


## סלעי טופה ומי המעיינות והנחלים בצפון החולה


דפנה גור

 האוניברסיטה הפתוחה, רמת אביב, תל אביב

מרים בר-מטיוס, אריאל היימן

 המכון הגיאולוגי, ירושלים

איתן שש

 האוניברסיטה העברית, ירושלים

הערה:

הסיוור הזה ניתן בכנס מעגן, 2002. באותה שנה שמנו דגש על התחנות שעסקו במי המעיינות והנחלים. כיוון שכאז גם השנה מספר התחנות גדול מהזמן המוקצב, אנחנו נשים הפעם דגש על התחנות שעוסקות בטופה, וכן: 4, 5, 6, 9, 10.

### תחנה 1 : מבוא ותצפית אל עמק החולה

#### רקע

טופה הוא משקע מעיינות ונחלים הנוצר ממים בטמפרטורת הסביבה, ומכיל בדרך כלל מאובני צמחים, חסרי חוליות ובקטריות (ראה תחנה מספר 6). הסלע בדרך כלל נקבובי, ומורכב ברובו מקלציט דל מגנזיום. שקיעת קלציט בתנאי על רוויה היא איטית בדרך כלל בשדה וגם בתנאי מעבדה, בגלל מחסומים קינטיים. המחסום האנרגטי הדורש יצירת גלעין נוקליאציה, מעכב לעתים את השקיעה בנחלים וגורם להמצאותן התדירה של תמיסות בדרגת על-רוויה של 10-5. בסביבות בהן קיימים גלעיני נוקליאציה זמינים לקלציט, תחרחש השקיעת טופה בטמפרטורת הסביבה, במהירות ובכמות גדולות בהרבה מסביבה סטרילית. בשנים האחרונות נמצא שזמינות אתרי גיבוש כאלה קשורה קשר הדוק לתנאים ביולוגיים (Emeis et al., 1987; Pedley, 1994). נושא תנאי הסביבה הביולוגיים יפורט בהמשך.

סיווג של סלעי טופה נעשה בעבר לפי ליחופציאס, מתוך הנחה שמורפולוגית התשתית והכימיה של המים, קובעות את המרכיבים של הסלע הנוצר. Chafetz and Folk (1984), לדוגמה, חיארו מורפולוגיות הצטברות לפי חמש הקטגוריות הבאות: מפל, מילוי אגם, שיפוע - מניפה או קונוס, בורות מדורגים ורכסי סידוק. הוריאביליות של סלעי הטופה במרחב ובזמן, בקנה מידה קטן מאד, מקשה על הקורלציה בין מחשופי טופה שונים המסווגים לפי ליחופציאס, שכן במחשוף אחד אפשר למצוא סלעים המתאימים לחמש הקטגוריות הללו, ולהרכיבי ביניים שלהם. רוב משקעי הטופה הם צירוף של אלמנטים ממודלים שונים, ובגלל הוריאביליות המיון נעשה קשה ככל שהמחשוף אותו מתארים הוא נרחב יותר. כיוון שברור היום, שמשקעי הטופה מייצגים צירוף של

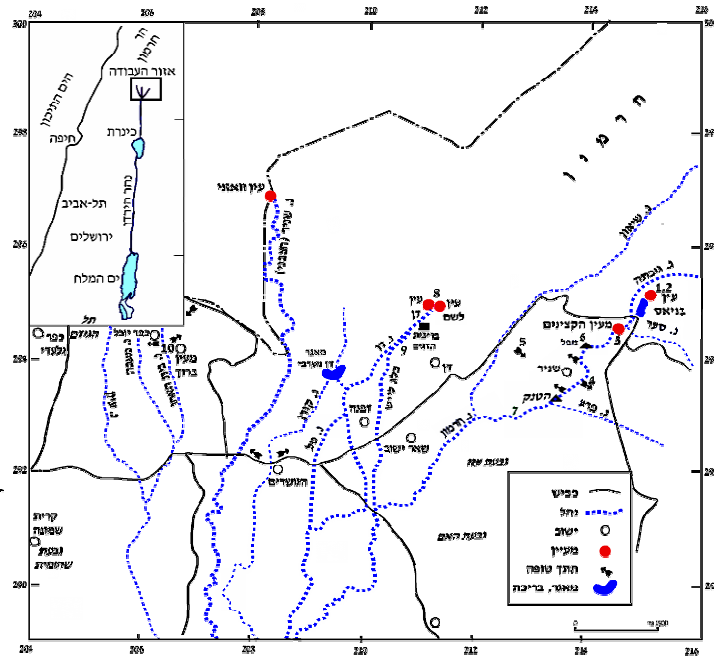
תנאים גיאומורפולוגיים, כימיים וביולוגיים, נהוג לסווג את סלעי הטופה לפי שילוב של קריטריונים גיאומורפולוגיים וביולוגיים.

משקעי טופה, ששוקעים בהשראת הפעילות הביוגנית של ציאנובקטריות, נוצרים ברובם בתהליכים של שווי משקל כימי בהשקעת קלציום קרבונט. מכן ניתן להסיק שהרכב הקרבונט הזה מתעד מאפיינים כימיים של הרכב המים (Andrews et al., 1993). השאלה שעולה בעבודה זו היא האם ובאילו מקרים, ניתן ללמוד על הרכב המים העתיקים מסלעי גיר יבשתי עתיקים, שנוצרו בסביבות נחלים ואגמים.

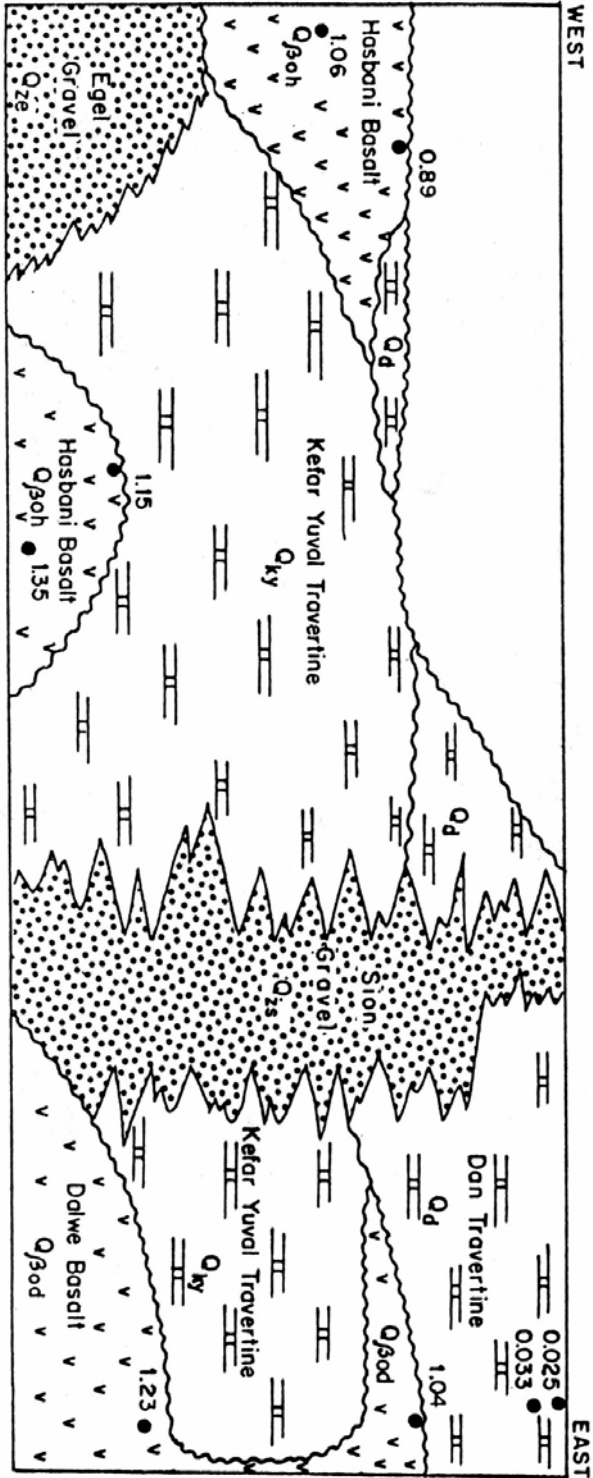
### מקורות המים וסלעי הטופה : תצפית

הטופה בצפון עמק החולה חשופה היום משיפולי הגולן במזרח. לאורך מסלול נחל חרמון, ועד למורדות הרי נפתלי במערב. באזור זה מצויים המעינות הגדולים של מקורות הירדן הניזונים מאקוויפר החרמון, ומתחלקים לשלוש קבוצות כלליות (איור 1): מעיינות נחל שניר (נחצבאני ואל-וואזאני), מעיינות נחל דן (דן ולשם), ומעיינות נחל חרמון (בניאס וקצינים). קיימים הבדלים כימיים ואיזוטופיים בין המעינות המשקפים בעיקר את סלעי האקוויפר ואת זמן השהות בו. עבודה גדולה ומקיפה נעשתה על ההידרוגיאולוגיה של מקורות הירדן על ידי גלעד ושוורץ ב-1978.

הטופה ששקעה בצפון עמק החולה, מראה גם היא הבדלים, כימיים ואיזוטופיים, עם קשר לגיאוגרפיה: היימן (1985) חילק אותה לשתי תצורות, מזרחית (דן/שניר) ומערבית (כפר יובל). לפי היימן, שתי התצורות שקעו כנראה על כל צפון החולה בתקופות שונות, אלא שהתצורה העתיקה כמעט ולא נחשפת באזור המזרחי, ואילו הצעירה הוסרה כמעט לגמרי באזור המערבי (איור 2).



איור 1: מפת אזור העבודה.



איור 2: חתך סטרטיגרפי מוכלל בצפון עמק החולה (היימן, 1994)

מטרת הסיור להכיר את המנגנון והאתרים בהם שוקעת טופה רצנטית בנחלים ואת המחשופים העתיקים של טופה בצפון עמק החולה. הבנת הכימיה וההידרולוגיה של המעיינות הגדולים בעמק, וזרען את המערכת ההידרולוגית של מעיינות צפון החולה, תאפשר לנו להבין את מנגנון השקיעה היום ובעבר.

## תחנה 2 : מעיינות הבניאס

מעיינות הבניאס נובעים למרגלות החרמון, בפינה הצפון מזרחית של רמת הבניאס, בגובה של 400 מטר מעפה"י (איור 1). הנביעה היא במגע בין קרבונטים של תצורת חרמון (J4) למשקעים רביעוניים בלתי חדירים. מי המעיינות נדגמו בתקופה 3/96-5/2000 (42 דגימות).

## אפיון ההידרולוגי וכימי של מי הבניאס

השפיעה הממוצעת במעיינות הבניאס היא 60.2 מלמ"ק בשנה ו המים משתנים עונתית בחומים: T= 14.4 – 16.1°C; TDS=247–408 mg/L. נמצאה קורלציה שלילית בין מליחות המים לשפיעה: בשיא השפיעה, באביב (בחודש אפריל), המליחות נמוכה ביותר. השפיעה יורדת בהדרגה בכ- 80% בשנה גשומה או ממוצעת, והמליחות הכוללת עולה פי 1.5. עקום עליית המליחות הוא קמור, כלומר עליית המליחות היא הדרגתית ולא חדה ומיידית, בניגוד לשינוי בשפיעה שהוא קמור, ומעיד על דעיכה מהירה מאד (איור 3a). השתנות כזו של השפיעה והמליחות מאפיינים אקוויפר קארסטי המנקז אגן קרוב וקטן.

הרכב הכימי של שלושת המעיינות שנבדקו מופיע בטבלה 1:

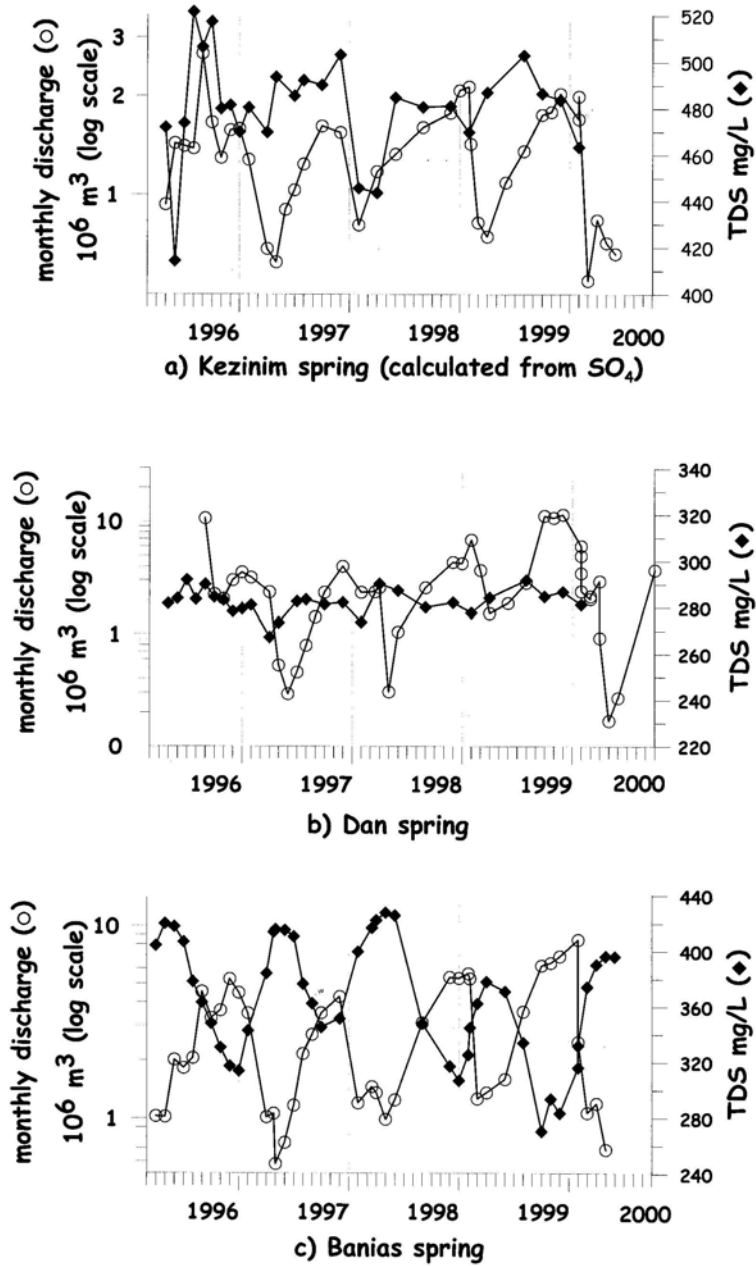
טבלה 1: הרכב כימי של מעיינות צפון החולה ומי המשקעים בחרמון

K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	מעין קצינים
0.01-0.05	0.2-0.4	0.3-0.7	1.0-1.7	1.8-2.8	3.3-3.9	3.6-5.1	טווח
0.03	0.29	0.46	1.32	2.34	3.57	4.42	ממוצע
K <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	מעין דן
0-0.04	0.10-0.19	0.14-0.21	0.12-0.28	0.17-0.50	2.52-3.44	2.64-3.67	טווח
0.02	0.15	0.17	0.18	0.37	3.02	3.12	ממוצע
K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Mg <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	מעין בניאס
0-0.6	0.20-0.52	0.18-0.33	0.23-1.34	0.39-1.16	2.64-3.68	2.60-3.79	טווח
0.02	0.29	0.25	0.59	0.63	3.07	3.04	ממוצע
Mg <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>		גשם ושלג
0.01-0.07	0-0.09	0.01-0.09	0.01-0.21	0.01-0.28	0.01-0.33		טווח
K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	בריכות הפשרה
0-0.21	0.06-0.19	0.01-0.20	0.04-0.21	0.04-0.23	0.78-1.30	1.08-1.34	טווח

קיים גם שני עונתי בהרכב האיזוטופי של חמצן ופחמן במים. המגמה הכללית היא של העשרה באיזוטופים הכבדים בעונת הקיץ והסתיו, וקלים באביב. מגמה זו איננה מתקיימת תמיד: בשנה



**Fig 3: TDS (mg/L) and Mean monthly flow ( $10^6 \text{ m}^3$ ) in three springs, 1996 - 2000**



השחונה של 1998 לא היה שנוי משמעותי בהרכב האיזוטופי של חמצן, ואילו ההרכב האיזוטופי של פחמן היה גבוה יותר באביב ולא נמוך יותר כמו בשנים קודמות. נמצאה קורלציה גבוהה בין ריכוזי סולפאט, מגנזיום וסטרונוציום (Correl=0.99, איור 4), ובין ריכוזי היסודות האחרים לסולפאט (Correl=0.55-0.98), הנובעת מכך שהרכב מי הבניאס נשלט על ידי ערבוב בין שני מרכיבי קצה עיקריים, השונים בהרכבם הכימי והאיזוטופי (טבלה 2):

טבלה 2: הרכב כימי ואיזוטופי מייצג של שני מרכיבי הקצה של מי מעיין הבניאס (meq/L)

$\delta^{13}\text{C}$ ‰PDB	$\delta^{18}\text{O}$ ‰SMOW	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{Sr}^{2+}$ *1000	$\text{Na}^+$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$	
-12.0	-7.82	2.6	0.2	0.5	0.2	0.2	0.4	2.6	הרכב 1
-9.0	-7.47	3.3	0.3	1.9	0.4	1.3	1.0	3.7	הרכב 2

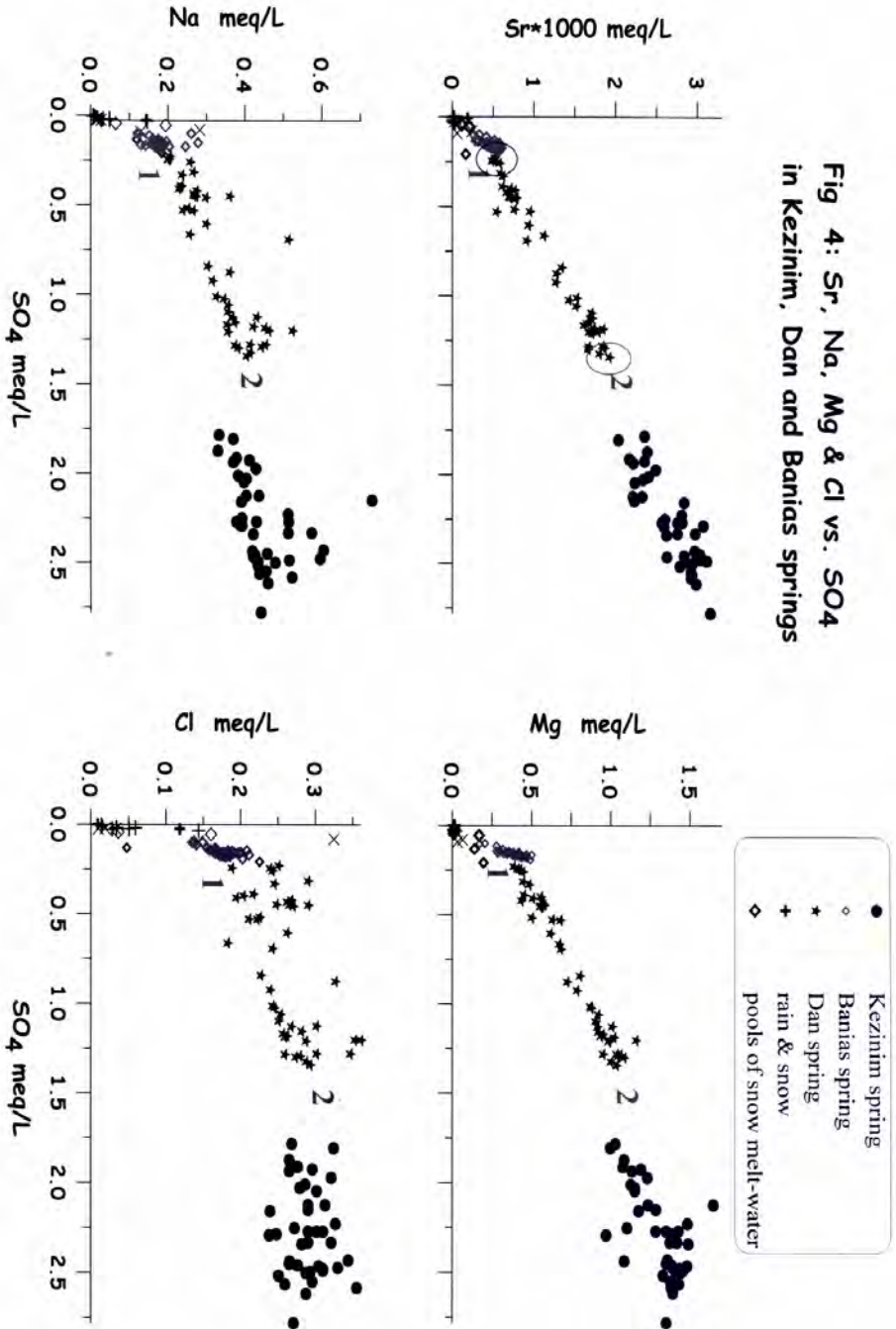
## מנגנון הנביעה

מנגנון הנביעה קובע את היחס בין שני מרכיבי הקצה, וכתוצאה מכך את ההרכב הכימי של מי מעין הבניאס. הזרימה הקארסטית מאפיינת את נביעת האביב ומסתירה לחלוטין בעונה זו את הנביעה הקטנה שמקורה בזרימה דיפוזיבית. אך קצב השפיעה הגבוה מכלה במהירות את המאגר הקארסטי, שאיננו גדול (9 מלמ"ק לפי גלעד ושורף; 1978), והוא זוער כמעט לאפס בחודשי הסתיו. אז ניכרת שפיעה של 2 מלמ"ק בחודש, המבוססת כולה על המקור הדיפוזיבי, המלוח. כמות השפיעה הזו דומה לכמות השפיעה הנצפית במעיין הקצינים, אלא שהיא בעלת מליחות נמוכה יותר.

מקורה של הנביעה הדיפוזיבית בבניאס, בחלקו המערבי של קו המעינות, מקום בו ממשיכה נביעת מים לאורך כל השנה. בצד המזרחי של הבריכה, נצפו שניים גדולים בכמות השפיעה: בקיץ האזור יבש (תמונה 1), ואילו באביב עוצמת השפיעה גדולה, עד למזרקות "ארטזיות" שנצפו באביב 1997 (תמונה 2). האזור המזרחי של הבריכה נדגם לאורך כל העבודה, בנוסף לנקודה באזור המערבי. נמצא שהרכב המים בנקודת הנביעה המערבית (שנחזרה הם המוצגים בעבודה כהרכב מעיין בניאס) מעט יותר מלוח, באופן קבוע, מזה של המים בנקודה המזרחית (TDS גבוה ב- 0.5-6mg/L). הבדל המליחות הזה בין שתי הנקודות בקו המעינות של הבניאס מהווה הוכחה לכך שהערבוב בין שני מרכיבי הקצה מרחש קרוב מאד לנביעה, ולא בעומק המאגר.

## שקיעת טופה

לא נמצאו עדויות לשקיעה רצנטית של טופה בבריכות של מעיינות הבניאס, למרות שהמים רוויים ביתר לקלציט. הסיבה לכך היא כנראה היעדר השילוב המתאים של תנאים כימיים וביולוגיים (דרגת על-רוויה גבוהה לקלציט בשילוב עם פעילות אצות ובקטריות) שהוא הכרחי להשקעת טופה. שקיעה של טופה מתרחשת רק במורד הנחל: האתר הראשון שבו מתרחשת שקיעת טופה רצנטית בנחל חרמון היא מיד לאחר הגשר החוצה את הנחל, במרחק של כ- 300 מטר מן המעיין.





תמונה 1: מעיינות הבניאס, 7/11/1996, הבריכה הראשונה יבשה בסוף הקיץ.



תמונה 2: מעיינות הבניאס, 1.5 מטר מעל תמונה 6, 15/4/1997, שפיעת האביב מציפה מעל לבריכה הראשונה את השביל.

### תחנה 3 : מעיין בריכת הקצינים

מעיין הקצינים נובע בצד האפיק של נחל חרמון, כמטר מעל קרקעית הנחל, ונאגם בבריכה מלאכותית קטנה לפני שהוא נשפך אל הנחל (איור 1). מימיו חמים וצפופים יותר, שקופים וצלולים (מעידים על העדר מיקרופאונה) ובועות המעידות על נביעה עולות מהקרקעית באופן חדר. מעיין הקצינים הוא המלוח והחם בין גופי המים שנבדקו בעבודה זו: ריכוז המלחים הכולל הוא בתחום  $TDS=406-504 \text{ mg/L}$  וטמפרטורת המים  $T=19.6 - 20.4^\circ\text{C}$  (איור 3b). מי הבריכה נדגמו בתקופה 3/1996-5/2000 (39 דגימות), ובשלוש השנים הראשונות בשתי נקודות דגימה, שלא נמצא הבדל משמעותי ביניהן.

## שפיעת מעיין קצינים

שפיעת המעיין לא נמדדה בעבודה זו או בעבודות קודמות. מחישוב ריכוזי המלחים בלבד מעיין הקצינים תורם לנחל חרמון כ- 40% מכמות המים בסתיו\חורף ו- 10-15% מכמות המים באביב (Gur et al., 1997). בעבודות קודמות על המעיין באזור לא הייתה התייחסות לכמות המים הנחרמת על ידי מעיין הקצינים והוא לא נכלל בחשבון המים של הנחל, ולכן כמות מי הנגר שיוחסה לנחל חרמון הייתה מוגזמת.

בעבודה זו חושבה השפיעה של מעיין הקצינים בהנחה שמי נחל חרמון הזורמים אחרי מעיין הקצינים (H), הם חוצר ערבוב של מי הנחל לפני מעיין קצינים (B) עם מי מעיין קצינים (K) (איור 5). נוסחת הערבוב כוללת את השפיעה Q והריכוז C:

$$Q_{(H)} * C_{(H)} = Q_{(B)} * C_{(B)} + Q_{(K)} * C_{(K)} \quad \text{מאזן המלחים}$$

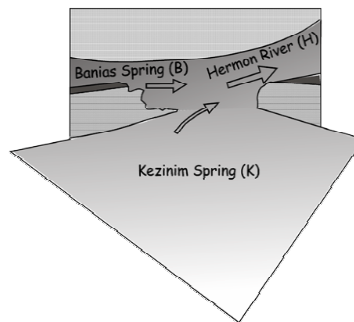
$$Q_{(H)} = Q_{(B)} + Q_{(K)} \quad \text{מאזן המים}$$

ומכאן ניתן לחלץ את שפיעת מעיין קצינים:

$$Q_K = \frac{Q_B(C_B - C_H)}{(C_H - C_K)}$$

ריכוזי המלחים המסיסים במעיין בניהס (C<sub>B</sub>), נחל חרמון (C<sub>H</sub>) ומעיין קצינים (C<sub>K</sub>) נמדדו במסגרת העבודה. שפיעת מעיין בניהס (Q<sub>B</sub>) מבוססת על מדידות של השרות ההידרולוגי. תרומת מים ממקורות נוספים לנחל חרמון נמדדה ונמצאה בדרך כלל זניחה. להוציא את התרומה המתרחשת לאחר שיטפון בנחל סער (זמן קצר בסוף החורף), ואז יש להוסיף את נפח המים שהוא תורם לנחל.

השיטה נבדקה באופן בלתי תלוי תוך שימוש בריכוזי מגנזיום, סולפאט או סטרונציום שריכוזיהם במי מעיין קצינים גבוהים תמיד ובצורה משמעותית מהריכוזים במעיין בניהס. תוצאות חישוב השפיעה לפי כל אחד משלושת היסודות נמצאו דומות, עם מעל ל- 90% התאמה. טווח ההשתנות של שפיעת מעיין הקצינים הוא 0.9 – 3.0 מלמ"ק בחודש, ובממוצע 21.5 מלמ"ק בשנה.



איור 5: איור סכימתי המראה את הערבוב בין מעיין הקצינים שהם חמים ומלוחים (K, קרוב), למי מעיין הבניהס (B), רחוק משמאל) שיוצר את מי נחל חרמון (H, רחוק מימין). החצים מסמנים את כיוון הזרימה.

## אפיון כימי ואיזוטופי של מי מעיין הקצינים

המים מעשרים יחסית למי הגשמים ולמי הבניאס במגנזיום, סולפאט, וסטרונציום (איור 4) והרכבם מתאפיין ביחסים האקווילנטים הבאים:  $K^+ > Cl^- > Na^+ > Mg^{2+} > SO_4^{2-} > HCO_3^- > Ca^{2+}$ . תדו זה קבוע ואינו משתנה, גם אם ריכוזי היונים משתנים עונתית. ההרכב הממוצע (משוקלל לזמן) של מי המעיין מופיע בטבלה 1. ההרכב האיזוטופי הממוצע (משוקלל לזמן) של מי הקצינים הוא:  $\delta^{18}O = -7.32 \pm 0.24\text{‰SMOW}$ ;  $\delta^{13}C = -9.20 \pm 0.82\text{‰PDB}$ . המקורות התורמים מלחים למעיין הם מקורות אטמוספריים גשם ואבק ובעיקר סלעי זלומיט (Do) גבס (Gy) וגיר (Cc) ביחסים הבאים:

א.  $29\%Do$  ( $CaMg(CO_3)_2$ );  $48\%Gy$  ( $CaSO_4$ );  $23\%Cc$  ( $CaCO_3$ )

**תחנה 4 : תצפית על קניון הבניאס מהגדה המזרחית, מול קיבוץ שניר**

### מאפיינים של חתך הטופה לאורך נחל חרמון

שיפולי הגולן, בגדה המזרחית של קניון נחל חרמון, הם גבול השתרעות סלעי הטופה. על הגדה המזרחית ניתן למצוא מחשופים משאריים של טופה שהשתמרה עם התחחרות הנחל או ששקעה כטרסח נחל תוך כדי התחחרותו. בצד המערבי יש חתך של בזלת שגילו 1.4-1 מ"ש ובראש החתך טופה. הטופה כוללת יחידה מסיבית (טופה בשכוב משני), אואליטים, גיר מאובנים ומצוק. המצוק שמורכב מגיר צפוף וכבד עם מלוי של חללים ומאובנים, הוא קשה ומסיבי, ומרכיב עד חצי מהעובי הכולל של חתך הטופה. הגיר המרכיב את המצוק הוא כנראה תוצר זיאגנזה או נאריציה של טופה. מצוק נארי זומה ניתן למצוא גם בגג החתך בנחל קורן (האזור המרכזי, בערוץ הזרימה הקדום של נחל דן) וכן באזור נחל בית האחו (האזור המערבי). שם המצוק קרוב לגג. לעתים נוצרות מערות וחללים מתחת למצוק. תוך התחחרות והתרחבות של גדות הנחל נופלות וגולשות חתיכות מהמצוק, לעתים בעלות גודל ניכר, ועשויות להראות כמחשוף טופה *in situ*. גיל תוריום-אורנים של הטופה מתחת למצוק, הוא בין 80 ל-110 אלף שנה. גיל זה עומד בסתירה לגיל שהתקבל בשיטת פחמן-14, של 25,000 שנה, ודווח על ידי היימן (1994).

**תחנה 5 : תצפית אל רמת הבניאס מכון מערב**

### גיל השבירה

בנקודה זו ניתן להבחין במצוק הטופה, השבור על ידי העתק שהעלה את רמת הבניאס מול החלק המרכזי של עמק החולה. לא ניתן לדגום טופה במחשוף זה בגלל מיקוש צפוף ומסוכן סביב קיבוץ שניר. ברור כי השבר מאוחר להשקעת הטופה (ראה התייחסות לגיל הטופה בתחנה הבאה).

## תחנה 6 : מפל הבניאס

### ליטולוגיה וכימיה של הטופה בחתך באזור המזרחי ועדויות על קצב השקיעה

חתך הטופה בירידה למפל הבניאס כולל מספר סוגים של טופה, משוכבת היטב: מוגה- ומיני- סטרומטוליטים. טופה של מאובנים מסוגים שונים - שורשים, טחב ועלים, טופה מסיבית או גסת גביש ועוד. בסיס הטופה במגע אי-רגולרי עם בזלת, ומכאן שבזלת זו לא יושרה על ידי זרימת מים לפני שקיעת הטופה. מעניינת במיוחד היא שכבת הטופה ה"גבעולית" עובייה כ- 30 ס"מ והיא בנויה גבעולי קנה ניצבים, בכונן גדילתם (תמונה 3). מכאן ששכבה זו נוצרה תוך מספר שנים עד עשרות שנים, במשך הזמן בו הגבעולים ניצבו ולא נרקבו או נסחפו על ידי המים. עובי החתך כולו 11 מטר, ובגגו נמצא המצוק האופייני.

חתך זה שימש נקודת מוצא בחיבורך הטופה. נעשה ניסיון לחארך אותו בשתי שיטות, פחמן-14 וחוריום-230 - אורניום-234. גילי חוריום-אורניום מצביעים על השקיעה בתקופה הבין-קרחונית האחרונה, לפני כ- 130-80 אלף שנה. גילי פחמן-14 צעירים יותר וחלקם בגבול המדידה.

### נחל חרמון ושנויים בהרכב הכימי של מימיו

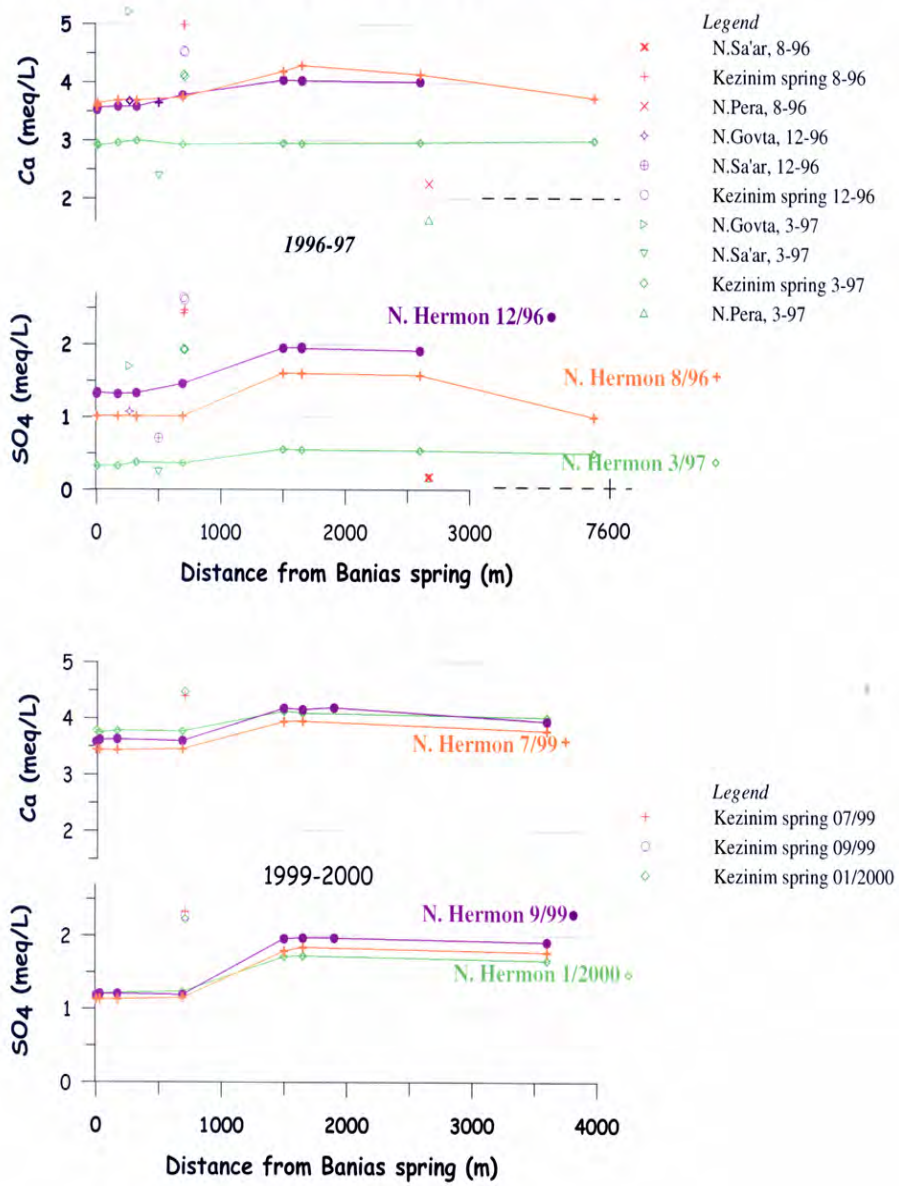
נחל חרמון נדגם לאורכו בכ- 7 תחנות קבועות בשנים 1996-2000, כדי לעקוב אחרי שינויים בהרכב המים במהלך הזרימה (תוספת של יובלים, ערבול, עומק המים, שקיעה או המסה של קרבונט). ההנחה הייתה שמפל מים גדול הגורם לערבול, אידי ודיפוזיה של גזים עשוי להשפיע על ריכוזי היסודות השונים ועל יציבות מערכת הקרבונט לכונן של על רוויה לקלציט. נמצא שהשינוי היחיד שנצפה אחרי מפל הבניאס והמפל הנסתר הוא עליה קלה בריכוזים הנובעת מהתאדות (איור 6). באזור זה, ממפל הבניאס ועד כניסת מי הדן (בערך לפני שאר ישוב), מתרחשת שקיעה רצנטית של טופה. לא הובחנו שינויים כימיים משמעותיים כתוצאה משקיעת הטופה, כנראה משום שכמויות הסידן והביקרבונט המסולקות בתהליך זה הן זניחות.



תמונה 3: שכבת הטופה ה"גבעולית", בחתך הטופה במפל הבניאס. כ-30 סנטימטר ששקעו תוך שנים עד עשרות שנים, כל עוד גבעולי הקנה נותרו עומדים במקומם.



Fig 6: Calcium and Sulfate concentrations along N.Hermon





## תחנה 7 : נחל חרמון מהמפל עד בריכת בית ספר שדה חרמון

### סביבות ההשקעה ומנגנון היצירה של טופה במי הנחל

במרחק של כ- 50 מטר מהטנק הסורי, במורד הנחל, נשפך אל נחל חרמון יובל מהגולן. נחל פרע. במסגרת העבודה נדגמו מי הנחל מספר פעמים, ונדגמה בו טופה המכסה מפל ורטיקלי, חשוך, על תשתית הבזלת.

מנחל פרע ועד מושב שאר ישוב נפוצה מאד שקיעה רצנטית של טופה בנחל חרמון. סלעי טופה הם סטרומטוליטים יבשתיים, ושקיעתם נשלטת על ידי הזמינות של מצע ביוגני ( Emeis et al., 1987). משטחים של אצות ובקטריות, מלוכדים על ידי הפרשות ביולוגיות דביקות (mucus), שיכולים להימצא על כל משטח בנחל ללא תלות בכמות האור או באנרגיית המים, מדביקים אליהם בשלב ראשון גבישי קלציט זעירים שנמצאים בתרחיף במי הנחל. גבישים אלה הם גרעיני גיבוש לשכבת הקלציט הראשונה שנוצרת על גבי המצע הביולוגי. הגורם השולט בשקיעתם של משקעי נחל מסוג זה איננו גורם כימי או פיסיקלי בלבד (ריכוז היונים במים, רמת הרוויה לקלציט, אנרגיית המים, אור וכו') אלא הזמינות של סביבה ביולוגית מתאימה. משטחי האצות נפוצים על תשתית סלעית חלוקים, בולדרים, קרקעית או גדת הנחל, או צמחית גבעולי טחב ואזוב, שורשים, גבעולים ועלים שנתלשו. תשתית חיה כמו טחב מראה לעתים קרובות חילופי שכבות עונתיות של שכבה פרוזית בעונת הלבילוב (קיש) ושכבה צפופה בעונת התרדמת של הצמח (חורף; תמונה 4).

טרסות טופה על תשתית של שורשים, היוצרות שכבות בעובי של עד עשרות סנטימטרים נפוצות במיוחד באזור זה של נחל חרמון (תמונה 5). שורשי עצים פולטים CO<sub>2</sub> ונראים לכן כסביבה שאיננה מתאימה לשקיעת קלציט. אך השורשים כאן, שהם חיים, מצופים שכבת אצות עבה שמבודדת את פני השורש מהמים והיא סביבה נוחה ליצירת טופה.

נקודת דיגום נוספת של מים וסדימנטים היא באזור בו הקניון נפתח מעט, ליד המטעים של קיבוץ שניר. כאן נמצאה שקיעה מהירה מאד, שמכסה כמעט כל תשתית: מתכת, פלסטיק או אבן. באוגוסט 1997 הונח כאן חלוק צור יבוא מסומן ובאוקטובר באותה שנה הוא כבר היה מכוסה שכבה דקה של קלציט.

### הרכב כימי ואיזוטופי של טופה רצנטית

באזור הטנק הסורי בנחל חרמון נדגמו מים במשך השנים 1996-1998 (20 מטר במעלה הזרימה מהטנק כדי להימנע מהשפעת המתכות שבגוף הטנק), וכן נדגמו כאן מספר דוגמאות של טופה רצנטית, בצפוי של חלוקי גיר ובזלת.

הטופה הרצנטית ששוקעת היום בנחל חרמון שונה בהרכבה הכימי והאיזוטופי מזו ששוקעת בנחל זן. היא עשירה במגנזיום ובסטרונציום, וההרכב האיזוטופי של הפחמן בה גבוה יותר מהטופה הרצנטית באזורים אחרים בעמק החולה. טווח ההרכבים הרחב בנחל חרמון מעיד על עושר במגנזיום ובקלציום  $Mg^{*10^2}/Ca_{eq} = 0.4 - 0.7$ ;  $Sr^{*10^5}/Ca_{eq} = 0.45 - 0.11$  (איור 7) משקף כנראה את השינויים שנצפים בהרכב המים של מעיין בניאס, הנע בין הרכב מים דומה להרכב המים

של הדן באביב, לבין מים הדומים למעיין קצינים בסתיו. עיקר השקיעה נצפתה בנחל בעונת סוף הקיץ והסתיו, בהן מי הבניאס מרוכזים יותר: יתכן שזו הסיבה לריכוזים הגבוהים של מגנזיום



תמונה 4: חילופי שכבות עונתיות בטופה רצנטית, נחל דן

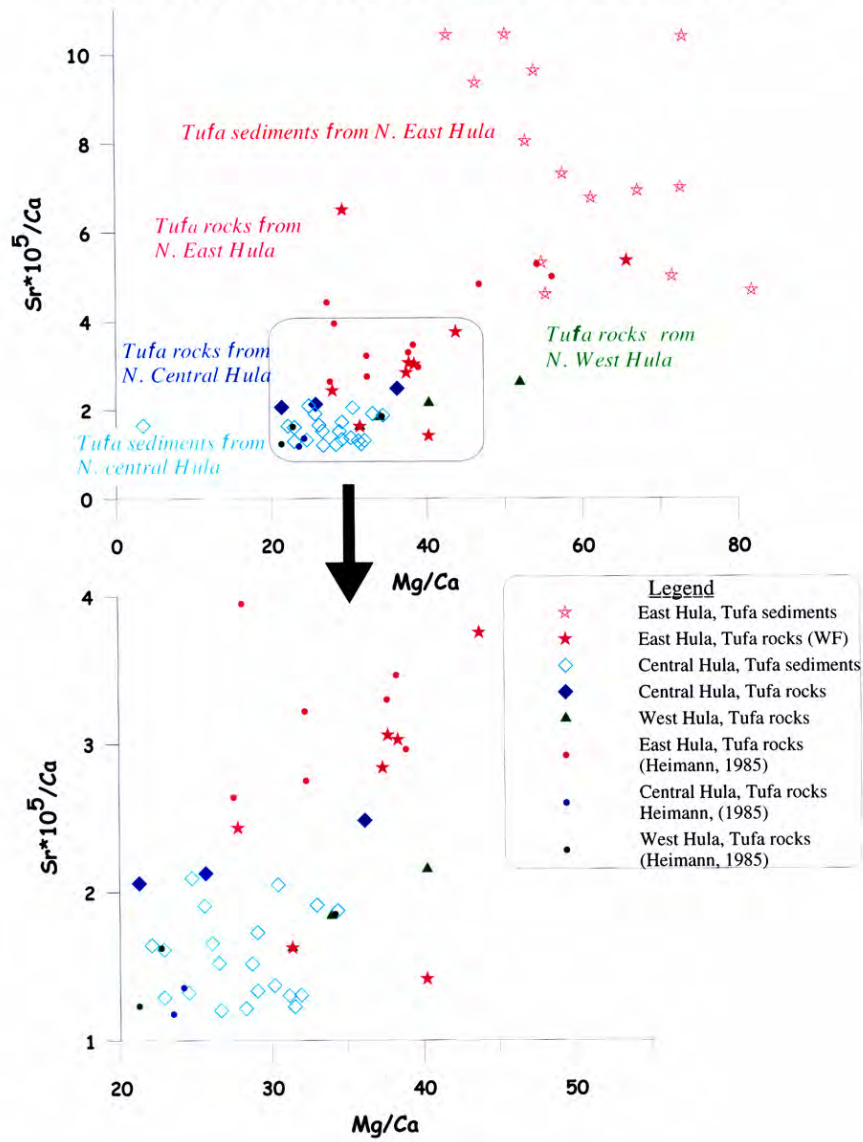


תמונה 5: טרסה של טופה על חשתיח של שורשים חיים, נחל חרמון. על השורש מחייבות אצות ופולטות מוקוס דביק, שסביבו מתחיל תהליך שקיעת הטופה. רק קצה השורש, הפולט פחמן דו חמצני, נותר לא עטוף, או יוצר חלל.

וסטרונציום בסלעי הטופה. ההרכב האיזוטופי של הטופה נמצא בשיווי משקל איזוטופי עם המים (גור וחברים, 1998/99, איור 8).

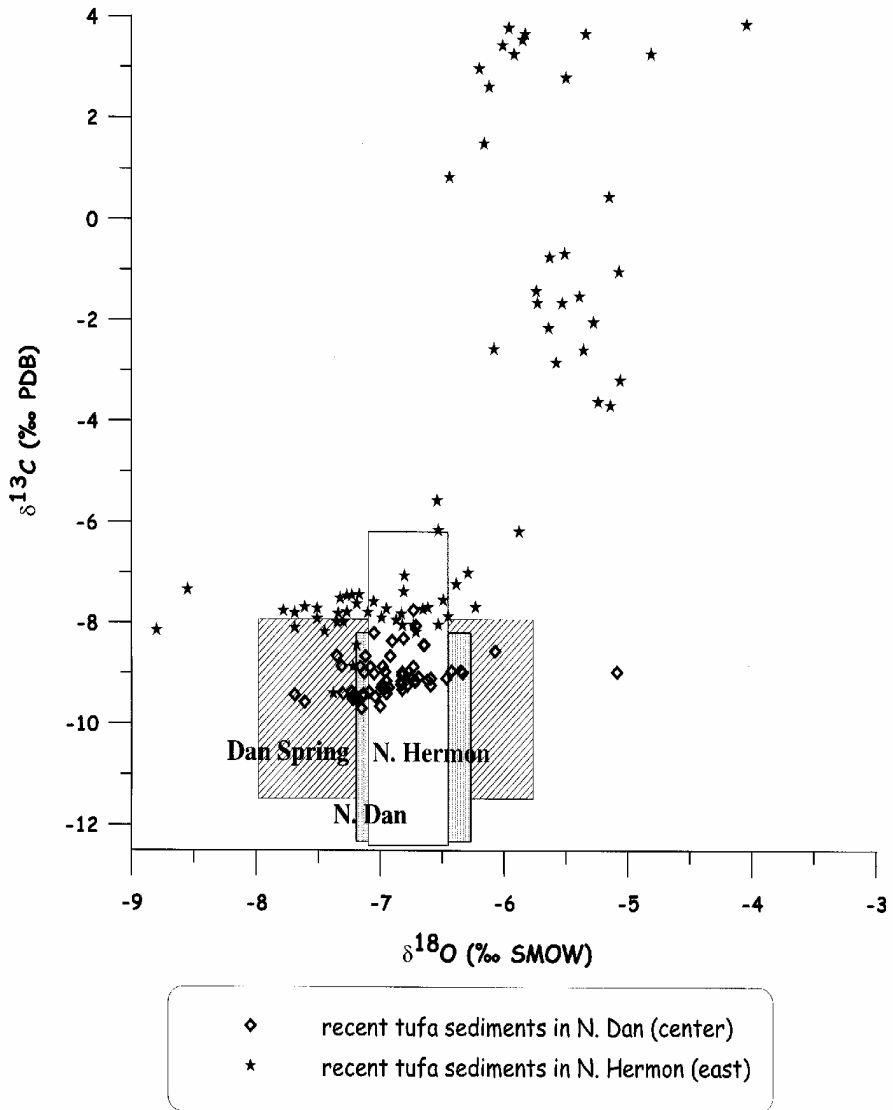
בדומה לטופה הרצנטית, גם הרכב הסלעים העתיקים בנחל חרמון נמצא בטווח גדול (איור 7):  
 $Mg \cdot 10^2 / Ca_{eq} = 0.26 - 0.66$ ;  $Sr \cdot 10^5 / Ca_{eq} = 0.014 - 0.067$ . כיוון שגיל הטופה באזור המזרחי (נחל חרמון) והמרכזי (נחל דן) דומה, ונמצא בטווח של 80 - 130 אלף שנה, נראה שהמאפיינים הכימיים וההשתנות העונתית של הנביעות בשני האזורים בתקופה הבין-קרחונית האחרונה היו דומים להיום.

Fig 7: Mg/Ca vs. Sr/Ca in the Tufa of North Hula Valley



7. איור

Fig 8: Isotopic composition of recent tufa



8. איור

## תחנה 8 : מעיינות תל דן

מעיינות דן נובעים בתל דן, בגובה 210 מטר מעפה", על תל המתרומם 15 מטר מעל סביבתו (איור 1). מתחת לתל יש כנראה שבר, המציב את חצורת מג'דל שמס (J5) המכוסה בזלת מול חולות קרטיקון תחתון (גלעד ושוורץ, 1978). החול נובע עם המים במעיינות, והרכבו אופייני לחול של קרטיקון תחתון. במעין הגבוה יותר, בעין לשם, נובעת כמות גדולה יחסית של חול זה. מעיינות דן ולשם נדגמו במסגרת העבודה בחקופה 5/1996-9/2000 (מעין דן 42 פעמים, ועין לשם 35 פעמים).

### אפיון כימי ואיזוטופי של מעיינות דן

מי המעיינות דן ולשם דומים מאד בהרכבם, ולכן אפשר להתייחס אליהם כקבוצה אחת בעלת מאפיינים כימיים ברורים. מי מעיינות הדן הם מים קרים (14-17°C), בעלי TDS=260-325 mg/L (איור 3c). הם מועשרים ביחס למי הפשרת השלגים פי שתיים עד פי ארבע בסידן, ביקרבונט, מגנזיום וסטרונציום, ואינם מעשרים בנתרן ובכלור (איור 4). הרכבם האקוויולנטי האופייני  $Na^+ \sim Cl^-; Ca^{2+} \sim HCO_3^- > Mg^{2+}; HCO_3^- > SO_4^{2-} > Cl^-$ ; לכמות) הוא:  $\delta^{18}O = -7.63 \pm 0.23\text{‰}$ ;  $\delta^{13}C = -10.03 \pm 1.17\text{‰}$ .

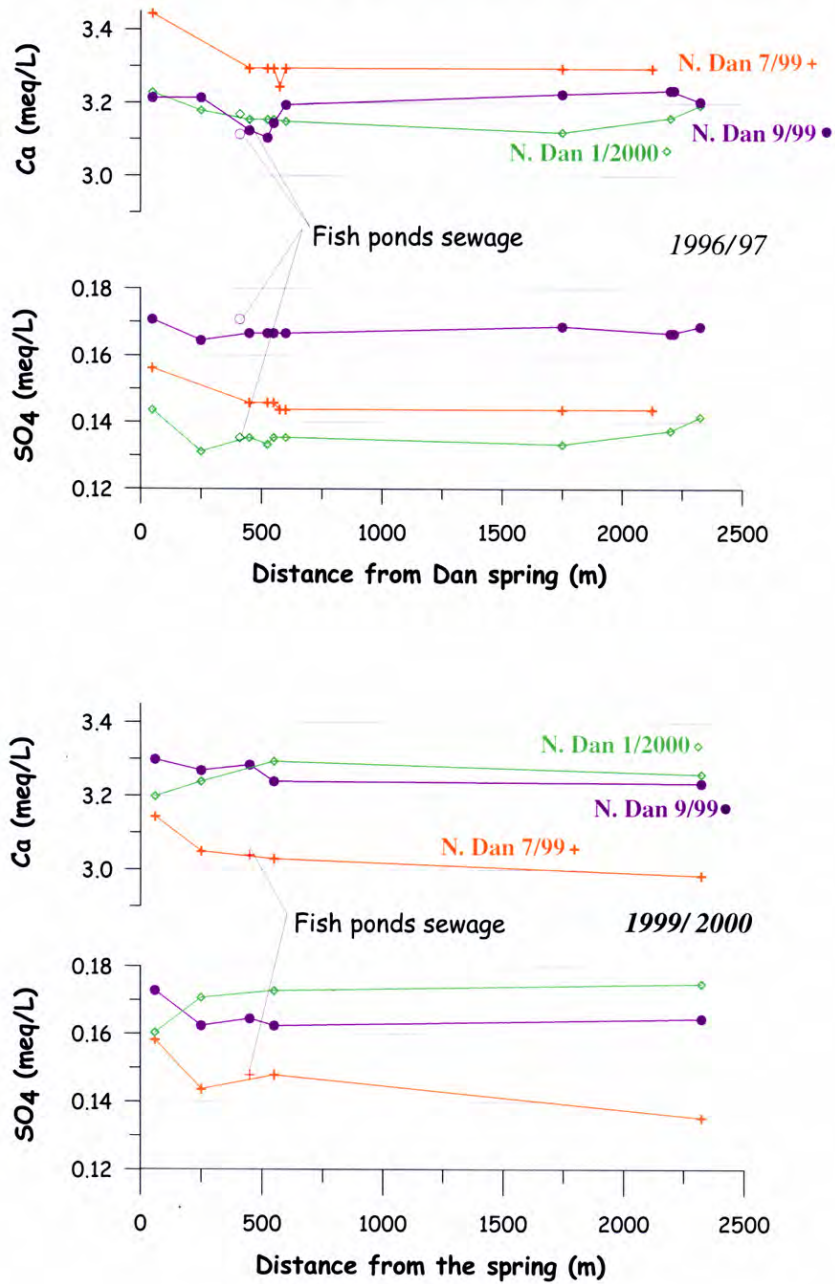
## תחנה 9 : נחל דן

נחל דן זורם בערוץ הגבוה מסביבתו, על חשתית טופה שהושקעה על ידי מי הנחל בתקופות קדומות. עובדה זו נוצלה היטב על ידי חקלאים בתקופות קדומות, ומי הנחל, שהערוץ הטבעי שלהם היה כנראה בנחל קורן, פוצלו לחעלות רבות שהשקו את האזור שבין נחל חרמון לנחל שניר (יוסי לב ארי, שיחות בבית אוסישקין). במהלך העבודה נדגמו 5-7 תחנות לאורך הנחל, עד לפיצול של פלג דפנה מפלג טל.

### שינויים בהרכב הכימי של מי נחל דן

ההרכב הכימי של מי הנחל כמעט ואיננו משתנה לאורך הזרימה (איור 9). מי הנחל מתפצלים ונלקחים למאגרים ותעלות שונות אך אין חוספות משמעותיות של מים מיובלים או מקורות אחרים. התוספת היחידה של מים נמצאת מיד בתחילת מסלול הזרימה של הנחל: מי השפכים של בריכות הדגים, הנשאבים ממעיינות הדן, משמשים את בריכות הדגים ולאחר מכן עוברים רמה מסוימת של שיקוע וטיהור ומוחזרים אל הנחל. השפעתם על הרכב המים משתנה לפי רמת הטיפול שעברו כך שלפעמים נמצאה עליה מסוימת במליחות, שמקורה במזון דגים וחומר אורגני, ולעתים יש ירידה בריכוזים (כתוצאה מפעולות טיהור). ריכוז החומר האורגני תמיד עולה (נראה בעין ומורגש באפיון) וכן גם ריכוז הזרחן (Gur et al., 1997). במאות המטרים שאחרי הוספת השפכים יש בנחל עדויות גם להשקעה וגם להמסה של טופה. יתכן שעליה בכמות החומר האורגני בשנים האחרונות, גרמה להורדת חומציות המים ולהמסה של סלעי טופה בנחל. המסה

Fig 9: Calcium and Sulfate concentrations along N.Dan



כזו יכולה לגרום גם להמסה תת-קרקעית של טופה ולהגברת ה"דליפה" של מי דן לכונן נחל חרמון.

### שקיעת רצבטית של טופה בנחל דן

שקיעת טופה נפוצה באפיק נחל דן, מבריכות הדגים של קיבוץ דן וכמעט עד לחורשת טל. מנגנון השקיעה זהה לזה שתואר בנחל חרמון, אם כי התשתית עליה שוקע הקלציט שונה בגלל הסביבה השונה. נמצאה כאן טופה על הקרקעית, כמו ריצוף; בצפוי של בולדריים, עד יצירה של איי טופה קטנים במרכז הערוץ; צפוי של סכרים עתיקים לאורך הנחל; מלוי של כדי חרס עתיקים; סביב שורשים עבים שנחלשו, ועוד.

ההרכב הכימי של הטופה הרצבטית בנחל דן נמצא בטווח מצומצם של הרכבים בהשוואה לנחל חרמון:  $Mg*10^2/Ca_{eq} = 0.23 - 0.33$ ;  $Sr*10^5/Ca_{eq} = 0.011 - 0.019$ .

הרכב סלעי הטופה העתיקים ששקעו באזור זה, במחשוף שבנחל קורן מעל לקיבוץ הגושרים, דומה להרכב הסלעים הרצבטיים:  $Mg*10^2/Ca_{eq} = 0.19 - 0.40$ ;  $Sr*10^5/Ca_{eq} = 0.019 - 0.024$  (איור 7).

### **תחנה 10 : נחל בית האחו, בין מעיין ברוך לכפר יובל**

#### **סטרטיגרפיה וליתולוגיה, הרכב כימי ואיזוטופי של הסלעים**

הטופה באזור זה מונחת על בזלת שגילה כ- 250 אלף שנה, והיא חולקה ל- 4 יחידות:

1. שכבה רכה, בסיסה איננו חשוף כיוון שקו המגע עם הבזלת מכוסה טאלוס.
2. מצוק טופה אפור, בולט בכל השטח. בנוי גיר צפוף וכבד, דק גביש, עם מאובני צמחים וחללים גדולים שאינם חופפים את המאובנים. עוביו 1.7-1.8 מטר. הגיל שנקבע בשיטת חוריום-230 - אורניום-234 הוא  $214 \pm 56$  אלף שנה.
3. טופה פריכה, נראית כהשקעה משנית (טופה ביו-קלאסטית). מכילה אואוליטים, גבעולים, סטרומטוליטים, טחבים ועוד, במטריקס אדום. אין מלוי חללים או נאריזציה. עביה 2.8 מטר.
4. גיר אגמי משוכב וקשה, בשכבות דקות של 2-5 סנטימטר. היחידה מוגבלת בתפוצתה ועובייה 0.5-1.5 מטר. הגיל שנקבע בשיטת חוריום-230 - אורניום-234 הוא  $189 \pm 49$  אלף שנה.

כפר יובל ומעיין ברוך בנויות על היחידה האונקואידית הפריכה, מעל המצוק. גם המטעים נטועים עליה, על אדמה שנקראה על ידי הקיבוץ "חמרה" בגלל צבעה האדום. בקרקע זו, במטעי הקיבוץ, נמצאו הכלים הפרה-היסטוריים של אתר מעיין ברוך.

הרכבם הכימי והאיזוטופי של הסלעים באזור המערבי דומה יותר להרכב באזור המרכזי, ושונה מאד מהרכב הסלעים באזור המזרחי. היחסים האקוויולנטיים  $Mg*10^2/Ca_{eq} = 0.35 - 0.45$ ;  $Sr*10^5/Ca_{eq} = 1.8 - 2.5$  גבוהים במעט מהיחסים באזור המרכזי, אך מיעוט האנליזות של סלעים ושל מים באזור זה מקשה על הסקת מסקנות (איור 7). ההרכב האיזוטופי של פחמן גבוה מההרכב באזור המרכזי, ונמוך מההרכב באזור המזרחי (איור 8).

## גיל הטופה

היימן (1994) מתאר בזלח מגיל 900 אלף שנה, המוסטת על ידי העתק שאיננו שובר את הטופה. ממצא זה עומד בסתירה לתארוך הטופה בשיטת תוריום-אורניום, ולהימצאותו של אתר ארכיאולוגי מגיל 150-200 אלף שנה במעיין ברוך.

## תחנה 11 : סיכום

סלעי טופה עתיקים. משלושת האזורים המוזנים על ידי שלושה נחלים שונים בצפון עמק החולה, שונים בהרכבם הכימי והאיזוטופי (היימן, 1985; גור וחברים, 2001). שונות דומה נמצאה בסלעי הטופה הרצנטיים, בנחל חרמון ובנחל דן, והיא עוקבת אחרי ההרכב הכימי והאיזוטופי של מי המעיינות. ממצאים אלה מצביעים על כך שהאקוויפרים בחרמון היו יציבים ודומים להיום. לפחות מאז החלה השקעת הטופה בצפון עמק החולה.

## מקורות

- גור, ד., שש, א., בר-מטיוס, מ., 1997. מי הנחלים בניאס ודן - סביבת השקעה של טופה (טרורטין). כנס החברה הגאולוגית, כפר גלעדי, 1997 (תקציר).
- גור, ד., שש, א., בר-מטיוס, מ., 1998. שקיעת סלעי טופה באזור הנחלים חרמון ודן: מנגנון ומשמעות פלאואקלימית. המכון הגאולוגי TR-GSI/11/98.
- גור, ד., שש, א., בר-מטיוס, מ., 2001. טופה רצנטית, סלעי טופה עתיקים ומי המעיינות בצפון עמק החולה: הרכב כימי ואיזוטופי. כנס החברה הגאולוגית, אילת, 2001 (תקציר).
- גלעד, ד., שורץ, ש., 1978. הידרוגיאולוגיה של אקוויפר מקורות הירדן. השירות ההידרולוגי, הידרו\5\78.
- היימן, א., 1985. הגיאולוגיה של רמת הבניאס וצפון עמק החולה תוך הדגש למשקעי טרורטין. עבודת גמר, האוניברסיטה העברית, ירושלים, 155 עמ'.
- היימן, א., 1994. תופעות טקטוניות ומשקעי טרורטין בבקע ים המלח בצפון ישראל. כנס החברה הגאולוגית, גינוסר, 1994 (סור).

- Andrews, J. E., Riding, R., Dennis, P. F., 1993. Stable isotopic composition of recent freshwater cyanobacterial carbonates from the British Isles: local and regional environmental controls. *Sedimentology*, 40, 303-314.
- Chafetz, H. S., Folk, R. L., 1984. Travertines: depositional morphology and the bacterially constructed constituents. *J. Sed. Pet.*, 54, 289-316.
- Emeis, K. C., Richnow, H. H., Kempe, S., 1987. Travertine formation in Plitvice National Park' Yugoslavia: chemical versus biological control. *Sedimentology*, 34, 595-609.
- Gur, D., Bar-Matthews, M., Sass, E., 1997. Geochemistry of springs and rivers, and its relationship to present-day tufa formation in the north Hula Valley, Israel.
- Pedley, H. M., 1994. Prokaryote-Microphyte biofilms and tufas: A sedimentological perspective. *Kaupia*, 4, 45-60.



## הסכנה לגלישת מדרונות בזמן רעידת אדמה בצפון ישראל: עדויות שדה והערכת הסכנה העתידית

עודד כץ ואון כרובי

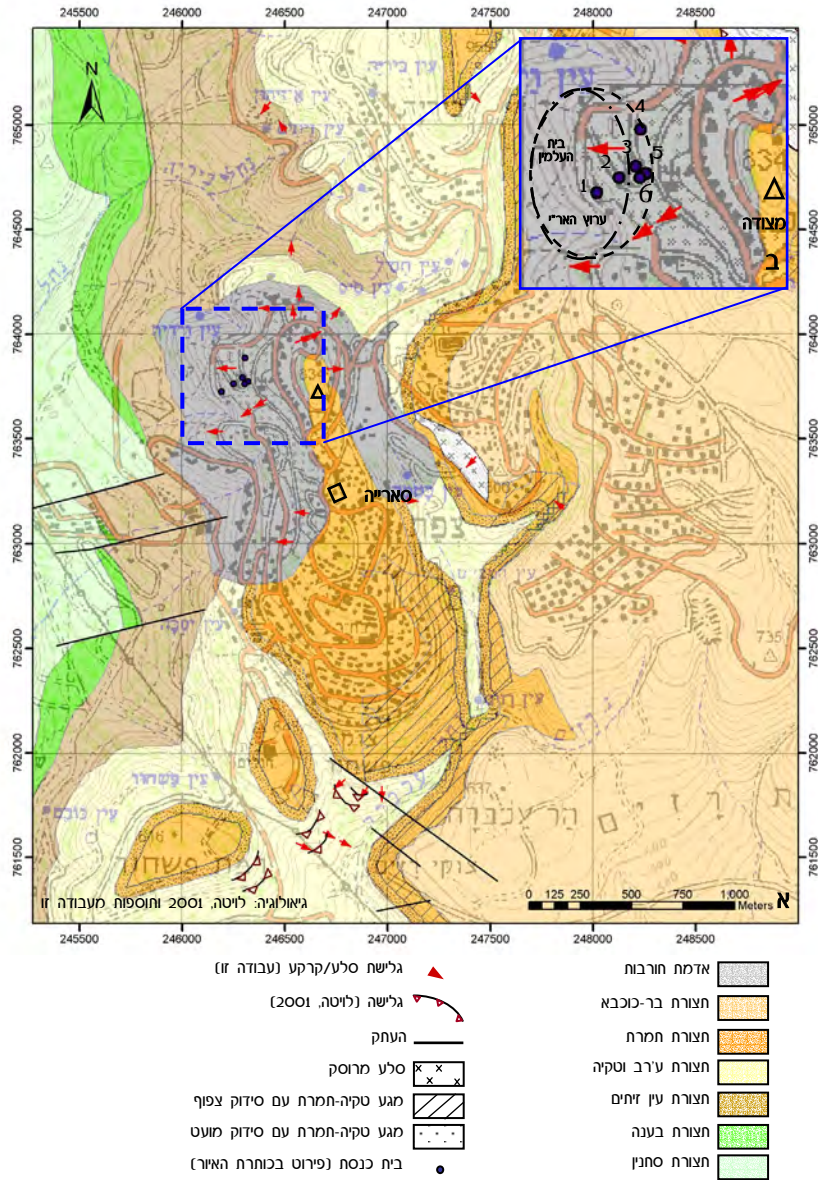
המכון הגיאולוגי, ירושלים 

### 1. מבוא

תנועה מהירה של סלעים ו/או קרקע במורד מדרונות המתרחשת בזמן רעידות אדמה (גלישה או מפולת) היא תופעה הרסנית המוכרת מרעידות אדמה בעולם וגם מדווחת מרעידות אדמה היסטוריות בישראל (Wachs and Levitte, 1981). בכדי להעריך את שיתרחש ברעידת אדמה עתידית ועל מנת למזער נזקים צפויים יש להתחשב בגורם סיכון זה. מטרת העבודה המוצגת בסיור היא ניתוח כמותי של הסכנה לכשל מדרון ותנועה של חומר במורדו בזמן רעידת אדמה שתשפיע על תחומי מדינת ישראל. תוצר העבודה הוא מודל ממוחשב המקבל כנתונים את מיקום האפיצנטר ומגניטודת הרעידה ומוציא תוך זמן קצר את מפת המדרונות שכשלו מכאנית וצפויה בהם גלישה כתוצאה מרעידת האדמה. העבודה נעשת במסגרת 'ועדת ההיגוי להיערכות וטיפול ברעידות אדמה'. האזור הראשון שנתחח ואשר יוצג בסיור הוא השטח הכלול בגיליון צפת של המפה הטופוגרפית 1:50,000 (230/760 - 250/780). להלן אזור העבודה). תוך התמקדות ברובע היהודי של העיר צפת שנהרס מספר פעמים ברעידות אדמה כנראה בגלל גלישות במדרון עליו נבנה (איור 1). עבודה נוספת נעשת בימים אלו לניתוח הסיכון באזורי קריית-שמונה, טבריה, ירושלים וחיפה.

### 1.1 גיאולוגיה

הסלעים הקדומים ביותר החשופים באזור העבודה (לויטה, 2001; איור 2) שייכים לחלק התחתון של חבורת יהודה (תצורת נבי סעיד עד תצורת רמה). המורכבים בעיקר גיר, קרטון, חואר, ומעט אופקי חול. מעליהם, בחלק העליון של חבורת יהודה, חשופים בעיקר סלעי גיר, זולמיט וחואר (תצורת כמון עד תצורת בענה). חלק זה של החתך הבנוי סלעים קשים, יוצר נוף מצוקי יותר. מעל חבורת יהודה חשופה חבורת הר הצופים הבנויה בעיקר גיר קירטוני, קירטון, חואר, חרסיות ופצלים, ומעליה חבורת עבדת הבנויה בעיקר גיר, גיר קירטוני וקירטון. בחלק העליון של החתך חשופים בזלות פליוקניות, קרקעות, אלוביום, קולוביום ואדמת חורבות. אדמת החורבות, תוצר פעילות האדם, מורכבת יחידות נטויות של חלוקים ושברי חרסים בתוך חתך חרסית-סילטי. חומר גיאולוגי זה חשוף בעיקר באזורים עם היסטורית התיישבות ארוכה כמו צפת, ג'יש וסאסא.



איור 1. (א) מפה גיאולוגית של סביבת העיר צפת. (ב) הגדלה של אזור הרובע היהודי של צפת הכוללת ציון גבול הגלישות ברעידות האדמה של אוקטובר 1759 (קו עם נקודות) וינואר 1837 (קו מקוקו) ומיקום בתי הכנסת בזמן הרעידות (1: האר"י הספרדי; 2: בנאה; 3: הגדול/אבוהב; 4: עולי יוון/האר"י האשכנזי; 5: מארן; 6: אלשירן).

STRATIGRAPHY סטרטיגרפיה

SYSTEM תקופה	SERIES - STAGE סדרה / דרגה	SYMBOL סימן	THICK. m עובי מ	LITHOLOGY מסלע	LITHOSTRATIGRAPHY ליטוסטרטיגרפיה		
					MAPPING UNITS יחידות מיפוי	GROUP חברה	
TERTIARY סרצ'י	QUATERNARY קוורטר	HOLOCENE הולוקן	Al		Alluvium אלוביום		
	NEOGENE ניאוגן	PLIOCENE פליוקן	Pl		Dalton Basalt בולת דלתון		
		Eocene אייאוקן		Ebk	200	Bar Kokhba Formation תצורת בר כוכבא	AVEDAT עבדת
			U	200	Timrat Formation תצורת תמר		
	CRETACEOUS קריטיקון	PALEOCENE פלאוקן	PALEOCENE פלאוקן	Kug+Tt	42-110	Ghareb & Taqiye formations תצורת ערב וטקיה	MOUNT SCOPUS הר הצופים
			SENONIAN סנון	Kuz	61	En Zetim Formation תצורת ען זתיים	
		TURONIAN טורון		Kub	0-30	Bina Formation תצורת בינה	JUDEA יהודה
				Kus	0-20	Yifka Formation תצורת יפכא	
				Kuy	0-40	Yamub Fm. תצורת ימוב	
		UPPER עליון	CENOMANIAN קנומן		Kusa	142	
				Kude2	200	Deir Hanna Formation - Upper Mbr. (=Rush HaNaga Member) תצורת דיר חנא - פרט עליון (=פרט ראש הנקרה)	
			Kude1	140	Deir Hanna Formation - Lower Mbr. (=Karkaa Member) תצורת דיר חנא - פרט תחתון (=פרט כרכא)		
LOWER תחתון			ALBIAN אלביאן		Kuyam	145	
				Klr	205	Rama Formation (incl. Zalmon Fm.) תצורת רמה (כולל תצורת זלמן)	
		Kli		145	Hydra Formation (incl. Ashur Fm.) תצורת הידרה (כולל תצורת אשור)		
APTIAN אפטיאן		Kle	53	Ein El Assad Fm. תצורת עין אל אסד	KURNUB כורנוב		
	Kla	42	Nabi Sa'id Fm. תצורת נבי סעיד				



איור 2. הטור הסטרטיגרפי החשוף בשטח גיליון צפח (לויטה, 2001).

אזור העבודה נמצא במרכז אנטיקלינוריום גדול המשתרע ממישור החוף במערב עד בקע ים המלח במזרח. המבנה הגיאולוגי כולל מערכת של הורסטים וגרבנים המוגבלים בהעתקים בכיוון דר-מז - צפ-מז.

## 1.2 אזור העיר צפת

העיר צפת ממוקמת באזור הררי הגובל את צפון בקע ים המלח. העיר נוסדה ככל הנראה בזמן הרומאים על גבעה מארכת, בגובה של כ- 800 מעל פני הים ('המצודה', כיום במרכז העיר איור 1). העיר צפת נפגעה קשה ברעידות אדמה במהלך מאות השנים האחרונות: בשתי רעידות האדמה של 1759 ( $M_L \sim 6.5$  -  $M_L > 7$ ; Ambraseys and Barazangi, 1989) נהרס הרובע היהודי ונמנו בו 150 הרוגים (ניזרעאל, 2002); ברעידת האדמה של 1837 ( $M_L > 7$ ; Ambraseys, 1997) נהרס בשנית הרובע היהודי (אליאב, 1996) ונרשמו מעל אלפיים אביזוח בנפש (Ben-Horin, 1952). על פי תיאור של הרס המבנים ומראה הקרקע (Thomson, 1873; Vered and Striem, 1976) קבעו Wachs and Levitte (1981), כי גלישות מזרון גרמו כנראה להרס הרב ברובע היהודי. בנוסף קבעו Wachs and Levitte (1981), כי באותה הרעידה גלישות מזרון היו גם הסיבה לפגיעה הקשה בכפרים נוספים כמו ג'יש (גוש חלב) ועין א-זיתון (עין זיתים). עדויות היסטוריות אלו ועדויות שדה לאי יציבות במדרונות היוו בסיס לכיול המודל החישובי שיוצג בהמשך.

## 2. שיטת Newmark לניתוח הסכנה לגלישות מזרון ברעידת אדמה

הניתוח לקביעת תנאי הכשל נעשה בשיטת Newmark (Newmark, 1965, Wilson and Keefer, 1993; Jibson and Keefer, 1983). בשיטה זו, התאוצה הקריטית לכשל המדרון (התאוצה האופקית המינימאלית שתפעל על המדרון ותגרום לאי יציבות) מחושבת לפי תנאי הטופוגרפיה והתכונות המכאניות של הסלע. בשלב הבא נערך ניתוח של רישום התאוצה של רעידת אדמה היסטורית או אפשרית, כאשר הקטעים ברישום בהם התאוצה גבוהה מהתאוצה הקריטית עוברים אינטגרציה כפולה לקביעת התזוזה המצטברת שתגרם במדרון ('העתקת Newmark':  $D_N$ ). לאחר מכן מתבצעת הערכת יציבות המדרון על בסיס התזוזות המצטברות המחושבות ולאור האופי הגיאולוגי של המדרון.

יצירת בסיס הנתונים (כפי שיפורט בהמשך) וניתוח יציבות המדרונות התבצעו במערכת מידע גיאוגרפית (ממ"ג: G.I.S).

לפירוט השיטה ראה: California Geological Survey, Special Bulletin 117.

### 3. הסכנה לכשל מזרונות באזור צפת ברעידת אדמה

בשלב ראשון מופו תופעות של אי יציבות מזרונות באזור העבודה אשר שימשו בהמשך לכיול המודל (כץ וכרובי, 2003).

בשטח גליון צפת קיימת חשיפה מועטה של תופעות אי יציבות, ככל הנראה עקב שילוב של אופי הסלעים באזור, הפעילות האנושית הרבה והזמן היחסית ארוך שעבר מאז הרעידה החזקה האחרונה באזור זה (1837). בסה"כ מופו כמה עשרות אתרים עם עדויות לתנועה של חומר במורד מזרונות טבעיים וכן מספר אתרים בהם אי היציבות קשורה בפעילות האדם (איור 3 ואיורים בהמשך). התצורות שנמצאו בהם עדויות לאי יציבות מזרונות הן: הידרה-רמה, פרט ראש הנקרה של תצורת דיר חנה, עין זיתים, טקיה, תמרת, בר-כוכבא ואדמת חורבות. מנגנוני הכשל שנמצאו הם: גלישת סלע, גלישה רוטציונית, נפילה ומפולת סלעים, זרימה זחילה. פירוט של חלק מתופעות אלו יובא בתיאור תחנות הסיוור.

### 3.1 יחידות גיאוטכניות ותכונות מכאניות

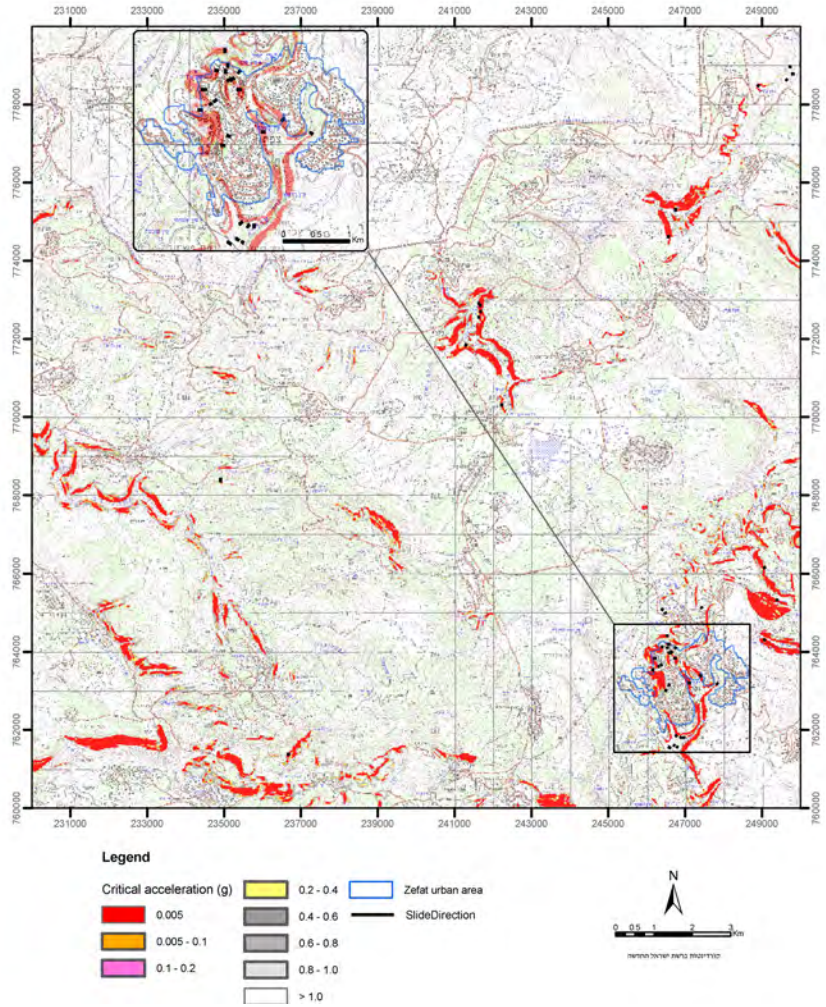
יחידות המיפוי הגיאולוגיות החשופות באזור העבודה (לויטה, 2001) חולקו לארבע יחידות גיאוטכניות המכילות מספר תצורות או פרטים גיאולוגים בעלי תכונות מכאניות דומות. בהמשך, לצרכי חישוב, לכל אחת מהיחידות הגיאוטכניות הוצמדו תכונות מכאניות (קוהזיה, זווית חיכוך פנימית וצפיפות) המשקפות את התנהגות השדה של הסלעים. התכונות המכאניות נקבעו לפי זמינות ורלוונטיות של דו"חות גיאולוגיים והנדסיים קיימים ו/או בצורה עקיפה לפי מידע על הרכב הסלע (כץ וכרובי, 2003). בכל מקרה התכונות שהוצמדו לסלעים הן של סלע ברויה למים ומשקפות את מצב הסלעים בחורף.

#### להלן פירוט היחידות:

**יחידה גיאוטכנית I.** ליחידה זו משתייכות התצורות עין אל אסד, אספורי (כלולה בתצורת הידרה ולא ממופה), כמון, סחנין, בענה, בר כוכבא ובזלת דלחון, כאשר אינה במופע פירוקלאסטי. הסלעים בתצורות אלו בעלי חוזק ואלסטיות גבוהים ורגישות נמוכה למים, בעיקר בהרכב גירי ודולומיטי. כאמור, בשדה כמעט לא נצפו עדויות לכשל בסלעי היחידה הגיאוטכנית הנ"ל ועל כן ערכי התכונות המכאניות שהוצמדו ליחידה זו, הם גבוהים ואינם מאפשרים כשל בתנאי רעידת אדמה צפויה: צפיפות  $2400 \text{ kg/m}^3$ , קוהזיה  $5 \text{ MPa}$ , זווית חיכוך פנימית:  $40^\circ$ .

**יחידה גיאוטכנית II.** ליחידה זו משתייכות התצורות נבי סעיד, פרט כרכרה (דיר חנא), ינות, פרט הר צפת (כלול בתצורת עין זיתים ולא ממופה), ע'רב (כלולה בתצורה טקיה ולא ממופה) ותמרת. הסלעים בתצורות אלו בעלי חוזק ואלסטיות בינוניים עד נמוכים ורגישות נמוכה למים, בעיקר בהרכב גירי, קירטוני-גירי, קירטוני וחוארי. ערכי התכונות הגיאוטכניות שניתנו לסלעי יחידה זו הם: צפיפות  $2200 \text{ kg/m}^3$ , קוהזיה  $0.5 \text{ MPa}$ , זווית חיכוך פנימית:  $30^\circ$ .

**יחידה גיאוטכנית IIIa.** ליחידה זו משתייכים סלעים בעלי חוזק ואלסטיות נמוכים מאוד ורגישות גבוהה למים, בעיקר בהרכב חוארי, חרסיתי או חילופין של סלעים חזקים עם אופקים עבים של חואר, וכן סלע סדוק. התצורות הכלולות ביחידה הן הידרה, רמה, צלמון (כלולה בתצורת רמה



איור 3. מפת התאוצה הקריטית לכשל של אזור העבודה. אזורי אי היציבות שמופנו בשדה מסומנים בקווים שחורים. האזורים האדומים ( $a_c=0.005g$ ) מציינים אי יציבות סטטית מחושבת (ראה כץ וכרובי, 2003).



ולא ממופה), פרט ראש הנקרה (תצורת דיר חנא), ירכא, עין זיתים, טקיה, תמרת בצפיפות סידוק גבוהה מעל מחשוף של תצורת טקיה, ובזלת דלתון במופע פירוקלאסטי. כאמור, מתוך עדויות השדה עולה כי תופעות אי יציבות מופיעות בסלעי היחידה הגיאוטכנית הזו, ובהתאמה ערכי התכונות המכאניות שהוצמדו ליחידה הם של סלעים חלשים: צפיפות  $2000 \text{ kg/m}^3$ , קוהזיה  $0.03 \text{ MPa}$ , זווית חיכוך פנימית:  $20^\circ$ .

**יחידה גיאוטכנית IIIb.** ליחידה זו משתייכים חומרים גיאולוגים חלשים מאוד או הנמצאים במצב של חוזק שאריתי (Residual). התצורות הכלולות ביחידה זו הן תמרת בצפיפות סידוק נמוכה מעל מחשוף של תצורת טקיה, אלוביום, גלישות עתיקות, טאלוס ואדמת חורבות. ערכי התכונות המכאניות שהוצמדו ליחידה הם: צפיפות  $1800 \text{ kg/m}^3$ , קוהזיה  $0.01 \text{ MPa}$ , זווית חיכוך פנימית:  $15^\circ$ , בחישובים (ראה להלן) ערכים אלה מביאים לאי יציבות סטטית במדרונות הרובע היהודי בצפת, בהתאמה לתצפיות השדה.

### 3.2 מפת הרגישות לכשל מדרון (תאוצה קריטית לכשל)

כאמור, בניחוח הנוכחי של הסכנה לכשל מדרון נבחן פוטנציאל הגלישה של בלוק הנע על מישור משופע (גיאומטריה זו יוצרת הערכת סכנה שמרנית). האופי המכאני של המדרון ורגישותו לכשל מבוססים על ידי התאוצה קריטית לכשל המדרון ( $a_c$ ): תאוצה אופקית מינימאלית שתגרום לאי יציבות במדרון):

$$a_c = (FS-1) \sin \alpha \quad (1)$$

כאשר  $\alpha$  הוא שיפוע המדרון בכל נקודה (תא  $\text{מ}^2$ ) באזור העבודה, המחושב מרובד  $\text{מ}^2$  של מודל שטח ספרתי (Hall, 1993),  $FS$  הוא מקדם הבטיחות המחושב מתוך רובד שיפוע המדרון ( $\alpha$ ) והרבדים של התכונות המכאניות: צפיפות המבוטאת כמשקל מרחבי ( $\gamma$ ) ביחידות של  $\text{N/m}^3$ , קוהזיה ( $C$ ) ביחידות של  $\text{N/m}^2$  (Pascal) וזווית חיכוך פנימית ( $\phi$ ) במעלות, כאשר  $t$  הוא עובי החתך הגולש בניצב למישור הגלישה:

$$FS = C/(\gamma t \sin \alpha) + \tan \phi / \tan \alpha \quad (2)$$

התוצר הוא מפה של התאוצה הקריטית (איור 3) לכשל, המהווה למעשה מפת רגישות לכשל מדרון: במדרונות עם תאוצה קריטית מחושבת נמוכה נדרשת תאוצה נמוכה ממקור סיסימי על מנת ליצור אי יציבות ואילו מדרונות עם תאוצה קריטית מחושבת גבוהה יהיו יציבים גם ברעידת אדמה חזקה וקרובה.

### 3.3 כיול המודל

על מנת לכייל את המודל המכאני 'הפעלנו' בשלב ראשון על מפת התאוצה הקריטית לכשל רעידות אדמה שיש לגביהן מידע מפורט ככל האפשר על מיקום האפיצנטר, ערך המגניטודה

ומיקום מדרונות שנוצרה בהם גלישה בזמן הרעידה. עקב חוסר נתונים מכשיריים (רישום תאוצה לאורך הרעידה), פעולה זו התבצעה תוך שימוש בקשר האמפירי של Jibson et al. (2000), אשר מחשב את התזוזה ( $D_N$ ) הצפויה במדרון הנבדק על פי עוצמת הרעידה ( $I_a$ ) והתאוצה הקריטית לכשל ( $a_c$ ):

$$\log D_N = 1.521 \log I_a - 1.993 \log a_c - 1.546 \quad (3)$$

כאשר עוצמת הרעידה ( $I_a$ ) מבוטאת כ- Arias Intensity (יחידות של מהירות: m/sec) והיא פונקציה אמפירית של מגניטודת המומנט של הרעידה ( $M$ ) והמרחק לאפיצנטר בקילומטרים (R):

$$\log I_a = 1.2M - 2.2 \log R - 4.9 \quad (\sigma = \pm 0.369) \quad (4)$$

משוואה (4) לפי שפירא, א. (2003, דברים בע"פ).

הסכנה לכשל במדרון הוערכה על סמך כמות התזוזה הצפויה במדרון. כלומר, נקבעה תזוזה מינימאלית ( $D_N=5$ , כערך שמרני) אשר תביא לכשל מכאני במדרון והיווצרות גלישה (Jibson and Keefer, 1993). תזוזה מחושבת נמוכה מערך זה לא תגרום ככל הנראה לכשל כללי של המדרון.

בעבודה זו הופעלו לצרכי כיוול ונתחו רעידות האדמה של צפון ישראל מאוקטובר 1759 ( $M_L \sim 6.5$ ) ומינואר 1837 ( $M_L > 7$ ), הרעידה של מצפה שלם מיוני 1927 ( $M_L = 6.2$ ) והרעידה של כפר יהושע מאוגוסט 1984 ( $M_L = 5.3$ ). למיקום האפיצנטרים ראה איור 4. הכיוול התבצע על ידי השוואה של אזורים שחושב בהם  $D_N > 5$  (גלישת מדרון) למפת אתרי הגלישות (ראה תחנה 9 ואזורים 5 ו-6). התהליך חוזר על עצמו מספר פעמים עבור כל רעידה תוך שינוי של הפרמטרים המכאניים (בגבולות האפשריים הנלמדים מדוחות הנדסיים), עד לקבלה של מתאם מרבי בין חישובי המודל לבין עדויות השדה.

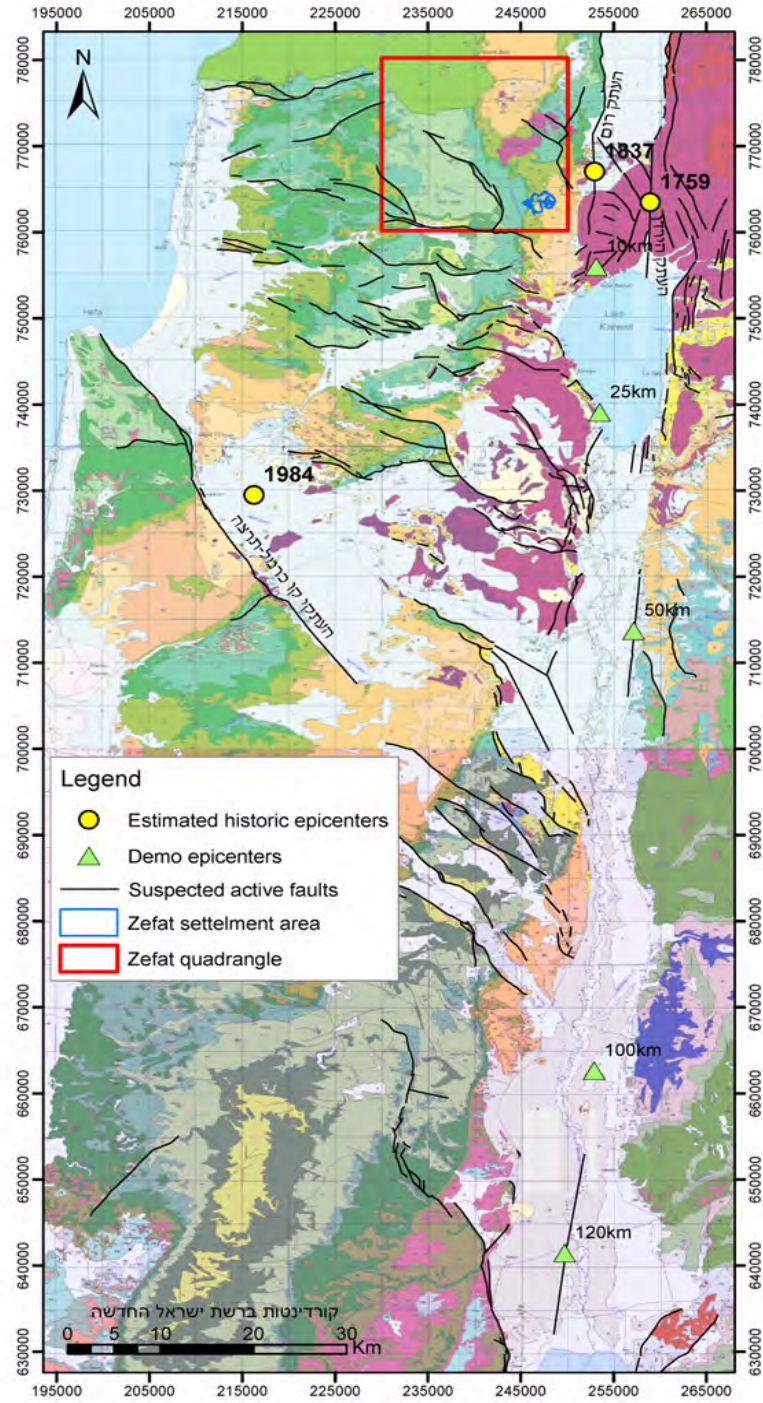
### 3.4 תרחיש לכשל מדרונות ברעידות אדמה

לאחר כיוול המודל, דהינו לאחר שנמצאה התאמה טובה בין חוצאות חישוב הסכנה לכשל מדרון לבין עדויות השדה והעדויות ההיסטוריות לכשל מדרונות בארבעת הרעידות הנ"ל, הפעלנו רעידות אדמה מדומות על מפת הממ"ג של הרגישות לכשל מדרון (תאוצה קריטית לכשל) וקיבלנו את מפת הסכנה לכשל מדרון. מפה זו היא מפת תרחיש כלומר, תחזית המדרונות שיכשלו ברעידה עתידית, במיקום ובעוצמה נתונים.

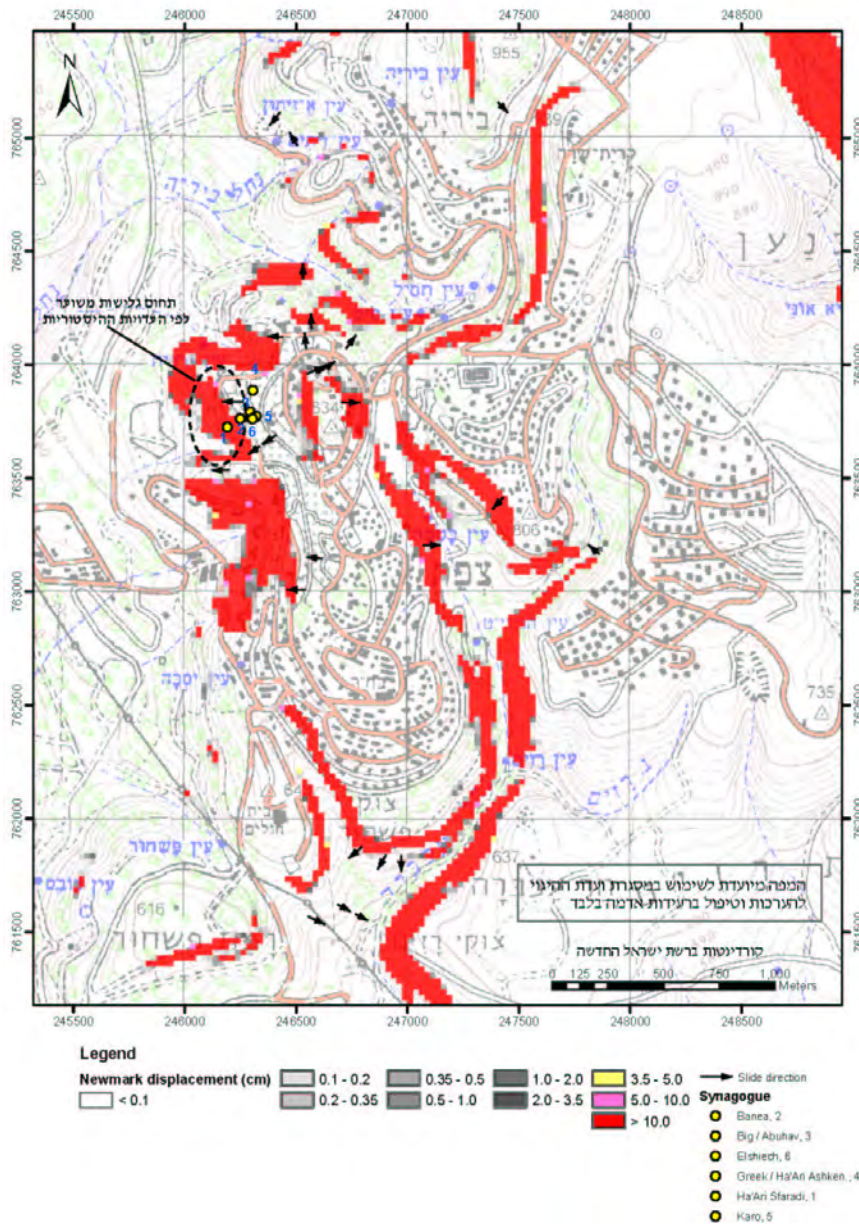
על מנת לאפיין את רעידות האדמה שיגרמו לכשל מדרונות באזור צפת נבדקו 20 רעידות אדמה מדומות במגניטודה ( $M_w$ ) של 4, 5, 6 ו-7 עם אפיצנטר המרוחק 10 ק"מ, 25 ק"מ, 50 ק"מ, 100 ק"מ ו-120 ק"מ דרומית לעיר צפת, לאורך בקע ים המלח (איור 4). חוצאות הניתוח מופיעות באיור 7 כמספר תאי הממ"ג שחושב עבור  $D_N$  מסוים מחולק במספר הכללי של תאי הממ"ג באזור העבודה.

הניתוח מראה כי רעידות אדמה במגניטודה ( $M_w$ ) 4 לא יגרמו להתפתחות גלישות מדרון באזור העבודה, גם אם יפעלו במרחק קצר (10 ק"מ) מהעיר צפת ( $D_N < 5$  cm; איור 7א). רעידות



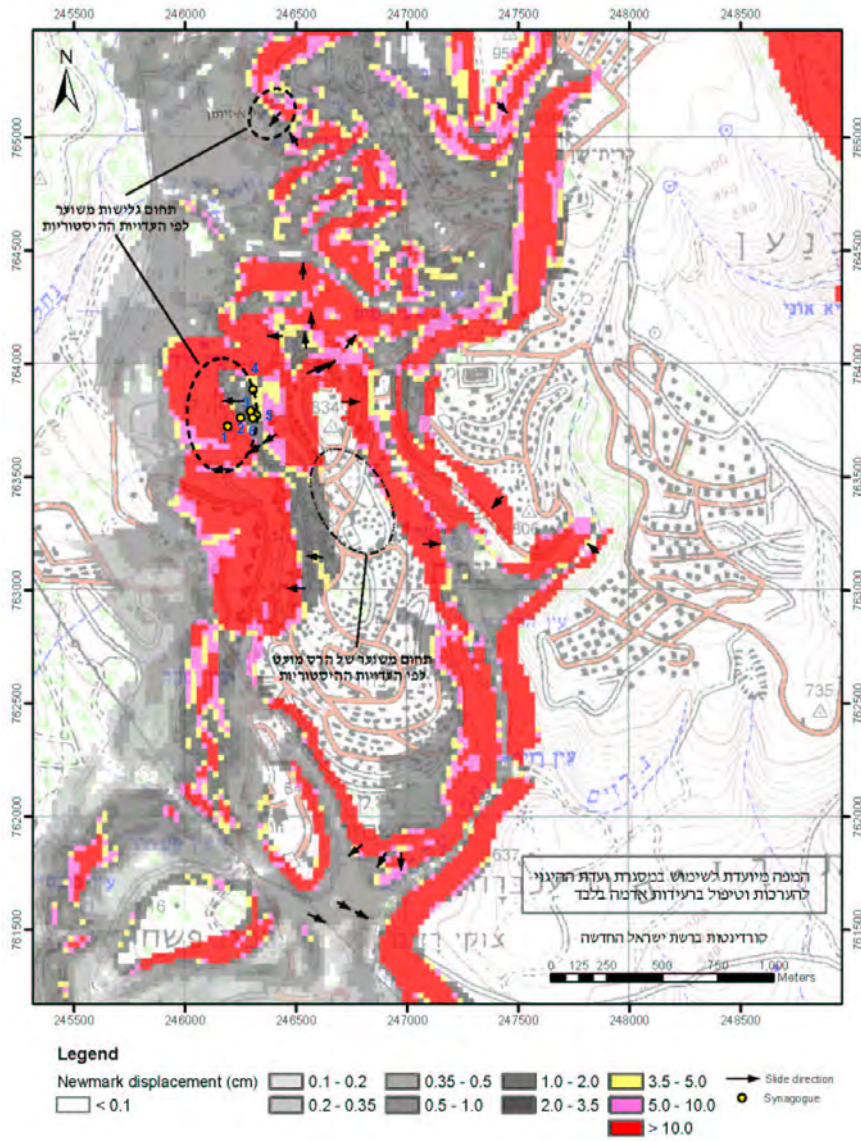


איור 4. מיקום אפיצנטרים של רעידות האדמה ההיסטוריות והמדומות. ברקע המפה הגיאולוגית של ישראל (Sneh et al., 1998) וחפוצת ההתקנים החשודים כפעילים (ברטוב וחוברין, 2002).

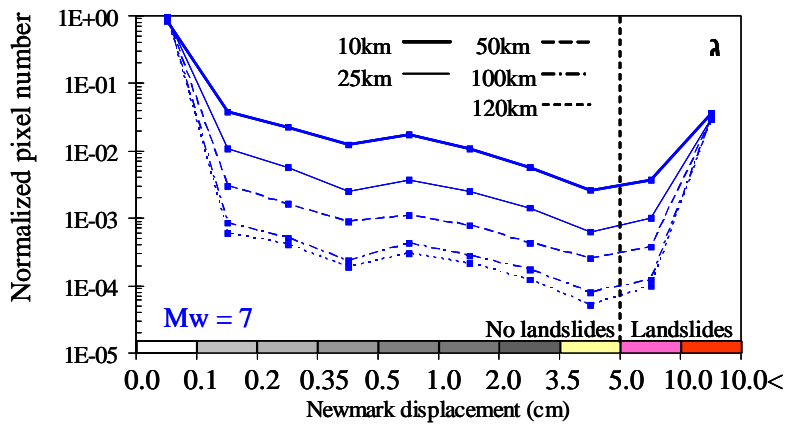
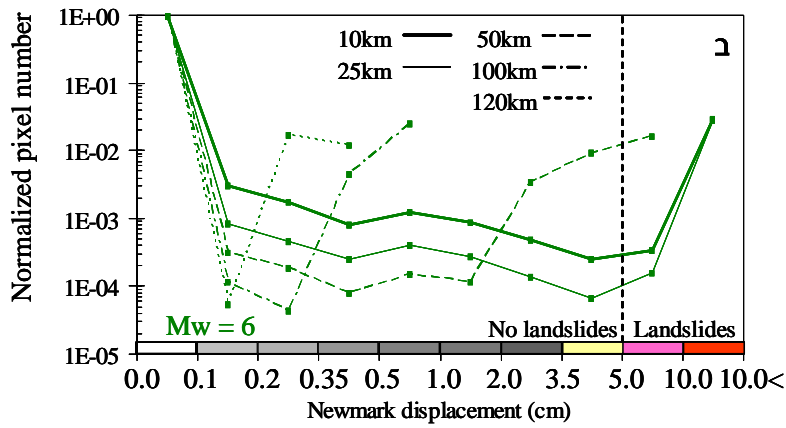
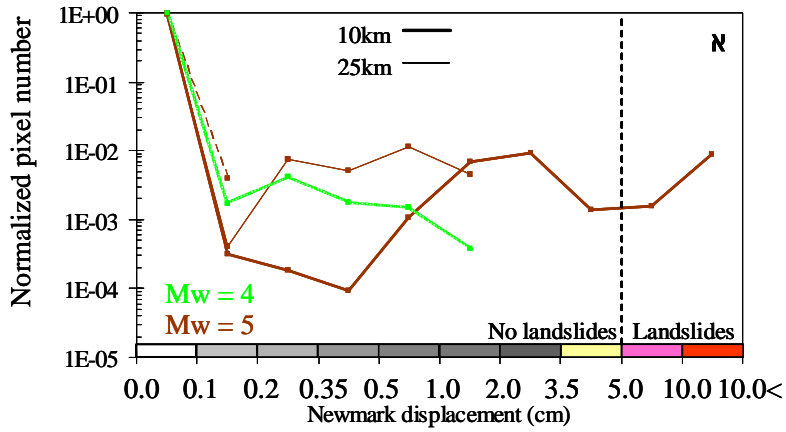


איור 5. תגובת המדרונות המחושבת (ראה מקרא) באזור העיר צפת לרעידת האדמה של אוקטובר 1759. אזור הגלישות לפי העדויות ההיסטוריות מסומן בקו מקווקו. אזורי אי היציבות שמופנ בשדה מסומנים בחצים שחורים.





אזור הגלישות לפי העדויות ההיסטוריות מסומן בקו מקוקו; תחום משוער של הרס מועט לפי עדויות היסטוריות מוקף בקו עם נקודות (פירוט בתי הכנסת באיור 5). אזורי אי היציבות שמופו בשדה מסומנים בחצים שחורים.



איור 7. סיכום ההשפעה של רעידות מדומות על אזור העבודה. הרעידות הופעלו לאורך הבקע במרחקים של 10 ק"מ, 25 ק"מ, 50 ק"מ, 100 ק"מ ו-120 ק"מ מדרום לעיר צפח (איור 4). החוצאות מוצגות כמספר חאי ממ"ג שקבלו ערך  $D_N$  מסוים מחולק למספר חאי הממ"ג באזור העבודה (Normalized pixel number). בחתימת האיורים מופיעים הצבעים שמופיעים במפות חגורת המדרונות (איור 5-6). (א)  $M_w=4, 5$ ; (ב)  $M_w=6$ ; (ג)  $M_w=7$ .

אדמה במגניטודה 5 שיפעלו במרחק קצר (10 ק"מ) מהעיר צפת יגרמו שם לגלישות מדרון ( $D_N > 5\text{cm}$ : איור 7א). במרחק גדול יותר רעידות במגניטודה 5 לא ישפיעו על המדרונות באזור העבודה ( $D_N \sim 0\text{cm}$ ). רעידות אדמה במגניטודה 6 שיפעלו במרחקים גדולים ממאה קילומטר מהעיר צפת לא יביאו להתפתחות גלישות מדרון (איור 7ב), ובמרחקים קטנים מ- 25 ק"מ תהיה התפתחות משמעותית של גלישות ( $D_N > 10\text{cm}$ ). רעידות אדמה במגניטודה 7 יביאו להתפתחות גלישות מדרון גם אם מרחק האפיצנטר יהיה גדול (120 ק"מ) מהעיר צפת ( $D_N > 10\text{cm}$ : איור 7ג).

#### 4. סיכום

בעבודה זו נותחה הסכנה לכשל מדרון ברעידת אדמה בשטח הכלול בגיליון צפת. נמצא כי ברעידות אדמה בינוניות - חזקות יתפתח כשל במדרונות ויווצרו גלישות. הגלישות יתפתחו בקרקעות ובסלעים חואריים החשופים במדרונות תלולים. מהניתוח עולה כי קיימים מספר ישובים (למשל, אמירים, ג'יש, עין אל אסד, עכברה, פקיעין, צפת, רמה, שפר) הנמצאים בסכנה ישירה של גלישות ברעידת אדמה.

עדויות היסטוריות מלמדות כי הרובע היהודי בצפת נפגע קשה עקב התפתחות גלישות ברעידות אדמה. זאת ועוד, עדויות שדה מלמדות כי המדרונות ברובע בעת הנוכחית נמצאים באי יציבות סטטית וחומר המדרון בהם זוחל מטה. ניתוח היציבות שנעשה במסגרת עבודה זו מראה כי ברעידת אדמה יתפתחו גלישות במדרונות אלו.

האזור הבנוי המסוכן ביותר תחום ממערב בבית העלמין היהודי העתיק וממזרח במצודה (איור 1). רב הבתים באזור זה לא נבנו בעת האחרונה וחלקם מבוססים על אדמת החורבות (איור 8א) או על שרידי בנייה קדומה יותר. אומנם בתים שנבנים בשנים האחרונות מבוססים בעומק המדרון מתחת לאדמת החורבות ומוגנים מגבם בחגורות בטון וכלונסאות (איור 8ב). אך מספרם של בתים אלו אינו גדול.

באם לא ינקטו צעדים משמעותיים לחיזוק המבנים הישנים ואלו שלא נבנו כהלכה, רעידת אדמה עתידית תביא לנזק גדול ולנפגעים.

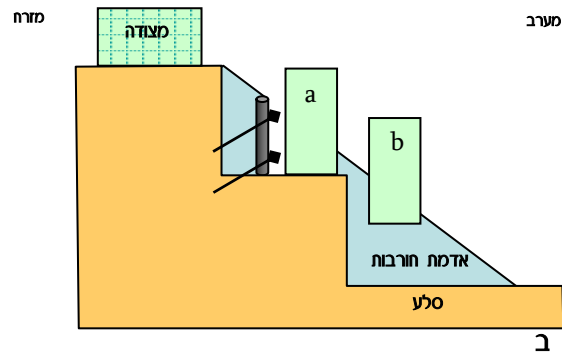
#### מסלול הסיור

בחלקו הראשון של הסיור (איור 9, תחנות 1 - 8) יוצגו עדויות שדה לאי יציבות מדרונות במספר סביבות גיאולוגיות שונות: חצרות הידרה ורמה (תחנה 1), פרט ראש הנקרה של חצרת דיר-חנה (תחנה 7), חצרת עין זיתים (תחנה 6 ו-8), חצרת טקיה (תחנה 5), מגע החצרות טקיה ותמרת (תחנה 2 ו-3) וחצרת בר-כוכבא (תחנה 4).

חלקו השני של הסיור (איור 9, תחנה 9) יתרכז ברובע היהודי העתיק של העיר צפת: יוצגו הגיאולוגיה של הרובע, עדויות לאי יציבות מדרונות, אזורי הגלישות מרעידות האדמה ההיסטוריות, ניתוח תגובת המדרונות לרעידות אדמה היסטוריות ותוצאות החישובים לגבי רעידות אדמה עתידיות. לאחר מכן יסקר בקצרה המצב ההנדסי של המבנים הבנויים על גבי המדרונות שצפויים לגלוש ברעידת אדמה.



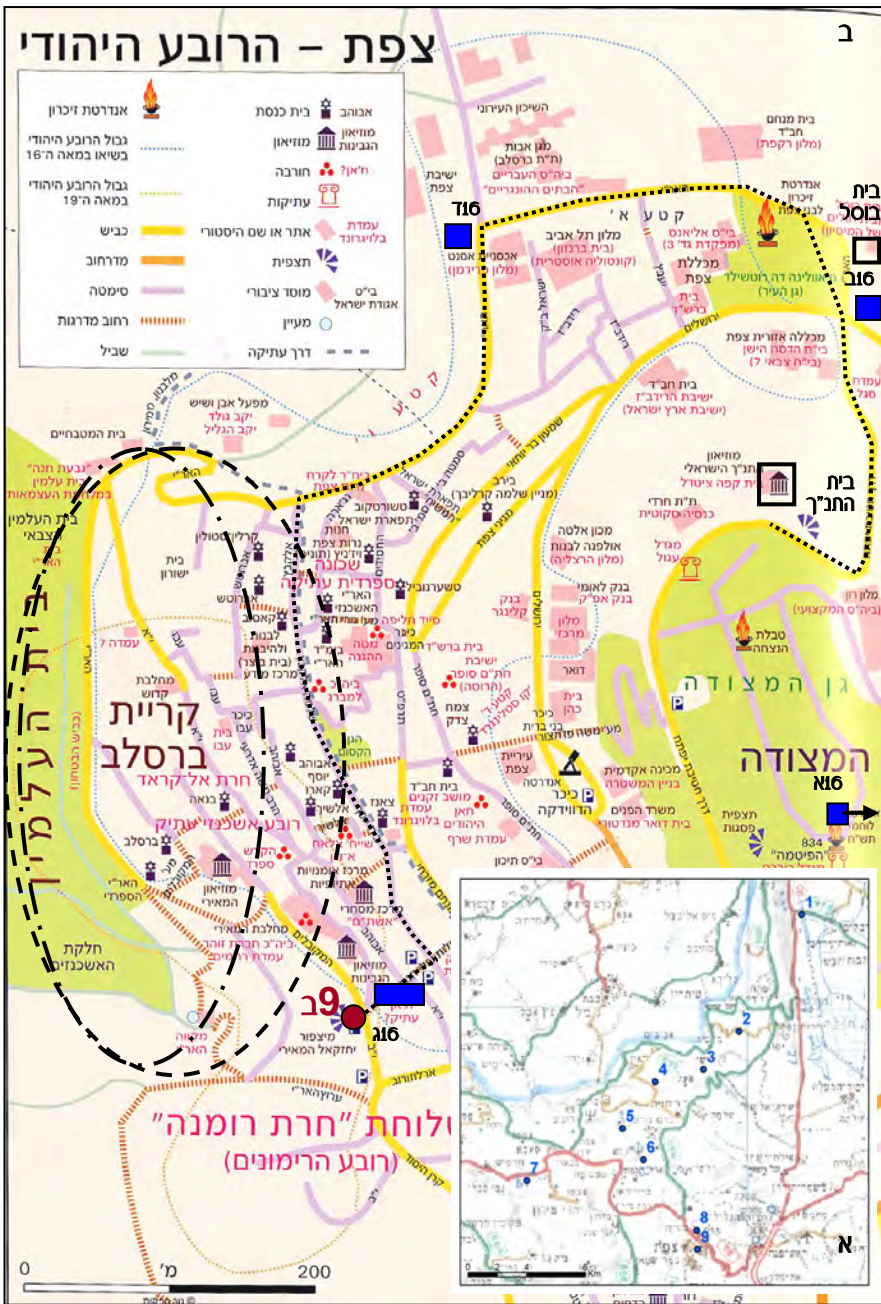
א



ב

איור 8. (א) בנייה לא מהעת האחרונה המבוססת על אדמת חורבות ברובע היהודי בצפת. הבית במרכז חלקה העליון של התמונה בנוי ישירות על אדמת החורבות ללא יסודות על סלע חזק יותר (נמאחר יותר חזק במסגרת בטון). החץ (מרכז התמונה) מסמן את בסיס הבית במגע עם אדמת החורבות. (ב) איור סכמתי של ביסוס חדש (a) וישן (b) ברובע היהודי של צפת: בביסוס החדש המדרון מעל הבית נחמך על ידי כלונסאות ובורגי סלע והבניין מבוסס על הסלע. בביסוס הישן הבניין מונח על אדמת החורבות ללא תמיכה של המדרון מעל הבית. במצב של גלישה באדמת החורבות, בית מהטיפוס הישן עלול לנוע מטה עם חומר המדרון.





אזור מסלול הסיר: (א) תחנות 1 - 9, (ב) תחנה 9, על רקע מפה הרובע היהודי של העיר צפת (מחנך חוברת אריאל 8-157, 2002). מסלול הסיר ברובע (תחנה 9א) מופיע בקו מנוקד היוצא מבית התנ"ך בצפון המצודה; מיקום תחנה 9ב מסומן בעיגול אדום; דוגמאות לאתרים המציגים עדויות לאי יציבות המדרון מופיעים בריבוע (אתרים המופיעים באזור 16 עם מספר האזור). תחום משוער של גלישות לפי עדויות היסטוריות ברעידה של אוקטובר 1759 וינואר 1837 מופיע בקו עם נקודות וקו מקוקו. בהתאמה.

## פירוט תחנות הסיוור

### תחנה 1 : צומת גמא

מערבה מצומת גמא (25350/78610), במתלול רכס רמים, נחשף חתר גיאולוגי מתצורת חתירה עד תצורת סחנין (סנה ווינברגר, 2003). בתחתית המדרון חשופה יחידה עבה של חומר מדרון, שככל הנראה הגיע למקומו הנוכחי בגלישות שהתפתחו בתצורות הידרה ורמה הכוללות שכבות חואר (סנה ווינברגר, 2003). נטיית השכוב באזור היא מערבה ודרומה, ולא כוללת רכיב מזרחי בכיוון המדרון. על כן, סביר שמנגנון הגלישה כאן הוא גלישה רוטציונית. באזור העבודה חשופות התצורות הידרה ורמה במדרונות התלולים מעל רמה (23476/76044) ושפר (24108/76100), שם נטיית השכבות היא נגד כיוון המדרון (לויטה, 2001). לפיכך מנגנון הכשל הסביר הוא גלישה רוטציונית. עדויות לגלישה כפי הנראה במנגנון דומה קיימות גם מצפ-מע לכפר עין אל אסד (23667/76132). שם נראה בלוק גלוש מתצורת כמון מונח על סלעי תצורת הידרה ורמה החשופים מתחתיו במורד המדרון, כאשר נטיית השכוב היא נגד כיוון המדרון. בכפר מער חשופות התצורות הנ"ל כאשר הן נטיות בכיוון המדרון (פלכסר, 1969) בכפר, התרחשה גלישת סלע בעקבות גשמים חזקים כפי הנראה על מישורי השכוב.

**נסיעה לכיוון מלכיה:** במצוק הכביש, באזור מלכיה, חשופה תצורת תמרת. הסלע סדוק בצפיפות גבוהה עד מצב של סלע מרוסק, אופי זה של הסלע משפיע על יציבות המדרונות כפי שיוצג בהמשך.

### תחנה 2 : עין מלכיה

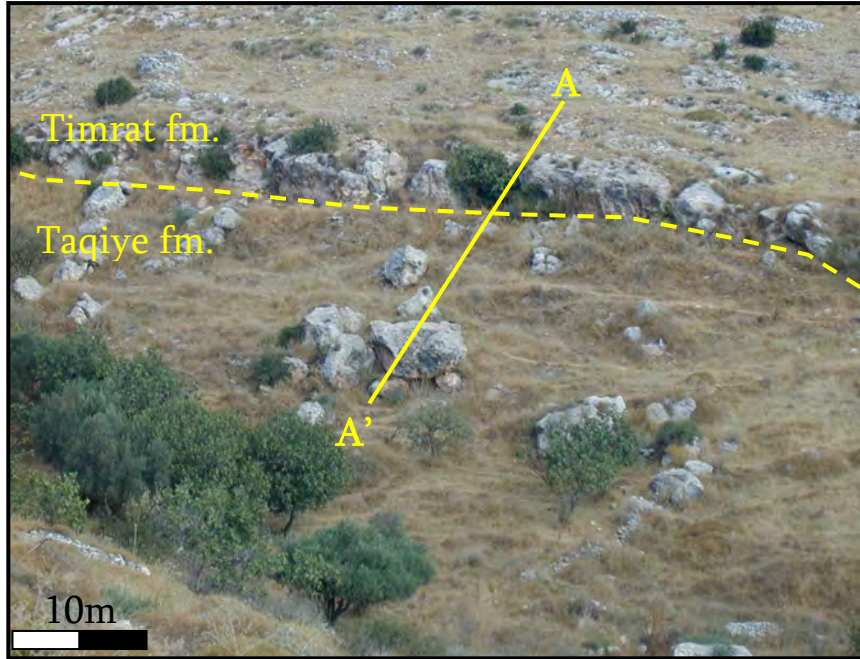
באזור עין מלכיה (24891/77843) נחשף המגע בין תצורת טקיה (פלאוקן) ותמרת (איאוקן) שמעליה. מגע זה מאופיין בכל אזור העבודה על ידי מעבר מנוף רך למצוקי וכן בהופעה של צמחייה המעידה על זרימה של מים בסביבת המגע. שני הגורמים האחרונים מחלישים את המדרון ומעודדים אי יציבות, ובהתאמה חשיפה של מגע תצורות זה מאופיין בעדויות לאי יציבות מדרון.

באתר זה, מופיעות גלישות סלע של בלוקים גדולים (מעל 10 מ"ק) בעיקר מכיסוי הנארי שמעל תצורת תמרת תוך השארת צלקות, סדקים ותעלות רזוזות (מבנה מתיחה) במדרון (איור סא). מישור הגלישה הוא אזור המגע בין הנארי לסלעי תצורת תמרת וצלקת הגלישה נמצאת במגע עם תצורת טקיה (איור סב). שיפוע המדרון הוא כ- 10°. דוגמאות נוספות לאי יציבות דומה קיימות במורדות ממזרח למלכיה בין עין מלכיה (24925/77825) לעין קדש (24970/77965), במורדות המזרחיים של הר עלמון (24675/77445) ובמדרונות מצפון לגשר בנחל עכברה (24685/76185).

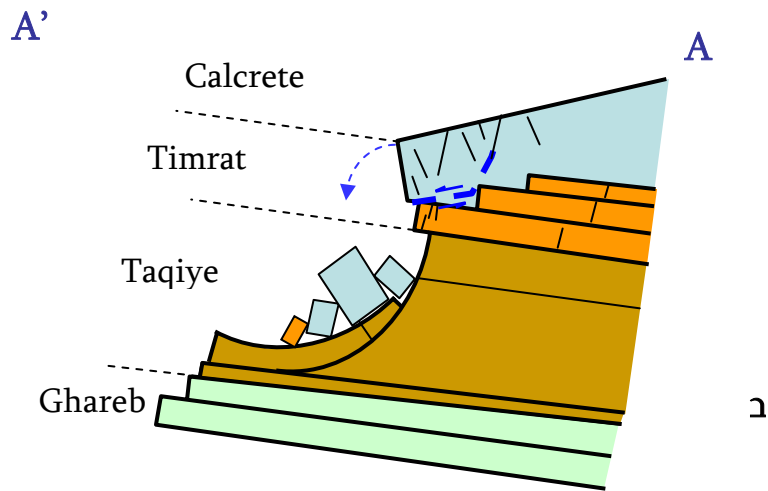
### תחנה 3 : תצפית לעבר מצוק מורדות הר עלמון

בתצפית מהגדה הצפונית של נחל דישון (24666/77571) לעבר הגדה הדרומית של הנחל (מורדות הר עלמון) ניתן להבחין בחשיפה של חתר הסלעים מתצורת סחנין מגיל קנומן עליון





א



איור 10. תמונה ואיור סכמתי של גלישת סלע (נארי) של בלוקים גדולים בגבול תצורות טקיה וחמרת בעין מלכיה. מישור הגלישה בבסיס הנארי מוצג באיור בקו כחול מקווקו.

במזרח ועד תצורת בר כוכבא מגיל איאוקן במערב. כיוון נטיית השכבות הנחשפות בגדת נחל הדישון הוא לצפ-מע ועוצמתה הנטייה חריפה בסלעי תצורת בענה הטורונית (30) ומתמתנת עם העלייה בחתך עד סלעי תצורת בר-כוכבא (15).

בגדת הנחל מופיעות עדויות לאי יציבות מזרון. בתצורת עין זיתים (סנון) נראית מורפולוגיה של גלישה רוטציונית הכוללת צלקת תלולה וגוף גלישה (רוחב כ- 50 מ'). במגע בין התצורות טקיה ותמרת, החשוף בבסיס ערוץ הירד מהר עלמון צפונה לכיוון נחל דישון, ניתן להבחין במפולת סלעים מגדת הערוץ המערבית (איור 11א). סלעי תצורת תמרת הסדוקים נעים במורד הגדה המצוקית של הערוץ במנגנון של נפילת/מפולת סלע (איור 11ב). נטיית השכבות כלפי צפ-מע לא כוללת רכיב בכיוון המזרון בו מופיעה המפולת ועל כן כשל במנגנון של גלישת סלע אינו סביר. בראש המפולת ניתן להבחין בסידוק פתוח שמגדיר את חלק המזרון הבא שיפול מטה.

#### תחנה 4 : נחל יראון

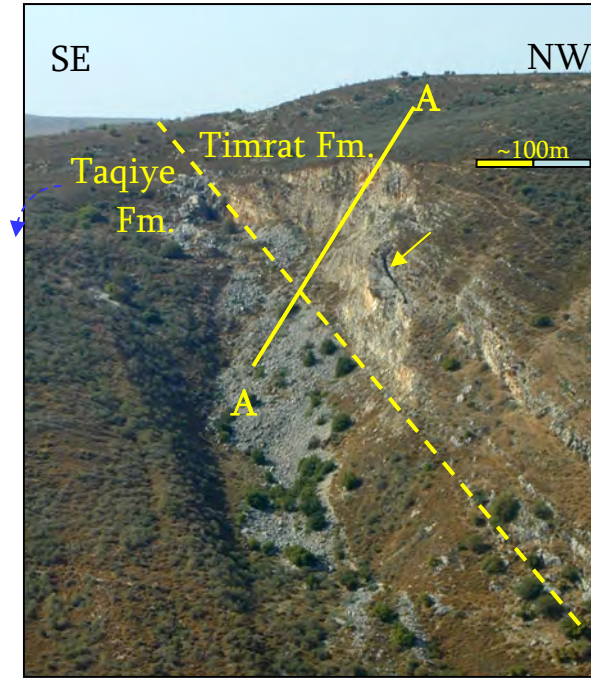
בגדה הדר-מע של נחל יראון (24354/77492) ניתן להבחין בצלקת גלישה ברוחב של כ- 200 מטר וגובה של כ- 100 מטר, בסלעי תצורת בר-כוכבא (איור 12). נטיית השכבות באזור זה בכיוון המזרון (לויטה, 2001), ושיפוע המזרון תלול (35°). תנאים אלה מאפשרים כשל מזרון במנגנון של גלישת סלע ויתכן אף מפולת. בחלק התחתון של הגלישה מתפתחות גלישות רוטציוניות קטנות (רוחב וגובה מטרים) בתוך חומר המזרון.

#### תחנה 5 : מורד נחל גוש חלב אזור עין גרגר - עין פועה.

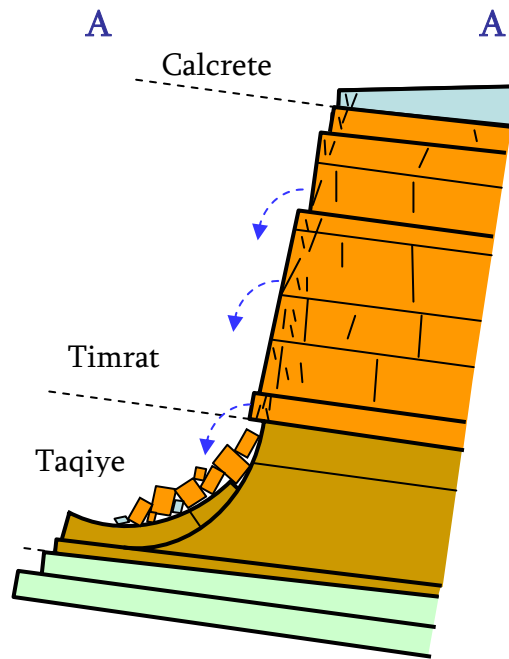
בתחום גיליון צפת נצפו בשדה מספר עדויות לאי יציבות מזרון בגג תצורת טקיה אשר מלמדות על תנועה של חומר המזרון מטה. העדויות כוללות מבנה מתיחה של תעלה רזודה מקבילה למזרון, למשל בגדה הדר-מע של נחל גוש חלב מזרון לעין חלב (24130/77185) (איור 13) ובמזרון הירד ממזרח לעין גרגר-עין פועה (241628/772541). במקרה הראשון כיוון השכוב כולל רכיב מסוים בכיוון המזרון ומקרה השני כיוון השכוב הפוך מכיוון המזרון (לויטה, 2001). דבר המצביע כפי הנראה על כשל מזרון במנגנון של גלישה רוטציונית. התעלות בשני האחרים אינן בולטות בנוף וכפי הנראה לא מלמדות על תנועה משמעותית של חומר מטה בעת האחרונה. במקומות אחרים למשל, בכביש הגישה הצפוני לצפת (24734/76429), התערבות הנדסית במזרון הטבעי גרמה לגלישות בתצורת טקיה, בעיקר לאחר גשמים חזקים. צפונה מעין מלכיה, במדרונות המשתפלים מזרחה מהר מלכיה (למשל, ב- 24972/77871), במקום בו כיוון השכוב הוא הפוך לכיוון המזרון, קיימות עדויות לזרימה של סלעי תצורת טקיה.

#### תחנה 6 : תצפית מזר-מע לכפר ג'יש (24273/76976)

ברעיית האדמה של 1837 נרשמו בכפר ג'יש (גוש חלב) עשרות הרוגים והרס כללי של המבנים (Vered and Striem, 1976). לאחר הרעייה נצפו בסביבת הכפר בקעים ארוכים (עשרות מטרים) באדמה. לאור תצפיות אלו ועדויות שדה לאי יציבות מדרונות בסביבת הכפר (ראה להלן) מייחסים Wachs and Levitte (1981), את הרס הכפר ברעיית האדמה לגלישות מזרון.



א

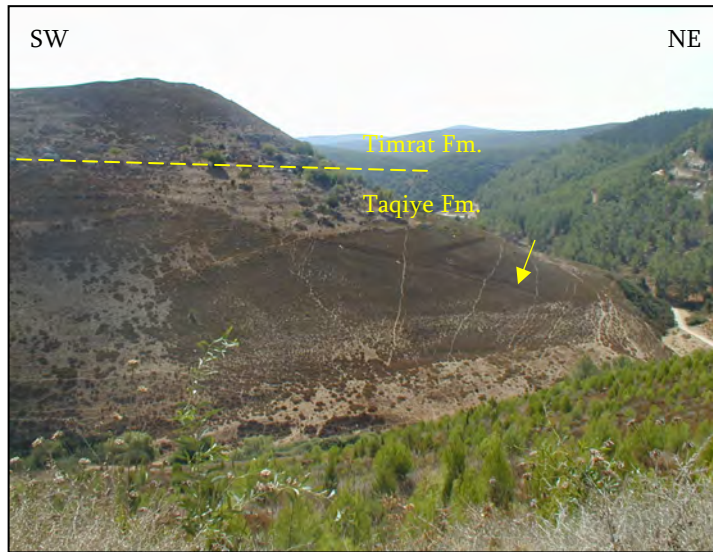


ב

איור 11. תמונה ואיור סכמתי של מפולח סלע בחצורת תמרתי במגע עם חצורת טקיה בבחל דיסון (החץ הצהוב בתמונה מראה סדק פתוח שכנראה מגדיר את יחידת הסלע הבאה שתנוע במורד המדרון).



איור 12. גלישת סלע בגדה הדר-מזרע של נחל יראון. בסלעי תצורת בר-כוכבא (גובה 100 מ', רוחב 200 מ'). בחלק התחתון של הגלישה מתפתחות גלישות רוטציוניות קטנות (רוחב וגובה מטרים) בתוך חומר המדרון (מסומן בחץ).



איור 13. מדרון בנחל גוש חלב בו חשופה תצורת טקיה. במדרון תעלה רדודה (מסומנת בחץ) המעידה על תנועת חומר במורד.

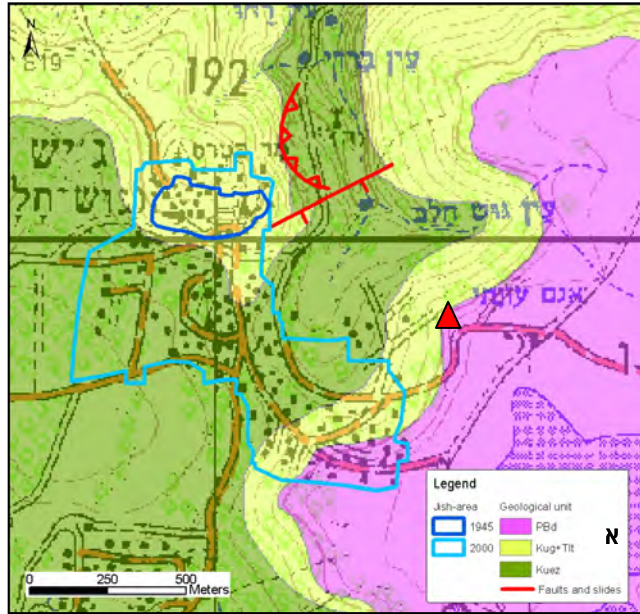
בתי הכפר ג'יש נבנו בעת ההיא במעלה הגבעה על גבי סלעי תצורת ע'רב הקירטונית-גירית (איור 14). באזור זה של גרעין הכפר ובראש הגבעה בסביבת הכנסייה חשופים כיום, בבסיס הבתים, חתכים של אדמת חורבות בעובי של מספר מטרים. המדרונות בשולי הכפר בנויים סלעי תצורת עין זיתים הקירטונית.

ממזרח לכפר ג'יש, בגדה המערבית של נחל גוש חלב נערכו מדידות לאפיין הדינאמיקה האינטרסיסמית והסיסמית של המדרון (Wust and Wachs, 1996). במעלה המדרון חשופה תצורת ע'רב ומתחתיה חשופים סלעים מתצורת עין זיתים בנטייה של  $12^{\circ}$  בכיוון המדרון. כאשר שיפוע המדרון הוא כ-  $30^{\circ}$ . בתצורת עין זיתים, קיימת מדרגה של מספר מטרים (24226/77024) (איור 14) ש- Wachs and Levitte (1981). קבעו שהיא צלקת גלישה, אשר יתכן ונוצרה ברעידה של 1837 (Wust and Wachs, 2000), וכן העלה בחורף 1969 (Wachs and Levitte, 1981). בערוץ הנחל שבתחתית המדרון חשוף חואר כברי. במדידות בפני השטח (EDM) ובקידוחים (Inclinometer) נמצא כי קצב תנועת המדרון מטה הוא 10-20 מ"מ בשנה תוך שינויים בזמן ובמרחב (Wust et al., 1998). עוד נמצא, שמפליס המים בחת-הקרקע לא משתנה משמעותית בעונה הגשומה. Wust and Wachs (2000) קבעו שמזובר בכשל מדרון במנגנון של גלישת סלע על גבי מישור שכוב בעומק של כ- 10 מטר, ככל הנראה בחואר כברי. למרגלות הצלקת העיקרית, על גוף הגלישה, נמצאים שרידים של בית כנסת שנבנה לפני כ- 1800 שנה. רצפת בית הכנסת נמצאת כיום במצבה האופקי המקורי, עובדה המגבילה את גיל הגלישה לקדום מגיל בית הכנסת (Wust and Wachs, 2000), אם כי תנועה מטה של חומר בנפחים קטנים שלא פגעו בבית הכנסת תתכן גם מאוחר יותר. הכפר ג'יש בנוי מעל צלקת הגלישה שחוארה לעיל, כך שלא ברור שכשל בתצורת עין זיתים גרם להרס הכפר ברעידה של 1837. יתכן שגורמים אחרים, כמו כשל מדרון ביחידת אדמת החורבות שנמצא באזור גרעין הכפר או הגברת תנודות סיסמיות עקב מבנה התשתית הגיאולוגית או המבנה טופוגרפי, הם שהביאו לנזק הקשה בכפר.

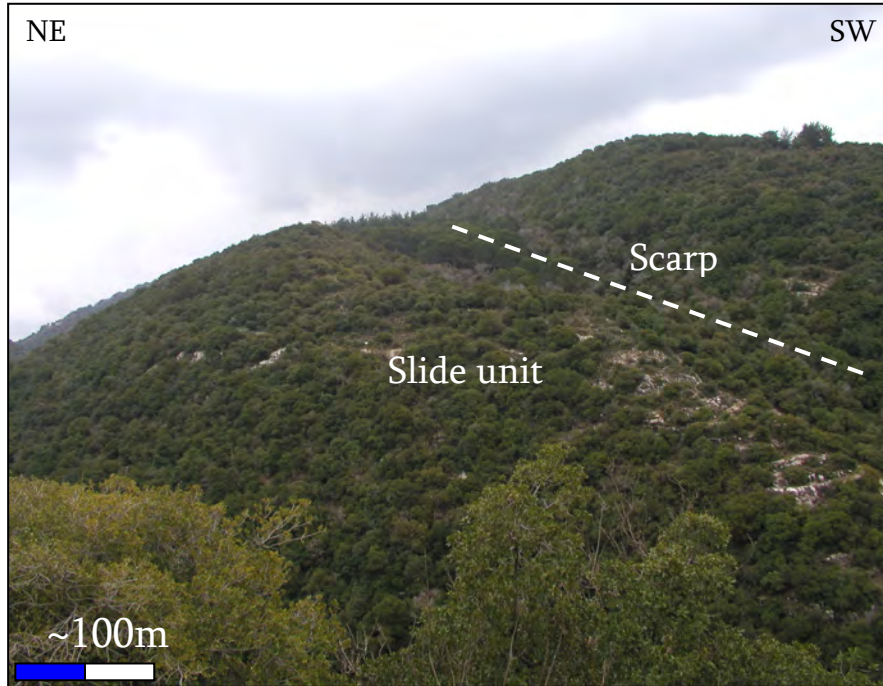
## תחנה 7 : נחל מורן

פרט ראש הנקרה של תצורת דיר חנא עובר שינויים לטראליים בין מופע גירי-זולומיטי (למשל מצפון לנחל מורן), למופע חוארי (למשל במורדות הדר-מזרע של הר אדיר). הסלע במופע החוארי הוא חלש ובמספר מקומות מציג עדויות לאי יציבות של המדרון. בגדה הדרומית של נחל מורן (נ.צ. 23480/76835), חשופה במדרון תעלה רחבה (נעשרות מטרים) היוצרת צלקת לאורך של מאות מטרים במקביל לנחל (איור 15). מורפולוגיה זו כנראה מלמדת על תנועה של פרוסת מדרון כלפי מטה. באזור זה נטיית השכוב בעלת רכיב בכיוון המדרון (לויטה, 2001) ועל כן יתכן שמנגנון הכשל כאן הוא גלישת סלע. עדויות נוספות לאי יציבות מדרון בפרט ראש הנקרה קיימות במורדות הדר-מזרע של הר אדיר. שם נחשפו בעבר (לפני עבודות פיתוח חקלאי) גושי סלע מתצורת סחנין שגלשו במורד המדרון על גבי פרט ראש הנקרה (לויטה, 2003 דברים בע"פ). באזור זה נטיית השכוב היא בכיוון המדרון.





איור 14. (א) מפה גיאולוגית (לויטה, 2001) ומפה טופוגרפית של אזור הכפר ג'יש (גוש חלב). גבולות ההתיישבות בשנת 1945 (החופפים בקרוב לאילו בשנת 1837) מופיעים בכחול; גבולות ההתיישבות העכשווית מופיעים בתכלת. (ב) תצפית מזר-מז לכפר ג'יש (מיקום החצפית מסומן במשולש אדום באיור 14). ממזרח לכפר נראה המדרון לכיוון נחל גוש חלב בו נערך הסקר של Wust and Wachs (2000). המגע בין התצורות עין זיתים וערב מופיע בקו לבן, חץ לבן מצביע על צלקת הגלישה של Wachs and Levitte (1981). וחץ שחור מציינ בקירוב את מיקום הכנסייה שנחרבה ברעידה של 1 בינואר, 1837 וקברה תחתיה מאות מתפללים.



איור 15. צלקת וחעלה במדרון בו חשוף פרט ראש הנקרה (תצורת זיר חנא) מדרום לנחל מורן.

במורדות המזרחיים של הר אדיר (נ.צ. 23550/77070), במקום בו חשופים שני הפרטים של חצורת זיר חנא (כרכרה וראש הנקרה) קיימות עדויות לתנועת חומר במורד המדרון (Sneh and Levitte, 2003). נטיית השכוב באתר זה היא מערבה, בניגוד לכיוון המדרון, כלומר מנגנון הכשל כפי הנראה אינו גלישת סלע אלא גלישה רוטציונית או מפולת סלעים.

## תחנה 8: הכפר עין זיתים

הכפר עין א-זיתון (עין זיתים), החרב כיום, ממוקם על גבי המדרגה המורפולוגית של חואר כברי (24636/76504). בגב בתי הכפר, ממזרח, מצוי מדרון תלול בו חשופים סלעי חצורת עין זיתים וחצורת עירב, כאשר נטיית השכבות בעלת רכיב בכיוון המדרון, ברעידת האדמה של 1837 נפגע הכפר בצורה קשה (Vered and Striem, 1976). Wachs and Levitte (1981), תיעדו בחצורת עין זיתים מעל הכפר מורפולוגיה של מדרגות, יתכן צלקות גלישה (hummocky), והם מייחסים את הריס הכפר ברעידת האדמה לגלישות מדרון אלה. במעלה המדרונות ממזרח לכפר ניתן להבחין בגלישה קטנה (כ- 25 מ' מעוקב) כפי הנראה בחומר המדרון (קולוביום), וכן בתעלות רדודות מקבילות למדרון, המלמדות על תנועה של חומר במורדו. כאמור, לפי התרחיש של Wachs and Levitte (1981), החומר שגלש ממעלה המדרון מטה לכיוון הכפר הוא הגורם לנזק הרב ברעידת האדמה. התצפיות שפורטו לעיל לא יכולות לאשר תרחיש כזה עקב אי נוכחות של עדויות שדה לגלישות גדולות. ייתכן כי הנזק בכפר קשור באי יציבות שהתפתחה על סלעי חואר כברי שמעליהם נבנה הכפר, במנגנון של גלישת סלע על מישורי שכוב. בשדה לא נמצאו עדויות חומכות לאפשרות זו, אך החואר הוא החומר הגיאולוגי הסביר ביותר להתרחשות גלישה בחצורת עין זיתים (Wust and Wachs, 1996). בנוסף יתכן שהנזק הקשה בכפר התרחש בגלל הגברת התנודות הסיסמיות במעבר הגלים בחומר החוארי.

## תחנה 9א : העיר העתיקה של צפת: אדמת חורבות ועדויות לאי יציבות המדרון

בעיר צפת העתיקה בכלל וברובע היהודי בפרט חשופים סלעים מתצורת עין זיתים (אזור בית העלמין היהודי) ועד חצורת תמרת (אזור המצודה). בחלקים גדולים של העיר העתיקה מונח על גבי הסלעים הנ"ל חתך של אדמת חורבות בעובי עד 10 מטר ובנטייה של עד 30° (כפך וכרובי, 2003). חתך זה בד"כ נחשף במדרונות התלולים בין הרחובות המקיפים את המצודה (איור 16א) וכן, לפרקים קצרים, חוף כדי עבודות פיתוח הנדסי. בשטח העיר העתיקה קיימות עדויות רבות לאי יציבות של המדרונות (ראה להלן), הנובעת ככל הנראה מזחילה של אדמת החורבות ופגיעה במבנים ובחשתיות. במהלך הסיור בעיר (איור 9), מאזור המצודה לרובע היהודי, נראה מספר דוגמאות להתמוטטות קירות תמך (איור 16א), פתיחה של סדקים בקירות בניין וקירות תמך (איור 16ב, ג) ובגלישות רוטציוניות במימדים של מטרים





ב

א



ד

ג

אור 16. עדויות לזחילה של אדמת החורבות בסביבת הרובע היהודי בצפת (מיקום ראה אור 9). (א) התמוטטות של קיר תמך לאחר הגשמים של חורף 2002-2003 וחשיפה של אדמת החורבות בעובי מספר מטרים מאחורי הקיר; (ב) סדקים במבנה המבוסס באדמת החורבות; (ג) סדקים בקיר תמך המבוסס באדמת החורבות; (ד) גלישה רוטציונית באדמת החורבות הפוגעת בכביש הסלול עליה.

אחדים (איור 1716). במקומות אחרים מופיעים סדקים פתוחים באדמת החורבות הנמשכים עד עשרות מטרים במקביל למדרון (למשל לאורך השוליים המערביים של רחוב קרן היסוד). כאמור, לאור עדויות השדה עולה כי אדמת החורבות לא יציבה כבר בתנאים סטטיים ונעה במורד המדרונות במנגנון של זחילה שבד"כ מואצת לזרימה בנוכחות גבוהה של מים (גשם, ניקוז לקוי, קריעת צינורות עקב הזחילה). לחומר גיאולוגי זה תכונות של קרקע ויש לצפות שבתנאים דינאמיים הוא יעבור כשל במנגנון של גלישה רוטציונית.

## תחנה 9 ב : מיצפור המאירי : תחום גלישות המדרון ברעידות של 1759 I - 1837

ממצפור המאירי ניתן להצביע על תחום אזורי גלישות המדרון שהתרחשו ברעידות האדמה של אוקטובר 1759 - ינואר 1837 (איור 1). הגבול המערבי של השתרעות הגלישות נקבע לאור תחום השטח הבנוי של הרובע היהודי בזמן הרעידות (ראה להלן). הגבול המזרחי, במעלה המדרון, נקבע לאור דיווחים היסטוריים על בתי הכנסת שנהרסו וששרדו את הרעידות, והמיקום של בתי הכנסת הללו, בעת הנוכחית.

### רעידת האדמה של אוקטובר 1759

עיקר ההרס ברעידה של אוקטובר 1759 היה בחלקו המערבי של הרובע (איור 1 ו-9): האזורים במורד המדרון, ערוץ האר"י וחלקו העליון של בית העלמין, שהיו בנויים בעת ההיא, נקברו בגלישות מדרון (יזרעאל, 2002). עדויות מהרעש מלמדות שבתי הכנסת האר"י הספרדי ובנאה נהרסו ואילו בתי הכנסת המזרחיים יותר, הגדול (אבוהב של היום) ועולי יוון (ליד האר"י האשכנזי של היום), לא נפגעו (יזרעאל, 2002). כדי להפעיל את רעידת האדמה הזו בממ"ג, נקבע האפיצנטר שלה להעמק הירדן, מצפון לכנרת ובמרחק של כ- 13 ק"מ מהעיר צפת העתיקה (איור 4). מגניטודת המומנט (Mw) שנקבעה לרעידה היא 6. תגובת המדרונות המחושבת לאזור העיר צפת ברעידת האדמה הנ"ל ואזורי הגלישות לפי מיפוי השדה ועדויות ההיסטוריות מופיעים באיור 5.

### רעידת האדמה של ינואר 1837

גם ברעידה של ינואר 1837 החלקים המערביים, במורדו של הרובע, נפגעו קשה בגלישות מדרון ובמיוחד אזור בית העלמין שהתכסה בחומר שגלש ממעלה המדרון ומאז למעשה לא נבנה יותר והפך אזור קבורה (יזרעאל, 2002). בדומה לרעידה של 1759, בתי הכנסת האר"י הספרדי ובנאה נפגעו בצורה קשה (שילר, 2002). בתי הכנסת המזרחיים יותר אבוהב והאר"י האשכנזי נפגעו בצורה קשה גם הם. בתי הכנסת האלה ממוקמים באתרים שבהם עמדו בתי הכנסת הגדול ועולי יוון, אשר לא נפגעו ברעידה של 1759. כמו כן נפגעו בית המדרש של רבי יוסף קארו ואילו בית הכנסת אלשייך הסמוך לא נפגע (שילר, 2002). מתוך עדות זו נראה כי תחום התפתחות גלישות המדרון התרחב אל מעבר לתחום של הרעידה של 1759 ונע עוד מספר עשרות מטרים במעלה המדרון (איור 1). השכונה הערבית שהשתרעה על גב הגבעה מזרחה

למצודה בסביבת בית הממשל הטורקי (הסארייה) נפגעה בצורה פחות חמורה ברעידה (Thomson, 1873).

כדי להפעיל את רעידת האדמה הזו, נקבע האפיצנטר שלה להמשכו הדרומי של העתק השוליים המערבי של החולה (Hula Western Border). מצפון לכנרת (אחרי Ambraseys, 1997) ובמרחק של כ- 7 ק"מ מהעיר צפת העתיקה (איור 4). מגניטודת המומנט שנקבעה היא 7. תגובת המדרונות המחושבת לאזור העיר צפת ברעידת האדמה הנ"ל ואזורי הגלישות לפי מיפוי השדה ועדויות ההיסטוריות מופיעים באיור 6.

ברעידות האדמה של יולי 1927 ואוגוסט 1984 לא כשלו מדרונות באזור צפת, וכצפוי החישוב לא הראה אזורים עם ערכי  $D_N$  המציינים מדרונות שכשלו.

## מקורות

- אליאב, מ., 1996. עדות ראייה על מוראות הרעש בצפת בתקצ"ז (1837), קחדרה 79, 78-53.  
ברטוב, י., סנה, ע., פליישר, ל., ארד, ו., רוזנזפט, מ., 2002. ההעתיקים החשודים כפעילים בישראל. המכון הגיאולוגי, דו"ח GSI/29/2002.  
זרעאל, ר., 2002. קווי יסוד בהתפתחות הרובע היהודי בצפת. אריאל 157 - 158 שילר וברקאי (עורכים), הוצאת אריאל, ירושלים, 203-215.  
זרעאל, ר., 2002. בית העלמין היהודי העתיק בצפת. אריאל 157 - 158 שילר וברקאי (עורכים), הוצאת אריאל, ירושלים, 216-225.  
כץ, ע., כרובי, א., 2003. הערכת הסכנה לגלישות מדרון בזמן רעידת אדמה חלק א: גיליון צפת. המכון הגיאולוגי, דו"ח GSI/25/2003.  
לויטה, ד., 2001. מפה גיאולוגית של ישראל, קנ"מ 1:50,000, גיליון צפת (II-2). המכון הגיאולוגי, ירושלים.  
סנה, ע., וינברגר, ר., 2003. המיפוי הגיאולוגי של גיליון מטולה 1:50,000 השלכות לחלוקה הסטרטיגרפית ולמערך ההעתיקים סביב עמק החולה. המכון הגיאולוגי, דו"ח GSI/7/2003.  
פלקסר, ע., 1969. ההר הזוחל של הכפר מעיר, האוניברסיטה כתב העת של האוניברסיטה העברית בירושלים, כרך 15 א'.  
שילר, א., 2002. הרעש בצפת בשנת תקצ"ז/1837. אריאל 157 - 158 שילר וברקאי (עורכים), הוצאת אריאל, ירושלים, 106-112.

Ambraseys, N. N., 1997. The earthquake of 1 January 1837 in Southern Lebanon and Northern Israel. *Annali di Geofisika*, XL (4), 923-935.

Ambraseys, N. N., Barazangi, M., 1989. The 1759 Earthquake in the Bekaa valley: implications for earthquake hazard assessment in Eastern Mediterranean region. *J. Geoph. Res.*, 94, 4007-4013.

Ben-Horin, U., 1952. An official report on the earthquake of 1837. *Isr. Exp. J.*, 2, 63-65.

- California Geological Survey, Spec. Bull. 117: Guidelines for Evaluation and Mitigating Seismic Hazards in California. <http://gmw.consrv.ca.gov/shmp/SHMPsp117.asp>
- Hall, J. K., 1993. The GSI digital terrain model (DTM) completed. GSI Current Research, 8, 47-50.
- Jibson, R. W., Keefer, D. K., 1993. Analysis of the seismic origin of landslides: example from the New Madrid Seismic Zone. Geol. Soc. Am. Bull., 105, 521-536.
- Jibson, R. W., Harp, E. L., Michael, J. A., 2000. A method for producing probabilistic seismic landslide hazard maps. Eng. Geol., 58, 271-289.
- Newmark, M. N., 1965. Effects of earthquakes on dams and embankments. Geotechnique, 15 (2), 139-160.
- Sneh, A., Bartov, Y., Rosensaft, M., 1998. Geological map of Israel, 1:200,000 scale, Sheet 1. Geological Survey of Israel.
- Sneh, A., Levitte, D., 2003. Tectonically induced reactivated multiple landslides on Mount Adir, Upper Galilee, Israel. GSI Current Research, 13, 7-8.
- Thomson, W. M., 1873. The land and the book. Nelson and Sons, London.
- Vered, M., Striem, H. L., 1976. The Safed earthquake of 1.1.1837 and its implications on the seismic risk evaluations in Israel.
- Wachs, D., Levitte, D., 1981. Earthquake induced landslides in the Galilee. Isr. J. Earth Sci., 30, 39-43.
- Wilson, R. C., Keefer, D. K., 1983. Dynamic analysis of slope failure from 6 August 1979 Coyote lake, California, earthquake. Bull. Seis. Soc. Am., 73, 863-877.
- Wust, H., Wachs, D., 1996. Slope instability and the influence of seismicity: on site investigation in Northern Israel. GSI Current Research, 10, 133-137.
- Wust, H., Wachs, D., Michaeli, L., 1998. Slope instability monitoring in the Gush Halav area, Northern Israel. GSI Current Research, 11, 103-107.
- Wust, H., Wachs, D., 2000. Seismic triggering of unstable slopes in northern Israel. Isr. J. Earth Sci., 49, 103-109.

## הגיאולוגיה של אזור קריית שמונה

רם וינברגר ועמיחי סנה

המכון הגיאולוגי, ירושלים 

### הקדמה

סקר גיאולוגי מפורט של עמק החולה הצפוני וסביבותיו מלווה במיפוי גיאולוגי חדש של גיליון מטולה בקנה מידה 1:50,000 הושלם לאחרונה (Sneh and Weinberger, 2003a, b). וחלקו המערבי מוצג בסיור זה (איור 1). הגיליון מכסה את אחד מקטעי המפתח החשובים והמורכבים טקטוני לאורך בקע ים המלח. במקום זה העתק הגבול המערבי של החולה מתפצל למספר העתקים ראשיים, כאשר העיקרי שבהם, העתק קריית שמונה, ממשיך צפונה, ומתפצל להעתק ימונה והעתק רום (איורים 2, 3). העתק ימונה ממשיך בלבנון לאורך השוליים המערביים של בקעת עיון בואכה סוריה וטורקיה. בסיסו של החתך הסטריגרפי הנחשף באזור הסיור הינו בקרטיקון התחתון וגגו בהולוקן (איור 4). למרות אי התאמות משמעותיות שאובחנו בתחומי הגיליון, כמעט כל התקופות הגיאולוגיות מיוצגות בפני השטח. התקופות החסרות הן אלה מהאיאוקן העליון עד המיוקן התיכון.

השטח המכוסה על ידי גיליון מטולה נחלק מבחינה גיאולוגית למספר תאים, והסיור הנוכחי יתמקד בשלושה מהם: (א) הרי נפתלי דרומית להעתק מרגליות. (ב) הרי נפתלי צפונית להעתק מרגליות ועד העתק קריית שמונה (והמשכו העתק ימונה). (ג) רכס מטולה מהעתק קריית שמונה ועד העתק תל חי. מפות גיאולוגיות קודמות כיסו חלקים מתאים אלו (Rosenberg, 1960; Glikson, 1966b; Heimann, 1985; Kafri, 1991).

### החתך הסטריגרפי

#### הרי נפתלי דרומית להעתק מרגליות

החתך הסטריגרפי של הרי נפתלי מוצג לפי סנה וינברגר (Sneh and Weinberger, 2003a, b) ובהסתמך על עבודות קודמות (Sneh, 1974; Kafri, 1991) במדרון שמעל העיר קריית שמונה המתנשא 800 מטר מעל עמק החולה נחשפות, מלמטה כלפי מעלה, תצורות חתירה, נבי סעיד, עין אל אסד, הידרה, רמה, כמון, ודיר חנא. דרומה יותר נחשפות תצורות סכנין ובענה ומעליהן תצורות מנוחה, מישאש, ע'רב וטקיה.





**תצורת חתירה**, הבנויה בעיקר אבני חול מגוונות, חשופה רק בחלקיה העליונים. עובייה על פי קידוח חולה 2 עולה על 600 מטר. חולות תצורת חתירה השקעו באגן רחב ממדים המשתרע על פני כל המרחב, בסביבות יבשתיות וחופיות ובהן ביצות ולגונות. תצורת נבי סעיד בנויה חילופין של אבני חול, גיר וחור. היחידה עשירה בפאונה ימית והיא מכונה בלבנון Couches à gastéropodes. עובייה 78 מטר. המעבר בין שתי התצורות, חתירה ונבי סעיד, אינו קל לזיהוי ולכן הן מופו כיחידה אחת.

**תצורת עין אל אסד** בנויה בעיקר מגיר ביומיקריטי, ועובייה 42 מטר. התצורה בונה מצוק המשכי ובלט מאד בנוף בגובה של כ- 300 מטר מעל העיר קריית שמונה. לתצורה השתרעות רחבה בחלקים גדולים של דרום לבנון שם היא מכונה Muraille de Blanche.

**תצורת הידרה**, המכונה Couches à Orbitolines באזורי תפוצתה בלבנון, מונחת בהתאמה על גבי תצורת עין אל אסד. מאפייניה הם גיר ביומיקריטי המופיע לחילופין עם גיר חרסיתי וחור. אואוליטים ברזליים נפוצים ביותר ולעיתים מהווים מרבץ ברזל שאינו כלכלי. את חתך התצורה סוגרת יחידה גירית קשה, אואוליטית במקומות, המופיעה בנוף כדרגש בולט אך דק בהרבה מזה של תצורת עין אל אסד. היחידה מכונה בגליל תצורת אספורי ובלבנון Fallaise de Zumoffen ובגליל עובייה המצומצם היא צורפה לתצורת הידרה. העובי המשותף של התצורות הוא כ- 130 מטר.

**תצורת רמה** היא בעיקרה תצורה חורית רכה עם מספר קטן של יחידות גיר ביומיקריטי המתחלפות עם החור. עובי התצורה 126 מטר. זוהי יחידה ימית שהושקעה בים הפתוח, רחוק יותר מקו החוף בהשוואה ליחידות שמתחתיה. בלבנון היא מכונה Couches à Knemiceras על שם האמוניט המאפיין אותה.

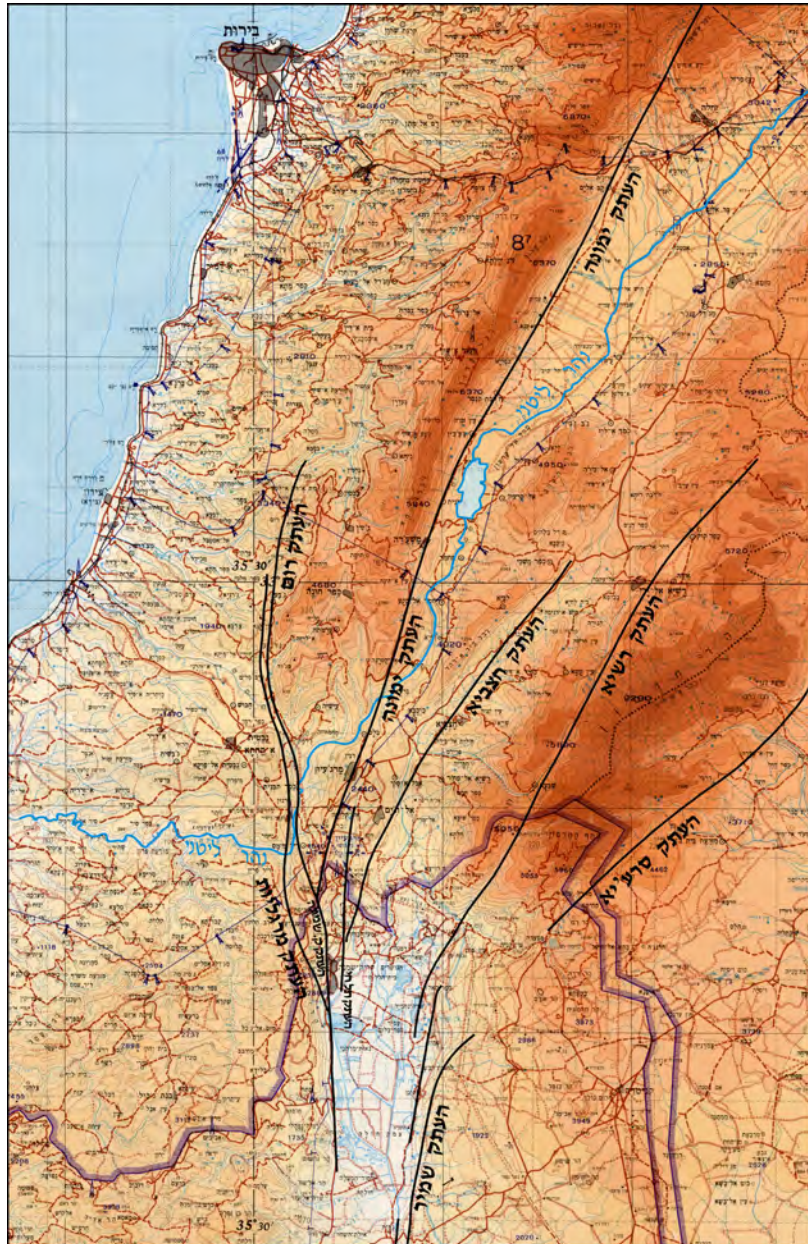
**תצורת כמון** היא יחידה ליחוס טרטיגרפית דולומיטית בעובי של כ- 200 מטר. במקומות היא מתאצבעת או משתנה לטרלית לאבני גיר. בדרך כלל בסיס התצורה גירי והוא מכונה Couches de passage אולם, כאמור, הגירים מופיעים גם מעל לדולומיטים.

**תצורת דיר חנא** נחלקת לשני פרטים, כרכרה וראש הנקרה שעוביים הכולל מגיע לכ- 240 מטר. פרט כרכרה בנוי דולומיטים, אבני גיר, קירטון חום, חור וצור המופיע בעיקר כנודולות גסות. יחידה דולומיטית וגירית, בונה מצוק, בעובי של כ- 20 מטר מופיעה בחלק התיכון של התצורה. פרט ראש הנקרה שמעליו, בנוי אבני גיר, קירטון, חור וצור המופיע כנודולות קטנות, כרבדות דקות וכגיאודות.

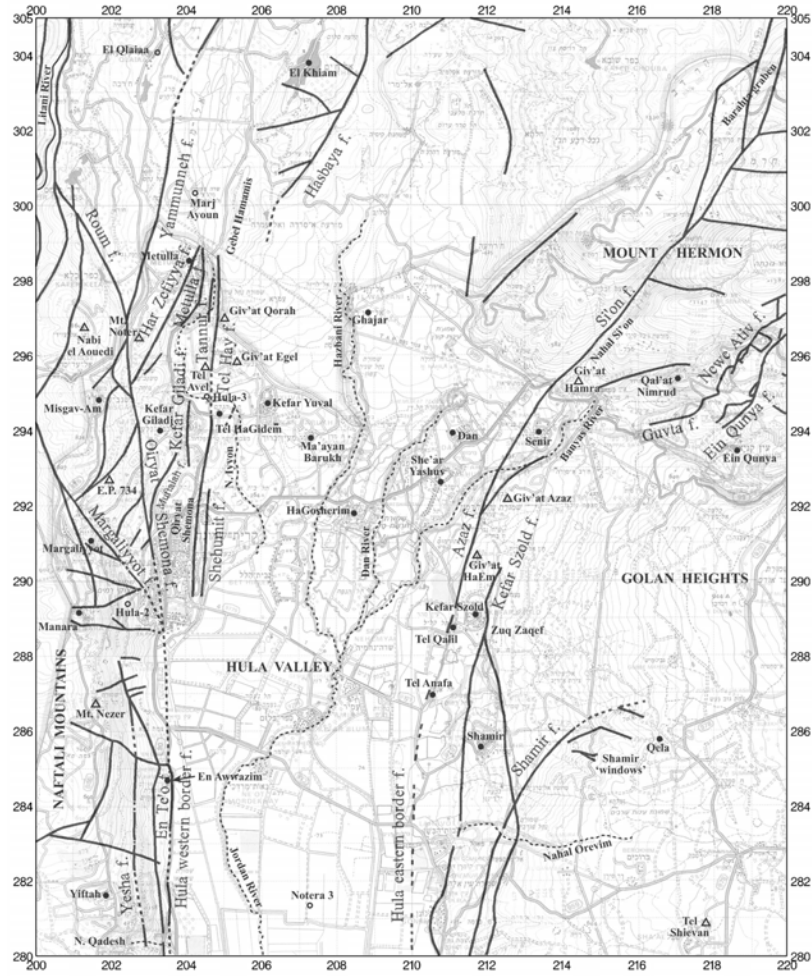
**תצורת סכנין ובענה** בעובי כ- 100 מטר כל אחת, חשופות באזור מצפה פאר ויפתח. בעייתיות היחסים בין התצורות באה לידי ביטוי במיפוי שונה של אזור יפתח. בשתי היחידות ניתן למצוא מעברים בין דולומיטים לגירים, וקריטריון השייכו אף הוא אינו קל ליישום.

תצורות **חבורת הר הצופים** חשופות ממערב ליפתח בשוליים המערביים של בקעת קדש. היחידות נוחתות מערבה ומגיעות לעובי של למעלה מ- 150 מטר בתחומי גליון מטולה. כ- 20 מטר מעל לבסיס החבורה זוהתה, לראשונה באזור זה, לשון מישאש שעובייה מספר עשרות ס"מ בלבד בדומה להופעתו בגליל העליון.





איור 2. מפת ההעתיקים הראשיים בעמק החולה. החרמון ודרום לבנון.



איור 3. מפת ההעקים הראשיים בגיליון מטולה. קידוחי מים מסומנים בעיגול ריק.

**חבורת חולה** בשוליים המערביים של עמק החולה למרגלות הרי נפתלי הוגדרו מספר יחידות צעירות חדשות, לפרוט ראה חחנה 2.

## השוליים הצפוניים של עמק החולה

החחר הסטרטיגרפי של הרי נפתלי מצפון להעתק מרגליות ובשוליים הצפוניים של עמק החולה נלמד בעבר על ידי מספר חוקרים ( Dubertret, 1951; 1960; Picard, 1952; Rosenberg, 1960; Glikson, 1966b; Horowitz, 1973, 1979; Heimann, 1985; 1990; Kafri, 1991).

חתך התצורות רמה, כמון ודיר חנא דומה משני עברי העתק מרגליות. יחידת הדולומיט והגיר המצוקית (בעובי 20 מטר) שהוזכרה לעיל בפרט כרכרה, משמשת אופק מנחה חשוב המאפשר את ההתאמה הסטרטיגרפית. חבורת הר הצופים בשוליים הצפוניים של עמק החולה מוגבלת בהשתרעותה לאזור נחל עיון אבל בית מעכה ולאזור תל חי - תל רועים. בשני כתמים אלה חשוף רק החלק העליון של תצורת טקיה מגיל פאליאוקן עד אאוקן מוקדם ביותר. עם זאת, על פי קידוח חולה 3, שתחילו קרוב לגג החבורה, עובי החבורה כ- 360 מטר.

חבורת עבדת נחלקת לתצורות תמרת ובר כוכבא. הראשונה בנויה גיר קרטוני וחשופה במספר כתמים במפל התנור, בתל אבל בית מעכה ובחלקו המזרחי של קיבוץ כפר גלעדי. עובייה החשוף מגיע לכ- 200 מטר. השנייה בנויה גיר נומוליטי קשה, עובייה עולה על 250 מטר והיא חשופה מצדו המזרחי של העתק הר צפייה.

תצורת כפר גלעדי הניאוגנית מכסה באי התאמה ארוזיבית את תצורת בר כוכבא. היא בנויה קונגלומרטים, אבני גיר וחרסיות שמוצאם בסביבות נהריות ואגמיות. עובייה הכולל למעלה מ- 400 מטר. התצורה חוארה לראשונה על ידי פיקרד ( Picard, 1952) ובעקבותיו על ידי רוזנברג (Rosenberg, 1960) וגליקסון (Glikson, 1966b) שהניחו כי יחידת הגיר מכוסה או מתאצבעת על ידי הקונגלומרט. לעומתו סנה (Sneh, 1996) סבר שדווקא הקונגלומרט נמצא בבסיס והגיר הלקוסטרי מכסה עליו. אילני (Ilani, 1992) מתאר קונגלומרט עבה מונח באי התאמה על גבי גיר תצורת בר כוכבא במחצבת כפר גלעדי, עובדה שלא נצפתה קודם לכן. הקונגלומרט הניאוגני מצדו המזרחי של העתק תל חי אף הוא שייך לתצורת כפר גלעדי (Sneh, 1996). בגבעת קרח (נ.ג. 420) הקונגלומרט מלוכד היטב בגיר ונראה דומה לזה של תצורת כפר גלעדי. עם זאת אין להתעלם משני הבדלים בולטים: הקונגלומרט מכסה באי התאמה יחידות מגיל קרטיקון ולא אאוקן. והוא מכיל חלוקים שאינם דווקא אאוקניים. מהבחינות הללו הוא דומה יותר ליחידת חלוקי עגל שמופתה מעליו.

יחידת חלוקי עגל בגבעת עגל הוגדרה וחוארה לראשונה על ידי היימן ( Heimann, 1990). היא בנויה חלוקים שנגזרו גם מהחתך מגיל יורא והיא מלוכדת בליכוד, לעיחים חרסיתי, רופף; גילה פלייסטוקן עליון (Heimann, 1990). הגבול בין יחידה זו לבין תצורת כפר גלעדי אינו ברור דיו. יחירה מזו, בהתחשב בהסתייגויות שהובאו לעיל אין לשלול את האפשרות שכל התצורה החשופה ממזרח להעתק תל חי, ומופתה כתצורת

כפר גלעדי, אינה אלא החלק התחתון של יחידת חלוקי עגל. יחידת חלוקי עגל נוחתת דרומה והיא בונה את בסיסו של תל הגדם.

יחסי השדה בין הקונגלומרטים לבין הבזלות הצעירות בשוליים הצפוניים של עמק החולה אינם ברורים די צורכם. נראה, שבזלת חצבני הפלייסטוקנית שגילה 0.8 עד 1.4 מליון שנה (Heimann, 1990) מכסה על יחידת חלוקי עגל. זאת ועוד, זרמי בזלת חצבני מכסים את זרמי בזלת משכי שגילה פליוקני (Mor, 1993). על פי ניתוח המפה הגיאולוגית גם בזלת זו צעירה לקונגלומרטים ועל כן גיל הקונגלומרטים וחלוקי עגל פליוקני מוקדם ולא פלייסטוקני עליון.

**חבורת חולה (נחלק עליון)** מאגדת בחוכה את יחידות הסלע הצעירות, בעיקר אלה שגילן קוורטר. מרבית החתך הקוורטרי קבור מתחת לכיסוי האלוביאלי בעמק החולה ובשלוחה שלו בין גבעת שחומית למורדות הרי נפתלי (Horowitz, 1973; 1979). המשקעים ברובם חרסיתיים אגמיים לחילופין עם יחידות חלוקים ועם מספר יחידות בזלת. באזור מצומצם יחסית בגבעת שחומית, במדרון הדרום - מערבי, נחשפות מספר שכבות קוורטריות פלוביו-לקוסטריות בחילופין עם הבזלת. באזור זה או בסביבתו הקרובה נמצא טרוורטין מכוסה בבזלת (Heimann, 1990).

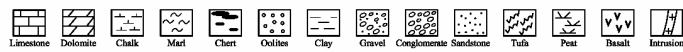
**יחידת טופה (טרורטין)** צעירה מבזלת חצבני מכסה את זרמי הבזלת בשכבה שעובייה עד 25 מטר (Picard, 1963). בעבר נעשתה הבחנה בין טרוורטין כפר יובל העתיק, החשוף באזור הגושרים כפר יובל, לבין טרוורטין זן הצעיר באזור מפל הבניאס (Heimann, 1990). גור (In: Gur et al., 2002) מתייחסת לשתי יחידות הטרורטין כאל יחידה אחת שאינן נבדלות זו מזו בגילן.

## המבנה הטקטוני

### הרי נפתלי דרומית להעתק מרגליות

רכס הרי נפתלי מוגבל במזרחו בהעתק הגבול המערבי של עמק החולה. היחידות הקרטיקוניות הבונות את הגוש העליון נוחתות קלות מערבה לכונן ציר הקער של ואדי דובה, המשכו של קער יראון בלבנון. הרכס ההררי חצוי על ידי העתקים שכונם הכללי מזרח מערב, הזריקה עליהם בדרך כלל מספר עשרות מטרים בלבד (הזריקה על העתק עין גמא מצפה פאר מגיעה ל- 200 מטר), וחלקם אף נרפאים מערבה. שני העתקים מקבילים שכונם צפון-דרום זוהו במרחק 500 ו- 1000 מטר מערבית להעתק הגבול המערבי של החולה והם מוצגים בתחנה 2. העתק מקביל-סטרייק נוסף הוחווה לאורך המדרגה המורפולוגית עליה ממוקם מושב מרגליות. ההעתק מתחייב משיקולי עובי של פרט כרכרה באזור ועצם קיומה של המדרגה המורפוטקטונית מסביר את רוחבה ואת מערכת הניקוז הגרועה שלה עליה עמדו רון וחוב' (Ron et al., 1997).

SYSTEM	SERIES - STAGE	SYMBOL	THICK. in Rift West Rift East	LITHOLOGY	LITHOSTRATIGRAPHY			
					MAPPING UNITS	GROUP		
QUATERNARY	HOLOCENE	Al	0	Recent fan	Mallaha Fm.	HULA Qhu		
		Qf	Qm	Terrace cgl.	Tufa			
	PLEISTOCENE	Qc	Qt	Golan flows (Sv + Tzava)	Golan flows (Mevius & En Zivan flows)			
		Qbg	Qbg	En Awazim flow				
		Qbw	Qbw	Haham flows	Dalme flows			
		Qbs	Qbs	Shinar Suvva	Sivan Conglomerate			
	PLIOCENE	Pfm		Meshki Basalt				
		Peg		Egel Gravel				
	TERTIARY	NEOGENE	MIOCENE	Nkg	400 +		Kefar Giladi Formation	SAQIYE
				PALEOGENE	EOCENE		MIDDLE	Ebk
LOWER		Ea / Et	200			Adulam & Timrat fms.		
CRETACEOUS		PALEOCENE	Tlt	30	Taqiye Fm.		MOUNT SCOPIUS Kums	
	Mastr.		Kug	150	Ghareb Fm.			
	SENONIAN	Kamp.	Kumf	12	Qela Conglomerate			
		Santon.	Kum	20	Mishash tounge			
		TURONIAN	Kub	100	110	Bina Formation		
			CENOMANIAN	Kusa	100	97	Sakhin Formation	
	Kudr	100			Rosh Hanigra Mbr.			
	Kudk	70-140			Karkara Mbr.			
	ALBIAN	Kukam	180-235		Karon Formation			
			Kli	Klr	126	175	Rama Fm.	Mas'ada Fm.
Kum								
APTIAN		Kli	130	65	Hidra Formation			
	Klei	42	45	Ein El Assad Fm.				
NEOCOMIAN-BARREMIAN	Kln + Klh	220 +	85	Hatira & Nabi Sa'id fms.	KURNUB			
		Klβ	20 +	125	Lower Cretaceous volcanics			
JURASSIC	OXFORDIAN	Juh	125		Haluza Formation	ARAD		
		Jub	100		Be'er Sheva Formation			
		Juk	110		Kidod Formation			
	CALLOVIAN	Jmh	900 +		Hermon Formation			
			BATHONIAN					



איור 4. החתך הסטרטיגרפי בגלילון מטולה.

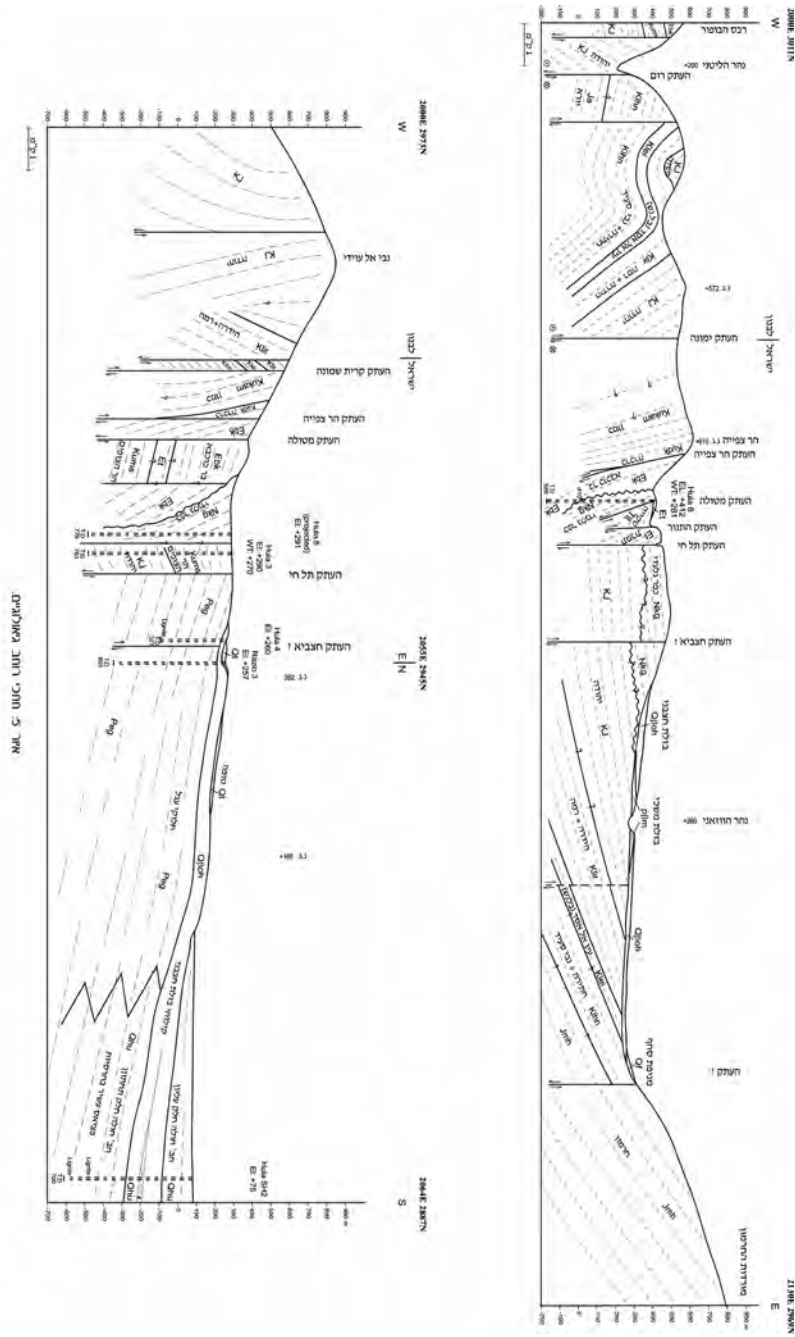
## השוליים הצפוניים של עמק החולה

המבנה הטקטוני של השוליים הצפוניים של עמק החולה וסביבותיו נזון במספר גדול של עבודות מחקר בעבר; ראה מקורות אצל סנה ווינברגר (Sneh and Weinberger, 2003).

ההעתיקים הראשיים בהמשך להעתק הגבול המערבי של עמק החולה מכתיבים את המבנה הטקטוני של האזור. אלה הם: (א) העתק קריית שמונה והתפצלויות צפונה; העתק ימונה והעתק רום, (ב) העתק מרגליות, (ג) העתק תל חי, (ד) העתק שחומית והמשכו הבלתי ברור כהעתק חצביי. העתק הגבול המזרחי של החולה סוגר על העמק ממזרח וממשיך בהר החרמון כהעתק שיאון (בלבנון; העתק רשייא).

**העתק קריית שמונה** הוא המשכו הצפוני של העתק הגבול המערבי של החולה מהמבואות הדרומיים של קריית שמונה, ועד התפצלותו ל**העתק רום** ול**העתק ימונה** ממערב להר נוטר בשטח לבנון. מעברו המערבי העליו של ההעתק חשופות חצרות קרטיקוניות ומעברו המזרחי הירוד חשופות חצרות אאוקניות (באזור כפר גלעדי) ונאוגניות. **העתק מרגליות** מתפצל אף הוא מהעתק הגבול המערבי של החולה במבואות הדרומיים של קריית שמונה, ומכאן הוא פונה צפון מערבה. בציוד הדרומי העליו חשופות חצרות מהקרטיקון התחתון המונחות מול יחידות גבוהות יותר מן הקנומן והטורון בציוד הצפוני הירוד. **העתק תל חי** נמשך בכון דרום-צפון מאזור העיר קריית שמונה ועד בקעת עיון. בהכללה ניתן להראות שההעתק מעמיד חצרות מהסנון עד האאוקן בציוד המערבי, העליו, מול חצרות ניאוגניות קוורטריות, סדימנטריות ווולקניות, בציוד המזרחי הירוד. **העתק שחומית** עובר לאורך המרגלות המזרחיים של רכס גבעת שחומית ומפריד בין הבזלות הנטייות הבונות את הרכס לבין הבזלות הנמוכות יותר, במזרח, המכסות את העמק (ראה חחנה 1). לפי היימן ורון (Heimann and Ron, 1987) והיימן (Heimann, 1990) זהו העתק חזזה אופקית שמאלית עם דירוג ימני היצר הגבהות טקטוניות (push ups) בגבעת שחומית, תל ברום, תל הגידם וגבעת עגל, והמשכו בהעתק חצביי.

ההעתיקים שתוארו מחלקים את השוליים הצפוניים של עמק החולה למספר מבנים טקטוניים (איור 2): (א) בלוק משגב-עם ליטני בין העתק מרגליות להעתק קריית שמונה והמשכו בהעתק רום; (ב) בלוק ג'בל ניחא (בלבנון) בין העתק רום להעתק ימונה; (ג) בלוק מטולה בין העתק קריית שמונה-העתק ימונה להעתק תל חי; (ד) בלוק אל חיים בין העתק תל חי להעתק חצביי. שכבות הסלע בשלושת הבלוקים הראשונים נמצאו מקומטות ושבורות, ובמקומות השכבות אנכיות וההעתיקים הפוכים. שני חתכי רוחב גיאולוגיים נמתחו בניצב למבנים שתוארו לעיל. בשניהם עובר חוואי החתך דרך קיזוחי מים המספקים נתונים מתת הקרקע עד לעומק של כמה מאות מטרים (איור 5).



## פירוט תחנות הסיור

### תחנה 1 : גבעת שחומית

עלייה לגבעת שחומית מרחוב שפרינצק והגעה לנקודת התצפית ב.ג. 142. בתחנה זו נצפה מערבה אל עבר החתך הקרטיקוני הבונה את הרי נפתלי; נציג את מהלכם של העתקי הבקע בצפון עמק החולה; נבחן את השתרעות זרמי בזלת בסביבת גבעת שחומית ובה; וננתח את המבנה הסטרוקטורלי של הגבעה וסביבתה לאור גילים רדיומטרים ונתונים גיאופיזיים חדשים.

גבעת שחומית הינה רכס מוארך בכיוון צפון-דרום שאורכו כ- 2200 מטר, רוחבו 350 מטר, והוא מורם מעל סביבתו ב- 85 מטר. הרכס תוחם ממזרח את הבקעה האלוביאלית שעליה מונחת קריית שמונה. גבעת שחומית בנויה מזרמים של בזלת חצבני מגיל פלייסטוקן. באגפה הדרום-מערבי נחשפים סדימנטים פלוביו-לקוסטריים בעובי של מספר מטרים השייכים ככל הנראה לחבורת חולה. שאלת היווצרותו של הרכס העסיקה חוקרים רבים. פיקרד (Picard, 1952) הציע שלפי צורתו של הרכס "לפניו התפרצות סדקים וולקנית אופיינית, שכמה זרמי לבה ממנה התפשטו לצדדים...". הוא כינה סדק זה 'הסדק של תל-חי' והתייחס אליו כאל קו טקטוני גדול הנמשך צפונה לתוך לבנון לאורך הגבול המזרחי של בקעת עיון. מאוחר יותר, פיקרד (Picard, 1963) התייחס אל הרכס כאל זרם בזלת שאינו מופרע טקטונית. לעומת זאת, שולמן (Schulman, 1966) קבע שהרכס הינו בלוק נטוי מועתק הבנוי ממספר זרמי לבה. הוא הציע שהרכס תחום משני צידיו על ידי העתקים, שהעיקרי שבהם, העתק תל חי, תוחם את הגבעה ממערב. היימן ורון (Heimann and Ron, 1987) והיימן (Heimann, 1990) זיהו העתק אחד שתוחם את גבעת שחומית ממזרח, וכינוהו **העתק שחומית**. הם הציעו שהעתק זה הינו העתק תזוזה אופקית שמאלית בעל דירוג הימני היוצר אזור מקומי מוגבה טקטוני (push up). הוא גבעת שחומית. ענבר (Inbar, 1980) זיהה זרם בזלת בעובי שלשה מטרים נטוי לדרום-מזרח כ- 1000 מטר ממערב לגבעת שחומית (ניסודות בית ברחוב הרצל 12-8, נ.צ. 2032/2908) הוא הציע שבזלת זו קורלטיבית לבזלת בגבעת שחומית, ובדומה לה היא נטויה בסמיכות להעתקי צפון-דרום שפעלו בפלייסטוקן המאוחר.

היימן (Heimann, 1990) חיארך בשיטת K-Ar בזלות מגבעת שחומית ובזלת בקידוח חולה 1 (נ.צ. 2062/2888) בעומק 180 מטר, ומצא שגילן כ- 1 מליון שנה. בעבודה הנוכחית חוארכו בשיטת K-Ar שתי דוגמאות בזלת נוספות מגבעת שחומית ונמצא שגילן כ- 1.5 מליון שנה (י. הרלבן, המעבדה הגיאוכרונולוגית, המכון הגיאולוגי). כמו כן תוארכה הבזלת מיסודות הבית ברח' הרצל ונמצא שגילה צעיר מ- 1 מליון שנה. בזלת מוכרת גם בצפון העיר בסמוך לעין זהב, בעומק מספר מטרים (Michelson, 2001), ובדרום העיר בקידוח לפיזות-קריית שמונה (נ.צ. 2033/2891) בעומק 73 מטר.

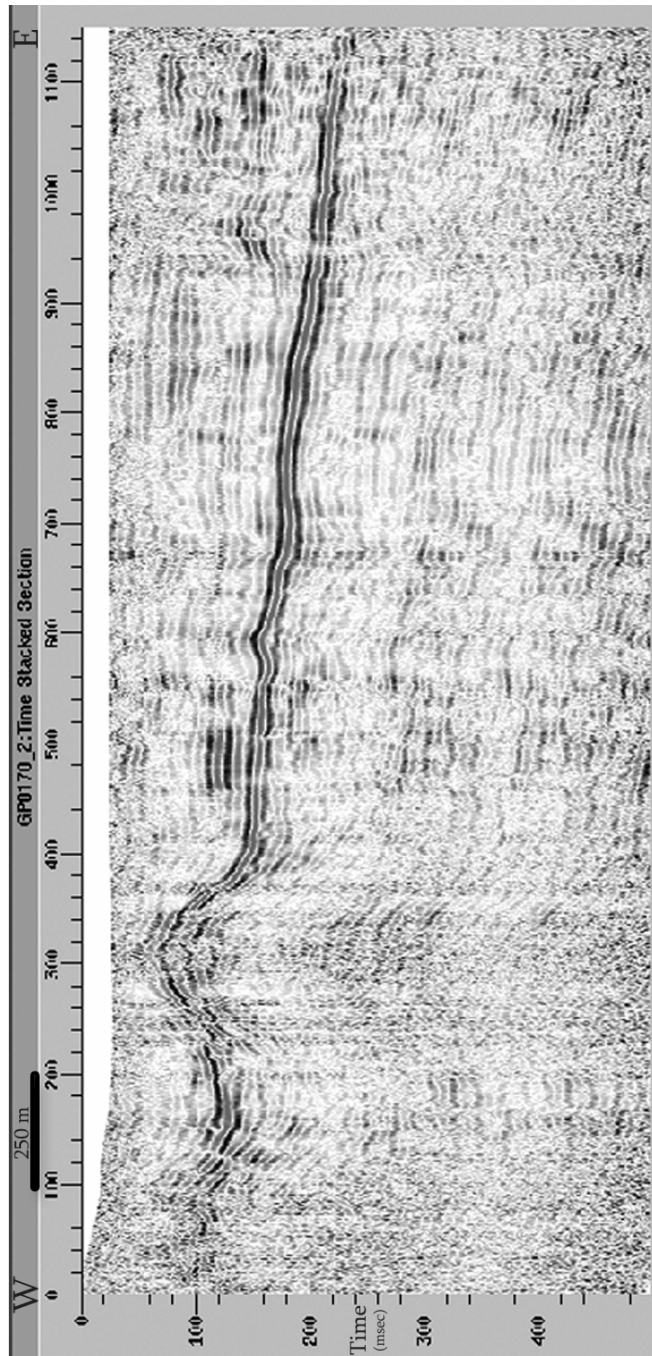


נטיית השכבות ניתנת למדידה במספר מצומצם של מחשופים שבהם משטחי הבזלת מקוריים וניצבים ל"עמודי בזלת" (columnar joints). בשיא הגבעה השיכוב אופקי, ואילו באגפה המזרחי של הגבעה נרשמו נטיות של כ-  $20^{\circ}$ - $40^{\circ}$  למזרח עד דרום-מזרח.

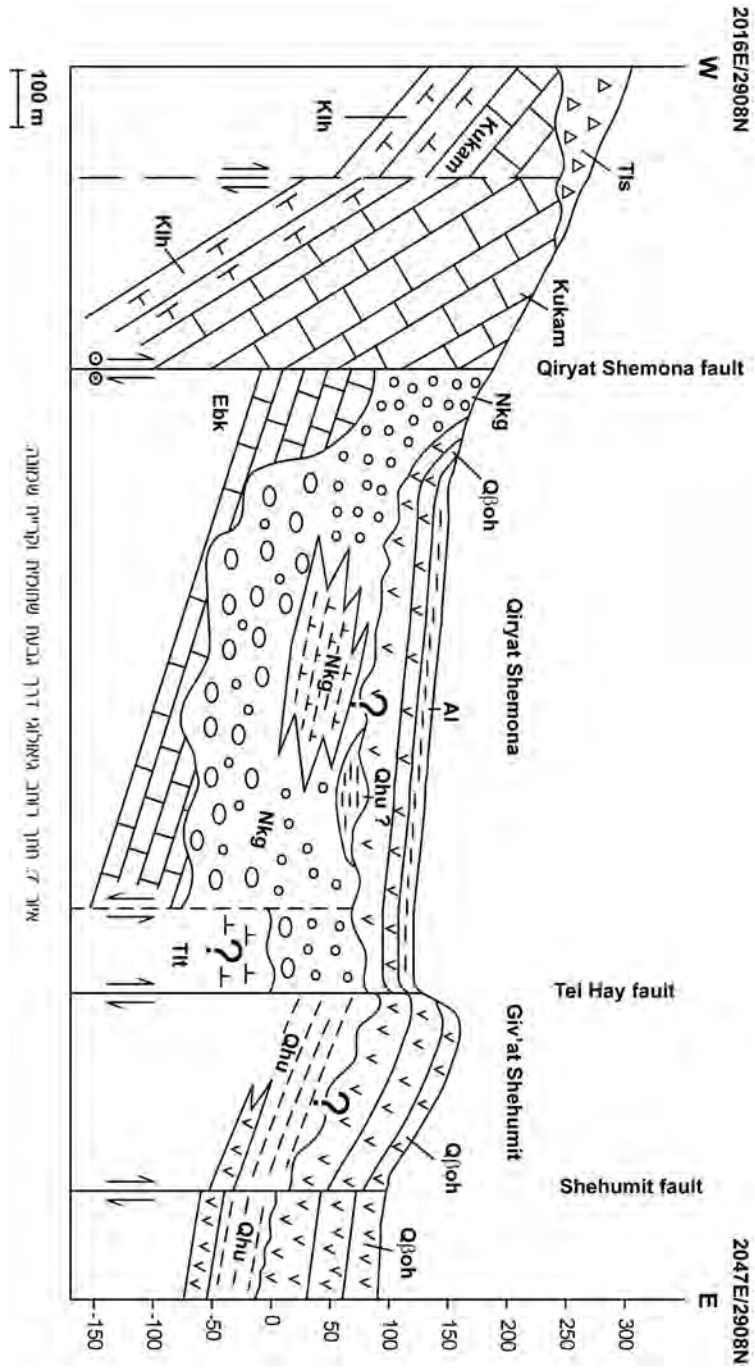
לשם זיהוי סגנון הדפורמציה המאפיין את גבעת שחומית ואיתור ההעתקים בשוליה בוצע סקר רפלקציה סייסמית בהפרדה גבוהה בתאום עם א. פריזלנדר וב. מדבדיב מהמכון הגיאופיזי (Frieslander and Medvedev, 2002). הקו הסייסמי מוקם מזרוע לגבעת שחומית בין נ.צ. 2035/2895 לנ.צ. 2063/2887 ומהלכו הכללי מזרוע דרום-מזרח לאורך 2875 מטר. חחילו במערב, בכביש מס' 90 כ- 500 מטר מצפון לקידוח לפידוח-קריית שמונה, וסופו במזרח, כ- 120 מטר מזרחית לקידוח חולה 1. ההחזרה הבולטת בחתך (איור 6) פוענחה כגג שכבת בזלת המופיעה לאורך כל החתך (Frieslander and Medvedev, 2002). במזרח, גג השכבה זוהה כגג שכבת הבזלת בעומק 180 מטר בקידוח חולה 1. במערב, עומק הבזלת לאחר הפיכת זמן לעומק הינו 80 מטר, והוא חואם את הממצא בקידוח לפידוח-קריית שמונה. שכבת הבזלת מקומטת ושבורה ולכן מעידה על דפורמציה פליסטוקנית צעירה ממיליון שנה. ממזרח לגבעת שחומית, לשכבה נטייה אזורית בעלת רכיב מזרחי. מזרוע לגבעת שחומית, השכבה יוצרת קמר הקרוע בשוליו על ידי שני העתקים נורמליים תלולי זווית, שזריקתם קטנה. ממערב לגבעת שחומית ומתחת לבקעה האלוביאלית שעליה מונחת קריית שמונה, שכבת הבזלת מקומטת ויוצרת קער המוגבל ממערב באזור שבור הבנוי העתקים קטנים, היוצרים "מבנה פרח חיובי".

ממדידות השדה, מנתוני הקידוחים, ומפענוח החתך הסייסמי אנו מציעים שגבעת שחומית הינה ביטוי מורפולוגי לקמר הנוחת לדרום דרום-מזרח ובשוליו העתקים נורמליים תלולי זווית. הבקעה האלוביאלית של קריית שמונה התפתחה על גג הבזלת המקומטת היוצרת קער הנוחת קלות לדרום דרום-מזרח ושעון במערב אל העתק קריית שמונה. בסמוך להעתק קריית שמונה התפתחו העתקי משנה היוצרים מבנה פרח חיובי האופייני לאזורים לחוצים בסמוך להעתק תזוזה אופקית. הקמר, הקער ומבנה הפרח מצביעים על התקצרות בכיוון מזרח - דרום-מזרח מערב - צפון-מערב של עד 10% בפליסטוקן המאוחר. תרומת ההתארכות המקומית בשולי הקמר עקב ההעתקה הנורמלית זניחה, ומיוחסת לחגובתה הפריכה של הבזלת בעת הקימוט הרדוד. חתך רוחב דרך המבנים המתוארים מוצג באיור 7.

הקער הנוחת לדרום דרום-מזרח, ובהתאמה, השתנות עומק גג הבזלת מתחת לקריית שמונה מצפון לדרום, מסבירים את פיזור ערכי תדירויות התהודה (resonance frequencies) שנמדדו בקריית שמונה במסגרת סקר תגובת אתר (Zaslavsky, 2002). במודל חד-ממדי פשוט תדירות התהודה תלויה ביחס ישר במהירות גלי הגזירה ותלויה ביחס הפוך בעובי הסדימנטים מעל השכבה המחזירה (גג הבזלת). אכן, הסקר מצביע בדרך כלל על ירידה של התדירויות מצפון העיר לדרומה (מקו רוחב 291 בצפון לקו רוחב 289 בדרום) לאורך קוים שוי תדירות הקמורים קלות דרומה. בצפון



אור 6: חתך זמן סיסמי מדרום לגבעת שחוקית (Frieslander and Medvelev, 2002)



תמונה 3: חתך גאולוגי דרום-צפוני של אזור קריית שמונה, מדרום לנחל קריית שמונה ועד לנחל קריית שמונה.

העיר, במקומות שעומק הבזלת מטרים ספורים, התדירויות הן גבוהות, ואילו בדרום העיר, במקומות שעומק הבזלת כ- 70 מטר, התדירויות נמוכות.

## תחנה 2 : עין אוזים וסביבתו

כניסה לשמורת עין אוזים מהסתעפות דרך מערבה בקילומטר ה- 463 לאורך כביש 90. נסיעה דרומה כ- 1000 מטר לאורך דרך עפר מקבילה לכביש, עד למפגש הדרך עם קו מתח גבוה ברום של כ- 100 מטר מעפ"י. בתחנה זו נציג יחידות צעירות שהוגדרו לאחרונה, ונדון בהעתקה המתרחשת לאורך השוליים המערביים של עמק החולה.

בשוליים המערביים של עמק החולה, למרגלות הרי נפתלי, הוגדרה יחידה קונגלומרטית בעובי של למעלה מ- 20 מטר, המכונה בשם **קונגלומרט עין אוזים** (תצלום 1). הקונגלומרט מלוכד היטב ומכיל חלוקים אנגולריים וחת-אנגולריים של גיר, דולומיט וצור שמקורם בסלעי חבורות יהודה, הר הצופים ועבדת, ובהופעתו הפולימיקטיית הוא שונה מקונגלומרט כפר גלעדי. מעל יחידה זו נמצא זרם בזלת דק (En Awwazim flow) בעובי חשוף של כמטר אחד. הבזלת אופקית, גילה כ- 800 אלף שנה נ.י. הרלבן, המעבדה הגיאוכרונולוגית, המכון הגיאולוגי, והיא קורלטיבית לבזלת חצבני המוכרת בגבעת שחומית וסביבתה. הופעת בזלת מגיל פליסטוקן מאוחר בלוח האפריקאי ממערב להעתק הגבול המערבי של החולה היא ייחודית. הבזלת מכוסה בשכבת גיר אגמי, חופי (מעיינות?) עשיר בגרנולות בזלת בלוייה, ומעליה יחידת קונגלומרט קולוביאלי המכיל חלוקי גיר, דולומיט וצור, וגם חלוקי בזלת (תצלום 2). משקעים שמקורם בתנועות חומר על מדרון חוארו ממרחב העיר קריית שמונה, ונמצאו ומופו למרגלות הרי נפתלי ודרומה עד נחל קדש (סנה ווינברגר, 2002). על סמך טריות ההופעה המורפולוגית, נראה שמשקעים אלה הצטברו ככל הנראה באלפי השנים האחרונות.

שני העתקים מקבילים שכונם צפון-דרום, העתק עין תאו והעתק ישע, זהו במרחק 500 ו- 1000 מטר מערבית להעתק הגבול המערבי של החולה. הם נפגשים במורד המזרחי של הר נזר ונעלמים מדרום לקריית שמונה. העתקים אלה אחראים לשתי מדרגות מורפולוגיות בגובה 70 ו- 300 מטר בהתאמה מעל עמק החולה. מטליות אלוביום מכסות את המדרגה העליונה בעוד המדרגה התחתונה מכוסה בקונגלומרט עין אוזים. הזריקה האנכית לאורכו של העתק ישע, שחלקים ממנו מופו כבר על ידי רוזנברג (Rosenberg, 1960), מגיעה למספר עשרות מטרים; זו שלאורך העתק עין תאו עולה על 100 מטר. העתק זה מעמיד חלקים נמוכים בחצורת כמון ממערב להעתק מול חלקים גבוהים בפרט כרכרה ממזרח לו. תנועות טקטוניות צעירות על העתקי האורך לעיל מוסקות מהקשר שבין מיקום ההעתקים ומיקום הצלקות הטריות וחוצרי תנועות מדרון (rock falls, debris flows) שהצטברו בתחתיתן במורדות קטע הר נזר. בצורה דומה ניתן להסביר את השטח המכוסה ב"ברקציה טקטונית" שמופה על ידי רוזנברג (Rosenberg, 1960) ממערב לצומת גמא. גם התפתחות הנחלים על

המדרון רומזת על פעילות טקטונית צעירה. למעשה, מרבית ערוצי הזרימה טרם הספיקו לערוץ את מטליות האלוביום בנקודת החצייה עם העתקי האורך.

### תחנה 3 : קריית שמונה (בסמוך לכביש המערכת החדש)

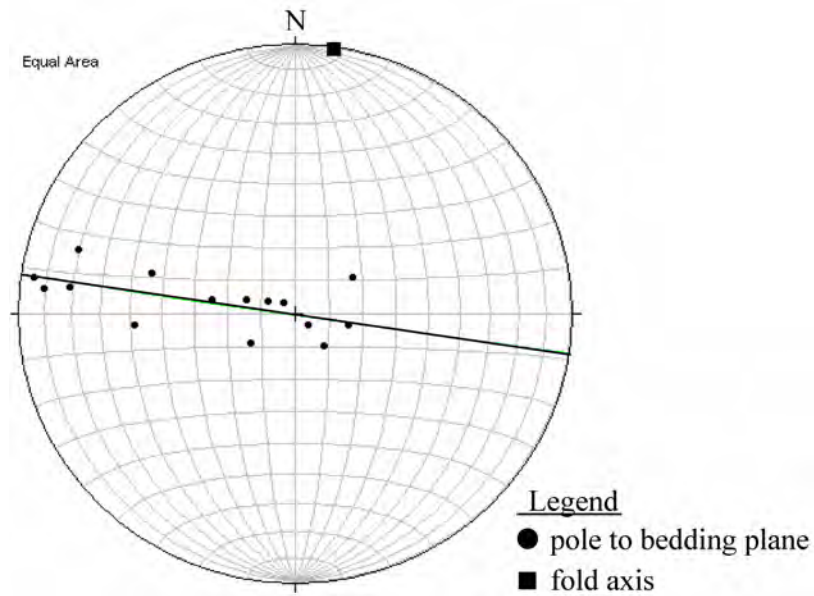
נסיעה בכביש המערכת החדש של קריית שמונה למקום שבו הכביש מתקל חריפות (ב.צ. 20312/29261) ונחצה על ידי וואדי שירד מ"שביל ישראל" מזרחה. בחלקו התחתון של הוואדי נחשף קמט ביחידה הקונגלומרטית, ואילו בחלקו העליון נחשפות שכבות אנכיות של היחידה האגמית. היחידות שבורות זו כנגד זו, ואזור ההפרעה נחשף ב.צ. 20318/29252.

בתחנה זו נציג את החתך של **תצורת כפר גלעדי** הניאוגנית הבנויה קונגלומרטים, אבני גיר וחרסיות שמוצאם בסביבות נהריות ואגמיות. נראה שהיחידה מקומטת ושבורה, ונדון במשמעות תצפיות אלו להבנת הדפורמציה בבלוק התחום בין העתק קריית שמונה להעתק תל חי.

קונגלומרט כפר גלעדי משוכב ויצר טרסות אפרפרות המזכירות בהופעתן את זו של הסלעים הקרבונטיים בחבורת יהודה. הקונגלומרט מונומיקטי ומכיל חלוקים אאוקניים המלוכדים על ידי קלקרניט צהוב-ורוד. היחידה בונה את חלקו התחתון של המדרון שמצפון לקריית שמונה. עבודות העפר שנעשו בעת הקמת שכונת קדמת תל חי אינן חושפות את בסיס היחידה או את גגה, אך מאפשרות לקבוע שעובייה המזערי הינו כ- 100 מטר. היחידות האגמיות בנויות שכבות דקות של אבן גיר, חוור וקירטון עם אינטרקלציות בודדות של שכבות קונגלומרטיות. היחידה בונה את החלקים היותר גבוהים של המדרון מצפון לעיר. השכבות אנכיות ובסיסן/גגן אינו ידוע (תצלום 3). ממזרח היחידה נגדעת על ידי העתק ג'בל מופתלח, וממערב היא נגדעת על ידי העתק קריית שמונה. בהנחה שאין הכפלת חתך ביחידה האגמית, עובייה המזערי של היחידה הוא כ- 400 מטר.

קמט בשכבות הקונגלומרט של תצורת כפר גלעדי חואר לראשונה על ידי גליקסון (Glikson, 1966). נחקר על ידי רון וחוב' (Ron et al., 1997). ונחקר שוב בעבודה הנוכחית. הקמט הינו סינפורם א-סימטרי בעל אורך גל של כ- 100 מטר, אגפו המזרחי מתון ונוטה כ- 20° מערבה, ואגפו המערבי תלול ומגיע לכדי נטיות של 85° מזרחה (תצלום 4). ציר הסינפורם אופקי וכיוונו צפון-דרום (איור 8). בצמוד לאגף המזרחי של הסינפורם נחשף ראשו של קמט פתוח נוסף, שאגפו המזרחי נוטה כ- 10° מזרחה. מבני הקמט מצביעים על התקצרות מזרח-מערב.

שכבות הקונגלומרט המקומטות מונחות במגע של העתק כנגד שכבות עומדות של היחידה האגמית. אזור ההפרעה שמלווה את ההעתק מאופיין בסטרייקים שונים בין אלו של היחידה האגמית לאלו של היחידה הקונגלומרטית. ההעתק זוהה לראשונה על ידי גליקסון (Glikson, 1966b) שכינה אותו העתק ג'בל מופתלח, שכיוונו צפון-מזרח - דרום-מערב. לדעת גליקסון ההעתק נורמלי, והקונגלומרט הצעיר יותר נסחב אל ההעתק ומצוי בגוש הרכב (הירוד). אולם, במידה זומה של ודאות, ניתן להציע שהעתק הפוך, ושהקונגלומרט עתיק יותר ומצוי בגוש הרכב, בעוד שהשכבות



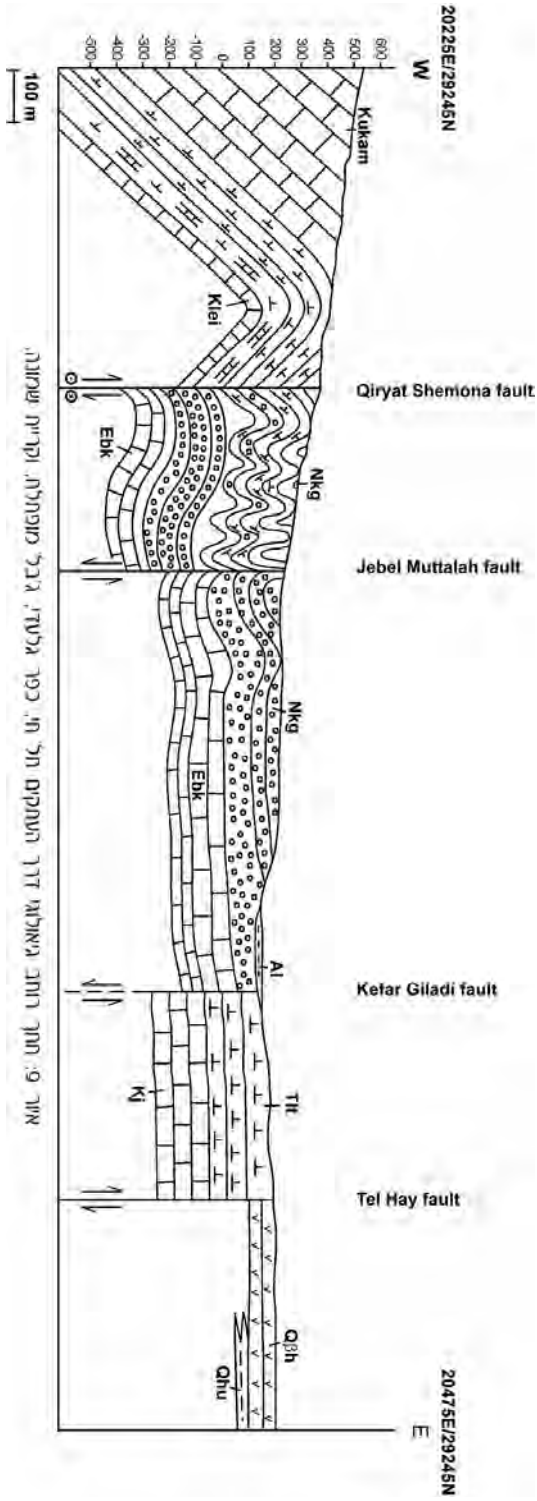
איור 8. השלכה סטריאוגרפית של קטבים למישורי שיכוב לאורך קמט בקונגלומרט כפר גלעדי (נחנה 3). הקוטב למעגל גדול העובר דרך קטבים אלו הינו ציר הקער (דיאגרמת- $\sigma_1$ ). ראה גם רון וחוב' (Ron et al., 1997, Fig. 5e).

האגמיות מצויות בגוש השוכב. חתך רחב דרך העתק ג'בל מופתלח והעתקים סמוכים מוצג באיור 9. השכבות העומדות של היחידה האגמית יוצרות מחשוף ייחודי במקום שכביש המערכת חוצה אותן בניצב לסטרייק. לאורך חתך זה נחשפים קמטים משניים בעלי אורך גל של מספר סנטימטרים בודדים, ולהם צירי קמטים תת-אופקיים המראים פיזור מסוים סביב כיוון דרום.

#### נחנה 4 : לאורך כביש כפר גלעדי-מרגליות

עלייה בכביש המוביל ממכללת תל חי למושב מרגליות, ועצירה לאחר הפניה לקיבוץ כפר גלעדי. חציית הכביש והליכה במעלה לאורך כ- 200 מטר. בנחנה זו נציג את העתק כפר גלעדי ואת הקמט הסמוך לו.

הדרך המובילה ממכללת תל חי לכניסה לכפר גלעדי חוצה שכבות גיר של תצורת תמרת הנטייות מזרחה. השכבות האאוקניות מונחות מול שכבות אגמיות נאוגניות של תצורת כפר גלעדי במגע של העתק. סטרייק ההעתק צפון-דרום אך מישורו מכוסה, ולכן סגנון ההעתקה עליו אינו ברור. אל ההעתק שעון ממערב קער פתוח א-סימטרי שאגפו המערבי תלול יחסית. הקער נוטה קלות דרומה וצירו דרום-דרום-מערב.





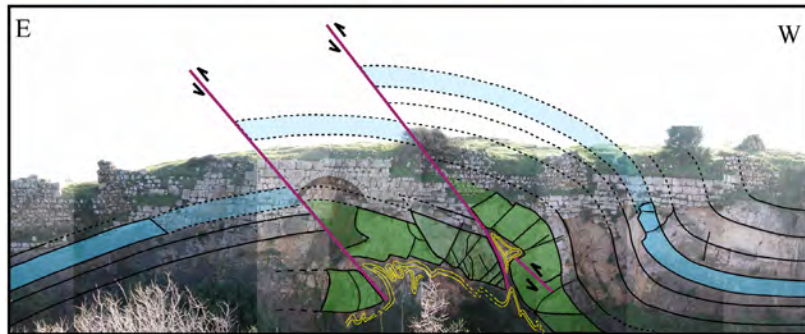
(תצלום 5). קמטים נוספים בעלי אורך גל של עד 10 מטרים חשופים ביחידה האגמית בבילוק התחום בין העתק ג'בל מופתלח להעתק קריית שמונה. מרבית הקמטים נחתים קלות דרומה וציריהם מראים פיזור מסוים בין כיוון דרום-דרום מערב לכיוון דרום-דרום מזרח. קמטים הדוקים נחשפים גם בתצורת כמון ותצורת דיר חנא, שבנות את בילוק משגב עם-ליטני התחום בין העתק קריית שמונה והעתק מרגליות.

### תחנה 5 : מבצר הונין - שאטו-נף

עלייה בכביש כפר גלעדי - מרגליות ופניה דרומה למבצר הונין. חניה לצד הדרך בנקודת המפגש עם החפיר שמצפון למבצר. עלייה בשביל צר המתפתל מצפון לחפיר אל נקודת תצפית על קיר המבצר, ואחר-כך ירידה לבסיס החפיר. בתחנה זו ננח את הדפורמציה בשולי העתק מרגליות. תחנה זו נסקרה בעבר על ידי מספר חוקרים (Rosenberg, 1960; Kafri, 1989; Ron et al., 1997), והמחקר הנוכחי מוסיף נדבך נוסף על עבודות אלו.

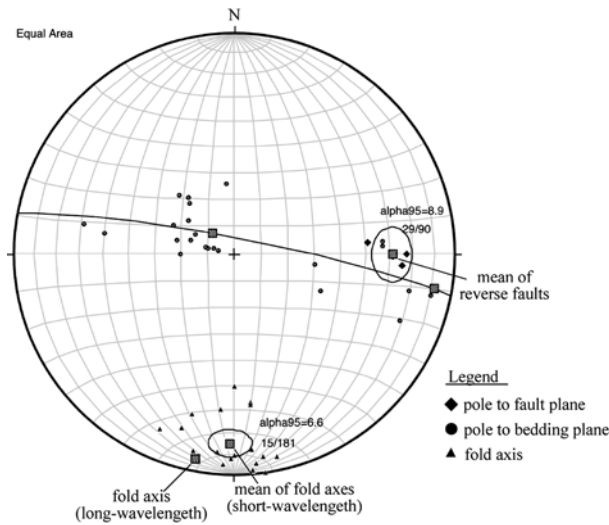
מבצר הונין - שאטו-נף הינו מבצר צלבני בראש המחלול של הרי נפתלי ליד מושב מרגליות. משערים שמבצר זה נבנה בשנת 1107, ומאז עבר מיד ליד בין המוסלמים לצלבנים עד ששוקם על ידי הממלוכים בשנת 1267. הממלוכים הם אלו שבנו את שער הכניסה אליו, שנראה מעל שרידי החפיר החצוב בסלע. חלקים מהמבצר המשוקם ומהכפר הערבי הונין הסמוך לו נהרסו כליל ברעידת האדמה של שנת 1837.

הסלע הבונה את החפיר הינו זולמיט קשה, לעתים מאסיבי ולעתים משוכב דק, המשתיך לתצורת כמון מגיל אלביאן-קנומן. ממזרח לשער הכניסה הממלוכי נטות השכבות מזרחה, וממערב לו השכבות נטות מערבה ושבורות על ידי העתקים הפוכים (איור 10). בקצהו המערבי של החפיר השכבות תת-אופקיות. לקמר החשוף אורך גל של כמה עשרות מטרים, וממדידות דיפ לאורכו ניתן לקבוע שצירו נוטה קלות דרומה ( $7^{\circ}/191^{\circ}$ ) (איור 11). בבסיס החפיר חשופות שכבות זולמיט דקות, בחלקן חוריות, המקומטות בקימוט א-סימטרי בעל אורך גל של כמה עשרות סנטימטרים. בחלקו המערבי של המבנה (מתחת וממערב לשער הממלוכי) הצד התלול של קמטים אלו נוטה מזרחה (verging eastward), ואילו בצד המזרחי של המבנה הצד התלול של הקמטים נוטה מערבה (verging westward). צירי קמטים אלו נמדדו ישירות וממוצע כיוניהם ( $17^{\circ}/183^{\circ}$ ) זומה לכיוון ציר הקמר ארוך הגל (איור 11). מספר העתקים הפוכים עם סטרייק צפוני חשופים לאורך קירות החפיר ויוצרים מבנה של דופלקס. העתקים אלו מסתיימים אל השכבות הדקות המצויות בבסיס החפיר. הבולט שבין ההעתקים מעמיד שתי שכבות מאסיביות זו מול זו כ-10 מטרים מערבית לשער הכניסה הממלוכי (איור 10). השכבה הרוכבת במערב שבורה בעצמה על ידי מספר העתקים נורמליים קטנים הניצבים לשיכוב. ברקצית העתק וסימני החלקה על גבי



איור 10. קמר ארוך גל, קמטים קצרי גל, והעתקים הפוכים בחצורת כמון, מבצר הונין.

מישורי שיכוב מעידים על החלקה בין שכבתית. בין גושי הסלע המאסיביים והקומפטנטיים ומתחתיהם נדחסו וקומטו שכבות דקות לא קומפטנטיות. הקמר ארוך הגל, הקמטים קצרי הגל, וההעתקים ההפוכים מצביעים על התקצרות משמעותית בכיוון מזרח-מערב. מדידה ישירה של ההתקצרות בשכבות הדקות, וחישוב המתבסס על שחזור השכבות למצבן המקורי מצביעים על התקצרות של 30% ויותר. כלל התצפיות מעידות שמנגנון הקימוט הוא בעיקר מסוג flexural slip. כיוון ההתקצרות דומה לכיוון שפוענח בסלעים הצעירים יותר מגיל ניאוגן ופליסטוקן (תחנות 1, 3, 4). לכן, קרוב לודאי שהמבנה הנוכחי נוצר בפאזה טקטונית צעירה הקשורה לפעילות לאורך העתקי בקע ים המלח, והוא אינו קשור לפאזה טקטונית קדומה יותר שייצרה את מבני הקשת הסורית.



איור 11. השלכות סטריאוגרפיות של מבנים מאזוסקופיים בתצורת כמון, מבצר הונין, (א) קטבים למישורי שיכוב לאורך קמר ארוך גל (50 מ'). הקוטב למעגל גדול העובר דרך קטבים אלו הינו ציר הקמר (דיאגרמת- $\pi$ ): (ב) צירי קמטים קצרי גל (> 1 מ'): (ג) קטבים למישורי העתקים הפוכים. ציר הקמר הוא תת-מקביל לצירי הקמטים קצרי הגל ולסטרייק העתקים ההפוכים.

## תחנה 6 : הר צפיה

עלייה למצפור בראש הר צפיה מדרך המסתעפת דרומה מהכביש המחבר את מטולה למעבר "הגדר הטובה".

בתחנה זו נשקיף על העתקי הבקע בדרום-לבנון ובאצבע הגליל.

מצפון נראת בקעת מרג' עיון, שמקובל להחייס אליה כאל שקע טקטוני. ממערב, הבקעה תחומה על ידי העתק ימונה, שעובר למרגלות הסלעים הקרטיקוניים וכיוונו צפון-צפון מזרח. במזרח הבקעה נחשפים סלעי חבורות יהודה, הר הצופים ועבדת. יש המציעים שהעתק תל חי עובר למרגלות סלעים אלו ותוחם את הבקעה ממזרח. ממזרח למצפור נחל עיון עורץ את הנוף הרך שיוצרת תצורת טקיה הירקקה. העתק התנור מעמיד תצורה זו מול תצורת תמרת. מזרחה יותר, העתק תל חי מעמיד תצורות אלו מול תצורת כפר גלעדי, שחשופה רובה ככולה בתוך לבנון. דרום מזרחה, תל אבל בית מאכה בנוי מתצורת תמרת. אגפו המזרחי שבור על ידי העתק תל חי, שמעמיד את התצורה האאוקנית מול יחידת חלוקי עגל.

הר צפיה עצמו בנוי מסלעי חבורת יהודה (תצורת כמון ומעליה פרט כרכרה) השבורים כנגד סלעי תצורת בר כוכבא על ידי העתק הר צפיה. סגנון התנועה לאורכו של העתק אינו ברור דיו. בסמוך למצפור ומעברו השני של כביש הגישה אליו, ניתן

לראות את השכבות המאסיביות של פרט כרכרה נוחות כ-70° מזרחה. המדרונות התלולים הנמשכים מהמצפור מזרחה בנויים מתצורת בר כוכבא הנוחתת אף היא בשיעור של 60°-70° מזרחה.

## תחנה 7 : השיפולים הדרומיים של מטולה וקידוח חולה 8

הגעה מהכביש המקיף את מטולה מדרום ועוקב בחלקו אחרי נחל עיון. עלייה קצרה לאורך דרך עפר צפונה אל עבר משטח הקידוח בנצ. 2044/2973. בתחנה זו נצפה בדפורמציה המאוחרת להשקעת תצורת כפר גלעדי, ונציג את השלכותיה על ההידרוגאולוגיה האזורית.

קידוח חולה 8 מפיק מים מעומק של 590 מטר. הוא תוכנן לחדור לאקוויפר חבורת יהודה אך לא השיג את יעד הקדיחה המקורי. החתך שנחשף בפני השטח והדפורמציה שמוצגת בו מסבירים עובדה זו. מטרים ספורים מצפון לנקודת הקידוח נחשפים במערב שכבות אגמיות של תצורת כפר גלעדי הנטיות כ-50° מזרחה. מערבית לנקודת הקידוח כ-100 מטר מונחות שכבות אלו באי התאמה ארוזיבית על גבי גירים של תצורת בר כוכבא המראים נטיות דומות. במזרח נחשפות יחידות גיר וצור של תצורת תמרת המונחות על תצורת טקיה. בסמוך לנקודת הקידוח נחשף העתק צניפה (thurst). בבזוק העליון, ממזרח, מונחת תצורת תמרת הרוכבת על תצורת כפר גלעדי בגוש השוכב ממערב (תצלום 6). ההעתק שטוח זווית עם סטרייק צפוני ונטה 40° מזרחה. במבט מקרוב ניתן לראות שמישור ההעתק מזורג שמאלית, ויחידות חוריות אדמדמות של תצורת כפר גלעדי משוכות אליו. ההעתק כונה **העתק מטולה**. בחלקו הדרומי הוא תת-מקביל להעתק הר צפיה, ובחלקו הצפוני הוא מקביל להעתק התנור והעתק תל חי. הוא נמשך בתחומי המושבה מטולה ומהלכו הותווה כבר על ידי רוזנברג (Rosenberg, 1960). העתק הצניפה מצביע על התקצרות מזרח-מערב בבזוק של מטולה.

לנוכח הממצאים בפני השטח ניתן פרוש חדש לממצאי הקידוח. קידוח חולה 8 חודר כ-410 מטר בתצורת כפר גלעדי המכילה שכבות קונגלומרט. הקונגלומרט בנוי חלוקים של אבני גיר אאוקניות, אך נמצאו גם אבני גיר עם פאונה קרטיקונית (א. אלמוגי, המכון הגיאולוגי). מתחת לשכבות אלו מונחות שכבות בעובי של כ-180 מטר בתצורת בר כוכבא הבנויות אבני גיר מרוסקות טקטוניות ומהוות את האקוויפר המפיק.

## מקורות

Dubertret, L., 1951. Carte géologique au 1:50,000 feuille de Mardjayoun. Rép. Libanaise, Min. des Travaux Pub., Beyrouth. Notice explicative (1952), 64 pp.

- Dubertret, L., 1960. Carte géologique au 1:50,000 feuille Hermon (Rachaya sud), Beyrouth, Min. des Travaux Pub., Notice explicative, 46 pp. (Map published in 1957).
- Freund, R., Garfunkel, Z., Zak, I., Goldberg, M., Weissbrod, T., Derin, B., 1970. The shear along the Dead Sea Rift. Phil. Trans. R. Soc. London, A-267, 107-130.
- Frieslander, U., Medvedev, B., 2002. High resolution seismic reflection survey at the Qiryat Shemona region. Geophys. Inst., Rep. 398/246/02, 9 pp (In Hebrew).
- Garfunkel, Z., 1981. Internal structure of the Dead Sea leaky transform (rift) in relation to plate kinematics. Tectonophysics, 80, 81-108.
- Glikson, Y. A., 1966a. Geology of southern Naftali Mountains (northeastern Galilee, Israel). Isr. J. Earth Sci., 15, 135-154.
- Glikson, Y. A., 1966b. The lacustrine Neogene in the Kefar Gil'adi area, northern Jordan Valley. Isr. J. Earth Sci., 15, 85-100.
- Gur, D., Sass, E., Bar-Matthews, M., Heimann, A., 2002. Tufa deosits and spring and river water in the northern Hula Valley. Ann. Meeting, Ma'agan, Field trip Guidebook, 83-103 (in Hebrew).
- Heimann, A., 1985. The geology of the Banyas Plateau and northern Emeq Hula, with special emphasis on the travertine deposits, M.Sc. thesis, Hebrew Univ., Jerusalem, 155 pp. (in Hebrew).
- Heimann, A., 1990. The development of the Dead Sea Rift and its margins in northern Israel during the Pliocene and the Pleistocene. Ph.D. Thesis, Hebrew Univ., Jerusalem. Isr. Geol. Surv. Rep. GSI/28/90, 1-83 (in Hebrew; English summary).
- Heimann, A., Ron, H., 1987. Young faults in the Hula pull apart basin, central Dead Sea Transform. Tectonophysics, 141, 117-141.
- Horowitz, A., 1973. Development of the Hula basin, Israel. Isr. J. Earth Sci., 22, 107-139.
- Horowitz, A., 1979. The Quaternary of Israel. New York, Academic Press, 394 pp.
- Ilani, S., 1992. Geological Survey at Kefar Giladi Quarry. Isr. Geol. Surv. Rep. GSI/29/92, 29pp. (in Hebrew).
- Inbar, M., 1980. The post-basalt (Late Pleistocene?) movement on the main Western Jordan and Qiryat Shemona faults. Isr. J. Earth Sci., 29, 257-258.

- Kafri, U., 1989. Facies changes and karst phenomenon in the Judea Group and their implications on the groundwater regime in the eastern Galilee. Ann. Meeting, Ramot, Field trip Guidebook, 38-46 (in Hebrew).
- Kafri, U., 1991. Lithostratigraphy of Judea Group in eastern Galilee, emphasizing the Naftali mountains. Isr. Geol. Surv. Rep. GSI/24/91 24pp.
- Michelson, H., 2001. Hidrogeology of En Zahav, Tahal Rep., 5 pp.
- Mor, D., 1993. A time-table for the Levant Volcanic Province, according to K-Ar dating in the Golan Heights, Israel. J. Afr. Earth Sci., 16, 223-224.
- Picard, L., 1952a. The geology of Kefar-Giladi. Bull. Israel Explor. Soc., "Lif" memorial, vol. B, 73-77 (in Hebrew).
- Picard, L., 1963. The Quaternary in the northern Jordan Valley. Proc. Isr. Acad. Sci. Hum., 1:4, 1-34.
- Ron, H., Shamir, G., Eyal, M., 1997. Deformation of Margalioth block between Roum and Margalioth faults. Isr. Geol. Soc. Ann. Meeting, Kefar Gil'adi, Field trip Guidebook, 33-45 (in Hebrew).
- Rosenberg, E., 1960. Geologische Untersuchungen in den Naftalibergen. Mitt. Geol. Inst. Univ. Zürich, Ser. C. No. 80, 107 pp.
- Schulman, N., 1966. The Qiryat Shemona (northern Jordan Valley) basalt ridge: a tilted fault block. Isr. J. Earth Sci. 15, 161-164.
- Sneh, A., 1974. Stratigraphy of the Lower Cretaceous system of northern Israel, with special emphasis on depositional environments and economic significance. M.Sc. Thesis, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, N.Y., U.S.A., 63 pp.
- Sneh, A., 1996. The Dead Sea Rift: lateral displacement and down-faulting phases. Tectonophysics, 263, 277-292.
- Sneh, A., Weinberger, R., 2003a. The geological mapping of 1:50,000 Metulla quadrangle- implications for the stratigraphic division and fault pattern around the Hula Valley. Isr. Geol. Surv. Rep. #GSI/7/0, 27 pp. +1 Geological Map of Metulla quadrangle, scale 1:50,000 (in Hebrew).
- Sneh, A., Weinberger, R., 2003b. Geology of the Metulla quadrangle, northern Israel: implications for the offset along the Dead Sea Rift. Isr. J. Earth. Sci. 52, 123-138.
- Zaslavsky, Y., 2002. Microzoning of the earthquake hazard in Israel. Project 2: Site effects in and around Qiryat Shemona. Geophys. Inst., Rep. 569/252/02, 55 pp.

לוח תצלומים



תצלום 4: מבט צפונה אל קמט פחוח א-סימטרי בקונגלומרט כפר גלעדי. אגפו המערבי של הקמט שעון אל התקף גיבל מופתלח (ראה גם Glikson, 1966b, Fig. 5).



תצלום 1: קונגלומרט עין אוזים המכיל חלוקים אנגולריים וחת-אנגולריים של גיר, דולומיט וצור שמקורם בסלעי תברוח יהודה. הר הצופים ועבדת. דרומית לעין אוזים (מחוך, Sneh and Weinberger, 2003a).



תצלום 5: מבט צפון-מערבה אל קער פחוח ביחידה האגמיח של חצורת כפר גלעדי הנחשף בחלקו הנמוך של המדרון ל אורך כבש כפר גלעדי-מרגליות.



תצלום 2: קונגלומרט קולוביאלי המכיל חלוקי גיר, דולומיט צור ובזלח: מעל קילוח עין אוזים (מחוך, Sneh and Weinberger, 2003a).



תצלום 6: העתק הפוך בקרבת קידוח חולה 8 בשו"מ הדרומיים של המשבה מטולה (מבט צפונה). חצורת חמרת בונה את הגוש העליון, הרכב. ממזרח: חצורת כפר גלעדי בונה את הגוש הידוד ממערב (מחוך Sneh and Weinberger, 2003a).



תצלום 3: שכבת עומדות ביחידה האגמיח של חצורת כפר גלעדי לאורך כבש המערכת של קריית שמונה.



## מבנים הידרו-פירוקלסטיים וסלעי מעמקים בצפון רמת הגולן

ישי וינשטיין

אוניברסיטת בר-אילן

מוטי שטיין

המכון הגיאולוגי, ירושלים

עודד נבון

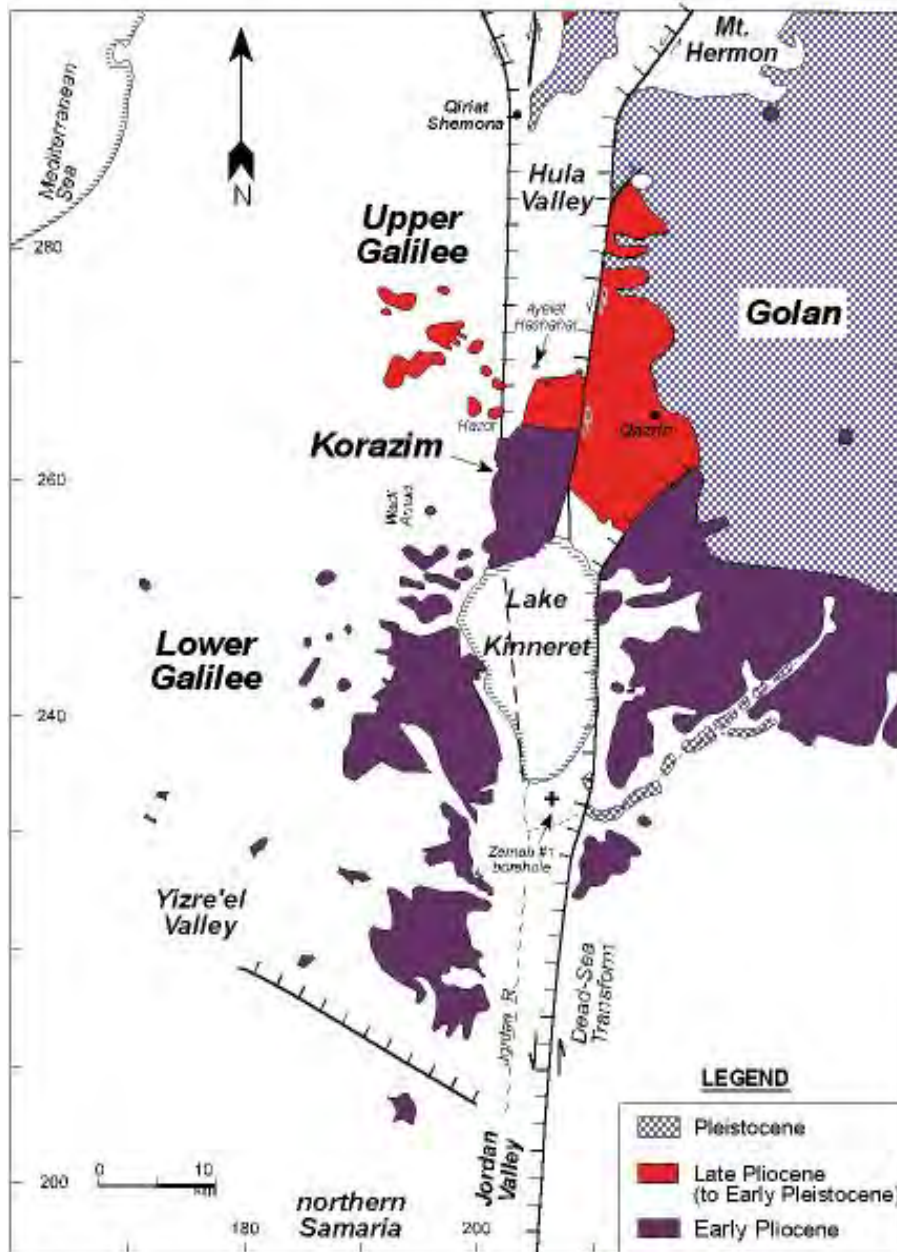
האוניברסיטה העברית, ירושלים

### מבוא

לאחר יצירת הליחוספירה היבשתית באירועים הפאן-אפרקניים (פרוטרוזואיקון מאוחר) התייצב השילד הערבי-נובי ובמשך הפנרוזואיקון אזור צפון הפלטה הערבית אופייני במשטר סדימנטציה פלטפורמית בעיקר של קרבונטים ואבני חול. משטר זה הופר ע"י מספר מחזורים וולקניים בהם התפרצו בזלות אלקליות וסלעים פירוקלסטיים. סלעים אלה נושאים אינפורמציה גיאוכימית ופטרולוגית על אזור המקור שלהם בליחוספירה, התפתחות המגמות ודרכי התפרצותן. כמו כן נושאים עימם הסלעים הולקניים קסנוליטים שנגזרו מסלעי המעטפת הליחוספרית ומהקרום החתחון (כגון: פריזוטיטים וגרנוליטים מפיים, בהתאמה), הנושאים אינפורמציה גיאוכימית-כרונולוגית-פטרולוגית על התפתחות אזורי מעמקים אלה. בסיוור הנוכחי בצפון רמת הגולן נבקר במספר מרכזי התפרצות וולקניים שנוצרו במחזור המגמתי הפנרוזואי הצעיר: בנאוגן-רביעון. במהלך הסיוור נתמקד בהכרת המיבנים ההידרו-פירוקלסטיים שנוצרו בהתפרצות ונבקר באחרים בהם נמצאו מאספים של קסנוליטים מעטפתיים וקרומיים.

### הולקניזם הפליו-פלייסטוקני בצפון רמת הגולן

הולקניזם ברמת הגולן הינו חלק מהפרובינציה הולקנית של מערב חצי האי ערב, ובפרט של השדה הולקני הגדול חארת א-שאמה. לשדה מתאר מאורך בכיוון צפון-מערב, במקביל לשקע של ואדי סירחאן. הפעילות הולקנית בא-שאמה החלה במיוקן התחתון (25-20 מליון שנה, אגן דמשק וצפון-מזרח ירדן) ונמשכה עד אלפי השנים האחרונות. עיקר הפעילות הולקנית בגולן הוא מגיל פליו-פלייסטוקן, כשהגילים הולכים וקטנים (מצעירים) מזרם לצפון ולצפון-מזרח. בדרום הגולן מכסים קילוחי בזלת מגיל פליוקן תחתון (איור 1) חתך סדימנטרי מגיל אאוקן (ימי) עד פליוקן תחתון (יבשתי). לכיסוי עובי אופייני של מספר עשרות מטרים, והנוף הנוצר הינו בעל אופי רמתי. אופי רמתי יש גם למרכז הגולן (רמת יהודיה), שם השטח נטוי לכיוון הכנרת בדרום-מערב. הבזלות כאן הן בעיקר מגיל פליוקן עליון (איור 1), והעובי המצטבר הינו של יותר מ-140 מטר. תחתית החתך הולקני אינה חשופה חוץ מהשוליים הדרומיים של האזור (נחיל דליות). בצפון ובמזרח הגולן, האזור בו מתמקד הסיוור, מכסים פירוקלסטים ובזלות מגיל פלייסטוקן (צעירים ממיליון שנה; איור 1) חתך סדימנטרי מגיל אאוקן וקרטיקון. בשוליים המערביים של



איור 1. מפה של תפרוסת היחידות הוולקניות הפליו-פלייסטוקניות בצפון מזרח ישראל (לפי וינשטיין, 1998).

האזור, מאזור נחל עורבים ודרומה, מופיעים אף סלעים מגיל פליוקן עליון. וולקניזם קדום יותר, מגיל פליוקן תחתון, נמצא רק באתר אחד באזור (הר רם, 3.5 מליון שנה). וסלעים סדימנטריים מגיל מיו-פליוקן כדוגמת אלה המופיעים בדרום הגולן ובגליל התחתון לא אותרו כלל באזור. החתך הוולקני עבה יחסית בדרום האזור (רכס הבשנית) ומידקק לכיוון מורדות החרמון ושולי הגולן הצפון-מערביים (מטרים עד עשרות מטרים), שם אף מצויים 'חלונות' סדימנטריים.

בסיס החתך מורכב בעיקר מקילוחי לבה, בעוד שבחלק הצעיר של החתך עולה המרכיב הפירוקלסטי, הכולל חרוטי סקוריה ומבני טוף. רוב מבני הפליטה של החלק הצעיר של החתך מסודרים בשתי שורות מקבילות שכיוון N17W (מור 1986). שורות אלה הן שמתוות את קו הרקיע של צפון הגולן ואת קו פרשת המים בין אגן הניקוז ירדן-כנרת במערב לזה של הירמור במזרח.

החלוקה ליחידות מיפוי (תצורות ופרטים) באזור נעשתה בהתבסס על מורפולוגיה יחסית שדה (מור, 1973, 1987א,ב) ונתמכה על ידי קביעות גיל בשיטת אשלגן-ארגון (מור, 1986). מור (1986, 1987א,ב) מחלק את החתך ברמת הגולן לשלוש תצורות (איור 2): תצורת בזלת הכיסוי (פליוקן מוקדם), תצורת אורטל (פליוסטוקן מוקדם) ותצורת גולן (פליוסטוקן מאוחר). במאמר מאוחר יותר (Mor, 1993) נוסף לחתך הגולני אתר של וולקניזם מגיל פליוקן עליון (תצורת משכי) בדרום הגולן.

באזור צפון הגולן מופיעים סלעים רק משתי התצורות העליונות, והם מחולקים באזור הסיור שלנו למספר פרטים, לפי הסדר הבא בזמן (איור 2; מור, 1986):

בזלת דלווה - פרט בזלתי של תצורת אורטל. מופיע בדרום האזור; באזור הסיור מזוהים מספר מבני פליטה של יחידה זו.

סקוריה שיבן - פרט פירוקלסטי של תצורת אורטל; מופיע באזור של מבני פליטה, ככיסים מוקפים בבזלת דלווה או כמבנים פוזיטיביים נמוכים.

בזלת מוויסה - הפרט התחתון בתצורת גולן. בד"כ יוצר שטחים נמוכים בנוף ומישוריים, ומכוסה בחתך קרקע מפותח. לא מזוהים מבני פליטה שלו; ככל הנראה, מכוסים במבנים צעירים יותר.

סקוריה אודם - יחידת סקוריה, הבונה את מבני ה-cinder cones של צפון ומזרח רמת הגולן.

טוף אביטל - יחידת טוף, המצויה רק בקומפלקס של הרי אביטל-בנטל. לפי מור, מחולקת לשני פציאסים: 1. פציאס מרום גולן טוף שחור, גס גרגר, עם בלוקים בזלתיים גדולים, בקרבת ההר;

2. פציאס קוניטרה טוף אגמי דק צהוב-אפור, ללא בלוקים.

בזלת עין-זיון - קילוחי בזלת צעירים שפרצו את חרוטי סקוריה אודם; בד"כ מכוסים בחורש של אלון מצוי ואלון תולע.

לפי יונשטיין (1992), הבזלת עליה יושב קיבוץ עין זיון (מדרום לאביטל) הינה עתיקה יחסית וקדמה למבנה הסקוריה ("בזלת הקיבוץ", איור 2). יתר הקילוחים צעירים למבנה הסקוריה.

באזור בריכת רם מופיעים לפי מור (1986, 1987) מספר פרטים נוספים:

בזלת כרמים - מופיעה ממורדות הר כרמים ועד מצפון לבריכת רם; מתאפיינת במופע ספרואידי ובצבע אפור תכלכל.

פרט (מור, 1986)	תצורה (מור, 1986)	תצורה (סנה, 1998)	תצורה (וינשטיין, 1997)
בזלת עין זיון	גולן	גולן	פלייסטוקן (גולן)
טוף אביטל			
סקוריה אודם			
בזלת הקיבוץ*			
בזלת מוויסה			
סקוריה שיבן	אורטל	בזלת הכיסוי	פליוקן עליון (משכי)
בזלת דלווה			
בזלת יהודיה*			
בזלת הכיסוי	בזלת הכיסוי	בזלת הכיסוי	בזלת הכיסוי
סקוריה בן-יהודה			

איור 2. סטראטיגרפיה של הבזלות בגולן לפי מור (1986), סנה (1998) וינשטיין (1997, 1998). יחידות המסומנות בכוכבית מופיעות אצל וינשטיין (1997, 1998) בלבד.

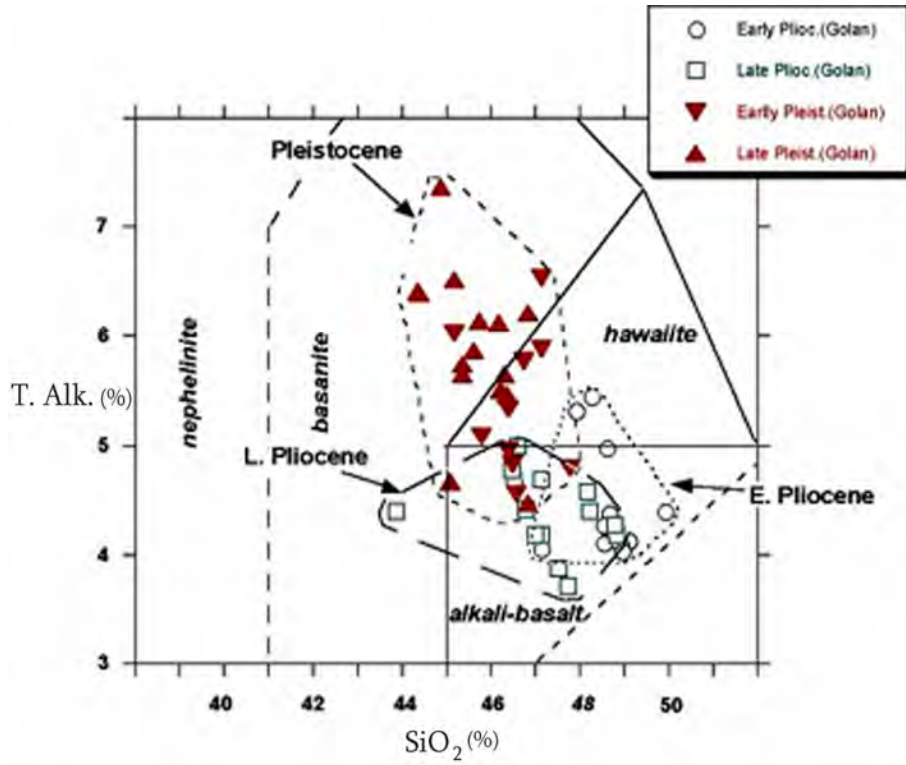
טוף בריכת רם - נמצא מסביב לבריכת רם; עתיר קסנוליטים ומגהקריסטים מעטפתיים וקרומיים.

בזלת סער - הבזלת הצעירה באזור; מכסה את טוף בריכת רם; זרמה דרך אפיק נחל סער עד לבניאס.

בסדרת עבודות גיאוכימיות (Brenner, 1979; Weinstein et al., 1994; Weinstein, 1998) נמצא כי כמעט לכל הסלעים הוולקניים הפלייסטוקניים בצפון הגולן (כולל פרטי תצורת גולן ובזלת דלווה) הרכבים בסניטיים (basanites) עד הוואיטיים (hawaiites) דומים למדי (איור 3). בניגוד לכך, בזלות הכיסוי של דרום הגולן ובזלות הפליוקן העליון של רמת יהודיה ושולי הגולן המערביים הינן בעיקר בעלי הרכב אלקלי-בזלתי (alkali-basalt, איור 3). לאור הבדלים אלה, מוצע כאן להציב את כל בזלות צפון הגולן הפלייסטוקניות תחת קורת גג אחת של 'תצורת גולן' (טבלה 1). בתוך יחידה זו ניתן להשאיר את החלוקה לפרטים כפי שהציע מור (1986, 1987), אך בחוספת פרט אחד - 'בזלת הקיבוץ' (איור 2; ראה תחנה מס' 1).

בנוסף מוצע להציב כיחידה נפרדת את בזלות רמת יהודיה (איור 2). השונות גם מבזלת דלווה בצפון (הרכב וגיל) וגם מבזלת הכיסוי של דרום הגולן (גיל, מופע - טרשיות מול כיסוי קרקע עבה, הרכב - פחות רוויחות לסליקה וריכוזים גבוהים יותר של יסודות אינקומפטיביליים מהדרום). הדיון ביחידה זו יבוא בהזדמנות אחרת.

מטרת הסיוור העיקרית הינה דיון מחודש בדרך היווצרותם של מספר מבנים פירוקלסטיים בצפון הגולן תוך היכרות עם תהליכים הידרו-פירוקלסטיים.



איור 3. ריכוזי היסודות האלקליים (נתרן + אשלגן) לעומת סיליקה בבזלות מרמת הגולן.



תמונה 1: בקעת האביטל, סוללת הטוף (מערב) והפסגה המערבית של הר אביטל (סקוריה).

## פירוט תחנות הסיוור

### א. קומפלקס האביטל

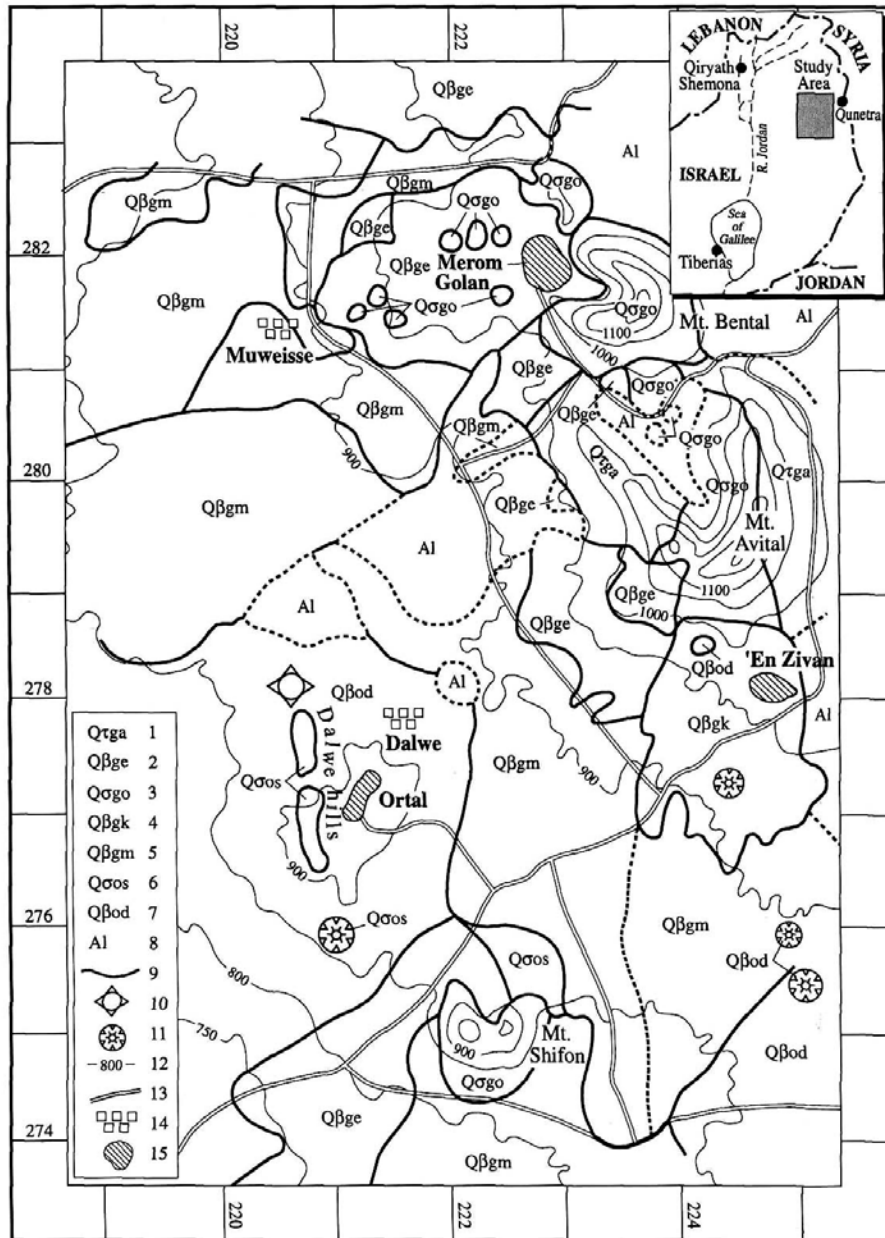
תחנה 1 : הר שיפון (נ.צ. 2222/2751)

הר (או "תל") שיפון הינו מבנה cinder cone השייך ליחידת סקוריה אודם. התל ממוקם ממערב לשורה המערבית של התילים, ומאפשר תצפית נוחה אל שתי שורות המבנים. מצפון-צפון מערב לנו רכס דלווה, המתמשך בכיוון צפון, והכולל מספר מבני פליטה של בזלת דלווה וסקוריה שיבן (איור 4). מצפון מתנשאים הר אביטל, הר בנטל ומספר מבני סקוריה קטנים אחרים. כולם חלק מהשורה המערבית של מבני סקוריה אודם (איור 4). את המשכה הדרומי של השורה ניתן לזהות בהר יסיפון (מזרח-דרמ"ז). את מבני השורה המזרחית ניתן לזהות בדמות רכס החזקה ותל ע'סניה (מזרח) ובשורה של החרמונית הר ורדה מצפון.

במסגרת תחנה זו נתרכז בקומפלקס של הר אביטל-בנטל. בינינו לבין הקומפלקס משתרע תא-שטח נמוך יחסית, מכוסה בדרך כלל בקרקע (נוכרמים). זוהי בזלת מוויסה. בקומפלקס עצמו ניתן לזהות מספר אלמנטים מורפולוגיים (איור 4): א. שתי הפסגות הדרומיות (הר אביטל) ופסגה צפונית (בנטל), תלולות יחסית מבני סקוריה אודם, ב. אזור המתמשך מהפסגה המערבית של הר אביטל בכיוון צפון-מערב (אל הר בנטל) מתון יחסית, בנוי טוף נייקרא להלן: 'סוללת הטוף'; תמונה 1), ג. אזורים מוגבהים ומשטחים יחסית (כתפיים), הצמודים למבני הסקוריה ומכוסים בחורש אלונים. אלה הן בזלות עין זיון. את יחסי השדה בין הסקוריה לבין הטוף לא ניתן להגדיר מהנקודה בה אנו נמצאים. לעומת זאת, ניתן לראות בבירור, כי בזלות עין זיון פורצות את מבני הסקוריה, ועל כן הן מאוחרות להם בזמן. דוגמא דומה ניתן לראות למרגלותיו הצפוניים של התל עליו אנו עומדים, שם פורץ קילוח דומה את מבנה הסקוריה של הר שיפון.

מדרום לפסגות האביטל (צפמ"ע לנו) נמצא תא שטח נוסף המורם מעל ל'בקעת מוויסה', עליו ממוקם קיבוץ עין זיון, והמכוסה גם הוא בחורש אלונים צפוף. Weinstein et al. (1994) קוראים ליחידה זו "בזלת הקיבוץ" (ראו בהמשך). מור (1986, 1987) כולל בזלת זו בפרט בזלת עין-זיון. מנקודת התצפית שלנו נוכל לראות, כי בזלת זו אינה פורצת את מבנה הסקוריה של האביטל, ונראה כי המבנה מאוחר לה בזמן. לבזלת הקיבוץ מאפיינים פטרוגרפיים-כימיים, הדומים לאלה של בזלת דלווה (Weinstein et al., 1994), יותר מאשר לפרטים צעירים אחרים של תצורת גולן. ריכוזי ה-MgO ויסודות קומפטיבייליים נמוכים יחסית, ותכולת הפנוקריסטים נמוכה יחסית. על כן, לא מן הנמנע כי בזלת זו שייכת לפרט בזלת דלווה.

בהמשך הסיוור (תחנה 4) נראה, כי אזור האביטל היה גבוה מעל סביבותיו עוד לפני הווצרות בזלת מוויסה. מוצע, כי היה זה מרכז התפרצות כבר בתקופת בזלת דלווה (פל'יסטוקן מוקדם), וכי הוא נמצא על המשכה הצפונית של שורת מבני דלווה של קלע אל-חכים (מזרח ל'יסיפון) וקלע א-טוויל. שורה זו מקבילה לקטעי שורות אחרות מתקופה זו (מור, 1986). כמו גם לשורות הנזכרות של הפל'יסטוקן המאוחר. יש לציין, כי גם ברכס החזיקה, המיוחס לפרט עין-זיון של תצורת גולן (מור, 1986, 1987), מופיע חתך גילים מהפל'יסטוקן המוקדם (1.3 מיליון שנה) ועד לפל'יסטוקן המאוחר (0.4 מיליון שנה, Weinstein, 1998).



איור 4. מפה גיאולוגית של אזור האביטל נכולל מפת מיקום, ימין למעלה). מפתח למקרא: 1. טוף אביטל, 2. בזלח עין-זין, 3. סקוריה אודם, 4. בזלח הקיבוץ, 5. בזלח מוויסה, 6. בזלח דלווה, 7. סקוריה שיבן, 8. אלוביום, 9. קווי מגע בין יחידות סטרטיגרפיות או בין קילוחים, 10. נקודת פליטת לבה, 11. מבנה טבעתי, 12. קוי גובה, 13. דרך ראשית, 14. הריסות, 15. יישוב.



כפי שהוזכר בהקדמה, הרכבי בזלת דלווה אינם שונים בצורה מהותית מאלה של סלעי תצורת גולן, ועל כן נראה שאין סיבה להפריד את בזלת דלווה מסלעים וולקניים אחרים באזור צפון הגולן. לעומת זאת, יש סיבה ברורה, ליחולוגית וגיאוגרפית, להפריד את בזלת דלווה של צפון הגולן מבזלת יהודיה של מערב-מרכז הגולן (איור 2).

## תחנה 2 : עיקול הר בנטל (נ.צ. 2234/2813)

בתחנה זו נתוודע לשני מרכיבים בולטים במאספים הפירוקלסטיים של קומפלקס האביטל-בנטל. חציבת הדרך במעלה ההר יצרה במקום חתך אל תוך המשקעים הפירוקלסטיים, הבונים את חלקו החיצוני של הבנטל. במחשוף שמימין (מזרח) לדרך ניתן להבחין בשני סוגי משקעים שונים בתכלית זה מזה (תמונה 2). הראשון הינו שכבות של סקוריה הכוללות פצצות (אגלומרט), והשני - הינו של טוף מלוכד היטב (מולחם) בעל גוון אפרפר, הכולל בלוקים מזווחים של בזלת ("טוף ליחי"). חשוב לציין, כי לא מופיעים כאן הרכבי ביניים בין שני המאספים הנזכרים, אם כי בראש שכבות הסקוריה ניתן לראות חומר דק יותר.



תמונה 2: טוף ליחי מלוכד היטב בתוך חתך של סקוריה (תחנה מס' 2).

שני סוגי המשקעים מייצגים סוגי התפרצויות שונים. שכבות הסקוריה מייצגות ארועי התפרצות אקספלוזיבית בעלי עצמה חלשה עד בינונית (סטרומבוליאנית). בארועים שכאלה, כמות הגזים במגמה נמוכה יחסית, המגמה עוברת קריעה בצורה מוגבלת עקב האצתה (בדומה למים הניתזים מצינור) אך אינה מתרסקת לרסיסים קטנים, וחתיכות המגמה עתירות הגז מועפות בצורה בליסטית, כשלחלקן מוקנה צורה הידרו-דינמית (פצצות). ברוב המקרים, כמו גם במקרה הנוכחי, בונים התוצרים מבנה של cinder cone. שכבות הטוף מכילות חלקיקי אפר מגמתיים

"יובנליים") ושברי סלע רבים ומזוחים בגדלים שונים. הטקסטורה הברקציוזית מעידה על אירוע ריסוק ("פרגמנטציה") בעקבות פיצוץ רב עוצמה. פיצוץ שכזה קורה בדרך כלל כתוצאה מתגובה של המגמה עם כמוח גדולה של נדיפים. מקורם של הנדיפים עשוי להיות בעומק ובמאגמה עצמה (כמו במקרה של מגמות עתירות מים האופייניות לאזורי הפחתה) או בגופי מים הקשורים לפני השטח (מטאוריים - מי תהום או אגם, או מי ים) - התפרצות הידרו-וולקנית. המקרה שלנו קשור, ככל הנראה לאפשרות השנייה, כפי שנראה בהמשך. שכבות הטוף מופיעות כאן קרוב לראש החתך ומכוסות במספר שכבות סקוריה. במורד הדרך ניתן להבחין כי על פני המדרון מופיעה שכבת טוף דומה, המכסה באי התאמה את מבנה הסקוריה. נראה על כן, כי החתך בהר בנטל מתעד לפחות שני אירועי פיצוץ הידרו-וולקניים עזים, האחרון שבהם לאחר סיום בניית ה-cinder cone. יש לציין, כי שכבות טוף לא נמצאו על פני המדרונות הצפוניים של הבנטל. עובדה זו תידון בהמשך הסיור. נקודה מעניינת נוספת היא, שאין אפקי קרקע בין שכבות הפירוקלסטים, עובדה המעידה על בניית המבנה ברצף אירועים וולקניים, ללא הפסקות ממושכות.

### תחנה 3 : הר אביטל - פסגה מערבית וסוללת טוף מערבית (נ.צ.)

2240/2793 טר 2231/2807

בתחנה זו נכיר את מבנה ה-cinder cone הסטרומבוליאי של דרום האביטל ואת יחידות הטוף המכוסות אותו והנמצאות מצפון לו. אנו נמצאים באוכף טופוגרפי, בין שתי הפסגות הדרומיות של האביטל. זוהי נקודת הפריצה של קילוח אביטל (בזלחת עין זיון), אותו ניתן לראות משתפל מערבה בשתי מדרגות. בצד הדרך העולה אל הפסגה המערבית נוכל להכיר את הסקוריה של הר אביטל - שברי סלע וזיקלרי שחור עד אדמדם בגודל של מספר ס"מ עד מספר עשרות ס"מ. בחתך יש גם הרבה חומר דק (מ"מ), חלקו ראשוני וחלקו תוצר בליה של סלעי הסקוריה. בדרך המיצוק, היוצאת מהאוכף לדרום-מזרח, ניתן להבחין בטוף ליחי מלוכד חסר שיכוב, הדומה לזה בו פגשנו בהר בנטל והמכסה את הסקוריה באי-התאמה, ובעובי משתנה מאפס למספר מטרים. בהמשך דרך המיצוק (צלע דרומית של הפסגה המזרחית, לשם לא נגיע בסיר הנוכחי) מכוסה הטוף בטוף משוכב דק ומעליו שכבות לפילי (סקוריה דק) עם מעט פצצות. חוץ כדי נסיעה במורד כביש האביטל, בכיוון צפון-צפון מערב, נוכל לראות טוף משוכב דק ומלוכד, המכסה באי התאמה את מדרונות הסקוריה. בהמשך צפונה, מתחלפים מדרונות מבנה הסקוריה בסוללת הטוף, המשתפלת בשיפוע מתון בכיוון צפ-צפמ"ע. סוללת הטוף מורכבת מחילופי שכבות של חומר דק, משרעת ההרכבים נעה בין חילופי טוף וטוף-לפילי משוכבים דק לשכבות טוף ליחי עתירות פרגמנטים בזלתיים בגודל משתנה (ממ"מ ועד כמעט מטר) וחסרות שיכוב פנימי (תמונה 3). שכבות הטוף הליחי מלוכדות כאן באופן חלקי בלבד, עובין אינו עולה על מספר עשרות ס"מ, וניכר שהן שונות מאלה בהן צפינו בשתי התחנות הקודמות. בשונה מהאחרים הקודמים, אין כאן כלל חומר סקורייאי וראו פצצות. במעקב אחר שכבות הטוף ניתן להבחין, כי עובי חלק מהשכבות משתנה בצורה מקומית, עובדה המעלה שאלות באשר לאופן הרבדת החומר, ואשר תידון בתחנה הבאה.



תמונה 3: משקעי טוף (סרג') מעל טוף ליטי (סוללת הטוף המערבית).

#### תחנה 4 : הר אביטל - תעלה מערבית (נ.צ. 2223/2799 עד 2232/2804)

התעלה המערבית נחפרה לצרכים צבאיים במורדות האביטל המערביים, בכיוון מזרח-מערב. תוך שהיא חושפת חתך אל תוך בזלות וטופים. אנו נסייר לאורך התעלה, תוך התמקדות בחתך הטופים ובסטרוקטורות המופיעות בחתך.

בתחתית החתך מופיעה בזלת מוויסה ה'זורמת' אל העמק שממערב. הבזלת מצולעת, עתירה בזיקולות, אשר לעיתים קרובות הינן מארכות בכיוון מועדף (כיוון זרימה). בתחתית הקילוח נבחין בקלינקר (חומר בזלתי מעוות ומרוסק, שמקורו בהרס הקרום הבזלתי שנוצר בתחתית, ואף על גבי, קילוח הלבנה הממשיך להתקדם). בד"כ טרי למדי. עם ההתקדמות בתעלה נגלה, כי יחסי הבזלת-קלינקר בקילוח משתנים בצורה קיצונית, מחתך עמודוני על גבי קלינקר דק ועד לקילוח שכולו קלינקר. הבזלת נטויה בכיוון העמק, ובמעלה התעלה נבחין כי היא אף "ורדת" מדרגה. עובדה זו מעידה על תבליט קדם-מוויסה באזור האביטל. בזלת מוויסה מכוסה במקומות רבים לאורך התעלה בטוף דק משוכב דק וללא חלקיקים גסים. הטוף ממלא תבליט ועוביו משתנה בין עשרות ס"מ למספר מטרים. בחתך הטוף ניתן לאתר אי התאמות רבות, וסטרוקטורות של שיכוב צולב anti-dunes (תמונה 4). הטוף מכוסה בשכבת לפילי בעובי של כ- 60 ס"מ, הבנויה

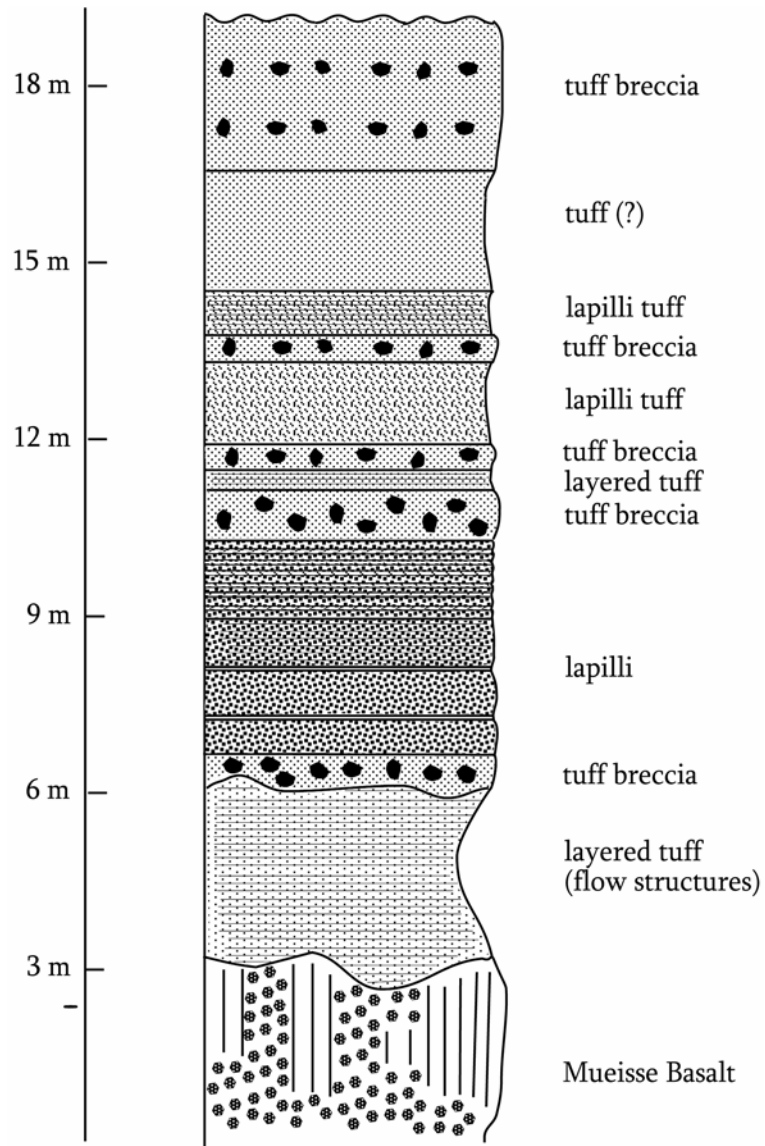
שברי בזלת קטנים, ללא כל חומר סקוריאלי. במעלה התעלה, מחגלה שכבת טוף לייתי (מלוכדת במידה מועטה) בין הטוף לבין הלפילי (איור 5).



תמונה 4: משקעי סרגיים (נחשולים) במורד המערבי של האביטל (תחנה מס' 4).

הטוף והלפילי מייצגים מה שמוגדר במבני טוף כ'פציאס שוליים' (distal facies), בעוד שהטוף הלייתי עתיר הפרגמנטים הבזלתיים מזכיר יותר פציאס של מרכז המבנה, קרוב לנקודת הפיצוץ (proximal facies). נראה, כי שלש שכבות אלה מייצגות שלש תופעות הידרו-וולקניות. שכבת הטוף הלייתי חסרת השיכוב והמיון הפנימי מייצגת ככל הנראה את האירוע הראשוני והעז של הפיצוץ, בו נקרע סלע הסביבה ומועף למרחקים קצרים יחסית. הטוף בעל סטרואטורות הזרימה הינו תוצר של surges ('נחשולים') - זרמים חמים ועתירי גז, שזרמו במורד ההר, תוך מילוי הטופוגרפיה. בשל העושר בגז ובשל מהירותם הגבוהה, יכולים זרמים אלה גם לדלג על תבליט במידת מה. שכבת הלפילי מתייחדת בכך שאינה כוללת לא מרכיב אפר דק ולא מרכיב סקוריאלי, אלא רק חמרי פיצוץ של סלע סביבה. מוצע, כי זהו תוצר של התפרצויות פריאטיות - פיצוץ ללא חוצר מגמתי חדש (ויבנלי). הצעה זו צריכה לעמוד במבחן פטרוגרפי.

שכבת הלפילי מכוסה באופק דק (מספר ס"מ), הבנוי סקוריה דקה ובלויה (איור 5). אופק זה מכוסה בשכבת לפילי נוספת (80 ס"מ), מעליה אופק דק נוסף (4-5 ס"מ). שאף הוא מכוסה בלפילי (80 ס"מ), המתאפיין בשיכוב פנימי דק ובסדקי גלישה רבים. חלק זה של החתך מעיד כנראה על אירועים פריאטיים, שביניהם הבדילו חקופות של שקט והתפתחות קרקע. יתרת החתך, עד לראש סוללת הטוף, מורכבת מחלופי לפילי, לפילי-טוף וטוף לייתי (סה"כ כ- 10 מ'). חלק



איור 5. חתך מייצג בדופן (מעלה) מערבית של סוללח הטוף באביטל. עובי היחידות, בעיקר החתומות, משתנה בצורה חריפה לאורך המעלה. החלק העליון של החתך (עד פני הסוללה, 5 מ') לא חוּדַד בפרוט.

מהשכבות הדקות משוכבות דק, ואינן מראות כל מבני זרימה (קורלטיביות לחלק מהשכבות שראינו לאורך הכביש בתחנה הקודמת), כך שהן עשויות להיות תוצרי הרבדה מהאיר (fall deposits).

לאורך רוב המסלול נטות כל היחידות בכיוון מערב (מהאביטל החוצה), ובשתי נקודות הן אף עולות מדרגה של כ 20-10 מ'. למרות שבמדרגה השניה נחשפות רק שכבות הפירוקלסטים, אני מניח שהיא יושבת על מדרגה דומה בבזלת מוויסה ועל תבליט קדם מוויסה. אם נניח שעובי חתך הפירוקלסטים אינו משתנה מקומית בצורה חריפה (חוץ מאזור הסוללה עצמה), הרי שבזלת מוויסה והמשקעים הוולקנו-קלסטיים שבאו בעקבותיה זרמו במורד בעל שיפוע ממוצע של כ 10%.

#### תחנה 5 : הר אביטל - מחצבות צפוניות (נ.צ. 2241/2810)

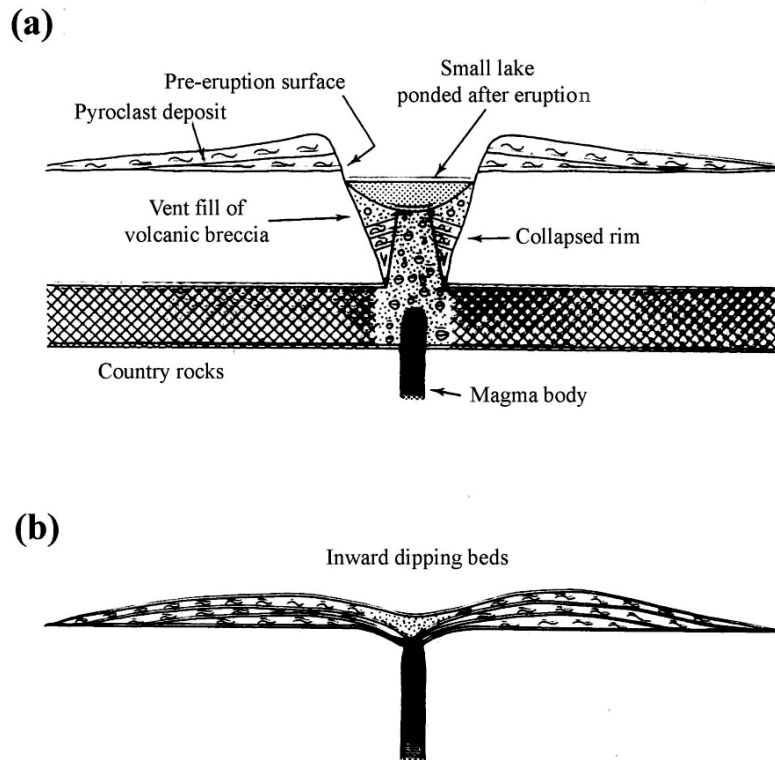
בתחנה זו נפגוש בעיקר בשתי יחידות וולקניות - (1) טוף ליחי מלוכד היטב בעל גוון בהיר ו- (2) סקוריה דקה (לפילי) משוכבת בעיקר בגווי הצהוב והחום, ללא פצצות. בחלק מהמחשופים נראה, כי הלפילי מכסה את הטוף, והטוף עצמו מכסה על שכבת סקוריה אחרת, הנמצאת במורד אל בקעת האביטל, והכוללת פצצות גדולות (כולל 'טיפה' באורך 3.5 מ'). כאמור, גוון הטוף שונה מזה שבמעלה הבנטל, אך לא ברור האם גוון מהווה אינדיקציה מספקת לזיהוי מסלע פירוקלסטי.

בשלב זה הגיע הזמן להבין את משמעותם הרחבה של התוצרים הפירוקלסטיים בהם פגשנו בהקשר עם מבנה האביטל, ובמיוחד עם הבקעה שבמרכזו. מור (1973) הציע כי הבקעה (והאביטל ככלל) הינה מבנה התמוטטות פאסיבי, ושלל אופציה של פיצוץ. בניגוד לכך מוצע כאן, כי הסיפור העיקרי של האביטל הוא של התפוצצויות הידרו-וולקניות. יתירה מכך, מוטל ספק רב בהנחה העומדת בבסיס ההצעה של מור, ולפיה אזור בקעת האביטל כולו היה מכוסה בחרוט אפר גדול.

ארועים הידרו-וולקניים רבים מסחיימים ביצירת מעטפת טוף (חלקית או מלאה) ובור גדול במרכז (טבעת טוף או מא'אר, איור 6). מוצע כאן, כי הבור של האביטל, כמו גם משקעי הטוף למיניהם, הינם תוצרי התפרצות הידרו-וולקנית, הקשורה לנוכחות מי תהום גבוהים באזור האביטל (ניתכן שבהקשר עם קיומו של אגם בבקעת קוניטרה). ההיסטוריה המוצעת לקומפלקס האביטל היא כדלקמן:

- א. (פלייסטוקן מוקדם) מאזור האביטל מתפרצות בזלות דלווה (כולל בזלת הקיבוץ?).
- ב. (פלייסטוקן מאוחר) בזלת מוויסה מתפרצת בחלק המרכזי של הקומפלקס וזורמת במורד המבנה.
- ג. התפרצות סטרומבוליאנית - מבנה הסקוריה (cinder cone) של האביטל נוצר בחלקו הדרומי של הקומפלקס.
- ד. בזלות עין זיון מתפרצות; קילוח האביטל פורץ את זופן ה cinder cone.
- ה. התפרצות סטרומבוליאנית נוספת - מבנה הסקוריה של הבנטל נוצר בחלקו הצפוני של הקומפלקס.





איור 6. מבנים הידרו-וולקניים: a. מאאר, b. טבעת טוף (נמוך: Cas and Wright, 1987).

1. לקראת סוף שלב ה' התפרצויות הידרו-וולקניות ראשונות מייצרות תערובת של אפר מגמתי יובילי ושברי סלע, הנזרקת ממרכז הקומפלקס ומורבדת על מורדות הבנטל הדרומיים (מור, 1973) ובאזור האוכף של האביטל; חלק מן החומר ודאי זרם לכיוון הבקעות במערב או במזרח.
  2. התפרצויות סטרומבוליאניות מוגבלות מייצרות חומר סקוריה דק יחסית (לפילי).
  3. שרשרת אירועים הידרו-וולקניים (כולל פריאטיים) יוצרת את חתך הטוף במערב האביטל תוך פיצוצים (והתמוטטות חלקית) של החלק המרכזי של הקומפלקס.
- הערה: לא נחקרו די צרכם יחסי השדה בין שלב ז' לשלב ח'.

### תחנה 6 : פסגת הר בנטל (נ.צ. 2237/2816)

בתחנה זו נחפשו קסנוליטים פרידוטיטיים מעטפתיים. הסקוריות והבזלות שהתפרצו בהר בנטל נושאות עימן מספר רב של קסנוליטים שכאלה, בהרכב של ספינל להרצוליט (המכילים אוליבין, קלינופירוקסן, אורחופירוקסן וספינל). פלאותרמומטריה של הקסנוליטים (אנליזות מיקרופורב של הפירוקסנים) הראתה טמפרטורות שווי משקל בסביבות  $1,000^{\circ}\text{C}$ . טמפרטורות אלה ממקמות את



הקסנוליטים מעל הגאותרמה הקונדוקטיבית של המצב היציב בליחוספירה (the conductive steady state geotherm, Stein et al., 1993). חוצאות זומות מתקבלות ממאספי קסנוליטים אחרים, שהתפרצו באתרים וולקניים קנוזואים ברחבי הפלטה הערבית. ההסברים האפשריים לאנומליה התרמלית הזו הינם: חימום רגיונלי של הליחוספירה כתוצאה מהדקות המלווה את תהליכי הביקוע של הריפט או חימום רגיונלי כתוצאה מעליית דיאפיר מעטפתי או חימום מקומי של הקסנוליטים ע"י המגמות המארחות. מדידות של הרכבי האיזוטופים של  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  בצמדי קלינו- ואורחו- פירוקסן מראות שיווי משקל איזוטופי בזמן ההיתפרצות. לעומת זאת הרכבי "כלל הסלע" (bulk rock) יושבים על קו קורלציה חיובית בדיאגרמת האיזוכרון של Sm-Nd עם שיפוע המחאים לגיל של כ- 800 מ"ש. חוצאות אלה מפורשות בכך ש"כלל הסלעים" מציינים את גיל היווצרות הליחוספירה המעטפתית (lithospheric mantle) ממנה נגזרו הקסנוליטים בזמן היווצרות הקרום היבשתי באזור (השילד הערבי נובי) באירועים האורוגניים הפאן-אפריקניים. גיל שיווי המשקל המצוין ע"י הפירוקסנים מצוין כנראה אירוע תרמלי שארע כמה מליוני שנים לפני עליית הקסנוליטים אל פני השטח. אירוע זה גרם לעליית טמפרטורת אזור המקור של הקסנוליטים מעל הגאותרמה היציבה. במרחב האיזוטופי של נאודימיום וסטרונציום ( $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ ) נופלים הקסנוליטים בתחום המחאים להרכבים של סלעי מעטפת מטיפוס OIB (oceanic island basalts). הדבר מצביע על מקור מטיפוס mantle plume לליחוספירה הערבית.

## ב. בריכת רם

בריכת רם (תמונה 5) עונה על ההגדרות הקלאסיות של מאאר (maar lake, אזור 6, ראה מזור, 1969) - שקע מעוגל נמוך מפני הסביבה (מלא במים) ומוקף בסוללת טוף. חופעות נוספות האופייניות למאאר הינן (1) הדומיננטיות של הסרגים במרבדי הטוף ו (2) הקסנוליטים הרבים של קרום תחתון ומעטפת המופיעים במרבצי הטוף. אנו מציעים, כי בדומה לקומפלקס האביטל וכפי שיפורט בהמשך, נוצרה בריכת רם ומשקעי הטוף סביבה בסדרת פיצוצים הידרו-וולקניים, עיקרם פריאטו-מגמתיים. המודל של התמוטטות חרוט אפר גדול, שהשתרע על כל שטח הבריכה (מור, 1973), מחייב שליטה של סקוריה במשקעים סביב הבריכה ולא של סרגים וברקציות פיצוץ.

## תחנה 7 : הר כרמים (נ.צ. 2227/2919)

תצפית אל מבנה בריכת רם (תמונה 5). לאזור בריכת רם אלמנטים וולקנולוגיים, המזכירים את אלה של הר אביטל. הבריכה מוקפת במשקעי טוף (ילפילי) ממזרח וצפמ"ז, ממערב ומדרמ"ע (איור 7). משקעי טוף מופיעים אף בבקעת יעפורי מצפון. בדרמ"ע ומערב הבריכה מופיע חתך מצומצם של סקוריה, ובצפונה בזלת כרמים (250,000 שנה, Mor, 1993; איור 7). בתוך הבריכה, מחחת למעטה עבה של משקעי אגם, מופיע חתך עבה (60 מ' לפחות) של פירוקלסטים. בדומה לאביטל, הציע מור (1973), כי מקור הבריכה בהתמוטטות גרוויטציונית של חרוט אפר כתוצאה מכוח הכובד.

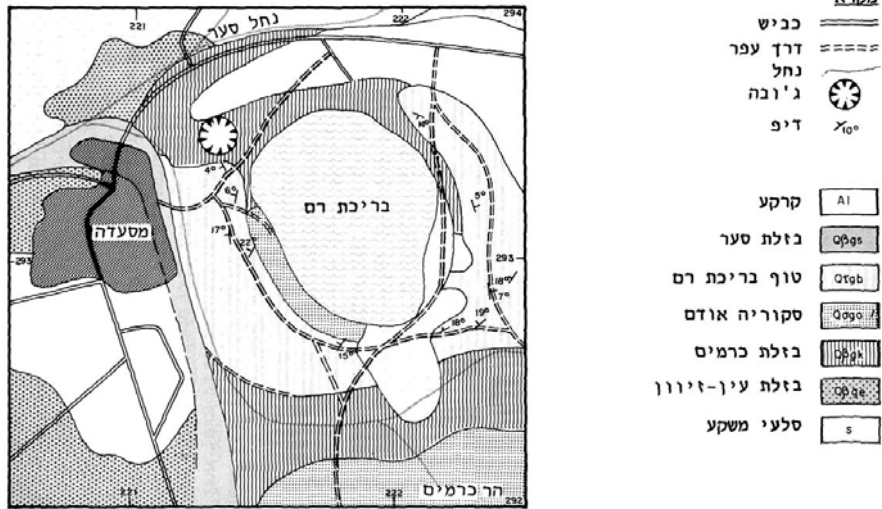


תמונה 5: ברכת רם, מבט מהר כרמים (דרום, תחנה מס' 7).

אנו מציעים, כי בדומה להר אביטל (ובהמשך להצעתו של מזור, 1969), חווה אזור בריכת רם התפרצות הידרו-וולקנית, שיצרה את מרבדי הטוף, ואת ה"בור" במרכז. את עקבות חלק מהטוף יש לחפש בקרקעות עמק יעפרי. חלק אחר זרם, מן הסתם, בערוצו של נחל סער בכיוון עמק החולה. מוצע, כי גם כאן, חרוט הסקוריה היה ממוקם בדרום (או דרמ"ע) הקומפלקס, אם כי עבודה מסודרת על החומר שנדגם בקידוח תה"ל מקרקעית הבריכה עשויה לסייע בקביעת גדלו של החרוט.

#### תחנה 8 : בריכת רם (נ.צ. 2219/2936)

כאמור, טוף בריכת רם מופיע כמעט בכל היקף הבריכה, ובצידה הדרום-מזרחי הוא מגיע עד לגבהים של כ 100 מטר מעל הבריכה. בשולי הבריכה, קרוב לקו המים, מופיע בעיקר טוף ליחי, המכיל כמויות גדולות של שברי סלע סביבה בגדלים שונים. שברי הסלע הם בעיקר בזלתיים, אך ניתן למצוא גם שברי גיר מתוך בגיר בקרטיקוני הנחשף בדרמ"ז הבריכה. במקומות רבים ניתן להבחין בסטרקטורות זרימה בתוך הטוף הליחי (תמונה 6). המופע של טוף ליחי עם סטרקטורות זרימה מעיד על גנזה מורכבת, הכוללת שיגור נחשולים עתירי גז בד בבד עם פיצוץ וריסוק של סלעי הסביבה. טוף בריכת רם מכיל כמויות גדולות של קסנוליטים מעטפתיים וקרומיים (פריזוטיטים, פירוקסניטים, גרנוליטים מאפיים, גברו) ומגהקריסטים של



איור 7: מפה גיאולוגית של אזור בריכת רם (מתוך: מור, 1986).



תמונה 6: סוף ליחי עם סטרוקטורות זרימה (שוליים מערביים של ברכת רם).

אמפיבול (Mittlefehldt, 1984; שטיין, 1987). מאסף מגוון שכזה באתר נקודתי הינו ייחודי לגולן ולצפון ישראל בכלל.

הגרנוליטים המפיים מורכבים מפלגיוקלז, פירוקסן, גרנט ומינרלי בצר ומראים טקטורות מטמורפיות. מאסף דומה נימצא בהר הגעש של קרני חיטין. הגרנוליטים המאפיים מפורשים כקומולטים מתוך מגמות בזלחיות שנוצרו בתהליכי יצירת הקרום של השילד הערבי-נובי באורוגזה הפאן-אפריקנית (ראה בן-דב וחבריו, 2004, בחוברת התקצירים של הכנס). תרמומטריה של פירוקסנים מראה טמפרטורות הגבוהות מהגאותרמה היציבה. מדידת יחסי האיזוטופים  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  בפלגיוקלז, פירוקסן וגרנט שהופרדו מקסנוליט מברכת רם הראתה שווי משקל איזוטופי המפורש כאירוע חימום של אזור המקור של הגרנוליטים בקרום התחתון. התמונה הכוללת העולה מתרמומטריית הפרידוטיטים (למשל אתר הר בנטל) ומהגרנוליטים המאפיים היא של חימום רגיוני בליחוספירה המעטפתית ובקרום התחתון. חימום זה אירע כמה מליוני שנים לפני התפרצות הלבוח שהעלו את הקסנוליטים לפני השטח, והוא כנראה קשור לדיקוק הליחוספירה בהקשר לביקוע הפלטה הערבית.

## מקורות

- וינשטיין, י., 1992. פטרולוגיה של בזלות צעירות בצפון הגולן, דו"ח המכון הגיאולוגי מס' GSI/27/92, המכון הגיאולוגי, ירושלים, 136 עמ'.
- מור, ד., 1986. הולקניזם ברמת הגולן, דו"ח המכון הגיאולוגי מס' GSI/5/86, המכון הגיאולוגי, ירושלים, 159 עמ'.
- מור, ד., 1987. המפה הגיאולוגית של קצרין 1:50,000, המכון הגיאולוגי, ירושלים.
- מור, ד., 1987. המפה הגיאולוגית של הר אדם 1:50,000, המכון הגיאולוגי, ירושלים.
- מזור, ע., 1969. מארות ומכחשי התפוצצות וולקנית בגולן, הכנס השנתי של החברה הגיאולוגית הישראלית, כפר גלעדי, עמ' 15-16.
- פלכסר, ע., 1969. נופים ואתרים, הוצאת קצין חינוך ראשי, עמ' 57-55.
- שטיין, מ., 1987. קסנוליטים אולטרא-בסיסיים בסלעים וולקניים קנוזואיים ומזוזואיים מישראל, עבודת דוקטורט, האוניברסיטה העברית, ירושלים, 117 עמ'.

- Brenner, I. B., 1979. The geochemical relations and evolution of the Tertiary-Quaternary volcanic rocks in northern Israel. Ph.D. thesis, The Hebrew Univ. Jerusalem, Israel, 202 pp.
- Cas, R. A. F., Wright, J. V., 1987. Volcanic successions, modern and ancient: a geological approach to processes, products, and successions. Allen & Unwin, London, 528 pp.
- Inbar, M., 1984. Lava caves and surface volcano karst features in the basaltic area of the Golan Heights (Israel). *Karstologia*, 4, 2e semester.
- Mittlefehldt, D. W., 1984. Genesis of cpx-amphibole xenoliths from Birket Ram: trace element and petrologic constraints. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 88, 280-287.

- Mor, D., 1993. A time-table for the Levant volcanic province, according to K-Ar dating in the Golan Heights, Israel. *J. Afr. Earth Sci.*, 16(3), 223-234.
- Stein, M., Garfunkel, Z., Jagoutz, E., 1993. Chronothermometry of peridotitic and pyroxenitic xenoliths: implications for the thermal evolution of the Arabian lithosphere. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 57, 1325-1337.
- Weinstein, Y., 1997. Spatial and temporal changes in composition of Neogene-Quaternary magmatic rocks in NE Israel. *GSI Current Research*, 11, 87-95.
- Weinstein, Y., 1998. Mechanisms of generation of intra-continental alkali-basalts in northeastern Israel. Ph.D. thesis, The Hebrew Univ. Jerusalem, Israel, 100 pp.
- Weinstein, Y., Navon, O., Lang, B., 1994. Fractionation of Pleistocene alkali-basalts from the northern Golan Heights, Israel. *Isr. J. Earth Sci.*, 43, 63-79.

## מניעת זיהום הכנרת ואתרים ארכיאולוגיים בעמק החולה

דורון מרקל

נציבות המים, ניטור הכנרת ואגן ההיקוות

גובן שרון

האוניברסיטה העברית, ירושלים

### עמק החולה

עמק החולה נמצא בצפון בקע ים המלח (איור 1) והוא גובל בחרמון מצפון, בגולן ממזרח, ברכס נפתלי במערב וברמת כורזים מזרם. רום העמק כ- 65 מ' מעל לפני הים ושטחו כ- 117 קמ"ר. בעמק החולה התקיימו מאז הפלייסטוקן הגלציאלי אגם רדוד (אגם החולה, Lake Hula) בעל סדימנטים חוואריים ומצפון לו ביצות בהן נוצר כבול (איור 1). שטח אגם החולה היה כ- 13 קמ"ר ועומקו המירבי 4 מ' בעוד ששטח הביצות נע בין 47 קמ"ר בחורף ל- 8 קמ"ר בקיץ (Dimentman et al., 1992). נהר הירדן זרם אל האגם דרך הביצות בשני זרועות: הירדן במערב, והחרוטה במזרח. הגיאולוגיה של אזור גשר בנות יעקב פורסמה לאחרונה בפרוט במאמרו של ביליצקי (2002). החרוממותה של רמת כורזים בצירוף קילוחי הבזלת הרבים שמקורם ברמת הגולן וברמת כורזים יצרו את "פקק הבזלת" בדרומו של עמק החולה, מחסום שסכר את מוצא הירדן לכינרת ואפשר את היווצרותו של אגם החולה. נהר הירדן זורם במוצאו הדרומי מעמק החולה דרך שכבות גיאולוגיות מגיל הפליוקן והפלייסטוקן ועד ההולוקן. קטע הירדן שבין גשר הפקק ועד למצד עטרת חושף יחידות גיאולוגיות ייחודיות המאפשרות שחזור גיאולוגי של עמק החולה והאגמים הקדומים ששכנו בתוכו במיליוני השנים האחרונות. השכבות הגיאולוגיות נחשפות כאן בזכות החרוממותה הטקטונית של רמת כורזים אשר חשפה באזור זה שכבות שהמקבילות להן קבורות במעמקי עמק החולה מתחת למאות מטרים של סחף ומשקעי אגם וביצות.

### ייבוש החולה ותוצאותיו

ב-1951 החל מפעל ייבוש החולה על פי תוכניתו של המהנדס ז. קובלנוב על מנת לנצל את שטחי האגם והביצות לחקלאות ולמגר את המלריה. הייבוש התבצע ע"י פתיחת "פקק הבזלת" באזור גשר הפקק-גשר בנות יעקב וחפירת שתי תעלות ניקוז עיקריות- המערבית והמזרחית (איור 1). הייבוש לגבי התועלת בייבוש החולה נמשך עד היום, ובכל מקרה, קרקעות הכבול התבררו כבעייתיות וסובלות משקיעה (קומפקציה), סחף רוח ושריפה עצמית. במקביל לייבוש החולה הוקמה שמורת החולה במטרה לשמר מגוון גדול ככל הניתן של בתי גידול אקוטיים. המאמצים לפתוח את פקק הבזלת לשם הורדת מפלס אגם החולה ופינוי קרקע זמינה לעיבוד חקלאי החלו

עוד במאה ה-19 ובמהלכן של עבודות כאלה בשנות השלושים של המאה העשרים נתגלו לראשונה עצמות בעלי חיים מאובנות וכלי אבן. עד היום נחשפו באזור שבין גשר הפקק למצד עטרת אתרים ארכאולוגיים מהתקופה האשליית, התקופה המוסטרית והתקופה האפי-פלאוליתית.

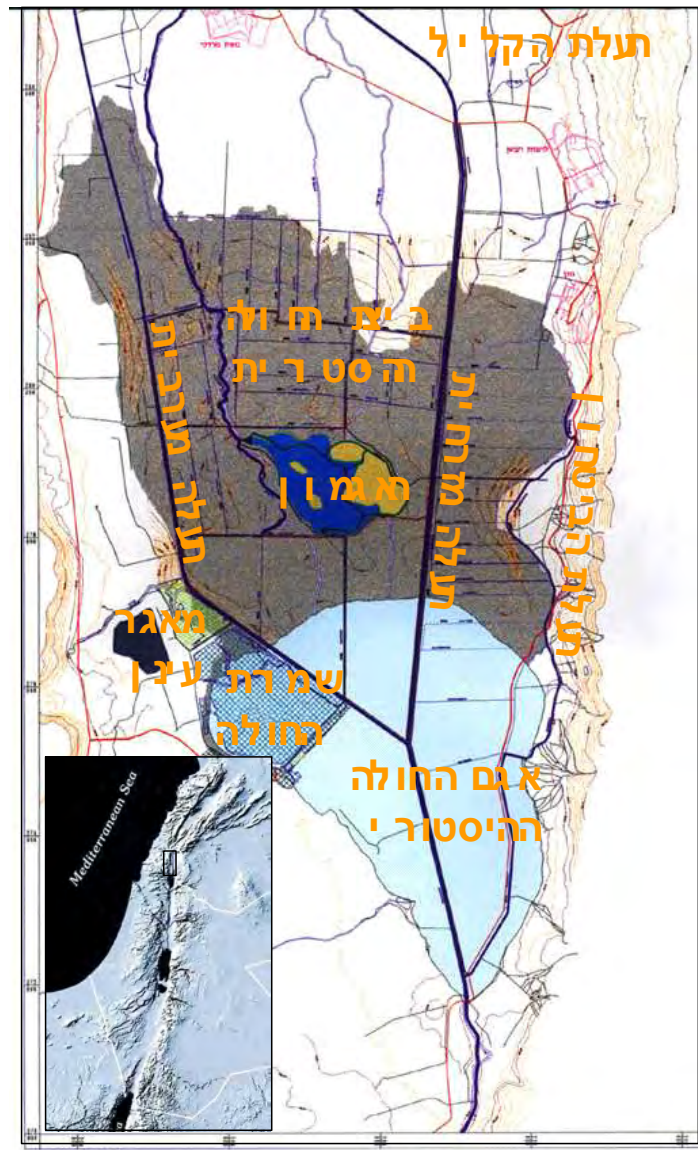
## מקורות הזיהום בעמק החולה

עמק החולה המתנקז לירדן ולכנרת מכיל מספר מקורות זיהום לכנרת. בליית הכבול הביאה לשטיפת ניטראט מאסיבית לכנרת. בשנות ה-80 הוערכה תרומת החנקן משטחי הכבול בכ-500 טון בשנה (כשליש מהתרומה השנתית הממוצעת) (Avnimelech, 1978). תרומת הזרחן מהכבול הבלוי הוערכה במספר טונות לשנה. התעלה המערבית הפכה עם השנים לתעלה המוליכה את קולחי קריית שמונה ויישובי צפון העמק. החל משנות ה-80 הועברו קולחים אלו למאגר עינן בעזרת סכר מלחה שהוקם בתעלה המערבית. אולם בעת שטיפנות החורף גלשה התעלה מעל לסכר מלחה והקולחים נשטפו לכנרת. מלבד הקולחים ומי הכבול מהווים בריכות הדגים, המרעה, והניקוז החקלאי את מקורות הזיהום העיקריים.

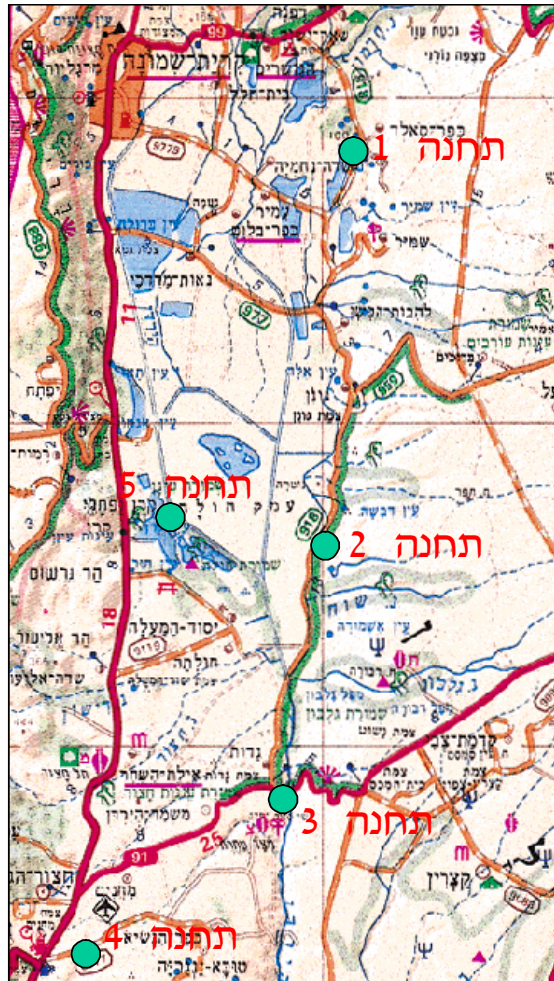
## פרויקט החולה

בשנות ה-90 החל יישומו של "פרוייקט החולה" אשר נועד לפתור את הבעיות שנוצרו עקב בליית הכבול. עיקרו של הפרוייקט ייצוב מפלסי מי התהום, אשר התבצע בעזרת יצירת גוף מים במרכז העמק וחיבורו לרשת צפופה של תעלות ניקוז (איור 1, שחם, 1994). כמו כן, נועד פרוייקט החולה למנוע את שטיפת הניטראט מהכבול לכנרת. מי הכבול המתנקזים אל גוף המים הביצתי (האגמון, Lake Agmon) שוהים בו בין שבועיים לחודשיים (Markel et al., 1998), ומועברים למאגר עינן דרך תעלת האפס ומאגר הקצה (איור 1). ממאגר עינן מנוצלים המים להשקייה בעיקר ברכס נפתלי אליו מועברים המים בעזרת מפעל "זמר ב". פרוייקט החולה כלל גם מרכיבים נוספים: 1. המובל המערבי- צינור תת-קרקעי הקולט את קולחי קריית שמונה, קולחי יישובי צפון עמק החולה ושפכי בריכות הדגים ומעביר אותם למאגר הקצה, משם הם נשאבים למאגר עינן. התעלה המערבית נוקתה מהבוצה ששקעה בה במשך השנים והפכה לתעלת מים שפירים. 2. תעלת הביטחון נחפרה מעין גונן לאורך מעיינות הדופן ונשפכת לירדן מצפון לגשר הפקק. תעלה זו מפרידה בין מי המעיינות הנאספים לירדן ובין מי הכבול הנאספים לאגמון.





איור 1: מפת גופי המים העכשוויים בעמק החולה על רקע אגם וביצות החולה ההיסטוריים ומיקומו הגיאוגרפי של עמק החולה.



איור 2: מפת אזור עמק החולה עם תחנות הסור.

## פירוט תחנות הסור (איור 2)

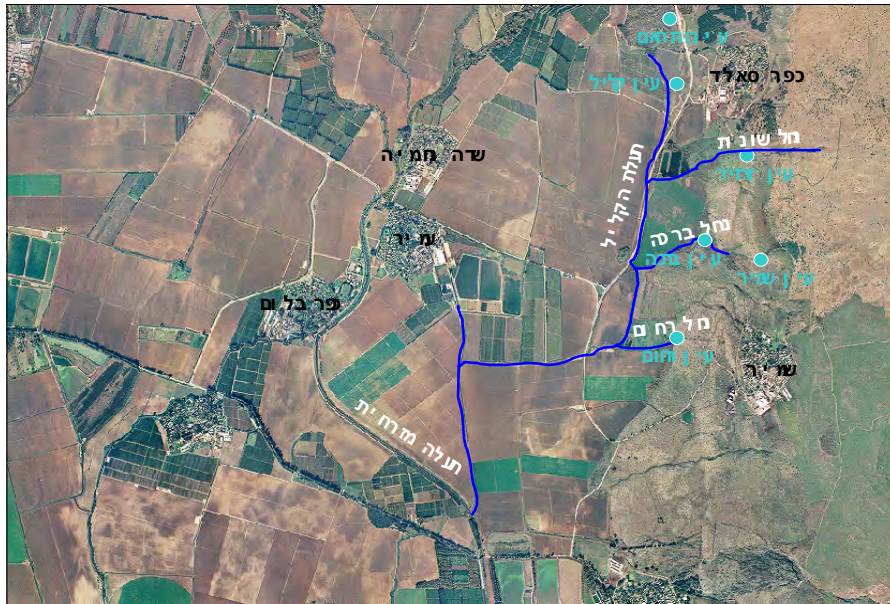
### תחנה 1: תעלת הקליל (לשעבר נחל קלי)

תעלת הקליל הינה תעלת ניקוז אשר הוסדרה בשנות ה-80 וה-90 בחוואי נחל קלי שהתקיים לפני ייבוש החולה. התעלה נמתחת החל ממעינות האם ליד הבניאס דרך עין קליל ליד כפאר סאלד, מנקזת את הנחלים ברכה ורחום ליד שמיר, את תעלת שדה נחמיה-עמיר ונשפכת לתעלה המזרחית ליד גשר להבות הבשן (איור 3). בקליל זורמים כ-10 מלמ"ק בשנה בספיקה הגעה בין 0.2 מ"ק לשניה בקיץ ל-3 מ"ק לשניה בחורף. מקורות הזיהום המתנקזים לתעלה נחלקים לנקודתיים (מאגרי הקולחים של כפר סאלד ושמיר ובריכות הדגים של עמיר) ודיפוזיביים (מרעה כפר סאלד, ניקוז חקלאי של שטחי גד"ש המושקים בקולחים (ראה תמונה 1). רמת הזרחה הכללי בקליל נעה בין 0.2 מג"ל בקיץ ל-0.5 מג"ל בחורף ועומס הזרחה מסתכם בכ-3 טון מאחר

ואין אפשרות לטפל במי הקליל באמצעות מחקן כלשהו מוצע כיום להקים אגן לח (Wetland) אשר יקלוט את מרב המים העוברים בתעלה ויוריד את עומסי הזרחן והחנקן שבה.

## תחנה 2 : תעלת הביטחון (מעיינות הדופן)

תעלת הביטחון נמתחת מקיבוץ גונן לאורך כביש 918 ונשפכת לירדן מצפון לגשר הפקק. תעלה זו אוספת את מי מעיינות הדופן והנחלים שוח, חמדל וג'לבון ומעבירה אותם לירדן. למעשה מונעת התעלה את גלישת מי המעיינות והנחלים מלהגיע לשטחי הכבול ולהתערבב במי הכבול. הפרדה זו מונעת את זיהום הכנרת במי כבול ומאפשרת איסוף של מרב המים השפירים לכנרת.



איור 3: תצלום אוויר של תעלת הקליל עם מקורות המים השונים שלה.

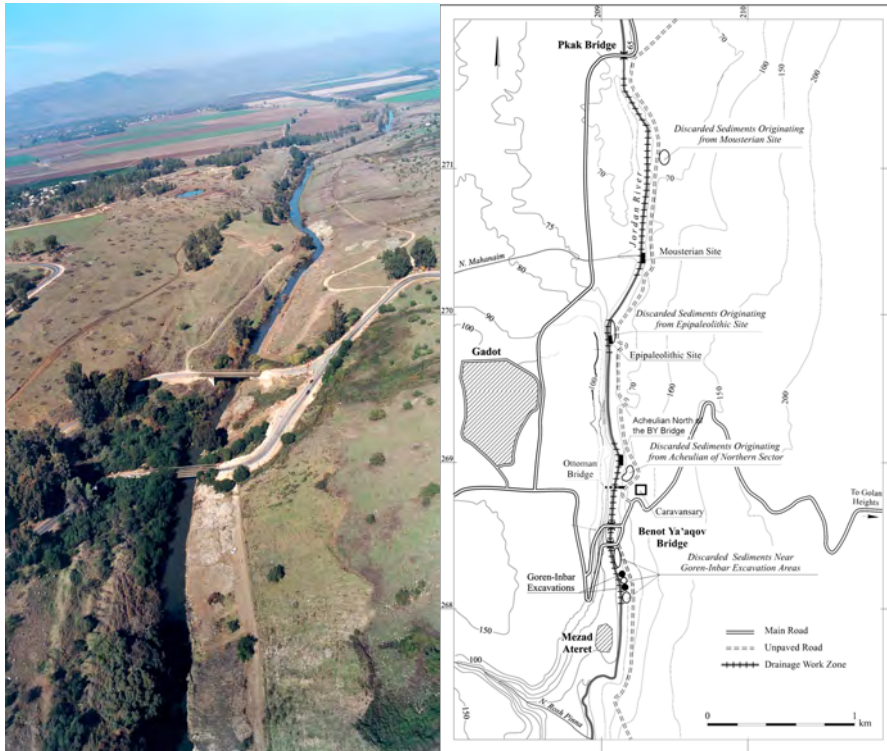


תמונה 1: שפך הקליל לתעלה המזרחית בחורף 2002.



### תחנה 3 : האתר הפרה-היסטורי בגשר בנות יעקב

בשנת 1989 החל פרויקט החפירות המחודש באתר האשלי גשר בנות יעקב בניהולה של פרופסור נעמה גורן-ענבר מהמכון לארכאולוגיה באוניברסיטה העברית. שבע עונות חפירה נערכו בשטח קטן (כעשרים מטרים רבועים) על הגדה המזרחית של נהר הירדן כ- 250 מטרים מזרחה לגשר בנות יעקב הדרומי. עד היום תועדו בפירוט כ- 34 מטרים מהרצף הגיאולוגי של האתר, המייצגים לפי הערכה גיאולוגית כמאה אלף שנים של הרבדה, ובתוכם לפחות שמונה אתרים ארכאולוגיים שונים השייכים כולם לתקופה האשליית. המחקר משלב עשרות חוקרים ממגוון של תחומים כגון גיאולוגיה זואולוגיה בוטניקה וולקנולוגיה ועוד. החפירות באתר הניבו שפע של ממצאים הנחקרים עכשיו ופרסומם המדעי ימשך עוד זמן רב.

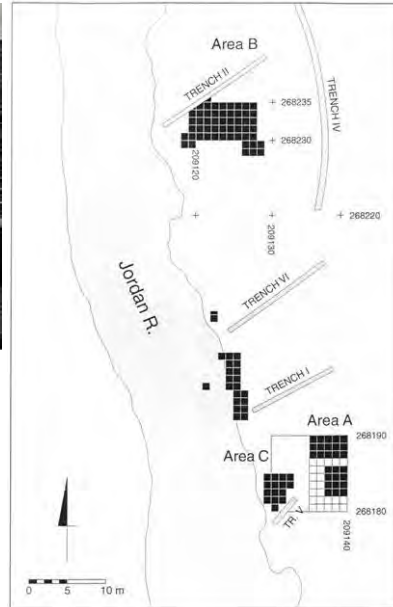


איור 4 ותמונה 2: מפת גשר בנות יעקב (Sharon et al., 2002) וחצ"א ינואר 2000 (אריק בלטינשטר).

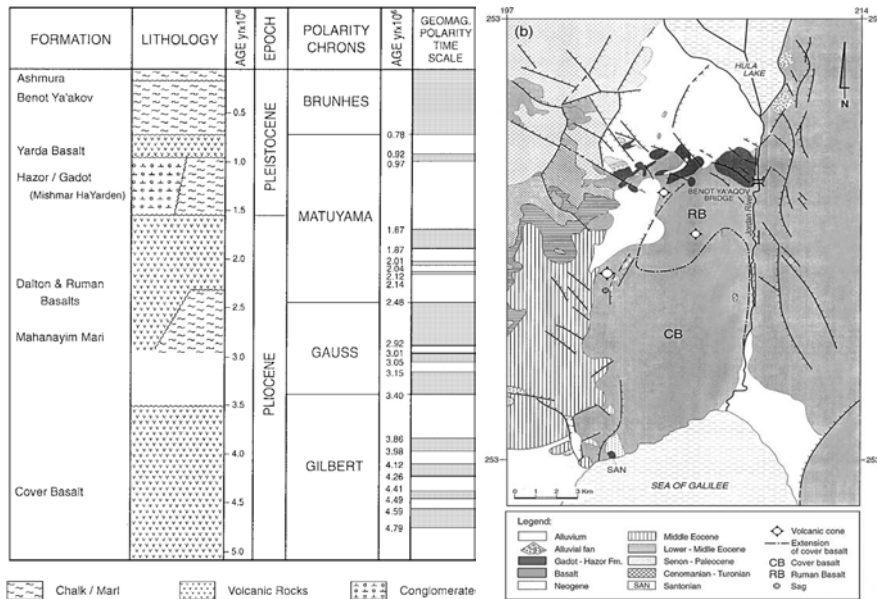
### גילו של האתר האשלי 'גשר בנות יעקב'

כבר מראשית המחקר באזור הוערך גילו של האתר, על פי עצמות בעלי החיים הקדומים שהתגלו בו ועל פי טיפוסים כלי האבן, לתקופה האשליית. אחד הסמנים הכרונולוגיים הראשיים היה נוכחותה של קונכיית המים המתוקים *Viviparous apameae* המצויה בריכוזים עצומים בחלק משכבות האתר, כפי שניתן לראות בחוף הירדן בסמוך לשטח החפירה. קונכייה זו נכחדה לפני

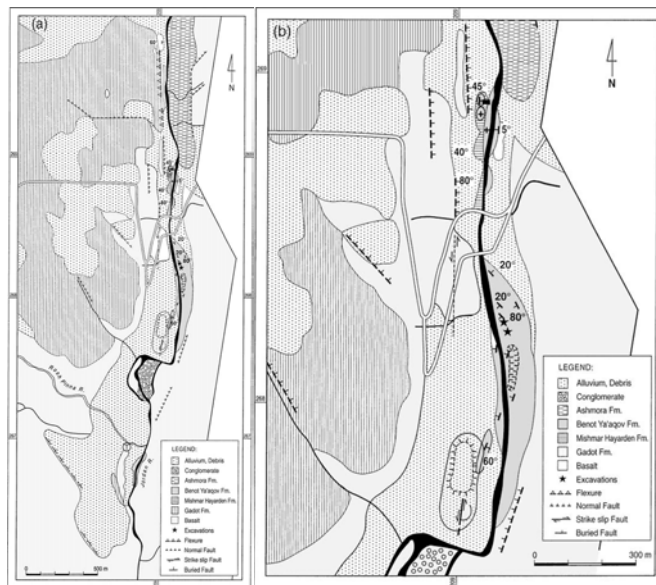
למעלה ממאתים וחמישים אלף שנה וקבעה את הגבול העליון האפשרי לגילו של האתר. פרופסור ורוסוב מאוניברסיטת דיוויס בקליפורניה בדק את הכיוון המגנטי של השכבות באתר והראה כי ההיפוך המגנטי האחרון מתועד בשכבות שנחשפו בתעלה גיאולוגית II. לכן, גילו של האתר הוא כגיל ההיפוך המגנטי האחרון 780,000 שנים לפני זמננו.



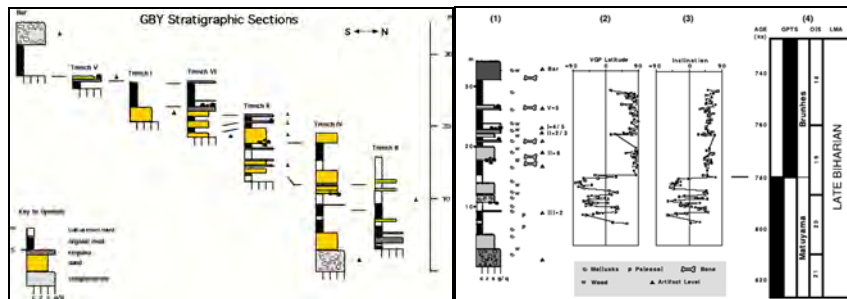
איור 5 ותמונה 3: תרשים סכמתי של האתר וגשר בנוח יעקב 1913.



איור 6: גיאולוגיה וסטראטיגרפיה של גשר בנוח יעקב (Belitzky, 2002).



איור 6: המשך גיאולוגיה וסטריגרפיה של גשר בנוח יעקב (Belitzky, 2002).

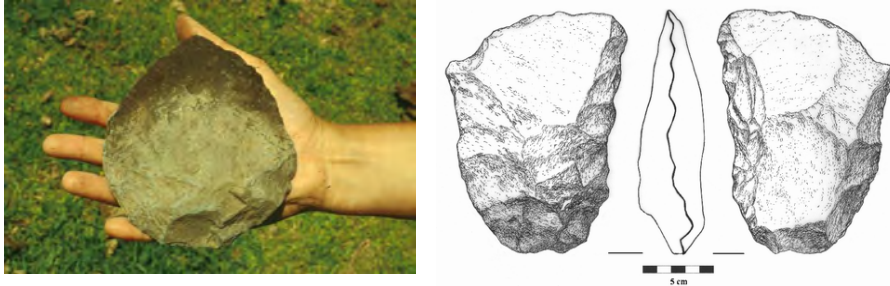


איור 7: סטריגרפיה ופליאומגנטיזם באחר האשלי בגשר בנוח יעקב (Goren-Inbar et al. 2000)

## כלי האבן

מכלול כלי האבן מהתרבות האשליית בגשר בנוח יעקב הוא ייחודי בישראל ולמעשה אין לו מקבילות בכל הלבנט. יחודו הוא בעיקר בשימוש בנתזים גדולים של בזלת ליצורם של כלים דו-פניים (המסוחתים על שני פניהם) כגון אבני יד וקופיצים. אלפי כלים כאלה נלקטו במשך השנים מחופי הירדן ושטח החפירה הקטן יחסית של הפרויקט המחודש (כעשרים מ"ר בלבד) הניב מאות כלים דו-פניים. צורתם של כלים אלה, השימוש בבזלת כחומר גלם (בניגוד לצור שהוא חומר הגלם העיקרי ליצור כלי אבן באחרים מאוחרים יותר), והטכנולוגיה ששימשה ביצורם (נתזים גדולים מגרעינים ענקיים) מצביעים כולם על דמיון רב לאחרים ידועים במזרח אפריקה כגון אולדבאי-גורג', אולרגזאילי, איסנייה ורבים אחרים. השבר הסורי אפריקאי נחשב במחקר הארכאולוגי כנתיב העיקרי דרכו יצאו ההומינידים הקדומים מיבשת המוצא של המין האנושי

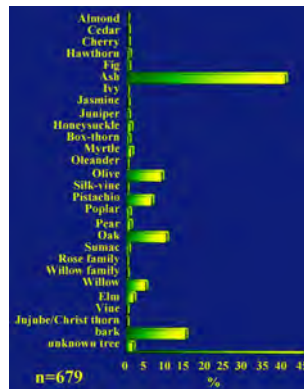
באפריקה והתפשטו אל שאר חלקי העולם. כיום מקובל להניח שהיציאה מאפריקה לא הייתה אירוע חד פעמי אלא מדובר במספר 'גלים' של הגירה של טיפוסי אדם (הומינידים) שונים הנפרסים על פני שני מיליוני השנים האחרונות. גשר בנות יעקב והאתר הקדום בהרבה של עובדיה נשללו מוערך ל- 1.4 מליון שנים לפני זמננו וכלי האבן בו שונים מאוד מאלה של גשר בנות יעקב) מייצגים כנראה שניים מגלי הגירה אלו.



איור 4 ותמונה 8: כלי האבן אשלים מהאתר בגשר בנות יעקב.

### הממצא הבוטאני

גשר בנות יעקב מתייחד גם בשימור יוצא הדופן של חומר בוטאני מתקופה כה קדומה. הסיבה לשימור זה היא בהיותם של השכבות הגיאולוגיות בהן הורבד האתר ספוחות במים מאז הרבדתם ועד היום. בתנאים אלו של לחות גבוהה ומיעוט חמצן החומר העצי אינו מתחמצן ולא נוצרים תנאים המאפשרים התפתחות של בקטריות וריקבון. באתר נמצאו חתיכות עץ מגודל של גזעים ועד פיסות ענפים זעירות וקליפת עץ. העצים זוהו על ידי פרופסור אלה ורקר מהאוניברסיטה העברית וכיום ידועים עשרות מיני עצים שצמחו בסביבת אגם החולה הקדום לפני כשלושת רבעי מליון שנה.



איור 9: מיני העצים שנחפרו בגשר בנות יעקב (Werker and Goren-Inbar, 2000).

באתר גם נאספו, על ידי יואל מלמד ופרופסור מרדכי כסליו מאוניברסיטת בר-אילן, זרעים ופירות של צמחים רבים, שחלקם נכחדו, וביניהם זרעי זית, ענבים וצמחי מים שתפוצתם מוגבלת כיום למזרח הרחוק בלבד. באתר נחשפו גם שבעה מינים של אגוזים בעלי קליפה קשה יחד עם כלים בעלי שקעים (PITS) האופייניים למקבות וסדנים ששימשו לפיצוחם של אגוזים. צירוף זה של אגוזים והכלים ששימשו לפיצוחם מהווה עדות ייחודית למרכיב צמחי בדיאטה האנושית בפליסטוקן הקדום. שימור כזה של חומר בוטאני מאפשר שחזור ייחודי בעולם של הסביבה והאקלים בהם חי האדם הקדמון בעמק החולה בתקופה ממנה השתמרו ברוב האתרים הארכיאולוגיים רק כליו של האדם העשויים אבן. ראוי להזכיר גם פיסת עץ ועליה שיוף מעשה ידי אדם, כנראה כלי העץ הקדום ביותר שהתגלה בעולם.

### בעלי החיים בגשר בנות יעקב

גם עצמות בעלי החיים באתר מצטיינות בדרך כלל ברמת שימור גבוהה. באתר נמצאו עצמות של בע"ח מהקטנים ביותר כגון עכברים, דגים, ציפורים וצבים דרך בינוניים כגון איילים וסוסים ועד לגדולים ביותר כגון פילים וקרנפים. מגוון בעלי חיים הוא עצום, וגם הם, כמו הצמחים, מאפשרים שחזור של סביבתו של האדם הקדמון. אחד הממצאים המרשימים ביותר הוא גולגולת של פיל קדום שהתגלתה בסמיכות לכלי אבן וגזעי עץ. הגולגולת מרוסקת בבסיסה אולי כדי להגיע אל המוח בעל הערך החזונית הרב (עובדה המציעה תשובה לשאלה למה שימשו הכלים הדו-פניים שנמצאו באתר). הגולגולת נמצאה כשהיא הפוכה ובסיסה מופנה כלפי מעלה. כל אלה הם רק חלק קטן מהממצאים שהעלה המחקר בגשר בנות יעקב עד היום. רובם של המחקרים נמצאים בשלב ראשוני בלבד והם עוד יניבו מידע רב על סביבתו ודרכי חייו של האדם הקדמון בעמק החולה הקדום. אתרים חדשים שהתגלו (שלא בטובתם במהלך עבודות ניקוז) לאחרונה מהתקופות המוסטריות והאפי-פלאוליתיות יוצרים רצף המייצג תקופות רבות בפרהיסטוריה של ישראל ובכולם אותם תנאי שימור ייחודיים של עצמות, עץ וכלים המאפיינים את אזור גשר בנות יעקב. מעטים האתרים בעולם המשלבים שימור מעולה של חומר בוטאני וזואולוגי, גיאולוגיה ייחודית, עושר עצום של ממצאים מתרבותו החומרית של האדם הקדמון, מיקום גיאוגרפי וגיל כרונולוגי מדויק ואמין הממקמים אותם באחת התקופות המעניינות ביותר בתולדות המין האנושי.



תמונה 5: גולגולת פיל בשכבה II-6/L1 (Goren-Inbar et al., 1994).



ולסיום, חשוב מאוד להתריע על הסכנה המיידית בה נמצאים האתרים הארכיאולוגיים של גשר בנוח יעקב בשנים האחרונות. קטע הירדן שמדרום לעמק החולה משמש אלפי אנשים כאתר תיירות ונופש. כל יחד אוהל הננעצת בשכבות האתר וכל משוט קאייק המרחיק את הסירה מהגדה או רכב שטח המתעקש לגשת לשפת המים גורמים לאתר נזק אדיר. ירידת מפלס המים בירדן הביאה להתייבשות הקרקע ולהרס של השריזים הבוטניים המיוחדים את האתר. ובעיקר, העבודות שביצעה לאחרונה רשות ניקוז הכינרת הביאו להרס נוסף של השכבות הארכיאולוגיות שכבר נפגעו אנושות בעבודות החפירה בפרויקט יבוש החולה.

#### תחנה 4 : מט"ש ראש פינה-חצור

מט"ש ראש פינה-חצור הממוקם בסמוך לצומת כפר הנשיא קולט את שפכי ראש פינה, חצור, נוף כנרת, מצפה הימים, אזורי התעשייה צח"ר וחצור וחשטפי המתקן לאיסוף פסולת מוצקה "תאנים". מתקן זה פועל בשיטת הבוצה המשופעת כולל אורור וסילוק חנקן בדה-ניטרפיקציה והינו אחד המשוכללים ביותר בישראל (תמונה 6). הקולחים מועברים למאגר הבלוע המנוצל להשקיה בשטחי ראש פינה. בעבר, פעל מט"ש ישן אשר הזרים את הקולים למאגר מחניים הנמצא בחל ראש פינה וגלש כל שנה לירדן. הקמתו של המט"ש החדש מונעת את זיהום הכנרת ממאגר מחניים.



תמונה 6: מט"ש ראש פינה - חצור בקיץ 2003.

המובל המערבי הינו צינור תח-קרקעי (תמונה 7) הקולט את קולחי קריית שמונה, קולחי יישובי צפון עמק החולה ושפכי בריכות הדגים ומעביר אותם למאגר הקצה (מאגר תפעולי) בנפח 50,000 מ"ק הממוקם ליד התעלה המערבית בסמוך לתעלת האפס, איור 1). ממאגר הקצה נשאבים הקולחים ומי הכבול למאגר עינן. התעלה המערבית נוקתה מהבוצה ששקעה בה במשך השנים והפכה לתעלת מים שפירים. בנוסף הוקם מתקן קלאפות (שסתום חד כיווני) על מנת למנוע זרימה של קולחים מתעלת עינן לתעלה המערבית.



תמונה 7: המובל המערבי בזמן השלמתו חורף 2003.



תמונה 8: אגם אגמון בשנת 2000. האגם הינו ביצה מחוקה ורדודה המהווה מרכיב עיקרי בפרויקט החולה אשר נועד לצמצם את ניקוז הנוטריאנטים מכבול החולה לכנרת.

## מקורות


שחם, ג., 1994. פרויקט החולה. דינמיקה של התערבות האדם בטבע. אקולוגיה וסביבה, 4-1: 221-228.

Belitzky, S, 2002. The Structure and Morphotectonics of the Gesher Benot Ya'aqov Area, Northern Dead Sea Rift, Israel. Quat. Res., 58, 372-380.

- Belitzky, S., Goren-Inbar, N., Werker, E., 1991. A Middle Pleistocene wooden plank with man-made polish. *J. Human Evol.*, 20, 349-353.
- Dimentman, Ch., Bromley, H. J., Por, F. D., 1992. *Lake Hula, Reconstruction of the Fauna and Hydrobiology of a Lost Lake*. Jerusalem. The Israel Academy of Sciences and Humanities, 170pp.
- Goren-Inbar, N., Feibel, C. S., Verosub, K. L., Melamed, Y., Kislev, M. E., Tchernov, E., Saragusti, I., 2000. Pleistocene Milestones on the Out-of-Africa Corridor at Gesher Benot Ya'aqov, Israel. *Science*, 289, 44-947.
- Goren-Inbar, N., Lister, A., Werker, E., Chech, M., 1994. A Butchered Elephant Skull and Associated Artifacts from the Acheulian Site of Gesher Benot Ya'aqov, Israel. *Paléorient*, 20, 99-112.
- Goren-Inbar, N., Saragusti, I., 1996. An Acheulian biface Assemblage from the Site of Gesher Benot Ya'aqov, Israel: Indications of African Affinities. *J. Field Archaeology*, 23, 15-30.
- Goren-Inbar, N., Sharon, G., Melamed, Y., Kislev, M., 2002. Nuts, Nut Cracking, and Pitted Stones at Gesher Benot Ya'aqov, Israel. *PNAS*, 99, 2455-2460.
- Goren-Inbar, N., Werker, E., Feibel, C. S., 2002. *The Acheulian Site of Gesher Benot Ya'aqov, Israel: The Wood Assemblage 1*. Oxbow Books, Oxford.
- Markel, D., Sass, E., Lazar, B., Bein, A., 1998. The main biogeochemical cycles in the newly created Lake Agmon, Hula Valley, northern Israel. *Wetlands Ecology and Management*, 6, 103-120.
- Melamed, Y., 1997. *Reconstruction of the Landscape and the Vegetarian Diet at Gesher Benot Ya'aqov Archaeological Site in the Lower Palaeolithic Period*. Unpublished M.Sc., Bar-Ilan University.
- Melamed, Y., 2003. *Reconstruction of the Hula Valley Vegetation and the Hominid Vegetarian Diet by the Lower Palaeolithic Botanical Remains from Gesher Benot Ya'aqov*. Ph.D. thesis, Bar-Ilan.
- Sharon, G., Feibel, C. S., Belitzky, S., Marder, O., Khalaily, H., Rabinovich, R., 2002. 1999 Jordan River Drainage Project Damages Gesher Benot Ya'aqov: A Preliminary Study of the Archaeological and Geological Implications. In: *Eretz Zafon - Studies in Galilean Archaeology*, edited by Z. Gal. Israel Antiquities Authority, Jerusalem, pp. 1-19.
- Stekelis, M., 1960. The Paleolithic deposits of Jisr Banat Yaqub. *Bull. of the Res. Council of Israel*, G9, 61-87.
- Rosenfeld, A., Nathan, Y., Craig, F. S., Schilman, B., Halicz, L., Goren-Inbar, N., Siman-Tov, R., 2004. Paleoenvironment of the Acheulian Gesher Benot Ya'aqov pleistocene lacustrine strata, Northern Israel - lithology, ostracod assemblages and ostracod shell geochemistry. *J. African Earth Sci.*, in press.

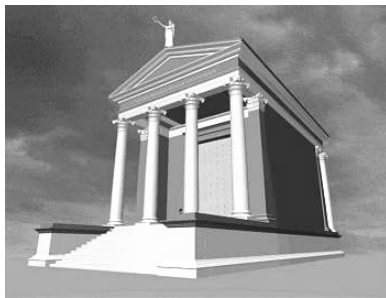
## חידושים בארכיאולוגיה של הגולן

משה הרטל

רשות העתיקות 

בסיור נבקר בחמישה אתרים שנחפרו בגולן בשנים האחרונות. הדגש בסיור יושם על מבני ציבור מהתקופות הרומית, הביזנטית והממלוכית. בשנים מהאתרים עדויות ברורות להרס שנגרם ברעידות אדמה ובגלישת קרקע.

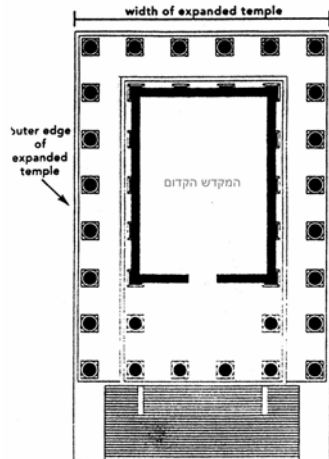
### חורבת עמרית



איור 1. שיחזור של חזית המקדש הקדום בחורבת עמרית.

חורבה בשוליים המערביים של הגולן, מזרז ומצפון לכפר סאלד. החורבה שוכנת על גבעה הצופה על צפון עמק החולה, בשולי דרך רומית שעלתה לכיוון בניאס. האתר נחפר בשנים האחרונות על ידי משלחת של Macalester College בראשות J.A. Overman. בראש הגבעה נמצאו שרידי מקדש רומי, שנבנה בשני שלבים:

1. מקדש מלבני שנבנה במאה הא' לפסה"נ. המקדש נבנה על פודיום גבוה, בנוי מאבני גזית. מבנה העל של המקדש לא שרד, אך לפי מיזוחיו וחלקי הפזורים מסביבו, נראה שהיה מסוג מקדשי הטרה-פילון, עם ארבעה עמודים בחזיתו וארבעה עמודים בקירו האחורי (איור 1).
2. במאה הב' לסה"נ הוגדל המקדש. הפודיום של המקדש הראשון הוקף בפודיום גדול יותר ועליו נבנה מקדש, שהוקף בעמודים מארבעת צדדיו (איור 2). גם מבנה העל של מקדש זה לא שרד. אל המקדש הוביל רחוב עמודים קצר, שתחילתו בדרך הרומית שעברה מצפון לאתר. בתקופה הביזנטית נבנו מצפון לאתר מבנים ומתקנים והאתר שימש ככפר קטן. יוסף בן מתתיהו מספר כי הורדוס בנה בפאנין מקדש לכבוד אוגוסטוס: "כשחזר הורדוס, לאחר שליווה את קיסר אל הים, הקים לו מקדש יפה ביותר מאבן לבנה



איור 2. תוכנית המקדשים בחורבת עמרית. המקדש הקדום הוקף בפודיום חדש ועליו נבנה מקדש מוקף בעמודים.

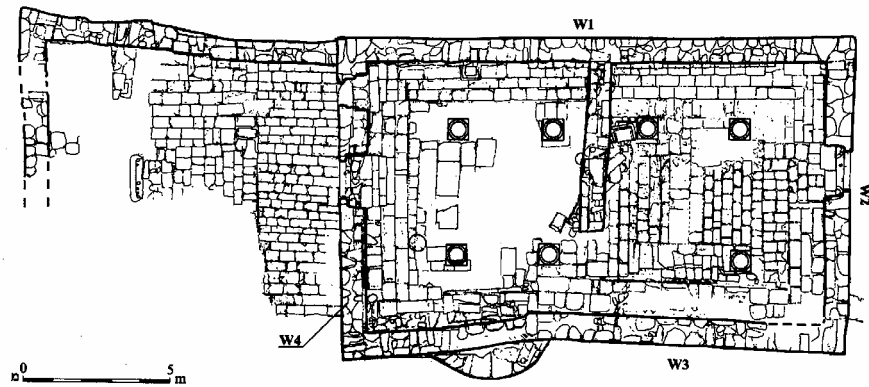
במדינת זינדורוס בסביבת המקום הקרוי פאניון. זאת היא מערה יפה בתוך הר, ומתחתיה שקע באדמה ומהם פעורה שאין לגשת אליה והיא מלאה מים עומדים, ואילו למעלה מזה הר גדול מאד, ומתחת למערה מפכים מעיינות הנהר ירדן. את המקום הזה, הנאה ביותר, הוסיף וקישט (הורדוס) במקדש שהקדישו לקיסר" (קדמ' טו 363-364; והשווה: מלח' א 404-406).

בניגוד למה שהיה מקובל במחקר עד כה מציע החופר כי יש לזהות את מקדש אוגוסטוס עם המקדש בעמריח (Overman, Olive and Nelson, 2003).

## דיר עזיז

בית כנסת במדרון הדרומי של גבעה עליה שרידי ישוב יהודי מהתקופה הביזנטית. המבנה התגלה על ידי ל' אוליפנט בשנת 1885 וזוהה כבית כנסת על ידי צ' מעוז. בשנים האחרונות נחפר בית הכנסת על ידי צ' מעוז וח' בן דוד מטעם המחלקה ללימודי ארץ-ישראל באוניברסיטת בר אילן. במבנה הובחנו חמישה שלבי בנייה. שלבים 31 מתוארכים למאות הו-הז' לסה"נ ובהם שימש המבנה כבית כנסת. שלב 4 מתוארך למאות הח'-הט' ובו שימש המבנה למגורים. שלב 5 מתוארך לימינו ובו שימש המבנה כמחסן.

בשלב 1 נבנה אולם תפילה בציר מזרח-מערב (11 x 18 מ'). פתח הכניסה נקבע בקיר המזרחי. המבנה רוצף בלוחות בזלת. שמונה עמודים שהוצבו על פדסטים, תמכו בגג רעפים. במבנה



איור 3. תוכנית בית הכנסת בדיר עזיז.

משולבים פריטים ארכיטקטוניים שנלקחו ממבנה קדום. בשלב 2 נבנה מחדש הקיר הדרומי הפונה לירושלים בחלקו המערבי נבנה ארון קודש, הכולל בסיס אבן ובו מגרעת ומאחוריה גומחה, שהוחקנה בתוך אפסיס חצי עגול. לאחר בנייתו מחדש של הקיר הדרומי נבנו ספסלים ממערב לארון הקודש ואילו ממזרחו נמצאו יסודות של במה. בין אבני הבמה נמצאה פכית חרס קטנה ובה 14 מטבעות זהב מימי יוסטיניאנוס הרא', מהשנים 527-565 לסה"נ. נראה אפוא כי שלב 2 נבנה בשליש האחרון של המאה הו'.

בשלב 3 פורק הקיר המערבי ובמקומו נבנתה חזית חדשה ולפניה חצר גדולה מרוצפת באבני גזית. בחזית נקבעו שני פתחים, האחד במרכז הקיר והשני בחלקו הצפוני. מהפתחים ירדו לרצפת האולם בגרמי מדרגות. גרם מדרגות שנבנה בצמוד לחזית המזרחית הוביל כנראה לקומה שנייה.



איור 4. האפסיס בקיר הדרומי של בית הכנסת בדיר עזיז.

נראה כי שלב 3 נבנה במאה הז' או ראשית המאה הח'. בית הכנסת שרד חלקית את רעידת האדמה של 749, בניגוד לבתי הכנסת בקצרין ובאום אל-קנאטיר. בצד הצפוני שלו שרדו שני עמודים עומדים ומעליהם קורת אבן.

בשלב 4 שוקם חלקו הצפוני של המבנה ושימש למגורים או לאחסון. הממצא בשלב זה מחוורך למאות הח-הט'. לאחריהן נעזב האתר.



בשלב 5 שולבו חורבות בית הכנסת במבנה סורי מודרני (מעוז וכן דוד תשס"ג).

איור 5. מבט כללי על בית הכנסת בדיר עזיז. לפנים: החזית המזרחית. משמאל: הבמה וארון הקודש. מאחור הקיר המערבי.

## אום אל-קנאטיר

חורבת אום אל-קנאטיר שוכנת על מדרגה טבעית במדרון המזרחי של נחל סמך. באתר נתגלו שרידי כפר מהתקופה הביזנטית. האתר החגלה ב-1885 על ידי ל' אוליפנט ונחקר על ידי ג' שומכר, קוהל ווצינגר וצ' מעוז. בימים אלו נערכות באתר חפירות נרחבות בבית הכנסת ובבית המעיין. החפירות, מטעם המחלקה ללימודי ארץ-ישראל באוניברסיטת בר אילן, מנוהלות על ידי ח' בן דוד וא' גונן, בית המעיין נחפר בניהולו של א' זינגבוים. הפרויקט מנוהל על ידי י' דר"י [www.yeshuat.com].



איור 6. אום אל-קנאטיר: הקשת המזרחית של בית המעין.



איור 8. אום אל-קנאטיר: הבריכה בבית המעין. קירותיה נחחכו והעתקו כחוצאה מגלישת קרקע

בקצה הדרומי של הכפר נמצאה מערכת של שלוש קשתות, בנויות אבני גזית, אשר מדפנות ותומכות את המצוק הטבעי. בין הקשתות נובע מעיין. הקשת המזרחית השתמרה בשלמותה (איור 6) ואילו החלק העליון של הקשתות המרכזית והמערבית התמוטט. הקשת המערבית, שהתגלתה רק לאחרונה, בנויה על מדרגה גבוהה משל הקשתות האחרות ובזווית שונה (איור 7). נראה כי הוספה למבנה בשלב מאוחר.

מי המעיין רוכזו לבריכה בנויה. הבריכה נחחכה לרוחבה וקירותיה הועתקו, כנראה כתוצאה מגלישת קרקע בעת רעידת אדמה (איור 8).



איור 7. אום אל-קנאטיר חוכנית בית המעין.

## בית הכנסת



איור 9. סריקה דיגיטאלית של בית הכנסת באום אל-קנאטיר. למעלה: קירות השלב השני. למטה: מפולח המבנה ברעידת האדמה.



איורים 10, 11. בסיס עמוד מעוטר בתבליטי בעלי חיים ועמוד מעוטר עם תבליט מנורה.



איור 13. מבט כללי מצפון על בית הכנסת לאחר הסרת המפולח.

נמצא בחלקו המזרחי של האתר. המבנה היה בן שתי קומות וקורה בגג רעפים. פתח הכניסה הראשי נקבע בחזית הדרומית ולפניו מבואה מקורה בעמודים. הפתח הוסט למזרח מאמצע הקיר בכדי לאפשר בניית במה לארון הקודש, ששרידיה נמצאו בתוך האולם. פתח נוסף היה למבנה בצד מערב. לאורך קירות המבנה נבנה ספסל אבן. בית הכנסת רוצף בלוחות אבן. חלקן הונחו על מערכת קורות, שהותירה חלל מתחתן. במבנה שולבו פריטים מעוטרים, חלקם מיוחדים לו (איורים 10, 11).

המבנה המקורי התמוטט חלקית. מסיבה שעדיין לא ברורה. נראה כי במאה הח' השתמשו רק בקומה התחתונה. בשלב זה שימש עדיין החלק הדרומי כמבנה ציבורי, בעוד שהחלק הצפוני חולק על ידי מספר קירות לחדרים ושימש כבית כפרי (איור 9). המבנה קרס סופית ברעידת האדמה של 749 (איורים 9, 12). לא נמצאו בו ממצאים מאוחרים לתאריך זה. ערמות האבנים ממפולח הקירות שרדו באתרם עד לתחילת התפירות (איור 9).

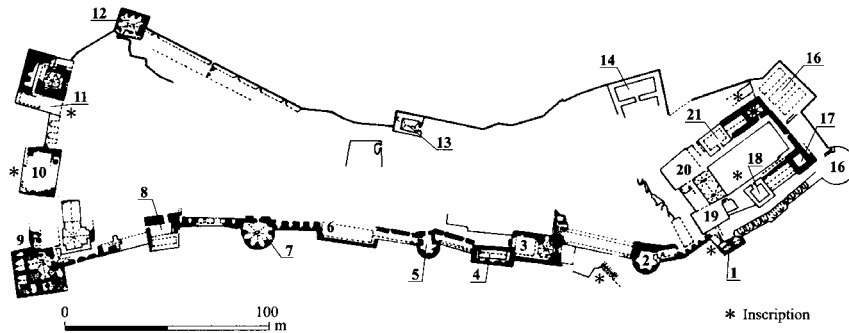


איור 12. אבני הקיר המערבי שהתמוטט ברעידת האדמה.



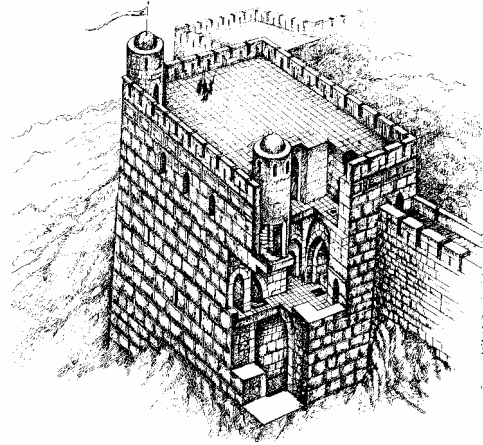
## מצודת נמרוד

מצודת נמרוד - קלעת נמרוד, או בשמה הקדום קלעת א-צוביבה, נבנתה למרגלות החרמון על שלוחה צרה מוקפת מדרונות תלולים. המצודה שולטת על המעלות מבניאס לכיוון דמשק. במשך שנים רבות נחשבה למבצר הצלבני הגדול בארץ, אך מחקרים של ר' אלנבלום הראו כי למעשה נבנתה על ידי האיובים, יורשי צלאח א-דין, כנגד הצלבנים (Ellenblum, 1989). בשנת 1228 בנה אל-עזיז עות'מאן, מושל בניאס, מצודה רבועה בחלק המזרחי והגבוה של השלוחה. שנתיים מאוחר יותר הורחבה המצודה לכל שטח השלוחה. ב-1240 חיזק אל-סעיד חסן, בנו של אל-עזיז עות'מאן, את המצודה בהוסיפו גלריות לחימה, שהרחיבו את החומות וכן מאגר מים גדול. ב-1260 נכבשה המצודה בידי המונגולים. לאחר קרב עין ג'אלוד, שנערך באותה שנה ליד מעין חרוד, גורשו המונגולים על ידי הממלוכים שהפכו לשליטי הארץ. הסולטאן הממלוכי ביברס העניק את המצודה כאחווה פרטית לממלוך האישי שלו בליכ, שבנה בה מגדלים, מסגד וארמון. לאחר ספר האיום הצלבני ירדה המצודה מחשיבותה והפכה למרכז השלטון האזורי, עד שנעזבה לחלוטין. ב-1759 נפגעה המצודה הנטושה ברעידת אדמה עזה. המצודה המרשימה משכה את תשומת לבם של נוסעים וחוקרים (Ellenblum 1989:103, n. 2).

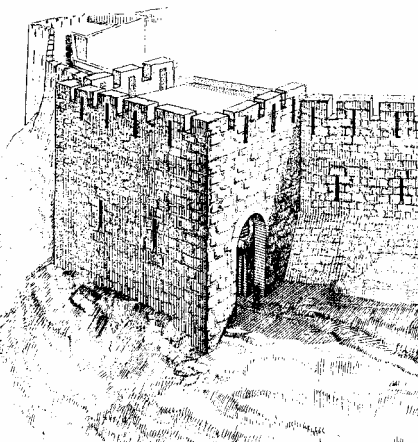


איור 14. מצודת נמרוד

סקר מקיף נערך בה על ידי החוקר הצרפתי דהשמפ (Deschamps, 1939), שהכין את תוכניתה. בשנות ה-90 נחפרו ותועדו על ידי מ' הרטל שני מגדלים בחומה המערבית של המצודה (Hartal, 2001). בסיוור במצודה ניתן להבחין בשלבי הבנייה השונים לפי איכות הבנייה. המגדלים הראשונים בנויים בשילוב של אבני גזית (בפינות ובמסגרות הפתחים) ואבנים מהוקצעות. הבנייה הממלוכית מאופיינת באבני גזית באיכות גבוהה ששימשו לבניית הקירות והקמרונות. במצודה שרדו עקבות רעידת האדמה שגרמה לחורבנה. החפירה הארכיאולוגית אפשרה לתארך אותה ל-1759.



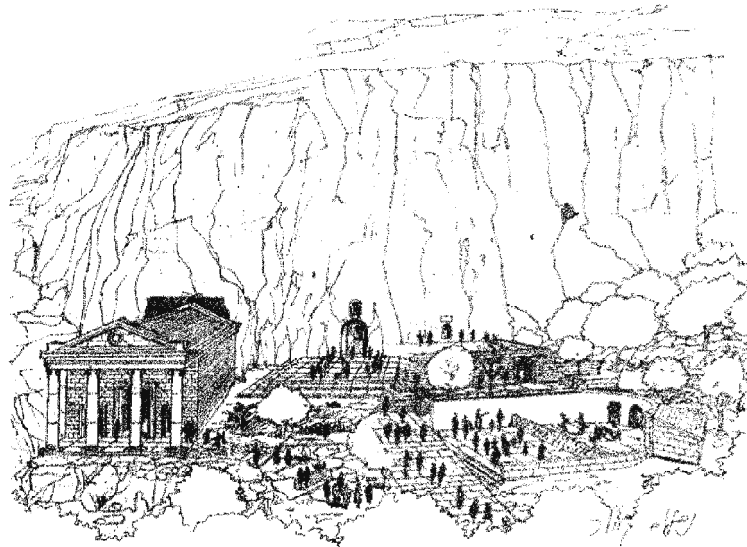
איור 16. שיחזור של מגדל דוד בשלב הממלוכי.



איור 15. השער המערבי של מצודת נמרוד, לפני הקמת המגדל המורחב.

## בניא

מערה גדולה בתחתיתו של מצוק מרשים, שמתחתיה נובע מעיין גדול, הוקדשה לאל פאן, חציו אדם וחציו חיש. השם פאניון נזכר לראשונה כזירת הקרב המכריע בין התלמיים לסלווקיים שנערך בשנת 200 לפנה"ס. בשנת 20 לפנה"ס הקים הורדוס מקדש לאוגוסטוס (ראה ח' עמ' 10). בשנת 2/1 לפנה"ס. לאחר מות הורדוס הקים בה פיליפוס בנו את בירתו וקרא לה קיסריה פיליפי. במאות הראשונות לספירה הייתה העיר החשובה ביותר בצפון עבר הירדן - מהגולן ועד לבשן. בשיאה השתרעה העיר על שטח של כ-750 דונם.



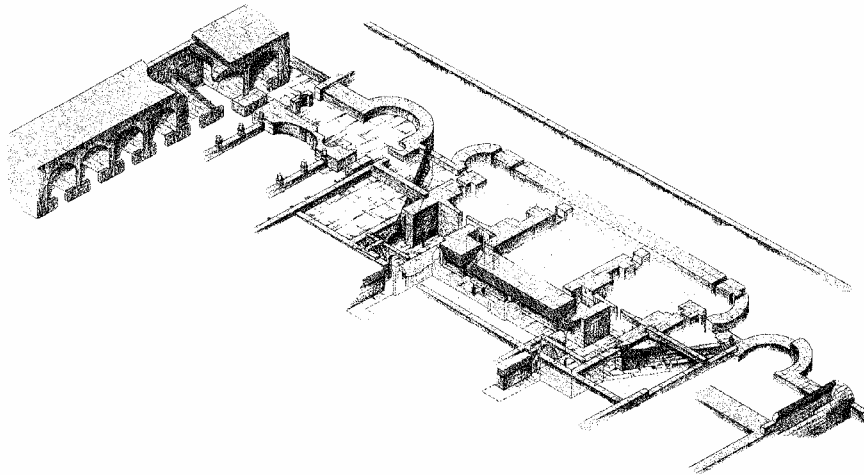
איור 17. שיחזור מתחם המקדשים בבניא.

המרכז העירוני השתרע בין המעיין לנחל סער. מתחת למצוק ומעל למעיין נבנה המתחם המקודש. ראשיתו במערה של פאן, שלפני פתחה נבנה מבנה המזוהה בידי חופרו, צ' מעוז (תשנ"ח). כמקדש לאוגוסטוס. במחצית הראשונה של המאה הא' נחצבו ממזרחו בסלע גומחות לפסלים ולפניהם נבנתה רחבה מרוצפת. היה זה מקום פולחן לאל פאן ולנימפות. בראשית המאה הב' נבנה מקדש לזאוס, ממנו שרדו רק יסודותיו. בסוף המאה הב' ובמאה הג' נוספו חצר המוקדשת לנמיס, אלת הנקמה, ומבנה ששימוש אינו ידוע. המתחם המקודש המשיך לשמש עד המאה הו', הרבה לאחר עלייתה של הנצרות.

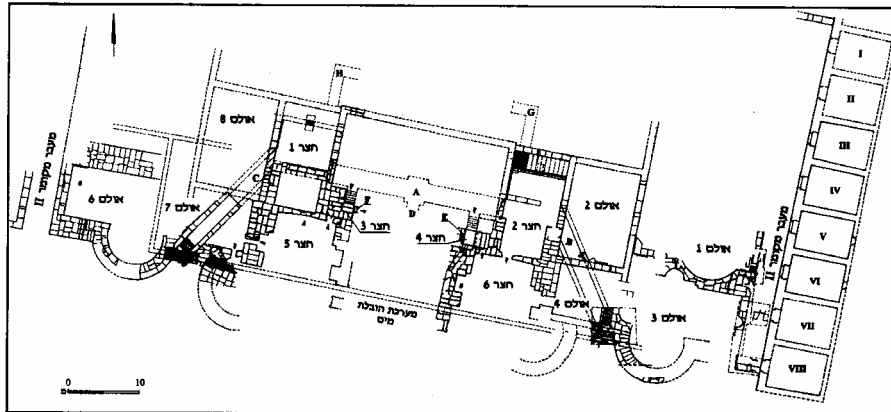
מדרום למעיין נבנה רחוב עמודים ולידו מבני ציבור, שנחפרו על ידי ו' צפיריס (תשנ"ח). הגדול והמרשים בהם הוא ארמון הכולל חדרים וחצרות וביניהם מעברים תת-קרקעיים. באגפו המזרחי מערכת של קמרונות, ששרדו בשלמותם. במרכז הארמון נמצאו שרידי בזליקה וחדר הכס. הארמון נבנה כנראה על ידי אגריפס הב' שמשל בבניאס במחצית השנייה של המאה הא'. לאחר שפסק שלטונו של בית הורדוס במקום הפך הארמון לבית מרחץ רחב מימדים, שהמשיך לשמש גם בתקופה הביזאנטית.

במאה הא' נבנתה אמת מים שהובילה לפרוורים הגבוהים מהמעין. האמה נחפרה על ידי מ' הרטל (תשנ"ח).

באמצע המאה הה' עברה העיר משבר שסיבותיו לא ברורות. ברחוב מתקופה זו נמצאו שרידי הרס בשריפה עזה. ממצאים משלהי התקופה הביזאנטית לא נמצאו בשטחים שנחפרו. נראה כי העיר הצטמצמה בשטחה, אולי לשטח שמדרום לנחל סער, שהוקף בחומה.



איור 18. שיחזור איזומטרי חלקו המזרחי של ארמון אגריפס.



איור 19. חוכנית ארמון אגריפס.

גם שרידי העיר הידועה מהמקורות ההיסטוריים בתקופה הערבית הקדומה עדיין לא נחשפו. במאה ה-11 נבנתה על חורבות הארמון מצודה שבמרכזה מסגד. מצודה זו הורחבה בתקופה הצלבנית, והעיר הוקפה במערכת של חומות ומגדלים. לאחר התקופה הממלוכית ירדה העיר מחשיבותה והפכה לכפר עני ודל.


## מקורות

הרטל מ' תשנ"ח. אמת המים לבניאס. **קדמוניות**, 115:26-29.  
 מעוז צ"א תשנ"ח. המיחחם בבניאס המוקדש לפאן. **קדמוניות**, 115:18-25.  
 מעוז צ"א ובן דוד ח' - תשס"ג. **חדשות ארכיאולוגיות**, 115:11-15.  
 צפיריס ו' תשנ"ח. עשר שנות מחקר ארכיאולוגי בבניאס/קיסריה של פיליפוס. **קדמוניות**, 115:2-17.

Deschamps, P., 1939. Les Châteaux des Croiss en Terre Sainte, II: La défense du royaume de Jérusalem. Paris.  
 Ellenblum, R., 1989. "Who Built Qal`at al-Subayba?". *Dumberton Oaks Papers*, 43., 103-112.  
 Hartal, M., 2001. The al-Subayba (Nimrod) Fortress: Towers 11 and 9 (IAA Reports 11). Jerusalem.  
 Overman, J. A., Olive, J., Nelson, M., 2003. Discovering Herod's Shrine to Augustus: Mystery Temple Found at Omrit. *Biblical Archaeological Review*, 29(2), 40-49, 67-68.

## טיול טבע בצפון הגולן נמנבי חזורי על שלוחת חזורי לכיוון מבצר נמרוד ומשם על שלוחת הבניאס לשמורת הבניאס)

יעל סלע

רשות הטבע והגנים 

### מה נראה?

נופי חרמון ייחודים, מצודה עליה כתב מרק טוויין "כי זהו חל החורבות היפה מסוגו בעולם" ולקינוח נופי הבניאס המשלבים מים שוצפים לצד שרידים ארכיאולוגים מרשימים.

### תחנה 1 :

קבר שיח עותמן חזורי מקום קדוש לעדה הדרוזית, ממוקם בלב חורשת עצי אלון עתיקים ומרשימים במימדיהם. בתחנה זו נכיר את הדרוזים בכלל והדרוזים של רמת הגולן בפרט, קדושים מקומיים (להבדיל מקדושים כללים) וסיפורי השיח המקומי.

### תחנה 2 :

מראש אתר ההנצחה של סיירת אגוז, הסיירת שתפקידה שמירה על גבול הצפון, נצפה אל החרמון, נכיר את חלק משלוחותיו והמבנה המיוחד שלו.

### תחנה 3 :

לאורך השלוחה נעצור מספר פעמים ונכיר את הצומח הייחודי של מורדות החרמון, נכיר את מיני הצומח השונים, עקבות בעלי חיים ונעמוד על השוני בין הצומח באזור מורדות החרמון לצומח הגליל.

### תחנה 4 :

סיוור במבצר נמרוד. המבצר שנבנה במאה ה-13 על גב שלוחה צרה של החרמון מהווה את אחד מהמבצרים היפים בארץ. שנים רבות האמינו החוקרים כי מדובר במבצר צלבני, הוא מבצר הבניאס. בשנים האחרונות בעקבות מחקרים הסטורים חדשים מאמינים החוקרים כי מדובר במצודה מוסלמית שנבנתה במקום לצורך הגנה על הדרך הראשית לדמשק. נתחיל את הסיוור במגדל העוז של המצודה. במהלך הסיוור נבקר באולמות המבצר, מגדלי השמירה.

החומות ונעבור במעברי סתרים, נעמוד על שיטות הבניה, שלבי הבניה השונים, נשמע ספורים ומזימות הסטוריות והשפעת רעידות אדמה חזקות על המקום.

### תחנה 5 :

נרד בשלוחה המובילה לבניאס. נכיר את הצמחייה האופיינית לתקופת האביב, נצפה לכיוון עמק החולה והרי הגליל העליון.

### תחנה 6 :

סור בבניאס. אחד משלושת מקורות הירדן. בשנה שופעת גשם עולים מעינות הבניאס על גדותיהם ומראה המקום מרהיב. נעלה לאזור המקדשים ונכיר את אחד ממקומות הפולחן הייחודים ביותר שנתגלו בארץ מהתקופה הרומית. במקום נחשף מכלול של מקדשים שהוקדשו לאלים שונים. באחד המקדשים נתגלה ריכוז גדול של עצמות עיזים. על משמעות הממצא, בסור עצמו. משם נמשיך לאזור טחנת הקמח אחת מהאחרונות בארץ שעדיין פועלות בכוח המים. לאורך הנחל צמחית גדות כמו הפטל, הערבה והדולב. שריגי גפן היין משתלשלים מהעצים הגבוהים ופרחים עונתיים רבים מעטרים את השמורה.

### תחנה 7 :

לסיום נבקר בחפירות "ארמון אגריפס". מכלול גדול ומרתק של ארמון גדול לצד עיר רומית שנבנה במאה הראשונה לספירה על ידי צאצאי הורדוס הגדול. במקום נחשף מבנה ציבורי מאוחר יותר לארמון וחופרי המקום מאמינים כי מדובר בבית הכנסת של בניאס ששימש את אחת משתי הקהילות היהודיות שחיו בעיר.

ממש לפני הסיום נעבור ליד מבנים שבסטרטיגרפיה המיוחדת שלהם חושפים את כל תולדות העיר בניאס.



מצר נמרוד

# היבטים גיאומורפולוגיים וגיאולוגיים רצנטיים באזור הירדן ההררי והגולן המערבי

משה ענבר

✎ החוג לגיאוגרפיה, אוניברסיטת חיפה

אריאל היימן

📍 המכון הגיאולוגי, ירושלים

דרון מור

קיבוץ מרחביה

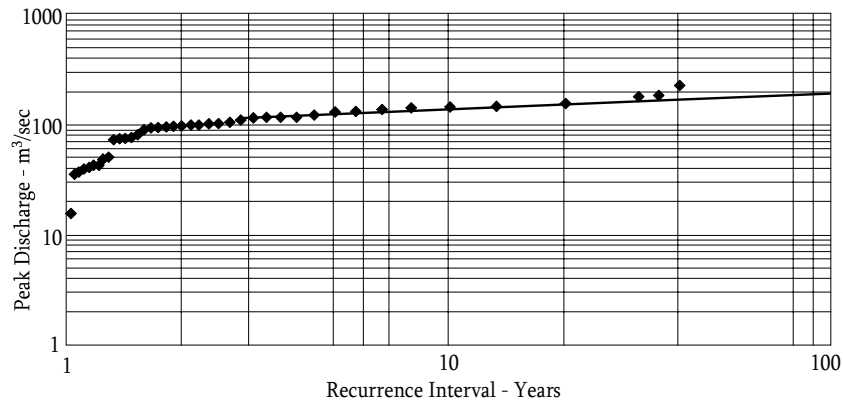
## פירוט תחנות הסיוור

תחנה 1 : אזור הפזרות (braided) של הירדן

משה ענבר

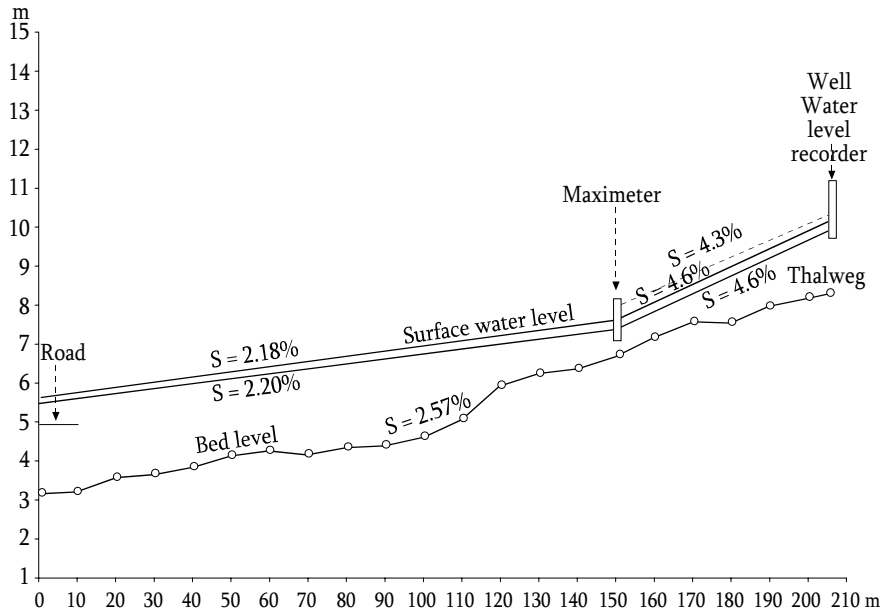
במקום שהיו 2 גשרים על הירדן (המזרחי מוכר כ- "גשר הדודות") התחוללו שינויים מורפולוגיים משמעותיים בעשורים האחרונים. בינואר 1969 התרחשה הגאות המקסימלית שנמדדה בירדן ובכל הנחלים באגן הכנרת. הגאות החריגה נגרמה על ידי סופת גשם נדירה והוגברה על ידי פעילות האדם באגן ההקוות (איור 1.1). הגשם העונתי הגיע ל- 180% עד 250% מן הממוצע הרב שנתי, ולערכים הגבוהים ביותר בחקופת מדידה של 150 שנה. נפח הגאות היה 100 מלמ"ק ומהירות זרימת המים כ- 6 מ'/שניה. השיפועים הגדולים, המגיעים ל- 4.6% שיפוע פני מים בעת גאות, מאפשרים הסעת כל גודלי הבולדרים, והגדולים שבהם במשקל של 3-4 טון (איורים 1.2 ו- 1.3). מפלס אגם הכנרת הגיע ל- 280.30 מ', הגובה המרבי הידוע ב- 120 השנים האחרונות.

Station: Jordan River Southern St.  
1959/1960 - 2003/2004

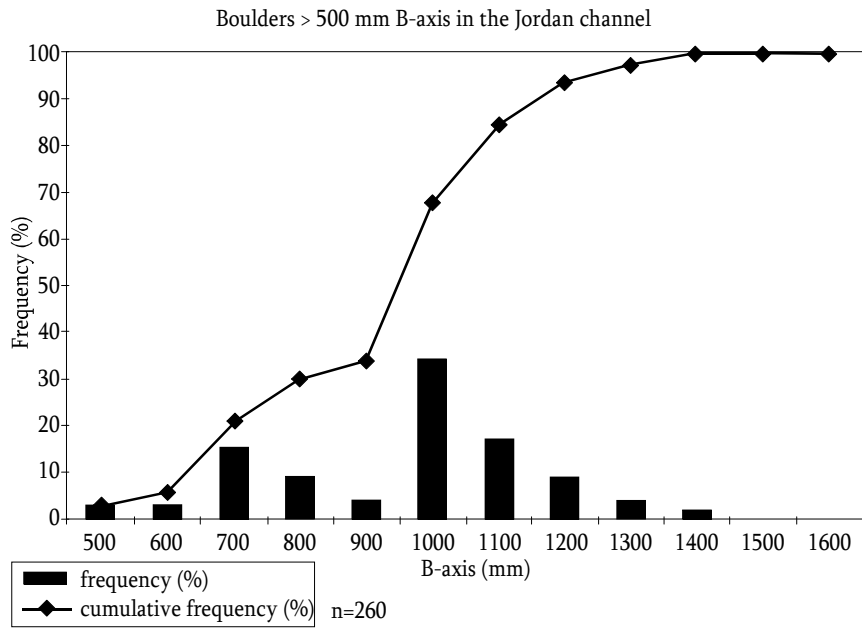


איור 1.1: חקופת חזרה של גאותות שיא שנחיות בירדן העליון.





איור 1.2: שיפוע אורך של קרקעית האפיק ושל מפלס המים בעת גאויח בקטע של 220 מ' במעלה גשר הדודוח.



איור 1.3: התפלגות של גודל בולדרים מעל 500 מ"מ - ציר B- באפיק הירדן במעלה גשר "הדודוח"



איור 1.4: צלום אפיק הירדן ההררי בחורף 2004 מצפון לדרום. בחלק העליון שפך הירדן לכנרת.



איור 1.5: קטע אפיק הירדן במעלה גשר "הדוזות" שעבר מלוי בחורף 2003.

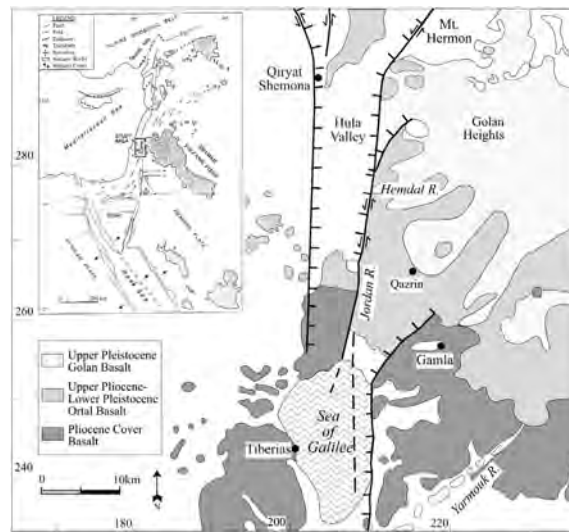
העיצוב המורפולוגי בעקבות הגאות של ינואר 1969 באפיק הירדן העליון נשמר כמעט ללא שינוי משמעותי עד לגאות של פברואר 2003, ובה חל שינוי מוחלט של מורפולוגיית האפיק במורד האזור הקניוני (אזורים 1.4 ו-1.5). בין 1969 עד 2003, במשך תקופה של 34 שנים, התרחשו 4 גאותות שהיו מסוגלות להסיע כמעט את כל גדלי הבולדרים באפיק, כולל גושים של 1000 מ"מ גודל של הציר הבינוני של הבולדר. באותה תקופה לא התרחש שינוי משמעותי של מורפולוגיית האפיק שנשאר דומה במימדיו לאפיק שנוצר באירוע המעצב של 1969, כפי שנקבע בחתכים חוזרים קבועים באפיק.

הגאות של פברואר 2003 הייתה השניה בעוצמתה ב-68 שנות מדידה, וכנראה גם לתקופה ארוכה יותר של מאות שנים. שבהן האגם וביצות החולה היו גורם ממתן בהעברת ספיקות השיא של הירדן מחלקו הצפוני אל אזור הקניון עד הכנרת. בגאות של 2003 התמלא קטע האפיק הנחקר בבולדרים והאפיק שינה לחלוטין את מהלכו, תוך השקעה של מטר עד שניים של גרופת גסה בכל המישור האלוביאלי מצפון לגשר הדוזות. האפיק המערבי הפך להיות האפיק העיקרי, והיותו ערוץ צר ועמוק אפשר הגברת הספק הזרימה (STREAM POWER) והסעת הבולדרים הגדולים ללא השקעתם.

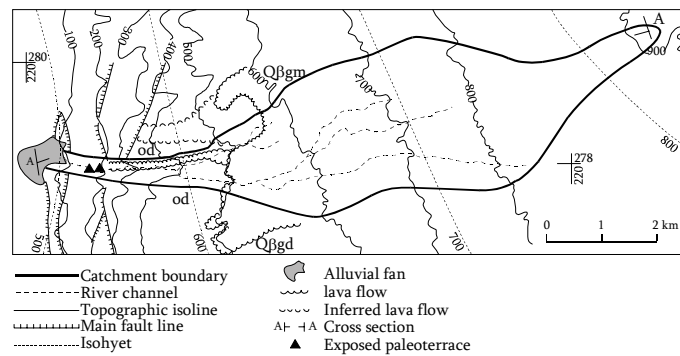
תחנה 2 : פליאוסטרטוגרפיה בחבל חמדל, המשמעות הניאואטקטונית ופליאואקלימית

משה ענבר ואריאל היימן

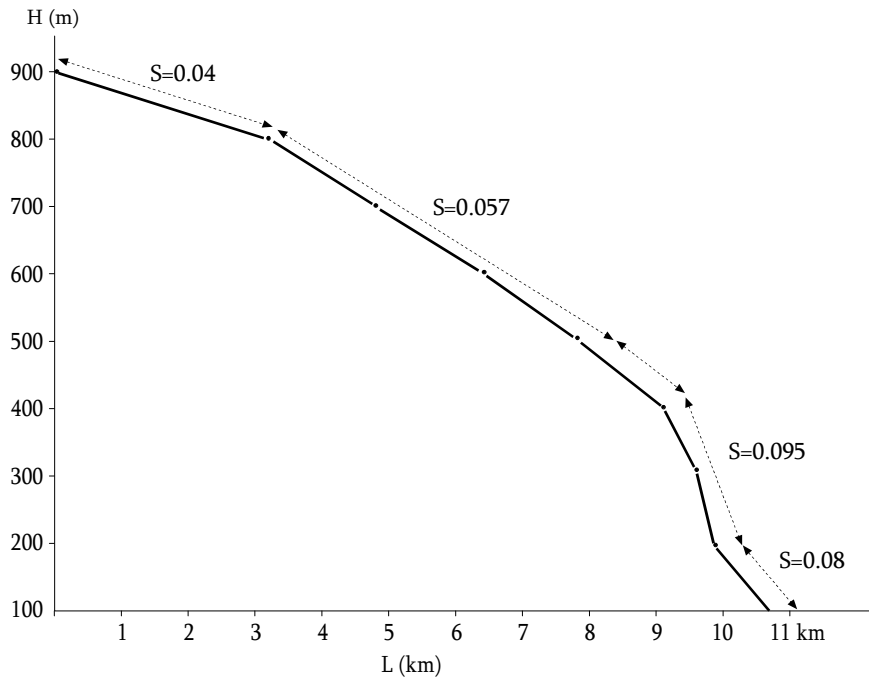
במורדות האפיק של נחל חמדל נחשפים קונגלומרטים של טרסה נחלת המכוסים זרם בזלתי צעיר המחוארך לחצי מיליון שנה. הקונגלומרט הקדום וקילוח הבזלת מהווים עדות מיוחדת לחופעות פליאואקלימיות וטקטוניות הקשורות לאירועים בבקע ים המלח. נחל חמדל מנקז שטח של 16.2 קמ"ר במורדות הגולן המערבי ונשפך לעמק החולה (איורים 2.1 ו-2.2). האפיק מתחתר במסלע הבזלתי של תצורות אורטל וגולן בעל אופי קניוני בחלקו החתון. עומק האפיק נע מ-5 מ' בחלק הרמתי העליון ל-50 מ' בחלק הקניוני במורדו. רוחבו של האפיק הפעיל נע מ-5 מ' עד 14 מ'. חתך האורך הוא קעור והשיפועים גדלים כלפי המורד, דבר המעיד על פעילות טקטונית צעירה. ביציאה לעמק החולה, באזור מניפת הסחף השיפוע קטן עד ל-1% (איור 2.3).



איור 2.1: התצורות הוולקניות בבקע הירדן הצפוני (אחרי Heimann et al., 1990).



איור 2.2: האגן של נחל חמדל - קוים סטרוקטורליים, גשם וקילוחי בזלת.

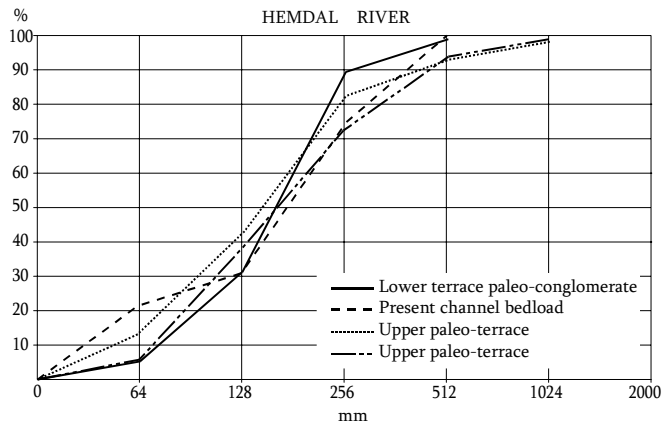


איור 2.3: חתך אורך של אפיק נחל חמדל.

בנחל חמדל אין תחנה הידרומטרית או מדידות סדירות של ספיקת מים, אבל על פי הנתונים של נחל עורבים הנמצא כ- 5 ק"מ מצפון לו, ניתן להעריך שהספיקות המקסימליות מגיעות ל- 30-40 מ"ק/שנייה וספיקת גדות מלאות היא כ- 10 מ"ק/שנייה. במורדות האפיק נמצאו שלושה מחשופים של חלוקים ובולדרים, אחד במצוק הדרומי של האפיק ושניים במצוק הצפוני ליד המפל, כ- 100 מ' במעלה המחשוף הדרומי. המחשופים מכוסים קילוח בזלת שתוארך לחצי מיליון שנה (טבלה 2.1). במחשוף A הטלוג או הנקודה הנמוכה באפיק הנוכחי, נמצאת כ- 50 מ' מתחת לגג הקונגלומרט, מכאן שניתן לקבוע שיעור התחתרות של 0.1 מ"מ/שנה. טרסה נחלית זו נחשפת לאורך 40 מ' ובעובי של 4 מ', ומרכיביה הם בעיקר בולדרים בזלתיים בלתי מלוכדים עם 20% של חומר דק אשר ממלא את החללים בין הבולדרים. ההתפלגות הגרנולומטרית של הפליאוטרסה היא במקצת גסה יותר מזה של הגרופת באפיק הנוכחי (איור 2.4). הטרסה הקדומה לא מכילה חלוקים גירניים, לעומת כ- 10% חלוקי גיר באפיק הנוכחי. ניתן להסיק מכך שהמחשוף הגירני האאוקני לא היה חשוף בזמן קיומו של האפיק הקדום. הבולדרים הקדומים הם בלויים, דבר המעיד על תקופה ארוכה של חשיפה. גיל הבזלת של הבולדרים הקדומים נע בין 1 ל- 4 מיליון שנה, גילם של בזלות דלוה ובזלת הכיסוי מחשוף

טבלה 2.1: גילם רדיומטרים של קילוחי הלבה ומרכיבי הקונגלומרטים בנחל חמדל.

Location	AH no.	Meas. no.	%K	<sup>40</sup> Ar Rad x10 <sup>-6</sup> CCSTP/gr	% Ar Rad.	Age (m.y.)	Error	Mean Age (m.y.)	Mean Error
N. Hemdal (above the congl)	431	2433	1.26	0.0335	17.2	0.69	0.04	0.55	0.13
	432	2442	1.87	0.0337	4.3	0.47	0.11		
	433	2516	1.14	0.0219	14.4	0.49	0.03		
N. Hemdal (west)	441	2434	1.28	0.0205	7.7	0.41	0.05	0.51	0.11
	442	2443	1.06	0.0214	10.2	0.52	0.05		
	443	2517	1.08	0.0258	5.8	0.61	0.10		
N. Hemdal (congl)	451	2435	1.44	0.613	12.0	1.09	0.08	1.08	0.06
	451	2852	1.44	0.0596	11.9	1.06	0.08		
	452	2444	0.89	0.0927	16.3	2.68	0.15	2.83	0.24
	453	2526	0.98	0.1137	24.4	2.99	0.11		
	454	2527	0.74	0.1125	31.3	3.94	0.12		



איור 2.4: התפלגות גרנולומטרית של מרכיבי הקונגלומרט הקדום וגרופת האפיק הנוכחי בנחל חמדל

בזלת הכיסוי היו נרחבים יותר בזמן השפעת הקונגלומרט הקדום, היות וזרמי לבה צעירים יותר כיסו חלק מן האגן בתקופת צעירות יותר.

בהתאם למשטר ההידרולוגי של נחל עורבים, הגרופת הגסה או  $D_{90}$  מכלל החלוקים בנחל חמדל מוסעת בשיטפונת בהסתברות של 1:10 שנים. משטר שטפוני זה עם שיאי זרימה ניכרים הוא אופייני לנחלי הגולן, ובהם התנאים ההידראוליים ולא החומר הזמין הם הגורם המגביל בהסעת הגרופת. ניתן להניח כמו כן שהמשטר ההידרולוגי באזור זה לפני חצי מיליון שנה היה דומה לזה של היום. הפעילות הטקטונית לאחר השקעת הקונגלומרט וקילוח הבזלת גרמה להעתקת הקילוח ולהטיה של הטרסה הקדומה לשיפוע של 25% לעומת שיפוע ראשוני של 2% עד 5%. פעילות טקטונית זו היא כמו כן אחראית לשיפוע הקמור של האפיק בחתך האורך שלו.

מחשופים נוספים של הפליאוטרסה נמצאו גם באפיקים קרובים לנחל חמדל, כפי שנוכל לראות במחשוף בכביש העלייה לז'יט ליד צומת גונן (נ.צ. 2109/2807).

### תחנה 3 : נחל עורבים

דרון מור

כידוע, נוהגים הגיאולוגים לקדוח באדמה כדי ללמוד את מבנה השכבות שבעומק. אולם במקומות מסוימים יצר לנו הטבע "קידוחים" משלו, ומהם יכולים אנו ללמוד שפע של עובדות ולהסיק מסקנות: אלה הם קירות הקניונים היורדים אל עמק החולה. דוגמא טובה לכך היא מצוק נחל עורבים בצפון רמת הגולן (נצ"מ 2138/2830). במקום זה, ששביל מטיילים נוח ניגש אליו, נמצא מצוק כ- 75 מ' המונח על גבי גיר מתקופת האיאוקן (איור 3.1).

קילוח	גובה במ'	עובי במ'	ליתולוגיה	פאליאון מנטיזם	תיאור
נ.ע. 9	2.5			R	טאלוס ושפכים, בזלת מציצת פח ושט.
	1.0				בזלת מטיבית לטטה וזיקולרית למעלה.
נחל עורבים 8	70	12.0		לא ברור	בזלת מטיבית, קשה ומצוקית בחלקה העליון, רכה יותר וטכוסה שטלס בחלקה התיכון וקשה בהתחון. קילוח זה יוצר את המצוק סביב נחל עורבים, ואת מפל הנחל העליון.
נ.ע. 7	60	2.0			בזלת פריכה, יוצרת מדרון רך בנוף.
נחל עורבים 6	50	14.5		R	בזלת מטיבית ומצוקית. יוצרת מצוק ניכר מאד בנוף ומחווה את השטרת הראשית למצוקים באזור מפגש יובלי נחל עורבים.
	1.5				פאליאוסול חום-אדמדם עבה, יוצר דרגש ניכר מאד סביב כל נחל עורבים.
נ.ע. 5	40	3.7		M	בזלת מטיבית וזיקולרית יותר בחלקה העליון, מטיבית פזרחה.
	0.3				פאליאוסול אדמדם, קלינקר ושברי בזלת.
נחל עורבים 4		5.2		M	בזלת מטיבית קשה, וזיקולרית מאד.
	0.2				פאליאוסול, שברי בזלת וחלקי בזלת.
נחל עורבים 3	30	8.0		M	בחלק התחתון - קלינקר של בזלת וסקוריה, המתחלפים כלפי מעלה לבזלת קשה ומצוקית, עם עמודונים מצרותים. פאליאוסול אדמדם וחלקי בזלת.
	0.2				בזלת מטיבית, שחורה וקשה. במספר מקומות מופיעים עמודונים שטוחים, המשתנים ונעלמים לטראלית.
נחל עורבים 2	20	17.1		R	החלק התחתון קשה מאד ויוצר מצוק. החלק העליון רך יותר וברובו מכוסה טאלוס. המפל התחתון חתור בחלק הרך יותר ונופל מעל החלק הקשה יותר.
	10	0.4			פאליאוסול אדמדם, מצמיח מספר תאנים.
נחל עורבים 1		7.6		R	בזלת מטיבית שחורה וקשה, וזיקולרית כלפי מעלה. מבנה פסאודו-דרגשי במספר מקומות.
	0.2				פאליאוסול אדמדם.
איאוקן	0				גיר לבן, משוכב דק, "אפרי", קצת צור.

איור 3.1: חתך מוכלל בנחל עורבים.

המצוק בנוי מסדרת קילוחים עבים (17-3 מטרים כל אחד) כשפליאוסולים דקים (נעשות ס"מ עד 1.5 מ') ביניהם, והוא מייצג את בזלת דלווה. מחילופי הבזלת/פליאוסול ניתן לראות, כי על האזור עברו תקופות קצרות של פעילות וולקנית עזה, והפסקות ארוכות של בלייה וארזיה לסירוגין. במבט מתצפית המצוק ניתן לראות בבירור כי קילוחי הבזלת אינם בנויים מסלע מסיבי אחיד, אלא מפוצלים לשורות- שורות של עמודונים משושים. באיור 3.2 אפשר גם לראות את השינויים הפליאומגנטיים שעברו על האזור: חלקו התחתון של החתך הוא הפוך, אמצעו - נורמלי, ואילו חלקו העליון שוב הפוך. ארבעה קילוחים מן החתך נדגמו לשם בדיקה גיאוכרונולוגית (נחש דוגמאות מכל קילוח) והתוצאות מפורטות באיור 3.2, מכאן יכולים אנו להסיק מספר מסקנות:

1. הבזלות הנחשפות בחתך נחל עורבים נוצרו מן הפליסטוקן התחתון ועד לחיכון, במשך תקופת מאטויאמה ההפוכה ומאורע חרמיו הנורמלי.
2. החתך כולו, שעוביו 75 מ', נוצר במשך 860,000 שנה, כלומר בקצב ממוצע של 8.6 מ"מ למאה שנה. ברור אמנם כי במשך תקופה זו היו תקופות קצרות מאוד של התפרצויות וולקניות עזות ותקופות ארוכות מאוד של שקט ובלייה, אולם ערכים אלה נותנים לנו מושג וסדר גודל של הקצב שבו נבנה החתך הוולקני ברמת הגולן כולה. יכולים אנו ללמוד מכאן כי גיל השבירה וההעמקה האחרונה של עמק החולה הוא צעיר יותר מ-0.7 מליון שנה: העתקי עמק החולה מרוחקים מכאן רק כשני קילומטרים וחצי, והפרש הגבהים קרוב ל-500 מ'. אילו היה עמק החולה קיים כבר אז, הייתה הלבנה של הקילוח האחרון לפחות חופזה בדרכה מטה, ולא מתמצקת לה בניחוחא על ראשי המצוקים.

תקופה	זמן במיליוני שנים	פליאומגנטי כיוון	פליאומגנטי תקופה	פליאומגנטי מאורע	הולקנים בתל עורבים
פליסטוקן	0.6	N	ברונס		קילוח 9
	0.7		0.73		0.74±0.10
	0.8				קילוח 6
	0.8				0.83±0.07
	0.9			0.92	קילוח 4
	0.9			חרמיו	0.96±0.08
	0.9			0.97	
	1.5				קילוח 1
	1.6				1.58±0.18
	1.7			1.67	אולדונאי
1.8		N			
1.9					
2.0				1.87	

איור 3.2: קילוחי נחל עורבים ביחס לסולם הגילים הפליאומגנטי.