



המכון הגיאולוגי
משרד האנרגיה

התמוטטות וסחיפת המצוק החופי בין השנים 2018 ו- 2019

עמית מושקין, עודד כץ, און כרובי, מיכל קוטליארוב, ענבל סגל

מוגש לחברה הממשלתית להגנות מצוקי חוף הים התיכון

תקציר

דוח זה מציג איתור, מיפוי ואפיון של השינויים בתוואי המצוק החופי (ים התיכון) שהתרחשו בין אוקטובר 2018 לבין יולי 2019 (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 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 גם נבדקו מקטעים מצוקיים קצרים, רובם באזורים עירוניים מופרים, לאורך החופים בין הרצליה ובת ים וכן באזור פלמחים.

בתקופת המחקר (2018 - 2019) נרשמו בכלל מקטעי המצוק הרציפים שמופו 262 אירועי כשל מצוק בנפח כולל של כ - 39,000 מ"ק. ב - 132 אתרים נערכו טאלוסים על החוף בנפח כולל של כ - 12,000 מ"ק, וב - 271 אתרים התרחשה סחיפה של טאלוסים (תוצרי כשל מצוק מלפני אוקטובר 2018) על ידי הגלים בנפח כולל של כ - 24,500 מ"ק. נמצא כי בתקופת האמורה (7/2019 • 10/2018) נגרע מהמצוק ובסיסו נפח של 51,510 מ"ק הגורם למגמה של נסיגת המצוק כלפי מזרח וסחיפת חומר מהמערכת בקצב ממוצע של כ - 1,614 מ"ק עבור ק"מ מצוק. קצב ממוצע מדוד זה עבור 19-2018 גבוהה מהקצבים שנמדדו עבור שלושת החורפים מאז 2015 ואולם אינו שונה מהותית מהקצב גריעת החומר הממוצע שנמדד עבור מצוק החוף של ישראל בעבודות קודמות מאז 2006. קצב זה גם דומה להערכת קצבי הרקע של סחיפת המצוק על סמך תצפיות גיאולוגיות וארכיאולוגיות עבור מאות עד אלפי השנים האחרונות. עם זאת, נמדדה ב - 2019 - 2018 שונות מרחבית משמעותית בין מקטעי המצוק השונים: במקטעים הצפוניים (עין הים, נעורים ונתניה העיר) השטף (כלומר כמות החומר הנגרעת עבור יחידת אורך מצוק) נמוך משמעותית מהשטף הממוצע של כלל המצוק. שטף הגריעה שנמדד במקטע אשקלון צפון ב 2019-2018 היה הגבוה ביותר מבין מקטעים המצוק השונים ועמד על 4,070 מ"ק/ק"מ.

השוואה בין פעילות המצוק בשנת המעקב הנוכחית (2018-19) לשנה הקודמת לה (2017-18) מראה הבדלים בקצב הפעילות של רוב מקטעי המצוק בין שתי תקופות המחקר. ואולם, שונות זו בכמות הסדימנט הנגרע מהמצוק ובסיסו נמצא רובו בתחום התנודה הטבעית בפעילות המצוק ואינה מעידה בהכרח על מגמות ארוכת טווח. יצוין כי שטף הפעילות שנמדד במקטע אשקלון צפון במהלך 19-2018 מסתמן כחריג.

תוכן העניינים:

עמוד

3	1. הקדמה
3	1.1 אזור העבודה
5	1.2 הגיאולוגיה של המצוק החופי
8	2. שיטות העבודה
11	3. תוצאות
11	3.1 מפת שינויים 2018 – 2019
13	3.1.1 מקטע עין הים
13	3.1.2 מקטע נעורים
13	3.1.3 מקטע נתניה העיר
14	3.1.4 מקטע נתניה דרום
14	3.1.5 מקטע געש
14	3.1.6 מקטע אשקלון צפון
14	3.1.7 מקטע אשקלון דרום
22	4. דיון
22	4.1 נפחים והערכת נסיגה
22	4.2 השוואה בין המקטעים השונים
24	4.3 השוואה של פעילות המצוק בין שנת המעקב הנוכחית לקודמת
25	5. מסקנות
27	6. רשימת מקורות
29–31	נספחים

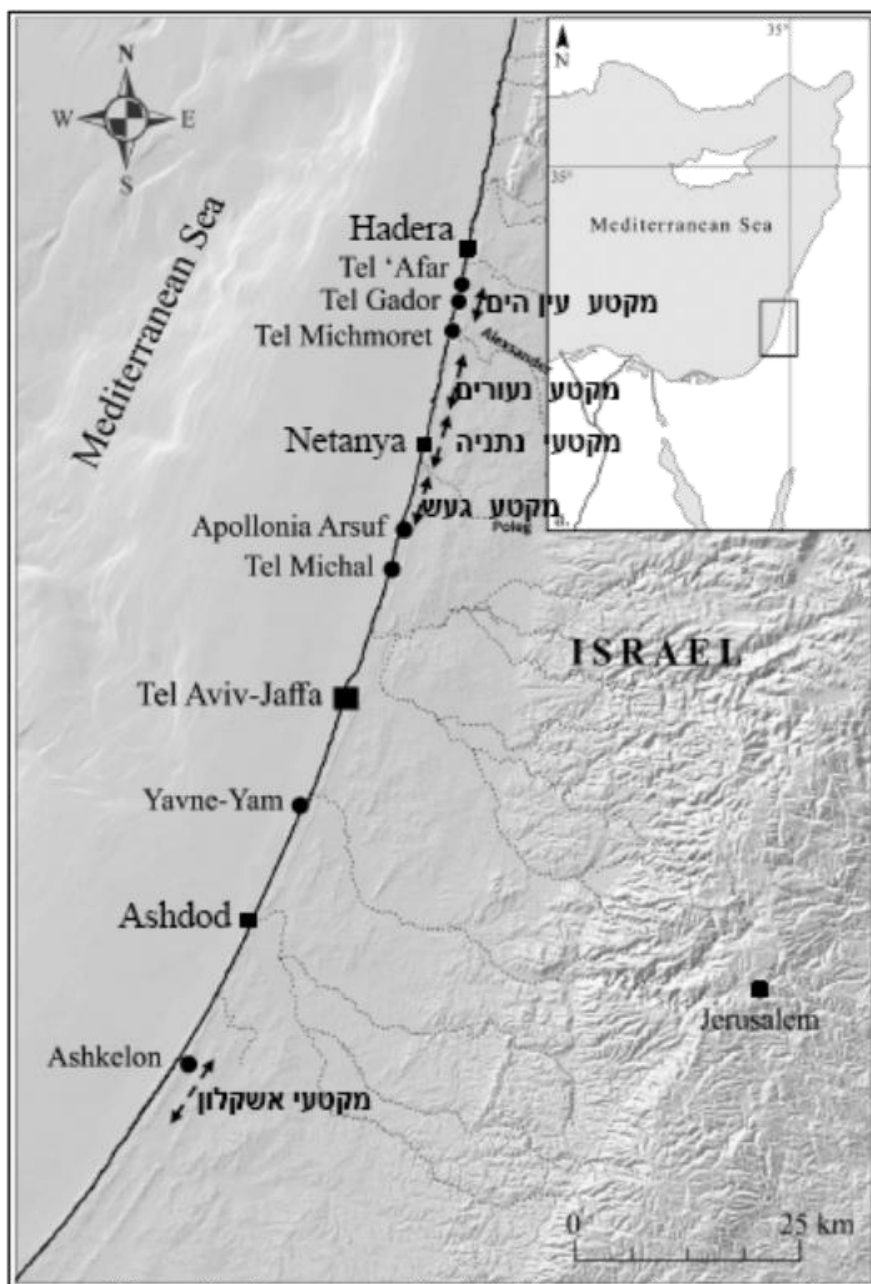
1. הקדמה

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 וחוברי, 2007; כץ וחוברי, 2016; Arkin and Michaeli, 1985; Zvieli et al., 2004; Katz et al., 2013; Mushkin et al., 2016; Barkai et al., 2017; Mushkin et al., 2018). 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 (ים התיכון) שהתרחשו בין חורף 2017 וסתי 2018 (סה"כ כ- 18 חודשים) לאורך כלל המצוק. תקופה זו ארוכה בכ- 50% משתי תקופות המחקר הקודמות שהיו בנות כשנה אחת. 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 הנלוס 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 (Yaalon, 1967; Gvirtzman et al., 1984; Engelmann et al., 2001; French et al., 2001, 2002; Porat et al., 2004). 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 הבינקרחונית 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 העיקריים לאורכם התבצעה העבודה מסומנים בקו מקווקו. 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 מגרגרי 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. לעיתים חמרת נחשולים מפוצלת לשתיים-שלוש תת-יחידות.

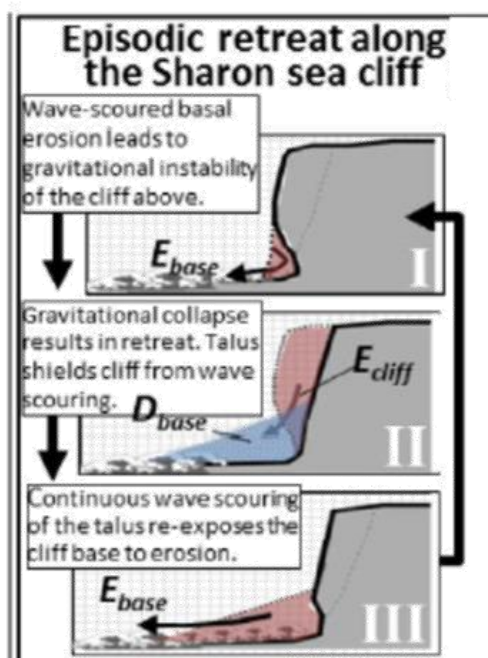
כורכר דור: מורכב בעיקר גרגרי קוורץ (30%-90%) ושברי-קונכיות בליכוד גירי בדרגה משתנה. כורכר דור מציג ריבוד צולב וכיסי חול בלתי מלוכד, בדומה לכורכר רמת-גן. כורכר דור ממלא שקעים בכורכר רמת-גן (עם חמרת נחשולים בגגו) ומגיע לעובי מרבי של 40 מטר. המגע העליון עם חמרת נתניה הוא גלי. גיל היחידה 53,000 - 51,000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

חמרת נתניה: מורכבת בעיקר מגרגרי 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%) וגרגרי 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. מחשוף 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 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 הגלים מפורט בפרת ואלמגור, 1996) וחלקים אחרים בחתך מכסים מבנים מהתקופה הרומית עד היום.

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 גיאולוגיים. ניתן לתאר את גריעת הנפח מהמצוק כתהליך רב-שלבי הכולל (אלמגור ופרת, 2016; מושקין וחובריו, 2016; Perath and Almagor, 2000; Mushkin et al., 2019): (I) סחיפת בסיס המצוק על ידי הגלים, יצירת צנור 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 צנור (מסומן אדום) הגדל עם הזמן וגורם לאי יציבות גרביטציונית של חלק המצוק מעליו; (II) שלב אי יציבות וכשל: התרחשות אירוע כשל מעל הצנור (מסומן אדום) תוצרי הכשל נערכים בבסיס המצוק (מסומן כחול); (III) שלב היציבות: תוצרי הכשל למעשה מגינים על בסיס המצוק מפני פגיעת הגלים ויצירה של צנור חדש. עם הזמן תוצרי הכשל נסחפים (מסומן אדום) וחושפים את בסיס המצוק ליצירת צנור חדש.

2. שיטת העבודה

איתור, מיפוי וניתוח כמותי של השינויים שהתרחשו בכלל תוואי המצוק החופי בין חורף 2018 וקיץ 2019 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 2018: 12/10/20185 - 5

גיחת 2019: 12/7/2019 - 22/6/2019

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 (כץ וחוב', 2019).

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

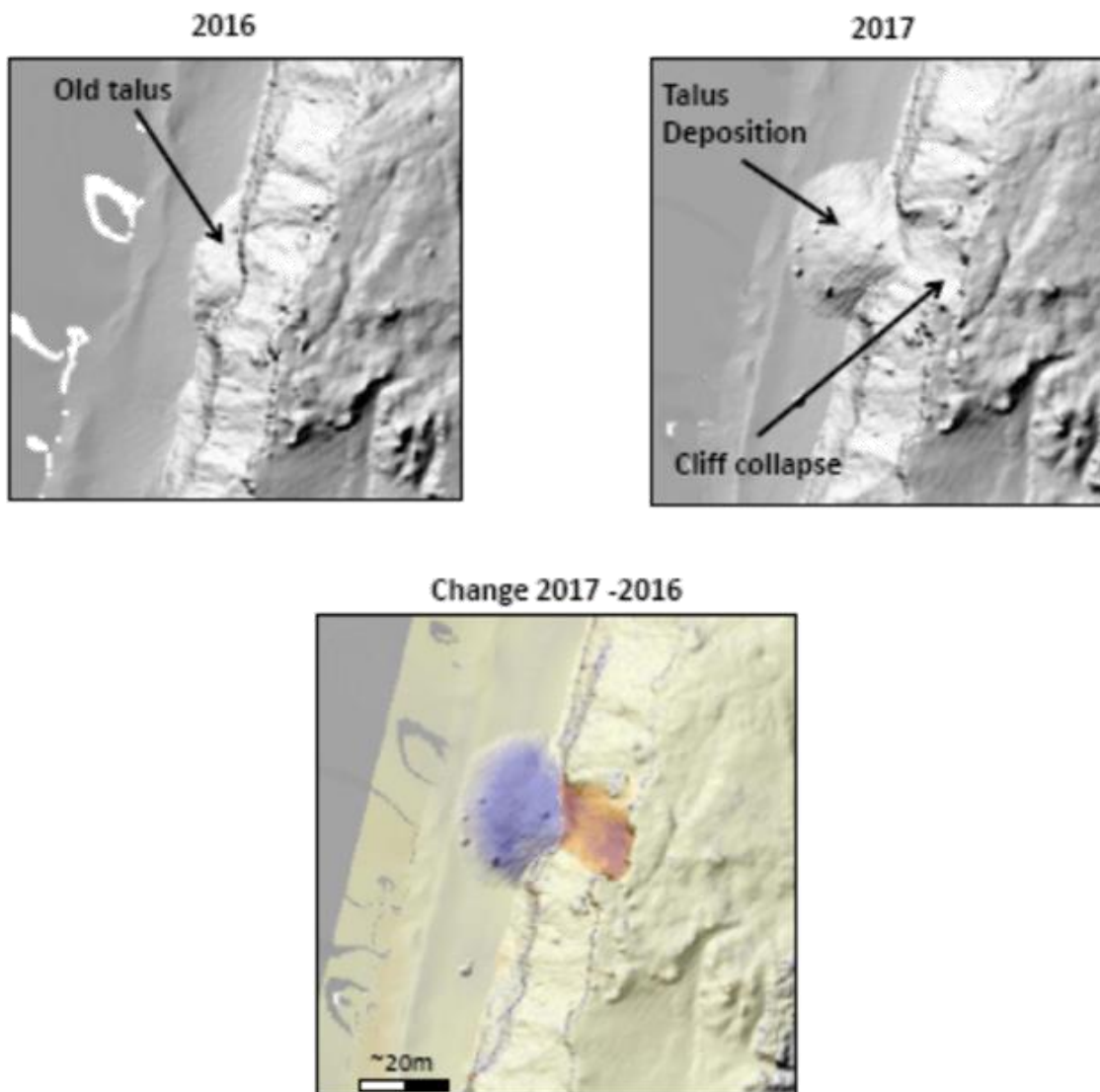
1. ביצוע טיסות LiDAR חוזרות (ברזולוציה של לפחות 4 נקודות למ"ר) ובנייה של שריג טופוגרפי (DEM) ברזולוציה גבוהה של 0.5 מטר/פיקסל עבור שני המועדים הגובלים את תקופת המחקר. זאת תוך הערכה של דיוק העיגון המרחבי של הנתונים מהגיחות השונות ומזעור של השגיאה האנכית (± 0.05 ס"מ דיוק אבסולוטי עבור גיחות 2018, 2019).

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. זיהוי של האזורים בהם קיים שינוי בטופוגרפיה של המצוק, בין שני מועדי טיסה, על גבי 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 של גריעת חומר (שינוי שלילי בטופוגרפיה במימד האנכי), במאפיין של התמוטטות מצוק, כלומר חוסר חומר מהמצוק עצמו (איור 4א), ובנפרד, במאפיין של סחיפת חומר טאלוס, כלומר חוסר בחומר מטאלוס שהיה קיים לפני תחילת המחקר (חורף 2017) (איור 4ב), ופוליגונים המציינים תוספת חומר על החוף בתקופת המחקר (שינוי חיובי בטופוגרפיה במימד האנכי) במאפיין של הערמות של חומר (טאלוס) בבסיס המצוק (איור

44). נציין כי התמוטטות מצוק לא בהכרח מביאה לנסיגה של גג המצוק אם מתרחשת בחלקו התחתון.



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 נערכו כטאלוס בבסיס המצוק (מסומן בחץ). למטה, מפת הפרשים (בין 2017 ו-2016) על גבי מפת הצללה 2017. צבע צהבהב מציין ערך הפרש אפס וללא שינוי, צבע אדום מסמן ערך הפרש שלילי (חסר חומר), צבע כחול מציין ערך הפרש חיובי (עודף חומר).

5. 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 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-2018 ו-2019. בהתאם, המקור העיקרי לשגיאת המדידה נותר הדיוק האבסולוטי (accuracy) של ערכי הגבהים בכל אחד מהשריגים הטופוגרפיים. הדיוק האנכי האבסולוטי של השריגים הטופוגרפיים בהם נעשה שימוש בעבודה זו הינו $0.05 \pm$ מטר.

עבור פיקסל בודד השגיאה (e) מהפחתת שריג 2018 משריג 2019 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 פוליוגון (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 פוליוגון ($\langle e \rangle$) חושבה לפי:

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

6. לטובת המיפוי, חישובי הנפחים והשוואה לשנים קודמות חולק אזור העבודה ל-7 מקטעים ראשיים הכוללים מצוק רציף (איור 1 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 פוליוגון כמרחק צפונה של מרכז הפוליוגון 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 19-2018 לפי תאי השטח 1 - 39 שנקבעו במסגרת תמ"א 13/9 מופיע בנספח 1.

טבלה 1. חלוקה למקטעי התייחסות ראשיים לאורך המצוק החופי

מקטע	אורך/גובה	קצה דרומי		קצה צפוני	
	(ק"מ/מ') נ.צ. (ITM)	מרחק צפונה (ק"מ) מהרצליה/אשקלון ¹	נ.צ. (ITM)	מרחק צפונה (ק"מ) מהרצליה/אשקלון ¹	מרחק צפונה (ק"מ) מהרצליה/אשקלון ¹
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. נקודות ייחוס: הרצליה: נ.צ. 181070/674645; אשקלון: נ.צ. 154776/615988.

3. תוצאות

3.1 מפת שינויים 2018 « 2019

השינויים לאורך כל מצוק החוף סווגו להתמוטטות מצוק (נפח מחושב בסימן שלילי), לסחיפת חומר מטאלוס (נפח מחושב בסימן שלילי) ולתוספת חומר לטאלוס (נפח מחושב בסימן חיובי) (איור 4). סכום כלל הנפחים הללו מציין את אובדן החומר שמקורו במצוק בתקופת המחקר. סיכום הממצאים מופיע בטבלאות 2 ו- 3 וכן מפורט בהמשך לפי שבעת מקטעי החוף השונים.

טבלה 2. סיכום הפעילות לאורך המצוק החופי (2018 – 2019)

מקטע	אורך/גובה	כשל מצוק		סחיפת טאלוס		טאלוסים שנוספו		סה"כ גריעה ¹
		מספר קריסות	נפח כולל (m ³)	מספר פוליגונים	נפח כולל (m ³)	מספר טאלוסים	נפח כולל (m ³)	
עין הים	3.0	18	-1,946 ± 236	13	-541 ± 148	14	873 ± 176	-1,615 ± 330
נעורים	5.3	23	-1,650 ± 163	46	-814 ± 298	12	815 ± 167	-1,649 ± 379
נתניה העיר	3.1	14	-1,120 ± 199	13	-938 ± 237	7	552 ± 141	-1,507 ± 340
נתניה דרום	4.0	34	-4,631 ± 941	34	-2,426 ± 852	16	1,121 ± 355	-5,914 ± 1318
געש	10.0	116	-1,863 ± 1,705	112	-13,640 ± 3271	57	7,053 ± 1051	-25,219 ± 3835
אשקלון צפון	3.0	33	-10,341 ± 701	18	-3,454 ± 559	20	1,587 ± 275	-12,209 ± 938
אשקלון דרום	3.5	24	-789 ± 157	35	-2,659 ± 593	6	74 ± 41	-3,375 ± 614
סיכום	31.9	262	-39,112 ± 4,102	271	-24,474 ± 5,958	132	12,076 ± 2206	-51,510 ± 7754

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

טבלה 3. סיכום מאפייני נפח הפעילות לאורך המצוק החופי (2018 – 2019)

מקטע	כשל מצוק (m ³)		סחיפת טאלוס (m ³)		טאלוסים שנוספו (m ³)	
	טווח	חציון	טווח	חציון	טווח	חציון
עין הים	<339	65	<124	<124	<263	21
נעורים	<714	23	<337	<337	<133	12
נתניה העיר	<274	63	<193	<193	<453	12

23	<653	<428	<428	115	<511	נתניה דרום
48	<2,009	<1,227	<1,227	35	<3,943	געש
27	<1,088	<653	<653	57	<3,299	אשקלון צפון
7	<41	<784	<784	21	<192	אשקלון דרום
21		36		57		חציון כלל האירועים

3.1.1 מקטע עין הים

במהלך תקופת המחקר התרחשו במקטע זה 18 אירועי כשל מצוק בטווח נפחים של עד 339 מ"ק (חציון: 65 מ"ק) שגרעו מהמצוק החופי בסה"כ 1,946 מ"ק (מטר מעוקב) חומר (איור 5). תועדו 13 אתרים של סחיפת טאלוס בנפח כולל של 541 מ"ק ו - 14 אתרים אחד של הערמות טאלוס בנפח 873 מ"ק (טבלאות 2, 3). בתקופת המחקר נגרע מהמערכת החופית במקטע זה בסה"כ 1,615 מ"ק של חומר שמקורו במצוק.

3.1.2 מקטע נעורים

במהלך תקופת המחקר התרחשו במקטע זה 23 אירועי כשל מצוק בטווח נפחים של עד 714 מ"ק (חציון: 23 מ"ק) שגרעו מהמצוק החופי בסה"כ 1,650 מ"ק חומר (איור 6). תועדו 46 אתרים של סחיפת טאלוס בנפח כולל של 814 מ"ק ו - 12 אתרים של הערמות טאלוס שהגיעו בסה"כ ל - 815 מ"ק (טבלאות 2, 3). בתקופת המחקר נגרע מהמערכת החופית במקטע זה בסה"כ 1,649 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 14 אירועי כשל מצוק בטווח נפחים של עד 274 מ"ק (חציון: 63 מ"ק) שגרעו מהמצוק החופי בסה"כ 1,120 מ"ק חומר (איור 7). תועדו 13 אתרים של סחיפת טאלוס בנפח כולל של 938 מ"ק ו - 7 אתרים של הערמות טאלוס שהגיעו בסה"כ ל - 552 מ"ק (טבלה 2). בתקופת המחקר נגרע מהמערכת החופית במקטע זה בסה"כ 1,507 מ"ק של חומר שמקורו במצוק.

3.1.4 מקטע נתניה דרום

במהלך תקופת המחקר התרחשו במקטע זה 34 אירועי כשל מצוק בטווח נפחים של עד 511 מ"ק (חציון: 115 מ"ק) שגרעו מהמצוק החופי בסה"כ 4,631 מ"ק חומר (איור 8). תועדו 34 אתרים של סחיפת טאלוס בנפח כולל של 2,426 מ"ק ו- 16 אתרים של הערמות טאלוס שהגיעו בסה"כ ל- 1,121 מ"ק (טבלאות 2, 3). בתקופת המחקר נגרע מהמערכת החופית במקטע זה בסה"כ 5,914 מ"ק של חומר שמקורו במצוק.

3.1.5 מקטע געש

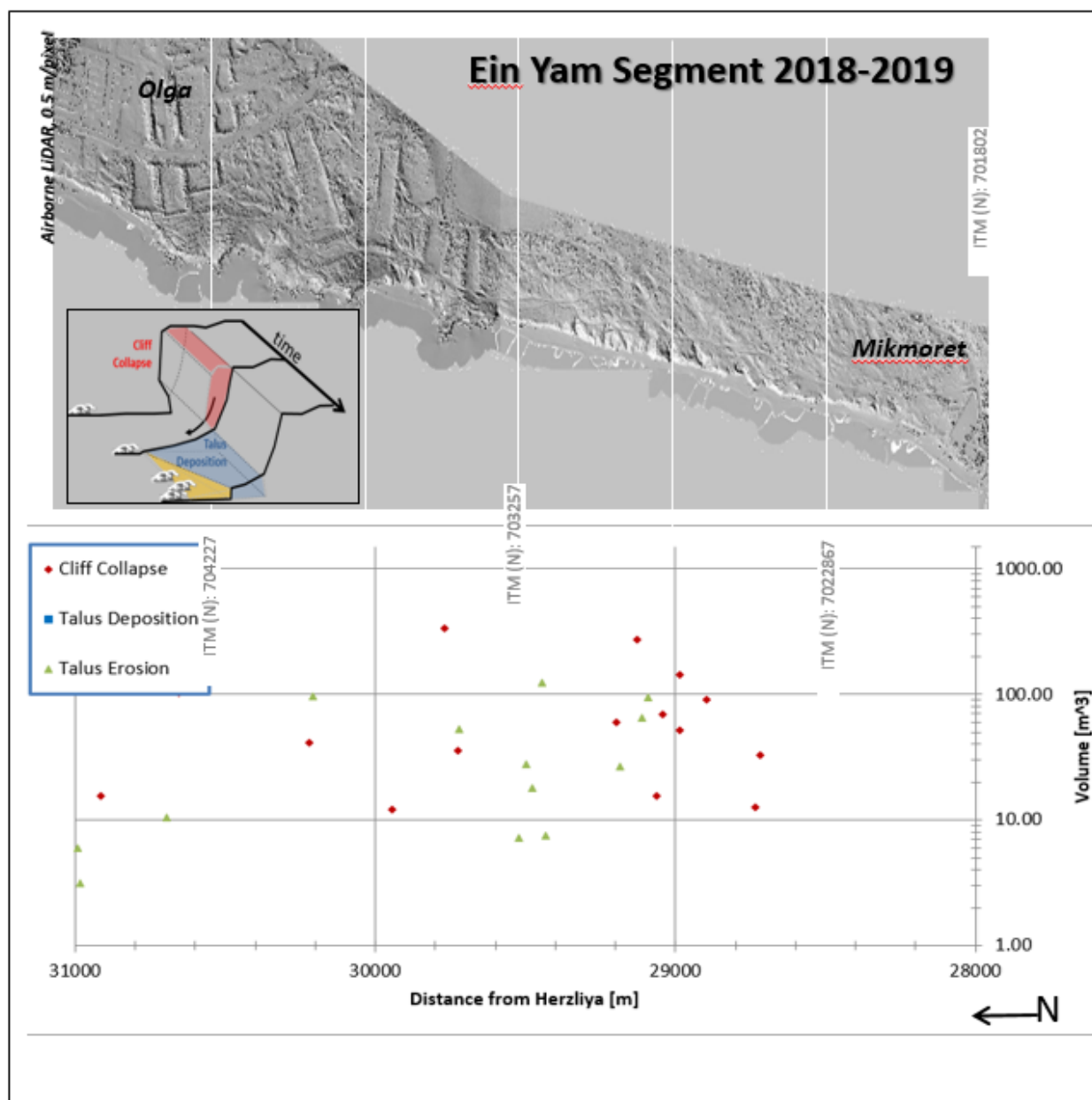
במהלך תקופת המחקר התרחשו במקטע זה 116 אירועי כשל מצוק בטווח נפחים של עד 3,943 מ"ק (חציון: 35 מ"ק) שגרעו מהמצוק החופי בסה"כ 18,632 מ"ק חומר (איור 9). תועדו 112 אתרים של סחיפת טאלוס בנפח כולל של 13,640 מ"ק ו- 57 אתרים של הערמות טאלוס שהגיעו בסה"כ ל- 7,053 מ"ק (טבלאות 2, 3). בתקופת המחקר נגרע מהמערכת החופית במקטע זה בסה"כ 25,219 מ"ק של חומר שמקורו במצוק.

3.1.6 מקטע אשקלון צפון

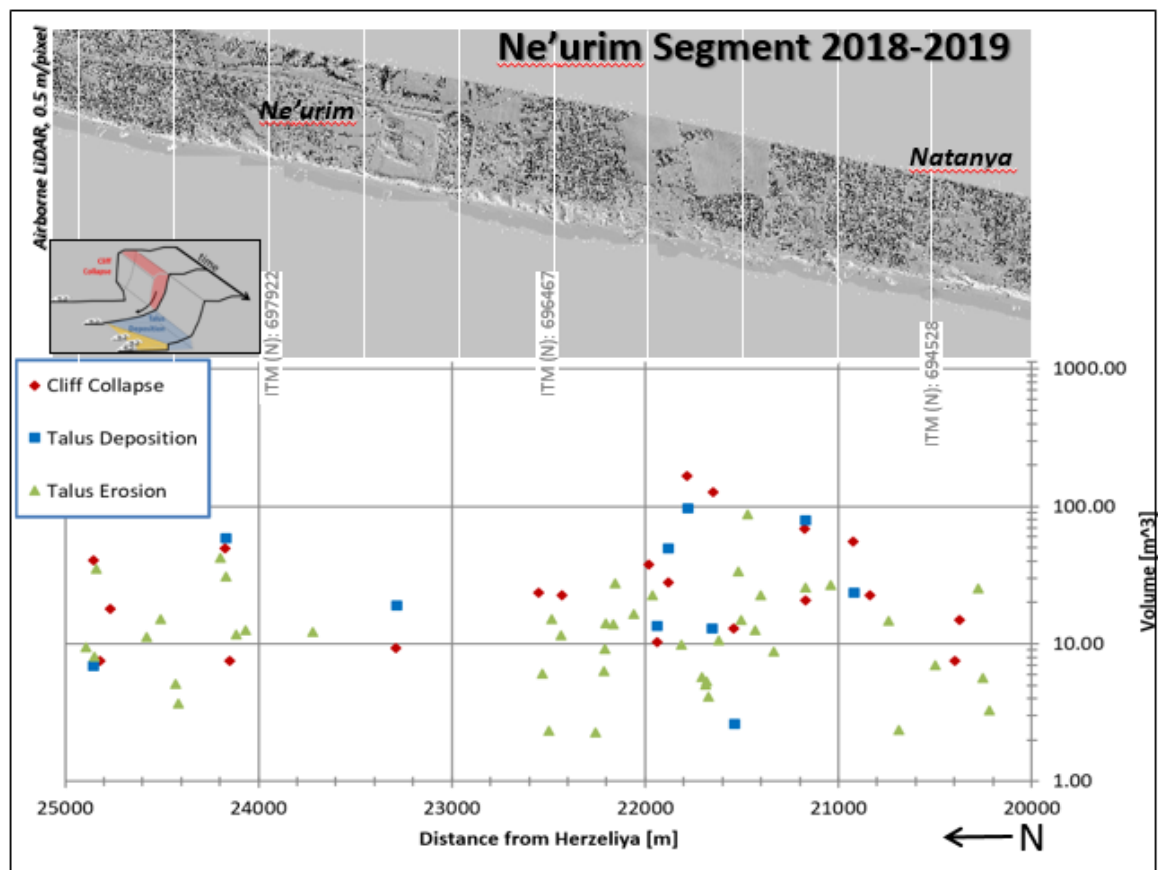
במהלך תקופת המחקר התרחשו במקטע זה 33 אירועי כשל מצוק בטווח נפחים של עד 3,299 מ"ק (חציון: 57 מ"ק) שגרעו מהמצוק החופי בסה"כ 10,341 מ"ק חומר (איור 10). תועדו 18 אתרים של סחיפת טאלוס בנפח כולל של 3,454 מ"ק ו- 20 אתרים של הערמות טאלוס שהגיעו בסה"כ ל- 1,587 מ"ק (טבלאות 2, 3). בתקופת המחקר נגרע מהמערכת החופית במקטע זה בסה"כ 12,209 מ"ק של חומר שמקורו במצוק.

3.1.7 מקטע אשקלון דרום

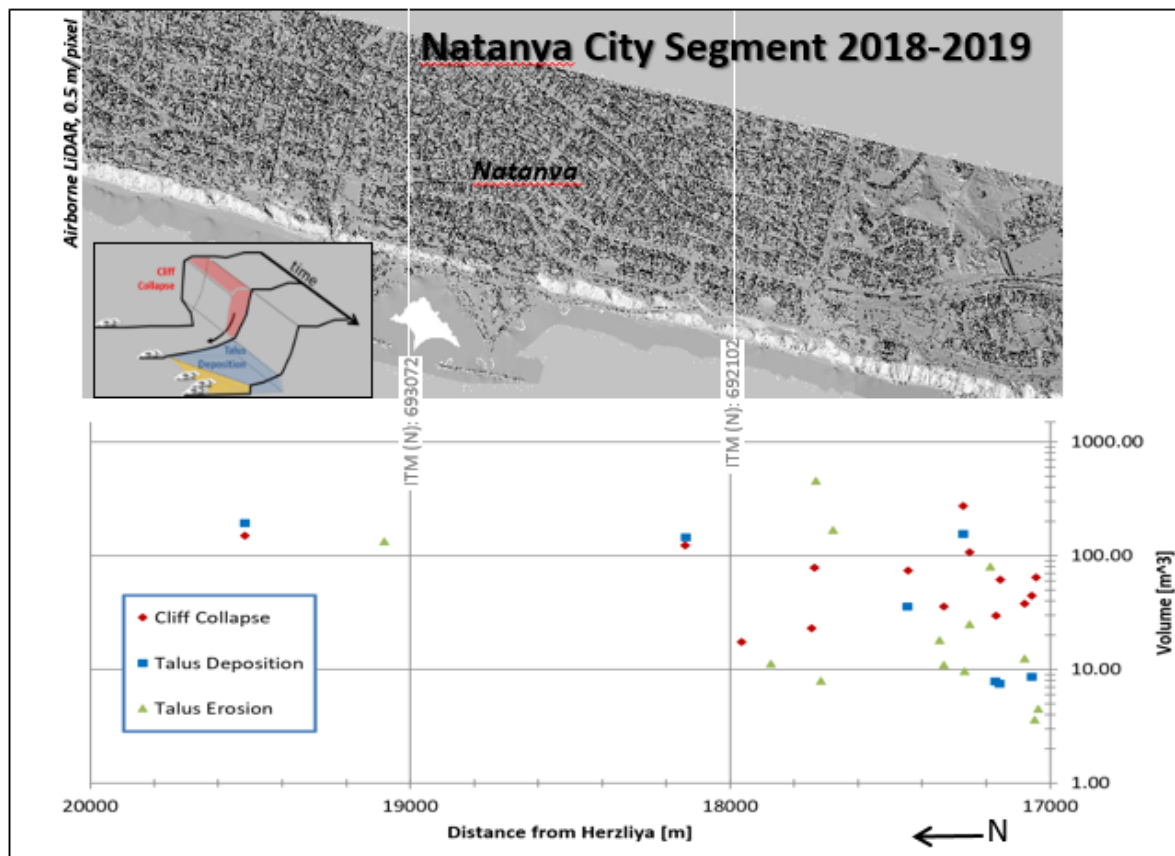
במהלך תקופת המחקר התרחשו במקטע זה 24 אירועי כשל מצוק בטווח נפחים של עד 192 מ"ק (חציון: 21 מ"ק) שגרעו מהמצוק החופי בסה"כ 789 מ"ק חומר (איור 11). תועדו 35 אתרים של סחיפת טאלוס בנפח כולל של 2,659 מ"ק ו- 6 אתרים של הערמות טאלוס שהגיעו בסה"כ ל- 74 מ"ק (טבלאות 2, 3). בתקופת המחקר נגרע מהמערכת החופית במקטע זה בסה"כ 3,375 מ"ק של חומר שמקורו במצוק.



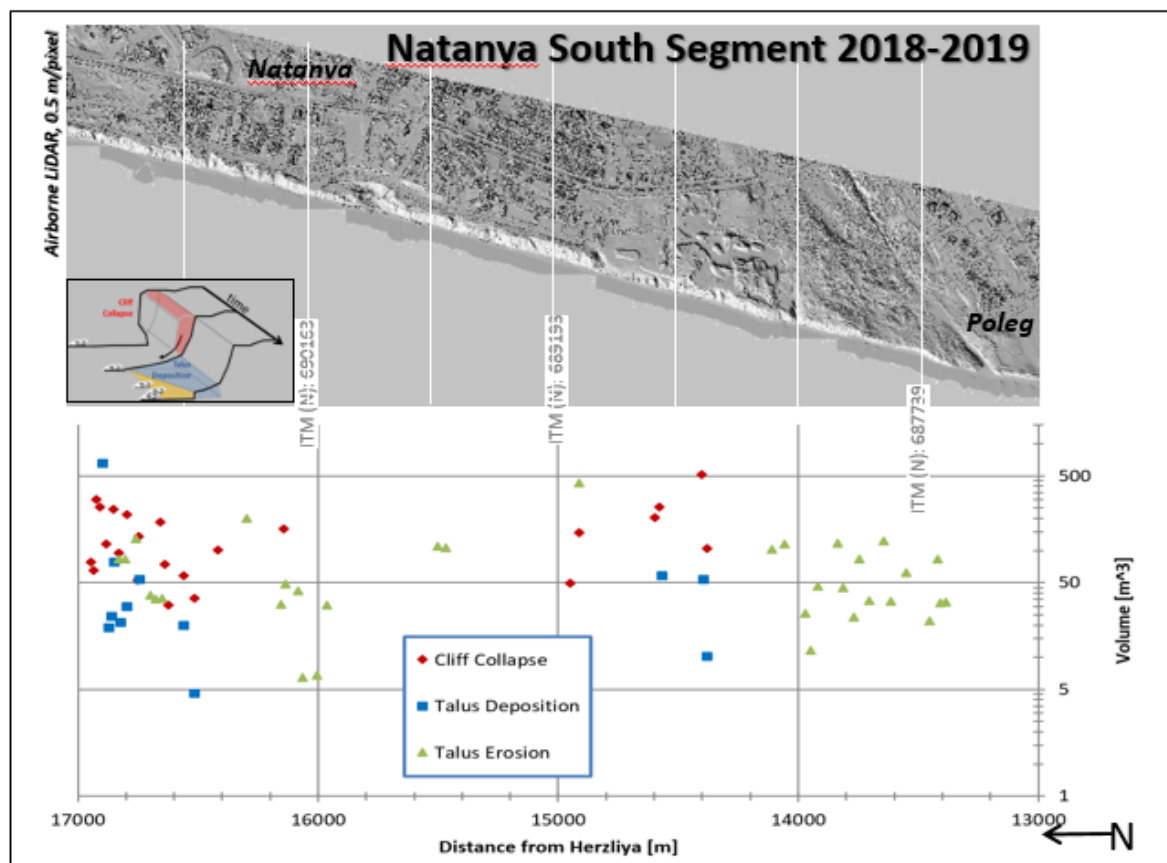
איור 5. למעלה: סיכום פעילות המצוק לאורך מקטע עין ים 2018-2019 מוצגת לפי המרחק ממרינת הרצליה. אדום: קריסת מצוק, כחול: השקעת טאלוס, ירוק: סחיפת טאלוס על ידי הגלים (מוצג בצורה סכמתית באיור המוקטן). קואורדינטות צפון ברשת ישראל החדשה באפור.



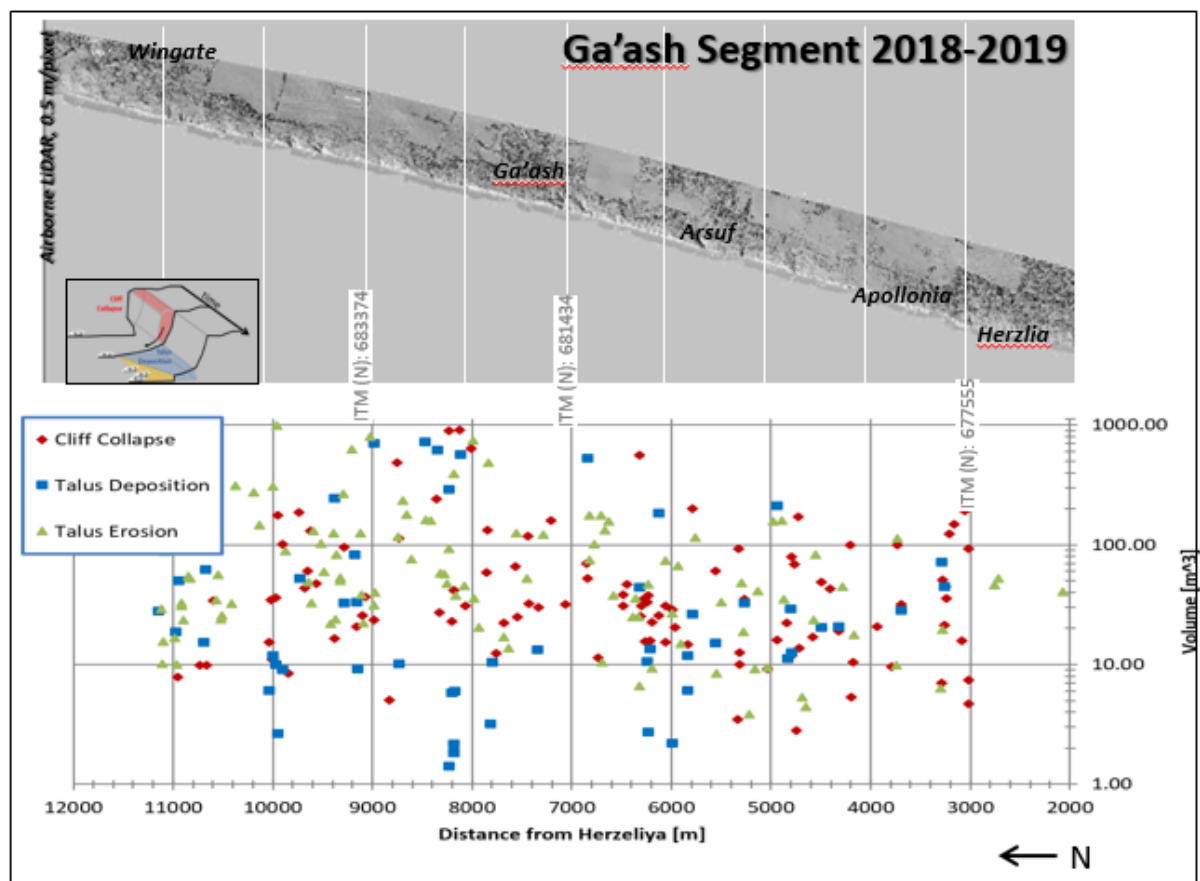
איור 6. למעלה: סיכום פעילות המצוק לאורך מקטע נעורים 2018-2019 מוצגת לפי המרחק ממרינת הרצליה. **אדום:** קריסת מצוק, **כחול:** השקעת טאלוס, **ירוק:** סחיפת טאלוס על ידי הגלים (מוצג בצורה סכמתית באיור המוקטן). קואורדינטות צפון ברשת ישראל החדשה באפור.



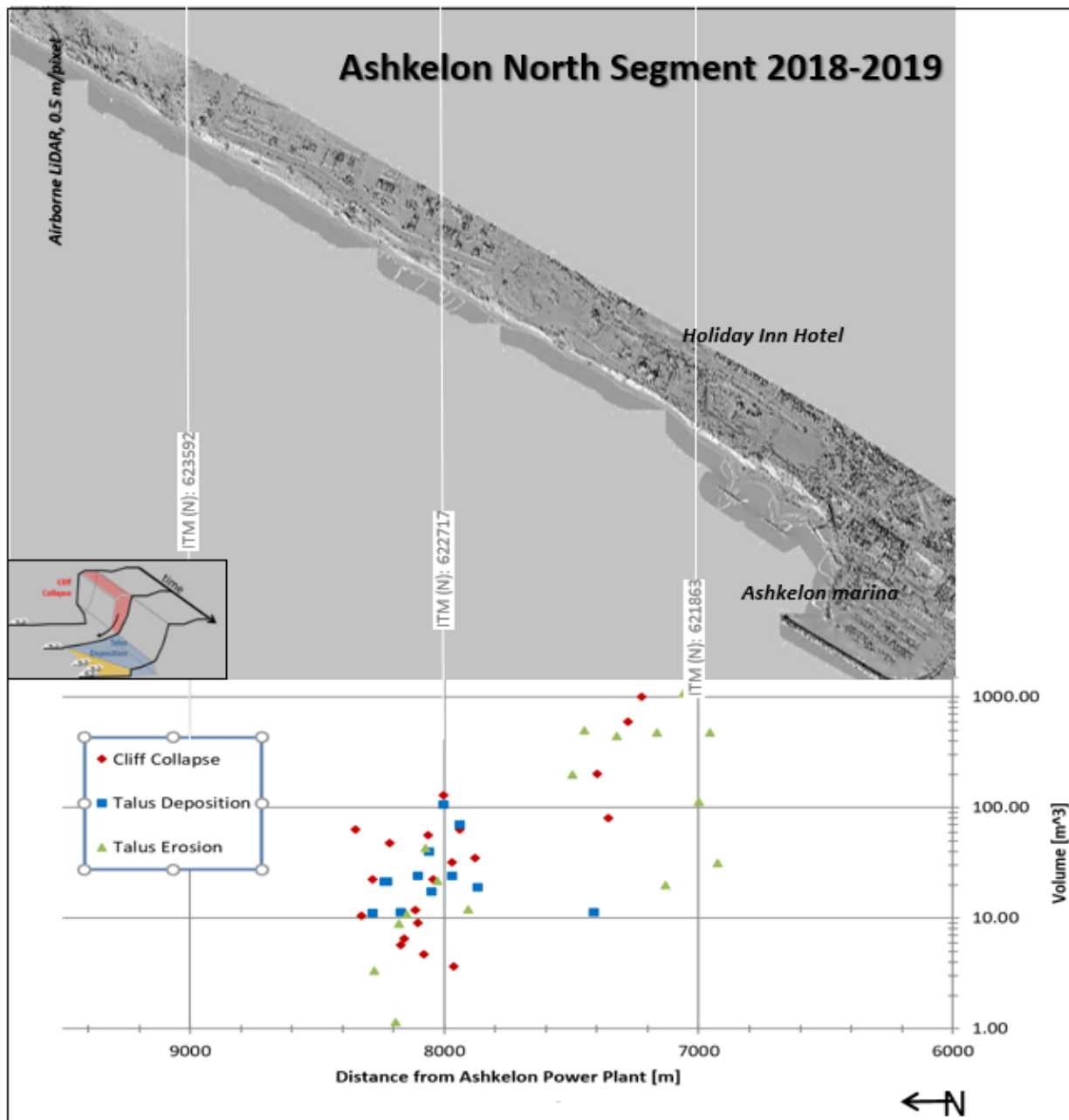
איור 7. למעלה: סיכום פעילות המצוק לאורך מקטע נתניה העיר 2018-2019 מוצגת לפי המרחק ממרינת הרצליה. אדום: קריסת מצוק, כחול: השקעת טאלוס, ירוק: סחיפת טאלוס על ידי הגלים (מוצג בצורה סכמתית באיור המוקטן). קואורדינטות צפון ברשת ישראל החדשה באפור.



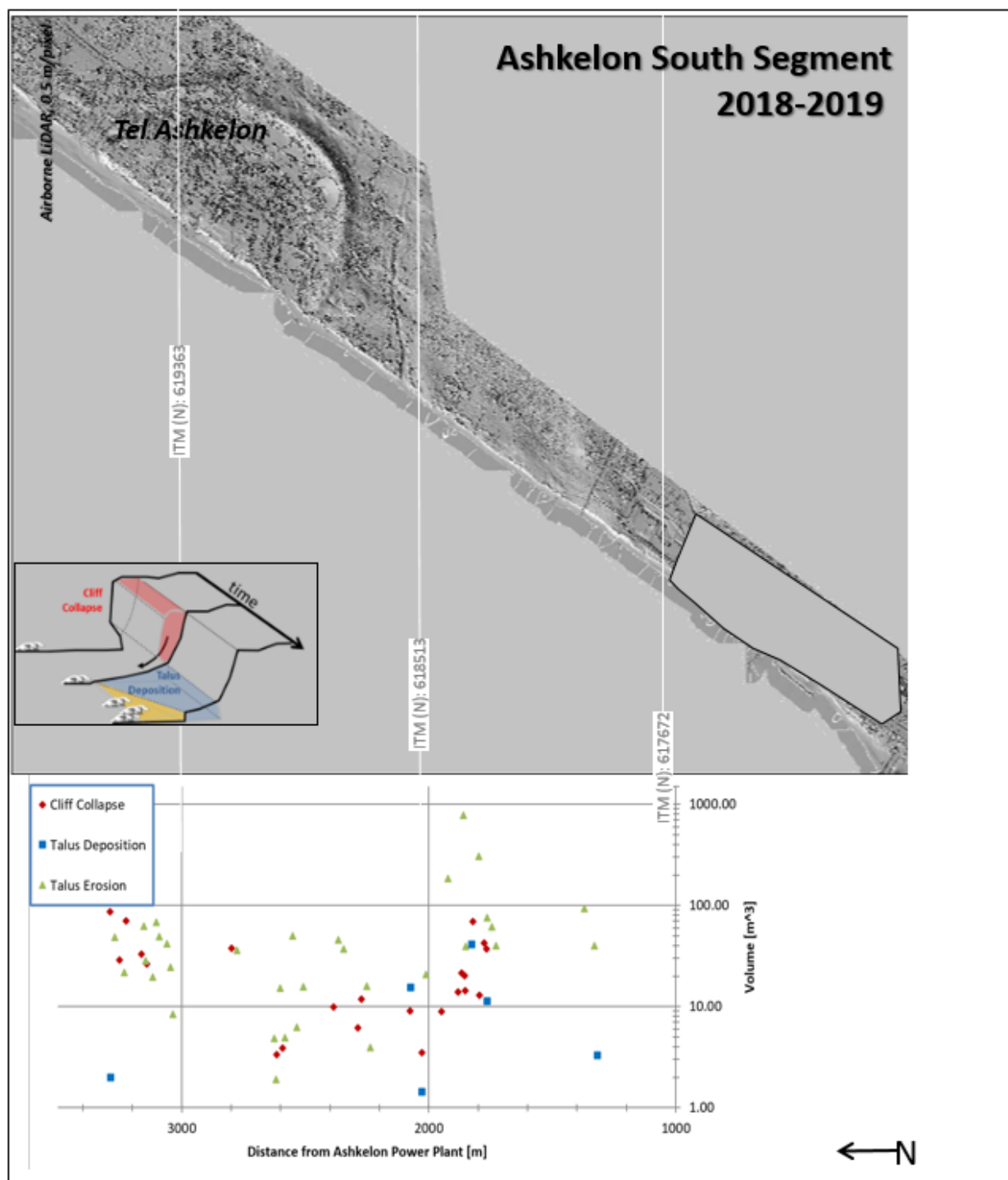
איור 8. למעלה: סיכום פעילות המצוק לאורך מקטע נתניה דרום 2018-2019 מוצגת לפי המרחק ממרינת הרצליה. אדום: קריסת מצוק, כחול: השקעת טאלוס, ירוק: סחיפת טאלוס על ידי הגלים (מוצג בצורה סכמתית באיור המוקטן). קואורדינטות צפון ברשת ישראל החדשה באפור. למטה:



איור 9. למעלה: סיכום פעילות המצוק לאורך מקטע געש 2018-2019 מוצגת לפי המרחק ממרינת הרצליה. אדום: קריסת מצוק, כחול: השקעת טאלוס, ירוק: שחיפת טאלוס על ידי הגלים (מוצג בצורה סכמתית באיור המוקטן). קואורדינטות צפון ברשת ישראל החדשה באפור.



איור 10. למעלה: סיכום פעילות המצוק לאורך מקטע אשקלון-צפון 2018-2019 מוצגת לפי המרחק מתחנת הכוח. אדום: קריסת מצוק, כחול: השקעת טאלוס, ירוק: סחיפת טאלוס על ידי הגלים (מוצג בצורה סכמתית באיור המוקטן). קואורדינטות צפון ברשת ישראל החדשה באפור.



איור 11. למעלה: סיכום פעילות המצוק לאורך מקטע אשקלון-דרום 2018-2019 מוצגת לפי המרחק מתחנת הכוח. אדום: קריסת מצוק, כחול: השקעת טאלוס, ירוק: סחיפת טאלוס על ידי הגלים (מוצג בצורה סכמתית באיור המוקטן). קואורדינטות צפון ברשת ישראל החדשה באפור.

4. דיון

4.1 נפחים והערכת הנסיגה

בתקופת המחקר (כ - 10 חודשים בין אוקטובר 2018 ויולי 2019) תועדו לאורך כל המצוק החופי 262 אירועי כשל מצוק בנפח כולל של 39,112 מ"ק, 271 אתרים של סחיפת טאלוסים בנפח כולל של 24,474 מ"ק ו - 132 אתרים בהם נערים חומר מצוק על החוף בנפח כולל של 12,076 מ"ק. בהתאם ובהתחשב בנפח הטאלוסים שנסחף מבסיס המצוק על ידי הגלים (24,474 מ"ק) ותוספת נפח חומר המצוק שקרס ולא נערים בבסיס המצוק במהלך 2018-19 (כלומר 27,036 מ"ק = 12,076 - 39,112) נמדד מאזן-נפח שלילי עבור המצוק החופי, המסתכם ב - 51,510 מ"ק. בהתחשב בכך ששטח הפנים של כלל המצוק החופי של ישראל (כלומר אורך x גובה ממוצע) הוא ~747,000 מ² (טבלה 1) הנפח שנגרע מהמערכת במהלך תקופת המחקר 2018-19 שווה ערך לנסיגה ממוצעת של כ 0.07 מ' לאורך כלל המצוק.

4.2 השוואה בין המקטעים השונים

התפלגות האירועים השונים וקצב הפעילות לאורך מקטעי המצוק במהלך תקופת המחקר 2018 - 2019 לא הייתה אחידה (טבלה 4):

התמוטטות מצוק: נפח גריעת הסדימנט כתוצאה מהתמוטטות לק"מ-מצוק בשלושת המקטעים הצפוניים, עין הים, נעורים ונתניה העיר (649, 311, 361 מ"ק/ק"מ מצוק, בהתאמה) היה נמוך מנפח ההתמוטטות לק"מ מצוק במקטעים הדרומיים יותר של מצוק השרון, נתניה דרום וגעש (1,158 ו 2,836 מ"ק/ק"מ מצוק, בהתאמה). נפח ההתמוטטות לק"מ מצוק במקטע אשקלון צפון היה חריג ועמד על 3,447 מ"ק/ק"מ מצוק. באשקלון דרום מופה נפח ההתמוטטות לק"מ מצוק יחסית נמוך של 226 מ"ק/ק"מ מצוק.

סחיפת טאלוסים: נפח סחיפת טאלוסים עבור קילומטר מצוק בשלושת המקטעים הצפוניים, עין הים, נעורים ונתניה העיר (180, 154, 303 מ"ק/ק"מ מצוק, בהתאמה) היה נמוך מנפח סחיפת הטאלוסים לק"מ מצוק במקטעים הדרומיים יותר במצוק השרון, נתניה דרום וגעש (606 ו 1,364 מ"ק/ק"מ מצוק, בהתאמה). נפח סחיפת הטאלוסים לק"מ מצוק במקטעי אשקלון צפון ודרום עמד על 1,152 ו 760 מ"ק/ק"מ מצוק, בהתאמה.

גריעת חומר מהמצוק ובסיסו: נפח גריעת הסדימנט מהמצוק ובסיסו (מחושב לפי סכום נפח התמוטטות המצוק וסחיפת הטאלוס פחות נפח הערמות הטאלוס במקטע) מנורמל עבור ק"מ מצוק בשלושת המקטעים הצפוניים, עין הים, נעורים ונתניה העיר (538, 311, 486 מ"ק/ק"מ מצוק, בהתאמה) היה נמוך מנפח נפח גריעת הסדימנט מהמצוק ובסיסו לק"מ מצוק במקטעים הדרומיים יותר של מצוק

השרון, נתניה דרום וגעש (1,484 ו-2,522 מ"ק/ק"מ מצוק, בהתאמה). נפח גריעת הסדימנט מהמצוק ובסיסו לק"מ מצוק במקטע אשקלון צפון היה חריג ועמד על 4,070 מ"ק/ק"מ מצוק. באשקלון דרום מופה נפח גריעת סדימנט מהמצוק ובסיסו של 965 מ"ק/ק"מ מצוק.

מסד מקטעי המצוק שמופו נגרעו במהלך תקופת המחקר 2018-2019 נמדד נפח גריעת הסדימנט מהמצוק ובסיסו של 51,510 מ"ק (טבלה 2). בנירמול ל 31.9 ק"מ מצוק שמופו מתקבל ערך ממוצע עבור גריעת סדימנט מהמצוק החופי ובסיסו במהלך 2018-2019 העומד על 1,614 מ"ק/ק"מ. מתוך כך ניתן להסיק שבמהלך חורף 2018-2019 גריעת החומר בשלושת המקטעים הצפוניים, עין הים, נעורים ונתניה העיר היתה מתחת לממוצע של 2018-2019, במקטע נתניה העיר היתה גריעה דומה לממוצע של 2018-2019. במקטע נתניה דרום היתה גריעה ~כפולה מהממוצע של 2018-2019 ובמקטע אשקלון צפון היתה גריעה של פי 2.5 מעל הממוצע ב 2018-2019. באשקלון דרום היתה גריעה נמוכה מהממוצע של 2018-2019. שוני בשטף שנתי של חומר שנגרע בין שני קטעי חוף המחושב על פני שנים אחדות עדיין אינו מלמד על מגמות ארוכות טווח.

טבלה 4. צפיפות האירועים ושטף הסדימנט (עבור 10 חודשים; 10.2018 « 7.2019)

מקטע	אורך	כשל מצוק				סחיפת טאלוס				טאלוסים שנוספו				סה"כ גריעה/ק"מ
		מספר קריסות (#)	נפח כולל (מ ³)	מ"ק/מ	מ"ק/מ	מספר אתרים (#)	נפח כולל (מ ³)	מ"ק/מ	מ"ק/מ	מספר טאלוסיים (#)	נפח כולל (מ ³)	מ"ק/מ	מ"ק/מ	
עין הים	3	18	6	-1,947	-649	13	4.3	-541	-180	14	4.7	873	291	-538
נעורים	5.3	23	4.3	-1,650	-311	46	8.7	-814	-154	12	2.3	815	154	-311
נתניה העיר	3.1	14	4.5	-1,120	-361	13	4.2	-938	-303	7	2.3	552	178	-486
נתניה דרום	4.0	34	8.5	-4,631	-1,158	34	8.5	-2,426	-606	16	4	1,121	280	-1,484
געש	10.0	116	11.6	-18,632	-1,863	112	11.2	-13,640	-1,364	57	5.7	7,053	705	-2,522
אשקלון צפון	3.0	33	11	-10,342	-3,447	18	6	-3,455	-1,152	20	6.7	1,587	529	-4,070
אשקלון דרום	3.5	24	6.8	-790	-226	35	10	-2,659	-760	6	1.7	75	21	-965

4.3 השוואה של פעילות המצוק בין שנת המעקב הנוכחית (19-2018) לשנים הקודמות (2015-2016, 2016-2017 ו 2017-2018)

טבלה 5 מציגה השוואה בין פעילות המצוק בשנת המעקב הנוכחית (19-2018) לשלושת תקופות המחקר הקודמות מאז 2015. גיחות הליידאר החוזרות עליהן מתבסס המיפוי במהלך שנים אלו לא בוצעו באותה תקופה כל שנה (2/2015, 3/2016, 4/2017, 10/2018) ולכן בפועל אורך תקופות המחקר של 2015-2016, 2016-2017, 2017-2018 ו 2018-2019 הוא 13, 13, 18 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 מארבעת תקופות המחקר תוחמת חורף בודד, מושווים כאן נפחי פעילות המצוק שנמדדו בכל תקופת מחקר ללא נירמול למספר החודשים של תקופת המחקר.

פעילות כלל המצוק - ממוצע נפח הגריעה של חומר מכלל המצוק החופי כפי שנמדד בשנת המחקר הנוכחית (19-2018) היה גבוהה מזה שנמדד במיפויים הקודמים של כלל המצוק מאז 2015: 51,510 מ"ק ל 19-2018 לעומת כ 36,560, 19,520 ו 28,550 מ"ק ל 18-2017, 17-2016 ו 16-2015, בהתאמה. בנירמול לאורך מצוק מצטבר של 31.9 ק"מ מתקבל 1,614 מ"ק/ק"מ ל 19-2018 לעומת 1,146, 612 ו 895 מ"ק/ק"מ ל 18-2017, 17-2016 ו 16-2015, 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 $\pm 20\%$ במדידות אלו מסתמן שבעוד קצב הגריעה מכלל המצוק החופי במהלך 19-2018 היה הגבוהה שנמדד מאז 2015, קצב זה אינו חריג מקצב הנסיגה הרב שנתי הממוצע שנמדד עבור מצוק השרון מאז 2006.

פעילות המקטעים השונים - בשנת המחקר הנוכחית (19-2018), בדומה לתקופות המחקר הקודמות, נמדדה שונות משמעותית בנפח הגריעה בין מקטעי המצוק השונים (טבלה 4). במקטעים הצפוניים עין הים ונעורים נמדד גם ב 19-2018 וגם ב 18-2017 שטף גריעה נמוך מהממוצע של כלל המצוק בשתי התקופות, בהתאמה. במקטע נתניה העיר נמדד ב 19-2018 שטף נמוך מהממוצע של כלל המצוק באותה שנה וב 18-2017 שטף דומה לממוצע של כלל המצוק באותה שנה. במקטע נתניה דרום נמדד גם ב 19-2018 וגם ב 18-2017 שטף גריעה דומה לממוצע בשתי התקופות, בהתאמה. במקטע געש נמדד גם ב 19-2018 וגם ב 18-2017 שטף גריעה גבוה מהממוצע בשתי התקופות, בהתאמה. במקטע אשקלון צפון נמדד ב 19-2018 שטף חריג וגבוה מעל מהממוצע של כלל המצוק באותה שנה בעוד ב 18-2017 נמדד באשקלון צפון שטף דומה לממוצע של כלל המצוק באותה שנה.

במקטע אשקלון דרום, נמדד גם ב 2018-19 וגם ב 2017-18 שטף גריעה נמוך מהממוצע של כלל המצוק בשתי התקופות, בהתאמה.

גלים וסערות – בבחינה של נתוני הגלים שנרשמים בחדרה על ידי המכון לחקר ימים ואגמים (IOLR Mediterranean GLOSS #80 station) נמצא כי במהלך תקופת המחקר בין 10/2018 ו 7/2019 (10 חודשים) נרשמו 8 אירועים (סה"כ 182 שעות) בהם הגלים עברו את הסף הקריטי לפגיעה בבסיס המצוק (~3 מטר גל סינגיפיקנטי). בתקופת המחקר 2017-18 בין 4/2017 ו 10/2018 (18 חודשים) נרשמו 9 אירועים (סה"כ 150 שעות) בהם הגלים עברו את הסף הקריטי לפגיעה בבסיס המצוק. במהלך תקופת המחקר 2016-17 נרשמו 5 אירועים (סה"כ 136 שעות) וב 2015-16 נרשמו 9 אירועים (סה"כ 204 שעות) בהם הגלים עברו את הסף הקריטי לפגיעה בבסיס המצוק.

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

מקטע	אורך ק"מ	כשל מצוק (מ"ק/ק"מ/חורף)				סחיפת טאלוס (מ"ק/ק"מ/חורף)				טאלוסים שנוספו (מ"ק/ק"מ/חורף)				סה"כ גריעה (מ"ק/ק"מ/חורף)							
		2015- 2016	2017- 2018	2018- 2019	2019- 2020	2015- 2016	2017- 2018	2018- 2019	2019- 2020	2015- 2016	2017- 2018	2018- 2019	2019- 2020	2015- 2016	2017- 2018	2018- 2019	2019- 2020				
עין הים	3	591	14	179	649	117	10	33	180	46	197	154	126	112	162	107	291	563	23	104	538
נעורים	5.3	874	163	176	311	273	46	10	154	46	197	154	126	112	162	107	291	563	23	104	538
נתניה העיר	3.1		667	908	361		46	515	303						332	178			168	1,091	486
נתניה דרום	4.0	361	715	801	1,158	88	16	840	606					243	526	665	280	206	205	977	1,484
געש	10.0	1,456	1,654	2,603	1,863	366	196	611	1,364	500	611	1,364	500	611	872	705	1,322	1,238	2,342	2,522	
אשקלון צפון	3.0	1,970	710	1,247	3,447	683	128	141	1,152	285	128	1,152	285	122	480	529	2,368	716	908	4,070	
אשקלון דרום	3.5	193	841	851	226	54	46	125	760	163	46	760	163	15	488	21	84	872	489	965	
		ממוצע כל המצוק																			

* נתוני 2017-2018 מכסים תקופה של 18 חודשים בין 4/2017 – 10/2018. בטבלה זו נתוני 2017-2018 אינם מנרמלים למספר החודשים משום שתקופה זו כללה עונת חורף אחת בלבד. רוב פעילות קריסת המצוק ופינוי החומר מבסיסו מתרחשת החורף. תאריכי גיחות הליידאר ותקופות המחקר מאז 2015:

- 2/2015-3/2016, 13 חודשים
- 3/2016-4/2017, 13 חודשים
- 4/2017-10/2018, 18 חודשים
- 10/2018-7/2019, 10 חודשים

5. מסקנות

בכל מקטעי המצוק שנבדקו במסגרת הדוח הנוכחי, נרשמה בסיכום שנת המעקב 2018-19 גריעה של חומר מהמערכת החופית. במהלך התקופה נגרע נפח של כ 51,500 מ"ק מסך 31.9 הק"מ של המצוק החופי בכללותו (ממוצע של 1,614 מ"ק/קצ מצוק). בנוסף, נמדדה שונות מרחבית משמעותית בין מקטעי המצוק השונים: נפח החומר שנגרע מהמצוק בשלושת המקטעים הצפוניים (עין הים, נעורים

ונתניה העיר) היה נמוך משמעותית מהשטף שנמדד במקטעים הדרומיים יותר. שטף חריג וגבוהה פי 2.5 מהממוצע של כלל המצוק בתקופת המחקר 2018-19 נמדד במקטע אשקלון צפון (4,070 מ"ק/ק"מ).

השוואה בין פעילות המצוק בשנת המעקב הנוכחית (2018-19) לשנה הקודמת לה (2017-18), מראה שהמקטעים הצפוניים עין הים ונעורים המשיכו בשטף גריעת חומר נמוך מהממוצע של כלל המצוק בכל שנה, בהתאמה. במקטעי נתניה העיר ואשקלון צפון נמדד ב 2018-19 שטף גריעה גבוה מהממוצע לעומת שטפים דומים לממוצע כלל המצוק ב 2017-18. מקטע נתניה דרום המשיך בשטף גריעה דומה לממוצע כלל המצוק בכל שנה, בהתאמה. מקטע געש המשיך בשטף גריעה גבוה מממוצע כלל המצוק בכל שנה, בהתאמה. באשקלון דרום נמדד ב 2018-19 שטף גריעה דומה לממוצע של כלל המתוק בשנה זו בעוד ב 2017-18 נמדד שטף גריעה נמוך מהממוצע של כלל המצוק באותה שנה. אנו מדגישים כי באופן כללי, שונות זו בין המקטעים ובין שנים בכמות הסדימנט הנגרעים מהמצוק ובסיסו נמצא בתחום התנודה הטבעית בפעילות המצוק ואינו מעיד בהכרח על מגמה ארוכת טווח. עם זאת, שטף הפעילות שנמדד במקטע אשקלון צפון במהלך 2018-19 מסתמן כחריג.

שטף הגריעה הממוצע מכלל המצוק החופי שנמדד במהלך 2018-19 היה הגבוהה שנמדד מאז 2015: 1,614 מ"ק/ק"מ ב 2018-19 לעומת 1,146, 612 ו 895 מ"ק/ק"מ ב 2017-18, 2016-17 ו 2015-16, בהתאמה). ואולם בהשוואה לנתונים על נסיגת המצוק מאז 2006 (Mushkin et al., 2016) ותוך התחשבות בשגיאות המדידה ובתנודה הטבעית בפעילות המצוק מתקבל ששטף הגריעה שנמדד ב 2018-19 אינו חריג מקצב הנסיגה הרב שנתי הממוצע שנמדד עבור מצוק השרון מאז 2006.

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., בוסטון, 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., בוסטון, 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'.
- 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 (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., 2018. Overestimation of short-term coastal cliff retreat rates in the eastern Mediterranean resolved with a sediment budget approach. *Earth Surface Processes Landforms*, DOI: 10.1002/esp.4490.
- Mushkin, A., Katz, O., Porat N., 2019. Recent short-term retreat rates of Israel's Mediterranean coastal cliffs. *Earth Surface Processes Landforms* 44, 177-190.
- 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 החופי לאורך תאי התכנון של תמ"א 13/9:

בטבלה 6 מוצגים האירועים לאורך המצוק החופי (במאפיינים של כשל מצוק, סחיפת טאלוס ותוספת טאלוס) שהתרחשו בין 10/2018 ו-7/2019, על בסיס מקטעי העבודה של החברה הממשלתית להגנות מצוקי חוף הים התיכון (עלפי תמ"א 13/9: תכנית להגנה על מצוקי החוף לאורך חופי הים התיכון). האירועים מופו במסגרת הדוח הנוכחי, פירוט שיטות העבודה הובא לעיל. 21 מתוך מקטעי העבודה של החברה הממשלתית, באורך מצטבר של כ- 8.5 קילומטרים, אינם כלולים במקטעי המצוק הראשיים שפורטו בטבלה 1 (בגלל שאילו מקטעי מצוק עירוניים או קצרים מאוד, פחות מחצי קילומטר, ועל כן אינם מתאימים למעקב אחרי הפעילות הטבעית של המצוק). חומר המצוק שנגרע לאורך 21 מקטעים עירוניים/קצרים אילו בתקופת במחקר (כ- 122 מ"ק; טבלה 6 למטה) מהווה תוספת לא משמעותית ביחס למה שנמדד לעיל לאורך המקטעים הראשיים (51,500 ~ מ"ק; טבלה 2).

טבלה 6. סיכום הפעילות לאורך המצוק החופי (2018-2019) במקטעי העבודה של תמ"א 13/9.

מקטע	אורך	כשל מצוק CC		סחיפת טאלוס TE		TD טאלוסים שנוספו		סה"כ גריעה
		מספר קריסות	נפח כולל (m ³)	מספר פוליגונים	נפח כולל (m ³)	מספר טאלוסים	נפח כולל (m ³)	
1	תל עפר	188	1	-197 ±17	0	0	1	-122 ±25
2	בית חנקין	65	0	0	0	0	0	0
3	אולגה כפר נופש	303	0	0	0	0	0	0
4	בית ינאי	122	1	-7 ±5	1	-5 ±3	0	-12 ±5
5	בית ינאי צפון	197	0	0	0	0	0	0
6	בית ינאי דרום	650	5	-780 ±37	8	-221 ±67	2	-656 ±94
7	נעורים	337	3	-236 ±34	4	-98 ±41	2	-159 ±63
8	כפר נוער נעורים	518	0	0	1	-12 ±10	0	-12 ±10
9A	חוף נעורים	88	0	0	0	0	0	0
9B	חוף נעורים דרומי	139	0	0	0	0	0	0
10	בלו ביי	221	0	0	6	-180 ±50	0	-180 ±50
11	נתניה צפון	318	2	-78 ±9	1	-27 ±10	1	-81 ±14
12	החוף הנפרד	0	0	0	1	-2 ±1	0	-2 ±1

13	שדרות ניצה	232	0	0	3	-34 ±16	0	0	-34 ±16
14	חוף העונות חוף האמפי	0	1	-151 ±26	1	-134 ±39	1	194 ±57	-34 ±16
15A	נתניה חוף סירונית וארגמן	2,837	31	-3227 ±667	26	-1595 ±466	15	1262 ±353	-13560 ±887
15B		570	0	0	2	-216 ±92	0	0	-216 ±92
16	דרום נתניה	210	2	-195 ±61	1	-428 ±144	0	0	-623 ±157
17	חוף געש	196	2	-78 ±22	0	0	0	0	-78 ±22
18	אפולוניה צפון	350	0	0	0	0	0	0	0
19	אפולוניה דרום	144	7	-508 ±49	2	-26 ±8	2	117 ±25	-416 ±56
20	חוף נוף ים	187	0	0	2	-98 ±32	0	0	-98 ±32
21	גלי תכלת	130	0	0	0	0	0	0	0
22	חוף השרון הרצליה	370	0	0	0	0	0	0	0
23	חוף אכדיה	795	0	0	0	0	0	0	0
24	חוף נפרד הרצליה	216	0	0	0	0	0	0	0
25	חוף הצוק תל אביב	620	0	0	0	0	0	0	0
26	סי אנד סאן	345	0	0	0	0	0	0	0
27	תל אביב מרכז	904	0	0	0	0	0	0	0
28A	תל ברוך	261	0	0	0	0	0	0	0
28B	תל ברוך	262	0	0	0	0	0	0	0
29	הילטון תל אביב	734	0	0	0	0	0	0	0
30	חוף נחום גולדמן	635	0	0	0	0	0	0	0
31	יפו חוף עליה	546	0	0	0	0	0	0	0
32	בת ים צפון	250	0	0	0	0	0	0	0
33	בת ים מרכז	850	0	0	0	0	0	0	0
34	בת ים דרום	375	0	0	0	0	0	0	0
35	פלמחים	177	0	0	0	0	0	0	0

0	0	0	0	0	0	0	170	בית קברות פלמחים	36
0	0	0	0	0	0	0	284	תל יבנה ים	37
-11965 ±790	1239 ±203	10	-3353 ±482	9	-9861 ±592	17	1,130	אשקלון צפון	38
-15 ±4	0	0	-15 ±4	1	0	0	642	אשקלון גן לאומי	39
-122 ±25	74 ±18	1	0	0	-197 ±17	1	8,480	סיכום ²	

1. מקטעי החוף אשר גריעת החומר בהם התרחשה מחוץ למקטעים הראשיים המפורטים בטבלה 1 (מקטעים : 1 - 3 , 21 - 37).
2. סיכום האירועים שהתרחשו מחוץ למקטעי המצוק הראשיים שפורטו לעיל (טבלה 1) ונפח גריעה שלא נכלל במחושב לעיל לאורך המקטעים הראשיים (טבלה 2).

Abstract

This report presents quantitative mapping of sea-cliff collapse and erosion activity along Israel's Mediterranean sea-cliffs during a ten month period between October 2018 and July 2019. 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. 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 within a GIS environment, and where required results were verified in the field.

For the studied period we found 262 cliff collapse events that amount to a total of ~39,000 m³. Talus deposition occurred in 132 locations and amounted to a total of ~12,000 m³. Talus erosion (of pre-existing talus piles) due to wave scouring was documented at 271 locations and amounted to a total of ~24,500 m³. Our results indicate that erosion and landwards retreat of Israel's sea cliff between 2018-2019 occurred at an average rate of ~1,614 m³ per km of cliff. This rate is comparable to the cliff's average annual erosion rates as previously measured with airborne LiDAR since 2006 and as previously estimated from geologic and archeological data over recent centennial-millennial time scales. However, significant spatial variability in cliff activity was documented for the 2018 - 2019 period examined. Erosion rate along the northern segments (Neurim, Ein Yam and Natanya) is significantly lower than average. Erosion rate was the highest along the Ashkelon North segment (4,070m³/km).

Comparison of the cliff activity between 2018-19 and 2017-18 reveals changes in erosion volumes along most of the studied segments. However, this variability appears to be mostly within the natural fluctuations of inter-annual cliff activity. Erosion along the Ashkelon North segment during the 2018-19 period was exceptionally high.



Ministry of Energy
Geological Survey of Israel

Failure and erosion along Israel's coastal cliffs between 2018 and 2019

Amit Mushkin, Oded Katz, Onn Crouvi, Michal Kotliyarov, Inbal Segal

Submitted to

The Mediterranean Coastal Cliff Preservation Government Company