



המכון הגיאולוגי
משרד האנרגיה

התמוטטות וסחיפת המצוק החופי בתאי שטח 1-39 בין דצמבר 2021 ויולי 2022

עמית מושקין, נגה רוזן, עודד כץ, און כרובי

מוגש לחברה הממשלתית להגנות מצוקי חוף הים התיכון

ירושלים, ספטמבר 2022

דוח מס' GSI/15/2022

תקציר

דוח זה מציג איתור, מיפוי ואפיון של השינויים בתוואי המצוק החופי (ים התיכון) שהתרחשו בין דצמבר 2021 לבין יולי 2022 (סה"כ כ- 8 חודשים) בתוך 50 תאי השטח של החברה להגנת מצוקי החוף (סה"כ כ- 21.5 ק"מ מצטבר של מצוק). הניתוח נעשה על בסיס השוואה בין שני שריגים טופוגרפיים ברזולוציה של 0.5 מטר/פיקסל, תוצרי גיחות LiDAR מוטס (12/2021) ו LIDAR מרחפן (7/2022). המיפוי נערך באופן ידני בעזרת ממ"ג (ARC-GIS) ועבר אימות בשטח במקרים בהם עלה צורך.

בתקופת המחקר (7/2022 – 12/2021) זוהתה פעילות מצוק ברת מיפוי ב 19 מקטעים בלבד מתוך 50 תאי השטח שנבחנו. כ 39 אירועים בדידים של כשל מצוק בנפח כולל של כ- 1,930 מ"ק מופו בכלל תאי השטח. ב- 18 אתרים נערמו טאלוסים על החוף בנפח כולל של כ- 1,050 מ"ק, וב- 13 אתרים התרחשה סחיפה של טאלוסים (תוצרי כשל מצוק מלפני דצמבר 2021) על ידי הגלים בנפח כולל של כ- 3,350 מ"ק. תא שטח 38 (אשקלון צפון) היה הפעיל ביותר בתקופת המחקר הנוכחי כאשר כ 87% מסך גריעת החומר מהמצוק שנמדדה בכלל תאי השטח התרחשה בתא שטח 38 (3,665 מ"ק בתא שטח 38 לעומת כ 4,218 מ"ק בכלל תאי השטח). בהשוואה לשנים קודמות לא זוהתה פעילות מצוק בקצב חריג (גבוה) באף אחד מתאי השטח שנבחנו כולל תא שטח 38.

תוכן העניינים:

עמוד

4	1. הקדמה
4	1.1 אזור העבודה
5	1.2 הגיאולוגיה של המצוק החופי
8	2. שיטות העבודה
12	3. תוצאות
12	3.1 פעילות המצוק בתאי השטח 1-39 בתקופה 7/2022 – 12/2021
13	3.1.1 תא שטח 6 (בית ינאי דרום)
14	3.1.2 תא שטח 8 (כפר נוער נעורים)
15	3.1.3 תא שטח A15 (חוף נתניה סירונית/ארגמן)
16	3.1.4 תא שטח 18 (אפולוניה צפון)
17	3.1.5 תא שטח 38 (אשקלון צפון)
18	4. דיון
18	4.1 נפחים ופעילות המצוק
18	4.2 השוואה בין תאי השטח השונים
19	5. מסקנות
20	6. רשימת מקורות

1. הקדמה

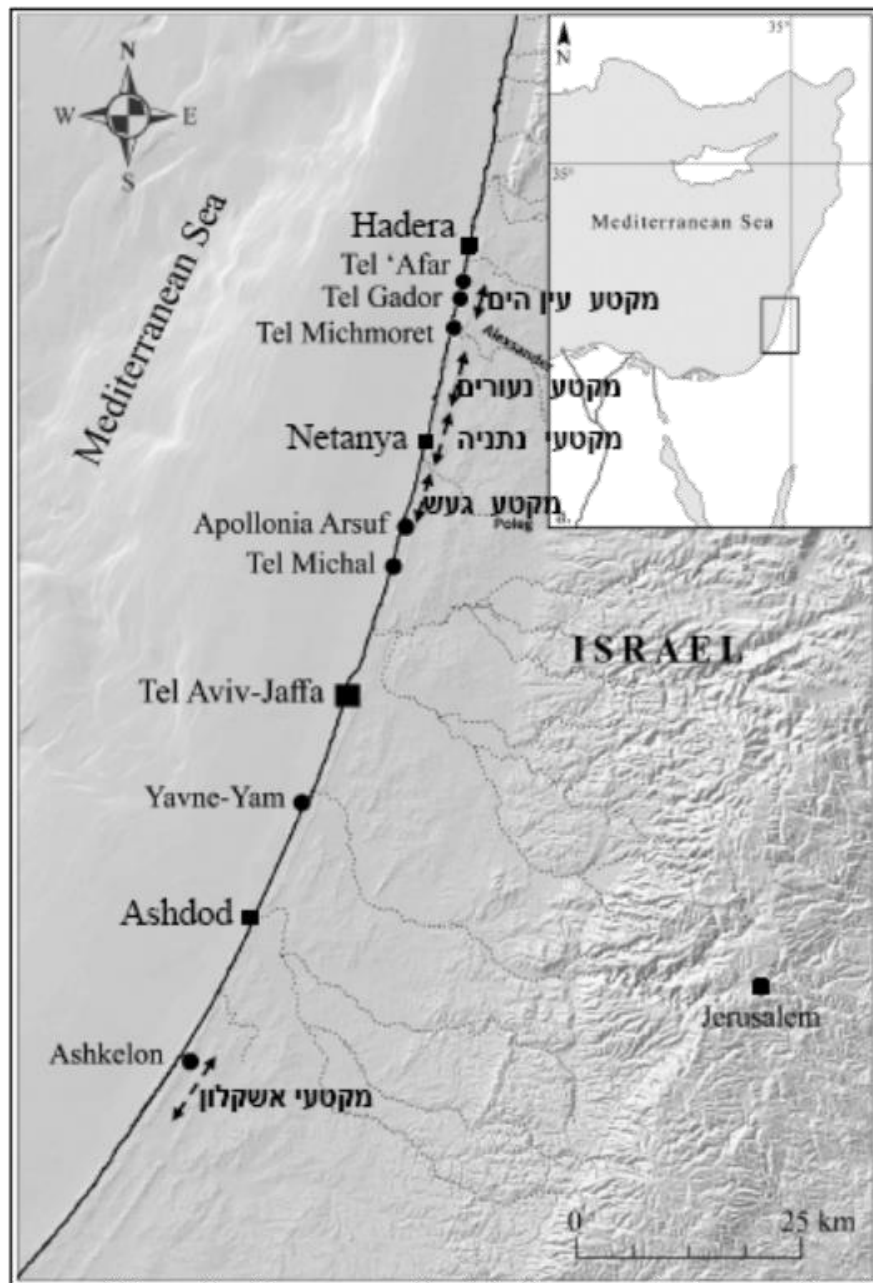
לאורך כ- 50 קילומטר של רצועת החוף הישראלי קיים מצוק חוף המפריד בין אזור חוף הים למרגלותיו, הנתון להשפעת הגלים, לבין מישור החוף מעל, בו מצויים מבנים וממוקמות תשתיות רבות (ניר, 1992). גובה המצוק מגיע עד חמישים מטרים ובסיסו מצוי במרחק של בין מטרים עד עשרות מטרים מזרחה מקו הים. בעקבות פגיעת הגלים החוזרת בבסיס המצוק, מתרחשות מעת לעת התמוטטויות אשר במשך הזמן מסיגות את גג המצוק מזרחה לכיוון היבשה (כץ וחובריו, 2007; כץ וחובריו, 2016; Arkin and Michaeli, 1985; Zvieli et al., 2004; Katz et al., 2013; Mushkin et al., 2016; Barkai et al., 2017; Mushkin et al., 2019). נסיגה זו נחשבת כמאיימת על מבנים ותשתיות הבנויים על גג המצוק.

במסגרת מחקר לגבי התפתחות המצוק החופי וכמעקב אחרי שינויים טבעיים או מלאכותיים בקצבי הנסיגה אנחנו עורכים טיסות מיפוי שנתיות (תוך שימוש ב-LiDAR מוטס), מאז שנת 2011, המאפשרות מיפוי של אירועי כשל המצוק שהתרחשו (למשל, כץ וחוב', 2016, 2017 ו-2018). הדוח הנוכחי מציג איתור, מיפוי ואפיון של השינויים בתוואי המצוק החופי שהתרחשו בין דצמבר 2021 ליולי 2022 (סה"כ כ- 8 חודשים) לאורך 50 תאי השטח של החברה הממשלתית להגנת מצוקי החוף (סה"כ 21.5 ק"מ מצטבר של מצוק, טבלה 1). דוח זה הוא חלק מהמחקר השוטף במכון הגיאולוגי והוא נערך גם כחלק מהפעילות לאורך החופים של החברה הממשלתית להגנות מצוקי חוף הים התיכון ובהזמנתה.

1.1 אזור העבודה

המצוק החופי של ישראל הוא למעשה חזית גידוד, תוצר של פעולת הגלים, לאורך בסיסם של רכסי חוף מאורכים (פרת ואלמגור, 1996; אלמגור ופרת, 2016 ומקורות נוספים שם), הבנויים בעיקר מסלעי כורכר (גרגרי חול מנהר הנילוס המלוכדים על ידי חומר גירי) ואופקים של קרקעות קבורות מסוף תקופת הקרח האחרונה (כ- 60,000 שנים לפני ההווה) ועד אמצע תקופת ההולוקן, כ- 5,000 שנה לפני ההווה (Porat et al., 2004; al., 2001, 2002; Frenchen et al., 2001; Engelmann et al., 2001; Gvirtzman et al., 1984; Yaalon, 1967).

הגורם העיקרי ליצירת תוואי הנוף של המצוק החופי ולהמשך התפתחותו הוא גלי הים. במהלך תקופת הקרח האחרונה פני הים היו נמוכים מהיום, וקו החוף (המפגש בין הים ורכסי הכורכר) היה 7 עד 10 קילומטרים מערבית למיקום קו החוף הנוכחי (במקום בו עומק המים כיום הינו כ- 100 מטר). עם המעבר לתקופה הבין-קרחונית הנוכחית פני הים עלו והתייצבו בגובהם הנוכחי לפני כ- 4,000 שנה (Sivan et al., 2001). רק בהגיע פני הים למיקום זה, החל המצוק החופי הנוכחי להיווצר, ולפיכך גילו המרבי של המצוק הוא כ- 4,000 שנה. מצוקי חוף נוספים, כיום טבועים, שנוצרו מול מפלסי ים נמוכים יותר בזמן המעבר לתקופה הבינקרחונית קיימים מערבית למצוק החוף הנוכחי (Goodman-Tchernov and Katz, 2016).



איור 1. אזור העבודה לאורך חוף הים התיכון. מקטעי המצוק החופי לאורכם התבצעה העבודה מסומנים בקו מקווקוו. מצוק השרון הוא חלק המצוק החופי הנמשך מחלקו הדרומי של מקטע געש עד חלקו הצפוני של מקטע עין הים.

1.2 הגיאולוגיה של המצוק החופי

באזור העבודה בנוי המצוק בעיקר חילופין של כורכר (Eolianite), קרקעות קבורות (Paleosols) וחול מנושב, המונחים באי התאמה זה על גבי זה (ניר, 1988; ניר, 1992; פרת ואלמגור, 1996; זילברמן וחוב', 2006; Harel et al., 2016). להלן מובא תיאור קצר של היחידות הסטרטיגרפיות החשופות באזור העבודה (איור 2), כאשר שמות היחידות הן בעקבות Gvirtzman et al. (1984):

כורכר רמת-גן: מורכב בעיקר מגרגירי קוורץ (40% עד 60%) ושברי-קונכיות בליכוד גירי אשר משנה את דרגתו במידה רבה על פני מרחקים לא קבועים. כורכר רמת-גן מציג ריבוד צולב האופייני לדיונה, ויוצר למינות בעובי עד סנטימטרים שביניהן רבדים דקים וכיסים של חול לא מלוכד. בסיס היחידה אינו חשוף. כלפי מעלה עובר הכורכר בהדרגה לקרקע קבורה (חמרת נחשולים). עובי היחידה כ- 30 מטר, כאשר לגגה הופעה גלית בעלת משרעת של 30 מטר ואורך גל של 100 מטר. גיל היחידה 60,000 שנה לפני ההווה (Porat et al., 2004).

חמרת נחשולים: מורכבת מחול דק, בעיקרו קוורצי (10%-90%) ומיעוט גירי (שברי-קונכיות), וחרסית ממקור לא ימי (10% עד 20%). חמרת נחשולים מונחת על כורכר רמת-גן במעבר הדרגתי, בעוד שהמגע העליון של החמרה עם כורכר דור הוא חד. עובי החמרה מגיע עד מספר מטרים בשקעים של כורכר רמת-גן ובמקומות בהם הכורכר עבה היא דקה ואף חסרה. במקומות חמרת נחשולים מפוצלת לשתיים-שלוש תת-יחידות.

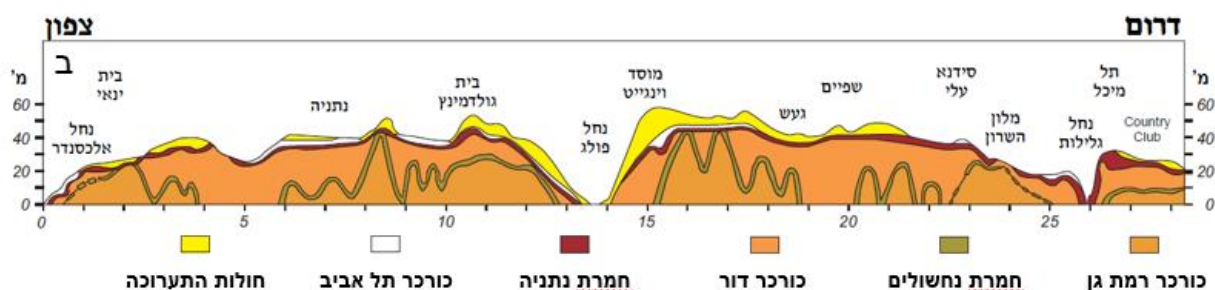
כורכר דור: מורכב בעיקר מגרגירי קוורץ (30%-90%) ושברי-קונכיות בליכוד גירי בדרגה משתנה. כורכר דור מציג ריבוד צולב וכיס חול בלתי מלוכד, בדומה לכורכר רמת-גן. כורכר דור ממלא שקעים בכורכר רמת-גן (עם חמרת נחשולים בגגו) ומגיע לעובי מרבי של 40 מטר. המגע העליון עם חמרת נתניה הוא גלי. גיל היחידה 53,000 - 51,000 שנה לפני ההווה (Porat et al., 2004).

חמרת נתניה: מורכבת בעיקר מגרגירי קוורץ בגודל סילטי-חולי דק (65%-93%), וחרסית (בעיקר מונטמורילוניט) ועובייה מסנטימטרים עד מטרים. תחמוצות ברזל שעוטפות את גרגרי הקוורץ נותנות לחמרה את צבעה האדום. במקומות רבים יש לחמרת נתניה פרופיל של קרקע. המגע התחתון שלה גלי (משרעת מספר מטרים) והמגע העליון עם כורכר תל אביב יוצר טופוגרפיה של מרזבות.

כורכר תל אביב (קלקארניט): מורכב בעיקר מחול גירי (60%-90%) וגרגירי קוורץ (10%-40%) בליכוד גירי. במקומות ניתן להבחין בחלק תחתון עם ריבוד צולב (ללא כיס חול בלתי מלוכד) וחלק עליון למינרי. עובי הקלקארניט עד מספר מטרים (עבה יותר בשקעים). המגע התחתון עם חמרת נתניה גלי עם התייחדות לקראת פסגות גבוהות בכורכרים. גג הקלקארניט חשוף במקומות או מכוסה בחול רבוד במגע גלי. מחשופי הקלקארניט בד"כ יוצרים את שפת המצוק כדרגש מעל הצנר בחמרת נתניה. גילו 10,000-6,700 שנים לפני ההווה (Porat et al., 2004).

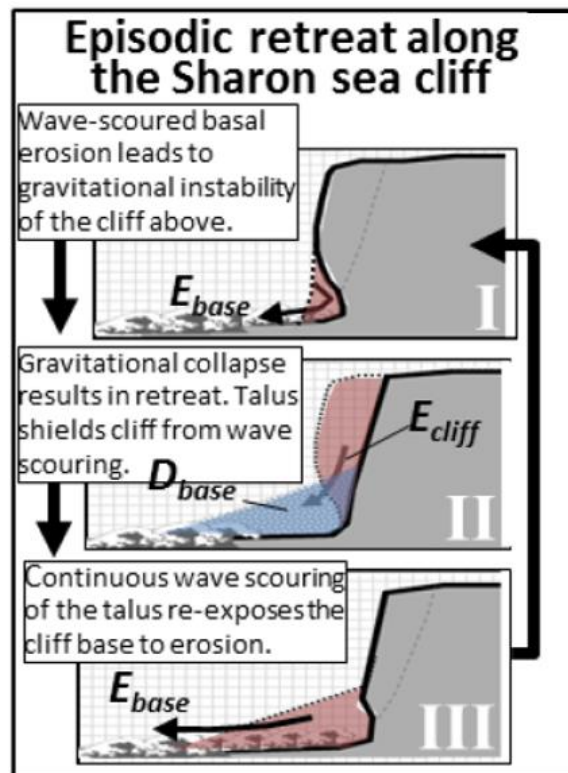
חולות תערוכה: חול למינרי לא מלוכד, זהה בהרכבו לכורכר רמת-גן ודור (70%-90% גרגירי קוורץ דקים). לחולות אין ליכוד גירי אך הם מיוצבים הודות לנוכחות חומר אורגני. עוביים המרבי של החולות מגיע למספר מטרים. מגע תחתון, עם כורכר תל אביב, כמעט אופקי. בגג חולות התערוכה קיים מעבר לא סדור לחולות חדרה או לקרקע. גיל החולות 6,000-3,000 שנים לפני ההווה (מקור הגילים מפורט בפרת ואלמגור, 1996).

חולות חדרה: מכילים בעיקר חול קוורצי דק (85%-95%) ושברי-קונכיות. חולות חדרה הם דיונות אשר מתעבות כלפי דרום עד לעובי של מספר מטרים. מקור החול הוא בלייה של חולות התערוכה או חול המגיע מרצועת החוף. בסיס החתך תוארך ל- 3,700-3,200 שנים לפני ההווה (מקור הגילים מפורט בפרת ואלמגור, 1996) וחלקים אחרים בחתך מכסים מבנים מהתקופה הרומית עד היום.



איור 2. (א) חתך גיאולוגי סכמתי של יחידות הסלע החשופות לאורך מצוק החוף. החתך מוצג על גבי תמונה של החתך מאזור נתניה; (ב) חתך גיאולוגי לאורך מצוק השרון (הגזמה אנכית 40x) המציג את יחידות הסלע החשופות (מתוך אלמגור ופרת, 2016).

המצוק החופי של ישראל נסוג מזרחה על ידי מחזורים של אירועי אי יציבות וכשל 'רגעיים' המופרדים על ידי תקופות ממושכות של יציבות יחסית (למשל, ויסמן וחיטי, 1971; Arkin and Michaeli, 1985; Perath and Almogor, 2000; Katz and Mushkin, 2013). סכימה בזמן ובמרחב של מחזורי הכשל והיציבות הללו היא המניע העיקרי לנסיגת מצוק החוף של ישראל בסדרי זמן גיאולוגיים. ניתן לתאר את גריעת הנפח מהמצוק כתהליך רב-שלבי הכולל (אלמגור ופרת, 2016; מושקין וחובריו, 2016; Perath and Almogor, 2000; Mushkin et al., 2019): (I) סחיפת בסיס המצוק על ידי הגלים, יצירת צניר הגורם לאי יציבות במצוק מעל; (II) קריסה של המצוק והערמות של חומר המצוק כטאלוס (או גושי סלע) בבסיס המצוק; (III) סחיפה של חומר הטאלוס על ידי גלי הים הנעשית מיד לאחר הקריסה או במשך הזמן לאחריה (איור 3).



איור 3. מחזורי היציבות והכשל לאורך המצוק החופי. (I) שלב הסחיפה בבסיס המצוק: פגיעה מתמשכת של גלים בבסיס המצוק גורמת ליצירה של צנר (מסומן אדום) הגדל עם הזמן וגורם לאי יציבות גרביטציונית של חלק המצוק מעליו; (II) שלב אי יציבות וכשל: התרחשות אירוע כשל מעל הצנר (מסומן אדום), תוצרי הכשל נערמים בבסיס המצוק (מסומן כחול); (III) שלב היציבות: תוצרי הכשל למעשה מגינים על בסיס המצוק מפני פגיעת הגלים ויצירה של צנר חדש. עם הזמן תוצרי הכשל נסחפים (מסומן אדום) וחושפים את בסיס המצוק ליצירת צנר חדש.

2. שיטת העבודה

איתור, מיפוי וניתוח כמותי של השינויים שהתרחשו לאורך המצוק החופי בכלל תאי השטח של החברה הממשלתית להגנת מצוקי החוף בין דצמבר 2021 לבין ספטמבר 2022 נעשה בעזרת השוואה בין שני שריגים טופוגרפיים ממועדים אילו. השריגים הטופוגרפיים מבוססים על מידע שנאסף תוך שימוש ב-LiDAR מוטס בשתי גיחות מיפוי מהתאריכים:

גיחת 2021: 12/2021 – ביצוע על ידי חברת "אופק", ליידאר מוטס, פיקוח ובקרת איכות – המכון הגיאולוגי

גיחת 2022: 7/2022 – ביצוע על ידי חברת "ליא שירותי הנדסה ומדידה", ליידאר על רחפן. פיקוח ובקרת איכות - החברה הממשלתית להגנת מצוקי החוף.

להלן תיאור שלבי התהליך שבוצע לצורך איתור, מיפוי ומדידת נפח השינויים לאורך המצוק החופי:

2.1 ביצוע טיסות LiDAR חוזרות (ברזולוציה של לפחות 4 נקודות למ"ר) ובנייה של שריג טופוגרפי (DEM) ברזולוציה גבוהה של 0.5 מטר/פיקסל עבור שני המועדים הגובלים את תקופת המחקר. זאת תוך הערכה של

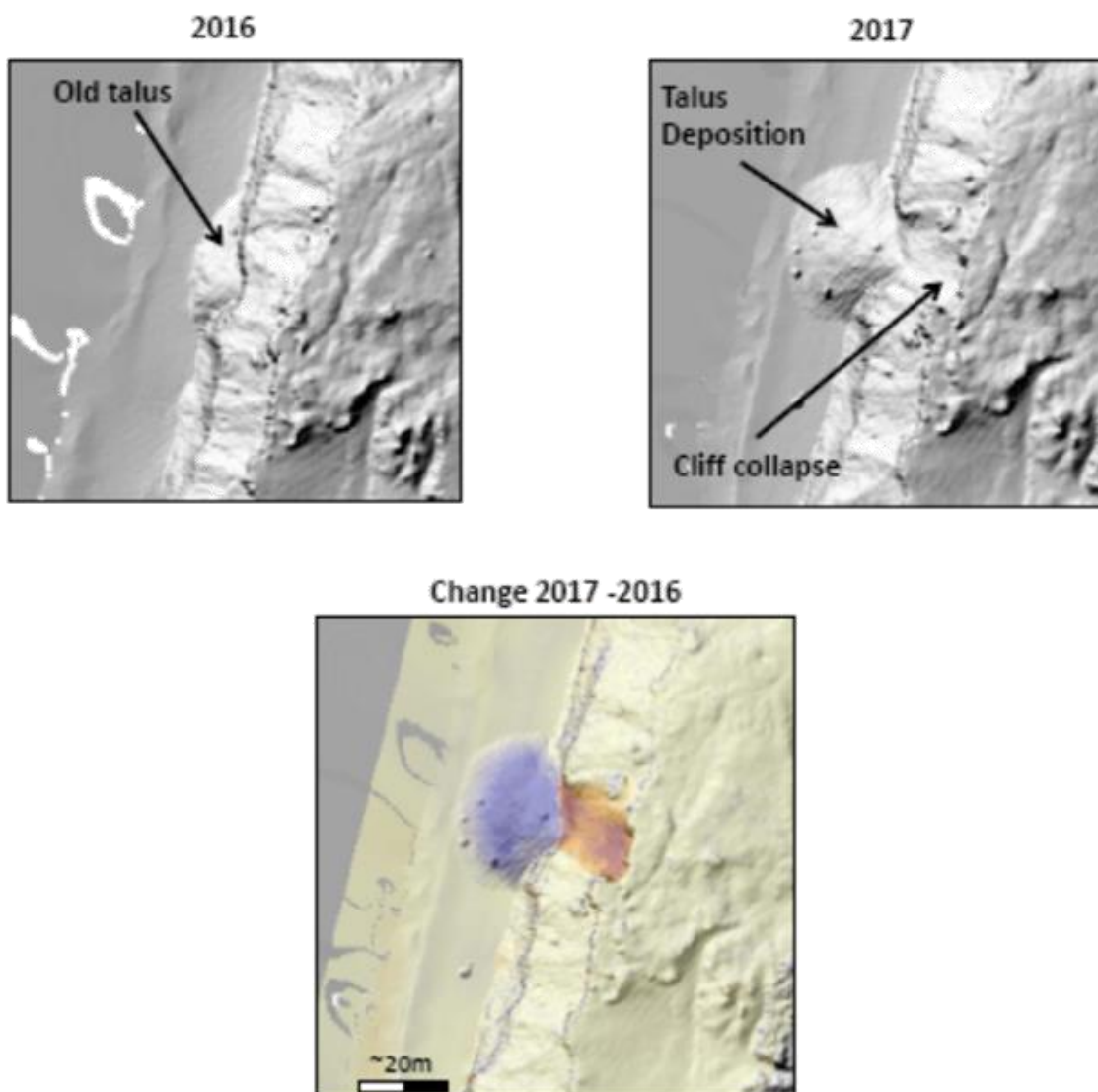
דיוק העיגון המרחבי של הנתונים מהגיחות השונות ומזעור של השגיאה האנכית (± 0.05 ס"מ דיוק אבסולוטי בגובה עבור גיחות 2021, 2022).

2.2 ייצור מפת הפרשים (ההפרש בגובה הטופוגרפי בין שני השריגים עבור כל פיקסל) במערכת ממ"ג על מנת לזהות שינויים טופוגרפיים בין שני מועדי הטיסה.

2.3 מיפוי של האזורים בהם קיים שינוי בטופוגרפיה בסביבת המצוק, בין שני מועדי טיסה, בעזרת מפת ההפרשים (איור 4). הזיהוי נעשה בשני שלבים: (א) ממוחשב, כאשר פיקסל עם ערך שלילי או חיובי במפת ההפרשים מציין אזור שהתרחשה בו גריעה או תוספת של חומר בין שני מועדי הטיסה, בהתאמה; (ב) בקרה פרטנית של אזורי השינוי ואימות "ידיני" שאכן מדובר בפעילות מצוק ולא בבעייה בנתונים. לדוגמא הפרש טופוגרפיה המתקבל ומראה נסיגת מצוק רציפה של 1 מטר לאורך מספר ק"מ מקורו בשגיאת עיגון בין השריגים הטופוגרפיים, שכן התמוטטויות מצוק בד"כ לא עולות על אורך של עשרות מטרים ויש להן גיאומטריה קעורה אופיינית. באזורים נבחרים, לפי הצורך, התבצע גם אימות בשדה.

2.4 ייצור שכבות ממ"ג של פוליגונים המציינים אתרים בהם זוהו שינויים טופוגרפיים. המיפוי נעשה לפי חלוקה לשלוש קטגוריות המציינות שלבים שונים בתהליך נסיגת המצוק (איור 3):

- א. גריעה של חומר מהמצוק עצמו (שינוי שלילי בטופוגרפיה במימד האנכי) המבטאת התמוטטות מצוק ('CC' – Cliff Collapse) (איור 4א). נציין כי התמוטטות מצוק לא בהכרח מביאה לנסיגה של גג המצוק אם מתרחשת בחלקו התחתון.
- ב. גריעה של חומר מטאלוס קיים בבסיס המצוק (שינוי שלילי בטופוגרפיה במימד האנכי) המבטאת סחיפת חומר על ידי פעילות הגלים ('TE' – Talus Erosion)
- ג. תוספת חומר על החוף בבסיס המצוק (שינוי חיובי בטופוגרפיה במימד האנכי) המבטא הערמות טאלוס חדש בבסיס המצוק ('TE' – Talus Deposition) כתוצאה מקריסת מצוק (CC) מעל(איור 4א).



איור 4. (א) דוגמא לאירוע כשל מצוק. למעלה משמאל, מפת הצללה 2016 הכוללת טאלוס בבסיס המצוק (מסומן בחץ); למעלה מימין מפת הצללה 2017 של אותו תא-שטח עליה מסומן בחץ אירוע כשל בו נסוג קו המצוק מזרחה ותוצרי הכשל נערמו כטאלוס בבסיס המצוק (מסומן בחץ). למטה, מפת הפרשים (בין 2017 ו-2016) על גבי מפת הצללה 2017. צבע צהבהב מציינ ערך הפרש אפס (ללא שינוי), צבע אדום מסמן ערך הפרש שלילי (חוסר חומר), צבע כחול מציינ ערך הפרש חיובי (עודף חומר).

הנתונים המרחביים והפיזיים של כלל הפוליוגונים מהטיפוסים השונים חושבו ונשמרו בטבלאות עם עיגון גיאוגרפי לרשת ישראל החדשה. שטח כל פוליוגון חושב באמצעות הממ"ג ונפח החומר שמייצג הפוליוגון חושב על ידי הכפלת שטחו בהפרש הטופוגרפי במימד האנכי בין שני מועדי הטיסה. הפרש זה לכלל הפוליוגון נקבע כממוצע של ההפרש שמחושב על ידי הממ"ג עבור כל פיקסל בתחום הפוליוגון, באופן הבא:

$$V = A \times \langle ti \rangle$$

כאשר V הוא נפח הפוליוגון (m^3). A הוא שטח הפוליוגון (m^2), $\langle ti \rangle$ הוא ממוצע הפרש הגבהים (ההפרש הטופוגרפי, m) עבור הפיקסלים בפוליוגון.

הערכת שגיאת המדידה: זיהוי ומיפוי הפוליוגונים נעשה באופן ידני ומבוקר וזאת בכדי לצמצם למינימום את ההשפעה של אי הדיוקים בעיגון המרחבי של השריגים מ-2022 ו-2021. בהתאם, המקור העיקרי

לשגיאת המדידה נותר הדיוק האבסולוטי (accuracy) של ערכי הגבהים בכל אחד מהשריגים הטופוגרפים. הדיוק האנכי האבסולוטי של השריגים הטופוגרפיים בהם נעשה שימוש בעבודה זו הינו $0.05 \pm$ מטר. עבור פיקסל בודד השגיאה (e) מהפחתת שריג 2022 משריג 2021 חושבה כמקובל בהערכה של טעות מצטברת עבור חיבור/חיסור של שתי מדידות בלתי תלויות:

$$e_i = \sqrt{0.05^2 + 0.05^2} = 0.07 \text{ m}$$

עבור כל פוליגון (הכולל מספר פיקסלים) בעל שטח A חושב המקרה המחמיר ביותר בו כל השגיאות הן באותו כיוון ועל כן השגיאה המצטברת המתקבלת באומדן הנפח (m^3) של כל פוליגון ($\langle e_i \rangle$) חושבה לפי:

$$\langle e_i \rangle = 0.07 * A$$

2.5 חלוקה לתאי שטח – המיפוי בדו"ח הנוכחי נעשה לפי תאי השטח של החברה הממשלתית להגנת מצוקי החוף (טבלה 1). מדובר ב 50 תאי שטח נפרדים באורך מצטבר של כ 21.5 ק"מ הממוספרים בין 1 (בצפון) ל 39 (בדרום) כאשר ישנם מקרים של תת חלוקה, לדוגמא תאי שטח 15A, 15B, וכדו'.

2.6 חישוב שטף הסדימנט כאומדן לקצב נסיגת המצוק. עקרונות המעקב אחר קצב נסיגת המצוק בעזרת חישובי מאזן הסדימנט המיושם כאן מתוארים בפירוט ב כץ וחוב' (2016) וב Mushkin et al. (2019). בעבודה הנוכחית מאזן הסדימנט הנפחי (EE^*) מחושב לפי:

$$EE^* = |CC| + |TE| - |TD|$$

כאשר נעשה שימוש בערכים המוחלטים של CC, TE ו TD כך שערכי EE^* חיוביים מציינים איבוד חומר ממערכת המצוק-טאלוס. חלוקה של EE^* (הנפח שנגרע ביחידות של מ"ק) באורך המקטע הנבחן מאפשר לקבל את שטף הסדימנט המנורמל עבור המקטע (EE) וזאת ביחידות של מ"ק סדימנט ל 1 ק"מ חוף (מ"ק/ק"מ). השוואה בין ערכי EE של מקטעים שונים מאפשרת השוואה בין הפעילות וקצב נסיגתם של מקטעים שונים של מצוק החוף. הפרמטר EE חושב רק עבור תאי שטח שאורכם עולה על 1 ק"מ (תאי שטח 14, 15A, 38).

3. תוצאות

3.1 פעילות המצוק בתאי השטח 1-39 בתקופה 7/2022 – 12/2021

בתקופת המחקר נמצאו בכלל 50 תאי השטח שמופז 39 אירועי כשל מצוק בנפח כולל של כ- 1,930 מ"ק. ב- 18 אתרים נערמו טאלוסים על החוף בנפח כולל של כ- 1,050 מ"ק, וב- 13 אתרים התרחשה סחיפה של טאלוסים (תוצרי כשל מצוק מלפני דצמבר 2021) על ידי הגלים בנפח כולל של כ- 3,350 מ"ק. אולם, כצפוי פעילות המצוק לא הייתה אחידה במרחב ומתוך 50 תאי השטח שנבחנו זוהתה פעילות מצוק ברת מיפוי ב 19 מקטעים בלבד (טבלה 1).

טבלה 1: סיכום פעילות המצוק 7/2022 – 12/2021

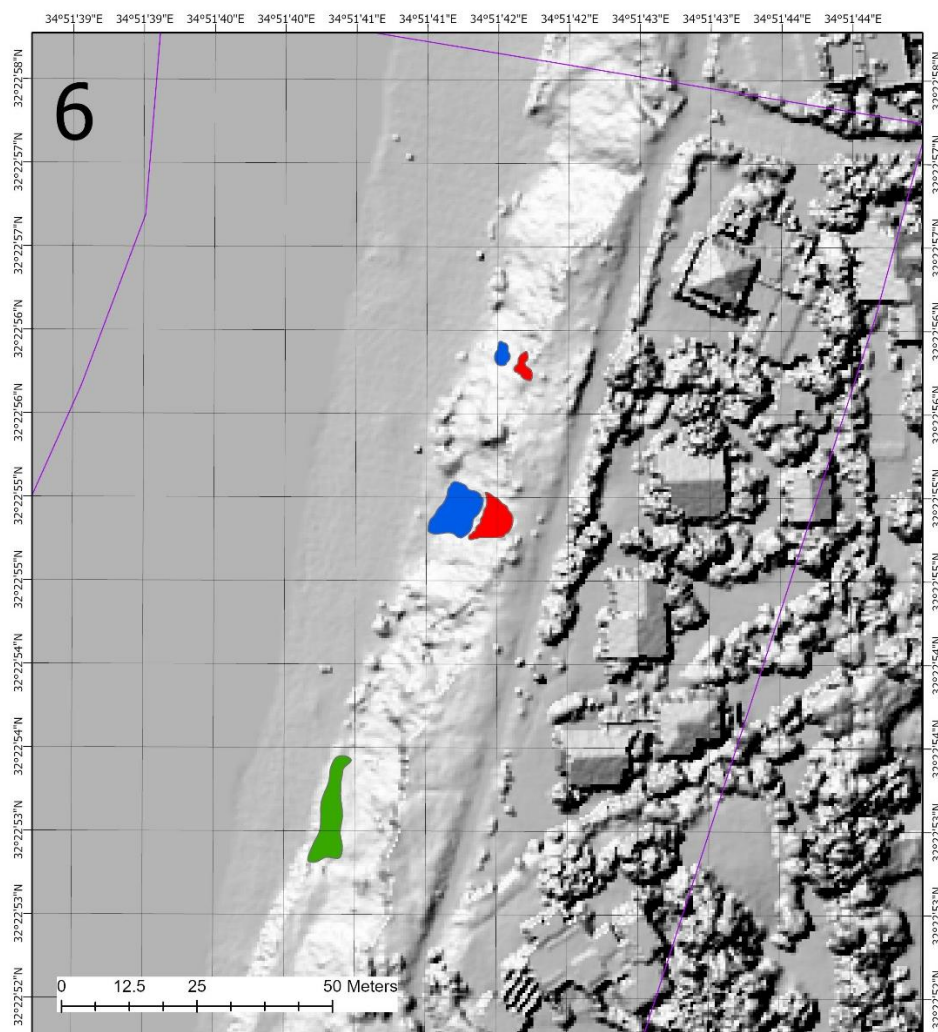
מקטע	אורך	כשל מצוק CC			סחיפת טאלוס TE			TD טאלוסים שנוספו			סה"כ גריעה EE	שטף גריעה * לחורף
		מספר קריסות	נפח כולל (m³)	שטף * לחורף (m³/km)	מספר סחיפות	נפח כולל (m³)	שטף * לחורף (m³/km)	מספר טאלוסים	נפח כולל (m³)	שטף * לחורף (m³/km)		
1	תל עפר	190	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	בית חנקין	58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	אולגה כפר נפש	257	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	בית ינאי	122	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	בית ינאי צפון	191	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	בית ינאי דרום	640	48±10	2	-	62±15	1	2	70±16	-	40±24	-
7	נעורים	337	28±3	1	-	-	-	-	-	-	28±3	-
8	כפר נער נעורים	536	119±12	1	-	-	-	1	137±18	-	**0	-
9A	חוף נעורים	88	3±1	1	-	-	-	-	-	-	3±1	-
9B	חוף נעורים דרומי	139	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	בלו ביי	258	-	-	3	12±2	-	-	-	-	12±2	-
11	נתניה צפון	349	45±2	2	-	36±9	1	-	-	-	81±9	-
12	החוף הנפרד	220	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	שדרות ניצה	232	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	חוף העונות חוף האמפי	1342	55±10	2	40.9	-	-	2	68±10	50.7	**0	**0
15A	נתניה סירינית/ארגמן	2837	116±19	5	40.9	71±14	2	5	174±40	61.3	13±46	4.6
15B		570	29±3	2	-	-	-	-	-	-	29±3	-
16	דרום נתניה	229	15±4	1	-	-	-	-	-	-	15±4	-
17	חוף געש	196	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	אפולוניה צפון	316	514±20	3	-	-	-	2	399±45	-	115±49	-
19	אפולוניה דרום	173	16±2	1	-	-	-	1	11±3	-	5±4	-
19.1	חוף נמ"ם צפון	290	36±5	1	-	72±29	1	-	-	-	108±29	-
20	חוף נמ"ם	187	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20.1	חוף נמ"ם	92	18±1	1	-	86±13	1	-	-	-	104±13	-
20.2	חוף השרון	278	24±1	2	-	-	-	-	-	-	24±1	-
21	גלי תכלת	170	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21.1	גלי תכלת צפון	263	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21.2	גלי תכלת דרום	175	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	חוף השרון הרצליה	411	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	חוף אכדיה	894	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	חוף נפרד הרצליה	216	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24.1	חוף נפרד הרצליה	290	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24.2	חוף נפרד הרצליה	304	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	חוף הצוק תל אביב	620	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25.1		290	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	סי אנד סאן	345	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	תל אביב מרכז	904	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28A	תל ברוך	261	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28B	תל ברוך	262	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	הילטון תל אביב	734	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	חוף נחום גולדמן	635	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	יפו חוף עליה	546	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	בת ים צפון	234	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33	בת ים מרכז	889	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34	בת ים דרום	375	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35	פלמיים	177	30±3	3	-	-	-	-	-	-	-	-
36	בית קברות פלמיים	170	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37	תל יבנה ים	284	97±10	2	-	-	-	1	11±4	-	86±11	-
38	אשקלון צפון	1161	686±65	7	591	3061±269	4	2	82±15	71	3665±277	3157
39	אשקלון ג' לאומי	756	51±7	2	-	-	-	2	61±15	-	**0	-
סה"כ		21,493	1932	39		3364	13	18	1048		4218	

*למרות שהנתונים לא מכסים את כל חוף 2021-2022 חישובי השטחים מתייחסים לעונת חורף מלאה
 **במגבלות שיטת המדידה נפח אירועי קריסת המצוק שווה לנפח הטאלוס שנערם על החוף באותו מקטע

ברוב תאי השטח בהן המצוק היה פעיל נמדדה פעילות מצוק בנפחים קטנים יחסית של פחות מ 100 מ"ק. אלו הם תאי שטח 6 (בית ינאי דרום), 7 (נעורים), 10 (בלו ביי), 11 (נתניה צפון), 14 (חוף העונות/אמפי), 15B (), 16 (נתניה דרום), 19 (אפולוניה דרום), 19.1 (נוף ים צפון), 20.1 (נוף ים), 20.2 (חוף השרון), 35 (פלמחים), 37 (תל יבנה) ו 39 (אשקלון גן לאומי). בארבעה תאי שטח נמדדה פעילות מצוק בנפח גדול מ 100 מ"ק. אלו הם תאי שטח 8 (כפר נוער נעורים), 15A (נתניה סירונית/ארגמן), 18 (אפולוניה צפון) ו 38 (אשקלון צפון). להלן תיאור מפורט של פעילות המצוק במקטעים נבחרים (בית ינאי דרום ובארבעת המקטעים עם פעילות מעל 100 מ"ק):

3.1.1 תא שטח 6 (בית ינאי דרום)

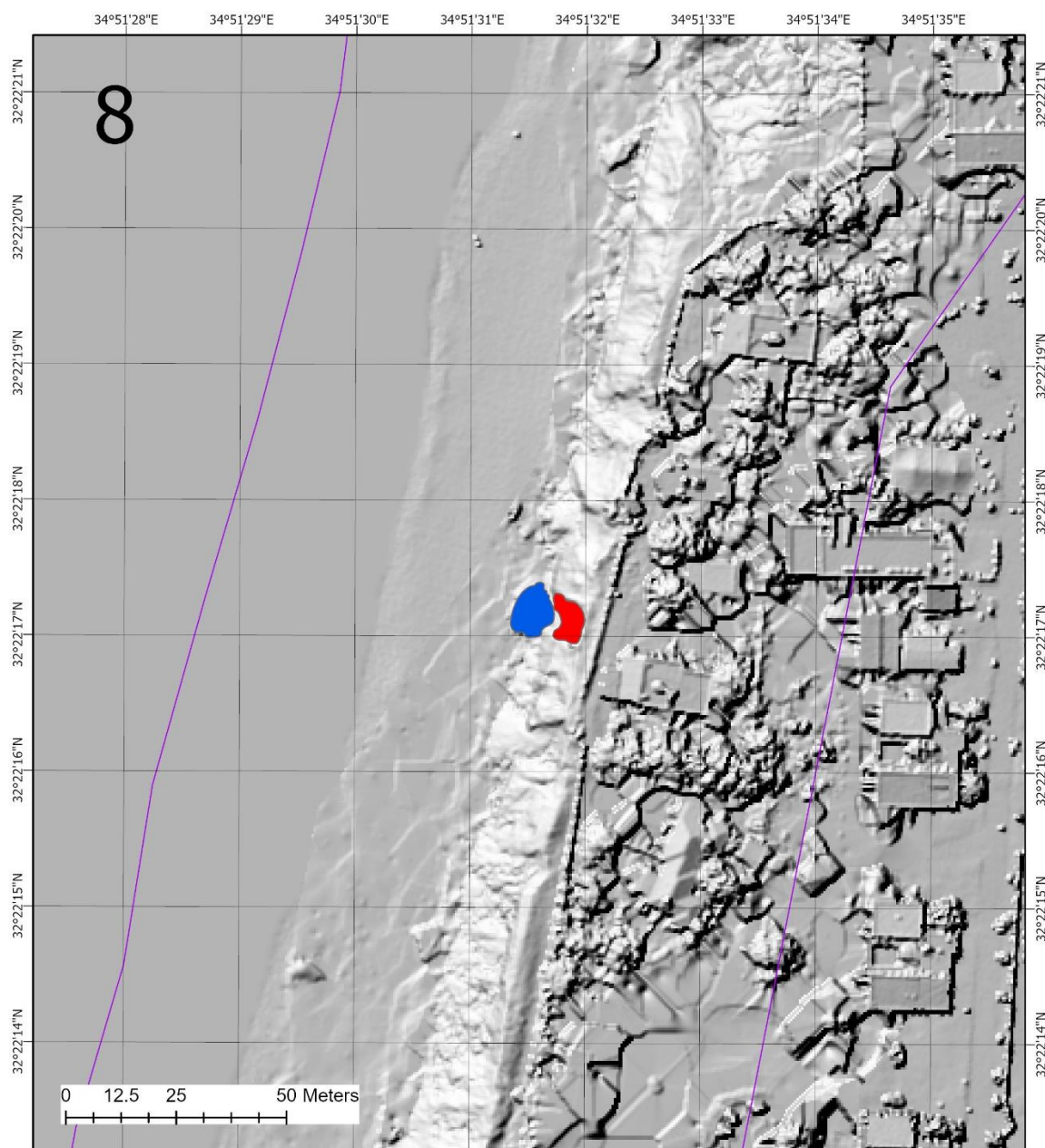
במהלך תקופת המחקר התרחשו במקטע זה 2 אירועי כשל מצוק בנפח כולל כ 50 מ"ק ותועדה הערמות של שתי ערמות טאלוס בנפח דומה (במגבלות דיוק המדידה) (איור 5). כמו כן מופה אתר אחד שבו התרחשה סחיפת טאלוס בנפח כולל של כ 70 מ"ק. בסך הכל נגרע בתא שטח 6 נפח של כמה עשרות מ"ק חומר שמקורו במצוק. פעילות המצוק שהתרחשה במקטע 6 הייתה כולה מצפון לקיר המגן שהוקם במהלך 2020.



איור 5: פעילות המצוק במקטע 6 מוצגת על גבי מפת הצללה. אדום – CC, כחול – TD, ירוק – TE.

3.1.2 תא שטח 8 (כפר נוער נעורים)

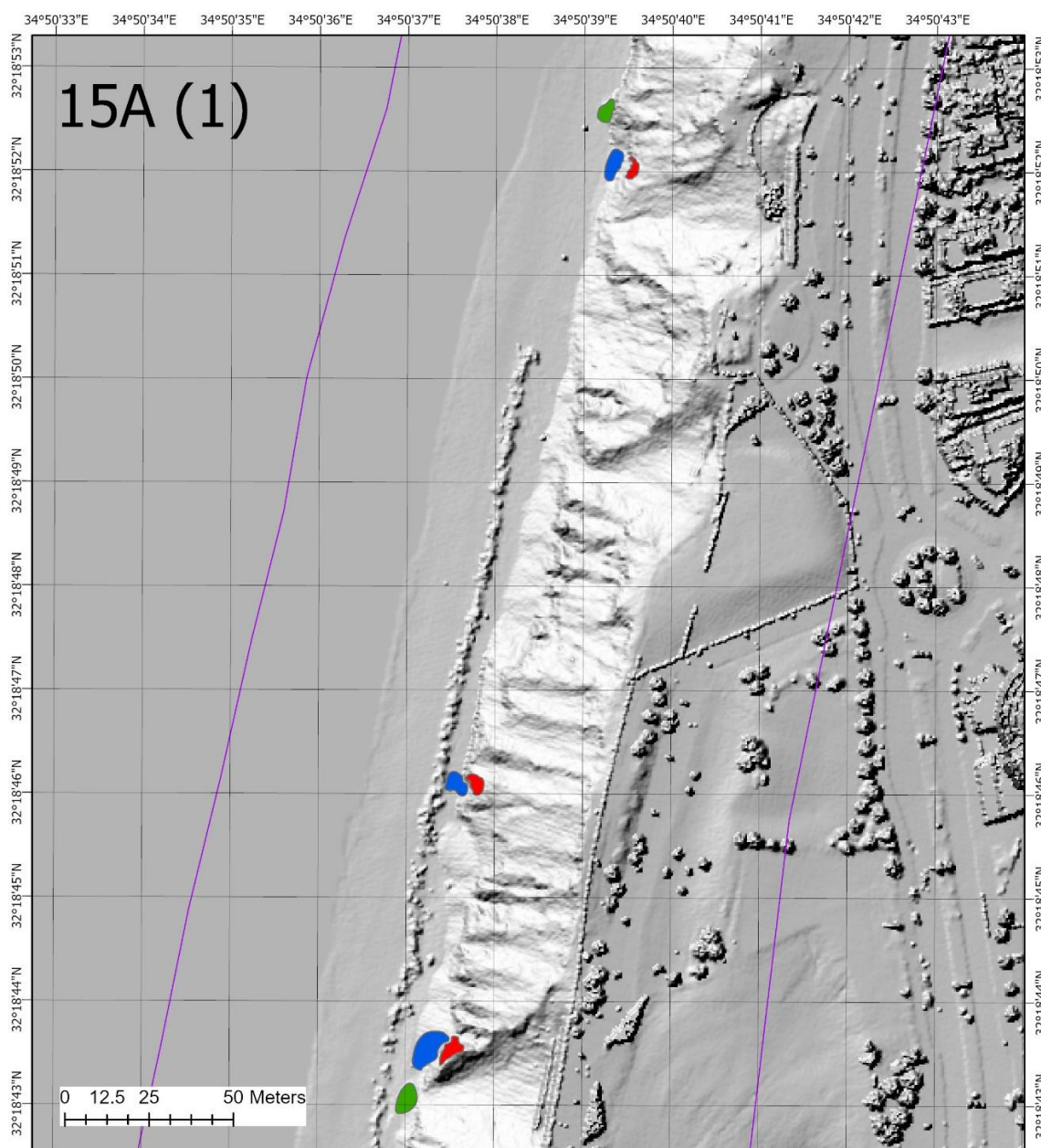
בתקופת המחקר מופה במקטע זה אירוע כשל מצוק בנפח כולל של כ 120 מ"ק (איור 6). מתחת לקריסה זו נערם טאלוס בנפח דומה (במגבלות דיוק המדידה).



איור 6: פעילות המצוק במקטע 8 מוצגת על גבי מפת הצללה. אדום – CC, כחול – TE.

3.1.3 תא שטח 15A (חוף נתניה סירונית/ארגמן)

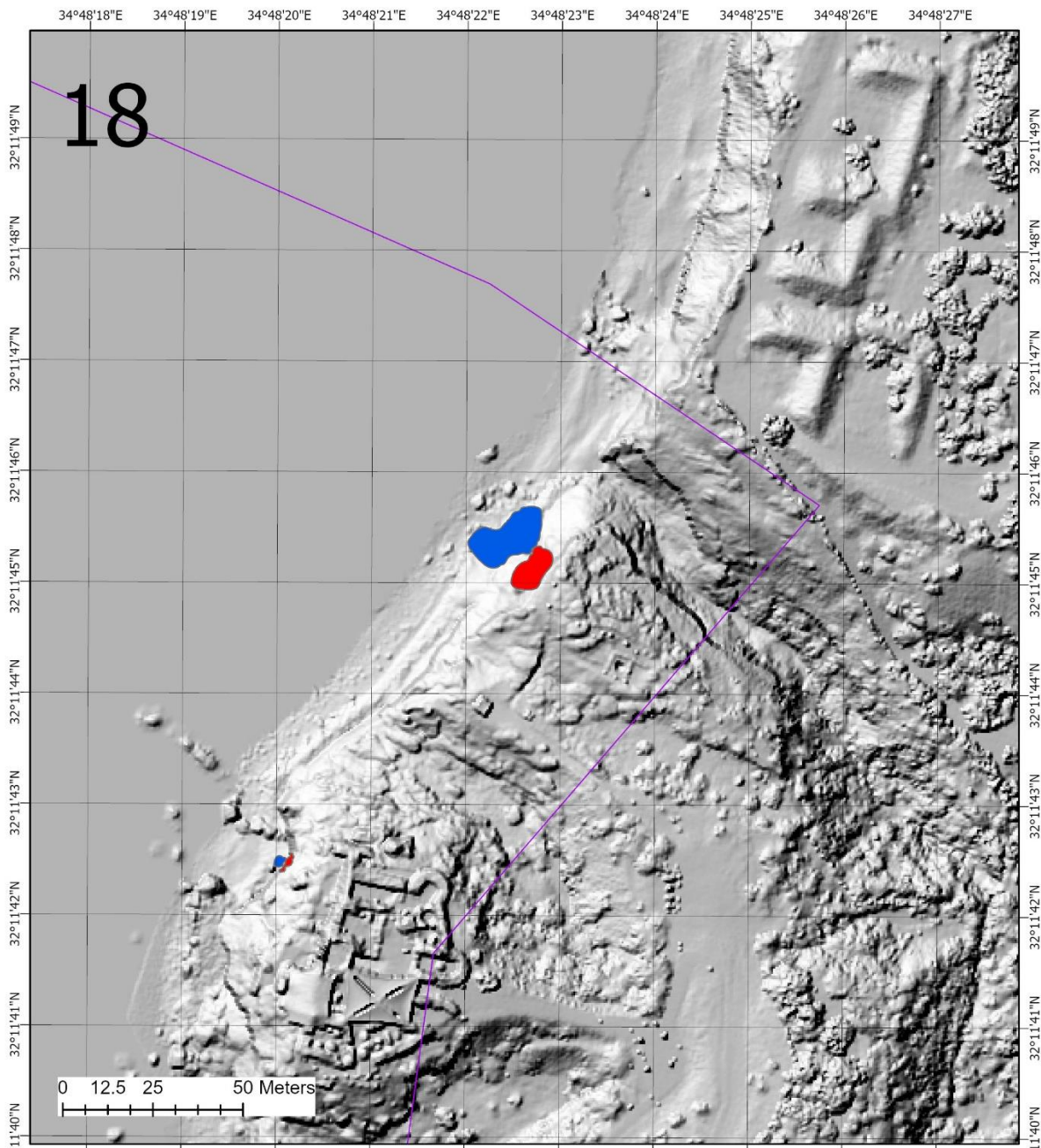
תא שטח זה כולל חלק מחופי העיר נתניה ובקצהו הצפוני נמצא שובר הגלים הדרומי של נתניה. בתקופת המחקר מופו 5 אירועי כשל מצוק בנפח כולל של כ 120 מ"ק (איור 7) ומתחתם נערמו כ 5 ערמות טאלוס בנפח דומה (במגבלות דיוק המדידה). תועדו 2 אתרים של סחיפת טאלוס בנפח כולל של כ 70 מ"ק ו. בתקופת המחקר נגרעו מהמערכת החופית בתא שטח זה נפח שלא עולה על כמה עשרות מ"ק של חומר שמקורו במצוק.



איור 7: חלק מפעילות המצוק במקטע 15A מוצגת על גבי מפת הצללה. אדום – CC, כחול – TD, ירוק – TE.

3.1.4 תא שטח 18 (אפולוניה צפון)

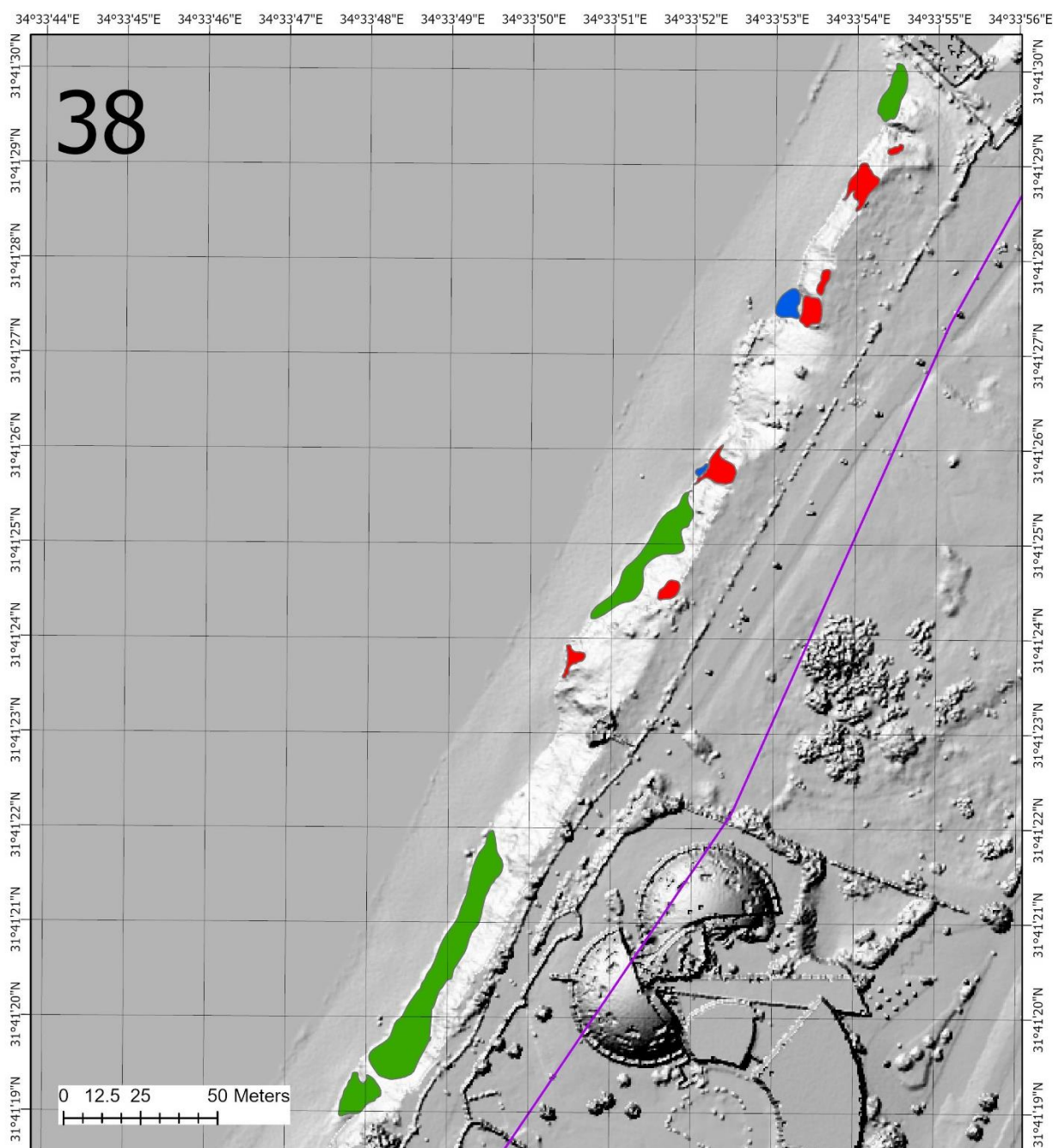
במהלך תקופת המחקר התרחשו במקטע זה 3 אירועי כשל מצוק בנפח כולל של כ 510 מ"ק ותועדו 2 אתרים של הערמות טאלוס בנפח כולל של 400 מ"ק (איור 8). בתקופת המחקר נגרע מהמערכת החופית במקטע זה בסה"כ 100 מ"ק של חומר שמקורו במצוק.



איור 8: פעילות המצוק במקטע 18 מוצגת על גבי מפת הצללה. אדום – CC, כחול – TE.

3.1.5 תא שטח 38 (אשקלון צפון)

במהלך תקופת המחקר התרחשו במקטע זה 7 אירועי כשל מצוק בנפח כולל של כ 690 מ"ק (איור 9). תועדו 4 אתרים של סחיפת טאלוס בנפח כולל של 3,060 מ"ק ו- 2 אתרים של הערמות טאלוס בנפח כולל של כ 80 מ"ק. בתקופת המחקר נגרע מהמערכת החופית במקטע זה בסה"כ 3670 מ"ק של חומר שמקורו במצוק.



איור 9: חלק מפעילות המצוק במקטע 15A מוצגת על גבי מפת הצללה. אדום – CC, כחול – TD, ירוק – TE.

4. דיון

4.1 נפחים ופעילות המצוק

בתקופת המחקר (כ- 8 חודשים בין 12/2021 ל 7/2022) נגרע ממערכת המצוק החופי בתאי השטח שנבחנו נפח סדימנט כולל (EE^*) של כ 4,200 מ"ק (טבלה 1). בהתחשב באורך המצטבר של מקטעי המצוק שנבחנו (21.5 ק"מ) מתקבל שטף גריעה ממוצע (EE) של כ 196 מ"ק עבור כל ק"מ מצוק לתקופה זו. בשל אילוצי מדידות הליידאר - תקופת המחקר לא כיסתה את כל עונת החורף של 2021-2022. ואולם, לשם השוואה למדידות קודמות של פעילות המצוק הדו"ח הנוכחי מניח כי 8 חודשי המחקר מכילים בקירוב את כל עונת החורף של 2021-2022. בהסתמך על קירוב זה מתקבל שקצב גריעת החומר הממוצע ממקטעי המצוק החופי שנבחנו בתקופת המחקר, כלומר 196 מ"ק/ק"מ/חורף, נמוך מהקצב הממוצע של כלל המצוק החופי שחושב בשנים קודמות: 895, 612, 1146, 1614, 1145 ו 1193 מ"ק/ק"מ/חורף עבור 2015-2016, 2016-2017, 2017-2018, 2018-2019, 2019-2020 ו 2020-2021, בהתאמה (מושקין וחוב' 2021).

4.2 השוואה בין תאי השטח השונים

התפלגות האירועים השונים וקצב הפעילות לאורך תאי השטח שנבחנו לא הייתה אחידה (טבלה 1):

התמוטטות מצוק (CC): התמוטטויות מצוק התרחשו ב 18 מתוך 50 תאי השטח שנבחנו. קריסת המצוק הגדולה ביותר התרחשה בתא שטח 18 (אפולוניה צפון) והייתה בנפח משמעותי של כ 460 מ"ק. ואולם, במקטע געש של המצוק החופי בו נמצא תא שטח 18 נמדדו בשנים קודמות קריסות מצוק בדידות בנפחים של עד כ 3,000 מ"ק - כך שקריסה של 460 מ"ק אינה חריגה בגודלה. במקטע 38 (אשקלון צפון) נמדד הנפח הכולל הגדול ביותר של קריסות מצוק (690 מ"ק) שמתחלק בין 7 קריסות בדידות של עד 226 מ"ק לקריסה. בהשוואה לשנים קודמות פעילות זו אינה חריגה עבור מקטע אשקלון צפון.

סחיפת טאלוסים (TE): סחיפת טאלוסים (TE) התרחשה ב 7 מתוך 50 תאי השטח שנבחנו. ואולם כ 3,060 מ"ק מסך ה 3,360 מ"ק שתועדו בתקופת המחקר נגרע במקטע 38 (אשקלון צפון) (איור 9). בשנים קודמות נמדדה בתא 38 שטח סחיפת טאלוסים בנפח של 2,300 מ"ק (2021-2020), 2,160 מ"ק (2020-2019), 3,350 מ"ק (2019-2018), 800 מ"ק (2018-2017), 192 מ"ק (2017-2016) ו 2,050 מ"ק (2016-2015). בהתאם, נמצא שנפח סחיפת הטאלוסים מתא שטח 38 בתקופת המחקר הנוכחית (3,060 מ"ק) נמצא בטווח הערכים העליון של קצב סחיפת טאלוסים שנמדדה בתא שטח 38 בעבר.

הערמות טאלוסים (TD): הערמות הטאלוסים (TD) כתוצאה מקריסת מצוק נמדדה ב 9 מתוך 19 תאי השטח שבהם היו אירועי קריסת מצוק (טבלה 1). הנפח כולל של טאלוסים שנערמו היה כ 1050 מ"ק כאשר כ 40% מנפח זה משויך לקריסה אחת גדולה בתא שטח 18 (אפולוניה צפון) (איור 8). בתקופת המחקר הנוכחית כ 54% מנפח קריסות המצוק הכולל בתאי השטח שנבחנו נערם כטאלוסים בבסיס המצוק (1048 מ"ק טאלוסים שנערמו לעומת 1932 מ"ק קריסות מצוק). בשנים קודמות עבור כלל מצוק החוף של ישראל עמד יחס זה על כ 30% ב 2016-2015 (כ 8,900 מ"ק TD לעומת 29,900 מ"ק CC), 40% ב 2017-2016 (כ 10,900 מ"ק

TD לעומת 27,500 מ"ק CC), 41% ב 2018-2017 (כ 11,100 מ"ק TD לעומת 26,800 מ"ק CC), 31% ב 2019-2018 (כ 12,100 מ"ק TD לעומת 39,100 מ"ק CC), 40% ב 2020-2019 (כ 17,400 מ"ק TD לעומת 43,500 מ"ק CC) ו 36% ב 2021-2020 (כ 12,900 מ"ק TD לעומת 35,900 מ"ק CC). בהתאם מסתמן שיחס שימור הטאלוסים בתאי השטח שנבחנו בתקופת המחקר הנוכחי (54%) מעט גבוה מטווח הערכים של פרמטר זה שנמדדו עבור כלל המצוק של ישראל בשנים הקודמות (30-41%).

שטף גריעת חומר מהמצוק ובסיסו (EE): שטף הסדימנט המחושב (EE, סעיף 2.6) עבור כלל תאי השטח שנבחנו בתקופת המחקר הנוכחי עומד על כ 196 מ"ק/ק"מ והוא כאמור נמוך משמעותית מטווח הערכים של פרמטר זה כפי שחושב עבור כלל המצוק בשנים קודמות (612 – 1,193 מ"ק/ק"מ). ואולם, גם פרמטר זה מראה שונות משמעותית בין תאי השטח שנבחנו כאשר כ 87% מכלל הנפח שנגרע בתקופת המחקר נגרע מתא שטח 38 (3,665 מ"ק בתא שטח 38 לעומת כ 4,218 מ"ק בכלל תאי השטח). ואולם, בשנים קודמות נגרעו מתא שטח 38 3,154 מ"ק (2021-2020), 0 מ"ק (2020-2019), 11,965 מ"ק (2019-2018) ו 3,145 מ"ק (2018-2017), כך שלא נראה שגריעת החומר בתקופת המחקר הנוכחית חריגה.

5. מסקנות

שטף הסדימנט הממוצע עבור כלל תאי השטח שנבחנו בתקופת המחקר הנוכחי עומד על כ 196 מ"ק/ק"מ והוא כאמור נמוך משמעותית מטווח הערכים של פרמטר זה כפי שחושב עבור כלל המצוק מאז 2015 (612 – 1,193 מ"ק/ק"מ). תמונה דומה של פעילות מצוק שאינה חריגה בהיקפה במהלך תקופת המחקר הנוכחית מתקבלת גם בבחינה פרטנית של שלבי פינוי החומר מהמצוק: נפח קריסת המצוק הגדול ביותר שנמדד במחקר הנוכחי היה כ 460 מ"ק לעומת קריסות בגודל של אלפי מ"ק שנמדדו בשנים קודמות. גם הנפח הכולל של קריסות המצוק שמופו במחקר הנוכחי (1932 מ"ק) אינו חריג בהשוואה לשינם קודמות. נפח סחיפת הטאלוסים מכלל תאי השטח שנבחנו היה 3,364 מ"ק כאשר כ 91% מנפח זה (3,060 מ"ק) נסחף בתא שטח 38 (אשקלון צפון). סחיפת טאלוסים בשאר תאי השטח הייתה יחסית זניחה בתקופת המחקר הנוכחי. בהשוואה לשינם קודמות נמצא כי נפח סחיפת הטאלוסים מתא שטח 38 (3,060 מ"ק) נמצא בתוך טווח הערכים המדוד לפרמטר זה בתא 38 מאז 2015 (192 – 3,350 מ"ק). בתקופת המחקר הנוכחית כ 54% מנפח קריסות המצוק הכולל בתאי השטח שנבחנו נערם כטאלוסים בבסיס המצוק (1048 מ"ק טאלוסים שנערמו לעומת 1932 מ"ק קריסות מצוק). מסתמן שיחס שימור הטאלוסים הזה מעט גבוה מטווח הערכים של יחס שימור הטאלוסים שנמדד עבור כלל המצוק של ישראל מאז 2015 (30-41%). נמצא כי בכלל תאי השטח שנבחנו בתקופת המחקר הנוכחית בין 21/201 ל 7/2022 לא נמדדה פעילות מצוק חריגה באף אחד מהפרמטרים המשמשים לאומדן קצב נסיגת המצוק החופי.

6. רשימת מקורות

- אלמגור, ג., פרת, א., 2016. חוף הים התיכון של ישראל – מהדורה רביעית. המכון הגיאולוגי דוח GSI/13/02, 470 עמ'.
- זילברמן, ע., אילני, ש., נצר-כהן, ח., קלבו, ר., 2006. מיפוי גיאומורפולוגי-ליתולוגי של רצועת החוף של ישראל (עד כ- 1 ק"מ ממזרח לחוף) הערות ודברי הסבר למפה. המכון הגיאולוגי, דוח GSI/23/06.
- כץ, ע., הכט, ה., פטרנקר, ג., אלמוג, ע., 2007. אומדן קצב הנסיגה של המצוק החופי בישראל והערכת מיקום המצוק בשנת 2100. המכון הגיאולוגי דוח GSI/21/07, 34 עמ'.
- כץ, ע., מושקין, ע., כרובי, א., שמש, ר., 2016. קצבי הרקע והקצב הנוכחי של נסיגת המצוק החופי של ישראל והמלצה לשיטה חדשה לניטור, זיהוי וכימות שינויים בקצב הנסיגה. המכון הגיאולוגי, דוח GSI/26/2016, 35 עמ'.
- כץ, ע., מושקין, ע., בוסטן, ע., כרובי, א., שמש, ר., 2017. התמוטטות וסחיפת המצוק החופי בין השנים 2015 ו-2016. המכון הגיאולוגי, דוח GSI/01/2017, 29 עמ'.
- כץ, ע., מושקין, ע., בוסטן, ע., כרובי, א., עופרי, ע., בוסטן, ע., שמש, ר., 2018. התמוטטות וסחיפת המצוק החופי בין השנים 2016 ו-2017. המכון הגיאולוגי, דוח GSI/01/2018, 41 עמ'.
- כץ, ע., מושקין, ע., כרובי, א., סגל, ע., עפרי, ע., 2019. התמוטטות וסחיפת המצוק החופי בין השנים 2017 ו-2018. המכון הגיאולוגי, דוח GSI/13/2019, 41 עמ'.
- מושקין, ע., כץ, ע., כרובי, א., קוטליארוב, מ., סגל, ע., 2020. התמוטטות וסחיפת המצוק החופי בין השנים 2018 ו-2019. המכון הגיאולוגי, דוח GSI/11/2020, 31 עמ'.
- מושקין, ע., כץ, ע., כרובי, א., אשקר, ל., נבון, נ., קוטליארוב, מ., 2021. התמוטטות וסחיפת המצוק החופי בין השנים 2019 ו-2020. המכון הגיאולוגי, דוח GSI/15/2021, 30 עמ'.
- מושקין, ע., רוזן, נ., כץ, ע., כרובי, א., 2022. התמוטטות וסחיפת המצוק החופי בין השנים 2020 ו-2021. המכון הגיאולוגי, דוח GSI/09/2022, 28 עמ'.
- נר, י., 1988. חופי הים התיכון של ישראל וצפון סיני, היבטים סדימנטולוגיים. המכון הגיאולוגי, דוח GSI/39/88, 130 עמ'.
- נר, י., 1992. מצוקי הכורכר בחופי הים התיכון של ישראל. המכון הגיאולוגי, דוח GSI/28/92, 75 עמ'.
- פרת, א., אלמגור, ג., 1996. סיכונים לאורך מצוק השרון. המכון הגיאולוגי GSI/5/96, 80 עמ'.
- Arkin, Y., Michaeli, L., 1985. Short- and long- term erosional processes affecting the stability of Mediterranean coastal cliffs of Israel. *Engineering Geology* 21, 153-174.
- Barkai, O., Katz, O., Mushkin, A., Goodman-Tchernov, B.N., 2017. Erosion of archaeological sites along the Israeli Mediterranean coastline and its application for assessing long-term retreat rates of the sea cliff. *Geoarchaeology* 2017, 1-14.
- Engelmann, A., Neber, A., French, M., Boenigk, W., Ronen, A., 2001. Luminescence chronology of Upper Pleistocene and Holocene aeolianites from Netanya South Sharon Coastal Plain, Israel. *Quaternary Science Reviews* 20, 799-804.
- French, M., Dermann, B., Boenigk, W., Ronen, A., 2001. Luminescence chronology of aeolianites from the section at Givat Olga Coastal Plain of Israel. *Quaternary Science Reviews* 20, 805-809.

- Frenchen, M., Neber, A., Dermann, B., Tsatskin, A., Boenigk, W., Ronen., A., 2002. Chronostratigraphy of aeolianites from the Sharon Coastal Plain of Israel. *Quaternary International* 89, 31-44.
- Goodman-Tchernov, B., Katz, O., 2016. Holocene-era submerged notches along the southern Levantine coastline: Punctuated sea level rise? *Quaternary International* 401, 17-27.
- Gvirtzman, G., Shachnai, E., Bakler, N., Ilani, S., 1984. Stratigraphy of the Kurkar Group (Quaternary) of the coastal plain of Israel. *Geological Survey of Israel, Current Research* 1983-4, 70-82.
- Goldreich, Y., 2003, *The Climate of Israel: Observation, Research, and Application*. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.
- Harel, M., Amit, R., Porat, N. Enzel, Y., in press. Evolution in of the southeastern Mediterranean coastal plain. In: Enzel, Y., and Bar-Yosef, O., *Quaternary of the Levant: Environments, Climate Change, and Humans*. Cambridge University Press.
- Katz, O., and Mushkin, A., 2013. Characteristics of sea-cliff erosion induced by a strong winter storm in the eastern Mediterranean: *Quaternary Research*, v. 80, no. 1, p. 20-32.
- Mushkin A., Katz, O., Crouvi, O., Alter, S.R., Shemesh, R., 2016. Sediment contribution from Israel's coastal cliffs into the Nile's littoral cell and its significance to cliff-retreat mitigation efforts. *Engineering Geology* 215, 91-94.
- Mushkin A., Katz, O., Porat, N., 2019. Overestimation of short-term coastal cliff retreat rates in the eastern Mediterranean resolved with a sediment budget approach. *Earth Surface Processes Landforms*, 44, 177-190 DOI: 10.1002/esp.4490.
- Perath, I., Almagor, G., 2000. The Sharon Escarpment (Mediterranean Coast, Israel): Stability, Dynamics, Risks and Environmental Management. *Journal of Coastal Research* 16, 207-224.
- Porat, N., Wintle, A.G., Rite, M., 2004. Mode and timing of kurkar and hamra formation, central coastal plain, Israel. *Isr. J. Earth Sci.* 53, 13-25.
- Shemesh, R., 2018. The sediment budget along Israel's eastern Mediterranean cliff dominated beaches, during single storm to annual time scales. Master thesis, Hebrew University.
- Sivan, D., Wdowinski, S., Lambeck, K., Galili, E., and Raban, A., 2001. Holocene sea-level changes along the Mediterranean coast of Israel, based on archaeological observations and numerical model: *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v. 167, no. 1, p. 101-117.
- Yaalon, D. H., 1967. Factors affecting the lithification of eolianite and interpretation of its environmental significance in the coastal plain of Israel. *Journal of Sedimentary Petrology* 37, 1189-1199.
- Zviely, D., Klein, M., 2004. Coastal cliff retreat rates at Beit-Yannay, Israel in the 20th century. *Earth Surface Processes and Landforms* 29, 175-184.

Abstract

This report presents quantitative mapping of sea-cliff collapse and erosion activity along 21.5 km of Israel's Mediterranean sea-cliffs during an 8 month period between December 2021 and July 2022. Cliff activity was inspected within 50 cliff cells defined by the Mediterranean Coastal Cliff Protection (MCCP) governmental company. Results are based on topographic changes measured by differencing two high-resolution (0.5 m/pixel) DEM's derived from airborne LiDAR data acquired at 4 pts/m² during 12/201 and similar resolution DEM's derived from drone-based LiDAR acquired during 7/2022. Mapping of cliff activity was manually conducted within a GIS environment and was also verified in the field.

Cliff activity was identified only within 19 of the 50 cliff cells examined. All together 39 discrete cliff collapse (CC) events were documented and these amounted to 1,930 m³. Talus deposition (TD) was documented at 18 locations and amounted to a total of 1,050 m³. Erosion of pre-existing talus piles (talus erosion – TE) was documented at 13 locations and amounted to 3,350 m³. Cliff cell 38 (Ashkelon North) was the most active of the cells with 87% of the total effective erosion (EE) measured for all cells occurring with cliff cell 38 (erosion of 3,665 m³ only in cell 38 vs. erosion of 4218 m³ for all cells combined). Cliff activity along the cells examined in the present study did not exceed activity levels of Israel's coastal cliff as quantitatively measured with LiDAR since 2015.



Ministry of Energy
Geological Survey of Israel

Failure and erosion along Israel's coastal cliff cells 1-39 between 12/2021 and 7/2022

Amit Mushkin, Noga Rozen, Oded Katz, Onn Crouvi

Submitted to

The Mediterranean Coastal Cliff Preservation Government Company

GSI Report: GSI/15/2022

Jerusalem, Sep. 2022