

שמורת ים | נביעות מרכז המדרון

באזור הכלכלי הבלעדי של ישראל

נובמבר 2025

נספחים

דו"חות איסוף ועיבוד נתונים
מסקרים בשמורת מרכז המדרון



נספחים -

דו"חות איסוף ועיבוד נתונים מסקרים בשמורת מרכז המדרון

קובץ זה מפרט את שיטות העבודה והממצאים העיקריים של סקרים שנערכו בשטח שמורת מדרון היבשת. סקרים אלו כוללים:

1. שני סקרי וידאו שנערכו בשנת 2010 על ידי אוניברסיטת רוד-איילנד, אוניברסיטת חיפה וחקר ימים ואגמים לישראל. סקרים אלו נערכו באזור מדף היבשת מחוץ לשדה האבעבועים ומטרתם היתה לחקור את אזור זה של המדרון בפעם הראשונה. במהלך העבודה הנוכחית נותחו לראשונה קבצי הוידאו מהסקר ובכדי לתאר את בתי הגידול שתועדו ואת החי בהם.
2. סקר וידאו ודיגום שנערך בשנת 2025 על ידי החברה להגנת הטבע, אוניברסיטת חיפה וחקר ימים ואגמים לישראל. סקר זה תוכנן באופן ייעודי בכדי לסקור את שטח השמורה לקראת קידום אכרזתה. במהלך סקר זה תועד בית הגידול של שדה האבעבועים ונאספו מעט דגימות מים וסדימנט.
3. סקר חי בעמודת המים שנערך במהלך ההפלגה של סקר הוידאו ב- 2025 על ידי החברה להגנת הטבע וחקר ימים ואגמים לישראל. במהלך סקר זה נדגמו 3 תחנות בשטח השמורה מחלקה המזרחי ועד חלקה המערבי באמצעות רשתות Multinet ונערכו מדידות ביומסה, שפע ומגוון קבוצות פונקציונליות כמו גם אנליזות ברקודינג, מטא-ברקודינג ודנ"א סביבתי.

סקרים 1+2 מתוארים בנספח 1 וסקר 3 מתואר בנספח 2

נספח 1 -

דו"ח סקרי ROV בשמורת מרכז המדרון

ד"ר אורית ברנע

פרופ' איציק מקובסקי

אפריל 2025



צילום: החברה להגנת הטבע, אוניברסיטת חיפה וחקר ימים ואגמים לישראל, 2025

מבוא

שמורת מרכז המדרון הינה אחת מ-10 שמורות ימיות מוצעות בשטחי המים הכלכליים של מדינה ישראל במסגרת תכנית מרחבית שגובשה על ידי החברה להגנת הטבע בשיתוף גורמים רבים נוספים. עשרת השמורות הימיות המוצעות משתרעות על שטח שמהווה כ-30% משטח האזור הכלכלי הבלעדי, בהתאם ליעדי אמנת המגוון הביולוגי. חמש שמורות מוצעות באזור המדרון ובסיס המדרון ובכלל זה שמורת מרכז המדרון, עקב חשיבותו האקולוגית הרבה בקרקעית ובעמודת המים, וכאזור מקשר בין השמורות המתוכננות והקיימות במים הריבוניים (מדף היבשת והים העמוק).

מספר סקרים גיאופיסיים ברזולוציה גבוהה שנערכו על ידי חברת נובל אנרג'י בעזרת AUV, בקונטקסט בדיקת חלופות להעברת צנרת. סקרים שחצו את בסיס המדרון באזור מיפו לאורכו אלפי אבטובעים קטנים (מסדר גודל של כ 10 מ) שרובם אסופים במקבצים שהיקפם עד עשרות מטרים. אבטובעים דומים מופו גם על ידי אנרג'יאן בבסיס מדרון היבשת בקרבת תוואי צנרת כריש, ובמספר סקרי AUV של אוניברסיטת חיפה. מספר ממקבצי אבטובעים אלה באזור צנרת לווייתן ובאזור צנרת אנרג'יאן כ 10 ו-30 ק"מ צפונה מהשמורה המוצעת, נסקרו גם בעזרת ROV ובחלקם נמצאו תולעי *Lamellibrachia* ואף בועות גז המאפיינים סביבות של נביעות גז בקרקעית¹. אלה הביאו להנחה שלפחות חלק מהאבטובעים שמופו קשורים לנביעות גז פעילות ומערכות אקולוגיות הקשורות בהן. מיפוי האבטובעים בקרקעית נותח במשולב עם נתונים גיאופיסיים תלת-ממדיים של בלוך ים-חדרה, שמכסים אזור זה. נמצאה התאמה של מקבצי האבטובעים עם הסטות של אינטרוולים רפלקטיביים בעומק של כ 100 עד 200 מ מתחת לקרקעית לאורך ההעתקים הנורמליים. התאמה זו מציעה ששבירה של אינטרוולים מכילי גז בעומק משחררת את הגז שמפעפע ישירות מעלה ויוצר את האבטובעים בקרבת מתלולי ההעתקים בקרקעית. ברם, עד כה לא התבצעה חקירה מדעית מקיפה של תופעת האבטובעים בבסיס מדרון היבשת של מרכז ישראל.

מספר נסיונות נעשו להגדיר את היקפה ומשמעותה הכוללים של תופעת האבטובעים לאורך מדרון היבשת של מרכז עד צפון ישראל. בעקבות העברת נתוני הסקרים של נובל אנרג'י ואנרג'יאן למשרד האנרגיה הוכנסו לסקר האסטרטגי הסביבתי שלושה פוליגונים המגדירים את תפוצתם (כנרי ותום, 2021) ורגישותם של הפוליגונים נקבעה ברמה 2 מתוך 4. ברם, מיפוי זה התמקד באזורים שנסקרו, ולא התבסס על הבנה מדעית של התופעה. מודל כוללני יותר נבנה בשילוב של המיפויים הקיימים של תפוצתם, מציאתם של האבטובעים בכול סקר AUV שחצה את בסיס מדרון היבשת, והקורלציה שלהם עם האינטרוולים הסייסמיים הרפלקטיביים בנתונים הסייסמיים ועם ההעתקים המסיטיים אותם (Makovsky et al. 2024, Shabtay et al. 2023). מיפוי זה מסתמך על שתי הנחות פשטניות, שהאפשרות למצוא אבטובעים חדשים גדלה (1) עם הקרבה לאבטובעים שכבר מופו, (2) אל תוואי ההעתקים בפני השטח. בנוסף נתחמה האפשרות למצוא אבטובעים חדשים ממזרח בטווח השתרעותם המזרחי של האינטרוולים הרפלקטיביים במעלה המדרון, שבאופן כללי תחומה בבסיס המורפולוגי של המדרון העכשווי אך מטפסת במעלה המדרון בחלקה הדרומי של הפרעת דור. ממערב נתחמה האפשרות למציאת האבטובעים בעומק הקרקעית מתחת לפני המיים של 1,250 מ, משום שלא התגלו אבטובעים דומים בעומק מים גדול יותר. עומק זה הוא גם גבול היציבות של הידראטים בקרקעית אגן הלבנט (), שמתחתיו המתאן נכלא במבנה של קרח בקרקעית הים וייתכן שפיעפועו ויצירת האבטובעים מעוכבים בשל כך. המודל שנוצר תחת ההנחות האלה מציע שתופעת האבטובעים מתמשכת לאורך מרבית בסיס המדרון של ישראל, לפחות מאזור נתניה דרום ועד עכו.

שיטות

סקרי וידאו

סקר הוידאו הראשון התבצע באזור המזרחי של השמורה המוצעת בין התאריכים 12-13 לספטמבר, 2010 (סקרים H1130, H1131), כחלק מהפלגת ספינת המחקר נאוטילוס של אוניברסיטת רוד-איילנד, שהתבצעה מול חופי ישראל בשיתוף פעולה של אוניברסיטת רוד-איילנד, אוניברסיטת חיפה, והמכון לחקר ימים ואגמים ותוכנן כסקר ראשוני אקספלורטורי של אזור זה. הסקר הויזואלי כיסה חתך באורך כולל של כ- 6 ק"מ בכיוון כללי דרום-מערב לאורך המדרון בטווח עומקים של 600-660 מ'. בדרכו דגם הסקר צלקות של גלישות ואת אפיקי הזרימה החותכים אותן. הסקר התבצע

¹ https://www.gov.il/BlobFolder/generalpage/enviromental_info_file3/he/Lev_Pipeline_habitats_2018.pdf

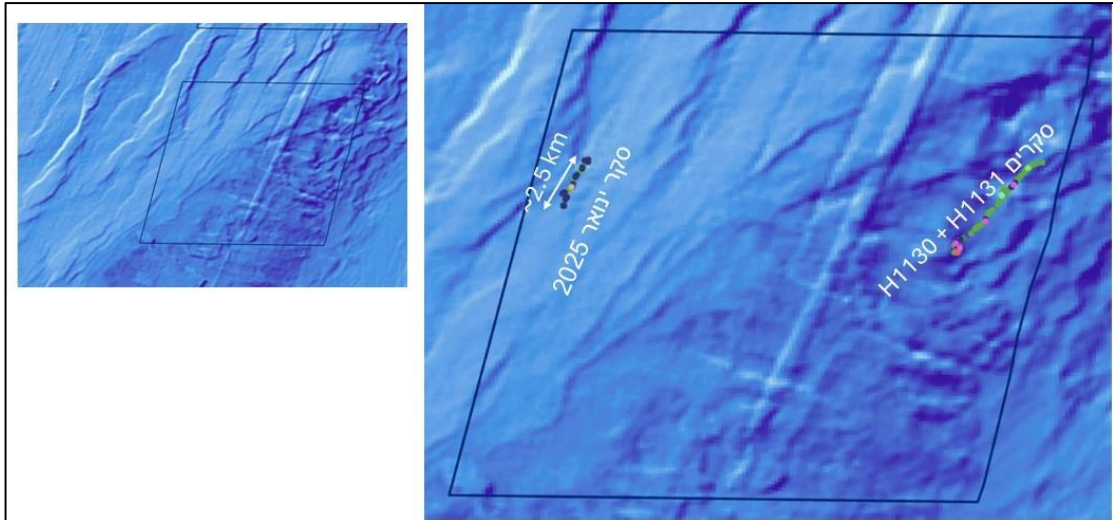
באמצעות זוג ROV מצומדים. ה Hercules ROV, שהוא ROV בסטנדרד בינוני, שביצע את סקר הקרקעית מצויד ביכולת תנועה עצמאית, מצלמת HD צבעונית, סונאר 360°, שתי זרועות (מניפולטורים), מגרת דוגמאות, ומגוון דוגמים נוספים. בצימוד לו עבד ה Argos ROV התלוי על גבי הכבל בין הספינה ל Hercules והוא בעל יכולת סיבוב ומצלמת HD בלבד. המיקום של ה ROV נקבע בעזרת מערכת ניווט אינרטי (IMU) המצומדת למד מהירות עוקב קרקעית (DVL), ואוכנה מדי פעם מהספינה בעזרת מערכת USBL אקוסטית. ביחד אלה נתנו דיוק מיקום של כ 20 מ. הסקר נותר בזמן אמת על ידי צוות טכני ומדעי, ששמר לוג של התצפיות והפעילויות העיקריות. במקביל הוקלטו סרטי ה ROV ביחד עם נתוני הניווט הגולמיים.

סקר הוידאו השני התבצע באזור השמורה המוצעת ב 15 בינואר, 2025, במהלך הפלגה ייעודית בהובלת החברה להגנת הטבע ביחד עם אוניברסיטת חיפה וחקר ימים ואגמים לישראל. סקר זה נועד לבדיקת סביבה מייצגת של אזור בסיס המדרון והאלמנטים העיקריים שלו הכוללים מגוון מקבצי אבעבועים ומתלולי העתקים. לפיכך, נקבע תוואי הסקר באזור שבו כיסו סקרי ה AUV המסחריים שטח יחסית נרחב עם מגוון תצורות שטח, כך שהוא עובר בין שני אגני השקעה וחוצה רכס יחסית צר ותחום העתקים שחוצה ביניהם ומספר מקבצי אבעבועים. מעבר לכך הסקר תוכנן כך שהוא חוצה שטח שלא מופה עד כה, כדי לבדוק האם יימצאו בו אבעבועים נוספים מחוץ לכיסוי הסקרים הקודמים. בפועל כיסה הסקר מרחק כולל של כ 2.5 ק"מ (באורך מסלול של כ-12 ק"מ). הסקר התבצע מספינת המחקר בת-גלים בניהול חקר ימים ואגמים לישראל בעזרת ה ROV יונה של אוניברסיטת חיפה, שהוא ROV בסטנדרט בינוני מדגם SeaEye Lopard מתוצרת SAAB. ה ROV יונה מצויד ב 11 מנועים חשמליים המקנים לו תנועה גמישה, מצלמת K4 (ומצלמות נוספות לעזר טכני), זרוע מניפולטור 7 דרגות חופש של Schilling, מגרת דגימות, בקבוקי ניסקין לדגימת מים, דוגמי גלעיני סדימנט, ו-CTD. מיקום ה ROV הוערך באופן המשכי בעזרת מערכת USBL אקוסטית מודרנית עם דיוק של כ 10 מ'. הסקר נוהל ונוטר בזמן אמת על ידי הצוות הטכני והמדעי, בהנהלת החברה להגנת הטבע. ניווט ה ROV התבצע על גבי מפת תיחום האבעבועים והאלמנטים האחרים בקרקעית המסתמכת על ניתוח סקרי ה AUV של נובל אנרג'י (כפי שהועלה לאתר של משרד האנרגיה²). סרטי המצלמות נשמרו במערכת ההקלטה יחד עם נתוני הניווט והמדידות האחרות. בנוסף, לוג פרטני מצולם של פעילויות הדגימה והממצאים העיקריים נשמר למערכת ההקלטה.

ניתוח ממצאי סקרי הוידאו

סרטי מצלמות ה ROV הראשיות של שני הסקרים והנתונים הנלווים נטענו למערכת המחשוב של המעבדה לחקר ימי יישומי באוניברסיטת חיפה. שם נתוני הניווט נבדקו ועובדו לפי הצורך להורדת רעשי מדידה. אז עובדו הסרטים, שולבו עם נתוני הניווט, ונטענו לסביבת עבודה ייעודית במערכת ArcGIS-Pro ביחד עם מידע רלבנטי (מפות בתימטריות וכו'). לצורך ניתוח הסרטים נבנה בסביבת עבודה זו ממשק משתמש המאפשר לצפות בסרטים תוך כדי מעקב אחר מיקום במפה והכנסת מידע בזריזות ויעילות תוך צפיה בסרטים לבסיס נתונים גיאוגרפי סביבתי שהוגדר מראש.

² https://www.gov.il/BlobFolder/generalpage/enviromental_info_file3/he/Lev_Pipeline_habitats_2018.pdf



איור 2. מיקומי מסלולי הסקירה של ה- ROV בסקרים שנערכו בשנים 2010 (סקרים H1130 ו- H1131) ו- 2025.

תיאור בתי הגידול שנסקרו באמצעות ROV

בית גידול מצע רך במדרון היבשת (סקר H1130) ותיעוד ספינה טרופה

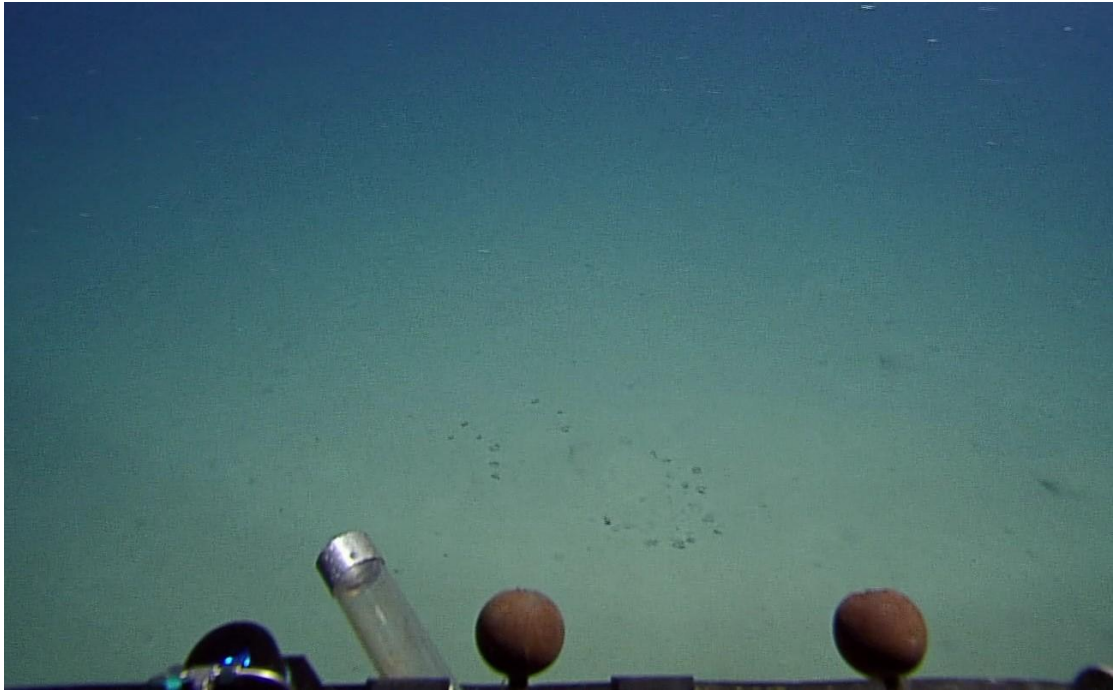
טווח העומקים המתועד בסרט הינו 626-641 מטרים. בתחילת הסרטון נראה בית גידול של מצע רך עם ריכוזים של מחילות (המחילות מסודרות בצורה רדיאלית). בציון זמן 0:43 מתחילת הסרטון מופיע מבנה של ספינה טרופה. נראית שדרית עשויה מתכת שקצותיה בולטים מן המצע הרך. נראה גם עוגן. החומר המצולם הועבר לידיעתו של יעקב שרביט מנהל היחידה הימית של רשות העתיקות ולהלן מובאת התייחסותו לממצאים:

1. הספינה עשויה מברזל, מהתמונות לא ניתן להעריך את מידותיה (אורך, רוחב וכו')
2. בחרטום הספינה ניתן לזהות שני עוגני ברזל יחסית קטנים מטיפוס "אדמירלי". לא ברור בוודאות האם מטה העוגן מחובר או שמדובר בפריט ברזל אחר. בהנחה שמדובר במטה העוגן, נראה כי מדובר במטה בצורת האות וו, מסתיים במעין כדור בקצה האחד. לא ברור האם בראש העוגן טבעת לקשירת חבל/כבל או שקל כפי שמופיע בעוגנים מאוחרים יותר. לאור זאת אני מניח בזהירות שמדובר בספינה משלהי המאה ה-18, 19 ואולי תחילת המאה הנוכחית.
3. מאחר ולא נראה ממצא מאפיין וכן אין נתונים לגבי הגודל קשה לקבוע באיזה סוג של ספינה מדובר.
4. מהתמונות ניתן להבין כי נעשו פעולות של דייג מכמורת גם בעומק זה, על הספינה קרעי רשת מכמורת ורשתות אחרות, יתכן וחלק מהכבלים הנראים מעל העוגנים שייכים לדייג המכמורת.

בהתייחס לחוק העתיקות התשל"ח 1978, אין מדובר בעתיקה, יחד עם זאת אם אנחנו שייכים לחלק מהאומות המערביות שם החוק קובע כי עתיקה "חפץ מלפני מאה שנה" הרי שמדובר בעתיקה או לפחות מורשת היסטורית.

שדרית הספינה מהווה מצע קשיח מלאכותי ולפיכך משמשת כמצע להתיישבות של דרגות לרווליות של אורגניזמים ישיבים וכן כאלמנט בעל מורכבות תלת-מימדית שמהווה מוקד משיכה לדגים וחסרי חוליות ניידים כפי שיתואר להלן. על חלק מהאלמנטים מהמתכת מופיע כיסוי צפוף של זואנטידים (Zoanthidae משפחה בסדרת ה-Zoantharia שבמחלקת אלמוגי האבן). הזואנטידים דומים לשושנות ים והם סוליטריים. בשני אזורים שונים בתחומי הספינה הטרופה נראה מעין צבר של חוטים שהמצלמה לא מתמקדת עליהם ויש סבירות שאלה אלמוגים שחורים Antipatharia אך ייתכן גם כי מדובר בחוטי דייג. לכל אורך הסרטון נראים בסמוך לשרידי הספינה שני דגים גדולים מאוד בצבע כסוף שזוהו כשייכים למין צינן אמריקאי *Polyprion americanus*. הצינן האמריקאי הינו דג גרם ממשפחת הצינוניים וידוע גם בכינוי "דג הספינות הטרופות". נפוץ בכל רחבי העולם ובד"כ נמצא במערות, באזורים סלעיים או בקרבת ספינות טרופות. הבוגרים מאכלסים מים עמוקים ויכולים לחיות עשרות שנים ולהגיע לגודל של 2 מטרים.

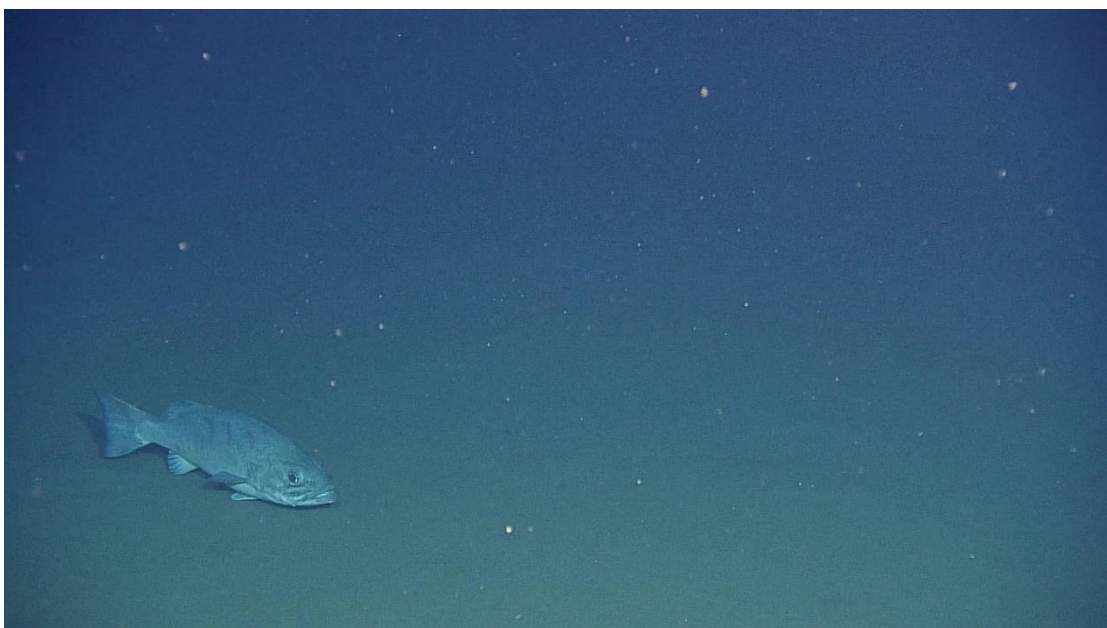
בשטח הספינה נראו גם סרטנים קצרי בטן מהמין *Bathynectes maravigna*, נרתיקים של תולעים רב זיפיות בצבע לבן וגם תולעים עם מניפת הסינון פרושה. נראו גם שושנות ים מהסוג *Cerianthus* במצע הרך הסמוך לשרידי הספינה וכן אלמוגים רכים מהסוג *Alcyonium* על הספינה. מהדגים, מלבד שני דגי הצינן נראה פרט של *Merluccius merluccius* על הקרקעית הרכה, פרט של *Helicolenus dactylopterus* בתחומי הספינה ופרט של דג החכאי *Lophius budegassa* המוסווה היטב על הקרקעית.



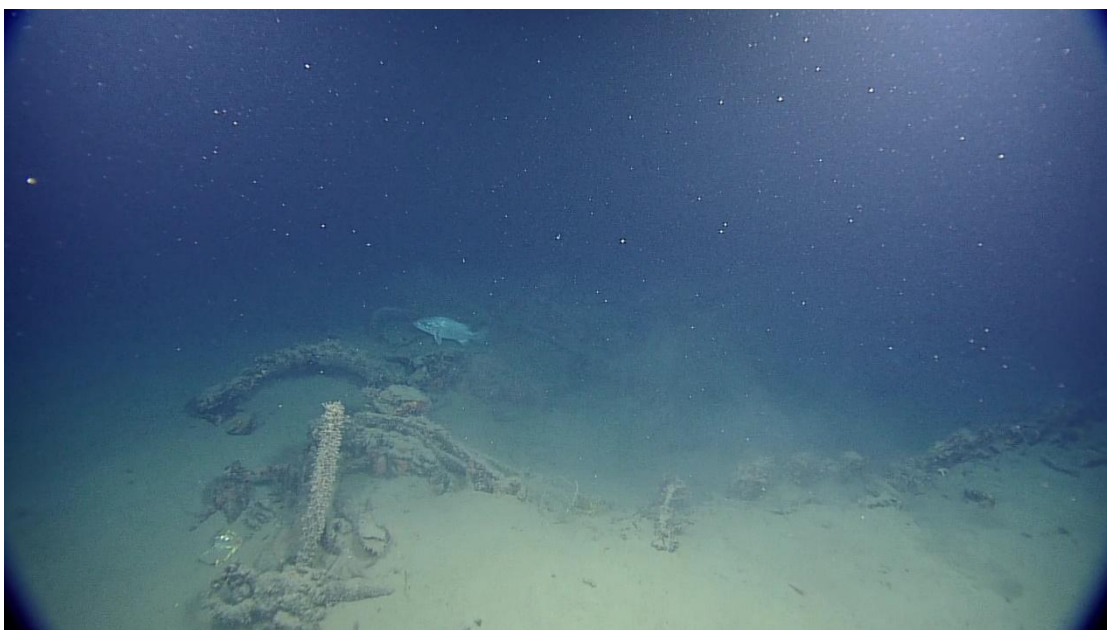
איור 3. מקבץ מחילות בצורת עיגול



איור 4. *Merluccius merluccius*



איור 5. צינן גדול (אחד מתוך זוג שנראו בתחומי הספינה הטרופה)



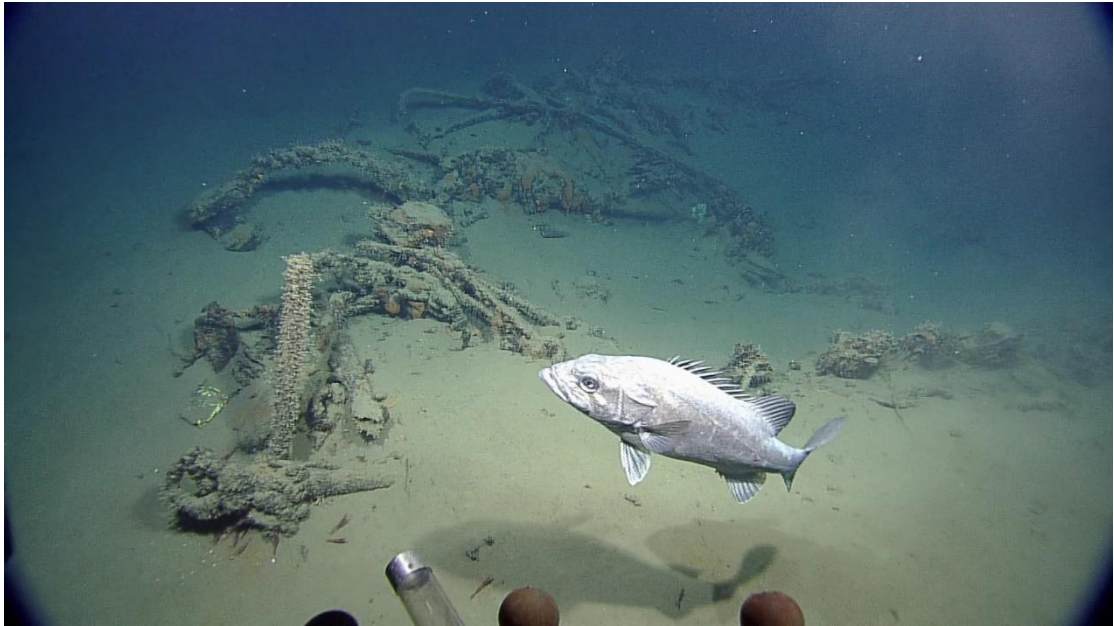
איור 6. מבט על הספינה מהחרטום/ירכתיים



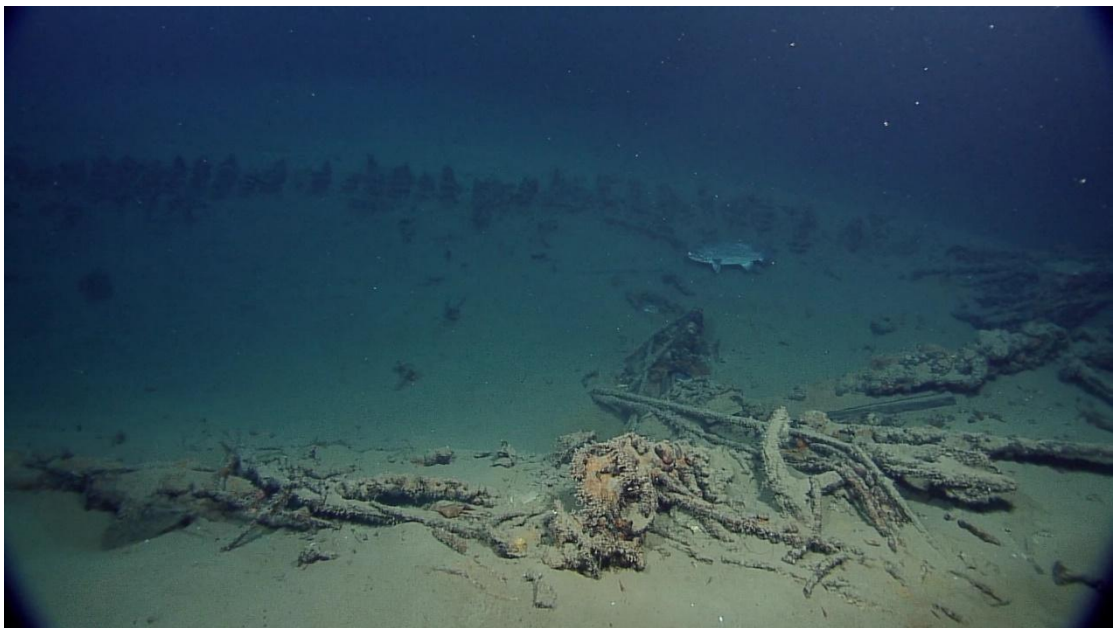
איור 7. אלמנטים ממתכת (חלק משדרית הספינה) שמכוסים בחלקם בזואנטידים.



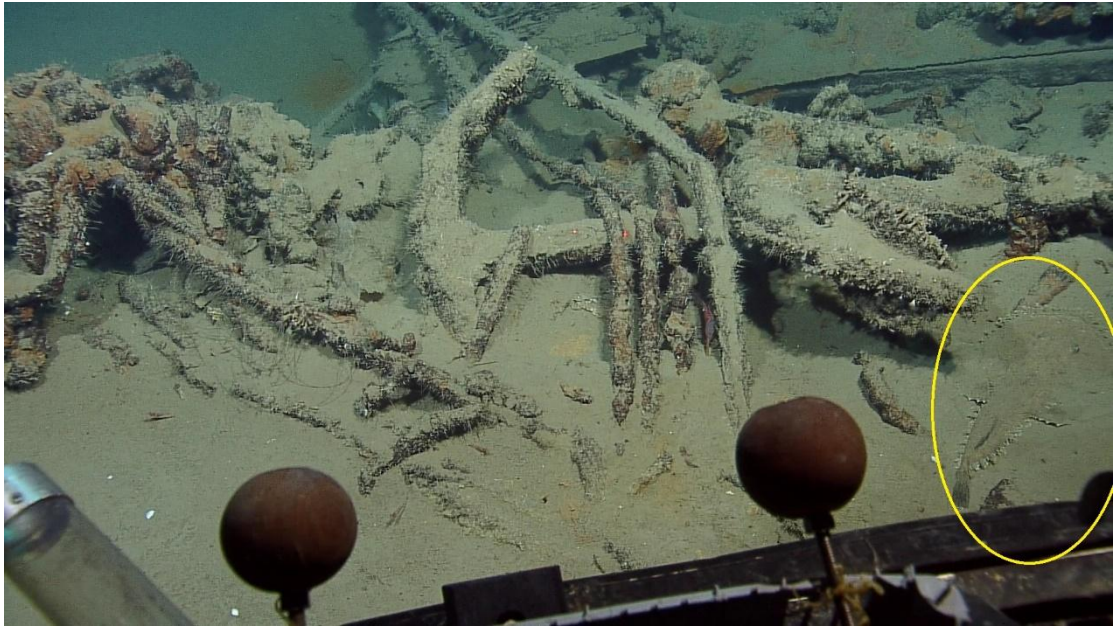
איור 8. סרטן מהמין *Bathynectes maravigna*



איור 9. אחד משני דגי הצינון ליד שרידי הספינה



איור 10. מבט כולל על שדרית הספינה



איור 11. הדג *Lophius budegassa* מוסווה היטב על הקרקעית



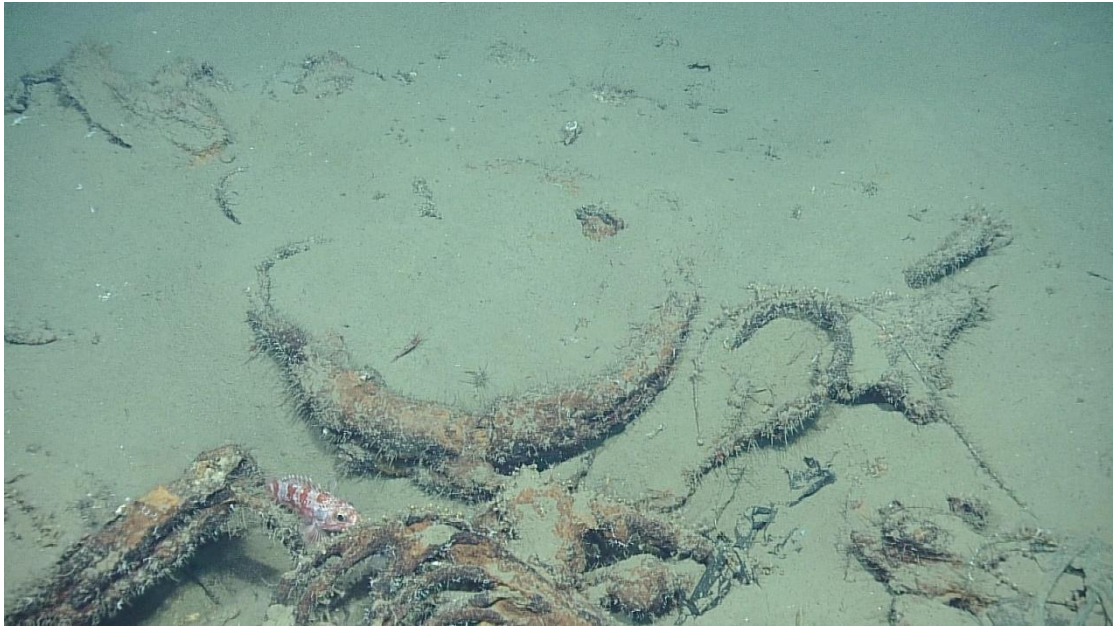
איור 12. זוג הצינונים על רקע שרידי הספינה. עמוד מתכת מכוסה בזואנטידים נראה בקדמת התמונה.



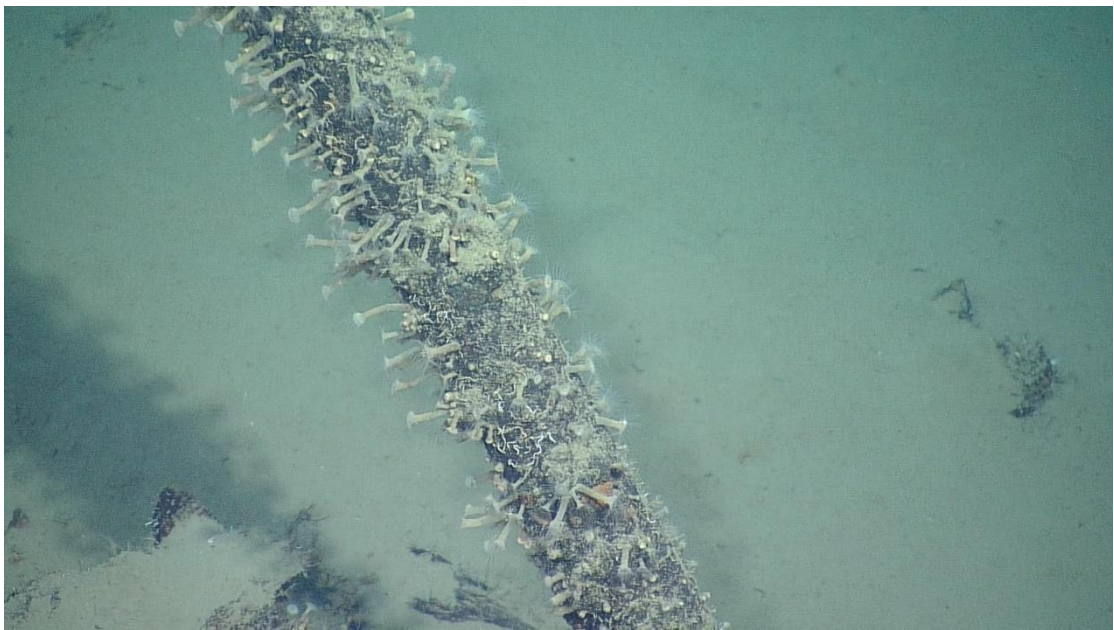
איור 13. פריט ממתכת וברקע "חוטנים" שלא ברור מהם



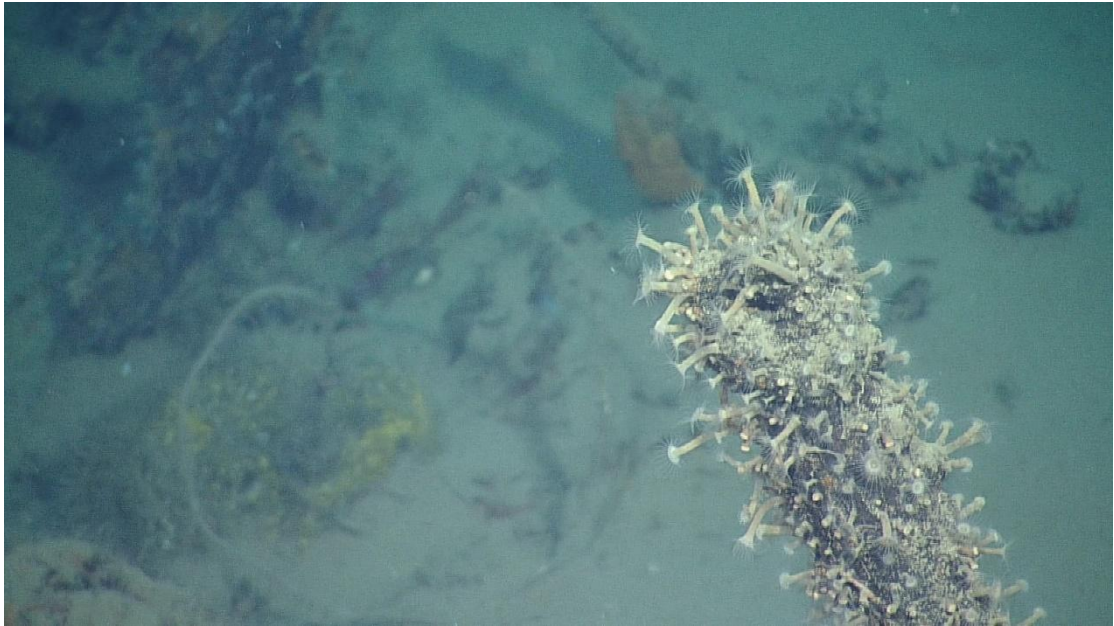
איור 14. שלוש שושנות ים מהסוג *Cerianthus* עם זרועות פרושות



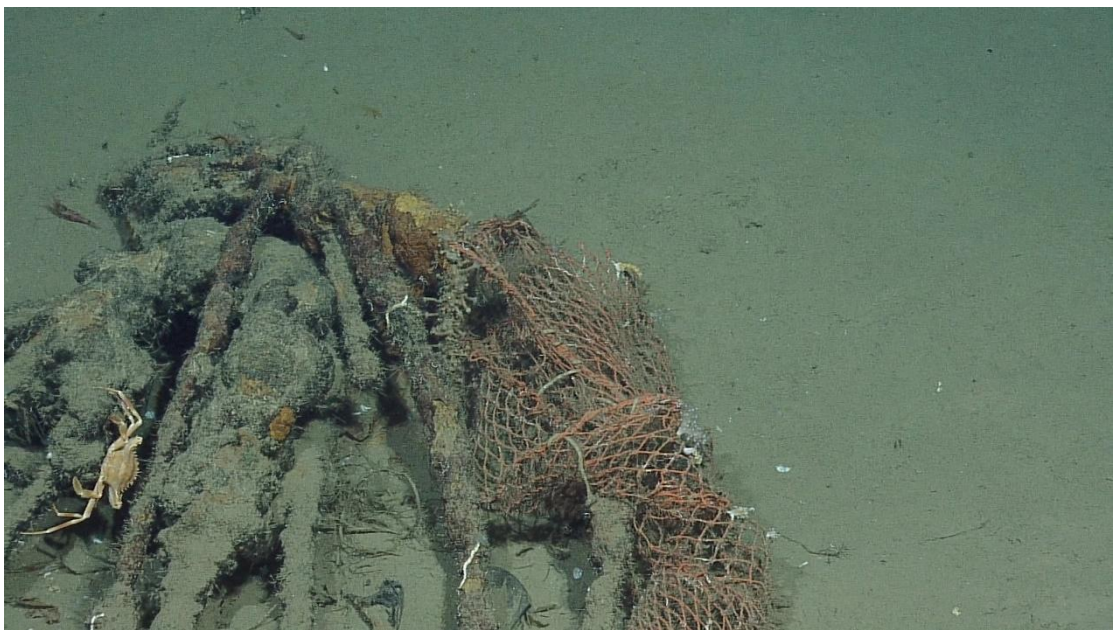
איור 15. דג *Helicolenus dactylopterus* על שרידי הספינה (למטה משמאל).



איור 16. זואנטידים על עמוד מתכת



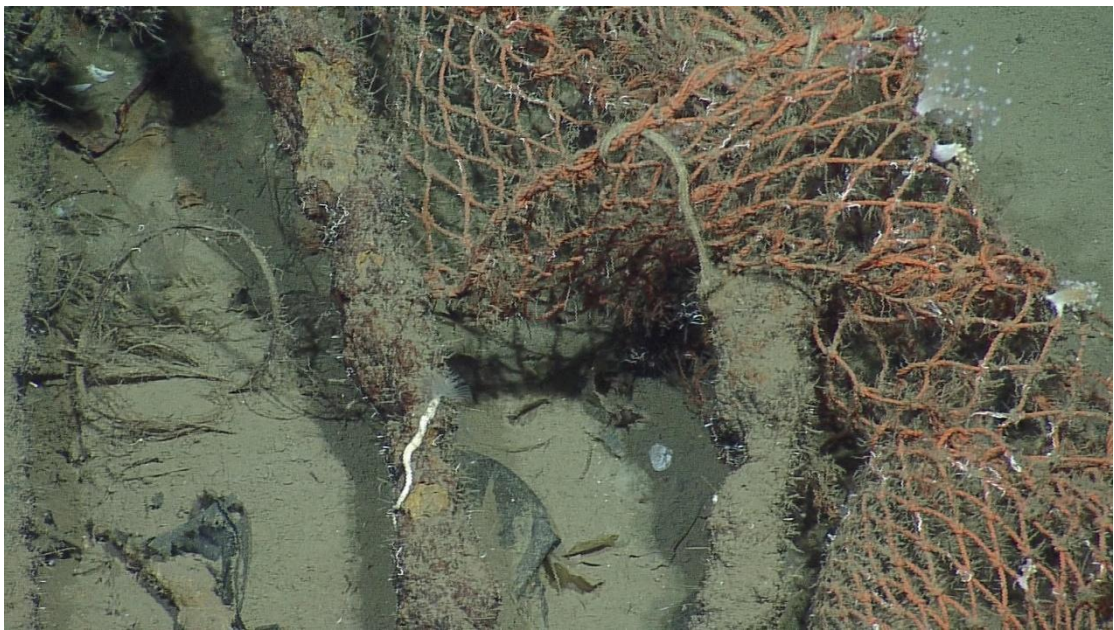
איור 17. מבט מקרוב על הזואנטידים



איור 18. רשת דייג (ככל הנראה עדות לדייג מכמורת באזור) מסובכת בשרידי הספינה.



איור 19. סרטן קצר בטן *Bathynectes maravigna*



איור 20. רשת פלסטיק על שרידי הספינה. תולעת רב זיפית עם נרתיק גירני לבן ומניפת סינון פרושה (מעט שמאלה ממרכז התמונה) ואלמוגים רכים (מימין) מהסוג *Alcyonium* על רשת פלסטיק.

בית גידול מצע רך מסרט H1131

תוואי סקירת ה-ROV בסרטון #1131 עובר באזור של קרקעית בוצית-טינית אופיינית לעומקי המים בהם צולם הסרטון (613-662 מטרים). מלבד ספינה טרופה שהתגלתה במהלך הסקר ותיאור שלה מופיע בדו"ח זה, לא נצפו מבנים טבעיים/מלאכותיים בעלי מורכבות תלת-מימדית ו/או מאפיינים גיאולוגיים ייחודיים (תיאור הספינה הטרופה ומאפייני החי שבתחומה מופיע בדו"ח הסקר שמספרו 1130 מכיוון ששני הסקרים חפפו באזור הימצאותה). הקרקעית שטוחה עם עדויות לפעילות ביולוגית

בתת הקרקע (ביוטורבציה) בצפיפות נמוכה. נצפו פתחי מחילות, תלוליות ספורדיות, פריטי זבל שונים ולעיתים גם מקבצי מחילות שמסודרים בצורה רדיאלית כפי שניתן לראות באיור 21 (סידור כזה של מחילות נצפה כבר באזורים אחרים של מרחבי הים העמוק בעלי מאפייני קרקעית דומים). נכון לשלב הידע הנוכחי, לא ידוע איזה יצור אחראי ליצירת המחילות וככל הנראה התשובה לשאלה תדרוש דיגום של הקרקעית באזורים כאלה. באיור 22 ניתן לראות כי בסמוך לאחד ממקבצי המחילות נצפה סרטן ארוך בטן (שרימפ) בצבע אדום בורדו שייתכן כי שייך לסוג *Parapenaeus* וקיימת סבירות כי זה המין שיוצר את המחילות.



איור 21. מגוון של 12 מקבצי מחילות שמסודרים בצורה רדיאלית כפי שנצפו במהלך סקר ה-ROV.

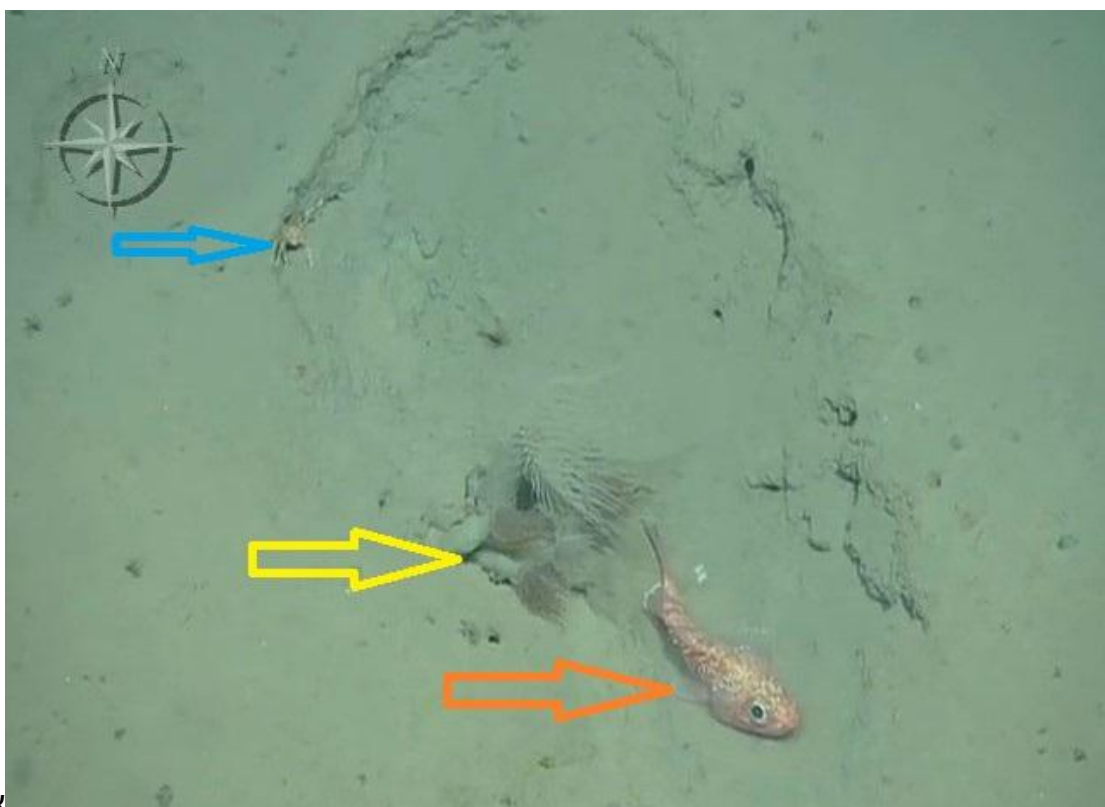


איור 22. סרטן ארוך בטן בצבע אדום בורדו בסמוך מאוד למקבץ מחילות. מופיע בהגדלה בתמונה העליונה מימין.

מבין הדגים, נצפו פרטים ספורים במהלך הסקר וביניהם ארבעה פרטים של *Helicolenus dactylopterus* שהינו אחד ממניי הדגים הנצפים ביותר בסביבת הקרקעית הרכה בים העמוק (בים התיכון). יש לציין כי מין זה נצפה לעיתים בתוך גומות/בורות בקרקעית או באסוציאציה עם פריטי זבל. בסקר הנוכחי נצפה פרט אחד בתוך גומה בקרקעית שבתחומה נראו גם 3-4 שושנות ים מהסוג *Cerianthus* שנראה שהנרתיקים שלהם (העשויים ריר בשילוב עם סדימנט) צמודים לאלמנט קשיח כלשהו שלא ניתן להבין מה הוא. ייתכן כי השושנות שייכות למין *Cerianthus membranaceus* שזוהה בקרקעית רכה בים העמוק במספר אתרים בלבנון בעומקים דומים (Aguilar et al., 2018). בנוסף נראה גם סרטן קצר ככל הנראה מהסוג *Bathynectes* כשהוא מסתתר באזור דופן הגומה (איור 23). בנוסף נצפה פרט אחד מהמין *Chlorophthalmus agassizi*. דגים ממין זה נפוצים בקרקעית בוצית-טינית באזורי מדף היבשת ומדרון היבשת. הבוגרים הינם דמרסאליים וחיים בסמוך לקרקעית בעומקים של 50-1000 מטרים ואילו הצעירים הינם פלאגיים וחיים בקרבת פני המים. מין זה הינו בעל ערך מסחרי קטן.

דג נוסף שנצפה במהלך הסקר נראה כשהוא "עומד" (בניצב) בסמוך לקרקעית כאשר הזנב למטה והראש למעלה. להערכתו של ד"ר ניר שטרן מדובר בפרט שייטכן ושייך לאחת המשפחות *Trachpteridae* או *Regalecidae* אך איכות הצילום לא מאפשרת הגדרה מדויקת.

במהלך הסקר נצפה פרט של דיונון בעמודת המים בקרבת הקרקעית וייתכן כי מדובר בסוג *Loligo*.



איור

23. דג מהמין *Helicolenus dactylopterus* בתוך גומה בקרקעית (חץ כתום). ניתן לראות 3 פרטים של שושנות ים מהסוג *Cerianthus* (חץ צהוב) ופרט של סרטן קצר בטן מהסוג *Bathynectes* (חץ תכלת).



איור 24. שני פרטים של הדג *Helicolenus dactylopterus*



איור 25. פרט מהמין *Chlorophthalmus agassizi*



איור 26. דיונון בעמודת המים בקרבת הקרקעית. ייתכן כי שייך לסוג *Loligo*.

במהלך הסקר נראה אלמוג "שוט" Whip coral שהוא בעצם סוג של נוצת ים ככל הנראה *Funiculina* שהוא הסוג היחיד במשפחה Funiculinidae. המין *Funiculina quadrangularis* זוהה בסביבת קרקעית בוצית-טינית בלבנון לעיתים בהתקבצויות של מספר פרטים (Aguilar et al., 2018). המין הנ"ל מוגדר Near Threatened (NT) בים התיכון על ידי ה-IUCN (Everett, M. & Nascimento, 2024).



איור 27. נוצת ים מהסוג *Funiculina*.

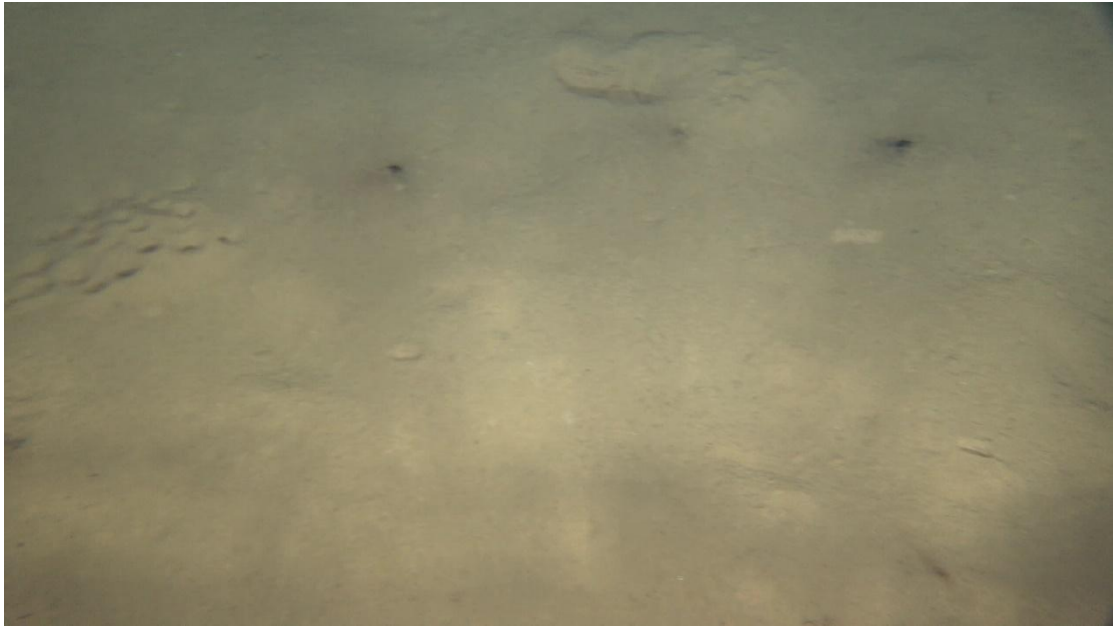
בדומה לסקרים נוספים שנערכו בים העמוק במרחב הימי של ישראל, נצפו במהלך הסקר פריטי זבל שונים ורובם עשויים פלסטיק (שקיות או חלקי פלסטיק קשיח). בנוסף נראתה פחית שתיה בתוך שקית ומצבור של פריטי זבל (ראה איור 28)



איור 28. פריטי זבל שונים: למעלה מימין, שקית פלסטיק. למעלה משמאל, פחית שתיה בתוך שקית פלסטיק. למטה מימין, מצבור פריטי זבל. למטה משמאל, חלק של שק פלסטיק (ככל הנראה).

סקר ינואר 2025

לאורך תוואי הסקירה של הרובוט נתגלו עשרות כתמי הסדימנט הכהים בגוונים של אפור-אפור כהה ולעיתים גם בגוני חום. כל כתמי הסדימנט הכהים מוקמו בתוך מכתשים עם שוליים מורמים, מבנים שתואמים במורפולוגיה שלהם למבני Pockmarks (Dimitrov and Woodside, 2002). כתמי הסדימנט הכהה מיוחסים לאתרי נביעות פעילות וסוגו ל-3 טיפוסים שונים (ראה בהמשך המסמך). תוואי הסקירה כלל גם אזורים של קרקעית שטוחה האופיינית לאזור הבתיאל של הים העמוק עם עדויות לפעילות בתת הקרקע (Bioturbation) בדמות מחילות ותלוליות. לעיתים נצפו גם צברים של נקודות שחורות בדומה לצברים שתוארו בקרקעית רכה בעומקים 300-1300 מטרים במרחב הימי של ישראל (Rubin-Blum et al., 2014a) שאינם קשורים בהכרח לנוכחות נביעה (איור 29).



איור 29. קרקעית טינית אופיינית לאזור הים העמוק (בתיאל). ניתן לראות שני כתמים שחורים וצבר מחילות (בצד שמאל בחצי העליון של התמונה)

בנוסף, בתחילת הסקירה, באזור קרקעית טינית עם מחילות, נצפו מספר אורגניזמים בעלי מופע מעונף ובגוון של צבע הסדימנט שזהותם עדיין לא וודאית אך קיימת סברה שאלו הם פורמיפרים השייכים לקבוצה שנקראת Agglutinated foraminifera. ד"ר אורית חיימס פנתה לחוקר Andrew Gooday והוא סבור שייתכן ומדובר בסוג *Pelosina* שמוכר מקרקעית הים העמוק באזורים שונים בעולם (Gooday, 1990), אך הוא מסייג את הזיהוי עד לקבלת דגימות. מעניין לציין כי בסקר הים העמוק שנערך בלבנון מדווח כי המין *Pelosina cf. arborescens* הינו אחד המינים הנפוצים באזורי קרקעית בוציים של הים העמוק (Bathyal muds) ומופיע לעיתים ביחד עם נרתיקים של תולעים ממשפחת ה-Sabellidae (Aguilar et al., 2018).



איור 30. Agglutinated Foraminifera כפי שנצפו על הקרקעית הבוצית בתחילת הסקר. הפרטים המסומנים בתמונה שייכים ככל הנראה לסוג *Pelosina*.

Pockmarks

Pockmarks הינם מבנים שקועים בקרקעית הים, במקרים רבים איזומטריים בצורת חרוט או צלחת. מבנים אלה מופיעים בטווח רחב של קטרים מ-1 מטר ועד מאות מטרים וטווח הפרשי הגובה שבתוכם נע בין 1-10 מטרים (Dimitrov and Woodside, 2002; Lawal et al., 2023).

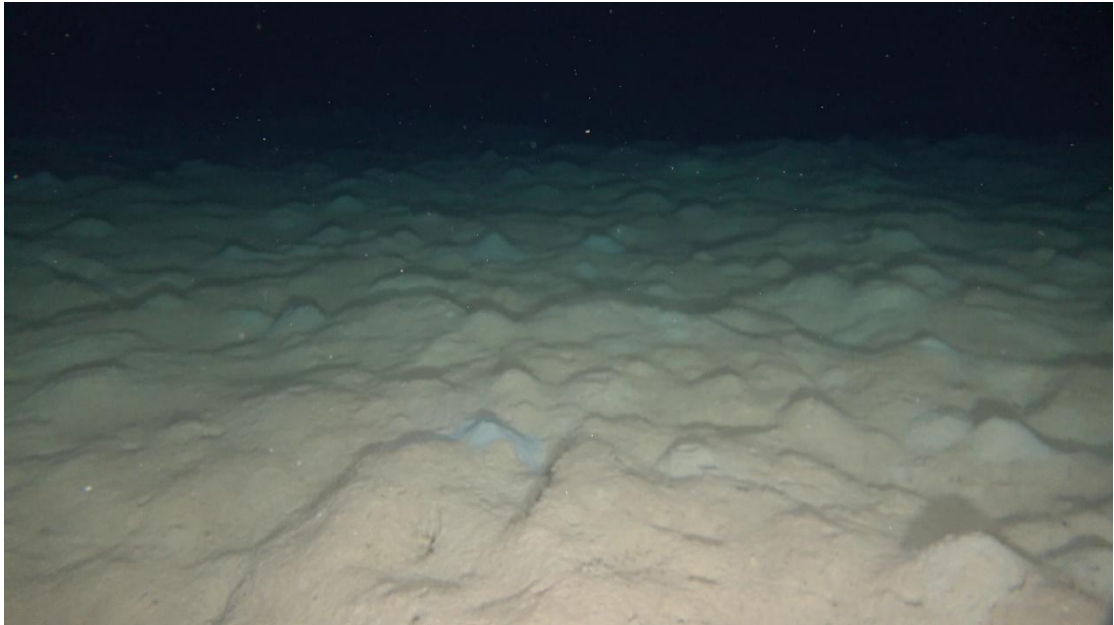
Pockmarks תועדו לראשונה בעולם ב-1970 כשהתגלו במדף היבשת ב-Nova Scotia (King and McLean, 1970). מאז דווחו פוקמרקס באתרים רבים ברחבי העולם ובכלל זה באגן המזרחי של הים התיכון. הפוקמרקס נמצאים במיקומים בהם יש שחרור של נזלים ובנוכחות של סדימנט דק-גרגר.

כיום מקובל כי פוקמרקס בד"כ נוצרים על ידי פליטה של גז או/ו על ידי שחרור מתמשך ואינטנסיבי של נזל שמפריע ל"התיישבות" סדימנטים באזור הנביעה. פוקמרקס יכולים להישאר פעילים לאורך פרקי זמן ארוכים אך יכולים להיות גם במצב רדום בין תקופות של פעילות (Dimitrov and Woodside, 2002).

Dimitrov & Woodside מדווחים במאמרם (2002) על הימצאות מספר גדול של פוקמרקס באגן המזרחי של הים התיכון ב-4 אזורים שונים שנמצאים לאורך הרכס הים תיכוני (Mediterranean ridge).

צילומי ה-ROV מראים כי האזור הפריפריאלי לכל Pockmark היה בעל מאפיינים מורפולוגיים ייחודיים, מה שהתבטא בנוכחות תלוליות צפופות שמשוות לקרקעית מראה גבשושי. התלוליות, שקוטרן נע בין 10-20 ס"מ ובמרכזן חור, הינן תוצאה של פעילות ביולוגית בתת-הקרקע (Bioturbation). צבען אפרפר בהיר-כהה ומעט שונה מצבע הסדימנט של פני הקרקעית (איור 1). אישוש לתצפיות על מאפיינים מורפולוגיים ייחודיים מסביב לנביעות פעילות מתקבל מפרסום חדש

של Rubin-Blum et al., (2025). החוקרים מתארים אתרי נביעות קרות שמוקפים בכמויות גדולות של מחילות באזור הפרעת פלמחים. המחילות התבררו כמחילות של סרטן מהמין *Calliax lobata* והן נמצאו במרחקים של עשרות-מאות מטרים מהנביעות הפעילות. פעילות מיקרוביאלית גבוהה תועדה בסדימנטים שסביב הנביעות ונמצא כי החיידקים משפיעים על תהליכים ביוגיאוכימיים בשכבת החיץ המימית בין הסדימנט ולתוך עמודת המים שמתאפיינת באופן רגיל בתנאים אוליגוטרופים (Sisma-Ventura et al., 2022; Rubin-blum et al., 2025). המחקר מצביע על קיומן של אוכלוסיות מיקרוביאליות יחודיות שנמצאות בדפנות המחילות של *C. lobata*, שלהן תפקיד במגוון תהליכים ביוגיאוכימיים ובמיוחד מצוינת החשיבות של חיידקים המבצעים מחזור של חנקן בהקשר של הסביבה האוליגוטרופית באזור הדרומי של האגן המזרחי של הים התיכון. החוקרים משערים כי הסרטן *C. lobata* "מגנן" (gardening) את החיידקים בדומה לסרטנים אחרים מקבוצת ה-Ghost shrimps בים העמוק וגם במים רדודים (Rubin-Blum et al., 2025). אחת ממסקנות המחקר היא שפעילות הסרטנים והאוכלוסיות המיקרוביאליות הקשורות להם, מגדילים את טווח ההשפעה של הנביעות עד כדי סדר גודל אחד מעל שטחן בפועל.



איור 31. מופע גבשושי של הקרקעית בפריפריה שמסביב לפוקמרק/אתר של נביעה פעילה כפי שנצפה בסקר הנוכחי. מופע זה הינו עדות לפעילות ביולוגית בתת-הקרקע.

מאפיין נוסף שנמצא בסקר זה בכל ה-Pockmarks הוא נוכחות של פריטי זבל, בעיקר שקיות פלסטיק, חלקי רשתות פלסטיק (ככל הנראה רשתות דייג) וחוטי דייג עבים. ככל הנראה הצטברות פריטי הזבל אינה מקרית ונובעת מהמבנה הקעור ש"לוכד" את הזבל בתוכו.



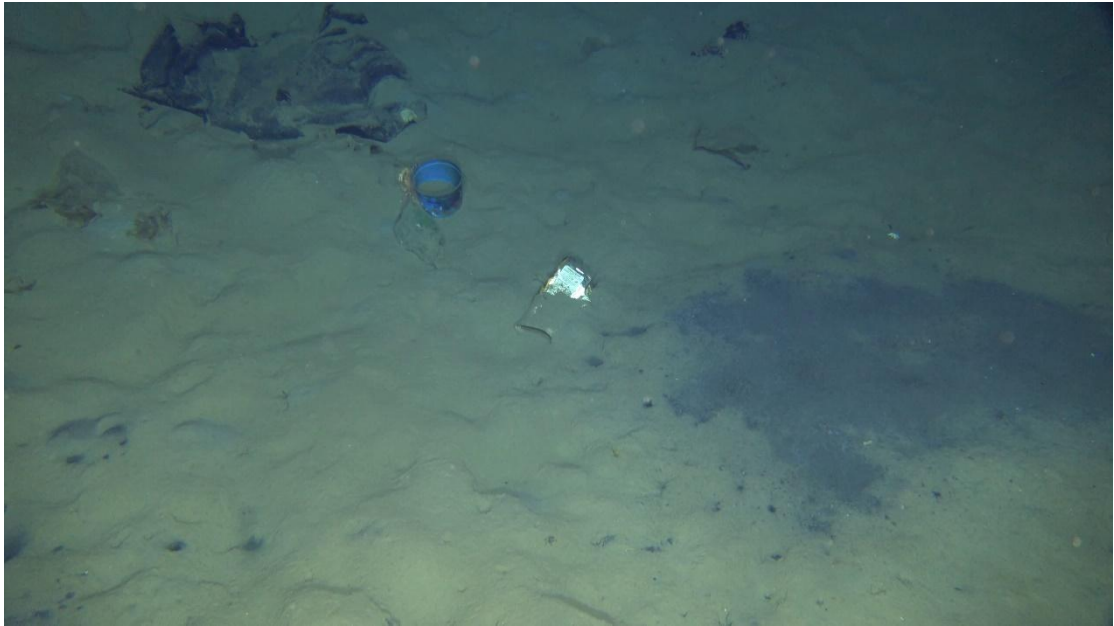
איור 32. ריכוז של פריטי פסולת בתוך פוקמרק ובסמוך לכתמי סדימנט כהה.

כתמי סדימנט כהה-אתרי נביעות פעילות

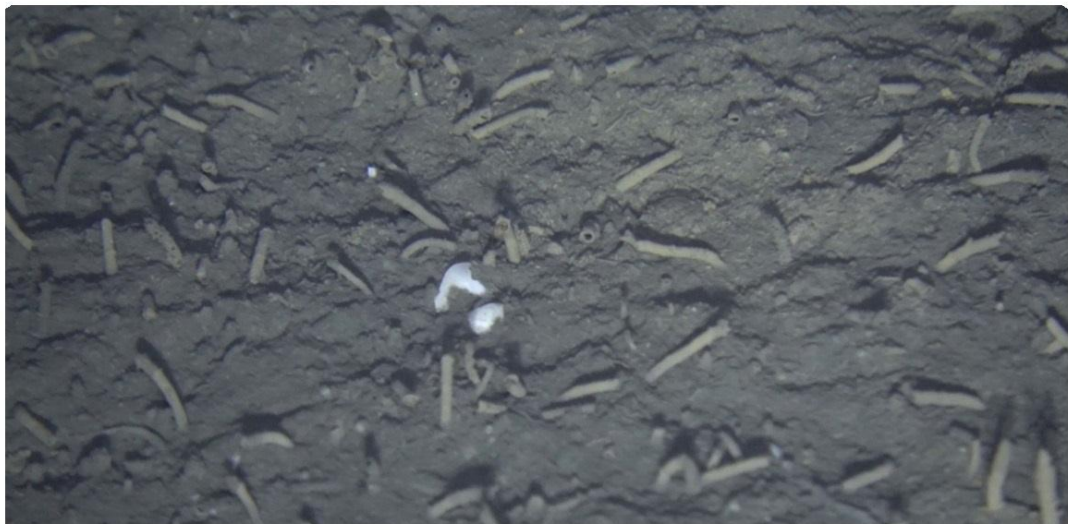
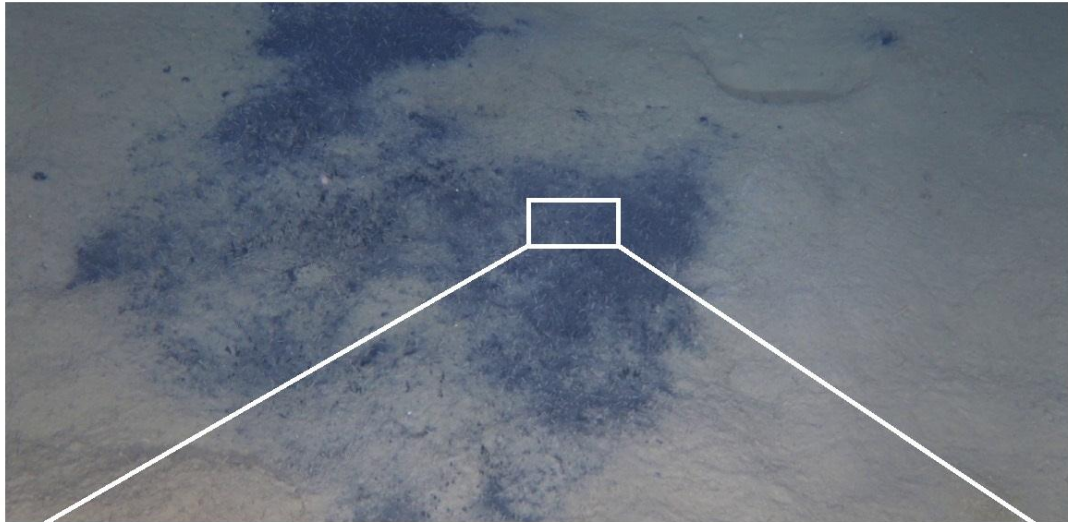
צבעו הכהה של הסדימנט בכתמים נובע ככל הנראה מנוכחותם של מרבדי חיידקים באזורים של נביעות פעילות. עדות לנוכחות גז האגור בסדימנט נראתה לקראת סוף הסקר כשבמהלך דיגום שביצע ה-ROV נראה שחרור של בועות גז רבות מהסדימנט.

כתמי הסדימנט הכהה נבדלו במרכיבי החי שנצפו בהם (על פני המצע) וניתן לחלקם ל-3 טיפוסים שונים.

1. אזורי כתמי סדימנט כהים קטנים שלא נראים על פני שטחם אורגניזמים כלשהם. יש לציין כי יש התכנות כי המצב הנ"ל הינו ארטיפקט של מגבלות הצילום של ה-ROV בחלק מאתרי הסקר.



2. אזורי כתמי סדימנט כהים עם נוכחות של נרתיקי תולעים הבולטים מהקרקעית 2-3 ס"מ בצפיפות גבוהה. באחד הסרטונים נראית מניפת סינון, שדומה למניפת סינון של תולעת רב-זיפית נייחת (Sedentary) ממשפחת ה- Sabellidae, כאשר היא נעה מצד לצד באזור של נביעה פעילה.



איור 33. למעלה: אזור של סדימנט כהה מטיפוס #2 עם נוכחות של תולעים רב-זיפיות. למטה: תמונת תקריב של נרתיקי התולעים הבולטים מהסדימנט הכהה.

3. אזורי כתמי סדימנט עם נוכחות של תולעים רב-זיפיות כימוסינטטיות מהסוג *Lamellibrachia*. המיקומים בהם נצפו התולעים הנ"ל הינם האזורים בהם נצפה עושר המינים הגדול ביותר של אורגניזמים על המצע (על סמך הערכה בלבד). יש לציין כי ברוב הפוקמרקס שבהם נראו תולעי ה- *Lamellibrachia* ניתן לראות גם נוכחות של מצע קשיח כלשהו (מצע קשיח טבעי של סלע קרבונטי Autigenic Carbonate וצברים של נרתיקים גירניים ישנים או מצע מלאכותי כדוגמת פסולת פלסטיק). התייחסות לגבי החשיבות של המצע הקשיח לתולעי ה- *Lamellibrachia* תובא בהמשך המסמך. בין הטקסונים שניתן לראות באזורים אלה:

- סרטנים קצרי בטן מהסוג *Bathynectes* וככל הנראה מהמין *marvigna*.
- תולעים רב-זיפיות בעלות נרתיק רך ומניפת סינון בצבע ירקרק (ככל הנראה ממשפחת ה- Sabellidae).

- נרתיקים גירניים של תולעים רב זיפיות ככל הנראה ממשפחת ה- Serpullidae שנמצאים על הנרתיקים של תולעי ה- *Lamellibrachia*. לא ניתן לראות אם יש פרטים חיים.
- סרטנים שוני בטן ממשפחת ה- Galatheidae וייתכן ששייכים לסוג *Munidopsis*.
- חלזונות שנצפו על הנרתיקים הקשיחים של תולעי ה- *Lamellibrachia*.
- קיפודים בגוון ורדרד ככל הנראה מהסוג *Echinus*.
- שושנות ים שקופות, ככל הנראה שייכות לסוג *Cerianthus*.
- בצילומי תקריב נראים אלפי יצורים קטנטנים (ככל הנראה סרטנים) שנעים בתנועה סיבובית ממש מעל הסדימנט הכהה ובסמוך לנרתיקי התולעים הבולטים מהקרקעית. בלתי אפשרי לזהותם מהצילומים. מעניין לציין שבמחקר שנערך באזורי נביעות קרות, פוקמרקס ו- mud volcanos באזור מניפת הנילוס העמוקה תועדו סרטנים קטנים ממשפחת ה- Leptostraca באזור של סדימנטים מחוזרים (Reduced sediments)(Ritt et al., 2009). בשלב הנוכחי לא ניתן לדעת את זהותם של היצורים הקטנטנים שנראו בסקר הנוכחי עד שיתקבל זיהוי DNA.



איור 34. צבר גדול של תולעי *Lamellibrachia* באזור של סדימנט כהה ובאסוציאציה עם מצע קשיח קרבונטי. ניתן לראות קיפודים בין נרתיקי התולעים וכן מספר תולעים פעילות עם זר תוספתנים בצבע אדום הבולט לגוף המים (במרכז התמונה).

תולעים ממשפחת ה- Siboglonidae ומהסוג *Lamellibrachia*

תולעים מהסוג *Lamellibrachia* מוכרות כמאכלסות נפוצות של נביעות קרות ברחבי העולם וגם מאזורים של נביעות הידרותרמאליות באוקיינוס הפאסיפי (Thiel et al., 2012). תולעים אלה מתאפיינות בנרתיקים קשיחים בצבע בהיר הבנויים מכיטין ומרכיבים נוספים (Mazumdar et al.,)

2021). על הנרתיק נראים פסים היקפיים שהם בעצם טבעות גידול. בחלק הקדמי של הנרתיק נראות טבעות עם חלק שבולט כלפי חוץ (מעין קולר היקפי) (Southward et al., 2011). החלק האחורי הולך ונהיה צר וקצהו נראה כמו שורש דק. החלק הראשון של גוף התולעת נקרא obturaculum והא מכיל תוספתנים דמויי כנפיים בצבע בהיר. חלק זה מוקף בזר תוספתנים בצבע אדום (Branchial filaments).

המין היחיד שתואר מהים התיכון הוא *Lamellibrachia anaximandri* שנמצא בעומקים שבין 1100-2100 מטרים באסוציאציה עם נביעות קרות של מתאן המכילות סולפיד באזור Anaximander mountains לאורך הרכס הים תיכוני (Southward et al., 2011). (Rubin-Blum et al., 2014) דיווחו על קיומם של תולעי *Lamellibrachia* משלושה אתרים שונים: (1) נביעה קרה בתחומי ההר התת-ימי Eratosthenes בסמוך לקפריסין בעומק 947 מטרים. (2) נביעה הידרותרמאלית באזור Palinuro volcanic complex שבים הטיראני בעומק 618 מטרים ומנביעה קרה באזור הפרעת פלמחים בעומק 1036 מטרים. צברי התולעים שהתגלו בפלמחים נמצאו על מצע קרבונטי בתחומי פוקמרק עם נביעה פעילה ובסמיכות למרבדי חיידקים מחמצני סולפיד.

התולעים חסרות מערכת עיכול והן ניזונות באמצעות חיידקים כימואוטוטרופיים אנדוסימביונטיים שגדלים בתוך רקמה יחודית שנקראת טרופוזום (Thiel et al., 2012). בחתכים שנערכו באיבר הטרופוזום של תולעים שנאספו באתר מניפת הנילוס נראו חיידקים בצורה קוקואידית שעל פי מאפייניהם המורפולוגיים נקבע כי הם חיידקים Thiotrophic = מחמצני תרכובות גופרית (Southward et al., 2011). במחקר אחר שנערך על המין *L. anaximandri* מנביעות בעומק רדוד, נמצא כי הן מכילות חיידקים מסוג יחיד *gammaproteobacteria*. מידע שהתקבל באמצעות אנליזה של פחמן איזוטופי ומבטיוי גנים שמעורבים במטבוליזם של פחמן וגופרית מראה שהחיידק האנדוסימביונטי הינו כימואוטוטרופ מחמצן סולפיד (Thiel et al., 2012). באופן מפתיע התגלה כי האנדוסימביונטי מכיל גנים שמעורבים בשני מסלולים שונים של קיבוע פחמן:

1. CBB-Calvin-Benson-Bassham cycle

2. rTCA-Reductive tricarboxylic acid cycle

באופן דומה למה שנמצא בתולעת המאכלסת נביעות הידרותרמאליות *Riftia pachyptila* (Thiel et al., 2012).

מאנליזה מולקולרית שנערכה במסגרת מחקרם של Rubin-Blum et al. (2014) על זהות הסימביונטיים שנמצאו בתולעים, נמצא כי קיימים שני phylotypes של הסימביונטיים הטיאוטוטרופיים (Thioautotrophic) ששייכים לקבוצת החיידקים *gammaproteobacteria*. בנוסף נמצא כי אוכלוסיות מעורבות של שני ה-phylotypes יכולים להתקיים במאחסן יחיד.



איור 35. צבר תולעי *Lamellibrachia* עם פרטים חיים. ניתן לראות גם נרתיקים שמכוסים בצפיפות בנרתיקים גירניים בצבע לבן של תולעים רב-זיפיות קטנות ככל הנראה ממשפחת ה- Sabellidae שמגדילים את המורכבות המבנית.

קיום של מצע קשיח באתרים שבהם אותרו תולעים מהסוג *Lamellibrachia*

לפי צילומי ה- ROV ניתן לראות כי צברים קטנים וגדולים של תולעי ה- *Lamellibrachia* נראו כמעט תמיד באסוציאציה עם מצע קשיח (טבעי או מלאכותי, ראה לעיל). ההערכה היא שהלרוות מחפשות מצע קשיח להתיישבות, עוברות מטמורפזה ומתחיל תהליך הגדילה. פרטים של המין *L. anaximandri* מהאגן המזרחי של הים התיכון תועדו ונאספו באסוציאציה עם מצע קשיח קרבונטי. בנוסף, פרטים צעירים תועדו כשהם מחוברים למצע קשיח ולעיתים לנרתיקים ישנים של בני מינם (Southward et al., 2011). בסקר הנוכחי ניתן היה לראות בכמה מהתצפיות של *Lamellibrachia* חומר גושי בעל מורפולוגיה גבשושית שנמצא בבסיס הצבר, שהינו קרוב לוודאי קרבונטי אך ייתכן שיש שילוב בין נרתיקים גירניים ישנים והקרבוט (לא ניתן לראות מה קורה בתוך המצע). באחד מצילומי ה- ROV נראה גוש מצע קשיח שנראה שמורכב מצבר ישן של נרתיקי תולעים (ראה איור 36).



איור 36. למעלה: גוש מצע קשיח שנראה שבנוי מצבר נרתיקים ישנים של תולעי *Lamellibrachia*. למטה: גוש מצע קשיח עם טקסטורה דומה לזה שמופיע למעלה עם תולעי *Lamellibrachia* חיות שייתכן והתיישבו על צבר נרתיקים ישן בשילוב עם מצע קרבונטי.

מצע קשיח בים העמוק בתחומי אגן הלבנט אינו נפוץ ולפיכך ההערכה היא כי המצע הקשה שנראה בכמה אתרים בסמיכות לתולעים הינו מצע קרבונטי ממקור ביוגני (³Authigenic Carbonate). להלן יפורט תהליך של סוקצסיה שבמהלכו נוצר מצע קשיח קרבונטי ביוגני באתרי נביעות מתאן. השלבים העיקריים בתהליך הסוקצסיה:

1. באתרים שונים בקרקעית הים פורץ גז מתאן ואלה הן נביעות מתאן Cold seeps.
2. המתאן נמצא בבסיס קיומן של אוכלוסיות כימוסינטטיות שהיצרנים הראשוניים בהם הם חיידקים שיוצרים מרבדים (Mats) בקרבת הנביעות.

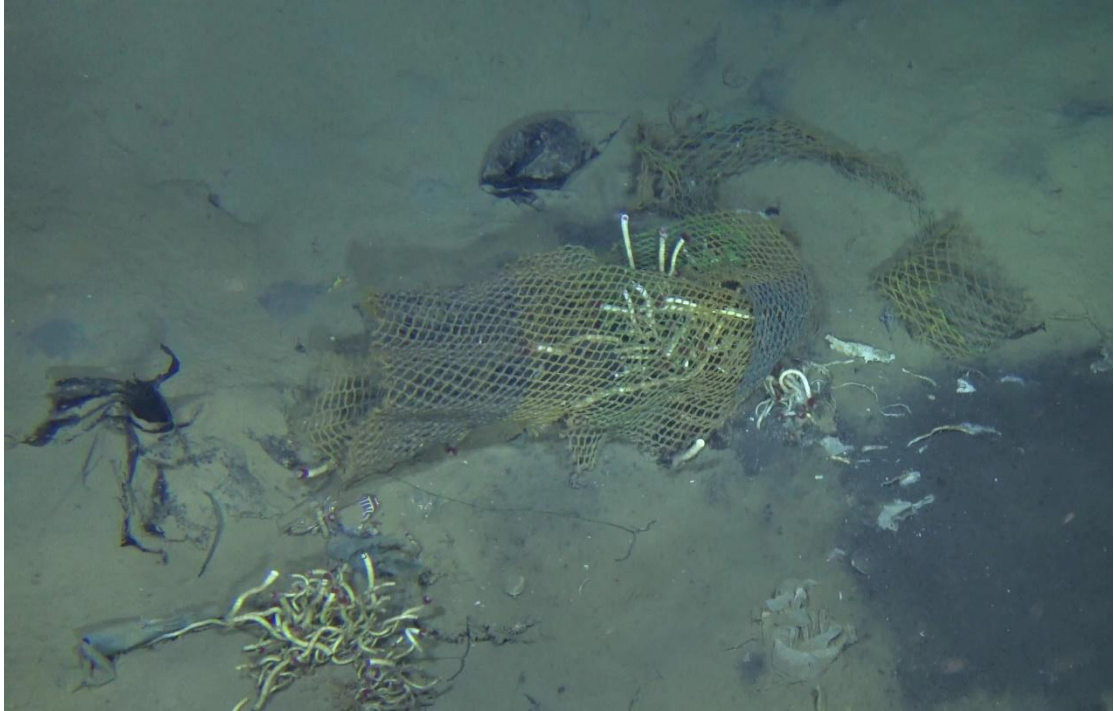
³ קרבונט שנוצר בתהליך ביוגיאוכימי על ידי חיידקים. בתהליך מעורבים: פחמן מסלעי משקע עתיקים, מתאן א-ביוגני ויון ביקרבונט שנמצא בנוזלי נביעות מתאן (Yu.Lein, 2004)

3. בקרבת משטחי החיידקים מתיישבות צדפות או בעלי חיים אחרים שמכילים בתוכם חיידקים סימביונטיים כימאוטוטרופים.
4. פעולת החיידקים מייצרת קלציום קרבונט שמושקע על הקרקעית ויוצר מצע סלעי. במשך עשרות שנים של פעילות הנביעה, גדל הסלע (שכבה אחר שכבה) ומושך אליו אורגניזמים נוספים כדוגמת תולעים ישיבות שגדלות ומכילות גם הן חיידקים סימביונטיים.
5. נביעות המתאן לא מתקיימות לנצח וכשקצב פריצת הגז קטן, מתחילים החיידקים למות וכך גם בעלי חיים נוספים שמתבססים על סימביוזה אובליגטורית. התולעים הופכות לדומיננטיות מכיוון שהן מסוגלות להתקיים גם מסולפיד שמצוי בקרקעית.
6. כשהנביעות מפסיקות כליל, נעלמות גם התולעים ומותירות אחריהן אזור של מצע קשיח בעל מורכבות מבנית שפנוי להתיישבות בעלי חיים אחרים כדוגמת אלמוגי עומק.



איור 37. תולעי *Lamellibrachia* באסוציאציה עם מצע קשיח ובסמוך לפריטי פסולת. ניתן לראות אזור סדימנט כהה (אפור כהה-אפור בהיר) וכן סרטן קצר בטן מהמין *Bathynectes maravigna*.

אסוציאציה מעניינת שנצפתה בסקר היא הסמיכות הגדולה בין תולעי ה- *Lamellibrachia* ורשתות פלסטיק וצברי חוטי דיג. באחד המקרים נראות התולעים כשהנרתיקים שלהן מגיחים מבין חורי הרשת באופן שרוב הנרתיק נמצא בעמדה פנימית (בתוך הרשת) מה שמעיד ללא כל ספק על גדילת התולעת בתוך הרשת ואולי אף על התיישבות של הלרוות על הרשת (איור 38). ככל הנראה פריטי הפסולת מגדילים את המורכבות המבנית ושטח הפנים שלהם 'זמין' התיישבות לרוות באתרי הנביעות הקרות. קיימת אפשרות שפריטי פלסטיק נעצרים על המצע הקשיח ובמקרה שתולעים כבר התיישבו על המצע הקשיח הן נאלצות לגדול בין "עיני" הרשת (כפי שנראה בתמונה).



איור 38. צבר של תולעי *Lamellibrachia* גדל בתוך רשת פלסטיק. ייתכן כי הלרות התיישבו על הרשת והתולעים גדלו במשך זמן ממושך עד להתארכות הנרתיקים שעברו בין חורי הרשת.

Pockmarks ומגוון ביולוגי

במחקר שנערך במדרון היבשת באזור מפרץ לאון (צפון מערב הים התיכון) נבדקו מאפייני חברת החי בתוך המצע בפוקמרקס פעילים (עם נביעות פעילות), בפוקמרקס לא פעילים ובאתרי ביקורת שנמצאו מחוץ להשפעות של פעפוע הגז גם בשדות של פוקמרקס וגם מחוץ להם (Zeppilli et al., 2012).

תוצאות המחקר מראות כי בסדימנטים בתוך פוקמרקס עם נביעות פעילות הביומסה ושכיחות בעלי החיים בתוך המצע נמוכה באופן מובהק מאתרי הביקורת. קבוצות מסוימות כדוגמת *Turbellaria*, *Nemertea* וסרטנים שונים היו חסרים לחלוטין בסדימנטים שבתוך פוקמרקס. הגורם העיקרי שלו מייחסים החוקרים את ההבדל הוא התנאים הפיזיקליים ובעיקר כימיים העוינים (סביבה עם רמות חומציות וקורוזיביות גבוהות ועוני בחמצן) שבתוך הסדימנטים בפוקמרקס עם נביעות פעילות שלא מאפשרים קיום של חלק מבעלי החיים. ממצא מעניין נוסף שדווח במחקר זה היו הבדלים מובהקים שנמצאו בין הרכב חברת החי בתוך המצע במרכז הפוקמרקס ובין השוליים המוגבהים. החוקרים הסיקו כי המיקרוטופוגרפיה בשילוב עם שחרור הגז ותנאי הסביבה הנוספים, חיוניים להבנת מבנה ופיזור אוכלוסיית החי בתוך המצע בשדות של פוקמרקס.

מיני נמטודות שונים היוו את הקבוצה השליטה בשטחי פוקמרקס ומחוץ להם. ממצא זה תואם ממצאים מאתרי נביעות ברחבי העולם. ניתן להסביר את הדומיננטיות של מינים ממערכת הנמטודה ביכולתם להתמודד עם תנאים סביבתיים קיצוניים כדוגמת נוכחות חומצה סולפורית ורמות חמצן נמוכות (Zeppilli et al., 2012).

תוצאות דומות הודגמו במחקר אחר שנערך באזור מניפת הנילוס העמוקה, שם נמצא כי בסדימנטים מחוזרים באזורים של פוקמרקס, בשטחים של נביעות פעילות, המגוון הביולוגי היה נמוך אך יחד עם זאת החוקרים משערים (על סמך ממצאיהם) כי באתרים כדוגמת אתר "Amon" שם יש נביעה קיימת אך ריכוזי הסולפיד אינם גבוהים, נוצר מצב בו התנאים הכימיים מקיימים מיקרו-נישות רבות שמאפשרות את קיומן של אוכלוסיות כימוסינטטיות בד בבד עם בעלי חיים הטרוטרופיים (Ritt et al., 2009) ובכך מגדילים את הגיוון הביולוגי.

דגי גרם וכרישים



איור 39. למעלה: *Nettastoma melanurum*. באמצע מימין: *Bathypterois mediterraneus*.

באמצע משמאל: *Chaulodius sloani* למטה מימין: *Nezumia* sp. למטה משמאל: *Galeus melastomus*

Nettastoma melanurum - צלופח, מוכר מהים התיכון במגוון עומקים ממים רדודים ועד 1647 מ' בסביבת קרקעית רכה/בוצית. ניזון בעיקר מסרטנים.

Bathypterois mediterraneus - דג אנדמי לים התיכון. מצוי בעומקים 260-2800 מטרים באגן המזרחי והמערבי של הים התיכון (Porcu et al., 2010). אין לו חשיבות מסחרית. מוכר גם בשם העממי "דג חצובה" Tripod fish על שום מבנה הסנפירים שלו.

Chaulodius sloani – "מלתען התהומות", דג מזופלאגי, טורף, נפוץ באוקיינוס האטלנטי, הפאסיפי ההודי ובים התיכון. ניזון בעיקר מדגים אחרים וסרטנים.

Nezumia sp. - דג בנתו-פלאגי החי במים עמוקים. ניזון מסרטנים ותולעים. חלקו האחורי של הגוף מחודד וצר.

Galeus melastomus – גלדן שחור פה - כריש קטן נפוץ בעומקים של 55-1200 מטרים באזורי מדף ומדרון היבשת בים התיכון, בצפון האוקיינוס האטלנטי ועוד. ניזון בעיקר מחסרי חוליות בנטיים כגון סרטנים, ראש-רגליים וגם מדגים פלאגיים קטנים. במהלך הסקר נצפו מספר פרטים ואף ביצים של מין זה. לאחרונה התגלה אזור אומנה (Nursery) רחב מימדים עם נוכחות מרשימה של ביצים של מין זה בהפרעת פלמחים (Herut et al., 2022; Sisma-Ventura et al., 2024).

תולעים

Annelida

תת-מחלקה: Echiura

Bonnellia viridis - במהלך הסקר נצפו מספר פרטים השייכים לסוג זה ומזהים בקלות על סמך המבנה היחודי של החלק הקדמי של גופם: מבנה בצורת האות Y שמהווה את קצה ה-Proboscis. תולעים מסוג זה יכולות להיות ארוכות (מעל 1 מטר) וחלק מהגוף שלהן שקוע בסדימנט. מין זה נפוץ בסביבות של קרקעית רכה בים העמוק ואינו מוגבל בנוכחותו לאזורי נביעות קרות.



איור 40. *Bonnelia viridis*. החלק האחורי של הגוף שקוע בסדימנט והחלק הקדמי המאורך נראה מתוח על הקרקעית.

סדרה: Sabellidae

תולעים רב-זיפיות נייחות החיות בתוך נרתיק אותו הן מפרישות. הנרתיק יכול להיות קלציטי או עשוי מחומר רירי שאליו מודבקים גרגרי סדימנט/שברי צדפים. התולעת עצמה בעלת זר תוספתנים (Radioles) מנוצים שבעזרתם מתבצע סינון מזון מהמים. התולעת יכולה לפרוש את התוספתנים או לכווץ לתוך הנרתיק. התולעים שנראו בסמוך לתולעי ה-Lamellibrachia היו משני טיפוסים: (1) תולעים גדולות (כ- 5 ס"מ) בעלות נרתיק בצבע חום וזר תוספתנים בגוון ירקרק (איור 41). (2) נראו הרבה נרתיקים גירניים בצבע לבן בגודל קטן שנמצאו על הנרתיקים של תולעי ה-Lamellibrachia (איור 41).



איור 41. תולעת מסדרת ה- Sabellidae עם זר תוספתנים פרוש (מוקפת בעיגול צהוב). נרתיק של תולעת מסדרת ה- Sabellidae ללא זר תוספתנים – התולעת כנראה מכונסת בנרתיק (מוקף באליפסה בצבע אדום). בחלק התחתון של התמונה ניתן לראות צברים של נרתיקים לבנים גירניים השייכים ככל הנראה למין אחר של Sabellidae.

קווצי עור

חלק ניכר מבעלי החיים בים העמוק משתייכים לקבוצת קווצי העור Echinodermata. קבוצה בעלת סימטריה מחומשת ייחודית הכוללת בתוכה את קיפודי הים, נחשוני הים, כוכבי הים, מלפפוני הים וחבצלות הים. בסקר הנוכחי נצפה מלפפון ים (לא זוהה) באזור של קרקעית ים עמוק, לא באזור של Pockmark ולא באסוציאציה עם סדימנט כהה. לעומת זאת, נצפה קיפוד ים בגוון ורדרד על צבר של תולעים מהסוג *Lamellibrachia*. הקיפוד ככל הנראה שייך לסוג *Echinus* שהינו סוג המוכר מאתרי נביעות קרות באגן המזרחי של הים התיכון (Olu-le Roy et al., 2004). על פי מאמרם של Olu-le Roy (2204), קיפודים מסוג זה נמצאו רק מאתרי נביעות פעילות ונעדרו מאתרי נביעות לא פעילות. החוקרים משערים כי קיים קשר בין שחרור הנוזלים/הגז בנביעה ובין נוכחות הקיפודים אך טיב הקשר לא ברור עדיין. ייתכן כי הקיפודים ניזונים ממרבדי החיידקים מחמצני הסולפיד.



איור 42. מלפפון ים בגוני הקרקעית.



איור 43. קיפוד ים, ככל הנראה מהסוג *Echinus* על צבר של תולעי *Lamellibrachia*.

סרטנים

משפחת ה- Galatheidae

סוג: *Munidopsis*

במהלך הסקר נצפו מספר פרטים שתואמים במורפולוגיה (על סמך צילומים) לסוג הנ"ל. סוג זה מכיל מינים רבים שתפוצתם בים העמוק בכל רחבי העולם בעומקים הגדולים מ- 500 מטרים (Macpherson and Segonzac, 2005). מינים מסוימים מוכרים מאתרי נביעות קרות ומנביעות תרמאליות (Mazumdar et al., 2021). המינים *Munidopsis marionis* ו- *M. acutispina* נדגמו בסביבה של Mud volcano שנמצא באתר Anaximander Mountains שבאגן המזרחי של הים

התיכון והחוקרים מעריכים כי הם מינים טורפים או אוכלי שאריות בדומה למינים נוספים של סוג זה שמאכלסים אתרי נביעות (פעילות ולא פעילות) (Macpherson and Segonzac, 2005).



איור 44. שני סרטנים ממשפחת ה- Glatheidae בסמוך לצבר של תולעי Lamellibrachia.

Bathynectes maravigna

מין מוכר מהים התיכון העמוק (Donavaro et al., 2010; Martin and Haney, 2005) נמצא בסביבת נביעות קרות אך לא רק. גם בסקר הנוכחי ניתן לראות פרטים שנמצאו בסמוך לסדימנט השחור ועל צברים של *Lamellibrachia* אך גם על פריטי פסולת (כמו מקטע רשת פלסטיק) שלא בסביבת נביעות.



איור 45. סרטן קצר בטן מהמין *Bathynectes maravigna* בין נרתיקים של תולעי *Lamellibrachia*.



איור 46. שני פרטים של *Bathynectes maravigna* על רשת פלסטיק באזור עשיר במחילות.



איור 47. סרטן ארוך בטן (שרימפס) ייתכן כי שייך לסוג *Metapenaeus*.

סרטן ארוך בטן סוג: *Metapenaeus*

בסמוך לאזור עם סדימנט כהה נצפה ברטן ארוך בטן (שרימפ) שככל הנראה שייך לסוג *Metapenaeus* (לפי זיהוי של ד"ר לירון גורן).

חלזונות

משפחת ה- Trochidae

סוג: *Clelandella*

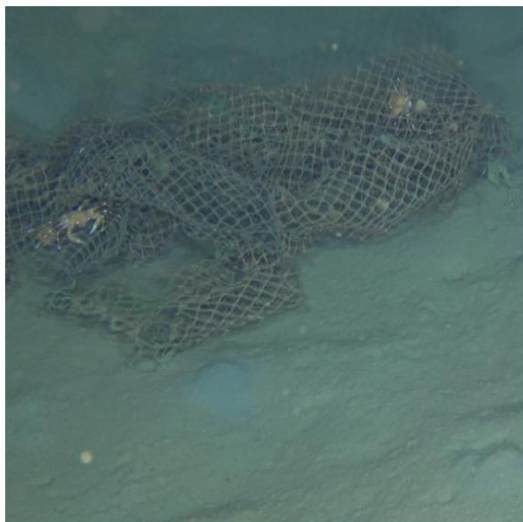
חלזנות ממשפחת ה- Trochidae נפוצים באתרים של נביעות הידרותרמאליות וגם באתרי נביעות קרות (Sasaki et al., 2010; Gofas, 2005). חילזון מהמין *Clelandella myriamae* נמצא בהרים התת-ימיים Olimpi ו- Anaximander שבאגן המזרחי של הים התיכון בעומקים של 1700-2030 מטרים באזורי נביעות קרות (Gofas, 2005). לפי Olu-le Roy et al. (2004) חלזנות מהסוג הנ"ל וגם מסוג נוסף ממשפחת ה- Trochidae ככל הנראה ניזונים ממרבדי החיידקים שנמצאים באתרי הנביעות הקרות. הם נחשבים אופורטוניסטים.



איור 48. חילזון ממשפחת ה- Trochidae בין נרתיקים של תולעי *Lamellibrachia*. בחלק העליון של התמונה נראה חוט ניילון עבה ובצד ימין נראים נרתיקים רבים של תולעים רב-זיפיות (ככל הנראה ממשפחת ה- Sabellidae).

אשפה

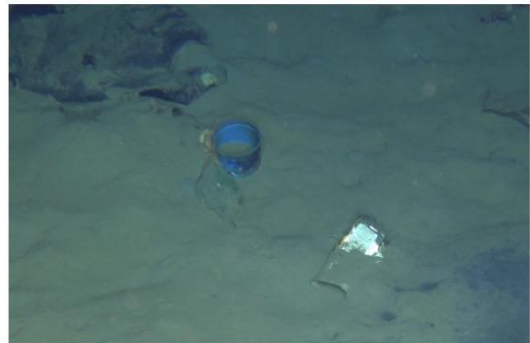
כפי שהוזכר בראשית המסמך, לאורך כל תוואי התקדמות ה- ROV נצפו פריטי אשפה שונים שברובם היו עשויים פלסטיק אך גם מחומרים נוספים כגון מתכת. ריכוזים גדולים של פריטי אשפה נצפו בתוך מבני ה- Pockmarks ואין זה מפתיע מכיוון שאלה מתאפיינים במבנה קעור עם שוליים מוגבהים ומשמשים מעין מלכודות אשפה. בנוסף, כל אזור הסקר ממוקם בתחתית מדרון היבשת שמהווה גם הוא אתר להצטברות פסולת. כידוע, פיזור והצטברות של פריטי פסולת בקרקעית הים מושפעים ממספר גורמים וביניהם מאפייניהם הפיזיים של פריטי האשפה, התנאים ההידרודינמיים ומאפיינים גיאומורפולוגיים באזור נתון (ראה Galgani et al., 2000; Ramirez-Llodra et al., 2013).



איור 49. פריטי אשפה שתועדו בקרקעית הים (לא באזור של נביעה/פוקמרק)



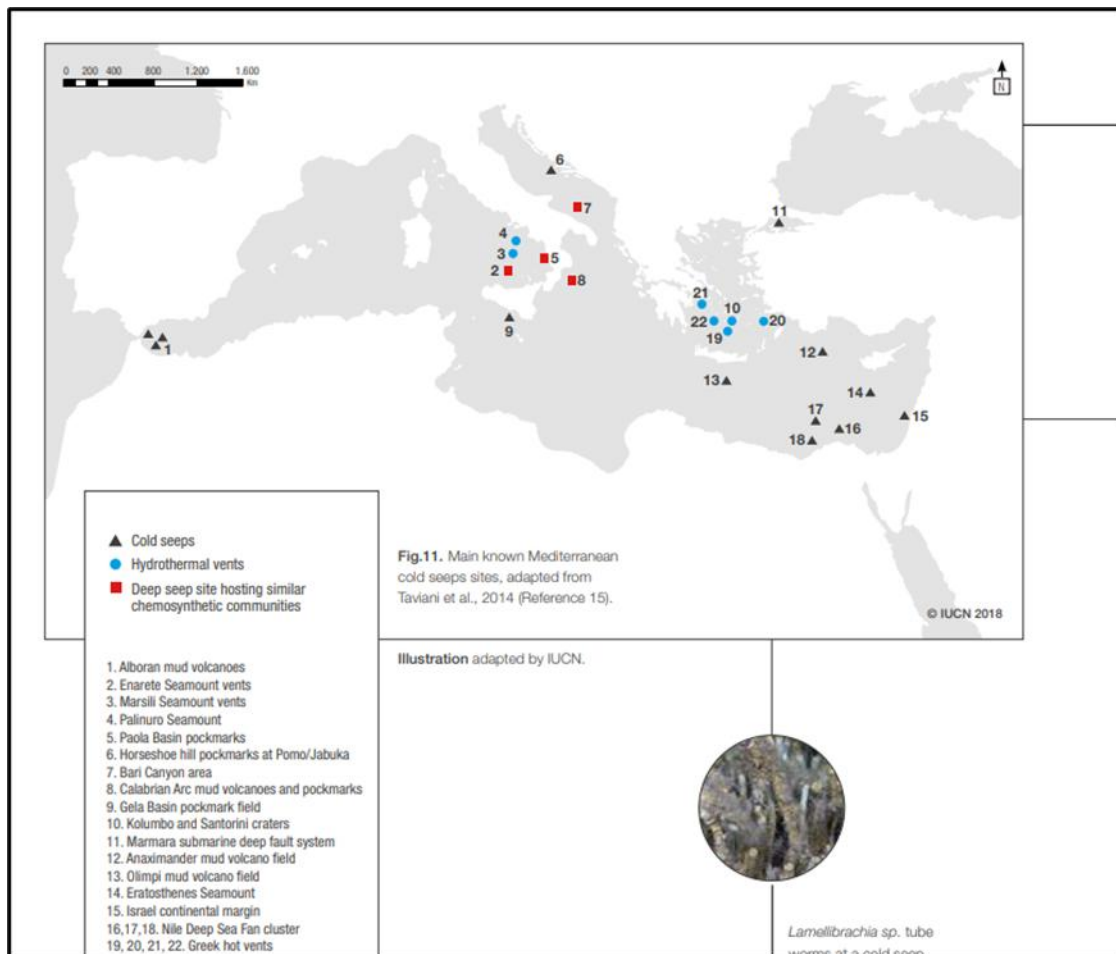
איור 50. למעלה: פוקמרק עם ריכוז של פריטי פסולת. באמצע: שקים/שקיות במרכז פוקמרק. למטה: צבר של תולעי *Lamellibrachia* מוקף בפסולת פלסטיק (שקיות שחורות).



איור 51. למעלה: נרתיקים של תולעי *Lamellibrachia* מגיחים מתוך רשת פלסטיק. באמצע: צבר חוטי ניילון עבים שנצפו בפוקמרק בסמוך לתולעי *Lamellibrachia*. למטה: מספר פריטי פלסטיק (שקית, מיכל פלסטיק וכוס פלסטיק).

ממצאים דומים מסקרים קודמים במים הטריטוריאליים והכלכליים של ישראל

נביעות קרות ונביעות הידרותרמאליות תועדו ברחבי הים התיכון הן באגן המערבי והן באגן המזרחי (ראה איור 52).



איור 52. מיקומים ידועים של הימצאות נביעות קרות ונביעות הידרותרמליות ברחבי הים התיכון (מתוך IUCN, 2019).

פוקמרקס עם מאפיינים דומים מאוד לאלה שנראו בסקר הנוכחי, התגלו בסקר ROV שנערך לאורך תוואי הצנרת המתוכנן של מאגר לווייתן ע"י חברת נובל אנרג'י (כיום Chevron). גם שם נצפו כתמי סדימנט כהה בגוונים שונים, פרטי זבל ותולעים מהסוג *Lamellibrachia* בתוך שטח הפוקמרק בעומקים של 580-760 מטרים. בסקר נבדקו 131 פוקמרקס מתוכם 31 (26%) הכילו תולעים מהסוג *Lamellibrachia*. במהלך הסקר נצפו צברים בגדלים שונים החל מצברים קטנים של תולעת בודדת ועד צברים שהכילו יותר מ-100 תולעים/נרתיקים. עורכי הסקר מדווחים כי לא נצפה מצע קשיח קרבונטי בסמוך לתולעים (MVI, 2018).

גם בסקר הסביבתי שנערך במסדרון הצנרת של פרויקט כריש של חברת אנרג'יאן (Benthic Solutions, 2018) נתגלה אזור שהכיל פוקמרקס בעומקים שבין 980-1100 מטרים עם נוכחות של תולעים כימוסינטטיות מהסוג *Lamellibrachia* ועם פאונה דומה לזו שתועדה בסקר הנוכחי. בנוסף מצויין בדו"ח כי באחד מהפוקמרקס שבו תועדו התולעים נמצא גם מצע קשיח קרבונטי (Autigenic carbonate). בדו"ח מצוין גם כי על פי הסא"ס, אוכלוסיות כימוסינטטיות כדוגמת התולעים מוגדרות כבתי גידול רגישים מאוד להפרעה פיזית.

על סמך הסקרים שצוינו לעיל, עודכנה מפת בתי הגידול של הסקר האסטרטגי הסביבתי בשנת 2020 ונוספו 3 אזורים שבהם התגלו אבעבועים = Pockmarks ואלה הוגדרו כפוליגונים 64-65 (ראה משרד האנרגיה, 2021 ואיור 53).

מתוך דו"ח עדכון הסא"ס (משרד האנרגיה, 2020): "האזורים הנ"ל התגלו בסקרי רקע של חברות הגז במהלכם אותרו 3 פוליגונים המכילים ממצאים של אבעבועים בגדלים של מטר ועד מספר מטרים. חלקם מכילים תולעים רב זיפיות כימוסינטטיות אשר נחשבות לנדירות יחסית ויש עניין בהגנה עליהן. באמצעות סקרי ROV אומתה נוכחות של תולעים בכ- 20% מהאבעבועים".

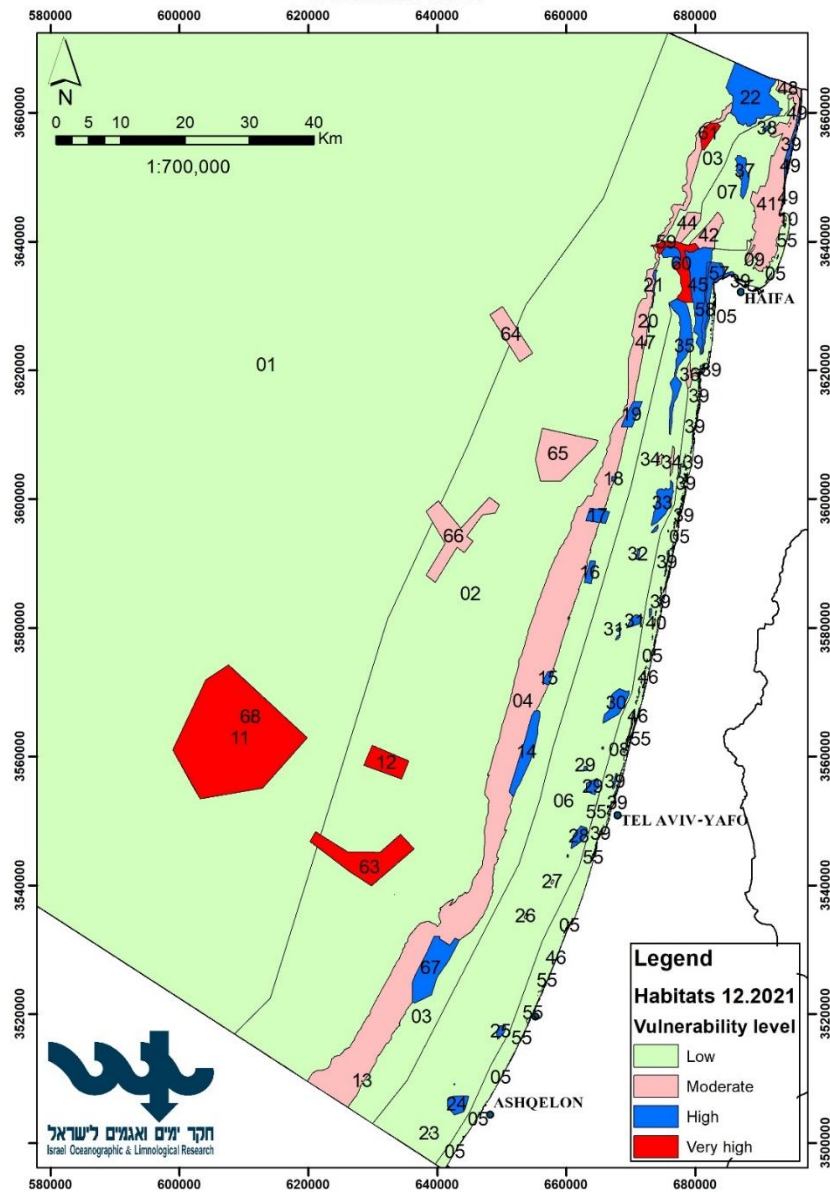
על פי דו"ח העדכון של בתי הגידול (משרד האנרגיה, 2020) בשלב הנוכחי בוצעו הפעולות הבאות:

- האבעבועים שהינם נקודות קטנות במרחב סומנו במערכת המידע של בתי הגידול (ממב"ג).
- האזורים שזוהו ברמת ודאות גבוהה כאזורי אבעבועים סומנו במפת בתי הגידול כאזורים מסוג 'אזור עשיר באבעבועים' (אזורים 64-66) אזור זה מוגדר כמכיל תולעים רב-זיפיות, אלמוגים שחורים, ומרבדי חיידקים טיפוסיים.
- עקב השתרעותו המרחבית הגדולה יוגדר כבעל רגישות 2 אך עם זאת יצוין כמכיל בתי גידול כתמיים וקטנים הרגישים ברמה 4. כל פעילות באזור זה תחויב במסמך סביבתי וסקר רקע. עקב מורכבות האזור, פיזורו במרחב וחוסר הידע הכללי לגביו הוחלט להקים צוות מקצועי שיעזור בהגדרתו, אפיונו ורגישותו.



State of Israel

Benthic habitats vulnerability to oil and gas activities December 2021



איור 53. מפת רגישות בתי הגידול שפורסמה במסגרת עדכוני הסקר האסטרטגי הסביבתי לחיפוש והפקה של גז ונפט בים. ניתן לראות את בתי הגידול #64, #65, #66 שבהם אותרו אבעבועים. משרד האנרגיה 2021

דיון

מסתרי הים העמוק ברחבי העולם בכלל ובים התיכון בפרט, הולכים ומתגלים בהדרגה הודות לטכנולוגיות חדשות ומאמצי מחקר בינלאומיים. למרות שמספר המחקרים בים העמוק נמצא במגמת עלייה עדיין קיימים פערי מידע גדולים. במהלך השנים האחרונות התגלה כי הים התיכון העמוק מכיל בתי גידול ייחודיים בקנה מידה עולמי כדוגמת הרי געש תת-ימיים, מערות וקניונים וכן נביעות קרות ואוכלוסיות כימוסינטטיות שנקראים בשם כולל "סביבות חשוכות" (SPA/RAC,) Dark Habitats

2022. סביבות אלה נחשבות כמכילות מגוון מינים יחודי והן רגישות ושבריריות ולפיכך הוגדר כי נדרש לשמרן. תכנית פעולה להגנה ושימור של הסביבות הנ"ל נכתבה ואומצה על ידי המדינות המשתייכות ל- Convention for the Protection of the Marine Environment and the Coastal Region of the Mediterranean בדומה ל-8 תכניות פעולה נוספות שנגזרות מאמנת ברצלונה שמטרתן שימור מינים וקבוצות מינים ואומצו על ידי המדינות החברות (ראה SPA/RAC, 2022).

נביעות קרות הינן בית גידול קרקעי שמתפתח באזורים בהם מתרחש שחרור פחמימינים מבטן האדמה בטמפרטורת הסביבה או בטמפרטורה מעט גבוהה יותר. נביעות קרות מתאפיינות בנוכחות מקוטעת בשולי מדפי היבשת ברחבי העולם. בים התיכון קיים תיעוד של נביעות קרות בשני האגנים (מערבי ומזרחי) אך הוא אינו שלם.

חברת החי הייחודית המתפתחת באזורי הנביעות קשורה ישירות לאופי הכימי של הנוזל/הגז שמשחרר מהן (מתאן, Hydrogen sulphide, תמלחות וכד') שמהווה את מקור האנרגיה לחיידקים שמהווים את הבסיס של מארג המזון הכימוסינטי. כיום ידוע שרוב המינים שהתגלו בנביעות קרות הינם מינים אנדמיים. יתרה מכך, נביעות קרות ופוקמרקס כמו גם קניונים תת-ימיים, הרי געש תת-ימיים ונביעות הידרותרמליות הינם מבנים גיאומורפולוגיים ייחודיים שנחשבים כנקודות מוקדה (Hotspots) של מגוון מינים (IUCN, 2019).

ישנם מאפיינים גיאולוגיים שונים שמופיעים באתרי נביעות קרות כדוגמת: פוקמרקס, הרי געש בוציים תת-ימיים, בריכות תמלחת, משקעים שונים ושחרור בועות גז (IUCN, 2019). בסקר הנוכחי תועדו פוקמרקס באסוציאציה עם הנביעות ובאתר אחד נצפה שחרור של בועות גז מהקרקעית.

בסקר הנוכחי התגלו 17 אתרי נביעות פעילות שסווגו ל-3 טיפוסים שונים כפי שתואר לעיל. טיפוס #3 הינו המגוון ביותר בהיבטים של מורכבות תלת-מימדית והרכב חברת החי ומה שמייחד אותו הוא הנוכחות של תולעים כימוסינטטיות ממשפחת ה- Siboglinidae ומהסוג *Lamellibrachia*. תולעים מסוג זה יוצרות מבנים מורכבים תודות לנרתיקים הקשיחים שנוצרים על ידי התולעים והן בעלות יכולת השפעה על הכימיה של המדיום המימי שבסביבתן באמצעות פעילותם של החיידקים האנדוסימביוטים שמאוכסנים בתוכן (Cordes et al., 2003). הודות להשפעתן הפיזית והכימית על בית הגידול, תולעים מהמין *Lamellibrachia luymesii* ממפרץ מקסיקו זכו לתואר "מין מהנדס סביבה". בהתייחס להשפעה הפיזית של תולעי ה- *Lamellibrachia* מהמסקר הנוכחי (עדיין לא זוהו לרמת המין) ולמרות שעדיין אין בנמצא תוצאות לגבי תרומתן לשינוי הסביבה הכימית בקרבתן, קרוב לוודאי שגם המין המקומי ניחן ביכולות של מין מהנדס סביבה ולפיכך חשיבותו האקולוגית במרחב הים העמוק של ישראל הינה רבה ואינה מוטלת בספק. יתרה מכך, המבנה הפיסי המורכב שנוצר על ידי מארג הנרתיקים של התולעים הינו בעל חשיבות רבה בהקשר של סביבת חיים מוגנת עם מיקרו סביבות מגוונות שתומכות בקיומם של אורגניזמים רבים נוספים באזורי הנביעות. יתרה מכך, בחלק מאתרי הנביעות הפעילות שנתגלו בסקר הנוכחי, ניכרות עדויות להימצאות מצע קשיח קרבונטי. כפי שהוזכר כבר, מצע קשיח הינו נדיר בסביבת הים העמוק והמצע הקשיח הקרבונטי שנוצר באתרי נביעות משמש כמצע להתיישבות אורגניזמים שונים (ישיבים וניידים) ומהווה תשתית חשובה לקיום של פאונה ייחודית ומגוונת שבכוחה להשתנות על ציר הזמן של פעילות הנביעה (Web et al., 2009) ולפיכך, ישנה סבירות שפוקמרקס עם נביעות פעילות ומצע קשיח ימשיכו להוות Hot spot עם מגוון מינים גבוה גם כאשר הנביעה תדעך ותיפסק.

בד בבד עם המורכבות המבנית התלת-מימדית שנוצרים על ידי צברי התולעים, יש להדגיש כי מבנים אלה הינם עדינים ושבריריים מאוד ועל כן רגישותם להפרעה פיזית הינה גבוהה.

בהתייחס לממצאים החדשים של Rubin-Blum וחבריו (2025) בהקשר של סביבת הפריפריה של נביעות קרות בפלמחים והאוכלוסיה הצפופה של סרטנים מהמין *Calliax lobata* ואוכלוסיות המיקרואורגניזמים המאכלסים את מחילותיו שיחדיו מגדילים את טווח ההשפעה של הנביעות עד כדי עשרות-מאות מטרים מאזור הנביעה, יש להתייחס לכל אתר נביעה כקומפלקס מורכב וחשוב בהיבטים של מגוון מינים והצימוד הבנטי-פלאגי.

בהקשר המרחבי של תפוצתן של הנביעות הקרות ופרישתן הגיאוגרפית ידע רב הולך ומצטבר והסתמכות על מודלים מורכבים שמבוססים על מאפיינים גיאומורפולוגיים של הקרקעית, כפי שנעשה בסקר הנוכחי, מוכיחה את יעילותה (תכנית האב לשמורות טבע ימיות באזור הכלכלי הבלעדי של ישראל בים התיכון, 2023). למרות זאת, פערי המידע עדיין גדולים ולפיכך מן הראוי לנקוט בעקרון הזהירות המונעת ולהגן על אתרים בהם נמצא ריכוז של נביעות כפי שתוארו להלן.

רשימת ספרות

משרד האנרגיה (2020). עדכון הסקר האסטרטגי הסביבתי לחיפוש ולהפקה של נפט ושל גז טבעי בים, דוח דו-שנתי (דצמבר 2020). אגף סביבה, מינהל אוצרות טבע, משרד האנרגיה, מדינת ישראל.

שבתאי, וחוב' (2023). תכנית אב לשמורות טבע ימיות באזור הכלכלי הבלעדי בים התיכון. החברה להגנת הטבע.

Aguilar, R., Garcia, S., Perry, A.L., Alvarez, H., Blanco, J., Bitar, G. 2018. 2016 Deep-sea Lebanon Expedition: Exploring Submarine Canyons. Oceana, Madrid. 94 p.

Cerrano, C., Goffredo, S., Bavestrello, G., Garcia, S., Forero, A. 2015. *Funiculina quadrangularis*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T50013368A51217428. Downloaded on 25 January 2018.

Dimitrov, L. and Woodside, J. (2003). Deep sea pockmark environments in the eastern Mediterranean. *Marine Geology*. 195: 263-276.

Gofas, S. (2005). Geographical differentiation in *Clelandella* (Gastropoda: Trochidae) in the Northeastern Atlantic. *J. Moll. Stud.* 71:133–144

Gooday, A. (1990). Recent Deep-Sea Agglutinated Foraminifera: A Brief Review. In: *Paleoecology, Biostratigraphy, Paleoceanography and Taxonomy of Agglutinated Foraminifera*. Kluwer Academic Publishers. Published in cooperation with NATO Scientific Affairs Division. Dordrecht, The Netherlands. Pp. 271-304.

King, L.H. and McLean, B. (1970). Pockmarks on the Scotian Shelf. *Geol. Soc. Am. Bull.* 81, 3141-3148.

Macpherson, E. and Segonzac, M. (2005). Species of the genus *Munidopsis* (Crustacea, Decapoda, Galatheididae) from the deep Atlantic Ocean, including cold-seep and hydrothermal vent areas. *Zootaxa* Vol. 1095: 1-60.

Mazumdar, A., et al. (2021). The Brst record of the genus *Lamellibrachia* (Siboglinidae) tubeworm along with associated organisms in a chemosynthetic ecosystem from the Indian Ocean: A report from the Cauvery–Mannar Basin. *J. Earth Syst. Sci.* 130:94.

Olu-Le Roy, K., et al. (2004). Cold seep communities in the deep eastern Mediterranean Sea: composition, symbiosis and spatial distribution on mud volcanoes. *Deep-Sea Research I* 51: 1915–1936.

Rubin-Blum, M., Rahav, E., Sisma-Ventura, G., Yudkovski, Y., Harbuzov, Z., Bialik, O.M., Ezra, O., Foubert, A., Herut, B. and Makovsky, Y. (2025). Animal burrowing at cold seep ecotones boosts productivity by linking macromolecule turnover with chemosynthesis and nutrient cycling. *Biogeosciences*, 22, 1321–1340.

Sasaki, T., Warén, A., Kano, Yasunori, Okutani, T. and Fujikura, K. (2010). Gastropods from Recent Hot Vents and Cold Seeps: Systematics, Diversity and Life Strategies. In *The Vent and Seep Biota*, Topics in Geobiology. S. Kiel (ed.). Springer Science+Business Media B.V. Pp. 170-253.

Anders, Yasunori Kano, Takashi Okutani,
and Katsunori Fujikura

Southward, E.C., Andersen, A.C. and Hourdez, S. (2011). *Lamellibrachia anaximandri* n. sp., a new vestimentiferan tubeworm (Annelida) from the Mediterranean, with notes on frenulate tubeworms from the same habitat. *Zoosystema* 33 (3): 245-279.

Ritt, B., Pierre, C., Gauthier, O., Wenzhöfer, F., Boetius, A. and Sarrazin, J. (2009). Diversity and distribution of cold-seep fauna associated with different geological and environmental settings at mud volcanoes and pockmarks of the Nile Deep-Sea Fan. *Mar. Biol.* 158(6): 1187-1210.

Sisma-Ventura, G., Bialik, O. M., Makovsky, Y., Rahav, E., Ozer, T., Kanari, M., Marmen, S., Belkin, N., Guy-Haim, T., Antler, G., Herut, B., and Rubin-Blum, M. (2022): Cold seeps alter the near-bottom biogeochemistry in the ultraoligotrophic Southeastern Mediterranean Sea, *Deep-Sea Res. Pt. I*, 183, 103744, <https://doi.org/10.1016/j.dsr.2022.103744>.

Thiel, V., Hügler, M., Blumel, M., Baumann, H., Gärtner, A., Schmaljohann, R., Strauss, H., Gorbe-Schönberg, D., Petersen, S., Cowart, D.M., Fisher, C.R., Imhoff, J.F. (2012). Widespread occurrence of two carbon fixation pathways in tubeworm endosymbionts: lessons from hydrothermal vent associated tubeworms from the Mediterranean Sea. *Frontiers in Microbiology*. Vol. 3. Article 423.

Zeppilli, D., Canals, M., Danovaro, R. (2012). Pockmarks enhance deep-sea benthic biodiversity: a case study in the western Mediterranean Sea. *Diversity Distrib.* 18: 832-846.

SPA/RAC (2022). Action Plan for the conservation of habitats and species associated with Seamounts, Under Water Caves and Canyons, Aphotic Hard Beds and Chemosynthetic Phenomena in the Mediterranean Sea. United Nations Environment Programme Mediterranean Action Plan. Specially Protected Areas Regional Activity Centre (SPA/RAC).

Everett, M. & Nascimento, P. 2024. *Funiculina quadrangularis*. The IUCN Red List of Threatened Species 2024: e.T50013368A245139779. <https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2024-2.RLTS.T50013368A245139779.en>. Accessed on 08 April 2025.

נספח 2 –

**סקר פלנקטון ודנ"א סביבתי
בשמורה המוצעת מרכז המדרון**



חקר ימים ואגמים לישראל
ISRAEL OCEANOGRAPHIC &
LIMNOLOGICAL RESEARCH



דו"חות חיא"ל IOLR REPORTS

סקר פלנקטון ודנ"א סביבתי
בשמורה המוצעת מרכז המדרון
דו"ח סופי H6/20210
פרופ' תמר גיא-חיים
המעבדה לאקולוגיה של זואופלנקטון
מוגש לחברה להגנת הטבע
מאי 2026



סקר פלנקטון ודנ"א סביבתי בשמורה המוצעת "נביעות מרכז המדרון"

פרופ' תמר גיא-חיים, סטאס מלאוין, אסף גלעדי, ד"ר מור כנרי, ד"ר זויה חרבוזובה
המעבדה לאקולוגיה של זואופלנקטון, המכון הלאומי לאוקיינוגרפיה, חי"ל

תקציר

סקר זה מציג אפיון ראשוני ומשולב של חברת הזואופלנקטון והמגוון הגנטי באזור "נביעות מרכז המדרון", שהוצע כשמורה במסגרת תכנית אב לרשת שמורות באזור הכלכלי הבלעדי של ישראל. באמצעות שילוב של דיגום רשתות משוכב, אנליזה מורפומטרית, ברקודינג ומטא-ברקודינג של פלנקטון ודנ"א סביבתי, נחשף עושר ביולוגי גבוה ומורכב לאורך עמודת המים ובשכבות הסמוכות לקרקעית. הממצאים מצביעים על תרומה משמעותית של פלנקטון דמרסלי ובנתו-פלגי, על קישוריות בין הקרקעית לעמודת המים, ועל נוכחות קבוצות אופייניות לבתי גידול מזופלאגיים או של הים העמוק, ובהן דגים, צדפוניות, שטצדיים, תולעים רב-זיפיות, לארוות של רכיכות, וקווצי עור. בנוסף, זוהו מינים בעלי עניין ביוגאוגרפי ואקולוגי, בהם מינים שלא תועדו קודם בים התיכון הישראלי או בים התיכון בכלל. נליזת ברקודינג של מינים הקשורים לנביעות מתאן ולבתי גידול כימוסינתטיים, שנאספו בדיגום רשת גריפה, סיפקה מידע ראשוני על קישוריות מוגבלת אפשרית בין אתרי נביעות במזרח הים התיכון.

הממצאים מדגישים עד כמה הידע שלנו על הים העמוק והים הפתוח במזרח הים התיכון עדיין חלקי. אזורים אלה נתפסו בעבר לעיתים כמרחבים דלים יחסית מבחינה ביולוגית, אולם כל דיגום חדש חושף שכבות נוספות של מגוון, תפקוד וקישוריות שלא היו מוכרות קודם. העובדה שבסקר מוגבל יחסית — שלוש תחנות פלאגיות ודיגום קרקעית יחיד — נמצאו עדויות לעושר גנטי גבוה, למינים נדירים או בלתי מתועדים, ולבתי גידול בעלי מאפיינים ייחודיים, מחייבת שינוי תפיסתי: הים העמוק והים הפתוח אינם "שממה ביולוגית", אלא מערכות מורכבות, דינמיות ועשירות.

לממצאים אלה חשיבות ישירה לשימור ולניהול המרחב הימי. הם תומכים בצורך בהגנה תלת-ממדית על שמורות טבע ימיות עמוקות — לא רק על הקרקעית, אלא גם על עמודת המים שמעליה — ובהמשך דיגום שיטתי של פלנקטון, דנ"א סביבתי, מתקני התיישבות ודגימות קרקעית. הרחבת הסקרים במרכז המדרון, בהפרעת פלמחים ובאתרים נוספים במזרח הים התיכון תאפשר להבין טוב יותר את הקישוריות הגנטית בין בתי גידול עמוקים, את תפקיד הפלנקטון הדמרסלי, ואת התרומה של אזורים אלה למגוון הביולוגי האזורי. בסופו של דבר, כל דיגום נוסף באזור זה אינו רק מוסיף רשימת מינים — הוא משנה את האופן שבו אנו תופסים את החיים בים העמוק.

1. מבוא

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). זואופלנקטון מייצר גללים השוקעים במהירות לקרקעית הים, ונע מאות מטרים אנכית בעמודת המים במחזור יומי. שני תהליכים אלו נחשבים לתהליכים מרכזיים של משאבת הפחמן הביולוגית באוקיינוסים. מכיוון שמיני זואופלנקטון שונים מגיבים במהירות לשינויים סביבתיים, הם מהווים אינדיקטורים ביולוגיים חשובים לאיכות המים, לשינויי אקלים ולמצב הטרופי של המערכת האקולוגית הימית. לפיכך, על מנת להבין טוב יותר ולדמות בצורה מדויקת מערכות אקולוגיות ימיות ואת התהליכים הביולוגיים והגאוכימיים המתרחשים בהן יש לאפיין את ביומסת, שפע ומגוון המינים של חברת הזואופלנקטון.

במזרח הים התיכון, לאורך חופי ישראל, נחקרו שפע ומגוון הזואופלנקטון על ידי ברוך קימור בין השנים 1950-1980 (Bedugo and Kimor 1968, Kimor 1972, Kimor and Wood 1975). מאז, ועד לשנת 2019, חברת הזואופלנקטון לא נחקרה בים התיכון הישראלי, והידע הקיים ממזרח הים התיכון דל ונסמך על מחקרים אנקדוטליים. 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 1). ניטור הזואופלנקטון נסמך על אינדיקטורים סביבתיים שנקבעו ע"י תכנית IMAP (Integrated Monitoring and Assessment Programme) של האו"ם והדירקטיבה האירופית MSFD (Marine Strategy Framework Directive), וכולל ביומסה, שפע ומגוון מינים.

פלנקטון דמרסלי הוא קבוצת יצורים פלנקטוניים השוכנים סמוך לקרקעית או בתוכה ואופיינית להם התנהגות מחזורית של תנועה יומית – עלייה לשכבות המים מעל הקרקעית בשעות הלילה וירידה חזרה לקרקעית בשעות היום. קבוצה זו כוללת בין היתר סרטנים זעירים (Cumacea, Amphipoda, Harpacticoida, Tanaidacea, Ostracoda), תולעים רב-זיפיות ומיני מרופלנקטון מסויימים (לארוות של מינים בנתיים). הפלנקטון הדמרסלי ממלא תפקיד אקולוגי חשוב במערכות אקולוגיות ימיות, משום שהוא מקשר בין אזור קרקעית הים לבין עמודת המים (קישוריות בנטי-פלאגית), ותורם למיחזור נוטריינטים, פחמן ואנרגיה. תנועתם האנכית משפיעה על זמינות המזון לטורפים ולדטריטיבורים, ומשמשת גם כאמצעי להימנעות מטריפה. בנוסף, מאחר שהם רגישים לשינויים סביבתיים, מינים דמרסליים רבים יכולים לשמש כאינדיקטורים ביולוגיים חשובים להערכת מצבם של בתי גידול ימיים. אזורי קרקעית בעלי מורכבות מבנית וביולוגית גבוהה (למשל שוניות אלמוגים או ספוגים) עשויים לתרום למגוון ועושר הזואופלנקטון הדמרסלי; למשל באמצעות שחרור תוצרי רביה מיצורי שונית (מרופלנקטון) ומתן מחסה מפני טריפה (Allredge and King 1977). לחלופין, פעילות מוגברת של בעלי-חיים מסננים בקרקעית של אזורים מורכבים אלו עשויה לדלדל את שפע הפלנקטון הדמרסלי (Yahel et al. 2005).

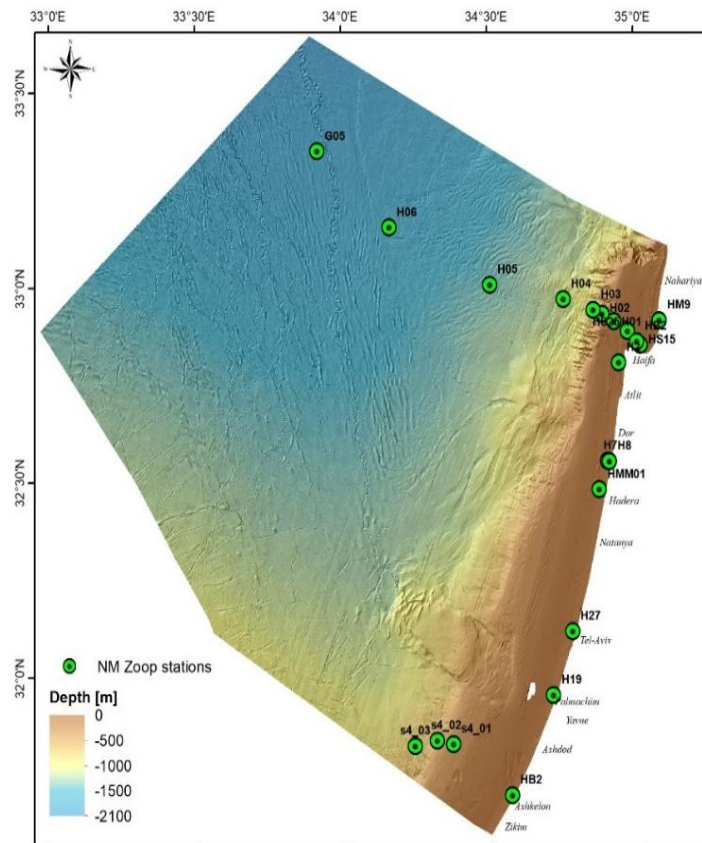
תהליכי התיישבות (larval settlement) וגיוס (larval recruitment) לארוולים מהווים רכיב מרכזי בעמידות האקולוגית (ecological resilience) של מערכות ימיות, שכן הם מבטיחים חידוש אוכלוסיות לאחר הפרעות טבעיות או אנתרופוגניות. כאשר מערכות אקולוגיות שומרות על יכולת גיוס סדירה של מינים מרכזיים, הן מסוגלות להשתקם מהר יותר ולהתמודד עם שינויים סביבתיים. בים העמוק, מאחר שבתי הגידול בקרקעית מאופיינים ברמת קיטוע (fragmentation) גבוהה, לתהליכי הפצה, התיישבות וגיוס לארוולים חשיבות גבוהה. מאידך, המידע שקיים לגבי תהליכים אלו בים התיכון הישראלי בפרט ובעולם בכלל חסר. על מנת לצמצם את פערי הידע, יש לבצע סקרי זואופלנקטון והצבת מתקני התיישבות בבתי גידול אלו.

במסגרת תכנית אב לרשת שמורות באזור הכלכלי הבלעדי של ישראל ביזמת החלה"ט ובשיתוף רחב של מוסדות מחקר ואקדמיה, הוצעו עשר שמורות טבע ימיות בהיקף כולל של 30% מהמים הכלכליים (<https://mafish.org.il/marine-reserves/%d7%a9%d7%9e%d7%95%d7%a8%d7%aa-%d7%94%d7%99%d7%9d-%d7%94%d7%aa%d7%99%d7%9b%d7%95%d7%9f-%d7%94%d7%a2%d7%9e%d7%95%d7%a7/>), עד שנת 2030 (שבתאי וחובריה, 2023). אחת משמורות מוצעות אלו היא "נביעות מרכז המדרון" המשתרעת על פני 210 קמ"ר וכוללת אזורים בהם נצפו אבעבועים ושבהם הסתברות גבוהה לבתי גידול ייחודיים נוספים בקרקעית. השמורה מגינה על חלק ממדרון היבשת בו מתרחשים תהליכים אקולוגיים חשובים של הסעת חומרי

הזנה אל הים העמוק (Guy-Haim et al. 2022a) והמאופיין במגוון ביולוגי רב וביצרנות ראשונית גבוהה בעמודת המים (Guy-Haim et al. 2023).

מטרת סקר זה הינה לאפיין את חברת הזואופלנקטון בעמודת המים ועל הקרקעית באזור השמורה המוצעת מרכז המדרון (איור 2).

זואופלנקטון באזור מרכז המדרון לא נחקר טרום סקר זה. מבחינת מיקום ועומק, תחנות הדיגום מקבילות לתחנות הניטור במדרון חתך חיפה (איור 1) – H02 (300 מ'), H03 (620 מ') ו-H04 (1100 מ') ולתחנות המדרון שנדגמו בשנת 2020 מול אשקלון (S4). התחנה העמוקה מקבילה לתחנת הדיגום מעל הפרעת פלמחים (PL, 1150 מ').



איור 1. תחנות ניטור זואופלנקטון במסגרת תכנית הניטור הלאומית שמבוצעת ע"י חיא"ל החל מ-2019. תחנות חתך חיפה מנוטרות פעמיים בשנה (מרץ, אוגוסט), תחנות אורך/נחלי החוף פעם בשנה (אוגוסט), ותחנה מדידה רציפה בחדרה אחת לחודש.

בשנים האחרונות, מטא-ברקודינג של דנ"א סביבתי (eDNA metabarcoding) וטכניקות גנומיות מתקדמות אחרות חוללו מהפכה בהערכת המגוון הביולוגי, בכך שהן מספקות כלים רגישים מאוד ובלתי פולשניים לזיהוי נוכחות אורגניזמים במערכת אקולוגית (Granqvist et al. 2025). יישום שיטות אלו מאפשר זיהוי ברמת המין של אורגניזמים בכל שלבי החיים, כולל מינים פולשים (Guy-Haim et al. 2022b), קריפטיים (Hending 2025), נדירים (Duarte et al. 2023), או כאלה שאינם ניתנים לגילוי באמצעים מסורתיים. על מנת לייעל ולמקסם את הערכת המגוון הביולוגי באזור מרכז המדרון, בסקר זה נעשה שימוש משולב בטקסונומיה מורפולוגית (קלאסית), ברקודינג ומטא-ברקודינג של דנ"א סביבתי מדוגמאות פלנקטון, מים וסדימנט.

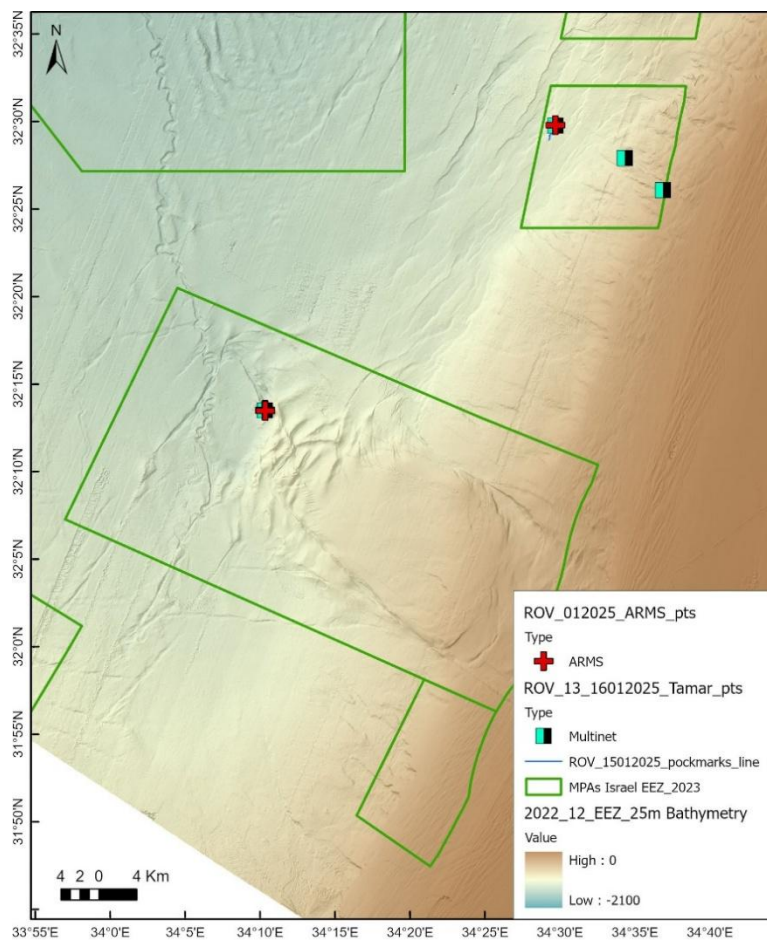
2. שיטות

2.1 תחנות הדיגום

ב 16.1.2025 במהלך הלילה (00:20 – 05:30) נדגמו שלוש תחנות באזור מרכז המדרון באמצעות רשת מולטי-נט:

שם התחנה	Latitude	Longitude	עומק (מ')
ARMS_Multinet_ST1	32° 29.42'	34° 30.45'	1059
MS_Multinet_ST2	32° 25.60'	34° 37.60'	409
MS_Multinet_ST3	32° 27.54'	34° 55.07'	800

בתחנה העמוקה (ST1) הוצב מתקן ARMS לאומדן תהליכי התיישבות וגיוס (איור 2, נספחים).



איור 2. אזורי הסקר שבוצע בינואר 2025 בשמורה המוצעת מרכז המדרון ובהפרעת פלמחים, הכוללים רשתות מולטי-נט, ומתקני ARMS.

2.2 איסוף פלנקטון באמצעות רשתות

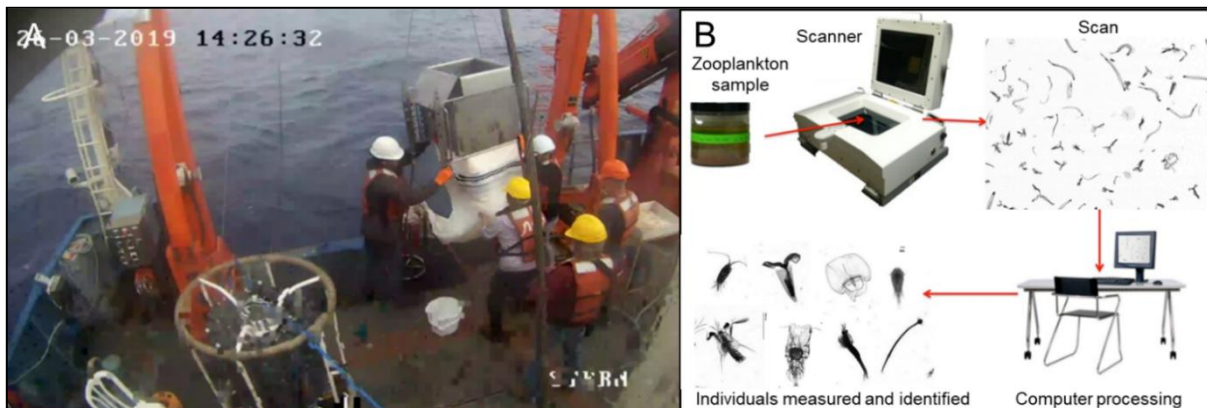
דוגמאות הזואופלנקטון נדגמו באמצעות גרירות אנכיות של רשת פלנקטון משוכבת אוטומטית מולטי-נט מידי (Hydro-Bios, גרמניה) בגודל 50X50 ס"מ, קוטר עין $150 \mu\text{m}$. מתקן זה מכיל 5 רשתות הניתנות לתפעול באופן אנכי, לפי הגדרות עומק הנקבעות מראש או בעת התפעול (איור 3A). כל אחת מהרשתות מחוברת לדלי סינון (codend) וחמשת דליי הסינון מקובעים על משקולת הנגררת

בתחתית המולטי-נט. מדי שטף בתוך ומחוץ למתקן מאפשרים לקבל מדידה מדויקת של כמות המים שסוננו על-ידי כל אחת מחמשת הרשתות בגרירה אנכית אחת. על גבי כבל הגרירה הותקן USBL (Ultra-short baseline acoustic positioning system) שאפשר הורדה של הרשת באופן מדויק והנחת המשקולת עם דליי הסינון מעל הקרקעית.

עומקי הסגירה/פתיחה של הרשתות נקבעו באופן שיאפשר לאסוף את הפלנקטון הדמרסלי מעל הקרקעית. סה"כ נאספו 15 רשתות.

שם התחנה	עומקי הרשתות (מ')
ARMS_Multinet_ST1	0-200 , 200-500 , 500-950 , 950-1000 , 1000-1050
MS_Multinet_ST2	0-100 , 100-200 , 200-300 , 300-350 , 350-400
MS_Multinet_ST3	0-100 , 100-200 , 200-690 , 740-690 , 740-790

במהלך ההפלגה, כל דוגמת רשת חולקה ע"י ספליטר מסוג Motoda (Hydro-Bios, גרמניה) לשלושה חלקים: 25% עבור אנליזת ביומסה (הקפאה ב -20°C עד לאנליזה), 25% לאנליזת מטא-ברקודינג (הקפאה ב -20°C עד לאנליזה), ו-50% לאנליזה מורפומטרית (קיבוע בפורמלין 4% עם בופר).



איור 3. שיטות בניטור זואופלנקטון. **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 מורפומטרית ממוחשבת.

2.3 הצבת מתקני ARMS (Autonomous Reef Monitoring Structures)

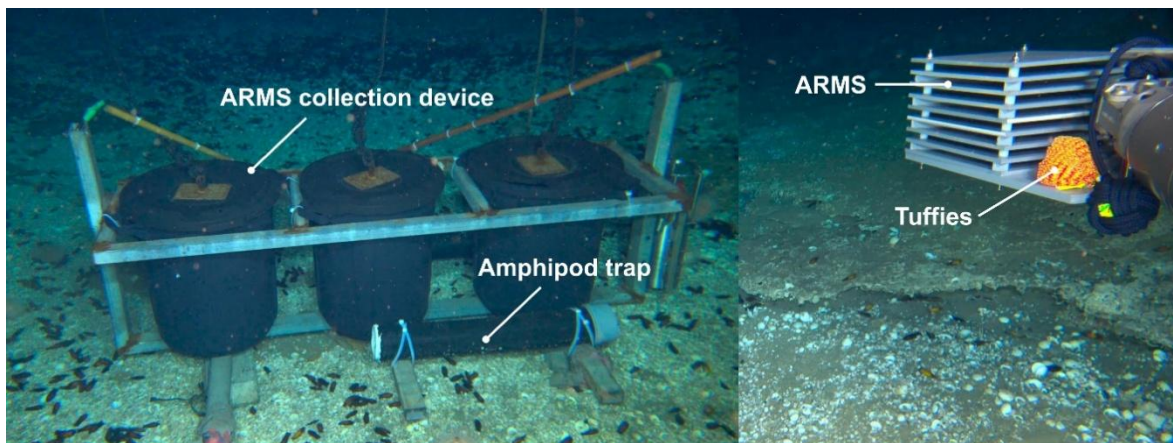
מבני ניטור שונית אוטונומיים (ARMS - Autonomous Reef Monitoring Structures) הם מבנים תלת-ממדיים מ PVC שפותחו במקור על ידי NOAA לצורך ניטור התיישבות של אורגניזמים ימיים (Zimmerman and Martin 2004). כל יחידה בנויה מלוחות המוערמים זה על גבי זה באופן שמדמה את המורכבות של מצע ביוגני, ומאפשר דגימה של מגוון אורגניזמים באופן לא הרסני, וכן הערכה של קצבי התיישבות וגיוס. בנובמבר 2021 הצבנו 6 יחידות ARMS בשני אתרים בהפרעת פלמחים, והם נאספו והוחלפו ביחידות חדשות במהלך הפלגת ה ROV בינואר 2025. אל שתי התחנות בהפרעת פלמחים נוספה תחנה שלישית (3 יחידות לתחנה), ותחנה רביעית הוצבה בתחנה העמוקה באזור השמורה המוצעת מרכז המדרון (1059 מ') באזור בו נצפה hotspot של מגוון ביולוגי. למתקנים החדשים נוספו מבנים עם מורכבות גבוהה (tuffies) (איור 4). יש לחזור לאתר תוך 1-2 שנים על

מנת לאסוף את המתקנים ולעבד את הממצאים עפ"י הסטנדרטים (פרוטוקולים מפורטים ואחידים ליישום וניתוח דגימות מאפשרים השוואה בין אזורים ומערכות אקולוגיות שונות).

מלכודת האור ומלכודות השטצדים (amphipod trap) שהוצבו מעל ומתחת למתקן איסוף/הצבת ה-ARMS נכשלו באיסוף פלנקטון דמרסלי בשל בעיות טכניות. יש לבחון אפשרות להצבת מלכודות דמרסליות ומלכודות אמפיפודים לזמנים ארוכים יותר על הקרקעית (Horton et al. 2020) ו/או להשתמש במתקני שאיבה עדינים לפרציה מוטלית על הקרקעית באמצעות ה-ROV.

2.4. איסוף דנ"א סביבתי מדוגמאות מים וסדימנט

באזור הצבת ה-ARMS (תחנה מס' 1) נאספה דוגמת סדימנט ובע"ח באמצעות רשת גריפה (scoop net, כף רשת בהפעלת ה-ROV). הדוגמה עברה מיון במהלך ההפלגה ובמעבדה מתחת לבינוקולר על מנת להפריד בין בע"ח שניתן לתעד ולבצע בירקוד מולקולרי שלהם באופן אינדיבידואלי, ובין סדימנט ודוגמה מעורבת לאנליזת דנ"א סביבתי ע"י מטא-ברקודינג. בנוסף, נאספה דוגמת מים מבקבוק ניסקין שהותקן על גבי ה-ROV לאנליזת דנ"א סביבתי.



איור 4. הצבת לוחיות ARMS משולבות עם Tuffies לאומדן גיוס לארוולי באמצעות ה-ROV. על גבי מתקן ההצבה/איסוף הותקנו שתי מלכודות שטצדים ובתוכן פתיונות. מעל מתקן הוצבה מלכודת אור.

2.5. ביומסה (משקל יבש)

דוגמאות הביומסה הופשרו, סוננו על גבי פילטרים מסוג GF/C שרופים ושקולים, ונשקלו לאחר ייבוש בטמפרטורה 60 °C למשך 24 שעות.

2.6. אנליזה מורפומטרית באמצעות סריקה

לצורך אומדן המגוון הפונקציונלי, הדוגמאות נסרקו בסורק ייעודי (Epson V850 PRO) ברזולוציה גבוהה. התמונות עברו סגמנטציה לצלמיות (vignettes) בתוכנה ZooProcess (Gorsky et al. 2010) וסווגו לקבוצות טקסונומיות באמצעות כלי בינה מלאכותית ומאגר מידע עולמי לפלנקטון (EcoTaxa (Irison et al. 2022) (איור 3B). שיטה זו אינה הרסנית—לאחר העיבוד הדוגמאות מועברות לארכיב "אוסף קימור" (אוספי הטבע הלאומיים, האוניברסיטה העברית). בנוסף לסריקות, נערכו צילומים בבינוקולר (Olympus SZX16, יפן) לאורגניזמים נבחרים. צלמיות הפלנקטון מסקר מרכז המדרון נמצאות במאגר המידע: <https://ecotaxa.obs-vlfr.fr/prj/16074>.

2.7. דנ"א ברקודינג ומטא-ברקודינג של פלנקטון ודנ"א סביבתי

דוגמאות הזואופלנקטון הקפואות הופשרו, סוננו ועברו הומוגנזציה. ההומוגנזציה הופרד בצנטריפוגה במהירות של 4000 סל"ד במשך 30 דקות. בנוסף, כ 25 מ"ג רקמה מאורגניזמים שהופרדו מדוגמת הסדימנט נלקחו לאנליזה. הדנ"א הגנומי הכולל הופק מכל דוגמה באמצעות ערכת DNEasy Blood and Tissue (QIAGEN, גרמניה) בהתאם להוראות היצרן.

אנליזת ברקודינג נערכה לזיהוי מולקולרי של אורגניזמים שבודדו מדוגמאות הסדימנט. עבור כל פרט, ריאקציית PCR בוצעה עם הפריימרים LCO1490 ו-HCO2198 המשמשים להגברת הגן המיטוכונדריאלי COI (Folmer et al. 1994). תוצרי ה-PCR נשלחו לריצוף במעבדות חי.

אנליזת מטא-ברקודינג נערכה לצורך אומדן המגוון הגנטי בדוגמאות הזואופלנקטון והמים. עבור כל דוגמה, ריאקציית PCR בוצעה עם הפריימרים Euk_1391F-EukBr (Amaral-Zettler et al. 2009) המשמשים להגברת הסמן המולקולרי 18S rRNA ועם הפריימרים mlCOIintF, jgHCO2198 (Leray et al. 2013) המשמשים להגברת הגן המיטוכונדריאלי COI. תוצרי ה-PCR נשלחו לריצוף באמצעות Illumina MiSeq במעבדת The Genomics and Microbiome Core Facility (GMCF) at Rush University. תוצאות הריצוף מתוכננות להתקבל במהלך יוני-יולי 2025. אנליזה ביואינפורמטית של הרצפים תערך ע"י שימוש ב-QIIME2 וב-DADA2, והאמפליקונים שהתקבלו הושוו למאגרי רצפים ב-GenBank, BOLD, MIDORI2, MetaZooGene (MZGdb).

3. תוצאות ודין

סקר זה אמד לראשונה את הביומסה, שפע ומגוון הזואופלנקטון מעל השמורה המוצעת "נביעות מרכז המדרון" בשטח המים הכלכליים הבלעדיים של ישראל בים התיכון, באמצעות שיטות מולקולריות (דנ"א ברקודינג ומטאברקודינג) וכלי דימות (Imaging) משולבי בינה מלאכותית. מידע נוסף על מגוון המינים התקבל באמצעות שימוש בדנ"א סביבתי (eDNA) מדוגמאות רשת גריפה (scoop net) שנאספו מהקרקעית באמצעות ROV. מתוך דוגמאות אלו נערך ריצוף (ברקודינג) של צדפות ותולעים רב-זיפיות שמהווה בסיס למידע על קישוריות בין בתי גידול בקרקעית.

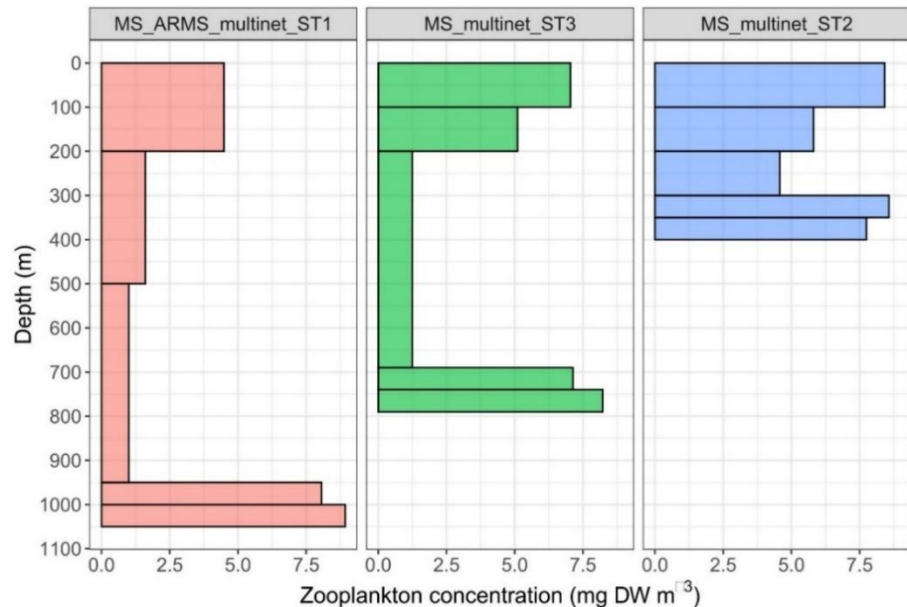
3.1. ביומסה

ביומסת הזואופלנקטון באזור האפיפלאגי (0-200 מ') מעל המדרון היתה 4.50 – 7.11 מ"ג חומר יבש למ"ק, והראתה מגמת ירידה עם המרחק מהמדף (איור 5, איור 1), כפי שנצפה גם בתחנות חתך חיפה ובחתך הדרומי מול אשקלון. רמות הביומסה נמוכות מהמוצע שנמדד בתחנות חתך חיפה שעל המדרון בשכבה 0-200 מ' במרץ (8.62 – 12.14 מ"ג למ"ק) ותואמות את אלו שנמדדו באוגוסט (5.09 – 10.32 מ"ג למ"ק), בהתחשב בכך שתחנות המדרון בחתך חיפה רדודות יותר, ובכך שהיצרנות הראשונית והשניונית בזמן הסקר (ינואר) נמוכה מאשר במרץ (גיא-חיים, דו"ח הניטור הלאומי של הים התיכון הישראלי, כרך המגוון הביולוגי: ניטור זואופלנקטון).

ביומסת הזואופלנקטון במי הביניים (200-500 מ') היתה נמוכה פי-5 מאשר בשכבה האפיפלאגית, למעט בתחנה הרדודה (ST2), בדומה לממצאים מחתך חיפה, ככל הנראה בשל השפעה גבוהה של הסעה ממדף היבשת באזור המדרון הרדוד, שהעשירה את מי הביניים ומי העומק (Katz et al. 2020, Guy-Haim et al. 2022a).

במי העומק שמעל הקרקעית בתחנות מרכז המדרון ניתן לראות ריכוז ביומסה גבוה יותר או שווה לביומסה בשכבה האפיפלאגית. בעוד ממצא זה מאשר את השערת ההעשרה של פלנקטון דמרסלי (Alldredge and King 1977) ודומה להעשרה שנמצאה בדיגום פלנקטון דמרסלי מעל שוניות

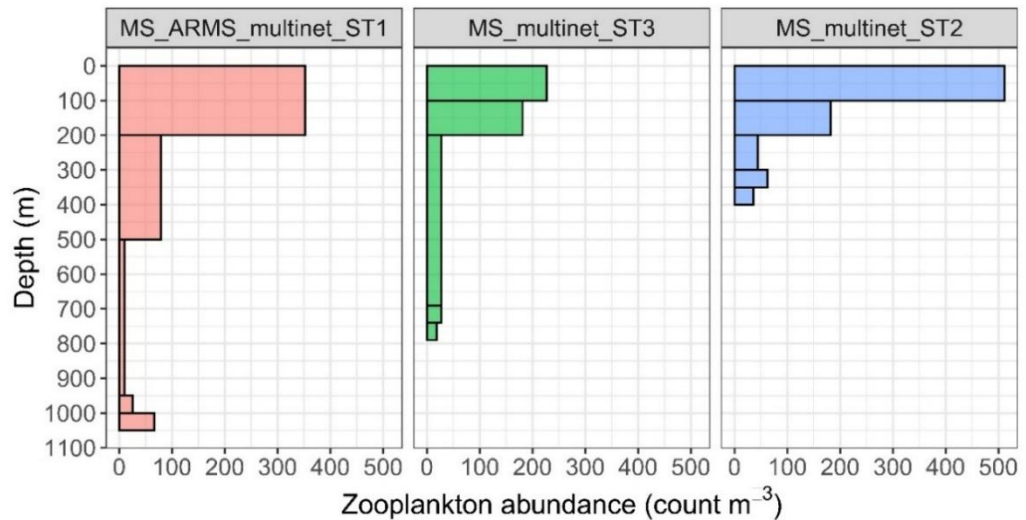
הספוגים ברכסי ראש כרמל והחותרים (Guy-Haim, in prep). עם זאת, ממצאי אנליזת הקבוצות הפונקציונליות (סעיף 3.2) מצביעים על כך שהעלייה בביומסה אינה נובעת בהכרח מעלייה מקבילה בשפע הזואופלנקטון, אלא עשויה לשקף גם תרומה משמעותית של דטריטוס וחומר חלקיקי שמקורו בתהליכים סדימנטולוגיים, כגון הרחפה, שקיעה או הסעה של חומר אורגני בסמוך לקרקעית.



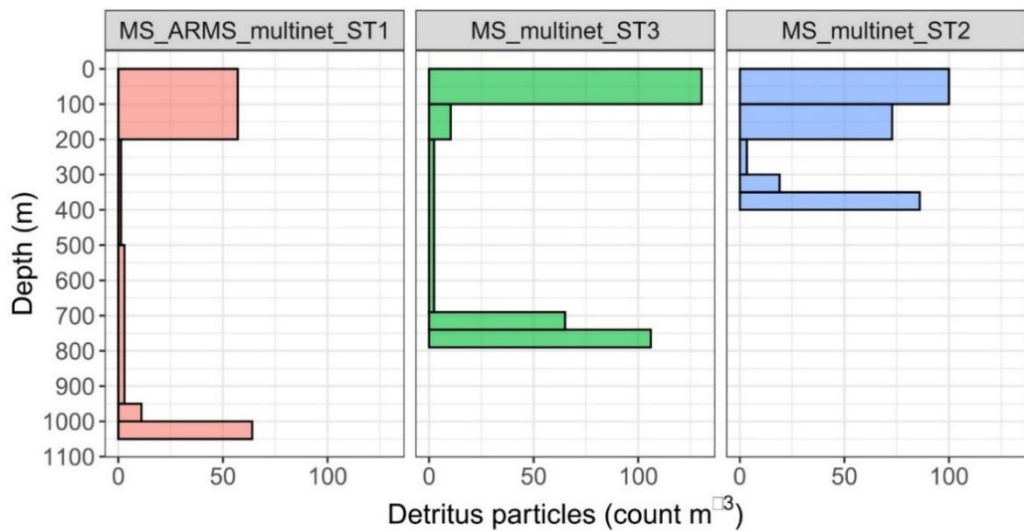
איור 5. התפלגות אנכית של ריכוז ביומסת הזואופלנקטון $150 \mu\text{m}$ (מ"ג חומר יבש למ"ק) מעל מרכז המדרון בתחנות ST1 (1059 מ'), ST3 (800 מ'), ו-ST2 (409 מ'). עובי העמודות האופקיות מייצג את עומקי האיסוף של כל רשת Multinet. עומקי הדיגום תוכננו על מנת לאסוף פלנקטון דמרסלי באופן ייעודי מעל הקרקעית.

3.2 שפע ומגוון קבוצות פונקציונליות

באמצעות אנליזה מורפומטרית, נמצא ריכוז אורגניזמים נמוך בסדר גודל במסות מי הביניים ובשכבות העומק מעל הקרקעית מאשר בשכבה האפיפלאגית (**איור 6**). אחד ההסברים האפשריים להבדל בין אנליזת הביומסה (**איור 5**) לאנליזת השכיחות הוא ריכוז הדטריטוס הגבוה בשכבות מעל הקרקעית (**איור 7**), יתכן כתוצאה מתהליכי הסעה של חומר אורגני מהמדף או לתהליכי הרחפה (resuspension) קרוב לקרקעית או להשפעת שכבת נפלואיד בנתית (Nepheloid layer) (Puig et al., 2013).



איור 6. התפלגות אנכית של שכיחות הזואופלנקטון $< 150 \mu\text{m}$ (מספר אורגניזמים למ"ק) מעל מרכז המדרון בתחנות ST1 (1059 מ'), ST3 (800 מ'), ו-ST2 (409 מ'). עובי העמודות האופקיות מייצג את עומקי האיסוף של כל רשת.



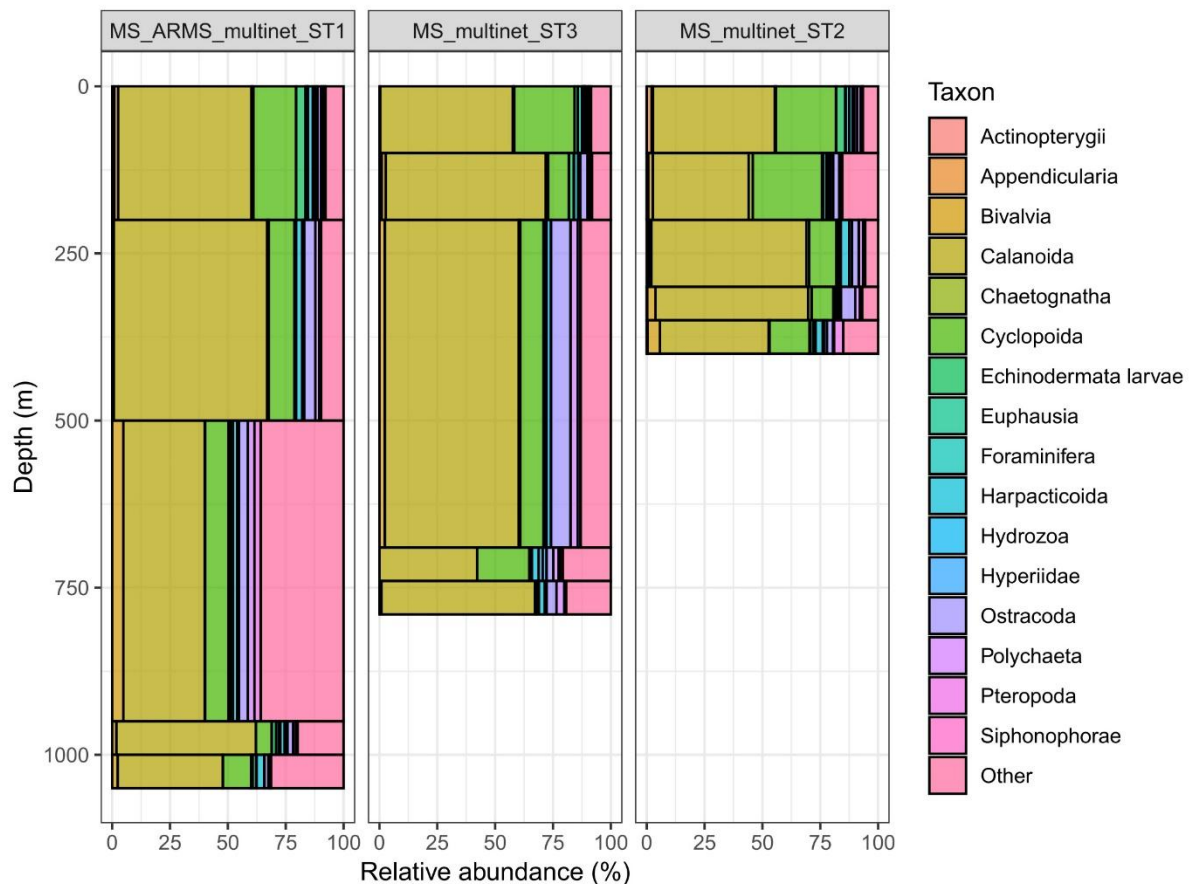
איור 7. התפלגות אנכית של שכיחות חלקיקי דטריטוס (חומר אורגני חלקיקי) (מספר חלקיקים למ"ק) מעל מרכז המדרון בתחנות ST1 (1059 מ'), ST3 (800 מ'), ו-ST2 (409 מ'). עובי העמודות האופקיות מייצג את עומקי האיסוף של כל רשת.

בסקר נמצאו קבוצות אופייניות לזואופלנקטון פלאגי (**איור 8**, **איור 8A**), הכולל ברובו אורגניזמים הולופלנקטונים (אורגניזמים אשר נמצאים במהלך כל מחזור חייהם בעמודת המים), דוגמת שטרגליים קלנואידיים (calanoid copepods, **איור 8A**), תולעי חץ (chaetognaths, **איור 8B**), הידרומדוזות (**איור 8C**), סיפנופורות (siphonophores, **איור 8D**), כנפרגליים (pteropods), קריל (euphausids), ותולעים רב-זיפיות (holoplanktonic polychaetes, **איור 8F**). בנוסף, נדגמו קבוצות שכיחות בפלנקטון הדמרסלי: צדפוניות (ostracodes, **איור 8E**), שטצדיים (amphipods, **איורים 8G-H**), שטרגליים הרפקטיקואידיים (hapacticoid copepods) (**איור 8C3**), לארוות של תולעים רב זיפיות (**איור 8H3**) וקווצי עור (**איור 8M3**). בנוסף, נמצאו דגים מזופלאגיים מהמין *Cyclothone braueri* (**איור 8I**) שאופייניים לדוגמאות פלנקטון ממי הביניים (200-500 מ').



איור 8. מבחר זואופלנקטון שנאסף בגרירות הרשת מעל מרכז המדרון. **A.** שטרגל קלנואיד מהמין *Euchaeta acuta*. **B.** תולעת חץ מהמין *Flaccisagitta hexaptera*. **C.** הידרומדוזה ממין *Oceania armata*. **D.** סיפונופורה (שני פרטים) מסוג *Chelophyes*. **E.** צדפנית (אוסטרקודה) מהמחלקה *Halocyprida*. **F.** תולעת רב-זיפית (פוליכטה) מהסוג *Tomopteris*. **G.** שטצד ממשפחת *Gammaridae*. **H.** *Hyperiidae*. **I.** דג פלנקטוני מזופלאגי מהמין *Cyclothone braueri*.

השכיחות היחסית של הקבוצות הטקסונומיות (איור 9) מצביעה על דומיננטיות של שטרגליים קלנואידיים וציקלופואידיים במאסף. במרבית הקבוצות, השכיחות היתה גבוהה יותר בשכבה האפיפלאגית או בשכבת הביניים, למעט שטרגליים הרפקטיקואידיים, שטצדים, קריל, לארוות/צעירים של צדפות, וצדפוניות – שריכוזם בשכבה מעל הקרקעית היתה גבוהה פי 2-10. דפוס זה תואם את שיוכן של קבוצות אלו לפלנקטון אפי-בנתי (epibenthic) או דמרסלי, המאופיין בזיקה לקרקעית או לשכבת המים הסמוכה לה. באופן דומה, העשרה של מיני צדפוניות שונים בשכבות המים מעל הקרקעית נמצאו בדרום הים האדריאטי, בעומק 1200 מ' (Brautović et al. 2025).

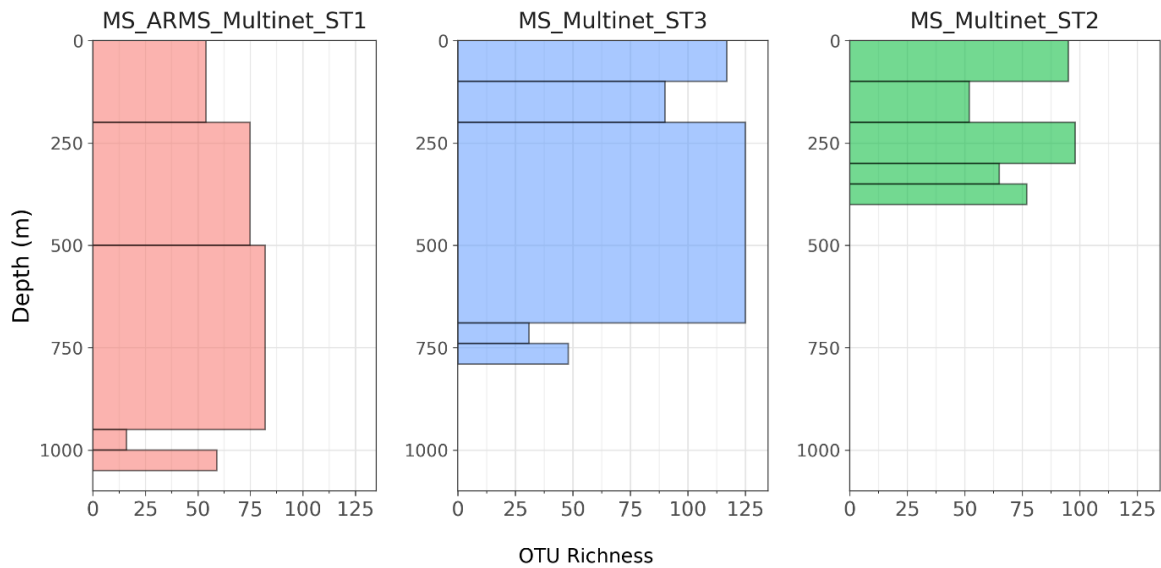


איור 9. התפלגות אנכית של שכיחות חלקיקי דטריטוס (חומר אורגני חלקיקי) (מספר חלקיקים למ"ק) מעל מרכז המדרון בתחנות ST1 (1059 מ'), ST3 (800 מ'), ו-ST2 (409 מ'). עובי העמודות האופקיות מייצג את עומקי האיסוף של כל רשת.

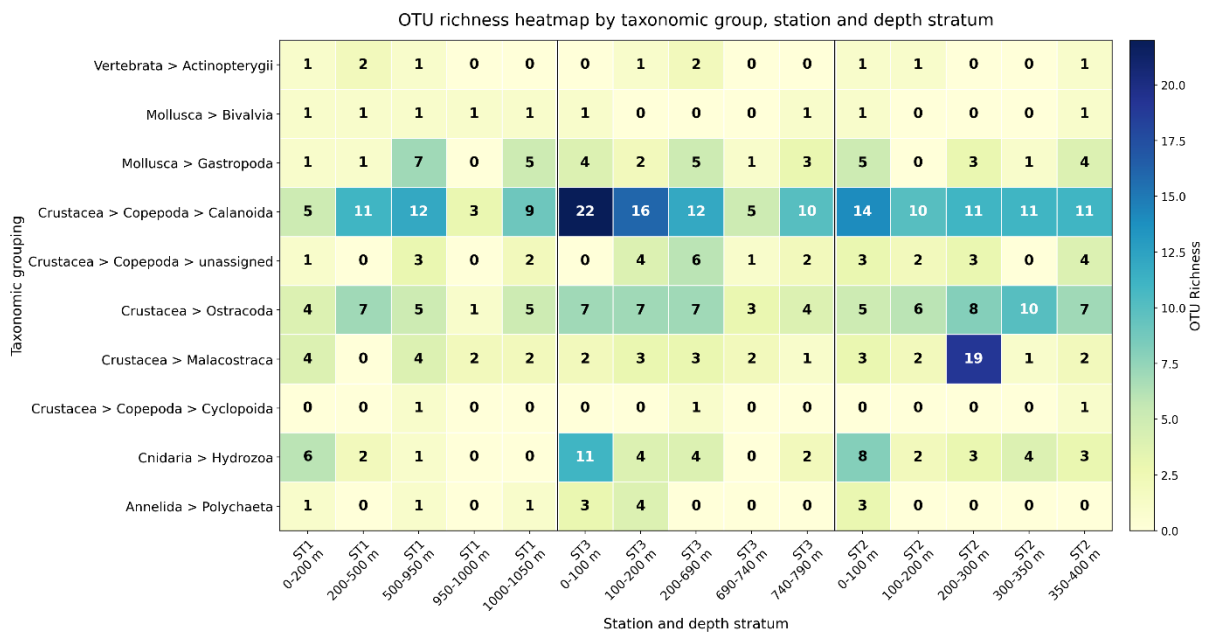
3.3 מגוון המינים בעמודת המים

באנליזת המטא-ברקודינג של הדוגמאות שנאספו ברשתות המולטי-נט, נמצא שעושר ה-OTUs (operational taxonomic units, יחידות טקסונומיות תפעוליות) בהתבסס על הסמן המיטוכונדריאלי COI השתנה בין התחנות ובין שכבות העומק (איורים 10, 11). העושר הגבוה ביותר נמצא בתחנה מס' 3 מעל עומק 800 מ' (270 OTUs), לאחריה תחנה מס' 2 מעל עומק 409 מ' (253 OTUs) ולבסוף התחנה העמוקה מס' 1 מעל עומק 1059 מ' (199 OTUs). ב-ST1 נצפה עושר גבוה יחסית בשכבות הביניים, בעיקר בין 200–950 מ', ירידה חדה בשכבה 950–1000 מ', ועלייה מחודשת בשכבה העמוקה ביותר, 1000–1050 מ'. ב-ST2 נרשם עושר גבוה יחסית לאורך שכבות המים העליונות והבינוניות, במיוחד ב-0–100 מ' וב-200–300 מ'. ב-ST3 התקבל העושר הגבוה ביותר באופן כללי, עם ערכים גבוהים במיוחד בשכבת פני המים ובשכבה הרחבה 200–690 מ', לצד ירידה בעושר בשכבות העמוקות יותר. עם זאת, בהשוואת פרופילי העומק יש לקחת בחשבון את ההבדלים בעומק ובעובי שכבות הדיגום בין הרשתות, שכן אלו עשויים להשפיע על מספר ה-OTUs שנצפו בכל שכבה. בהשוואה בין שתי הרשתות העמוקות ביותר בכל פרופיל — הרשת שדגמה את 50 המטרים העליונים מעל הקרקעית והרשת שדגמה את הטווח 50–100 מטר מעל הקרקעית — נמדד עושר OTUs גבוה יותר בשכבה הסמוכה יותר לקרקעית. דפוס זה עשוי לשקף תרומה מוגברת של מינים דמרסליים או בנתופלגיים, וכן ערבוב או הרחפה של חומר ביולוגי מהקרקעית אל שכבת

המים הסמוכה לה.



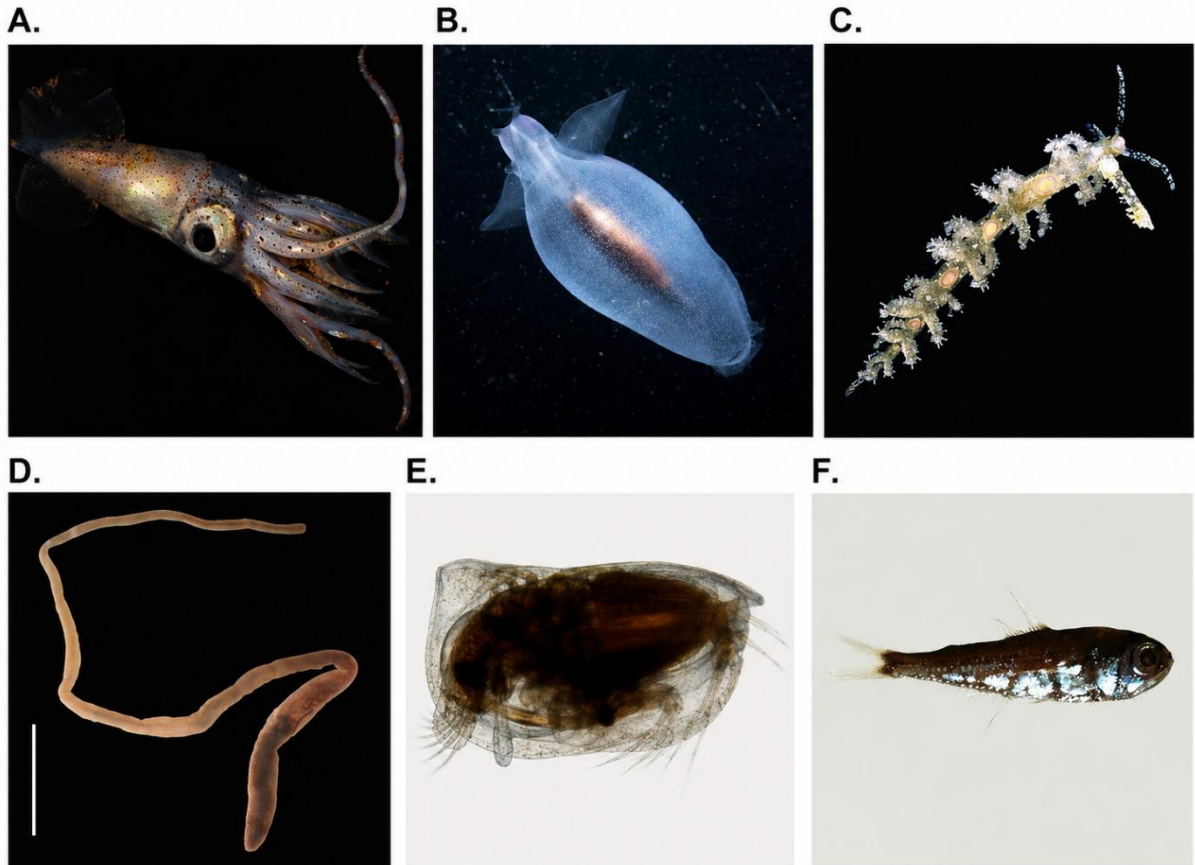
איור 10. התפלגות אנכית של עושר קבוצות טקסונומיות תפעוליות (OTUs) מבוסס הסמן המיטוכונדריאלי COI מעל מרכז המדרון בתחנות ST1 (1059 מ'), ST3 (800 מ'), ו-ST2 (409 מ'). עובי העמודות האופקיות מייצג את עומקי האיסוף של כל רשת.



איור 11. מפת חום של עושר OTUs בקבוצות טקסונומיות נבחרות לאורך שכבות העומק בתחנות הדיגום. העמודות מייצגות תחנות ושכבות עומק. ערכים בתאים מציינים את מספר ה-OTUs בכל קבוצה ובכל שכבת עומק, על בסיס נוכחות/היעדר בלבד.

מעניין לציין שאין התאמה בין ביומסת ושכיחות הזואופלנקטון (**איורים 5 ו-6**) לבין העושר הגנטי (**איור 10**) בתחנות השונות. בעוד שמדד הביומסה מושפע מגודל האורגניזמים, העושר הגנטי מושפע גם ממינים נדירים והטיות מולקולריות. לכן יש לפרש את שלושת המדדים כמשלימים זה את זה, ולא כמדדים חלופיים ישירים.

העושר הגבוה ביותר שהתקבל במרבית הדגימות הוא בקבוצת השטרגליים הקלנואידיים (איור 11), בעיקר בשכבות העליונות ושכבות הביניים, ומשקף את התרומה המרכזית של קבוצה זו לזואופלנקטון. גם קבוצות נוספות של סרטנאים, תורמות לעושר הכללי, אך בדפוסים משתנים בין התחנות. הרכיכות, ההידרוזואה והדגים הופיעו בעושר נמוך יותר אך באופן עקבי בחלק מהשכבות. סיווג ה-OTUs לרמת המין באמצעות השוואה לספריות הרפרנס ב NCBI וב BOLD (מעל סף דימיון של 97.5%) העלה מספר ממצאים מעניינים (איור 12).



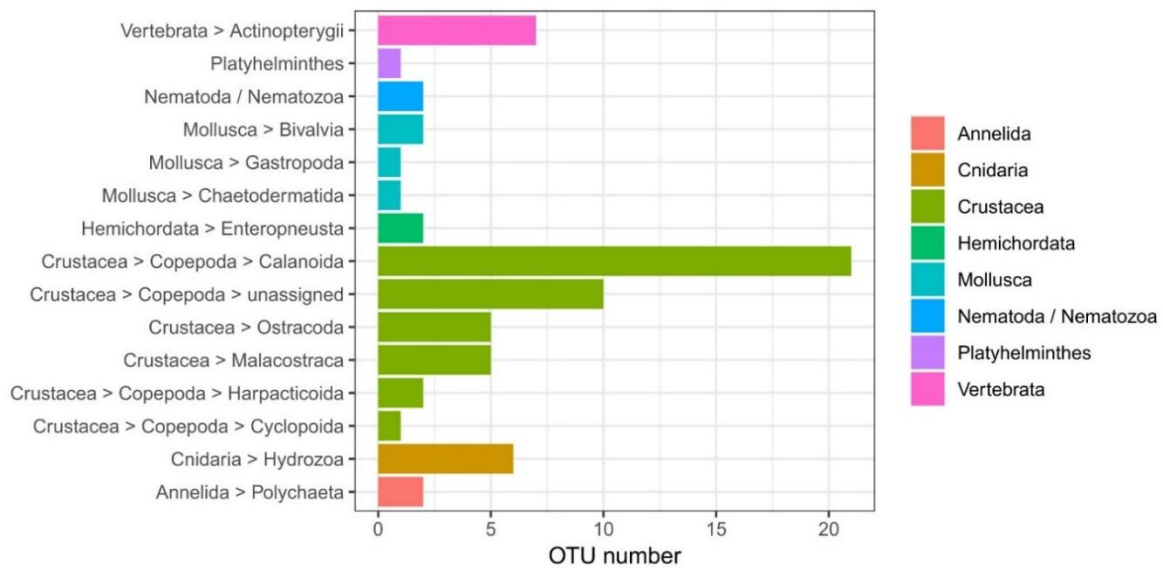
איור 12. מינים שנמצאו באנליזת המטאברקודינג של דוגמאות הפלנקטון. **A.** דיונון גחלילית תכשיטי *Limenandra nodosa*. **B.** מלאך הים *Cliopsis krohnii*. **C.** החשופית *Pyroteuthis margaritifera* (קיימת בשלב *Apionsoma misakianum* בדוגמאות), **D.** התולעת הסיפנית *Hygophum hygomii* (קיימת בשלב לרוולי בדוגמאות), **E.** הצידפנית *Porroecia spinirostris*. **F.** דג האורנון המזופלאגי *COI* לשלושה מאגרי מידע גנטיים.

ביניהם, הימצאות דיונון גחלילית תכשיטי *Pyroteuthis margaritifera* (איור 12A) – דיונון זעיר מזופלאגי (כ-5 ס"מ אורך) שלא תועד קודם בחופי הים התיכון הישראלי (רמת דימיון 100%). מלאך הים *Cliopsis krohnii* (איור 12B) נמצא בשכבה המזופלאגית בתחנה העמוקה. סוג חד-מיני (monotypic) זה מוכר בדרום האטלנטי אך לא תועד קודם בים התיכון, ויתכן שמדובר במין חדש למדע (רמת דימיון 97.8%). החשופית *Limenandra nodosa* (איור 12C) נמצאה בשכבה הקרובה לקרקעית בתחנה מעל 400 מ', ככל הנראה כשלב לארוולי. התולעת הסיפנית הפולשת *Apionsoma misakianum* (איור 12D) נמצאה ככל הנראה בשלב לארוולי בשכבה האפיפלאגית

בשתי התחנות הרדודות יותר (ST2, ST3) אך לא בתחנה העמוקה (רמת דימיון 98.9%). זהו תיעוד חדש בים התיכון הישראלי. הצידפונית *Porroecia spinirostris* (איור 12E) הופיעה בכל דוגמאות הרשת (רמת דימיון 98.1%). זהו מין פסיפי שלא תועד קודם בים התיכון. המאסף כלל סך הכל שבעה מיני צדפוניות שנמצאו בכל עמודת המים. דג האורנון המזופלאגי *Hygophum hygomii* (איור 12F) נמצא בשכבת המים מעל הקרקעית (400-350 מ') בתחנה ST2, ובשכבת הביניים בתחנה ST3 (200-690 מ'). סך נמצאו בדיגום הרשתות חמישה מיני דגים, כולם מוכרים מהחוף הישראלי, וכוללים מינים מזופלאגיים נוספים (*Argyropelecus*, *Electrona risso*, *Vinciguerria attenuate*) וככל הנראה לארוות של המין הבאתיפלאגי (*Sharpchin barracudina*) (*Paralepis coregonoides*). בתחנות ST2 ו-ST3, נמצאו בשכבה האפיפלאגית (0-100 מ') לארוות של קיפודי-ים מהמינים *Genocidaris maculata* (מין אופייני לאזור המדרון), וקיפודי הים האי-רגולריים *Echinocyamus pusillus* ו-*Brissopsis lyrifera*.

3.4. אנליזת דנ"א סביבתי של דוגמת קרקעית

באנליזת המטא-ברקודינג של הדנ"א הסביבתי של דוגמאות רשת הגריפה על בסיס הסמן 18S v9 (איור 13) נמצאו 68 OTUs של בע"ח רב-תאיים (Metazoa) ו 57 OTUs נוספים (אצות חד-תאיות, פטריות, פרוטיסטים). התוצאות מצביעות על מגוון גבוה של סרטנים, בעיקר שטרגליים, ותואם את הממצאים שהתקבלו מריצוף המטא-ברקודינג של דוגמאות הרשת.



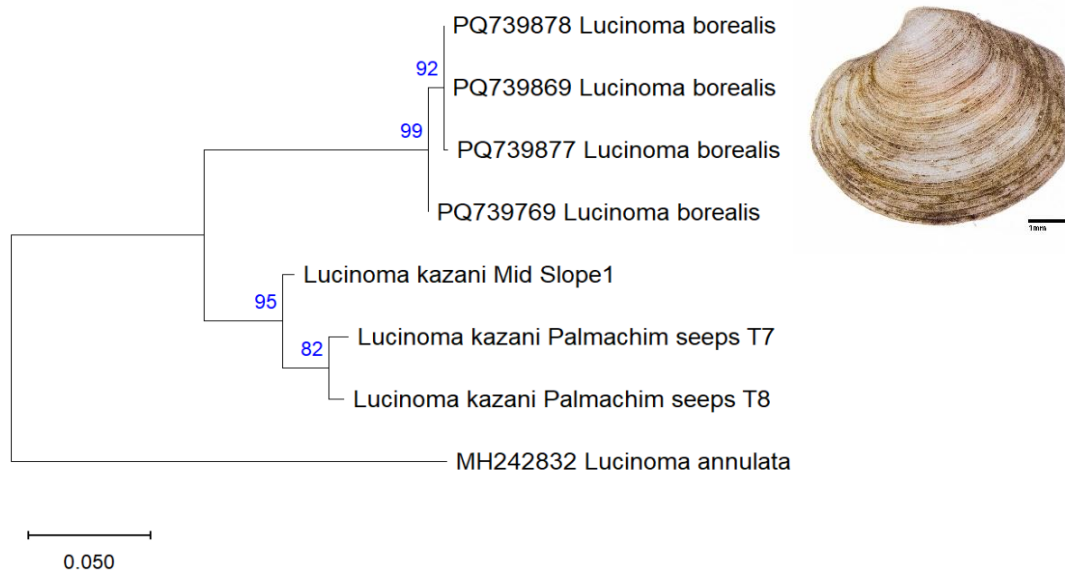
איור 13. אנליזת מטא-ברקודינג של דנ"א סביבתי בדוגמת גריפה (scoop) שנלקחה מקרקעית אזור מרכז המדרון באמצעות ROV. העמודות האופקיות מייצגות את מספר היחידות הטקסונומיות התפעוליות (OTU) בקבוצות הטקסונומיות השונות ע"י שימוש בסמן 18S v9.

3.5. קישוריות גנטית בין בתי גידול בקרקעית

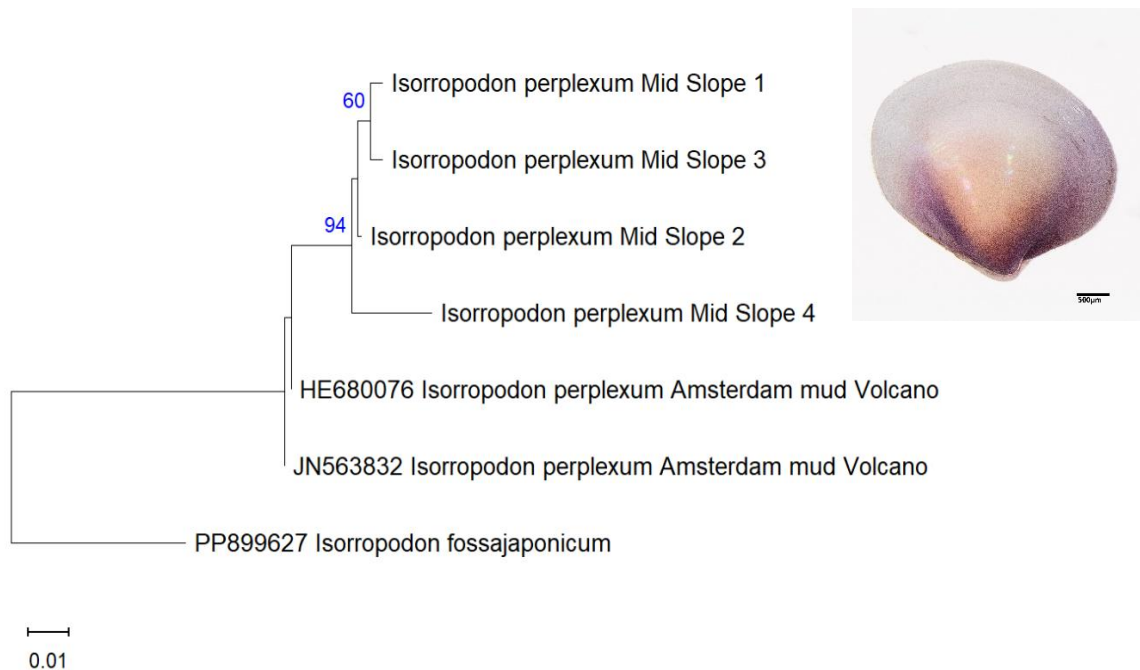
תוצאות אנליזת הברקודינג (ריצוף הגן המיטוכונדריאלי COI) מאורגניזמים שנאספו באמצעות רשת גריפה מצביעות על נוכחות מינים בנתיים שאופייניים לנביעות מתאן. ביניהן, *Lucinoma kazani* (איור 14), צדפה שתוארה לראשונה בנביעות מתאן ממזרח הים התיכון (הר הגעש התת ימי קאזאן, בין קפריסין לרודוס) (Salas and Woodside 2002). מחקר שבוצע לאחרונה בחיא"ל מצא כי לחיידקים הסימביונטיים של צדפה זו יכולת לקבע חנקן (Ratinskaia et al. 2024). תוצאות הסקר

ישמשו למחקר גנטיקה של אוכלוסיות של צדפות אלו על מנת לבדוק את הקישוריות הגנטית בין האוכלוסיות בהר הגעש קאזאן, הפרעת פלמחים, ומרכז המדרון. בנוסף, נמצאה צדפות מהמין *Isorropodon perplexum* (איור 15). מין זה תועד בעבר בהפרעת פלמחים (Basso et al. 2020) ונחשב לשכיח בבתי גידול עמוקים ובנביעות קרות במזרח הים התיכון (von Cosel and Salas, 2001) ונמצאו בו חיידקים סימביונטיים כמואוטוטרופים (Rodrigues et al. 2012). תוצאות ראשוניות אלו מצביעות על היתכנות לשונות גנטית גבוהה בין האוכלוסיות בהפרעת פלמחים ובמרכז המדרון, אך יש להגדיל את המדגם כדי לקבוע זאת בבירור.

איור 14. עץ פילוגנטי לצדפות מהסוג *Lucinoma* על בסיס הגן המיטוכונדריאלי COI. במרכז המדרון



זוהתה הצדפה *Lucinoma kazani*. קנה המידה בתמונה 1 מ"מ.



איור 15. עץ פילוגנטי לצדפות מהסוג *Isorropodon* על בסיס הגן המיטוכונדריאלי COI. במרכז המדרון זוהתה הצדפה *Isorropodon perplexum*. קנה המידה בתמונה 0.5 מ"מ.

מתוך מספר מיני תולעים רב-זיפיות שנמצאו בדוגמת הגריפה (איור 16), זוהתה תולעת רב-זיפית מהסוג *Ophryotrocha* (משפחה Dorvilleidae) (BLASTn %identity = 99.14%) באמצעות ריצוף הגן הגרעיני 18S (נערך שימוש בסמן זה מאחר שריצוף הגן COI נכשל). סוג זה ידוע בעמידות לרמות חמצן נמוכות ולריכוזי סולפיד גבוהים (Salvo et al. 2015). עם זאת, מצב השימור של הדגימות לא אפשר זיהוי מורפולוגי לרמת המין. לפיכך, בדיגומים עתידיים מומלץ להשתמש בשיטות איסוף פחות הרסניות, כמו איסוף באמצעות משאבות (Submersible Collectors), למשל (<https://oceanexplorer.noaa.gov/technology/samplers>), שיאפשרו שימור טוב יותר של מאפיינים מורפולוגיים לצד אנליזה מולקולרית.



איור 16. תולעים רב-זיפיות מהסוג *Ophryotrocha* שנאספו בדוגמת הגריפה בתחנת ST1 במרכז המדרון (עומק 1059 מ'). קנה המידה בתמונות: מימין 0.5 מ"מ, משמאל 1 מ"מ.

4. מסקנות

סקר זה מספק אפיון ראשוני ומשולב של חברת הזואופלנקטון והמגוון הגנטי באזור השמורה המוצעת "נביעות מרכז המדרון", תוך שילוב בין דיגום רשתות משוכב, אנליזה מורפומטרית, ברקודינג ומטא-ברקודינג של פלנקטון ודנ"א סביבתי.

הממצאים מצביעים על חשיבות אקולוגית גבוהה של שכבות המים הסמוכות לקרקעית במרכז המדרון. עושר OTUs גבוה יותר בשכבה הקרובה לקרקעית, ונוכחות קבוצות דמרסליות או בנתו־פלגיות כגון צדפוניות, לארוות של צדפות, שטצדיים ותולעים רב-זיפיות, תומכים בהשערה כי אזור הקרקעית מהווה מקור להעשרה ביולוגית ולקישוריות בין בית הגידול הבנתי לעמודת המים. במקביל, הזיהוי המולקולרי של מינים בעלי עניין ביוגאוגרפי ואקולוגי, בהם מינים שלא תועדו קודם בים התיכון הישראלי או בים התיכון בכלל. מינים ייחודיים נמצאו גם בשכבות האפי והמזו-פלאגיות, דוגמת דיונון הגחלילית התכשיטי המזופלאגי ולארוות של קיפוד הים העמוק *Genocidaris maculata*.

ממצאי דוגמאות הגריפה מהקרקעית מחזקים את חשיבות מרכז המדרון כבית גידול עמוק בעל ערך לשימור, הכולל מינים בנתיים האופייניים לנביעות מתאן ומינים העשויים להעיד על תנאים סביבתיים ייחודיים, כגון רמות חמצן נמוכות או ריכוזי סולפיד גבוהים. לממצאים אלה יש חשיבות שכן הם תומכים בקידום הגנה תלת מימדית, הכוללת לא רק את הקרקעית אלא גם את עמודת המים שמעליה, במסגרת שמורות טבע ימיות עמוקות. תוצאות הברקודינג של צדפות ותולעים רב-זיפיות מספקות בסיס ראשוני לבחינת קישוריות גנטית בין מרכז המדרון, הפרעת פלמחים ואתרים נוספים

במזרח הים התיכון. במקרה של הצדפה *Lucinoma kazani* המאפיינת נביעות מתאן ובתי גידול בים העמוק, נמצאה שונות גנטית גבוהה, אך יש להגדיל את המדגם. זוהי עדות ראשונית, המחייבת תיקוף באמצעות דיגומים נוספים, העשויה להעיד על חשיבות ההגנה על אתרים שונים של נביעות גז בים העמוק, לצורך שימור המגוון הגנטי של אתרים מרוחקים. מצב השימור של חלק מהדגימות ומגבלות הדיגום (שלוש תחנות פלאגיות, דיגום קרקעית יחיד) מדגישים את הצורך בסקרי המשך, לרבות איסוף דמרסלי באמצעות משאבות עדינות, דיגום חוזר של מתקני ARMS והרחבת המדגם הגנטי והמטא-ברקודינג בתחנות נוספות.

5. מקורות

- Allredge, A., and J. King. 1977. Distribution, abundance, and substrate preferences of demersal reef zooplankton at Lizard Island Lagoon, Great Barrier Reef. *Marine Biology* **41**:317-333.
- Amaral-Zettler, L. A., E. A. McCliment, H. W. Ducklow, and S. M. Huse .2009 .A method for studying protistan diversity using massively parallel sequencing of V9 hypervariable regions of small-subunit ribosomal RNA genes. *PloS one* **4**:e6372.
- Basso, D., V. Beccari, A. Almogi-Labin, O. Hyams-Kaphzan, A. Weissman, Y. Makovsky, A. Rüggeberg, and S. Spezzaferri. 2020. Macro-and micro-fauna from cold seeps in the Palmahim Disturbance (Israeli off-shore), with description of *Waisiuconcha corsellii* n. sp.(*Bivalvia*, *Vesicomidae*). *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* **171**:104723.
- Bedugo, V., and B. Kimor. 1968. Considerations on the distribution of pelagic copepods in the eastern Mediterranean. *Rapp. Comm. in! Mer Médit.* **19**:447-448.
- Brautović, I., B. Gangai Zovko, and I. Onofri. 2025. Vertical Migration and Habitat Preference of Planktonic Ostracods (Crustacea) in the Deep Adriatic Sea. *Diversity* **17**:256.
- Duarte, S., L. Simões, and F. O. Costa. 2023. Current status and topical issues on the use of eDNA-based targeted detection of rare animal species. *Science of the Total Environment* **904**:166675.
- Folmer, O., M. Black, W. Hoeh, R. Lutz, and R. Vrijenhoek. 1994. DNA primers for amplification of mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I from diverse metazoan invertebrates. *Mol Mar Biol Biotechnol* **3**:294-299.
- Gorsky ,G., M. D. Ohman, M. Picheral, S. Gasparini, L. Stemmann, J.-B. Romagnan, A. Cawood, S. Pesant, C. García-Comas, and F. Prejger. 2010. Digital zooplankton image analysis using the ZooScan integrated system. *Journal of plankton research* **32**:285-303.

- Granqvist, E., R. M. Goodsell, M. Töpel, and F. Ronquist. 2025. The transformative potential of eDNA-based biodiversity impact assessment. *Current Opinion in Environmental Sustainability* **73**:101517.
- Guy-Haim, T., M. Gilboa, M. Rubin-Blum, E. Rahav, N. Stern, B. Herut, and I. Gertman. 2023. Pelagic habitats in the Exclusive Economic Zone of the Israeli Mediterranean Sea.
- Guy-Haim, T., N. Stern, and G. Sisma-Ventura. 2022a. Trophic ecology of deep-sea megafauna in the ultra-oligotrophic Southeastern Mediterranean Sea. *Frontiers in Marine Science* **9**:857179.
- Guy-Haim, T., X. Velasquez, T. Terbiyik-Kurt, I. Di Capua, M. Grazia Mazzocchi, and A. R. Morov. 2022b. A new record of the rapidly spreading calanoid copepod *Pseudodiaptomus marinus* (Sato, 1913) in the Levantine Sea using multi-marker metabarcoding. *BioInvasions Record* **11**.
- Hending, D. 2025. Cryptic species conservation: a review. *Biological Reviews* **100**:258-274.
- Horton, T., M. H. Thurston, R. Vlierboom, Z. Gutteridge, C. A. Pebody, A. R. Gates, and B. J. Bett. 2020. Are abyssal scavenging amphipod assemblages linked to climate cycles? *Progress in Oceanography* **184**:102318.
- Irisson, J.-O., L. Salinas, S. Colin, and M. Picheral. 2022. EcoTaxa: a tool to support the taxonomic classification of large datasets through supervised machine learning. *in SFEcologie* 2022.
- Katz, T., Y. Weinstein, R. Alkalay, E. Biton, Y. Toledo, A. Lazar, O. Zlatkin, R. Soffer, E. Rahav, and G. Sisma-Ventura. 2020. The first deep-sea mooring station in the eastern Levantine basin (DeepLev), outline and insights into regional sedimentological processes. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* **171**:104663.
- Kimor, B. 1972. The Suez Canal as a link and a barrier in the migration of planktonic organisms. *Israel Journal of Zoology* **21**:391-403.
- Kimor, B., and E. Wood. 1975. A plankton study in the eastern Mediterranean Sea. *Marine Biology* **29**:321-333.
- Leray, M., J. Y. Yang, C. P. Meyer, S. C. Mills, N. Agudelo, V. Ranwez, J. T. Boehm, and R. J. Machida. 2013. A new versatile primer set targeting a short fragment of the mitochondrial COI region for metabarcoding metazoan diversity: application for characterizing coral reef fish gut contents. *Frontiers in zoology* **10**:1-14.
- Puig, P., De Madron, X.D., Salat, J., Schroeder, K., Martín, J., Karageorgis, A.P., Palanques, A., Roullier, F., Lopez-Jurado, J.L., Emelianov, M. and Moutin, T., 2013. Thick bottom nepheloid layers in the western Mediterranean generated by deep dense shelf water cascading. *Progress in Oceanography*, *111*, pp.1-23.

Ratinskaia, L., S. Malavin, T. Zvi-Kedem, S. Vintila, M. Kleiner, and M. Rubin-Blum. 2024. Metabolically-versatile Ca. Thiodiazotropha symbionts of the deep-sea lucinid clam *Lucinoma kazani* have the genetic potential to fix nitrogen. *ISME communications* **4**:ycae076.

Rodrigues, C. F., M. R. Cunha, K. Olu, and S. Duperron. 2012. The smaller vesicomylid bivalves in the genus *Isorropodon* (Bivalvia, Vesicomylidae, Pliocardiinae) also harbour chemoautotrophic symbionts. *Symbiosis* **56**:129-137.

Salas, C., and J. Woodside. 2002. *Lucinoma kazani* n. sp. (Mollusca: Bivalvia): evidence of a living benthic community associated with a cold seep in the Eastern Mediterranean Sea. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* **49**:991-1005.

Salvo, F., D. Hamoutene, and S. C. Dufour. 2015. Trophic analyses of opportunistic polychaetes (*Ophryotrocha cyclops*) at salmonid aquaculture sites. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* **95**:713-722.

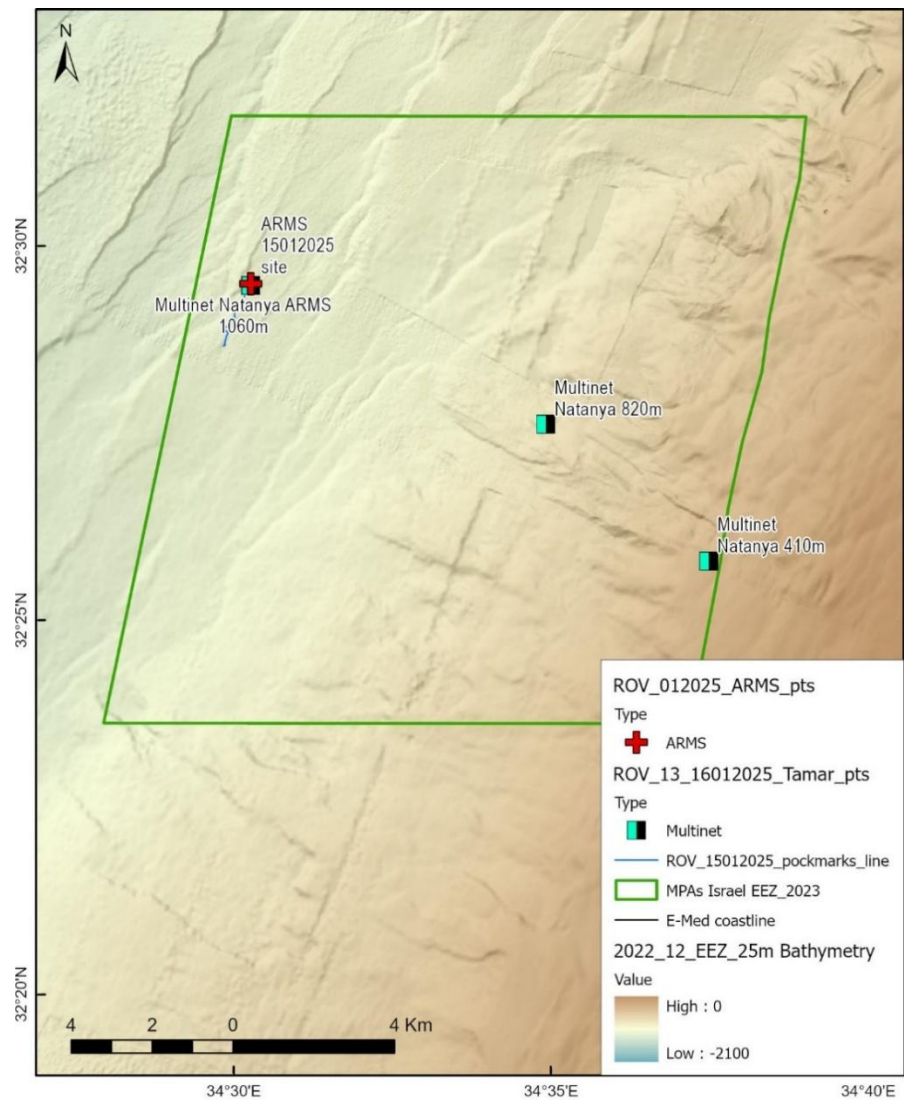
von Cosel, R., and C. Salas. 2001. Vesicomylidae (Mollusca: Bivalvia) of the genera *Vesicomya*, *Waisiuconcha*, *Isorropodon* and *Callogonia* in the eastern Atlantic and the Mediterranean. *Sarsia* **86**:333-366.

Yahel, R., G. Yahel, and A. Genin. 2005. Near-bottom depletion of zooplankton over coral reefs: I: diurnal dynamics and size distribution. *Coral reefs* **24**:75-85.

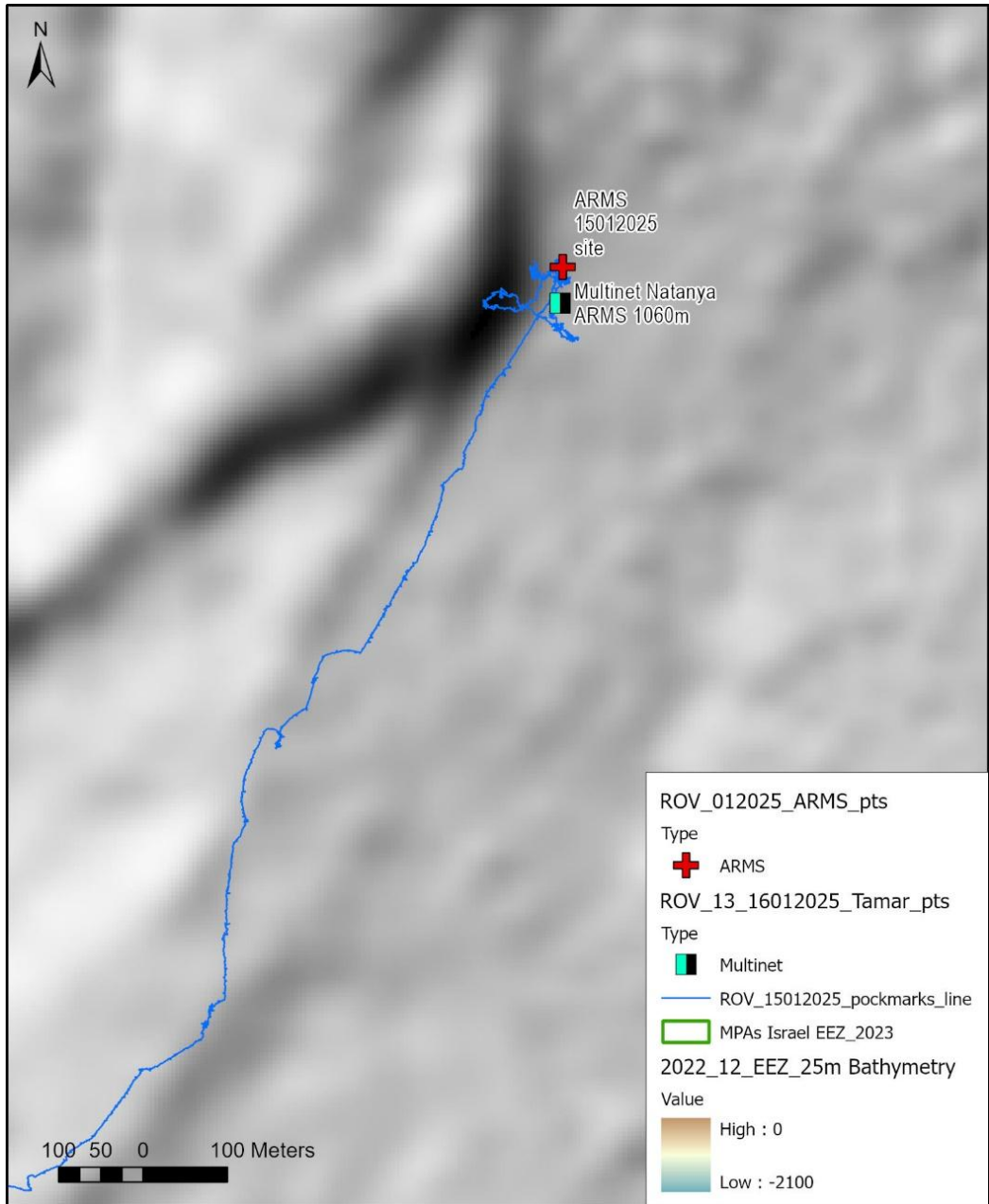
Zimmerman, T. L., and J. W. Martin. 2004. Artificial reef matrix structures (ARMS): an inexpensive and effective method for collecting coral reef-associated invertebrates. *Gulf and Caribbean Research* **16**:59-64.

שבתאי, ע., א. רוטשילד, ד. עמיר, צ. קרניאל, י. מקובסקי, ע. נוימן, א. ביאליק, ת. גיא-חיים, נ. שטרן, מ. רובין-בלום, א. גרטמן, מ. גלבוע, ב. חרות, א. רהב, ט. אידן, ג. לירון, א. סלבנקו, ש. סלינגרה, י. בובה, ג. גל, א. אופיר, ס. גיאקומי, א. בן-למין, וי. ברנשטיין. 2023. **תכנית אב לשמורות טבע ימיות באזור הכלכלי הבלעדי של ישראל בים התיכון**. החברה להגנת הטבע, אוניברסיטת חיפה, אוניברסיטת תל אביב, המשרד להגנת הסביבה, רשות הטבע והגנים, חקר ימים ואגמים לישראל, רשות העתיקות.

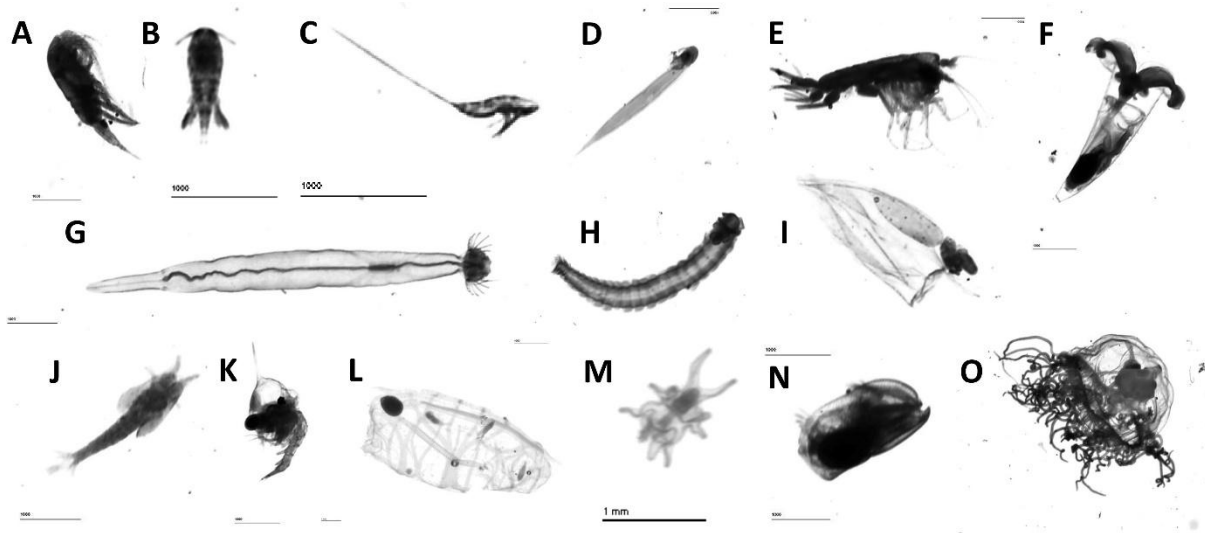
6. נספחים



איור 6.1. שלושת אתרי הדיגום בשמורה המוצעת מרכז המדרון, ינואר 2025.



איור 2. סקר ה ROV באזור השמורה המוצעת מרכז המדרון (מסומן בכחול), מיקום הנחת שלושת מתקני ARMS (מסומן בצלב אדום) ומיקום תחנת המולטי-נט מס' 1 (מסומן בריבוע שחור/תכלת).



איור 3. קבוצות טקסונומיות באנליזת הדימות הכמותית של הדוגמאות שנאספו מעל אזור מרכז המדרון (ZooScan and EcoTaxa). **A.** שטרגל קלנואיד (Calanoida). **B.** שטרגל ציקלופואיד (Appendicularia). **C.** שטרגל הרפקטיקואיד (Harpacticoida). **D.** אפנדיקולריה (Appendicularia). **E.** שטצד היפריד (Hyperiid, Amphipoda). **F.** כנפרגל (Creseis, Ptreopoda). **G.** תולעת חץ (Polychaeta). **H.** לארווה של תולעת רב-זיפית (*Flaccisagitta enflata*, Chaetognatha). **I.** סיפנופורה (Calycophorae, Siphonophora). **J.** לארווה של קריל (Catostylus). **K.** לארווה של סרטנים מעשירי רגל (Euphausiacea). **L.** סלפה (Zoea, Decapoda). **M.** לארווה של כוכב ים (Brachiolaria, Asteroidea). **N.** צדפונית (Halocyprida). **O.** הידרומדוזה (*Oceania armata*, Hydrozoa).