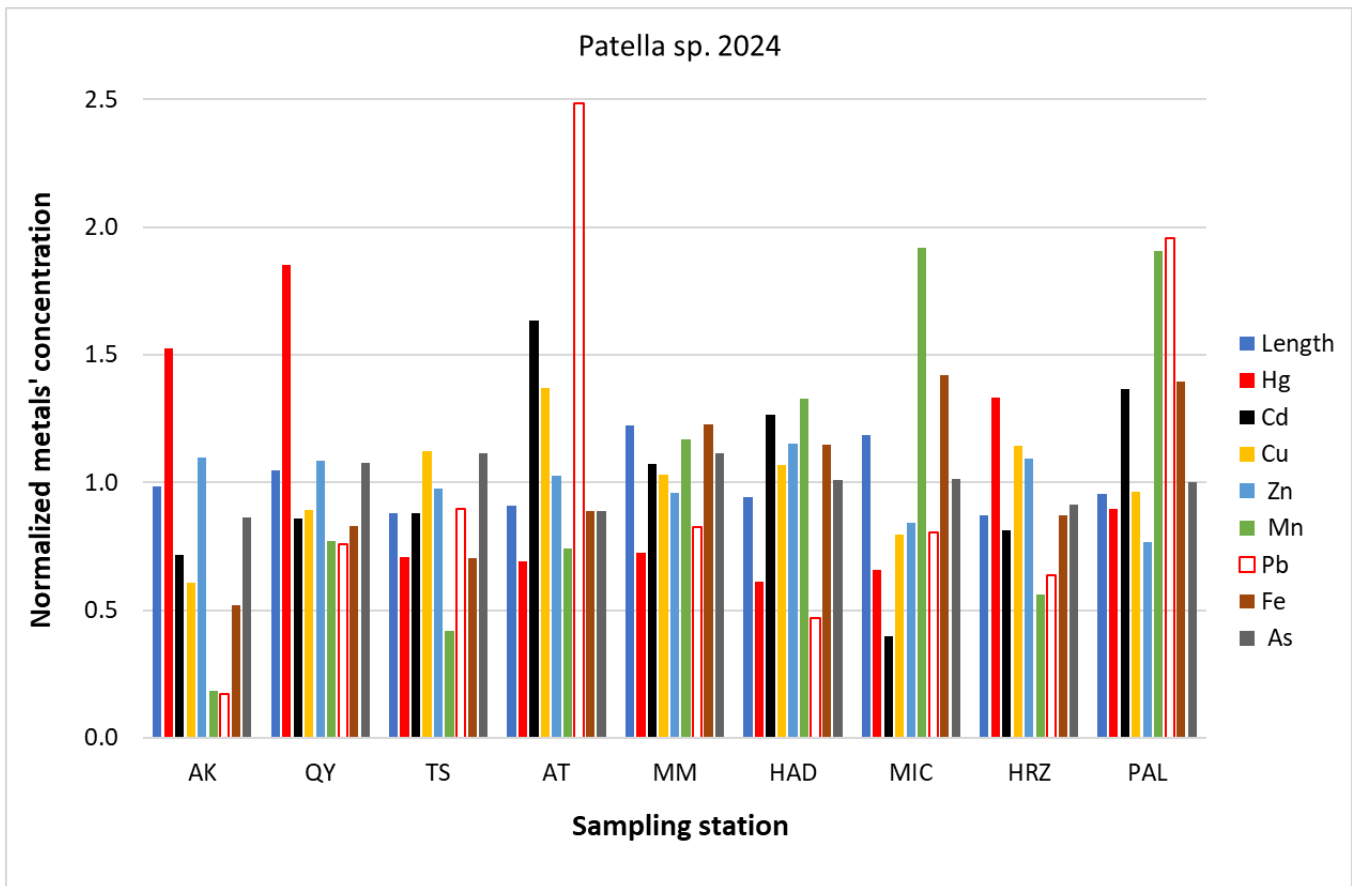
טבלה 3.1: ריכוזים ממוצעים של מתכות בחלזונות ממין פטלה (*Patella sp.*) וממין סלנה (*Celana sp.*) בשנת 2024 בתחנות במפרץ חיפה: עכו (AK), קרית ים (QY), חוף שמן (HS) ובתחנות שונות לאורך החוף: תל שיקמונה (TS), עתלית (AT), מעגן מיכאל (MM), חדרה (HAD), מכמורת (MIC), הרצליה (HRZ), פלמחים (PAL) ואשדוד (ASD).

Patella sp.

Station code	Length (cm)	Hg (ppb)	Cd (ppm)	Pb (ppb)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Fe (ppm)	As (ppm)
AK	2.84±0.21	10.2±1.7	0.22±0.09	39±15	0.85±0.21	10.2±2.8	0.42±0.23	137±32	2.36±0.25
QY	3.01±0.19	12.4±4.5	0.26±0.19	173±230	1.25±0.22	10.0±1.6	1.76±0.93	219±63	2.95±1.06
TS	2.54±0.29	4.7±0.9	0.27±0.07	205±121	1.57±0.39	9.0±2.2	0.96±0.39	185±43	3.05±0.68
AT	2.62±0.21	4.6±1.6	0.50±0.13	568±157	1.92±0.35	9.5±1.3	1.69±0.58	234±50	2.43±0.51
MM	3.53±0.32	4.8±1.5	0.33±0.18	189±55	1.44±0.38	8.9±1.9	2.67±1.21	324±71	3.05±1.15
HAD	2.72±0.26	4.1±1.6	0.39±0.14	107±37	1.50±0.32	10.7±1.5	3.03±1.31	303±151	2.76±0.53
MIC	3.41±0.73	4.4±2.2	0.12±0.07	184±93	1.12±0.21	7.8±1.7	4.39±2.90	375±171	2.77±0.53
HRZ	2.52±0.29	8.9±2.7	0.25±0.07	145±67	1.60±0.56	10.1±1.3	1.28±1.06	229±43	2.50±0.33
PAL	2.75±0.14	6.0±1.2	0.42±0.15	447±201	1.35±0.30	7.1±1.3	4.36±1.71	368±69	2.73±0.36
ASD	2.5	4.8	0.1	296.9	1.5	18.3	2.4	285.4	7.3

Celana sp.

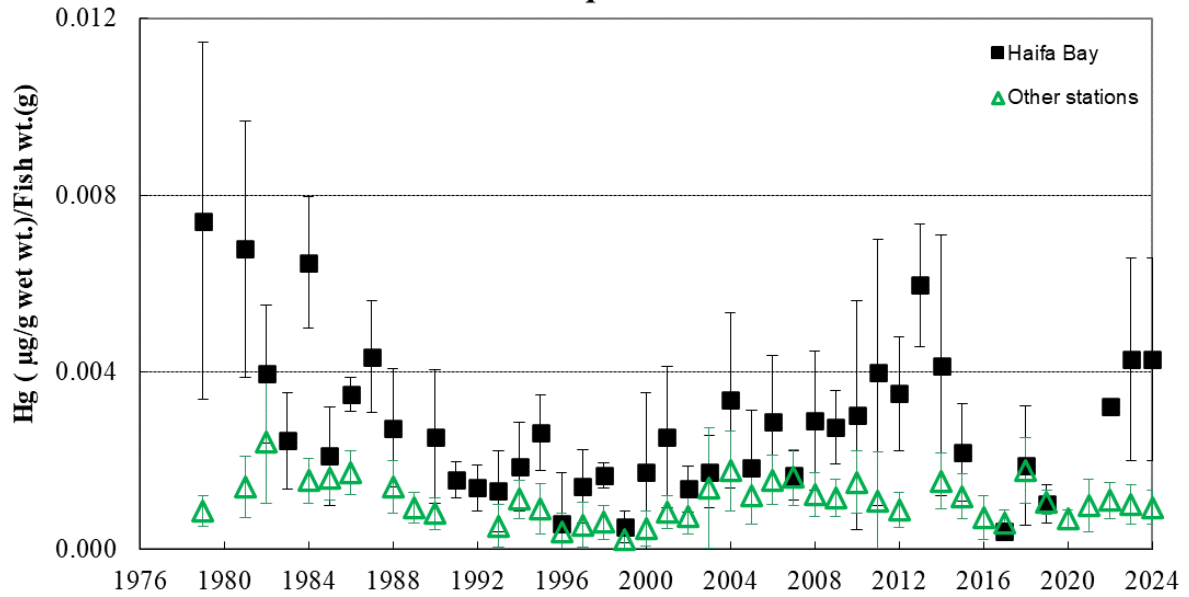
Station code	Length (mm)	Hg (ppb)	Cd (ppm) flame	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Mn (ppm)	Pb (ppb)	Fe (ppm)	As (ppm)
QY	31±0	11±1	0.2±0.04	0.95±0.16	14±1	0.9±0.5	349±356	119±14	4.1±1.4
HS	25±2	4±1	0.06±0.03	1.6±0.4	20±4	3.7±1.9	80±26	156±27	2.4±0.7
AT	28	6	0.51	2.06	8.7	1.2	723	274	3.8
HRZ	28±2	10±3	0.09±0.02	1.1±0.2	9±3	1.0±0.4	113±33	158±36	4.1±1.1
PAL	22	9.2	0.45	1	9.1	2.4	427	296	3
ASD	25±3	5±1	0.17±0.03	1.7±0.3	10±2	1.8±0.6	606±492	239±53	4.3±0.3



איור 3.4 : ריכוזים מנורמלים (לריכוז הממוצע) של מתכות בחלזונות ממין פטלה (*Patella sp.*) בשנת 2024 בתחנות במפרץ חיפה: עכו (AK) וקרית ים (QY) ובתחנות דרומית למפרץ לאורך החוף: תל שיקמונה (TS), עתלית (AT), מעגן מיכאל (MM), חדרה (HAD), מכמורת (MIC), הרצליה (HRZ) ופלמחים (PAL).

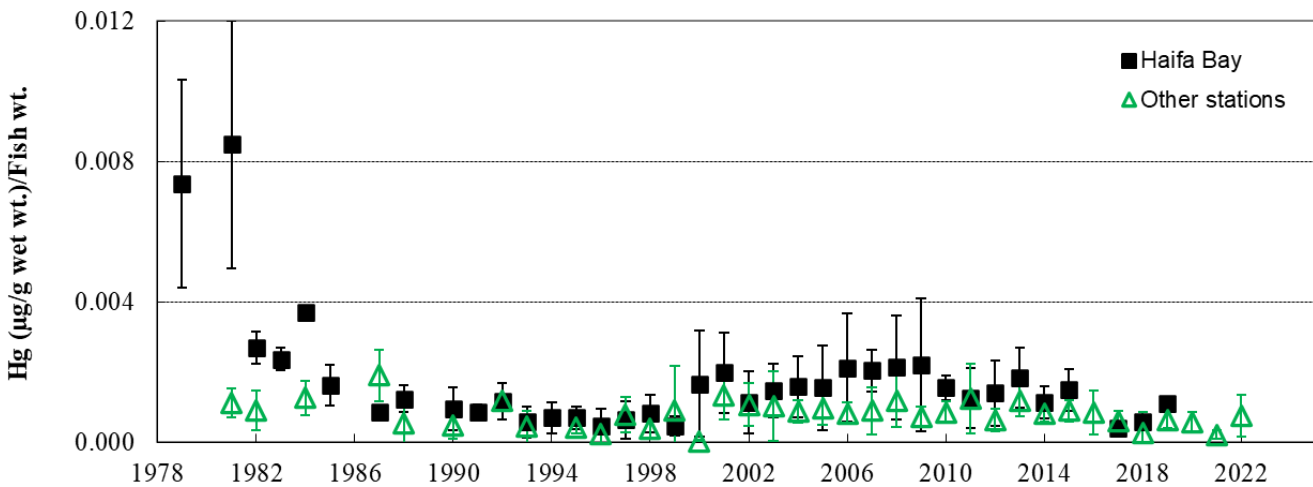
משנות השמונים ועד שנות ה-2000 (במהלך שני עשורים) חלה ירידה ניכרת ברמות הכספית (המנורמלת למשקל הדג) בדגים ברקן אדום (מואסטה *Sargocentron rubrum*), סרגוס מסורטט (סרגוס *Diplodus sargus*) ושישן מסרטט (מרמיר *Lithognathus mormyrus*), שנדוגו במפרץ חיפה (איורים 3.4, 3.5 ו 3.6). המגמה התהפכה משנת 2000 ועד 2012, שנים בהן נצפתה עליה בריכוזי הכספית ובחלק מהמקרים נמדדו ריכוזים דומים לריכוזים הגבוהים שנמדדו בשנות השמונים. מאז ועד שנת 2024 ישנה שונות רבה בריכוזים במפרץ עבור הברקן והסרגוס ובברקן הייתה אף עליה נוספת בשנים האחרונות, בעוד עבור השישן נמדדה ירידה והתייצבות. הריכוזים בתחנות מחוץ למפרץ היו נמוכים באופן משמעותי ויציבים לאורך מרבית השנים. עבור הברקן ריכוזי הכספית מחוץ למפרץ הראו שונות רבה יותר לאורך השנים עם ריכוזים גבוהים יותר בשנות השמונים, בשנת 2011 ובשנת 2024. הממצעים מצביעים על עדות למקור זיהום מקומי במפרץ חיפה שממשיך להשפיע לאורך השנים. ככל הנראה השפעה מתמשכת של זיהום הכספית מהתעשיות האלקטרוכימיות שחלחל לקרקעית וממשיך להפיץ את קור הזיהום למפרץ בפולסים בהתאם למשטר הגשם והזרמים בים (Sisma et al., 2025).

Diplodus



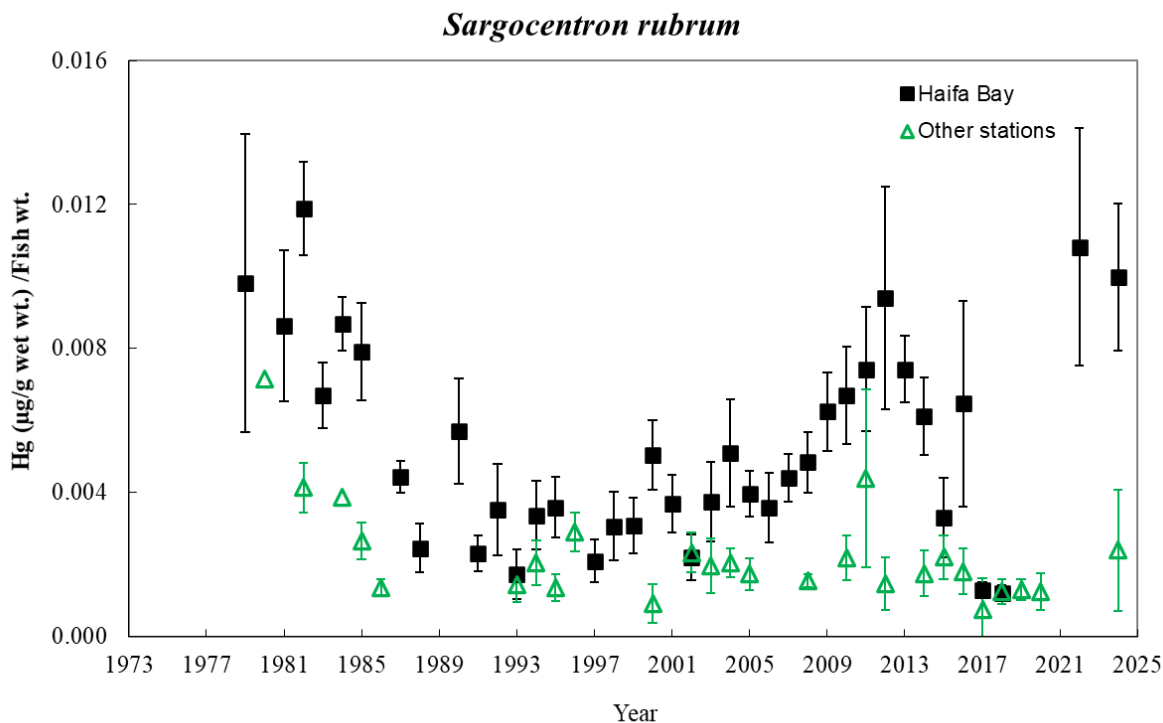
איור 3.5 ריכוז כספית מנורמל למשקל הדג ברקמות השריר של דגי סרגוס מסורטט ממפרץ חיפה ומאזורים אחרים לאורך החוף הישראלי בשנים 1979 - 2024.

Lithognathus mormyrus



איור 3.6: ריכוז כספית מנורמל למשקל הדג ברקמות השריר של דגי שיטן מסרטט ממפרץ חיפה ומאזורים אחרים לאורך החוף הישראלי בשנים 1979 - 2022. בשנים 2023-2024 לא נמצאו פרטים מהמין הנזיל.

בשנת 2024 נמדדו מתכות כבדות ב17 דגים מתל שקמונה, 30 פרטים מאשדוד ו 49 דגים ממפרץ חיפה. עבור 2 ברקנים אדומים במפרץ חיפה נמצאו ריכוזי כספית שחרגו מהקו המנחה לריכוזי המרבי המותר של כספית בדגים בישראל (1חל"מ). בהשוואה לתקן האירופאי (0.5חל"מ) 27 דגים נוספים ממפרץ חיפה ודג מאשדוד חרגו מההמלצות לריכוז כספית בדגים. ביפן התקנים אף מחמירים יותר, בעיקר לאחר אסון מינטה בשנות ה50, וקובעים סף של 0.3חל"מ. על פי התקן של יפן 41 דגים (43%), מתוכם 4 מאשדוד ו1 משקמונה והשאר ממפרץ חיפה חרגו מהתקן, כלומר 73% מדגי מפרץ חיפה חרגו מהתקן היפני. בדומה לשנים קודמות הברקן האדום הראה את ריכוזי הכספית הגבוהים ביותר.



איור 3.7: ריכוז כספית מנורמל למשקל הדג ברקמות השריר של דגי ברקן אדום בשנים 1979 - 2024.

המלצות

מומלץ לאסור שיווק של דג ברקן אדום, בפרט ממפרץ חיפה.

מומלץ לשקול לפרסם המלצות תזונתיות לכמות מקסימאלית מומלצת של צריכת דגים לפי אוכלוסיות בסיכון (נשים בהריון, ילדים לפי גיל) ולפי קבוצות של מיני דגים, כמקובל במדינות אחרות לדוגמא איור 3.8), בעיקר בהקשר לכספית.

Best Choices

Good Choices

Choices to Avoid

Choose a variety of fish that are lower in mercury.

While it is important to limit mercury in the diets of those who are pregnant or breastfeeding and children, many types of fish are both nutritious and lower in mercury.

This chart can help you choose which fish to eat, and how often to eat them, based on their mercury levels.

<p>What is a serving? As a guide, use the palm of your hand.</p> <div style="display: flex; align-items: center; margin-top: 10px;"> <div> <p>Pregnancy and breastfeeding: 1 serving is 4 ounces</p> <p>Eat 2 to 3 servings a week from the "Best Choices" list (OR 1 serving from the "Good Choices" list).</p> </div> </div>	<p>Childhood: On average, a serving is about:</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 ounce at age 1 to 3 2 ounces at age 4 to 7 3 ounces at age 8 to 10 4 ounces at age 11 <p>Eat 2 servings a week from the "Best Choices" list.</p>																																																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #e1f5fe;"> <th colspan="3" style="text-align: left; padding: 5px;">Best Choices</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Anchovy</td><td>Herring</td><td>Scallop</td></tr> <tr><td>Atlantic croaker</td><td>Lobster,</td><td>Shad</td></tr> <tr><td>Atlantic mackerel</td><td>American and spiny</td><td>Shrimp</td></tr> <tr><td>Black sea bass</td><td>Mullet</td><td>Skate</td></tr> <tr><td>Butterfish</td><td>Oyster</td><td>Smelt</td></tr> <tr><td>Catfish</td><td>Pacific chub mackerel</td><td>Sole</td></tr> <tr><td>Clam</td><td>Perch, freshwater and ocean</td><td>Squid</td></tr> <tr><td>Cod</td><td>Pickrel</td><td>Tilapia</td></tr> <tr><td>Crab</td><td>Plaice</td><td>Trout, freshwater</td></tr> <tr><td>Crawfish</td><td>Pollock</td><td>Tuna, canned light (includes skipjack)</td></tr> <tr><td>Flounder</td><td>Salmon</td><td>Whitefish</td></tr> <tr><td>Haddock</td><td>Sardine</td><td>Whiting</td></tr> </tbody> </table>	Best Choices			Anchovy	Herring	Scallop	Atlantic croaker	Lobster,	Shad	Atlantic mackerel	American and spiny	Shrimp	Black sea bass	Mullet	Skate	Butterfish	Oyster	Smelt	Catfish	Pacific chub mackerel	Sole	Clam	Perch, freshwater and ocean	Squid	Cod	Pickrel	Tilapia	Crab	Plaice	Trout, freshwater	Crawfish	Pollock	Tuna, canned light (includes skipjack)	Flounder	Salmon	Whitefish	Haddock	Sardine	Whiting	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #e1f5fe;"> <th colspan="3" style="text-align: left; padding: 5px;">Good Choices</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Bluefish</td><td>Monkfish</td><td>Tilefish (Atlantic Ocean)</td></tr> <tr><td>Buffalofish</td><td>Rockfish</td><td>Tuna, albacore/white tuna, canned and fresh/frozen</td></tr> <tr><td>Carp</td><td>Sablefish</td><td>Tuna, yellowfin</td></tr> <tr><td>Chilean sea bass/Patagonian toothfish</td><td>Sheepshead</td><td>Weakfish/seatrout</td></tr> <tr><td>Grouper</td><td>Snapper</td><td>White croaker/Pacific croaker</td></tr> <tr><td>Halibut</td><td>Spanish mackerel</td><td></td></tr> <tr><td>Mahi mahi/dolphinfish</td><td>Striped bass (ocean)</td><td></td></tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 5px;"> <thead> <tr style="background-color: #ffe0b2;"> <th colspan="3" style="text-align: left; padding: 5px;">Choices to Avoid HIGHEST MERCURY LEVELS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>King mackerel</td><td>Shark</td><td>Tilefish (Gulf of Mexico)</td></tr> <tr><td>Marlin</td><td>Swordfish</td><td>Tuna, bigeye</td></tr> <tr><td>Orange roughy</td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	Good Choices			Bluefish	Monkfish	Tilefish (Atlantic Ocean)	Buffalofish	Rockfish	Tuna, albacore/white tuna, canned and fresh/frozen	Carp	Sablefish	Tuna, yellowfin	Chilean sea bass/Patagonian toothfish	Sheepshead	Weakfish/seatrout	Grouper	Snapper	White croaker/Pacific croaker	Halibut	Spanish mackerel		Mahi mahi/dolphinfish	Striped bass (ocean)		Choices to Avoid HIGHEST MERCURY LEVELS			King mackerel	Shark	Tilefish (Gulf of Mexico)	Marlin	Swordfish	Tuna, bigeye	Orange roughy		
Best Choices																																																																												
Anchovy	Herring	Scallop																																																																										
Atlantic croaker	Lobster,	Shad																																																																										
Atlantic mackerel	American and spiny	Shrimp																																																																										
Black sea bass	Mullet	Skate																																																																										
Butterfish	Oyster	Smelt																																																																										
Catfish	Pacific chub mackerel	Sole																																																																										
Clam	Perch, freshwater and ocean	Squid																																																																										
Cod	Pickrel	Tilapia																																																																										
Crab	Plaice	Trout, freshwater																																																																										
Crawfish	Pollock	Tuna, canned light (includes skipjack)																																																																										
Flounder	Salmon	Whitefish																																																																										
Haddock	Sardine	Whiting																																																																										
Good Choices																																																																												
Bluefish	Monkfish	Tilefish (Atlantic Ocean)																																																																										
Buffalofish	Rockfish	Tuna, albacore/white tuna, canned and fresh/frozen																																																																										
Carp	Sablefish	Tuna, yellowfin																																																																										
Chilean sea bass/Patagonian toothfish	Sheepshead	Weakfish/seatrout																																																																										
Grouper	Snapper	White croaker/Pacific croaker																																																																										
Halibut	Spanish mackerel																																																																											
Mahi mahi/dolphinfish	Striped bass (ocean)																																																																											
Choices to Avoid HIGHEST MERCURY LEVELS																																																																												
King mackerel	Shark	Tilefish (Gulf of Mexico)																																																																										
Marlin	Swordfish	Tuna, bigeye																																																																										
Orange roughy																																																																												
<p>What about fish caught by family or friends? Check for fish and shellfish advisories to tell you how often you can safely eat those fish. If there is no advisory, eat only one serving and no other fish that week. Some fish caught by family and friends, such as larger carp, catfish, trout and perch, are more likely to have fish advisories due to mercury or other contaminants.</p>																																																																												

www.FDA.gov/fishadvice
www.EPA.gov/fishadvice
U.S. FOOD & DRUG ADMINISTRATION
EPA United States Environmental Protection Agency

‡ This advice refers to fish and shellfish collectively as "fish" / Advice revised October 2021

איור 3.7 – המלצה של ה-FDA וה-EPA בארה"ב לצריכת דגי ים עבור נשים בהריון או מניקות וילדים בגילאי 3 עד 11. מקור: <https://www.fda.gov/food/consumers/advice-about-eating-fish>

Sisma-Ventura, G., Segal, Y., Gertner, Y., Mori, M.M., Hadra, M.A., Biton, E., Shachnai, A. and Herut, B., 2025. Long-term (1979–2024) trends and remobilization process of mercury pollution, the case study of Haifa Bay, Southeast Mediterranean Sea. *Journal of Hazardous Materials*, 490, p.137760.

פרק 4 - ניטור כימי של משקעים אטמוספיריים

פרופ' ברק חרות barak@ocean.org.il

פתח דבר

פרק זה מציג את השינויים בזמן של שטפים אטמוספיריים של נוטריינטים (משקעים רטובים) ומתכות הכבדות (שטף חלקיקי) אל מי הים התיכון של ישראל. ממצאים אלה קשורים להיבטים של שינויי אקלים ולמספר יעדים אקולוגיים במסגרת אמנת ברצלונה (E01, E09, E05).

Abstract

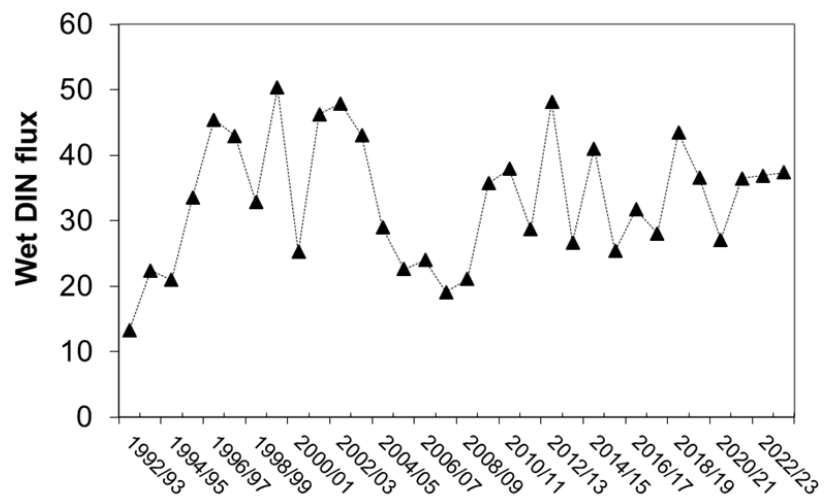
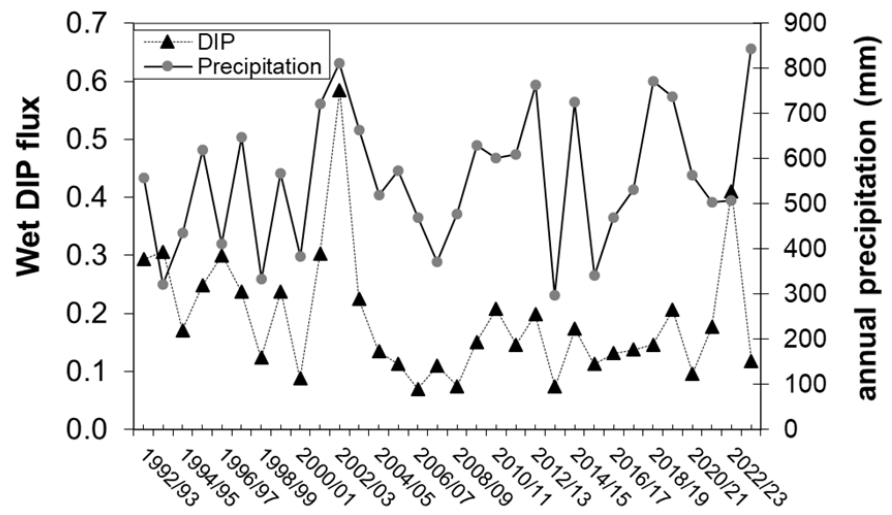
The atmosphere function as an external supplier of macro (mainly N and P) and micro (Fe and other trace metals) nutrients, and other heavy metals, to the oceans originated from natural and anthropogenic sources. These may impact the primary and bacterial production at the oligotrophic Southeastern Mediterranean Sea. The predicted expansion of oligotrophic nutrient-poor provinces in oceans and their stratification due to warming, and the projected increase in dust emission due to desertification, may further stress the significance of aerosols as an external source of new nutrients in the Israeli Mediterranean waters. Here we present the variations of wet nutrient fluxes during the last 2 decades and on monthly basis during the last 7 winters. In addition, we present the changes in the particulate fluxes of some heavy metals.

ממצאים עיקריים

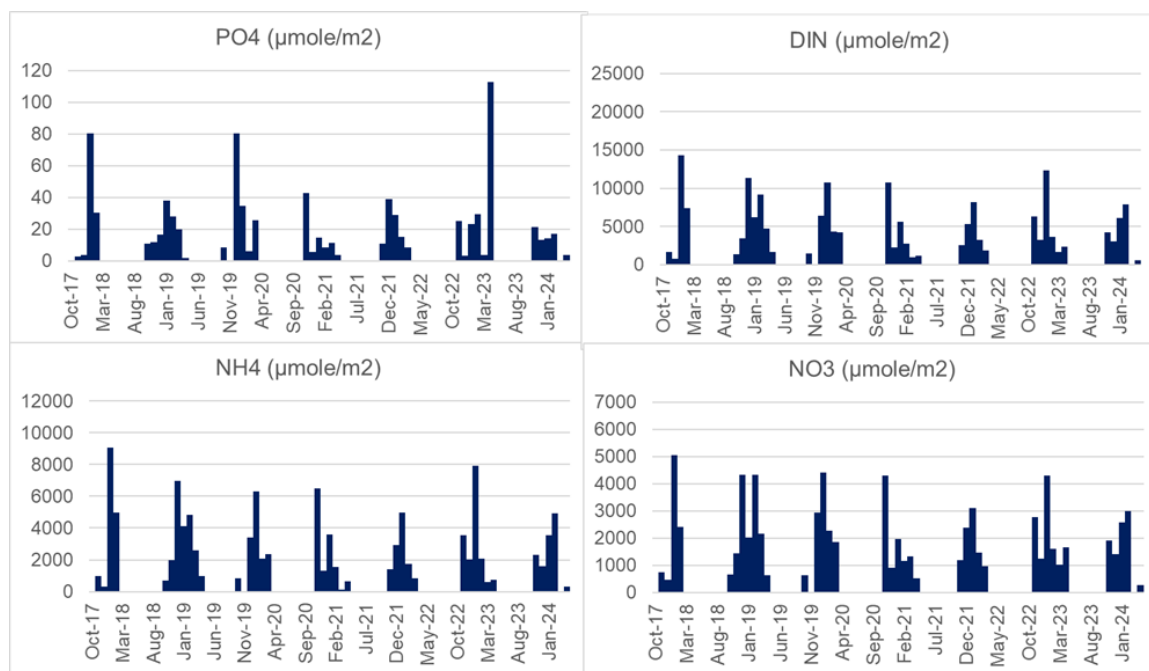
שטפי החנקן והזרחן במי הגשם מראים שינויים רב-שנתיים חדים ומוכתבים מפליטות לאטמוספירה ושינויים בכמות המשקעים השנתית (איורים 4.1 ו-4.2). כללית, שטפי החנקן והזרחן לאורך החוף הישראלי גדולים מהשטפים שחושבו עבור אזורים נקיים יחסית ברחבי העולם וקטנים משטפי החנקן שחושבו עבור אזורים באירופה, כמו הים הבלטי והים הצפוני.

כמות המשקעים באזור חוף חיפה בחורף 24/2023 הייתה גדולה משמעותית ביחס לשני החורפים הקודמים (~844 לעומת ~507 מ"מ). מאחר ונצפה קשר משמעותי בין כמות המשקעים למליחות המים העליונים במדף הרדוד (Ozer et al., 2022), ככל הנראה התקבלו מליחיות קטנות יותר בחורף 24/2023.

המקור העיקרי של ניטראט קשור, ככל הנראה, לשריפת דלקים ויצירת תחמוצות חנקן. מקור האמוניום במי הגשם ככל הנראה קשור בחומרי דשן והפרשות בעלי חיים, ובד"כ קשור למקורות מקומיים בגלל סילוק מהיר יחסית מהאוויר. יחד עם זאת, קיימת גם אפשרות לריאקציה בין חומצה חנקתית לאמוניה היוצרת איירוסולים של NH_4NO_3 .



איור 4.1: שטפים של זרחן אי אורגני (IP) וחנקן אי אורגני (IN) מומסים במי גשם ($\text{mmol m}^{-2} \text{yr}^{-1}$) בתל שקמונה בשנים 1992–2024 (אפריל). מוצג הקשר בין השטפים לכמות המשקעים השנתית בנמל חיפה (השירות המטאורולוגי, תחנת נמל חיפה).



איור 4.2: שטפים חודשיים של פוספאט וצורוני חנקן אי אורגני מומסים במי גשם בתל שקמונה בשנים 2017 – 2024.

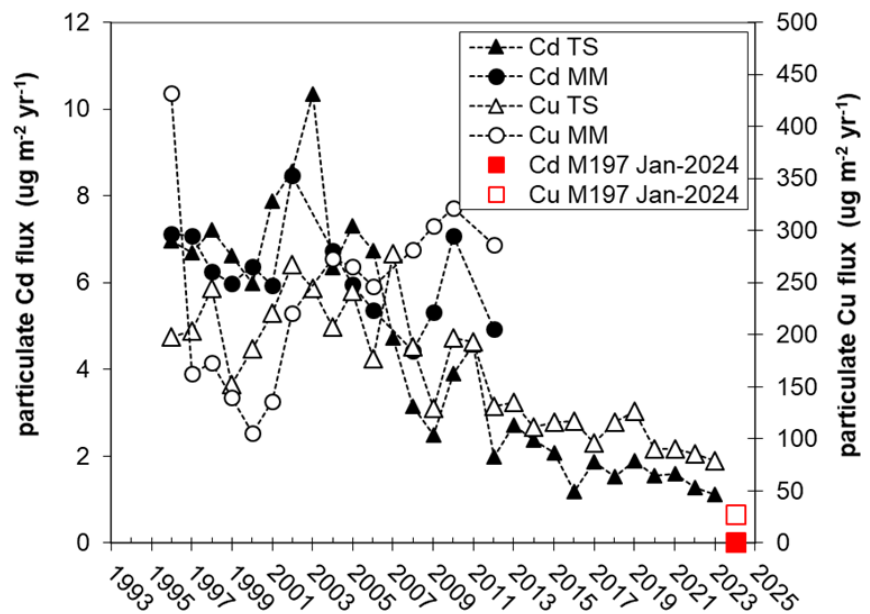
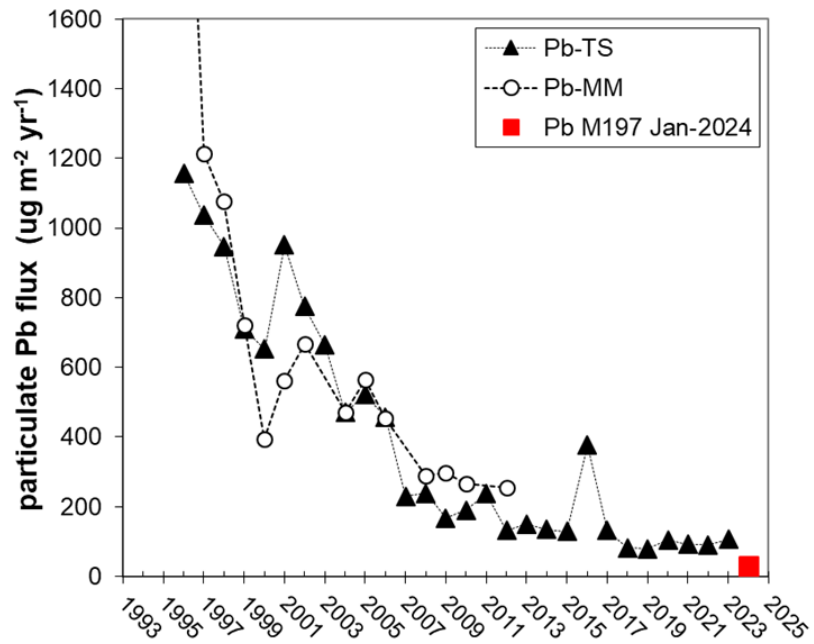
בדומה לשנים קודמות, מהשוואת הרכב המתכות באבק שנדגם במסגרת הניטור להרכבן באבק מדברי טבעי עולה, שהמקור של ברזל, אלומיניום, מנגן וכרום (במידה רבה) באוויר לאורך החוף הישראלי הוא קרקעות ואבק מדברי טבעי. המקור העיקרי של העופרת, הקדמיום, הנחושת והאבץ הוא אנתרופוגני.

השטפים האטמוספיריים של המתכות (כמויות המתכות השוקעות על פני יחידת שטח של הים ביחידת זמן) חושבו ע"י מכפלה של ריכוזי המתכות באבק מרחף (הממוצע הגיאומטרי או החציון של הריכוזים של מתכת חלקיקית) בהערכה של מהירות שקיעת האבק. במהלך 22 השנים האחרונות (עדיין לא התאפשרה בדיקת הפילטרים מ-2024) חלה ירידה של שטפי העופרת לאורך החוף הישראלי (איור 4.3). בדומה לאוויר, גם בסדימנטים לאורך החוף נמצאה מגמת הפחתה רב-שנתית של ריכוזי העופרת (עם עלייה מסוימת בשנים האחרונות). השטף השנתי הממוצע מעט גבוה ביחס לשטף שנמדד במסגרת הפלגת אניית המחקר הגרמנית מטאור במזרח הים התיכון במהלך ינואר-תחילת פברואר 2024.

שטפי הנחושת והקדמיום מראים ירידה מתונה בעשור האחרון בבתל שקמונה (איור 4.3). השינויים הרב-שנתיים של השטפים של מתכות אלה דומים בשתי תחנות הדיגום, ולפיכך ייתכן שהם מושפעים ממקורות דומים, חיצוניים.

התרומה האטמוספירית לכמויות הכוללות של עופרת ואבץ המוחדרות למימי החופין (כל אזור מדף היבשת) משמעותית ביחס לתרומה הידועה של המקורות האחרים (הזרמת שפכים לים).

השטפים האטמוספיריים של חנקן וזרחן זמינים ביולוגית (מחלקיקים וגשם, איור 4.2) יכולים פוטנציאלית לתרום ליצרנות הראשונית (חישוב קיבוע הפחמן על בסיס שטף החנקן, בהנחת יחסי רדפילד בין חנקן לפחמן אורגני).



איור 4.3: שטפים יבשים של עופרת, קדמיום ונחושת בתל שקמונה (TS) ובמעגן מיכאל (MM) בשנים 1996 – 2023; הערכות המבוססות על דיגום של כרבע מימי השנה. בנוסף מוצג שטף ממוצע בזמן הפלגת אניית המחקר הגרמנית מטאור בינואר-פברואר 2024 בים התיכון המזרחי.

פרק 5 - נוטריאנטים וכלורופיל בנחלי החוף ובמדף הרדוד

יעל סגל yael_segal@ocean.org.il, גדעון טיבור tiborg@ocean.org.il ומיקי שליכטר

Abstract

This report presents findings from long-term monitoring of nutrient and chlorophyll concentrations in coastal streams and adjacent Mediterranean coastal waters in Israel. Sampling was conducted at multiple stations, with nutrient analysis performed at the ISO17025 certified Marine Chemistry Laboratory in Haifa and chlorophyll measured in a biology lab. Seasonal patterns were observed in coastal streams, with high pollution peaks in March following the rainy season, and lower concentrations in late summer. Nahal Taninim exhibited consistently low nutrient levels, while streams such as Alexander and Lachish showed signs of persistent contamination and biological stress, including low dissolved oxygen and elevated chlorophyll levels.

In coastal waters, nutrient concentrations declined logarithmically with distance from shore, indicating dilution and biological uptake. However, long-term data from 2010–2024 revealed increasing trends in nitrate, silicic acid, and chlorophyll at Shikmona and Habonim beaches, suggesting ongoing eutrophication.

Satellite observations, showed an elevated chlorophyll concentrations in 2024 and seasonal variability in coastal water quality.

תחנות ושיטות דיגום

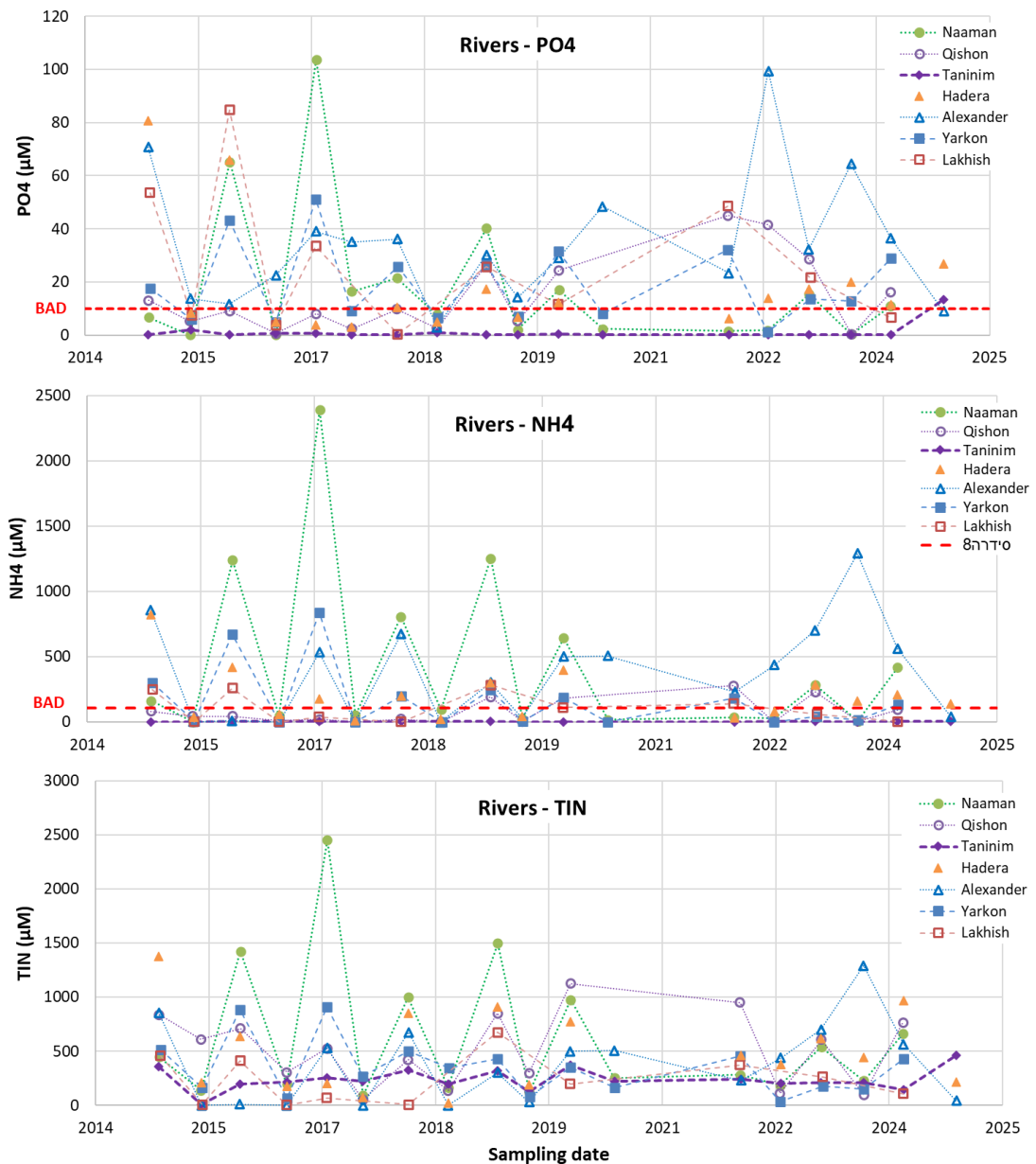
נוטריאנטים וכלורופיל נדגמים בנחלי החוף ובתחנות לאורך החוף (איור 1). הנוטריאנטים הנמדדים הם ניטראט (NO_3), ניטריט (NO_2) ואמוניום (NH_4) המהווים את מרכיבי החנקן האנאורגני, פוספט (PO_4) וחומצה סיליסיט ($\text{Si}(\text{OH})_4$) הנוטריאנטים נמדדים במעבדה לכימיה ימית בחיפה, מעבדה מוסמכת על פי תקן ISO17025 כלורופיל נמדד במעבדת ביולוגיה.

מצאים עבור נוטריאנטים בנחלי החוף

מרבית נחלי החוף מראים תנודתיות עונתית עם רמת זיהום גבוהה (Herut et al., 2023) במרץ, לאחר עונת הגשם וריכוזים נמוכים יותר בספטמבר, בסוף הקיץ (איור 5.1), הנוטריאנטים נמדדו במעלה הנחל 50 מ' מהדלתא או קילומטרים בודדים במעלה). הריכוזים הגבוהים באמוניום מעדי על מקור זיהום מקולחים או שפכים לא מטופלים הגולשים לנחלי החוף.

נחל תנינים נמצא הנקי ביותר וכן היציב ביותר בריכוזי הפוספט והחנקן האנאורגני, במהלך העשור האחרון. בנחל נעמן נמדדו ערכים גבוהים של זרחן וחנקן אנאורגניים בחודשי מרץ בשנים 2015-2020 בעוד בחמש השנים האחרונות נמדדו ערכים נמוכים משמעותית. לעומתו בנחל אלכסנדר נראתה השפעת החורף לאורך כל העשור האחרון עם ערכים

גבוהים יותר בחמשת השנים האחרונות. בנחל לכיש נמדדה העשרה בפוספט בדיגומי מרץ, ללא העשרה משמעותית בחנקן אנאורגני.



איור 5.1: ריכוזי פוספט (PO_4) אמוניום (NH_4) וחנקן אנאורגני ($\text{TIN}=\text{NO}_2+\text{NO}_3+\text{NH}_4$) בשפכי נחלי חוף הים התיכון, בשנים 1990-2024 (מרץ וספטמבר). הקו האדום המקווקו מייצג סף זיהום חמור. (Herut et al., 2023).

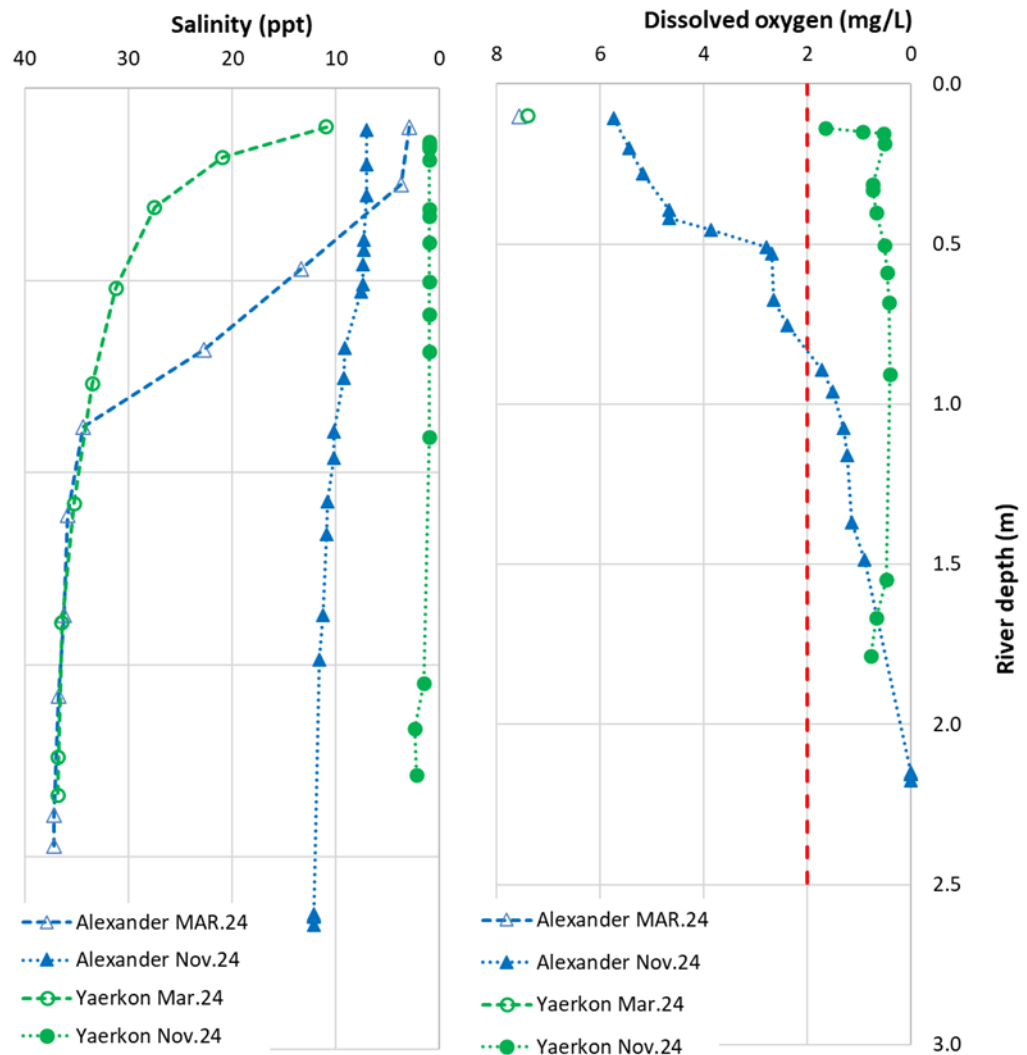
ריכוזי הכלורופיל בנחלים אלכסנדר, פולג ולכיש הראו רמת זיהום בינונית עד גבוהה, על סמך הקריטריונים של NOAA לאיכות מים בשפכי נחלים (נמוכה: 0-5; בינונית 20-60; גבוהה 60 ug/l בחודשי מרס 2024) (טבלה 5.1). באלכסנדר הזיהום נמשך גם בדיגום נובמבר. בדיגום נובמבר נחלי חדרה, אלכסנדר, ירקון ושוורק סבלו מעכבה ביולוגית (ריכוזי חמצן מומס קטנים מ-6 מ"ג/ל) ואף מאנוקסיה (ריכוזי חמצן מומס קטנים מ-2 מ"ג/ל)

בתחנות במעלה הנחל, סמוך למקור הזיהום. בייתר הנחלים ניתן להבחין בירידה משמעותית בריכוז החמצן המומס בדיגום בנובמבר בהשוואה למרץ, לאחר עונת הגשמים. עדות למחסור בהספקת מים מזינים לנחל במהלך הקיץ. בהתבוננות בחתך עומק בנחלים אלכסנדר וירקון ניתן להבחין בשני הנחלים בעקה ביולוגית לאורך מרבית עמודת המים בחודש נובמבר (איור 5.3). בחודשי מרס ניתן להבחין בחדירת מים מלוחים לעומק הנחל, בשני הנחלים בעומק מעבר למטר הופיעו מים במליחות קרובה למי ים, עדות לחדירת מי הים לאורך הנחל סמוך לקרקעית, תופעה שלא נפתה בסוף הקיץ.

טבלה 5.1: מאפיינים כלליים של המים בשפכי נחלי החוף בשנת 2024. ריבועים כתומים מציינים רמת זיהום בינונית ובאדום רמת זיהום גבוהה.

Station	River	March 2024										November 2024									
		Temp C	Salinity ppt	DO mg/L	DO %	pH	Turbidity NTU	TSS mg/L	Chl µg/L	BOD mg/L	Temp C	Salinity ppt	DO mg/L	DO %	pH	Turbidity NTU	TSS mg/L	Chl µg/L	BOD mg/L		
R4a	נעמן	19.65	13.45			7.96	16.6		3.80												
R4b		20.01	2.22			7.97	32.1	42.7	6.78												
R5a	קישון	20.83	6.45			7.98	11.4	17.6	2.27												
R5c		20.90	5.36			8.08	14.4	28.7	4.21												
R6a	תניניים	23.21	3.49	8.46	101.1	7.74	12.7		2.30		22.61	3.72	7.59	89.2	7.78	11.1		0.88			
R6b		25.32	10.19	8.08	94.3	7.75	8.1	17.4	2.57		23.60	3.60	6.44	77.0	7.67	10.4	11.3	0.88	0.35		
R6c		24.49	3.55	7.98	95.7	7.58	3.2	6.9	1.72		23.37	3.72	6.57	78.3	7.58	4.7		0.44	0.56		
R7a	חדרה	17.98	42.46	9.28	96.1	8.31	0.0		1.03		21.32	32.76	6.99	95.1	8.07	3.0		0.89			
R7b		17.92	24.23	8.64	88.0	8.07	8.7	11.4	2.36		20.48	30.31	6.58	86.9	7.96	5.5	2.8	1.57	2.21		
R7c		22.33	1.03	6.26	73.0	8.08	16.0		5.47		21.14	0.92	1.74	19.6	7.95	3.5		6.48	1.74		
R8a	אלכסנדר	20.56	24.44	8.93	95.9	8.13	6.4		3.44		23.81	11.65	6.51	81.9	7.89	9.4		35.60			
R8b		19.88	3.81	8.25	88.5	8.16	12.6		26.52		23.44	8.90	4.93	60.7	7.92	9.0	BDL	18.90	4.93		
R8c		17.72	2.89	7.56	84.9	8.06	16.3		26.86		23.37	7.01	5.74	69.7	7.94	11.8		46.02	5.74		
R9a	פילג	21.47	3.69	9.06	101.9	8.08	1.5		29.40												
R9b		22.50	2.15	11.98	138.1	8.10	8.3	7.1	6.93	3.63											
R10b	ירקון	23.30	12.63	7.63	90.1	8.09	14.0	16.3	3.19	1.36	19.73	0.84	5.38	58.8	7.96	6.2		9.62	5.35		
R10c		21.55	10.91	7.39	84.4	8.01	12.0	20.2	1.83	1.39	20.70	0.97	1.66	18.5	7.99	10.5	11.8	5.20	1.66		
R11a	שורק	22.09	23.21	8.31	94.3	8.14	10.2		5.03		25.01	7.95	7.28	91.6	7.84	7.2		6.72			
R11b		21.78	13.75			8.05	0.0	25.4	3.58		25.79	1.61	6.15	75.7	7.90	10.0	9.0	10.50	1.66		
R11c		18.27	0.87	7.36	78.5	8.07	38.0	80.1	2.14	4.86	21.49	0.99	1.75	19.8	7.79	26.8		7.44	1.66		
R12a	לכיש	18.40	10.34	13.80	145.0	8.86	4.6		61.96												
R12b		18.86	8.95	18.16	178.0	8.86	7.4	25.2	73.40	11.68											
R12c		19.51	8.34	13.40	145.0	8.61	4.4	17.4	44.96	6.20											

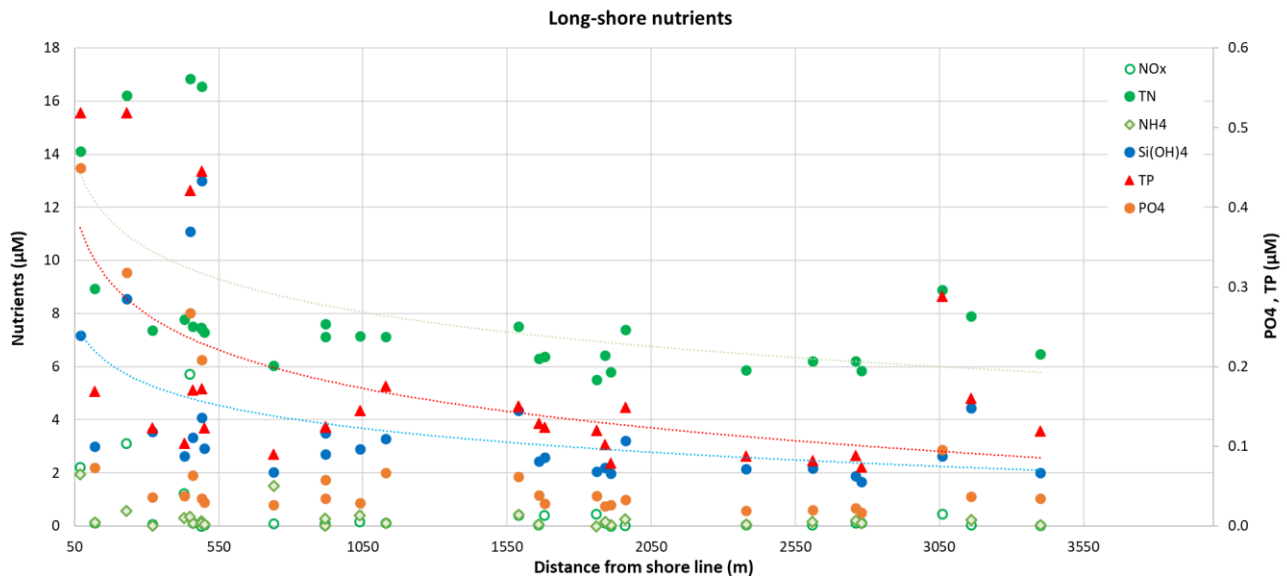
* A=river outlet, B=50m from outlet upstream, C=nearest highway bridge



איור 5.2 : פרופילי עומק של חמצן ומליחות בשפכי הנחלים אלכסנדר וירקון במרץ ונובמבר 2024. הקו האדום בחמצן המומס מייצג את גבול האנוקסיה.

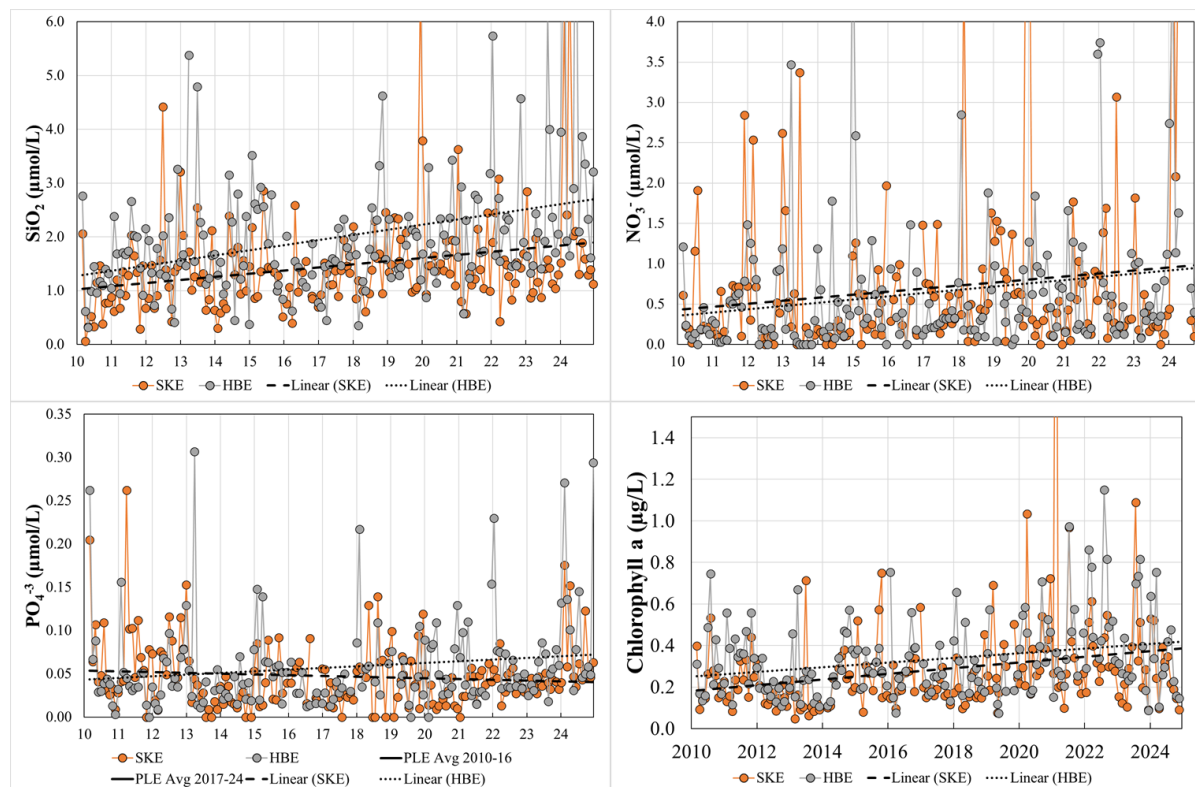
ממצאים עבור נוטריאנטים לאורך החוף

נוטריאנטים (חומצה סיליצית (Si(OH)₄), סך חנקן (TN), אמוניום (NH₄), ניטראט וניטריט (NO_x), סך זרחן (TP) ופוספאט (PO₄)) נמדדו באזור הרדוד של מימי החופין, דרומית למפרץ חיפה מול מוצאי נחלי החוף. כל הנוטריאנטים יורדים לוגריתמית ככל שמתרחקים מקו החוף, עדות להשפעה המקומית של מקור הזיהום (איור 5.3). ניתן לראות כי הריכוזים הגבוהים של הנוטריאנטים, שנמדדו במעלה הנחל ירדו בסדרי גודל בהגיעם לים (איור 5.1 במעלה הנחל בהשוואה לאיור 5.3 בים תיכון), ככל הנראה בשל שילוב של צריכה ביולוגית ומיהול. בעומק מים 10 מ' ומעלה ניתן לראות התייצבות עבור מרבית התחנות. בשורק נמדדו ריכוזי סך זרחן וחנקן גבוהים יותר בתחנה העמוקה.



איור 5.3: ריכוזי נוטריינטים במי שטח באזור הרדוד (עד עומק מים 30 מ') של מימי החופין בתחנות לאורך החוף, דרומית למפרץ חיפה. חומצה סיליצית (Si(OH)₄), סך חנקן (TN), אמוניום (NH₄), ניטראט וניטריט (NO_x), סך זרחן (TP) ופוספאט (PO₄) באוגוסט 2024, כתלוי במרחק מהחוף.

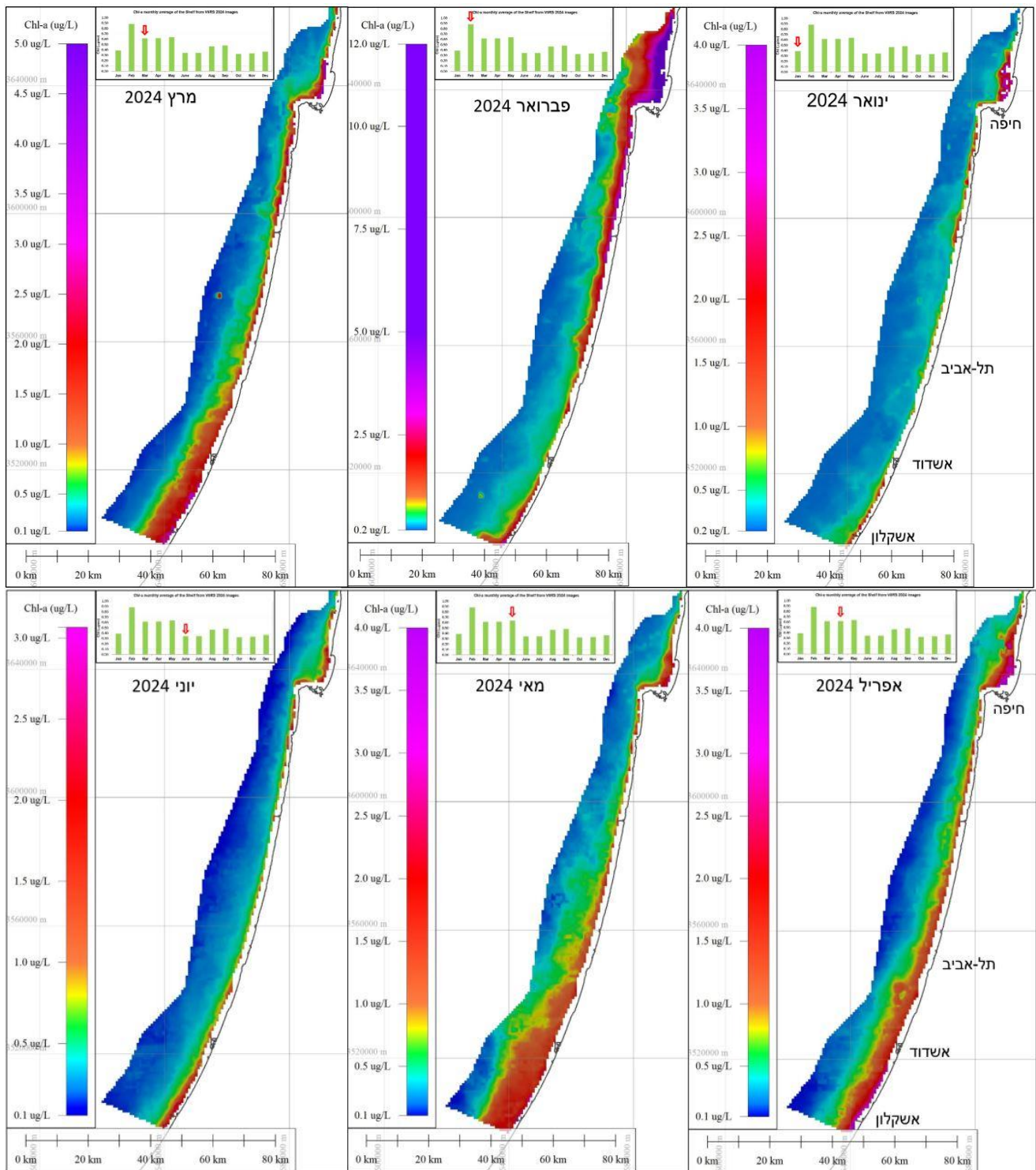
ריכוזי הנוטריינטים המומסים (NO₃; SiO₂) וכלורופיל במי הים שמעבר לקצה טבלאות הגידוד (קו החוף) בחוף שקמונה ובחוף הבונים מראים מגמות עלייה ארוכות טווח עם קצבי עלייה דומים, בשנים 2010 – 2024 (איור 5.4). לעומת זאת, ריכוזי הפוספאט מראים מגמה חיובית ארוכת טווח חלשה בטבלת הגידוד של חוף הבונים, בעוד שבטבלה בחוף שקמונה, ריכוזי הפוספאט מראים מגמה שלילית ארוכת טווח חלשה מאוד. מעניין לציין שבסיליקה וניטראט, קווי המגמה מעידים על עליית ריכוזים כמעט בפקטור של 2 מתחילת המדידות עד 2024. באופן דומה, גם ריכוז הכלורופיל ב-2024 גבוה פי 2 מערכו בתחילת המדידות על פי קו המגמה. הדמיון בין המגמות מרמזות על כך שהתופעה אינה מקומית וכנראה משקפת תהליכים אזוריים. העלייה בסיליקה במים החופיים מרמזת על האפשרות שהעשרה זו קשורה בהגברת שפיעה של מי תהום מועשרים בסיליקה לאורך החוף בשנים האחרונות. לחלופין או בנוסף ייתכן שהגברת קולחים שניונים, שגם הם מועשרים בסיליקה דרך נחלי החוף לים, גם כן אחראים למגמות. בכל אופן, עלייה של סיליקה וניטראט במקביל לעלייה בכלורופיל בפרוש מעידה על העתרה בחומרי זינה במים החופיים והיגרת יצרנות ראשונית, כפי שמתקף במגמת העלייה של כלורופיל.



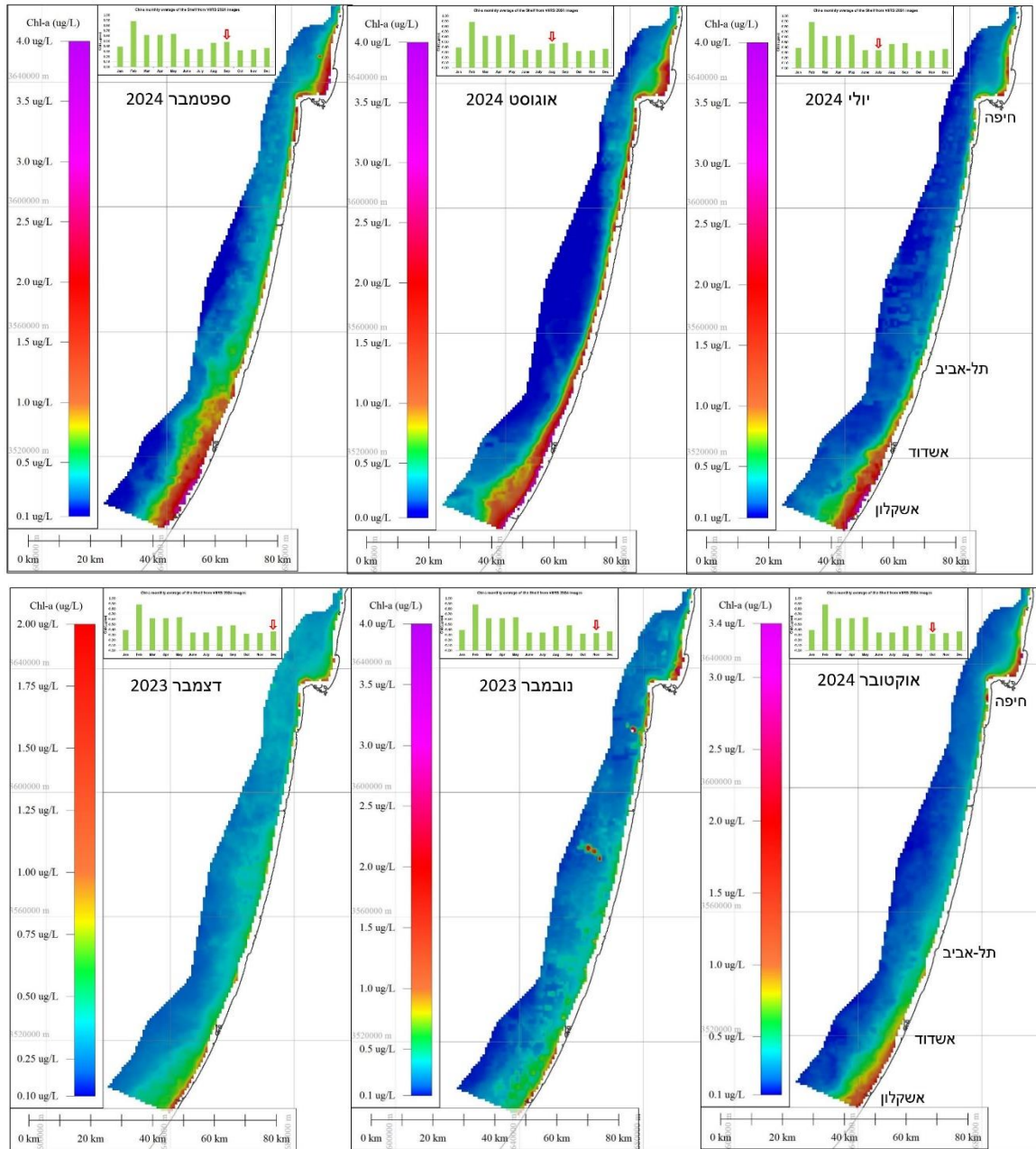
איור 5.4: שינויים בריכוזי הנוטריינטים (SiO_2 ; NO_3^- ; PO_4^{3-}) וכלורופיל a במי הים שבקצה טבלאות הגידוד בחוף הבונים ובחוף שקמונה בין השנים 2010 – 2024. קיימת מגמת עליה מובהקת ארוכת טווח בסיליקה, ניטראט וכלורופיל דומים בשתי תחנות הניטור, בעוד שבפוספאט נראית מגמה חיובית חלשה בטבלת הגידוד של חוף הבונים ומגמת ירידה חלשה מאוד בחוף שקמונה.

ממצאים עיקריים - בניטור מלוויניים (SISCAL)

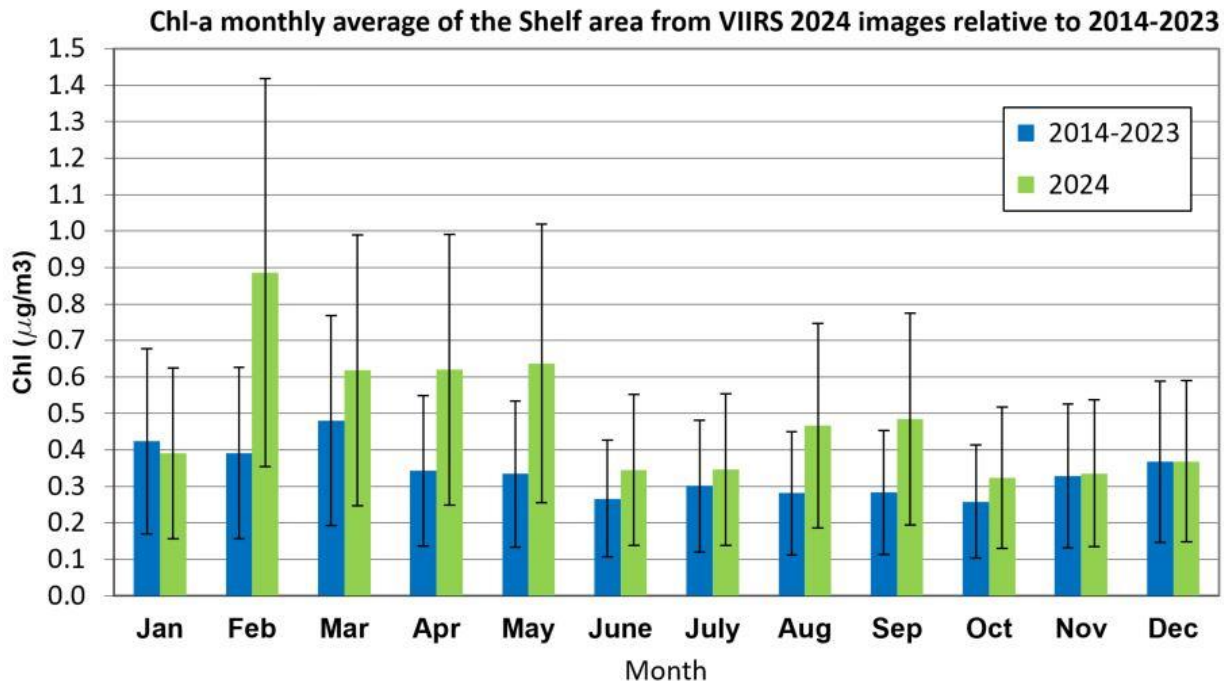
מעקב אחר ריכוזי הכלורופיל ככול מדף היבשת (מקילומטר מהחוף ועד קצה המדף) נעשה באמצעות צילומי לוויין יומיים מסוג VIIRS ומשמש לניטור סינופטי בגלל הרזולוציה היחסית נמוכה שלו (750 X 750 מטר לפיקסל). ההתפלגות המרחבית של הממוצעים החודשיים לשנת 2024 והשוואתם לשנים קודמות מוצגת **באיורים 5.5 ו 5.6**. באיור ניתן לראות מגמה כללית של ירידה בתפוצה המרחבית של ריכוזי הכלורופיל ככל שמתרחקים מקו החוף. הגרדיאנט של הירידה בריכוזי הכלורופיל עם הריחוק מקו החוף (פקטור של כ-3) נובע מההשפעה של החדרת חומרי דשן ממקורות יבשתיים ומההשפעות העונתיות של הזרימות הבאות: א) בדרום - מהדלתא של הנילוס (בעיקר בחודשים פברואר-אוקטובר), משפכי הנחלים (שיקמה ונחל עזה), ומהזרמות שפכים במספר מקומות לאורך רצועת עזה, ב) במרכז ובצפון: שפך הירקון, ובאזור מפרץ חיפה והחופים הצפוניים בעיקר משפכי הנחלים של הקישון ונעמן (בעיקר בחודשי החורף). בשנת 2024 הממוצע החודשי של ריכוזי הכלורופיל במדף היה גבוהה יותר מהממוצע הרב שנתי (2014-2023) בחודשים פברואר-נובמבר (**איור 5.6**). הריכוזים הגבוהים ביותר התקבלו בחודש פברואר ונובעים כנראה מהריכוזים הגבוהים בצפון המדינה (מראש כרמל צפונה). הריכוזים האבסולוטיים של כלורופיל, באתרים לאורך חופי ישראל בהם נמצאה העשרה, אינם גבוהים ביחס לערכים שנמדדים באזורים המוגדרים כאוטורפיים, הן ביס התיכון והן בימים אחרים בעולם.



איור 5.5 : ממוצע חודשי של תפוצת ריכוזי הכלורופיל ב- mg/L (לא מכויל) בשנת 2024 במדף היבשת (ממרחק של 1 ק"מ מערבית לחוף ועד לקצה המדף) כפי שהתקבלו מאנליזה של צילומי לוויין מסוג VIIRS (רזולוציה 750X750 מטר). הגרפים בחלק העליון של כול מפה מייצגים את הממוצע החודשי של הכלורופיל בכול המדף.

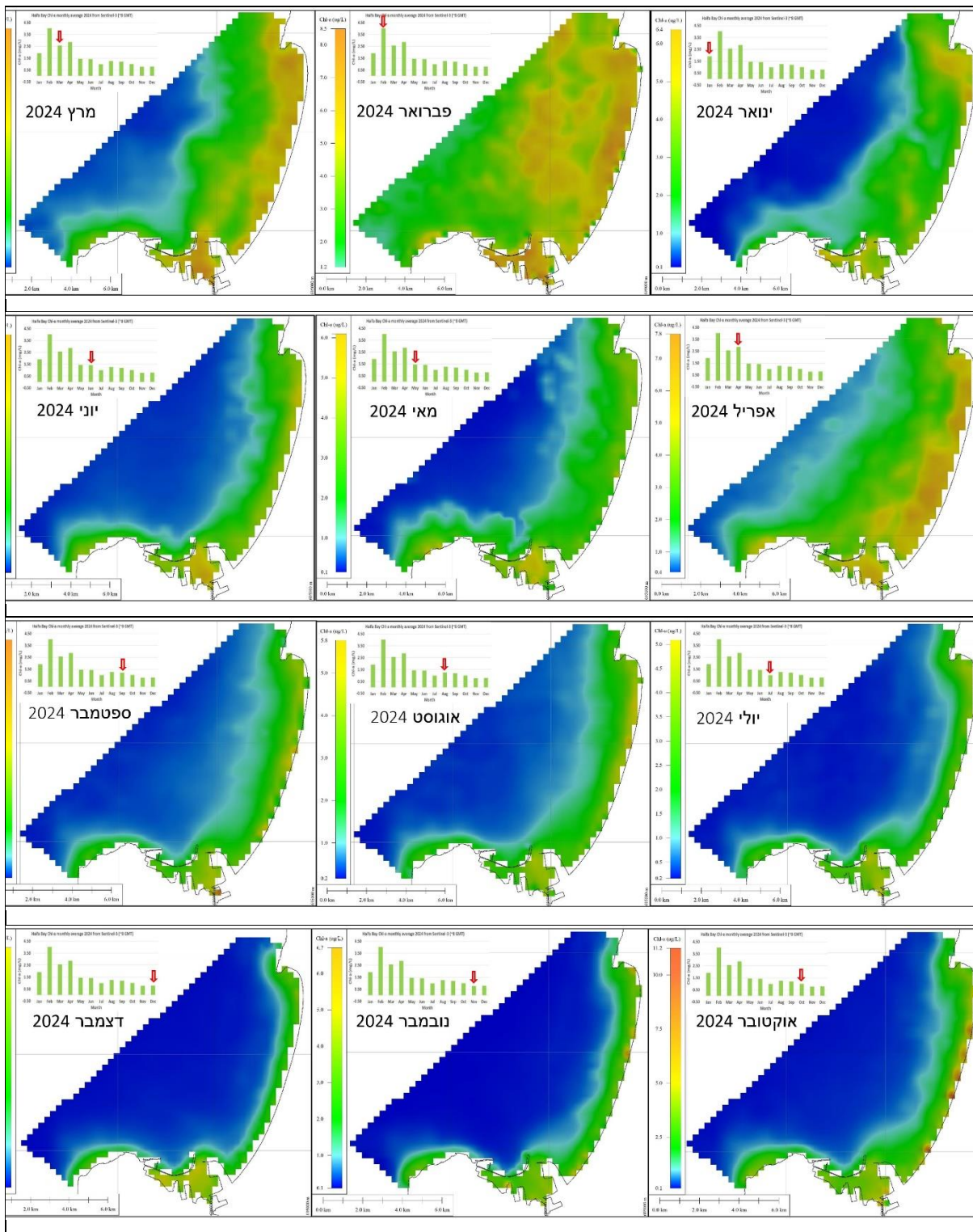


איור 5.5 המשך



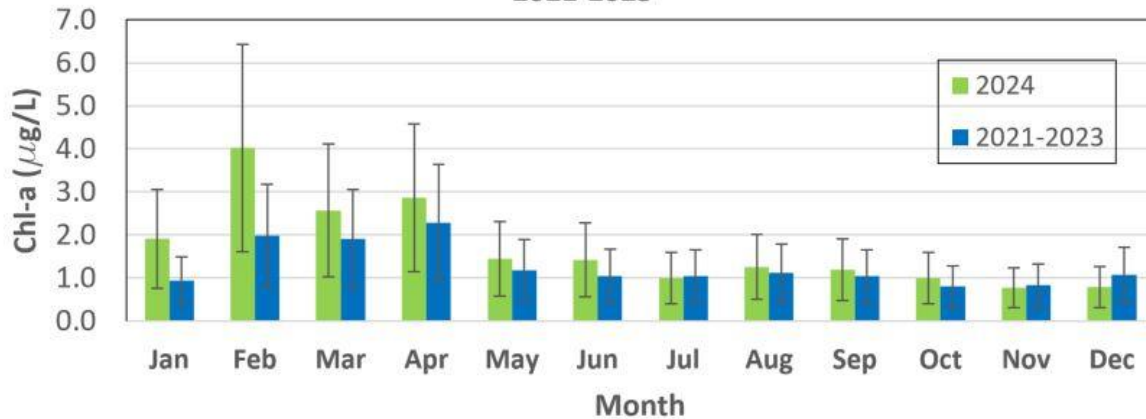
איור 5.6 : ממוצע חודשי של תפוצת ריכוזי הכלורופיל ב- mg/L (לא מכויל) בשנת 2024 והשוואתם לממוצע החודשי בשנים 2014-2023.

ערכי הכלורופיל במפרץ חיפה גבוהים מהערכים לאורך החוף וקשורים בעיקר להזרמות נוטריינטיים משפכי נחלי הקישון והנעמן. בניית הרציף החדש והארכת שובר הגלים של הנמל גרמה להגדלת זמן השהות של המים בנמל ומגבירה את ריכוזי הכלורופיל והחומר המרחף גם בסמוך לו. מהסיבות הללו נעשה במפרץ חיפה מעקב יומי "קרוב לזמן אמת" אחר ריכוזי הכלורופיל ופרמטרים נוספים (TSM, SEC, PAR, SST) באמצעות צילומי לוויין מסוג Sentinel-3 (רזולוציה של 300×300 מטר לפיקסל). ההתפלגות המרחבית של הממוצעים החודשיים לשנת 2024 מוצגת באיור 5.7. בשנת 2024 הממוצע החודשי של ריכוזי הכלורופיל היה גבוהה יותר מהממוצע הרב שנתי (2014-2023) בחודשים ינואר-יוני ואוגוסט-אוקטובר (איור 5.8). הריכוזים הגבוהים ביותר התקבלו בחודשים ינואר-אפריל בגלל הזרימות מהקישון ומהנעמן.



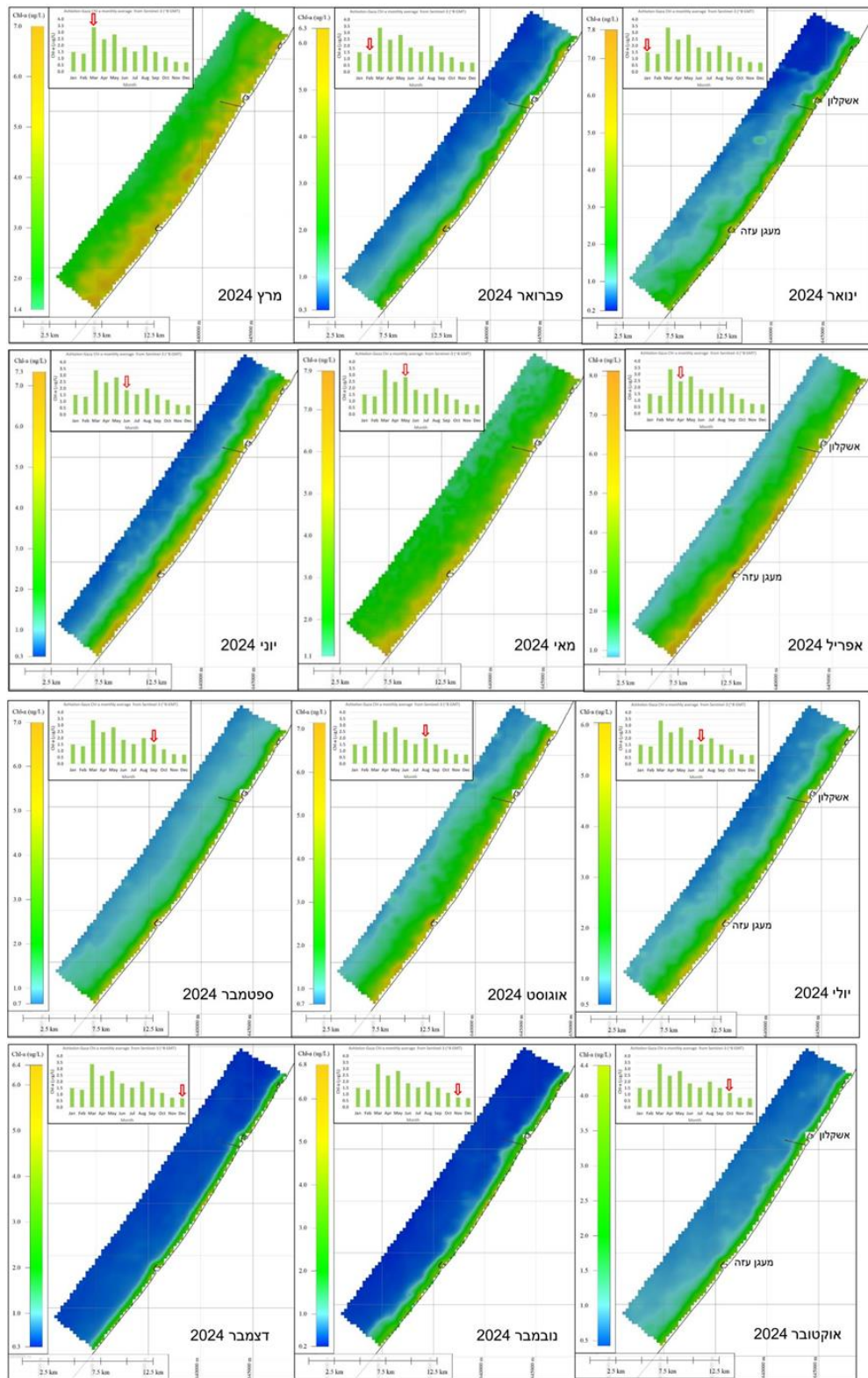
איור 5.7: ממוצע חודשי של תפוצת ריכוזי הכלורופיל ב- mg/L (לא מכוייל) במפרץ חיפה בשנת 2024 כפי שהתקבלה מאנליזה של 238 צילומי לוויין מסוג Sentinel-3 (רזולוציה 300×300 מטר). הגרפים בחלק העליון של כול מפה מייצגים את הממוצע החודשי של הכלורופיל בכל המפרץ.

Chl-a monthly average of Haifa Bay from Sentinel-3 images relative to 2021-2023

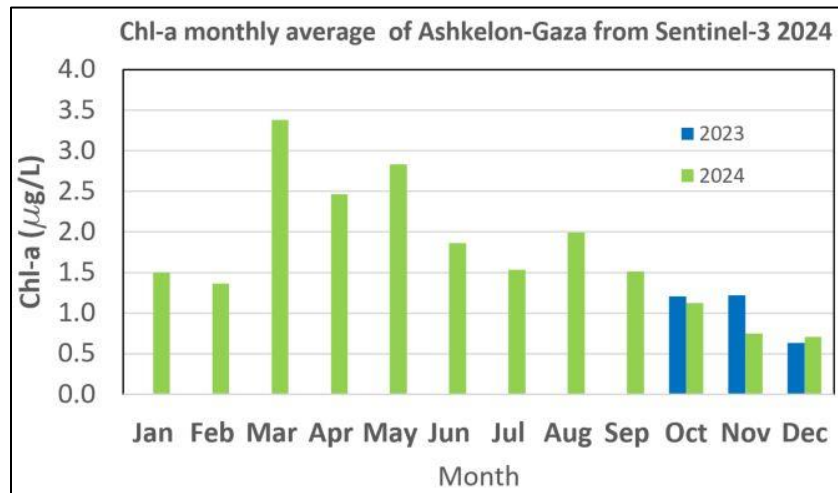


איור 5.8 : ממוצע חודשי של תפוצת ריכוזי הכלורופיל ב- mg/L (לא מכויל) בשנת 2024 והשוואתם לממוצע החודשי בשנים 2021-2023.

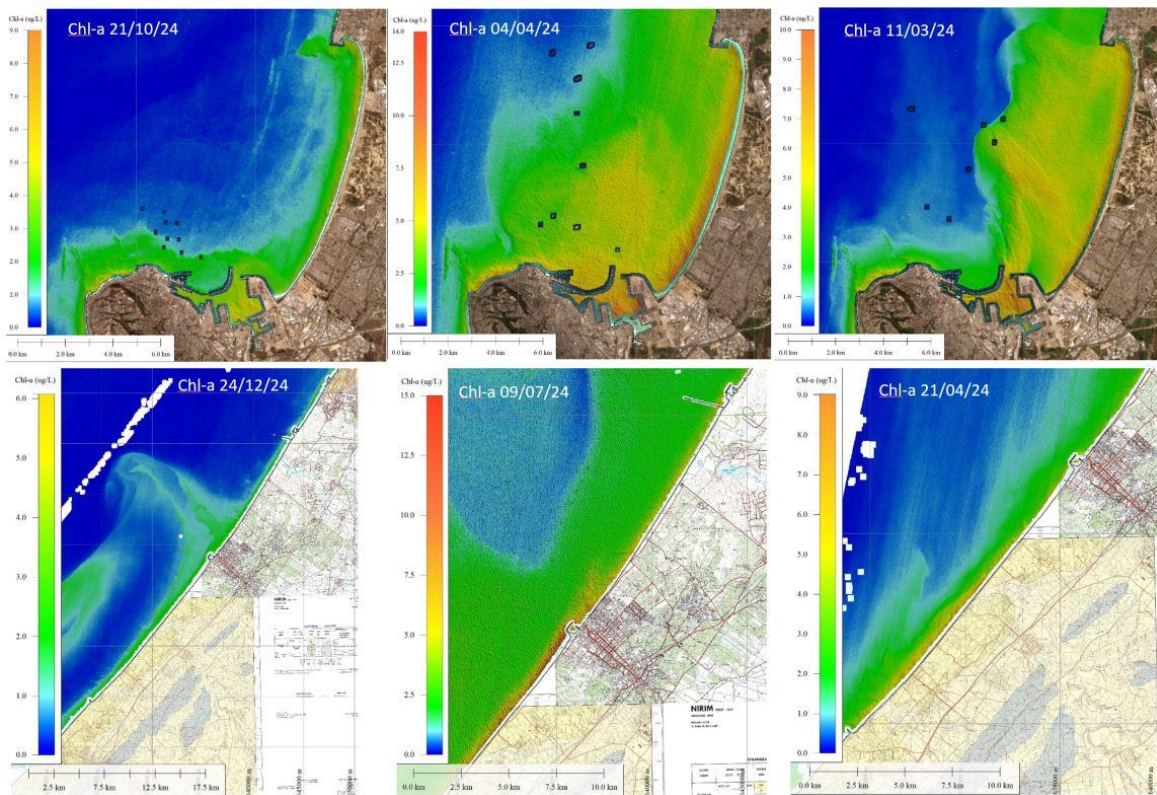
ניטור יומי "קרוב לזמן אמת" (בדומה למפרץ חיפה) באזור שהמוגדר מנחל עזה בדרום ועד מרינה אשקלון בצפון ועד 5 ק"מ מערבית לחוף החל באוקטובר 2023 בעקבות המלחמה ומפאת החשיבות הרבה שיש להזרמת שפכים מעזה כולל זרימות מנחל עזה על החופים הדרומיים, ובכלל זה על אזור היניקה של מתקן ההתפלה. הממוצע החודשי של ערכי הכלורופיל (לא מכויל) הם יחסית גבוהים לאורך השנה ומושפעים משילוב ההשפעה העונתית של הדלתא של הנילוס, נחל עזה ומשפכי ביוב ממוקדים שונים ברצועה. ההתפלגות המרחבית של הממוצעים החודשיים לשנת 2024 מוצגת באיור 5.9. ניתן לראות לאורך השנה שריכוזי הכלורופיל הגבוהים ביותר התקבלו קרוב לחוף במספר מוקדים. השפעת הדלתה של הנילוס ניכרת (ריכוזים יחסית גבוהים בחלק המערבי של האזור) בעיקר בחודשים מרץ-מאי ואוגוסט-אוקטובר. בשנת 2024 הממוצע החודשי של ריכוזי הכלורופיל היה הגבוהה יותר בחודשים מרץ-מאי ובחודש אוגוסט (איור 5.10).



איור 5.9 : ממוצע חודשי של תפוצת ריכוזי הכלורופיל ב- mg/L (לא מכויל) באזור עזה-אשקלון בשנת 2024 כפי שהתקבלה מאנליזה של 233 צילומי לוויין מסוג Sentinel-3 (רזולוציה 300×300 מטר). הגרפים בחלק העליון של כול מפה מייצגים את הממוצע החודשי של הכלורופיל באזור המיפוי.



איור 5.10 : ממוצע חודשי של תפוצת ריכוזי הכלורופיל ב- mg/L (לא מכויל) בשנת 2024.



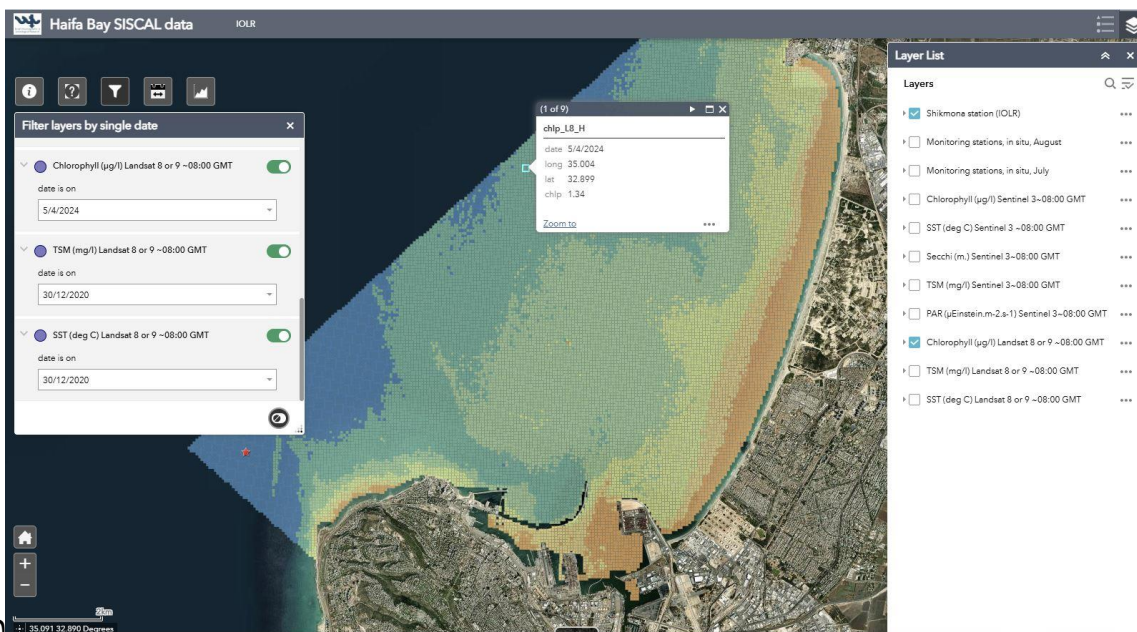
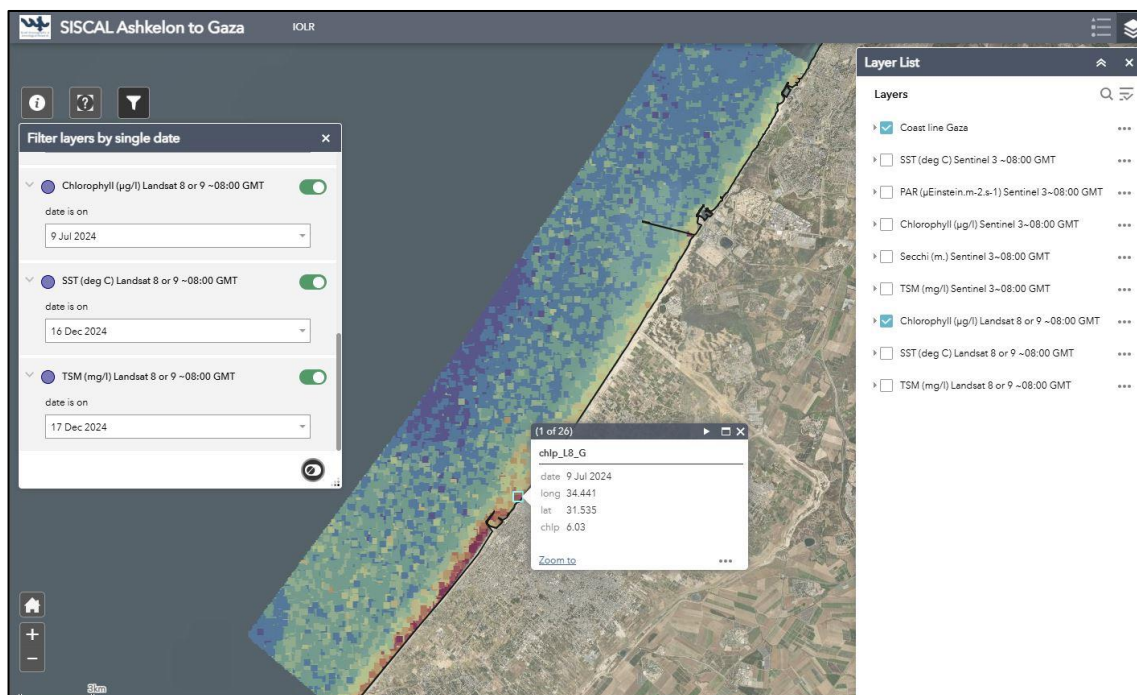
בשני

אזורי העניין, מפרץ חיפה ועזה-אשקלון, נעשה גם ניטור ברזולוציה גבוהה (30 X 30 מטר לפיקסל) של ריכוזי כלורופיל, חומר מרחף וטמפרטורת פני המים (Chl-a, TSM, SST) באמצעות צילומי לוויין מסוג Landsat 8 & 9 (69 בחיפה ו-73 בעזה) שמצלמים מעל אזורנו כול 16 יום. ניטור זה אינו בזמן אמת אבל מאפשר לזהות בצורה טובה אנומליות בפרמטרים הממופים. דוגמא לאנומליות בריכוזי הכלורופיל באזורי העניין ניתן לראות

באיור 5.11

איור 5.11 : דוגמאות של תפוצת ריכוזי הכלורופיל ב- mg/L (לא מכויל) במפרץ חיפה ובאזור אשקלון-עזה מאנליזה של צילומי לוויני 8 & 9 Landsat ברזולוציה של 30 מטר. הדוגמא מה-24 לדצמבר באזור עזה מראה את השפעת gyre על הסעת כלורופיל מערבה.

בשני אזורי העניין, מפרץ חיפה ועזה-אשקלון, תוצאות עיבוד נתוני לוויין Sentinel-3 מוצגים "קרוב לזמן אמת" ונתוני Landsat 8 & 9 כול 16 יום בשתי אפליקציות (WEB-GIS) באינטרנט (איור 5.12) שנגישות למקבלי ההחלטות,



חוקרים

והציבור הרחב דרך מרכז המידע הימי ISRAMAR תחת לשונית Near Real Time. איור 5.12: אפליקציות הניטור של מפרץ חיפה ואזור אשקלון-עזה "קרוב לזמן אמת" המבוססות על אנליזות של צילומי לוויין מסוג Landsat 8/9 עם רזולוציה של 30 מטר (כול 16 יום) ולוויין Sentinel-3 כיסוי יומי) עם רזולוציה של 300 מטר. הפרמטרים שממופים כוללים: Chl-a, TSM, SEC, PAR, SST. האפליקציות מאפשרות הורדת כול נתוני הפרמטרים השונים.

Herut, B., Gertner, Y., Segal, Y., Sisma-Ventura, G., Gordon, N., Belkin, N., & Rahav, E., 2023. Long-Term (2002–2021) Trend in Nutrient-Related Pollution at Small Stratified Inland Estuaries, the Kishon SE Mediterranean Case. *Water*, 15(3), 484.

