

קצב נסיגת צוק החוף באזור בית ינאי בשנים 1918-2000

דב צביאלי ומיכה קליין

החוג לגאוגרפיה, אוניברסיטת חיפה.

המחקר הנוכחי משווה את המיקום של צוק החוף בבית-ינאי, הנצפה בסדרת תצלומי אוויר שבוצעו בשנים 1918-2000, לשם קבלת נתונים כמותיים ורציפים על קצב הנסיגה של קו קצה ראש הצוק, בתקופת זמן ארוכה יחסית הנפרשת על פני 82 שנה. על-פי ממצאי המחקר, קצב הנסיגה הממוצע השנתי הוא 20 ס"מ/שנה לכל תקופת המחקר. חלוקה משנית מראה כי קצב הנסיגה היה 27 ס"מ/שנה בשנים 1918-1946, 21 ס"מ/שנה בשנים 1946-1973, ו-10 ס"מ/שנה בשנים 1973-2000. מרחק הנסיגה הגדול ביותר שנמדד לכל אורך תקופת המחקר הוא כ-25 מ'. מרחק זה נמדד בחלקו הצפוני והנמוך של הצוק. מאידך, מרחק הנסיגה הקטן ביותר שנמדד לכל אורך תקופת המחקר הוא כ-11 מ', והוא נמדד בחלקו הדרומי והגבוה של הצוק.

מסקנות המחקר:

1. צוק החוף של השרון באזור בית ינאי היה בתהליך מתמיד של נסיגה לכל אורך תקופת המחקר.
 2. החל משנות ה-80 ניכרת ירידה בקצב הנסיגה, ויתכן שזאת תוצאה של הקמת הגנה מלאכותית בפני חתירת הגלים לאורך חלקים מבסיס הצוק, והגדלת כיסוי הצומח על המדרונות וראש הצוק.
 3. המדידה של נסיגת הצוק באמצעות פוטוגרמטריה ספרתית נמצאה יעילה, ומאפשרת קביעה כמותית ובדיקת גבוה של מרחקי הנסיגה בין כל שני תצלומי אוויר מושווים.
 4. צוקי הכורכר בחופי הים התיכון של ישראל היו במאה ה-20 מקור חשוב לסדימנטים ולפי ממצאי המחקר תרמו כמות של כ-22 מיליון מ"ק למאזן הסדימנט של חוף ישראל.
- מילות מפתח:** חוף ישראל, צוק החוף, חוף השרון, בית ינאי, מיפוי ספרתי, חישה מרחוק.

מבוא

המוצגות בחלק גדול מהמחקרים הן בעלות דיוק מדידה נמוך. טבלה 1 מרכזת את תוצאות המחקרים המציגים נתונים על קצבי הנסיגה של צוקי החוף בישראל. נתוני הטבלה מראים כי למרות שיטות המדידה השונות, ערכי הנסיגה של הצוקים הם בסדר גודל דומה של עשרות בודדות של ס"מ/שנה, בחמישים השנים האחרונות.

Golik and Goldsmith (1985), שמדדו את השינויים במיקום ראש ובסיס הצוק בדרום חוף ישראל, כותבים במסקנות מחקרם כי בשיטת המדידה של נסיגת הצוק מתוך תצלומי אוויר, ניתן להשיג דיוק אופקי מרבי של 2 מ'. ולכן למשך כל תקופת מחקרם (28 שנה), מדידה של עד 7 ס"מ/שנה היא בתחום השיגאה ויכולה להחשב כ"ללא שינוי". השיטות שיושמו ברוב המחקרים, מתבססות על דגימה בדידה ולא רציפה של מיקום הצוק, ולכן בסיס הנתונים שנאסף לאורך קטע הצוק הוא מוגבל. מכאן שיתכן שחישוב מרחק הנסיגה הממוצע שהתקבל במחקרים אלה, המתבסס

צוקי הכורכר בחופי הים התיכון של ישראל בכלל ובחופי השרון בפרט, נחקרו בהרחבה בשנים האחרונות. הסטרטיגרפיה והליתולוגיה של הצוקים נחקרה על ידי רבים (ראה פרוט אצל: פרת ואלמגור, 1996). היבטים גיאוטכניים של יציבות הצוקים ודרגות הסיכון להתמוטטותם, נחקרו על ידי: ויסמן וחייטי (1971); Wiseman *et al.* (1981); ניר (1992a,b); פרת ואלמגור (1996), ובן-דוד ויוגר (2000). התהליכים הגיאומורפולוגיים הפועלים על הצוק והגורמים לנסיגתו מתוארים אצל: ניר (1992a,b); פרת ואלמגור (1996); שורץ וחבריו (1999), ו-Perath and Almagor (2000). שורץ (1997) מדד ישירות בשדה את קצבם של תהליכים גיאומורפולוגיים בצוקי החוף ממכמורת ועד גבעת אולגה, בשנים 1996-1991. למרות ההסכמה בקרב החוקרים על המגמה הכללית של נסיגת צוקי החוף, נעשו מעט עבודות הנדסיות-כמותיות על קצב נסיגתם המדויק בזמן ובמרחב, ושיטות המדידה

הנפרשים לאורך כל תקופת המחקר, ומרווחי הזמן בניהם גדולים ודומים (כ-27-28 שנים בין שני צילומים עוקבים).

תאריך התצלום	גורם מצלם
10.01.1918	(גרמני)
30.10.1945	(בריטי)
12.02.1946	(בריטי)
16.10.1949	(ישראלי)
01.08.1956	(ישראלי)
06.02.1970	(ישראלי)
15.09.1973	(ישראלי)
07.01.1978	(ישראלי)
26.07.1980	(ישראלי)
10.09.1982	(ישראלי)
23.02.1986	(ישראלי)
01.10.1984	(ישראלי)
10.01.1988	(ישראלי)
22.02.1992	(ישראלי)
09.11.1997	(ישראלי)
03.02.2000	(ישראלי)

2. סריקת תצלומי האוויר: מאחר והעבודה בוצעה על מערכת מיפוי ספרתית, נידרש היה לסרוק את תצלומי האוויר האנלוגיים (תדפיסי נייר), ולהפכם לתמונות ספרתיות הניתנות למיפוי ממוחשב. תצלומי האוויר שנבחנו בעבודה נסרקו בסורק פוטוגרמטרי, ברזולוציה של 600 Dpi לפחות, המבטיחה בהתאם לקנה המידה של תצלום האוויר, קבלת יכולת הפרדה גיאומטרית בקרקע הטובה מ-1 מ"מ/פיקסל.

3. מיפוי גיאודטי: לביסוס גיאודטי של תצלומי האוויר (הגולמיים), נמדדו באזור המחקר 30 נקודות בקרה (לא בכל התצלומים נעשה שימוש בכל הנקודות). הנקודות נמדדו בתא שטח שאורכו כ-1,250 מ' מבית ינאי בצפון ועד נעורים בדרום, ורוחבו המרבי כ-400 מ' מקצה ראש הצוק במערב ועד כביש החוף במזרח. המדידות בוצעו במערכת G.P.S גיאודטי, בגובה פני הקרקע, ובדיוק אופקי של 75 ס"מ. בסיום המדידה הותמרו כל נקודות הבקרה מהיטל גאוגרפי ודאטום WGS84, להיטל U.T.M (אזור 36), ודאטום European1950.

על נקודות דגימה בודדות לאורך קטע הצוק ולא מיפוי רציף של קווי הצוק, הושפע מנתונים קיצוניים שאינם מייצגים נאמנה את המציאות.

הידע על קצב נסיגת צוקי החוף של ישראל טרם הקמת המדינה חסר, ותצלום האוויר המוקדם ביותר המופיע בעבודות המחקר עד כה הוא משנת 1945. ניר (1992a) השתמש בנוסף על תצלומי האוויר גם בסדרת מפות תכנון מנדטוריות משנת 1939, בהן מוצג מיפוי של קווי הצוק שבוצע עוד בשנת 1937.

מטרות המחקר

1. קביעה מדויקת ואמינה של קצב נסיגת צוק החוף בבית-ינאי, הנתון בתהליכי נסיגה מואצים היוצרים בעיות תכנוניות ברמה המקומית (גנות 2001; בן דוד ויוגר 2000).
2. הארכת "משך" תקופה המחקר על פני מספר שנים רב ככל הניתן, וזאת על בסיס תצלומי אוויר שבוצעו על-ידי הגרמנים בשנים 8-1917, ועל-ידי הבריטים בשנים 6-1945.

3. בחינת משמעות הנסיגה של צוק החוף בבית ינאי על הערכת מאזן הסדימנט של חופי ישראל.

שיטת המחקר

המחקר הכמותי משווה את המיקום ההיסטורי של צוק החוף בבית-ינאי לאורך 750 מ' (איור 1), הנצפה בסדרת תצלומי אוויר שבוצעו בשנים 1918-2000. ליישום המחקר הכמותי נעשה שימוש בשיטת מדידה פוטוגרמטרית ספרתית מתוך תצלומי אוויר, המתבססת על נקודות בקרה שנמדדו באזור המחקר באמצעים גיאודטיים ומשולבת תוכנת מיפוי וקטורית. שיטת המדידה המתקדמת, מאפשרת לראשונה להציג נתונים כמותיים, רציפים ובדיוק גבוה, של קצב נסיגת קצה ראש הצוק, בתקופת זמן ארוכה יחסית הנפרשת על פני 82 שנה.

תהליך המיפוי

1. בחירת תצלומי האוויר: 16 תצלומים מתאריכים שונים נבחנו במהלך עבודת המחקר. מתוך כלל תצלומי האוויר נבחרו ארבעה מהם (טבלה 2)

טבלה 1: קצב נסיגת צוקי החוף של ישראל, המוצגים במחקרים שונים

המחקר	מיקום	שיטת המדידה	תקופת המחקר	שעור הנסיגה ס"מ/שנה	הערות
Golik and Goldsmith 1984-5	3 ק"מ מצפון לתל קטיף (חאן יונס)	תצ"א פוטוגרמטריה אנליטית	1984-1956	41	
Golik and Goldsmith 1984-5	צפון העיר עזה	תצ"א פוטוגרמטריה אנליטית	1967-1956 1976-1967 1984-1976 1984-1956	30 90 0 72	בשנת 1972 הוקמו בחוף העיר עזה שני דורבנות קצרים באורך 120 מ'. ממוצע לכל התקופה
Golik and Goldsmith 1984-5	מצפון למעגן קצא"א אשקלון	תצ"א פוטוגרמטריה אנליטית	1984-1976	107	לאחר הקמת מעגן קצא"א
רון 1989	יפו	תצ"א פוטוגרמטריה אנליטית	1987-1945	25-12 20-11	ראש הצוק בסיס הצוק
גרינשטיין 1997	יפו	מדידות שדה גיאודטיות	1987 ו-1996	29-3	ראש הצוק
ניר 1992	הרצליה	תצ"א ללא תיקון גיאודטי	1992-1942	40-20	
בן-דוד 2001	אפולוניה	תצ"א ללא תיקון גיאודטי	2000-1944	20 36-9	ממוצע של 17 נקודות המבחן לאורך הצוק. משרעת של 17 נקודות המבחן לאורך הצוק.
רון 1982	נתניה	תצ"א פוטוגרמטריה אנליטית	1978-1945	40-30	
בן דוד 1995	נתניה	תצ"א ומפה ללא תיקון גיאודטי	1994-1962	50	ממוצע ל-4 ק"מ
Perath 1982	7 קטעים לא רצופים מתל ברוך-בית ינאי	חישוב פחיתת נפח הדרדרת	1982	22-15	סה"כ אורך הצוקים שנמדדו 20.3 ק"מ
ניר 1992	שושנת העמקים	תצ"א ומפות ללא תיקון גיאודטי	1991-1939	58-17	קטע צוק הבולט לים
פרת ואלמגור 1996	נעורים	מדידות על פני הקרקע, מעצמים קבועים לשפת הצוק	1995-1992	40-5 320-80	ממוצע של 23 ס"מ/שנה, בקטעים ללא גלישות לקטעי צוקים עם גלישות
ניר 1992	בית ינאי	תצ"א ומפות ללא תיקון גיאודטי	1991-1939	30-15	לאורך קטע של 450 מ'
שוורץ 1997	מכמורת-גבעת אולגה	עבודת שדה	1996-1991	24 ממוצע לקטע	הבדלים גדולים בין השנים: 1991/2 - 74 ס"מ 1993/4 - 1 ס"מ

הופעל בתוכנת המיפוי Microstation Descartes (Microstation Descartes Users Guide, 2000) מודול טרנספורמציה מסוג "Projective", על הקבצים הספרתיים של תצלומי האוויר. כתוצאה

4. פוטוגרמטריה: תצלומי האוויר שנסרקו ונקודות הבקרה שנבחרו כמתאימות לכל תצלום, הועלו על גבי מערכת מיפוי ספרתית, הכוללת תוכנת מיפוי פוטוגרמטריה-מונוסקופית. לאחר מכן



איור 1: אזור המחקר של צוק החוף בבית ינאי

שינוי זה ברור מאוד ומתקבל עקב שני מאפיינים פיסיים האופייניים לצוק החוף בבית-ינאי והם: תלילותו הרבה של הצוק והרכבו הליטולוגי העליון, הבנוי סלע כורכר בעל גוונים בהירים המוכר בשם "כורכר תל-אביב" (בעבר כורכר "בית-ינאי"). סלע זה בולט מאוד בגווניו הבהירים בחלקו הצפוני של הצוק, על רקע חלקו העליון של מדרון הצוק הממוקם תחתיו, הנראה בגוונים כהים, והמוכר בשם "חמרת נתניה" (ניב ובקלר 1978; Gvirtzman *et al.* 1984; גביש ובקלר 1990; ניר 1992; שורץ 1997).

מתהליך הטנספורמציה, עוגנו תצלומי האוויר הגולמיים במערכת קואורדינטות ישרה, ו"התיישרו" (Warp) במרחב מישורי בהתאם לפרמטרים הגיאודטיים של היטל U.T.M., ודאטום European1950.

5. מיפוי ספרתי: בסיום תהליך ה"יישור" של תצלומי האוויר, מופה קו קצה ראש הצוק בשיטה וקטורית, בעזרת תוכנת המיפוי Microstation (Microstation Java Users Guide, 2000).

ההחלטה על מיקום קו קצה ראש הצוק, נקבעה על-פי השינוי המשמעותי בגוני תצלום האוויר.

שגיאת המדידה המצטברת המקסימלית עפ"י חיימי (1998) היא:

$$(G + I + D) / \sqrt{n} = (0.8 + 1.4 + 2) / 4.12 = 1.02 \text{ m}$$

ממצאים ודין

ממצאי המחקר מראים כי קצב הנסיגה הממוצע השנתי של קו קצה ראש הצוק, לאורך קטע של 750 מ' באזור בית ינאי, בתקופת הזמן 2000-1918 הוא כ-20 ס"מ/שנה. חלוקה משנית של תקופת המחקר לשלוש תת-תקופות מראה כי קצב הנסיגה הממוצע השנתי היה 27 ס"מ/שנה בשנים 1946-1918, 21 ס"מ/שנה בשנים 1973-1946, ו-10 ס"מ/שנה בשנים 2000-1973. איורים 2-3 מציגים את מיקום קווי ראש הצוק בשנים 1918, 1946, 1973, ו-2000, על רקע תצלום האוויר משנת 2000. הערכים המספריים של קצב הנסיגה הממוצע של קו קצה ראש הצוק בין כל שני תצלומי אוויר, מוצגים בטבלה 3.

בהשוואה בין תצלומי האוויר של 1918 ו-2000 (פער של 82 שנה), נמדד מרחק הנסיגה הגדול ביותר של קצה ראש הצוק, והוא כ-25 מ'. מרחק זה נמצא בחלקו הצפוני והנמוך של הצוק, בו קיים שטח ציבורי פתוח שרוחבו מספר עשרות מטרים, החוצץ בין קצה ראש הצוק לחצרות בתי הישוב (איור 4).

מרחק הנסיגה הקטן ביותר שנמדד הוא כ-11 מ', והוא מצוי בחלקו הדרומי והגבוה של הצוק (איור 5), בו חצרות בתי הישוב בית ינאי נושקים לקצה ראש הצוק (איורים 6-7).

ממצאי המיפוי של תצלום האוויר משנת 2000 מראים כי אגפם המערבי או הדרום-מערבי, של מרבית הבתים בקטע הדרומי של הצוק, ממוקם כיום במרחק של 10-15 מ' בלבד מקצה ראש הצוק, ולכן המשך תהליך הנסיגה עלול בעתיד הקרוב לסכן את בטיחותם של הדיירים. בסיוורם שבוצעו לאורך חוף בית ינאי בשנת 2001, נצפו גלישות רק בחלק מהמקומות בהם הוקמה הגנה מלאכותית בבסיס הצוק. ניר (1992) צילם בחלקו הדרומי של צוק החוף בבית ינאי, גלישה גדולה שהתרחשה במהלך סערות הגלים הגדולות של חורף 1991-2. הגלישה התרחשה למרות סוללת האבנים

6. מדידת מרחק הנסיגה האופקי, של קו קצה ראש הצוק: בסיום תהליך המיפוי אוחדו כל קווי הצוק הווקטוריים בקובץ גרפי אחד, לשם מדידת הנסיגה במיקום קו קצה ראש הצוק. לאחר מכן על-ידי יישום "Measure area" שבתוכנת Microstation Java, נמדדו בשיטה פלנימטרית ספרתית, כל השטחים הכלואים בין כל שני קווים נבחרים, המייצגים תאריכי צילום אוויר שונים, לאורך תקופת המחקר.

למדידת מרחק הנסיגה הממוצע של קצה ראש הצוק בין כל שני תאריכים נבחרים, חולק כל שטח שנמדד בשלב הקודם, באורך הקו הישר העובר בקירוב במרכז השטח ומקביל לצוק החוף. קו זה שכיוונו דומה לזה של השטח הנמדד, נמצא כמייצג בצורה מהימנה את אורכו של קטע הצוק הנמדד.

יתרונה של שיטת המדידה המיושמת במחקר זה, הוא בכך שתוצאות המדידה מייצגות בצורה האמינה ביותר את מרחק הנסיגה הממוצע של קצה ראש הצוק לאורך הקטע הנמדד. כל זאת מאחר וחישוב מרחק זה, בוצע על-ידי אינטגרציה של כל שטח המדידה, ולא כממוצע בין מספר דגימות מוגבל של חתכים בודדים לאורכו של הצוק.

שגיאת המדידה המצטברת: כל אחד מהשלבם בתהליך המיפוי "תרם" אי דיוק אופקי מסוים למיקום האמיתי של קו קצה ראש הצוק, ולכן השגיאה המצטברת הינה סכום כל אי הדיוקים עבור נקודה בודדת על קו קצה ראש הצוק, כאשר:

G שגיאה הנובעת מאיכות ה"יישור" הפוטו-גרמטרי: לצורך הערכת יתר נכפיל את השגיאה המקסימלית שהתקבלה (RMS - טבלה 2) ואז, $2 \times 0.4\text{m} = 0.8\text{m}$

I שגיאה בזיהוי מיקום קו קצה ראש הצוק: לצורך הערכת יתר נכפיל את הרזולוציה הגרועה ביותר שהתקבלה בתהליך הסריקה (טבלה 2) ואז, $2 \times 0.7\text{m} = 1.4\text{m}$

D שגיאה בסימון (המיפוי הווקטורי) מיקום קו קצה ראש הצוק: לצורך הערכת יתר נקבע כי יתכנו שגיאות מקסימליות עד סדר גודל של 2 מ'.
n מספר נקודות הבקרה הממוצע שנבחרו לצורך עיגון כל תצלום אוויר בנפרד: 17.

טבלה 2: פרטי סדרת תצלומי האוויר ותוצאות עיגונם הגיאודטי

03.02.2000	15.09.1973	12.2.1946	10.01.1918	תאריך צילום האוויר
המרכז למיפוי ישראל	המרכז למיפוי ישראל	חיל האוויר הבריטי	חיל האוויר הגרמני	גורם מצלם
מל 696	ממ 366	DEV/8	F/304	מספר גיחה
5656	9355	6075	282	מספר תצלום
13:23	08:37	לא ידוע	14:30	זמן הצילום (שעון ישראל)
1,970	880	לא ידוע	3,700	גובה צילום (מ')
1200 dpi	600 dpi	600 dpi	1200 dpi	רזולוציית סריקה
0.33	0.35	0.16	0.70	גודל פיקסל (מ')
21	30	11	8	מספר נקודות הבקרה
0.20	0.16	0.16	0.16	RMS-X (מ')
0.20	0.19	0.20	0.40	RMS-Y (מ')
0.22	0.19	0.17	0.28	RMS-XY (מ')

טבלה 3: קצב הנסיגה הממוצע השנתי של קצה ראש הצוק בבית ינאי

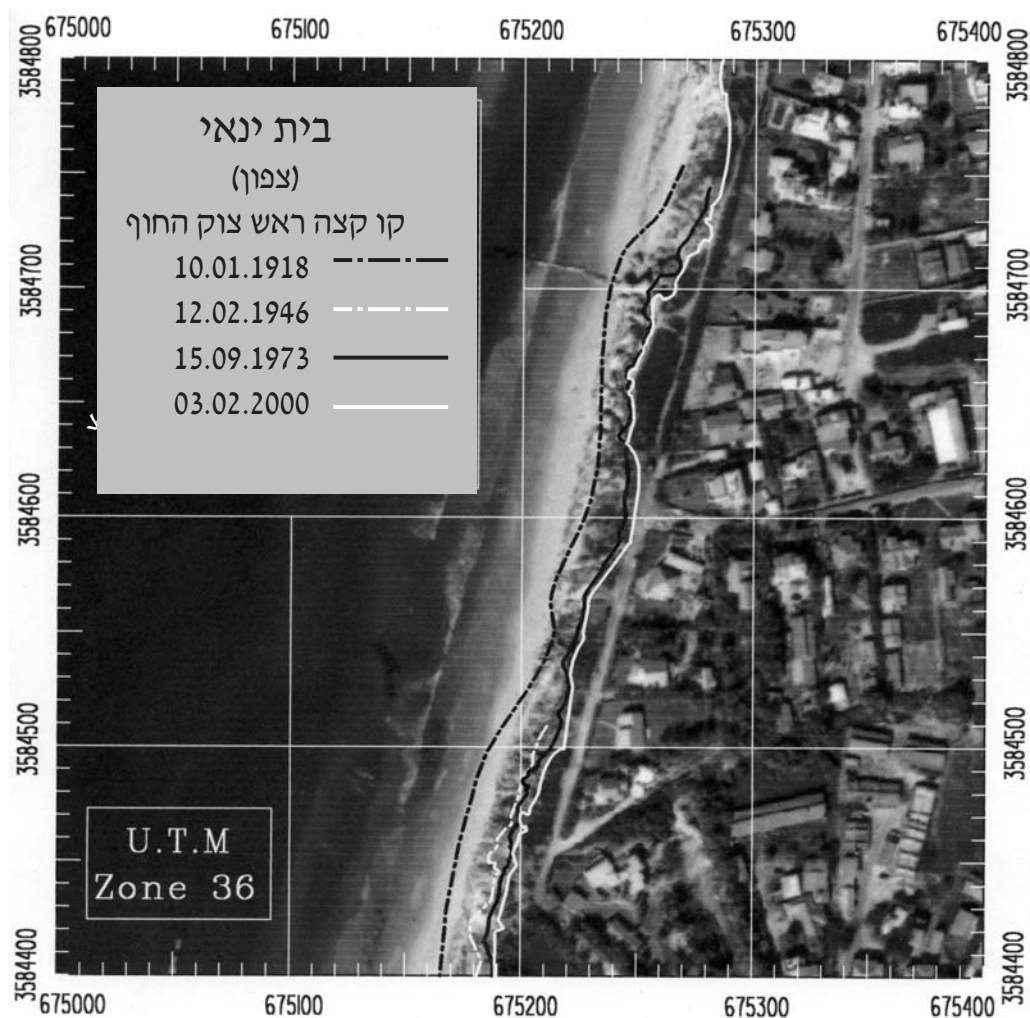
שנת תצלום האוויר	1918	1946	1973	2000
1918		27 ס"מ/שנה	25 ס"מ/שנה	21 ס"מ/שנה
1946			21 ס"מ/שנה	15 ס"מ/שנה
1973				10 ס"מ/שנה

הממוצע הוא על בסיס קטעי צוק ארוכים יחסית ויחידות זמן גדולות. מכאן ש"תרומתה" של גלישה מקומית גדולה, היכולה להותיר אחריה בפרק זמן קצר מאוד צלקת בחזית המצוק שרוחבה עד 4 מטרים ואורכה עד עשרות מטרים (ניר 1992a; פרת ואלמגור 1996), נחלשת כאשר מדובר בנסיגת של חזית הצוק כולו.

מיפוי פוטוגרמטרי שבוצע על-ידי חברת DataMap בשנת 1997, מראה כי הגובה לאורך קצה ראש הצוק של בית ינאי, משתנה מ-12 מ' בממוצע בחלקו הצפוני והנמוך של הצוק, ל-20 מ' בממוצע בחלקו הדרומי

הגדולות שהונחה בבסיס הצוק, במטרה להגן עליו מפני חתירת הגלים. בתחילת דצמבר 2001 צולם מקום הגלישה שוב (איור 8). נראה כי חלקה התחתון של הדרדרת סולק, אך סמני הגלישה עדיין ניכרים למרות שחלפו כ-10 שנים מאז ארעה הגלישה.

ערכי הנסיגה הנקודתיים הגבוהים שהוצגו על ידי: רון (1982) 150 ס"מ/שנה, פרת ואלמגור (1996) 320 ס"מ/שנה, בן-דוד (1995) 78 ס"מ/שנה, ושוורץ וחבריו (1999) 74 ס"מ/שנה, אינם מתקבלים בשיטת החישוב שיושמה בעבודת המחקר הנוכחית, שכן חישוב מרחק הנסיגה



איור 2: מיפוי וקטורי של קווי קצה ראש צוק החוף בבית ינאי (חלק צפוני), בשנים 1918-2000

חלוקה פיסיוגרפית של קטעי הצוקים, עפ"י גובהם ומיקומם הגאוגרפי (מדרום לצפון), מראה כי גובהם הממוצע ואורכם בכל אזור שונה:

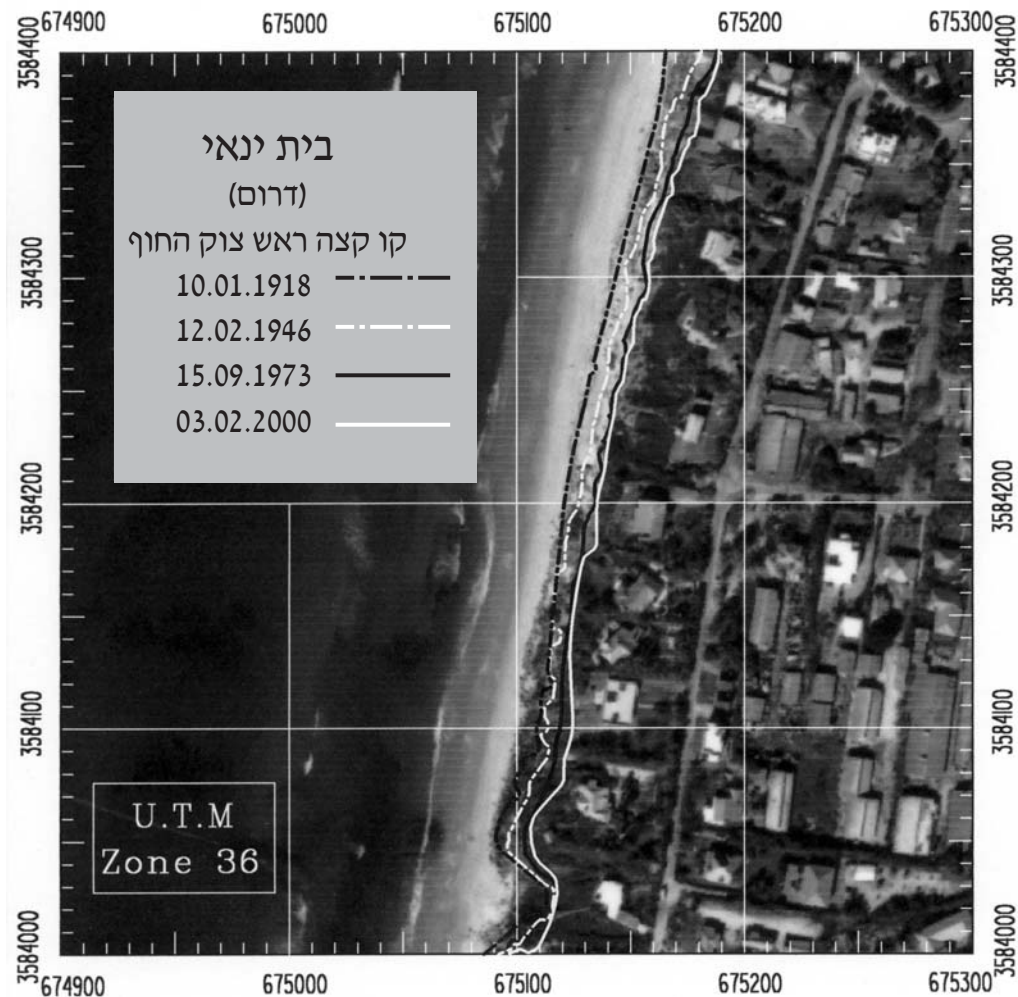
1. ברצועת עזה, אורכם הכולל של צוקי החוף 13.5 ק"מ וגובהם הממוצע 8.5 מ'.

2. מצפון לשפך נחל שקמה ועד חוף פלמחים, אורכם הכולל של צוקי החוף 10.5 ק"מ וגובהם הממוצע 7.5 מ'.

3. מחוף ראשון לציון ועד מדרום לשפך נחל הירקון,

והגבוה. מכאן שאם גובהו הממוצע של הצוק הוא 16 מ', אורכו 750 מ', וקצב הנסיגה הממוצע השנתי לאורך תקופת המחקר הוא 20 ס"מ/שנה, אזי ניתן להעריך כי במאה ה-20 תרם צוק החוף הכורכרי של בית ינאי למאזן הסדימנט של חוף ישראל, נפח סדימנט של 240,000 מ"ק.

גובהם של צוקי הכורכר הנפרשים לאורך חוף ישראל מרצועת עזה בדרום ועד חוף גבעת אולגה בצפון, משתנה בין 5-50 מ' (על בסיס סדרת מפות טופוקדסטר ישראל בקני"מ 1:10,000).



איור 3: מיפוי וקטורי של קווי קצה ראש צוק החוף בבית ינאי (חלק דרומי), בשנים 1918-2000

האורך הכולל של צוקי החוף הכורכריים הוא כ-70 ק"מ, וגובהם הממוצע הוא כ-16 מ'. בהנחה וקצב הנסיגה הממוצע השנתי של צוק החוף בבית ינאי (20 ס"מ/שנה) אכן מייצג את קצב הנסיגה הממוצע השנתי של כל צוקי החוף של ישראל, אזי ניתן להעריך כי במאה ה-20 תרמו כל הצוקים כ-220 אלף מ"ק לשנה בממוצע למאזן הסדימנט בחופי ישראל, שהם כ-22 מיליון מ"ק. תרומה בנפח דומה חושבה גם על ידי גיל ואלמגור (1999).

- אורכם הכולל של צוקי החוף 10 ק"מ וגובהם הממוצע 10 מ'.
4. מחוף תל ברוך ועד תל מיכל (אזור מרינת הרצליה), אורכם הכולל של צוקי החוף 4.8 ק"מ וגובהם הממוצע 12.5 מ'.
5. מחוף הרצליה ועד בית ינאי, אורכם הכולל של צוקי החוף 25 ק"מ וגובהם הממוצע 27 מ'.
6. מחוף מכמורת ועד חוף גבעת אולגה, אורכם הכולל של צוקי החוף 5 ק"מ וגובהם הממוצע 10 מ'.



איור 4 : חלקו הצפוני והנמוך של צוק החוף בבית ינאי (28.06.2001)



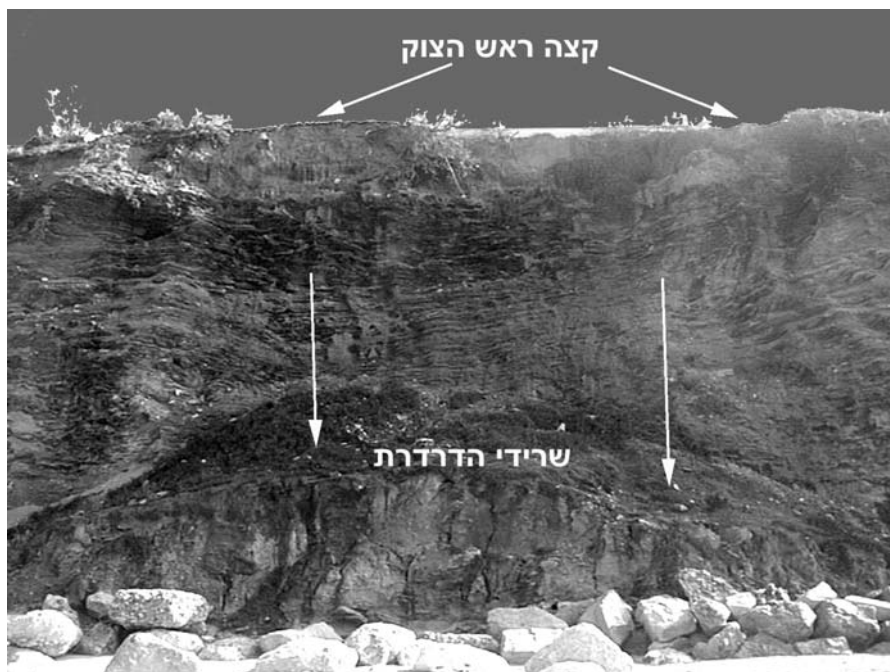
איור 5 : חלקו הדרומי והגבוה של צוק החוף בבית ינאי (מקור : פרת ואלמגור, 1996)



איור 6 : מיקום גדר חצר בית, בחלקו הדרומי של צוק החוף (מבט לצפון) (28.06.2001)



איור 7 : מיקום גדר חצר בית, בחלקו הדרומי של צוק החוף (מבט לדרום) (28.06.2001)



איור 8: שרידי דרדרת הגלישה הגדולה של חורף 1991-2 שתועדה על-ידי ניר (1992), בחלקו הדרומי של צוק החוף בבית ינאי (11.12.2001)



איור 9: הגנה מלאכותית בפני חתירת הגלים, לאורך חלק מבסיס צוק החוף בבית ינאי (11.12.2001)

מסקנות

יעילה ומאפשרת למדוד כמותית ובדיוק רב את מרחק הנסיגה.

5. העבודה מראה כי שגיאת הסימון של מיקום קו קצה ראש הצוק היא בסדר גודל של עד 2 מ', וקצב הנסיגה השנתי הממוצע של קצה ראש הצוק שנמדד לכל אורך תקופת המחקר 1918-2000 הוא 20 ס"מ/שנה. לכן, על מנת לקבל תוצאה שאמינותה גבוהה משגיאת המדידה המצטברת, מומלץ שמרווח הזמן המינימלי בין שני תצלומי אוויר מושווים יהיה לפחות 10 שנים.
6. צוקי החוף של ישראל היו מקור חשוב ומשמעותי במאזן הסדימנט של חופי ישראל במאה ה-20, ותרמו על בסיס ממצאי המחקר כמות של כ-22 מיליון מ"ק סדימנט.

1. צוק החוף של השרון באזור בית ינאי, היה בתהליך מתמיד של נסיגה לאורך כל תקופת המחקר (בשנים 1918-2000).
2. תהליך הנסיגה של צוק החוף הואט בתקופת המחקר, במיוחד מאז תחילת שנות ה-80, מסקנה המחזקת את ממצאיו של ניר (1992).
3. נראה כי הסיבות העיקריות להאטה בקצב הנסיגה בעשרים השנים האחרונות, הינן תוצאה של הקמת הגנה מלאכותית בפני חתירת הגלים לאורך חלקים מבסיס הצוק (איור 9) והגדלת כיסוי הצומח על מדרונות וראש הצוק.
4. שיטת המחקר המודדת את נסיגת הצוק באמצעים פוטוגרמטריים מתקדמים, נמצאה

מקורות

- בן-דוד, ר. 1995: בעיות במצוק החופי של נתניה ודרכים לשיפור יציבותו. **החברה הגיאולוגית הישראלית**, חוברת תקצירים, הכנס השנתי בזכרון יעקב, 15.
- בן-דוד, ר. ויוגר, מ. 2000: **חוף בית ינאי, סקר גיאוטכני לבדיקת יציבות המצוק החופי והנחיות עקרוניות לביסוס מבנים לאורכו**. הוגש כדו"ח לועדה המחוזית לתכנון ובניה, עמק חפר (לא פורסם) 13 עמ'.
- בן-דוד, ר. 2001: **פארק אפולוניה - סקר גיאולוגי וגיאוטכני להערכת יציבות המצוק**. דו"ח משלים לדו"ח הראשוני, הוגש לרשות לשמירת הטבע והגנים הלאומיים, מחוז מרכז (לא פורסם) 25 עמ'.
- גביש, א. ובקלר, נ. 1990: רצועת חוף השרון, גורמים גיאומורפולוגיים וסדימנטולוגיים. בתוך: דגני, א., שמואלי, א. וגרוסמן, ד. (עורכים) 1990: **ספר השרון**. הוצאת דביר, תל אביב, 61-81.
- גיל, ד. ואלמגור, ג. 1999: מאזן החול לאורך חופי ישראל - תצפיות, פירושים ופערי ידע. קובץ תקצירי הרצאות - יום העיון ה-11, חקר שולי היבשה הים תיכוניים של ישראל (תקציר מורחב באנגלית).
- גנות, נ. (ג.ש.ן. ניהול ותכנון בע"מ) 2001: **מצוק בית ינאי, הסדרה וייצוב המצוק החופי והגדרת קווי בניין**. הוגש כדו"ח לועדה המחוזית לתכנון ובניה, עמק חפר (לא פורסם) 9 עמ'.
- גרינשטיין, ע. 1997: **מצוק החוף ביפו, חתכים ניצבים במצוק**. מוגש ל"אתרים לאורך חופי תל-אביב, פיתוח מקומות תיירות בתל-אביב יפו בע"מ", הנדסה גיאודטית בע"מ, רמת גן, (לא פורסם).
- ויסמן ג. וחייטי, ג. 1971: לימוד יציבות המצוק החופי. דו"ח התקדמות 1970-71, טכניון, חיפה, 22 עמ'.
- חיימי, א. 1998: ניטור קו החוף במאה השנים האחרונות בעזרת תצלומי אוויר ומפות היסטוריות. עבודה לקבלת תואר מוסמך, במחלקה לגיאוגרפיה, אוניברסיטת בר-אילן, רמת גן.

ניב, ד. ובקלר, נ. 1978: פעילויות טקטוניות צעירות לאורך קו החוף של א"י. **חוף וים - קובץ מאמרים והרצאות**, הוצאת הקיבוץ הארצי המאוחד והמדור לידיעת הארץ בתנועה הקיבוצית, 9-31. ירושלים, 36 עמ'.

ניר, י. 1992b: **מצוקי הכורכר בחופי הים התיכון של ישראל**. המכון הגיאולוגי לישראל, דו"ח GSI/28/92, ירושלים, 75 עמ'.

פרת, א. ואלמגור, ג. 1996: **סיכונים לאורך מצוק השרון**. המכון הגיאולוגי לישראל, דו"ח GSI/5/96, ירושלים, 80 עמ'.

רון, צ. י. ד. 1982: הרס המתלול החופי בנתניה ונסיגתו. בתוך: שמואלי, א. וברור, מ. (עורכים), 1982: **ספר נתניה**. "ארץ", 45-67.

רון, צ. י. ד. 1989: תהליכי גלישות ושיעורי הנסיגה של המצוק החופי בגבעת עליה, יפו. **מרחבים**, 3, 124-145.

שוורץ, י. 1997: **תהליכים גאומורפיים במצוק החוף מכמורת- גבעת אולגה**. עבודת גמר לקבלת תואר "מוסמך", החוג לגאוגרפיה, אוניברסיטת חיפה, 90 עמ'.

שוורץ, י., ענבר, מ. וגוליק, א. 1999: תהליכים גאומורפיים במצוק החוף מכמורת- גבעת אולגה. **אופקים בגאוגרפיה**, 50, 5-18.

Golik, A. and Goldsmith, V. 1984: **Coastal changes in the Katif area**. Intermediate Report, Submitted to the Mediterranean - Dead Sea Canal Co. Report of Research, Vol. 5.

Golik, A. and Goldsmith, V. 1985: **Coastal changes in the Katif, Gaza and Ashkelon areas**. Final report submitted to the Mediterranean - Dead Sea Canal Co.

Gvirtzman, G., Shachnai, E., Bakler, N. and Ilani, S. 1983: Stratigraphy of the Kurkar Group (Quaternary) of the Coastal Plain of Israel. Geological Survey of Israel, **Current Research, 1983-1984**, Jerusalem, 70-82.

Microstation Descartes Users Guide, 2000: Version 7.1 (7.1.210.5), Bentley Systems Incorporated, Exton, Pennsylvania.

Microstation Java Users Guide, 2000: Version 07.01.01.57, Bentley Systems Incorporated, Exton, Pennsylvania.

Perath, I. 1982: Rate of retreat of the Sharon escarpment - a new method of measurement. Geological Survey of Israel, **Current Research 1982**, Jerusalem, 62-71.

Perath, I. and Almagor, G. 2000: "The Sharon escarpment (Mediterranean coast, Israel): Stability, Dynamics, Risks and Environmental Management". **Journal of Coastal Research**, 16 (1), 207-224.

Wiseman, G., Hayati, G. and Frydman, S. 1981: Stability of a heterogeneous sandy coastal cliff. Proceedings, Soil Mechanics and Foundation Engineering. 10th International Conference (Stockholm, Sweden). Rotterdam: Balkema, 11/59, 569-574.