



חקר ימים ואגמים לישראל
ISRAEL OCEANOGRAPHIC &
LIMNOLOGICAL RESEARCH



דו"חות חיא"ל IOLR REPORTS

**תכנית הניטור הלאומית בים התיכון לשנת 2022
ניטור שינויים מורפולוגיים וסדימנטולוגיים
בקרקעית מדף היבשת (2017 – 2022) – דגש
על אזורי תשתיות וגיאוהזארד**

דו"ח חיא"ל H05/2023





תכנית הניטור הלאומית בים התיכון לשנת 2022
ניטור שינויים מורפולוגים וסדימנטולוגים בקרקעית
מדף היבשת (2017 – 2022) – דגש על אזורי תשתיות
וגיאוהזארד

דו"ח חיא"ל H05/2023

מאת:

גדעון טיבור, תימור כץ, מור כנרי, אסף גלעדי

פברואר 2023

מקרא

4	1. תקציר
5	2. איסוף נתונים חדשים - מאי 2022
6	3. עיבוד נתונים
7	4. פיענוח סוגי תכסית הקרקעית, גיאואזארד ושינויים רב שנתיים באזורי העניין
20	5. דיון בתוצאות הסקר
30	6. תכנית מוצעת לניטור 2023
31	7. מקורות

רשימת איורים

6	איור 1: מפת מיקום החתכים שנאספו במאי 2022 ומיקומי דיגום מחפר הקופסא
7	איור 2: תוואי צינור נתג"ז – דוגמא לקטגוריה ראשונה
8	איור 3: תוואי צינור נתג"ז – דוגמא לקטגוריה שניה
9	איור 4: תוואי צינור נתג"ז – דוגמא לקטגוריה שלישית
9	איור 5: תוואי צינור נתג"ז – דוגמא לקטגוריה רביעית
10	איור 6: תוואי צינור נתג"ז – דוגמא לקטגוריה חמישית
11	איור 7: תוואי צינור נתג"ז – דוגמא לקטגוריה שישית
12-13	איור 8: שינויים באזורי עניין בחתך 2 (2021-2022) – דרום מפרץ חיפה
14	איור 9: שינויים רב-שנתיים בחתך 4 – מול נחשולים
15	איור 10: שינויים רב-שנתיים בחתך 12 – דרומית לאשדוד
16	איור 11: שינויים רב-שנתיים לאורך קצה מדף היבשת
17	איור 12: דוגמא להעתקים בקצה מדף היבשת
18	איור 13: דוגמא לפיענוח גלישה בתת-הקרקע מול דור
19	איור 14: דוגמא לפיענוח גלישה בתת-הקרקע מול פלמחים
19-20	איור 15: דוגמא לראשי קניונים בקצה מדף היבשת
21	איור 16: התפלגות מרחבית של הקטגוריות השונות לאורך תוואי הצינור.
23	איור 17: התפלגות מרחבית של גודלי גרג לאורך תוואי הצינור.
25	איור 18: התפלגות מרחבית של סוגי הגיאואזרד בקצה המדף מראש כרמל עד אשדוד
27	איור 19: Si, Al, Ca והיחסים ביניהם בסדימנטים מהתחנות שנדגמו בחתכים T4 ו T12 במאי 2022.
27-28	איור 20: השוואה ביחסי חול, סילט וחרסית בגלעיני סדימנט שנדגמו בחתך T12 בשנת 2018 ובשנת 2022 ומחתך T13 שנמדדו במאי 2021 ובמאי 2017
29	איור 21: גדל הגרגר החציוני ומבנה מדף היבשת הישראלי
22	איור 22: התפלגות גודל הגרגר בקצה מדף היבשת
31	איור 23: תכנית הניטור מאי 2023

רשימת טבלאות:

5	טבלה 1: סיכום איסוף נתוני המולטיבים וה-CHIRP לאורך החתכים
5	טבלה 2: סיכום תוצאות דיגום הסדימנט בהפלגת במאי 2022
21	טבלה 3: קלסיפיקציה של מצב תוואי צינור הגז
22	טבלה 4: התפלגות גודלי הגרגר ב-% לאורך תוואי צינור הגז
24	טבלה 5: סטטיסטיקה של שינויים בעומק הקרקעית בחתכים 4 ו-12 בין השנים 2018-2022
29	טבלה 6: התפלגות גדלי הגרגר בקצה מדף היבשת ע"ס ערכי Phi

1. תקציר

דו"ח זה מסכם את ההפלגה השישית לניטור שינויים מורפולוגיים וסדימנטריים (הסעה, קצבי סדימנטציה ובליה) ובחינת ההשפעות של תשתיות ימיות על שלמות הקרקעית בקנה מידה רחב במדף היבשת לאורך החוף הישראלי. השנה ניתן דגש למיפוי גיאואזרד לאורך תשתית צינור נתג"ז במקביל לחוף ולאורך קצה מדף היבשת מאשדוד עד חיפה. ההפלגה בוצעה במאי 2021 ע"ג אניית המחקר "בת גלים" וכללה מיפוי הקרקעית, תת-הקרקע ודיגום סדימנט בעומקים שונים מאזור מפרץ חיפה בצפון ועד אשדוד בדרום. שני החתכים הארוכים (עד עומק מים של 100 מטר) שבהם נלקחו דיגומי סדימנט באמצעות מחפר קופסא בעומקי מים של 10, 20, 30, 40, 60 ו-90 מטר הם חתכים T4 ו-T12 שבהם נעשה דיגום השוואתי לעומת הדיגום שבוצע ב-2018. תוצאות אנליזות המעבדה של גדלי גרגר הושו וכולו לערכי עוצמת ההחזרה (Backscatter) של מערכת המולטיביים במטרה להמשיך ולבסס את הכלי המהיר והמדויק לקלסיפיקציה של סוגי תכסית קרקעית הים המתבססת על גדלי גרגר.

תוצאות הסקר הנוכחי והממצאים העיקריים בהשוואה לניטורים שבוצעו בשנים הקודמות הם:

1. השוואת השינויים בעומק ובמורפולוגיה של קרקעית הים בשני אזורי העניין לאורך חתך מזרח-מערב (T2) בדרום מפרץ חיפה מצביעים על השקעה והסרה בסדר גודל של עד 30 ס"מ בשנה האחרונה. בחתך T4 מול נחשולים נמדדה הסרה של עד 50 ס"מ בעומקי מים של 35.5-38 מטר בהשוואה של 4 שנים (2018-2022). לאומת זאת בחתך T12 דרומית למרינה אשדוד השינויים שנמדדו באזור העניין ב-4 שנים האחרונות היו בגבול רזולוציית המיפוי (10 ס"מ). השוואת השינוי הממוצע (median) בעומק לקרקעית של כול אורך החתכים (מעומק מים של 10 - 100 מטר) מצביע על השקעה של 15 ס"מ בחתך הצפוני ו-16 ס"מ בחתך הדרומי.
2. תוצאות מיפוי תוואי צינור הנתג"ז מצביעות על כך שמעל 50% מצינור הגז אינו קבור לגמרי ושללורכו (25%) יש תופעה של בורות שכנראה ונוצרו מקריסה של חומר המילוי בגלל קומפקציה והתנזלות. התפלגות גודלי הגרגר באזור תוואי הצינור שמופתה באמצעות אנליזה של עוצמות ההחזרה (Backscatter), מצביעה על כך ש-76% מהתוואי מאופיין בחול דק גרגר מאוד (Very fine sand).
3. במסגרת מיפוי גיאואזרד בקו לאורך קצה מדף היבשת מאשדוד לראש כרמל נעשה מיפוי מולטיביים ותת-הקרקע. השוואה של השינויים בעומק הקרקעית יחסית למיפויים שביצענו בין השנים 2016 עד 2021 נעשתה בשישה אתרים. בחמשת האתרים הצפוניים הממוקמים מראש כרמל בצפון ועד לפלמחים בדרום השינויים היו בגבול דיוק המיפוי (10 ס"מ). באזור השישי במקטע הדרום מערבי שנמצא בעומקי מים של 90-120 מטר מול אשדוד נעשתה השוואה עם מיפוי מ-2021 ונמדדו שינויים של עד 40 ס"מ.
4. במיפוי תת-הקרקע בקצה מדף היבשת נצפו שלושה סוגי מבנים: גלישות, העתקים וראשי-קניונים, המהווים סיכונים גיאולוגיים ועלולים לגרום לתנועות העתקה או תנועה של חומר של הקרקעית, ובכך מהווים סיכונים לתשתיות. מאחר ובשלב זה תופעות אלו מופו רק על סמך קו אחד לא ניתן להעריך את היקפם ולכן בניטור המתוכנן למאי 2023 יעשה מיפוי מפורט שלהם בכדי להעריך את מסוכנותם.
5. גם בדיגום זה בא לידי ביטוי המשך והעמקת ההתגסות של השכבה העליונה, בקצה מדף היבשת, ככל הנראה כתוצאה ישירה ועקיפה של הפסקת הזרמת חומר דק גרגר מהנילוס. תוצאה זו מחזקת את הסברה שהעלנו בעבר על הדינאמיות העכשווית של תהליך זה. השוואה בין החתכים השונים מראה שהתפרסות גדלי הגרגר על המדף מושפעת יותר מהמרחק מקו החוף מאשר מעומק המים. ממצא זה קושר את התפלגות גדלי הגרגר למרחק ההסעה מהחוף של חומר דק שמקורו יבשתי ממקורות מקומיים ומרוחקים.

6. לאור הפעילות הסייסמית החזקה שהתרחשה בחודש פברואר 2023 באזורנו לדעתנו גם השנה הניטור צריך לשים דגש רב על תופעות גיאוהזארד לאורך תשתיות ימיות ובקצה המדף. תכנית הניטור המוצעת מופיעה בפרק 6.

2. איסוף נתונים חדשים

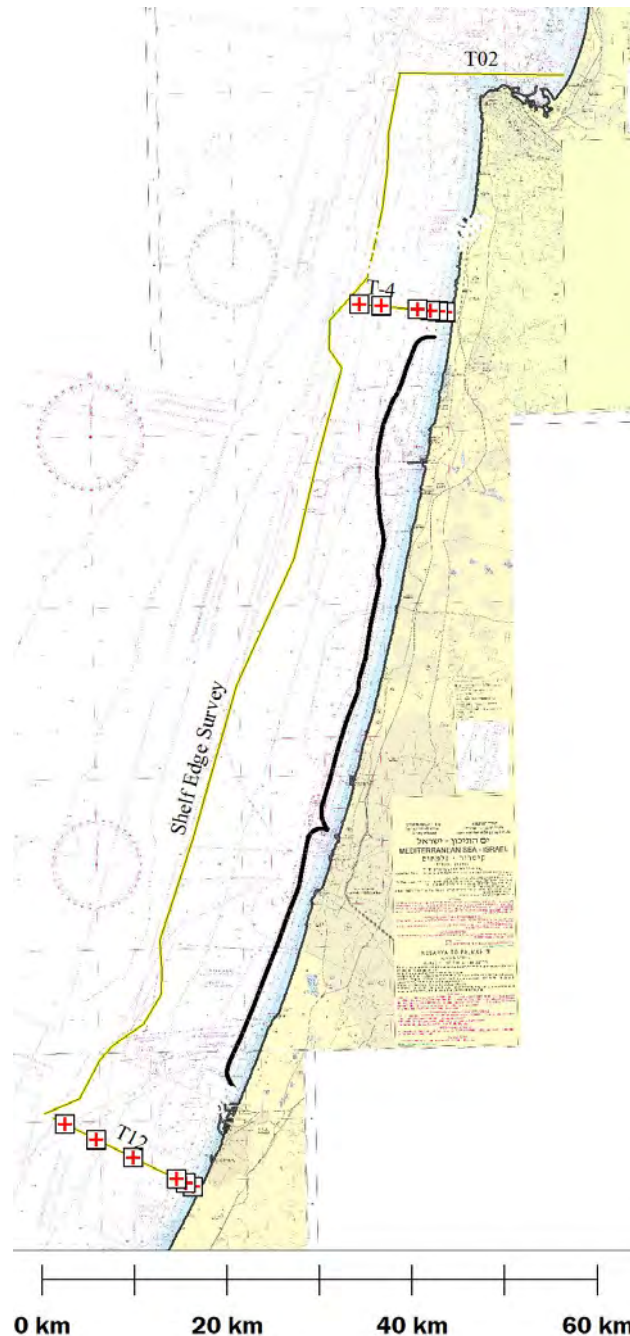
איסוף הנתונים נעשה ע"ג אניית המחקר "בת גלים" בתאריכים 9-11 למאי 2022 וכלל: 3 חתכי מולטיבים ותת-הקרקע בניצב לחוף (חתכים 2, 4 ו-12), תוואי צינור נתג"ז לאורך החוף מחדרה ועד אשדוד וקצה מדף היבשת מאשדוד עד ראש כרמל (איור 1 וטבלה 1). השנה חתכים 4 ו-12 נעשו עד עומק מים 100 מטר ולאורכם בוצעו 12 דגימות קרקע באמצעות מחפר קופסא וגראב (איור 1 וטבלה 2).

טבלה 1: סיכום איסוף נתוני המולטיבים ותת-הקרקע (chirp) לאורך החתכים – מאי 2022

מספר חתך	תאריך	עומק מינימלי	עומק מקסימלי	זמן התחלה UTC	זמן סיום UTC	אזימוט חתך	מהירות הפלגה	תדר MB
צינור נתג"ז	9.5.2022	19	49	14:05	13:09	193-205	6 knot	kHz400
12	10.5.2022	10	105	1:30	3:05	116	6 knot	kHz400
קצה מדף היבשת	10-11.5.2022	72	259	5:47 10.5.2022	1:22 11.5.2022	74-008	6 knot	300-400kHz
4	10.5.2022	10	100	16:30	17:00	95	6 knot	kHz400
2	11.5.2022	10	121	1:27	3:11	91	6 knot	kHz400

טבלה 2: סיכום דיגום סדימנט במהלך ההפלגה במאי 2022

Station Name	UTM N	UTM E	Seafloor Depth (m)	Distance from shore (m)	Depth range
T12-10	651819	3515961	11.6	977	0-2 cm
T12-20	651189	3516234	19.5	1662	0-2 cm
T12-30	650133	3516682	30.6	2808	0-19 cm
T12-40	645484	3518953	40	7981	0-19 cm
T12-60	641580	3521035	59.6	12403	0-19cm
T12-90	638148	3522688	89.6	16212	0-16 cm
T4-10	679178	3610397	10	497	0-2 cm
T4-20	678419	3610443	20.5	1257	0-2 cm
T4-30	677646	3610494	30	2032	0-2 cm
T4-40	676311	3610670	39.5	3377	0-21 cm
T4-60	672466	3610973	59.5	7234	0-20cm
T4-90	669923	3611196	90.5	9787	0-22 cm



איור 1: מפת מיקום של החתכים שנאספו במאי 2022 ומיקומי דיגום מחפר הקופסא בחתכים 4 ו-12 ("+" אדום).

3. עיבוד נתונים

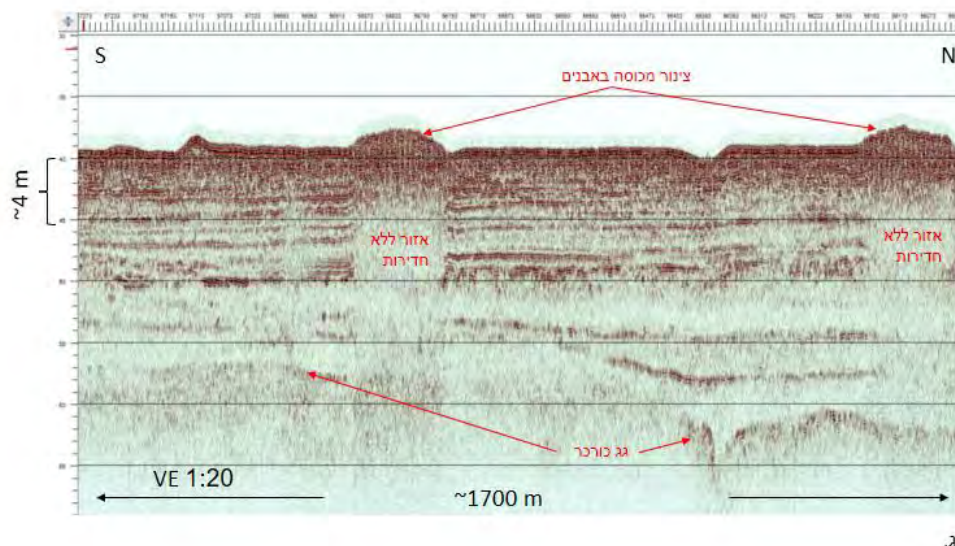
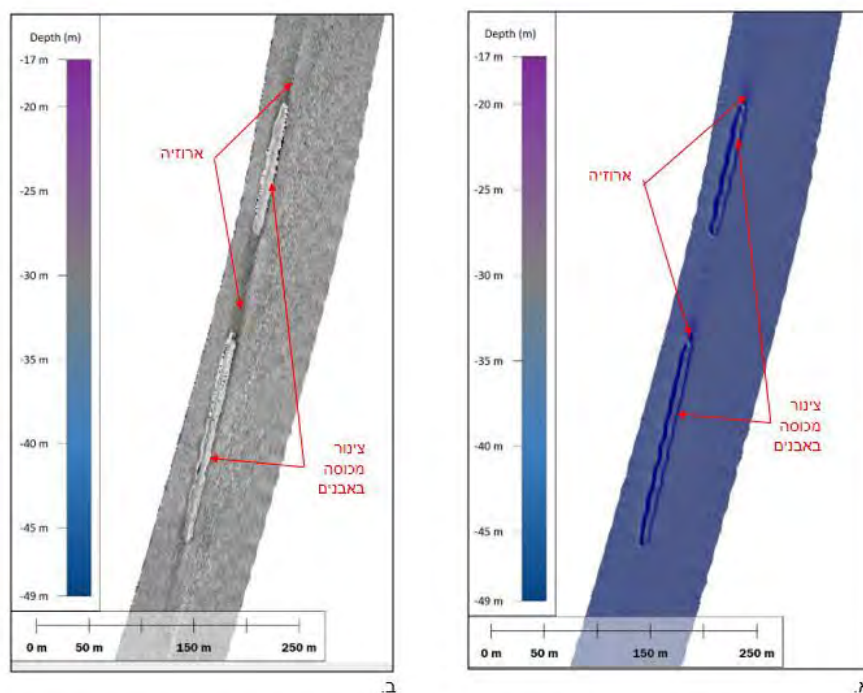
מיפוי קרקעית הים נעשה באמצעות מערכת מולטיבים מסוג EM2040 במוד עבודה של 400 KHz. הדיוק האנכי שמתקבל במערכת (עד 10 ס"מ) מושפע מעומק המים, מזווית הפתיחה במעלות (זווית הפתיחה מגיעות עד ל- 60° ולכן הדיוקים הם מ-0.1% עד 0.15% מהעומק), מתיקוני גאות ושפל ומהשינוי בשוקע הספינה במהלך המיפוי. תיאור שלבי עיבוד נתוני המולטיבים, חתכי תת-הקרקע ודגימות הקרקעית ניתנים בפירוט בדו"חות חיא"ל של הניטור ב-2017 (H18-2018), וב-2019 (H60/2019).

4. פיענוח החתכים בדגש גיאואזוד, סוגי תכסית הקרקעית ושינויים רב שנתיים באזורי העניין

4.1 מיפוי תשתיות ימיות - צינור נתג"ז לאורך החוף מחדרה עד אשדוד

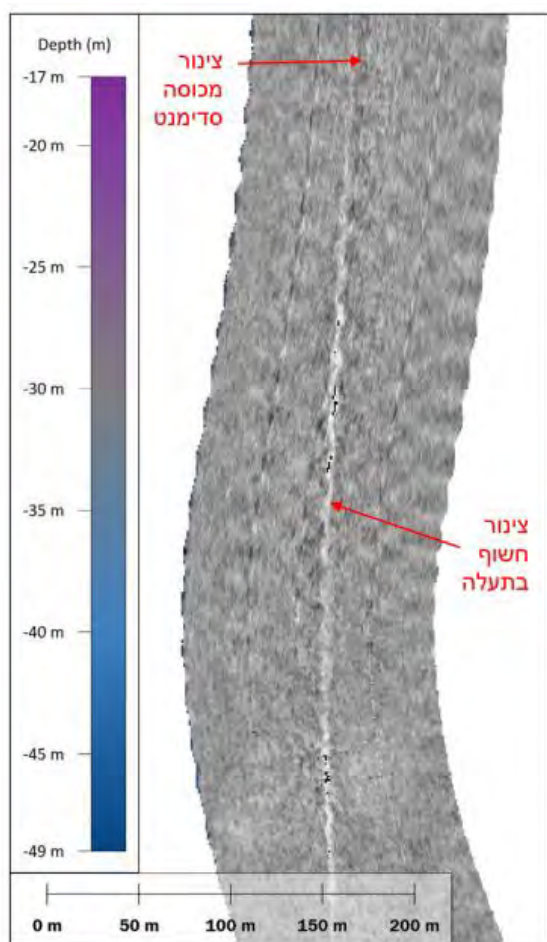
פיענוח נתוני המולטיבקים כולל עוצמת ההחזרה (Backscatter) וחתך תת-הקרקע אפשרו לחלק את תוואי צינור הגז לשבעה קטגוריות שחלקן יכולות לגרום לגיאואזוד:

א. הקטגוריה הראשונה - הצינור בולט על הקרקעית ומכוסה באבנים. במיפוי המולטיבקים אזור זה מוגבה מהסביבה ובמיפוי עוצמות ההחזרה הוא מופיע עם החזרה חזקה. בחתכים הסייסמים אזורים אלו מאופיינים ללא חדירות סייסמית מתחתם (איור 2).

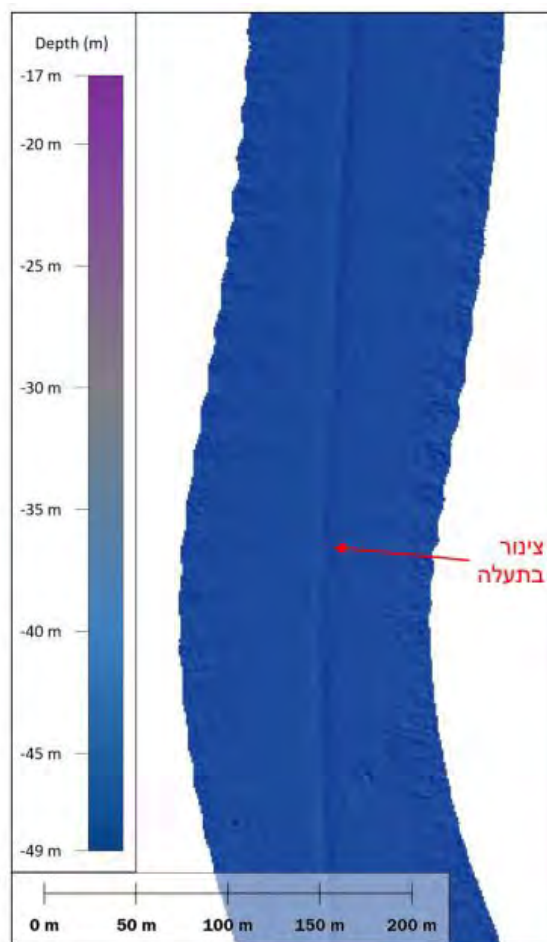


איור 2: קטגוריה ראשונה – צינור על פני השטח מכוסה באבנים. א. מפת עומקים, ב. מפת עוצמות החזרה (backscatter) ו-ג. חתך סייסמי של תת-הקרקע

ב. הקטגוריה השנייה – הצינור נמצא בתוך תעלה פתוחה גלוי או מכוסה חלקית בסדימנטים (איור 3). בחתך העומק ניתן לזהות תעלה ולפי מפת עוצמות ההחזרה ניתן לקבוע האם הצינור חשוף בתעלה (החזרה חזקה) או מכוסה בסדימנטים.



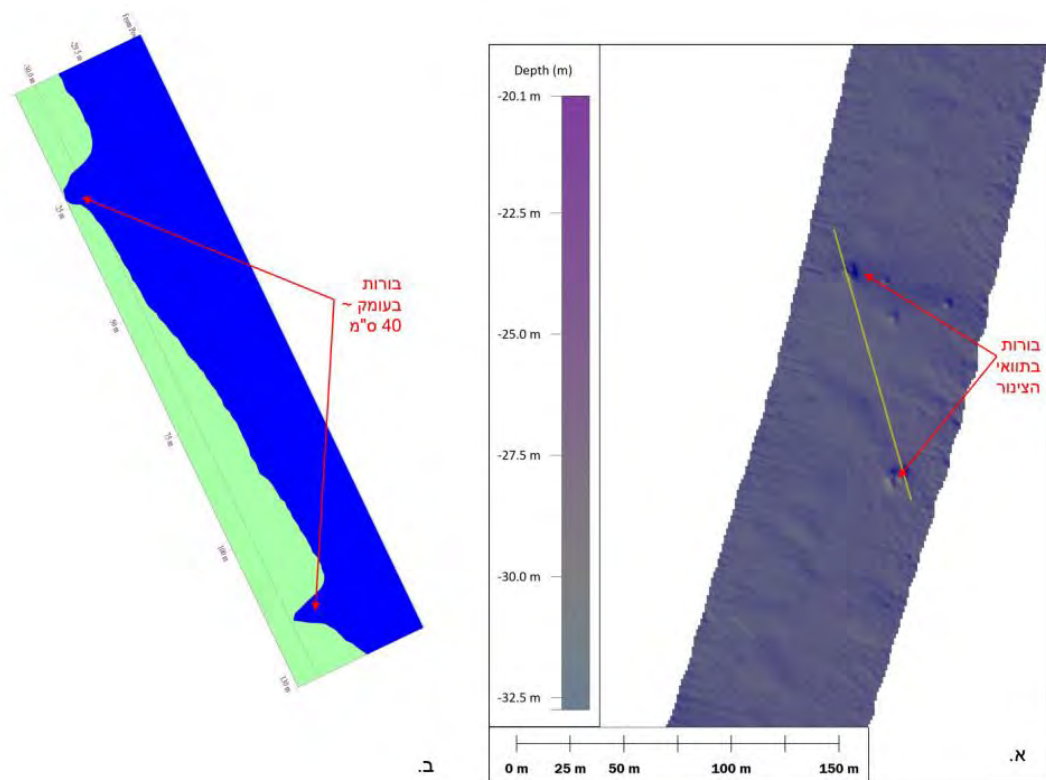
ב.



א.

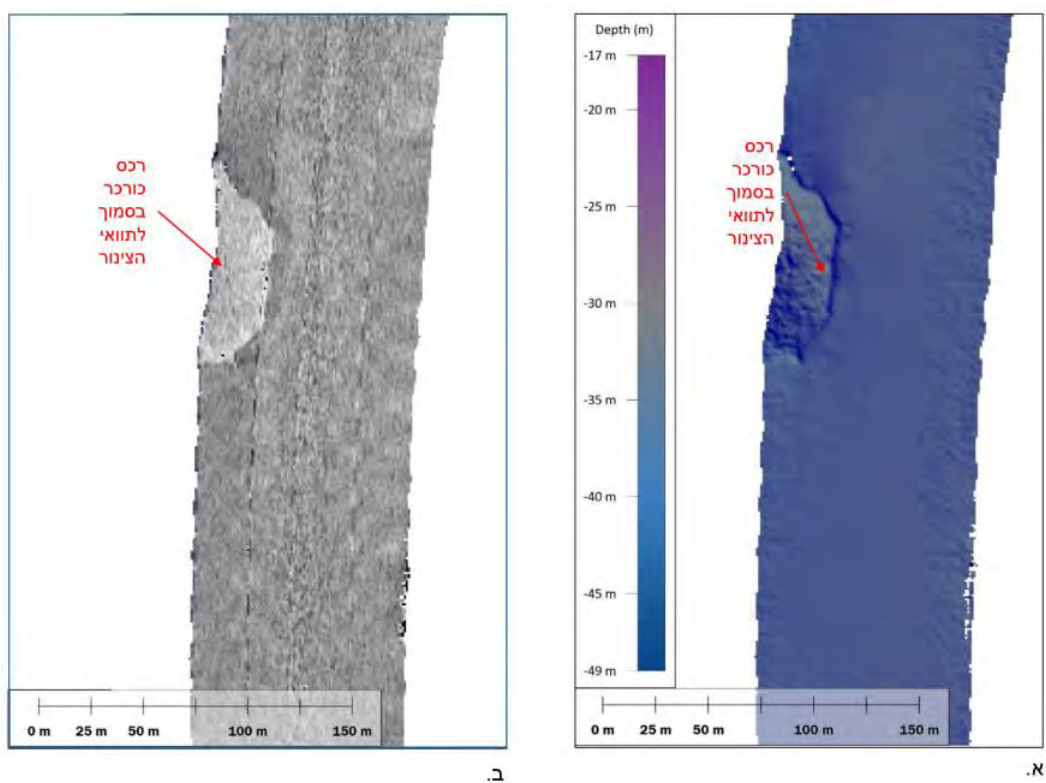
איור 3: קטגוריה שניה – צינור בתעלה חשוף או מכוסה בסדימנטים. א. מפת עומקים, ב. מפת עוצמות החזרה (backscatter) בה ניתן להבחין האם הצינור חשוף או מכוסה בשכבת סדימנטים

ג. הקטגוריה השלישית – תופעת הבורות מעל ובסמוך לתוואי הצינור כפי שנראים בנתוני המולטיבים (איור 4). תופעה זו יתכן ונוצרה מתהליכי קומפקציה והתנזלות (ראה הסבר בפרק 5 – דיון) .



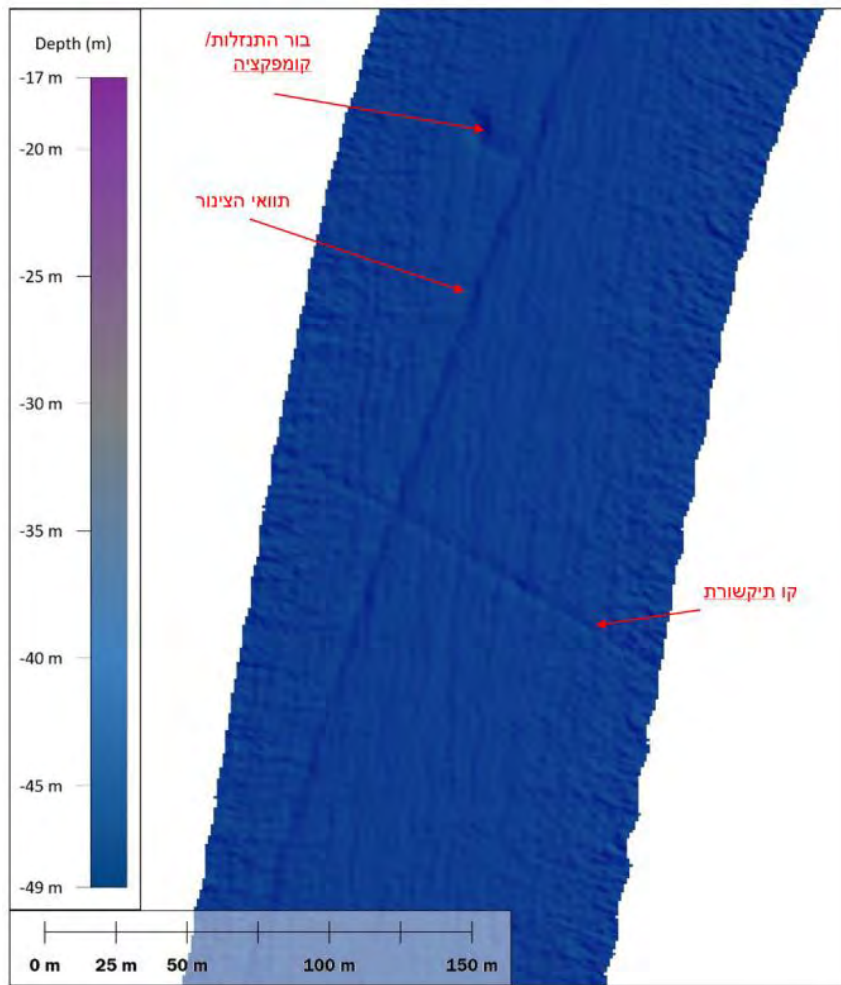
איור 4: קטגוריה שלישית – אזורי קומפקציה והתנזלות בתוואי הצינור. א. מפת עומקים, ב. חתך עומק לאורך הקו הצהוב באיור 4א

ד. הקטגוריה הרביעית – תוואי הצינור נמצא בסמוך ל"הפרעה" מורפולוגית טבעית כגון רכס כורכר או מדרגה בתימטרית (איור 5).



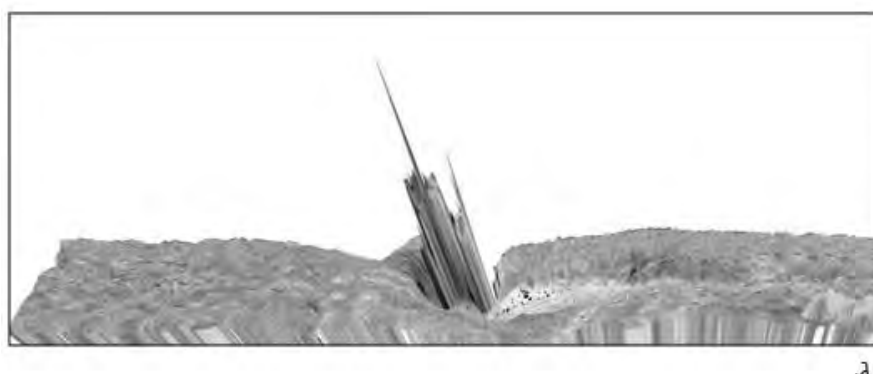
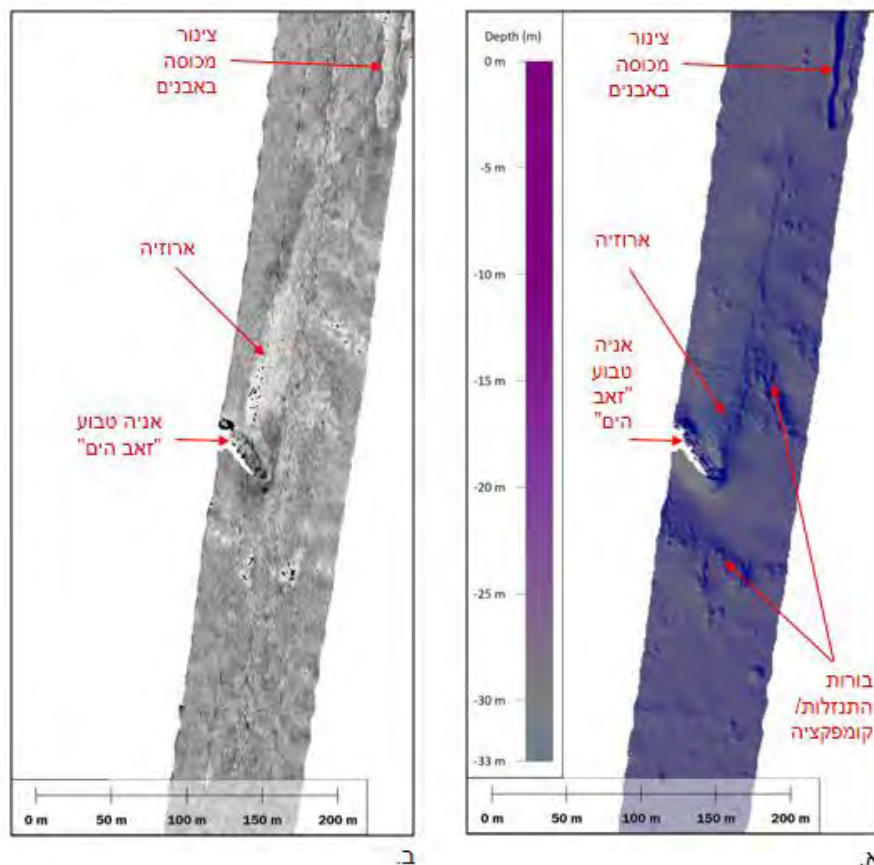
איור 5: קטגוריה רביעית – תוואי הצינור נמצא בסמוך ל"הפרעה" מורפולוגית – רכס כורכר. א. מפת עומקים, ב. מפת עוצמות החזרה, רכס הכורכר מופיע כהחזר חזק

ה. הקטגוריה החמישית - תוואי הצינור נחצה ע"י קווי תקשורת (איור 6).



איור 6: קטגוריה חמישית – מפת עומקים המראה את תוואי הצינור שנחצה ע"י קו תקשורת, כמו כן ניתן לראות בור בסמוך לתוואי הצינור שכנראה וננוצר מקומפקציה או התנזלות.

ו. הקטגוריה השישית - תוואי הצינור נמצא בסמוך למכשולים לא טבעיים כגון: סירה טבועה, אזור הטלה ישן של תחמושת ועוד (איור 7).



איור 7: קטגוריה שישית –תוואי הצינור בסמוך למכשולים לא טבעיים, האוניה הטבועה "זאב הים", א) מפת עומקים, ב) מפת עוצמות החזרה ו-ג) מבת תלת-ממדי של האניה הטבועה. כמו כן ניתן גם לראות את אזור האירוזיה בחלק הצפוני של האניה ואת תופעת הבורות הנוצרים מקומפקציה או התנזלות.

ז. הקטגוריה השביעית היא זו שנעשתה בזמן הנחת הצינור כאשר הצינור קבור ולא ניתן להבחין בו במיפוי של הקרקעית.

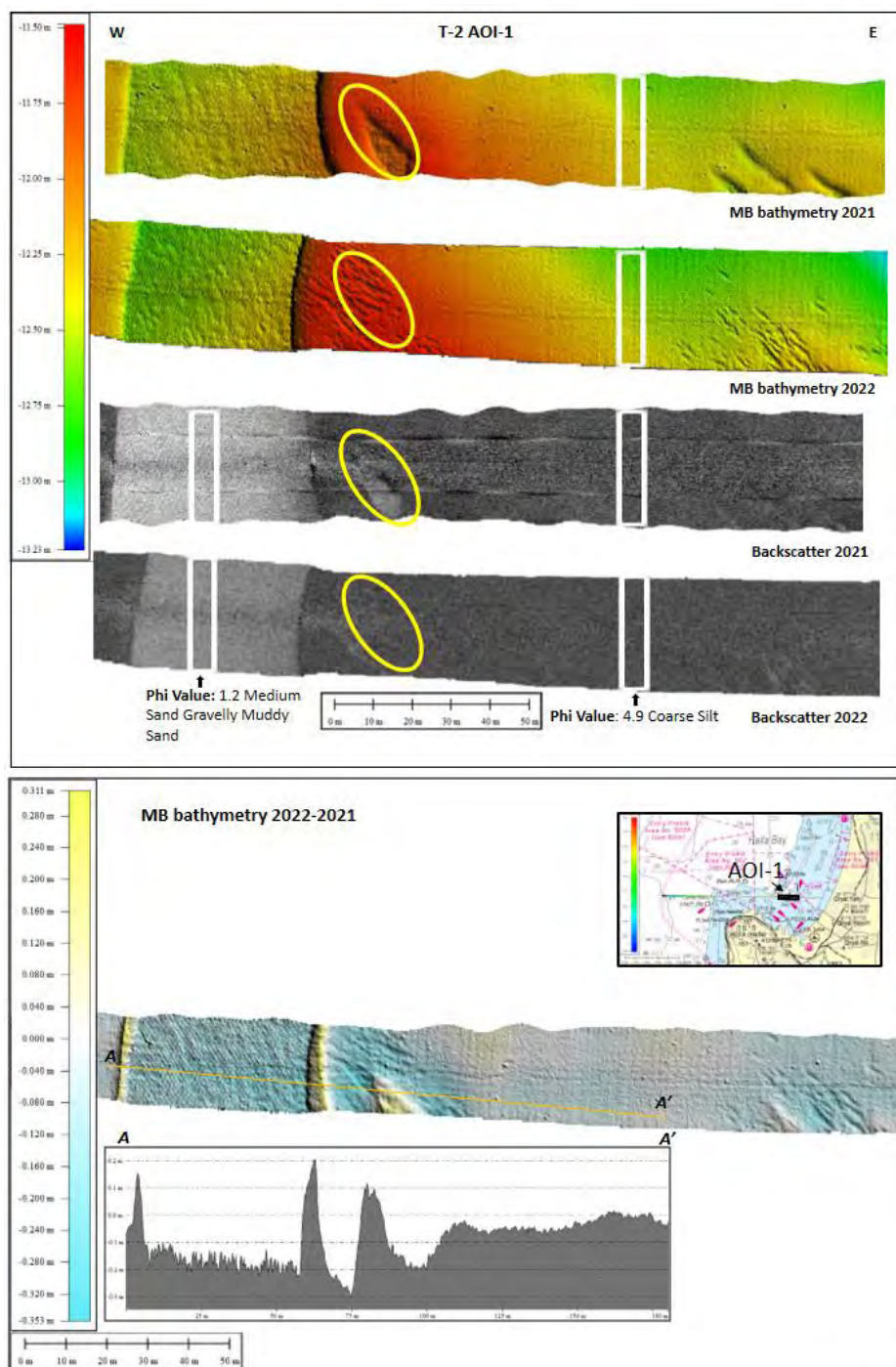
4.2 חתכים בניצב לחוף – מדידת השינויים לאורך השנים

בניטור זה נעשו שלושה חתכים בניצב לחוף מעומק 10 מטר ועד ל-100 מטר כאשר בשני החתכים הדרומיים (4 ו-12) נלקחו גם דיגומי קרקע.

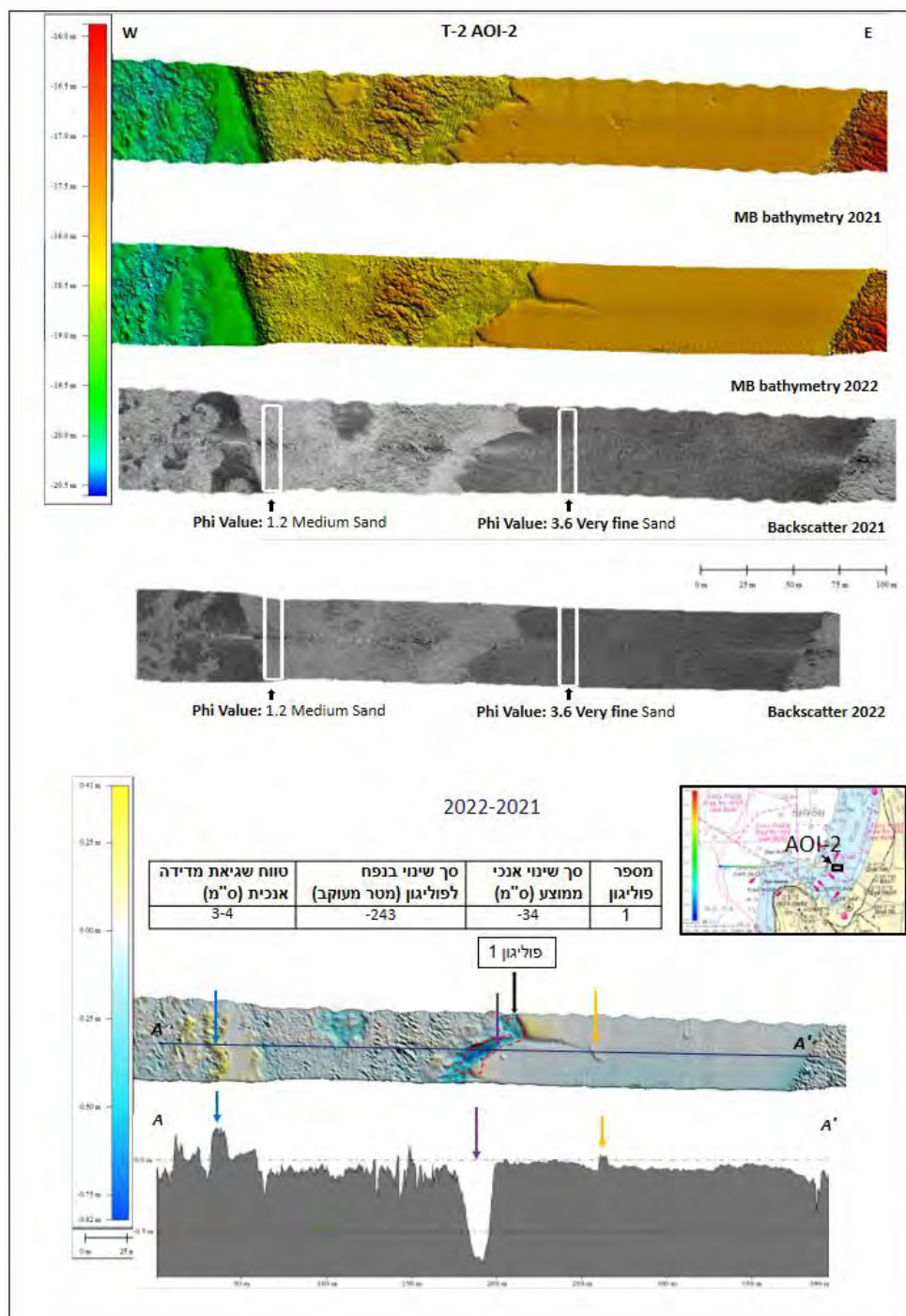
שינויים בחתך 2 אזורי עניין 1 ו-2 (דרום מפרץ חיפה 2021-2022)

חתך זה נעשה לראשונה בניטור של 2019 והוגדרו בו שני אזורי עניין: הראשון בחלקו המזרחי של החתך בעומקי מים של 20 מטר שחוצה את תעלת הכניסה לנמל חיפה שהועמקה במסגרת הרחבת נמל חיפה ואזור העניין השני שנמצא בעומק מים של 12.5 מטר מאופיין במעברים חדים של חול גס גרגר וסילט גס עד בינוני. השינויים הגדולים שהתרחשו בשנה האחרונה

(2022-2021) באזורי עניין 1 ו-2 מוצגים באיור 8. באיור 8 ניתן לראות שהבור (מסומן בפוליון צהוב) התמלא בסדימנטים וכן בשולי התעלה יש השקעה של סדימנטים בערכים של עד 30 ס"מ. אזור התעלה עצמה עבר אירוזיה שגם היא מגיעה עד 30 ס"מ. באיור 8 ניתן לראות במפת ההפרשים העמקה של תעלה ב-34 ס"מ.



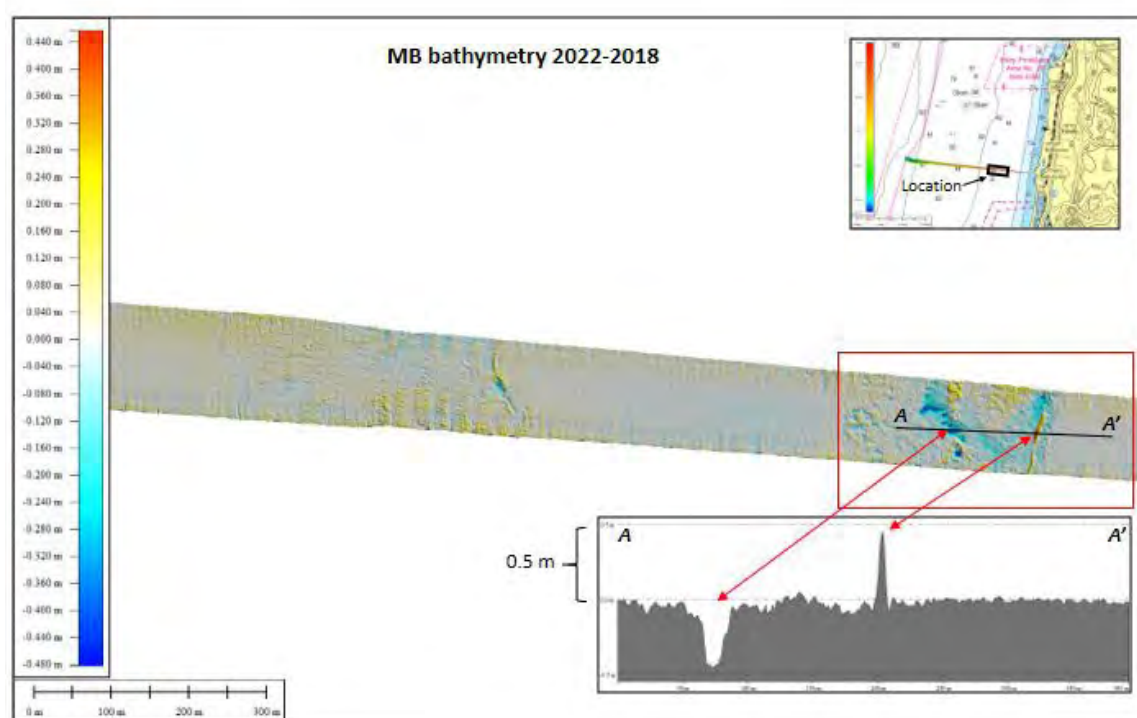
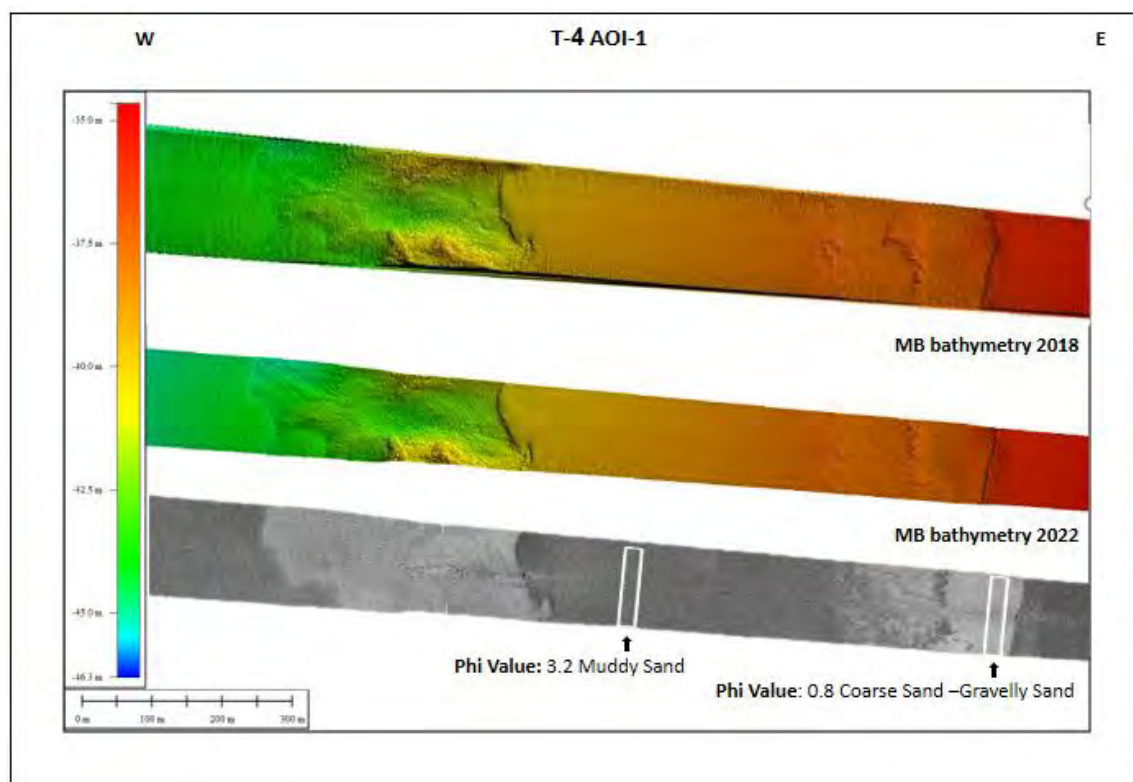
איור 8: שינויים רב-שנתיים בחתך 2 אזור עניין 1 (2022-2021). מלמעלה למטה: חתכי המולטיביום (MB) ועוצמות ההחזרה (Backscatter) וערכי Phi וגדלי הגרגר, מפת מיקום ומפת ההפרשים 2022-2021 של בחתך A-A'.



איור 8: שינויים רב-שנתיים בחתך 2 אזור עינין 2 (2022-2021). מלמעלה למטה: חתכי המולטיביום (MB) ועוצמות ההחזרה (Backscatter) וערכי Phi - גדלי הגרגר בפוליגונים הלבנים, מפת מיקום ומפת ההפרשים של 2022-2021 של בחתך A-A'.

שינויים בחתך 4 אזורי עניין 1 (נחשולים 2018-2022)

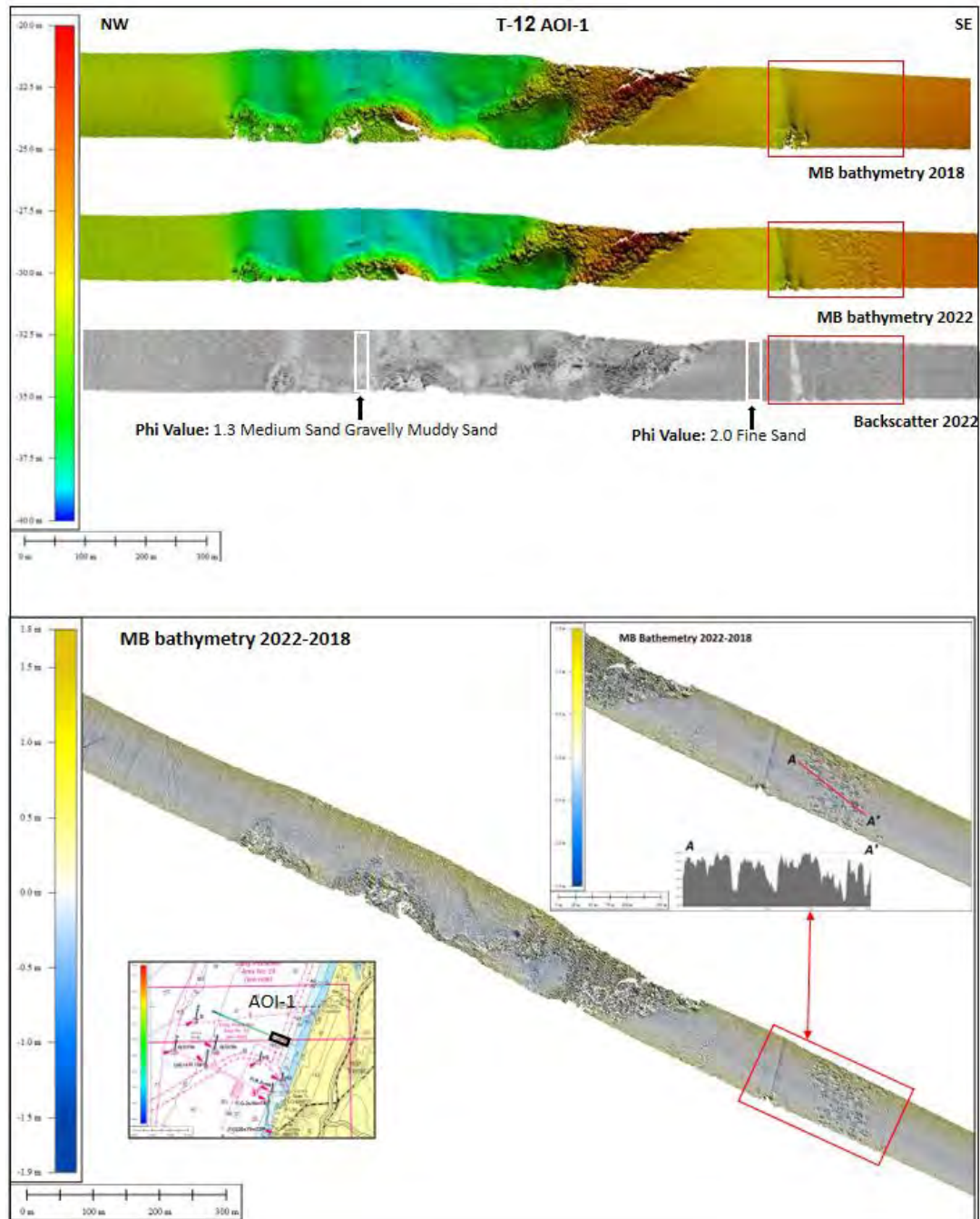
חתך זה נעשה לראשונה עד עומק 100 מטר בשנת 2018. אזור עניין 1 עובר מעל רכסי כורכר בעומקי מים של 35 עד 44 מטר. השינויים באזור העניין מוצגים באיור 9. במפת ההפרשים בחלק המזרחי של אזור העניין (עומקי מים 35.5 עד 38 מטר) ניתן לראות העמקה של התעלה המערבית בערכים של עד 48 ס"מ והשקעה בחלק המזרחי של כמעט 50 ס"מ.



איור 9: שינויים בחתך 4 אזור עניין 1 בין השנים 2018-2022. מפות המולטיבים בשנים השונות מופיעות למעלה ומפת ההפרשים למטה. פרופיל העומק עובר בחלק המזרחי של אזור העניין ומציג שינויים של השקעה ואירוזיה של עד כ-50 ס"מ.

שינויים בחתך 12 באזור עניין 1 (דרומית למרינה אשדוד 2022-2018)

חתך זה נעשה לראשונה עד עומק 100 מטר בשנת 2018. אזור עניין 1 עובר מעל רכס כורכר בעומקי מים של כ-30 מטר. אזור העניין והשינויים בין השנים 2022-2018 מוצגים באיור 10. באיור ניתן לראות שבחתך מ-2022 בחלק המזרחי (פוליגון אדום) יש בורות בסמוך לרכס הכורכר. בורות אלו שעומקם מגיע עד כ-20 ס"מ לא היו קיימים בשטח ב-2018. בשאר אזור העניין השינויים בין השנים הם בסדר גודל של דיוק המיפוי (עד 10 ס"מ) ולכן לא מוצגים.

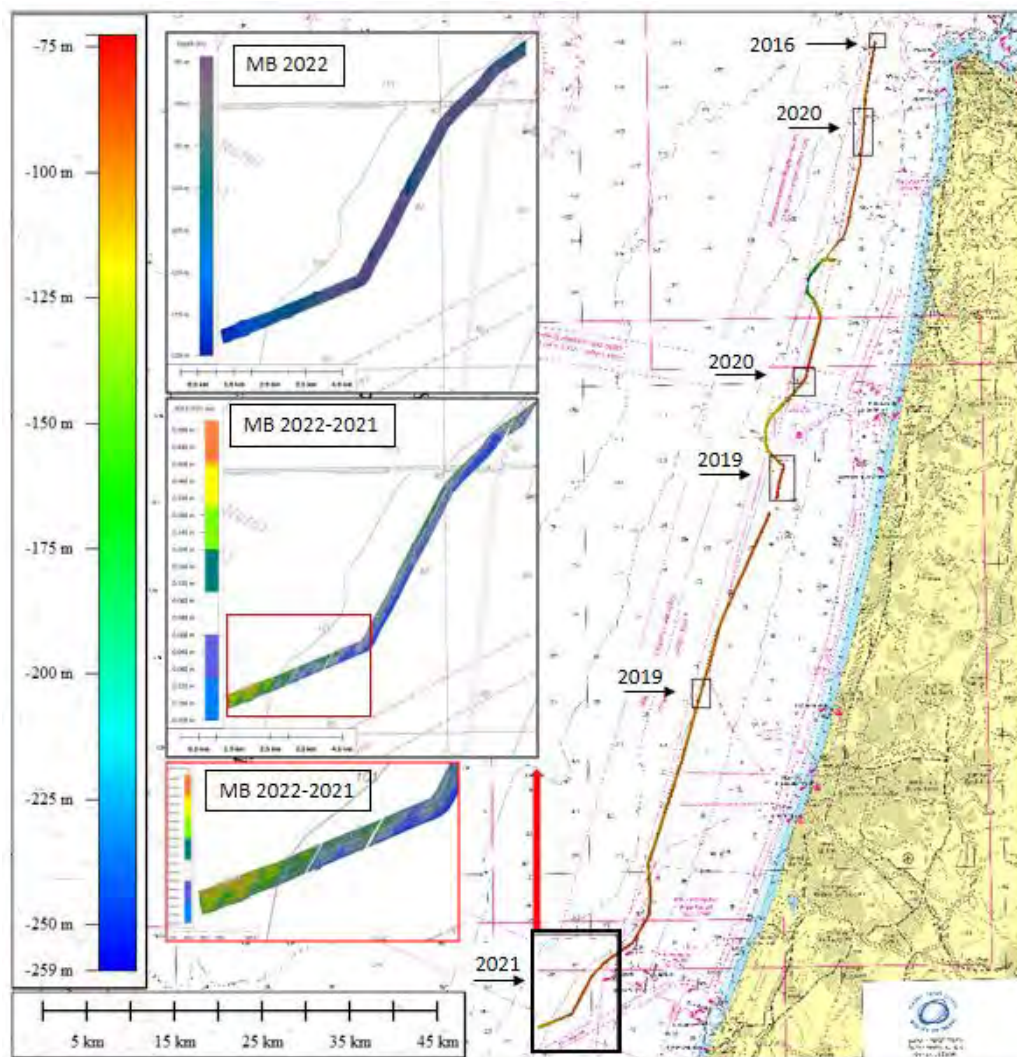


איור 10: שינויים בחתך 12 באזור עניין 1 בין השנים 2022-2018. באיור העליון מוצגים חתכי המולטיבטים בשנים השונות וחתך ה-backscatter מ-2022. באיור התחתון מוצג חתך ההפרשים ובאזור הבורות (פוליגון אדום) גם חתך העומקים A-A'. עומק הבורות בחתך מגיע עד כ-20 ס"מ.

4.3 מיפוי קצה מדף היבשת מאשדוד לראש כרמל בדגש על איתור אזורי גיאואזרד

4.3.1 שינויים רב-שנתיים בקרקעית קצה המדף:

השוואת קו המיפוי בשנת 2022 נעשתה בשישה אתרים בהם ערכנו מיפוי מוליטיבים קודם מהשנים 2016 עד 2021 שנעשה ע"ג הבת גלים (איור 11). בחמשת האתרים הצפוניים הממוקמים מראש כרמל בצפון ועד לפלמחים בדרום השינויים היו של עד כ-10 ס"מ שזה בגבול דיוק המיפוי. באזור השישי הנמצא מול אשדוד שבו נעשתה השוואה עם מיפוי מ-2021 אין שינויי משמעותי במקטע שביוונו מקביל לקו החוף ונמצא בעומק מים של 90 מטר למעט באזורים בהם התשתית הקשה של קצה המדף חשופה. במקטע הדרום מערבי שנמצא בעומקי מים של 90-120 מטר נמדד השקעה של עד 40 ס"מ של סדימנטים בעיקר בחלק שעמוק מ-100 מטרים (מפה תחתונה באיור 11).

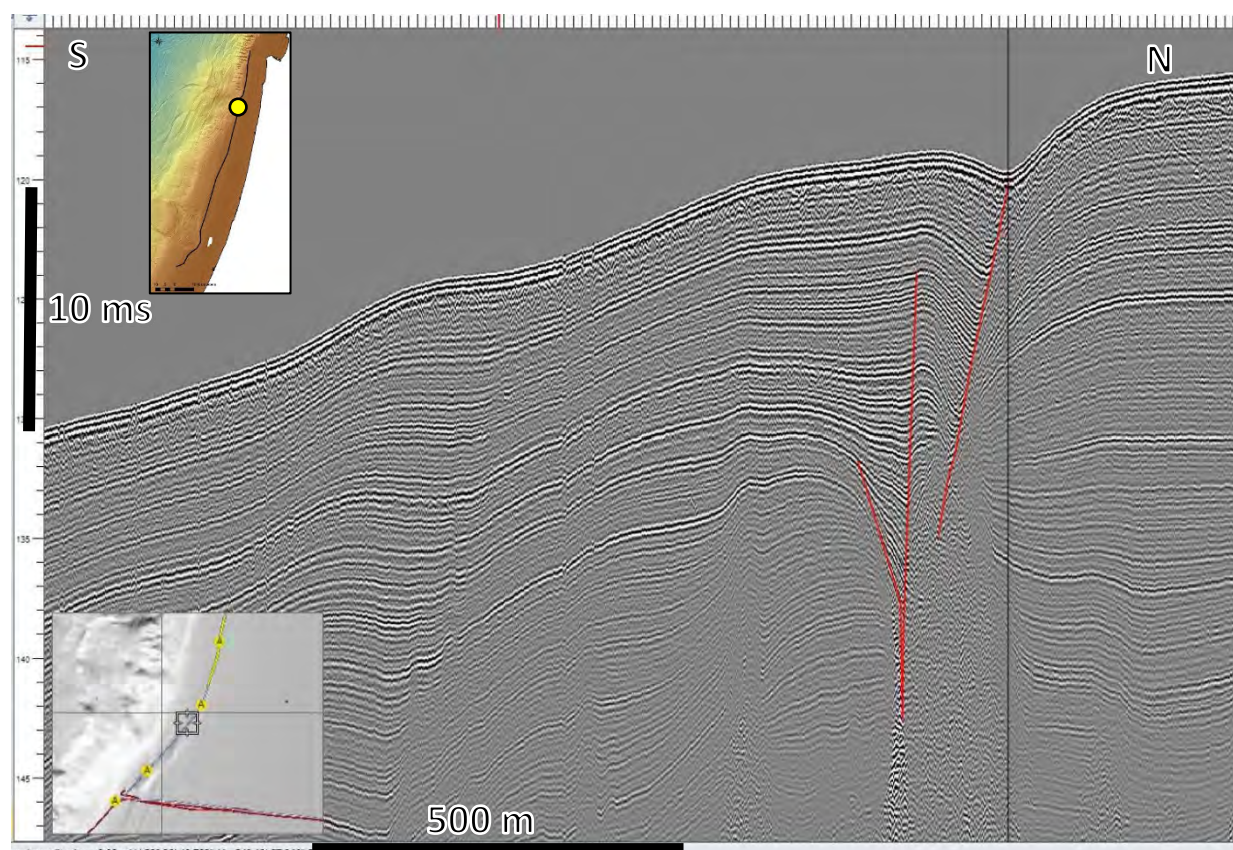


איור 11: מפה המציגה את מיפוי קצה המדף בניטור של 2022 ואת ששת האזורים (פוליגונים שחורים) שבהם יש חפיפה עם סקרים קודמים (שנת המיפוי הקודם כתובה מעל החץ השחור). נתוני ההשוואה 2022-2021 מהפוליון הדרומי מול אשדוד מופיעים באיורים המושללים. במפת הפרשים המוגדלת (תחתונה) ניתן לראות שינויים המבטאים הצטברות סדימנטים של עד כ-40 ס"מ בחלקו הדרום מערבי של החתר.

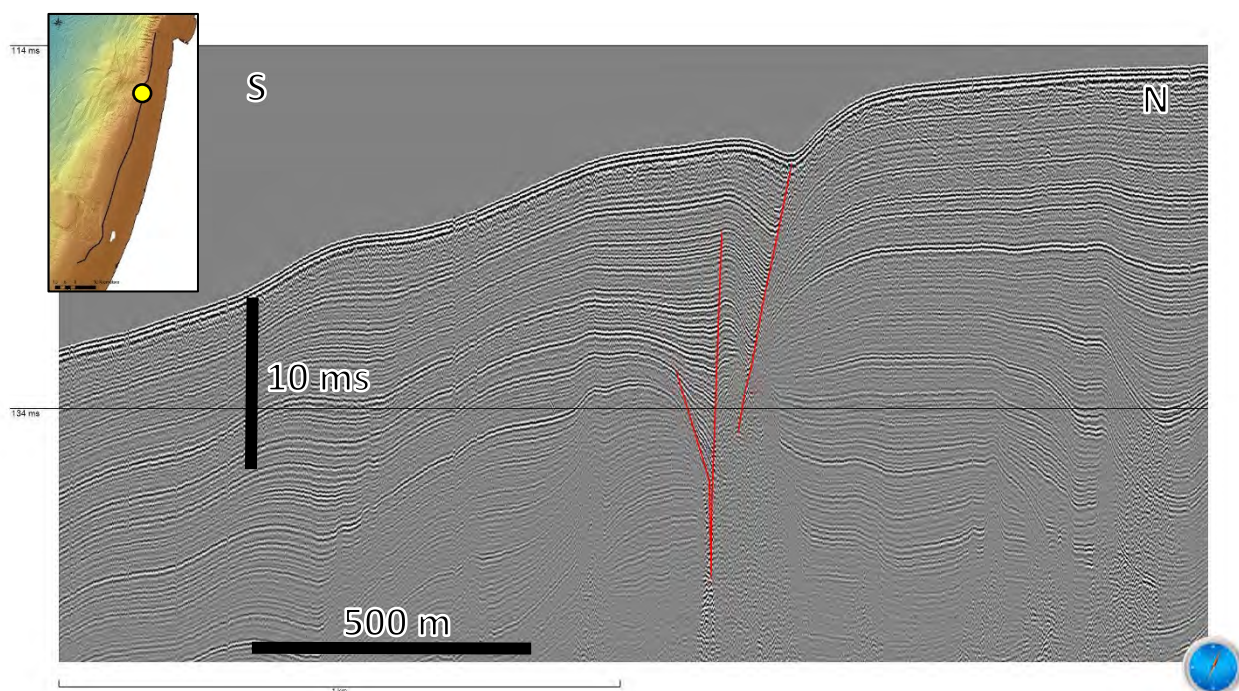
4.3.2 אזורי הגיאואזרד כפי שנראים בחתכי תת-הקרקע

חתכי תת-הקרקע (Chirp 3.5 KHz) בקצה מדף היבשת חושפים בעיקר שלושה סוגי מבנים: גלישות, העתקים וראשי-קניונים, המהווים סיכונים גיאולוגיים ועלולים לגרום לתנועות העתקה או תנועה של חומר של הקרקעית, ובכך מהווים סיכונים

לתשתיות – דוגמת צינורות, כבלים וכיו"ב. דוגמאות לפיענוח של מבני העתקים (איור 12), גלישות קרקעית (איורים 13 ו-14) וראשי קניונים (איור 15).

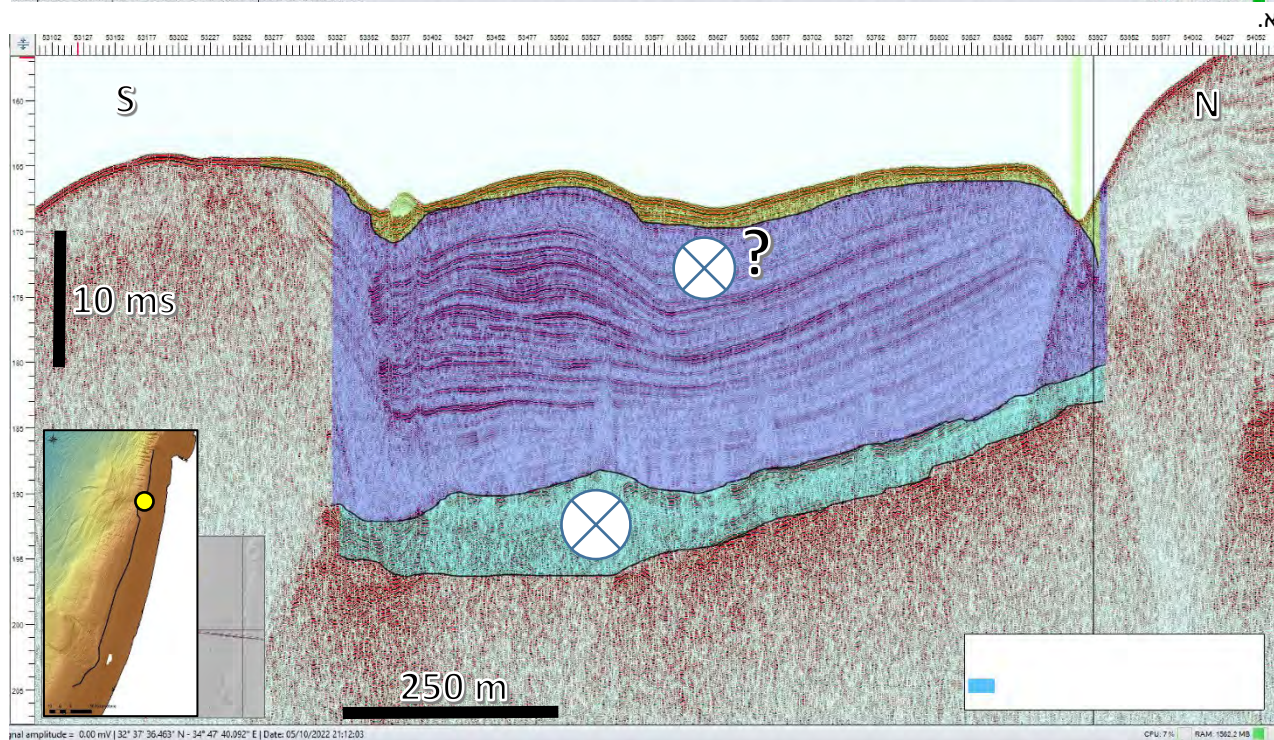
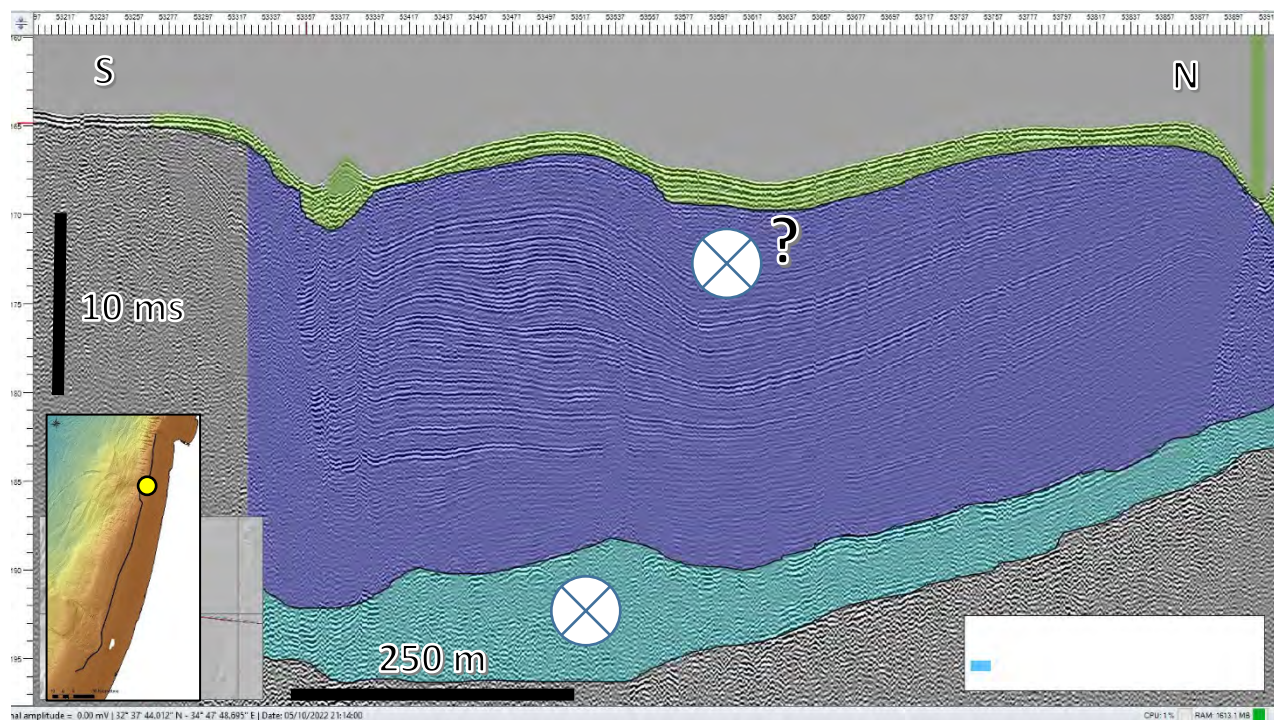


א.



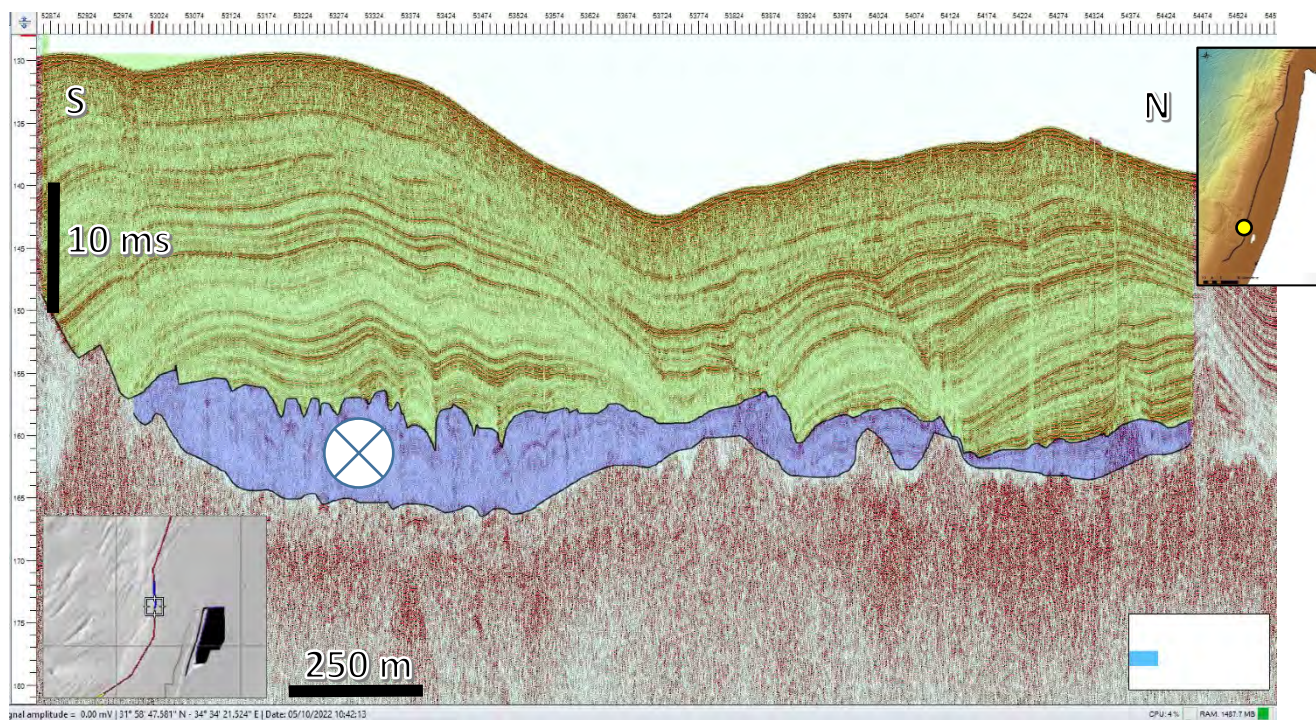
ב.

איור 12: דוגמא להעתקים בתת הקרקע בקצה מדף היבשת. 12א) העתק זה נראה כהעתק שוליים של גלישה. עומק המים בחתך 90-100 מ'. מפת מיקום משמאל למעלה. ר' מבט רחב יותר באיור 12ב' העתק זה נראה כהעתק שוליים של גלישה. עומק המים בחתך 90-100 מ'. מפת מיקום משמאל למעלה.

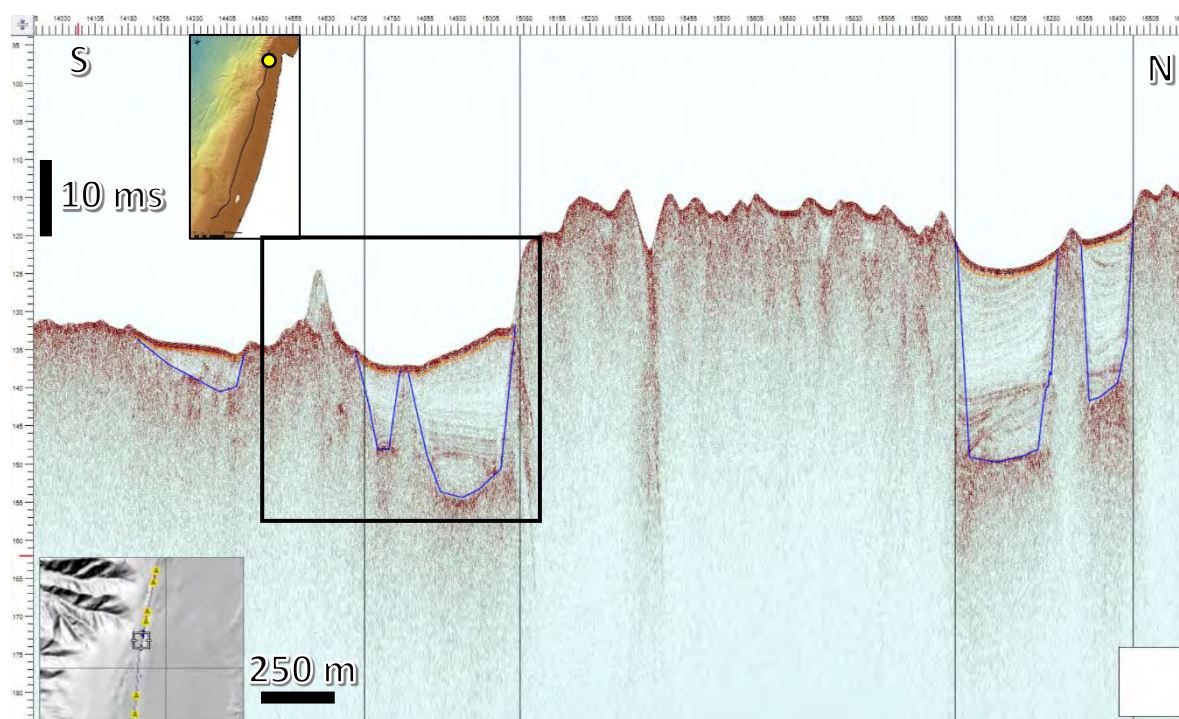


ב.

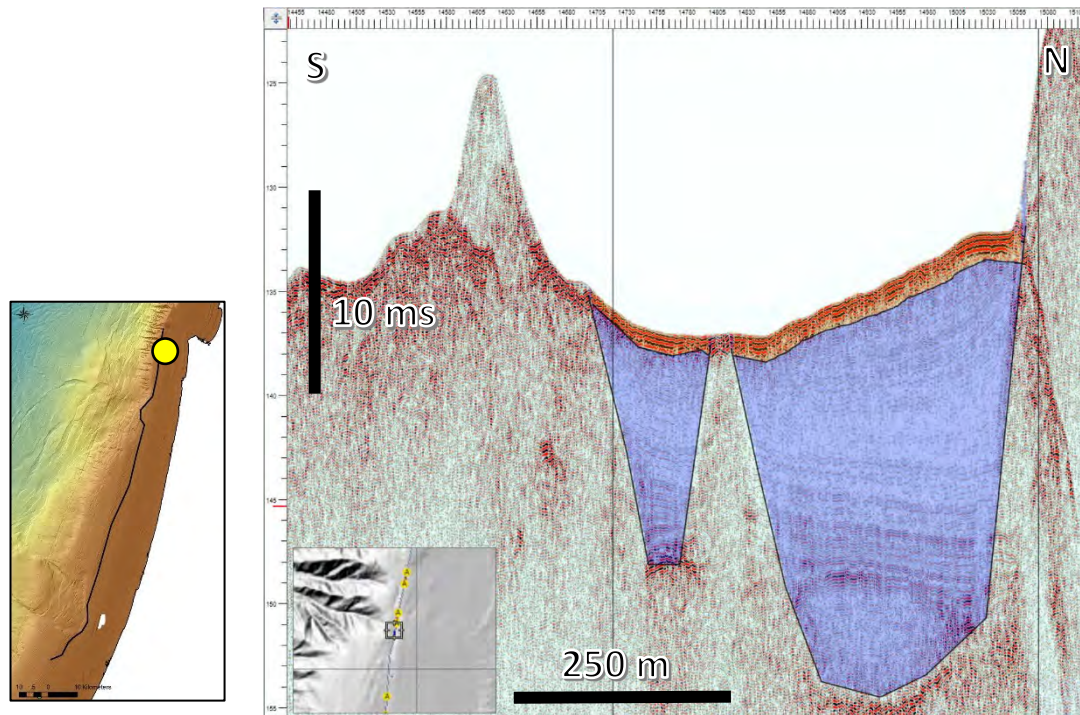
איור 13: דוגמה לפענוח גלישה בתת-הקרקע (צפון, מול דור). כיוון הגלישה הוא לתוך הדף (בניצב לחתך הסייסמי) כך שלא ניתן לפענח את ההשתרעות המרחבית שלה, אלא רק את היחידות המשתתפות. מהחתך קשה לפענח האם מדובר באירוע גלישה שקרה לפני או לאחר השקעת היחידה הסגולה. (היחידה התכלת התחתונה המופיעה באי התאמה מעל היחידה שתחתיה) והשקעה של סדימנט לאחריה, או האם היחידה הסגולה גלשה יחד עם היחידה התכלת. באיור 13 מוצגת אותה הגלישה בפלטת צבעים שונה. עומק המים כ-120 מ'. הסימון על היחידה התכלת מציין תנועה בכיוון אל תוך הדף (בכיוון מערב).



איור 14: דוגמא לגלישה בדרום מול פלמחים, ליד הצלקת המזרחית של גלישת פלמחים. היחידה הסגולה מפוענחת כיחידה שגלישה ויושבת באי התאמה מעל היחידה שמתחתיה ומעליה. מהחתך נראה שהיחידה הירוקה שקעה לאחר מכן. עומק המים הוא כ- 90 מ'. הסימון על היחידה הסגולה מציין תנועה בכיוון אל תוך הדף (בכיוון מערב).



איור 15: דוגמא לראש-קביון קבור בתת-הקרקע. האופק הסגול היושב באי-התאמה ליחידה שמתחתיו מפוענח כחלקו התחתון של הקביון הנמשך מערבה (לתוך הדף). עומק המים כ- 75-90 מ'. חלק החתך המוצג באיור הבא מסומן בשחור.



איור 15: דוגמא לראש-קניון קבור בתת-הקרקע – הגדלת פרט מהאיור הקודם. האופק הסגול היושב באי-התאמה ליחידה שמתחתיו מפוענח כחלקו התחתון של הקניון, שהוא היחידה הסגולה, תנועת הסדימנט בקניון היא מערבה (לתוך הדף). עומק המים כ- 90 מ'.

5. דיון בתוצאות הסקר

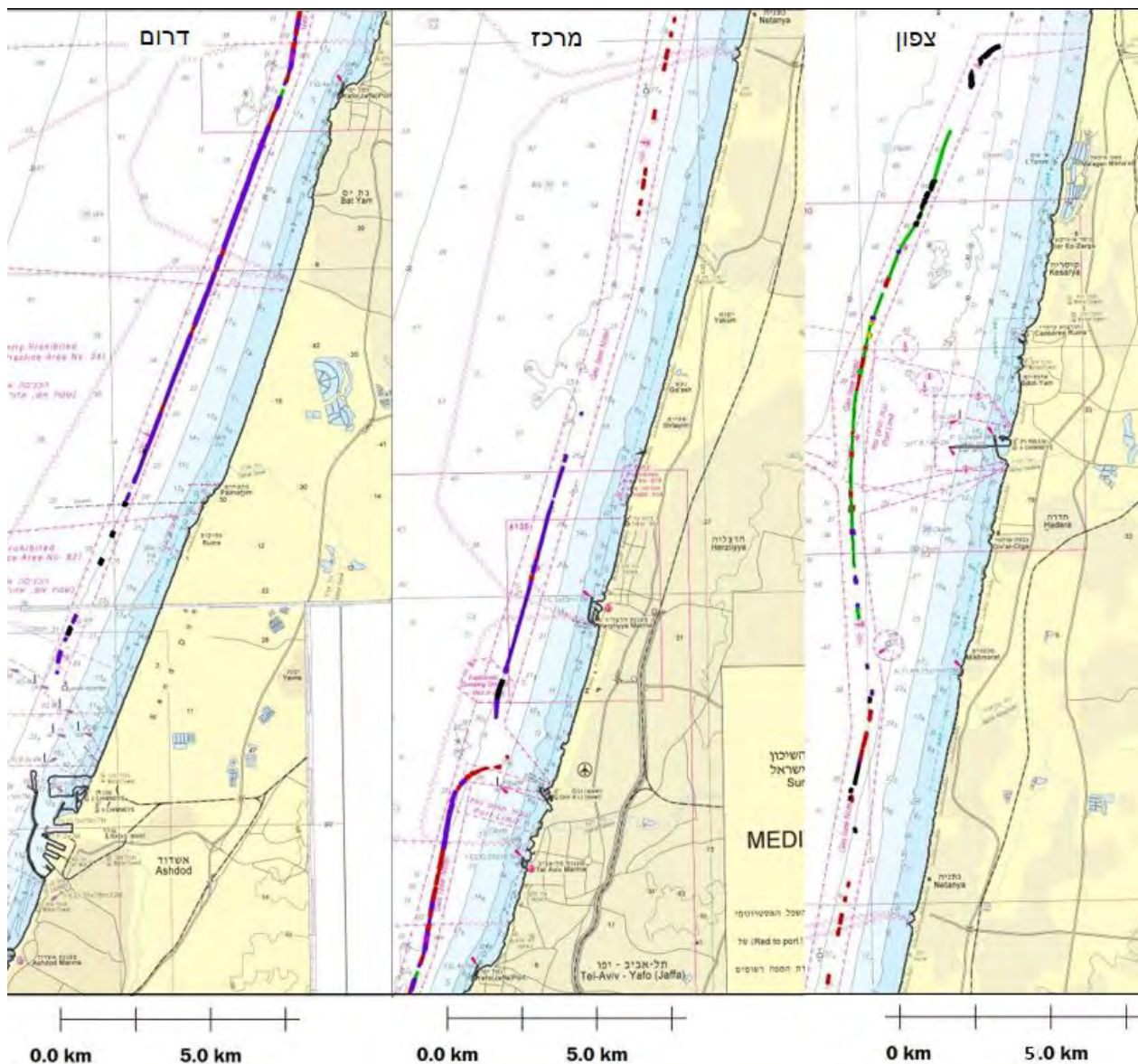
5.1 מצב צינור נתג"ז לאורך החוף (חדרה-אשדוד)

5.1.1 תופעת הבורות לאורך תוואי צינור הגז התגלתה במיפוי הניטור של שלמות המדף בשנת 2019. באחד מחתכי מזרח-מערב שבוצעו מול ת"א התגלו בורות מעל תוואי צינור הגז בעומקי מים של 30 – 40 מטר שלא היו קיימים במיפוי בשנת 2018 (ראה דו"ח חיא"ל H60-2019). המנגנון שהצענו להיווצרות בורות אלו היא קריסה של חומר המילוי בגלל קומפקציה והתנזלות. לדעתנו אחד המנגנונים שיכלו לגרום לתופעות האלו הם שלושת רעידות האדמה החזקות שהתרחשו בין מאי 2018 למאי 2019. מנגנון דומה ליצירת בורות הוצע גם ע"י Salamon et al., 2007. קיט ושות', 2017 הציעו שהגורם להתנזלות הוא הלחץ ההידרוסטטי על הקרקעית שנוצר בסערות גדולות. במיפוי הנוכחי ראינו שתופעת הבורות מעל תוואי צינור הגז היא תופעה רחבה הרבה יותר (כ-25% מאורך הצינור – ראה איור 16) ודינאמית. בורות חדשים נוצרים, חלק מהבורות מתמלא בסדימנטים ונעלם, חלק מעמיק וחלק מהבורות יכול להתפתח לגיאואזרד.

5.1.2 התפלגות מרחבית של הקטגוריות השונות לאורך תוואי הצינור מוצגת בטבלה 3 ובאיור 16. בטבלה 3 ניתן לראות שמעל 50% מהצינור חשוף בצורה זו או אחרת לתהליכים של הסרה והשקעת סדימנטים ובחלק מהמקומות אפשר להגדירו כגיאואזרד. קטגוריה 1 גורמת לאירוזיה בצד הצפוני של כיסוי האבנים. סביר להניח שכמו בקטגוריה 2 היא תתפתח למצב של חשיפת הצינור בעתיד. גם קטגוריה 2 שהיא כ-25% מאורך הצינור בחלק מהמקומות הבורות מעמיקים ויגרמו לקריסה של הכיסוי ובעתיד יתכן שגם לחשיפת הצינור. באיור 15 ניתן לראות שבחלק הצפוני של התוואי הקטגוריה השכיחה היא 2, בחלק המרכזי קטגוריה 1 ובחלק הדרומי קטגוריה 3.

טבלה 3: קטגוריות של מצב תוואי צינור הגז

קטגוריה	תיאור	% כיסוי מכלל הצינור	אורך בק"מ	צבע במפה (איור 15)
1	צינור בולט על הקרקעית או מכוסה באבנים	13%	11.4	אדום
2	צינור בתוך תעלה (חשוף או מכוסה בסדימנטים)	14%	12.3	ירוק
3	אזור בורות מעל ובסמוך לתוואי הצינור	25%	21.7	כחול
4	תוואי הצינור בסמוך ל"הפרעה" מורפולוגית	5%	4.6	שחור
5	תוואי הצינור נחצה ע"י בבלי תקשורת	---	---	★ צהוב
6	מכשולים "manmade" על התוואי כגון: סירה טבועה, תחמושת, ועוד.	---	---	★ אדום
7	צינור קבור – לא ניתן להבחין בו על פני השטח	43%	38	

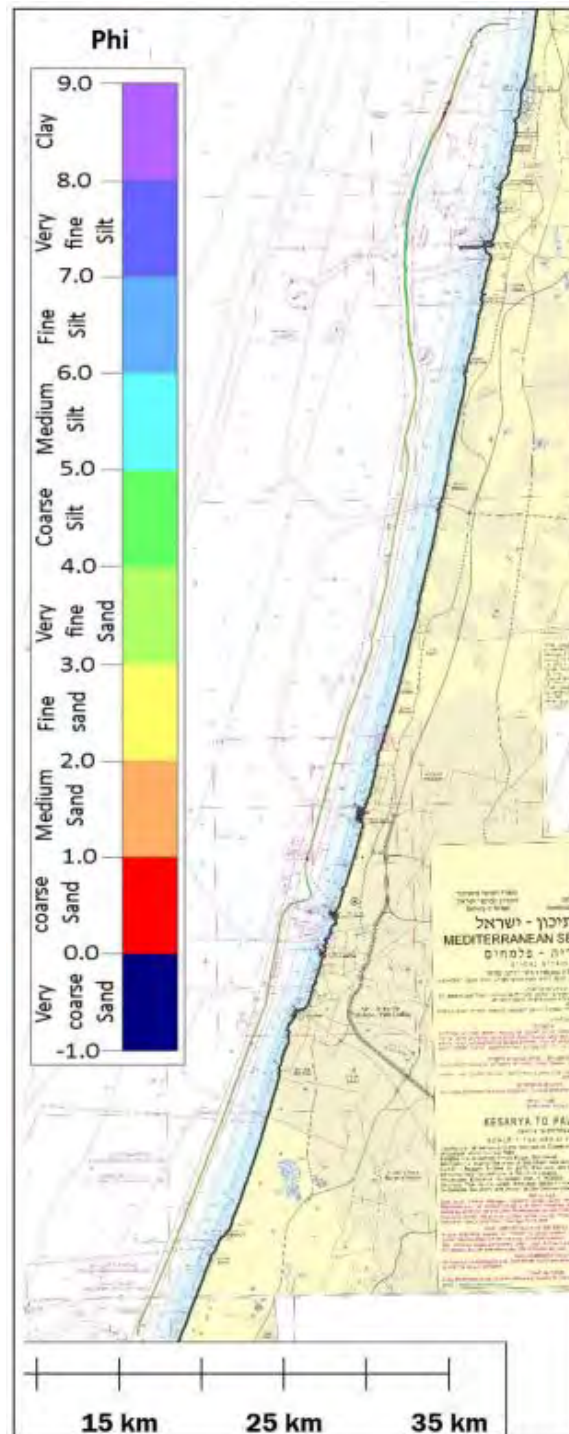


איור 16: התפלגות מרחבית של הקטגוריות השונות לאורך תוואי הצינור. בגלל קט"מ התצוגה קטגוריות 5 ו-6 לא מופיעות במפה

5.1.3 התפלגות סוגי הכיסוי הסדימנטרי לאורך תוואי צינור הגז פוענחה מנתוני עוצמות ההחזר האקוסטי (backscatter) המתקבלת במערכת המולטיבים. הקלסיפיקציה של סוגי הקרקעית כפונקציה של גדלי גרגר (ערכי phi) היא כלי בעל חשיבות רבה במחקרים הנעשים כיום בעולם. ששת שנות הניטור (2017-2022) שכללו מיפוי חוזר של עוצמות ההחזרה ודיגום סדימנטים אפשרו כיוול מדויק של עוצמות ההחזרה מול פיענוח דגימות קרקע. ובבנה מאגר מידע של "חתימות" אקוסטיות (ערכי phi) שמאפשר כבר היום פיענוח של סוגי תכסית ברזולוציה טובה יותר מ-Phi1. תוצאות המיפוי מוצגות בטבלה 4 ובאיור 17 ובהם ניתן לראות ש-76% מתוואי הצינור שמופה מורכב מחול דק גרגר מאוד (Phi 3-4), כאשר סילט גס כ- 17.47% (Phi 4-5) וחול דק גרגר כ- 14.24% (Phi 2-3).

טבלה 4: התפלגות גודלי הגרגר ב-% לאורך תוואי צינור הגז

גודלי גרגר	ערכי Phi	%
Very coarse sand	-1 to 0	0.96
Coarse sand	0 to 1	1.27
Medium sand	1 to 2	3.11
Fine sand	2 to 3	14.24
Very find sand	3 to 4	76.0
Coarse silt	4 to 5	17.47
Medium silt	5 to 6	3.86
Fine silt	6 to 7	0.46
Very fine silt	7 to 8	0.06



איור 17: התפלגות מרחבית של גודלי גרג לאורך תוואי הצינור.

5.1.4 השוואת השינויים בעומק הקרקעית ובמורפולוגיה בשני אזורי העניין לאורך חתך מזרח-מערב (T2) בדרום מפרץ חיפה מצביעים על שינויים של השקעה והסרה בסדר גודל של עד 30 ס"מ בשנה האחרונה. השוואת השינויים (2018-2022) באזורי העניין בחתך T4 מול נחשולים מצביעה על הסרה של עד 50 ס"מ בעומקי מים של 35.5-38 מטר. לאומת זאת בחתך T12 דרומית למרינה אשדוד השינויים שנמדדו באזור העניין ב-4 שנים האחרונות היו בגבול רזולוציית המיפוי (10 ס"מ). השוואת גריד השינויים בשני החתכים (רזולוציה של 1 מטר, כ־1.8 מיליון ערכים) מעומקי מים 10-100 מטר מוצגת בטבלה 5. בטבלה ניתן לראות שערכי המינימום והמקסימום, טווח השינויים והממוצע (התוצאות ניתנות במטרים) גדולים יותר בחתך

הדרומי מאשר בצפוני עובדה שמחזקת את הידע הקיים שגודל השינויים המתרחשים לאורך השנים פוחת מדרום לצפון. חשוב לציין שבהשוואה של שני החתכים הללו ממוצע השינויים גדול מדיוק המיפוי (עד 10 ס"מ) .

טבלה 5: סטטיסטיקה של השינויים בעומק לקרקעית במטרים בחתכים 4 ו-12 בין השנים 2018-2022

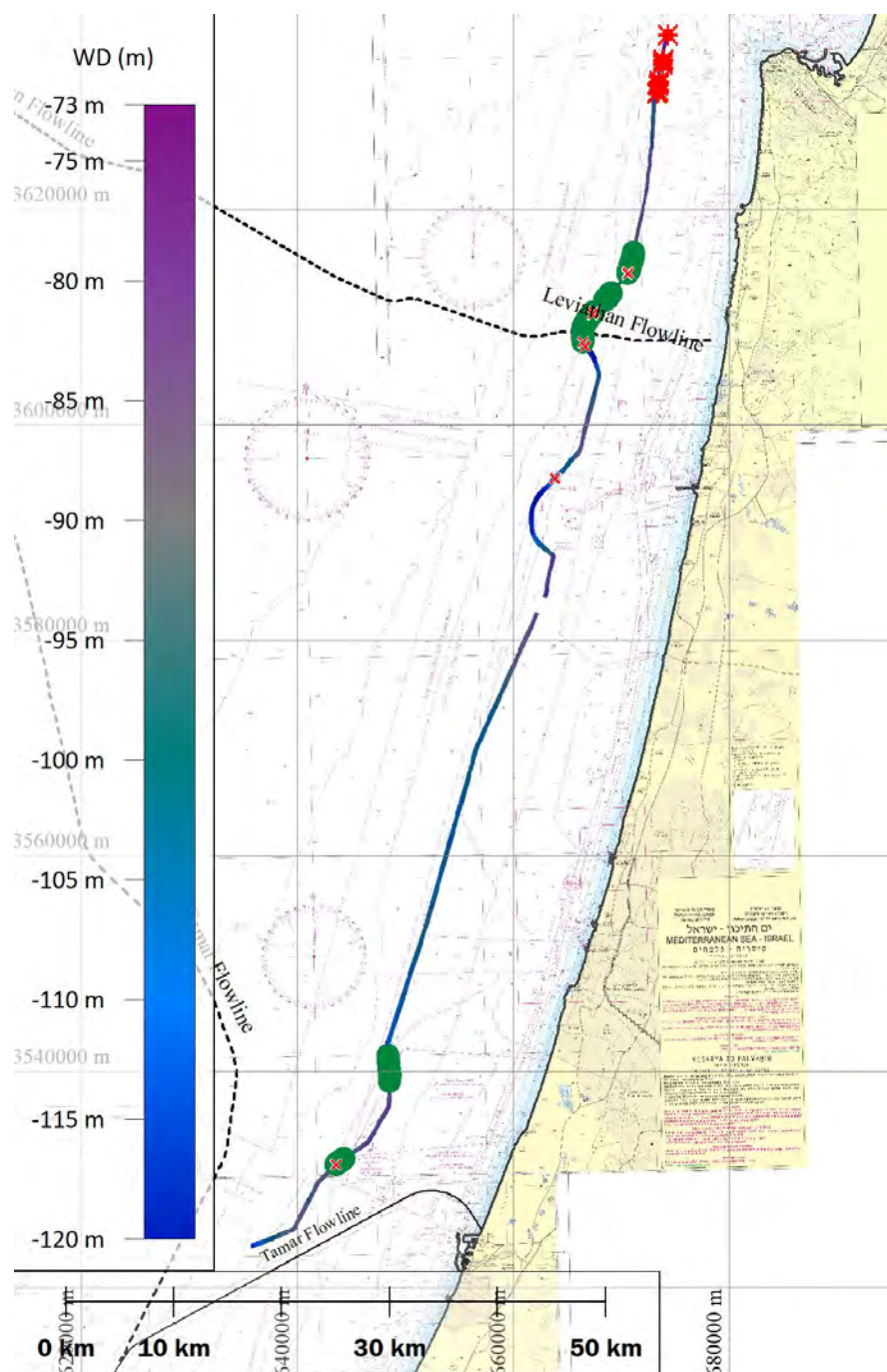
MB 2022- MB 2018	L-4	L-12
Number of values	1812480	2428506
Minimum	-0.15	-0.2
Maximum	0.5	0.6
Range	0.65	0.8
Mean	0.157	0.187
Median	0.15	0.16
Standard error	0.0000618	0.000084
Variance	0.00692	0.0171
Average deviation	0.0592	0.104
Standard deviation	0.0832	0.131

5.2 דיון בנושא ממצאי קצה מדף היבשת בדגש לתופעות גאווהזארד

שלוש תופעות עיקריות נצפו באזור קצה מדף היבשת עם הקשר לגאווהזארד: גלישות, העתקים וראשי קניונים (איור 18). חלק מן ההעתקים מופיע באסוציאציה לגלישות, בצורת העתקי שוליים של מבני הגלישה, בצלקת הגלישה או בסמוך לה, דוגמת איור 12).

בחלק מן הגלישות ניתן להבחין בשתיים או יותר יחידות מונחות באי התאמה זו על זו (איור 13). בחלק מהחתכים ניתן להבחין באירוע גלישה קדום ואז השקעה של סדימנט מעליו (למשל בדרום, פלמחים, איור 14) ובחלק מהחתכים לא ברור האם אירוע הגלישה כולל גם יחידות צעירות יותר (למשל איור 13 בצפון מול דור). מן הדוגמאות שנצפו יתכן שניתן להסיק כי הפעילות על הגלישות בצפון היא צעירה יותר מאשר על הגלישות בדרום, אך יתכן שזה מקרי ונדרשים מקרי בוחן נוספים. בצפון הארץ מופו מספר ראשי קניונים העלולים להוות סיכון לתשתיות מכיוון שיש לאורכם תנועה של סדימנט בכיוון מערב במורד הקניון (איור 15).

מתוצאות הסקר הנוכחי שלא כלל תיארוך של השכבות הסייסמיות, לא נקבעו הערכות זמן על גיל המבנים או על הפעילות האחרונה שהתרחשה עליהם. חלקם של ההעתקים שפוענחו נגמר בחלקם העליון בשכבות שאינן מוסטות וחלקם מגיע עד פני הקרקעית (לדוגמה איור 12) מכאן ניתן להעריך שהייתה עליהם פעילות באלפי השנים האחרונות, אך נדרשת חקירה נוספת כולל תיארוך השכבות המוסטות (למשל על ידי דגימה בפיסטון קורים) לצורך תיארוך ההעתקה. הדבר נכון גם לגבי תיארוך יחידות הגלישות שפוענחו.



איור 18: התפלגות מרחבית של שלוש תופעות עיקריות שנצפו באזור קצה מדף היבשת מראש כרמל עד אשדוד עם הקשר לגיאואזארד: גלישות (סימון ירוק), העתקים (כובביות אדומות) וראשי קניונים (צלב אדום).

5.3 סדימנטולוגיה – תוצאות ודין

5.3.1 מדידות 2022.

בהפלגה בין ה 9 וה 11 במאי 2022 נדגמו סדימנטים מתחנות לאורך החתכים T4 ו T12 באמצעות BOX CORER. מיקומם המרחבי של התחנות, מרחקן מקו החוף וגובה עמודת הסדימנט שנדגמה (טווח בס"מ) מוצגים בטבלה 2. באיור 19 מוצגים יסודות עיקריים (Si, Al, Ca) והיחסים ביניהם בסדימנט בתחנות שבחתכים 4 ו 12 שנדגמו במאי 2022. כבעבר, ובהתאמה להתפלגות גדלי הגרגר ישנה עליה ביחסי ביחסי ה Ca/Al וה Si/Al מעומק המדף לכיוון החוף ובעמקי מים של 40-90 מ' ניתן לראות גם מגמת ירידה ביחסי ה Ca/Al וה Si/Al עם העומק בתוך ליבות הסדימנט (להוציא עליה

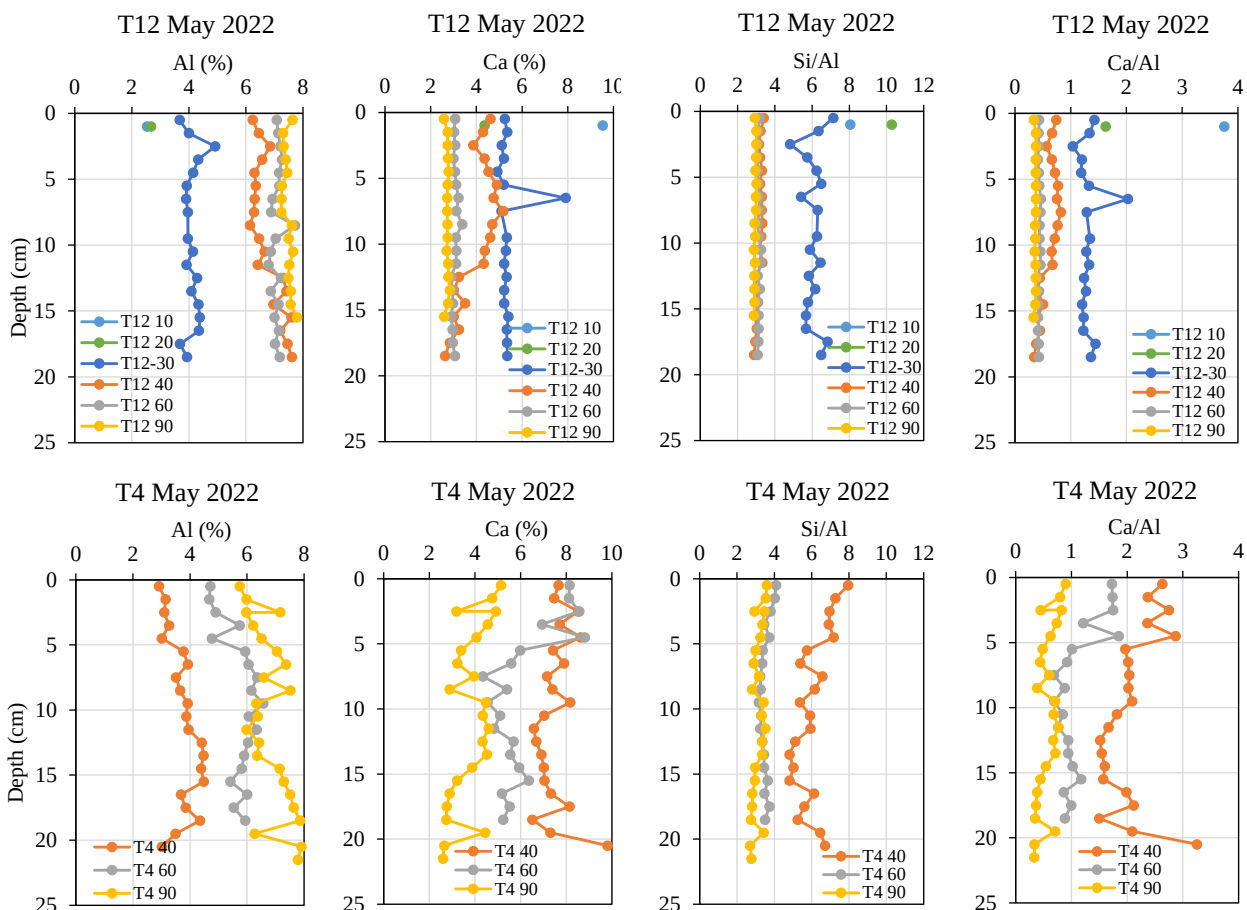
ביחסים אלו בעומק של כ 20 ס"מ בתחנה 40-T12, כנראה כתוצאה משכבה עשירה בשיירים קרבוניים ביוגניים). עליה זו מהמדף לכיוון החוף ולתוך הסדימנט מבטאת את עליית הפרקציה החולית, הקוורצית והביוגנית ביחס לפרקציה הסילטית שבה יותר מינרלים עשירים באלומיניום (Goldsmith et al., 2001; Sandler and Herut, 2000).

תחנות מחתכים T4 ו T12 נבדקו גם לפני 4 שנים, במאי 2018. תוצאות אנליזות גדלי הגרגר בקטגוריות חרסית (>4 מיקרון), סילט (4-63 מיקרון) וחול (63-2000 מיקרון) לסדימנטים מהתחנות בחתך T4 ו T12 ממאי 2022 וממאי 2018 מוצגות באיור A-20 ו B-20 בהתאמה. תוצאות אנליזות גדלי הגרגר מחתך T13 שנמדדו במאי 2021 ובמאי 2017 מוצגים באיור C-20. כמו בליבות הסדימנט שנלקחו בעבר, גם בדיגום זה מוצגת מגמה כללית של ירידה בריכוזי החול עם העומק.

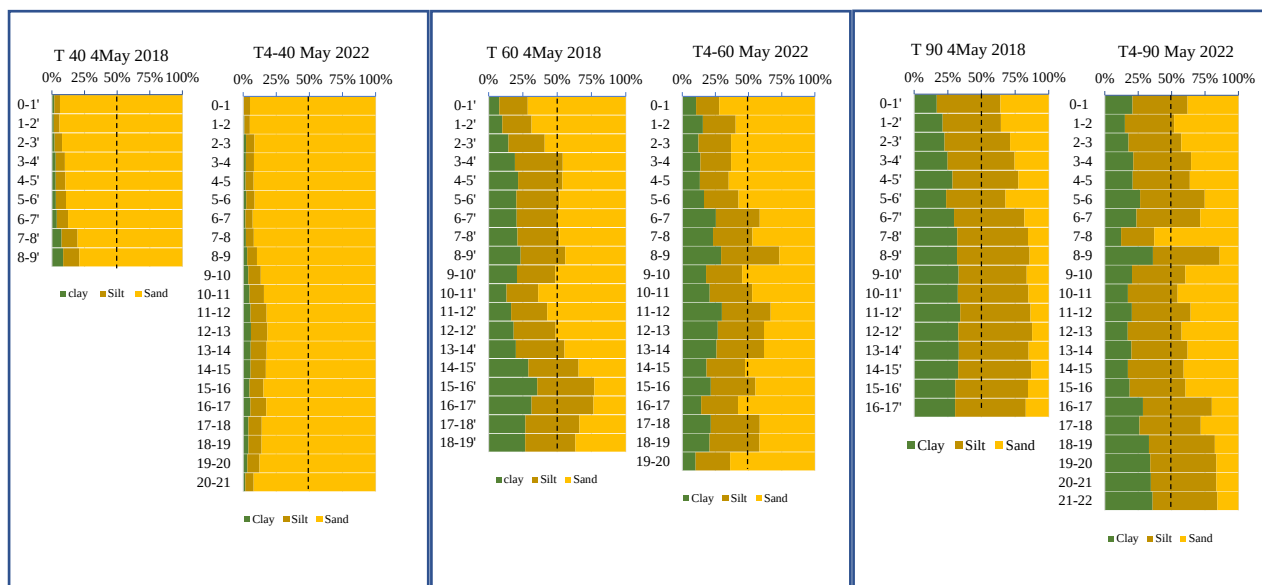
תופעה ששויכה להפחתה דרמטית באספקת חומר דק גרגר (>63 מיקרון) משפך הנילוס לאחר הקמתו של סכר Aswan הגבוהה באמצע שנות השישים של המאה הקודמת (Almogi-Labin et al., 2009; Kalman et al., 2022), וייתכן שגם להגברה בהסעת חול מדלטת הנילוס בשל כך.

התוצאות מורות, כי ביחס לליבות סדימנט שנדגמו 4 שנים מוקדם יותר, בשלושת החתכים, הייתה התגססות נוספת של השכבה הסמוכה לפני השטח והעמקתה בתחנות שבועומק 90 מ'. ההבדלים על פני התקופה שבין הדיגומים בתחנות מעומק 40 (איור A-20, B-20 ו C-20) ו 60 מ' אינם חד משמעיים כשלא היה ניתן לבחון שינויים בתחנה 40-T12 בגלל אנומליה מקומית בגדלי הגרגר בין עומק 4 ל 6 ס"מ בליבת הסדימנט שנדגמה ב 2018 (ראו את גרף גדל הגרגר החציוני באיור C-20). ממצאים אלו נראה שהשפעת אובדן ההזרמה של סדימנטים דקים מהנילוס על הרכב הקרקעית היא תהליך שטרם הסתיים ושבשנים האחרונות מתבטא בעיקר בשינויים בקצה המדף.

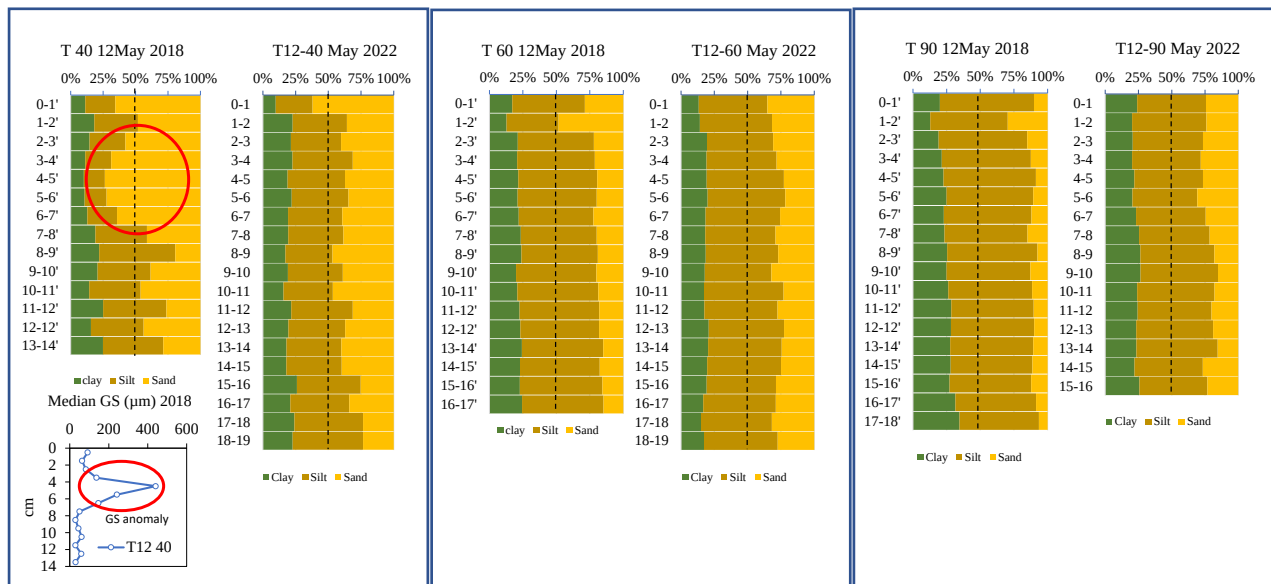
התפרוסת על מדף היבשת של גדל הגרגר החציוני בפני השטח (0-2 ס"מ) ביחס לעומק ולמרחק מהחוף, ב 6 מחתכי הניטור מוצגת באיור A-21 ו B-21 בהתאמה. כצפוי, גדלי הגרגר קטנים עם העומק והמרחק מהחוף אך מקו הרגרסיה (האקספוננציאלי) באיורים ניתן לראות התאמה גבוהה יותר בין גדל הגרגר החציוני למרחק מהחוף ($R^2 \sim 0.91$) מאשר לעומק הקרקעית ($R^2 \sim 0.77$). ממצא זה ממחיש את חשיבות מרחק ההסעה של חומר דק גרגר שהורחק (או שנכנס כרחופת מנחלים) על תפרוסת גדלי הגרגר על המדף ואת כך, שבהתעלם מהשפעתם של רכסים טבועים, המרחק מהחוף הינו מנבא טוב יותר של גדלי הגרגר בסדימנטים מאשר עומק הקרקעית. מקו הרגרסיה באיור B-21 ניתן לחלץ את המרחק מהחוף (כ 8000 מ') של המעבר מסדימנט שבו יותר מ 50% הינו חול לכזה המכיל יותר מ 50% של סילט וחרסית (קו שחור מקוקו ב B-21). קשה יותר לציין עומק או טווח עומקים צר בו מתרחש מעבר זה. הסיבה לכך היא הצרות המדף כלפי צפון ושינויים בשיפועי הקרקעית הגורמים לכך ישנם הבדלים של אלפי מטרים במרחקים מהחוף של אותם עומקים בין צפון ודרום מדף היבשת של ישראל. הבדלים אלו בולטים במיוחד בעמקי קרקעית של 40 מ' ויותר (איורים C-21 ו D-21).



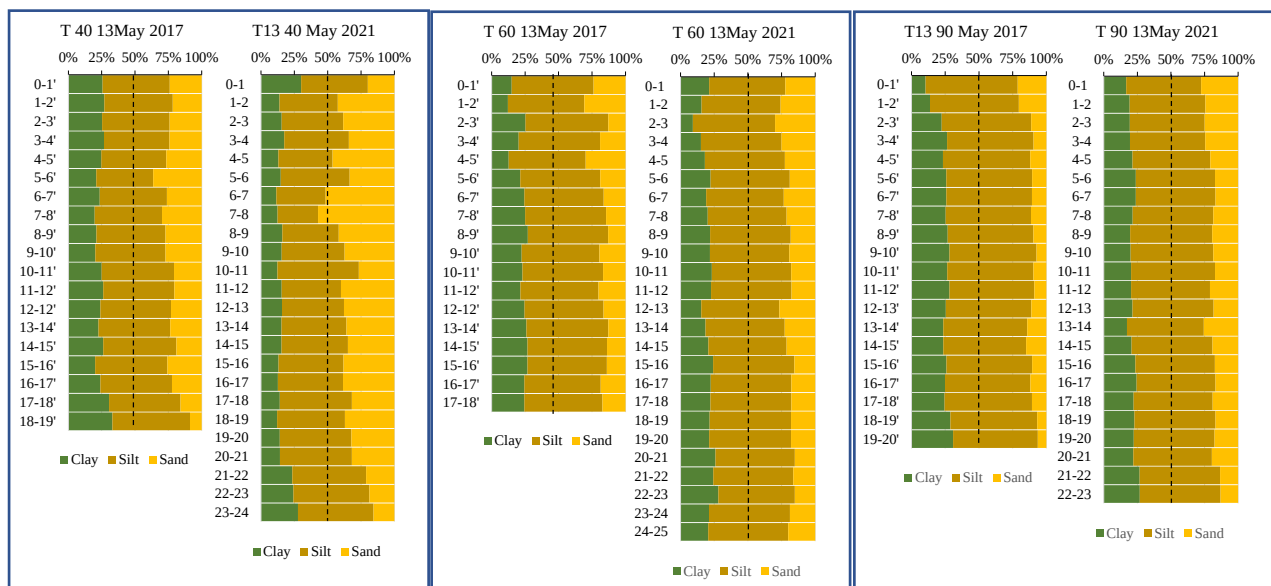
איור 19: Si, Al, Ca והיחסים ביניהם בסדימנטים מהתחנות שנדגמו בחתכים T4 ו T12 במאי 2022.



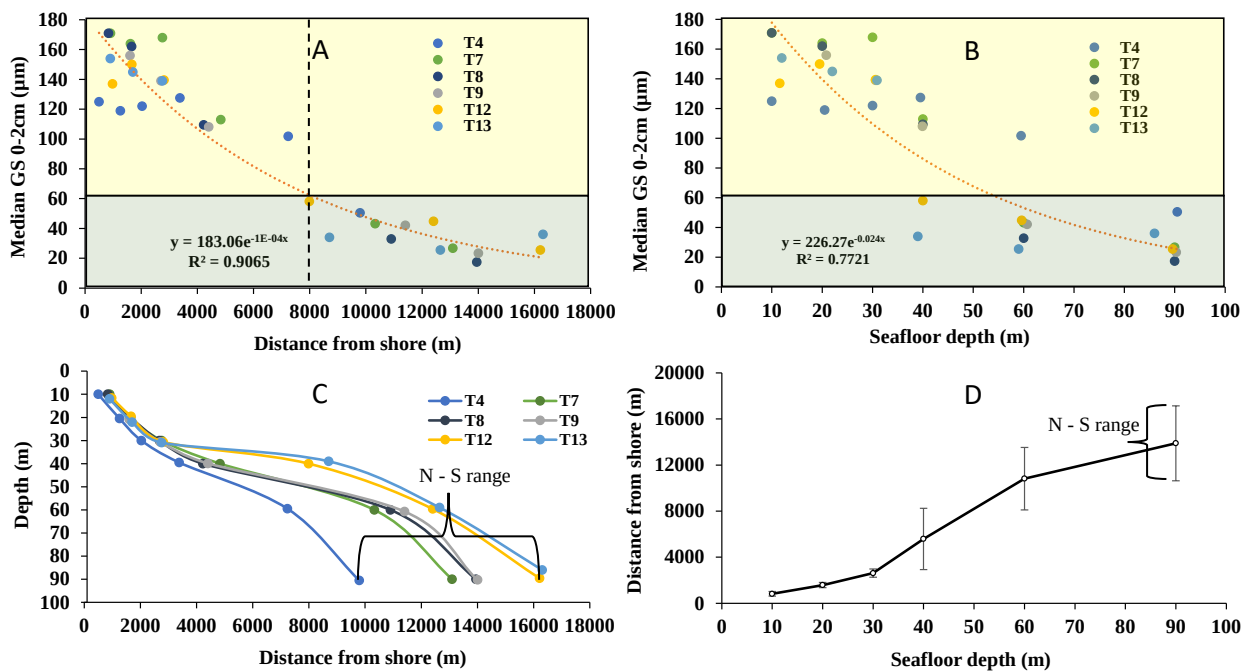
איור 20-A: השוואה ביחסי חול (63-2000 מיקרון), סילט (4-63 מיקרון) וחרסית (>4 מיקרון) בגלעיני סדימנט שנדגמו בחתך T4 בעמקי מים של 40, 60 ו 90 מ' בשנת 2018 ובשנת 2022.



איור B-20: השוואה ביחסי חול (2000-63 מיקרון), סילט (4-63 מיקרון) וחרסית (>4 מיקרון) בגלעיני סדימנט שנדגמו בחתך T12 בעמקי מים של 40, 60 ו 90 מ' בשנת 2018 ובשנת 2022. פרופיל גודל הגרגר החציוני בתחתית הפאנל השמאלי המראה שכבת חול גסה יותר (מוקפת בעיגול אדום) בין 4 ל 6 ס"מ בגלעין שנדגם בתחנה T12-40 במאי 2018.



איור C-20: השוואה ביחסי חול (2000-63 מיקרון), סילט (4-63 מיקרון) וחרסית (>4 מיקרון) בגלעיני סדימנט שנדגמו בחתך T13 בעמקי מים של 40, 60 ו 90 מ' בשנת 2017 ובשנת 2021.



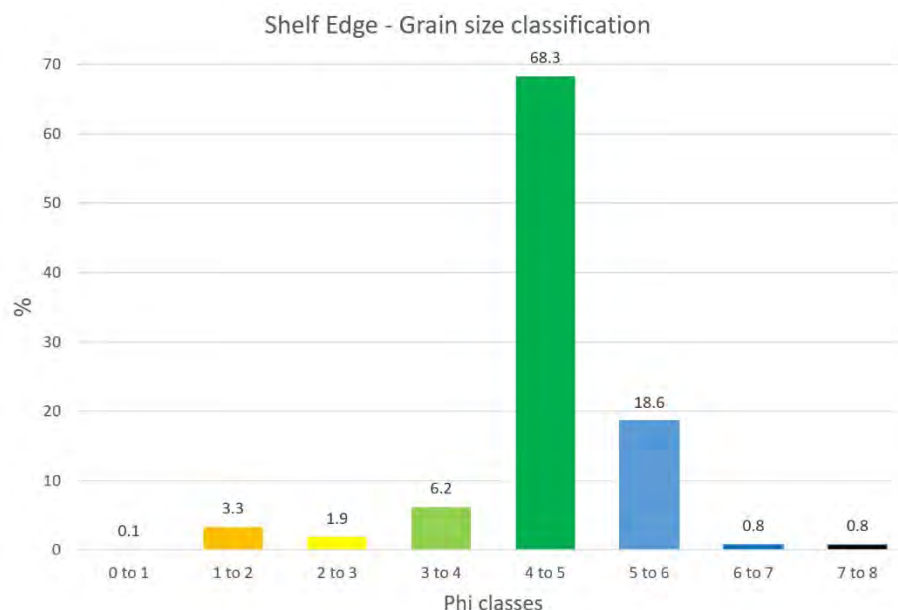
איור 21: גדל הגרגר החציוני ומבנה מדף היבשת הישראלי. תפרוסת על מדף היבשת של גדל הגרגר החציוני בפני השטח (0-2 ס"מ) ביחס לעומק הקרקעית (A) וביחס למרחק מקו החוף (B) ב 6 מחתכי הניטור כאשר T4 הוא הצפוני ביותר (מול עתלית) ו T13 הדרומי ביותר (מול אשקלון). קווי רגרסיה אקספוננציאליים בפאנלים A ו B מסומנים בבתום מקוקו שמתחתם נוסחתם והמקדם R^2 . השטחים הצהובים מסמנים גדלי גרגר חציוני (ב % נפחי) חוליים והירוקים גדלי גרגר חציוני דק (> 63 מיקרון). הקו האנכי השחור מקוקו בפנל B, חוצה את קו הרגרסיה במרחק מהחוף (כ 8000 מ') בו משתנה הרכב סדימנט פני השטח מ 50% או יותר חוליים (< 63 מיקרון) ל 50% או יותר חלקיקים דקי גרגר (סילט וחרסית). בפנל C מראה היחס בין עומק התחנות למרחק מהחוף. מסומן גם ההפרש במרחק מהחוף של התחנות שבועומק 90 מ' בין החתך הצפוני ביותר (T4) לדרומי ביותר (T13) (כ 6.5 ק"מ) T. בפנל D מוצג המרחק הממוצע של כלל הנקודות בששת החתכים מהחוף על פי עמקן ומוצגים ההפרשים בין מרחקי התחנות המקבילות בצפון ובדרום המדף (כמו בפנל C).

5.3.2 התפלגות גודלי הגרגר בקצה המדף ע"ס ערכי Phi

התפלגות הכיסוי הסדימנטרי בקצה מדף היבשת מתבססת על קלסיפיקציה של סוגי הקרקעית כפונקציה של גדלי גרגר (ערכי phi) על סמך עוצמות ההחזר האקוסטי (backscatter) מקו המולטיבים שעשינו. תוצאות הקלסיפיקציה מוצגות בטבלה 6 ובאיור 19 ובהם ניתן לראות ש-68.3% מקו קצה המדף שמופה מורכב מסילט גס (Phi 4-5), מסילט עם גודל גרגר בינוני כ- 18.6% (Phi 5-6) ומחול דק גרגר 6.2% (Phi 2-3).

טבלה 6: התפלגות גודלי הגרגר ב-% לאורך קצה מדף היבשת מאשדוד עד ראש כרמל

גודלי גרגר	ערכי Phi	%
Very coarse sand	-1 to 0	0
Coarse sand	0 to 1	0.1
Medium sand	1 to 2	3.3
Fine sand	2 to 3	1.9
Very find sand	3 to 4	6.2
Coarse silt	4 to 5	68.3
Medium silt	5 to 6	18.6
Fine silt	6 to 7	0.8
Very fine silt	7 to 8	0.8



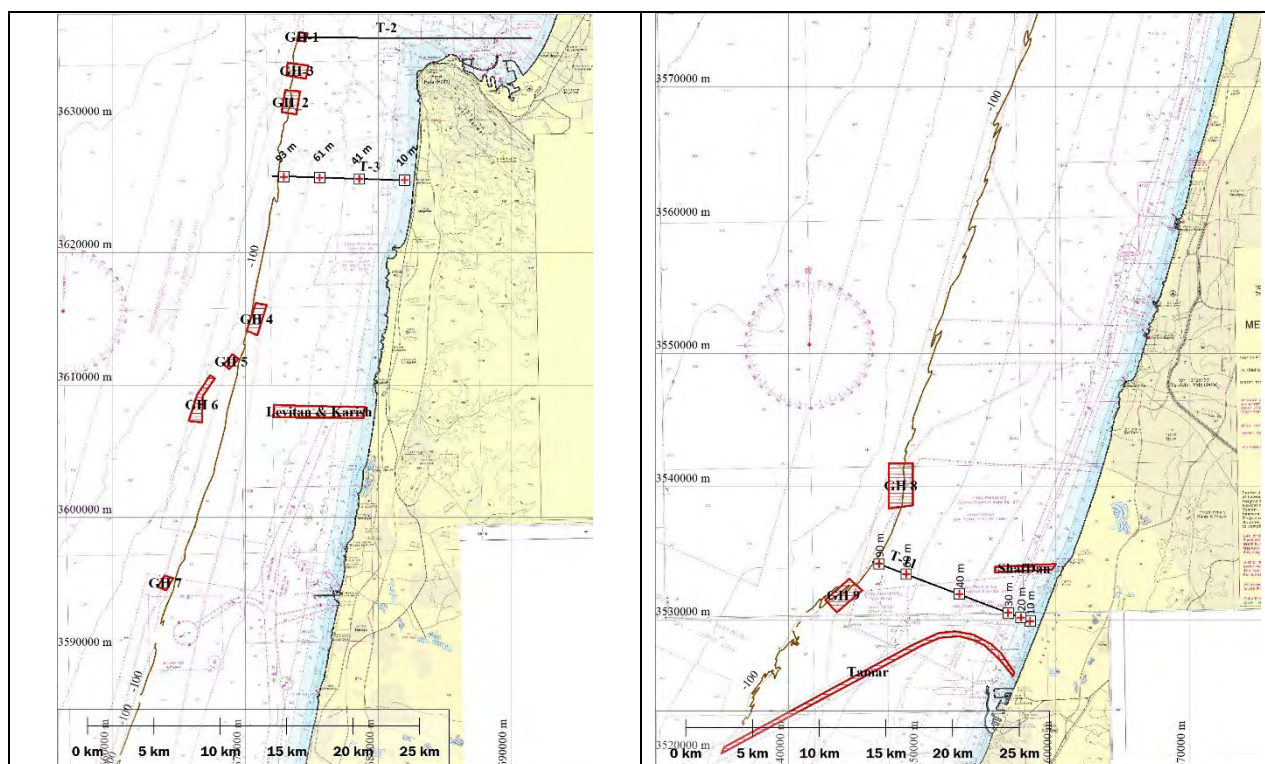
איור 22: התפלגות גודל הגרגר בקצה מדף היבשת (אשדוד-ראש כרמל) ע"ס פיענוח של ערכי Phi מ

6. תכנית מוצעת לניטור 2023

לאור הפעילות הסייסמית החזקה שהתרחשה בחודש פברואר 2023 באזורנו לדעתנו גם השנה הניטור צריך לשים דגש רב על תופעות גיאוהזארד לאורך תשתיות ימיות ובקצה המדף. תכנית הניטור למאי 2023 מוצגת באיור 23. התוכנית תיישם את הלקחים שהפקנו בניטור של מאי 2022 ותכלול מספר סעיפים מתוך הרשימה בהמשך שיוגדרו בעדיפות ע"י המשרד להגנת הסביבה ומשרד האנרגיה:

- ניטור שנתי בחתך של דרום מפרץ חיפה. (T-2)
- ניטור שנתי הכולל גם דיגומי סדימנטים חוזרים ומיפוי עד עומק מים 100 מ' של שני קווים T3 (חזרה אחרי 6 שנים) ו-T11 (חזרה אחרי 4 שנים)
- ניטור פרודור (רוחב ~ 400 מטר) של תשתיות הגז לאסדת לויתן ולקידוח כריש
- ניטור פרודור (רוחב ~ 400 מטר) סביב צינור השפד"ן
- ניטור הצינור המגיע ממרי B לאשדוד מעומקי מים של 10 עד 100 מטר
- מיפוי קצה מדף היבשת שיתבסס על האזורים החשודים שהתגלו בניטור של 2022 (GH1-GH9) ובהם יבוצע מיפוי מפורט בכדי להבין את ההשתרעות המרחבית של המבנים גם בכיוון הדיפ (כיוון המדרון)
- המשך בניית ספרית ערכי PHI שתשולב מהשנה גם צילומי Grab + ROV לכיול נתוני ה-Backscatter המשמש למיפוי סוגי תכסית קרקעית הים (T-3).

לאחר קבלת העדיפויות של המשרדים התוכנית תעודכן כך שלא תחרוג משעות ההפלגה (48 שעות). הסעיף האחרון יבוצע במידה וחי"ל תחליט לממן עד 6 שעות הפלגה נוספות.



איור 23 תכנית המיפוי למאי 2023 (ראה הסבר למעלה). דיגום הקרקעית השוואתי ב-6 עומקים יעשה בחתכים T3 ו-T11.

7. מקורות

- טיבור ג., כץ ת., כנרי מ. ובתר ת. (2018). ניטור לאומי מורחב סקר ראשון בנושא שלמות קרקעית הים. דו"ח חיא"ל H18/2018 עמודים 59.
- טיבור ג., כץ ת., כנרי מ., כתר ת. וגלעדי א. (2019). ניטור ים עמוק 2017-2019, ניטור שלמות הקרקעית/סדימנטולוגיה. דו"ח חיא"ל H13/2019 עמודים 91.
- טיבור ג., כץ ת., כנרי מ. וגלעדי א. (2021). ניטור ים עמוק 2017-2020, ניטור שלמות הקרקעית/סדימנטולוגיה. דו"ח חיא"ל H1/20 עמודים 47.
- טיבור ג., כץ ת., כנרי מ. וגלעדי א. (2022). ניטור ים עמוק 2017-2021, ניטור שלמות הקרקעית/סדימנטולוגיה. דו"ח חיא"ל H13/2022 עמודים 33.
- קיט א., צביאלי ד. וסופר ר. (2013). תופעות מורפולוגיות ותהליכים מורפודינמיים בסביבת קווי תשתית תת-ימיים, הפרוסים על קרקעית חופי הים התיכון של ישראל. דו"ח ב"ס להנדסה מכאנית אוני' ת"א ES-55-2012 עמודים 42.

- Almogi-Labin, A., Herut, B., Sandler, A., Gelman, F., 2009. Rapid changes along the Israeli Mediterranean coast following the damming of the Nile and their influence on the Israeli inner shelf (In Hebrew).
- Goldsmith, S.L., Krom, M.D., Sandler, A., Herut, B., 2001. Spatial trends in the chemical composition of sediments on the continental shelf and slope off the Mediterranean coast of Israel. Cont. Shelf Res. 21, 1879–1900. [https://doi.org/10.1016/S0278-4343\(01\)00027-9](https://doi.org/10.1016/S0278-4343(01)00027-9)
- Kalman, A., Goodman-tchernov, B., Hill, P., Everhardt, C., Mathalon, A., Katz, T., 2022. Anthropogenic changes in waterways produce "drought-like" layers in shelf sediments. Elem Sci Anth 2030, 1–19.
- Salamon, A., Zviely, D. and Na'aman, I., 2007. Zones of required investigation for liquefaction hazard in the western Zevulun Plain, Israel. Isr. J. Earth-Sci. 55:141-157.
- Sandler, A., Herut, B., 2000. Composition of clays along the continental shelf off Israel: Contribution of the Nile versus local sources. Mar. Geol. 167, 339–354. [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(00\)00021-9](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(00)00021-9)