



חקר ימים ואגמים לישראל
ISRAEL OCEANOGRAPHIC &
LIMNOLOGICAL RESEARCH

KLL

NIO

דו"חות חיא"ל
IOLR REPORTS

תכנית הניטור הלאומית בים התיכון לשנת 2022
ניטור המגוון הביולוגי

דו"ח חיא"ל H27/2023





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

תכנית הניטור הלאומית בים התיכון לשנת 2022 ניטור המגוון הביולוגי

עריכה וניהול מדעי: איל רהב וברק חרות

דו"ח חיא"ל H27/2023

**איל רהב, ברק חרות, מקסים רובין בלום, תמר גיא חיים, נורית
גורדון, הדס לובינבסקי, סימונה כתב-נעים, ניר שטרן, גיל רילוב, גיא
פז, בוקי רינקביץ**

יוני 2023

שם הדו"ח לצורך ציטוט:

Rahav E., Herut B., Rubin-Blum M., Guy-Haim T., Gordon N., Lubinevsky H.,
Katav-Naim S., Stern N., Rilov G., Paz G. Rinkevich B. (2023)*. The National
Monitoring Program of Israel's Mediterranean waters – Scientific Report on
Biodiversity for 2022; Israel Oceanographic and Limnological Research, IOLR
Report H27/2023.

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

תוכן עניינים:

<u>עמודים</u>	<u>שם הפרק</u>
4	פרק 1 - ניטור ביולוגי ואקולוגי של פיטופלנקטון בעמודת המים
14	פרק 2 - ניטור ביולוגי ואקולוגי של חיידקים בעמודת המים והסדימנט
31	פרק 3 - ניטור ביולוגי ואקולוגי של זואופלנקטון
40	פרק 4 - ניטור ביולוגי ואקולוגי של חי תוך המצע
40	4.1 - ניטור כלל חי תוך המצע
53	4.2 - ניטור פורמניפרה במדף היבשת
57	פרק 5 - ניטור ביולוגי ואקולוגי של החי על המצע הרך
65	פרק 6 - ניטור חברות אקולוגיות בחוף הסלעי ובמצע הקשה
86	פרק 7 - מאגרי מידע גנטיים - בירקוד מקרופאונה

פרק 1 - ניטור ביולוגי ואקולוגי של פיטופלנקטון בעמודת המים

(מרכזים נורית גורדון ngordon@ocean.org.il וד"ר איל רהב eyal.rahav@ocean.org.il)

הפרק מתייחס למדדים הקשורים לשינויי אקלים וליעדים אקולוגיים במסגרת אמנת ברצלונה, כלהלן: EO1 Biodiversity, EO4 Marine food webs, EO6 Sea-floor integrity, EO9 Pollution

מימי 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.
- 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%) ובמידה פחותה יותר ע"י אצות צורניות (diatoms) ודינופלגטים (כאמור למעט אשקלון בדיגום זה בו נמצאה פריחת צורנית). נראה כי ריכוז הציאנובקטריות עולה בשנים האחרונות – מגמה שיש להמשיך לעקוב אחריה.
- מספר המינים ואינדקס מגוון המינים (Diversity Index) במפרץ חיפה בדיגום 2022 נותר סה"כ דומה לשנים קודמות, והיה קטן משמעותית מתחנות לאורך החוף דרומית למפרץ. לא נמצא שינוי משמעותי במספר המינים מול מוצאי הנחלים לאורך החוף ביחס לשנה שעברה (איור 1.1).
- מגוון מיני האצות מול מוצאי נחלים עלה בדיגום 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 2022. 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-2022 (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 לביומסה, הן כלי ניטורי רגיש לשינויים קצרי טווח.

- בדומה לשנים האחרונות, בניטור 2022 נמדדה במים הרדודים במפרץ חיפה ביומסה גבוהה של אצות, בעיקר יותר בפתח נחל הקישון. הביומסה וריכוז הכלורופיל היו גבוהים מהממוצע הרב שנתי, בדומה לדיגום 2021. רוב הביומסה 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, למעט תחנת דדו שם נראתה עליה של דינופלגלטים ממין *Prorocentrum minimum*, *Akashiwo sanguinea*, ו *Dinophysis caudata* (איור 1.3). עליה במינים אלה בחוף דדו שנחשב לנקי עשויה להצביע על העשרה מקומית בנוטריאנטים. יש להמשיך לעקוב אחר תופעה זו. ככלל, יש להמשיך לעקוב אחר דינופלגלטים בעלי 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.
- 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.

ים פתוח

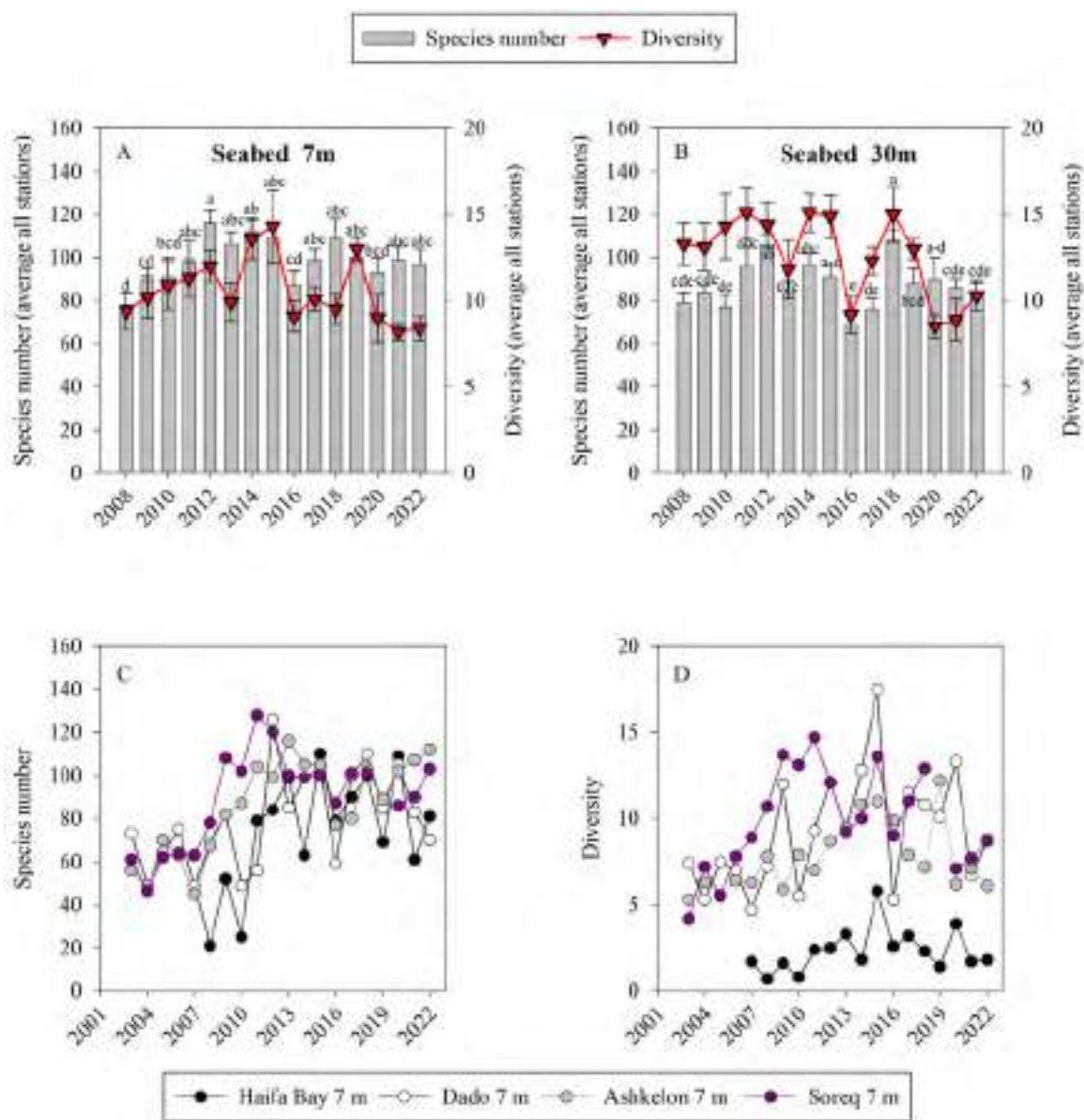
- שכיחות ציאנובקטריות (*Synechococcus*, ו- *Prochlorococcus*) ואצות בעלות גרעין תא מוגדר (pico-eukaryotes) הייתה בטווח הממוצע הרב שנתי בדיגומי הקיץ והחורף של 2022 (איורים 1.4 ו- 1.5). מומלץ לאפיין מיני מיקרואצות שאינן נכללות כמעט באנליזה הקיימת עם ציטומטר זרימה (flow-cytometer), למשל בעזרת אנליזות פיגמנטים.
- 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 CO₂ ללא אור ע"י חיידקים מסויימים למשל), ו/או בתרומה של מיקרואצות לפוטוסינתזה (כאמור מינים אלה לא נדגמים ע"י ציטומטר זרימה).
- 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- $28-32 \text{ gC m}^{-2}$. 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 6:1 ~. היפוך המגמה (היחס) מלמד על שינויים במערכת המיקרוביאלית (הטרטרופית ואוטוטרופית) שיתכן וקשורים בדינמיקה של הנוטריאנטים באגן. יש להמשיך לעקוב אחר ביו-אינדיקטור זה משום שהוא נחשב לרגיש לשינויי סביבה.
 - יישום אנליזות מולקולאריות אפשר זיהוי של קבוצות פיטופלנקטון על בסיס ריצוף גן ה-16S הריבוזומלי (איור 1.7). בסיס הנתונים PR2 (<https://pr2-database.org/>), המשמש לזיהוי גנים ריבוזומליים של אצות עודכן לאחרונה, לכן עודכנו זיהויים טקסונומיים של הפלנקטון האוקריטוי. בדו"ח הקודם (2021), שיטה זו זיהתה את אצה חד תאית *Paulinella* כאאוקריוט 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*.

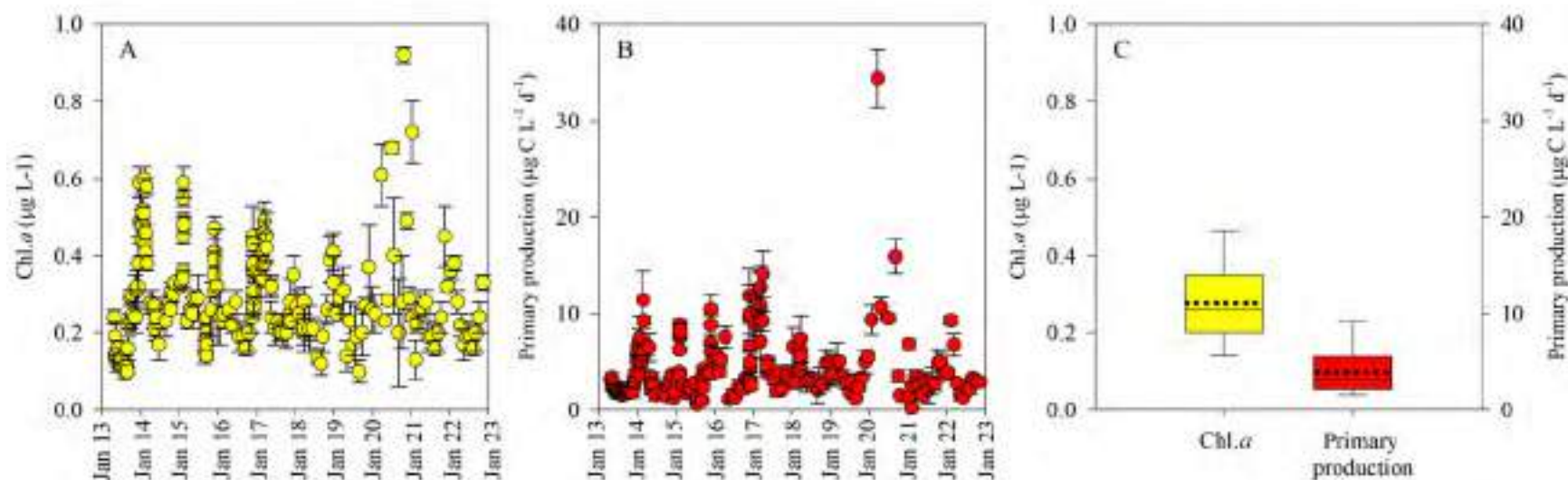
חלק מהמוצג בפרק זה פורסם בספרות המדעית (peer-review) בשנת 2022:

Ozer T., Rahav E., Gertman I., Sisma-Ventura G., Silverman J., Herut B. (2022). Relationship between thermohaline and biochemical patterns in the Levantine upper and intermediate water masses, Southeastern Mediterranean Sea (2013-2021). *Front. Mar. Sci.* 9:958924. doi: 10.3389/fmars.2022.958924.

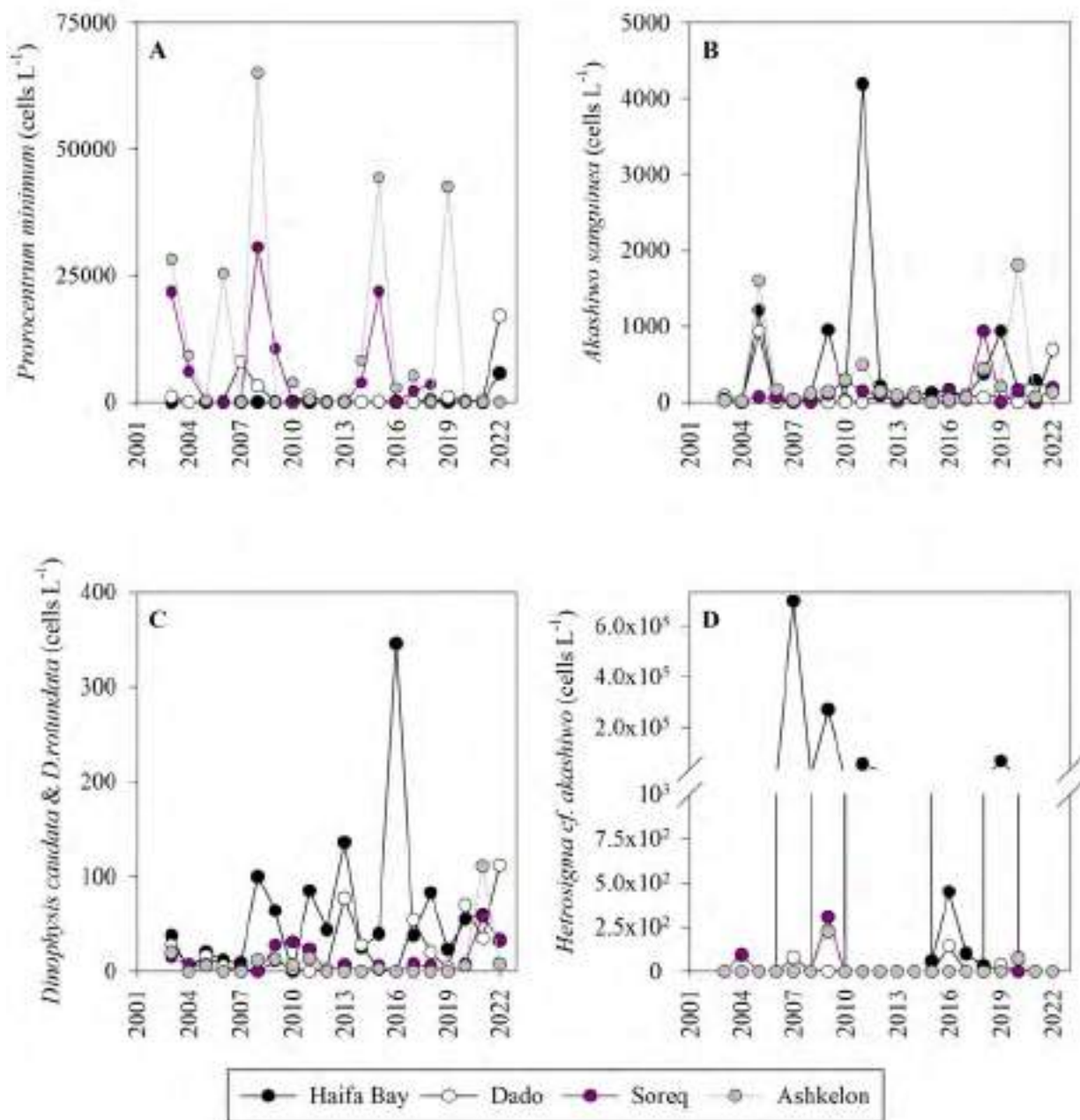
Belkin N, Guy-Haim T, Rubin-Blum M, Lazar A, Sisma-Ventura G, Kiko R, Morov A., Ozer T, Gertman I, Herut B and Rahav E. (2022). Influence of cyclonic and anti-cyclonic eddies on plankton biomass, activity and diversity in the ultra-oligotrophic southeastern Mediterranean Sea. *Ocean Science* 18, 693–715. <https://doi.org/10.5194/os-18-693-202>.



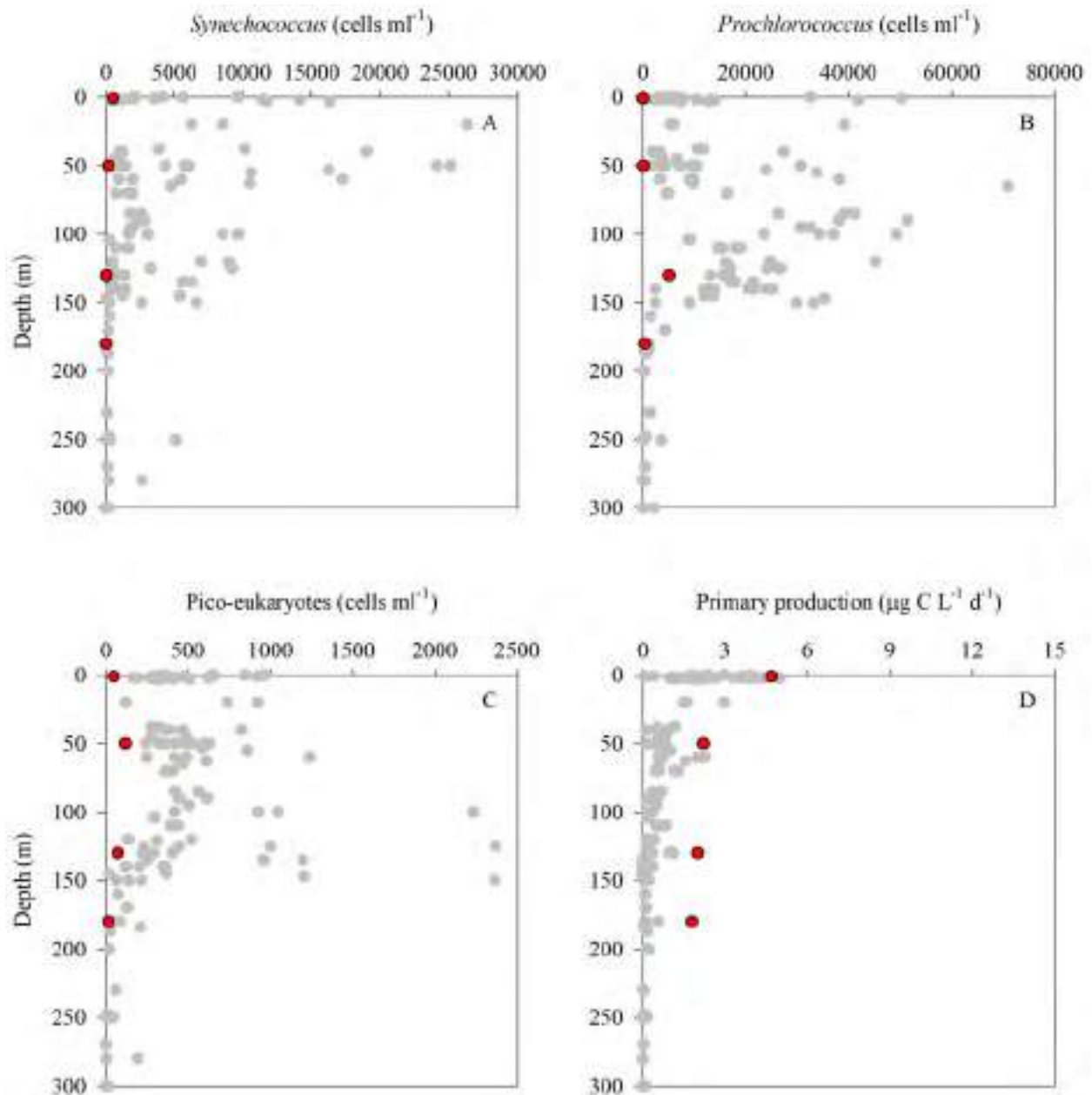
איור 1.1 – פאגלים עליונים: התפלגות ממוצע מספר המיני הפיטופלנקטון ואינדקס השונות שלהם בפני השטח (~0.5 מ') לאורך החוף הים תיכוני בתחנות רדודות (עומק קרקעית 6-7 מ', A) ועמוקות (עומק קרקעית כ-30 מ', B) בין השנים 2008-2022. פאגלים תחתונים: התפלגות ממוצע מספר המיני הפיטופלנקטון (C) ואינדקס השונות שלהם (D) בתחנות ספציפיות בין השנים 2003-2022.



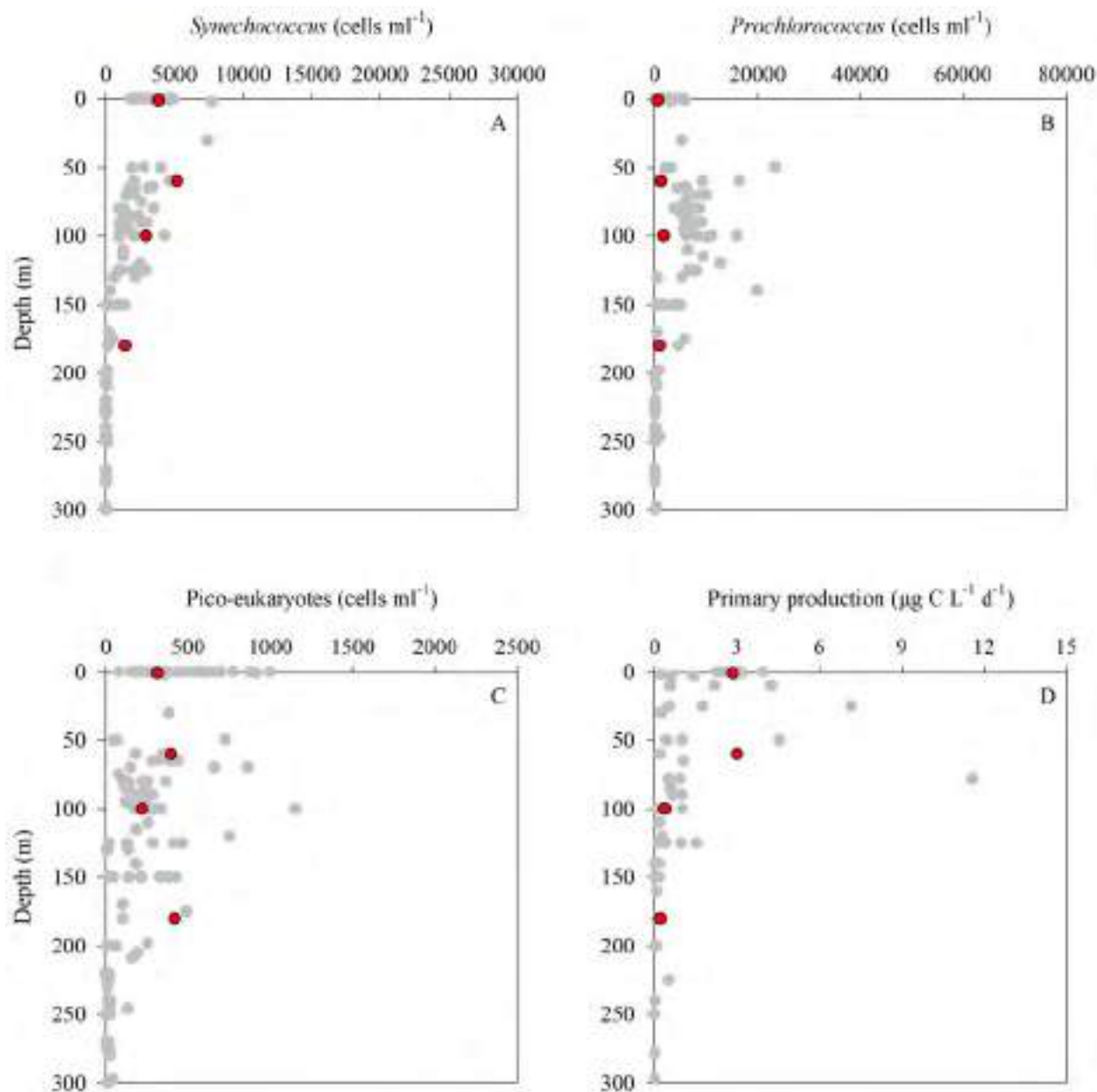
איור 1.2 – ריכוז כלורופיל (A) ויצרנות ראשונית (B) בפני השטח (~0.5 מ') של חוף שקמונה בין השנים 2013 ועד ינואר 2023. הממוצע הרב שנתי של ערכים אלה מוצג כגרף קופסה (C). הקו בקופסה מייצג את ערך החציון כפי שחושב עבור השנים 2013-2022 בעוד שהקו המקווקו מראה את ערך החציון עבור 2022. ביומסת אצות כללית, כלורופיל, נמדדה ע"י מיצוי באצטון וקצבי יצרנות ראשונית (פוטוסינתטיז) נמדדו בעזרת סמן רדיואקטיבי. הדיגום החודשי מאפשר לאמוד את העונתיות של ביומסת האצות ופעילותן במימי חוף שקמונה המוגדרים אוליגוטרופים (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'.



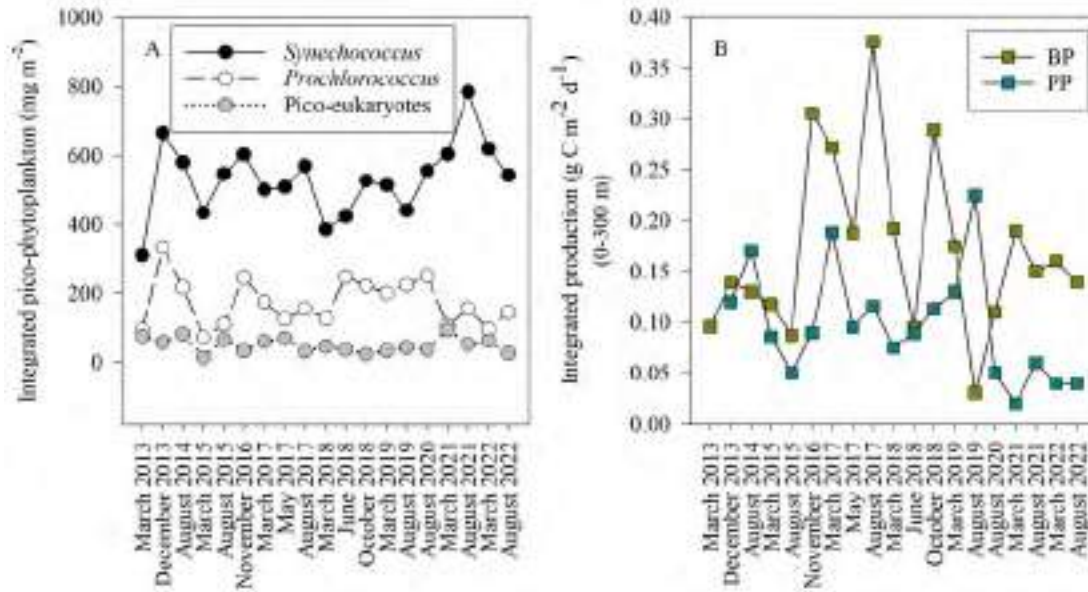
איור 1.3 – שכיחות רב שנתית של מיני דינופלגלטים (תאים בליטר) בעלי פוטנציאל רעיל בתחנות מייצגות לאורך חוף הים התיכון בין השנים 2002-2022. *Prorocentrum minimum* (A), *Akashiwo sanguinea* (B), *Dinophysis spp* (C), ו-*Gymnodinium cf. catenatum*. המדידות בוצעו לאחר גרירת רשת פלנקטון וזיהוי טקסונומי ע"י מיקרוסקופ.



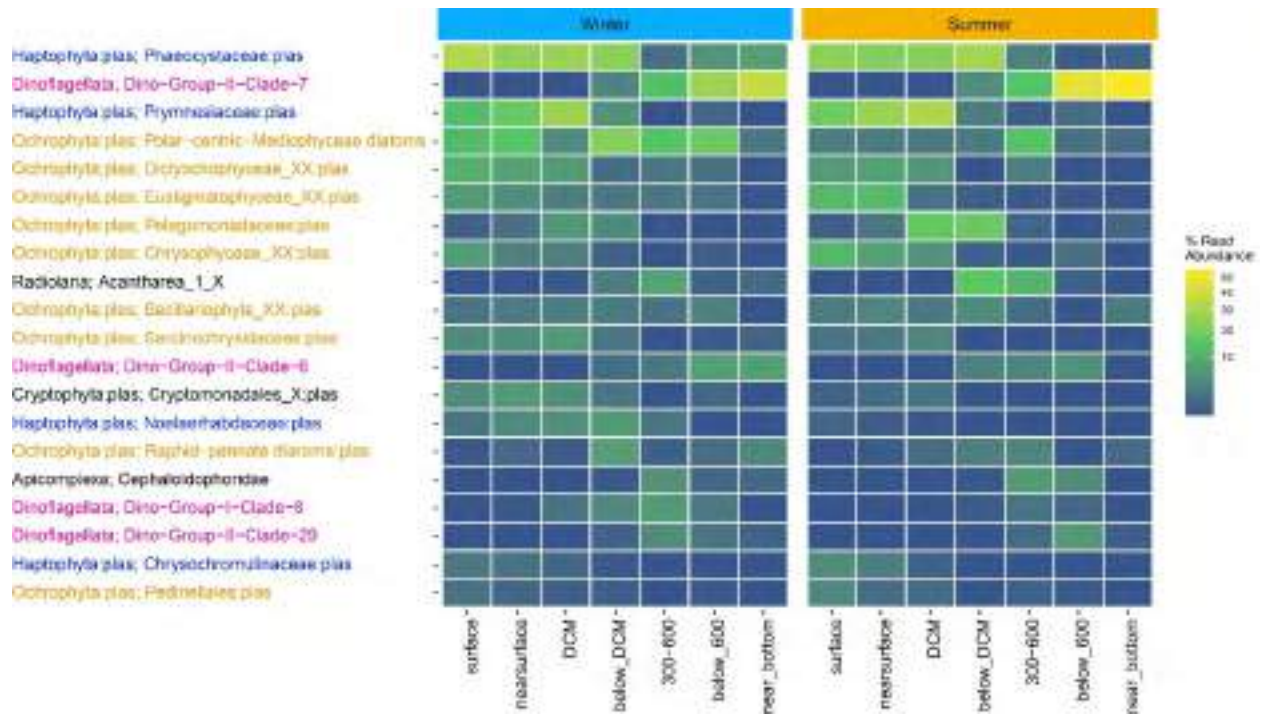
איור 1.4 – הפיזור האנכי של *Synechococcus* (A), *Prochlorococcus* (B), אצות אוקריוטיות (C) ויצרנות ראשונית (D) בים הפתוח ב 300 המטרים העליונים של עמודת המים כפי שנמדד בהפלגת אוגוסט 2022 (אדום), ובדיגומים קודמים בין השנים 2013-2021 (אפור). המדידות נעשו עם ציטומטר זרימה (A-C) ובעזרת סמן רדיואקטיבי (D). ניתן לראות ששפיעות האצות הייתה נמוכה על פי רוב בהשוואה לדיגומים קודמים (25-35%), 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 2022 (אדום), ובדיגומים קודמים בין השנים 2013-2021 (אפור). המדידות נעשו עם ציטומטר זרימה (A-C) ובעזרת סמן רדיואקטיבי (D). ניתן לראות כי בדיגום חורף 2022 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).



איור 1.6 – מגמות רב שנתיות בשכיחות *Synechococcus*, *Prochlorococcus*, 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 ה- *Synechococcus*, אולם היא לפי שעה לא סגניפיקנטית. כמו כן, ערכי היצרנות החיידקית היו נמוכים מהיצרנות הראשונית, זאת בשונה ממדידות בין השנים 2015-2017. הדבר מצביע על תודותיות של המערכת המיקרוביאלית בים הפתוח ועל האינטראקציות העדינות בין יצרנים ראשוניים ושניוניים במים אלה.



איור 1.8 - השכיחות היחסית של 15 מפשחות הפיטופלנקטון האויקריוטי הנפוצים ביותר בעמודת המים על בסיס ריצוף גן ה-16S הריבזומלי מדגימות מים בהפלגות ניטור ב-2018-2022. 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. דינופלגטים המייצרים ציסטות סידן פחמתי לעיתים נמצאו בעומקים הגדולים. ניתן לראות הבדלים בין חורף לקיץ, לדוגמה העשרה של דיאטומיאות (Mediophyceae) ואויקריוטים פוטוסינתטיים מסדרת Cryptomonadales בחורף, וריכוז של Prymnesiaceae בקיץ בסביבת מקסימום כלורופיל. חלק מהמגוון נקבע על בסיס גנים של פלסטידים (plastids, plas.).

פרק 2 - ניטור ביולוגי ואקולוגי של חיידקים בעמודת המים והסדימנט

(מרכזים ד"ר מקסים-רובין-בלום mrubin@ocean.org.il וד"ר איל רהב eyal.rahav@ocean.org.il)

הפרק מתייחס למדדים הקשורים לשינויי אקלים וליעדים אקולוגיים במסגרת אמנת ברצלונה, כלהלן:
EO1 Biodiversity, EO4 Marine food webs, EO6 Sea-floor integrity, EO9 Pollution

מימי חופים וים פתוח

- שכיחות ופעילות חיידקית בחוף-שקמונה (מייצג את החוף הצפוני) הדגימו עונתיות עם ערכים גבוהים בקיץ ונמוכים יותר בחורף (איור 2.1), זאת בניגוד לדיגום האצות וערכי היצרנות הראשונית שהייתה גבוהה יותר בחורף (איור 1.2). בשנים 2018-2022 לא נמצאו חריגות בשפיעות החיידקים או בקצב פעילותם ביחס לממוצע השנים 2013-2022 (איור 2.1), דבר המצביע על יציבות באיכות המים.
- לא נמצאו שינויים משמעותיים בשפיעות או אקטיביות החיידקים בדיגומי 2022 בים העמוק (איור 2.2) ביחס לדיגומים קודמים (2013-2021).
- 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 A2.3). כל המדדים של מגוון (מספר מינים, ACE-abundance-base coverage estimator, ומדדי השונות Shannon's H' ו-Simpson's D) 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 האוכלוסיה מתחת ל-300 מ', איור B2.3).
- מספר קבוצות חיידקים עיקריות אפיינו את אוכלוסיות עמודת המים (איור 2.5), מציג תוצאות 2018-2022. בעומקים הפוטיים (0-150 מ'), קבוצות החיידקים הדומיננטיות כללו יצרנים ראשוניים כגון ציאנובקטריה *Prochlorococcus* ו-*Synechococcus*, חיידקים בעלי פוטנציאל פוטו-טרורופי, כגון SAR11 clade Ia and Ib (Alphaproteobacteria) ו-SAR86 (Actinomarinales, Gammaproteobacteria), וגם חיידקים נוספים, כגון סדרות ה-Thalassobaculales, Rhodospirillales, Flavobacteriales, העמוקים היו SAR202 (Dehalococcoida), SAR11 clade II (Alphaproteobacteria), SAR406 clade (Marinimicrobia) וארכיאות, כולל מחמצני אמוניה אוטורופיים Nitrosopumilales וארכיאה טרוטרופית Marine group II ו-Thermoplasmata III). צורת הפרסה באנליזת PCoA מצביעה על שינוי המגוון החיידקי בגרדיאנטים סביבתיים (איור 2.6).

השונות העונתית הייתה משמעותית יותר משונות שנתית, אך יש לבחון את הדינמיקה השנתית לאורך זמן רב יותר בשביל לקבל תמונה ברורה. תוצאות חלקיות התקבלו בדיגום קיץ 2021, בשל אילוצים טכניים.

- 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.
- נאספו נתונים חודשיים בתחנה חופית חדרה (ראה/י פרק 3). ניתן לזהות מגמות בשכיחות קבוצות טקסונומיות מסוימות (איור 2.7), אך יש להמשיך במעקב רב שנתי בשביל לקבל הדירות סטטיסטית. בדיגום של סוף שנת 2021, נצפתה העשרה של חיידק ימי קטן *Actinomarina* (יהיה במעקב, יתכן ויש הטיה טכנית בהפקת דנ"א).

סדימנט

- ניטור המגוון הביולוגי בסדימנט התבצע בשנים 2018-2022. אנליזה מעמיקה של התוצאות מראה שהפרמטרים 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. בנוסף לאנליזות של כימות, פעילות ומגוון החיידקי שנמדדו בשנים 2018-2022, ב-15 תחנות חופיות, בניטור 2022 הגדרנו אוכלוסיות של פטריות על בסיס רצף ה-ITS internal transcribed spacer (איור 2.8), שישמש כייחוס. אנו ממליצים שנושא זה, שטרם כוסה ע"י תוכנית הניטור, ייכנס כפיילוט, שכן לאורגניזמים חשיבות אקולוגית וסביבתית רבה.
- בשנים 2018-2022 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 2022 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.
- אוכלוסיות הארכיאה והבקטריה היו מגוונות ($H' = 5.4 \pm 0.4$, Shannon's, איור 2.10). בקטריה ($H' = 5.3 \pm 0.4$, Shannon's) היו יותר מגוונים מארכיאה ($H' = 3.2 \pm 0.8$, Shannon's). בתחנות המים העמוקים, נצפה מגוון נמוך יותר (Kruskal-Wallis / post hoc Dunn's test, $p < 0.001$).

בעיקר בשכבות העמוקות (19-20 ס"מ). אוכלוסיות הפטריות היו פחות מגוונות (Shannon's $H' = 0.2-4.8$, איור 2.11).

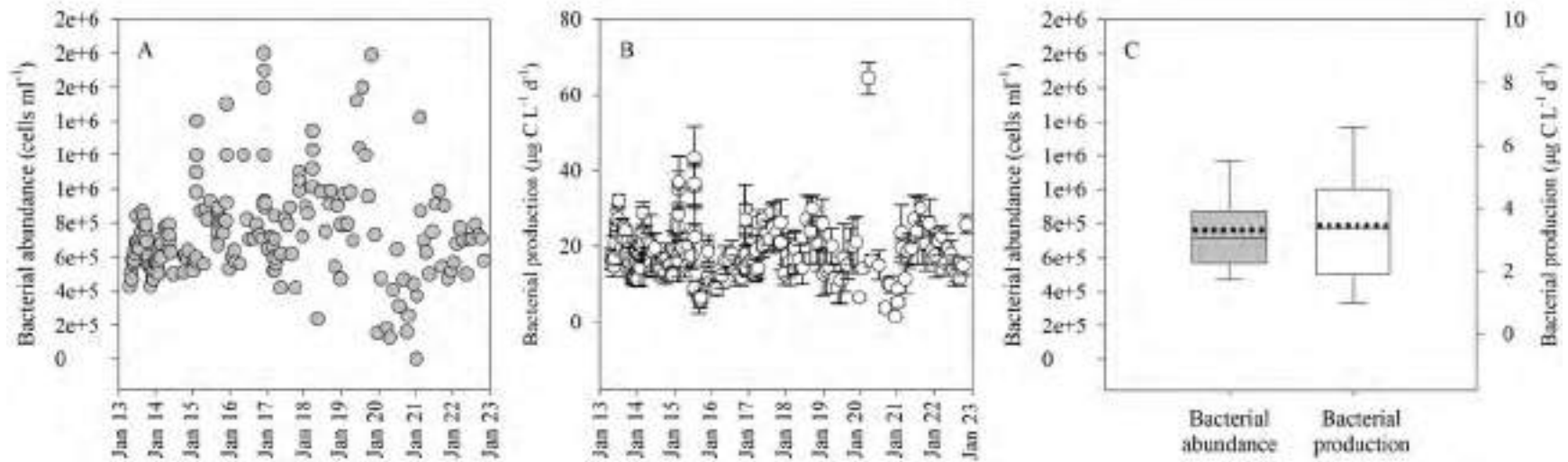
- בדומה לאוכלוסיות של מי הים, גם אוכלוסיות הסדימנט משתנות לפי גרדיאנטים סביבתיים. לא נמצאה קבוצת חיידקים שמופיעה בכל תחנות הדיגום, אך *Nitrosopumilales*, *Kiloniellales* ו-*Woeseiales*, *Steroidobacterales* ו-*NB1-j* היו שכיחות (הופיעו במעל 80% מהדגימות, איור 2.12). הפטריות השכיחות היו בעיקר שייכות ל-*Ascomycota*, וזוהו כפטריות מפרקות רקב-ספרוטרופיות (איור 2.13). זוהו קבוצות אינדיקטיביות לתחנות חופיות, מדף ומדרון היבשת, כמו כן לקרקעית הים עמוק (איורים 2.12 ו-2.13). נתוני ריצוף של גן ה-16S הריבזומלי וה-ITS זמינים לציבור הרחב במאגר ה-NCBI, בפרויקט PRJNA694858.
- נמצאו הבדלים משמעותיים בין מגוון החיידקים בתחנת המדרון התלול מול חיפה (HS800), בה זוהו אוכלוסיות דומות יותר לאלו של המדף) ותחנת TA800 (מול תל אביב), בה אוכלוסיות החיידקים היו דומות יותר לאלו של הים העמוק. תוצאות אלו מצביעות על רגישות האוכלוסיות המיקרוביאליות לתנאים סביבתיים, במקרה זה ככל הנראה הסעה אופקית מואצת של חומר אורגני חלקיקי במיוחד בחלקו הצפוני של המדף.
- בסדימנטים של המדף והחוף, בהן חמצן מוגבל בשל עומס החומר האורגני, נמצאו אוכלוסיות של חיידקים אנארוביים כגון *Bathymicrobium* ו-*Desulfuromanodota* אשר יכולות לשמש כסמנים לאוטרוטופיקציה 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 – אפיון נוסף של פטריות ואויקריטים חד-תאיים אחרים יתבצע ב-2023.
- נמצאו חיידקים בסדימנט הידועים כמפרקי נפט ונגזרותיו כדוגמת *Alcanivorax* ו-*Cycloclasticus* ברוב תחנות הדיגום. אנו בוחנים האם מיקרואורגניזמים אלה יכולו לשמש בעתיד כלי להתמודדות עם זיהום נפט/שומנים אחרים/נגזרות נפט או סמן לזיהום מהיר (בשונה מבע"ח, חיידקים גדלים ומתחלקים מהר יחסית ומכאן שתגובתם לזיהום היא בדר"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.

חלק מהמוצג בפרק זה פורסם בספרות המדעית (peer-review) בשנת 2022:

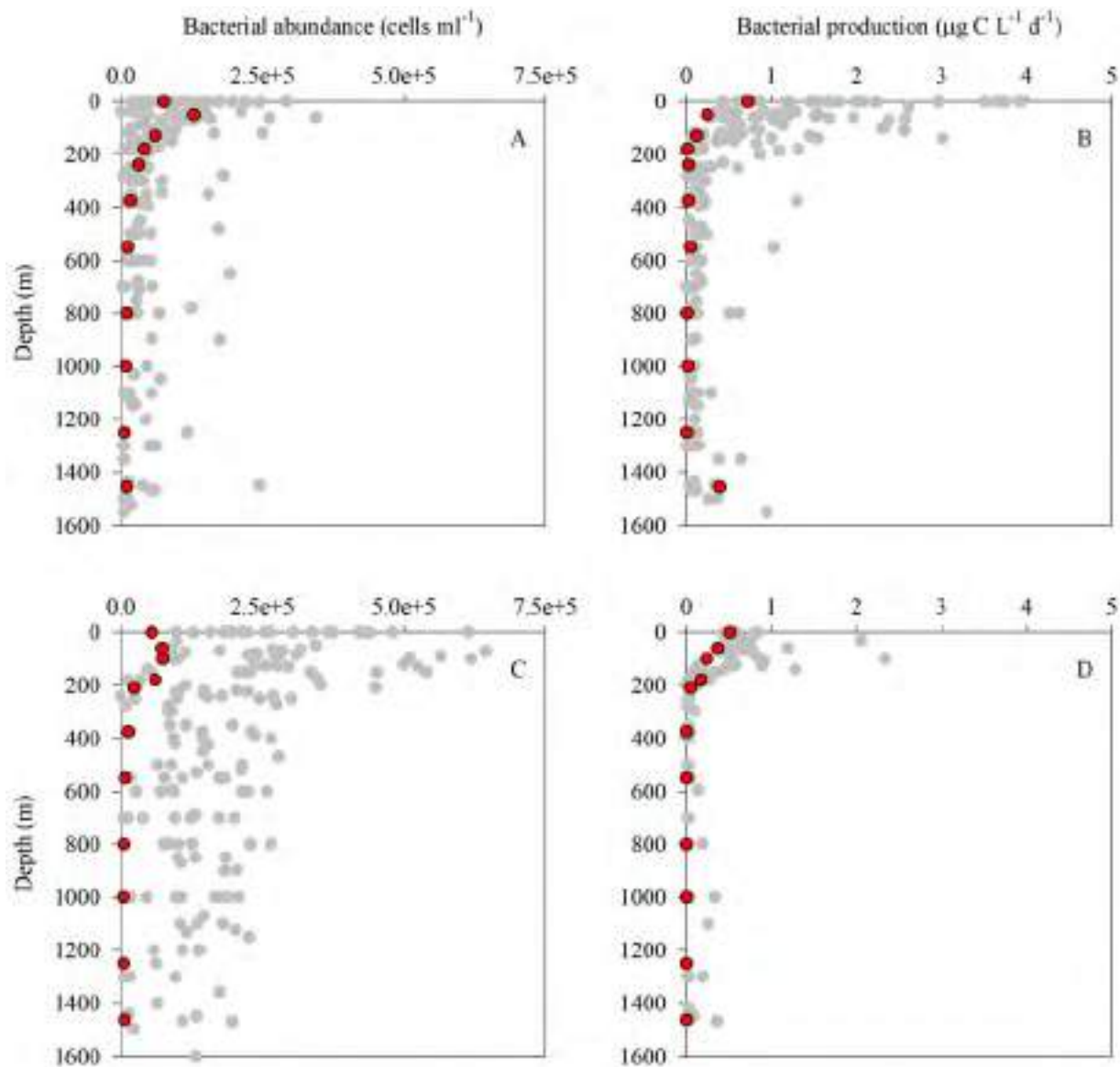
Rubin-Blum M, Sisma-Ventura G, Yudkovski Y, Belkin N, Kanari M, Herut B, Rahav E (2022). Diversity, activity and abundance of benthic microbes in the southeastern Mediterranean Sea. *FEMS Microbial Ecology*, 98, fiac009.

Sisma-Ventura, G, Bialik, OM, Makovsky, Y, Rahav, E, Ozer, T, Kanari, M, Marmen, S, Belkin, N, Guy-Haim, T, Antler, G, Herut, B, Rubin-Blum, M (2022). Cold seeps alter the near-bottom biogeochemistry in the ultraoligotrophic Southeastern Mediterranean Sea. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 183, 103744.

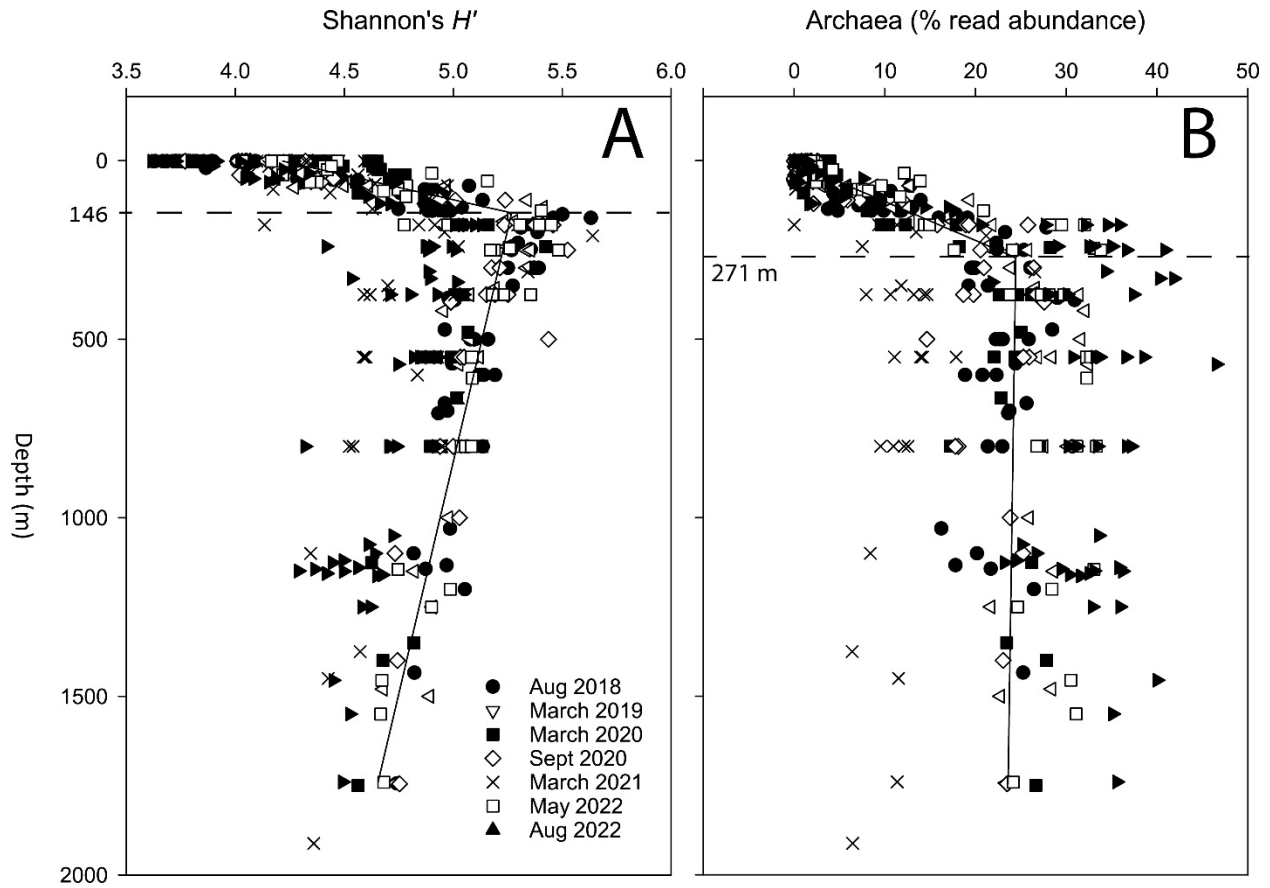
Herut B, Rubin-Blum M, Sisma-Ventura G, Jacobson Y, Bialik OM, Ozer T, et al. Discovery and chemical composition of the eastmost deep-sea anoxic brine pools in the Eastern Mediterranean Sea. *Front Mar Sci* 2022; 9: 1040681.



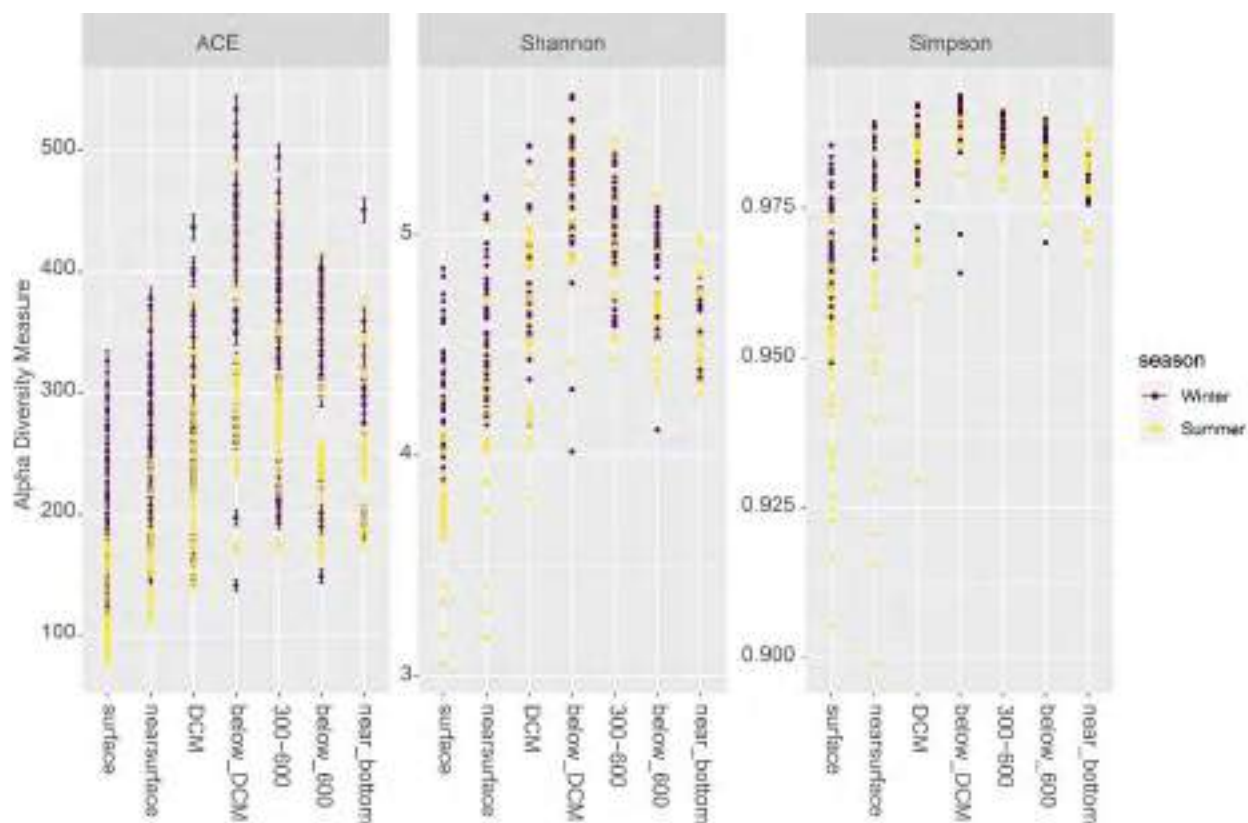
איור 2.1 – שכיחות חיידקים (A) ויצרנות חיידקית (B) בפני השטח (~1 מ') של חוף שקמונה בין השנים 2013 ל 2022. הממוצע הרב שנתי של ערכים אלה מוצג כגרף קופסה (C). הקו בקופסה מייצג את ערך החציון כפי שחושב עבור השנים 2013-2022 בעוד שהקו המקווקו מראה את ערך החציון עבור 2022. שפיעות החיידקים נמדדה בעזרת ציטומטר 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 2022 לא נמצאו חריגות ביחס לממוצע הרב שנתי.



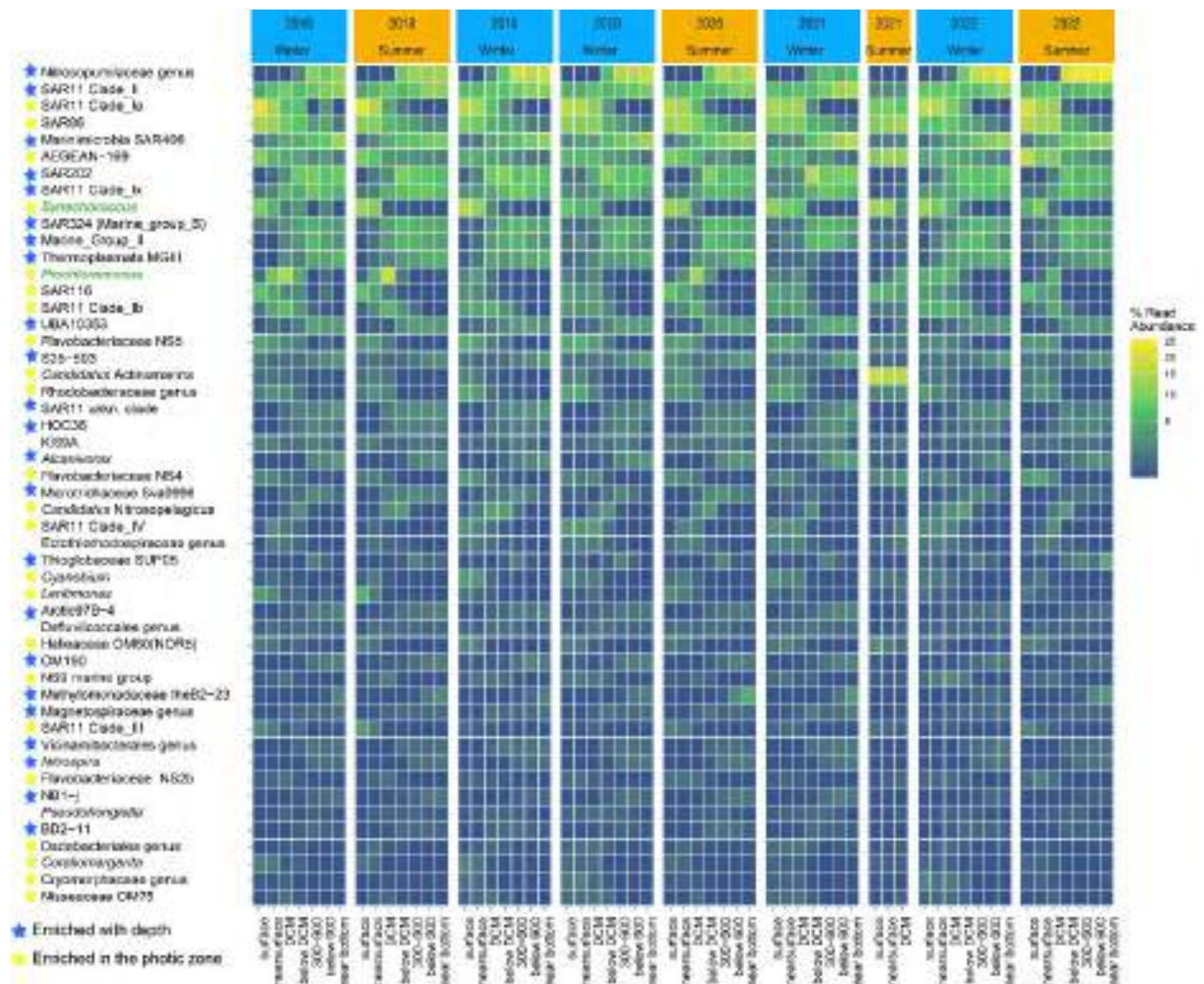
איור 2.2 – הפיזור האנכי של אורגניזמים פרוקריוטים (ללא גרעין תא מוגדר, חיידקים וארכאות) (A,C), ויצרנות חיידקית (B,D) בעמודת המים כפי שנמדד בהפלגות קיץ (A,B) וחורף (C,D) בין השנים 2013-2021 (אפור) ובשנת 2022 (אדום). המדידות נעשו עם ציטומטר זרימה (A,C) ובעזרת סמן רדיואקטיבי (B,D). ניתן לראות כי לא נמצאו שינויים משמעותיים בשפיעות החיידקים ביחס לדיגומים קודמים, אך קיימת שונות בין השנים.



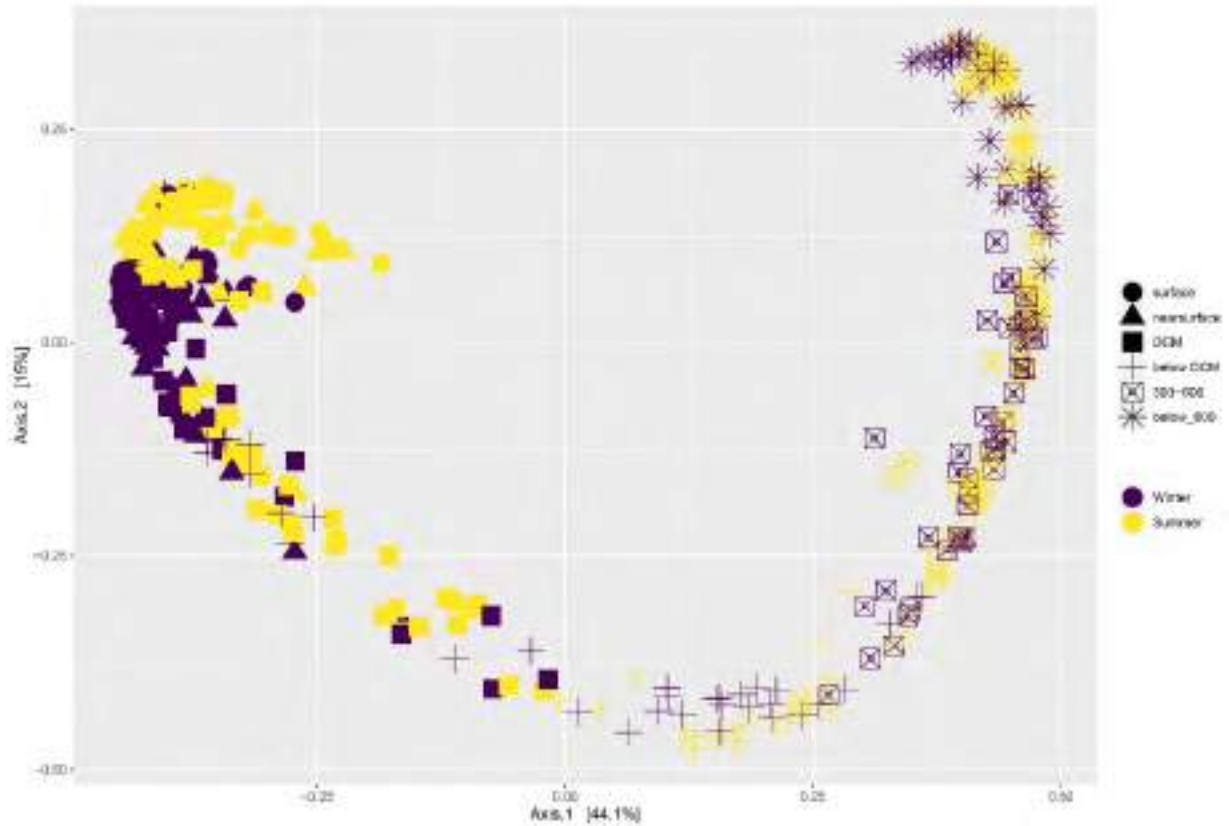
איור 2.3 - אפיון של אוכלוסיות החיידקים בפרופילי העומק מהפלגות ניטור 2018-2022. (A) מגוון השכיחות החיידקים (alpha diversity, piecewise, 2 segment linear regression $R^2=0.8$), (B) השכיחות היחסית של ארכיאה (piecewise, 2 segment linear regression $R^2=0.9$). האיוורים מראים שבעומק מתחת למקסימום הכלורופיל העמוק (כ-150 מטרים), המגוון המיקרוביאלי יורד. ניתן גם לראות ששכיחות הארכיאה מגיעה למקסימום ומתייצבת בעומק של כ-270 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 2018-2022. ניתן לראות התפלגות של מגוון מינים, כאשר המקסימום נמצא בעומקים מתחת למקסימום הכלורופיל (180-240 מ').

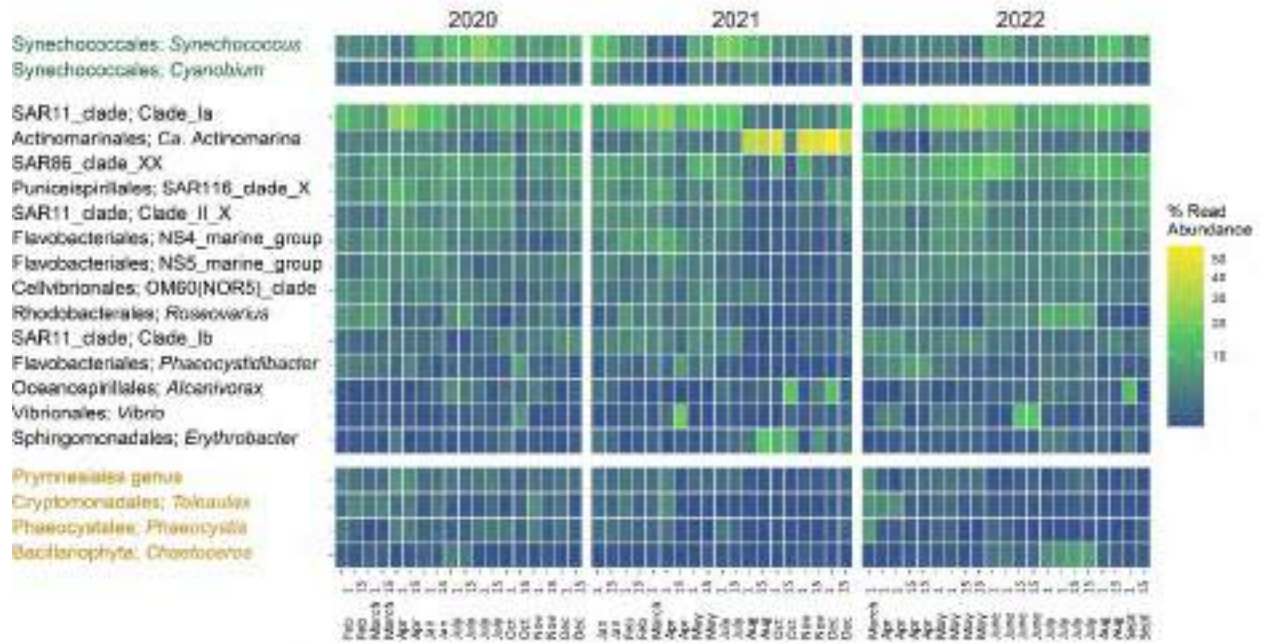


איור 2.5 - השכיחות היחסית של 15 החיידקים הנפוצים ביותר בעמודת המים ברמת הזן (Genus) על בסיס ריצוף גן ה-16S הריבזומלי מדגימות מים בהפלגות ניטור בשנים 2018-2022.



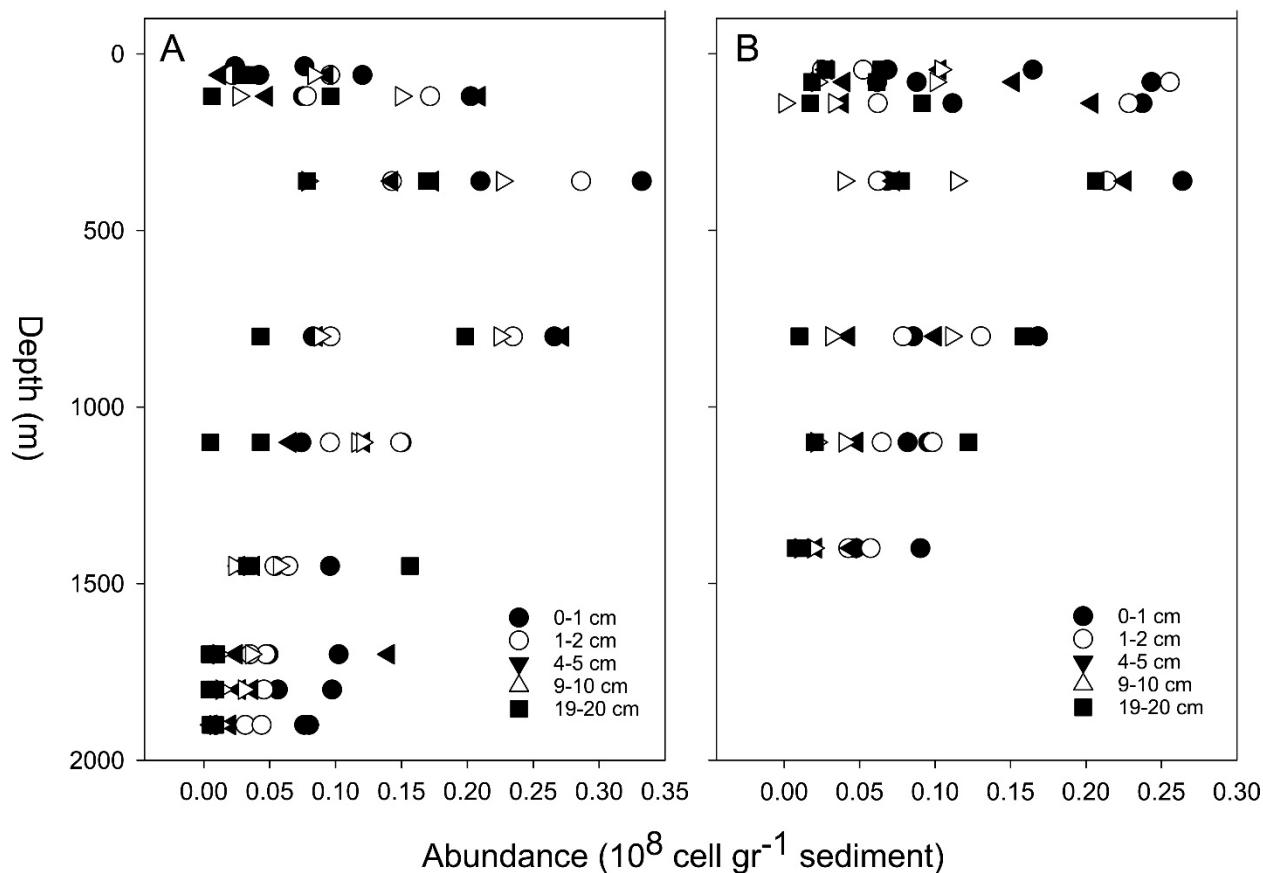
איור 2.6 - אנליזת רבת משתנים (PCoA) של אוכלוסיות החיידקים בעמודת המים בפרופילי עומק מהפלגות ניטור בשנים 2018-2022. צורת הפרסה של פיזור נקודות הדיגום בגרף מצביעה על שינויים הדרגתיים לאורך גרדיאנטים סביבתיים (זמינות אור, נוטריינטים ועוד). ניתן לראות שינויים עונתיים, בעומקים הפוטיים, העיקר שינוי משמעותי בין אוכלוסיות בפני השטח.

The relative abundance of most common bacterioplankton lineages at Hadera monitoring station



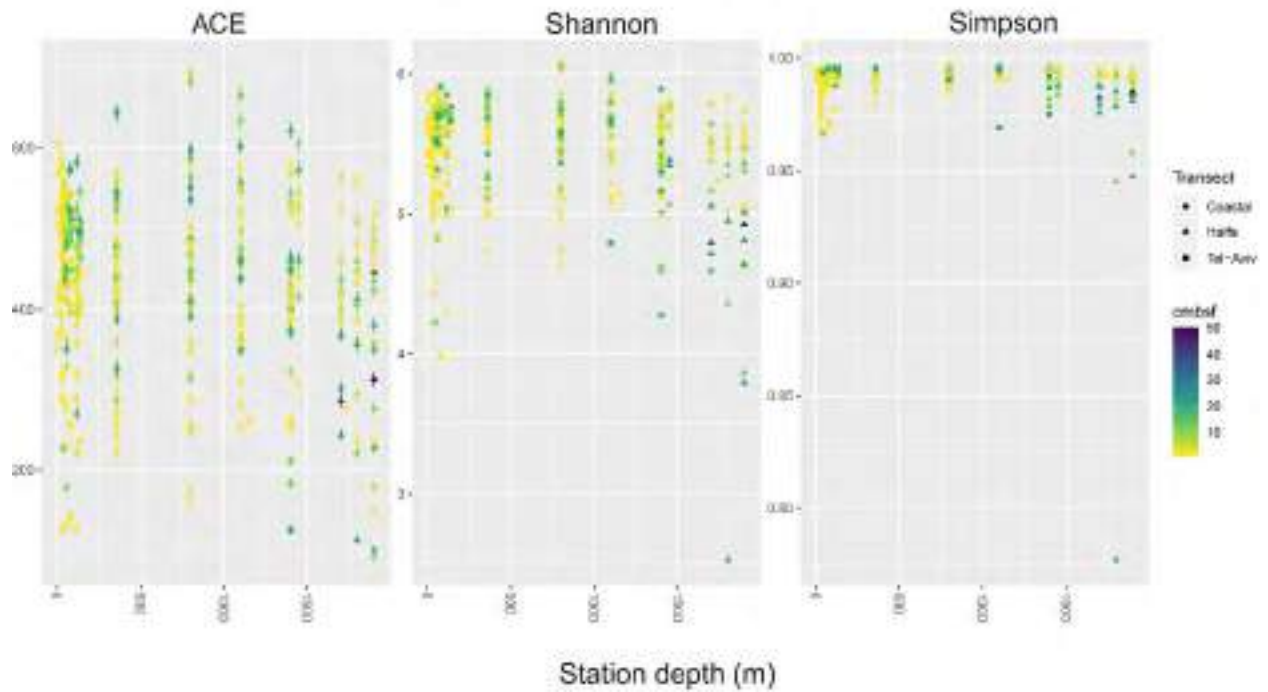
איור 2.7 – שינויים במגוון אוכלוסיות הבקטריופלנקטון, כולל יצרנים ראשוניים כחוליות (Cyanobacteria), ירוק) ואצות אויקריוטיות (חום), בתחנת הדיגום החופית בחדרה לאורך חודשי 2020–2022. בחודשים אוגוסט-דצמבר 2021 נצפה ריכוז גבוה של חיידקים קטנים מאוד מהסוג אקטינובקטריה. העשרה זו גם נצפתה בדוגמאות מים פתוח (איור 2.5), יבדק בהמשך אם התופעה חוזרת או שזה שינוי חד פעמי, אולי מסיבות טכניות).

Prokaryote abundance in sediment profiles in Haifa (A) and Tel Aviv (B) sections



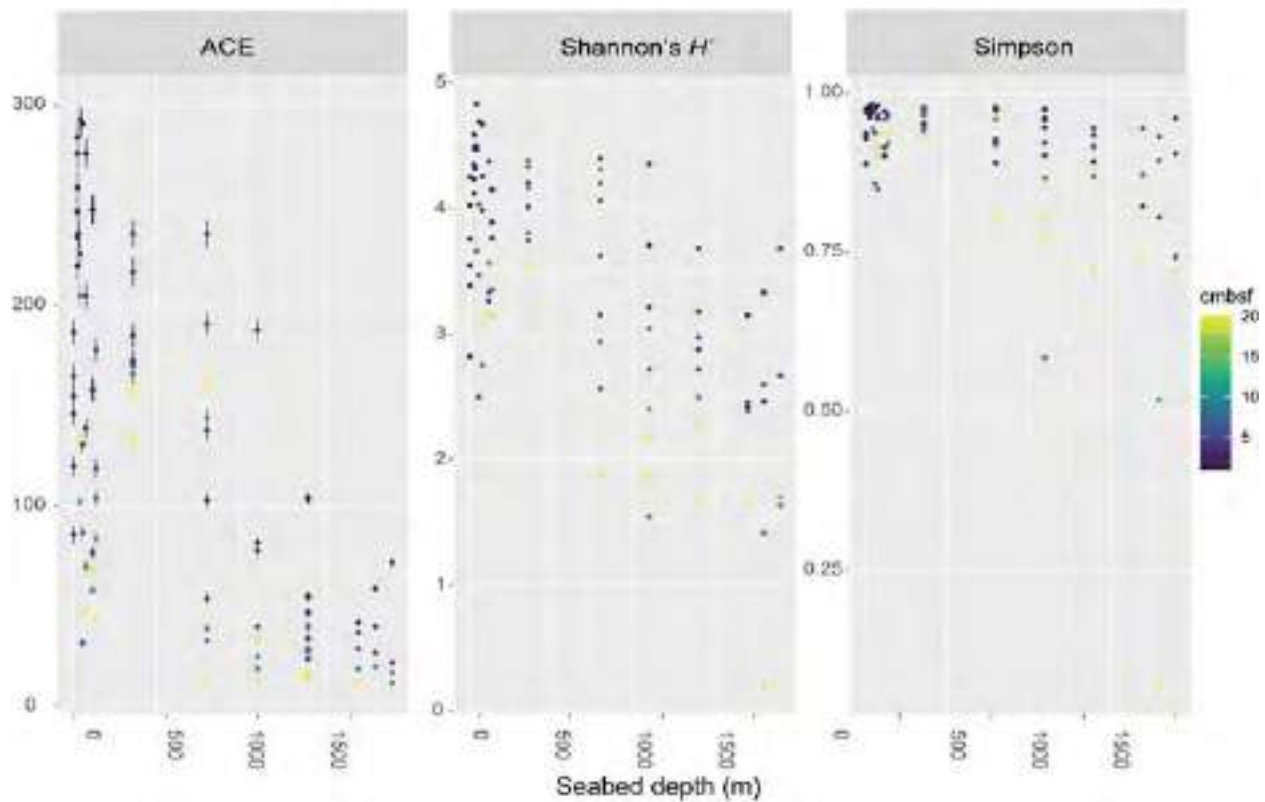
איור 2.8 – ספירות חיידקים בסדימנטים בשנים 2021-2022 (חתך חיפה-A, חתך תל-אביב-B). בשני הדיגומים נמצא כי המדידות מעל מדרון היבשת (800-300 מ') היו על פי רוב גבוהות ביחס לים הפתוח, דבר המצביע על אזור פעיל מבחינה מיקרוביאלית, כלומר יש שם מקורות מזון שתומכים בביומסה הגדולה וביצרנות. ריכוזי חיידקים הגבוהים ביותר נמצאו בתחנה HS360, על מדרון מול ראש כרמל, בו הסעה הינה משמעותית.

Alpha diversity indices - benthic prokaryotes



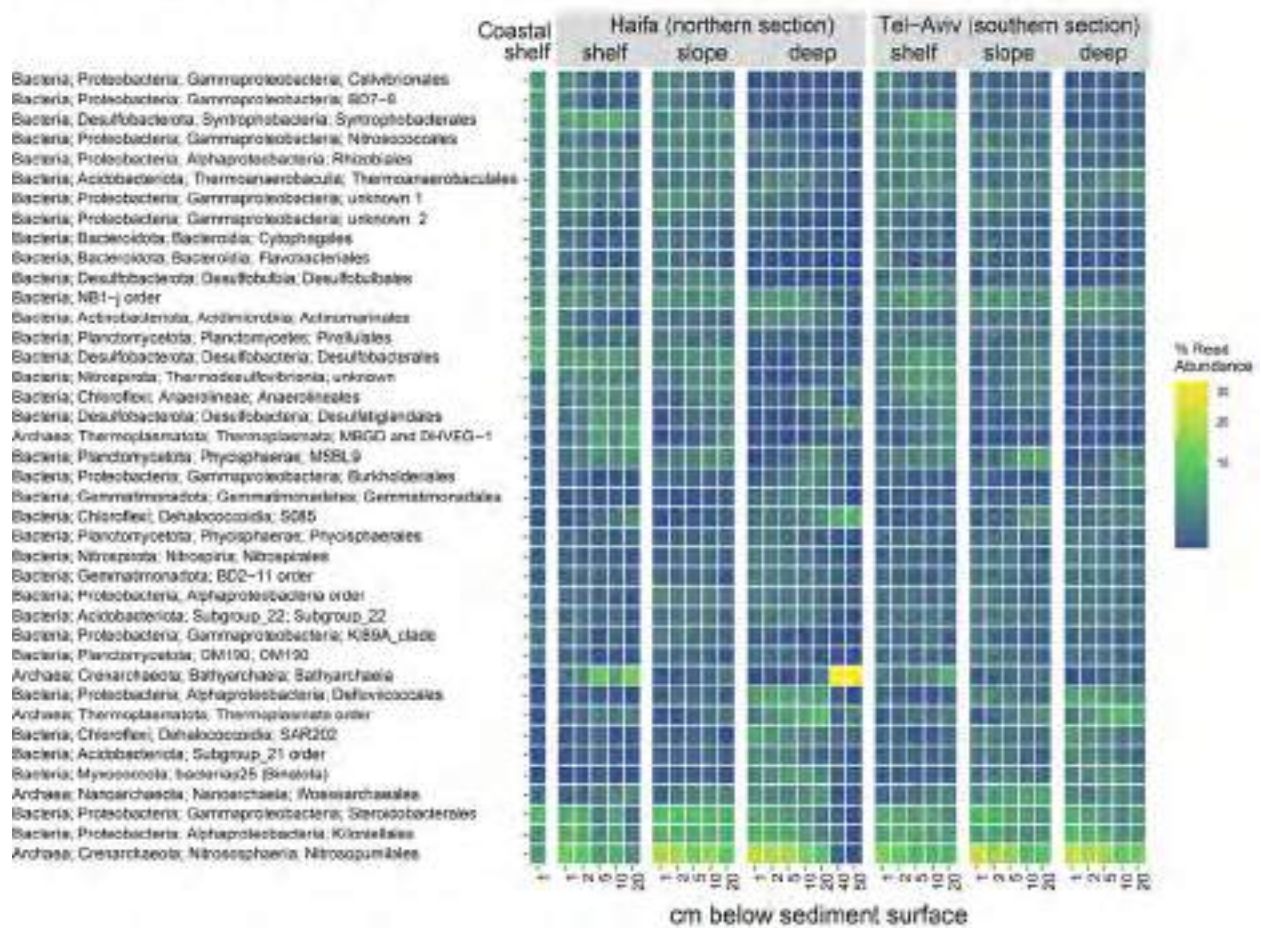
איור 2.9 – פרמטרים של מגוון מינים (alpha diversity) באוכלוסיות של חיידקים בסדימנט, על בסיס דיגומים בתחנות שונות בשנת 2022. בעומקי סדימנט גדולים מ-10 ס"מ מגוון החיידקים נמוך יותר, במיוחד בתחנות הים הפתוח.

Alpha diversity indices - benthic fungi



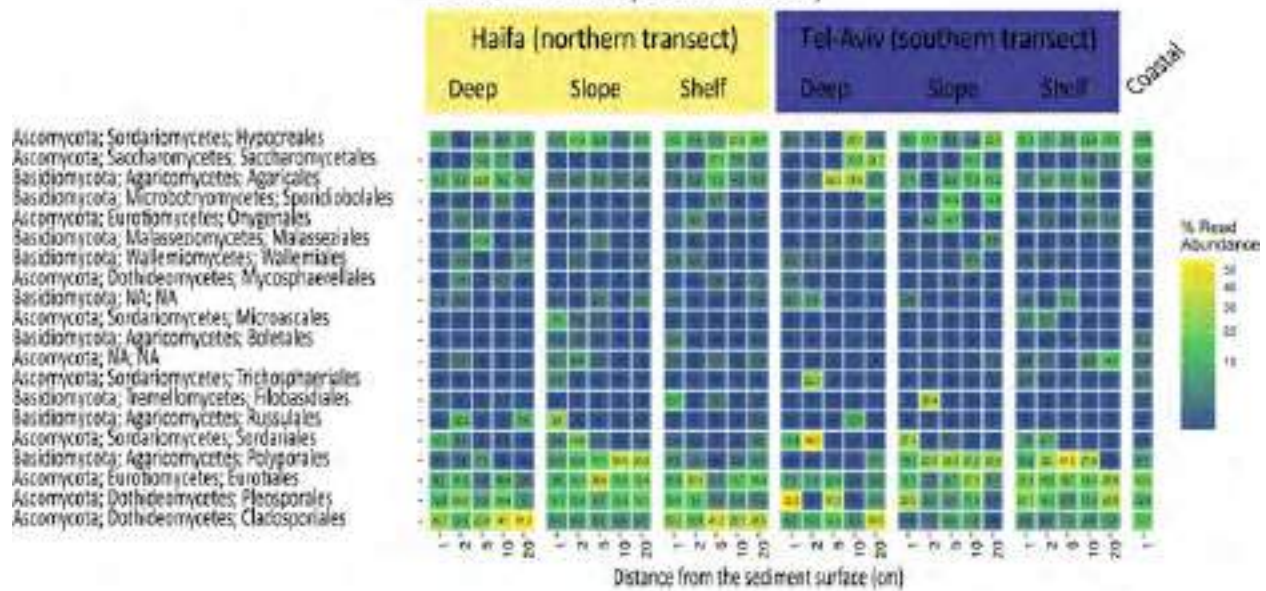
איור 2.10 – פרמטרים של מגוון מינים (alpha diversity) באוכלוסיות של פטריות בסדימנט, על בסיס דיגומים בתחנות שונות בשנת 2021. בדומה לחיידקים, בעומקים גדולים יותר, מגוון הפטריות נמוך יותר. מגוון הפטריות נמוך בהרבה ממגוון החיידקים.

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

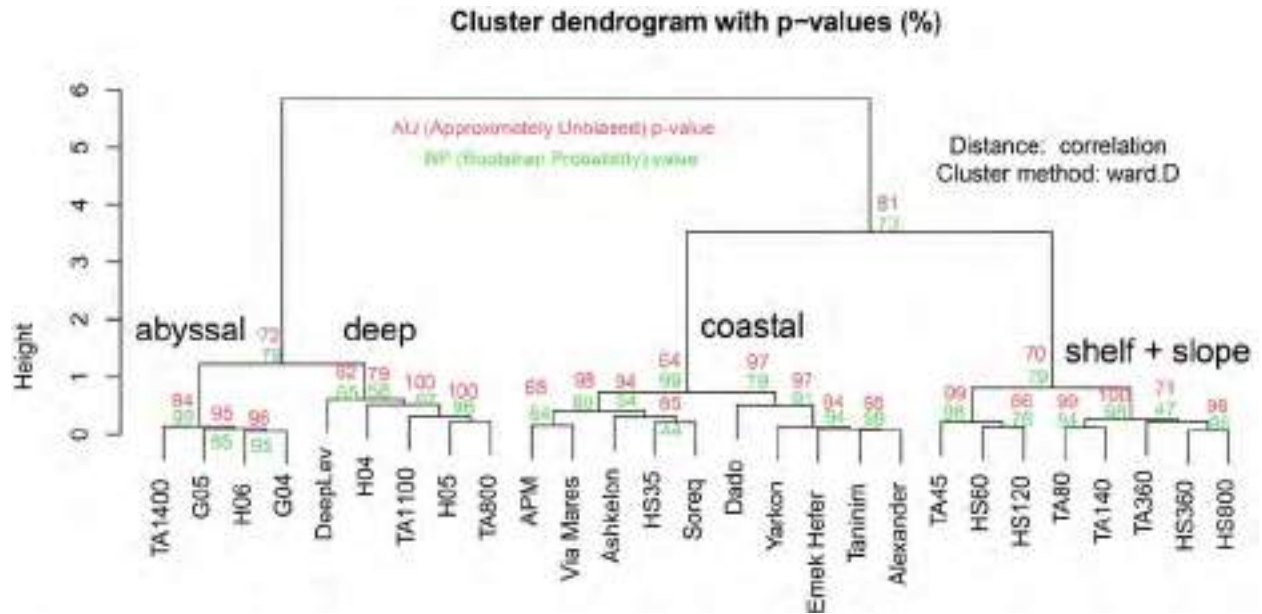


איור 2.11 – שכיחות של בקטריה וארכיאה, ברמת סדרה, בתחנות הניטור השונות בשנים 2018-2022. הסדרות השכיחות בתחנות העמוקות הן SAR202, Binatota bacteriap25, NB1-j, Defluviococcales, Thermoplasmata ועוד. בתחנות המדף, חיידקים אנארוביים היו בולטים (ארובי) Chromatiales ו- (אמנארובי). זיהוי חיידקים אינדיקטיביים לבתי גידול שונים נעשה באמצעות DESeq2 (ציוני רק סדרות עבור $p\text{-value} < 0.05$ adjusted).

The relative abundance of most common fungi lineages in sediments (Order level)



איור 2.12 – שכיחות של פטריות, ברמת סדרה, בשנת 2021. הסדרות השכיחות בתחנות העמוקות הן *Saccharomycetales*, *Russulales*, *Pleosporales*, *Cladosporiales* (שמרים) ועוד. בקרקעית המדף, הסדרות הבולטות הן *Xylariales* ו-*Onygenales*. מרבית הפטריות זוהו כספורטרופיות – ניזונות מחומרי רקב. זיהוי פטריות אינדיקטיביות לבתי גידול נעשה באמצעות DESeq2 (ציוני רק סדרות עבורן $\text{adjusted } p\text{-value} < 0.05$).



איור 2.13 – הגדרת קלאסטרים (קבוצות) של בתי גידול כל בסיס המגוון המיקרוביאלי, בשיטת ה-
 pvclust, correlation distance, sum-normalized read abundance,) hierarchial clustering
 (Ward clustering). מספרים ליד הענפים מציינים את רמת הוודאות של פיצול.

הפרק מתייחס לאינדיקטורים הקשורים לשינויי אקלים ולדסקריפטורים –
EO1 – Biodiversity, EO2 – Non-indeginous species, EO4 – Marine food webs

ממצאים עיקריים

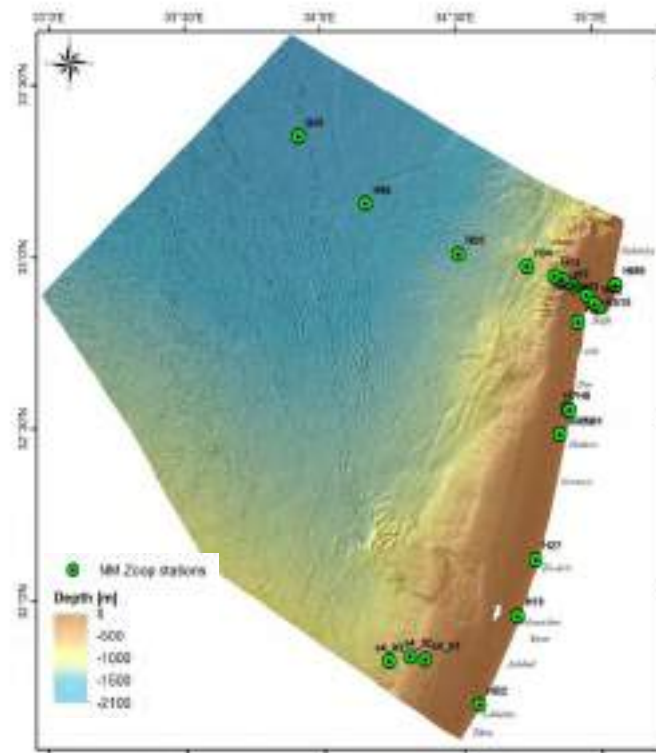
- חברת הזואופלנקטון ממלאת תפקיד חיוני בהעברת אנרגיה וחומר בסביבה הימית. בשל מיקומו המרכזי במארג המזון הימי, הזואופלנקטון משפיע ישירות על הביומסה ומבנה החברה של יצרנים ראשוניים (בקרה מלמעלה למטה) ושל צרכנים—עד לרמת טורפי-על (בקרה מלמטה למעלה).
- החל מ 2019 נערך בים התיכון הישראלי ניטור כמותי של חברת הזואופלנקטון הכולל ביומסה, שכיחות, ומגוון ביולוגי ותפקודי בעמודת המים מעל מדף היבשת הרדוד והעמוק, המדרון והים העמוק (איור 3.1).
- דיגומים עונתיים נערכו בהפלגות ניטור ים עמוק (מרץ ואוגוסט 2022) באמצעות רשת מולטינט (איור 3.2A). דיגום חודשי נערך בתחנה מטאו-ימית (תחנת מדידה רציפה בעיקר למשתנים פיזיקליים) הנמצאת צפונית לקצה מזח הפחם בחדרה, באמצעות גרירות אנכיות של רשת WP2 (גודל עין: 200 מיקרון) וגרירות אופקיות של רשת בונגו (65 ו-200 מיקרון) בתאריכים: 30.1 (ינואר), 1.3 (פברואר), 22.3 (מרץ), 24.4 (אפריל), 17.5 (מאי), 29.6 (יוני), 19.7 (יולי), 25.8 (אוגוסט), 19.9 (ספטמבר), 27.10 (אוקטובר), 21.11 (נובמבר) ו-18.12 (דצמבר) במהלך 2022.
- לצורך אומדן המגוון הפונקציונלי, הדוגמאות נסרקו בסורק ייעודי, עובדו וסווגו (classification) באמצעות כלי בינה מלאכותית (איור 3.2B). שיטה זו אינה הרסנית—לאחר העיבוד הדוגמאות מועברות לארכיב "אוסף קימור" (אוספי הטבע הלאומיים, האוניברסיטה העברית). מטא-ברקודינג נערך לצורך אומדן המגוון הגנטי. דנא הופק מהדגימות (דופליקטים מכל דוגמה). ריאקציות PCR בוצעו עם הפריימרים miCOLintF-HCO2198 ו-EukBr-Euk_1391f המשמשים להגברת המרקרים המולקולריים CO/18S SSU rRNA בהתאמה. הריצוף נערך באמצעות Illumina MiSeq. אנליזה ביואינפורמטית נערכה ע"י שימוש ב-QIIME2 וב-DADA2, והאמפליקונים שהתקבלו הושוו למאגרי רצפים ב-NCBI GenBank וב-BOLD.
- שכיחות חברת הזואופלנקטון בעמודת המים (0-25 מ') נעה בין 423 פרטים למ"ק בספטמבר (19.9) ל-6173 פרטים למ"ק בתחילת מרץ (1.3). ריכוז הביומסה המינימלי נמדד בספטמבר (19.9) – 0.6 מ"ג משקל יבש למ"ק, והמקסימלי במאי (17.5) – 88.4 גרם משקל יבש למ"ק (איור 3.3).

- המתאם בין שכיחות הפרטים לביומסה (משקל יבש) בתחנת חדרה היה גבוה בכל חודשי השנה ($r^2 = 0.6$) והיחס הממוצע בין שכיחות לביומסה (מס' פרטים למ"ג משקל יבש) היה 422 ± 120 חוץ מאשר בחודשים מאי ואוגוסט. במאי היחס שכיחות:ביומסה היה נמוך (11) בשל פריחת סלאפות (ריכוז חומר יבש $> 10\%$), ואילו באוגוסט היה גבוה (2242) בגלל מיעוט זואופלנקטון ג'לטיני ודומיננטיות של קבוצות טקסונומיות בעלות ביומסה נמוכה לפרט (הריכוז היחסי של הקופודים והדפניתאים במאסף היה 72% באוגוסט ו- 3% במאי).
- הקבוצה השכיחה ביותר בדיגום החופי הייתה שטרגליים קלנואידיים ($56 \pm 24\%$), ואחריה — סלפות ודוליולידים ($8.3 \pm 24.6\%$) ושטרגליים ציקלופואידיים ($6.5 \pm 9.6\%$) (איור 3.4).
- במרבית קבוצות הזואופלנקטון (Calanoida, Harpacticoida, Chaetognatha, Appendicularia, Bivalvia, Ctenophora, fish larvae and eggs) ניתן לראות עליה חדה בשכיחות בתחילת מרץ (איור 3.5). שיא בחודש ינואר נצפה ב Hydrozoa ו Echinodermata, ואילו ב Salpa / Doliolida נצפה שיא במאי.
- פריחות (עליה משמעותית בריכוז) של הסלפה *Thalia democratica* נצפו בתחילת מרץ (396 פרטים למ"ק) ושל המסרקנית *Mnemiopsis leidyi* במאי (12 פרטים למ"ק) (איור 3.5).
- ניתוח ההשתנות העונתית של קבוצות חברת הזואופלנקטון החופית מצביע על שלושה אשכולות נפרדים באופן מובהק ($p < 0.01$, ADONIS): (1) החודשים ינואר-אפריל, (2) מאי, ו- (3) יוני-דצמבר. באנליזת SIMPER נמצא כי סלפות (salps/doliolids) היוו את התרומה היחסית הגדולה ביותר לשוני בין אשכול 2 (מאי) לאשכולות 1 ו-3 (22% - 23%). לשוני בין האשכולות 1 (חורף) ל-3 (קיץ-סתיו) תרמו בעיקר הקבוצות שטרגליים הרפקטיקואידיים (11%), ושטרגליים ציקלופואידיים (10%) (איור 3.6).
- בשנים 2020-2022 קיים דמיון בדפוס ההשתנות העונתית בשכיחות ובביומסת הזואופלנקטון החופית – מקסימום בחודשי החורף ינואר-מרץ, ומינימום בחודשי הסתיו ספטמבר-נובמבר (איור 3.7). בממוצע, ביומסת הזואופלנקטון החופי ב-2022 (27.5 ± 18.4 מ"ג חומר יבש למ"ק) נמוכה מאלו שנמדדו ב-2021 (59.8 ± 89.1 מ"ג חומר יבש למ"ק) וב-2020 (63.7 ± 94.5 מ"ג חומר יבש למ"ק), אך שכיחות הפרטים הממוצעת (1738 ± 1640 פרטים למ"ק) הייתה דומה לאלו שנמדדו ב-2020-2021. הבדל זה ניתן להסביר ע"י שכיחות גבוהה יותר של פרקציות הגודל הקטנות ושל פלנקטון ג'לטיני בעל תכולת מים גבוהה מאידך (396 לעומת 23 סאלפות למ"ק, ב-2022 וב-2021 בהתאמה).
- ההשוואה בין ריכוזי הביומסה בתחנות חתך חיפה במרץ 2022 (איור 3.8) ובאוגוסט 2022 (איור 3.9) מצביעה על ריכוזים דומים בחורף ובקיץ. בהשוואת מי העומק לעומת מי-

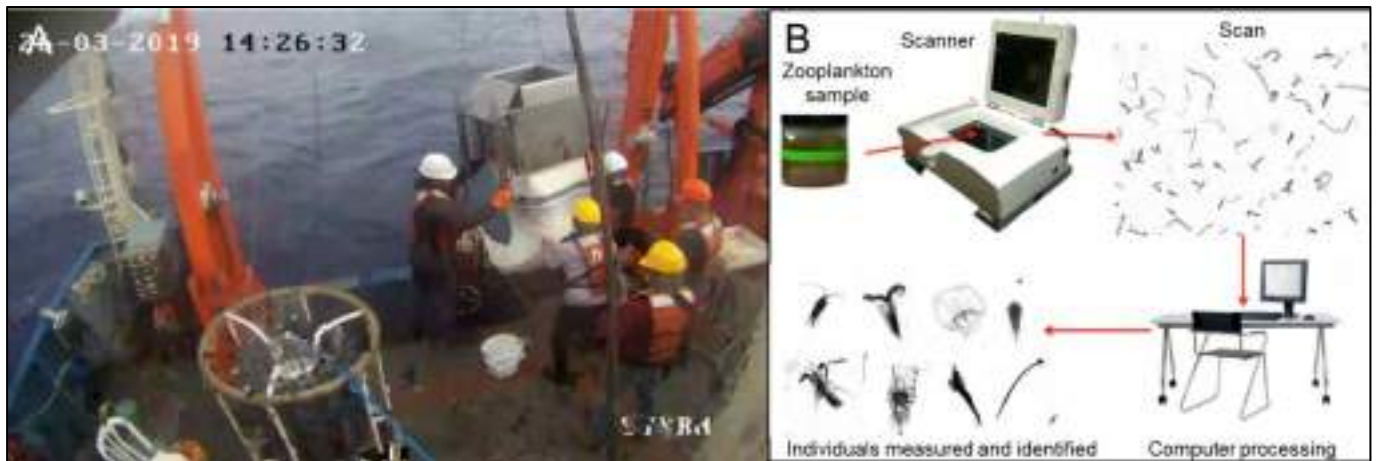
- השטח, ניתן לראות ירידה בסדר גודל אחד בחורף ובשני סדרי גודל בקיץ (איורים 3.8 ו-3.9). השוואה בין ריכוזי הזואופלנקטון במי השטח בתחנות מדף היבשת והמדרון לעומת הים העמוק מראה ירידה בסדר גודל אחד בחורף ובקיץ (איור 3.10).
- נצפתה אנומליה בריכוזי הזואופלנקטון שנמדדה בקיץ מעל תחנת H04 (איור 3.9) – ריכוזי ביומסה נמוכים בעומקים 300-500 מ' יחסית לעומקים מקבילים בתחנה H05.
 - הניטור החודשי בתחנה החופית מאפשר זיהוי מקדים של פלישות מינים של הולפלנקטון ומרופלנקטון (שלבם לארווליים הנפוצים במים החופיים) טרם התבססותם. באמצעות שימוש במטאברקודינג של הגנים COI ו-18S, התקבלו רצפים המתאימים (99.9% התאמה) לצדפה פולשת ממין *Isognomon bicolor* שמקורה בצפון-מערב האוקיינוס האטלנטי ובים הקריבי (איור 3.11). הממצא אומת ע"י ריצוף פרטים בוגרים (Guy-Haim & Albano, in prep). הרצפים התקבלו החל מאוגוסט 2020 בחודשי הקיץ (עד 2022).

חלק מהמוצג בפרק זה פורסם בספרות המדעית (peer-review) בשנת 2022:

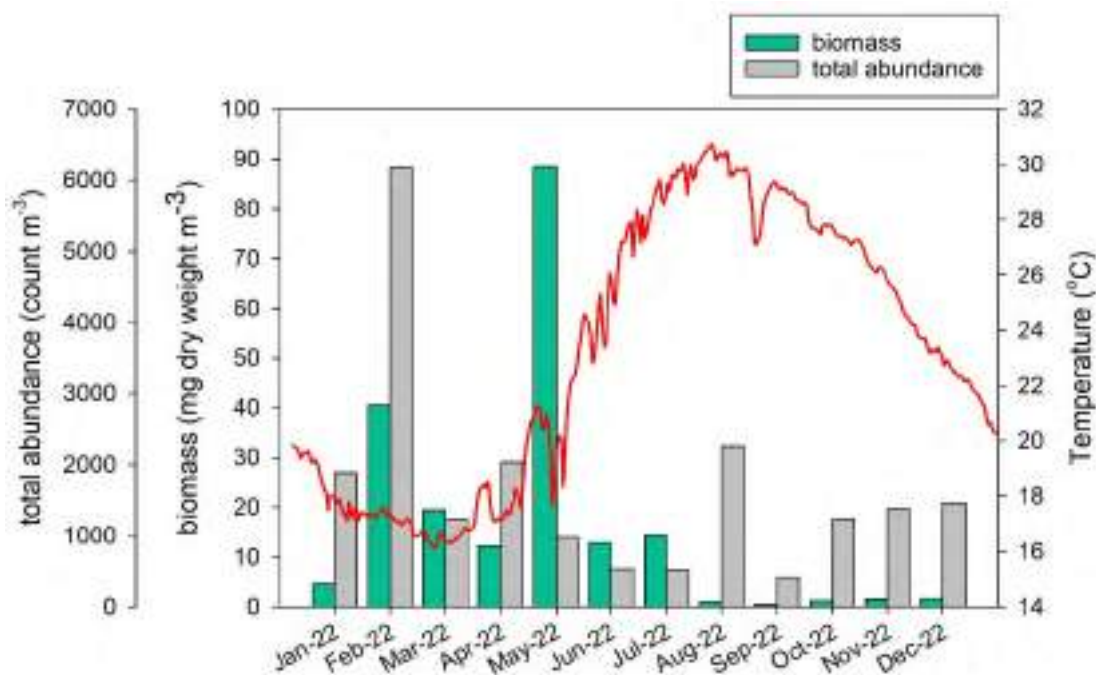
- Guy-Haim, T., Velasquez, X., Terbiyik-Kurt, T., Di Capua, I., Mazzocchi, M.G., Morov, A.R., (2022). A new record of the rapidly spreading calanoid copepod *Pseudodiaptomus marinus* (Sato, 1913) in the Levantine Sea using multi-marker metabarcoding. *BioInvasions Records*, 11(4):964-976.
- Guy-Haim, T., Stern, N., Sisma-Ventura, G. (2022). Trophic ecology of deep-sea megafauna in the ultra-oligotrophic Southeastern Mediterranean Sea. *Frontiers in Marine Science*, 9:857179.
- Velasquez, X., Morov, A.R., Belkin, N., Kurt, T.T., Rubin-Blum, M., Tchernov, D., Meron, D. and Guy-Haim, T., (2023). Feeding strategy and dietary preference shape the microbiome of epipelagic copepods in a warm nutrient-impooverished ecosystem. *Environmental DNA*, 5(1), pp.38-55.



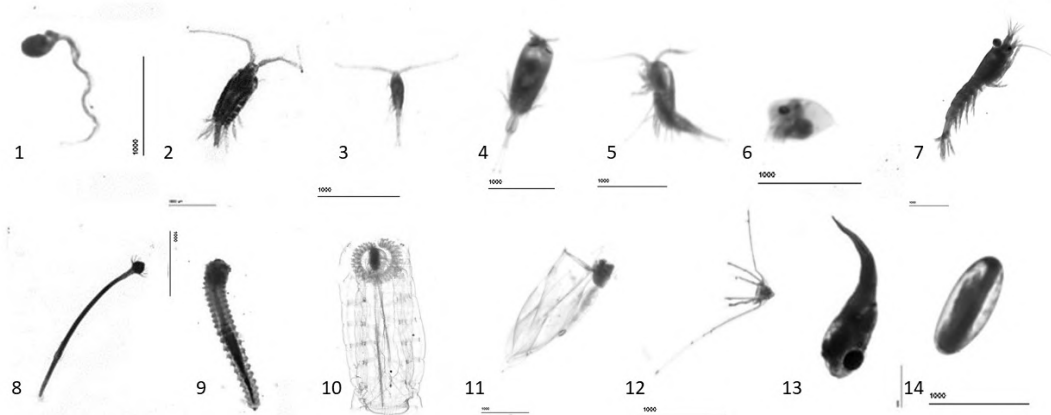
איור 3.1: מפת תחנות דיגום זואופלנקטון במים הכלכליים והריבוניים של הים התיכון של ישראל. תחנות הדיגום בים העמוק מול חיפה ("חתך חיפה") נדגמות פעמיים בשנה (חורף, קיץ), תחנות הדיגום מול אשקלון ("חתך דרומי") נדגמות בתדירות נמוכה יותר. תחנות הדיגום מול חדרה נדגמת אחת לחודש.



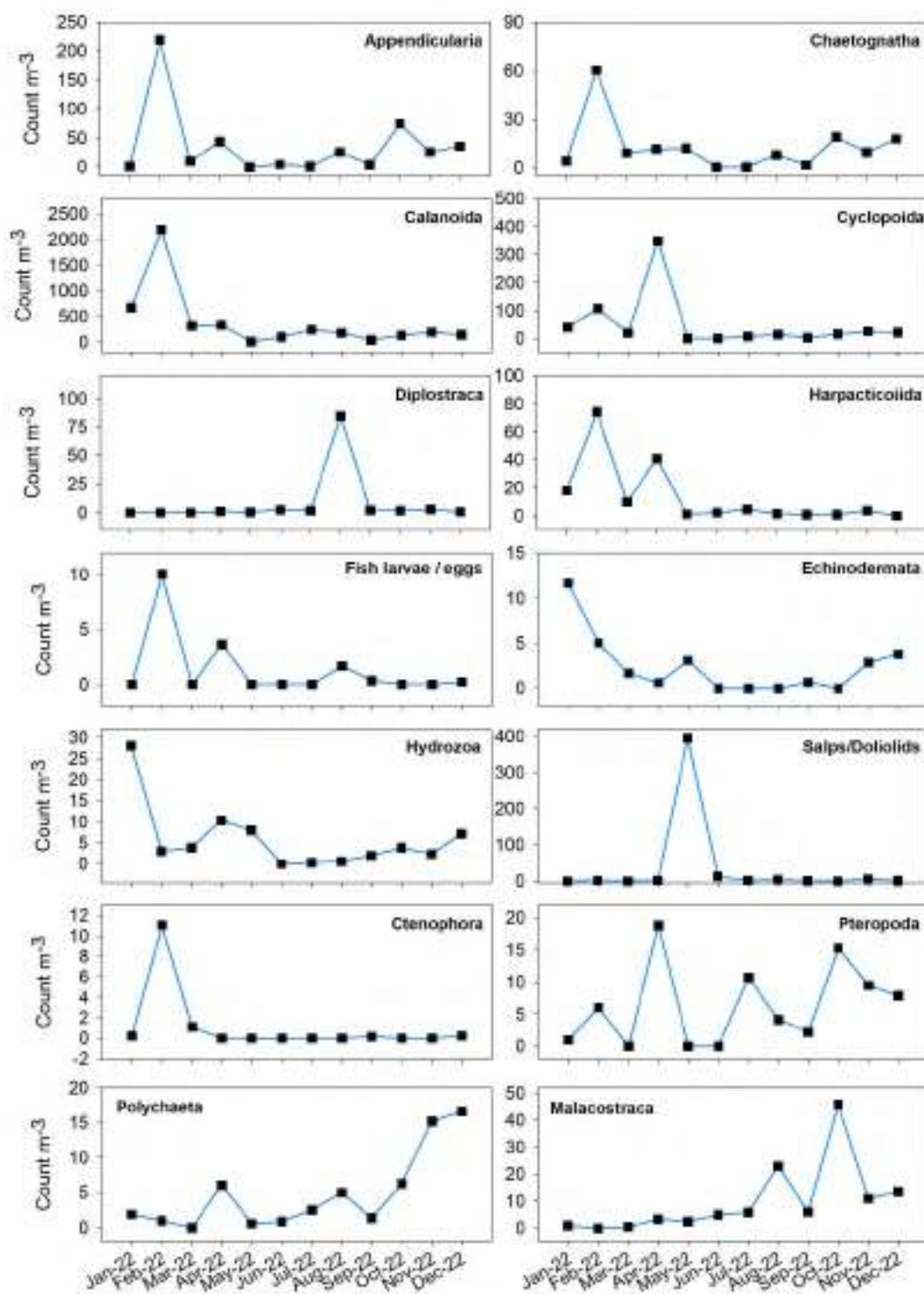
איור 3.2: שיטות בניטור זואופלנקטון במסגרת תכנית הניטור הלאומית. **A.** מערכת רשתות אוטומטית לדיגום משוכב מסוג MultiNet Midi (5 רשתות) בקונפיגורציה אנכית בספינת המחקר בת-גלים. **B.** תהליך עיבוד דוגמת זואופלנקטון לאומדן מגוון פונקציונלי בעזרת סריקה ואנליזה ממוחשבת.



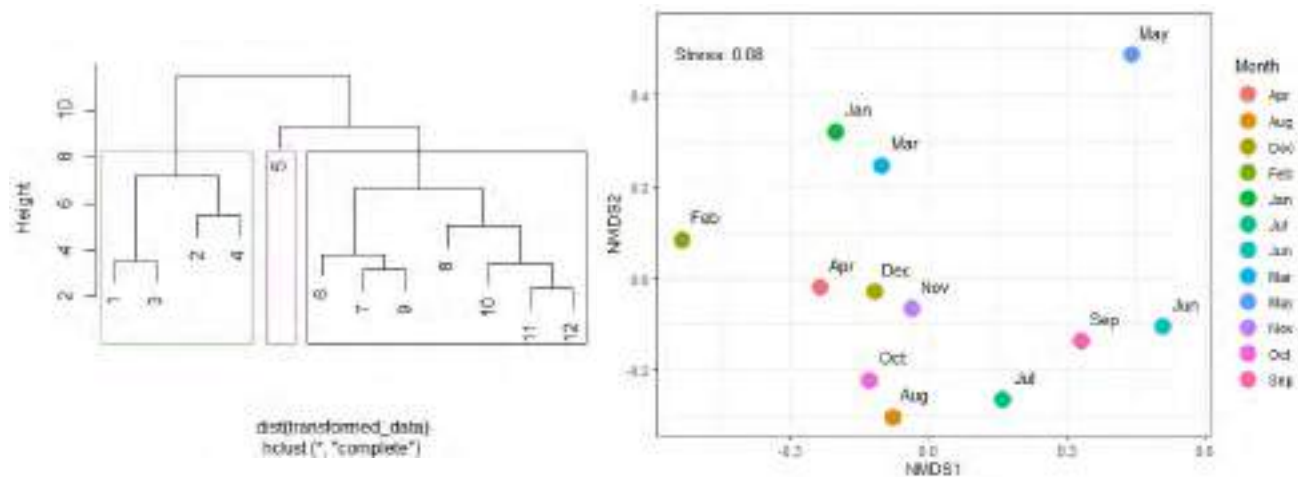
איור 3.3: שכיחות וריכוז ביומסת זואופלנקטון (מספר פרטים ומיליגרם משקל יבש למטר מעוקב, בהתאמה) בגודל $<200\mu\text{m}$ בעמודת המים (0-25 מ') במים החופיים בתחנה המטאו-ימית בחדרה בשנת 2022. הדיגום נערך באמצעות גרירה אנכית של רשת מסוג WP2 (Hydro-Bios) במהירות >1 מ'/שניה. כמות הפרטים התקבלה ע"י סריקה ממוחשבת של דוגמת הרשת. טמפרטורת מים נמדדת ברציפות באמצעות CTD המוצב בעומק 12 מ'.



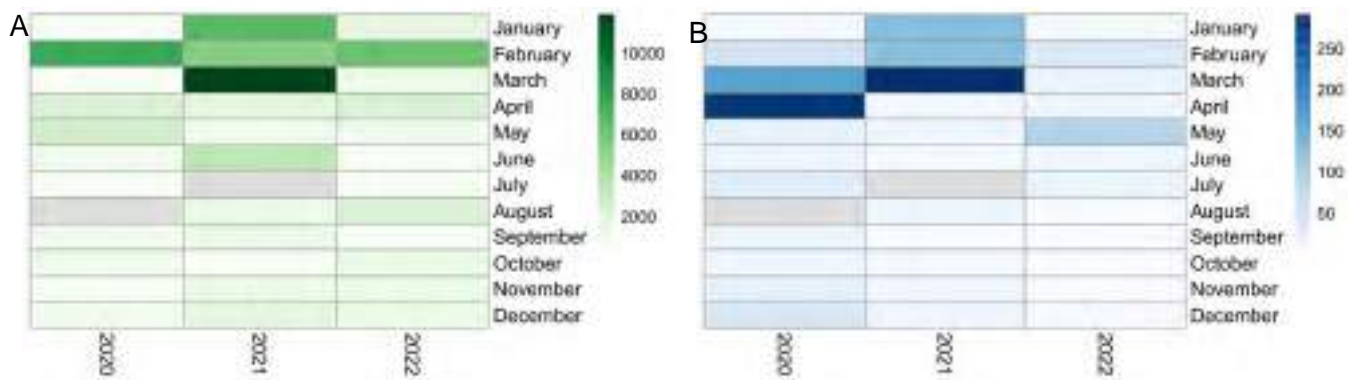
איור 3.4: קבוצות פונקציונליות בזואופלנקטון החופי בתחנת הדיגום החופית בחדרה. **A.** צלמיות מסריקת הדוגמאות: 1. אפנדיקולריה (Appendicularia), 2. שטרגליים קלנואידים (Calanoida), 3-4. שטרגליים ציקלופואידים (Cyclopoida), 5. שטרגליים הרפקטיקואידים (Harpacticoida), 6. דפניטאיים (Diplostraca), 7. סרטנים מעשירי-רגל (Decapoda), 8. תולעי-חץ (Chaetognatha), 9. תולעים רב-זיפיות (Polychaeta), 10. סאלפות (Salpidae), 11. סיפנופורה (Siphonophorae), 12. קווצי-עור (Echinodermata), 13. לארוות דגים, 14. ביצי דגים. **B.** שכיחות יחסית (%) של הקבוצות הפונקציונליות לאורך חודשי שנת 2022.



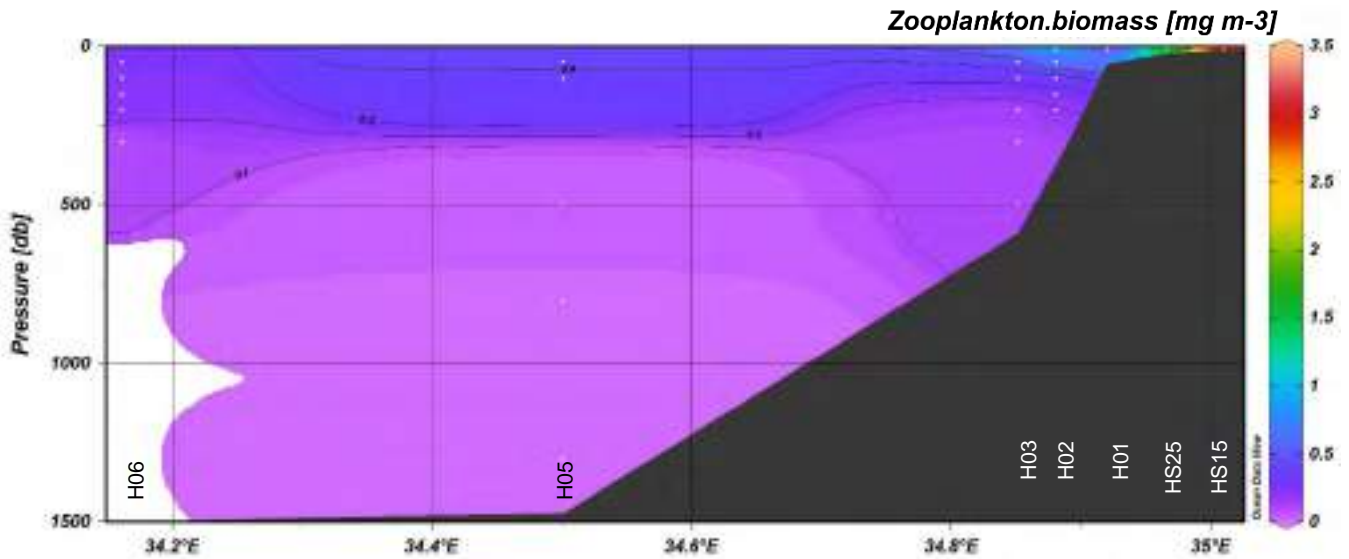
איור 3.5: שכיחות (מספר פרטים למטר מעוקב) קבוצות פונקציונליות בזואופלנקטון החופי בתחנת הדיגום החופית בחדרה לאורך חודשי שנת 2022, מבוססת על כלי דימות ואנליזת אינטליגנציה מלאכותית.



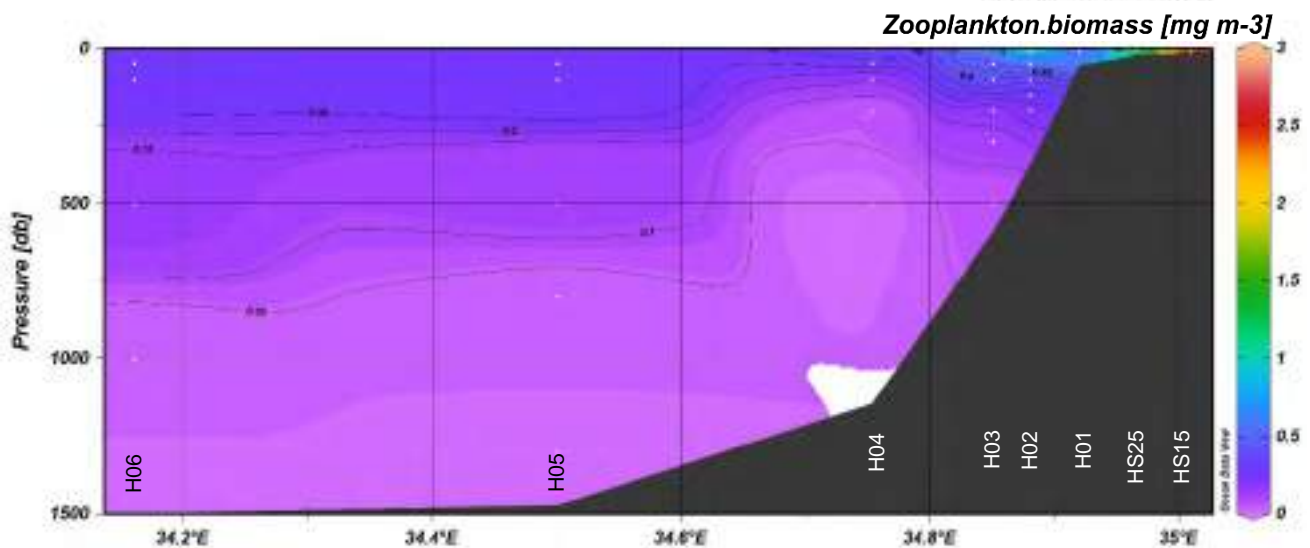
איור 3.6: השתנות עונתית של מבנה חברת הזואופלנקטון החופית שנדגמה בחדרה במהלך 2022. מימין: אורדינציית NMDS של הקבוצות בחודשי השנה. משמאל: אנליזת אישכול היררכי הצביעה על שלושה אשכולות: החודשים ינואר-אפריל, מאי, ויוני-דצמבר.



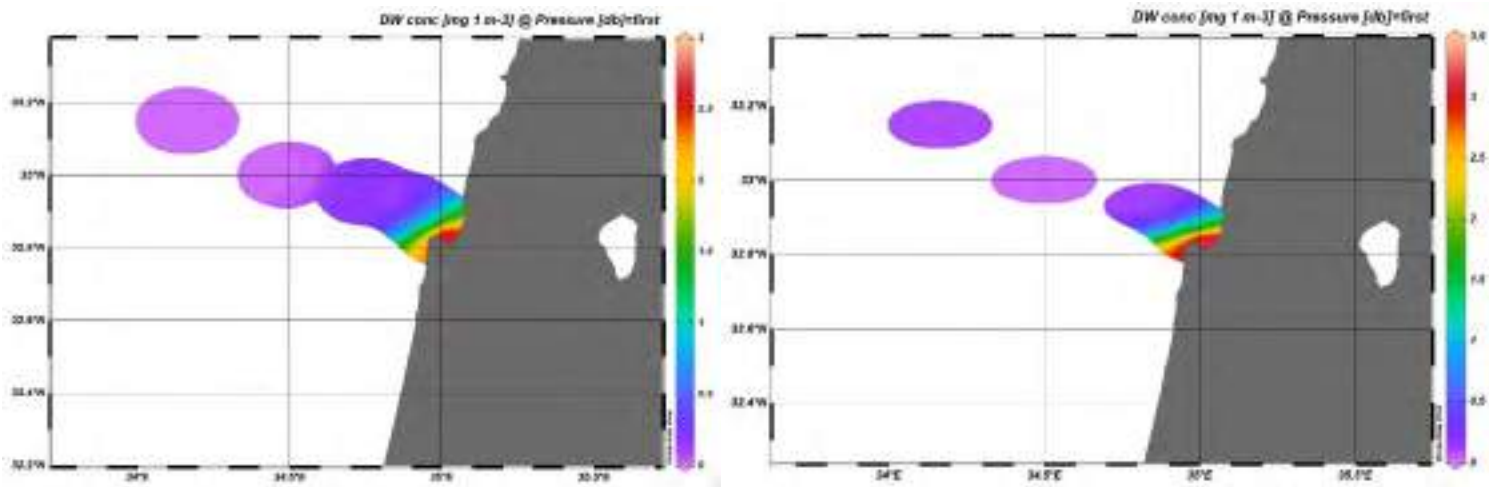
איור 3.7: שכיחות וריכוז ביומסת הזואופלנקטון בתחנת הניטור החופית בחדרה בשנים 2020-2022 - A. שכיחות (מספר פרטים למ"ק) - B. ביומסה (מיליגרם משקל יבש למ"ק).



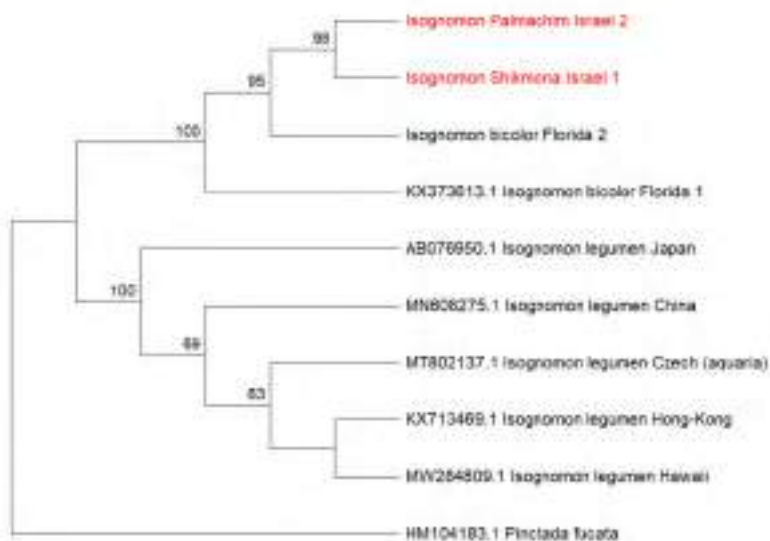
איור 3.8: ריכוז ביומסת זואופלנקטון $<150\mu\text{m}$ (מיליגרם משקל יבש למטר מעוקב) שנדגם ברשת אוטומטית לדיגום משוכב (MultiNet Midi) בגרירה אנכית של חמש שכבות מים דיסקרטיות מהקרקעית לפני השטח במרץ 2022 (3-4.3) בתחנות H06, H05, H03, H02, H01, HS25, HS15. הנקודות מראות את עומק הגרירה המקסימלי בכל שכבה נדגמת.



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 2022 (16-17.8) בתחנות חתך חיפה H04, H03, H02, H01, HS25, HS15. הנקודות מראות את עומק הגרירה המקסימלי בכל שכבה נדגמת.



איור 3.10: ריכוז ביומסת זואופלנקטון $< 150\mu\text{m}$ (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) 2022.



איור 3.11: לארוות של הצדפה הפולשת *Isognomon bicolor* התגלו לראשונה בדרום מזרח הים התיכון בתחנת הדיגום בחדרה באמצעות מטא-ברקודינג של הגנים 18S ו-COI (דימיון של 99.9% לרצפים (GenBank) החל מאוגוסט 2020. הממצא אומת ע"י ריצוף פרטים בוגרים משיקמונה ומפלמחים (מימין): דנדוגרמת דמיון פילוגנטי). אוכלוסיית המקור נמצאת בצפון-מערב האוקיינוס האטלנטי ובים הקריבי.

פרק 4 - ניטור ביולוגי ואקולוגי של חי תוך המצע

הפרק מתייחס למדדים הקשורים לשינויי אקלים וליעדים אקולוגיים במסגרת אמנת ברצלונה, כלהלן: EO1 – Biodiversity, EO2 – Non-indigenous species, EO4 – Marine food
CI1 – spatiotemporal variability in habitats ,webs

4.1 ניטור כלל חי תוך המצע (למעט פורמניפרה, תת סעיף 4.2) (מרכזת ד"ר הדס לובינסקי hadas@ocean.org.il)

ניטור הסביבה החופית:

- בשנת 2022 נמצאה עלייה במספר הפרטים של חי תוך המצע במפרץ חיפה ותחנת הקישון, בעיקר בשל נוכחות גבוהה של סרטנאים ממחלקת הקופפוקה והאמפיפודה, תולעים נמיות (נמטודה) ותולעים רב זיפיות ממשפחת Syllidae בהשוואה לשנים הקודמות (2016-2021). בשאר התחנות לאורך החוף לא נמצא שינוי משמעותי ביחס לשנות הניטור הקודמות (איור 4.1A). נמצאה ירידה במספר הטקסונים בניטור 2022 ברוב תחנות החוף ומפרץ חיפה (איור 4.1B). ממצאים אלה מצביעים על ירידה במגוון המינים ושינוי המארג במצע החולי.
- נמשכה הירידה המשמעותית במספר הפרטים בתחנת שפך הקישון שהחלה בשנת 2017 (מכ – 40000 פרטים למ"ר בממוצע לכ- 3000 פרטים למ"ר בניטור 2022), ככל הנראה כתוצאה מהחפירות שהתבצעו באזור במסגרת נמל המפרץ והמקום טרם חזר לקדמותו. באופן דומה, בעוד שבדיגומי עבר נמצאו בין 50-100 טקסונים של תולעים, קופפודים וקווצי עור בשפך הקישון, בדיגום 2022 נספרו 17 טקסונים בלבד.
- נראה כי השינויים במספר הטקסונים בתחנות החוף הם שינויים שנתיים טבעיים, למעט התחנה מול שפך הקישון (איור 4.2).
- משנת 2017 עד 2022 נמצאו שינויים משמעותיים שחלו במאפיינים (צפיפות, הרכב מינים ומדדי מגוון מינים) של שלוש חברות חי: של מפרץ חיפה (HB), פתח נמל חיפה (HH) ויתר החוף מקצה המפרץ דרומה עד אשקלון (SC), כלהלן.
- **צפיפות**- נמצאה ירידה חדה בצפיפות הפרטים למטר רבוע של חברות החי במעבר משנת 2015 ל- 2016 ואחר כך שמירה על צפיפות נמוכה לכל אורך החוף בין השנים 2016-2022. ירידה דרמטית במיוחד אובחנה בצפיפות חברת חי-תוך-המצע של פתח נמל חיפה (איור 4.3). 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, spionidae, syllidae) עם ירידה מתמשכת הצפיפות הפרטים בתחנות מפרץ חיפה.

- **מדדי מגוון מינים: עושר המינים** – מדד של מספר הטקסונים בכל בית גידול לאורך השנה (איור 4.5). מספר הטקסונים מראה ירידה חזקה בכל חברות החי בשנת 2017 המלווה בהתייצבות ובשנים 2021-2022 רואים עלייה מחודשת. לעומת זאת, מדד המגוון של שאנון (איור 4.6), המחושב על פי מספר המינים ושכיחותם, אין מגמה ברורה של ירידה או עליה לאורך השנים.

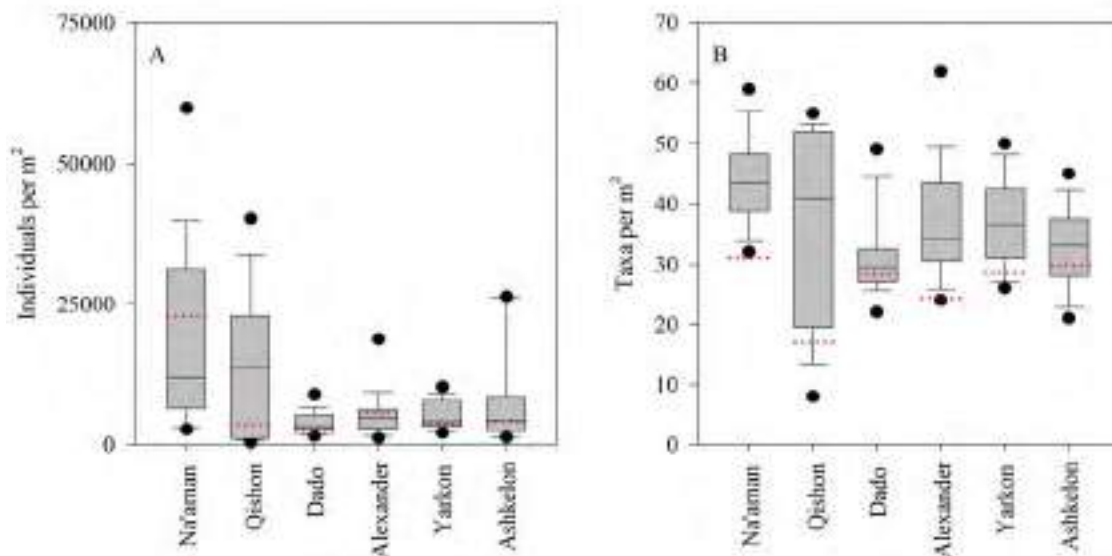
- מתוך כלל מאסף החיות שנדגם בשנים 2005-2022, רק 25% מתוכם הוגדרו לרמת המין. שתי קבוצות חשובות- תולעים רב זיפיות (polychaeta) ושטרגליים קרקעיים (benthic copepods), המהוות קרוב ל- 75% מכלל הפרטים, הוגדרו לרמת המשפחה ומעלה. חשיבותם היחסית של התולעים הרב זיפיות בכל בית גידול שונה והגדרה מדויקת יותר שלהם חשובה להשגת ניתוח משמעותי יותר של מאפייני חברת החי והשינויים החלים בהם עם הזמן. אנו עובדים בשנים האחרונות על בניית ספרייה גנטית של התולעים שתשמש אותנו בניטורים עתידיים למטרה זו. כעת אנו מבצעים אנליזה מולקולרית של כל החיות שנאספו בניטור הנוכחי (2022) והחומר נשלח לריצוף. התהליך ארוך מכיוון שהוא נמצא בהכנה של הספרייה הגנטית. באיור 4.7 ניתן לראות את שלושת משפחות התולעים הרב זיפיות הנפוצות ביותר בכל שנות הניטור (בתחנות המפרץ, דדו ואשקלון, המשקפת גם את יתר תחנות החוף). כל התחנות עשירות בתולעים ממשפחת ה spionidae אשר ניזונות 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 capitellidae המאכלסים אזורים המועשרים בחומר אורגני נפוצים כמעט אך ורק בתחנת הקישון (בפרטים בודדים בלבד בשאר התחנות). משפחת ה syllidae הינה ג'נרליסטית (לא ספציפית) בבחירת המזון ולפיכך נפוצה במקום שהתנאים בו נוחים לה. ככל הנראה, נמל חיפה (הקישון) נמצא כמתאים למשפחה זו בהשוואה ליתר החוף.

- מערכת הרכיכות הוגדרה לרמת המין והיא כוללת מספר רב של מינים, חלקם מהגרים (איור 4.8). לאורך החוף דרומית למפרץ חיפה נצפית ירידה בשכיחות הפרטים ממוצא מקומי שהחלה ב- 2016 ונמשכת עד 2022. לעומת זאת אין מגמת שינוי בשכיחות מספר הפרטים של מינים פולשים (איור 4.8 עליון). במפרץ חיפה נמצאה ירידה משמעותית הן בשכיחות הפרטים של מינים פולשים והן של מקומיים החל משנת 2016 (איור 4.8 תחתון). השינוי, כאמור, ככל הנראה נובע מפעולות החפירה בדרום המפרץ, פעולות הזנת החול במפרץ ואולי שינויים במשטר הזרמים כתוצאה מבניית הנמלים החדשים.

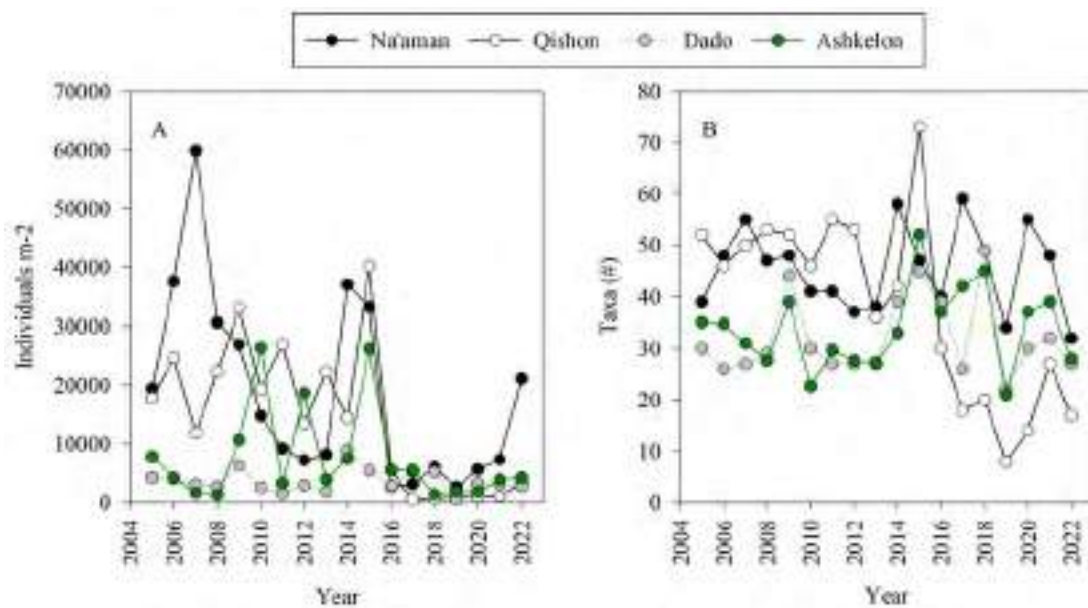
- לאורך החוף דרומית למפרץ חיפה נצפית עליה משמעותית במספר המינים הפולשים בין השנים 2005 ל-2022 (איור 4.9 עליון). אחוז המינים הפולשים הוכפל ביחס לעשור קודם. במפרץ חיפה נצפית ירידה מסוימת במספר המינים הפולשים והמקומיים ב-6 השנים האחרונות לעומת 2009 - 2015 (איור 4.9 תחתון). במפרץ חיפה אחוז המינים הפולשים נע בין 30 ל-60% ללא מגמה ברורה.
- מומלץ לשלב זיהוי מולקולרי של רב-זיפיות ושטרגליים כדי להגדיל את דיוק האנליזה הביוטית למינים. הקבוצות הנ"ל מהוות למעלה ממחצית מספר פרטים הנדגמים. השיטה שפותחה לצורך העניין מוכנה לניתוח מקביל לזיהוי המורפולוגי החלקי.

ניטור הים העמוק:

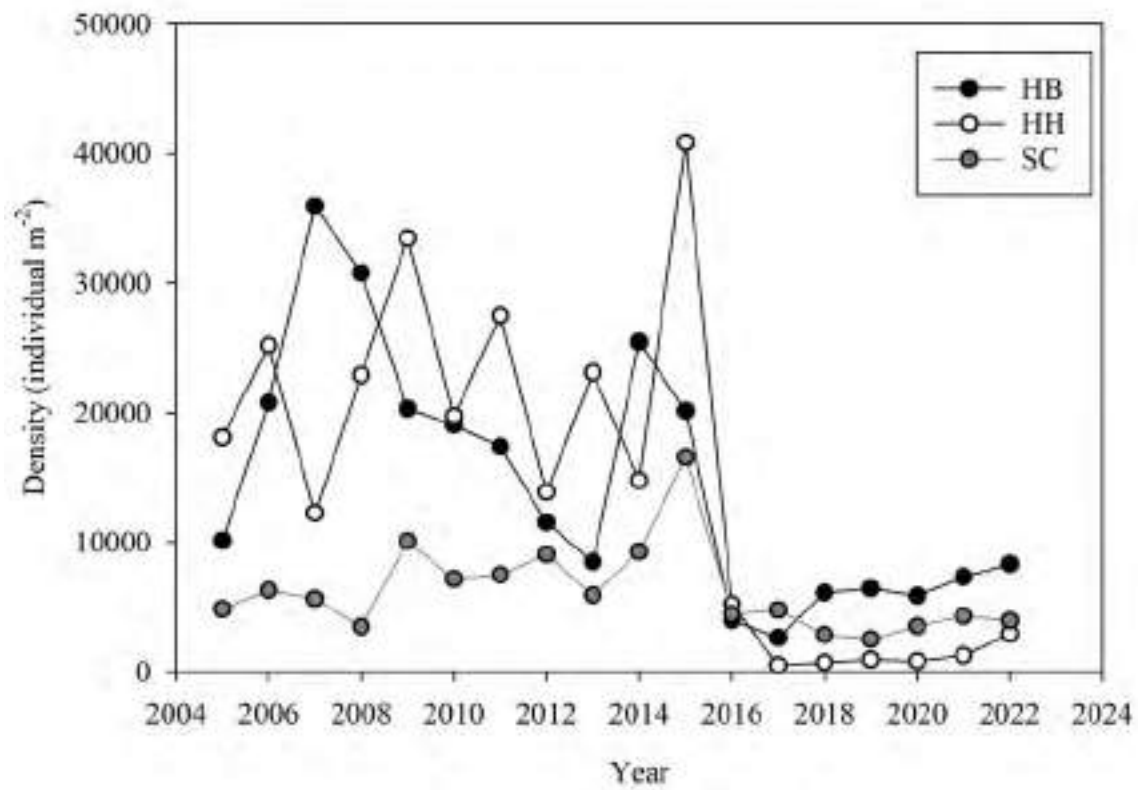
- באנליזת דמיון (cluster analysis) שבצענו לתחנות בחתכים השונים לאורך כל שנות הניטור נמצא כי התחנות הרדודות של המדף (80-40 מטרים) של חתך חיפה וחתך תל אביב צבורות יחדיו, למעט התחנה הרדודה של חתך חיפה (35 מ') שהיא נפרדת משאר תחנות המדף (איור 4.10). התחנות העמוקות של המדף בשני החתכים (120-140 מטרים) צבורות יחדיו. תחנה 360 מ' בחתך תל אביב צבורה יחדיו עם התחנות בעומק מים 360 מ' ו-800 מ' בחתך חיפה. בחתך תל אביב כל התחנות של המדרון התחתון (800 מ') ושל הבתיאל (1,100 ו-1,400 מ') צבורות יחדיו לעומת חתך חיפה בו יש הבדלים בתחנות השונות גם בבתיאל וכל עומק צבור בנפרד.
- צפיפות הפרטים בתחנות מהמדף והים העמוק בחתכים מול חיפה ות"א, יורדת עם העומק ודומה בשני החתכים (איורים 4.11-4.12). חתך חיפה מראה שונות גדולה יותר עם השנים בתחנות מדרון היבשת.
- **מדדי מגוון מינים: עושר המינים** – מדד של מספר הטקסונים בכל בית גידול לאורך השנה מוצג באיור 4.13. בחתך חיפה ותל אביב נראה כי עושר המינים בתחנה העמוקה ביותר במדף (80-60 מ') גדול יותר מאשר בתחנה הרדודה יותר (40-30 מ'). בחתך תל אביב רואים ירידה בעושר המינים מקצה המדף כלפי הים העמוק (כמו בצפיפות הפרטים). בחתך חיפה התחנה באמצע המדרון מציגה ירידה חדה בעושר המינים ביחס לתחנות העמוקות יותר, כפי שניתן לראות גם במדד המגוון של שאנון (איור 4.14). מדד המגוון של שאנון בחתך חיפה מראה אחידות בין השנים. בחתך תל אביב לא נראית מגמה אחידה בעומקים השונים, אולם לרב יש אחידות בין השנים.



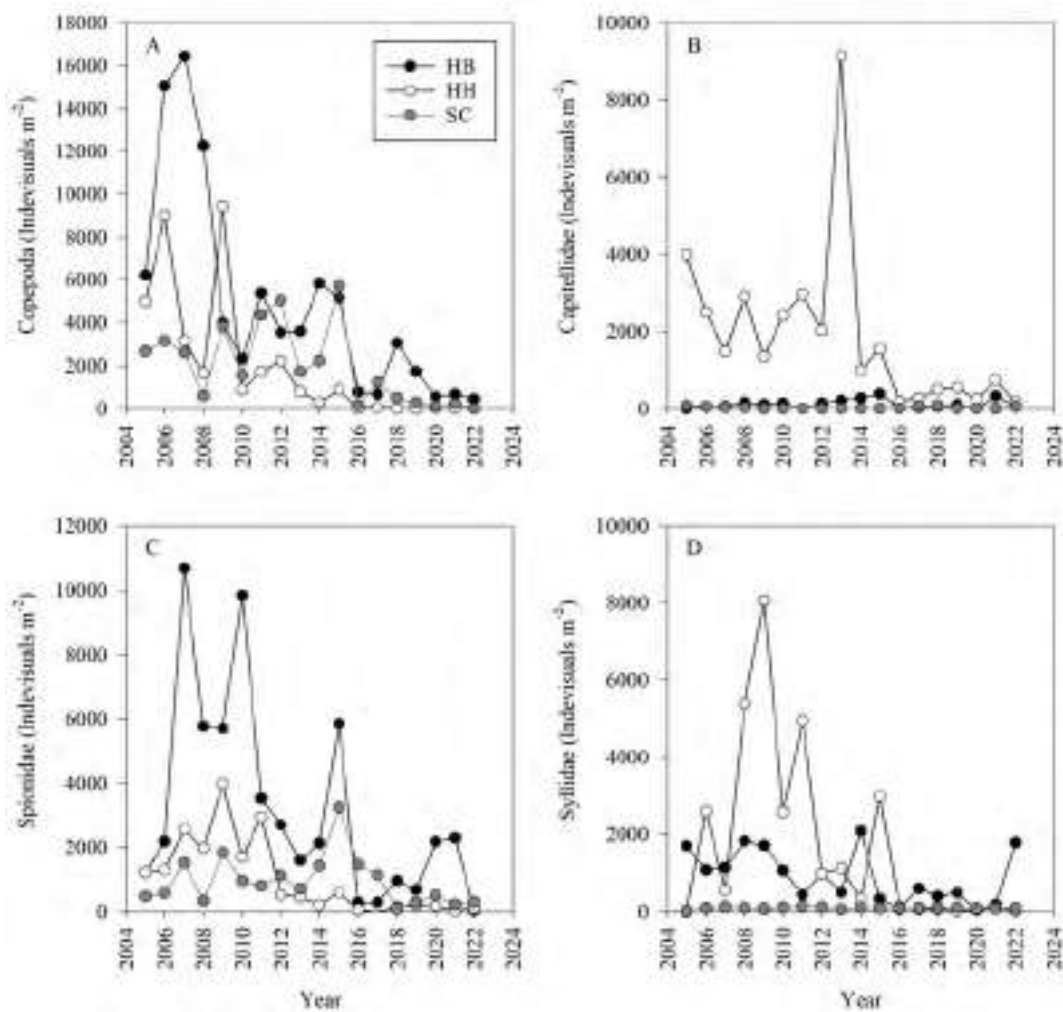
איור 4.1: מספר הפרטים הממוצע למ"ר (A) ומספר הטקסה (B) בתחנות הניטור השונות לאורך כל שנות הניטור (2005-2022). הקו האדום המקווקו מייצג את הערך שהתקבל בניטור 2022.



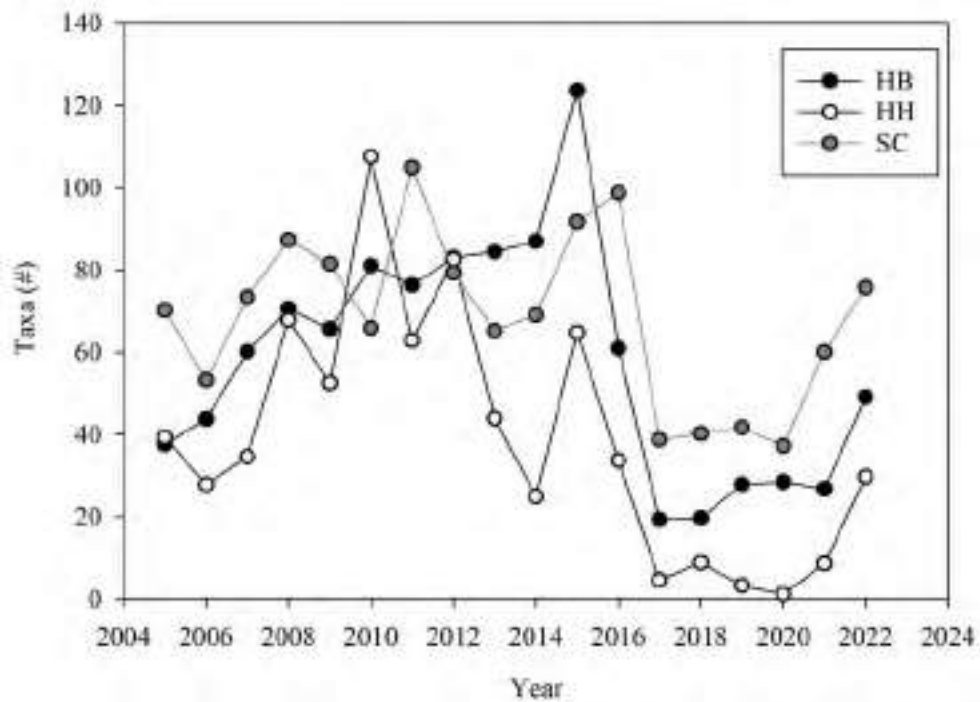
איור 4.2: מספר הפרטים למ"ר (A) ומספר הטקסה הכולל (B) בתחנת נעמן (שחור), קישון (לבן), דדו (אפור) ואשקלון (ירוק) בין השנים 2005-2022.



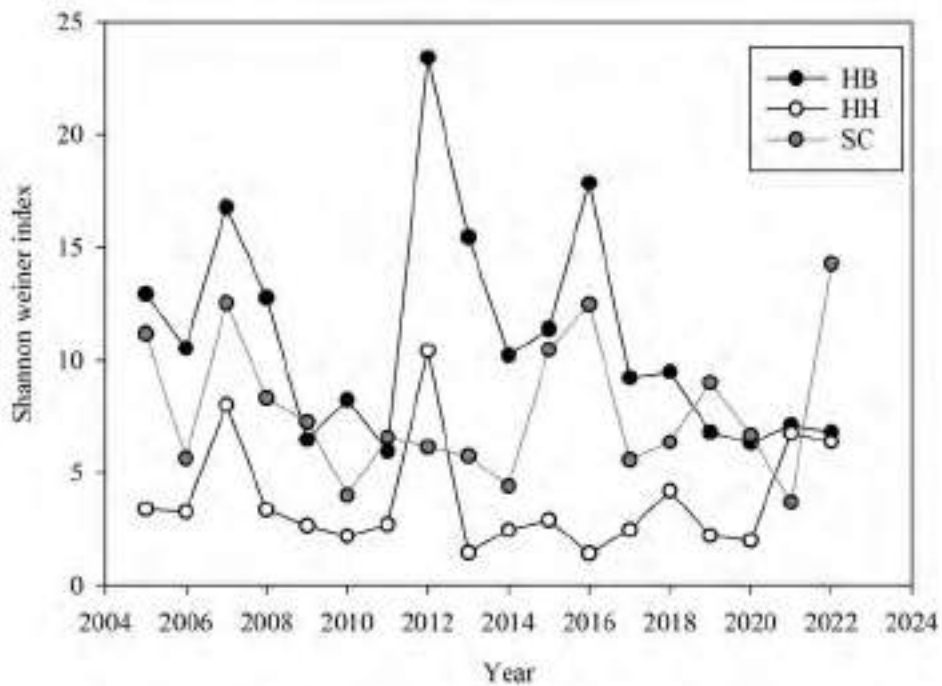
איור 4.3: צפיפות הפרטים למטר רבוע בשלושת חברות החי בין השנים 2015-2022 במפרץ חיפה (HB, שחור), פתח נמל חיפה (HH, לבן) והחוף המרכזי והדרומי (SC, אפור).



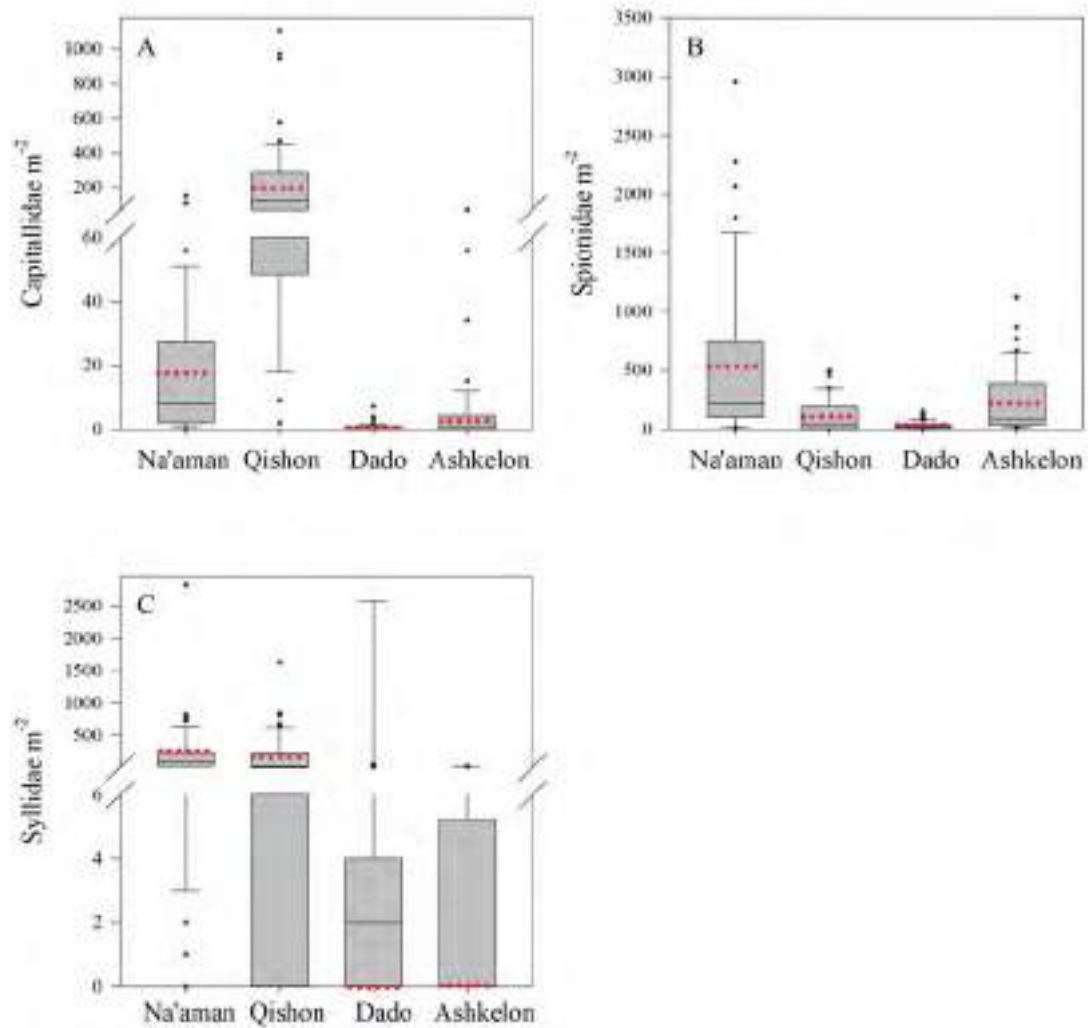
איור 4.4: צפיפות הפרטים שטרגליים (A) ושל תולעים רב זיפיות ממשפחות ה- (HB, שחור), פתח נמל חיפה (HH, לבן) והחוף המרכזי והדרומי (SC, אפור) (C) Spionidae, (B) Capitellidae, ו- (D) Syllidae בין השנים 2015-2022 במפרץ חיפה



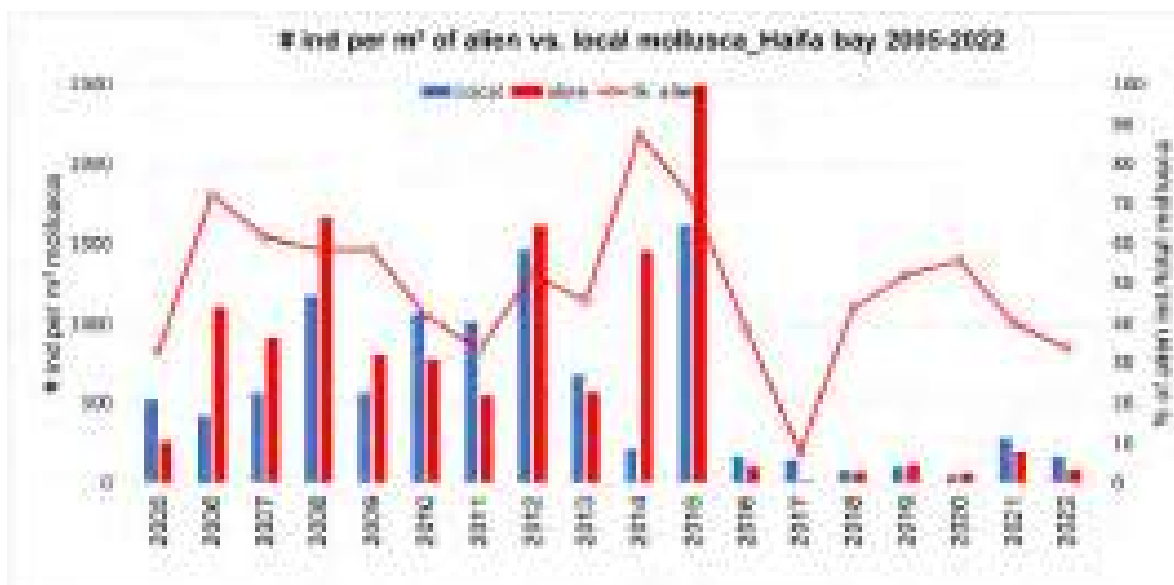
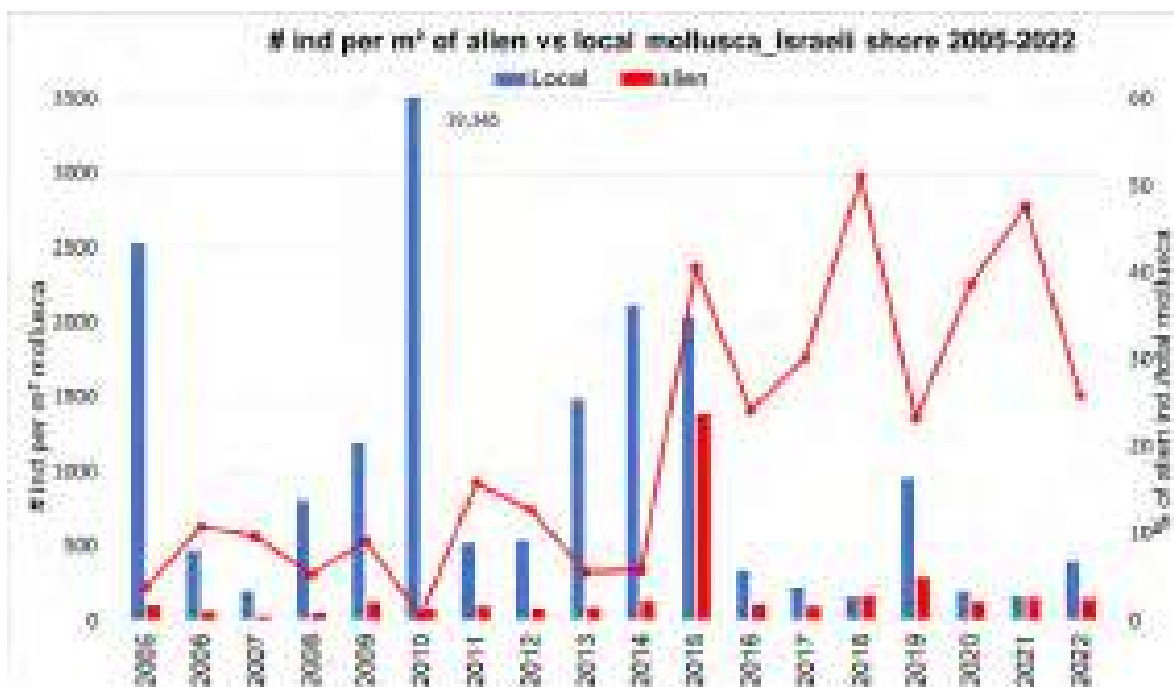
איור 4.5: מדד עושר המינים: מספר הטקסונים בשלושת חברות החי בין השנים 2015-2022 במפרץ חיפה (HB, שחור), פתח נמל חיפה (HH, לבן) והחוף המרכזי והדרומי (SC, אפור).



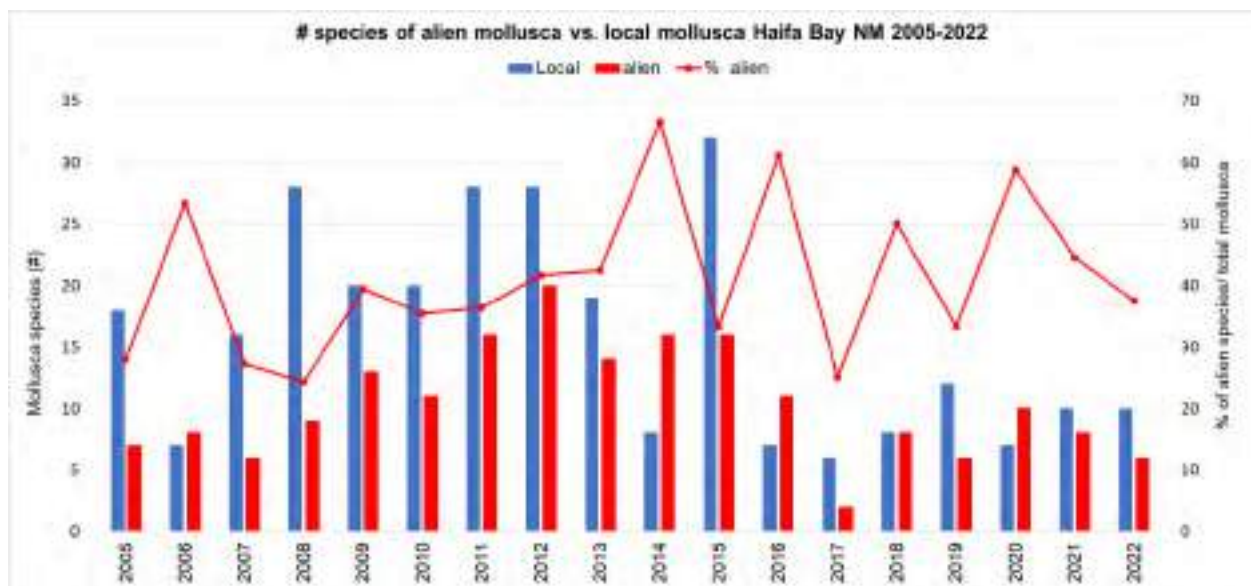
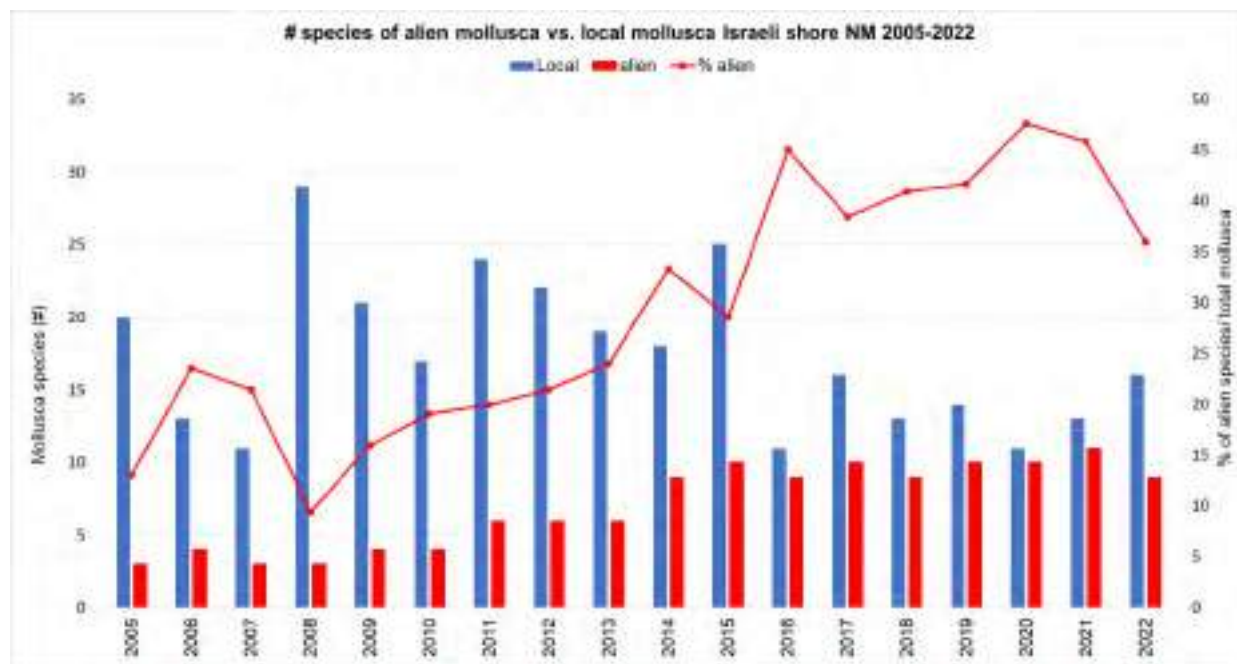
איור 4.6: מדד שאנון בשלושת חברות החי בין השנים 2015-2022 במפרץ חיפה (HB, שחור), פתח נמל חיפה (HH, לבן) והחוף המרכזי והדרומי (SC, אפור).



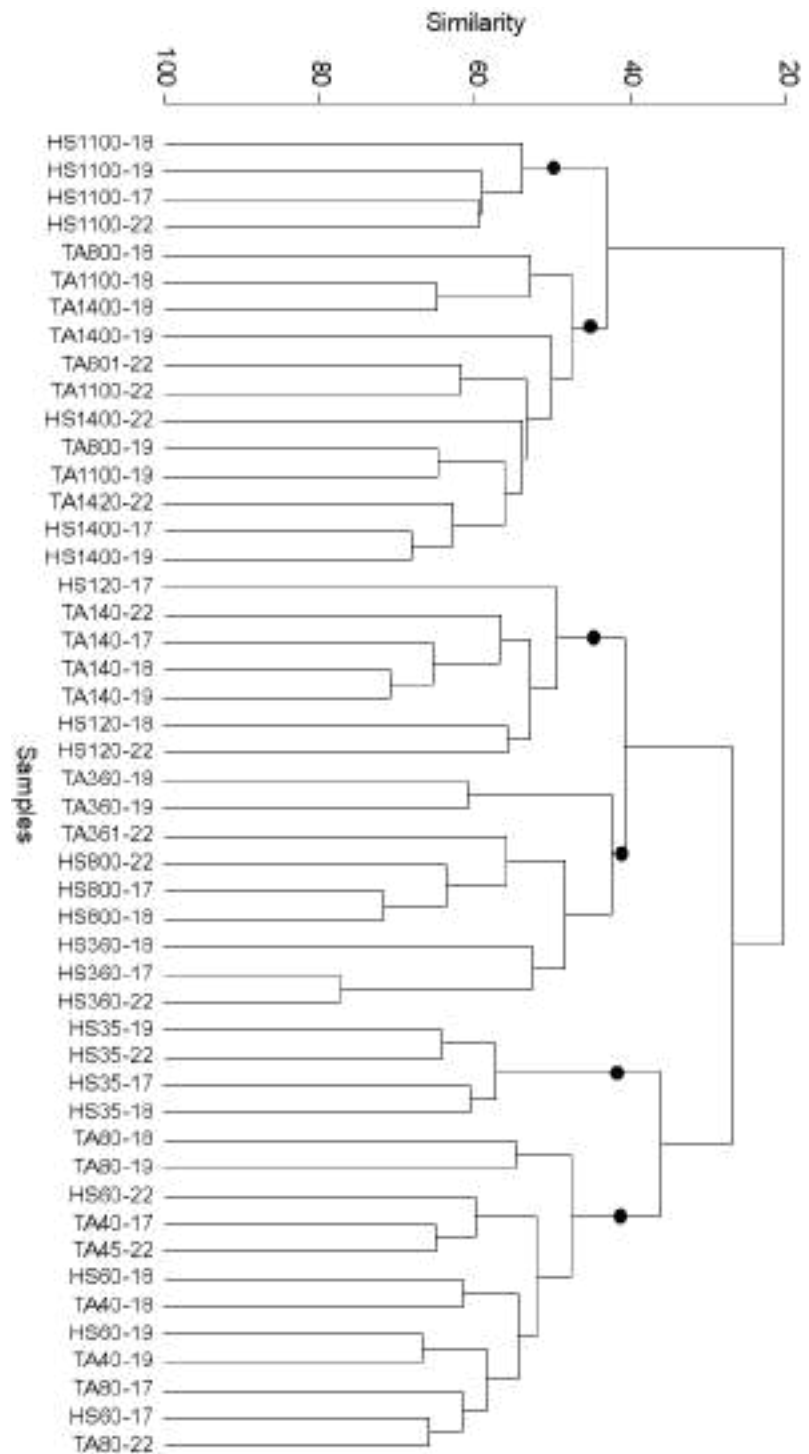
איור 4.7: מספר הפרטים של תולעים רב זיפיות משלושת המשפחות הנפוצות בניטור: (A) Capitulumidae, (B) Spionidae, ו- (C) Syllidae בתחנות נעמן, שפך הקישון, דדו, ואשקלון בין השנים 2005-2022. הקו השחור בתוך הקופסה מייצג את ערך החציון משנות הדיגום. הקו האדום מייצג את ערך הממוצע ב- 2022 (3 חזרות).



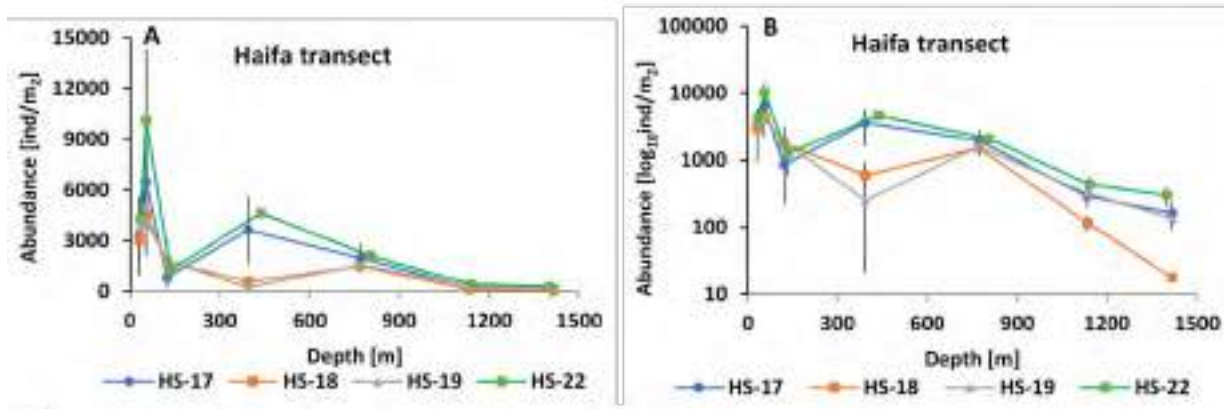
איור 4.8: מספר הפרטים ממערכת הרכיכות של מינים מהגרים (אדום) מול מקומיים (כחול) לאורך החוף (אשקלון-דדו, פאנל עליון) ובמפרץ חיפה (פאנל תחתון) בין 2005-2022. אחוז הפולשים מכלל מיני הרכיכות מוצג כקו מגמה בצבע אדום.



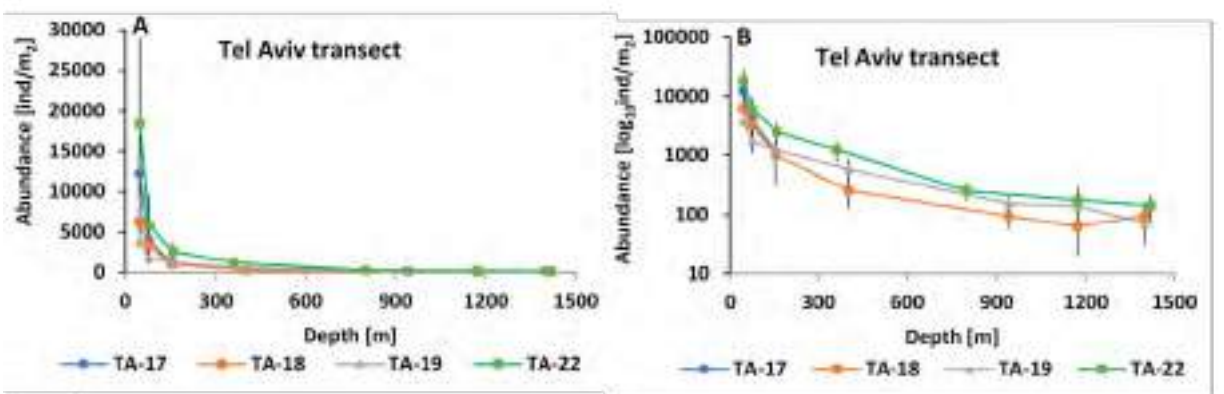
איור 4.9: מספר הטקסונים ממערכת הרכיכות של מינים מהגרים (אדום) מול מקומיים (כחול) לאורך החוף (אשקלון-דדו, פאנל עליון) ובמפרץ חיפה (פאנל תחתון) בין 2005-2022. אחוז הפולשים מכלל מיני הרכיכות מוצג כקו מגמה בצבע אדום.



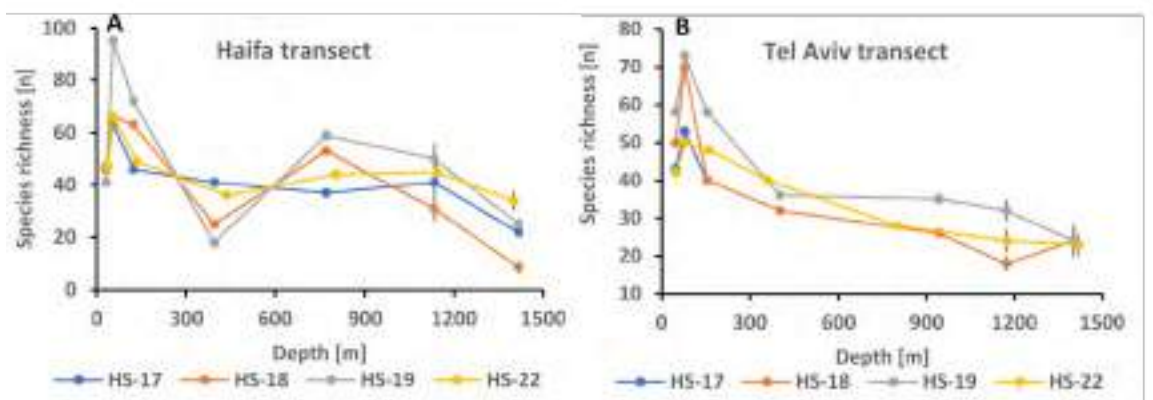
איור 4.10: אנליזת דמיון (cluster analysis) בין דגימות של הים העמוק חתך תל אביב וחתך חיפה בשנים 2017-2019, 2022. (ליד כל קבוצה אחידה (צובר), מופיעה נקודה שחורה עגולה על מנת להדגיש צובר של קבוצת תחנות עם רמת דמיון גבוהה).



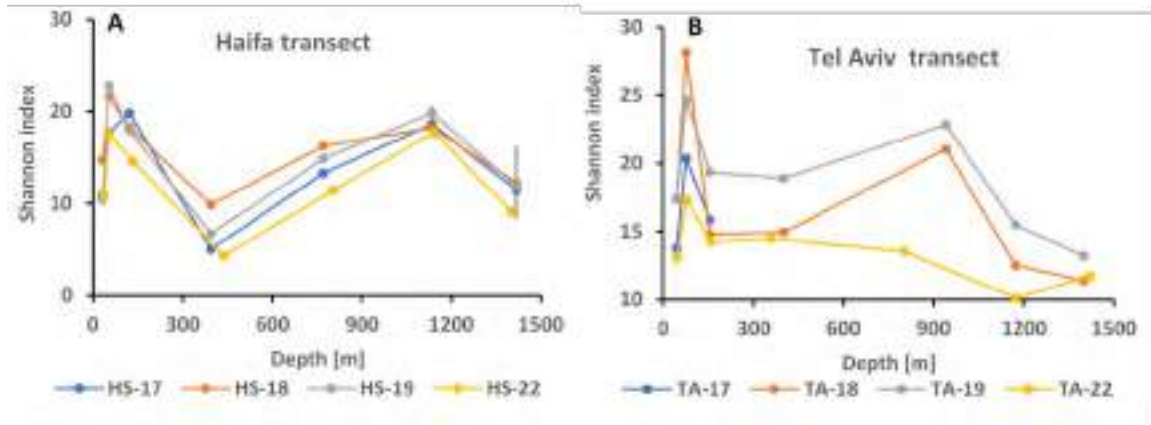
איור 4.11: צפיפות חי תוך המצע, חתך חיפה, בניטורי הים העמוק בשנים 2017-2022. A- סקאלה לינארית. B- סקלה לוגריתמית.



איור 4.12: צפיפות חי תוך המצע, חתך תל אביב, בניטורי הים העמוק בשנים 2017-2022. A- סקאלה לינארית. B- סקלה לוגריתמית.



איור 4.13: מדד עושר המינים בניטורי הים העמוק בשנים 2017-2022. A- חתך חיפה. B- חתך תל אביב.



איור 4.14: מדד שאנון בניטורי הים העמוק בשנים 2017-2022. A- חתר חיפה. B- חתר תל אביב.

4.2 ניטור פורמניפריה במדף היבשת

(מרכזת ד"ר סימונה אבנעים-כתב simonaav@ocean.org.il)

הרכב המאסף של הפורמניפריה הבנתיים חשוף לשינויים בגלל חדירה והתבססות של מינים פולשים, כולל אינדו-פסיפיים דרך תעלת סואץ, סכירת הנילוס והפעלת סכר אסואן ב-1965 ושינויי האקלים הגלובליים (במיוחד עליית טמפרטורה ומליחות מי הים, עליה בחומציות ומפלס הים). סכירת הנילוס (והקמת תשתיות ימיות נוספות) הובילה לשינוי משמעותי במאפייני הסדימנט והמצב האקולוגי במדף היבשת הרדוד, ובמיוחד ברצועת הארבעים מטר עומק מים. בין השינויים שנצפו: עליה דרמטית בגודלי הגרגר (מכ-15% ליותר מ-50% מקטע חול, מגמה המשתנה מצפון לדרום) וירידה בתכולת החומר האורגני (Almogi-Labin et al., 2012). ניטור קבוצת הפורמניפריה הבנתיים משמשת ביואינדיקטור למעקב אחר המשך מגמת שינויים אלה (e.g., Bouchet et al., 2021). השוואת ממצאי ניטור פני שטח שנערך בשני העשורים האחרונים (1997, 2011 ו-2021) עם סדימנטים שהצטברו טרום סכירת הנילוס (על סמך גלעינים קצרים שנדגמו בניטור 2019-2021) בשלוש תחנות (בית ינאי, אשדוד ואשקלון) ונבדקו במהלך 2022, מראה הבדלים בולטים מבחינת הרכב ותפוצת מאספי הפורמניפריה הבנתיים בעומק מים של כ-40 מטר.

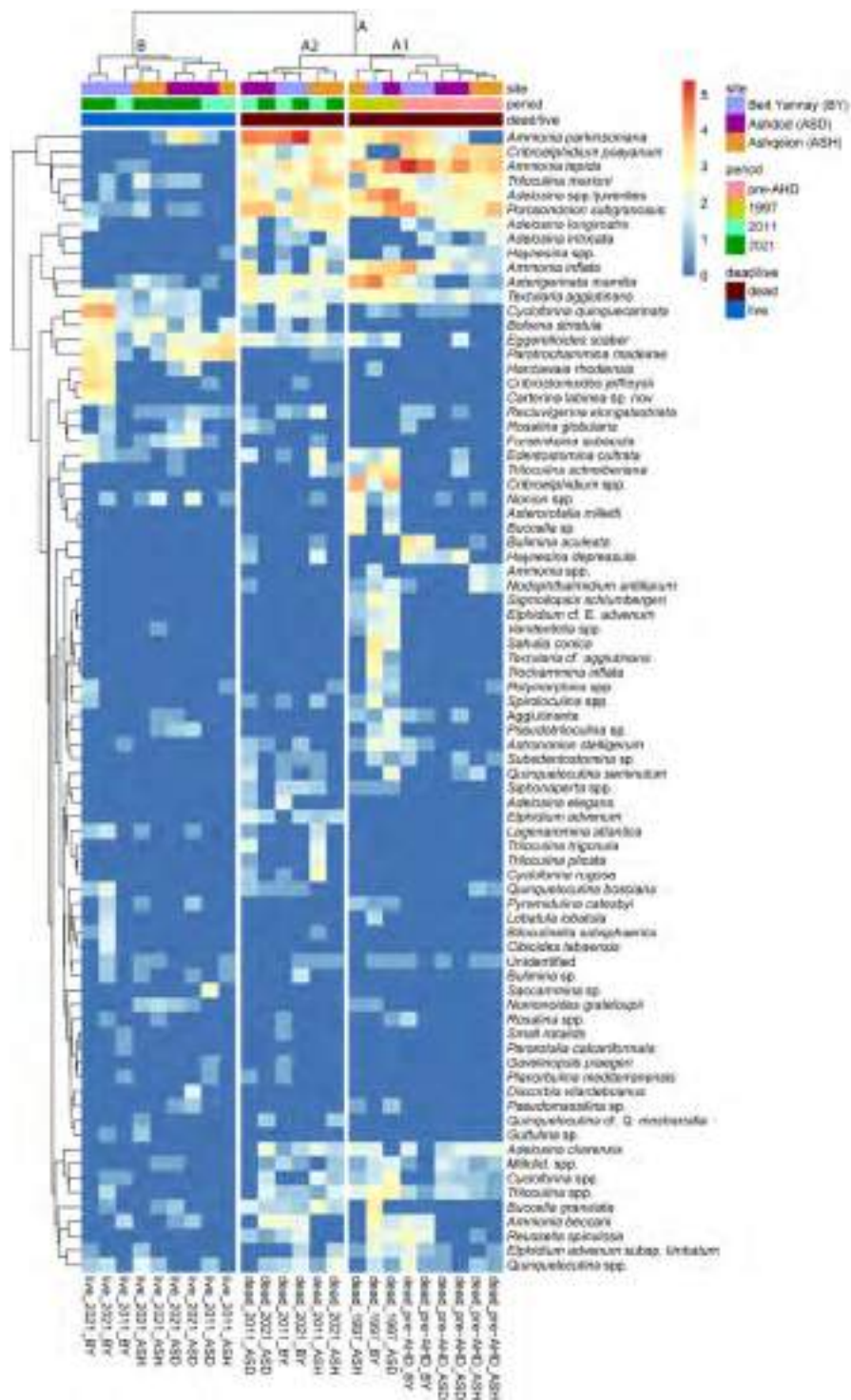
- מאספי הפורמניפריה המתים (cluster A) שונים מהותית ממאספי הפורמניפריה החיים (cluster B) (איור 4.15).
- הפורמניפריה המתים, המייצגים מידע ממוצע ארוך טווח, מתחלקים לשני תת מאספים הנפרדים לשתי תקופות זמן על רצף כרונולוגי (איור 4.15).
- מינים אופורטוניסטים כגון: *Cribrorhynchus poeyanum*, *Ammonia tepida* ו-*Porosononion subgranosus* תורמים 35% לדמיון בין דוגמאות המייצגות סדימנטים שהצטברו לפני סכירת הנילוס (cluster A1). נפיצותם קשורה לזמינות הגבוהה יותר של חומר אורגני שהגיע מהנלוס.
- התרומה של מינים אלה לדוגמאות המאסף המת משנת 1997 נמוכה יותר והיא מלווה בעלייה של מינים רגישים להעשרה אורגנית כגון *Ammonia parkinsoniana* (איור 4.15), מין החי בדרך כלל בסביבות אוליגוטרופיות (e.g., Bouchet et al., 2021). מין זה מראה מגמת עלייה עם הזמן בשכיחותו היחסית במאסף המת הקשורה לירידה בזמינות החומר האורגני ולעלייה המתמשכת של האוליגוטרופיות במדף היבשת כפועל יוצא של סכירת הנילוס (איור 4.16).
- הופעת מינים רגישים להעשרה אורגנית כגון *Bolivina striatula*, *Cycloforina* ו-*quinquecarinata* במאסף החי בלבד במקביל להמשך הירידה בשכיחות מאסף המינים

האופורטוניסטים (המייצג 4% מהמאסף כולו) ולעתים להיעלמותם המוחלטת (כדוגמת *Ammonia tepida* המאפיין סביבות עשירות מאוד בפחמן אורגני) קשורה להחמרה בתהליך האוליגטרופיות המתמשך והפיכת האזור לאולטרא-אולגורופי (איורים 4.15-4.16).

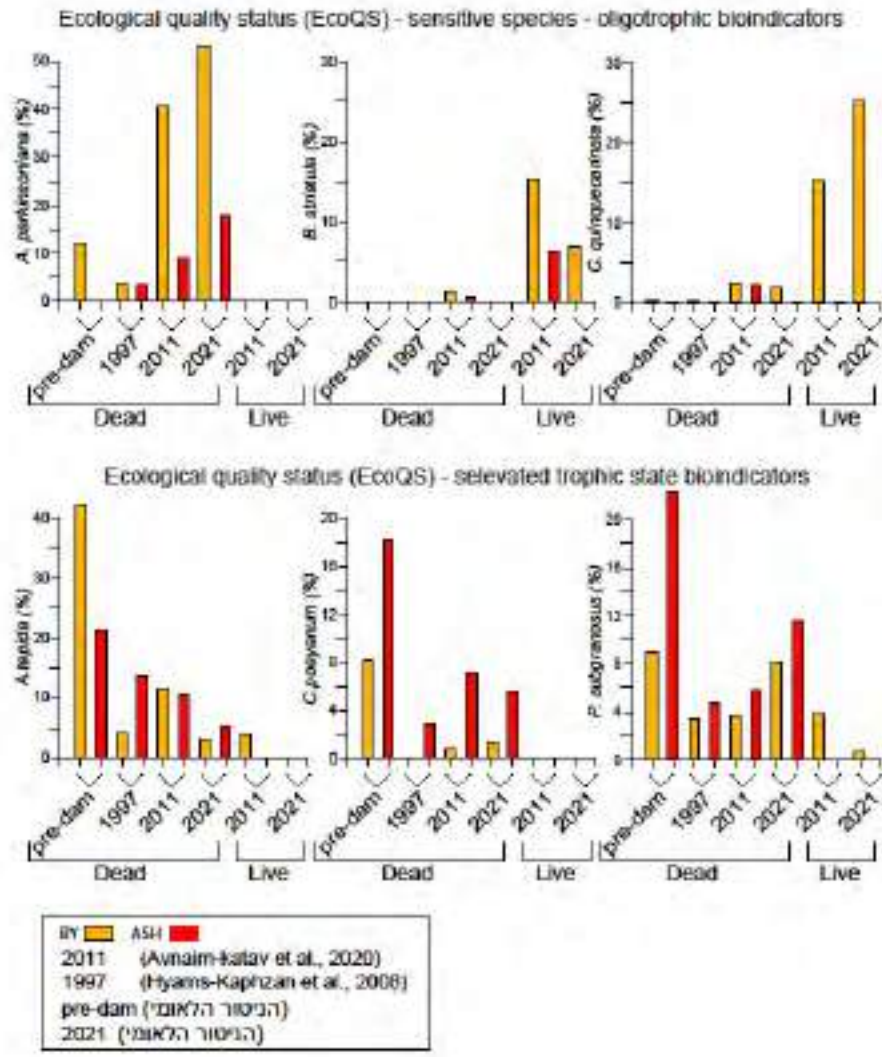
- הופעת המינים האוליגורופיים (e.g. *B. striatula*, *C. quinquecarinata*) במאסף החי בעשור האחרון בעיקר בתחנה הצפונית (BY-בית ינאי) (איור 4.16) מייצגת את השפעת הנילוס המצטמצמת ונסוגה דרומה.
- ניטור המגוון הביולוגי של מאספי הפורמניפרה יאפשר להמשיך ולבחון תהליכים ומגמות רב-שנתיות המתרחשים בעשורים האחרונים וקשורים להשפעת סכר הנילוס ותעלת סואץ ושינויים אקלימיים על המערכת האקולוגית הבנתית.

חלק מהמוצג בפרק זה פורסם בספרות המדעית (peer-review) בשנת 2022:

Avnaim-Katav, S., Holzmann, M., Pawlowski J. (2022). *Carterina labinea* sp. nov. – A new alien foraminifer from the Southeastern Mediterranean shelf. *European Journal of Protistology* 85:125911.



איור 4.15: אנליזה מקבצים - Q-mode Ward.D hierarchical cluster analysis - הכוללת דוגמאות פני שטח ותת הקרקע בשלוש תחנות בית ינאי (BY), אשקלון (ASH) ואשדוד (ASD) בדרום מזרח הים התיכון המייצגות ארבע פרסות זמן-טרנס סכירת הנלווה, 1997 (Hyams) 2008 (Kaphzan et al.), 2011 (Avnaim-Katav et al., 2020) ו-2021. האנליזה כללה 101 מינים המייצגים >2% מסך מאסף הפורמיניפרים



איור 4.16: השכיחות היחסית של מינים רגישים להעשרה אורגנית (סמנים לאוליגורופיות) ושל מינים אופורטיניסטים הסובלניים העשרה אורגנית.

פרק 5 – ניטור ביולוגי ואקולוגי של החי על המצע הרך

(מרכז ד"ר ניר שטרן nirstern@ocean.org.il)

הפרק מתייחס למדדים הקשורים לשינויי אקלים וליעדים אקולוגיים במסגרת אמנת ברצלונה, כלהלן: מגוון הביולוגי (E01) ומינים פולשים (E02).

ניטור מדף היבשת (20-80 מ')

- במהלך ניטור 2022, נוספו לרשימת המצאי 14 מינים חדשים, מתוכם 12 מיני סרטנים, מין אחד של תולעת רב זיפית ומין אחד של נוצת ים (טבלה 5.1). תוספת זו הינה תוצאה של מאמץ בזיהוי הטקסונומי וייעוץ עם מומחים לקבוצות השונות.
- בחלוקה לקבוצות החי במהלך שנות הניטור, נצפו כמו בכל שנה, הבדלים עונתיים בין ניטור האביב לסתיו, כאשר באביב נצפתה שכיחות גבוהה של חסרי חוליות קרקעיים.
- בדיגום חגורת העומק של ה-80 מ' נדגמו ב-2022 מעל 20 אלף פרטים של השרימפס המקומי *Parapenaeus longirostris* בהשוואה ל-240 פרטים בשנת 2021, מה שמסביר את העלייה היחסית של חסרי החוליות הקרקעיים באותו עומק (איור 5.1).
- לא נצפו הבדלים מובהקים במספר המינים, שכיחות וביומסה של מיני הדגים הזרים בין שנות הניטור ($Kruskal-Wallis, p > 0.05$).
- בדומה לשנה שעברה, הדגימות שנאספו בסתיו 2022 מ-20 מ' הכילו את מקסימום מיני הדגים הזרים/פולשים (25 מינים) אשר היוו 53% מסך כל המינים לעומק זה. הערך המינימלי לעומת זאת, היה שלושה מינים זרים בדיגום של 80 מ' באביב 2020 אשר היוו 13% מסך כל המינים לעומק זה (איור 5.2).
- השכיחות הממוצעת (מספר פרטים ממוצע) של המינים הזרים הייתה גבוהה בניטורי הסתיו בהתאם לעונת הגיוס של הדגים הצעירים, עם ערך מקסימלי של 69.2% מיני דגים זרים בשלל רשת בודדה בעומק 40 מ' לעומת 62.5% בניטור אביב ב-20 מ' (איור 5.2).
- שכיחות המינים הזרים בחגורת העומק של ה-80 מ' בדיגומי הסתיו ירדה השנה מערך של 48% ממוצע לרשת בשנת 2021 לערך של 11% בשנת 2022 (איור 5.3).
- באנליזת רבת משתנים, לא נצפו הבדלים מובהקים בהרכב חברת מיני הדגים לאורך השנים ($ANOSIM, R=0.067, p > 0.05$).
- אנליזת SIMPER (Similarity PERcentage) הראתה כי חברת הדגים הכללית של שנת 2022 אופיינה בעיקר ע"י המינים הפולשים נימי דו-ימי *Nemipterus randalli*, אופירית

נודדת *Saurida lessepsianus* ושרבובון קלונציגר *Equulites klunzingeri* אשר תרמו ביחד ל-50.97% מהדמיון בין כלל הדגימות.

- בדומה לשנה שעברה, גם ב-2022 כמעט ולא עלו בשלל פרטים של המין הפולש הלהקתי שפמית ארסית *Plotosus lineatus*. בהשוואה רב שנתית אשר כללה גם נתוני עבר של אונ' ת"א נראה כי לאוכלוסיות של מין זה בעומק ה-20 מ' יש תנודתיות גבוהה במיוחד אשר לעיתים מאפיינת אוכלוסיות של מינים פולשים (איור 5.4). מאחר וחגורת העומק בה מין זה נפוץ (20 מ') הינה אסורה לדיג מכמורות, ממצא זה מדגיש את החשיבות של המשך ניטור תדיר בעומק זה ובחינת השפעת הגבלת הדיג עליו.
- נצפתה עלייה נוספת ומשמעותית בשכיחות היחסית של המין הזר חלילון זיפני (*Fistularia petimba*), בשלושת חגורות העומק הרדודות (איור 5.5).

ניטור מדרון היבשת ומישור הבתיאל (1,700-200 מ')

- בוצע דיגום של שמונה רשתות בשלושה בתי גידול (דצמבר 2022): גרירת שתי רשתות מכמורת לאורך שעה וחצי בקצה מדף היבשת בעומק 200 מ', שתי רשתות במדרון היבשת בעומק 500 מ' וארבע רשתות במישור הבתיאל בעומקים 1,100 ו-1,300 מ'. בנוסף, הוטלה רשת זימים באורך של כ-85 מ' במדרון היבשת על מנת לאמוד את מגוון ושכיחות המגה פאונה.
- בניטור הנוכחי נוספו לרשימת המצאי של ניטור ים עמוק שלושה מינים, שני פרטים של השרימפס המקומי *Aegaeon cataphractus* ממדרון היבשת, חמישה פרטים של הצדפה המקומית *Anadara gibbosa* מקצה מדף היבשת, ושלושה פרטים של הרכיכה המקומית *Philine quadripartita* מקצה מדף היבשת. שלושת ההגדרות הנ"ל נובעות ככל הנראה משיפור ביכולות הטקסונומיות בהגדרת חסרי חוליות לרמת המין.
- בבחינת הרכב השלל בשש שנים האחרונות לא נצפו הבדלים מהותיים למעט ירידה בחלק היחסי של קווצי העור בשנתיים האחרונות בקצה מדף היבשת (איור 5.6). אחוז קווצי העור הגבוה יחסית בשנים 2017-2020 נבע משלל גבוה של קיפודי ים אי-רגולריים מהמינים *Echinocardium cordatum* ו-*Brissopsis lyrifera*.
- לא נצפו הבדלים מובהקים לאורך השנים במספר מיני דגים או שכיחותם בכל אחד משלושת בתי הגידול הנדגמים. כן נראה כי השלל שנאסף ממישור הבתיאל הינו נמוך בהשוואה לבתי הגידול הרדודים יותר (איור 5.7).
- רשת הזימים שהוטלה במדרון היבשת הכילה 16 פרטים של קוצן מגובשש *Centrophorus granulosus* מהם תשע נקבות ושבעה זכרים, ולא נתפסו מינים נוספים.

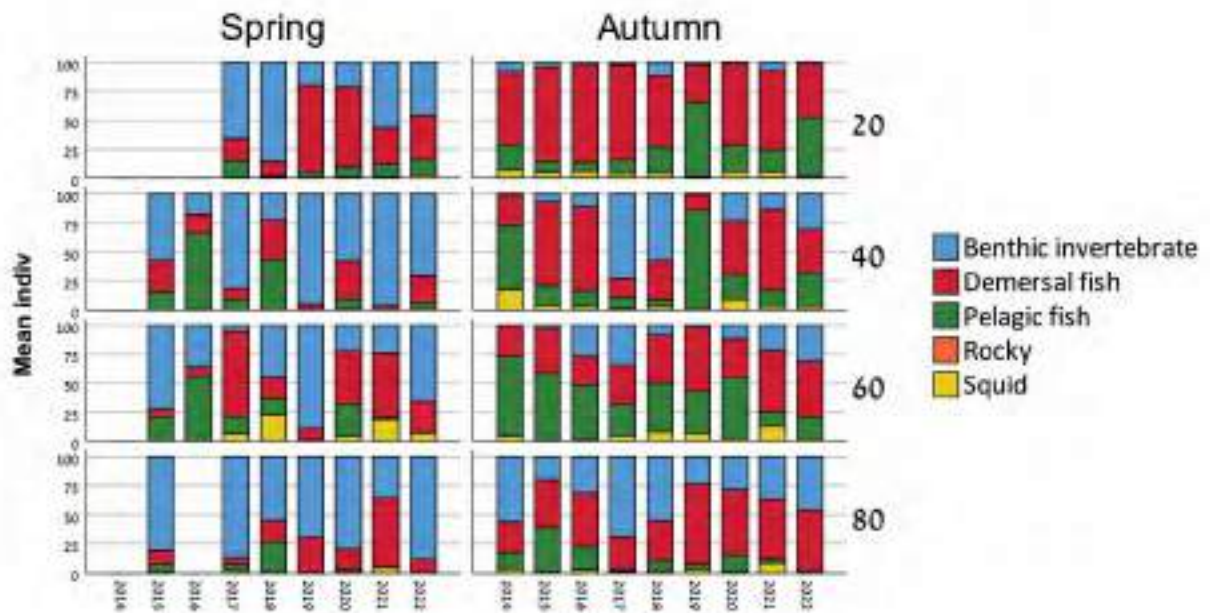
- אנליזת השוואות רבות-משתנים בין השנים ובתי הגידול השונים נעשתה עבור חברת הדגים בלבד, מאחר והייתה הקבוצה יחידה אשר הוגדרה בשלמותה עד לרמת המין. שאר האורגניזמים נמצאים כרגע בשלבי הגדרה אצל טקסונומים מומחים לכל קבוצה. באנליזה זו ובהתאם לשנים הקודמות לא נצפו הבדלים בהרכב חברת הדגים לאורך השנים (ANOSIM, $p > 0.05$), אך כן נצפו הבדלים מובהקים בין חברות הדגים של קצה מדף היבשת, מדרון היבשת ומישור הבתיאל (ANOSIM, $R = 0.709$, $p < 0.01$) (איור 5.8).

חלק מהמוצג בפרק זה פורסם בספרות המדעית (peer-review) בשנת 2022/3:

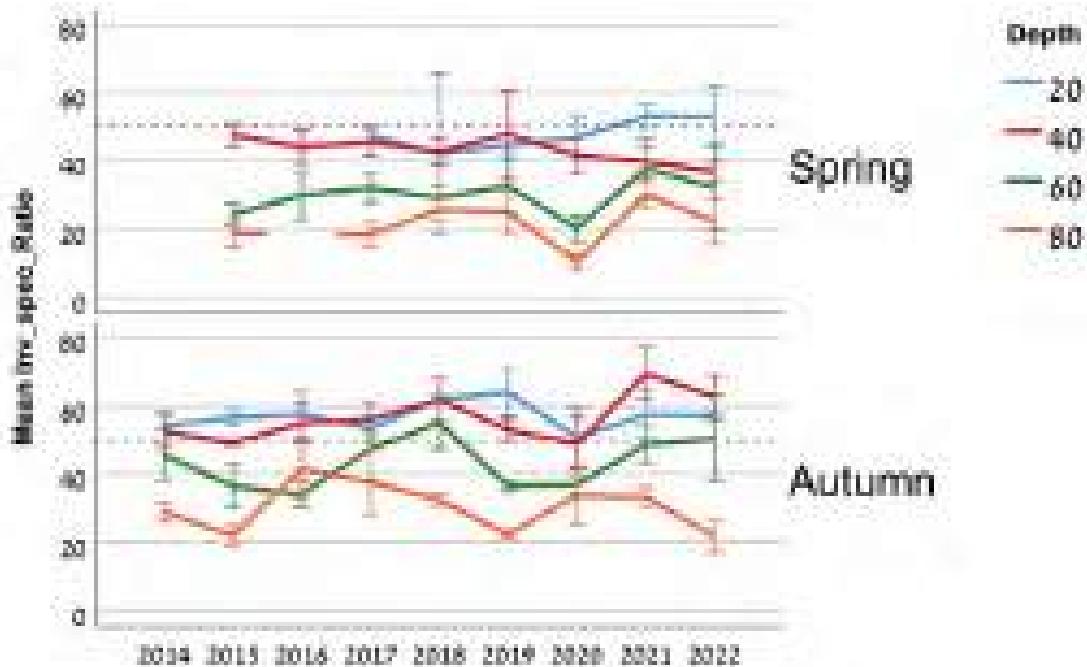
Guerchon, J., Morov, A. R., Tagar, A., Rubin-Blum, M., Tikochinski, Y., Berenshtein, I., ... & Stern, N. (2023). Marine top secrets: Ichthyoplankton in surface water uncover hidden knowledge on fish diversity and distribution. *Estuarine, coastal and shelf science*, 282, 108226.

טבלה 5.1 - מינים חדשים לרשימת הניטור הלאומי בשנת 2022 בניטור מדף היבשת

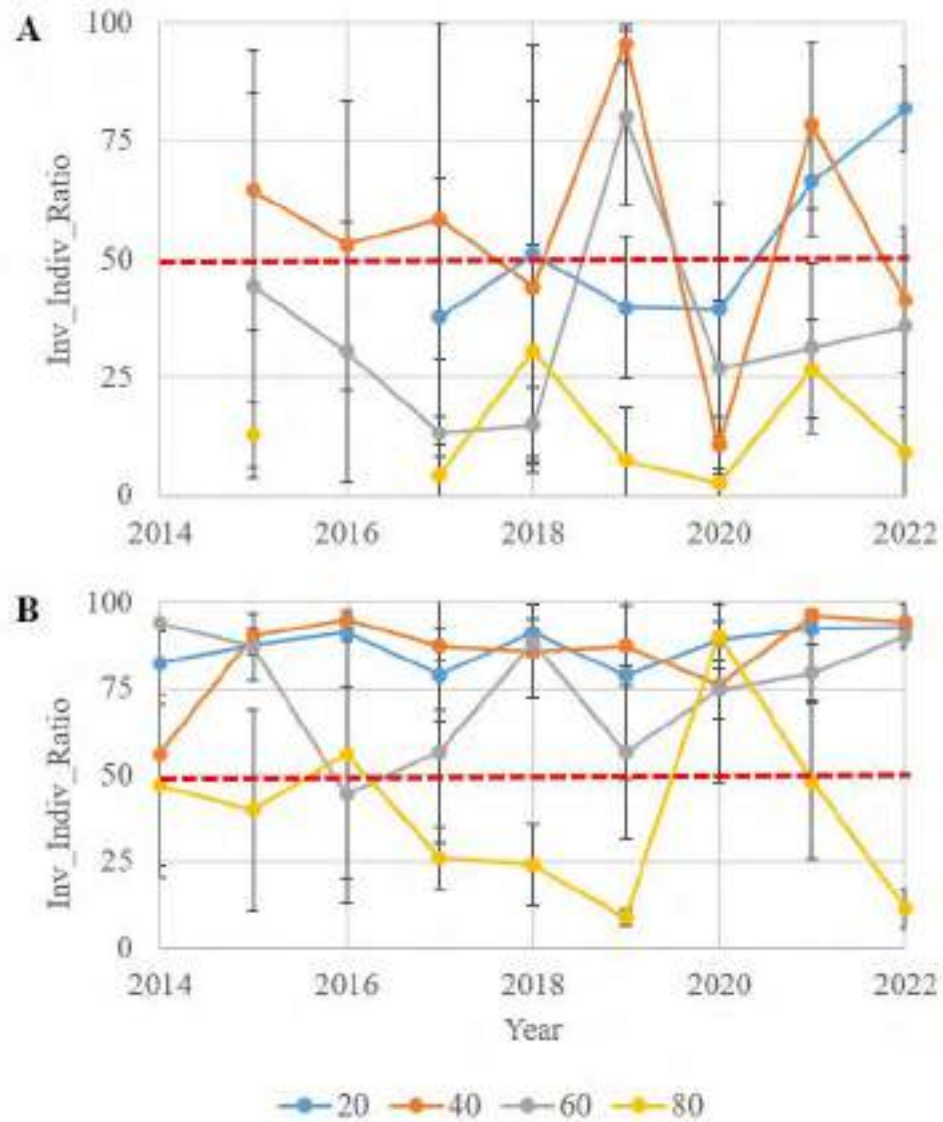
מס' פרטים	מוצא	שם המין	קבוצה
1	מקומי	<i>Alpheus glaber</i>	סרטנים
2	לא ידוע	<i>Clorida sp.</i>	סרטנים
3	מקומי	<i>Inachus communissimus</i>	סרטנים
6	מקומי	<i>Liocarcinus depurator</i>	סרטנים
2	מקומי	<i>Macropodia tenuirostris</i>	סרטנים
5	מקומי	<i>Pagurus alatus</i>	סרטנים
5	מקומי	<i>Pagurus cuanensis</i>	סרטנים
285	אינדו-פסיפי	<i>Penaeus pulchricaudatus</i>	סרטנים
22	מקומי	<i>Pteroeides griseum</i>	צורבניים – נוצת ים
24	לא ידוע	<i>Sabellidae sp.</i>	תולעים רב זיפיות
2	מקומי	<i>Solenocera membranacea</i>	סרטנים
64	אינדו-פסיפי	<i>Trachysalambria curvirostris</i>	סרטנים
2	אינדו-פסיפי	<i>Trachysalambria palaestinensis</i>	סרטנים
2	מקומי	<i>Upogebia deltaura</i>	סרטנים



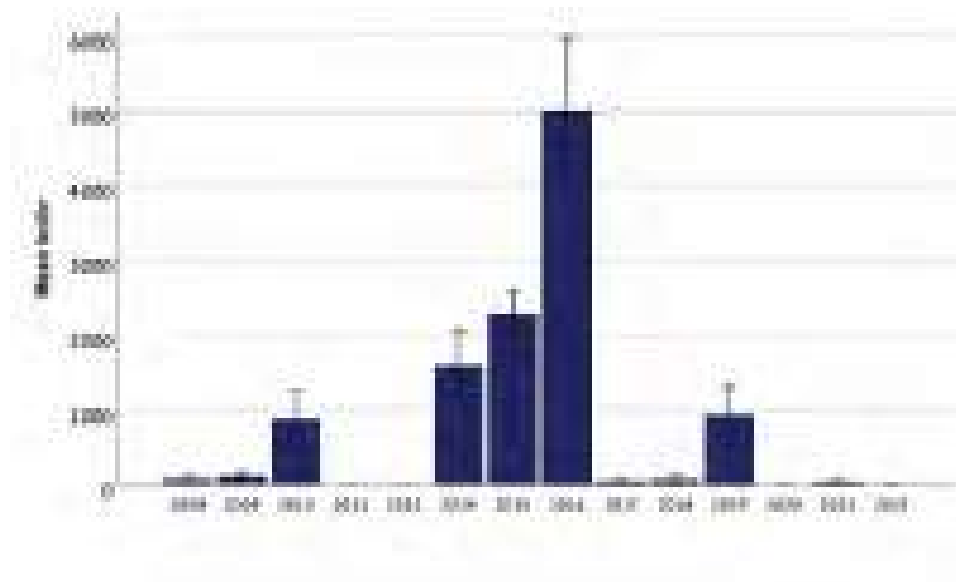
איור 5.1: אחוז מספר הפרטים של קבוצות החי במצע הרך לשנות הניטור, בחלוקה על פי עונות וחגורות העומק השונות.



איור 5.2- שינויים רב שנתיים ביחס ממוצע מספר המינים הפולשים לרשת \pm שגיאת תקן מכלל שלל ניטור החי על המצע - מדף באביב (פאנל עליון) ובסתיו (פאנל תחתון). הנתונים מוצגים כאחוז. הצבעים השונים מייצגים את עומק הגררה. הקו האדום מראה את מחצית השלל (50%).



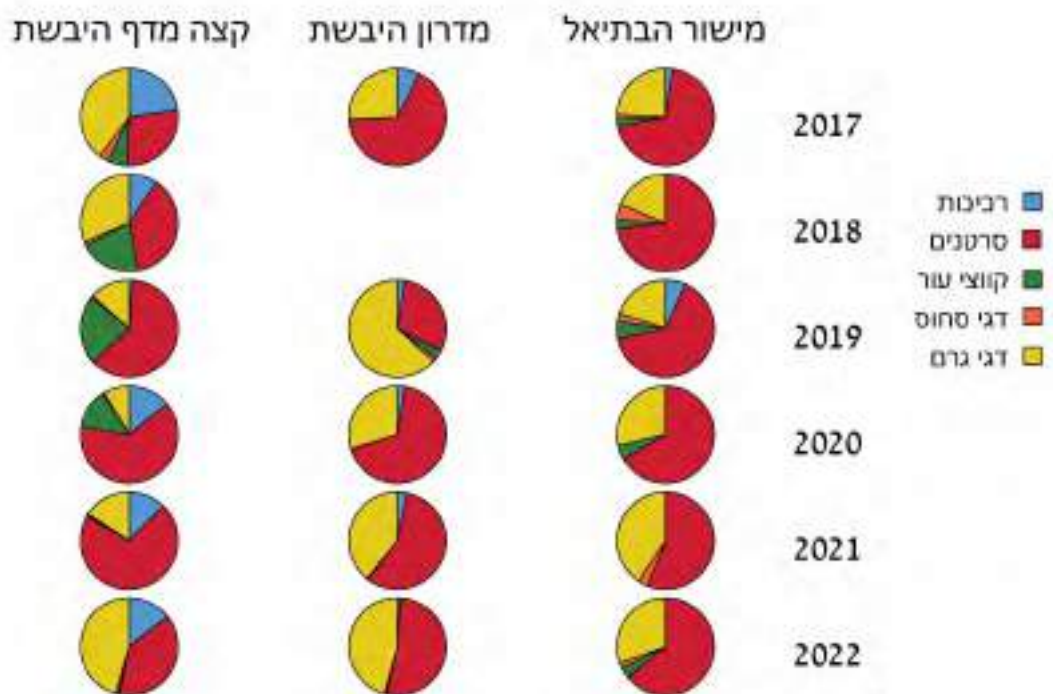
איור 5.3 - שינויים רב שנתיים ביחס ממוצע מספר הפרטים של המינים הפולשים לרשת \pm שגיאת תקן מכלל שלל ניטור החי על המצע - מדף היבשת בניטור אביב (A) וסתיו (B). הנתונים מוצגים כאחוז. הצבעים השונים מייצגים את עומק הגררה. הקו האדום מייצג מחצית השלל (50%).



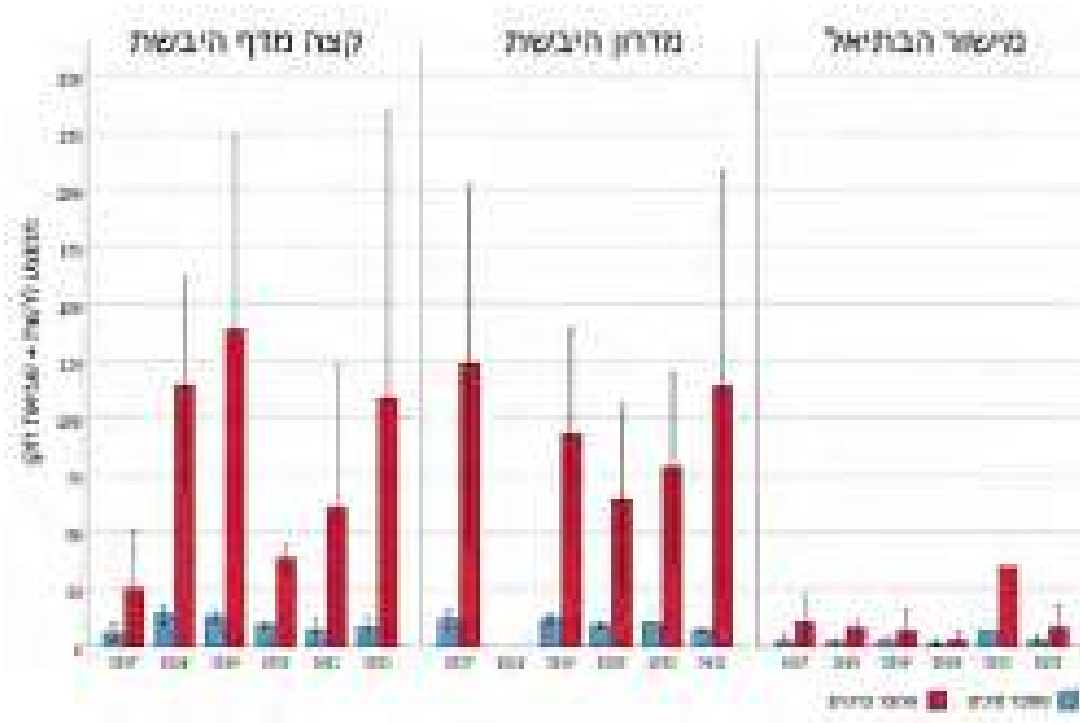
איור 5.4 – ממוצע מספר פרטים לרשת של המין הפולש שפמית ארסית (*Plotosus lineatus*) בחלוקה לשנות הניטור בעומק הרדוד של 20 מ'.



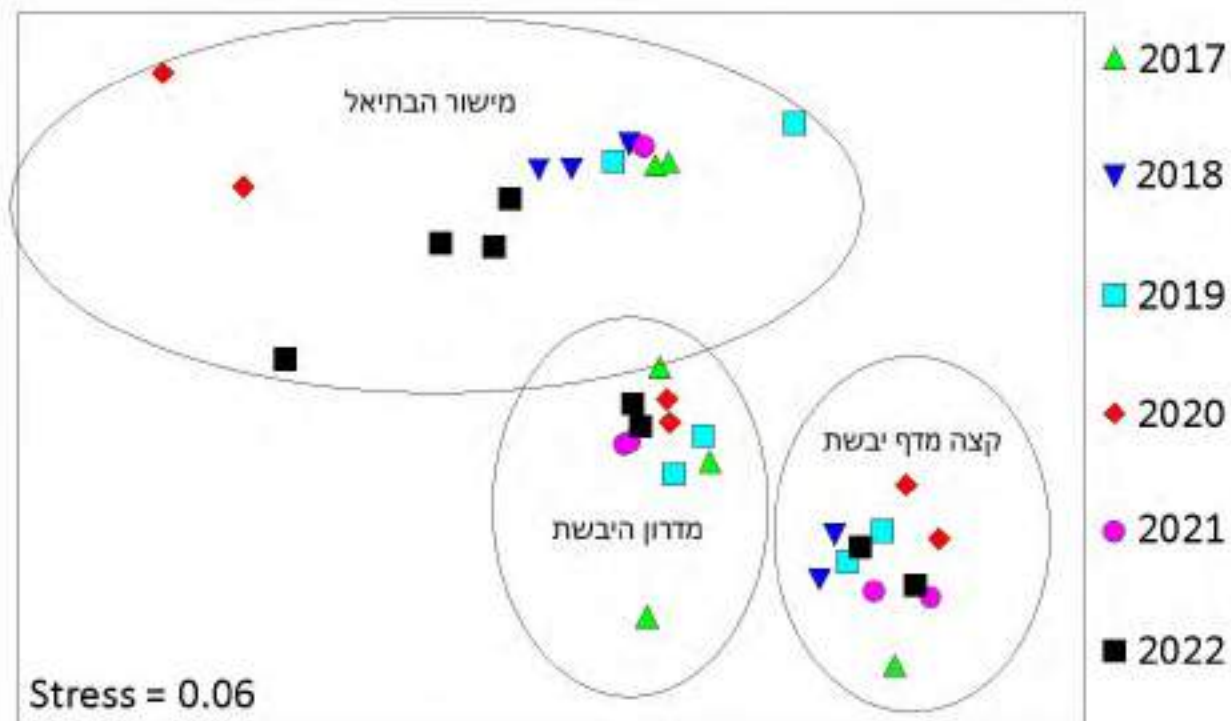
איור 5.5 – ממוצע מספר הפרטים לרשת של המין הפולש חלילון זיפני (*Fistularia petimba*) משנת הזיהוי הראשונה שלו, בחלוקה לעומקי הגרירות (20-80 מטרים).



איור 5.6 – הרכב השלל היחסי של חמשת קבוצות החי העיקריות בניטור ים עמוק לפי השנים והאזורים הבתימטריים הנדגמים.



איור 5.7 – מספר מיני הדגים ושכיחותם כממוצע לרשת דיגום בניטור הים העמוק בשנים 2017-2022.



איור 5.8 - אורדינציית רבת משתנים MDS הבוחנת את הדמיון בין הרכב חברות הדגים של קצה מדף היבשת (200 מ'), מדרון היבשת (500-756 מ') ומישור הבתיאל ($>1,000$ מ') מתוך שנות הניטור ע"פ נתונים שנאספו ב-2017-2022.

פרק 6 - ניטור חברות אקולוגיות בחוף הסלעי ובמצע הקשה

(מרכז פרופ' גיל רילוב rilovg@ocean.org.il)

הפרק מתייחס למדדים הקשורים לשינויי אקלים וליעדים אקולוגיים במסגרת אמנת ברצלונה, כלהלן: EO4 Marine food webs, EO1 Biodiversity, EO2 Invader species
ד"ר אלורו ישראל היה שותף בזיהוי הטקסונומי של המאקרואצות שנמצאו במהלך הניטורים במסגרת פרק זה.

תמצית ממצאים משמעותיים בשנת הניטור 2022

- אירוע יובש חריג בעוצמתו ומשכו גרם לתמותה נרחבת של מיני בע"ח שונים ומאקרואצות בחוף הסלעי, ובכלל זה של צלחיות שהנן חלזונות עמידים ביותר לתנאי קיצון ויובש. אירועים אלה צפויים לגבור לאור שינויי האקלים, דבר בעל השלכות לכלל החברה בחוף הסלעי ומארג המזון.
- נמשכה התבססות צדפה מהסוג *Isognemon* שהינה ככל הנראה פולשת (זיהוי טקסונומי לרמת המין נמצא בתהליך).
- נראתה פריחה מסיבית של האצה האדומית הפולשת *Asparagopsis taxiformis* לאורך חופי הארץ בחודשי הקיץ. מגמה זו נמשכת זה שנה רביעית.
- נמשכה מגמת התבססותם של דגי הזהרון, דבר שעלול לגרום לפגיעה משמעותית בחברת הדגים כולה. מומלץ לשקול דילול מבוקר של מין זה כפי שכבר נעשה בתוך שמורת אכזיב.
- לראשונה נראו פרטים מהקיפוד הים סופי הפולש נזירית ארוכת קוצים *Diadema setosum* באתר ראש כרמל בדיגום אביב שהתקיים בתחילת יוני 2023. יש לעקוב אחר מגמה זו.
- בשוניות הרדודות לאורך חופי הארץ ישנה שכיחות גבוהה של אצות זרות או פולשות.

חוף סלעי (טבלאות גידוד)

- הממצאים בדו"ח מתייחסים למגמות בחברה האקולוגית על משטחי טבלאות הגידוד בשתי חגורות (מרכז הטבלה וקצה הטבלה) בארבעת אתרי הליבה (אכזיב, שיקמונה, הבונים ופלמחים) מסתיו 2009 עד חורף 2023.
- **מגוון ביולוגי.** לאורך שלש עשרה שנות הניטור נשמרת 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 טמפ' הקיץ גבוהות מדי למינים מקומיים רבים. בקצה הטבלה נראה כי עושר

הטקסונים בעונת החורף עלה בשנים הראשונות (בין 2009 ל- 2014-15) ואז ירד מעט עד 2018 ועלה שוב ב- 2019 ונשאר יציב יחסית מאז (איור 6.1). יתכן שמגמות ושינויים אלה קשורים בין היתר לאירועי יובש קיצוניים וארוכים שהתרחשו בעונת החורף והם נפוצים היום יותר מאשר בעבר (Zamir et al 2018). בחורף 2013-2014 התרחש אירוע יובש קיצוני במיוחד, שנמשך כמעט ברציפות לאורך חודש וחצי וגרם לתמותה נרחבת על הטבלאות. אירוע דומה אך קצר יותר התרחש שוב באפריל 2022 (ראה פירוט למטה).

- **מבנה החברה האקולוגית.** לאורך שלש עשרה שנות הניטור נראו שינויים ניכרים במבנה החברה, בעיקר בין השנים הראשונות לאחרונות (איור 6.2), המודגם במספר אתרים ועונות, בעיקר בשל תנודות חזקות בשכיחותם של מינים דומיננטיים, מקומיים וזרים (Rilov et al 2020). יתכן ששינוי זה קשור למגמות שינוי האקלים המתבטאים בעליה בטמפ' האוויר והמים. כאמור, אירועי יובש קיצוניים וכן גלי חום ואירועים אקראיים (כמו תמותת הבוצית) כנראה תורמים לתנודות חזקות אלה. התנודות העיקריות ניכרות בין 2013 ל- 2014 – כנראה בשל אירוע יובש הקיצוני בדצמבר 2013-ינואר 2014, ואחר כך בין 2016-2017, בעיקר בשל העלמות הצדפה הבוצית המהגרת.

- **מיני מפתח.** שני מיני מפתח של טבלאות גידוד נעלמו כמעט לחלוטין מבית גידול זה עוד לפני תחילת הניטור ולא חזרו לקדמותם לאורך כל שנות הניטור. מין אחד הוא צינוריר בונה (*Dendropoma anguliferum*) המשמש מהנדס סביבה ומעצב את מבנה טבלאות הגידוד (איורים 6.3 ו- 6.4). המין השני הוא החילזון הטורף הגדול ארגמנית סמוקת-פה (*Stramonita haemastoma*), שבשנים האחרונות נצפו בכל זאת כמה פרטים ממנו באתרים אחרים, אך לא באתרי הניטור, ואין מגמה אמיתית של חזרה שלו עדיין. כמו כן נראה מיעוט של מינים אחרים שהיו נפוצים בעבר כמו חלזונות יסדוק. מין הצינוריר השני, צינוריר תולעני (*Vermetus triquetrus*) מראה תנודות בגודל האוכלוסייה, שחלקן הינו למעשה ארטיפקט הקשור למידת הכיסוי וחיפה של חלזון קבוע מקום זה על ידי אצות המקשות על גילוי הקונכיות שלו בעיקר באביב (איור 6.3).

- **מינים פולשים.** לאורך שנות הניטור קיימת נוכחות מתמדת של מספר מינים זרים בטבלאות הגידוד. מבין האצות, האצה הטרופית קוצנית מצרית (*Acanthophora najadiformis*) מראה דומיננטיות בקיץ, בעיקר באזור הצפון בקצה הטבלה, אם כי שכיחותה ירדה בין 2016-2018 ועלתה שוב בשלש השנים האחרונות (איור 6.5). מבין חסרי החוליות, בסרטני השייחן הנפוצים בחוף הסלעי, המין שיישן תלת-שן (*Pachygrapsus marmoratus*) הוא כמעט היחידי הנראה בניטור (אם כי קשה מאוד לכמת את אוכלוסיותו כי הוא לרוב חומק ומסתתר בחורים וחריצים בסלע בנוכחות אנשים),

בעוד שהמין המקומי, שיישן דו-שן (*P. transversus*), כמעט ואינו נראה. תצפיות כלליות מצביעות על כך שבשנה האחרונה מסתמנת ירידה בנוכחות סרטנים אלה אם כי קשה לכמתה. גם מבין חלזונות המגדלונים הנפוצים על הטבלה, דומיננטי המין הפולש מגדלון מחוספס (*Cerithium scabridum*) על פני המין המקומי, מגדלון סלעים (*C. rupestre*). הצדפה הפולשת, בוצית מגוונת (*Brachidontes pharaonis*), הייתה נפוצה ביותר על טבלאות רבות לאורך החוף בעשורים האחרונים, אך בקיץ 2016 קרסה לחלוטין לכל אורך החוף (איור 6.4). רק ב- 2019 היא התחילה להראות התאוששות מסוימת ההולכת ומתחזקת, בעיקר באתר פלמחים שם הגיעה בקצה הטבלה לארבעים אחוז כיסוי בשנת 2022. בנובמבר 2019 התגלו לראשונה מקבצים של צדפה בוצית פולשת גדולה מדרום אפריקה, *Perna perna*, בסלעי החוף תל ברוך (דיווח, ירון ביסמוט). מין זה דווח פעם אחת לפני שנים בישראל וישנן עוד מספר תצפיות שלו ברחבי דרום הים התיכון. ב- 2021 דווח כי צדפה זו נצפתה גם במקומות אחרים לאורך החוף בסלעי הכרית והתת-כרית כולל במפרץ חיפה וגם נעשה זיהוי טקסונומי מולקולרי (Douek et al 2021). באפריל 2020 נצפו מקבצים נוספים של הצדפה הפולשת בקצה של טבלה קטנה בחוף נווה ים ונעשה זיהוי מולקולרי. פרטים בודדים שלה נצפו בסוף 2020 גם באתר הניטור בחוף פלמחים ובאביב 2022 נראה כי אוכלוסייתה גדלה בחגורת הדיגום של קצה הטבלה באתר זה, אך לא נצפתה בחתכים שנעשים באתרי הניטור האחרים (איור 6.4). 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 ולכן יתכן שלא יהפוך דומיננטי על משטחי הטבלה עצמם והמשך הניטור בשנים הקרובות יחשוף אם אכן זה המצב. באתר פלמחים וכן באתרים שלא בתכנית הניטור נראתה העלמות של חלק מהאוכלוסיות ב- 2022 וחזרה מסוימת שלו בתחילת 2023. מין צדפה זר נוסף מהסוג, *Isognemon* (זיהוי טקסונומי בתהליך), הפך להיות נפוץ יחסית בחלק מאתרי הניטור בשנתיים האחרונות (איור 6.4). מין זה חי בעיקר בסדקים בסלע ולכן מעט קשה לאיתור, ומעקב אחר אוכלוסייתו ימשך בשנים הקרובות. בשנתיים האחרונות החל להופיע בטבלאות שקמונה מין חדש של חלזון ורמטיד סוליטרי, שהוא גדול משני המינים העיקריים הידועים בישראל, ושעדיין נמצע בתהליך זיהוי טקסונומי. בסתיו 2022 החלו להופיע פרטים שלו גם בחתכי הניטור בשקמונה בכיסוי ממוצע של 0.2%. בשנים הקרובות ימשך המעקב אחריו ויסתיים זיהויו.

● **אירועים ייחודיים:** בפברואר 2022 אירע אירוע חריג של מפלס ים נמוך במשך שבועיים בכל הים התיכון כולל בחופי ישראל, שנבע כנראה משילוב של גורמים אקלימיים שהתחברו.

בשבוע השני גם היו רוחות מזרחיות ויובש קיצוני שגרם להלבנה חזקה של אצות באתרי הדיגום לכל אורך החוף. אירועי המזרחיות כאמור הינם תופעה טבעית אשר תדירותה מתגברת בעשורים האחרונים, יתכן כתוצאה משינוי אקלים (Zamir et al 2018), אך אירוע השפל הגדול מאוד בשבוע הראשון היה חריג במיוחד. בסקרים מיוחדים שנערכו בשיקמונה בשלשה חתכי דיגום בגב הטבלה על מנת לבחון שרידות צלחיות, שהם לרוב חלזונות עמידים ביותר לתנאי קיצון, נמצא ב- 27 לפברואר שיעור תמותה ממוצע שלהן שנע בין 52-63%. יומיים אחרי עלה שיעור התמותה ונע בין 69-88% (איור 6.6).

שוניות מים רדודים

הממצאים בדו"ח מתייחסים למגמות בתכסית הביולוגית של הסלע ובחברת הדגים של השוניות הרדודות מאביב 2013 עד סתיו 2022 (תכסית) או חורף (דגים) 2022 בחמישה אתרים באזור חיפה המצויים בעומקי מים שונים, והינם בעלי אופי מרחבי וביולוגי שונה. שני אתרים נמצאים בראש כרמל, אחד רדוד ובעל מורכבות נמוכה (RD-1 בעומק מים של 7 מטר), שאופיין בתחילת הניטור בחברת אצות חומיות עשירה, ואחד עמוק (ידוע בשם שונית ספרטה) ובעל מורכבות מרחבית גבוהה (SP-1 בעומק מים של 20 מטר). שני אתרים אחרים הם על גבול השמורה ברכס שקמונה המקביל לחוף (SK-2, SK-3 עומק 12-14 מטר, הראשון בעל מורכבות גבוהה יחסית והשני, נמוכה), שאופיינו בתחילת הניטור בכיסוי רב יחסית של מין אצה טרופית פולשת (*Galaxaura rugosa*). אתר נוסף – SK1, קרוב לחוף בעומק מים של 2 מטר, שימש במשך שנתיים וחצי למעקב אחר העונתיות של האצה המקומית האנדמית ציסטנית השיחנית *rayssiae* *Gongolaria* היוצרת בין איזור חי"ל לאיזור בת גלים יער צפוף וייחודי בחוף הישראלי. יערות האצות החומיות יוצרות החופה (canopy) נחשבות כבעלות חשיבות אקולוגית רבה, הן נתונות לאיומים רבים ושכיחותן יורדת במקומות רבים בים תיכון ולכן יש להם מעמד חשוב לשימור. הציסטנית האנדמית מגדלת ענפים בחורף ומאבדת אותן בתחילת הקיץ והיא רגישה ביותר לטמפרטורות הקיץ (Mulas et al 2022). אתר SK1 יתווסף לתכנית הניטור באביב 2023. באביב 2019 התגלה אזור קרוב ל-RD-1 שנמצא בו מרבד גדול של האצה החומית יוצרת החופה, סרגסון. יערות אלה כאמור נדירים יחסית בחופינו ולכן הוחלט לעקוב אחר הדינמיקה של כיסוי האצות גם באתר זה והוא מדווח לראשונה בדו"ח הנוכחי כאתר RD1-Sarg.

- **מגוון ביולוגי.** רוב אזורי השונית נשלטים כיום ע"י מרבדי אצות בעלות יצע נמוך של סנטימטרים בודדים (TURF), כנראה בעיקר בשל רעית יתר של דגי סיכן פולשים הפוגעים באחו של אצות חומיות מקומיות הצומח בחורף ובאביב (Yeruham et al 2019). תכסית: בארבעת אתרי הניטור, נע מספר הטקסונים המהווים את תכסית הסלע בין חמישה עשר

לארבעה בממוצע כאשר האתר העשיר יותר בתחילת הניטור היה RD1 (איור 6.7, איור 6.9 א). אתר זה היה מכוסה בעונות האביב בשנת 2012-2013 במגוון אצות חומיות מקומיות, אך בהדרגה השתלטה עליו האצה החומית, *Lobophora schneideri*, שתוארה לאחרונה כמין חדש בחופינו, כנראה פולש, ההולך ומתפשט באזור ראש כרמל ונראה גם באזורים אחרים בצפון הארץ. מין זה ידוע רק באוקיאנוס האטלנטי מאזור האיים הקאריביים ומקרוניזיה. מין זה לא תואר באף אזור אחר בים התיכון כך שיתכן שעשה "קפיצה" מהאטלנטי בעזרת כלי שיט, או שלא זוהה נכון עד היום מערבה יותר בים התיכון. בשנים האחרונות נראה כי מגוון הטקסונים הגבוה ביותר הוא באתר SK2, אם כי התנדודות במספר הטקסונים גבוהות, והערכים הגבוהים ביותר הם באביב. בשל החורפים החריגים של 2019, 2020 המים נשארו קרים יחסית עד יולי (בניגוד לעליה מהירה לרוב בסוף מאי) ובמקביל נראה באזורים מסוימים בשונית ראש כרמל (לא באתרי הניטור, אך סמוך ל-RD-1) גידול מאסיבי של אצות חורף ואביב, בעיקר חומיות, כדוגמת סרגסון, שהגיעה לגבהים של קרוב למטר, אשר לא נראו כבר שנים רבות בשוניות של ישראל. ניתן להניח כי מראות כאלה אפיינו את עונת האביב בשוניות רבות לפני השפעות שינויי האקלים ופלישות הסיכנים. בחורף 2021, שהיה חם יותר, צמיחת הסרגסון היתה מוגבלת בהרבה אך בחורף 2022 שוב נראה כיסוי גבוה הקרוב לשישים אחוז. 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).

- **מבנה החברה האקולוגית.** תכסית: מבנה החברה שונה מאוד בין האתרים השונים ומידת הדינמיות של מבנה חברת התכסית הינה תלויה אתר (איור 6.8). אתר RD1 הראה שונות רבה ביותר בזמן (המרחק בין הסימונים הירוקים באורדינציה גדול), בעיקר בשל תחלופת מיני האצות החומיות בו וההשתלטות ההדרגתית של המין האטלנטי הפולש כנראה, *Lobophora schneideri* בעוד ששאר האתרים הראו יציבות יחסית גם עונתית וגם רב שנתית. אתר RD1-Sarg הסמוך לו אכן דומה לו וגם הוא משתנה יותר מהאתרים האחרים – בעיקר בשל העונתיות של האצות החומיות. באתרים SK2 ו-SK3 המכוסים בעיקר במין הפולש *Galaxaura rugosa* שם הוא נמצא כל השנה ברמה זו או אחרת של כיסוי, ההבדלים במבנה החברה קטנים יותר, וכך גם באתר העמוק SP1 המכוסה בעיקר ב-TURF. דגים: מבנה חברת הדגים היה שונה בין ארבעת האתרים ולא נראית מגמה ברורה של שינוי לאורך זמן (איור 6.8).

- **מיני מפתח.** תכסית: אצות חומיות שיחניות (בעיקר מסוגי הצינסטנית והסרגסון) יוצרות כאמור בשוניות הים התיכון מעין יערות בגובה עשרות סנטימטרים ולכן ידועות כמיני מפתח

בעלי חשיבות אקולוגית רבה כמקור מזון ובית גידול. יש להניח כי אצות אלה הן מרכיב חשוב בכיסוי השוניית בחופינו בעבר, כמו במערב הים התיכון, אך כיום שכיחותן לאורך החוף נמוכה (Rilov et al 2018). כאמור, הכיסוי הנפוץ ביותר של השוניית הרדודות בשאר החוף הוא של TURF ובעשור האחרון גם כיסוי הולך ונרחב של מספר אצות פולשות, חלקן שיחניות נמוכות כמו ה- *G. rugosa*, וחלקן עלעליות ושטוחות יחסית, כמו *L. schneideri*. שאת השתלטותו המוחלטת על תכסית השוניית רואים באתר RD1. אצות טרופיות אלה מקיימות כיסוי גבוה לאורך כל השנה (איור 6.9 ג') ואופטימום הטמפ' שלהם הוא מעל 30 מעלות. האיזור היחידי שבו ניתן למצוא לאורך החוף "יערות" של אצות מקבוצה הציסטנית – בעיקר של המין *Gongolaria rayssiae* שהינה מקומית ואנדמית לחופי ישראל ולבנון הוא בין חוף חיא"ל לחוף בת גלים. בניטור של אתר SK1 בין ינואר 2018 למאי 2020 נראה כי אצה זו מצמחת ענפים ויוצרת כיסוי גבוה יחסית רק בין אמצע החורף לתחילת הקיץ (פברואר למאי, איור 6.9 ב'). בשאר הזמן נשאר רק ה"גזע" חסר הענפים. באתר SK2 יש גם כן צמחי ציסטנית, אך הכיסוי של המין נמוך ביותר (איור 6.9 ג').

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 באתר ספרטה (SP-1) העמוק נראה השכיחות הגדולה ביותר (איור 6.9 ג'). למרות התנודות הרבות בזמן (הקשורות כנראה לתנועתיות של הדקרים) מסתמן כי השכיחות המקסימלית של הדקרנית האדומה עולה עם הזמן באתר העמוק והמורכב מרחבית SP1 (שונית ספרטה) אם כי בשנה האחרונה שכיחותם דווקא נותרה נמוכה. יתכן שהמגמה הכללית היא תוצאה של תקנות הדייג החדשות של השנים האחרונות המגינות במיוחד על הדקרים בעונות הרבייה ואולי העדרם מהסקרים האחרונים נובע מעיתוי הדיגום והתנועות הרבה של מין זה הגורמת לכך שלעיתים נראים פרטים רבים ולעיתים כלל לא (כפי שניכר בקו המגמה). עד כה, לא נמצאה מגמה ברורה של שינוי במספר הדקרים באתרים המצויים בגבול שמורת שיקמונה: SK2, SK3. אתרים אלה מאופיינים במורכבות מבנית נמוכה יחסית שהדקרים נזקקים לה ויתכן שזו הסיבה לכך. חשוב לציין כי מין הדג המקומי הצמחוני המובהק ביותר סלפית הפסים (*Sarpa salpa*) כמעט ולא נצפתה באזור זה כלל לאורך שנות הניטור והיא נדירה ברוב השוניות פרט לשוניות בתוך שמורת אכזיב-ראש הנקרה (Rilov et al 2018).

- **מינים פולשים**. תכסית: השוניות הרדודות בחוף הישראלי מאכלסות כאמור מינים זרים רבים, שאת חלקם אפשר להגדיר כפולשים. ידועים למשל עשרות מינים של אצות לא מקומיות, שחלקן יכולות להיות מאוד דומיננטיות באזורים מסוימים בשוניות לאורך החוף.

באתרי הניטור, נראה כי בשני אתרי שיקמונה היה כיסוי שנע בין 20-30 אחוז של האצה הזרה *G. rugosa* לאורך השנים אך משנת 2019 כיסוי זה עלה לעיתים לערכים של בין 50-60 אחוז ובשנתיים האחרונות ירד שוב (איור 6.10). 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 SP1 ולאחר מכן בעיקר באתר SK3, ולו עונתיות חזקה עם שיאים בקיץ או בסתיו (איור 6.10). מין זה נצפה כבר מספר עשורים בשוניות הים התיכון של ישראל אך לרוב בשכיחות נמוכה. לא ברור מה הביא לפריחה המסיבית שלו בקיץ של שנים האחרונות. יתכן שזה קשור במגמת ההתחממות של המים. החומית החדשה *L. schneideri* השתלטה בתחילת העשור שעבר על אתר RD1, אך מאז 2018 מראה תנודתיות גדולה עם שיאי כיסוי בחודשי הקיץ והסתיו החמים (איור 6.10). 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 הסיכנים הצמחוניים, *Siganus luridus*, *S. rivulatus*, היו הנפוצים ביותר ברוב האתרים (אך שכיחותם הייתה תנודתית, כנראה בשל תנועת הלהקות שלהם במרחב), פרט לאתר ספרטה שם הברקן האדום היה הנפוץ ביותר (איור 6.10 ב'). בקיץ 2019 נראו לראשונה שלשה פרטים של הזהרון באתר ספרטה ומספר פרטים נראו גם ב-2020 בשנת 2021 ו-2022 עלתה כמותם בצורה משמעותית, באתר SP1, כחלק ממגמת העלייה בגודל האוכלוסייה הניכרת בכל הארץ. ממצאים אלה הם חלק ממגמה הנראית בשנים האחרונות לכל אורך החוף הישראלי. מין זה הוא טורף יעיל שפלישה שלו ברחבי הים הקריבי גרמה לפגיעה משמעותית בחברת הדגים ויש להניח כי עליה משמעותית באוכלוסייה שלו עלולה להשפיע על חברת הדגים גם באזורינו. יש לשקול דילול מבוקר של מין זה כפי שכבר נעשה בתוך שמורת אכזיב. לראשונה נראו פרטים מהקיפוד הים סופי הפולש, נזירית ארוכת קוצים *Diadema setosum*, באתר SP1 בדיגום אביב שהתקיים בתחילת יוני 2023 ולא נכנס לאנליזות. מין זה הופך נפוץ יותר ויותר בחופי צפון הארץ בשנתיים האחרונות. במספר מקומות בראש כרמל (שלא בתוך אתרי הניטור) נמצאו בסקרים ייעודיים עשרות פרטים לכמאה מטר מרובע והחל ניטור מסודר שלהם. כמו כן נמצאו גם פרטים בודדים גם במים רדודים, אפילו בבורות השפל בחוף שיקמונה.

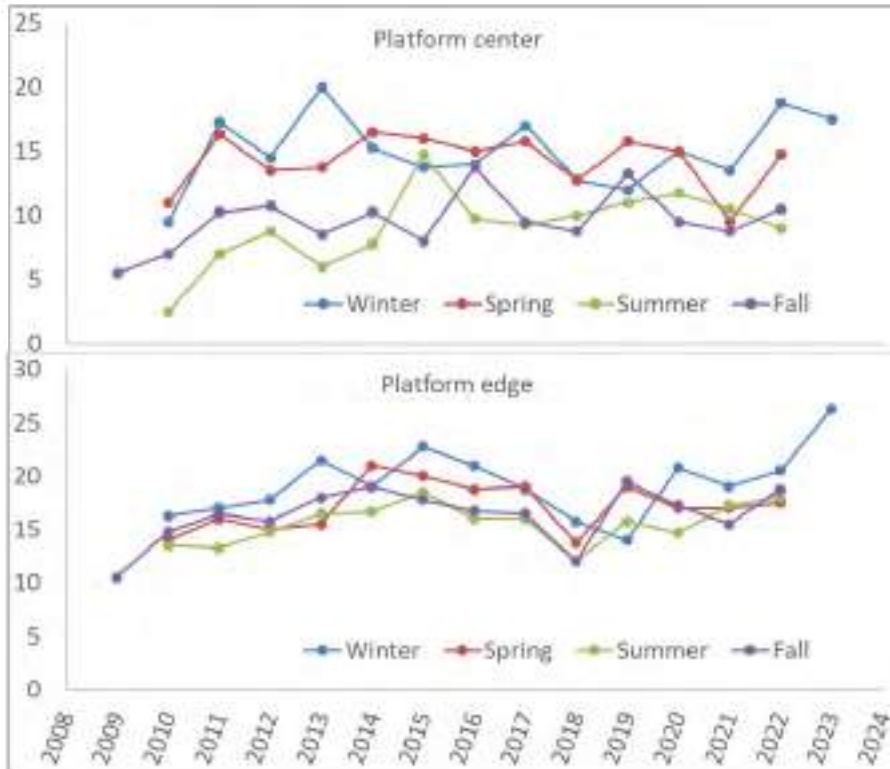
שוניות עמוקות

בשנת 2022 לא התבצעה הפלגת ניטור רכסים עמוקים.

חלק מהמוצג בפרק זה פורסם בספרות המדעית (peer-review) בשנת 2022:

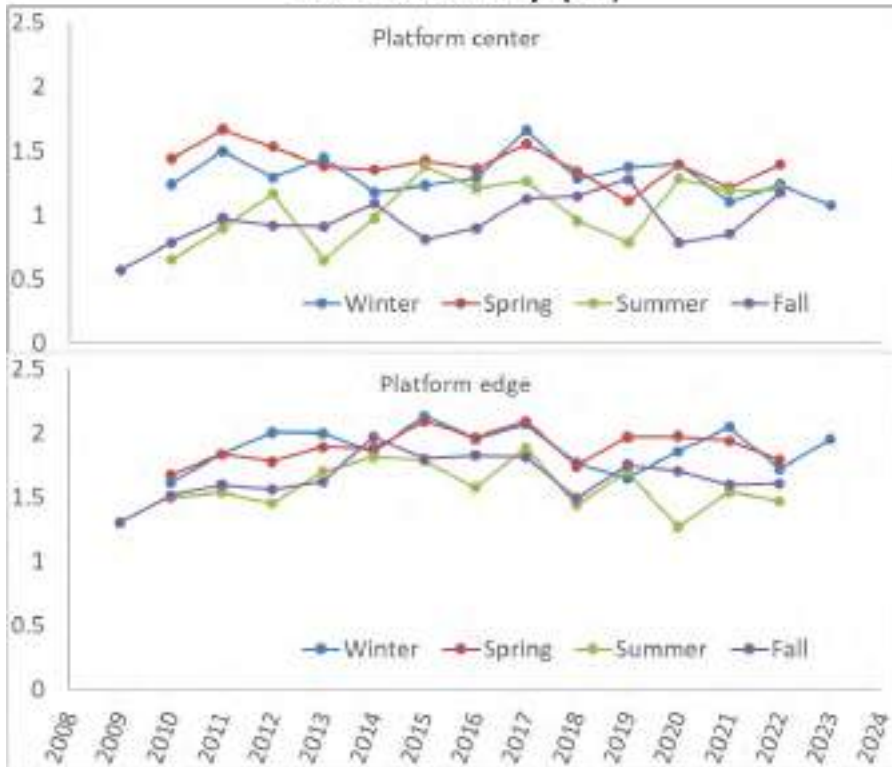
Mulas M, Silverman J, Guy-Haim T, Noé S, Rilov G. (2022). High climate vulnerability of the Levantine endemic and endangered habitat-forming macroalga, *Gongolaria rayssiae*: implications for reef carbon. *Frontiers in Marine Science*. DOI: 10.3389/fmars.2022.862332.

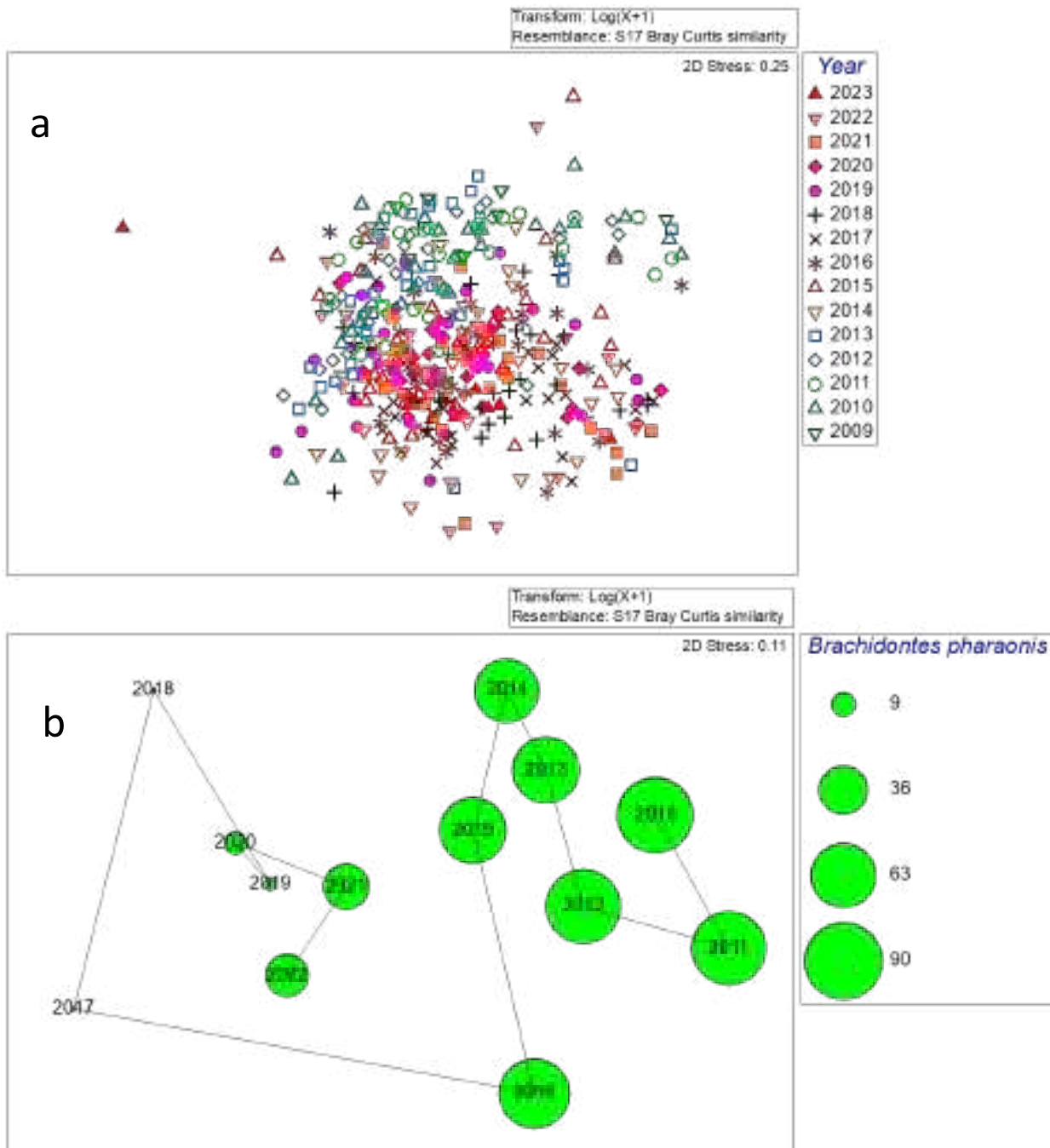
Taxa richness (S)



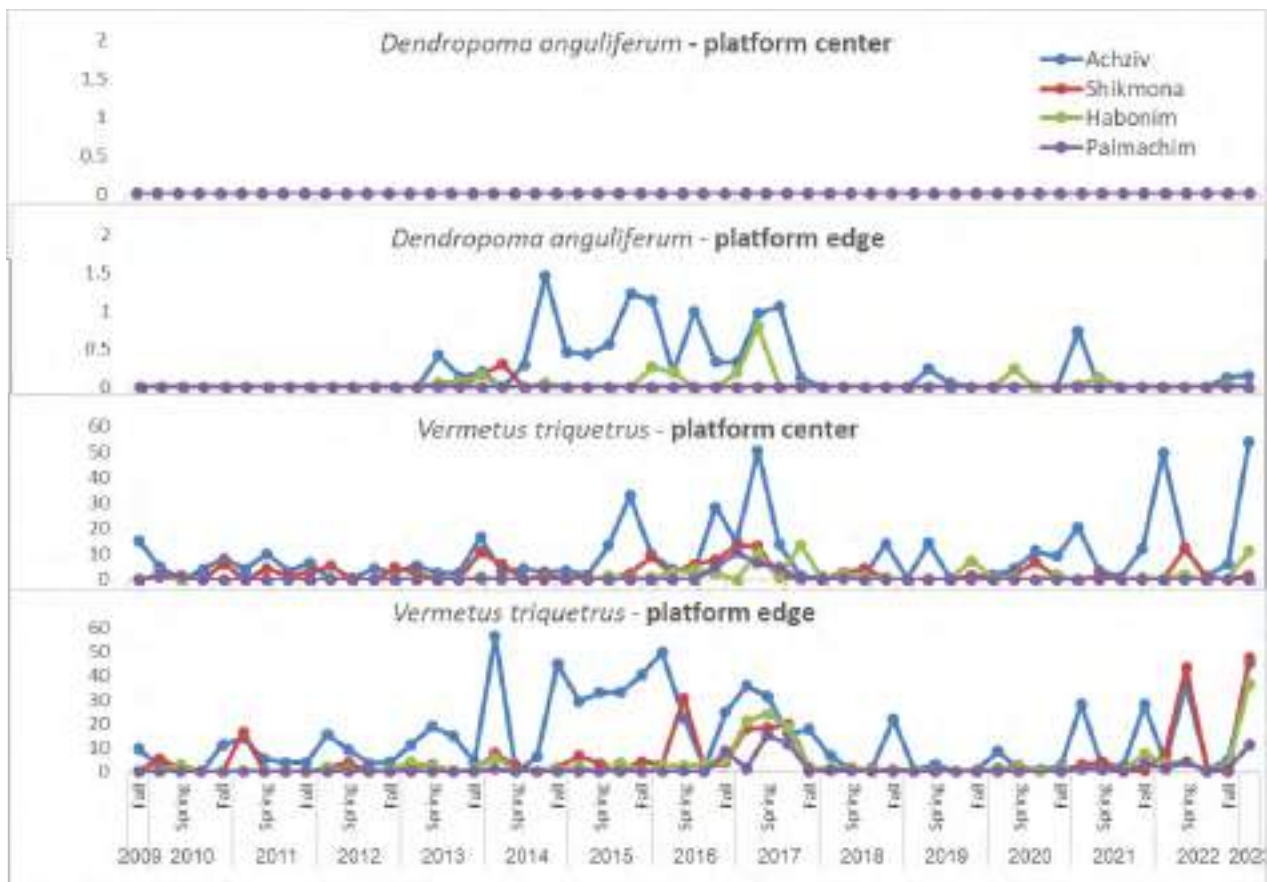
איור 6.1. מגוון ביולוגי. עושר הטקסונים והמגוון הביולוגי בעונות השונות לאורך אחת עשרה שנות הניטור בחגורות מרכז וקצה טבלת הגידוד. ניתן לראות כי המגוון גבוה יותר באופן קבוע בעונות הקרות של החורף והאביב לעומת העונות החמות וכי המגוון בקצה הטבלה גבוה מזה במרכז הטבלה.

Taxa diversity (H')





איור 6.2. מבנה החברה האקולוגית. אורדינציות MDS אלה מראות את הדמיון במבנה החברה בין מועדי הדיגום והאתרים לאורך זמן. בגרף a כלולים כל האתרים, העונות וחגורות הדיגום. ניתן לראות שישנה הפרדה חלקית בין שנות הדיגום הראשונות עד 2013 (סמנים בצבעים קרים של ירוק וכחול) והמאוחרות יותר (בעיקר סימנים מלאים או פלוס, כוכבית וסימן כפול). הגרף התחתון מדגים שינויים משמעותיים במבנה החברה האקולוגית באתר הליבה שונים פלמחים באביב. העיגולים הירוקים מראים את אחוז הכיסוי באותה שנה של המין העיקרי האחראי לשינוי בשל תנודות קיצוניות בכיסוי הצדפה הפולשת בוצית מגוונת. בקצה הטבלה בפלמחים, הצדפה הייתה דומיננטית מאוד עד אביב 2016 ואז קרסה ונעלמה לחלוטין, כמו לכל אורך החוף, וב- 2019 ניתן לראות חזרה מועטה שלה שמתחזקת בהדרגה בין 2020 - 2022.



איור 6.3. מיני מפתח. איור זה מראה את אחוז הכיסוי של שני מיני החלזונות בוני השונות במרכז וקצה הטבלה בארבעת אתרי הליבה לאורך עשר שנות הניטור. ניתן לראות שמ-2013 עד סוף 2017 הייתה עליה 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. לאחר מכן נראתה ירידה משמעותית ושוב עליה בשנתיים האחרונות. התנודתיות בין העונות היא כנראה ארטיפקט הנובע מתנודתיות של כיסוי אצות המסתירות חלק ניכר מן הפרטים בעונות החורף ואביב. תמות האצות באירוע ההלבנה של אביב 2022 ושוב בחורף 2023 חשף את קונכייות החילזון בעונה זו בקצה הטבלה.

צינוריר בונה חי על הכרכוב באתר
הבונים באמצע שנות התשעים



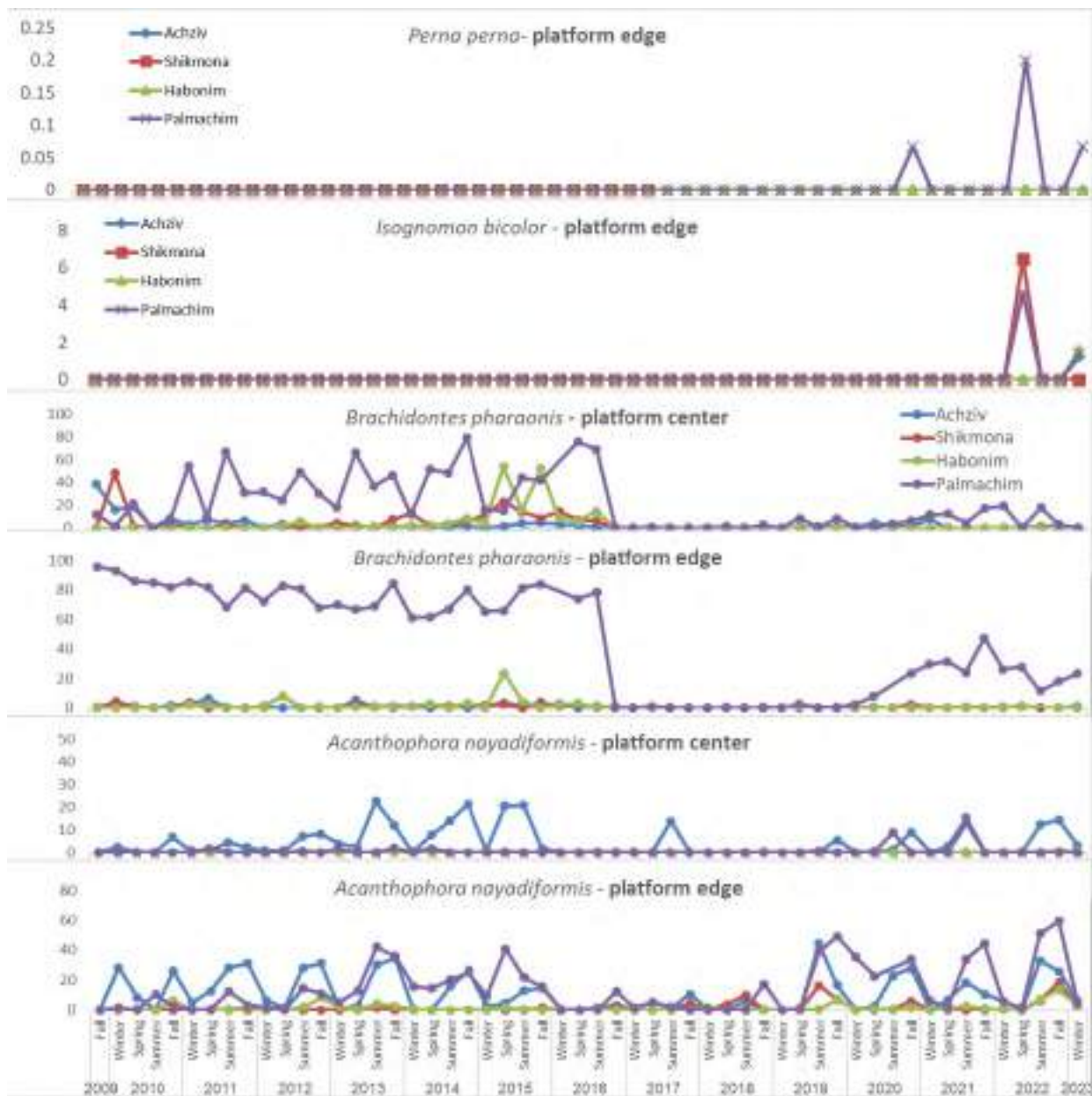
טבלת גידוד בחוף
הבונים שנת 2012



איתה טבלה במהלך אירוע יובש קיצוני בחורף 2014



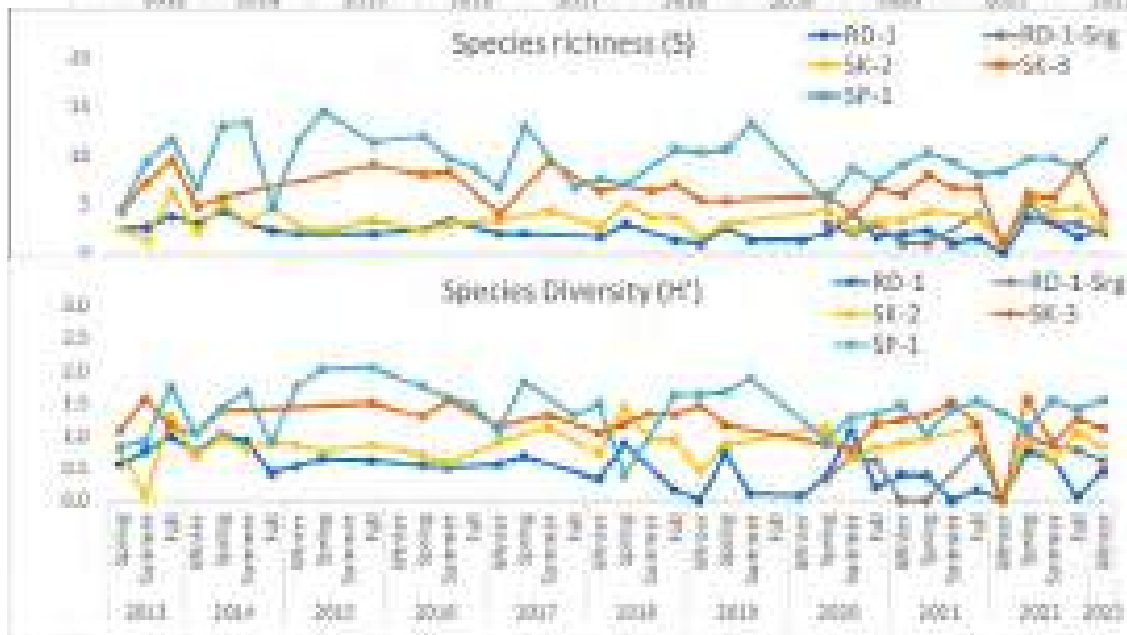
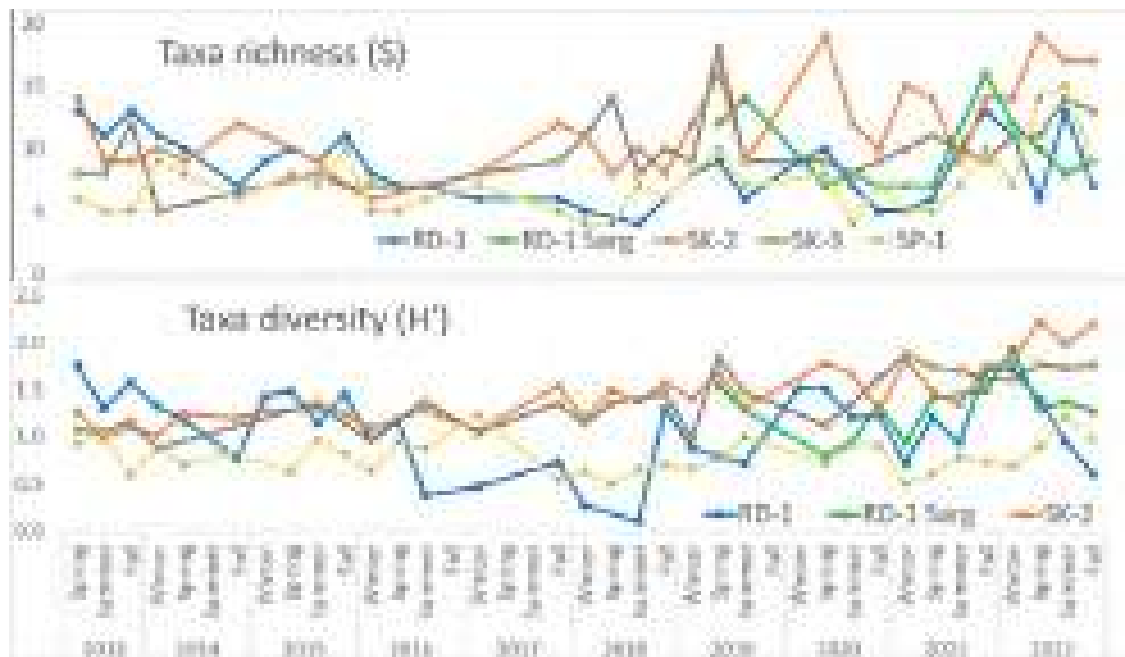
איור 6.4 - תמונות המדגימות את השינויים והלחצים המופעלים על טבלאות הגידוד.



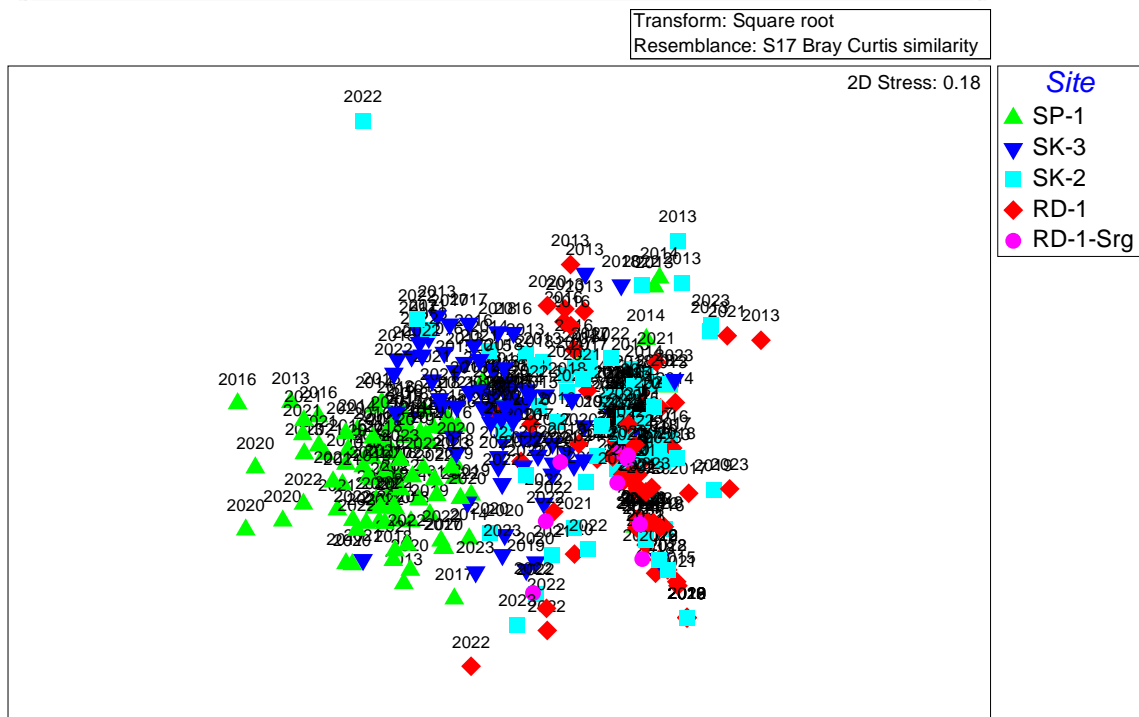
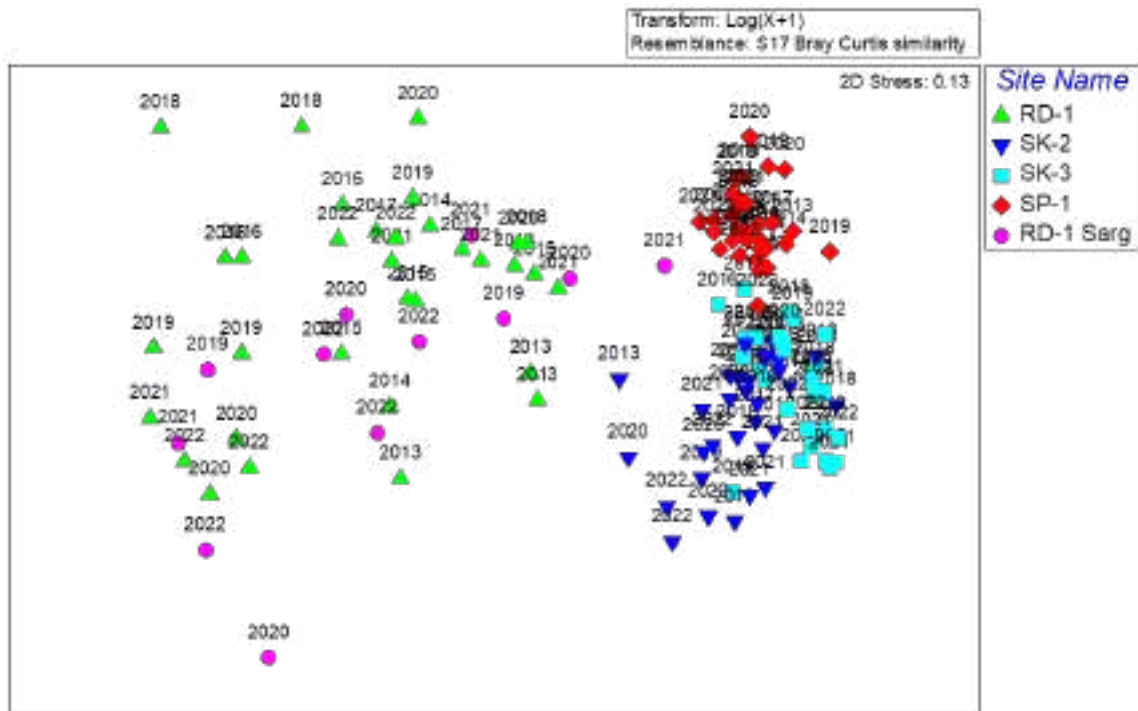
איור 6.5. מינים פולשים. איור זה מראה את השכיחות (אחוז כיסוי ברובם ומספר פרטים לריבוע דיגום בצדפה *Isognomon*) הממוצעת לחתך של ארבעה מינים, השניים התחתונים הם פולשים ותיקים, הצדפה בוצית מגוונת והאצה האדומית, קוצנית מצרית. השניים העליונים, *Perna perna* ו-*Isognomon biocolor* הם צדפות חדשות בחופינו (הראשונה מקורה באפריקה והשנייה מים הקריבי) המתחילות לעלות בשכיחותן בשנתיים האחרונות אך לא ניתן להגדירן כפולשות כיוון ששכיחותן נמוכה ולכן השפעתן האקולוגית נמוכה. באיור ניתן לראות את הקריסה המוחלטת של הבוצית, שהייתה נפוצה ביותר באתר פלמחים ולכן שם נראית הקריסה בצורה הברורה ביותר. בשלש השנים האחרונות מסתמנת התאוששות של המין בעיקר בטבלאות פלמחים שם גם הייתה הנפוצה ביותר בעבר. הסיבה לקריסה אינה ידועה. 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. בארבע השנים האחרונות הראתה התאוששות באכזיב ופלמחים, שני האתרים בהם הייתה נפוצה בעבר. שתי הצדפות ה"חדשות" עדיין נראות במספרים קטנים יחסית אך יתכן שכמותן תעלה בשנים הקרובות וכך אולי גם השפעתן על המערכת האקולוגית.



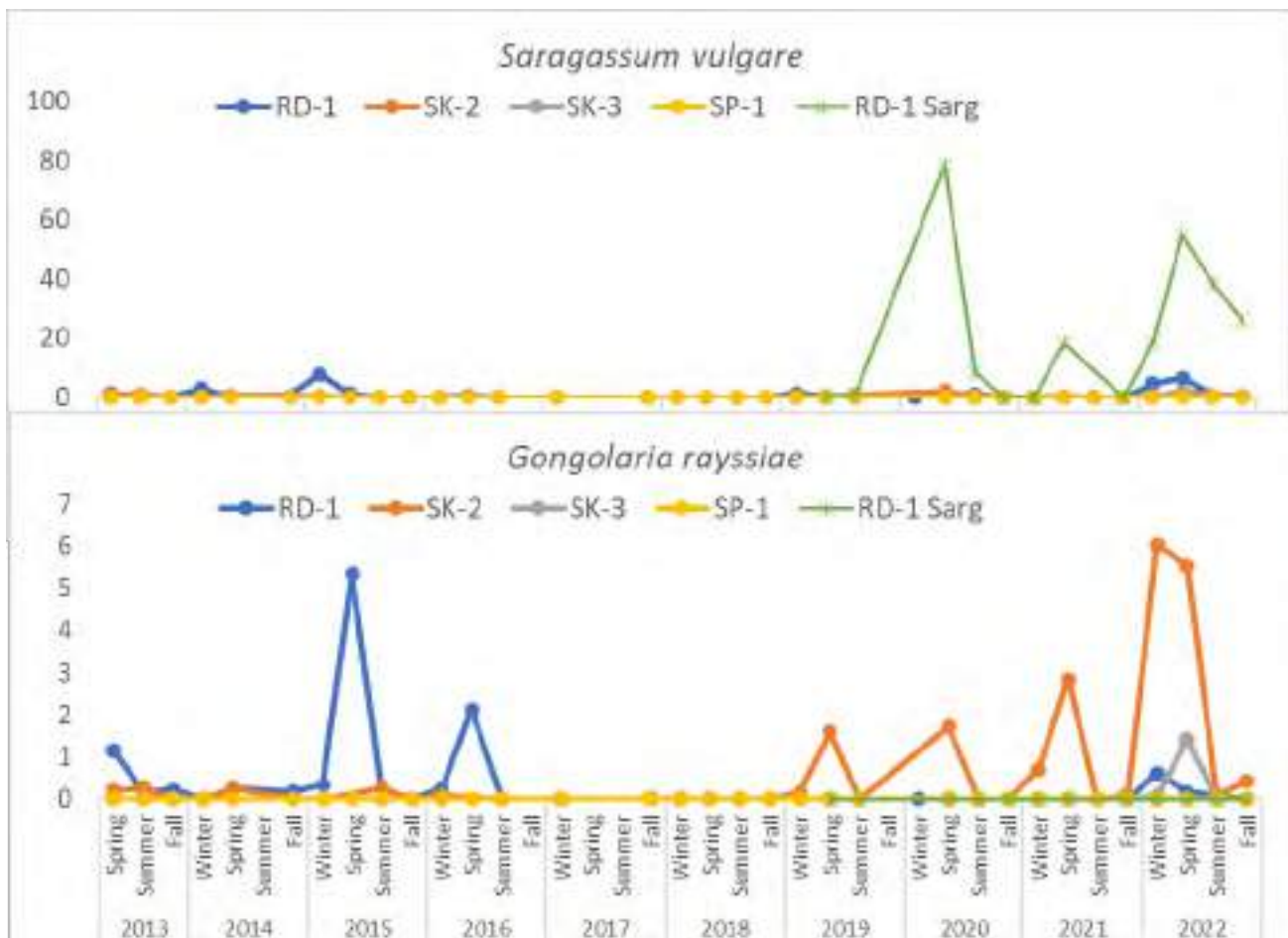
איור 6.6: איזור גב הטבלה בשקמונה בו נעשו הדיגומים (פאנל שמאלי) וצלחית מיובשת ומתה ליד ה"צלקת" שלה (פאנל ימני).



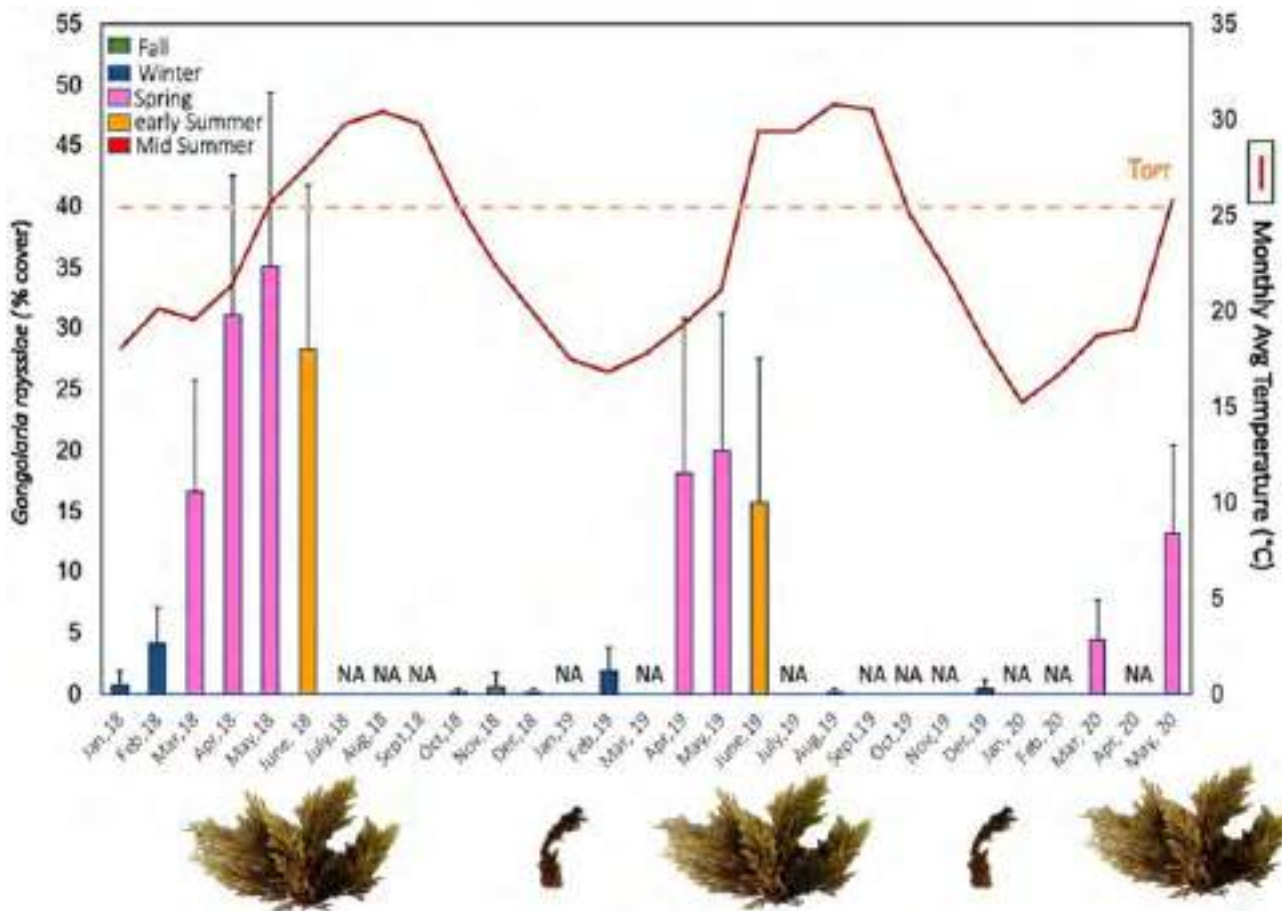
איור 6.7. עושר הטקסונים והמגוון הביולוגי בעונות השונות לאורך שמונה שנות הניטור בארבעת אתרי חיפה. תכסית (שני איורים עליונים): ניתן לראות שהמגוון ירד באתר הרדוד בראש כרמל (RD-1) לאורך מספר שנים ועלה שוב מ-2019 ברוב האתרים, וכי האתר העמוק בראש כרמל, SP-1, הוא בעל המגוון הנמוך ביותר במשך רוב שנות הניטור. המגוון באתרי שיקמונה היה בינוני. דגים (שני איורים 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 חמורכבות מרחבית נמוכה).



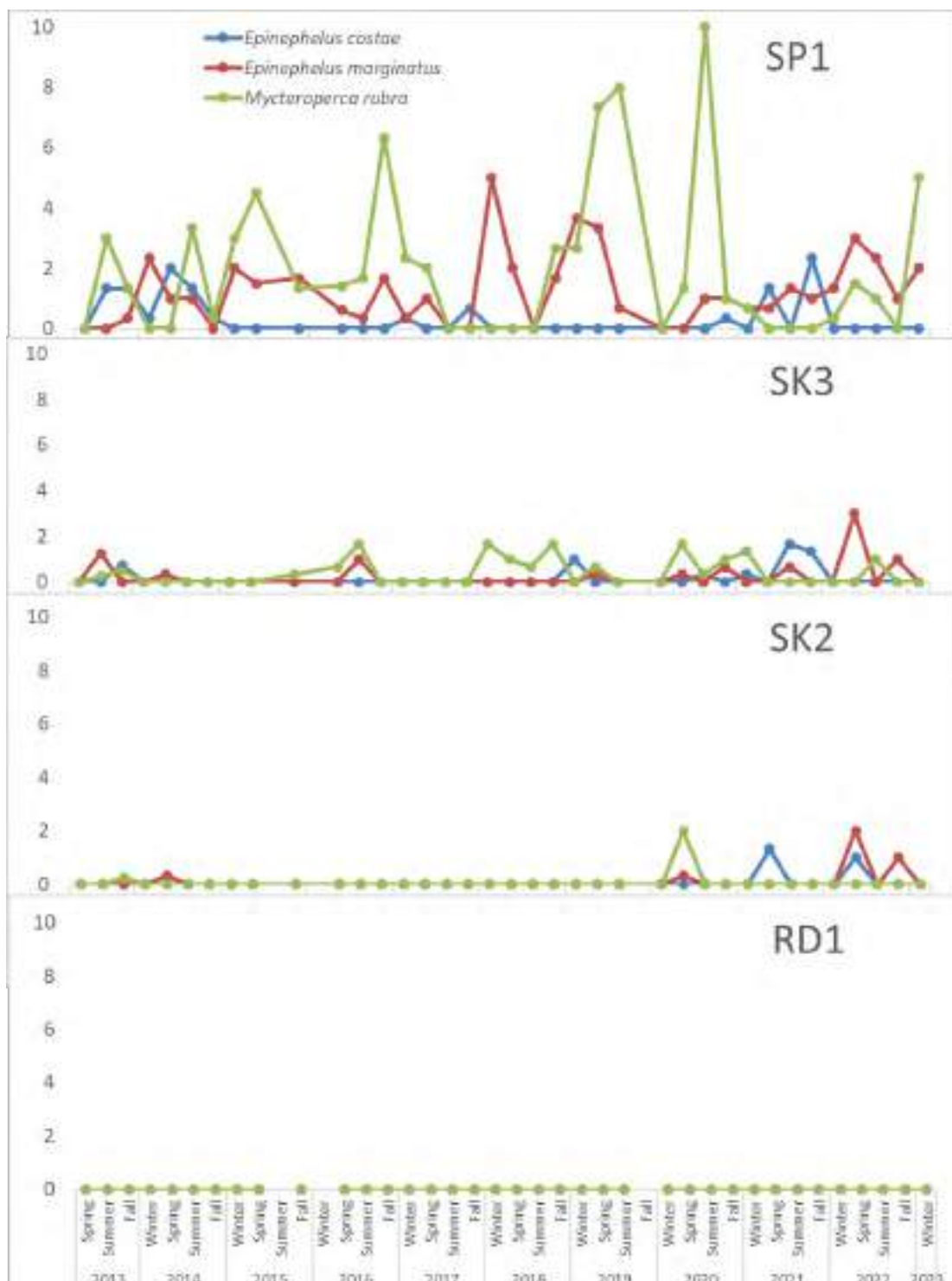
איור 6.8. מבנה החברה האקולוגית. אורדינציות MDS מראה כי חברות החי והצומח שונות בין האתרים. תכסית (האיור העליון): אתר RD-1 הרדוד הוא השונה ביותר וגם המשתנה ביותר (על פי מידת הפיזור בין הדגימות המראה על שונות גדולה בזמן). גם האתר העמוק, SP-1, שונה מהאחרים ומשתנה במידה המועטה ביותר. דגים (האיור התחתון): האתרים המורכבים (SP-1, SK-3) מרחבית היו דומים יותר זה לזה, לעומת האתרים הפחות מורכבים (RD-1, SK-2), שהיו דומים יחסית זה לזה.



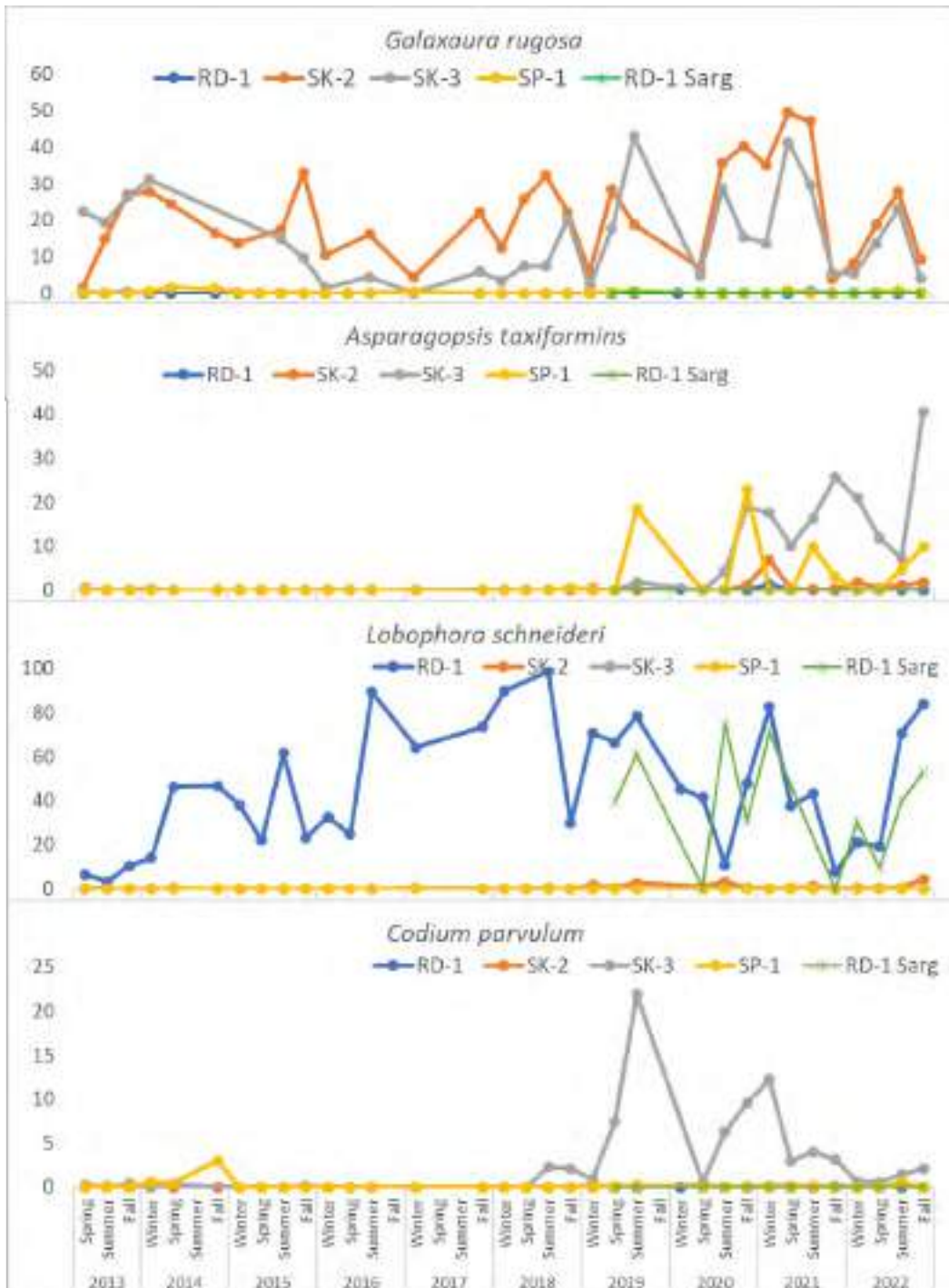
איור 6.9 א'. מיני מפתח. תכסית: איור זה מראה את הדינמיקה בארבעת האתרים של אחוז הכיסוי של אצות חומיות מקומיות היוצרות יערות אצות יוצרות חופה (canopy), בית גידול הנחשב חשוב אקולוגית ותחת איום בים התיכון. מרבד גדול של המין *Sargassum vulgare* באתר החדש שנוסף מראה עונתיות הכוללת גידול מהיר בחורף ובאביב וקריסה מהירה בקיץ. באתרים האחרים נוכחותו זניחה. המין השני *Gongolaria rayssiae* הוא בעל כיסוי נמוך ביותר ועם צימוח של ענפים של פרטים בצפיפות נמוכה באביב בעיקר באתרי SK.



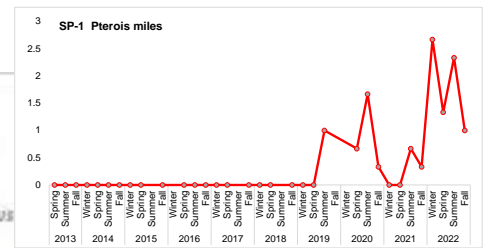
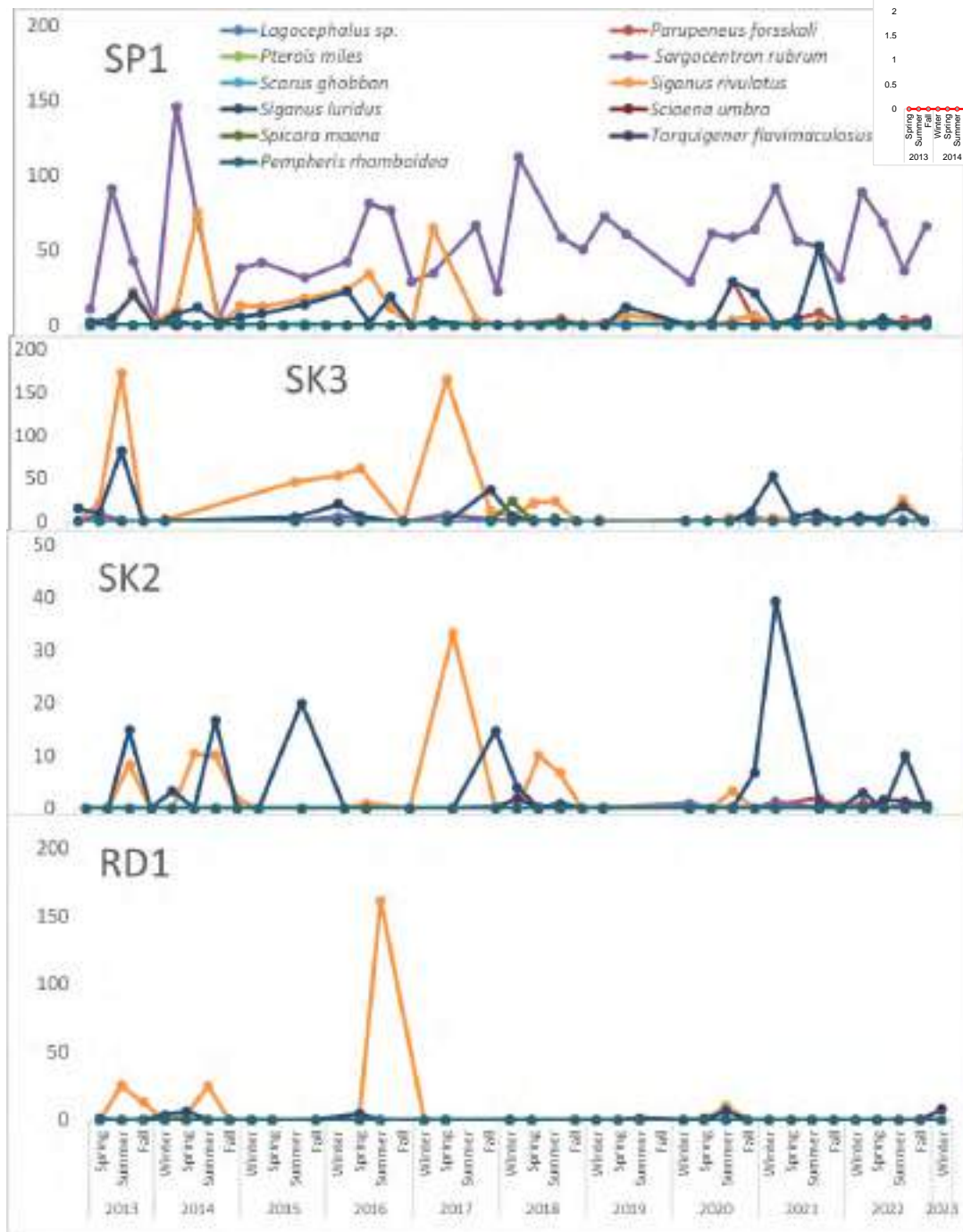
איור 6.9 ב'. מיני מפתח. אחוז כיסוי של האצה החומית האנדמית לישראל ולבנון, *Gongolaria rayssiae*, נמצא רק במקומות בודדים לאורך החוף במים רדודים במרבדים גדולים, כמו בחוף בת גלים ובאתר SK1 בעומק 2 בשיקמונה. האצה מגדלת ענפים (ראו צילומים) רק בעונת החורף והאביב ובשאר העונות מתקיים רק "גזע" ללא ענפים שאינו פרודוקטיבי (Mulas et al 2022).



איור 6.9 ג'. 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 עולה עם הזמן אך בשנתיים האחרונות שכיחותה הייתה נמוכה ביותר. באתר 1RD השטוח אין נוכחות של דקרים כלל.



איור 6.10 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. עליה משמעותית נראית באתר SK-3 והכיסוי הגיע בסתיו 2023 כבר למעל 40%. 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 תנודתיות רבה.



איור 6.10 ב'. מינים פולשים דגים. איור זה מראה את התנודות בשכיחות הדגים הפולשים בארבעת אתרי חיפה. שני מיני הסיכנים היו נפוצים ביותר ובאתר ספ רטה גם הברקן האדום החובב כוכים (שהם רבים באתר זה) בשל היותו פעיל לילה. בשלש השנים האחרונות נמצאו מספר פרטים של הזהרון באתר SP1 (בחורף 2022 נמצאו כמעט שלשה פרטים בממוצע לחתך באתר וזה ומקסימום של 6 פרטים בחתך אחד).

פרק 7 - בירקוד גנטי של המגוון הביולוגי של המקרופאונה

(מרכז: פרופ' ברוך רנקביץ' buki@ocean.org.il)

הפרק מתייחס למדדים הקשורים לשינויי אקלים וליעדים אקולוגיים במסגרת אמנת ברצלונה, כלהלן: מגוון הביולוגי (EO1) ובמינים פולשים (EO2).

ממצאים עיקריים

- בשנת 2022, נערך בירקוד גנטי של המגוון הביולוגי של המקרופאונה על דגימות שנאספו במסגרת הניטור הלאומי. במהלך השנה נערכו 3 הפלגות מחקר: שתי הפלגות לעומק של עד 80 מטרים מול אשדוד והפלגת ים עמוק אחת בעומק עד 1150 מטר מול דור. בנוסף, נערך בירקוד ביולוגי גם על מינים של דגים וחסרי חוליות ימיים (דגים, סרטנים, צורבים, קווצי עור ורכיכות) שנדגמו במסגרת הניטור הלאומי בשנים קודמות ושהעבודה עליהם הסתיימה בשנת 2022. כמו כן נערך בירקוד גנטי על דגימות שהועברו לצוות המחקר על ידי חוקרים מחיא"ל ומאוניברסיטאות בישראל. עודכנו מאגרי המידע של מיזמי בירקוד של חיא"ל במסגרת הבירקוד הביולוגי באתר הייעודי העולמי BOLD.
- לאחר סינון ראשוני שנערך על כלל הדגימות שהתקבלו בשנת 2022, 36 דוגמאות הועברו לבירקוד ביולוגי, כאשר שאר הדוגמאות סומנו ותויגו והועברו להקפאה (עבודה עתידית). 55 דוגמאות נוספות שעבורן החל הבירקוד הגנטי בשנים קודמות, הושלמו השנה, כך שסה"כ השנה הבירקוד הגנטי הושלם עבור 91 דוגמאות מהניטור הלאומי. מתוך 91 דוגמאות אלו, 73 דוגמאות זוהו סופית (ברמת המין) ויועלו למערכת BOLD העולמית בקרוב. חלוקת הפרטים שעבורן בוצע בירקוד גנטי לזיהוי ברמת המין כוללת 45 פרטים של דגים (36 מינים) ומבין חסרי-חוליות: 25 סרטנים (13 מינים), ו-3 צורבים (3 מינים) איור 7.1a. הבירקוד הגנטי והזיהוי הטקסונומי של שאר הפרטים הוא עדיין ברמה טקסונומית נמוכה שאינה רמת המין: לדג אחד, 3 סרטנים, 9 רכיכות, 3 קווצי-עור ו-2 צורבים (פירטי תוצאות הבירקוד של שנת 2022 מופיעים באיור 7.1b, טבלה 7.1).
- בנוסף, בוצע תהליך בירקוד גנטי ל 34 פרטים של האצה האדומית *Asparagopsis axiformis* אשר הועלו למאגר המידע BOLD. רשומות אלו הן רשומות הראשונות של אצה ממין זה שהועלו למאגר המידע (טבלה 7.1).
- במהלך 2022 העלו בסה"כ למאגר המידע BOLD העולמי 64 רשומות: 34 אצות אדומיות, 19 דגים, 6 רכיכות ו-5 סרטנים. התפלגות הפרטים שהועלו לאתר BOLD במהלך 2022 מופיעה באיור 7.2 ופירוט הרשומות מופיע בטבלה 7.1.
- בנוסף, בשנת 2022 הושלם הזיהוי הטקסונומי והבירקוד הגנטי של 191 דוגמאות אלמוגים מאילת, תחת מיזם SIRS שבמאגר המידע-BOLD. 191 רשומות אלו, כוללים

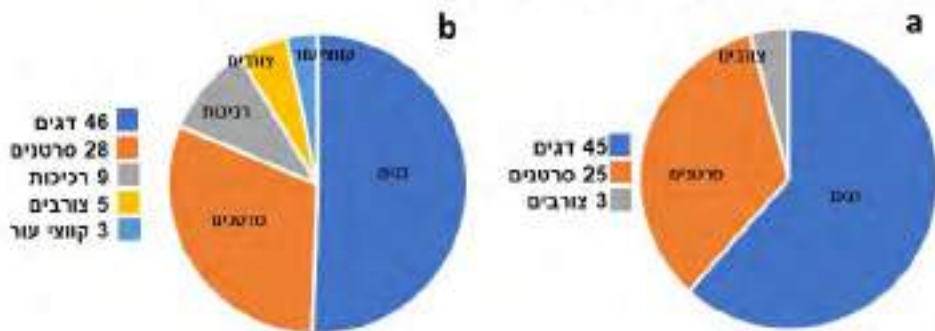
80 אלמוגים שזוהו לרמת המין, 6 אלמוגים זוהו לרמת הסוג ואחד לרמת המשפחה (טבלה 7.2), ממצאי אלו פורסמו בעיתון מדעי.

סיכום פעילות בירקוד ביולוגי של חיא"ל חיפה ב-BOLD:

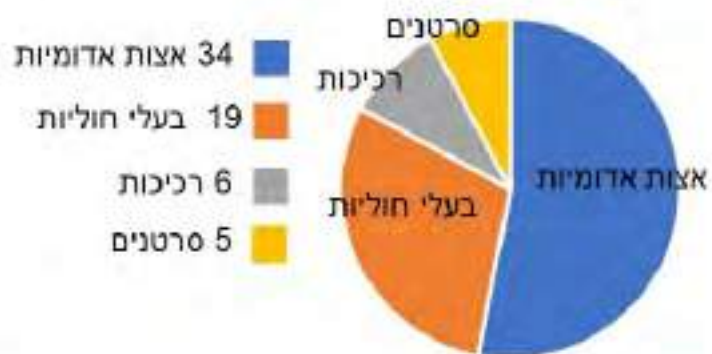
משנת 2012 ועד 2022- נאספו אלפי דוגמאות, רובן מהפלגות המחקר במסגרת הניטור הלאומי, ומיעוטן ע"י איסוף פרטני מצוותי המחקר של חיא"ל, מחוקרים באוניברסיטאות בארץ, מגופי מחקר נוספים ואף מחובבי ים ומתנדבים שונים. מתוכן נדגמו מספר רב של פרטים לביצוע הבירקוד הביולוגי. דוגמאות רבות נוספות הוקפאו ומיועדות לבירקוד עתידי ע"פ צרכי המחקר או חשיבות מדעית ובהתאם לכיסוי תקציבי. בתום הזיהוי והבירקוד, הפרטים מועברים למשמרת במוזיאון הטבע ע"ש שטיינהרדט באוניברסיטת תל אביב, דוגמאות האצות מועברות לאוסף האצות בהרבריום חיא"ל לצורך קבלת מספרי אסמכתא של הדגימה וכן לצורך מחקר עתידי. המידע על אודות כל רשומה נשמר במאגר העולמי BOLD המשמש מרכז איסוף ידע וניתוח מידע בינלאומי האוגד בתוכו את כלל היצורים בעולם (www.boldsystems.org). חיא"ל הקימה מכלול (Container) במרכז העולמי BOLD המכיל 4 מיזמים של הברקודינג הישראלי: (1) דיגומי ים תיכון: Marine Biota of the Israel- Mediterranean=BIM, (2) דוגמאות אלמוגים מהים האדום, באילת- Scleractinia of the Israeli Red Sea=SIRS, (3) איסוף מדוזות מים תיכון Jelly fish =JELLY, (4) מיזם אודות החילזון הפולש *Conomurex persicus*=SANIL (טבלה 7.3).

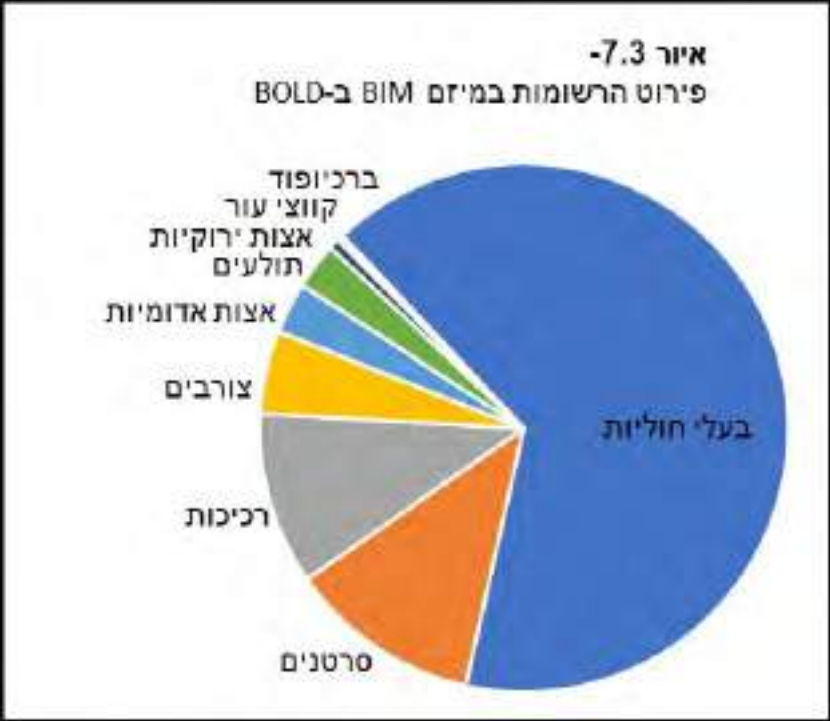
- במיזם BIM הועלו עד כה למאגר BOLD 1087 רשומות, הכוללות: 713 בעלי חוליות, 128 סרטנים, 115 רכיכות, 55 צורבים, 34 אצות אדומיות, 31 קווצי עור, 7 תולעים, 3 אצות ירוקיות ופרט אחד של ברכיפוד (איור 7.3). המיזם פתוח וזמין לחוקרים ולציבור הרחב בארץ ובעולם והנתונים ניתנים להורדה ולעיבוד מחקרי. המידע הכולל של כל רשומה המועלה למאגר נתונים מכיל מידע גנטי (רצפי הגנים שבורקדו), מעמד טקסונומי, פרטי האיסוף, תמונות, ופרטים נוספים. פירוט מיזם BIM מצוי בטבלה 7.1. דוגמאות נוספות מצויות בבירקוד גנטי וזיהוי טקסונומי ויועלו למאגר העולמי לכשיושלם הבירקוד והזיהוי.
- בנוסף מושקע מאמץ בעדכון של מאגרי המידע- המאגר מידע הישראלי באתר חיא"ל (isramar.ocean.org.il/IsraelBarcoding), ועדכון מאגרי חיא"ל במכלול (Container) למיזמי חיא"ל שבאתר BOLD.

איור 7.1
 א. התפלגות מס' הפרטים שזוהו לרמת מין בחום ביצוע בירקוד גנטי במהלך 2022
 ב. התפלגות כלל הפרטים של בירקוד גנטי במהלך 2022



איור 7.2 -
 פירוט הרשומות שהועלו לBOLD ב-2022





טבלה 7.1- פרטים שהועלו ל-BOLD במהלך 2022 במסגרת מיזם BIM

Process ID	Sample ID	Phylum	Class	Family	Species	
1	BIM1084-22	BIM_AP-204	Arthropoda	Malacostraca	Xanthidae	<i>Xantho hydrophilus</i>
2	BIM1085-22	BIM-NA-251	Arthropoda	Malacostraca	Leucosiidae	<i>Ixa monodi</i>
3	BIM1086-22	BIM-NA-264	Arthropoda	Malacostraca	Inachidae	<i>Macropodia longipes</i>
4	BIM1087-22	BIM-NA-279	Arthropoda	Malacostraca	Penaeidae	<i>Metapenaeopsis aegyptia</i>
5	BIM1088-22	BIM-NA-282	Arthropoda	Malacostraca	Dorippidae	<i>Medorippe lanata</i>
6	BIM1029-22	BIM F-172	Chordata	Actinopterygii	Bramidae	<i>Brama brama</i>
7	BIM1030-22	BIM F-173	Chordata	Actinopterygii	Bramidae	<i>Brama brama</i>
8	BIM1031-22	BIM F-174	Chordata	Actinopterygii	Atherinidae	<i>Hypoatherina sp.</i>
9	BIM1032-22	BIM F-175	Chordata	Actinopterygii	Gobiidae	<i>Acentrogobius pflaumii</i>
10	BIM1033-22	BIM F-176	Chordata	Actinopterygii	Gobiidae	<i>Millerigobius macrocephalus</i>
11	BIM1034-22	BIM F-177	Chordata	Actinopterygii	Gobiidae	<i>Millerigobius macrocephalus</i>
12	BIM1035-22	BIM F-178	Chordata	Actinopterygii	Gobiidae	<i>Millerigobius macrocephalus</i>
13	BIM1036-22	BIM F-179	Chordata	Actinopterygii	Gobiidae	<i>Millerigobius macrocephalus</i>
14	BIM1037-22	BIM F-180	Chordata	Actinopterygii	Gobiidae	<i>Millerigobius macrocephalus</i>
15	BIM1038-22	BIM F-181	Chordata	Actinopterygii	Heterenchelyidae	<i>Panturichthys fowleri</i>
16	BIM1039-22	BIM F-182	Chordata	Actinopterygii	Heterenchelyidae	<i>Panturichthys fowleri</i>
17	BIM1040-22	BIM F-183	Chordata	Actinopterygii	Bothidae	<i>Arnoglossus sp.</i>
18	BIM1075-22	BIM-NA-257	Chordata	Actinopterygii	Caproidae	<i>Capros aper</i>
19	BIM1076-22	BIM-NA-367	Chordata	Actinopterygii	Gobiidae	<i>Deltentosteus quadrimaculatus</i>
20	BIM1077-22	BIM-NA-559	Chordata	Actinopterygii	Terapontidae	<i>Terapon puta</i>
21	BIM1080-22	BIM-NA-697	Chordata	Actinopterygii	Haemulidae	<i>Pomadasys incisus</i>
22	BIM1081-22	BIM-NA-702	Chordata	Elasmobranchii	Rhinobatidae	<i>Rhinobatos rhinobatos</i>
23	BIM1082-22	BIM-DS-419	Chordata	Actinopterygii	Macrouridae	<i>Coelorinchus caelorinchus</i>
24	BIM1089-22	F-184	Chordata	Actinopterygii	Trachipteridae	<i>Zu cristatus</i>
25	BIM1024-22	BIM AP-187	Mollusca	Bivalvia	Dreissenidae	<i>Mytilopsis sallei</i>
26	BIM1025-22	BIM AP-188	Mollusca	Bivalvia	Dreissenidae	<i>Mytilopsis sallei</i>
27	BIM1026-22	BIM AP-189	Mollusca	Bivalvia	Dreissenidae	<i>Mytilopsis sallei</i>
28	BIM1027-22	BIM AP-190	Mollusca	Bivalvia	Dreissenidae	<i>Mytilopsis sallei</i>
29	BIM1028-22	BIM AP-191	Mollusca	Cephalopoda	Ommastrephidae	<i>Ommastrephes caroli</i>
30	BIM1083-22	BIM_AP-203	Mollusca	Gastropoda	Trochidae	<i>Phorcus turbinatus</i>
31	BIM1041-22	BIM ALG-ASP3	Rhodophyta	Florideophyceae	Bonnemaisoniaceae	<i>Asparagopsis axiformis</i>
32	BIM1042-22	BIM ALG-ASP4	Rhodophyta	Florideophyceae	Bonnemaisoniaceae	<i>Asparagopsis axiformis</i>
33	BIM1043-22	BIM ALG-ASP5	Rhodophyta	Florideophyceae	Bonnemaisoniaceae	<i>Asparagopsis axiformis</i>
34	BIM1044-22	BIM ALG-ASP6	Rhodophyta	Florideophyceae	Bonnemaisoniaceae	<i>Asparagopsis axiformis</i>
35	BIM1045-22	BIM ALG-ASP10	Rhodophyta	Florideophyceae	Bonnemaisoniaceae	<i>Asparagopsis axiformis</i>
36	BIM1046-22	BIM ALG-ASP11	Rhodophyta	Florideophyceae	Bonnemaisoniaceae	<i>Asparagopsis axiformis</i>
37	BIM1047-22	BIM ALG-ASP12	Rhodophyta	Florideophyceae	Bonnemaisoniaceae	<i>Asparagopsis axiformis</i>
38	BIM1048-22	BIM ALG-ASP18	Rhodophyta	Florideophyceae	Bonnemaisoniaceae	<i>Asparagopsis axiformis</i>
39	BIM1049-22	BIM ALG-ASP19	Rhodophyta	Florideophyceae	Bonnemaisoniaceae	<i>Asparagopsis axiformis</i>
40	BIM1050-22	BIM ALG-ASP20	Rhodophyta	Florideophyceae	Bonnemaisoniaceae	<i>Asparagopsis axiformis</i>
41	BIM1051-22	BIM ALG-ASPL	Rhodophyta	Florideophyceae	Bonnemaisoniaceae	<i>Asparagopsis axiformis</i>

42	BIM1052-22	BIM ALG-ASPC5H	Rhodophyta	Florideophyceae	Bonnemaisoniaceae	<i>Asparagopsist axiformis</i>
43	BIM1053-22	BIM ALG-ASPR5	Rhodophyta	Florideophyceae	Bonnemaisoniaceae	<i>Asparagopsist axiformis</i>
44	BIM1054-22	BIM ALG-ASPR6	Rhodophyta	Florideophyceae	Bonnemaisoniaceae	<i>Asparagopsist axiformis</i>
45	BIM1055-22	BIM ALG-ASPTat4	Rhodophyta	Florideophyceae	Bonnemaisoniaceae	<i>Asparagopsist axiformis</i>
46	BIM1056-22	BIM ALG-ASP21	Rhodophyta	Florideophyceae	Bonnemaisoniaceae	<i>Asparagopsist axiformis</i>
47	BIM1057-22	BIM ALG-ASP22	Rhodophyta	Florideophyceae	Bonnemaisoniaceae	<i>Asparagopsist axiformis</i>
48	BIM1058-22	BIM ALG-ASP23	Rhodophyta	Florideophyceae	Bonnemaisoniaceae	<i>Asparagopsist axiformis</i>
49	BIM1059-22	BIM ALG-ASP24	Rhodophyta	Florideophyceae	Bonnemaisoniaceae	<i>Asparagopsist axiformis</i>
50	BIM1060-22	BIM ALG-ASP25	Rhodophyta	Florideophyceae	Bonnemaisoniaceae	<i>Asparagopsist axiformis</i>
51	BIM1061-22	BIM ALG-ASP26	Rhodophyta	Florideophyceae	Bonnemaisoniaceae	<i>Asparagopsist axiformis</i>
52	BIM1062-22	BIM ALG-ASP27	Rhodophyta	Florideophyceae	Bonnemaisoniaceae	<i>Asparagopsist axiformis</i>
53	BIM1063-22	BIM ALG-ASP28	Rhodophyta	Florideophyceae	Bonnemaisoniaceae	<i>Asparagopsist axiformis</i>
54	BIM1064-22	BIM ALG-ASP31	Rhodophyta	Florideophyceae	Bonnemaisoniaceae	<i>Asparagopsist axiformis</i>
55	BIM1065-22	BIM ALG-ASP32	Rhodophyta	Florideophyceae	Bonnemaisoniaceae	<i>Asparagopsist axiformis</i>
56	BIM1066-22	BIM ALG-ASP33	Rhodophyta	Florideophyceae	Bonnemaisoniaceae	<i>Asparagopsist axiformis</i>
57	BIM1067-22	BIM ALG-ASP36	Rhodophyta	Florideophyceae	Bonnemaisoniaceae	<i>Asparagopsist axiformis</i>
58	BIM1068-22	BIM ALG-ASP40	Rhodophyta	Florideophyceae	Bonnemaisoniaceae	<i>Asparagopsist axiformis</i>
59	BIM1069-22	BIM ALG-ASP41	Rhodophyta	Florideophyceae	Bonnemaisoniaceae	<i>Asparagopsist axiformis</i>
60	BIM1070-22	BIM ALG-ASP42	Rhodophyta	Florideophyceae	Bonnemaisoniaceae	<i>Asparagopsist axiformis</i>
61	BIM1071-22	BIM ALG-ASPSY	Rhodophyta	Florideophyceae	Bonnemaisoniaceae	<i>Asparagopsist axiformis</i>
62	BIM1072-22	BIM ALG-ASPTrh	Rhodophyta	Florideophyceae	Bonnemaisoniaceae	<i>Asparagopsist axiformis</i>
63	BIM1073-22	BIM-ALG-ASPR2	Rhodophyta	Florideophyceae	Bonnemaisoniaceae	<i>Asparagopsist axiformis</i>
64	BIM1074-22	BIM-ALG-ASPR3	Rhodophyta	Florideophyceae	Bonnemaisoniaceae	<i>Asparagopsist axiformis</i>

טבלה 7.2 : רשימת האלמוגים שהועלו לBOLD תחת מיזם SIRS ב-2022.

Species name	Species name	Species name
<i>Acanthastrea brevis</i>	<i>Dipsastraea matthaii</i>	<i>Montipora tuberculosa</i>
<i>Acropora humilis</i>	<i>Dipsastraea sp.</i>	<i>Montipora verrucosa</i>
<i>Acropora plantaginea</i>	<i>Dipsastraea speciosa</i>	<i>Mycedium umbra</i>
<i>Acropora samoensis</i>	<i>Dipsastraea veroni</i>	<i>Oxypora crassispinosa</i>
<i>Acropora sp.</i>	<i>Echinophyllia aspera</i>	<i>Oxypora lacera</i>
<i>Acropora squarrosa</i>	<i>Echinophyllia sp.</i>	<i>Paragoniastrea sp.</i>
<i>Acropora tenuis</i>	<i>Echinopora fruticulosa</i>	<i>Paramonastreaa peresi</i>
<i>Acropora valida</i>	<i>Echinopora irregularis</i>	<i>Pavona danai</i>
<i>Alveopora daedalea</i>	<i>Echinopora sp.</i>	<i>Pavona diffluens</i>
<i>Alveopora fenestrata</i>	<i>Favites paraflexuosus</i>	<i>Pavona sp.</i>
<i>Alveopora verrilliana</i>	<i>Favites pentagona</i>	<i>Pavona varians</i>
<i>Astraeosmilia maxima</i>	<i>Fungia fungites</i>	<i>Platygyra acuta</i>
<i>Blastomussa loyai</i>	Fungiidae	<i>Platygyra carnosa</i>
<i>Blastomussa merleti</i>	<i>Galaxea fascicularis</i>	<i>Platygyra crosslandi</i>
<i>Coelastrea aspera</i>	<i>Goniopora pearsoni</i>	<i>Platygyra daedalea</i>
<i>Coscinaraea monile</i>	<i>Goniopora tenuidens</i>	<i>Platygyra lamellina</i>
<i>Cycloseris cyclolites</i>	<i>Hydnophora exesa</i>	<i>Plerogyra sinuosa</i>
<i>Cycloseris fragilis</i>	<i>Leptastrea inaequalis</i>	<i>Plesiastrea versipora</i>
<i>Cycloseris vaughani</i>	<i>Leptastrea purpurea</i>	<i>Pocillopora damicornis</i>
<i>Cyphastrea magna</i>	<i>Leptastrea transversa</i>	<i>Porites harrisoni</i>
<i>Cyphastrea microphthalma</i>	<i>Leptoseris yabei</i>	<i>Porites lutea</i>
<i>Cyphastrea serailia</i>	<i>Lobophyllia corymbosa</i>	<i>Porites nodifera</i>
<i>Danafungia horrida</i>	<i>Lobophyllia hemprichii</i>	<i>Porites rus</i>
<i>Danafungia scruposa</i>	<i>Merulina ampliata</i>	<i>Psammocora profundacella</i>
<i>Dipsastraea amicorum</i>	<i>Montipora crypta</i>	<i>Sclerophyllia margariticola</i>
<i>Dipsastraea danai</i>	<i>Montipora efflorescens</i>	<i>Seriatopora hystrix</i>
<i>Dipsastraea faviaformis</i>	<i>Montipora hemispherica</i>	<i>Stylophora kuehlmanni</i>
<i>Dipsastraea lacuna</i>	<i>Montipora informis</i>	<i>Stylophora pistillata</i>
<i>Dipsastraea laxa</i>	<i>Montipora meandrina</i>	<i>Turbinaria reniformis</i>

טבלה 7.3 - פירוט מיזמי חיא"ל במאגר BOLD-

שם מיזם	מס רשומות	מס' מינים	נגישות המאגר לציבור
BIM= Marine Biota of the Israel- Mediterranean	1087	365	כן
SIRS= Scleractinia of the Israeli Red Sea	191	82	כן
JELLY= Jelly fish	1087	1	כן
SANIL= <i>Conomurex persicus</i>	144	1	לא

מאמר מדעי שתוצאותיו נתמכו מעבודת ניטור המגוון הביולוגי אשר פורסמו במהלך 2022:

Rachmilovitz, E. N., Shabbat, O., Yerushalmy, M., Rinkevich, B. (2022). Initiating a DNA Barcoding Reference Library of Stony Corals from the Gulf of Eilat (Red Sea). Mar. Sci. Eng. 10(12): 1917, 2022. Doi: <https://doi.org/10.3390/jmse10121917>