משרד האנרגיה
המכון הגיאולוגי

התמוטטות וסחיפת המצוק החופי
בין השנים 2022 ו-2023

מוגש לחברה הממשלתית להגנות מצוקי חוף הים התיכון

עמית מושקין, אלון קליימן, נגה רוזן, עודד בץ, און כרובי

דו"ח מספר GSI/08/2024
ירושלים, יוני 2024

תקציר

דוח זה מציג איתור, מיפוי ואפיון של השינויים בתוואי המצוק החופי (ים התיכון) שהתרחשו בין אוקטובר 2022 לבין אוגוסט 2023 (סה"כ כ- 10 חודשים). הניתוח נעשה על בסיס השוואה בין שני שריגים טופוגרפיים ברזולוציה של 0.5 מטר/פיקסל, תוצרי גיחות LiDAR מוטס ממועדים אלו. המיפוי נערך באופן ידני בעזרת ממ"ג (ARC-GIS) ועבר אימות בשטח במקרים בהם עלה צורך. נפח החומר שהעתיק את מקומו בתקופת המחקר חושב בנפרד עבור כל אחד משבעת מקטעי המצוק הרציפים המרכיבים ביחד את עיקר מצוק החוף של ישראל: מקטע עין ים (אולגה– מכמורת), מקטע נעורים (בית ינאי – נתניה), מקטע נתניה העיר, מקטע נתניה דרום (נתניה - פולג), מקטע געש (ווינגייט – הרצליה), מקטע אשקלון צפון (מצפון למרינת אשקלון), ומקטע אשקלון דרום (תל אשקלון – תחנת הכוח רוטנברג). בנוסף ובנפרד נבחנה הפעילות גם במקטעים המצוקיים המצויים בתאי השטח של תמ"א 13/9.

בתקופת המחקר (2023 - 2022) נרשמו ב 7 מקטעי המצוק הרציפים שמופו 396 אירועי כשל מצוק בנפח כולל של כ- 18,748 מ"ק. ב- 177 אתרים נערמו טאלוסים על החוף בנפח כולל של כ- 7,426 מ"ק, וב- 119 אתרים התרחשה סחיפה של טאלוסים (תוצרי כשל מצוק מלפני אוקטובר 2022) על ידי הגלים בנפח כולל של כ- 7,434 מ"ק. נמצא כי בתקופה האמורה (10/2022-8/2023) נגרע מהמצוק ומבסיסו ב 7 מקטעי המצוק הרציפים שמופו נפח של 18,756 מ"ק הגורם למגמה של נסיגת המצוק כלפי מזרח וסחיפת חומר מהמערכת בקצב ממוצע של כ- 588 מ"ק עבור ק"מ מצוק. קצב ממוצע מדוד זה עבור 2022-23 נמצא בטווח הנמוך של קצבי הנסיגה הממוצעים שנמדדו לאורך המצוק של ישראל מאז 2015, כלומר בין 323 ל 1,614 מ"ק/ק"מ/חורף. עם זאת, בדומה לשנים קודמות נמדדה גם ב 2022-2023 שונות מרחבית משמעותית בקצבי הסחיפה בין מקטעי המצוק השונים: במקטעי עין ים, נתניה העיר ונתניה דרום שטף הגריעה (נפח החומר שנגרע עבור יחידת אורך מצוק בתקופת המחקר) היה נמוך מהשטף הממוצע של כלל המצוק ואילו במקטעי אשקלון צפון ואשקלון דרום השטף היה גבוה ממוצע כלל המצוק. במקטעי געש ונעורים שטף הגריעה היה דומה לממוצע כלל המצוק ב 2022-2023.

השוואה בין פעילות המצוק בשנת המעקב הנוכחית (2022-23) לשנה הקודמת לה (2021-22) מראה כי במקטע עין ים קצב הפעילות בשנה הנוכחית היה נמוך מאשר בשנה הקודמת. במקטעי נתניה העיר, נתניה דרום, געש ואשקלון צפון היה קצב הסחיפה מהמצוק בשנה הנוכחית דומה לקצב הסחיפה בשנה הקודמת. במקטעי נעורים ואשקלון דרום שטף הגריעה היה גבוה מזה שנמדד בשנה שעברה. יצוין כי שטף הגריעה החריג שנמדד במקטע אשקלון צפון במהלך 2018-19 לא חזר על עצמו במהלך 2022-2023 וכי קצב הגריעה מהמצוק במקטע אשקלון צפון בשנה הנוכחית דומה לקצב הסחיפה השנתי הממוצע שנמדד לאורך כלל המצוק מאז 2015. בחלוקת פעילות המצוק לפי תאי השטח של תמ"א 13/9 מתקבל ששטף הגריעה הממוצע בתאי השטח ה"עירוניים" היה גבוה משטף הגריעה הממוצע בתאי השטח ה"טבעיים/חקלאיים" (484 מול 198 מ"ק/ק"מ/חורף, בהתאמה).

תוכן העניינים:

1. הקדמה

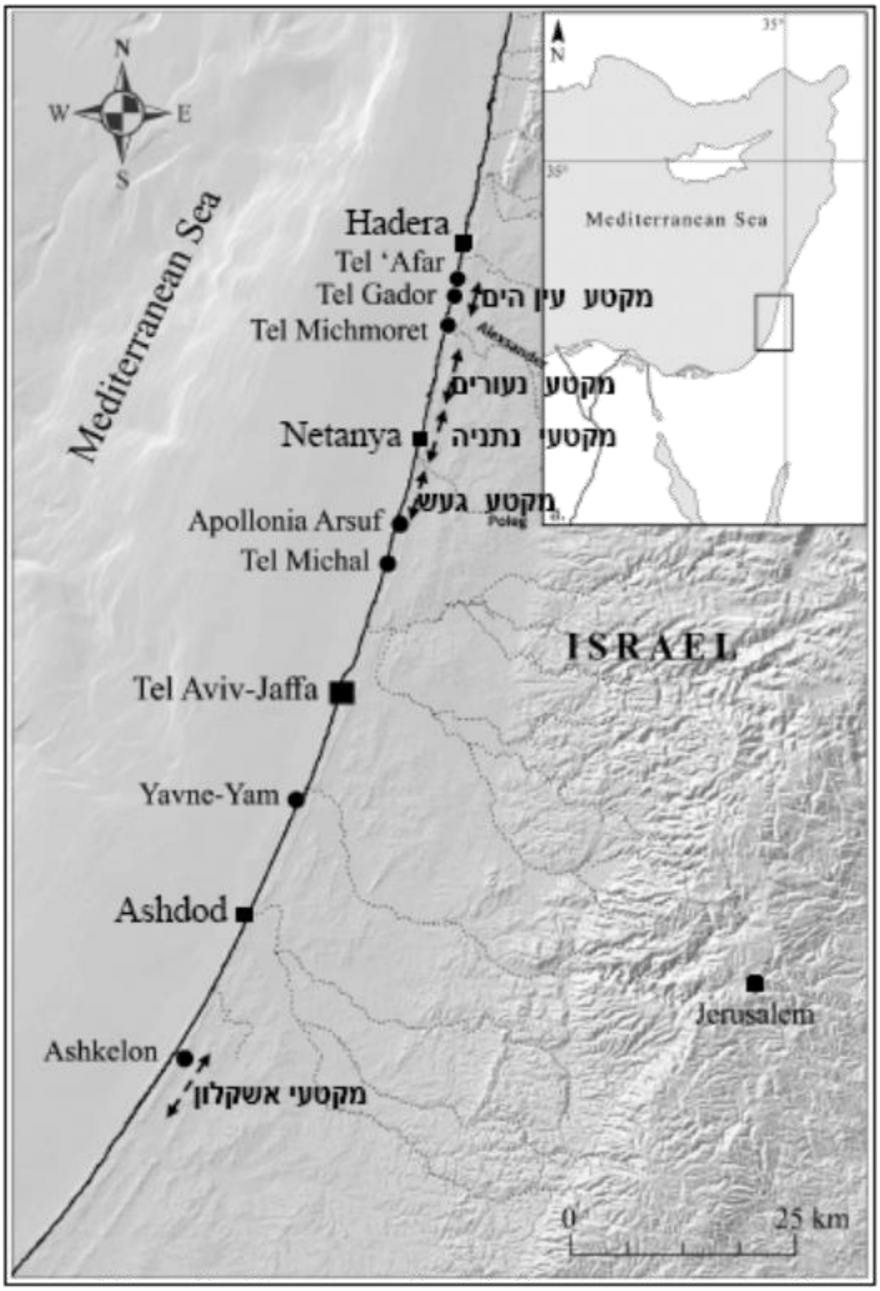
לאורך כ- 50 קילומטר של רצועת החוף הישראלי קיים מצוק חוף המפריד בין אזור חוף הים למרגלותיו, הנתון להשפעת הגלים, לבין מישור החוף מעל, בו מצויים מבנים וממוקמות תשתיות רבות (ניר, 1992). גובה המצוק מגיע עד חמישים מטרים ובסיסו מצוי במרחק של בין מטרים עד עשרות מטרים מזרחה מקו המים. בעקבות פגיעת הגלים החוזרת בבסיס המצוק, מתרחשות מעת לעת התמוטטויות אשר במשך הזמן מסיגות את גג המצוק מזרחה לכיוון היבשה (כץ וחבריו, 2007; כץ וחבריו, 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 אוקטובר 2022 לאוגוסט 2023 (סה"כ כ- 10 חודשים) לאורך כלל המצוק. 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; Frenchen et al., 2001, 2002; Engelmann et al., 2001; Gvirtzman et al., 1984; Yaalon, 1967). המקטע העיקרי של המצוק החופי מתמשך מהרצליה עד חדרה בכיוון צפון-צפון-מזרח ונקרא 'מצוק השרון' (איור 1). אורכו כ- 32 קילומטר וגובהו הממוצע 26 מטר. המצוק במקטע זה הוא רציף, למעט מוצאי הנחלים פולג ואלכסנדר לים, שם קיימות פתחות במצוק ברוחב של כקילומטר. בנוסף, באופן מקומי קיימים ערוצים חתורים במצוק ברוחב של עד עשרות מטרים, ברובם כתוצאה מפעילות האדם. מקטעי מצוק חופי נוספים גובלים ממערב את אזור גוש דן (הרצליה עד בת ים) וכן את אזור אשקלון.

כפי שיתואר בהמשך 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%) ומיעוטו 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 גרגירי קוורץ (30%-90%) ושברי-קונכיות בליכוד גירי בדרגה משתנה. כורכר דור מציג ריבוד צולב וכיסי 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).

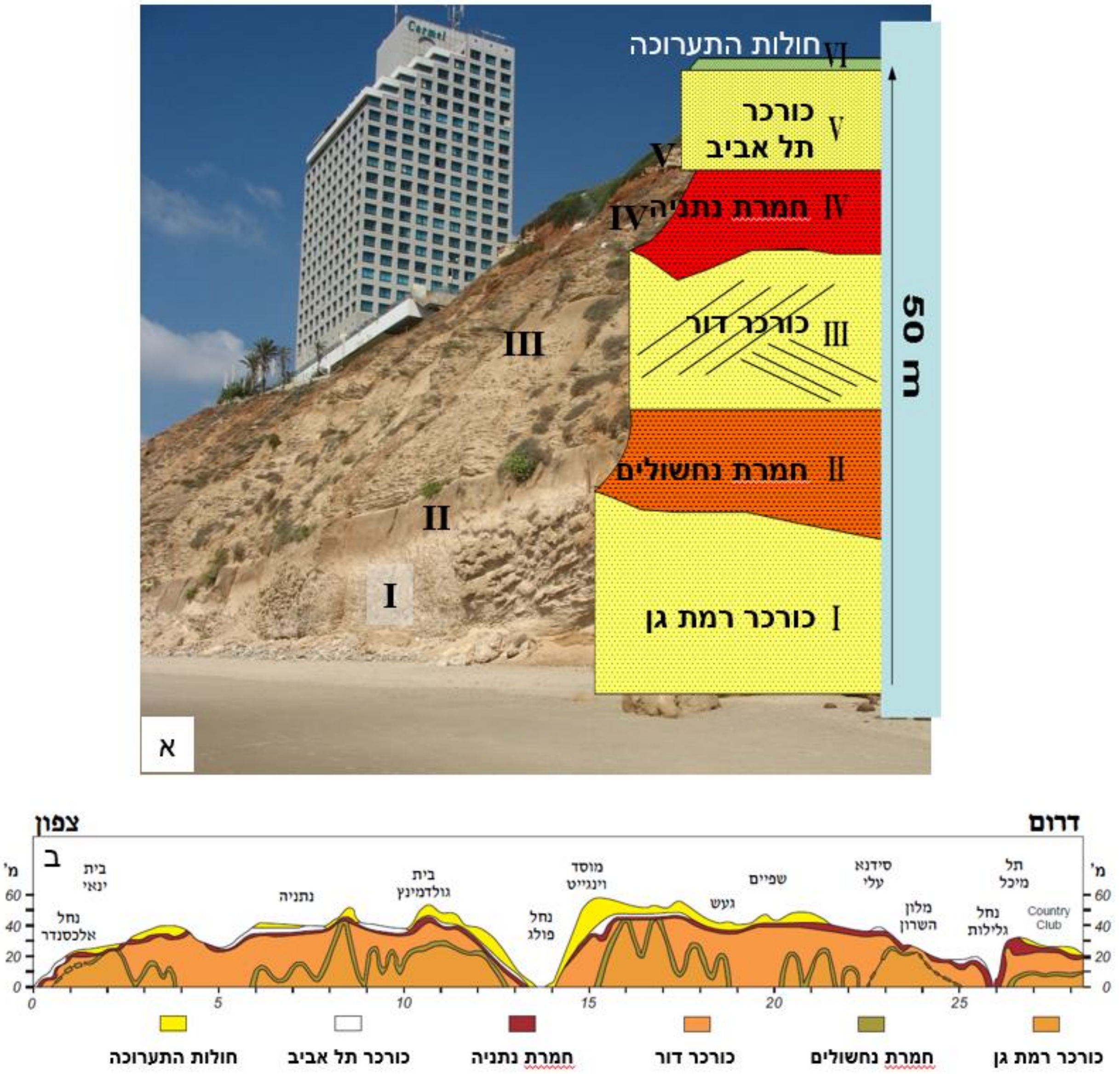
חמרת נתניה: מורכבת בעיקר מגרגירי קוורץ בגודל סילטי-חולי דק (65%-93%), וחרסית (בעיקר מונטמורילוניט) ועובייה מסנטימטרים עד מטרים. תחמוצות ברזל שעוטפות את גרגרי הקוורץ נותנות לחמרה את צבעה האדום. במקומות רבים יש לחמרת נתניה פרופיל של קרקע. המגע התחתון שלה גלי (משרעת מספר מטרים) והמגע העליון עם כורכר תל 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 כיסי חול בלתי מלוכד) וחלק עליון למינרי. עובי הקלקארניט עד מספר מטרים (עבה יותר בשקעים). המגע התחתון עם חמרת נתניה גלי עם התיתדות לקראת פסגות גבוהות בכורכרים. גג הקלקארניט חשוף במקומות או מכוסה בחול רבוד במגע גלי. מחשופי הקלקארניט בד"כ יוצרים את שפת המצוק כדרגש מעל הצניר בחמרת נתניה. גילו 6,700-10,000 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 3,000-6,000 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

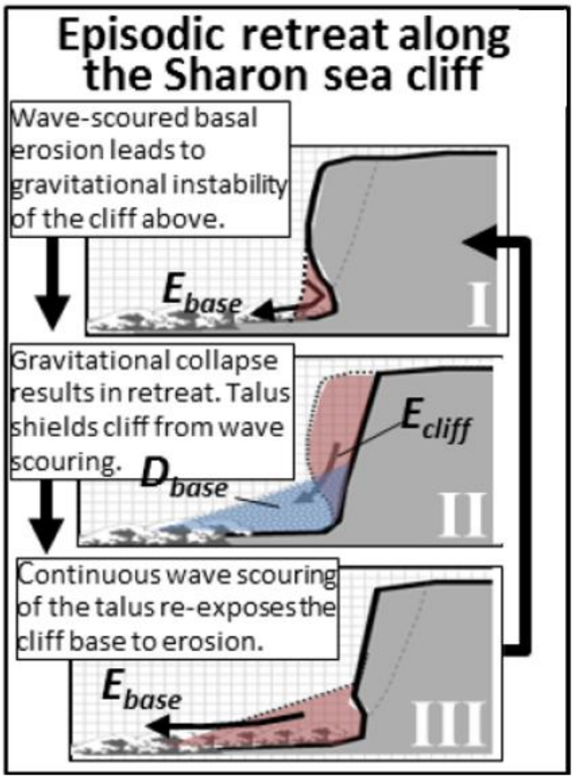
מרצועת החוף. בסיס החתך תוארך ל- 3,200-3,700 שנים לפני ההווה (מקור הגילים מפורט בפרת ואלמגור, 1996) וחלקים אחרים בחתך מכסים מבנים מהתקופה הרומית עד היום.



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 x40) 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 Almagor, 2000; Katz and Mushkin, 2013). סכימה בזמן ובמרחב של מחזורי הכשל והיציבות הללו היא

המניע העיקרי לנסיגת מצוק החוף של ישראל בסדרי זמן גיאולוגים. ניתן לתאר את גריעת הנפח מהמצוק כתהליך רב-שלבי הכולל (אלמגור ופרת, 2016; מושקין וחבריו, 2016; ;Perath and Almagor, 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 צניר (מסומן אדום) הגדל עם הזמן וגורם לאי יציבות גרביטציונית של חלק המצוק מעליו; (II) שלב אי יציבות וכשל: התרחשות אירוע כשל מעל הצניר (מסומן אדום), תוצרי הכשל נערמים בבסיס המצוק (מסומן כחול); (III) שלב היציבות: תוצרי הכשל למעשה מגינים על בסיס המצוק מפני פגיעת הגלים ויצירה של צניר חדש. עם הזמן תוצרי הכשל נסחפים (מסומן אדום) וחושפים את בסיס המצוק ליצירת צניר חדש.

2. שיטת העבודה

איתור, מיפוי וניתוח כמותי של השינויים שהתרחשו בכלל תוואי המצוק החופי בין אוקטובר 2022 לאוגוסט 2023 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 2022: 10/2022

גיחת 2023: 8/2022

ביצוע הטיסה: חברת אופק תצלומי אוויר; פיקוח ובקרת איכות: המכון הגיאולוגי. בנוסף במסגרת הדוח הנוכחי התבצעה גם השוואה לשינויים שהתרחשו במצוק החופי מאז 2015, תוך שימוש בעבודת המכון הגיאולוגי שנעשתה בשנה הקודמת (מושקין וחוב', 2022).

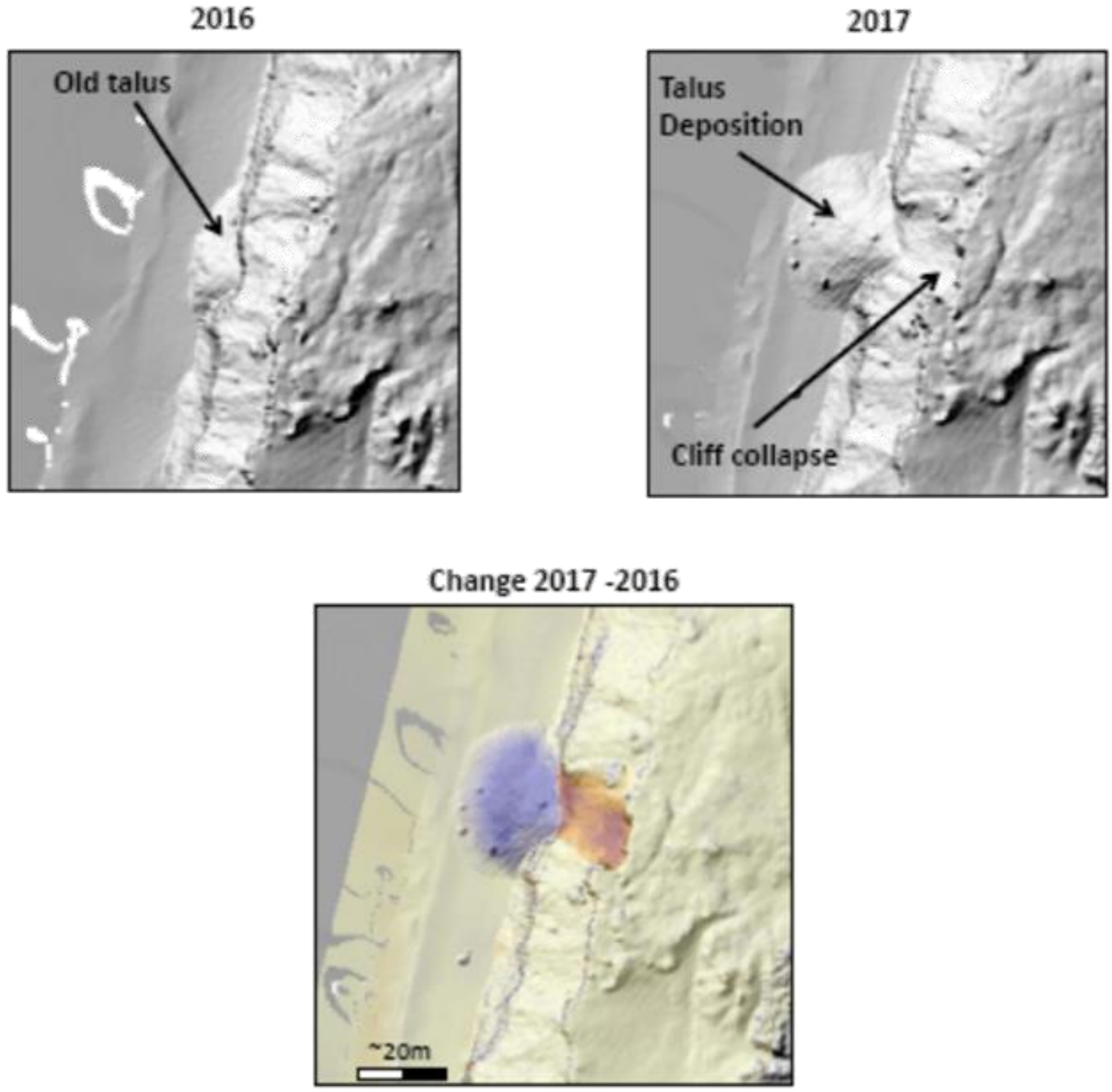
להלן שלבי התהליך שבוצע לצורך איתור, מיפוי ומדידת נפח השינויים לאורך המצוק החופי:

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 עבור גיחות 2202, 2023).
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.
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 "ידני" 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 טבעיות בד"כ לא עולות על אורך של עשרות מטרים ויש להן גיאומטריה קעורה אופיינית. באזורים נבחרים, לפי הצורך, התבצע גם אימות בשדה.
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 (Cliff Collapse – ‘CC’) (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 (Talus Erosion – ‘TE’)

ג. תוספת חומר על החוף בבסיס המצוק (שינוי חיובי בטופוגרפיה במימד האנכי) המבטא הערמות טאלוס חדש בבסיס המצוק (Talus Deposition – ‘TE’) 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 מציין ערך הפרש אפס (ללא שינוי), צבע אדום מסמן ערך הפרש שלילי (חוסר חומר), צבע כחול מציין ערך הפרש חיובי (עודף חומר).

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

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

כאשר V הוא נפח הפוליגן (m^3). A הוא שטח הפוליגון (m^2), <ti> הוא ממוצע הפרש הגבהים (ההפרש הטופוגרפי, m) עבור הפיקסלים בפוליגון.

<u>הערכת שגיאת המדידה:</u> זיהוי ומיפוי הפוליגונים נעשה באופן ידני ומבוקר וזאת בכדי לצמצם למינימום את ההשפעה של אי הדיוקים בעיגון המרחבי של השריגים מ- 2022 ו- 2023. 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 מטר. עבור פיקסל בודד השגיאה (e) מהפחתת שריג 2022 משריג 2023 חושבה כמקובל בהערכה של טעות מצטברת עבור חיבור/חיסור של שתי מדידות בלתי תלויות:

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

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 (<e_i>) חושבה לפי:

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

5. **<u>חלוקה למקטעי מצוק</u>** - לטובת המיפוי, חישובי הנפחים והשוואה לשנים קודמות חולק אזור העבודה ל-7 מקטעים ראשיים הכוללים מצוק רציף (איור1 ו- טבלה 1). מקטע 'עין ים' (חוף אולגה – מכמורת, אורך 3.0 ק"מ, גובה ממוצע 14 מטר); מקטע 'נעורים' (בית ינאי – נתניה, אורך 5.3 ק"מ, גובה ממוצע 26 מטר); מקטע 'נתניה העיר' (אורך 3.1 ק"מ), המקטע כולל את החוף למרגלות העיר ובכלל זה את האזור המוגן על ידי שוברי הגלים; מקטע 'נתניה דרום' (נתניה - פולג, אורך 4.0 ק"מ, גובה ממוצע 30 מטר); מקטע 'געש' (ווינגייט – הרצליה, אורך 10.0 ק"מ, גובה ממוצע 29 מטר); מקטע 'אשקלון צפון' (מצפון למרינה, אורך 3.0 ק"מ); מקטע 'אשקלון דרום' (מצפון לתחנת הכוח – עד תל-אשקלון, אורך 3.5 ק"מ). בהמשך, מוצג מיקום כל פוליגון כמרחק צפונה של מרכז הפוליגון ביחס לנקודת ראשית קבועה. עבור מקטעי עין ים, נעורים, נתניה העיר, נתניה דרום והרצליה נקודת הייחוס נמצאת במרינה של הרצליה ב נ.צ. 181070/674645. ועבור מקטעי אשקלון צפון ואשקלון דרום נמצאת נקודת הייחוס באזור תחנת הכוח ב נ.צ. 154776/615988.

תיאור פעילות המצוק 2022-2023 לפי תאי השטח 1-39 שנקבעו במסגרת תמ"א 13/9 מופיע בנספח 1.

6. **<u>חישוב מאזן הסדימנט כאומדן לקצב נסיגת המצוק</u>**. 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 מבוטא בעזרת ה Effective Erosion (EE) שמחושב 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) בשטח הפנים של המצוק הנבחן מאפשר לתרגם את חישובי הנפחים המתוארים לעיל לאומדן חד מימדי של קצב נסיגת המצוק במימד האופקי לכוון היבשה.

טבלה 1. חלוקה למקטעי התייחסות ראשיים לאורך המצוק החופי

מקטע	אורך/גובה[1]	קצה דרומי		קצה צפוני	
	(ק"מ)/(מ')	נ.צ. (ITM)	מרחק צפונה (ק"מ) מהרצליה/אשקלון[2]	נ.צ. (ITM)	מרחק צפונה (ק"מ) מהרצליה/אשקלון[2]
עין הים	14 / 3.0	187891/701802	28	188678/704712	31
נעורים	26 / 5.3	185942/694043	20	187233/699183	25.3
נתניה העיר	34 / 3.1	185187/691036	16.9	185942/694043	20
נתניה דרום	30 / 4.0	184212/687157	12.9	185187/691036	16.9
געש	29 / 10.0	181580/676462	1.9	183963/686163	11.9
אשקלון צפון	16 / 3.0	158381/621477	6.5	159941/624100	9.5
אשקלון דרום	10 / 3.5	155306/616831	1	157199/619736	4.5

1. גובה ממוצע של המקטע
2. נקודות ייחוס: הרצליה: נ.צ. 181070/674645; אשקלון: נ.צ. 154776/615988.

3. תוצאות

3.1 מפת שינויים 2022-2023

השינויים לאורך כל מצוק החוף סווגו להתמוטטות מצוק (CC, נפח מחושב בסימן שלילי), לסחיפת חומר מטאלוס (TE, נפח מחושב בסימן שלילי) ולתוספת חומר לטאלוס (TD, נפח מחושב בסימן חיובי) (איור 4). סכום כלל הנפחים הללו מציין את אובדן החומר שמקורו במצוק בתקופת המחקר (EE). סיכום הממצאים

מופיע בטבלאות 2 ו- 3 בחלוקה לפי שבעת מקטעי החוף השונים. בנספח 1 מופיע סיכום של הפעילות ב 2022-2023 לפי תאי השטח של תמ"א 13/9.

טבלה 2. סיכום הפעילות לאורך המצוק החופי (2023 - 2022)

מקטע	אורך	כשל מצוק (CC)		סחיפת טאלוס (TE)		טאלוסים שנוספו (TD)		סה"כ גריעה[1] (EE)
	(ק"מ)	מספר קריסות	נפח כולל (m^3)	מספר פוליגונים	נפח כולל (m^3)	מספר טאלוסים	נפח כולל (m^3)	(m^3)
עין הים	3.0	26	-371 ±52	4	-64 ±9	6	134 ±26	**-301**
נעורים	5.3	137	-2,973 ±293	38	-448 ±67	46	866 ±130	**-2,555**
נתניה העיר	3.1	27	-732 ±98	4	-159 ±30	16	582 ±75	**-309**
נתניה דרום	4.0	47	-2,924 ±205	3	-16 ±4	34	2,549 ±287	**-391**
געש	10.0	133	-5,162 ±408	60	-3,631 ±447	63	3,123 ±276	**-5,670**
אשקלון צפון	3.0	12	-2,375 ±64	7	-3,039 ±169	5	100 ±12	**-5,314**
אשקלון דרום	3.5	14	-4,211 ±167	3	-77 ±5	7	72 ±18	**-4,216**
סיכום	**31.9**	**396**	**-18,748**	**119**	**-7,434**	**177**	**7,426**	**-18,756**

1. סה"כ גריעת חומר מצוק מהמערכת החופית (כשל מצוק + טאלוסים שנוספו + סחיפת טאלוסים).

טבלה 3. סיכום מאפייני נפח הפעילות לאורך המצוק החופי (2023 -2022)

מקטע	כשל מצוק (CC) (m^3)		סחיפת טאלוס (TE) (m^3)		טאלוסים שנוספו (TD) (m^3)	
	טווח	חציון	טווח	חציון	טווח	חציון
עין הים	<-69	-6	<-49	-6	<61	14
נעורים	<-487	-8	<-41	-9	<109	9
נתניה העיר	<-97	-20	<-70	-40	<184	18
נתניה דרום	<-1,473	-18	<-10	-4	<1759	7
געש	<-513	-22	<-348	-26	<594	18
אשקלון צפון	<-846	-63	<-1492	-201	<40	17
אשקלון דרום	<-1830	-71	<-41	-22	<22	10

3.1.1 מקטע עין הים

במהלך תקופת המחקר התרחשו במקטע זה 26 אירועי כשל מצוק בטווח נפחים של עד 69 מ"ק (חציון: 6 מ"ק) ובנפח כולל של 371 מ"ק. תועדו 4 אתרים של סחיפת טאלוס בנפח כולל של 64 מ"ק ו- 6 אתרים של הערמות טאלוס בנפח כולל של 134 מ"ק (טבלאות 2, 3). בתקופת המחקר נגרע מהמערכת החופית במקטע זה בסה"כ 301 מ"ק של חומר שמקורו במצוק.

3.1.2 מקטע נעורים

במהלך תקופת המחקר התרחשו במקטע זה 137 אירועי כשל מצוק בטווח נפחים של עד 487 מ"ק (חציון: 8 מ"ק) בנפח כולל של 2,973 מ"ק. תועדו 38 אתרים של סחיפת טאלוס בנפח כולל של 448 מ"ק ו- 46 אתרים של הערמות טאלוס שהגיעו בסה"כ ל- 866 מ"ק (טבלאות 2, 3). בתקופת המחקר נגרע מהמערכת החופית במקטע זה בסה"כ 2,555 מ"ק של חומר שמקורו במצוק.

3.1.3 מקטע נתניה העיר

מקטע זה כולל את חופי העיר נתניה ובכלל זה הקטע המוגן על ידי שוברי גלים אשר אורכו כ- 700 מטר. בתקופת המחקר, במקטע זה, מופו 27 אירועי כשל מצוק בטווח נפחים של עד 97 מ"ק (חציון: 20 מ"ק) שגרעו מהמצוק החופי בסה"כ 732 מ"ק חומר. תועדו 4 אתרים של סחיפת טאלוס בנפח כולל של 159 מ"ק ו- 16 אתרים של הערמות טאלוס שהגיעו בסה"כ ל- 582 מ"ק (טבלה 2). בתקופת המחקר נגרע מהמערכת החופית במקטע זה בסה"כ 309 מ"ק של חומר שמקורו במצוק.

3.1.4 מקטע נתניה דרום

במהלך תקופת המחקר התרחשו במקטע זה 47 אירועי כשל מצוק בטווח נפחים של עד 1,473 מ"ק (חציון: 18 מ"ק) שגרעו מהמצוק החופי בסה"כ 2,924 מ"ק חומר. תועדו 3 אתרים של סחיפת טאלוס בנפח כולל של 16 מ"ק ו- 34 אתרים של הערמות טאלוס שהגיעו בסה"כ ל- 2549 מ"ק (טבלאות 2, 3). בתקופת המחקר נגרע מהמערכת החופית במקטע זה בסה"כ 391 מ"ק של חומר שמקורו במצוק.

3.1.5 מקטע געש

במהלך תקופת המחקר התרחשו במקטע זה 133 אירועי כשל מצוק בטווח נפחים של עד 513 מ"ק (חציון: 22 מ"ק) שגרעו מהמצוק החופי בסה"כ 5,162 מ"ק חומר. תועדו 60 אתרים של סחיפת טאלוס בנפח כולל של 3,631 מ"ק ו- 63 אתרים של הערמות טאלוס שהגיעו בסה"כ ל- 3,123 מ"ק (טבלאות 2, 3). בתקופת המחקר נגרע מהמערכת החופית במקטע זה בסה"כ 5,670 מ"ק של חומר שמקורו במצוק.

3.1.6 מקטע אשקלון צפון

במהלך תקופת המחקר התרחשו במקטע זה 12 אירועי כשל מצוק בטווח נפחים של עד 846 מ"ק (חציון: 63 מ"ק) שגרעו מהמצוק החופי בסה"כ 2,375 מ"ק חומר. תועדו 7 אתרים של סחיפת טאלוס בנפח כולל של 3,039 מ"ק ו- 5 אתרים של הערמות טאלוס שהגיעו בסה"כ ל- 100 מ"ק (טבלאות 2, 3). בתקופת המחקר נגרע מהמערכת החופית במקטע זה בסה"כ 5,314 מ"ק של חומר שמקורו במצוק.

3.1.7 מקטע אשקלון דרום

במהלך תקופת המחקר התרחשו במקטע זה 14 אירועי כשל מצוק בטווח נפחים של עד 1830 מ"ק (חציון: 71 מ"ק) שגרעו מהמצוק החופי בסה"כ 4,211 מ"ק חומר. תועדו 3 אתרים של סחיפת טאלוס בנפח כולל של 77 מ"ק ו- 7 אתרים של הערמות טאלוס שהגיעו בסה"כ ל- 72 מ"ק (טבלאות 2, 3). בתקופת המחקר נגרע מהמערכת החופית במקטע זה בסה"כ 4,216 מ"ק של חומר שמקורו במצוק.

4. דיון

4.1 נפחים והערכת הנסיגה

בתקופת המחקר (כ- 10 חודשים בין אוקטובר 2022 לאוגוסט 2023) תועדו לאורך 7 מקטעי המצוק הרציף 396 אירועי כשל מצוק (CC) בנפח כולל של 18,748 מ"ק, 119 אתרים של סחיפת טאלוסים (TE) בנפח כולל של 7,434 מ"ק ו- 177 אתרים בהם נערם חומר שקרס מהמצוק על החוף (TD) בנפח כולל של 7,426 מ"ק (טבלה 2). בהתאם נמדד מאזן-נפח שלילי (EE) עבור כלל המצוק החופי, המסתכם ב- 18,756 מ"ק. בהתחשב באורך המצטבר של מקטעי המצוק שנבחנו (31.9 ק"מ) מתקבל שטף גריעה ממוצע של 588 מ"ק עבור כל ק"מ מצוק לתקופה המחקר 2022-2023. בהתחשב בכך ששטח הפנים של כלל מקטעי המצוק שנבחנו (כלומר: סה"כ אורך X גובה ממוצע) הוא ~747,000 מ^2 (טבלה 1) הנפח שנגרע מהמערכת במהלך 2022-2023 מתרגם לנסיגה מזרחה לכוון היבשה **ממוצעת** של כ 0.025 מ' עבור כלל מצוק (2.5 ס"מ).

4.2 השוואה בין מקטעי המצוק השונים

התפלגות האירועים השונים וקצב הפעילות לאורך מקטעי המצוק השונים במהלך תקופת המחקר 2022 - 2023 לא הייתה אחידה (טבלה 4):

התמוטטות מצוק (CC): שטף גריעת הסדימנט כתוצאה מהתמוטטות מצוק (CC) במקטעים עין הים ונתניה העיר (124 ו 236 מ"ק/ק"מ מצוק, בהתאמה) היה נמוך משטף קריסות מצוק הממוצע של כלל המצוק (511.8 מ"ק/ק"מ). במקטעי נעורים, נתניה דרום, געש ואשקלון צפון שטף גריעת הסדימנט כתוצאה מהתמוטטות מצוק (561, 676 , 516 ו 791 מ"ק/ק"מ, בהתאמה) היה דומה לקצב הגריעה הממוצע לאורך כלל המצוק ואילו במקטע אשקלון דרום שטף גריעת הסדימנט כתוצאה מהתמוטטות מצוק (1,203 מ"ק/ק"מ מצוק) היה גבוה ~פי 2 ממוצע כלל המצוק.

<u>סחיפת טאלוסים (TE)</u>: שטף סחיפת הטאלוסים (TE) הממוצע לאורך כלל המצוק בתקופת המחקר 2022-2023 היה 233.0 מ"ק/ק"מ (טבלה 4). ערכי TE גבוהים ממוצע זה נמדדו במקטע **אשקלון צפון** (1,013 מ"ק/ק"מ). ערכי TE דומים לממוצע כלל המצוק נמדדו במקטע **געש** (363 מ"ק/ק"מ) וערכי TE נמוכים מהממוצע נמדדו במקטעי עין הים, נעורים, נתניה העיר, נתניה דרום, **ואשקלון דרום** (21, 85, 51, 4, ו 22 מ"ק/ק"מ, בהתאמה).

<u>הערמות טאלוסים (TD):</u> שטף הערמות הטאלוסים (TD) הממוצע לאורך כלל המצוק בתקופת המחקר 2022-2023 היה 232.8 מ"ק/ק"מ (טבלה 4). ערכי TD גבוהים ממוצע זה נמדדו במקטע **נתניה דרום** (637 מ"ק/ק"מ) בעוד ערכי TD נמוכים מהממוצע נמדדו במקטעי עין הים, **אשקלון צפון ואשקלון דרום** (45, 33, ו-21 מ"ק/ק"מ, בהתאמה). במקטעי נעורים, נתניה העיר **וגעש** נמדדו ערכי TD הקרובים לממוצע של כלל המצוק (163, 188 ו 312 מ"ק/ק"מ, בהתאמה).

טבלה 4. צפיפות האירועים ושטף הסדימנט (עבור 10 חודשים; 10/2022-8/2023)

מקטע	**אורך**	**כשל מצוק (CC_f)**				**סחיפת טאלוס (TE_f)**				**טאלוסים שנוספו (TD_f)**				**סה"כ גריעה (EE_f)**
	ק"מ	**מספר קריסות (#)**	**#/ק"מ**	**נפח כולל (m^3)**	**מ"ק/ ק"מ**	**מספר אתרים (#)**	**#/ק"מ**	**נפח כולל (m^3)**	**מ"ק/ ק"מ**	**מספר טאלוסים (#)**	**#/ק"מ**	**נפח כולל (m^3)**	**מ"ק/ ק"מ**	**מ"ק/ ק"מ**
עין הים	3	26	8.7	-371	-82.0	4	1.3	-64	-21.3	6	2.0	134	44.7	**-100.3**
נעורים	5.3	137	25.8	-2,973	-560.9	38	7.2	-448	-84.5	46	8.7	866	163.4	**-482.1**
נתניה העיר	3.1	27	8.7	-732	-236.1	4	1.3	-159	-51.3	16	5.2	582	187.7	**-99.7**
נתניה דרום	4.0	47	11.8	-2,924	-676.0	3	0.8	-16	-4.0	34	8.5	2,549	637.3	**-97.8**
געש	10.0	133	13.3	-5,162	-308.7	60	6.0	-3,631	-363.1	63	6.3	3,123	312.3	**-567.0**
אשקלון צפון	3.0	12	4.0	-2,375	-791.7	7	2.3	-3,039	-1,013.0	5	1.7	100	33.3	**-1,771.3**
אשקלון דרום	3.5	14	4.0	-4,211	-1,203.1	3	0.9	-77	-22.0	7	2.0	72	20.6	**-1,204.6**
סה"כ / *ממוצע*	**31.9**	**396**	*12.4*	**-18,748**	*-588.0*	**119**	*3.7*	**-7,434**	*-233.0*	**177**	*5.5*	**7,426**	*232.8*	**588.0**

<u>שטף גריעת חומר מהמצוק ובסיסו (EE_f)</u>: שטף הגריעה EE_f (מ"ק/ק"מ) הממוצע לכלל המצוק חושב על ידי חלוקה של נפח EE הכולל (מ"ק) בכלל אורך המצוק (ק"מ) (טבלה 4). שטף גריעת החומר הממוצע לאורך כל מצוק החוף בתקופה 2022-2023 עומד על 588 מ"ק/ק"מ. במקטעי עין הים, נתניה העיר ונתניה דרום נמדדו שטפי EE_f נמוכים ממוצע זה (100, 100 , ו 98 מ"ק/ק"מ, בהתאמה). במקטעי **נעורים וגעש** נמדד

שטף EE_f דומים לממוצע (482 ו 567 מ"ק/ק"מ, בהתאמה) ואילו במקטעי אשקלון צפון ואשקלון דרום נמדד שטף EE_f (1,771 ו 1,205 מ"ק/ק"מ, בהתאמה) הגבוה משמעותית מהממוצע של כלל המצוק.

4.3 השוואה של פעילות המצוק בין שנת המעקב הנוכחית (2022-23) לשנים הקודמות (2015-16, 2016-17, 2017-18, 2018-19, 2019-2020, 2020-2021, ו 2021-2022)

טבלה 5 מציגה השוואה בין פעילות המצוק בשנת המעקב הנוכחית (2022-23) לשבע תקופות המחקר הקודמות מאז 2015. מסיבות של אילוצים טכנים גיחות הליידאר החוזרות עליהן מתבסס המיפוי במהלך שנים אלו לא בוצעו באותה עונה כל שנה (2/2015, 3/2016, 4/2017, 10/2018, 7/2019, 7/2020, 12/2021, 10/2022 ו 8/2023) ולכן בפועל אורך תקופות המחקר של 2015-16 , 2016-17, 2017-18, 2018-19 2019-2020, 2020-2021, 2021-2022 ו 2022-2023 הוא 13, 13, 18 10, 12, 17, 10 ו 10 חודשים, בהתאמה. ואולם משום שרוב פעילות קריסת המצוק ופינוי החומר מבסיסו מתרחשת במהלך עונת החורף והאביב המוקדם (Katz and Mushkin, 2013) וכל אחת מתקופות המחקר תוחמת חורף בודד, מושווים כאן נפחי פעילות המצוק שנמדדו בכל תקופת מחקר ללא נרמול למספר החודשים של תקופת המדידה.

<u>פעילות כלל המצוק</u> - ממוצע שטף הגריעה (EE_f) של חומר מכלל המצוק החופי כפי שנמדד בשנת המחקר הנוכחית (2022-23), כלומר 588 מ"ק/ק"מ/חורף, היה בין הנמוכים שנמדדו במיפויים הקודמים מאז 2015: 323 , 1193, 1,145, 1,614, 612 ו 895 מ"ק/ק"מ/חורף עבור 2021/22, 2020/21, 2019/20, 2018/19, 2017/18, 016/17 ו 2015/16, בהתאמה (טבלה 5). במחקר של Mushkin et al. (2016) נמדד נפח גריעה כולל של כ $282*10^3$ מ"ק ממצוק השרון שאורכו המצטבר הוא 18.8 ק"מ בין 3/2006 ל 2/2015. בהתחשב בכך שתקופה זו תוחמת תשעה חורפים מתקבל קצב גריעה ממוצע של כ 1,670 מ"ק/ק"מ/חורף ממצוק השרון בין 2006-2015. בהינתן טווח שגיאה של ±20-30% במדידות אלו מתקבל שבדומה לתקופת המחקר הקודמת (2021-2021) גם קצב הגריעה מכלל המצוק החופי במהלך 2022-23 (588 מ"ק/ק"מ/חורף) היה נמוך משמעותית מקצב הנסיגה הרב שנתי הממוצע שנמדד עבור מצוק השרון מאז 2006.

<u>פעילות המקטעים השונים</u> - בשנת המחקר הנוכחית (2022-23), בדומה לתקופות המחקר הקודמות, נמדדה שונות משמעותית בשטף הגריעה (EE_f) בין מקטעי המצוק השונים (טבלה 5, סעיף 4.2). בחינת השונות בערכי EE_f של מקטעי המצוק השונים לאורך הזמן מגלה שערכי ה EE_f שנמדדו עבור מקטע עין הים ב 2022/23 (100 מ"ק/ק"מ/חורף) נמצאים בתוך טווח הערכים שנמדדו למקטע זה במרוצת השנים מ 2015 (23 - 1,162 מ"ק/ק"מ/חורף). במקטע נעורים שטף הגריעה ממערכת המצוק ב 2022/23 עמד על 482 מ"ק/ק"מ/חורף ונמצא גם הוא בטווח ערכי EE_f שנמדדו למקטע זה מאז 2015 (98 - 1,021 מ"ק/ק"מ/חורף). במקטעי נתניה העיר ונתניה דרום שטפי הגריעה ממערכת המצוק ב 2022/23 עמדו על 100 ו 98 מ"ק/ק"מ/חורף, בהתאמה, והיו נמוכים מרוב ערכי EE_f שנמדדו למקטעים אלה מאז 2016 (60 - 1,091 ו

55 - 1,484 מ"ק/ק"מ/חורף, בהתאמה). במקטע געש שטף הגריעה ממערכת המצוק ב 2022/23 עמד על 567 מ"ק/ק"מ/חורף. ערך זה בדומה לערך EE_f שנמדד בגעש בשנה שעברה (293 מ"ק/ק"מ/חורף) נמוך משמעותית מטווח ערכי EE_f שנמדדו למקטע זה מאז 2015 (1,238-2,522 מ"ק/ק"מ/חורף). במקטע **אשקלון צפון** שטף הגריעה ממערכת המצוק ב 2022/23 עמד על 1,771 מ"ק/ק"מ/חורף ונמצא בטווח ערכי EE_f ה"רגילים" שנמדדו למקטע זה מאז 2015 (716-2,368 מ"ק/ק"מ/חורף). במקטע **אשקלון** דרום היה שטף הגריעה ממערכת המצוק ב 2022/23 (1205 מ"ק/ק"מ/חורף) קרוב לקצה הגבוה של טווח ערכי EE_f שנמדדו במקטע זה מאז 2015 (84-1,558 מ"ק/ק"מ/חורף).

טבלה 5. השוואה של פעילות המצוק בין השנים: 2015-16, 2016-17 ו- 2017-18, 2018-19, 2019-2020, 2020-2021, 2021-2022 ו 2022-2023

מקטע	כשל מצוק (CC_f) (מ"ק/ק"מ/חורף) 2015-2016	2016-2017	2017-2018*	2018-2019	2019-2020	2020-2021**	2021-2022	2022-2023
עין הים	591	14	179	649	696	440	1254	124
נעורים	874	163	176	311	771	424	170	561
נתניה העיר		667	908	361	633	757	184	236
נתניה דרום	361	715	801	1,158	840	386	119	731
געש	1,456	1,654	2,603	1,863	2,175	2,106	387	516
אשקלון צפון	1,970	710	1,247	3,447	1,660	803	271	792
אשקלון דרום	193	841	851	226	1,514	1,427	340	1203

מקטע	סחיפת טאלוס (TE_f) (מ"ק/ק"מ/חורף) 2015-2016	2016-2017	2017-2018*	2018-2019	2019-2020	2020-2021**	2021-2022	2022-2023
עין הים	117	10	33	180	603	29	20	21
נעורים	273	46	197	154	59	192	68	85
נתניה העיר		46	515	303	148	189	34	51
נתניה דרום	88	16	840	606	218	80	19	4
געש	366	196	611	1,364	608	638	113	363
אשקלון צפון	683	128	141	1,152	233	781	1169	1013
אשקלון דרום	54	46	125	760	54	217	98	22

מקטע	טאלוסים שנוספו (TD_f) (מ"ק/ק"מ/חורף) 2015-2016	2016-2017	2017-2018*	2018-2019	2019-2020	2020-2021**	2021-2022	2022-2023
עין הים	145	1	107	291	137	82	954	45
נעורים	126	112	162	154	232	105	128	163
נתניה העיר		545	332	178	489	362	158	188
נתניה דרום	243	526	665	280	406	301	82	637
געש	500	611	872	705	1,025	822	207	312
אשקלון צפון	285	122	480	529	782	330	46	33
אשקלון דרום	163	15	488	21	10	146	78	21

מקטע	סה"כ גריעה (EE_f) (מ"ק/ק"מ/חורף) 2015-2016	2016-2017	2017-2018*	2018-2019	2019-2020	2020-2021**	2021-2022	2022-2023
עין הים	563	23	104	538	1,162	487	320	100
נעורים	1021	98	210	311	598	511	109	482
נתניה העיר		168	1,091	486	290	582	60	100
נתניה דרום	206	205	977	1,484	625	165	55	98
געש	1,322	1,238	2,342	2,522	1,757	1,922	293	567
אשקלון צפון	2,368	716	908	4,070	1,111	1,253	1394	1771
אשקלון דרום	84	872	489	965	1,558	1,497	359	1205
ממוצע כל המצוק	895	612	1,146	1,614	1,145	1193	323	588

* נתוני 2017-2018 מכסים תקופה של 18 חודשים בין 4/2017 – 10/2018. בטבלה זו נתוני 2017-2018 אינם מנורמלים למספר החודשים משום שתקופה זו כללה עונת חורף אחת בלבד. רוב פעילות קריסת המצוק ופינוי החומר מבסיסו מתרחשת החורף.

** נתוני 2020-2021 מכסים תקופה של 17 חודשים בין 7/2020 – 12/2021. בטבלה זו נתוני 2020-2021 אינם מנורמלים למספר החודשים בהנחה מקורבת שתקופה זו כללה עונת חורף אחת.

- תאריכי גיחות הליידאר ותקופות המחקר מאז 2015:
  - *2015-2016, 13 חודשים בין 2/2015-3/2016*
  - *2016-2017, 13 חודשים בין 3/2016-4/2017*
  - *2017-2018, 18 חודשים בין 4/2017-10/2018*
  - *2018-2019, 10 חודשים בין 10/2018-7/2019*
  - *2019-2020, 12 חודשים בין 7/2019-7/2020*
  - *2020-2021, 17 חודשים בין 7/2020-12/2021*
  - *2021-2022, 10 חודשים בין 12/2021-10/2022*
  - *2022-2023, 10 חודשים בין 8/2023-10/2022*

5. מסקנות

בכל מקטעי המצוק שנבדקו במסגרת הדוח הנוכחי, נרשמה בסיכום שנת המעקב 2022-23 גריעה של חומר מהמערכת החופית. במהלך התקופה נגרע סה"כ נפח של כ 18,748 מ"ק מסך 31.9 הק"מ של המצוק. ממוצע גריעת חומר של 588 מ"ק/ק"מ/חורף מתרגם לקצב נסיגה ממוצע של 0.025 מ'/שנה עבור כלל המצוק בתקופה 10/2022-8/2023. קצב סחיפה ממוצע זה עבור 2022-23 נמוך משמעותית מקצב סחיפת החומר השנתי מהמצוק החופי (1,670 מ"ק/ק"מ/שנה) שנמדד בעזרת מדידות ליידאר אווירי מאז 2006 (Mushkin et al., 2016; 2019). כלומר, קצב נסיגת כלל המצוק במהלך 2022-23 היה נמוך בהשוואה לקצב הנסיגה הרב שנתי של המצוק מאז 2006. קצב גריעת החומר במקטע אשקלון צפון במהלך 2022-23 שעמד על 1,771 מ"ק/ק"מ/חורף לעומת קצב ממוצע של כלל המצוק שהיה 588 מ"ק/ק"מ/חורף באותה תקופה מצביע על כך שמקטע אשקלון צפון נותר ב 2022-23 כ"מוקד" של קצב גריעה גבוה יחסית לממוצע כלל המצוק.

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., בוסתן, 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., 2202. התמוטטות וסחיפת המצוק החופי בין השנים 2020 ו- 2021. המכון הגיאולוגי, דוח GSI/09/2022, 28 עמ'.

מושקין, ע., רוזן, נ., פלג, א., כץ, ע., כרובי, א., 2023. התמוטטות וסחיפת המצוק החופי בין השנים 2021 ו- 2022. המכון הגיאולוגי, דוח GSI/16/2023, 31 עמ'.

ניר, י., 1988. חופי הים התיכון של ישראל וצפון סיני, היבטים סדימנטולוגיים. המכון הגיאולוגי, דוח GSI/39/88, 130 עמ'.

ניר, 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., Frenchen, 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.

Frenchen, 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 (Quarternary) 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, 177-190DOI: 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.

נספח 1

פעילות המצוק במהלך 2022-2023 לפי תאי השטח של תמ"א 13/9

תוצאות המיפוי המתוארות בדו"ח זה נבחנו גם במסגרת חלוקה גיאוגרפית של המצוק החופי ל 50 תאי השטח של תמ"א 13/9 המשתרעים לאורך מצוק מצטבר של כ 21.3 ק"מ (טבלה 6). במהלך 10 החודשים של תקופת המחקר (10/2022-8/2023) נמדדו בכלל תאי השטח של תמ"א 13/9 נפחי CC, TE ו TD של 8,827-, 4,589- ו 4,017 מ"ק, בהתאמה. נפח הגריעה האפקטיבי (EE, כמתואר בסעיף 2.6) בכלל המצוקים של תאי השטח היה 9,399- מ"ק. בחלוקה של סה"כ הגריעה לאורך המצטבר של המצוקים בתאי השטח (21.3 ק"מ) מתקבל שטף גריעה ממוצע (EE_f) של 442- מ"ק/ק"מ/חורף עבור כלל תאי השטח של תמ"א 13/9. ערך זה דומה לשטף ה EE_f הממוצע שחושב עבור כל המצוק החופי ב 2022-23 (588- מ"ק/ק"מ/חורף).

נספח 2 מתאר סיווג של 50 תאי השטח של תמ"א 13/9 לתאים בעלי אופי עירוני/מפותח (כולל חניות, דרכים ושטחים שבוצעו בהם עבודות עפר), ולתאים בעלי אופי טבעי/חקלאי. אורכם המצטבר של 39 תאי השטח שסווגו כ"עירוניים" הוא 18.2 ק"מ ובמהלך 2022-23 נגרע מהם כ 8,832 מ"ק של חומר בשטף ממוצע של 484- מ"ק/ק"מ/חורף (איור 5). גריעת חומר מהמצוק במהלך 2022-23 תועדה רק ב 59% מתאי השטח ה"עירוניים" (23 מתוך 39), ושטף הגריעה הממוצע עבור 23 התאים ה"עירוניים הפעילים" היה 736- מ"ק/ק"מ/חורף. אורכם המצטבר של 11 התאים שסווגו כ"טבעיים" הוא 2.9 ק"מ ובמהלך 2022-23 נגרע מהם 567 מ"ק של חומר בשטף ממוצע של 198- מ"ק/ק"מ/חורף. גריעת חומר מהמצוק תועדה ב 73% מתאי השטח ה"טבעיים" (8 מתוך 11), ושטף הגריעה הממוצע המתקבל עבור 8 התאים ה"טבעיים הפעילים" האלה בלבד היה 257 - מ"ק/ק"מ/חורף. בהשוואה לשטף הגריעה הממוצע של המצוק ב 2022-23 (588 מ"ק/ק"מ/חורף) מתקבל ששטף הגריעה הממוצע בתאים העירוניים (484- מ"ק/ק"מ/חורף) היה דומה לממוצע כלל המצוק בעוד שטף הגריעה בתאים הטבעיים (198- מ"ק/ק"מ/חורף) היה נמוך ממוצע כלל המצוק. שטפי גריעה גבוהים במיוחד נמדדו בתאי שטח 4, 5 ו 38 (בית ינאי [2,885- מ"ק/ק"מ/חורף], בית ינאי צפון [3,340- מ"ק/ק"מ/חורף] ו אשקלון צפון [4,675- מ"ק/ק"מ/חורף], בהתאמה), שלושתם מסווגים כתאים עירוניים.

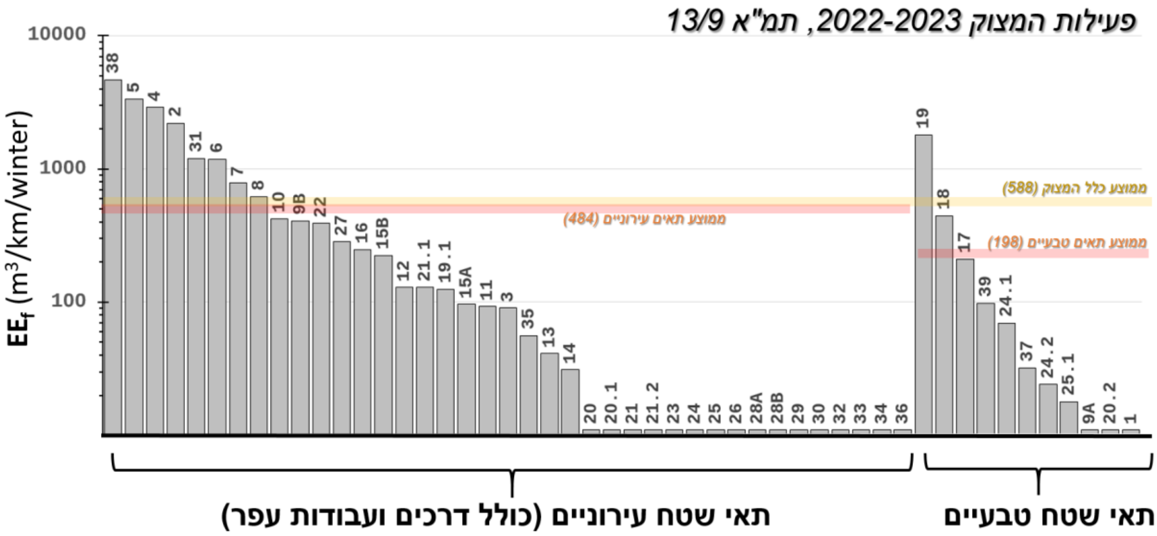
טבלה 6 - סיכום הפעילות לאורך המצוק החופי (2022-2023) במקטעי העבודה של תמ"א 13/9.

	מקטע	אורך	סווג מקטע*	כשל מצוק CC		סחיפת טאלוס TE		טאלוסים שנוספו TD		סה"כ גריעה EE	שטפים	
		(m)	1 – מופר/עירוני 4 – טבעי/חקלאי	מספר קריסות	נפח כולל (m^3)	מספר פוליגונים	נפח כולל (m^3)	מספר טאלוסים	נפח כולל (m^3)	(m^3)	CC_f (m^3/km)	EE_f (m^3/km)
1	תל עפר	188	4	0	0	0	0	0	0	*0*	*0.0*	*0.0*
2	בית חנקין	65	1	1	-67	2	-76	0	0	*-143*	*-1030.8*	*-2200.0*
3	אולגה כפר נופש	303	1	1	-24	0	0	0	0	*-24*	*-79.2*	*-79.2*
4	בית ינאי	122	1	5	-276	6	-76	0	0	*-352*	*-2262.3*	*-2885.2*
5	בית ינאי צפון	197	1	6	-641	2	-17	0	0	*-658*	*-3253.8*	*-3340.1*
6	בית ינאי דרום	650	1	41	-946	6	-36	10	218	*-764*	*-1455.4*	*-1175.4*
7	נעורים	337	1	15	-441	0	0	8	178	*-263*	*-1308.6*	*-780.4*
8	כפר נוער נעורים	518	1	30	-333	8	-126	5	144	*-315*	*-642.9*	*-608.1*
9A	חוף נעורים	88	4	2	-10	0	0	2	10	*0*	*-113.6*	*0.0*
9B	חוף נעורים דרומי	139	1	7	-43	1	-12	0	0	*-55*	*-309.4*	*-395.7*
10	בלו ביי	221	1	1	-91	0	0	0	0	*-91*	*-411.8*	*-411.8*
11	נתניה צפון	318	1	4	0	3	-43	3	17	*-26*	*0.0*	*-81.8*
12	החוף הנפרד	220	1	3	-26	0	0	0	0	*-26*	*-118.2*	*-118.2*
13	שדרות ניצה	232	1	1	-7	0	0	0	0	*-7*	*-30.2*	*-30.2*
14	האמפי/חוף העונות	1342	1	7	-314	3	-91	4	432	*27*	*-234.0*	*20.1*
15A	נתניה סירונית וארגמן	2,837	1	14	-1944	2	-83	29	2471	*444*	*-685.0*	*157*
15B		570	1	8	-257	0	0	8	135	*-122*	*-450.9*	*-214.0*
16	דרום נתניה	210	1	5	-85	0	0	2	35	*-50*	*-404.8*	*-238.1*
17	חוף געש	196	4	2	-64	0	0	1	25	*-39*	*-326.5*	*-199.0*
18	אפולוניה צפון	316	4	2	-19	1	-123	1	5	*-137*	*-60.1*	*-433.5*
19	אפולוניה דרום	173	4	3	-201	3	-154	2	45	*-310*	*-1161.8*	*-1791.9*
19.1		290	1	0	0	1	-56	1	23	*-33*	*0.0*	*-113.8*
20	חוף נוף ים	187	1	0	0	0	0	0	0	*0*	*0.0*	*0.0*
20.1		92	1	0	0	0	0	0	0	*0*	*0.0*	*0.0*
20.2		278	4	0	0	0	0	0	0	*0*	*0.0*	*0.0*
21		170	1	0	0	0	0	0	0	*0*	*0.0*	*0.0*
21.1	גלי תכלת	263	1	2	-31	0	0	0	0	*-31*	*-117.9*	*-117.9*
21.2		175	1	0	0	0	0	0	0	*0*	*0.0*	*0.0*
22	חוף השרון הרצליה	411	1	2	-160	0	0	2	4	*-156*	*-389.3*	*-379.6*
23	חוף אכדיה	894	1	0	0	0	0	0	0	*0*	*0.0*	*0.0*
24	חוף נפרד הרצליה	216	1	0	0	0	0	0	0	*0*	*0.0*	*0.0*
24.1		290	4	1	-17	0	0	0	0	*-17*	*-58.6*	*-58.6*
24.2		304	4	5	-105	0	0	5	101	*-4*	*-345.4*	*-13.2*
25	הצוק תל אביב	620	1	0	0	0	0	0	**0**	*0*	*0.0*	*0.0*
25.1		290	4	3	-39	0	0	2	41	*2*	*-134.5*	*6.9*
26	סי אנד סאן	345	1	0	0	0	0	0	0	*0*	*0.0*	*0.0*
27	תל אביב מרכז	904	1	8	-281	0	0	2	34	*-247*	*-310.8*	*-273.2*
28A	תל ברוך	261	1	0	0	0	0	0	0	*0*	*0.0*	*0.0*
28B	תל ברוך	262	1	0	0	0	0	0	0	*0*	*0.0*	*0.0*
29	הילטון תל אביב	734	1	0	0	0	0	0	0	*0*	*0.0*	*0.0*
30	חוף נחום גולדמן	635	1	0	0	0	0	0	0	*0*	*0.0*	*0.0*
31	יפו חוף עליה	546	1	0	0	1	-649	0	0	*-649*	*0.0*	*-1188.6*
32	בת ים צפון	250	1	0	0	0	0	0	0	*0*	*0.0*	*0.0*
33	בת ים מרכז	850	1	0	0	0	0	0	0	*0*	*0.0*	*0.0*
34	בת ים דרום	375	1	0	0	0	0	0	0	*0*	*0.0*	*0.0*
35	פלמחים	177	1	0	0	1	-8	0	0	*-8*	*0.0*	*-45.2*
36	בית קברות פלמחים	170	1	0	0	0	0	0	0	*0*	*0.0*	*0.0*
37	תל יבנה ים	284	4	1	-6	0	00	0	0	*-6*	*-21.1*	*-21.1*
38	אשקלון צפון	1,130	1	9	-2335	7	-3039	4	91	*-5283*	*-2066.4*	*-4675.2*
39	אשקלון גן לאומי	642	4	2	-64	0	0	2	8	*-56*	*-99.7*	*-87.2*
סה"כ		**21,287**	--	**218**	**-8,827**	**47**	**-4,589**	**93**	**4,017**	***-9,399***	***415***	***442***
		אורך (m)		CC (#)	CC (m^3)	TE (#)	TE (m^3)	TD (#)	TD (m^3)	*EE* (m^3)	CC_f (m^3/km)	EE_f (m^3/km)

*סווג מקטע כמתואר בנספח 2 :

1 – תא שטח בן מתקיים פיתוח עירוני כולל חניות דרכים ושטחים שבוצעו בהם עבודות עפר

4 – תא שטח טבעי/ חקלאי פתוח



איור 5. שטף גריעת הסדימנטים מהמצוק החופי בין 10/2022 ל 8/2023 לפי חלוקה לתאי השטח של תמ"א 13/9. מספור אנכי לפי שמות תאי השטח (טבלה 6). אופן החלוקה לתאי שטח עירוניים/טבעיים מתואר בנספח 2.

נספח 2

מתודולוגיה לחלוקת תאי השטח לשתי קבוצות: פתוח/ מפותח

הוכן על ידי:

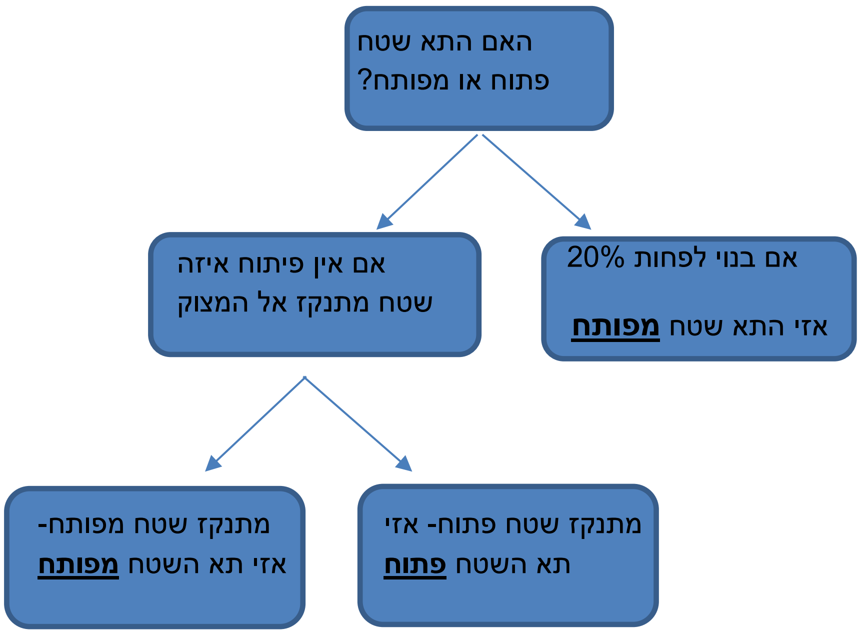
- ***אורית ניר***, *הוועדה לשמירת הסובב החופי (ולחו"ף)*
- ***חן שדה-חיים***, *החברה להגנת מצוקי החוף*

ביצירת באפר של 1 ק"מ סביב תאי השטח, על פי החלטת הולחוף, כל תאי השטח הוגדרו כשטח מפותח. גם ביצירת באפר מצומצם יותר של 300 מטר סביב התאי שטח כל תאי השטח הוגדרו כמפותחים. נעשתה בדיקה עם באפרים ברדיוס מצומצם יותר אך היה קיים קושי להגדיר האם תא השטח מפותח או פתוח.

הוחלט להתבונן על תאי שטח בלבד (ללא באפר):

במידה ויש לצד המצוק פעילות עירונית, מגורים, חניות, דרכים, או כל פיתוח אחר כולל עבודות עפר שיצרו משטחים נרחבים ללא צמחייה, תא השטח מוגדר בתא שטח עם פיתוח.

במידה ואין אזורים מפותחים בתא שטח, והשטח הוא טבעי נסתכל על מודל גבהים ונבחן מהו השטח המתנקז אל המצוק. אם מתנקזים אל המצוק שטחים עורפיים עירוניים, מחוץ לתא השטח אזי תא השטח יוגדר גם הוא מפותח (לדוגמה תא שטח 7 בו כפר הנוער נמצא מחוץ לגבולות תא השטח אך ממתנקז אל המצוק). במידה והמצוק מנקז שטחים טבעיים תא השטח מוגדר פתוח.



Abstract

This report presents quantitative mapping of sea-cliff collapse and erosion activity along Israel's Mediterranean sea cliffs during a 10 month period between October 2022 and August 2023. Results are based on topographic changes measured by differencing two high-resolution (0.5 m/pixel) DEMs derived from airborne LiDAR data acquired at 4 pts/m^2. Cliff activity is described in terms of volumetric erosion/deposition along the seven primary segments that comprise Israel's sea cliff: Ein Yam, Ne'urim, Natanya, Natanya South, Ga'ash, Ashkelon North, and Ashkelon South. The mapping efforts were conducted manually using GIS and were verified in the field.

For the studied period we found 396 cliff collapse events that amount to a total of ~18,748 m^3. Talus deposition occurred at 177 sites and amounted to a total of ~7,426 m^3. Talus erosion (of pre-existing talus piles) due to wave scouring was documented at 119 sites and amounted to a total of ~7,434 m^3. Our results indicate that erosion and landwards retreat of Israel's sea cliff between 2022-2023 occurred at an average rate of ~588 m^3 per km of cliff per year, which translates to a cliff-scale retreat rate of ~0.025 m/yr. This erosion rate is lower than the cliff's average annual erosion rates previously measured with airborne LiDAR since 2006. As in previous years, significant spatial variability in cliff activity was documented during 2022-2023: Erosion rates along the Ein Yam, Natanya city and Natanya South segments were lower than the entire cliff average, whereas erosion rates higher than the entire cliff average were measured along the Ashkelon North and Ashkelon South segments. Erosion rates comparable to the entire cliff average were measured along the Ne'urim and Ga'ash segments.

A comparison of the cliff activity between 2022-23 and the previous year revealed lower erosion rates along the Ein Yam segment that contrast the higher esoion rates measured along the Ne'urim and Ashkelon South segments. Comparable erosion rates to 2021-2022 were measured along the Natanya, Natanya South, Gaash and Ashkelon North segments. The exceptionally high erosion rates documented along the Ashkelon North segment during the 2018-2019 period did not carry into the 2022-2023 period. The 2022-2023 erosion rates along the Ashekelon North segments were comparable to the 9-year average rate measured for this segments since 2015.

Ministry of Energy
Geological Survey of Israel

Failure and erosion along Israel's coastal cliffs between 2022 and 2023

Amit Mushkin, Alon Klaiman, Noga Rozen, Oded Katz, Onn Crouvi

Submitted to

The Mediterranean Coastal Cliff Preservation Government Company

GSI Report: GSI/08/2024 Jerusalem, June 2024