המכון הגיאולוגי
משרד התשתיות הלאומיות
האנרגיה והמים

התמוטטות וסחיפת המצוק החופי בין השנים 2015 ו- 2016

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

מוגש לחברה הממשלתית להגנות מצוקי חוף הים התיכון

דוח מס׳ GSI/01/2017 ירושלים, פברואר 2017

תקציר

דוח זה מציג איתור, מיפוי ואפיון של השינויים בתוואי המצוק החופי (ים התיכון) שהתרחשו בין חורף 2015 וחורף 2016. הניתוח נעשה על בסיס השוואה בין שני שריגים טופוגרפיים ברזולוציה של 0.5 מטר/פיקסל, תוצרי גיחות LiDAR מוטס ממועדים אלו. 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). המיפוי נערך באופן ידני בעזרת ממ"ג (ARC-GIS) ועבר אימות בשטח במקרים בהם עלה צורך.

בתקופת המחקר (2015 - 2016) נרשמו בכלל מקטעי המצוק שמופו 299 אירועי כשל מצוק בנפח כולל של כ- 30,000 מ"ק. ב- 170 אתרים נערמו טאלוסים על החוף בנפח כולל כ- 9,000 מ"ק, וב- 184 אתרים התרחשה סחיפה של טאלוסים (תוצרי כשל מצוק מלפני חורף 2015) על ידי הגלים בנפח כולל של כ- 8,000 מ"ק. נמצא כי בתקופת המחקר ממשיכה מגמה של נסיגת המצוק כלפי מזרח וסחיפת חומר מהמערכת בקצב ממוצע של כ- 1,000 מ"ק עבור ק"מ מצוק בשנה. קצב מדוד זה עבור 2015 - 2016 דומה לקצבים 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- 2015 - 2016 שונות מרחבית משמעותית בין מקטעי המצוק השונים: שטף החומר שנגרע מהמצוק במקטע אשקלון צפון היה גבוה פי 2~ מהקצב הממוצע לאורך המצוק כולו ואילו במקטעי עין הים ונתניה דרום היה קצב הסחיפה נמוך מהממוצע. בנוסף מופו השינויים שהתרחשו במקטע אשקלון צפון בין חורף 2011 וחורף 2015. נמצא כי קצב סחיפת החומר השנתי מהמצוק במקטע זה בין השנים 2011 - 2015 היה גבוה פי 2~ מקצב סחיפת החומר באותו מקטע בין השנים 2015 - 2016. המאפיינים של פעילות המצוק שנצפתה במקטע אשקלון צפון בין השנים 2011 - 2015 אינם דומים למאפייני פעילות במקטעי המצוק האחרים וייתכן שהבדלים אלו משקפים השפעה אנושית על הפעילות של מקטע אשקלון צפון בין 2011 ו- 2015.

תוכן העניינים:

	עמוד
1. הקדמה	**3**
1.1 אזור העבודה	3
1.2 הגיאולוגיה של המצוק החופי	3
2. שיטות העבודה	**7**
3. תוצאות	**13**
3.1 מפת שינויים 2015 - 2016	13
3.1.1 מקטע עין הים	13
3.1.2 מקטע נעורים	15
3.1.3 מקטע נתניה העיר	15
3.1.4 מקטע נתניה דרום	15
3.1.5 מקטע געש	19
3.1.6 מקטע אשקלון צפון	19
3.1.7 מקטע אשקלון דרום	19
4. דיון	20
4.1 נפחים והערכת נסיגה	20
4.2 השוואה בין המקטעים השונים	25
4.3 מקטע אשקלון צפון 2011 - 2016	25
5. מסקנות	**26**
6. רשימת מקורות	**27**

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 וחובריו, 2007; כץ וחובריו, 2016; Arkin and Michaeli, 1985; Zvieli et al., 2004; Katz et al., 2013; Mushkin et al., 2016; Barkai et al., under review). 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. דוח זה מציג איתור, מיפוי ואפיון של השינויים בתוואי המצוק החופי (ים התיכון) שהתרחשו בין חורף 2015 וחורף 2016 לאורך כלל המצוק, ובנוסף שינויים שהתרחשו באזור אשקלון בלבד בין חורף 2011 וחורף 2015. דוח זה הוא חלק מהמחקר השוטף במכון הגיאולוגי והוא נערך גם כחלק מהפעילות של החברה הממשלתית לאורך החופים ובהזמנתה.

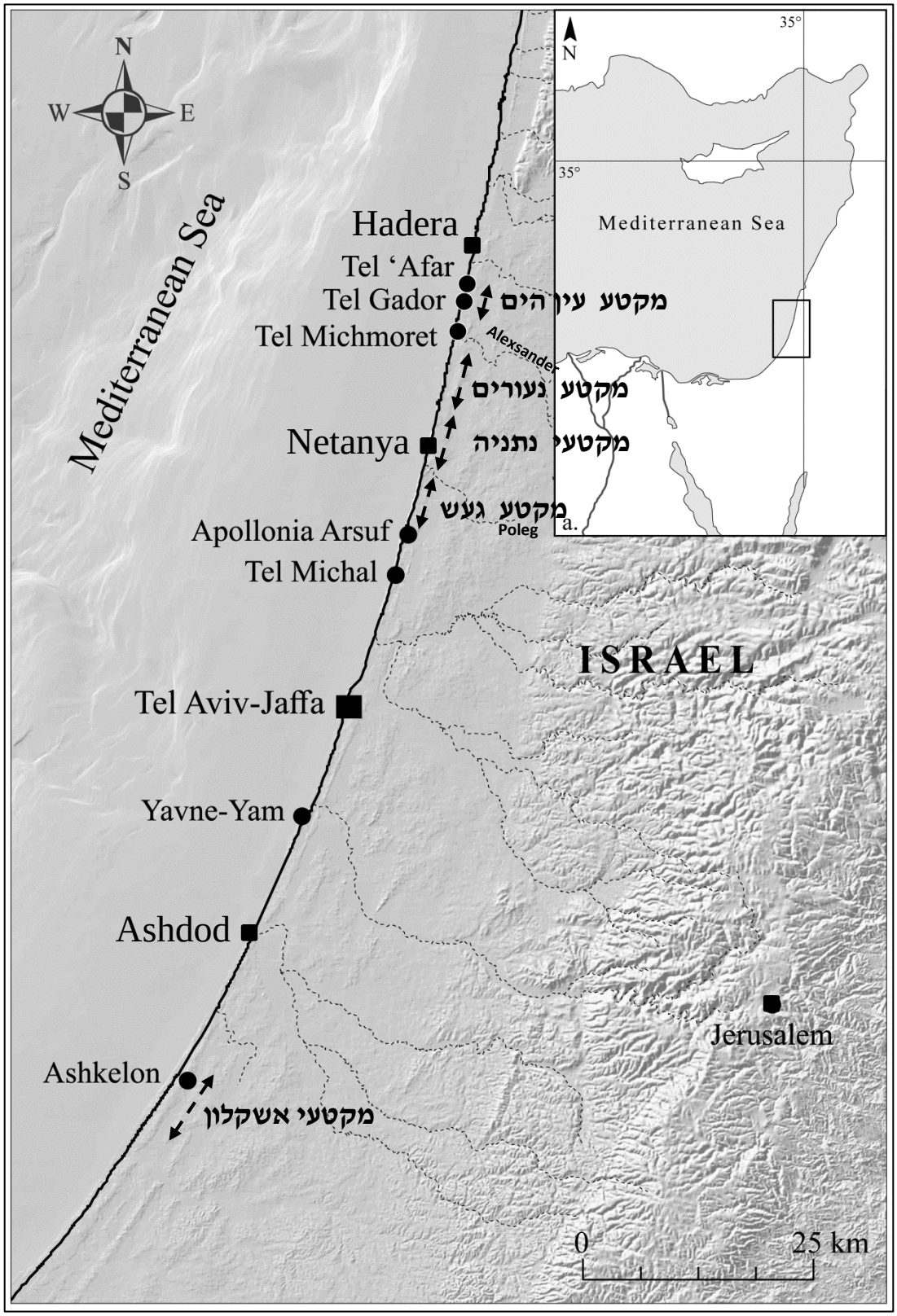
1.1 אזור העבודה

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- 30 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).

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



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.

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 (90%-10%) 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 (90%-30%) 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).

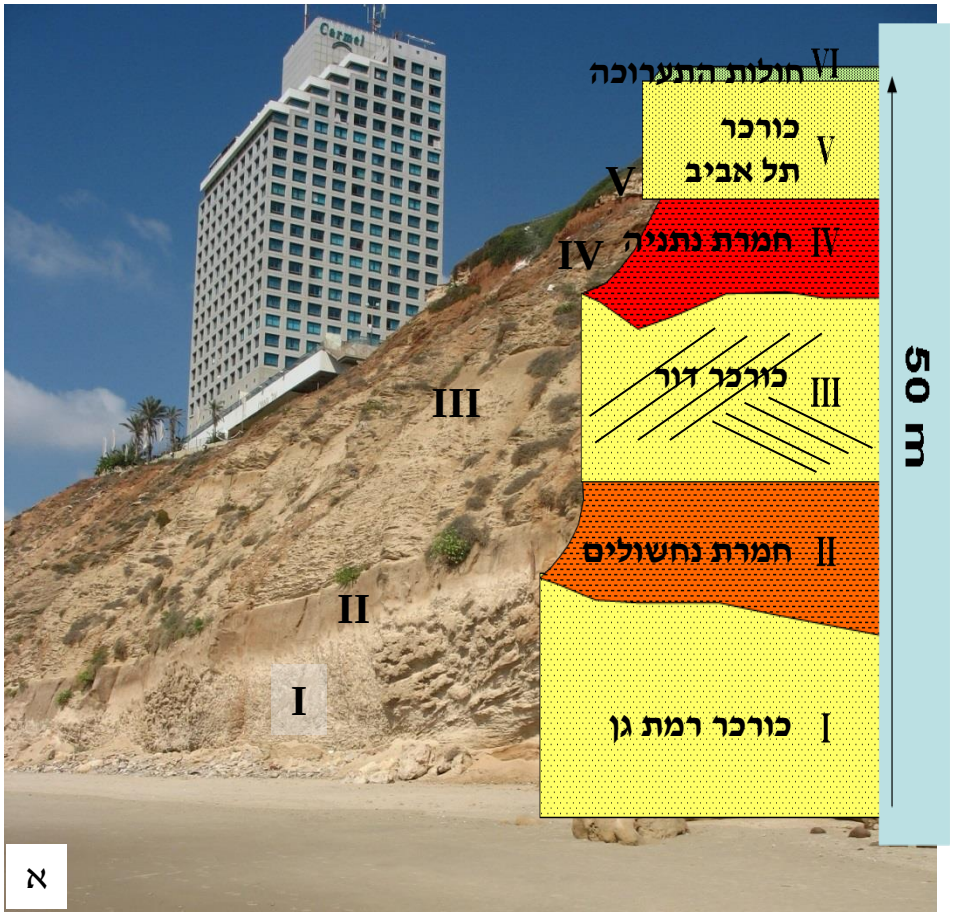
חמרת נתניה: מורכבת בעיקר מגרגירי קוורץ בגודל סילטי-חולי דק (93%-65%), וחרסית (בעיקר מונטמורילוניט) ועובייה מסנטימטרים עד מטרים. תחמוצות ברזל שעוטפות את גרגרי הקוורץ נותנות לחמרה את צבעה האדום. במקומות רבים יש לחמרת נתניה פרופיל של קרקע. המגע התחתון שלה גלי (משרעת מספר מטרים) והמגע העליון עם כורכר תל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

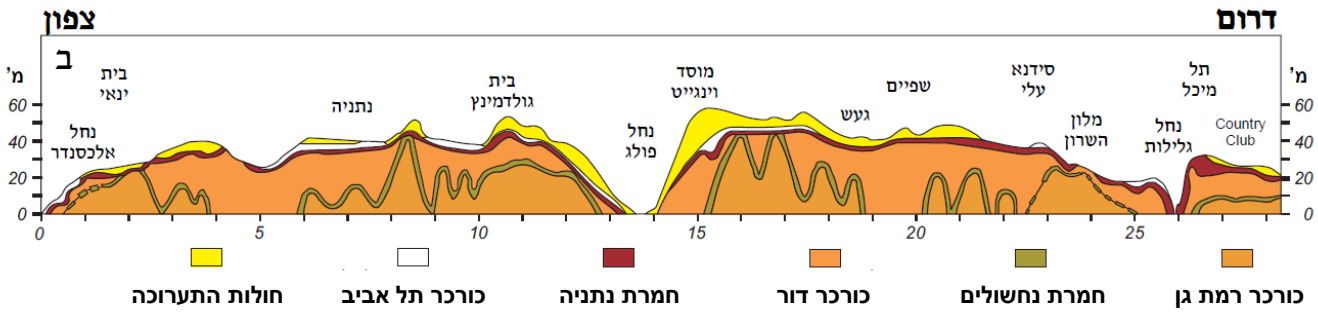
כורכר תל אביב (קלקארניט): מורכב בעיקר מחול גירי (90%-60%) וגרגירי קוורץ (40%-10%) בליכוד גירי. במקומות ניתן להבחין בחלק תחתון עם ריבוד צולב (ללא כיסי חול בלתי מלוכד) וחלק עליון למינרי. עובי הקלקארניט עד מספר מטרים (עבה יותר בשקעים). המגע התחתון עם חמרת נתניה גלי עם התיתדות לקראת פסגות גבוהות בכורכרים. 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 (90%-70% 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 (95%-85%) 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





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).

העיקרי לנסיגת מצוק החוף של ישראל בסדרי זמן גיאולוגים. ניתן לתאר את גריעת הנפח מהמצוק כתהליך רב-שלבי הכולל (מושקין וחובריו, 2016 ; 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).

2. שיטת העבודה

איתור, מיפוי וניתוח כמותי של השינויים שהתרחשו בכלל תוואי המצוק החופי בין חורף 2015 וחורף 2016 נעשה בעזרת השוואה בין שני שריגים טופוגרפיים ממועדים אילו. השריגים הטופוגרפיים מבוססים על מידע שנאסף תוך שימוש ב- LiDAR מוטס בשתי גיחות מיפוי מהתאריכים 2/2015 ו- 3/2016 (ביצוע טיסה: חברת אופק תצלומי אוויר ; פיקוח ובקרת איכות: המכון הגיאולוגי). בנוסף במסגרת הדוח הנוכחי התבצע גם עבור אזור אשקלון איתור, מיפוי וניתוח כמותי של השינויים שהתרחשו במצוק החופי בין חורף 2011 וחורף 2015, תוך שימוש ב- LiDAR מוטס מהתאריך 02/2011 (ביצוע טיסה: חברת שיא ; פיקוח ובקרת איכות: המכון הגיאולוגי ; כץ ומושקין, 2011).

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

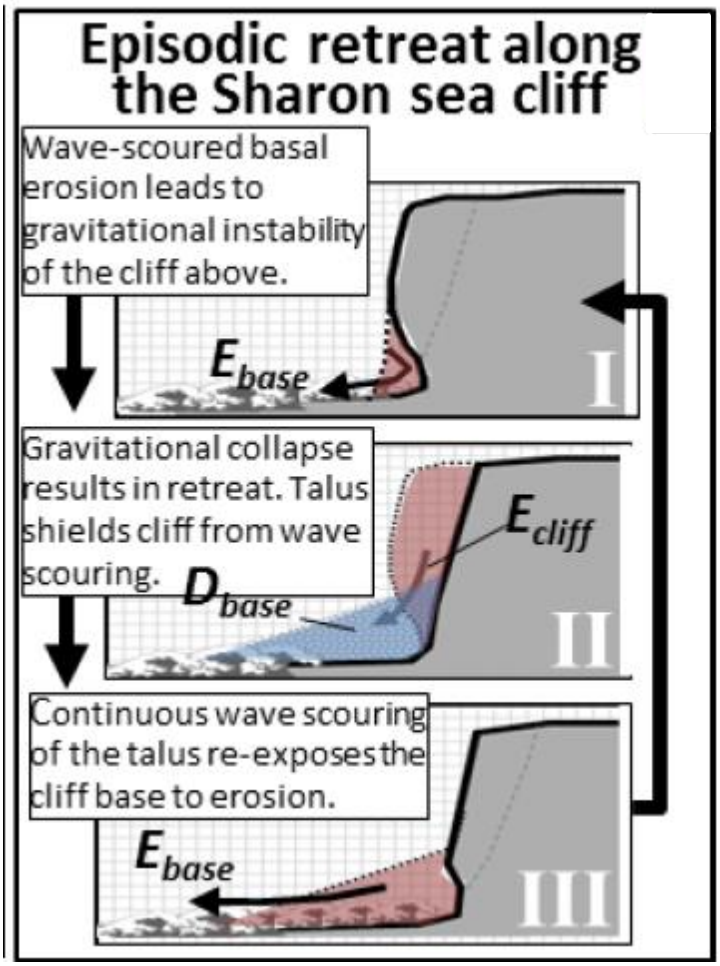
1. ביצוע טיסות LiDAR חוזרות (ברזולוציה של לפחות 4 נקודות למ״ר) ובנייה של שריג טופוגרפי (DEM) ברזולוציה גבוהה של 0.5 מטר/פיקסל עבור שני המועדים הגובלים את תקופת המחקר. זאת תוך הערכה של דיוק העיגון המרחבי של הנתונים מהגיחות השונות ומזעור של השגיאה האנכית (±0.15 ס״מ דיוק אבסולוטי).

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.

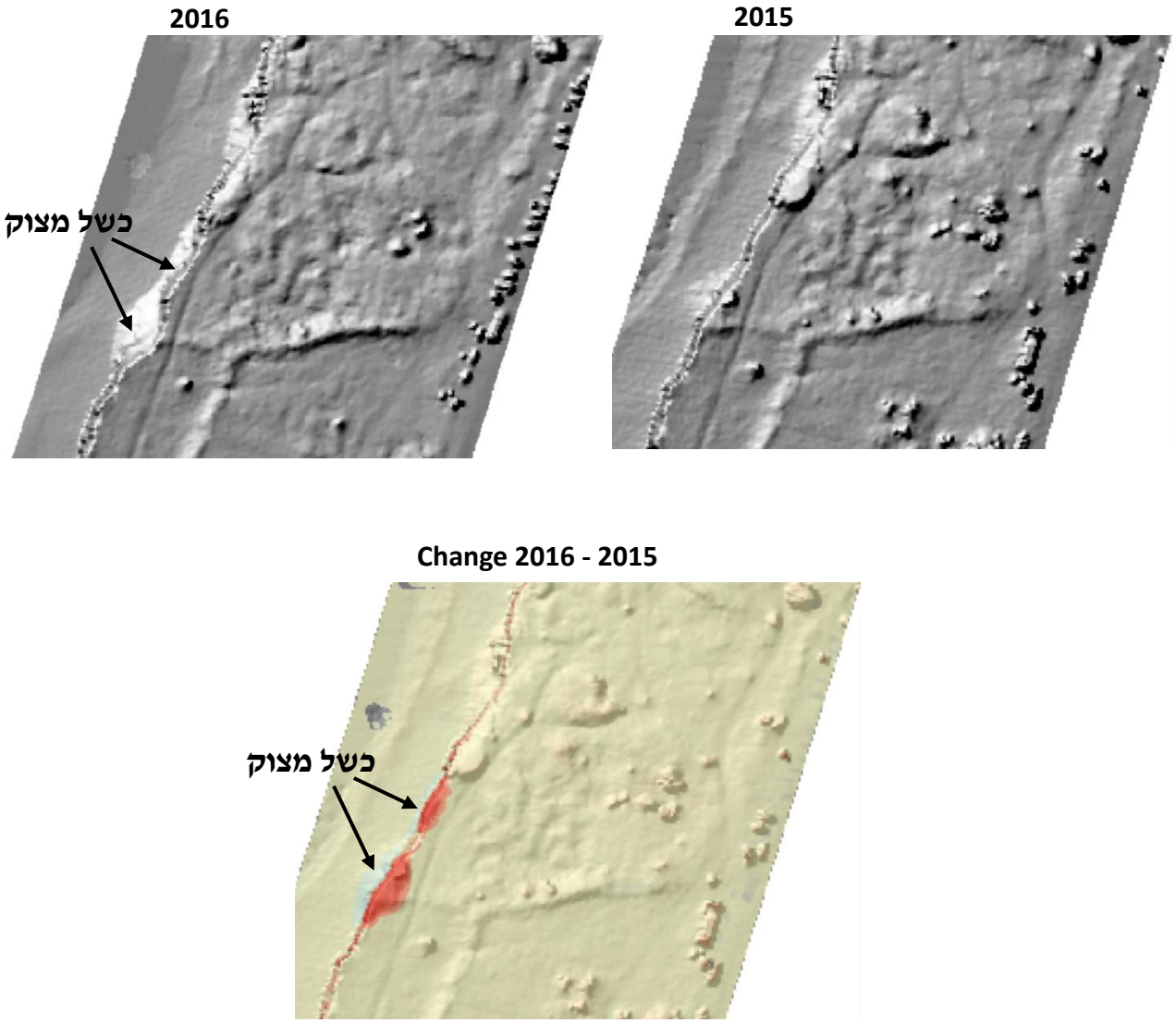
3. זיהוי של האזורים בהם קיים שינוי בטופוגרפיה של המצוק, בין שני מועדי טיסה, על גבי מפת ההפרשים (איור 4). הזיהוי נעשה בשני שלבים: (א) ממוחשב, כאשר פיקסל עם ערך שלילי או חיובי במפת ההפרשים מציין אזור שהתרחשה בו גריעה או תוספת של חומר בין שני מועדי הטיסה, בהתאמה ; (ב) בקרה פרטנית של אזורי השינוי ואימות ״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 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 2015) (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.

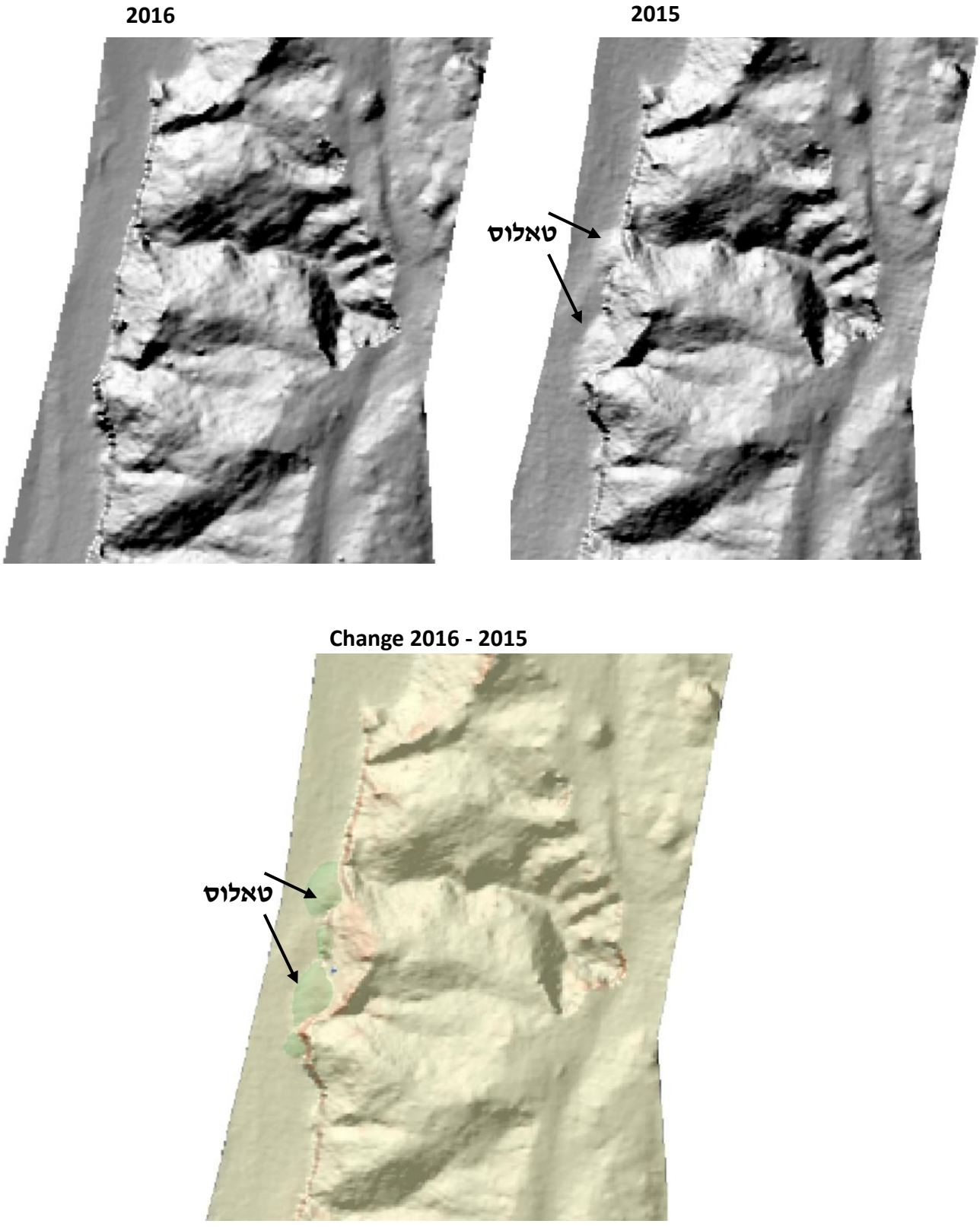
5. הנתונים המרחביים והפיזיים של כלל הפוליגונים מהטיפוסים השונים חושבו ונשמרו בטבלאות עם עיגון גיאוגרפי לרשת ישראל החדשה. שטח כל פוליגון חושב באמצעות הממ״ג ונפח החומר שמייצג הפוליגון חושב



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.



איור 4. (א) דוגמא לאירוע כשל מצוק. למעלה מימין, מפת הצללה 2015; למעלה משמאל מפת הצללה 2016 של אותו תא-שטח עליה מסומנים בחץ שני אירועי כשל בהם נסוג קו המצוק מזרחה ותוצרי הכשל נערמו כטאלוס בבסיס המצוק. למטה, מפת הפרשים (בין 2016 ו- 2015) על גבי מפת הצללה 2016. צבע צהבהב מציין ערך הפרש אפס (ללא שינוי), צבע אדום מסמן ערך הפרש שלילי (חוסר חומר), צבע כחול מציין ערך הפרש חיובי (עודף חומר). עוד מופיעים סימון אירועי הכשל.



איור 4. (ב) דוגמא לאירוע סחיפת טאלוס. למעלה מימין, מפת הצללה 2015 עליה מסומנים בחץ שני טאלוסים; למעלה משמאל מפת הצללה 2016 של אותו תא-שטח (טאלוסים חסרים). למטה, מפת הפרשים (בין 2016 ו- 2015) על גבי מפת הצללה 2016. צבע צהבהב מציין ערך הפרש אפס (ללא שינוי), צבע ירוק מסמן ערך הפרש שלילי (חוסר חומר). עוד מופיעים סימון אירועי סחיפת הטאלוס.

6. 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 הפוליגון (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- 2015 ו- 2016. 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. עבור פיקסל בודד השגיאה (e) מהפחתת שריג 2015 משריג 2016 חושבה כמקובל בהערכה של טעות מצטברת עבור חיבור/חיסור של שתי מדידות בלתי תלויות:

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

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

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

7. לטובת המיפוי וחישובי הנפחים חולק אזור העבודה ל- 7 מקטעים 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.

טבלה 1. חלוקה למקטעי התייחסות לאורך המצוק החופי

מקטע	אורך	קצה דרומי		קצה צפוני	
	(ק"מ)	נ.צ. (ITM)	מרחק צפונה (ק"מ) מהרצליה/אשקלון*	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 2015 – 2016

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.

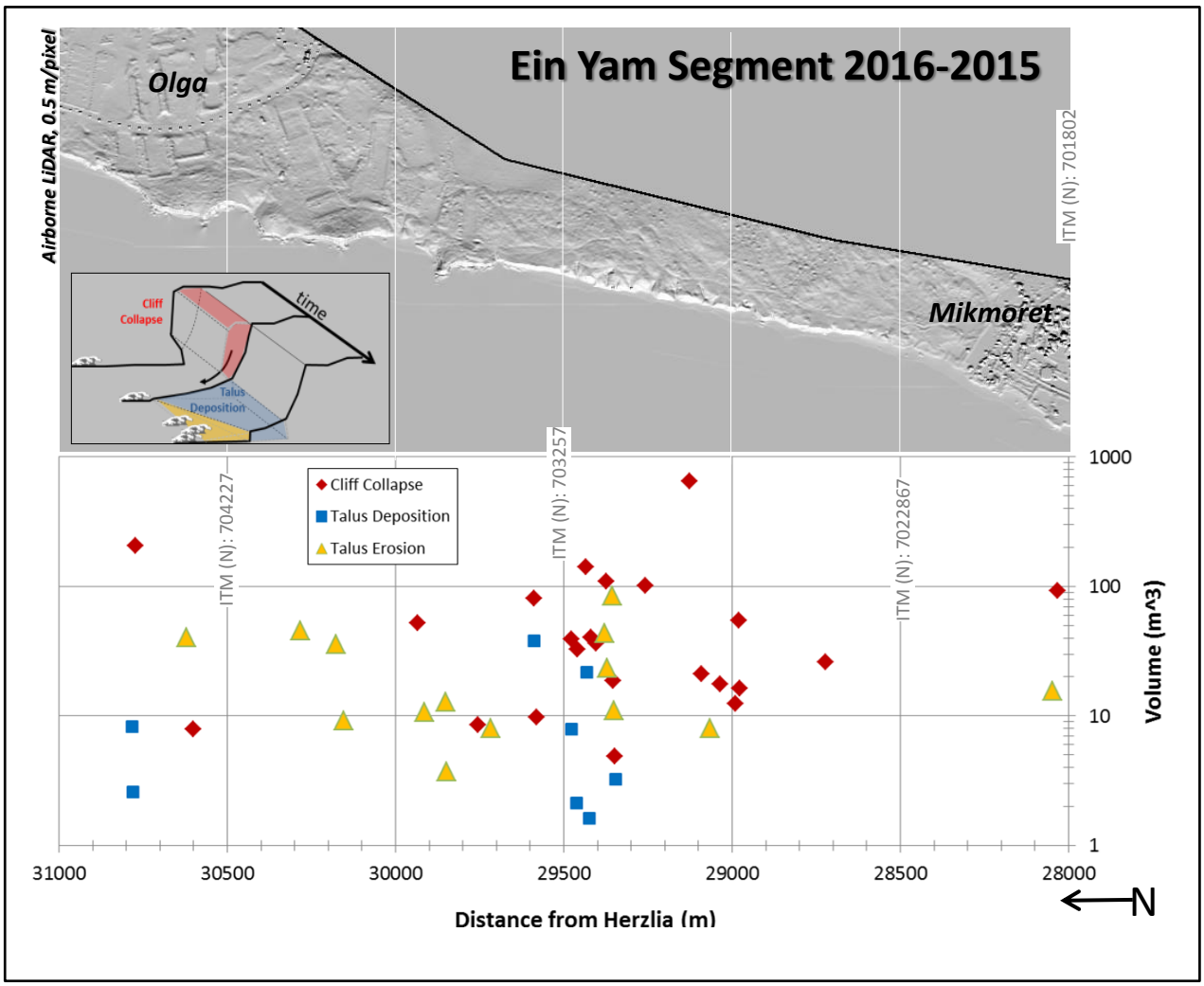
טבלה 2. סיכום הפעילות לאורך המצוק החופי (2015 - 2016)

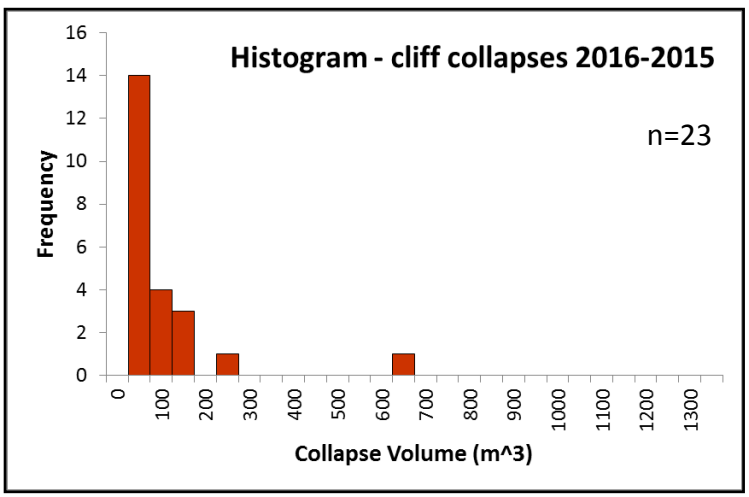
מקטע	אורך	כשל מצוק		סחיפת טאלוס		טאלוסים שנוספו		סה"כ גריעה[1]
	(ק"מ)	מספר קריסות	נפח כולל (m^3)	מספר פוליגונים	נפח כולל (m^3)	מספר טאלוסים	נפח כולל (m^3)	(m^3)
עין הים	3.0	23	-1,774 ±231	14	-352 ±121	9	434 ±119	-1,692 ±287
נעורים	5.3	59	-4,630 ±465	55	-1,448 ±547	26	669 ±222	-5,409 ±751
נתניה העיר[2]	3.1	21	-992 ±124	6	-196 ±54	13	390 ±101	-798 ±169
נתניה דרום	4.0	24	-1,445 ±256	12	-350 ±117	20	973 ±439	-822 ±521
געש	10.0	95	-14,560 ±1,188	61	-3,655 ±1,197	55	5,003 ±1,145	-13,212 ±2,038
אשקלון צפון	3.0	41	-5,909 ±470	22	-2,048 ±458	25	854 ±169	-7,103 ±678
אשקלון דרום	3.5	36	-641 ±113	14	-189 ±86	22	570 ±125	-259 ±189
סיכום	**31.9**	**299**	**-29,951 ±1,413**	**184**	**-8,238 ±1,407**	**170**	**8,893 ±1,273**	**-29,296 ±2,365**

1. סה"כ גריעת חומר מצוק מהמערכת החופית (כשל מצוק + טאלוסים שנוספו + סחיפת טאלוסים).
2. הנתונים מתייחסים למקטע-חלקי באורך 1.1 ק"מ מדרום לשוברי הגלים

3.1.1 מקטע עין הים

במהלך תקופת המחקר התרחשו במקטע זה 23 אירועי כשל מצוק בטווח נפחים של עד 645 מ"ק (חציון: 36 מ"ק) שגרעו מהמצוק החופי בסה"כ 1,774 מ"ק (מטר מעוקב) חומר (איור 5). תועדו 14 אתרים של סחיפת טאלוס בנפח כולל של 352 מ"ק ו- 9 אתרים של הערמות טאלוס שהגיעו בסה"כ ל- 434 מ"ק (טבלאות 2, 3). בתקופת המחקר נגרע מהמערכת החופית במקטע זה בסה"כ 1,692 מ"ק של חומר שמקורו במצוק.





איור 5. *למעלה*: סיכום פעילות המצוק לאורך מקטע עין ים בין חורף 2015 לחורף 2016 מוצגת לפי המרחק ממרינת הרצליה. אדום: קריסת מצוק, כחול: השקעת טאלוס, צהוב: סחיפת טאלוס על ידי הגלים (מוצג בצורה סכמתית באיור המוקטן). קואורדינטות צפון ברשת ישראל החדשה באפור. *למטה*: היסטוגרמה עבור קריסות המצוק במקטע.

טבלה 3. סיכום מאפייני נפח הפעילות לאורך המצוק החופי (2015 - 2016)

מקטע	כשל מצוק (m^3)		סחיפת טאלוס (m^3)		טאלוסים שנוספו (m^3)	
	טווח	חציון	טווח	חציון	טווח	חציון
עין הים	< 645	36	< 85	14	< 349	8
נעורים	< 742	26	< 145	20	< 132	8
נתניה העיר	שטח עירוני מופר					
נתניה דרום	< 294	28	< 78	24	< 167	33
געש	< 1,549	26	< 816	26	< 1,125	24
אשקלון צפון	< 995	30	< 355	28	< 207	24
אשקלון דרום	< 142	7	< 41	8	< 196	8
חציון כלל האירועים	**25**		**21**		**19**	

3.1.2 מקטע נעורים

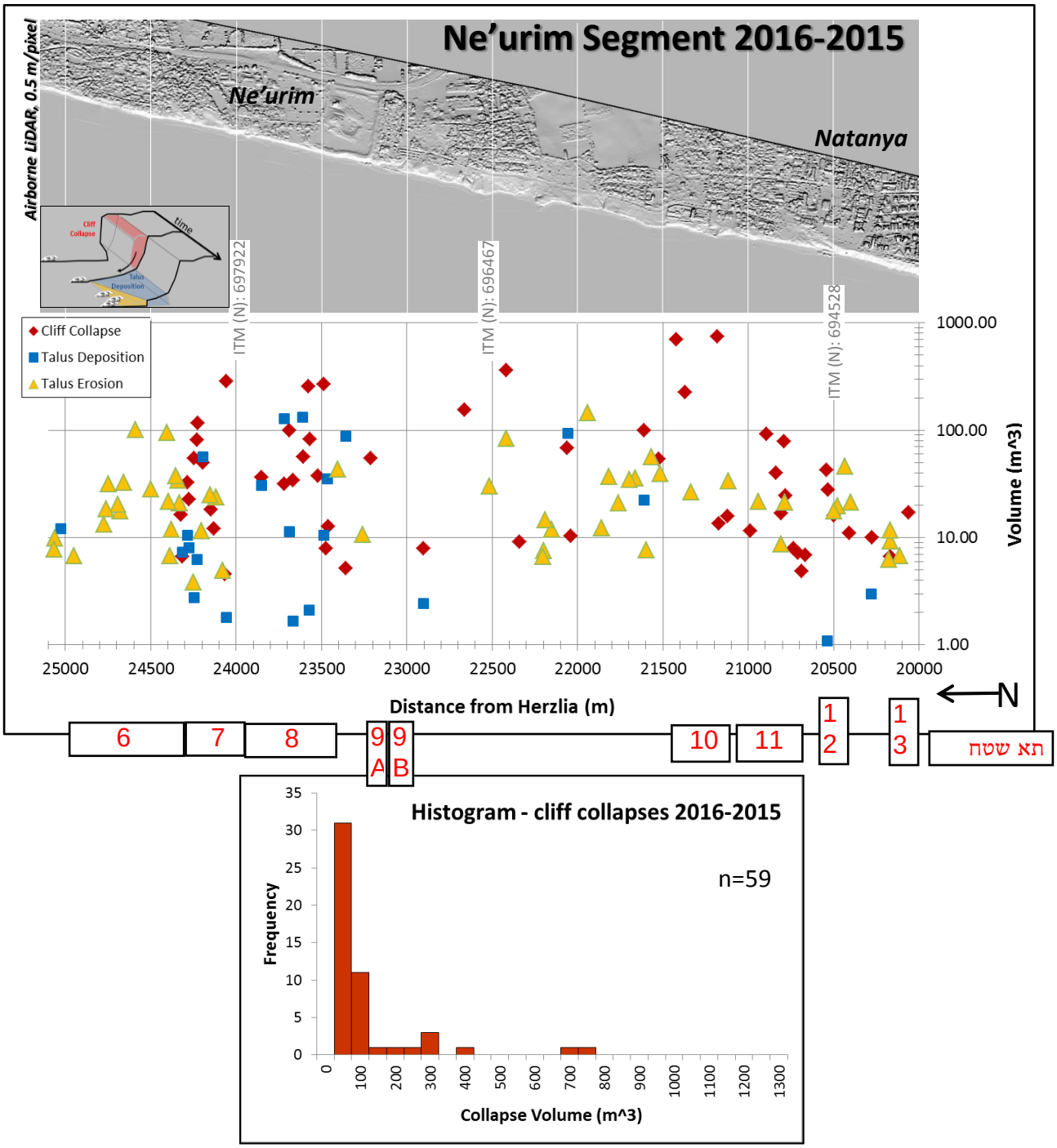
במהלך תקופת המחקר התרחשו במקטע זה 59 אירועי כשל מצוק בטווח נפחים של עד 742 מ״ק (חציון: 26 מ״ק) שגרעו מהמצוק החופי בסה״כ 4,630 מ״ק חומר (איור 6). תועדו 55 אתרים של סחיפת טאלוס בנפח כולל של 1,448 מ״ק ו- 26 אתרים של הערמות טאלוס שהגיעו בסה״כ ל- 669 מ״ק (טבלאות 2, 3). בתקופת המחקר נגרע מהמערכת החופית במקטע זה בסה״כ 5,409 מ״ק של חומר שמקורו במצוק.

3.1.3 מקטע נתניה העיר

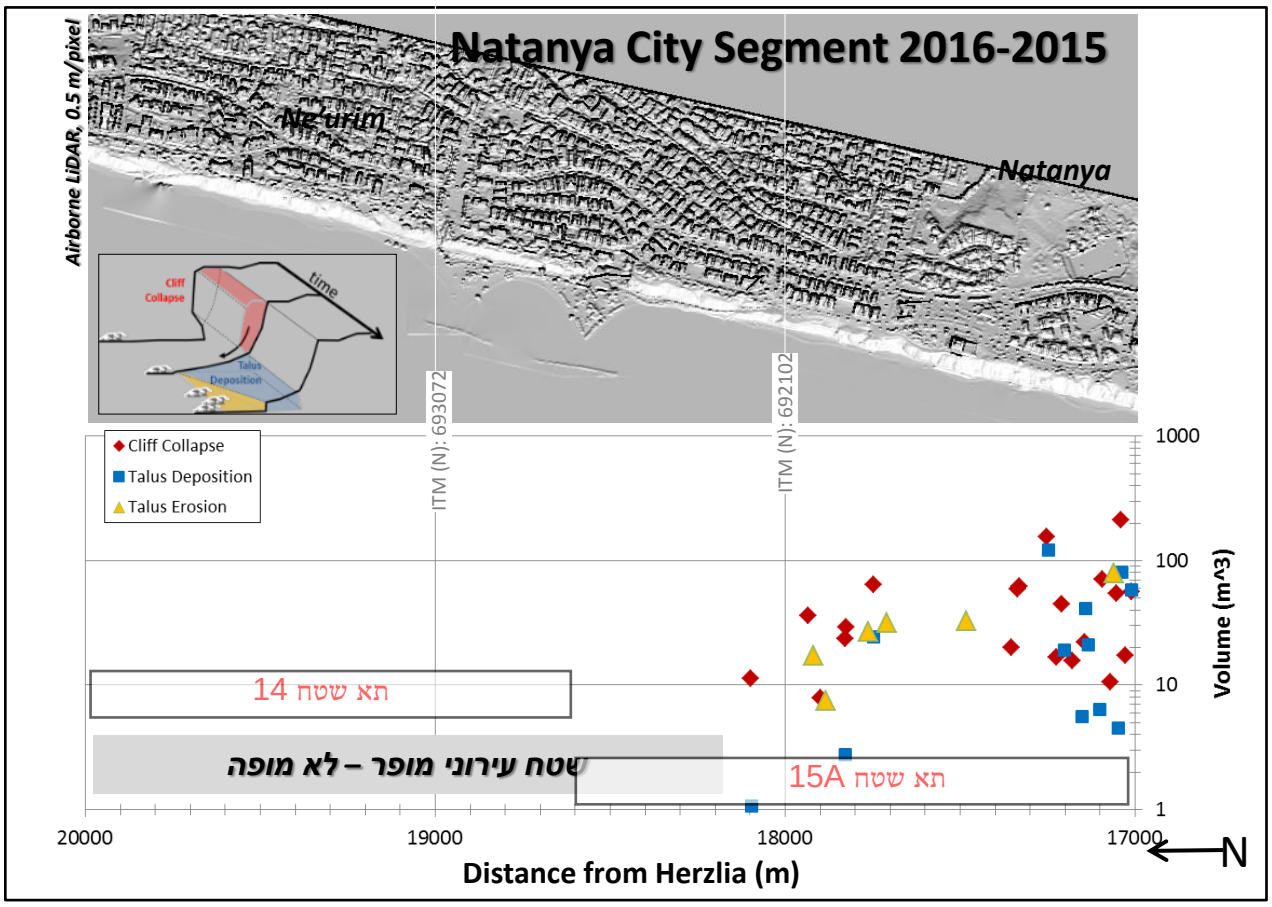
מקטע זה כולל את חופי העיר נתניה ובכלל זה הקטע המוגן על ידי שוברי גלים. מדרום לשוברי הגלים מופו 21 אירועי כשל מצוק בטווח נפחים של עד 211 מ״ק (חציון: 29 מ״ק) שגרעו מהמצוק החופי בסה״כ 992 מ״ק חומר (איור 7). תועדו 6 אתרים של סחיפת טאלוס בנפח כולל של 196 מ״ק ו- 13 אתרים של הערמות טאלוס שהגיעו בסה״כ ל- 390 מ״ק (טבלה 2). משוברי הגלים וצפונה זוהתה סחיפת חומר מהמצוק במאפיינים השונים מהפעילות הטבעית המוכרת ממקטעי המצוק האחרים ובנפחים קטנים יחסית. בהמשך הדוח אין התייחסות נוספת למקטע זה.

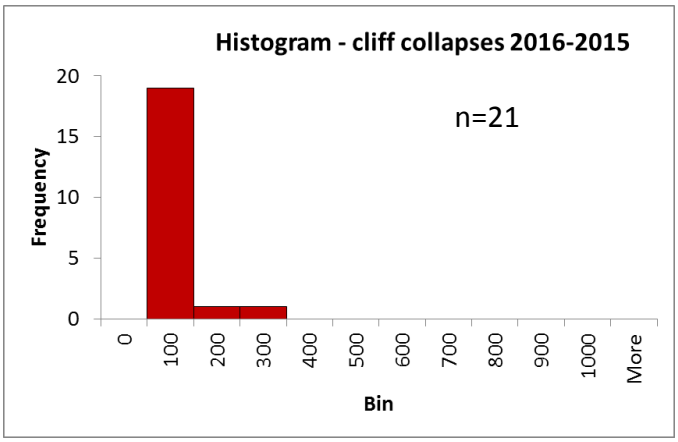
3.1.4 מקטע נתניה דרום

במהלך תקופת המחקר התרחשו במקטע זה 24 אירועי כשל מצוק בטווח נפחים של עד 294 מ״ק (חציון: 28 מ״ק) שגרעו מהמצוק החופי בסה״כ 1,445 מ״ק חומר (איור 8). תועדו 12 אתרים של סחיפת טאלוס בנפח כולל של 350 מ״ק ו- 20 אתרים של הערמות טאלוס שהגיעו בסה״כ ל- 973 מ״ק (טבלאות 2, 3). בתקופת המחקר נגרע מהמערכת החופית במקטע זה בסה״כ 822 מ״ק של חומר שמקורו במצוק.

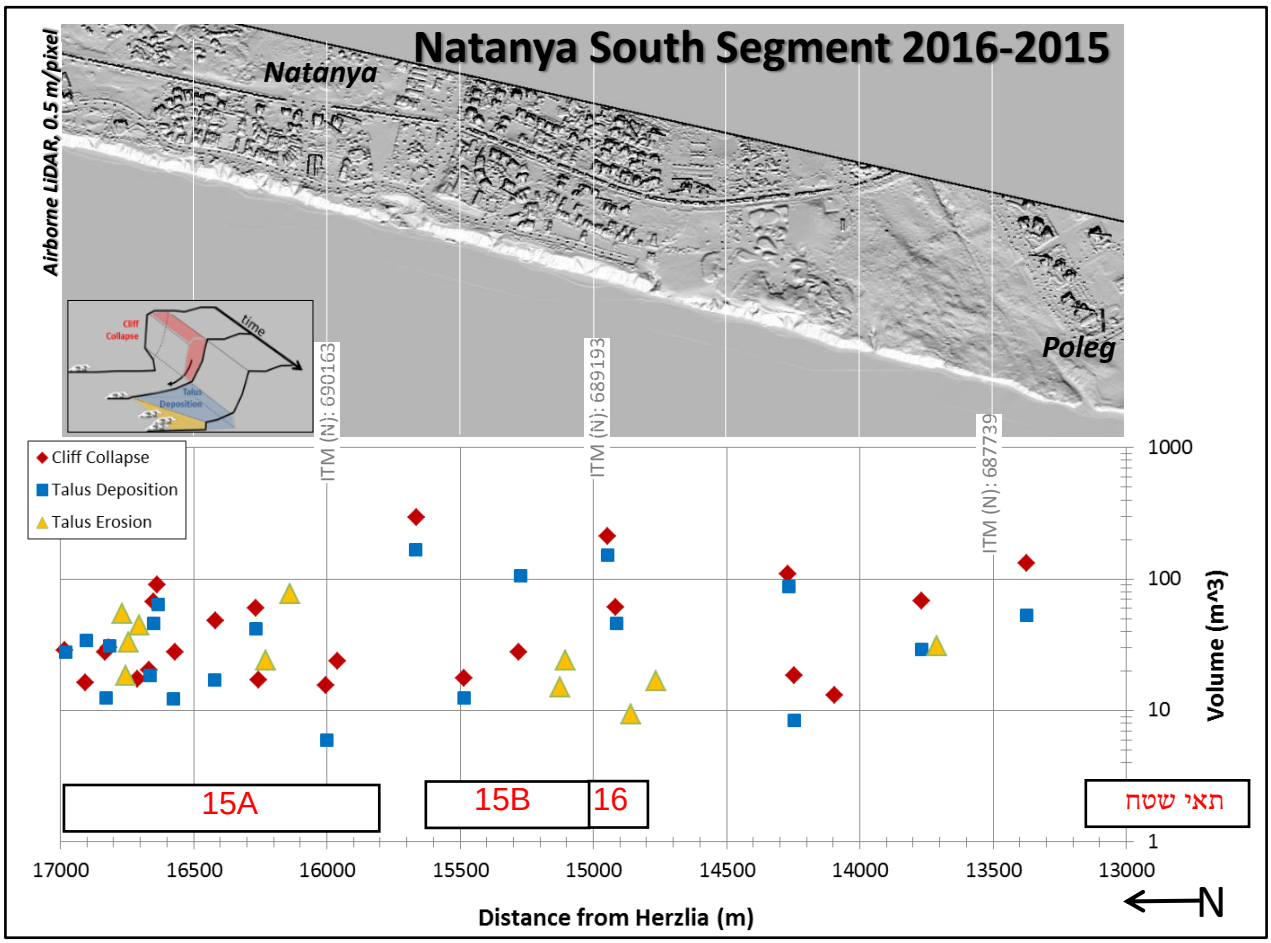


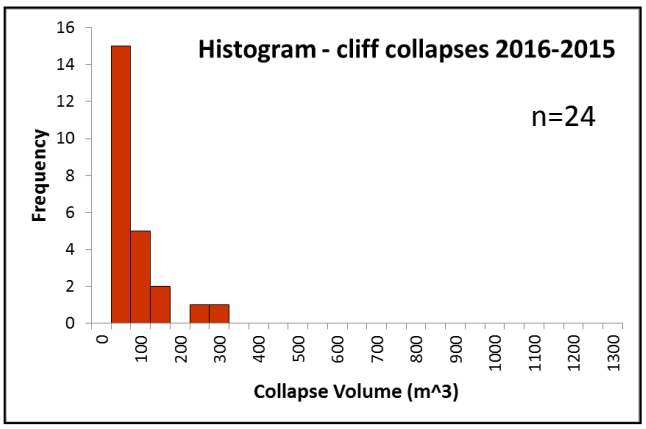
איור 6. *למעלה*: סיכום פעילות המצוק לאורך מקטע נעורים בין חורף 2015 לחורף 2016 מוצגת לפי המרחק ממרינת הרצליה. אדום: קריסת מצוק, כחול: השקעת טאלוס, צהוב: סחיפת טאלוס על ידי הגלים (מוצג בצורה סכמתית באיור המוקטן). קואורדינטות צפון ברשת ישראל החדשה באפור. *למטה*: היסטוגרמה עבור קריסות המצוק במקטע.





איור 7. *למעלה*: סיכום פעילות המצוק לאורך מקטע נתניה העיר בין חורף 2015 לחורף 2016 מוצגת לפי המרחק ממרינת הרצליה. אדום: קריסת מצוק, כחול: השקעת טאלוס, צהוב: סחיפת טאלוס על ידי הגלים (מוצג בצורה סכמתית באיור המוקטן). קואורדינטות צפון ברשת ישראל החדשה באפור. *למטה*: היסטוגרמה עבור קריסות המצוק במקטע.





איור 8. *למעלה*: סיכום פעילות המצוק לאורך מקטע נתניה דרום בין חורף 2015 לחורף 2016 מוצגת לפי המרחק ממרינת הרצליה. אדום: קריסת מצוק, כחול: השקעת טאלוס, צהוב: סחיפת טאלוס על ידי הגלים (מוצג בצורה סכמתית באיור המוקטן). קואורדינטות צפון ברשת ישראל החדשה באפור. *למטה*: היסטוגרמה עבור קריסות המצוק במקטע.

3.1.5 מקטע געש

במהלך תקופת המחקר התרחשו במקטע זה 95 אירועי כשל מצוק בטווח נפחים של עד 1,549 מ״ק (חציון: 26 מ״ק) שגרעו מהמצוק החופי בסה״כ 14,560 מ״ק חומר (איור 9). תועדן 61 אתרים של סחיפת טאלוס בנפח כולל של 3,655 מ״ק ו- 55 אתרים של הערמות טאלוס שהגיעו בסה״כ ל- 5,003 מ״ק (טבלאות 2, 3). בתקופת המחקר נגרע מהמערכת החופית במקטע זה בסה״כ 13,212 מ״ק של חומר שמקורו במצוק.

3.1.6 מקטע אשקלון צפון

במהלך תקופת המחקר התרחשו במקטע זה 41 אירועי כשל מצוק בטווח נפחים של עד 995 מ״ק (חציון: 30 מ״ק) שגרעו מהמצוק החופי בסה״כ 5,909 מ״ק חומר (איורים 10 ו- 11) . תועדו 22 אתרים של סחיפת טאלוס בנפח כולל של 2,048 מ״ק ו- 25 אתרים של הערמות טאלוס שהגיעו בסה״כ ל- 854 מ״ק (טבלאות 2, 3). בתקופת המחקר נגרע מהמערכת החופית במקטע זה בסה״כ 7,103 מ״ק של חומר שמקורו במצוק.

עבור מקטע זה נבדקו גם השינויים בתוואי המצוק החופי שהתרחשו בין חורף 2011 לחורף 2015 (איורים 12, 11 וטבלה 4).

טבלה 4. סיכום הפעילות מצפון למרינה של אשקלון (2011 - 2015)

מקטע	אורך	כשל מצוק		סחיפת טאלוס		טאלוסים שנוספו		סה״כ גריעה[1]
	(ק״מ)	מספר קריסות	נפח כולל (m^3)	מספר אתרים	נפח כולל (m^3)	מספר טאלוסים	נפח כולל (m^3)	(m^3)
אשקלון צפון	3.0	51	-37,210 ±1,968	57	-11,390 ±1,026	8	64 ±42	-48,536 ±2,220

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

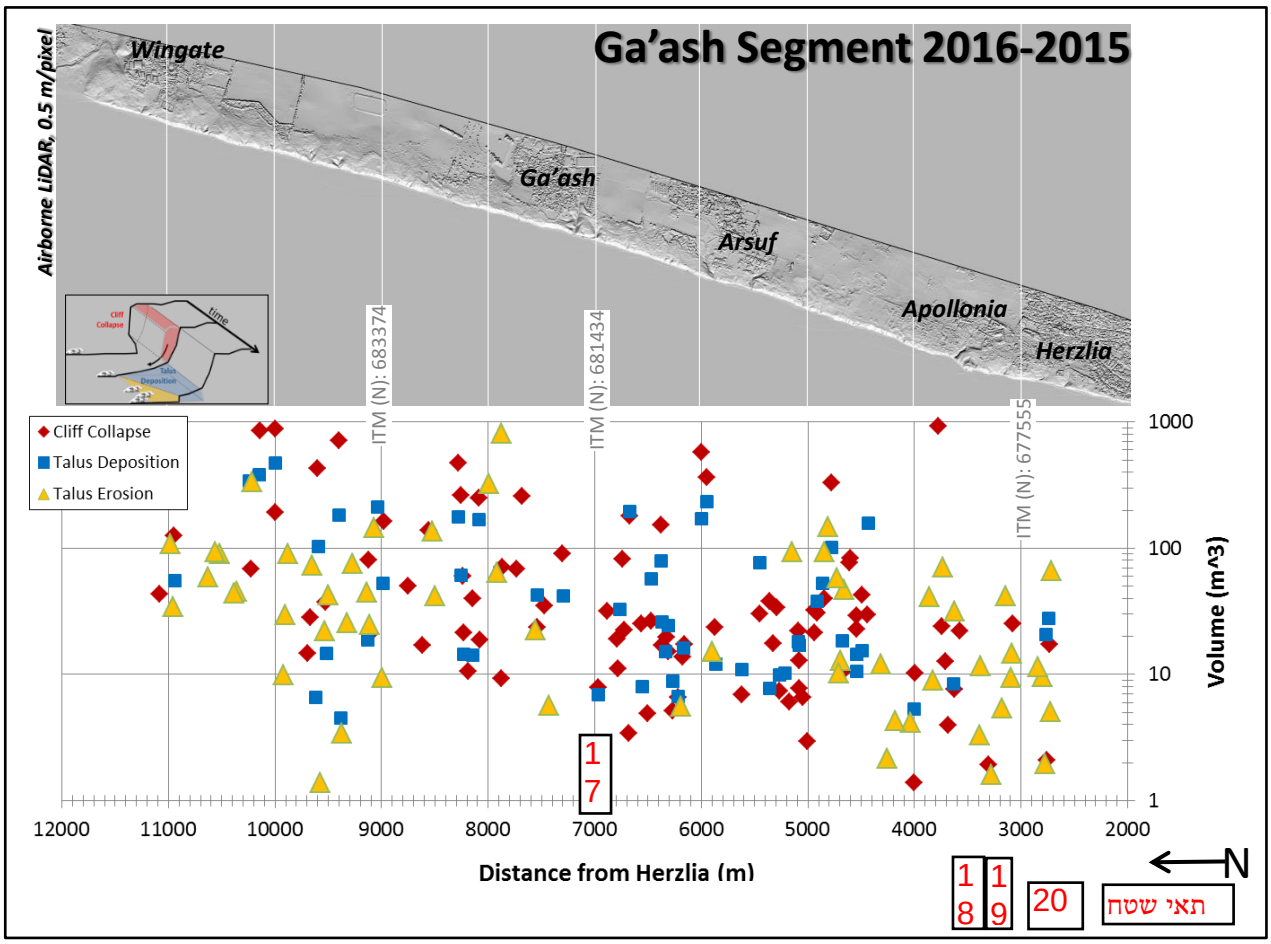
3.1.7 מקטע אשקלון דרום

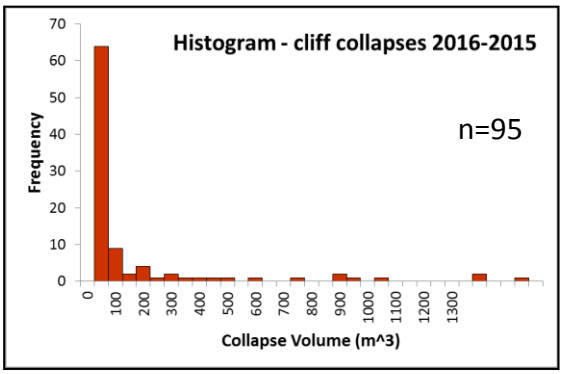
במהלך תקופת המחקר התרחשו במקטע זה 36 אירועי כשל מצוק בטווח נפחים של עד 142 מ״ק (חציון: 7 מ״ק) שגרעו מהמצוק החופי בסה״כ 641 מ״ק חומר (איור 13) . תועדו 14 אתרים של סחיפת טאלוס בנפח כולל של 189 מ״ק ו- 22 אתרים של הערמות טאלוס שהגיעו בסה״כ ל- 570 מ״ק (טבלאות 2, 3). בתקופת המחקר נגרע מהמערכת החופית במקטע זה בסה״כ 259 מ״ק של חומר שמקורו במצוק.

4. דיון

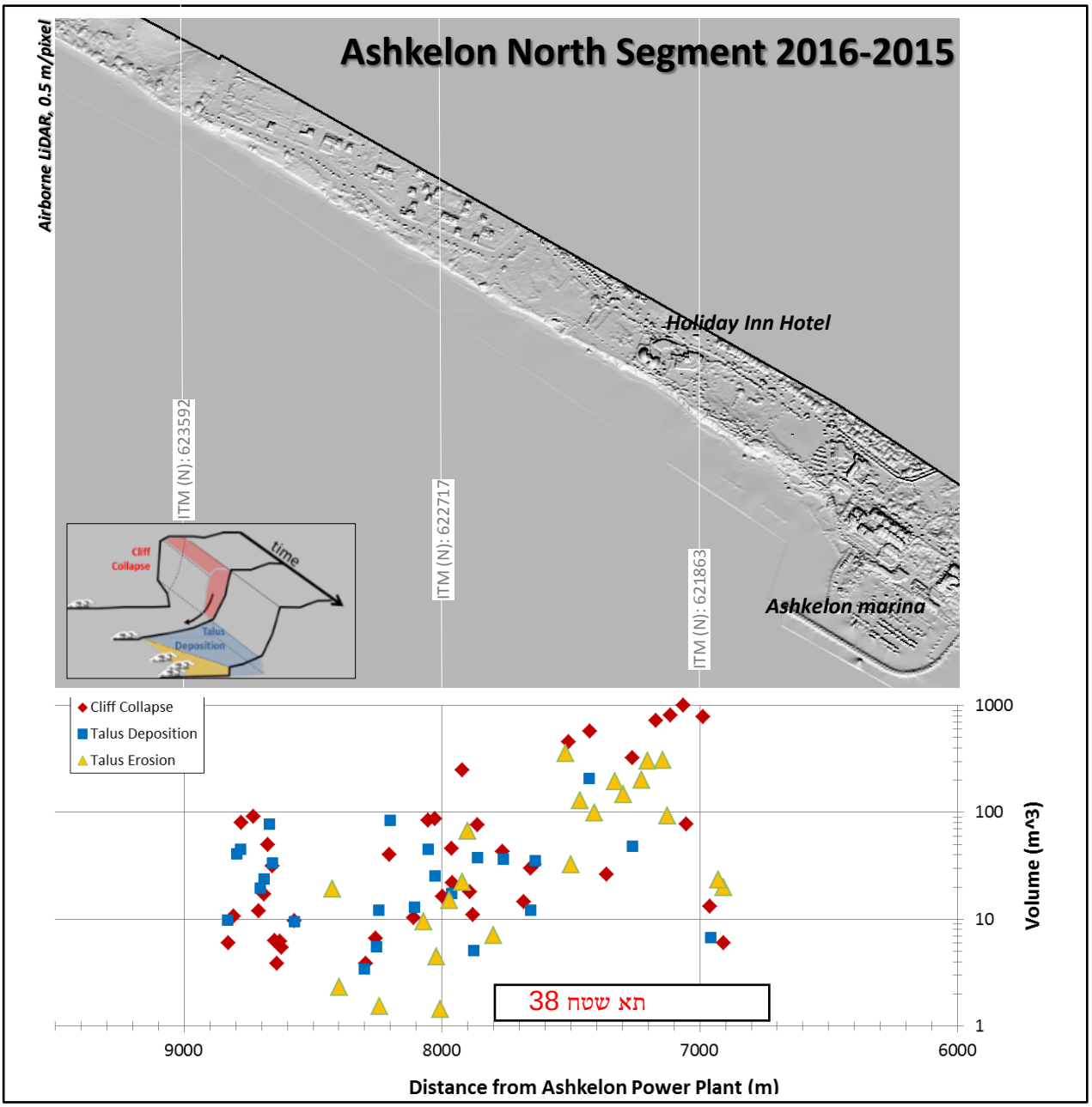
4.1 נפחים והערכת הנסיגה

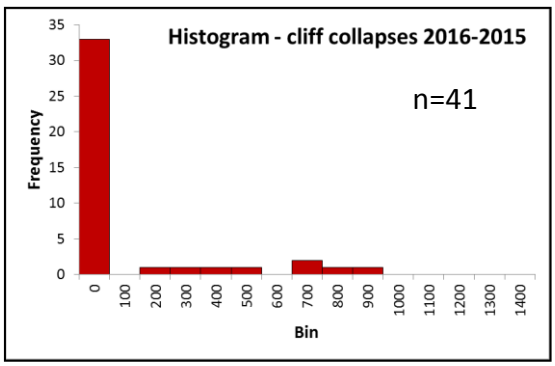
בתקופת המחקר תועדו לאורך כל המצוק החופי 299 אירועי כשל מצוק בנפח כולל של 29,951 מ״ק, 184 אתרים של סחיפת טאלוסים בנפח כולל של 8,238 מ״ק ו- 170 אתרים בהם נערם חומר מצוק על החוף בנפח כולל של 8,893 מ״ק. בתקופת המחקר רשם המצוק החופי מאזן-נפח שלילי, המסתכם ב- 29,296 מ״ק. נפח החומר שאבד בתקופת המחקר (2.2015 - 3.2016) דומה לנפח גריעת החומר השנתית הממוצעת לאורך המצוק מאז 2006 (פירוט ב- Mushkin et al., 2016). לפיכך, ניתן לקבוע שבאופן כללי אין שינוי משמעותי בקצב נסיגת המצוק כיחידת נוף בתקופת המחקר (2015 - 2016) ביחס לנמדד מאז 2006.





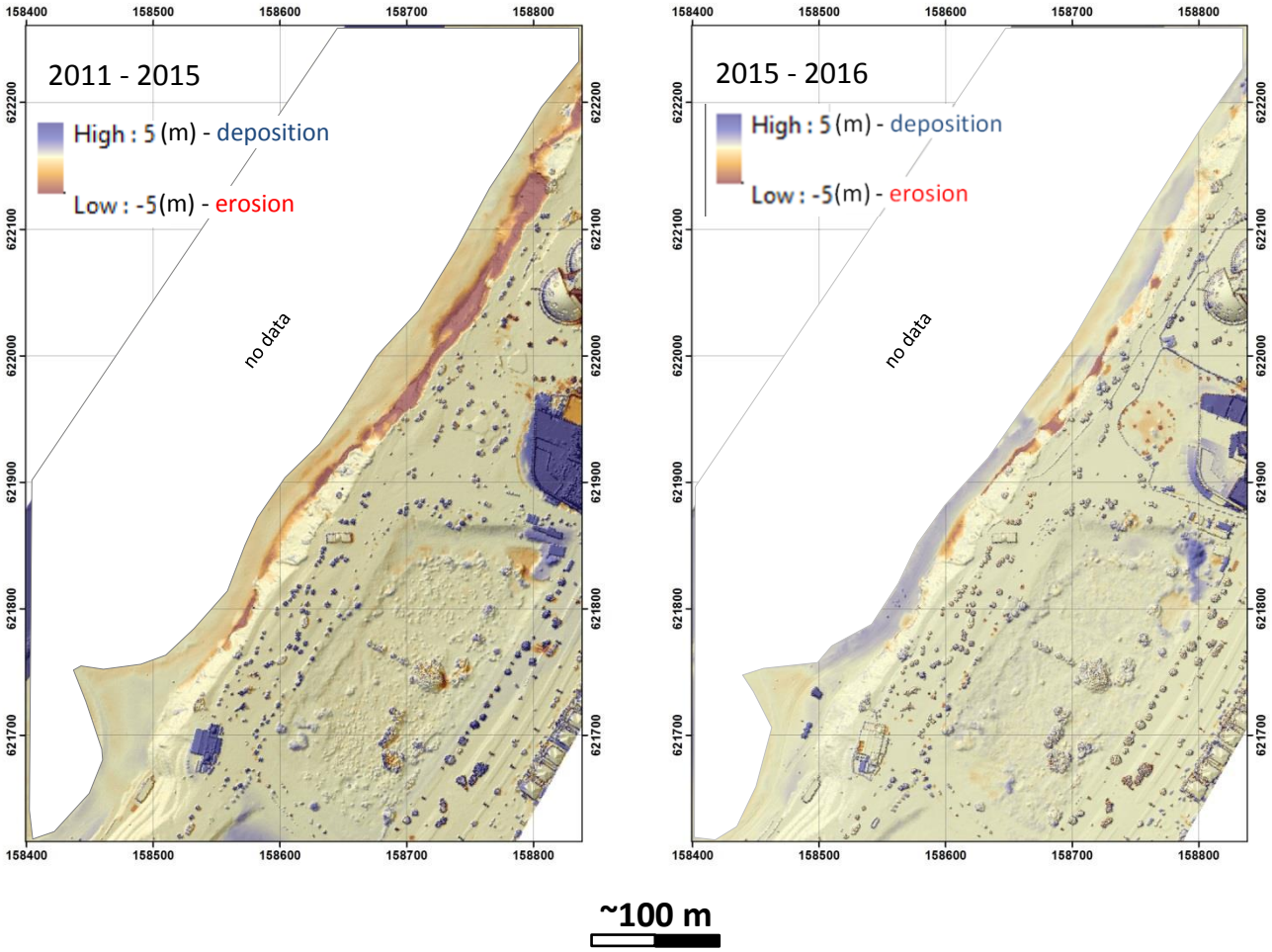
איור 9. *למעלה*: סיכום פעילות המצוק לאורך מקטע געש בין חורף 2015 לחורף 2016 מוצגת לפי המרחק ממרינת הרצליה. אדום: קריסת מצוק, כחול: השקעת טאלוס, צהוב: סחיפת טאלוס על ידי הגלים (מוצג בצורה סכמתית באיור המוקטן). קואורדינטות צפון ברשת ישראל החדשה באפור. *למטה*: היסטוגרמה עבור קריסות המצוק במקטע.



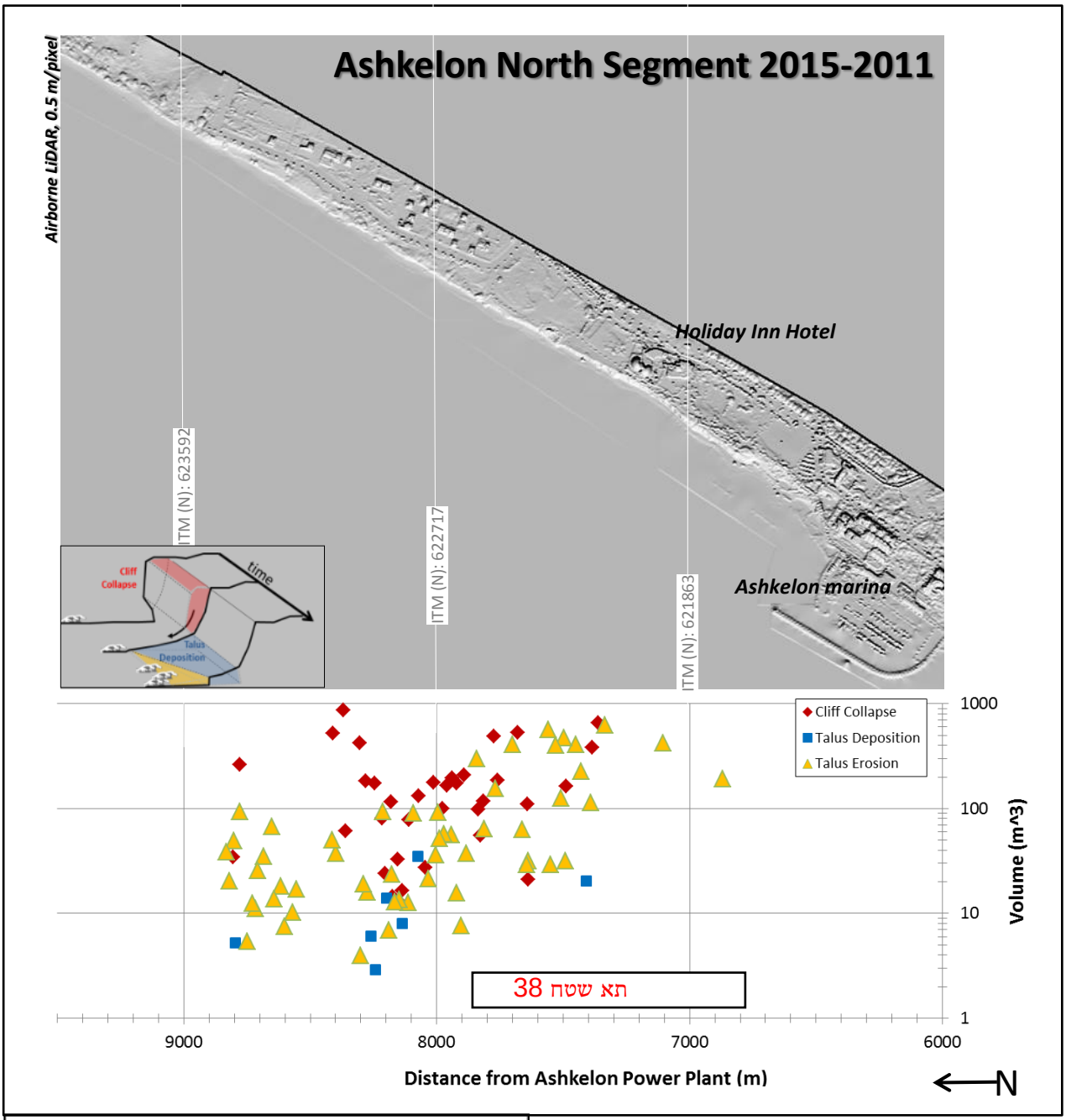


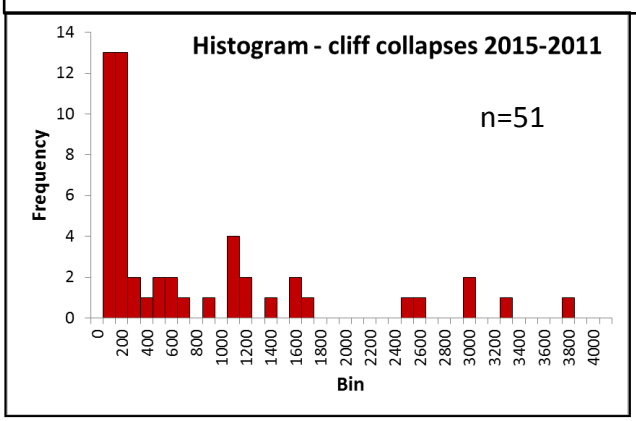
איור 10. *למעלה*: סיכום פעילות המצוק לאורך מקטע אשקלון-צפון בין חורף 2015 לחורף 2016 מוצגת לפי המרחק מתחנת הכוח. אדום: קריסת מצוק, כחול: השקעת טאלוס, צהוב: סחיפת טאלוס על ידי הגלים (מוצג בצורה סכמתית באיור המוקטן). קואורדינטות צפון ברשת ישראל החדשה באפור. *למטה*: היסטוגרמה עבור קריסות המצוק במקטע.

Ashkelon Segment 2016-2015

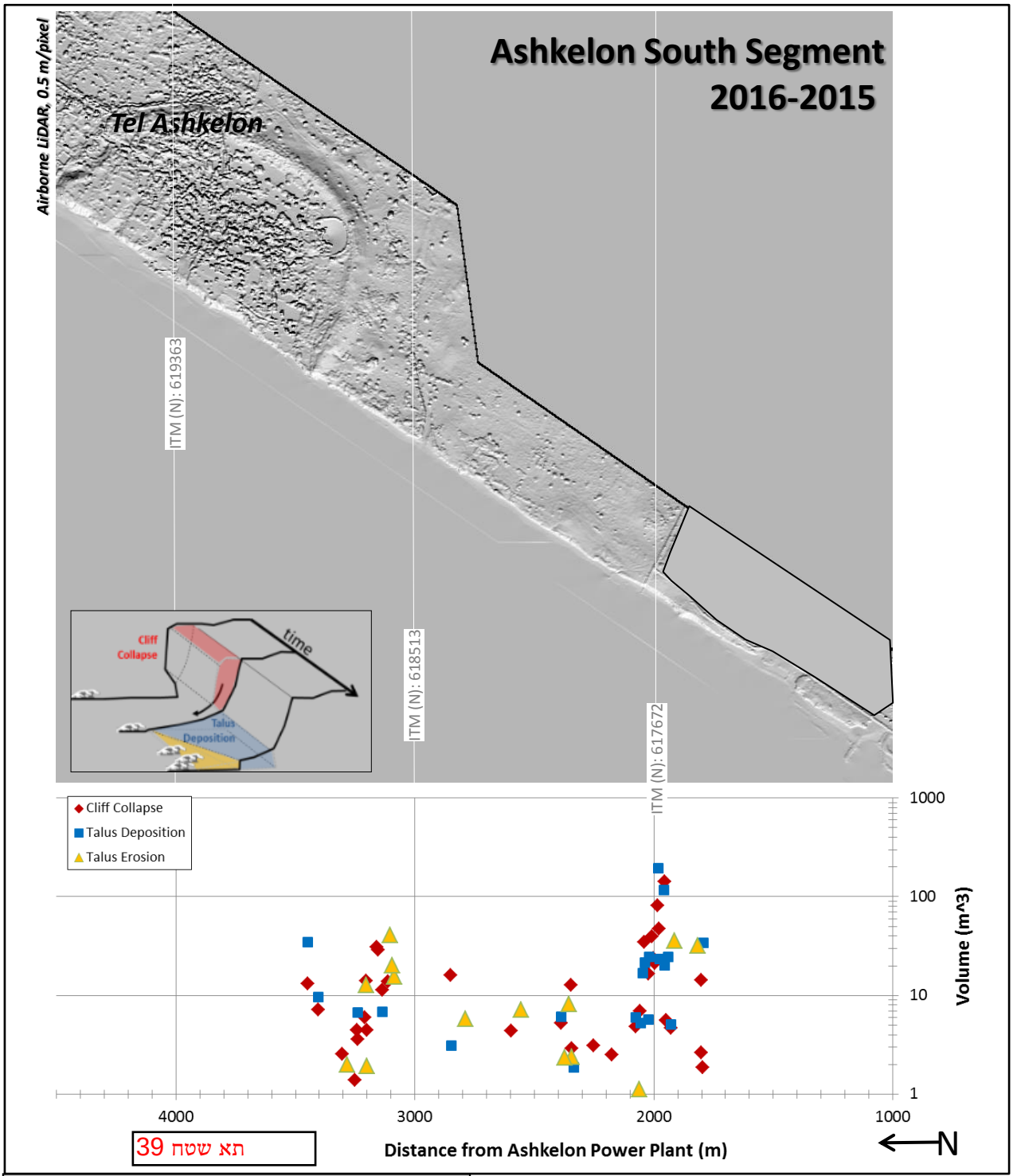


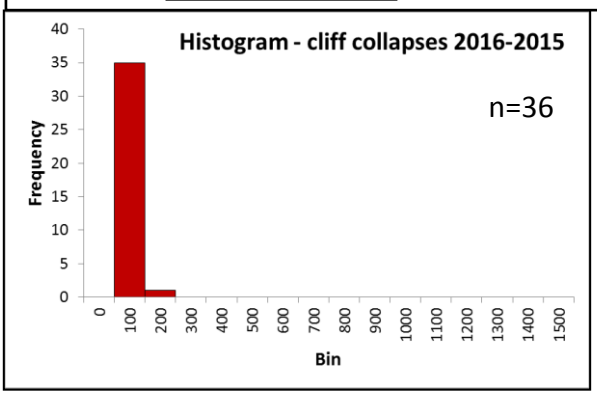
איור 11. מפות הפרשים של מקטע אשקלון החלק מצפון למרינה ולשוברי הגלים. משמאל, מפת ההפרשים בין 2011 ו- 2015 על גבי מפת הצללה של 2015 ; מימין, מפת ההפרשים בין 2015 ו- 2016 על גבי מפת הצללה של 2016. אדום מציין חוסר בחומר בתאריך המוקדם ביחס לתאריך המאוחר (הפרש אנכי שלילי בין 0 ל- 5 מטר), כחול מציין עודף בחומר (הפרש אנכי חיובי בין 0 ל- 5 מטר). צבע חרדל מציין ללא שינוי.





איור 12. *למעלה*: סיכום פעילות המצוק לאורך מקטע אשקלון-צפון בין חורף 2011 לחורף 2015 מוצגת לפי המרחק מתחנת הכוח. אדום: קריסת מצוק, כחול: השקעת טאלוס, צהוב: סחיפת טאלוס על ידי הגלים (מוצג בצורה סכמתית באיור המוקטן). קואורדינטות צפון ברשת ישראל החדשה באפור. *למטה*: היסטוגרמה עבור קריסות המצוק במקטע.





איור 13. *למעלה*: סיכום פעילות המצוק לאורך מקטע אשקלון-דרום בין חורף 2015 לחורף 2016 מוצגת לפי המרחק מתחנת הכוח. אדום: קריסת מצוק, כחול: השקעת טאלוס, צהוב: 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 2015 ל 2016 אינה אחידה. נפח גריעת הסדימנט כתוצאה מהתמוטטות לק״מ-מצוק גדול יותר במקטעים של אשקלון-צפון וגעש (טבלה 5). נפח סחיפת טאלוסים עבור קילומטר גבוהה ביותר במקטע אשקלון-צפון. נפח תוספת החומר עבור כל קילומטר גבוהה ביותר במקטע געש. שטף החומר שנגרע מהמצוק במקטע אשקלון צפון היה גבוה פי 2~ מהשטף הממוצע לאורך המצוק כולו, שעומד על כ- 1,000 מ״ק לק״מ-מצוק (גריעת חומר של כ- 30,000 מ״ק בתקופת המחקר מכ- 30 ק״מ מצוק; טבלה 2) ואילו במקטעי עין הים ונתניה דרום היה שטף הגריעה נמוך מהממוצע.

טבלה 5. צפיפות האירועים ושטף הסדימנט (2015 - 2016)

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	23	7.7	-1,774	-591	14	4.7	-352	-117	9	3.0	434	145	**-563**
נעורים	5.3	59	11.1	-4,630	-874	55	10.4	-1448	-273	26	4.9	669	126	**-1,021**
נתניה העיר	שטח עירוני מופר													
נתניה דרום	4.0	24	6.0	-1,445	-361	12	3.0	-350	-88	20	5.0	973	243	**-206**
געש	10.0	95	9.5	-14,560	-1,456	61	6.1	-3,655	-366	55	5.5	5,003	500	**-1,322**
אשקלון צפון	3.0	41	13.7	-5,909	-1,970	22	7.3	-2,048	-683	25	8.3	854	285	**-2,368**
אשקלון דרום	3.5	36	10.3	-641	-193	14	4	-189	-54	22	6.3	570	163	**-84**

4.3 מקטע אשקלון צפון 2011- 2016

בעבודה זו נבחן גם כשל המצוק במקטע החוף אשקלון-צפון בתקופה שבין חורף 2011 וחורף 2015 (טבלאות 4 ו- 6). במהלך תקופה זו התרחשו במקטע החוף מצפון למרינה באשקלון 51 אירועי כשל מצוק בטווח נפחים של עד 3,752 מ״ק (חציון: 196 מ״ק) שגרעו מהמצוק החופי בסה״כ 37,210 מ״ק. תועדו 57 אתרי סחיפת טאלוס שגרעו בסה״כ 11,390 מ״ק חומר ו- 8 אתרי תוספת טאלוס שהגיעו בסה״כ ל- 64 מ״ק (טבלה 4). בתקופת זו נגרע מהמערכת החופית במקטע זה בסה״כ 48,536 מ״ק חומר.

השוואה של הפעילות על מקטע אשקלון-צפון בין השנים 2011 ו- 2015 לבין השנים 2015 ו- 2016, מראה שהפעילות הממוצעת השנתית שהתרחשה בין השנים 2011 ו- 2015 כפולה מבחינת נפחים למה שהתרחש בין השנים 2015 ו- 2016 (טבלה 6). למשל, קצב גריעת החומר מהמצוק בין השנים 2011 ו- 2015 עמד על 4,045 מ״ק/ק״מ-שנה לעומת 2,368 מ״ק/ ק״מ-שנה בין השנים 2015 ו- 2016. מגמה דומה נצפית גם בסחיפת טאלוסים: 949 מ״ק/ ק״מ-שנה בין השנים 2011 ו- 2015 לעומת 683 מ״ק/ ק״מ-שנה בין השנים 2015 ו- 2016. בבחינה של המיפוי (איור 11) נראה שמאפייני פעילות המצוק במקטע אשקלון-צפון בין השנים 2011 ו- 2015 אינם דומים לפעילות המקטעים הצפוניים וייתכן כי הדבר משקף השפעה אנושית על פעילות המצוק.

טבלה 6. צפיפות האירועים ושטף הסדימנט במקטע אשקלון צפון

מקטע אשקלון	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		
2011-2015	3.0	51	17.0	-37,210	-12,403	57	19.0	-11,390	-3,797	8	2.7	64	21		-16,179
2011-2015 מנורמל לשנה	3.0	13	4.3	-9,303	-3,101	14	4.8	-2,848	-949	2	0.7	16	5		**-4,045**
2015-2016	3.0	41	13.7	-5,909	-1,970	22	7.3	-2,048	-683	25	8.3	854	285		**-2,368**

5. מסקנות

ניתוח השוואתי בין נתוני ליידר אווירי מחורף 2015 ומחורף 2016 מראה שבמהלך תקופה זו נגרע נפח של כ-30,000 מ"ק מהמצוק החופי. בהשוואה לנתוני שנים קודמות לא ניכר שינוי משמעותי בקצב איבוד חומר מהמצוק כיחידת נוף אחת. לעומת זאת נמדדה שונות מרחבית משמעותית בין מקטעי המצוק השונים: שטף החומר שנגרע מהמצוק היה גבוה ביותר במקטע אשקלון-צפון (2,358 מ"ק/ק"מ), בערך פי 2 ממקטעי געש ונעורים (1,322 ו-1,021 מ"ק/ק"מ, בהתאמה). כמו כן נמצא כי שטף גריעת החומר מהמצוק המצוק במקטע אשקלון-צפון בין 2011 - 2015 היה גבוה פי 2~ מקצב גריעת החומר באותו מקטע בין 2015 - 2016 . המאפיינים של פעילות 2011 – 2015 במקטע אשקלן-צפון אינם דומים לפעילות מקטעי המצוק האחרים וייתכן כי הבדלים אלו משקפים השפעה אנושית על פעילות המקטע הנ"ל בתקופה זו.

6. 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., 2012. מיפוי טופוגרפי ברזולוציה גבוהה של קו החוף המערבי של ישראל בעזרת LiDAR אווירי. המכון הגיאולוגי, דוח TR-GSI/07/2012.

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'.

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., Under Review. Erosion of archaeological sites along the Israeli Mediterranean coastline and its application for assessing long-term retreat rates of the sea cliff.

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., Under Review. Do higher sea cliff retreat rates imply faster sea cliff retreat?

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.

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 2015 and winter 2016. Results are based on topographic difference 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 main segments that comprise the ~31 km long Israel's sea cliff: Ein Yam, Ne'urim, Natanya, Natanya South, Ga'ash, Ashkelon North and Ashkelon South. The mapping efforts were conducted manually with a GIS environment, and where required results were verified in the field.

For the studied period we found 299 cliff collapse events that amount to a total of ~30,000 m^3. Talus deposition occurred in 170 locations and amounted to a total of ~9,000 m^3. Talus erosion (of pre-existing talus piles) due to wave scouring was documented at 184 locations and amounted to a total of ~8,000 m^3. Our results indicate that erosion and landwards retreat of Israel's sea cliff between 2015 - 2016 occurred at an average rate of ~1,000 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 2015 - 2016 period examined. Erosion of material from the Ashkelon North segment was about twice higher than the cliff-scale average, whereas the Ein Yam and Natanya South segments experienced significantly lower than average erosion rates. Similar mapping efforts using airborne LiDAR data were also conducted for the 2011 - 2015 period along the Ashkelon North segment. These efforts revealed that the annual erosion rate of the Ashkelon North segment during 2011 - 2015 was about two times higher than the segment's erosion rate during 2015 - 2016, i.e., about four times higher than the background erosion rate previously determined for Israel's sea cliffs. The characteristics of cliff activity along the Ashkelon Segment during 2011 - 2015 were distinctly different from the characteristics of 'natural' cliff erosion and retreat along Israel's coastline and thus suggest the possible anthropogenic impact on cliff activity along this segment.

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

Failure and erosion along Israel's coastal cliffs between 2015 and 2016

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

Submitted to

The Mediterranean Coastal Cliff Preservation Government Company

GSI Report: GSI/01/2017

Jerusalem, February 2017