המכון הגיאולוגי
משרד התשתיות הלאומיות
האנרגיה והמים

התמוטטות וסחיפת המצוק החופי בין השנים 2016 ו- 2017

עודד כץ, עמית מושקין, און כרובי, עמרי עופרי, ענבל בוסתן, רן שמש

מוגש לחברה הממשלתית להגנות מצוקי חוף הים התיכון

דוח מס׳ GSI/01/2018
ירושלים, פברואר 2018

©הוצאה לאור ע"י המכון הגיאולוגי, רח' מלכי ישראל 30, ירושלים 95501

תמונת שער: כשל מצוק שהתרחש בחוף געש בנובמבר 2017

המכון הגיאולוגי
משרד התשתיות הלאומיות
האנרגיה והמים

התמוטטות וסחיפת המצוק החופי בין השנים 2016 ו- 2017

עודד כץ, עמית מושקין, און כרובי, עמרי עופרי, ענבל בוסתן, רן שמש

מוגש לחברה הממשלתית להגנות מצוקי חוף הים התיכון

דוח מס׳ GSI/01/2018
ירושלים, פברואר 2018

תקציר

דוח זה מציג איתור, מיפוי ואפיון של השינויים בתוואי המצוק החופי (ים התיכון) שהתרחשו בין חורף 2016 וחורף 2017. 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 קצרים, רובם באזורים עירוניים מופרים, לאורך החופים בין הרצליה ובת ים וכן באזור פלמחים.

בתקופת המחקר (2016 - 2017) נרשמו בכלל מקטעי המצוק הרציפים שמופו 542 אירועי כשל מצוק בנפח כולל של כ- 27,000 מ״ק. ב- 224 אתרים נערמו טאלוסים על החוף בנפח כולל כ- 11,000 מ״ק, וב- 102 אתרים התרחשה סחיפה של טאלוסים (תוצרי כשל מצוק מלפני חורף 2016) על ידי הגלים בנפח כולל של כ- 3,000 מ״ק. נמצא כי בתקופת המחקר ממשיכה מגמה של נסיגת המצוק כלפי מזרח וסחיפת חומר מהמערכת בקצב ממוצע של כ- 612 מ״ק עבור ק״מ מצוק בשנה. קצב מדוד זה עבור 2016 - 2017 אינו שונה מקצבים שנמדדו בעבודות קודמות בעזרת נתוני ליידר אווירי מאז 2006 ולהערכת קצבי סחיפה מהמצוק על סמך נתונים גיאולוגים וארכיאולוגים במהלך מאות עד אלפי השנים האחרונות. עם זאת, נמדדה ב- 2016 - 2017 שונות מרחבית משמעותית בין מקטעי המצוק השונים: במקטעים הצפוניים (נתניה דרום עד עין הים) השטף (כלומר כמות החומר הנגרעת עבור יחידת אורך חוף) נמוך משמעותית מהשטף במקטעים הדרומיים יותר. השטף הנמדד היה הגבוה ביותר במקטע געש (1,238 מ״ק/ק״מ).

השוואה בין פעילות המצוק בשנת המעקב הנוכחית (2016-17) לשנה הקודמת לה (2015-16), מראה שינוי בכמות החומר הנגרע כמעט בכל המקטעים, כאשר במקטעי עין הים, נעורים, ואשקלון צפון קיימת ירידה משמעותית בכמות החומר הנגרע ביחס לשנת המעקב הקודמת ובמקטע אשקלון דרום קיימת עלייה. מקטעי געש ונתניה דרום שומרים על כמות חומר נגרע דומה בקירוב בין שתי שנות המעקב. אנו מדגישים כי שוני זה, בכמות הסדימנט הנגרע בין שתי שנים עוקבות, נמצא בתחום התנודה הטבעית בפעילות המצוק ואינו מעיד בהכרח על מגמה ארוכת טווח.

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). 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 ו- 2017). הדוח הנוכחי מציג איתור, מיפוי ואפיון של השינויים בתוואי המצוק החופי (ים התיכון) שהתרחשו בין חורף 2016 וחורף 2017 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.

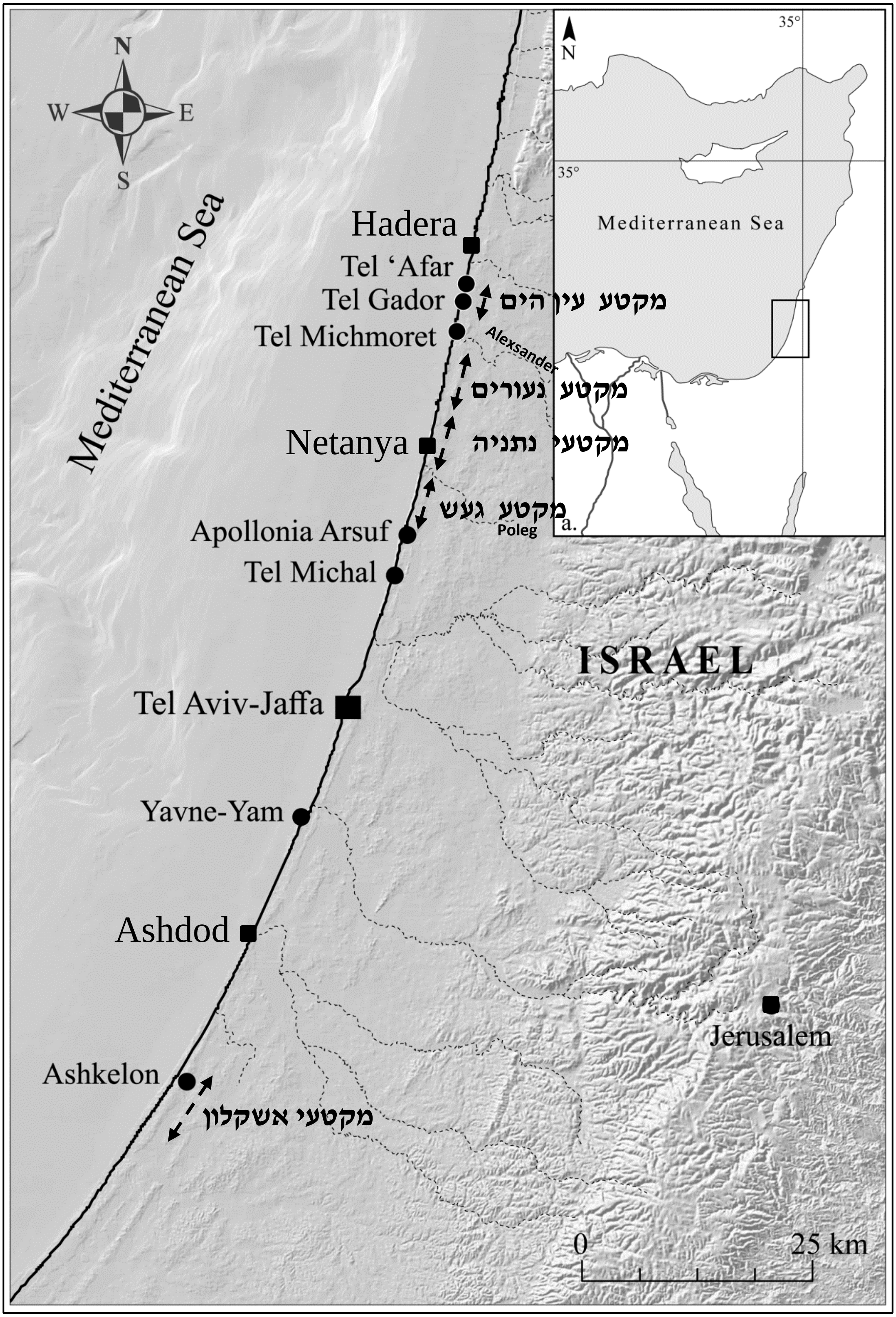
1.1 אזור העבודה

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.

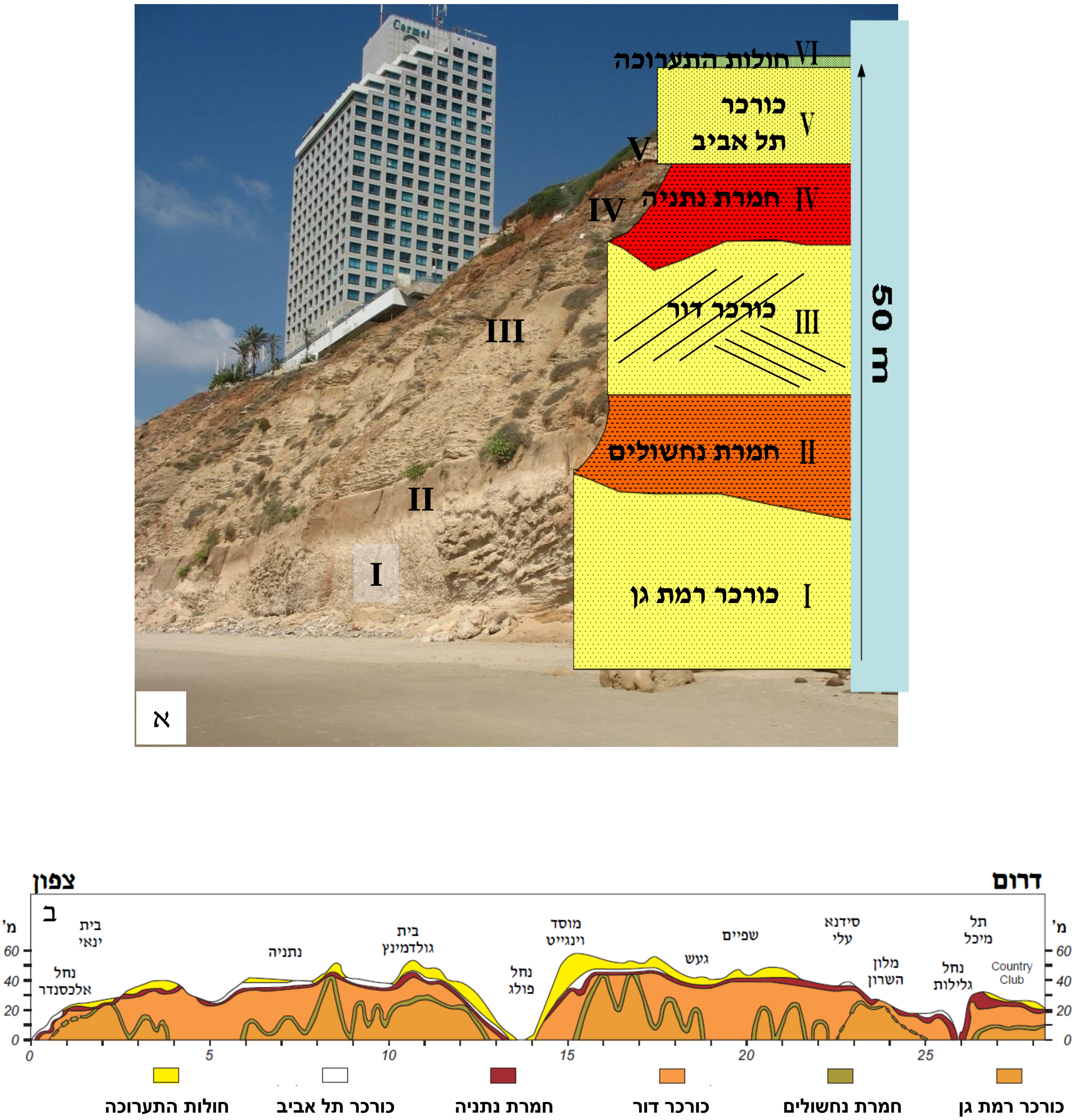
כפי שיתואר בהמשך הגורם העיקרי ליצירת תוואי הנוף של המצוק החופי ולהמשך התפתחותו הוא גלי הים. במהלך תקופת הקרח האחרונה פני הים היו נמוכים מהיום, וקו החוף (המפגש בין הים ורכסי הכורכר) היה 7 עד 10 קילומטרים מערבית למיקום קו החוף הנוכחי (במקום בו עומק המים כיום הינו כ- 100 מטר). עם המעבר לתקופה הבינקרחונית 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).

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):



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.



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).

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. לעיתים 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).

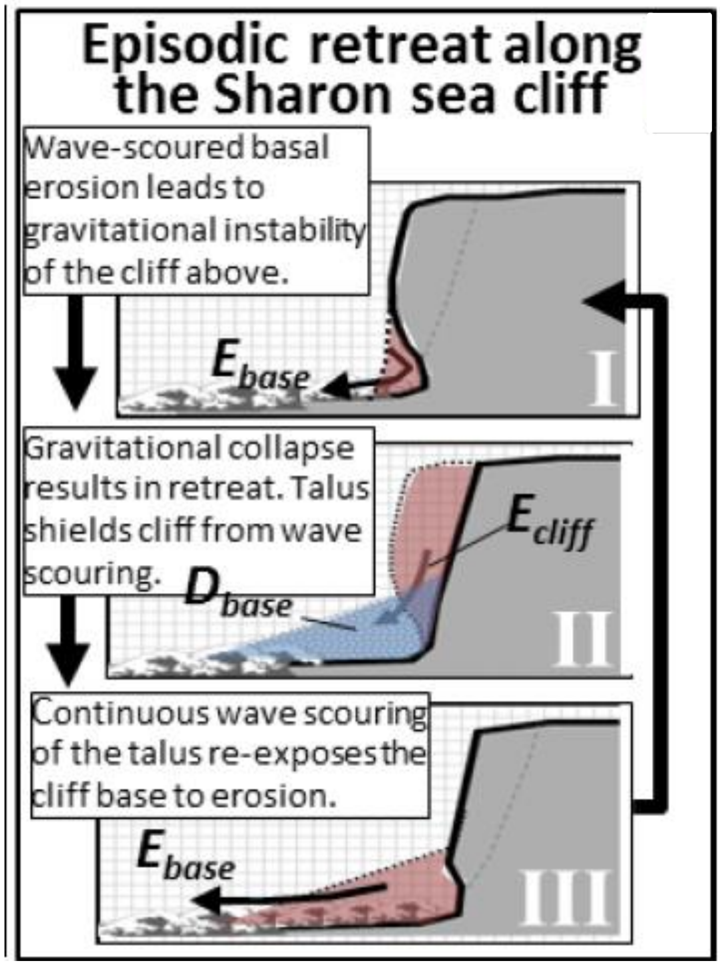
חמרת נתניה: מורכבת בעיקר מגרגירי קוורץ בגודל סילטי-חולי דק (65%-93%), וחרסית (בעיקר מונטמורילוניט) ועובייה מסנטימטרים עד מטרים. תחמוצות ברזל שעוטפות את גרגרי הקוורץ נותנות לחמרה את צבעה האדום. במקומות רבים יש לחמרת נתניה פרופיל של קרקע. המגע התחתון שלה גלי (משרעת מספר מטרים) והמגע העליון עם כורכר תל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

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 וחובריו, 2016; Perath and Almagor, 2000; Mushkin et al., under review): (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 חורף 2016 וחורף 2017 נעשה בעזרת השוואה בין שני שריגים טופוגרפיים ממועדים אילו. השריגים הטופוגרפיים מבוססים על מידע שנאסף תוך שימוש ב- LiDAR מוטס בשתי גיחות מיפוי מהתאריכים 4-5/3/2016 ו- 11/4/2017 (ביצוע טיסה: חברת אופק תצלומי אוויר; פיקוח ובקרת איכות: המכון הגיאולוגי). בנוסף במסגרת הדוח הנוכחי התבצעה גם השוואה לשינויים שהתרחשו במצוק החופי בין חורף 2015 וחורף 2016, תוך שימוש בעבודת המכון הגיאולוגי שנעשתה בשנה הקודמת (כץ וחובי, 2017).

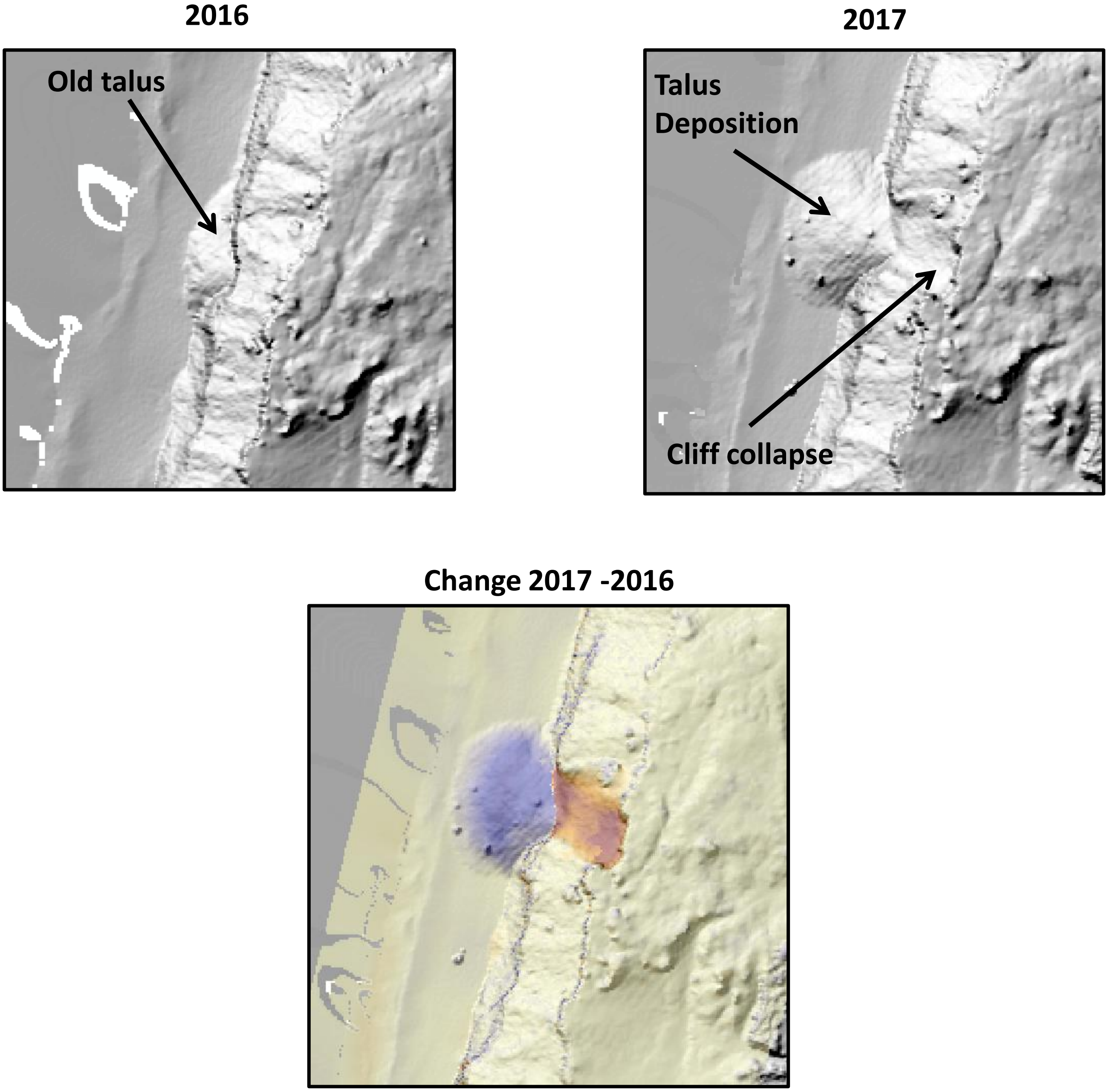
להלן שלבי התהליך שבוצע לצורך איתור, מיפוי ומדידת נפח השינויים לאורך המצוק החופי:

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 (±0.15 ס״מ דיוק אבסולוטי).
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 2016) (איור 4ב), ופוליגונים המציינים תוספת חומר על החוף בתקופת המחקר (שינוי חיובי בטופוגרפיה במימד האנכי) במאפיין של הערמות של חומר (טאלוס) בבסיס המצוק (איור 4א). נציין כי התמוטטות מצוק לא בהכרח מביאה לנסיגה של גג המצוק אם מתרחשת בחלקו התחתון.
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 הפוליגון נקבע כממוצע של ההפרש שמחושב על ידי הממ״ג עבור כל פיקסל בתחום הפוליגון, באופן הבא:

V = A x <ti>

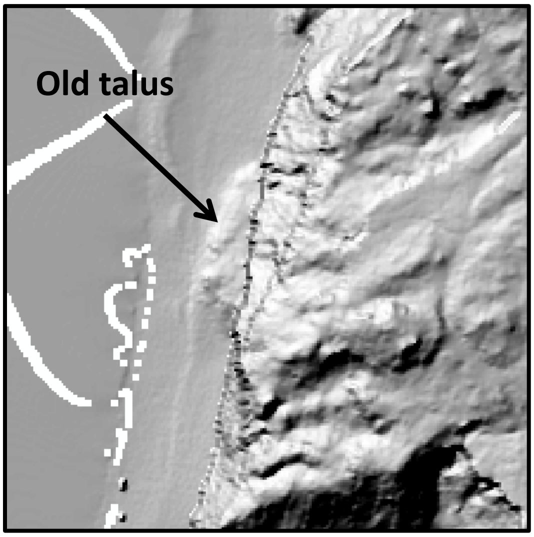
כאשר V הוא נפח הפוליגן (m^3). A הוא שטח הפוליגון (m^2), <ti> הוא ממוצע הפרש הגבהים (ההפרש הטופוגרפי, m) עבור הפיקסלים בפוליגון.

<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- 2016 ו- 2017. 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 ±0.15 מטר.

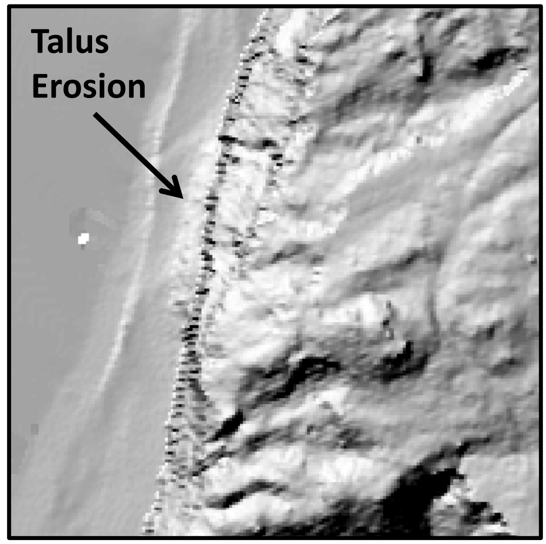


איור 4. (א) דוגמא לאירוע כשל מצוק. למעלה משמאל, מפת הצללה 2016 הכוללת טאלוס בבסיס המצוק (מסומן בחץ); למעלה מימין מפת הצללה 2017 של אותו תא-שטח עליה מסומן בחץ אירוע כשל בו נסוג קו המצוק מזרחה ותוצרי הכשל נערמו כטאלוס בבסיס המצוק (מסומן בחץ). למטה, מפת הפרשים (בין 2017 ו- 2016) על גבי מפת הצללה 2017. צבע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

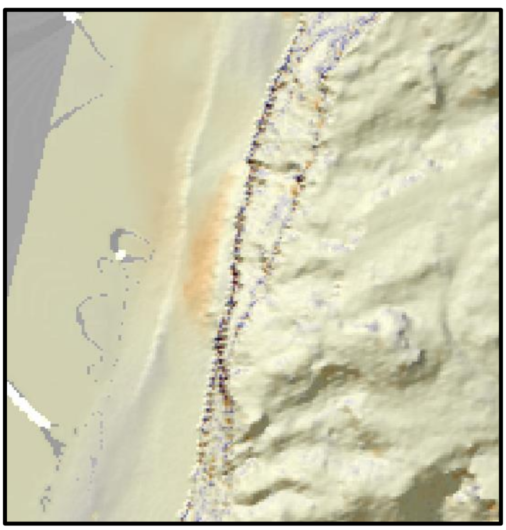
2016



2017



Change 2017 -2016



איור 4. (ב) דוגמא לאירוע סחיפת טאלוס. למעלה משמאל, מפת הצללה 2016 עליה מסומן בחץ טאלוס; למעלה מימין מפת הצללה 2017 של אותו תא-שטח (חזית הטאלוס לכיוון הים חסרה). למטה, מפת הפרשים (בין 2017 ו- 2016) על גבי מפת הצללה 2017. צבע צהבהב מציין ערך הפרש אפס (ללא שינוי), צבע אדמדם בחזית הטאלוס לכיוון הים מסמן ערך הפרש שלילי (חוסר חומר).

עבור פיקסל בודד השגיאה (e) מהפחתת שריג 2017 משריג 2016 חושבה כמקובל בהערכה של טעות מצטברת עבור חיבור/חיסור של שתי מדידות בלתי תלויות:

$$e_i = \sqrt{0.15^2 + 0.15^2} = 0.21m$$

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:

$$< e_i >= 0.21 \cdot A$$

6. 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 בין חורף 2016 וחורף 2017 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	קצה דרומי		קצה צפוני	
	(ק"מ)	נ.צ. (ITM)	מרחק צפונה (ק"מ) מהרצליה/אשקלון[1]	נ.צ. (ITM)	מרחק צפונה (ק"מ) מהרצליה/אשקלון[1]
עין הים	3.0	187891/701802	28	188678/704712	31
נעורים	5.3	185942/694043	20	187233/699183	25.3
נתניה העיר	3.1	185187/691036	16.9	185942/694043	20
נתניה דרום	4.0	184212/687157	12.9	185187/691036	16.9
געש	10.0	181580/676462	1.9	183963/686163	11.9
אשקלון צפון	3.0	158381/621477	6.5	159941/624100	9.5
אשקלון דרום	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 2016 – 2017

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 (2016 - 2017)

מקטע	אורך	כשל מצוק		סחיפת טאלוס		טאלוסים שנוספו		סה״כ גריעה[1]
	(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	10	-44 ±14	5	-30 ±13	1	5 ±2	-69 ±19
נעורים	5.3	99	-865 ±176	18	-246 ±108	35	595 ±148	-516 ±254
נתניה העיר	3.1	104	-2,071 ±303	3	-144 ±36	50	1,692 ±258	-523 ±399
נתניה דרום	4.0	55	-2,862 ±428	10	-66 ±33	31	2,106 ±452	-822 ±623
געש	10.0	179	-16,543 ±1373	51	-1,965 ±570	87	6,119 ±920	-12,389 ±1,748
אשקלון צפון	3.0	69	-2,132 ±203	8	-386 ±77	14	368 ±95	-2,150 ±236
אשקלון דרום	3.5	26	-2,945 ±270	7	-162 ±44	6	54 ±14	-3,053 ±273
סיכום	**31.9**	**542**	**-27,462 ±1518**	**102**	**-2,999 ±589**	**224**	**10,939 ±1,071**	**-19,522 ±1,948**

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

טבלה 3. סיכום מאפייני נפח הפעילות לאורך המצוק החופי (2016 - 2017)

מקטע	כשל מצוק (m^3)		סחיפת טאלוס (m^3)		טאלוסים שנוספו (m^3)	
	טווח	חציון	טווח	חציון	טווח	חציון
עין הים	14 >	2	10 >	5	-	-
נעורים	149 >	3	90 >	3	93 >	7
נתניה העיר	1,218 >	2	94 >	39	733 >	6
נתניה דרום	698 >	11	22 >	4	431 >	15
געש	1,797 >	31	407 >	14	2,108 >	15
אשקלון צפון	380 >	7	137 >	26	38 >	7
אשקלון דרום	1,297 >	19	35 >	23	19 >	7
חציון כלל האירועים	**10**		**10**		**10**	

<u>3.1.1 מקטע עין הים</u>

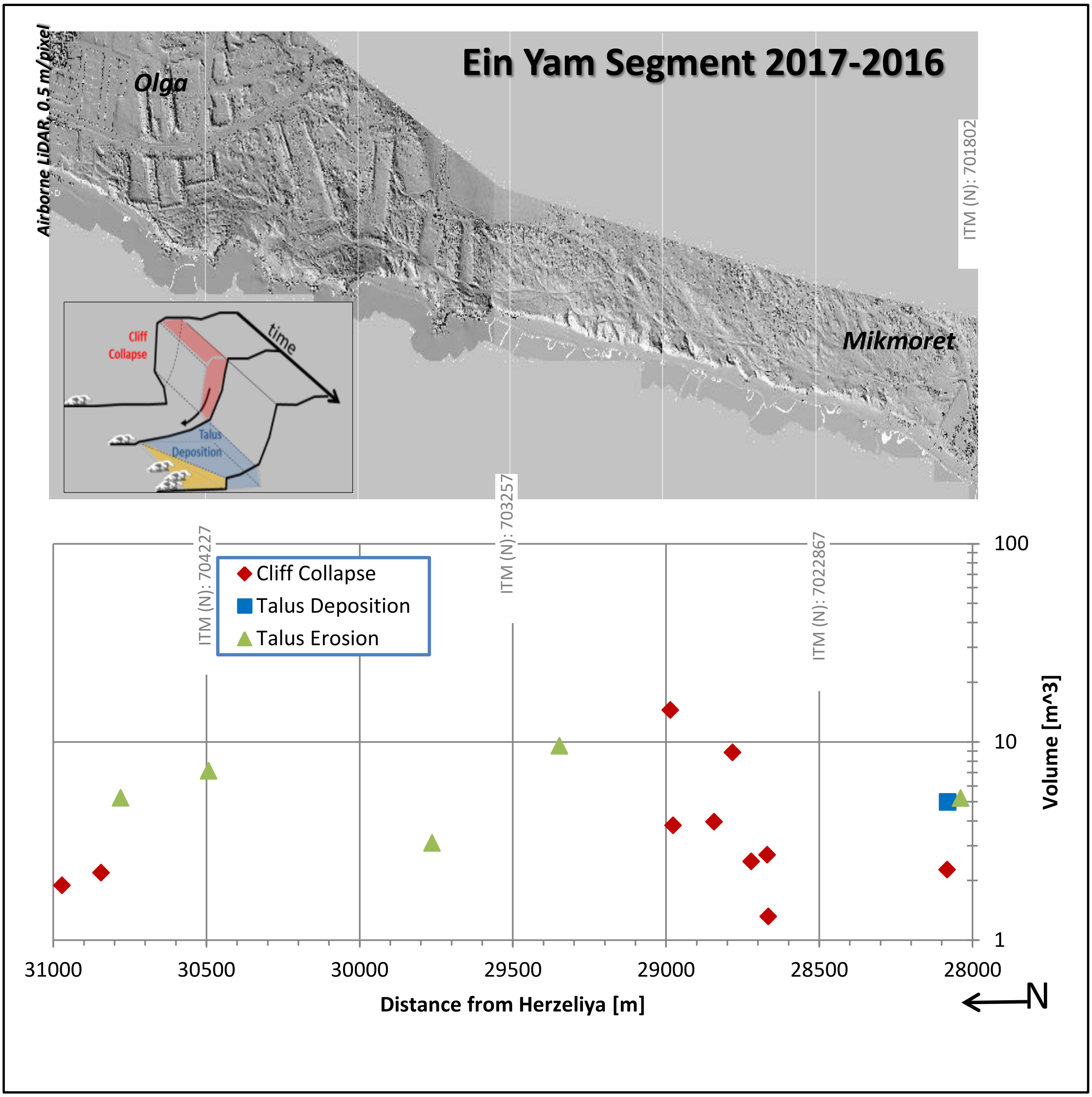
במהלך תקופת המחקר התרחשו במקטע זה 10 אירועי כשל מצוק בטווח נפחים של עד 14 מ״ק (חציון: 2 מ״ק) שגרעו מהמצוק החופי בסה״כ 44 מ״ק (מטר מעוקב) חומר (איור 5). תועדו 5 אתרים של סחיפת טאלוס בנפח כולל של 30 מ״ק ואתר אחד של הערמות טאלוס בנפח 5 מ״ק (טבלאות 2, 3). בתקופת המחקר נגרע מהמערכת החופית במקטע זה בסה״כ 69 מ״ק של חומר שמקורו במצוק.

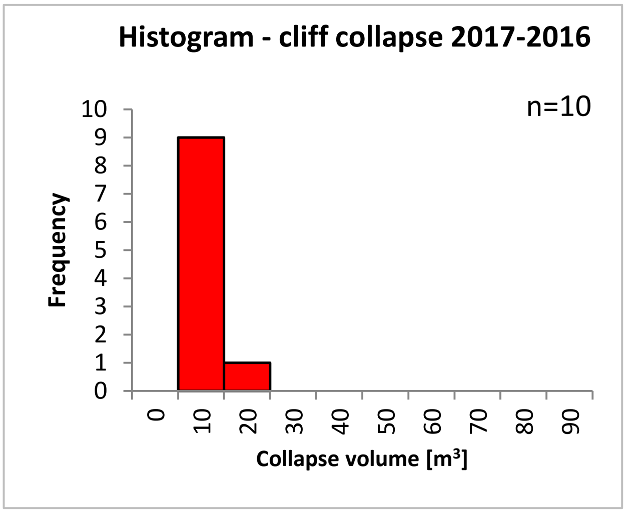
<u>3.1.2 מקטע נעורים</u>

במהלך תקופת המחקר התרחשו במקטע זה 99 אירועי כשל מצוק בטווח נפחים של עד 149 מ״ק (חציון: 3 מ״ק) שגרעו מהמצוק החופי בסה״כ 865 מ״ק חומר (איור 6). תועדו 18 אתרים של סחיפת טאלוס בנפח כולל של 246 מ״ק ו- 35 אתרים של הערמות טאלוס שהגיעו בסה״כ ל- 595 מ״ק (טבלאות 2, 3). בתקופת המחקר נגרע מהמערכת החופית במקטע זה בסה״כ 516 מ״ק של חומר שמקורו במצוק.

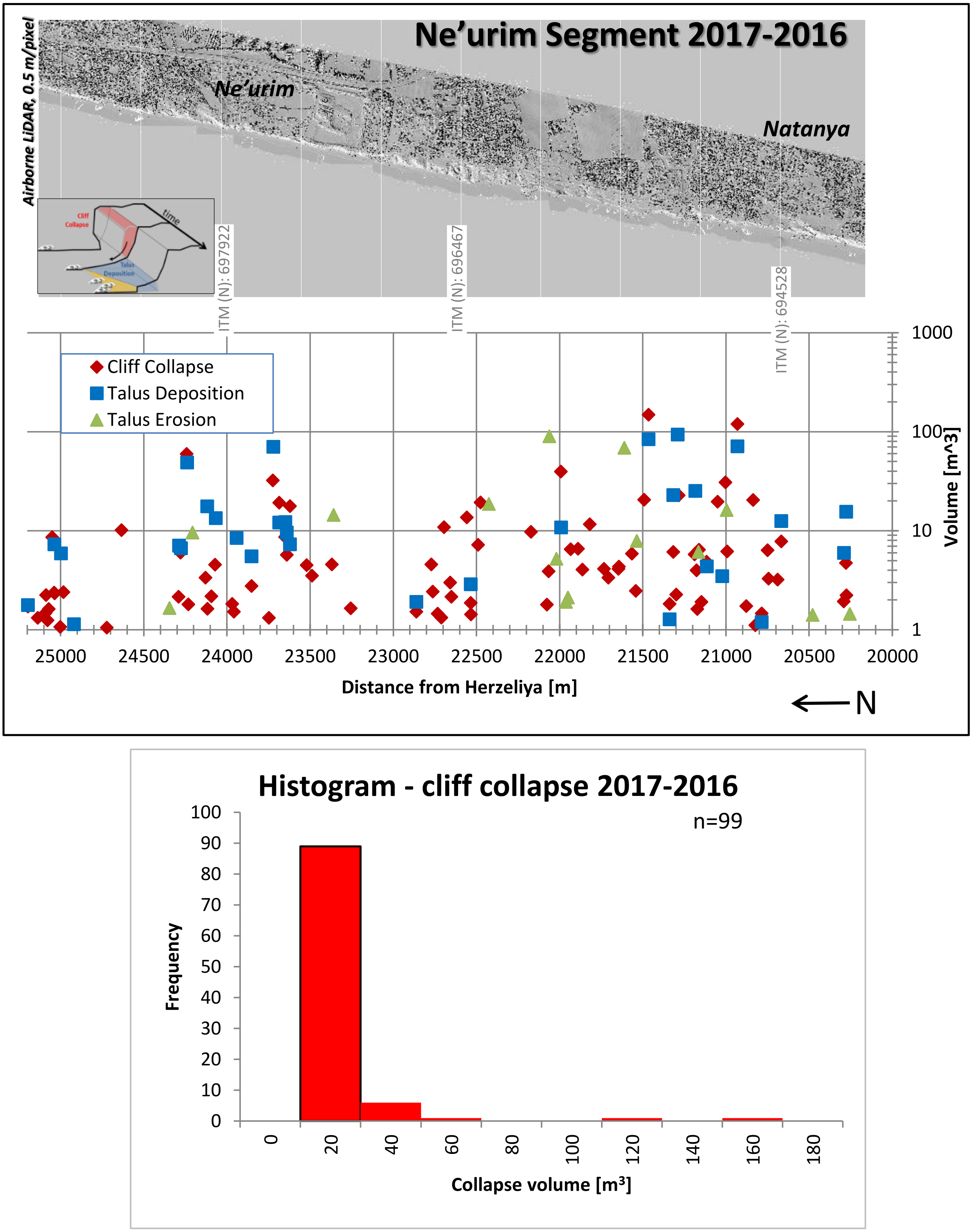
<u>3.1.3 מקטע נתניה העיר</u>

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 104 אירועי כשל מצוק בטווח נפחים של עד 1,218 מ״ק (חציון: 2 מ״ק) שגרעו מהמצוק החופי בסה״כ 2,701 מ״ק חומר (איור 7). תועדו 3 אתרים של סחיפת טאלוס בנפח כולל של 144 מ״ק ו- 50 אתרים של הערמות טאלוס שהגיעו בסה״כ ל- 1,692 מ״ק (טבלה 2). בתקופת המחקר נגרע מהמערכת החופית במקטע זה בסה״כ 523 מ״ק של חומר שמקורו במצוק.

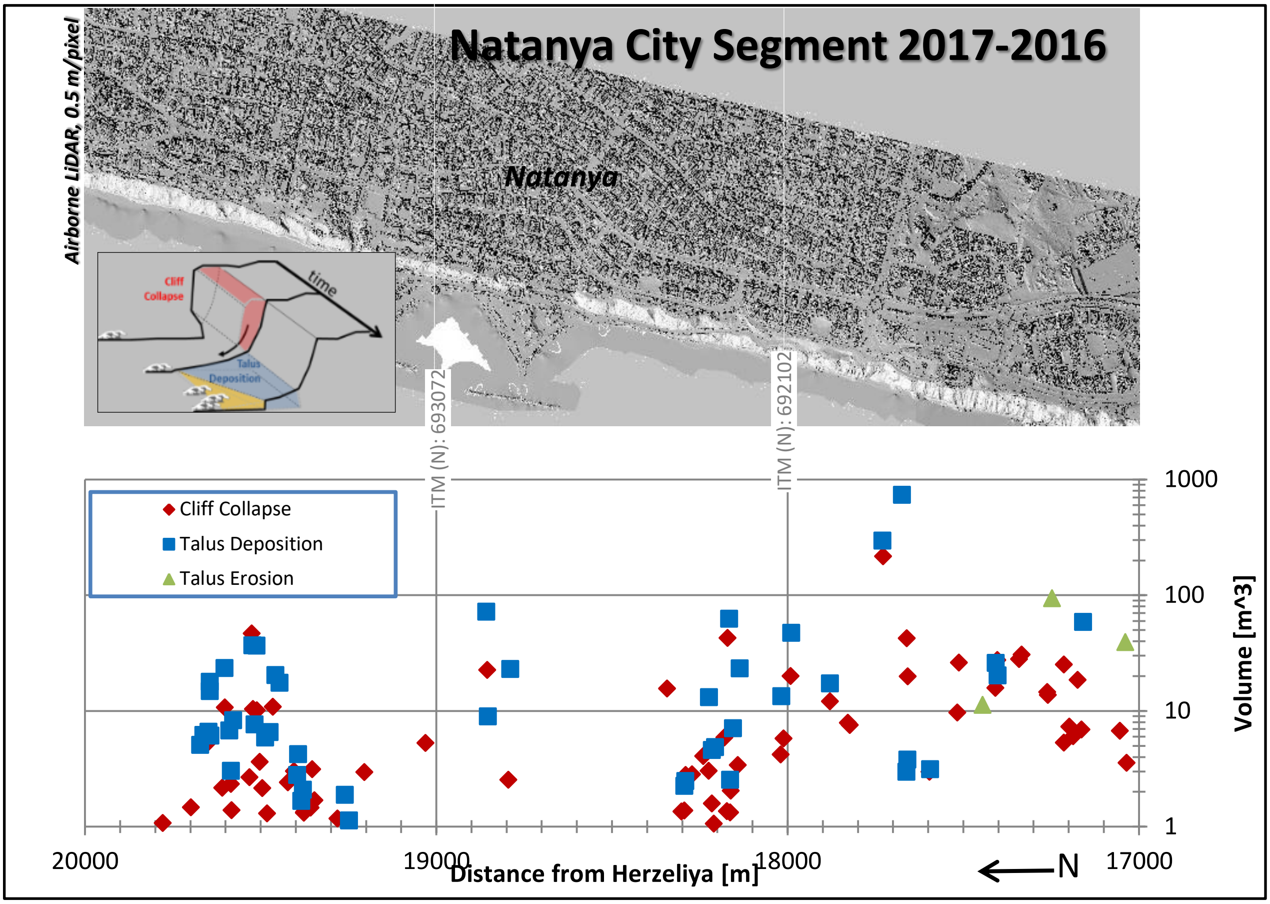


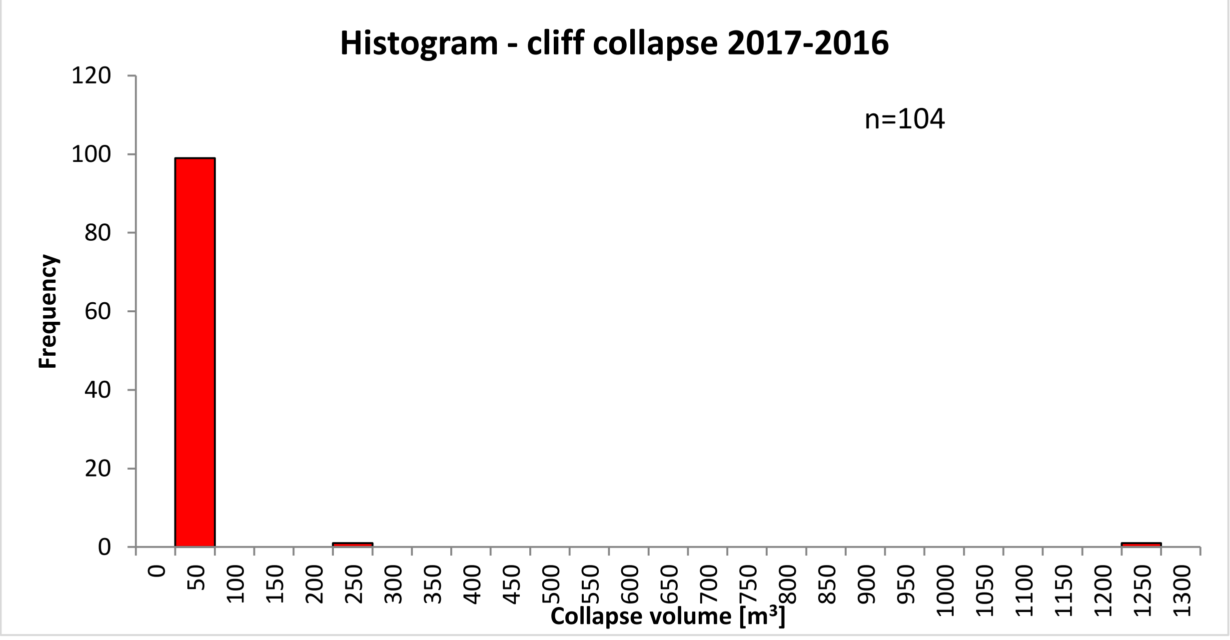


איור 5. *למעלה*: סיכום פעילות המצוק לאורך מקטע עין ים בין חורף 2016 לחורף 2017 מוצגת לפי המרחק ממרינת הרצליה. אדום: קריסת מצוק, כחול: השקעת טאלוס, ירוק: סחיפת טאלוס על ידי הגלים (מוצג בצורה סכמתית באיור המוקטן). קואורדינטות צפון ברשת ישראל החדשה באפור. *למטה*: היסטוגרמה עבור קריסות המצוק במקטע.



איור 6. *למעלה*: סיכום פעילות המצוק לאורך מקטע נעורים בין חורף 2016 לחורף 2017 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*: היסטוגרמה עבור קריסות המצוק במקטע.





איור 7. *למעלה*: סיכום פעילות המצוק לאורך מקטע נתניה העיר בין חורף 2016 לחורף 2017 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*: היסטוגרמה עבור קריסות המצוק במקטע.

3.1.4 מקטע נתניה דרום

במהלך תקופת המחקר התרחשו במקטע זה 55 אירועי כשל מצוק בטווח נפחים של עד 698 מ״ק (חציון: 11 מ״ק) שגרעו מהמצוק החופי בסה״כ 2,862 מ״ק חומר (איור 8). תועדו 10 אתרים של סחיפת טאלוס בנפח כולל של 66 מ״ק ו- 31 אתרים של הערמות טאלוס שהגיעו בסה״כ ל- 2,106 מ״ק (טבלאות 2, 3). בתקופת המחקר נגרע מהמערכת החופית במקטע זה בסה״כ 822 מ״ק של חומר שמקורו במצוק.

3.1.5 מקטע געש

במהלך תקופת המחקר התרחשו במקטע זה 179 אירועי כשל מצוק בטווח נפחים של עד 1797 מ״ק (חציון: 31 מ״ק) שגרעו מהמצוק החופי בסה״כ 16,543 מ״ק חומר (איור 9). תועדן 51 אתרים של סחיפת טאלוס בנפח כולל של 1,965 מ״ק ו- 87 אתרים של הערמות טאלוס שהגיעו בסה״כ ל- 6,119 מ״ק (טבלאות 2, 3). בתקופת המחקר נגרע מהמערכת החופית במקטע זה בסה״כ 12,389 מ״ק של חומר שמקורו במצוק.

3.1.6 מקטע אשקלון צפון

במהלך תקופת המחקר התרחשו במקטע זה 69 אירועי כשל מצוק בטווח נפחים של עד 380 מ״ק (חציון: 7 מ״ק) שגרעו מהמצוק החופי בסה״כ 2,132 מ״ק חומר (איור 10) . תועדו 8 אתרים של סחיפת טאלוס בנפח כולל של 386 מ״ק ו- 14 אתרים של הערמות טאלוס שהגיעו בסה״כ ל- 368 מ״ק (טבלאות 2, 3). בתקופת המחקר נגרע מהמערכת החופית במקטע זה בסה״כ 2,150 מ״ק של חומר שמקורו במצוק.

במסגרת הפעילות של החברה הממשלתית להגנות מצוקי חוף הים התיכון, הוערמו בחודש דצמבר 2016 (-12 19.12.2016) 7,800 מ״ק של חול בסמוך לבסיס המצוק, במקטע שאורכו כקילומטר מצפון למרינה. מקור החול הוא קרקעית הים בכניסה למרינה (המידע לעיל נמסר על ידי החברה הממשלתית). לתוספת חול זו יש ביטוי במפות ההפרשים שהוכנו לצרכי הדוח הנוכחי. כלומר, ניתן להבחין בקטעי מצוק, באורך של כ- 100 מטר, שבבסיסם קיימת תוספת חול משמעותית (עד כ- 1.5 מטר עובי) היוצרת רצועה צרה (עד כ- 5 מטר רוחב) מקבילת מצוק. לתוספת חול זו אין מקור על גבי המצוק (התמוטטות), על כן היא נחשבת מלאכותית (גם בשל צורתה המאורכת שאינה דומה לצורתו האופיינית של כשל המצוק) ואינה נלקחת בחשבון בהערכת נפח גריעת החול מהמצוק.

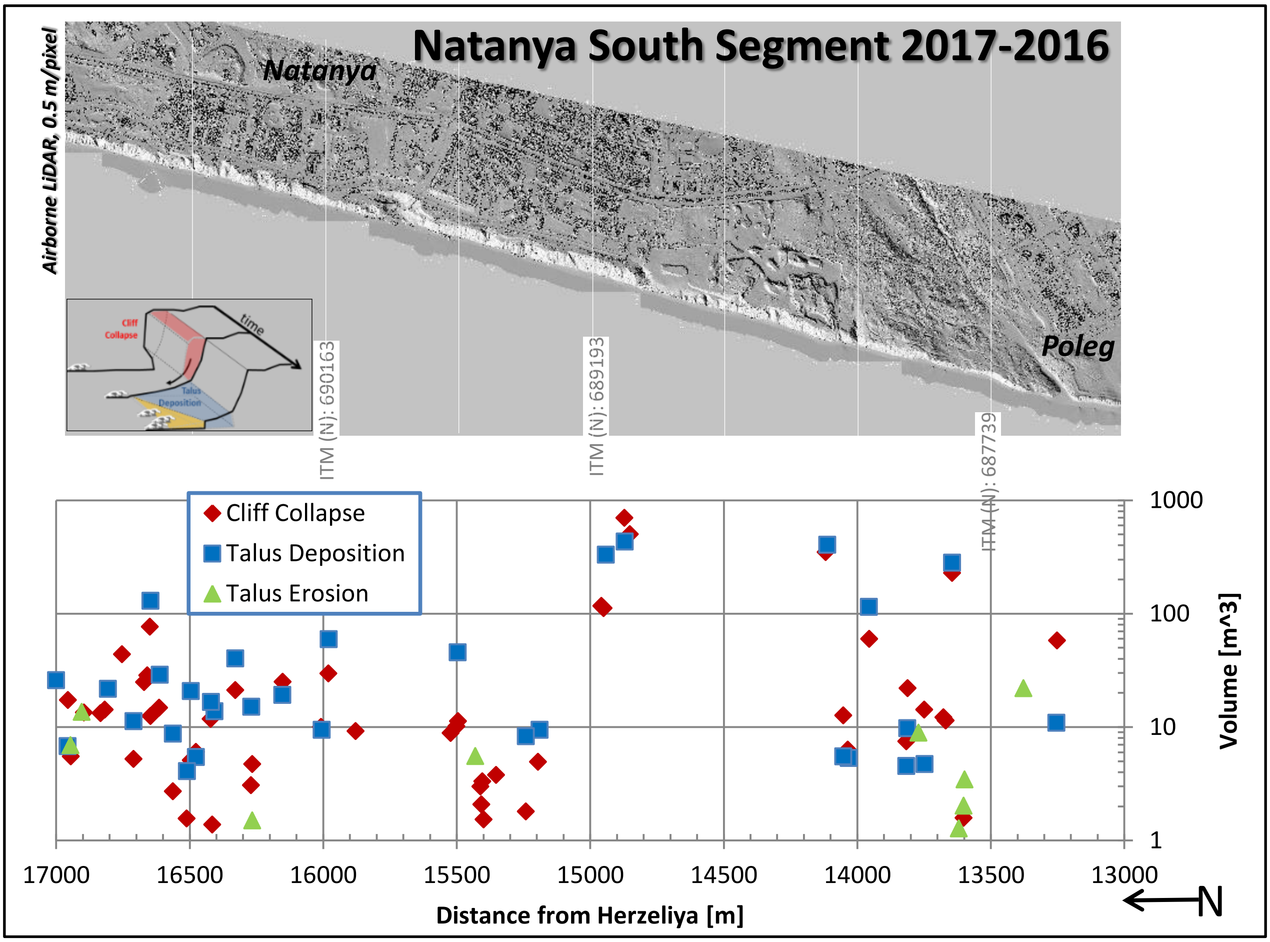
3.1.7 מקטע אשקלון דרום

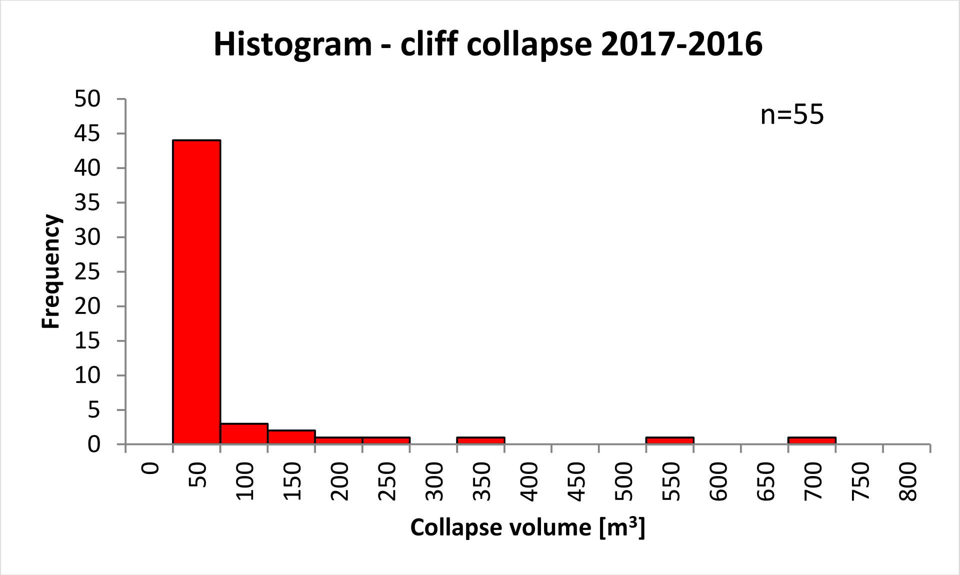
במהלך תקופת המחקר התרחשו במקטע זה 26 אירועי כשל מצוק בטווח נפחים של עד 1,297 מ״ק (חציון: 19 מ״ק) שגרעו מהמצוק החופי בסה״כ 2,945 מ״ק חומר (איור 11) . תועדו 7 אתרים של סחיפת טאלוס בנפח כולל של 162 מ״ק ו- 6 אתרים של הערמות טאלוס שהגיעו בסה״כ ל- 54 מ״ק (טבלאות 2, 3). בתקופת המחקר נגרע מהמערכת החופית במקטע זה בסה״כ 3,053 מ״ק של חומר שמקורו במצוק.

4. דיון

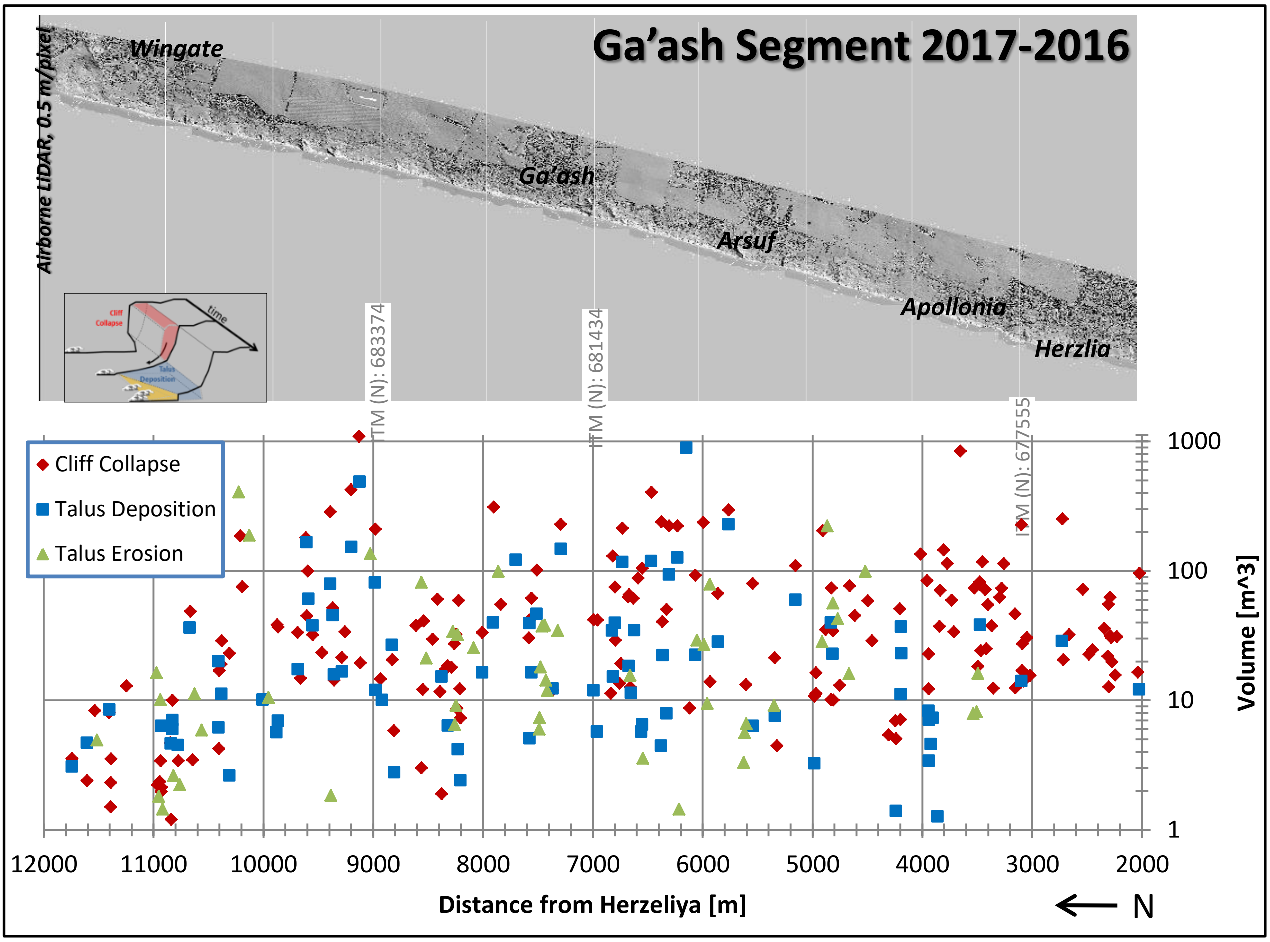
4.1 נפחים והערכת הנסיגה

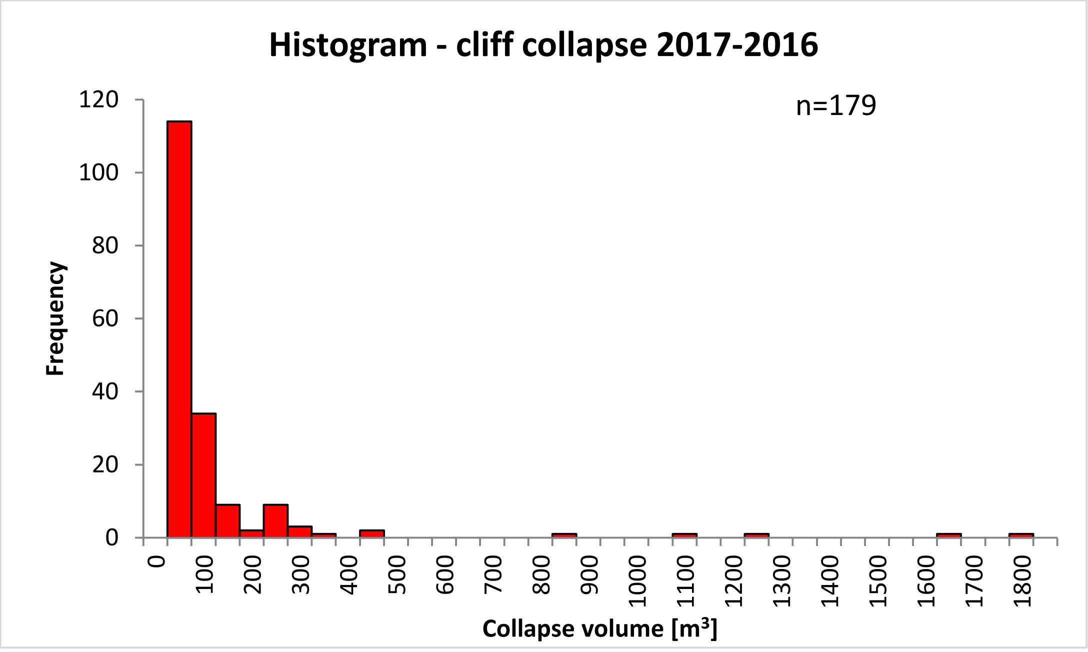
בתקופת המחקר תועדו לאורך כל המצוק החופי 542 אירועי כשל מצוק בנפח כולל של 27,462 מ״ק, 102 אתרים של סחיפת טאלוסים בנפח כולל של 2,999 מ״ק ו- 224 אתרים בהם נערם חומר מצוק על החוף בנפח כולל של 10,939 מ״ק. בתקופת המחקר רשם המצוק החופי מאזן-נפח שלילי, המסתכם ב- 19,522 מ״ק. נפח החומר שאבד בתקופת המחקר (3.2016 - 4.2017). נמצא בגבול התחתון של גריעת החומר השנתית הממוצעת לאורך המצוק מאז 2006 (פירוט מטה וב- Mushkin et al., 2016). לפיכך, ניתן לקבוע שבאופן כללי אין שינוי משמעותי בקצב נסיגת המצוק כיחידת נוף בתקופת המחקר (2016 - 2017) ביחס לנמדד מאז 2006.



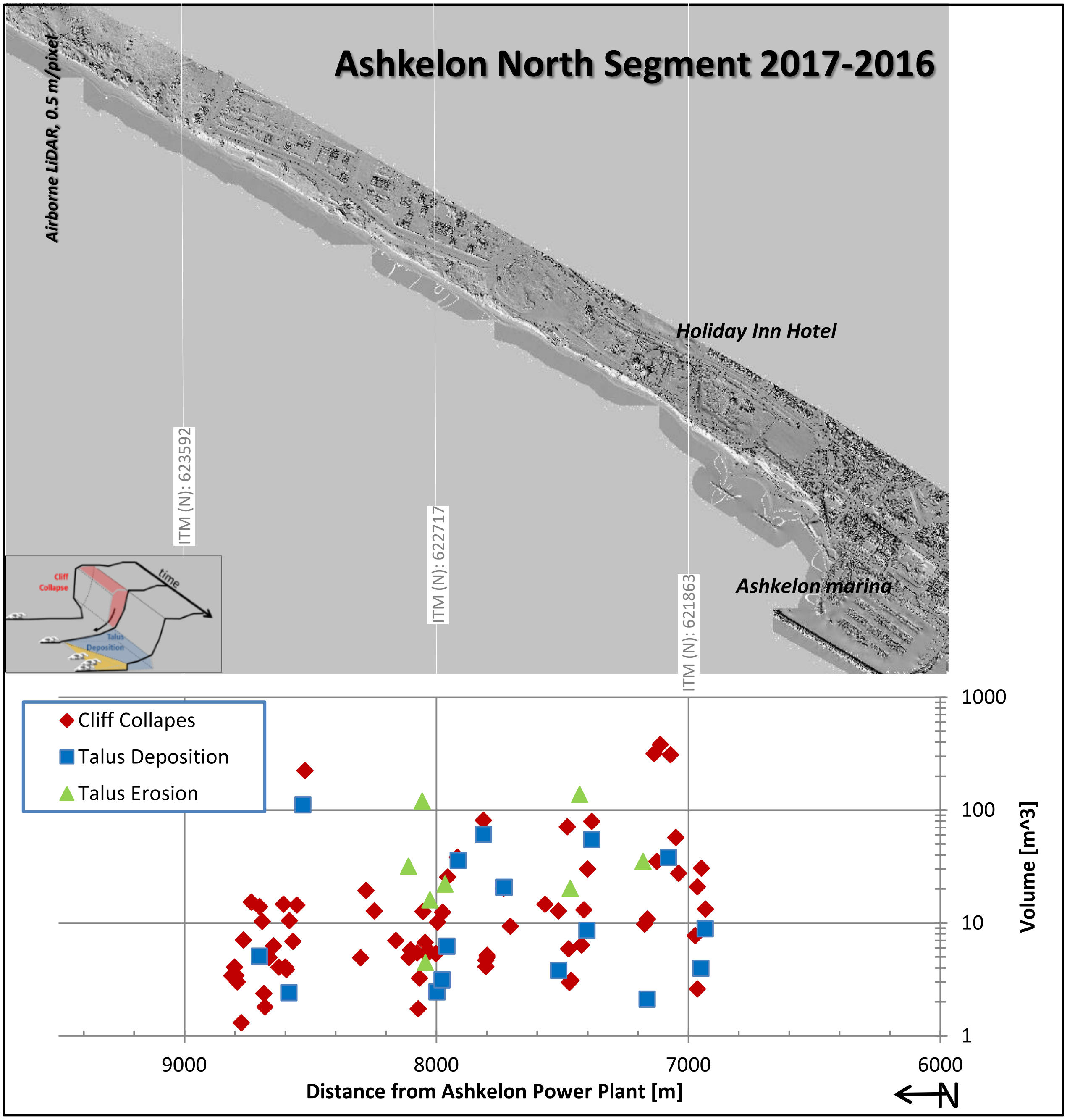


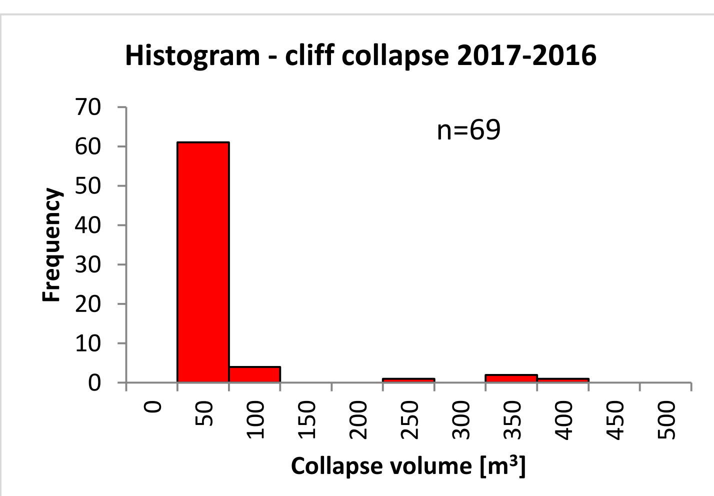
איור 8. *למעלה*: סיכום פעילות המצוק לאורך מקטע נתניה דרום בין חורף 2016 לחורף 2017 מוצגת לפי המרחק ממרינת הרצליה. אדום: קריסת מצוק, כחול: השקעת טאלוס, ירוק: סחיפת טאלוס על ידי הגלים (מוצג בצורה סכמתית באיור המוקטן). קואורדינטות צפון ברשת ישראל החדשה באפור. *למטה*: היסטוגרמה עבור קריסות המצוק במקטע.



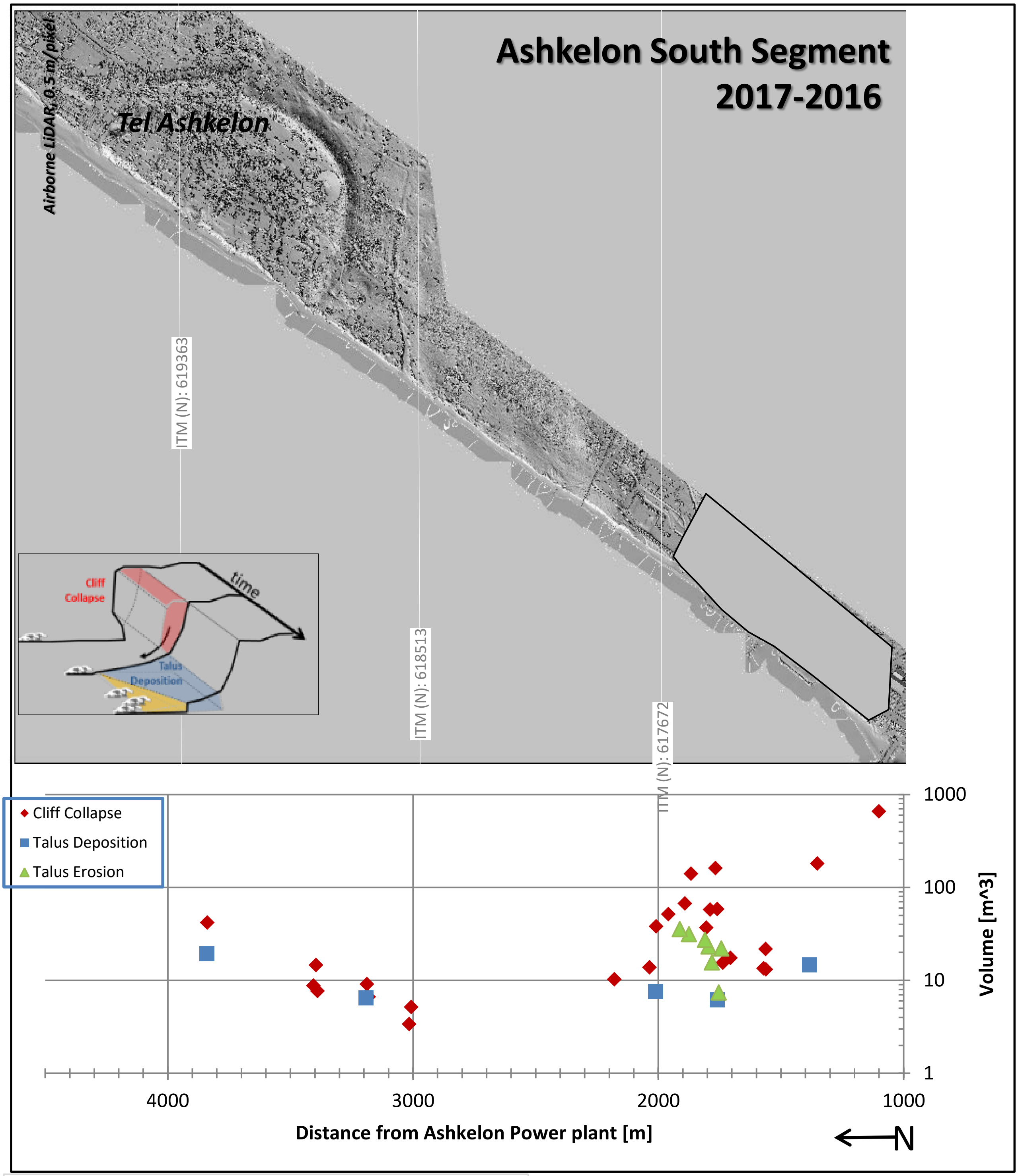


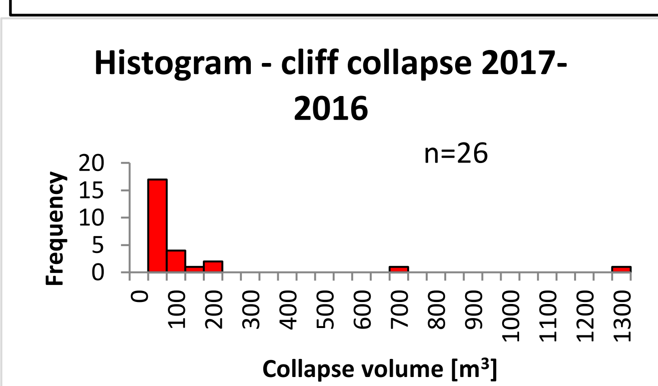
איור 9. *למעלה*: סיכום פעילות המצוק לאורך מקטע געש בין חורף 2016 לחורף 2017 מוצגת לפי המרחק ממרינת הרצליה. אדום: קריסת מצוק, כחול: השקעת טאלוס, ירוק: סחיפת טאלוס על ידי הגלים (מוצג בצורה סכמתית באיור המוקטן). קואורדינטות צפון ברשת ישראל החדשה באפור. *למטה*: היסטוגרמה עבור קריסות המצוק במקטע.





איור 10. *למעלה*: סיכום פעילות המצוק לאורך מקטע אשקלון-צפון בין חורף 2016 לחורף 2017 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. *למטה*: היסטוגרמה עבור קריסות המצוק במקטע.





איור 11. *למעלה:* סיכום פעילות המצוק לאורך מקטע אשקלון-דרום בין חורף 2016 לחורף 2017 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. *למטה:* היסטוגרמה עבור קריסות המצוק במקטע.

4.2 השוואה בין המקטעים השונים

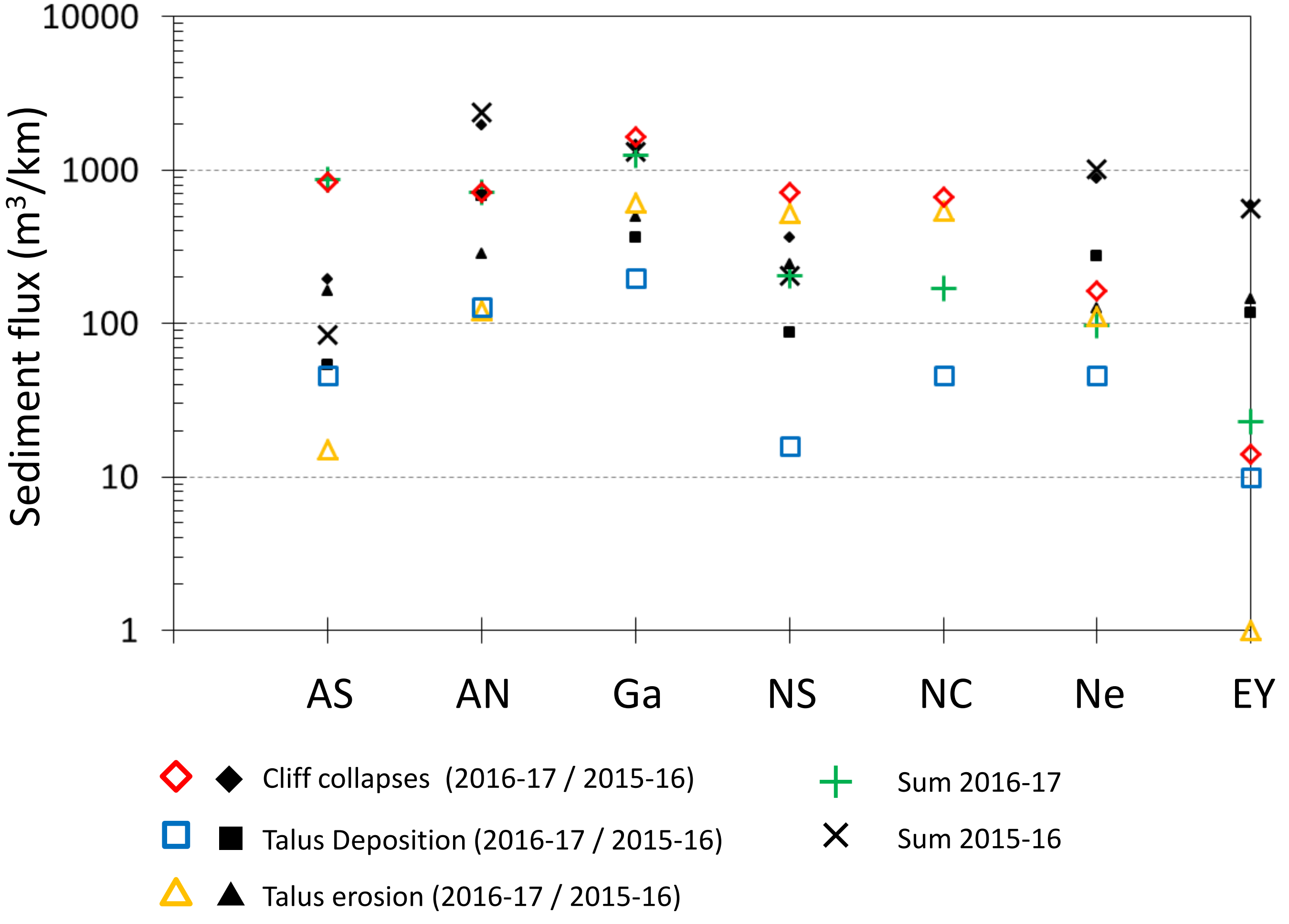
התפלגות האירועים השונים לאורך מקטעי המצוק בין 2016 ל 2017 אינה אחידה. נפח גריעת הסדימנט כתוצאה מהתמוטטות לק״מ-מצוק נמוך במקטעים הצפוניים ביותר (נעורים ועין הים), דומה בין המקטעים של אשקלון-דרום, אשקלון-צפון, נתניה דרום ונתניה העיר והגבוה ביותר במקטע געש (טבלה 4). נפח סחיפת טאלוסים עבור קילומטר גבוהה ביותר במקטעי אשקלון צפון וגעש. נפח תוספת החומר עבור כל קילומטר גבוהה ביותר במקטע געש, נתניה דרום ונתניה העיר. שטף החומר שנגרע מהמצוק במקטע געש (כלומר, גריעת סדימנט לקילומטר מצוק) היה גבוה פי 2~ מהשטף הממוצע לאורך המצוק כולו, שעומד על כ- 612 מ״ק לק״מ-מצוק (גריעת חומר של כ- 20,000 מ״ק בתקופת המחקר מכ- 32 ק״מ מצוק; טבלה 2) ואילו במקטעים הצפוניים (נתניה דרום עד עין הים) היה שטף הגריעה נמוך מהממוצע. שוני בשטף החומר הנגרע בין שני קטעי חוף המחושב על פני שנה אחת עדיין אינו מלמד על מגמות ארוכות טווח.

טבלה 4. צפיפות האירועים ושטף הסדימנט (2016 - 2017)

מקטע	אורך	כשל מצוק				סחיפת טאלוס				טאלוסים שנוספו				סה״כ גריעה/ק״מ
	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	10	3.3	-43	-14	5	1.6	-30	-10	1	0.3	4	1	**-23**
נעורים	5.3	99	18.6	-865	-163	18	3.3	-246	-46	35	6.6	594	112	**-97**
נתניה העיר	3.1	104	33.5	-2,070	-667	3	0.9	-143	-46	50	16.1	1,691	545	**-168**
נתניה דרום	4.0	55	13.7	-2,862	-715	10	2.5	-66	-16	31	7.7	2,105	526	**-205**
געש	10.0	179	17.9	-16,542	-1,654	51	5.1	-1,964	-196	87	8.7	6,118	611	**-1,238**
אשקלון צפון	3.0	69	23	-2,131	-710	8	2.6	-386	-128	14	4.6	367	122	**-716**
אשקלון דרום	3.5	26	7.4	-2,945	-841	7	1	-161	-46	6	1.7	54	15	**-872**

4.3 השוואה של פעילות המצוק בין שנת המעקב הנוכחית (2016-17) לשנה הקודמת (2015-16)

השוואה בין פעילות המצוק בשנת המעקב הנוכחית (2016-17) לשנה הקודמת לה (2015-16), מראה שבין חורף 2015 וחורף 2016 נרשמה גריעה שנתית גדולה יותר מהשנה הנוכחית: כ- 30,000 מ״ק/שנה, ו- 20,000 מ״ק/שנה בשנה הבדיקה הקודמת והנוכחית, בהתאמה (איור 12; טבלה 5). בנוסף נרשם שינוי בשטף היחסי של החומר הנגרע כמעט בכל המקטעים, כאשר במקטעי עין הים, נעורים, ואשקלון צפון קיימת ירידה משמעותית בשטף הגריעה ובמקטע אשקלון דרום קיימת עלייה. מקטעי געש ונתניה דרום שומרים על שטף דומה בקירוב בין שתי שנות המעקב. נפח אירוע הכשל הגדול ביותר דומה בשתי השנים: 1,797 מ״ק ו- 1,549 מ״ק בשנת המעקב הנוכחית והקודמת, בהתאמה.



איור 12. סיכום פעילות המצוק החופי (שטף סדימנט) בשנת המעקב הנוכחית (חורף 2016 עד חורף 2017) בהשוואה לשנה הקודמת (חורף 2015 עד חורף 2016 ; מתוך כץ וחובב, 2017). כלל טיפוסי האירועים (כשל מצוק, תוספת טאלוס וסחיפת טאלוס) מופיעים בסימן חיובי. AS : מקטע אשקלון דרום ; AN : מקטע אשקלון צפון ; Ga : מקטע געש ; NS : מקטע נתניה דרום ; NC : מקטע נתניה העיר ; Ne : מקטע נעורים ; NY : מקטע עין ים.

בבחינה של נתוני הגלים שנרשמים בחדרה על ידי המכון לחקר ימים ואגמים (IOLR Mediterranean GLOSS station #80) נמצא כי במהלך תקופת המעקב הנוכחית נרשמו 5 אירועים (136 שעות) בהם הגלים עברו את הסף הקריטי לפגיעה במצוק. במהלך תקופת המעקב הקודמת נרשמו 9 אירועים (204 שעות) בהם הגלים עברו את הסף הקריטי לפגיעה במצוק.

טבלה 5. השוואה של פעילות המצוק בין השנים: 16-2015 ו- 17-2016

מקטע	כשל מצוק (מ"ק/ק"מ)		סחיפת טאלוס (מ"ק/ק"מ)		טאלוסים שנוספו (מ"ק/ק"מ)		סה"כ גריעה (מ"ק/ק"מ)	
	2015-16	**2016-17**	**2015-16**	**2016-17**	**2015-16**	**2016-17**	**2015-16**	**2016-17**
עין הים	-591	-14	-117	-10	145	1	-563	-23
נעורים	-874	-163	-273	-46	126	112	-1,021	-97
נתניה העיר	-	-667	-	-46	-	545	-	-168
נתניה דרום	-361	-715	-88	-16	243	526	-206	-205
געש	-1,456	-1,654	-366	-196	500	611	-1,322	-1,238
אשקלון צפון	-1,970	-710	-683	-128	285	122	-2,368	-716
אשקלון דרום	-193	-841	-54	-46	163	15	-84	-872
ממוצע כולל							**-1,000**	**-612**

5. מסקנות

בכל מקטעי המצוק שנבדקו במסגרת הדוח הנוכחי, נרשמה בסיכום שנת המעקב (מחורף 2016 עד חורף 2017) גריעה של חומר מהמערכת החופית. במהלך התקופה נגרע נפח של כ- 20,000 מ"ק מהמצוק החופי בכללותו. בנוסף, נמדדה שונות מרחבית משמעותית בין מקטעי המצוק השונים: שטף החומר שנגרע מהמצוק במקטעים הצפוניים (נתניה דרום עד עין הים) היה נמוך משמעותית מהשטף במקטעים הדרומיים יותר. השטף הנמדד היה הגבוה ביותר במקטע געש (1,238 מ"ק/ק"מ).

בהשוואה לנתונים מעשר השנים האחרונות, תוך התחשבות בשגיאות המדידה ובתנודה הטבעית בפעילות המצוק לא ניכר שינוי משמעותי בקצב איבוד חומר מהמצוק כיחידת נוף אחת: Mushkin et al. (2016), מדדו, בין השנים: 2006 ו- 2015, גריעה ממוצעת של כ- 30,000 מ"ק בשנה לאורך מצוק השרון (בהשוואה לגריעה של כ- 14,500 מ"ק ממצוק השרון בלבד בשנה המעקב הנוכחית; וגריעה של כ- 20,000 ממצוק השרון בלבד בשנה המעקב הקודמת).

.

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'.

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., Porat N., Under Review. Recent short-term retreat rates of Israel's Mediterranean coastal cliffs.

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.

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.

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.

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 ובאיורים S1 עד S11, מוצגים האירועים לאורך המצוק החופי (במאפיינים של כשל מצוק, סחיפת טאלוס ותוספת טאלוס) שהתרחשו בין 3/2016 ו- 4/2017, 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.

23 מתוך מקטעי העבודה של החברה הממשלתית אינם כלולים במקטעי המצוק הראשיים שפורטו בטבלה 1. חומר המצוק שנגרע לאורך 23 מקטעים קצרים אילו בתקופת במחקר (כ- 400 מ"ק; טבלה 6) מהווה תוספת זניחה ביחס למה שנמדד לעיל לאורך המקטעים הראשיים (~20,000 מ"ק; טבלה 2).

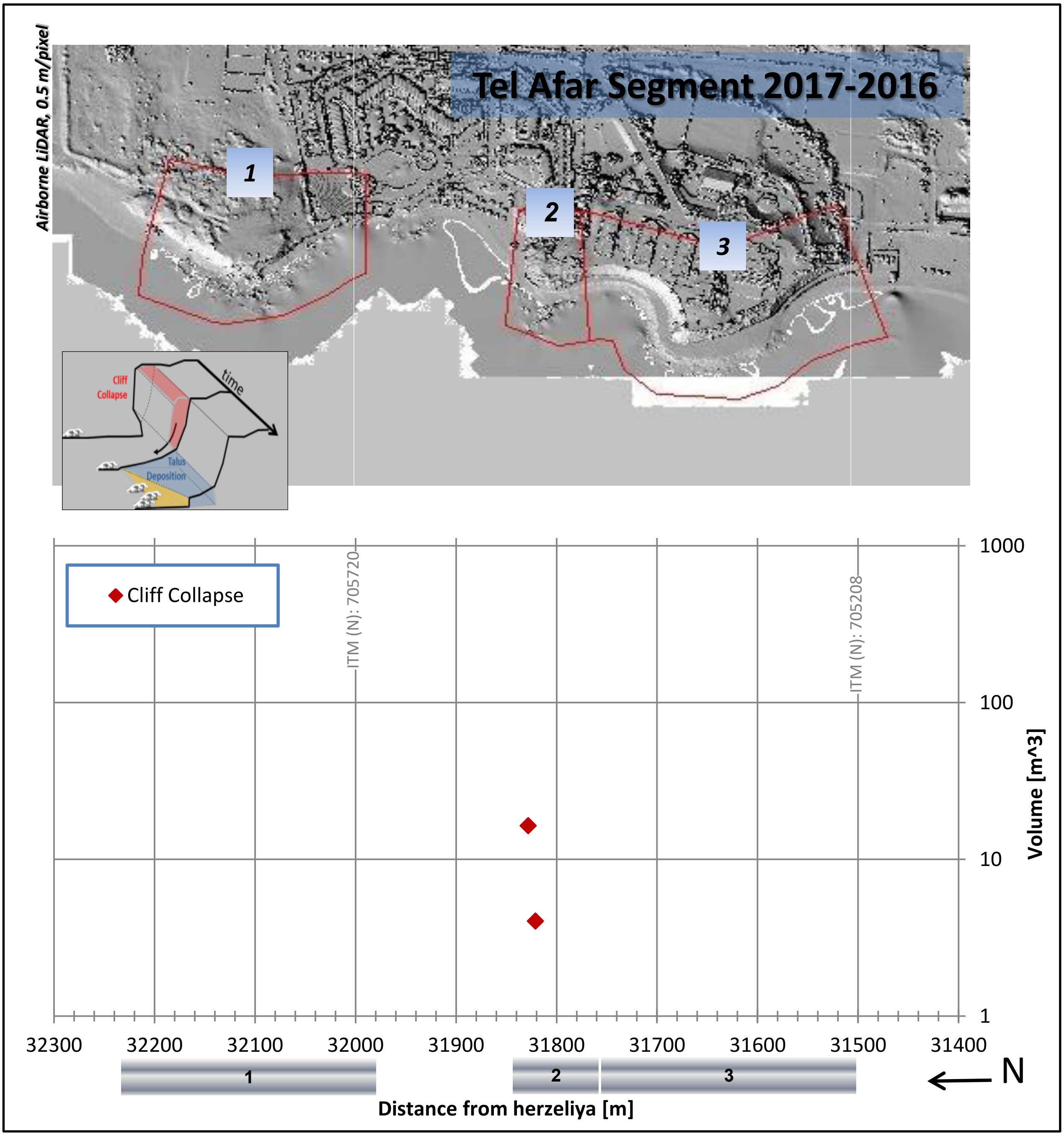
טבלה 6. סיכום הפעילות לאורך המצוק החופי (2016 - 2017) במקטעי העבודה של תמ"א 13/9. מקטעי החוף אשר גריעת החומר בהם התרחשה מחוץ למקטעים המפורטים בטבלה 1 מצוינים באפור בהיר[1].

מקטע		אורך	כשל מצוק		סחיפת טאלוס		טאלוסים שנוספו		סה"כ גריעה
		(m)	מספר קריסות	נפח כולל (m^3)	מספר פוליגונים	נפח כולל (m^3)	מספר טאלוסים	נפח כולל (m^3)	(m^3)
1	תל עפר	188	0	0	0	0	0	0	0
2	בית חנקין	65	2	-20 ±3	0	0	0	0	-20 ±3
3	אולגה כפר נופש	303	0	0	0	0	0	0	0
4	בית ינאי	122	2	-3 ±1	0	0	2	3 ±0	0
5	בית ינאי צפון	197	9	-16 ±4	1	-1 ±0	1	7 ±2	-9 ±5
6	בית ינאי דרום	650	6	-14 ±6	0	0	1	7 ±2	-7 ±6
7	נעורים	337	9	-79 ±12	2	-10 ±11	6	80 ±26	-9 ±31
8	כפר נוער נעורים	518	14	-96 ±12	0	0	7	123 ±44	27 ±4
9A	חוף נעורים	88	0	0	0	0	0	0	0
9B	חוף נעורים דרומי	139	0	0	0	0	0	0	0
10	בלו ביי	221	6	-198 ±24	0	0	4	181 ±30	-17 ±38
11	נתניה צפון	318	11	-208 ±27	1	-15 ±5	4	70 ±15	-153 ±31
12	החוף הנפרד	220	2	-11 ±4	0	0	1	9 ±5	-2 ±6
13	שדרות ניצה	232	3	-8 ±5	1	-1 ±1	2	6 ±4	-3 ±6

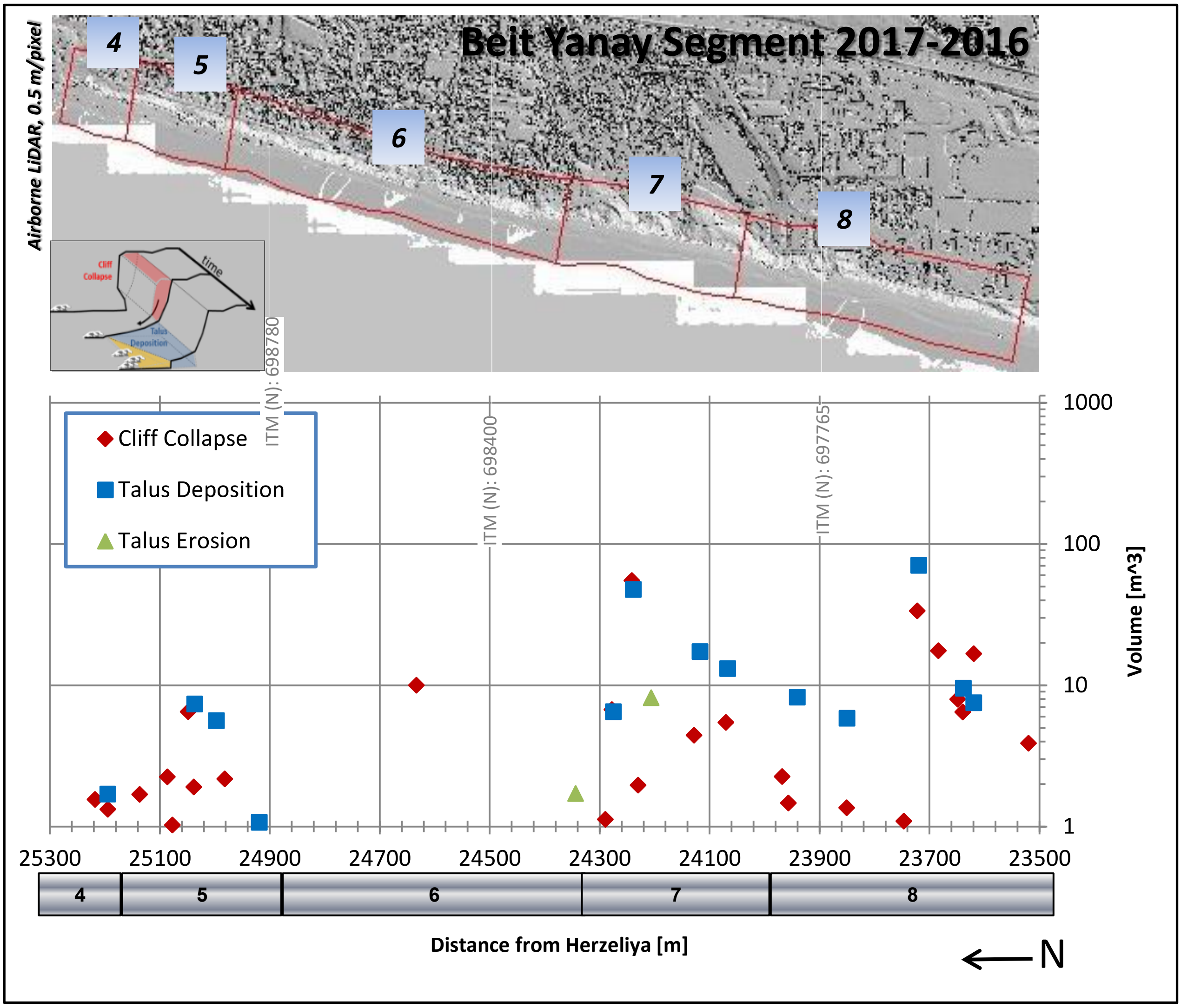
14	חוף העונות חוף האמפי	1,370	62	-173 ±58	0	0	29	146 ±77	-27 ±96
15 A	נתניה חוף סירונית וארגמן	2,837	72	-2,314 ±333	6	-168 ±49	38	1,746 ±303	-736 ±452
15 B		570	11	-60 ±18	1	-4 ±1	3	59 ±13	-5 ±22
16	דרום נתניה	210	2	-232 ±41	0	0	1	327 ±114	95 ±121
17	חוף געש	196	0	0	0	0	0	0	0
18	אפולוניה צפון	350	11	-1,358 ±83	3	-32 ±9	1	38 ±16	-1,352 ±84
19	אפולוניה דרום	144	5	-308 ±26	0	0	0	0	-308 ±26
20	חוף נוף ים	187	3	-304 ±14	0	0	1	29 ±5	-275 ±14
21	גלי תכלת	130	3	-191 ±17	0	0	1	12 ±3	-179 ±17
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	1	-3 ±1	0	0	0	0	-3 ±1
26	סי אנד סאן	345	0	0	0	0	0	0	0
27	תל אביב מרכז	904	1	-6 ±1	1	-20 ±10	1	15 ±3	-11 ±10
28 A	תל ברוך	261	0	0	0	0	0	0	0
28 B	תל ברוך	262	0	0	1	-83 ±9	0	0	-83 ±9
29	הילטון תל אביב	734	0	0	0	0	0	0	0
30	חוף נחום גולדמן	635	0	0	1	-9 ±3	0	0	-9 ±3
31	יפו חוף עליה	546	0	0	0	0	0	0	0
32	בת ים צפון	250	1	-7 ±1	0	0	0	0	-7 ±1
33	בת ים מרכז	850	1	-8 ±1	0	0	0	0	-8 ±1

34	בת ים דרום	375	1	-23 ±3	0	0	0	0	-23 ±3
35	פלמחים	177	0	0	0	0	0	0	0
36	בית קברות פלמחים	170	1	-108 ±6	0	0	1	50 ±5	-58 ±7
37	תל יבנה ים	284	0	0	0	0	0	0	0
38	אשקלון צפון	1,130	30	-1,587± 120	3	-192 ±35	9	201 ± 57	1,578 ± 137
39	אשקלון גן לאומי	642	4	-73± 7	0	0	1	19± 4	±-54 8
סיכום[2]		**8,480**	**11**	**-367**	**3**	**-112**	**3**	**77**	**-402**

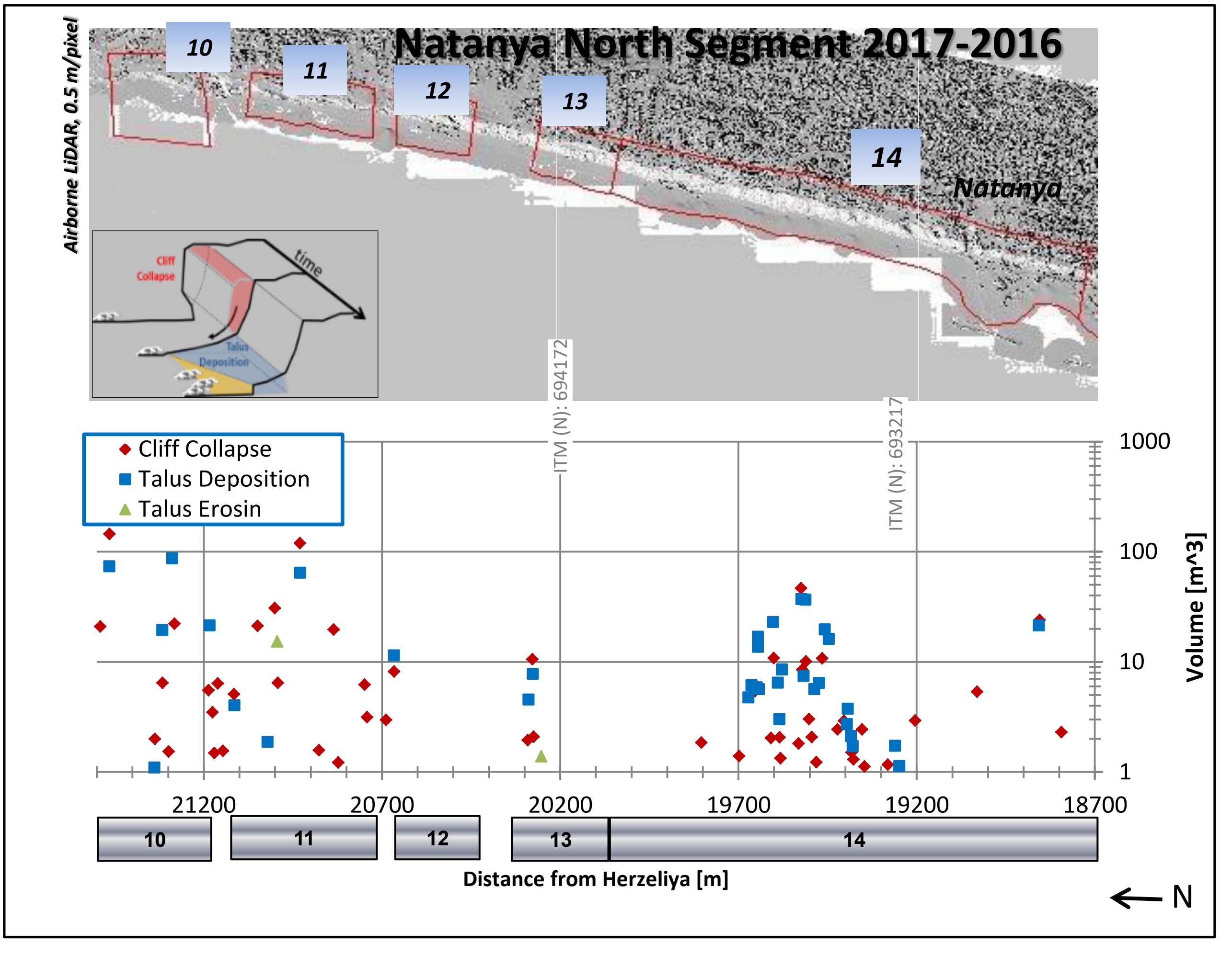
1. מקטעי החוף אשר גריעת החומר בהם התרחשה מחוץ למקטעים הראשיים המפורטים בטבלה 1 (מקטעים: 1 - 3, 21 - 37).
2. סיכום האירועים שהתרחשו מחוץ למקטעי המצוק הראשיים שפורטו לעיל (טבלה 1) ונפח גריעה שלא נכלל במחושב לעיל לאורך המקטעים הראשיים (טבלה 2).



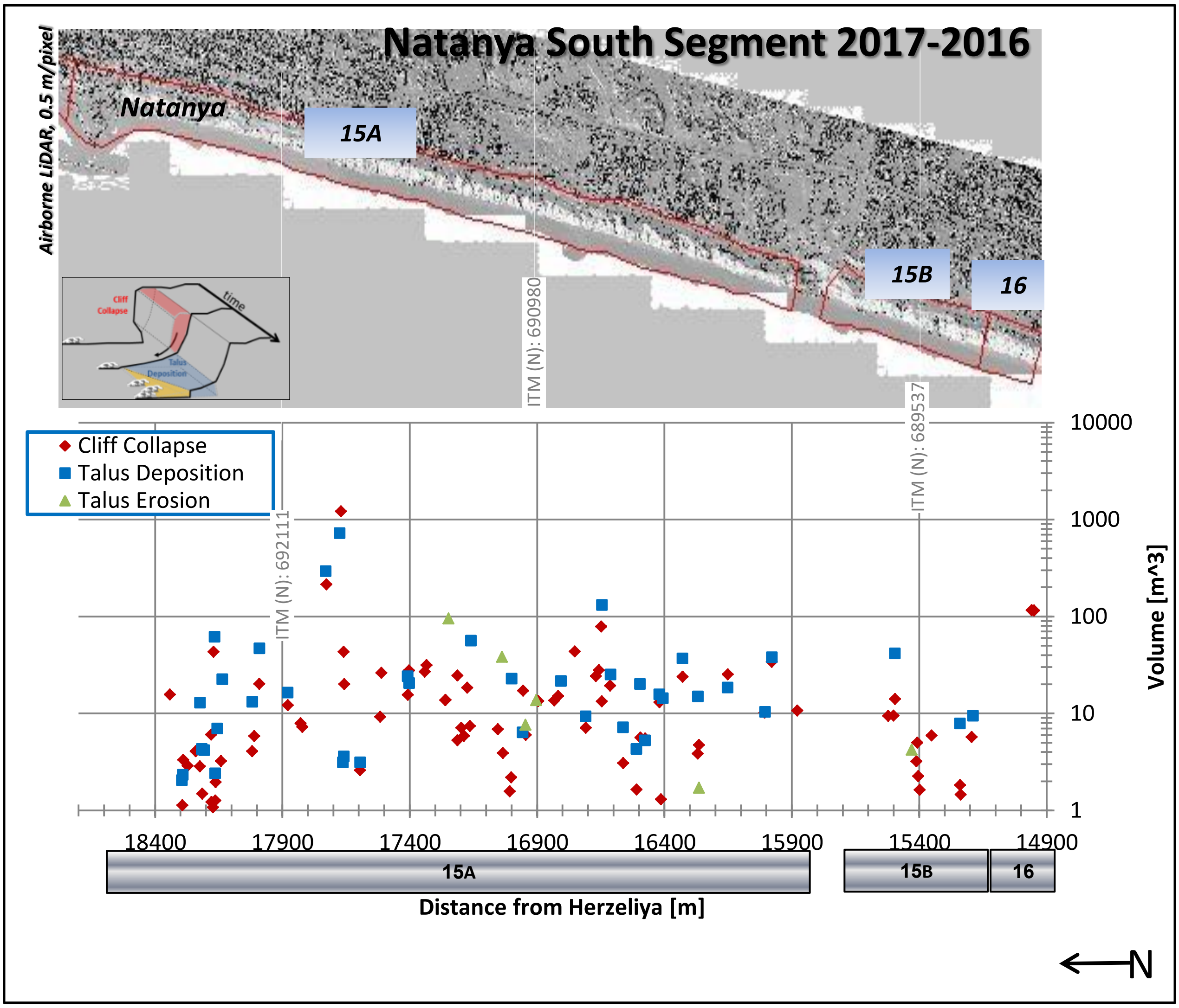
איור S1. פעילות המצוק לאורך מקטעי תל עפר, בית חנקין ואולגה כפר נופש (1 - 3) בין חורף 2016 לחורף 2017 מוצגת לפי המרחק ממרינת הרצליה. אדום: קריסת מצוק (מוצג בצורה סכמתית באיור המוקטן). קואורדינטות צפון ברשת ישראל החדשה באפור.



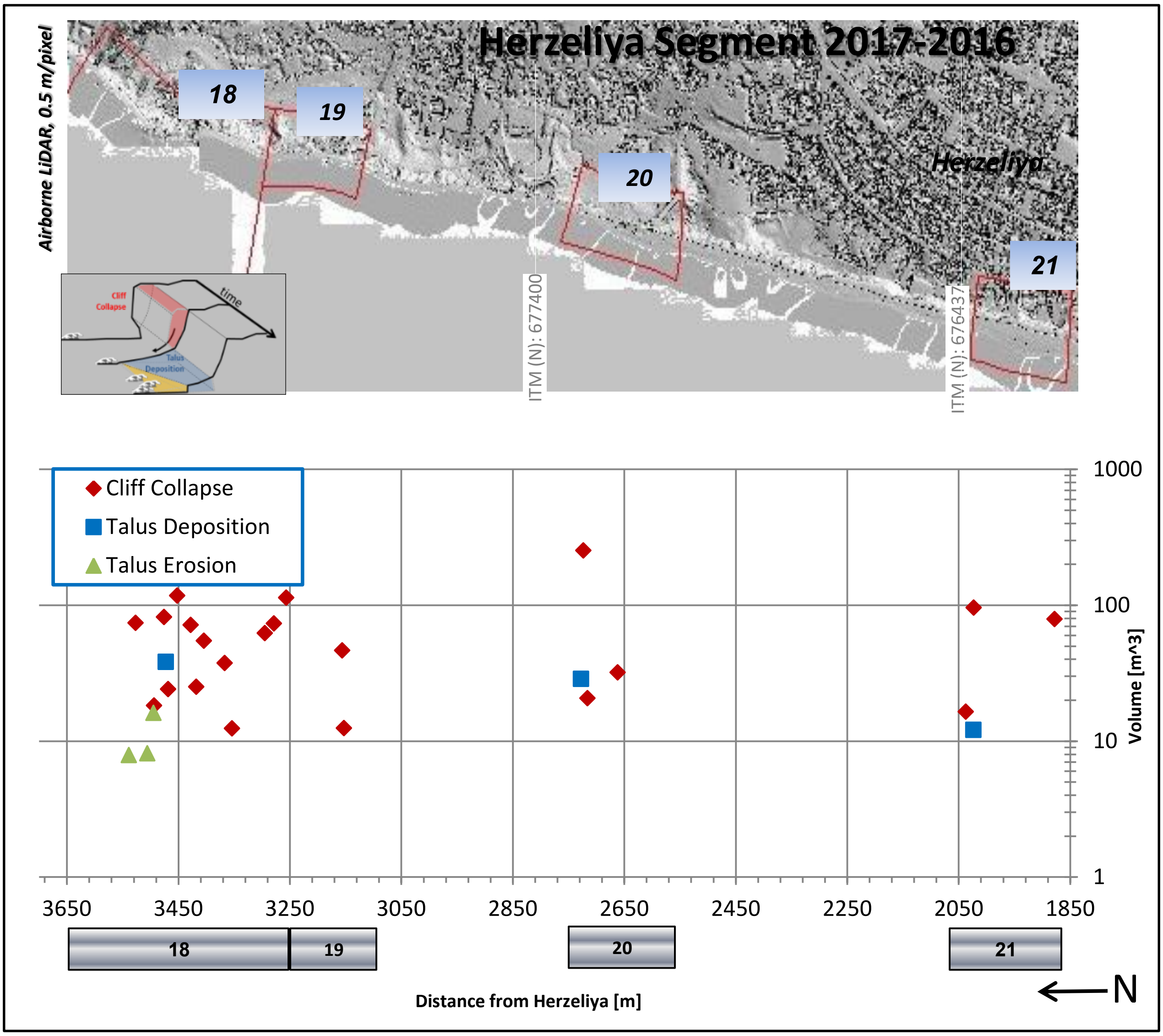
איור S2. פעילות המצוק לאורך מקטעי בית ינאי ומקטעי נעורים (4 - 8) בין חורף 2016 לחורף 2017 מוצגת לפי המרחק ממרינת הרצליה. אדום: קריסת מצוק, כחול: השקעת טאלוס, ירוק: סחיפת טאלוס על ידי הגלים (מוצג בצורה סכמתית באיור המוקטן). קואורדינטות צפון ברשת ישראל החדשה באפור.



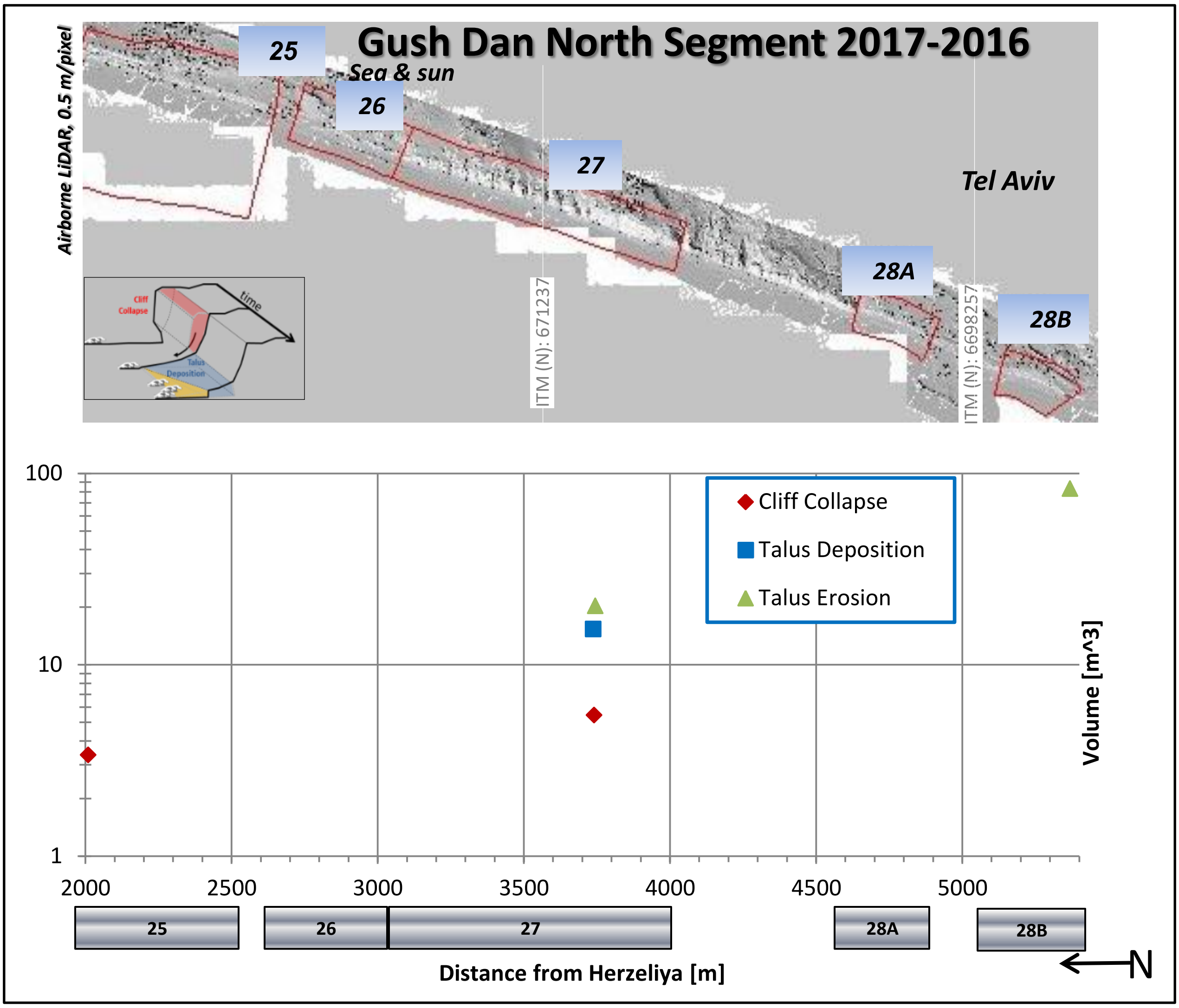
איור S3. פעילות המצוק לאורך מקטעי בלו ביי, נתניה צפון, החוף הנפרד, שדרות ניצה וחוף העונות – אמפי (10 - 14) בין חורף 2016 לחורף 2017 מוצגת לפי המרחק ממרינת הרצליה. אדום: קריסת מצוק, כחול: השקעת טאלוס, ירוק: סחיפת טאלוס על ידי הגלים (מוצג בצורה סכמתית באיור המוקטן). קואורדינטות צפון ברשת ישראל החדשה באפור.



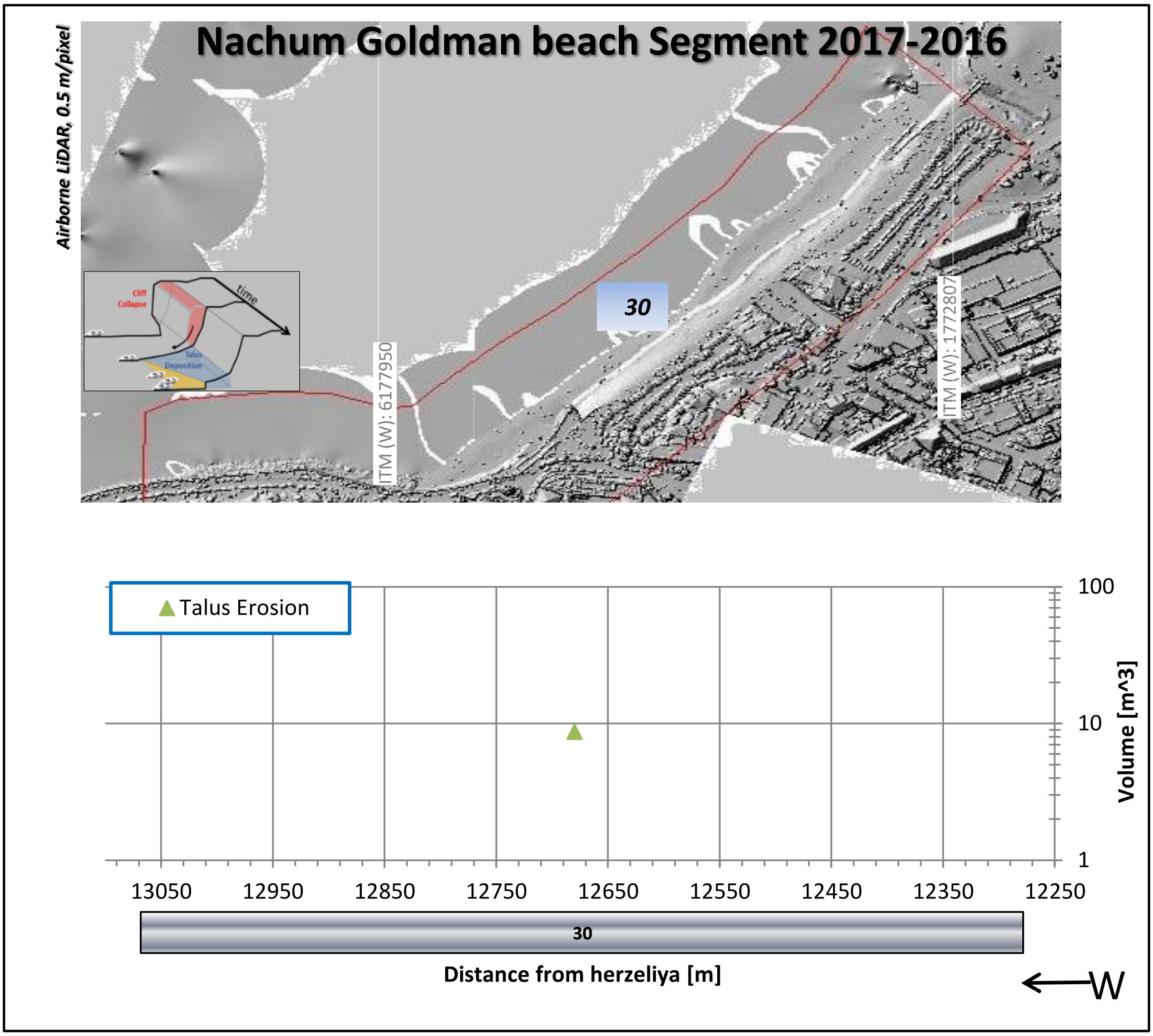
איור S4. פעילות המצוק לאורך מקטעי חוף סירונית וארגמן ודרום נתניה (15 - 16) בין חורף 2016 לחורף 2017 מוצגת לפי המרחק ממרינת הרצליה. אדום: קריסת מצוק, כחול: השקעת טאלוס, ירוק: סחיפת טאלוס על ידי הגלים (מוצג בצורה סכמתית באיור המוקטן). קואורדינטות צפון ברשת ישראל החדשה באפור.



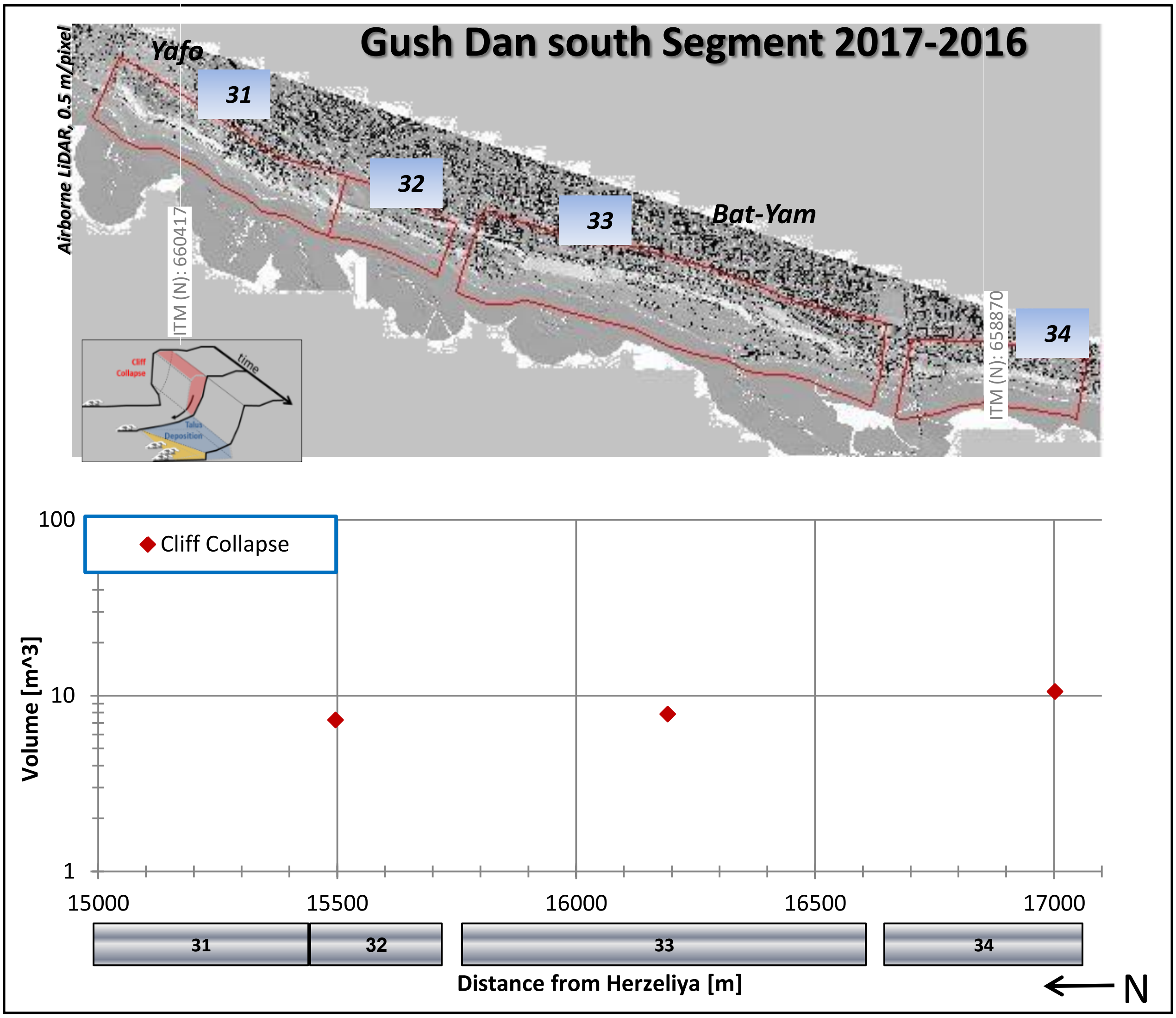
איור S5. פעילות המצוק לאורך מקטעי אפולוניה צפון ודרום, חוף נוף ים וגלי תכלת (18 - 21) בין חורף 2016 לחורף 2017 מוצגת לפי המרחק ממרינת הרצליה. אדום: קריסת מצוק, כחול: השקעת טאלוס, ירוק: סחיפת טאלוס על ידי הגלים (מוצג בצורה סכמתית באיור המוקטן). קואורדינטות צפון ברשת ישראל החדשה באפור.



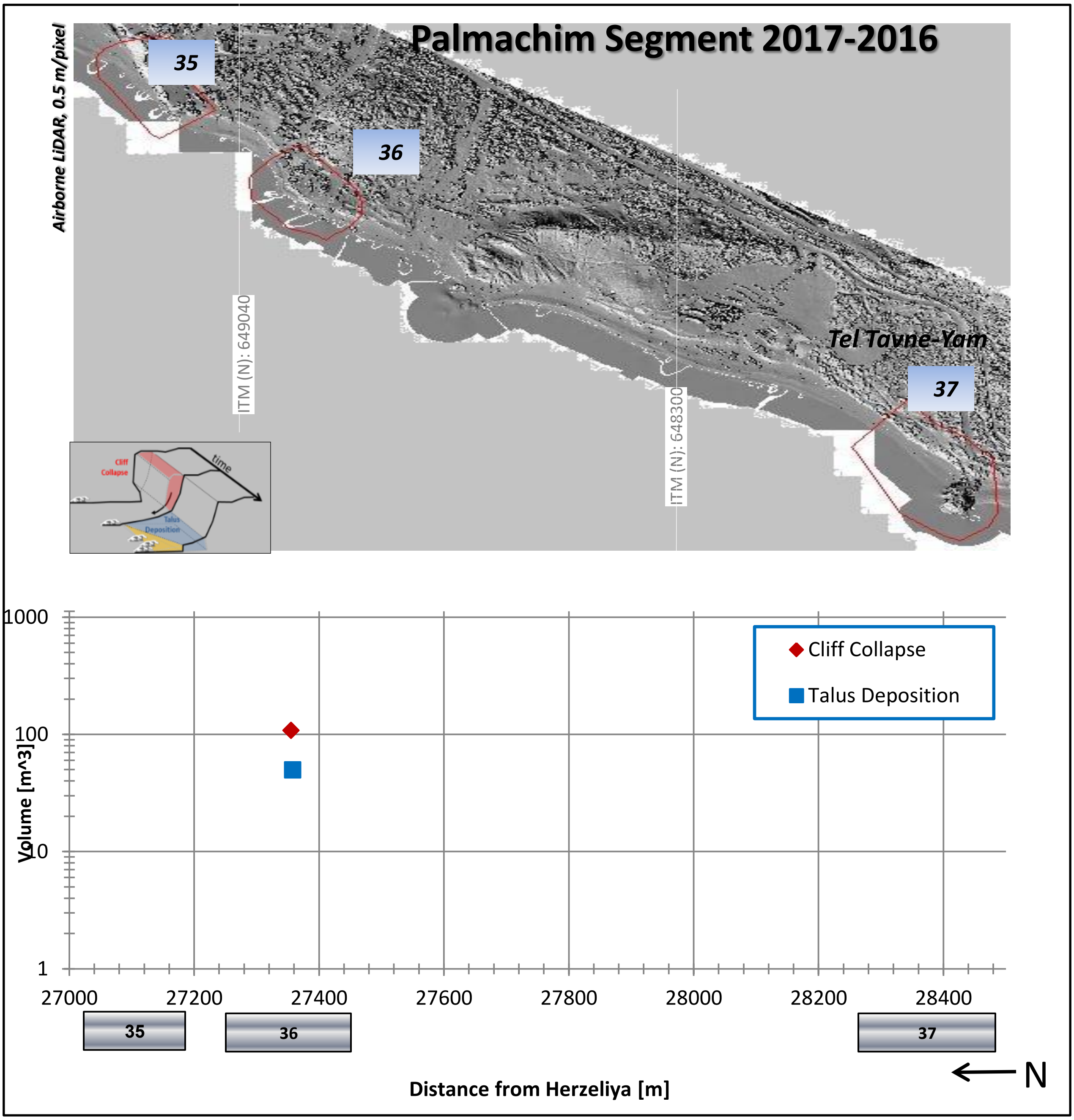
איור S6. פעילות המצוק לאורך הצוק, סי אנד סאן, תל אביב מרכז ותל ברוך (25 - 28) בין חורף 2016 לחורף 2017 מוצגת לפי המרחק ממרינת הרצליה. אדום: קריסת מצוק, כחול: השקעת טאלוס, ירוק: סחיפת טאלוס על ידי הגלים (מוצג בצורה סכמתית באיור המוקטן). קואורדינטות צפון ברשת ישראל החדשה באפור.



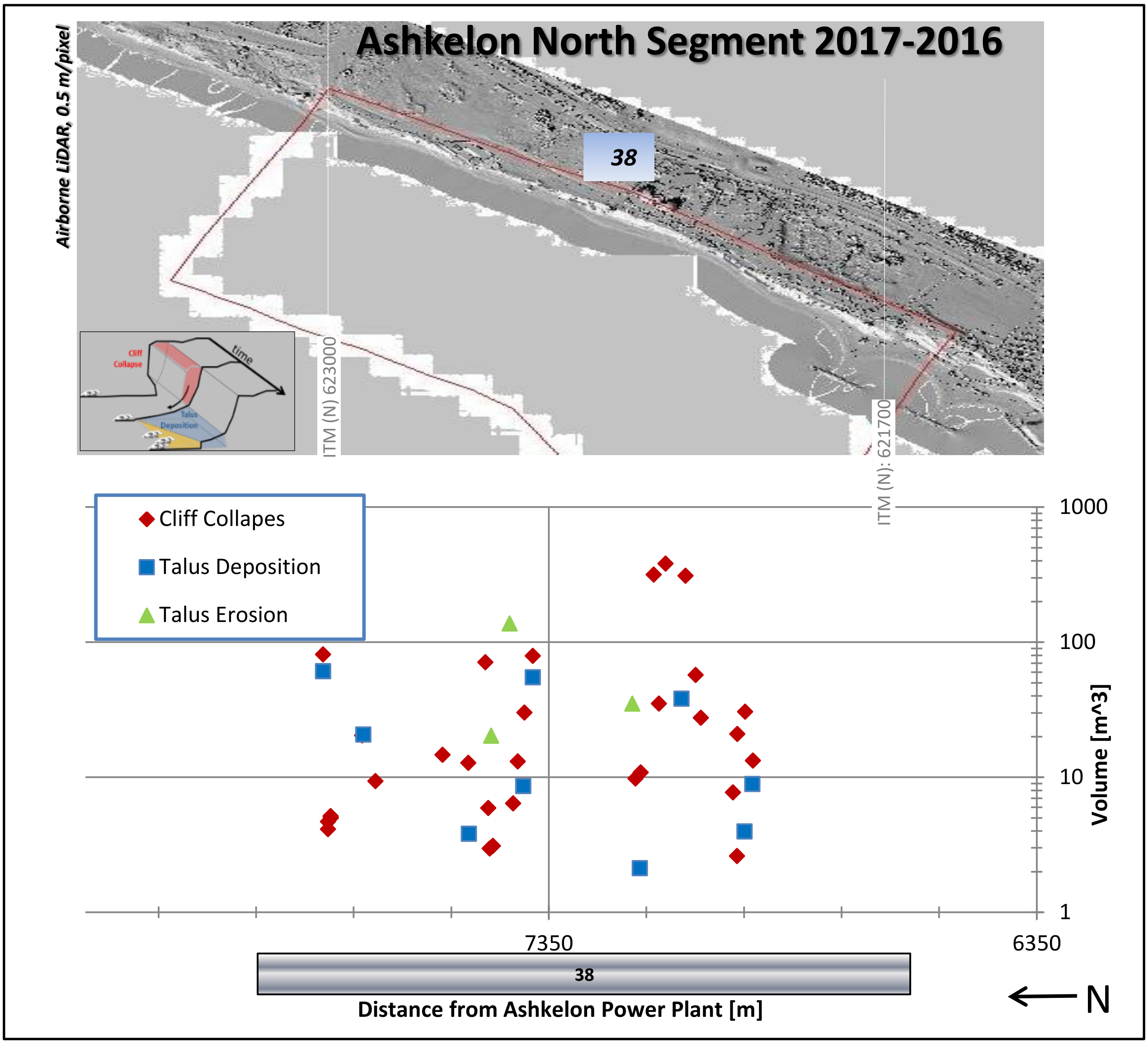
איור S7. פעילות המצוק לאורך מקטע חוף נחום גולדמן (30) בין חורף 2016 לחורף 2017 מוצגת לפי המרחק ממרינת הרצליה. אדום: קריסת מצוק, כחול: השקעת טאלוס, ירוק: סחיפת טאלוס על ידי הגלים (מוצג בצורה סכמתית באיור המוקטן). קואורדינטות צפון ברשת ישראל החדשה באפור.



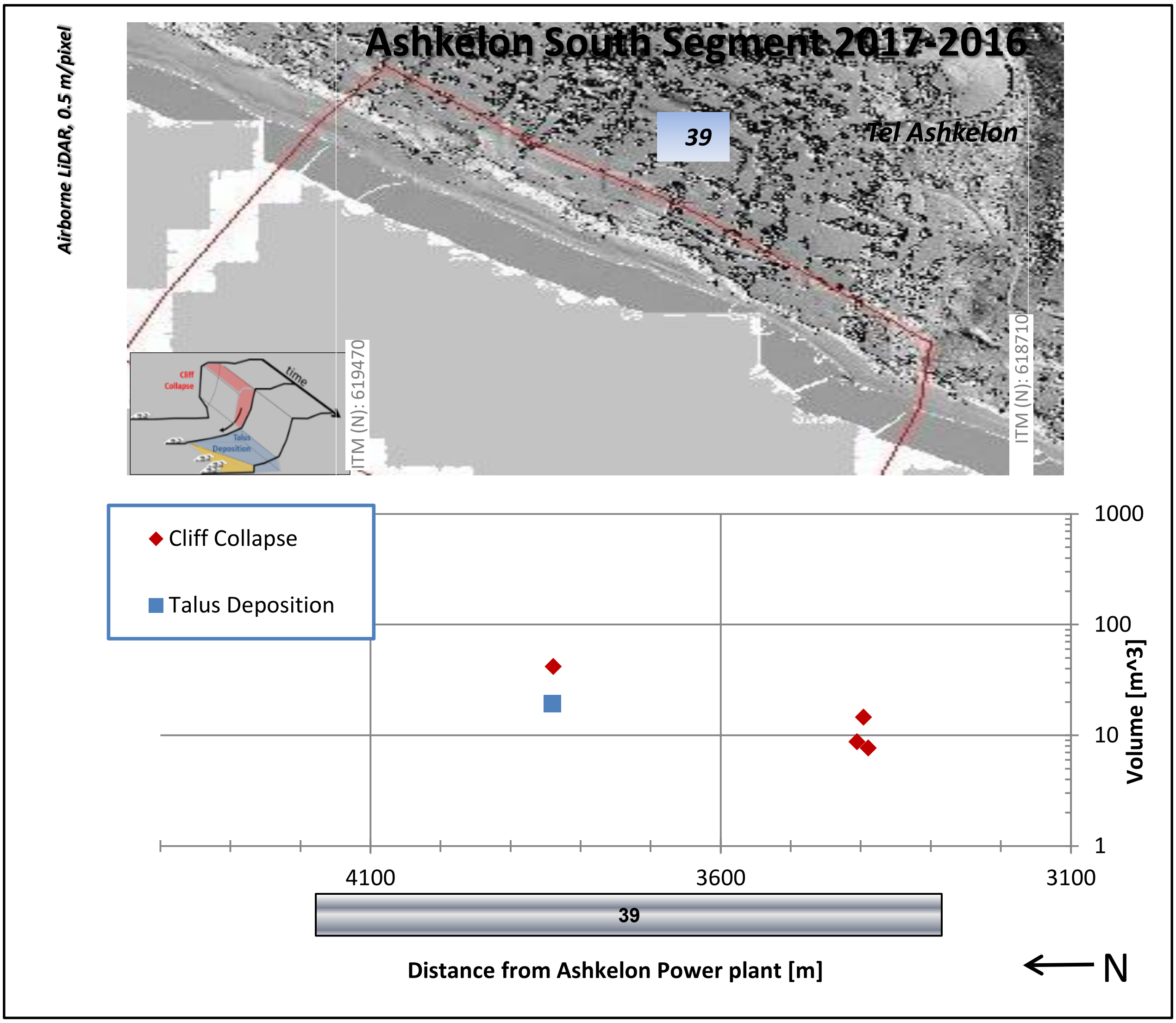
איור S8. פעילות המצוק לאורך מקטע יפו ומקטעי בת ים (31 - 34) בין חורף 2016 לחורף 2017 מוצגת לפי המרחק ממרינת הרצליה. אדום: קריסת מצוק, כחול: השקעת טאלוס, ירוק: סחיפת טאלוס על ידי הגלים (מוצג בצורה סכמתית באיור המוקטן). קואורדינטות צפון ברשת ישראל החדשה באפור.



איור S9. פעילות המצוק לאורך מקטעי פלמחים ומקטע תל יבנה ים (35 - 37) בין חורף 2016 לחורף 2017 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 S10. פעילות המצוק לאורך מקטע אשקלון צפון (38) בין חורף 2016 לחורף 2017 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 S11. פעילות המצוק לאורך מקטע אשקלון גן לאומי (39) בין חורף 2016 לחורף 2017 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.

Abstract

This report presents quantitative mapping of sea-cliff collapse and erosion activity along Israel's Mediterranean sea-cliffs during a one year period between winter 2016 and winter 2017. Results are based on topographic differences measured by differencing two high-resolution (0.5 m/pixel) DEM's derived from airborne LiDAR data. 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 542 cliff collapse events that amount to a total of ~27,000 m^3. Talus deposition occurred in 224 locations and amounted to a total of ~11,000 m^3. Talus erosion (of pre-existing talus piles) due to wave scouring was documented at 102 locations and amounted to a total of ~3,000 m^3. Our results indicate that erosion and landwards retreat of Israel's sea cliff between 2016 - 2017 occurred at an average rate of ~612 m^3/yr 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 2016 - 2017 period examined. Erosion rate along the northern segments (Ein Yam to Natanya South) is significantly lower than the southern ones. Erosion rate was the highest along the Ga'ash segment (1,238 m^3/km).

Comparison of the cliff activity between 2016-17 and 2015-16 reveals changes in erosion volumes along most of the studied segments: Erosion volumes declined along Ein Yam, Neurim and Ashkelon North segments and increased along the Ashkelon South segment. The segments of Ga'ash and Natanya South show comparable erosion volumes between the two studied years. The overall cliff-scale rate of sediment loss in 2016-2017 was smaller than that of 2016-2015: ~612 m^3/km in 2016-17 and ~1,000 m^3/km in 2015-16. These changes appear to be within the natural inter-annual variability of cliff retreat rates along Israel's Mediterranean coastline.

Ministry of National infrastructures
Energy and Water Resources
Geological Survey of Israel

Failure and erosion along Israel's coastal cliffs between 2016 and 2017

Oded Katz, Amit Mushkin, Onn Crouvi, Omri Ofri, Inbal Bustan, Ran Shemesh

Submitted to

The Mediterranean Coastal Cliff Preservation Government Company

GSI Report: GSI/01/2018 Jerusalem, February 2018