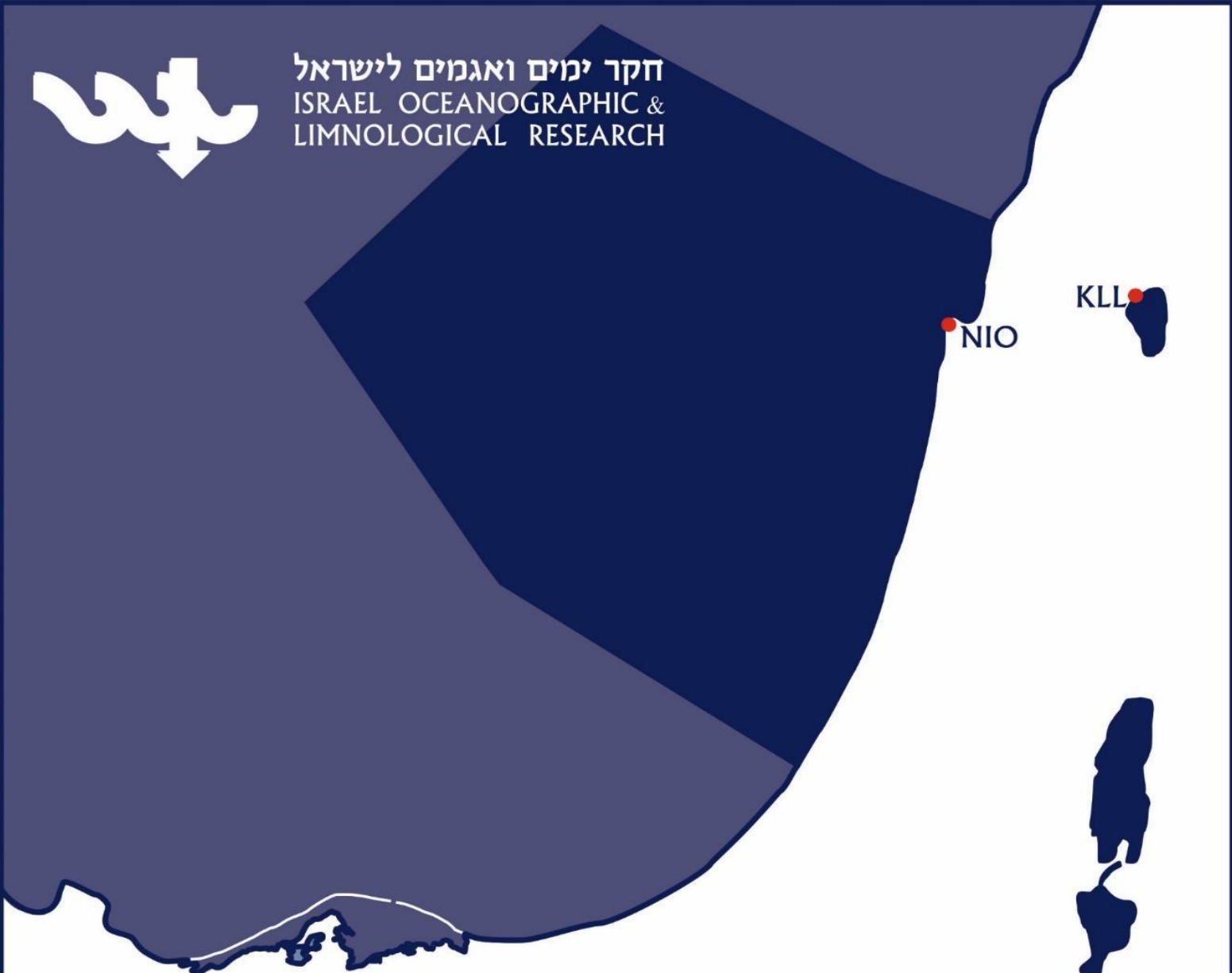




חקר ימים ואגמים לישראל  
ISRAEL OCEANOGRAPHIC &  
LIMNOLOGICAL RESEARCH



## דו"חות חיא"ל IOLR REPORTS

תכנית הניטור הלאומית בים התיכון לשנת 2024

ניטור המגוון הביולוגי

דו"ח חיא"ל ל-14/2025

NCM



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

## תכנית הניטור הלאומית בים התיכון לשנת 2024 ניטור המגוון הביולוגי

דו"ח חיא"ל H/14/2025

הדוח מתייחס ליעדים אקולוגיים במסגרת אמנת ברצלונה, כלהלן:

EO1 Biodiversity

EO2 – Non-Indigenous species

EO4 Marine food webs

**כתיבת הדוח:** פרופ' אייל רהב, ד"ר מקסים רובין-בלום, נורית גורדון, פרופ' תמר גיא-חיים, ד"ר הדס לובינסקי,  
פרופ' גיל רילוב, ד"ר ניר שטרן, ד"ר איל אופיר, ד"ר שחר רגב וד"ר גדעון גל.  
**עריכת הדוח:** פרופ' אייל רהב וד"ר יעל סגל

**דיגום ומדידות:** ד"ר חימנה דובינסקי-וולסקי, ד"ר זויה גרבוזובה, דר' יאנה יודקובסקי, דר' תום רייך,  
חריסטינה ירמק, אווה מזרחי, נרינה לנרט, אולגה קיריצנקו, נעמי קיפרווס, מרווא בולוס, יוליה פירגובה,  
ד"ר ארסני מורוב, מיה חיים, ד"ר סופיה נזרובה, שי זילברמן, גיא רענן, יובל סונגו, מיה חיים, סופיה  
נזרובה.

ד"ר אלורו ישראל היה שותף בזיהוי הטקסונומי של המאקרואצות  
**צילום שער:** גיא רענן

יולי 2025

**שם הדו"ח לצורך ציטוט:**

Rahav E., Rubin-Blum M., Guy-Haim T., Gordon N., Lubinevsky H., Stern N., Rilov G., Ofir E.,  
Regev S., Gal G. and Segal Y. (2025). The National Monitoring Program of Israel's Mediterranean  
waters – Scientific Report on Biodiversity, Indigenous species, Marine food webs, and Sea-floor  
integrity for 2024; Israel Oceanographic and Limnological Research, IOLR Report H14/2025.

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

## תוכן עניינים

פרק 1 - ניטור ביולוגי ואקולוגי של פיטופלנקטון בעמודת המים	5
תחנות ושיטות דיגום	5
ממצאים בנוגע למימי חופים	5
ממצאים מים פתוח	9
פרק 2 - ניטור ביולוגי ואקולוגי של חיידקים בעמודת המים והסדימנט	14
Abstract	14
תחנות ושיטות דיגום	14
מימי חופים וים פתוח	15
ממצאים מהסדימנט	21
פרק 3 - ניטור זואופלנקטון	26
Abstract	26
תחנות ושיטות דיגום	27
ממצאים עיקריים	28
פרק 4 - ניטור ביולוגי ואקולוגי של חי תוך המצע	38
Abstract	38
תחנות ושיטות מדידה	38
ניטור הסביבה החופית	39
פרק 5 - ניטור ביולוגי ואקולוגי של החי על המצע הרך	49
Abstract	49
תחנות ושיטות מדידה	49
ממצאים עיקריים	50
השוואת זמני גרירה	51
ניטור מדף מתמשך (זמני גרירות "רגילים" של כשעה וחצי)	54
ניטור מדרון היבשת ומישור הבתואל	57
מסקנות והמלצות	57
פרק 6 - ניטור חברות אקולוגיות בשוניות סלעיות	58
Abstract	58

58	תחנות ושיטות מדידה
59	ממצאים עיקריים
61	ממצאים בחוף הסלעי (טבלאות גידוד)
69	ממצאים משוניות מים רדודים
79	ממצאים בנוגע לשוניות עמוקות
80	פרק 7 – פיתוח ויישום מודלים אקולוגיים והטמעתם בתוכנית הניטור
80	Abstract
81	רקע
82	מטרות
82	מטרות משנה
83	שיטות עבודה
86	ממצאים מהמודל הדינאמי בזמן (Ecosim)
88	ממצאים מההמודל המרחבי
90	שימוש במדדים מרחביים
91	משמעות אקולוגית
93	סכום

## פרק 1 - ניטור ביולוגי ואקולוגי של פיטופלנקטון בעמודת המים

נורית גורדון [ngordon@ocean.org.il](mailto:ngordon@ocean.org.il), פרופ' איל רהב [eval.rahav@ocean.org.il](mailto:eval.rahav@ocean.org.il), וד"ר  
מקסים-רובין בלום [mrubin@ocean.org.il](mailto:mrubin@ocean.org.il)

### תחנות ושיטות דיגום

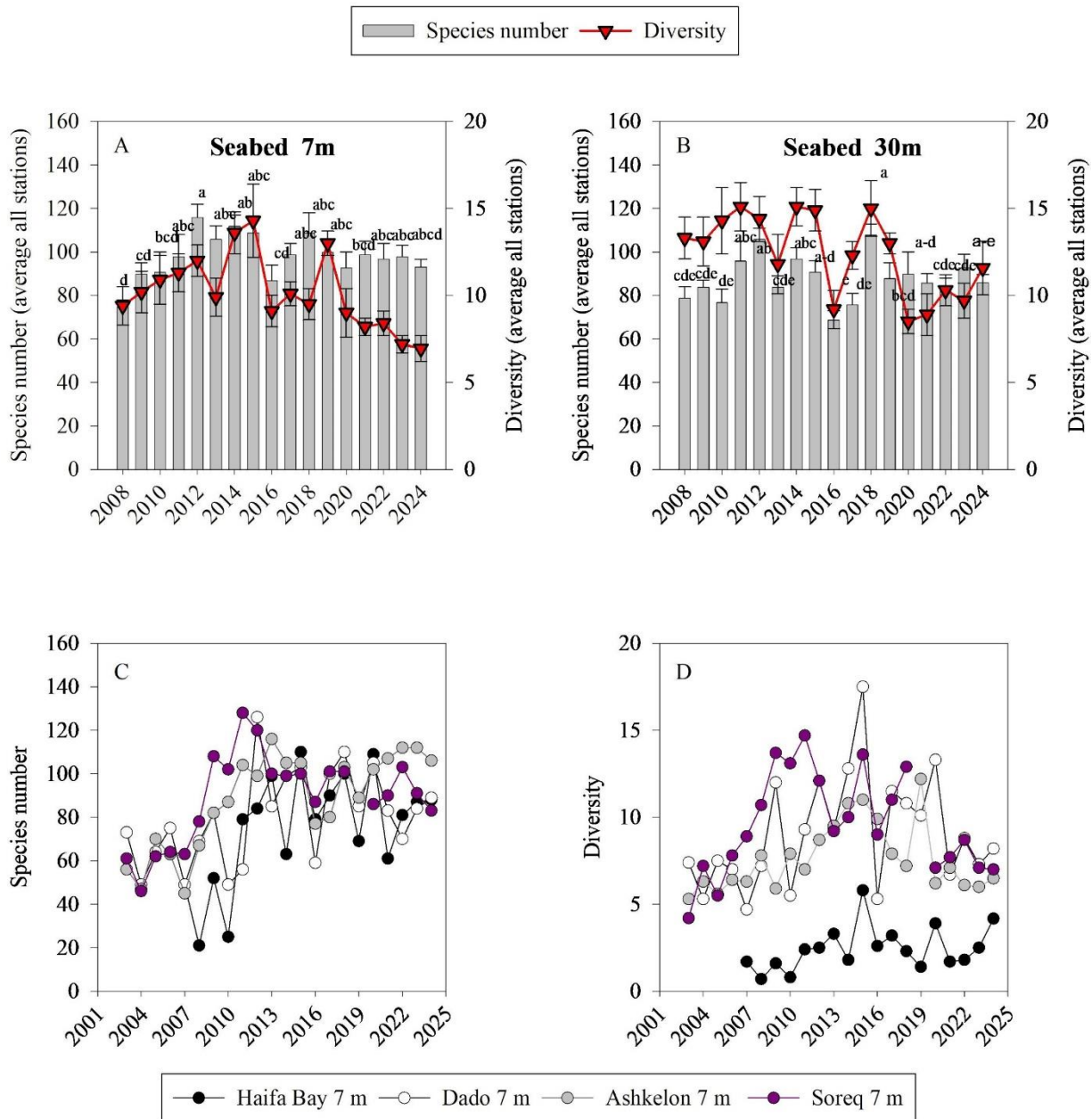
המדידות בוצעו לאחר גרירת רשת פלנקטון וזיהוי טקסונומי בעזרת מיקרוסקופ אפי-פלורוסנטי בתחנות חופיות ובחנת חיפה (איור 3.1). ביומסת אצות כללית, כלורופיל, נמדדה ע"י מיצוי באצטון וקצבי יצרנות ראשונית (פוטוסינתיזה) נמדדו בעזרת סמן רדיואקטיבי. הדיגום החודשי מאפשר לאמוד את העונתיות של ביומסת האצות ופעילותן במימי חוף שקמונה המוגדרים אוליגוטרופים (עניים בנוטריאנטים). אוליגוטרופים (עניים בנוטריאנטים).

### ממצאים בנוגע למימי חופים

אולטרא-פיטופלנקטון היוו את קבוצת האצות הדומיננטית לאורך החוף ובמפרץ חיפה, בדומה למי השטח בים הפתוח, אולם בריכוזים גבוהים יותר. בהתאמה, ערכי היצרנות הראשונית היו גבוהים מאלה הנמדדים על פי רוב בים הפתוח (איור 1.1).

ריכוזי כלורופיל (מדד לאצות) גבוהים יחסית נמדדו בדרום (אשקלון) ופחתו בהדרגה צפונה (חוף דדו, חיפה). עיקר הביומסה באשקלון נבעה מפריחה של האצה הצורנית מהמין *Chaetoceros* spp. שאינה ידועה כרעילה ונמצאת בכל הדיגומים החל מ-2002. במים הרדודים מול מוצאי נחלי אלכסנדר, ירקון, שורק ותחנת אשקלון נמדדה רמה דומה וגבוהה (פי 2-5) בריכוז התאים, בביומסת האצות ובריכוז הכלורופיל יחסית לשנים קודמות ויחסית לממוצע הרב שנתי.

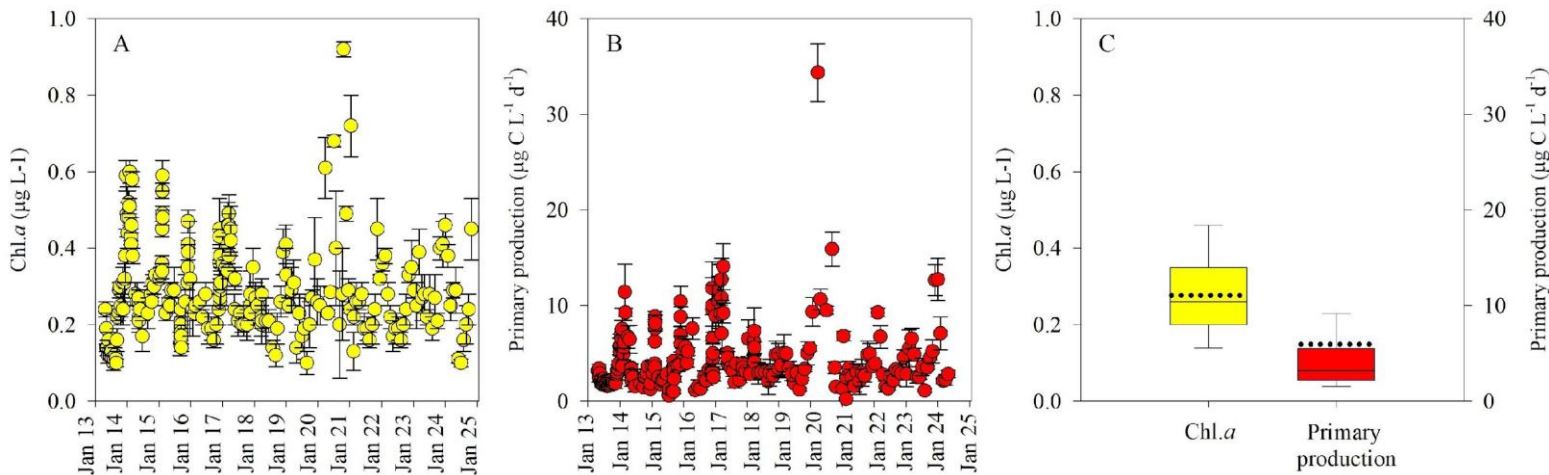
ככלל, רוב הכלורופיל במימי החופים ובמפרץ חיפה הוכתב על ידי ציאנובקטריה מסוג *Synechococcus* (כ-60-70%) ובמידה פחותה יותר ע"י אצות צורניות (diatoms) ודינופלגלטים (כאמור למעט אשקלון בדיגום זה בו נמצאה פריחת צורנית). נראה כי ריכוז הציאנובקטריות עולה בשנים האחרונות, מגמה שיש להמשיך לעקוב אחריה ויכול להיות קשור להפחתה כללית של המזהמים מהנחלים/אסטוארים. מספר המינים ואינדקס מגוון המינים (Diversity Index) במפרץ חיפה בדיגום 2024 נותר סה"כ דומה לשנים קודמות, והיה קטן מתחנות לאורך החוף דרומית למפרץ. לא נמצא שינוי משמעותי במספר המינים מול מוצאי הנחלים לאורך החוף ביחס לשנה שעברה (איור 1.1).



**איור 1.1 – פאנלים עליונים:** התפלגות ממוצע מספר המיני הפיטופלנקטון ואינדקס השונות שלהם בפני השטח (0.5~ מ') לאורך החוף הים תיכוני בתחנות רדודות (עומק קרקעית 6-7 מ', A) ועמוקות (עומק קרקעית כ-30 מ', B) בין השנים 2008-2024. פאנלים תחתונים: התפלגות ממוצע מספר המיני הפיטופלנקטון (C) ואינדקס השונות שלהם (D) בתחנות ספציפיות בין השנים 2003-2024.

מגוון מיני האצות מול מוצאי הנחלים בדיגום 2024 נותר דומה לשנים קודמות (החל מ 2022), זאת לאחר ירידה בשנים האחרונות במי החופים בהם עומק הקרקעית כ-30 מ' (מרוחק מספר ק"מ מהחוף) ובמפרץ חיפה. כללית, נצפית מגמה ארוכת טווח של עליה במגוון ומספר מיני האצות בשנים 2002 עד לערך 2012, ובהמשך ללא מגמה ברורה עד 2024. מגמות אלה קשורות ככל הנראה להפחתת עומסי הנוטריינטים ממקורות יבשתיים בעשור הראשון בלבד.

לא נמצאו חריגות בממוצע הרב שנתי של ריכוז הכלורופיל או של ערכי היצרנות הראשונית בתחנת תל-שיקמונה (כמייצגת החוף הצפוני שאינו מושפע מנחלים, ממפרץ חיפה וכד') ביחס לממוצע הרב שנתי בין 2013 ל 2024 (איור 1.2). ניתן לראות כי בשנים קודמות היו חריגות נקודתיות מהממוצע הרב שנתי/עונתי, שבד"כ נבעו משינוי במשטר הנוטריאנטים באירועים שונים כגון גשם, אבק והזרמת ביוב, או אירועי זיהום כמו הגעת הזפת לחוף בפברואר-מרץ 2021. לפיכך, מדידות יצרנות, נוסף לבימוסה, הן כלי ניטורי רגיש לשינויים קצרי טווח.

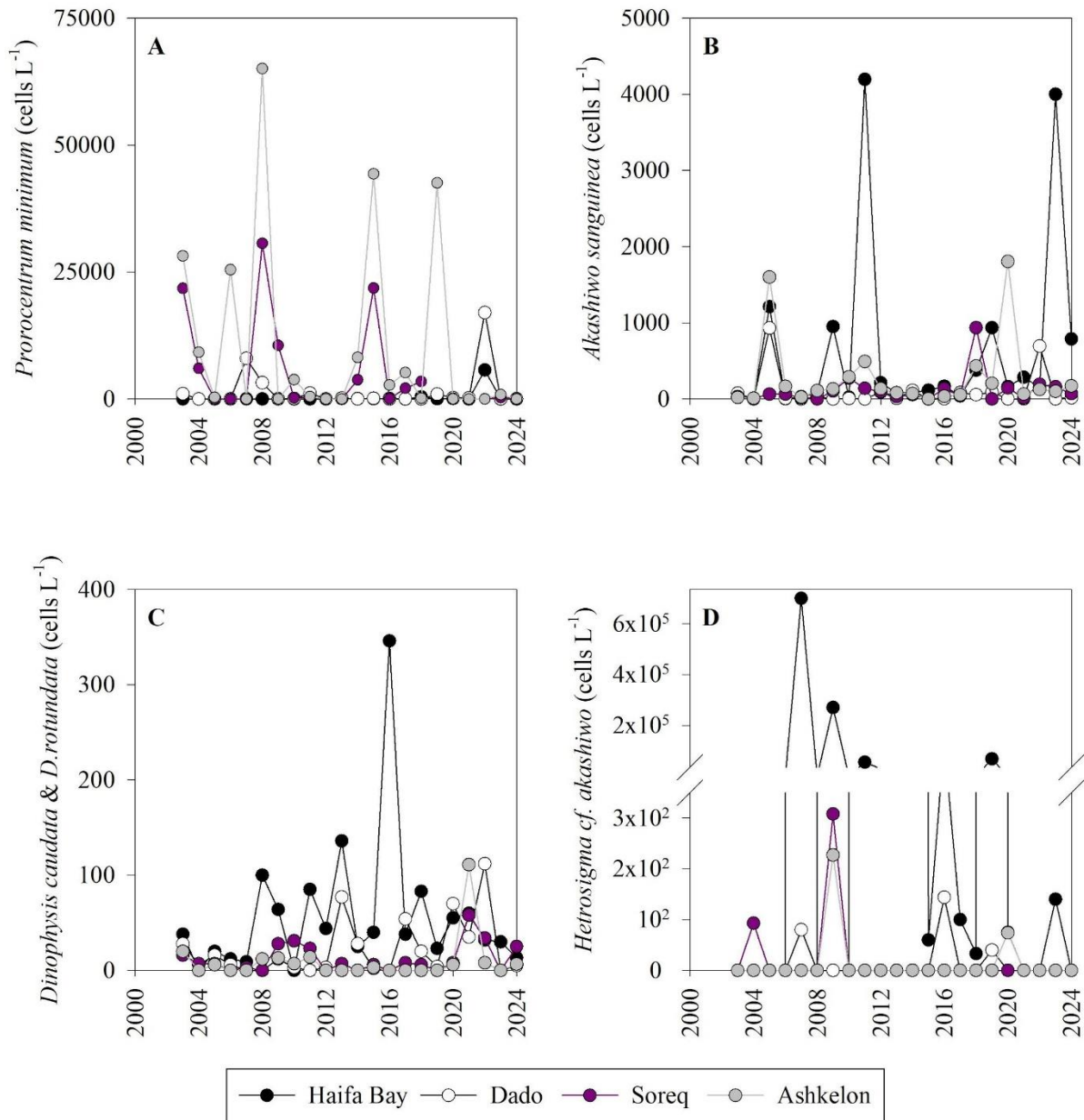


**איור 1.2** – ריכוז כלורופיל (A) ויצרנות ראשונית (B) בפני השטח (~0.5 מ') של חוף שקמונה בין השנים 2013-2024. הממוצע הרב שנתי של ערכים אלה מוצג כגרף קופסה (C). הקו בקופסא מייצג את ערך החציון כפי שחושב עבור השנים 2013-2024 בעוד שהקו המקווקו מראה את ערך החציון עבור 2024. ביומסת אצות כללית, כלורופיל, נמדדה ע"י מיצוי באצטון וקצבי יצרנות ראשונית (פוטוסינתזה) נמדדו בעזרת סמן רדיואקטיבי. הדיגום החודשי מאפשר לאמוד את העונתיות של ביומסת האצות ופעילותן במימי חוף שקמונה המוגדרים אוליגוטורפים (עניים בנוטריאנטים). על פי רוב, ערכי הכלורופיל והיצרנות ראשונית היו גבוהים בחודשי החורף מאשר חודשי הקיץ (פי 2-4). כמו כן, ניתן לראות חריגות נקודתיות בערכים אלה בעת הזרמת שפכים/ גשם/ סופות אבק וכד' (למשל בינואר 2024).

בדומה לשנים האחרונות, בניטור 2024 נמדדה במים הרדודים במפרץ חיפה ביומסה גבוהה של אצות, בעיקר יותר בפתח נחל הקישון. הבימוסה וריכוז הכלורופיל היו גבוהים מהממוצע הרב שנתי, בדומה לדיגומי 2021-2023. רוב הבימוסה של האצות קשורה להימצאותן של בקטריות כחוליות מהמין *Synechococcus* sp. (2) כמו גם אצות צורניות.

מיני אצות בעלות פוטנציאל רעיל לאורך החוף הופיעו בריכוז נמוך ללא חריגות משמעותיות מהממוצע הרב שנתי (איור 1.3). העליה במינים בעלי פוטנציאל טוקסי בחוף דדו שחשב לנקי ב 2023 (דו"ח חיאי"ל H24/2024) לא חזרה על עצמה, דבר המצביע על זיהום ממקורות יבשתיים ב 2023 שפסק ב 2024 (לפחות בסמיכות לדיגום). יחד עם זאת, יש להמשיך לעקוב אחר דינופלגלטים (ואצות אחרות) בעלות פוטנציאל ליצירת רעלנים בחופי ישראל, וממולץ למדוד ריכוזי רעלנים במים נוסף לשכיחות אצות בעלות פוטנציאל טוקסי, כיוון שהמצאות אצות אין בהכרח משמעותה המצאות רעלנים מומסים במים. בניית

היכולות למדוד טוקסינים 'מרכזיים' (כלומר בהתאם לשכיחות האצות הדומיננטיות) נעשית בימים אלה ע"י צוות מדעני חי"ל וגוייסה סטודנטית שתחל לעבוד על נושא זה באוקטובר 2025.

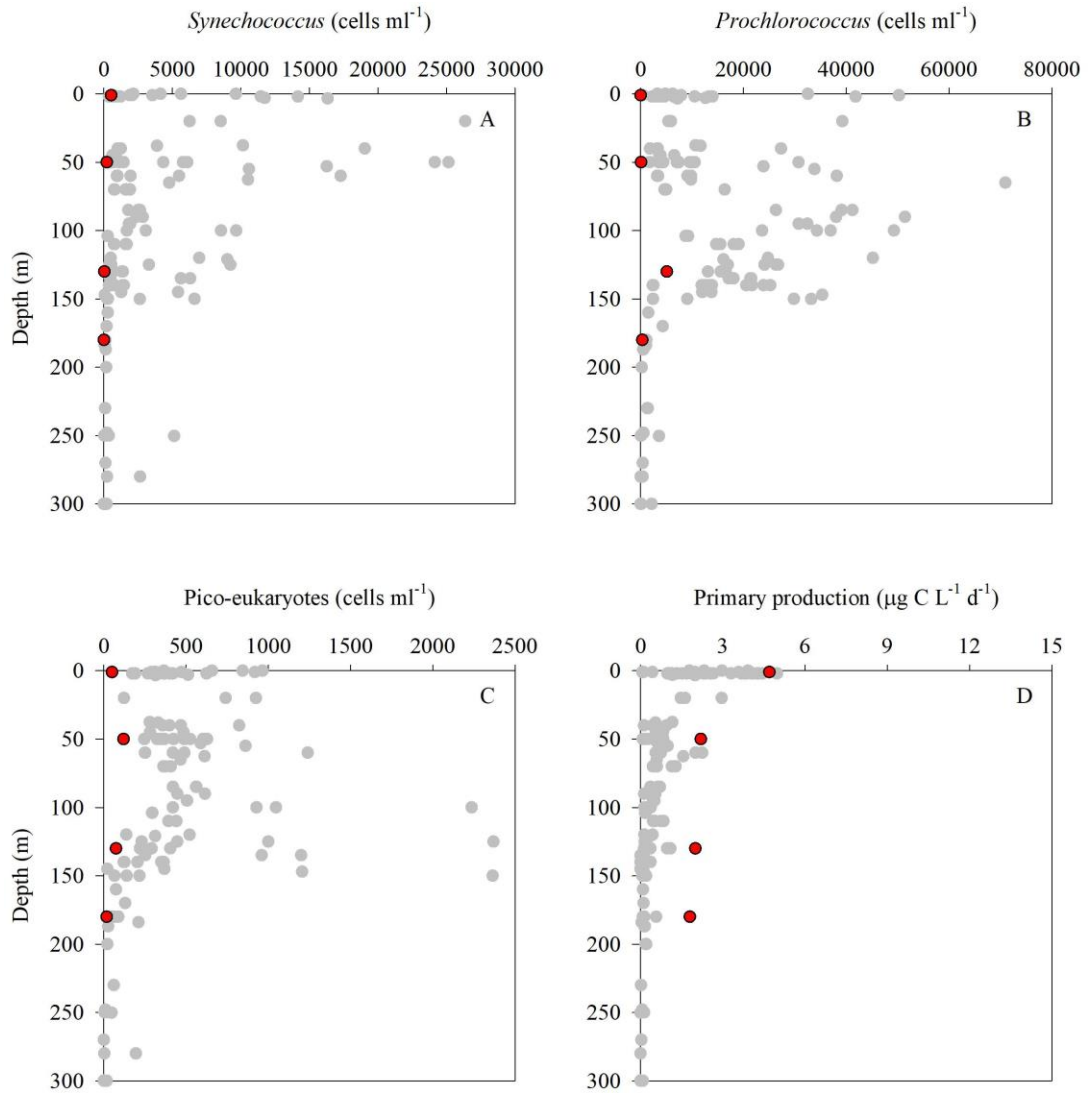


איור 1.3 – שכיחות רב שנתית של מיני דינופלגלטים (תאים בליטר) בעלי פוטנציאל רעיל בתחנות מייצגות לאורך חוף הים התיכון בין השנים 2002-2024. *Prorocentrum minimum* (A), *Akashiwo sanguinea* (B), *Dinophysis spp* (C), *Gymnodinium cf. catenatum*, ו-*Heterosigma cf. akashiwo*. המדידות בוצעו לאחר גרירת רשת פלנקטון וזיהוי טקסונומי בעזרת מיקרוסקופ אפי-פלורוסנטי.

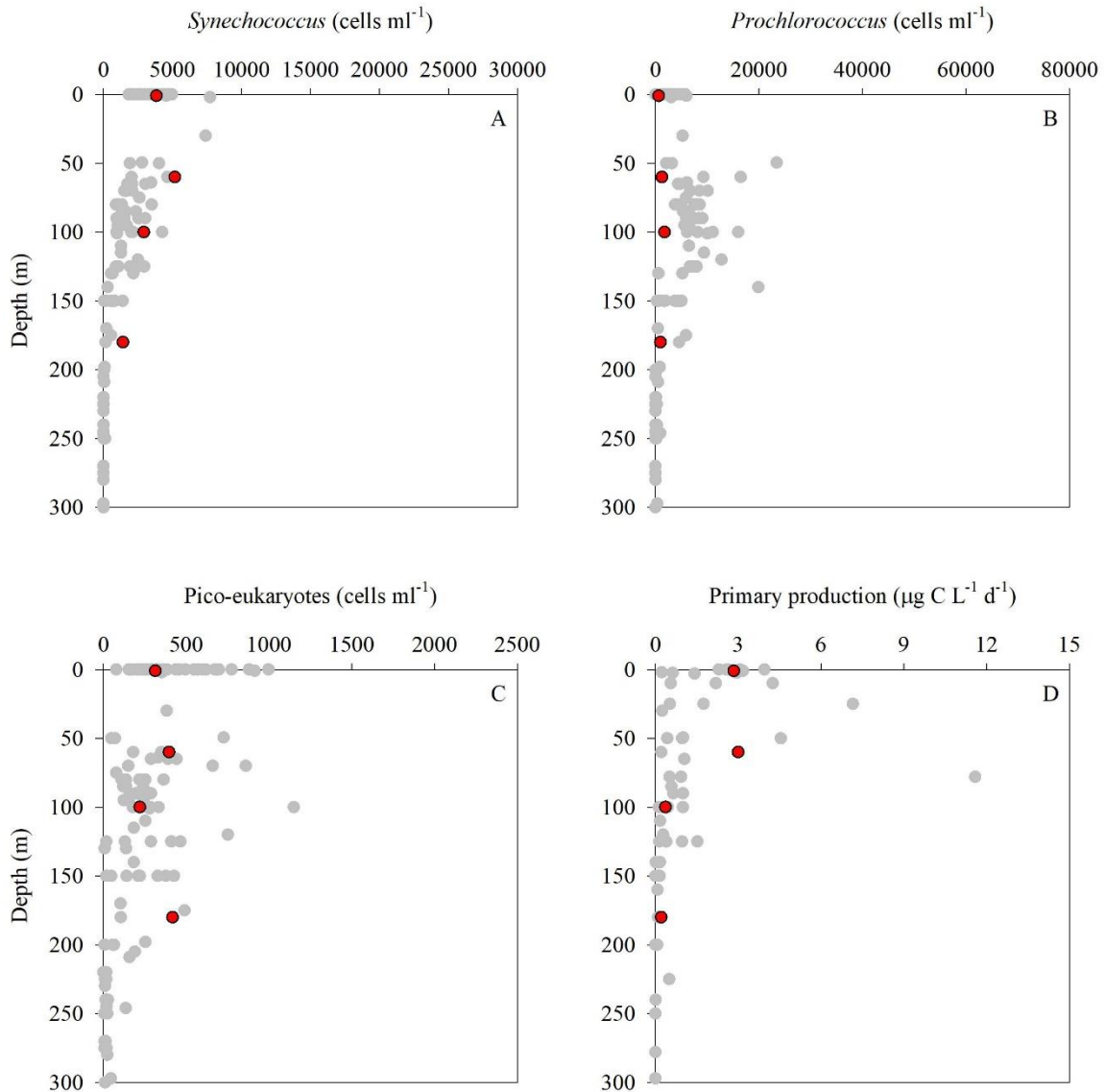
כימות, מדידת היצרנות והמגוון של האצות, המהוות את בסיס מארג המזון, הן רגישות לתנאי סביבה משתנים כפי שניתן ללמוד מממצאי הניטור, וחשובות לאפיון תנאי בסיס להערכת חריגות כתוצאה מאירועים סביבתיים.

## ממצאים מים פתוח

שכיחות ציאנובקטריות (*Synechococcus*, ו-*Prochlorococcus*) ואצות בעלות גרעין תא מוגדר (pico-eukaryotes) הייתה בטווח הממוצע הרב שנתי בדיגומי הקיץ והחורף של 2024 (איורים 1.4 ו-1.5). מומלץ לאפיין מיני מיקרואצות שאינן נכללות כמעט באנליזה הקיימת עם ציטומטר זרימה (flow-cytometer), למשל בעזרת אנליזות פיגמנטים ו/או ע"י זיהוי תאים עם planktoscope. יכולות אלה, יחד עם הערכות לפרישה לגמלאות של טקסונומית האצות, נבנות בימים אלה ונרכש ציוד לתמוך בנושא. ציאנובקטריה מסוג *Prochlorococcus* התרכזו בעיקר בעומק מים של ~100 מטרים בקיץ, בעוד ש *Synechococcus* שלטו במים העליונים, בדומה לדיגומים קודמים. ערכי היצרנות הראשונית בדיגום בקיץ היו מעט גבוהים בהשוואה לדיגומים קודמים (איור 1.4D), כמו גם ביחס למספר מיני האצות והציאנובקטריות היחסית נמוך שנמדדו (איור 1.4A-C). הסיבה לך יכולה להיות נעוצה בקיבוע פחמן אנאורגני בתהליכים כימו-אוטוטרופים (קיבוע CO<sub>2</sub> ללא אור ע"י חיידקים מסויימים למשל), בתרומה של מיקרואצות לפוטוסינתזה (כאמור מינים אלה לא נדגמים ע"י ציטומטר זרימה), ו/או הסעה לטרלית ל חומר אורגני מהחוף (Alkalay et al., 2024).



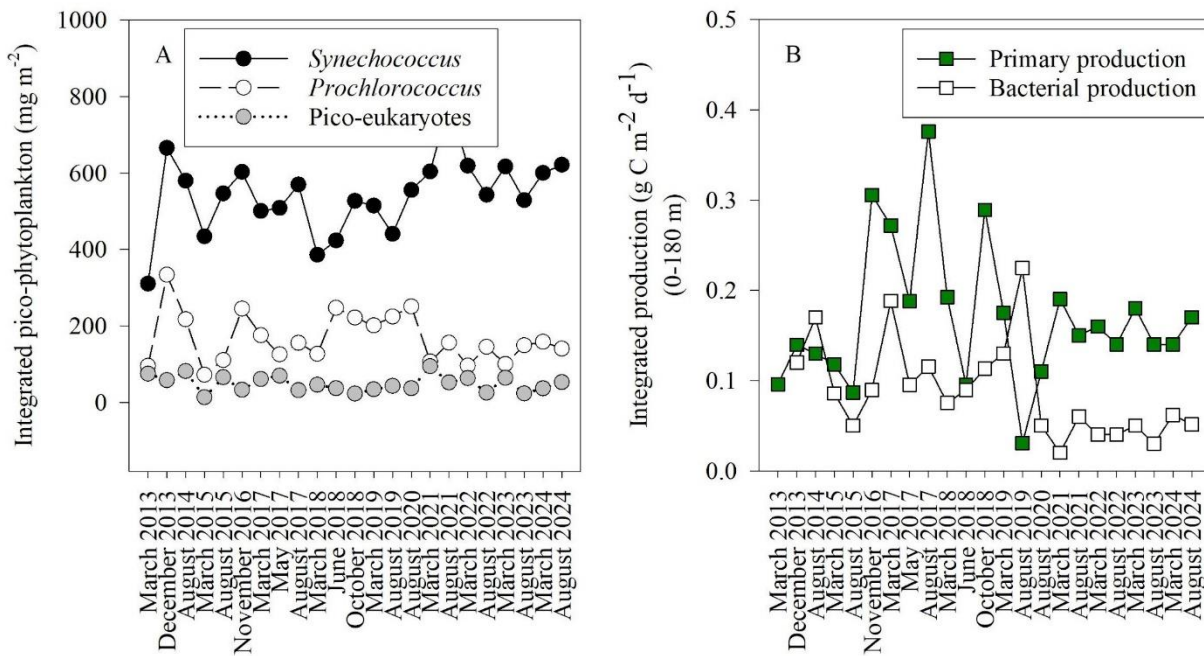
איור 1.4 – הפיזור האנכי של *Synechococcus* (A), *Prochlorococcus* (B), אצות אוקריוטיות (C) ויצרנות ראשונית (D) בים הפתוח ב-300 המטרים העליונים של עמודת המים כפי שנמדד בהפלגת אוגוסט 2024 (אדום), ובדיגומים קודמים בין השנים 2013-2023 (אפור). המדידות נעשו עם ציטומטר זרימה (A-C) ובעזרת סמן רדיואקטיבי (D). ניתן לראות ששפיעות האצות ב-2024 הייתה נמוכה על פי רוב בהשוואה לדיגומים קודמים (-25% בעוד שערכי היצרנות הראשונית בעומק הפוטי היו יחסית גבוהים (בפרט סביב ה-DCM ומטה). ייתכן והדבר קשור לפעילות אצות שאינן נכללות בספירות ע"י ציטומטר זרימה (למשל מיני מיקרו-פיטופלנקטון גדולים) ו/או קיבוע פחמן אנאורגני ע"י תהליכים כימו-אוטוטרופים.



איור 1.5 – הפיזור האנכי של *Synechococcus* (A), *Prochlorococcus* (B), אצות אוקריוטיות (C) ויצרנות ראשונית (D) בים הפתוח ב 300 המטרים העליונים של עמודת המים כפי שנמדד בהפלגות מרץ 2024 (אדום), ובדיגומים קודמים בין השנים 2013-2023 (אפור). המדידות נעשו עם ציטומטר זרימה (A-C) ובעזרת סמן רדיואקטיבי (D). ניתן לראות כי בדיגום חורף 2024 נמצאו הריכוזים טיפוסיים בהשוואה לדיגומי חורף קודמים, למעט הציאנובקטריה *Prochlorococcus* שהייתה בריכוז נמוך יחסית (אם כי בטווח מדידות קודמות). ערכי היצרנות הראשונית נותרו דומים לדיגומי חורף קודמים (אין הבדל סטטיסטי).

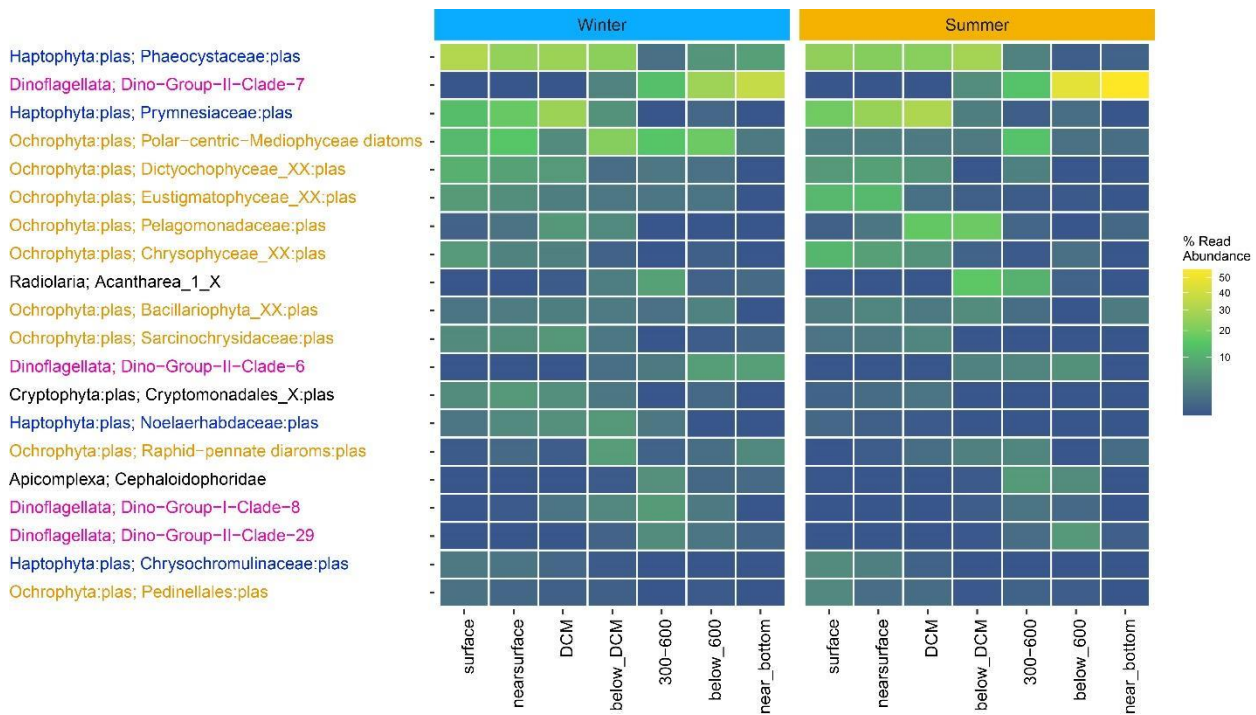
נראה כי ישנה עליה מתונה בערכי היצרנות הראשונית בכל עמודת המים המוארת החל מ 2017 (איור 1.6), אך הם עדיין נמוכים מאוד ביחס למקומות אחרים בעולם ובים התיכון. עליה זו נמצאת בהתאמה לעליה בריכוזי הניטראט והכלורופיל במים העליונים שהחלה ב 2016 (כרך ניטור שינויי אקלים והמערכת ההידרוגרפית). היצרנות השנתית המחושבת מדיגומי הניטור הנה כ- 28-34 gC m<sup>-2</sup>. ערך נמוך זה מדגים את דלות הנוטריאנטים במזרח הים התיכון, למרות, כאמור, העלייה הקלה בקצבים בשנים האחרונות.

בדומה לשנים האחרונות, קצב היצרנות החיידקית (BP) נמוך מהיצרנות הראשונית (PP) בשכבת המים המוארת (איור 1.6). במהלך העשור האחרון נמצאה התהפכות מגמה ביחס בין PP ל BP. יחס זה עומד על  $10:1$  ברוב האוקיינוסים, אולם בתחנות הניטור בים התיכון בשנים 2013 עד 2017 היחס היה בסביבות  $1:1$  (או אף נמוך מכך). מאז 2017 נמצא היפוך ביחס PP: BP, ובדיגומי 2020 (קיץ+חורף) + 2021 (חורף) הנו  $1:6$ . היפוך המגמה (היחס) מלמד על שינויים במערכת המיקרוביאלית (הטרורופית ואאוטרופית) שייתכן וקשורים בדינמיקה של הנוטריאנטים באגן. יש להמשיך לעקוב אחר ביו-אינדיקטור זה משום שהוא נחשב לרגיש לשינויי סביבה.



איור 1.6 – מגמות רב שנתיות בשכיחות *Prochlorococcus*, *Synechococcus*, אצות פיקו-אוקריוטיות (A), יצרנות ראשונית ויצרנות חיידקית (B) בתחנה H05 המייצגת "ים פתוח" (נמצאת כ-50 ק"מ מערבית לחיפה). הערכים המוצגים הנם אנטגרל של 180 המטרים העליונים של עמודת המים (עומק פוטי). ניתן לראות כי בעוד ריכוזי *Prochlorococcus* ואצות אוקריוטיות נותר דומה עם שנות הדיגום, ישנה עליה רב שנתית בריכוז *Synechococcus* בין 2017-2024, אולם נראה כי מגמה זו מאטה. כמו כן, ערכי היצרנות החיידקית היו נמוכים מהיצרנות הראשונית, זאת בשונה ממדידות בין השנים 2015-2017. הדבר מצביע על תנודתיות של המערכת המיקרוביאלית בים הפתוח ועל האינטראקציות העדינות בין יצרנים ראשוניים ושינויים במים אלה.

יישום אנליזות מולקולאריות אפשר זיהוי של קבוצות פיטופלנקטון על בסיס ריצוף גן ה-16S הריבוזומלי (איור 1.7). בסיס הנתונים (<https://pr2-database.org>), המשמש לזיהוי גנים ריבוזומליים של אצות עודכן לאחרונה, לכן עודכנו זיהויים טקסונומיים של הפלנקטון האוקריוטי. בדו"ח הקודם (2021), שיטה זו זיהתה את אצה חד תאית *Paulinella* כאוקריוט הדומיננטי בעמודת המים. שימוש במאגר נתונים החדש הראה שאצות חומיות-צהובות, בעיקר *Phaeocystis*, הינן השכיחות ביותר. נצפו הבדלים בין קיץ וחורף, בעיקר בצורניות מהמין *Mediophyceae*.



איור 1.7 - השכיחות היחסית של 15 משפחות הפיטופלנקטון האויקריוטי הנפוצים ביותר בעמודת המים על בסיס ריצוף גן ה-16S הריבוזומלי מדגימות מים בהפלגות ניטור ב-2018-2024. ומיון בעזרת בסיס הנתונים PR2 (<https://pr2-database.org/>), מאגר עודכן לאחרונה, לכן אפיון טקסונומי שונה מהדו"ח הקודם). אצות חומות-צהובות (*Haptophyta*), בעיקר *Paeocystaceae* ו-*Prymnesiaceae* הינן שכיחות ביותר בעמודת המים בעליונה. דינופלגלטים המייצרים ציסטות סידן פחמתי לעיתים נמצאו בעומקים הגדולים. ניתן לראות הבדלים בין חורף לקיץ, לדוגמא העשרה של דיאטומיאות (*Mediophyceae*) ואויקריוטים פוטוסינתטיים מסדרת *Cryptomonadales* בחורף, וריכוז של *Prymnesiaceae* בקיץ בסביבת מקסימום כלורופיל. חלק מהמגוון נקבע על בסיס גנים של פלסטידים (*plas plastids*).

## פרק 2 - ניטור ביולוגי ואקולוגי של חיידקים בעמודת המים והסדימנט

פרופ' איל רהב [eyal.rahav@ocean.org.il](mailto:eyal.rahav@ocean.org.il) וד"ר מקסים-רובין בלום [mrubin@ocean.org.il](mailto:mrubin@ocean.org.il)

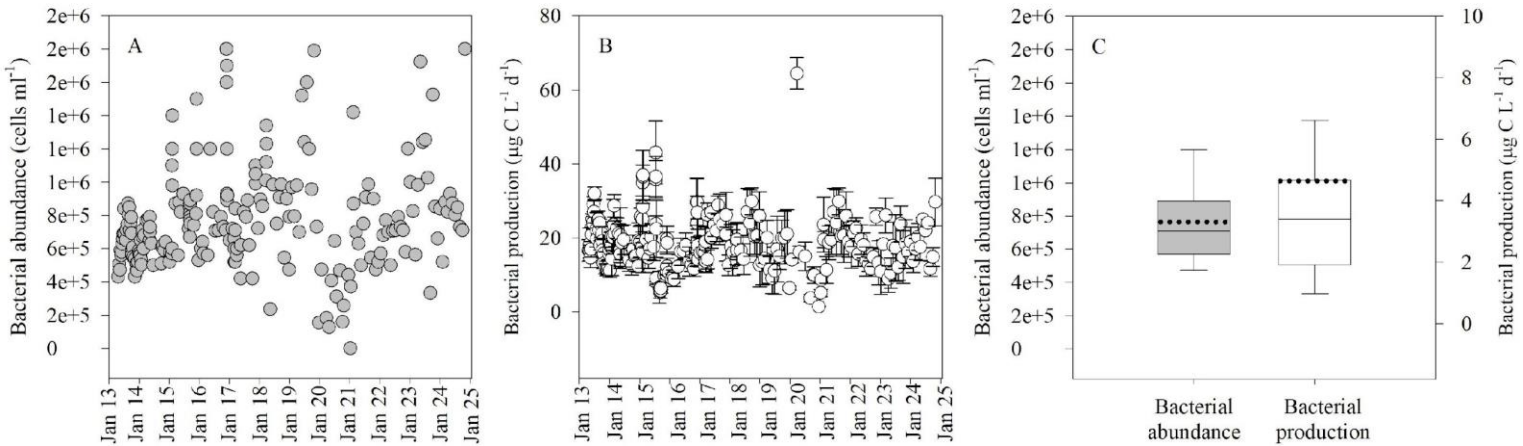
### Abstract

This chapter presents microbial monitoring results from coastal, open-water, and sediment stations in the Southeastern Mediterranean Sea (2013–2024), addressing IMAP descriptors EO1 (biodiversity), EO4 (marine food webs), EO6 (sea-floor integrity) and EO9 (pollution). At the Shikmona coastal site, bacterial abundance and activity showed clear seasonality: higher in summer, lower in winter (up to 1.5-fold difference). In 2024, values were within historical ranges but had high medians, likely due to episodic nutrient inputs. Monthly sampling proved effective for detecting short-term environmental changes. In deep waters, no major shifts in microbial abundance or activity were detected. Peak microbial diversity was observed just below the chlorophyll maximum (160–240 m), with bacteria dominant near the surface and archaea comprising ~30% of the community below 300 m. Seasonal shifts were most pronounced in the upper 80 m of the water column. 18S rRNA gene sequencing has been applied to characterize microbial eukaryotes in DNA collected since 2022, revealing depth-related patterns such as *Micromonas* algae in surface waters during winter, *Astrophaera* radiolarians at the deep chlorophyll maximum, and dominant Syndiniales (parasitic dinoflagellates) and Diplonemidae protists in deep layers. Sediment samples (2018–2023) revealed stable microbial communities shaped by depth and habitat. Diversity was highest on the continental slope (~800 m), and significantly lower in deep-sea layers (>1500 m and >10 cm sediment depth). Specific bacterial and archaeal groups indicated habitat types, with oil-degrading bacteria (*Alcanivorax*, *Cycloclasticus*) detected across sites. These findings support microbial indicators as robust tools for ecological monitoring. Publicly available rRNA gene data enable continued analysis (PRJNA694858, PRJNA1215023).

### תחנות ושיטות דיגום

שפיעות החיידקים נמדדה בעזרת ציטומטר זרימה וקצבי יצרנות חיידקית נמדדו בעזרת סמן רדיואקטיבי. הדיגום החודשי מאפשר לאמוד את העונתיות החיידקים וקצבי פעילותם במימי חוף שקמונה המוגדרים אוליגורופים (עניים בנוטריאנטים) המוגדרים אוליגורופים (עניים בנוטריאנטים) המדידות נעשו עם ציטומטר זרימה ובעזרת סמן רדיואקטיבי.

שכיחות ופעילות חיידקית בחוף-שקמונה (מייצג את החוף הצפוני) הדגימו עונתיות עם ערכים גבוהים בקיץ ונמוכים יותר בחורף (איור 2.1). שפיעות החיידקים וקצב פעילותם ב 2024 היו בטווח המדידות מהשנים 2013-2023, אולם ערכי החציון היו יחסית גבוהים (קרוב אחוזון ה 75%). הסיבה לכך ככל הנראה קשורה לזיהומים נקודתיים שהכניסו נוטריאנטים למי החוף. המעקב אחר שפיעות ופעילות חיידקים ברזולוציה יחסית גבוהה (חודשית) מהווה סמן מיידי ומהיר ("דופק") לשינויים אנטרוטפוגניים או טבעיים במי החוף.



איור 2.1 – שכיחות חיידקים (A) ויצרנות חיידקית (B) בפני השטח (~1 מ') של חוף שקמונה בין השנים 2013 ל 2023. הממוצע הרב שנתי של ערכים אלה מוצג כגרף קופסה (C). הקו בקופסה מייצג את ערך החציון כפי שחושב עבור השנים 2013-2022 בעוד שהקו המקווקו מראה את ערך החציון עבור 2023. שפיעות החיידקים נמדדה בעזרת ציטומטר זרימה וקצבי יצרנות חיידקית נמדדו בעזרת סמן רדיואקטיבי. הדיגום החודשי מאפשר לאמוד את העונתיות החיידקית וקצבי פעילותם במימי חוף שקמונה המוגדרים אוליגוטרופים (עניים בנוטריאנטים), עם ערכים גבוהים בחודשי הקיץ ונמוכים יותר בחורף (פי 1.5), זאת בשונה משכיחות האצות. כמו כן, ניתן לראות חריגות נקודתיות בערכים אלה בעת הזרמת שפכים/ גשם/ סופות אבק/זיהום נפט וכד'. בשנת 2024 לא נמצאו חריגות ביחס לממוצע הרב שנתי.

לא נמצאו שינויים משמעותיים בשפיעות או אקטיביות החיידקים בדיגומי 2024 בים העמוק (איור 2.2). ביחס לדיגומים קודמים (2013-2024).

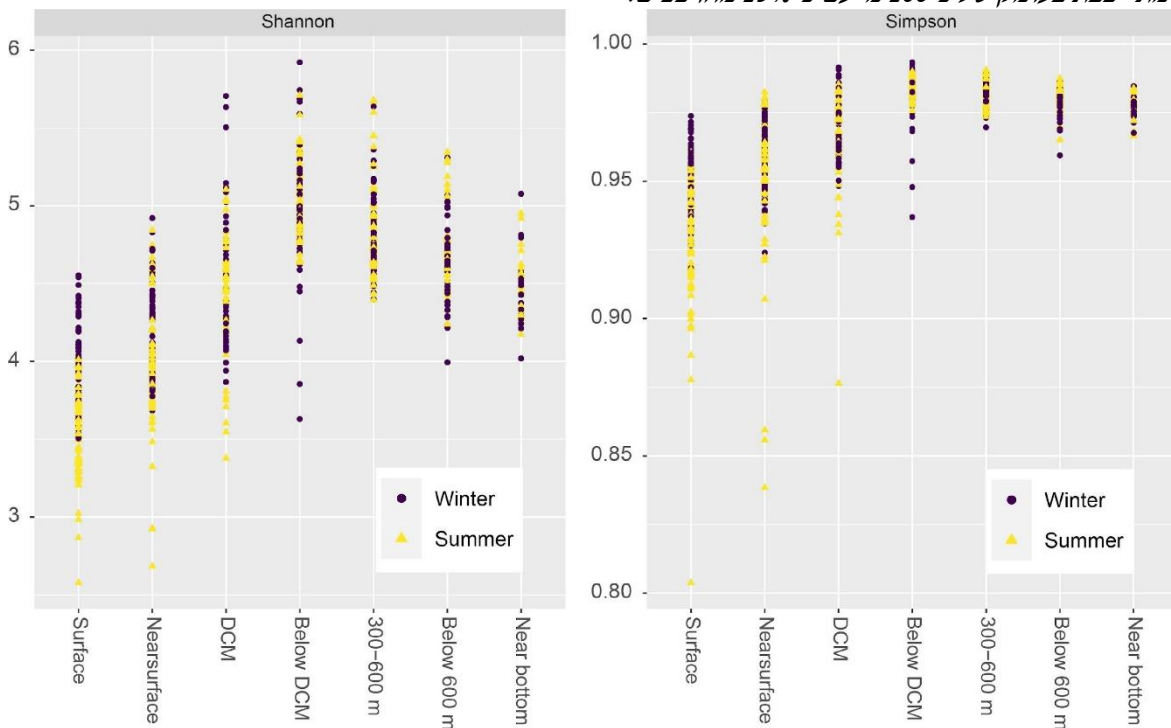
איור 2.2 – הפיזור האנכי של אורגניזמים פרוקריוטים (ללא גרעין תא מוגדר, חיידקים וארכאות) (A, C), ויצרנות חיידקית (B, D) בעמודת המים כפי שנמדד בהפלגות קיץ (A, B) וחורף (C, D) בין השנים 2013-2023 (אמור) ובשנת 2024 (אדום). המדידות נעשו עם ציטומטר זרימה (A, C) ובעזרת סמן רדיואקטיבי (B, D). ניתן לראות כי לא נמצאו שינויים משמעותיים בשפיעות החיידקים ביחס לדיגומים קודמים, אך קיימת שונות בין השנים.

בעמודת המים נמצאו אוכלוסיות מגוונות של ארכיאה ובקטריה. מדד המגוון ( $\alpha$  diversity, Shannon's H) השתנה עם העומק, כאשר מקסימום המגוון נצפה מתחת לשכבת מקסימום הכלורופיל (איור 2.3A). המדדים של מגוון היו נמוכים משמעותית קרוב לפני שטח (איור 2.4). בפני השטח של

עמודת המים, בקטריות היו דומיננטיות, בעוד שהשכיחות היחסית של ארכיאה עלו עם העומק (כ-30% מכלל האוכלוסייה מתחת ל-300 מ', איור 2.3B).

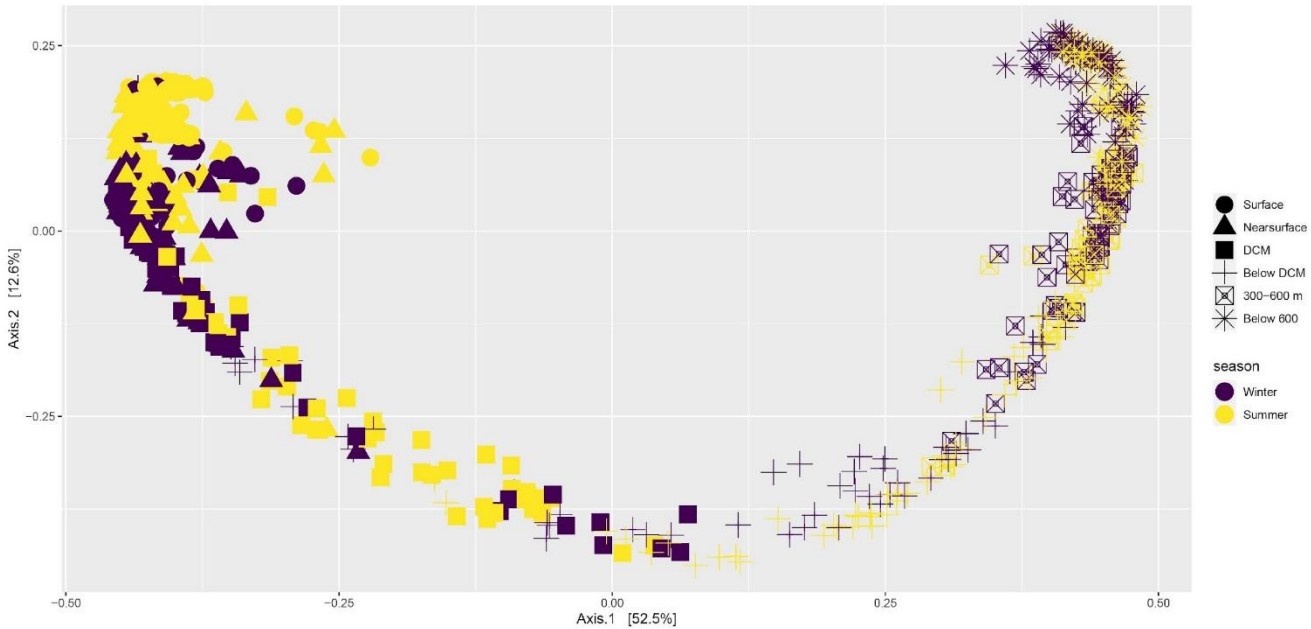


איור 2.3 - אפיון של אוכלוסיות החיידקים בפרופילי העומק מהפלגות ניטור 2018-2024. (A) מגוון החיידקים (B) השכיחות היחסית של ארכיאה (2 segment linear regression  $R^2=0.8$ , piecewise, alpha diversity). האיוורים מראים שבעומק מתחת למקסימום הכלורופיל העמוק (כ-160 מטרים), המגוון המיקרוביאלי יורד. ניתן גם לראות ששכיחות הארכיאה מגיעה למקסימום ומתייצבת בעומק של כ-268 מ' עם כ-25% מהרצפים.



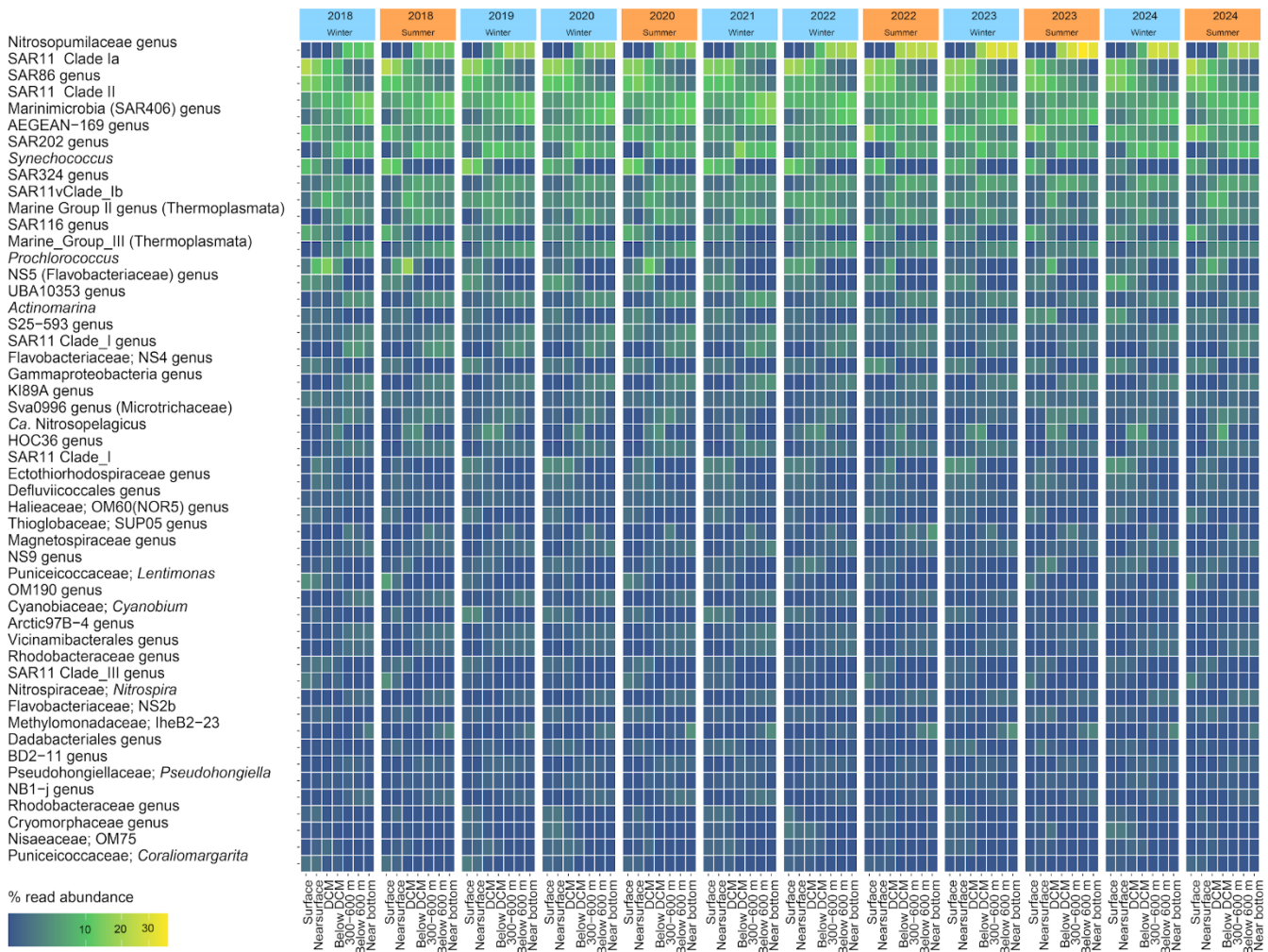
**איור 2.4** – פרמטרים של מגוון מינים (*alpha diversity*) באוכלוסיות של חיידקים בעמודת המים, על בסיס דיגומים בתחנות שונות בשנים 2018-2024. ניתן לראות התפלגות של מגוון מינים, כאשר המקסימום נמצא בעומקים מתחת למקסימום הכלורופיל (180-240 מ').

מגוון החיידקים משתנה על פי גרדיאנטים סביבתיים בעמודת המים (כפי שנראה מצורת הפרסה באנליזת PCoA, **איור 2.5**). מספר קבוצות חיידקים עיקריות אפיינו את אוכלוסיות עמודת המים (**איור 2.6**). בעומקים הפוטיים (0-150 מ'), קבוצות החיידקים הדומיננטיות כללו יצרנים ראשוניים כגון ציאנובקטריה *Prochlorococcus* ו-*Synechococcus*, חיידקים בעלי פוטנציאל פוטו-הטרורופי, כגון SAR86 (Gammaproteobacteria) ו-SAR11 clade Ia and Ib (Alphaproteobacteria), וגם חיידקים נוספים, כגון סדרות ה-Actinomarinales, Rhodospirillales, Thalassobaculales, Flavobacteriales. הקבוצות שאפיינו את המים העמוקים היו SAR202 (Dehalococcoida), SAR11, SAR202 (Alphaproteobacteria clade II), SAR406 clade (Marinimicrobia), וארכיאות, כולל מחמצני אמוניה אוטורופיים Nitrosopumilales וארכיאה הטרורופית Marine group II ו-III (Thermoplasmata). השונות העונתית הייתה משמעותית יותר משונות שנתית, אך יש לבחון את הדינמיקה השנתית לאורך זמן רב יותר בשביל לקבל תמונה ברורה. רצפים של גן ה-16S הריבוזומלי מועלים ל-NCBI בפרוייקט PRJNA1215023. נצפו שינויים עונתיים באוכלוסיות המיקרוביאליות, בעיקר באוכלוסיות של עמודת המים העליונה (0-80 מ' עומק, **איור 2.6**). בסוף הקיץ, *Synechococcales*, יחד עם סדרות נוספות היו שכיחים יותר. בחורף, חיידקים אופייניים לים עמוק כגון Termoplasmata ו-SAR202 נמצאו קרוב לפני השטח, כנראה בשל ערבול עמודת המים.

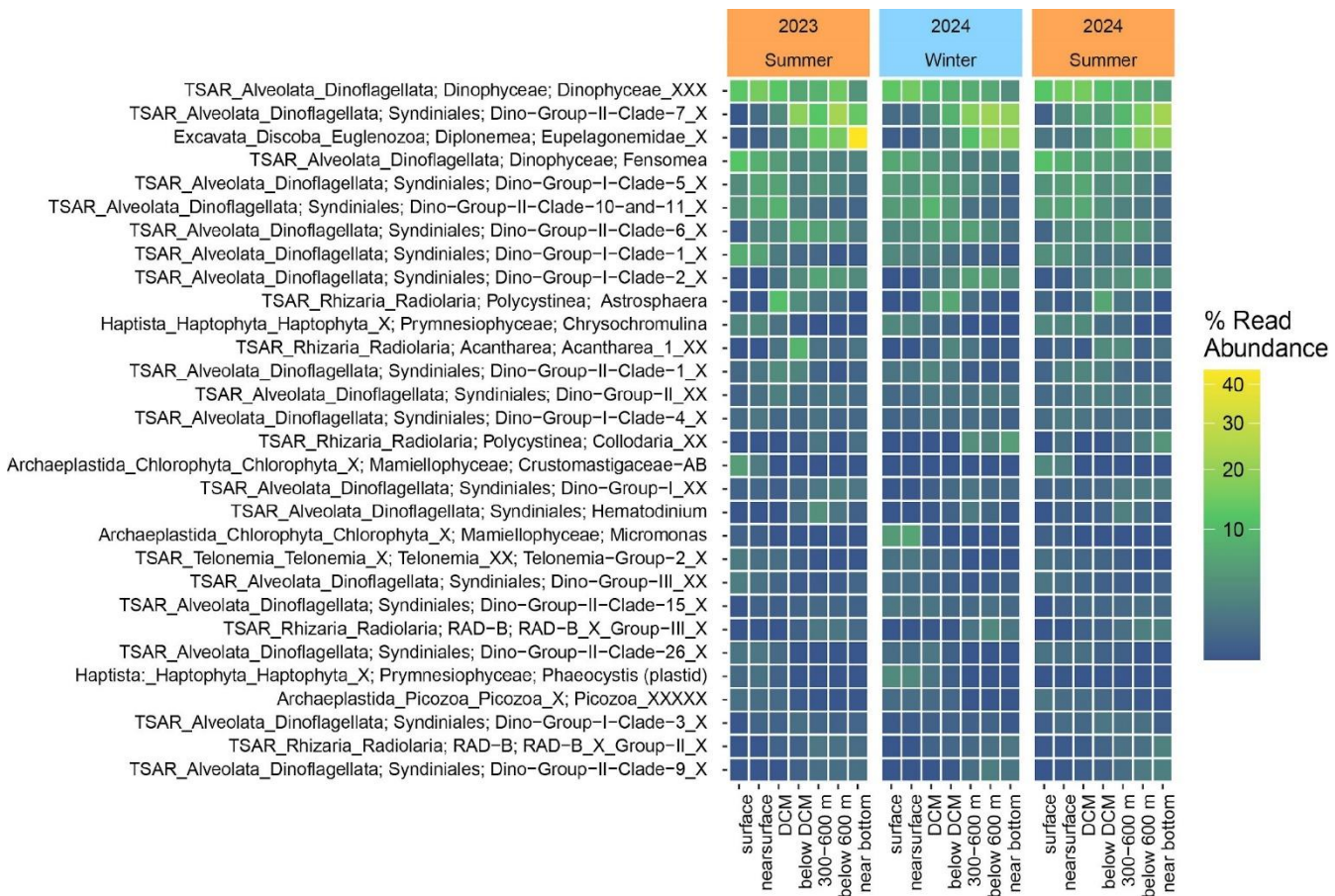


איור 2.5 - אנליזת רבת משתנים (PCoA) של אוכלוסיות החיידקים בעמודת המים בפרופילי עומק מהפלגות ניטור בשנים 2018-2024. צורת הפרסה של פיזור נקודות הדיגום בגרף מצביעה על שינויים הדרגתיים לאורך גרדיאנטים סביבתיים (זמינות אור, נוטריינטים ועוד). ניתן לראות שינויים עונתיים, בעומקים הפוטיים, העיקר שינוי משמעותי בין אוכלוסיות בפני השטח.

מגוון האוקריוטים המיקרוביאליים נבחן על בסיס ריצוף גן ה-18S הריבוזומלי בדנ"א שנאסף בשנים 2022-2024 (איור 2.7). נצפו שינויים עם עומק, כאשר מעקב עתידי יזהה שינויים עונתיים. לדוגמה, אצות ה-*Micromonas* נצפו בעמודת המים העליונה בחורף. רדיולריה *Astrophaera* הייתה שכיחה בעומק מקסימום הכלורופיל העמוק (DCM) בשתי העונות. הקבוצה הדומיננטית בעומק הים הייתה מסדרת ה-Syndiniales (דונופלגלטים פרזיטים) ופרוטיסטים חד-תאיים ממשפחת ה-Diplonemidae.

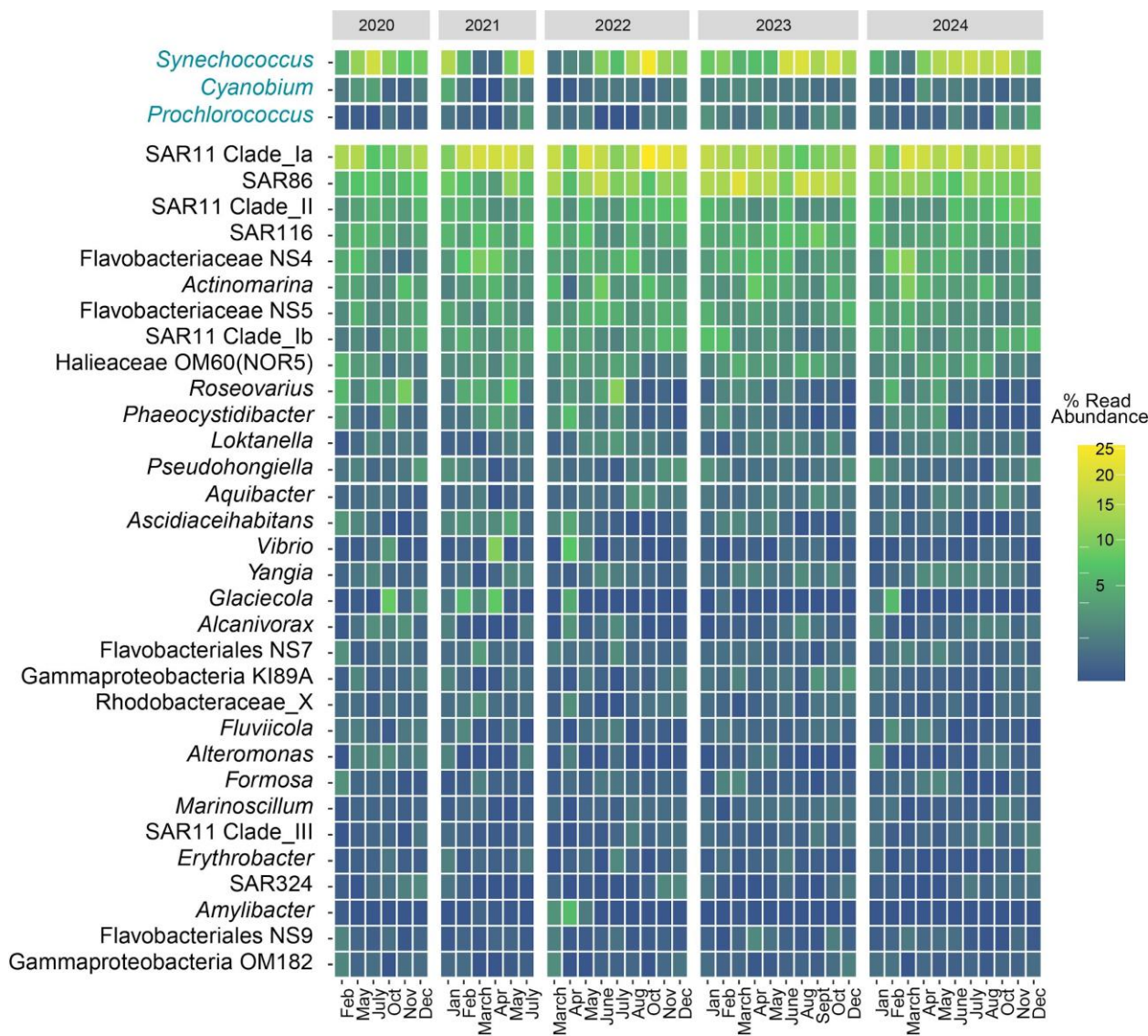


איור 2.6 - השכיחות היחסית של 50 החיידקים הנפוצים ביותר בעמודת המים ברמת הזן (*genus*) על בסיס ריצוף גן ה-16S הריבזומלי מדגימות מים בהפלגות ניטור בשנים 2018-2024.



איור 2.7 - השכיחות היחסית של 30 אאוקריוטים חד-תאיים פלנקטוניים השכיחים ביותר בעמודת המים ברמת הזן (*genus*) על בסיס ריצוף גן ה-18S הריבוזומלי מדגימות מים בהפלגות ניטור בשנים 2023-2024.

נאספו נתונים חודשיים בתחנה חופית חדרה (ראה/י פרק 3). ניתן לזהות מגמות בשכיחות קבוצות טקסונומיות מסוימות (איור 2.8), אך יש להמשיך במעקב רב שנתי בשביל לקבל הדירות סטטיסטית.



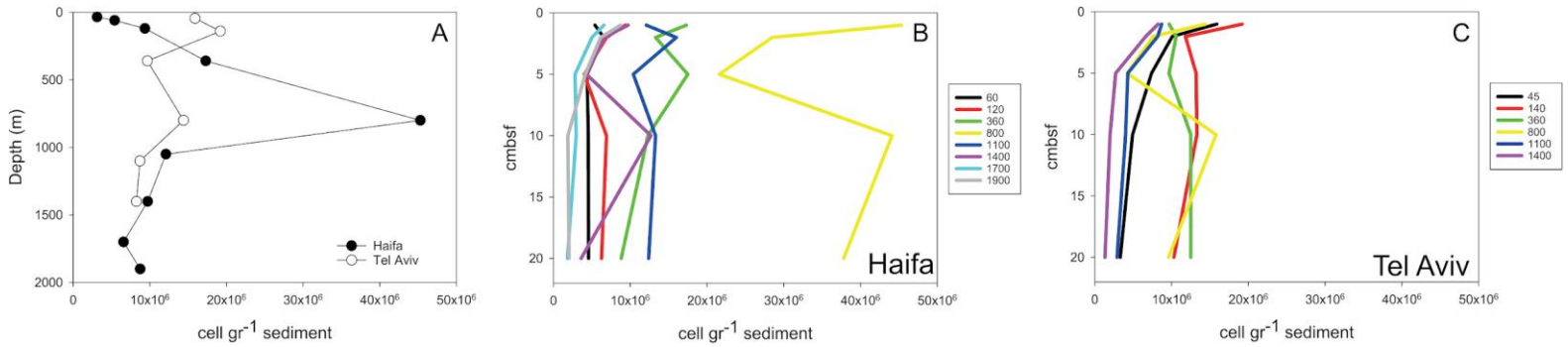
איור 2.8 – שינויים במגוון אוכלוסיות הבקטריופלנקטון, כולל יצרנים ראשוניים כחוליות (*Cyanobacteria*, טורקוז), בתחנת הדיגום החופית בחדרה לאורך חודשי 2020 – 2024.

מצאים מהסדימנט

ניטור המגוון הביולוגי בסדימנט התבצע בשנים 2018-2023, בצמוד לניטור כימי וביולוגי בחתכי חיפה ותל-אביב, ובתחנות חופיות (מוצאי נחלים). בשל אחידות התוצאות לאורך השנים, ואילוצים טכניים, לא נדגמו סדימנטים בשנת 2024. בהסתמך על תוצאות משנים קודמות, הפרמטרים המיקרוביאליים רגישים לגרדיאנטים סביבתיים, אינדיקטיביים לבתי גידול ומאפשרים ניטור יעיל. עד כה, לא ראינו שינויים משמעותיים בפרמטרים המיקרוביאליים בסדימנט בדיגומים משנים שונות, מה שמצביע על יציבות המערכת, לפחות בים העמוק.

בשנים 2018-2023 נמדדה, יצרנות ושפיעות חיידקים, ונמצאו גרדיאנטים של כמות ופעילות חיידקית כתלות בעומק עמודת המים ובמרחק מפני שטח הסדימנט (איור 2.9). לא נמצאו שינויים משמעותיים בשפיעות ופעילות החיידקים בשנת 2023 בהשוואה לממוצע הרב שנתי. אוכלוסיות החיידקים, יצרנות ושפיעות, בתחנות החופיות הראו ערכים גבוהים יחסית, כך גם באזור במדרון היבשת (~800-300 מ') לעומת הים העמוק (איור 2.9). נמצא שוני בין חלקו הדרומי של אורך החוף (אשקלון-פלמחים) לאזור הצפוני (ת"א-דדו), עם אקטיביות גדולה בתחנות הדרום, בהתאמה לעומס האורגני.

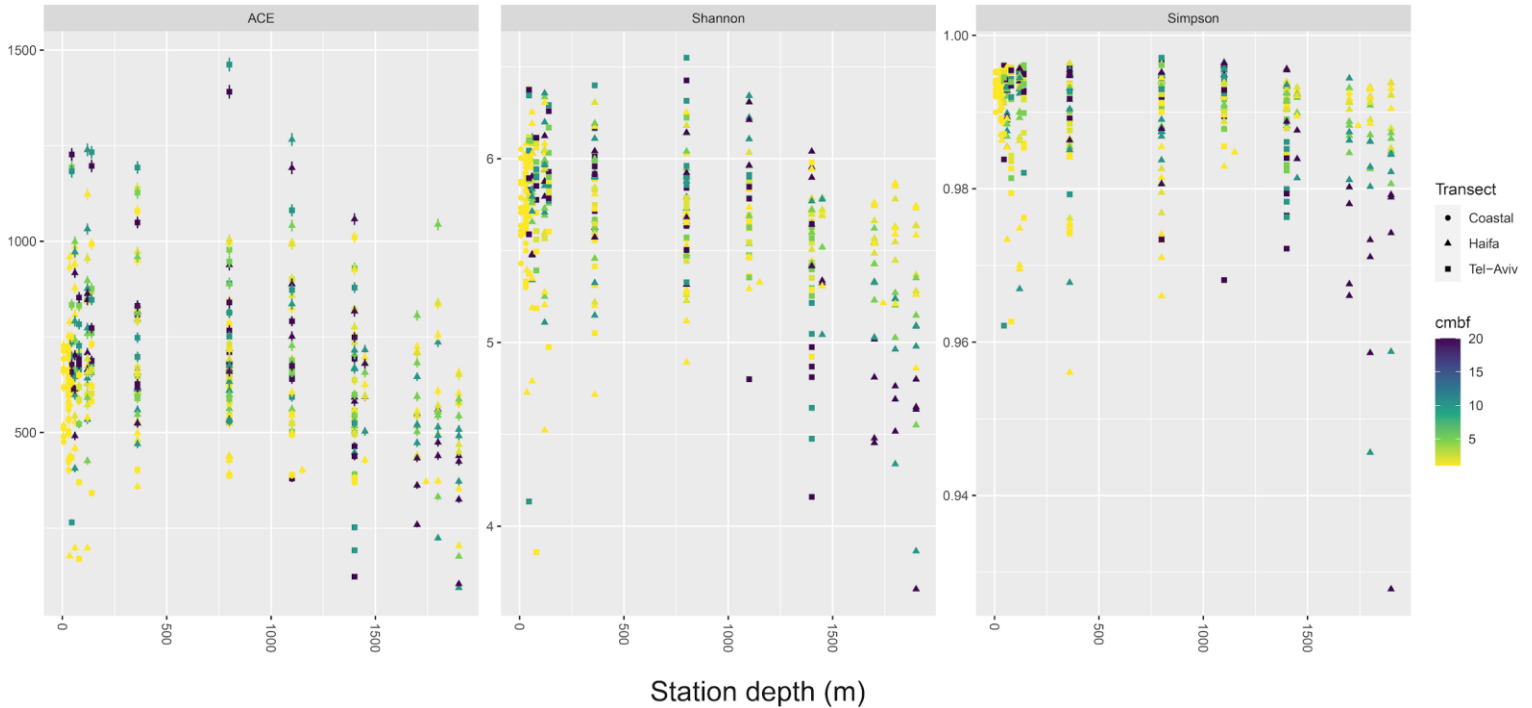
Prokaryote abundance in sediment profiles



איור 2.9 – ספירות חיידקים בסדימנטים בשנת 2023 (פרופיל לפי עומק עמודת המים (A), פרופילים בתוך סדימנט - חתך חיפה-B, חתך תל-אביב-C). בהתאם לדיגומים הקודמים (2021 ו-2022) נמצא כי המדידות מעל מדרף (140-45 מ') ומדרון היבשת (~800-300 מ') היו על פי רוב גבוהות ביחס לים הפתוח, דבר המצביע על אזור פעיל מבחינה מיקרוביאלית, כלומר יש שם מקורות מזון שתומכים בביומסה הגדולה וביצרנות. ריכוזי חיידקים הגבוהים ביותר נמצאו בתחנה HS800, על מדרון מול ראש כרמל, בו הסעה הינה משמעותית.

אוכלוסיות הארכיאה והבקטריה היו מגוונות (Shannon's  $H' = 5.4 \pm 0.4$ , איור 2.10). בקטריה (Shannon's  $H' = 5.3 \pm 0.4$ ) היו יותר מגוונים מארכיאה (Shannon's  $H' = 3.2 \pm 0.8$ ). בתחנות המים העמוקים, נצפה מגוון נמוך יותר (p < 0.001, post hoc Dunn's test / Kruskal-Wallis), בעיקר בשכבות העמוקות (19-20 ס"מ).

## Alpha diversity indices - benthic prokaryotes

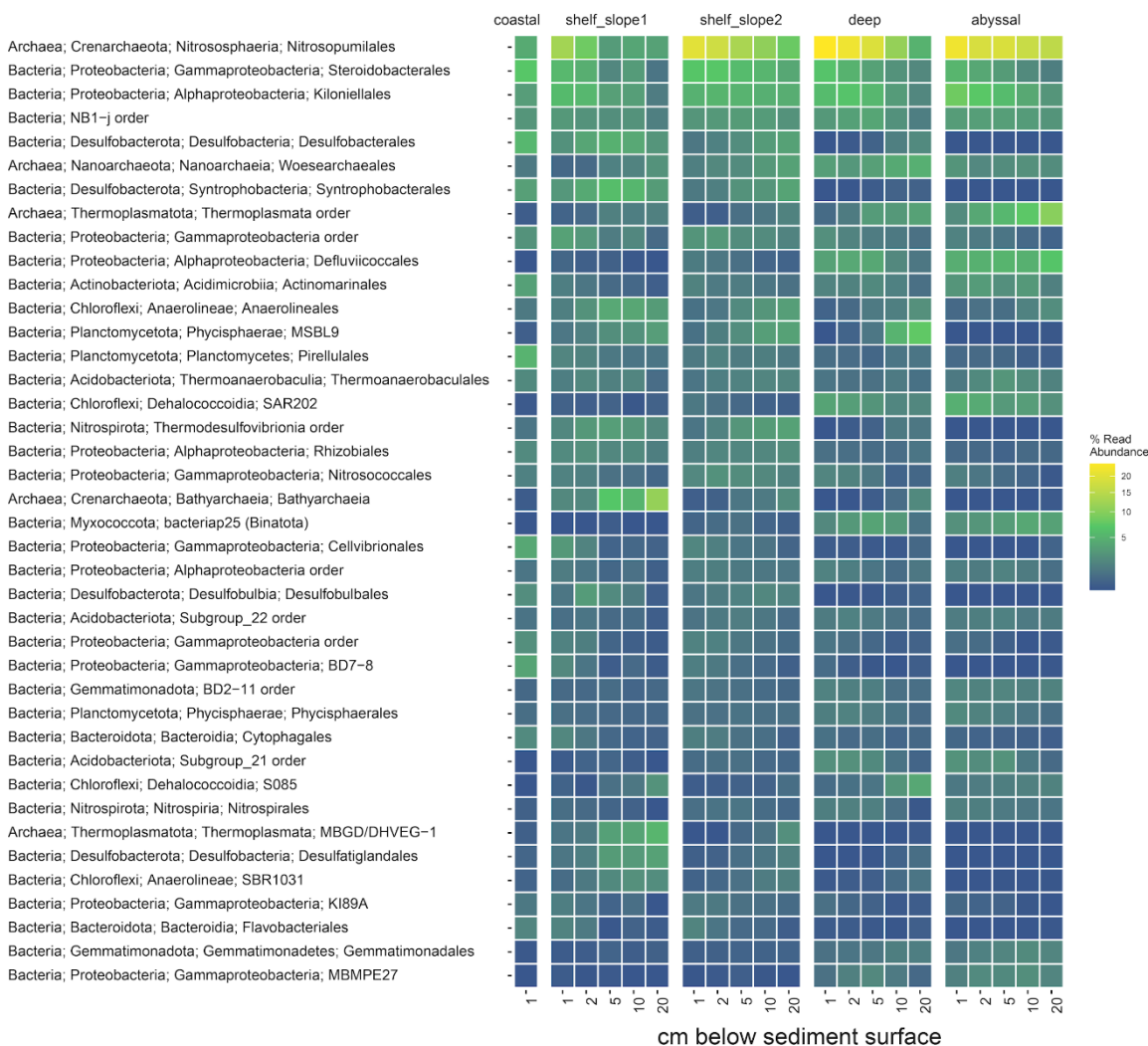


**איור 2.10** – פרמטרים של מגוון מינים (*alpha diversity*) באוכלוסיות של חיידקים בסדימנט, על בסיס דיגומים בתחנות שונות בשנים **2020-2023**. ניתן לראות שערכי המגוון המקסימליים הם בעומקי דיגום של **800 מ'**, כאשר מגוון נמוך ביותר בעומקי דיגום של מעל **1500 מ'** (תחנות הים הפתוח). בעומקי דיגום אלה, מגוון החיידקים נמוך יותר בעומקי סדימנט גדולים מ-**10 ס"מ**.

בדומה לאוכלוסיות של מי הים, גם אוכלוסיות הסדימנט משתנות לפי גרדיאנטים סביבתיים. לא נמצאה קבוצת חיידקים שמופיעה בכל תחנות הדיגום, אך *Nitrosopumilales*, *Kiloniellales*, *Woeseiales*, *Steroidobacterales* ו-*NB1-j* היו שכיחות (הופיעו במעל 80% מהדיגומות, **איור 2.11**). זוהו קבוצות אינדיקטיביות לתחנות חופיות, מדף ומדרון היבשת, כמו כן לקרקעית הים עמוק. נתוני

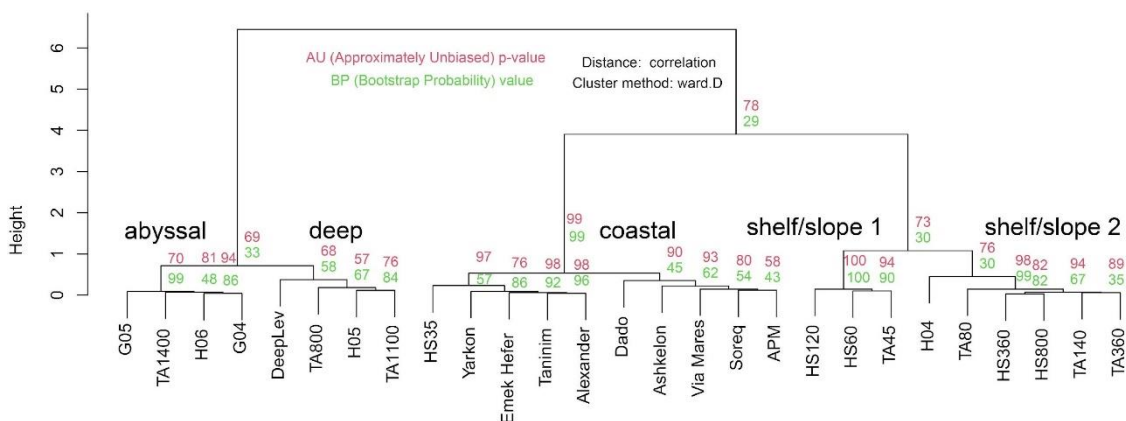
ריצוף של גן ה-16S הריבוזומלי זמינים לציבור הרחב במאגר ה-NCBI, בפרויקט PRJNA694858. בהתאם להסעה אופקית מואצת של חומר אורגני חלקיקי בחלקו הצפוני של המדף, תחנות צפונית הצמודות למדרון מתאפיינות במאסף מיקרוביאלי דומה לזה של מדף היבשת (**איור 2.11**). המגוון הטקסונומי של חיידקים מייצג את בתי גידול סדימנטריים, כגון סביבה חופית, מדף היבשת וים עמוק. מאספי החיידקים מאפשרים הבחנה חדה בין פרובינציות סדימנטריות (**איור 2.12**).

## The relative abundance of most common prokaryotic lineages in sediments (order level)



איור 2.11 – שכיחות של בקטריה וארכיאה, ברמת סדרה, בתחנות הניטור השונות בשנים 2018-2023. הסדרות השכיחות בתחנות העמוקות הן *SAR2020*, *Binatota bacteriap25*, *Defluviococcales*, *NB1-j*, *Thermoplasmata* ועוד. בתחנות המדף, חיידקים אנארוביים היו בולטים (*Bathyarchaea*, *Thermoplasmata* ועוד). בתחנות החופיות, נמצאו מעט מאוד מחמצני אמוניה (*Nitrosopumilales*, אך נכחו מינים פוטוסינטטיים, כגון *Synechococcales* (אארובי) ו-*Chromatiales* (אמנארובי)). זיהוי חיידקים אינדיקטיביים לבתי גידול שונים נעשה באמצעות *DESeq2* (צוינו רק סדרות עבורן  $adjusted\ p\text{-value} < 0.05$ ). קבוצות עומק הוגדרו על פי הגדרת קלאסטרים (קבוצות) של בתי גידול באיור 2.12.

**איור 2.12 – הגדרת קלאסטרים (קבוצות) של בתי גידול כל בסיס המגוון המיקרוביאלי, בשיטת ה-hierarchical .(Ward clustering ,sum-normalized read abundance ,correlation distance ,clustering (pvlust Cluster dendrogram with p-values (%)**



בסדימנטים של המדף והחוף, בהן חמצן מוגבל בשל עומס החומר האורגני, נמצאו אוכלוסיות של חיידקים אנארוביים כגון Bathyarchaea ו-Desulfuromanodota אשר יכולות לשמש כסמנים לאטרופיקציה חופית במצע החולי. נדרש המשך דיגום, במיוחד בחלקו הדרומי של מדף היבשת, בכדי לעקב אחר השפעות הזרמת ביוב מאזור עזה בעזרת מינים אינדיקטיביים אלה.

מגוון החיידקי נמצא כמדד יעיל ובעל הדירות מדודה גבוה, המאפשר זיהוי של בתי גידול והפרעות סביבתיות. לאפיון מגוון הפטריות יש חשיבות בהבנת תפקוד המערכת הבנטית, אך יש להמשיך לבחון אם מגוון הפטריות יכול לשמש כמדד ניטורי.

אנו בוחנים את האפשרות לבחון דני"א סביבתי בסדימנט, על בסיס ריצוף של גן ה-18S הריבוזומלי. נמצאו חיידקים בסדימנט הידועים כמפרקי נפט ונגזרותיו כדוגמת *Alcanivorax* ו-*Cycloclasticus* ברוב תחנות הדיגום. אנו בוחנים האם מיקרואורגניזמים אלה יוכלו לשמש בעתיד כלי להתמודדות עם זיהום נפט וממנים אחרים/נגזרות נפט או סמן לזיהום מהיר (בשונה מבע"ח, חיידקים גדלים ומתחלקים מהר יחסית ומכאן שתגובתם לזיהום היא בדרי"כ מהירה ומאוד רגישה).

לפי שעה לא ידועה השפעת העונתיות על כמות, פעילות ומגוון החיידקים בסדימנט (כל ההפלגות עד כה נערכו בחודשי הקיץ). אנו ממליצים לבצע דיגום בתחנות מייצגות גם בעונת החורף, במיוחד בתחנות לאורך מדף היבשת, כדי לאפיין ערכי בסיס (baseline) גם לעונה זו.

### Abstract

Zooplankton communities are key components of marine ecosystems, mediating energy flow between primary producers and top predators. Since 2019, a national monitoring program has surveyed zooplankton in the Israeli Mediterranean using quantitative sampling from coastal to deep-sea zones. Sampling was conducted seasonally along Haifa Transect (March and August 2024) using MultiNet and monthly at a coastal station off Hadera using vertical and horizontal net tows. Samples were split for biomass assessment, functional diversity (via ZooScan and EcoTaxa), and genetic diversity (using 18S rRNA v9 metabarcoding).

In coastal waters, zooplankton abundance ranged from 596 (December) to 2449 (May) individuals/m<sup>3</sup>, and biomass from 5.9 (December) to 180 (November) mg dry weight/m<sup>3</sup>. Calanoid copepods dominated the assemblages, followed by cyclopoids and appendicularians. Seasonal analyses revealed two main peaks in spring and autumn, with distinct taxonomic clusters. Salp blooms of *Thalia democratica* (381 individuals/m<sup>3</sup>) were observed in November. Interannual comparisons (2020–2024) showed consistent seasonal patterns, with lower biomass and abundance in fall and peaks in late winter to spring. The average biomass and abundance of zooplankton in 2024 was 2-fold lower than in 2023 and 2021, but similar to 2022 and 2020.

Epipelagic biomass concentrations at Haifa Transect stations were 1.5 to 4 times higher in winter (March) than in summer (August) at the continental shelf sites. In contrast, biomass levels at the slope and open-sea stations remained similar across both seasons. Mesopelagic layers showed higher summer biomass, likely due to stratification. Species richness was higher in summer, especially at the continental slope stations.

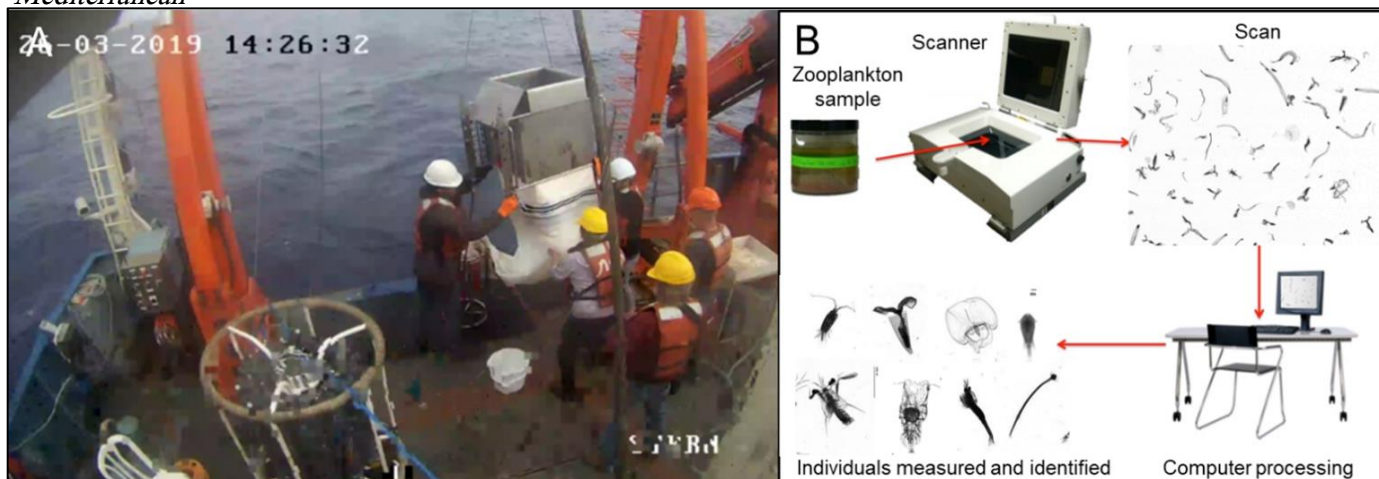
Parasitic larvae of the burrowing sea anemone *Edwardsiella carnea* were identified for the first time in two jellyfish species and in plankton metabarcoding samples using integrative and molecular taxonomy, highlighting the utility of eDNA tools in zooplankton monitoring.



דגימות הזואופלנקטון פוצלו לחלקים שווים עבור (1) מדידות ביומסה, (2) מגוון פונקציונלי, ו- (3) מגוון גנטי. דגימות הביומסה סוננו על גבי פילטר GF/C (precombusted) שקולים ונשקלו לאחר ייבוש בטמפרטורה של 60 °C למשך 24 שעות.

לצורך אומדן המגוון הפונקציונלי, הדוגמאות נסרקו בסורק ייעודי, עובדו וסווגו (classification) באמצעות כלי בינה מלאכותית (איור 3.2). שיטה זו אינה הרסנית—לאחר העיבוד הדוגמאות מועברות לארכיב "אוסף קימור" (אוספי הטבע הלאומיים, האוניברסיטה העברית).

Figure 3.2. Methods used for zooplankton sampling and analysis in the National Monitoring Program of the Israeli Mediterranean

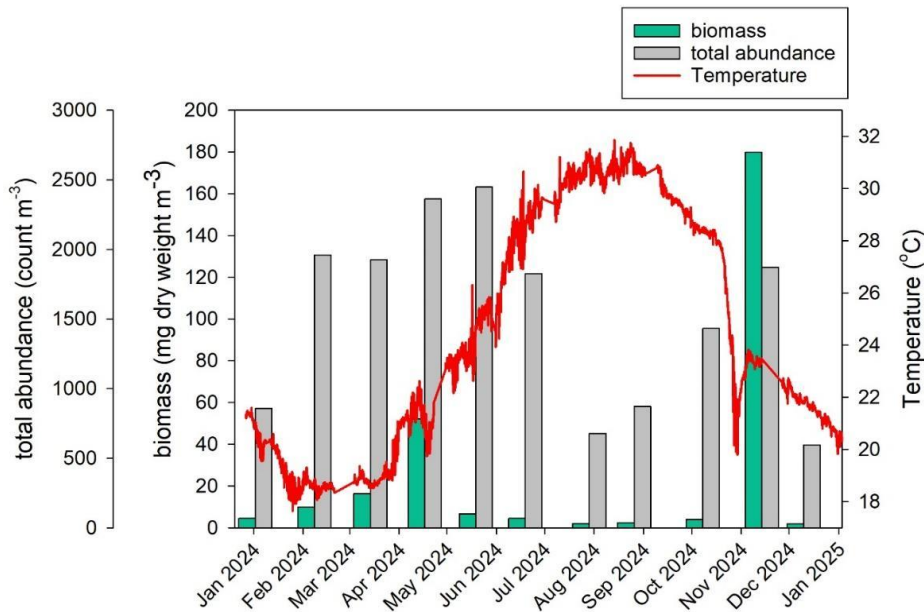


איור 3.2: שיטות בניטור זואופלנקטון במסגרת תכנית הניטור הלאומית. A. מערכת רשתות אוטומטית לדיגום משוכב מסוג *MultiNet Midi* (רשתות) בקונפיגורציה אנכית בספינת המחקר בת-גלים. B. תהליך עיבוד דוגמת זואופלנקטון לאומדן מגוון פונקציונלי בעזרת סריקה ואנליזה ממוחשבת

מטא-ברקודינג נערך לצורך אומדן המגוון הגנטי. דנא הופק מהדגימות (דופליקטים מכל דוגמה). ריאקציות PCR בוצעו עם הפריימרים EukBr -Euk\_1391f המשמשים להגברת המרקר המולקולרי 18S SSU rRNA v9. הריצוף נערך באמצעות Illumina MiniSeq. אנליזה ביואינפורמטית נערכה ע"י שימוש ב-QIIME2 וב-DADA2, והאמפליקונים שהתקבלו הושוו למאגרי רצפים ב-GenBank, 2PR, ו-MetaZooGene (MZGdb).

### ממצאים עיקריים

שכיחות חברת הזואופלנקטון בעמודת המים (0-25 מ') נעה בין 596 פרטים למ"ק (10.12.24) ל-2449 פרטים למ"ק (19.5). ריכוז הביומסה המינימלי היה 5.9 מ"ג משקל יבש למ"ק בדצמבר, והמקסימלי – 180 מ"ג משקל יבש למ"ק בנובמבר (איור 3.3).



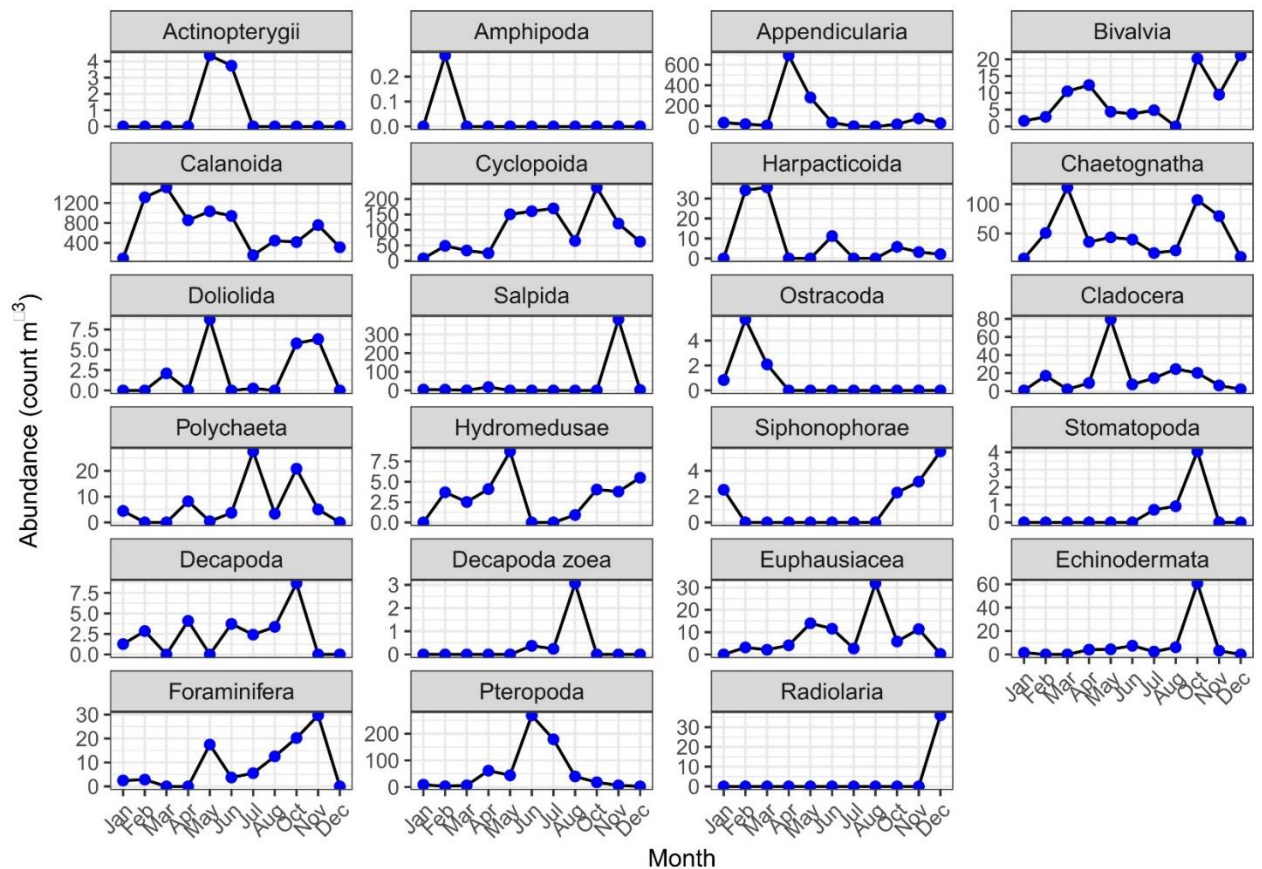
**Figure 3.3.** Biomass and abundance of zooplankton >200 μm sampled at the Hadera meteo-marine station during 2024

**איור 3.3:** שכיחות וריכוז ביומסת זואופלנקטון (מספר פרטים ומיליגרם משקל יבש למטר מעוקב, בהתאמה) בגודל <math>200\mu\text{m}</math> בעמודת המים (0-25 מ') במים החופיים בתחנה המטאו-ימית בחדרה בשנת 2024. הדיגום נערך באמצעות גרירה אנכית של רשת מסוג **2WP (Hydro-Bios)** במהירות <math>< 1</math> מ/שניה. כמות הפרטים התקבלה ע"י סריקה ממוחשבת של דוגמת הרשת. טמפרטורת מי-הים נמדדת ברציפות באמצעות **CTD** המוצב בעומק 12 מ'.

הקבוצות השכיחות ביותר בדיגום החופי היו שטרגליים קלנואידיים ( $47 \pm 16\%$ ), ואחריהם — שטרגליים ציקלופואידיים ( $7\% \pm 8$ ) ואפנדיקולריה ( $9\% \pm 7$ ). (איור 3.4).



**Figure 3.5.** Temporal variability of the densities of coastal zooplankton functional groups obtained from ex-situ imaging in Hadera meteo-marine station during 2024

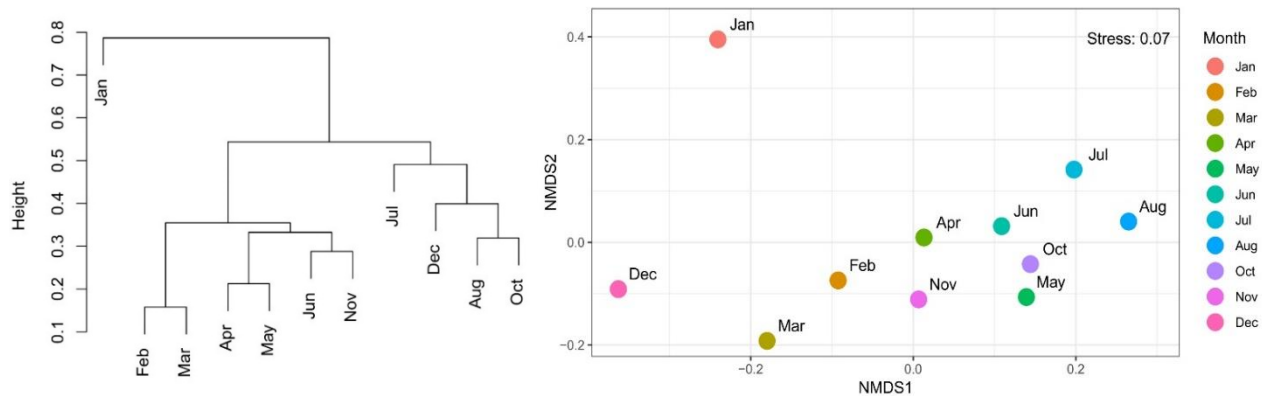


**איור 3.5:** שכיחות (מספר פרטים למטר מעוקב) קבוצות פונקציונליות בזואופלנקטון החופי בתחנת הדיגום החופית בחדרה בחודשי שנת 2024, מבוססת על כלי דימות ואנליזת אינטליגנציה מלאכותית.

שיא נוסף בשכיחות נמצא באוקטובר-דצמבר, בקבוצות Bivalvia, Polychaeta, Foraminifera, Decapoda, Echinodermata, Stomatopoda, Siphonophora, Radiolaria, Hydromedusae, Salpida. בנובמבר (14.11) נצפו פריחות של הסלפה (381 פרטים למ"ק) *Thalia democratica*.

ניתוח ההשתנות העונתית של קבוצות חברת הזואופלנקטון החופית מצביע על שלושה אשכולות נפרדים באופן מובהק (ADONIS,  $p < 0.001$ ): (1) ינואר, (2) פברואר-יוני עם נובמבר, ו (3) יולי-אוגוסט, אוקטובר ודצמבר. באנליזת SIMPER נמצא כי שטרגליים קלנואידיים תרמו הכי הרבה לשונות בין אשכול 2 לאשכולות 1 ו-3 (47% ו-51% ושטרגליים ציקלופואידיים לשונות בין אשכול 1 ל-3 (17%) (איור 3.6).

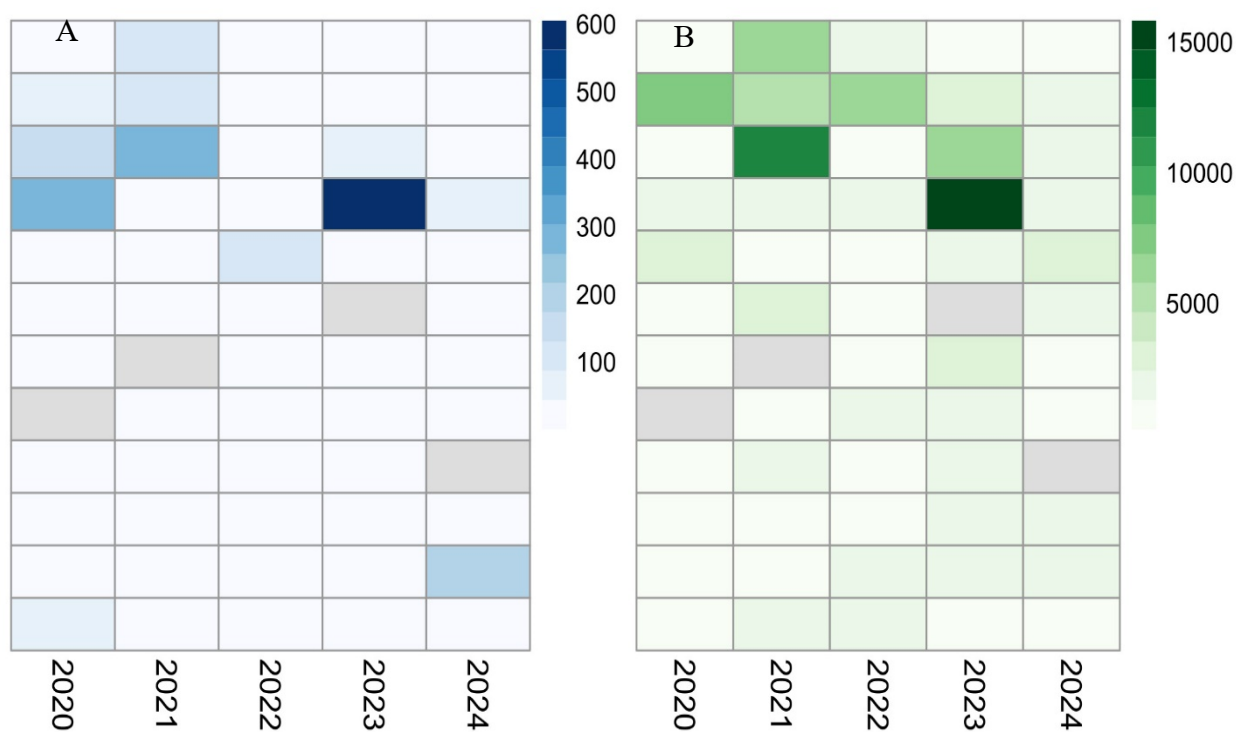
**Figure 3.6.** Temporal changes in the community structure of functional groups in the coastal zooplankton in Hadera meteo-marine station during 2024



**איור 3.6 :** השתנות עונתית של מבנה חברת הזואופלנקטון החופית שנדגמה בחדרה במהלך 2024. מימין : אורדינציה **NMDS** של הקבוצות בחודשי השנה. משמאל : אנליזת אישכול היררכי הצביעה על שלושה אשכולות : החודשים ינואר, פברואר-מאי + נובמבר, יולי-אוגוסט + אוקטובר-נובמבר.

בשנים 2020-2024 קיים דמיון בדפוס ההשתנות העונתית בשכיחות וביומסת הזואופלנקטון החופית: מקסימום בחודשי החורף-תחילת האביב פברואר-מאי, ומינימום בחודשי הסתיו ספטמבר-נובמבר (**איור 3.7**). בשנת 2024, הביומסה הממוצעת היתה  $26 \pm 51$  מ"ג חומר יבש למ"ק, והשכיחות הממוצעת היתה  $1531 \pm 677$  פרטים למ"ק, בדומה לערכים הממוצעים בשנים 2020 ו-2022, אך נמוכה פי-2 מהערכים הממוצעים שנמדדו בשנים 2021 ו-2023.

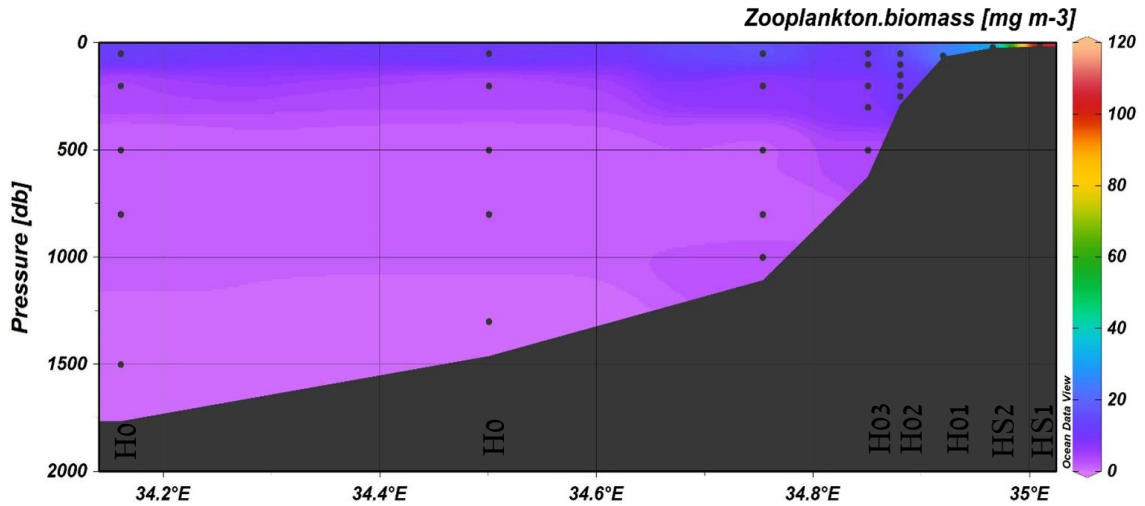
Figure 3.7. Inter and Intra annual changes in the abundance and biomass of the coastal zooplankton in Hadera meteo-marine station during 2020-2024



איור 3.7: שכירות (A) וריכוז (B) ביומסת הזואופלנקטון בתחנת הניטור החופית בחדרה בשנים 2020-2024.

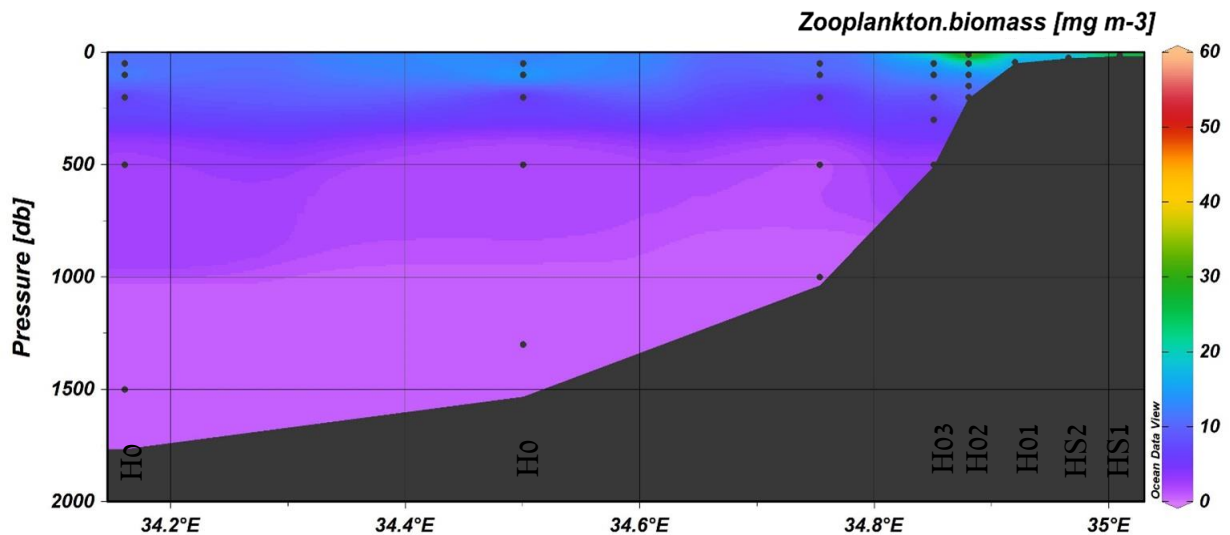
ההשוואה בין ריכוזי הביומסה בשכבה האפיפלאגית (0-100 מ') בתחנות חתך חיפה במרץ 2024 (איור 3.8) ובאוגוסט 2024 (איור 3.9) בתחנות המקבילות מצביעה על ריכוזים גבוהים פי 1.5-4 בחורף מאשר בקיץ בתחנות מדף היבשת, אך בתחנות המדרון והים הפתוח, הריכוזים היו דומים בשתי העונות (איור 3.10). תופעה חוזרת שנצפתה בשנה זו ובשנים קודמות היא ביומסת זואופלנקטון גבוהה יותר בקיץ מאשר בחורף בשכבות המזופלאגיות (100-500 מ'), ככל הנראה בשל השפעת השיכוב.

**Figure 3.8** Zooplankton biomass concentrations ( $>150\mu\text{m}$ ) in 5 vertical strata along Haifa transect in winter 2024.



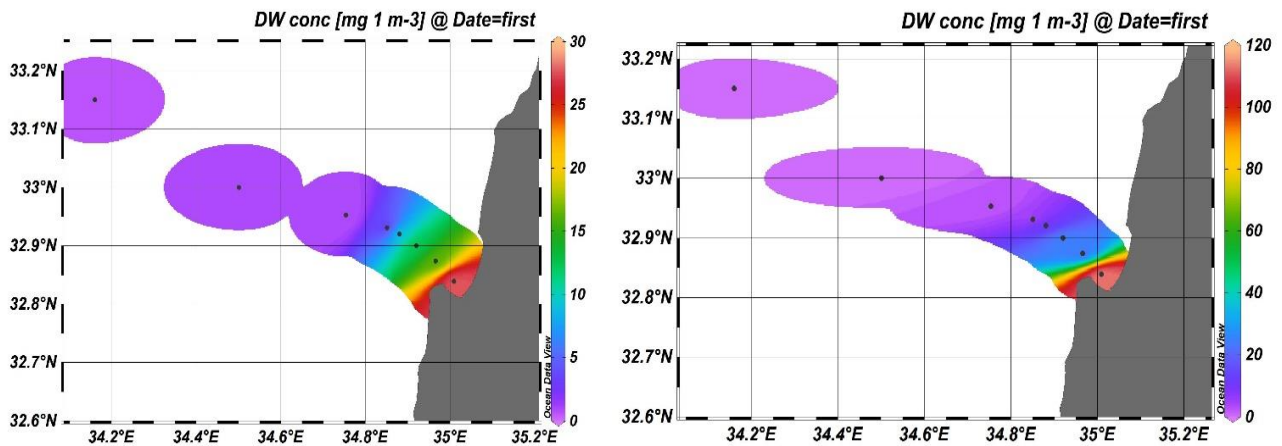
איור 3.8: ריכוז ביומסת זואופלנקטון  $<150\mu\text{m}$  (מיליגרם משקל יבש למטר מעוקב) שנדגם ברשת אוטומטית לדיגום משוכב (MultiNet Midi) בגרירה אנכית של חמש שכבות מים דיסקרטיות מהקרקעית לפני השטח במרץ 2024 (23-28.3) בתחנות H06, H05, H04, H03, H02, H01, HS25, HS15 הנקודות מראות את עומק הגרירה המקסימלי בכל שכבה נדגמת.

**Figure 3.9.** Zooplankton biomass concentrations ( $>150\mu\text{m}$ ) in 5 vertical strata along Haifa transect in summer 2024.



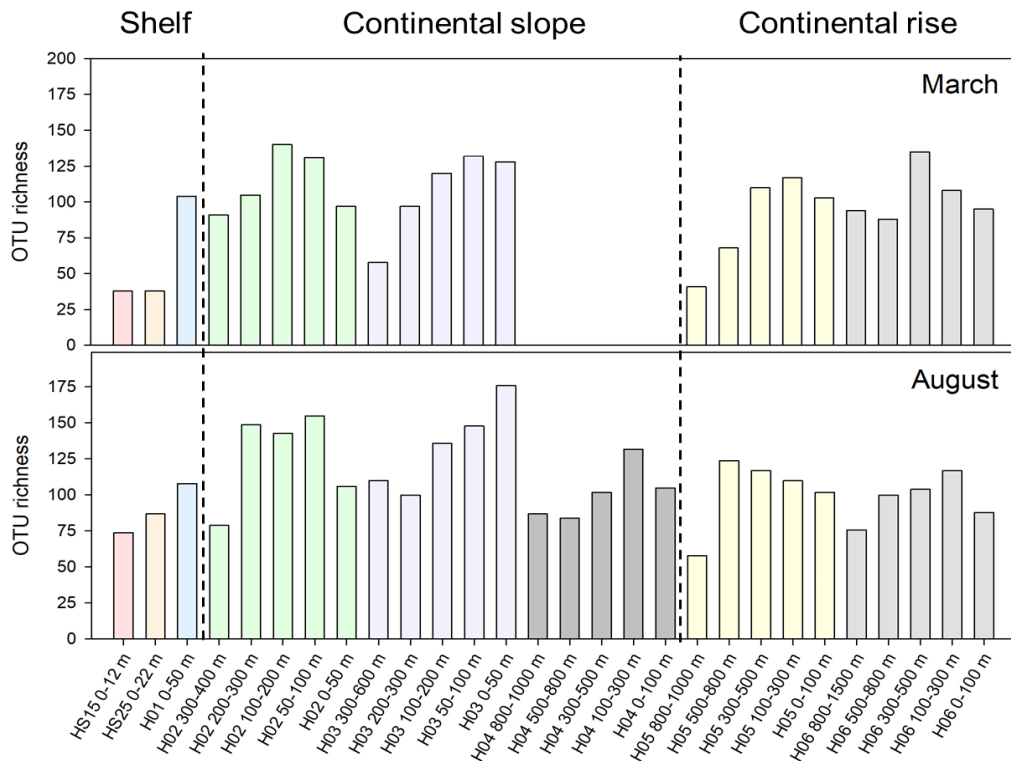
איור 3.9: ריכוז ביומסת זואופלנקטון  $<150\mu\text{m}$  (מיליגרם משקל יבש למטר מעוקב) שנדגם ברשת אוטומטית לדיגום משוכב (MultiNet Midi) בגרירה אנכית של חמש שכבות מים דיסקרטיות מהקרקעית לפני השטח באוגוסט 2024 (6-7.8) בתחנות חתך חיפה H06, H05, H04, H03, H02, H01, HS25, HS15 הנקודות מראות את עומק הגרירה המקסימלי בכל שכבה נדגמת.

**Figure 3.10.** Zooplankton biomass concentrations (>150µm) in the surface waters along Haifa transect in winter and summer 2024



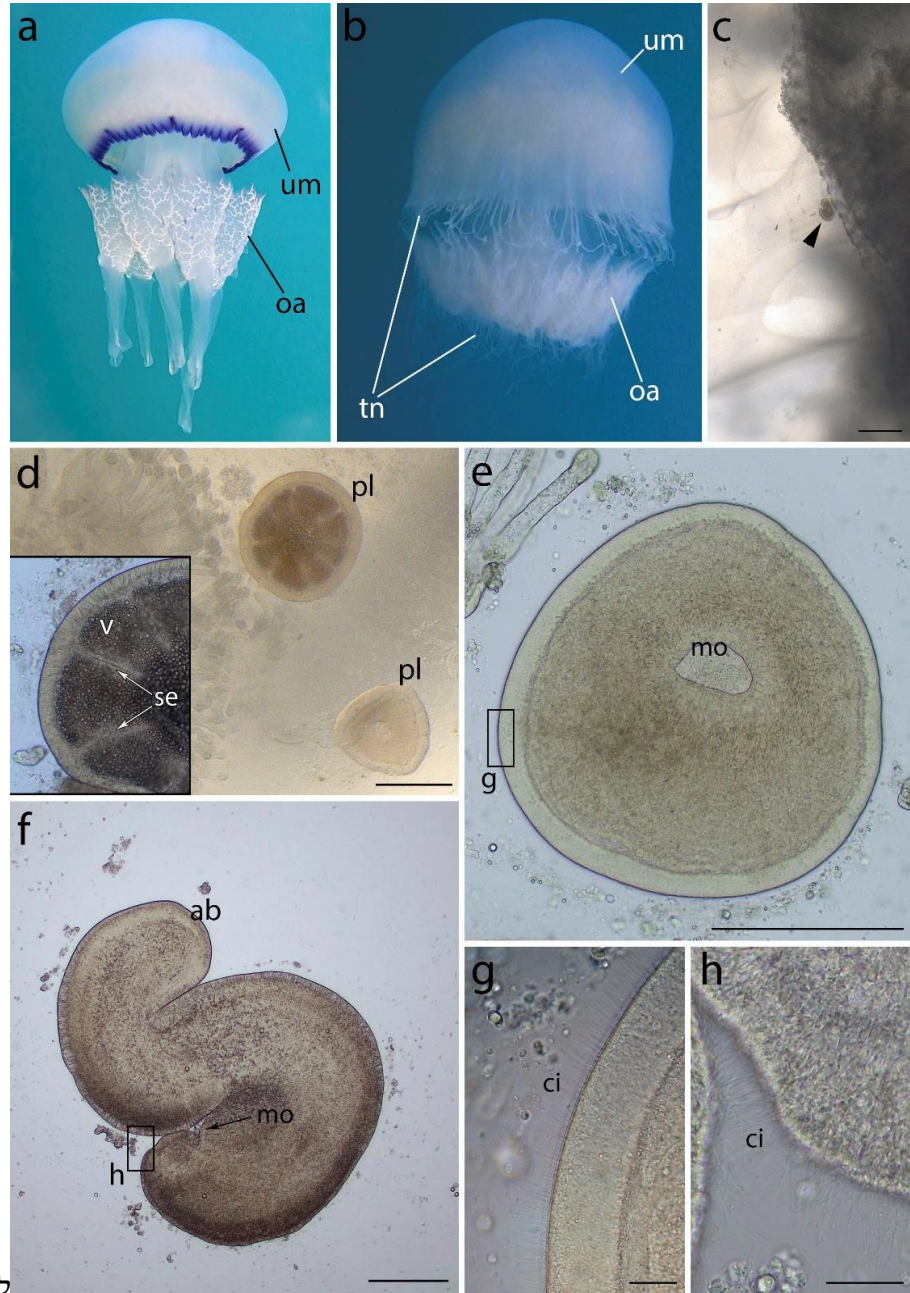
איור 3.10: ריכוז ביומסת זואופלנקטון <math>150\mu\text{m}</math> (מיליגרם משקל יבש למטר מעוקב) שנדגם ברשת אוטומטית לדיגום משוכב (MultiNet Midi) בגרירה אנכית בשכבת המים העליונה (0-15 מ' בתחנות המדף הרדוד, 0-50 מ' בתחנות מדרון וים-עמוק) בחורף (מימין) ובקיץ (שמאל) 2024.

**Figure 3.11.** OTU richness based on the ribosomal 18S v9 marker in zooplankton sampled along Haifa Transect in March and August 2024.



איור 3.11: עושר מינים (OTU richness) בזואופלנקטון שנדגם בתחנות חתך חיפה במרץ ובאוגוסט עפ"י אנליזות מטא-ברקודינג המבוססת על המרקר 18S v9. \*תחנת H04 לא נדגמה למטאברקודינג במרץ מטעמים טכניים.

עושר המינים (OTUs) שנמדד בתחנות חתך חיפה באמצעות מטאברקודינג של דוגמאות הזואופלנקטון והמרקר 18S v9 היה במוצע גבוה יותר בקיץ (OTUs 110±28) מאשר בחורף (OTUs 100±28) (איור 3.11). עושר המינים הגבוה ביותר (176) נמצא בתחנת המדרון H03 בפני השטח (0-50 מ') בקיץ, ובאופן כללי היה גבוה יותר בתחנות המדרון מאשר במדף ובים פתוח.



לאריות פריזיות של השושנה

*Edwardsiella carnea* התגלו לראשונה במדוזות הסוכך כחולת שוליים *Rhizostoma pulmo* וחוטית נודדת *Rhopilema nomadica* (איור 123). באמצעות טקסונומיה אינטגרטיבית (מורפולוגיה וברקודינג) ומטא-ברקודינג בתחנת הניטור בחדרה (Jakovleva et al 2024).

איור 3.12. לארוות פרזיטיות בשלבים שונים של השושנה *Edwardsiella carnea* התגלו לראשונה במדוזות הסוכך כחולת שוליים *Rhizostoma pulmo* וחוטית נודדת *Rhopilema nomadica* באמצעות טקסונומיה אינטגרטיבית (מורפולוגיה וברקודינג) ומטא-ברקודינג בתחנת הניטור בחדרה. מתוך *Jakovleva et al*. 2024.

## פרק 4 - ניטור ביולוגי ואקולוגי של חי תוך המצע

ד"ר הדס לובינבסקי [hadass@ocean.org.il](mailto:hadass@ocean.org.il)

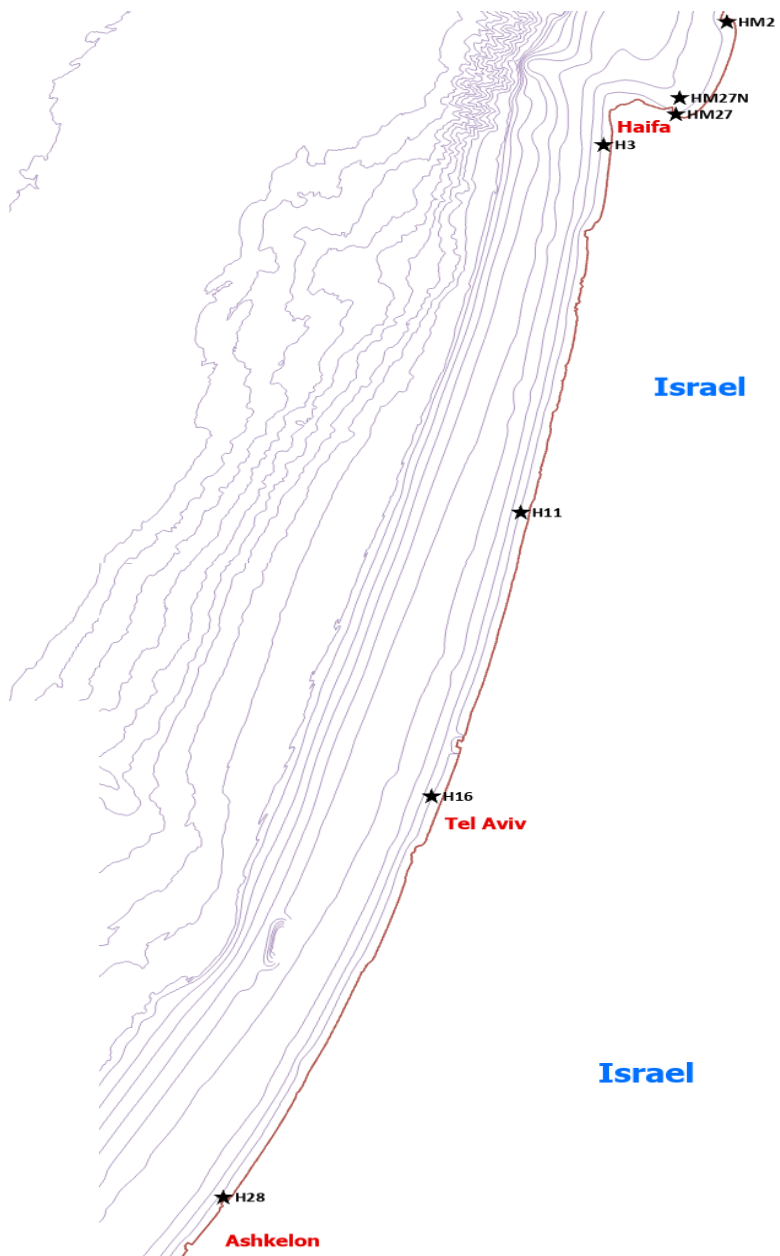
### Abstract

A long-term coastal monitoring program along Israel's shallow eastern Mediterranean shelf revealed a sharp decline in macrofauna abundance since 2016 compared to the previous decade. This 19-year dataset highlights a dramatic shift that has yet to be fully explained and is possibly attributed to regional (i.e., construction of the new Haifa Bay port) or global (e.g., climate change) factors such as decreased organic carbon input and rising sea temperatures linked to climate change. The most dramatic drop was recorded at the Kishon estuary station, which had the highest faunal density (about 40,000 individuals/m<sup>2</sup> annually until 2016), but dropped to just ~420 individuals/m<sup>2</sup> by 2024. Species richness also declined from 50–100 taxa to around 20. Similarly, northern Haifa Bay (Naaman station) showed a sharp drop in macrofauna biomass from 2016, likely due to sediment changes from sand nourishment and erosion. Across all stations, benthic fauna density significantly declined between 2015 and 2016 and remained low through 2024, especially at Haifa port entrance. From 2016 onward, local molluscs species' abundance dropped along the coast south of Haifa Bay, though a slight recovery is observed in the past three years. While the number of native species remained overall stable, the number of invasive species increased steadily from 2005 to 2024.

### תחנות ושיטות מדידה

בין השנים 2005-2016, שלוש עשרה תחנות של חי תוך המצע נדגמו לאורך החוף בטווח עומקים בים 7-13 מטרים. החל משנת 2017 מספר התחנות ירד לשש ובשנת 2022 התחלנו לדגום תחנה נוספת בנמל חיפה שהוגדל בשנים האחרונות והיא ממוקמת בפתח הנמל החדש.

שלוש דגימות סדימנט חוזרות נאספו בכל תחנה באמצעות מחפר כפות (Van veen grab מדגם Kahlsico WA265/SS214). הדוגמאות נופו על סיפון הספינה על גבי רשת של 250 מיקרון ושומרו באתנול 99%. במעבדה הדוגמאות נצבעות באאוזין בריכוז של 1%. הדוגמאות ממויינות באמצעות בינוקולר והמקרופאונה נספרת ומזוהה לרמת המיון הנמוכה ביותר בעזרת טקסונומים ועבודה גנטית. (איור 4).



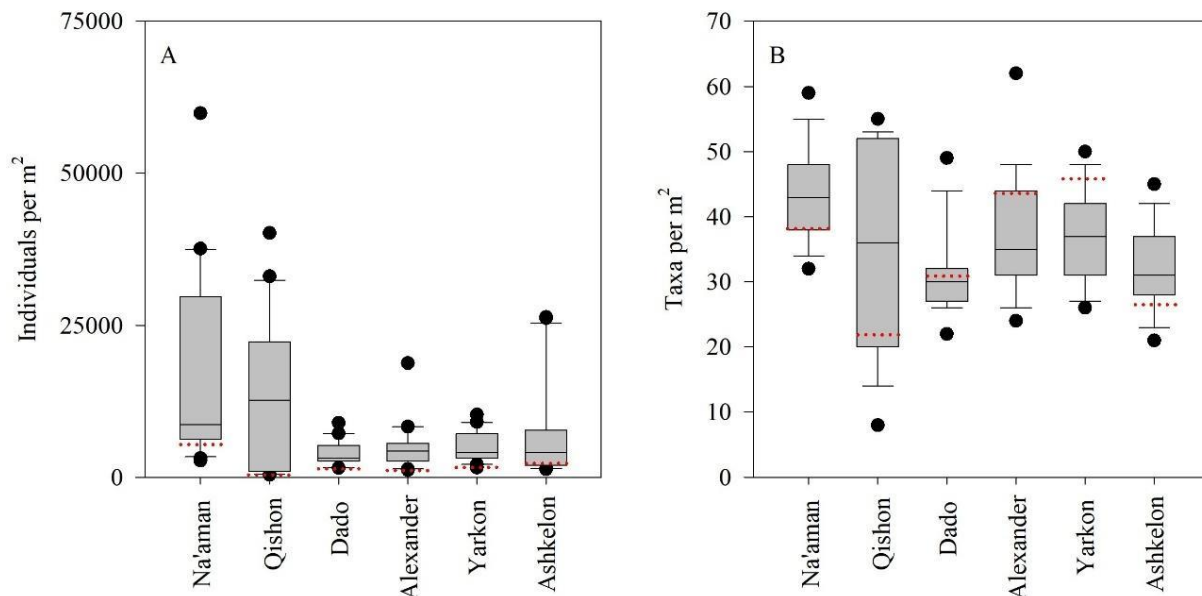
איור 4 - תחנות דיגום חי על המצע במפרץ חיפה ולאורך החוף בשנת 2024.

#### ניטור הסביבה החופית

שפע המאקרופאונה לאורך המדף הרדוד של מזרח הים התיכון בישראל ירד באופן חד ובלתי הפיך בשנת 2016. ניטור חופי שנתי זה, יוצא דופן באורכו ונמשך 19 שנים, אפשר לזהות שינוי דרמטי זה, אשר נמשך תשע שנים לפחות, ושטרם הוסבר במלואו. משמעותו הרחבה של המחקר נובעת מהאפשרות השינוי נגרם מגורמים בעלי השפעה אזורית או גלובלית, ולא רק מקומית. הגורמים המשוערים אשר עשויים להשפיע כוללים: ירידה בהעברת פחמן אורגני ממקורות יבשתיים ו/או מהאזור האפטי, עלייה בטמפרטורת מי הים, בהקשר של ההתחממות הגלובלית. בישראל נעשו מאמצים רב-שנתיים להפחתת הזרמת שפכים לים, נצפתה עלייה

הדרגתית בטמפרטורת המים, והתפוקה הראשונית באזור הפוטי נמדדה מדי שנה – ללא זיהוי שינוי מובהק שעשוי להסביר את התופעה החריגה. עם זאת, הזרמה של חומר אורגני לים כתוצאה מהצפות חורפיות אינה מנוטרת בישראל, ולכן לא זוהו עד כה אירועים תחומים בזמן שיכולים להסביר את התופעה החריפה. ההסבר החלקי היחיד שנמצא הוא קיומו האפשרי של סף טמפרטורה – שמעבר אליו גורם להכחדה מוחלטת של מיני תחתית מסוימים. באזור נמל חיפה התרחשו שני אירועים משמעותיים: ניקוי נחל הקישון בשנת 2016 ובניית נמל המפרץ החדש בשנים 2015-2017. שניהם הביאו לצמצום בהובלת חומר אורגני מאגן הנמל החדש אל הים הפתוח.

בשנת 2024 נמצאה ירידה משמעותית במספר הפרטים בכל התחנות בהשוואה לשנים קודמות ולמעשה זאת השנה הכי ענייה מבחינת מספר הפרטים. מבחינת מספר הטקסונים, נראה כי השינויים המספריים בין השנים אלו טבעיים ולא מגמה של עלייה או ירידה במספר הטקסונים. (איורים 4.1A ו- 4.1B).

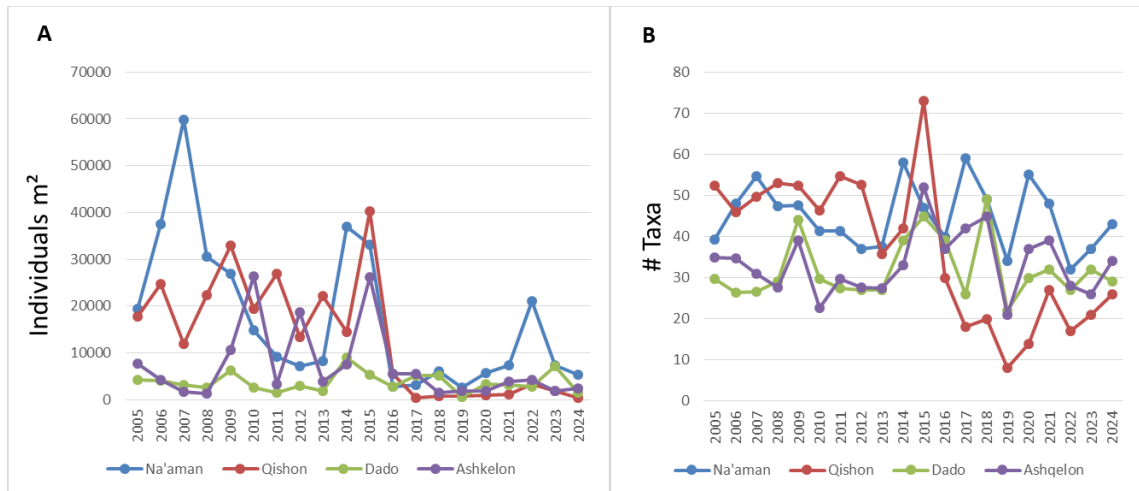


איור 4.1 - מספר הפרטים הממוצע למ"ר (A) ומספר הטקסה (B) בתחנות הניטור השונות לאורך כל שנות הניטור (2005-2024). הקו האדום המקווקו מייצג את הערך שהתקבל בניטור 2024.

תחנת שפך הקישון בשנים 2005-2016 הייתה התחנה העשירה ביותר במספר הפרטים שנאספו בה (כ- 40,000 פרטים בממוצע למ"ר מידי שנה). משנת 2017 אנו רואים ירידה משמעותית במספר הפרטים בתחנה זו והיא התחנה הענייה ביותר מבחינת מספר הפרטים שנאספו בה (ב 2024 היו כ- 420 פרטים בלבד בממוצע למ"ר). באופן דומה, בעוד שבדיגומי עבר נמצאו בין 50-100 טקסונים של תולעים, קופפודים וקווצי עור בשפך הקישון, החל מניטור 2018, מספר הטקסונים הוא בממוצע 20. הבדלים אלו נבעו ככל הנראה מחפירות שהתבצעו באזור במסגרת נמל המפרץ והמקום טרם חזר לקדמותו, אולם בתוך הנמל נוצרו תנאי עומס אורגני וזיהום הולך ועולה אשר גרמו להפיכתו לאזור כמעט וריק לחלוטין מחיות עם מגוון מינים נמוך. משנת 2022 התחלנו לדגום תחנה נוספת שנקראת "קישון החדשה" והיא ממוקמת בפתח הנמל החדש. התחנה הזו שונה כמובן מהתחנה הממוקמת בתוך הנמל והיא דומה יותר מבחינת מאפייני חי תוך המצע, צפיפות, מגוון והרכב מינים לאחידות

ולשיווי משקל רב שנתי לתחנות הממוקמות לאורך החוף ולא לתחנת הקישון הממוקמת בתוך הנמל. יש לשקול האם יש טעם להמשיך ולדגום בתוך הנמל עצמו.

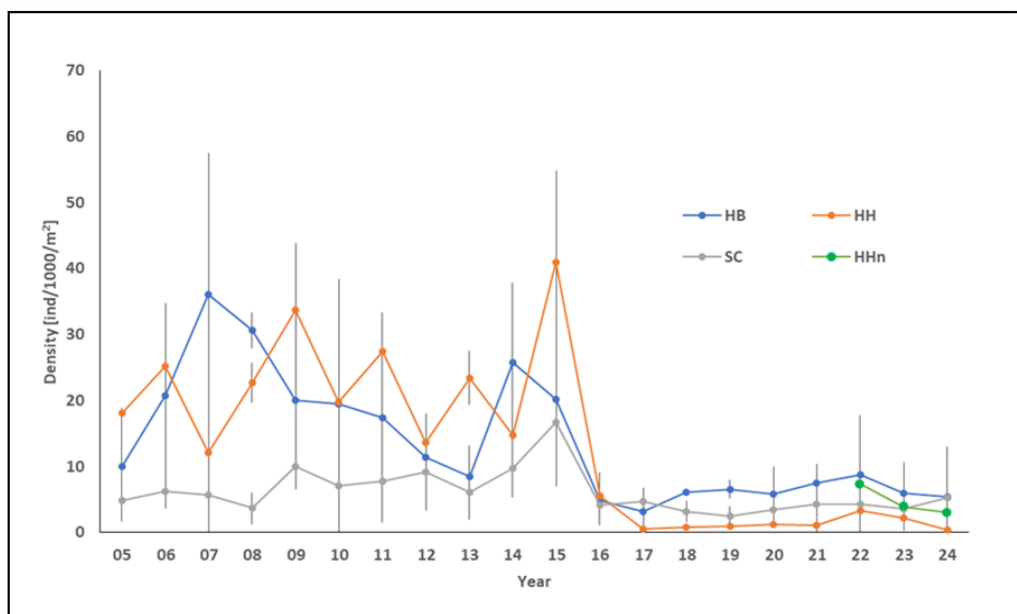
הירידה הדרסטית בכמות הפרטים בצפון מפרץ חיפה (תחנת נעמן) החל משנת 2016 (איור 4.2A) נובעת ככל הנראה משינויים סדימנטולוגיים כתוצאה מהזנת חולות ובליה בחלקו הדרומי של המפרץ, וככל הנראה הסעתם צפונה (דו"ח חי"ל H46/2020) או מסיבות אחרות כמפורט בהקדמת הפרק. נראה כי השינויים במספר הטקסונים בתחנות החוף הם שינויים שנתיים טבעיים, למעט התחנה מול שפך הקישון (איור 4.2B).



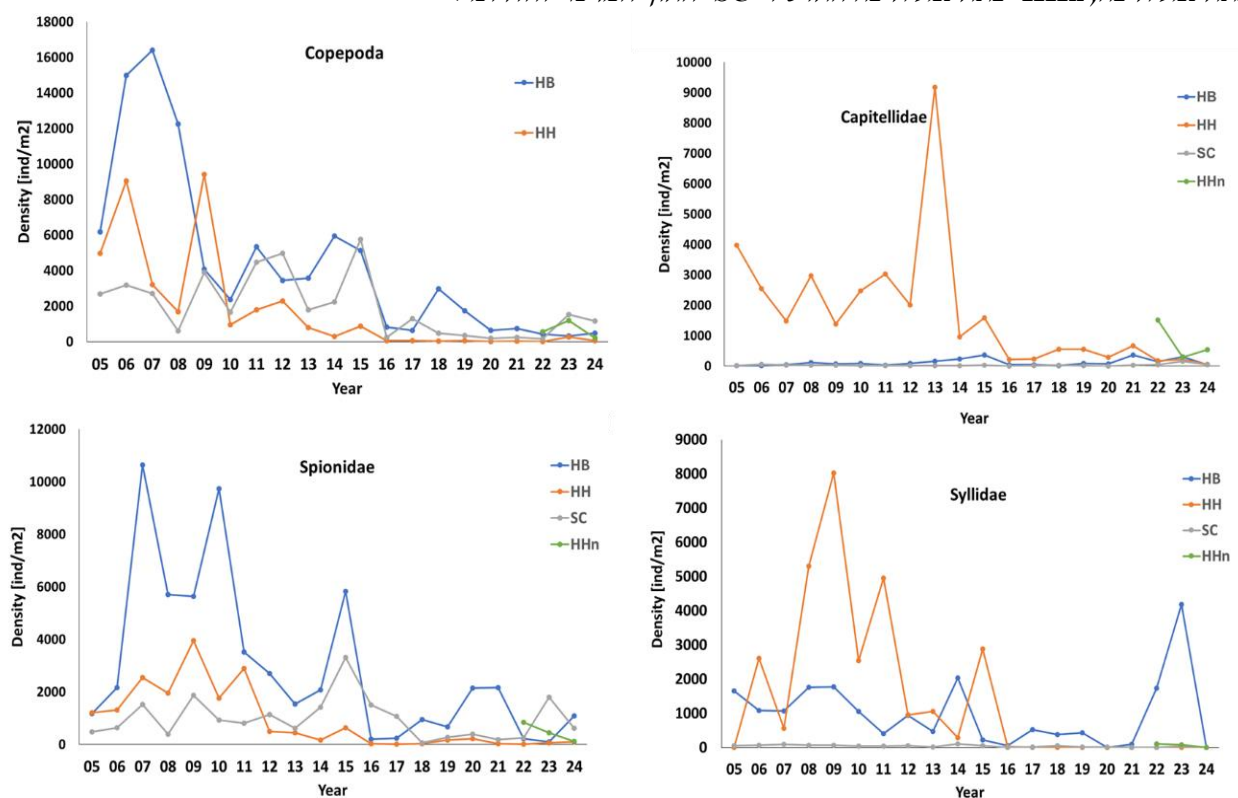
איור 4.2 - מספר הפרטים למ"ר (A) ומספר הטקסה הכולל (B) בכל אחת מהתחנות בין השנים 2005-2024.

ניתוח רב שנתי של מאפייני חברות חיתוך המצע שבוצע לגבי השנים 2005-2016 (Lubinevsky et al., 2019) הביא להגדרה של חברות חי אחידות סטטיסטית. אופייני שלוש חברות חי, זו של מפרץ חיפה (HB), פתח נמל חיפה (HH) ויתר החוף מקצה המפרץ דרומה עד אשקלון (SC), כאשר המאפיינים שנדגמו הם צפיפות, הרכב מינים ומדדי מגוון מינים. שלושת המאפיינים הראו שינויים שנתיים אקראיים ללא שום מגמה לאורך 12 השנים שנבדקו. משנת 2016 ועד לניטור הנוכחי ב 2024 נמצאו שינויים משמעותיים שחלו במאפיינים אלה.

השינוי בצפיפות הפרטים למטר רבוע של חברות החי האחידות השונות מוצג באיור 4.3. המגמה הבולטת והחד משמעית היא ירידה חדה בצפיפות במעבר משנת 2015 ל- 2016 ואחר כך שמירה על צפיפות נמוכה לכל אורך החוף בין השנים 2016-2024. ירידה דרמטית במיוחד אובחנה בצפיפות חברת חי-תוך-המצע של פתח נמל חיפה (HH). באיור 4.4 ניתן לראות את השינוי בצפיפות הפרטים בחברות החי השונות במספר קבוצות חשובות שאינן מוגדרות לרמת המין (סרטנאים ממחלקת ה- copepoda ותולעים רב זיפיות מהמשפחות capitellidae, syllidae, spionidae) בשנים 2005-2024.

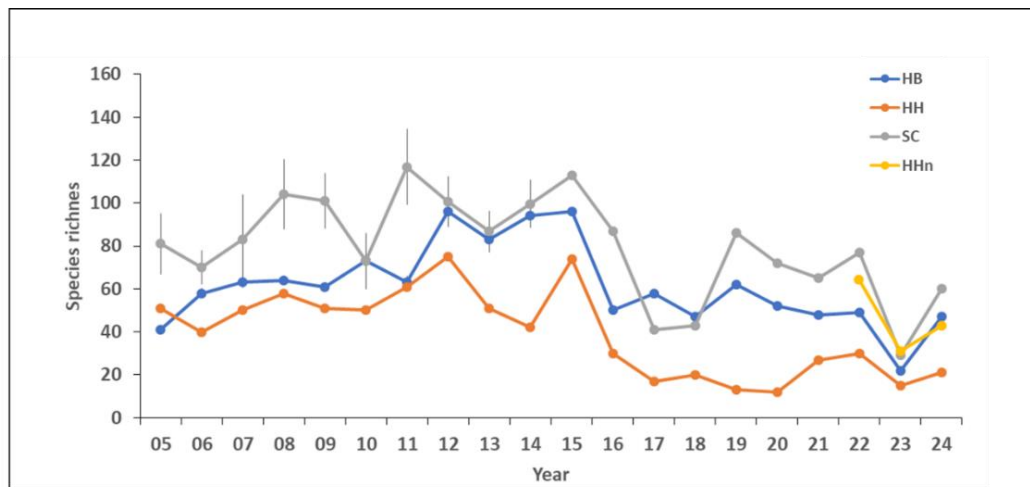


איור 4.3 – צפיפות הפרטים למטר רבוע בשלושת חברות החי לאורך שנות הניטור (2005-2024). **HB** - מפרץ חיפה, **HH** - פתח נמל חיפה, **HHn** - פתח נמל חיפה החדש, **SC** - החוף המרכזי והדרומי.



איור 4.4 - צפיפות הפרטים שטרגליים (*Copepoda*) ושל תולעים רב זיפיות ממשפחות ה- *Capitellidae*, *Spionidae*, *Syllidae* בחברות השונות משנת 2015-2024. **HB** - מפרץ חיפה, **HH** - פתח נמל חיפה, **HHn** - פתח נמל חיפה החדש ו- **SC** - החוף המרכזי והדרומי.

**מדד עושר המינים** – מדד של מספר הטקסונים בכל בית גידול לאורך השנה מוצג ב**איור 4.5**. מספר הטקסונים מראה ירידה חזקה בכל חברות החי בשנת 2017 המלווה בהתייצבות, ובשנים 2021-2024 אנו רואים עלייה מחודשת. עלייה וירידה מופיעים בכל התחנות באותה מגמה, ואינם נקודתיים/אזוריים.



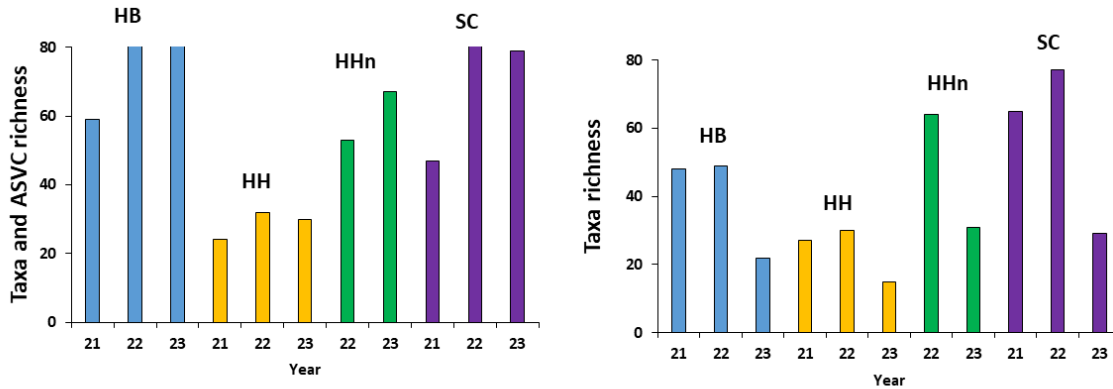
**איור 4.5** – מדד עושר המינים: מספר הטקסונים בשלשת חברות החי לאורך הזמן (2005-2024). **HB** - מפרץ חיפה, **HH** - פתח נמל חיפה, **HHn** - פתח נמל חיפה חדש ו-**SC** - החוף המרכזי והדרומי.

זיהוי הרכב המינים והמגוון שלהם בניטור הלאומי: מתוך כלל מאספי החיות שנדגם בשנים 2005-2024, הוגדרו 25% בלבד לרמת המין (עניין טכני הנובע ממיעוט טקסונומים רלוונטים בארץ ובח"ל). לפיכך, שתי קבוצות חשובות - תולעים רב זיפיות (polychaeta) ושטרגליים קרקעיים (benthic copepods), המהוות קרוב ל-75% מכלל הפרטים, הוגדרו לרמת המשפחה ומעלה. הרכב ומגוון המינים של התולעים הרב זיפיות והשטרגליים הקרקעיים שונה בכל בית גידול או בכל תחנת דיגום והגדרה מדויקת יותר שלהם היא משימה קריטית וחשובה להשגת ניתוח משמעותי יותר של מאפייני חברת החי והשינויים החלים בהם עם הזמן. לכן הוטמעה בשנים האחרונות במעבדת המצע הרך של חקר ימים ואגמים שיטה להגדרה מולקולרית של מיני חי-תוך-המצע הנקראת מטאבירקוד (metabarcoding). מטרת השיטה היא לאפשר הגדרה מדויקת יותר, קרובה לרמת המין, של קבוצות טקסונומיות שאין ביכולתנו להגדירן בעצמנו או בעזרת מומחים לרמת מין. במאמר Lubinevsky et al., 2025 השוו תוצאות הרכב והמגוון המינים של בע"ח החיים תוך המצע בין אנליזה שהסתמכה על הגדרה מורפולוגית בלבד לבין הגדרה משולבת מורפולוגית ומולקולרית ודנו ביתרונות של ההגדרה המשולבת (**איור 4.6**). מרכיבי השיטה אשר הוטמעו במעבדתנו, מתאימים להגדרה של רב-זיפיות ושטרגליים קרקעיים המהוות מרכיב חשוב בחברת חי תוך המצע המנוטרת כאן שהוגדרו עד עתה רק לרמת המשפחה ומעלה. אנחנו עובדים על הרחבת אפשרויות המטאבירקוד לקבוצות טקסונומיות נוספות ואלו יכנסו לשימוש בהדרגה בשנים הבאות.

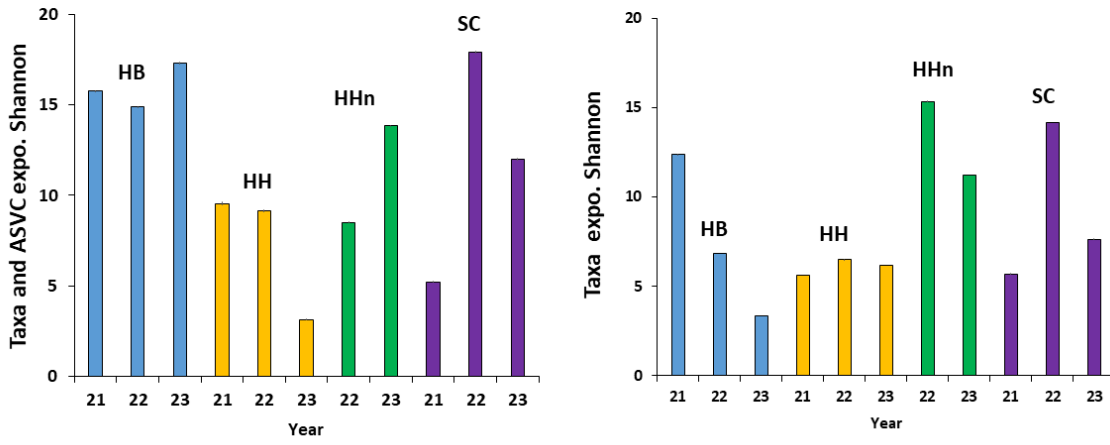
**Combined ASVCs and morphotaxa**

**Morphotaxa only**

**a**

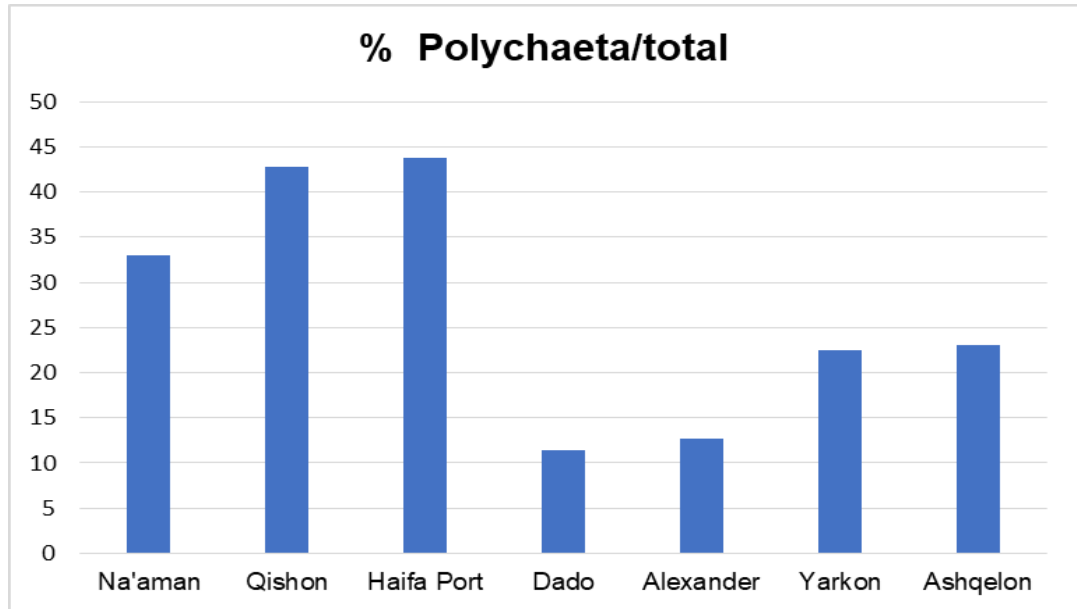


**b**

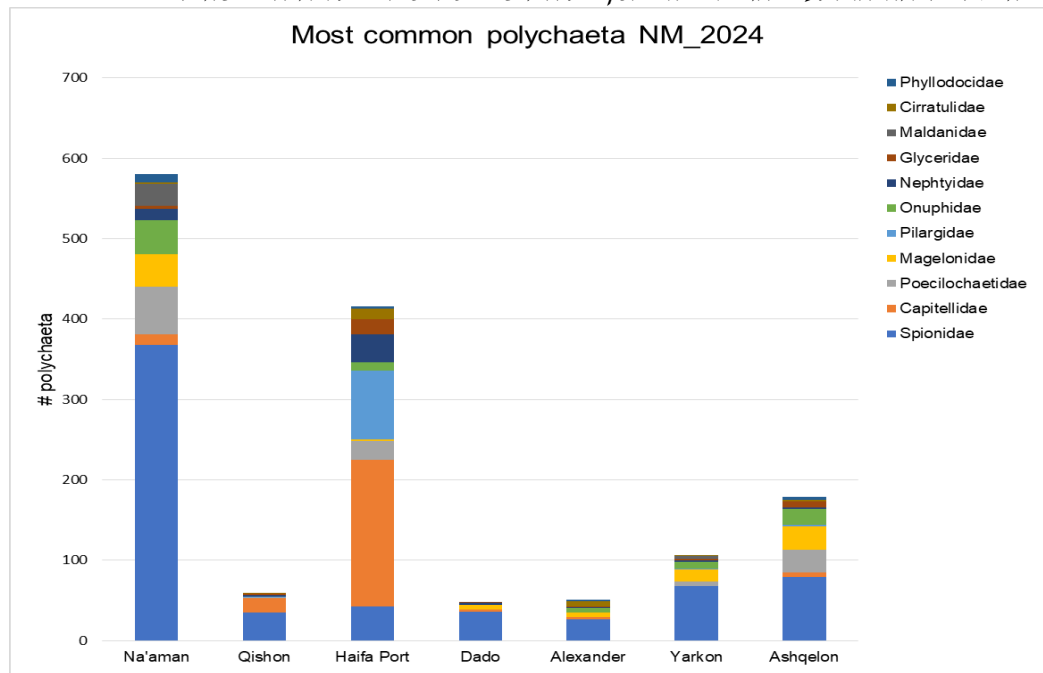


**איור 4.6:** השוואה בין ממספר הטקסה של המקרופאונה בין הגדרות מורפולוגיות בלבד (טור ימני) לבין הגדרות מורפולוגיות ומולקולריות יחד (טור שמאלי). אינדקסים מוערכים של מגוון מיני המקרופאונה בשלושת בתי הגידול לאורך חוף הים התיכון בישראל. HB -מפרץ חיפה, HH -נמל חיפה, HHn -נמל חיפה חדש, SC - החוף המרכזי והדרומי. a- עושר מינים, b- מעריך האקספוננט של מדד שאנון-ויינר.

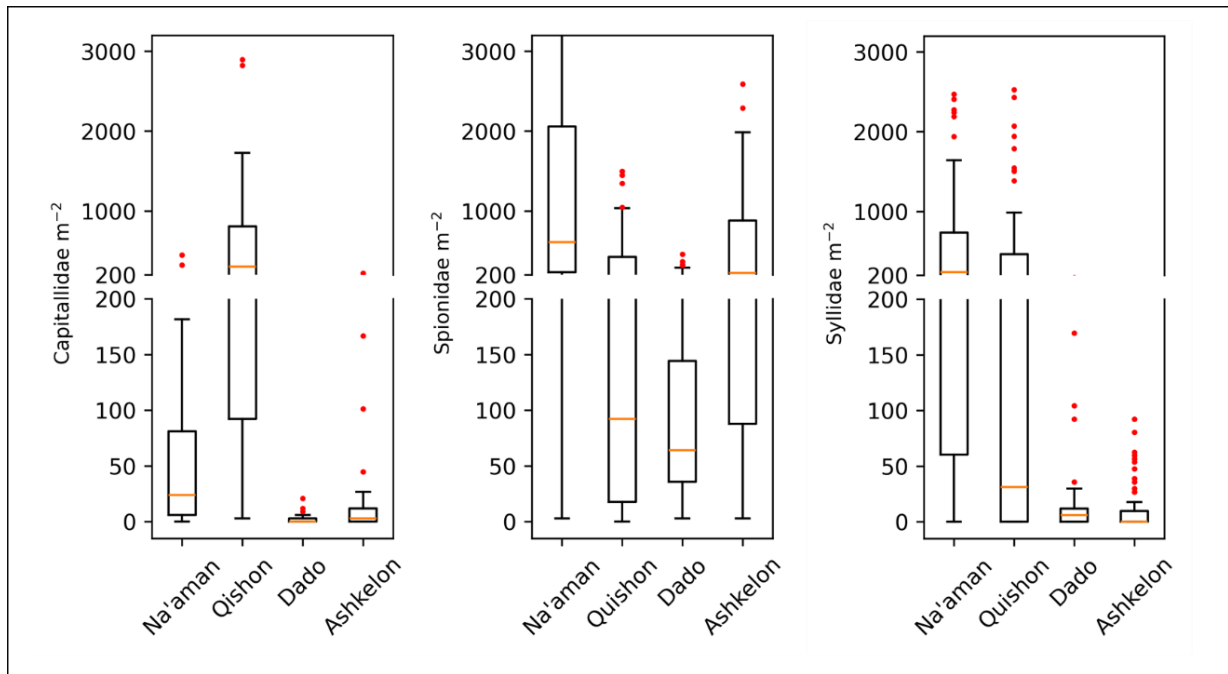
**באיור 4.7** ניתן לראות את אחוז הפרטים שנאספו של תולעים רב זיפיות מסך כל הפרטים שנאספו בכל אחת מתחנות הניטור. אנו רואים כי במפרץ חיפה ובנמל חיפה התולעים מהווים 40% מכלל הפרטים שנאספו ואילו בשאר החוף זה נע בין 10-20 אחוזים בלבד. **באיור 4.8** אנו רואים את הרכב המשפחות העיקריות שנאספו מבין התולעים הזיפיות והפיזור שלהן בתחנות הניטור השונות. רואים כי לאורך כל החוף ובתחנות המפרץ (בעיקר בתחנת נעמן) המשפחה העיקרית היא משפחת spionidae אך בתחנת הנמל החדשה נמצא כי משפחת ה capiteillidae היא הנפוצה ביותר ולאחריה משפחת pilargidae. **באיור 4.9** ניתן לראות את שלושת משפחות התולעים הרב זיפיות הנפוצות ביותר בכל שנות הניטור (בתחנות המפרץ, דדו ואשקלון, המשקפת גם את יתר תחנות החוף). רואים כי כל התחנות עשירות בתולעים ממשפחת ה spionidae אשר ניוזנות מטריפה של בע"ח על גבי החול, אולם הן מתאפיינות ביכולת שלהן לשנות את צורת התזונה שלהם לתרחיף במים כאשר התנאים מאפשרים זאת. תולעים ממשפחת ה capiteillidae המאכלסים אזורים המועשרים בחומר אורגני נפוצים בעיקר בתחנות בנמל חיפה (בפרטים בודדים בלבד בשאר התחנות). משפחת ה syllidae היתה משפחה מאוד נפוצה בניוור הלאומי לאורך השנים. בניטור 2024 נאספו בסך הכל 4 פרטים בלבד ממשפחה זו. נמשיך לעקוב כדי לבדוק האם מדובר בשינוי שנתי טבעי או מגמה שחוזרת על עצמה.



איור 4.7: אחוז התולעים הרב זיפיות מסך כל הפרטים שנאספו בכל תחנה בניטור 2024.



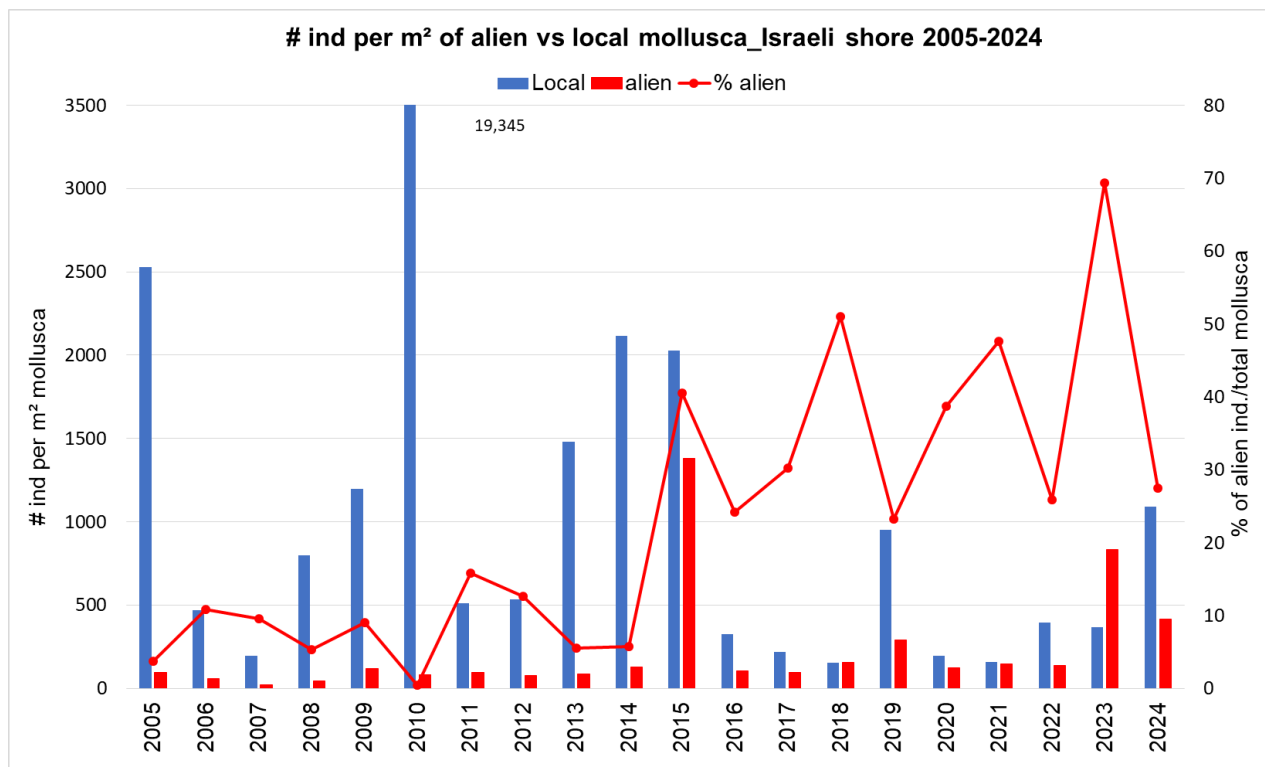
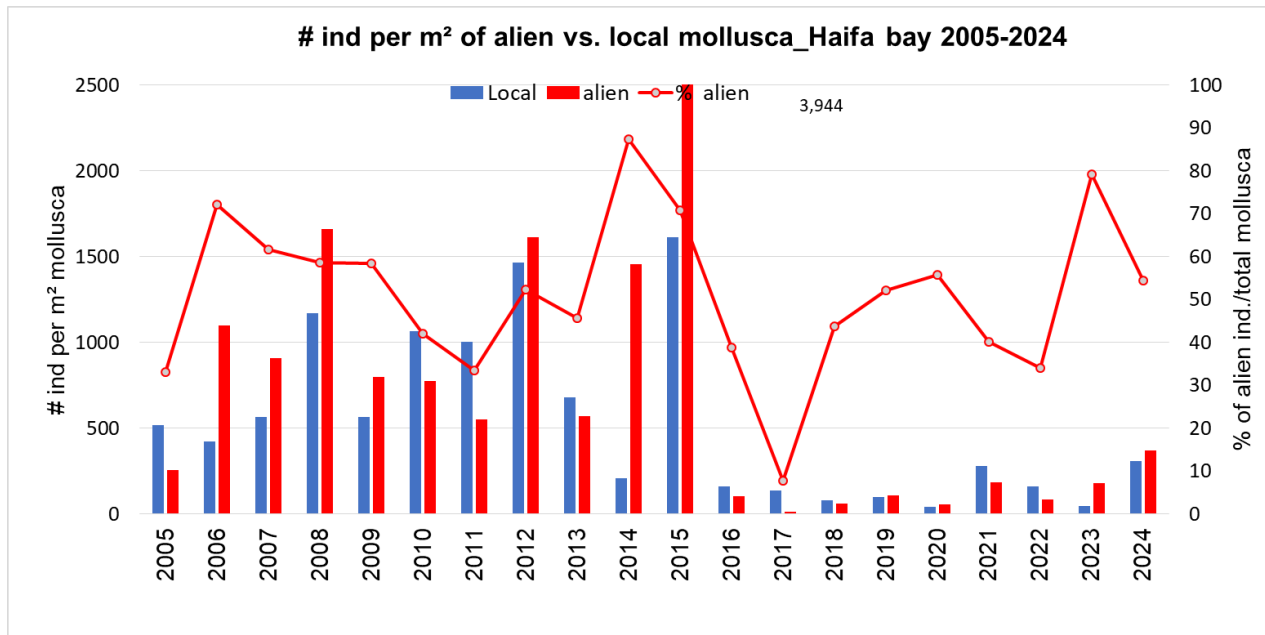
איור 4.8: מספר הפרטים של תולעים רב זיפיות מששת המשפחות הנפוצות ביותר שנאספו בתחנות השונות בניטור 2024.



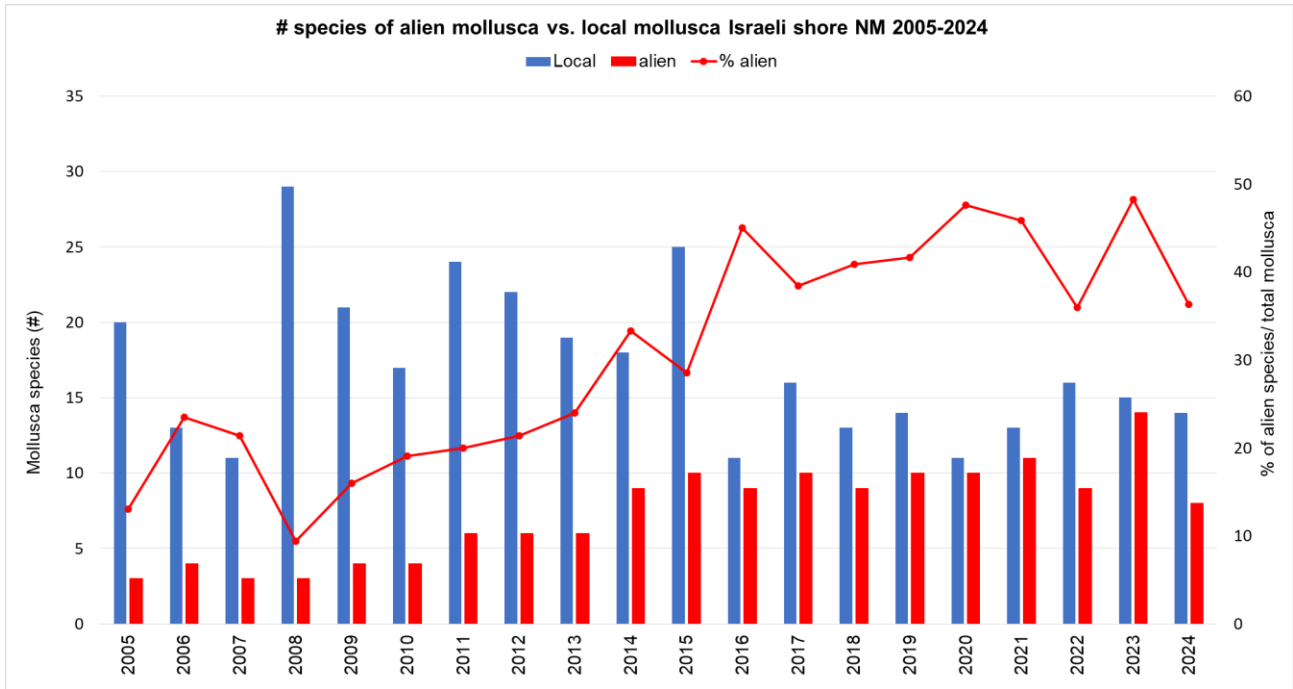
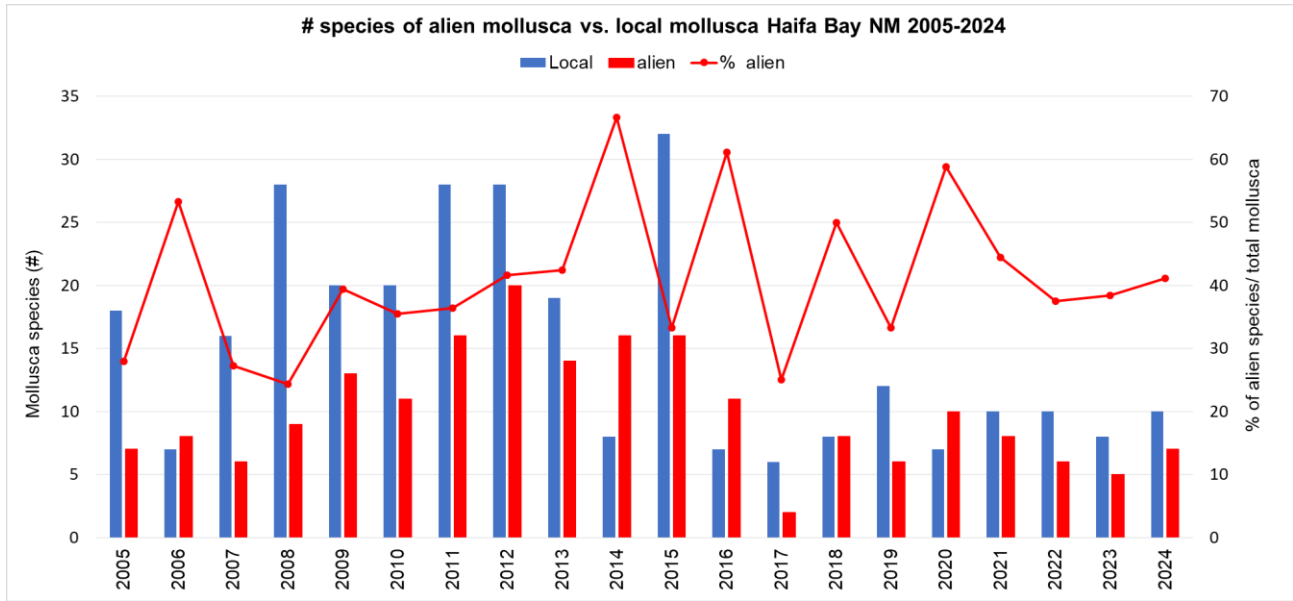
**איור 4.9 - מספר הפרטים של תולעים רב זיפיות משלושת המשפחות הנפוצות בניטור: (A) *Capitalidae*, (B) *Spionidae*, ו-(C) *Syllidae* בתחנות נעמן, שפך הקישון, דדו, ואשקלון בין השנים 2005-2024. הקו הכתום בתוך הקופסה מייצג את ערך החציון משנות הדיגום. הקו האדום מייצג את ערך הממוצע ב-2024 (3 חזרות).**

מערכת הרכיכות הוגדרה לרמת המין והיא כוללת מספר רב של מינים, חלקם מינים מהגרים (איור 4.10). לאורך החוף דרומית למפרץ חיפה נצפית ירידה בשכיחות הפרטים ממוצא מקומי שהחלה ב-2016 ונמשכת עד 2024, אם כי נראה שבשלוש השנים האחרונות יש התאוששות, נמשך לעקוב, לעומת זאת אין מגמת שינוי בשכיחות מספר הפרטים של מינים פולשים (איור 4.10 עליון). במפרץ חיפה נמצאה ירידה משמעותית הן בשכיחות הפרטים של מינים פולשים והן של מקומיים החל משנת 2016 (איור 4.10 תחתון). השינוי, כאמור, ככל הנראה נובע מפעולות החפירה בדרום המפרץ, פעולות הזנת החול במפרץ ואולי שינויים נוספים שמשפיעים על כל אוכלוסיית חי תוך המצע ולא רק על הרכיכות.

לאורך החוף דרומית למפרץ חיפה לא נמצא שינוי ברור במספר המינים המקומיים (למרות השונות) אולם נצפית עליה במספר המינים הפולשים בין השנים 2005 ל-2024 (איור 4.11 עליון). אומנם ניכרת עלייה במספר המינים מהגרים, אך לא כל המינים מבססים אוכלוסיות, נכון לעת עתה. במפרץ חיפה נצפית ירידה במספר המינים הפולשים והמקומיים ב-6 השנים האחרונות לעומת עשור קודם לכן, אולם בשנים האחרונות יתכן ומדובר בשינויים טבעיים (איור 4.11 תחתון).



איור 4.10 - מספר הפרטים ממערכת הרכיכות של מינים מהגרים (אדום) מול מקומיים (כחול) לאורך החוף (אשקלון-דדו, פאנל עליון) ובמפרץ חיפה (פאנל תחתון) בין 2005-2024. אחוז הפולשים מכלל מיני הרכיכות מוצג כקו מגמה בצבע אדום.



איור 4.11 - מספר הטקסונים ממערכת הרכיכות של מינים מהגרים (אדום) מול מקומיים (כחול) לאורך החוף (אשקלון-דדו, פאנל עליון) ובמפרץ חיפה (פאנל תחתון) בין 2005-2024. אחוז הפולשים מכלל מיני הרכיכות מוצג כקו מגמה בצבע אדום.

### Abstract

This chapter summarizes long-term biomonitoring for the soft bottom communities of the continental shelf in the Israeli Mediterranean using a commercial bottom-trawl fishing vessel. In 2024, we modified the sampling design following fishing restrictions along the 20m isobath and added samplings at the 100 m isobath as replacement. Results from the 100 m isobath show high similarities in community structure and abundance with the 80 m isobath. Therefore, the recommendation is to either continue monitoring the 20 m isobath as it is known as the most inhabited depth for non-indigenous species (with a special permission if possible) or attempt a deeper isobath closer to the edge of the continental shelf. This will allow the exploration of species that move to deeper bottoms as an active avoidance of climatic changes.

Additionally, during the autumn monitoring campaigns, pilot surveys to understand the impact of hauling time on the biological communities have been also performed, using a comparative 30 min and 90 min hauling times in 40 m and 80 m isobaths. Results have shown the expected higher values of abundance and biomass in the longer hauls, though with no significant conclusion regarding the species assemblages between the two hauling times. The conclusion delivered here was that further investigation into this parameter of hauling time is needed for better understanding its impact and its possibility to serve as a new standard sampling procedure in the future.

Lastly, the absence of two common native fish species from our data has been shown also in the surveys of 2024 (*Lithognathus mormyrus* and *Mullus barbatus*), while the invasive cornetfish *Fistularia petimba* has shown continued spatiotemporal spread and population growth.

### תחנות ושיטות מדידה

עבודת הניטור לפרק זה מתבצעת לאורך כל שנות הניטור באמצעות אותה ספינת דיג מכמורת ובאותם אתרים חוליים אשר נמצאים מחוץ לנמל אשדוד. כל השלל המתקבל מגיע למעבדת הדגים ועובר מיון והגדרות טקסונומיות קפדניות ולאחר מכן שקילות ומדידות.

בשל תקנה האוסרת על דיג מכמורת בחגורת העומק הרדודה של ה-20 מ', בוצעו השנה שני שינויים בתכנית הדיגומים העונתיים: (1) בדיגום האביב נבחרה חגורת עומק של 100 מ' כחלופה לחתכים הרדודים; (2) בדיגום הסתיו בוצעו סקרי פיילוט לבדיקת השפעת זמני הגרירה על הרכב וגודל השלל. בפיילוט זה, בכל אחד משני ימי הניטור נסקרה יחידת עומק אחת בלבד (40 מ' ו-80 מ') עם ארבע גרירות של שעה וחצי, וארבע גרירות של חצי שעה (איור 5.1). דו"ח זה מחולק לניתוח הנתונים שהתקבלו מהגרירות "הרגילות" של שעה וחצי לאורך שתי עונות הניטור ולניתוח השוואתי של ההבדלים בשלל שהתקבל בגרירות הקצרות של חצי שעה בדיגום הסתיו.



**איור 5.1** מפת קוי גרירה לניטור חי על המצע 2024. בכחול – קוי הגרירה 40, 60, 80 ו-100 מ', ניטור אביב; אדום וצהוב – קוי גרירה של שעה וחצי וחצי שעה בהתאמה, עומקים 40 ו-80, ניטור סתיו.

### ממצאים עיקריים

במהלך ניטור 2024, נוספו לרשימת המצאי הכללית שבעה מינים חדשים, מתוכם ארבעה מיני רכיכות ושלושה מיני סרטנים, כולם מינים מקומיים לים התיכון (**טבלה 5.1**). תוספת זו הינה תוצאה של שיפור נוסף ביכולות הזיהוי הטקסונומי עבור מיני רכיכות וסרטנים.

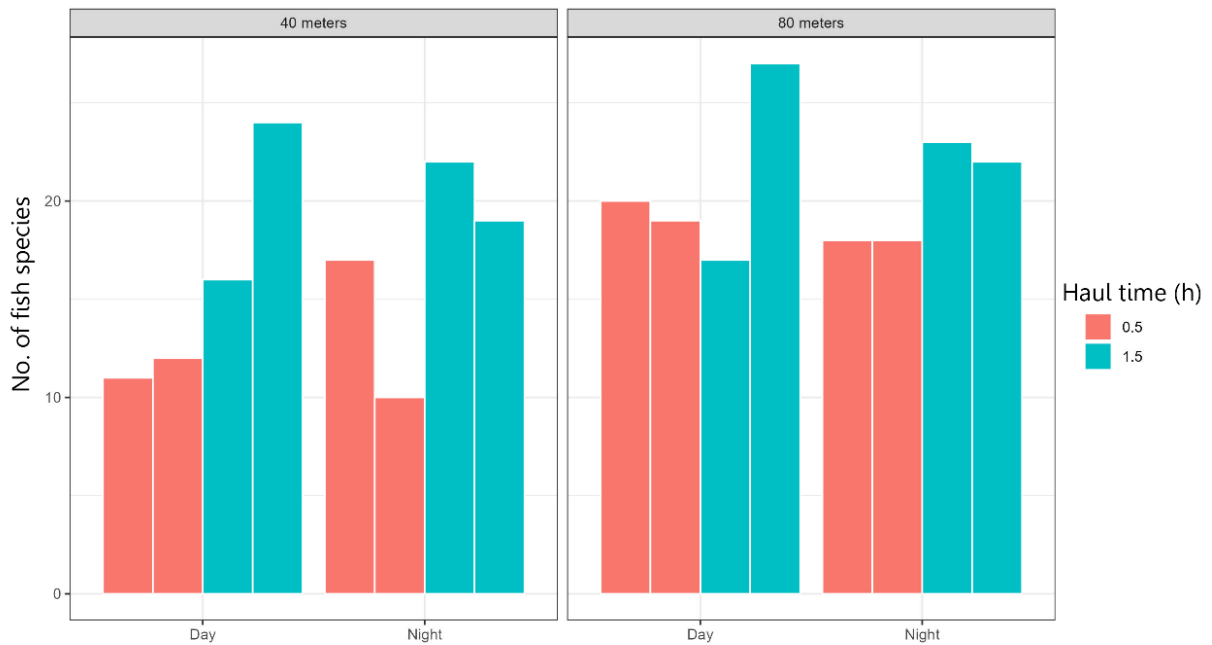
קבוצה	שם המין	מוצא	מס' פרטים	עומק (מ')
רכיכות	Anomia ephippium	מקומי	1	80
רכיכות	Aplysia punctata	מקומי	20	100, 80
רכיכות	Pleurobranchus testudinarius	מקומי	24	100, 80
רכיכות	Pteria hirundo	מקומי	4	100, 80
סרטנים	Macropodia longirostris	מקומי	8	80
סרטנים	Pagurus excavates	מקומי	10	100, 80, 60
סרטנים	Pisa armata	מקומי	2	100, 80

#### השוואת זמני גרירה

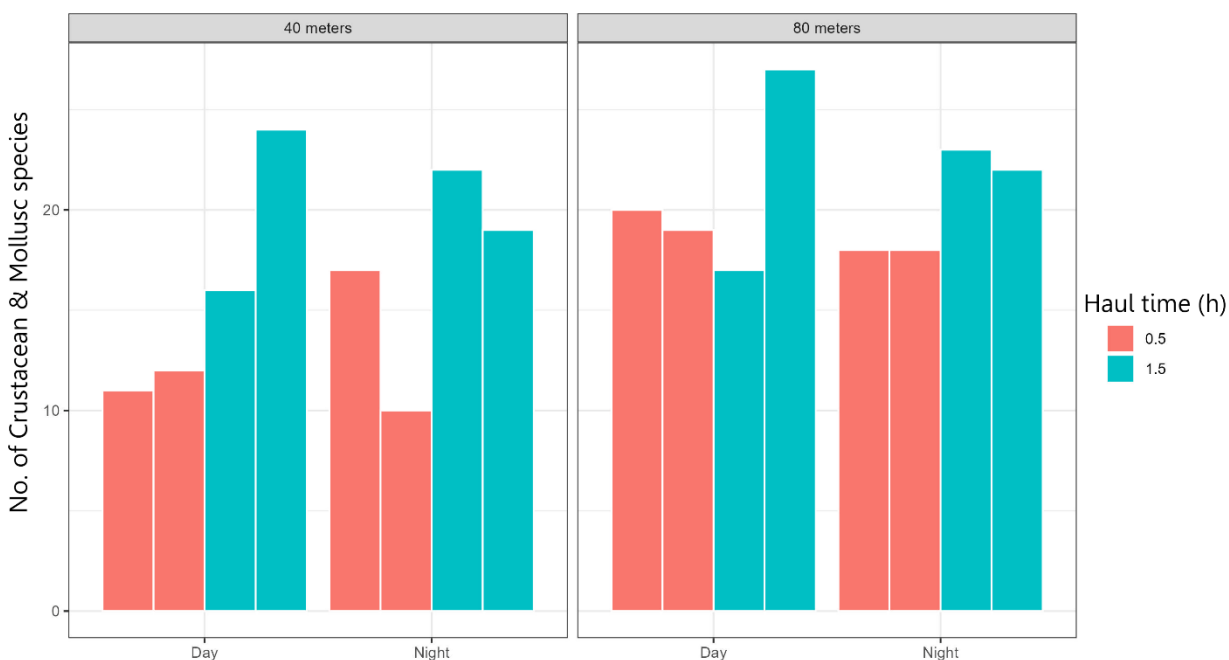
בהשוואה בין זמני הגרירה השונים נראו הבדלים בכלל הפרמטרים בשני העומקים, עם יתרון קטן לנתוני הגרירות של 40 מ' (טבלה 5.2).

מאחר והבדלי זמני הגרירה מתבטאים בשטח גרירה שונה, הערכים הגבוהים שהתקבלו לכמות פרטים וביומסה משקפים נכונה את זמן הגרירה, כלומר אינם מנורמלים בשלב ראשוני זה לשטח. ההבדלים הדרושים לבדיקה בחלק זה הינם, אם כן, מספר המינים שנדגמו בזמני הגרירה השונים. מאחר ועבור גרירות היום והלילה היו רק שתי חזרות לכל עומק, הנתונים מוצגים בשלב זה כסיכום גולמי, ללא חישוב ממוצעים. **איור 5.2** עבור מספר מיני הדגים מראה כי אכן נדגמו יותר מינים בגרירות הארוכות בשני העומקים, אולם **איור 5.3** עבור מיני הרכיכות והסרטנים מראה תמונה מעט שונה עם ערכים דומים בקירוב ב-40 מ' ואף ערכים לעיתים גבוהים יותר בגרירות הקצרות של ה-80 מ'.

הבדל בין זמני הגרירות (%)	חצי שעה	שעה וחצי	עומק (מ')	פרמטר
30-	33	47	40	מספר מינים כללי
35-	24	37		מספר מיני דגים
0	1	1		מספר מיני דגי סחוס
50-	1	2		מס פרטים דגי סחוס
72-	45.8	162.1		ביומסה כללית (ק"ג)
6-	72	77	80	מספר מינים כללי
20-	33	41		מספר מיני דגים
0	2	2		מספר מיני דגי סחוס
25-	3	4		מס פרטים דגי סחוס
64-	43.8	122.3		ביומסה כללית (ק"ג)



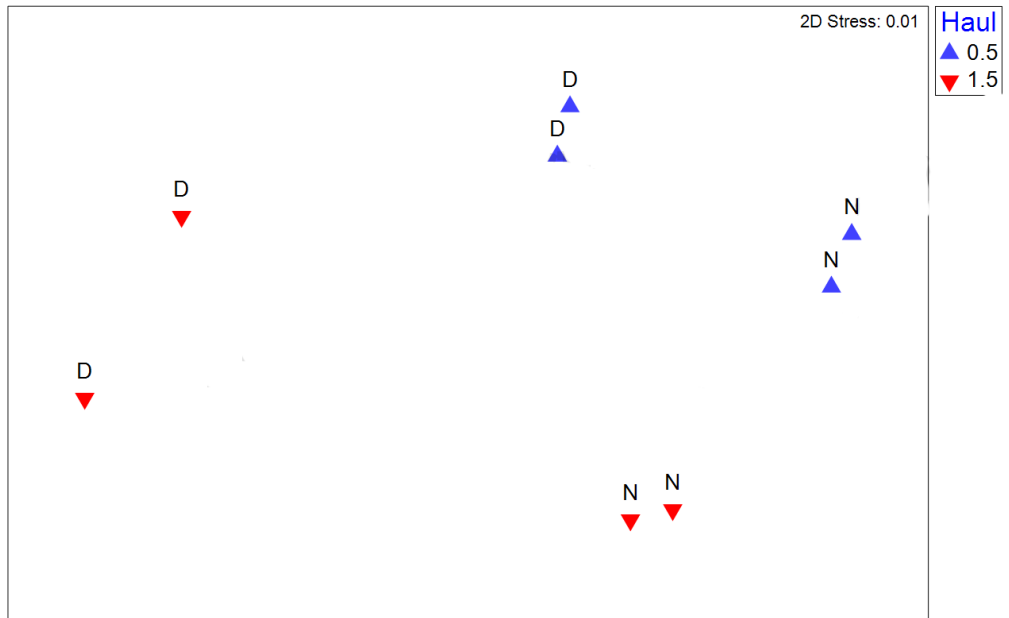
איור 5.2 מספר מיני הדגים שנדגמו בשני זמני גרירה שונים, בחיתוך לעומק הגרירות ולזמן ביממה.



איור 5.3 מספר מיני הסרטנים והרכיכות שנדגמו בשני זמני גרירה שונים, בחיתוך לעומק הגרירות ולזמן ביממה.

בבדיקת המינים האחראיים על השונות בין זמני הגרירות של שני העומקים (Simpser analyses), נראה כי עבור ההשוואות ב-40 מ' שלושה מיני דגים זרים וסרטן זר אחד תרמו ל-75% הבדלים בשונות בכך שהופיעו בכמויות משמעותיות גדולות יותר בגרירות הארוכות, לפי הסדר הבא – נימי דו-ימי *Nemipterus randalli*, שרובון קלונצינגר *Equulites berbis*, אופן זהוב-פס *Upeneus moluccensis*, והסרטן שיטית נודדת *Charybdis longicollis*.

עבור השוואת הגרירות שבוצעו ב-80 מ' נצפו הבדלים מובהקים בהרכב ושכיחות חברת החי בין זמני הגרירות ושעת הדגימה (ANOSIM test,  $R=0.458$ , איור 5.4). בבדיקת המינים שתרמו ל-75% הבדלים בחגורת עומק זה נמצאו שישה מינים, ביניהם ארבעה מיני דגים, סרטן ונוצת ים (טבלה 5.3).



איור 5.4 אורדינציית  $nMDS$  עבור חברת הדגים שנדגמה בשעות גרירה זמן שונה ביממה

טבלה 5.3 – המינים אשר אחראיים ל-75% מהשונויות בין זמני הגרירה השונים ב-80 מ' ( $SIMPER$  analysis)

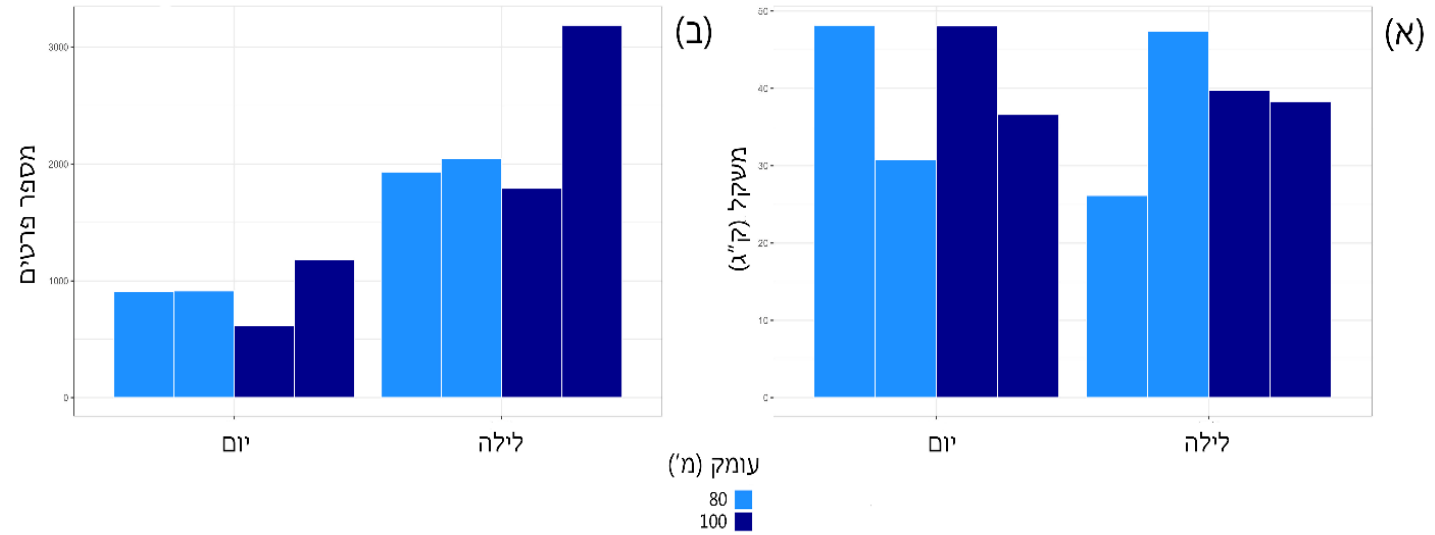
Species	.Abund .Aver 0.5h haul time	.Abund .Aver 1.5h haul time	Contrib%	Cumulative%
Equulites berbis	12	346.75	18.95	18.95
Pennatula rubra	99.75	320.5	16.18	35.14
Nemipterus randalli	24.5	158.75	11.68	46.82
Jaydia smithi	54.25	108.75	8.19	55.01
Upeneus moluccensis	2.5	121.25	7.73	62.73
Parapenaeus longirostris	75.75	141	7.33	70.07

לסיכום חלק זה, על מנת להבין בצורה מהימנה את מהות ההבדלים בהרכב חברת החי עם שינוי זמני הגרירות, נדרשות חזרות נוספות גם בחגורות העומק הנוספות וגם בעונת הדיגום.

ניטור מדף מתמשך (זמני גרירות "רגילים" של כשעה וחצי)

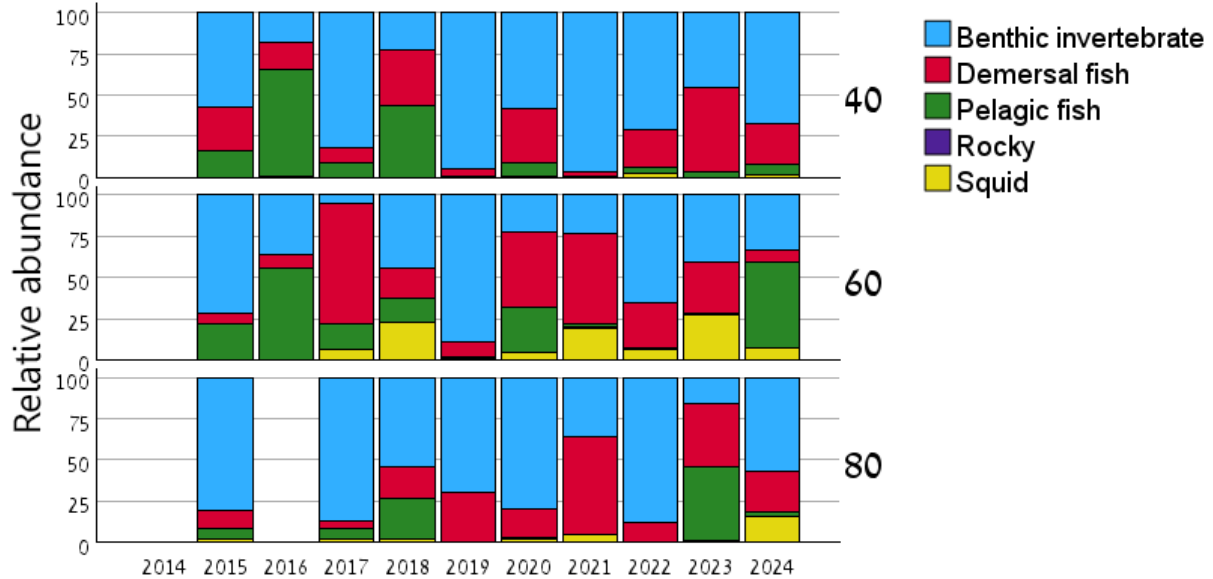
כאמור, השנה בוצע סקר האביב בחתך העומק של 100 מ' אשר לא נדגם בעבר במסגרת תכנית הניטור. על מנת לאמוד את ייחודיות החברה בעומק זה, הושונו ניטורי הניטור של עומק זה לעומק הקרוב ביותר אליו שנדגם באותו יום - 80 מ'.

לא נצפו הבדלים בולטים בהרכב חברת החי בין שני העומקים במספר המינים או בביומסה הכללית (איור 5.5).  
השוואה ראשונית זו מראה כי ייתכן ומדובר בשתי חגורות עומק המהוות בית גידול אחד.



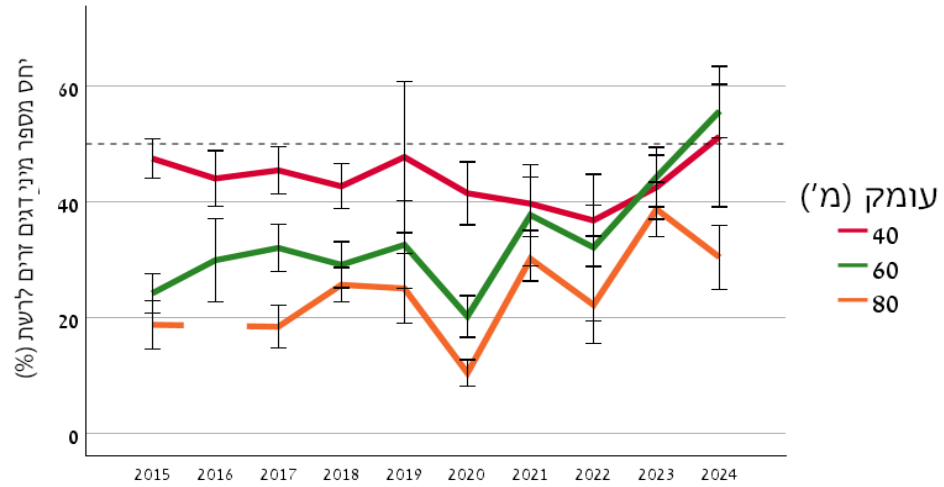
איור 5.5 השוואת שלל גרירות 80 ו-100 מ', סתיו 2024. א – משקל כללי (ק"ג); ב – מספר פרטים כללי

בדיגום חגורת העומק של ה-60 מ' נדגמה השנה להקה של הדג המקומי עֶפֶן אֶנְסוֹבִי *Engarulis encrasicolus*, מה שמסביר את העלייה היחסית של עמודת הדגים הפלאגיים באותו עומק (עמודה ירוקה, איור 5.6).



איור 5.6 הרכב השלל היחסי כממוצע שכיחות של קבוצות החי השונות

בחישוב המשתנים של מספר המינים, שכיחות וביומסה של מיני הדגים הזרים לא נצפו הבדלים מובהקים בין שנות הניטור (Kruskal-Wallis,  $p > 0.05$ ).



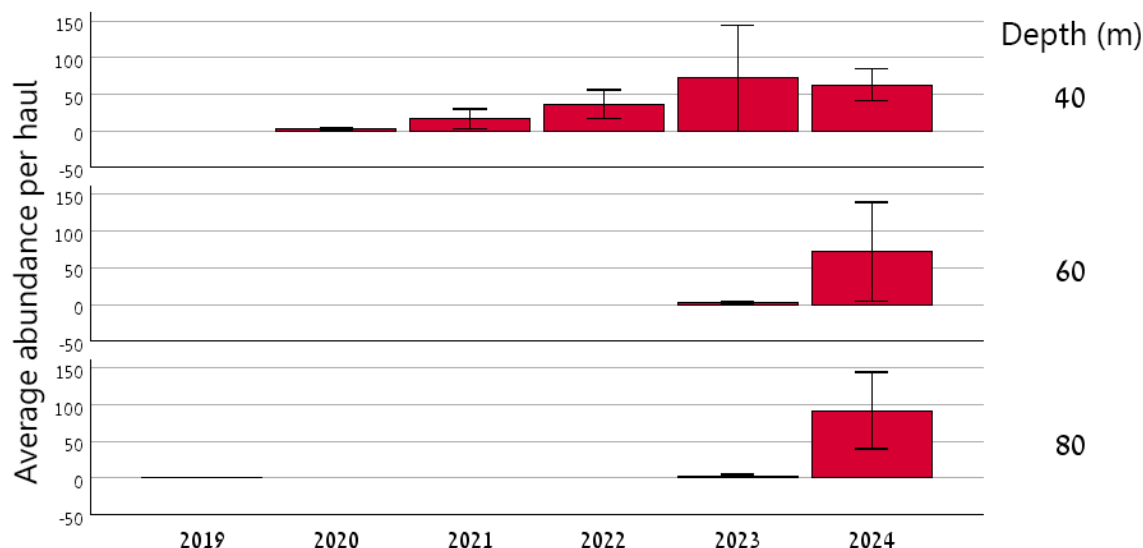
לשנה בדומה

הקודמת, גם ב-2024 הדגימות שנאספו מ-40 מ' הכילו את מקסימום מיני הדגים הזרים עם 24 מינים אשר היוו 68% מסך כל המינים שנדגמו בעומק זה. הערך המינימלי של המינים הזרים נצפה בדיגום של 80 מ' אשר הכיל 11 מינים שהיוו 25% מסך כל המינים לעומק זה (איור 5.7). בנוסף, השנה נצפתה עלייה נוספת באחוז המינים הזרים בעומק 60 מ', ולראשונה עברה את מחצית השלל עם ממוצע של 55.7% מינים זרים לגרירה.

איור 5.7 יחס מיני הדגים הזרים של ניטורי אביב בלבד, בחיתוך לשנים ולעומק הדיגום. קו שחור מקווקו מציין מחצית השלל (50%).

בדומה לדיגום 2023, גם השנה לא נצפו כלל הדגים המקומיים מוליית אדומה *Mullus barbatus* ושייטן מסורטט *Lithognathus mormyrus* אשר בעבר היו נפוצים בבית הגידול החולי. באנליזת רבת משתנים, לא נצפו הבדלים מובהקים בהרכב חברת מיני הדגים לאורך השנים (ANOSIM,  $R=0.083$ ,  $p>0.05$ ).

נמשך המעקב אחרי הפלישה וההתבססות של המין הזר חלילון זיפני (*Fistularia petimba*) במדף היבשת. השנה בדיגום האביב נצפתה לראשונה עלייה משמעותית במין זה בעומקים 60 ו-80 מ' (איור 5.8).



איור 5.8 ממוצע שכיחות לרשת של המין הזר חלילון זיפני (*Fistularia petimba*) לניטורי האביב בלבד, בחיתוך לעומק הדיגום.

#### ניטור מדרון היבשת ומישור הבתיהל

לא התקיים ניטור ים עמוק בשנת 2024 בהתאם לתוכנית העבודה הרב שנתית.

#### מסקנות והמלצות

יש להמשיך ולבדוק את נושא זמני גרירות הרשת הקצרות על מנת לספק נתונים מהימנים תוך מזעור השפעת הניטור.

אנו ממליצים לחזור ולנטר את חגורת העומק הרדודה של ה-20 מ' בתיאום עם אגף הדיג על מנת לספק מידע מהימן על השפעות האיסור דיג מכמורת בעומק זה על הרכב חברת החי. בנוסף, מאחר ועומק זה ידוע כאזור הגעה ראשוני של מינים זרים, ניטור הרכב החי יכול לספק מידע חשוב על הגעתם של מינים חדשים לחוף החולי הישראלי. במילים אחרות, אנו סבורים שהתועלת שתצמח מהמשך ניטור חגורת עומק זו, למרות ההגיון המובן בשמירה עליה בתקנות הדיג, גדולה ותטיב עם התוכנית והמסקנות האופרטיביות שניתן לקבל ממנה.

חגורת העומק של 100 מ' אשר נדגמה לראשונה השנה הינה ככל הנראה זהה בהרכב וביומסה של מרחב ה-80 מ'. באם לא יינתן היתר מסודר לנטר ב-20 מ', יש לבחור נקודת דיגום עמוקה יותר אל עבר קצה מדף היבשת אשר יכולה לספק מידע חשוב (אחר) לגבי העמקה של מינים בעקבות שינויים אקלימיים מקומיים, הידועים בדחיפת מינים לקרקעית עמוקה יותר במזרח הים תיכון.

### Abstract

Long-term monitoring of the vermetid reef intertidal community (ongoing since 2009) and seasonal surveys of shallow reef communities (since 2013) have revealed pronounced seasonal patterns, significant year-to-year variability, collapses and recoveries of key native and invasive species, and the emergence of new invasive species, some of which have rapidly become highly abundant, particularly in subtidal zones. Most notably, results in the intertidal show that (1) the cold seasons are much richer in biodiversity and macroalgal cover, (2) continuous low cover of the ecosystem engineer, *Dendropoma anguliferum*, with some small fluctuations in abundance, (3) the collapse and slow recovery of the tropical mussel invader, *Brachidontes pharaonis*, and (4) new introductions of three invasive mollusca species in some sites. Subtidal reef results indicate (1) strong seasonality with the occurrence of canopy forming brown algae only in the cold season while tropical invaders are present year-round, (2) the takeover of some sites by invasive macroalgae and fish species, some totally new to the system like lionfish. Main specific findings for the past monitoring year are a small drop in winter biodiversity in most intertidal sites that results from a reduction in algal cover driven by a prolong desiccation events and the continuous proliferation of new invasive species.

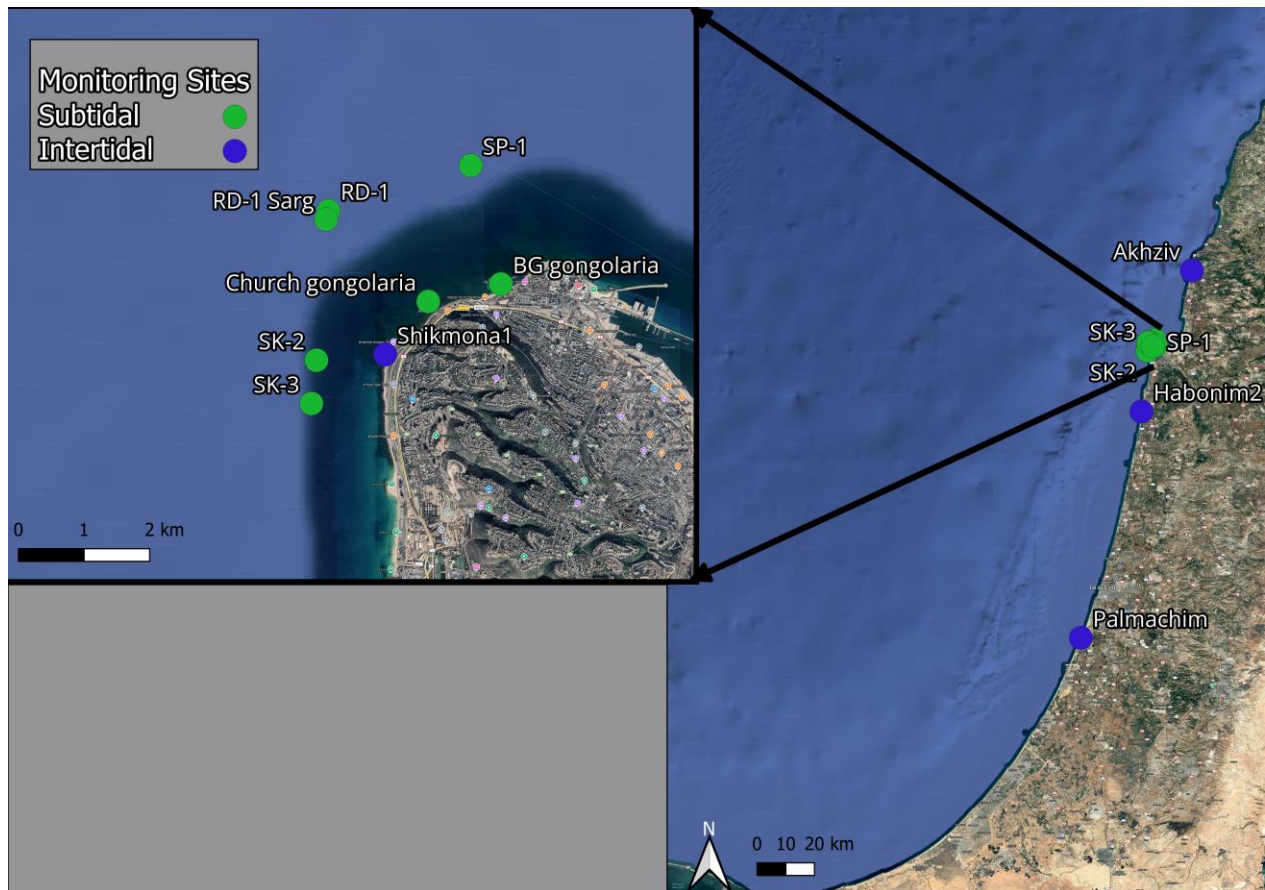
### תחנות ושיטות מדידה

הממצאים בפרק זה מתייחסים למגמות בחברה האקולוגית על משטחי טבלאות הגידוד בשתי חגורות (מרכז הטבלה וקצה הטבלה) בארבעה "אתרי הליכה" אכזיב, שקמונה, הבונים ופלמחים (איור 6). מסתיו 2009 עד חורף 2025. יש לציין שלא נדגמו אתר פלמחים בסתיו 2023 ואכזיב בחורף אביב וקיץ 2024 בשל המצב הבטחוני.

הדיגום נעשה בעזרת ריבועי דיגום בגודל 50X50 ס"מ לאורך חתכים באורך 50 מטר בשתי חגורות: קצה הטבלה ומרכז הטבלה בכל עונה מעונות השנה. במקביל נלקחים גם דיגומי מים חודשיים לאנליזות כימיות ושל כלורופיל ונוטריינטים, וישנם מדי טמפי' הדוגמים טמפי' שעתית על הטבלאות ובעומק חצי מטר על קיר הטבלאות.

בנוסף, נוטרו מגמות בתכסית הביולוגית של הסלע ובחברת הדגים של השוניות הרדודות מאביב 2013 עד חורף 2025 מלבד בחודשי המלחמה בצפון בחמישה אתרים באזור חיפה המצויים בעומקי מים שונים, והינם בעלי אופי מרחבי וביולוגי שונה כפי שדווח בדו"חות עבר. נעשו מספר ניסיונות (יציאות לשטח בסירה) לסקור אתרים אלה גם בחורף, אביב וקיץ 2024, אך היעדר כמעט מוחלט של אות GPS במשך רוב שעות היום באזור חיפה (למרות תיאומים מול משרד הבטחון), ואיסור יציאה לים בשל המצב הבטחוני, לא אפשר יציאת אתרי הניטור בדיוק מספק. באביב 2024 הוסף מרכיב לתוכנית הניטור המתרכז בניטור חודשי של יערות הימים הגדולים

בארץ הידועים עד כה של אצות חומיות יוצרות חופה ציסטנית וסרגסון) בין חוף בת גלים ומבנה היא"ל). הסיבה לתוספת מרכיב זה היא חשיבות המין של ציסטנית *Gongolaria rayssiae* האנדמי כבית גידול וקולט פחמן והאיומים הרבים עליו (התחממות הים ורעיית יתר של דגי סיכן פולשים) ברמה המקומית והים תיכונית. ניטור זה נעשה בצלילה לאורך חתכים של 30 מטרים ורוחב של 4 מטרים, בהם נספרים דגים ונלקחים צילומים (בעזרת מצלמה עם תאורה) בריבועי דיגום בגודל של 50 על 50 ס"מ, שלאחר מכן מעובדים ומנותחים במעבדה בעזרת תכנה ייעודית המשתמשת בלמידת מכונה הנקראת CORALNET כדי להעריך את אחוזי הכיסוי החי של הבנטוס (קרקעית הים). ניטור אצות החופה הצומחות בתחילת החורף ומשילות את ענפיהן בתחילת הקיץ (תהליך שכנראה תלוי טמפרטורה) נעשה בעזרת מדידת גודל של 60 פרטים לאורך חתכים וכן קביעת המצב הרבייתי שלהם לפי פרוטוקולים שפותחו על ידי קולגות בספרד ואיטליה (Rindi et al. 2023). בקצרה, הערכת רמת הפוריות של כל פרט נעשתה על פי אומדן אחוז הענפים בדרגת ההתפצלות האחרונה של התארוס הנושאים איברי רבייה.



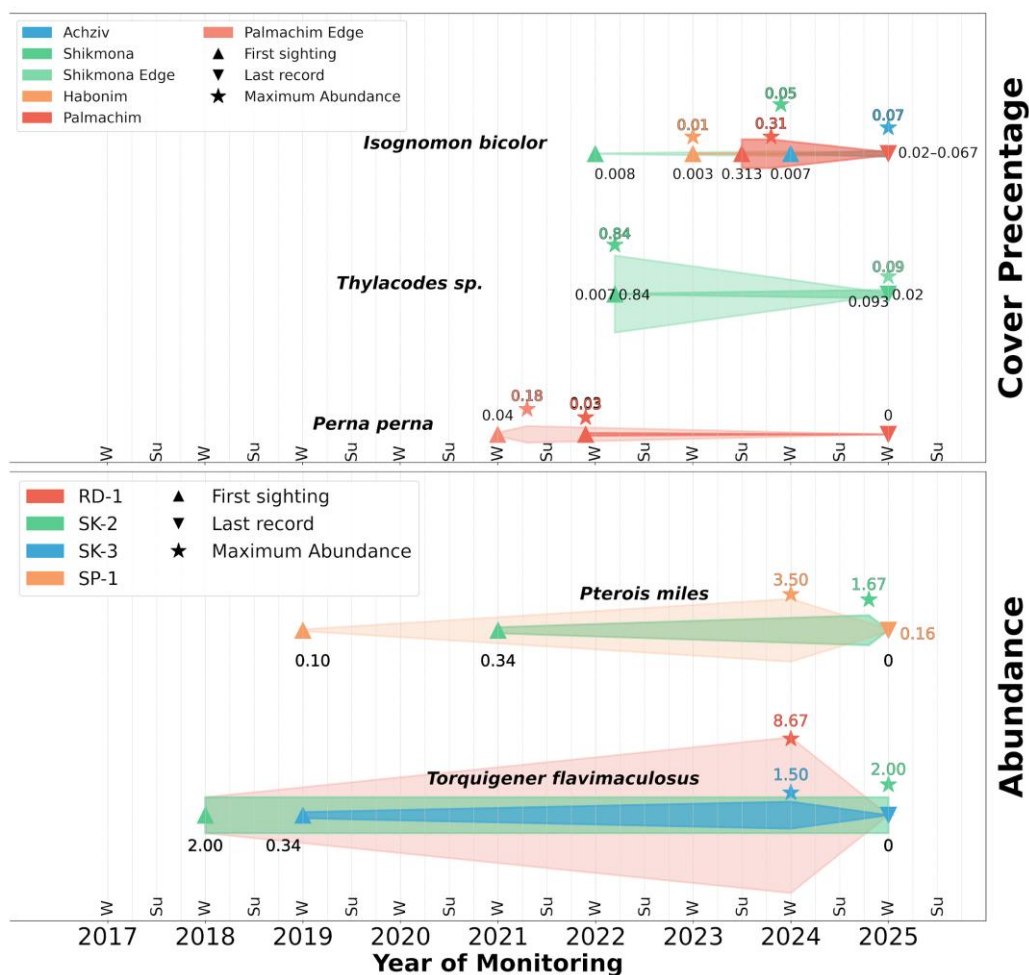
איור 6: מפת דיגום בחוף הסלעי (טבלאות גידוד) בקו החוף ובשוניות הרדודות באזור חיפה.

### ממצאים עיקריים

להלן מובאים עיקרי הממצאים כפי שנדגמו בשנים 2024-25:

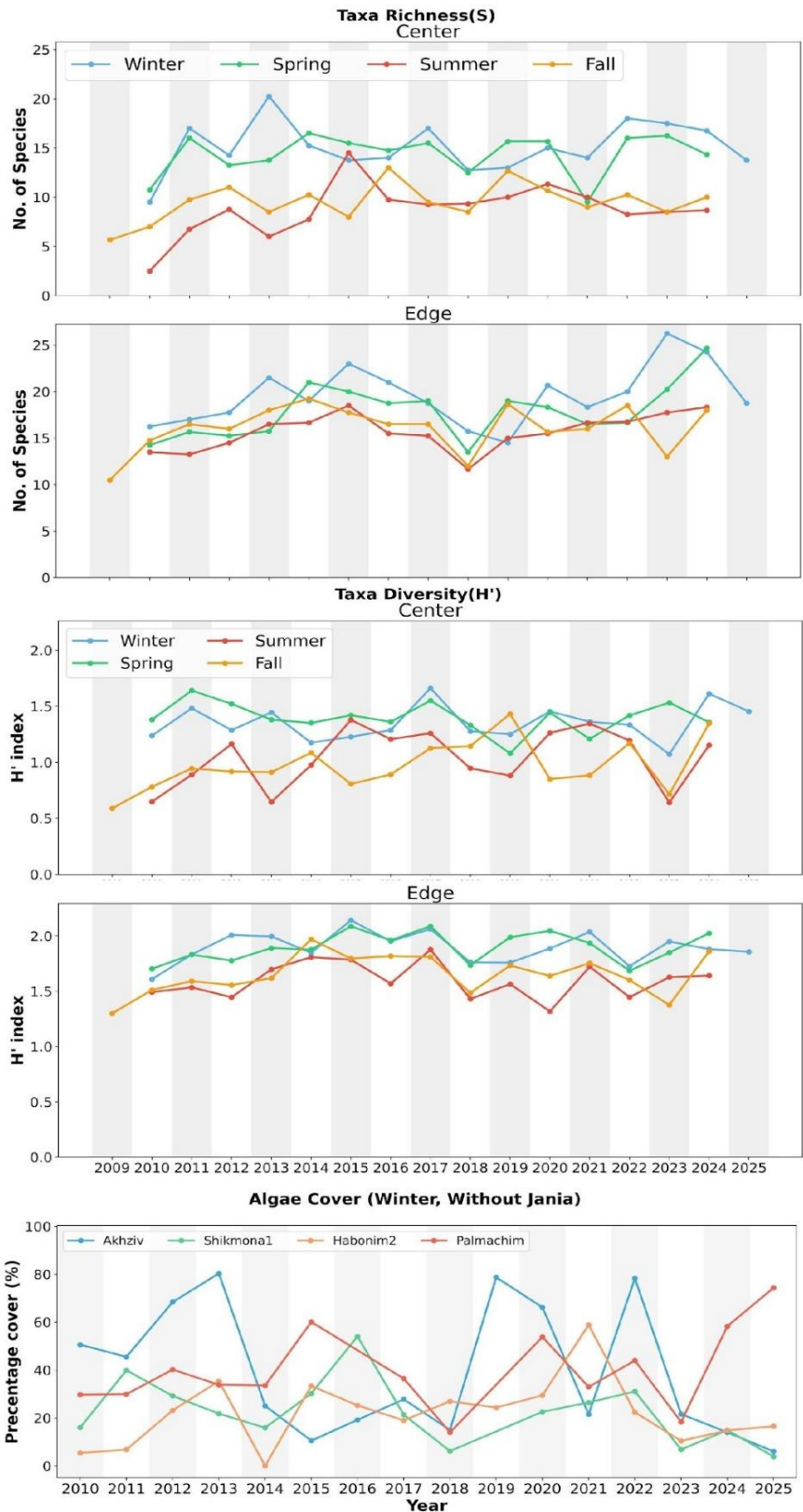
- נמשכה התבססות הצדפה הפולשת החיה בסדקים בחוף הסלעי *Isognemon bicolor*
- מין החדש של צינוריר פולש מהאוקיינוס השקט זוהה סופית כ- *Thylacodes areus*. מין זה נמצא לפי שעה רק באזור שקמונה במספר גומחות רדודות.

- נמשכה מגמת התבססותם של דגי הזהרון *Pterois miles* באתרים ספרטה (Spartan) ו SK2 (Shikmona 2)
- נמדדה ירידה משמעותית באחוזי הכיסוי של אצות בקצה טבלאות הגידוד בחורף 2025 פרט לאתר פלמחים, כנראה בשל אירועי יובש קיצוניים.
- ממשיכה התבססות הקיפוד הטרופי הפולש נזירית ארוכת קוצים *Diadema setosum* באתרי ראש כרמל בכל בתי הגידול הסלעיים. לראשונה נצפה מין זה גם בבריכות השפל בטבלאות הגידוד.
- מתרחבת הצמיחה המסיבית של האצה האדומית הפולשת *Asparagopsis taxiformis* לאורך חופי הארץ בחודשי הקיץ. מגמה זו נמשכת זה שנה שישית. כיסוי גדול במיוחד נצפה באתר ספרטה בראש כרמל בסתיו 2024.
- נצפו מספר רב של פרטים מהדג הפולש חמת ים-סופי *Torquigener flavimaculosus* באתרים שונים מעבר למה שדווח בדוחות הקודמים.
- אילוסטרציה סכמתית של קו הזמן של הופעת ושכיחות פולשים חדשים שהתגלו באתרי הניטור מאז תחילת הניטור ב-2009 מוצגים באיור 6B. יש לציין כי הופעת חלק מהמינים דווח מוקדם יותר בחופי הארץ, אך לא באתרי הניטור.



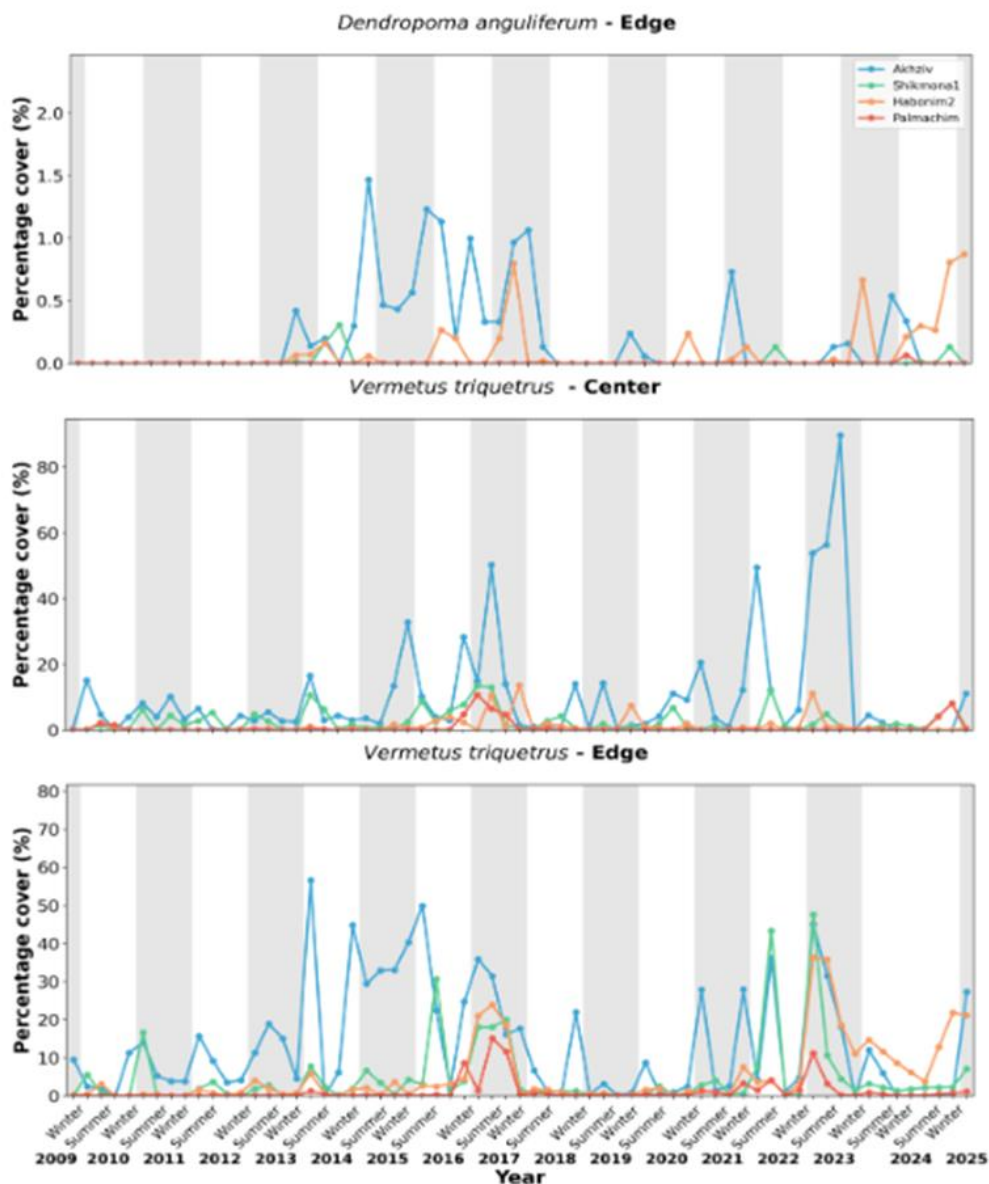
איור 6B. קווי זמן המתארים את הופעת רכיכות ודגים פולשים חדשים באתרי הניטור בשנים האחרונות. המספרים מציינים את השכיחויות לפי אחוז כיסוי (רכיכות) או שכיחות המספרית (דגים).

בדומה לשנים עברו, נצפתה עונתיות חזקה בעושר הביולוגי ומבנה החברה, שבה עושר הטקסונים (מספר הטקסונים) והמגוון הביולוגי לפי מדד שאנון ( $H'$ ) הינן גבוהים יותר בעונות החורף והאביב לעומת עונות הקיץ והסתיו (איור 6.1), זאת כיוון שכנראה טמפי' הקיץ גבוהות מדי למינים מקומיים רבים. בקצה הטבלה נראה כי עושר הטקסונים בעונת החורף עלה בין 2009 ל- 2014-15 ואז ירד מעט עד 2018 ועלה שוב ב- 2019 ונשאר יציב יחסית מאז (איור 6.1). ישנה ירידה במדדי המגוון בשנת 2025, שמוסברת בעיקר בירידה משמעותית באחוז הכיסוי של האצות הנפוצות בטבלה (בכל אתרי הליבה פרט לאתר פלמחים איור 6.1 א). היות ופלמחים היא הטבלה הרדודה ביותר אנחנו מניחים ששטיפה ואספקת רסס מי ים מתמדת שמרה על המאקרו-אצות מהלבנה הנובעת מאירועי יובש קיצוניים וארוכים שהתרחשו בעונת החורף והם נפוצים היום יותר מאשר בעבר.



**איור 6.1. מגוון ביולוגי. עושר**

הטקסונים והמגוון הביולוגי בעונות השונות לאורך שנות הניטור בחגורות מרכז וקצה טבלת הגידוד. ניתן לראות כי המגוון גבוה יותר באופן קבוע בעונות הקרות של החורף והאביב לעומת העונות החמות וכי המגוון בקצה הטבלה גבוה מזה במרכז הטבלה. מגמות בזמן פחות ברורות. הפאנל התחתון מראה שינויים באחוז הכיסוי הכולל של תשעה מינים דומיננטיים של אצות על טבלאות הגידוד בעונת החורף, בה לרוב הכיסוי הוא הגדול ביותר, לאורך שנות הניטור באתרים השונים. ניתן לראות ירידה היסטורית באחוז הכיסוי שלהם בקצה הטבלה, מה שיסביר מדדי מגוון נמוכים בעונה זו.



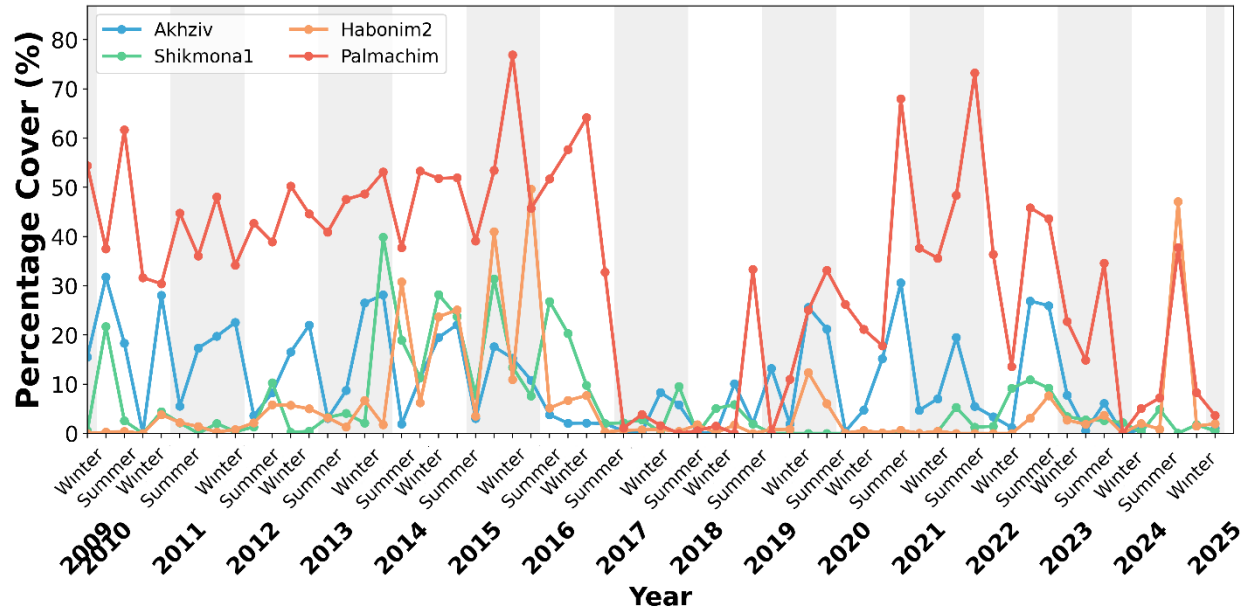
מבין מיני

המפתח האחראים על בניית השונות, הצינוריר בונה *Dendropoma anguliferum* הראה עלייה באחוז הכיסוי באתרי הניטור (איור 6.2) ובפרט נמצאו צברים חיים באכזיב ובחוף כרמל, על אף שמהווים אחוז קטן מכלל הכיסוי החי בקצה הטבלה לאורך החוף. בשנת 2025 תחל תוכנית ניטור שנתית נוספת הממוקדת במין זה באתרי אכזיב והבונים המתמקדת בספירת ומדידת צברים. מין הצינוריר השני, צינוריר תולעני (*Vermetus triquetrus*) מראה תנודות בגודל האוכלוסייה, שחלקן הינו למעשה ארטיפקט הקשור למידת הכיסוי וחשיפה של חלזון קבוע מקום זה על ידי אצות המקשות על גילוי הקונכיות שלו בעיקר באביב (איור 6.2). בעבר מין זה הגיע לשיאי כיסוי של 60-80%, אך בשנה האחרונה הוא אינו עובר את ה- 30%.

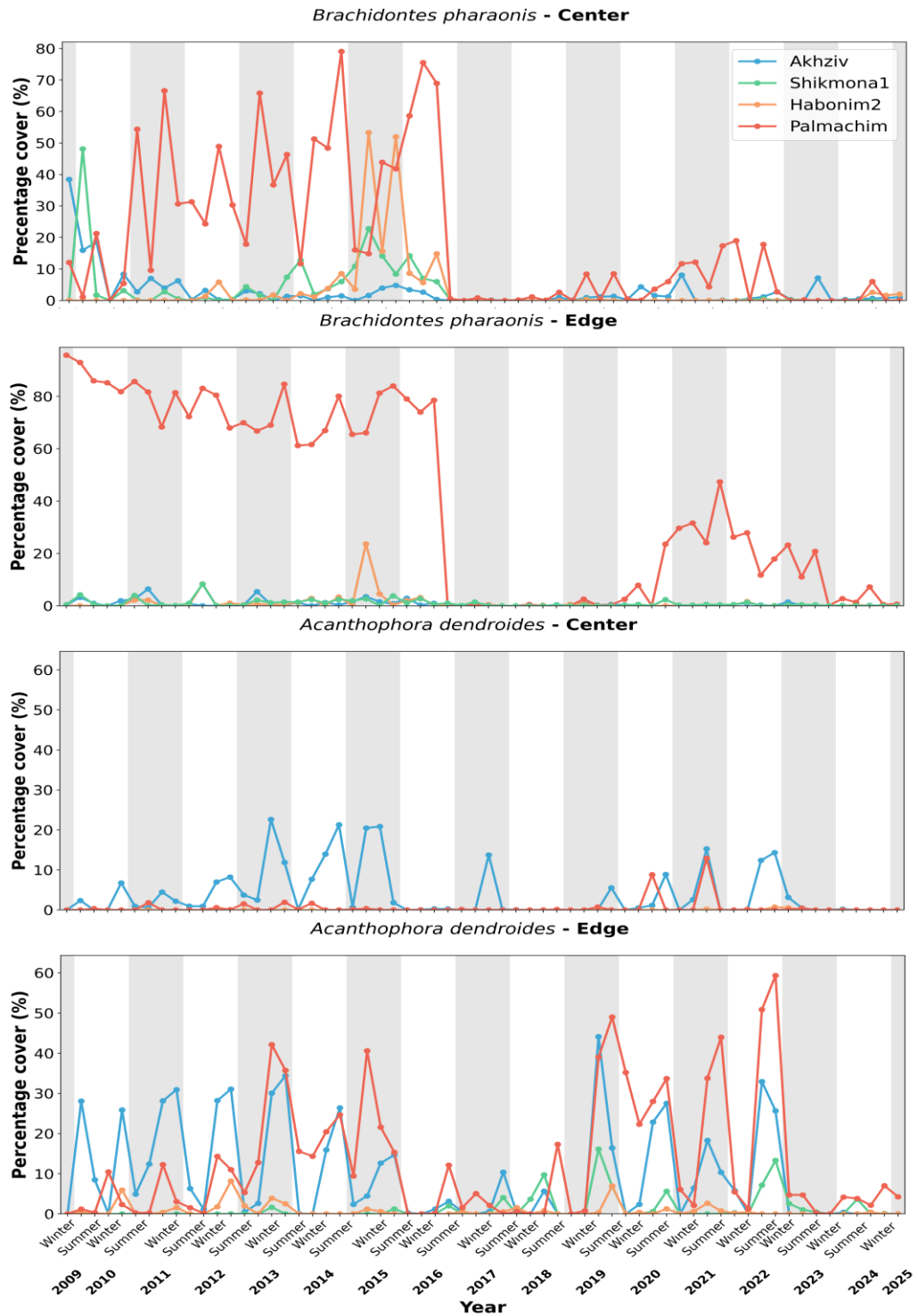
איור 6.2. מיני מפתח. איור זה מראה את אחוז הכיסוי של שני מיני החלזונות בוני השונות במרכז וקצה הטבלה בארבעת אתרי הליבה לאורך שנות הניטור. ניתן לראות שמ-2013 עד סוף 2017 הייתה עלייה מתונה מאוד (עד 1.5 אחוז) של הצינוריר הבונה, בעיקר באתר אכזיב, ואז שוב ירידה, ושוב עליה קטנה מאוד בתחילת 2021. המין שני, צינוריר תולעני, הראה תנודתיות רבה באוכלוסייתו והיה הנפוץ ביותר באכזיב, עם כיסוי הקרוב לשישים אחוז באתר זה. בשנה האחרונה ניכרת שוב ירידה כללית בכיסוי.

**מינים פולשים.** אחוז כיסוי בין מינים הפולשים למקומיים באתרים השונים נע בין 0-70% (**איור א'**), באופן כמעט מוחלט בשל עליות ומורדות באחוז הכיסוי של האצה הפולשת קוצנית מצרית (שזוהתה לאחרונה במעבדתנו בשיטות מולקולריות כמין אחר, *Acanthophora dendroides*) וצדפה הפולשת בוצית מגוונת (*Brachidontes pharaonis*). האצה הטרופית קוצנית מצרית מראה דומיננטיות בקיץ, בעיקר באזור הצפון בקצה הטבלה, אם כי שכיחותה ירדה בין 2016-2018 ועלתה שוב עד 2022 וירדה מאז שוב לערכים נמוכים ביותר (**איור 6.3 ב'**). הצדפה הפולשת, בוצית מגוונת, הייתה נפוצה ביותר על טבלאות רבות לאורך החוף בעשורים האחרונים, אך בקיץ 2016 קרסה לחלוטין לכל אורך החוף (**איור 6.3 ב'**). רק ב- 2019 היא התחילה להראות התאוששות מסוימת ההולכת ומתחזקת, בעיקר באתר פלמחים שם הגיעה בקצה הטבלה לארבעים אחוז כיסוי בשנת 2022 ואז שוב ירד אחוז הכיסוי. מין זה נראה במרבדים משמעותיים באתרים אחרים שאינם נכללים בניטור. בנובמבר 2019 התגלו לראשונה מקבצים של צדפה בוצית פולשת גדולה מדרום אפריקה, *Perna perna*, בסלעי החוף תל ברוך (דיווח, ירון ביסמוט). פרטים בודדים שלה נצפו בסוף 2020 גם באתר הניטור בחוף פלמחים ובאביב 2022 נראה כי אוכלוסייתה גדלה בחגורת הדיגום של קצה הטבלה באתר זה (**איור 6.3 ג'**), אך לא נצפתה בחתכים שנעשים באתרי הניטור האחרים ומראה שכיחות נמוכה מאוד בטבלאות. מתצפיות מחוץ לחתכי הדיגום ובאתרים נוספים לאורך החוף (לדוגמא, סלעי החוף בפולג) נראה כי מין זה מאפיין יותר את חגורות הכרית הנמוך ומשטחי סלע במים רדודים מאוד ולא את משטח טבלאות הגידוד. מין צדפה זר נוסף החי בסדקים בחוף הסלעי, *bicolor Isognemon*, הפך להיות נפוץ יחסית בתוך סדקים רבים (ולכן האחוז עדיין נמוך כי זה תת-בית גידול מאוד ספציפי וקשה לדיגום) בחלק מאתרי הניטור בשנתיים האחרונות (**איור 6.3 ג'**). בשלש השנים האחרונות החל להופיע בטבלאות שקמונה מין חדש של חלזון ורמטיד סוליטרי, שהוא גדול משני המינים העיקריים הידועים בישראל, אשר זוהה לאחרונה כ- *Thylacodes aureus* בעזרת עבודה מולקולרית (**איור 6.4**). סקרים ייעודיים בשקמונה זיהו כי הוא נפוץ במיוחד בתחתית של בולדרים במים הרדודים (שלא נדגמים בניטור), ופרטים בודדים שלו למטר מרובע נספרו גם על משטחי הסלע בשונית הרדודה. נמצאו גם פרטים של קיפוד הים הנזירי הנחשה כפולש (**איור 6.5**).

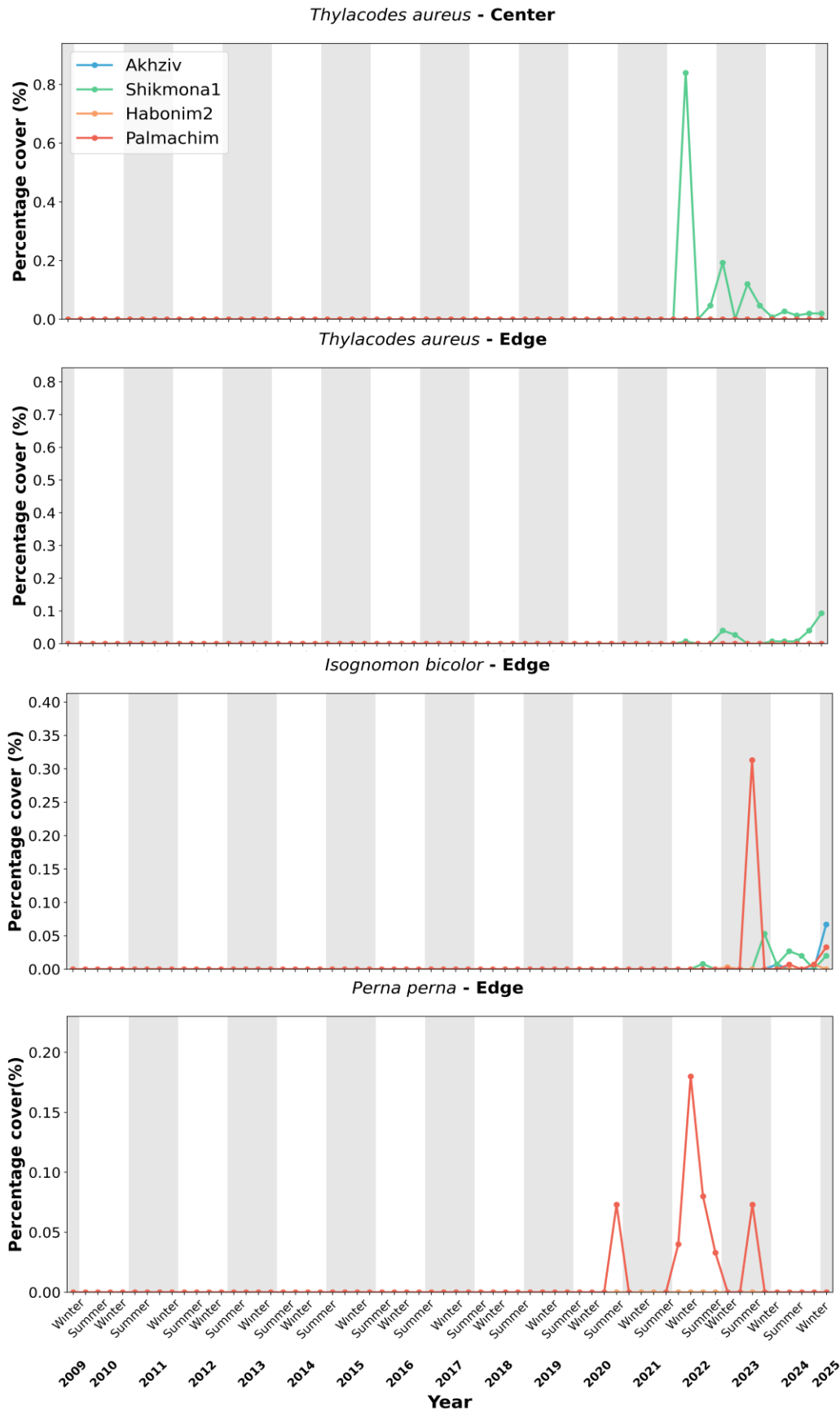
## Intertidal Alien Species Cover



איור 6.3 א' מינים פולשים. איור זה מראה אחוזי הכיסוי של המינים הפולשים (מבין כל המינים המכסים) באתרי הדיגום. כפי שניתן לראות יש דינמיקה משתנה באחוזי הכיסוי שמושפעים בעיקר מגדילה באוכלוסיית הבוצית מגוונת וקוצנית מצרית, הן עד 2017 והן בתקופת 2020-2022. בקצה הטבלה מגמה זו מוגברת, כאשר בתקופה של 2009-2016 המינים הפולשים מכסים חלקים נרחבים, בדגש על אתרי הבונים ופלמחים, כאשר בשניהם נצפתה חזרה ב- 2018 לאחוזי כיסוי יחסית גבוהים למינים הפולשים.



איור 6.3 ב' מינים פולשים מבוססים. איור זה מראה את השכיחות באחוז כיסוי הממוצעת לחתך של שני פולשים ותיקים, הצדפה בוצית מגוונת והאצה האדומית קוצנית מצרית. ניתן לראות את הקריסה המוחלטת של הבוצית, שהייתה נפוצה ביותר באתר פלמחים ולכן שם נראית הקריסה בצורה הברורה ביותר. לאחר התאוששות של המין בעיקר בטבלאות פלמחים נראית שוב ירידה. עם זאת תצפיות הראו כי המין כן יוצר מרבדים צפופים באתרים אחרים לאורך החוף. האצה הפולשת מראה מחזוריות עונתית חזקה, כאשר היא נפוצה ביותר בקיץ, כיאה למין טרופי. גם אצה זו הראתה ירידה משמעותית בתפוצה שלה, החל מחורף 2016. לאחר מכן נראתה התאוששות באכיזב ופלמחים ובשנתיים האחרונות שוב ירידה.



איור 6.3 ג': איור זה מראה את כמות הפרטים של שלושה מיני פולשים חדשים בטבלאות הגידוד. שתי הצדפות ה"חדשות" עדיין נראות במספרים קטנים בקצה הטבלה וכך גם המין חדש שהתגלה מסוג *Thylacodes* אשר מתחיל לעלות בשכיחותו בשנתיים האחרונות באתר שקמונה בלבד.



איור 6.4 מין חדש של צינוריר שזוהה כמין *Thylacodes aureus* (פאנל שמאלי) וצביר של מין זה על פסולת בניין שנמצאה באתר שקמונה (פאנל ימני).



איור 6.5. פרט ממין קיפוד ים נזירית ארוכת קוצים *Diadema setosum* שנמצא על גבי טבלאות הגידוד ונחשב כמין פולש.

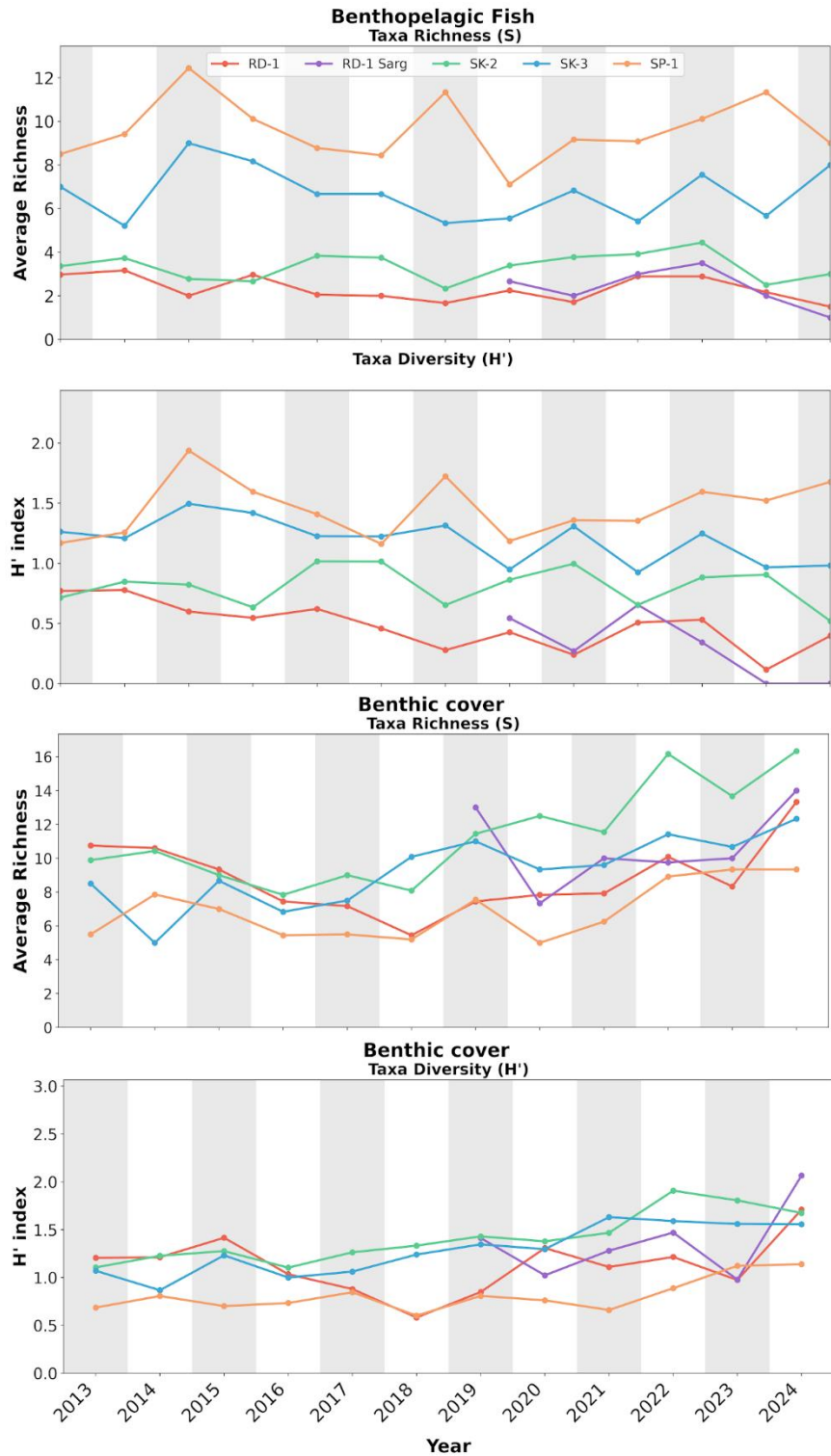
**אירועים ייחודיים:** בינואר 2025 אירע אירוע של יובש קיצוני בין כשבוע שגרם להלבנה מסיבית של המאקרו אצות על טבלאות הגידוד (איור 6.6). אירועי המזרחיות כאמור הינם תופעה טבעית אשר תדירותה מתגברת בעשורים האחרונים, יתכן כתוצאה משינוי אקלים (Zamir et al 2018).



איור 6.6. אירוע חריג. אזור הניטור בחוף שקמונה, ניתן לראות הלבנה מסיבית של מאקרואצות על גבי טבלאות הגידוד שאינן מכוסות במים.

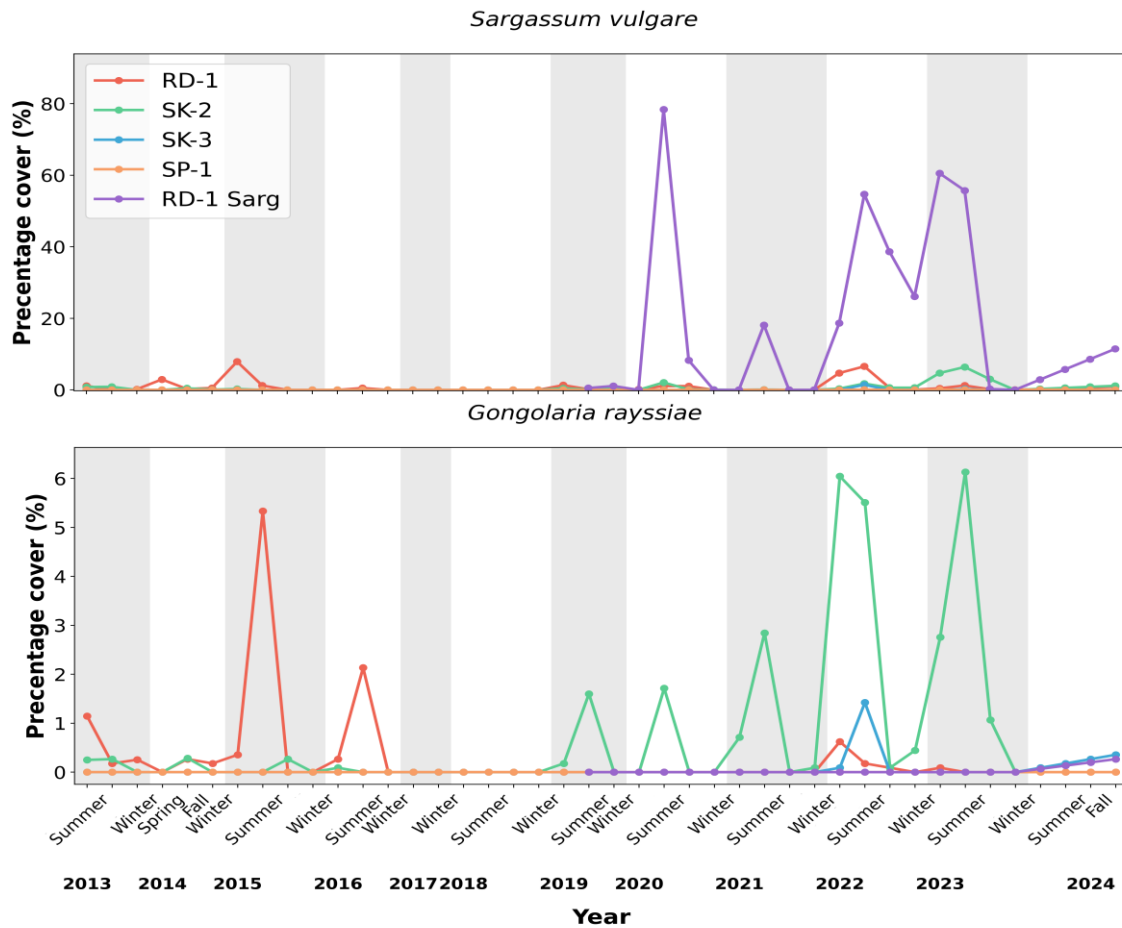
#### ממצאים משוניות מים רדודים

מגוון ביולוגי. תכסית: בחמשת אתרי הניטור, נע מספר הטקסונים המהווים את תכסית הסלע בין ארבעה לחמישה עשר בממוצע כאשר האתר העשיר יותר בתחילת הניטור היה RD1 (איור 6.7). אתר זה היה מכוסה בעונות האביב בשנת 2012-2013 במגוון אצות חומיות מקומיות, אך בהדרגה השתלטה עליו האצה החומית *Lobophora schneideri* הכנראה פולשת מאוקיאנוס האטלנטי (עובדה התואמת ניסויי טמפי' במעבדה בחיא"ל, שהראו כי היא עמידה מאוד לטמפי' הקיץ הגבוהות באזורינו). בשנים האחרונות נראה כי מגוון הטקסונים הגבוה ביותר הוא באתר SK2, אם כי התנודות במספר הטקסונים גבוהות, והערכים הגבוהים ביותר הם באביב. דגים: שכיחות, עושר ומגוון הדגים היו גבוהים יותר באתרים המורכבים, SP-1 ו-SK-3, במשך רוב תקופת הדיגום, ולא נראתה מגמה מובהקת של שינוי רב שנתי (איור 6.7).

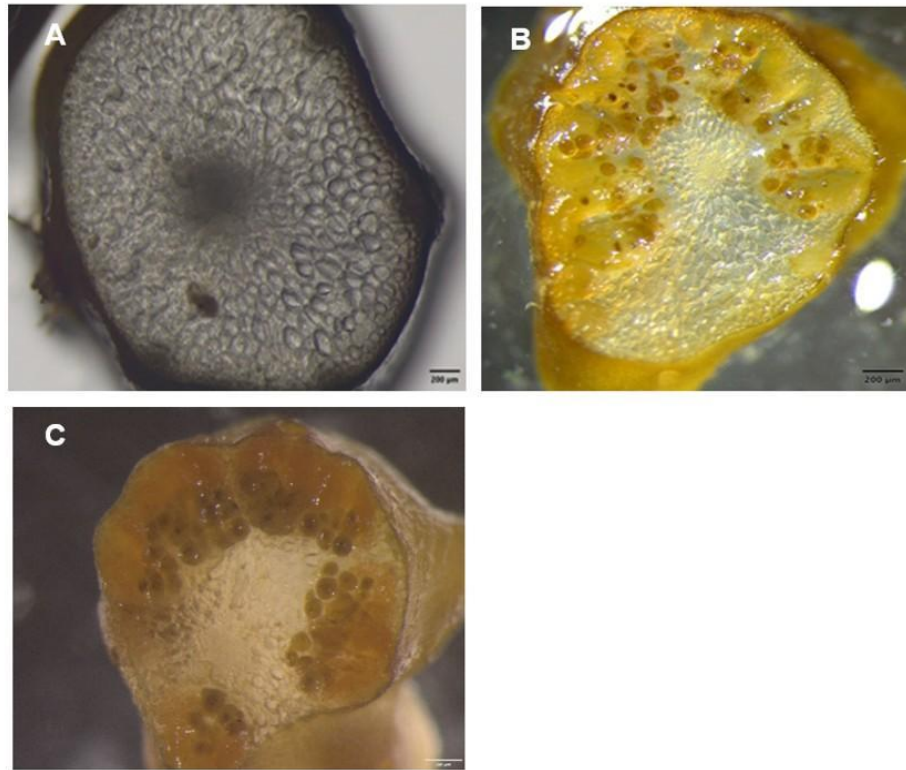


איור 6.7 מגוון מינים. עושר הטקסונים והמגוון הביולוגי בעונות השונות לאורך שנות הניטור בחמשת אתרי חיפה. תכסית (שנתיים עליונים): ניתן לראות שהמגוון ירד באתר הרדוד בראש כרמל (RD-1) לאורך מספר שנים ועלה שוב מ-2019 ברוב האתרים, וכי האתר העמוק בראש כרמל, SP-1, הוא בעל המגוון הנמוך ביותר במשך רוב שנות הניטור, בעיקר בשל מיעוט אצות, כנראה כי חשוך יותר. המגוון באתרי שקמונה היה בינוני. דגים (שנתיים תחתונים): בדגים הדגם הוא הפוך, והמגוון הגבוה ביותר הוא באתר SP-1 (כנראה בשל מורכבות מרחבית גבוהה), ואחריו SK-3, בעוד שבאתרים RD-1 ו SK-2 היו העניים ביותר במינים (כנראה בשל היותם שטוחים ובעלי מורכבות מרחבית נמוכה).

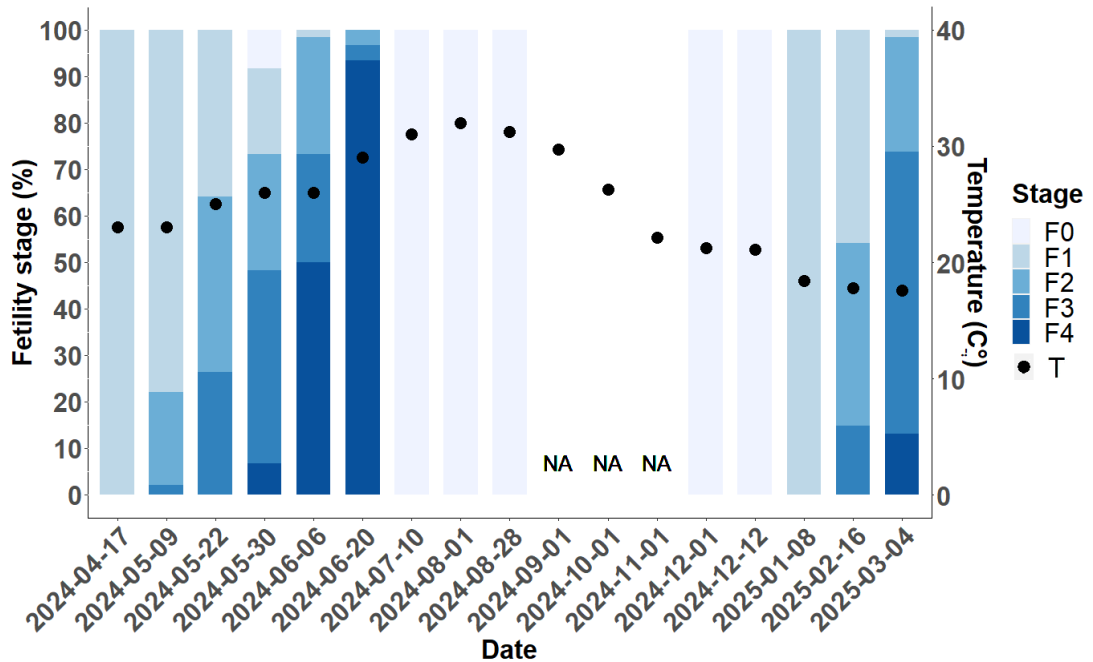
מיני מפתח. תכסית: אצות חומיות שיחניות, בעיקר מסוגי הצינסטנית והסרגסו, יוצרות בשוניות הים התיכון מעין יערות בגובה עשרות סנטימטרים ולכן ידועות כמיני מפתח בעלי חשיבות אקולוגית רבה כמקור מזון ובית גידול. באתרי הניטור הקיימים, שכיחות מינים אלה נמוכה פרט לאתר RD-Sargassum שליד אתר RD-1 שבו נתגלה יער סרגסון גדול לפני מספר שנים ולכן הוסף לתכנית הניטור. באתר SK2 יש כיסוי ציסטנית מקבוצה הצינסטנית – בעיקר של המין *G. rayssiae*, שהינה מקומית ואנדמית לחופי ישראל ולבנון הוא השונית הרדודה (1-5 מטר עומק) בין חוף חיאי"ל לחוף בת גלים (איור 6.8 ב). תוצאות אפיון המצב הפנולוגי של האצה מצביעות על קשר הדוק בין הטמפרטורה למצב הרבייה של הצינסטנית (איור 6.8 ג) - בתחילת אביב 2024 רק מעט מהפרטים הכילו גופי רבייה ובאמצע יוני של אותה שנה כל הפרטים כמעט היו במצב רבייה בשל לפני שחרור גמטות. בפברואר 2025 פרטים רבים היו במצב רבייה ראשוני או שניוני, כנראה כי הצימוח בשנה זו החל מוקדם יותר בדצמבר 2024 בשל צניחת הטמפרטורה המוקדמת שהתרחשה בנובמבר – אירוע המתרחש לעיתים רחוקות.



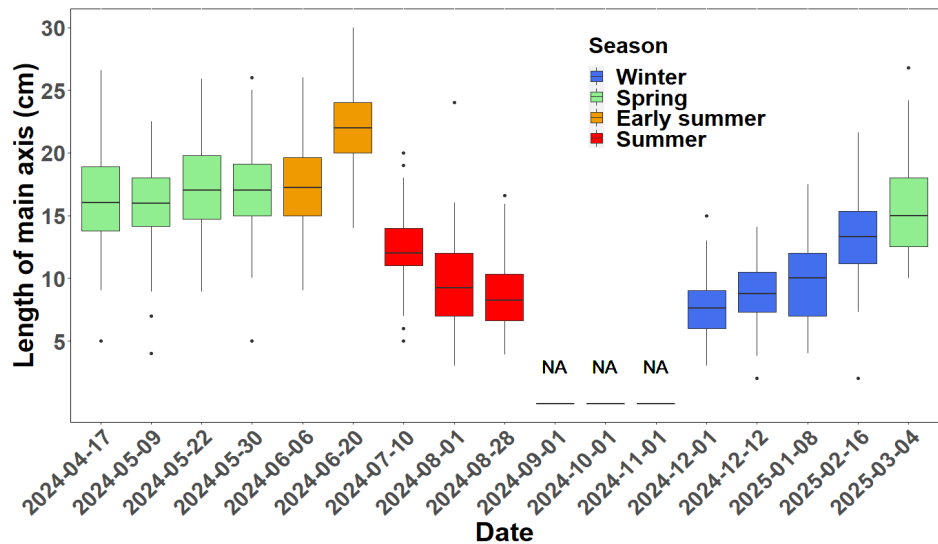
איור 6.8 א' מיני מפתח. תכסית: איור זה מראה את הדינמיקה בארבעת האתרים של אחוז הכיסוי של אצות חומיות מקומיות היוצרות יערות אצות יוצרות חופה (canopy), בית גידול הנחשב חשוב אקולוגית ותחת איום בים התיכון. מרבד גדול של המין *Sargassum vulgare* באתר שנוסף ב-2019 מראה עונתיות הכוללת גידול מהיר בחורף ובאביב וקריסה מהירה בקיץ. באתרים האחרים נוכחותו זניחה. המין השני *Gongolaria rayssiae* הוא בעל כיסוי נמוך ביותר ועם צימוח של פרטים בצפיפות נמוכה באביב בעיקר באתרי SK.



איור 6.8 ב'. צילומים של חתכי רוחב המראים את שלבי הבשלות של גופי הרבייה (הרספטקלים) וצילום של מרבד מיקרון. *Gongolaria rayssiae* בשיא הצימוח. משלב התחלתי (A), לשלב ביניים (B) לשלב של בשלות מלאה (C). קנה מידה 200

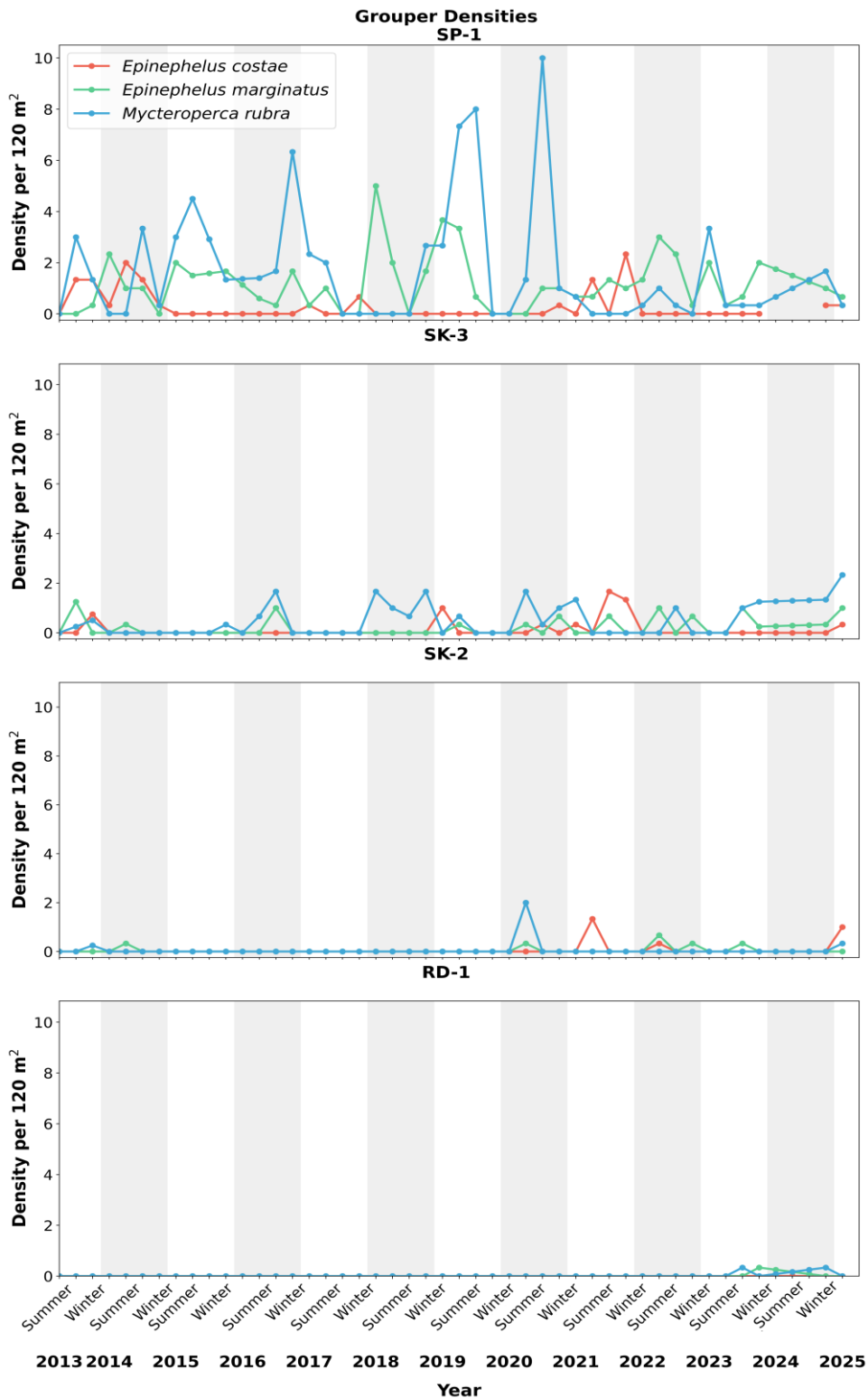


איור 6.8 ג': פנולוגיה רבייתית של *Gongolaria rayssiae*. מצב רבייתי של המין בפרטים שנדגמו במרבד בת גלים בין אפריל 2024 למרץ 2025. בנוסף מוצגים ערכי הטמפרטורה שנמדדו בלוגר טמפי שהוצב באזור המרבד. שלב F0 – אין אברי רבייה. שלב F1 – פחות מ-25% מהענפים עם איברי רבייה (ראה איור 6.8 ד'). שלב F2 – 25–50% עם איברי רבייה. שלב F3 – 50–75% עם איברי רבייה. שלב F4 – מעל 75% מהענפים נושאים איברי רבייה.



איור 6.8 ד': מחזור צימוח עונתי של *Gongolaria rayssiae* ממוצע חודשי של גובה הפרטים במרבד אצות חומיות גדול מול טיילת בת גלים. המדידות בחודש אוגוסט 2024 הינן של הטופול (גוף השימור) שנשאר לאחר נשירת העלווה. בכל שאר החודשים, הערכים המוצגים הינם של גובה הענפים הגבוהים ביותר של העלווה. ניתן לראות כי צימוח הענפים מתחיל עם ירידת טמפרטורת מי הים בסתיו (אוקטובר-נובמבר) והוא נמשך במהלך החורף ומגיע לשיא בעונת האביב עם התחממות המים (ראה איור 6.8 ג'). ברוב השנים הצימוח מתחיל סביב פברואר אך צניחת הטמפ' הלא אופיינית בסתיו 2024 הביאה להקדמת הצימוח. הענפים צפויים לנשור שוב לקראת סוף יוני.

מיני מפתח דגים: ההתייחסות כאן רק לטורפי דגים מקבוצת הדקרים, כיוון שהם חשובים אקולוגית וגם סובלים מדייג יתר חמור. דקרים נמצאו רק באתרים המורכבים ובשכיחויות משתנות (כנראה בשל תנועה שלהם בשטח), כאשר בשונית ספרטה (SP-1) העמוקה נראתה השכיחות הגדולה ביותר (איור 6.9). למרות התנודות הרבות בזמן הקשורות כנראה לתנועתיות של הדקרים מסתמן כי השכיחות המקסימלית של הדקרנית האדומה עולה עם הזמן באתר העמוק והמורכב מרחבת SP1, ונתוני ניטור 2024 מראים את אותה מגמה. עד כה, לא נמצאה מגמה ברורה וחדה של שינוי במספר הדקרים באתרים המצויים בגבול שמורת שקמונה SK-2, SK-3, המאופיינים במורכבות מבנית נמוכה יחסית שהדקרים נזקקים לה ויתכן שזו הסיבה לכך.



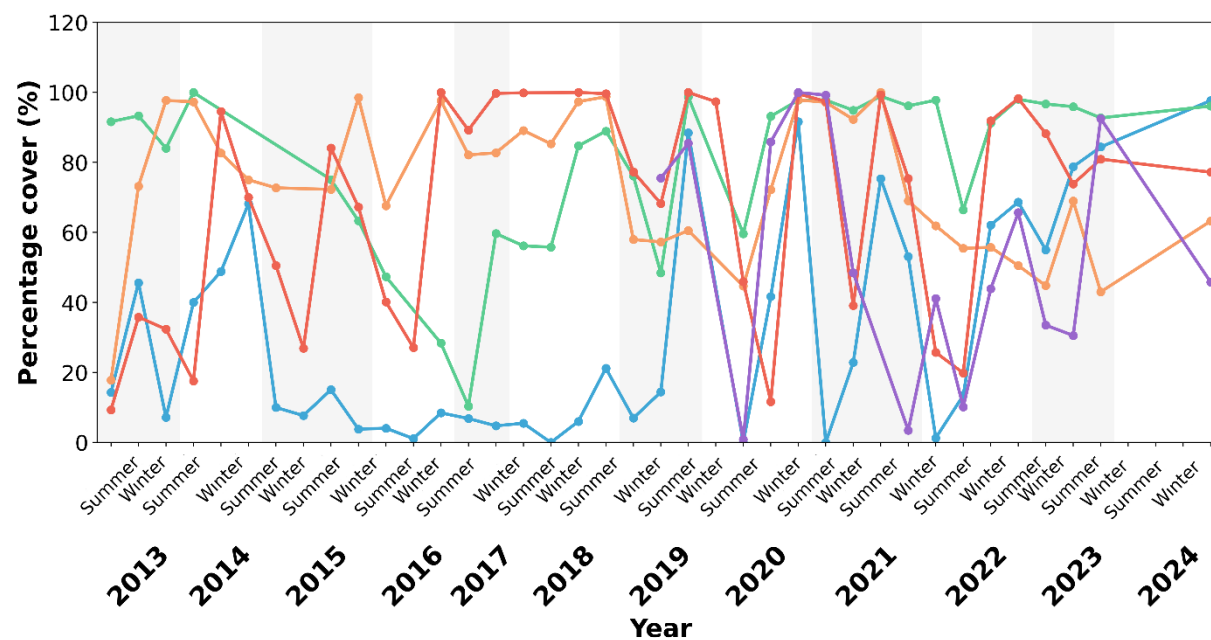
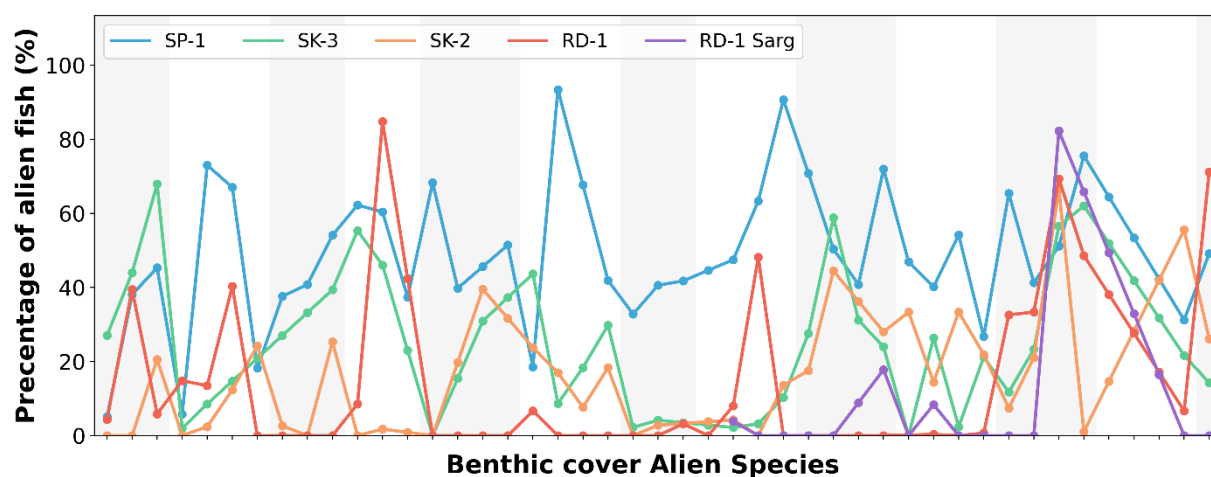
איור 6.9. מיני מפתח דגים: איור זה מראה את השינויים בשכיחות הממוצעת לחתך של שלשה מיני דקרים באתרי חיפה. השכיחות הגבוהה ביותר הייתה באתר ספרטה בעל המורכבות המבנית הגבוהה. מסתמן כי השכיחות המקסימלית של הדקרנית האדומה (*Mycteroperca rubra*) עלתה עם השנים אך בשלש השנים האחרונות שכיחותה הייתה נמוכה ביותר. באתר RD-1 השטוח אין נוכחות של דקרים כלל.

מינים פולשים בתכסית: היחס בין מספר מינים הפולשים למקומיים נמוך גם בתכסית השוניות, אך אחוז הכיסוי גבוה וקבוע באתרים מסוימים ועולה עם השנים באחרים (איור 6.10). בשני אתרי שקמונה, היה כיסוי

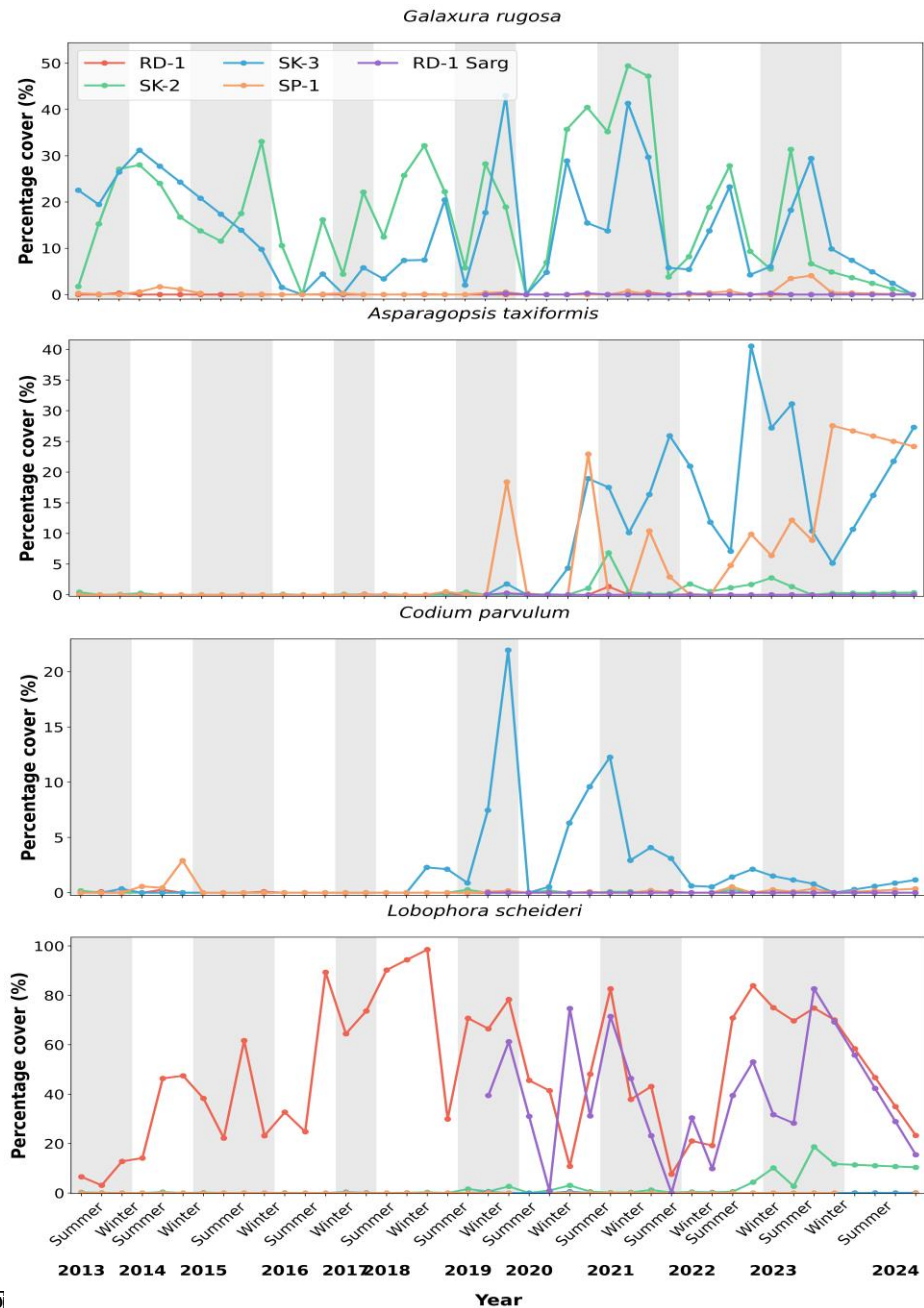
שנע בין 20-30 אחוז של האצה הזרה *rugosa Galaxaura* לאורך השנים, אך משנת 2019 כיסוי זה עלה לעיתים לערכים של בין 50-60 אחוז ובשנתיים האחרונות ירד שוב (איור 6.11 א). בקיץ של ארבע השנים האחרונות נראתה גם פריחה מסיבית של האצה האדומית הפולשת *Asparagopsis taxiformis* לאורך חופי הארץ שהתבטאה גם בהצטברות ביומסה של אצות תלושות במים הרדודים וגם בערמות על קו החוף, וניכרה גם באתרי הדיגום, תחילה באתר SP-1 ולאחר מכן בעיקר באתר SK-3, חזקה שיאים בקיץ או בסתיו (איור 6.11 א). האצה הפולשת החומית השטוחה *Lobophora schneideri* השתלטה בתחילת העשור שעבר על אתר RD-1, שמאז 2018 מראה תנודתיות גדולה עם שיאי כיסוי בחודשי הקיץ והסתיו החמים, ובדיגום האחרון הראתה ירידה (איור 6.11 א). הפולשת הירוקית *Codium parvulum* מראה תנודתיות רבה באתר אחד בלבד, אך היא נפוצה כנראה מאוד באיזור מפרץ חיפה כיוון שתצפיות של הציבור מראות שישנה סחופת גדולה שלה שמצטברת על החוף באביב, בעיקר באזור הקריות.

דגים: מבין מיני הפולשים שני הסיכונים הצמחוניים *Siganus luridus*, ו *S. rivulatus* מראים שכיחות תנודתית ברוב האתרים (כאשר השני נפוץ יותר לרוב), כנראה בשל תנועת הלהקות שלהם במרחב, פרט לאתר ספרטה שם הברקן האדום, *Sargocentron rubrum*, היה הנפוץ ביותר (איור 6.11 ב). בקיץ 2019 נראו לראשונה שלושה פרטים של הזהרון *Pterois miles* באתר ספרטה ומספר פרטים נראו גם ב- 2020 ומאז עלתה כמותם בצורה משמעותית באתר SP-1 כחלק ממגמת העלייה בגודל האוכלוסייה הניכרת בכל הארץ. למרות העובדה שהשנה נצפתה ירידה באתר SP-1 פרטים רבים נצפו באתר SK-2 שלא נצפו שם בעבר, מה שמצביע על התפשטות אזורי המחיה של המין בראש כרמל (איור 6.11 ג). בשנתיים האחרונות גם החל להופיע הדג הפולש חמת ים-סופי *Torquigener flavmaculosus*, באתרי הניטור – בעיקר באתר RD-1 אחרי שהיה ידוע כבר מספר שנים ממקומות אחרים בחוף. בשנת 2024 נראו יותר פרטים מהקיפוד הים סופי הפולש, נזירית ארוכת קוצים *Diadema setosum*, באתר SP-1 מין זה הופך נפוץ יותר ויותר בחופי צפון הארץ בשנים האחרונות. במספר מקומות בראש כרמל (שלא בתוך אתרי הניטור) נמצאו בסקרים ייעודיים עשרות פרטים לכמאה מטר מרובע והחל ניטור שלהם באתרים אלה. כמו כן נמצאו גם פרטים בודדים גם במים רדודים, בבורות השפל בחוף שיקמונה, ונצפה פרט ראשון במרכז טבלת גידוד בחוף הבונים (איור 6.5).

### Fish Alien Species

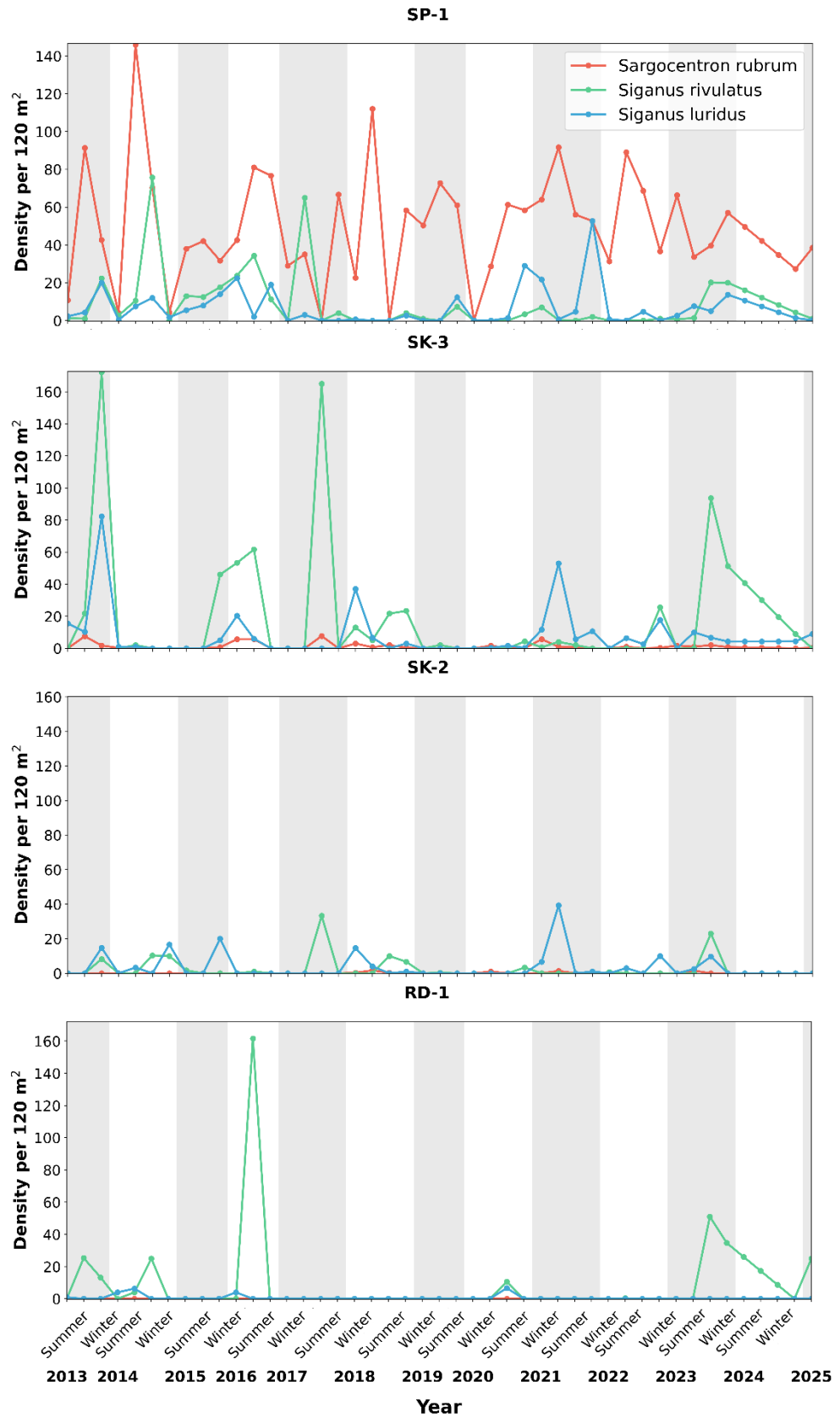


איור 6.10 מרכיב (יחס) של מינים פולשים מכלל המינים בעלי זיהוי. באיור זו ממוצע אחוז המינים הפולשים מבין כלל מיני הדגים (פנל עליון) ומינים צמודי מצע ברי זיהוי לרמת מין בחמשת אתרי הדיגום לאורך תקופת הניטור. דגים נראה שברוב האתרים יש שליטה של המינים המקומיים מבחינת כמות הפרטים. אתר ספרטה (SP-1) יוצא מן הכלל ומציג יחס די שווה בין כמויות המינים המקומיים והפולשים. הסיבה העיקרית היא כמות גבוהה מאוד של להקות ברקן אדום באתר. בנטוס: ניתן לראות שברוב האתרים יש תנודות רבות כאשר באתר RD-1, שהוא בעל אחוזי הכיסוי הגבוהים ביותר, יש שליטה של המינים הפולשים משנת 2018. בשנים האחרונות בכל האתרים נראה שיש שליטה עונתית של המינים הפולשים. הסיבה העיקרית הפריצה של 3 מינים (*Asparagopsis taxiformis*, *Lobophora schneideri*, *Galaxaura rugosa*) בתקופה זו, כאשר אספרגופסיס ולובופורה הראו את אחוזי הצמיחה הגבוהים ביותר. חשוב לציין כי מינים רבים אינם ניתנים לקביעה טקסונומית פשוטה, כמו מיני אצות גירניות (מהסדרה *Corallinales*) או מטריקס של אצות קצוצות וחול (*Turf*), והינם מהוות אחוז נכבד מהכיסוי.

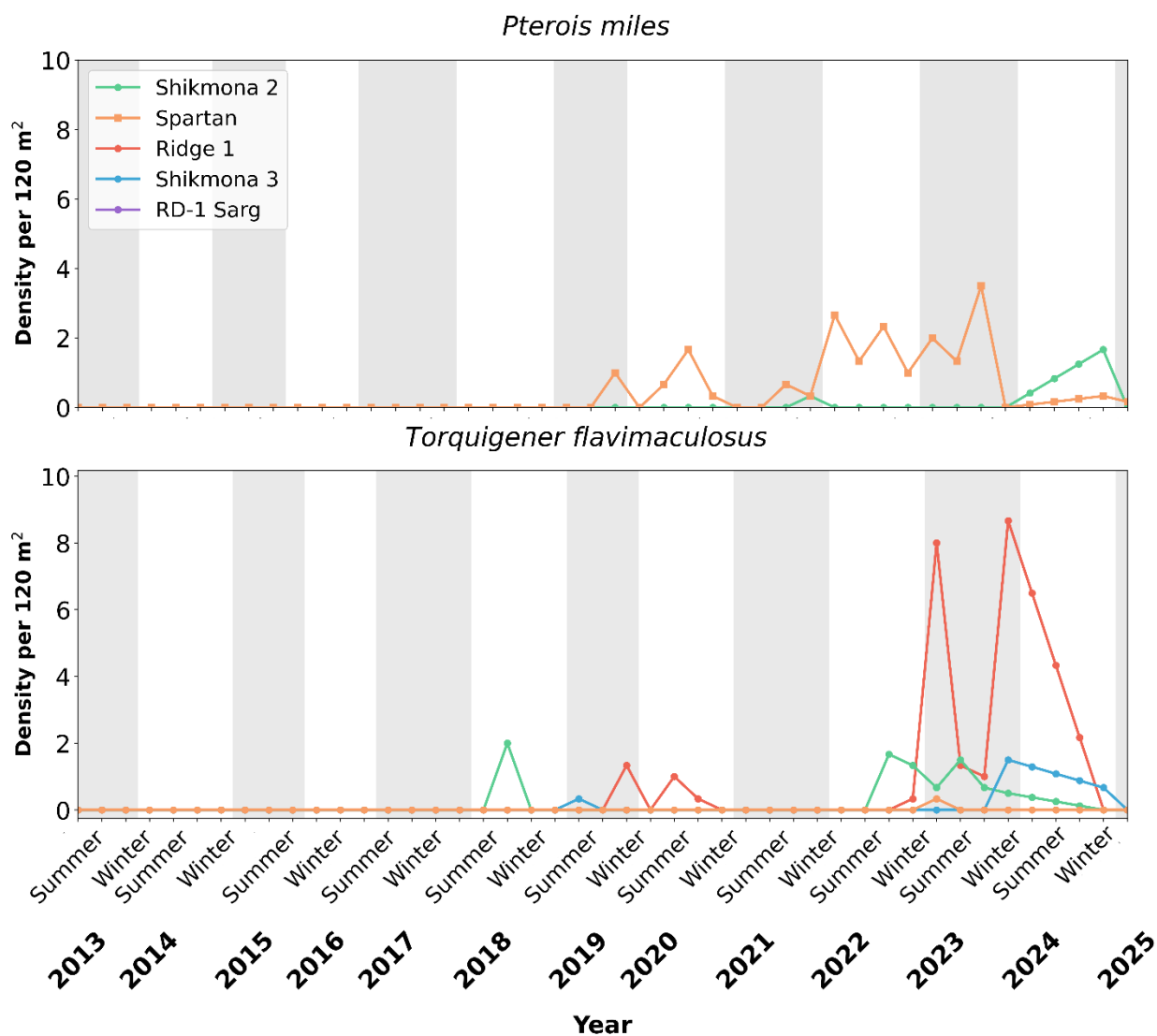


108

איור 6.11 א'. מינים פולשים. תכסית. אחוז הכיסוי של ארבע אצות פולשות בולטות בחלק מאתרי הניטור. האצה האינדו-פסיפית האדומית *Galaxaura rugosa* דומיננטית בעיקר בשני אתרים, אך חלק מה"ירידות" בכיסוי נגרם בשל גידול של אצות אפיפיטיות על האצה בעיקר בחורף ובאביב, הממסכות על האצה הפולשת שמתחתיהן. האצה האדומית *Asparagopsis taxiformis* הייתה מין לא שכיח בחוף הישראלי עד לאחרונה, אך מקיץ 2019 מראה התפרצויות לאורך החוף בעונות החמות, שנצפו גם בחלק מאתרי הניטור כאשר היא מגיע לכיסוי של בין 30-40% לעיתים. אצות אלה רכות מאוד ונתלשות בכמויות גדולות ומגיעות לקו החוף שם הן יוצרות לעיתים ערמות נכבדות. האצה הירוקית *Codium parvulum* נמצאה רק באתר SK-3 ומראה תגודתיות רבה. האצה החומית השטוחה *Lobophora scheideri* נפוצה בעיקר באתרי RD שם היא יכולה להגיע לכיסוי של עד 80% מהסלע.



איור 6.11 ב'. מינים פולשים דגים. איור זה מראה את התנודות בשכיחות הדגים הפולשים העיקרים וה"ותיקים" בארבעת האתרים העיקריים חיפה (ללא האתר החדש (Sargassum-RD) שני מיני הסיכנים הם מינים הנעים בלהקות ולכן נראים ובאתר ספרטה גם הברקן האדום החובב כוכים (שהם רבים באתר זה) בשל היותו פעיל לילה.



איור 6.11 ג'. פריצת מינים פולשים דגים. החל משנת 2019 אגחנו רואים גידול בכמות החמת ים-סופי (*Torquigener flavimaculosus*) באתר RD-1, כמו כן בשלושת השנים האחרונות נמצאו מספר פרטים של הזהרון (*Pterois miles*) באתר SP-1 (בחורף 2022 נמצאו כמעט שלשה פרטים בממוצע לחתך באתר זה ומקסימום של 6 פרטים בחתך אחד).

ממצאים בנוגע לשוניות עמוקות

בשנת 2024 לא התבצעה הפלגת ניטור רכסים עמוקים בשל סיבות טכניות והעדר GPS.

## פרק 7 – פיתוח ויישום מודלים אקולוגיים והטמעתם בתוכנית הניטור

ד"ר איל אופיר [eval.ofir@ocean.org.il](mailto:eval.ofir@ocean.org.il), ד"ר שחר רגב [shajar.regev@ocean.org.il](mailto:shajar.regev@ocean.org.il) וד"ר גדעון גל [gal@ocean.org.il](mailto:gal@ocean.org.il)

### Abstract

Ecopath with Ecosim (EwE) is a powerful modeling tool for studying marine ecosystems, as it quantifies energy flow and trophic interactions among species, evaluates ecosystem structure and function, and simulates ecosystem responses to environmental changes or human activities like fishing. By combining static (Ecopath) and dynamic (Ecosim) modeling, it enables both snapshots and time-series analyses of ecosystem dynamics. Importantly, EwE can incorporate key ecological indicators aligned with frameworks such as the Marine Strategy Framework Directive (MSFD), making it highly useful for marine monitoring, management, and policy support. In 2024, as a pilot, the EwE ecological models of Israel's continental shelf and Exclusive Economic Zone (EEZ) underwent structural modifications in the grouping of functional and taxonomic components, as well as revisions to their ecological characteristics as defined within the models. In addition, model parameters were updated based on expert knowledge from local scientists or sourced from international databases. As a result of these structural changes, parameter updates, and the incorporation of recent data, the calibration and validation process are currently ongoing. A mechanism for the integration and validation of data from the national monitoring program was developed to facilitate their incorporation into the models. Although the process is not yet fully automated, the development of this mechanism is expected to streamline and accelerate future data integration. Model outputs were evaluated by experts who assessed the temporal and spatial distribution patterns of various functional groups represented in the models (e.g., epifaunal biomass and distribution, climate changes). Both the temporal dynamic model and the spatial model were run for the period 2014–2024 and revealed changes in the ecosystem. Results of the pilot simulations with Ecospace highlighted, for example, changes in species distribution and spatial patterns across the Israeli EEZ. The results indicate a deepening of native species' distributions and an increasing dominance of invasive species in shallow-water areas. The models also provide estimates for a range of ecological indicators, some of which are presented in the current report. Although this report includes only a limited set of indicators, ongoing model application within the framework of the national monitoring program will allow for broader use of a more comprehensive suite of ecological indicators. Thus providing information on the status and functioning of the ecosystem that is not accessible through other means.

שילובם של מודלים אקולוגיים בתוכנית הניטור הלאומית יכול לספק ערך מוסף משמעותי לתוכנית הניטור, מעבר ליתרון של יצירת כלי למקבלי החלטות במסגרת ארגז הכלים שמאפשר בחינת שאלות ממשק היכולות לתמוך בתהליכי קבלת החלטות. במסגרת תוכנית הניטור, יישום ושילוב של מודלים אקולוגיים מאפשרים גישור על פערי ידע ויצרת תמונת מצב של המערכת האקולוגית, בכלולתה, ובחינת שינויים לאורך זמן ובמרחב. מגבלות הנובעות מעלות העבודה בים וקשיים הלוגיסטיים מגבילים את היקף העבודה שניתן לערוך. שילוב של מודלים מאפשר לגשר על פערים בזמן ובמרחב בגלל מגבלות אלו. הטמעת כלל המידע הנאסף במסגרת תוכנית הניטור לתוך המודלים מאפשרת יצירת תמונה סטטיסטית ודינאמית בזמן ובמרחב של משתנים שניתן למדוד באופן ישיר אבל גם של משתנים או קצבים של התהליכים שאינם טריוויאליים, או אפשריים, למדידה.

שילוב של מודלים בתוכנית ניטור לאומית מהווה כלי קריטי להערכת מצב המערכות האקולוגיות ולקבלת החלטות מבוססות נתונים. תוכניות כמו ה-MAP של אמנת ברצלונה בים התיכון להשגת מצב אקולוגי טוב וכן תוכניות כגון IMAP-MPA הם תוכניות שניתן לבחון ואף להציע דרכים ליישום בעזרת מודלים אקולוגיים כגון שאלו שפיתחנו עבור המרחב הימי של ישראל. השימוש במודלים, כגון אלו שפיתחנו עבור התחום הכלכלי של מדינת ישראל, מאפשר אף לאמוד את השינויים בערכים של ה-ecological objectives (EO) של MAP כגון EO1 Biodiversity, EO2 Non-indigenous species, EO3 commercially exploited fish, EO4 Marine food webs, בנוסף, ניתן לאמוד את הדיסקריפטורים של ה-MSFD לאורך זמן ולבחון את מצב המערכת האקולוגית ביחס ל-SDGs הרלוונטיים.

שילוב של מודלים אקולוגיים בתוכנית הניטור מאפשר בקרת איכות נוספת ויסודית של הנתונים. הזנת נתוני הניטור למודל חייבים להיות בפורמט ובאיכות מסוימת. כמו כן, הזנת נתונים חריגים ביחס למצופה עבור נקודה מסוימת בזמן או במרחב יופיע מידיית כחריג במהלך הרצת המודל. יתרון נוסף בשימוש במודלים הוא היכולת לזהות פערי ידע, הן בגלל שהמודל משקף חולשות במידע מצד אחד אבל גם מציף ערכים בזמן או במרחב שהינם חריגים הדורשים בחינה מדוקדקת יותר והכוונת מאמצי דיגום. כיום קיימות תוכנות רבות לבניית מודלים אקולוגיים ואחת המוכרות והמקובלות בעולם היא התוכנה EwE ((Christensen Ecopath with Ecosim), Heymans et al., 2011, 2013. בבסיסה, תוכנת Ecopath יוצרת מודל מאזני של מערכת אקולוגית מורכבת, בעיקר על בסיס קשרי המזון של כלל הרכיבים במערכת כולל גם מרכיבים כגון לחץ דייג וטריפה ע"י עופות. לאחר שנוצר המאזן והתוכנה בדקה כי אכן המערכת מאוזנת והקשרים בין הפרטים נופלים בתוך טווחים צפויים, ניתן לבחון תוצרי בסיס של המערכת כגון: רמות טרופיות, צריכה, קשרי מזון, שטפי האנרגיה ועוד. על בסיס מודל זה ניתן לבחון שינויים במערכת האקולוגית והשפעתם של שינויים אלו על כלל המערכת שהדגש הוא על שטפי האנרגיה בין הקבוצות השונות ועל שינויים ברמות הטרופיות הגבוהות יותר.

בנוסף למודל הסטטי, התוכנה כוללת שני מרכיבים נוספים שהינם דינמיים בזמן (מודל מסוג Ecosim) ובזמן ובמרחב (מודל מסוג Ecospace). בסימולציות עם מודל מסוג Ecosim, ניתן מצד אחד לזהות שינויים עיתיים המתרחשים במערכת האקולוגית ומצד שני לבחון מגוון רחב של תרחישים. התרחישים יכולים לכלול למשל שינויים סביבתיים (כגון שינויי אקלים) או שינויים מפעילות אנתרופוגנית (כגון לחץ דיג, אירועי זיהום) וכן ניתן לבחון השפעות של צעדי ממשק ואופטימיזציה כלכלית לצעדי הממשק. המרכיב הדינמי בזמן ובמרחב, Ecospace, מבצע חלוקה דינאמית של ביומסה על פני רשת המייצגת

את שטח המחקר, בעלת רזולוציה נתונה המוגדרת ע"י המשתמש. חלוקת הביומסה מתא מסוים לכלל התאים השכנים היא לא אחידה ומושפעת מהתנאים הסביבתיים המוגדרים כמועדפים עבור הקבוצות במודל וכן אזורים מסוימים המוגדרים כבתי גידול מועדפים או בתי גידול שיש להימנע מהם. ברמה המעשית, רכיב ה-Ecospace מפעיל את הרכיב הדינאמי בזמן (Ecosim) בכל אחד מהתאים בשריג ומפעיל מנגנון העברת ביומסה מתא לתא, כולל שחיה ומעבר אקטיבי של דגים וחסרי חוליות. השימוש במודל המרחבי מאפשר למפות מאפיינים שונים של המערכת האקולוגית שלא ניתן בעזרת נתוני ניטור כגון שינויים בשטפים באזורים שונים, הבדלים במגוון המינים או תנועה במרחב ברזולוציה עיתית גבוהה. בעזרת מרכיב זה ניתן לבחון תרחישים בעלי משמעות מרחבית כגון היעילות של אזורים מוגנים (למשל יישום IMAP-MPA), ההשלכות האפשריות של תשתיות ימיות חדשות (כגון איים מלאכותיים, ומתקני אנרגיה מתחדשת), ההשלכות האקולוגיות של אירועי זיהום ועוד.

במהלך שני העשורים האחרונים חלה מגמה עולמית גוברת לשילוב מודלים אקולוגיים מערכתיים, כדוגמת **(EwE Ecopath with Ecosim)**, בתוכניות ניטור וניהול ימי לאומיות. מדינות רבות, באירופה ומחוצה לה, פועלות לשלב את המודל ככלי תמיכה בהחלטות במסגרת ניהול מבוסס מערכות אקולוגיות (Ecosystem-Based Management). השילוב נעשה באמצעות התאמת מודלים קיימים או פיתוח מודלים חדשים המבוססים על נתוני ניטור שוטפים של אוכלוסיות דגים, פעילות דיג, פרמטרים סביבתיים ותפקוד המערכת האקולוגית. השימוש ב EwE מאפשר לתוכניות אלו לא רק לנתח מגמות היסטוריות אלא גם להעריך תרחישים עתידיים של ניהול, תוך שילוב של שיקולים מרחביים, סביבתיים, כלכליים וחברתיים. במקרים מסוימים, שילוב זה משמש גם ככלי להערכת ביצועי מדיניות דיג ולזיהוי אינדיקטורים אקולוגיים, במסגרת התחייבויות בינלאומיות כמו האמנה לשימור המגוון הביולוגי או מדיניות הים המשותפת של האיחוד האירופי.

### מטרות

המשך פיתוח ושיפור של מודלים אקולוגיים למרחב מדף היבשת והמים הכלכליים הנשענים על נתוני הניטור הלאומי לצורך יצירת תמונת מצב רציפה של מצב הקבוצות האקולוגיות השונות במערכת ואמידת מדדים שונים להערכת מצב המערכת האקולוגית. בנוסף, המשך פיתוח המודלים ועדכוןם עם נתוני הניטור יאפשרו בחינה של תרחישים ושינויים אפשריים לטובת קבלת החלטות עתידית.

### מטרות משנה

1. פיתוח מודל אקולוגי המייצג את המערכת האקולוגית המאפשר מעקב אחר הגעת מינים פולשים והשפעתם על המערכת כמו גם השפעת שינויי האקלים.
2. יצירת מסלול קליטה סדורה של נתונים מהניטור ממרחב מדף היבשת ומהים העמוק וסקלולם בסדרת הנתונים עבור המודל.
3. הפקת תמונת מצב אקולוגית דינאמית בזמן ומרחבית.
4. פיתוח והפקה של סדרת מדדים למערכת האקולוגית ומעקב אחריהם לאורך זמן.

העבודה במהלך השנה האחרונה כללה מספר מרכיבים חיוניים למטרות שהוגדרו. שלבי העבודה לצורך עמידה במטרות כללו:

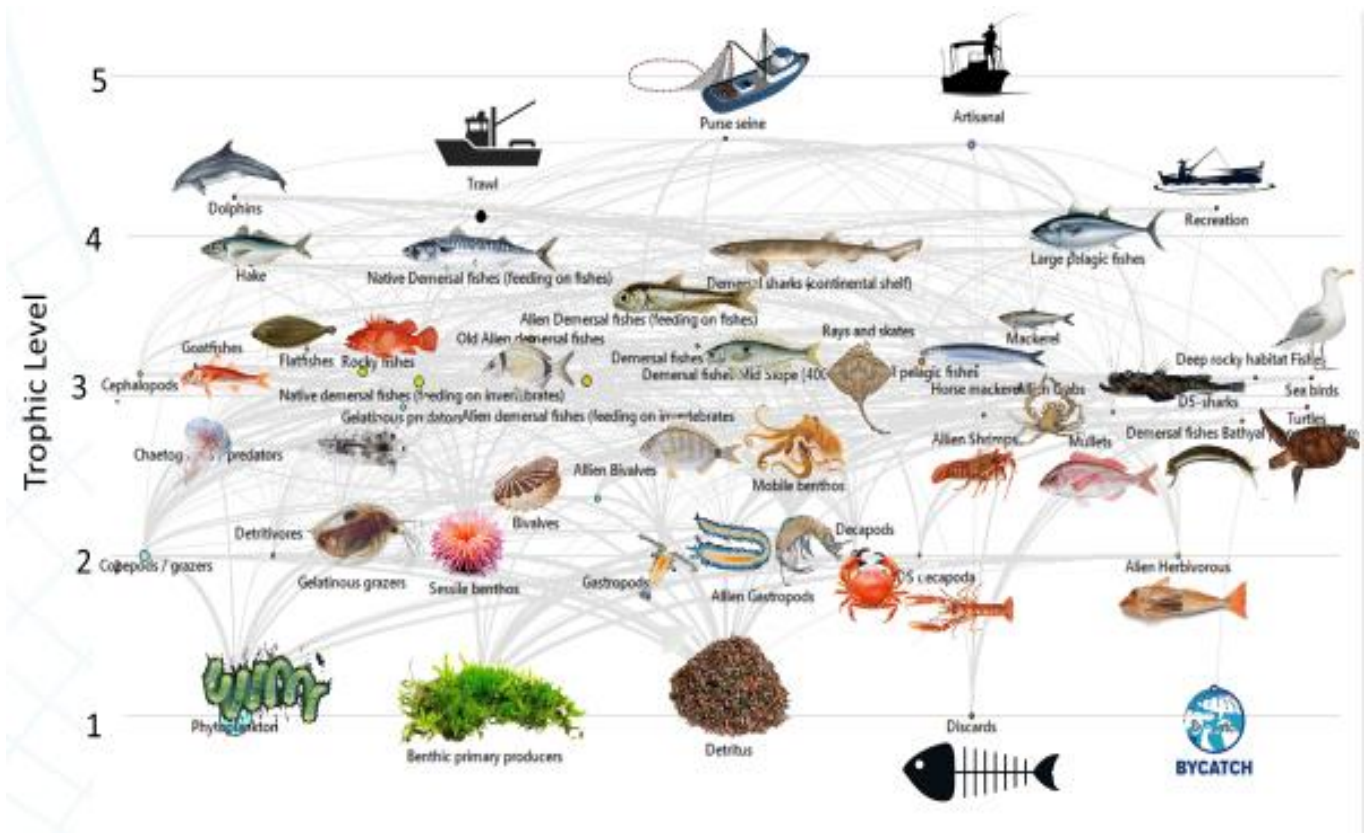
1. בניה מחודשת ועדכון המודלים.
2. קליטה, עיבוד, ניתוח והכנת נתוני הניטור לקליטה במודלים.
3. קליטת הנתונים במודלים ובחינתם.
4. הרצת המודל הסטטי, המודל הדינאמי בזמן והמודל המרחבי.

### שיטות עבודה

בנייה מחודשת של המודל בהתאמה לצרכי החוקרים בשל מגבלות חישוביות המודל האקולוגי בנוי מקבוצות פונקציונאליות כאשר כל קבוצה מייצגת מין או אוסף של מינים בעלי מכנה משותף אקולוגי. בקביעת מבנה המודל מושם דגש על הצורך להפריד או לחבר בין מינים כך שניתן יהיה לעקוב אחריהם לאורך זמן. למשל, באזור שלנו יש דגש על הפרדה בין מינים מקומיים ומינים פולשים על מנת שניתן יהיה לאמוד את מידת הפלישה והשפעתה על המערכת המקומית. כמו כן קיימת הפרדה בין מינים החיים בבתי גידול מוגדרים (כמו דגי סלע) לאחרים וחלוקה פונקציונלית של חסרי חוליות על פי מיקומם, תפקידם במערכת וכו'. בקבוצות בהן יש יותר ממין אחד נקבעת מערכת שקלול נתונים הלוקחת בחשבון את הגודל היחסי של האוכלוסייה (ביחס לשאר המינים) בחישוב הפרמטרים של המודל. לצורך הגדרת מבנה המודל המחודש התקיימו פגישות עבודה עם חוקרים שונים מהם קיבלנו דגשים לגבי הנושאים החשובים להם ואלו נלקחו בחשבון בתהליך בניית המודל. מבנה המודל החדש מכיל את הקבוצות הבאות:

לאחר הזנת הפרמטרים הבסיסיים של המודל (ביומסה, יצרנות, צריכה, תזונה, שלל דיג וכו') המודל מחשב את הרמה הטروفית של כל קבוצה ואת מידת ההקשרים, בצורה של שטפי המזון ויחסי טורף-נטרף, שהיא מקיימת עם קבוצות אחרות (איור 7.1).

1	Phytoplankton	17	Allien Crabs	33	Demersal sharks (continental shelf)
2	Benthic primary producers	18	Cephalopods	34	Rays and skates
3	Copepods / grazers	19	Mulletts	35	Small pelagic fishes
4	Chaetognaths / predators	20	Goatfishes	36	Horse mackerel
5	Detritivores	21	Hake	37	Mackerel
6	Gelatinous grazers	22	Flatfishes	38	Large pelagic fishes
7	Gelatinous predators	23	Rocky fishes	39	DVM fish
8	Sessile benthos	24	Native demersal fishes (feeding on invertebrates)	40	DS-sharks
9	Bivalves	25	Native Demersal fishes (feeding on fishes)	41	Deep rocky habitat Fishes
10	Allien Bivalves	26	Alien Herbivorous	42	Turtles
11	Gastropods	27	Old Alien demersal fishes	43	Sea birds
12	Allien Gastropods	28	Alien demersal fishes (feeding on invertebrates)	44	Dolphins
13	Mobile benthos	29	Alien Demersal fishes (feeding on fishes)	45	Detritus
14	Decapods	30	Demersal fishes (upper slope)	46	Discards
15	DS decapoda	31	Demersal fishes Mid Slope (200-900)	47	By-catch
16	Allien Shrimps	32	Demersal fishes Bathyal Plains >1000m		



איור 7.1 – מבנה מארג המזון מסודר על פי הרמות הטרופיות כפי שחושבו על ידי המודל.

קליטת נתוני ניטור במרחב מדף היבשת וים עמוק ותרומתו לנתוני הקלט של המודל בביומסה- חישובי הביומסה של הקבוצות השונות מתבססים עד כמה שניתן על תכנית ניטור המבוצעת בחיא"ל. שיטות הדיגום מספקות הערכה טובה של הביומסה באזור בו בוצע הדיגום של קבוצות שונות אבל לעיתים שיטות הדיגום, והתדירות העיתית והמרחבית של הדיגום מספקות רק תמונה חלקית. בנוסף, ישנן קבוצות שעבורן לא קיים מידע כלל כגון עופות ויונקים ימיים. בממסגרת קליטת המידע הקיים בוצעו לעיתים תיקוני הטיה במידת הצורך. במקרה של מיני חסרי חוליות שנדגמו בקופסת הסדימנט הפרטים נספרו אך לא נשקלו. לצורך אומדן משקלם, נעשה שימוש בתמונות מקוונות ובשיטה של Benoist et

al. (2019) עם זאת, עבור קבוצות מסוימות לא התקבלו נתונים מספקים לאמידת ביומסה, והמודל סיפק הערכות עבורן.

**מידע על תזונה** - המידע בנוגע לתזונת המינים התבסס על מקורות קיימים (Corrales et al, 2017, Gilad et al, 2017) וכן על תצפיות באזור הים התיכון כפי שדווחו במאגר FishBase מידע זה שימש להגדרת יחסי טרף-טורף במודל האקולוגי.

**שיעורי ייצור וצריכה** - שיעורי ייצור וצריכה הוערכו באמצעות נוסחאות אמפיריות לפי Heymans et al. (2016), ובמקרים מסוימים הוערכו לפי מודלים אקולוגיים אחרים.

**נתוני שלל** - נתוני שלל לתקופה שבין השנים 1995–2010 התקבלו משחזור היסטורי של שלל הדיג בישראל, שכלל גם דיג מסחרי, שלל שאינו מדווח, ודיג ספורטיבי (Edelist et al, 2013). נתוני שלל לשנים 2018–2023 התקבלו מד"ר דור אדליסט/אגף הדיג (אלו נתונים שעדיין לא פורסמו). במודל הוגדרו ארבעה צי דיג: צי דיג ספורטיבי, וצי מסחרי המורכב מדיג מכמורת, דיג באמצעות רשתות הקפה (purse seine), ודיג רשתות הכולל רשתות וחכות עומק.

על סמך איסוף הנתונים האלו נבנו הפרמטרים הבסיסיים של המודל המאזני (Ecopath) ונבנתה טבלת נתונים מעודכנת בזמן עבור המודל הדינאמי (Ecosim). מודלים אלו מאפשרים הפקה של מגוון מדדים של המערכת האקולוגית ומשמשים כבסיס למודל המרחבי (Ecospace). קליטת נתונים מרחביים

**טמפרטורה** - נתוני הטמפרטורה נלקחו מנתוני Copernicus. עבור המודל הדינאמי בזמן בוצע חישוב של ממוצע חודשי של הטמפרטורות בשלוש תחומי עומקים (1) עד 150 מטר, (2) 150 מטרים עד הקרקעית ו- (3) על הקרקעית. באזור הרדוד בוצע תיקון סטייה ביחס לנתונים הנמדדים בתחנות המדידה של חיא"ל. עבור המודל המרחבי הורדו נתונים מרחביים חודשיים והוכנו מפות טמפרטורה לתקופת הזמן החל מינואר 1995 ועד למרץ 2025. המפות נבנו עפ"י שלוש שכבות: (1) ממוצע של 0-150 מטרים, שכבה שמייצגת את האזור הפוטי והפלאגי. (2) שכבה של 150 מטרים עד לקרקעית (3) שכבת הטמפרטורות של הקרקעית המשפיעה על כלל הבנטוס.

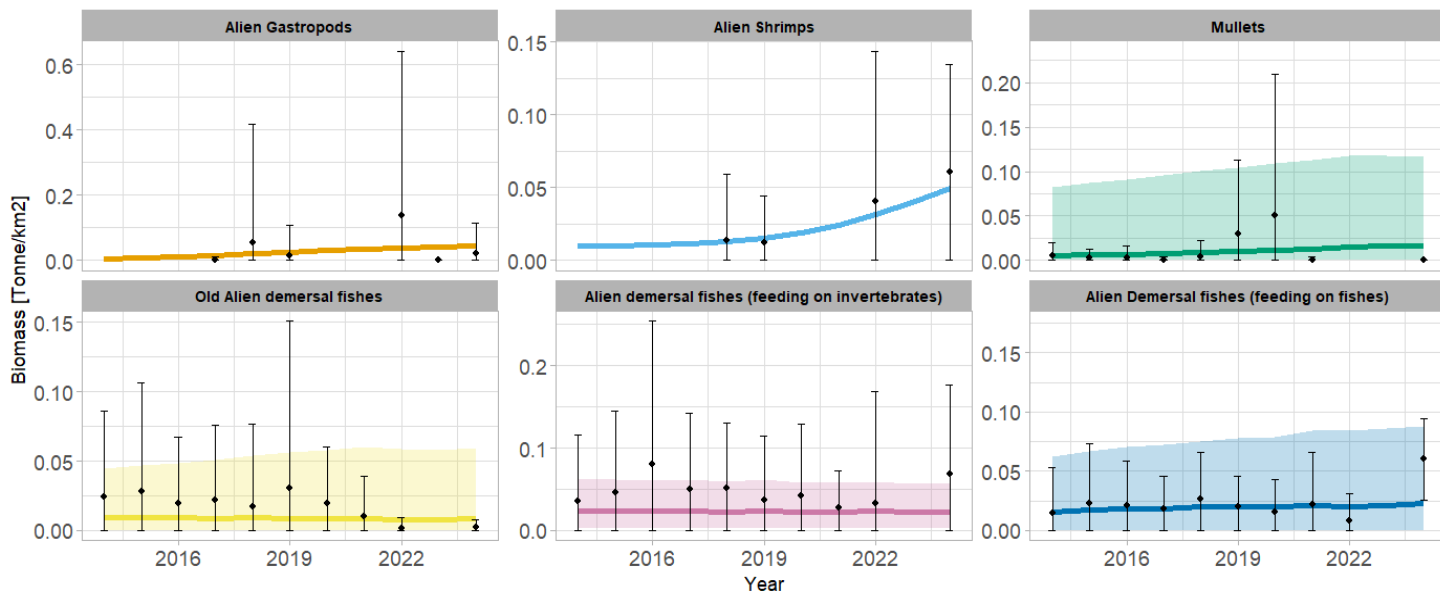
**יצרנות ראשונית** - גם עבור היצרנות הראשונית בוצע שימוש בנתונים מאתר Copernicus ממנו הורדו מפות חודשיות בין התאריכים ינואר 1999 ועד למרץ 2025 ובוצע ממוצע של הערכים בעומקים 0-150 מטרים.

**פונקציות סביבתיות** - תפקידן של הפונקציות הוא לחבר בין הקבוצות במודל לנתונים הסביבתיים ולהגדיר "אזורים מועדפים" עבור כל קבוצה. כך שבמידה והתנאים במקום מסוים שונים מהותית מהתנאים המועדפים לקבוצה, הקבוצה (או המין) תעבור לאזור בעל תנאים מתאימים יותר. המידע עבור העדפות העומק והטמפרטורה עבור כל אחד מהמינים הנמצאים במערכת שלנו הורד מאתר AquaMaps ולאחר מכן בוצע ממוצע משוקלל הלוקח בחשבון את החלק היחסי של המין בתוך הבימסה של סך כל הקבוצה. פונקציות העדפות הטמפרטורה הוזנו למודל הדינאמי בזמן ולמודל המרחבי ופונקציות העומק למודל המרחבי וכילו בהתאם לתצפיות בניטור.

### ממצאים מהמודל הדינאמי בזמן (Ecosim)

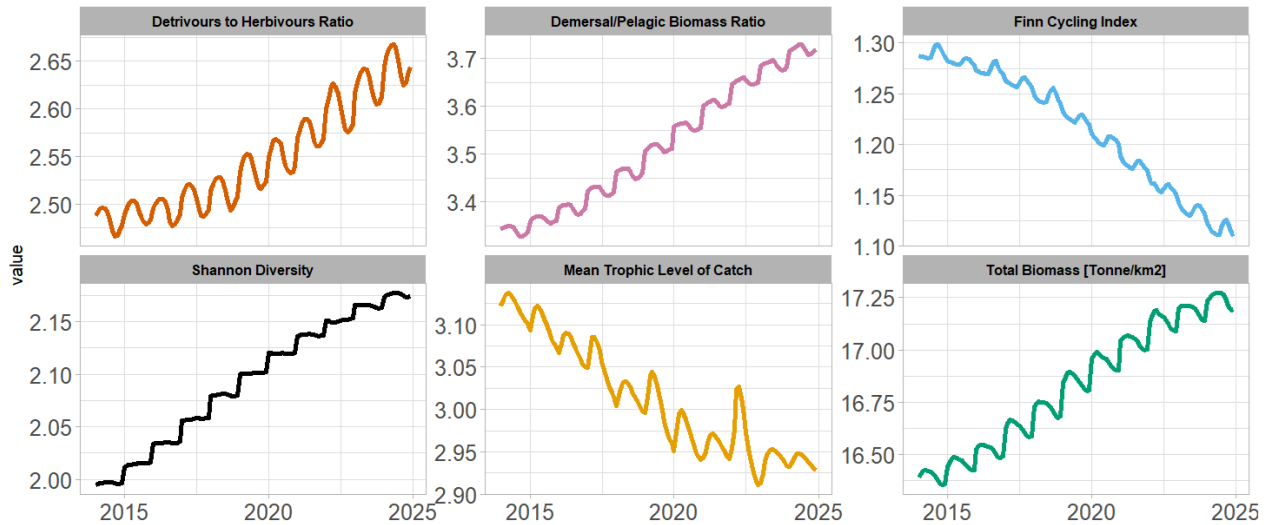
המודל הדינאמי בזמן נשען על המודל הסטאטי כאשר בנוסף מוסיפים נתוני טמפרטורה (בממוצע חודשי) ואת השפעתן על הקבוצות השונות. למודל מוסיפים את נתוני הביומסה הידועים מהניטור המתמשך שמבוצע על ידי חיא"ל, ואת נתוני השלל ומאמץ הדיג כפי שנמסרו לנו מאגף הדיג. לאחר תהליך הכיול, המודל מחשב את זמינות הנטרף לטורף ומגדיר יחס (הניתן לשינוי) שמשמש לצורך חישובי הדינאמיות בזמן ובמרחב. בנוסף רכיב זה משמש לצורך ניתוח חוסר וודאות של הפרמטרים הבסיסיים של המודל המאזני ובחינת מידת השפעתם על מידת קרבת חישובי המודל לנתונים שסופקו לו. ניתוח חוסר הודאות מאפשר בחינה של הערכים (ביומסה, ייצרנות, צריכה, שלל וכו') של הקבוצות השונות והתאמתם במידת הצורך. כמו כן בעזרת רכיב זה במודל ניתן לבחון תרחישים עתידיים כגון שינוי טמפרטורה, שינוי במדיניות הדיג, השפעת מזהמים וכו'. שלב פיתוח המודל הסתיים והוא נמצא בשלבי כיול ואימות מתקדמים ועל כן התוצאות שמוצגות בפרק זה הן תוצאות ראשוניות בעיקר על מנת להציג את חלק מהיכולות של המודל.

נתוני ניטור הפיטופלנקטון והזואופלנקטון עדיין לא נותחו בצורה שמאפשרת הערכת ביומסה. בשאר קבוצות חסרי החוליות ניתן להבחין שבשנים בהם בוצע ניטור חסרי חוליות באמצעות Box-core (2013), (2017-2019, 2022-2024) הביומסה גדולה בכארבע סדרי גודל מאשר בשנים בהם הערכת הביומסה הסתמכה רק על ניטור מכמורת. המודל חוזה בדרך-כלל את סדר הגודל הנכון של הביומסה של הקבוצות השונות. המודל לא הצליח לחזות את העלייה הנצפית במיני חסרי חוליות פולשים ולכן השתמשנו בפונקציה מאלצת המדמה את העלייה בקבוצות אלו. **איור 7.2** מתאר את הערכת הביומסה של מספר קבוצות במודל. מהתוצאות בולטת השונות השנתית הגדולה בנתונים, והעובדה שהמודל, למרות שטרם התסיים תהליך הכיול, הצליח לחזות את הביומסה הנצפית בצורה סבירה עד טובה. תוצאות הניטור והמודל מראים יציבות יחסית של ביומסת הקבוצות השונות לאורך השנים – 2014-2024.



**איור 7.2 –** ביומסה של מספר קבוצות דגים וחסרי חוליות. הנקודות מציגות את נתוני הניטור שהוזנו למודל והקו הרציף את תוצאת חישובי המודל. השטח מסביב לקו מראה את פיזור התוצאות כתוצאה של חישובי ניתוח חוסר הוודאות והקווים האנכיים הינם סטיית התקן של נתוני הניטור השנתיים.

המודל הדינאמי בזמן מאפשר לבצע חישובים שונים ולהציג מדדים של בריאות המערכת האקולוגית. למשל מדד מגוון המינים של שאנון שמהווה אינדיקטור ל-EO1 (Ecological objective 1) של MAP של אמנת ברצלונה וכן מדדים של ביומסה שהינם חלק ממדדי EO1, EO2, D1, D2, D3, D4, D6 של ה-MSFD. מדד שאנון הציג עליה לאורך הזמן בדומה ליחס של ביומסה של היצורים בקרקעית לביומסה של היצורים הפלגיים וכן עליה בסך כל הביומסה במערכת עולה (איור 7.3). אלו יכולים להיות מוסברים על-ידי התבססות של מינים פולשים, התבססות שהביאה לניצול בתי גידול שלא היו מנוצלים עד תומם קודם לכן. המינים הפולשים מגדילים את סך הביומסה, מגדילים את המגוון הביולוגי ורובם דמרסליים ולכן היחס שלהם עולה. Finn Cycling Index (FCI) מציג ירידה בעילות מיחזור הביומסה במערכת. ירידה ב FCI מצביעה על מארג מזון פשוט יותר ויציבות נמוכה יותר של המערכת האקולוגית, אך הסיבות לכך לא נבדק עדיין. שני מדדים נוספים מציגים שינויים ארוכי טווח לא חיוביים. אלו כוללים את הרמה הטרופית הממוצעת של השלל עם מגמת ירידה מאז שנת 2014 עם מספר חריגות וכן הירידה ביחס שבין הדטריבורים וההרביורים שמבטא את התלות של מארג המזון ביצרנות ראשונית או בדטריטוס והעליה בחשיבות של המינים ברמות הטרופות הנמוכות. הירידה ברמה הטרופית הממוצעת עלול להצביע על דיג יתר של המינים הגדולים והמינים ברמה הטרופיות הגבוהות.



**איור 7.3 – מדדים אקולוגיים הכוללים את היחס בין הדטריבורים וההרביורים, היחס בין הביומסה של הקבוצות הדמרסאליים לקבוצות הפלאגיות, מדד פין, מדד שאנון למגוון המינים, רמה טרופית ממוצעת של השלל וכן סך כל הביומסה. היחס בין הדטריבורים וההרביורים מבטא את התלות של מארג המזון ביצרנות ראשונית או בדטריטוס ומספק מידע הקשור לדיסקרפטור D4. מדד פין מכמת את מידת מיחזור החומר האורגני במארג המזון והתלות בפחמן אורגני חיצוני ומספק מידע הקשור לדיסקרפטור D4. הרמה הטרופית של השלל, רלוונטי לדיסקרפטור D4.**

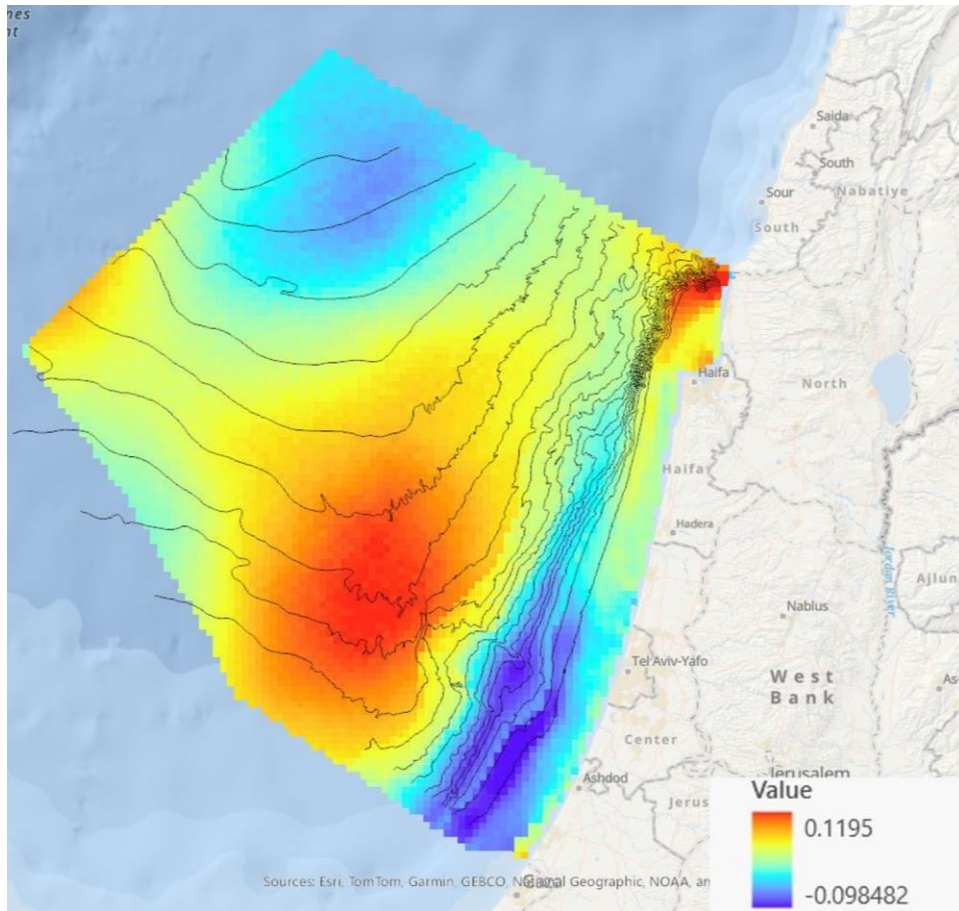
### ממצאים מההמודל המרחבי

המודל המרחבי (Ecospace) נשען על המודל הדינאמי בזמן ומאפשר מעקב אחר תפוצת הקבוצות במרחב כפונקצייה של התנאים הסביבתיים המשתנים, מארג המזון, לחץ דייג ותנאים נוספים (כמו שמורות טבע והגבלות אחרות). בהתאם לתנאים מתבצעת העברה של ביומסה בין התאים כאשר גודל של כל תא במודל הוא שני קילומטרים מרובעים.

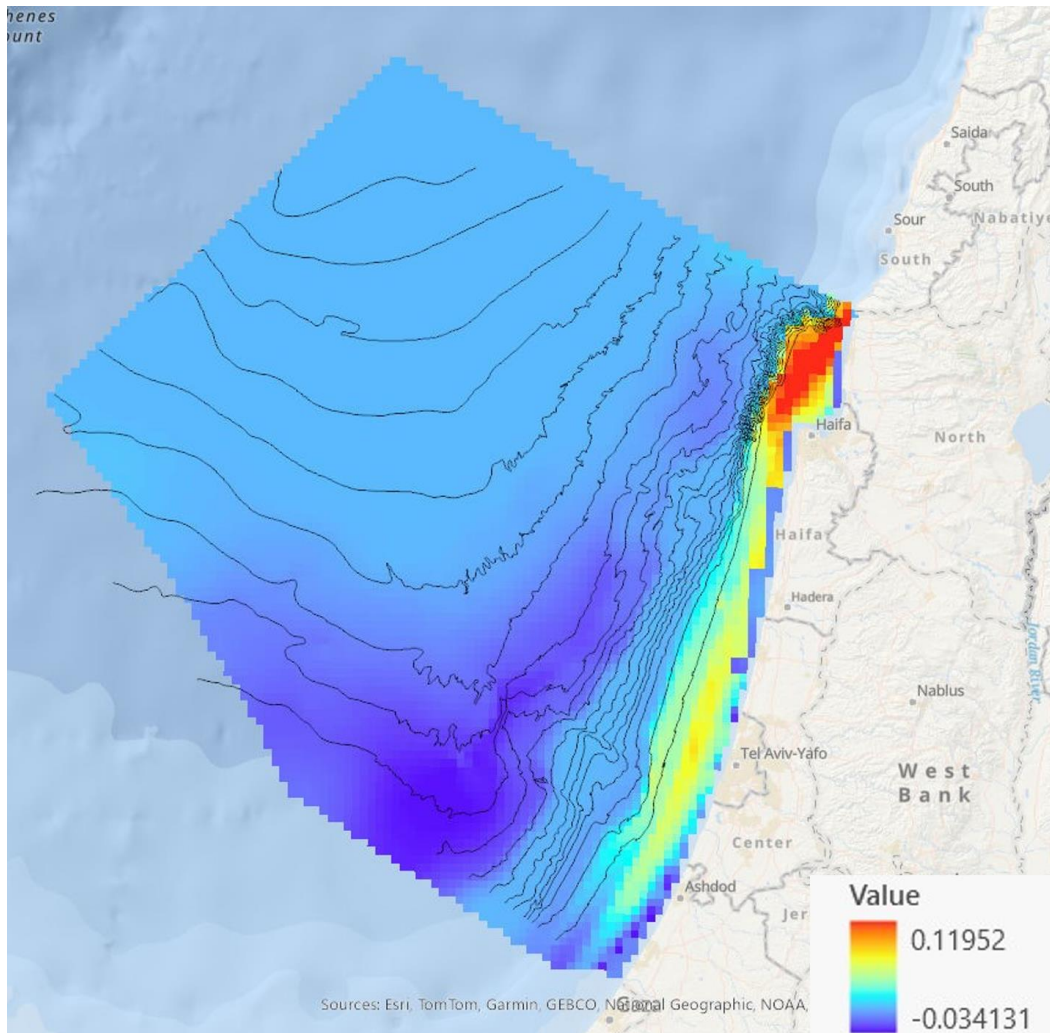
המודל המרחבי פועל בצעדי זמן חודשיים וניתן להפיק מפות של הביומסה, שלל, שלל לוואי ועוד עבור כל חודש בתקופת הרצת המודל, זאת עבור כל אחת מקבוצות המודל. לצורך ניתוח מגמות השינוי הוכנו מפות הממצעות את הביומסה בשנת 2024 וכן בשנת 2014 (ההתחלה של תוכנית הניטור). עם זאת התבוננות במפות אינה מספקת לצורך הבנת השינוי במערכת האקולוגית ולכן הפקנו מפות המחשבות את יחס השינוי בין שנת 2024 לשנת 2014. ההשוואה בוצעה על ידי חישוב של תוצאות שנת 2024 (ממוצע של כל החודשים) פחות התוצאות של שנת 2014 (ממוצע של כל החודשים) לחלק לערך של שנת 2014 ועוד 1. בדרך זו אנו מקבלים את יחס השינוי בין שנת הניטור האחרונה לשנת הבסיס. כמו כן איחדנו מספר קבוצות על מנת ליצור קבוצות אב של מינים: מקומיים, פולשים, דגים מקומיים, דגים פולשים, חסרי חוליות וכו'. איחוד זה מסייע בהבנת המגמות הכוללות במערכת האקולוגית שנובעות משינוי בתנאים סביבתיים.

מהתוצאות עולה כי יש עלייה בביומסה במרחב הצפון מערבי של התחום הכלכלי כאשר המוקד הוא שמורת הטבע באכזיב והולך ופוחת עד חיפה (איור 7.4). מוקד עלייה נוסף הוא בים עמוק באזור שנקרא המישור הבטאלי כאשר מוקד השינוי הוא בחלק הדרומי שלו. לעומת זאת בחלק הדרומי של המים הרדודים (מקו נתניה ודרומה) ניכרת ירידה בביומסה באזור המדף ובמדרון.

המודל מצביע על עליה עלייה בביומסה של המינים הפולשים באזור שבין ראש הניקרה ועד לחיפה בכל שטח מדף היבשת (איור 7.5). יחד עם זה, יש עלייה מוגבלת יותר במרחב באזור הרדוד (עד 100 מטרים) דבר המעיד על המשך התבססות של המינים הפולשים.



איור 7.4 – השינוי המרחבי היחסי (2024 לעומת 2014) בביומסה של כלל המינים המקומיים.



איור 7.5 – השינוי היחסי בבימוסה של המינים הפולשים (2024 לעומת 2014).

### שימוש במדדים מרחביים

ניתן לחבר למודלים מהסוג EwE תוסף אינדיקטורים אקולוגיים (ECOIND) המספק כלים כמותיים לניטור מבנה ותפקוד מערכות אקולוגיות ימיות. שני אינדיקטורים מרכזיים בתוסף זה הם מדד שאנון ומדד ה (MTI (Marine Tropic Index) המשמשים להערכת בריאות המערכת האקולוגית.

מדד שאנון (Shannon Index)

מדד שאנון הוא מדד שמודד את המגוון הביולוגי בקהילה אקולוגית. המדד משקלל גם את מספר המינים (עושר המינים) וגם את האחידות ביניהם – כלומר, עד כמה הפרטים מתחלקים באופן שווה בין המינים השונים. ערך גבוה של מדד שאנון מעיד על קהילה מגוונת, שבה יש הרבה מינים והם מיוצגים פחות או יותר באופן שווה. ערך נמוך מצביע על קהילה שבה מין אחד דומיננטי או שיש מעט מינים.

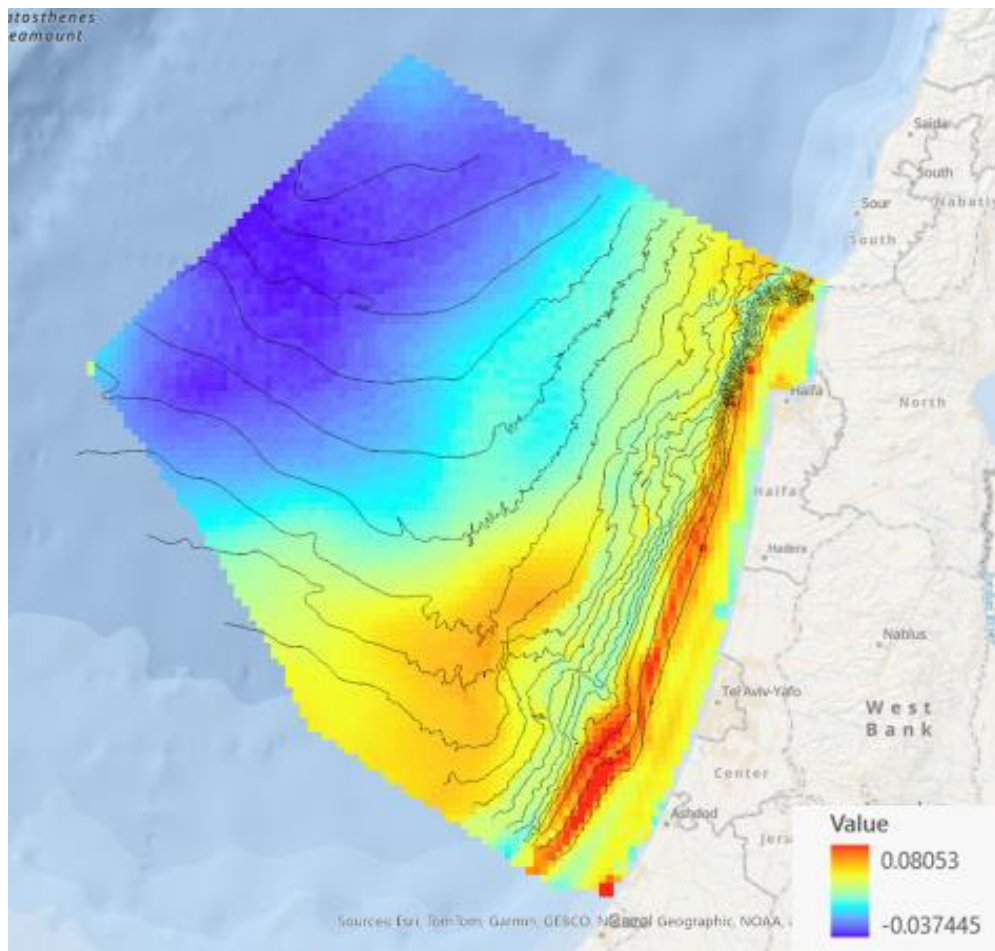
## מדד (MTI) Marine Trophic Index

מדד MTI הוא מדד שמייצג את הרמה הטروفית הממוצעת של שלל הדיג במערכת אקולוגית ימית. הרמה הטروفית מתארת את המיקום של אורגניזם בשרשרת המזון. למשל, אצות נמצאות ברמה הנמוכה ביותר, דגים טורפים גדולים ברמות הגבוהות. מדד MTI מחשב את ממוצע הרמות הטروفיות של כל המינים הנידוגים, כך שערך גבוה של המדד מעיד שדגים בעיקר דגים טורפים (ברמות גבוהות), בעוד שערך נמוך מצביע על דיג של יצורים נמוכים יותר בשרשרת המזון. ירידה במדד לאורך זמן יכולה להצביע על כך שמלאי הדגים הטורפים הידלדלו, ולכן עוברים לדוג מינים נמוכים יותר – תופעה המכונה "דיג מטה בשרשרת המזון".

### משמעות אקולוגית

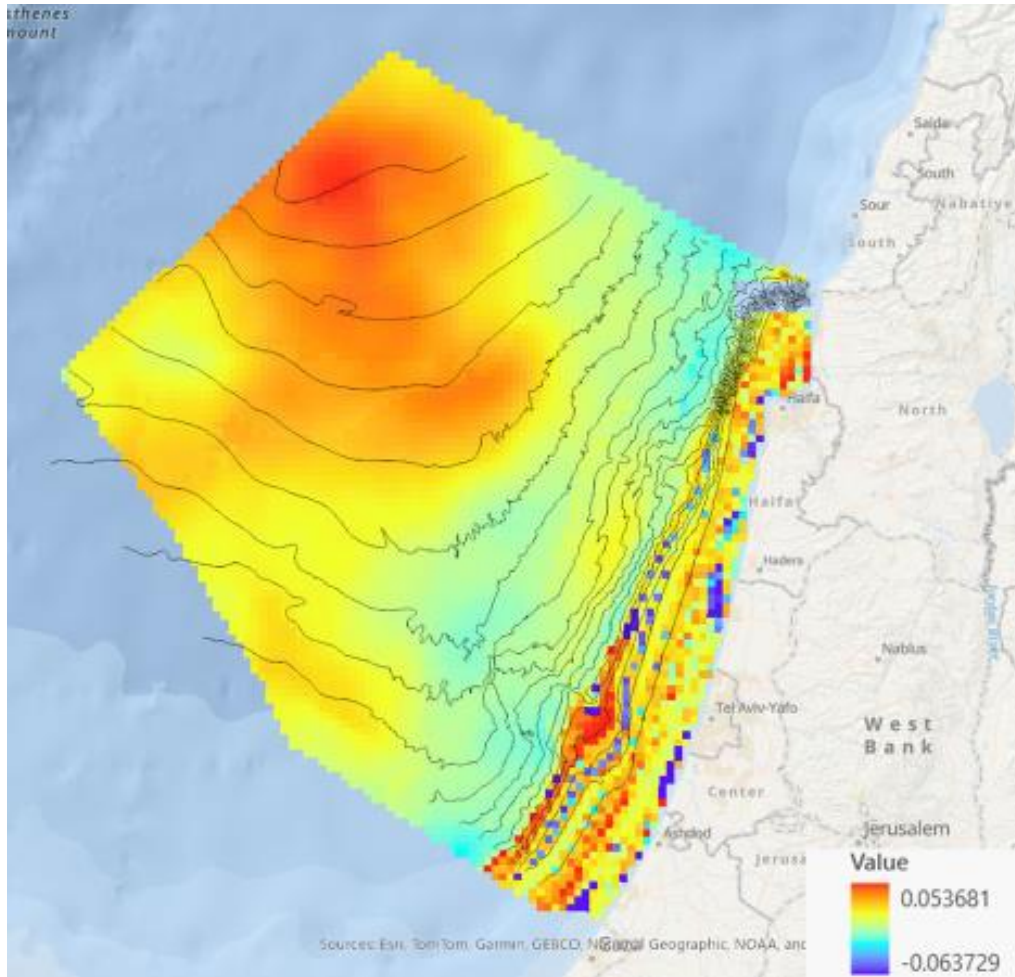
שילוב בין מדד שאנון ל MTI מספק תמונה רחבה וברורה יותר על מצב המערכת האקולוגית. ירידה בערכים של שני המדדים הללו עלול להעיד על פגיעה והידרדרות במצב המערכת האקולוגית- גם המגוון יורד וגם דגים בעיקר מינים נמוכים יותר, תופעה שמסמנת דיג יתר ופגיעה בתפקוד ובריאות המערכת. לכן, השילוב בין המדדים מאפשר לזהות לא רק ירידה בסוגי המינים, אלא גם שינויים במבנה שרשרת המזון.

מיפוי של מגוון המינים עפ"י מדד שאנון (איור 7.6) משקף במיוחד עלייה במגוון המינים מתרחשת בעומקים הרדודים יותר של המדרון וחלקה במישור הבטיאלי. שינוי זה יכול להעיד על מעבר של מינים מקומיים למים עמוקים יותר ככל הנראה בשל שינוי התנאים הסביבתיים.



**איור 7.6 – השינוי היחסי בין שנת 2024 לשנת 2014 במדד שאנון. הצבע האדום מראה עלייה במגוון המינים והכחול ירידה.**

בחינה של פיזור ערכי מדד ה-MTI (**איור 7.7**) מצביע על שונות מרחבית בשינויים עם עליות בערכים צפונית לחיפה באזור הרדוד, בחלק הדרומי בעומק של 100 מטרים ובמדרון, בחלק הצפון-מערבי של המים הכלכליים. את האזור הראשון ניתן לייחס לשינוי בביומסה של המינים הפולשים ולהתבססות שלהם במרחב זה. את האזור השני ניתן לייחס לשינוי שחל בקרב המינים המקומיים ומעבר שלהם למים עמוקים יותר ואת האזור השלישי ניתן לייחס לשינויים במינים הפלאגים.



איור 7.7 – השינוי היחסי (2024 לעומת 2014) במדד MTI. הצבע האדום מראה עלייה ברמה הטרופית של השלל והכחול מראה ירידה.

### סכום

במהלך השנה החולפת המודלים האקולוגיים מסוג EwE של מדף היבשת והמרחב הכלכלי של ישראל עברו שינויים במבנה של הקבוצות הכלולות במודל וכן במאפיינים האקולוגיים כפי שהוגדרו במודלים. בנוסף הפרמטרים עודכנו על בסיס ידע של מומחים בתחום בארץ או על סמך מאגרי מידע בינלאומיים. בעקבות השינויים במבנה המודלים, עדכון הפרמטרים וקליטת הנתונים העדכניים נמשך תהליך הכיול והאימות. פותח מנגנון קליטת נתוני הניטור הלאומי, בדיקתם וקליטתם במודלים. למרות שהתהליך עדיין איננו אוטומטי, עצם פיתוח התהליך יקל ויזרז קליטת נתונים בעתיד. בחינת תוצאות המודל נעשה ע"י מומחים אשר בחנו את התפוצה בזמן ובמרחב של קבוצות רבות במודל. המודל הדינאמי בזמן והמודל המרחבי הורצו עבור התקופה 2014-2024 והציגו שינויים במערכת האקולוגית. למרות שמדובר בשלב זה בתוצאות ראשוניות ולא סופיות נצפו מגמות חיוביות כגון העליה בביומסה והעליה במדד שאנון. יחד עם זה, זוהו מגמות של ירידה במדדים אחרים אשר מעידים על התדרדרות במצב המערכת האקולוגית. תוצאות אלו ייבחנו שוב עם סיום תהליך הכיול. במודל המרחבי ניתן לראות שינויים בפיזור ובתפוצה של המיני השונים המעידים על העמקה של מינים מקומיים והשתלטות הוכלת וגוברת של מינים פולשים באזורים הרדודים.

המודלים מספקים אומדנים של מדדים שונים, שחלקם הוצגו בדוח הנוכחי. מדדים אלו יכולים להוות בסיס לדיווח של אינדיקטורים ודיסקריפטורים שונים במדדים הבינלאומיים ובדירקטיבה של האיחוד האירופאי. בדוח הנוכחי הוצגו תוצאות של מספר מוגבל של מדדים, אבל עם המשך היישום של המודלים במסגרת הניטור הלאומי יורחב השימוש במגוון גדול יותר של מדדים.

Benoist, N. M., B. J. Bett, K. J. Morris, and H. A. Ruhl. 2019. A generalised volumetric method to estimate the biomass of photographically surveyed benthic megafauna. *Progress in Oceanography* **178**: 102188.

Christensen, V. 2013. Ecological Networks in Fisheries: Predicting the Future? *Fisheries* **38**: 76-81.

Corrales, X., M. Coll, E. Ofir, C. Piroddi, M. Goren, D. Edelist, J. J. Heymans, J. Steenbeek, V. Christensen, and G. Gal. 2017a. Hindcasting the dynamics of an Eastern Mediterranean marine ecosystem under the impacts of multiple stressors. *Marine Ecology Progress Series* **580**: 17-36.

Corrales, X., E. Ofir, M. Coll, M. Goren, D. Edelist, J. Heymans, and G. Gal. 2017b. Modeling the role and impact of alien species and fisheries on the Israeli marine continental shelf ecosystem. *Journal of Marine Systems* **170**: 88-102.

Edelist, D., A. Scheinin, O. Sonin, J. Shapiro, P. Salameh, G. Rilov, Y. Benayahu, D. Schulz, and D. Zeller. 2013. Israel: Reconstructed estimates of total fisheries removals in the Mediterranean, 1950-2010. *Izrael: Rekonstruirane procjene ukupnog izlova u Sredozemnom moru, 1950.-2010.* **54**: 253-263.

Gilaad, R.-L., B. S. Galil, A. Diamant, and M. Goren. 2017. The diet of native and invasive fish species along the eastern Mediterranean coast (Osteichthyes). *Zool Middle East* **63**: 325-335.

Heymans, J. J., M. Coll, S. Libralato, and V. Christensen. 2011. *Ecopath Theory, Modeling, and Application to Coastal Ecosystems-9.06*. Elsevier Inc.

Heymans, J. J., M. Coll, J. S. Link, S. Mackinson, J. Steenbeek, C. Walters, and V. Christensen. 2016. Best practice in Ecopath with Ecosim food-web models for ecosystem-based management. *Ecological Modelling* **331**: 173-184.

